

# 架空索道の動的理論に関する研究

佐々木 功

Isao SASAKI

On the Kinetic Theory of Aerial Cableway.

## 目 次

第1章 緒 論	133	b) 索長の変化が荷重点軌跡におよぼす影響	139
第2章 架空索道の動的理論の概説	134	第2節 実験方法	140
第3章 荷重点軌跡の理論的考察	134	第3節 実験結果および考察	141
第1節 概 説	134	i 荷重の走行速度	141
第2節 荷重が索上を走行する場合	135	ii 荷重走行による遠心力	143
第4章 荷重点軌跡の実験的研究	136	iii 荷重点の軌跡	145
第1節 実験因子について	136	a) 荷重点に働く力による影響	145
i 勾 配	136	b) 荷重の走行に伴う索線の変形による影響	148
ii 索 長	136	第4節 総 括	152
iii 索	137	第5章 結 論	153
iv 荷 重	137	参考文献	154
v 滑車の走行抵抗(摩擦抵抗)係数	137		
vi 支 間 長	138		
a) 支間長の変化が索長におよぼす影響	138		

## 第1章 緒 論

林地における立木が消費地まで輸送され、建築、土木、工業資材として利用されるまでには、旧来幾多の困難な作業すなわち伐木、造材作業後、素材丸太として山落し、谷出しなどの作業によって、ある地点まで集材木寄せされ、その後現在では集材機、索道その他によって山土場(中継土場)まで運送され、林道上をトラックによって輸送されている。木材は極めて容・重共に大で経済上運搬力の極めて低い物資であるため、地面を滑らしたり、引出すような作業では極めて抵抗が多いので、空中に吊揚げるか、あるいは車両によって搬出することが賢明な方法である。したがって自動車道は極力奥地迄延長し、他の部分では空中で作業する方法を採用すべきである。ここに架空線による搬出法の意義がある。架空線による搬出法、すなわち架空索道はその種類は極めて多いが、いずれも主索および曳索とから構成されており、主索は荷物の重量を支え搬器走行の軌道としての役目をなし、曳索は搬器の走行を安全に行うために使用されるものである。そこで旧来の研究もまず第1に主索について行われてきたのである。事実 Stephan, Duhm, 苦名, 渡辺, 加藤, などの著書, 研究報告にはかなり多数の文献が掲載されているが、これら既存の研究中主索の問題についての基礎研究を整理分類すれば、荷重が主索上の任意点で静止している場合の静力学的基礎理論によるものが殆んどである。この静力学的基礎理論は索の線形を垂曲線か、またはその近似曲線である抛物線とするかによって、垂曲線理論と抛物線理論とがある。前者の理論を根底として研究されたものに Stephan, Duhm, 藤岡, 西垣, 渡辺, 苦名, 入江の報告があり、後者の理論によったものとしては Blyth, 加藤, 真島, 堀の

報告がある。しかし、これらの理論はいずれも荷重が任意点で静止した仮想の場合の索に働く力の静力学的平衡条件により力学的に解析したものであるが、しかし実際の索道においては搬器荷重が任意点で静止することなく、主索上をかなりの速度で走行している場合が多いので荷重の走行による荷重の運動と、荷重の走行移動に伴う索線形の変化による作用とが考えられる。それ故、荷重が走行している場合の主索についての諸問題を解くためには前記の両作用を考慮しなければならないが、これらの作用した結果の荷重点の軌跡が既知なものとして解けば動力学的な索道の諸問題を解くことができる筈である。この理論によった研究としては苦名、著者、加藤のものがある。この動力学的基礎理論の根底となるものは、荷重走行軌跡曲線であるので、この軌跡曲線を理論的・実験的に考察し、とくに荷重が走行する場合の索に働く力、および荷重の変位に伴う索線形の変化による荷重点軌跡におよぼす影響を理論的・実験的に研究し、索道主索についての諸問題を動的に解くための基礎とすることを目的とした。

## 第2章 架空索道の動的理論の概説

さきに記したように架空索道の設計上の基礎理論には静力学的理論によっているが、しかし現実の索道においては荷重は任意点で静止するものではなく、支間勾配、曳索による制動などによって異なるが、ある速度をもって主索上を走行しているか、または走行しようとする力が作用している。したがって静力学的理論の基礎条件、すなわち荷重は任意点で静止しているということは、索と荷重搬器との間の摩擦力が荷重が下降せんとする力より大である場合でなければ認められない。しかし実際の索道では荷重搬器は転り摩擦係数の小さな滑車により走行するので荷重搬器を静止せしめるほど大きくはない。ここに架空索道の動的理論を考究する意義がある。

動力学的理論においても、静力学的理論と同様、できる限り問題を簡明に取扱うために、静力学的理論におけると同様、索は十分可撓であり、張力、温度差による弾性伸縮はないものと仮定して論を進める。著者は既に荷重点の軌跡が既知なる場合の動力学的理論を報告しているので本章においては省略したい。

## 第3章 荷重点の軌跡の理論的考察

### 第1節 概 説

架空索道の主索上を走行する荷重の軌跡曲線は索道の動力学的理論を展開するための前提となるものであるから、この荷重の軌跡曲線を知ることによって、索道の主索張力問題、荷重通過に際しての障害物の問題、ならびに荷重が主索支持点を通過する際の種々な問題などを解明することができるのである。すなわち換言すれば、この荷重点の軌跡の問題を解明することがとりもなおさず索道の動力学的理論を解明することとなるといっても過言でない。ここにこの動的な荷重点の軌跡についての研究の必要性があるわけであるが、この荷重点の軌跡を理論的に導くことはきわめて困難であるため、実験的に追求する以外に方策が考えられないので、現在までこの実験による研究が行われてきた。索上を走行している場合の荷重点の軌跡を一般に理論的に導くことは不可能であっても、ただ荷重の大きさ、およびその走行速度がつぎのような特殊の条件にある場合は理論的に導くことができる。

#### 特殊な条件

- 1) 索上を走行する荷重の大きさが0とみなしうる場合
- 2) 索上を走行する荷重の大きさが $\infty$ とみなしうる場合

\* 架空索道における動的理論の研究，日本林学会誌，第41巻第11号

### 3) 索上を走行する荷重の速度が0とみなしうる場合

以下節を追って上記の特殊な条件の場合における荷重点の軌跡と荷重が索上を自走している普通の場合における荷重点の軌跡について考察してみるが、既に著者は上記の条件の場合の軌跡を求める方法を報告<sup>\*</sup>しているので紙数の関係より省略し、荷重が索上を走行する場合について記す。

#### 第2節 荷重が索上を走行する場合

荷重が架空索道の主索上を走行している実際の場合の荷重点の軌跡は第2章の架空索道の動的理論のところ記したように主索の長さ、荷重の大きさ、上・下両支点間の勾配、搬器が索上を走行する際の摩擦抵抗（走行抵抗）ならびにその結果として発生する荷重走行速度などの因子によって非常に複雑な変化をするが、荷重点の軌跡と上記因子の総合された結果としての荷重速度との関係は、次式で表わされる。

$$v_0^2 = 2g \left( h_1 - \mu d_1 - \mu \int_0^{d_1} \frac{v^2}{g} \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \right) \dots\dots\dots (\text{III}-1)$$

この式において  $h_1 = y = f(x)$ ,  $d_1 = x$  であり,  $v_0^2 = V(x)$  とおけば

$$V(x) = 2g \left( y - \mu x - \mu \int_0^x \frac{V(x)}{g} \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \right) \dots\dots\dots (\text{III}-2)$$

この (III-2) 式は荷重点の軌跡  $y = f(x)$  および  $V(x)$  の2つの未知函数を含んでいるために一般には解法がない。しかし、荷重点の軌跡を求めるために、他の未知函数  $V(x)$  が何等かの条件で与えられれば、未知函数はただ1個すなわち荷重点の軌跡  $y = f(x)$  のみとなるので解くことができる。

いま、荷重の走行速度がある一定の函数で与えられたものとすれば、上式の両辺を微分して

$$\frac{dV(x)}{dx} = 2g \left( \frac{dy}{dx} - \mu - \mu \frac{V(x)}{g} \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \right) \dots\dots\dots (\text{III}-3)$$

上式中,  $\frac{dy}{dx} = F(x)$  とおけば

$$\frac{dV(x)}{dx} = 2g \left( F(x) - \mu - \mu \frac{V(x)}{g} \frac{\frac{dF(x)}{dx}}{1 + F^2(x)} \right) \dots\dots\dots (\text{III}-4)$$

上式を整理すれば

$$2\mu V(x) \frac{dF(x)}{dx} = \left\{ 2g(F(x) - \mu) - \frac{dV(x)}{dx} \right\} (1 + F^2(x)) \dots\dots\dots (\text{III}-5)$$

この (III-5) 式において  $V(x)$  がある一定の既知函数  $\varphi(x)$  であると仮定できるとすれば

$$2C_1 \varphi(x) \frac{dF(x)}{dx} = \left\{ 2C_2(F(x) - C_1) - \frac{d\varphi(x)}{dx} \right\} (1 + F^2(x)) \dots\dots\dots (\text{III}-6)$$

これをさらに変形して

$$\frac{dF(x)}{dx} = \frac{\left\{ 2C_2(F(x) - C_1) - \frac{d\varphi(x)}{dx} \right\} (1 + F^2(x))}{2C_1 \varphi(x)} \dots\dots\dots (\text{III}-7)$$

ここに  $C_1 = \mu$ ,  $C_2 = g$

\* 架空索道の荷重点の軌跡 (第9報), 日本林学会関西支部大会講演集, 第5号  
簡易索道の荷重点の軌跡 (第8報), 第64回日本林学会大会講演集  
定索長式索道の荷重点軌跡について, 日本林学会関西支部大会講演集, 第6号  
定張力式索道における荷重点の軌跡ならびに索長について, 日本林学会誌, 第38巻第9号

この(Ⅲ-7)式を解けば索上を一定の条件で走行する場合の荷重点の軌跡を求めることが可能であるが、この解法には荷重の走行速度が一定の函数で示めされるものと仮定している。したがって林業用索道においてこの仮定を認めることができるか否かについて考えてみよう。

なるほど、鉱山における鉱石の運搬、工場の石炭殻の搬送、および土木工事用の骨材の輸送などに用いられる循環単線式索道では、荷重の重さ、大きさがほぼ一定しており、かつ一定間隔で中断することなく、遅い速度(約1~2m/sec)で連続的に荷を運搬するために荷重の走行速度を一定の函数で表わしたように運行させうるかもしれないが、林業用の索道では荷重の重さおよび容積も一定せず荷重を間断なく連続的に搬送することも少いために現今まで全くこの種の索道方式が採用されていない。今後も以上の条件が満されることがないと考えられるので本方式は採用されないであろう。また仮に採用されるとしても、索道の搬出能力を低下せしめないためには、荷重を連続的に搬出させる必要が生じるので勢い運転操作上低速にならざるを得ない。したがって、荷重の走行速度が遅く、ほとんど0とみなしても差支えないと考えられるから、この場合の荷重点の軌跡は前記の荷重速度0とみられる場合の軌跡として求められる。また、林業においては、荷重すなわち林産物の木材が一般に高処にあるため、これが有する位置のエネルギーをより有効に利用することが、エネルギー経済上も学理的にも得策であるから、荷重の走行速度を適切に利用するという観点からも前記のように荷重の走行速度を一定の函数に制御することは不可能であり、不適当であると考えられる。

したがって、前記の仮定による荷重点の軌跡を求める理論的解法を用いることは不適當である。それゆえ、荷重の走行速度が一定の函数で規制しえないとするならば、前式は未知の2因子を含んでいるから一般的に解法がないので、このような場合は実験的に荷重の走行軌跡曲線を求めるしか方法がない。そこで次章以下に荷重が索上を走行する場合の荷重点の軌跡についての実験的研究を行った。

## 第4章 荷重点軌跡の実験的研究

### 第1節 実験因子について

荷重が架空索道の主索上を走行するとき、その荷重がえがく荷重点の軌跡は前記したように数個の因子——上・下両支点間の勾配、架空索の長さ、索の単位重量(索の種類)、荷重、搬器滑車の走行抵抗(摩擦抵抗)——によって影響される。したがって実験を行うにあたって、実際架設された索道、または設計資料、架空索道の解説書などから、これら因子について実際に使用されている範囲を考察し、また実験は無曳索の単荷重単線式の最も基本となる形式の索について行うのが便宜でありかつ必要である点を考慮して実験の際の諸因子の範囲を決定する。

#### i 勾 配

荷重点の軌跡を追求するのが目的であるから、荷重の正常な走行状態を把握するために、荷重の動揺が全くないような状態の勾配を用いなければならないので、簡単な予備実験を行った結果から、実験の際の勾配の範囲を20%までとした。

#### ii 索 長

索長はその索道の搬出能力、荷重点の軌跡、ならびに荷重の支点通過などに大いに関係を有する重要な一因子であり、索長の表示法には索道の設計計算に都合のよいように索長と上・下両支点間の傾斜距離との比(索長比)、支間中央における索の垂下量と支間水平距離との比(中央垂下比)、または索の中央垂下量と索長との比(撓み比)で示すものがあるが、著者は索長比を採用した。前記したように索長の長短は索の負荷力の低下、障害物の関係、荷重の動揺、搬器車輪下における索の曲げ応力の関係、索の衝撃力、搬器の脱線、支点通過の関係等を考慮して決定されるべきであるが、本実験に採用した索長比は荷重が安全に円滑に索上を走行する状態を実験的に調べた結果よりみれば索長比が

小さいほど荷重に動揺を与える原因となると考えられるエネルギーが少いので荷重の安全な走行が期待できるが、勾配の少いときには索長比を 1.010 位までにとってもよく、勾配が大きくなるにしたがって索長比を小さくするのが妥当であると考えられたので、本実験においては勾配 0.2 までであるから索長比を 1.010 までとした。

### iii 索

架空索道の主索は引張強度が大で、索表面は比較的平滑で搬器滑車との接触面が大で耐摩耗性が高く、可撓性にて取扱い容易かつ曲げ作用に対する強度が大きいものであるから、実験に使用するものも当然これらの条件に適したものが好ましいのであるが、実験に使用する場合表面が平滑であることと可撓性大にして十分垂曲線形になるようなものでなければならないし、かつ張力による弾性伸縮および温度変化による伸縮が無視できるようなものが好ましいので、これらの実験を行った結果次の諸元のものを用いた。

断	面	8.02×0.31 mm	
材	種	鋼製渦巻ばね用帯板	
重	量	13.25 g/m	
破	断	強	121.50 kg
弾性係数( $E$ )		20,400 kg/mm <sup>2</sup>	

### iv 荷 重

既往の索道の設計資料、集材機架設資料などから調査した結果、荷重を索の単位重量と上・下両支点間の水平距離との積で除したいわゆる苦名式基本形理論の荷重比で示せば大体 2.0 以下であるので、本実験においては荷重比が 2.0 以下の場合について行う。

### v 滑車の走行抵抗（摩擦抵抗）係数

林業用架空索道の荷重搬器に用いられる滑車にはほとんど球軸受が用いられており、滑車の走行抵抗はいわゆる転り摩擦による。この転り摩擦は滑り摩擦と異りその内容が複雑で、今日でもクーロンの滑り摩擦の法則のように簡単な、しかも一般に承認されている法則がなく、したがって摩擦係数もその使用状況により差異がある。その原因は固体摩擦抵抗と液体摩擦抵抗とが共存するため、その割合が複雑で全抵抗が容易に表わせないためである。一般によく研磨された金属面間においては実験値として約  $\mu=0.14\sim0.25$  であると報告されている。また液体摩擦は潤滑剤の種類、回転速度、軸圧力、温度等に関係しその最小値は実験より 0.0008~0.0089 であるといわれている。しかし現実の転り状態においては潤滑方法の不完全、潤滑剤の欠乏、圧力の過大、回転方向の変化、その他工作の不完全などのため理想的な液体摩擦にはならず固体摩擦との中間の状態となり、転りの始めと終りでは転り速度も小さく、接触面の間に潤滑剤の薄膜が生ぜず固体摩擦に近いものである。したがって球軸受入りの滑車の摩擦係数は最大値が固体摩擦係数で、最小値が液体摩擦係数の範囲にあることは当然理解される。今迄に球軸受の軸摩擦については  $\mu=0.0008\sim0.0025$  と報告されている。しかしながら著者の行った荷重点の軌跡の実験においてはその使用すべき滑車が非常に小形で軽量であることを要するので、球軸受入りの滑車のような摩擦係数の小さな滑車をうる事が困難であったので、直径 11 mm、溝巾 8.65 mm の広葉樹材（しらかし）製の滑車を用いた。この滑車の場合には球軸受のように、その軸の摩擦接触面が点接触でなく、滑車の車輪が木製であるため厳密な意味での線接触ではないが、円筒軸頭における回転運動と同様な状態と考えられる。この円筒軸頭の摩擦に関するものとして Tower, Stribeck, Lasche などの鋼製または鋳鋼製軸受において十分潤滑剤を施した状態での実験結果があり、その結果を総括すれば軸受種類、潤滑剤の種類によって異り非常に巾が広い値で約  $\mu=0.24\sim0.0021$  の範囲にある。それゆえ、この結果からいえることはそれぞれの軸受についてその都度与えられる条件に照して定めるべきであることを示し、これを一般的に決定することは不可能で

ある。また上記の諸実験も一定の荷重をうける軸が一定方向に回転する場合にのみ行われたものであって回転方向が一定していても、荷重の方向が変化したり、動揺したりする場合には事情が著しく異なり、液体摩擦の状態はほとんど望み難いものであって、Bach も平滑な滑動面に対しては  $\mu=0.05$ 、工作不良のもの、戸外に設置されるもの、取扱いの乱暴に陥り易いものに対しては  $\mu=0.08\sim 0.1$  に取るべきであると述べている。

以上は鋼または鋳鉄製の軸頸の場合であるが、著者が荷重点の軌跡についての実験に使用した滑車の車輪は広葉樹材製、車軸鋼製であるから、この場合の軸摩擦のうち固体摩擦係数に相当する摩擦係数を長沢、熊谷の研究より引用すれば約  $\mu=0.130\sim 0.150$  の間にある。

また、著者が潤滑油（菜種油）を注油して滑車の回転が十分円滑におこなわれるように予め回転摺合せさせた実験用滑車の静摩擦係数を前記索上において測定した結果は  $0.094\sim 0.105$  であった。しかしながら一般に 2 物体間の接触面間に働く動摩擦係数は静止摩擦係数よりも小さいのが当然とされているが、本実験では可撓な索上を滑車が転走するため荷重の微小な動揺、荷重が索をしごいての転走、滑車のフランジの部分と索との横摺れなどの原因によって動摩擦係数は一定でなく、あるいは静止摩擦係数よりも少く、あるいはそれよりも大きな値であることも想定される。

#### vi 支 間 長

本実験においては主索の長さ、張力その他荷重点の軌跡などを計算するには、いわゆる苦名基本形の理論、すなわち支間長  $d$  を 1 とし長さの基準として総ての長さの因子はこの支間長  $d$  を単位として換算されるので、この支間長の測量は比較的正確に行う必要がある。それゆえに支間長の測量の精度はその測量の方法および使用した器械により相違があるが一般に山岳地の距離測量の精度は  $1/500\sim 1/1000$  の範囲にあるので、本実験における支間長の測定精度は少くとも  $1/1000$  以上でなければならぬ。そこで本実験では支間長を  $3,000\text{ mm}$  としたから、実測の誤差は最大値としても  $0.1\text{ mm}$  位まで正確に測定したから、精度としては  $1/30,000$  位となっている。それゆえにこの精度の場合に荷重点の軌跡におよぼす影響を静的な理論計算によって算出してみよう。それがためには、支間長の誤差が索長におよぼす影響を調べ、ついで索長の変化量が荷重点の軌跡におよぼす影響について理論的に考えてみる必要がある。

##### (a) 支間長の変化が索長におよぼす影響

いま支間高低差  $h$ 、索長比  $A\left(=\frac{l}{u}\right)$  で架設された無負荷状態の索道において支間長  $d(=1)$  が微小量  $\Delta d$  だけの誤差があったと仮定した場合、索長  $l$  の変化量  $\Delta l$  は、 $l=A\cdot u$  であるから、支間の斜距離  $u$  の変化量  $\Delta u$  が微小であれば、 $\Delta l=A\Delta u$  となる。しかるに  $u$  は次式によって示される。

$$u^2=d^2+h^2$$

これを  $d$  について微分し  $u$  の微小量  $\Delta u$  を求めれば、 $\Delta u=\frac{d}{u}\Delta d$  となる。しかるに  $d=1$  としているから、 $\Delta u=\frac{1}{u}\Delta d$  となり、さらに  $\Delta l=\frac{A}{u}\Delta d$  となるから、本実験における支間長  $3,000\text{ mm}$  の誤差量  $\Delta d=0.1\text{ mm}$  の場合に索長  $l$  の変化する量を、高低差  $h$ 、索長比  $\frac{l}{u}$  について数値計算したものを次表 (IV-1) に示す。

IV-1 表 支間変位の索長の変化におよぼす影響

$h$	0.1			0.2		
	$l/u$	$l/u$	$l/u$	$l/u$	$l/u$	$l/u$
	1.003	1.005	1.010	1.003	1.005	1.010
$\Delta l$	$\pm 0.33 \times 10^{-4}$	$\pm 0.33 \times 10^{-4}$	$\pm 0.33 \times 10^{-4}$	$\pm 0.32 \times 10^{-4}$	$\pm 0.33 \times 10^{-4}$	$\pm 0.33 \times 10^{-4}$

$$\Delta d = \pm \frac{1}{3} \times 10^{-4}$$

この表の結果からみて、本実験における支間長の誤差の範囲内では索長の変化量は支間長の誤差量に等しい、すなわち  $\Delta l = \Delta d$  とみなしても差支えないであろう。

(b) 索長の変化が荷重点軌跡におよぼす影響

いま、支点間高低差  $h$ 、索長比  $A$ 、荷重  $Q$  で架設された負荷状態の索道の主索において次図 (V-1) のように索長  $l$  が  $\Delta l$  だけ変化した場合、荷重点の軌跡  $h_1$  の変化量  $\Delta h_1$  はつぎのようにして理論的に導かれる。

荷重点の軌跡は既報の次式を用いて

$$h_1 = \frac{2Q + l + hr_2}{r_1 + r_2} \dots\dots\dots(V-1)$$

上式において  $Q, K, h$  は与えられた定数であり

また  $r_1, r_2$  は索線形を示すパラメーター  $m$  に関する  $\frac{1}{2m}$  の函数、したがって  $l$  の変化にしたがって  $\frac{1}{2m}$  は変化するので、上式を  $l$  について両辺微分して、 $\frac{dh_1}{dl}$  について整理すれば

$$\frac{dh_1}{dl} = \frac{1 + h \frac{dr_2}{dl} - \left( \frac{dr_1}{dl} + \frac{dr_2}{dl} \right) h_1}{r_1 + r_2} \dots\dots\dots(V-2)$$

しかるに  $\frac{dr_1}{dl}, \frac{dr_2}{dl}$  は  $\frac{1}{2m} = x$  とすれば

$$\left. \begin{aligned} \frac{dr_1}{dl} &= \frac{\frac{dr_1}{dx}}{\frac{dl}{dx}} = \frac{\frac{dr_1}{dx}}{\frac{dl_1}{dx} + \frac{dl_2}{dx}} = \alpha \\ \frac{dr_2}{dl} &= \frac{\frac{dr_2}{dx}}{\frac{dl_1}{dx} + \frac{dl_2}{dx}} = \beta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(V-3)$$

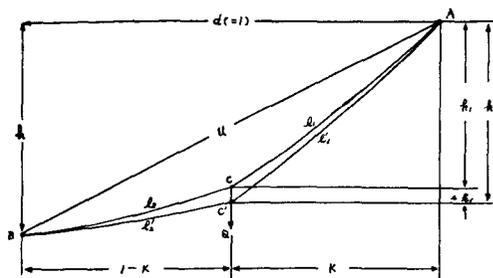
また  $\frac{dl_1}{dx}, \frac{dl_2}{dx}, \frac{dr_1}{dx}$  および  $\frac{dr_2}{dx}$  は、前同様既報の式を用いて求められるから、 $\frac{dh_1}{dl}$  の式は

$$\frac{dh_1}{dl} = \frac{1 + h\beta - (\alpha + \beta)h_1}{r_1 + r_2} \dots\dots\dots(V-4)$$

$$\text{ゆえに } \Delta h_1 = \frac{1 + h\beta - (\alpha + \beta)h_1}{r_1 + r_2} \Delta l \dots\dots\dots(V-5)$$

上式より勾配  $h$ 、荷重  $Q$ 、荷重点  $K$  が与えられたときの索長の微小変化量に対する荷重点の軌跡を示す  $h_1$  の変化量  $\Delta h_1$  が求められる。この変化量  $\Delta h_1$  は上式より  $h$  が大きくなるほど、また荷重が大きくなるほど大きくなることは一見して判るが、索長比  $\frac{l}{u}$ 、すなわち索長  $l$  が大きくなるにしたがって  $r_1, r_2, \frac{dr_1}{dx}, \frac{dr_2}{dx}$  は小さくなり、逆に  $\frac{dl}{dx}$  は大きくなるために索長比  $\left(\frac{l}{u}\right)$  が荷重点の軌跡  $h_1$  の変化量  $\Delta h_1$  におよぼす影響は複雑であるので数値計算を行った結果表 (V-2) のように索長比  $\frac{l}{u}$  が小さいほど、索長の微小変化量  $\Delta l$  に対して荷重点の軌跡  $h_1$  の変化量  $\Delta h_1$  が大きくなる。また索長の変化量に対して、軌跡  $h_1$  の変化量  $\Delta h_1$  は約 3.6~6.6 倍になっているため、この索長、換言すれば支間長  $d$  の測定に際しては十分精度を高めるように注意しなければならぬ。しかし本実験の範囲内では 0.3~0.6 mm の値であるから大体省略してもよいであろう。

V-1 図



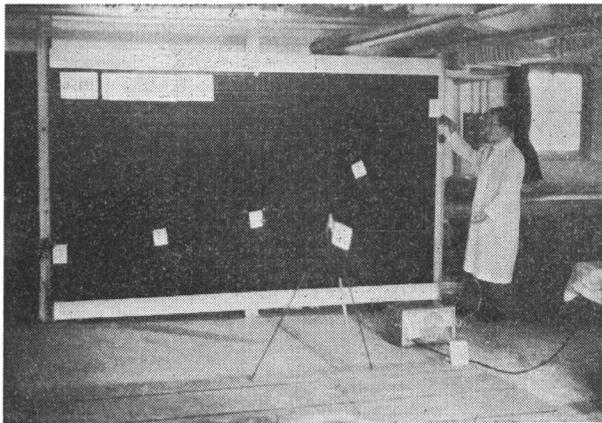
IV-2表 荷重点の位置と索長の変化

$l/u$	1.003	1.005	1.010
$r_1 (=r_2)$	59.896564	46.438901	32.833629
$\frac{dr_1}{dx} (= \frac{dr_2}{dx})$	-1791.948037	-1077.419555	-538.626467
$\frac{dl_1}{dx} (= \frac{dl_2}{dx})$	0.091475	0.118043	0.166644
$\frac{dh_1}{dl}$	6.552196	5.088395	3.616067
$\Delta h_1$	$\pm 0.000218$	$\pm 0.000170$	$\pm 0.000121$

$$h : 0.2 \quad Q : 1.887 \quad k = \frac{1}{2} \quad \Delta l = \frac{1}{3} \times 10^{-4}$$

## 第2節 実験方法

荷重が主索上を自由に走行しているときの荷重点の軌跡を計測する方法としては、荷重点の軌跡を索に対して水平方向から見透して直接物指で計測する方法、荷重の水平射影を平行光線により直接印画紙に焼付ける方法、写真撮影により計測する方法の3者が考えられるが、前2者は予備試験の結果静的な荷重の場合には都合がよいが、動的な荷重には適当でなく、写真撮影により計測する方法が最も精度が高くかつ操作も簡便であるのでこれを採用した。すなわち、前記予備考察の結果より径間長を3,000 mm, 勾配0.1~0.2, 荷重比0.5~1.887, 索長比1.010以下の諸因子を組合せ、次の写真の



- |                       |         |
|-----------------------|---------|
| 1 滑車と荷重               | 5 発光ランプ |
| 2 上方支点                | 6 写真機位置 |
| 3 下方支点                | 7 格子壁面  |
| 4 Multi Storobo-Scope | 8 索     |

ように前記の鋼帯板を索として用いた小型の模形索道を径間全面に一辺10 cmの方眼をもった垂直な壁面の直前に暗室内で架設し、荷重の走行を一定間隔(10c/s)で閃光して荷重に光を与える表(IV-3)のような諸元をもった超高速照度連続放電装置(Multi Storobo-Scope)を用い、この閃光の荷重滑車からの反射光を径間中央より水平に壁面から4.20 m離れ、開放された写真機により撮影し、この原版を幻燈機で再び正確に修正した1 mm方眼紙上に原寸大に部分拡大し、上方支点を原点とし、水平線を $x$ 軸、これに垂直な方向を $y$ 軸として荷重点の位置( $x, y$ )をノギスによって $\frac{1}{20}$  mmまで計測した。

したがって計測精度としては $\frac{1}{6} \times 10^{-4}$ であるので前記の支間長の項で考察した精度以上であるから十分であると考えられる。

IV-3表 ウエスト電気株式会社製

発行周波数範囲	5~25, 25~75, 75~250 c/s 三段切換
閃光時間	最大 100 $\mu$ s
電源入力	100~150 W AC 100 V (50~60 c/s)
放電管入力	120 W

なお、この実験装置は閃光時間が短く、かつ一定間隔で閃光するため、荷重点の瞬間位置が各閃光

瞬間ごとに撮影される結果、1閃光時の荷重点の位置と、次の閃光時の荷重点の位置との変位量を計測すれば、この変位量に直接閃光周波数(c/s)を乗ずることによってその荷重点附近における平均速度が算出される。

**第3節 実験結果および考察**

架空索道の主索上を走行する荷重点の軌跡に影響する因子としては前記したように荷重点に作用する力——荷重、荷重の遠心力、滑車の走行摩擦抵抗——、ならびに走行荷重の変位による索の変形による抵抗力——索線形の変化に対する抵抗、索の弾性伸長に対する抵抗——があるのでこれらの力について理論と実験の結果とより考察してみる。

**i 荷重の走行速度**

荷重の走行速度は前記のように架空索道の動的理論における遠心力の影響を論ずるにあたって必要であることは勿論であるが、荷重の走行速度を把握することによって、実際の荷重走行速度を適度にならしめるための索道の設計をなし、もって滑車の制動不能による事故を除き、架空線運材作業の安全をはかるためにも必要である。それゆえに架空索道の荷重の走行速度について理論的に考察したものを著者はすでに報告している。

荷重点の速度は次式によって与えられるから、この式を  $x$  について微分すれば

$$\frac{d(v^2)}{dx} = 2g\left(\frac{dy}{dx} - \mu\right) - 2\mu \left( v^2 \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \right) \dots\dots\dots (IV-6)$$

をうる。

いま、上式 (IV-6) を簡単な形で示めせば

$$\frac{dV}{dx} + \varphi(x)V = \theta(x) \dots\dots\dots (IV-7)$$

ここに

$$\left. \begin{aligned} V &= v^2 \\ \varphi(x) &= 2\mu \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \\ \theta(x) &= 2g\left(\frac{dy}{dx} - \mu\right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (IV-8)$$

しかるに、上式 (IV-8) は一階線状微分方程式であるから

$$V = e^{-\int_0^x \varphi(x)dx} \left\{ \int_0^x \theta(x)e^{\int_0^x \varphi(x)dx} dx + c \right\} \dots\dots\dots (IV-9)$$

上式において  $\int_0^x \varphi(x)dx = A$  とすれば

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{e^A} \left\{ \int_0^x \theta(x)e^A dx + c \right\} \\ &= \frac{1}{e^A} \left\{ \int_0^x e^A \left( 2g\frac{dy}{dx} - 2g\mu \right) dx + c \right\} \dots\dots\dots (IV-10) \end{aligned}$$

式 (IV-10) において、もし  $x$  の値の如何にかかわらず  $A$  すなわち  $\int_0^x \varphi(x)dx$ 、換言すれば  $e^A$  が近似的に一定とみられるならば、上式はさらに

$$\begin{aligned} V &= \int_0^x \left( 2g\frac{dy}{dx} - 2g\mu \right) dx + c \\ &= 2g(y - \mu x) + c \dots\dots\dots (IV-11) \end{aligned}$$

となる。いま  $x=0$  のとき  $y=0$  であるから、同時に  $V=0$  となるので  $c=0$  である。したがって上式 (IV-11) は

$$V=2g(y-\mu x) \dots\dots\dots(IV-12)$$

となる。すなわち荷重の走行速度は、荷重点の軌跡  $y=f(x)$  と滑車の走行抵抗係数にのみ関係することとなり、非常に簡単に計算しうる。しかしこの理論において  $e^A$  が近似的に一定とみなしている仮定があるので、この仮定を検討する必要があるのでつぎに検討してみる。

いま、索長、上下両支点の勾配、ならびに荷重比が大きくなればなる程当然荷重点の  $y$  座標は大となるから荷重の走行速度が大となることは自明の理である。したがって  $y$  が最大の場合すなわち荷重が  $\infty$  とみなされる場合——荷重走行軌跡曲線  $y=f(x)$  が楕円曲線——で考えればよいから、荷重の走行軌跡曲線  $y=f(x)$  が既報の式で与えられるものとする。しかるとき  $A$  は

$$A = \int_0^{\infty} \varphi(x) dx$$

$$= \int_0^{\infty} 2\mu \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx$$

$$= \int_0^{\infty} 2\mu \frac{-\frac{1}{4} \frac{l(l^2-u^2)^2}{\left[(l^2-u^2)\left\{\frac{1}{4}(l^2-h^2) - \left(\frac{1}{2}-x\right)^2\right\}\right]^{\frac{3}{2}}}}{1 + \left[ \frac{h}{l^2-h^2} + \frac{l(l^2-u^2)\left(\frac{1}{2}-x\right)}{(l^2-h^2)\sqrt{(l^2-u^2)\left\{\frac{1}{4}(l^2-h^2) - \left(\frac{1}{2}-x\right)^2\right\}}} \right]^2} dx \dots\dots\dots(IV-13)$$

であるから、索長および上下両支点の勾配を実用の最大限にとって  $l/u=11.010$ ,  $h=1.0$  の場合の数値計算を行えば、それ以内の範囲では適用可能といえる。なお計算には滑車の走行抵抗係数  $\mu$  は一定とみなして行い、実際に使用されている滑車は鋳鋼製でボールベアリング入りであるので、その軸摩擦係数は約 0.003 であるが、その滑車の走行抵抗係数はこれよりも大きく約 10 倍と仮定して、数値計算すれば、その結果は表 (IV-4) のとおりである。

IV-4 表 A の 数 値 計 算 d=1

$x$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$y$	0.0468	0.2026	0.3251	0.4369	0.5415	0.6404	0.7338	0.8214	0.9019	0.9716	1.0080
$A$	0.000	0.023	0.026	0.029	0.030	0.032	0.034	0.036	0.039	0.045	0.157
$e^A$	1.000	1.023	1.026	1.029	1.030	1.032	1.035	1.037	1.040	1.046	1.170

この数値計算の結果より  $e^A$  をみると、上・下両支点附近では開きがあるが、 $x$  が 0.1~0.9 の範囲ではほとんど近似的に等しいとみられる。したがって前記の仮定は妥当性のあるものと考えられる。それゆえ、荷重点の軌跡が既知の場合には前式より簡単に任意点の速度が求められることとなる。しかし前記の理論では滑車が走行中のとき、その動摩擦係数が一定であるという仮定を使っているが、果して実際の索道においては如何なるものであろうか。滑車のころがり摩擦係数については前記したように実際にはボールベアリング入りの滑車を用いているので滑車が全線を走行中でも幾分の差はあると思うが、ほとんど一定とみなしてもよいであろう。なぜならつぎに記す三宅の実験においてもほぼ一定とみなしうるからである。三宅が滑車の走行抵抗について実験した結果によれば一定の条件滑車は輪径 8.1 mm, 軸径 1.6 mm 軸受なしの小形滑車, 線径 1.2mm, 亜鉛引鉄線, 荷重 190 g, 支間長 20.161 m, 支間勾配 5°55', 垂下比 0.022——のもとで滑車の走行抵抗係数を測定した結果、索長比が小さいほど、すなわち無負荷時の索張力が強いほど滑車の走行中の曲線抵抗が少いために走行

抵抗は小さく、滑車を架空索道の上部支点から静かに滑降させると、当初は曲線抵抗と速度小なるための抵抗で走行抵抗は大きく、速度の増加と曲線抵抗の減少で径間中央部では走行抵抗は小さくなりほぼ一定で、下部支点附近は再び曲線抵抗の増大によって再び走行抵抗は増し、支間上部で凹形、下部で凸形の背向曲線をなすと述べている。そこで著者は本実験の範囲内での条件として上限、下限と考えられるものの滑車の走行速度を前記実験方法の項で記した方法により測定した結果は次表(Ⅳ-5) 1, 2のとおりである。なおこの走行速度より前式によって滑車の走行抵抗係数を逆算したものを記す。

Ⅳ-5表(1)  
*h* 0.1    *W/qd* 0.50    *l/u* 1.003    *d* 3.000 mm

<i>x</i> (mm)	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700
<i>v</i> (cm/sec)	109.88	143.80	176.29	181.03	196.42	200.99	200.08	192.44	181.73
$\mu$	0.040	0.036	0.032	0.035	0.043	0.045	0.049	0.055	0.057

Ⅳ-5表(2)  
*h* 0.2    *W/qd* 1.887    *l/u* 1.010    *d* 3.000 mm

<i>x</i> (mm)	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700
<i>v</i> (cm/sec)	186.78	227.26	258.45	280.37	298.20	307.83	310.27	309.60	303.56
$\mu$	0.059	0.050	0.045	0.040	0.043	0.048	0.059	0.066	0.073

この結果から判るように三宅の報告と同様な滑車の走行抵抗係数の変化を示している。また動摩擦係数(走行抵抗係数)は当然のことながら索長比、荷重比が小さいほど曲線抵抗が小さいので小さくなっている。なお滑車の走行抵抗係数は静力学的に最大張力を与える荷重点の位置すなわち支間中央部においてはほぼ一定しておくので前記の仮定も厳密な意味でない場合には成立つものと思われる。したがって荷重点の走行速度は荷重の走行軌跡曲線が既知なときは前式より算出できる。

ii 荷重走行による遠心力

荷重点の軌跡に影響すると考えられる走行荷重の遠心力 *P* については第2章において記したように荷重点の軌跡  $y=f(x)$  が既知の場合には次式(Ⅳ-14)で与えられる。

$$P = \frac{W}{g} v^2 \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} \dots\dots\dots(Ⅳ-14)$$

上式中の荷重の走行速度の2乗 ( $v^2$ ) は前記のように近似的に  $v^2 = 2g(y - \mu x)$  と考えられるから、上式はさらに

$$P = 2W(y - \mu x) \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} \dots\dots\dots(Ⅳ-15)$$

上式より荷重走行による遠心力は荷重 *W*、荷重点の *y* 座標が大きくなるにしたがって大となり、滑車の走行抵抗  $\mu$  が小さいほど大となるといえる。また式中の荷重走行軌跡曲線の微分を含んだ。

$$\frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}$$

は荷重走行軌跡曲線の曲率すなわち、その曲率半径  $\rho$  の逆数  $\frac{1}{\rho}$  を示すから、荷重が大きいほど  $\rho$  は小さくなり、また索長比が大きいほど  $\rho$  は小さくなることは自明の事であるので荷重が大きく、索長

比が大きいほど遠心力  $P$  は大きくなる。そこで荷重が  $\infty$  とみなされる場合の走行荷重による遠心力を本実験の範囲内で数値計算してみれば、その結果は次表 (IV-6) 1, 2, 3, 4 の通りである。

IV-6表(1)

$h$  0.10  $l/u$  1.003  $d=1$

$x$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
$y$	0.0339	0.0515	0.0660	0.0784	0.0892	0.0983	0.1057	0.1112	0.1134
$v^2/2g$	0.0336	0.0509	0.0651	0.0772	0.0877	0.0965	0.1036	0.1088	0.1107
$1/\rho$	0.6699	0.2899	0.1958	0.1612	0.1525	0.1627	0.1998	0.3001	0.7115
$P/W$	0.0450	0.0295	0.0255	0.0249	0.0267	0.0314	0.0414	0.0653	0.1575

IV-6表(2)

$h$  0.10  $l/u$  1.010  $d=1$

$x$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
$y$	0.0545	0.0782	0.0961	0.1104	0.1216	0.1300	0.1353	0.1370	0.1329
$v^2/2g$	0.0542	0.0776	0.0952	0.1092	0.1201	0.1282	0.1332	0.1346	0.1302
$1/\rho$	1.1026	0.5097	0.3507	0.2924	0.2780	0.2973	0.3634	0.5414	1.2231
$P/W$	0.1195	0.0791	0.0668	0.0638	0.0668	0.0762	0.0968	0.1457	0.3185

IV-6表(3)

$h$  0.20  $l/u$  1.003  $d=1$

$x$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
$y$	0.0448	0.0727	0.0972	0.1197	0.1403	0.1594	0.1768	0.1920	0.2038
$v^2/2g$	0.0445	0.0721	0.0963	0.1185	0.1388	0.1576	0.1747	0.1896	0.2011
$1/\rho$	0.6250	0.2836	0.1924	0.1591	0.1516	0.1621	0.2002	0.3037	0.7052
$P/W$	0.0556	0.0409	0.0371	0.0377	0.0421	0.0511	0.0699	0.1151	0.2836

IV-6表(4)

$h$  0.20  $l/u$  1.010  $d=1$

$x$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
$y$	0.0667	0.1005	0.1285	0.1526	0.1737	0.1918	0.2069	0.2181	0.2234
$v^2/2g$	0.0664	0.0999	0.1276	0.1514	0.1722	0.1900	0.2049	0.2157	0.2207
$1/\rho$	1.1075	0.4856	0.3380	0.2846	0.2726	0.2942	0.3628	0.5478	1.2640
$P/W$	0.1470	0.0970	0.0863	0.0862	0.0939	0.1118	0.1487	0.2363	0.5579

この数値計算には実際に索道に用いられているボールベアリング入りの滑車の走行抵抗係数  $\mu=0.003$  を用い、かつ滑車が走行中でもこの走行抵抗係数は変化しないものとした。したがって前記のように滑車の走行中はその走行抵抗係数は必ずしも一定ではなく、若干変化するものであり、また走行抵抗係数は最小値をとっているので実際にはこの遠心力  $\frac{P}{W}$  の値は最大値を示しているものと考えてよい。しかしこの結果から判るように架線の支間上部においては軌跡曲線の彎曲が強くしたがってその曲率半径が小さいために遠心力は大きく、滑車が支間中央部に近づくにしたがって遠心力は小となり支間中央前において最小となり、以後漸次増加し支間下部ことに下部支点附近で軌跡曲線は再び彎曲が大となるので遠心力も最大値を示す傾向にある。また索長比、勾配の増加に伴って、荷重の走行速度、荷重軌跡曲線の彎曲が急になるため遠心力も増加し、その増加は勾配の影響よりも索長比の増加による影響の方が大きいと思われる。

上記の数値計算には荷重走行軌跡曲線を荷重無大とみなした楕円曲線を用い、また滑車の走行抵抗係数を一定とみなしているの、実験の範囲内で上限とみられる条件——勾配  $h0.2$ , 索長比  $\frac{l}{u}1.010$ , 荷重比  $1.887$ ——の場合について実験結果から考察してみよう。まず荷重走行軌跡曲線と楕円曲線と比較すれば表 (IV-7) のとおりである。

IV-7表  
 $\bar{y}$ : 実験値  $y_e$ : 楕円軌跡  $\Delta y: y_e - \bar{y}$   $d: 3,000$  mm

$x$ (mm)	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700
$\bar{y}$ (mm)	184.70	295.50	379.85	454.80	518.20	571.85	618.75	649.45	666.25
$y_e$ (mm)	199.97	301.57	385.47	457.93	521.08	575.48	620.56	654.20	671.14
$\Delta y/y_e(\%)$	2.64	2.01	1.46	0.68	0.55	0.63	0.29	0.73	0.73

この表よりみれば、荷重点の軌跡曲線と荷重無限大とみなした場合の荷重軌跡曲線とは支間中央部から下部にかけて類似したものとみてもよいであろう。したがって前掲の表で与えられる  $\frac{1}{\rho}$  と前表で与えられる  $v$ , および  $\mu$  をもって遠心力を計算してみると次表 (IV-8) のとおりである。

IV-8表  
 $h 0.2$   $W/q \cdot d 1.887$   $l/u 1.010$   $d 3,000$  mm

$x$ (mm)	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700
$y$ (mm)	184.70	295.50	379.85	454.80	518.20	571.85	618.75	649.45	666.25
$\mu$	0.059	0.050	0.045	0.040	0.043	0.048	0.059	0.066	0.073
$v$ (cm/sec)	186.78	227.26	258.45	280.37	298.20	307.83	310.27	309.60	303.56
$1/\rho$	0.00037	0.00016	0.00011	0.00010	0.00009	0.00010	0.00013	0.00018	0.00042
$P/W$	0.1307	0.0854	0.0763	0.0762	0.0852	0.0948	0.1267	0.1790	0.3959

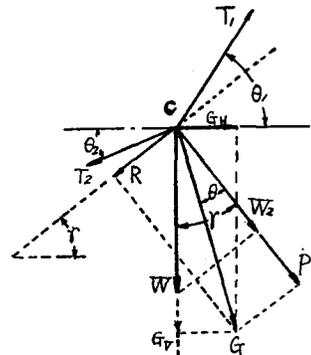
この表より判るように、本実験の範囲内においては、荷重走行による遠心力 ( $P$ ) は荷重点によって差があるが最大  $0.4W$  である。なお静力学的理論における最大張力の発生する荷重点の位置、すなわち支間中央に荷重があるときの荷重走行による遠心力は約  $0.085W$  である。

iii 荷重点の軌跡

(a) 荷重点に働く力による影響

荷重が架線上を走行している場合の荷重走行軌跡曲線に影響する力としては第2章に記したが、次図 (IV-2) に示すように、荷重点  $C$  における力の状態について再考してみると、荷重点  $C$  において荷重の走行によって索に作用する外力は  $W_2$ ,  $P$  および  $R$  であり、またこのときの索には  $T_1$ ,  $T_2$  の張力が生じて外力との釣合いが保たれるわけである。したがって、荷重  $W$  の走行によって索が下方に垂下させられるための外力は  $W_2$ ,  $P$  および  $R$  であるから、これら3力の合力  $G$  が荷重点  $C$  に作用したと同じ結果となると考えられる。

IV-2図



いま、静力学的理論におけるごとく静的に荷重  $W$  が索に作用した場合は荷重  $W$  が静止している場合であるから、滑車が走行しないという条件下にあるため、次の条件式が成立つはずである。

$$W \sin \gamma \leq R$$

$$\leq \mu(W_2 + P) \dots\dots\dots(IV-16)$$

しかるに速度  $0$  であるから、荷重走行による遠心力  $P$  は  $0$  となるので上式は

$$\sin \gamma \leq \mu \cos \gamma \dots\dots\dots(IV-17)$$

となり、これより $\mu$ は

$$\mu \geq \frac{\sin \gamma}{\cos \gamma} = \tan \gamma \quad \dots\dots\dots (IV-18)$$

となる。

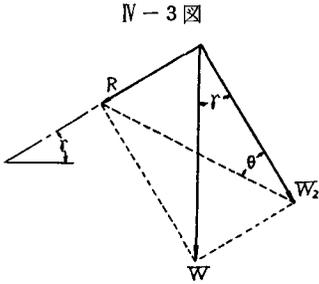
いま滑車の走行抵抗係数 $\mu$ を  $\tan \theta$  で示めせば

$$\tan \theta \geq \tan \gamma \quad \dots\dots\dots (IV-19)$$

したがって

$$\theta \geq \gamma \quad \dots\dots\dots (IV-20)$$

すなわち滑車の摩擦角 $\theta$ は荷重走行軌跡曲線の切線 $\gamma$ に等しいか、あるいはそれ以上でなければならない。この場合の力の作用を考えてみれば図(IV-3)のようになり、合力 $G$ と荷重 $W$ とは合致するはずである。



しかるに、荷重が走行する場合には少くとも次の条件が成立するはずである。

$$W \sin \gamma \geq R \geq \mu(W \cos \gamma + P) \quad \dots\dots\dots (IV-21)$$

式中荷重走行による遠心力 $P$ は荷重の走行速度と荷重点の軌跡の曲率半径によって変化するが

$$P = \frac{W}{g} \frac{v^2}{\rho} \quad \dots\dots\dots (IV-22)$$

で示めされる。

そこでもし索長比すなわち索長がきわめて短くなり荷重点の軌跡の曲率半径 $\rho$ が大きくなり、かつ荷重の走行速度 $v$ が小さくなって、それぞれの極限  $\rho = \infty$ ,  $v = 0$  とみなしうるほどの状態となつたとすれば前記の式より

$$W \sin \gamma \geq \mu W \cos \gamma \quad \mu \leq \tan \gamma \quad \dots\dots\dots (IV-23)$$

となり、一般に滑車の走行抵抗係数 $\mu$ は極めて小さい値になるように製作して不用の抵抗を少くしようと努めるから

$$\gamma \geq \theta \quad \dots\dots\dots (IV-24)$$

であり、滑車の走行摩擦角は荷重点の軌跡の切線角よりも小さいので、この場合の力の作用図をえがけば図(IV-4)のとおりとなる。

いま荷重が索道の主索上を走行している場合の合力 $G$ を垂直、水平の2分力  $G_V$ ,  $G_H$  に分解すれば

$$G_V = G \cos(\gamma - \theta) \quad \dots\dots\dots (IV-25)$$

$$G_H = G \sin(\gamma - \theta) \quad \dots\dots\dots (IV-26)$$

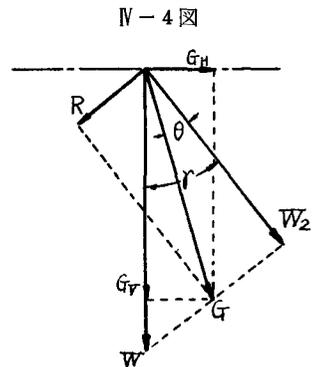
であり、また合力 $G$ は

$$G = \frac{W \cos \gamma + P}{\cos \theta} \quad \dots\dots\dots (IV-27)$$

であるから  $G_V$ ,  $G_H$  はそれぞれ

$$G_V = (W \cos \gamma + P) \frac{\cos(\gamma - \theta)}{\cos \theta} \quad \dots\dots\dots (IV-28)$$

$$G_H = (W \cos \gamma + P) \frac{\sin(\gamma - \theta)}{\cos \theta} \quad \dots\dots\dots (IV-29)$$



となり、 $G_V$  は索を垂直方向へ、 $G_H$  は索を水平方向へ移動させんとする働きをなす。そこで静力学的な場合の荷重点の軌跡と動力学的な荷重点の軌跡とを比較するには、後記するように  $G_H$  はきわめて小さな値であるので  $G_V$  と  $W$  とを比較してみればよいであろう。 $G_V$  を  $W$  で除した値  $\frac{G_V}{W}$  は

$$\frac{G_V}{W} = \left( \cos \gamma + \frac{P}{W} \right) \frac{\cos(\gamma - \theta)}{\cos \theta} \dots\dots\dots (IV-30)$$

であり、これについて考えてみよう。

この値  $\frac{G_V}{W}$  は滑車の走行摩擦角  $\theta$ 、荷重点の軌跡の切線角  $\gamma$ 、および荷重の走行による遠心力  $P$  により影響されるので、次にこれらの変化についてそれぞれ考えてみる。

滑車の走行摩擦係数または摩擦角は前記したように一般に滑車の走行によって変化がないものと考えられていたが、しかし実験の結果（前掲表）からみても支間上部、支間中央部、支間下部において大、小、最大と背向曲線形をとって変化しているので、 $\frac{G_V}{W}$  は  $\cos \theta$  が小さいほど、すなわち  $\theta$  が大きいほど大となるから  $\frac{G_V}{W}$  は滑車の走行摩擦角からのみみれば下方支点附近で最大となる。

つぎに荷重点の軌跡の切線角  $\gamma$  は後記の荷重走行軌跡曲線の測定値からみても、支間の上部において最大であり、荷重が支間下部に向って漸次小となり、最小値 0 に達して再び増加する形をとるから、一応  $\cos \gamma$  が最大すなわち  $\gamma=0$  の荷重点において  $\frac{G_V}{W}$  が最大となるように思われるが  $\frac{\cos(\gamma - \theta)}{\cos \theta}$  によって影響されるので後に数値計算を行ってみる。

さらに荷重の走行による遠心力  $P$  は前記したように上方支点附近で少々大きく、支間中央より幾分前方において最小となり以後下部支点まで徐々に増し、下方支点附近において最大値をとるような変化を示めすので、 $\frac{G_V}{W}$  は支間下部において大となると考えられる。以上の考察より  $\frac{G_V}{W}$  は支間下部において最大値をとると考えられるが、次に本実験の範囲内で最大値を示めす次の条件の架線の場合について数値計算してみよう。その結果は次表（IV-9）に示す。

また、同時に  $\frac{G_H}{W}$  についても計算したものを併記する。

IV-9 表

$h$  0.2     $W/qd$  1.887     $l/u$  1.010     $d$  3000 mm

$x$ (mm)	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700
$y$ (mm)	185.20	296.85	379.85	454.80	518.20	571.85	618.75	649.45	666.25
$\tan \gamma$	0.385	0.304	0.259	0.225	0.196	0.166	0.133	0.088	0.007
$\tan \theta$	0.059	0.050	0.045	0.040	0.043	0.048	0.059	0.066	0.073
$P/W$	0.1307	0.0854	0.0763	0.0762	0.0852	0.0948	0.1267	0.1790	0.3959
$G_V/W$	1.0158	1.0129	1.0226	1.0357	1.0552	1.0746	1.1171	1.1796	1.3965
$G_H/W$	0.3235	0.2525	0.2173	0.1888	0.1609	0.1288	0.0814	0.0240	0.0937

この数値計算結果からみても判るように滑車の走行抵抗係数の変化は他の荷重点の軌跡の切線角  $\gamma$  や、荷重走行による遠心力  $P$  の変化に比して小さいから、 $\frac{G_V}{W}$  の値はほとんど  $\gamma$ 、 $P$  に支配されていて、支間上部から下部に荷重が走行するにしたがって徐々に大となり、 $\gamma$  が最小値を、遠心力  $P$  が最大値を示めす荷重点の位置附近で最大値を示めす。本実験の範囲内で最大値を与えていると思われる数値として、荷重の約40%増しの値を示めしている。なお静力学的に索張力が最大を示めす荷重点の位置、すなわち支間中央部においては荷重の約6%増しの値を示している。

また、索を水平方向に移動せしめんとする  $G_H$  は上部支点附近で最大であり、荷重点の軌跡の切線角の減少にしたがって徐々に減少している。しかしこの力は最大約  $0.3W$  であり、支間中央部においては約  $0.16W$  であって比較的小さなものである。

したがって荷重点の力のみからみた荷重走行軌跡曲線は静力学的な荷重点の軌跡よりも多小下方に位置する筈である。

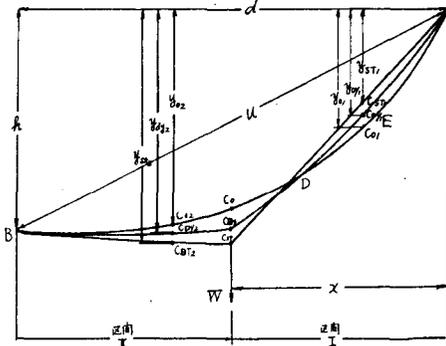
(b) 荷重の走行に伴う索線の変形による影響

任意の荷重点において索に作用する力が荷重点の軌跡に及ぼす影響について前記したが、荷重の走行に伴う荷重位置の変化に対して索の線形の変化、索張力の変化による弾性変形などの抵抗を生じ、その影響によって荷重点の軌跡が影響をうけることは当然考えられるので、この影響について考察してみよう。

荷重が上部支点を離れて、索上を走行し始めるや否や直ちに前記の外力の影響をうけて、その外力に対応する静力学的な荷重点の位置に移らんとするが、この働に対して索はその慣性力(索重量)に抗って無負荷時の索線形から負荷時の索線形に変わろうとし、また同時に索張力も無負荷時の張力から負荷時の張力に変わろうとするために、索の弾性伸長が起りその抵抗を生ずる。したがってこれらの抵抗のために荷重が走行する場合の荷重点はこれらの抵抗が全くない状態で理論的に計算された静力学的な荷重点の位置より上方に位することは当然考えられる。

いま次図(IV-5)において無負荷時の主索の任意点  $C_0(x, y_0)$  が走行荷重  $W$  の影響をうけて  $C_{Dy}$

IV-5 図



$(x, y_{Dy})$ , また荷重  $W$  が静力学的に作用したときと同じく  $D_{St}(x, y_{St})$  に変位したものとすると、荷重  $W$  が  $C_{Dy}$  から  $C_{St}$  までにする仕事  $E$  は走行荷重  $W$  が索の変形に費やした仕事と等しくなければならぬ筈である。すなわち索の線形の変化に要するエネルギーを  $E_w$ 、索の弾性変形に要するエネルギーを  $E_e$  とすれば

$$E = E_w + E_e \dots\dots\dots(IV-31)$$

である。しかるに  $E$  は  $W \cdot \overline{C_{Dy}C_{St}}$  であるから

$$\begin{aligned} E_w + E_e &= W \cdot \overline{C_{Dy}C_{St}} \\ &= W(y_{St} - y_{Dy}) \dots\dots\dots(IV-32) \end{aligned}$$

しかるに

$$E_w = q \left\{ \int_0^x (y_{Dy1} - y_{01}) dx + \int_x^d (y_{Dy2} - y_{02}) dx \right\} \dots\dots\dots(IV-33)$$

$$E_e = \sum_{l_1=0}^{l_1} \frac{(T_{Dy1} - T_{01})^2 \Delta l_1}{A \cdot E} + \sum_{l_2=0}^{l_2} \frac{(T_{Dy2} - T_{02})^2 \Delta l_2}{A \cdot E} \dots\dots\dots(IV-34)$$

- ここに  $\left\{ \begin{array}{l} q = \text{索の単位重量} \\ A = \text{索の断面積} \\ E = \text{索の弾性係数} \end{array} \right.$

- $l_1, l_2$  : 荷重点で2分された線分で上・下両支点側のものをそれぞれ  $l_1, l_2$  とする。
- $T_{Dy1}, T_{Dy2}$  : 任意点における  $l_1, l_2$  線分に働く負荷時の索張力。
- $T_{01}, T_{02}$  : 同上の任意点における  $l_1, l_2$  線分に働く無負荷時索張力。
- $\Delta l_1, \Delta l_2$  : 線分  $l_1, l_2$  の微小長さ

前2式より  $E_w, E_e$  を求めることができれば、ただちに前述の式より  $y_{Dy}$  が求められるわけであるが、 $E_w, E_e$  とともに  $y_{Dy}$  の関数であって前記の方程式を解くことは不可能である。したがって荷重走行時の荷重点の位置  $y_{Dy}$  を直接測定するか、あるいは支点  $A$  か  $B$  の張力を測定して間接的に  $y_{Dy}$  の値を算出するかの方法を採らねばならない。しかるに支点張力の測定法にはばねを利用した機械的な張力計か、または電気的な電気抵抗線歪計を用いる方法があるが、いずれも室内実験のように小規模な索道実験に使用するには精度が低いので不適當と思われるので、前者の荷重走行軌跡曲線を写真に

より測定する方法をとった。

いま、 $y_{Dy}$  と同じ大きさの垂下を与える仮想静荷重を  $W'$  とすれば、この  $W'$  と  $W$  との比  $\frac{W'}{W} = w$  を荷重走行に伴う索変形による荷重補正係数と呼ぶことにしよう。この荷重補正係数を実験的に求めておけば静力学的な荷重点の軌跡の計算法で動力学的な荷重点の軌跡を求めることができる。すなわち  $wW$  に相当する荷重が静力学的に作用したものとしての荷重点の軌跡とみることができる。そこでこの荷重補正係数  $w$  はどのような値をとるか吟味してみよう。

いま、 $w$  が小さいということは荷重走行による索線の変形に使われる仕事が多いことを示すから、荷重の  $x$  位置が一定な場合に  $y_{Dy}$  が小さいということである。すなわち、換言すれば前記の式において  $y_{St} - y_{Dy}$  が大きいことを意味するから  $W$  が一定なれば、 $E_w + E_e$  が大きいことになる。しかるに  $E_w$ ,  $E_e$  は前2式で示めされるから、それぞれについて考察してみよう。

まず、 $E_w$  は前式において  $q$  は索の単位重量であり一定値であるから、 $E_w$  が最大になるためには式の { } が最大となればよい。しかるに { } は前図において曲線  $AC_0B$  と曲線  $AC_{Dy}B$  との交点を  $D$  とすれば面積  $ADE$  と面積  $BC_0DC_{Dy}$  との差で示めされるから、これは面積  $ADC_{Dy}B$  と面積  $AEDC_0B$  との差で置換えられる。しかるに曲線  $AEDC_0B$  は無負荷索の線形であるから索長比、勾配が与えられれば一定であるから、面積  $ADC_{Dy}B$  が最大となるような荷重の  $x$  位置を求めればよいこととなる。荷重  $W$  が比較的大きな場合は索線  $ADC_{Dy}$ ,  $BC_{Dy}$  はともに直線に近くなり、近似的には直線とみなしうるから、面積  $ADC_{Dy}B$  が最大になる荷重位置  $x$  は索長が一定であるから  $x = \frac{d}{2}$  であるといえる。それ故  $E_w$  が最大となる荷重点の位置は中央附近であると考えられる。

つぎに  $E_e$  であるが前式より  $E_e$  が最大になるには  $A$ ,  $E$  は索により一定であるから

$$\sum_{i_1=0}^{i_1} (T_{Dy1} - T_{O1})^2 \Delta l_1 + \sum_{i_2=0}^{i_2} (T_{Dy2} - T_{O2}) \Delta l_1$$

が最大になればよいわけである。しかるに  $T_{Dy1}$ ,  $T_{Dy2}$ ,  $T_{O1}$ ,  $T_{O2}$  はそれぞれ走行荷重が負荷されたときの索線の任意点における張力と無負荷の場合の索張力であるから、索長比、および勾配が与えられれば  $T_{O1}$ ,  $T_{O2}$  は一定であるので  $E_e$  が最大になるためには  $T_{Dy1}$ ,  $T_{Dy2}$  が最大値を示めせばよいわけである。しかるに  $T_{Dy1}$ ,  $T_{Dy2}$  は既報の式より支点  $A$ ,  $B$  の索張力を  $T_A$ ,  $T_B$  とすれば

$$\left. \begin{aligned} T_{Dy1} &= T_A - y_{Dy1} \\ T_{Dy2} &= T_B - (y_{Dy2} - h) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (IV-35)$$

で示めされるから、索長比、勾配、荷重が与えられていれば  $T_A$  が最大になるとき  $T_B$  も最大となるから、したがって  $T_{Dy1}$ ,  $T_{Dy2}$  も最大となるので、 $T_A$  が最大となるのは荷重が支間中央にあるときであるから、荷重点が  $x = \frac{d}{2}$  のときに  $E_e$  は最大となると考えられる。

以上、 $E_w$ ,  $E_e$  ともに荷重が中央点  $\frac{d}{2}$  に来たときに最大値をとるので、 $y_{Dy}$  は走行荷重が中央にあるときの値を求めることにする。

そこで前記の実験装置ならびに実験方法により支間中央における走行荷重の軌跡を測った結果は表 (IV-10) のとおりである。

この実験の結果からみて静力学的な実測値  $\bar{y}_{St}$  と理論値  $y_{St}$  とは比較的良好に合致しているので各索張りは大体適正であったと考えられるので、そこで荷重走行時の荷重の位置  $(x = \frac{d}{2})$  の  $\bar{y}_{Dy}$  と同じ値を示めす仮想静荷重を求めるのは  $y_{Dy}$  から逆算することは煩雑であるので、各種の荷重に対する静力学的な荷重点の  $y_{St}$  を求めておき、これを計算図表に作製して、この図表より  $\bar{y}_{Dy}$  に対応する荷重を求めてこれを仮想静荷重とした方が簡単であるので、この計算図表を図 (IV-6), (IV-7) に示す。

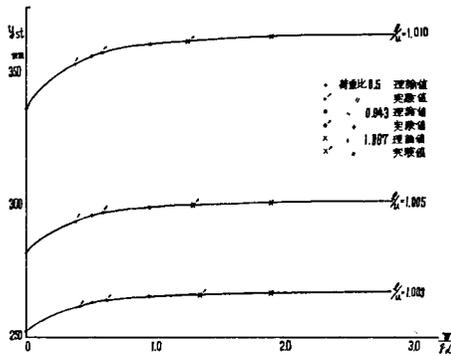
IV-10表

$\bar{y}_{DY}, \bar{y}_{ST}$  : 実測値 (平均)     $y_{ST}$  : 理論値     $y_0, y_{\infty}$  : 理論値     $d=3,000$  mm

	$h$	$Q/qd$ / $l/u$	0.1			0.2		
			1.003	1.005	1.010	1.003	1.005	1.010
$\bar{y}_{DY}$ (mm)	0.5		261.35	293.70	353.30	414.45	448.35	509.40
	0.943		263.75	296.85	357.75	417.60	451.40	514.55
	1.887		265.70	299.65	362.05	418.95	454.75	518.20
$\bar{y}_{ST}$ (mm)	0.5		262.60	295.60	356.20	416.15	449.75	512.05
	0.943		264.95	298.40	360.95	418.65	453.25	516.95
	1.887		266.35	300.45	363.50	420.20	454.85	519.80
$y_{ST}$ (mm)	0.5		262.82	295.75	356.43	416.10	449.97	512.39
	0.943		264.87	298.77	360.72	418.53	453.06	516.69
	1.887		266.62	300.64	363.39	420.03	455.07	519.64
$y_0$ (mm)	0		251.75	281.37	336.20	405.22	435.35	491.68
$y_{\infty}$ (mm)	$\infty$		267.54	301.50	364.50	420.79	456.18	521.07

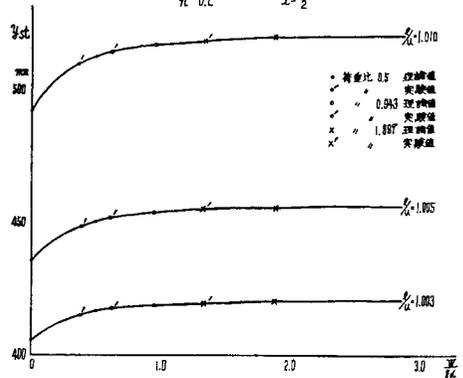
IV-6 図

$h=0.10$      $x=\frac{l}{2}$



IV-7 図

$h=0.2$      $x=\frac{l}{2}$



この計算図表より前記実験値  $\bar{y}_{DY}$  に等しい荷重位置を与える仮想静力学的荷重を求め、これより走行荷重による荷重補正係数  $w$  を算出してみれば表 (IV-11) のとおりである。

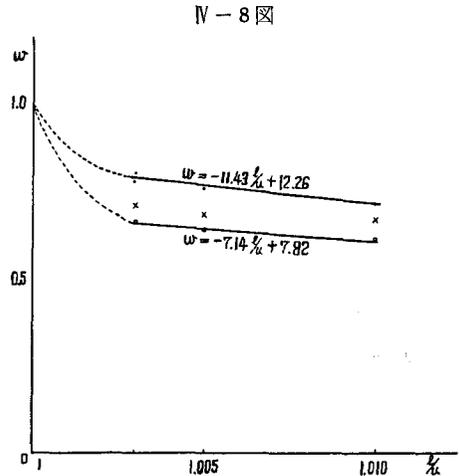
IV-11表

走行荷重に伴う索変形による仮想静力学的荷重比・荷重補正係数

	$h$	$Q/qd$ / $l/u$	0.1			0.2		
			1.003	1.005	1.010	1.003	1.005	1.010
$W/qd$	0.5		0.40	0.38	0.36	0.39	0.38	0.36
	0.943		0.62	0.59	0.58	0.61	0.60	0.61
	1.887		1.34	1.28	1.24	1.33	1.32	1.32
$w$	0.5		0.80	0.76	0.72	0.78	0.76	0.72
	0.943		0.66	0.63	0.61	0.65	0.64	0.65
	1.887		0.71	0.68	0.67	0.70	0.70	0.70

上表をみると支間中央において荷重走行に伴う索の変形による荷重修正係数  $w$  はおおむね 0.6~0.8 の間にあり、架線の支間勾配および荷重にははっきりした関係は認められないが、索の長さを示す

索長比とは幾分関係するようであり、比較的緩い直線  
 的關係が近似的にみられる。しかし索長比1の場合す  
 なわち索が極めて大きな力で支間に直線に張られた場  
 合には荷重が負荷されても、索は垂下しないものと仮  
 りに考えれば  $w$  は1になるはずであるから、図の点線  
 で示めたように急激に変化するものと考えられ、前  
 記のような直線ではなく曲線になるものと推定され  
 る。しかし実際には、索の太さ、荷重の關係上不經濟  
 となり、また事実上索長比をこの様に小さくするこ  
 とは不可能に近いので、この様な索長比は用いられ  
 ないので実用上の索長比1.003~1.010では索長比と  $w$  とは  
 比例關係にあるとみても差支えないであろう。そこで  
 索長比  $\frac{l}{u}$  と荷重補正係数  $w$  との關係を図(IV-8)に



示す。図には上限と下限の兩線が引けるが索道の設計に際しては上限を用いた方が安全側にあるから  $\frac{l}{u}$  と  $w$  との關係は次の実験式で示めされる。

$$w = -11.43 \frac{l}{u} + 12.26 \dots\dots\dots (IV-36)$$

なお、上記の  $w$  は荷重が支間中央にきたときの値を示めているが、荷重が支点にあるときは索線  
 は無負荷の状態と同一線形であるから  $w=1$  となる訳である。したがって荷重が上部支点を発生して支  
 間中央から下部へと静かに走行するにしたがって荷重補正係数  $w$  は  $1 \rightarrow 0.6 \sim 0.8 \rightarrow 1$  と変化するはず  
 である。しかし、勾配は勿論のこと索長比、荷重比が大きくなり遠心力の影響が可成り大きくなる下  
 部支点附近では  $w$  が1より大となることも当然ありうることである。そこで本実験の範囲で兩限界な  
 らびにその平均の条件と考えられるものについて荷重点の軌跡を測定し、この結果より前記と同様の  
 算出方式により求めた荷重補正係数  $w$  を表(IV-12) 1, 2, 3, 4, 5, 6に示めす。

IV-12表(1)  
 $h$  0.1  $W/qd$  0.5  $l/u$  1.003  $d$  3,000 mm

$x$ (mm)	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000
$\bar{y}_{DY}$ (mm)	0.00	83.80	141.45	188.60	228.05	261.35	288.20	309.00	322.40	323.25	300.00
$y_{ST}$ (mm)	0.00	84.33	143.28	190.47	229.83	262.82	289.83	310.47	323.28	324.33	300.00
$w$	1.00	0.92	0.80	0.78	0.76	0.80	0.80	0.84	0.88	0.90	1.00

IV-12表(2)  
 $h$  0.1  $W/qd$  0.943  $l/u$  1.005  $d$  3,000 mm

$x$ (mm)	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000
$\bar{y}_{DY}$ (mm)	0.00	107.75	172.95	222.80	263.80	296.85	323.70	343.05	352.75	347.60	300.00
$y_{ST}$ (mm)	0.00	108.99	175.08	224.37	265.29	298.77	325.29	344.37	353.88	348.99	300.00
$w$	1.00	0.92	0.83	0.75	0.69	0.63	0.70	0.78	0.87	0.93	1.00

IV-12表(3)  
 $h$  0.1  $W/qd$  1.887  $l/u$  1.010  $d$  3,000 mm

$x$ (mm)	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000
$\bar{y}_{DY}$ (mm)	0.00	149.10	226.50	282.60	327.25	362.05	387.70	403.55	407.45	392.20	300.00
$y_{ST}$ (mm)	0.00	151.80	227.94	284.49	329.31	363.39	388.83	404.49	407.94	391.80	300.00
$w$	1.00	0.89	0.76	0.70	0.68	0.67	0.75	0.82	0.89	1.08	1.00

IV-12表(4)  
 $h$  0.2     $W/qd$  0.5     $l/u$  1.003     $d$  3,000 mm

$x$ (mm)	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000
$\bar{y}_{DY}$ (mm)	0.00	114.95	204.30	281.60	351.25	414.45	471.30	522.45	564.80	595.05	600.00
$y_{ST}$ (mm)	0.00	115.80	205.62	283.35	353.01	416.10	473.01	523.35	565.62	595.80	600.00
$w$	1.00	0.90	0.86	0.80	0.76	0.78	0.80	0.88	0.90	0.96	1.00

IV-12表(5)  
 $h$  0.2     $W/qd$  0.943     $l/u$  1.005     $d$  3,000 mm

$x$ (mm)	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000
$\bar{y}_{DY}$ (mm)	0.00	139.90	236.75	316.35	387.80	451.40	508.30	557.15	596.00	620.65	600.00
$y_{ST}$ (mm)	0.00	141.12	237.36	318.27	389.52	453.06	510.00	558.27	597.36	621.12	600.00
$w$	1.00	0.91	0.82	0.74	0.69	0.64	0.71	0.78	0.88	0.96	1.00

IV-12表(6)  
 $h$  0.2     $W/qd$  1.887     $l/u$  1.010     $d$  3,000 mm

$x$ (mm)	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000
$\bar{y}_{DY}$ (mm)	0.00	184.70	295.50	379.85	454.80	518.20	571.85	618.75	649.45	666.25	600.00
$y_{ST}$ (mm)	0.00	185.22	296.85	380.16	456.03	519.64	573.69	620.16	650.25	665.75	600.00
$w$	1.00	0.95	0.86	0.83	0.75	0.70	0.66	0.70	0.90	1.12	1.00

この表の結果から判るように走行荷重の荷重点の軌跡は静力学的な荷重点の軌跡よりやや上方に位置し、あたかも静力学的な荷重  $wW$  が作用したと同様な荷重点の軌跡を示めている。その荷重補正係数  $w$  は荷重点の位置により差異があるが大体前記考察したように約0.6~1.0の範囲にあり、荷重比、索長比が大きくなれば遠心力が可成り大きくなるためにその係数が1より大きくなっている。

しかし、一般に荷重点の軌跡は静力学的な荷重点の軌跡と似ているので、荷重走行速度、遠心力の算出には静力学的な荷重点の軌跡を用いてもよいが、索張力の算出には荷重補正係数  $w$  を乗じた荷重をもって算出すべきである。

#### 第4節 総 括

前各節の実験の結果および理論的考察を総括するとおおむね次のとおりである。

実際の索道の主索と同様な可撓性を持ち、かつ索の張力による弾性伸長、温度変化による伸長が無視できるような索線を用い、走行滑車の動揺が認められない、索長、荷重、勾配の範囲内で実験した結果より考察すれば、

1. 荷重の走行速度はその荷重の走行軌跡曲線を  $y=f(x)$  で示めせば式(IV-12)で与えられる近似式によく合致する。
2. 荷重の走行による遠心力は索長比、勾配によって幾分の差はあるが、支間上部と下部においては軌跡曲線の彎曲が急なために大きい、索の張力を最大ならしめると一般に理論的にいわれている支間中央部に荷重があるときは極めて小さく約  $0.085W$  である。
3. 荷重点の軌跡に影響すると思われる一因の荷重点に作用する外力、すなわち荷重  $W$ 、走行荷重の遠心力、滑車の走行摩擦抵抗の合力  $G$  の垂直分力  $G_V$  は下方支点附近で最大となり約  $1.4W$  で、支間中央部においては約  $1.06W$  である。また合力の水平分力  $G_H$  は上部支点附近で最大約  $0.3W$  であり、支間中央部においては約  $0.16W$  であって荷重点の軌跡に対しては  $G_H$  は小さいので考慮する必要はなく、 $G_V$  のみを考慮すれば実用上十分である。
4. 荷重点の軌跡に影響する因子として荷重の走行に伴う索線の変形による影響には、索の線形変

化による慣性力に対抗する抵抗力, および索張力の変化による弾性抵抗があるが, これらの抵抗力は直接算定することは不可能であって, これらの影響を静力学的な荷重の大きさに置換えた荷重補正係数  $w$  は皮間中央において約 0.6~0.8 の範囲にある。この値  $w$  は勾配, 荷重にははっきりした関係はなく, 実用上  $w = -11.43 \frac{l}{u} + 12.26$  で示めされるような関係が索長比  $\frac{l}{u}$  との間にみられる。

5. 走行荷重の荷重点の軌跡は実験結果よりみて, 静力学的な荷重点の軌跡とほぼ一致し, 少くとも実用上はこの静力学的荷重点の軌跡を使用しても差支えなく安全側にある。しかし厳密には前項の荷重補正係数を乗じた荷重の静力学的な軌跡を用いなければならない。

## 結 論

第1章緒論に記した本研究の目的である動的理論の根底になっている荷重点の軌跡を第4章に考察した実験の範囲内でえた成果は第2章~第4章に記したとおりであって, ここに各章において論議した結果の要点を取纏めて結論すれば, 概ねつぎのとおりである。

1. 荷重走行による遠心力, 走行抵抗, および索線の変位による抵抗力の総合の結果として与えられる荷重走行軌跡曲線が既知なものとすれば, その軌跡上の任意の一点における外力と索に働く索張力の釣合の関係より静力学的理論における解法と同様試算的に索張力を算出することができる。
2. 荷重の走行軌跡曲線は特殊な条件の場合には理論的に求められる。
  - (a) 索上を走行する荷重の大きさが0とみなしうる場合はその荷重点の軌跡は垂曲線またはその近似曲線である抛物線である。すなわち

$$y = m \cosh \frac{x}{m}$$

で示される。

- (b) 索上を走行する荷重の大きさが $\infty$ とみなしうる場合はその荷重点の軌跡は上・下両支点をそれぞれ焦点とする楕円曲線となる。

$$y = \frac{h}{2} - \frac{h\left(\frac{1}{2} - x\right) - l\sqrt{(l^2 - u^2) \left\{ \frac{1}{4}(l^2 - h^2) - \left(\frac{1}{2} - x\right)^2 \right\}}}{l^2 - h^2}$$

で示される。

- (c) 索上を走行する荷重の速度が0とみなしうる場合は荷重が任意点で静止した状態と同一とみられるから, 静力学的理論により誘導される。すなわち

$$h_1 = \frac{2Q + l + hr_2}{r_1 + r_2}$$

で与えられる。

3. 走行荷重による荷重点の軌跡を一般に理論的に解くことは不可能であるので実験によって求めるしか方法がない。しかし荷重点の軌跡に影響を与える因子について理論的な考察と実験の結果より判明したものは, 本実験の範囲内においては荷重走行による外力——走行荷重, 走行荷重による遠心力, 滑車の走行摩擦抵抗——の合力は支間中央部においてはほぼ荷重に等しい。何故なら走行荷重軌跡曲線の曲率半径がきわめて大きくなり遠心力が小さくなるためである。
4. 荷重の走行速度は荷重走行軌跡曲線  $y=f(x)$  が与えられれば近似的に

$$v^2 = 2g(y - \mu x)$$

で与えられる。

また滑車の走行抵抗係数は滑車が走行中幾分の差異はあるが、大体一定とみなしうる。

5. 荷重  $W$  の走行に伴う索の変形による索の抵抗で、走行荷重軌跡の位置は静力学的理論より算出した荷重点の軌跡よりは上方に位置し、索に最大張力を与えるとみられる荷重点の位置、すなわち支間中央に荷重があるときはほぼ、 $0.6 \sim 0.8W$  が静力学的に作用したとみられる荷重点の軌跡と一致する。
6. 前項の索変形による影響を静力学的な荷重の大きさに置換えた荷重修正係数  $w$  は支間の中央において実用上  $w = -11.43 \frac{l}{u} + 12.26$  で示されるような関係が索長比  $\frac{l}{u}$  との間にみられる。
7. 荷重走行速度、荷重走行による遠心力を求める場合には実用上静力学的な荷重点の軌跡より計算しても差支えないが、索張力の算定には必ず荷重修正係数を乗じた荷重を用いるべきである。

終りに、本研究にあたり当初、有益な御教示を頂いた高知大学学長、京都大学元教授故苦名博士、京都大学木材研究所貴島教授、また本研究に懇篤なる御指導と本論文の取纏めにさいし多くの助言を賜った京都大学農学部教授杉原博士に対し衷心より謝意を表する次第である。なお長期に亘りつねに御援助を頂いた京都大学農学部運材工学研究室、京都大学農学部附属演習林の各位に深甚の謝意を表する次第である。

なお紙数の関係で省略した部分もあるが既報のものを参照していただきたい。

## 参 考 文 献

- 1) 藤林 誠, 他 2 名: 林業労働の作業強度に関する研究, 林業試験場報告, 第86号
- 2) 沼尻幸吉: 労働のエネルギー代謝に関する研究, 労働科学叢書, 27号
- 3) 全日本産業安全連合会: 産業安全年鑑, 昭34
- 4) 西岡多三郎: 鋼索の製造, 昭29
- 5) 真島卯太郎: 架空索道の理論と其設計, 昭9
- 6) 林野序編: 林業統計要覧, 昭29~35
- 7) 福田次郎: 林業用架線談議, 高知林友, 昭31
- 8) 加藤誠平: 林業用索道設計法, 昭34
- 9) 中村英石: 軽架線, 林業普及シリーズ, No. 39, 昭29
- 10) Korolefe, A., Silversides, C. R.: Transport of Wood by Gravity over Suspended Wire. Journal of Forestry. Vol. 47 No. 2. 1949
- 11) 巻田源久: 鉄線運搬装置について, 青森林友, 昭26, 34, 35
- 12) Meyr, R.: Seilbahnbau in der Schweiz und in Frankreich. Wien. 1954
- 13) Kaufmann, G.: Zubringen von Holz im Hochgebirge mit Drahtseilen. Munchen. 1954
- 14) 水野遵一: 集材機——主としてウイッセン集材機の考え方と性能について, 林業機械化情報, 昭26
- 15) Hafner, F.: Die Praxis des neuzeitlichen Holztransportes. Wien. 1952
- 16) 関谷文彦: 伐木運材図説, 昭16
- 17) Stephan, P.: Die Luftseilbahn, Berlin. 1907
- 18) Stephan, P.: Die Drahtseilbahnen, Berlin. 1916
- 19) Duhm, J.: Seilbahnen (Hauska, Leo: Das Forstliche Bauingenieurwesen. Bd. 1-2) Wien. u. Leipzig, 1933
- 20) 苦名孝太郎: 架空索道計算法, 昭10
- 21) 藤岡光長: 簡易架空索道の設計について, 林学会報告, 第16号, 大4
- 22) 西垣晋作: 鉄索の理論及計算法について, 林学会雑誌, 第1号, 大8
- 23) 渡辺治人: 簡易索道の軌索の設計について, 林学会雑誌, 第13巻4, 9号, 昭6
- 24) 入江敏博: 伸び変形を考慮した架空索理論, 日本林学会誌, 第37巻, 昭30
- 25) Blyth, H.: Modern Telferage and Ropeways. New York. 1926
- 26) 加藤誠平: パラボリック・ケーブルの静力学的性質, 日本林学会誌, 第12巻10号, 昭5
- 27) 加藤・堀: 多荷重架空索の張力算定法, 日本林学会誌, 第36巻, 第37巻, 昭29, 30
- 28) 苦名孝太郎: 架空索道の理論と計算, 昭28
- 29) 佐々木・貴島: 架空索道の荷重点の軌跡(第4報), 日本林学会大会講演集, 第62回, 昭28

- 30) 佐々木 功：架空索道における動的理論の研究，日本林学会誌，第41巻11号，昭34
- 31) 佐々木 功：架空索道の荷重点の速度について，京都大学農学部附属演習林報告，29号，昭35
- 32) 加藤正育：基本形索道理論に関する実験的研究，日本林学会大会講演集，第58，59回，昭25，26
- 33) 佐々木・貴島：荷空索道の荷重点の軌跡(第1～3報)，日本林学会大会講演集，第59，61，62回，昭26，27，28
- 34) 佐々木 功：架空索道の荷重点の軌跡(第9報)，日本林学会関西支部大会講演集，第5号，昭30
- 35) 佐々木 功：定索長式索道の荷重点軌跡について，日本林学会関西支部大会講演集，第6号，昭31
- 36) 苦名孝太郎：定索長式索道における荷重点の軌跡(其1)，日本林学会誌，第37巻，4号，1955
- 37) 苦名孝太郎：定索長式索道における荷重点の軌跡(其2)，日本林学会誌，第37巻，6号，1955
- 38) 苦名孝太郎：定張力式索道における荷重点の軌跡，日本林学会誌，第37巻9号，1955
- 39) 佐々木 功：定張力式索道における荷重点の軌跡並びに索長について，日本林学会誌，第38巻9号，1956
- 40) 加藤誠平：運材用索道主索の設計と検定，林業普及シリーズ40，昭29
- 41) 本多三雄：集材機並に索道の主索に関する実用数値表，東京営林局
- 42) 中村清二監修：物理実験学，第4巻，昭16
- 43) 日本機械学会編：機械工学便覧，昭15，29
- 44) 秋田営林局：東又索道，昭32
- 45) 長野営林局：崩沢索道，昭31
- 46) 長野営林局：索道集，昭29
- 47) 長野営林局：集材機作業基準並同心得
- 48) 磯江道夫：球軸受，ころ軸受
- 49) 坪井道三・藤井義信：機械設計，昭6
- 50) 長沢武雄・熊谷秀治：日本産重要木材の摩擦係数，九州帝国大学農学部学芸雑誌，第4巻，昭6

## Résumé

There are two theories, — the catenary and the parabolic —, for the calculation of the problems of aerial cableway. They treat the problems statically, for the load is assumed not to be running on the cableway. However, we must consider the problems on the kinetic theory in the case of a running load. In chapter 2, assuming that the locus of the running load is recognized, the problem is studied theoretically. Therefore, the author made a study of the locus of the running load on the aerial cableway in terms of theory and experiment.

Assuming that the locus of a running load is recognized, the tension of the main rope is studied theoretically as the method of the statical theory on the problems of the aerial cableway.

But we cannot investigate theoretically the locus of the running load on the cableway under general conditions. However, we can theoretically clear the locus of the running load on the cableway under the special conditions.

- a. When the load weight is nearly zero, the curve of its locus is approximately a catenary of a parabola.
- b. When the load weight is alike infinite, the locus curve is an ellipse, which has two focus on the upper-and lower support, and a major axis of rope length.
- c. When the speed of the running load is nearly zero, its locus curve is studied by the calculating method of the statical theory.

The locus under the general condition, as mentioned before is studied only by the experimental method. In this experiment, we must be sure that the load is running smoothly on the cableway. The result of experiment is as follows:

The resultant force of external force — a running load a centrifugal force of running load, and running resistance of the carriage — acting as the loading point on the cable way,

is nearly equal to the running load at the center of the span. The tension of the rope becomes the maximum, because the radius of curvature of the locus of the running load is very long and, as a result, the centrifugal force is very small.

As the locus of the running load is nearer the ellipse than the original curve, the speed ( $v$ ) of the running load is calculated from a formula  $v^2=2g(y-\mu x)$ , if the locus of the running load is given as  $y=f(x)$ .

here,  $g$ : the acceleration of gravity.

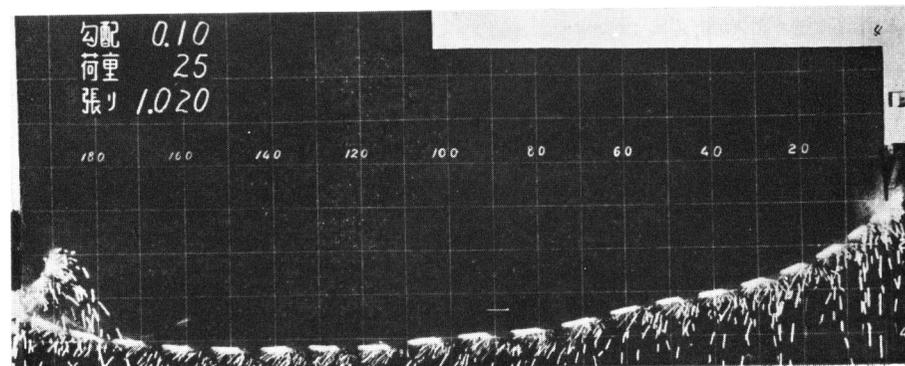
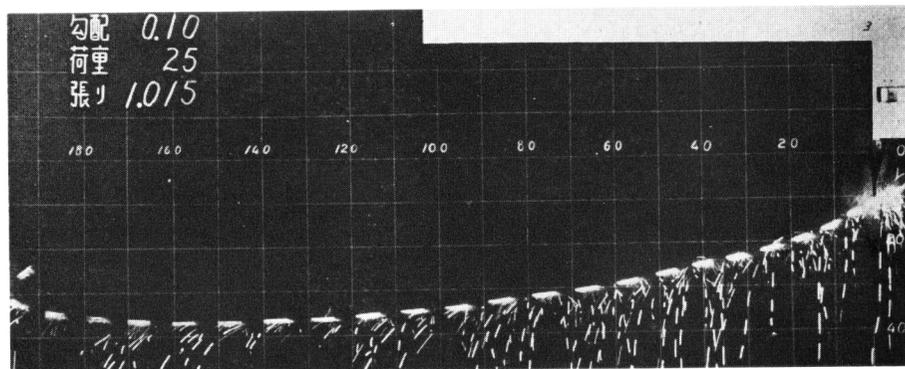
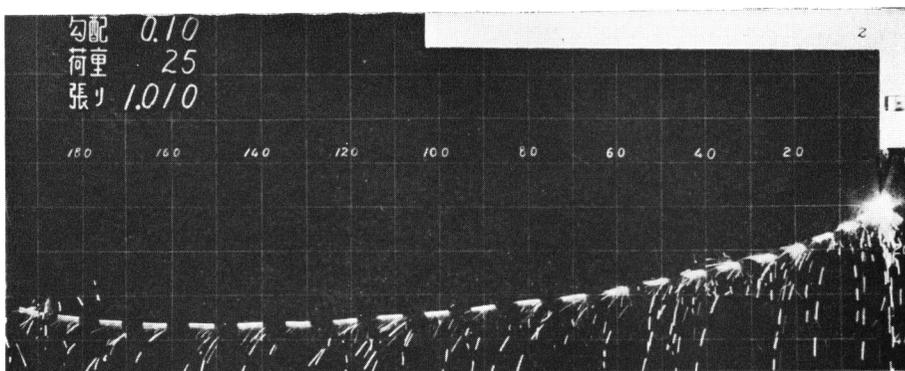
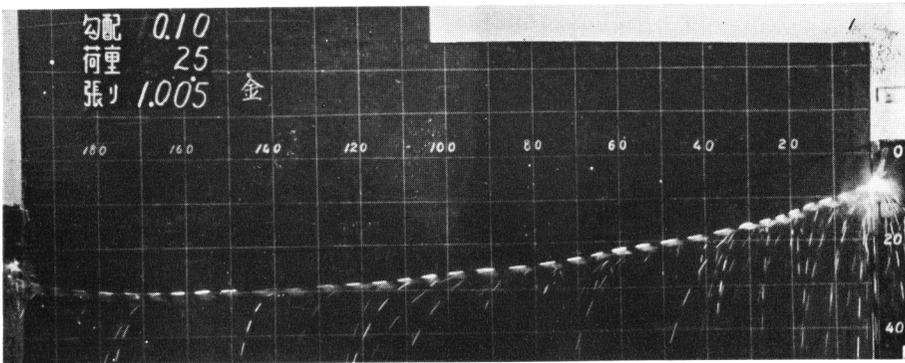
$\mu$ : the coefficient of running resistance of carriage.

“ $\mu$ ” is nearly constant all the time while the carriage is running on the cableway.

The locus of the running load is the upper part of the calculated locus by the statical theory, because the situation of the rope is changed by the movement of the running load. When the running load exists at the center of the span, the tension of the rope become maximum, the locus of the running load agrees with the calculated locus by the statical theory, as if the weight of load were “ $w$ ” (0.6~0.8) times. This “ $w$ ” is called the coefficient of the adjusted load. The coefficient relates to the ratio ( $l/u$ ) which compares the rope length ( $l$ ) with the distance ( $u$ ) between two supports of the cableway. This relation is shown by the experimental formula  $w = -11.43 l/u + 12.26$ .

The speed and centrifugal force of the running load is very near the calculated value from the statical locus, but we must calculate the rope tension by using the coefficient of the adjusted load.

適正索長を調べる実験の1例



## 荷重点軌跡実験の1例

