

ガードフェンスの研究

昭和43年3月

枝村俊郎

自 序

たどたどしい歩みではあつたが、工学的にすつきりしたところのなかつたガードフェンスに、一応の筋らしきものを通すことができたのは、やはり著者の喜びである。この研究をとりまとめでからあとも、神戸大学の交通工学研究室のわかい諸君と勉強をつづけていると、いままでより早いペースでガードフェンスの姿が明らかになつていくように思う。今日の時点では、問題が微妙な経済的バランスの上になつていることをあらためて認識させられているところである。

著者の目標のひとつは、道路に関連するあらゆる施設に“合理的な美しさ”が実現されることであつた。道路標識やこのガードフェンスが安全という大使命をはたす上において合理的であり、また機能的であるかゆえに美しくあつてほしいとつねづね願つているものである。

本研究かともかくもなりたつたのは、ひとえに米谷栄二先生のおすすめと御激励による。最初におすすめていただいたのは、たしか昭和38年の秋であつたからそれからこれにちまては、はや5年に近い月日かたつてしまった。まったくそれまでは著者にこのような研究をまとめる機会が与えられるとは思つてもみなかつたのである。そして、とりまとめにあつたのは、先生と佐々木綱博士の向先生の御指導をえた。ここにあつく感謝の意を表する次第である。

また本研究の相当部分は著者の建設省土木研究所在勤時代に手かけたものであり、2代の道路研究室長伊吹山四郎、市原薫博士の御指導に感謝したい。著者のわかまをいつも寛容に許され、今日もなお御世話になるところが多い。つねにありがたく感じている次第である。

著者がそもそもガードフェンスの研究を思いついたのは、道路協会の交通安全施設小委員会のメンバーに加えていただいたからである。事故調査をはじめとして、同委員会の方々の御支援をえたところは大きい。高速道路関係の調査の機会を与えていただいた日本道路公団の埴第2技術課長、多勢名神管理局交通技術課長、実物実験技術の未完成な時代に御協力いただいたメーカーの技術陣の諸氏にもまた負うところが多い。そして神戸大学に移つてからは西村昭先生他の諸先生の御助言と御激励をいただいた。これらの方々の御好意にあつく感謝の意を表する次第である。

さらに、土木研究所在勤当時においては、道路研究室柴田正雄技官ほか研究室の諸君、神戸大学においては、文部教官山本俊夫君、大学院学生、東条是樹君、久井守君ほかの諸君の多大の御協力をえている。実際本研究が日の目を見る上においては、実に多数の方々の恩恵をうけているのであり、著者はこのことを心から感謝している次第である。

昭和43年3月3日

目 次

序 論

- 1 ガードフェンス技術の発達
- 2 本研究の特色
- 3 本研究の内容

第1編 ガードフェンス設置計画のための交通事故分析

第1章 事故評価の尺度	3
1.1 概 説	3
1.2 評価尺度の条件	3
1.3 マスコミの反応測定による事故の重さの計量	7
1.4 交通事故に関する社会心理学的態度測定	15
1.5 結 語	20
第2章 一般道路における転落事故の分析	22
2.1 概 説	22
2.2 一般道路における便益の評価	22
2.3 調査資料について	23
2.4 転落事故損害の期待値の推定	33
2.5 転落事故発生率の推定	67
2.6 結 語	79
第3章 高速道路における事故分析	81
3.1 概 説	81
3.2 高速道路の横断構造と事故の関係	81
3.3 中央分離帯用ガードフェンス設置便益の表現	86
3.4 中央分離帯横断事故のシミュレーション	87
3.5 高速道路の線形要因と中央分離帯事故の発生率	102
3.6 結 語	106

第2編 ガードフェンスの最適設計

第1章 ガードフェンスの力学模型	111
1.1 概 説	111
1.2 レールが軸方向力のみを受けるガードフェンスモデル	113
1.3 レールが曲げのみを受けるガードフェンスモデル	118
1.4 曲げと引張を同時に受けるガードフェンスモデル	130

1.5	ルールに比較的簡易な力学系を考えたガードフェンスモデル	185
1.6	支柱の横方向抵抗	153
1.7	結 語	179
第2章	実物実験とその解析例	182
2.1	概 説	182
2.2	実物実験技術	182
2.3	衝突時の自動車の平面運動モデル	188
2.4	ガードロープ実物実験の解析	190
2.5	オイルダンパー式ガードフェンスの実物実験の解析	197
2.6	結 語	209
第3章	最適設計法	211
3.1	概 説	211
3.2	転落事故損害の予測計算例	213
3.3	ガードフェンスの形式選択に関する考察	216
3.4	衝突時車両に発生する減速度と損害の関係	222
3.5	転落発生限界決定と線形判別関数	236
3.6	最適設計計算例	239
3.7	結 語	257
	結 論	259

序 論

1 ガードフェンス技術の発達

ガードフェンスはいうまでもなく、こんにち、きわめて一般的な道路交通安全施設の一つであり、全国津々浦々にその設置をみている。その目的は、道路を走行する車両の運転者に視線誘導を与え、かつ自動車から車道から逸脱するのを防ぐことにある。要求される機能としては、じゅうらい、次のような各項目があげられてきた。

- (1) 道路交通に対する視線誘導効果を持つこと、
- (2) 可能な限り重量の大きい車両においてもその路外逸脱を防止すること、
- (3) 衝突した自動車を原車道に復帰させるとともに、その際に他の交通を妨害しないこと、
- (4) 衝突時に生ずる減速度は乗員に被害を与えない程度のものであること。

さてわが国においてガードフェンスについてはじめて関心をもたれたのは、道路の改良(14巻10号、1932年)に、「近代道路の防険柵」⁽¹⁾として「由来道路の防険柵の如きものは余り研究もされず、又それほど価値のあるものでない、然しその働きの如何は、しばしば重大なる結果を招来するものであるが……」という書出しで、米国のガードフェンスとその実物実験に関する紹介が行なわれたのが最初であろう。

米国においては、とうぜんこれ以前から現在の概念によるガードフェンスが使用されており、

Report of the Committee on Highway Guard²⁾, by G.A.Rahn, Proceedings of the Twenty-First Annual Meeting of the Highway Research Board (1941)⁽²⁾は同国における1924年から1941年に至る関連業績の集成であった。戦後1951年にはAASHOによってStandard Specification, Section E, Highway Guard and Fences⁽³⁾としてガードフェンスは技術基準にとりいれられている。

研究上注目すべきは、1954年に行なわれたJohns Hopkins大学のR.S.Ayre他の手になる模型実験⁽⁴⁾である。ガードフェンスに対する自動車衝突現象の動力学的問題を微分方程式に表現し、実物に対する相似律によって縮尺を決定した。ガードフェンスの問題を解析的方向と関連させた最初の試みであろう。大規模な実物実験として注目を集めたのは、1958~1963年のカリフォルニア州によって行なわれた中央分離帯用フェンスに関する一連の実験⁽⁵⁾である。この結果として金網とロープを組合せた比較的たわみの大きい構造が推奨され、実用された。また1958年カリフォルニア州では高速道路の中央分離帯事故の全州にわたる調査⁽⁶⁾を行ない、中央分離帯用フェンスの設置は相当の重交通量においてはじめて好結果がえられるという結論を得ている。同じ頃におけるゼネラルモーターズ社の試験走路逸脱安全対策に関する一連のStonexの報告⁽⁷⁾も、ガードフェンス設置法の他、一般の路側対策を含めて注目されてよい資料であろう。

最近報告された1962年、1963年にわたつてドイツのベンツ工場において行なわれた大規模な実物実験⁽⁸⁾は、その高エネルギーと蒸気ロケットによる推進という実験技術の独自性、それに実験例数の大きさにおいて興味深いものがある。この実験結果の反映として、ドイツその他ヨーロッパ諸国で

は中央分離帯用として、中央の支柱から両側に腕をはり出し、W型断面レールを支持する設計が採用されはじめている。最後に、現時点における最も注目すべき研究は、1961年以降に行なわれた。米国コーネル航空研究所による実物実験とその解析⁽⁹⁾であるといえよう。この研究は強いレール弱い支柱 (Strong beam weak post) 概念による新形式のフェンスの開発と、はじめて衝突現象を解析的にとらえることに成功した上においてきわめて重要な意義を持つものであるといえる。

いっぽうわが国においては、第2次世界大戦後もなお10年もの間近代的概念によるガードフェンスは現われず、旧来のいわゆる駒止柵がいぜんとして用いられる状態が続いた。1956年(昭和31年)に至ってはじめて、日本鋼管株式会社により、ガードフェンスの製産が意図され、そのための実物実験を初めとする技術的な研究⁽¹⁰⁾が行なわれはじめた。以後、各方面においてもさかんに研究されるようになり、1958年の東京製鋼の実物実験、1959年の京都大学、松尾教授による八幡製鉄製の実験、同年の運輸技術研究所による富士製鉄製ガードレールの実験等が行なわれた。

やがてわが国も高速道路時代を迎えることとなり、高速道路用ガードフェンスの需要が起り、1959年にW型断面高速道路用ガードレールが日本鋼管社によって、1960年には高速道路用ガードケーブルが神戸製鋼社によって大規模に実験されている。このようにしてガードフェンスはきわめて当然の施設として道路技術者に受け入れられるようになったが、反面、技術的には、やや停滞期に入ったかにみえた。

しかし1964年～1966年にかけて建設省土木研究所では、2、3の新種ガードレール、すなわちパイプ式ガードレール、アルミガードレール、オイルダンパー付きガードレールの実物実験を八幡鋼管、天野アルミ、三井物産各社の委託研究として実施した。その間同研究所では経験を重ね、ワイヤーけん引加速による専用走路と高速カメラ撮影塔を設備し、実験技術的には、いちおう完成することになった。

また統一的な設計、設置の基準として1965年には日本道路協会から「ガードフェンス設置要綱」⁽¹¹⁾が発行され、わが国の現在の技術的基準はこれによることになっており、技術水準もまたこれにより代表される。

わが国のガードフェンスの発達をふりかえってみると、米国には遅れをとっているにせよ、一時はヨーロッパ諸国よりはいはやく大規模実物実験を実施するなどの成果がみられたのであった。しかし全体を通じて製品試験的色彩の強い実物実験が中心となり、基本的な検討がふじゅうふんであったことはいなめないのではなかろうか。

2 本研究の特色

前述の通り、近年ガードフェンスの普及発達はいちじるしく、これに関する調査、研究も大規模な実物実験をはじめとして数多く行なわれてきた。その結果、こんにちまで貴重な経験が集積されはしたのであるが、しかもなお、ガードフェンスの技術的な全ぼうはなお不明なままにおかれていたともいえる。

本研究は、ガードフェンスをたんに実物実験の立場や事故解析の記述的立場からのみではなく、その

持つべき機能全体に着目し、あるいはシステム全体としてとらえることにより、こんにちまであいまいであった諸点およびその相互関係を明らかにし、最終的には、最適設計、最適設置の技術的方式を確立しようとするものである。ガードフェンスの技術的な諸問題としては、部材断面の選択、構造形式の決定、材料の選択、接手形状および強度、支柱構造、支柱埋込工法、レールと支柱の剛比の決定、これらの基礎となる実物実験およびその解析、道路の特定点における必要性（高速道路と一般道路）、その場合の最適剛度あるいは形式、複数地点間の設置の優先順位、規格品の級の決定、交通安全施設投資中におけるガードフェンス投資水準等々があげられよう。本研究では純然たる材料力学的、構造工学的問題を除き、その全般について論じようとするものである。これによって、ガードフェンスの技術においては、衝突現象の解析から国民経済的な投資水準の決定に至るまで、個々に解決されるものではなく、一体として考えられねばならないものであることを明らかにしたい。ガードフェンスの持つべき性能といわれる三条件、転落阻止、誘導性、乗員被害の軽減も結局は、全損失最小、ひいては国民経済における厚生最大という一軸の判断規準によって測定されねばならない性質のものである。つうじよう、ガードフェンスのような構造物の場合、技術的な大綱は、設置位置を決定する設置基準と力学的要件をきめる設計法あるいは設計荷重となってあらわれるが、本研究では上記の立場から、それぞれに対する基礎的資料を与えたとともに、同時に相互の関連の必然性についても明らかにしたい。

問題をいま解析手法の点からながめてみよう。Johns Hopkins大学のR. S. Ayreらが、模型実験に関するかれらの報告の序において、ガードフェンスについてその統計的側面と力学的側面のあつたことを指摘しているのはけだし洞察であつた。

ガードフェンス技術においては、主として事故解析、設置基準の側面における基礎としての統計的方法、主として衝突現象、構造力学的解析、設計荷重の側面における力学的方法の二つの接近法が主要な柱として考えられる。しかも前述のように終極的には両者は相互に関連し不可分の関係にあるのである。なお関連する手法をすべて列挙するならば、交通工学的的方法、数理統計的方法、構造力学、自動車力学、社会心理学、OR的方法、人間工学、システム工学、写真測量技術、土質工学の多岐にわたる。ほんらい多数の因子のからむガードフェンスの全般的な問題をこれらの各手法により分析し、また逆に総合するのも本研究の特色であるといえよう。

3 本研究の内容

本研究はガードフェンスについて、その効用の測定尺度、一般道路、高速道路における対象事故の分析、ガードフェンスの力学模型、支柱の横方向抵抗、自動車の力学模型、実物実験、フェンス衝突事故時の減速度と損害の関係、最適設計概念とその全般にわたり、一貫した思想による技術体系を確立しようとするものである。

ここに本研究を2編にわけ、第1編ではガードフェンスの設置の基礎となる事故分析を、第2編では、ガードフェンスの最適設計をあつかうことにする。以下各編各章をおつてその概要を述べる。

第1編第1章においては、ガードフェンスの設置効果の測定尺度について議論する。ガードフェンスはいうまでもなく、交通事故防止のために設置されるものであるが、その効用はどのような尺度で

測定されるべきであろうか。公共事業投資の有効な配分を考えると、あるいは他の交通安全施設投資政策との均衡において考える場合、システム工学的法論とあえていうまでもなく、以下の議論の全体に通じる一つの効用測定のための尺度がまず確立されねばならない。それによってはじめて、ガードフェンスによる事故防止方策の効果を極大とするような、設置方法、設計の追求というわれわれの作業が一貫した論理のもとに展開できることになる。きわめて当然の帰結ながら、著者の用いるのは、総ての貨幣タームによる計測である。ここでは、これがむしろ好むと好まざるとにかかわらず必然性を持つものであることを述べよう。このほか本章では、測定尺度決定の一側面資料として、2つの社会心理学的小調査について述べる。事故の重さというものを上記のように貨幣タームで表現することが必要であるにせよ、その基礎はまたきわめて精神的なものである。この意味において、事故の刺激に対するマスコミの反応の大きさを調べることによって、それが社会全般の事故に対する評価態度の代表となるのではないかと考える。また多分に欠陥のある手法ではあるが、社会心理学的直接質問法によつて、事故の大きさの相対的重さを民衆がどのように評価しているかを調べてみることにする。

同編第2章においては、一般道路における対象事故の分析を行なう。第1章の議論とあいまつて、一般道路における転落事故防止のためのガードフェンスの設置基準をはじめ科学的な基礎の上に与えようとするものである。転落事故による損害を評価するためには、道路の単位延長当りの事故発生率と事故が発生した場合の損害の予測がなければならない。両者を合わせ、ガードフェンスの設置便益を表現する簡単な一式を考え、その中のパラメーターを実際の事故統計から推定する。その際の統計的手法としては、林知己夫による統計的数量化の方法を用いるが、これはきわめて好結果であった。道路環境要因、交通の性質を与えるならば、転落事故の起こったときの事故損害をこれによって予測することができる。なお線形要因と転落事故発生率との関係を与える図、表も作製した。

同編第3章では、ガードフェンスを高速道路の中央分離帯に用いる場合の問題についての基礎的考察を述べる。高速道路の普及にともない、中央分離帯の構造設計は先進各国の道路技術者によって関心のよせられている重要問題の一つである。けだし、高速道路における中央分離帯乗り越え事故は、走行速度の高速性と、正面衝突という悪条件のもと、他の無縁の運転者をしばしば重大事故にまきこむ可能性を持つからである。しかし、その設計技術はこれまで一貫した論理の上では一度も考察されたことはないように思われる。中央分離帯構造の二つの大きい要素として、その巾員そのもの、および横断事故阻止のための構造物(ガードフェンス)が考えられるが、これらに影響を与えるものとして、高速道路の中央分離帯事故発生率、ひいては線形、交通量、交通組成、交通速度などがあげられよう。また構造物については、事故発生の際いかに機能するかが問題となろう。後者は第2編に述べる一般道路、高速道路に共通する力学的問題である。この場合われわれは一般道路における転落事故解析と同じ意味で、まず中央分離帯になんらの構造物も存在しないときにどのような事故損害が発生するかを推定しなければならない。しかしこゝにちでは高速道路供用開始後まだ歴史が比較的浅く、実際に発生した事故の帰納的な解析を行なうには、資料が不備、ふじゅうふんである。米国においては2、3の解析例をみるが、一般に結果に一般性が乏しいうらみがあることはまぬがれない。このため高速道路における中央分離帯

事故をシミュレーションして、電子計算機内に再現することを試みた。中央分離帯に対する事故車の侵入角度、侵入横距分布を米国の実測値より仮定。また逆方向の交通のランダム到着を仮定して、対向車線突入による正面衝突事故発生の有無を調べる。これによって交通量、中央分離帯巾員等を変化させた場合の正面衝突事故発生率の変化の様相を知ることができよう。次に高速道路の線形要因と事故発生率の関係を第2章と同様な数量化の手法によって、名神高速道路の事故資料を分析し検討した。これらの結果から、高速道路の線形、交通量、中央分離帯巾員を与えたとき、どの程度正面衝突事故が発生するかが明らかとなる。

第2編第1章ではガードフェンスの力学模型について述べる。一般にガードフェンスの質量は自動車の質量に比して十分小さいので、その構造形式にしたがって忠実に静力学的模型に表現し、他方自動車側については、これを剛体の平面運動と考えることによってその運動を記述すれば、ガードフェンスの衝突現象を工学的に十分な程度に説明することができる。本章では、ガードフェンスの力学的形式によって分類し、計8種の力学モデルについて記述するものとする。第1にレールが軸力のみをうける模型について(すなわちガードロープ)、支柱反力が2直線型の変位反力曲線にしたがうとき、 kR^n 型変位反力曲線にしたがうときの2種、第2にガードレールが曲げのみを受けるガードフェンス、これはコーネル航空研によって開発された支柱の比較的弱く、レールが剛な新形式のガードレールの模型に相当するが、これについてコーネル航空研究所の連続ばりモデルと弾性床上のはりモデルの2種を示す。第3にレールの曲げと引張を同時に受けるガードフェンスに関するコーネル航空研モデルを示す。第4にレールに比較的簡易な力学系を考えたモデルとして、レールは1スパンのみを考え、引張と曲げをとともに考慮するモデル(支柱の変位と支持力の関係を弾性的に考えるモデル、および支柱に油圧緩衝装置をもつガードレールモデル)、薄板の塑性曲げ理論による単純ばりモデルについて示す。

さて、事故車両の衝突荷重は、最終的にはレールから数本の支柱に分配され、支柱埋込部分から土に伝達されてその支持力に頼る。すなわち、以上の各モデルのいずれにおいても、支柱の横方向耐力が仮定されなければならないのである。このため過去にわが国において行なわれた支柱の横方向静的引張実験記録をできるだけ収集し、剛くい横方向抵抗算式によって総合的に耐荷力を検討してみた。著者の知る限りでは、ガードフェンス支柱に関しては、この程度の照査もまだ行なわれていなかった。砂質土、粘性土のそれぞれについて土圧分布を直線近似した場合の耐荷力計算値に対する推定耐荷力の比は、(支柱の路肩からの距離)/(支柱埋込深さ)の比の値と実用の範囲内で直線式的関係にあることを示す。このほか、新たに行なった上記の過去の実験例では比較的少ない、最近の設置要綱基準による鋼管支柱の関東ローム試験盛土における試験結果について述べる。この場合は、コーンペネトロメーターにより粘着力の値を推定したので、Bromsの転倒荷重の計算式により結果を整理している。また若干の動的載荷実験についても簡単に述べる。

同編第2章では、実物実験技術の概要、自動車の力学模型と第1章のガードフェンスの力学模型の応用例として実物実験の1、2の解析例について述べる。実物実験の第1としては神戸製鋼所によって行なわれたガードロープの実物実験例について、報告書に記載されたガードロープ、自動車に関する諸元

を与え、衝突自動車の後輪軌跡を計算すれば、測定結果とよく一致した結果を得ることを示す。実物実験例の第2としては、建設省土木研究所の実験装置によって行なわれた、オイルダンパー付きガードフェンスの実物実験の解析について述べる。オイルダンパー支柱は第1章においてみたように複雑な構造を持っており、一方レール系には相当単純化した仮定を設けているから、解析計算結果は第1の例のようにはよくは一致しないが、しかしほぼ十分われわれの目的にかなう程度の解析結果を得ることを示そう。

同編第3章ではガードフェンスの最適設計の方法について述べる。本章ではまず設置条件に関するとりまとめとして第1編第2章における転落事故分析にもとづく計算例を示す。次にガードフェンスの形式選定について、同編第1章に示したモデルの2、3のもの計算例を示しつつ、じやっかんの見解を述べる。さらに事故車がフェンスに衝突したときの発生減速度と乗員の被害との関係を求めるための事故統計の分析結果について述べる。衝突時に生ずる車体減速度の値はこれまでに理論的、実験的に研究され、また人体が減速度に耐えうる許容値も実験的に求められている。しかしながら実験的方法による推論方法、あるいは許容値という考え方は、明らかにわれわれの最適設計法に応用する上においてふじゅうふんなものであったからである。また、最適設計概念をガードフェンスに適用するためには、転落現象発生限界を確定しなければならない。ここでは、線形判別関数を応用した一計算例を示す。

最後にガードフェンスの最適設計を定式化し、その数値計算例について示す。

一般にガードフェンスは通常の土木技術者の関与している永久構造物とは、その機能をいささか異にするものである。永久構造物の場合は、永年にわたり外力によってほとんど変形を起こさないことが機能上まず要請されよう。しかしガードフェンスの場合は異なる。路外逸脱事故発生の際の変形は機能上の制約条件とはならないからである。いま重量車が衝突しても転落しないようガードフェンスを設計すれば非常に剛なものとなり、軽量車に対しては衝突時の減速度が大となって、その損害は大きくなるであろう。逆に軽量車を対象にフェンスを設計しておけば、重量車の路外逸脱を阻止することは不可能であろう。ガードフェンスはこの両者の相反する要求を同時に満たさねばならない。ガードフェンスの最適設計は、この方策を定式化すれば求められるはずのものである。

参 考 文 献

- (1) 井口真造：“近代道路の防除柵”，道路の改良，Vol.14, No.10, 昭7, pp144~149.
- (2) Rahn, G.A.：“Report of the Committee on Highway Guard”，Proceedings of the Twenty-First Annual Meeting of the Highway Research Board, 1941, pp156~163
- (3) “Standard Specifications for Highway Materials and Methods of Sampling and Testing”，AASHO, 1951
- (4) Ayre, R.S., Abrams, J.I., Hilger, M.A.：“Dynamics of Vehicle Impact Against Highway Guardrails, Laboratory Experiments”，The Johns Hopkins University, Department of Civil Engineering, Baltimore, Maryland, Dec. 1955
- (5) “Dynamic Full Scale Tests of Median Barriers”，State of California, Department of Public Works, Division of Highways, May 8, 1959
- (6) “Median Study, 1958”，State of California, Department of Public Works, Division of Highways
- (7) Stonex, K.A.：“Relation of Cross-Section Design and Highway Safety”，Traffic Safety, Dec., 1963, pp3~14
- (8) Bohringer, A.：“Auffahrversuch auf Leitplanken”，Strasse und Autobahn, 16 Jahrgang, Nov.1965, Heft 11, ss 378~386
- (9) “Development of an Analytical Approach to Highway Barrier Design and Evaluation”，New York State Dept. of Public Works, Res.Rept.63-2, May, 1963
- (10) “NKK式ガードレール試験報告”，日本鋼管株式会社，昭31.11.
- (11) “ガードフェンス設置要綱”，日本道路協会，昭40.

**第1編 ガードフェンス設置計画の
ための交通事故分析**

第1章 事故評価の尺度

1.1 概 説

工学的な立場というものの最終目標は、構造、システムあるいは資源配分の最適化ということであろう。均衡の追求、ないしは最適化を考える場合、われわれはまず、尺度の設定の問題に遭遇する。これから論じようというこの評価尺度の問題は、あるいは本来工学のカテゴリー外と考えられるかも知れない。また究極の価値判断の問題として、技術的操作における与件と考えるのがあるいは技術者の立場であるかもしれない。しかしこれまでの安全施設の計画、設計においてみられたあいまいさは、実はこの問題に関する技術者の反省の不足に由来する所が大きいのではないか。路外逸脱事故は本来運転者の無謀な運転の結果によるものであり、このようなものに公共事業費をさいて防止する必要はないという議論にわれわれはどのように答えるべきか。このような疑念のある以上、ここでいおうの議論を行なうこともむだではないであろう。

まず、第2節では評価尺度の条件について一般的に考えてみた。事故の重さといったものをどのように測定するかは、結論的には、人身事故の貨幣タームによる評価の自然に形成されることをわれわれとしては期待せざるを得ないということになる。第3節、第4節では、この評価尺度に対しなんらかのうらづけを求めて試みた1、2の社会心理学的小調査について述べる。

1.2 評価尺度の条件

公共投資（当然交通安全施設に対する投資を含め）においては、いわゆる市場価格メカニズムは作用せず、みえざる手に導かれた投資の最適配分は期待しえない。しかもその国民経済中に占める比重は最近急速に増大している。このような場合にあって、かぎられた資源の公共事業投資における適切な配分方法の追求は、われわれに与えられた当然の課題でなければならない（一もし生産物をたんに浪費することに経済的価値を認めるのであれば）。

一般にある対象に投資が行なわれる場合、投資とそれによってえられる利益の間には収穫てい減の法則が働く。一単位の追加投資の増加につれて、漸次減少するものであり、このことは公共事業の場合にあっては例外でなくあてはまる（図1.1）。また収穫てい減の法則に支配される若干個の対象に対して投資を行なうとき、その効果最大となる配分は各投資に関する限界利益の等しい場合でなければならない。明らかに合理的な投資配分を求めるかぎり、投資額と一単位の追加投資当りの収益を、代替しうるすべての事業について求めなければならないのである。しかしながら公共

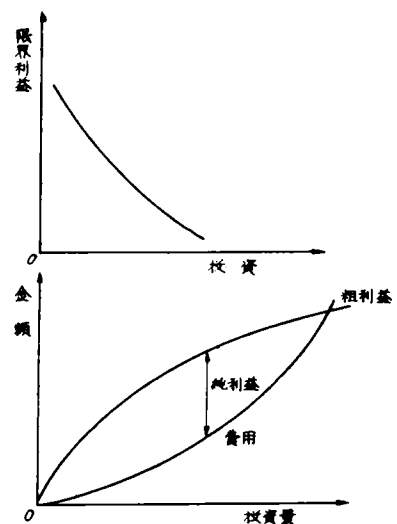


図1.1 投資と利益の関係

事業についてはこのことが一般には困難であったために、また十分な検討が行なわれなかつたために、問題をたんに一つの投資対象の中にかぎり、しかもそれを構成する個々の単位間の優先順位付けだけでもできれば、これにちまて行政上の有力な手段となりうるとされてきた。

このような意味から、これまで道路工学の分野においても、道路着工優先順位、道路良好度指数、ガードフェンスの必要度指数などにおいて、いろいろな採点の方法が工夫されてきたのであった。このような基準についてふりかえてみると、その方法はだいたい次の2種類にならう。

(1) 考慮すべき諸種の因子の個々のものに関する限度(上限あるいは下限)をあらかじめ与え、その中のあるもの(1ないしは複数個のもの)に関する条件が満たされれば可とする場合:いま検討すべきものの各要素に関する得点が (x_1, x_2, x_3, \dots) であるとき、基準の値があらかじめ (X_1, X_2, X_3, \dots) で与えられているとするならば、もし $x_1 > X_1, x_2 > X_2, x_3 > X_3, \dots$ ならば採択、しからざれば不採択とする場合。この方法は諸種の因子を同時に考慮しようとしているにかかわらず、結局1因子のみが、最終的判断に関与しているにすぎない。また一般に X_1, X_2, X_3 のおおのほに関する条件がはたして、互いに等価であるかの吟味にかけている場合が多い。また採択、不採択の境界は当然投資額によって変更がおこるわけであるが、このような形式を基準としてもちいるときは、これに対する適応性を全くもたらあわせない。たとえば図2.2のような2要素からなる基準の場合

$x_1 > X_1$ 、 $x_2 > X_2$ を採択条件とすれば、A、B、Cはいずれも採択、Dは不採択であるが、A、B、Cの総てを採択し得ない場合の順序つけのためにはさらに別の判断を加えねばならないことは明らかである。

(2) 考慮すべき諸要因を変数とする関数 $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ を考え、 $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ と別の基準尺度 Y をつくらせておき、 $y \geq Y$ を条件として採択を行なう場合。これはしばしば、 $y = x_1 + x_2 + \dots + x_n$ あるいは $y = x_1 + x_2 + \dots + x_n$ の形が用いられる。この方法であれば、 y は

連続的に変化し、1におけるような欠点は除かれる。しかし問題はいかにして $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ を決定するかに残される。この形式に属するガードフェンスの設置基準に関する過去の試みとしては、Grunardの提案によるものがあげられる。すなわち盛土高さ、法尻の水面の水深、縦断こう配などにそれぞれ配点を行ない、これによって道路の各区間を採点し、その点の総和を他方の交通量のランクに応じて決めた設置基準と比較するものである。このようにしてあらかじめ、各要素に対する配点を決定しておけば、その後の手続は合理的に(というよりむしろ機械的に)遂行されることにはまちがいない。しかしながらこれらの配点(いかえれば、

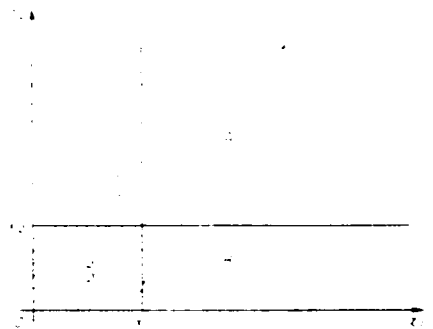


図2.2 ある種の設置基準における不採択領域と採択領域の関係

(x_1, x_2, \dots) の関数 f の決定) が真に合理的に、あるいは科学的に行なわれたかの説明はない。かりにあるクルークの討議により、それらの人々の経験的な直観によって定められたのであるならば、それらの人々の意見を個々のガードフェンスの設置以前においてあらかじめ調整しておいたという意味においてのみ合理的である。

以上のように、そのいずれにおいても欠陥は明白であり、われわれがこれに満足しえないとするならば、このような問題に関して真に科学的、客観的立場を主張するためには、次の3つの手続きを含みきりめてオーソドックスな方法に立ち戻らざるをえないのである。すなわち第1に万人に受け入れられるような合理性をもち、かつその問題の全体を包括しうるような尺度の設定、

第2にその尺度による過去の経験的事実の分析とそれによる将来の予測、

第3に予測にもとづく投資効率の測定と最適投資政策の策定、

に結局帰着せざるをえないのである。

ここではまず最も基本となる評価尺度について考えよう。われわれの測定しなければならないものは、各個の投資一単位当りの利益であった。ガードフェンスの主たる効用は当然転落あるいは逸脱事故の防止に他ならないから、これらの事故の大きさの評価尺度がわれわれの議論の対象でなければならない。それはいったいどのようなものでなければならないだろうか。過去に行なわれた事故の大きさは量的評価方法は大別して2つになる。

すなわち、

(1) ある種の点数制、

(2) 人身事故を含めた事故損害の金額的評価。

(1)に属するものの代表的なものとして、1938年のド・ラインホルト(スイス)による点数制⁽²⁾をあげよう。事故の被害の程度にしたがって個々の事故を点数で評価し、ある地点の事故の合計点で危険度を表現する。かれの場合、物件事故1件1点、軽傷事故5点、重傷事故70点、死亡事故130点となっている。しかしこのような点数の比率がいくかに定められるかは明らかでない。

(2)に関しては、死亡事故の場合、国民の平均寿命、一人当りの国民所得から事故による死亡損失³⁾を国全体について計算し、国民経済的損失の評価を行なった三野定の計算³⁾をあげることができる。

結論をまず述べるならば、結局われわれの尺度は(2)のように必然的に貨幣タームでなければならないのである。事故防止の利益は、一般企業投資と異なり、直接金銭的利益となつて現れないところに問題の困難性が存在した。また路側の民家への突入事故に対する配慮においては、民心の安定といった要素も無視できないであろう。人命に関する損失の経済的評価—貨幣ターム表示の妥当性については、これまで河川工学の分野においても議論が行なわれた。治水を投資、利益の収支計算によって行なおうとする中安の研究が発表され、これに対し矢野の民生安定のため

(4) 政治的立場をも尊重せねばならぬという疑問が述べられた。木村(俊晃)はこの問題の解決策として人身救助と物的損害をまったく分離してその対策を考えるという説を述べている。しかしながらこの意見は治水政策における構想の出発点としてはうなずけるものではあるが、われわれの困難を解決してはいない。なぜならば、ように考えられるように、一国の政策として最後の一人までの人命を救助するために他の総てのものを犠牲にすることはできないからである。すなわち人身保護のための投資と他の投資との間の配分を考える場合には、われわれは無意識の中にも人命の経済的評価を行なう — 一つの軸上での比較を行なわざるをえない立場におかれているわけである。さらにいいかえれば、どのような公共事業であっても、それに対する投資効率が測定され相互の比較が行なわれねばならないからである。

われわれの場合でいえば、死亡損失、負傷事故、自動車損害^の積荷の損害、民心の安定に及ぼす影響、運転のしやすさの評価等々を総合して貨幣タームによる評価を行なわなければならないということである。

(5) シュンペーター — 合理的な生産は、少なくともあらゆる生産手段が無制限に社会の思いのままになるということでもないかぎり、もっぱら技術的な考慮だけに依存するわけにはいかない。したがって生産を有効に導びくためには、つねに経済的デメーションが必要なのであり、この経済的デメーションはどのような時代、どのような状況においても、資本主義社会における価格と基本的には同一物であるような選択の係数というかたちで表現される。 —

(5) オスカーランゲ — 価格という現象は私有財産にもとづく資本主義社会にのみ存在するというものではない。価格とは、あるものに対して、他のものが提供されるという“代替物提供の条件”をあらわす指標である。 —

このようにわれわれは事故損害の貨幣タームによる表現の合目的性あるいは必然性を見出すが、この場合その尺度をどのように構成すべきであろうか。

考えられるのは、三野の計算のように、事故における死亡損失を一人当たり国民所得より計算し、あるいは負傷者については就業不能により失なわれた国民所得と治療費を一人当たりについて求めることである。この方法は技術的な計算としては考えやすく、妥当な思想であるといえよう。

三野は昭和29年において交通事故による死亡1名3,835千円/人、負傷者1名3,640円/人と計算している。しかしながら、少なくとも交通事故における死亡者損失がただちに国家経済上の損失と直結して考えられるかどうかの正当性は一点の疑念なしとはしない。厳密に国家経済的観点からすれば、現時点における程度の死者損失は無視しうるともいえるので、それはむしろ個々の被害者の受けた損害の積み上げと解釈すべきであろう。しかしこのような観点のみからすれば、重症身体障害児施設への財源は説明しえないであろう。ここに社会の成員の生活欲望をもっともよく表現するといった意味での主観的評価(あるいは精神的評価)がとうぜん考えられねばならない。交通事故における民事賠償額においては財産的損害の他、精神的損害の評価も行なわれるが、これも民主的な裁判という手段を経た世論の表現と考えられよう。

結局事故損害の評価は、国民一人当たり所得をあくまで参考とはするが、最終的には国民のこの問題に対する精神的評価の現われとして、自然に貨幣タームによる評価が形成されて行かねばならない性質のものである。念のためにいえるならば、みずからの責任で事故損害を起こすものについて、一般国民に税の形で負担せしめるのは不合理であるとする意見は当然であって、ガードフェンスのような場合これを無視することはできないのである。

1.3 マスコミの反応測定による事故の重さの計量

交通事故による人身損害、とくにその精神的なものをいかに計量するかは、きわめてむづかしい問題である。しかし、いまもし現代社会の心理的側面がマスコミによってよく反映されているとするならば、事故の重さに対する社会の判断 — 精神的な評価もその反応を通じて測定できるかもしれない。ここではその一つの試みとして行なった新聞記事に関する小調査の結果を述べる。いまの場合、われわれの問題としているのは、ガードフェンスの効用の尺度であるから、対象として転落事故に関する記事のみをとりあげることにした。また事故に対する社会的な反応の強さは、記事の紙面面積となつてあらわれるとみなしても無理ではないであろうと考えた。

まず昭和36年4月から昭和37年6月間の朝日新聞千葉版に現われた転落事故記事276例についてヒストグラムを画いてみると図-1.3（写真の面積を含む場合）、あるいは図-1.4（記事のみの場合）となる。

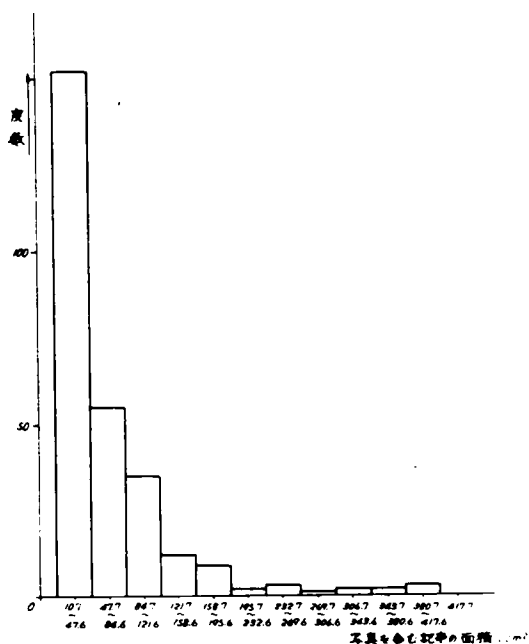


図-1.3 転落事故記事面積のひん度分布 (写真を含む場合)

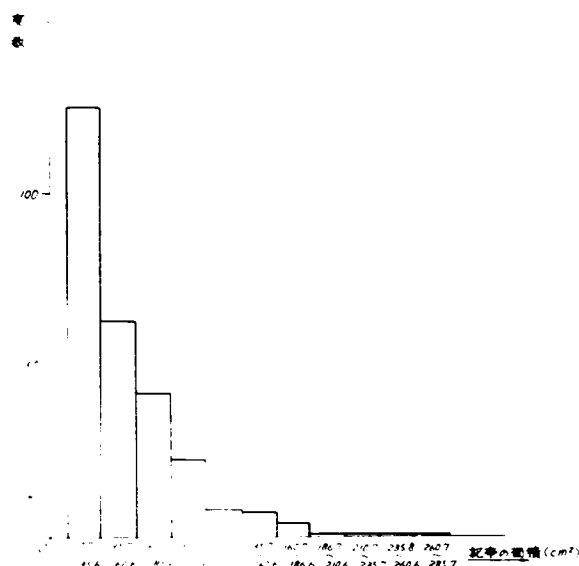


図-1.4 転落事故面積のひん度分布 (写真を含まない場合)
資料数 275例

ヒストグラムは 10.7 cm^2 を下限としてそれより面積の大きい方へ単調に減少しており、相当の規則性のあることがわかるが、この傾向はとくに後者において顕著である。

形状はほぼ指数分布 $y = a e^{-ax}$ に一致しており、これはあるいは人間の感覚に関するフェヒナーの法則

$$\log y = \log a - ax$$

に対応するものであろうと考えられる。

次にこのような記事の面積の大きさの変化がどのような要因と関係があるかを調べてみる。転落事故が起こった場合、マスコミの反応の強さにはさまざまな因子が関係するであろう。すなわち、事故における死亡者数、本来事故と無関係であったはずの第三者（路側の家屋の住民）の死傷者数、あるいは運転者の行動すなわち法的原因、車種等々があげられよう。しかしこれらのうち、死傷者数などに数値で表現されるが、それ以外の因子は、本来分類によって表現される因子であって、このさい多因子の場合一般に使用される多変量分析法 — 重回帰分析による方法 — は利用できない。分類によって分析する方法としては、田口玄一によるカードによる分類分析法もあるが、現在のわれわれの問題に最も適切な方法として、林知巳夫による数量化による解析をあげることができる。

(6)
林の数量化による解析法は次のようなものである。

いま i なるものが、外的基準として数量 A_i をもち、要因パターンとして 図-1.5 のようなアイテムカテゴリーの反応として表現されるとする。✓印はそれが反応する所をあらわす。われわれとしては✓印の反応パターンから A をもつと能率よく予測できればよいのである。

	1	2	...	R
	$C_{11} C_{12} \dots C_{1K1}$	$C_{21} \dots C_{2K2}$...	$C_{R1} \dots C_{RK R}$
A_1	✓	✓		✓
A_2				
A_3	✓	✓		✓
⋮				
A_i		✓		✓
⋮				
A_n		✓		✓

図-1.5 要因パターンの表現

いま C_{jk} に x_{jk} という数量を与えるとする。そうして各個のものに α なる数量を与えるとし、この α_i は i なるものが反応しているアイテム、カテゴリーへ与えるべき数値 α の和をとることにする。

ここで A_i と α_i との相関係数

$$\rho_{A, \alpha} = \frac{\frac{1}{n} \sum_i^n (A_i - \bar{A})(\alpha_i - \bar{\alpha})}{\sigma_A \sigma_\alpha}$$

$$\sigma_A^2 = \frac{1}{n} \sum_i^n (A_i - \bar{A})^2, \quad \sigma_\alpha^2 = \frac{1}{n} \sum_i^n (\alpha_i - \bar{\alpha})^2$$

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_i^n A_i, \quad \bar{\alpha} = \frac{1}{n} \sum_i^n \alpha_i$$

を考え、これを最大になるように X をつくるのが望ましい。このことは $\bar{A} = \bar{\alpha}$ とするとき、 A_i と α_i との差の2乗を最小にすることと等価である。

まず $\delta_i(jk)$ を定義する。

$\delta_i(jk) = 1$ i なるものが j アイテム k カテゴリーの反応を示すとき

$\delta_i(jk) = 0$ しからざるとき

こうすると

$$\sum_{k=1}^K \delta_i(jk) = 1$$

$$\begin{cases} \delta_i(jk) \delta_i(j'k') = 0 & (k \neq k') \\ \quad \quad \quad \quad \quad = 1 & (k = k') \end{cases}$$

各個のものは各アイテムでどれか一つの反応を示すことを現わす。

$$\sum_{i=1}^n \delta_i(jk) = n_{jk}$$

$$\sum_{k=1}^{K_j} \sum_{i=1}^n \delta_i(jk) = n, \quad (\text{すべての } j \text{ に対して})$$

次に $f(\ell m, jk)$ を定義する。

$$\sum_{i=1}^n \delta_i(\ell m) \delta_i(jk) = f(\ell m, jk)$$

つまり (ℓ アイテム, m カテゴリー) の反応をしたもののうち (j アイテム, k カテゴリー) の反応を示すものの数である。

$$\sum_{m=1}^{K_\ell} f(\ell m, jk) = n_{jk} \quad (\text{すべての } \ell, j \text{ に対して})$$

$$\sum_{m=1}^{K_\ell} \sum_{k=1}^{K_j} f(\ell m, jk) = n \quad (\text{すべての } \ell, j \text{ に対して})$$

$$f(\ell m, j k) = 0, \quad j = \ell, \quad k = m$$

は明らかである。

ここで、
$$\frac{\partial \rho}{\partial x_{uv}} = 0$$
 をつくる。

これは結局 $\bar{A} = \bar{\alpha}$ とおき、かつ $\rho \frac{\sigma_A}{\sigma_\alpha}$ はスケールをどうとつてもよいので、

$$\rho \frac{\sigma_A}{\sigma_\alpha} = 1 \text{ とおけば}$$

$$\frac{1}{n} \sum_i A_i \delta_i(uv) = n_{uv} x_{uv} + \sum_i \sum_k x_{jk} f(jk; uv)$$

$$\left(\begin{array}{l} u = 1, \dots, R \\ v = 1, \dots, ku \end{array} \right)$$

なる結果を得る。これは、すなわち以下に示すような要因マトリックスを左辺とし、右辺に表現しようとする数量Aの各アイテム毎の和をとった連立一次方程式

$$FX = A$$

をとくことといえる。解 x_{uv} は、各要因によってAを説明する場合その要因のスコアとなる。

要因分析資料としては、各料として不満足な点のあるいくつかのものを除き、上記の276例中の235例を用いた。いちおう考えられた要因を総てリストにしてみると表-1.1のようになる。

表-1.1 転落事故記事の反応分析において考慮した要因

カテゴリー	ア イ テ ム
A; 第3者の軽傷者	なし, あり
B; 第3者の重傷者	なし, あり
C; 第3者の死亡	なし, あり
D; 乗員の軽傷	0, 1~3名, 4~6名, 7~9名, 10名以上
E; 乗員の重傷	0, 1~3名, 4~6名, 7~9名, 10名以上
F; 乗員の死亡	0, 1~3名, 4~6名, 10名以上
G; 法的原因	無免許酒よい, 酒よい速度出しすぎ, 無免許速度出しすぎ, 無免許, 酒よい, 速度出しすぎ, 追越不適當, 前方不注意, 居眠り, 信号無視, 運転の誤り, 暴走, 追従不適當, 車の故障, その他
H; 被害者の年齢層と立場	幼児, 学童, 一般, 運転手のみ

カテゴリー	ア イ テ ム
I ; 道路に起因するもの	路肩のゆるみ、見透し悪い、幅員が狭い、路面でこぼこぼみ、いたずら、特になし
J ; 事故発生地域別	千葉、東京、関東、その他
K ; 事故形態	転落高0～4 m、転落高5～9 m、 転落高10 m以上、路側、路側住家
L ; 車種	バス、トラック、乗用車、その他
M ; 転落場所	鉄道軌道敷、河川港湾、その他
N ; 特に注目されるような事故	該 当 , 非 該 当
O ; 事故発生日、そのころの話題	該 当 , 非 該 当

A, B, Cについては、事故車両の転落、路側とびこみによって乗員以外の第3者に被害のあった場合、これらの人々はまったくの迷惑をこうむったのであり、社会的な同情を受け、したがってマスコミに強い反応の現われることが予想される。D～Fは転落事故を起こした車両の損害に関する項である。この場合、とうぜん死傷者の多いとき、反応の強いことが予想されるであろう。

Gは法的原因したがって事故発生時の運転者の行動、態度に関する項であり、とくに社会的に非難されるような行動をとった場合は反応の強いことが考えられる。

Hについては、被害者の年令層別と運転手のみであったかどうかについての項である。幼児、学童の場合社会的な反応は強いかもしれず、被害者が運転者のみであれば、その逆であることが予想されるであろう。Iは道路管理に関する責任に対する反応項、Jは資料として朝日新聞千葉版を用いたために、事故の反応程度に地域性が反映する可能性があり、その影響について知るために設けたものである。すなわち同じような事故であっても、発生箇所が千葉県内では大きく遠い地方の場合は小さく扱われるのではないかと考えた。

Kは、事故形態として転落高さ、ほとんど同一高さにおける路側逸脱、路側住家への突入に分類した。L、車種についてはとくに説明を要しないであろう。Mは鉄道敷、河川の別である。Nは多分に分析者の主観による分類であるが、たとえば、トラック2台正面衝突して転落、記事より写真の大きいもの、5カ月間に速度違反、安全運転違反で5回も検挙されている、運転をとめたのに振りきって運転など、とくにマスコミの強く反応しそうな状況を含むものを該当、そうでないものを非該当としたものである。Oは交通安全運動実施期間中あるいは警視庁交通部の警告のあった後、あるいはトラック事故続発、オートバイのスピード競争が盛んなど、とくにその頃の話題となっていた関係記事に該当するものを該当そうでないものを非該当としたものである。

以上の各要因について、C, F, H, J, K, L, M, N, Oの計9アイテム、30カテゴリーの組合せ、またG, H, J, K, L, M, N, Oの計8アイテム、34カテゴリーの組合せの2つのケースについて触れる。

前者は2元連立方程式、後者は3元連立方程式を解くことになる。

計算された各カテゴリーに対するスコア（評点）は、表-1.2、表-1.3のようになる。

表-1.2 マスコミの反応分析、

アイテム、C、F、H、J、K、L、M、N、Oの組合せの場合

アイテム	レンジ	カテゴリー（下欄：スコア）				
		死亡なし		死亡あり		
C；第3者の死亡	41.67	死亡なし		死亡あり		
		-2.13		39.54		
F；乗員の死亡	136.87	なし	1～3人	4～6人	10人以上	
		-4.64	7.12	33.10	132.23	
H；被害者の 肩の立場	34.0	幼児	学童	一般	運転手	
		8.22	20.09	7.74	-13.91	
J；事故発生地域 別	19.48	千葉	東京	関東	その他	
		-4.43	10.81	3.48	-8.67	
K；事故形態	22.65	転落0～5m	転落5～10m	転落10m以上	路側	路側住家
		-5.86	-1.91	5.99	-3.41	16.79
L；車種	21.12	バス	トラック	乗用車	その他	
		14.11	-1.69	-3.85	-7.01	
M；転落場所	52.06	鉄道敷		河川港湾	その他	
		50.69		-1.19	-1.37	
N；特に注目され るような事故	22.53	該当			非該当	
		19.18			-3.35	
O；事故発生時 その頃の話題	54.05	該当			非該当	
		51.52			-2.53	

表-1.3 マスコミの報道分析

アイテムG, H, J, K, L, M, N, Oの場合

アイテム	レンジ	カテゴリー (下欄: スコア)									
G ; 法的原因	68.18	無免許酒よ		酒よ速度出しすぎ		無免許速度出しすぎ					
		45.34		4.73		- 16.39					
		無免許	酒よ	酒よ速度出しすぎ		追越不相当					
		- 19.38	- 20.76	4.48		29.45					
		前方不注意		居眠り		信号無視		運転の誤り			
		15.63		16.80		- 22.84		- 1.89			
		暴走		追従不相当		車の故障		その他			
- 12.48		25.93		- 9.37		- 3.36					
H ; 被害者の年齢層と立場	51.58	幼児		学童		一般		運転手			
		8.11		26.38		0.84		- 25.20			
J ; 事故発生地域別	18.03	千葉		東京		関東		その他			
		- 8.33		9.70		3.51		- 5.63			
K ; 事故形態	16.46	転落 0~5 m		転落 5~10 m		転落 10m以上		路側		路側住宅	
		- 3.75		- 4.83		10.37		- 6.09		10.01	
L ; 車種	14.22	バス		トラック		乗用車		その他			
		6.44		2.51		- 5.21		- 7.78			
M ; 転落場所	56.84	鉄道敷			河川港湾			その他			
		56.06			4.13			- 0.78			
N ; 特に注目されるような事故	33.98	該当				非該当					
		29.06				- 4.92					
O ; 事故発生日の頃の話	56.59	該当				非該当					
		53.94				- 2.65					

記事面積に寄与するところの大きいアイテムの順にレンジを指標として並べると、アイテム C, F, H, ……O の組合せの場合、乗員の死亡数、事故発生日、その頃の話、転落場所、第3者の死亡、被害者の年令層とその立場、事故形態……の順、アイテム G, H, J, K ……O の組合せの場合、法的原因、転落場所、事故発生日、その頃の話、被害者年令層と立場……の順となる。各アイテムごとに調べてみると、乗員の死亡数が最も強く反応することがわかったわけであるが、死亡数10人以上となると社会的にひじょうに注目をうける事故となり、死亡数と記事面積との間のはっきりした相関がみとめられる。被害者の年令層と立場では、学童は最も強い同情を受け、運転手はその逆である。事故発生日域別では東京で起こった事故は最も強く、千葉、東京、関東以外地域では弱い反応が現われる。転落高は高いほど強いが、路側住宅への突入は最も強い反応が現われる。車種別では、最も強い反応のあらわれるのがバス、転落場所では鉄道敷ということになる。交通関係キャンペーンの実施中の事故が大きく扱われるのはマスコミとしては当然であろう。社会的に最悪の事態と意識されるのは、乗員の死亡10人以上、被害者学童、バスで転落場所が鉄道敷である場合になる。G, H, J, O の組合せではアイテム G に関して、無免許酒よいが社会的に最も非難されると考えられる他、H, J ~ O の各アイテムについては、C ~ O の組合せの場合と全く同様の傾向がある。

予測値と原資料との相関係数は 0.5051, 0.6082 であり、このような社会的現象の場合に関してはふつうの成績であるといえよう。なおこのような反応のしかたが一新聞特有のものではないかという疑問が残る。このためいちおう、朝日、毎日、読売のいわゆる三大新聞が、同一転落事故記事をどのように扱ったかを調べてみた。各新聞における扱い記事面積を縦、横軸にとり8紙相互間の関係をみると図-1.6 (a), (b), (c) のようになる。データ数が少ないので完全に確認はできな

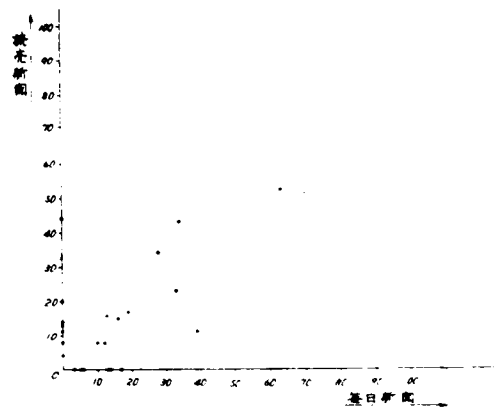
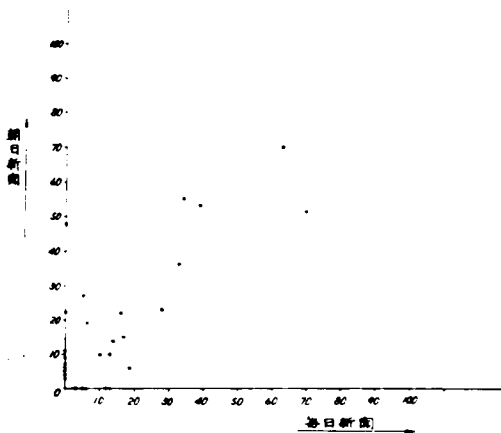
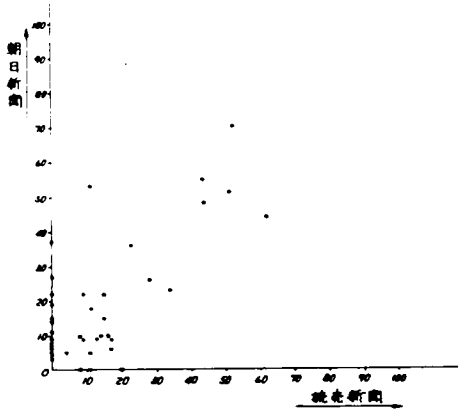


図-1.6 (a) 朝日新聞対毎日新聞
同一事故の異なる新聞間の記事
面積の相関

(b) 読売新聞対毎日新聞



(c) 朝日新聞対読売新聞

いが、ほぼ各紙の取扱いのとり扱いかいには同一の傾向のある事が認められる。

ただし、一紙がとりあげても他紙がまったくとりあげない場合もしやっかんあることが認められた。

1.4 交通事故に関する社会心理学的態度測定

くりかえしていうならば、事故評価の尺度は、ほんらい貨幣タームで表現されるべきであり、またその形成には、社会的な価値判断の集積がなければならない。前節では、これに対する側面データの一つとしてマスコミを通じての事故の重さに対する社会的反応を調べたが、ここでは、一般の社会心理学的調査法によって直接質問紙による個別面接により、事故の重さの相対的評価、事故一般に対する社会の態度などについて、調査した結果の概要を示す。

サンプルとしては、東京都23区内住の16~60才の男女からランダムに300サンプルを抽出、これを一般の代表とし、いっぽう警視庁の交通事故原票から、交通事故被害者を100サンプル抽出、その家族をもって被害者家族の代表とした。調査時期は、昭和41年8月26日~9月1日で回収率は一般 $257/300 = 86\%$ 、被害者家族 $88/100 = 88\%$ であった。

まず一般的な交通事故に対する態度の一例を示せば、“交通事故というときすぐ思いだすのは何か”という質問に対し、multiple answerを許したとき、その順位は表-1.4の通りであった。各種交通機関を比較した場合、自動車事故がやはり最も強く念頭にあり、また生死、人命などの恐怖感が第一に連想されることがわかる。また、子供という被害者の年齢層、交通違反などという法、モラルの問題も続いて連想される割合の高いことがわかる。ガードレールをあげたのは、一件にとどまり、道路、踏切等と道路施設をあげたものはかなりあるが、社会通念としては、具体的な道路構造と交通事故との結びつきは弱いであろう。

事故の重さの相対的評価に関しては、⁽⁷⁾一対比較法、倍数尺度法を用いた。一対比較法は、対象者に刺激の対を呈示し、一定の規準によって対の一方を選択させ、このような一対の刺激の比較選択比を単位正規分布にあてはめ、比率を距離に変換することによって2刺激間の尺度距離を求めようとするものである。したがって n 個の刺激を尺度化するためには nC_2 対の比較を対象者に求める。

表-1.4 交通事故の連想順位

交通事故というときすぐ思い出すのは何ですか 全 数 (3 4 5)	度 数	%
恐 怖 (人命生死)	8 8	2 2 . 5
自動車事故 (オートバイ, ダンプ, スポーツカー等)	8 4	2 4 . 3
ケガの程度 (負傷者)	6 0	1 7 . 4
子 供	4 7	1 3 . 6
交通違反 (スピード規則)	4 2	1 1 . 4
道 路 (踏み切り等)	3 5	1 0 . 1
人身事故	3 0	8 . 7
警察・パトカー・救急車・病院	2 9	8 . 4
被害者の家族	2 5	7 . 2
交通モラル (歩行者, 運転者の注意)	2 1	6 . 1
補償金の問題	2 1	6 . 1
生活への不安	1 8	5 . 2
車が多い (渋滞)	1 6	4 . 6
不 注 意	1 4	4 . 1
不 具	1 2	3 . 5
バス・電車の事故	1 1	3 . 2
ひかれる・ひく	1 0	2 . 9
その他の乗物事故	7	2 . 0
後 遺 症	7	2 . 0
飛行機事故	6	1 . 7
安全運転	5	1 . 4
損害保険	3	0 . 9
はねる・はねられる	2	0 . 6
ガードレール	1	0 . 3
そ の 他	8 5	2 4 . 6
無 解 答	1 4	4 . 1

計算手順は、

- (1) n 個の刺激のすべての対について選択比率 ρ_{ij} を算出する。
- (2) $\rho_{ij} > 0.50 > \rho_{ji}$, $\rho_{ij} > \rho_{i, j+1}$ なる条件を可能なかぎり満足するように、比率行列 $\{\rho_{ij}\}$ を作成する。

$$\text{比率行列 } \{\rho_{ij}\} = \begin{pmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} & \rho_{13} & \cdots & \rho_{1n} \\ \rho_{21} & \cdots & \rho_{2i} & \cdots & \rho_{2n} \\ \rho_{31} & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \rho_{n1} & \cdots & \cdots & \cdots & \rho_{nn} \end{pmatrix} \quad \left(\begin{array}{l} \rho_{ii} = \rho_{jj} = 0.5 \\ \rho_{ij} + \rho_{ji} = 1.0 \end{array} \right)$$

- (3) $\{\rho_{ij}\}$ に対応する正規変換行列 $\{Z_{ij}\}$ を作成する。
- (4) 隣接する各列の差 $(Z_{ij} - Z_{i, j+1})$ を求め、列ごとにその平均値を求める。これが刺激 S_j と S_{j+1} 間の尺度距離である。
- (5) 任意の刺激を O 点とし、上で求めた尺度距離により尺度値をきめる。

倍数尺度法では、ある刺激に対する他の刺激の倍数値を対象者から求め、この倍数を対数変換して、2つの刺激の間の倍数の幾何平均を求めることによって尺度を形成しようというものである。

計算手順は、

- (1) 刺激 S_i に対する刺激 S_j の倍数 R_{ij} を求める。
- (2) $R_{ij} > 1.00 > R_{ji}$, $R_{ij} > R_{i, j+1}$ なる条件を可能な限り満足するように倍数行列 $\{R_{ij}\}$ を作成する。

倍数行列は、

$$\{R_{ij}\} = \begin{pmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & \cdots & R_{1n} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & \cdots & R_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ R_{i1} & R_{i2} & \cdots & \cdots & R_{in} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ R_{n1} & \cdots & \cdots & \cdots & R_{nn} \end{pmatrix} \quad \text{ここに} \quad \left(\begin{array}{l} R_{ii} = R_{jj} = 1.0 \\ R_{ij} = 1/R_{ji} \end{array} \right)$$

- (3) $\{R_{ij}\}$ に対応する対数変換行列 $\{L_{ij}\}$ をつくる。
- (4) 隣接する各列の差 $(L_{ij} - L_{i, j+1})$ を求め列ごとにその平均を求める。これは刺激 S_i に対する刺激 S_j の倍数の対数値である。
- (5) 最低位の刺激を 1 とし、上で求めた倍数によって尺度値を求める。

以下、2, 3の例を示す。まず、事故によって死亡または不具(重大な後遺症を残すもの)となったとき、被害者の年齢によってその被害の大きさはどのように違って評価されるかを調べる。えられた調査結果の倍数行列は、表-1.5のようになった。老人を1とすると成人は2.5, 青年は2.0, 中学生は1.6, 幼児は1.3といった重みになる。この結果を一般と被害者家族にわけみると、表-1.6のようになり、被害者家族の方がわずかにその比を大きく評価する傾向がみられる。事故といった場合に子供を連想する度合は十分高いにかかわらず、直接質問結果の事故の重さという観点からすれば、やはり社会に対する実質的な影響の大きさとしては成人を最も重くみているこ

表-1.5 被害者の年齢層に対する被害の重さの評価倍数行列

	成人	青年	中学生	幼児	老人
成人	1.000	0.793	0.646	0.509	0.395
青年	1.261	1.000	0.814	0.642	0.502
中学生	1.549	1.228	1.000	0.789	0.616
幼児	1.963	1.557	1.268	1.000	0.781
老人	2.514	1.994	1.623	1.280	1.000

表-1.6 被害者の年齢層に対する被害の重さの評価比率（老人を1とする）

	成人	青年	中学生	幼児	老人
一般	2.487	1.981	1.605	1.266	1.000
被害者家族	2.584	2.023	1.666	1.318	1.000

とがわかる。すなわち、事故から保護すべき対象、あるいは事故の起しやすさとしてみるときは子供に対する特別の心情が働くが、実質としては成人を重くみる点は、われわれの興味をひく点である。被害者年齢層による被害の重みの受けとり方を一対比較の角度からも求めてみた。老人、成人、青年などのいろいろの組合せからなる3人の被害者グループをかりに想定し、これらの人々がすべて死亡した場合について、各グループのどちらがより重大な事故であるかを質問したのである。一対比較法により老人3人のグループを基準として尺度値を求めると、表-1.7のようになる。この場合も被害者家族グループの方が評価は急である。

表-1.7 被害者年齢層による被害の重さの評価（一対比較による）

	成3	成2 青1	成1 青2	青3	成2 老1	成1 青1 老1	青2 老1	成1 老2	青1 老2	老3
全体	2.975	2.703	2.295	2.148	1.669	1.486	1.389	0.981	0.694	0.000
一般	2.981	2.685	2.222	2.094	1.595	1.420	1.843	0.942	0.645	0.000
被害者家族	3.239	3.049	2.564	2.350	1.944	1.730	1.562	1.120	0.870	0.000

次に交通事故による死亡、不具（前出の定義）、重傷、軽傷、無傷（医療を必要としない程度）といった被害の大きさは、どのような重みづけが与えられるであろうか。

もしあなたと同年代の人が交通事故にあった場合の被害の大きさは、負傷10人に対して死亡何人が相当しますか、あるいは、軽傷10人に対して無傷何人ですか等々と質問していく。えられた比率行列は表-1.8のようになる。

表-1.8 被害の程度の相対比較行列

	死 亡	不 具	重 傷	軽 傷	無 傷
死 亡	1.000	0.524	0.274	0.110	0.048
不 具	1.910	1.000	0.523	0.209	0.091
重 傷	3.654	1.913	1.000	0.401	0.174
軽 傷	9.122	4.776	2.497	1.000	0.435
無 傷	20.971	10.980	5.740	2.299	1.000
一 般	19.565	10.281	5.514	2.249	1.000
被 害 者	25.397	13.141	6.417	2.444	1.000

無傷のばあいを1にすると、死亡は21.0、不具は11.0、重傷は5.7、軽傷は2.3という重みになる。この結果を一般と被害者にわけると、両者の結果は一致してはいるが、ここでも被害者家族グループの方がややこう配が急である。重傷、軽傷の平均4.0をとると死亡はほぼ、その5倍の重みとなる。これは次章以下で用いた警察庁の事故分析で用いられる貨幣タムによる表現よりその比は小さくなってあらわれている。このような直接質問をした場合の回答において、その比率が小さく出る可能性は予想されなくもなく、社会心理学的態度をこのような問題について測定するときは、さらに深層心理を測定するような企画が望ましかったといえよう。

また、事故の被害者が運転者自身である場合と歩行者である場合とを比べてみて、その重さは何倍に当たるかという質問に対する回答の結果では、後者は前者の約3倍という結果がえられた。ガードフェンスの場合、歩行者保護用のものを除いては、その恩恵にあずかるのはまず運転者であり、わが国の現在の国民感情からすれば事故防止政策上比重がかかるのが妥当かもしれない。

最後に態度尺度法による交通事故全般に対する態度の尺度化の試みについて述べる。これは表-1.9において最左欄のような各項目に対して非常に賛成、少し賛成、どちらともいえない、少し反対、非常に反対の5段階にその反応をわけ、それぞれ、+2、+1.0、-1、-2のように配点し、各項目ごとの平均値をとるのである。表-1.9には、一般対被害者の家族、年令層別のその値を示した。一般対被害者の比較にあつては両者間にそれほど大きい違いはみられない。むしろ被害者の家族の側で事故時の不注意についてとくに意識している(一人一人が気をつけなければいけない、運転免許の条件を厳しくするのが事故防止に役立つ、運転技術がよければ事故は起らないなどの各項など)ような傾向がみられる。しかし、年令層別では、ややはっきりした傾向がみられる。すなわち年令層の若い程運転者側に同情的(交通事故の処罰をもっと厳しくすれば事故は減る、運転免許の条件をもっと厳しくするのが事故防止に役立つ、歩いていて事故にあった場合、どんな場合でも運転する側が悪い、交通事故の被害者側には罪は全然ないなどの各項など)であることがこの結果からうかがえる。

表-1.9 態度尺度法による平均値

項 目	一般対被害者家族		年 令 層 別			
	一 般	被 害 者 家 族	24才以下	25～34才	35～44才	45才以上
(1) 交通事故が多いということは文明国では当然だ	-0.74	-0.60	-0.64	-0.74	-0.81	-0.54
(2) 交通事故の被害者側には全然罪はない	-0.72	-0.88	-0.83	-0.79	-0.65	-0.78
(3) 一人一人が気をつければ交通事故は起らない	1.07	1.20	0.89	1.16	1.22	0.93
(4) 日本の事故はあまりよくないので事故はなくなることがない	0.30	0.32	0.27	0.35	0.30	0.48
(5) 交通事故はいつどんな時に起きるか予測できない	1.09	1.25	1.11	1.13	1.11	1.13
(6) ちょっとした不注意から事故はおきる	1.73	1.77	1.80	1.35	1.72	1.63
(7) 歩いて事故に合った場合どんな場合でも運転する側が悪い	-0.60	-0.76	-0.88	-0.63	-0.44	-0.61
(8) 運転技術がよければ事故は起らない	-0.42	-0.56	-0.69	-0.38	-0.41	-0.26
(9) 運転免許の条件をもっと厳しくするのが事故防止に役立つ	0.76	0.61	0.44	0.69	1.13	0.50
(10) 交通事故の処罰をもっと厳しくすれば事故はへる	0.56	0.40	0.27	0.48	0.82	0.46
(11) どんなことがあってもこれ以上事故が減ることはない	-0.58	-0.53	-0.72	-0.54	-0.53	-0.43
(12) 法規を守り安全運転していれば事故はおきない	0.40	0.53	0.30	0.43	0.63	0.78

1.5 結 語

ガードフェンスにおいてもあくまで資源の最適配分という立場からその投資が行なわれるべきであり、計画、設計の最適化が量られねばならない。経済的レベルから技術的細部設計に至るまで、ひとつの評価尺度による論理の筋道が貫ぬかれていなければならない。この意味において過去の設置基準を批判し、評価尺度の必要条件について考察した。結局は、我々は貨幣タームで測定した事故の大きさを評価の尺度にとるのが最も妥当だという結論になる。これはつまり物の配分を考える以上、相対的な価値評価の尺度として最も共通性に富んでいるものを尺度のための尺度として使うべきだという簡単な結論に他ならない。とうぜん自明の事ながら、いまなおこのことがはっきり認識されていない向きもあるので改めて議論したのである。ただここでいちおう述べておきたいのは、このような評価のわれわれにおける価値は、個々のケースについてではなく、統計的にみた場合に発揮されるということである。事故が本来偶発的なものである以上これも当然であろう。

人身事故の重さの評価一事故防止の評価がいわゆる経済の価値側面の外の問題である以上、これはわれわれの精神的問題である。その意味でこの問題の社会心理学的側面を調べる意味から、第3、4節のような小調査を試みたのである。マスコミの反応を通じてみた社会の松葉杖に

る反応は、転落箇所が鉄道敷の場合、バスの場合、乗員が学童の場合などに強く現われた。直接質問による調査では、心情的には子供を保護対象と考えてはいるが、やはり成人の事故の評価を重くみていることがわかった。しかし、これらはいずれも参考的な資料にとどまる。

われわれの立場としては、細部にこだわらず、巨視的に尺度を設定し、これに技術的な操作を加えていくべきであろう。

参 考 文 献

- (1) Gruner, O. L. : "A Proposed Method for Determining Guard Rail Need", 日本道路協会, 交通安全施設小委員会資料
- (2) 伊吹山四郎編: "道路交通工学", 昭和39., p 119
- (3) 三野 定: "交通事故損失の計算", 第3回道路会議論文集, 昭30. PP 657~659
- (4) 木村俊晃: "狩野川洪水の検討 — 異常出水に如何に対処するか —", 建設省土木研究所報告 pp 63~82
- (5) 玉野井芳郎: "マルクス経済学と近代経済学", 3版, 昭42, p 160, p 170による。
- (6) 昭和37年度工業統計講座, "市場調査のための統計的数量化の理論と実際", 文部省統計数理研究所(タイプ印刷)
- (7) J. P. ギルフオード, 秋重義治監訳: "精神測定法", 昭41.
その他;
- (8) G. J. スティグラール, 内田忠夫, 宮下藤太郎訳: "価格の理論", 上, 下, 昭38.
- (9) 木村英世: "モータリゼーションと交通事故並びに損害賠償額の推移について",
ジュリスト, 1967. 2. 1.
- (10) 加藤一郎: "人命の価値", 朝日新聞(東京版)昭42. 4. 5.
- (11) 西原道雄: "命のお値段", 朝日新聞(東京版)昭41. 3. 16(夕)

第2章 一般道路における転落事故の分析

2.1 概 説

前章では、安全施設の効果測定の尺度について議論したのだが、貨幣タームによる投資効果の測定を望む以上、設置前後の事故損害の予測は必然でなければならない。本章では、まず一般道路におけるガードフェンス設置便益の表現について述べ、次に実際にわが国の一般道路の事故資料を分析して、転落事故発生時の道路路側環境と事故損害の関係、道路状況と転落事故発生率の関係を調べる。

分析資料としては、運輸省自動車局の資料、および建設省道路局、警察庁交通局合同調査資料を用いた。分析手段としては、林知己夫の数量化の統計的分析法を用いた。

2.2 一般道路における便益の評価

道路の一区間において、ガードフェンス設置前に、単位期間内に生じる転落事故数を確率変数 N とし、発生した事故損害の大ききのそれを D_b とすると、単位期間内における全損害の期待値は、 N_b, D_b は独立と考えてよいから、

$$\overline{E_b} = \overline{N_b} \cdot \overline{D_b} \dots\dots\dots (2.1)$$

N_b の分布は通常ポアソン分布と考えられ、 D_b の分布をも考慮して、特定地点における全事故損害が、ある限度を越える確率を考えることができる。しかし、われわれの場合は、ガードフェンス設置基準による全国的な経済効果が問題であるのだから、特定地点におけるかかる確率の計算には興味がないはずで、平均値を問題にすれば十分である。

同様にガードフェンス設置後の全損害期待値は

$$\overline{E_a} = \overline{N_a} \cdot \overline{D_a} \dots\dots\dots (2.2)$$

単位期間あたりのガードフェンスの便益 B は、設置費用 M 、維持費用 I を考慮すると、

$$B = \overline{E_b} - \overline{E_a} - M - I \dots\dots\dots (2.3)$$

あるいは、
$$B = \overline{N_b} \cdot \overline{D_b} - \overline{N_a} \cdot \overline{D_a} - M - I \dots\dots\dots (2.4)$$

費用便益比 R は、
$$R = \frac{B}{M+I} \dots\dots\dots (2.5)$$

ガードフェンス設置候補地点の事故発生の期待値 D_b は、道路の線形、こう配、視距、横断こう配などの幾何構造、舗装種別、気象、交通量等々の道路状況の関数であり、事故一件当たり損害の期待値 D_b は、盛土高さ、法こう配、法先の状況、法面のこう配、等々の道路環境の関数であると考えられる。

$\overline{N_a}$ は、 $\overline{N_b}$ に関係する諸要素のほかに設置されたガードフェンスの視線誘導効果を考慮すべきであり、 $\overline{D_b}$ は設置されたガードフェンス型式、設計、設置方式などに関係する。概念的にいわれるいわゆるガードフェンスの視線誘導効果の主要部分は、 $\overline{N_b} - \overline{N_a}$ によって表現され、転落防止にする一件あたりの事故防止効果は $\overline{D_b} - \overline{D_a}$ によって表現されると考えてよいであろう。上記の諸変数に対して、厳密にはとうぜん資本償還のための割引率を考慮すべきであろう。

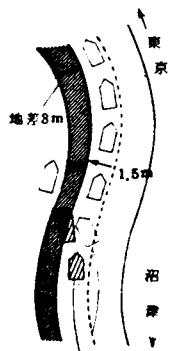
2.3 調査資料について

(1) 運輸省自動車局資料

運輸省自動車局には営業用自動車に関する交通事故のかなり詳細な報告が保管されている。これは、貨物運送、旅客輸送（バス・タクシーなど）関係業者から運輸大臣宛提出されるものであり、原資料は、われわれ道路技術者の立場からすれば道路状況、環境などに関する記述こそ不十分であるが、事故発生状況の描写、損害額の積算などについては信頼性の高い記録である。表一2.1にその様式を示す。とくにバス（2ナンバー車）は側溝への脱輪などによる走行不能程度

表一2.1 運輸省所管自動車事故統計原票

自動車事故報告書		東京都江東区××町4-624 日本○○運輸株式会社 取締役社長 △ △ ④	
運輸大臣 齊 藤 幸 義		昭和 8 7 年 2 月 6 日 提出	
① 事故の種類	転覆(転落) 火災 踏切衝突 死傷その他	② 事故発生日時及び天候	昭和86年 8 月 8 日 4時40分 天候 雪
③ 事故の経緯・脱車部 小山村 路線名又は道路名	二級国道	④ 死者・重傷・軽傷・物的損害	死者 一人 重傷 一人 軽傷 一人 物的損害 80万円
発生場所	一色地内国道 上 松田、御殿橋	⑤ 当該自動車の概要	登録番号 12-4874 当該自動車の属する自動車運送事業の種類 乗車定員 8人 乗車人員 2人 車名 型式 年式 一般路線貨物運送事業 最大積重量 8,000キログラム 積重量 4,500キログラム 日野 TH15 59 当該自動車の使用の本拠の名称及び位置
⑥ 道路の状況	幅員 7.5 平上 平たんなり	⑦ 乗務員の氏名、年齢、経験及び本務又は臨時の別	乗務員 平たん、こうのり 西誠、曲藤の別 路面の種類 コシクツ(入ル) 砂利 路面の状況 乾 積氷 度 否
⑧ 当時の状況	乗務員の氏名、年齢、経験及び本務又は臨時の別 職名 運転者 氏名 ○ ○ ○ ○ 年令 27才 経験年数 8年7月 本務 臨時 職名 運転手 氏名 × × × 年令 26才 経験年数 4年8月 本務 臨時	⑨ 当時の処置	直ちに所轄署である警備隊署に届出し、係官の指示に従った。
⑩ 事故の概況	○ ○ ○ ○ 運転手は交番運転手 × × × と共に名古屋支店を出発し東京方向へ運行した。名古屋～静岡間は○ ○ ○ ○ 運転手の担当とし、静岡より事故地点手前1,000m迄を× × × 運転手が運転を担当した。事故地点手前の地点での交番時○ ○ ○ ○ 運転手は車輪点検後、東京に向けて運行した。事故地点200m前方には△ △ 運送の車と他社の車が衝突し、現場付近は一方通行の為に車輪は連続進行していた。車の流れは15～17km(時速)であり、進行中当方の後方より一台のトラックが追越し当方の前部に割込みをしたので、○ ○ ○ ○ 運転手は制動すると共に左側に寄ったところ道路工事完成間もない為、路肩は土砂で軟くフロント部分より3m下の田圃に転落する。	⑪ ※備考	



の軽微な事故報告をも含んでおり、損害額評価額についても信頼度の高いことが想像される。運輸省自動車局による、関係統計を参考までに表-2.2に示す。われわれは昭和36年及び37年の転落事故原記録を、ホールソートカードに転記し以下の分析に使用した。

表-2.2 運輸省自動車局車輛課事業用自動車等の事故の現況、昭和37年、中“重大事故の推移、(昭和36, 37年)。による総事故件数、転落事故件数

車 輛	年	転落事故件数	事故件数計
バ ス	昭和36年	193	1,781
	昭和37年	243	1,936
	計	436	3,717
ハイタク	昭和36年	85	1,740
	昭和37年	83	2,010
	計	168	3,750
トラック	昭和36年	257	1,841
	昭和37年	325	2,025
	計	582	3,866

(2) 建設省道路局、警察庁交通局合同路外逸脱事故(転落事故を含む)および防護さくに関する事故調査資料

道路協会交通安全施設小委員会において発案され、上記両省、庁合同で行なわれた調査で、ガードフェンスに関係ある事故は、昭和38年11月15日から4月15日までの6箇月間、ガードフェンスに関係のない事故については、昭和38年11月15日以降の2か月間にかぎり、ガードフェンス設置基準検討に役立つ資料をえる目的で実施されたものである。調査は、1級国道、2級国道のあらかじめ指定した区間について行なわれた。調査票の様式を表-2.3に示す。期間はごくかぎられた短期間であり、諸種の制約などから企画側の不備も多く不十分な点多々あるが、事故発生地点における道路関係の諸数値が、警察側記述と同時にえられたこと、とくに盛土高さ、法面勾配、曲線半径、横断こう配などに関する道路技術者の手による正確な記述が得られたことは、わが国最初であり、世界的にも例は少ないと考えられ、貴重な資料をえることになった。表-2.4ないし表-2.11に若干の2箇月間の資料に関する単純集計を示す。

昭和38年10月15日以降の2か月間における転落事故の報告件数は合計1,004件であった。図-2.1に事故発生時刻の分布を示した。図-2.1には、高速道路調査会交通現象小委員会によるわが国の代表的交通量の時間分布が同時に示されているが、これによれば、夜間において単位交通量あたりの路外逸脱事故件数の大きいことは明らかである。

* 昭和38年頃のガードフェンスの呼称

表-2.3 建設省・警察庁合同調査
事故調査票

路外逸脱(転落を含む)および防護柵等への衝突事故調査実施要領

1. 調査目的

本調査は建設省、警察庁が合同で行う調査であり、道路交通安全施設のうち防護柵について、各種の道路条件および交通条件のもとにおいて発生する路外逸脱、転落等の事故の発生状況およびその大きさ等の実態を把握して各種防護柵の形式の適正化および設置方法等、防護柵に関する設置基準の策定のための基礎資料を得ることを目的とする。

2. 調査対象および期間

本調査は、一、二級国道において発生した路外逸脱(転落を含む)防護柵等への衝突事故のみを対象とし、下記の期間に限り実施するものとする。ただし、地理的条件その他により著しく調査に不便な区間については、建設、警察両担当間で協議の上予め調査対象区間からはずすことができる。

路外逸脱(転落を含む)および防護柵への事故のすべてについて

昭和38年10月15日から12月15日までの2ヶ月間

但し上記の事故中

防護柵(ガードレール・ガードロープ・オートガード)に関連する事故、すなわち、防護柵乗越し突破後(経路変更を含む)事故および防護柵への衝突事故は調査期間をさらに延長し、

昭和39年4月15日までの6ヶ月間実施するものとする。

3. 調査票の配布およびとりまとめ

警察記入用調査票はクリーム色用紙2枚1組からなり、都道府県警察本部を通じて各警察署に配布される。

工事事務所記入用は白色用紙2枚、白色用紙1枚計3枚1組からなり、各地方建設局道路管理課(北海道開発局は道路計画課)を通じて各工事事務所(北海道開発局は各開発建設部)に配布される。

所轄警察署は、上記事故の発生があれば、直ちにその日の国道担当の工事事務所(北海道開発建設部)に事故発生箇所を連絡するとともに、クリーム色調査表1組に記入し、事故発生から起算して10日以内に当該工事事務所(開発建設部)まで送付すること。

連絡を受けた工事事務所(開発建設部)は直ちに白色調査表に記入後クリーム色調査表と合わせ5枚1組とし、1ヶ月分毎にとりまとめ直ちに千葉市美田町2838土木研(千葉市美田町道路研究家)まで送付するものとする。但し、事故1件について調査表それぞれの右上に同一番号を附し、各工事事務所(開発建設部)毎の調査表は1連番号となるようにする。

4. 記載要領

空欄は具体的に数値あるいは図により記載し、その他の場合は、該当する欄を丸で囲むこと。この場合丸はいくつつけてもよい。

1) 警察関係分(クリーム色用紙)

当事者および危険を誘発した主たる行為等の欄は死亡重傷交通事故統計原票と記載要領は同じとする。

逸脱(転落)して停止した地点の状況

川、海、沼等で水深不明の場合には、完全に水深、窓まで浸水等と具体的に記入のこと。

衝突、転落逸脱した瞬間の速度

可能なかぎり記入すること。

被衝突物件またはその他の損害

自動車が路外逸脱(転落を含む)等の事故を起したために被害をこうむった側の損害を記入する。

事故現場見取図

通常の記載方法であるが、特にスリップ痕の長さや道路線に対する角度方向が重要である。スリップ痕が曲つたり、折れ曲つたりしている場合は、スリップ痕の中心にしたがった長さや方向が正確に画けるように、道路線にとった直線(通常道路線に平行)上に数箇の点をとり、それからの直角に測った長さを記載すればよい。下図にカーブにおける例を示す。



2) 工事事務所記入分(白色用紙)

斜面横断および法下の状況見取図

測量可能な場合には推定せず、()で示す。法長、埋立高、法勾配を記入のこと。但し、推定の場合は数字を()でかこむこと。

曲線半径

もし、知らなければ、推定でもよいから必ず記入すること。

但し、推定の場合は数字を()でかこむこと。

線形の概況

事故発生箇所(手前)6km以上をふくむこと。事故発生箇所前後の地形線形を知りたいためであるから例えば長い直線区間後のSカーブの場合等、この箇所を充分カバーする必要がある。防護柵の設置がある場合にはその箇所、延長を示すこと。

第4表は防護柵に損害をうけたときのみ記入すること。

事故番号

第1表 路外逸脱(転落を含む)防護柵等への衝突事故調査表 警察記入分

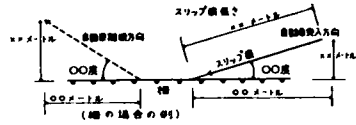
都道府県名	管轄警察署名	署	発生都道府県名	鉄道		
発生場所	市区町村	番地	市街地 非市街地	天 鉄 電 小 所 警 署 発生年月日 昭和 年 月 日 時		
当業者	乗用車 バス 軽自動車 自家用車 大型車 三輪車 二輪車 原付車 その他	歩行者 その他	防護柵等 電柱等 家屋等 その他	その他		
防護柵との関係	防護柵なし	防護柵を乗り越した	防護柵を突破した	防護柵に衝突した	防護柵に接触した	防護柵に衝突後転覆した
路外逸脱した車両の重量	トン	最大積載量	トン	積載品名	積載重量	トン
の重量速度等	速 度	キロメートル/時		路外逸脱、衝突した瞬間の速度		キロメートル/時
路外逸脱した車両	水 道 車 原 岩 登 家 屋 等 斜 面 途 中 鉄 道 敷 設	鉄 道	鉄 道	鉄 道	鉄 道	鉄 道
の停止した地点	荒 野 田 砂 利 河 原 小 さい 木 ・ し げ み 用 水 路 沼 池	荒 野 田 農 ・ 空 地 樹 林 水 深	メートル	メートル	メートル	メートル
路外逸脱した原因	石垣、コンクリート擁壁の斜面	ごつごつした岩のある斜面	その他	その他	その他	その他
の状況	草、芝の生えた斜面	きりたった絶壁から	停止点から路端までの斜面の長さ	停止点から路端までの斜面の長さ	停止点から路端までの斜面の長さ	停止点から路端までの斜面の長さ
路外逸脱または防護柵に衝突した車両の損害状況	人的損害 乗車人員 内 死 亡 重 傷 軽 傷 名 記 名 名 名 3か月未満 3か月以上6か月未満 6か月以上	物的損害 破損資産	車体損害額 千円	警察損害額 千円	警察損害額 千円	警察損害額 千円
被衝突物件またはその他の損害状況	人的損害 損 傷 3か月未満 名 3か月以上6か月未満 6か月以上	物的損害 名 3か月以上6か月未満 6か月以上	鉄道運転停止時間 千円	時	分	分
道路状況	路面平ら 路面すべりやすい 路面凹凸 路面高低	上り勾配の坂 下り勾配の坂 直線区間 見とおし悪い	編員の急な変化 工事現場 カーブ内側 カーブ外側	警戒標識あり 警戒標識なし 道路照明施設あり 道路照明施設なし	その他	規制速度 キロメートル/時
危険を回避したか	危険を回避したか	危険を回避したか	危険を回避したか	危険を回避したか	危険を回避したか	危険を回避したか

路外逸脱(転落を含む)防護柵等への衝突事故調査表

第2表
警察記入分

事故現場見取図 (取扱い要領参照)

道路の線路に対する自動車の逸脱、突入角度をスリップ痕等から判定してできるだけ正確に記入すること。
 柵の場合は離脱方向をも記入すること。
 その他、工事事務所員が現物を確認できる程度の目標(ポスト、電柱、商店等)を示すこと。



防護柵に関連した事故の車両および防護柵の破損状況を示す写真
 (ただし、やむをえない場合を除く。)

事故番号

第3表

路外逸脱(転落を含む)防護柵等への衝突事故調査表

工事事務所記入分

地方建設局		工事事務所											
警察調査表に示す交通事故発生箇所における道路、防護柵の状況													
〔1〕 道 路 状 況													
		改	良	済	未済								
舗装の種類	アスファルト コンクリート	セメント コンクリート	簡 舗	易 装	未舗装	縦断勾配	%	曲 片	線 勾 配	部 配	%	12時間交通量	台
幅員	全幅	m	車道	m	転落車両 進行方向の	左側路肩	m	左側歩道	m	右側歩道	m	曲線半径	m
防護柵等の種類	鋼製 ガードレール	FRP ガードレール	ガード ポール	オート ガード	コンクリート 駒止	コンクリート 柵	木柵	鉄柵	なし	その他			
線形の概況													
事故発生箇所の手前2km、先方500mの当路(凡例参照)を西き、事故発生箇所を×印で示すとともに、進行してきた方向を→印で示すこと。													
転落の場合の斜面横断および法下の状況見取図													
法勾配	:												
法長	:	m											

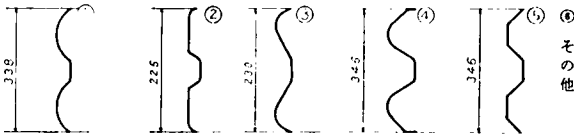
路外逸脱(転落を落む)防護柵等への衝突事故調査表

工事事務所記入分

〔2〕 防護柵の形式と設置状況

A) 形式 該当するものを丸で囲むこと。ガードレール、ガードケーブル以外の場合は記入の必要はない。

1) ガードレールのビームの断面形状



4) ガードロープの本数
3本, 4本, 5本

5) 支柱(ポスト)の断面
(円柱外側直径)

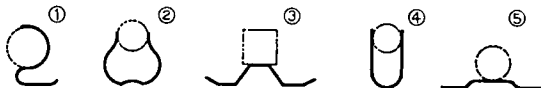


外径 (mm)	139.8	114.3	89.1	60.5
---------	-------	-------	------	------

2) ガードレールの板厚

厚さ 2.3mm 2.0mm 1.6mm

3) ガードケーブルのプラケットの上からみた形状



6) 支柱間隔

m

$d_1 \times d_2$ (mm × mm)	100 × 100	100 × 50	60 × 60
-------------------------------	-----------	----------	---------

B) 防護柵の一続きの全長

m

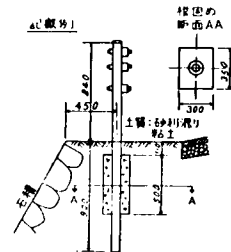
C) 防護柵の高さ

cm

防護柵の高さとは、レールの場合、地上からビームの止め金までの高さ、ケーブルの場合、地上から最上のケーブルまでの高さ、オートガードの場合、地上からビーム先端までの高さをいう。

D) 支柱および路肩断面図

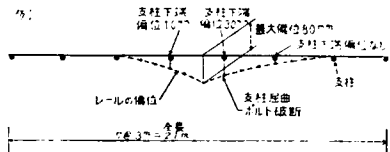
支柱の直曲、寸法と路肩状況、法勾配、法肩から支柱までの距離、土質の種類、根入長、根固めについて記入すること。



〔3〕 防護柵の破損状況

偏位量を示す略図

(レール、ケーブルの一張りの全長も示すこと。)



支柱の状況	破断 抜けたもの 枝下偏位	本	屈曲	本
レールの状況	破断 破損長さ	有	無	最大偏位
ケーブルの状況	末端支柱破損 ケーブル切断	有	無	本

最大偏位とは、支柱の頭、あるいはレールの上端から原位置までの距離をいう。

事故番号

第 5 表

路外逸脱(転落を含む。)防護柵等への衝突事故調査表

工事事務所用

写 真 貼 布 台 紙

道路線形、斜面の状態、防護柵の破損状況を示すこと。(ポール、折尺等を同時に写すことが望ましい。)

表-2.4 地方建設局別報告数(2ヵ月分)

北海道	東北	関東	北陸	中部	近畿	中国	四国	九州	合計
6	114	206	71	128	219	119	23	118	1,004

表-2.5 国道種別別報告件数

	1級国道	2級国道	合計
報告件数	910	94	1,004

表-2.6 警察側資料の有無別件数

警察側資料をとらせたもの	警察側資料をとらせないもの	合計
839	165	1,004

表-2.7 報告のあった事故中

路外逸脱、転落事故が単独におこったものの件数と
自動車対自動車事故に併発したものの件数

単独事故	自動車対自動車事故に併発したもの	合計
859	145	1,004

表-2.8 天候別、単独事故、自動車対自動車事故に併発別事故件数

	単独 (%)	自動車対自動車事故に併発 (%)	計 (%)
晴	387 (84)	72 (16)	459 (46)
曇	125 (84)	24 (16)	149 (15)
小雨	63 (77)	19 (23)	82 (8)
雨	91 (81)	21 (19)	112 (11)
霧	13 (87)	2 (13)	15 (2)
雪	2 (100)	0 (0)	2 (0)
その他	1 (100)	0 (0)	1 (0)
不明	177 (96)	7 (4)	184 (18)
合計	859	145	1,004

表一 2.9 路外逸脱して停止した地点別分類件数

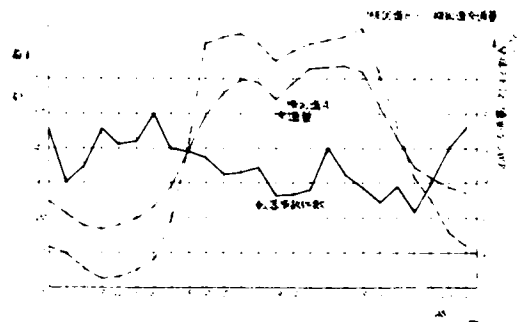
停止地点 状況	歩道	車道	湿田	乾田	草原	畑	砂利河原	庭空地	岩盤
件数	25	93	192	100	29	64	24	56	3
停止地点 状況	軟い地盤	小さい 木しげみ	樹林	家屋等	斜面途中	鉄道敷	溝	川	小川
件数	8	23	19	71	67	8	41	32	13
停止地点 状況	用水路	沼	海	他の道路	側溝	その他	不明	合計	
件数	40	4	3	7	39	9	34	1,004	

表一 2.10 月別報告件数

不明	10月	11月	12月	合計
37	327	469	171	1,004

表一 2.11 発生時刻別件数分布

時間	1時～	2時～	3時～	4時～	5時～	6時～	7時～	8時～
件数	30	35	46	41	42	50	40	39
	9時～	10時～	11時～	12時～	13時～	14時～	15時～	16時～
	37	32	33	34	26	26	28	40
	17時～	18時～	19時～	20時～	21時～	22時～	23時～	24時～
	32	28	24	29	21	30	40	46
不明	合計							
	175 1,004							



図一 2.1 路外逸脱、転落事故の発生時刻別度数分布と交通量の24時間分布

2.4 転落事故損害の期待値の推定

2.4.1 運輸省自動車局資料の分析

表-2.1の転落事故資料のうち、自動車対自動車事故に併発したもの、物件衝突後転落したものの、転落の定義がわれわれの目的と異なるもの、対歩行者事故に併発したものなどをまず除いた。次に、乗車人員、損害などの不明なもの（物損の記載のないものも除いた）も除去した。表-2.1のような原票からただちに読みとれる転落事故損害に関係あると思われる要因としては、落差、水面の水深、危険認知時の速度、車種、乗車人員などがあげられる。また転落箇所の性質は事故の発生の状況記述から十分読みとることができた。転落斜面の性質はホールソートカードに欄は設けたが實際上、有用な情報をえることはほとんどできなかった。

これらの要因のうち落差はとうぜん最も転落事故損害の大きさと関係の深い要因と考えられた。ただ、この落差の定義が、事故報告者によって異なっていると想像される場合、すなわちかならずしも垂直高をとらず、~~斜~~距離をとっている場合もあることが推定されたが、これは主として落差の大きい場合と考えられ、いまの目的には十分使用可能であると考えた。

一般に道路技術者は、盛土法面こう配をも、転落事故において重要な因子と考えているが、この資料からはほとんど読みとることはできなかった。危険認知時の速度は、障害物に対する衝突エネルギー、ひいては乗員のうける減加速度と関係する可能性がある。これはまた道路の設計速度とも関連しており、要因としてとりあげることにした。乗車人員に関する情報は、この資料に関しては全般に明確に記載があり、信頼度も高く、とうぜん事故損害額と強い関係のあることが予想されるから要因としてとりあげる。同じく、バスの場合の乗車人員/定員の比も事故の大きさに関係する可能性を認めて要因として考えることにする。線形との関係は、直線部、曲線の内外への転落の3分類とするが、これは当初から一件あたり事故損害額とは関係のほとんどないはずであり、むしろこの分析法の照査のための要因として考えに入れることにする。分析は、車種のグループを、トラック（車種登録番号1.8のもの）、バス（車種登録番号2のもの）、普通乗用車と小型車（車種登録番号3.4.5のもの）、二輪車（車種登録番号6のもの）の4つにわけ、それぞれ別に行なった。考慮した要因を、これらのグループごとに示したのが表-2.12である。

推定すべき損害Aとしては次の9種類が考えられる。

A₁ : 死者数,

A₂ : 重傷者数,

A₃ : 軽傷者数,

A₄ : 物損(万円),

A₅ : 死者1名102.2万円、負傷者1名15.3万円とみなし物損との和をつくって、全損害の金額表示をしたもの(単位万円),

表-2.12 運輸省自動車局資料による転落事故1件当り損額推定に用いた要因およびそのカテゴリー一覧表
トラック(1,8ナンバー車)

要因名 (アイテム名)	カテゴリー (ランク)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
落差 (m)	A 1.0以下	1.1~2.0	2.1~3.0	3.1~5.0	5.1~8.0	8.1~10.0	10.1~15.0	15.1~20.0	20.1~30.0	30.1~	不明	不明	不明
認知時の速度 (km/h)	B 停車中と 1.0以下	1.1~2.0	2.1~3.0	3.1~4.0	4.1~5.0	5.1~6.0	6.0以上	不明	不明	不明	不明	不明	不明
転落箇所の性質	C 田	畑・芝・草	砂利河原	崖・空地	崖	小さい木 しげみ	林	住宅・商店	川・沼・用水路・小川・海などの水深(m) 1.0以下	1.1~2.0	2.1以上	水深不明	その他と 不明
線形	D 直線	曲線内側	曲線外側	その他									
当時の乗車人員	E 1人	2人以上											
最大積載量 (ton)	F 2.9以下	3.0~3.9	4.0~4.9	5.0~6.9	7.0以上								

バス(2ナンバー車)

要因名 (アイテム名)	カテゴリー (ランク)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
落差 (m)	A 1.0以下	1.1~2.0	2.1~3.0	3.1~5.0	5.1~8.0	8.1~10.0	10.1~15.0	15.1~20.0	20.1~30.0	30.1~	不明	不明	不明
認知時の速度 (km/h)	B 停車中と 1.0以下	1.1~2.0	2.1~3.0	3.1~4.0	4.1~5.0	5.1~6.0	6.0以上	不明	不明	不明	不明	不明	不明
転落箇所の性質	C 田	畑・芝・草	砂利河原	崖・空地	崖	小さい木 しげみ	林	住宅・商店	川・沼・用水路・小川 水深1.0m以下	1.1~2.0	2.1以上	水深不明	その他と 不明
線形	D 直線	曲線内側	曲線外側	その他									
当時の乗車人員(人)	E 2以下	3~15	16~30	31~45	46~60	61以上							
乗車人員と定員の比	F 0~0.2	0.21~0.4	0.41~0.6	0.61~0.8	0.81~1.0	1.01以上							

普通乗用車と小形車 (3, 4, 5 ナンバー車)

要因名 (アイテム名)	カテゴリー (ランク)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
長さ (m)	1.0以下	1.1~2.0	2.1~3.0	3.1~5.0	5.1~8.0	8.1~10.0	10.1~15.0	15.1~20.0	20.1~30.0	30.1~	不	明	←トラックと同じ			
認知時の速度 (km/h)	停車中と 1.0以下	1.1~2.0	2.1~3.0	3.1~4.0	4.1~5.0	5.1~6.0	6.0以下	不	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ			
軌道箇所の性質	田	畑・芝・草	砂利河原	庭・空地	岩	小さい木 藪	木	住宅・雑草	川・海・沼・水際・小川の水際 (m)	1.0以下	1.1~2.0	2.1以上	不	明	←トラックと同じ	
線形	直線	曲線内側	曲線外側	その他	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ
当時の乗車人員(人)	1	2	3	4	5	6以上	不	明	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ
車種	普通乗用 (4ナンバー車)	小形貨物 (3ナンバー車)	小形乗用 (5ナンバー車)	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ

三輪車 (6 ナンバー車)

要因名 (アイテム名)	カテゴリー (ランク)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
長さ (m)	1.0以下	1.1~2.0	2.1~3.0	3.1~5.0	5.1~8.0	8.1~10.0	10.1~15.0	15.1~20.0	20.1~30.0	30.1~	不	明	←トラックと同じ			
認知時の速度 (km/h)	停車中と 1.0以下	1.1~2.0	2.1~3.0	3.1~4.0	4.1~5.0	5.1~6.0	6.0以上	不	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ			
軌道箇所の性質	田	畑・芝・草	砂利河原	庭・空地	岩	小さい木 藪	木	住宅・雑草	川・海・沼・水際・小川の水際 (m)	1.0以下	1.1~2.0	2.1以上	不	明	←トラックと同じ	
線形	直線	曲線内側	曲線外側	その他	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ
当時の乗車人員(人)	1	2以上	不	明	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ	←トラックと同じ

A6 : ridit 値(1),

A7 : ridit 値(2),

A8 : 無 傷 者 数,

A9 : 死 者 + 重 傷 者 数,

死者、負傷者の金額評価についてはすでに前章で論じたのであるが、ここでは、運輸省所管の自動車損害賠償法の料率算定(死亡1人、1,021,800円、負傷1人152,600円)の基準が、警察庁事故統計においても採用されているのでこれにならうことにした。

ridit 値⁽²⁾については、次のように計算した。たとえば、表-2.13の例のような人身事故分布が、ある車種全体についておこつたとすれば、ridit 値は同表e列の値である。

ridit 値(1)は、各事故ごとの概当人身損害のridit 値の和をとつたものである。表-2.13の例で、たとえばある事故において無傷4人、軽傷3人、死亡1人のときは、

$$0.20 \times 4 + 0.64 \times 3 + 1.00 \times 1 = 3.72$$

とする。

表-2.13 ridit 値

	a	b	c	d	e
	a_i (人)	$a + 2$	$\sum_{i=0}^{i-1} a_i$	$(b+c) + \sum_{i=1}^n a_i$	ridit 値
1 無 傷	552	276	0	276+1,398=	0.20
2 軽 傷	678	339	552	891+ " =	0.64
3 重 傷	156	78	1,230	1,308+ " =	0.94
4 死 亡	12	6	1,386	1,392+ " =	1.00

計 1,398(人)

ridit 値(2)としてridit 値(1)を乗車人員数で除したものをつくつた。ridit 値自体には、実際の意味はないが、その現象の傾向を把握する上においての見通しがよくなる。

林の数量化の方法による要因分析のためのマトリックスおよび右辺ベクトルを各車種ごとにつくつたのが表-2.14~表2.17である。実際の計算は、表-2.18に示すような要因および右辺損害値の組合せについて行なつた。とりあげた要因の組合せは、それぞれA~F(三輪車についてはA~F)の全要因を考慮した場合と、車重、乗車人員(道路技術者として予測しがたい情報と考えられた)、線形(あまり意味のないと考えられた)、などに関するものを除いたA~Cの要因のみ考慮した場合の2通りとした。

表-2.18 分析した要因と損害の表現およびA・a間の相関係数一覧表

車種	考慮した要因	損害の表現	相関係数
トラック (1,8ナンバー車)	A ~ F	A ₅	0.5637
	A ~ F	A ₁ + A ₂	0.5555
	A ~ C	A ₅	0.5444
	A ~ C	A ₁ + A ₂	0.5391
バス (2ナンバー車)	A ~ F	A ₅	0.7185
	A ~ F	A ₆	0.9082
	A ~ F	A ₇	0.6655
	A ~ F	A ₁ + A ₂	0.6536
	A ~ C	A ₅	0.4741
	A ~ C	A ₆	0.3439
	A ~ C	A ₇	0.6302
	A ~ C	A ₁ + A ₂	0.5614
乗用車と小形車 (3,4,5ナンバー車)	A ~ F	A ₅	0.6562
	A ~ F	A ₁ + A ₂	0.6358
	A ~ C	A ₅	0.4504
	A ~ C	A ₁ + A ₂	0.3307
三輪車 (6ナンバー車)	A ~ E	A ₅	0.2798
	A ~ E	A ₁ + A ₂	0.3672

右辺損害値としては、損害の金額表示を最も重視したが、これに死者+重傷者数を総べての場合について加え、さらに参考のためバスの場合にのみ ridit(1), ridit(2)についても計算を行なった。この組合せによってえられる連立一次方程式をとき、えられた解を、要因ごとの要因平均およびカテゴリーごとのそれからの偏差で表現したものが表-2.19~表-2.36である。ただし表-2.23以下についてはかんたんのためカテゴリーを、さきに表-2.12に示した番号でのみ示してある。表-2.19~表-2.36の下から第2番号の行は各要因ごとのレンジを示す。レンジとは解の最大のものとの最小のものとの差であって、これの大きい要因ほど損害値に貢献するところの大きい要因であると大よそみなすことができる。

表-2.19 大型トラック(1.8トン)における推定値(積荷額)の金額表示(単位万円): A₅)の要因平均、カテゴリ毎の偏差、レンジおよびレンジの順位、

6 要因を考慮した場合

要因	A: 落	差	B: 認知時の速度	C: 販売場所の性質	D: 線	形	E: 当時の乗車人員	F: 最大積載量
要因平均	89.8270		-10.54878		3.03038		0.19711	15.83463
1	1.0m以下	34.0640	停車中と10km/h以下	田	直線		1人	2.9以下
2	1.1~2.0	-12.4204	11~20km/h	畑・芝・草	曲線の内側		1人以上	3.0~3.9
3	2.1~3.0	-37.9186	21~30km/h	畑・芝・草	曲線の外側		2人以上	4.0~4.9
4	3.1~5.0	26.8654	31~40km/h	砂利・利原	その他・不明			5.0~5.9
5	5.1~8.0	8.3479	41~50km/h	産・空地				7.0以上
6	8.1~10.0	1.4642	51~60km/h	岩盤				不明
7	10.1~15.0	46.2640	61km/h以上	小さい木・しげみ				不明
8	15.1~20.0	36.0440	不明	樹林				不明
9	20.1~30.0	59.3210	不明	住宅・商店				不明
10	30.1m以上	80.0310	不明	水面 水深1.0m以下				不明
11	不明	-29.6953	不明	〃 1.1~2.0m				不明
12	不明		不明	〃 2.1m以上				不明
13	不明		不明	水深不明				不明
レンジ	115.000		65.177	その他と不明	23.535		1.285	46.978
レンジの順位	2		3	1	5		6	4

全平均59.65941

表 2.20 大型トラック(1.8トン)における推定値(死者1車傷者数:A₅)の要因平均、カテゴリ毎の偏差、レンジおよびレンジの順位、

6 要因を考慮した場合

要因	A: 落	差	B: 認知時の速度	C: 販売場所の性質	D: 線	形	E: 当時の乗車人員	F: 最大積載量
要因平均	0.58968		0.13300		0.11498		0.00877	0.00632
1	1.0m以下	0.17158	停車中と10km/h以下	田	直線		1人	2.9以下
2	1.1~2.0	-0.12717	11~20km/h	畑・芝・草	曲線の内側		1人以上	3.0~3.9
3	2.1~3.0	0.34944	21~30km/h	畑・芝・草	曲線の外側		2人以上	4.0~4.9
4	3.1~5.0	-0.27136	31~40km/h	砂利・利原	その他・不明			5.0~5.9
5	5.1~8.0	0.18483	41~50km/h	産・空地				7.0以上
6	8.1~10.0	0.05293	51~60km/h	岩盤				不明
7	10.1~15.0	0.04265	61km/h以上	小さい木・しげみ				不明
8	15.1~20.0	0.59349	不明	樹林				不明
9	20.1~30.0	0.43935	不明	住宅・商店				不明
10	30.1m以上	0.65030	不明	水面 水深				不明
11	不明	0.36583	不明	〃 1.0m以下				不明
12	不明		不明	〃 1.1~2.0m				不明
13	不明		不明	〃 2.1m以上				不明
レンジ	1.00613		0.65654	水深不明	0.17673		0.03197	0.25683
レンジの順位	1		3	2	5		6	4

全平均0.34947

表-2.21 大車トラック(1.8トンバネ車)における損害推定値(死者+重傷者数: A₉)の要因平均、カテゴリ毎の偏差、レンジおよびレンジの順位、3要因を考慮した場合

要因	A: 落差	B: 認知時の速度	C: 転落箇所の性質
要因平均	0.51619	-0.15718	-0.00954
1	1.0m以下	停車中と10km/h以下	田
2	1.1~2.0m	11~20km/h	畑・芝・草
3	2.1~3.0m	21~30km/h	砂利河原
4	3.1~5.0m	31~40km/h	庭・空地
5	5.1~8.0m	41~50km/h	岩盤
6	8.1~10.0m	51~60km/h	小さい木・しげみ
7	10.1~15.0m	61km/h以上	樹林
8	15.1~20.0m	不明	住宅・商店
9	20.1~30.0m		水面水深1.0m以下
10	30.1m以上		〃 1.1~2.0m
11	不明		〃 2.1m以上
12			〃 水深不明
13			その他と不明
レンジ	1.10327	0.56737	0.90804
レンジの順位	1	3	2

全平均 0.34947

表-2.22 大車トラック(1.8トンバネ車)における損害推定値(損害額の金額表示: A₈(単位万円))の要因平均、カテゴリ毎の偏差、レンジおよびレンジの順位、3要因を考慮した場合

要因	A: 落差	B: 認知時の速度	C: 転落箇所の性質
要因平均	70.54665	-8.55844	-2.32880
1	1.0m以下	停車中と10km/h以下	田
2	1.1~2.0m	11~20km/h	畑・芝・草
3	2.1~3.0m	21~30km/h	砂利河原
4	3.1~5.0m	31~40km/h	庭・空地
5	5.1~8.0m	41~50km/h	岩盤
6	8.1~10.0m	51~60km/h	小さい木・しげみ
7	10.1~15.0m	61km/h以上	樹林
8	15.1~20.0m	不明	住宅・商店
9	20.1~30.0m		水面水深1.0m以下
10	30.1m以上		〃 1.1~2.0m
11	不明		〃 2.1m以上
12			〃 水深不明
13			その他と不明
レンジ	122.39351	56.48679	125.84339
レンジの順位	2	3	1

全平均 59.65941

表-2.23 バス(2ナンバー車)における損害推定値(死者+重傷者数: A₅)の要因平均
 カテゴリごとの偏差、レンジおよびレンジの順位、6要因を考慮した場合

要 因	A:落 差	B: 認知時の 速 度	C: 転落箇所 の性質	D:線 形	E: 当時の 乗車人員	F: 乗員 定員	
要因平均M	0.90231	-0.11690	0.30786	0.88890	-0.29916	-0.41298	
1	-0.77440	-0.42761	-0.32301	0.32804	-0.70018	-0.61532	
カ	2	-0.62659	0.09992	-0.11475	-0.76200	-0.19774	0.31445
3	0.02653	0.46754	0.52104	-0.06636	-0.51895	0.02617	
テ	4	1.17013	-0.72733	-1.10819	-0.88890	0.62055	0.88836
5	0.56264	0.18879	-0.64851		0.88471	-0.03802	
ゴ	6	4.95649	-0.10664	-1.05920	0.29916	0.41298	
7	2.53501	0.11690	-0.10764				
リ	8	2.63210	2.32169				
9	3.79653		-0.04977				
10	6.25606		4.36344				
11	-0.65211		3.30930				
12			2.27490				
13			-0.30786				
レンジ	7.08046	1.19487	5.47163	1.21694	1.58489	1.50368	
レンジの順位	1	6	2	5	3	4	

全平均 1.27003

表-2.24 バス(2ナンバー車)における損害推定値(損害額の金額表示、単位(万円) A₅)
 の要因平均、カテゴリ毎の偏差、レンジおよびレンジの順位、6要因を考慮した
 場合

要 因	A:落 差	B: 認知時の 速 度	C: 転落箇所 の性質	D:線 形	E: 当時の乗 車人員	F: 乗員 定員	
要因平均M	479.36629	-3.27147	20.83931	22.27988	-138.45107	-196.76883	
1	-90.82949	-34.83213	-12.67528	10.84293	-100.08463	-64.53707	
カ	2	-5.52489	28.09253	-6.50989	-64.55402	-79.90303	10.90613
3	3.98231	40.90357	91.22209	24.85270	-29.41693	9.22453	
テ	4	117.50151	-84.43757	162.40459	-22.27988	64.60766	51.30073
5	127.60921	4.80645	-61.51359		135.46640	11.00323	
ゴ	6	196.15261	-58.85905	95.47039	138.45107	196.76883	
7	198.79651	3.27147	-28.22978				
リ	8	185.08541	32.44467				
9	269.72881		0.08643				
10	187.90411		166.25639				
11	-150.89249		136.63369				
12			114.51909				
13			-20.83931				
レンジ	420.62100	125.4114	27.76998	89.40672	238.5357	261.3059	
レンジの順位	1	5	1	6	3	2	

全平均 83.99411

表一2. 25 バス(2ナンバー車)における損害推定値(Ridit値(1)によるもの:A₅)の要因平均、カテゴリー毎の偏差、レンジおよびレンジの順位、6要因を考慮した場合

要 因	A:落 差	B: 認知時の 速 度	C: 転落箇所 の性質	D:線 形	E: 当時の 乗車人員	F: 乗員/ 定員
要因平均M	36.68055	-0.08204	0.20711	-0.00505	-16.00887	-7.62794
1	- 2.10432	-0.82103	-0.12582	0.30736	9.03856	-3.76965
2	- 0.20561	0.99948	-0.37945	-1.77021	- 6.04509	0.23630
カ	3	0.33376	0.85478	1.15781	0.08646	- 2.37655
4	3.15519	-2.45984	2.88761	0.00505	3.60901	2.54726
テ	5	2.81027	0.62991	-1.48041	10.74399	1.60418
6	6.40867	-4.88594	3.17283		16.00887	7.62794
7	3.80921	0.08204	-1.99583			
リ	8	5.23177	0.91367			
9	6.35119		-1.23890			
10	3.17859		5.08567			
11	5.03584		4.87319			
12			2.16312			
13			-0.20711			
レンジ	11.44451	5.88542	6.56608	2.07757	25.04743	11.39759
レンジの順位	2	5	4	6	1	3

表一2. 26 バス(2ナンバー車)における損害推定値(Ridit値(2)によるもの:A₇)の要因平均、カテゴリー毎の偏差、レンジおよびレンジの順位、6要因を考慮した場合

要 因	A:落 差	B: 認知時の 速 度	C: 転落箇所 の性質	D:線 形	E: 当時の 乗車人員	F: 乗員/ 定員
要因平均M	0.51756	0.01898	0.01758	0.03858	0.00081	- 0.09366
1	-0.09434	-0.04635	0.00246	- 0.00028	-0.04552	-0.03629
2	-0.02224	0.02854	-0.01552	-0.00424	0.02760	0.03054
カ	3	-0.09848	0.04053	0.03925	-0.01029	0.02298
4	0.12305	-0.05765	0.11827	-0.03858	-0.01586	0.01099
5	0.18096	-0.02460	0.03031		0.01586	-0.01392
6	0.14781	-0.02555	-0.04759		-0.00081	0.09366
7	0.22704	-0.01898	0.05521			
リ	8	0.18897	0.02501			
9	0.18524		0.01926			
10	-0.39098		-0.00107			
11	-0.06418		0.01242			
12			0.06396			
13			0.01758			
レンジ	0.39946	0.09823	0.16586	0.07783	0.07312	0.12995
レンジの順位	1	6	2	4	5	3

表- 2. 27 バス(2ナンバー車)における損害推定値(死者+重傷者数:A₉)の要因平均、
 カテゴリー毎の偏差、レンジおよびレンジ順位、3要因を考慮した場合

要 因	A: 落 差	B: 認知時の速度	C: 転落箇所の性質
要因平均M	1.02350	-0.13752	0.38405
1	-0.63236	-0.26530	0.15299
カ 2	-0.47344	0.03709	-0.10740
3	-0.24872	0.27989	0.46561
テ 4	0.80048	-0.57869	-0.37177
5	0.37878	0.42289	-0.95242
ゴ 6	4.57021	-0.41255	-1.42087
7	2.25983	0.13752	-0.38334
8	2.21850		2.53449
9	3.98115		0.45054
10	5.99890		5.01380
11	0.00619		1.95624
12			2.17053
13			0.38405
レンジ	0.63186	0.85858	6.43467
レンジの順位	1	3	2

全平均 1.27003

表- 3. 28 バス(2ナンバー車)における損害推定値(損害額の全該の金額表示:A₅(単位万円))
 の要因平均、カテゴリ 毎の偏差、レンジおよびレンジの順位、3要因を考慮した場合

要 因	A: 落 差	B: 認知時の速度	C: 転落箇所の性質
要因平均M	187.55517	22.00057	18.43941
1	80.14257	-12.37703	-7.29945
カ 2	14.31343	8.48948	-20.02039
3	16.92687	13.75327	38.68332
テ 4	63.39413	-54.17744	475.32549
5	124.29403	23.05407	76.70628
ゴ 6	196.54673	-88.66804	76.02155
7	157.91643	22.00057	-10.18468
8	187.19643		94.66319
9	276.73433		63.77256
10	113.89583		305.21519
11	84.94007		4.00461
12			147.57999
13			-18.43941
レンジ	368.8769	111.72211	551.34704
レンジの順位	2	3	1

全平均 83.99411

表-2.2.9 バス(2ナンバー車)における損害推定値(ridit(1), A₆)の要因平均、カテゴリー毎の偏差、レンジおよびレンジの順位、3要因を考慮した場合

要 因	A: 落 差	B: 認知時の速度	C: 転落箇所の性質
要因平均M	14.71447	-1.26445	-0.28647
1	-1.41588	1.04585	-0.11722
2	1.18167	-0.29189	-1.69475
カ 3	-1.03923	-1.35443	-2.82577
テ 4	-0.24162	-0.04297	24.27647
5	2.37710	1.78099	-3.67651
ゴ 6	6.34711	-7.17169	3.28997
7	0.77234	1.26445	1.29446
リ 8	6.01751		4.96331
9	6.30877		-5.38332
10	2.78567		13.48026
11	1.00628		-2.28250
12			6.10712
13			0.28647
レンジ	9.63278	8.93268	29.65979
レンジの順位	2	3	1

全平均 13.16355

表-2.3.0 バス(2ナンバー車)における損害推定値(ridit 2, A₇)の要因平均、カテゴリー毎の偏差、レンジおよびレンジの順位、3要因を考慮した場合

要 因	A: 落 差	B: 認知時の速度	C: 転落箇所の性質
要因平均M	0.46448	0.01697	0.01840
1	-0.08851	-0.04562	0.00415
カ 2	-0.01874	0.03267	-0.02177
3	-0.01461	0.03230	0.08749
テ 4	0.11135	-0.05430	0.20427
5	0.19122	0.03371	-0.00272
ゴ 6	0.11766	-0.05271	-0.05821
7	0.20301	0.01697	0.01999
リ 8	0.16511		0.04077
9	0.19485		0.02448
10	0.35854		0.04347
11	-0.06426		-0.02582
12			0.05580
13			-0.01840
	0.14205	0.08697	0.26248
レンジの順位	1	3	2

全平均 0.49985

表-2.3.1 普通乗用車、小形車(3,4,5ナンバー車)における損害指定値(損害額の金額表示:
A₅(単位万円))要因平均、カテゴリー毎の偏差、レンジ及びレンジの順位、6
要因を考慮した場合

要因	A:落 差	B: 認知時の 速 度	C: 転落箇所 の性質	D:線 形	E: 当時の乗 車人員	F:車 種
要因平均M	47.22967	11.58505	0.40042	-2.98752	2.95882	2.50270
1	-19.26242	0.75453	0.10168	-2.97768	-21.15618	33.14228
2	-9.94017	0.16126	-2.09318	-1.32742	-0.99642	4.47450
カ 3	-0.91482	-11.72424	-11.77434	4.33870	14.24436	-2.50270
4	3.17094	-10.33045	-50.33962	2.98752	5.08693	
テ 5	11.49164	1.63568	-27.24775		21.76722	
6	-6.85928	2.85214	39.22916		64.07411	
ゴ 7	0.81928	40.63681	-20.64454		-2.95882	
8	18.67152	11.58505	17.07442			
9	25.36575		-2.65983			
10	56.81833		-6.60782			
11	38.25821		1.71912			
12			18.91285			
13			-0.40042			
レンジ	76.08075	52.36105	90.06878	7.31738	85.23029	35.64498
レンジの順位	3	4	1	6	2	5

全平均 38.51905

表-2.3.2 普通乗用車、小形車(3,4,5ナンバー車)における損害推定値(死者+重傷者数:A₉)
の要因平均、カテゴリー毎の偏差、レンジおよびレンジの順位、6要因を考慮した場合

要因	A:落 差	B: 認知時の 速 度	C: 転落箇所 の性質	D:線 形	E: 当時の乗 車人員	F:車 種
要因平均M	0.32900	-0.05948	0.03195	-0.05621	0.20642	0.03403
1	-0.24924	0.12807	0.01049	-0.12222	-0.35215	-0.59389
2	-0.10181	-0.04473	0.27716	0.29176	-0.07500	0.11306
カ 3	0.00847	-0.16827	-0.01411	0.08860	-0.02351	-0.03403
4	0.04375	-0.24780	-0.12272	0.05621	-0.01050	
テ 5	0.20871	0.11000	-0.32908		0.41996	
ゴ 6	-0.06485	0.20518	0.30086		1.94197	
7	0.17994	0.69474	-0.20065		-0.20643	
リ 8	0.12113	0.05948	0.25985			
9	-0.12866		-0.18542			
10	0.42476		-0.23350			
11	0.46948		-0.14013			
12			0.24317			
13			-0.03195			
レンジ	0.73872	0.94254	1.42358	0.41398	2.29412	0.70695
レンジの順位	4	3	2	6	1	5

全平均 0.48572

表-2.3.3 普通乗用車、小形車(3,4,5ナンバー車)における損害推定値(損害額の金額表示: A_g(単位万円)の要因平均、カテゴリー毎の偏差レンジおよびレンジの順位、3要因を考慮した場合)

要 因	A: 落 差	B: 認知時の速度	C: 転落箇所の性質	
要因平均M	45.49023	-8.16296	1.19178	
1	-15.32994	1.05303	-1.69057	
2	-8.23231	0.15675	1.03685	
カ	3	-1.54512	-5.63700	-7.85634
テ	4	5.67026	-8.85757	-49.28538
5	1.91156	-9.18855	-21.56960	
ゴ	6	-10.27693	-3.13060	43.02780
7	4.11324	44.29863	-16.54391	
リ	8	23.17116	8.16296	-1.04265
9	18.56186		0.33463	
10	45.20051		-6.41692	
11	29.84792		-7.08031	
12			22.26882	
13			-1.19178	
レンジ	60.53045	53.48718	92.31318	
レンジの順位	2	3	1	

全平均 38.51905

表-2.3.4 普通乗用車、小形車(3,4,5ナンバー車)における損害推定値(死者+重傷者数: A_g)の要因平均、カテゴリー毎の偏差、レンジおよびレンジの順位、3要因を考慮した場合

要 因	A: 落 差	B: 認知時の速度	C: 転落箇所の性質	
要因平均M	0.44264	-0.03731	0.08039	
1	-0.14774	0.06634	0.01876	
2	-0.05451	0.16561	0.31231	
カ	3	0.02748	-0.05695	0.00266
テ	4	0.05515	-0.26343	-1.24952
5	0.04751	-0.12583	-0.18120	
ゴ	6	-0.17591	0.10879	0.30957
7	0.17320	0.81832	-0.23204	
リ	8	0.23648	0.03781	0.14611
9	-0.26004		-0.04990	
10	0.19981		-0.41328	
11	0.29632		-0.35285	
12			0.34536	
13			-0.08039	
レンジ	0.55836	1.08175	1.59488	
レンジの順位	3	2	1	

全平均 0.48572

表-2.35 三輪車(6ナンバー車)における損害推定値(損害の金額表示:A₅(単位万円)の要因平均、カテゴリー毎の偏差、レンジおよびレンジの順位(6要因を考慮した場合)

要因	A: 落差	B: 認知時の速度	C: 転落箇所の性質	D: 線形との関係	E: 当時の乗車人員	
要因平均M	14.9229	-32.59999	20.53266	23.25476	9.19027	
1	-7.7444	-31.88755	10.12163	5.20616	-5.42381	
2	-48.0258	-14.36305	13.40628	51.67466	4.07120	
カ	3	56.5471	-12.84480	40.26094	-48.97377	-9.19027
4	-8.6489	-15.10781	37.28910	-23.25476		
テ	5	-41.1339	19.11298	-116.27276		
ゴ	6	12.3230	68.15163	-18.66521		
7	29.0439	32.69999	41.85303			
リ	8	-0.9710	-47.18385			
9	0.8242		-51.46989			
10	34.4273		16.57858			
11			96.90564			
12			20.53266			
13						
レンジ	200.6821	95.08918	213.17840	100.14843	12.26147	
レンジの順位	2	4	1	3	5	

表-2.36 三輪車(6ナンバー車)における損害推定値(死者+重傷者数、A₉)の要因平均、カテゴリー毎の偏差、レンジの順位(6要因を考慮した場合)

要因	A: 落差	B: 認知時の速度	C: 転落箇所の性質	D: 線形との関係	E: 当時の乗車人員
要因平均M	-0.26651	0.00776	0.37850	0.17937	0.06930
1	-0.10997	-0.31667	0.08064	0.07329	-0.18767
2	-0.59000	-0.20840	0.07378	0.31619	0.11876
カ	3	0.47508	-0.18125	0.64225	-0.45285
4	0.07482	-0.03266	-0.08188		
テ	5	-1.18163	0.67050	-0.96681	
ゴ	6	-0.57052	0.52038	0.30146	
7	0.00638		1.06218		
リ	8	0.17120	-0.61402		
9	-0.30160		0.37222		
10	0.53784		0.42408		
11			0.08190		
12					
13					
レンジ	1.71947	0.98717	2.04871	0.76904	0.30643
レンジの順位	2	3	1	4	5

最下行には各要因間のレンジの順位，すなわち，損害高に貢献することの大きさの順位を示した。えられた解，すなわち要因スコア x_{uv} を各個の事故の要因に与えてえられる推定値 a_i と，与えられた原損害値 A_i との相関係数を表-2.18の最右欄に示しておいた。推定値と原損害の関係を示すグラフの例の1つを図-2.2に示す。

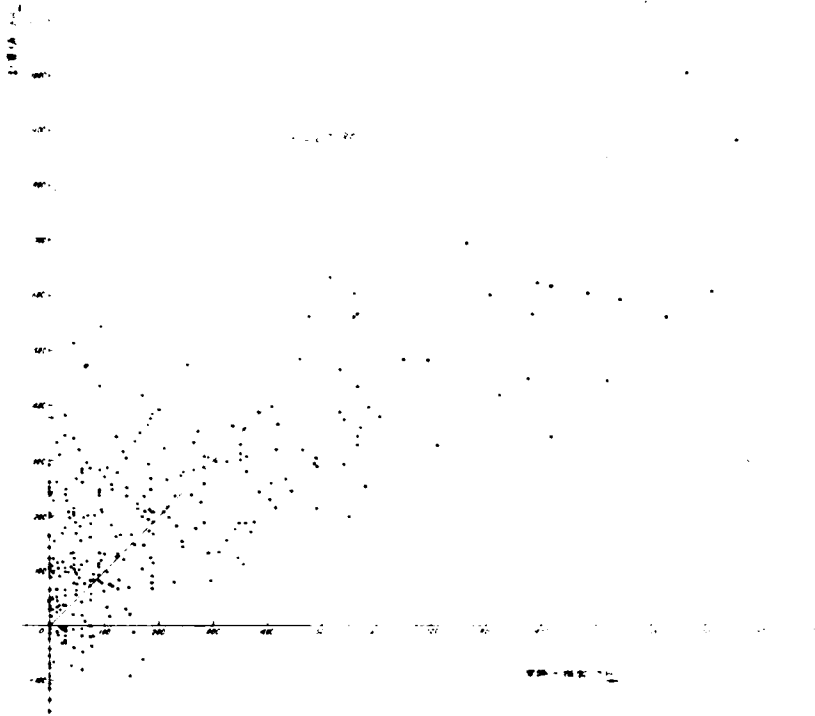


図-2.2 運輸省自動車局資料によるバスの転落事故損害値数量化における実際の損害額と計算値の関係(6要因を考慮した場合)
 $\rho = 0.7185$

バスについて $ridit(1)$ における相関係数の大きさ 0.9082 は定義の仕方からしてとうぜんであるが，損害額の金額表示も，資料数が少なく，また報告の信頼度も小さく，かかる解析に不適当な三輪車の場合を除いては，バス 0.7185 ，トラツク 0.5637 ，乗用車と小型車 0.6562 と相関係数は，予想以上のよい値を示している。いずれの場合も死者+重傷者数に対する相関係数よりも高い値を示す。乗車人員などに関する情報を考慮した6要因の場合はすべての車種について，3要因の場合よりも推定精度が高まっている。これはとうせんであるが，とくに旅客輸送に関係する車種バスおよび普通乗用車および小形車において，当時の乗車人員に関する情報を与えた場合，事故損害の推定精度がいちじるしく高まることがわかる。

トラックの場合においては、乗車人員に関するカテゴリーを2つしか設けなかったことも原因の一つであると思われるが、ほんらいこの車種に関しては、損害の相当部分を積荷が占めると考えられ、乗車人員に関する情報は、上の2車種のような位置を占めない。この結果は、われわれの常識と完全に一致するものといえる。相関係数に関するこのような考察は表-2.19～表-2.36における要因のレンジおよびその順位に関して調べることによっても確かめることができる。たとえばバスの場合、6要因を考慮したとき、損害の金額表示に貢献する要因の順位は、第1位：落差(A)、第2位：乗員/定員(F)、第3位：当時の乗車人員(E)、第4位：転落箇所の性質(C)、第5位：認知時の速度(B)、第6位：線形(D)となっているが、乗員/定員、当時の乗車人員に関する情報がとうぜんのことながら損害値の推定に重要な役割を占めていることを知る。

これらの結果から判断すれば、ガードフェンス設置前における転落事故損害 D_0 の予測を金額表示によって、十分実用に耐えうる精度において（もし精度が悪いということになれば、われわれにとってもそもそもガードフェンスの設置の投資効率はきわめて小さく、したがって、設置基準というものも考ええないことを意味するはずである。）行なうことができることが確認される。

各要因内のカテゴリー間の量的比較を容易にするために、図-2.3～図-2.20のグラフをつくった。上記の議論によって、損害値の金額表示は、われわれの場合最も優れていることがわかったので、図はこれのみにかぎって示す。

各要因の損害値に対する貢献の程度も 容易に理解すること

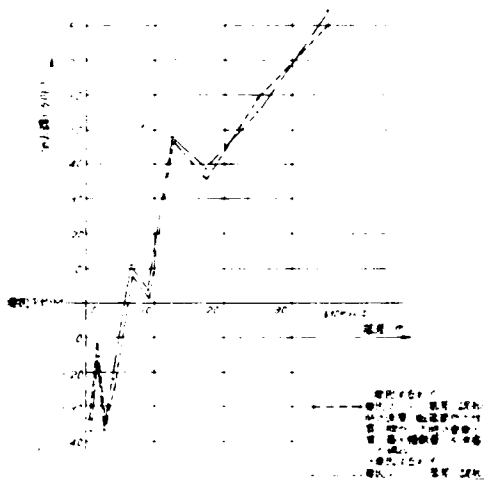


図-2.3 運輸省資料による大形トラック(1,8ナンバー車)要因A(落差・m)と転落事故損害額(万円)との関係

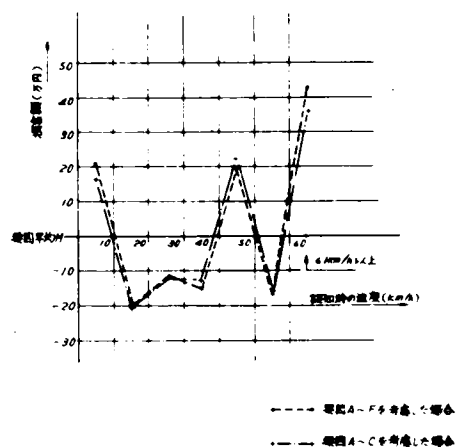


図-2.4 運輸省資料による大形トラック(1,8ナンバー車)要因B(危険認知時の速度, Km/h)と転落事故損害額(万円)との関係

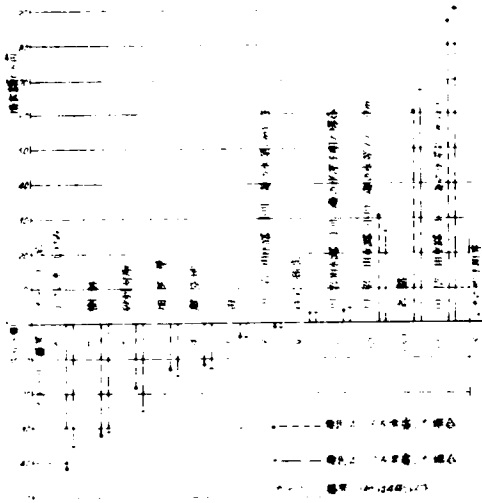


図-2.5 運輸省資料による大型トラック(1,8ナンバー車)
要因C(転落個所の性質)と転落事故
損害額(万円)との関係

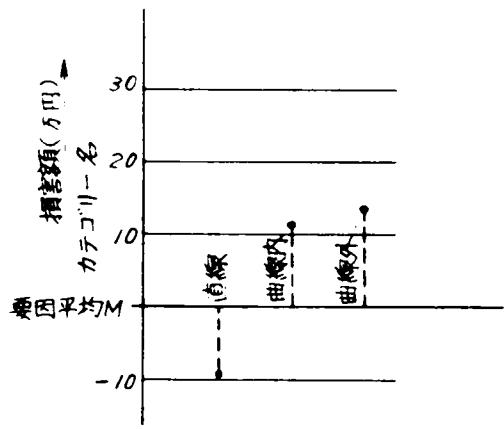


図-2.6 運輸省資料による大型トラック(1,8ナンバー車)
要因D(転落個所の線形)と転落事故
損害額(万円)との関係

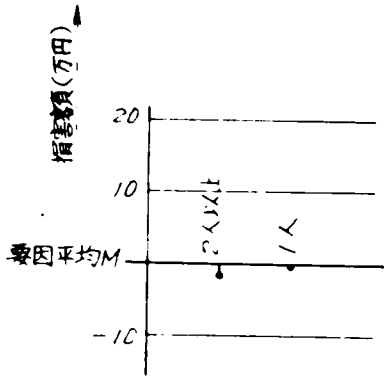


図-2.7 運輸省資料による大型トラック(1,8ナンバー車)
要因E(当時の乗車人員)と転落事故
損害額(万円)との関係

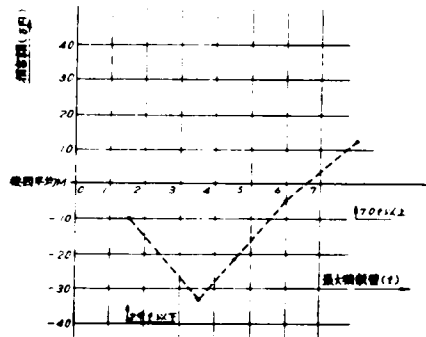


図-2.8 運輸省資料による大型トラック(1,8ナンバー車)
要因F(最大積載量・t)と転落事
故損害額(万円)との関係

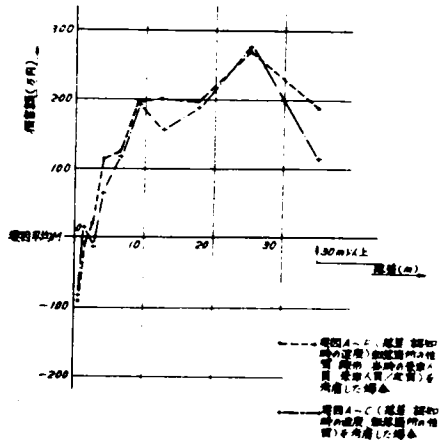


図-2.9 運輸省資料によるバス(2ナンバー車)
要因A(落差・m)と転落事故損害額(万円)との関係

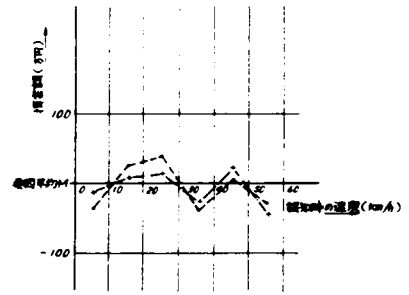


図-2.10 運輸省資料によるバス(2ナンバー車)
要因B(危険認知時の速度 Km/h)と転落事故損害額(万円)との関係

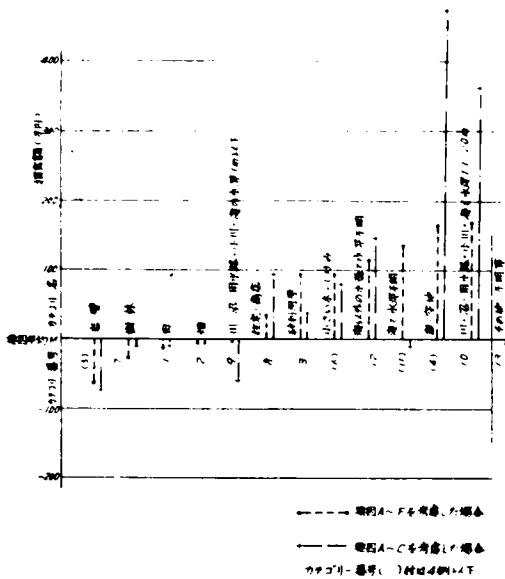


図-2.11 運輸省資料によるバス(2ナンバー車)
要因C(転落個所の性質)と転落事故損害額(万円)との関係

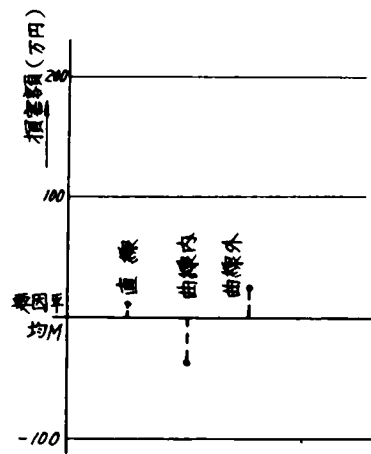


図-2.12 運輸省資料によるバス(2ナンバー車)
要因D(転落個所の線形)と転落事故損害額(万円)との関係

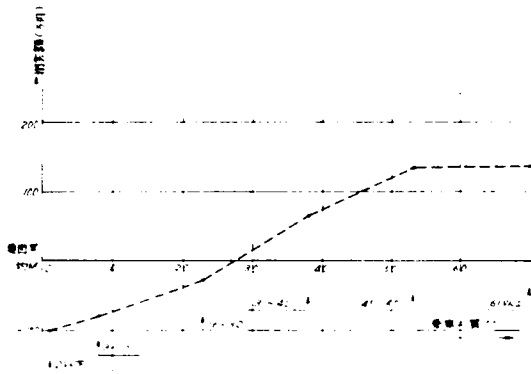


図-2.13 運輸省資料にバス（2ナンバー車）
要因E（当時の乗車人員）と転落事
故損害額（万円）との関係

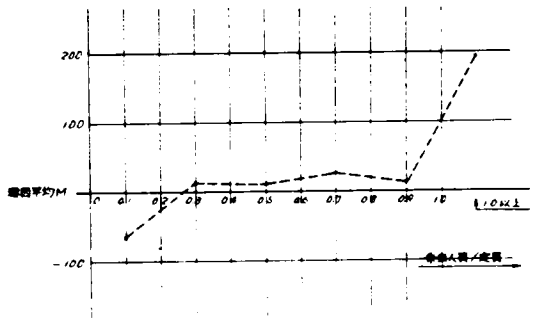


図-2.14 運輸省資料による（2ナンバー車）
要因F（乗車人員）と転落事故損害
額（万円）との関係

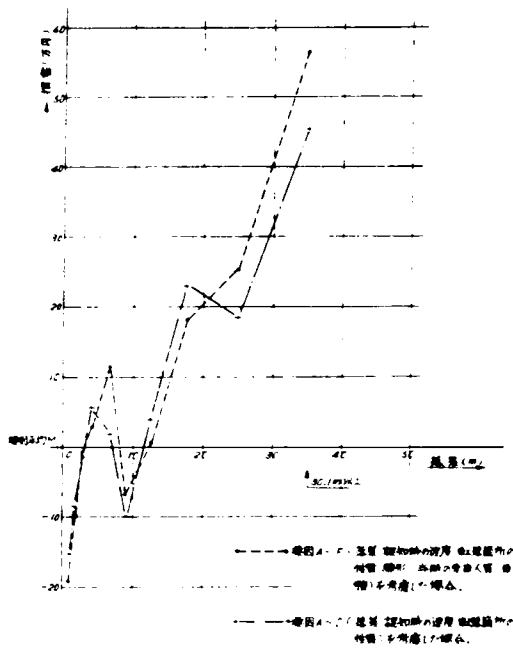


図-2.15 運輸省資料による普通乗用車および小
形車（3,4,5ナンバー車）
要因A（落差・m）と転落事故損害額
（万円）との関係

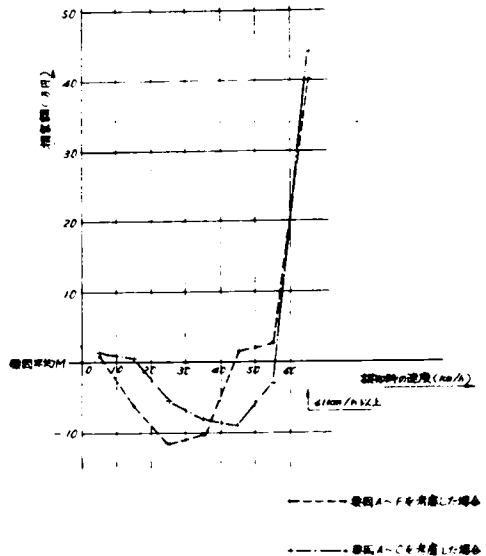


図-2.16 運輸省資料による普通乗用車・小形
車（3,4,5ナンバー車）
要因B（危険認知時の速度・km/h）
と転落事故損害額（万円）との関係

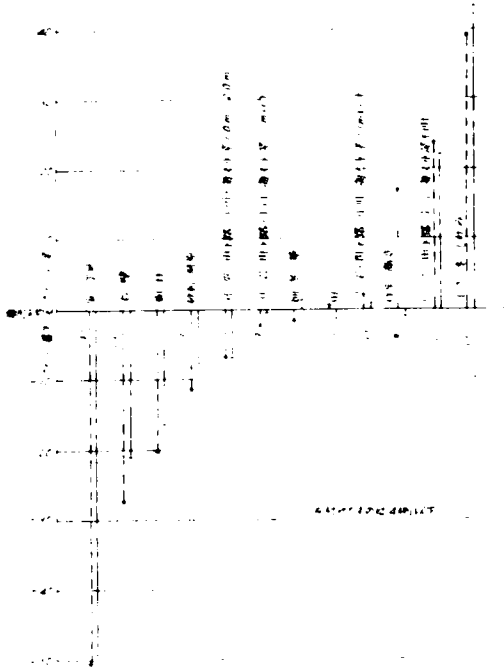


図-2.17 運輸省資料による普通乗用車および小形車(3,4,5ナンバー車)要因C(転落個所の性質)と転落事故損害額(万円)との関係

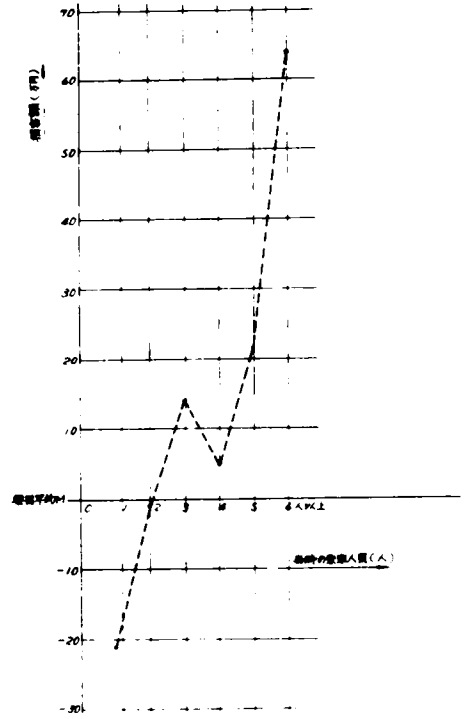


図-2.19 運輸省資料による普通乗用車・小形車(3,4,5ナンバー車)要因F(車種)と転落事故損害額との関係

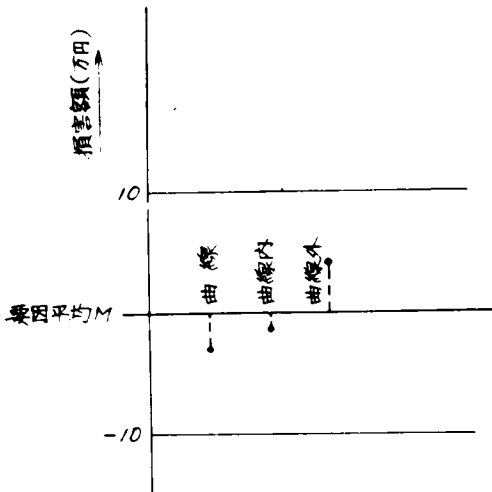


図-2.18 運輸省資料による普通乗用車・小形車(3,4,5ナンバー車)要因D(線形)と転落事故損害額(万円)との関係

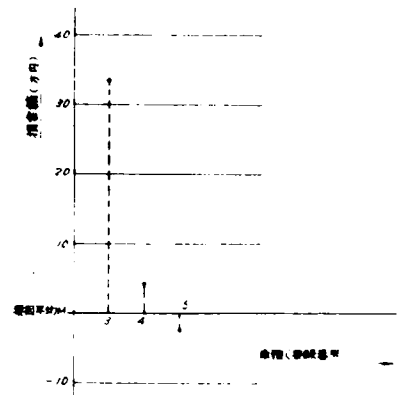


図-2.20 運輸省資料による普通乗用車・小形車(3,4,5ナンバー車)要因F(車種)と転落事故損害額(万円)との関係

ができる。これらの図から、6要因の場合と、3要因の場合を比較しても、両者間にあまり大きい変化のなく安定していることがわかる。ことに落差については、各車種とも、われわれの予想に反しないきれいな関係がえられ、損害値と強い相関のあることが明らかである。すなわち、旅客運送にしたがう車種において、乗車人員に関する情報を持たない場合、損害値の推定の精度はいちじるしく落ちるが、道路技術者は一般にこれについては、個々の場合予測しえないとすれば、図-2.3~2.30の結果を利用し、落差、転落箇所の性質などの道路環境のみから判断しても、平均的にはほとんど誤まりはおこらないといえる。

2.4.2 建設省、警察庁合同調査資料の分析

前述のようにしてえられた調査資料のうち、次のような基準で分析資料を選んだ。すなわち（表-2.3調査表様式参照）

- (1) 警察側資料のあるもの（車種および損害の判明しているもの）。
- (2) 防護さくがないもの、防護さく乗り越しあるいは突破したもの。
- (3) 停止地点が歩・車道以外のもの

右辺の損害の表示には、第2章における議論および、運輸省資料の分析結果から、損害の金額表示が最もよいことを確認したので、運輸省資料の場合と同じく、死者、102.2万円、負傷者（重傷、軽傷を合わせて）1名15.3万円とし、これに物損を加えたもので表現した。

左辺要因としては、いちおう、表-2.37のように要因ごとに、要因記号、名称、カテゴリー番号、カテゴリー名をかきだしておく。これらの要因から若干のものを組合せ、右辺の損害の金額表示について要因分析することとし、次の4通りの計算を行なった。

第1ケース：車種、大形貨物、普通貨物にかぎり、単独事故の資料について次の要因を考慮する場合。

A, B, C, D, E, F, I, L, M。

第2ケース：車種大形貨物、普通貨物にかぎり、単独事故の資料について、次の要因を考慮する場合。

A, B, C, D, E, N, I, L, M。

第1ケース、第2ケースとも、車種および法面こう配の表現以外の要因は同一とした。これらの両者の計算の結果、相関係数の高い方の要因（すなわち、FかNか）を以下の計算において考慮することとした。

第3ケース：車種を普通乗用、軽四輪乗用に限り単独事故のデータのみについてかつ次の要因を考慮する場合。A, B, C, D, E, F または N, I, K。

第4ケース：全車種について次の各要因を考慮する場合。A, B, C, D, E, F または N, G, H, I, J。

要因のとり方などについては運輸省資料とは若干異なっている。車種の定義も、道路交通法による警察庁資料と、運送車輛法による運輸省資料とは異なっていることに注意せねばならない。合同調査資料で、とくに資料上貴重なものは、法面こう配の記述であり、これについて2つの表現を比較することとした。

表-2.37 建設省・警察庁合同調査資料分析における要因・カテゴリー一覧表

要因 (Factor)	(12段に振り分け)											
名称 (Category)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
路線延長・途中距離 及び土地の状況	1. 延長 2. 途中距離 3. 土地の状況 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 2.0 2.1 2.2 2.3											
水深 (m)	1. 水深 2. 水深 1.0以下 1.1 2.0 2.1 不明 不明 不明											
法面形状 (各カテゴリー上部にフ ォンテーション中の 記号を付した)	1. 法面形状 2. 法面形状 3. 法面形状 4. 法面形状 5. 法面形状 6. 法面形状 7. 法面形状 8. 法面形状 9. 法面形状 10. 法面形状 11. 法面形状 12. 法面形状											
路面の状況 (路側遊歩道の 状況)	1. 路面の状況 2. 路面の状況 3. 路面の状況 4. 路面の状況 5. 路面の状況 6. 路面の状況 7. 路面の状況 8. 路面の状況 9. 路面の状況 10. 路面の状況 11. 路面の状況 12. 路面の状況											
全長 (m)	1. 全長 2. 全長 3. 全長 4. 全長 5. 全長 6. 全長 7. 全長 8. 全長 9. 全長 10. 全長 11. 全長 12. 全長 0 1~1.9 2.0 2.0 3.0 4.0 4.0 5.0 6.0 6.0 10.0 15.0 20.0 30.0 不明											
法面勾配	1. 法面勾配 2. 法面勾配 3. 法面勾配 4. 法面勾配 5. 法面勾配 6. 法面勾配 7. 法面勾配 8. 法面勾配 9. 法面勾配 10. 法面勾配 11. 法面勾配 12. 法面勾配 1:0.0 1:0.3 1:0.7 1:1 1:1.1 1:1.5 1:1.6 1:2 1:2.4 1:3.1 1:4 不明											
車線	1. 車線 2. 車線 3. 車線 4. 車線 5. 車線 6. 車線 7. 車線 8. 車線 9. 車線 10. 車線 11. 車線 12. 車線 (車線) 車線 車線 車線 車線 車線 車線 車線 車線 車線 車線 車線 車線											
車道幅員	1. 車道幅員 2. 車道幅員 3. 車道幅員 4. 車道幅員 5. 車道幅員 6. 車道幅員 7. 車道幅員 8. 車道幅員 9. 車道幅員 10. 車道幅員 11. 車道幅員 12. 車道幅員 甲 甲 甲 甲 甲 甲 甲 甲 甲 甲 甲 甲											
ガードレール	1. ガードレール 2. ガードレール 3. ガードレール 4. ガードレール 5. ガードレール 6. ガードレール 7. ガードレール 8. ガードレール 9. ガードレール 10. ガードレール 11. ガードレール 12. ガードレール あり あり あり あり あり あり あり あり あり あり あり あり											
植樹・植込	1. 植樹・植込 2. 植樹・植込 3. 植樹・植込 4. 植樹・植込 5. 植樹・植込 6. 植樹・植込 7. 植樹・植込 8. 植樹・植込 9. 植樹・植込 10. 植樹・植込 11. 植樹・植込 12. 植樹・植込 あり あり あり あり あり あり あり あり あり あり あり あり											
車道幅員 (車道幅員)	1. 車道幅員 (車道幅員) 2. 車道幅員 (車道幅員) 3. 車道幅員 (車道幅員) 4. 車道幅員 (車道幅員) 5. 車道幅員 (車道幅員) 6. 車道幅員 (車道幅員) 7. 車道幅員 (車道幅員) 8. 車道幅員 (車道幅員) 9. 車道幅員 (車道幅員) 10. 車道幅員 (車道幅員) 11. 車道幅員 (車道幅員) 12. 車道幅員 (車道幅員)											
貨物車に関する状況 (貨物車に関する状況)	1. 貨物車に関する状況 2. 貨物車に関する状況 3. 貨物車に関する状況 4. 貨物車に関する状況 5. 貨物車に関する状況 6. 貨物車に関する状況 7. 貨物車に関する状況 8. 貨物車に関する状況 9. 貨物車に関する状況 10. 貨物車に関する状況 11. 貨物車に関する状況 12. 貨物車に関する状況 あり あり あり あり あり あり あり あり あり あり あり あり											
法面勾配	1. 法面勾配 2. 法面勾配 3. 法面勾配 4. 法面勾配 5. 法面勾配 6. 法面勾配 7. 法面勾配 8. 法面勾配 9. 法面勾配 10. 法面勾配 11. 法面勾配 12. 法面勾配 1:0 1:1 3:1 5:1 7:1 9:1 11:1 不明 1:0.3 1:0.6 1:1 1:1.4 1:1.9 1:3.0 1:3.0 1:4.0											

- 法面の中間にその性質が異なる場合には、最も近いものを法面が代表させる
- 法面の中間に法面勾配のあるものは、その法面勾配のものを法面が代表させる
- 法面と車道の表現が同一または類似であるため、法面と車道の法面と表現する

法面勾配・法面勾配・法面勾配・法面勾配

法面勾配

全長

法面勾配

貨物自動車について計算の結果、第1ケースと第2ケースでは相関係数はほとんど差がなかったが、わずかに第1ケースの方が大きいので、第3、第4ケースにおいては要因Fに関しては、2段こう配の場合には、法面の高さの高い方のこう配をこう配の代表値として採用する表現をとった。使用した資料数、相関係数などを表-2.38に示す。連立一次方程式をたいてえられた要因平均と各カテゴリーごとの要因平均からの偏差を表-2.39~表-2.42に示した。この中、転落高さとの関係を図示したのが図-3.21~図-3.23である。計算結果について推察すると、全般的な傾向としてかならずしも期待したとおりの因子と損害間の関係が明りようでなく、やや常識と一致しない結果となっているところがある。すなわち転落高さとの関係についても、運輸省資料ほどのきれいな関係がえられていない。またとくに期待した、法面こう配の影響に一定の傾向を見出すことができなかつた。転落高さとの関係に関して、合同調査資料とを比較すれば、両資料の車種分類が若干異なるとはいえ、前者がかなり小さく損害を示していることに気付く。これについては、(1)運輸省資料においては、小事故が報告されていない、(2)合同調査資料は、短期の一次的調査であり、調査の企画、徹底、に不完全さがあつたなどの原因が考えられるが、なお検討すべき問題を残している。

表-2.38 建設省、警察庁合同調査資料に関する要因分析の使用資料数等

	使用資料数	相関係数	連立方程式元数
第1ケース	4 2 4	0.565898	7 2
第2ケース	4 2 4	0.562203	7 2
第3ケース	1 1 6	0.606601	6 5
第4ケース	8 5 2	0.520525	8 0

表-2. 3.9 ケース1(要因:A, B, C, D, E, F, I, L, Mをモデル場台
大型貨物と普通貨物の場合の転落事故損害数量化の結果, 単位:万円, 資料数:424.)

要因	(A) 路外転倒して車 輻の付いた地 点の状況	(B) 本 径(m)	(C) 点 径(m)	(D) 路面の状況	(E) 平均速度(m)	(F) 法面こう配	(G) の関係	(H) 中	(I) 中	(M) 中
要因	0.3559	1.5869	12.5033	9.8072	29.2486	-7.5887	-7.3373	0.9676	19.9323	
平均										
	0.3617	12.5595	3.6715	2.2278	0.9	0.3	0.8409	0.8601	1.3580	
	1.7699	64.1706	9.0171	1.5749	1.0~1.9	0.3~0.6	0.9189	人平貨物	<1.0	
	0.2728	43.7512	7.1260	5.0457	2.0~2.9	0.7~1.0	0.3398	普通貨物	1.1~3.0	
	6.8989	16.3618	2.2403	26.3228	3.0~3.9	1.1~1.4	1.3476	その他	3.1~5.0	
	9.3377	1.5889	16.0863	7.9169	4.0~4.9	1.5	3.9320		5.1~7.0	
	0.7024	80.835	12.5033	74.2847	5.0~5.9	1.6~1.9	20.1252		7.1~9.0	
	15.1305		23.162	16.2475	6.0~6.9	2.0~2.3	2.5393		9.1~11.0	
	22.2223		2.37	1.2153	10.0~11.9	2.4~3.0	13.4658		11.1~	
	20.6631			11.8695	15.0~19.9	3.1~1.0	7.5886		1	
	2.5286			9.8072	20.0~29.9	1	18.9796		1	
	13.3168			100.618	30.0	1	7.5886		1	
	3.0473			29.2486	1	1	27.711		1	
	4.9786			36.271	1	1			1	
	15.6711									
	21.5681									
	10.8542									
	15.1906									
	0.3559									
	106.2001									
	10.5478									
	11.6100									
	25.8223									
	9.2593									
	131.082									

資料数: 21,2992

表二 2.40 ケース2 (要因: A, B, C, D, E, M, J, L, M をメスした場合)
 大型貨物、普通貨物自動車中の乗落事故損害総額集計の結果、単位: 万円、資料数: 424

要因	(A) 踏外陥して中 間の歩道に墜 落した状況	(B) 水深 (m)	(C) 路面状況	(D) 歩道の状況	(E) 歩道の長さ(m)	(N) 乗落した乗 客の性別	乗 客 の 閉 鎖	(L) 車 種	(M) 中国自動車()
要因	0, 9910	1, 9022	18, 5221	7, 7171	26, 3189	3, 1193	8, 4995	1, 21615	21, 0929
	0, 4683	13, 7160	1, 6389	1, 3681	0, 3791	12, 7688	0, 9800	1, 0065	0, 0051
	2, 2021	65, 8110	8, 7117	1, 3506	1, 1589	0, 3, 0, 6	8, 1933	1, 2161	3, 6333
	2, 9708	28, 8218	18, 3919	10, 5197	2, 0~2, 3	1, 3189	7, 6, 7	2, 323	12, 5172
	7, 1580	18, 2449	9, 2451	27, 3017	3, 0~3, 9	0, 6801	1, 1, 1, 4	7, 9780	17, 4870
	9, 1116	1, 9022	22, 8718	13, 1454	4, 0~1, 9	11, 9293	1, 5	17, 0682	11, 7802
	0, 0258	84, 086	18, 5221	75, 0374	5, 0~5, 9	31, 5712	1, 6~1, 9	21, 2110	0, 9863
	18, 1917		31, 267	12, 1972	6, 0~9, 9	8, 7998	2, 0, 2, 3	3, 1193	2, 3016
	19, 5190		18, 5221	1, 3194	10, 0~11, 9	19, 1754	2, 1, 3, 0	8, 1193	11, 1~
	18, 5180		11, 267	11, 6108	15, 0~19, 9	75, 1289	3, 1~4, 0	3, 1193	1, 0
	0, 5211			7, 7171	20, 0~29, 9	28, 8022	1, 1~	56, 2044	21, 0929
	15, 3145			38, 913	30, 0~	55, 1136	1, 0	3, 1193	23, 396
	2, 6196				4, 0	26, 3189	1, 0	77, 145	
	4, 3713				4, 0	101, 118	1, 0		
	15, 9066								
	18, 3388								
	3, 5507								
	16, 1605								
	0, 9910								
	108, 7874								
	6, 4463								
	11, 3709								
	21, 3894								
	11, 1863								
	130, 176								

資料数: 24, 2992

注: 1. 乗落した乗客

表-2.4.1 ケース3(要因A, B, C, D, E, F, I, Kを考えた場合)
乗用車の動燃事故損出量数量化結果 単位:万円, 資料数:116.

要因	(A) 意外発火した場所の状況	(B) 水深(m)	(C) 水面形状	(D) 斜面の状況	(E) 全高さ(m)	(F) 法面こう配	ガードノエンスとの関係	(K) 車種
要因	-2,2815	1,7073	0,3821	0,7070	1,1976	-0,9489	1,5353	25,8422
	堤めつ川 -8,4365	<1,0 -0,0361	ノ 2,4213	行田コウリ トよウ摩 作・芝の刈え た斜面 -1,2856	0 ~ 0,9 -14,2642	0 ~ 0,8 3,0791	関係なし -0,4584	普通車 3,8379
	乾いた川 11,0467	1,1~2,0 19,7657	ノ 3,2645	ひくい木 み 2,6593	1,0 ~ 1,9 6,1540	0,8 ~ 0,6 34,3631	乗り込み 4,1735	軽4輪車 25,8422
	草原 -9,5023	2,1< 58,8950	ノ -2,9186	大きい倒木 倒 -18,3178	2,0 ~ 2,9 -4,2009	0,7 ~ 1,0 -5,6442	突っ込み 1,5813	29,680
	畑 2,9190	水深不明 6,0074	ノ -39,8413	倒木 倒 -1,2251	3,0 ~ 3,9 -0,0870	1,1 ~ 1,4 -7,1195	関係なし 6,009	
	林・田 -12,6005	水面以外 -1,7073	その他 -1,3821	谷 谷 -0,7070	4,0 ~ 4,9 0,4559	1,5 -1,1993		
	岩 7,7421	レンジ 60,668	不明 0,3821	きりきり 音 -0,7070	5,0 ~ 5,9 -0,4881	1,6 ~ 1,9 23,6245		
	岩 2,2815	レンジ 43,106	レンジ 43,106	高草・雑草 倒 77,5895	6,0 ~ 9,9 -7,7657	2,0 ~ 2,3 -7,8952		
	岩 2,2815	レンジ 43,106	レンジ 43,106	高草・雑草 倒 77,5895	10,0 ~ 14,9 13,1980	2,4 ~ 3,0 -29,8088		
	岩 -0,1411	レンジ 60,668	レンジ 43,106	高草・雑草 倒 77,5895	15,0 ~ 19,9 -24,6070	3,1 ~ 4,0 37,3911		
	岩 5,3798	レンジ 60,668	レンジ 43,106	高草・雑草 倒 77,5895	20,0 ~ 29,9 52,5130	4,1以上 -17,9088		
	岩 6,2417	レンジ 60,668	レンジ 43,106	高草・雑草 倒 77,5895	30,0以上 80,0以上	不明 0,9483		
	岩 2,0886	レンジ 60,668	レンジ 43,106	高草・雑草 倒 77,5895	不明	レンジ 67,200		
	岩 2,2415	レンジ 60,668	レンジ 43,106	高草・雑草 倒 77,5895	不明	レンジ 67,200		
	岩 7,3338	レンジ 60,668	レンジ 43,106	高草・雑草 倒 77,5895	不明	レンジ 67,200		
	岩 3,9743	レンジ 60,668	レンジ 43,106	高草・雑草 倒 77,5895	不明	レンジ 67,200		
	岩 3,0228	レンジ 60,668	レンジ 43,106	高草・雑草 倒 77,5895	不明	レンジ 67,200		
	岩 7,0621	レンジ 60,668	レンジ 43,106	高草・雑草 倒 77,5895	不明	レンジ 67,200		
	岩 34,9985	レンジ 60,668	レンジ 43,106	高草・雑草 倒 77,5895	不明	レンジ 67,200		
	岩 56,2654	レンジ 60,668	レンジ 43,106	高草・雑草 倒 77,5895	不明	レンジ 67,200		
	岩 42,9881	レンジ 60,668	レンジ 43,106	高草・雑草 倒 77,5895	不明	レンジ 67,200		
	岩 37,9030	レンジ 60,668	レンジ 43,106	高草・雑草 倒 77,5895	不明	レンジ 67,200		
	岩 5,8317	レンジ 60,668	レンジ 43,106	高草・雑草 倒 77,5895	不明	レンジ 67,200		
	岩 26,5778	レンジ 60,668	レンジ 43,106	高草・雑草 倒 77,5895	不明	レンジ 67,200		
	岩 72,993	レンジ 60,668	レンジ 43,106	高草・雑草 倒 77,5895	不明	レンジ 67,200		

全ヤリ: 27,3782

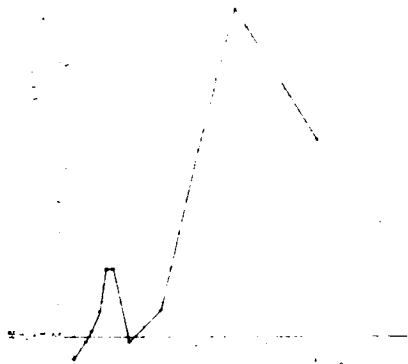
** I : XのYを示す

表2.4.2 ケース4 (要因A, B, C, D, E, F, G, H, I, J)

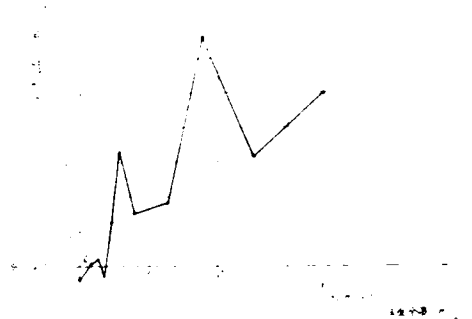
全車種をまとめた場合の交通事故相対数類の数量化。単位：万回、資料数852。

事故原因	(A) 路外脱走 中線の状況	(B) 水深(m)	(C) 正面形状	(D) 分布状況	(E) 全長(m)	(F) 追加こう配	(G) 車種	(H) 自転車事故の 発生の有無	(I) ガードフラスコの 閉鎖	(J) 横断構造物 との関係
歩道	-1.0731	0.4676	1.1413	3.6570	15.3774	-3.5539	18.8253	-19.6373	11.0584	0.9610
歩道	4900 < 1.0	3.0257	1.0574	右側コンクリート の養生	3 ~ 0.9	8.7409	88.3149	自転車事故	閉鎖なし	川・用水路
歩道	-3.8071	1.1 ~ 2.0	6.8186	歩道の まだら面	1.1731	0.3 ~ 0.6	6.9965	自転車事故 の発生なし	閉鎖あり	農道・谷田
歩道	-4.9062	2.1 <	-5.0855	ひくい しげみ	11.8841	0.7 ~ 1.0	38.1371	自転車事故 の発生なし	閉鎖あり	立木・植付
歩道	10.4111	水深不明	3.7146	人さし 植付	3.0 ~ 3.9	6.5375	0.7223	22.950	閉鎖あり	横断構造物 との関係
歩道	0.6316	水面以外	7.0529	あり た	1.0 ~ 4.9	19.5707	0.8285	14.789	閉鎖あり	なし
歩道	-2.4495	レンジ	1.1413	あり た	5.0 ~ 5.9	19.4691	1.4406			
歩道	-21.0454	レンジ	12.089	あり た	6.0 ~ 9.9	1.0392	4.6559			
歩道	20.1827		1.1410	あり た	10.0 ~ 14.9	7.8389	11.0893			
歩道	14.6512		5.0524	あり た	15.0 ~ 19.9	54.9681	23.056			
歩道	0.1813		3.6570	あり た	20.0 ~ 29.9	95.2406	20.1413			
歩道	19.9290		79.040	あり た	30.0 ~	56.9549	26.4561			
歩道	2.8910		不明	あり た	不明	15.3774	18.8253			
歩道	28.9042		不明	あり た	不明	110.618	111.352			
歩道	-4.5598		不明	あり た	不明	不明	不明			
歩道	9.1676		不明	あり た	不明	不明	不明			
歩道	4.3951		不明	あり た	不明	不明	不明			
歩道	-11.8332		不明	あり た	不明	不明	不明			
歩道	-56.5843		不明	あり た	不明	不明	不明			
歩道	89.4768		不明	あり た	不明	不明	不明			
歩道	-14.0122		不明	あり た	不明	不明	不明			
歩道	5.8287		不明	あり た	不明	不明	不明			
歩道	-4.3535		不明	あり た	不明	不明	不明			
歩道	11.5390		不明	あり た	不明	不明	不明			
歩道	146.011		不明	あり た	不明	不明	不明			

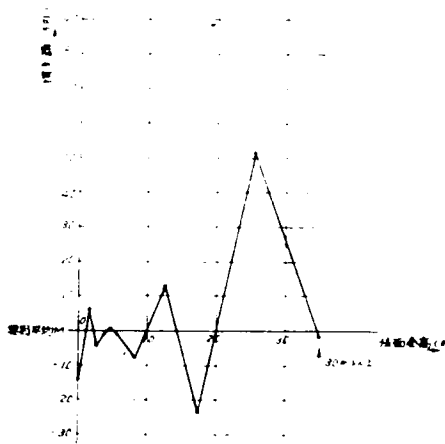
全資料: 25,8738



図一 2.21 建設省、警察庁合同調査資料による全車種についての要因E（法面全高m）と転落事故損害額（万円）との関係



図一 2.22 建設省、警察庁合同調査資料による大形貨物自動車、普通貨物自動車についての要因E（法面全高m）と転落事故損害額（万円）との関係



図一 2.23 建設省、警察庁合同調査資料による乗用車における要因E（法面全高m）と損害額（万円）との関係

転落箇所の性質（合同調査資料では転落し停止した地点の状況）の損害の大きさに関係する順位にならべてみたのが表一 2. 4 3 である。また合同調査では、法面状況に関して別の記載があるので、これについてその順位を示したのが表一 2. 4 4 である。この表は、大体定性的な判断に便利であるが、とくに、法面に樹林がある場合に損害を小さくする傾向があることに気付く。これは、一般にわが国における一般常識に一致しているが、他方、路側にある樹木を除去しようというアメリカの実際⁽³⁾（ストネックスの論文）には一見反しているように見える。しかし一般にわが国の法面は、1：1.5 という、ストネックスの対象とした、1：4～1：6 という緩こう配とは比較にならない急傾斜であって、このような場合には、樹木が緩衝材として役立つことは十分考えられることである。また一般に、川などの水面、とくに海の場合には転落事故損害の大きいことがわかる。これも、一般の常識に一致した傾向であるといえよう。

表-2.48 資料別、転落箇所性質を要因とした場合の損害額の大きさに関する順位

(()内は、資料数4例以下)

(a)

資料 順位	運輸省自動車局資料		
	大形トラック (3 7 2 例)	バス (3 3 7 例)	乗用小形 (2 1 0 例)
1	水面深 2.0 m以上	水面深 1.0 m以上	(小さい木, しげみ)
2	(岩盤)	(庭・空地)	水面 水深不明
3	水面深 1.1~2.0 m	(海・水深不明)	(住宅, 商店)
4	水深不明	海以外の水面・水深不明	水面深 2.1 m以上
5	住宅・商店	(小さい木, しげみ)	田
6	水深 1.0 m以下	砂利河原	畑・芝・草
7	田	住宅・商店	水深 1.0 m以下
8	庭空地	水深 1.0 m以下	水深 1.0 m~2.0 m
9	畑・芝・草	畑・芝・草	砂利河原
10	(砂利河原)	田	樹林
11	樹林	樹林	(岩盤)
12	小さい木, しげみ	(岩盤)	(庭・空地)

注) 運輸省資料と建設省、警察庁合同調査資料では、転落箇所の性質の分類も表に示すように異なるが、その定義も若干異^なっている。運輸省資料では、法面の状況を意味している場合もあるが、合同調査資料では、落着地点と法面とを区別している。

(b)

資料 順位	建設省・警察庁合同調査資料			
	全車種 (852例)	大形貨物普通貨物 (424例)		乗用車 (116例)
		ケース1	ケース2	
1	(海)	(海)	(海)	(海)
2	鉄道敷	川	川	側溝
3	やわらかい地盤	家屋等	家屋等	乾田
4	家屋等	小川	砂利河原	(溝)
5	小さい木・しげみ	砂利河原	小川	用水路
6	川	斜面途中	草原	(その他)
7	側溝	乾田	斜面途中	(樹林)
8	小川	草原	乾田	(小さい木・しげみ)
9	斜面途中	湿田	樹林	畑
10	砂利河原	庭・空地	庭・空地	(斜面途中)
11	樹林	樹林	湿田	家屋等
12	庭・空地	鉄道敷	鉄道敷	(小川)
18	乾田	畑	(他道路)	川
14	溝	(他道路)	畑	(庭・空地)
15	草原	側溝	側溝	湿田
16	湿田	溝	(岩盤)	草原
17	畑	(岩盤)	溝	(砂利河原)
18	用水路	用水路	用水路	(他道路)
19	他道路	小さい木・しげみ	小さい木・しげみ	(沼)
20	その他	(やわらかい地盤)	(やわらかい地盤)	
21	(岩盤)	その他	その他	
22	(沼)			

表-2.44 建設省・警察庁合同調査資料による法面の状況を要因とした場合の損害額の大きさに関する順位

(()内は4例以下)

資料 順位	全車種 (852例)	大型貨物・普通貨物 (424例)		乗用車 (116例)
		ケース1	ケース2	
1	きり立った絶壁*	(きりたった絶壁)*	(きりたった絶壁)*	(高架・陸橋・林道)
2	ひくい木・しげみ	平坦*	平坦*	ひくい木・しげみ
3	高架・立橋	裸土・砂地	裸土・砂地	平坦*
4	平坦	草・芝の生えた	石垣コンクリート	草・芝の生えた
5	裸土・砂地	石垣コンクリート	草・芝の生えた	石垣コンクリート
6	草・芝の生えた	ひくい木・しげみ	不明・その他	裸土・砂地
7	石垣コンクリート	(ごつごつした岩)	ひくい木・しげみ	(大きい樹木・樹林)
8	その他・不明	不明・その他	高架・陸橋・林道	
9	(ごつごつした岩)	高架・陸橋・林道	(ごつごつした岩)	
10	大きい樹木・樹林	大きい樹木・樹林	大きい樹木・樹林	

注) 乗用車で該当項目のないものは除いた。

2.5 転落事故発生率の推定

2.5.1 運輸省自動車資料の分析

この資料は、事業用自動車のみを対象としており、また、實際上、道路関係資料とつき合わせることが可能であって、転落事故発生率を一般的に推定する資料とはしがたい。しかしながら、原票に、道路の直曲別、こう配の上り、下り別などの記入欄および発生状況のスケッチが一般に附されていることから、われわれがガードフェンスの設置について考える場合に有用な情報をひき出すことが可能である。発生状況のスケッチ(多くは発生箇所の平面図の略図)から、転落が、曲線の内側で起こったかあるいは外側で起こったかを読みとった。(図-2.24)またこう配の上り、下りは、原票の記載にそのまましたがった。曲線の内側、外側、また左まわり、右まわり、あるいはこう配の上り、下りはどうぞんそれぞれ同数なければならぬから、発生率の比較検討に十分使用できるはずである。昭和36、37年度の資料をま

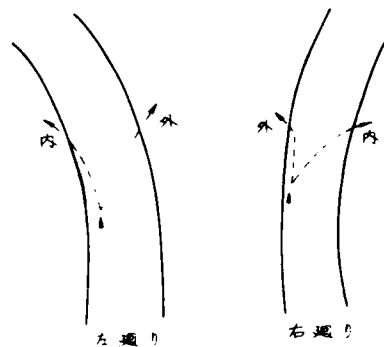


図-2.24 右、左廻りと曲線の内、外

ず車種別に曲線の内側、外側、路面種類、巾員によって件数の分類をしたものを表-2.45 ~表-2.48に示す。これから得られる車種別の曲線の内外転落の係数を表-2.49に示す。バスにおいては、曲線の内外の転落件数が等しいことは興味深い事実である。これはやはり、運転者が比較的慎重であつて、速度の出しすぎなどによる事故が少ないためであろう。また全資料に関する係数を表-2.50に示した。とうぜん予想されるように曲線外側に転落するものの方が内側に転落するものより多く、全資料については、1.186:0.813 となっている。幅員6m以上についてとくに別に検討したのは、それが改良済区間に相当するとみなせること、また一般に、狭い幅員の場合は、離合時に路肩のゆるみによって転落する例がかなりあり、これはガードレールの機能の対象とならないとも考えられるためである。実際、幅員6m以上の場合の方が、全資料に対するものよりも、内外の転落比が大となっているのはこの理由によると考えられる。

表-2.45 運輸省自動車局資料による曲線内外別転落事故発生件数
トラック(1.8ナンバー車)の場合

	路面種類	巾 員 (cm)						計	巾員6m 以上に 関する 合計	巾員6m 以上に 関する 合計
		5.9 以下	6~7.9	8~9.9	10~ 13.9	14以上	不明			
曲 線 内 側	コンクリート	1	4	3	0	0	0	8	} 21	33
	アスファルト	1	6	6	0	2	0	15		
	砂利・不明その他	22	9	2	0	1	0	34	12	
曲 線 外 側	コンクリート	1	7	7	5	1	1	22	} 38	55
	アスファルト	0	5	7	6	0	2	20		
	砂利・不明その他	23	10	6	1	0	0	40	17	
曲 内 側 外 部 不 明	コンクリート	4	1	2	4	4	0	15	} 35	50
	アスファルト	0	6	6	11	1	0	24		
	砂利・不明その他	44	10	3	2	0	1	60	15	
直 線	コンクリート	3	10	26	39	13	4	95	} 166	228
	アスファルト	6	23	29	20	6	3	87		
	砂利・不明その他	57	42	12	5	3	0	119	62	
直曲不明(交差点を含む)		7	0	0	1	1	3	12	2	
計		169	133	109	94	32	14	551	368	268

表-2.46 運輸省自動車局資料による曲線内外別転落事故発生件数 バス(2ナンバー車)の場合

	路面種類	巾 員 (m)						計	巾員6m 以上に関 する合計	巾員6m 以上に関 する合計
		5.9以下	6~7.9	8~9.9	10~13.9	14以上	不明			
曲 線 内 側	コンクリート	1	0	1	0	0	0	2	} 11	23
	アスファルト	0	5	2	3	0	0	10		
	砂利・不明その他	22	10	1	1	0	3	37	12	
曲 線 外 側	コンクリート	2	0	1	1	0	0	4	} 11	20
	アスファルト	0	6	2	1	0	0	9		
	砂利・不明その他	32	9	0	0	0	1	42	9	
曲内 線外 部不 明	コンクリート	0	1	0	1	2	0	4	} 11	18
	アスファルト	1	3	1	2	1	1	9		
	砂利・不明その他	33	6	1	0	0	0	40	7	
直 線	コンクリート	6	16	4	8	9	2	45	} 75	164
	アスファルト	4	14	13	10	1	0	42		
	砂利・不明その他	121	69	12	5	3	0	210	89	
直曲不明(交差点を含む)		3	3	2	2	0	0	10	7	7
計		225	142	40	34	16	7	464	232	232

表-2.47 運輸省自動車局資料による曲線内外別転落事故発生件数 普通乗用および小形車(3,4,5ナンバー車)の場合

	路面種類	巾 員 (m)						計	巾員6m 以上に関 する合計	巾員6m 以上に関 する合計
		5.9以下	6~7.9	8~9.9	10~13.9	14以上	不明			
曲 線 内 側	コンクリート	0	0	1	0	0	0	1	} 10	12
	アスファルト	0	2	3	4	0	1	10		
	砂利・不明その他	10	0	1	1	0	0	12	2	
曲 線 外 側	コンクリート	1	1	3	2	0	0	7	} 19	38
	アスファルト	1	4	5	4	0	2	16		
	砂利・不明その他	16	15	3	1	0	0	35	19	
曲内 線外 部不 明	コンクリート	1	2	4	3	1	2	13	} 21	30
	アスファルト	5	3	3	4	1	0	16		
	砂利・不明その他	19	7	2	0	0	2	30	9	
直 線	コンクリート	2	5	3	8	18	3	39	} 84	119
	アスファルト	3	20	10	10	10	3	56		
	砂利・不明その他	30	56	7	6	6	0	75	45	
直曲不明(交差点を含む)		5	5	3	6	8	3	30	22	
計		93	90	48	49	44	16	339	206	

表-2.48 運輸省自動車局資料による曲線内外別転落事故発生件数全車種(三輪車も含む)

	路面種類	巾 員 (m)						計	巾 員 6m以上 合 計	巾 員 6m以上 合 計
		5.9以下	6~7.9	8~9.9	10~13.9	14以上	不 明			
曲 線 内 側	コンクリート	2	0	9	1	0	0	12	} 44	74
	アスファルト	1	13	12	7	2	1	36		
	砂利・不明その他	58	22	5	2	1	3	91		
曲 線 外 側	コンクリート	4	8	11	9	1	1	34	} 70	116
	アスファルト	1	15	15	11	0	5	47		
	砂利・不明その他	74	34	10	2	0	2	122		
曲 内 線 外 部 不 明	コンクリート	5	4	6	8	7	2	32	} 70	102
	アスファルト	6	13	11	18	3	2	53		
	砂利・不明その他	104	23	6	3	0	3	139		
直 線	コンクリート	11	32	35	58	43	9	188	} 343	551
	アスファルト	13	58	56	42	19	6	194		
	砂利・不明その他	223	141	33	21	13	2	433		
直曲不明(交差点を含む)		15	9	5	9	9	7	54	39	39
計		517	372	214	191	98	43	1435	882	882

表-2.49 運輸省資料による車種別曲線の内外転落事故発生係数

	車 種	係 数			資 料 数	
		曲線内側	曲線外側	平 均	計	平 均
舗装で巾員 6 m 以上	トラック	0.711	1,289	1.00	59	29.5
	バス	1.000	1,000	1.00	22	11
	乗用・小形	0.690	1,310	1.00	29	14.5
巾員 6 m 以上	トラック	0.750	1,250	1.00	88	44
	バス	1.070	0,930	1.00	43	21.5
	乗用・小形	0.480	1,520	1.00	50	25
全 資 料	トラック	0.820(57)	1,180(82)	1.00	139	69.5
	バス	0.943(49)	1,060(55)	1.00	104	52
	乗用・小形	0.568(23)	1,432(58)	1.00	81	40.5

表-2.50 運輸省資料，曲線の内，外転落事故発生係数 ()内は件数全車種

巾員6m以上について

舗装で巾員6m以上について

全資料について

分類	係数
曲線内側	0.778 (74)
曲線外側	1.221 (116)
平均	1.00 (95)
計	(190)

分類	係数
曲線内側	0.773 (44)
曲線外側	1.230 (70)
平均	1.00 (57)
計	(114)

分類	係数
曲線内側	0.813 (139)
曲線外側	1.186 (203)
平均	1.00 (171)
計	(342)

表現をかえれば，外側への転落事故発生率を1とすると内側0.683(全資料の場合)，または0.638(幅員6m以上の場合)，あるいは0.630(舗装，幅員6m以上の場合)となる。

全資料について，曲線の内，外，こう配の上，下，左まわり右まわりの分類によって，2元表，3元表をつくると表-2.5 1のようになる。平地においては，発生率の大きさの順は，右

表-2.51 自動車進行方向の右廻り，左廻りと転落の曲線の内側，外側別の発生係数 ()内は件数

平地区間

	右廻り	左廻り	計
外側	1.25 (48)	1.01 (39)	1.13 (87)
内側	0.62 (24)	1.12 (43)	0.87 (67)
計	0.94 (72)	1.07 (82)	1.00 (154)

平均：77, 38.5

こう配区間(上り，下り別をも示す)

	右廻り		左廻り		計
	上り	下り	上り	下り	
外側	1.26 (29)	1.43 (33)	0.70 (16)	1.52 (35)	1.23 (113)
内側	0.65 (15)	0.83 (19)	0.52 (12)	1.09 (25)	0.78 (71)
計	0.96 (44)	1.18 (52)	0.61 (28)	1.40 (60)	1.00 (184)

平均：46, 23

こう配区間

	右廻り	左廻り	計
外側	1.35 (62)	1.11 (51)	1.23 (113)
内側	0.74 (34)	0.80 (37)	0.77 (71)
計	1.04 (96)	0.97 (89)	1.00 (184)

平均：92, 46

廻り外側>左廻り内側>左廻り外側>右廻り内側の順となっている。またこう配区間においては、右廻り外側>左廻り外側>左廻り内側>右廻り内側の順となっている。ただしこれを図-2.25のようにこう配と組合せてみると、表-2.52のようになり、図中点線で示した場合が発生率1.39で最も起こりやすい場合となっている。

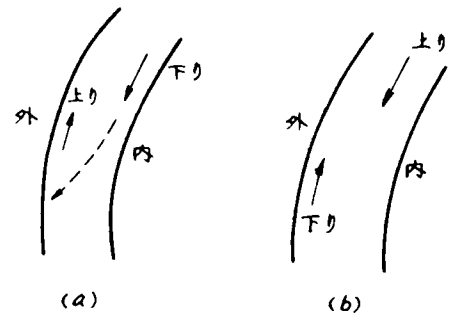


図-2.25 左右廻り。曲線の内外と勾配上下の組合せ

表-2.52 曲線の内外、右廻り左廻り、こう配上下を組合せた場合

こう配区間		()内は件数	
	右廻り上り, 左廻り下り(a)	右廻り下り, 左廻り上り(b)	計
外側	1.39 (64)	1.07 (49)	1.23 (113)
内側	0.87 (40)	0.67 (31)	0.78 (71)
計	1.13 (104)	0.87 (80)	1.00 (184)

平均: 92.46

2.5.2 建設省、警察庁合同調査資料の分析

表-2.3による事故調査のほか、単位延長あたりの事故発生率を知るため、上記事故調査を行なった調査区間中、一級国道既改良区間を対象として道路状況の補充調査を行なった。

該当区間から単位長2.5Kmの区間を $\frac{1}{10}$ の抜きとり率で抜きとり、これをもって、その調査対象区間の、12時間交通量、舗装種別、幅員、縦断線形、平面線形の代表とみなすこととした。抜きとり率 $\frac{1}{10}$ としたのは、調査負担の軽減を考慮したためであるが、これはやはり全延長について行ない、多因子による解析が可能となるようにすべきであったと考えられる。

工事事務所別、国道別道路延長

$$a = \frac{\text{工事事務所別、国道別道路延長}}{\text{同上サンプリング区間延長}}$$

とした a を拡大係数とし、サンプリング区間のそれぞれの特徴値(交通量、舗装……縦断線形延長)これに乗じたものの和をもって、調査区間全体に関するそれぞれの推定延長とすることとした。

いっぽう報告された事故中、一級国道既改区間において発生したもののみを、事故率計算の対象とし、2カ月間完全に調査された場合、これを一箇年にひきのぼすために、事故一件の重

みを6として、重み付けを行なった。

このように、道路状況因子、および発生事故数の重み付けをしたものについて、各道路状況因子のランク(カテゴリ)ごとの単純集計を行なうと表-2.52~表-2.57の通りとなり、これを図にしたのが図-2.26~図-2.30である。

表中の字句の定義は次の通りである。

延長1：調査対象区間で、1級国道既改良区間の延長、

延長2：自動車対自動車事故にともなう発生した路外逸脱転落事故をも含めて調査した工事事務所管内のみの延長、

単独事故：自動車対自動車事故に併発しない、路外逸脱転落事故、

全事故1：延長1の対象となる道路上で生じ、報告された全事故。

表-2.53 曲線半径別区間延長、同ランク別発生事故件数(件/年)

同単位延長当り事故件数(件/km/年) * 直角曲がりの延長を0とした

曲線半径 (cm)	A 延長1	B 延長2	C 単独事故	D 全事故1	E 全事故2	F C/A	G D/A	H E/B	係数 F/meanF
14.9 以下	0*	0*	6	6	0	∞	∞	0	∞
15.0~29.9	4.3	3.6	101	101	25	23.488	23.488	6.944	30.113
30.0~49.9	22.9	13.3	123	136	73	5.371	5.939	5.489	6.886
50.0~99.9	89.3	62.2	156	169	90	1.747	1.892	1.447	2.240
100.0~299.9	439.8	287.8	403	475	369	0.916	1.080	1.282	1.174
300.0~499.9	321.3	207.4	298	370	342	0.927	1.152	1.649	1.188
500 以上	666.1	363.8	399	484	395	0.599	0.727	1.086	0.768
直線	4220.6	2843.2	3008	3593	2766	0.713	0.851	0.973	0.914
計, 平均	5764.0	3781.3	4494	5334	4060	0.780	0.925	1.074	1.000

表-2.54 縦断こう配別延長、同ランク別発生事故件数(件/年)

同単位延長当り事故件数(件/km/年)

縦断こう配 (%)	A 延長1	B 延長2	C 単独事故	D 全事故1	E 全事故2	F C/A	G D/A	H E/B	件数 F/meanF
1.0 以下	3765.6	2420.2	2462	3039	2537	0.656	0.809	1.048	0.841
1.1 ~ 3.0	1441.4	1023.3	1315	1489	1114	0.912	1.033	1.083	1.169
3.1 ~ 5.0	446.0	254.5	568	649	356	1.274	1.455	1.399	1.633
5.1 ~ 7.0	103.3	60.6	141	150	45	1.365	1.452	0.743	1.738
7.1 ~ 9.0	13.3	13.3	8	7	8	0.602	0.526	0.602	0.772
9.0 以上	4.3	4.3	0	0	0	0	0	0	0
計, 平均	5764.0	3781.3	4494	5334	4060	0.780	0.925	1.074	1.000

表-2.55 幅員別区間延長、同ランク別発生事故件数(件/年)
同単位延長当り事故件数(件/km/年)

幅員	A (km) 延長1	B (km) 延長2	C 単独事故	D 全事故1	E 全事故2	F C/A	G D/A	H E/B	係数 F/meanF
6.9 m以下	1181.3	794.1	1070	1172	646	0.906	0.992	0.813	1.162
7.0 ~ 9.9	3516.5	2369.5	2816	3464	2942	0.801	0.985	1.242	1.027
10.0 ~ 13.9	551.1	246.2	256	298	224	0.465	0.541	0.910	0.596
14.0 ~ 18.9	264.4	172.2	32	50	38	0.121	0.189	0.221	0.155
19.0 ~ 22.9	232.5	199.3	42	54	54	0.181	0.232	0.271	0.232
23.0 以上	18.2	0	278	296	156	15.275	16.264	(∞)	19.583
計, 平均	5764.0	3781.3	4494	5334	4060	0.780	0.925	1.074	1.000

表-2.56 交通量ランク別発生事故件数(件/年)
同単位延長当り事故件数(件/km/年)

交通量 台/日	A 延長1	B 延長2	C 単独事故	D 全事故1	E 全事故2	F C/A	G D/A	H E/B	係数 F/meanF
1000 以下	1006.9	297.1	584	590	184	0.580	0.586	0.619	0.744
1001 ~ 3000	1901.4	1455.7	1466	1702	1240	0.711	0.895	0.652	0.916
3001 ~ 5000	738.1	473.0	680	906	778	0.921	1.227	1.645	1.181
5001 ~ 8000	608.7	413.4	850	978	840	1.396	1.607	2.032	1.790
8001 ~ 11000	462.8	463.2	724	900	842	1.564	.945	1.818	2.005
11001 ~ 14000	157.2	124.0	238	292	272	1.514	1.858	2.194	1.941
14001 ~ 17000	165.3	67.3	68	86	80	0.411	0.520	1.189	0.527
17001 ~ 19000	104.6	78.4	60	80	80	0.574	0.765	1.020	0.736
19001 ~ 20000	0	0	6	18	12	(∞)	(∞)	(∞)	-
20000 以上	668.5	558.1	182	200	132	0.272	0.299	0.237	0.349
計, 平均	5764.0	3781.3	4494	5334	4060	0.780	0.925	1.074	1.000

表-2.57 舗装種別区間延長、舗装種別発生事故件数(件/年)
同単位延長当り事故件数(件/km/年)

舗装種別	A 延長1	B 延長2	C 単独事故	D 全事故1	E 全事故2	F C/A	G D/A	H E/B	係数 F/meanF
セメント	1983.4	1372.2	1688	2136	1874	0.851	1.077	1.366	1.091
アスファルト	3518.1	2358.6	2380	2773	2038	0.677	0.788	0.864	0.868
砂利	262.5	50.5	426	433	148	1.623	1.650	2.931	2.081
計, 平均	5764.0	3781.3	4494	5334	4060	0.780	0.925	1.074	1.000

表-2.53～表-2.57 中右欄に単独事故発生率の平均値に対する係数を示した。

転落、路外逸脱事故と最も関係の深いと考えられる道路状況因子は、曲線半径であるが、表-2.53および図-2.26の結果はこの予想をうらぎらない。曲線半径100～200m以下において、路外逸脱、転落事故は急激に増加していることがわかる。縦断こう配、幅員についても、縦断こう配の大きいとき事故率は高く、また巾員の大きいとき事故率は低くなり、それぞれ予想にはほぼ一致した傾向がえられている。しかし交通量に関しては、少なくとも今回の調査結果によれば、一般の予想とはやや異なった結果となっている。すなわち、今回の調査対象1級国道区間における転落、路外逸脱発生率と交通量とは、単純な比例関係にはない。しかし路外逸脱、転落事故（特に単独事故）は、高速の出しやすい地方部でかつ交通量の少ない場合にむしろ起こりやすいとも考えられるので、これは決して説明のつかない現象ではない。またこの結果からしても、一般に道路技術の立場からする交通事故の統計的分析においては、台キロあたりでなく、単位延長キロあたり

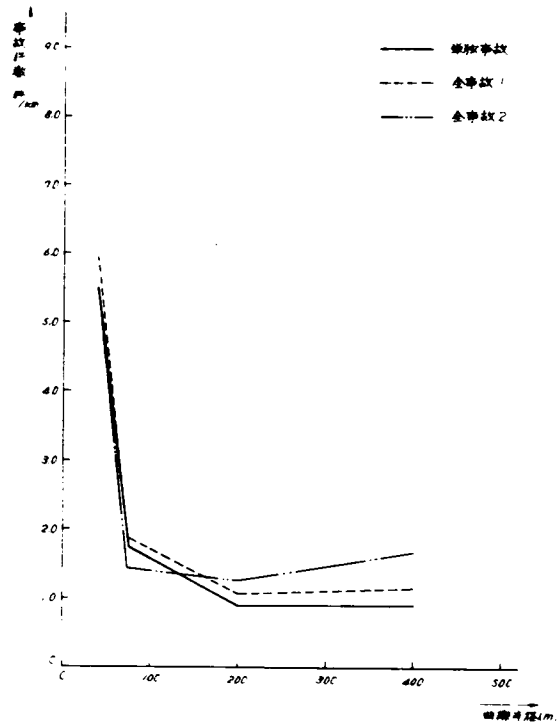


図-2.26 曲線半径別単位延長当りの事故件数

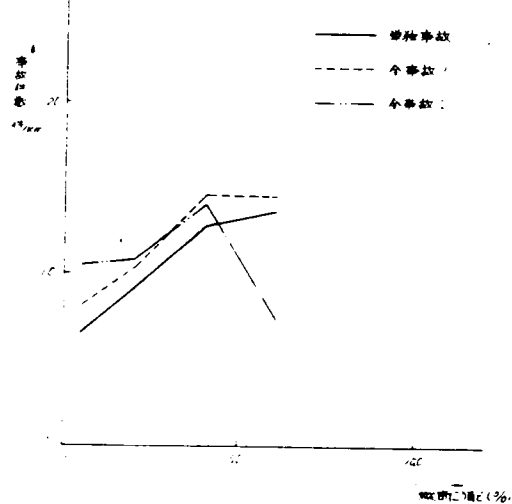


図-2.27 縦断勾配別単位延長当り事故件数

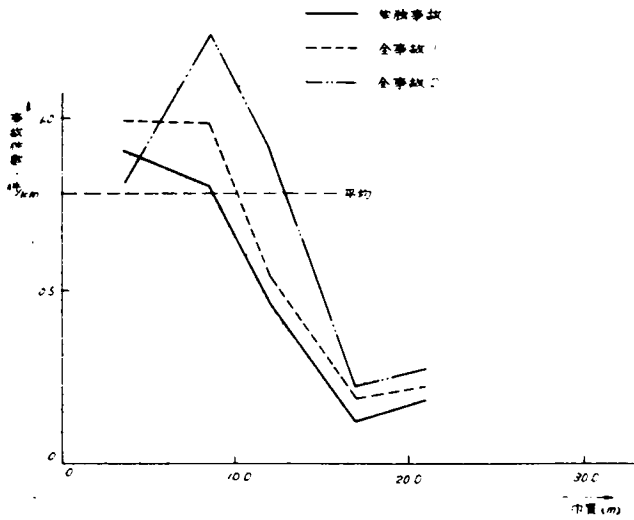


図-2.28 幅員別単位延長当り事故件数

を基準として検討する方が便利であるといえよう。

表-2.53~表-2.57において、延長が1000m以下のものについては、曲線半径以外のものに関する係数を計算しなかった。延長1000m以外ということは、サンプル区間4区間以下に相当し、結果に信頼性がないと考えたためである。平面線形(曲線半径)に関しては、1サンプル区間中に、多数の線形要素がふくまれているので、比較的信頼度が高いと考えられた。

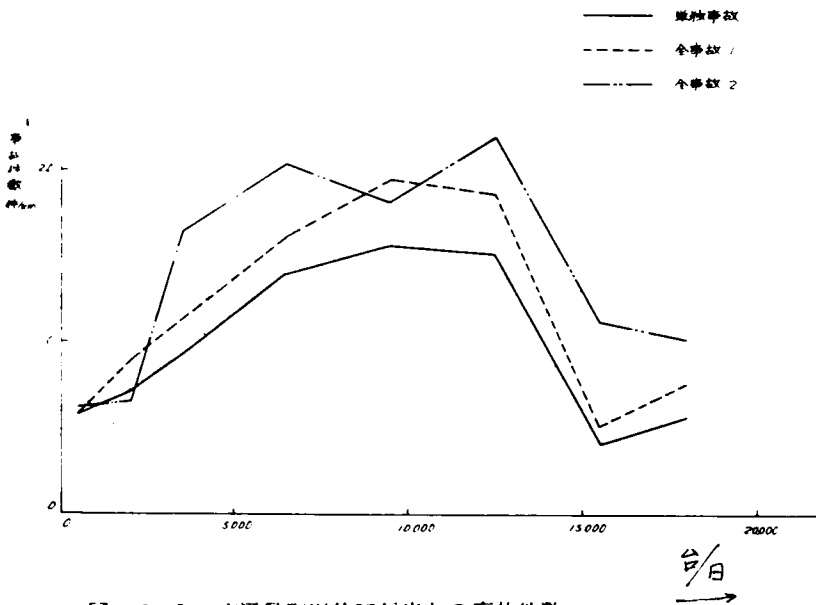


図-2.29 交通量別単位延長当りの事故件数

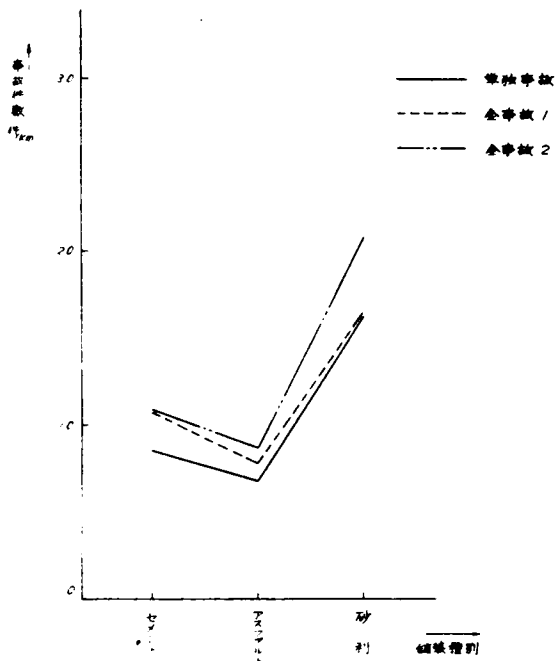


図-2.30 舗装別単位延長当り事故件数

表-2.58に、合同調査資料による曲線の内、外側別、転落事故発生係数および平均値に対する係数を示す。この値は表-2.50運輸省自動車局資料における舗装かつ幅員6m以上の場合の値とかなりよい一致を示している。

表-2.52～表-2.57を利用して転落事故の発生率を予測しようとするときは、最右欄の係数を利用したmultiple model を考えればよい、しかしながら、一般に、たとえば広幅員道路においては、比較的曲線半径は大きく、縦断こう配が小であるなどのことが予想されるように、これらの因子内に相関のあることは当然予想されることである。

因子間の独立を仮定したmultiple

model は、この点に弱点があることは、やむをえない。与えられた資料についてこれに対するいちおうの解決法を考え、多変量解析を行なってみたが、その結果は、思わしくなく、ここでは省略する。将来各路線全線にわたる道路状況の記述が行なわれ完全な統計的分析の行なわれることが期待される。

表-2.58 合同調査資料による曲線の内外における転落事故発生率係数

()内は件数

	曲 線 内	曲 線 外	平均あるいは計
未 改 良 区 間	0.64 (19)	1.36 (40)	1.00 (59) (29.5)
改 良 済 区 間	0.72 (104)	1.28 (185)	1.00 (289) (144.5)
合 計	0.71 (123)	1.29 (225)	1.00 (348) (174)
改 良 済 舗 装 区 間	0.72 (99)	1.28 (175)	1.00 (274) (137.5)

なお、 N_a 、すなわち、防護柵の設置後、事故発生率がどれほどとなるかは、さらにいっそう詳細な統計的調査が必要である。 N_a については、 N_b の推定と同数の手続きで、道路状況調査の中に防護柵の設置状況を同時に記載することによってできるはずである。われわれの資料では、直接 N_a を推定するわけにはいかない。ただ関連資料として、報告された転落事故中の“居眠り”と居眠り以外の“相手を見なかった”が事故原因中一つでもふくまれる事故の時間別件数分布を図-2.1中に同時に示したのが図-2.31である。両者に分類される事故報告件数は、それぞれ139件および200件であつて、警察側資料をともなった報告全件数839件中16.6%、23.8%で、両者合わせれば40.5%を占めている。また別に“危険がないと思つた”、“速度超過”が事故原因とされている事故の時間別分布を図-2.32に示す。速度超過を原因とするもの140件、危険がないと思つたを認識状況とするもの137件であり、それぞれ16.7%、16.3%を占めている。これらのもののどれほどがガードフェンスの視線誘導効果によって減少させられるかは不明であるが、これら

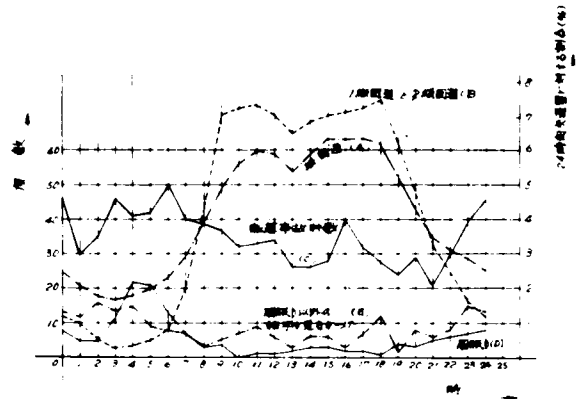


図-2.31 路外逸脱、転落事故の発生時刻別度数分布と交通量の24時間分布(居眠りなどによる事故数の対比)

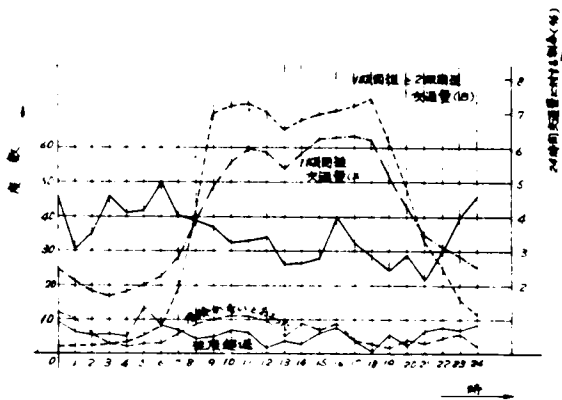


図-2.32 路外逸脱、転落事故の発生時刻別度数分布と交通量の24時間分布(危険がないと思つた等による事故数との対比)

の値はある程度の参考資料として N_a の予測に利用できるであろう。

附随的な発見として興味深いのは図-2.33である。図-2.1の交通量の変動パターンで時間別転落事故件数で割ってみたものが、図-2.33のC/A、C/Bの示す折れ線である。これらの描くパターンは、名神高速道路、カリフォルニア州フリーウェイの単位交通量、単位延長あたり事故率の時刻別分布⁽⁴⁾ときわめてよく似ている。このことは、高速道路における事故において、単独自動車事故が、自動車対

人あるいは自動車対自動車事故に対し、一般道路よりもずっと高い重みを持つためであろうと考えられる。

2.6 結 語

ガードフェンスの一般道路における設置便益を表現する

$$B = N_b \cdot D_b - N_a \cdot D_a - M - I$$

なる式を提案した。これは要するに、設置前後の事故損害減少量と維持費、初期投資を考慮して設置便益を予測し、これによってガードレールの設置優先順位、ひいては設計、計画の基本としようとするものである。次に上式中 D_b 、すなわち設置前の転落事故損害を、2種の統計資料を数値化の方法により分析、推定した。このうちとくに運輸省自動車局事故資料の分析結果では、路側高さ、転落箇所

の状況、乗車人員などを与えれば、きわめてよい的中率で事故損害を予測できることがわかった。中でもバスの場合は相関係数 0.72 程度の確かさで、おこるべき損害を予測できる。また転落高さ

と損害は予想通りのきれいな関係にある。あるいは路側状況においてとくに危険な事故となりやすいのは、海あるいは水深 2m 以上の水面であり、他方損害の比較的小となりやすいのは法面が樹林の場合であった。この傾向は、2つの異なる統計において一致したものであった。興味深いのは、後者の樹林の効果であって、アメリカにおける実際と異なり、わが国における路側こう配の急な実情を物語るものである。

N_b 、すなわち設置前の転落事故発生率は、単位延長あたりにつき、線形要因ごとに単相関関係によって求めた。とくに曲線の内、外における転落事故発生率は内側に転落するもの 1.6 対し、外側に転落するもの 1.6 程度であり、これにおいても 2つの異なる統計資料においてはほぼ一致した値が得られた。

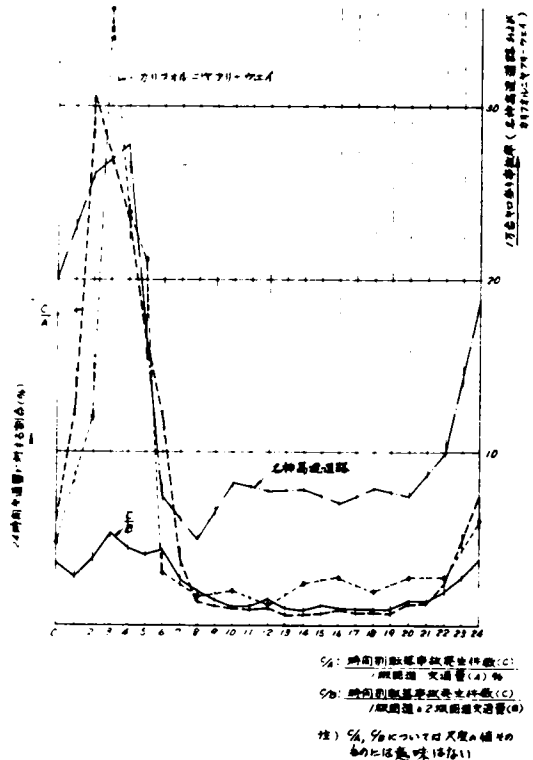


図-2.33 時刻別にみた、単位交通量当りの転落事故発生率と名神高速道路1万台当り事故率、カリフォルニアフリーウェイ100万台/マイル当り事故数

参 考 文 献

- (1) “防護柵の設置基準と設計荷重合理化のための統計的調査報告”，建設省土木研究所，
昭40.3.10
- (2) Bross, Irwin D. J. : “How to Use Ridit Analysis”, Biometrics,
March, 1958, pp18~38
- (3) Stonex, K. A. : “Relation of Cross-Section Design and Highway
Safety”, Traffic Safety, Dec., 1963, pp3~14
- (4) “Median Study”, State of California Department of Public
Works, Division of Highways, 1958

第3章 高速道路における事故分析⁽¹⁾

3.1 概 説

高速道路においては、ガードフェンスはたんに路側逸脱、転落防止に対してのみでなく、対向車線への逸脱防止のための中央分離帯構造の一部として用いられる。高速道路における対向車線への逸脱事故は、ほんらいなんらの責任を有しない対向交通を危険におとし、しばしば重大な結果となる正面衝突事故をひき起こす可能性をもつから、その抑制はとくに強く要請されるのである。実際、現在の欧米諸国におけるガードフェンス研究の中心は、高速道路の発達とともに、中央分離帯用ガードレールにおかれているといってもさしつかえないであろう。

本章では、まず主としてアメリカにおける関連事故調査の概略をふりかえり、次に便益の表現について述べ、つづいてシミュレーションの手法によって、事故車両が反対方向車線へ横断した場合に、正面衝突事故を発生する確率を求める。対向車線交通、逸脱角度、速度、逸脱横距の分布を過去の研究、実測資料によって仮定し、これらを計算機内でランダムに発生させて、逸脱車が対向交通と衝突するか、否かを調べた。中央分離帯幅員、走行速度、交通量等を変化させた場合、衝突事故率がどのように変化するかを実験的に検討した。

また名神高速道路における線形要因と中央分離帯関連事故率の関係を、単位延長区間における事故件数を指標として数量化の方法によって求めた。名神高速道路については、すでに高速道路調査会、⁽²⁾ 交通工学研究部会、交通事故対策委員会によって分析作業が行なわれている。これは、主としていわゆる事故多発地点をある基準によって選び、ケーススタディ的な手法によって事故多発原因を究明したものであった。ここでは、高速道路本線全体について、上述の方法によって統計的にながめた場合の事故発生の様子を調べ、高速道路の線形要因を与えたときの関連事故の発生の予測の可能性を考察したわけである。

3.2 高速道路の横断構造と事故の関係

往復分離、完全出入制限の高速道路においては、いわゆる車対人の事故はほとんどなく、一車両単独ないしは、車両対車両事故がそのほとんどである。なかでも過去の事故統計によれば中央分離帯関連事故は高速道路上における事故のなかで相当の比重を占めていることがわかる。F. W. Hurdの調査によれば中央分離帯に関連した死傷事故は、高速道路上の全死傷事故のほぼ $\frac{3}{5}$ を占めていた。ニューヨークステートスルーウェイの事故類型別統計を表-3.1に示す。これによれば中央分離帯乗り入れは全事故の $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{1}{2}$ であり、原因は不明であるが、ニューヨークステートスルーウェイのようなきわめて広幅員の中央分離帯をもってしても、なお20件弱の正面衝突事故を発生していることがわかる。またニューヨーク州の1961年度における往復分離州道上の事故による死亡者の $\frac{62}{100}$ が中央分離帯横断事故によるものであった。⁽⁵⁾

わが国の名神高速道路における昭和38年開通らい41年末に至る間の事故2,373件をみても、中央分離帯接触、衝突、乗上げないし横断事故はそのうちの790件、すなわち約 $\frac{1}{3}$ を占めている。

表-3.1 ニューヨークスルーウェイの事故類型別統計

	1962	1961			
			ガブリンスタンドのアイランドへ突入	4	2
正面衝突	19	18	サービスエリア建物へ突入	2	1
追突	959	821	バリケードへ突入	7	11
側部衝突	354	285	頭上物へ突入	6	7
後退衝突	27	36	舗装欠陥による動揺	12	7
接触	33	20	不安定路面の走行	1	0
飛来物へ衝突	47	31	走行中の火災	132	138
固定物へ衝突	11	5	転覆	42	51
舗装面上の交通管理施設突入	9	12	中央分離帯乗入れ	511	377
小動物へ突入	15	1	車輛より落下した人	3	3
鹿へ突入	301	307	路肩へ乗入れ	957	748
大動物へ突入	4	19	火災により停止した車	0	1
歩行者へ突入	14	16	転覆を起さず舗装路面から逸脱	11	10
鳥類へ突入	6	14	トレーラーの牽引装置不良	43	48
外部の物件へ突入	63	70	車輛より落下した物件	26	28
料金所アイランドへ突入	36	34	その他衝突を伴わぬもの	10	10
閉塞中の料金所へ突入	17	24			
縁石へ突入	56	95	合計	3,738	3,250

また790件中の234件は中央分離帯乗り越し事故であった。

中央分離帯構造としては、これまで各種のものが用いられてきた。しかし結局、最も好ましい構造とされるのは、たとえ逸脱事故が発生しても対向交通との衝突に至らしめず、また中央分離帯上になんらの障害物を設置しないで、逸脱車を自然に停止させるほどの、ごくゆるい芝生斜面をもった広巾目のものである(図-3.1)。

ただこのような形式は、用地価格の高い地域、すなわち都市内や都市周辺の高速道路、とくにわが国のような国情下においては、とうてい採用は困難である。このため、比較的狭



図-3.1 広幅員の中央分離帯

い中央分離帯を設け、ガードレールそのほかのなんらかの障害物を設置し、対向車線への事故車両の突入事故を防ぐ設計がしばしば用いられてきた。そのような構造のいくつかの例を図-3.2に示す。

中央分離帯の主要な目的である横断事故防止の効果に関しては、すでにアメリカにおいて2、3⁽³⁾の研究発表をみている。F. W. Hurd は traversable (横断可能な) 型式の中央分離帯の巾目と死傷事故率の関係を求めた。Hurd によれば、中央分離帯横断後の死傷事故率は、その巾目の増大するとき、減少する傾向を持つ(図-3.3)。また全事故中に占める正面衝突事故数の割合も巾目が増大すると減少する(図-3.4)。J. W. Hutchinson は F A I Route

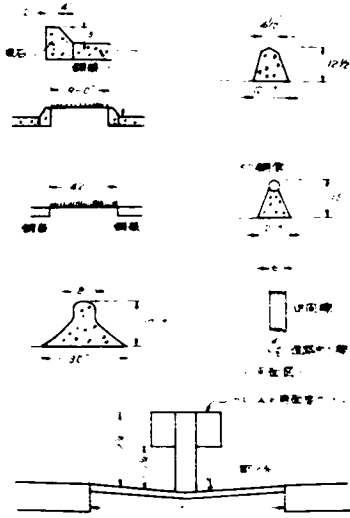


図-3.2 幅の狭い中央分離帯の諸形式

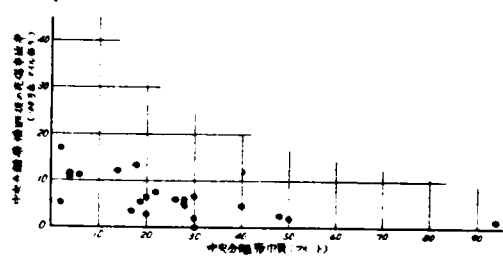


図-3.3 横断可能な形式の中央分離帯の巾員と中央分離帯横断後死傷事故となった事故率との関係

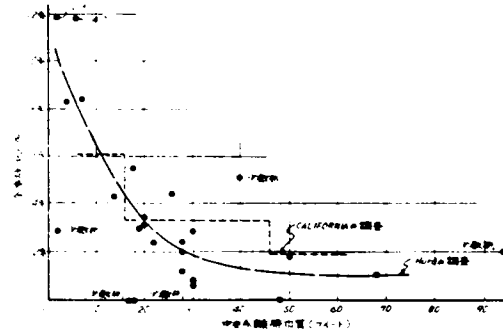


図-3.4 中央分離帯巾員と全事故中の正面衝突事故との比率(%)との関係 (Hurd)

74 および Kingery Expressway の横断可能な中央分離帯について、中央分離帯侵入事故発生率と日交通量の関係、侵入角度、侵入横距の分布などを求め(6)ている(図-3.5, 3.6, 3.7)。さらに注目すべき調査結果として、1958年のカリフォルニア州の研究をあげねばならない。同州では、いわゆる deterring (事故とみなされる障害なしに横断可能な) non traversable (事故を起さずには横断不可能な) 両中央分離帯形式に関して同州内の高速道路の事故統計を比較した。これによれば、その中に、障害物を設け、横断不可能、すなわち non trav

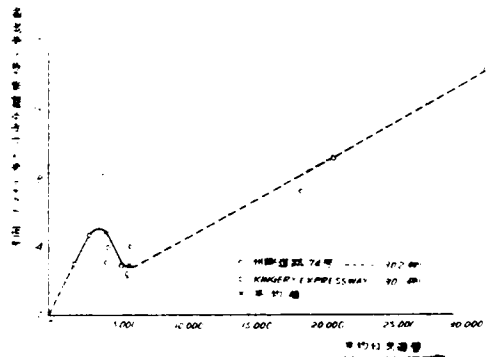


図-3.5 州際道路74号およびKINGERY EXPRESSWAY における中央分離帯侵入事故数と交通量の関係 (Hutchinson 他)

ersable とした中央分離帯形式は、平均13万台/日を越すような大交通量においてはじめて有利となるという(図-3.8, 3.9)。

これらの分析結果は、中央分離帯の形式選択には、なお相当の考慮検討の余地のあることを示している。

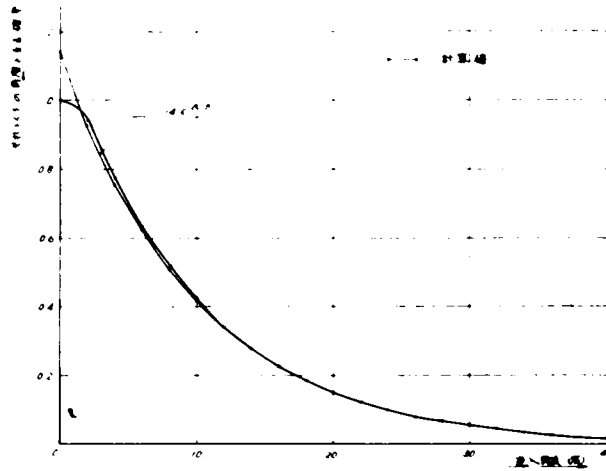


図-3.6 Hutchinson の調査による逸脱車の中央分離帯侵入角度分布とあてはめ曲線

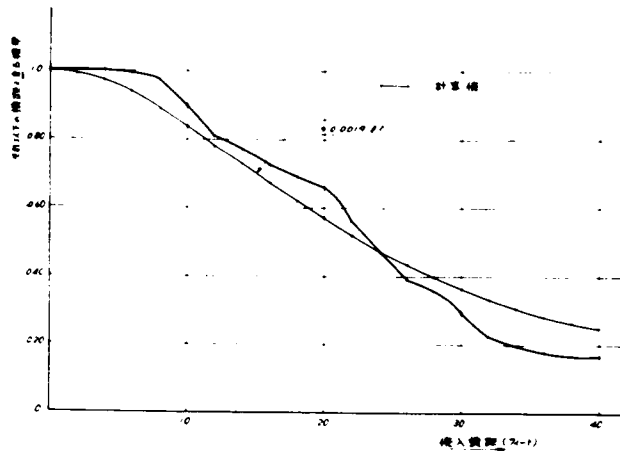


図-3.7 Hutchinson の調査による逸脱車の中央分離帯侵入最大横路に対する曲線のあてはめ

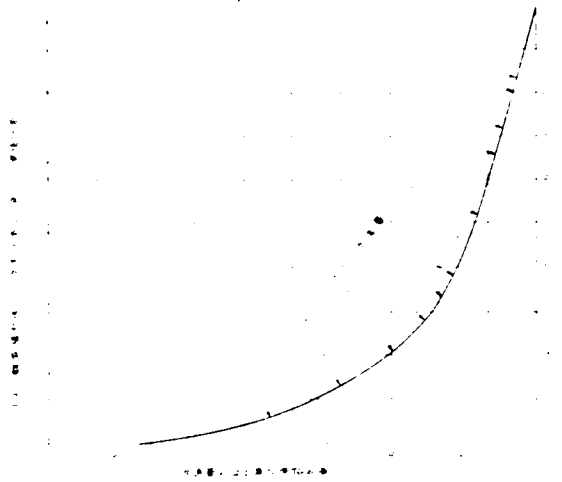


図-3.8 高速道路の累加延長と中央分離帯横断致死
事故件数の関係(カリフォルニア州)

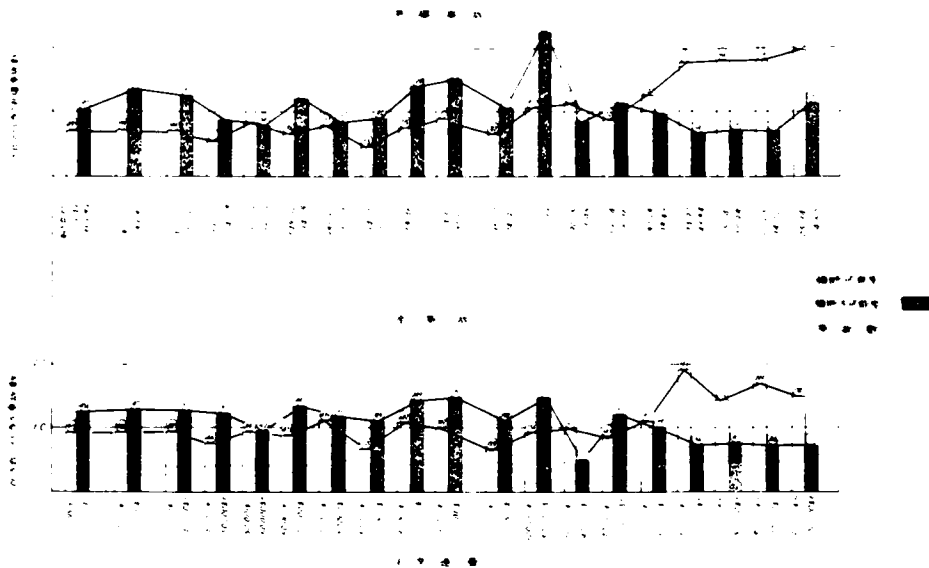


図-3.9 2種の中央分離帯形式と事故率, 交通量の関係
(カリフォルニア州)

3.3 中央分離帯用ガードフェンスの設置便益の表現

中央分離帯にガードフェンスを設置した場合の便益 B は、路側ガードレールの場合にならって、

$$B = N_b \cdot D_b - N_a \cdot D_a - M - I \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

ここに、

N_b, N_a : ガードフェンスの設置前、後の中央分離帯侵入事故発生率

D_b, D_a : ガードフェンスの設置前、後の中央分離帯侵入事故一件当り損害額

M : 維持費

I : 初期費用

と表わせよう。

ただ中央分離帯にガードフェンス等の障害物がなんら存在しない場合でも、中央分離帯侵入車がつねに正面衝突事故を発生するとはかぎらない。中央分離帯侵入車中、正面衝突事故を発生する確率を P_1 、正面衝突事故1件当り損害額を D_c とすると、

$$N_b \cdot D_b = N_b \cdot P_1 \cdot D_c \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

第2項は、

$$N_a \cdot D_a = N_{a_1} \cdot D_{a_1} + N_{a_2} \cdot D_{a_2} + N_{a_3} \cdot D_{a_3} \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

ここに、

N_{a_1} : 中央分離帯に侵入したがガードフェンスに接触前停止ないしは原車線に復帰した車両の事故件数、

$D_{a_1} \cong 0$: 中央分離帯に侵入したがガードフェンスに接触前に停止ないしは原車線に復帰した車両の損害、

N_{a_2} : 中央分離帯侵入後ガードフェンスによって阻止され、原進行方向車線に止まった車両の事故件数、

D_{a_2} : 中央分離帯侵入後ガードフェンスによって阻止され、原進行方向車線にとどまった車両の損害、

N_{a_3} : ガードフェンスを突破して反対方向車線に侵入した車両の事故件数、

D_{a_3} : ガードフェンスを突破して反対方向車線に侵入した車両による損害、

いずれも N_a は件数、 D_a は1件当り損害額を示す。

また、

$$N_{a_1} = N_a \cdot Q$$

$$N_{a_2} = N_a (1-Q)$$

$$N_{a_3} \cdot D_{a_3} \cong N_{a_3} \cdot P_2 \cdot D_c = N_a (1-Q) \cdot R \cdot P_2 \cdot D_c \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

ここに、

Q : 中央分離帯侵入後ガードフェンス接触前に止まる確率、

R : ガードフェンスを突破後の正面衝突事故の発生確率、

中央分離帯の最適設計のためには、これらのパラメーターの値についての知識を得ねばならない。
関係する諸要因と概略の考え方を列挙すると次のようになる。

N_b : ガードフェンス設置前の中央分離帯侵入事故発生率、

要因：線形、交通量、交通速度、気象など、

N_a : ガードフェンス設置後の中央分離帯侵入事故発生率、

要因： $N_a \cong N_b$ と考えても大きい誤差は生じないと考えられるが、ガードフェンスによる視線誘導の結果、 $N_a < N_b$ となることが期待されよう。

P_1 : 中央分離帯侵入車が正面衝突事故を発生する確率、

要因：走行方向車線の走行速度、逸脱角度、侵入横距の分布、反対方向車線の交通量、交通速度、分離帯巾員、気象、運転者の反応時間など、

D_c : 正面衝突事故損害、

要因：衝突角度、交通速度、車種構成、乗員数など、

P_2 : ガードフェンスを突破後事故車両が正面衝突事故を発生する確率、

要因： P_1 と同じ要因の他、ガードフェンスの剛さ、原走行車線の交通の速度、侵入角度、侵入横距の分布、

維持費 M : ガードフェンスの形式、気象、材料など、

初期費用 I : 用地価格、フェンスの形式、剛度（あるいはそれによって決まる価格）など、

本章では、シミュレーションによって P_2 を調べ、また、 N_a と線形要因との関係を名神高速道路について調べてみることにする。

その他の要因については、それぞれ次のようにして推定が可能であろう。

Q : 中央分離帯巾員とガードフェンス位置が与えられたときは、たとえば本章におけるシミュレーションの基礎データとして用いた侵入横距の分布から、中央分離帯侵入後もガードフェンスに接触しない事故車両の比率を求めることができる。

R : 事故車両の重量、速度、逸脱角度分布、ガードフェンスの形式、剛度、崩壊条件を与えたとき、第2編第3章の最適設計概念におけるガードフェンス突破車両の部分の全体に対する比として求まる。

D_c : 車両間の衝突速度を与え^てときの発生減速度に関する実験結果、われわれの減速度と事故損害の推定結果（第2編第3章参照）からその値を推定することができる。

P_2 : ガードフェンスの突破後の車両の状態について本章における P_1 と同様の手法によって、正面衝突事故発生率を求める。

3.4 中央分離帯横断事故のシミュレーション

3.4.1 概念とシミュレーションの方法

中央分離帯の幅員の効果。あるいはその中にガードフェンス等を設置した場合の効果について知るためには、まずなんらの構造物が存在しないとき、中央分離帯侵入車がどのような状態

を発生するかについて知らねばならない。ここでは次のような仮定のもとにシミュレーションモデルを組立て、中央分離帯侵入車が対向車線走行車との間に正面衝突事故を起こす確率を求めることにする。以下中央分離帯侵入車を逸脱車という。

仮定1) 道路は片側2車線、往復4車線で、車道部と同一水平面にあるなんらの障害物を持たない中央分離帯を有し、路面には片こう配はない。

仮定2) 逸脱車の侵入角、侵入横距の分布はわが国においては、資料がまったく得られないので、⁽⁶⁾Hutchinsonの実測調査結果をそのまま用いることにする(図-3.6, 3.7)。

これらの曲線のあてはめ式は、

$$F_1(\theta) = 1.14 e^{-0.1\theta} \dots\dots\dots (3.5)$$

$$F_2(l) = \frac{1}{1 + 0.0019 l^2} \dots\dots\dots (3.6)$$

ここに、

$F_1(\theta)$: 侵入角(θ)の確率分布関数で $\theta > \theta$ となる確率、

$F_2(l)$: 最大侵入横距(l)の確率分布関数で $l > l$ となる確率。

なお、中央分離帯は車道端から直接接して、存在するものとする(図-3.10)。

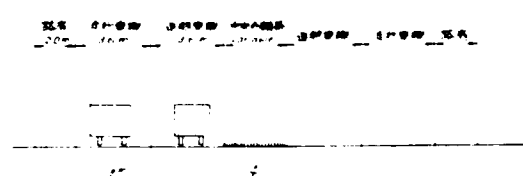


図-3.10 仮定した高速道路の断面構成

仮定3) 逸脱車は最大侵入横距にいたるまで等減速運動をする。

仮定4) 対向車線走行車の運転者は逸脱車が中央分離帯に進入を開始した瞬間にこれを認知するものとする。

仮定5) 対向車線走行車両はそれぞれ車線中心線上を走行しているものとする。

仮定6) 逸脱車を認知した対向車線上の車両は、若干の空走時間後、制動ないしは避走運動にはいる。

仮定7) 制動運動は次式にしたがうものとする。

$$S = v t - \frac{1}{2 g f} t^2 \dots\dots\dots (3.7)$$

ここに、

- S : 制動開始後t時間内の走行距離
- v : 自動車の初速
- f : 自動車の縦すべり摩擦係数(常数)
- g : 重力の加速度

仮定8) 避走運動は横すべり摩擦力と遠心力とが釣り合う最小の曲線半径をえがいて行なわれるも

のとする。すなわち、

$$R = \frac{v^2}{g \cdot f_1} \quad \dots\dots\dots (3.8)$$

ここに、

R : 曲線半径

f_1 : 横すべり摩擦係数

仮定9) 対向車線の車頭間隔は指数分布にしたがうものとする。

すなわち、

$$f_{pd}(t) = me^{-mt} \quad \dots\dots\dots (3.9)$$

ここに、

$f_{pd}(t)$: 対向車線車頭間隔 (t) の確率密度関数

$1/m$: 平均車頭間隔 (sec)

仮定10) 対向車の速度分布、逸脱車の初速分布は昭和41年11月23日名神高速道路関西大学
附近で行なったわれわれの実測値を用いるものとする (表-3.2)。

表-3.2 名神高速道路における実測速度分布

走行車線速度分布

	速度 (km / hr)	観測台数	累積度数	累積比率
V ₃	52以下	35	35	0.03391472
	53~57	87	122	0.11821705
	58~62	167	289	0.28003875
	63~67	218	407	0.39437984
	68~72	187	694	0.67248062
	73~77	153	847	0.82073643
	78~82	112	959	0.92926356
	83~87	53	1,012	0.98062015
	88~92	19	1,031	0.99903100
	93~97	1	1,032	1.0
計		1,032		

追越車線速度分布

	速度 (km/hr)	観測台数	累積度数	累積比率
V ₂	5.2以下	0	0	0.0
	5.3~5.7	3	3	0.00567107
	5.8~6.2	7	10	0.01890359
	6.3~6.7	32	42	0.07939508
	6.8~7.2	57	99	0.18714555
	7.3~7.7	114	213	0.40264650
	7.8~8.2	140	353	0.66729678
	8.3~8.7	130	483	0.91304347
	8.8~9.2	45	528	0.99810964
9.3~9.7	1	529	1.0	
計		529		

仮定逸脱速度分布

	速度 (km/hr)	累積度数	累積比率
V ₁	5.2以下	35	0.02242152
	5.3~5.7	125	0.08007687
	5.8~6.2	299	0.19154388
	6.3~6.7	449	0.31966688
	6.8~7.2	793	0.50800768
	7.3~7.7	1,060	0.67905188
	7.8~8.2	1,312	0.84048686
	8.3~8.7	1,495	0.95771941
	8.8~9.2	1,559	0.99871877
9.3~9.7	1,561	1.0	
計		1,561 = (V ₂ の累積度数 + V ₃ の累積度数)	

仮定 11) 対向車が避走と制動を同時に行なうことはない。

仮定 12) 制動に起因する追突事

故は考慮しない。

仮定 13) 対向車線における走行

車線および追越車線の交通量の配分比は図-3.11のように仮定した。

逸脱車の侵入角, 侵入横距, 対向車の車頭間隔および速度はこれらを確率変数と考え, それぞれ上記の確率分布にしたがうものとする。

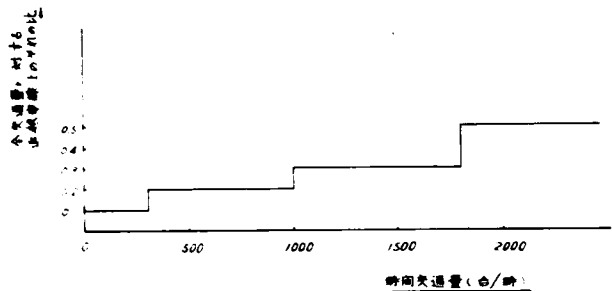


図-3.11 仮定した追越車線交通量の安全交通量に対する比

車頭間隔を例にとれば、ざらに一樣乱数 R_n を合同法により電子計算機内で発生させ、

$$R_n = \int_0^t m e^{-mt} dt = 1 - e^{-mt} \dots\dots (3.10)$$

$$t = -\frac{1}{m} \log(1 - R_n) \dots\dots\dots (3.11)$$

の関係より車頭間隔 (t) を求めた。

侵入角、横距、速度についても同様一樣乱数を発生させたのち、これを変換して求める。

本シミュレーションの全体の流れ図を図-3.12に示す。

3.4.2 プログラムの詳細、とくに車両位置の幾何学的関係

まず逸脱車発生ルーチンにおいて、乱数を変換、逸脱車の侵入角度 (θ)、初速度 (v_0)、侵入横距 (l) を発生させる。

逸脱車の先端中央が中央分離帯境界にあるときを距離座標の原点とし、また逸脱車がこの点に達した時刻を時間の原点とする。(図-3.13)。

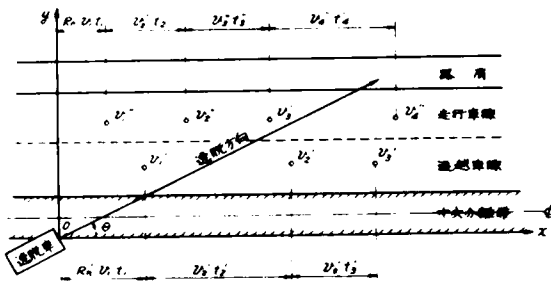


図-3.13 座標のとり方、対向車線上の走行車両の $t = 0$ における位置

まず、対向方向追越車線上の車両の速度、車頭間隔を発生させる。各車の距離間隔は vt となるものと仮定し、その先頭車は逸脱車が侵入開始時 $R_0 v_1 t$ (R_0 は乱数) の位置にあるものとする。

一般に逸脱車の侵入後の任意時刻 (t) における侵入方向に測った侵入距離 $d(t)$ は、等減速運動を仮定したから、

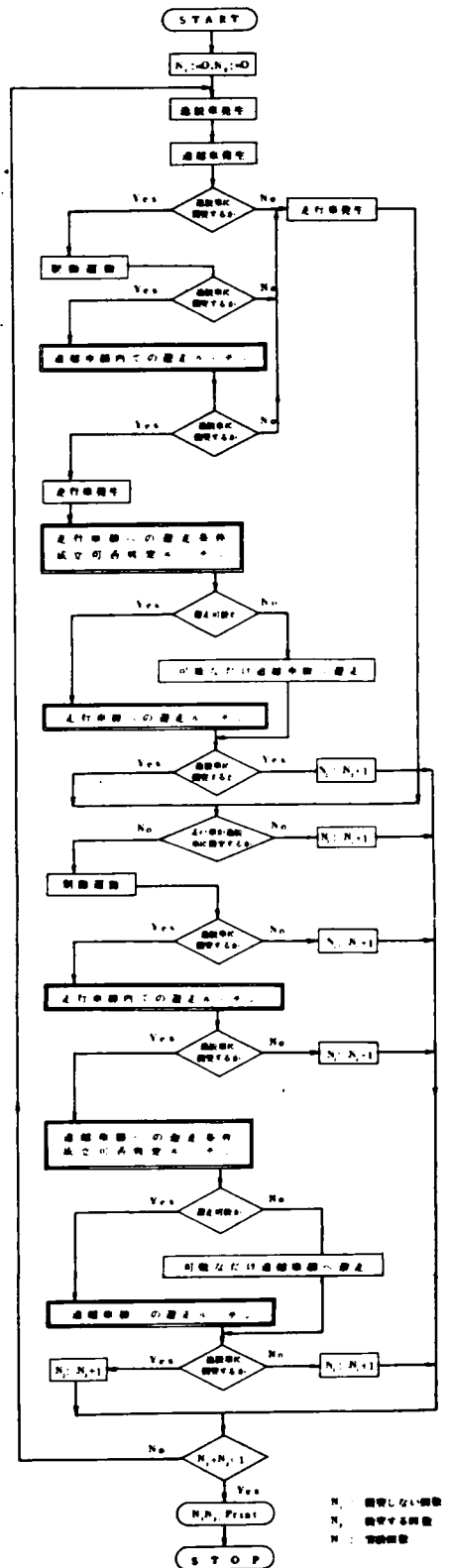


図-3.12 流れ図

N_1 : 衝突しない車両
 N_2 : 衝突する車両
 N_3 : 追越判定

$$d(t) = v_0 t - \frac{1}{2} \alpha t^2 \quad (3.12)$$

ここに、

$$d(t) : \text{時刻 } t \text{ における侵入距離}$$

α : 減速度 (一定)

全侵入距離 (d) は、

$$d = \ell \cos^2 \theta,$$

ここに、

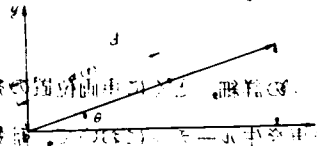
ℓ : 侵入横距 (m)

θ : 侵入角度

また等減速運動と仮定したから、

$$\alpha = \frac{v_0^2}{2d}$$

となる (図-3.14)



侵入横距が図-3.15の状態におよばない場合、すなわち、式(3.14)を満足するとき、とうぜん衝突は発生しない。

$$\ell < W_m + \frac{1}{2}(W_\ell - W) - \frac{1}{2}W_c \cos \theta \quad (3.14)$$

ここに、

W_m : 中央分離帯巾 (m)

W_ℓ : 車線巾 (m)

W : 車両巾 (m)

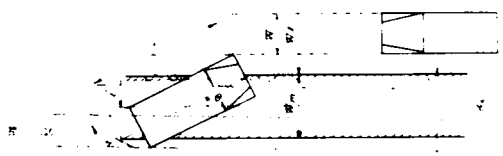


図-3.15 逸脱車の前端角が逸脱車線走行位置にちょうどおよんだ状態

つぎに、

$$\ell \geq W_m + \frac{1}{2}(W_\ell - W) - \frac{1}{2}W_c \cos \theta \quad (3.15)$$

の場合は、侵入角度方向に測った対向車に接触する状態となる侵入距離 (d_{c1}) は、

$$d_{c1} = \left\{ W_m + \frac{1}{2}(W_\ell - W) \right\} \operatorname{cosec} \theta - \frac{1}{2}W_c \cot \theta \quad (3.16)$$

となる。

d_{c1} 行くのに経過する時間 (t) は、

$$d_{c1} = v_0 t - \frac{1}{2} \frac{v_0^2}{2d} t^2 \quad (3.17)$$

の関係から

$$t = \frac{v_0 \pm \sqrt{v_0^2 + \frac{v_0^2}{d} d_{c1}}}{\left(\frac{v_0^2}{2d}\right)} \quad (3.18)$$

工学的に意味のある方をとって、

$$t = \frac{2d}{v_0} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{dc_1}{d}} \right) \dots\dots\dots (3.19)$$

として求まる。

この時刻 t において、追越車線上の車両がすでに
 図-3.16 に示す位置に来ている場合、すなわち、
 式(3.20)を満足するときはやはり衝突は発生
 しない。

$$x_0' - v_0 t - L < dc_1 \cos\theta - \frac{1}{2} W \sin\theta \dots\dots\dots (3.20)$$

ここに、

x_0' : $t = 0$ における追越車線上の車両の位置 (m),

L : 車両の長さ (m)

v_0 : 追越車の線上の車両の時刻 $t = 0$ における速度 (m / sec)

次に逸脱車が図-3.17, (a), (b), (c)の
 ように対向車線内にまで侵入して停止する場
 合を考える。

それぞれ追越車線上の車両との幾何学的関
 係上最初に接触する点の座標を求めれば、

たとえば(a)の場合は、

$$x_1 = l \cot\theta - \left\{ Wm + \frac{1}{2} (W_l - W) - l \right\} \tan\theta \dots\dots (3.21)$$

となる。

一方追越車線上の車両の制動停止位置の座標
 x' は

$$x' = x_0' - S' - v_0' T'$$

であるから、この場合、図-3.17におい
 て、

$$x_1 < x', \quad x_2 < x', \quad x_3 < x'$$

であれば、制動によって衝突は回避される。

ここに、

x' : $t = 0$ における追越車線上車両の位置

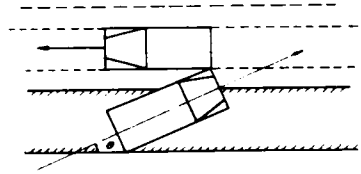


図-3.16 逸脱車が走行位置に達したとき追越車線の車両はすでに通過している場合

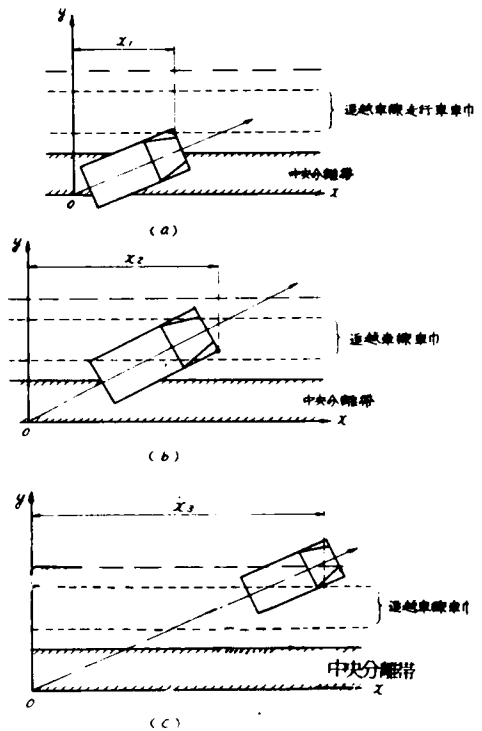


図-3.17 逸脱車の侵入停止位置と追越車線走行位置との関係

T' : 認知時間 (sec)

S' : 追越車線上の車両の制動停止距離 (m)

v'_0 : 追越車線上の車両の初速 (m/sec)

さらに、逸脱車が図-3.18に示す状態より大きい侵入横距を有する場合、すなわち、

$$\ell > Wm + \frac{1}{2}(W_\ell + W) + L \sin \theta + \frac{1}{2}W \cos \theta \quad \dots\dots (3.23)$$

の場合を考える。逸脱車の後端が追越車線走行車両走行位置と幾何学的に接触する侵入距離 (dc_2) は、

$$dc_2 = \{ Wm + \frac{1}{2}(W_\ell - W) \} \operatorname{cosec} \theta + \frac{1}{2}W \cot \theta + L_0 \quad \dots\dots (3.24)$$

として求まる。

このときの到着時間 (t) は dc_1 の場合と同様にして求まる。この時刻 (t) における接触点の座標 (x_4) は、

$$x_4 = dc_2 \cos \theta - L \cos \theta + \frac{1}{2}W \sin \theta \quad \dots\dots (3.25)$$

である。この場合、 $(t - T')$ が制動停止時間より大ならば、

$$x_4 < x'_0 - S' - v'_0 T'$$

であるとき、また $(t - T')$ が制動停止時間より小ならば、

$$x_4 < x'_0 - S' (t - T') - v'_0 T'$$

であるときには衝突は起こらない。

ただし、

$$S' (t - T') = v'_0 (t - T') - \frac{1}{2 \cdot g \cdot f} (t - T')^2 \quad \dots\dots (3.26)$$

ここに、

$S' (t - T')$: $(t - T')$ 時刻における制動中車両の進行距離

f : 縦すべり摩擦係数

走行車線上の車両の制動による回避についても考え方は以上とまったく同じである。

制動運動によって衝突が回避し得ない場合は、追越車線上の車両は避走運動を行なって、なお衝突の回避をはかるものとする。この場合、追越車線走行車はまず追越車線内左方へ避走し、なお衝突を避けることができない場合は走行車線へ避走する。走行車線上の車は先ず路肩側へ避走し、それでもなお衝突を回避できない場合は追越車線へ避走する。これらによってもなお避走し得ないときは衝突が発生したと考える。

避走運動は、横すべり摩擦の限度で行なわれると仮定すると遠心力と摩擦力の釣合いから、

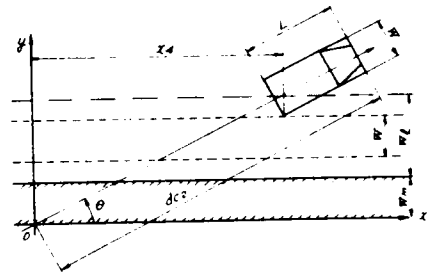


図-3.18 追越車後端が走行位置に一致する幾何的關係

次の関係がある。

$$f_s \cdot M \cdot g = M \cdot \frac{v'^2}{R} \quad \dots\dots\dots (3.27)$$

$$R = \frac{v'^2}{g \cdot f_s} \quad \dots\dots\dots (3.28)$$

ここに、

f_s : 横すべり摩擦係数

R : 避走運動の曲線半径 (m)

g : 重力の加速度 (m / sec^2)

v' : 避走車の速度 (m / sec)

一般に R は、横方向避走距離 $2a$ に比してかなり大であるので以下の解析においては曲線 AB C を直線 AC に置き換えて考える。すなわち避走は直線 ABC に沿って行なわれるとすれば、

図-3.19において、 b は

$$R^2 = b^2 + (R - a)^2 = b^2 + R^2 - 2aR + a^2$$

より $b = \sqrt{a(2R - a)}$ 、として求まる。

また $\tan \theta = \frac{a}{b}$ とする。

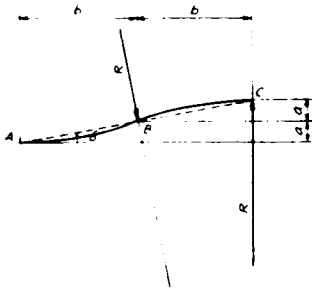


図-3.19 避走運動における仮定

まず左方 (追越車線内) への避走について考える。この場合避走成功の可能性は、図-3.20に示す3つの場合のみである。そのほかの避走経路をたどる場合は避走による衝突回避はできない。

図-3.20(a)の場合において図中B点の位置は、空走時間終了時の対行車線車両の前端位置であって、その座標

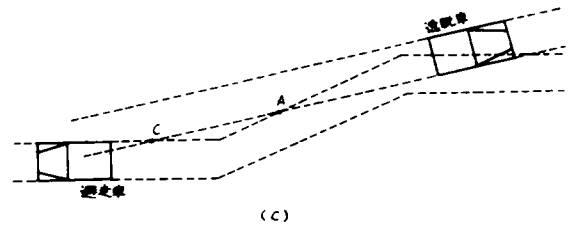
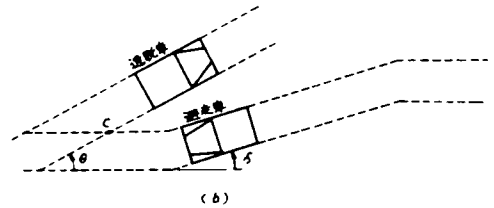
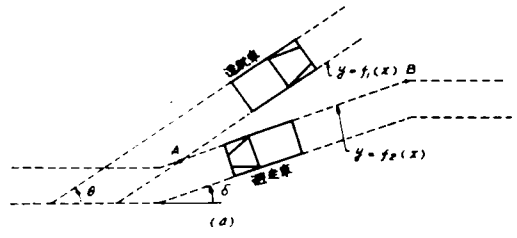


図-3.20 左方への避走

は、 $(x'_0 - v' T', y'_T)$ である。

ここに、

T' : 空走時間 (sec)

$$y'_T = \frac{1}{2}(W_\ell + W) + Wm \quad (\text{追越車線車両の場合})(m)$$

$$y'_T = \frac{1}{2}(W_\ell + W) + Wm + W_\ell \quad (\text{走行車線車両の場合})(m)$$

また逸脱車の軌跡を表わす式は、

$$y = \tan\theta (x - \frac{1}{2}Wc \operatorname{osec}\theta) \quad \dots\dots\dots (3.29)$$

避走車両の軌跡は、

$$y - y'_T = \tan\delta \{ x - (x'_0 - v' T') \} \quad \dots\dots\dots (3.30)$$

これら両式を連立させて解けば、

両方の車輛軌跡の交点の座標 (x_A, y_A) は、

$$x_A = \frac{\frac{1}{2}Wc \sec\theta + (x'_0 - v' T') \tan\delta + y'_T}{\tan\theta - \tan\delta}$$

$$y_A = \tan\theta (x_A - \frac{1}{2}Wc \operatorname{osec}\theta) \quad \dots\dots\dots (3.31)$$

となる。

これより、距離 \overline{AB} が既知となり、したがって避走車が点 A に到着する時刻 (t) は、

$$t = T' + \frac{\overline{AB}}{v'} \quad \dots\dots\dots (3.32)$$

として求まる。

もしこのとき、逸脱車の後端隅の座標を考え、 t 時刻後の逸脱車の進行距離を $d(t)$ とすると、

$$(d(t) - L) \sin\theta - \frac{1}{2}Wc \cos\theta > y_A \quad \dots\dots\dots (3.33)$$

なら避走成功と考える。図-3.20(b) の場合も、避走車が点 C に到着する時刻 t は容易に求まる。上と同様に考え、

$$(d(t) - L) \sin\theta - \frac{1}{2}Wc \cos\theta > y_C \quad \dots\dots\dots (3.34)$$

なら避走成功である。さらに図-3.20(c) の場合は、

$$\begin{aligned} & d(t) \sin\theta - \frac{1}{2}Wc \cos\theta > y_A, \\ \text{かつ} & (d(t) - L) \sin\theta - \frac{1}{2}Wc \cos\theta > y_C \quad \dots\dots\dots (3.35) \end{aligned}$$

なら避走成功となる。 $\delta, 2a$ は図-3.21の通りである。

次に路肩への避走を考える。これには図-3.22に示す2つの場合が考えられる。このうち、

(a) の場合は路肩の限度と無関係な場合であり、(b) の場合は路肩の限界に到達した場合である。

このうち(a)の場合について例示すれば、逸脱車の軌跡と避走車の軌跡はそれぞれ、

$$\begin{cases} y = f_1(x) - \tan\theta (x + \frac{1}{2}W \operatorname{cosec}\theta) \\ y - y'_T = -\tan\delta \{ x - (x'_0 - v' T') \} \end{cases} \dots\dots\dots (3.36)$$

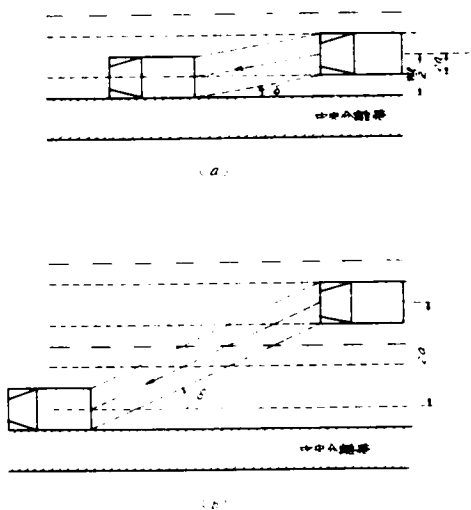


図-3.21 左方への避走における2a およびδのとり方

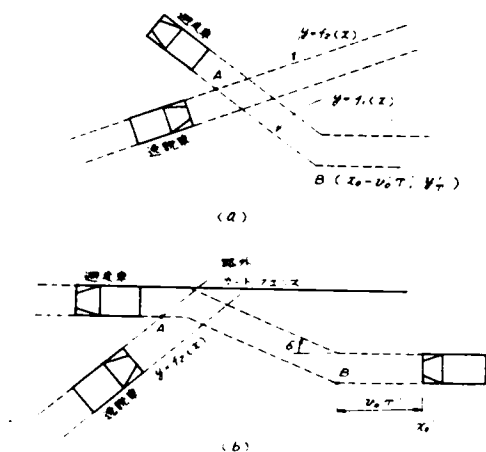


図-3.22 右方への避走

両式を連立させれば、両車の衝突点Aの座標は、

$$\begin{cases} x_A = \frac{-\frac{1}{2}W \operatorname{sec}\theta + (x'_0 - v' T') \tan\theta + y'_0}{\tan\theta + \tan\delta} \\ y_A = \tan\theta (x_A + \frac{1}{2}W \operatorname{cosec}\theta) \end{cases} \dots\dots\dots (3.37)$$

となる。

避走車が点Aを通過完了する時刻(t)は、

$$t = T + \frac{AB + L}{v'}$$

であり、この時、逸脱車の走行距離d(t)を考えその左前端が

$$d(t) \sin\theta + \frac{1}{2}W \cos\theta < y_A \dots\dots\dots (3.38)$$

なら避走成功である。図4-22(b)の場合についても同様の考え方ができる。

このにおいて y'_T およびδの計算における2aは、

追越車線の車の場合：

$$\begin{cases} y'_T = \frac{1}{2}(W_\ell - W) + Wm \\ 2a = \frac{3}{2}W_\ell + Ws - \frac{1}{2}Wm \end{cases} \dots\dots\dots (3.39)$$

走行車線の車の場合：

$$\begin{cases} y'T = \frac{3}{2}(W\ell - \frac{1}{2}W) + Wm \\ 2a = \frac{1}{2}W\ell + Ws - \frac{1}{2}W \end{cases} \dots\dots\dots (3.40)$$

を用いる。

さて追越車線上を走行していた車両が走行車線ないしは路肩まで避走する場合、走行車線上の車両との相対的位置関係によっては避走できない場合もあるわけで、これを吟味する必要がある。

図-3.23(a), (b), (c), (d)において、走行上問題となる幾何学的条件を生ずる時刻 $t_1 \sim t_4$ はそれぞれ、

図-3.23(a)の場合：

$$t_1 = \frac{(W\ell - W) \operatorname{cosec} \delta + L}{v} + T' \dots\dots\dots (3.41)$$

同図(b)の場合：

$$t_2 = \frac{(W\ell + W) \operatorname{cosec} \delta + L}{v} + T' \dots\dots\dots (3.42)$$

同図(c)の場合：

$$t_3 = \frac{(W\ell - W) \operatorname{cosec} \delta}{v} + T' \dots\dots\dots (3.43)$$

同図(d)の場合：

$$t_4 = \frac{(W\ell + W) \operatorname{cosec} \delta}{v} + T' \dots\dots\dots (3.44)$$

である。

時刻 t における走行車線上の車の位置を $x'(t_1)$, $x'(t_2)$, $x'(t_3)$, $x'(t_4)$ と表し、避走車軌跡の走行車走行位置との交点の x 座標を x_1, x_2, x_3, x_4 と表わすと、

$$x'(t_1) > x_1$$

かつ

$$x'(t_2) > x_2$$

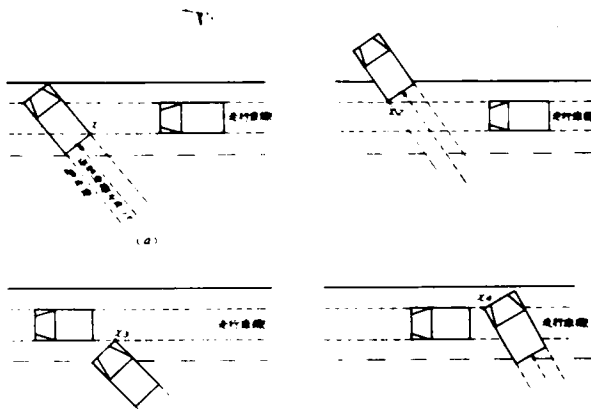


図-3.23 追越車線から左方への避走可能な条件

あるいは、

$$x'(t_3) + L < x_3 \quad \text{かつ} \quad x'(t_4) + L < x_4 \quad \dots$$

の場合避走できる。

これによって避走不可能なときは、図-3.22のように、 $2a = W_\ell - W$ として、追越車は走行車線まで入らず、走行車の側方手前へ避走する場合を吟味する。走行車が追越車線へ避走する場合についてもまったく同様に考える。

追越車線走行車が走行車線へ、逆に走行車線走行車が追越車線へと同時に避走する場合についての吟味をすれば、図-3.24(a), (b)のような場合には、走行位置に時間的な遅れがあるから明らかに問題はない。吟味を要するのは、図-3.25(a), (b)に示すような場合である。

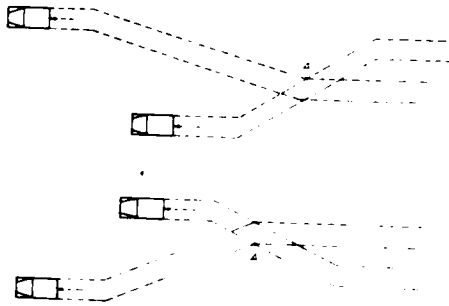


図-3.24 同時に避走の行なわれる場合で衝突の生じる可能性のない場合

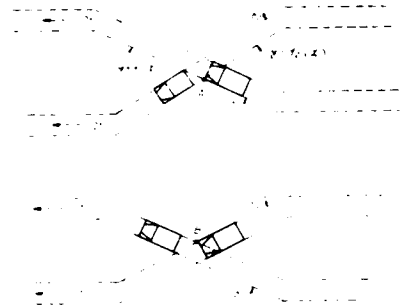


図-3.25 同時避走で衝突の可能性の検討を要する場合

図-3.25(a)において走行車線走行車の避走軌跡は、

$$y = -\tan \delta_1 (x - x'_0 + v' T') + W_m + \frac{1}{2} (W_\ell - W) \quad \dots (3.45)$$

また追越車線走行車の避走軌跡は、

$$y = \tan \delta_2 (x - x''_0 + v'' T'') + W_m + W_\ell + \frac{1}{2} (W_\ell - W) \quad \dots (3.46)$$

ここに、

δ_1 : 追越車線の車両の避走角度

δ_2 : 走行車線の車両の避走角度

v'' : 走行車線上の車両の速度

x'_0 : 追越車線走行車の時刻 $t = 0$ における x 座標

x''_0 : 走行車線走行車の時刻 $t = 0$ における x 座標

これより交点Aの座標は、

$$\left\{ \begin{aligned} x_A &= \frac{\tan \delta_1 (x'_0 - v' T') + \tan \delta_2 (x''_0 - v'' T'')}{\tan \delta_1 + \tan \delta_2} \\ y_A &= -\tan \delta_1 (x_A - x'_0 + v' T') + W_m + \frac{1}{2} (W_\ell - W) \quad \dots (3.47) \end{aligned} \right.$$

となる。これから AC, AD は既知となる。追越車線側の避走車が AC を走行する時間 t は、

$$t = \frac{\overline{AC}}{v'}$$

となる。

ゆえに $v''t > \overline{AD} + L$ (3.48)

ならば避走成功である。

図-3.25(b)の場合についても同様に考えると、避走条件の成立するのは、

$$v''t > \overline{AC} + L$$
 (3.49)

の場合である。

これから、両車線の車が同時に避走を開始して、ともに避走が可能となる条件は、式(3.48)が同時になりたつ場合である。

3.4.3 実験結果

以上の方法と流れ図によりシミュレーション実験を行なった。

この場合の諸常数值としては、

縦すべり摩擦係数: $f = 0.4$,

横すべり摩擦係数: $f_s = 0.1$,

車線巾: 3.6 m ,

側帯巾: 2.0 m ,

車の大きさ: 縦 5 m , 横 1.8 m の矩形,

制動および避走動作前における空走時間: 1.0 sec

を採用した。

その結果を図-3.26~

図-3.30 に示す。

図-3.26 は中央分離帯

巾が 1.0 m , 3.6 m , 5.0 m ,

10.0 m である場合のおお

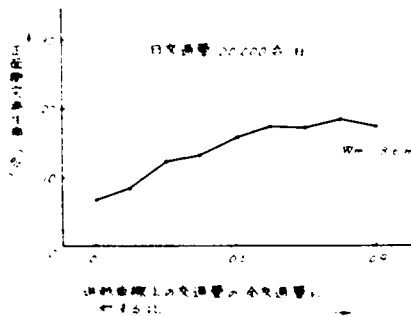


図-3.27 追越車線交通量の全交通量に対する比が変化した場合正面衝突発生率の変化状況

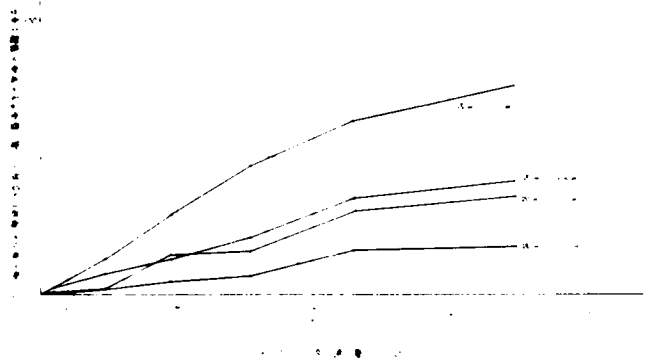


図-3.26 平均日交通量と中央分離帯乗越えによる正面衝突の発生率との関係 (シミュレーションの結果)

のに交通量と中央分離帯乗越え後、対向車線に侵入した車両の正面衝突事故発生率との関係を示したものである。

図-3.27は中央分離帯巾を3.6m、日交通量を20,000台右の一定値とした場合について、追越車線交通量の全交通量に対する比率の変化が

正面衝突事故発生率とどのような関係を持つかを示したものである。

また図-3.29は図-3.26と同じ結果を中央分離帯巾員と中央分離帯横断後の正面衝突事故発生率の関係を見やすくするために書き直したものである。

これによれば、交通量の大きい場合の方が中央分離帯巾の効果により鋭敏であり、またその効果は直線的には減少せず、巾員の増加とともに漸次減少する。図-3.30は同様であるが、中央分離帯侵入車全体の事故発生率と中央分離帯巾員の関係をみたものである。実際の過去の事故調査結果はどうなっているだろうか。

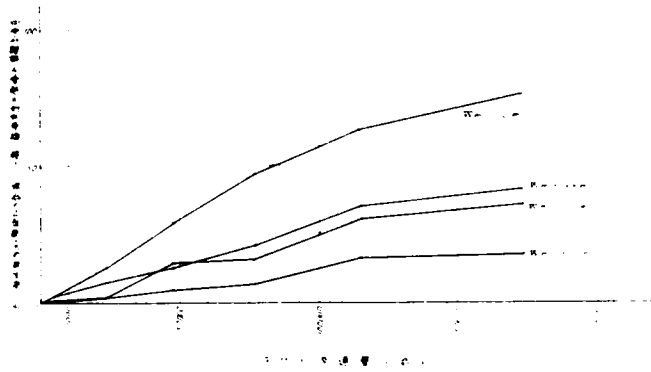


図-3.28 平均日交通量と中央分離帯侵入による正面衝突の発生率との関係

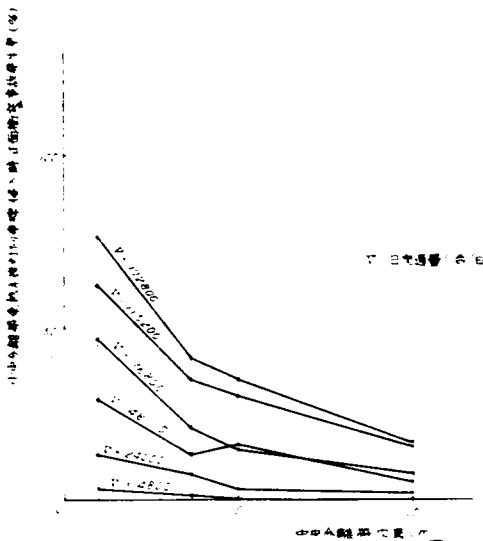


図-3.29 中央分離帯巾員と正面衝突事故発生率の関係

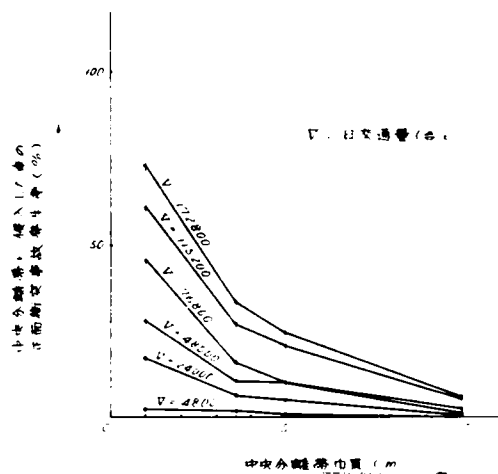


図-3.30 中央分離帯巾員と正面衝突事故発生率との関係

名神高速道路における中央分離帯乗越え事故は昭和41年末現在234件，そのうち対向車との衝突事故は13件で正面衝突事故発生率は5.5%である。開通らい41年までの全線平均日交通量は約9,000台/日である。これを図-3.26中の×印で示した。

図-3.29の結果をHurdの調査結果⁽³⁾(図-3.7)と比較してみるとその傾向はひじょうによく一致していることがわかる。

また米国カリフォルニヤ州道路局が州内高速道路の実際の事故資料について平均日交通量と正面衝突事故発生率の関係についてまとめたものがある。⁽⁷⁾

これを図-3.31

のヒストグラムで示

す。この同じ図上に

本シミュレーション

の中央分離帯巾員

1.0mの場合を折

れ線で記入した。

この両者の結果は

よく一致している

ことがわかる。

実際的高速道路に

おいては中央分離帯はこのように狭くないが運転者の認知時期そのほか諸常数値を適当に選ぶことによつて高速道路の正面衝突事故をいっそうよく説明し得ることが期待される。

3.5 高速道路の線形要因と中央分離帯事故の発生率

中央分離帯侵入事故が起こった場合，どのような割合で正面衝突事故が発生するかが3.2.~3.4において明らかとなった。しかし，なお高速道路の道路，交通状況と中央分離帯事故発生率の関係をみなければならぬ。

交通量と中央分離帯事故発生率の関係はアメリカの2,3の高速道路の例がさきに述べたようにHurdにより調査されているが，こゝでは，線形要因との関係も調べることにする。

名神高速道路延長190kmは100mごとの1,900個の区間にキロポストによつて分割されている。ちようどこの区間毎の線形の状況，すなわち，平面曲線半径，交角，勾配，坂路長，縦断曲線半径等は日本道路公団名神管理局交通技術課によつてすでにランク付けされ，コード化されていた。これをほとんどそのまま利用，また交通量との関係を調べるため，その他にインターチェンジ間の総平均交通量を要因としてとりあげ，解析方法には，1章，2章において用いた数値化の方法を同様使用する。

このようにしてとりあげた要因(アイテム)，カテゴリーの一覧表は表-3.3の通りである。

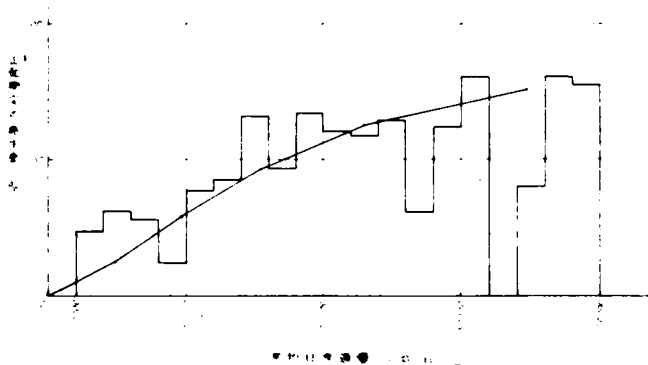


図-3.31 カリフォルニヤ州の調査結果とシミュレーションの結果との比較

アイテム	平面曲線半径	交 通	勾 配	坂路長	縦断曲線半径	交通量
1	$R < 300 m$	$I A < 10^\circ$	$G > 4 \%$	200 m	凸 $R < 5000 m$	14559
2	$300 \leq R < 400$	$10^\circ \leq I A < 20^\circ$	$4 \geq G > 3$	400	$5000 < R < 10000$	13564
カ	$400 \leq R < 500$	$20^\circ \leq I A < 30^\circ$	$3 \geq G > 2$	600	$10000 \leq R < 15000$	12764
3	$500 \leq R < 700$	$30^\circ \leq I A < 40^\circ$	$2 \geq G > 1$	800	$15000 \leq R < 20000$	11990
キ	$700 \leq R < 1000$	$40^\circ \leq I A < 50^\circ$	$G \leq 1$	1000	$20000 \leq R$	9807
4	$1000 \leq R < 1500$	$50^\circ \leq I A < 60^\circ$		1200	凹 $R < 5000 m$	9551
コ	$1500 < R < 2000$	$60^\circ \leq I A < 70^\circ$		1400	$5000 \leq R < 10000$	9015
5	$2000 \leq R < 3000$	$70^\circ \leq I A < 80^\circ$		1600	$10000 \leq R < 15000$	5804
リ	$3000 \leq R < 5000$	$80^\circ \leq I A < 90^\circ$		1600以上	$15000 \leq R < 20000$	4806
6	$R \geq 5000$	$I A \geq 90^\circ$		0	$20000 \leq R$	4621
7						4523
8						3812
9						1238

表-3.3 事故損害額および事故発生数推定値に用いた要因 (アイテム) およびカテゴリー一覧表

事故資料としては、昭和38年開通以来昭和41年末までの本線中央分離帯事故を対象としたが、名神高速道路は段階的供用開始が行なわれているので、各区分毎に供用期間を異にしている。この不均衡を調整するため、

供用期間最大区間の供用月数

その区間の供用月数

の係数を各区分の事故件数に乘した。区分毎の係数を表-3.4に示す。各区分とその要因カテゴリーの一例を表-3.5に示した。

表-3.4 供用期間の不均衡を修正するための係数

区 間 (キロポスト)	係 数
0 ~ 6.9	1.5
7.0 ~ 78.0	1.0
78.1 ~ 146.9	1.3
147.0 ~ 181.3	1.5
181.4 ~ 189.9	2.3

表-3.5 各区分の要因ランク組合せの一例

キロポスト	平面半径	交 角	勾 配	坂路長	縦断半径	交通量
9	10	1	3	1	1	12764
58.0	5	2	5	10	10	12764
1	5	2	5	10	10	12764
2	5	2	5	10	10	12764
3	5	2	2	6	1	12764
4	5	2	2	6	1	14559
5	5	2	2	6	2	14559

昭和38年7月～昭和41年12月の2年6カ月の間に名神高速道路の100mの単位区間の中央分離帯事故発生量と線形諸要因、交通量との関係の計算結果は図-3.32～図-3.37の通りとなる。

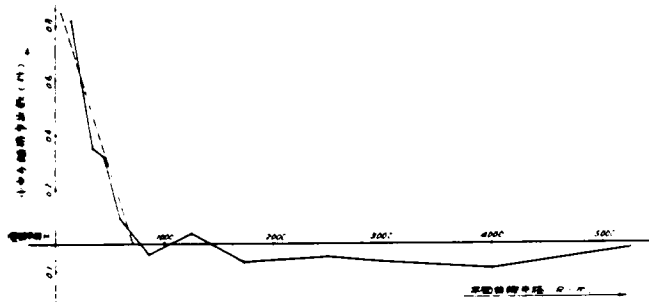


図-3.32 平面曲線半径と中央分離帯事故との関係

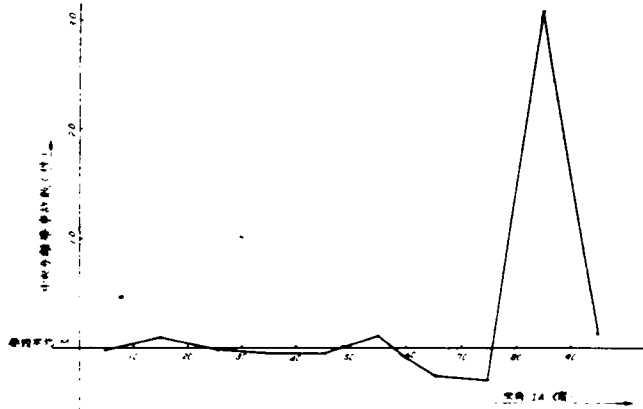


図-3.33 交角と中央分離帯事故数との関係

ここにおいて全平均は0.483件〔高速道路区間延長100mについての最大供用期間(すなわち昭和38年7月より昭和41年末まで)相当値〕であった。図-3.32～図-3.37によれば次のようにいえよう。

我々の常識にも一致して最も明確なのは、中央分離帯事故率と曲線半径の関係であって、曲線半径1000m以下において明らかに事故率は急上昇している。交角においても交角 80° ～ 90° において事故率はきわめて高い。ある

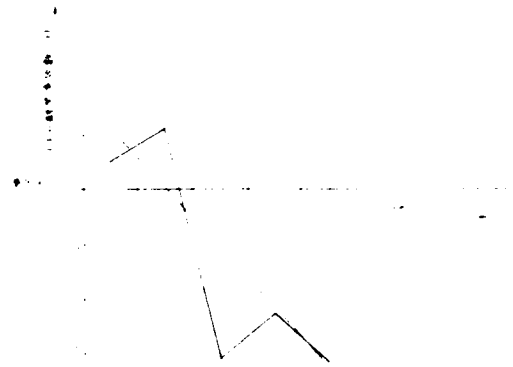


図-3.34 交通量と中央分離帯事故との関係

いはこれは特定の地点において事故の集中しているため（関ヶ原区間）かもしれない。次にこう配に関しては、高速道路のように勾配の制限された線形基準では、むしろ若干のこう配のある方が中央分離帯事故は少なくなるという解釈もできる結果となっている。交通量との関係はかなり、変動がはげしいが巨視的に平滑化すれば、交通量の増加とともに増加する傾向は明らかである。中央分離帯事故率の予測を図 - 3.32~3.37 を用いて行なう計算例を示す。

〔例〕

曲線半径 250 m, 勾配 3%, 交角 40°, 坂路長 500 m, 交通量 15,000 台/日 の場合, 中央分離帯事故は 1 方向について年間何件起こると期待されるか。各図中の点線を利用する。

半 径	250 m	0.6
こ う 配	3%	0.15
交 角	40°	0.0
坂 路 長	500 m	0.65
+) 交 通 量	1,500 台/日	0.125
		1.225
+) 全 平 均		0.483
		1.708

この値は 2.5 年かつ両側に対するものであるから,

$$1,708 \div 2.5 \div 2$$

$$= 0.342 \text{ 件/年}$$

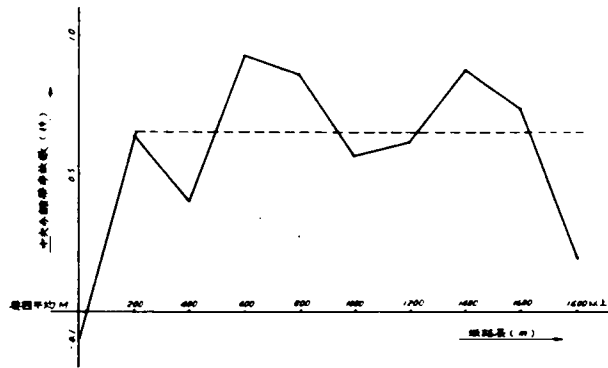


図 - 3.35 坂路長と中央分離帯事故数との関係

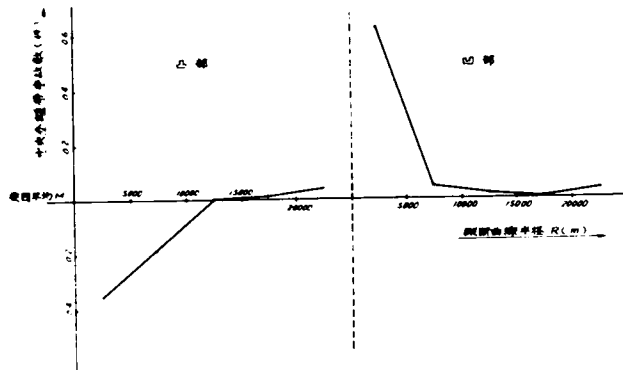


図 - 3.36 縦断曲線半径と中央分離帯事故との関係

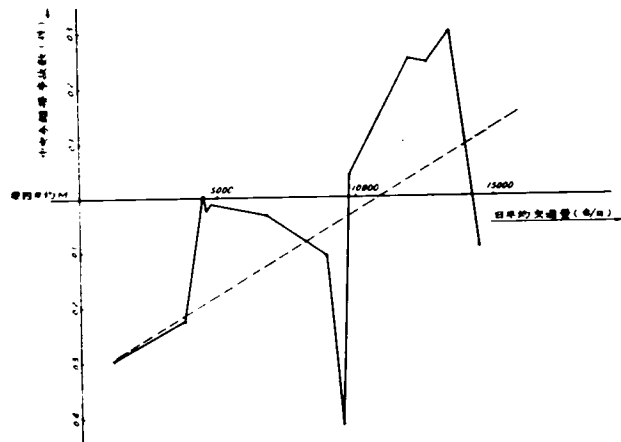


図 - 3.37 交通量と中央分離帯事故数との関係

3.6 結 語

高速道路の中央分離帯の構造設計は高速走行の安全確保と引き合わせて重要である。一般道路と異なり、高速道路においては車対人の事故の比重は小さく一方単独車の事故の比重が大であり、なかでも中央分離帯関連事故は高い割合を占めている。また、中央分離帯乗越え事故は、それが一たん起こった場合には、対向車との正面衝突という重大事故をひき起す可能性が高いのである。本章においては、アメリカにおいて行なわれた関係調査を展覧し、ついで第2章の一般道路の便益表現に対し、高速道路中央分離帯におけるガードフェンス設置便益について考察した。これによれば、中央分離帯に何らの障害のないときの関係諸要因と、正面衝突事故発生率の間の関係をまず明らかにせねばならない。事故車両の逸脱角度、逸脱速度、逸脱横距をHutchinsonの調査データ等の分布にしたがうものと仮定し、対向方向交通もまたランダム到着を仮定し一つのシミュレーション実験を行なった。すなわち、事故車両が、仮定した分布でランダムに対向車線に突入してくるとき、対向交通車両は、ある知覚反応時間後これに対して、避走ないしは停止行動に入る。しかしある条件下では、避けきれないで衝突事故を起こす。中央分離帯巾員と対向車線交通量を変化させて、衝突事故率がどのように変化するかを調べた。シミュレーション実験の結果では、中央分離帯巾員と正面衝突事故発生率の関係曲線はHurdによる調査結果とよく似たパターンを示し、また交通量との関係においてはCalifornia州の調査結果とよく似たパターンを示している。前提した仮定は多く、問題も多いから、この現象に対する一つの接近方法であろうと考えられる。いままじの事故資料のうらづけがあるならば、十分工学的実用性のあるものとなし得よう。

また、名神高速道路開通2年6ヶ月の中央分離帯関連事故を数量化の方法によって分析し線形諸要因と中央分離帯事故発生率との関係を求めた。その結果、平面曲線半径1,000 m以下においては、事故発生率と半径の間に明りような関係があり、交角 $80^{\circ} \sim 90^{\circ}$ のとき事故率の高いこと等がわかった。グラフを用いれば、線形諸要因を与えた時の中央分離帯事故率の予測ができる。

参 考 文 献

- (1) "高速道路におけるガードフェンスの研究", 建設工学研究所, 昭42.3.28.
- (2) 高速道路調査会, 交通事故対策小委員会:
"名神高速道路の事故分析と安全対策", 高速道路と自動車, Vol.9, No.9, pp51~56,
Vol.9, No.10, pp57~71
- (3) Hurd, F.W.: "Accident Experience With Traversable Medians of Different Widths", H.R.B. Bulletin No.137, pp18~26
- (4) "ニューヨーク・ステート・スルーウェイの事故の分析", 高速道路と自動車, Vol.7, No.3, pp54, 55

- 5) Graham, Malcolm D. : "New Concepts in Guardrail Design",
Civil Engineering-ASCE, January 1967, pp64~69
- 6) Hutchinson, J.W., Kennedy T.W. : "Safety
Consideration and Median Design" (for presentation at the
1963 Annual Meeting of the Highway Research Board)
- 7) "Median Study", State of California,
Department of Public Works, 1958

その他 :

- 8) 経営科学研究会編 : "シミュレーション入門", 昭40.
- 9) 宮武 修, 中山 隆 : "モンテカルロ法", 昭39.
- 10) 内田一郎 : "道路工学", 昭40.
- 11) 米谷栄二, 渡辺新一, 毛利正光 : "交通工学", 昭40.

第2編 ガードフェンスの最適設計

第1章 ガードフェンスの力学模型

1.1 概 説

本章では現在実用に供せられ、あるいは開発されつゝあるガードフェンスを力学的モデルにおきかえ次章において1, 2例示するような実物実験の解析に實際上十分なものとして提示する。

また最後に、これら力学模型において使用される支柱の横方向抵抗に関し、その実験的結果について示すことにする。

ガードフェンスの実物自動車による衝突実験の力学的解析はコーネル航空研究所によつてはじめて完全に近い形で行なわれた。⁽¹⁾ その際用いられた力学模型は、きわめて精緻、巧妙なるものであった。こゝではまず、われわれがその前後において別途に開発したモデルと、これらコーネル航空研モデルを合せ、その概要を述べる。

現実に行なわれているガードフェンスの構造は力学的にみた場合さうとう複雑なものといわなければならない。多スパンにわたり多数の支柱に支えられ、その支柱の支持条件には基礎としての土が関与してくる。

しかも支柱変位の範囲は通常の永久構造物において問題とする範囲をはるかに越えているのである。またレールに対しては荷重が動的に作用する上、その着力点は移動し、レール自身の変形は弾性域のみならず塑性域に及ぶのが普通である。このような複雑なモデルを完全に解析的に解くことは不可能であり、せひとも電子計算機による数値解析の手段に訴えねばならない。以下に述べるモデルは、われわれの手に可能な範囲の計算機により実用上解析できる程度のものであるが計算機のさらに大型、高速化するにともないいつそ複雑精巧なモデルを開発することも可能であろう。ただし、現在の現象のさうとう部分は以下のモデルによつても十分解析可能であるといえる。

これら进行分类すると次のようになる。

(1) レールが引張のみを受けるガードフェンス、

(すなわちガードロープ形式)

(1.1) 支柱が弾性域、塑性域の2直線近似の変位支持力曲線にしたがうコーネル航空研モデル⁽¹⁾ E。

(1.2) 支柱が $\gamma = k R^n$ 型の変位支持力曲線にしたがう著者のモデル⁽²⁾ (こゝに γ : 変位、 R : 支持力、 k, n : 常数)。

レールが引張のみを受けるいわゆるガードロープは力学的形式が比較的単純であり、かつ計算も容易である。

(2) レールが曲げのみを受けるガードフェンス、

(すなわちレールが比較的剛な部材からなるコーネル航空研によつて開発された新形式ガードレール)。

(1)について力学的形式は単純であり計算も比較的容易である。その力学的性質によりガードフ

エンスとして、注目すべき性能を有している。

- (2.1) 多数の比較的剛性の小さい支柱に支えられ塑性ヒンジ1個を考慮した連続けたモデル、すなわちコーネル航空研モデルC。
 - (2.2) 2.1を理想化ないしは単純化し、弾性床上のはりとみなした著者のモデル。
- (3) レールが曲げと引張を同時に受ける ガードフェンス(コーネル航空研モデルD)。

レールの曲げ剛性が⁽¹⁾2)のように大きくない ガードフェンスのレールは、曲げと引張を同時に受ける、コーネル航空研の開発した比較的薄い箱型断面のガードレールと通常のW型断面のガードレールがこれに属する。

しかし、ここで述べるコーネル航空研モデルDは、一定有効長の範囲内において引張力一定を仮定しているから、各支柱とボルトで結合されかつ支柱取付ボルト位置において長孔を有する通常のW型断面ガードレールはかならずしも完全に表現されないと考えられる。

- (4) レールに比較的簡易な力学系を考えたモデル。

- (4.1) レールは1スパンのみを考え、引張と曲げをともに考慮するモデル。

- (4.1.1) 支柱の変位と支持力の関係を弾性的に考えるモデル。⁽¹⁾

- (4.1.2) 支柱に油圧緩衝装置をもつガードレールモデル。⁽³⁾

イギリスのクリスチャンニールセン社によって開発された支柱にオイルダンパーを装置したガードレールのモデルである。

(4.1.1)までのすべてのモデルはガードフェンスの着力点に現われる反力は、変位にのみ関係すると考えている。しかし、(4.1.2)においては、支柱はダツシュポットを持つから、支柱反力は支持点の移動速度、したがって時間と変位に関係してくる。したがってガードレールのみについては解けず、自動車の運動解析と同一プログラム内において計算を実行しなければならない。

- (4.2) 薄板の塑性曲げ理論による単純ばりモデル。⁽⁴⁾

(2.1), (2.2), (3), (4.1.1), (4.1.2)では塑性ヒンジ1個を考えているが、ガードフェンスの1スパンを薄板とみなし、その変形をより忠実に再現しようと試みたモデル、引張を考慮しておらず、かつ履歴的效果を考慮するため、時間の経過が関係してくるから自動車の運動と同一プログラム内で解析せねばならない。

次にこれらのモデルに共通する仮定をのべておく。

- (1) あとで述べるように自動車は水平面内で2次元運動をする剛体と考える。ガードフェンスはこれに対して水平方向の反力のみを与える。(鉛直方向は問題としない)。
- (2) 支柱レール支持点の変化と支持力の関係は、実験的事実から比較の簡単な関数関係で与えられる。

さて、これらのモデルにおいて共通に問題となるのは支柱の横方向抵抗である。事故車両の衝突

荷重は、レールから、数本の支柱に分配され、支柱埋め込み部分から土に伝達されて、最終的にはその支持力に頼る。上記各種モデルの解析法、ひいては設計方針をとる以上、種々の条件、たとえば、支柱構造、土の種類、含水比、基礎の形式、路肩からの距離などと、支柱の挙動間の関係が明らかでなければならない。これはほんらい土質力学的問題であり、その完全な解決は著者の任ではないが、ここでは、かんたんに過去にわが国において行なわれてきた支柱の横方向抵抗実験資料の再整理、および、関東ローム盛土において新たに行なったガードフェンス設置要綱にしたがった支柱（過去のものにくらべて、径が大きくかつ埋込み深さが大きいもの）の試験結果を述べることにする。

ガードフェンス支柱に加わる荷重はつねに動的なもので、またそれによる変位量はきわめて大きいところにおよぶことがあるというのがそのいちぢるしい特色である。ここでは、主として静的な実験について述べるが、支柱の静的な挙動と動的挙動の間には相当の相違が予見されるのであってその説明は今後の課題であらう。

1.2 レールが軸方向力のみを受けるガードフェンスモデル

1.2.1. 支柱の挙動が2直線型の変位、支持力曲線にしたがう場合のガードロープモデル (コーネル航空研モデルE)

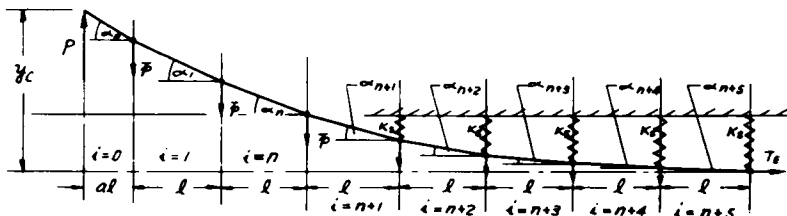


図-1.1 支柱の挙動が2直線型の変位支持力曲線にしたがう場合のガードロープモデル

図-1.1を参照して記号を次のようにとる。

y_c : 載荷位置におけるレールの水平方向変位

i : スパン番号 載荷スパンを0とする。

n : 最後に塑性域に入った支柱のスパン番号

y_i : 支柱位置におけるレールの変位

(載荷位置に隣る支柱を $i=0$ とし、 $i \geq n+5$ では、 $y_{i \geq n+5} = 0$)

α_i : ロープとガードフェンス原位置に平行な線とのなす角 (i は上と同じになる)

l : 支柱間隔

a : 載荷位置の支柱から測った距離の支柱間隔に対する比

l : 端末アンカー間のガードロープの有効長

\bar{p} : レール高さで測った支柱が塑性域に入った場合の最大支持力

K_s : 支柱の水平方向支持力に対する弾性係数

(支持力/変位の係数)

A_i : ガードロープの断面積

E : ガードロープの弾性係数

T_i : i 番目スパンの軸方向張力

T_E : 端末アンカーにおける軸方向張力

P : ガードロープの半分によって受けもたれる反力

支柱の支持力の方向がガードロープ原位置の線に垂直にはたらくとすれば、あるスパンの軸方向引張力 T_i はガードロープ端末の引張力 T_E と、

$$T_i \cos \alpha_i = T_E \dots\dots\dots (1.1)$$

の関係がある。また T_i の垂直方向成分は $T_E \tan \alpha_i$ となる。隣接スパン間の垂直方向力の差は、各支柱の支持力に等しいので、

$$T_E (\tan \alpha_n - \tan \alpha_{n+1}) = \bar{p} \dots\dots\dots (1.2)$$

$$T_E (\tan \alpha_{n+1} - \tan \alpha_{n+2}) = K_s y_{n+1} \dots\dots\dots (1.3)$$

$\tan \alpha_i$ は両端の支柱の変位で表現できるから (1.3) を y_{n+2} についてとけば、

$$y_{n+2} = \left(\frac{K_s \cdot \ell}{T_E} + 2 \right) y_{n+1} - y_n \dots\dots\dots (1.4)$$

の関係がえられる。

$$B = \left(\frac{K_s \cdot \ell}{T_E} + 2 \right)$$

とおけば、同様にして

$$y_{n+3} = B y_{n+2} - y_{n+1} \dots\dots\dots (1.5)$$

$$y_{n+4} = B y_{n+3} - y_{n+2} \dots\dots\dots (1.6)$$

$$y_{n+5} = B y_{n+4} - y_{n+3} \dots\dots\dots (1.7)$$

n 番目の支柱がちようと、塑性域に到達したとすると

$$y_n = \bar{p} / K_s$$

となる。これと

$$\begin{cases} \tan \alpha_{n+1} = \tan \alpha_n - \bar{p} / T_E \\ \tan \alpha_{n+1} = \frac{y_n - y_{n+1}}{\ell} \end{cases}$$

の関係を使えば、

$$y_{n+1} = \frac{\bar{p}}{K_s} - \ell (\tan \alpha_n - \bar{p} / T_E) \dots\dots\dots (1.8)$$

支柱が塑性域に入った部分では、支柱の支持力は \bar{p} : 一定、したがって角変化は一定となり $\tan \alpha_n$ は $\tan \alpha_0$ を使って表わせる。

$$\tan \alpha_n = \tan \alpha_0 - \frac{n \bar{p}}{T_E} \dots\dots\dots (1.9)$$

これを式(1.8)に用いれば、 y_{n+1} は $\tan \alpha_0$ で表わせる。

$$y_{n+1} = \frac{\bar{p}}{K_s} - \ell \left[\tan \alpha_0 - \frac{(n+1)\bar{p}}{T_E} \right] \dots\dots\dots (1.10)$$

これを使えば式(1.4)~(1.7)は

$$\begin{aligned} y_{n+2} &= (B-1) \frac{\bar{p}}{K_s} - B \ell \left[\tan \alpha_0 - \frac{(n+1)\bar{p}}{T_E} \right] \\ y_{n+3} &= (B^2-B-1) \frac{\bar{p}}{K_s} - (B^2-1) \ell \left[\tan \alpha_0 - \frac{(n+1)\bar{p}}{T_E} \right] \\ y_{n+4} &= (B^3-B^2-2B+1) \frac{\bar{p}}{K_s} - (B^3-2B) \ell \left[\tan \alpha_0 - \frac{(n+1)\bar{p}}{T_E} \right] \\ y_{n+5} &= (B^4-B^3-3B^2+2B+1) \frac{\bar{p}}{K_s} \\ &\quad - (B^4-3B^2+1) \ell \left[\tan \alpha_0 - \frac{(n+1)\bar{p}}{T_E} \right] \dots\dots (1.11) \end{aligned}$$

弾性域にとどまっている支柱部分においては、その境界から5span目で変位0となると仮定すれば、

$$y_{n+5} = 0$$

でなければならない。

これから式(1.11)は $\tan \alpha_0$ についてとける。

$$\tan \alpha_0 = \frac{(n+1)\bar{p}}{T_E} + \frac{\bar{p}G}{K_s \ell}$$

ここに、

$$\begin{aligned} G &= \left[\frac{B^4-B^3-3B^2+2B+1}{B^4-3B^2+1} \right] \\ q &= 1 + \frac{T_E G}{K_s \ell} \quad \text{とおけば、} \\ \tan \alpha_0 &= \frac{(n+q)\bar{p}}{T_E} \dots\dots\dots (1.12) \end{aligned}$$

これから、ガードロープの反力は、ガードロープの片側について

$$P = T_E \tan \alpha_0 = (n+q)\bar{p} \dots\dots\dots (1.13)$$

と表わせる。

また載荷点の変位は

$$y = \frac{\bar{p}}{K_s} + \ell \left(a \cdot \tan \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \tan \alpha_i \right) \dots\dots\dots (1.14)$$

この関係は式(1.9)、式(1.12)を使えば、 $\tan \alpha_i$ 、 $\tan \alpha_0$ を消去できて

$$y_c = \frac{\bar{p}}{k_s} + \frac{\bar{p} \cdot l}{T_E} \left[(a+n)(n+q) - \sum_{i=1}^n i \right] \dots\dots\dots (1.15)$$

とかける。

一方この状態のときの支柱が弾、塑性域にあるスパンのロープののびは、

$$(\delta_T)_i = l \left[a \left(1 - \frac{T_E}{A_i E} \right) \sec \alpha_0 - a + \sum_{i=1}^{i=n+5} \left[\left(1 - \frac{T_E}{A_i E} \right) \sec \alpha_i - 1 \right] \right] \dots\dots\dots (1.16)$$

したがって、これから、上記両領域外の部分のロープの伸びと引張力の関係から、

$$T_E = \frac{\delta_T A_i E}{[L - 2l(n+5+a)]} \dots\dots\dots (1.17)$$

が求まる。

計算プログラムでは、 T_E をまず仮定しておき、以上の計算の結果えられた新しい T_E によって補正し、イテレーションによってある誤差範囲となるまで、くりかえす。すなわち

$$T_{E1} - T_{E2} < \epsilon \dots\dots\dots (1.18)$$

を判定条件とする。

1.2.2 支柱の挙動が $y = k R^n$ 型の変位支持力曲線にしたがう場合のガードロープモデル

あてて述べるように実物支柱の横方向引張実験を行なうと、レール支持位置の変位と支持力の関係は n 乗べき型の実験式

$$y = k R^n \dots\dots\dots (1.19)$$

ここに、

y : レール支持点の偏位

R : 支持力

k, n : 常数

がよく一致する場合が多い。ここではこの関係を考慮してガードロープ着力点の変位と反力の関係を試行錯誤的に求める方法を述べる。

まず、ガードロープの着目しているスパンの一定点に外力がかかり、ある変位が生じたものとする。本方法では、さきに変位を仮定して、力を後から求めるのである。

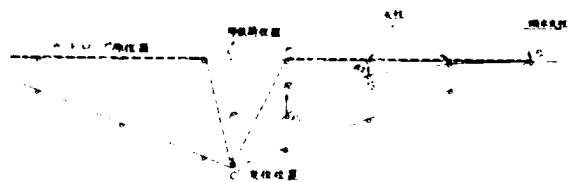


図-1.2 中間支柱の剛さとガードロープの変形パターン

図-1.2において着力点に与えられた変位を生じたものとする、もし、支柱が完全に剛であれば、すべての中間支柱には変位を生じないから、ガードロープの変形パターンは図中の破線 $C'P_1P_n$ のようにならなければならない。(a)

いっぽうもし、支柱になんらの反力を生じないとすると通常ガードロープは端末支柱において剛に支持されるという仮定が成り立つから、図中の実線 $C'P_n$ のような変形パターンを生じなければならない。(b)

そして、いずれの場合によっても張力は、変形の関数として求められるが、生じる張力は(a)の場合に最大、(b)の場合には最小となる。

したがって、実際のガードフェンスの変形パターンと張力はかならずこれら両者の中間にあるはずである。ゆえに次のようなステップによれば、その変形パターンはかならず求まる。

まず当初 P_1 位置にあった支柱が変位して角 $P_1C'P_n$ の2等分線と交わる位置まで変位したものとする(ただし支柱は原位置から垂直方向に変位するものとする)。

そのときの支柱の支持力 R_1 は

$$R_1 = n \sqrt{\frac{1}{k} (P_1 P_1')}$$

一般的には、 $R = n \sqrt{y/k}$ (1.20) ここに、 y : 支柱の変位
 ガードロープが支持されている点において摩擦力がはたらかないものとする、支柱の反力とガードロープの張力とは釣合わねばならない。

$$R = 2T \left(\sin \frac{\theta}{2} \right) \dots\dots\dots (1.21)$$

ここに、

T : ロープ張力

θ : ロープの支柱位置における偏角

支持力 R が与えられれば、その場合のロープのつくる角 θ は、(1.21) 式の関係から求めることができる。

したがって、 P_1 支柱が P_1' にまで変位した時のスパン $\overline{P_1'P_2}$ のロープの方向は決定できるから、 P_2 位置にあった支柱の変位後の位置 P_2' はたゞ一つ決定される。

しかしこの場合、 P_2' の位置が線分 CP_n より上(ガードロープの原位置より前方)にあることは力学的にはありえない。

P_2' がこのような状態にあったとすれば最初の仮定した角 $P_1'C'P_1'$ が小さすぎ、いゝかえれば、 P_1 位置にあった支柱反力を小さく仮定しすぎたのである。したがって、次回は角 $P_1'C'P_n$ の2等分線の方向に最初のロープの方向を仮定して上と同様の計算を行なう。いっぽうもし、 P_2' が P_1' よりも図において下方(すなわちガードロープの原位置より後方)となることは力学的にはありえない。この場合は、 P_1 位置にあった支柱の変位を大きく、あ

あるいは反力を大きく仮定しすぎたのであるから最初に戻って、角 P_1, C, P_1 の2等分線
方向に最初のロープの方向を仮定し、再度同様のステップを進める。

(5)
これは数値計算の2分法⁽⁵⁾の応用であり、何回かの計算の後、支柱の変位が既定の精度以内
の変位しか示さないスパンにまで到達した場合には、計算をそこで打ちきる。通常のガードロ
ープモデルの場合は2～3スパンにこれをおよぼすとほとんど支柱の位置の移動しない状態と
なる。このようにして、片側のロープの変形パターンが確定したら、他の一側のロープの変形
パターンをまったく同様にして求める。全体のロープの変形パターンが求まったら、ロープの
全体の伸び量を求め、ロープ張力を計算する。

この新しい張力を用いて、前と同様の計算をくり返し、所定の張力の誤差の範囲内に収束した
場合に計算を打ちきる。

1.3 レールが曲げのみを受けるガードフェンス

1.3.1 多数の比較的剛性の小さい支柱に支えられ塑性ヒンジ1箇を考える連続けたモデル

(コーネル航空研モデルC)

このモデルはレールとして従来のW型sectionのものに比して高い剛性のものを用い、
いっぽう支柱として建込間隔の密な剛性の低いものを用いたいわゆる“strong beam
weak post”概念のガードレールに適用される。これはコーネル航空研によって開発され
た新しいガードレール形式で、この概念によるガードフェンスの一例を図-1.3に示す。
力学モデルについてはその概要に示すことにし、支柱が自動車によって押し倒されない状態
すなわち対称荷重の状態を述べる。

コーネル航空研モデルC, D, Eではすべて支柱は2直線型(図1.4)の変位支持力曲
線にしたがうと仮定されている。記号は次の通りとする。(図1.5)

y : 荷重位置から距離 x の点におけるレールの水平変位

x : 荷重位置からの距離

ℓ : 支柱の間隔

\bar{p} : 支柱が塑性変形域に入ったときレール高さにおける最大支持力

K_s : レール支持位置において測ったレール変位の弾性常数

E : レールの弾性係数

I : レール断面の断面2次率

i : スパンの数

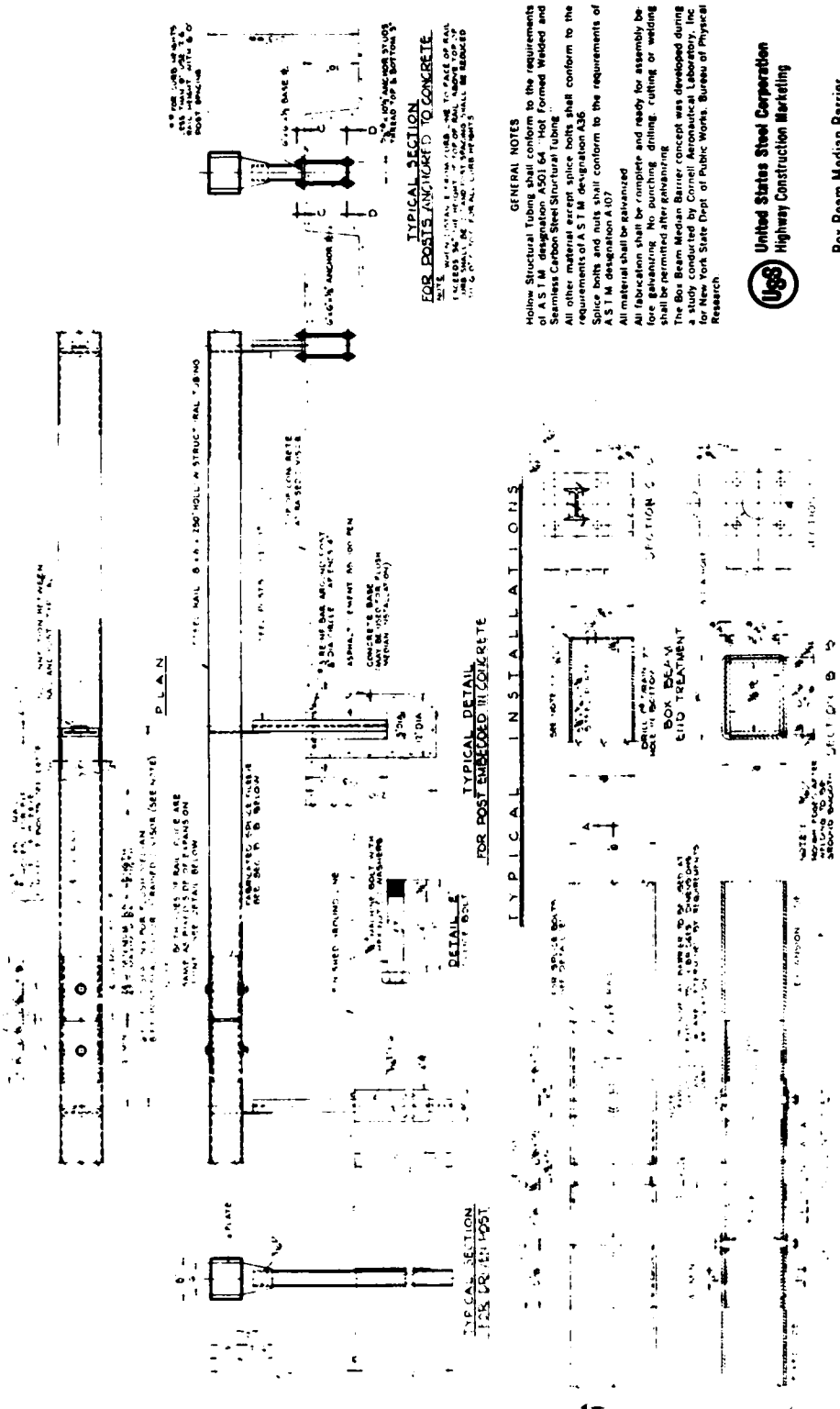
n : 塑性変形域に最後に入った支柱のスパン数

S_i : i 番目スパンのせん断力

M_0 : 荷重位置における曲げモーメント

$(M_0)_{max}$: レールの最大塑性曲げモーメント

M_E : 最後に塑性域に入った支柱位置におけるレールの曲げモーメント



GENERAL NOTES

Hollow Structural Tubing shall conform to the requirements of A.S.T.M. designation A501 or A501 Formed, Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing.

All other material except splice bolts shall conform to the requirements of A.S.T.M. designation A36.

Splice bolts and nuts shall conform to the requirements of A.S.T.M. designation A107.

All material shall be galvanized.

All fabrication shall be complete and ready for assembly before galvanizing. No punching, drilling, cutting or welding shall be permitted after galvanizing.

The Box Beam Median Barrier concept was developed during a study conducted by Cornell Mechanical Laboratory, Inc., Ithaca, New York State Dept. of Public Works, Bureau of Physical Research.



Box Beam Median Barrier
 Revised February 1965
 Figure 16A

図-1.3 箱型断面ガードレールの例

M_2 :最後に塑性域に入った支柱の1 スパン先のレールの曲げモーメント

M_3 :最後に塑性域に入った支柱の2 スパン先のレールの曲げモーメント

θ_E :最後に塑性域に入った支柱位置におけるレールのこう配 dy/dx

θ_2 :最後に塑性域に入った支柱の1 スパン先のレールのこう配 dy/dx

θ_3 :最後に塑性域に入った支柱の2 スパン先のレールのこう配 dy/dx

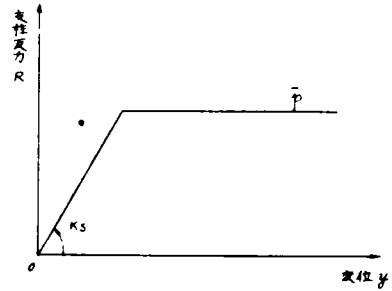


図-1.4 コーネルモデルにおける支柱の変位と支持力の関係

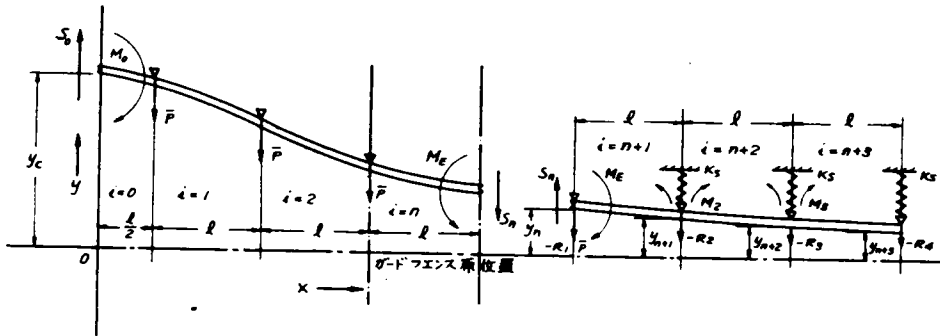


図 1.5 多数の比較的剛性の小さい支柱に支えられ、塑性ヒンジ1箇所を考える連続桁モデル

θ_4 :最後に塑性域に入った支柱より3 span先のレールのこう配 dy/dx

R_1 :最後に塑性域に入った支柱位置のレールの支持力, 支柱反力 $=\bar{P}$

R_2 :最後に塑性域に入った支柱の1 スパン先の支柱位置のレール支持力: 支持反力

R_3 :最後に塑性域に入った支柱の2 スパン先の支柱位置のレール支持力: 支持反力

R_4 :最後に塑性域に入った支柱の3 スパン先の支柱位置のレール支持力: 支持反力

\mathcal{Y}_C : 載荷位置におけるレール変位

\mathcal{Y}_n :最後に塑性域に入った支柱位置におけるレール変位

\mathcal{Y}_{n+1} :最後に塑性域に入った支柱位置より1 スパン先におけるレール変位

\mathcal{Y}_{n+2} :最後に塑性域に入った支柱位置より2 スパン先におけるレール変位

\mathcal{Y}_{n+3} :最後に塑性域に入った支柱位置より3 スパン先におけるレール変位

G_0 : 載荷位置 (すなわち $x=0$) におけるレールのこう配 dy/dx 荷点のせん断力と n 番目スパンすなわち最後に塑性域に入った支柱位置せん断力の関係は,

$$S_0 = S_n + n\bar{p} \quad \dots \dots \dots (1.22)$$

$$\text{また } R_1 = -\bar{p} = -S_n + \frac{M_2 - M_E}{\ell} \dots\dots\dots (1.23)$$

これにより,

$$S_0 = \bar{p} + \frac{M_2 - M_E}{\ell} + n\bar{p} = (n+q)\bar{p} \dots\dots\dots (1.24)$$

$$\text{ただし } q = \frac{S_n}{\bar{p}}$$

支柱がすでに塑性域に入っている領域では、 i スパン、(載荷点より距離 x) における曲げモーメント Mx は

$$Mx = EI \frac{d^2y}{dx^2} = M_0 + (n+q)\bar{p}x - i\bar{p}x + \bar{p} \frac{\ell}{2} \Sigma\beta \dots (1.25)$$

ただし

$$\Sigma\beta = 1 + 3 + 5 + \dots\dots\dots + (2i-1)$$

y についてとけば

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M_0}{EI} + \frac{\bar{p}\ell}{2EI} \Sigma\beta + \frac{(n-i+q)\bar{p}x}{EI} \dots\dots\dots (1.26)$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{M_0x}{EI} + \left\{ \frac{\bar{p}\ell}{2EI} \Sigma\beta \right\} x + \frac{(n-i+q)}{2EI} x^2 + G_i \dots\dots\dots (1.27)$$

$$y = \frac{M_0}{2EI} x^2 + \left\{ \frac{\bar{p}\ell}{2EI} \Sigma\beta \right\} \frac{x^2}{2} + \frac{(n-i+q)\bar{p}x^3}{6EI} + G_i x + H_i \dots\dots (1.28)$$

が得られる。

いっぽう、 n スパンより先の弾性支持部については、 3 スパンの先の支柱で曲げモーメント 0 の状態になると仮定すれば、力の釣合いと、 3 連モーメント定理により各支点(すなわち支柱位置)のこう配は、

$$\theta_E = -\frac{\ell}{EI} \left(\frac{M_E}{3} + \frac{M_2}{6} \right) + \frac{2M_2 - M_E - M_3}{K_s \ell^2} - \frac{\bar{p}}{K_s \ell} \dots\dots\dots (1.29)$$

$$\begin{aligned} \theta_2 &= +\frac{\ell}{EI} \left(\frac{M_E}{6} + \frac{M_2}{3} \right) + \frac{2M_2 - M_E - M_3}{K_s \ell^2} - \frac{\bar{p}}{K_s \ell} \\ &= -\frac{\ell}{EI} \left(\frac{M_2}{3} + \frac{M_3}{6} \right) + \frac{M_E + 3M_3 - 3M_2}{K_s \ell^2} \dots\dots\dots (1.30) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_3 &= +\frac{\ell}{EI} \left(\frac{M_2}{6} + \frac{M_3}{3} \right) + \frac{M_E + 3M_3 - 3M_2}{K_s \ell^2} = -\frac{\ell}{EI} \left(\frac{M_3}{3} \right) + \frac{M_2 - 3M_3}{K_s \ell^2} \\ &\dots\dots\dots (1.31) \end{aligned}$$

$$\theta_4 = \frac{\ell}{EI} \left(\frac{M_3}{6} + \frac{M_2 - 8M_3}{Ks\ell^2} \right) \dots\dots\dots (1.32)$$

となる。

ここにおいて、未知数は $M_E, M_2, M_3, \theta_E, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ の7個であり、方程式は6個であるから、 M_E を含んだ式で他の6個の未知数は表わすことができる。

すなわち

$$q = 1 + \frac{M_2 - M_E}{\bar{p}\ell} = D_1 - DM_E \dots\dots\dots (1.33)$$

$$\theta_E = -M_E V - W \dots\dots\dots (1.34)$$

の形に表わすことができる。

ここに、

D_1, D, V, W : 常数

さて、もし載荷点にすでに塑性ヒンジが生じた場合には、 $M_0 = (M_0)_{\max}$ で既知であるから、ちょうど塑性域に入った支柱位置の曲げモーメント M_E は、支柱がすべて弾性域にある部分の関係式、式(1.25)のみによって求めることができる。

すなわち、

$$M_E = M_0 + q\bar{p} \left(\frac{2n+1}{2} \right) \ell + \bar{p} \frac{\ell}{2} \sum \tau \dots\dots\dots (1.35)$$

ここに、

$$\tau = 1 + 3 + 5 + \dots\dots\dots + (2n+1)$$

これより

$$M_E = \frac{\{ 2M_0 + D_1 \bar{p} (2n+1) \ell + \bar{p} \ell \sum \tau \}}{\{ 2 + D \bar{p} (2n+1) \ell \}} \dots\dots\dots (1.36)$$

一方レール載荷点がおお弾性域にある場合は M_0 は未知であり、この場合は、 $x=0$ におけるこう配0、すなわち $G_0 = 0$ の条件を用いる。

支柱が弾性域にある部分の力学的条件からえられた

$$\theta_E = \frac{dy}{dx} = -M_E V - W \dots\dots\dots (1.37)$$

と塑性域側から求められた

$$\theta_E = \left(\frac{dy}{dx} \right)_{x = \left(\frac{2n+1}{2} \right) \ell}$$

$$= \frac{M_0}{EI} \left(\frac{2n+1}{2} \right) \ell + \left\{ \frac{\bar{p} \ell}{2EI} \sum \beta \right\} \left(\frac{2n+1}{2} \right) \ell$$

$$+ \frac{q \bar{p}}{2EI} \left(\frac{2n+1}{2} \right)^2 \ell^2 + G_n \dots \dots \dots (1.38)$$

は等しく、これから

$$G_n = \frac{q \bar{p} \ell^2 (2n+1)^2}{8EI} - M_E \left\{ V + \frac{(2n+1)\ell}{2EI} \right\} - W \dots \dots (1.39)$$

がえられる。

式(1.27)を各支柱位置(すなわち連続けたの支点位置)の両側においてつくり、等距離とスパン番号の1個の差を条件として等置(すなわちレールのこう配が等しい)していけば、

$$G_0 = G_n + \frac{\bar{p} \ell^2}{8EI} \sum (2j+1)^2 = 0 \dots \dots \dots (1.40)$$

$$j = 0, 1, 2, 3, \dots \dots \dots (n-1)$$

がえられる。この G_n を用いれば、(1.33)(1.39)式から M_E は、

$$M_E = \frac{\left[\bar{p} \ell^2 \{ D_1 (2n+1)^2 + \sum (2j+1)^2 \} - 8EIW \right]}{\{ D \bar{p} \ell^2 (2n+1)^2 + 8EIV + 4(2n+1)\ell \}} \dots (1.41)$$

$$j = 0, 1, 2, 3, \dots \dots \dots (n-1)$$

として求まる。この場合は M_0 が未知のままであったが、式(1.36)により、

$$M_0 = \frac{M_E}{2} \{ 2 + D \bar{p} \ell (2n+1) \} - \frac{\bar{p} \ell}{2} \{ \sum r + D_1 (2n+1) \} \dots (1.42)$$

として求められる。

G_i, H_i は式(6.40)と同じ手法で求められる。

載荷点のたわみは、

$$y_c = H_n - \frac{\bar{p} \ell^3}{48EI} \sum (2j+1)^3 \dots \dots \dots (1.43)$$

$$j = 1, 2, \dots \dots \dots (n-1)$$

として求まる。

本方法によれば、載荷点の荷重と変位の関係は、**塑性域**に入る支柱を1本増す毎に1個えられる。これらの点に多項式曲線をあてはめれば、なめらかな変位、荷重曲線がえられる。

1.3.2 弾性床の上のはりの理論によるガードレールモデル

1.3.1において述べた強いレール、弱いポスト概念によるガードレールを理想化するとこれはいわゆる弾性床の上のはりの理論となる。いま1.3.1の場合と同様剛な2次モーメン

トの大きいレールが比較的剛でない。間隔の狭い支柱の上に両者が互いに結合されることなく乗せられているものとする。

またレールの長さは十分長く、無限ばりで近似しうると考える。比較的小さい変位のうち、支柱は弾性的に作用しているが、弾性限後は支柱に塑性ヒンジを生じて一定の大きさの力を持つようになる。やがて最後には変位の増加の一定限界において、両者の結合ははずれ、支柱による反力は消失する。支柱の間隔が比較的密であれば、これを一様に分布させ、弾性床のように近似的にとりあつかえるであろう(図-1.6)。

図-1.6において、

k : 弾性床の弾性係数

δ_{qp} : 弾性限界となる変位

δ_{qv} : 反力を消失する変位

q_p : 塑性支持における単位長当り反力

いまこのような性質の弾性床上の一点に荷重 P が加わった場合を考える。荷重点のたわみを y_c で表わす。

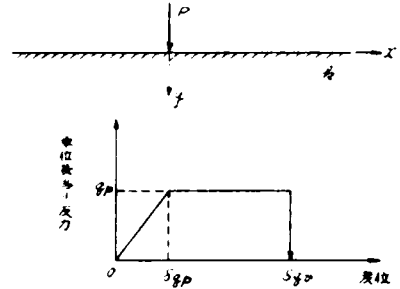


図-1.6 弾性床モデル

(1) $y_c \leq \delta_{qp}$ の場合

これは、いわゆる弾性床の場合であって、

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = q, \quad q = -ky \text{ であるから}$$

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = -ky \quad \dots \dots \dots (1.44)$$

$\beta = 4\sqrt{k/4EI}$ とおき、境界条件をいれれば、

$$y = \frac{Pe^{-\beta x}}{8\beta^3 EI} (\cos \beta x + \sin \beta x) \quad \dots \dots \dots (1.45)$$

$$y_c = (y)_{x=0} = \frac{P}{8\beta^3 EI} \quad \dots \dots \dots (1.46)$$

弾性限においては、

$$y_c = \delta_{qp} \quad \dots \dots \dots (1.47)$$

そのときの荷重は、

$$P = 8\beta^3 EI \cdot \delta_{qp} \quad \dots \dots \dots (1.48)$$

これ以上の変位を生じた場合は、次の段階に入る。

(2) $\delta_{qp} < y_c \leq \delta_{qv}$ の場合(図-1.7)

たわみが δ_{qp} を越えた部分は塑性床というべき状態にあり一定の分布荷重 q_p が抵抗

している。たわみが δ_{qp} となっている点、すなわち q_p 一定なる塑性床と弾性床の境に働く曲げモーメント M_E 、塑性床の長さ ℓ の2つを未知数にとって考える。

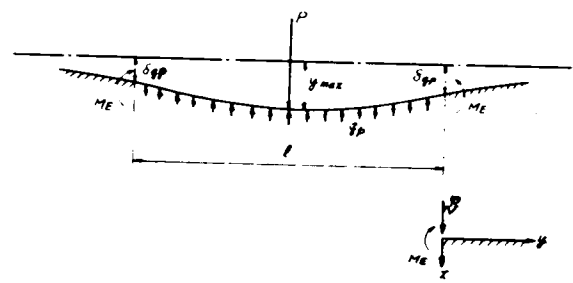


図-1.7 $\delta_{qp} < y_c \leq \delta_{qv}$ の場合

弾性床の側を考えると、これは弾性床上の半無限梁の端部に

荷重 S と曲げモーメント M のかかった場合であり、

$$S = \frac{P}{2} - \frac{q_p \ell}{2} \dots\dots\dots (1.49)$$

$$\delta_{qp} = (y)_{x=0} = \frac{1}{2\beta^3 EI} (S - \beta M_E) \dots\dots\dots (1.50)$$

$$= \frac{1}{2\beta^3 EI} \left(\frac{P}{2} - \frac{q_p \ell}{2} - \beta M_E \right) \dots\dots\dots (1.51)$$

$$\left(\frac{dy}{dx} \right)_{x=0} = -\frac{1}{2\beta^2 EI} \left(\frac{P}{2} - \frac{q_p \ell}{2} - 2\beta M_E \right) \dots\dots (1.52)$$

等分布荷重側を考えると、これは図-1.8の3つの荷重を重ね合せればよい。

等分布荷重 q_p により

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{q_p \ell}{2} \cdot x - \frac{q_p \cdot x^2}{2} \dots\dots (1.53)$$

$$EI \frac{dy}{dx} = \frac{q_p \ell x^2}{4} - \frac{q_p x^3}{6} - \frac{q_p \ell^3}{24} \dots\dots\dots (1.54)$$

$$EI \cdot y = \frac{q_p \ell x^3}{12} - \frac{q_p x^4}{24} - \frac{q_p \ell^3}{24} \cdot x \dots\dots\dots (1.55)$$

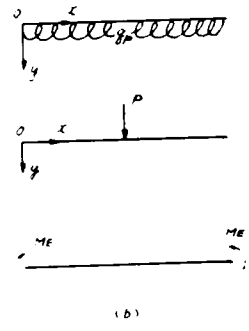


図-1.8 $\delta_{qp} < y_c \leq \delta_{qv}$ の場合の3種の荷重状態

集中荷重 P により

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{P}{2} x \dots\dots\dots (1.56)$$

端末モーメント M_E により

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = -M_E \dots\dots\dots (1.57)$$

合成すると

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{P}{2}x + \frac{q_p \ell x}{2} - \frac{q_p}{2} \cdot x^2 - M_E \dots \dots \dots (1.58)$$

$$EI \frac{dy}{dx} = -\frac{P}{4}x^2 + \frac{q_p \ell}{4}x^2 - \frac{q_p}{6}x^3 - M_E x + C_1, \dots \dots \dots (1.59)$$

境界条件より M_E , C_1 , ℓ の関係式を求める。

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_{x=\frac{\ell}{2}} = 0 \text{ より}$$

$$C_1 = \frac{P}{16}\ell^2 - \frac{q_p}{16}\ell^3 + \frac{q_p}{48}\ell^3 + \frac{M_E}{2}\ell \dots \dots \dots (1.60)$$

弾性床, 塑性床の境界におけるたわみ角が等しい条件から

$$\frac{C_1}{EI} = \frac{1}{2\beta^2 EI} \left(\frac{P}{2} - \frac{q_p \ell}{2} - 2\beta M_E \right) \dots \dots \dots (1.61)$$

$$\delta_{qp} = \frac{1}{2\beta^3 EI} \left(\frac{P}{2} - \frac{q_p \ell}{2} - \beta M_E \right) \dots \dots \dots (1.62)$$

(1.58)~(1.60) の3式より C_1 , ℓ , M_E を解けば塑性床部のたわみは

$$EI \cdot y = -\frac{P}{4} \frac{x^3}{3} + \frac{q_p \ell}{4} \frac{x^3}{3} - \frac{q_p}{6} \frac{x^4}{4} - M_E \frac{x^2}{2} + C_1 x + EI \cdot \delta_{qp} \dots \dots \dots (1.63)$$

で求められる。

弾性床部のたわみは

$$y = \frac{e^{-\beta x}}{2\beta^3 EI} \left\{ \frac{S}{2} \cdot \cos \beta x - \beta M_E (\cos \beta x - \sin \beta x) \right\}$$

$$\text{ここに } S = \frac{P}{2} - \frac{q_p \ell}{2} \dots \dots \dots (1.64)$$

によって求められる。

ただし x の値は弾性床・塑性床の境を0としている。

(3) $y_c > \delta_{qp}$ の場合

(図-1.9)

この場合よりさらにたわみが増大すると、支柱とレールの結合がはずれて、レールに対する支柱反力が期待できなくなる。弾性、塑性床の両側

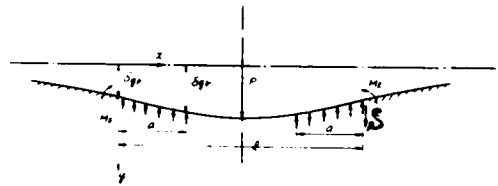


図-1.9 $y_c > \delta_{qp}$ の場合

境界の間隔 ℓ ，片側の塑性床の長さ a ，弾性床端末の曲げモーメント M_E の3つを未知数にとる。弾性床端末にはたらくせん断力 S は

$$S = P/2 - q_p \cdot a \quad \dots\dots\dots (1.65)$$

q_p の抵抗により，

① $x \leq a$ においては，

$$E I \frac{d^2 y}{d x^2} = q_p \cdot a \cdot x - \frac{q_p}{2} \cdot x^2 \quad \dots\dots\dots (1.66)$$

$$E I \frac{d y}{d x} = \frac{q_p \cdot a}{2} x^2 - \frac{q_p}{6} x^3 + C_1 \quad \dots\dots\dots (1.67)$$

$$E I y = \frac{q_p \cdot a}{6} x^3 - \frac{q_p}{24} x^4 + C_1 x + C_2 \quad \dots\dots\dots (1.68)$$

② $\frac{\ell}{2} \geq x \geq a$ においては

$$E I \frac{d^2 y}{d x^2} = q_p a x - q_p a \left(x - \frac{a}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (1.69)$$

$$E I \frac{d y}{d x} = \frac{q_p \cdot a^2}{2} x + C_3 \quad \dots\dots\dots (1.70)$$

$$E I y = \frac{q_p a^2}{4} x^2 + C_3 x + C_4 \quad \dots\dots\dots (1.71)$$

境界条件によって，

$$C_1 = \frac{1}{12} (2a - 3\ell) q_p a^2 \quad \dots\dots\dots (1.72)$$

$$C_2 = 0 \quad \dots\dots\dots (1.73)$$

$$C_3 = -\frac{q_p a^2}{4} \ell \quad \dots\dots\dots (1.74)$$

$$C_4 = \frac{1}{24} q_p a^4 \quad \dots\dots\dots (1.75)$$

これより

$x \leq a$ では，

$$E I \frac{d y}{d x} = \frac{q_p \cdot a}{2} x^2 - \frac{q_p}{6} x^3 + \frac{1}{12} (2a - 3\ell) q_p a^2 \quad \dots (1.76)$$

$$E I y = \frac{q_p a}{6} x^3 - \frac{q_p}{24} x^4 + \frac{1}{12} (2a - 3\ell) q_p a^2 \cdot x \quad \dots (1.77)$$

$x > a$ では

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{q_p a^2}{2} x - \frac{q_p a^2}{4} l \quad \dots \dots \dots (1.78)$$

$$EI y = \frac{q_p a^2}{4} x^2 - \frac{q_p a^2 l}{4} x + \frac{1}{24} q_p a^4 \quad \dots \dots \dots (1.79)$$

となる。

M_E により

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -M_E \quad \dots \dots \dots (1.80)$$

$$EI \frac{dy}{dx} = -M_E x + \frac{M_E l}{2} \quad \dots \dots \dots (1.81)$$

$$EI y = -\frac{M_E}{2} x^2 + \frac{M_E l}{2} x \quad \dots \dots \dots (1.82)$$

荷重 P により

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{P}{2} x \quad \dots \dots \dots (1.83)$$

$$EI \frac{dy}{dx} = -\frac{P}{4} x^2 + \frac{Pl^2}{16} \quad \dots \dots \dots (1.84)$$

$$EI y = -\frac{P}{12} x^3 + \frac{Pl^2}{16} x \quad \dots \dots \dots (1.85)$$

$$\begin{aligned} \therefore EI \frac{dy}{dx} &= \frac{q_p a}{2} x^2 - \frac{q_p}{6} x^3 + \frac{1}{12} (2a - 3l) q_p a^2 \\ &\quad - M_E x + \frac{M_E l}{2} - \frac{P}{4} x^2 + \frac{Pl^2}{16} \quad \dots \dots \dots (1.86) \end{aligned}$$

$$\left(\frac{dy}{dx} \right)_{x=0} = \frac{1}{EI} \left(\frac{1}{12} (2a - 3l) q_p a^2 + \frac{M_E l}{2} + \frac{Pl^2}{16} \right)$$

$$= \frac{1}{2\beta^2 EI} \left(\frac{P}{2} - q_p a - 2\beta M_E \right) \dots \dots (1.87)$$

$$\delta q_p = \frac{1}{2\beta^3 EI} \left(\frac{P}{2} - q_p a - \beta M_E \right) \dots \dots \dots (1.88)$$

$$y = \frac{1}{EI} \left(\frac{q_p a}{6} x^3 - \frac{q_p}{24} x^4 + \frac{1}{12} (2a - 3l) q_p a^2 x \right.$$

$$\left. - \frac{M_E}{2} x^2 + \frac{M_E l}{2} x - \frac{P}{12} x^3 + \frac{Pl^2}{16} x \right) \dots \dots \dots (1.89)$$

$$\begin{aligned}
 (y)_{x=a} &= \frac{1}{EI} \left(\frac{q_p a^4}{6} - \frac{q_p a^4}{24} + \frac{1}{12} (2a - 3l) q_p a^3 \right. \\
 &\quad \left. - M_E \frac{a^2}{2} + \frac{M_E}{2} l \cdot a - \frac{P}{12} a^3 + \frac{Pl^2}{16} \cdot a \right) \\
 &= \delta_{qv} - \delta_{qp} \dots \dots \dots (1.90)
 \end{aligned}$$

$$2\beta^3 EI \cdot \delta_{qp} = \frac{P}{2} - q_p a - \beta M_E \dots \dots (1.91)$$

$$a = \frac{1}{q_p} \left(\frac{P}{2} - \beta M_E - 2\beta^3 EI \cdot \delta_{qp} \right) \dots \dots \dots (1.92)$$

$$\begin{aligned}
 q_p \frac{a^3}{6} - \frac{q_p a^2}{4} l + \frac{M_E}{2} l + \frac{Pl^2}{16} &= \frac{1}{2\beta^2} \left(\frac{P}{2} q_p a - 2\beta M_E \right) \\
 \frac{P}{16} l^2 + \left(\frac{M_E}{2} - \frac{q_p a^2}{4} \right) l + \left(\frac{q_p a^3}{6} - \frac{1}{2\beta^2} \left(\frac{P}{2} - q_p a - 2\beta M_E \right) \right) &= 0 \dots \dots \dots (1.93)
 \end{aligned}$$

$$A = \frac{P}{16}, \quad B = \frac{M_E}{2} - \frac{q_p a^2}{4},$$

$$C = \frac{q_p a^3}{6} - \frac{1}{2\beta^2} \left(\frac{P}{2} - q_p a - 2\beta M_E \right) \dots \dots \dots (1.94)$$

とおけば l は,

$$l = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \dots \dots \dots (1.95)$$

$$\begin{aligned}
 \frac{q_p a^4}{6} - \frac{q_p a^4}{24} + \frac{q_p a^4}{6} - \frac{q_p a^3}{4} l + \left(\frac{la}{2} - \frac{a^2}{2} \right) M_E - \frac{Pa^3}{12} + \frac{Pl^2}{16} \cdot a \\
 = EI (\delta_{qv} - \delta_{qp}) \dots \dots \dots (1.96)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_E = \frac{2}{a(l-a)} \left(-\frac{7}{24} q_p a^4 + \frac{q_p a^3}{4} l + \frac{Pa^3}{12} - \frac{Pl^2}{16} \cdot a + EI \right. \\
 \left. (\delta_{qv} - \delta_{qp}) \right) \dots \dots \dots (1.97)
 \end{aligned}$$

式(1.92)(1.95)(1.97)より a, l, M_E が決定される。

流れ図は図-1.10のようになる。

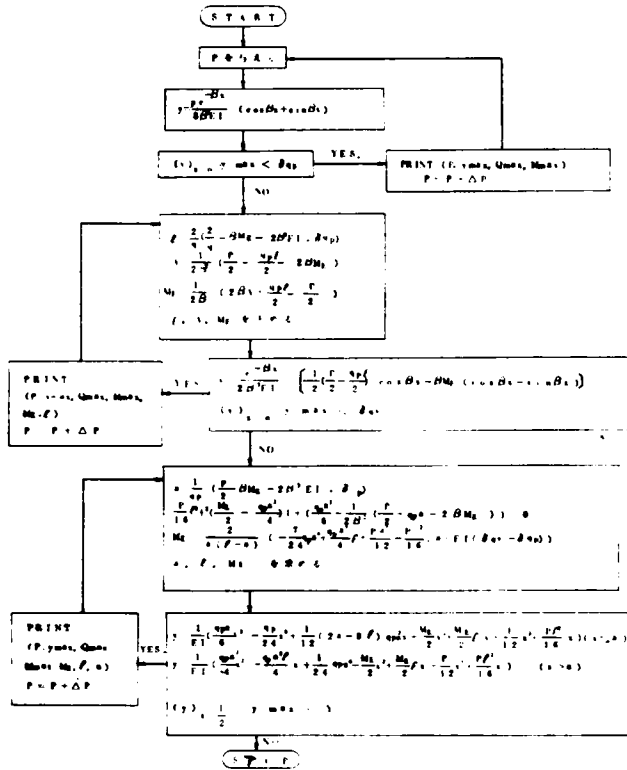


図-1.10 弾性床上の梁によるガードレールモデル流れ図

1.4 曲げと引張を同時に受けるガードフェンスモデル (概要)

(コーネル航空研モデルD)

このモデルでは、レールに関して曲げと引張をともに考慮するが、支柱とレール間においては、レール軸方向には結合は存在しないとみなしている。記号は1.2.3, 1.3.1と共通なものは略せば、次の通りである。(図1-11参照)

x_i : 最後に塑性域に入った支柱を原点とし、載荷位置からと同方向にとった距離

N : 自動車の衝突により倒された支柱の数

θ : レールのこう配 dy/dx

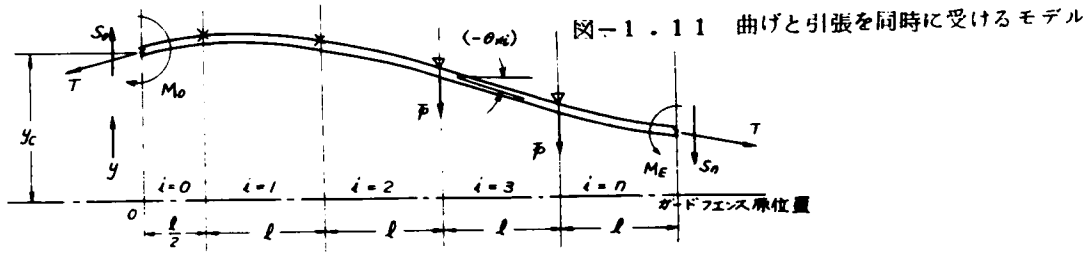
θ_0 : $x=0$ におけるレールのこう配 dy/dx

θ_n : 最後に塑性域に入った支柱位置のレールのこう配

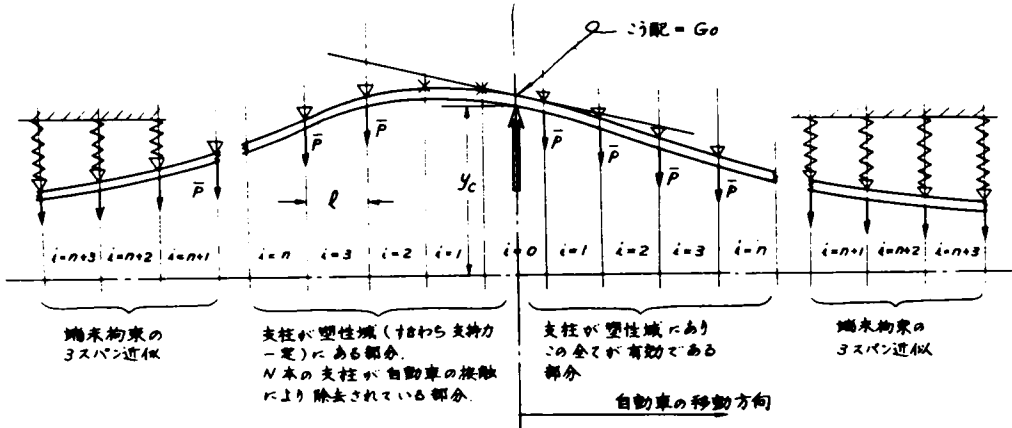
θ_{x_i} : i 番目スパン中の距離 x におけるレールのこう配

θ_{n+3} : 最後に塑性域に入った支柱から3スパン先のレールのこう配

レールと支柱間には軸方向の拘束力は働かないと仮定したから



支柱 \$N\$ 個が衝突により破壊したときの支柱が塑性域にある部分のモデル



端末拘束の
3スパン近似

支柱が塑性域（すなわち支持力一定）にある場合、
\$N\$本の支柱が自動車の接触により除去されている部分

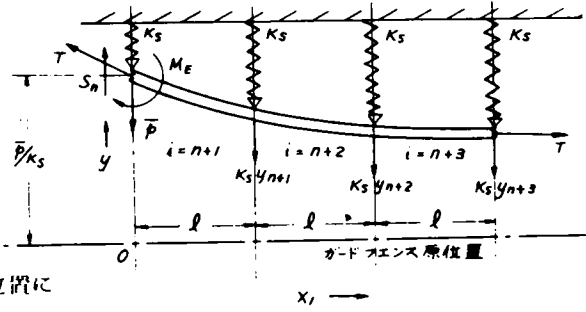
支柱が塑性域にありこの全てが有効である部分

端末拘束の
3スパン近似

自動車の移動方向

$$T \cos \theta \doteq T_E$$

$$T \sin \theta = T_E \tan \theta \doteq T_E \theta$$



載荷点および、最後に塑性域に入った支柱位置における、レール軸に直角方向の力の釣合いを考えると、

端末拘束の3スパン近似

$$S_0 - T_E \theta_0 = S_n - T_E \theta_n + (n - N) \bar{p}$$

$$= (n + q - N) \bar{p} \dots \dots \dots (1.98)$$

ここに $q = \frac{S_n - T_E \theta_n}{\bar{p}}$

支柱が塑性域に入っている部分の \$i\$ スパン距離 \$x\$ における曲げモーメントは

$$M_x = EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M_0 + (n + q - N - Q) \bar{p} x + \beta_1 \bar{p} \frac{l}{2} - T_E (y_c - y)$$

$$\dots \dots \dots (1.99)$$

$$\text{ここに } Q = \begin{cases} i - N & i > N \\ 0 & i \leq N \end{cases}$$

$$\beta_i = \begin{cases} \sum_0^{2N+1} + \sum_{(2i-1) < (2N+1)}^{2N+3} + \dots + (2i-1), & (2i-1) \geq (2N+1) \\ (2i-1), & (2i-1) < (2N+1) \end{cases}$$

$$x > 0, \quad \left(\frac{2i-1}{2}\right) \ell \leq x \leq \left(\frac{2i+1}{2}\right) \ell$$

$A^2 = \frac{T_E}{EI}$ とおき、式(1.99)を y についてとくと

$$\frac{d^2 y}{d x^2} - A^2 y = \frac{M_0}{EI} + \frac{\bar{p} \ell}{2EI} \beta_i + \frac{(n+q-N-Q)\bar{p} x}{EI} - \frac{T_E \gamma_c}{EI} \quad (1.100)$$

軸方向力を持つために左辺2項、右辺4項が入ってくる。

この微分方程式をとくと i スパンにつき

$$y_i = G_i e^{Ax} + H_i e^{-Ax} - \frac{(n+q-N-Q)\bar{p}}{T_E} x - \frac{M_0}{T_E} - \frac{\bar{p} \ell}{2T_E} \beta_i + \gamma_c \quad (1.101)$$

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_i = G_i A e^{Ax} - H_i A e^{-Ax} - \frac{(n+q-N-Q)\bar{p}}{T_E} \quad (1.102)$$

$$\left(\frac{d^2 y}{d x^2}\right)_i = G_i A^2 e^{Ax} + H_i A^2 e^{-Ax} \quad (1.103)$$

弾性支持領域に関しても M_{x_i} は $x_i = 3\ell$ において0となる。すなわち弾性域3スパンで曲げモーメントは0となるという仮定をすれば、 i 番目スパンについて

$$\frac{d^2 y}{d x_i^2} - \left(\frac{T_E}{EI}\right) y = \frac{M_E}{EI} + \frac{\bar{p}(q-1)x_i}{EI} - \frac{T_E \bar{p}}{K_s EI} + \frac{K_s}{EI} \sum_{j=n+2}^i y_{j-1} \quad (1.104)$$

[$(j-n-1)\ell - x_i$]

の関係がえられる。

$$\text{ただし } q = \frac{S_n - T_E \theta_n}{\bar{p}}$$

式(1.104)の右辺第4項は $i < n+2$ のときは0。

$A^2 = \frac{T_E}{EI}$ とおき、これをとけば

$$y = G_i e^{Ax_i} + H_i e^{-Ax_i} - \frac{M_E}{T_E} - \frac{\bar{p}(q-1)x_i}{T_E} + \frac{\bar{p}}{K_s} - \frac{K_s}{T_E} \sum_{j=n+2}^i y_{j-1} \quad (1.105)$$

$y_{j-1} [(j-n-1)\ell - x_i]$

$$\frac{dy}{dx_i} = A G_i e^{Ax_i} - A H_i e^{-Ax_i} - \frac{\bar{p}(q-1)}{T_E} + \frac{K_s}{T_E} \sum_{j=n+2}^i y_{j-1}$$

$$\dots\dots\dots(1.106)$$

$$\frac{d^2y}{dx_i^2} = A^2 G_i e^{Ax_i} + A^2 H_i e^{-Ax_i} \quad (1.107)$$

式(1.101), (1.102), (1.103)をとくために,

支柱弾性領域, 塑性領域界の端末拘束条件を式(1.105), (1.106), (1.107)

から, 1.2.1と同様に

$$q = D_i - DM_E \quad \dots\dots\dots(1.108)$$

$$\theta_n = -M_E V - W \quad \dots\dots\dots(1.109)$$

の形に誘導する。

ここに D, D_i, V, W は A, T_E, K_s, \bar{p} の関数である。

式(1.99)を $x = (\frac{2n+1}{2})l, i=n, y = \bar{p}/K_s$ についてかけば

$$M_E = M_0 + q\bar{p}(\frac{2n+1}{2})l + \frac{\bar{p}l}{2} \gamma_1 - T_E y_c + \frac{T_E \bar{p}}{K_s} \dots\dots(1.110)$$

ここに $\gamma_1 = \Sigma \{ (2N+1) + (2N+3) + (2N+5) + \dots + (2n-1) \}$

$q = D_i - DM_E$ を用い q を消去し, M_E についてとけば,

$$M_E = \left(\frac{2M_0 + D_i \bar{p} (2n+1)l + \bar{p}l \gamma_1 - 2T_E y_c + 2T_E \bar{p}/K_s}{2 + D\bar{p}(2n+1)l} \right) \dots\dots(1.111)$$

ルールに塑性ヒンジが生じ, $M_0 = f(T_E)$ と表わせれば, この式が M_E を求めるにそのまま用いられる。

しかし, レールがなお弾性域にあるときは, M_0 は未知であるから, 載荷点における境界条件 $(dy/dx)_c$ を用いて M_E を決定しなければならない。

式(1.101), (1.102)において, $i=n, x = (\frac{2n+1}{2})l, y = \bar{p}/K_s$ とし,

θ_n, q に式(1.108), (1.109)の表現を用いれば, G_n, H_n は

$$G_n = \frac{e^{-Z}}{2T_E} \left[M_E \left\{ 1 - \frac{1}{A} (D\bar{p} + T_E V) \right\} + \frac{1}{A} (D_i \bar{p} - T_E W) \right] \dots\dots(1.112)$$

$$H_n = \frac{e^Z}{2T_E} \left[M_E \left\{ 1 + \frac{1}{A} (D\bar{p} + T_E V) \right\} - \frac{1}{A} (D_i \bar{p} - T_E W) \right] \dots\dots(1.113)$$

$$\text{ただし } Z = A \left(\frac{2n+1}{2} \right) l$$

とかける。これを式(1.101), (1.102)を用い支点位置を介して順次隣接スパンに及ぼせば,

$$G_0 = G_n + \frac{\bar{p}}{2T_E A} \Sigma e^{-A(\frac{2j+1}{2})l} \dots\dots\dots(1.114)$$

$$H_0 = H_n - \frac{\bar{p}}{2T_E A} \Sigma e^{A(\frac{2j+1}{2})l} \dots\dots\dots(1.115)$$

ここに $j = N, N+1, N+2, \dots, (n-1)$

$x=0$ とすれば式 (1.106) を用いて載荷点のこう配は

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_c = A(G_0 - H_0) - \frac{(n+q-N)\bar{p}}{T_E} \dots\dots\dots(1.116)$$

式 (1.112) (1.113) を (1.114) (1.115) に代入し、 M_E についてけば、

$$M_E = \frac{\bar{p} \{ D_1 [\cosh z - 1] + \sum \cosh [A(\frac{2j+1}{2})\ell] - n + N \} - T_E \{ W \cosh z + \frac{(\frac{dy}{dx})_c}{A} \}}{[A \sinh z + D\bar{p} \{ \cosh z - 1 \} + T_E V \cosh z]} \dots\dots\dots(1.117)$$

ここに $j = N, N+1, N+2, \dots, (n-1)$

もし $n=N$ ならば、 $\sum \cosh [A(\frac{2j+1}{2})\ell] = 0$,

M_E がわかれば M_0 は (1.111) 式から求まる。

$$M_0 = M_E \{ 1 + D\bar{p}(\frac{2n+1}{2})\ell \} - D_1 \bar{p}(\frac{2n+1}{2})\ell - \frac{\bar{p}\ell}{2} \gamma_1 + T_E y_c - T_E \frac{P}{K_S} \dots\dots\dots(1.118)$$

また y_c は式 (1.117) より上の結果を利用して

$$y_c = G_0 + H_0 - \frac{M_E}{T_E} \left(1 + \frac{D\bar{p}z}{A} \right) + \frac{D_1 \bar{p}z}{T_E A} + \frac{\bar{p}\ell}{2T_E} \gamma_1 + \frac{\bar{p}}{K_S} \dots\dots(1.119)$$

ここに $\gamma_1 = (2N+1) + (2N+3) + \dots + (2n-1)$

レールの塑性曲げモーメントは軸方向引張力の大きさとともに変化すると仮定される。このモデル

では、両者の関係を図-1.12のように仮定する。

(a) もし M_0 を式 (1.118) で計算して $B_0 + \sum_{j=1}^n B_j (T_E)^j$ より小さい場合は式 (1.117) (1.118) (1.119) をそのまま用いる。

(b) もし M_0 を式 (1.118) で計算したものが $B_0 + \sum_{j=1}^n B_j (T_E)^j$ より大きい場合は次のようにする。

この場合は、ある与えられた T_E に対して可能な M_0

より大きい M_0 を生じているから、与えられた T_E を用いて

$$M_0 = B_0 + \sum_{j=1}^n B_j (T_E)^j \dots\dots\dots(1.120)$$

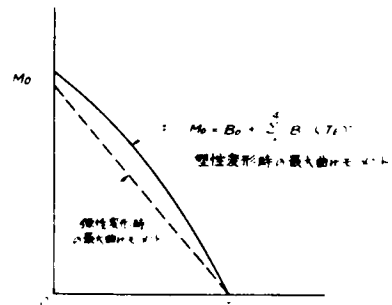


図-1.12 曲げモーメントと軸方向力の関係の仮定

なる M_0 を用い、 M_E を M_0 、 T_E で表現した

$$M_E = \frac{(D_1 \bar{p} - T_E W) \sinh z + A M_0 + \bar{p} \sum \sinh \left[A \left(\frac{2j+1}{2} \right) \ell \right]}{A \cosh z + (D_1 \bar{p} + T_E V) \sinh z} \dots, (1.121)$$

を計算する。

この M_E により G_n, H_n, G_0, H_0, y_c を計算し直す。

T_E は最初、仮定して出発したが、レール沿いに長さを積分し、レール長さの変化から

$$T = \frac{\int_0^{\left(\frac{2n+1}{2}\right)\ell} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx - \left(\frac{2n+1}{2}\right)\ell}{\left[\frac{L - \left(\frac{2n+1}{2}\right)\ell}{2A_1 E} + \frac{1}{A_1 E} \int_0^{\left(\frac{2n+1}{2}\right)\ell} \{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\} dx \right]} \dots (1.122)$$

として求める。

T_E が所定の精度におさまるまで計算をくり返す。

- 1.5 レールに比較的簡易な力学系を考えたガードフェンスモデル
- 1.5.1 レールは1スパンのみを考え、引張と曲げをともに考慮するモデル
- 1.5.1.1 全バネ系モデル

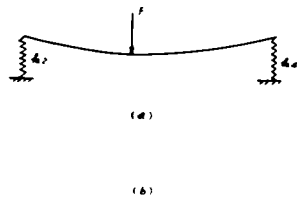
(コーネル航空研モデルG)

図-1.13の記号にしたがって説明する。

レールの曲げのみを考えた場合、

載荷点のレールのたわみは、

$$\delta = \left(\frac{a^2 b^2}{\ell}\right) \left(\frac{F}{3EI}\right) \dots (1.123)$$



支点の沈下量は

$$y_1 = F \cdot b / k_2 \ell \dots (1.124)$$

$$y_2 = F \cdot a / k_1 \ell \dots (1.125)$$

したがって、レールのたわみと、支点の沈下量をともに考慮すると

(図-1.15(a))

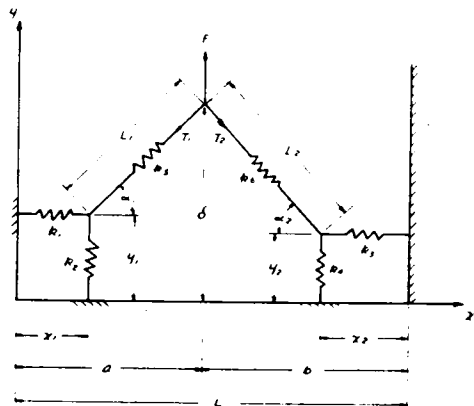


図-1.13 バネ系モデル

$$\delta = \left(\frac{b^2}{\ell^2}\right) \left(\frac{F}{k_x}\right) + \left(\frac{a^2}{\ell^2}\right) \left(\frac{F}{k_4}\right) + \left(\frac{a^2 b^2}{\ell^4}\right) \left(\frac{F \ell^3}{3EI}\right) \dots\dots\dots (1.126)$$

式(1.126)を変形すると、
 載荷位置およびその点の変位量を与えた時の
 荷重の大きさ F を決定することができる。
 ガードレールは一般に弾性曲げによって抵抗
 する間は比較的短く、その後は塑性曲げを考
 えねばならない。荷重とたわみの関係を模型
 的にかくと図-1.14 のようになる。

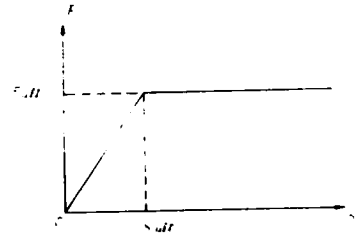


図-1.14 仮定した荷重とたわみの関係

塑性曲げ領域では

$$F_{ult} = \frac{\ell W \sigma_{ult}}{ab} \dots\dots\dots (1.127)$$

- ただし F_{ult} : 最大荷重
- W : 塑性断面係数
- σ_{ult} : 最大応力

式(1.127)を(1.126)に代入すると

$$\delta_{ult} = \frac{abW\sigma_{ult}}{3EI} + \frac{W\sigma_{ult}}{ab\ell} \left(\frac{a^2}{k_4} + \frac{b^2}{k_2}\right) \dots\dots (1.128)$$

ここに、 δ_{ult} : 曲げ荷重が最大となる変位

$\delta \leq \delta_{ult}$ では、式(1.127)を、 $\delta > \delta_{ult}$

では、式(1.128)を用いばよい。

以上は曲げに関して考えたが、レールは同時に引張によっても抵抗する。

図-1.13(b)の如くガードレールの引張抵抗を模型化して考えると、力の釣合いおよび幾何学的条件から、

$$\left. \begin{aligned} \tan \alpha_1 &= \frac{\delta - y_1}{a - x_1} \\ k_5 \left(\frac{a - x_1}{\cos \alpha_1} - a \right) &= T_1 \\ k_2 y_1 &= T_1 \sin \alpha_1 \\ k_1 x_1 &= T_1 \cos \alpha_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1.129)$$

式(1.129)において未知数は x_1 , y_1 , T_1 , α_1 の4個である。

したがってこれを解くと、まず α_1 について

$$\sin \alpha_1 - \beta_1 \tan \alpha_1 = \frac{1}{a} (1 - \beta_1) \delta \quad \dots\dots\dots (1.130)$$

$$\beta_1 = \frac{k_1 k_2}{k_5 (k_1 - k_2)} \pm \frac{k_1}{k_1 - k_2}$$

の関係がえられる。

これを満足する α_1 を求めれば、他の3個の未知数は容易に決定できる。

$$T_1 = \frac{ak_5(1/\cos \alpha_1 - 1)}{1 + k_5/k_1} \quad \dots\dots\dots (1.131)$$

$$x_1 = T_1 \cos \alpha_1 / k_1 \quad \dots\dots\dots (1.132)$$

$$y_1 = T_1 \sin \alpha_1 / k_2 \quad \dots\dots\dots (1.133)$$

R_1 を支柱反力とすると

$$R_1 = k_2 y_1 \quad \dots\dots\dots (1.134)$$

以上はモデルの左半分のみを考えたのであるが、右半分についても同様に考えて、

$$\sin \alpha_2 - \beta_2 \tan \alpha_2 = \frac{1}{b} (1 - \beta_2) \delta \quad \dots\dots\dots (1.135)$$

ただし、

$$\beta_2 = \frac{k_3 k_4}{k_6 (k_3 - k_4)} \pm \frac{k_3}{k_3 - k_4} \quad \dots\dots\dots (1.136)$$

$$T_2 = \frac{ak_6(1/\cos \alpha_2 - 1)}{1 + k_6/k_3} \quad \dots\dots\dots (1.137)$$

$$x_2 = T_2 \cos \alpha_2 / k_3 \quad \dots\dots\dots (1.138)$$

$$y_2 = T_2 \sin \alpha_2 / k_4 \quad \dots\dots\dots (1.139)$$

$$R_2 = k_4 y_2 \quad \dots\dots\dots (1.140)$$

$$\text{したがって } F = R_1 + R_2 \quad \dots\dots\dots (1.141)$$

これらの各式により荷重点の位置および変位 δ が与えられると荷重の大きさ F を決定できる。

以上において、 T_1, T_2 は T_{ult} (レール最大引張力)をこえないようにして取ってきた。もし T_1 が T_{ult} をこえた場合について考えると

$$T_{ult} \sin \alpha_1 = k_2 y_1 \quad \dots\dots\dots (1.142)$$

$$y_1 = \frac{ak_5(1/\cos \alpha_1 - 1)\sin \alpha_1}{k_2(1+k_5/k_1)} \dots\dots\dots (1.143)$$

式(1.143)を式(1.142)に代入して変形すると、

$$\sec \alpha_1 = \frac{T_{ult}}{a} \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_5} \right) + 1 \dots\dots\dots (1.144)$$

右半分についても

$$\sec \alpha_2 = \frac{T_{ult}}{b} \left(\frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_6} \right) + 1 \dots\dots\dots (1.145)$$

曲げモデルと引張モデルを合成すれば、曲げと引張を同時にうける型式のガードフェンスの力学系を表現することができる。

さて、以上はコーネル航空研モデルGの概要であるが、曲げモデルとバネによる引張モデルは実際は同一部材であって、支柱に相当する k_2 、 k_4 なるバネ常数を持つ部材は両モデルに共通するものでなければならない。よって図-1.15のように記号をとれば、釣合いおよび幾何学的条件は次のように考えるのが正しい。すなわち、曲げ部材のたわみと引張部材のたわみは実際は同一部材であるから等しくなければならない。

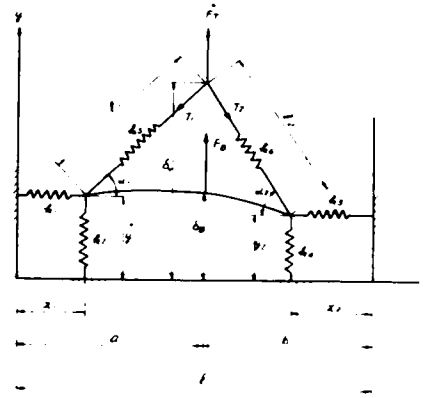


図-1.15 曲げと引張を同時に考慮したモデル

$$\delta = \delta_B = \delta_T \quad (1.146)$$

曲げ部材について

$$\delta_B = (y_2 - y_1) \frac{a}{\ell} + \frac{a^2 b^2}{\ell} \frac{F_B}{EI} \dots\dots\dots (1.147)$$

力の釣合いおよび幾何学的関係式は

$$F_T = T_1 \sin \alpha_1 + T_2 \sin \alpha_2 \dots\dots\dots (1.148)$$

$$\left. \begin{aligned} T_1 \sin \alpha_1 + F_B \frac{b}{\ell} &= k_2 y_1 \\ T_2 \sin \alpha_2 + F_B \frac{a}{\ell} &= k_4 y_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1.149)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{k_2 y_1 - F_B \frac{b}{\ell}}{k_1 x_1} &= \tan \alpha_1 \\ \frac{k_4 y_2 - F_B \frac{a}{\ell}}{k_3 x_2} &= \tan \alpha_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1.150)$$

$$\left. \begin{aligned} \tan \alpha_1 &= \frac{\delta - y_1}{a - x_1} & , & & \sin \alpha_1 &= \frac{\delta - y_1}{\ell_1} \\ \tan \alpha_2 &= \frac{\delta - y_2}{b - x_2} & , & & \sin \alpha_2 &= \frac{\delta - y_2}{\ell_2} \end{aligned} \right\} \dots\dots(1.151)$$

$$\ell_1 = (T_1/k_5) + a$$

$$\ell_2 = (T_2/k_6) + b \dots\dots\dots(1.152)$$

$$\delta - y_1 = a \tan \alpha_1 - x_1 \tan \alpha_1 \dots\dots\dots(1.153)$$

式(1.150)より

$$\frac{k_2 y_1 - F_B \cdot b/\ell}{\tan \alpha_1 \cdot k_1} = x_1 \dots\dots\dots(1.154)$$

ゆえに

$$\delta - y_1 = a \tan \alpha_1 - \frac{k_2 y_1 - F_B \cdot b/\ell}{k_1} \dots\dots\dots(1.155)$$

これから

$$y_1 = \frac{1}{k_1 - k_2} \{ k_1 (\delta - a \tan \alpha_1) - F_B \cdot b/\ell \} \dots\dots(1.156)$$

同様

$$y_2 = \frac{1}{k_3 - k_4} \{ k_3 (\delta - b \tan \alpha_2) - F_B \cdot a/\ell \} \dots\dots(1.157)$$

F_T は,

$$\begin{aligned} F_T &= k_2 y_1 + k_4 y_2 - F_B \\ &= \frac{k_2}{k_1 - k_2} \{ k_1 (\delta - a \tan \alpha_1) - F_B \cdot b/\ell \} + \frac{k_4}{k_3 - k_4} \\ &\quad \{ k_3 (\delta - b \tan \alpha_2) - F_B \cdot a/\ell \} - F_B \dots\dots\dots(1.158) \end{aligned}$$

と表わされる。この式中の α_1, α_2, F_B があらかじめ求められておかなければならない。

$$\begin{aligned} \ell_1 &= \frac{k_2 y_1 - F_B \cdot b/\ell}{\sin \alpha_1 \cdot k_5} + a \\ &= \frac{1}{k_2 - k_1} \{ k_1 (\delta - a \tan \alpha_1) - F_B \cdot b/\ell \} \frac{k_2}{\sin \alpha_1 \cdot k_5} \\ &\quad - \frac{F_B \cdot b/\ell}{\sin \alpha_1 \cdot k_5} + a \dots\dots\dots(1.159) \end{aligned}$$

式(1.151)に、 L_1, y_1 の関係を代入すれば α_1 を含む式

$$\frac{1}{(k_1 - k_2)} \{ k_1 (\delta - a \tan \alpha_1) - F_B \cdot b / \ell \} \frac{k_2}{k_5}$$

$$- \frac{F_B \cdot b / \ell}{k_5} + a \sin \alpha_1 = \delta - \frac{1}{k_1 - k_2} \{ k_1 (\delta - a \tan \alpha_1)$$

$$- F_B \cdot b / \ell \} \dots \dots \dots (1.160)$$

が得られる。

同様 α_2 に関しては

$$\frac{1}{k_3 - k_4} \{ k_3 (\delta - b \tan \alpha_2) - F_B \cdot a / \ell \} k_4 / k_6$$

$$- \frac{F_B \cdot a / \ell}{k_6} + b \sin \alpha_2 = \delta - \frac{1}{k_3 - k_4} \{ k_3 (\delta - b \tan \alpha_2)$$

$$- F_B \cdot a / \ell \} \dots \dots \dots (1.161)$$

が得られる。

F_B に関しては、式(1.147)中に y_1, y_2 の値を代入することにより、

$$F_B = \frac{\ell EI}{a^2 b^2} \left[\delta - \left\{ \frac{1}{k_3 - k_4} (k_3 \cdot \delta - b \tan \alpha_2 - F_B \cdot a / \ell) \right. \right.$$

$$\left. - \frac{1}{k_1 - k_2} (k_1 \cdot \delta - b \tan \alpha_1 - F_B \cdot b / \ell) \right\} a / \ell \Big]$$

$$= \frac{\ell EI}{a^2 b^2} \left[\delta - \left\{ \frac{k_3}{k_3 - k_4} (\delta - b \tan \alpha_2) - \frac{k_1}{k_1 - k_2} (\delta - a \tan \alpha_1) \right\} \right.$$

$$\left. a / \ell + \frac{F_B}{k_3 - k_4} \frac{a^2}{\ell^2} - \frac{F_B}{k_1 - k_2} \frac{a \cdot b}{\ell^2} \right] \dots \dots \dots (1.162)$$

$$F_B = \frac{\frac{EI}{a b^2}}{1 - \frac{EI}{b^2 \ell (k_3 - k_4)} + \frac{EI}{a b \ell (k_1 - k_2)}} \left[\delta - \left\{ \frac{k_3}{k_3 - k_4} \right. \right.$$

$$\left. (\delta - b \tan \alpha_2) - \frac{k_1}{k_1 - k_2} (\delta - a \tan \alpha_1) \right\} \dots \dots (1.163)$$

結局、式(1.160)、(1.161)、(1.163)を連立させ、 F_B, α_1, α_2 を適当に仮定してこれらの値を試行錯誤的に求めねばならないことになる。しかるのち、

F_T は式(1.158)より求められる。

1.5.1.2 油圧緩衝装置をもつガードフェンスの力学モデル

1.5.1.2.1 油圧緩衝装置付き支柱構造のモデル

油圧緩衝装置付きガードフェンスは鉄道車輛の車間衝撃緩和のためなどに用いられるオイルダンパー⁽⁶⁾を支柱構造に用い、その衝撃吸収能の応用を意図したものである。オイルダンパーの概略は図-1.16のごとくでピストンの一部

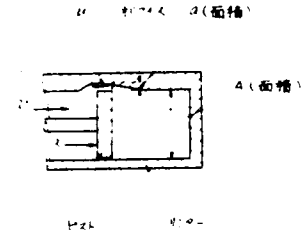


図-1.16 オイルダンパーの一般的構造

にオリフィスをつくりそこを通過する液体の渦粘性抵抗を利用しようとするものである。

ピストンの移動速度が低速の場合は、ピストン抵抗力は移動速度に比例するが、衝撃的な荷重が作用するときは

$$F = CV^2 \dots\dots\dots (1.164)$$

ここに、 C：常数

V：ピストン移動速度

なる力が働く。Cは理論的には、

$$C = \frac{A^3 \cdot \rho}{2g \cdot \zeta \cdot a^2} \dots\dots\dots (1.165)$$

ここに、 A：ピストン面積

ρ ：油の単位重量

g：重力の加速度

a：オリフィス面積

ζ ：係数

となる。

構造の詳細は第2章において述べるが、その支柱構造をモデル化すると図-1.17のようなものである。

図中、

A：支柱下端ピン位置

B：オイルダンパー下端のピン位置

C：オイルダンパー上端ピン位置

D：レール取付位置

である。

いま、載荷後一定時刻においての力の釣合いを考える。

$$\overline{AC} = l_1 \dots\dots\dots \text{一定}$$

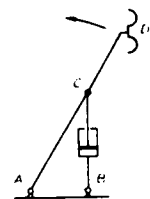


図-1.17 オイルダンパー付支柱の構造

$\overline{AB} = l_2'$ =一定：オイルダンパー下端ピン、支柱下端ピン間距離

$\overline{AD} = L$ =一定：支柱有効長

θ_0 =外力作用前の静止時における $\angle CAB$

θ =外力作用後の $\angle CAB$ の変化量

φ = $\angle ACB$

R =外力

F =オイルダンパーに働く力

$$F = \frac{RL \sin(\theta + \theta_0)}{l_1' \sin \varphi} \dots\dots\dots (1.166)$$

$$\sin \varphi = \frac{l_2 \sin(\theta + \theta_0)}{\sqrt{l_1'^2 + l_2'^2 - 2l_1' l_2' \cos(\theta + \theta_0)}} \dots\dots (1.167)$$

式(1.167)を式(1.166)に代入してFを求めると

$$F = \frac{RL \sqrt{l_1'^2 + l_2'^2 - 2l_1' l_2' \cos(\theta + \theta_0)}}{l_1' l_2'} \dots\dots (1.168)$$

また図-1.18を参照し、

X : 支柱ピン下端からレール前面までの
水平距離

s_0 : 静止時におけるオイルダンパーの
長さ

s : t 時刻におけるオイルダンパーの
長さ

ds : dt 時間におけるオイルダンパー
の長さの増分

$d\theta$: dt 時間における角 θ の増分

y : t 時刻におけるレールの水平移動量

dy : dt 時間におけるレールの水平移動量増分

とすると式(1.164)における V は $\frac{ds}{dt}$ に他ならないから、式(1.168)を

式(1.164)に代入すると

$$\frac{ds}{dt} = \frac{\sqrt{RL \sqrt{l_1'^2 + l_2'^2 - 2l_1' l_2' \cos(\theta + \theta_0)}}}{C l_1' l_2'} \dots\dots (1.169)$$

また、

$$\frac{ds}{dt} = \frac{l_1' l_2' \sin(\theta - \theta_0)}{\sqrt{l_1'^2 + l_2'^2 - 2l_1' l_2' \cos(\theta + \theta_0)}} \frac{d\theta}{dt} \dots\dots (1.170)$$

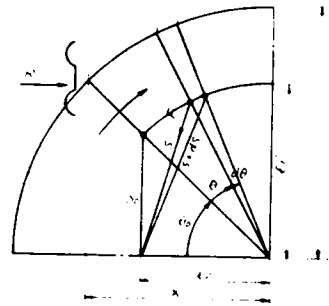


図-1.18 オイルダンパー付支柱に
おける幾何学的関係

図-1.19を参照して

$$dy = L \sin(\theta + \theta_0) d\theta$$

$$\therefore \frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{L \sin(\theta + \theta_0)} \frac{dy}{dt} \dots\dots\dots(1.171)$$

式(1.171)を式(1.170)に代入して $\frac{dy}{dt}$ を求めれば、

$$\frac{dy}{dt} = \frac{L \sqrt{\ell_1^2 + \ell_2^2 - 2 \ell_1 \ell_2 \cos(\theta + \theta_0)}}{\ell_1 \ell_2} \frac{ds}{dt} \dots\dots(1.172)$$

$$dy = \left(\frac{dy}{dt}\right) dt \dots\dots\dots(1.173)$$

$$\cos(\theta + \theta_0) = (X - Y) / L \dots\dots\dots(1.174)$$

式(1.169)より、ある時刻 t における $\frac{ds}{dt}$ を決定し、式(1.172)より $\frac{dy}{dt}$ を決定すると、 dt 時間に対する支柱の微分移動量 dy は式(1.173)より計算することができる。

1.5.1.2.2 油圧緩衝装置付きガードフェンスのモデル

1.5.1.1とほとんど同様であるが、この場合は、支柱反力は、支柱の移動速度に関係するから、ガードフェンスのモデルを自動車の運動プログラム中に組み込んでおかねばならない。

レール部分については1.5.1.1と同様に考える。

レールの曲げについては1.5.1.1と同じく

$$F = \frac{3EI\ell}{a^2b^2} \delta_m \quad \sigma \leq \sigma_{ult} \dots\dots\dots(1.175)$$

ここに、

E : 材料のヤング率

I : 断面2次モーメント

$F - \delta_m$ 曲線を前と同様に仮定すると

$$\delta_m y = \frac{abW}{3EI} \sigma_{ult} \dots\dots(1.176)$$

ここに、 σ_{my} : 弾性限界の曲げたがみ

σ_{ult} : 部材の最大曲げ応力

W : レールの断面係数

反力と σ_{ult} の関係は、

$$F = \frac{\ell W}{ab} \sigma_{ult} \quad \sigma > \sigma_{ult} \dots\dots\dots(1.177)$$

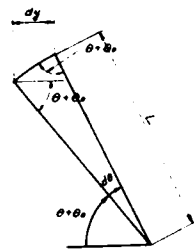


図-1.19 支柱の微小移動の幾何的關係

計算手順としては、 y_1, y_2 をも考慮にいれて曲げ応力の最大となる変位 δ を δ_{ult} とし、

$$\delta_{ult} = \frac{abW}{3EI} \sigma_{ult} + \frac{ay_2 + by_1}{\ell}$$

により、

$$\begin{aligned} \delta \leq \delta_{ult} &\leftarrow \sigma \leq \sigma_{ult} \\ \delta > \delta_{ult} &\leftarrow \sigma > \sigma_{ult} \end{aligned}$$

を判定する。

引張については、バネ部分の釣

合いと幾何学的関係から

図-1.20の記号により

$$\left. \begin{aligned} \tan \alpha_1 &= \frac{\delta - y_1}{a - x_1} \\ k_5 \left(\frac{a - x_1}{\cos \alpha_1} - a \right) &= T_1 \\ k_1 x_1 &= T_1 \cos \alpha_1 \end{aligned} \right\}$$

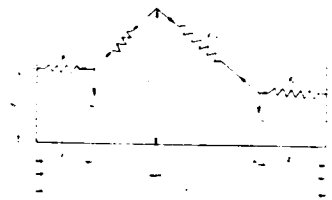


図-1.20 オイルダンパー付きガードフェンスモデルにおける引張力による抵抗モデル

..... (1.178)

ここにおいて未知数は x_1, T_1, α_1 である。

これを解くと、 α_1 の関係式

$$\frac{a \cdot k_1}{k_5} \tan \alpha_1 - \left(1 + \frac{k_1}{k_5}\right) (\delta - y_1) + a \sin \alpha_1 = 0 \dots (1.179)$$

を得、以下

$$x_1 = a - \frac{\delta - y_1}{\tan \alpha_1} \dots (1.180)$$

$$T_1 = \frac{k_1 x_1}{\cos \alpha_1} \dots (1.181)$$

として求まる。

支柱反力 R_1 は

$$R_1 = T_1 \sin \alpha_1 \dots (1.182)$$

以上は左半分について考えたが右半分についても同様に考えて

$$\frac{bk_3}{k_6} \tan \alpha_2 - \left(1 + \frac{k_3}{k_6}\right) (\delta - y_2) + b \sin \alpha_2 = 0 \dots (1.183)$$

$$x_2 = b - \frac{\delta - y_2}{\tan \alpha_2} \dots (1.184)$$

$$T_2 = \frac{\delta - y_2}{\cos \alpha_2} \dots\dots(1.185)$$

$$R_2 = T_2 \sin \alpha_2 \dots\dots(1.186)$$

したがって δ が与えられたときレールからの反力 F は

$$F = R_1 + R_2 \dots\dots(1.187)$$

もし T_1 、あるいは T_2 が最大引張力 T_{ult} をこえた場合は

$$\left. \begin{aligned} T_{ult} \cos \alpha_1 &= k_1 \cdot x_1 \\ \tan \alpha_1 &= (\delta - y_1) / (a - x_1) \end{aligned} \right\} \dots\dots(1.188)$$

これを解いて

$$\frac{T_{ult}}{k_1} \sin \alpha_1 - a \tan \alpha_1 + (\delta - y_1) = 0 \dots\dots(1.189)$$

右半分も同様に考えて

$$\frac{T_{ult}}{k_3} \sin \alpha_2 - b \tan \alpha_2 + (\delta - y_2) = 0 \dots\dots(1.190)$$

オイルダンパーの変位をも考慮した全体の流れ図は図-1.21 のようになる。

1.5.2 薄板の塑性曲げ理論による単純ばりモデル

本項では、薄板の塑性曲げ理論の応用について述べる。

ここでは曲げのみについて示すがW型断面の場合では曲げ剛性が小さいから、これだけでは、現実のガードフェンスにおいては衝突時のレール偏位のごく小さい時のみしか応用できない。偏位の大きい場合は、さらに引張力の効果を導入せねばならない。

1.5.2.1 応力ひずみ曲線の形

まずふつうにガードフェンス材料として用いられる鋼およびアルミニウムの応力-ひずみ曲

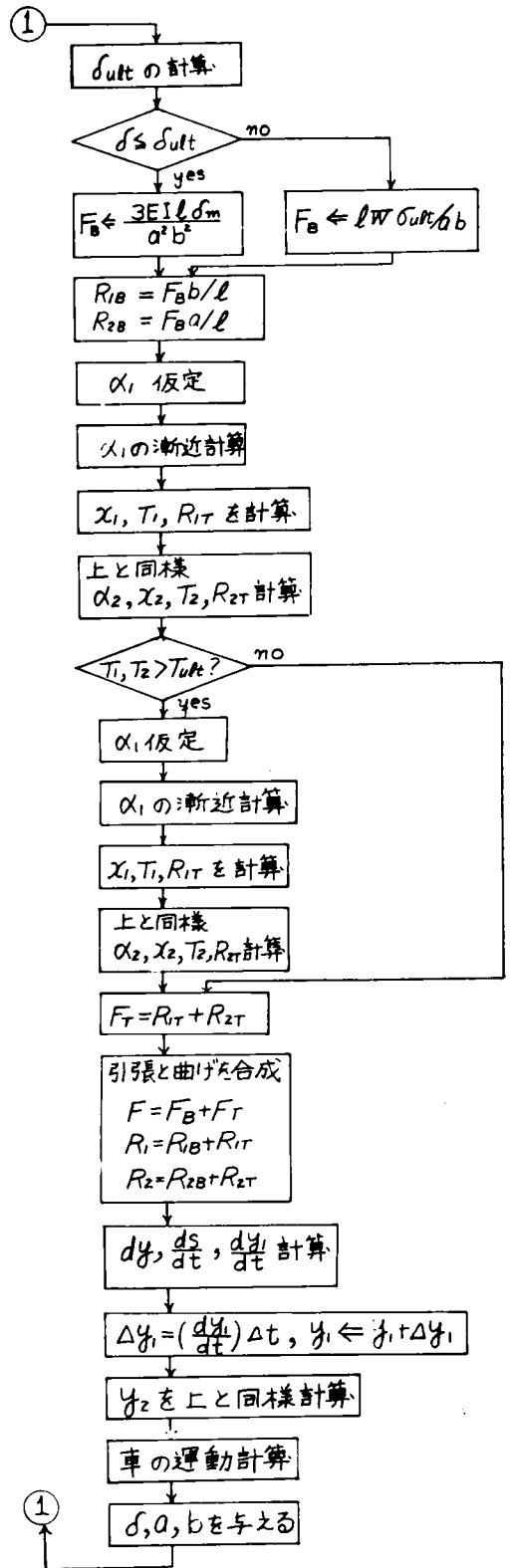


図-1.21 オイルダンパー付きガードフェンス衝突現象解析のための流れ図

線にn乗べき型の曲線をあてはめることを考える。塑性係数F，加工硬化指数nを求めるために両対数紙上に応力ひずみ曲線をかいている。

もし材料がn乗べき型の応力ひずみ曲線を持つならば、

$$\sigma = F \epsilon^n \dots\dots\dots (1.191)$$

ここに、

σ : 応力 (Kg/mm^2)

ϵ : ひずみ

F : 塑性係数

n : 加工硬化指数

したがって両対数紙上では

$$\log_{10} \sigma = \log_{10} F + n \log_{10} \epsilon \dots\dots\dots (1.192)$$

となり一直線で表現されねばならない。

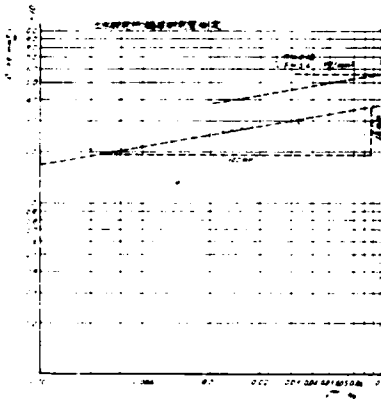


図-1.22 SS41 応力ひずみ曲線
土木研究所橋梁研究室測定

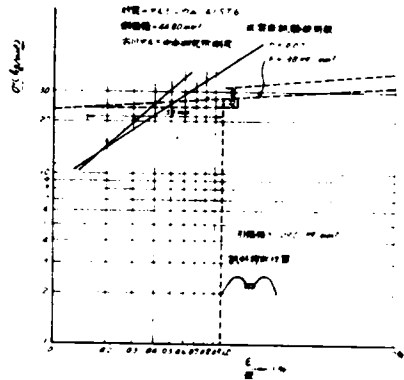


図-1.23 応力・ひずみ曲線
材質=アルミニウム61ST6
断面積=44.80 mm^2
古川アルミ中央研究所測定

鋼 (SS41) の場合は、図-1.22 のように図示の範囲内でよく一致しているが、アルミニウム (61ST6) の場合、図-1.23 のように2直線に近く1直線型で表わすには無理のあることがわかる。SS41 については、 $n = 0.18$ 、 $F = 5.6 \text{ Kg}/\text{mm}^2$ アルミニウムについては無理のあることは明らかであるが、一応直線をあてはめると $n = 0.45$ 、 $F = 220 \text{ Kg}/\text{mm}^2$ がえられる。しかしこれらは (とくに後者は) かなり実際と異なる仮定となることは、単純ばり載荷試験結果から明

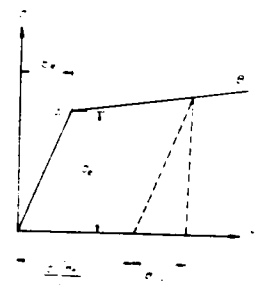


図-1.24 2直線型応力ひずみ曲線

らかとなった。

次に応力ひずみ曲線を2直線式で表わすことを考える。

この場合、応力とひずみの関係は図-1.24を参照して、式(1.193)のようになる。

$$\begin{aligned}
 OA (\sigma \leq \sigma_e) : \epsilon &= \sigma / E \\
 AB (\sigma \geq \sigma_e) : \epsilon &= \sigma / E + (\sigma - \sigma_e) / F \dots\dots\dots (1.193)
 \end{aligned}$$

ここに、

σ_e : 降伏点応力

ϵ_e : 降伏点ひずみ

E : 弾性係数

F : 塑性係数

上式を書き直せば、

$$\sigma = E \epsilon \quad (\sigma \leq \sigma_e)$$

$$\sigma = \lambda E \epsilon + \sigma^* \quad (\sigma \geq \sigma_e)$$

ただし \dots\dots\dots (1.194)

$$\lambda = F / (E + F)$$

$$\sigma^* = \sigma_e (1 - \lambda) \quad \dots\dots\dots (1.195)$$

ここに λE は図-1.24の直線ABのこう配を表わす。SS41および61ST6に2直線をあてはめ傾斜及び2直線の交点を求める。

弾性限はそれぞれ

$$\sigma_{est} = 3020 \text{ Kg/cm}^2 \quad \epsilon_{est} = 0.142 \%$$

$$\sigma_{eAl} = 2610 \text{ Kg/cm}^2 \quad \epsilon_{eAl} = 0.855 \%$$

弾性係数Eは

$$E_{st} = 2.1 \text{ あるいは } 2.03 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_{Al} = 7.23 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$$

塑性係数Fは

$$F_{st} = 4.4 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_{Al} = 2.91 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2$$

がえられる。ここにサフィックスのstは鋼(SS41), Alはアルミニウム(61ST6)を示す。

1.5.2.2 レールの曲げ試験結果の検討

天野アルミニウム製高速型アルミ合金ガードレール(材料61ST6)および日本鋼管製ガードレールの2種についてスパン2.8mの単純ばりの中央に載荷した場合の荷重にたわみ曲線について考察する。

実験結果の曲げモーメントたわみ
 曲線は図-1.25のようになる
 がこれを薄板の曲げ理論による理
 論曲線と比較してみる。塑性薄板
 の単純曲げ理論において、純粋引
 張りおよび純粋圧縮の際の応力と
 ひずみの関係が

$$\sigma = \sigma(\epsilon) \dots (1.196)$$

で与えられ、かつ、**板の中**、 b も

$$b = b(\eta) \dots (1.197)$$

としてわかっている、断面内の
 応力と外力の釣合いの条件から、

$$\int_{-\eta_i}^{\eta_o} \sigma \cdot b \cdot d\eta = 0, \quad M = \int_{-\eta_i}^{\eta_o} \sigma \cdot b \cdot \eta \cdot d\eta \dots (1.198)$$

とかける。

ここに、

η_o = とつ側表面の中立軸から最外縁までの距離

η_i = おう側表面の中立軸から最外縁までの距離

板厚を t とすれば

$$\eta_o + \eta_i = t \dots (1.199)$$

これらと曲げの単純理論による

$$\epsilon = \frac{\eta}{\rho}$$

ここに、

ρ : 伸びのない面の曲率半径

から、任意の曲げモーメントに対して、 ρ 、 η_o 、 η_i などがとける。

長方形断面の場合には、

$$\int_{-\eta_i}^{\eta_o} \sigma \cdot d\eta = 0 \quad M/b = \int_{-\eta_i}^{\eta_o} \sigma \cdot \eta \cdot d\eta \dots (1.200)$$

$\eta = \rho \epsilon, \quad d\eta = \rho \cdot d\epsilon$ を入れれば

$$\int_{-\epsilon_i}^{\epsilon_o} \sigma \cdot d\epsilon = 0 \quad M/b = \rho^2 \int_{-\epsilon_i}^{\epsilon_o} \sigma \cdot \epsilon \cdot d\epsilon \dots (1.201)$$

ただし $\epsilon_o = \eta_o / \rho \quad \epsilon_i = \eta_i / \rho$

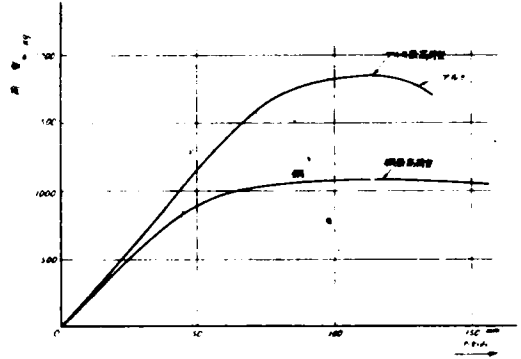


図-1.25 高速型ガードレール荷重-た
 わみ曲線、単純梁Span 2800
 m中央に載荷、中央のたわみ

引張りと圧縮が等しいときには

$$M/b = 2\rho^2 \int_c^{\epsilon_0} \sigma \cdot \epsilon \cdot d\epsilon \dots\dots\dots (1.202)$$

となる。

(1) 応力-ひずみ線図を

$\sigma = F \epsilon^n$ で近似させる場合 (矩形薄板を仮定)

これを ϵ についてとけば

$$\epsilon = (\sigma/F)^{\frac{1}{n}} \dots\dots\dots (1.203)$$

$$\begin{aligned} \frac{M}{b} &= 2\rho^2 F \int_0^{\epsilon_0} \epsilon^{1+n} d\epsilon \\ &= \frac{2\rho^2 F}{2+n} \epsilon_0^{2+n} \dots\dots\dots (1.204) \end{aligned}$$

ここに、

M: 曲げモーメント

となる。

$\epsilon_0 = l/2/\rho$ を代入すれば、

$$M = A \left(\frac{l}{\rho}\right)^n \dots\dots\dots (1.205)$$

ただし A: 係数で

$$\text{また、 } A = \frac{2 b F (l/2)^{2+n}}{2+n}$$

これを $\frac{1}{\rho}$ についてとくと、

$$\frac{1}{\rho} = \left(\frac{M}{A}\right)^{\frac{1}{n}} \text{ となる。} \dots\dots\dots (1.206)$$

曲率が比較的小さいと仮定して、 $\frac{1}{\rho} = \frac{d^2y}{dx^2}$ とし、

これを2回積分すれば荷重とたわみの関係がえ

られる。図-1.26のように単純ばりの左端

から a の距離に集中荷重 P のある場合には、座

標を図に示すようにとると、

$$\begin{aligned} \frac{d^2y}{dx^2} &= \left(\frac{P(l-a)x}{A\ell}\right)^{\frac{1}{n}} \\ &= \left(\frac{P(l-a)}{A\ell}\right)^{\frac{1}{n}} x^{\frac{1}{n}} \end{aligned}$$

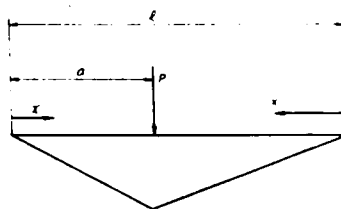


図-1.26 単純梁における座標

$$\begin{aligned} &= C_1 x^{\frac{1}{n}} \\ \frac{d^2 Y}{dX^2} &= \left(\frac{P \cdot a \cdot X}{A \ell} \right)^{\frac{1}{n}} = \left(\frac{P \cdot a}{A \cdot \ell} \right)^{\frac{1}{n}} X^{\frac{1}{n}} \\ &= C_2 X^{\frac{1}{n}} \dots\dots\dots (1.207) \end{aligned}$$

たわみはこれを2回積分して

$$\begin{aligned} y &= C_1 \frac{x^{\frac{1}{n}+2}}{\left(\frac{1}{n}+1\right)\left(\frac{1}{n}+2\right)} + C_3 x + C_5 \\ Y &= C_2 \frac{X^{\frac{1}{n}+2}}{\left(\frac{1}{n}+1\right)\left(\frac{1}{n}+2\right)} + C_4 X + C_6 \dots\dots\dots (1.208) \end{aligned}$$

となる。

積分常数は、 $x = a$, $X = \ell - a$, において $\frac{dY}{dX} = \frac{dy}{dx}$

$x = 0, y = 0$, また $X = 0, Y = 0$, あるいは $X = a, X = \ell - a, Y = y$ より求まる。

すなわち

$$\begin{aligned} C_4 &= \frac{1}{\ell - a} \left\{ C_1 \frac{a^{\frac{1}{n}+2}}{\left(\frac{1}{n}+1\right)\left(\frac{1}{n}+2\right)} - C_2 \frac{(\ell - a)^{\frac{1}{n}+2}}{\left(\frac{1}{n}+1\right)\left(\frac{1}{n}+2\right)} + C_3 a \right\} \\ C_3 &= \frac{1}{\left(1 + \frac{a}{\ell - a}\right)} \left[-C_1 \left(\frac{a}{\frac{1}{n}+1}\right) - C_2 \left(\frac{(\ell - a)^{\frac{1}{n}+1}}{\frac{1}{n}+1}\right) \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{\ell - a} \left\{ C_1 \frac{a^{\frac{1}{n}+2}}{\left(\frac{1}{n}+1\right)\left(\frac{1}{n}+2\right)} - C_2 \frac{(\ell - a)^{\frac{1}{n}+2}}{\left(\frac{1}{n}+1\right)\left(\frac{1}{n}+2\right)} \right\} \right] \\ &\dots\dots\dots (1.209) \end{aligned}$$

$$C_5 = C_6 = 0$$

鋼およびアルミニウムガードレールを矩形断面におきかえ、 n 乗べき型の応力ひずみ曲線を仮定した場合の荷重たわみ曲線と実験結果の比較を図-1.27, 図-1.28に示す。

(2) 2直線型の応力ひずみ曲線を仮定する場合

このときは断面全体が弾性変形をしている間は、曲げモーメントと曲率の関係は

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \dots\dots\dots (1.210)$$

で表わされる。

板表面がすでに塑性域に入った後は、

$$M = \int_{\lambda_i}^{\lambda_o} \sigma \cdot b \cdot \eta \cdot d\eta$$

$$\varepsilon = \eta / \rho \quad (1.211)$$

$$\sigma = E \varepsilon \quad (\sigma \leq \sigma_e)$$

$$\sigma = \lambda E \varepsilon + \sigma^* (\sigma \geq \sigma_e)$$

$$\lambda = F / (E + F),$$

$$\sigma^* = \sigma_e (1 - \lambda)$$

$$\dots (1.212)$$

の関係から、 M_e を弾性限界
曲げモーメントとすると、

$$\frac{M}{M_e} = \frac{3}{2} (1 - \lambda) + \lambda \frac{\rho_e}{\rho}$$

$$- \frac{1}{2} (1 - \lambda) \left(\frac{\rho}{\rho_e} \right)^2$$

$$\dots (1.213)$$

が導かれる。

これを $\frac{\rho}{\rho_e} \ll 1$ として

次式で近似すれば、

$$\frac{M}{M_e} \doteq \lambda \frac{\rho_e}{\rho} + \frac{3}{2} (1 - \lambda)$$

$$\dots (1.214)$$

となる。

2直線型近似の場合は上式をつかい

$$\frac{1}{\rho} \doteq \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{1}{\rho_e} \cdot \left(\frac{M}{M_e} - n' (1 - \lambda) \right) \quad \dots (1.215)$$

n' : 係数 (矩型板の場合 $\frac{3}{2}$)

として Simpson 公式を用い、全スパンを適当に分割して2回積分を行ないたわみを求める。

これを実験の曲げ試験結果にあてはめると n 乗べき型よりはよく一致する

(図-1.29, 1.30)。

1.5.2.3 動的解析概要

単純ばりの塑性曲げ理論において、材料が塑性域に入った場合には、応力の減少に際し

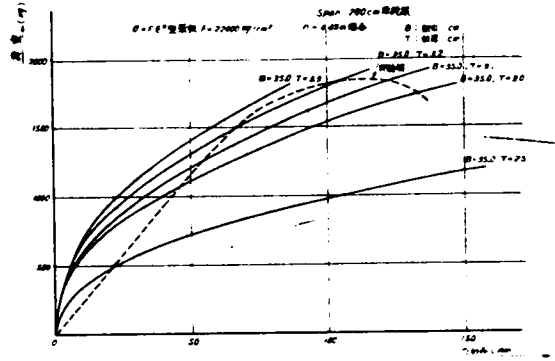


図-1.27 アルミ高速型ガードレール荷重たわみ曲線の実験値と計算値の比較

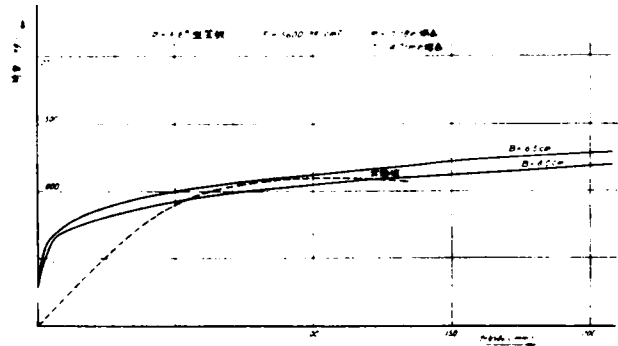


図-1.28 鋼高速型ガードレール荷重たわみ曲線の実験値と計算値の比較

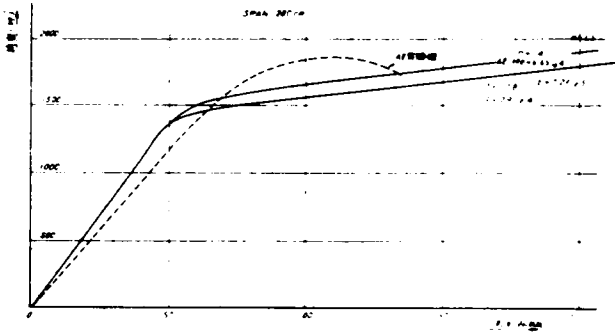


図-1.29 アルミ高速型ガードレール荷重たわみ曲線2直線型塑性梁のあてはめ

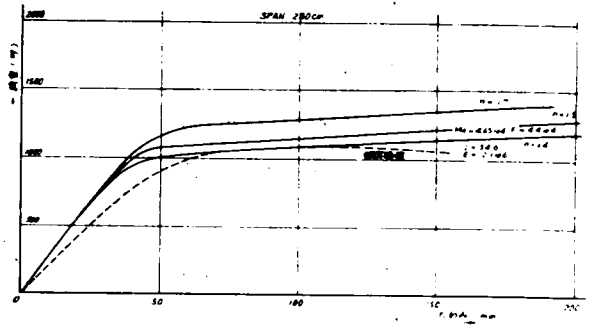


図-1.30 鋼高速型ガードレール荷重たわみ曲線2直線型塑性梁のあてはめ

では、図-1.31、BCの経路をたどる。

自動車からはりにかかる力はその位置と大きさを刻々変化するのであるが、本項のモデルではこれのはりの変形に及ぼす効果を取り入れて考える。

単純ばりにおいて、△t後における曲げモーメントの変化の状態は次の3つの場合が考えられる。

(図-1.32)

- (1) はりの全長にわたって曲げモーメントの増加する場合
 - (2) ある部分において、曲げモーメント増加、他の部分において、モーメントの減少を生ずる場合。
 - (3) 全長にわたってモーメントの減少する場合。
- (2)(3)の場合においてははりにはいわゆるスプリングバックの状態を生じる。結局はりに生じている曲率に関しては、モーメントの増加する領域においては、

$$\frac{1}{\rho} \cdot \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{1}{\rho_e} \cdot \left(\frac{M}{M_e} - n(1-\lambda) \right) \dots \dots \dots (1.215)$$

の関係、

モーメントの減少する領域においては、

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho_0} - \left(\frac{M_0}{EI} - \frac{M}{EI} \right) \dots \dots \dots (1.216)$$

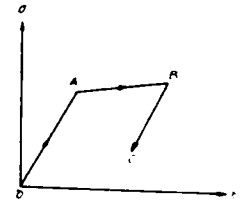


図-1.31 塑性変形の経路

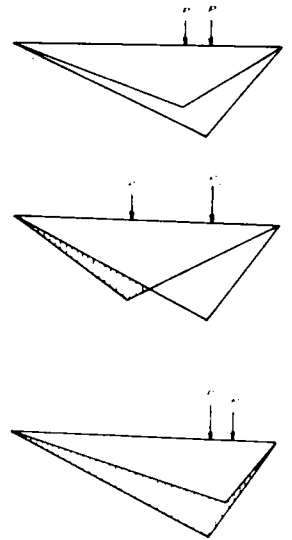


図-1.32 単純梁における曲げモーメント変化の3つの場合

の関係がなりたっている。

ただし、

ρ_0 : モーメント減少前の曲率半径

M_0 : モーメント減少前の曲げモーメント

ρ : モーメント減少後の曲率半径

M : モーメント減少後の曲げモーメント

単純ばりにおいては、曲げモーメントの増加領域と減少領域の両者が併存する場合(この場合)の境界点の座標 x_p は、

$$x_p = \frac{P' \cdot a' \cdot \ell}{P(\ell - a) + P' \cdot a'} \dots \dots \dots (1.217)$$

で与えられる。(図-1.33)。

点 x_p における左右両側のたわみおよびたわみ角の一致を条件としてとけば、外力を与えた場合の変形がとける。

はりの全長を適当に分割しておき、曲率と曲げモーメントの関係式(1.215)および式(1.216)の関係から2回積分して、その時のたわみと反力の関係を求める。

本項のモデルにおいては、時間の経過が反力の大きさに関係するから、はりの力学モデルは自動車の運動解析の主プログラムに組み込まれねばならない(図-1.34)。

また、残留変形を計算できることがその特色である。

しかしながら引張力の効果を入れることは、相当困難である。

1.6 支柱の横方向抵抗

1.6.1 過去に行なわれた支柱横方向抵抗実験の検討

わが国においても昭和29年頃からガードフェンスの研究が行なわれ始め、以来各方面で支柱の横方向抵抗試験が行なわれてきた。ここではこれらの資料をできるかぎり収集し、簡単なから、総括的に再検討してみる。ガードフェンス用支柱をレール取付け位置で、横方向に引張した場合、着力点の変位と反力の関係を示す曲線の描くパターンはかならずしもいちようではない。しかし変位の当初は、弾性的であるが、漸次変位圧力曲線のこう配は減少していき、最高耐力を示すのが最もふつうである。

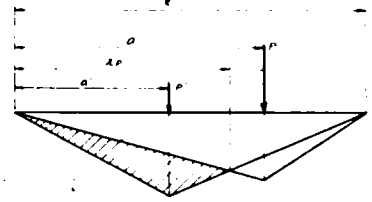


図-1.33 曲げモーメントの変化のない点の位置

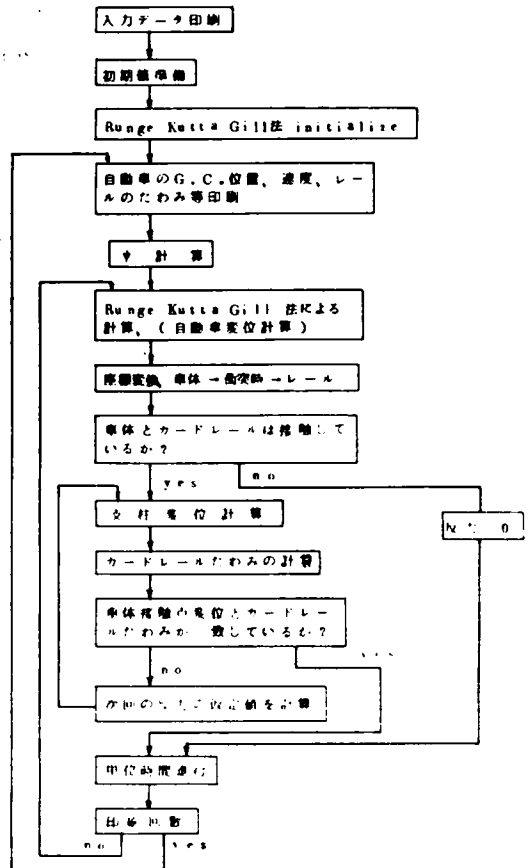


図-1.34 流れ図

吉田は図-1.35のごとく、この間の事情を(13)(17)定性的に説明している。この場合は著者の経験では $Y = kR^n$ 型の曲線が実験結果によく一致する(図-1.36)

なかには $\phi 89$ mm~ $\phi 139$ mmの鋼管の場合、埋込み深さが大きい(130cm以上)ときは、変位が通常の使用範囲(たとえば変位50~70cm)以上におよび、支柱の倒れ角度が大となると変位反力曲線のこう配がふたたび上昇することがしばしばある(図-1.37)。このときにははっきりした、最高耐荷力を通常の使用範囲では示さないことになる。

これまでに行なわれたガードフェンス支柱の横方向静的引張実験の総括表を表-1.1に示す。根固め、根かせなどのあるもの、また埋込み深さの0.8m未満のものは除いてある。路肩のない平地において実験が行なわれたことを示す。

耐荷力測定値は測定された最高耐荷力をいうが、一部明確な最高耐荷力を示さないものについては、不等号で、それ以上の耐荷力を有することを示している。

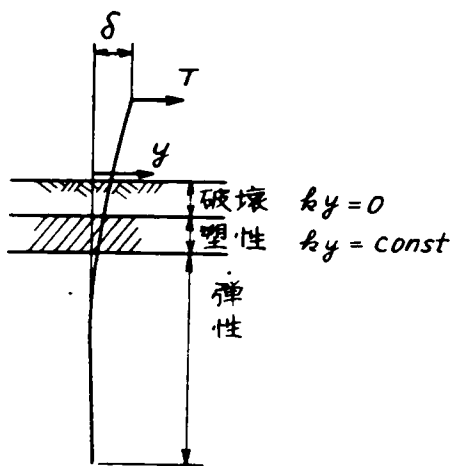


図-1.35 くい周辺の土の抵抗様式と深さの関係(吉田)

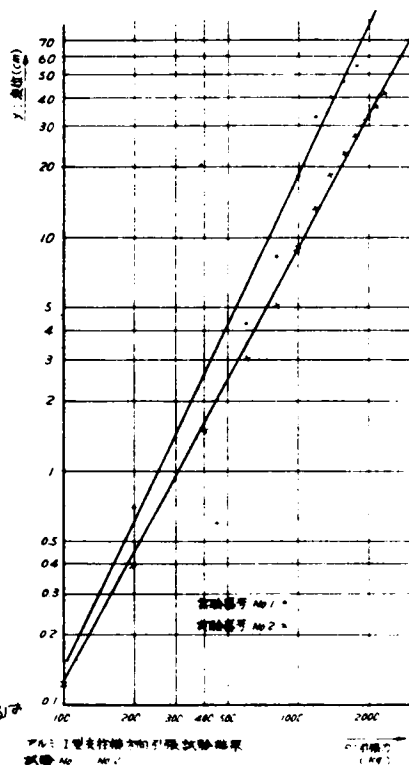


図-1.36 両対数紙による支柱横方向引張実験に対する $Y = kR^n$ 型実験式のあてはめ

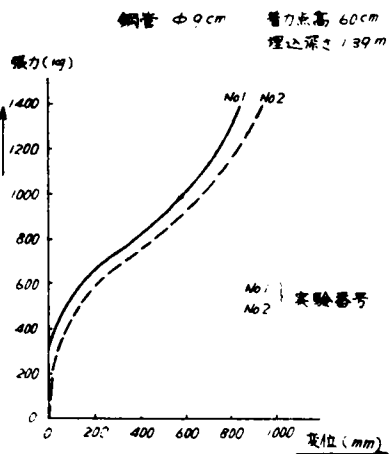


図-1.37 通常の使用範囲では最高耐荷力を示さない例

表-1.1 わが国において行なわれたガードボックス支柱静的引張試験結果
(補強板(根固め, 根かせ)なしのもの)

Bromsの計算式

砂質土 $C_p=80$ $T_e=1.8 \text{ t/cm}^2$
 粘性土 $C_p=0.5 \text{ kg/cm}^2$ と仮定
 *は粘性土とする

着力点 高さ h (m)	埋込深さ L (m)	支柱巾 B (m)	断面形 補充板	高さ H (cm)	断面2次率 (cm) ⁴	ヤング率 $\times 10^6$ (kg/cm ²)	土質 記述	C, N, D etc	筋 筋 からの 距離 (m)	0.3m梁位 時の反力 (t)	耐荷力 測定値 (t)	鋼筋直線引 張引張力 Cp=80.0 $T_e=1.8 \text{ t/cm}^2$	測定値 計算値	Bromsの 計算式	測定値 Broms値
日本鋼管技術(株) 別冊 ガードボックスに関する研究 昭和34年4月															
0.5	0.8	0.0691	円	なし	101	2.1	砂質土 手掘		∞	0.20	0.24	0.194	1.237	0.947	0.253
0.5	1.2	0.0691	円	なし	101	2.1	砂質土		∞	0.62	1.08	0.525	2.06	2.446	0.442
0.5	0.8	0.1898	円	なし	488	2.1	砂質土		∞	0.36	0.42	0.302	1.39	1.486	0.288
0.5	1.0	0.1898	円	なし	488	2.1	砂質土		∞	0.44	0.80	0.529	1.512	2.516	0.318
0.5	1.2	0.1898	円	なし	488	2.1	砂質土		∞	0.90	1.40	0.816	1.717	3.837	0.865
0.5	1.2	0.1898	円	なし	488	2.1	砂質土		0.5	0.68	1.16	0.816	1.422	3.837	0.802
0.5	0.8	0.1898	円	なし	488	2.1	砂質土		∞	0.42	0.46	0.302	1.525	1.486	0.309
0.5	0.8	0.1898	円	なし	488	2.1	砂質土		0.5	0.20	0.20	0.302	0.663	1.486	0.185
0.5	0.8	0.1898	円	なし	488	2.1	砂質土		1.0	0.84	0.40	0.302	1.323	1.486	0.269
日本鋼管 N 5 5 式 ガードボックス試験報告 昭和31年11月															
0.5	0.8	0.1898	円	なし	488	2.1	砂質土 手掘		∞	0.88	0.46	0.302	1.528	1.486	0.369
0.5	0.8	0.1898	円	なし	488	2.1	砂質土 アースオーガー掘		∞	0.60	0.60	0.302	1.986	1.486	0.404
0.5	1.0	0.1898	円	なし	488	2.1	砂質土 手掘		∞	0.46	0.80	0.529	1.511	2.516	0.318
0.5	1.0	0.1898	円	なし	488	2.1	砂質土 アースオーガー掘		∞	1.00	1.10	0.529	2.098	2.516	0.437
0.5	0.8	0.0691	円	なし	101	2.1	砂質土 手掘		∞	0.20	0.28	0.194	1.442	1.486	0.188
0.5	1.2	0.0691	円	なし	101	2.1	砂質土 手掘		∞	0.60	1.10	0.525	2.098	2.446	0.449
0.5	0.8	0.1898	円	なし	488	2.1	砂質土 手掘		∞	0.40	0.48	0.302	1.590	0.947	0.506
0.5	1.0	0.0691	円	なし	488	2.1	砂質土 手掘		∞	0.44	0.80	0.34	2.351	1.604	0.499
0.5	1.2	0.1898	円	なし	488	2.1	砂質土 手掘		∞	0.90	1.40	0.816	1.716	3.837	0.365
0.5	1.2	0.1898	円	なし	488	2.1	砂質土 手掘		∞	0.90	1.40	0.816	1.716	3.837	0.365
0.5	1.2	0.1898	円	なし	488	2.1	砂質土 手掘		∞	0.84	1.10	0.816	1.349	3.837	0.287

石力点 高さ h (m)	埋込深さ L (m)	支柱巾 B (m)	断面形 補強板	厚さ (cm)	断面2次モーメント (cm) ⁴	ヤング率 × 10 ⁶ (kg/cm ²)	土質 記述	C, N, G etc	断面積 からの 距離 (m)	0.3m単位 時の反力 (t)	耐荷力 測定値 (t)	鋼筋直線五 分計算値(1) Cp=30.0 Te=1.5 $\sqrt{f_{cm}}$	測定値 計算値(1)	Formsの 計算式	測定値 Forms
0.5	0.8	0.1398	円	なし	488	2.1	砂質 手掘		∞	0.40	0.44	0.802	1.455	1.486	0.296
0.5	0.8	0.1398	円	なし	488	2.1	砂質 手掘		0.5	0.40	0.40	0.802	1.824	1.486	0.269
0.5	0.8	0.1398	円	なし	488	2.1	砂質 手掘		1.0	0.84	0.40	0.802	1.824	1.486	0.269
0.5	0.8	0.1398	円	なし	488	2.1	砂質アースオーガー掘		∞	0.60	0.60	0.802	1.986	1.486	0.404
0.5	0.8	0.1398	円	なし	488	2.1	粘土アースオーガー掘		∞	1.00	1.48	0.802 +	4.900 +	0.598*	2.470
0.5	0.8	0.0891	円	なし	488	2.1	砂質 手掘		∞	0.20	0.26	0.194	1.84	0.947	0.275
0.5	0.8	0.0891	円	なし	488	2.1	粘土アースオーガー掘		∞	0.74	0.96	0.194 +	4.946 +	0.065*	1.969
0.5	0.8	0.0891	円	なし	101	2.1	砂質アースオーガー掘		∞	0.50	0.50	0.194	2.57	0.947	0.528
0.5	1.2	0.0891	円	なし	101	2.1	砂質 手掘		∞	0.9	1.2	0.525	2.285	2.446	0.491
0.5	0.8	0.0891	円	なし	101	2.1	粘土質		∞	0.76	0.96	0.194 +	4.887 +	0.495*	1.919
0.5	0.8	0.0891	円	なし	101	2.1	粘土質		∞	0.94	0.94	0.194 +	4.845 +	0.495*	1.898
0.5	1.0	0.1896	円	なし	488	2.1	粘土質ランマ溝せず		∞	1.02	1.26	0.529	2.882	2.516	0.501
0.5	1.0	0.1398	円	なし	488	2.1	砂質ランマ溝せず		∞	1.00	1.10	0.529	2.079	2.516	0.487
0.5	1.0	0.0891	円	なし	101	2.1	砂質ランマ溝め		∞	0.84	0.96	0.84	2.824	1.604	0.599
土木研究所報告102号 昭和34年1月 埋込深さ ≥ 0.8以上のもののみ記す															
0.5	0.8	0.10	角	なし	188	2.1	砂質		0	0.17	0.18	0.216	0.888	1.068	0.169
0.5	0.8	0.10	角	なし	188	2.1	砂質		0.325	0.14	0.30	0.216	1.89	1.068	0.282
0.5	0.8	0.10	角	なし	188	2.1	砂質		0.65	0.40	0.40	0.216	1.851	1.068	0.876
0.5	1.1	0.10	角	なし	188	2.1	砂質		0	0.20	0.86	0.475	0.758	2.246	0.160
0.5	1.1	0.10	角	なし	188	2.1	砂質		0.325	0.38	0.56	0.475	1.179	2.246	0.249
0.5	1.1	0.10	角	なし	188	2.1	砂質		0.65	0.64	0.86	0.486	1.77	2.246	0.888
0.5	0.8	0.09	円	なし	111	2.1	砂質		0	0.12	0.20	0.194	1.081	0.947	0.211
0.5	0.8	0.09	円	なし	111	2.1	砂質		0.325	0.14	0.30	0.194	2.01	0.947	0.317
0.5	0.8	0.09	円	なし	111	2.1	砂質		0.65	0.38	0.40	0.194	2.06	0.947	0.422
0.5	1.1	0.09	円	なし	111	2.1	砂質		0	0.21	0.46	0.428	1.073	2.001	0.229
0.5	1.1	0.09	円	なし	111	2.1	砂質		0.325	0.28	0.54	0.428	1.261	2.001	0.269

着力点 高さ h (m)	埋込深さ L (m)	支柱巾 B (m)	断面形状 補強板	厚さ (cm)	断面2次率 (cm) ²	ヤング率 $\times 10^6$ (kg/cm ²)	土質 記述	C,N,G etc	総 幅 の 厚 さ (m)	0.8m位置 時の反力 (t)	耐力 標準値 (t)	傾斜的傾角 の計算値(1) CP 30.0 で 1.8 / 100	側定値 計算式 (1)	側定値		
														計算式	Roms値	
0.5	1.1	0.09	円なし		111	2.1	砂質		0.65	0.58	0.86	0.428	2.01	2.001	0.429	
0.5	1.1	0.115	円なし		289	2.1	砂質		0	0.22	0.54	0.546	0.70	2.584	2.584	0.209
0.5	1.1	0.115	円なし		289	2.1	砂質		0.325	0.34	0.70	0.546	1.282	2.584	2.584	0.271
0.5	1.1	0.115	円なし		289	2.1	砂質		0.65	0.60	0.88	0.546	1.611	2.584	2.584	0.341
0.5	1.1	0.125	V型なし			2.1	砂質		0	0.24	0.50	0.594	0.841	2.808	2.808	0.178
0.5	1.1	0.125	V型なし			2.1	砂質		0.325	0.42	0.64	0.594	1.077	2.808	2.808	0.228
0.5	1.1	0.125	V型なし			2.1	砂質		0.65	0.48	0.80	0.584	1.349	2.808	2.808	0.285
0.5	0.8	0.10	角なし		188	2.1	粘性土		0	0.16	0.25	0.216	1.155	0.500*	0.500*	0.500
0.5	0.8	0.10	角なし		188	2.1	粘性土		0.325	0.16	0.28	0.216	1.298	0.500*	0.500*	0.560
0.5	0.8	0.10	角なし		188	2.1	粘性土		0.65	0.40	0.40	0.216	1.851	0.500*	0.500*	0.800
0.5	1.1	0.10	角なし		188	2.1	粘性土		0	0.44	0.56	0.475	1.179	0.900*	0.900*	0.622
0.5	1.1	0.10	角なし		188	2.1	粘性土		0.325	0.58	0.73	0.475	1.504	0.900*	0.900*	0.811
0.5	1.1	0.10	角なし		188	2.1	粘性土		0.65	0.70	1.00	0.475	2.106	0.900*	0.900*	0.111
0.5	1.1	0.10	角なし		188	2.1	粘性土		0	0.10	0.14	0.475	0.294	0.900*	0.900*	0.156
0.5	0.8	0.09	円なし		111	2.1	粘性土		0	0.16	0.32	0.194	1.65	0.487*	0.487*	0.657
0.5	0.8	0.09	円なし		111	2.1	粘性土		0.325	0.26	0.38	0.194	1.96	0.487*	0.487*	0.780
0.5	0.8	0.09	円なし		111	2.1	粘性土		0.65	0.34	0.50	0.194	2.579	0.487*	0.487*	1.026
0.5	1.1	0.09	円なし		111	2.1	粘性土		0	0.46	0.74	0.428	1.76	0.780*	0.780*	1.014
0.5	1.1	0.09	円なし		111	2.1	粘性土		0.325	0.40	0.72	0.428	1.681	0.780*	0.780*	0.966
0.5	1.1	0.09	円なし		111	2.1	粘性土		0.65	0.55	0.98	0.428	2.29	0.780*	0.780*	1.342
0.5	1.1	0.115	円なし		288	2.1	粘性土		0	0.28	0.64	0.546	1.171	0.957*	0.957*	0.669
0.5	1.1	0.115	円なし		288	2.1	粘性土		0.325	0.37	0.68	0.546	1.246	0.957*	0.957*	0.711
0.5	1.1	0.115	円なし		288	2.1	粘性土		0.65	0.70	1.04	0.546	1.806	0.957*	0.957*	1.067
0.5	1.1	0.125	V型なし		—	2.1	粘性土		0	0.44	0.74	0.594	1.245	1.080*	1.080*	0.718
0.5	1.1	0.125	V型なし		—	2.1	粘性土		0.325	0.48	0.72	0.594	1.21	1.080*	1.080*	0.689
0.5	1.1	0.125	V型なし		—	2.1	粘性土		0.65	0.57	0.88	0.594	1.481	1.080*	1.080*	0.854
建設省土木研究所 八幡鋼管(東富士演習場、ナマコ山)																
0.8	1.4	0.1988	円なし	0.5	438	2.1	火山砂礫		∞	0.80	> 1.6	1.179	1.357	1.479	1.479	1.062
0.8	1.4	0.1988	円なし	0.5	438	2.1	火山砂礫		∞	0.82	> 2.5	1.179	2.120	1.479	1.479	1.690
0.8	1.4	0.1988	円なし	0.5	438	2.1	火山砂礫		∞	1.18	> 3.3	1.179	2.800	1.479	1.479	2.231

石力高さ h (mm)	埋込深さ h (mm)	柱径 φ (mm)	断面形状 補強状	高さ (cm)	断面2次率 $\times 10^6$ (%) ²	ヤング率 $\times 10^6$ (kg/cm ²)	土質 記号	C.N.C. etc	島周 からの 距離	0.3mm単位 時の反力 (t)	耐荷力 測定値 (t)	鋼板の破断 計算値 $7e = \frac{1.8}{t} \times 10^6$	測定値 計算値	Bromsの 計算式	測定値 Broms値
土木研究所資料 第250号															
0.75	1.0	0.1398	円 なし	498	2.1	鋼束ローム オージス			∞	2.5	2.5	0.529	4.78 +	0.925 *	2.708
0.65	1.30	0.1398	円 なし	498	2.1	鋼束ローム オージス			∞	2.1	2.6	0.9608	2.62 +	1.320 *	1.969
日本鋼管技研 系19 別刷															
0.5	1.65	0.0691	円 なし	101	2.1	砂礫質 手掘			∞	0.88	>1.1(1.2)	1.068	1.00	5.025	0.219
0.5	1.00	0.0691	円 なし	101	2.1	砂礫質 手掘			∞	0.66	0.70	0.84	2.068	1.608	0.487
0.65	1.65	0.114	円 なし	234	2.1	砂礫質 表面草地			∞	1.50	>1.7(2.2)	1.379	1.282	6.011	0.288
0.65	1.50	0.114	円 なし	234	2.1	砂礫質 表面草地			∞	1.40	>1.8(2.0)	1.127	1.597	4.381	0.378
0.80	1.65	0.114	円 なし	234	2.1	砂礫質 表面草地			∞	1.22	>1.8(2.2)	1.379	1.805	5.043	0.339
0.80	1.50		円 なし	234	2.1	砂礫質			∞	0.88	1.12	1.127	0.994	4.515	0.248
0.65	1.50		V型(20kg)	273	2.1	砂礫質			∞	2.06	>2.0()				
0.80	2.00		V型(20kg)	273	2.1	砂礫質			∞	1.20	>1.4()				
建設省土木研究所 占川工中央研究所 アルミニウム製ガードフェンス試験															
0.62	1.39	0.10	I型 なし	281.4	0.7	粘土質ローム			∞	1.14	1.2	0.826 +	1.452 +	1.225 *	0.979
0.60	1.31	0.10	I型 なし	281.4	0.7	粘土質ローム			∞	(1.30)	1.04	0.724 +	1.485 +	1.10 *	0.945
0.60	1.39	0.09	円 なし	111	2.1	粘土質ローム			∞	0.80	>1.20	0.744 +	1.612 +	1.18 *	1.017
0.60	1.39	0.09	円 なし	111	2.1	粘土質ローム			∞	0.68	>1.50	0.744 +	2.016 +	1.18 *	1.271
0.60	1.40	0.112	円 なし	0.5	0.7	粘土質ローム			∞	1.20	>1.70	0.943 +	1.808 +	1.32 *	1.287
0.58	1.42	0.112	円 なし	0.5	0.7	粘土質ローム			∞	1.84	>1.70	1.185 +	1.484 +	1.41 *	1.206
0.60	1.39	0.1143	円 なし	234	2.1	粘土質ローム			∞	1.84	>2.20	0.944 +	2.331 +	1.37 *	1.606
0.60	1.39	0.1143	円 なし	234	2.1	粘土質ローム			∞	1.26	>2.20	0.944 +	2.331 +	1.37 *	1.606
建設省土木研究所, 八幡鋼管, 八幡エコンスチチール (青志野市 八幡管線工場) ガードパイプ試験															
0.60	1.40	0.1143	円 なし	284.2	2.1	ローム質			∞	1.76	2.30	0.629 +	3.667 +	1.37 *	1.679
神戸製鋼所技研 (ガードケーブル 静荷重試験結果 神戸製鋼所設計部)															
0.54	1.40	0.1143	円 なし	234	2.1	真砂土			0.7	1.14	1.7	0.963	1.765	4.365	0.389
0.54	1.40	0.1143	円 なし	234	2.1	真砂土			0.85	1.4	1.4	0.953	1.454	4.365	0.321

(18719)
Bromsの判定基準によれば、

$$\beta = 4\sqrt{\frac{kD}{4E_p I_p}} \quad (\text{cm}^{-1}) \quad \dots\dots\dots(1.218)$$

ここに、

D : くい巾 (cm)

E_p : くい^の弾性係数 (Kg/cm)

I_p : くい^の断面二次モーメント (cm⁴)

k : 横方向地盤⁽²⁰⁾定数 (Kg/cm³)

軟弱地盤で 0.2~0.5,

ローム程度で 1.0~1.5,

良好砂地盤 2.0~2.5,

としたとき、短くい(剛くい)とみなせる限界の長さは、

$$L = \frac{1.5}{\beta} \quad (\text{cm}) \quad \dots\dots\dots(1.219)$$

である。

くい長がこれより小さな場合には、中間に塑性ヒンジを生ずることなく、くい全体はあたかも剛体のごとく回転し、そのくい頭変位はもつぱら土の変形によるという。鋼管径およびkの変化に対する短くい限界を表示すれば、表-1.2のようになる。

表-1.2 Broms による短杭限界

L = $\frac{1.5}{\beta}$ (cm) の表

カードフェンス設置 要綱の級別	鋼管径 φ (cm)	地盤係数 k			
		1.0	1.5	2.0	2.5
A, B	13.98	191	172	160	152
C	11.43	171	153	143	135
D	10.16	159	143	133	126

(参考) 長杭限界 L = $\frac{2.5}{\beta}$ の表

k	1.0	1.5	2.0	2.5
13.98	319	288	268	253
11.43	285	256	239	225
10.16	264	238	222	210

これによれば、表-1.1の実験に用いられたくいは、いづれも短くいとてあつかってよいことになる。あつて表-1.1中には、土の受動土圧係数 $C_p=30.0$ 、比重を 1.8 t/m^3 としたときの土圧反力の三角形分布を仮定したときの耐荷力計算値も示してある。久保浩一は、剛性の転倒荷重時の反力分布に直線表示(三

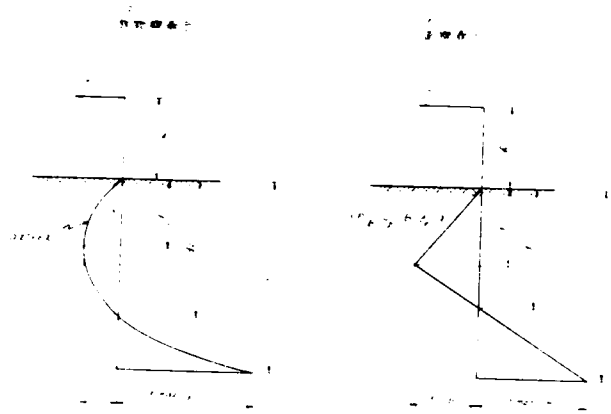


図-1.38 土圧分布の近似法

角形分布)、放物線表示、あるいは複合曲線(直線・放物線)表示の3者をあげ、これらの中の第1のものを推しようとしており、これによつたものである。⁽²⁾

計算結果ではこれらの間に大きい差はないが、3番目のものは計算がいちじるしく複雑でこのような問題に関しては実用的ではない。直線表示、放物線表示の土圧分布の仮定を図-1.38に、関係式を式(1.220)~(1.226)に示す。

a) 放物線表示

$$(\dot{p}_1)_B = \frac{T}{d_1 - \frac{1}{3}L} \cdot \left(\frac{d_1}{L}\right)^2 \dots\dots\dots(1.220)$$

$$d_1 = -\frac{b}{2a} = \frac{\frac{3}{4}L+h}{2L+3h} \cdot L \dots\dots\dots(1.221)$$

$$(\dot{p}_{\max})_B = (\dot{p}_1)_B \cdot \frac{(2d_1 - L) \cdot L}{(d_1)^2} \dots\dots\dots(1.222)$$

b) 2直線表示

$$(\dot{p}_{\max})_B = (\dot{p}_p)_B = C_p \cdot \gamma_c \cdot B \cdot L = \beta L \dots\dots\dots(1.223)$$

$$T(h+L) = \beta \cdot L \left\{ \frac{L^2}{6} - \frac{1}{3}(L-d_1)^2 \right\} \dots\dots\dots(1.224)$$

$$2d_1^2 + (6h+2L)d_1 - 3L \cdot h - 2L^2 = 0 \dots\dots\dots(1.225)$$

$$T = \frac{\beta \cdot L}{2} (2d_1 - L) \dots\dots\dots(1.226)$$

ここに、

T: 横方向外力 (t)

B: くい径またはくい幅 (m)

- x : 地表面からの深さ (m)
- h : 載荷高さ (m)
- $(\hat{p})_B$: 深さ x におけるくいの単位長さあたりの地盤反力 (t/m)
- γ_e : 土の有効単位体積重量 (t/m³)
- C_p : 受働土圧係数
- L : くいの根入れ長 (m)
- $(\hat{p}_p)_B$: くい下端における杭の単位長さあたりの受働土圧 (t/m)
- $(\hat{p}_{max})_B$: くい下端におけるくいの単位長さあたりの地盤反力 (t/m)
- $(P_{1/3})_B$: くい前面の地盤反力の最大値 (t/m)
- d_1 : $(P_{1/3})_B$ の生ずる深さ (m)
- d_2 : 地盤反力が 0 になる深さ (m)

耐荷力計算値はこの仮定によって求めたくい下端が受働土圧に等しいときの着力点反力である。

表-1.1 中で、このように三角形分布で計算した耐荷力の次欄には、耐荷力測定値をこの計算値で割った比を示してある。

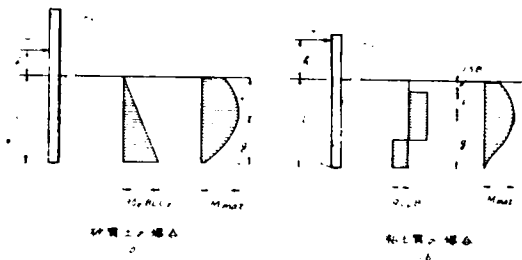


図-1.39 Broms 式における土圧分布の仮定

さらにその次の欄には、Broms

の計算式による耐荷力計算値を示す。Broms の土圧分布の仮定は図-1.39(a), (b) のよう

で、

砂質土のとき

$$T = \frac{0.5 \gamma_e B L^3 C_p}{h + L} \dots \dots \dots (1.227)$$

粘土質のとき、

$$L = (1.5 B - f + g) \dots \dots \dots (1.228)$$

(深さ 1.5 B より 9 C_u D が働くと仮定)

$$f = \frac{T}{9 C_u B} \dots \dots \dots (1.229)$$

$$M_{max}^{pos} = T (h - 1.5 B - 0.5 f) \dots \dots \dots (1.230)$$

$$M_{max}^{pos} = 2.25 B g^2 \dots \dots \dots (1.231)$$

ここに、

- T : 横方向引張力 (t)
- γ_e : 土の有効単位体積重量 (t/m³)
- C_p : 受働土圧係数
- L : くい根入長 (m)
- B : くい径またはくい幅 (m)
- h : 載荷高さ (m)
- C_u : 粘着力
- f, g : 常数
- M_{max}^{pos} : 最大曲げモーメント

の関係式より耐荷力を求めるものである。表中の計算値は、砂質土の場合は内部摩擦角 $C_p = 30.0$, $\gamma_e = 1.8$ t/m³ (前記直線表示と同じ), 粘性土式の場合は, 粘着力 $C_u = 0.5$ Kg/cm² と仮定した。 C_p , γ_e , C_u などはいずれの実験においても明らかでなく, C_p , γ_e はよく締固めた砂あるいは砂質土に対する値, C_u は中～硬の粘土に対する値を採用したものである。測定値と Broms の計算式の比を最右欄に示した。

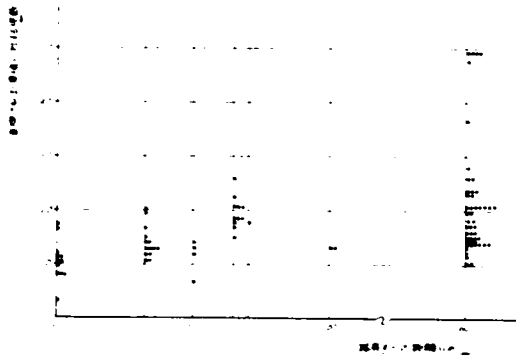


図-1.40 過去に行なわれた支柱横方向引張実験結果における測定値/計算値の比と路肩からの距離の関係

この場合はわずかの例を除き直線表示と逆に、いずれも計算値が実験値とかなりかけ離れた大きい値を示している。

以上のすべての実験結果に対する $C_p = 30.0$, $\gamma_e = 1.9$ t/m³ を仮定した直線表示計算値との比を縦軸に、路肩からの距離を横軸にとって

図示したのが図-1.40である。路肩からの距離 ∞ (すなわち路肩のない場合)の場合に

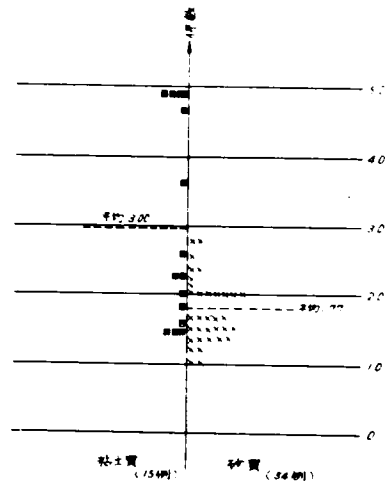


図-1.41 路肩からの距離 ∞ の場合の実測荷重/計算値の比の粘土質と砂質との対比

て、砂質、粘土質にわけてこれを示すと図-1.41のようになる。砂質土の場合は、平均値1.77のまわりに比較的よく集中しており、直線近似による計算式によって、転倒荷重がある程度推定できるとがわかる。

いっぽう粘性土質は平均値3.00のまわりはかなり大きく分布し、実際上 $C_p = 30.0$, $\gamma_e = 1.9$ t/m^2 とした計算値によって耐荷力の推定はむずかしいことがわかる。計算式自身砂質土に対するものであること、また、粘土質の場合、その土の性質は、各試験でかなり広範囲にことなり、また含水比によってもことなるため、これらに対する記述をまったく欠いた場合は予測しがたいことは当然であろう。路肩からの距離と直線近似計算値に対する係数の関係を砂質土と粘土のそれぞれについて示したのが図-1.42, 1.43

である。粘土質の場合は、伊吹山、佐藤の報告のみしか報告例がないので、そのデータのみによってい

る。両者の場合とも路肩からの距離と耐荷力の間にはほぼ直線関係を認めてよいようである。

図-1.42, 図-1.43のそれぞれに直線式をあてはめておいた。

以上の結果からみると、土圧を直線近似した剛くい転倒荷重計算によって、ガードフェンス用支柱の、静的横方向引張実験の耐荷力はある程度推定できると考えてよいようである。表-1.3, 表-1.4にガードフェンスの支柱として通常考えられる範囲の支柱巾、埋込み深さに対し、横方向耐荷力を、土圧の直線近似、放物線近似のそれぞれの場合について表示しておいた。いずれも着力点高さは0.6 m, C_p , γ_e は3とりの場合が示してある。

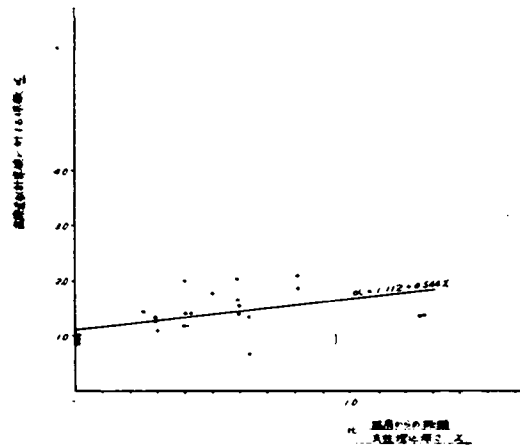


図-1.42 過去に行なわれた支柱横方向引張実験結果における測定値/計算値の比と路肩からの距離/埋込深さの比の関係(砂質土)

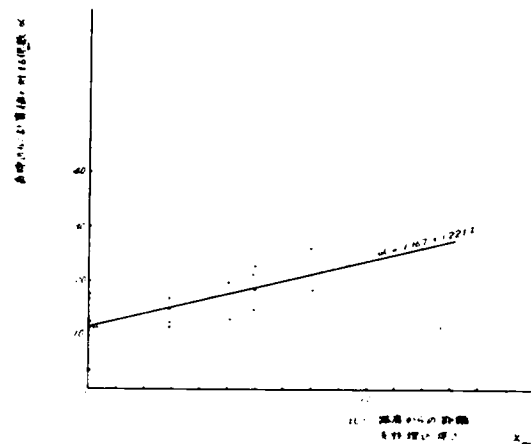


図-1.43 過去に行なわれた支柱横方向引張実験結果における測定値/計算値の比と路肩からの距離/埋込深さの比の関係

表-1.3 直線近似による耐荷力計算値, T (ton)

$C_p = 36.9 \quad r_e = 1.9 (t/m')$

L(m)\B(m)	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14
0.6	0.0975	0.1097	0.1219	0.1341	0.1463	0.1585	0.1707
0.8	0.2109	0.2372	0.2636	0.2899	0.3163	0.3427	0.369
1.0	0.3646	0.4191	0.4557	0.5013	0.5468	0.5924	0.6379
1.2	0.5653	0.6359	0.7066	0.7773	0.8479	0.9186	0.9892
1.4	0.8166	0.9186	1.0207	1.1228	1.2248	1.3269	1.4289
1.6	1.0947	1.2316	1.3684	1.5052	1.6421	1.7789	1.9157
1.8	1.4031	1.5785	1.7539	1.9293	2.1047	2.28007	2.4555

$C_p = 24.6 \quad r_e = 1.7 (t/m')$

L(m)\B(m)	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14
0.6	0.0582	0.0656	0.0728	0.0801	0.0874	0.0946	0.1019
0.8	0.1258	0.1415	0.1572	0.1729	0.1886	0.2044	0.2201
1.0	0.2174	0.2446	0.2718	0.2989	0.3262	0.3533	0.3805
1.2	0.3372	0.3794	0.4215	0.4636	0.5058	0.5479	0.5901
1.4	0.4871	0.5480	0.6089	0.6697	0.7306	0.7916	0.8525
1.6	0.6530	0.7346	0.8163	0.8979	0.9796	1.0612	1.1428
1.8	0.8370	0.9417	1.0463	1.1509	1.2555	1.3602	1.4648

$C_p = 30.0 \quad r_e = 1.8 (t/m')$

L(m)\B(m)	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14
0.6	0.0751	0.0845	0.0939	0.1033	0.1127	0.1221	0.1315
0.8	0.1624	0.1827	0.2030	0.2233	0.2436	0.2639	0.2843
1.0	0.2808	0.3159	0.3510	0.3861	0.4212	0.4563	0.4914
1.2	0.4354	0.4898	0.5443	0.5987	0.6531	0.7076	0.7620
1.4	0.6289	0.7075	0.7862	0.8648	0.9434	1.022	1.1006
1.6	0.8433	0.9487	1.0541	1.1595	1.2649	1.3703	1.4757
1.8	1.0808	1.2159	1.3511	1.4862	1.6290	1.7564	1.8915

L: 埋込深さ

B: くい径

表-1.4 放物線近似による耐荷力計算値, T (ton)

$C_p = 36.9 \quad r_e = 1.9 (t/m')$

L(m)\B(m)	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14
0.6	0.109	0.124	0.137	0.151	0.165	0.179	0.192
0.8	0.207	0.233	0.259	0.285	0.311	0.337	0.363
1.0	0.426	0.479	0.533	0.586	0.639	0.693	0.745
1.2	0.650	0.732	0.813	0.894	0.976	1.057	1.138
1.4	0.970	1.091	1.212	1.333	1.455	1.576	1.697
1.6	1.373	1.545	1.717	1.889	2.061	2.232	2.404
1.8	1.732	1.949	2.166	2.382	2.599	2.815	3.032

$$C_p = 24.6 \text{ (t/m}^2\text{)} \quad \tau_e = 1.7 \text{ (t/m}^2\text{)}$$

L(m) \ B(m)	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14
0.6	0.066	0.074	0.082	0.096	0.098	0.107	0.115
0.8	0.124	0.139	0.155	0.170	0.186	0.201	0.217
1.0	0.254	0.286	0.318	0.349	0.381	0.413	0.445
1.2	0.389	0.437	0.485	0.534	0.582	0.631	0.679
1.4	0.578	0.651	0.723	0.796	0.868	0.940	0.013
1.6	0.819	0.922	1.025	1.127	1.229	1.332	1.434
1.8	1.034	1.163	1.292	1.421	1.551	1.679	1.809

$$C_p = 30.0 \quad \tau_e = 1.8 \text{ (t/m}^2\text{)}$$

L(m) \ B(m)	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14
0.6	0.085	0.095	0.106	0.116	0.127	0.138	0.148
0.8	0.159	0.179	0.199	0.219	0.239	0.259	0.279
1.0	0.328	0.369	0.410	0.451	0.492	0.533	0.575
1.2	0.501	0.564	0.626	0.689	0.752	0.814	0.876
1.4	0.747	0.841	0.934	1.028	1.121	1.214	1.307
1.6	1.058	1.191	1.323	1.455	1.588	1.719	1.852
1.8	1.335	1.502	1.669	1.835	2.002	2.169	2.336

L: 埋込深さ

B: くい径

1.6.2 関東ローム盛土におけるガードフェンス支柱横方向抵抗試験

1.6.1の結果から、支柱の静的横方向耐力のいちおうの傾向はわかるのであるが、なお次のような諸点について不明あるいは不十分なところがある。

- (1) 最近用いられるようになった直径の大きく、埋込深さの比較的大きい鋼管支柱に関する資料不足。
- (2) 上の工学的性質に関する記述不足、とくに粘土の場合の粘着力などの記述された資料のないこと。
- (3) 次章のような解析において、ガードレールの連続けた効果を考えたとき問題となる一たん載荷された方向と逆方向に荷重が加わるときの変位反力曲線の性質。
- (4) 静的載荷と動的載荷の関係。

このため、建設省土木研究所千葉支所構内に試験盛土を行ない、静的載荷、同逆方向載荷と動的載荷の行なえる試験装置をつくり、載荷試験を行なった。

用いた装置の略図は、図1.4.4のとおりである。関東ロームの高さ1.9m頂面巾4.5m長さ8.0m、法こう配1:1.5の盛土をつくり(土質は図1.4.5参照)、その両側にコンクリート柱を主体とした構造物をつくって鉄筋フックをとりつけ、静的引張時のアンカーとした。また一側の構造物には、ワイヤーロープと滑車をかいして150kgまでの荷重か

動的に載荷できるような装置がつけてある。ガードフェンス支柱を盛土片側に3本ずつ、両側で合計6本を同時に建てこみ、また試験を行なった。(図-1.46)試験用支柱建込後各引張実験実施までかならず3日以上放置した。建てこみ時には、まず1m立方を人力で掘削し、そのあとオーガで掘削し、埋め戻しは丸棒およびたこでつき固めた。また実験実施直前に各支柱の附近3箇所についてコンペネトローメーターにより支持力を求めた。さらに試験後深さ50cmの箇所と1mの箇所の含水比を測定しておいた。荷重はいわゆるヒツパラーにより載荷し、ロードセルを支柱ボルト穴位置直前に入れてストレインメーターにより計測した。また支柱後方に基準くいをたて、スケールでボルト

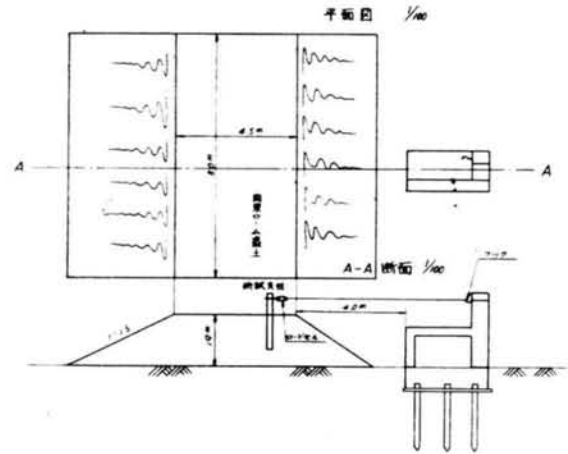


図-1.44 ガードフェンス支柱実験装置

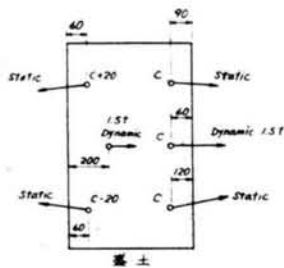


図-1.46 実験支柱の配置例

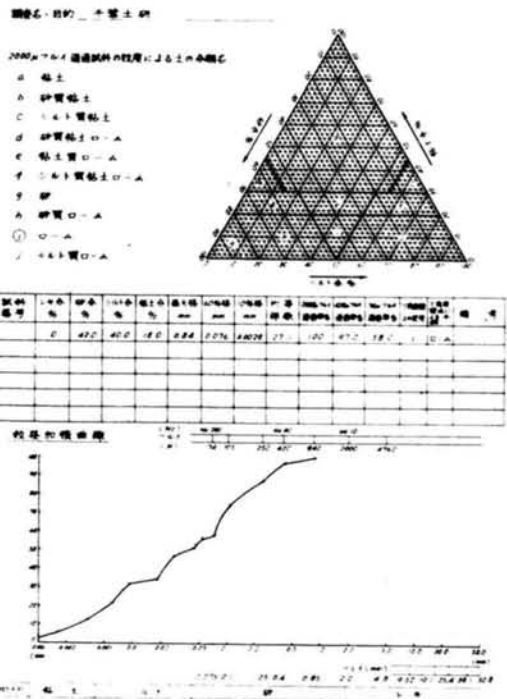


図-1.45 試験盛土の土質

孔位置と地表面の変位を計測した。

実験は昭和41年6月17日～8月18日の第1シリーズと昭和41年12月7日～昭和42年1月20日の第2シリーズの2回にわたって実施した。第1シリーズにおいては、主として雨期であったため、盛土が比較的軟弱な場合にデータがかたよったこと、動的載荷における高速カメラ撮影をほとんど失敗したことなどのために、雨量の比較的少ない冬季をねらって第2シリーズを追加実施したものである。また第2シリーズでは静的実験における路肩からの距離の影響を明らかにするため同一種の支柱について同一日において路肩からの距離を変化させて実験することを主眼とした。

表-1.5 実験対象とした支柱

設置要綱呼称 (あるいは呼称)	断面、形状	直径 (cm)	埋込深さ (cm)	備 考
A	円形、鋼管	13.98	150	埋込深さC型標準より20cm増 埋込深さC型標準より20cm減
C	〃	11.43	130	
C+20*	〃	11.43	150	
C-20*	〃	11.43	110	
D	〃	10.16	130	Strong beam weak post ガードレール用として考えたもの、 図-5.13参照
I*	角形、鋼管	10×5	90	
I+15*	〃	10×5	90	
I+15*	〃	10×5	90	
J*	円形、鋼管	10.16	90	

* はガードフェンス設置要綱によらないもの

実験対象として支柱の一覧表は表-1.5の通りである。A, C, D型はガードフェンス設置要綱にしたがったもの。C+20, C-20はそれぞれC型用支柱の埋込み深さを20cm増減したものである。IないしJ型は“強いレール弱い支柱型ガードフェンス”用支柱の一案でI型は角鋼管に根かせプレート溶接、I-15, I+15はプレ

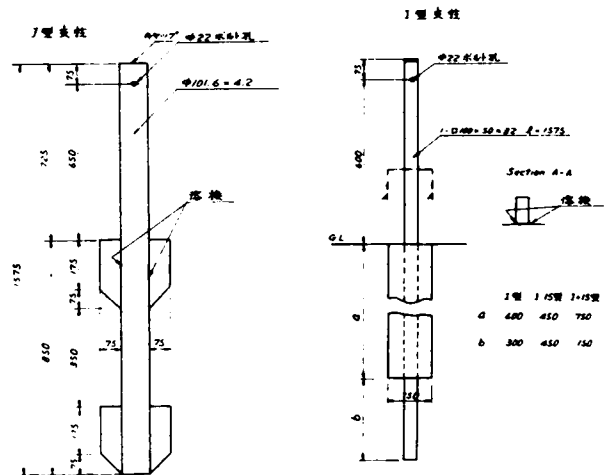


図-1.47 I型・J型支柱設計図

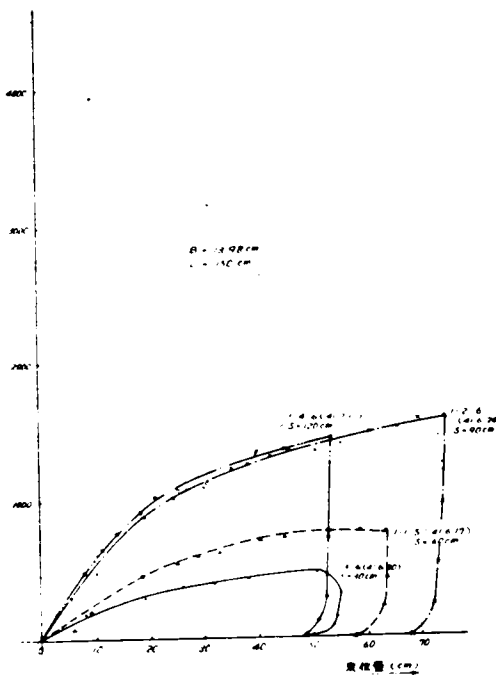


图-1.48 A型用支柱

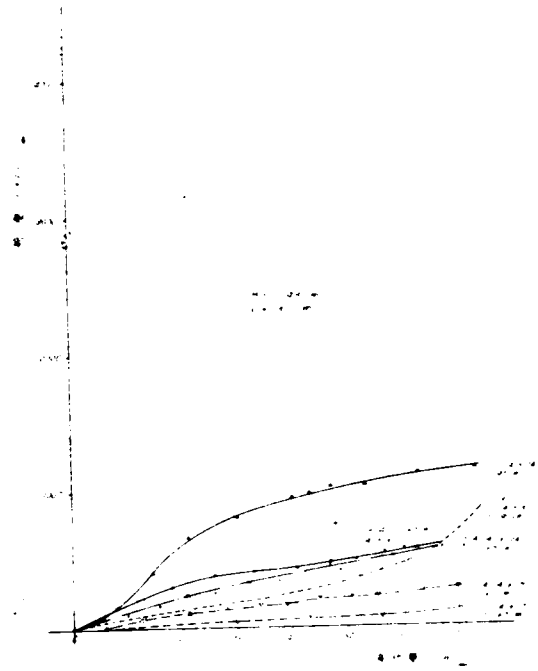


图-1.49 C型用支柱

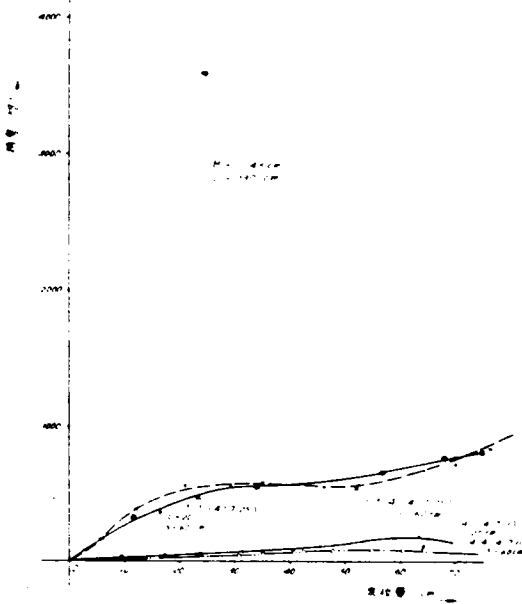


图-1.50 C型用支柱

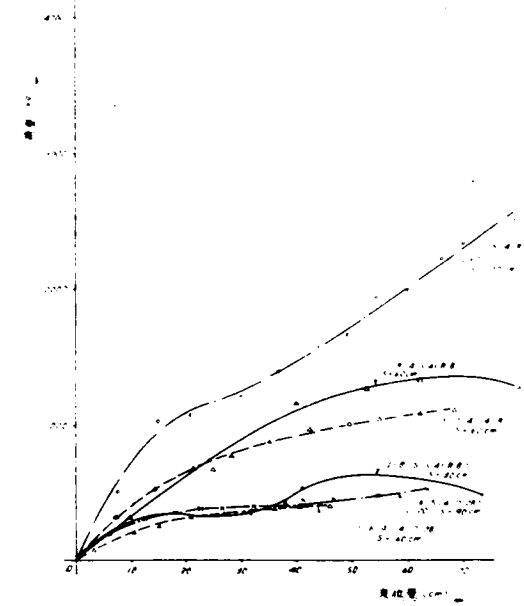


图-1.51 C型用支柱

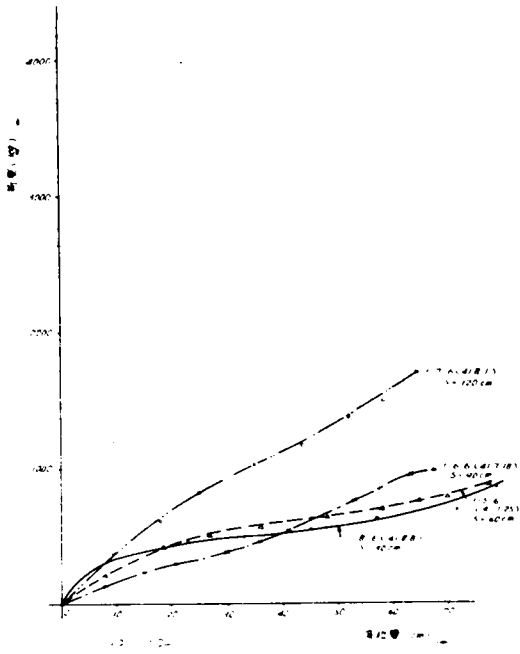


図-1.52 D型用支柱

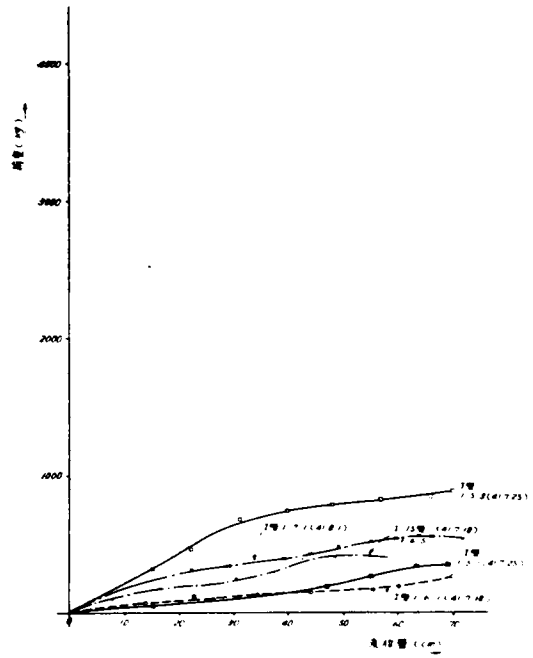


図-1.53 I型およびJ型

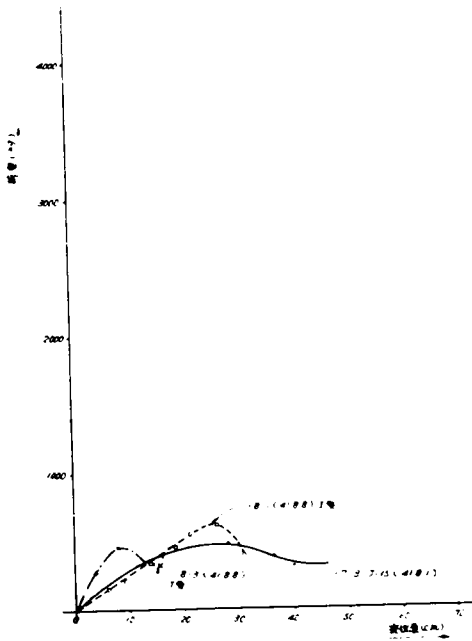


図-1.54 I型およびJ型

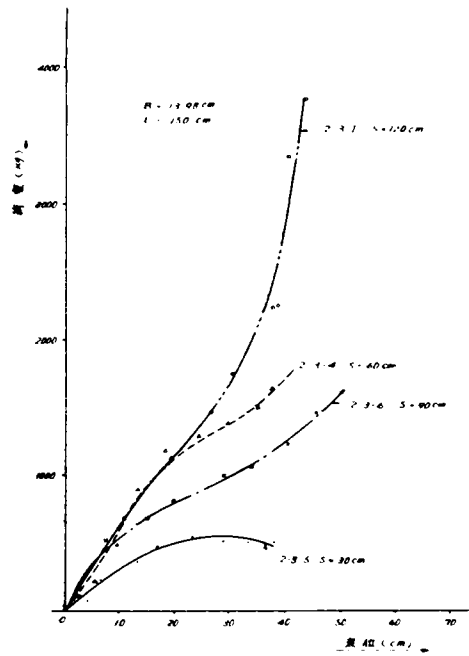


図-1.55 A型用支柱同一日実験
(41年12月18日)

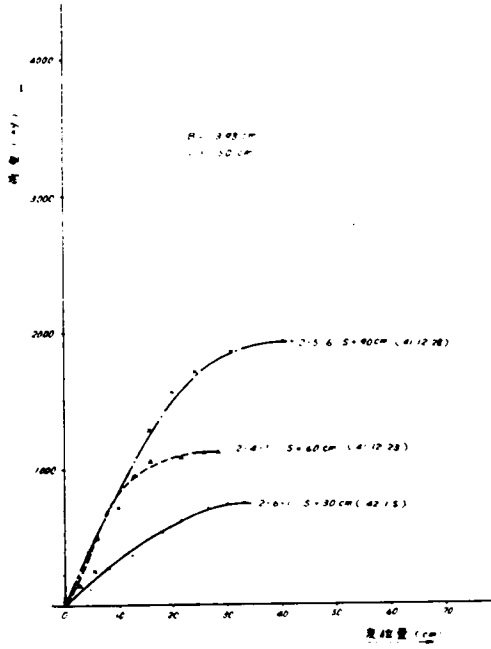


図-1.56 A型用支柱

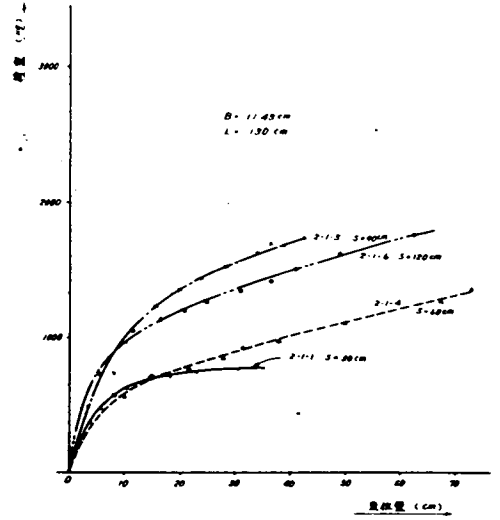


図-1.57 C型支柱同一日
(41年12月7日)実験

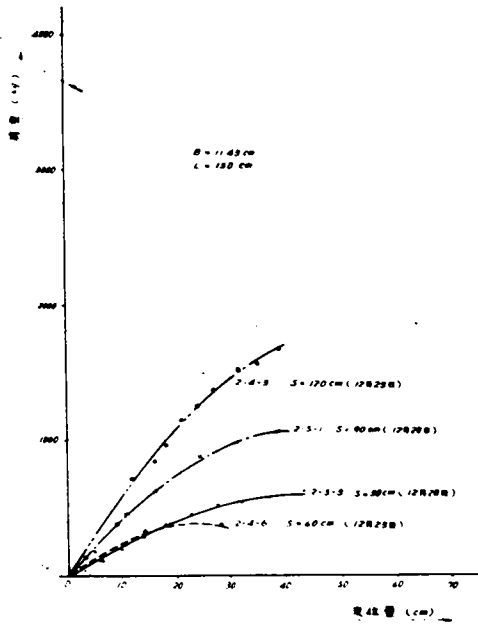


図-1.58 C型用支柱
(二回にわたったもの)

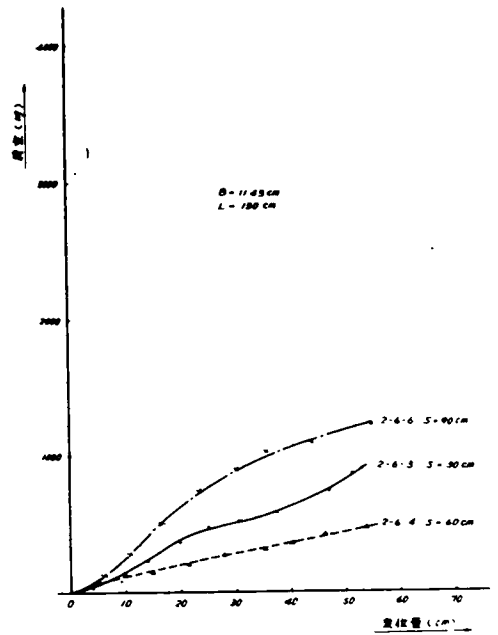


図-1.59 C型用支柱同一日実験
(42年1月5日)

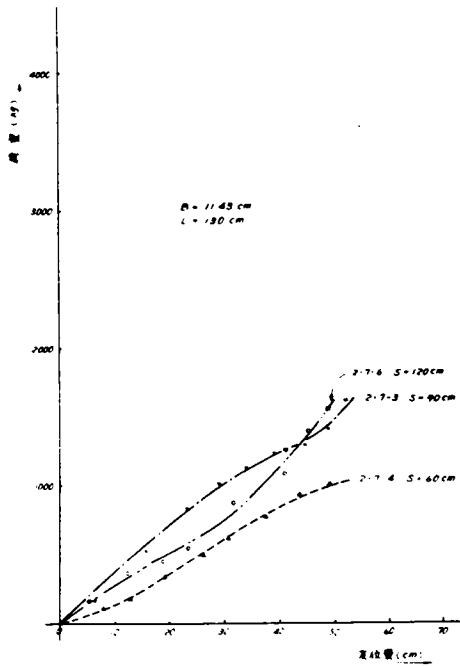


図-1.60 C型用支柱同一日実験
(42年1月11日)

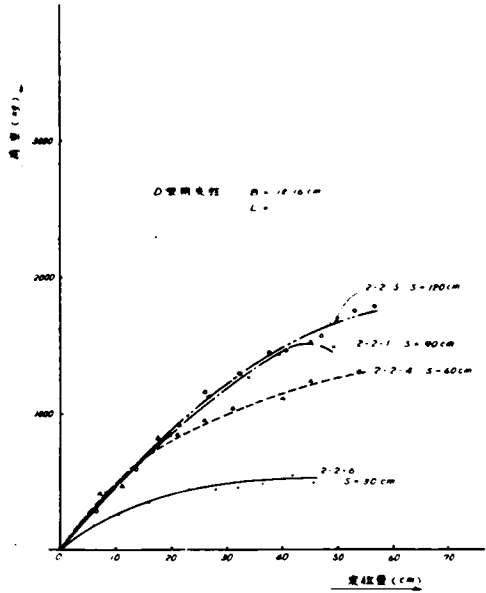


図-1.61 D型用支柱同一日実験
(42年12月13日)

ート長さを増減したもの、J型は円型鋼管に根かせプレートを溶接したものである(図-1.47)。
 図-1.48~1.62に静的引張実験の変位量と荷重の関係を示す。主として、路肩からの距離の影響がわかりやすいようにまとめている。
 図中、Bは支柱直径、Lは埋込み深さ、1-4-6などの第1の数字はシリーズ番号、第2の数字は、実験日番号(同一日るとき同一番号)、最後の数字は実験番号(一日一回)の実験中の各支柱の実験順位)、Sは路肩からの距離を示す。A、B、C型はおもに、路側を対象としたW型断面、あるいはガードロープ用に用いられることを考慮し、路肩から

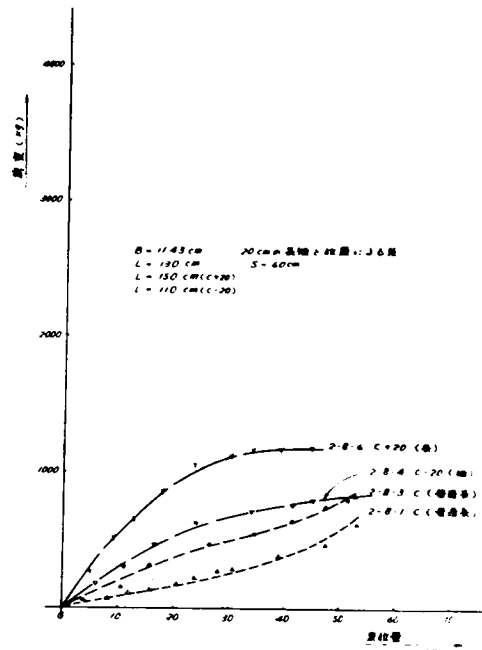


図-1.62 C型支柱における埋込長の影響
(42年1月20日実験)

表-1.6 土木研究所カードフエンス支柱試験装置による実験シリーズ第1
 載荷高 h 0.6 m, 支柱断面四角, 上置円車ローム, 法こう配1:1.5

実験番号	埋込み深さ L (m)	支柱径 B (m)	コーン値 q _c -10C _u	含水比 W(%)	路肩からの距離 (m)	a)		b)		c)		d)		e)	
						0.3m 時荷力 (ton)	0.3m 時荷力測定値 (ton)	0.3m 時荷力 (ton)	0.3m 時荷力 (ton)	鋼引埋込深さ (cm)	鋼引埋込深さ (cm)	鋼引埋込深さ (cm)	鋼引埋込深さ (cm)	鋼引埋込深さ (cm)	鋼引埋込深さ (cm)
1-2-6	1.5	0.1398	6.215	87.42	0.9	1.12	1.60	37.4	2.188	0.6	0.78	2.64	0.61	1.76	0.91
1-4-6	1.5	0.1398	11.886	92.33	1.2	1.18	1.50	39.4	4.184	0.8	0.86	2.64	0.57	1.76	0.86
1-1-5	1.5	0.1398	6.696	87.25	0.6	0.62	0.78	20.6	2.357	0.4	0.88	2.64	0.80	1.76	0.45
1-3-6	1.5	0.1398	15.714	89.88	0.8	0.39	0.48	13.0	5.581	0.2	0.087	2.64	0.18	1.76	0.27
1-2-1	1.3	0.1143	9.983	91.55	0.9	0.80	1.16	26.6	2.355	0.692	0.494	1.77	0.66	1.18	0.99
1-2-4	1.3	0.1143	9.643	86.305	0.6	0.30	0.6	10.0	2.276	0.461	0.284	1.77	0.84	1.18	0.51
1-3-1	1.3	0.1143	8.642	98.425	0.9	0.28	>0.6	9.3	2.040	0.692	0.294	1.77	0.34	1.18	0.51
1-3-4	1.3	0.1143	17.276	104.215	0.6	0.31	0.56	10.0	4.077	0.461	0.187	1.77	0.32	1.18	0.48
1-1-4	1.3	0.1143	7.543	96.05	0.6	0.24	0.25	8.0	1.780	0.461	0.140	1.77	0.14	1.18	0.21
1-1-1	1.3	0.1143	8.92	94.3	0.6	0.04	0.10	1.3	2.105	0.461	0.048	1.77	0.57	1.18	0.86
1-4-1	1.3	0.1143	17.386	101.58	1.2	0.04	0.09	1.8	4.108	0.925	0.022	1.77	0.51	1.18	0.77
1-4-4	1.3	0.1143	15.120	95.5	0.6	0.06	0.18	2.0	3.568	0.461	0.054	1.77	1.02	1.18	1.58
1-5-5	1.5	0.1143	17.016	87.01	0.6	0.58	0.7	19.8	4.014	0.40	0.174	2.27	0.31	1.51	0.47
1-5-4	1.3	0.1143	16.199	78.155	0.6	0.55	0.65	18.8	3.823	0.461	0.170	1.77	0.37	1.18	0.56
1-6-4	1.3	0.1143	16.809	84.97	0.6	0.36	0.4	12.0	3.967	0.461	0.100	1.77	0.28	1.18	0.85
1-6-5	1.1	0.1143	15.038	100.35	0.9	0.4	0.5	13.3	3.555	0.816	0.140	1.70	0.29	0.92	0.44
1-8-5	1.3	0.1143	22.069	76.062	0.3	0.34	0.62	11.2	5.208	0.281	0.119	1.77	0.35	1.18	0.58
1-7-4	1.3	0.1143	19.7265	77.615	0.6	0.81	1.10	27.0	4.655	0.461	0.236	1.77	0.62	1.18	0.93
1-8-4	1.3	0.1143	24.224	65.520	0.6	0.90	1.85	30.0	5.717	0.461	0.236	1.77	0.77	1.18	1.15
1-7-5	1.5	0.1143	19.227	75.003	1.2	1.24	>2.6	41.4	4.538	0.80	0.57	2.27	1.15	1.51	1.78
1-8-6	1.3	0.1016	20.917	64.95	0.3	0.48	0.64	15.0	4.936	0.28	0.3	1.70	0.38	1.18	0.57
1-5-6	1.3	0.1016	17.708	89.25	0.6	0.55	0.72	18.8	4.178	0.461	0.7	1.70	0.42	1.18	0.68
1-6-6	1.3	0.1016	12.594	95.965	0.9	0.38	>0.9	12.7	2.972	0.691	0.30	1.70	0.58	1.18	0.80
1-7-6	1.3	0.1016	21.809	83.915	1.2	0.92	>1.7	30.8	5.147	0.925	0.33	1.70	1.00	1.13	1.50

表一 1.7 土木研究所カードフエンス支柱試験装置による実験シリーズ第2
 組荷高 h 0.6 m, 支柱断面形状, 土質図表ローム, 法こう配 1:1.5

実験 番号	押込み深さ l (cm)	支柱径 B (cm)	γ→指示値 qc=10(Cu)	含水比 W(%)	群有からの 距離 (m)	0.3m位 耐力 (ton)	耐荷力(ton) 側面定航	0.3m位 時をとった 群性位置	Br o m s 柱性土式 (ton)	a) (群) b Cu=qc/10による		a) / c)	a) / d)	中へ純Cu =0.5と したときの Br o m s式 (ton)	a) / c)
										群周 埋込深さ	純Cu=0.75 としたときの Br o m s式 (ton)				
2-1-3	1.3	0.1143	16.419	74.66	0.9	1.54	>1.9	51.4	4.08	0.691	0.466	1.77	1.07	1.18	1.60
2-1-6	1.3	0.1143	21.685	87.47	1.2	1.36	>1.9	45.4	5.38	0.925	0.858	1.77	1.07	1.18	1.60
2-1-4	1.3	0.1143	15.658	87.40	0.6	0.9	>1.8	80.0	8.89	0.462	0.386	1.77	0.77	1.18	1.15
2-1-1	1.3	0.1143	19.721	74.475	0.3	0.78	0.78	26.0	4.90	0.231	0.159	1.77	0.44	1.18	0.66
2-1-3	1.3	0.1143	19.575	93.3	1.2	1.44	>1.8	48.0	4.86	0.925	0.370	1.77	1.02	1.18	1.58
2-5-1	1.3	0.1143	17.348	94.2	0.9	0.96	1.1	32.0	4.31	0.691	0.255	1.77	0.62	1.18	0.93
2-5-3	1.3	0.1143	17.606	108.15	0.3	0.52	0.6	17.3	4.37	0.231	0.187	1.77	0.34	1.18	0.51
2-6-6	1.3	0.1143	17.817	95.6	0.9	0.9	1.25	30.0	4.42	0.691	0.283	1.77	0.71	1.18	1.07
2-6-4	1.3	0.1143	15.187	83.75	0.6	0.3	0.5	10.0	3.77	0.462	0.138	1.77	0.28	1.18	0.42
2-7-6	1.3	0.1143	18.585	90.0	1.2	0.74	1.6	24.6	4.61	0.925	0.347	1.77	0.91	1.18	1.37
2-7-3	1.3	0.1143	20.255	83.45	0.9	1.0	1.6	33.3	5.03	0.691	0.318	1.77	0.91	1.18	1.37
2-7-4	1.3	0.1143	16.050	77.35	0.6	0.6	1.0	20.0	3.98	0.462	0.251	1.77	0.57	1.18	0.86
2-3-1	1.5	0.1398	16.859	92.2	1.2	1.65	>8.8	55.0	5.93	0.80	0.641	2.64	1.44	1.76	2.16
2-3-4	1.5	0.1398	15.792	91.5	0.6	1.4	>1.8	47.0	5.56	0.40	0.324	2.64	0.68	1.76	1.02
2-3-6	1.5	0.1398	22.612	94.2	0.9	1.0	>1.6	33.3	7.95	0.60	0.201	2.64	0.61	1.76	0.92
2-3-5	1.5	0.1398	18.942	77.8	0.3	0.56	0.56	18.7	6.66	0.20	0.840	2.64	0.21	1.76	0.32
2-5-6	1.5	0.1398	20.423	94.95	0.9	1.8	1.9	60.0	7.18	0.60	0.265	2.64	0.72	1.76	1.08
2-4-1	1.5	0.1398	18.562	73.5	0.6	1.1	1.1	36.8	6.53	0.40	0.169	2.64	0.42	1.76	0.68
2-6-1	1.5	0.1398	19.863	78.9	0.3	0.74	0.74	24.6	6.99	0.20	0.106	2.64	0.28	1.76	0.42
2-8-6	1.5	0.1143	18.042	76.8	0.6	1.12	1.18	37.5	5.42	0.40	0.218	2.27	0.52	1.51	0.78
2-8-4	1.1	0.1143	19.866	73.85	0.6	0.66	0.82	22.0	3.63	0.545	0.226	1.38	0.59	0.92	0.89
2-8-3	1.3	0.1143	18.161	81.6	0.6	0.50	>0.84	16.7	4.51	0.462	0.186	1.70	0.61	0.92	0.92
2-8-1	1.3	0.1143	16.274	73.25	0.6	0.26	>0.62	8.7	4.04	0.462	0.154	1.70	0.36	1.18	0.54
2-2-6	1.8	0.1016	貫入不能	76.55	0.3	0.48	0.52	16.0	-	0.231	-	1.70	0.81	1.18	0.47
2-2-4	1.3	0.1016	"	70.0	0.6	0.98	1.3	32.7	-	0.462	-	1.70	0.77	1.18	1.16
2-2-1	1.3	0.1016	"	65.35	0.9	1.18	1.5	39.3	-	0.692	-	1.70	0.87	1.18	1.30
2-2-5	1.3	0.1016	"	68.65	1.2	1.2	1.75	40.0	-	0.925	-	1.70	0.87	1.18	1.30
2-6-3	1.3	0.1143	19.823	83.3	0.3	0.5	>0.9	16.7	4.92	0.231	0.183	1.77	0.51	1.18	0.77

* 深さ50cm, 100cmにおける測定値と測定値との差は25.00として平均した。

の距離を30cm, 60cm, 90cm, 120cmの4通りに変化させている。

I型, J型は中央分離帯に主として用いられることを考慮し, 路肩から180cm離し, 実際上路肩の影響を無視できる距離に建て込んでいる。

表-1.6および1.7にA, C, D型支柱の各実験番号ごとの埋め込み深さ, 支柱巾(直径), コーン指示値, 含水比測定値, 路肩からの距離, 0.3m変位時耐力(ton), 耐荷力測定値, 0.3m変位時に対する弾性係数(正切)(Kg/cm²), $C_u = q_c / 10$ としたときのBromsの粘性土式計算値(c), 路肩/埋込深さ, a/cの値, $C_u = 0.75$ としたときのBroms粘性土式計算値(d), a/dの値, $C_u = 0.5$ としたときのBroms粘性土式計算値(e), (a)/(e)の値が示してある。コーン指示値は, 断面積6.45cm²の円すいコーン(土質調査に通常用いられるもの)を貫入させたときの支持力を10cmごとに読みそのうち50cmと1mの測定値の支柱附近8箇所についての平均である。含水比はやはり深さ50cmと1mの箇所

の値の平均である。図-1.63にコーン指示と含水量の関係をプロットしたものを示す。いちおうの傾向は何えるがかなりバラツキの大きい関係を得ている。耐荷力測定値は, 耐荷力最高値がかならずしも明確でない場合でも, 通常のガードフェンス支柱使用範囲で, 2直線型変位支持力曲線をあてはめたときの耐荷力相当値が記入してある。0.3m変位時をとったときの弾性常数として, 0.3m変位時の耐荷力(Kg)を変位(30cm)で割った値を示す。

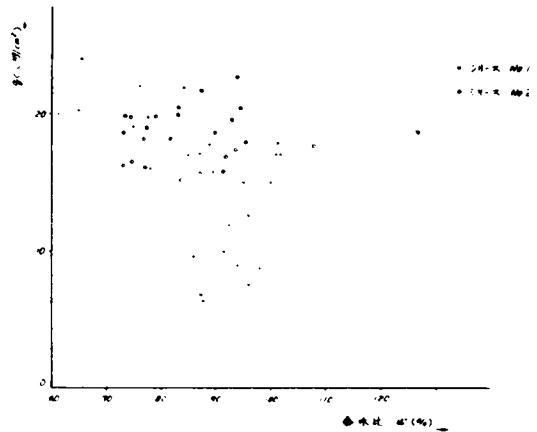


図-1.63 深さ1.3m, 1.5mにおける q_c およびWの測定値間の関係

粘性土式とあるは, Bromsの粘性土に対する横方向耐荷力の式において, 一般的に用いられる関係

$$q_u = q_c / 5$$

$$C_u = \frac{1}{2} q_u$$

$$C_u = q_c / 10$$

ここに,

$$q_c : \text{コーン支持力} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

$$q_u : \text{一軸圧縮強さ} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

$$C_u : \text{粘着力} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

により推定した C_u を使った値を示す。

(d), (e)欄はそれぞれ一率の粘着力 $C_u = 0.75$.

$C_u = 0.5$ を仮定したときの Broms 式による計算結果である。 a/c , a/b , a/e はそれぞれ測定結果と計算結果の比である。

$C_u = qc/10$ を用いた場合の Broms 式による計算値と測定値の比と路肩からの距離の関係を図-1.64に示す。測定値と計算値の大きさはそうとうことになっており、かつ、ばらつきも大きい。路肩からの距離との間に明白な関係の存在することは容易に認められる。

図-1.64(b)は、ほとんど図-1.64(a)と同趣旨であるが、路肩からの距離の代りに路肩からの距離/埋込深さをとったものである。2つの変数間の関係はむしろ図-1.64(a)の方が明らかなようである。

測定値/計算値の値と(路肩からの距離)/(支柱埋込深さ)の含水比の関係を回帰式につくると、
第1シリーズ

$$\alpha = 0.4146x_1 - 0.5099x_2 + 0.4499$$

第2シリーズ

$$\alpha = 0.5883x_1 - 0.0947x_2 + 0.0089$$

α : Broms 計算式に対する係数

x_1 : 路肩までの距離/支柱埋込の深さ

x_2 : 含水比 (小数表示)

となり、重相関係数は、第1シリーズ0.4762、第2シリーズ0.8752となる。

なお、ほとんど耐荷力まで到達したとき、除荷時の変位と力の関係は、A型支柱の例については図-1.48の通りである。変位の戻りの大きさは比較的小さく、ガードフェンスの問題としてはまったく無視できるほどのものである。他の実験についてもすべてこの測定は行なっているが、繁雑となるためグラフ上では省略している。

逆方向荷重を行なった実験の例を図-1.65に示す。C型支柱1本について、通常の方法で静的引張実験を行ない耐荷力を求めておき、他の同条件の支柱についてまず路肩側に最高耐荷力の1/2まで引張り、次に逆方向に3/4まで引張した。図-1.65では路肩からの距離30, 60, 90, 120cmの各場合をひとまとめにしてボルト孔位置の変位と荷重の関係が示してある。逆方向荷重時も、変位-支持力の関係はほとんど同一と考えてよい

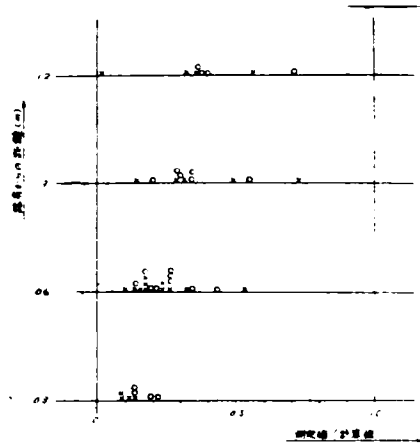


図-1.64(a) $C_u = qc/10$ を用いた場合の Broms 粘性土に対する計算値に対する測定値の比と路肩からの距離の関係

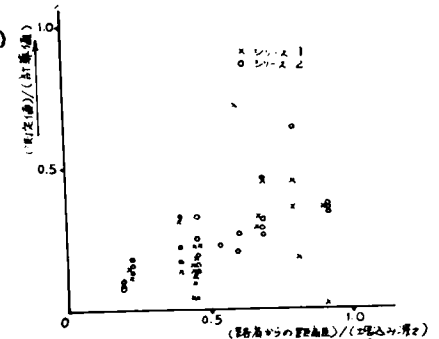
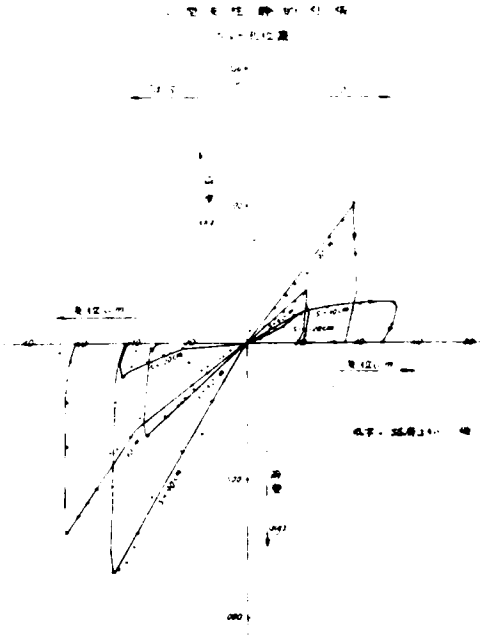


図-1.64(b) $C_u = qc/10$ を用いた場合の Broms 粘性土に対する計算値に対する測定値の比と(路肩からの距離)/(埋込深さ)の関係

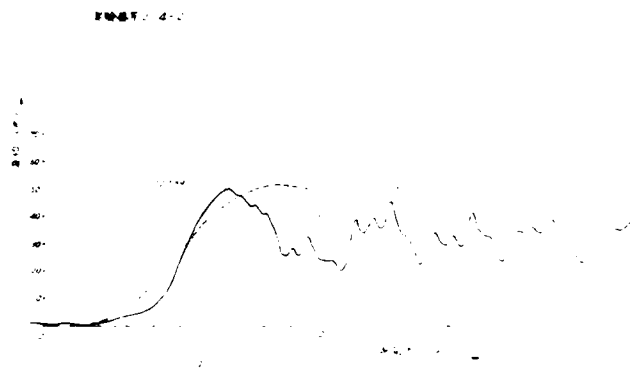
であろうことがわかる。

動的載荷実験において、支柱の変位一時間関係を高速カメラ撮影によって測定できたものの結果を図一・66(a)~(g)に示す。荷重はボルト孔位置直前にそう入したロードセルとダイナミックストレインメーター直視式オツシロにより計測している。図中横軸を時間に縦軸に荷重と変位をとっている。実線は荷重変化を、破線は変位を、一点さ線は、最高変位を最高荷重位置に一致させて時間変位曲線を拡大あるいは縮少し、荷重の時間的变化と変位の時間的变化の関係をみやすくしたものである。

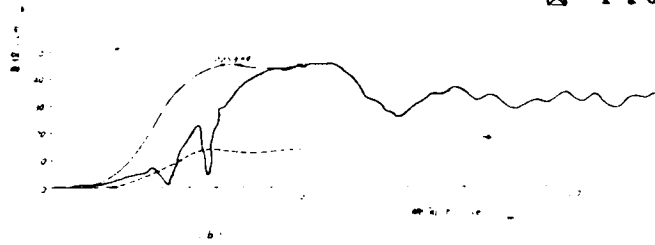
動的載荷装置の構造上、最高荷重に到達するまでやく、0.7秒を要しており、ガードフェンスの実際の衝突現象よりは、かなりおそいが、これらの結果をみるかぎりにおいては、実用上変位は力の変化に十分追隨しているとみてよいであろう。実施した動的載荷実験全体について、対照静的荷重実験結果(同



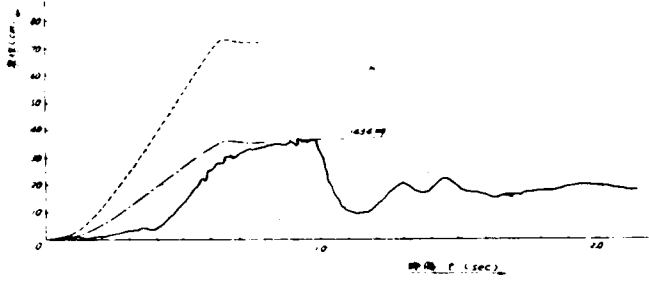
図一・65 逆方向載荷を行った例



図一・66 動的載荷試験における荷重一時間、変位一時間の関係

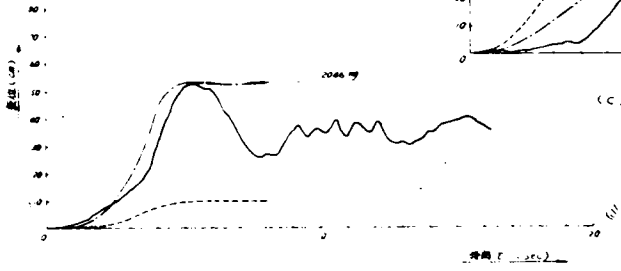


實驗番号 2-6-2



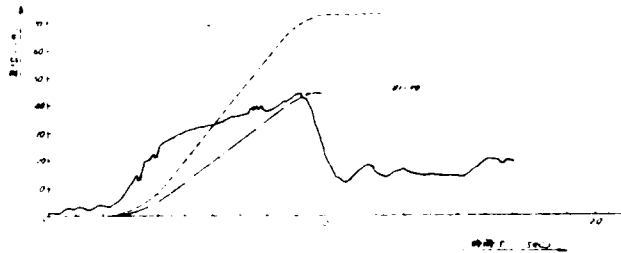
(c)

實驗番号 2-6-5



(d)

實驗番号 2-7-2



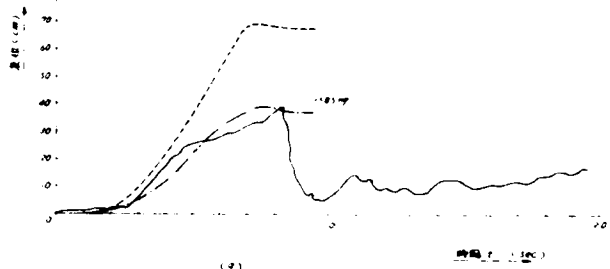
(e)

實驗番号 2-7-5



時間 t (sec)

實驗番号 2-8-2



(f)

実験日、路肩からの距離の等しいもの)と対比したものが表-1.8である。最大荷重とは振動した荷重の最高値を、最終荷重とは、最後に静止したときの指示荷重を示す。

表-1.8 動的載荷測定結果と静的測定結果の対比

実験番号	路肩からの 距離 (cm)	最大荷重 (Kg)	最終荷重 (Kg)	変位量 (cm)	対照静荷重 実験番号	最大荷重 (Kg)	変位量 (cm)
2-4-2	C 120	2,027	1,397	54.7	2-4-3	1,667	38.8
2-4-5	C ∞	2,253	1,397	16.7	—		
2-6-2	C 30	1,434	582	74.0	2-6-3	810	51.7
2-6-5	C ∞	2,046	1,148	11.7	—		
2-7-2	C 90	1,811	864	77.9	2-7-3	1,624	50.8
2-7-5	C ∞	2,318	1,382	15.8	—		
2-8-2	C 60	1,585	529	72.0	2-8-3	817	52.6
2-8-5	C ∞	2,236	1,412	16.0	—		
2-1-2	C 90	2,136	1,420	38.2	2-1-3	1,740	42.6
2-1-5	C ∞	2,113	1,390	17.4	—		
2-2-2	C 60	1,421	735	43.5	2-2-3	1,157	35.0
2-3-2	C 120	1,667	1,095	69.8	2-3-3	2,167	49.3
1-1-2	C 60	529	415	18.2	1-1-1	117	76.4
1-2-2	C 90	1,240	570	66.5	1-2-1	1,161	73.5
1-3-2	C 90	976	310	71.4	1-3-1	973	81.6
1-4-2	C 120	510	348	19.0	1-4-1	114	91.4
1-5-2	J 180	625	490	35.6	1-5-3	836	66.4
1-6-2	I 180	345	298	11.9	1-6-1	320	73.1
1-7-2	I 180	674	595	19.7	1-7-1	547	66.8
1-8-2	J 180	437	278	1.5	1-7-3	327	15.2

* 右のアルファベットは支柱タイプ

Cは設置要綱C型

Iは角柱に鋼板溶接

Jは円柱φ10.16に鋼板溶接路肩

からの距離∞とは、路肩からの距離

180cm~200cmの実験をい

これらの実験結果によれば、路肩からの距離 ∞ とみなしてよいと考えられる場合には、いずれも最高荷重 2 ton 以上に対して変位はすべて 10 cm 以下 (J 型 1 本を除き) に止まっていることが注目される (表中アンダーライン)。しかし、路肩からの距離が有限の場合は、まったくことなった結果となり、静的引張と同量あるいはそれ以上の変位を示している。これに関してはあるいはつねにほとんど同一箇所を実験時用いるための影響が表われている可能性があり、今後いっそう精密な条件下の実験が望まれるものである。

路肩からの距離 ∞ の場合のボルト孔位置 (レール支持位置) に対する最大荷重/変位量の値、すなわち支柱の弾性常数 k_s の値を表 1.9 に示す。C 型についてはほぼ一定した結果がえられ、平均は 144 (Kg/cm) である。

1.7 結 語

本章ではまず今日までにコーネル航空研あるいは著者によって開発された 8 種のガードフェンスの力学模型について述べた。すなわち引張で抵抗し、支柱は 2 直線型の変位支持力曲線にしたがうモデル、引張で抵抗し、支柱が曲線型の変位支持力曲線にしたがうモデル、曲げモーメントで抵抗する連続けたモデル、曲げモーメントで抵抗する弾性床の上のはりのモデル、曲げと引張の両者に抵抗する連続けたモデル、バネ系引張と曲げ抵抗モデル、レールについてはバネ系引張と曲げ抵抗を考え支柱にオイルダンパーをつけたガードレールモデル、レールを薄板の塑性曲げとみなしスプリングバックを考慮したガードレールモデルである。ガードフェンスの力学系を実用上十分な範囲で表現することは、ガードフェンス技術上きわめて重要な課題であるが、以上のモデルによってこの問題はいちおうは満足できる水準に達したといえる。これらのモデルをさらにいっそう精密化する

路肩 ∞ の場合の弾性常数 k_s の値 (最大荷重/変位量)

C 型	実験番号	k_s ($\frac{\text{Kg}}{\text{cm}}$)	q_c ($\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$)	W (%)
	2-4-5	135	22.1	82.25
	2-6-5	175	15.9	82.7
	2-7-5	147	15.9	88.35
	2-8-5	140	19.2	73.5
	2-1-5	121	13.9	85.7
	平均	144	17.4	82.5

I, J 型	実験番号	k_s ($\frac{\text{Kg}}{\text{cm}}$)
	1-5-2 (J)	17.5
	1-6-2 (I)	29.0
	1-7-2 (I)	34.1
	1-8-2 (J)	290.1

表 1.9 支柱の動的載荷時の弾性常数 K_s

ことも可能ではあるが、計算機的能力、費用からみて、むしろ現在のモデルのレベルが妥当なものといえるであろう。

つきにわが国においてこれまでに行なわれたガードフェンス支柱の静的横方向抵抗実験例 95 例を剛くいの転倒荷重の観点から再整理した。その結果ガードフェンス支柱の静的耐荷力の土圧分布を直線近似した場合の耐荷力計算値に対する推定耐荷力の比のは、(支柱の路肩からの距離/支柱埋込深さ)の値と、

砂質土について

$$\alpha = 1.112 + 0.544x \quad \alpha < 1.77$$

粘性土について

$$\alpha = 1.117 + 1.221x \quad \alpha < 3.00$$

の関係にあることがわかった。参考までに γ_e 、 C_p の 2、3 の値に対する、土圧の直線近似、放物線近似による転倒荷重計算値を表にまとめておいた。

次に新たに行なった上記の過去の実験例では比較的少ない最近の規格による鋼管支柱の関東ローム試験盛土における横方向載荷実験を行なった。この場合はコーン支持力を測定したので、粘着力を考慮した Broms の転倒荷重計算式によって結果を整理した。この場合も計算値と実測値間の差に路肩からの距離の関係していることは明らかである。しかし測定値は計算値に比してそうとう小さい値を示している。

そのほか、逆方向載荷、動的載荷に関して若干の場合の検討を行なった。

参 考 文 献

- (1) "Development of An Analytical Approach to Highway Barrier Design and Evaluation",
Bureau of Physical Research, Department of Public Works, The State of New York, May, 1963
- (2) 枝村俊郎: "ガードフェンスについて", 道路交通工学における最近の諸問題, 土木学会関西支部, pp17~23, 昭.41.12
- (3) "高速道路におけるガードフェンスの研究", 建設工学研究所, 昭.42.3.28
- (4) "耐食アルミニウム合金製ガードレール実物実験解析報告書", 建設省土木研究所, 昭.40.11
- (5) 一松信: "電子計算機と2進法", 昭.40
- (6) 松井西: "車端衝撃と緩衝装置総論", 鉄道技術研究報告第21号車両編第9号, 日本国有鉄道鉄道技術研究所, 昭.33.8
- (7) 益田森治監修: "薄板の曲げ加工", 昭.38
- (8) NKK式ガードレール試験報告, 昭.31.11

- (9) 田中伸三, 関沢昭房: “ガードレールに関する研究”, 日本鋼管技報 No.9, 昭.32.4
- (10) 伊吹山四郎, 佐藤和夫: “道路用ガードレール支柱の側方耐荷力に関する実験について”, 土木研究所報告102号, 昭.34.3. PP145~161
- (11) ガードケーブル静荷重試験結果, 神戸製鋼設計部, リコピー資料
- (12) “高速型ガードレールの実用車による走行衝突実験について”, 日本鋼管技報No.19, 昭.35.10
- (13) “高速道路用ガードパイプの設計と試験”, 八幡鋼管株式会社, 昭.40.4.3
- (14) 土木研究所資料第65号, “アルミニウム合金製ガードレール実物実験資料”, 建設省土木研究所, 昭.40.6
- (15) 土木研究所資料第250号, “ハイドロリック クラッシュバリアー強度試験報告書”, 建設省土木研究所, 昭.42
- (16) 吉田敏: “くい設計に用いる横方向地盤係数K値について(I)”, 土木技術資料, Vol.5, No.11, PP17~23
- (17) 同上, “同上(II)”, 土木技術資料Vol.6, No.11, PP21~29
- (18) Broms, B.B.: “Lateral Resistance of Piles in Cohesive Soils”, J. of Soil Mechanics and Foundations Division, Proc. of A.S.C.E. March, 1964, pp27~63
- (19) Broms, B.B.: “Lateral Resistance of Piles in Cohesionless Soils”, J. of Soil Mechanics and Foundations Division, Proc. of A.S.C.E., May 1964, pp123~156
- (20) 宇都一馬: “クイの横方向地盤係数値”, 橋梁と基礎, Vol.1, No.5, 1967.5, pp25~26
- (21) 久保浩一: “短杭の横抵抗”, 港湾技術研究報告Vol.5, No.13, pp1~38
- (22) “土質調査法”, 土質工学会, 1964
そのほか;
- (23) 松浦義満: “非線型特性をもつ弾性床土の梁の挙動”, 東京大学学位請求論文, 昭.38.12.25

オ2章 実物実験とその解析例

2.1 概 説

ガードフェンスは一見単純な構造物であるが、衝突現象自身はそうとう複雑なもので、解析法もかつては未確立なまま、もっぱら実物実験がその研究方法の主流であった。しかし、実物実験によるとしても、現象に関与する要因はきわめて多く、それらすべての制御は困難であり、実験の再現性は一般に十分でないのがふつうであった。また実物自動車を実物ガードフェンスに衝突させるというのであるから、必然的に大規模な実験とならざるをえず、そのため繰り返しも数多くなしえないことになる。こんにちでは解析法に関しては、そうとう程度にまで明らかになってきたのであるが、なお不明の点も多く、理論の検証や理論に組み込みえない諸要素の影響の確認のためにも実験はやはり今後も重視されると考えられる。

本章ではまず実物実験技術について概観し、建設省土木研究所の実験施設の概要を紹介する。次に自動車の力学模型について述べる。このモデルと第1章の各種ガードフェンスの力学モデルを組合せることにより、ガードフェンスの衝突現象が記述される。さらにわが国の過去に行なわれた実験例から神戸製鋼所によるガードロープ実験を選び、これの数値解析によって理論と実際を照合してみる。最後に、土木研究所の施設を用いた最初の実験であるオイルダンパー付きガードフェンス実物実験とその解析について述べる。

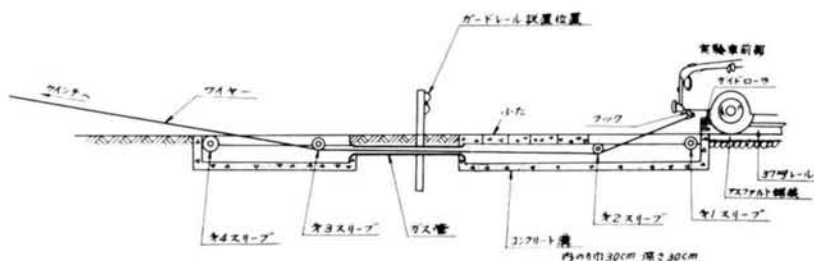
2.2 実物実験技術

実験技術を大別すると、実物自動車を加速誘導し、ガードフェンスに衝突せしめる 実験車に関する技術的問題と、自動車、フェンスの挙動などの衝突現象の記録に関する技術的な問題の両者にわけることができる。前者に関しては製造業者の手による実物実験の、いわゆるスタントパイロットによる有人衝突実験の場合を除き、実験時の危険性と、実験結果の客観性の確保のために、無人の実験車を加速衝突させるのが、各国の共通の実験法である。無人の自動車の方向性を確保しつつ、いかに高速に加速するかは技術的困難が存在する。自動車の加速法としては、1) 坂路の利用、2) 実験車自身の動力、3) 高速ウインチによるけん引、4) ロケット推進、5) 自動車による曳行(後押)、6) カタパルト発射が用いられ、方向誘導には、a) ガイドレール、b) ハンドル固定、c) 無線誘導が用いられてきた。わが国では、大規模実験では、1) および a) によったのがほとんどである。(1) (2) (3) (4) (5) しばしば使用されたのは静岡県東富士演習場内の標高差 24 m の通称ナマコ山で、頂上附近から木製軌条を敷き誘導落下させると 70 km/h の衝突速度がえられた。また運輸省運輸技術研究所には高さ 20 m 傾斜角度 45 度の貨車追突試験用坂路の鉄塔があり、これを利用した実験も行なわれた。(6) (7) この方法の利点は自動車重量に無関係に一定加速度が容易にえられることであるが、いっぽう適所がえがたく、新たに建設するとすれば高額の費用を要する点が欠点である。諸外国で行なわれた実験では、2) および b) の方法によるものが最も多い。(8) (9) (10) この方法

の利点は、実験車自身の動力を用いることによる現実性、十分な高速のえられる可能性、固定施設の不要といった利点があるが、反面、実験車自身機関、操舵系の良好な状態にあるものを使用する必要があり、万一の事故時に備えて広大なスペースを要し、かつ無線誘導技術も十分でなければならないということになる。わが国では、これまで松尾教授による八幡製鉄構内で行なわれたバスを用いた衝突実験⁽¹⁾が唯一例である。ただしこの場合は方向誘導は、鉄軌条によった。ロケット推進法は、ドイツのベンツ工場で行なわれた実験⁽²⁾においてはじめて用いられた。これは特別に製造された蒸気ロケットで、乗用車の場合、長さ1310mm、直径500mm、容積0.2m³のタンクの後方噴射口から蒸気を噴出する独立の台車となっており、実験車を後方から押し進む。熱源は電力を使用し、ヒーターをタンク内に装置している。方向性はガイドレールによって与えレール端で乗用車を突放したのち、ロケットはブレーキによって停止させられる。トラックの場合は、荷台上に直接大型蒸気ロケットをとりにつけた。最近では火薬ロケット技術が発達してきたので、今後はこれの利用も考えられるであろう。

高速ウインチによるけん引法はグライダーの地上えい航とまったく同様の方法によるものである。ガードフェンスの実験については先例をみないが、わが国では株式会社高田工場にウインチけん引法による試験施設があり、実物自動車防護壁に衝突させ、主として安全ベルトの試験に用いられてきた。⁽³⁾この方法は、衝突速度、角度が安定し、けん引力も小さくてすみ、熟練もさほど要しない利点があるが、他方重量車において高速がえがたくなる。建設省土木研究所では、圧縮空気によるカタバルト法、坂路法、火薬ロケット法などを検討したが、本方法が最も技術的に容易、安価、かつ安全性が高いと認め、本方法による試験施設を在来試験走路脇に設備した。以下簡単にその概要を述べる。(図-2.1参照)。

図-2.1 建設省土木研究所ガードフェンス実物実験装置概念図



加速走路は延長150m、巾員2.6mのアスファルト舗装であり、その中央に方向保持のため37kgレールを敷設してある(写真-2.1)。

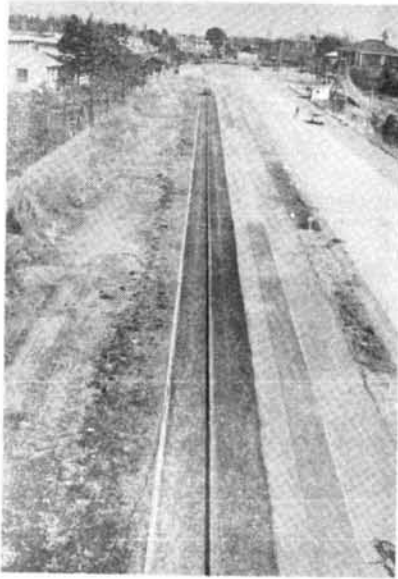


写真-2.1 加速走路

実験車にはガイドローラを取りつけ、これによって誘導される(写真-2.2)。



写真-2.2 車体にとりつけたガイドローラと先端フック

レールは短まくら木をかいしてコンクリートブロック(80cm×40cm×50cm)により支持されている。供試ガードレール衝突位置前方10.7mから1.5mの間はコンクリート溝とし、けん引ワイヤーは、ワイヤスリーブをかいして下方に角度をかえこの溝中に入る。(写真-2.3)



写真一 2 3 ガイドレール端末と第1ス
リープ、コンクリート溝の
一部、速度計測装置

コンクリート溝は長さ3.4 m間はふたなし、供試ガードレール直前5.8 mはふた付きとし、後者の上は車輪が通過できるようになっている。ガードフェンス建込み部分は4BSGP1000A（ガス管）長さ5 mとし、フェンス後方はふたたびコンクリート溝となっている。これによってけん引ワイヤロープは、実験車先端フックからガイドレール端の第1スリーブの上側、第2スリーブの下側を通過し、ガードフェンス設置箇所の地中を通り、ふたたび後方コンクリート溝の第3、第4スリーブをかいて地上に出、後方のウインチにまきとられる。実験車先端フックにかけられたワイヤロープは、実験車が第2スリーブ通過時に自然に離脱することになる。ウインチは1955年型クライスラーバンの後輪にドラムを取り付け、反対側車輪を固定したものである（写真2.4）。なお危険防止のためウインチドラム前方にはワイヤカッターを取り付けた。ガードフェンスは標準長4.0 m、 15° ～ 20° に設置するものとする。



写真一 2 4 ウインチドラム（クライスラー後輪改造）

計測のためには、衝突個所上方9 mからの高速カメラ撮影のために撮影塔を造った。(写真-2.5)

上部甲板には、撮影孔を2個設けてある。本位置から16ミリカメラで撮影した場合、Kinoptic F5.7mmレンズを使用すれば、路面における視野1610m×1170mがえられる。今までわが国で一般に行なわれてきたのは、主としてガードフェンスビーム、支柱のひずみ計測、ワイヤストレンゲージ加速度計による加速度計測、突入時の速度計測、衝突後のレールの変形、自動車通過軌跡の記述などであるが、一般にひずみ計測に関しては、測定にはらわれた努力が十分酬いられるような結果とならなかった場合が多かったようである。理論的解析が不十分であった他、ガードフェンスのように構造物がきわめて大きい変形を生ずる場合には、ストレンゲージは変形に



写真-2.5 撮影塔

最後まで追隨しえず、現象全体の完全な記述には不十分であったためであろう。高速カメラ撮影によるときは、微小部分の変化の記述には不足するところがあるが、衝突現象の大局的な記録としては信頼性が高く、再現が容易、かつフェンスと自動車の両者の挙動を同時にとらえられるので、今の目的に最も合致した計測法といえるであろう。高速カメラによる記録を行なう場合も、撮影画面が完全に地上平面と平行にすえられることは期待できないが、その修正には、写真測量の計算法⁽⁴⁾がそのまま応用できる。

直交座標をとるとき、撮影中心に関する回転後の座標 $X\gamma, Y\gamma, Z\gamma$ と原座標 X, Y, Z の関係は、

$$\begin{pmatrix} X - X_c \\ Y - Y_c \\ Z - Z_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\alpha & 0 & -\sin\alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\alpha & 0 & \cos\alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\beta & \sin\beta \\ 0 & -\sin\beta & \cos\beta \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \cos\delta & \sin\delta & 0 \\ -\sin\delta & \cos\delta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_r \\ Y_r \\ Z_r \end{pmatrix} \dots\dots\dots (2.1)$$

ここに、 X_0, Y_0, Z_0 ; 平行移動、
 α, β, δ ; 回転角。

また、写真面と地面が平行状態にあるとき、写真画面座標を (X') 、 (Y') 、焦点距離を (C) とすると、地上座標と写真座標の関係は、

$$(X), (Y)$$

$$X = \frac{(x') h}{(c)}$$

$$Y = \frac{(y') h}{(c)} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

ここに

h ; 撮影中心高。

これより写真の画面が地表面に対して傾斜しているときは、写真座標と地上座標の関係は、写真座標から地上座標を求めるとき、航空写真測量において一般に用いられる記号により、

$$X - X_0 = \frac{h \left\{ x' (\cos \varphi \cos \kappa - \sin \varphi \sin \omega \sin \kappa) + y' (\cos \varphi \sin \kappa + \sin \varphi \sin \omega \cos \kappa) + c \sin \varphi \cos \omega \right\}}{-x' (\sin \varphi \cos \kappa + \cos \varphi \sin \omega \sin \kappa) + y' (\cos \varphi \sin \omega \cos \kappa - \sin \varphi \sin \kappa) + c \cos \varphi \cos \omega}$$

$$Y - Y_0 = \frac{h (-x \cos \omega \sin \kappa + y \cos \omega \cos \kappa - c \sin \omega)}{-x' (\sin \varphi \cos \kappa + \cos \varphi \sin \omega \sin \kappa) + y' (\cos \varphi \sin \omega \cos \kappa - \sin \varphi \sin \kappa) + c \cos \varphi \cos \omega}, \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

逆に地上座標から写真座標を求めるとき、

$$x' = \frac{c \left\{ (X - X_0) (\cos \varphi \cos \kappa - \sin \varphi \sin \omega \sin \kappa) - (Y - Y_0) \cos \omega \sin \kappa - h (\sin \varphi \cos \kappa + \cos \varphi \sin \omega \sin \kappa) \right\}}{(X - X_0) \sin \varphi \cos \omega - (Y - Y_0) \sin \omega + h \cos \varphi \cos \omega}$$

$$y' = \frac{c \left\{ (X - X_0) (\cos \varphi \sin \kappa + \sin \varphi \sin \omega \cos \kappa) + (Y - Y_0) \cos \omega \cos \kappa - h (\sin \varphi \sin \kappa - \cos \varphi \sin \omega \cos \kappa) \right\}}{(X - X_0) \sin \varphi \cos \omega - (Y - Y_0) \sin \omega + h \cos \varphi \cos \omega} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

によればよい。

高速カメラをセットしたとき、不明である未知数は、 X , Y , h , φ , ω , κ の6個であるから、地上に6点以上の標識をとり、精密に測量しておき、これによって解析的に写真測量にいうところの単写真の絶対標定を行なう。写真座標の計測には、16ミリフィルム画面を15倍に拡大撮影し、座標計測の可能であるナックモーションアナライザーを利用し、これら地上標識点の画面座標の計測を行なう。このとき、残差 $v_{x'}$, $v_{y'}$ を

$$v_{x'} = M_{x'} - x' \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

$$v_{y'} = M_{y'} - y' \quad \text{ここに, } M_{x'}, M_{y'} ; \text{計測値}$$

X', Y' ; 計算値

として、 $S = (\dot{x}' + \dot{y}')$ を最小とするよう6個の未知数を決定する。このようにして撮影機の位置、姿勢に関する絶対標定ができれば、式(2.3)により、自動車の運動を地上平面運動とみなせば、刻々の自動車およびガードレール上の標点を追跡、衝突現象の全般的な記録が行なえることになる。

2.3 衝突時の自動車の平面運動モデル

自動車がガードフェンスに衝突した場合の運動は、ほんらい、きわめて複雑な現象で、自動車をたとえ剛体とみなしても、6自由度の立体運動で、しかもその上バネ系や車体の弾、塑性変形まで考慮する必要があるとすれば、ほとんど解析は不可能である。しかし、いちおう自動車はこれを剛体とみなし、平面運動のみを問題とすると2直線運動と、1個の回転運動からなり、その場合の操縦性、安定性の問題はすでに近藤政市⁽⁵⁾⁽⁶⁾によってかなり広汎、かつ詳細に論ぜられている。また一方、Johns Hopkins 大学の H. S. Ayre などによるガードフェンスの模型実験⁽⁷⁾を行なうに際して、いちおう模型自動車の運動方程式を考え(不完全であるが)、これに相似律の考え方を応用して、模型の尺度を決定した報告がある。これらの両者を参照して、ガードフェンスに自動車は衝突した場合の運動方程式をつくった。われわれの場合、その解析の最終目的、ガードフェンスの最適設計にあり、自動車自身のより詳細な運動を議論するものでなければ、以下の解析方針でほとんど十分であると考えられる。座標軸の原点を衝突の瞬間の自動車の重心位置にとり、そのときの自動車の進行方向を X 軸、それと直角方向に Y 軸をとれば、 X 軸方向および Y 軸方向の力の釣合、自動車重心に鉛直にとった Z 軸まわりのモーメントの釣合は次のように与えられる。ただし、衝突時の動力風り、かつ風の影響は無視するものとする(図-2.2)。

$$\frac{W}{g} \frac{d^2 x}{dt^2} = 2 K_{f1} \sin \psi - 2 K_{f2} \sin \psi - 2 R_{f1} \cos \phi - 2 R_{f1} \cos \phi + B \cos \phi$$

$$\frac{W}{g} \frac{d^2 y}{dt^2} = 2 K_{f1} \cos \psi + 2 K_{f2} \cos \psi - 2 R_{f2} \sin \psi - 2 R_{f2} \sin \psi + B \sin \psi$$

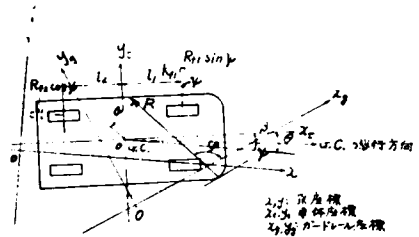


図-2.2 自動車平面運動モデル

$$\frac{W}{g} \rho^2 \frac{d^2 \theta}{dt^2} = 2 K_{f1} \cdot \rho_1 \cdot \cos \beta - 2 K_{f2} \cdot \rho_2 \cdot \cos \beta + s n \cdot R \cdot a - C m d \quad l_1, l_2 \quad \frac{W}{V} \frac{d\theta}{dt}$$

$$C m d = \frac{2}{W} \frac{(K_{f1} \rho_1^2 + K_{f2} \rho_2^2)}{\rho_1 \rho_2}$$

$$\beta = \theta - \psi$$

$$K_{f1} = k_{f1} (\beta + ds)$$

$$K_{f2} = k_{f2} \beta$$

$$R_{f1} = 0.012 (1.0 + 0.16 (\beta + ds)) W_f$$

$$R_{f2} = 0.012 (1.0 + 0.16 \quad) W_f$$

..... (2.6)

ここに、

x ; 原点からの x 方向への自動車重心の移動距離

y ; 原点からの y 方向への自動車重心の移動距離

θ ; 自動車車体中心線の x 軸となす角

ψ ; 自動車重心の進行方向が x 軸となす角

β ; 自動車の横すべり角

φ ; 自動車中の車体がガードフェンスから受ける反力が x 軸とする角

ds ; 操舵角

W ; 自動車の全重量

W_f ; 前車軸重量

W_r ; 後車軸重量

K_{f1} ; 前輪のコーナリングフォース

K_{f2} ; 後輪のコーナリングフォース

R_{f1} ; 前輪のころがり抵抗

R_{f2} ; 後輪のころがり抵抗

k_{f1} ; 前輪のコーナリングパワー

k_{f2} ; 後輪のコーナリングパワー

V ; 重心の速度

C_{md} ; 減衰係数

F ; ガードレールの車体に及ぶ反力

a ; F の自動車重心に対する腕長

s_n ; 符号

l_1 ; 重心, 前車軸間距離

l_2 ; 重心, 後車軸間距離

ρ ; 自動車の Z 軸回り慣性半径

ただし、 R_{f1} 、 R_{f2} は 度 単位の実験式である。その値はフェンスと自動車の相対的な位置、フェンスの構造などの複雑な関数であるが、これは第 1 章のガードフェンスモデルによって与えるこ

とができる。自動車の運動は、 R の変化をとり入れつつ、Runge Kutta Gill の方法により逐次微小時間刻みごとに積分を進行され^せばよい。第1章のモデル中1.5.1.2, 1.5.2以外は、反力 R は時間の経過に無関係で、自動車のフェンスの接触位置のみの関数と考える。その場合は、フェンスのみについて、その変形と反力の関係を求めておき、この自動車モデルに代入すれば解ける。1.5.1.2, 1.5.2の場合は、反力の大きさは、時間的経過に關係するから、フェンスの力学モデルと自動車の力学モデルは同一プログラム中で同時に逐次計算を進行させねばならない。

2.4 ガードロープ実物実験の解析

本編第1章のガードフェンスモデル、2.3の自動車のモデルによる實際現象解析の有効性、ひいては本編第3章の最適設計の考え方の妥当性をわが国のデータについて確かめるために、過去に行なわれた実物実験結果を解析してみる。昭和35年1月16日から昭和35年5月11日にわたって、神戸市灘区天神山において行なわれた神戸製鋼所の手によるガードロープの実物実験⁽³⁾は、解析および照査に必要な諸測定データが比較的良好に整っているため、一部推定によるデータを加えてその数値解析を行なってみることにする。フェンス側力学模型としては、コーネル航空研ガードロープモデルを一部改良して用いた。改良点は収束計算のとき、 $\frac{T_1 + T_2}{2}$ とする平均法を用いると収束しない場合がおこるので2分法を用いることにしたこと、支柱間ロープの伸びに関する部分は、ガードロープが支柱上で固定されている表現で正しくないため、これを修正したこと、初期張力を入れられるようにしたことなどである。しかし、結果的には大きな影響はなかったものと考えられる。

供試ガードロープの諸元は表-2.1の通りである。

表-2.1 供試ガードロープ諸元 (神戸製鋼所)

全長 ; 5 5 0 0 .m (1スパン 5 0 0 cm × 11スパン)
ケーブル形式 ; 7 × 7 G / 0
ケーブル直径 ; 1 8 mm
ケーブル張数 ; 4本
ケーブル弾性係数 ; 1 2 5 3 0 0 0 Kg / cm ²
初期張力 ; 2 t on / 1 ケーブル
ロープ有効断面積 ; 1 5 3 9 mm ² / 本

まず支柱載荷位置に関する \bar{p} (耐荷力) と K_s (反力/変位係数) の推定値は、支柱1本のときの静的引張実験の実測値 (図-2.3) を参照して推定することにする。

実験現場では、支柱の埋め替えが短期間のうちに数多く繰り返されるためその時々支柱強度はかなりバラッキを生じているものと想像されるが、ここでは次の2種の支柱強度を仮定して、ガードロープとしての静的引張実験との比較を行なってみる。

(1) $\bar{p} = 1400 \text{ Kg}$, $K_s = 140 \text{ Kg/cm}$,

(2) $\bar{p} = 1680 \text{ Kg}$, $K_s = 56 \text{ Kg/cm}$ 。

このうち後者を用いると、スパン中央の変位と反力の関係が理論計算と実測結果が良く一致することがわかる(図-2.4)。

よつて(2)の値を以下の衝突現象の解析に使用するものとする。

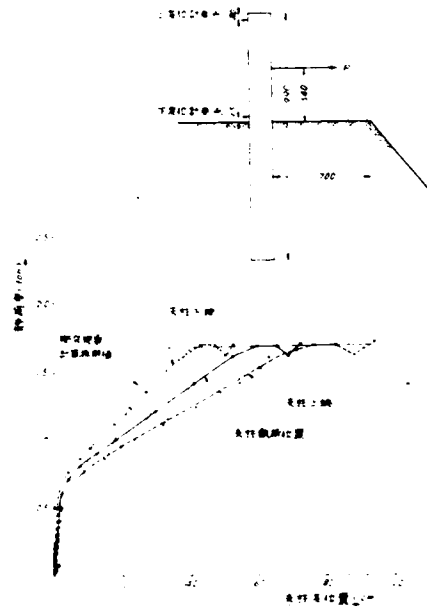


図-2.8 荷重-支柱変位曲線

図-2.4 ガードロープの静的横方向引張実験、ガードロープスパン中央の変位と荷重の関係
(初期張力 $2.0 \text{ ton} / 1 \text{ ケーブル}$)

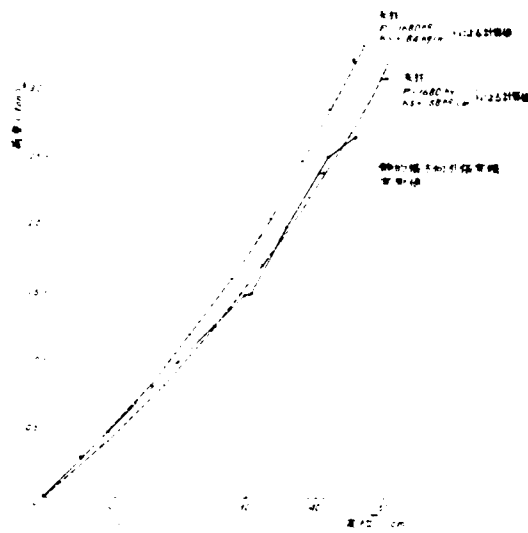


図-25は、同じ静的引張実験における支柱変位と荷重の関係を同じ理論計算の結果と対比したものである。

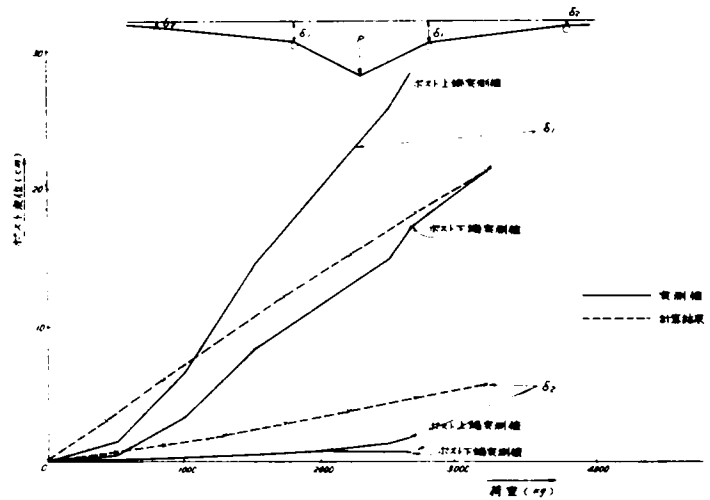


図-25 ガードロープ静荷重試験におけるポスト位置の変位一荷重曲線

上記の支柱の \bar{p} , K_s 値を用い、高速道路用ガードロープのスパン中の4点、すなわちスパン中央、スパン1/10点、1/5点、支柱上の4点について、変位反力曲線を描くと図-76のようになる。

この関係を載荷位置の変位と反力の関係を示す表にして計算機中に貯え、刻々の自動車とフェンスの接触位置（すなわち載荷位置）における反力の値を直線補間して読み出し、これをその時刻、位置におけるガードフェンスより自動車に加わる反力の値 R とすることにする。

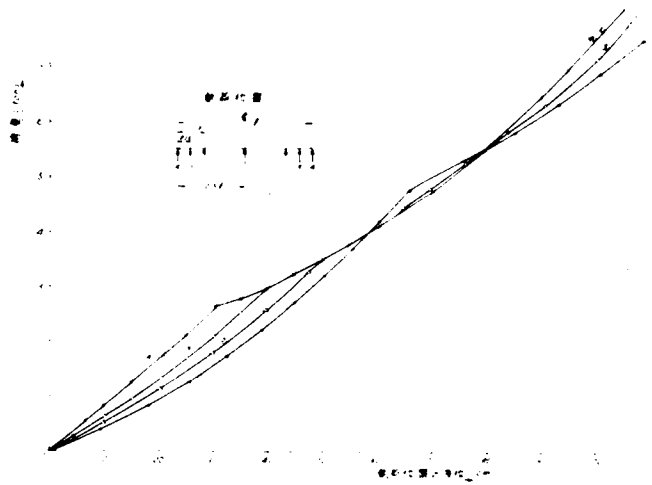


図-26 ガードロープの荷重変位曲線

自動車に関する諸元

は神戸製鋼所、「神鋼型ガードケーブル実地試験報告書」⁽⁴⁾より読みとつたが、車の重心位置は空車重量35tが前後輪に等分にかかり、積荷35tが荷台に等分布しているものと仮定して求めた（⁽⁵⁾図-27）。空車時の2軸廻り慣性モーメントは、資料8および過去の実測値⁽⁵⁾からみて、自動車

の慣性半径 ρ が、ほぼ、
 重心・後車軸間距離 \times
 重心・前車輪間距離 =
 ρ^2 の関係にあるので、こ
 れより推定した。コー
 ナリングフォースはす
 べり角 10° において
 飽和し、それまでは直
 線的に増加するものと
 した。ロープと車体間
 摩擦係数は 0.2、タイ

ヤと路面間摩擦係数は 0.7 と仮定する。衝突開始後、さいしょ、バンパー位置がロープと接触、したがって反力をうけているが、やがて車がロープの原位置と平行になったとき、後輪タイヤ後方に反力位置が直ちに移動するものと仮定した。

高速道路用ガードロープに関する一連の実験を衝突速度でグループわけすると、ほぼ 40 km/h 、 50 km/h 、 58 km/h 、 65 km/h 程度の 4 段階にわけられるので、その中 実験番号 3633、34、42 をそれぞれの代表として選び、上述の仮定による衝突現象解析計算を行なった (表-2.2)。この実験では、後輪の軌跡が完全に記録されているので、後輪位置の軌跡について実験と解析を照合してみることとする。

表-2.2 高速道路用ガードロープ実物実験結果 (神戸製鋼所)

実験番号	衝突速度 (km/h)	" (cm/sec)	衝突角度 (度)	重量 (t)	加速度 (g)		衝突エネルギー (t·m)	後輪最大 踏込量 (cm)	備考
					縦	横			
※ 36	41.7	1158.0	14.0	7.06	1.32	1.59	2.826	4.1	
43	42.2		14.5	7.06	1.72	1.95	3.101	5.0	
※ 33	51.7	1436.0	13.0	7.06	2.41	2.25	3.767	5.8	
40	58.3		13.0	7.02	3.06	2.90	4.749	6.5	
39	58.8		14.0	7.02	3.15	3.35	5.587	7.1	
56	58.5		15.0	6.98	2.85	3.25	6.297	6.7	
※ 34	58.5	1625.0	14.0	7.00	2.65	3.00	5.517	7.0	
55	61.0		15.0	3.56	3.02	2.95	6.843	7.0	
60	65.8		14.0	3.56	2.90	3.20	6.962	8.1	
※ 42	65.2	1811.0	14.0	3.56	3.13	3.42	7.840	9.0	

自動車諸元は神戸製鋼所ガードロープ
 実物実験報告書(750-3)による。
 ただし車の重心位置は空車重量 9.5t
 が前輪軸に等分にかかり荷重 3.5t
 が荷台に等分布しているとして仮定
 計算した。

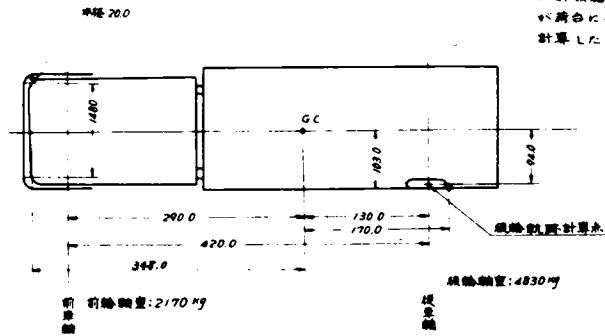


図-2.7 実験車諸元

実験 番号	衝突速度 (km/h)	" (cm/sec)	衝突角度 (度)	重量 (t)	加速度 (g)		衝突エネ ルギー (t・m)	後輪最大 踏込量 (cm)	備考
					縦	横			
58	29.5		14.0	3.56	4.69	4.43	0.713	4	
45	31.0		15.0	3.56	3.34	3.27	0.912	2	
59	49.1		15.0	3.56	9.48	9.08	2.263	5.1	
46	51.8		14.0	3.56	10.09	8.82	2.200	4.1	
37	57.3		14.0	3.56	11.48	9.12	2.648	5.8	
28	62.2		15.0	3.52	13.18	12.83	3.591	6.5	

※印を解析の対象とした。

表-2.3 ガードローブ解析計算
自動車の運動モデル入力データ

項 目	数 値
前輪重量	2180Kg
後輪重量	4880Kg
慣性半径	210cm
前輪重心間 距離	290cm
後輪重心間 距離	180cm
車体前傾半径	20cm
後輪外側間隔	206cm
後輪後端 重心間距離	170cm
路面タイヤ摩擦係数	0.7
車体レール摩擦係数	0.2

項 目 \ 実験番号	36	33	34	42
突入速度 (cm/sec)	1158	1436	1625	1811
突入角度 (度)	14	13	14	13
前輪コーナリングパワー (hg1deg)	868	868	868	868
後輪コーナリングパワー (hg1deg)	1930	1930	1930	1920

計算刻み; 4/1000 sec

計算に使用した諸数値をまとめて表-2.3に示す。

計算の結果、後輪軌跡について、ガードロープの原位置の前面を Xg , これと直角方向を Yg 軸とし、 Yg 軸を Xg 軸の 10 倍の縮尺で画くと、図-2.8~図-2.11 のようになる。

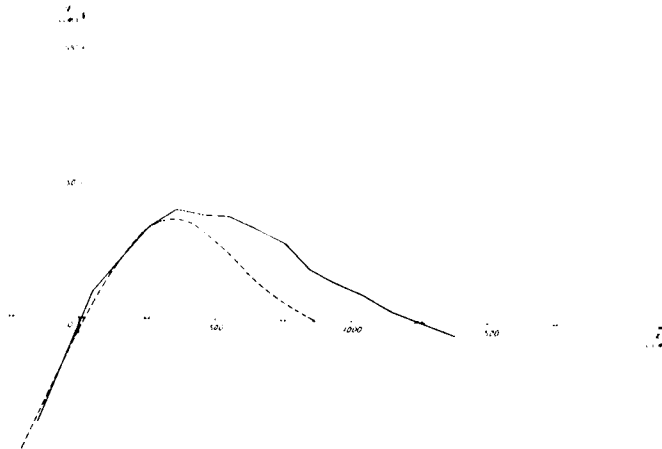


図-2.8 ガードロープ実験の後輪軌跡—実験番号 36

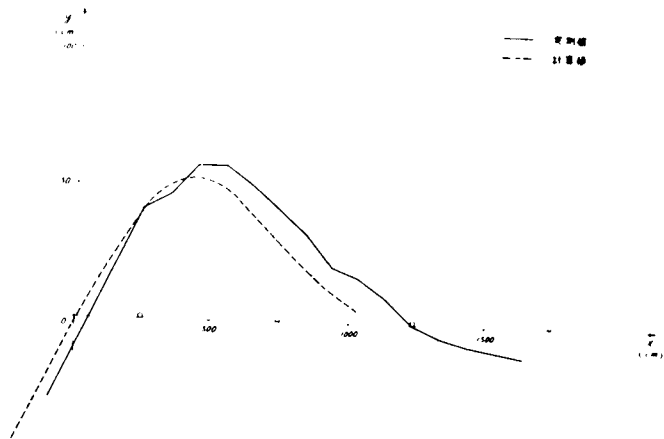
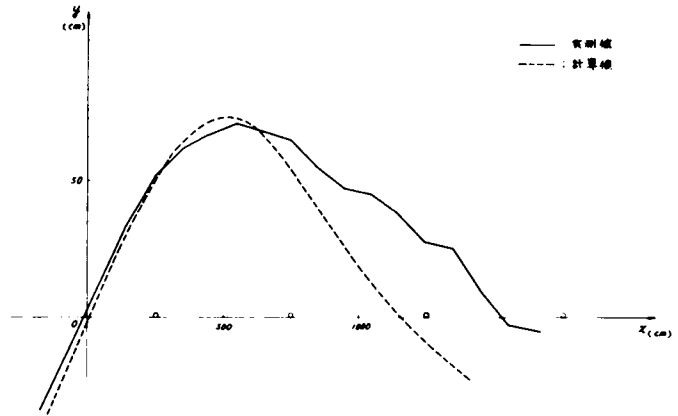
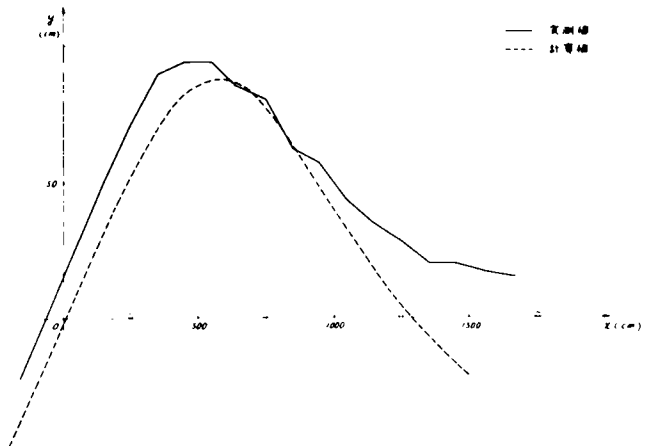


図-2.9 ガードロープ実験の後輪軌跡—実験番号 33



図一 2 1 0 ガードローブ実験，後輪の軌跡—実験番号 3 4



図一 2 1 1 ガードローブ実験，後輪の軌跡—実験番号 4 2

最大踏込量の実測と計算の差は，実験 No. 3 6 で差 4 cm，実験 No. 3 3 で差 5 cm，実験 No. 3 4 で差 2 cm，実験 No. 4 2 で差 6 cm で，実測値と解析結果はいずれもよく一致しているといえよう。また離脱角度もほとんど一致していることがわかる。

計算値と実測値をまとめて対比してみると表一 2 4 のようになる。

表-2.4 実験結果と計算の比較

実験 番号	後輪最大踏込量(a)		最大減速度 (g)				ガードケーブル (t)		離脱角度 (度)	
	(cm)		Y		X		実験値	計算値(b)	実験値	計算値(c)
	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値				
36	41	37	1.32	0.68	1.53	0.23	-	-		
33	58	53	2.41	0.90	2.25	0.24	9.85	8.0	2~5°	1.6
34	70	73	2.65	1.20	3.00	0.30	15.05	11.3		4.1
42	90	88	3.12	1.50	3.42	0.32	16.43	-		4.6

- a) 後輪最外輪巾中央の値
- b) 接触点最大踏込時の張力
- c) ケーブル反力0となったときの値

最大減速度の実測値には車の振動成分を含むので、この値と計算値とは、直ちに比較できないが、横方向成分については、平均的に50%とすれば傾向はよく一致しているようである。縦方向成分については、車輪の支柱の激突現象を計算中に考慮していないためか両者は全く一致しない。実測値側にも若干問題があるのではないかと考えられる。

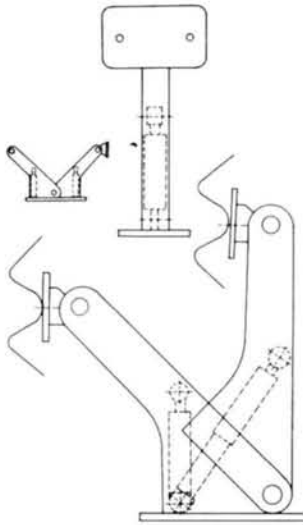
2.5 オイルダンパー式ガードフェンスの実物⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾ 実験と解析

2.5.1 実験

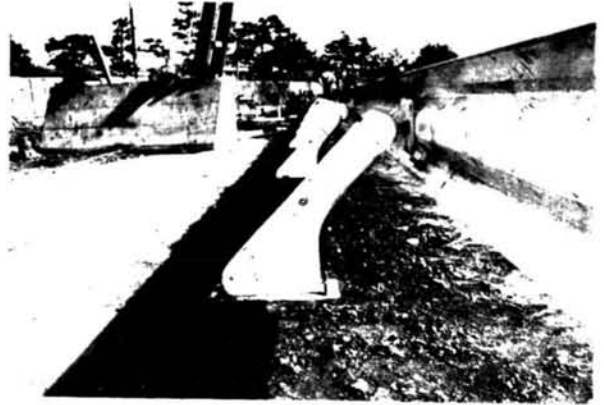
本実験は7.2に述べた建設省土木研究所千葉支所の実物実験設備を用いて行なった最初の実験である。期間は昭和42年2月7日から2月27日まで行われた。

現在一般に用いられているガードフェンスは周知のとおり、衝突のエネルギーを土の弾塑性変形によって吸収しようとする鋼管支柱のものがほとんどであるが、オイルダンパー式ガードフェンスは、これと異なり、支柱内に油圧式の緩衝器を有し、これによって衝突のエネルギーを吸収しようとするねらいのものである。土という天然の緩衝材を利用しない点で價格的に不利ではあるが、土に比べその緩衝機能が安定であること、また構造物上などで土のない所でも緩衝効果をあげうる点などが有利な点としてあげられている。またオイルダンパーによって生ずる反力は、変位速度の2乗に比例する性質をもつのも土と異った特徴である。

外観は図-2.1.2、写真2.6のようなものである。その力学模型についてはすでに第1章において述べた。



図一 2 1 2 オイルダンパー型支柱



写真一 2 6 オイルダンパー式支柱

支柱本体は鋼板カバーそのもので、これは底板とピンで結合され、また支柱本体のレール取付部と下端ピンの間にはまたピンがあって、これと底部前部のピンの間にオイルダンパーが装置されている。レール取付部もまたピン構造となっているので、自動車衝突時、レール取付部が後方に移動してもレール面はつねに鉛直を保つことになる。また支柱も底板のピンを中心として回転運動をするから、自動車の接触位置はレール面の後退につれて上昇することになり、一般のガードレールにおいては下降する傾向となるのと逆である。支柱の下部構造は $\phi 139.8 \times 4 \times 1000$ の鋼管基礎とし、その頂部に $203 \times 446 \times 16$ の鋼板を溶接し、支柱底板とボルトで締結した。

2.5.1.1 実験条件

実験車としては小型乗用車（1962年型日産ブルーバード）を用いた。実験施設そのものが高速小型車による理論解析の検証を目的として設計されていること、ダンパーの可動範囲をオーバーしたときは、本ガードフェンスの特色が失なわれること、わが国のこれまでの実物実験において小型車の高速衝突実験が比較的行なわれていないこと、したがってそのような条件時に生ずる自動車側の減速度に関する情報の不足であることなどが小型車を選んだ理由である。レールとしてはガードフェンス設置要綱B型に準拠したものをを用いた。実験総数は、オイルダンパー式を5ケースと対照して普通鋼管支柱のガードレールを1ケースの合計6回である。

2.5.1.2 測定

ガードフェンス実験における2つの主要な計測対象はいうまでもなくガードフェンス自身の挙動および衝突した自動車の挙動である。わが国のとくにこれまでの実験は重量車によるフェンスの破壊の有無に力点がおかれていたが、われわれの最適設計概念によれば、ガードフェンス側の破

壊条件と同時に高速小型車衝突時の減速度の大きさも十分注目されねばならない。

計測はこの意味で16ミリカメラによる撮影を中心とし、撮影塔より下向に向けミリケンDB M-4Cにより、400コマ/secで撮影、またボレックス2台を状況記録のため地上に配置した。そのほか、レールの若干点のひずみ計測、オイルダンパーの伸びの時間的变化、衝突後の地上軌跡測定、残留変形測定などを行なっているが、本稿ではミリケン高速カメラによる計測結果を中心に述べ他はおおむね省略することにする。

2.5.1.3 実験概況

各実験日ごとの概況をいちおう述べると次の通りである。

2月7日

実験車をレールに衝突させたとき右前輪がバンクした。これは支柱底板取付けのボルトが突き出ていたためと考えられ、以後の実験ではナット高にきりそろえた。車体については、ヘッドライト部分、すなわち右フェンダー前上部が20cm程度へこんだ（これは以後の実験すべてに共通）ほかはほとんど被害はなかった。レールの変形は衝突位置を含めた2スパンで大きく、無载荷時にレールの回転をとめるシャーピンは3支柱箇所において切断した（レールの変形概況、シャーピンについては以後の実験のすべてにはほぼ共通である）。

2月10日

レールに対する直角方向エネルギーは本実験シリーズ中最小であった。実験車の被害は小さく、レールの残留変位も小さかった。ダンパーはその変位の相当部分をレール自重によりすみやかに回復し、その動作は、設計意図の期待通りであったようである。

2月14日

2月11、12日に積もった雪が融け始めたため地盤がひじょうに悪く、支柱は基礎から大きく動き、本実験中最大のレール最大変位、残留変位を示した。しかしそのため実験車の被害は小さく、最大減速度も2月10日と同程度であった。

2月17日

支柱間隔を4.00mと広げその影響をみることにしたが、結果的には3.00mのこれまでの場合とほとんど差異がみられなかった。

2月21日

唯一の普通型支柱による実験である。オイルダンパー式のもの比べ、車の方向転換が早く減速度も大きかった。右前輪が支柱と激しく衝突しその衝撃で破壊、キングピンから車輪全体がもぎとられてしまった。

2月27日

基礎の根入れを1.00mから1.30mと深くし、かつ周辺に砂を入れて土質を改良し、なるべく基礎の移動を防ぐことをねらった。最高速による衝突を期待したが、写真計測結果と、マイク

ロスイッチによる速度計測値が一致せず、突入速度が確定しがたいが、一般状況から判断すれば後者が正しいものと考えられる。これによれば全実験中最大の衝突エネルギーが与えられたことになる。右側車輪が前、後輪とも支柱本体底板の角部にあたりパンクしてしまった。

2.5.1.4 計測結果

計測結果の主要なものをとりまとめて表-2.5に示す。

表-2.5 実験まとめ

	2月7日	2月10日	2月14日	2月17日	2月21日	2月27日
支柱	オイルダンパー式	オイルダンパー式	オイルダンパー式	オイルダンパー式	普通型 (φ139)	オイルダンパー式
支柱間隔	3 m	3 m	3 m	4 m	3 m	3 m
支柱うめこみ 深さ	1.0 m	1.0 m	1.0 m	1.5 m	1.5 m	1.3 m
天得	晴	雪	曇	晴	晴	曇
土の状況	良い	やや悪い	非常に悪い	やや悪い	良い	やや悪い
衝突車重量	975Kg	975Kg	1000kg	975kg	1000Kg	975Kg
衝突速度	74 Km/h	58Km/h	71Km/h	65 Km/h	72 Km/h	76 Km/h (81)**
衝突角	21度	20度	20度	20度	20度	19度
レール直角方向 速度	27 Km/h	20Km/h	25Km/h	22 Km/h	25 Km/h	24 Km/h (28)**
レール直角方向 エネルギー	27 tm	1.6 tm	2.4 tm	1.9 tm	2.5 tm	2.3 tm(3.0)
最大減速度 (横方向)	3.4 g	3.2 g	2.9 g	3.5 g	3.2 g	5.3 g(4.1g)
" (縦方向)	2.6 g	1.0 g	1.5 g	1.6 g	4.6 g	2.7 g(1.7g)
" (合成)	4.2 g	3.2 g	3.2 g	3.6 g	5.5 g	5.4 g(4.2g)
平均減速度*	2.6 g	2.1 g	2.4 g	2.1 g	3.4 g	2.4 g
最大ふみこみと なるまでの時間	0.30秒	0.28秒	0.31秒	0.30秒	0.23秒	0.28秒
接触長	8.5 m	5.3m	8.9m	8.7 m	4.9 m	7.8 m
脱出角	6度	8度	5度	7度	11度	6度
車被害	右前輪パンク				右前輪とれる	右前後輪パンク
レール最大変位	0.74 m	0.48m	0.83m	0.71m	0.54 m	0.79 m
レール残留変位	0.37 m	0.11m	0.57 m	0.32m	0.33 m	0.39 m
最大変位となる までの時間	0.35秒	0.30秒	0.27秒	0.35秒	0.24秒	0.33秒

* 衝突開始より、最大ふみこみとなるまでの平均

** カッコ内はマイクロスイッチ使用の速度計による

これらの結果を通じてみると、若干の供試ガードレールの変化は、測定結果には、多少の変化はあるにせよ大きい変動を与えるほどではなかったことは明らかである。写真-27は、上方のミリケン高速カメラにより自動車の刻々の変化状況とガードレールの動きをとらえたものである。衝突の状況がきわめてよく把握できるであろう。

まず写真計測による減速度の計測結果を図-213に示す。

この減速度の値は0.05秒ごとの平均をとったものである。減速度の最大値は全実験を通じてほぼ3g~5g程度となっている。オイルダンパー式がすべて縦方向には小さな減速度の値を示しているのに対し、普通型では縦方向にも大きな減速度を示している。これは右前輪の支柱への激突によるものである。横方向の減速度はすべて2つの山を示しているが、前の山は自動車前部の衝突、後の山は実験車後部の衝突によるものである。なお参考のため加速度計による測定結果の一例を図-214に示す。

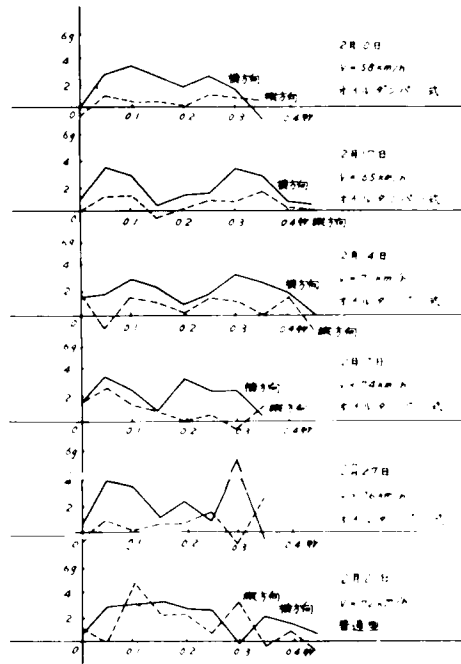


図-2.13 車の重心の減速度
(写真測定による)

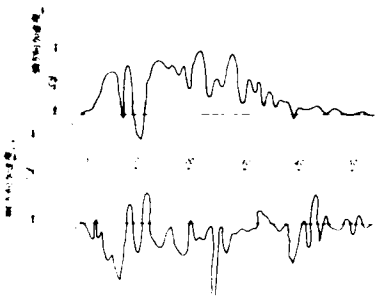


図-2.14 車体前席床にとりつけた加速度計による車体加速度計測例

(2月15日撮影)

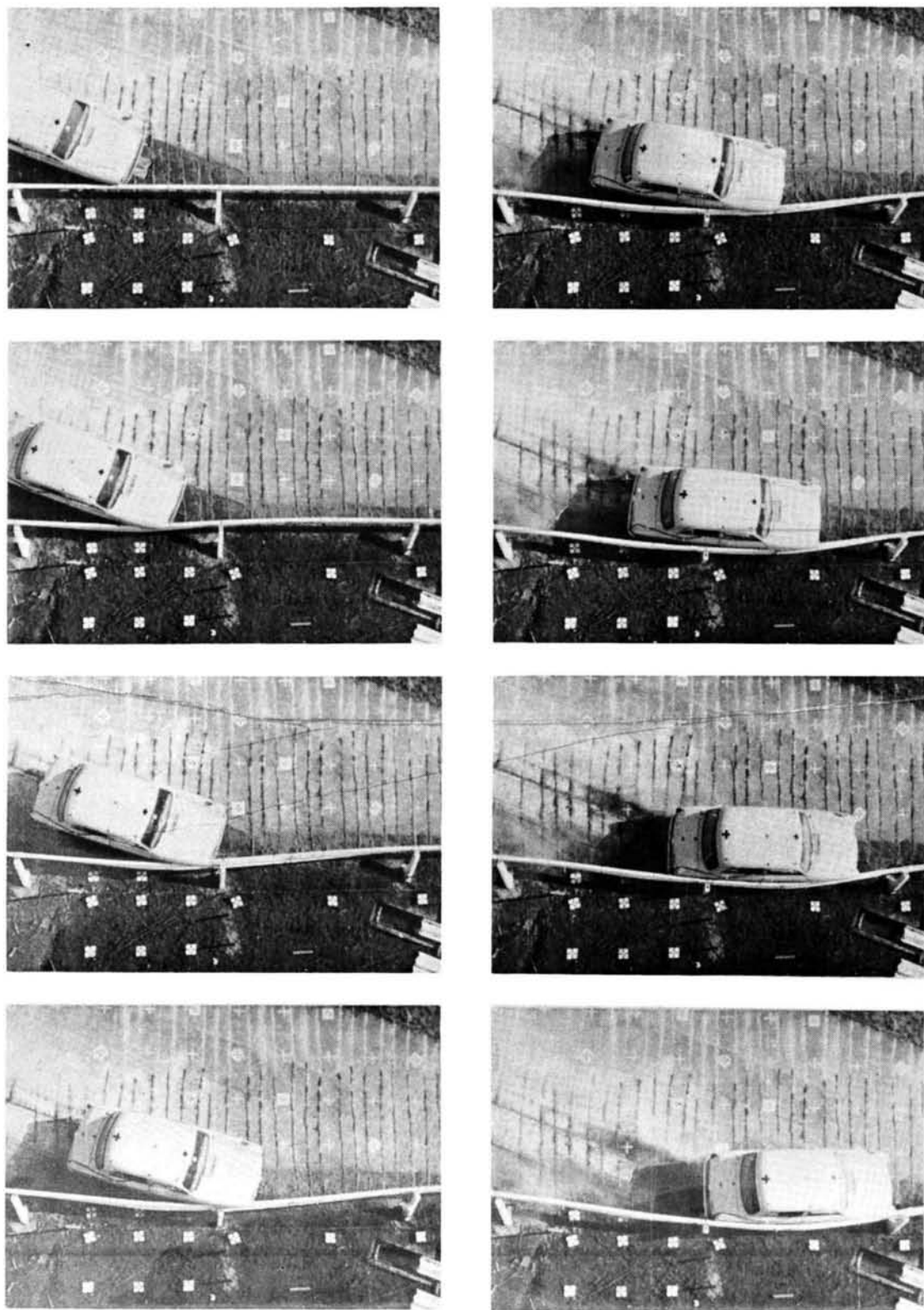


写真-2.7 高速カメラによる撮影結果

次に姿勢角，進行角の時間的変化の例を示すと図-2.15のようになる。

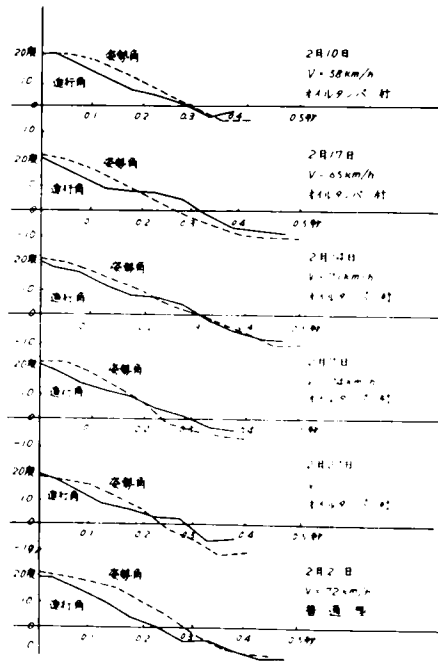


図-2.15 車の進行角及び姿勢角
(写真測定による)

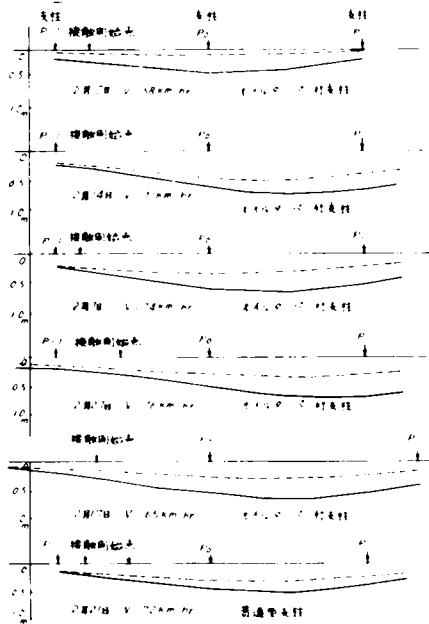


図-2.16 レールの最大及び残留変形

またガードレールの変形状況を示すと図-2.16
 のようである。荷重の小さかった2月10日の実
 験を除き、オイルダンパーはいずれも普通型より
 大きな最大変位をとらせながら示している。し
 かし残留変位はオイルダンパーの一部回復により、
 地盤状態のとくに悪かった2月14日を除けば普
 通よりやや大きい程度である。2月10日の場合
 を除きオイルダンパーは衝突前後のP支柱でスト
 ローク限界に達した模様でかつ原型に復帰しきら
 なかった。レール、支柱の永久変形、およびピン
 のコジレによるものと考えられる。図-2.16あ
 るいはフィルムを観察により明らかであるが、2
 月10日程度の衝突エネルギーであれば、いずれ

の支柱においてもピストンストローク限界内で収まり、支柱ダンパーはその変形の大部分を衝突後回復している。支柱 p_0 、 p_1 間のレール中央変位の時間との関係を全実験についてとりまとめたのが図-2.17である。

最初の 0.2 秒程度の変位と時間の関係はオイルダンパー式と普通型ではほとんど相異は認められない。重心減速度のグラフをみれば、0.2 秒という時間は、後部衝突までに相当するので、これよりすれば本実験においてはオイルダンパーが衝撃緩和上有効であったとはあまり認めがたいようである。

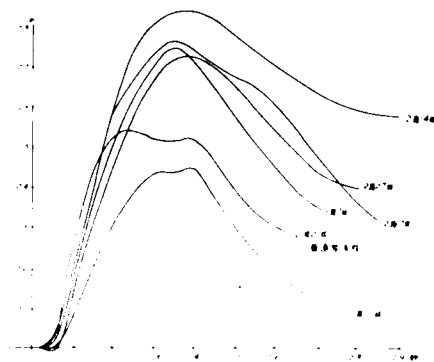


図-2.17 支柱 p_0 と支柱 p_1 間のレール中央の変位

2.5.2 理論

2.5.2.1 オイルダンパー常数の決定

オイルダンパー式がガードフェンスの構造中最も問題となるのは、とうぜんオイルダンパーの特性であり、与えられた構造の、

$$F = c' \cdot v^2$$

におけるダッシュポットコンスタント C' の値を知る必要がある。

ここに、

F : 力 (Kg)

c' : 常数

v : 速度 (cm/sec)。

これに関しては、理論式、

$$c' = \frac{A^3 \delta}{a^2 \cdot 2g \cdot \zeta} \quad \dots\dots\dots (6.165)$$

ここに、

A : ピストン面積 (cm^2)

δ : 油比重 (gr/cm^3)

a : オリフィス面積 (cm^2)

g : 重力速度 (cm/sec^2)

ζ : 修正係数 (0.4~1.0)

もあるが、試算結果は以下の実験結果とあまり一致せず解析には使用しないことにした。建設省土木研究所における実験に先立ち、三井三池製作所により三池工場で単独支柱に対する衝突実験が行なわれた。試験方法は、レール中央にオイルダンパー付き支柱一個を独立に設置し、レール上を走行させたトロツコを正面衝突させたものである。このときのシリンダーの油圧、ピストンのストローク、フレームに発生する応力の時間的变化が計測された。支柱の基礎底板に板バネを取り付け、支柱カバー(本体)が傾くとバネがたわむようになっている。この板バネにはストレンゲージがはりつけてあり、これによりひずみを検出。これより支柱カバーの傾き→ピストンストロークを知ったものである。

今オイルダンパーの特性を

$$F = c' \left(\frac{ds}{dt} \right)^2$$

ここに、

F : 力

s : ストローク

t : 時間

c' : 常数

と仮定すると、台車重量、衝突初速は既知であるので、

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} m v_0^2 &= \int_0^{s_{\max}} F \cdot ds \\ &= c' \int_0^{s_{\max}} \left(\frac{ds}{dt} \right)^2 ds \\ &\doteq c' \sum \left(\frac{\Delta s}{\Delta t} \right)^2 \Delta s \end{aligned}$$

ここに、

m : 台車質量

v₀ : 衝突初速

s_{max} : 最大ストローク

からcが求まる。三井三池製作所の測定結果より、各実験ごとの台車重量、台車速度、衝突エネルギーを表-2.6に、そのときのロスとストロークと時間の関係をまとめて図-2.18に示す。これから推定した各実験ごとの常数cの推定値を表-2.6最下欄に示す。

この推定値はかなりちらびっているが、これは明らかにダンパーの構造に由来するものであろう。すなわちストローク始点附近より面積の直線的に変化するキーがオリフィスにはめとまれ、オリフィス面積がストロークとともに変化し、したがって常数でないためである。以下の解析ではもっぱら数値解析的方法によっているから、c'の値をストロークにより変異させることも可能である。しかし、ここにはいかおり簡便のため、スト

ロークのほとんど限界
 近くまでいったときの
 平均値と考えられる実
 験№9 の値 $c' = 0.800$
 を解析に使用すること
 にする。

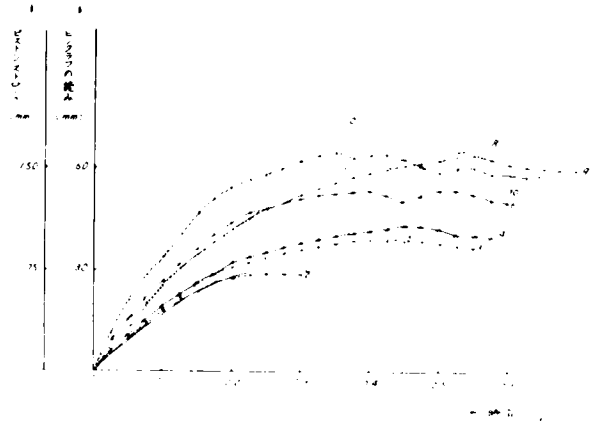


図-2.18

表-2.6 支柱単独実験衝突エネルギーとダンパ定数推定値

チャートナンバー	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10*	11*	12*
台車重量 (ton)	0.71	0.71	1.18	1.18	0.71	0.71	0.71	1.18	1.18	0.71	1.18	1.18
台車速度 Km/h	3.5	4.2	3.7	4.2	6.7	7.8	10.3	8.2	8.2	12.0	10.6	11.2
$\frac{1}{2} m v^2$ Km ² /h ²	4.3	6.2	8.0	10.5	15.8	21.8	37.5	39.5	39.5	51.1	66.3	74.7
c 推定値	0.341	0.480	0.480	0.563	0.546	0.442	0.350	0.865	0.800	—	—	—

* チャートナンバー10以下はピストンストローク限度に達しているのでは推定不可能

2.5.2.2 支柱にオイルダンパーのみを考えたときの解析

1.5.1.2の力学モデルにしたがい解析を行なう。

実験日2月10日のデータ相当(初速1666 cm/sec = 60 Km/hr ≒ 58 Km/hr)について計算することにする。

ガードフェンスについては、 $k_1 = k_3 = 1000 \text{ Kg/cm}$, $\ell = 300 \text{ cm}$, $k_5 = EA/a$, $k_6 = EA/b$, レール断面2次モーメント 82.6 cm^4 , 断面係数 24.1 cm^3 , 断面積 15.2 cm^2 とする。支柱方法は設計図より1章の記号を用いて、 $L = 67.4685 \text{ cm}$, $\ell_1 = 36.6713 \text{ cm}$, $\ell_2 = 25.9306 \text{ cm}$, $X = 47.7077 \text{ cm}$ とする。自動車については、車種1962年型ダットサンブルーバードで、重量 $W = 1 \text{ トン}$, 前輪軸重 $W_f = 600 \text{ Kg}$, 後輪軸重 $W_r = 400 \text{ Kg}$, 慣性半径 $\rho = 115 \text{ cm}$, 前車軸から重心までの距離 92 cm , 後車軸から重心までの距離 138 cm , フェンダ隅半径 15 cm , 車巾 110 cm , 路面タイヤ間すべり摩擦係数 0.8 , レール車体間摩擦係数 0.2 , コーナリングパワー前輪 24.0 Kg/度 , 後輪 16.0 Kg/度 (ただし、 10° でコーナリングフォース飽和と仮定), 衝突角度 20° ハンドルは固定とする。ハンドル固定の条件は実際の実験条件に合致している。計算進行の時間刻みは $2/1000$ 秒とした。

以上のデータにより、数値解析を行ない自動車の方向変化の時間的關係、重心の軌跡、加速度の変化状況を、実験値と解析値と対比すると図-2.19～図-2.21のようになる。

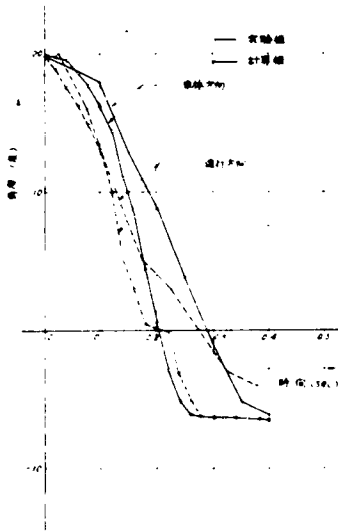


図-2.19 自動車の方向変化状況図

解析値では車体方向、進行方向の変化が実測値よりも早く、したがってまた、加速度に関しては測定値の横方向3.2g程度に対して5.3gと高い結果を与えている。これらの原因は、フェンスのモデルの構成自身において基礎の土中部分の移動を無視したこと、またレール部分を一たんだツシユポットから切り離して釣合条件を計算し、その後においてだツシユポットの移動を附

加していること、その他諸常数の仮定の粗さに起因するものと考えられる。なお上記第2の計算方式の仮定のため、支柱直上においては、レールは支柱の Δt 前の位置に完全にピンで支持されることになるので、本計算では、支柱附近50cmは、支柱から50cm離れた部分の力学的条件と同等と仮定して計算を行なっている。

2.5.2.3 基礎埋込部の移動を考慮した場合の解析

2.5.2.2にみるように、1.5.1.2のモデルでは、実験結果より剛なシステムとして反応することがわかったのでこれを一部改良することを考える。支柱のモデルを

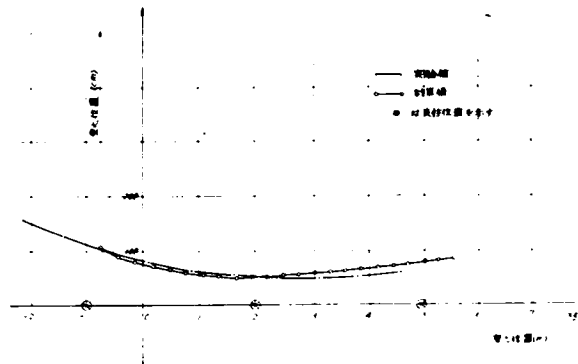


図-2.20 重心の軌跡
ただし (Xg, Yg) の座標に関する軌跡

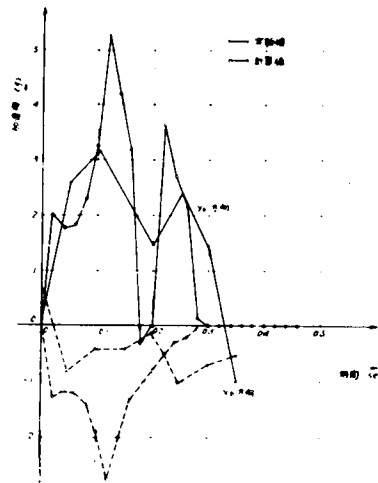


図-2.21 加速度変化状況図

ダッシュポットとバネが直列に入ったもので構成する。後者は、基礎埋込部の移動を表わす(図-2.22)。

解法としては、1.5.1.1のモデルによってまずバネ系のみによる釣合いを考え、次にその力によるダッシュポット、ピストンの移動を考慮して逐次計算を進行させるものとする。テータとしては、2.5.2.2同様2月10日のものを用いる。 $k_1, k_3, l_1, l_2, l, \alpha$ 、レール断面については7.5.2.2と同じとする。路面摩擦係数

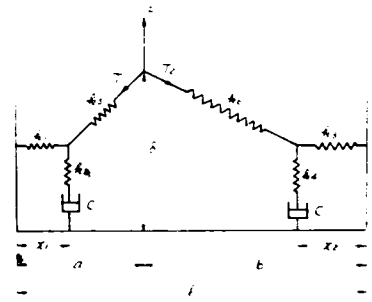


図-2.22 オイルダンパーとバネを直列に入れたモデル

は0.7, 初速 $1611 \text{ cm/sec} = 5.8 \text{ km/hr}$, 前輪軸重 570 Kg , 後輪軸重 405 Kg , $\rho = 119 \text{ cm}$, $kf_1 = 22.8 \text{ Kg/degree}$, $kf_2 = 16.2 \text{ Kg/degree}$, $\mu_1 = 0.012$, $\mu_2 = 0.16$ (2.5.2.2のモデルと同じ), レールスパン 3 m と仮定した。また支柱基礎バネ常数 $k_2 = k_4 = 200 \text{ Kg/cm}$, また耐荷力 3800 Kg で支柱は一定力を保つものと仮定した。

以下テータに閉して若干の変化を与えた3種について計算した。

テータ(1): 支柱より 100 cm で衝突と仮定。

車体レール間摩擦係数 0.1 。

テータ(2): 支柱より 90 cm で衝突と仮定。

車体レール間摩擦係数 0.2 。

テータ(3): 車体前部破壊による、カードレール反力の車体重心に対するモーメント腕長短縮を考慮したモデル。

これらの結果、自動車の回転角の時間的变化、自動車の減速度について、実験結果と解析結果を対比すると図-2.23~図-2.24のようになる。2.5.2.2の場合に比していちちるしく結果の改善をみていることは明らかである。

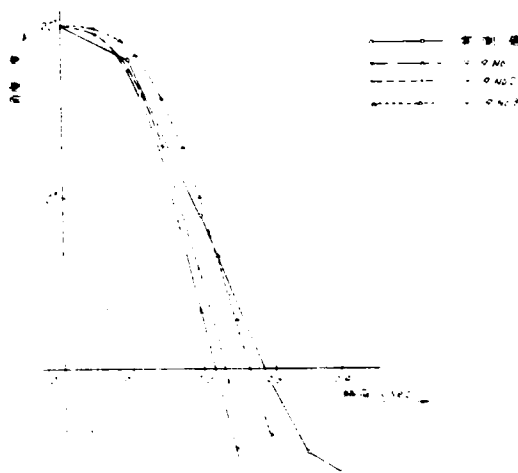


図-2.23 車体の回転角の時間的变化
実験値と計算値の比較

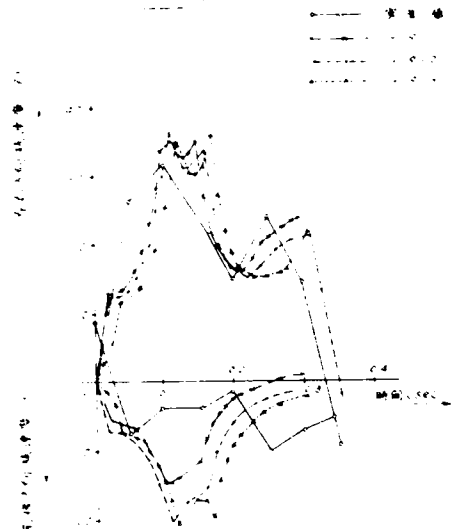


図-2.24 自動車減速度の実測値と
計算値の比較

2.6 結 語

ガードフェンスの実物実験技術の概要を述べた。建設省土木研究所千葉支所に建設したウインチけん引方式による実験施設について紹介した。実物実験の計測方法としては、ガードフェンスと自動車の挙動の両者を同時にとらえられるから、16ミリカメラによる高速撮影が最も優れていると考えられる。次に剛体の平面運動と考えた自動車の平面運動モデルについて述べた。これとガードフェンスの力学モデルを組合せれば、ガードフェンスの衝突現象が記述できる。わが国の過去の実験例から神戸製鋼所のカードロップ実験を選びこれを理論解析してみた。その結果、実測結果と計算結果はかなりよく一致した。最後に土木研究所の施設を利用した最初の実物実験であるオイルダンパー付きガードレールの実物実験について述べた。またこれを理論解析した結果、基礎の移動を考慮しないときは、理論と実験はあまりよく一致しなかったが、基礎の移動を考慮すると状況はかなり改善された。以上の結果力学モデルによる解析の有効なことの一端が証せられた。

参 考 文 献

- (1) “ガードケーブル試験報告書、模型試験、低速試験、高速試験”，東京製鋼株式会社
- (2) “高速型ガードレールの実用車による走行衝突試験と設計について（付 標準型ガードレールの実車走行試験）”，日本鋼管技術報19別刷，日本鋼管株式会社，昭35.10.
- (3) “神鋼型ガードケーブル実地試験報告書（758-3）”，株式会社神戸製鋼所，昭36.2.
- (4) “特別高速道路用フジガードロップの衝突実験記録”，富士製鉄株式会社，昭36.11.
- (5) “八幡鋼管株式会社委託
鋼管をレールとして使用した新種防護柵試験報告”，建設省土木研究所，昭40.3.
- (6) “ガードレール強度試験報告”，運輸省技術研究所，富士製鉄株式会社，昭34.10.
- (7) 高橋憲雄：“DAVオートガード強度試験報告—自動車による実地試験”，
運輸省運輸技術研究所，1960.3.
- (8) “Dynamic Full Scale Tests of Median Barriers”，
State of California, Department of Public
Works, Division of Highways, May 8, 1959
- (9) Dynamic Tests of Aluminum Guard Rails,
Aluminum Company of America
- (10) “Development of an Analytical Approach to Highway
Barrier Design and Evaluation”，
New York State Dept. of Public Works, Res. Rept.
62-2, May, 1963

- (11) 松尾新一郎：“高速道路用ガードレール試験について”，
京都大学工学部土木工学教室
- (12) Böhringer, A.：“Auffahrversuche auf Leitplanken”，
Strasse und Autobahn, 16 Jahrgang, Nov. 1965, Heft 11
S S 378~386
- (13) 石川健三郎：“衝突実験について”，第267回講習会。自動車内外の環境改善に関する講習会
教材。社団法人 日本機械学会，昭42.1.20.，PP57~72
- (14) Bertil Hallert：“Photogrammetry”。Mc Graw Hill, 1960 Ed, 他
- (15) 近藤政市：“自動車の安定性，操縦性，運動性”。自動車技術。Vol.7, №1~Vol.8, №10
- (16) 平尾 収，近藤政市，巨理厚，山本峰雄：自動車工学講座“理論自動車工学”，昭33.7.
- (17) Ayre R.S.etal：“Dynamic of Vehicle Impact Against
Highway Guardrails Laboratory Experiment, ”
Technical Report №5, The Johns Hopkins University
- (18) 自動車技術会資料
- (19) 土木研究所資料 第250号 (三井物産株式会社委託)
“ハイドロリック・クラッシュバリアー (緩衝式ガードフェンス)
強度試験報告書”，建設省土木研究所，昭42.3.
- (20) 枝村俊郎，柴田正雄：“オイルダンパー式ガードフェンスの実験報告”，道路，
昭42.8.，pp53~58
- (21) 検査成績書，“品名クラッシュバリアー”，三井三池製作所，昭41.9.26.

第3章 最適設計法⁽¹⁾

3.1 概 説

本章では、便益最大の観点からするガードフェンスの設置順位決定および最適剛度の設計法を、すでに述べた各章、節との関連を保ちつつ述べるものとする。

ガードフェンスの設置便益を

$$B = N_b \cdot D_b - N_a \cdot D_a - M - I$$

ここに、

B : 便 益

N_b : 設置前の転落事故発生率

D_b : 設置前の一件あたり事故損害

N_a : 設置後のガードフェンス衝突事故発生率

D_a : 設置後のガードフェンス衝突事故の一件あたり事故損害

M : 維持費

I : 初期投資の年あたり償還額

と表わした場合、第1項： $N_b \cdot D_b$ の値、すなわち設置前の単位延長、単位期間あたりの転落事故損害の期待値は過去の統計資料を分析することによって効率よく推定できることはすでに述べた。ここでは、まず第1編第2章の結果を利用した転落事故損害の予測計算例を若干の補足的考察とともに示す。

転落事故損害を予測することによって、ガードフェンスの設置順位が決定されることになる。

つぎにそのようにして転落事故発生率、転落事故損害が予測された地点において、どのような形式が適しているかの選定をせねばならない。ガードフェンスの形式選定に関しては、かつては視覚誘導の面からするもつばら定性的な説明が行なわれてきた。こんにちでもなお多分に未知の領域を残すとはいえ、最近の研究結果からすれば、しだいにひとつの方向があきらかになつてきたといえる。本編第1章のガードフェンスの力学模型との関連において、この問題に関するかんたんな考察を行なうことにする。

ガードフェンスの形式選定が行なわれたならば、さらにガードフェンスの剛度をいかなるものとするかを決定せねばならない。本章の主題であるガードフェンスの最適剛度決定法について2、3の予備的資料を示したのちに述べることにする。

一般に、ガードフェンスは通常の土木技術者の関与している水久構造物とは、その機能をいささか異にしている。水久構造物の場合は、水年にわたり、(社会的寿命のあるかぎり)外力によってほとんど変形を起こさないことがまず要請される。いいかえれば外力によつて水久変形ないしは破壊を起こした場合の社会的影響が大きいためである。したがつて、適当な設計外力を仮定して弾性限度に対するその大小を議論することがふつうの設計法の基本となる。しかし、ガードフェンスの場

合はほんらいの機能からして、部材が弾性限度内にとどまることはかならずしも要請されないのでは（ただし、弾性限度内にとどまるように設計できれば、構造物の反復使用が可能となつて、経済的となる。そのような効果をねらった設計、たとえばガードロープ、コーネル航空研究所の強いレール弱い支柱概念による設計などもある）、永久構造物における設計方法を、そのまま踏襲することができないことはいうまでもない。

重量の大きいトラックが衝突しても突破、転落しないように、ガードフェンスを設計すれば、ひじょうに剛なものとなり、軽量車の衝突時の減速度が大となって、その損害が大きくなるであろう。ガードフェンスはこの両者の相反する要求を同時に満たさねばならないものなのである。とうぜん、路側か断崖絶壁のような所であつて、転落時の損害のきわめて大きいことが予測されるときは、剛なフェンスを設置し、その逆の場合は剛でないフェンスを設置する方策をとれば、よい結果がえられることが予想される。ガードフェンスの最適設計はこの方策を定式化すれば求められるはずである。

この場合、転落時の事故損害は、第1編第2章の資料および本章の計算例を参照して求められるのであるが、事故車両がガードフェンスによつて阻止され路上に止まったときの損害はいまだ明らかになっていない。またガードフェンスの形式、衝突条件を与えたときの発生減速度は本編第1章、第2章の手法を用いれば計算の可能なことはわかつたが、そのようにして発生最大速度が与えられたときにどのような損害を生ずるかは、これまで明らかにされていないようである。そのため最大減速度とそのときに生ずる事故損害との関係を事故統計を解析することによつて求めた。人身事故損害は、実験的に求めることはほんらい不可能であり、これもまた事故統計の帰納的分析によらざるをえないのである。

次にガードフェンスの最適設計を考える上においてぜひとも明確にしておく必要のあるのは、ガードフェンスの変形が進んだとき、いかなる点においてガードフェンスの機能喪失、あるいは破壊の現象が発生するかということである。この問題はかなり複雑であつて、本編第1章、第2章に述べた水平面内のみの現象を考えた力学モデルでは理論的には決定できない。自動車のピッチング方向、ロール方向の運動を考えたモデルおよびガードフェンス自身の破壊現象、高さ方向の変形等を考えた構造解析による理論的検討、あるいは実験的な確認によらねばならないのである。しかし、それ以外に事故事例の分析もまた1つの方法であつて、本章では結果的には不成功であつたがその1計算例を示しておく。最終的には事故事例の分析・実験・理論解析の3者間の照合によるのが最も望ましいのである。

以上の諸準備ののちガードフェンスの最適設計の定式化と計算例を示す。

まず、事故車両のもつフェンスに直角方向のエネルギー分布を考えた簡易モデルの定式化を行なう。また、自動車の平面運動を考えた場合のモデルの定式化、関連調査資料とそれを用いた数値計算例を述べる。さらに、ガードフェンスは個々の地点において最適化されるのではなく、ほんらい規格品製産であることに着目した、規格品の製産、設置延長計画モデルについてかんたんにふれる。

3.2 転落事故損害の予測計算例

3.2.1 予備的考察

第1編第2章の資料によってガードフェンスの設置順位を検討することを考えるものとする。いまガードフェンスの便益評価において、かりにガードフェンスの種類を一種類にかぎるか、あるいは、初期費用、維持費、設置後の事故発生率、損害の大きさがガードフェンスの種類によってあまり変わらないものとするれば、便益は、

$$B = N_b \cdot D_b - N_a \cdot D_a - M - I$$

において、

$$B = N_b \cdot D_b - \text{const}$$

と表現される。あるいは、ガードフェンスが転落事故損害の順位にしたがい、正しい剛度のものが使用されるとすれば、 $N_a \cdot D_a$ 、 M 、 I は、 $N_b \cdot D_b$ の増大とともに単調に増加すると考えてよい。したがって、設置の順位のみを考えるときは、 $N_b \cdot D_b$ 項のみを問題にしてきしつかえないことになる。そこで便益の大きさによってガードフェンスの設置順位が決定されるとすれば、 N_b 、 D_b を直交軸にとつた平面上では、

$$B = \text{一定}$$

のいわば、ガードフェンスの等選好曲線というべき曲線群がえられる(図-3.1)。

$$B < K(M + I)$$

となるような図-3.1のうちハツチした領域は、ガードレールの設置が不利となる部分である。一方Bのあまりに高い領域では、あるいはガードフェンス以外の諸設備の併用あるいは、線形、路面の改良などがとられねばならないことになる。

ガードフェンスの設置を開始すべき路側危険度は、本章第6節の考察から求められるはずのものであるが、われわれは、

ガードフェンスの設置はかならずしも被害の軽減をもたらすものではないことにつねに注意しなければならない。ここに、建設省、警察庁合同調査資料の分析結果中、関連するものを呈示しておこう。同調査において事故車がガードフェンスに衝突したときに生じた衝突車の人的物

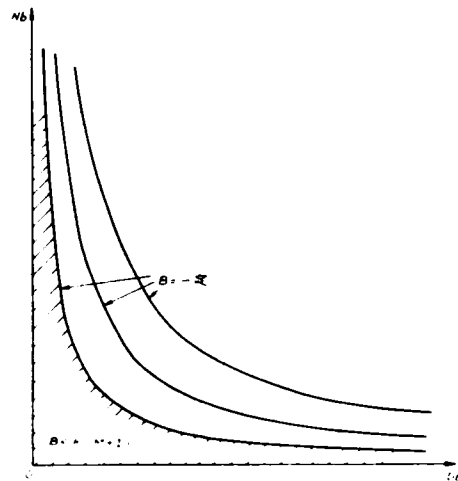


図-3.1 防護柵の等選好曲線

的損害をまとめると、表-3.1のようになる。

表-3.1 ガードフェンス衝突事故形態別損害額

	件数	物的損害額 計(千円)	物的損害 平均(千円)	死者(人)	負傷(人)	軽傷(人)
1 乗越した	10	456	45.6	1	1	2
2 突破した	38	7,810	205.5	0	7	13
3 衝突した	45	12,935	287.4	2	11	10
4 接触した	14	281	20.1	0	0	0
5 衝突後転覆した	16	1,724	107.7	0	4	17
123						

ただし全資料194件中不備なものをのぞき123件について集計したものである。

表3.1に関して、死者損害1人1,021,800円、負傷者1人125,000円として金額評価した交通事故形態別損害額は表-3.2のようになる。

表-3.2 ガードフェンス衝突事故形態別損害額

(金額はすべて金額評価したもの)

	平均損害額(千円)	平均転落高さ
1 乗越した	194.1	3.1 m
2 突破した	287.6	3.6 m
3 衝突した	405.0	-
4 接触した	20.1	-
5 衝突後転覆した	312.5	-

なお表-3.2には、乗り越さないしは突破した場合の平均転落高さを併記しておいた。このような実態調査の結果によれば、ガードフェンスによつて路上に阻止された場合の方が、転落高3mの場合よりも損害が大となる可能性もあるということがわかる。

ガードフェンスの設置において、転落事故発生率、転落事故損害の予測が必要なことはこれよりしても明らかであろう。以下に計算例を示す。

3.2.2.1 交通事故1件当りの損害額の期待値の推定

例1:バス(乗車人員、40名)が、落差8mの樹林斜面へ転落した。損害はどのくらい予想されるか。

運輸省資料に基いた表-2.24^{*}をそのまま用いて推定することにする。速度、曲曲、

乗員/定員を無視し、全平均、落差:8m(カテゴリー5)、路側状態:樹林(カテゴリー7)、

* 以下第1編第2章における表をいう。

乗車人員：40名(カテゴリー4)の和を計算して、

$$D_b = 184 + 128 - 28 + 64 = 344 \text{ 万円。}$$

№2：小型トラック、落差2.5m水深50cm、乗員1人の場合損害の期待値はいくらか。

№1と同様表-2.31によって

$$D_b = 39 - 1 - 3 - 21 + 4 = 18 \text{ 万円。}$$

№3：大型トラック、最大積載量7tonの車が25m転落し、水深3mの川中に水没した。このときの損害の期待値は、表-2.19より

$$D_b = 60 + 59 + 86 + 12 = 217 \text{ 万円。}$$

№4：交通量の車種別分布が小型貨物50%、大形トラック30%、バス20%となっている。どの車種も転落事故を同じように起しやすいと考えたとき、落差2.8m、路側田の場合、転落事故1件が発生したとき損害の期待値はいくらか。

表-2.31 $D_{b_1} = 39 - 1 + 0 = 38$ …… 乗用、小形

表-2.19 $D_{b_2} = 59 - 38 - 4 = 17$ …… 大形貨物

表-2.24 $D_{b_3} = 184 + 4 - 13 = 175$ …… バス

$$0.5 \times 38 + 0.3 \times 17 + 0.2 \times 175 = 59 \text{ 万円}$$

3.2.3 転落事故発生率の推定

第1編第2章における建設省、警察庁合同調査資料による転落事故報告は、すでに、ガードフェンスの設置された区間を相当含んでおり、転落事故の発生率は、まったく設置されていない場合よりも、若干低めとなっているはずである。しかしガードフェンスへの衝突事故も、同章における事故率計算中には、転落事故1件として計算されているので、これをそのままガードフェンス設置前の転落事故発生率と考えることにする。

№1：曲線半径200m、縦断こう配4%、コンクリート舗装幅員7m、曲線外側において、延長50mの区間には自動車対自動車事故に併発しない転落事故は10年間において何件発生を期待されるだろうか。

表-2.52, 53, 56, 57を利用し、片側であるから0.5をかけると、

$$0.78 \times 1.174 \times 1.633 \times 1.091 \times 1.027 \times 1.28 \times 10$$

$$\times 0.5 \times \frac{50}{1000} = 0.538 \text{ 件} / 50 \text{ m} / 10 \text{ 年} / \text{側}$$

№2：曲線半径27m、縦断こう配6%、幅員7m、曲線内側、延長30m、10年間の場合。

$$0.78 \times 30.113 \times 1.738 \times 1.027 \times 0.72 \times 10 \times 0.5$$

$$\times \frac{30}{1000} = 4.52 \text{ 件} / 10 \text{ 年} / 30 \text{ m} / \text{側}$$

仮3：車種を普通乗用小型車のみと仮定し、仮1の箇所が法高さ2.0m、法先海面水深2.0m以上、仮2の箇所が法高さ3m、田であったとすると、どちらの箇所の方にガードフェンスの設置の優先順位が与えられるのか。ただし設置前の事故損害の期待値で考えるものとする。

$$(1): (38.5 + 18.7 + 1.7) \times 0.538 = 31.7 \text{ 万円} / 10 \text{ 年}$$

$$(2): (38.5 - 0.9 + 0.1) \times 4.52 \times \frac{50}{30} = 284 \text{ 万円} / 10 \text{ 年}$$

すなわち、後者の方における設置が優先せねばならぬ。

3.3 ガードフェンスの形式選択に関する考察

ガードフェンスの形式選択原則に関しては、これまで、W型断面ガードレールは視線誘導性にすぐれ、いっぽうガードロープは展望快的性にすぐれるという主として定性的な視線誘導に関する議論が行なわれてきたにすぎなかった。しかしコーネル航空研究所によるガードフェンスの力学的解析および実験、ドイツのほか各国における最近の実験的結果から考察すれば、衝突阻止機能からする形式の選択原理、ないしはガードフェンスにおける理想の形式というものもしいに明らかになってきたように思われる。視線誘導以外において、望ましいガードフェンスの機能は、できるだけ乗車車の逸脱を阻止し、反面阻止による乗員、車の減速度による損害を極小にとどめ、かつ衝突後の走行において他交通との2次の事故発生を起ささないことであった。

このような機能上の要請からすれば、事故車両が支柱に激しく衝突し、急激な停止ないしはまき込みの状態となるいわゆるポケットイングの状態は、これらのすべてにおいて最悪の状況をもたらすものといえる。

これをさけるには、支柱を弱体化するか、あるいは、レール前面から支柱位置を後退せしめる2つの方法が考えられよう。前者はコーネル航空研究所の曲げ剛性の高いガードレールにおいて用いられた方針であり、後者はドイツのほかヨーロッパ諸国に用いられる方針である。しかし後者によるとしても、支柱を事故車両の踏み込み量の可能な範囲以上に後退させることは、かならずしも、つねに可能とはかぎらないので、前者の方針を實際上併用していかなばならない。とくに用地に制限のあるとき、あるいは路有巾に余裕のないときは、後者の方針はとりえないことになる。比較的弱い支柱を間隔密に使用しておき、支柱頭部とレールを剛結しないでおくならば、事故車両がガードフェンスに前部を接触しつつ方向変換する場合、各支柱は順次押し倒されていく。弱い支柱を用いる以上、このときにおいてもフェンスのレール部分は車両の逸脱阻止機能を失なわないようなものでなければならない。このことは、衝突荷重を広い範囲に分散させる断面剛性の大きいレールによつてのみはじめて満足される性質である。このようにポケットイングの発生を抑制する立場からのみでも必然的に、強いレール弱い支柱概念によるガードレール設計法の優れていることが立証される。

次にガードフェンスが自動車に与える反力の変化の点からこの問題を考察してみよう。ここでは、

軸力のみを受けるガードレール（すなわちガードロープ）、軸力と曲げを同時に受けるガードレール（薄い箱型断面ガードレール、通常のW型断面ガードレールはこれに準ずる）および曲げのみを受けるガードレール（箱型断面ガードレール）の3つの代表的なガードフェンス形式について比較検討してみることにする（オイルダンパー式ガードフェンスは特殊なものであるからいちおうとりあげないことにする）。

まず第1にガードロープの反力-着力点変位曲線の例を示そう。コーネル航空研モデル（E）はすでに本編第2章で使用したから、ここでは、支柱の変位支持力の関係を

$$Y = 7.404 \times 10^{-5} \times R^{1.694}$$

ここに、

Y： ロープ取り付け点変位（cm）

R： 支柱支持力（Kg）

とし、1スパン長400cm、全長30スパン、ロープの断面積3.768cm²（1.256cm²×3）、ヤング率1.25×10⁶Kg/cm²、初期張力2,000Kg、載荷位置を第14スパンの支柱から300cm離れたときのガードロープの着力点変位と反力の関係を図-3.2に示した。

ガードロープにおいては、着力点変位-反力曲線はほとんど直線に近いやや下方にとつな曲線となっており、それがその特徴である。なお、参考のためにそのときのガードロープの平面変形形状を図-3.3にしめた。

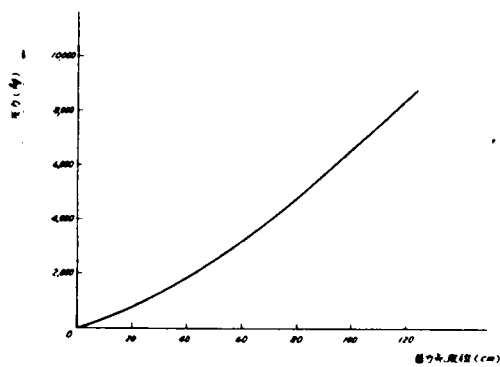


図-3.2 ガードロープの着力点変位-反力曲線

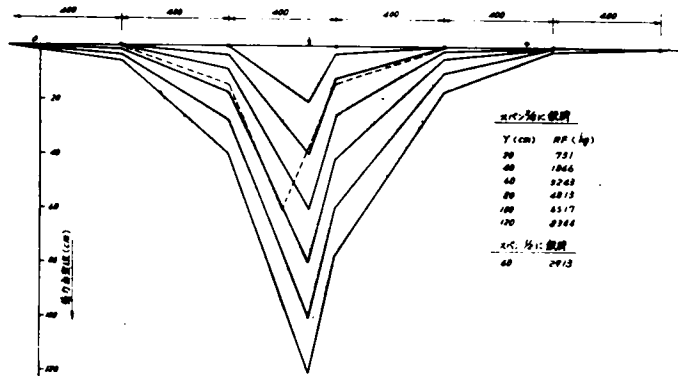


図-3.3 ガードロープの平面変形状

次に、本編第2章の弾性床の上のはりモデルと、コーネル航空研モデル(D)のいずれも曲げのみによって抵抗するガードレールの反力と着力点変位の関係を両者重さねて図3.4に示す。

使用データは、

コーネルモデル

Cについては、

$E = 2.109 \times$

10^6Kg/cm^2 (30
 $\times 10^6 \text{lb/in}^2$)

$I = 1.664 \text{cm}^4$
(40in^4), $L =$

121.9cm (48in)

$\bar{P} = 1,360 \text{Kg}$

($3,000 \text{lbs}$)

(M_0) max =

$967,800 \text{Kg-cm}$

($840,000 \text{lb}$

-in), $K_s = 453$

Kg/cm ($2,000$

lb/in)とした。

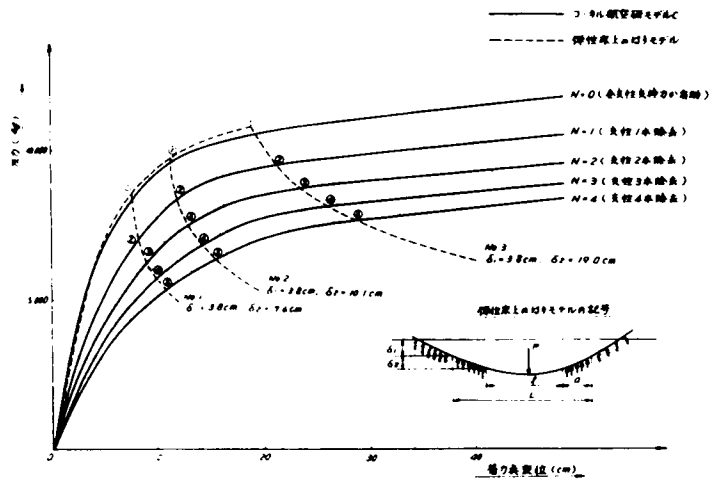


図-3.4 曲げによって抵抗するガードフェンスモデルの着力点変位-反力曲線

また弾性床の上のはりモデルにおいては、 $E, I, M_p = (M_o)_{max}, q_p = 11.17 \text{ Kg/cm}^2 (62.5 \text{ lb/in}), k = 4.83 \text{ Kg/cm} (41,667 \text{ lds/in}^2)$ とした。記号はそれぞれ本編第1章の記号に同じである。弾性床の上のはりモデルにおいては、コーネルモデルCの支柱1本あたりの \bar{p}, K_s の値を1スパンの間に等分布させている。

図-3.4において、支柱を除去しない場合の曲線は両者ほとんど完全に一致している。また弾性床の上のはりモデルにおいて、コーネルモデルCによる支柱を1~4本除去した曲線を切る点をそれぞれ②~⑤とすれば、そのときの支持力 Q となる長さの l の値(表-3.8)は

表-3.3 コーネルモデルCと弾性床の上のはりモデルの支持力のない長さ l の比較

n_c	δ_1	δ_2	l			
			②	③	④	⑤
1	3.8	7.6	150	260	345	430
2	3.8	10.1	138	246	342	415
3	3.8	17.6	117	227	314	385
コーネルモデル, 相当スパン			122	244	366	488

②, ③, ④, ⑤は弾性床の上のはりモデルがコーネルモデルCの支柱を1, 2……4本除去した場合の曲線をきる点を示す。記号は図-3.4 参照

同表の最下欄の値、すなわちコーネルモデルCにおける除去支柱本数の相当スパン数にはほぼ一致することがわかる。

曲げによつて抵抗するモデルでは、支柱の除去本数が一定の場合には、その着力点変位-反力曲線は当初急速に立ち上り、やがて一定値に漸近する傾向をもつ上方にとつな曲線を描くのがその特長である。

以上の軸力のみによつて抵抗するガードフェンス、曲げのみによつて抵抗するガードフェンスモデルの着力点変位-反力曲線の計算結果にコーネル航空モデルDすなわち曲げと軸力の両者によつて抵抗するガードモデルの着力点変位-反力曲線をコーネル航空研究所の計算結果を参照して加え

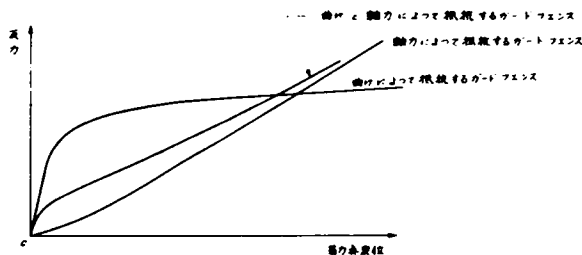


図-3.5 3種のガードフェンスモデルにおける着力点変位-反力曲線の傾向を示す図

3種のガードフェンスの概念的な反力-着力点変位曲線を重ねて描くと図-3.5 のようになる。ガードフェンスの長手方向においてもこれらの曲線のパターンに関してはほぼ同一であるとみてよいから、事故車両は、ガードフェンス原位置からの踏み込み量、すなわち着力点の変位に応じ、それぞれの曲線にそった反力を受けると考えられる。このとき、同一エネルギーをもつ事故車両がこれら3種のガードフェンスに衝突したとすれば、あきらかに曲げのみによって抵抗するガードフェンスが最も踏み込み量を小にとどめることは、着力点変位-反力曲線の下方の面積が吸収エネルギーにはかならないことから明らかである。また、3種のガードフェンスにおいて同一エネルギー吸収が行なわれたとすると、最大の減速度は反力の最大値（事故車両の重量は一定であるから）に比例するとしてよいから、減速度の变化率を問題としないかぎり、これまたあきらかに曲げのみによって抵抗するガードフェンスが最も有利となる。このように、ガードフェンスの機能上からすれば剛性の高いレールと弱い支柱をもつガードフェンスが最も望ましいことが結論できる。

ただし、このような考察に関し、實際上若干の問題となる点を指摘しておこう。

- (1) 曲げのみによって抵抗するガードフェンスは、たしかに力学的に望ましい性質を持つが、他の2形式に比べて、単位長さあたりの重量が重く、したがって価格が高く、いかえれば初期投資費用を大とする必然性をもつ。それのみあうだけの価値があるかいなかなお未検討である。
- (2) 現在行なわれているW型断面カードレールは、曲げと軸力の両者を受けるモデルにいちおう分類したが、その曲げ剛性による抵抗分はきわめて小さい。これはほとんど無視するにたるともいえる程度で、しかも、支柱とレールのとりつけホルト孔の余裕など力学的に不明確な部分があり、力学的には完全な曲げ、軸力併存型として作用するとはしきたい。ただポケット現象に関しては、支点附近のレールの曲げ剛性の存在により、W型断面カードレールはガードロープよりは幾分有利となることが期待されよう。
- (3) 本章第6節における最適設計の定式化においては、ガードフェンスがある変位に到達したとき、いかえればある踏み込み量に到達したときにガードフェンスの逸脱阻止機能のそう失が生ずると仮定している。これはきわめて簡単な条件に問題をおきかえているのであるが、同一種類のガードフェンスにおいては、この仮定はそれほど誤っていないと考えられる。しかしながら異種形式間においては、踏み込み量と破壊の関係は同一とはならないであろう。一般にガードロープのロープを支柱に緊結していないときには、ロープは、すくなくともレールを支柱に緊結したW型断面ガードレールよりは、事故車両をよく保持するであろうと信じられている。このことは、盛土法面のこう配のごくゆるいときには、おそらくあやまっていないであろう。

ここで建設省、警察庁合同調査の分析結果のうち、W型断面ガードフェンスとガードロープ間の形式比較に関連する事項を示そう。

ガードフェンスが関係した事故を(1)乗り越した、(2)突破した、(3)衝突した、(4)接触した、(5)衝突後転覆した、の各項にわけて分類調査したが、該当事故194件の分類結果は表-3.4のとおりである。ガードロープとW型断面ガードレールを対比してみた場合、ほとんど大差は

表-3.4 ガードフェンス衝突事故形態別分類

事故形態		ガードレール		ガードロープ			
		件数	%	件数	%		
逸脱 転落	1 乗越した。	8	5.2	37.2	2	4.9	29.3
	2 突破した。	49	32.0		10	24.4	
逸脱阻止	3 衝突した。	57	37.3	62.8	20	48.8	70.7
	4 接触した。	20	13.1		3	7.3	
	5 衝突後転覆した。	19	12.4		6	14.6	
		153	100.0		41	100.0	

ないが、本表にあらわれたかぎりでは、ガードロープの方が転落阻止率がやや高くあらわれている。しかし、資料数が十分ではないから、これのみからはにわかに優劣は断定しがたい。

以上に見るとおりガードフェンスの形式選択については、こんにちさうとう明らかになってきたのではあるが、なお不明な点も残されている。今後の調査、研究により、近い将来結論のえられることが期待される。

3.4 衝突時の車両に発生する減速度と事故損害の関係

3.4.1 関連研究の展望

車両事故が逸脱をガードフェンスによって阻止されたとき、車体したがって乗員には衝撃的な減速度がはたらく。このガードフェンス衝突による減速度はいわば転落、路外逸脱防止の代償というべきものであり、本章第6節のような解析を行なう上においては、減速度を与えたときの事故損害の大きさを知っておかねばならない。さて車体減速度と事故損害を直接結びつけるような研究は、これまでのところみあたらないが、自動車を固定壁に衝突せしめたとき、あるいは自動車同志を衝突せしめたときの減速度に関する実験結果、計算結果、あるいは、被験者、動物等を一定の実験装置上で減速度、加速度にさらし、その耐えうる限界等を調べたもの等はかなり報告されている。

このような資料は土木技術者の眼に比較的ふれがたく、また貴重な参考資料でもあるので、ここに佐藤⁽⁵⁾、松野⁽⁶⁾、石川⁽⁷⁾⁽⁸⁾、青木等の報告から抜粋して紹介することにする。関連研究の主なものはCornell大学ACIRによる、主として医学的な損傷の部位、程度に関する研究、California大学ITTEにおいて行なわれた固定壁衝突時の減速度、自動車の構造変形の研究（これは主として安全ベルトの研究との関連においてなされた）、わが国では高田工場、慶応大学・佐藤による安全ベルトに関する実験、船舶技研・石川等による固定壁衝突実験等である。California大学の実験結果⁽⁹⁾による自動車が固定壁に正面衝突したときの車体に発生する減速度の時間的変化のパターンを図-3.6に示す。

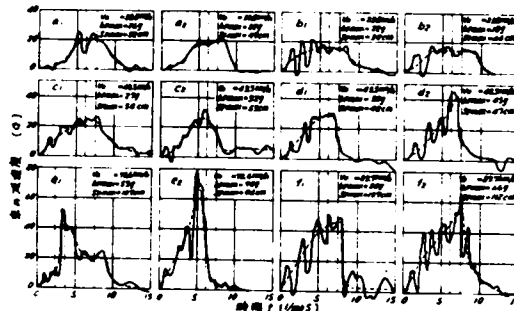


図-3.6 正面衝突時の車の減速度曲線
(Severy 他)

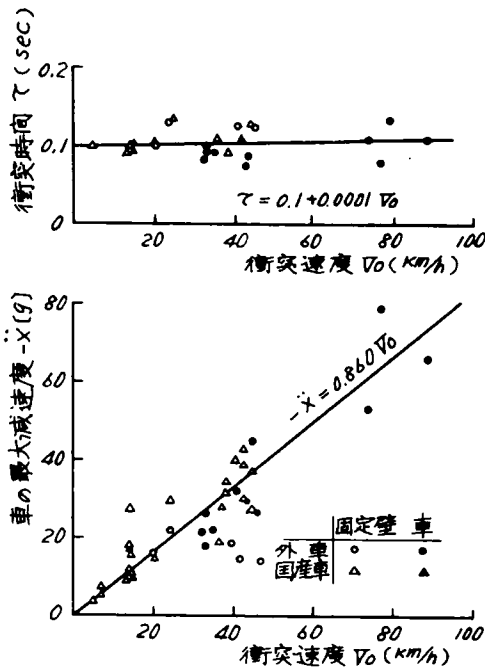
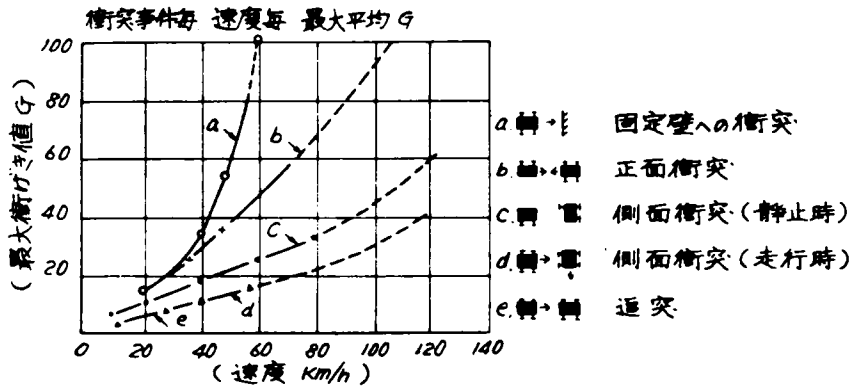
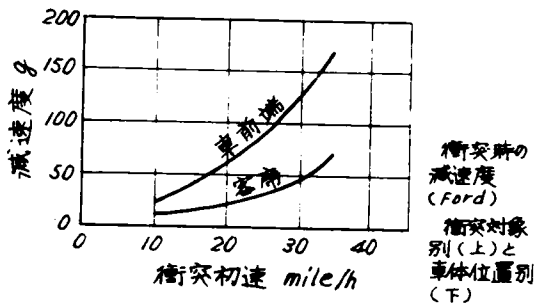
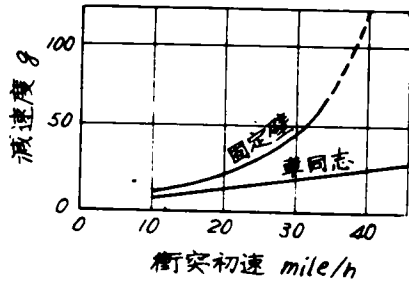


図-3.7 正面衝突時の車のうける最大速度
度と衝突時間 (佐藤, 1966)

正面衝突時の速度と発生減速度の関係は佐藤によれば図-3.7 のようになる。佐藤はこのほか、車体の変形量、最大減速度、乗員の運動などを計算する式をまとめて示している。フォード社による衝突の諸形態別、衝突速度別の発生減速度の大きさは、図-3.8 (a) (松野による)⁽⁶⁾、(b) (石川による)⁽⁷⁾、のようである。これはきわめて貴重な資料であるといえよう。また石川らによる国産小型車を防護壁に衝突せしめた実験の結果、衝突速度と衝突時の最大減速度の関係は図-3.9、車体各部の最大減速度は図-3.10、衝突持続時間は図-3.11、車体変形量と衝突速度の関係は図-3.12のようになった。California大学のITTEによって行なわれた比較的低速度の正面衝突実験で、車体前端から後方へ向い、車体各箇所の最大減速度の低減する模様は図-3.13のようである。正面衝突時の初速と、車体に発生する減速度の関係は以上の資料から類推がつかうが、人体にはこのときどの程度の減速度がはたらくであろうか。われわれの場合は、その分析資料の性質から、推定発生減速度からただちに事故損害を推定しなければならないから、この値はかならずしも必要ではないが、参考までにいちおう紹介しよう。



(a)



(b)

図-3.8 フォード社による衝突実験，
衝突速度と最大減速度との関係
係
(松野⁽⁶⁾，石川⁽⁷⁾，より引用)

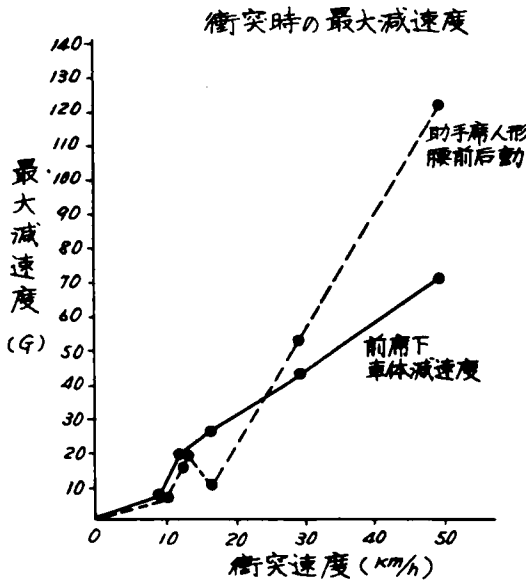


図-3.9 国産小型車の衝突実験における
衝突速度と最大減速度の関係
(石川)

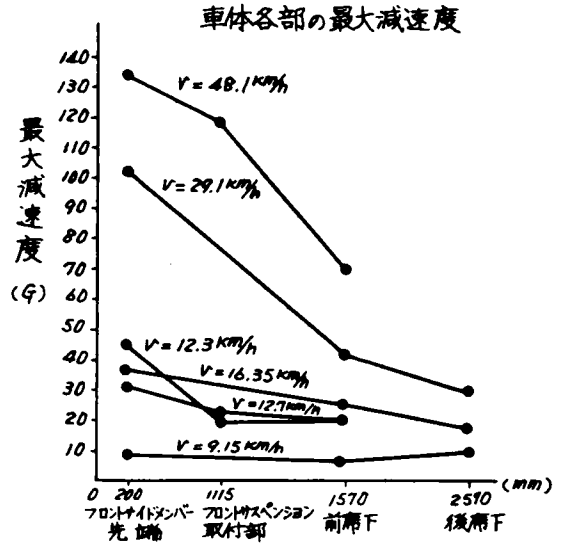


図-3.10 国産小型車の衝突実験における
車体各部の最大減速度 (石川)

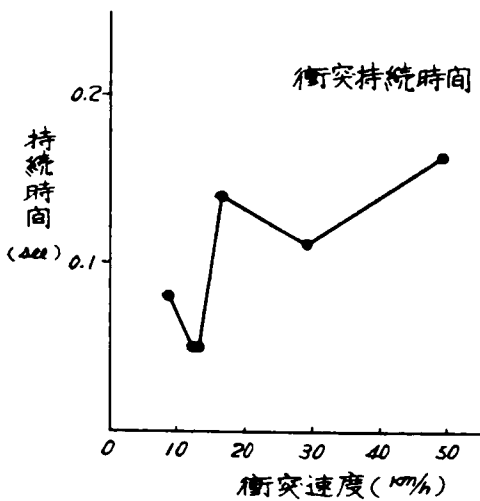


図-3.11 国産小型車の衝突実験におけ
る衝突減速度と衝突持続時間
の関係 (石川)

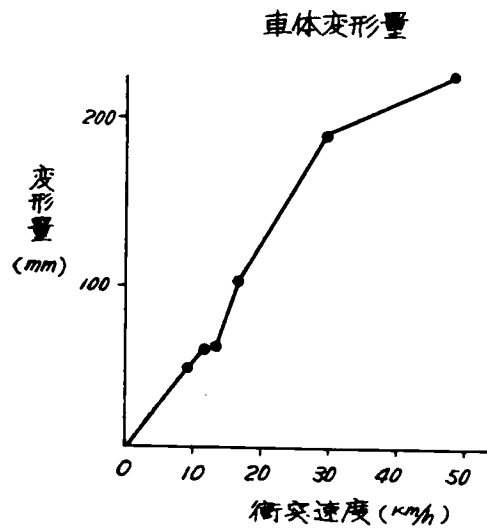


図-3.12 国産小型車の衝突実験にお
ける衝突速度と車体変形量
の関係 (石川)

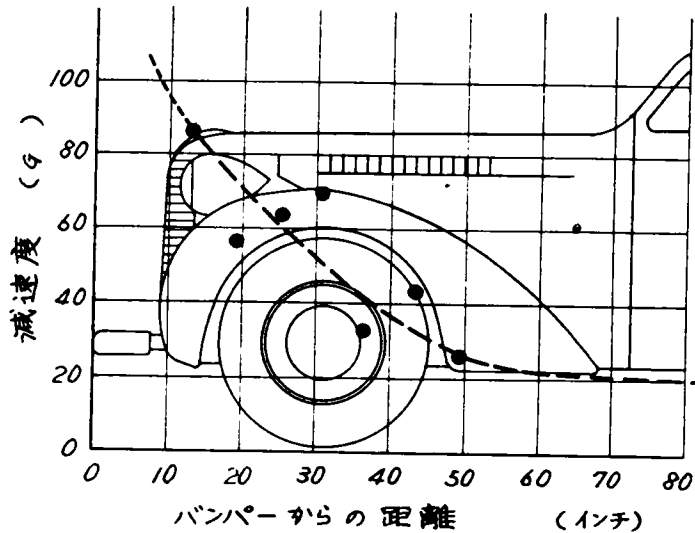


図-3.13 アメリカITTEによる乗用車の防護柵への正面衝突実験における
前端からの距離による減速度の低減

石川らによる、衝突速度と塔載ダミーの最大減速度は、

図-3.14 の通りである。また松野は、SAE Journal July 1966, "Head up for Auto Safety" の資料を整理して、車体減速度に対するダミーの発生減速度の比を求めたが、これを表-3.5 に示す。松野によれば、とくに興味のあるのは安全ベルトをつけた場合に車体との衝撃をおこさないときは、車体のうける減速度よりもダミーの受ける減速度の方が小さい場合があるということである。

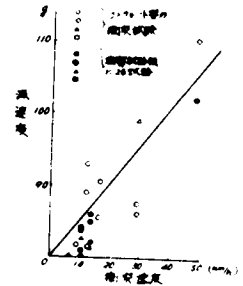


図-3.14 衝撃車速と
ダミーの最大減速度
(石川)

表-3.5 車体減速度とダミーに加わる減速度の比(松野)

- 1 車体M×G : dummy/with out belt / hit any where/M×G=
1:1.9~4.8
- 2 車体M×G : dummy/with belt / hit any where/M×G=1:2.0~5.0
- 3 車体M×G : dummy/wity belt/hit or no,not clear/M×G=
1:0.6~2.1

NISSAN MOTOR CO.M.MATSUNO.M.D 1966.9

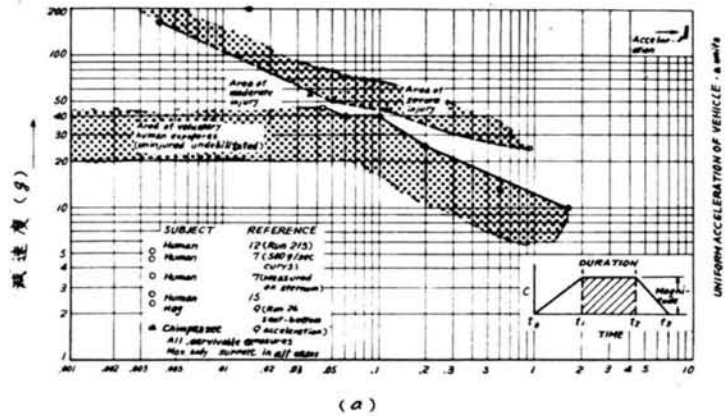
次に減速度に対しては、人体はどの程度耐えうるであろうか。米空軍、J.P.Stapp 等が志願者による人体実験とチンパンジー、豚等の動物実験によって耐性限界を求めた結果は、図-3.15(a)

(b)の通りである。ただこのデータは、実験時被験者は完全にベルトでロケットに固定され、ロケットにより1マッハ近く

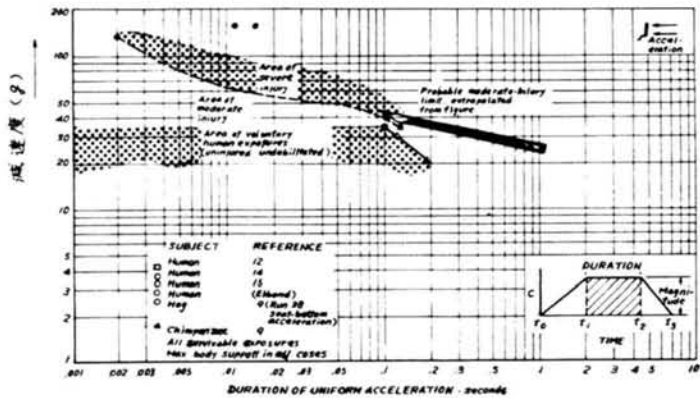
に加速され、54~94mの間で水プールにより制動をかけられたもので、減速度の変化はなだらかなものであることである。すなわちわれわれが問題としている

自動車の衝突時のごとく、はげしく交番

する減速度ではなく、2次的な衝撃の発生のない場合であることである。なおこの図で注意すべきは、限界値は減速度の継続時間との関係で与えられていることである。同様の図に図-3.16、図-3.17があるが、いずれも継続時間が長くなるとともに耐性限界は下っている。石川の報告には同様の図が図-3.18のように、また青木の報告⁽¹⁰⁾には図-3.19のように表われている。なお事故損害と走行速度あるいは衝突時速度の関係を図-3.20のように与えた結果がある。



(a)



(b)

Bioastronautics data book NASA SD-3006 より

図-3.15 J.P.Stappによる減速度、加速度に耐する耐性限界(松野⁶⁾より)

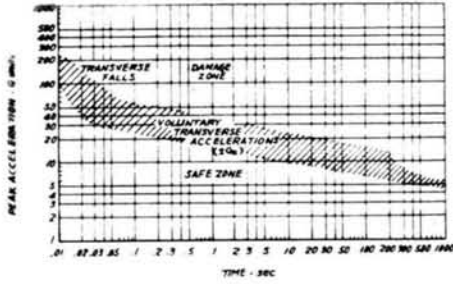


図-3.16 加速度耐性限界 (J.P. Stapp) (松野⁽⁶⁾より)

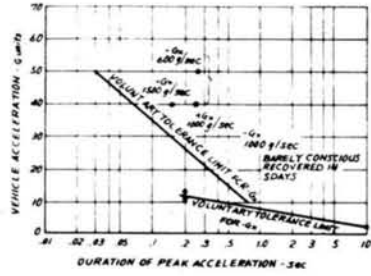


図-3.17 加速度耐性限界 (J.P. Stapp) (松野⁽⁶⁾より)

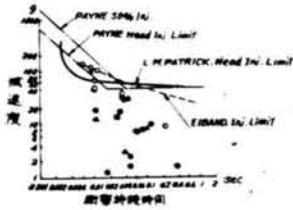


図-3.18 乗員の被衝撃

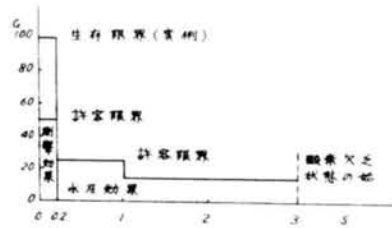


図-3.19 人間の耐久力 (J.P. Stapp)

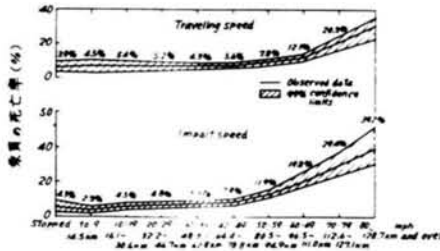


図-3.20 走行速度あるいは衝撃速度と乗員中 dangerous あるいは fatal injury となったもののパーセンテージとの関係 (J.O. Moore Am, J. Public Health, vol. 48, no. 11) (松野⁽⁶⁾より)

3.4.2 衝突速度から最大減速度を与えるモデル

自動車を重心に全質量を有し、その前後にバネを有するもののように模型化し、そのバネの

力と変形の関係を図-3.21

(a)のように仮定する。衝突

する車の質量を m_1 、バネ常

数を k_1 。衝突後に動いた距

離を x_1 、衝突される車のそ

れらを、 m_2, k_2, x_2 とす

れば(図-3.21(b))

$$-m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} = m_2,$$

$$\frac{d^2 x_2}{dt^2} = \frac{k_1 k_2 (x_1 - x_2)}{k_1 + k_2}$$

……(3.1)

これより

$$x_1 = A \sin \omega t +$$

$$\frac{m_1 V_1}{m_1 + m_2} t \dots (3.2)$$

ただし

$$\omega^2 = \frac{k_1 k_2 (m_1 + m_2)}{m_1 m_2 (k_1 + k_2)}$$

……(3.3)

$$A = \frac{m_2}{\omega(m_1 + m_2)} V_1, \dots (3.4)$$

$$V_1 = \left(\frac{dx_1}{dt} \right)_{t=0} \quad \left(\left(\frac{dx_2}{dt} \right)_{t=0} = 0 \text{とする。} \right) \dots (3.5)$$

$$\text{最大減速度 } \alpha_{1 \max} = \left| \frac{d^2 x_1}{dt^2} \right|_{\max} \text{ は、}$$

$$\alpha_{1 \max} = A \omega^2 = \sqrt{\frac{m_2 k_1 k_2}{m_1 (k_1 + k_2) (m_1 + m_2)}} V_1 \dots (3.6)$$

このモデルを石川らによる小型乗用車日産ブルーバードの剛壁に対する衝突実験結果⁽⁸⁾で検証してみる。

衝突されるものは、剛壁であるから $m_2 = \infty, k_2 = \infty$ 、ブルーバードの質量、バネ常数、動い

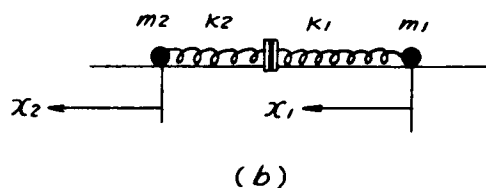
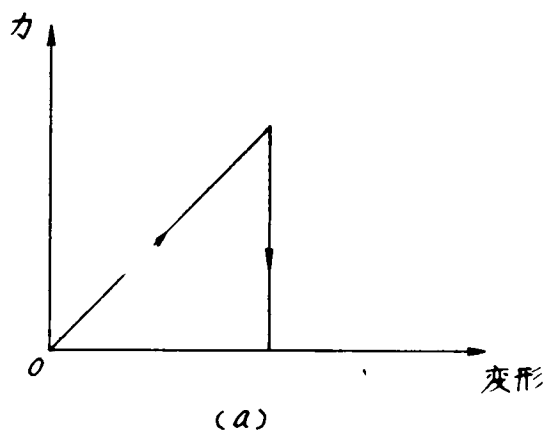


図-3.21 仮定した自動車のモデル

た距離、衝突速度、減速度を $m_0, k_0, x_0, V_0, \alpha_0$ とすれば、

$$x_0 = A \sin \omega t \quad \dots\dots (3.7)$$

$$\alpha_{0 \max} = \frac{k_0}{m_0} \quad \dots\dots (3.8)$$

$$X_{0 \max} = \frac{m_0}{k_0} V_0 \quad \dots\dots (3.9)$$

と表わせる。実験結果によれば、ブルーバードの剛壁への衝突時の最大減速度 ($\alpha_{0 \max}$) と最大変位 ($X_{0 \max}$) と衝突速度 (V_0) は表-3.6 のような関係にある。

表-3.6 ブルーバードを固定壁に衝突させたときの最大変位、最大減速度と衝突速度の関係
(石川)

衝突速度 (m/sec)	2.6	3.4	3.6	4.6	8.1	13.4
最大変位 (m)	0.05	0.06	0.06	0.10	0.19	0.23
最大減速度 (m/sec ²)	70	190	190	240	410	700

これはほぼ、

$$X_{0 \max} = 0.0193 V_0$$

$$\alpha_{0 \max} = 53.3 V_0$$

と表わせる。

したがって、 $\sqrt{\frac{m_0}{k_0}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{k_0}{m_0}}} = \frac{1}{0.0193} = 51.7$

この値と53.3はほぼ一致している。

計測法の異なる両者の値がよく一致していることは、以下の解析にこのモデルの使用の可能なことをうらずけているといえよう。

以下ブルーバードを基準車として考えることにし、他の車両とブルーバードの重量の比を b_1 、バネ常数の比を a とすれば、衝突時に生ずる最大減速度は、

$$\alpha_{1 \max} = \sqrt{\frac{a_1 a_2 b_2}{(a_1 + a_2)(b_1 + b_2) b_1}} \sqrt{\frac{k_0}{m_0}} V_1 \quad \dots\dots (3.10)$$

のように表わせる。

またトラックでは、重心と乗員席の位置が一致していると考えられることには無理があるので、減速度をバネの中間で考えることにする。

この場合には

$$\alpha_1' = \frac{d^2 (\ell_1 - \frac{F}{k_1}) (\frac{\ell_0}{\ell_1})}{dt^2} \dots\dots (3.11)$$

ここに、

ℓ_1 : バネ長

ℓ_0 : 重心と前席との距離

F : バネに加わる力

を加えて考える。

よって

$$\alpha_{1max} = \sqrt{\frac{a_1 a_2 b_2}{(a_1 + a_2)(b_1 + b_2)b_1}} \times \left(1 + \frac{a_2(b_1 + b_2)\ell_0}{b_2(a_1 + a_2)\ell_1}\right) \times \sqrt{\frac{k_0}{m_0}} V_1 \dots\dots (3.12)$$

式(3.10)、(3.12)を

$$\alpha_{1max} = C V_1 \dots\dots (3.13)$$

の形に表わし、自動車の車種別に代表的と考えられる形式を選び、その係数Cを計算しておいた。

ただしバネ常数の基準値に対する比 α の値は、種々の要因がからまった複雑なもののはずであるが、一般にバネ常数は、断面積に比例し、バネ長と反比例の関係にあることから類推し、大胆に車体重量/全長/(前端より重心までの長さ)に比例するものと仮定した。

各車種別に a, b, C の値を計算すると表-3.7 のようになる。

表-3.7 式(3.10)、(3.12)における車種別パラメーターの値

衝突車	被衝突車	a1	b1	a2	b2	C
大型貨物車 $\frac{\ell_0}{\ell_1}=0.6$	固定壁	1.9	6	∞	∞	1.75
	大型貨物車	1.9	6	1.9	6	0.85
	バス	1.9	6	1.1	8	0.75
	小型乗用車	1.9	6	1	1	0.60
	軽乗用車	1.9	6	0.8	0.5	0.60
バス	固定壁	1.1	8	∞	∞	0.70
	大型貨物車	1.1	8	1.9	6	0.40
	バス	1.1	8	1.1	8	0.35
	小型乗用車	1.1	8	1.0	1	0.15
	軽乗用車	1.1	8	0.8	0.5	0.10
小型乗用車	固定壁	1.0	1	∞	∞	1.95
	大型貨物車	1.0	1	1.9	6	1.45
	バス	1.0	1	1.1	8	1.20
	小型乗用車	1.0	1	1.0	1	0.95
	軽乗用車	1.0	1	0.8	0.5	0.75
軽乗用車	大型貨物車	0.8	0.5	1.9	6	1.95

Cの単位としては、 α_{jmax} 、V1の実用単位にあわせるため、g/km/hを採用している。
 なお、各車種は、

- 大型トラック：日野 TH17
- バス：日野 RB10
- 小型乗用車：日産 P410(ブルーバード)
- 軽乗用車：スバル k151

のように、一般に最もふつうと考えられる形式をもって代表させた。

3.4.3 最大減速度と乗員損害の関係

最大減速度と乗員損害の関係を求める基礎資料としては、第1編第2章と同様運輸省自動車局の営業車事故統計(1965年)を用いた。この統計の事故原票には衝突時の速度は記載されておらず、そのかわり、危険認知時の速度とスリップ長が記載されている。また天候も同時に記載されているので、乾燥路面、湿潤路面、氷雪路面でのすべり抵抗を各々0.8、0.5、0.2と仮定し、スリップ長と速度変化の関係を図-3.22のようにグラフ化しておいて、これら

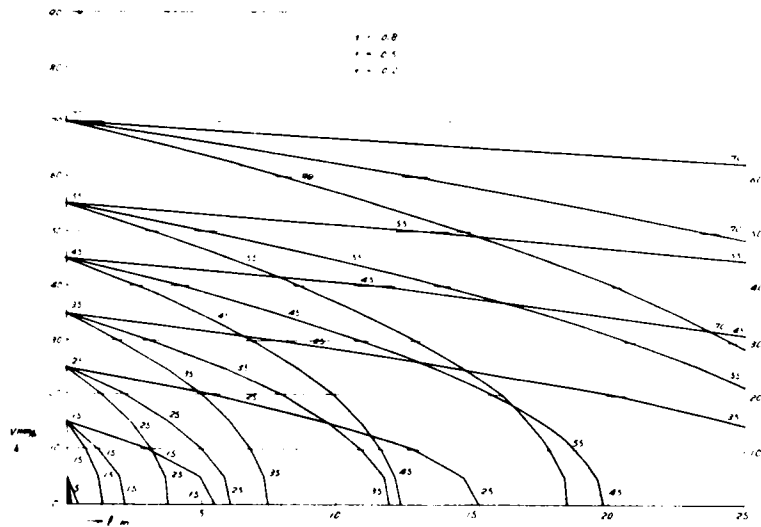


図-3.22 スリップ長と速度変化

から衝突直前の速度を推定することにした。

このようにして推定した衝突速度を用い、事故原票記載の衝突自動車の車種にしたがい、式(3.10)・(3.12)あるいは表-3.7によって、各事故において発生した最大減速度を推定した。

本統計原票には事故発生時の乗員、損害が正確に記入してあるので、事故各件ごとの最大減速度とそれに対応した乗員損害を求めることができる。これを最大減速度の大きさによって級別し、各級内の乗員死傷数をまとめると表-3.8 のようになる。これを全乗員中の死亡率、死亡および重傷となる率、軽傷以上の被害とする率になおしたものが表-3.9 と図-3.23 中の実線である。

表-3.8 車両の受けた最大減速度級別乗員損害合計

最大減速度(g)	乗員数計 (人)	死 亡 (人)	重 傷 (人)	軽 傷 (人)	無 傷 (人)
0 ~ 9	367	0	10	64	293
10 ~ 19	261	0	10	57	194
20 ~ 29	105	2	21	23	59
30 ~ 39	76	5	18	14	39
40 ~ 59	61	6	20	7	28
60 ~ 79	49	3	26	17	3
80 ~ 99	32	4	17	10	1
100 ~ 139	6	4	2	0	0

表-3.9 車両の受けた最大減速度と乗員中の損害率

最大減速度(g)	死亡率(%)	死亡、重傷となる率(%)	死亡~軽傷となる率(率)
0 ~ 9	0	2.7	20.2
10 ~ 19	0	3.8	25.7
20 ~ 29	1.9	21.9	43.8
30 ~ 39	6.6	30.3	48.7
40 ~ 59	9.8	42.6	54.1
60 ~ 79	6.1	59.2	93.9
80 ~ 99	12.5	65.6	96.9
100 ~ 139	66.7	100	100

ここにおいて各々の率をYとし、最大減速度をXとして、 $Y = BX^a$ なる曲線のあてはめを行った。

各級に $N \left(\frac{dY}{dy} \right)^2$

ここに

$Y = \log Y$, $N =$ 各級の全乗員数

なる重みづけをし、対数をとって直線回帰をとると、

死亡率: $Y = 0.00233X^{2.11}$
($r=0.91$)

重傷以上となる率: $Y = 0.807X^{1.00}$ ($r=0.98$)

軽傷以上となる率: $Y = 6.40X^{0.597}$ ($r=0.96$)

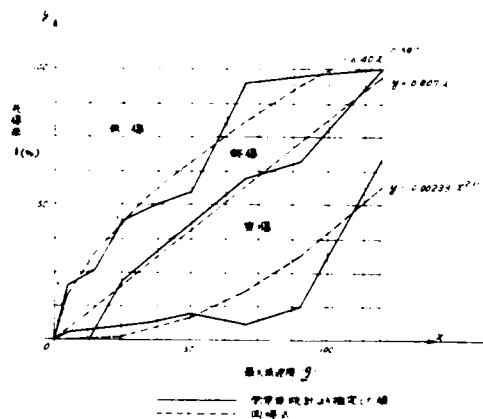


図-3.23 最大減速度と乗員中の死傷の割合
(1965年度営業車事故統計より)

となる。

これをも図-3.23 中に同時にプロットしたのが図中の点線である。

いちおうこの結果を用いて図-3.20 と比較してみよう。

100 Km/h の衝突速度をとると、図-3.8(a) を用いると $\approx 90g$ 、このとき図-3.23 の実線によれば、乗員中の死亡率30%、重傷を含めたとき74% ということになる。図-3.23 の fatal or dangerous injury のやく20% よりはずっと高い値を示すようである。

なお、図-3.8(a) との比較も行なっておこう。われわれの

$$\alpha_{o\max} = CV_0$$

なる関係式は $\alpha_{o\max}$ と V_0 の間に直線関係を仮定している。小型車対小型車の正面衝突の場合をとれば、 $\alpha_{o\max} = 0.95V_0$ でこれは図-3.8(a) の正面衝突を示す b 線よりやや高めとなり、まず妥当な値といえるであろう。貨物車の場合は b 線にはほとんど一致している。

われわれが、図-3.23 をみて感じるのは、予期したよりも乗員の被害が減速度の増加に対してはるかに鈍感であることである。しかし、この結果すら、図-3.20 の結果と対比したとき大きく現われるのであるからおそらく決してひくく評価しすぎではないであろう。図-3.23 の作製過程は、相当大まかな仮定が含まれてはいるが、われわれの使用目的に対しては十分な精度を有しているものと考えられる。

3, 4, 4 最大減速度と物損の関係

上記事故統計の原票には、衝突時の物損も示されており、これによって最大減速度と物損の関係を調べた。

これらを図示したのが
 図-3.24(小型乗用車)
 図-3.25(小型貨物車)である。後者の方がバラツキが大きい。

これらに直線回帰式をあてはめると

小型乗用車： $Y=0.263X$
 $+2.1$ ($r=0.71$)

大型貨物車： $Y=1.058X$
 $+7.6$ ($r=0.57$)

X：減速度(g)

Y：損害額(万円)

また、 $X=0$ $Y=0$ なる

条件を入れれば

小型乗用車： $Y=0.314X$

大型貨物車： $Y=1.51X$

となる。

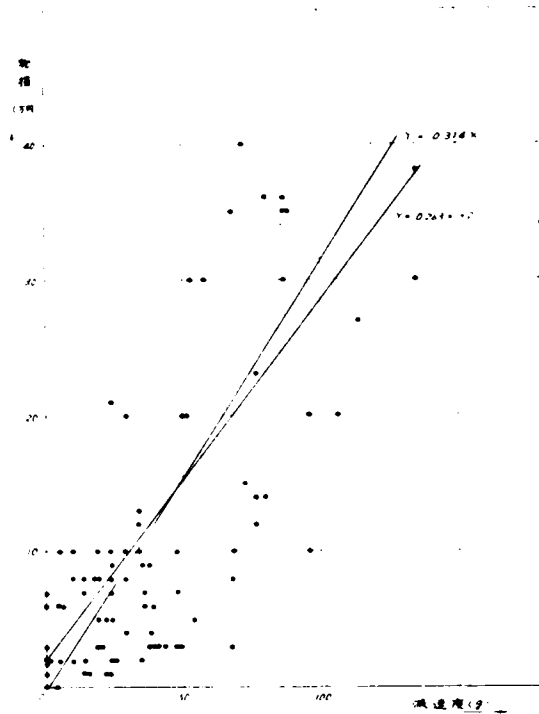


図-3.24 小型乗用車の衝突時の減速度と物損

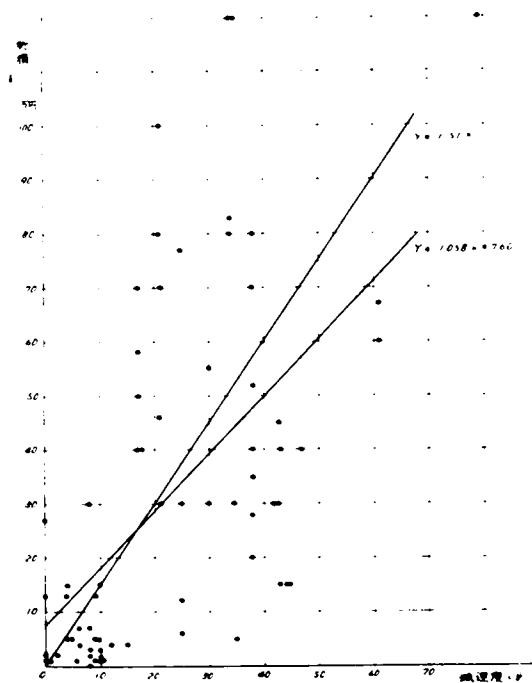


図-3.25 大型貨物車の衝突時の減速度と物損

3.5 転落発生限界決定と線形判別関数

ガードフェンスに事故車両が衝突した場合、その車両は、ガードフェンスを突破あるいは乗り越えて路外に逸脱してしまうか、それとも阻止されて路上にとどまるかのいずれかになる。事故車両に関し一定の初期条件を与えたとき、この境界をあらかじめどのように仮定しておくかが次節の最適設計の定式化において問題となる。次節の計算例では、これをごく簡単な仮定におきかえ、事故車両がある一定の踏み込み量に到達したときにガードフェンスが一挙に崩壊するものとした。この境界は、ほんらい、ガードフェンスの形式、剛度、高さ、一張りの長さ、現場の土質、支柱基礎条件、法こう配、路肩端からの支柱位置そのほか多数の因子の関数であろう。これは実験的な方法によっても決定は可能であろう。その場合は、供試ガードフェンスに対し、多段階の衝突エネルギーをもつ実験車両を衝突させ、実験車両がフェンスを突破、転落する限界を求め、かつ土質その他の状況因子との関係を求めねばならない。実際、ガードフェンスの実物実験の最も重要な項目はこの限界の確認であるべきである。しかし、一般にこれまでの実物実験では、いろいろな理由からこの点の確認が十分に行なわれてはいないのである。

ここでは、建設者、警察庁合同調査資料の一部から、調査当時のガードフェンスと設置条件について、事故統計から帰納的に転落の発生の有無の判定を行なうことを考えてみることにする。この場合、解析方法として線形判別関数⁽¹¹⁾を応用する。

さて線形判別関数とは、若干数の変数の一次結合による指数の限界値を見出し、ある対象に対して計算した指数がその限界値より小さいか大きいかによって分類を判別する統計的方法である。

一般に k 個の変数 X_1, X_2, \dots, X_k を用いて 2 組にわけるとき、

$$Z = \lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 + \dots + \lambda_k X_k \dots\dots (3.13)$$

としたとき、 Z の値によって 2 組にデータをうまく分類するよう $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k$ を定めることが問題である。今簡単な場合として、変数が 2 個でデータ数が n_1, n_2 の場合を例にとると、

$$Z = \lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 \dots\dots (3.14)$$

データをできるだけうまく 2 組にわけるということを次のように考える。

\bar{Z}_1, \bar{Z}_2 を分けられた後での 2 つの組の平均値とすると、まず 2 つの組の分離の測度として、

$$(\bar{Z}_1 - \bar{Z}_2)^2 \dots\dots (3.15)$$

を用いることにする。

他方各組内の Z の値の変動の測度として、

$$\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_i} (Z_{ij} - \bar{Z}_i)^2 \dots\dots (3.16)$$

を用いることにしよう。

式(3.16)に比して式(3.15)がなるべく大きいとき、2組はよく分離されたといえるであ

ろう。すなわち λ を次の関数を最大にするように定めればよい。

$$G = \frac{(\bar{Z}_1 - \bar{Z}_2)^2}{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_i} (Z_{ij} - \bar{Z}_j)^2} \dots\dots\dots (3.17)$$

これを k 個の変数に対してかくと、

$$G = \frac{\prod_{p=1}^k \prod_{q=1}^k \lambda_p \lambda_q d_p d_q}{\prod_{p=1}^k \prod_{q=1}^k \lambda_p \lambda_q S_{pq}} \dots\dots\dots (3.18)$$

ここに、

$$d_p = \bar{X}_{p1} - \bar{X}_{p2},$$

$$S_{pq} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_i} (X_{pij} - \bar{X}_{pi})(X_{qij} - \bar{X}_{qi}),$$

X_{pij} = i 番目の組の j 番目の個体に対する変数 X_p の値、

\bar{X}_{pi} = i 番目の組の n_i 個の個体に対する X_p の平均値。

G を最大にするよう λ_r を定めるのであるから、

$$\frac{\alpha G}{\alpha \lambda_r} = 0 \dots\dots\dots (3.19)$$

($r = 1, 2, \dots\dots, k$)

をつくる

これは結局連立一次方程式

$$\lambda_1 S_{r1} + \lambda_2 S_{r2} + \dots\dots + \lambda_r S_{r\cancel{k}} = C_r d_r \dots\dots\dots (3.20)$$

$$C = (\lambda_1 d_1 + \dots\dots + \lambda_k d_k) / G$$

を解くことに帰着する。

S_{pq}, d_p はデータによって決まる。 C は適当に定めてよく、 $C=1$ として連立方程式をとき、あとで適当な λ を 1 となるよう各 λ を定数倍する。ガードフェンスの転落阻止判定に対する応用は結果的には不成功ともいえるから、一応ここに計算結果を示す。

ガードフェンスに衝突した車が、路外に逸脱するか、あるいは路内に留まるかの判別に関係する要因として、車の総重量、速度、衝突角度、ガードフェンスの高さ、ガードフェンスの一般の設置全長、根入れ長をとる。このうち車の総重量、速度、衝突角度は衝突エネルギーとして 1 つの変数で表わすものとする、変数は結局 4 つとなる。建設省、警察庁合同調査資料から突破転落したもの、阻止されたもの事故例各 10 例についてこれらの値をまとめてみると表-3.10 のようになった。

ここに、

$$x_1 : \text{衝突エネルギー} \left(\frac{1}{2g} \right) \times v \cdot Km^2,$$

x_2 : ガードフェンスの高さ(レールとりつけ高さ (cm))

x_3 : ガードフェンス一張りの全張 (m)

x_4 : 根入れ長 (cm)

表-3.10 のデータを用いると式(3.20)は、

表-3.10 路外逸脱発生の判定における各変数の値

A : 路内に留まった例

x _p	x _{p11}	x _{p12}	x _{p13}	x _{p14}	x _{p15}	x _{p16}	x _{p17}	x _{p18}	x _{p19}	x _{p110}	\bar{x}_{p1}
x ₁	6203	5302	1613	2074	275	380	16275	3020	108	3315	3857
x ₂	50	82	90	50	70	71	70	80	76	50	69
x ₃	14	60	12	8	69	198	72	126	75	198	83
x ₄	70	100	75	100	100	100	100	140	21	45	85

B : 路外に逸脱した例

x _p	x _{p21}	x _{p22}	x _{p23}	x _{p24}	x _{p25}	x _{p26}	x _{p27}	x _{p28}	x _{p29}	x _{p210}	\bar{x}_{p2}
x ₁	7178	106	12330	2428	2038	4800	4160	5038	4378	1009	4337
x ₂	57	65	77	80	80	50	50	87	40	50	64
x ₃	43	51	20	100	72	21	142	90	38	107	68
x ₄	69	69	98	69	140	80	88	100	40	30	78

$$306,167,370\lambda_1 + 6,824\lambda_2 - 995,552\lambda_3 + 415,929\lambda_4 = -480$$

$$6,824\lambda_1 + 4,293\lambda_2 + 205\lambda_3 + 4,234\lambda_4 = 5$$

$$-995,552\lambda_1 + 205\lambda_2 + 59,484\lambda_3 - 577\lambda_4 = 15$$

$$415,929\lambda_1 + 4,243\lambda_2 - 577\lambda_3 + 17,608\lambda_4 = 7$$

となる。結局判別関数は、

$$Z = -x_1 - 864.97x_2 + 209.96x_3 + 181.38x_4$$

となる。

表-3.10の各個のケースについてZを求めれば、表-3.11のようになる。表-3.11の結果では、あまりうまくわかれてはいえないので、これらのデータについては、このような情報からは予測のむつかしいことがわかる。しかし、事故資料の詳細なものが多数えられれば、このような分析も効果的に行なえるであろうことが期待される。

表-3.11 路外逸脱の判定に対するZの値

A	54033	98292	93805	62923	94828	122673	79448	120728	85591	93852
B	65000	78139	78139	110372	110372	54912	86563	109178	46227	70726

3.6 最適設計計算例

3.6.1 簡易なモデル

いま、ガードフェンスに対する自動車の衝突現象をごく簡易化し、たとえばガードフェンス設置要綱等の考え方を踏襲するものとする、自動車のもつガードフェンスに垂直なエネルギー成分 E_m は、

$$E_m = \frac{1}{2} \frac{W}{g} V^2 \sin^2 \alpha = \frac{1}{2} \frac{W}{g} V_\alpha^2 \quad \dots\dots\dots (3.21)$$

ここに、

W : 自動車の重量

V_α : 自動車の速度のガードフェンス面に対する垂直成分

g : 重力の加速度

V_α は設計速度、設計衝突角度として、一定に与えられるものとする。

ガードフェンスをバネのようなものと仮定すると、ガードフェンスの自動車に及ぼす反力Fは、

$$F = k y \quad \dots\dots\dots (3.22)$$

ここに、

y : 踏み込み量

k : バネ定数(ガードフェンスの剛性係数)

距離、y 踏み込み間に吸収されるエネルギーは、

$$E_{\text{absorbed}} = \frac{1}{2} k y^2 \quad \dots\dots\dots (3.23)$$

バネ行程最大点では、 $E_m = E_{\text{absorbed}}$ から、

$$W = \frac{k y_{\text{max}}^2 \cdot g}{V_\alpha^2} \quad \dots\dots\dots (3.24)$$

あるいは、

$$y_{\text{max}} = \sqrt{\frac{W}{kg}} V_\alpha \quad \dots\dots\dots (3.25)$$

V_{α} とガードフェンスのバネ定数 k が与えられ、道路条件とフェンスの構造から y の限度、 y_c 、すなわちこれ以上外方に自動車が進み込むと転落を起す行程の限度、が既定であるとすれば、転落をしないの境にある自動車の重量 W_c が決まる。

y_c については、実際にはなお相当検討の必要があろう。ガードレールの機能喪失がどのようにして起こるか実験的事実、理論的検討の集積がさらに望まれる。すなわちフェンスの破断、自動車の乗り越し、転倒あるいはボケティングと踏込量の関係がもとめられねばならない。ここでは、かんたんに、踏み込み量がある限度に達したときガードフェンスが崩壊して、転落事故が起きるものと仮定する。

いっぽう、車の受ける最大減速度は、踏み込み量 y の最大点でおこるから

$$a = \frac{k \cdot y \cdot g}{W}$$

から

$$a_{max} = \sqrt{\frac{k \cdot g}{W}} \cdot V_{\alpha} \dots\dots (3.26)$$

である。

自動車が、 y_c をこえて転落した場合の損害を D_{a1} で表わす。もし、これが路側環境のみの関数であれば、

$$D_{a1} = D_b \dots\dots (8.20)$$

実際の事故統計では、ガードフェンスの損害は物損に含めて報告され、その被害は、転落事故被害全体に対して小さいとみてよいから、このように考えても十分であろう。

自動車がガードフェンスに衝突した場合に受ける損害 D_{a2} は

$$D_{a2} = \alpha \cdot a_{max} \dots\dots (3.27)$$

と仮定する。

道路上を走行し、路外逸脱する自動車の重量はまちまちであり、これをある統計的分布にしたがうものとし、 $f(W)$ とすると、結局バネ定数 k なるガードフェンスに自動車の衝突した場合の損害の期待値は、

$$D_a = D_b \int_{W_c}^{\infty} f(W) dW + \int_0^{W_c} \alpha \cdot \frac{k \cdot g}{W} \cdot V_{\alpha} \cdot f(W) dW \dots\dots (3.28)$$

となる。

もし、また図-3.31のように Pearson V 型、 $u \frac{W}{W_c} - s \frac{r}{W_c}$ が $f(W)$ によくおとこまるとすれば、

$$D_a = D_b \cdot u \int_{W_c}^{\infty} W^{-s} e^{-\frac{r}{W}} dW$$

$$+ \alpha \cdot \sqrt{k \cdot g} \cdot V \alpha \cdot u \int_0^{W_c} W^{-s-\frac{1}{2}} e^{-\frac{r}{W}} dW \dots\dots\dots (3.29)$$

となる。

ここに、第1項はガードフェンスを突破して転落した場合の損害に相当する部分、第2項はガードフェンスによって転落をまぬがれるが、フェンスの衝突によって生じる損害に相当する項である。

もし、M、Iがconstならば $\partial D_a / \partial W_c = 0$ 、そうでなければ

$$\frac{\partial B}{\partial W_c} = 0 \dots\dots\dots (8.30)$$

をつくり、これと

$$k = \frac{W_c \cdot opt}{y_c^2} \cdot \frac{V \alpha^2}{g} \dots\dots\dots (3.31)$$

の関係から、ガードフェンスの最適バネ常数kの値と転落させるべき車両重量の限界値： $W_c \cdot opt$ が求まる。

明らかに、 D_b あるいは $D_{a1} = 0$ 、すなわち、路側になんらの危険がない場合は第1項は0、第2項は $W_c = 0$ とするときmin.となり、とうぜんフェンスの設置は不要、逆にDの大きいときには W_c の値を高くして第1項の負担を減少させることになる。第2項においてカードレールの剛度がますます、衝突時の損害は増大し、またWの小さい車両の損害は大となる。しかしこのような一軸の解析はごく概念的な問題の説明にとどまり、また式(3.29)は結局は数値積分によらねばいけないので、実用的には次項のような自動車の平面運動を考えた解析によらねばならない。

3.6.2 平面運動モデル

3.6.2.1 定式化

3.6.1の場合には自動車の重量分布のみを考えたが、ここでは、車両重量、 w 、衝突速度、 v 、衝突角度、 α 、のすべてについて統計的分布を考えることにする。荷重条件としての事故車両の状態を、この三つのみで、かならずしも表現できないことは、本編第2章にも示した力学モデルから明らかであり、この場合、たとえば車両重量については、各種車両形式間における z 軸回り慣性モーメント、車軸間距離、重量の車軸間配分の差異を無視していることになる。しかし、これらの値は w と何等かの関係があり、 w について事故車両の状態を代表させて、大きなあやまりはないと考えられる。そのほか車体の回転蛇角他の初期条件の分布も無視し一定とみなすことにする。

この場合には、ある地点におけるガードフェンス設置後の損害額の期待値 Da は、

$$Da = \iiint_{V_1} D_{a1}(k, w) \cdot f(\alpha, v, w) d\alpha \cdot dv \cdot dw \\ + \iiint_{V_2} D_{a2}(k, \alpha, v, w) \cdot f(\alpha, v, w) \\ d\alpha \cdot dv \cdot dw \dots \dots (3.32)$$

とあらわせる。

ここに、 w は、車両重量、 v は衝突速度、 α は衝突角度、 k はフェンスの剛度、あるいは形式、 $f(\alpha, v, w)$ は α, v, w の同時分布、 V_1 は $y_c = (R \cdot w \cdot \alpha \cdot v)$ なる曲面から $w = \infty, \alpha = \pi/2, v = \infty$ に至る空間領域、 V_2 は $w = 0, \alpha = 0, v = 0$ から $y_c = Y_c(k, w, \alpha, v)$ なる曲面までの空間領域。

D_{a1} はガードフェンス突破転落時の1件当りの損害、 D_{a2} はガードフェンスにより阻止されたときの1件当りの衝突事故損害、 y_c は許容踏み込み量で、いずれも3.6.1のモデルと同じ意味である。

y_c が現在注目している地点およびガードレールの形式から決まるとすると、さらに k を与えれば、 w, α, v に関する曲面が1つ決まり、また、 k をかえるときは空間曲面群がえられる。

$f(\alpha, v, w)$ については空間における密度分布を想定すればよい。問題は、この空間密度分布を、 $y_c = Y_c(k, w, \alpha, v)$ なる一つの曲面で切り、事故車両のどれだけの部分の転落を許容するかを決定することである。(図-3.26)

転落車両は、転落前においてすでにフェンスに衝突しているから、その損害はガードフェンスの剛度 k の関数でもあり、かつ車両重量(というよりはむしろ車種)の関数とも考えられるが、近似的には一定地点においては、車両重量のみの関数とみてもよいであろう。

D_{a2} はガードフェンスの剛度、衝突速度、角度、自動車の重量関数と考えられるが、これはまた、車両の受けた最大減速度の関数とみてもよいであろう。

ある地点におけるガードフェンスの
 の最適設計は、便益をmaxにする
 ような剛度のものであると考え

$$B = N_b \cdot D_b - N_a \cdot D_a - I - M$$

において

$$\frac{dB}{dk} = 0$$

となるようなkを選ばえられる。
 あるいは、上式において $N_b \cdot D_b$ は
 設置前における損害で、kとは無関
 係、I、Mはそれぞれkの関数と考
 えられるので

$$T = N_a \cdot D_a + I(k) + M(k) \dots \dots \dots$$

$$(3.33)$$

において dT/dk を求めればよい。前と同様 $D_{a1} = D_b$ かつ α, v, w の分布はたがいに
 独立とすると

$$\begin{aligned} D_a = D_b & \int \int \int_{V_1} f_\alpha(\alpha) \cdot f_v(v) \cdot f_w(w) d\alpha \cdot dv \cdot dw \\ & + \int \int \int_{V_2} D_{a2}(k, \alpha, v, w) f_\alpha(\alpha) \cdot f_v(v) \cdot \\ & f_w(w) d\alpha \cdot dv \cdot dw \dots \dots \dots (3.34) \end{aligned}$$

と表わせる。

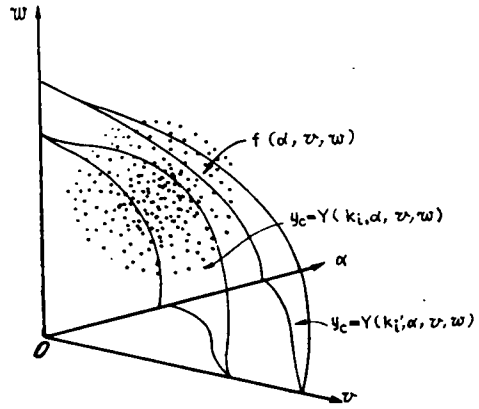


図-3.26 $f(\alpha, v, w)$ と $y_c = Y(k, \alpha, v, w)$ の概念

3.6.3 調査ないしは観測した関連資料

〔建設省，警察庁合同の路外逸脱，転落事故調査資料〕

昭和38年10月～昭和38年12月に行なわれた建設省，警察庁合同調査において，転落あるいは路外逸脱事故発生時の事故車両の重量，走行速度，転落時速度，逸脱角度を調査した。車両重量は，車両検査表および積荷の調査から，速度は事故発生者の証言から，逸脱角度は現場の軌跡を測定するのが調査方法の大要である。結果として図-3.27～図-3.30がえられた。衝突角度の分布を視察すれば，通常設計荷重条件としてとられていた15°よりは高い方へもかなり分布しているようである。しかしこれはY字路，交差点，直角曲り等の地点を含んでおり，また，一般直線部や直角曲り以外の地点では，逸脱角度の大きい場合は，逸脱速度は比較的小さくなることも予想されるところであって，この点については，今後資料を再検討する必要がある。30°にひとつ

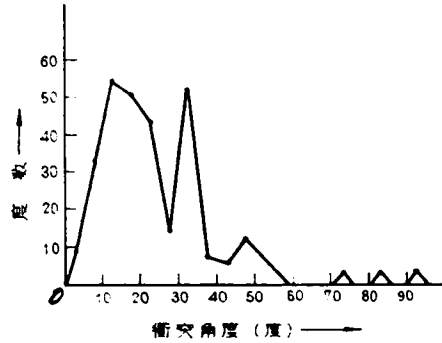


図-3.27 路外逸脱角度の分布

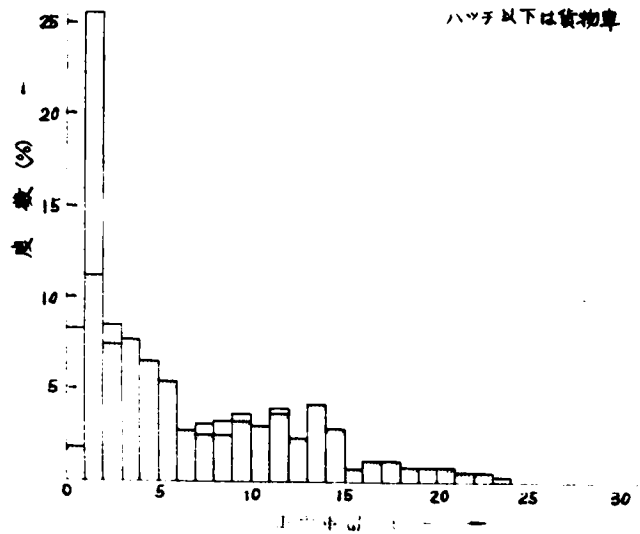


図-3.28 事故車両の車両分布
(建設省，警察庁合同路外逸脱事故調査)

のピークが見られるが、これは30°という角度が一般になじみ深い角度であって、調査担当者が逸脱角度を精確に測定しない場合、その附近の角度をそのように記入しやすいためであると推察される。45°についても同様の傾向がある。これをならして見るならば、衝突角度については、かなりなめらかな分布をしていると考えられる。走行速度と路外逸脱した瞬間の速度はいずれも事故発生者の証言に頼ることになるから、これはその性質上実際よりは低く出がちであると考えられる。

〔国道4号線（小山～間間田間）および
国道17号線（吹上バイパス）において
行なった自動車重量と走行速度分布の実
測資料〕

上記は実際に転落事故、あるいはガードフェンス衝突事故を起こした車両に関する調査であるが、国道4号線（小山，間間田間）および国道17号線（吹上バイパス）において、昭和39年12月9日および10日に国道を走行中の自動車の車両重量と走行速度を実際に観測した。車両重量は、建設省土木研究所舗装研究室の開発した差動トランス方式による重量計⁽¹²⁾で、同日時におこなった舗装研究室の軸重調査にともなって測定を行なったものである。舗装に関する調査では、とうぜん軸重回数の記録が問題となり、これをデジタルカウンターで軸重の一定区分ごとに自動的に統計しているが、われわれの場合は、各車両重量（ないしはその配分）が問題となるので、各車両通過時に発生する記録電圧を別に電磁オシロに記録し、これから車両重量を求めた。車両重量測定個所では、交通車両の走行速度を下げるよう誘導する関係上、走行速度は、車両重量

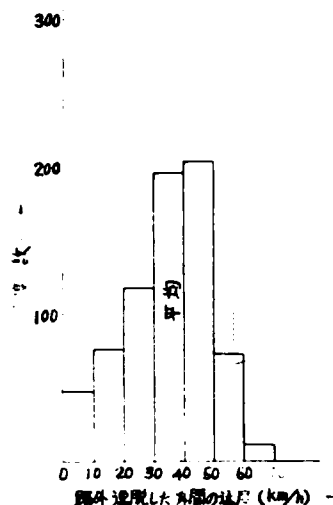


図-3.29 路外逸脱した瞬間の速度の分布
（建設省，警察庁合同路外逸脱事故調査）

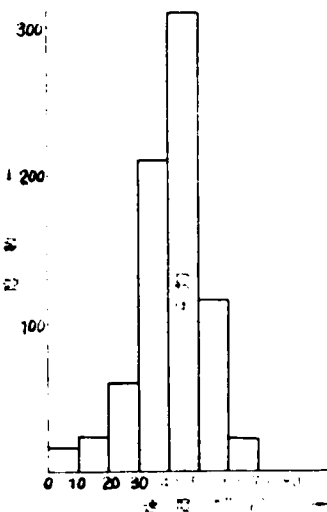


図-3.30 走行速度の分布
（建設省，警察庁合同路外逸脱事故調査）

測定個所から数100メートル～数キロメートル離れた地点で観測した。観測にはレーダースピードメーターを用いた。

速度測定個所は、4号線では、間間田の荷重観測点より3.7km、小山よりR=260m、幅員10.35mの地点、吹上バイパス(4車線)では半径600mの曲線区間である。

速度測定地点と重量計測地点では、自動車重量と走行速度の関係を検討する資料を与えるため、ともに自動車のプレートを記録しあとで照合を行なった。

両地点での重量測定結果を表-3.12、表-3.13に示す。全車両に関する重量分布図をみると図-3.31、3.32のようになる。

表-3.12 国道4号線(小山～間間田間)における走行車両の重量分布(測定数1,042台)

11月24日 14:30～15:30 16:00～16:30
(
11月25日 10:00～12:32, 計3時間32分測定)

(11月24日 14.30～15.30, 16.00～16.30
11月25日 10.00～12.32, 計3時間32分測定)

重量(t)	大 型 トラック	バ ス	小 型 トラック	乗 用 車	軽自動車	自動三輪	計	%
0～	1		7	4	7	1	20	1.9
1～	2		122	108	51	4	287	27.6
2～	15	1	187	70	4	8	285	27.4
3～	19		74	17	5	7	122	11.7
4～	14	2	35	4		2	57	5.5
5～	15		15				30	2.9
6～	30	9	5				44	4.2
7～	23	3	3				29	2.8
8～	14	1	1				16	1.5
9～	14	4	1				19	1.8
10～	6	3					9	0.9
11～	8	2					10	1.0
12～	16	1					17	1.6
13～	10	1					11	1.1
14～	15						15	1.4
15～	21						21	2.0
16～	10						10	1.0
17～	7	2					9	0.9
18～	10						10	1.0
19～	4						4	0.4
20～	2						2	0.2
21～	1						1	0.1
22～	1						1	0.1
23～	1						1	0.1
24～	2						2	0.2
25～	1						1	0.1
26～	2						2	0.2
27～	2						2	0.2
28～	1						1	0.1
29～	1						1	0.1
30～31	1						1	0.1
33～34	2						2	0.2
計	271	29	450	203	67	22	1,042	

表-3.13 国道17号線吹上バイパスにおける走行車両の重量分布(測定数936台)

12月9日 9:30~10:30 11:30~12:00 0:30~1:30
 (12月10日 7:00~7:30 10:45~11:17 計3時間30分)

(12月9日 9:30~10:30, 11:30~12:00, 0:30~1:30)
 (12月10日 7:00~7:30, 10:45~11:17 計3時間30分)

重量(t)	大型トラック	バス	小型トラック	乗用	ライトバン	軽自動車	自動三輪	計	%
0~			5	17	11	10	2	45	4.8
1~			14	72	14	9	1	110	11.7
2~	2		92	87	32	12	2	225	24.0
3~	5	1	43	4				53	5.7
4~	5		32		1		3	41	4.4
5~	9		13					22	2.3
6~	30		5					35	3.7
7~	35							35	3.7
8~	26		2					28	3.0
9~	22		1					23	2.5
10~	19							19	2.0
11~	27							27	2.9
12~	38		1					39	4.2
13~	28	1						29	3.1
14~	31	1						32	3.4
15~	40	4						44	4.7
16~	19							19	2.0
17~	17							17	1.8
18~	33							33	3.5
19~	20							20	2.1
20~	19							19	2.0
21~	12							12	1.3
22~	5							5	0.5
23~	1							1	0.1
24~	1							1	0.1
25~									
26~									
27~									
28~									
29~									
30~									
計	444	7	208	180	58	31	8	936	

速度分布のグラフは図-3.32~図-3.35のようになる。吹上バイパスの資料では、夜間においては、走行速度が高くなることがわかる。

国道4号線における車両重量と走行速度の関係を、図に示したのが図-3.36~図-3.37である。これによれば、自動車の重量と走行速度の間には明らかな関係はないようで、いわゆるwとvは独立と考えて大過はないことが予想される。

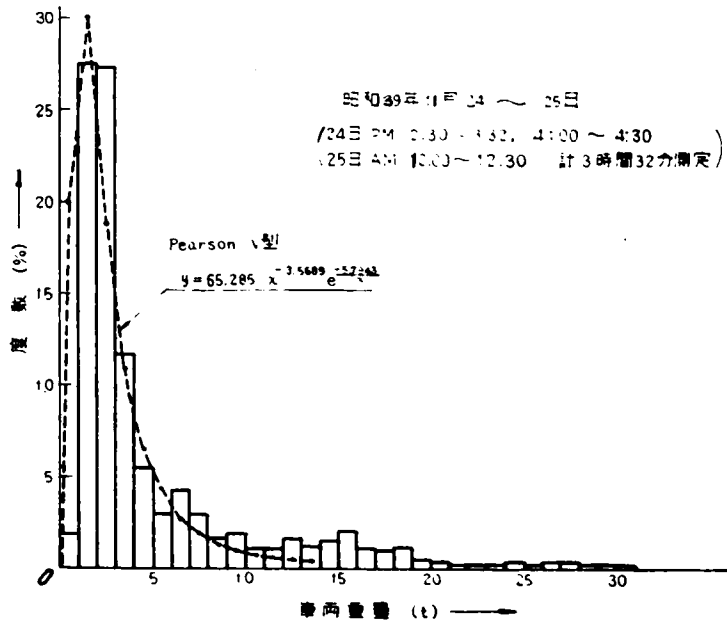


図-3.31 国道4号線(小山～間間田間)における全車種に関する重量の度数分布図(測定数936台)

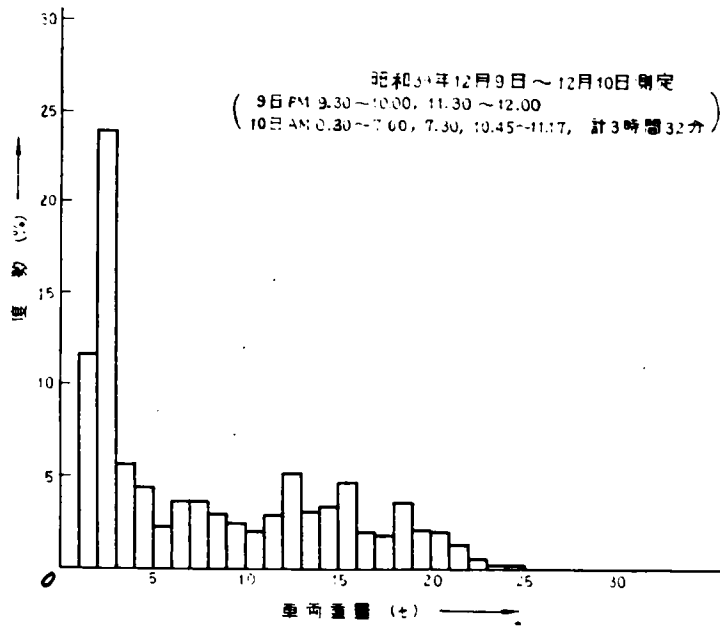


図-3.32 国道17号線(吹上バイパス)における全車種に関する重量の度数分布図(測定数936台)

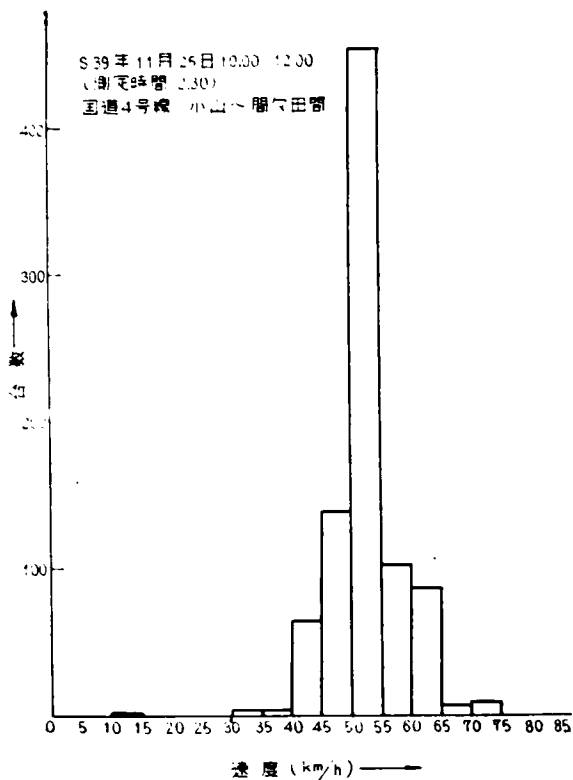


図-3.33 速度分布

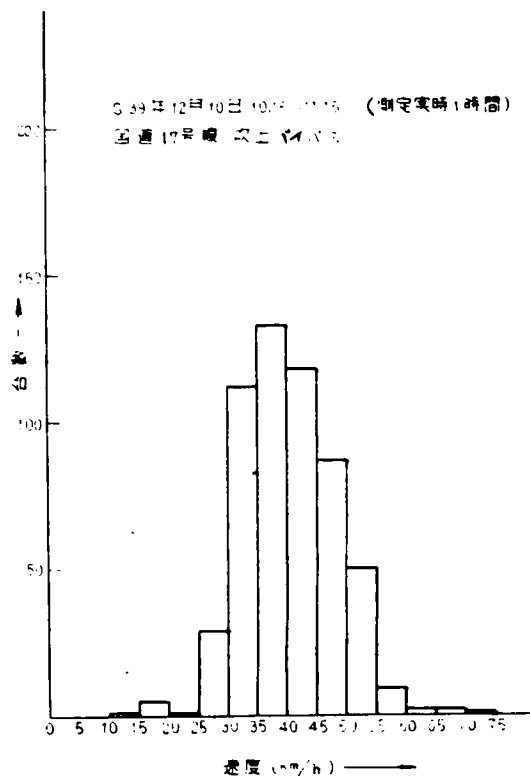


図-3.34 速度分布

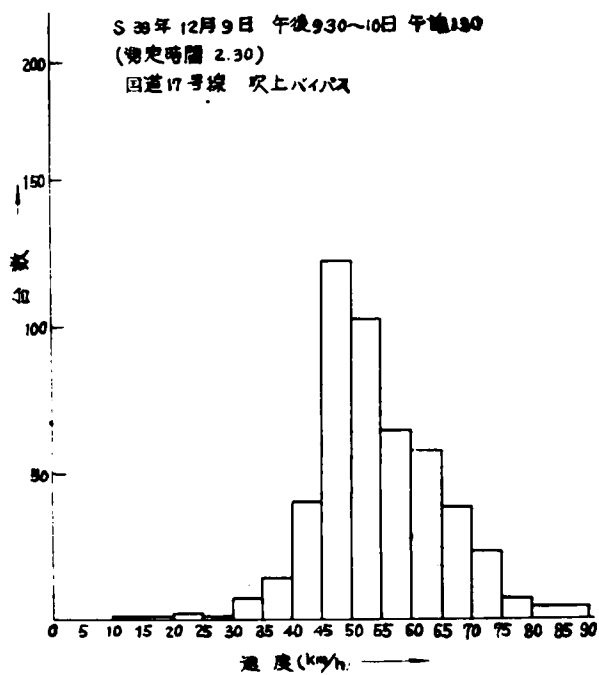


図-3.35 速度分布

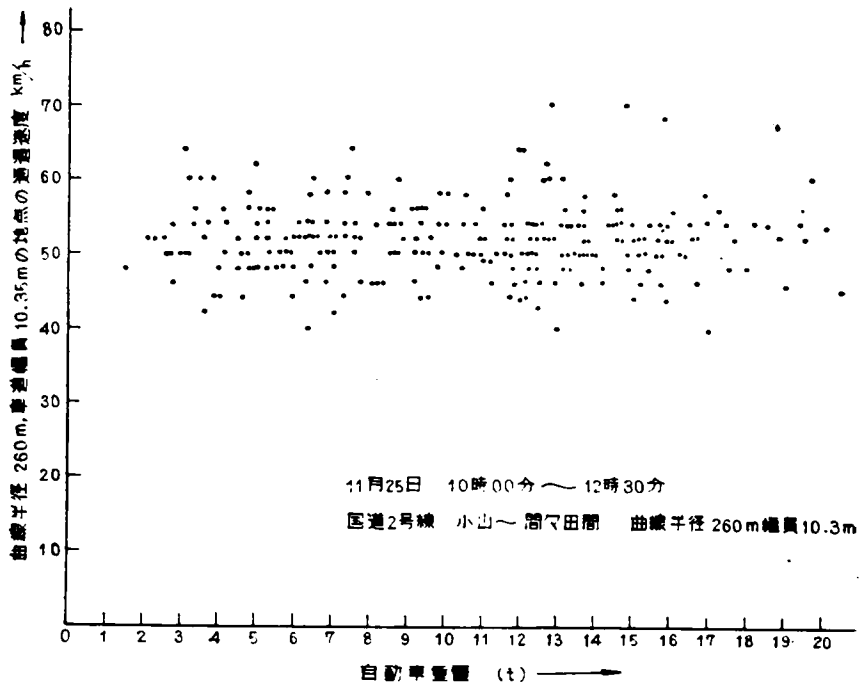


図-3.36 走行速度と車両総重量の関係(大型トラックの場合)

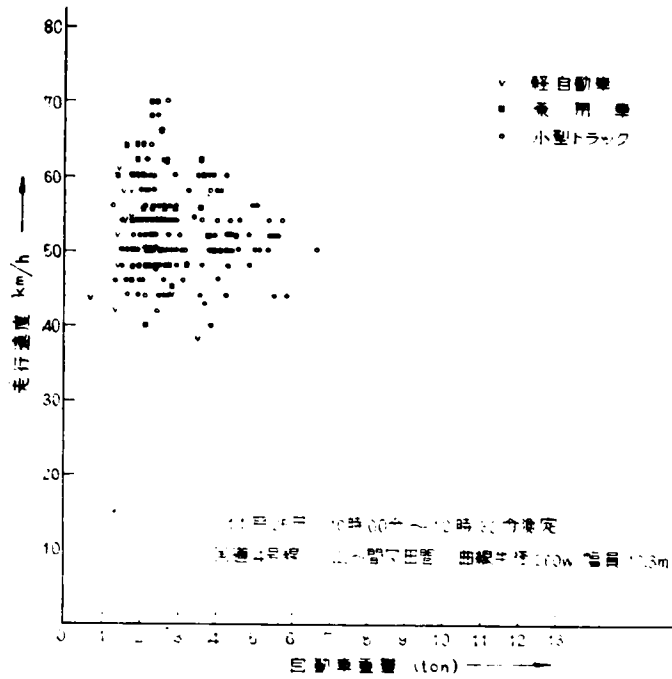


図-3.37 走行速度と車両重量の関係(大型トラック以外の車種の場合)

3.6.4 数値計算

本編第2章に述べた、自動車を剛体とし動的な運動を考えた衝突現象の力学モデルと、3.6.2の最適設計概念から、3.6.3の資料を用いてガードフェンスの最適設計を数値計算する。以下すべて、OKITAC5090-HのためのALGOL, ALGOL-H(H₁とH₂)によって計算プログラムを作製した。

計算例では、ガードフェンスは図-3.38のような理想に近いような荷重たわみ曲線をもつものと仮定する。これはコーネル航空研究所で開発された主として曲げに抵抗するいわゆる Strong rail weak post 概念のガードレールの力学的性状に近いものであり、現実とそうかけはなれたものではない。他の特性をもつガードフェンスについては、その荷重たわみ曲線をそのつど与え、プログラム中の procedure を交換すれば同様の計算が可能である。

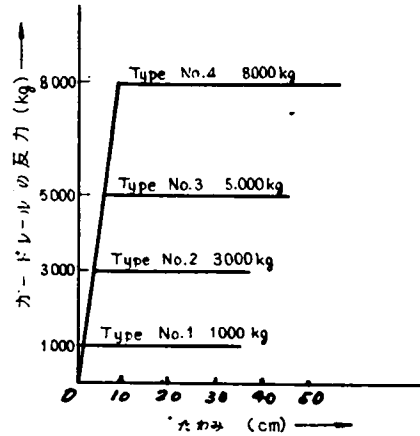


図-3.38 仮定したガードレールの反力とたわみの関係

ここでは4種類の自動車が、4種類の耐荷力のガードフェンスに衝突した場合の運動を数値計算する。また、それぞれについて衝突速度4種類、衝突角度3種類、すなわち合計 $4 \times 4 \times 4 \times 3 = 192$ 通り計算を行なった(表-3.14)。式26は2階の微分方程式であるから、

表-3.14 衝突現象の計算条件

自動車の重量および想定車両	(出所)
397Kg (スバル乗用K111)……	(国産自動車諸元表)
1,400Kg (オースチンA50)	(フジガード強度試験結果昭和35年12月 富士製鉄株式会社)
3,405Kg (日産ジュニャー)……	(国産自動車諸元表)
6,000Kg (日産トラック180)……	(高速型ガードレールの実用車による走行、 衝突試験と設計について、 昭和35年10月 日本鋼管株式会社)
ガードフェンス	
最大耐荷力	1,000Kg 3,000Kg 5,000Kg 8,000Kg
衝突角度	10°, 25°, 40°
衝突速度	600cm/sec 1,200cm/sec 1,800cm/sec 2,400cm/sec

これを6個の一階の方程式に直し、Runge Kutta Gill の方法によって、逐次積分を進行させる。時間の刻みは2/1,000秒とし、最大衝突後1秒まで計算、また、車両の先端がフェンス面から離脱したとき計算を打ち切った。レールと車体間の摩擦係数は0.2、路面の摩擦係数は0.8を仮定した。コーナリングフォースは、10°の横すべり角において、摩擦係数に等しくなり、それ以上の角度では一定と仮定した。Z軸回りの慣性半径は、車軸間距離の1/2を仮定した。

計算の結果は、上記192通りの場合についての最大踏込量 y_{max} と車体の受けた最大減速度 g_{max} に関する4元表の形にまとめられる(表-3.15, 3.16)。

表-3.15 最大踏込量 (cm) の4元表

自動車重量 397 kg													
v (cm/s)		600			1200			1800			2400		
k (kg)	α (°)	10	25	40	10	25	40	10	25	40	10	25	40
		1000	1.402	6.771	23.93	3.508	23.37	77.86	6.869	48.23	149.50	11.53	79.88
3000	1.398	3.944	8.846	2.767	9.557	27.77	4.144	18.430	56.020	5.787	30.160	91.420	
5000	1.3980	3.9410	7.3710	2.767	7.901	18.89	4.134	13.400	36.690	5.500	20.730	59.500	
8000	1.398	3.941	7.292	2.767	7.763	15.120	4.134	11.670	26.690	5.500	16.480	41.860	

自動車重量 1400 kg													
v (cm/s)		600			1200			1800			2400		
k (kg)	α (°)	10	25	40	10	25	40	10	25	40	10	25	40
		1000	5.196	46.69	160.1	17.93	132.0	383.5	37.42	242.2	648.8	62.43	357.8
3000	3.290	13.10	38.95	7.387	43.65	130.2	13.98	99.26	253.0	22.98	146.8	400.2	
5000	3.290	9.576	23.18	6.458	27.67	78.12	10.44	55.89	158.0	15.90	92.74	256.7	
8000	3.290	8.962	17.02	6.456	20.25	50.90	9.618	38.18	103.1	13.11	62.07	169.6	

自動車重量 3405 kg													
v (cm/s)		600			1200			1800			2400		
k (kg)	α (°)	10	25	40	10	25	40	10	25	40	10	25	40
		1000	8.135	93.36	248.1	27.21	200.9	531.8	54.40	337.6	891.0	87.68	485.3
3000	3.976	20.77	80.69	9.864	66.61	208.1	19.36	130.3	369.7	32.17	208.1	560.7	
5000	3.970	13.21	41.96	7.873	40.46	126.0	13.54	81.08	236.9	21.31	132.3	369.7	
8000	3.970	11.06	26.46	7.712	27.76	80.65	11.54	53.82	156.4	16.43	87.74	248.3	

自動車重量 6000 kg													
v (cm/s)		600			1200			1800			2400		
k (kg)	α (°)	10	25	40	10	25	40	10	25	40	10	25	40
		1000	22.38	172.0	309.70	59.28	358.1	656.2	107.6	560.60	1012.0	163.10	777.00
3000	6.191	52.21	184.90	18.28	138.7	419.5	37.14	251.20	682.2	61.73	383.80	989.8	
5000	5.596	25.70	102.0	12.49	80.18	251.0	23.68	155.90	441.0	38.80	248.00	667.7	
8000	5.596	17.25	52.62	10.77	50.36	154.5	17.65	100.00	289.1	27.12	162.80	449.2	

v : 衝突速度, α : 衝突角度, k : ゲートフェンスの最大制動力

表-3.16 最大減速度 (g) の4元表

自動車重量 397 kg

v (cm/s)	600			1200			1800			2400		
	$\alpha (^{\circ})$			$\alpha (^{\circ})$			$\alpha (^{\circ})$			$\alpha (^{\circ})$		
k (kg)	10	25	40	10	25	40	10	25	40	10	25	40
1000	2.433	2.551	2.567	2.546	2.567	2.833	2.561	3.098	3.677	2.639	3.555	3.750
3000	2.655	7.261	7.599	5.459	7.663	7.691	7.596	7.704	8.186	7.672	8.095	9.019
5000	2.655	7.505	12.350	5.459	12.66	12.77	8.265	12.770	13.140	11.07	13.06	13.880
8000	2.655	7.505	14.190	5.459	15.43	20.330	8.265	20.320	20.860	11.070	20.620	21.480

自動車重量 1400 kg

v (cm/s)	600			1200			1800			2400		
	$\alpha (^{\circ})$			$\alpha (^{\circ})$			$\alpha (^{\circ})$			$\alpha (^{\circ})$		
k (kg)	10	25	40	10	25	40	10	25	40	10	25	40
1000	0.705	0.725	0.728	0.72	0.98	0.925	0.89	1.50	1.505	1.235	1.505	1.49
3000	1.66	2.13	2.17	2.14	2.18	2.180	2.16	2.50	2.810	2.210	2.99	3.24
5000	1.66	3.45	3.58	3.44	3.60	3.620	3.59	3.70	3.950	3.62	4.14	4.71
8000	1.66	4.49	5.63	3.52	5.72	5.79	5.38	5.80	5.850	5.75	6.11	6.60

自動車重量 3405 kg

v (cm/s)	600			1200			1800			2400		
	$\alpha (^{\circ})$			$\alpha (^{\circ})$			$\alpha (^{\circ})$			$\alpha (^{\circ})$		
k (kg)	10	25	40	10	25	40	10	25	40	10	25	40
1000	0.2893	0.3004	0.3034	0.4154	0.7234	0.5863	0.6767	1.089	1.089	1.096	1.092	1.080
3000	0.7545	0.8701	0.8934	0.8737	1.106	1.321	0.9376	1.690	1.765	1.122	1.752	2.160
5000	0.7683	1.405	1.464	1.416	1.478	1.738	1.469	1.953	2.433	1.561	2.382	2.530
8000	0.7683	2.086	2.301	1.683	2.338	2.404	2.310	2.572	3.132	2.362	3.027	3.510

自動車重量 6000 kg

v (cm/s)	600			1200			1800			2400		
	$\alpha (^{\circ})$			$\alpha (^{\circ})$			$\alpha (^{\circ})$			$\alpha (^{\circ})$		
k (kg)	10	25	40	10	25	40	10	25	40	10	25	40
1000	0.166	0.1726	0.174	0.296	0.315	0.244	0.509	0.589	0.425	0.710	0.845	0.603
3000	0.446	0.496	0.509	0.496	0.735	0.688	0.625	1.21	1.325	0.839	1.323	1.335
5000	0.568	0.803	0.835	0.811	0.916	1.02	0.835	1.41	1.71	0.990	1.69	1.785
8000	0.568	1.213	1.311	1.23	1.33	1.41	1.31	1.65	2.10	1.310	2.13	2.325

v, α , k は表-4 に同じ。

ガードフェンスに衝突し阻止されたときの被害は、車両の受けた最大減速度の値の関数と考える。ここでは、簡単に図-3.39のように最大減速度と損害との関係を仮定して数値計算してみることにする。

このようにして、 $y_{max}(k, w, \alpha, v)$ と $D_{a_2}(k, w, \alpha, v)$ は4元表の形で与えられるから、衝突車重量分布、衝突速度分布、衝突角度分布を与えれば、4元表を補間補外することによって各重量、速度、角度の組合せに対して y_{max} が求められ、したがって、その組合せにおけ

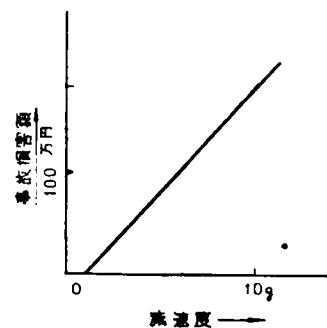


図-3.39 仮定した減速度と損害額の関係

る転落現象の発生の有無が求まり、これから期待される総損害額がもとまる。

数値計算にあたって、重量分布、速度分布、角度分布を離散的に考えれば、

$$\begin{aligned}
 & \text{if } y_{\max}(k_j, \alpha_j, v_k, w_l) < y_c \\
 & \quad \text{then} \\
 & \quad \quad D_{a_{ijkl}} = D_{a2}(k_j, \alpha_j, v_k, w_l) \cdot P_{\alpha_j} \cdot P_{v_k} \cdot P_{w_l} \\
 & \quad \text{else} \\
 & \quad \quad D_{a_{ijkl}} = D_b \cdot P_{\alpha_j} \cdot P_{v_k} \cdot P_{w_l} \\
 & D_{a_j} = \sum_k \sum_l \sum_{\alpha} D_{a_{ijkl}} \dots\dots\dots (3.35)
 \end{aligned}$$

大体の流れ図をかけたば図-3.40
 のとおりである。ここでは、いちお
 う速度分布、衝突角度分布を建設省、
 警察庁合同調査にはば一致させ、自
 動車重量 w を 1,400 Kg 一種、 v に
 ついては 14 クラス、 α については
 10 クラスに区分した場合の計算結
 果を図-3.41]に示す。

D_b は定数とし、 y_c を 100 cm
 とする。 D_b を大きい方へ変化させ
 たときの最適ガードフェンスはした
 だいに剛度の高い方へ移動することが
 わかる。

w の分布については、ひじょうに
 かたよった分布であるから、これを
 考慮する場合クラス数を十分大きく
 とる必要がある。

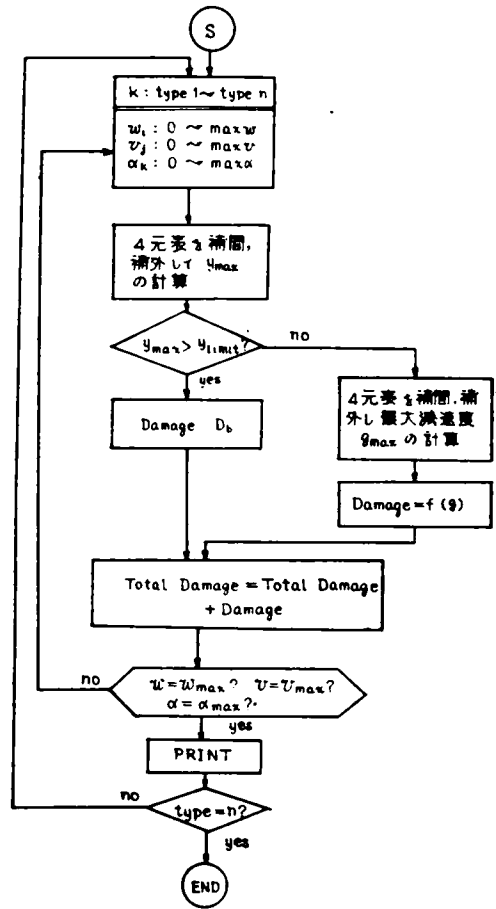


図-3.40 最適設計のための流れ図

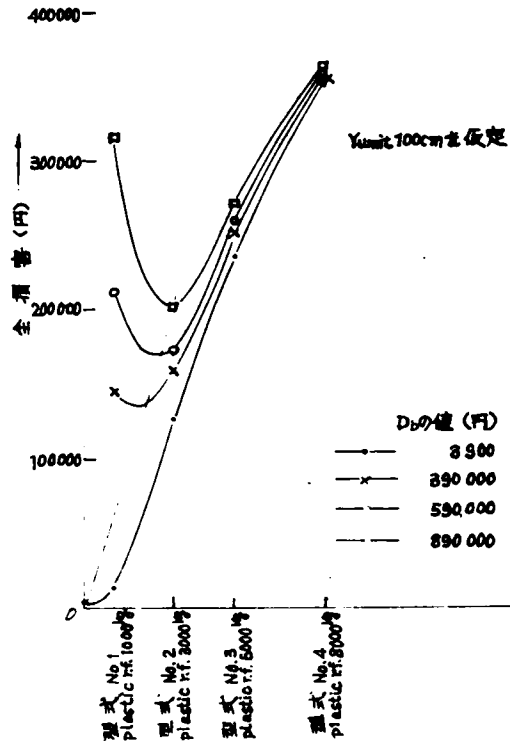


図-3.41 車両重量 1.4ton 速度分布, 角度分布が合同調査資料に基づく場合のガードフェンス最適設計の変化

3.6.5 規格決定と設置延長モデル

さらに一般的にいえば、ガードフェンスは個々の地点についても最適な設計が行なわれるのではなく、既製の数種の形式のものから選択されるから、とうぜんその地点に最適なものはずれを生じる。この場合、全国的な基準決定の立場からすれば、どのような剛度のものをどれだけ生産すればよいかという問題となる。

いま路側の危険度（転落時の損害）が道路延長の関数であると考え。すなわち、 $D_b = D_b(L)$ とすれば、 n 種類の剛度のガードフェンスで道路の全延長をおおったときの事故損害額 S は、式(8.27)の T と同様な意味で、道路の全長にわたる事故発生率一定、 y_c も一定であれば、

$$\begin{aligned}
 S = & \int_{\ell_n}^{\ell_t} D_b(L) dL \iiint_{V_1} f(\alpha, v, w) d\alpha \cdot dv \cdot dw \\
 & + (\ell_t - \ell_n) \iiint_{V_2} Da(k_n, \alpha, v, w) d\alpha \cdot dv \cdot dw \\
 & + \sum_{i=2}^n \left\{ \int_{\ell_{i-1}}^{\ell_i} D_b(L) dL \right. \\
 & \quad \times \iiint_{V_1} f(\alpha, v, w) d\alpha \cdot dv \cdot dw + (\ell_i - \ell_{i-1}) \\
 & \quad \times \iiint_{V_2} Da(k_i, \alpha, v, w) d\alpha \cdot dv \cdot dw \left. \right\} \\
 & + \int_0^{\ell_1} D_b(L) dL + C_1(k_n)(\ell_t - \ell_n) \\
 & + \sum_{i=2}^n C_1(k_n)(\ell_i - \ell_{i-1}) + C_2(n) \dots\dots\dots (3.36)
 \end{aligned}$$

ここに、

- S : 一件当りの事故損害の期待値
- ℓ_t : 道路の全延長
- ℓ_n : n 番目の剛度のフェンスを設置し始める道路延長
- ℓ_i : i 番目の剛度のフェンスを設置し始める道路延長
- k_n : n 番目のフェンスの剛度
- k_i : i 番目のフェンスの剛度
- n : フェンスの剛度の種類
- C_1 : 初期投資の年負担および維持費
- C_2 : フェンスの種類を増加することによって増大する諸費用
- D_b : 道路延長の関数とみた転落事故損害期待値

n, k_i, ℓ_i の組合せを変化させて S_{min} となる点を求めることが問題となる。

3.7 結 語

ガードフェンスの合理的な設計は、フェンスを突破する車両による転落事故損害とフェンスによって阻止される車両の衝突事故損害、および初期投資費用、維持費用の総和を最小とするとときに得られる。すなわち、ガードフェンスの最適な剛さは、路側条件いいかえれば転落事故損害の期待値事故車両に関する速度、角度、重量分布、衝突時に発生する期待される減速度による損害等から決定される。

本章ではまず第1編第2章の資料により転落事故損害の期待値の計算例を示した。ガードフェンスの設置順位は、転落事故損害の期待値の順位にしたがって決定される。また路側条件のよいときは、ガードフェンスの設置はかえって不利となる可能性さえあり、この意味においても転落事故損害の期待値計算は重要である。

つぎに、本編第1章のガードフェンスの力学モデルにしたがって、着力点変位一反力曲線の性質あるいはボケッティング防止の見地からすると、ガードフェンスとしてはどのような設計が最も望ましいかについて述べた。これによれば、曲げ剛性の高いレールを用いたいわゆる強いレール弱い支柱概念によるガードレールが力学的には最も優れている。しかし、ガードフェンスの設置は便益最大を目標に行なわれるべきであることをわれわれは主張しているので、初期投資を大きくする傾向をもつこの種のガードレールの選択を強く支持することは、なお検討の余地があると考えられる。

また、ガードフェンス設置後、ガードフェンスによって阻止される車両に生ずる事故損害を求めするため、過去の事故統計を分析して衝突時発生する減速度と事故損害の関係を与えた。適当な自動車の運動モデルとガードフェンスの力学モデルにより、自動車がガードフェンスに衝突したときの車両に発生する減速度が求められると、本章に与えたグラフにより、そのときの事故損害を予測することができる。人身損害は、われわれの当初予期したよりも、減速度に対しかなり鈍感であったとえは、発生減速度90%のとき乗員の死亡率30%であった。

さらに、ガードフェンスの最適設計の定式化においては、ガードフェンスによる阻止が不能となり転落事故となる境界の決定があらかじめなされる必要がある。これは理論的、実験的接近も考えられるが事故の統計的分析による接近も考えられる。ここでは線形判別関数の応用による一計算例を示しておいた。

以上の諸準備のちにガードフェンスの最適設計を定式化し、ガードフェンス直角方向のエネルギー分布を考えた簡易モデル、および自動車の平面運動を考えたより実際的なモデルを示した。後者については、事故統計資料、現地観測資料から、事故車両の重量分布、速度分布、逸脱角度分布を求めそれにもつづいた数値解析計算例を示した。最後にガードフェンスは個々の路側地点において最適化されるのではなく、全国的な規格品生産であることに着目し、規格決定、設置延長モデルというべきものを示した。

これらの定式化によって、こんにちまであいまいであったガードフェンスの設置計画、設計、規格決定の本質的な意義がはじめて明確になったと考えられる。

参 考 文 献

- (1) 枝村俊郎：“ガードフェンスの最適設計”，土木技術資料Vol.8, №10, pp22~40
- (2) Mc Alpin, G.W., Graham, M.D., Burnett, W.C., Mc Henry, R.R.: “Development of An Analytical Procedure of Prediction of Highway Barrier Performance”, Highway Research Record, №.83, pp188~200
- (3) “Development of An Analytical Approach to Highway Barrier Design and Evaluation”, Bureau of Physical Research, Department of Public Works, The State of New York, Res.Rept.63-2, May 1. 1963
- (4) Graham, Malcolm D.: “New concepts in guardrail design”, Civil Engineering - ASCE, January 1967, pp64~69
- (5) 佐藤武：“衝突時の乗員の運動”，自動車技術, Vol. 19, №8, 1965, pp622~627
- (6) 松野正徳：“衝突の人体に及ぼす影響について”，日本機械学会第267回講習会，自動車内外の環境改善に関する講習会，昭和42.1.20 pp83~103
- (7) 石川健三郎：“衝突実験について”，同上，pp57~72
- (8) 石川健三郎他：“車両衝突時における乗員の安全性について”，船舶技術研究所研究発表会講演概要，運輸省船舶技術研究所，1966.5, pp12~14
- (9) Severy D.M., Mathewson J.H.: “Automobile - Barrier Impacts, Series II”, Clinical Orthopaedics, №.8, pp275~300
- (10) 青木和彦：“自動車の安全性”，自動車技術 Vol.17, №.7, 1963 pp423~432
- (11) ボールG.ホーエル，田口玄一訳：“数理統計学入門”，1954
- (12) 松野三郎，藤井治芳：“走行車両重量計と一級国道における自動車輪荷重分布について(1)”，土木技術資料Vol.7, №.2, pp1~10

結 論

ガードフェンスは、道路交通の発展にともない、近來とくそその重要性を増してきた交通安全施設の一つである。構造は一見単純で、かつまたこれにちではきわめて一般的な施設であるにかかわらず、その研究はこれまで実物実験中心にのみ進められ、——その力学的解析は最近のコーネル航空研究所の研究により飛躍的に進歩したが——、設計、設置計画に対する基本的検討はなほたふりのゆふんであった。本研究は、はじめてガードフェンスの持つべき機能全体に着目し、これまで未検討に放置されていた個々の局面をとりあげ、かつ総合し、設計と設置の全般にわたって一貫した基礎を与え、そのあるべき姿を明らかにしたものである。

まず交通事故の分析を行ない、ガードフェンス設置計画合理化の基礎を与えた。

交通安全施設がいかに重要であるとはいえ、そのみに無限の資財と努力を費やすわけにはいかない、そこにはおのづから限度がある。ガードフェンスの設計と設置も、国民経済的観点からみてその最適性が追求されねばならない。この意味において、ガードフェンスの効果の計測においては、貨幣タームによる計測が最も可及し、また必然性をもつといえる。これよりすれば、これにちまはなわられた、集積や指数の方式は本来合理的な基礎を欠くところが多いといわねばならない。また、形式的な意義のものであるが、マスコミの反応を通して事故の重さの計測、あるいは直接質問法により、社会の交通事故に対する反応の度合についても調べてみた。われわれは貨幣タームによる計測を主張するといえ、問題はまた必ずしも精神的要素を含むからである。そこには明らかにやはり幾多種の法則性が支配してあり、たとえば、いやつかん条件を与えれば、事故に対するマスコミの反応を予測することができるとである。

このようにしてガードフェンスの効果計測の程度を設定した上は、一般道路、高速道路における設置効果が費用、便益の観点から計測できることになる。一般道路の転落事故を、1、2の資料について分析した結果、相当の精度で、転落事故発生時の損害額と事故発生率を予測することができるようになった。たとえば、転落事故時の損害は、盛土高さと密接に関係し、わが国の特性として斜面に樹林のあるとき小さくなる傾向にあり、また法先が海その他水面である場合はその逆である。じつはこのことが可能でないかぎりわれわれはガードフェンスの効率よい投資は行なえないはずのものである。この場合統計的数値化は分析法としてきわめて有効であった。

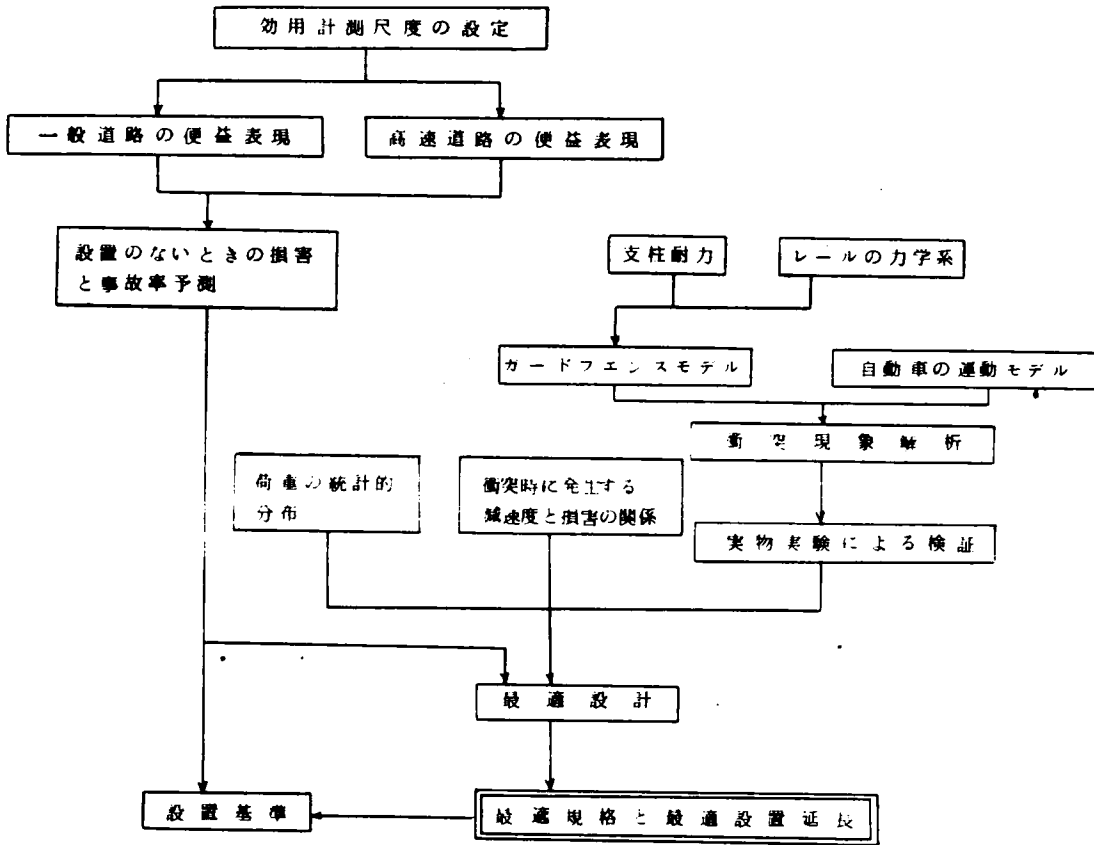
次に高速道路の中央分離帯構造に関する基礎的検討を行なった。この場合においても、一般道路と同様、まづガードフェンスを設置しない場合何が起きるかが明らかでなければならない。しかし高速道路はなお歴史浅く、帰納的方法のみによっては、一般性のある予測は行ないがたい。このため電子計算機内のシミュレーションにより、中央分離帯巾、交通量を変化させたときに正面衝突事故率がどのように変化するかを調べた。中央分離帯巾を漸次増大させるならば、正面衝突事故率は上方におうな曲線を描き、しだいに減少、0に漸近する。また名神高速道路の交通事故資料を分析し、その幾何構造、交通量と事故率の関係を明らかにした。これらにもとずけば、ガードフェンス設置を含め、分離帯構造や交通条件を変えたときの便益を計量することが可能となるであろう。

またガードフェンスの設計に関する側面については次のような問題について明らかにした。

まずガードフェンスの構造について、コーネル航空研究所および著者によって開発された力学模型計8種類を示した。すなわち大別するとレールが軸力のみを受けるもの、曲げのみを受けるもの、曲げと軸力を同時に受けるものおよび比較的簡易な表現のものである。ガードフェンスの構造解析は、その合理的設計を考える上において重要な基礎となるものである。また事故車両の衝突荷重は最終的には、支柱を経て土に伝達され吸収される。支柱の性質はゆるがせにできない。このためわが国の過去の支柱横方向抵抗実験の結果をできるだけ収集し、これに総合的な検討を加えた。その静的抵抗力は一般にくに用いられる土圧分布算式にもとずいてその傾向が説明され、また路肩からの距離と、路肩を考慮しない耐荷力計算式と実験値の比はほぼ直線関係にあることがわかった。なお関東ローム盛土で比較的大口径の支柱について新たに実験を行ない、ほぼ同様の傾向を確かめた。

ガードフェンスの進歩の上においてたとえその理論的解析が進んでも、実物実験の重要性はおとろえない。実物実験技術を概観し、土木研究所におけるウインチけん引方式による実物実験施設を紹介した。計測技術の面からすれば、映画による記録が問題の性質上最も優れており、またこの場合、写真測量技術が応用されるべきである。ガードロープの力学モデルと自動車の平面運動モデルによりわが国において行なわれたガードロープ実物実験の解析を行なった。後輪の軌跡などについて照合すると実験と計算はよく一致することがわかる。また建設省土木研究所で行なった実物実験とその解析についても述べた。オイルダンパーの特性その他を推定し、衝突時の自動車の運動、フェンスの挙動などを計算したが、しやっかんの検討を経ていちおう満足すべき程度の解析と実測の一致がみられた。これらは最適設計概念の一つの基礎を証するものである。

いま一度くり返すならば、ガードフェンスは、国民経済的にみて、一Total Loss Minimum、便益最大となるよう設置、設計が行なわれねばならない。そのため設置計画のため計算例を示し、形式選択に関しての若干の考察を行った他、次のように最適設計の定式化と計算例を示した。すなわち、その設置によりガードフェンスを破壊し転落するもの、路上に留まるものの両者の損害、初期投資、維持費用の総てを含めたとき最も効果最大となる構造が望ましい。ここに転落事故発生時の損害はすでに明らかであるから、剛なフェンスに衝突したときに発生する減速度と損害の関係が明らかでなければならない。事故統計資料を分析した結果この関係を定量的に把握したが、減速度に対し人的損害量は予想よりかなり鈍感であった。以上の資料によって便益最大の観点にたったガードフェンスの最適設計を定式化し、適当な数値を与えて計算例を示した。また規格品生産を考えた場合の定式化も行なった。



以上の全体系をとりまとめ図式化すれば上のようになる。このようにして、ガードフェンスの全般にわたる工学的体系がいろいろ樹立された。

なお解決すべき問題も多く残されている。たとえば支柱の動的耐力、最適規格決定の問題についてはなお検討を進めている。しかし本研究によってガードフェンスをいかにとりあつかうべきかの大綱の指針は基礎づけられたと考えられる。