

運動場走路の構造に関する研究

新 田 伸 三

Shinzo NITTA

Studies on the Construction of Running Tracks of Athletic Fields

目 次

序 論	98	3 章 運動場走路の構造設計法	149
0.1 研究の必要性	98	3.1 概 説	149
0.2 過去の研究概要	99	3.2 運動場走路の舗装および基礎	149
0.3 研究の意義および目的	100	3.2.1 舗装の設計条件	
0.4 研究の方法	101	3.2.2 表層の粒度	
1 章 運動場走路の構造に関する基礎調査	101	3.2.3 表層の安定性	
1.1 既設運動場の走路断面	101	3.2.4 舗装の圧縮性	
1.2 運動場に関する土質試験	103	3.2.5 舗装のクッション層	
1.2.1 運動場の土質の必要条件と土質試験の種類		3.2.6 舗装の厚さ	
1.2.2 土質試験を実施した運動場		3.2.7 基礎の厚さ	
1.2.3 物理的試験の実施		3.3 運動場の材料各論	154
1.2.4 力学的試験の実施		3.3.1 シンダー混合土	
1.2.5 弾性波試験の実施		3.3.2 アンツーカ	
1.3 運動選手に対するアンケート調査	137	3.3.3 下層材料	
1.4 総 括	143	3.4 総 括	162
2 章 運動荷重に関する研究	146	結 論	163
2.1 運動静荷重	146	参考文献	165
2.2 衝撃反力	147	Summary	166
2.3 総 括	148		

序 論

0.1 研究の必要性

近時、スポーツの隆盛にともない、全国各地に各種の運動場が多数築造整備されてきた。そのうち数・量ともに多きを数えるのは学校運動場で、ついで都市運動施設が挙げられる。いまこれらについてその面積を挙げると表1および表2のごとくである。この他に会社などの専用施設があり、それらを合わせるとわが国の運動場総面積は極めて大きい。これら運動場の運動機能を向上させ、築造や維持を経済的ならしめることはスポーツ振興上重要な問題である。そのうちでもとくに走路の構造の問題は運動場計画のうちで重要な位置を占める。すなわち、例えば降雨終了後、運動場がただちに使用できるかどうかはその利用度に関係し、また維持が容易であるかどうかは長年にわたる経済的負担に関係することとなる。しかし従来、このような走路の構造についての科学的な研究はほとんど行なわれていず、わずかに、三断片的な試験が実施された他は経験的な知識を有しているにすぎなかった。

表1 全国学校運動場面積(昭31, 文部省統計)

種 別	学 校 数	在 学 者 数 (人)	屋外運動場面積(m ²)	1人 当 り 面積 (m ²)
幼稚園	6,013	651,235	4,505,337	6.90
小学校	22,381	12,616,311	112,796,747	8.87
中学校	12,738	5,962,449	80,511,963	13.53
高等学校	3,332	2,702,604	36,229,233	13.40
盲 学 校	74	9,460	190,937	20.27
ろ う 学 校	90	19,505	455,513	23.37
養 護 学 校	9	610	30,760	52.00
大 学	228	547,253	9,060,760	16.63
短 期 大 学	268	77,114	2,153,037	27.87
各 種 学 校	7,516	1,020,801	2,671,280	2.63
計	52,649	23,607,342	248,605,567	平均 10.52

表2 全国都市運動施設集計表(昭34. 4 現在, 昭35. 1 建設省集計)

都 市 数	4 2 6		
総 人 口	47,368,853		
種 別	施 設 数	施設数/10,000人	敷地面積 (ha)
野 球 場	645	0.14	983.92
庭 球 場	1,200	0.25	162.88
陸 上 競 技 場	272	0.06	605.88
水 泳 プ ール	314	0.07	91.77
バスケットボール場	28	0.01	4.73
バレーボール場	449	0.12	63.80
室 内 競 技 場	85	0.02	33.14
蹴 球 場	54	0.01	88.91
相 撲 場	101	0.02	35.04
計	3,148	0.70	2,070.90

註 本集計は一般に公開されているものについての集計で学校、会社等の専用施設をふくまない。

0.2 過去の研究概要

わが国で運動場の土質についての最初の実験報告としては、大正13年10月に竣工した明治神宮外苑競技場について明治神宮造営局が実施したものがある¹⁾。これは走路の上層材料の混合割合を種々変えて試験体をつくり研究しているが、それによると、火山砂利5.5, 土3.0, 川砂1.5の混合割合のものが良好な結果をえたので、同競技場では同混合土を厚さ12cmに築造した(図3(1))。ただしここで使用した土は敷地内で得られる赤粘土(関東ローム)と黒表土とを等分に混合したもので火山砂利は3mm以下である。

ついでやや本格的な研究としては昭和15年に第12回オリンピック大会を東京で開催することが決定され、その準備として科学施設研究会が結成され、土質力学的研究が始められた。しかしその後東京大会の返上と共に同研究も中絶のやむなきに至ったのであるが、その報告書によると全国各地より競

1) 明治神宮奉賛会：明治神宮外苑誌，昭12。

技場用土を集め、その25種類について天然含水量、機械的分析、セン断試験、比重間ゲキ量、緊硬度試験（稠度試験）、貫入度など各種の土質試験を実施し、（表9および図20, 21）また同時にこれら競技場を陸上選手が実地に使用した場合のトラックの弾力程度、スパイクに土の粘着する程度、ほこりの有無ならびに程度、トラックの硬軟程度、水はけ程度などの状況を調査し（表37）、一方アンツーカー材料について機械的分析、セン断試験、透湿度試験を実施している。その結果から従来の粘土分を多くふくむ粘着力の強い天然土の用土より、アンツーカーのような人工土で砂質分に富んだものを使用した方が、スパイクに対する感触などの点からみて良好であるとしている。しかし走路の透湿度や弾力などは表層下の土質の組織構造に関係するから、種々の組織構造について透水試験を行なっているが、結局上部のアンツーカー（同上試験に使用したアンツーカーは有効径 0.01 mm 、均等係数40、透水係数 $k=2.35\times 10^{-4}\text{ cm/sec}$ である）の透湿度が最も問題であるとし、その後アンツーカーの粒子組成分を種々かえてその透水試験を実施したようであるが、その試験結果は発表されていない。

外国でも試験走路によつて土の配合をきめることは時々行なわれているようである。例えば Louisiana 州立大学ではその走路を築造するに際し、幅 1.8 m 長さ 600 m の試験走路を作り、これを 60 m づつ10区に分け、各区の上層について粘土、シルト、砂、石炭ガラ¹⁾の混合割合をいろいろかえて施工し、硬軟の状況と維持の難易について試験している。この場合には細石炭ガラ²⁾（ $1/4''$, 6.35 mm 以下）にローム質粘土15%、シルト10%をまぜた区が良い結果をえたと報告されている。

また最近イギリスにおいて最も好ましい走路として Iffley road truck³⁾の土質の粒度分析を行ない、またヘルシンキ、ストックホルム、オスロおよびウェンブレーのオリンピック競技場の走路用土の粒度分析結果とあわせて標準粒度分布範囲を設定しており、次第に土質力学的研究に注目しはじめているようである。

0.3 研究の意義および目的

このように試験走路を築造するか、優秀とみなされる既設競技場の用土を分析してよい混合土をみつけ出す以外に、さらに一步進んでその構造を運動感覚並に土質力学的見地から詳細に研究を行なうということはわが国はもちろん欧米においてもほとんど実施されていない。しかし運動場の性能に対する要求度はスポーツの興隆とともに次第に高まり、従来の経験のみでは処理できないようになってきた。すなわち、たまたまある運動場で実施した築造法が、よい結果をえたとしても、他の場所では土質、その他自然条件が異なるから、そのまま同じ施工法を適用してもよい結果をえるとは限らないし、運動場築造のたびに試験走路を一々つくることは経済的にもゆるされない。そこでどこ土地でも同一のよい性能を持つ運動場を築造することができるようには、あらかじめ理論的な基礎研究を行なっておくことが必要であつて、ここに本研究の意義を見出すことができる。

要するに本研究の目的とするところは「運動場走路の合理的かつ経済的な構造ならびに材料を探索し、それに関する設計法を確立すること」である。しかしこの研究はまた既設運動場の構造の良否判定に関する客観的検定法を設定することにも役立つと考える。すなわち陸上競技場が公認されるためにはとくに距離計測、設備などについて厳重な規程に合格することが必要とされているが、土質に関しては単に抽象的に具備すべき条件が指示されている程度で、実際は運動競技関係者の勘によつてその評価が行なわれている。この場合その人々の主観が当然入ってくるから、この研究で行つていような客観的方法によつて性能を試験し、それを裏付けることが必要であらう。

このようにして排水性、弾力性、足がかりその他の点でどのような天候のもとでも常に一定かつ良

- 1) 渡辺 貫：各地陸上競技場走路土質試験結果とその研究方針，第12回オリンピック東京大会（返上）科学施設研究会報告書。
- 2) Building a Cinder Track. Parks, Golfcourses and Sports Grounds, Vol. 4, No. 5, 1939, 2. p.114.
- 3) A. A. A.-N. P. F. A; Athletic Stadia, 1957. p. 49.

好なグラウンド・コンディションを保持する経済的な運動場の築造を可能ならしめたいと考える。

0.4 研究の方法

さて運動場走路の構造を研究する場合、その方法として次の二つが考えられる。その一つは既設運動場について土質試験を実施してその土性を明らかにすると同時に、運動選手や管理者に対し、その評価を求め、このような資料を集積して一定の良い評価の範囲内に収まる土質を知り、次第にもっとも好ましい構造を追求してゆく方法。もう一つは人間の運動行為を力学的に分析し、土質力学的見地よりその構造理論を導き出し、それをもとにして運動場用土を処理する方法である。本論文においては1章で前者を、2章および3章で後者を取扱った。

ところで運動場は運動の種類に応じ、陸上競技場、野球場、庭球場、蹴球場、その他いろいろ単独に専用のものとして設けられることもあり、また各種の運動に供用される運動広場のなものもある。専用のものはその種類によつて運動機能が異なるから、構造もそれに対応して異なるべきであるがそのうち陸上競技場は個人の記録を基本とするので、とくに性能に対する要求度が高く、それに比べると他のものは対抗競技であるから比較的要求度は劣る。したがつて陸上競技場走路について研究を行えばその他の競技場についてはそれを準用することによつて目的はある程度達せられると考えられるので、主として陸上競技場を研究の対象として取上げることとした。

1 章 運動場走路の構造に関する基礎調査

1.1 既設運動場の走路断面

ごく初期の運動場は自然土のままで使用されていたと考えられるが、降雨の場合には軟化し泥状化が避けられないし、日でりの場合には硬くかつ風で土ほこりが立ちやすいから、自然土に砂を混ぜたり、石炭ガラのような保水性のよいものと混和するいわゆる混合土の採用がはじめられ、その後次第に構造的に改良を加え、現在多くの競技場で見られるシンダートラック (Cinder track) へと進んできた。この一般的な走路構造としては表層にシンダー混合土、中層に石炭ガラ、下層に栗石基礎をおくもので、その層の厚さ、材料の粒度などは主として経験をもとにきめているのが多いから、各運動場によつてまちまちで出来不出来があるが、標準的なものとしては、表層のシンダー混合土は砂質粘土 (3 mm 以下) と細石炭ガラ (6 mm 以下) とからなり、その配合比は用土の粘土含有量に応じてかえ、厚さは 3~6 cm とし、中層は 25 mm 以下の粗石炭ガラを 10~20 cm 厚に、下層は栗石を 10~20 cm の厚さに敷きならした 3 層構成となつている。

次にテニスコートとして最も普及しているのはクレークート (clay court) で粘質土を主材料とした表層を持つものである。テニスでは陸上競技と異なり、降雨のさいにはプレーは中止されるが、雨が上がれば速かにコートが使用できることが望まれる。クレークートは粘質土が主体であるから、土壌含有水分が多いとぬかるみ、スリップしやすい欠点がある。

そこで新しい材料の探求が行なわれ、フランスで煉瓦粉の良好な透水性と適度の保湿性が注目され、テニスコート舗装材料として特別に製造されるようになった。これがいわゆるアンツーカーで、これをアンツーカー (en-tout-cas) と称するわけは、フランスで晴雨兼用の洋傘の商品名としてつけられたものから転じて、晴雨いずれの時にも使用できる土という意味でつけられたといわれる。これは赤褐色砂状の焼成土で、粗粒で多孔質であるから透水性がよい特長をもっている。1928年アムステルダム・オリンピック競技場に施工されてから普及し、1936年ベルリン・オリンピック競技場(図2)、1948年ロンドン・ウェンブリー競技場、1952年ヘルシンキ競技場などに用いられている。

わが国では大阪ガス社長 故 片岡直方氏が自邸内のコートに試用したのが最初で、その後昭和11年甲子園庭球場、昭和13年中モズ庭球場、昭和14年中モズ陸上競技場に用いられ、戦後は主要な陸上競

技場、庭球場の表層材料として使われている。(図4.5.6)

次に内外の主な運動場の走路断面を図1～7に示すが、これらを見るとすでにのべたような3層式のものが多いが、中層を石炭ガラの粒度によつてさらに数層に分けた例もかなり多い(例えば図6a(3) 横浜三つ沢)。これは表層の土が排水層である基礎に流入沈積するのを防ぐフィルタの役目をもたせたものと考えられる。また石炭ガラの代りに近くに製鉄所があればそこからとれる鉾サイ(Slag)を使用している例もある。(図6a(4) 富士製鉄広畑競技場)。しかし各層の厚さやシンダー混合土の配合比は多種多様である。

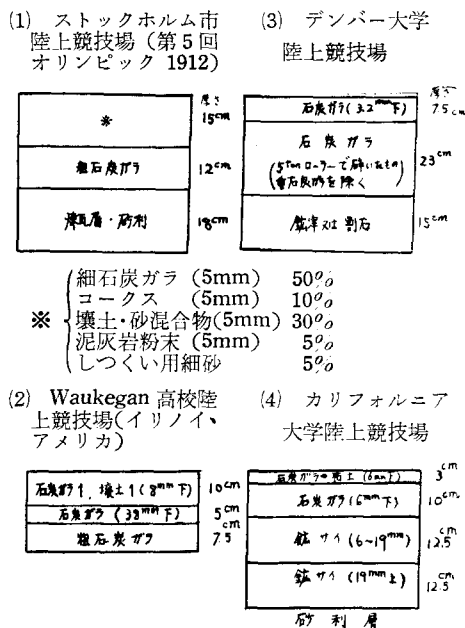


図1 諸外国陸上競技場の走路断面(その1)

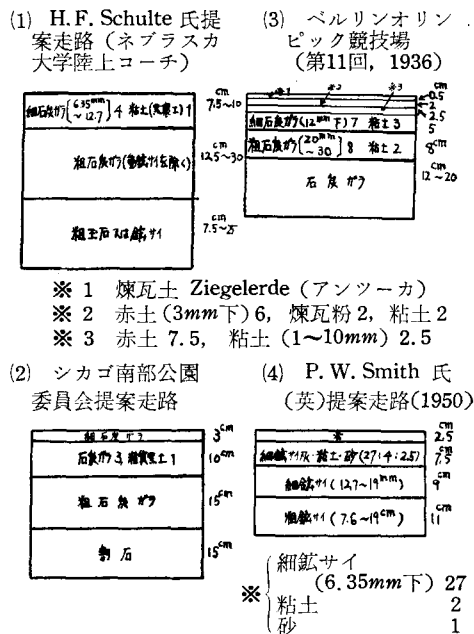


図2 諸外国陸上競技場の走路断面(その2)

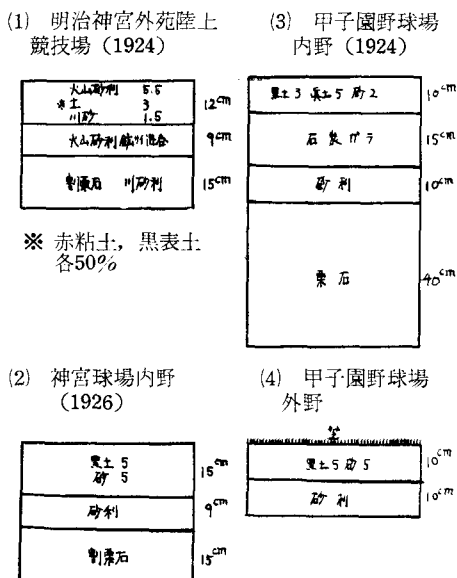


図3 戦前のわが国の競技場の断面の数例

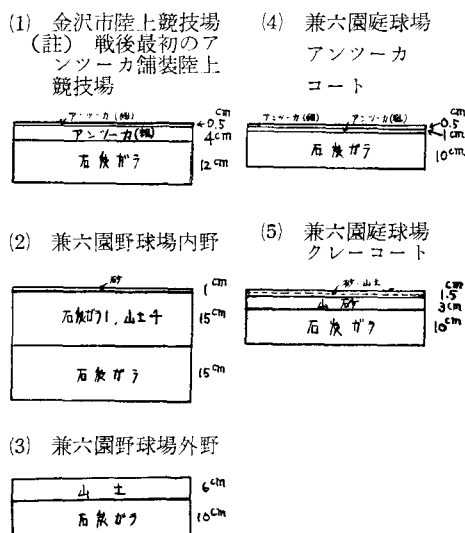
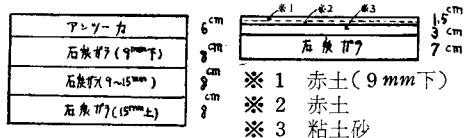
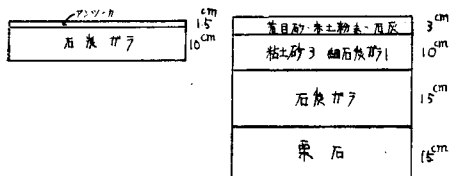


図4 第2回国体関係競技場の断面
(1947, 金沢市)

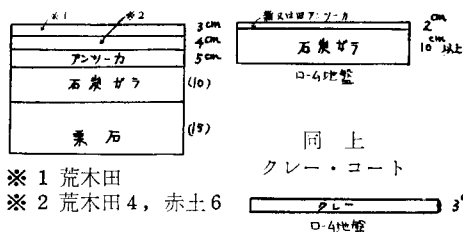
(1) 福岡平和台競技場 (3) 軟式テニスコート



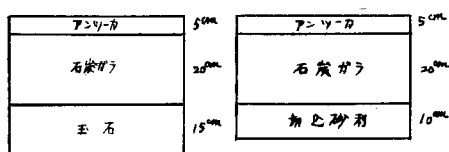
(2) 硬式テニスコート (4) 野球場内野

図5 第3回国体関係競技場断面
(1948, 福岡市)

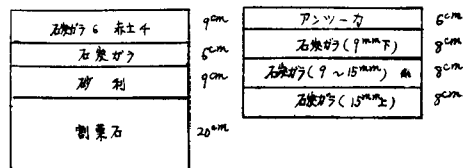
(1) 田園コロシム・テニスコート (2) パレスクラブ・コート アンソール・コート



(3) 大阪府立競技場 (服部緑地) (4) 後楽園野球場 (一部)

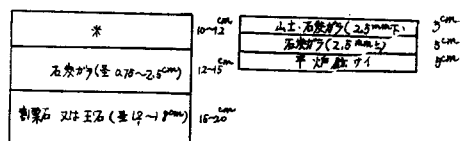
図6b 戦後のわが国の競技場の断面
(その2)

(1) 名古屋瑞穂競技場 (第5回国体, 1950) (3) 横浜市営三ツ沢陸上競技場(1955)



(註) 戦後築造したシンダー混合土による大競技場の例

(2) 枇杷阪実氏提案走路 (1952) (4) 富士製鉄広畑陸上競技場助走路(1955)



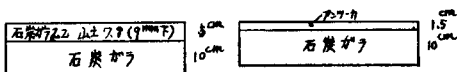
※ 石炭ガラ (6mm下) 40~55%
 ※ 砂 5~15%
 ※ 真土 45~60%

図6a 戦後のわが国の諸競技場の走路断面
(その1)

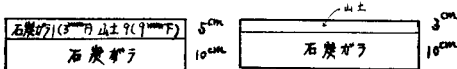
(1) 走路 (4) 蹴球場



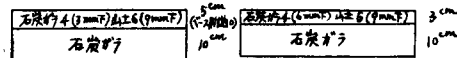
(2) 助走路 (5) 庭球場



(3) 投てき場 (6) バスケットボール場 バレーボール場



(7) 野球場内野 (8) 同外野

図7 大阪ガスKK今津総合運動場の断面
(1956)

1.2 運動場に関する土質試験

1.2.1 運動場の土質の必要条件と土質試験の種類

陸上競技場においては土質の必要条件として次のとおり要求されている。すなわち「走路は排水状況が良好で粗くなく、堅すぎず、しかも弾力性をおび、適度の湿粘性を有するように施設しなければならない」(日本陸上競技連盟、公認陸上競技場規程細則第10条)。この条件に対応する土の物理的性質としては粘着力、内部摩擦、圧縮性、弾性、毛管性、透水性などを挙げることができる。

土の粘着力は土粒子を引き離そうとする力に対する抵抗で、内部摩擦は土粒子が相互に滑る際の摩擦抵抗であるから、それらの抵抗の大小は粒子の大きさや水分と関係が深く、その性質は運動場表層の安定性とくにセン断破壊に対する土の強さの判断に必要である。次に土に力を加えた場合、土は必ず

みを生じ変形するが、土は完全な弾性体ではないから加えられた力に比例した変形は生じないで、圧縮されたままひずみが完全にもとにもどらずいわゆる圧縮性を示すが、これは土の間ゲキが減少される結果であつて、あらかじめ十分に締め固められ間ゲキが僅少かつ一様となつていると、その後加えられた力に対してはとくに運動走行の場合のように、締め固めの力に比較して僅少な力が瞬間的に加えられる場合には、かなり弾性体に近い性質を示すものと考えられる。したがつてこの圧縮性と弾性は運動場表層の変形を考える場合必要である。また毛管現象によつて水が土壌の間ゲキに保持されるいわゆる毛管性の大小は土粒子の大きさ、かたち、粒子の並び方、水の付着力などによつて違つてくるが、この性質は運動場の土の膨張、収縮、凍上などを理解する上で重要である。さらに土に水を加えた場合、土中に入つた水の一部は毛管性によつて保有されるが、残部は土中を滲透して流去する。この水の透しやすさ、すなわち土の透水性は土の種類とその間ゲキの大きさ、温度などに関係し、土の透水性の良否は運動場の水はけを左右する。

したがつてこれらの諸性質を判定するためには各種の試験を行なわねばならない。すなわち見掛密度試験、比重試験、含水量試験、粒度試験、稠度試験、突固め試験、透水試験などの一般土質試験のほか、現場土層に対する硬度試験、セン断試験、弾性波試験などが必要となる。

1.2.2 土質試験を実施した競技場

土質試験を実施した競技場は次のとおりである。

1) 京都大学運動場（京都市左京区北白川追分町）

農学部構内にあり面積約 3.3ha で、140m 直走路 8 コース、500m 曲走路 7 コースを有する 3 心円の陸上競技場で、第 4 種公認である。走路はシンダー混合土を用い昭和 12 年頃現在見られるような形態を整えた。昭和 29 年度に表層を 10cm ばかり掘返し、石炭ガラを加えている。

2) 京都市西京極運動公園陸上競技場（京都市右京区西京極）

今上陛下御成婚事業として昭和 17 年開設されたもので面積約 12.8ha で 400m 単心円で第 1 種公認の陸上競技場である。シンダー混合土を走路に用いている。

3) 京都市二条城庭球場（京都市中京区二条通堀川西入二条城町）

昭和 25 年 8 月第 4 回マッカーサー杯争奪戦庭球大会開催に際し、二条城内東北隅約 6,600 m² にフロッカーコート、クレーコート 9 面が新設された。

4) 富士製鉄広畑陸上競技場（姫路市広畑区広畑）

富士製鉄の職員厚生用として昭和 30 年 4 月完成された。1 周 300m 単心円の競技場で第 4 種公認である。走路は地盤を 30cm 程度かき起し、これに山土（会社貯水池付近通称桜山産）を敷きならし、ローラー仕上を行なつたのみであるが、助走路は特に図 6(4)に示す如くシンダー混合を行なつて整備している。

5) 神戸市民運動場陸上競技場（神戸市長田区蓮池町）

1 周 400m 3 心円の第 1 種公認競技場で、昭和 7 年 4 月竣工した。昭和 29 年に改修した際走路材料として下層に石炭ガラ 1 に山土 1 を混合したものを使用し、上層には石炭ガラ 1、山土 1、黒ボク 2 を混合したものを使用した。

6) 神戸市王子陸上競技場（神戸市灘区王子町）

昭和 31 年度第 11 回国民体育大会の際に造成されたもので、1 周 400m 単心円の第 1 種公認競技場である。走路は真土 2.5、山土（六甲山麓産）2.5、石炭ガラ 2 の割合で混合された材料で築造された。

7) 大阪ガス株式会社今津運動場（西宮市今津）

1 周 400m 単心円の第 3 種公認競技場で、昭和 31 年 10 月竣工した。構造上の特色は基礎が平均厚さ 1m にわたり石炭ガラを敷きならして埋立てであることである。走路、助走路ともさらに下層として石炭ガラを 10cm 厚に敷き、表層は厚さ 5cm とし、走路には山土（六甲産）6.5 石炭ガラ 3.5 を混じ、

助走路には山土 7.8, 石炭ガラ 2.2を混合したものを使用した。(図 7)

8) 西宮市民運動場陸上競技場(西宮市)

1 周 400m 単心円の第 3 種公認競技場で、昭和 32 年 3 月新設された。走路は山土と石炭ガラの混合土を使用している。

9) 田園コロシアムテニスコート(東京都大田区田園調布町)

東京急行電鉄株式会社が昭和 9 年秋に開設したもので、主コート 1, 補助コート 19 面, 計 20 面があったが、戦時中 1 面のみ残して畑とされた。戦後再び主コート 1 面, 補助コート 14 面, 計 15 面が整備され、東京地方における主たるテニス大会が本テニスコートで行なわれてきた。なおコートはクレー舗装が行なわれている。

10) 大阪府立服部緑地陸上競技場(豊中市服部緑地)

大阪府営豊中競輪場廃止にともない、これを陸上競技場に改造したもので昭和 32 年 12 月に完成した。1 周 400m 単心円の第 3 種公認である。走路は国立競技場と同様のアンツーカーにより舗装を行なっている。

11) 国立競技場(東京都新宿区霞ヶ丘)

昭和 33 年 5 月東京で第 3 回アジア競技大会が開催される機会に神宮外苑陸上競技場(大正 13 年竣工)を取りこわし、その跡に国際的な大競技場が建設された。その走路については 2 回にわたってあらかじめ試験走路が築造され、物理的、力学的並びに感覚的に厳密な試験を行ない、築造材料の種類・粒度・層の厚さ、締め固めの程度などに検討が加えられ、その結果にもとづいて本走路の断面が決定された。このような本格的な試験走路によつてその構造に検討が加えられたことはわが国では最初のことである。これについて文部省、建設省、陸連、大学の関係者によつて土質研究委員会が構成された。筆者はその委員の 1 人として参加し、主動的役割を果たした。

第 1 次試験走路は昭和 32 年 4 月に築造されたが、これは各種材料を組合せ、6 種類の構造として築造された。(図 8.9)。第 2 次試験走路は第 1 次試験走路に対する試験結果にもとづき、主として下部構造について検討を加えるため 11 種類(その内 3 種類は第 1 次のまま)の構造として、同年 6 月に築造された。(図 10.11.12)。そして最も好ましいと考えられる断面が決定され、本走路が昭和 33 年 3 月に完成した。(図 13)

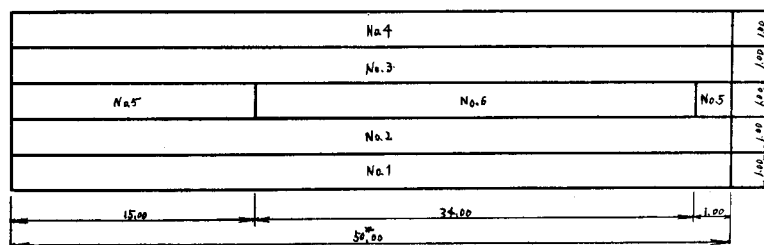
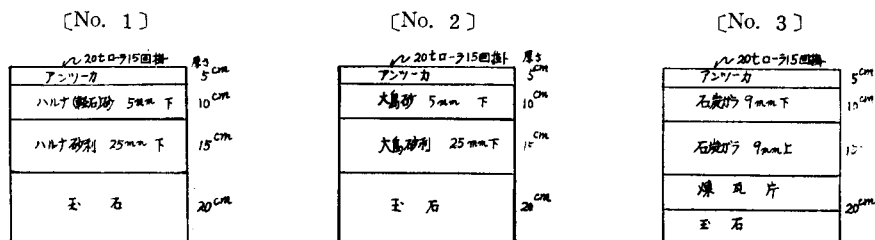


図 8 国立競技場第 1 次試験走路平面図



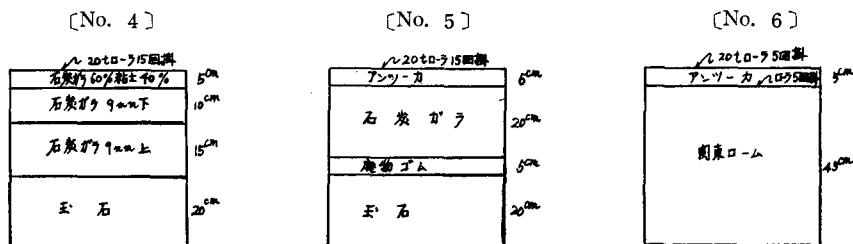


図9 国立競技場第1次試験走路断面

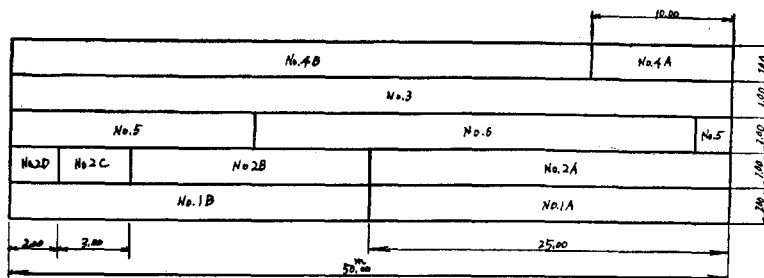
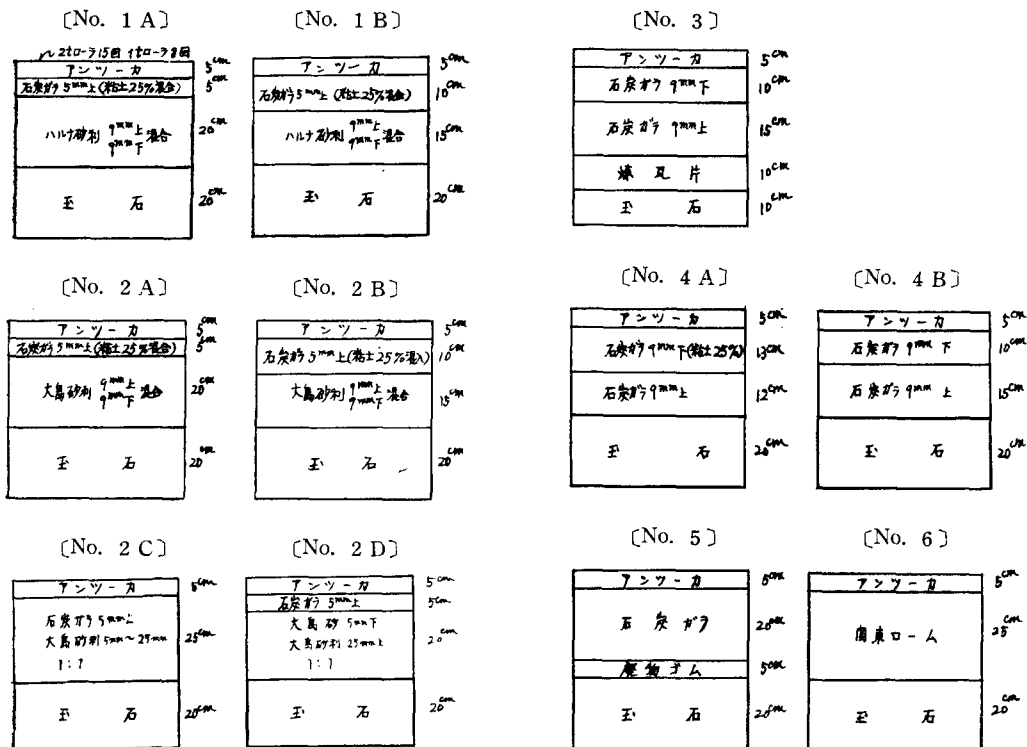
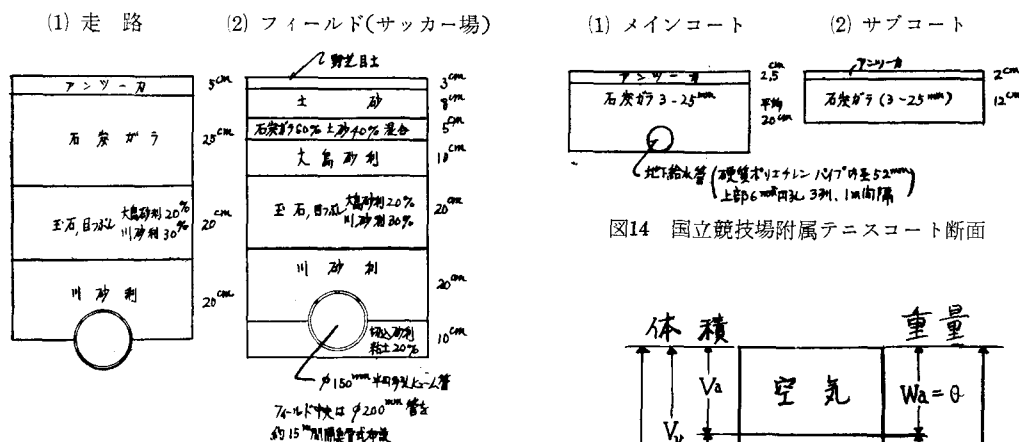


図10 国立競技場第2次試験走路平面図

図11 国立競技場第2次試験走路断面
(その1)図12 国立競技場第2次試験走路断面
(その2)



1.2.3 物理的試験の実施

土は一般にその骨組となる土粒子とそのまわりに空気と水をふくむ間ゲキとからなり、その模式的構成は図15のようになる。土の基本的性質は表3のごとく定義される。

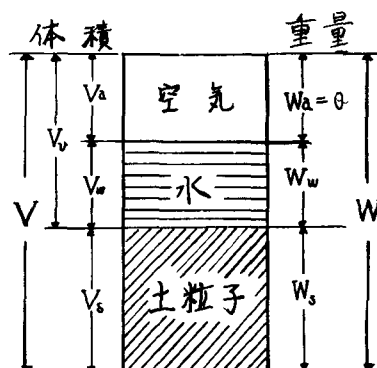


図15 土の模式的構成図

表3 土の基本的性質の定義

項 目	記 号	定 義	単 位	摘 要
土粒子の単位体積重量	γ_s	$\frac{W_s}{V_s}$	g/cm ³	組成鉱物の種類により異なる
土 粒 子 の 比 重	G_s	$\frac{\gamma_s}{\gamma_w}$	—	γ_w は水の密度で温度に関係する
見 掛 密 度 (湿 潤 密 度)	γ_t	$\frac{W}{V}$	g/cm ³	現場土の単位体積重量
含 水 比	w	$\frac{W_w}{W_s} \times 100$	%	土の含水量を示す
乾 燥 密 度	γ_d	$\frac{W_s}{V}$	g/cm ³	土の締め方の度合を示す
間 ゲ キ 比	e	$\frac{V_v}{V_s}$	—	
間 ゲ キ 率	n	$\frac{V_v}{V} \times 100$	%	土の間ゲキ量を示す
飽 和 度	S_r	$\frac{V_w}{V_v} \times 100$	%	土の間ゲキ中における水と空気の容積割合を示す

1) 試験方法

土の物理的試験のうち試料調製方法、土粒子の比重試験、含水量試験、粒度試験、液性限界試験、塑性限界試験、突固め試験は JIS A 1201~1206 に規定されている方法に従ったので詳細は省略する。JIS の規定によらない試験項目として見掛密度試験、現場浸透試験の方法について次に簡単に説明する。

a) 見掛密度試験方法

図16 a に示すような採土具 A, B を試作し、A を地表面に正しく据え付け、刃のついた掘取器具 B で A のリング内の土をくまなく掘る。刃の長さは一定になるようになっているから、孔の深さが定ま

り、したがって土の体積が一定となる。この方法は粘質土の場合はもちろん、砂質土でも礫をふくまぬときは操作が比較的容易である。(図16 a, 16 b)

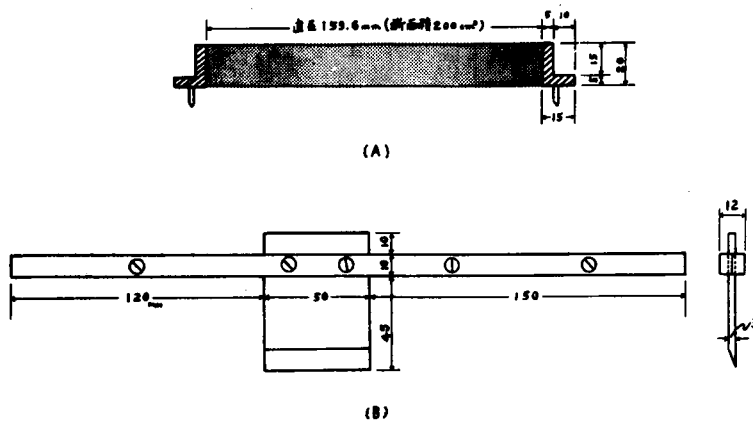
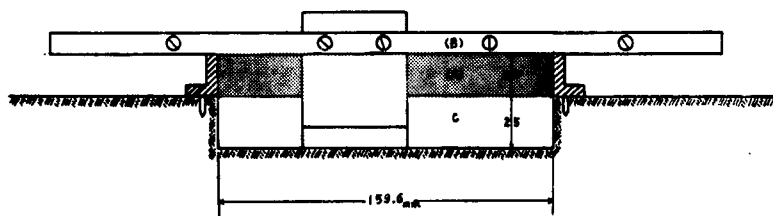


図 16 a 見掛密度試験用採土具



BをAの上のせて一定体積 (500 cm³) の土Cをはりとる

図 16 b 見掛密度試験の採土法

b) 現場浸透試験

運動場表層の透水性を現場で測定するため次のような方法を採用した。すなわち表層は堅くて金属円筒の圧入が容易でないから、地表面に金属円筒(断面積 100cm²)を立て、下部にすき間のないよう粘土でとりつけ、漏水を防ぎ、これに一定の水(100cc)を注入し、水深を10mmとし、完全に地中に水が浸透するに要する時間を読みとる。この方法は浸透面の大きさ、水深、土の含水状態によつて試験結果にひらきを生ずる。したがって測定値はそれぞれの表層土についての比較値を示すに止まる。

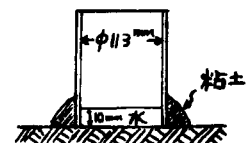


図 17

2) 試験結果

各競技場について実施した土の物理的試験の結果は次のとおりである。

表4 二, 三の運動場用土の基本的性質

種 別	京 都 大 学 運 動 場		西京極陸上競技場	
	トラック	フィールド	走 路	三 段 跳 助 走 路
土粒子の比重 G_s	2.61	2.62	2.47	2.51
見掛け密度 γ_t (g/cm ³)	1.88	1.92	1.90	1.85
乾燥密度 γ_d (g/cm ³)	1.69	1.71	1.74	1.75
含 水 比 w (%)	11.3	12.6	9.3	5.7
間ゲキ比 e	0.54	0.53	0.42	0.43
間ゲキ率 n (%)	35.0	34.6	29.6	30.3
飽 和 度 S_r (%)	55.0	62.5	54.8	33.3
液性限界 w_l (%)	34.5	28.5	NP	NP
塑性限界 w_p (%)	24.0	22.2	NP	NP
塑性指数 I_P (%)	10.5	6.3	NP	NP

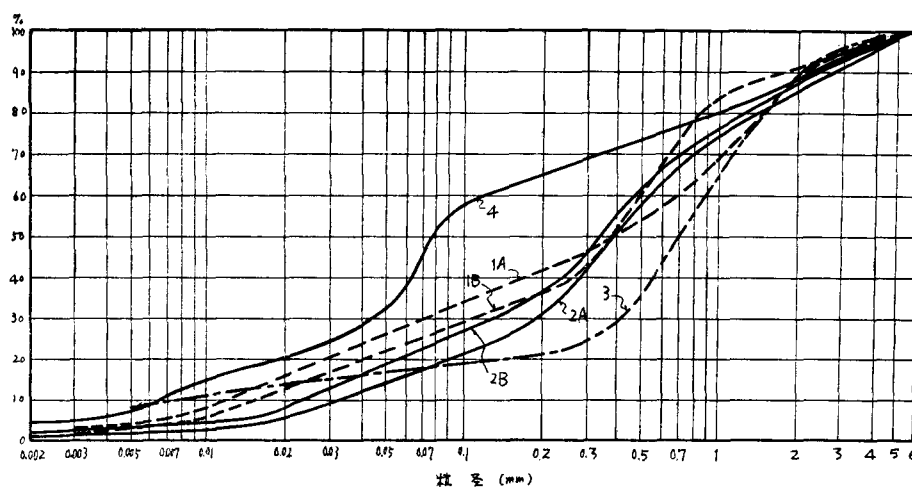


図18 運動場表層土の粒径加積曲線 (シンダー混合土, クレー舗装)

1A: 京大運動場トラック, 1B: 同フィールド, 2A: 西京極陸上競技場走路, 2B: 同三段跳助走路
3: 二条城クレーコート, 4: 国立競技場第1次試験走路 No.4 コース

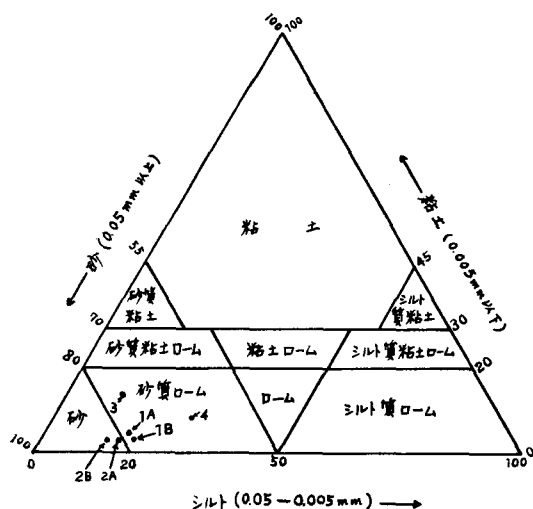


図19 三角座標による土の分類

- 1A：京都大学運動場トラック
 1B：同上フィールド
 2A：西京極陸上競技場走路
 2B：同上助走路
 3：二条城クレーコート
 4：国立競技場第1次試験走路 No.4 コース

表5 運動場表層土の粒度

種 別	粒 径	京 都 大 学 運 動 場		西 京 極 陸 上 競 技 場		二 条 城 クレー コート
		トラック	フィールド	走 路	三 段 跳 助 走 路	
礫	2 mm 以上	10.2%	9.0%	15.1%	12.7%	11.0%
粗 砂	2~0.25mm	45.8%	55.4%	48.3%	45.5%	67.0%
細 砂	0.25~0.05mm	17.3%	13.3%	20.3%	22.5%	5.0%
シ ル ト	0.05~0.005mm	21.5%	19.0%	14.0%	16.5%	9.0%
粘 土	0.005mm 以下	5.0%	3.5%	2.3%	3.5%	8.0%
コ ロ イ ド	0.001mm 以下	1.0%	—	0.5%	1.5%	—
60% 径	—	0.65 mm	0.49 mm	0.53mm	0.47 mm	0.88 mm
10% 径	—	0.011mm	0.015mm	0.03mm	0.023mm	0.0075mm
均 等 係 数	60%径/10%径	59.1	32.7	17.7	20.4	117.2

表6(1) 国立競技場第1次試験走路各コースの土の基本的性質

走 路 番 号	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
見掛密度 γ_t (g/cm ³)	1.728	1.644	1.885	1.484	1.781	1.696
乾燥密度 γ_d (g/cm ³)	1.525	1.426	1.667	1.221	1.320	1.431
含 水 比 w (%)	13.2	15.2	13.0	21.4	13.5	18.3
間ゲキ比 e	0.678	0.796	0.537	0.874	0.938	0.788
間ゲキ率 n (%)	40.4	44.3	34.9	46.6	48.4	44.1
飽 和 度 S_r (%)	49.8	48.9	62.0	56.1	36.8	59.5

表 6(2) 国立競技場第 1 次試験走路
No. 3 および No. 4 コース

走路番号	No. 3 アンツーカ	No. 4 石灰ガラと粘質土
比重 G_s	2.56	2.29
液性限界	30.0	—
塑性限界	NP	NP
浸透度 (分)	7.2	12.5

表 6(3) 国立競技場第 2 次試験走路各コースの土の基本的性質

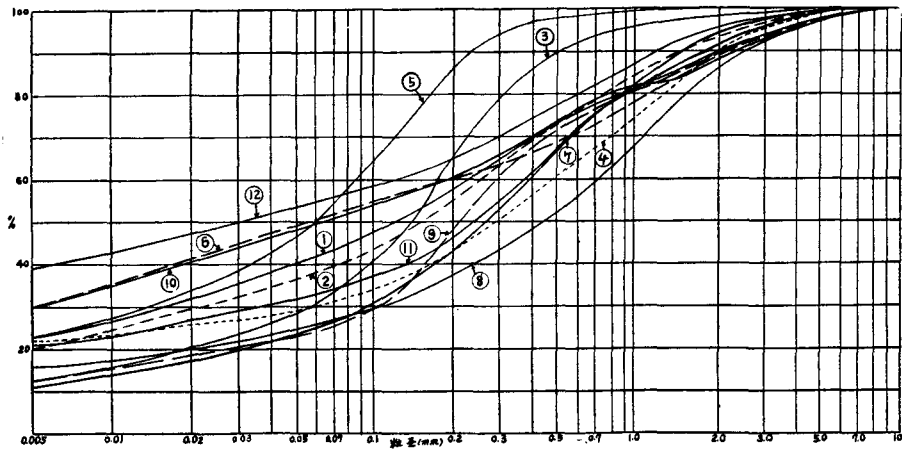
コース No.	1 A	1 B	2 A	2 B	2 C	2 D	3	4 A	4 B	5	6
見掛密度 γ_t (g/cm ³)	1.78	1.86	1.73	1.59	1.67	1.66	1.94	1.93	1.88	1.81	1.83
乾燥密度 γ_d (g/cm ³)	1.45	1.53	1.41	1.30	1.35	1.35	1.63	1.58	1.54	1.52	1.54
含水比 w (%)	22.3	21.4	22.5	22.5	23.6	22.5	18.8	22.5	22.5	18.8	18.8
間ゲキ比 e	0.76	0.67	0.81	0.97	0.90	0.90	0.57	0.62	0.66	0.68	0.66
間ゲキ率 n (%)	43	40	45	49	47	47	36	38	40	41	40
飽和度 S_r (%)	75	82	71	60	67	64	85	93	87	71	73

表 7 国立競技場の土の基本的性質 (竣工前 昭33, 3, 16測定)

測定箇所	走路	三段跳助走路	走高跳助走路(北)
見掛密度 γ_t (g/cm ³)	1.625	1.854	1.585
乾燥密度 γ_d (g/cm ³)	1.270	1.505	1.340
含水比 w (%)	27.7	23.4	18.2
間ゲキ比 e	1.015	0.700	0.910
間ゲキ率 n (%)	5.05	41.2	47.7
飽和度 S_r (%)	70.4	85.8	51.2
浸透度 (分)	3.3	3.0	5.0

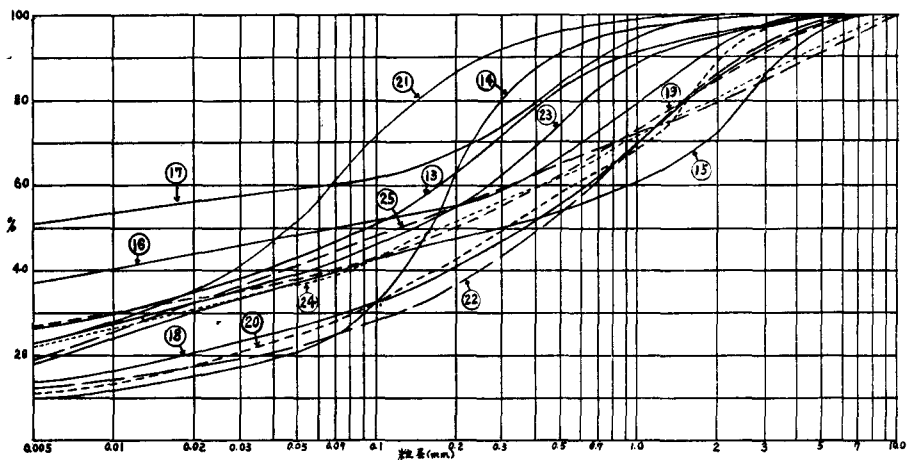
表 8 パレス・クラブ・コートの表層の基本的性質

項目	新アンツーカ コート	旧アンツーカ コート	クレーコート
真比重 G_s	2.56	2.63	2.81
見掛密度 γ_t (g/cm ³)	1.72	1.84	1.83
乾燥密度 γ_d (g/cm ³)	1.44	1.44	1.63
含水比 w (%)	19.2	27.2	12.5
間ゲキ比 e	0.77	0.82	0.53
飽和度 S_r (%)	64.0	87.2	66.2
浸透度 (分)	2.4	15	410



- | | | |
|-----------------|---------------|---------------|
| 1. 芝公園競技場 | 2. 学習院運動場 | 3. 山形県営グラウンド |
| 4. 秋田県小坂鉱山グラウンド | 5. 福島県グラウンド | 6. 法政大学トラック |
| 7. 大阪市立運動場 | 8. 甲子園南運動場 | 9. 岩手県花巻グラウンド |
| 10. 新潟市営総合運動場 | 11. 明治神宮外苑競技場 | 12. 弘前市競技場 |

図20 戦前の各地陸上競技場の粒度分布（その1）（渡辺 貫氏）



- | | | |
|-------------|-----------------|------------------|
| 13. 北大競技場 | 14. 岡山県体育協会競技場 | 15. 新潟県新発田小学校運動場 |
| 16. 小樽市立競技場 | 17. 新潟県刈羽郡体育競技場 | 18. 大連運動場 |
| 19. 大牟田市競技場 | 20. 旅順運動場 | 21. 上毛伊勢崎競技場 |
| 22. 広島県師範学校 | 23. 台北帝大競技場 | 24. 札幌市立体育競技場 |
| | 25. 宮崎県競技場 | |

図21 戦前の各地陸上競技場の粒度分布（その2）（渡辺 貫氏）

表 9 戦前の各地陸上競技場の土の基本的性質 (渡辺 貫氏)

No.	採 取 場 所	土粒子比重	見掛密度	含 水 比 (%)	間ゲキ比	間ゲキ率 (%)	稠 度 試 験			貫入度(mm)	セ ン 断 試 験	
							収縮限界 (%)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	頂角60°重量 1.5g落下高0	凝集強度(C) kg/cm ²	摩擦角(θ)
1	芝 公 園 競 技 場	2.39	1.44	26.6	1.100	52.40	27	34	—	1.3	0.400	32.00
2	学 習 院 運 動 場	2.26	1.30	46.5	1.546	60.70	28	46	—	6.1	0.400	24.00
3	山 形 県 営 グ ラ ン ド (トラック表土)	2.54	—	29.7	—	—	33	40	—	1.6	—	—
4	小 坂 鉦 山 グ ラ ン ド	2.39	1.43	23.1	1.056	51.40	28	38	—	1.3	0.520	19.50
5	福 島 県 グ ラ ン ド	2.51	1.25	12.6	1.286	56.32	26	40	—	1.9	0.362	15.30
6	法 政 大 学 ト ラ ッ ク	2.36	1.30	49.4	1.710	63.15	43	38	—	1.4	0.453	16.40
7	大 阪 市 立 運 動 場	2.38	1.53	10.2	0.715	41.60	—	—	—	—	0.890	22.40
8	阪 神 電 鉄 甲 子 園 南 運 動 場	2.51	1.53	11.5	1.103	52.45	24	35	—	1.7	0.350	26.20
9	岩 手 県 花 巻 グ ラ ン ド	2.44	1.30	6.1	0.991	49.77	26	30	—	3.8	0.090	40.00
10	新 潟 市 営 綜 合 運 動 場 (走路用土)	2.38	1.25	13.1	1.128	53.01	23	30	—	2.8	0.450	19.40
11	明 治 神 宮 外 苑 競 技 場	2.60	1.40	8.3	1.001	50.01	10	27	—	4.5	0.385	20.00
12	弘 前 市 競 技 場	2.43	1.21	6.8	1.143	53.35	26	41	—	4.2	0.312	25.30
13	北 海 道 帝 大 競 技 場	2.54	1.21	16.0	1.425	58.77	25	45	—	2.2	0.412	20.00
14	岡 山 県 体 育 協 会 競 技 場	2.63	1.43	11.2	1.045	51.10	11	33	—	2.0	0.302	24.00
15	新 潟 県 新 発 田 小 学 校 運 動 場	2.35	1.21	15.1	1.235	55.25	29	42	—	1.9	0.192	25.30
16	小 樽 市 立 競 技 場	2.42	1.00	5.0	1.341	60.62	21	35	—	—	0.176	33.50
17	新 潟 県 刈 羽 郡 体 育 競 技 場	2.55	—	42.8	—	—	60	89	42	1.1	—	—
18	大 連 運 動 場	2.58	1.38	5.0	0.962	49.04	21	29	—	5.6	0.412	38.30
19	大 牟 田 市 競 技 場	2.50	1.28	9.5	1.138	35.22	28	37	—	1.8	0.464	24.00
20	旅 順 運 動 場	2.67	1.55	2.2	0.761	43.21	—	26	—	7.0	0.360	22.20
21	上 毛 伊 勢 崎 競 技 場	2.59	1.25	12.3	1.326	57.00	27	36	—	4.0	0.055	22.10
22	広 島 県 師 範 学 校	2.49	1.49	19.4	0.998	49.92	36	38	—	1.5	0.353	19.30
23	台 北 帝 大 競 技 場	2.54	1.56	24.6	1.029	50.75	19	35	—	—	0.393	21.40
24	札 幌 市 立 体 育 競 技 場	2.40	1.13	11.5	1.366	57.75	22	61	—	—	0.286	20.10
25	宮 崎 県 競 技 場	2.28	1.05	27.5	1.766	63.85	33	57	—	—	0.167	21.10

3) 試験結果の考察

土の物理試験結果については、あとでのべる力学試験や弾性波試験の結果とあわせて総合的に考察を加えるから、ここでは土の基本的性質のうち主なものについて若干のべるにとどめる。

まず運動場走路の土を機械的に分析し、その粒度をしらべてみると、運動場の表層の土は分類上そのほとんどは砂土、砂質ローム土又は砂質粘土ローム土に属し、とくに前二者に属するものが多い。すなわち粘土(0.005 mm以下) 2~25%, シルト(0.05~0.005 mm) 10~20%, 砂 70~85%の範囲である。土を構成している土粒子の大きさの量的分布から土を分類することによつてその物理的、力学的性質をある程度うかがうことができるが粘土、シルトおよび砂の含有率による土の分類は相当大まかであり、上記のような含有率の上限乃至下限のものではその物理的、力学的性質に相当の相違がある。したがつてごく概略的にいう場合の他はあまり精密な表現とはなりえない。土の粒径加積曲線はその土を構成している粒子の大きさの配分が適当であるかどうか、さらにまた土の透水性を判断する資料として役立つ。すでにのべたように運動場の表層に対する現場透水試験方法が見出せない現在、これに代る現場渗透試験も比較試験にとどまるから、間接的ではあるが粒径加積曲線からその透水性を把握しなければならない。

Hazen氏によれば砂の透水性は粒径加積曲線における有効径(10%径)に関係するという。したがつて有効径の大小によつてその透水性を比較することができる。戦前の各地の競技場についてみると(図20. 21)有効径は非常に小さく、したがつて水はけはあまりよくないと推定される。これは後述のアンケート調査(表37)にもあらわれている。最近のアンツカは細粒が少ないのでその性能については相当改善されたが、しかし戦前のものはかなり細粒がふくまれていたから、透水性の大きいことを特長とする材料でありながらその性能において十分ではなかつた。この点については後で改めてのべる。

次に稠度試験についても実施したが、この試験は土粒子のくつつき方、すなわち外力を受けたときの流動とか変形に抵抗する度合を知るのに役立つものとして粘質土では有用な試験であるが、上にのべたように運動場の土は砂質土に属するものが多いから塑性的ではなく、したがつて塑性限界の測定は困難又は不可能であるものが多い。それ故運動場の土を分類する役目としてはあまり役立たない。

要するに運動場の土の物理試験としては、現場土の基本的性質としてその土のつまり方(密度)、含有水分(含水比)、間ゲキ量(間ゲキ比および間ゲキ率)を知るほか粒度分析が有用であり、これらは力学試験や弾性波試験の結果とあわせて土性の判定に役立つものである。

1.2.4 力学的試験の実施

1) 堅さ試験

運動選手が走つたり跳んだりする時土が適度に締つていて堅いとスパイクはよくきき、反対に軟弱であるとスパイクはききにくい。すなわちスパイクのきき具合は運動場表層の堅さに関係する。地面の堅さは土の種類、密度、含水量によつて異なるが、現場でこれを測定するには地面に変形を与えてその時の抵抗又は変形量を知ることにより求める事ができる。このような試験方法として次の3種類を試みた。

a) 砲丸落下による堅さ試験

陸上競技場には砲丸投用の砲丸が常備されており、陸上競技連盟競技規則第52条により、その重量と直径が規定されている。

男子用砲丸 重量 7.257kg 以上 直径 110~130mm

女子用砲丸 重量 4.0kg 以上 直径 95~110mm

(註) 直径に幅があるのは真鍮球と鉄球があるからである。

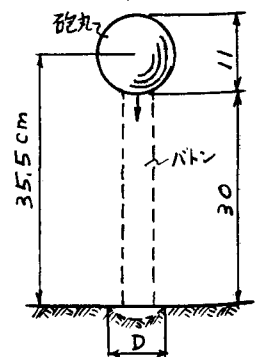


図 22

また金属棒の貫入速度によつて異なつた値を得るから毎秒 $\frac{1}{2}$ " の速度を保つ必要がある。貫入深さは 3" までであるが運動靴のスパイクの長さは約 2cm であるから 1" 押し込んだ時の抵抗値を読むこととした。

実測箇所は次の 7ヶ所である。

- (1) 西京極陸上競技場
- (2) 神戸市民運動場
- (3) 神戸王子陸上競技場
- (4) 大阪ガス今津総合運動場
- (5) 西宮市民運動場
- (6) 国立競技場試験走路
- (7) 国立競技場

以上の測定結果は表11～16および図24～26に示すが、これらの測定結果からいえることは一般に走路のインコースはしばしば走行されるのでアウトコースよりも堅くなつていて大きい値を示す。

国立競技場第1次試験走路では図8.9に示すように各種の断面をもつ走路を築造し比較試験を行なつたが、プロクター・ニードルによる貫入抵抗値は表14に示すごとく No. 3, No. 4, No. 2, No. 5, No. 6 の順で小さくなる。すなわち走路面の締り具合は No. 3 最もかたく、No. 4 これにつぎ、No. 1 と No. 2 は中程度で No. 5 と No. 6 は最もやわらかい。No. 3 と No. 4 がよくしまっているのは主とし

表11 西京極陸上競技場プロクター・ニードル貫入抵抗値
(昭31.6.10測定)

測 定 個 所	貫入抵抗値 (kg/cm ²)
走 路 { アウトコース	70
{ インコース	83
三段跳・(女子) 走幅跳・棒高跳助走路(役員席前)	93
円 盤 投 サ ー ク ル	111
(男子) 走幅跳助走路 (フィールド内)	145
や り 投 助 走 路	152

表12 神戸市民運動場のプロクター・ニードル貫入抵抗値 (昭31.7.7)

測 定 個 所	貫入抵抗値 (kg/cm ²)		
走 路 (ホームストレッチ中央部)	min.	mean	max.
イ ン コ ー ス	48.1	52.9	56.9
ア ウ ト コ ー ス	38.1	40.3	43.5
三段跳助走路	36.8	41.1	46.8
走 高 跳 助 走 路 (海 側)	55.5	66.3	73.6
同 (山 側)	47.5	52.0	60.8
棒 高 跳 助 走 路 (海 側)	70.2	72.0	74.4
や り 投 助 走 路 (海 側)	54.9	65.7	77.0
同 (山 側)	51.5	59.3	70.2
破 丸 投 ビ ッ ト (海 側)	38.8	52.6	62.8
同 (山 側)	60.1	72.6	78.2
ハンマー投ビット	66.9	73.0	>77.0
円板投ビット (山 側)	56.9	67.3	75.0

て下層がしつかりしているためとみられる。No. 5 がやわらかいのは下層がゴムで、ふわふわしすぎ走路面に加わつた荷重が十分拡大されて伝わらないため、部分的に沈下し、クラックが入つて組織が破壊されたため、表層を十分厚くしたならば、弾力性のあるこの構造は練習走路用として足をいためないから研究の価値がある。No. 6 はローラ掛けの回数少なく下層がロームであるため特に軟弱であつた。

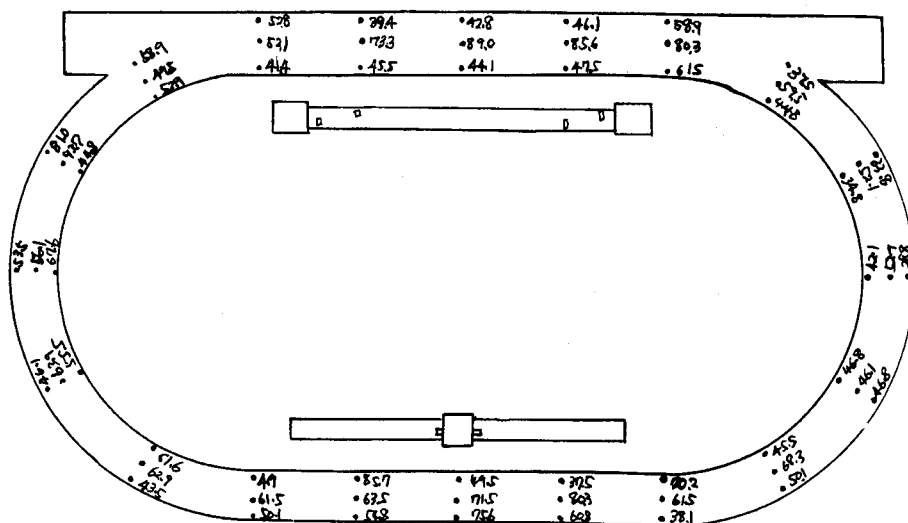


図24 神戸王子陸上競技場

プロクター・ニードル貫入抵抗値 (kg/cm^2) (昭31.10.10 測定)

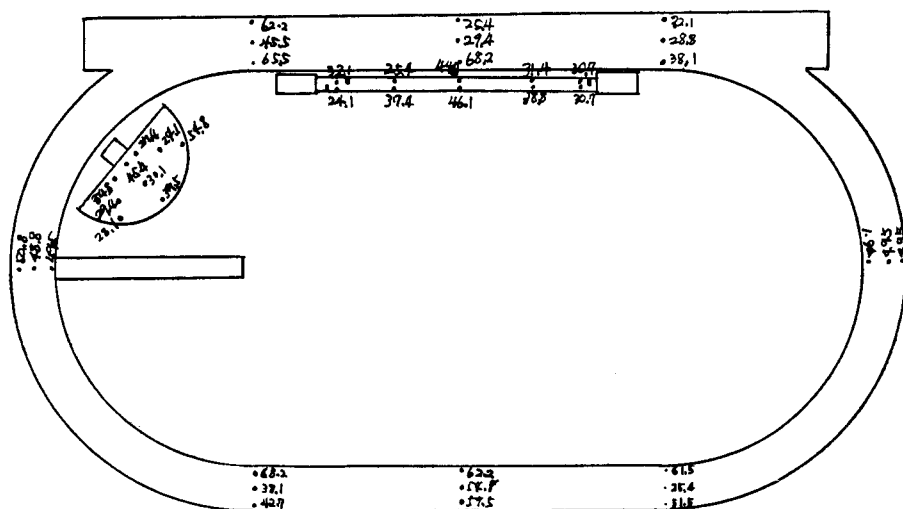
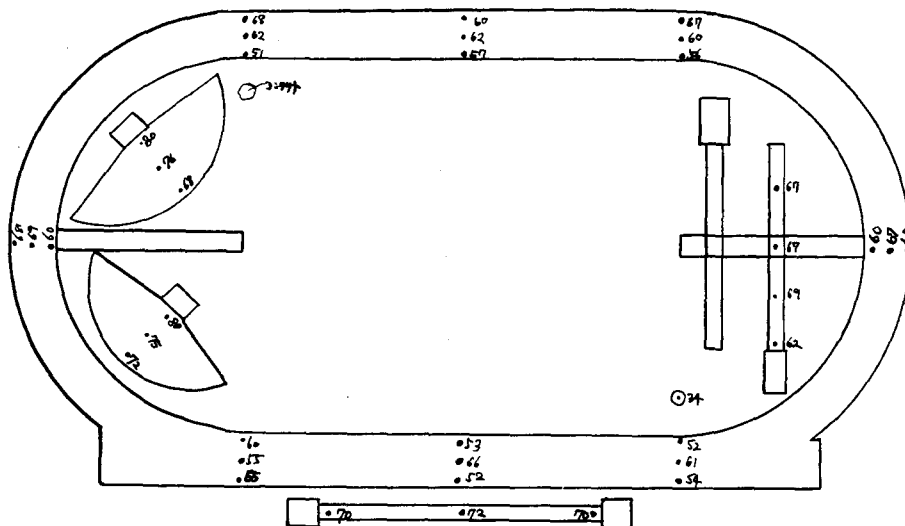


図25 大阪瓦斯KK今津綜合運動場

プロクター・ニードル貫入抵抗値 (kg/cm^2) (昭31.12.5 測定)

図26 西宮市民運動場プロクター・ニードル貫入抵抗値 (kg/cm²)表13 国立競技場第1次試験走路コース別プロクター・ニードル貫入抵抗値 (kg/cm²)

距 離 (m)	4 月 11 日 (降雨前)					4 月 13 日 (降雨後)				
	No. 1	No. 2	No. 5.6	No. 3	No. 4	No. 1	No. 2	No. 5.6	No. 3	No. 4
5	120.0	68.3	24.5	>150.0	86.0	72.4	54.7	31.4	98.4	43.8
10	103.8	76.5	24.5	150.0	84.7	57.4	46.5	30.1	136.5	84.8
15	95.5	68.3	24.5	>150.0	30.1	62.9	62.9	16.4	87.5	76.6
20	79.2	87.5	16.4	116.0	93.0	54.7	42.3	20.5	125.5	82.0
25	72.4	83.2	24.5	68.3	125.5	35.5	31.4	8.2	120.2	86.0
30	83.2	76.5	38.2	>150.0	>150.0	46.5	54.7	8.2	101.1	98.4
35	76.5	82.0	42.3	79.2	121.6	39.7	43.7	16.4	117.5	139.5
40	69.6	103.8	54.6	>150.0	127.2	45.1	50.6	46.5	136.5	75.2
45	79.2	69.6	47.8	117.2	147.5	62.9	47.8	21.9	78.0	82.0
50	84.7	75.1	38.2	43.7	41.0	47.8	38.2	36.9	50.6	60.1
最 大 最 小 平 均	No.5 No.6 120.0 103.8 54.6 42.3>150.0>150.0					No.5 No.6 72.4 62.9 46.5 31.4 136.5 139.5				
	69.6	68.3	38.2	16.4	43.7 30.1	35.5	31.4	21.9	8.2	50.6 43.8
	86.4	79.1	46.9	27.8	117.4 100.7	52.5	47.3	35.1	18.8	105.2 82.8
標 準 偏 差	14.8	10.3	6.7	8.4	38.2 39.8	3.1	8.6	10.1	8.7	26.1 20.6
變 動 係 數 %	17.1	13.0	14.3	30.2	32.6 39.4	5.9	18.2	28.8	46.3	24.9 24.9

註1 No. 5 コースは 35~50m の間, No. 6 コースは 0~35m の間

註2 4月12日夜 15.7mm 降雨あり

後述のとおりこの試験走路について運動選手の感覚テストを行ないアンケート調査を行なったところ、No. 3 と No. 4 が最もよいという結果が出た。すなわち貫入抵抗値 $120\sim 150\text{kg/cm}^2$ の値を示す堅さが最適ということがこれから判明し、国立競技場本走路はこの基準を目標にして築造された。完成後アジア大会当日の値は表15 b に示す通りで走路は平均 144.6kg/cm^2 で、目標の値に達している。詳細にみるとインコースの方がアウトコースよりもよく締つており、また第2コーナー付近は少し値が小さいが、第4コーナーからホームストレッチにかけてよく締つている。これは短距離競走の行なわれる場所で特に堅さを必要とするところであるから、かえつてよい結果を得たものと考えられる。

フィールドの方では走巾跳・三段跳助走路はよくしまり、走高跳・やり投助走路は少し不足している。

表14 国立競技場第2次試験走路
コース別プロクター・ニードル貫入抵抗値 (kg/cm^2)

コースNo.	最大値	最小値	5ヶ所平均値
1 A	70.9	58.9	65.9
1 B	107.0	69.4	89.6
2 A	99.0	75.0	83.0
2 B	96.2	76.2	88.2
2 C	98.0	74.0	83.0
2 D	60.0	50.0	56.1
3	131.0	66.9	112.2
4 A	96.4	91.0	93.7
4 B	107.0	53.5	85.6
5	54.6	38.2	46.9
6	42.3	16.4	27.8

表15 a 国立競技場プロクター・ニードル貫入抵抗値 (kg/cm^2) (5ヶ所平均)
(竣工前・昭33. 3. 16)

走	路	59.0
三 段 跳 助 走 路		78.2
走高跳やり投助走路 (北)		116.5

表15 b 国立競技場プロクター・ニードル貫入抵抗値 (kg/cm^2)
(昭和33. 5. 25アジア大会第1日午後10時測定)

測 定 個 所	1 コー ス	4 コー ス	8 コー ス	平 均
ホームストレッチ中央貴賓席前	170.0	162.0	152.5	161.5
第 1 コー ナ (入口8-9前)	154.0	154.0	119.0	142.3
第 2 コー ナ (入口12前)	147.2	133.8	100.5	127.2
バックストレッチ中央	148.5	140.5	123.3	137.4
第 3 コー ナ (入口23-24前)	148.8	132.5	112.4	131.2
第 4 コー ナ (入口30-1前)	171.5	174.0	158.0	167.8
平 均	156.7	149.5	128.4	144.6
走巾跳・三段跳助走路	—			163.3
走高跳・やり投助走路	—			103.0

表16 バレス・クラブ・コート
プロクター・ニードル貫入抵抗値

種 別	貫入抵抗値 (kg/cm^2)
新アンツーカーコート	53.4~ 66.8
旧アンツーカーコート	33.4~ 57.4
クレーコート	40.1~133.6

c) シュミット・ハンマーによる試験

シュミット・ハンマー(Schmitt Hammer)はコンクリートの表面堅さを測定し、それによつてコンクリートを破壊試験にかけることなく、その強度を判定しようとする目的で考案されたものである。シュミット・ハンマーはこれをコンクリート面に押しつけると内部のバネが一定圧に達し、コックをはずすと内部のツチはバネによつてコンクリート面に打ちつけられ、はね返つて再びバネを押すことになり、このはね返り力がバネの力の%で目盛で指示される。これを走路面の堅さ測定に応用してみたが、地面はコンクリート面ほど堅くないから、バネによる衝撃力はほとんど地面に吸収され、反発が見られない。したがつてもしこの方式で行なう場合にはもつと弱いバネを装置する必要がある。しかし三段跳や走幅跳の踏切板に対しては適用しうることが判明した。踏切板は長 122cm, 幅 200mm, 厚 100mm の木製で(通常ヒノキを使用する), これが正しく設置されているかどうかはシュミット・ハンマーを使用することによつて判定できる。すなわちこの値は木材の部分的な強弱と踏切板の下基礎の強弱が合せて読みとられるから、これによつて材質の欠点や埋込みの可否、選手の跳切個所の選択など踏切板の性能の総合的な判定に役立つ。測定例は表17に示す通りで1個の踏切板で数値に差があるのは踏切に際してうける打撃反発力が同一でないことを示している。

表17 踏切板に対するシュミット・ハンマー値(%)

測 定 個 所	神戸市民運動場			神戸王子陸上競技場			大阪ガス今津運動場			
	左	中央	右	左	中央	右	左	中央	右	
走巾跳踏切板 {	西側	20.5	19.5	14.0	28.0	33.0	31.0	27.0	26.0	22.0
	東側	18.0	18.0	18.0	26.0	40.0	31.0	18.0	21.0	22.0
三段跳踏切板 {	西側	18.0	21.5	20.0	29.0	29.0	25.0	16.0	22.0	19.0
	東側	18.5	23.0	16.5	30.0	34.0	34.0	なし		
スタンド・コンクリート土留 (参考)	—			下端	中央	上端	—			
				40.0	42.0	49.0				

2) スパイク引倒試験

a) 概説

地面に棒を立て地表面を固定支点として上端に水平力Pを加えると、棒は支点Aのまわりに回転し、

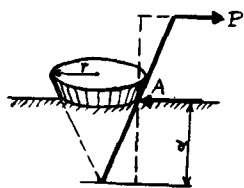


図 27

図27に示すように円錐形の土が地面から押出されて棒は倒れる。回転が起る瞬間の抵抗力は円錐の表面に作用するせん断抵抗(摩擦力と粘着力)である(円錐の土の重さは無視する)。それ故棒に垂直に働く力は円錐の表面積 $\pi r \sqrt{r^2 + d^2}$ に比例する。したがつて r が d の関数であるとするとき棒が回転することに対する抵抗は cd^3 となる。ここに c は比例係数で微小な運動の場合は常数と見なされる。いいかえると c は棒の回転に対する土のせん断抵抗係数である。微小な回転運動の横変位を y とすると、運動を起すに要する力は cd^2y となる。

種々の深さに対する土の抵抗図, 棒の変位図, 棒に働く圧力図を示すと図28のようになる。ただし簡単のため棒の太さ及び弾性的撓みは考えない。

いま支点Aに関するモーメント $\sum M = 0$ とすると、

$$Ph = \frac{ec}{d} \int_0^d x^3 \cdot x \cdot dx$$

$$= \frac{ecd^4}{5}$$

$$\therefore c = \frac{5Ph}{ed^4}$$

$$\text{セン断抵抗 } \tau = cd^2 = \frac{5Ph}{ed^2}$$

P と e は測定することができ、 h と d を一定にしておくことと c を決定することができる。この c は静荷重によるものであるから走行時のそれとはかならずしも一致しないと考えられるが、比較セン断試験としては役立つであろう。

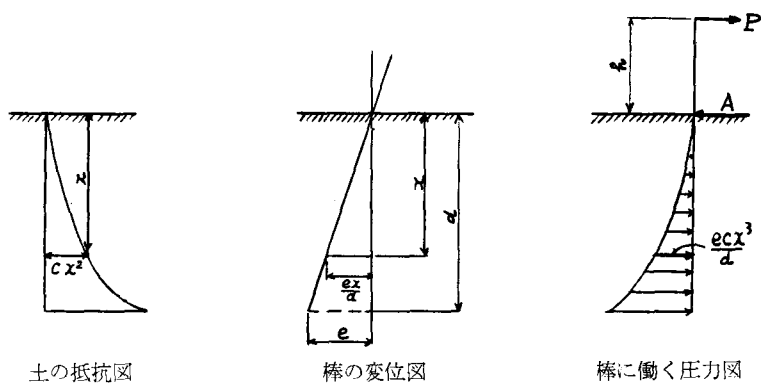


図 28

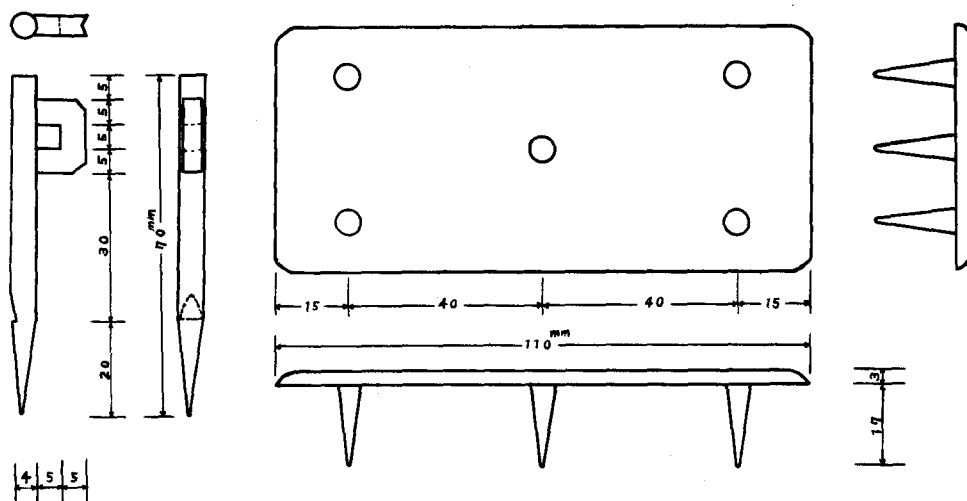


図29 スパイク引倒試験機

b) 試験装置

図29に示すような試験装置を試作したが、このスパイクは地中部が運動靴用スパイクに大体寸法が合せてある。その場合 P はスプリング・バランスの読み、 e はスパイクの頭部のダイヤルゲージの読みの $\frac{1}{2}$ 、 $h=40\text{mm}$ 、 $d=20\text{mm}$ である。

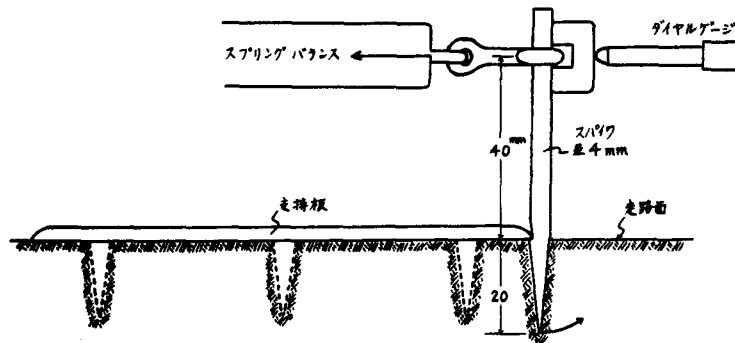


図30 スパイク引倒試験図

c) 測定例

(a) アンツーカー室内試験

アンツーカーの新旧両製品について試験を行なったが、旧製品は細粒分が多いのに比べ、新製品（ネオアンツーカー）は粗粒分が多くなっているが、これら両者のスパイク試験結果は新製品の方が変位量少なく、かつ破壊強度も大である。この両者について $P=1.0\text{kg}$ のときのセン断抵抗を求める次のようになる。（表18および図31）

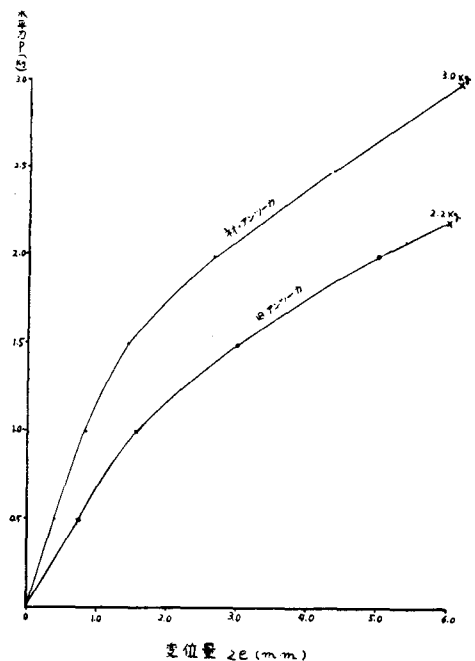


図31 アンツーカーに対するスパイク引倒試験結果（室内試験）

表18 アンツーカーのスパイク引倒試験結果（室内試験）

種 別	セン断抵抗 (kg/cm ²) ($P=1\text{kg}$ のとき)	スパイク引倒強度 (kg)
旧 アンツーカー	64.4	3.0
ネオ アンツーカー	101.6	2.2

(b) 国立競技場第1次試験走路の場合

アンツーカー舗装を行なった No. 3 コースとシンダー混合土舗装を行なった No. 4 コースについて比較試験を行なった結果は表19及び図32に示すごとくシンダー混合土よりもアンツーカーの方がスパイクによるセン断抵抗は大きかった。

表19 国立競技場第1次試験走路のスパイク引倒試験結果

種 別	セン断抵抗 (kg/cm ²) (P=1kg のとき)	スパイク引倒強度 (kg)
No. 3 コース (アンツーカー)	60.0	1.73
No. 4 コース (シンダー混合土)	43.6	1.63

(c) 国立競技場第2次試験走路の場合

表20 国立競技場第2次試験走路のスパイク引倒試験結果

コ ー ス No.	セン断抵抗 (kg/cm ²) (P=1kg のとき)	スパイク引倒強度 (kg)
1 A	62.5	1.40
1 B	61.9	1.50
2 A	89.2	1.80
2 B	32.3	1.50
3	133.5	2.60
4 A	125.0	2.00
4 B	95.0	1.80

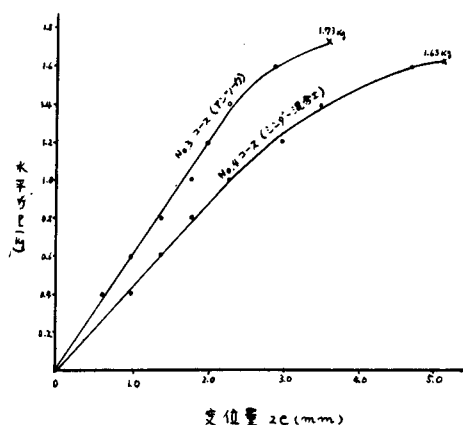


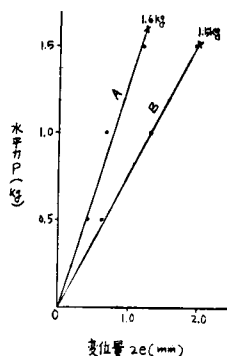
図32 国立競技場第1次試験走路のスパイク引倒試験結果

(d) 国立競技場本走路の場合

国立競技場のバックストレッチ第3コースのアウト側で2ヶ所測定した結果は表21及び図33に示されている。

表21 国立競技場本走路のスパイク引倒試験結果

種 別	セン断抵抗 (kg/cm ²) (P=1kg のとき)	スパイク引倒強度 (kg)
A	124.8	1.60
B	76.8	1.50
平 均	100.8	1.55



国立競技場バックスト
レッチ第3コースアウ
ト側
(入口19-20の中間)

図 33

1.2.5 弾性波試験の実施

1) 概 説

一般に土壌はごく短い周期の振動に対しては弾性的性質を示す。この場合、弾性波の伝わり方は土質や含水量によって異なり、また種類の異なつた地層の境界では反射屈折の現象がおこる。そこで地盤を半無限弾性体とみなし、上記の性質を利用し、人工的に地表面付近に振動を与え、これによって発生した弾性波が地中を如何に伝わつてゆくかを、発振点から種々の距離に微動計をおいてその波動を測定し、その結果を解析するとその土の弾性的性質を明らかにすることができる。

2) 測定装置

弾性波動の記録方式として動線輪型微動計^{1) 2)}(ピックアップ)を使用し、これをオッシログラフで記録させる方式を採用した。使用したオッシログラフは三栄100A型でその電磁音又は25サイクルのものが使用されているから、したがつて縦線の1目盛は1/50秒である。次に発振時刻を知るためには記録装置の電気回路をなす2本のコードの先をわずかにはなして地表におき、後述のように砲丸落下又は鉄槌の打撃によつて回路がとじるようにし記録紙にその時刻を記させる。装置の組合せは図44に示すようであるが、今回のように発振点に近接して微動計がおかれる場合は相当強い振動が

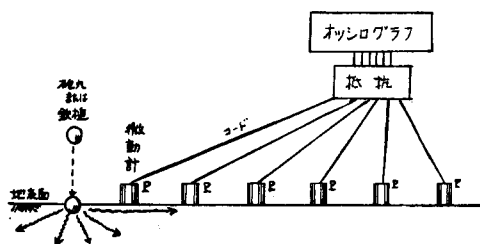


図44 弾性波試験装置構成図

伝わるので、とくに増幅装置を使用する必要は認めず、かえつて微動計とオッシログラフ間の回路に並列に可変抵抗を入れ、流れる電流の強さを加減して記録紙上に適当な振幅の像が記録されるように

1) 萩原尊礼：振動測定，昭32

2) 畑中元弘：動線輪型微動計の振動特性について，京大防災研究所創立5周年記念事業論文集，昭31.11

した。

3) 測定方法

まず各微動計はそれぞれ特性をもっているので、あらかじめ発振点より半径 2.0m の円周上に配置し振動記録の検定を行なった。これによると位相速度の相違は無視できる程度に僅少であるが、振幅の比較をするとかなりの相違があるのでこの場合の較正值を基準にして本試験の振幅を較正した。

(写真 2 および 3)

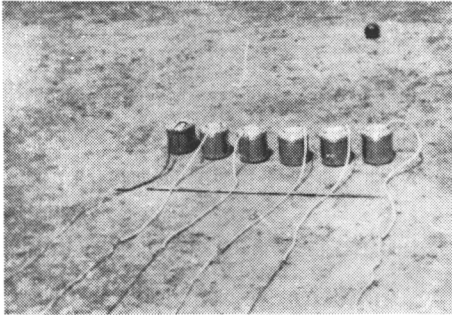


写真 2 微動計の検定

発振点より距離 2.0m の円周上に
配置して振動記録の波形を比較

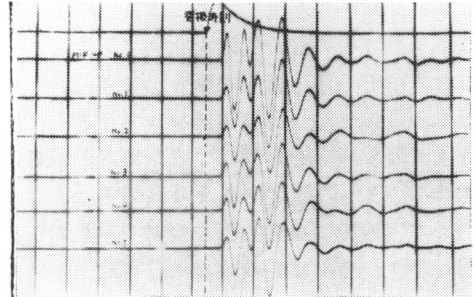


写真 3 微動計の検定, 距離 2.0m

さて運動場の測定箇所は走路及び助走路のそれぞれについて発振点から 0.3, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0m の位置に計 6 個の微動計を一直線上に配置し、運動場面に對し数回測定を繰返した。なお記録装置は発振点より約 20m 隔つたところにおいて記録上に振動の影響がないようにした。弾性波の発振は地上 30cm の高さより重量 7.257kg の陸上競技用砲丸を落すか又は大型金槌で打撃を与えた。砲丸落下に際してはあらかじめ数回予備的に落下させて地表を安定させておいた (写真 4 および 5)。



写真 4 砲丸落下による
弾性波試験(その 1)
(京大運動場にて)

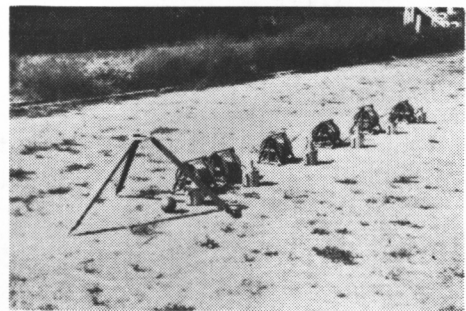


写真 5 砲丸落下による弾性波試験(その 2)
(京大運動場にて)

4) 実験結果の解析

(a) 振動波形

縦波 (Longitudinal waves, Primary waves), 横波 (Transverse waves, Secondary waves), 表

面波 (Surface waves) の速度をポアソン比が 0.25 の場合について比較すると

$$V_P : V_S : V_R = 1 : 0.5773 : 0.5308$$

ここに V_P : 縦波の速度, V_S : 横波の速度, V_R : 表面波の一種レイリー波 (Rayleigh waves) の速度である。すなわち弾性波は一般に縦波・横波・レイリー波の順で伝わってくる。また地中に弾性を異にした層があると, その境界面で縦波や横波が反射・屈折して反射縦波・反射横波・屈折縦波・屈折横波を生ずる。観測距離が相当大であるとこれらの伝播速度の相違から記録波形における各波の位置を識別することができる。しかし距離を長くすると地下深部の影響が大きくなりあられて, 今の場合のごとく表層部の弾性を知るには不適当である。したがって表層部をしらべるには観測距離をできるだけつめて, しかも各波の位相のずれを大きくして識別を容易にするため, 記録紙の送り速度を相当早くする必要がある。使用したオシログラフでは送り速度をあまり高めることはできないので, したがって各波の識別はかなり難しい。しかし本実験では振動波形を検討し, 相対応する各波動の山および谷についてできるだけ多くの走時曲線をかき, その傾斜の差異に着目した。すなわち初動を縦波とすることは異論がないと思われるし, 表面波は振幅が大きく速度一様で急傾斜の直線状走時曲線をえがくから判別ができる。横波は判別困難だが表面波の速度に近似するので, とくに断らない場合は表面波を仮に横波とみなして処理することにする。その実際については後で実例について詳細にのべる。写真 8 は砲丸落下の場合の振動記録の 1 例である。

(b) 弾性波の伝播速度

地表面が平面で大地が均一な物質からなっている場合は走時曲線は原点を通る直線となり, もし地中に層がある場合は走時曲線は屈曲する。走時曲線の屈曲点は直接波と屈折波とが同時に到達する点であるが, この点と発振点との距離を x_1 , x_2 とすると, 第 1 層と第 2 層の厚さ d_1 , d_2 は各層における縦波の速度 v_1 , v_2 , v_3 から次の式で計算できる。

$$d_1 = \frac{x_1}{2} \sqrt{\frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1}}$$

$$d_2 = \frac{x_2}{2} \cdot \frac{v_3 - v_2}{v_3 + v_2} - d_1 \frac{v_2 \sqrt{v_3^2 - v_1^2} - v_3 \sqrt{v_2^2 - v_1^2}}{v_1 \sqrt{v_3^2 - v_2^2}}$$

(c) 弾性常数

縦波および横波の速度と弾性常数との間には次の関係がある。

$$V_P = \sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{\rho(1+\sigma)(1-2\sigma)}}$$

$$V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1}{2(1+\sigma)}} \quad \therefore \mu = V_S^2 \rho$$

$$\frac{V_P}{V_S} = \sqrt{\frac{2(1-\sigma)}{1-2\sigma}} \quad \therefore \sigma = \frac{\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 2}{2\left[\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 1\right]}$$

$$E = 2\mu(\sigma + 1)$$

ここに V_P は縦波の速度 (cm/sec), V_S は横波の速度 (cm/sec), μ は剛性率 (dyne/cm²), E はヤング率 (dyne/cm²), σ はポアソン比, ρ は土の密度 (g/cm³) である。ポアソン比は弾性体を一方向

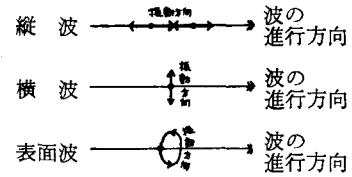


図45 弾性波の進行方向と振動方向の関係

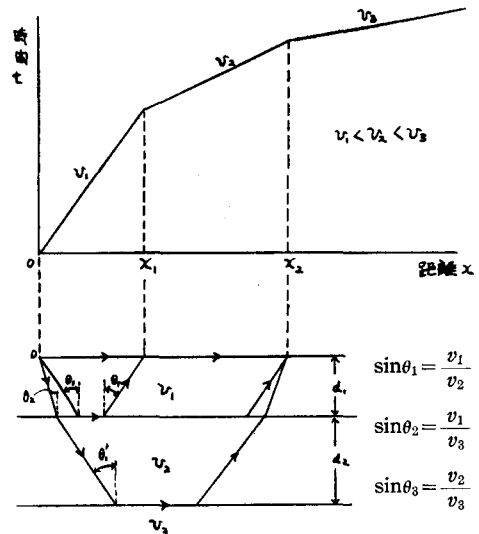


図47 弾性波の伝わり方と走時曲線

に引張り、または圧縮したとき、縦方向と横方向の伸び率またはちぢみ率の比で、等方等質材料の場合はポアソン比は0.25、弾性体の限界は0.5である。なお dyne/cm^2 は絶対単位で、工学上は一般に重力単位 kg/cm^2 が用いられるから、重力の加速度 $= 980 \text{cm/sec}^2$ として μ および E を kg/cm^2 で示すことにする ($980 \text{ dyne} = 1 \text{g 重}$, $1 \text{ dyne/cm}^2 = \frac{1}{980 \times 1000} \text{ kg/cm}^2$)。

(d) 振幅の時間的減衰

一般に減衰振動では時間の経過とともに相次ぐ振幅がほぼ一定の比をもつて次第に減少する。相次ぐ振幅の比を減衰比と称し v であらわす。図48において

$$v = \frac{|y_1|}{|y_2|} = \frac{|y_2|}{|y_3|} = \dots\dots$$

あるいは

$$v = \frac{w_1}{w_2} = \frac{w_2}{w_3} = \dots\dots$$

ここに $y_1, y_2, \dots\dots$ は振幅で、 $w_1, w_2, \dots\dots$ は複振幅である。

減衰比 v の実用対数を A で表わしこれを対数減衰率という。

$$A = \log_{10} v$$

また減衰常数 h は次のようになる。¹⁾

$$h = \frac{0.7330 A}{\sqrt{1 + 0.53720 A^2}}$$

そこで複振幅を m 番目毎に読取り、これを $w_1, w_2, \dots\dots w_N, \dots\dots$ とし横軸に N 、縦軸に $\log_{10} w_N$ をとつて読取値を図示すると、各点の一つの直線上にのり、その勾配が $m \log_{10} v$ すなわち対数減衰率の m 倍を与えるから、これより v を求めることができる。

(e) 距離による振幅の減衰

最大振幅を与える波動はいまの場合レイリー型表面波と考えることができるが、この場合発振点から距離 x なる点における最大振幅 y は次の如くあらわされる。²⁾

$$y = c \frac{1}{\sqrt{x}} e^{-\alpha x}$$

ここに α は土地によつて定まる常数で減衰係数といい、 c は常数である。いま発振点から x_1 なる基準点の振幅を y_1 、 x_n なる点の振幅を y_n とすると (図49)、

$$y_1 = c \frac{1}{\sqrt{x_1}} e^{-\alpha x_1}$$

$$y_n = c \frac{1}{\sqrt{x_n}} e^{-\alpha x_n}$$

両式より
$$y_n = y_1 \sqrt{\frac{x_1}{x_n}} e^{-\alpha(x_n - x_1)}$$

対数をとると、

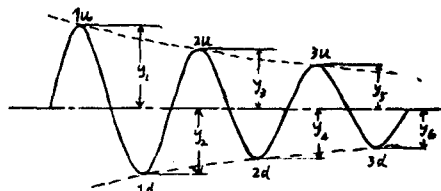


図48 振巾の時間的減衰記録(模式図)

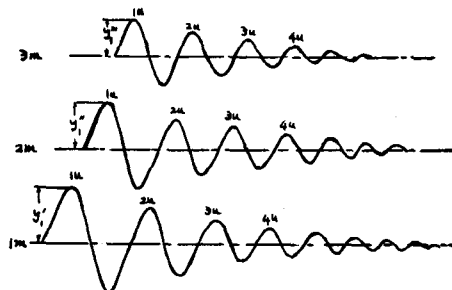


図49 距離による振巾の減衰記録(模式図)

1) 萩原尊礼：振動測定，昭32，P29

2) 那須信治：地震（アルス土木工学大講座3），昭11

$$\log\left(\frac{y_n}{y_1}\sqrt{\frac{x_n}{x_1}}\right) = -\alpha(x_n - x_1)$$

x_1, y_1, x_n, y_n は測定の結果わかつているから減衰係数 α を求めることができる。

土が弾性的であるほど、振動はいち早く遠くまで伝わり、ある点における時間的減衰は大きく、逆に弾性的性質に乏しいと振動エネルギーは分散せずにある点にとどまり、したがってその点の時間的減衰は一般に小さいと考えられるから、振幅の減衰状態は土の弾性的性質を知る上で必要である。

5) 測定例

(a) 西京極陸上競技場の場合

地表のごく薄い層の弾性を精密に測るためには微動計を発振点の近くに間隔をつめて配置する必要がある。そこで西京極陸上競技場では発振点から 35cm までは 5cm 間隔に、1m までは 15cm 間隔に、5m までは 1m 間隔において観測し、ごくうすい地表層を伝わる波をキャッチしようと試みた。ただし微動計は直径が約 12cm あるので、15cm 以下の間隔では一直線に並べることは不可能である。それゆえ図50のように発振点を中心とした同心円上に配列し、またそのままでは底面が大に過ぎるので直径 45mm、厚さ 10mm の金属盤の上ののせて、5cm 間隔になるように工夫し、その間の土質は平面的に等質であると仮定した。なお弾性波試験を実施した個所は同競技場のホームストレッチ中央部附近の走路、助走路および芝生である。

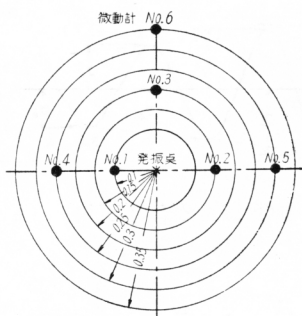


図50 0.1~0.35mまでの微動計の配置

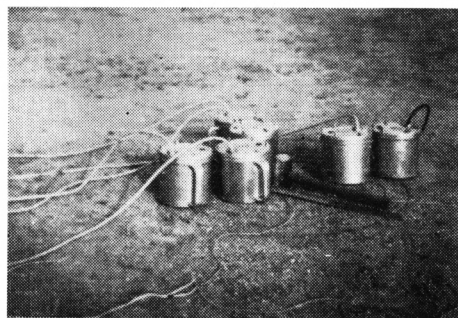


写真6 微動計を間隔 5 cm に配置

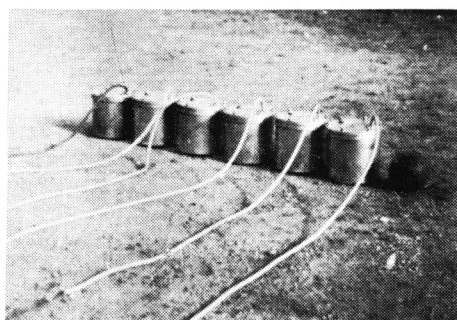


写真7 微動計を間隔 15cm に配置

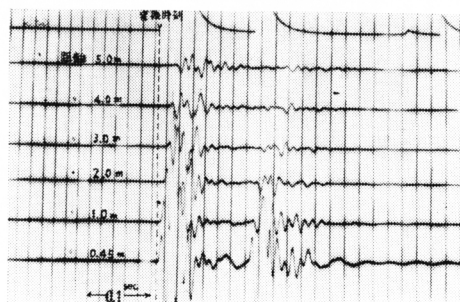


写真8 振動記録の例
(西京極陸上競技場走路の場合)

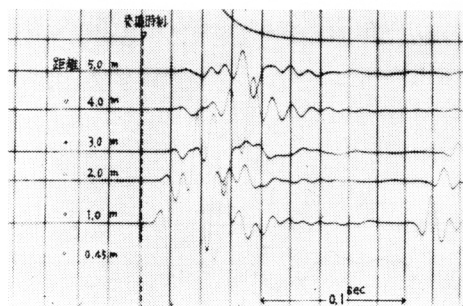


写真9 振動記録の例
(西京極陸上競技場三段跳助走路の場合)

さて振動記録から一つ一つの波の走時曲線をかくと図51のごとくなり、波の速さに種類のあること

がわかる。すなわち最も早く到達して初動となるのは縦波であることは明らかで、おくれてほぼ一定の速度でやってくる波は表面波であるとみなされる。すなわち表面波は運動場表層のように平面的にはほぼ等質の地盤を通ってくるから速度はかわらず、したがって走時曲線は一定の傾斜をもつ直線となる。横波は縦波と表面波の中間の速度であるから、縦波や表面波とは傾斜のことなつた走時曲線としてあらわれるはずである。いまの場合初動（縦波）の走時曲線を見ると、この実験の観測距離 5m 以内ではなめらかな曲線になつていて、著しい屈曲点は認められない。（図51a, 51b）これは地下には明らかに弾性を異にする層は存在せず、深さと共に次第に土の弾性が増加しているものと推定される。本競技場はもともと基礎に割栗石、中層に粗石炭ガラ、表層に山土と細石炭ガラの混合土がおかれて、各層の間にはつきりした弾性的境界層がないのであろう。ところで図 51a の走時曲線の第 3 番目の (1d) を見ると距離 3m の点で屈曲しており、3m 以前の走時曲線は初動のそれと平行であつて、これはおくれて発生した縦波である。距離 3m 以後のそれは速度のことなる波が前半の縦波に重なつてそのため走時曲線が屈曲したものと考えられる。またこれは振動記録をみると後半の波は振幅が大きいいことから縦波でないことがわかる。（明瞭な境界層がないから屈折波、反射波は考慮に入れない）。結局、“初動”、“1u”、“1d の前半”および“2u の前半”は縦波であり、その他はすべて縦波でない波である。しかし 7u のごときは明らかに表面波である。この走時曲線だけで横波を確実に指摘することはできないから、いまは縦波とも表面波とも異なる波（“1d 後半”、“2u 後半”、“2d 後半”）を仮に横波とみなすことにした。

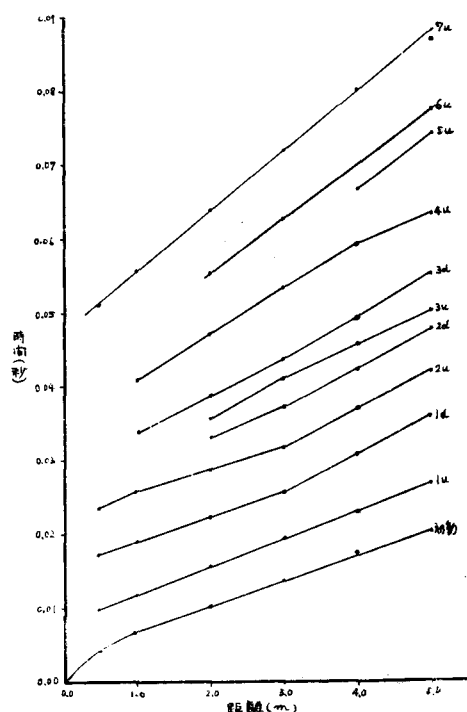


図51 a 西京極陸上競技場走路の走時曲線(1)

(1u~7uは波の番号, uは波の山,
dは波の谷を示す)

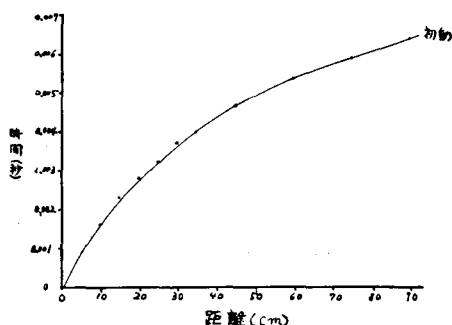


図51 b 西京極陸上競技場走路の走時曲線(2)

一般に土壌層内において弾性波の速度が深さの関数である場合には、その走時曲線は2次曲線¹⁾ $x=at+bt^2$ として表わすことができる。西京極の場合走路、助走路、フィールド（芝生）の縦波と横波の走時曲線式は次のようである。

$$\text{走 路} \begin{cases} x=117.16t+6200.84t^2 \cdots \cdots \text{P 波} \\ x=64.13t+2009.58t^2 \cdots \cdots \text{S 波} \end{cases}$$

$$\text{助 走 路} \begin{cases} x=121.80t+6561.69t^2 \cdots \cdots \text{P 波} \\ x=69.13t+1638.82t^2 \cdots \cdots \text{S 波} \end{cases}$$

$$\text{フ ィ ー ル ド} \begin{cases} x=118.08t+3808.63t^2 \cdots \cdots \text{P 波} \\ (\text{芝 生}) \quad x=52.73t+1279.96t^2 \cdots \cdots \text{S 波} \end{cases}$$

1) 那須信治：土壌層の弾性的性質に関する野外測定（その1）（英文）
東大地震研究所彙報, No. 27, 1~4冊, 昭24, 1~12

これらの式から地下の各深さの波の速度分布が計算でき、したがってそれぞれの深さにおけるポアソン比，剛性率，ヤング率などの弾性常数を求めることができる。（図52および表22）

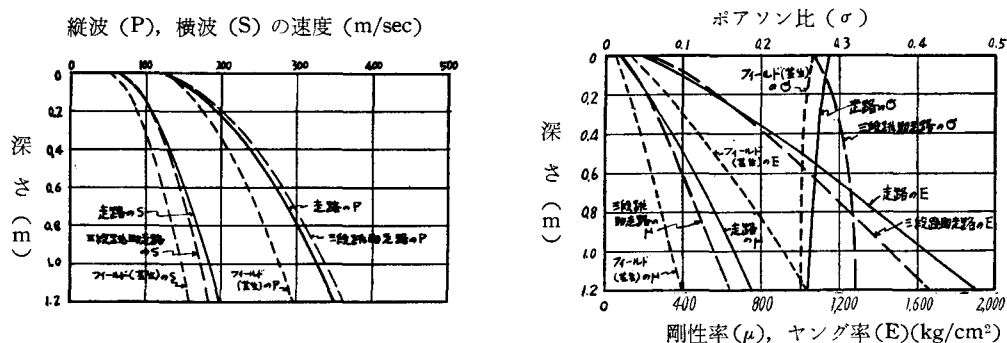


図52 西京極陸上競技場の地盤深度と弾性常数との関係

表22 西京極陸上競技場の舗装の弾性常数

種 別	個 所 (深 さ)	密 度 γ_t (g/cm ³)	含水比 w (%)	縦波 V_P (m/sec)	横波 V_S (m/sec)	ポアソン比 σ	剛性率 μ (kg/cm ²)	ヤング率 E (kg/cm ²)
走 路	地表 0 cm	1.90	9.3	117	64	0.286	80	205
	地下 10cm	1.90	9.3	165	91	0.283	160	411
三段跳 助走路	地表 0 cm	1.85	5.7	122	69	0.264	83	209
	地下 10cm	1.85	5.7	172	95	0.281	170	436
フィールド (芝生)	地表 0 cm	1.56	10.5	118	53	0.373	45	122
	地下 10cm	1.56	10.5	154	76	0.339	92	246

(b) 京都大学運動場の場合

京都大学運動場の走路の走時曲線を各波動の山および谷について示すと図55aのとおりで、この場合縦波の走時曲線は明らかに屈折点があり地下に境界層のあることを示している。そこで縦波と横波の速度（表23）から地下層の深さを計算してみると 60cm となる。しかし薄い表層があるはずであるが走時曲線に明瞭にあらわれてこないで、改めて微動計を 5 cm および 15cm 間隔に配置して弾性波試験を行うと図55bのごとくなり、これから表層の厚さを計算すると 9cm となつた。

実際に掘てみると図 56 および写真 10 に示すごとく、地表 10 cm は石炭ガラ混りの山土層で、その下はずつと砂層で、さらに 30cm ほど下のところから砂利まじりとなり、約 65cm 下から栗石大のものがでてきた。もつとも 10cm 厚の表層は昭和29年に改修したものであるが、下層は築造以来すでに20年以上経過しており、あまり判然とした層にはなっていない。次に各層の弾性常数を求めると表 23a, 23bのごとくなる。振幅の減衰については図 57 および表24に示される。

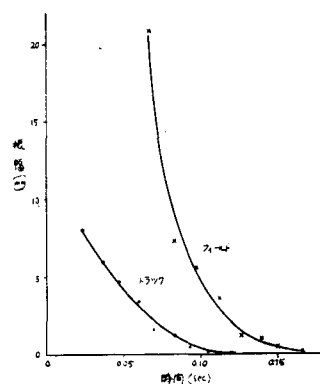


図53 西京極陸上競技場
振幅の時間的減衰曲線

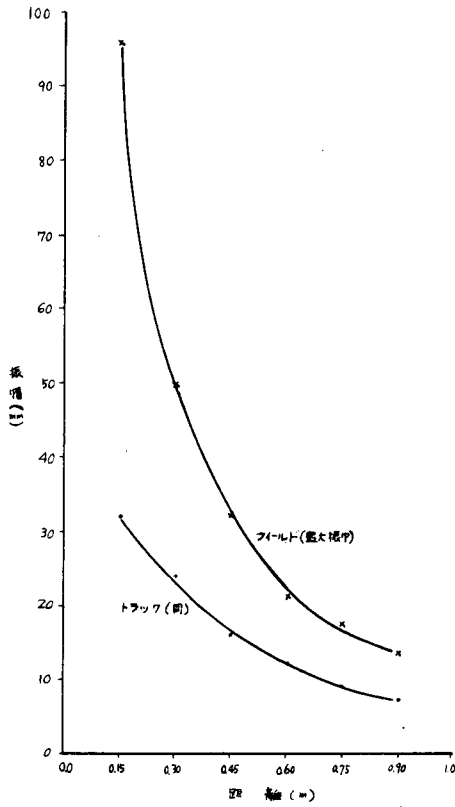


図54 西京極陸上競技場
距離による振幅の減衰曲線

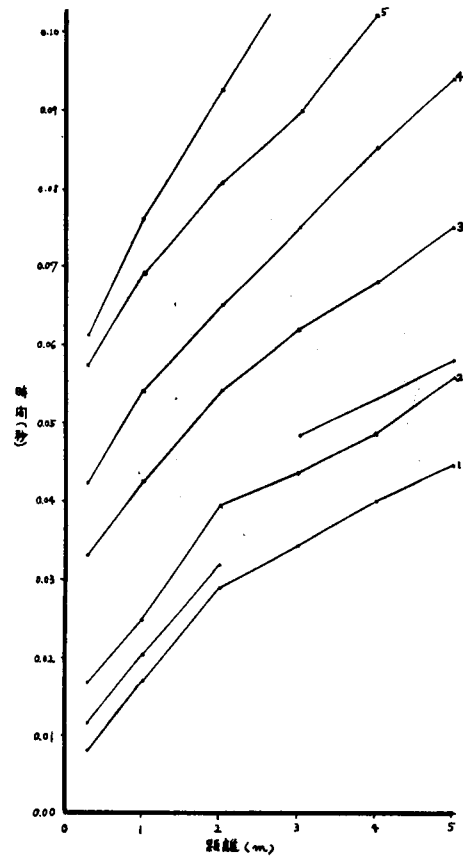


図55 a 京都大学運動場走路の走時曲線 (1)

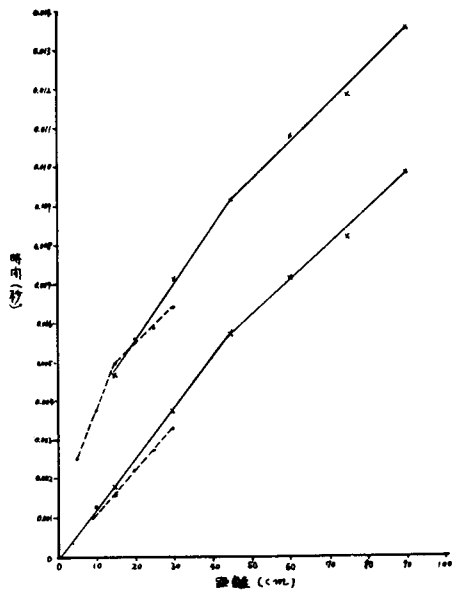


図55 b 京大運動場走路の走時曲線 (2)

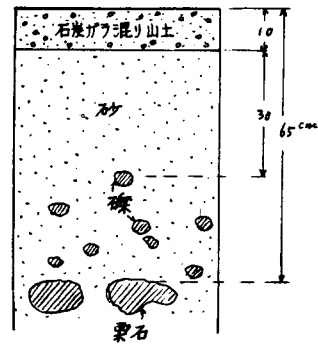


図56 京都大学運動場
走路断面 (模式的)

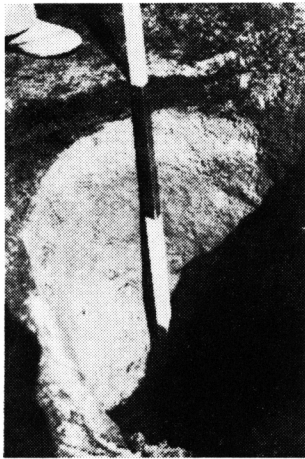


写真10 京大運動場走路断面

表 24

種 別	トラック	フィールド
減 衰 比 v	1.614	1.393
減衰常数 h	0.145	0.102
減衰係数 α	0.170	0.250

(c) 国立競技場の場合

国立競技場第1次試験走路では6種類の断面をもつものが試作されたが、その各々について径約10cmの丸太杭をうつて、これにシグナル接点をつけピックアップを上下動として使用する場合は杭の頭を、水平動として使用する場合は杭の根元をピックアップの列と直角方向に鉄槌で打撃を与えて発振させた。ピックアップの間隔は発振点より (a) 0.30, 0.45, 0.60, 0.75, 0.90, 1.05m (b) 0.50, 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00mの2組として配置した。なお上下動の場合は径45mm

厚10mmの金属盤の上にのせて接地面積を小さくした。測定結果は図58~63に示するような走時曲線となり、これによつて計算した弾性常数は表25に示されている。(写真11および12)

国立競技場第1次試験走路各コースについてみると、No.3コースが最もヤング率、剛性率が大きい。したがつて弾性的であり、剛性的であるといいうる。これに反してNo.5コースは中間層として廃物ゴムの層があり、そのため表層は十分しまつていないけれども明らかに弾力的であり、これはヤング率剛性率の小さいわりにポアソン比の大きいことによつてうかがえる。なおポアソン比は土の含

表23 a 京都大学運動場走路の弾性常数(1)

種 別	表 層	下 層
含 水 比 w (%)	11.3	12.6
見 掛 比 重 γ_t (g/cm ³)	1.88	1.92
縦 波 V_P (m/sec)	85	180
横 波 V_S (m/sec)	45	100
ヤング率 E (kg/cm ²)	101	500
剛 性 率 μ (kg/cm ²)	39	196
ポ ア ソ ン 比 σ	0.306	0.277

表23 b 京都大学運動場走路の弾性常数(2)

種 別	表 層	中 層
縦 波 V_P (m/sec)	80	110
横 波 V_S (m/sec)	42	60
ヤング率 E (kg/cm ²)	89	180
剛 性 率 μ (kg/cm ²)	34	69
ポ ア ソ ン 比 σ	0.307	0.289

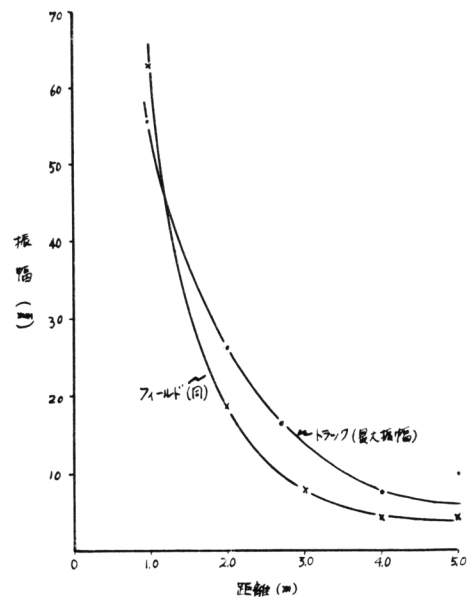


図57 京都大学運動場、振幅の距離による減衰曲線

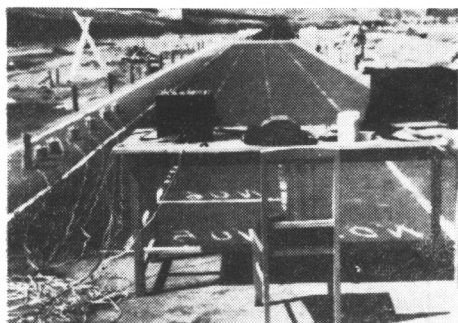


写真11 国立競技場試験走路にて
弾性波試験実施中の写真

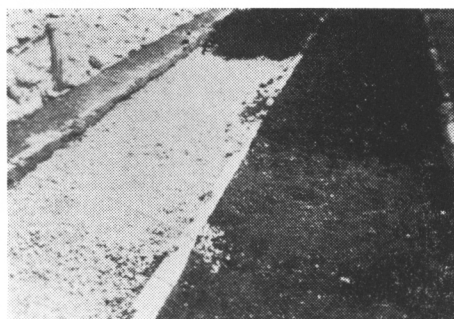


写真12 同試験走路の各層材料
向つて左側コースの白味をおびた下層材料はハ
ルナ砂利, 右側コースの灰味のものは大島砂利,
上部に見える黒味のものは中層の石炭ガラ

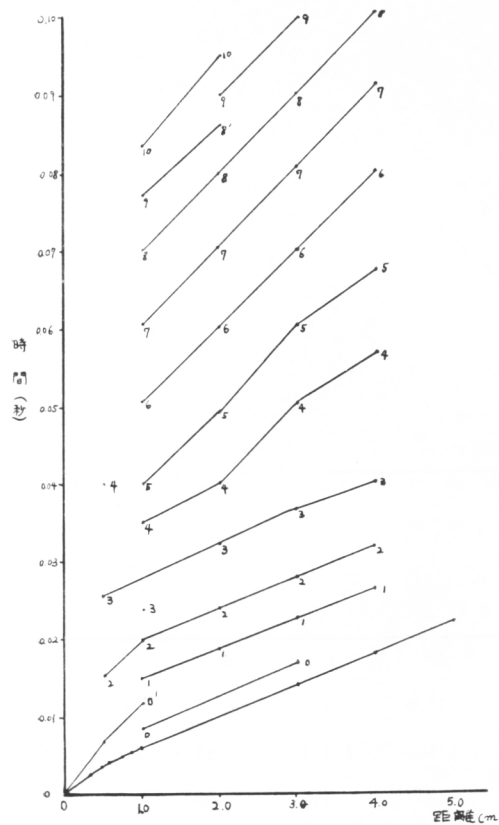


図58 走路 No. 1 の走時曲線

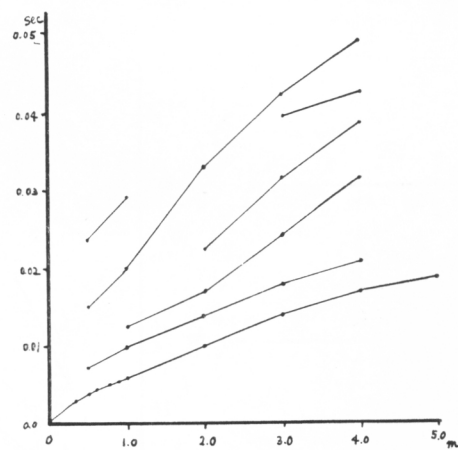


図59 走路 No. 2 の走時曲線

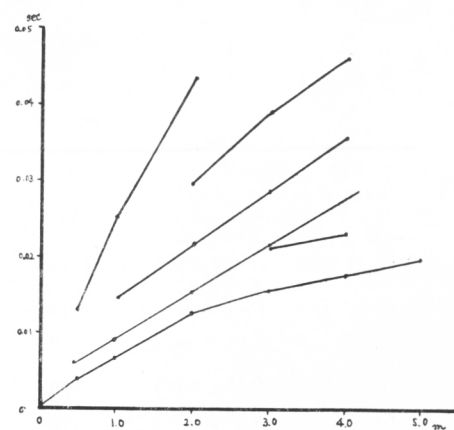


図60 走路 No. 3 の走時曲線

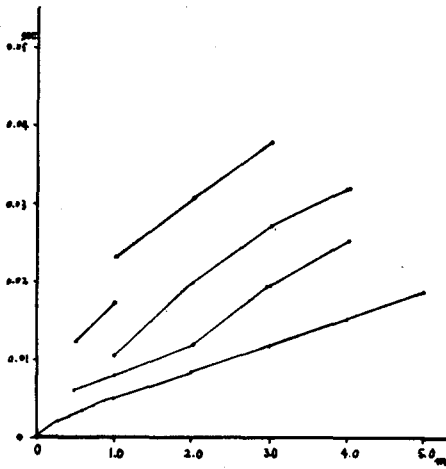


図61 走路 No. 4 の走時曲線

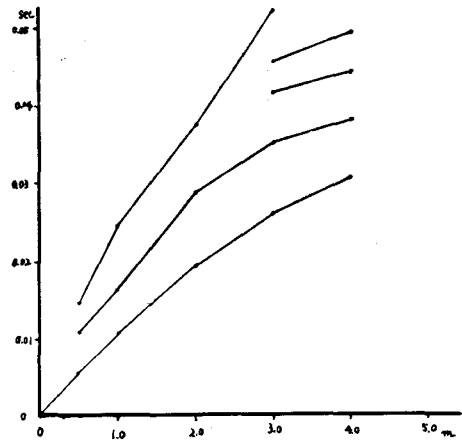


図62 走路 No. 5 の走時曲線

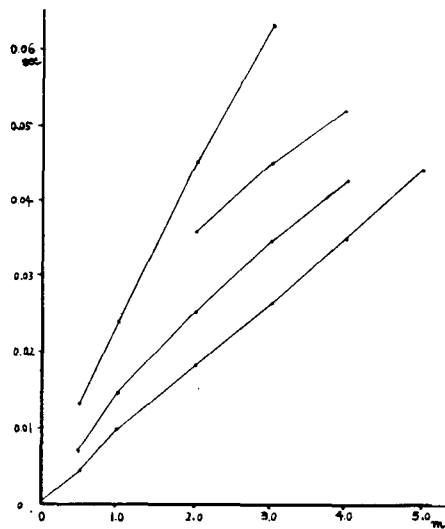


図63 走路 No. 6 の走時曲線

表25 各走路の弾性常数

走 路 No.	1	2	3	4	5	6
含 水 比 w (%)	13.2	15.2	13.0	21.4	13.5	18.3
見 掛 密 度 γ_t (g/cm ³)	1.728	1.644	1.885	1.484	1.781	1.696
縦 波 V_P (m/sec)	140	116	137	110	90	112
横 波 V_S (m/sec)	82	69	82	65	48	67
ヤ ン グ 率 E (kg/cm ²)	292	195	314	157	109	190
剛 性 率 μ (kg/cm ²)	118	80	129	64	42	78
ポ ア ソ ン 比 σ	0.238	0.225	0.221	0.231	0.300	0.222

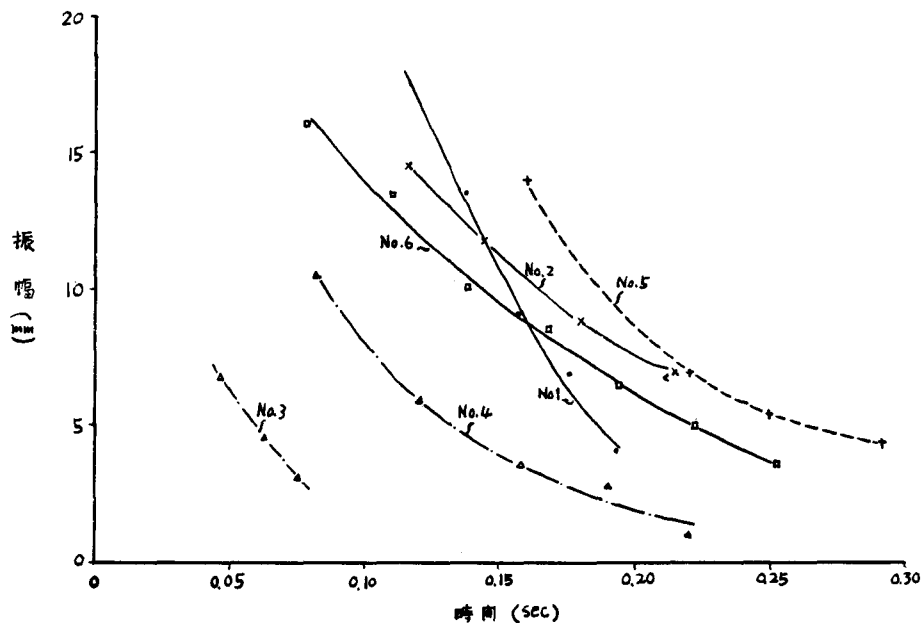


図64 国立競技場第1次試験走路，振幅の時間的減衰曲線

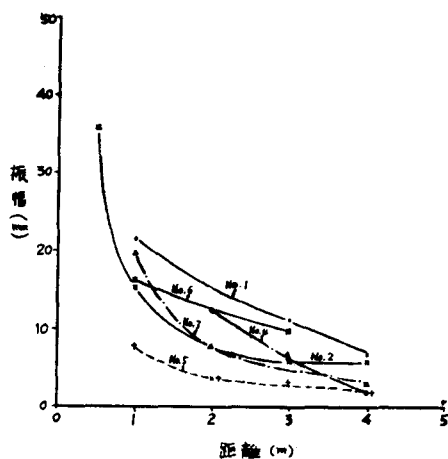
図65 国立競技場第1次試験走路
振幅の距離による減衰曲線

表26 国立競技場第2次試験走路の弾性常数

コース No.	1 A	1 B	2 A	2 B	2 C	2 D	3	4 A	4 B	5	6
含水比 w (%)	22.3	21.4	22.5	22.5	23.6	22.5	18.8	22.5	22.5	18.8	18.8
見掛け密度 γ_t (g/cm ³)	1.78	1.86	1.73	1.59	1.67	1.66	1.94	1.93	1.88	1.81	1.83
縦波 V_p (m/sec)	112	115	149	140	143	112	150	133	125	75	88
横波 V_s (m/sec)	66	65	88	85	86	67	89	83	80	43	53
ヤング率 E (kg/cm ²)	196	203	338	283	306	186	386	321	282	86	128
剛性率 μ (kg/cm ²)	79	80	137	118	126	76	157	136	122	34	53
ポアソン比 σ	0.235	0.265	0.234	0.208	0.217	0.222	0.228	0.184	0.153	0.255	0.216

表27 国立競技場走路および助走路の弾性常数 (昭33. 3. 16 測定)

種 別	走 路	三段跳助走路	走高跳・やり投 助 走 路 (北)
含 水 比 w (%)	27.7	23.4	18.2
見掛密度 γ_t (g/cm ³)	1.625	1.854	1.585
縦 波 V_P (m/sec)	130	110	160
横 波 V_S (m/sec)	75	65	95
ヤング率 E (kg/cm ²)	275	197	360
剛 性 率 μ (kg/cm ²)	106	80	146
ポアソン比 σ	0.250	0.232	0.226

水量の増加にともなつて大きくなる傾向をもつ。運動場の表層は堅くてよくスパイクがきき、しかも弾力性のあることが要求されるからこのような土の弾性常数については一般に剛性率が大きくてセン断に耐え、反面、ヤング率は比較的小さく、しかもポアソン比が大きい値を示すようなものであることが望ましいことになる。しかし実際は剛性率の大きいものはヤング率も大きい傾向をもつから一種類の土（同一材料）では前述のような理想条件に合致することは難かしい。

(d) 田園コロシウム・テニスコートの場合

このテニスコートは図6 b(2)に示すごとく埼玉県産荒木田にて舗装しており、陸上競技のようにスパイクのある靴をはかないから、陸上競技場ほど強く締め固める必要はない。プロクターニードル貫入抵抗値は平均 87kg/cm² で比較的軟かい。これについて弾性波試験を行つた結果は表28に示してある。

表28 田園コロシウム・テニスコート弾性常数

種 別	メインコート
含 水 比 w (%)	15.0
見掛密度 γ_t (g/cm ³)	1.850
縦 波 V_P (m/sec)	90
横 波 V_S (m/sec)	46
ヤング率 E (kg/cm ²)	105
剛 性 率 μ (kg/cm ²)	40
ポアソン比 σ	0.324

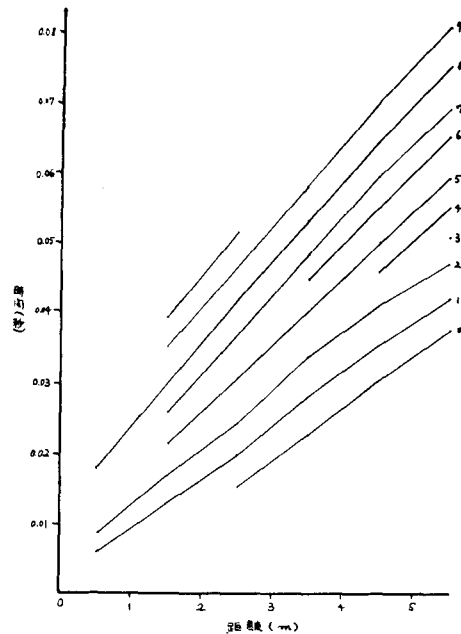


図66 大阪ガス今津総合運動場走時曲線

表29 大阪ガス今津総合運動場の弾性常数

種 別	走 路
含 水 比 w (%)	12.7
見掛密度 γ_t (g/cm ³)	1.650
縦 波 V_P (m/sec)	135
横 波 V_S (m/sec)	85
ヤング率 E (kg/cm ²)	284
剛 性 率 μ (kg/cm ²)	122
ポアソン比 σ	0.170

(e) 大阪ガス今津総合運動場の場合

この運動場は平均 1m の厚さに石炭ガラで地上げしてある。表層の厚さは 5 cm で比較的薄いから走時曲線は図66に示すようにほとんど屈曲のない直線であられる。陸上競技場の中層には石炭ガラが使用されるが、その効果を知るためにこの厚い石炭ガラ層の弾性波試験結果は参考となる。

(表29)

これからわかることは石炭ガラ層をおくことは、弾力性を付与するという点ではあまり効果は期待できない。走行、跳躍において、地表面に荷重がかかりそれによつて地中にふくまれる空気が圧縮され、その反発力によつて弾性を期待するにはあまりに石炭ガラ層の間ゲキ量が多すぎ、空気は自由に流動しうるからであると考え。この点についてはあとでもう一度論ずる。

1.3 運動選手に対するアンケート調査

1) 概 説

運動場のグラウンド・コンディションについて運動選手が走路が堅いとか柔らかいとか言うことは選手が走つたり跳んだりしたときの感じをいうのであるから、選手の個人的な好みとか身体つきによつて相違があるはずである。しかし大多数の選手が良いと認めるものが存在するならば、それを科学的にしらべることによつてある程度解決はつき、そのデータは新しく競技場を作る場合に有力な参考となるであろう。反対に最も望ましい性能をもつと考えられるような土質を具えている競技場がなくても、多くの競技場について選手の評価と土質試験によるデータとを蓄積して、少なくともデータのこの範囲内では評価は不良であるということが判明すれば逆に選手が要求する土質の性能の範囲をある程度推定することができ、やがてそれを基礎にして最も好ましいと考えられるコンディションをもつように築造する方法を見出すこともできるであろう。そういう意味で土質試験と並行してアンケート調査を行なうことが必要である。

2) 調査方法

ある運動場のグラウンド・コンディションについてアンケート調査を行なう場合、アンケートを確実に得るといふ点では、その運動場で競技終了後に選手に一人々々面接して行なうのがよい。しかし当日は選手の中には成績が良くても悪くてもかなり興奮している者もあり、冷静な判断にもとづいた答をしてくれないということがある。そこで比較的客観的な判断にもとづいたアンケートを得るためには、帰郷した直後のまだ感覚の生々しい頃を見はからつて、往復ハガキで問合すのが一番よい。こ

表30 オリンピック候補選手挑戦陸上競技大会における
西京極陸上競技場グラウンド・コンディション・アンケート用紙

(1) 出場種目ごとにそのグラウンド・コンディションをお聞かせ下さい。					
出場種目	該当箇所を○でかこむ				
(1)	(イ) 非常にやわらかい	少しやわらかい	この位の堅さでよい	少し堅い	非常に堅い
	(ロ) 弾力性非常に不足	弾力性少し不足	この位の弾力性でよい	弾力性ありすぎる	
(2)	(イ) 非常にやわらかい	少しやわらかい	この位の堅さでよい	少し堅い	非常に堅い
	(ロ) 弾力性非常に不足	弾力性少し不足	この位の弾力性でよい	弾力性ありすぎる	
(2) グラウンド・コンディションにつき、その他の御意見があればお聞かせ下さい。					
(3) 過去に出場された国内の競技場でどこが一番グラウンド・コンディションが良いと思いますか。					
その名称		出場年月	出場種目		
(4) あなたの所属とお名前					

の場合そのような調査に関心をもたない選手には、調査は無視されて返信が得られないという心配がある。しかしそのような選手はたとえ面接しても適切な答を出さないから同じである。むしろ記録保持者のように優秀選手でいつもグラウンド・コンディションに注意を払っている選手を対象に調査を行つた方がたとえ調査数は少なくとも信頼のおける結果を得ることができるであろう。したがって全国的な競技会をねらつて調査を行なうのが適切である。選手の感覚はスパイクがきくとかきかないとか、バネがあるとかないとか、またそれを合せて軽いとか重いとかいう程度の大まかなものであり、したがって調査内容を分析的に細かく分けても答えられないから、感覚と一致した程度の表現としておくのがよい。その例を表30、31に示す。

表31 a 第3回アジア大会における国立競技場のグラウンド・コンディション・アンケート用紙（日本選手用）

国立競技場についてあなたの御意見をお聞かせ下さい。			
氏 名	No.	出場種目	
(1) グラウンド・コンディションについて（該当箇所を○印でかこんで下さい）			
(a) スパイクのきき具合	かたすぎる	適 当	軟弱にすぎる
(b) 弾 力 性	適 当	不 足	
(c) 投擲サークル	滑りやすい	適 当	粗すぎる
(2) 競技施設についての御意見			

表31 b 同上外国選手用アンケート用紙

We wish to have your suggestion about the national stadium. Please write answer to the following questions.	
Your name ()	Number ()
Nationality ()	Events ()
(1) On the surface condition of track or field; (please check)	
(a) ☐ Hard	☐ Medium ☐ Soft
(b) ☐ Well-bound	☐ Less-bound
Throwing circle of concrete,	
(c) ☐ Slippery	☐ Good ☐ Coarse
(2) What do you think about the athletic facilities of this stadium?	

3) 調査の例

a) 西京極陸上競技場におけるオリンピック候補挑戦大会（昭和31年6月10日）に出場した選手について調査したが、その答としては走路は少しやわらかく、弾力性も少し不足しているというのが多く、跳躍、投てき場は一般に堅さはこの位でよいが、弾力性が少し不足しているという答の多いのが目立つた（この時には投てきサークル内はまだコンクリート舗装は採用されていない）。また今までに良いと考えられた競技場としては走路では神宮、三ツ沢、岐阜、水前寺、鞘ヶ谷（八幡製鉄）が、跳躍、投てき場では神宮、三ツ沢、岐阜、小田原、大阪市立、神戸、慶応日吉、鞘ヶ谷などが挙げられている（表32）。

b) 神戸市民運動場における第25回全日本学生陸上対抗選手権大会（昭和31年7月7、8日）に出場した選手にアンケートしたところ、堅さについてはこの位でよいというのが大部分である。弾力性についてはこの位でよいというものが一番多かつたが、不足をうつたえるものもかなりあるという結果が得られた。（表33）

表32 西京極陸上競技場のグラウンド・コンディションに対する選手の評価(昭31. 6)

選 手 名 (種 目)	少 か し い や わ ら	こ さ で の 位 の い 堅	少 し 堅 い	弾 不 力 足 性 少 し	こ の 性 位 の よ 弾 い	グラウンド・コンディション についてのその他の意見	今までに良 いと思つた 競技場名 (出場年月)
(トラック)							
後藤 亨 (100) (200)	○						神 宮(31. 6)
村上 恵子 (100) (200)	○			○		少し風が強かつたが、グラウンド・コンディショ ンとしては普通	三ツ沢(30. 11)
赤木 完次 (200) (400)	○			○		トラックに入つてもウォーミングアップのできる よう芝生の広さがほしい。	三ツ沢(30. 10)
鈴木 重晴 (400) (800)		○			○	大体良い	神 宮(31. 6)
大串 啓二 (400) (400H)	○			○			水前寺(30. 7)
山田 俊 (1500)	○				○	トラック整理不十分、凸凹多く見られた。	神 宮(30. 5)
室矢 芳隆 (1500)		○		○			
井上 治 (5000)	○			○		コーナー悪い、走りにくい	三ツ沢(29. 10)
岩本美知子 (80H)			○	○		私自身バネがないので堅いグラウンドが好きだが それにしても少し堅い感じがした。かさかさして 弾力性乏しい。	
中島 武彦(110H)	○			○		フィールドの手入れは十分。トラックは余りよく なかつた	鞆ヶ谷(30. 7)
布上 正之(3000障)		○			○	水濠の前が芝が多くて走りにくい。トラックと同 様手入れ必要。その他良し	神 宮
(三段跳)							
小 掛 照 二			○	○		助走路前方のスタンドが砂場に近いため圧迫され る感あり	岐 阜(31. 5)
飯 室 芳 男		○			○	助走路に関しては申分ないが、心持ちねばり気が 欲しかつた。一般的にいつてアンツーカーよりシン ダーの方がよい。	小田原(31. 3)
園 田 裕四郎	○				○	三段跳助走路は非常によいように思つた	岐 阜(31. 6) 三ツ沢
阿 部 計		○		○		踏切板が良くなかつた	神 宮(30. 7)
西 村 昭		○		○		助走路と風向をもつと研究されたし。常風方向に つくれ	慶応日吉 (30)
小 口 正 行			○	○			小田原(30. 10)
太 田 富 夫		○		○			三ツ沢(30. 11)
(走巾跳)							
園 田 裕四郎	○			○		三段跳助走路に比べると非常に悪い様に思つた。	岐 阜(31. 6) 三ツ沢
小 口 正 行		○		○			小田原(30. 10)
小 掛 照 二			○	○			岐 阜(31. 5)
高 橋 ヨシ江		○		○		少し乾いてガサガサした	神 宮(31. 11)
(走高跳)							
笠 松 登		○		○		普通	神 戸(30. 10)
中 島 武 彦		○			○		鞆ヶ谷(30. 7)
高 橋 美代子			○	○			神 宮(28. 4)
(砲丸投)							
後 藤 均		○			○		大阪市立 (29. 10)
(円板投)							
後 藤 均	○			○			大阪市立 (29. 10)
吉 野 トヨ子		○		○		ニガリがよくきいていたが、晴天時早くからとる と乾きすぎる	三ツ沢 平和台 (26)

表33 神戸市民運動場のグラウンド・コンディションに対する選手の評価(昭31.7)

選 手 名	所 属	身 長 (m)	体 重 (kg)	出場種目	少 かい やわ ら	こ の 位 の 堅	少 し 堅 い	弾 力 性 少 し	不 足	こ の 位 の 弾 い	弾 力 性 あ り	弾 力 性 あ り	そ の 他 の 意 見
小 山 和 彦	中央大	1.71	59	400	○					○			カーブきつく走りにくい
渡 辺 恭 子	学 大	1.61	49	100.80H		○				○			
松 山 秀 雄	慶応大	1.80	67	400R		○				○			コーナーが急すぎる
同	同	〃	〃	110H		○		○					
菊 池 慶 一	慶応大	1.76	65	110H		○				○			
小 林 一 育	中央大	1.68	54	3000障				○					
東 島 弘 信	中央大	1.65	53	3000障				○					水溜着地点軟弱過
佐 藤 光 信	中央大	1.63	46	5000.10000		○		○					カーブが急で走りにくい
菊 池 慶 一	慶応大	1.76	65	走 高 跳		○				○			
和 田 茂 雄	中央大	1.81	70	〃		○				○			
笠 松 登 雄	中央大	1.75	63	〃		○				○			申分なし
渡 辺 恭 子	学 大	1.61	49	〃		○				○			
藤 永 幹 雄	中央大	1.77	68	三 段 跳		○							手入上々
田 畑 外 司	中央大	1.77	80	砲 丸 投		○							
同	同	〃	〃	円 盤 投	○								

表34 国立競技場試験走路アンケート結果

a. 走路用として

(註) 数値は答えた人数

コース 番 号	弾 力 性			スパイクのきき方			総合として	
	あ り すぎる	こ の 位 で よ い	も つ と 必 要	も ろ く て き か な い	こ の 位 で よ い	か た すぎる	一 番 よ い と 思 う	二 番 目 に よ い と 思 う
1	0	3	2	1	2	0	0	4
2	0	2	0	2	1	0	0	0
3	0	4	3	0	8	0	9	1
4	0	2	3	0	1	3	0	3
5	3	0	0	2	0	0	0	0
6	2	0	0	3	0	0	0	0

b. 助走路として

コース 番 号	弾 力 性			スパイクのきき方			総合として	
	あ り すぎる	こ の 位 で よ い	も つ と 必 要	も ろ く て き か な い	こ の 位 で よ い	か た すぎる	一 番 よ い と 思 う	二 番 目 に よ い と 思 う
1	0	0	2	0	0	2	0	1
2	0	1	1	0	2	0	0	1
3	0	1	3	0	3	1	5	0
4	0	0	3	0	1	3	0	2
5	1	3	0	3	1	0	2	1
6	0	2	2	2	1	0	1	2

表35 第3回アジア大会におけるアンケート調査結果(昭33.5)

国名	番号	氏名	種目	スパイクの きき具合			弾力性		投擲 サークル			競技施設
				かた すぎる	適 当	軟弱 すぎる	適 当	不 足	滑り やすい	適 当	粗 すぎる	
マラヤ ネパール	助監督	Osman bin Daim	陸上		○			○		○		優 秀
	91	N. B. Gurung	マラソン	○				○		○		良
	92	R. K. Varma	100. 200		○			○		○		良
	90	B. P. Bahadur K. C.	マラソン	○				○		○		良
パキス タン	監督	L. C. A. Mannan Khan	陸上		○					○		
	98	G. Sarwar	走 巾		○			○		○		良
	101	M. Akbar	1500		○			○		○		非常に良い
	102	M. Shah	5000. 10000 障害			○		○		○		良
	103	G. Raziq	100. 110H		○			○				良
	104	I. Hussain	110H		○							非常に良い
	105	M. Yakub	400H					○				良
	106	M. Sabir	400H		○			○		○		非常に良い
	107	M. Iqbal	ハンマー					○		○		非常に良い
	108	M. Nawaz	やり投		○			○		○		非常に良い
	109	J. Khan	やり投					○				良
	110	H. Khan	円盤投							○		非常に良い
	112	R. Ali	走巾三段400R		○			○				良
	113	W. Khan	棒高跳		○			○				良
	114	A. Ditta	棒高・十種		○			○		○		良
	115	M. Noor	ハンマー					○		○		非常に良い
	116	S. Chaman	走高跳		○			○				
	117	A. Khaliq	100. 200	○				○				良
フィ リッピン	119	P. Subido	100. 200. 400 R		○			○				優 秀
	120	R. Vista	400 R		○			○				施設良・競技場完備
	123	E. Arellano	1600 R	○				○				設備最良
	124	A. Mequi	1600 R	○								良
	126	A. Puedan	800	○				○				次回オリンピック用 として良い
	127	P. Diamante	1500. 5000	○				○				今まで見たうちで最良
	129	P. Lubrico	400H		○			○				非常に良い
	131	R. Onofre	走高跳 110H		○							非常に良い
日 本	135	E. Bautista	100. 200. 400 R		○			○				次回オリンピック用 として良い
	162	柳 恭 博	200. 400 R		○			○				運動場の土を変えたら どうか、今のは駄目
	178	大 串 啓 二	400H		○			○				
	179	高 松 進	3000		○			○				特別になし
	198	中 村 修	円盤投						○			

c) 国立競技場第1次試験走路の場合(昭和32年4月)は、前2者が現役選手のみを対象として調査を行つたのに対し、一応現役をしりぞいてはいるが、陸上競技の指導者として第一級の人々をもふくめて試走が行われた。(写真13) 競技会のあとで現役選手を対象として調査を行うと往々にしてその選手にとってよい記録の出た競技場をグラウンド・コンディションがよかつたとして挙げる事が

ある。しかし国立競技場の試験走路の場合は本走路の断面を決定する前提としてベテランが吟味しながら試走しているので、その結果については相当信頼するにたるものである。この調査は図8、9に示すような6種類の断面のコースについて比較したのであるが、第3コースと第4コースが最も多くの得点を得ている。これは土質試験の結果ともよく一致するところであるが、なお走路用としてはスパイクのきき方（堅さ）はこの位でよいが弾力性をもう少しほしいという意見がかなりあり、助走路用としては第4コースは少し堅すぎ、第3、4コースとも弾力性がもつと必要であるという答が多かった（表34）。

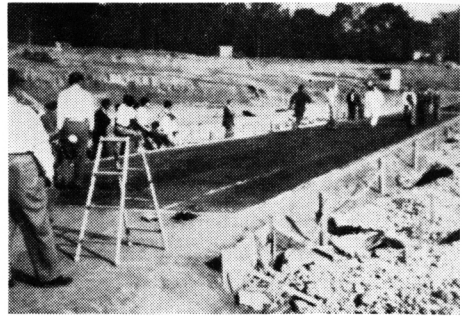


写真13 国立競技場第一次試験走路における運動選手の感覚テスト

表36 戦前各地陸上競技場状況調査結果（渡辺貫氏）

番号	競技場名	トラックの弾力程度	スパイクに土の粘着する程度	埃の有無並に程度	トラックの硬軟程度	水排泄程度
1	芝公園競技場	可	無	有	適度	良
2	学習院運動場	可	やや有	無	やや軟	可
3	山形県営グラウンド	可	やや有	無	やや硬	可
4	秋田県小坂鉾山グラウンド	一	一	一	一	一
5	福島県グラウンド	良	有	有	軟	可
6	法政大学トラック	一	一	一	一	一
7	大阪市立運動場	優	やや有	有	最適	不
8	阪神電鉄甲子園南運動場	優	やや有	無	やや硬	可
9	岩手県花巻グラウンド	一	一	一	一	一
10	新潟市営総合運動場	良	やや有	やや有	やや軟	優
11	明治神宮外苑競技場	良	やや有	ほとんど無	やや軟	可
12	弘前市競技場	一	一	一	一	一
13	北海道帝大競技場	一	一	一	一	一
14	岡山県体育協会競技場	可	やや有	やや有	やや軟	可
15	新潟県新発田小学校運動場	一	一	一	一	一
16	小樽市立競技場	一	一	一	一	一
17	新潟県刈羽郡体育競技場	良	やや有	やや有	やや軟	可
18	大連運動場	優	ほとんど無	やや有	やや硬	良
19	大牟田市競技場	良	やや有	無	適度	可
20	旅順運動場	良	有	有	硬	可
21	上毛伊勢崎競技場	一	一	一	一	一
22	広島県師範学校	可	やや有	無	やや硬	可
23	台北帝大競技場	優	やや有	無	適度	可
24	札幌市立体育競技場	一	一	一	一	一
25	宮崎県競技場	良	やや有	やや有	やや軟	良
26	慶応競技場	優	やや有	無	適度	可

（註）昭11年度10傑入賞者全部に調査回答を依頼したが、充分に回答する者なく、報告したものの平均を揚げた。回答は晴天のときを標準とした。

d) 国立競技場第3回アジア大会の場合(昭和33年5月24日～6月1日)、内外出場選手及び監督にアンケート用紙を送つたところ返事を寄せたのは36名(14%)で、一括して表35に示してあるが、これによると(1)スパイクのきき具合は適当と答えた人が最も多く、かたすぎると答えたのはパキスタンのカリク選手とネパールとフィリッピンの中・長距離選手で、後者は競走の性質上短距離よりも軟い方を欲するのは当然である。またトラックが軟弱にすぎると答えたのは僅かに1名であつた。(2)弾力性については大部分の選手が適当と答え、不足と答えたのはマラヤ、パキスタン両監督と数名の短・中距離選手である。(3)投てきサークルはコンクリート舗装とされているが、その粗さについては大多数が適当と答えたが、日本の中村選手のみ滑りやすいと答えた。以上を総合すると大多数の選手の要求を満足させ、少数の選手に対しては不満足を与えた。これは長・短距離の走法の相違、選手の体重差や好み、従来走りなれた競技場の状況等によつて当然起りうることであつて、全員の満足を得ることは望み難いことであるから、この程度ならば一応成功したと見るべきであらう(表35)。

以上4回にわたるアンケートの調査の結果を総合すると一般に走路の堅さ(スパイクのきき方)についてはかなり満足を得るものが築造されているのに反し、弾力性についてはなお不足をうつつえる声があるのは注目すべきある。

なお参考として戦前に実施された調査の結果を表36に掲げる。

1.4 総括

各地の運動場の走路断面について調査し、その土について物理試験、力学試験、弾性波試験などを行ない、さらに運動選手に対するアンケート調査を実施して、最も好ましいグラウンド・コンディションと構造との関係を調査研究したが、それらを総括して考察を加えると次のようになる。

1) 表層材料について

まず西京極陸上競技場のようにシンダー混合土に粘土分が少ないと(シルト14%, 粘土3%)透水性がよいという長所がある。その反面スパイクによつて容易にもろくはげる欠点をもっている。運動場として水はけの良いことは好ましいことであるが、競技という点から云えばスパイクのきくこと、あるいは弾力性をもつこともゆるがせにできない。したがつて透水性を若干減じて足がかりのよいよう粘土分をもう少し増量することが必要と考えられる。しかしあまり粘土分を多くすると雨のときスリップする危険がある。国立競技場試験走路の中に築造されたシンダー混合土コース(No. 4)は、石炭ガラ60%, ローム40%配合であるが、(シルト粘土合計33%), 晴天の場合かなり弾力性をもち、スパイクのきき具合も良い性能を示したが、雨天の際には水をふくんで軟弱となり、その性能が低下し、その程度はアンツーカーよりも著しかった。すなわち、晴天のときのアンツーカーの性能を基準とすると、シンダー混合土は弾力性があるという点で評価は上まわるが、一たん雨が降るとシンダー混合土は軟くなり、滑るので評価は著しく低下する。これに対してアンツーカーは粒子が粗いから水はけがよく、性能はある程度低下はするが、それほど著しくない。しかも晴天時シンダー混合土が優れた性能をもつといつても、これは配合比が適当で、施工が入念の場合に限られるのであつて、そうでない場合は相当に出来、不出来がある。この点アンツーカーは人工材料であるから品質はかなり均一である。結局、晴雨にかかわらず競技を行う陸上競技場のごとき走路の表層材料としては、常に一定水準以上の性能を保持しようという点でアンツーカーが優れているということが確められた。またもしシンダー混合土を表層に使用する場合には粘土およびシルトは15～30%をふくむものが適当であることがわかつた。

2) 下層材料について

アンツーカーは雨にはあまり心配はいらないが乾燥がつづくとはらつく。したがつて良いコンディションを保持するためには適度の湿潤状態に保つことが要求されるので、その下層は構造としては水はけがよく、材料的には保湿性の大きいもの、すなわち多孔質材料で構築されることが望ましい。また

運動場の中層は時として数層に分けられ、粗粒層の上に順次細粒層をおく例があるが、これは基礎排水層に対するフィルタの役目をもたせたものと考えられる。しかし各層に粒径の似かよった粒子のみが存在すると、転圧した場合材料が逃げて転圧効果が挙げられない。下層が締まらないと表層も締まらない結果に終る。結局、下層材料のごとく比較的粗粒で粘着性の乏しい材料の締め固めで一番問題になるのは粒度で、適当な粒度配分をもっているならば締め固めが可能となる。それ故に材料が比較的均等な粒径をもつならばこれを改善する必要がある。運動場は一般に築造当初よりも数カ月ないし十数カ月後に最も良いコンディションを示すといわれる。これは雨水の浸透により自然に細粗両粒が混合して落付く結果であろう。以上のことは国立競技場試験走路の各種構造の相違による試験成績にはつきり現われている。その総合順位は表37の通りで、No. 3が良いのは下層に使用した石炭ガラが良質

表37 国立競技場第2次試験走路各コース総合順位（科学試験による）

No.	構 造 の 特 長	順位
1 A	表層アンツーカー、中層石炭ガラにローム混入(厚い)、下層ハルナ砂利。	8
1 B	中、下層の厚さが異なる他、1 Aに同じ。	7
2 A	下層が大島砂利の他は1 Aに同じ。	3
2 B	中、下層の厚さが異なる他は2 Aに同じ	6
2 C	表層アンツーカー、下層大島砂利と石炭ガラ混入	4
2 D	表層アンツーカー、中層石炭ガラ、下層大島砂利と大島砂混入	9
3	表層アンツーカー、中層細石炭ガラ、下層粗石炭ガラ、玉石基礎上に煉瓦片層あり	1
(4) 第一次	表層シンダー混合土、中層細石炭ガラ、下層粗石炭ガラ	2'
4 A	表層アンツーカー、中層の細石炭ガラにローム混入、下層粗石炭ガラ	2
4 A	煉瓦層がない他は4に同じ	5
5	表層アンツーカー、中層石炭ガラ、クッション層廃物ゴム	11
6	表層アンツーカー、下層ローム	10

で施工に際して転圧が十分きいたことが主なる原因である。一般に良質の石炭ガラが入手できず、軟質脆弱な不良石炭ガラを使用した場合には年数がたつにつれて次第にやせて走路面が沈下する可能性がある。質の硬い大島砂利のごときものを使用するとその心配はまずないが、硬質なるが故にローラ転圧にさいしてそれ自身砕けて目つぶし的なものをつくり出すことは出来ないから、粒度改善の意味で細かい石炭ガラを混入し、さらに締め固め効果を一層挙げるため結合材として少量のロームを混入するのが良い結果をえた。ただし冬期の霜柱の害や表層のアンツーカーの透水性をこらさない程度の量（シルト分10%以下）に制限すべきである。

3) 走路面の堅さについて

走路の表層はスパイクシューズで走行跳躍をする場合、十分スパイクがきく程度の堅さが必要である。しかしあまり堅すぎると足を痛める恐れがあることは云うまでもない。それなら具体的にどの程度かという、勿論選手個人の好みもあるが、プロクター・ニードル貫入抵抗値が径6mmのNo. 1針を使用して90~110ポンド(120~150 kg/cm²)であればよいということが判つた。わが国の競技場の大部分はシンダー混合土で舗装され、一般にバサつくのが多いが、その場合にもこの値は締め固めの目安となりうる。なお各地競技場のプロクター・ニードル貫入抵抗値を一覧表に示すと表38の通りで、一般に軟弱なのが目立つ。国立競技場ではその点余程改善された。

4) 舗装の弾力性

アンケート調査において選手の多くは、現在の運動場が弾力性に不足しているとうつたえている。この対策については後に改めて述べるが、既設運動場の保有する弾力性を弾性常数によつて示すと

表38 プロクター・ニードル貫入抵抗値 (kg/cm²) 一覧

種 別	走 路	助 走 路
西京極陸上競技場	70—83	93—152
神戸市民運動場	69—83	83—166
大阪ガス今津競技場	25—68	24—55
西宮市民運動場	51—69	62—80
神戸王子競技場	29—94	—
国立競技場	127—168	103—163
国立競技場第1次試験走路	No. 3—117	No. 4—101
同 第2次	No. 3—112	No. 4A—94

(註) 試験走路の値は成績のよいものの第1位, 第2位の値を示す

表39 各運動場の弾性常数一覧

種 別	西京極陸上競技場			京大国立試験走路運動場 (第1次)			国立試験走路 (第2次)			国立競技場			田園	大阪ガス (今津)
	走路	助走路	フィールド	走路	No. 3	No. 4	No. 3	No. 4A	No. 2A	走路	三段跳助走路	走高跳助走路	テニスコート	走路
含水比 w (%)	9.3	5.7	10.5	11.3	13.0	21.4	18.8	22.5	22.5	27.7	23.4	18.2	15.0	12.7
密度 γ_t (g/cm ³)	1.90	1.85	1.56	1.88	1.89	1.48	1.94	1.93	1.73	1.63	1.85	1.59	1.85	1.65
縦波 V_p (m/sec)	117	122	118	85	137	110	150	133	149	130	110	160	90	135
横波 V_s (m/sec)	64	69	53	45	82	65	89	83	88	75	65	95	46	85
ヤング率 E (kg/cm ²)	205	209	122	101	314	157	386	321	338	275	197	360	105	284
剛性率 μ (kg/cm ²)	80	83	45	39	128	64	157	136	137	106	80	147	40	122
ポアソン比 σ	0.286	0.264	0.373	0.306	0.221	0.231	0.228	0.184	0.243	0.250	0.232	0.226	0.324	0.170
表層材料	シンダー混合土	芝生	シンダー混合土	アンツーカー	シンダー混合土		アンツーカー			アンツーカー			クレー	シンダー混合土

表40 各種材料の弾性常数

種 別	比 重	含水比 w (%)	ヤング率 E (kg/cm ²)	剛 性 率 μ (kg/cm ²)	ポアソン比 σ	引用文献又は測定者
運動場舗装土 (アンツーカー舗装)	1.59—1.85	1.82—27.7	197—360	80—147	0.23—0.25	筆 者
表 土 (盛土)	1.5	—	122	46	0.36	那須・萩原・表氏
土	1.08—1.76	0.0—50.7	137—3,000	46—1,310	0.10—0.48	飯田汲事氏
ス ギ	0.33	15.0	(繊維方向)75,000	(まさ目面内)6,500	(繊維方向のひずみに対する半径方向)0.40	木材工業 ハンドブック
砂 岩	2.34—2.79	—	62,000—300,000	25,000—135,000	0.14—0.30	土木工学 ハンドブック
花 崗 岩	2.60—2.70	—	240,000—700,000	100,000—320,000	0.11—0.23	
コンクリート	2.34—2.43	—	175,000—240,000	75,000—103,000	0.14—0.17	
鋼	7.60—7.80	—	2,000,000—2,200,000	770,000—850,000	0.25—0.33	理科年表
弾 性 ゴ ム	0.91—0.96	—	4,900—5,300	—	0.46—0.49	

表39の通りとなる。比較的優秀と認められた国立競技場ではヤング率 $E=197\sim 360\text{ kg/cm}^2$ ，剛性率 $\mu=80\sim 147\text{ kg/cm}^2$ ，ポアソン比 $\sigma=0.226\sim 0.250$ を示した。参考として他の材料との比較を表40に示す。

2章 運動荷重に関する研究

2.1 運動静荷重

1) 運動選手の体重

運動場の構造を力学的に研究し、その設計を合理的ならしめようとするためには、走行・跳躍など運動行為によつてグラウンド面に加わる圧力を検討し、運動荷重の大きさを決定することが必要である。運動荷重の基本となるのは運動を行なう者の体重である。人間の体重は男女・年齢あるいは個人的にかなりの差がある。しかし一般にスポーツマンは極端な巨人よりも均整のとれた体格の持主であることが多い。ただ陸上競技のうち、砲丸、ハンマー、円盤などの投てきはその運動の性質上相当な肥満者も見うけられる。いまオリンピックに優勝した優秀選手の体重をみると図67のとおりで競走、跳躍競技を行なうものと、投てき競技を行なうものとの間に体重の差異が明らかに認められる。すなわち、前者では75kgが最も多く50人の平均体重は70kgで、最大は85kgである。また後者では平均体重は100kgで最大は106kgである。したがつて競走や跳躍競技を行なう走路、助走路用静荷重としての体重は90kg，重量投てきサークル用としては110kgを採用すれば十分であろう。

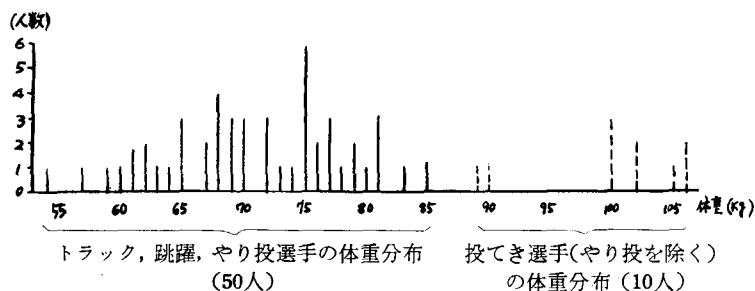


図67 オリンピック優勝選手（1956年）の体重分布

2) 接地面積ならびに平均圧力

足の裏の大きさを若干の選手について実測した結果は表41の通りである。しかし運動中はこの足の裏全面同時に接地するわけではなく、普通は片足の足先の部分に限られる。もちろん足先の部分といえども荷重の分布状況は様でないと考えられ、感覚的にはおや指のつけ根付近に特に力が入るようである。しかし構造設計の場合には足先を円形とみなし、それ全体に一律に力がかかるとみて差支えな

表41 運動選手の足の裏の大きさ

氏 名	身長 (m)	体重 (kg)	足袋の 文 数	足の裏の 最大巾 (cm)	足の裏の 長さ (cm)	載荷面直径を足裏最大 幅にとつた場合の平均 圧力強度 (kg/cm ²)
小掛照二 (三段跳)	1.785	69	10.7~11	11.0	26.2	0.73
飯室芳男 (同)	1.60	62	10.5	9.7	24.0	0.84
清藤 享 (短距離)	1.73	66	11.0	9.8	26.3	0.88
後藤 均 (砲丸投)	1.77	80	11.0	10.6	26.4	0.91
小島義雄 (ハンマー投)	1.77	84	11.5	11.3	26.5	0.84

いであろう。載荷面をこのように円形とみなすとその半径はトラック・跳躍選手は45～55mmである。また重量投てき選手は55～60mmである。

したがって静止状態での体重による平均圧力強度は次のようになる。

$$(\text{トラック・跳躍選手}) \quad 90\text{kg}/\pi \times 5.5^2 = 0.95\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$(\text{重量投てき選手}) \quad 110\text{kg}/\pi \times 6^2 = 0.97\text{kg}/\text{cm}^2$$

結局、体重による静荷重としては最大1kg/cm²とみなせばよからう。

2.2 衝撃反力

1) キック力の大きさ

静止状態においてその足にかかる力は体重に等しいが、運動中にはキックするから体重以上の力が作用する。このキック力の大きさについては小野勝二氏は走行又は跳躍を連続写真にとり、足が着地している時間と一步に要する時間を計測し、「着地時間中のキック力の平均と体重との比は、一步に要する時間と着地時間との比に等しい」と仮定し、この仮定のもとにキック力を推定している(表42)。

2) 衝撃反力の測定

(1) 測定方法

図68に示すような抵抗線ヒズミ計式重量計によつて衝撃反力を測定した。構造用軟鋼によつて作られた16本の格子状の梁には、荷重による引張側にひずみゲージ(新興通信 S-1)がはりつけてある。したがって引張応力に対応して抵抗が変わるので、それをオシロで記録させた。なお、ゲージは直列としてあるから梁の数本に載荷した場合でも荷重が一定ならば総抵抗変化量は一定で荷重に比例した値となる。その測定系統を図69に示す。

表42 キック力の算定(小野氏)

種 別	キック力/体重
短・中 距離	1.6—2.5
スタートの時	2—3
走巾跳(男子)(上方キック)	4—5
〃(女子)(〃)	3—4
〃(男子)(後方キック)	0.5—1
〃(女子)(〃)	0.3—0.5
三段跳 ホップ(16.5mの場合)	4.2—4.3
ステップ(〃)	4.3—5.0
ジャンプ(〃)	3.5—3.8
走高跳 (2.1mの場合)	4.5

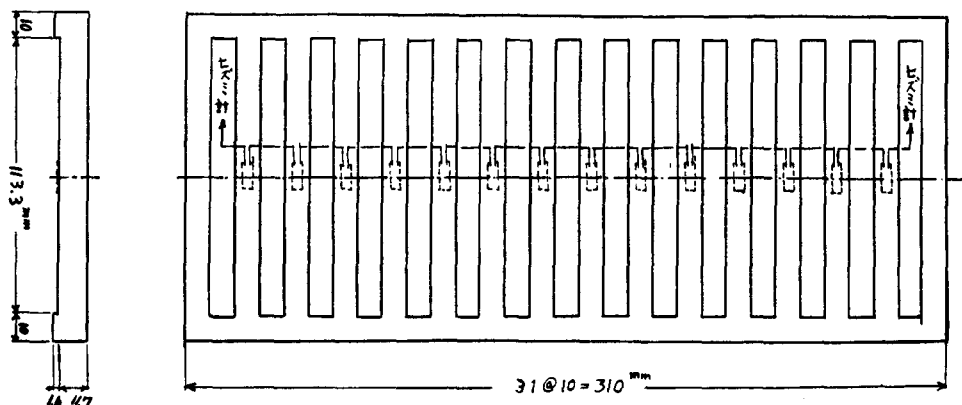


図68 抵抗線ヒズミ計式重量計

(2) 測定装置の検定

アムスラー試験機によつて行なつた検定結果を図70に示す。この図で最大、最小とは各段階での読みの極値でこれによつて測定精度は大体±5%程度であることがわかる。

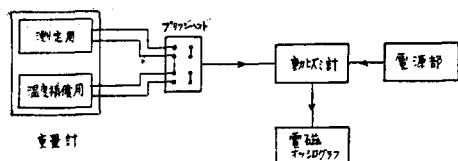


図69 測定系統図

3) 測定結果および考察

一般に物体が高所より重力により落下するのと下方より同じ高さへ重力にさからつて直上に上げられる場合とでは運動量の絶対値は等しい。(初速のない場合)。同様にある点で人が静止の状態から飛び上がり、同じ地点に落ちる場合の飛び上がる時と落ちる時とではその運動量の絶対値は理論的には同一とみなされる。また位置のエネルギーは高さに比例するから剛体(例えば鋼球)が落ちる場合は高さに比例した圧力で地表面に圧力を及ぼす(空気の抵抗は無視する)。しかし人体は脚部や腰部のバネが緩衝作用を行なうから、高さが高くなっても衝撃力は必ずしも高さに比例して大きくはならない。いいかえると身体の重心には位置のエネルギーに相当した力がかかっているがバネのため足下には高さに比例した圧力がかからないわけである。図71は各種の高さから前述の重量計の上に飛び下りた場合の衝撃反力による振幅と静止体重による振幅との比すなわち衝撃反力の静止体重に対する割合と高さとの関係を示している。

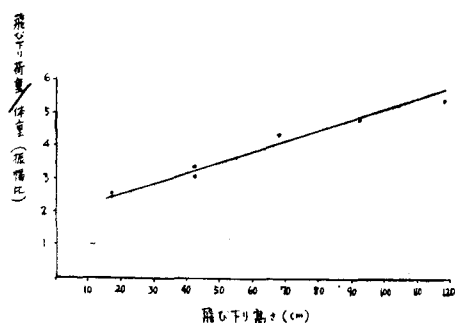


図71 飛び下りの高さと衝撃反力

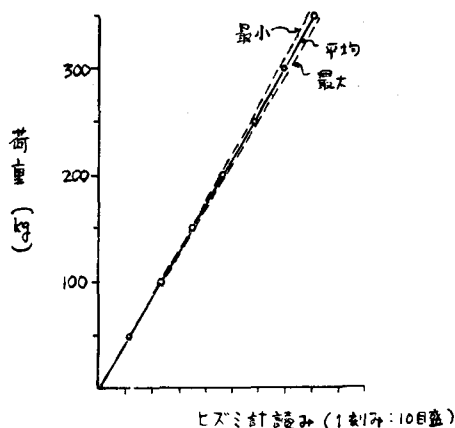


図70 検定曲線

身体の重心を高く持ち上げるためには大きい力を腰や膝に加えなければならないが持ち上げる時間が短いほどその力は大きいと推定される。走行の場合の重心の上下動は5cm内外であるから、その際の衝撃反力は体重の2倍程度であることが図71からわかる。

走巾跳の場合は重心の飛上がる高さは約50cmでしたがつて4倍程度、走高跳では100cmあるいはそれ以上重心が移動するがその場合の衝撃反力は5倍くらいとなる。

2.3 総括

この章では運動選手の体重から運動静荷重を算出し、また抵抗線ヒズミ計式重量計によつて走行・跳躍などの運動行為によつて生ずる衝撃反力の大きさを測定した。すなわち静荷重は体重が片足の足先に円形に等分布するものとすれば平均荷重強度は最大 1kg/cm^2 とみなされる。また衝撃力は身体の重心の移動距離に関係があり、腰や膝の緩衝作用があるために必ずしも重心移動高さに対応せず、一般に走行の場合の衝撃反力は体重の2倍前後、跳躍競技の場合は4～5倍の大きさととればよいことが分かった。

3章 運動場走路の構造設計法

3.1 概 説

運動場走路の構造断面は従来主として経験によつて決定されることが多かつたから、関係者の経験の多少によりかなり出来、不出来があり、常に競技者の満足を得るとは限らなかつた。異なる材料や立地条件のもとで、一様な良いグラウンド・コンディションをもつ運動場を築造するためには科学的な処理が必要であり、そのための理論的考察が行なわれなければならない。このようにして運動場走路の構造に関する合理的設計法が見出されるであろう。

さて走路の構造は通常、地盤の上に基礎をおき、その上に舗装がおかれる。舗装はさらに数層に分けられる。舗装のうち最上層にある表層は運動が十分活動的に行なえるよう締つた面を提供し、下層は運動場面に加わる荷重によつて生ずる圧力及び衝撃を下方に広く伝達分布すると同時に、基礎に対する土砂流入を防ぐフィルタとしてあるいは表層に対する保湿層としての役目をもっている。

次に基礎は荷重を地盤に広く伝えて地盤の沈下を少くし、その排水性によつて地盤が軟化するのを防ぎ、地盤の凍結による運動場面の破壊を防止する役目をもつ。このようにして運動場は気象状況の変化に対して常に必要な支持力を保ち、十分な安定性を保持することができ、安全かつ高度に運動競技を行なうことが出来る。その一般的断面を図72に示す。

要するに (i) 運動の種類、(ii) 運動者の技能程度、(iii) 使用頻度、(iv) 立地の条件 特に気象状況や地盤の硬軟、(v) 各種材料の入手の難易、(vi) 建設や維持のための費用の多少などが構造の設計条件となり、舗装（表層、下層、クッション層）及び基礎の材料の種類、厚さ、締め固め程度が設計される。その場合運動場の水はけ、舗装の固さや弾力性などが設計のよりどころとなる。

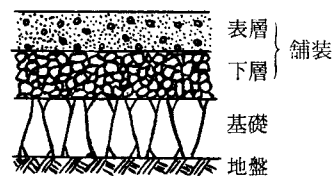


図72 運動場の断面

3.2 運動場走路の舗装および基礎

3.2.1 舗装の設計条件

運動場の舗装としてはあまり粗大な粒径の砂礫が混じっていると走りにくく、スパイク靴の使用に危険であり、粘土質では雨の時滑りやすく、スパイク靴の裏に土がつきやすい。水はけの悪い運動場は雨中はもちろん降雨終了後といえどもぬかるんで使用時間が制限され、乾燥すると地表に亀裂ができ、風で土ほこりが立つ。また冬季は霜柱によつて構造が破壊される。次に表層が堅く締まっていることはスパイクの利きがよくスピードが出るが時にはアキレス筋を切るおそれがあり、適度の弾力性が必要とされる。土は一般に乾くと淡色になるが夏季強い太陽光線の下でも、眩惑を感じることなく好ましい色合いであることが必要であり、あまり黒味をおびていると汚れた感じを与えるものである。最後に重要なことは費用の点で、わが国の通弊として建設時には相当多額の費用を思いきつて支出するが、あとの維持についてはほとんど省みないことが多いから、この点なるべく維持費のかからぬようにしておくことが必要で特に学校運動場は維持費が出にくいからこのことは建設時に十分注意しておかねばならない。

すなわち運動場の舗装の設計条件となるものは次の事項である。

- a) 運動場の表面は粗くなく足ざわりが良好で、十分締つていてスパイクが利くこと。その反面スリップしたり、スパイクに土が付着したりせぬこと。
- b) 堅すぎず多少弾力性のあること。
- c) 雨後の乾きが早くて、ぬかるみを生ずることなく、かつ適当な湿気を保有して砂塵や乾燥による亀裂を生ぜぬこと。

- d) 冬期凍上せぬこと。
 e) 太陽光線の反射によりまぶしくなく、また色彩の感じが良いこと。
 f) なるべく築造や維持が経済的であること。

3.2.2 表層の粒度

走路では走行時の足掛りという点から表層部は最も細かい材料で構築される。したがってその部分が走路の水はけを大きく支配することとなる。そこで先ず表層の透水性という点から、その粒度について検討を加えてみよう。

運動場に降つた雨水は蒸発したり、あるいは地表面を直接側溝へ流れ去るものもあり、地中へ浸透してゆくものもあるが、運動場の地表勾配は実用上あまり大きくできないから（公認陸上競技場では1/1000以下）すみやかな地表排水は期待できない。したがって降雨後できるだけ早く運動場が使用できるように土質は透水性の良いものであることが望ましい。

いま多量に降雨があつた場合、走路面にある深さの滯水を生じ、地中へ浸透した水は地下水とつながり、降雨が終了すると水深が次第に減じてゆく。その場合走路面と地下水面との距離を H 、ある時間 t における水頭を h とすると、水面の降下する速さは $-\frac{dh}{dt}$ で透水係数を k とすると、Darcyの法則により、

$$-\frac{dh}{dt} = k \cdot \frac{h}{H} \quad (1)$$

したがって(1)式を積分することによつて水面が地表面まで下る時間 t_1 を求めることができる。すなわち地表の水深を Z とすると

$$t_1 = -\frac{1}{k} \int_{H+Z}^H \frac{H}{h} dh = \frac{H}{k} \log_e \frac{H+Z}{H} = \frac{2.3H}{k} \log_{10} \frac{H+Z}{H} \quad (2)$$

さらに浸透水面が地表に達してのち漸次降下してゆく速度は毛管上昇高を h_e とすると、次のようになる。

$$-\frac{dh}{dt} = k \cdot \frac{h-h_e}{h} \quad (3)$$

したがって浸透水が地下水面 H の地表面から H' まで降する時間 t_2 は

$$\begin{aligned} t_2 &= -\frac{1}{k} \int_H^{H'} \left(\frac{h}{h-h_e} \right) dh \\ &= \frac{1}{k} (H-H' + h_e \cdot \log_e \frac{H-h_e}{H'-h_e}) \\ &= \frac{1}{k} (H-H' + 2.3h_e \log_{10} \frac{H-h_e}{H'-h_e}) \end{aligned} \quad (4)$$

ところで k や h_e は砂質土の場合、次のように有効径 D_{10} (cm)と関係づけられる。^{1) 2) 3)}

$$k = C_1 D_{10}^2 \quad (\text{cm/sec}) \quad (5)$$

$$h_e = \frac{C_2}{e D_{10}} \quad (\text{cm}) \quad (6)$$

ここに C_1 、 C_2 は実験常数で、 e は間ゲキ比である。

$$C_1 \approx 50 \quad (1/\text{cm} \cdot \text{sec}) \quad (\text{不整粒砂土})$$

$$C_2 = 0.1 \sim 0.5 \quad (\text{cm}^2)$$

1) Blanck, E.: Handbuch der Bodenlehre VI, 1930, p. 98

2) Terzaghi, K.: Erdbaumechanik auf bodenphysikalische Grundlage, 1924, p. 120

3) 小野他共訳：テルツァギー・ベック土質力学（基礎編），昭30，p. 38

そこで走路表層土の粒度を透水性から算定する順序としては次のように行なう。

1. 土の有効径（粒径加積曲線の10%に相当する粒径）を仮定する。
2. k —(5)式, h_c —(6)式を計算する。
3. 多量の雨が急激に降ると、土壤中の空気は圧迫されて排出しにくいから降雨状況がこのような場合は上記で算出した k を半分に¹⁾とる。
4. t_1 —(2)式, t_2 —(4)式を計算する。
 - (イ) この場合、地表の水深 Z は降雨量に対応するが、側溝のような地表排水設備がある場合はその分だけ Z を減ずる。
 - (ロ) (t_1+t_2) 時間内に表層中の浸透水を排除するものとして(4)式の $(H-H')$ は表層の厚さとする。
5. 算出した (t_1+t_2) が一定の時間内（例えば運動競技再開待ち時間）におさまらないときは、仮定した有効径を変えてあらためて計算しなおす。

3.2.3 表層の安定性

走路面に荷重が加わったときその破壊は一般にセン断面に沿うておこる。したがってそのような荷重による破壊を防ぐには土のセン断抵抗を大きくする必要がある。土のセン断強さは一般に粘着力と内部摩擦力とに関係づけられるが、セン断を受けるときの土の密度や含水量およびセン断速度によって著しく相違するものである。もしセン断速度が一定である場合には粘質土ではその強度特性を支配するものは含水量であり、一方砂質土ではその密度が支配的因子となると考えられる。すなわち粘質土はその粒子構造および粒子の形状的特性によつて粒子表面における界面活性（微粒子表面のイオン現象など）が著しく大きいからであり、砂質土は一般に粒状であるから、セン断の際に容積変化を生じるが、十分締め固められ間ゲキが小さく密度が大きいと容積膨張は妨げられセン断抵抗が大きくなる。運動場舗装の場合シンダー混合土は前者にアンツーカーは後者に準じて考えることができる。

さて走路面が走行によりセン断破壊をうけるのは主としてスパイクによる引つききであるとみなされる。その引つきき状況はスパイク引倒試験の項でのべたように、靴底を支点としてスパイクが倒されそれによつて逆円錐形に土がぬけ出し、その際円錐表面にそうてセン断面ができると考えられる。

この時のセン断力は図28により $\tau = \frac{5Ph}{ed^2}$ となる。

ここで P =スパイクを倒す力の水平分力 (kg)=(体重/片足先のスパイク数)²⁾×tan θ

h =スパイクの地上長さ、すなわち靴底部に入っている長さ (cm)

e =スパイクを引倒すときのスパイクの頭の水平移動距離 (cm)= $h \cdot \sin \theta$

θ =スパイクの倒れる角度（鉛直に対し）≒走行時の身体全体の前傾角度（≒20°）

d =スパイクの地中深さ (cm)

陸上競技用スパイクシューズでは $h \approx 0.5\text{cm}$, $d \approx 2\text{cm}$ である。

表層はこのセン断力に耐えるだけのセン断抵抗を有しているならば破壊されないことになる。

3.2.4 舗装の圧縮性

走路面は走行跳躍に際して強いキック力をうけて圧縮される。いま土を等方均一な半無限弾性体とみなすと、円形荷重による弾性沈下 w は次のようになる。³⁾

$$w = \zeta \frac{1-\nu^2}{E} qD$$

1) Schönwärdner, B.: Kulturtechniker, 31, 1928, p. 382.

2) スパイクを引倒すときには衝撃はなく体重のみかかっている。

3) 土質工学ハンドブック, p. 179

ζ =沈下係数, 等分布荷重の鉛直軸中心では $\zeta=1$

ν =ポアソン比, 影響が小さいから $\nu=0$ として差支えない

E =弾性係数, q =荷重強度, D =荷重面直径

$$\therefore w \doteq \frac{qD}{E}$$

沈下量があまり大であると載荷面の端でせん断破壊をうけるから沈下量は小さい方が望ましい。土の場合の許容沈下量は大体 2.5~3mm 程度とされる。¹⁾

3.2.5 舗装のクッション層

1) クッション層

走行や跳躍の場合, 強いキックを行なうから, 走路や助走路の面は適度の弾力性をもっていることが望ましい。いいかえるとキックによる衝撃をある程度舗装部分で吸収することが必要である。キック力にともなう反力はキック力にほぼ等しく, この反力によつて身体の重心が上下に移動する。重心の上下動に対し身体とくに腰部や膝部の屈伸が緩衝作用をする。それゆえ舗装に弾力性があれば身体の屈伸による緩衝作用を助けることとなる。

いま y_1 =身体の垂直変位

y_2 =足でふまれる部分の舗装の垂直変位

c_1 =身体のパネ部を単位長さ変形するに要する力

c_2 =舗装を単位厚さ変形するに要する力

P =衝撃の大きさ(力) とすると

$$P = c_1 y_1 + c_2 y_2$$

すなわち一定の衝撃に対して身体の垂直変位(重心の位置で代表させることができる。)を小さくしようとすれば身体のパネ部に大きい力を働かさねばならない。身体のうける衝撃を少なくするには舗装に弾力性をもたせればよい。そのために特にクッション層を設けることがある。

2) クッション材料

シンダー混合土舗装はアンツーカー舗装よりも弾力性という点で優れているということはすでに述べた通りである。アンツーカーはシンダー混合土より均等係数(粒径加積曲線における 60% 径/10% 径)は小さいから, 比較的均質であり, その上粒子が粗い。アンツーカーが比較的弾力的でなく, それ自身の層のうちで衝撃を吸収する能力が低いのは, アンツーカー舗装がいわば単粒構造的であるからである。すなわち舗装面に急激に荷重が加わると, その力は主としてアンツーカーの粒子に伝えられる。しかし土粒子自身の弾性変形は僅少であるから, 全体としてあまり弾力的ではありえない。これに反してシンダー混合土は粘土分を多く含み, 蜂の巣構造的で微小間ゲキが多いから, 組織として弾力性を発揮する。泥炭は弾性土とも称せられるほど弾力性が極めて大であるが, その原因は通気性が悪く, 組織内に微小空気が多くふくまれ圧縮されても空気は逃げず, 土粒子の間ゲキがあたかも自動車の空気タイヤのような作用をするからである。シンダー混合土はこれほど著しくなくても同様の理由によりアンツーカーよりも弾力性をもつと考えられる。

そこでアンツーカー舗装に弾力性を与えようとすれば下部構造を弾力的にする必要がある。例えばゴム層の設置が考えられる。この場合ゴム層があまり厚いとその弾力性のために表層の転圧が十分行なわれず, かつゴム層の上の圧力分布層が薄いと走路面に加わつた荷重が十分拡大されて伝わらないため, 走行にさいして部分的に圧縮沈下をし, クラックが入り組織が破壊されるおそれがある。このような点に注意するならばゴムのようにそれ自身弾力性のある材料は特殊な場所(例えば跳躍助走路とか練習運動場)に用いて有効である。このようなクッション層を置くことは McDonald も考えてお

1) 巻内一夫: 土質力学から見た道路の設計施工法, 昭28, p. 46

り、それによると基礎のすぐ上に厚さ 7.5cm に Redwood の樹皮繊維層 (5.5kg 加圧) をはさむことを提案している。¹⁾

3.2.6 舗装の厚さ

走路面に加わつた荷重が舗装を通じて地盤に作用する場合、地盤が破壊しないためには地盤応力がその許容支持力以下でなければならない。いま運動場面に円形等分布荷重 q が加わると、²⁾ 載荷面中心鉛直軸方向の地盤鉛直応力 σ_z は Boussinesq の式から次のようになる。

$$\begin{aligned}\sigma_z &= q(1 - \cos^3 \alpha) \\ &= q \left[1 - \frac{1}{\{1 + (a/z)^2\}^{3/2}} \right] \quad (1)\end{aligned}$$

$$\sigma_z \leq \text{地盤の許容支持力} \quad (2)$$

地盤の許容支持力は載荷試験や貫入試験によつて推定されるが、²⁾ 経験的には次の表43に示す値が参考とされる。

表43 地盤の許容支持力

土 質	許容支持力(kg/cm ²)
柔らかなシルトと泥土	0.14~0.4
湿つたシルト	1~2
柔らかな粘土	1~1.5
密な堅い粘土	2~2.5
しまつた粘土と砂	2~3
湿つた砂	2
粗い砂	3
砂利と粗い砂	4~5
砂利と粗砂の固結層	5~6
軟 岩	7~10
良 質 の 岩 盤	20~40

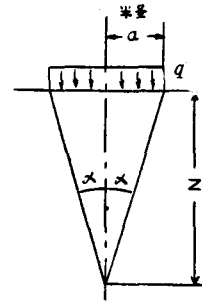


図 73

表44 表層の最小厚さ

種 別	温暖地(cm)	寒冷地(cm)
テニスその他のコート類	1	2
陸 上 競 技 場	3	3
野球場 その他の球技場	3	3

(1)(2)式によつて舗装の厚さ z をきめることができる。

a. 表層の最小厚さ

表層の厚さは靴その他による破壊に対えるに十分な厚さが必要である。(表44)

b. 下層の最小厚さ

下層は表層の保湿層としての役目をもっている。すなわち表層土を旱天時にも最適含水状態に保つために、下層は保水性の大きい材料で築造し、たえず運動場面からの蒸発量にみあう水量を毛管力により補給しなければならない。

いま表層の蒸発速度を v cm/日、降水または散水間断日数 N (日)、下層の厚さ D cm、下層の含水量(含水率) w' % とすると

$$w'D = Nv \quad (3)$$

これから表層に対する保水層としての下層の最小厚さを求めることができる。

3.2.7 基礎の厚さ

上述のごとく基礎は走路の上部構造を支持すると共に、その排水性によつて構造の軟化を防ぐ目的で築造される。この目的にかなうよう基礎は常に上部構造より粒度の粗い材料すなわち割栗石とか粗

1) Lamar, E.: The Athletic plant, 1938

2) 土木工学ハンドブック p.178—179

大な鉱滓で堅固に築造される。ただしすでに地盤が砂利・礫など透水性が良く、且耐荷力の大きい土質の場合は特に基礎をおく必要はない。

さて地盤が粘性土壌の場合、透水性が小で、転圧仕上をしたため不透水層を形成しているものとみなし、かつ簡単のため基礎の流量は最も透水性の小さい表層部から浸透してくる水量に等しいと仮定するならば、表層の単位面積の浸透水量 q_0 は Darcy の法則により、

$$q_0 = k_1 \cdot \frac{h}{l_1} \quad (1)$$

ここに k_1 は表層の透水係数、 h は水頭差、 l_1 は表層の厚さである。

いま図74に示すごとく排水渠の間隔を $2B$ とし、B点の地表面から任意点 x までの全浸透水が x に集まってくるものと考え、その点の流量 q は

$$q = (B-x)q_0 \quad (2)$$

次に基礎は通常割栗石などの粗大な礫で築造されていて、その間を流れる流速と動水勾配との関係は Darcy の式と一致しないのが普通で、この場合には

$$\tau = k \left(\frac{dy}{dx} \right)^n$$

として表わされる。すなわち砂 (3mm以下) の場合は $n=1$ となつて Darcy の式が適用されるが、礫の粒径と間ゲキが大きいほど n は 0.5 に近づくといわれる。そこで基礎を通つて側方へ流れる水量は、その透水係数を k_2 とし $n=0.5$ とすると単位幅について

$$q = k_2 y \left(\frac{dy}{dx} \right)^{0.5} \quad (3)$$

ところでこの水量 q は表層からの浸透水に等しいから (2)(3) 式より

$$(B-x)q_0 = k_2 y \left(\frac{dy}{dx} \right)^{0.5}$$

$$\text{積分して } (B^2x - Bx^2 + \frac{x^3}{3})q_0^2 + c = k_2^2 \cdot \frac{y^3}{3}$$

$x=0$ のとき $y=h_0$ であるから

$$c = k_2^2 \cdot \frac{h_0^3}{3}$$

したがつて

$$y^3 = \frac{3}{k_2^2} (B^2x - Bx^2 + \frac{x^3}{3})q_0^2 + h_0^3 \quad (4)$$

$x=B$ のとき $y=H$ (基礎の厚さ) とすると (1)(4) 両式より

$$H^3 = h_0^3 + \left(\frac{k_1}{k_2} \times \frac{h}{l_1} \right)^2 B^3 \quad (5)$$

となる。

3.3 運動場の材料各論

3.3.1 シンダー混合土

現在、表層材料として最も一般的であるのはシンダー混合土でこれについて最近主要な競技場に使用されたものにアンツカがある。前者は石炭ガラと土との単なる混合物であり、材料も比較的入手しやすいので容易に築造される。しかし後者は運動場舗装用として特別に焼成した人工材料であ

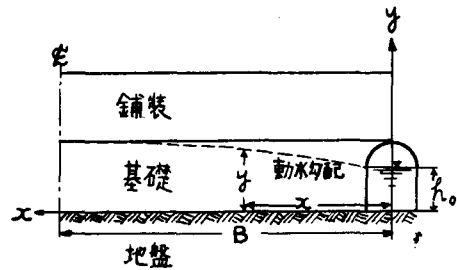


図 74

るから築造時に材料費がかさみ、性能はよいがどこにでも使用するまでには至っていない。すなわち基礎、下層は同一とし表層のみシンダー混合土とアンツーカーを使用した場合について運動場の建設費を比較すると大体1:1.5となる。しかし維持費は逆にアンツーカーが安い。性能としてシンダー混合土は適当な水分含有状態でよい性能を示し、スパイクのきき具合、弾力性もかなりよいが、一たん雨のふつた時性能の低下が著しい欠点をもつ。(図75)

さてシンダー混合土を表層にもつ運動場を築造する場合その材料の選択と配合比の決定が重要である。材料はなるべく現場付近から入手しうるものを使用することは経済上得策で、もしそれらに欠点があれば配合ならびに施工に工夫を加えてその欠陥を補えばよい。シンダー混合土は石炭ガラを骨材とし、土を結合材としているのであるから、石炭ガラは高カロリー炭を完全燃焼させた硬質のものが望ましく、土は砂質ロームに属するものが好結果を得る。

1) 石炭ガラ

6000 cal 以上の石炭では、それに含まれる灰分は比較的少く普通20%以下である。(表45)。これを高い温度(千数百度)で燃焼させると、その灰分は溶融してクリンカーとなるから質の硬い石炭ガラ

種 別	発熱量 (cal)	灰 分 (%)
泥 炭	3000	7—24
亜 炭	3000—4000	10—20
褐 炭	6000	10—31
レキセイ炭	7000	4—29
無 煙 炭	8000	2—32

が得られる。大規模な火力発電所などでは水洗式灰捨装置によつて、もえかすを灰捨場へ送るからその際、さらに軽微な灰分が除去されるので結局、硬質で灰分の少い石炭ガラが入手できる。このような石炭ガラは運動場用としてきわめて適当である。規模が小さい炉、例えば小工場とか鉄道汽関庫ではそのような水洗式灰捨装置を具えなくて、炉からそのまま捨てるので灰分がとれていない。

また 4000 cal 以下の亜炭の場合はそれ自身にすでに相当多量の灰や土を含んでいるから、そのような石炭ガラを使用すると、雨が降つた際に灰分が浮き上り、雨によつて流れ去り、次第に走路はやせる結果となる。それでやむを得ず質の良くない石炭ガラを使う場合はあらかじめ十分水で洗つて使用することが必要である。その方法は先ず 6mm のフルイに残つた粗石炭ガラを下層用とし、通過した細石炭ガラをさらに 3mm のフルイを使用して水中でふるい灰分をのぞくのである。

良質の石炭ガラの例として国立競技場で使用された東京千住発電所の石炭ガラの粒度分析結果を図81に示す。

2) 原 土

土は石炭ガラに対する結合材の役目をするものであるから、砂分の多い土では粘着力不十分でばらつくし、また粘土分が多すぎると水はけが悪くて滑り、乾燥するとひび割れする。また冬季には霜柱の立つおそれがある。したがつて使用する土としては石炭ガラを結合するに必要にして十分な粘土分を含む土であればよい。土の分類からいえば砂質ロームに属する土で、粘土を7~15%, シルトを20%程度をふくむものがよいと考えられる。良質の原土の例として鳥取県倉吉市産の土の分析結果を

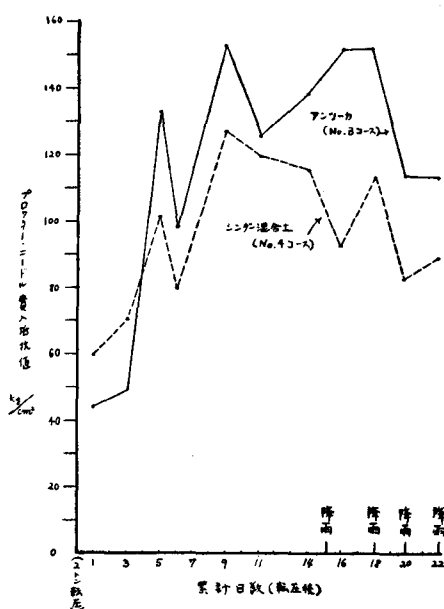


図75 表層の堅さ日変化(国立第1次試験走路)

図76に示す。

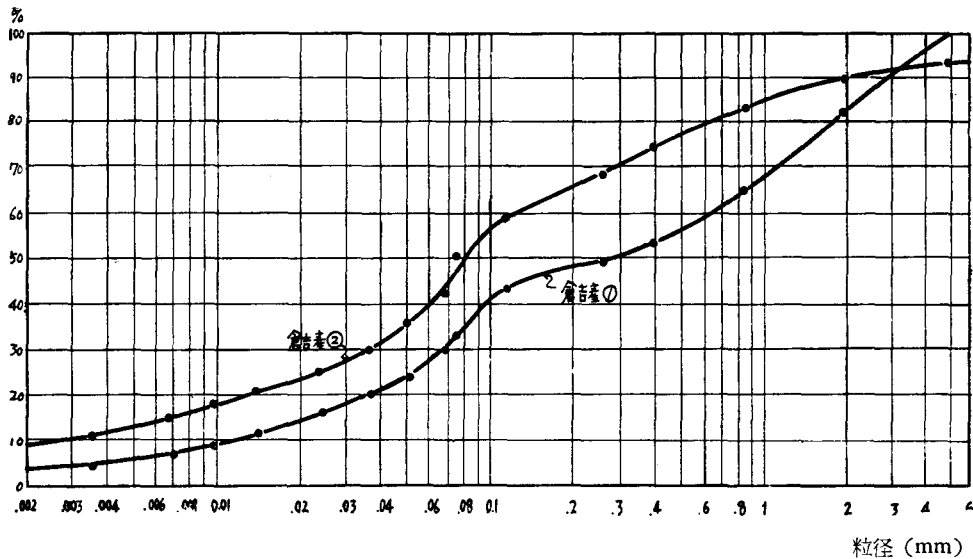


図76 シンダー混合土用として好ましい原土の例

3) 配合比の設計

材料として使用する石炭ガラは原料としての石炭の銘柄によりその組成が異なるし、土にも粘土分に多少があるから、石炭ガラと土の配合比は使用する材料によつて変えなければならない。また築造後の維持管理が十分行くとどうか否かも配合比の決定に影響を及ぼす。

次に材料の粒度組成から計算によつて配合比をきめ、混合土について各種試験を行なつてそれをチェックする方法をのべる。

さてシンダー混合土の配合比を決定づける主なる条件は調製された混和土のセン断抵抗と透水性とである。この両者は土の組織上からいえば相反する性質で、透水性は粗い粒子がゆるくつまっている程大きい、大きいセン断抵抗を得るには全体として大きい密度になるような割合で各粒子が混合し、しかも水で飽和した場合、粒子に余分の水膜が付着して著しく軟弱にならぬよう、土の間隙を少なくするよう締め固めたものでなければならない。したがつて配合比の問題はこの相反する土の性質をどの点で調整するかということから導きだされる。

a) 混合土の粘土含有量と透水性

最大密度を与える理想的粒度曲線については Talbot の式がある。これはコンクリート骨材に関するものであるが、土に対しても適用される。

$$\text{Talbot 式} \quad p = \left(\frac{d}{D} \right)^n \times 100$$

ここに p = あるフルイを通過する量 (%)

d = そのフルイ目 (cm)

D = 材料の最大粒径 (cm)

n = 指数

$$\log p = n \log \left(\frac{d}{D} \right) + 2$$

d を有効径 (10%径) にとると $d = D_{10}$, $p = 0.1$ であるから、

$$n = \frac{\log p - 2}{\log\left(\frac{d}{D}\right)} = \frac{\log 0.1 - 2}{\log\left(\frac{D_{10}}{D}\right)} = \frac{3}{\log\left(\frac{D}{D_{10}}\right)}$$

したがって

$$\log p = \frac{3 \log\left(\frac{d}{D}\right)}{\log\left(\frac{D}{D_{10}}\right)}$$

3.2.2の(5)式より $D_{10} = \sqrt{\frac{k}{C_1}}$ であるから

$$\log p = \frac{3 \log\left(\frac{d}{D}\right)}{\log\left(D \sqrt{\frac{C_1}{k}}\right)}$$

いま粘土の最大粒径 $d = 0.0005 \text{ cm}$, また表層土の理論的最大粒径 $D = 0.2 \text{ cm}$ ならば

$$\log p = \frac{7.8}{0.7 - \log \sqrt{\frac{C_1}{k}}}$$

この式によつて舗装の粘土含有量をその透水性との関係において求めることができる。

b) 混合土の粘土含有量と安定性

混合土は粗粒子としての石炭ガラが相互に摩擦することによつて互にかみ合い、粗粒子の間ゲキを中間粒子がつめ、さらにその間ゲキを微粒子である粘土分がつめることによつて強い凝集力を生じ構造的に十分な安定性を得るものである。粘土分が多すぎると水を含んだとき軟化し、すべりやすくなり、シルトは霜柱など凍上に直接大きい関係をもっているからなるべく少ないことが望ましい。一般に結合材としての粘土およびシルトの含有量は15~30%あればよい。このことは既述の調査結果からいいうることである。すなわち混合土の理想配合率としては図77のようである。もし凍上のおそ

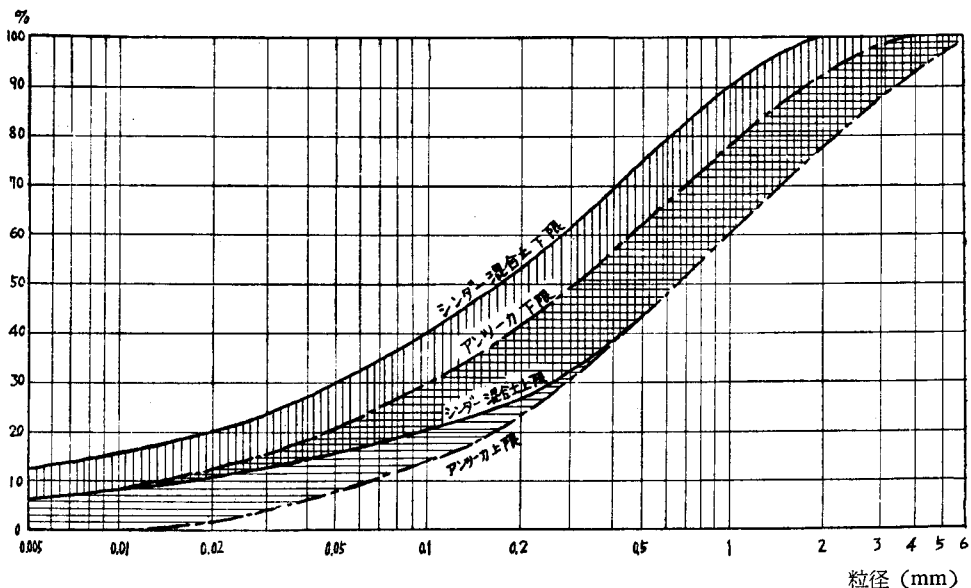


図77 運動場走路表層土の推奨粒径分布範囲

れのある地方ならばシルトと粘土の量を少なくし、反対に維持の十分行なわれない運動場などでは粘土分を多くして、硬く締めしておく必要がある。すなわち専任の管理人によつて常時維持される運動場と一度築造したらその後管理のゆきとどかない運動場とでは一様な配合比をとることはできない。維持不十分な学校運動場などでは少々水はけをぎせいにしても安定性を十分保つようにしておく必要がある。

c) 石炭ガラと原土の配合率算定

透水性とセン断抵抗から混和土の粘土含有量が決定されるが、この値に一致する材料を入手し難い場合は入手可能材料でこの値になるよう配合をきめる必要がある。

いま A, B 二つの材料について粒度分析を行なつたところ、粒径 r mm が A 材料では a_1 , B 材料では b_1 ふくみ、粒径 s mm が A 材料では a_2 , B 材料では b_2 ふくむ場合、図78からわかるように AB 混合材の B 含有率は

$$x = \frac{c_1 - a_1}{b_1 - a_1} = \frac{c_2 - a_2}{b_2 - a_2}$$

a_1, a_2, b_1, b_2 は既知であるから c_1, c_2 がきまれば x が求まる。

とくに $a=0$ のときは $x = \frac{c}{b}$

〔計算例〕 石炭ガラの粘土分 = 0%, 混合土の所要粘土分 = 6%, 原土の粘土分 = 15% とすると

$$\text{原土配合率} = \frac{6}{15} = 0.4 = 40\%$$

$$\text{石炭ガラ配合率} = 100 - 40 = 60\%$$

ゆえに 石炭ガラ : 原土 = 6 : 4 となる。

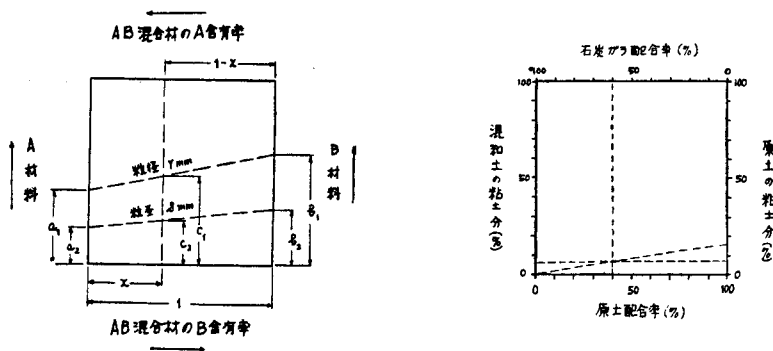


図78 シンダー混合土配合比計算図表

d) 混合土の粒度

い多数種の粒度を異にする材料を配合した場合、新しくできた土の粒度は次のごとくして求めることができる。まずそれぞれの土の粒径加積曲線は既知とし、配合は重量比で $a:b:c\cdots$ とする。そこで粒径加積曲線における任意の粒径の百分率が夫々 $p, q, r\cdots$ であれば、新しい混合土のその粒径における百分率は次のごとくである。

$$\frac{ap + bq + cr + \cdots}{a + b + c + \cdots} \quad (3)$$

これを各粒径について計算すれば新しい混合土の粒径加積曲線が求められる。

e) 配合比の検定

配合比が算定されたならば、実際に材料を混合して、突き固め試験を行ない、最適含水量と最大密

度を求め、透水試験で所要の透水度を有するかどうか、またスパイク試験を行なつて所要の安定性をもつかどうかチェックして、最終的に配合比を決定する。

f) 添加材

シンダー混合土に塩化カルシウム (CaCl_2) や塩化マグネシウム (MgCl_2) を添加することがある。これはそれらの吸湿潮解性によつて運動場面の乾燥防止、土の締め固め、土の凍結温度低下等の効果があるから、走路面の防塵、安定処理の目的で使用される。施用量は安定処理のためには土 1 トン当り 5kg (7kg/m^3) または締め固め厚 1cm につき 0.1kg/m^2 程度用い、防塵用として表面散布するときは 0.3kg/m^2 で 1～2 ヶ月有効であり、引続いて 2 回 0.1kg/m^2 づつ施用すれば全量 0.5kg/m^2 程度で一夏有効である。霜柱発生防止には砂質ロームで 1kg/m^2 を深さ 1cm 程度に混合する。^{1) 2) 3)}

3.3.2 アンツーカ

1) アンツーカの性質

アンツーカ (en-tout-cas) は土に菱苦土鈣をまぜニガリ液で練つて成型し 800°C 程度の高温で焼成

表46 アンツーカの性質

項 目	旧アンツーカ	新アンツーカ(ネオ)
比 重	2.63	2.56
液 性 限 界 (%)	31.0	26.5
流 動 指 数	4.5	5.5
最 適 含 水 比 (%)	21.8	18.2
最大乾燥密度 (g/cm^3)	1.59	1.53
透 水 係 数 (cm/sec)	2.35×10^{-4}	4.68×10^{-4}
セン断抵抗 (kg/cm^2)	64.4	101.6
スパイク引倒強度 (kg)	2.2	3.6

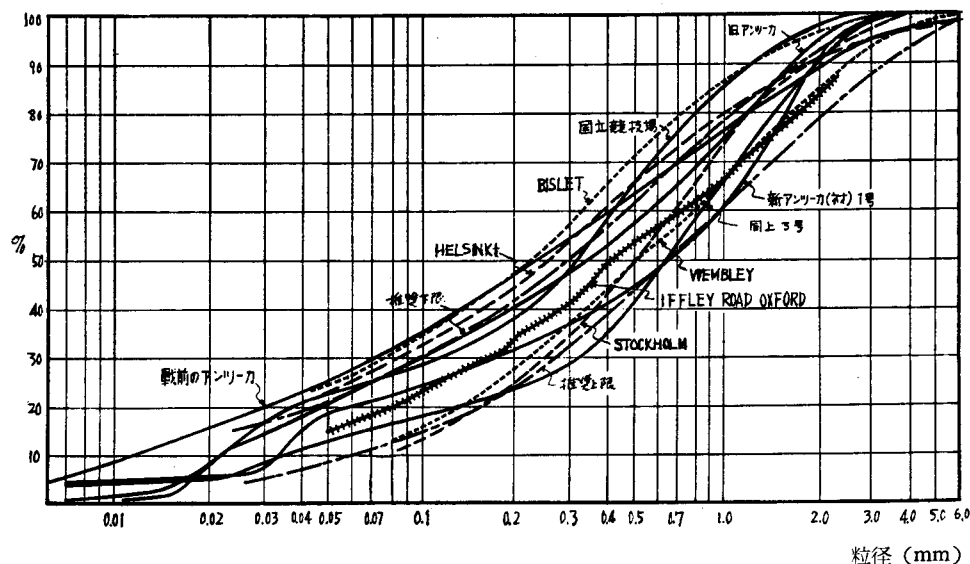


図79 アンツーカの粒径加積曲線

- 1) 三木, 山内: 土質安定の理論と実際, 昭30, p. 83
- 2) 板倉忠三: 塩化カルシウムの道路への利用について, 1954
- 3) 同: 土砂道の安定処理と防塵, 除草について

粉碎した赤褐色の砂状物で、主成分はケイ酸 SiO_2 、パン土 Al_2O_3 、苦土 MgO 、酸化鉄 Fe_2O_3 その他で、適当な含水状態で安定した強度を保つ。その特長は比較的粒径の大きい砂状物で構成されているから（図79）透水性が大きく雨で飽和状態とはならず（含水比はほとんど変化がない）シンダー混合土のようにぬかるまないことである（シンダー混合土は飽和すると含水比が50%以上になる）。もちろん初期のアンツーカーは微粒分が多く、十分な性能を発揮することができなかつたが、最近ローマ競技場のアンツーカーにならつて新製品ができて余程改善された。（表46）

その好ましい粒径分布の範囲を示すと図79のようである。

2) アンツーカーの締め固め

アンツーカーの安定性を大ならしめるには上述のように密度を大きくすればよい。したがつてそのような締め固めを行なうにはアンツーカーに適当な水分を与えてしめ固めると最大密度がえられる。そこで JIS 突き固め試験を行なうと図 80 に示すように最適含水量 24% のとき最大乾燥密度 1.48 g/cm^3 を得るからこれを基準として施工をすればよいわけである。

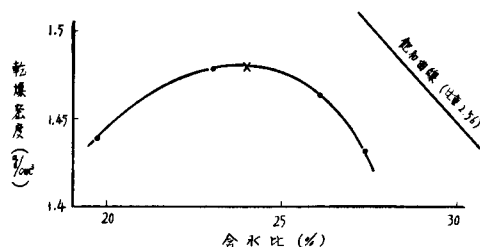


図80 アンツーカーの締め固め密度と含水量との関係

3.3.3 下層材料

1) 石炭ガラ

石炭ガラの品質については表層に使用するものと同様に良質炭を高温度で燃焼させ、灰分を除去した硬質のものが望ましい。表層をシンダー混合土とする場合は入手した石炭ガラを細粒にフルイ分け、表層に細粒を下層に粗粒を使用する。この場合フルイ分けの大きさは後述のごとく下層の基礎に対するフィルター効果から決定すべきである。

2) 火山砂利

最近、水力発電の発達、国鉄の電化などにより良質の石炭ガラを大量に入手することが次第に困難となり、これに代る新しい材料を研究する必要が生じてきた。石炭ガラのように多孔質で、締め固めがきき、廉価に入手しうるものとして火山砂利が考えられる。わが国には火山が多いからその山麓部に豊富な埋蔵量があるが、一般に都市から遠隔の地にあるので利用されないまま放置しているところが多い。しかし大島砂利、浅間砂利、ハルナ砂利などは東京方面で主として建築用軽量コンクリート骨材として広く使用されている。

大島砂利は伊豆大島波浮港の北西約 2 km の地点「岳の平」より産する黒色多孔質の火山礫で、極めて硬く、粒形はやや角ばっている。

浅間砂利は長野県浅間山麓東南部一帯より産する灰白色の軽石礫で、多孔質の軟い丸味をおびた粒子からなっている。

ハルナ砂利は浅間砂利に類似の軽石礫で群馬県渋川産のものである。

表47 軽量コンクリート用骨材の粒度

細 粗 別 フルイ目 (mm)	粗 表 材				細 表 材					
	25	20	10	5	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15
大島砂利	100	100~95	70~30	10~5	100	100~60	85~40	60~20	30~10	15~10
浅間砂利	100	100~95	70~30	10~0	100	100~80	80~60	70~30	50~15	40~10
石炭ガラ	100	100~80	70~30	5~0	100	100~80	80~50	50~30	30~20	20~10

表48 下層材料の比重と吸水率

種 別	大島砂利		浅間砂利		棒名砂利	石炭ガラ		水サイ
	粗	細	粗	細	粗	粗	細	細
比 重	2.74		—		2.28	2.12		2.95
気乾単位容積重量(kg/l)	0.51	0.79	0.48	0.7	—	0.5~0.8	0.57	0.98
吸 水 率 (24時間浸水)	29	6	37	13	—	21	16	28

(註) 粗: 20~5 mm, 細 2.5~0 mm

現在軽量コンクリート用骨材として生産されているこれらの火山砂利の粒度は表47の通りで、比重および吸水率は表48に示す。

すなわち大島砂利(粗)と棒名砂利(粗)は均等係数が小さい。これは粒径が均一的であることを意味している。国立第1次試験走路 No. 1, No. 2 コースが十分成績が上らなかったのはこのようなあまり粒径の均一な材料が使用されて、ローラで転圧しても逃げてよく締らなかつたことに原因があつた。第2次試験走路ではこの点を改められ細粗両粒を混合して使用し、ある程度その欠点を除くことができた。もし比較的粗粒で均等係数の小さい材料を締め固める時はローラ転圧によらないでタンピングによるのが良い。火山砂利のうちでも大島砂利は質が硬く吸水率も極めて大であるから、粒度について改良を加えるならば、アンツカの下層材料として有望であると考えられる。

3) 水サイ

熔鉱炉で鉄鉄を製造する場合、副産物として出来る鉄サイを水中に投じて急冷砕したもので、黒褐色の角ばつた粒状物で潜伏性の水硬性を有し、アルカリ類例えば石灰・セメントなどの刺戟によつて水硬性があらわれるので高炉セメントの原料とされる。

水サイを石炭ガラに比べると (i) 多孔質のため透水性良好 (ii) 硬さはややもろいから良質石炭ガラにやや劣る。 (iii) 比重は大であるから雨水による流亡は少い。 (iv) 粒径は粗粒を多くふくむから表層用混合土に使用するとバサつくと考えられる。 (v) ややガラス質であるから表層に使用した場合学童などが

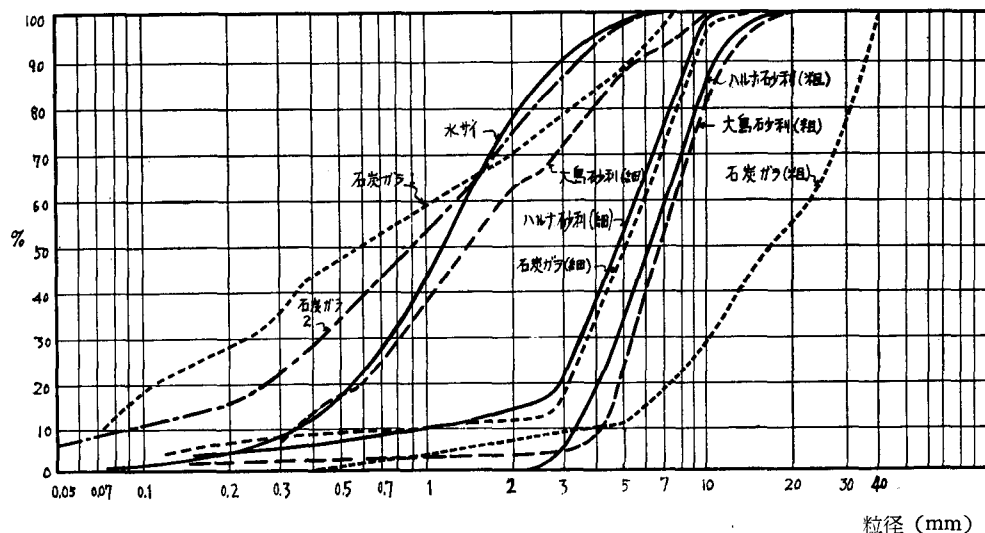


図81 下層材料の粒径加積曲線

石炭ガラ 1: 国立競技場使用, 石炭ガラ 2: 鐘紡京都工場

水サイ: 呉羽製鉄富山工場, その他: 国立競技場試験走路使用

裸足でその上を走ると危険である。要するに石炭ガラ¹⁾の代用として下層材料として使用することができる。比重, 吸水率, 粒度を表47, 48に示す。

大島砂利とハルナ砂利は国立競技場試験走路において試験的に下層材料として使用されたがその時の粒径分布は図81に示される。この均等係数(60% 径/10% 径)を求めると表49のごとくなる。

表49 下層材料の均等係数

種 別	大島砂利*		ハルナ砂利*		石炭ガラ*		同左○	水サイ△
	粗	細	粗	細	粗	細	細	
均 等 係 数	2.27	5.59	2.33	5.09	5.22	4.83	15.7	4.12

(註) * 国立競技場試験走路(第1次)使用のもの, ○ 国立競技場使用のもの, △ 呉羽製鉄富山工場産

以上の各種材料について行なつた突き固め試験結果を表50に示す。

表50 下層材料の突き固め試験結果(星野氏)

種 別	混 合 割 合	最大乾燥密度 (g/cm ³)	最適含水比 (%)
石炭ガラ 粗 (>5 mm)	—	1.11	35.0
〃 細 (<9.5 mm)	—	1.04	40.0
〃 (細粗混合)	1 : 1	1.04	43.0
大島砂利 粗 (>2.5 mm)	—	1.08	40.0
〃 細 (<5 mm)	—	1.18	24.0
〃 (細粗混合)	1 : 1	1.15	24.0
大島砂利の細粗及び赤土の混合	1 : 1 : 1	1.22	35.0
樺名砂利 粗 (>2.5 mm)	—	0.76	50.0
〃 細 (<5 mm)	—	1.24	40.0

4) 下層材料の粒度

下層材料は表層材料の基礎に対するフィルターとなるから、両者の粒度には一定の差が必要である。すなわち両者の粒度が類似しては無意味であり、差がありすぎると水と共に表層材料も透してしまう。そこで経験上次の範囲内のものとするのがよいとされる。¹⁾

$$\frac{\text{下層材料の } D_{15}}{\text{表層材料の } D_{85}} \leq 4 \quad \text{または} \quad \frac{\text{下層材料の } D_{15}}{\text{表層材料の } D_{15}} > 4$$

ここに D_{15} および D_{85} は粒径加積曲線の 15% および 85% に相当する粒径である。

3.4 総 括

1章および2章で運動場走路の構造に関する基礎調査を行ない、かつ運動荷重の研究を実施して各種の基礎資料が確保されたので、この章ではそれらのデータのもとに本研究の最終目標である走路構造設計に関する理論構成と材料の検討を試みた。まず設計条件を考え、これにしたがつて表層の透水性について論究し運動場の地表に降つた雨が地下に浸透する時間から望ましい土の有効径を算出し、ついで走路面の安定性に対し表層として必要なセン断強さを求め、運動荷重によつて舗装が圧縮される場合の沈下量と地盤応力とから舗装厚をきめ、舗装の弾力性を増すためにクッション層の設置とそ

1) 小野他訳テルツアギ・ベック 土質力学(基礎篇), 昭30, p 43

の材料について、基礎の排水性からその所要厚さを算出する方法をのべた。さらに現在最も一般的な運動場の表層材料であるシンダー混合土についてその材料としての石炭ガラ、原土の品質を論じ、混合土の粘土含有量と透水性ならびに安定性との関係から混合土の配合比設計の方法をのべ、さらに高級舗装材としてのアンツーカーの性質についてのべ、表層土の標準粒径分布範囲を設定した。また運動場の下層材料としては従来石炭ガラが多く使用されてきたが最近その入手が比較的困難となつてきたので、これに代る新しい材料として火山砂利、水サイなどについて検討を加えた。このようにして運動場走路の構造としての舗装および基礎に関する設計法の理論的根拠と材料選択の基準を明らかにした。

結 論

近年、スポーツの興隆はめざましいが、学校体育上あるいは国民の保健ないしレクリエーションの上から、さらに一段とその振興が痛感され、それにともなつて運動施設の充実が企てられている。運動の種類によつて陸上競技場・水泳場・野球場・庭球場・体育館その他運動施設は多種多様であるが、施設の数および面積の点からいうと学校運動場が圧倒的で、その利用度もまたきわめて高率を示している。したがつて運動場の性能の向上は利用者にとつて望ましいことであるばかりでなく、管理者にとつても維持上きわめて必要なことといわなければならない。とくに運動場走路の構造については運動機能と密接な関係があり、築造や維持の経済性とも関連するから重要な研究課題であるにかかわらず、従来それに関する研究は内外ともにほとんど見るべきものなく、もつぱら断片的な経験的知識にたよつていたのであつた。しかしスポーツの発達と共に走路の性能に対する要求は次第に高度なものとなり、従来の経験のみでは処理することはむづかしく、土質の異なつた材料を使用し、異なつた自然条件のもとで同一の良い性能を有する走路を築造することは容易であるとはいひがたい。そもそも運動場はそこで人間のレクリエーション活動としてのスポーツが行なわれるのであるから、人間の運動行為に適応し、その運動感覚を満足させるような機能を持つ構造でなければならない。本研究はこの点に着目し、運動感覚に適合する合理的な運動場の土質性能を研究し、それをよりどころとした構造の設計基準を確立することを目的としたものであつて、その研究方法としては既設運動場について各種の土質試験を実施し、スポーツマンの感覚テストと合せて、もつとも好ましい土質の性能を追求するとともに、他方運動行為にもとづいた理論的考察を加えることによつてその設計法を導き出すという方法をとつたのである。なお運動場は運動の種類によつてその機能を異にするから構造も異なるべきであるが、そのうち陸上競技が最もその性能についての要求度が高いから、もつぱらこれについて研究すれば、他の類似の運動競技はこれに準じて差支えないと考え、もつぱら陸上競技場走路を研究の対象として取り上げた。

まず1章では運動場走路の構造に関する基礎調査として、内外の代表的な運動競技場についてその走路断面を調査し、従来の知識を整理して、それをよりどころとして理論的・実験的研究の方向を見出すことに役立て、次に既設運動場について各種の土質試験を実施するため、運動場の土質の必要条件を吟味し、それに適応する土質試験の種類を検討し、必要な試験の種類として一般土質試験のほか、現場土に対する硬度試験、セン断試験、弾性波試験などが必要であると認めた。土質試験を実施した運動場は京都大学運動場、西京極陸上競技場その他合計11ヶ所である。

さて既設運動場についての土質試験と運動選手に対するアンケート調査によつて、グラウンド・コンディションについての選手の要求度すなわちスパイクのきき具合や弾力性の程度と土質試験の結果との関係を検討し、最も望ましいグラウンド・コンディションを得るには次のような土質であることが必要であるということが明らかになつた。

- (1) 走路の表層に使用する土は 6mm 以下であつてシンダー混合土では結合材としての粘土およびシルト (0.05mm 以下) は 15~30% あればよく、アンツーカーは粘土およびシルトは 10~20% ふくむものが適当である。
- (2) 表層の堅さはプロクター・ニードル貫入抵抗値が $120 \sim 150 \text{ kg/cm}^2$ が適当である。
- (3) 表層の安定性はスパイク引倒試験によるセン断抵抗で 75 kg/cm^2 以上であることが望ましい。
- (4) 舗装の弾性常数は弾性波試験により少なくともヤング率 200 kg/cm^2 程度、少なくとも剛性率 80 kg/cm^2 程度が望ましいことを知つた。

ついで各種断面の試験走路 (長 50m, 巾 6m) によつてどのような構造が所要の性能を発揮するかを検討した。すなわち第 1 次試験ではまず表層材料としてのシンダー混合土とアンツーカーを比較し、シンダー混合土による表層は晴天時優れた性能を保持することを認めたが、雨天のときその性能が約 50% に低下することを確認し、第 2 次試験では下層材料について研究を行なつた結果石炭ガラが最もよく締まりその優秀性を認めたが、その他の材料例えば火山砂利 (0.05~20mm) でも粒度の組織が適当であれば使用可能なことを知つた。結局陸上競技場走路の表層にはアンツーカー (厚さ 5cm), 下層は石炭ガラ (厚さ 25cm), 基礎は玉石 (厚さ 20cm) を使用して上記のコンディションに築造したものが最もよいという結果を得た。

以上によつて運動場走路として具備すべき性能ならびにそれに適応する構造が判明したのでこれによつて本走路を国立競技場に築造し、それについて改めて土質試験を実施したところ (1) プロクター・ニードル貫入抵抗値平均 145 kg/cm^2 , スパイク引倒試験によるセン断抵抗平均 100 kg/cm^2 , 弾性波試験による弾性常数としてヤング率 279 kg/cm^2 , 剛性率 114 kg/cm^2 を得て所期の性能を有していることを確め、また第 3 回アジア大会に出場した内外選手にアンケート調査を実施したところ大多数の選手から、その堅さ、弾力性について適当という返答を得た。以上のことから本研究の成果が実証されたわけである。

2 章では走行・跳躍などの運動行為によつてグラウンド面に加わる圧力を検討し、運動荷重の大きさを算定した。まず基本となる運動選手の体重について調査し、運動静荷重としての平均荷重強度は最大 1 kg/cm^2 とすれば十分であることを知つた。

次に走行跳躍荷重は衝撃を生ずるが、その大きさを抵抗線ヒズミ計式重量計により測定し、衝撃率は走行荷重では 2 倍、跳躍荷重では 4~5 倍であることを算定した。

3 章では運動場走路の構造に関する理論的考察を行ない、1 章と 2 章で得た資料をもとにして設計法を構成した。

まず設計条件としては運動の種類、その質および量、気象、土地などの自然条件、材料入手の難易、築造費および維持費の多少などが挙げられる。またその性能については水はけのよいこと、スパイクがきくこと、適度の弾力性のあることなどの要求がある。設計の順序としては次のように行なう。

(1) 表層材料の選択

運動場の水はけという点について降雨の際に一定の時間内に滞水を浸透によつて排除できるよう表層土の透水係数を算出し、所要有効径を求め材料の粒度をきめる。次に築造費、維持費を考えてアンツーカーにするかシンダー混合土にするかを決定する。後者の場合には所要有効径で最大密度を有するよう締め固めに必要な粘土の含有量をきめる。そして全粒度分布が標準粒度分布限界内におさまるよう混合材料の配合比を決定する。

(2) 表層の安定性と透水性のチェック

(1) で決定した表層材料について突き固め試験を行ない、はたして所定のかたさに締め固めができるかどうか、また水はけの程度などをプロクター・ニードル貫入抵抗試験およびスパイク引倒試験・透水試験によりチェックする。

(3) 舗装の厚さの決定

キック力による舗装の圧縮沈下を計算し、部分圧縮破壊をおこさぬようそれを許容限度内におさめ、荷重が及ぼす地盤応力が地盤の許容支持力以下におさまるよう必要な舗装厚さを計算する。なお表層の最小厚さは運動行為による破壊の及ぶ深さにより、また下層の最小厚さは保湿性能により求める。

下層材料には石炭ガラを使用することが多いが、良質石炭ガラの入手困難な場合は、それに代るものとしては例えば火山砂利や鉍サイのような質の硬い、粗粒の多孔質材料で、表層に対する保湿層として、また基礎に対するフィルタ層として有効で、十分締め固まるような粒度配合のものを求める。

(4) 基礎の検討

地盤の支持力が不足するときは基礎の設置を検討し、地盤の軟化、凍上を防止するための所要排水能力から基礎の厚さを決める。

以上によつて運動場走路の構造設計が完了する。なお慎重を期する場合には試験走路を築造してその性能をたしかめたくて本走路を築造する。要するに本研究は運動場が運動感覚に合致して、常に良いグラウンド・コンディションを保持するための構造を研究し、その設計法を構成したものである。研究の対象を要求度の最も高い陸上競技場走路にとつたからその成果は他の種類の運動競技場にも応用でき、本研究が今後の運動場築造に大いに役立つものであると信ずるものである。

謝 辞

この研究を実施し、その取まとめについて多くの人々にお世話になつたが、とりわけ次の方々からは懇切な御指導と御励ましをいただいた。ここに厚く御礼を申し上げます。

京 都 大 学 名 誉 教 授	関 口 鎮 太 郎 氏	京 都 大 学 農 学 部 教 授	農 学 博 士	岡 崎 文 彬 氏
京 都 大 学 農 学 部 教 授	農 学 博 士	遠 藤 隆 一 氏	京 都 大 学 農 学 部 教 授	農 学 博 士
京 都 大 学 工 学 部 教 授	工 学 博 士	村 山 朔 朗 氏	神 戸 大 学 工 学 部 教 授	工 学 博 士
同 志 社 大 学 教 授	田 淵 潔 氏	日 本 陸 上 競 技 連 盟 前 理 事 長	鈴 木 良 徳 氏	
建 設 省 関 東 地 方 建 設 局 建 築 第 一 課 長	角 田 栄 氏	奥 ア ン ツ ー カ 株 式 会 社 取 締 役 社 長	奥 庚 子 彦 氏	

また京都大学農学部造園学研究室 助手 中村一氏、同近藤公夫氏その他の諸君にも手伝っていただいた。あわせて感謝します。

主なる参考文献および資料

- 石井靖丸訳：テルツァギー土質力学，1，昭18。
 石川県土木部計画課：第2回国民体育大会施設資料，公園緑地 Vol. 10，No. 2，昭23，3。
 井上宇胤：地震探鉱法，昭24。
 奥アンツーカー K. K.：国立競技場試験走路貫入試験成績表，昭32，4。
 小野他共訳：テルツァギー・ベック土質力学，昭30。
 小野勝次：陸上競技の力学，昭32。
 建設省国立競技場事務所：国立競技場試験走路骨材試験成績表，昭32。
 同：国立競技場試験走路に関する調査資料（浸透試験，透水試験，湿潤時に於ける貫入試験），昭32，4。
 同：第2回国立競技場試験走路に関する調査資料（貫入試験，浸透水試験），昭32，7。
 厚生省体力局：運動場及運動公園，昭16。
 谷藤正三：弾性波動測定による路盤強度の判定に関する研究，土木研究所報 No. 81，昭26，3。
 同：砂利道の建設と補修（オーム文庫），昭28。
 那須信治：土壌層の弾性的性質に関する野外測定（その1）（英文），東大地震研究所彙報，No. 27，1～4冊，昭24，1～12。
 西村 昭：抵抗線歪計式板状自動車重量計について
 新田伸三：運動場の構造に関する土質力学的研究，造園雑誌，Vol. 18，No. 3，4，昭30，3。

- 新田伸三：運動場の構造に関する研究（京都大学運動場の土質調査とくにその弾性波試験について）昭30年日本造園学会秋季大会要旨，昭30，11.
- 同：西京極陸上競技場の舗装に関する研究，陸連時報，No. 34，昭31，9.
- 同：国立競技場第1次試験走路土質試験について，昭和32年日本造園学会春季大会要旨，昭32，5.
- 同：国立競技場第2次試験走路土質試験報告，陸連時報，No. 45，昭32，8.
- 同：アジア大会当日の国立競技場の走路コンディションとそれに関するアンケート調査報告，陸連時報，No. 56，昭33，7.
- 同：運動場シンダー混和土の混合比のきめ方について，昭和33年日本造園学会春季大会要旨，昭33，5.
- 同：運動場の構造設計法について，昭和35年日本造園学会春季大会要旨，昭35，5.
- 萩原尊礼：振動測定，昭32.
- 畑中元弘：動線輪型微動計の振動特性について，京大防災研究創立5周年記念事業論文集，昭31，11.
- 枇杷阪実：公認陸上競技場の規程と設計施工について(2)，公園緑地，Vol. 114，No. 1，昭27，p. 25.
- 星埜和・三木五三郎：国立競技場試験走路の土質試験結果報告，昭32，4.
- 星埜和・三木五三郎：国立競技場試験走路の土質試験結果報告，昭32，7.
- 三木五三郎・今村芳徳：各種基層材料の締固め試験結果及び各種基層上におけるアンツーカーの締固め比較試験，昭32.
- 三木五三郎・山内豊聡：土質安定の理論と実際，昭34.
- 渡辺 貫：各地陸上競技場走路土質試験結果とその研究方針，第12回オリンピック東京大会（返上）科学施設研究会報告書.
- A.A.A.-N.P.F.A.: Athletic Stadia, 1957.
- Blanck, E.: Handbuch der Bodenlehre, VI. 1930.
- Building a Cinder Track: Parks, Golfcourses and Sports Grounds, Vol. 4, No. 5, 1939. 2, p. 114.
- Butler, G. D.: Recreation Areas, 1947.
- Butler, G. D.: The New Play Areas, 1938.
- Lamar, E.: The Athletic Plant, 1938.
- Nettleton, L. L.: Geophysical Prospecting for Oil, 1930.
- N.P.F.A.-A.A.A.: Cinder Running Tracks, 1954.
- Ortner, R.: Sportbauten, 1953.
- Smith, P. W.: The Planning, Construction and Maintenance of Playing Fields, 1950.
- Sudell, R. & D. T. Waters: Sports Buildings and Playing Fields, 1957.
- Spaldings Athletic Library, No. 511 B: How to Build A Tennis Court, 1927.
- Surfacing Playground Areas (Part I. II.) Recreation, Vol. 26, No. 5-6, 1932.
- Terzaghi, K.: Erdbaumechanik auf bodenphysikalische Grundlage, 1924.

SUMMARY

The need for more athletic fields is now evident, both in response to the great increase of interest in sports of all kinds as well as for the promotion of physical education and people's health.

Many athletes and athletic coaches are now interested in the condition of a running track. Demands for better tracks are increasing in spite of their higher cost. Problems such as condition, speed attainable, etc. are dependent upon the construction of the track, but our knowledge about it is very limited at the present time. This study aims to establish a theory of construction, by which we can rationally analyze running track built of various materials under diverse local conditions.

In the first chapter the results of tests and investigations using existing tracks and experimental tracks are analyzed. Cross sections of running tracks of main athletic fields in Japan and in foreign countries were investigated, and hardness tests, shear tests and seismic tests were executed with the general soil tests on the tracks of eleven athletic fields in Japan. In addition the author asked many athletes on the surface condition of tracks and its relation to the action of spikes of shoes (hardness) or the degree of bound (elasticity) that they request.

From the results of these investigations, the best soil conditions are considered to be as follows:

- (1) The proportion of clay and silt of the surface layer should not exceed 30% or be less than 15% of the total mixture in cinder track, and 20% or less than 10% in en-tout-cas track.
- (2) Hardness of surface, as determined by the Proctor's needle penetrating test, should be limited to the range between 120 and 150 kg/cm² (1,700-2,100 lb/in²).
- (3) Shearing resistance of the surface, according to the specially devised shear test, by pulling down spike should be more than 75 kg/cm² (1,060 lb/in²).
- (4) Elasticity of track by the seismic test should be at least, 200 kg/cm² (2,850 lb/in²) of Young's modulus and at least, 80 kg/cm² (1,140 lb/in²) of stiffness coefficient.

The experimental track (50m×6m) with five lanes was constructed twice to determine the relation between cross sectional structures and the surface conditions.

At first the en-tout-cas lane was compared with cinder lane, and the results showed that the condition of cinder lane was better than that of the en-tout-cas lane in fine weather, although it was fairly muddy when wet. As the next step, various materials of the base courses under en-tout-cas surface were compared. The boiler clinker was best regarding compaction, and other materials such as volcanic gravel showed good result so far as it has moderate grain size. Finally, for the best track conditions it was found that the running surface should be laid to a consolidated depth of 5 cm (2") with en-tout-cas track, and the base course should be of coarse boiler clinker spread to a consolidated depth of 25 cm (10"), and the foundation layer should be comprised of boulder or broken stone spread to a consolidated depth of 20 cm (8").

The track of Tokyo national stadium was constructed taking the above mentioned cross-section for the model. Most Japanese and foreign athletes who participated in the 3rd Asian Games in 1958 replied that the track had moderate hardness and elasticity.

The second chapter is concerned with athletic load. Athletic load that acts upon the surface of track, when athletes run or jump, was measured by the following method: assuming that body-weight may be concentrated on a half of the front part of a sole of a foot, a maximum static load per unit area is estimated approximately at 1 kg/cm² (14.2 lb/in²). And impact load increases twice as much as static load in the case of running, and 4-5 times as much in case of jumping. The impact loads were measured by a (weighting) scale of the electric resistance strain gauge type.

The data obtained from experimental studies have thus been used as the basis for a theory of track construction that is described in the third chapter.

Factors affecting cross-sectional structure are kinds and degrees of athletic movement, the natural conditions such as weather or location, actual difficulty in obtaining materials, the sum of expense for construction or maintenance and others. Of course the requests for good drainage, effective spiking, and moderate elasticity over track always have to be satisfied.

The elements to be recommended in designing tracks are as follows:

- (1) Selection of the materials of surface course

As the permeability of surface soil should permit rapid drainage of standing rain water, the corresponding effective grain size of the soil has to be found. Either cinder or en-tout-cas can be adopted, but the selection will depend on the cost of construction and maintenance. The clay content of cinder surface should be determined so as to get the greater density as far as water permeates.

The suggested distribution curves of grain size for track surface of cinder or en-tout-cas may be useful to determine the clay content.

- (2) Test of stability of surface course

Compaction test of the so-determined surface soil should be done, and the degree of compaction should be tested by the Proctor's needle penetrating test or the shear test

by pulling down a spike. On the other hand, permeability should be considered and checked.

(3) Thickness of pavement

The depth of compression settlement of pavement caused by kick force is calculated. The depth has to be kept within the allowable limits for the purpose not to broken pavement by partial compression, then thickness of pavement is determined to keep the foundation stress caused by load within permissible bearing capacity of ground.

Minimum depth of surface course is determined by the length of spikes, and minimum depth of base course by moisture-holding capacity. Boiler clinker is often used as the material for base course. Hard porous materials such as volcano gravel or slag, however, may be used instead of boiler clinker in case where it is impossible to obtain better clinker.

(4) Foundation layer

Foundation layer is made when the subgrade has not enough bearing capacity, and the thickness is determined by the capacity of drainage to prevent the subgrade from softening and frost-heaving.

The author believes that the above mentioned theory is useful to construct the running tracks of athletic fields.