



歩道舗装材に関する研究

牧, 恒雄

(Degree)

博士 (農学)

(Date of Degree)

1991-10-07

(Date of Publication)

2009-04-22

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙1580

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.11501/3062331>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2001580>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



神戸大学博士論文

歩道舗装材に関する研究

平成3年8月

牧 恒雄

「歩道舗装材に関する研究」

目 次

第 1 章	序 論	-----	1
第 2 章	舗装材の弾性測定法について		
第 1 節	序 論	-----	4
1 - 1	概説		
1 - 2	既往の研究		
1 - 3	研究の目的と範囲		
第 2 節	現在行われている弾性測定法について	-----	7
2 - 1	概説		
2 - 2	測定方法		
2 - 3	測定に使用した舗装の種類		
2 - 4	結果および考察		
2 - 5	結論		
第 3 節	生体振動解析法の開発について	-----	23
3 - 1	概説		
3 - 2	試験方法の概要		
3 - 3	試験方法		
3 - 4	結果および考察		
3 - 5	各種舗装材の弾性比較		
3 - 6	結論		
第 4 節	砂詰め人工芝の舗装構造と衝撃緩和特性について	-----	47
4 - 1	概説		
4 - 2	試験方法		
4 - 3	試験材料と舗装構造		
4 - 4	結果および考察		
4 - 5	結論		
第 5 節	合成樹脂系舗装材の舗装厚さと弾性について	-----	
5 - 1	概説		
5 - 2	試験方法		
5 - 3	結果および考察		
5 - 4	結論		

第6節 結 論	79
---------	-------	----

参考文献

第3章 弾性舗装材の開発について

第1節 序 論	85
---------	-------	----

- 1-1 概説
- 1-2 研究の目的と範囲

第2節 ゴムチップ舗装材の物性について	86
---------------------	-------	----

- 2-1 概説
- 2-2 試験方法
- 2-3 結果および考察
- 2-4 結論

第3節 ゴムチップ舗装の歩行官能検査について	91
------------------------	-------	----

- 3-1 概説
- 3-2 試験方法
- 3-3 結果および考察
- 3-4 結論

資 料 官能試験結果

第4節 ゴムチップ舗装のテニスコート特性	122
----------------------	-------	-----

- 4-1 概説
- 4-2 試験方法
- 4-3 結果および考察
- 4-4 結論

第5節 結 論	130
---------	-------	-----

参考文献

第4章 舗装材の色彩について

第1節 序 論	132
---------	-------	-----

- 1-1 概説
- 1-2 既往の研究
- 1-3 研究の目的と範囲

第2節 舗装材の色彩について	134
----------------	-------	-----

- 2-1 概説

2 - 2	試験方法	
2 - 3	結果および考察	
2 - 4	結論	
第 3 節	舗装材の表面温度と放射収支について	----- 1 6 4
3 - 1	概説	
3 - 2	試験方法	
3 - 3	結果および考察	
3 - 4	結論	
第 4 節	結 論	----- 1 9 1
参考文献		
第 5 章	街路樹の根系による歩道舗装材 の破壊について	
第 1 節	序 論	----- 1 9 3
1 - 1	概説	
1 - 2	既往の研究	
1 - 3	研究の目的と範囲	
第 2 節	歩道舗装材破壊の実態調査	----- 1 9 7
2 - 1	概説	
2 - 2	実態調査	
2 - 3	掘削調査	
2 - 4	結果および考察	
2 - 5	結論	
第 3 節	結 論	----- 2 3 9
参考文献		
第 6 章	結 論	----- 2 4 3

第 1 章 序 論

道路舗装の歴史¹⁾は古く、古代バビロニアでは、市街にレンガとアスファルトを敷き詰めて、その上を石灰岩の板で覆った舗装が行われていたと言われている。ヨーロッパでは車道だけでなく歩道が舗装された歴史も古く、A.D. 79年ヴェスヴィオス火山の大噴火で埋まったポンペイの街では、当時すでに車道と歩道が区別され、細かい石を漆喰のような物で固めた歩道が作られていた。

日本では、江戸時代に並木と砂利による五街道の整備が行われたが、籠や馬による交通では道路を舗装することや、車用と人用に分離する必要も無く、歩道ができたのは明治時代になってからである。その後、モータリゼーションの時代となって、道路への関心が高まり舗装技術も発達したが、歩道への関心は薄く簡易舗装要綱が発刊されたのは東京オリンピックが開催された1964年である。

しかし、最近では歩道の舗装材が街の「景」を構成する重要な要素であるとの認識が高まり、駅前の広場・商店街など人が多く集まる場所や、歩道・ジョギング道・公園の園地など多くの人々が利用する場所では、従来から用いられてきたアスコン舗装にかわり、色彩豊かでデザイン性に優れた歩道舗装材が用いられるようになってきた¹⁾。

歩道舗装は、そこを歩く人にとって心理的にも肉体的にも快適で、親しみと潤いを感じる空間でなければならないし、舗装材も、歩きやすく、滑らず、つまずかず、クッション性がよくて視覚的な楽しみがあり、体感性の良い材料であることが理想である。舗装材は、色彩・材質やデザインが街や広場などの景観に大きな影響を及ぼすことから、設計者は独創的なデザインや特長ある素材を求める傾向が強く、歩道として好ましくない材料が使われている場所もある。しかも、これら舗装材の選定条件は、利用する人の条件で選択するのではなく、デザインや色彩等が中心で選ばれており、本来考慮しなければならないそこを利用する歩行者の安全性や歩行時の快適性などの、舗装材と人とのかかわりは重視されていないようである。

人が快適と感じる舗装材の条件を考えると、(1) 舗装表面が適度のすべりを持ち、平坦で凹凸がない。(2) 舗装材が透水性で、降雨の中でも舗装表面に水が溜らない。(3) 舗装に適度の弾性があり疲労しにくい。(4) 色彩的に安定し舗

装から受ける体感性が良い。などいくつかあげられる。しかし、これらの条件は、舗装材の物理的な検討だけでは解決できず、解析条件に人の持つ固有条件が含まれることから、人との関係を考慮して解析する必要があり、これが歩道舗装材の研究が遅れている最大の理由である。

人が利用する場所の舗装を機能面で分けると、大きく2つに分類できる。その一つは、使用する目的が明確でなく、不特定多数の人が利用する場所の舗装である。一般の歩道や広場などはこれに含まれ、通行する人の年齢や通行する目的あるいは履いている靴の種類など特定出来ない要素が多く、全ての人が快適と感じる舗装材を見つけ出すことは非常に困難である。一方、運動用の舗装や公園の歩経路・散策路などは使用する目的がある程度特定でき、利用する人の安全や快適さを考慮にいて舗装を選定することは可能である。

以前から陸上競技場などに用いられている運動用の舗装材は、高価で特殊な舗装材であるので、道路用の舗装材としては検討されなかった。しかし、最近では学校の校庭や市町村などがつくったジョギング道などで、運動用舗装材に類似した性質を持つ舗装材が施工されるようになってきた。これは、最近、余暇の増大や健康に関心が高まり運動する人が増加したが、運動する施設が不足しているので一般の歩道や住宅付近の道路で運動する人が多くなり、その結果、急激な運動のしすぎや舗装材が硬すぎる事などが原因で、膝や腰を痛める人が多いとの報告²⁾などが、運動用舗装の施工を促進させている理由と思われる。また、老人化社会となる日本の将来を考えると、老人の健康を維持する方法として、老人の健脚化をはかる事が第一にあげられる。その時、歩道舗装材は、単に見栄えが良く、歩きやすく安全であるだけでなく、メンタルな面あるいはセンシユアルな面からも十分研究された材料であることが求められている。

以上のことを考えると、これからの歩道舗装材の研究は、道路工学としての舗装材の持つ物理的な性質や舗装の構造だけを考えるのではなく、そこを利用する人との関わりを中心に検討することが重要と考える。

本文は、第2章では、人体が受ける衝撃を利用して舗装の弾性を解析する解析法の研究と、歩道用舗装材の弾性解析。第3章では、安価で弾性がある舗装材として、自動車タイヤのゴム屑を樹脂で固めたゴムチップ舗装材の開発とその応用研究。第4章では、歩道舗装材の色彩変化と色彩が人体に与える体感についての

研究。第5章は、歩行者の安全に関する研究で、街路樹の根系が歩道舗装材を破壊する問題についての調査研究。の4分野について取りまとめたものである。

第 2 章 舗装材の弾性測定法について

第 1 節 序論

1 - 1 概説

アスコン舗装は、安価で施工が容易で施工後の解放時間が速く、歩道用舗装材として従来から用いられてきた材料であったが、最近、歩道の色彩が注目され、黒色のアスコン舗装が嫌われ、変わって色彩豊かな舗装材が各所で用いられるようになってきた。しかし、これらの舗装材はその色彩が変わっても、基本的には、天然石かアスコン系あるいはコンクリート系の着色された材料で出来ており、物理的な性質は何等変わっていない。

クレイ舗装は、舗装に適度の弾性があり長時間運動をしていても疲労せず、人が運動するには最も良いと言われているが、天候に大きく影響され、晴天でも土ぼこりが起きるなど利用上の制約や問題点もあり、比較的維持管理が難しい舗装である。

これらの舗装材は、施工する場所や利用する目的は異なるが、舗装の硬さが、そこを利用する人に何等かの影響を与えることは確実である。従って、舗装の弾性を単なる物理的な測定法で測定するのではなく、人体が受ける衝撃の感覚を考慮した測定法の開発が望まれている。

1 - 2 既往の研究

人体と舗装の弾性を検討する研究として、人体が運動時に受ける身体の衝撃の研究²⁾³⁾や安全性からみた体育館床のかたさの研究⁴⁾など、スポーツの分野や建築の分野で行われてきた。また、最近では、これらスポーツ施設以外に、都市公園の舗装材の弾性研究⁵⁾なども行われている。しかし、これらの研究は、床材や舗装材の動的変形量や反発弾性などの物理的性質を用いて舗装の弾性を表したり、人体が受けた衝撃量を足首に取り付けた衝撃加速度計で測定し定量化するなどして、舗装の弾性と人体が受ける感覚的な尺度との整合が試みられてはいるが、測

定結果と人体の感覚との間に差があったり、人体の緩衝作用が数値的に示せないなど、試験方法や解析方法に検討の余地がある。

人体が歩行・走行する時に感じる舗装材の弾性は、表層材や基盤材の材質や厚さ、歩行する人の年齢や体力、履いている靴の種類、あるいは歩き方など数多くの因子が影響する。しかし、現在行われている舗装材の弾性を調べる試験方法の中に、これらの因子を試験条件に考慮した方法はない。

現在舗装の弾性測定法として行われている試験方法は、次の様な方法がある。

(1) 簡易測定法

ボールを一定の高さから落下させ、その跳ね返る高さから舗装材の弾性を測定する方法。日本でよく行われるのはゴルフボールとスチールボールを用い、その跳ね返り高さから衝撃吸収性と反発弾性を求めようとするGB-SB試験⁶⁾⁷⁾⁸⁾がある。外国では、合成樹脂系の舗装にクリケットボール⁹⁾やバスケットボール¹⁰⁾を用いた弾性判定試験が行われている。同様に木質床の衝撃特性判定にも各種ボールを用いて測定した報告¹¹⁾がある。

(2) 機械測定方法。

重錘とゴムバネからなるかたさ測定装置を用いて、舗装材のたわみ性から判定する方法¹²⁾や、重錘内に加速度計を設置し、落下時の衝撃加速度から判定する方法⁸⁾¹³⁾、バネと重錘を組み合わせた試験機「人工選手シュトゥツガルト」を用いて舗装材の弾性を測定する方法¹⁰⁾¹⁴⁾などがある。

(3) 人体測定法

人体が受ける衝撃を人体に取り付けた加速度計から測定する方法。足のかかとや足首・膝などに加速度計をつけ、走行時の衝撃加速度値から判定する方法²⁾、あるいは、使用する靴のかかとに加速度計を埋込み測定する方法などがある。

(4) 官能検査法。

被験者を実際に歩行・走行させ、アンケート調査結果で判定しようとする方法¹⁵⁾。などがある。

(1)や(2)の物理的試験方法は、人間が受ける衝撃や人間が感じる弾性を測定するのではなく、あくまで材料を物理的に測定し検討する方法で、測定したデータと人間が受けた感覚との間に相関はなく、材質によって大きな差を生じる。また、(3)や(4)の人体が受ける衝撃を直接測定する方法や官能検査法では、個体差やデ

一夕数が結果に影響し、結論を得るまでに多くの時間と経費を必要とするなどの問題点がある。

1 - 3 研究の目的と範囲

舗装材の弾性を測定する場合、単に舗装材の物理的な衝撃特性だけで判定すると、実際に人が受けた衝撃とは異なった評価が行われる可能性があるため、人が受けた衝撃を忠実に測定するには、器具を用いずに人体から得られた衝撃データを解析することが一番好ましい。人体が受けた衝撃を測定する場合、測定する人体の身体的条件や運動経験などが影響するので、これらをすべて考慮すると測定条件が多岐にわたりしかも複雑になり、これらの条件を満足させる試験方法の開発は難しくなる。しかも、人が受ける衝撃から舗装材の弾性を判定する場合、舗装材や靴の緩衝機能以外に人体自体に緩衝作用があり、ますます試験条件は複雑になる。しかし、クレイ舗装がアスコン舗装よりも硬いと言う人はいないはずで、受けた衝撃量の大小は異なるにしても、その判定は誰が行っても変わらないはずである。また、舗装材の弾性を検討する場合、試験条件の中で測定値に大きな影響を与える要因として、靴の種類と人体が持つ緩衝作用を無視することは出来ない。そこで、これらの因子を含んだ試験方法として、人体が受ける衝撃を人体の緩衝が少ない場所で直接測定し、これを解析し判定する方法が一番人体が受けた衝撃に対して忠実であると考えられる。

本研究では、人のための舗装で使用される舗装材について、従来から行われている弾性測定法を実施し、その問題点について検討するとともに、新しい弾性測定法として、舗装から人体が受ける衝撃波形を求めこれを解析して、舗装から受ける衝撃量、舗装に当たった時の硬さ、舗装と靴の変形応答特性を求め、これら3つの解析結果から舗装の弾性を判定する生体振動解析法の開発を試みた。そして、新しい手法を用いて各種舗装材の弾性の検討を行なった。また、従来の測定法では差が生じにくかった表層材に衝撃吸収性のある舗装についても、砂詰め人工芝を用い舗装構造と衝撃吸収性について検討するとともに、生体振動解析法と足の筋肉の使用状況を測定する筋電図測定法を用いて、合成樹脂系舗装材の厚さの検討を行った。

第 2 節 現在行われている弾性測定法について

2 - 1 概 説

現在用いられている舗装の弾性測定法としては、重錘を落下させて衝撃加速度値や舗装の衝撃吸収性などで評価する物理的試験法と、ボールの跳ね返り高さで比較する簡易試験法がある。物理的試験法は、測定方法が理論的で数値解析ができ測定結果の再現性が高い。また、ボール落下による跳ね返り高さから反発の割合を求める試験方法は、測定が簡単で結果がすぐ判定できることから、現場での直接試験として行われてきた。しかし、これらの試験方法では、舗装の持つ弾性値を人体が受ける衝撃量に換算したり、人体が感じた舗装の硬さを数値に変換するなど測定結果を官能試験結果と対比させると実態に合わない事や、試験方法によっては舗装全体に弾性があるのに舗装表面の硬さの影響を受けたり、人体が持つ衝撃を緩衝する機能が試験結果に反映されないなど種々の問題がある。そこで、次に考え出されたのが、人体の衝撃を人体から直接得る方法である。この試験方法は、加速度計を人体に直接取りつけて測定する方法が行われるようになってきた。しかし、この方法は測定場所によってデータが緩衝され正確なデータが得られなかったり、データに個人差が出るなど、測定結果を舗装の弾性データとして検討することは難しく、物理的な試験方法で求めたデータと同様で、舗装の弾性を適切に表示出来ない。しかし、これらの試験方法が簡易で、従来からの測定データが多いことも事実である。そこで、第 2 節では、これらの試験方法のデータが持つ意味と試験方法の特徴と問題点について検討をした。

2 - 2 測定方法

測定に用いた弾性測定法は、従来から行われている試験方法について各 1 種類ずつ選び測定を行なった。

- 1) 重錘を用いた弾性測定方法。
- 2) ボールを用いた反発係数測定法。

3) 加速度計で人体の衝撃加速度を測定する方法。

(1) 重錘を用いた弾性測定法。

本試験方法は一定の高さから茄型の重錘を落下させ、重錘内部に取り付けた加速度計で落下時の衝撃加速度の最大値、重錘が舗装に接触している時間、衝撃波の時間差から重錘のはね返り速度を求め、落下速度との比から反発係数を測定する方法である。本試験方法では重錘の落下速度が問題になるが、重錘の舗装への衝突速度は、ジョギング時に足が舗装に着地する速度²⁾を考慮して1.5, 2.0, 2.5m/sの3種類で落下させた。重錘重量は3450gで、舗装面に接触する部分は直径35mm 厚さ2mm のゴムが張り付けてあり、その接地面積は9.62cm²である。また、重錘内部には小型の加速度計を埋設してあるが、測定に使用した加速度計は、圧電方式の加速度計で、直径9.5mm、厚さ5.3mm、応答周波数0-1000Hz、測定加速度0-5000Gで、重錘落下時の衝撃波形はポータブルメモライザーで求めた。解析は、第1波の衝撃波形から、最大の衝撃加速度値と重錘が舗装に接触している時間を読み取り、第2波の衝撃波形との時間差と重錘の衝突速度から反発係数を求めた。

重錘の衝撃加速度：第1波での衝撃加速度 (G)

重錘の接触時間：第1波の舗装への接触時間 (t)

舗装の反発係数：反発係数

$$\text{反発係数 } e = V_r / V_c = (g \cdot T) / (2 \cdot V_c)$$

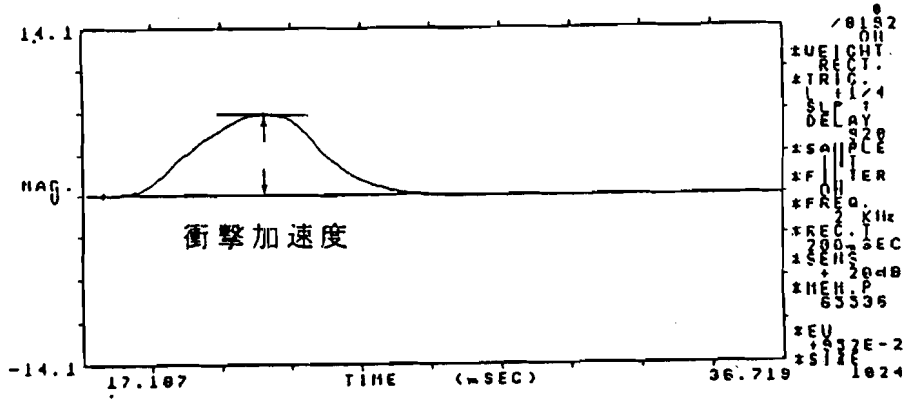
e：反発係数

V_r：重錘の反発速度 (m/sec)

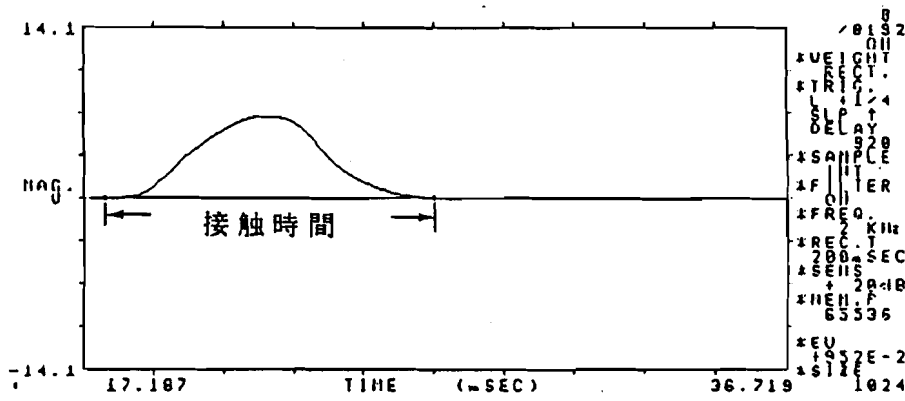
V_c：重錘の衝突速度 (m/sec)

T：第1波と第2波の滞空時間 (sec)

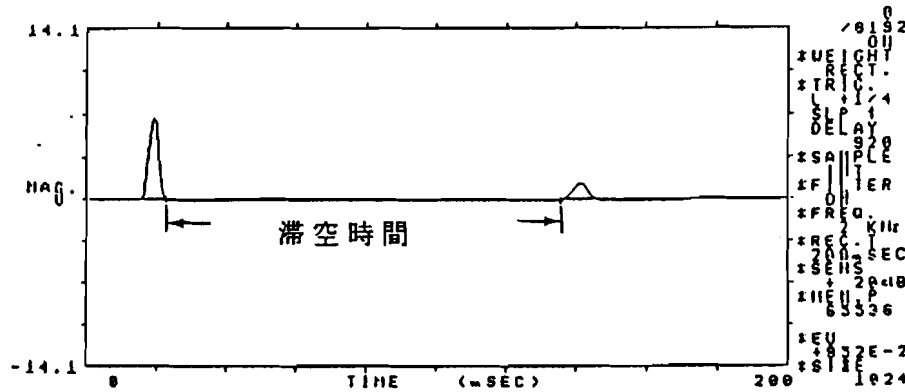
g：重力加速度 (9.8m/sec²)



衝撃加速度の測定



重錘が舗装に接触している時間の測定



重錘が跳ね上がって2回目の落下を行うまでの時間の測定

図 2 - 1 重錘落下試験の測定事例 (フィールドで衝突速度 2.0m/sec)



写真 2 - 1 重錘と加速度計

(2) ボールを用いた反発係数測定法

ボールを用いた測定法の代表例として、東京都港湾局開発部海上公園課で制定したゴルフボール (DUNLOP MAXFLY RED) とスチールボール (直径 25mm) を用いてそれぞれの跳ね返り高さから反発係数を測定する試験方法がある。この試験は 1 m の高さからボールを落下させ、落下高さと跳ね返り高さの比から係数を求める簡易な測定方法である。またテニスコートなどの弾性測定に用いられている方法として、テニスボールを使った測定方法 (テニスボールは 254cm の高さから落下させる) もある。しかし、これらの試験では、使用しているゴルフボールやスチールボールに明確なボール選択の根拠がなく、ゴルフボールの値を衝撃吸収性 G B 係数 (%)、スチールボールの値を弾性反発性 S B 係数 (%) として定義づけて

はいるが⁶⁾⁷⁾、舗装の弾性の程度をおおよそ位置づける測定法なので、測定結果の判定に明確な結論が得られず、このデータが弾性を代表する値となりにくい。しかし、本試験法は測定が非常に簡易であるで、現場の相対的な比較試験方法としては価値があると考えられることから、試験方法の特性を知るため、従来から使用されているゴルフボールやスチールボールに加えて、通常市販されている様々な材質のボールを用い、ボールの材質による跳ね返り特性の影響や舗装材の温度による影響などを測定することとした。本試験では、ボールの落下高さを1mとし、跳ね返り高さはスケールボードを用い高解像ビデオで解析を行った。

本試験でも用いた反発係数の計算

$$e = h_1 / h_2 \quad e : \text{反発係数}$$

$$h_1 : \text{跳ね返りの高さ(m)} \quad h_2 : \text{落下高さ(1m)}$$

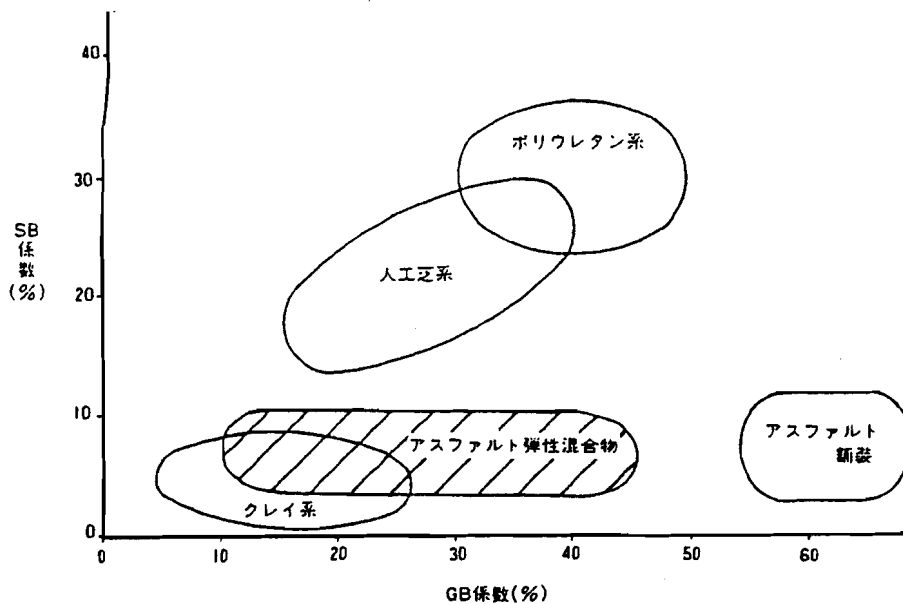


図 2 - 2 各種舗装の G B ・ S B 係数の測定例⁷⁾

測定に用いた各種ボールは、表 2 - 1 に示す通りである。これらのボールは、舗装の硬さで反発係数も当然異なって来るが、ボール自体の表面の硬度も関係するものと考え、硬さの比較を行う目的で、適切な測定方法ではないかもしれないが、金属などの硬度を測定するとき用いるショア硬度計でボール表面の硬度

を測定した。測定は各々10回ずつおこなった。

表 2 - 1 反発係数測定に用いたボールの性状

ボールの 表示番号	ボ ー ル の 材 質	直 径 (mm)	質 量 (g)	シ ョ ア ー 硬 度 (Hs)
1	ゴルフボール	46	45.56	83.4
2	ナイロン	30	17.47	57.0
3	しんちゅう	30	118.93	23.1
4	アルミニウム	30	37.89	12.4
5	アクリル	30	16.80	73.5
6	ガラス	30	32.70	94.4
7	鉄	25	63.65	54.3
8	シリコン	25	9.76	57.9
9	スーパーボール	25	9.10	71.1

(3) 人体の衝撃加速度を解析する方法。

人体の受けた衝撃を測定する試みは、加速度計を足首につけたり靴の中に埋設して、衝撃加速度を求めて比較する方法がおこなわれている。そこで、比較的簡単な測定法として加速度計を足首にテーピングテープで固定し、40cmの高さの台から飛び降りたときに受ける衝撃加速度を求めることとした。測定に用いた加速度計は、プリアンプ内蔵型の小型軽量センサーで、応答周波数2Hz~40KHz, 感度10mV/Gのものをを用いた。解析は小型のFFTアナライザーを用いた。測定方法は裸足で飛び降りた場合と靴をはいて飛び降りた場合の2種類で行い、実験に使用した靴は、アシックスタイガー社製のジョギングシューズ「レンセラー」を用いた。

2-3 測定に使用した舗装の種類

測定に使用した舗装の種類は、人が使用する場所に多く用いられている舗装材を中心に挙げた。舗装材の種類は、(1)陸上競技場トラック、(2)陸上競技場フィールド、(3)人工芝直毛タイプ(葉の形状が直毛タイプで、コンクリート基礎の上に10mmのウレタンアンダーマットを敷いて施工されている)、(4)人工芝ループタイプ(葉の形状がループ状になっており、アスコン舗装上に直接施工されている)、(5)天然芝(高麗芝)、(6)粒状ゴムチップウレタン舗装(アスコン基礎の上に11mm厚で施工されている)、(7)ひじき状ゴムチップウレタン舗装(アスコン基礎の上に11mm厚で施工されている)、(8)密粒度アスコン舗装、(9)ゴム碎石混合樹脂舗装(施工厚さ20mm)、(10)タータントラック舗装、(11)コンクリートテラゾ平板、(12)せり器質タイル、(13)磁器質タイル、(14)一般の裸地、などを組み合わせて実験を行った。なお、ゴムチップウレタン舗装は、舗装基盤をアスコンとコンクリートの2種類上に施工し、舗装厚さを7, 11, 15, 20mmの4種類に変えたものを別途施工してある。

2-4 結果および考察

(1) 重錘を用いた弾性測定方法。

測定結果は表2-2に示す。衝撃加速度値を見ると、裸地や天然芝では低い衝撃加速度値を示したが、ゴムチップや人工芝は、表層材の厚さは薄いですが、弾性があるので小さい衝撃加速度値を示すと考えられたが、基盤にアスコン舗装などの硬い舗装材を用いているので、大きい衝撃加速度値を示した。また、土系の舗装でもトラックやフィールドでは表層を固めてあるので裸地に比べて大きな衝撃加速度値を示した。次に、落下速度による対比を行ってみると、表層の薄いゴムチップウレタンや人工芝で落下速度が速くなると、衝撃加速度値が大きくなり、ここでも基盤の影響を受けていることがわかる。またトラックやフィールドは、大きな衝撃加速度値を示したが落下速度が変わっても、大きな衝撃加速度値とならず土系の舗装は舗装全体で衝撃を吸収していることがわかる。反発係数を見ると、

ゴムチップ系や直毛人工芝で大きな値を示し、はね返り弾性が高いことを示した。しかし、他の舗装は落下速度が速くなると反発係数は小さくなっていたが、ゴムチップ砕石舗装だけは逆に大きくなっていた。これはゴムチップ砕石舗装がゴムチップ舗装に比べて厚さが二倍程度あり、はね返り弾性が大きいので重錘程度（3.5 Kg 程度）の重さではその特性を測定できないのではないかと思われる。しかし、アスコン舗装の衝撃加速度値は他の舗装に比べると極端に大きく、表層が硬い舗装材に重錘落下試験を用いることは適当でないと思われる。

表 2 - 2 重錘落下試験の結果

舗装の種類	衝撃加速度	反発係数	衝撃加速度	反発係数
	(2m/sec)		(2.5m/sec)	
裸地	29	0.225	35	0.180
天然芝	33	0.359	37	0.324
直毛人工芝	98	0.564	140	0.526
フィールド	71	0.282	98	0.261
トラック	63	0.319	78	0.301
ひじき状ゴムチップ	91	0.575	139	0.554
粒状ゴムチップ	86	0.567	130	0.532
ウレタンゴムチップ	95	0.603	145	0.557
ゴム砕石混合	75	0.460	106	0.493
アスコン	288	0.279	371	0.227

(2) ボールを用いた反発係数測定法。

ボールを用いた測定試験では、図 2 - 3, 4 に示すように、アスコン、コンクリート、タイル板などの表面が硬い材質では、ナイロンボール、ゴルフボール、スーパーボールが同じ程度の値を示したが、他のボールでは一定の傾向を示さなかった。しかし、図 2 - 5, 6 に示す様に、表面が軟らかい舗装材では、硬い材質の時に一定の傾向を示さなかったボールが、舗装材に対して逆に一定の傾向を示

し、ボールのはね返り高さから求める反発係数は、舗装の表面の性状に大きく影響される事がわかった。また、ゴルフボールを衝撃吸収性の判定に、スチールボールを弾性反発性に用いた従来の試験方法を行ってみると、アスコンやタイルなどの表層が硬い舗装材の衝撃吸収性は悪く、クレイ系は衝撃吸収性が良いとの結果を得たが、弾性反発性は、表層が硬いタイルなどの値がゴムチップ系の舗装と同程度の値を示し、多少実状に合わない場合が出てくる。また、舗装表面の温度の影響について見ると、図2-7, 8, 9に示す様に、舗装材の物性が温度に影響されるアスコン舗装以外は、反発係数の温度による影響はほとんどなく、コンクリートや人工芝でも影響は無い。また、ゴムチップ舗装で舗装の厚さを変化させて行ったところ、図2-10に示すように、多少厚めの舗装材

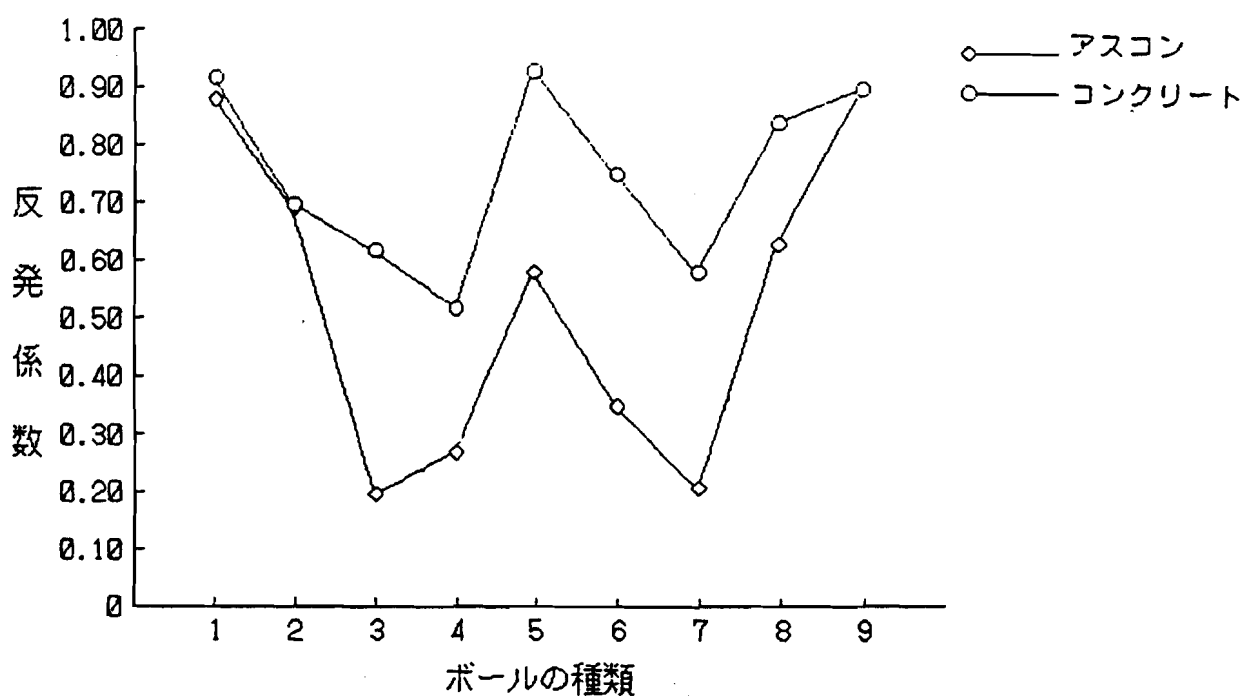


図2-3 アスコン・コンクリート舗装の反発係数

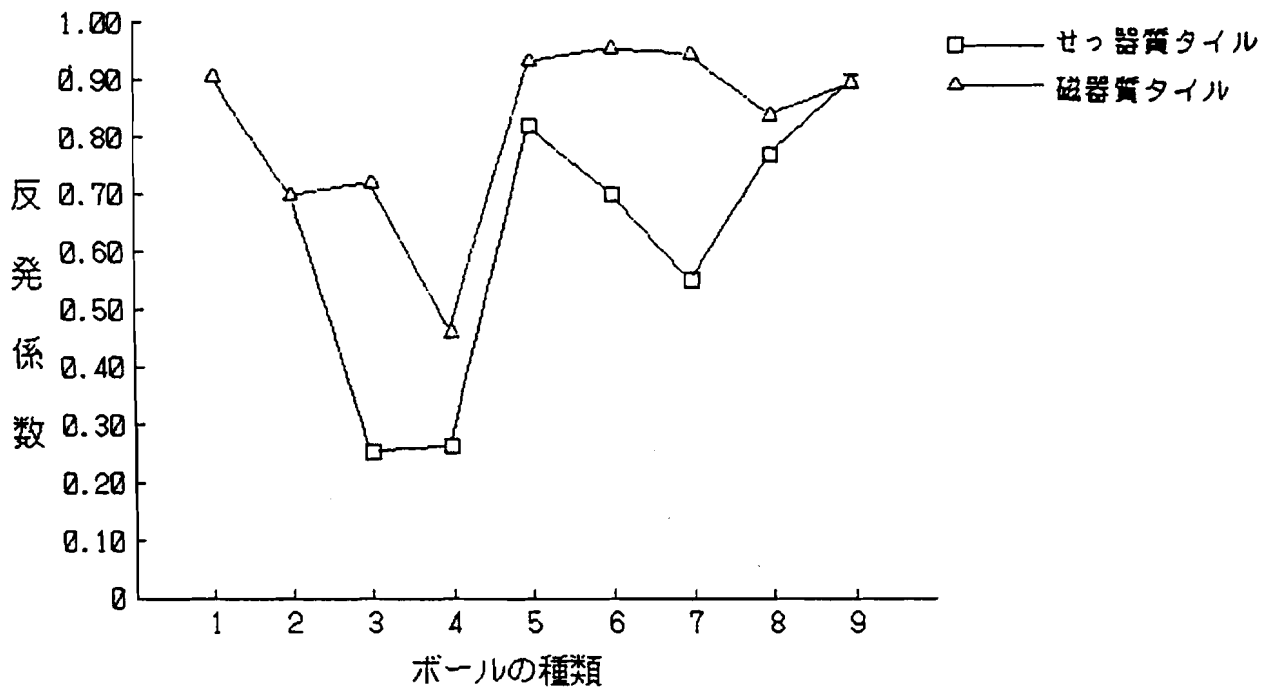


図 2 - 4 タイル舗装の反発係数

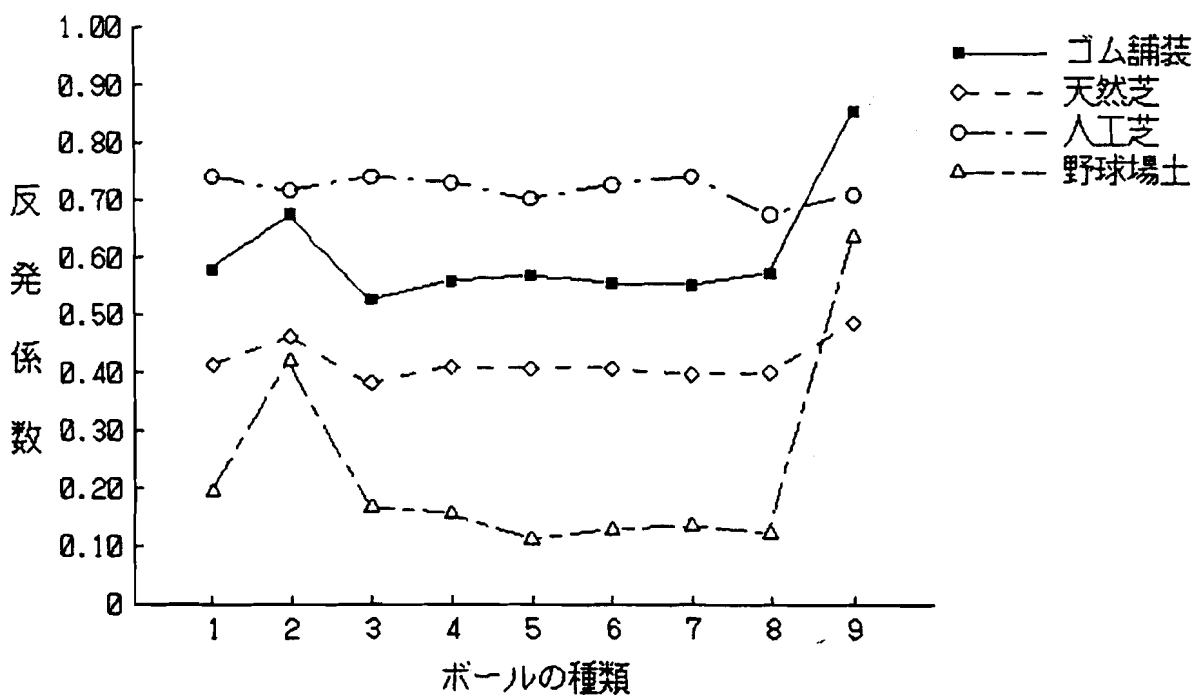


図 2 - 5 弾性のある舗装材の反発係数

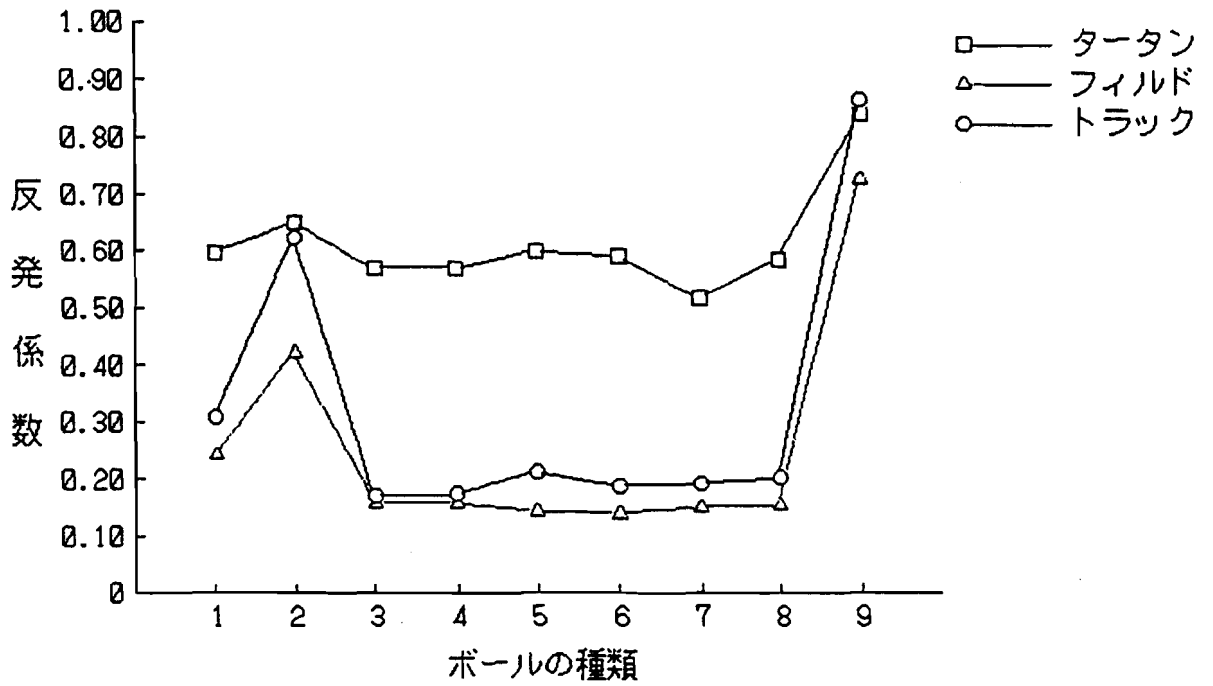


図 2 - 6 競技場系舗装材の反発係数

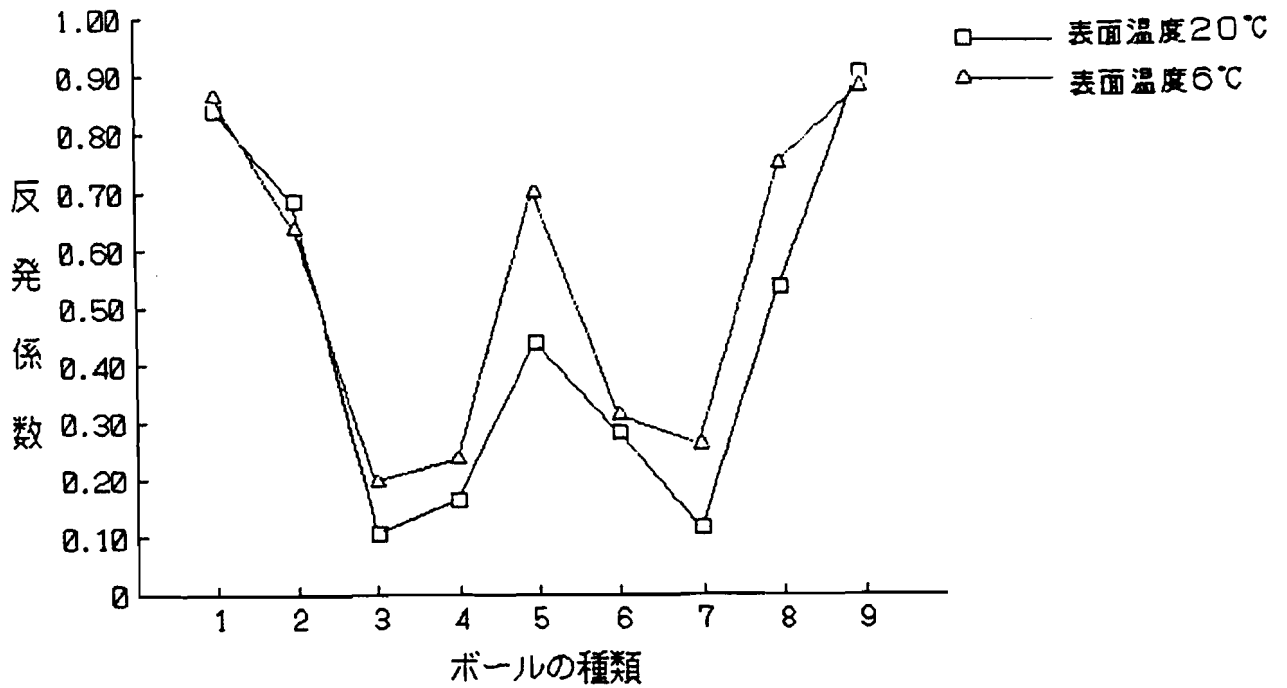


図 2 - 7 アスコン舗装の表面温度別の反発係数

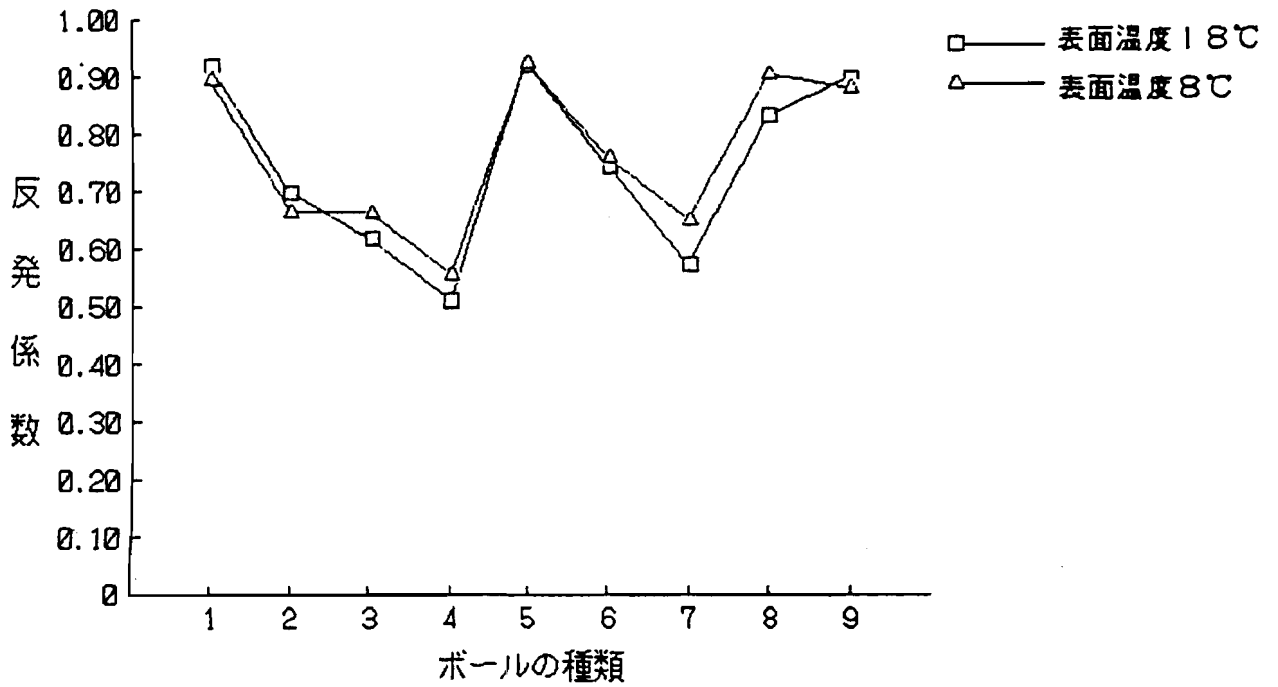


図 2 - 8 コンクリート舗装の表面温度別の反発係数

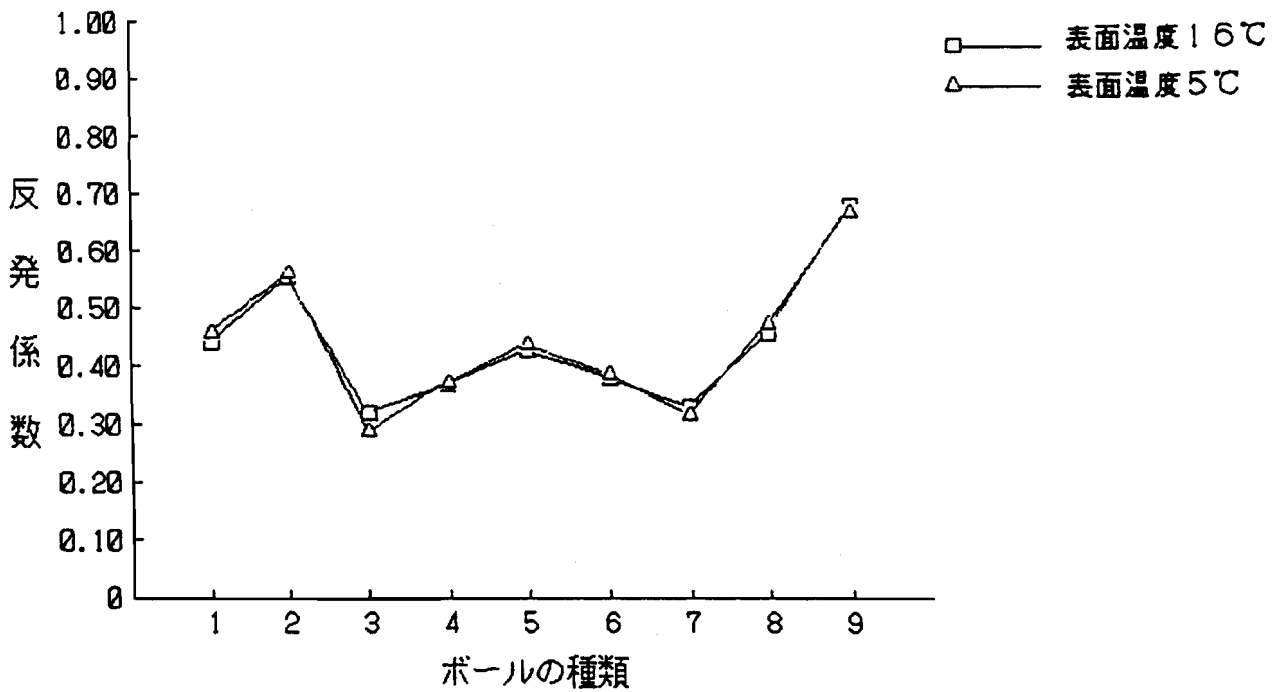


図 2 - 9 人工芝ループタイプの表面温度別の反発係数

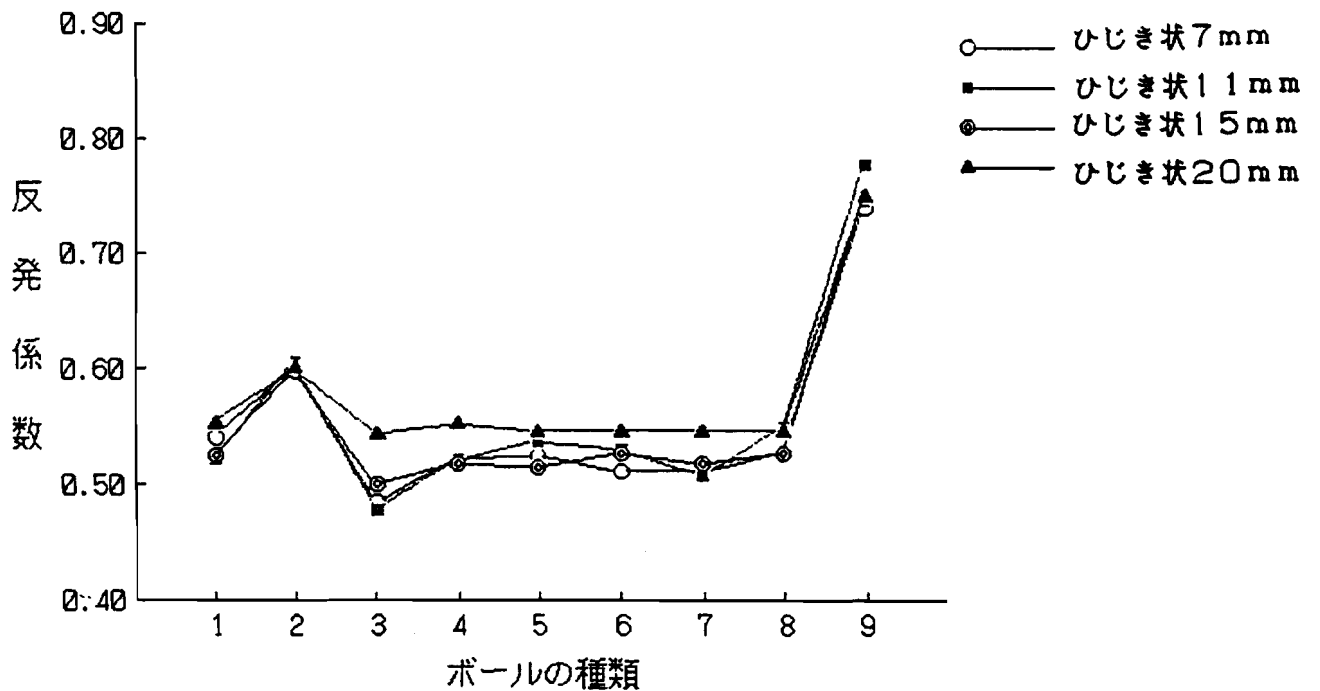


図 2 - 1 0 ゴムチップ舗装の表層厚さ別の反発係数

の反発係数が大きく出るが、施工のばらつきを考えると反発係数の差はほとんど無いといえる。

(3) 人体の衝撃加速度を測定する方法。

足首に付けた加速度計に記録された衝撃波形の振幅について調べ、表 2 - 3 に示す衝撃加速度値を得た。その結果、裸足ではアスコン舗装や直毛人工芝で高い加速度値が認められたが、コンクリート舗装と裸地の衝撃加速度値がほぼ同程度の値を示した。これは、硬い舗装に飛び降りるときに人体の持つ緩衝機能が働き、衝撃値が小さくなったものと考えられる。靴を履いた場合天然芝を除き、ほぼ似かよった加速度値を示したが、ジョギングシューズは靴底も厚く、緩衝機能が大きいと思われる。

表 2 - 3 各測定場所の最大衝撃加速度

単位 (G)

場 所	人工芝	天然芝	裸 地	クレイ舗装	アスファルト	コンクリート
裸 足	30.5	13.0	23.6	22.4	37.7	25.4
靴	17.4	7.3	22.2	17.9	20.9	20.8

表 2 - 4 ゴムチップ舗装の最大衝撃加速度

単位 (G)

	T-7	T-11	T-15	T-20	F-7	F-11	F-15	F-20
裸足	28.1	30.6	20.2	24.6	21.7	21.0	22.2	20.2
靴	22.0	27.1	21.4	30.9	19.4	21.3	20.1	24.0

T : 粒状ゴムチップ F : ひじき状ゴムチップ 数字は厚さ (mm) を示す

また、厚さの異なるゴムチップ舗装上での衝撃加速度を見ると、ゴムチップ舗装では下地がアスコン舗装やコンクリート舗装なので、裸足で飛び降りた場合、下地の影響が測定結果に強く現れると考えたが、実際は表層のゴムチップの衝撃吸収力が大きく、いずれの舗装も同程度の値を示し下地の影響は認められなかった。また靴を履いた場合でも、靴底の衝撃吸収性が大きいことから、測定値に顕著な差は認められず、本試験方法では、舗装の衝撃吸収性より、人体の持つ緩衝機能の影響が測定結果に大きく影響することが判った。

2 - 5 結 論

従来から舗装の弾性測定法として用いられている 3 つの試験方法について、人

が歩く場所や運動する場所に用いられている舗装材について実験を行った。

その結果、

(1) 重錘落下試験を見ると、舗装全体で衝撃を吸収する材料は、落下速度の影響が小さいが、表層部で衝撃を吸収する材料では、落下速度による影響が出る。また、表層が硬いアスコン舗装では、測定結果が他の舗装と比較できない程大きな衝撃加速度値を示し、人体が受ける実際の感覚とかなり異なった値を示した。また材質によっては重錘の質量が問題になると思われる。

(2) ボール落下試験では、9種類のボールを用いて、1 mの高さから落下させた時の反発係数を求めた。その結果、本試験で用いたボールは、質量が小さい事から、芝系統の舗装では舗装の表面性状にかなり影響されることが判った。ナイロンボール、ゴルフボール、スーパーボールなどは、表層が硬いアスコン舗装などで同程度の値を示したが、弾性のある舗装材では一定の傾向を示さなかった。また、その他の材質のボールは、表層に弾性のある材料で材質や質量等に関係なく一定の傾向を示した。また、ゴルフボールは、比較的実状にあった衝撃吸収性を示したが、スチールボールはうまく反発弾性を示さずGB-SB試験の持つ意味はあまり無いと言える。

(3) 人体が受ける衝撃を衝撃加速度として測定する方法は、舗装材によって落下時に人体の持つ緩衝機能が働き、測定結果に一定の傾向を示さなかったが、裸足で測定するよりもジョギングシューズで測定した場合の方が、靴の緩衝機能が大きく表れていた。従って、今後の測定には、人体の緩衝機能や、靴の衝撃吸収機能を十分考慮した試験方法を開発することが必要がある。



写真 2 - 2 人体による衝撃試験



写真 2 - 3 ボールを用いた反発係数測定試験

第 3 節 生体振動解析法の開発について

3 - 1 概説

舗装材の弾性を測定する場合、単に舗装材の物理的な衝撃特性だけを用いて判定すると、実際に人が受けた衝撃とは異なった評価が行われる可能性があることは、第 2 節の実験でも証明された。そこで、人が受けた衝撃を忠実に測定するには、人体から測定した衝撃データを解析することが一番好ましいが、人体が受ける衝撃は、測定する人体の身体的条件や運動経験などが衝撃の感覚に影響することから、これらをすべて考慮すると測定条件が複雑になり到底試験方法の開発は難しくなる。さらに、人が受ける衝撃から舗装材の弾性を判定する場合、舗装材や靴の緩衝機能以外に人体にも緩衝機能があり、ますます試験条件は複雑になる。しかし、クレイ舗装がアスコン舗装よりも硬いと言う人はいないはずで、受けた衝撃量の大小は異なるにしてもその判定は誰が行っても変わらないはずである。そして、舗装材の弾性を検討する場合、試験条件の中で測定値に大きな影響を与える要因として、靴の種類と人体が持つ緩衝作用を無視することは出来ない。そこで、これらの因子をなるべく多く含んだ試験方法として、人体が受ける衝撃を人体の緩衝が少ない場所で直接測定し、これを解析して舗装の持つ弾性を測定する方法を試みた本方法は、靴を通して人体が受ける衝撃波形から、舗装から受ける衝撃量、舗装に足が当たった時の硬さ、舗装と靴の弾性変形の程度を求め、これら 3 つの解析結果から舗装の弾性を判定している。第 3 節は、これらの新しい手法におけるデータ測定法や解析法の確立と、この手法を用いた各種舗装材の弾性比較を行うことを目的としている。

3 - 2 試験方法の概要

一般に衝撃を受ける物体の振動は次のような状況で示される。鉄のブロックを鉄のハンマーでたたくと、ハンマーは高い周波数で振動し減衰時間の短い波形を示す。しかし、このブロックをプラスチックのハンマーでたたくと、鉄のハンマーに比べ低い周波数の振動で減衰時間の長い波形が観測される。従って、人が硬

い舗装の上に靴底の硬い靴で飛び降りると、足は高い周波数で振動時間の短い衝撃を受けるが、舗装が硬くても靴底が衝撃を吸収する材料であると、衝撃は靴底に一部吸収され、足は周波数が低く時間が長い振動をうける。又、舗装も靴底も衝撃を吸収しやすい材質のとき、衝撃は舗装材にも靴底にも吸収されるが、この時、舗装材も靴底も圧縮変形した後に跳ね返ることになるので、結果として衝撃吸収の効果が多少減少する。

生体衝撃波形を求める場合、なるべく人体の緩衝作用を受けずに衝撃データが得られる場所を選択する必要がある。そこで、本研究では衝撃の測定場所として、足のなかでも皮膚の厚い場所や、筋肉の上など緩衝作用が大きい場所での測定を避け、加速度計の取り付け方法が容易でデータの再現性が良い場所として、下肢で比較的緩衝作用を受けることが少ないくるぶし（骨下端の外果で以降足首と呼ぶ）からデータを得ることにした。しかし、人体が受けた衝撃は足首だけでなく膝・腰などでも緩衝することから、衝撃量を求める場合、足首のくるぶしで測定した加速度の最大値を、舗装から受けた最大衝撃加速度値とするには無理がある。そこで、足首以外に膝関節（大腿骨下端の外側顆で以降膝と呼ぶ）でも衝撃加速度値を求めることとした。

衝撃波形は次のような考え方で解析した。（1）舗装から受ける衝撃は、身長・体重差や落下時の足首・膝の使い方などが原因でデータに個人差が出ると考えられる。従って人体が受けた衝撃量を表わす場合、衝撃加速度の測定場所が関係することから、今回は、足首と膝で測定した衝撃加速度の和を下肢が受けた衝撃量とした。（2）人体が舗装から受ける衝撃の感覚は、足が舗装に着地した時の感覚と関係があると思われる。そこで、足が舗装に当たった時の振動特性を知るために、振動波形を周波数分析し、振動の中央値をメジアン周波数値として求めた。

（3）弾性が大きい舗装材は衝撃を受けると大きく変形し、足が舗装に接触している時間は長くなるが、硬い舗装に比べると衝撃の振幅は小さい。そこで、人体落下時の舗装と靴の変形応答特性を知るために、衝撃波形の振幅積分値を求めた。

これらの衝撃波形の解析システムは、図2-11のフローチャートに示す。

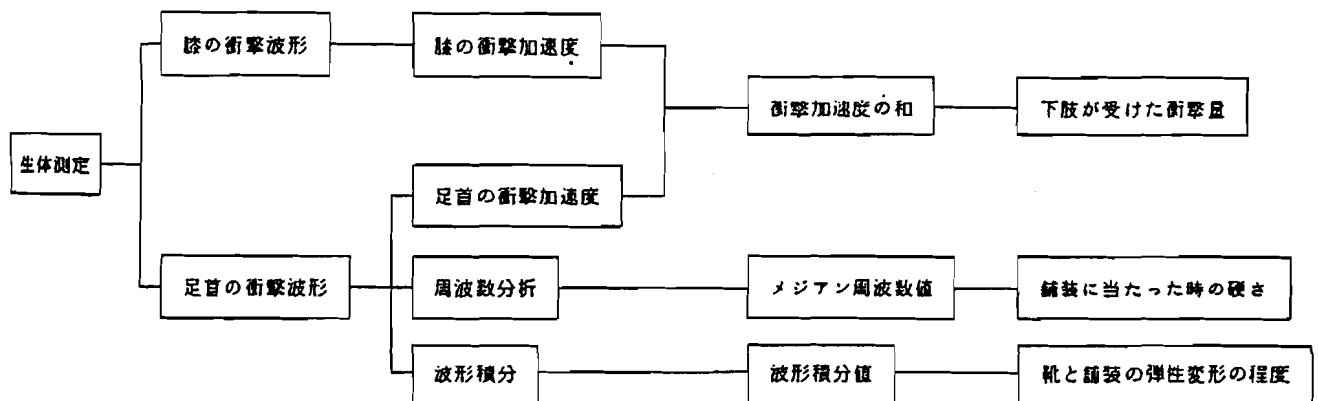


図 2 - 1 1 測定のプロチャート

3 - 3 試験方法

本試験では被験者の年齢、性別、運動経験や身長、体重等の個体差、加速度計の取り付け方法などが、測定データに影響してくると考えられるので、これらの影響を検討するために、表 2 - 5 に示す年齢、性別、運動経験の異なる男女 5 人を被験者として選び、表 2 - 6 に示す 3 種類の靴と裸足の 4 方法で、舗装から受ける衝撃の測定を行った。人体に衝撃を与える方法として、一定高さの台の上から飛び降りる方法で予備試験を行ったが、着地方法や飛び降りるときに一度飛び上がるなど測定に個人差が大きく出たことから、本試験では歩行・走行時の状態

表 2 - 5 被験者の条件

性別	年齢	身長	体重	運動経験
男子	23	165	65	中学でテニス
男子	22	175	65	サッカー他
男子	37	174	72	最近 無し
女子	26	172	57	バトミントン
女子	25	165	50	テニス

表 2 - 6 実験に使用した靴の種類

男子	ジョキングシューズ	運動靴	革靴
女子	ジョキングシューズ	運動靴	スニーカー

とは異なるが、衝撃方法が安定し衝撃量が定量化しやすい方法として、ぶら下が
り健康機具を用い、垂直に落下する方法で測定した。飛び降り高さは、小林らの
研究²⁾は跳躍時の落下する垂直方向の速度は約3m/sと言われているので、本実験
では、歩行を中心に研究していることも考慮して、接地速度が2m/s程度になるよ
うに、地面から靴のかかとまでの高さを20cmに設定して実施した。

測定に使用した加速度計は、圧電方式の1軸小型加速度計（径9.5mm,厚さ5.3m
m,応答周波数 0-1000Hz,測定加速度 0-5000G）を用いた。なお、加速度計の取り
付け方向は、直立姿勢時の人体に対し垂直方向に固定したが、加速度計がくるぶ
しに強く当たるため、脱脂綿等をはさんだ場合の影響について予備試験を行い検

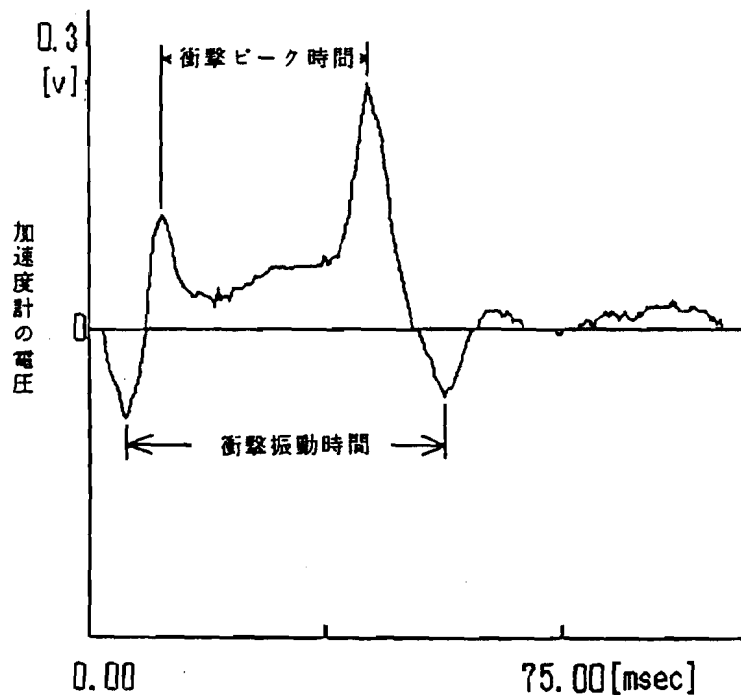


図 2 - 1 2 振動波形の測定条件

討した結果、脱脂綿が入ると衝撃波形は脱脂綿で緩衝され、周波数がどの舗装でも似たような波形を示すことが判った。従って加速度計の取り付けは、くるぶしに直接固定できる様にテーピングテープで固定する方法を用いた。測定を行った舗装は、本学内の陸上競技場のフィールド、アスコンベースで11mmの施工厚さを持つひじき状ゴムチップウレタン舗装、一般のアスコン舗装である。測定は各10回の飛び降りを行い、データはビデオテープに一旦記録し、再生時に5kHzでA/D変換後、デジタル化して解析を行った。

衝撃波形は過渡現象であるので、人体は1回の落下に対し何回も小さな衝撃を受けながら徐々に減衰していくが、この波形を全部解析すると、個体差の影響が大きく出ることから、振動波形の中から最初の着地波形を取り出し、これを解析することとした。

生体波形は、図2-12に示す衝撃振動時間を測定対象波形として、Hanning window¹⁶⁾で前処理を行った。

そして、まず最初に衝撃波形の最大値を読み取り、衝撃加速度値を計算した。

次に、この区間に対してサンプリング間隔 Δt を省略した、離散フーリエ変換(DFT)を行った。この時、演算上の入力データが $N = 2^N$ ではないときは、データに0をつけた。ここに用いたDFTアルゴリズムは基数2の時間間引き高速フーリエ変換(FFT)である。¹⁷⁾

これを用いて、パワースペクトルを求める。¹⁸⁾

$$P_k = \frac{2}{N \cdot \Delta t} \cdot \{ (\Delta t \cdot R_k)^2 + (\Delta t \cdot I_k)^2 \} \quad (1)$$

(k=0, 1, 2 --- N/2-1)

Δt : サンプリング間隔

R_k : $X(n)$ 実数部

I_k : $X(n)$ 虚数部

さらに、パワースペクトルの周波数は、

$$f_k = \frac{K}{N \cdot \Delta t} \quad (k = 0, 1, \dots, N/2 - 1) \quad (2)$$

N : データ数
 Δt : サンプル間隔

このとき、パワースペクトルから求めた周波数の分布は、平均値を求めると、分布の裾が伸びている方向にひきずられる傾向にあることから、メジアン周波数をその周波数の代表値として求めた。¹⁹⁾

$$\int_0^{f_{med}} P_{xx}(f) df = \int_{f_{med}}^{\infty} P_{xx}(f) df \quad (3)$$

f_{med} : メジアン周波数
 $P_{xx}(f)$: パワースペクトル

次に、波形の振幅積分値は²⁰⁾

$$I = \int_0^{N-1} X(i) di \quad (4)$$

で求めた。

測定結果の1例を図2-13、14、15に示す。なお、被験者には、測定時に官能判定試験を行ってもらったが、官能判定試験は、従来から行われている5段階評価法では舗装から受ける弾性を評価しにくいことから、今回は「硬い 1、やや硬い 2、普通 3、やや軟らかい 4、軟らかい 5」を目安とし、これらの中間的な感覚は小数で表す方法で、飛び降りた時に受けた舗装の弾性を評価した。

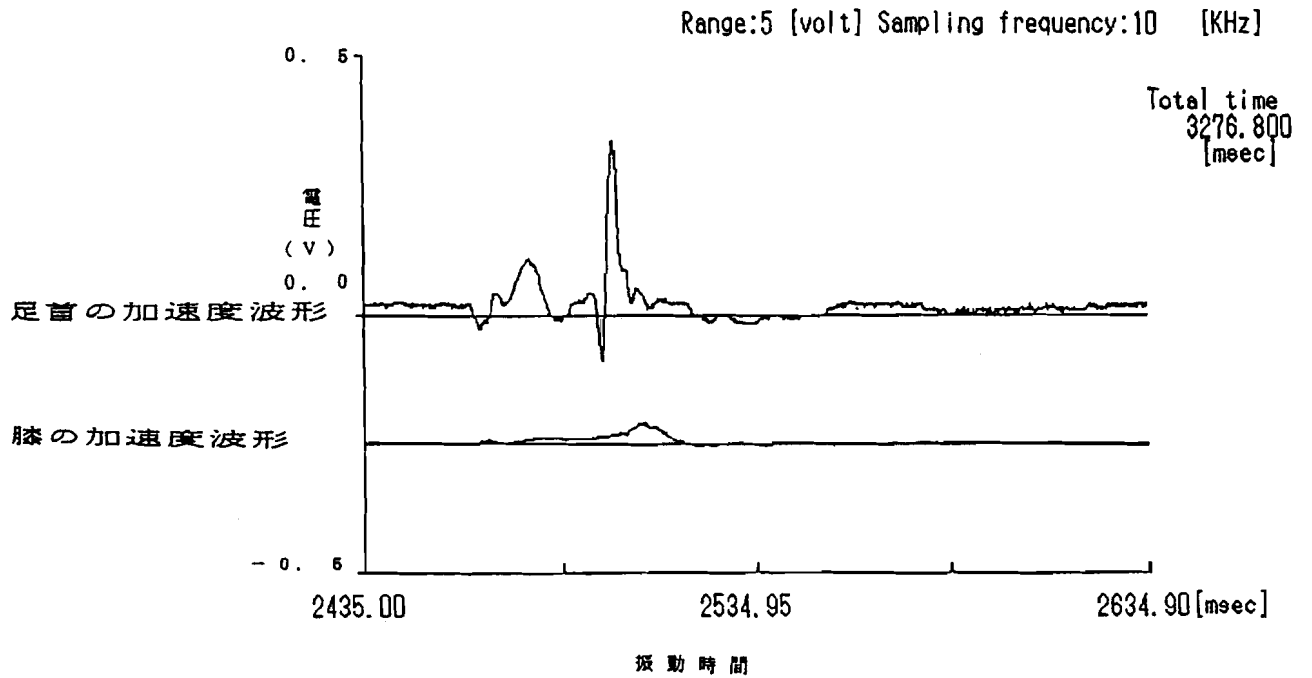


図 2 - 1 3 クレイ舗装上に裸足で飛び降りた時の衝撃波形

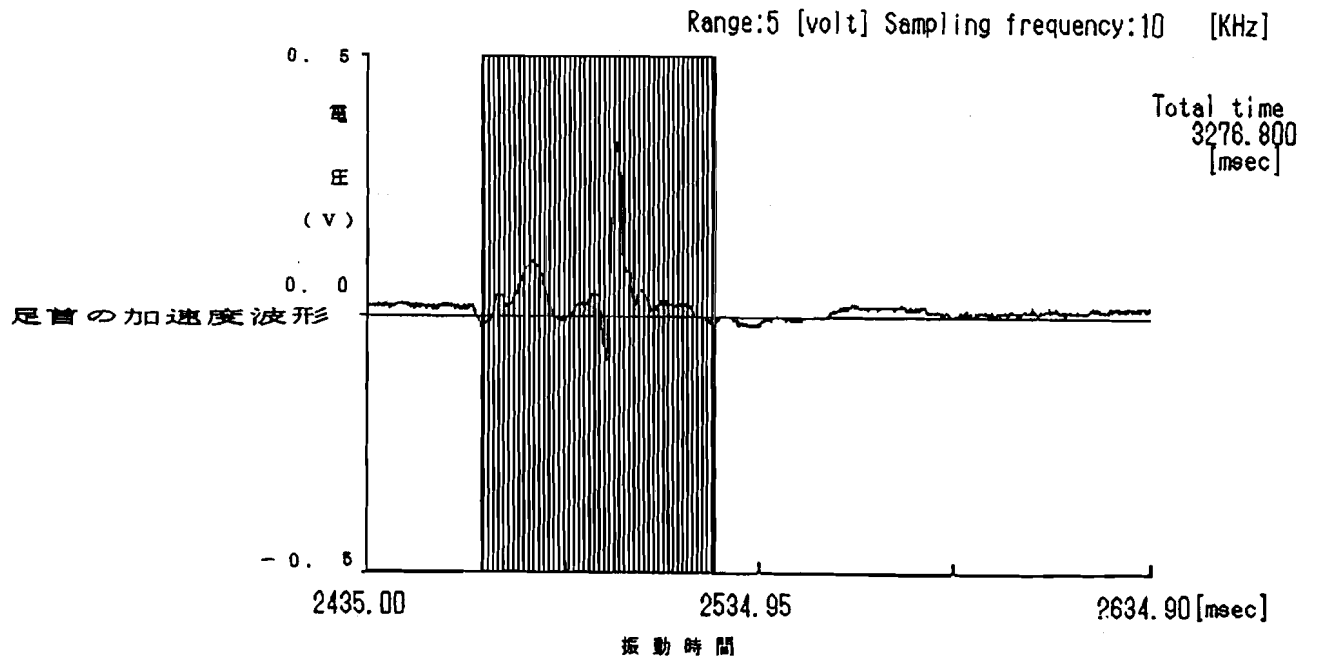


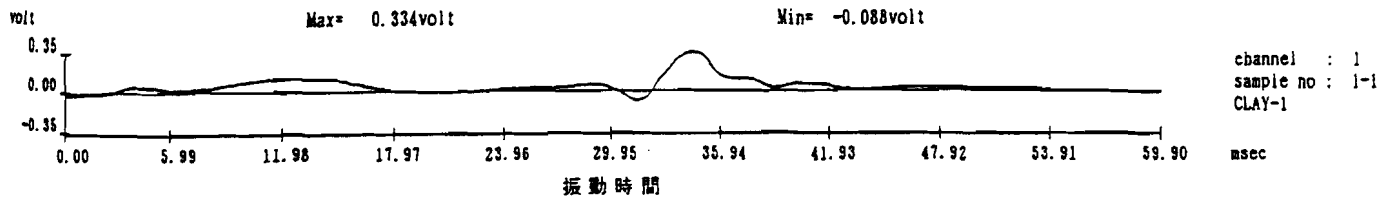
図 2 - 1 4 解析用波形の選択

波形の最大加速度

Raw Data

Sampling Rate: 10.000KHz

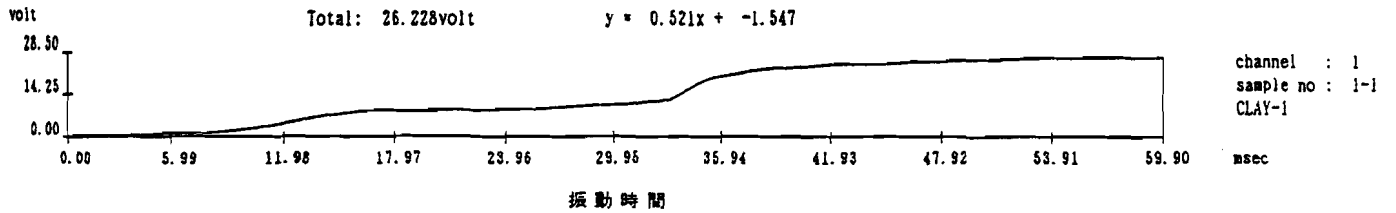
59.90msec



波形積分

Integral Process

59.90msec



波形の周波数分析

Power Spectrum

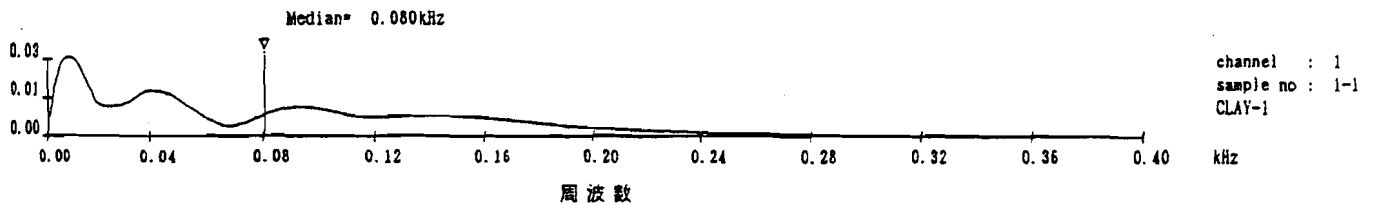


図 2 - 1 5 解析結果

3 - 4 結果および考察

一般に生体データを解析する場合、被験者の年齢、身長、体重、運動経験等あるいは足の着地方法などが影響し、測定データに個人差が出ると予想されたが、本実験でも測定値に個人差が生じた。しかし、測定結果を解析してみると、靴の種類による衝撃量の差や舗装材の弾性の差が明確に認められ、図 2 - 1 9 に示す様に被験者が異なってもそれぞれの解析結果が同一の傾向を示したことから、各

種舗装材を比較する場合、同一人物による比較試験で舗装材の弾性の傾向は判定できると考えた。

(1) 生体衝撃波形

生体の衝撃波形を得るために、飛び降りる各舗装に対し10回づつ行ったが、図2-16に見られるように、波形は落下回数ごとに僅かずつ変化している。この波形の違いをより明らかにするために、衝撃ピーク時間に対する靴の種類と飛び降り回数の対比例を表2-7に示す。なお図2-12に示す様に、衝撃ピーク時間はつま先の着地からかかとの着地までの時間である。

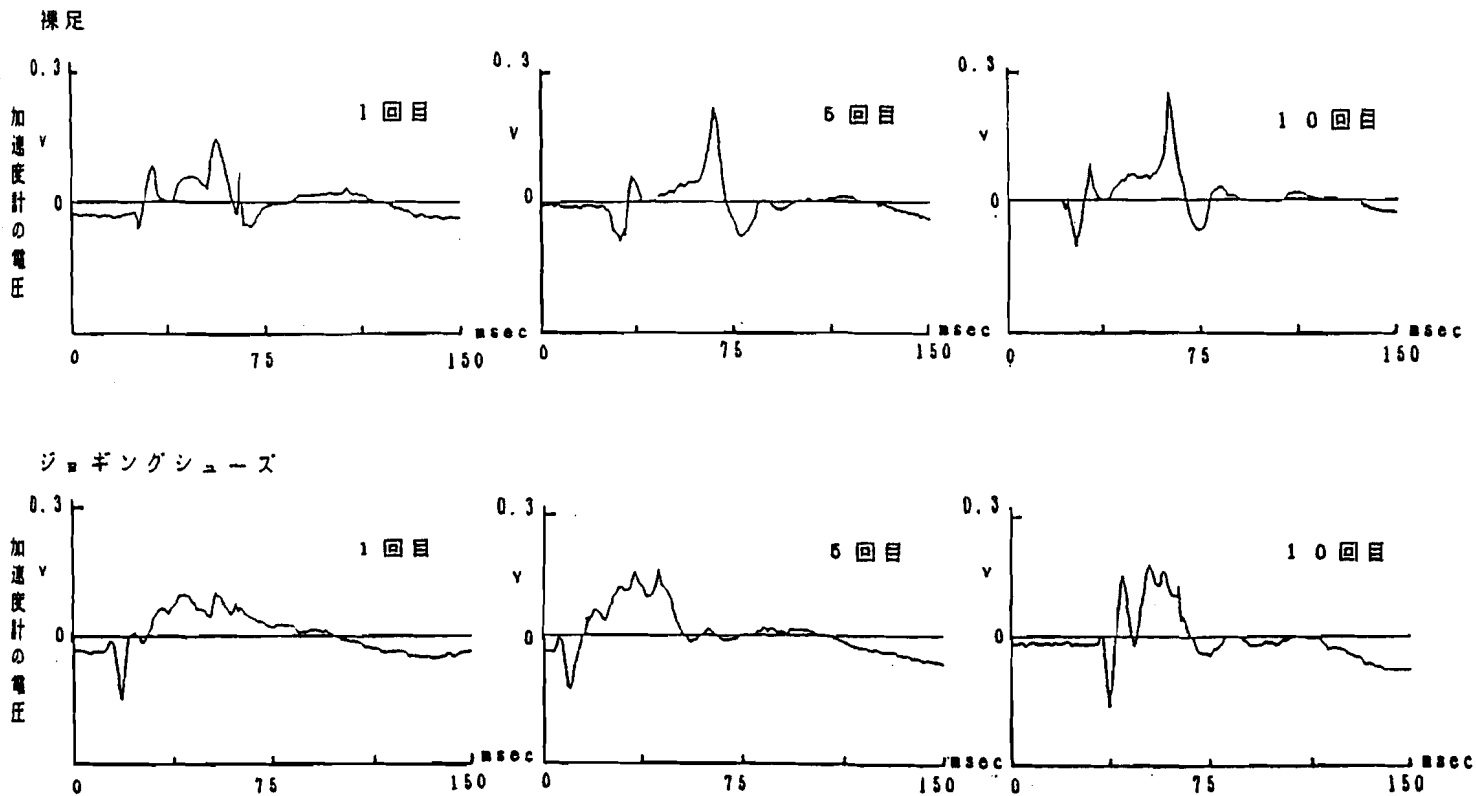


図2-16 アスコン舗装における測定回数別の振動波形

表 2 - 7 アスコン舗装の飛び降り回数別の
衝撃ピーク時間の変化

(msec)

靴の種類	1回目	5回目	10回目
裸足	24.3	30.3	29.9
革靴	17.0	25.2	28.2
運動靴	23.3	19.2	30.1
ジョギング	30.0	24.0	20.4

測定結果を見ると、表 2 - 7 に示すように靴の種類によりその傾向が異った。裸足では 1 回目に比べると 5 回目、10 回目の衝撃ピーク時間が長くなる。これは、飛ぶ回数が増えるにつれて衝撃に慣れた飛び方をしているためと思われる。一方、ジョギングシューズでは回数を重ねるごとに衝撃ピーク時間が短くなっていった。これは、ジョギングシューズの衝撃吸収性が大きく、飛ぶ回数が増えるにつれて衝撃に慣れて、靴の衝撃吸収性を利用した飛び降り方に変化してきたのではないかと考えられる。

次に、これらの測定結果を考慮し、各舗装材について 5 回目前後の衝撃波形について、衝撃振動時間と衝撃ピーク時間の検討を行った。その結果、表 2 - 8, 9 に示すように、クレイ舗装では靴の種類によって衝撃振動時間が異なるが、ゴムチップ舗装では、舗装材自体の弾性変形量が大きいことから、靴による衝撃振動時間の差はほとんど認められなかった。アスコン舗装では、運動靴やジョギングシューズなどの靴底が軟らかい靴が長い衝撃振動時間を示した。また、衝撃ピーク時間を見ると、だいたいどの靴でも、アスコン舗装が短い衝撃ピーク時間を示し、アスコン舗装が弾性の小さい舗装材であることを示している。また靴の種類で比較してみると、靴底が硬い革靴は振動ピーク時間が一番短く、受ける衝撃が大きい。また、アスコン舗装から受ける衝撃波形は振幅が大きく変化していたが、ゴムチップ舗装やクレイ舗装では、振幅の変化が小さい波形であった。また裸足で飛び降りた場合、どの舗装材でもつま先と、かかと着地の衝撃ピークが明

確に認められたが、ジョギングシューズは、靴の持つ衝撃吸収性が大きく靴底が1枚の厚い弾性板になっており、衝撃ピークが明確に出にくい波形であった。以上のことから、本測定法で用いた衝撃波形測定位置は、人体が受けた衝撃をうまく拾える場所であることがわかる。

表 2 - 8 衝撃振動時間

(msec)

舗 装 名	裸足	革靴	運動靴	ジョギング
ク レ イ	57.7	50.2	53.8	61.2
ゴムチップ	50.6	50.4	50.1	51.0
アスコン	41.0	37.0	42.8	42.7

表 2 - 9 衝撃ピーク時間

(msec)

舗 装 名	裸足	革靴	運動靴	ジョギング
ク レ イ	39.9	32.8	35.0	42.0
ゴムチップ	33.2	22.2	31.5	30.0
アスコン	27.2	21.0	24.5	25.1

(2) 衝撃加速度値について

足に受ける衝撃を衝撃加速度値で比較する場合、衝撃加速度値は、飛び降りる人が事前に持つ舗装の硬さのイメージや、舗装への飛び降り方法、あるいは飛び降り回数などが影響する可能性が強く、特に、足首の衝撃加速度値だけでは、膝が受ける衝撃や緩衝の程度が測れず、足全体に受ける衝撃を判断できないと考え、足首に加えて膝の衝撃波形も併せて検討した。その結果、図 2 - 19 に示すよう

に膝の衝撃加速度値に個人差が生じ、舗装の種類や靴によって異なったことから、足全体に受けた衝撃を判断する場合、足首の衝撃加速度値だけで比較するより、足首と膝の衝撃加速度値を加え併せた値を用いて検討する方が、より実際の感覚に近いと考えられる。

(3) メジアン周波数値と官能検査結果について

人体が舗装の硬さを判定する場合、足が舗装に着地した時の感覚を人体が受けた衝撃として評価する可能性が高いので、着地時の足首の振動特性と関係があると考え、衝撃波形の周波数の中央値であるメジアン周波数値を求めこれを官能試験結果と比較検討した。その結果、裸足で飛び降りた場合、足裏の筋肉などで緩衝する度合に個人差が生じるのか、官能検査結果とメジアン周波数値は $r = 0.350$ と低い相関係数を示した。しかし、靴を履いた場合では図 2-17, 18 に示すように、男子で $r = 0.875^{**}$ (**印は有意水準1%以上を示す)、靴の種類が男子と異なる女子でも $r = 0.818^{**}$ と高い相関係数を示し、靴を履いて飛び降りた時の感覚と衝撃波形のメジアン周波数値との間に、強い関係があることが判明した。また、個人データを比較すると、 $r = 0.947^{**}$ から $r = 0.832^{**}$ と相関係数に個人差が生じたが、官能試験法の理解度が多少異なっていたこともその原因の1つと考えられる。また、図 2-19 に示すように測定結果は、アスコン舗装が硬いと言う予想通りの結果を得た。

(4) 衝撃波形の波形積分値について

靴を通した舗装の弾性変形を調べる目的で、舗装の変形応答特性を知るために衝撃波形の振幅積分を行った。その結果、図 2-19 に示すように波形の積分値は弾性が小さいアスコン舗装では大きな値となり、弾性があるクレイ舗装では小さな値を示した。また、基盤がアスコン舗装であるゴムチップ舗装は、表層材の弾性が大きいので、変形応答特性が小さく出ると予想されたが、クレイ舗装よりわずかに大きい結果を得た。以上から、波形の振幅積分値は衝撃量が極端に大きいと影響を受けるが、本試験の様に舗装間の衝撃波形に極端な差がなく、解析区分を衝撃振動時間に限定して解析を行う限りは、波形の減衰時間の影響もないので、舗装の変形応答特性を知る方法としては効果的と言える。

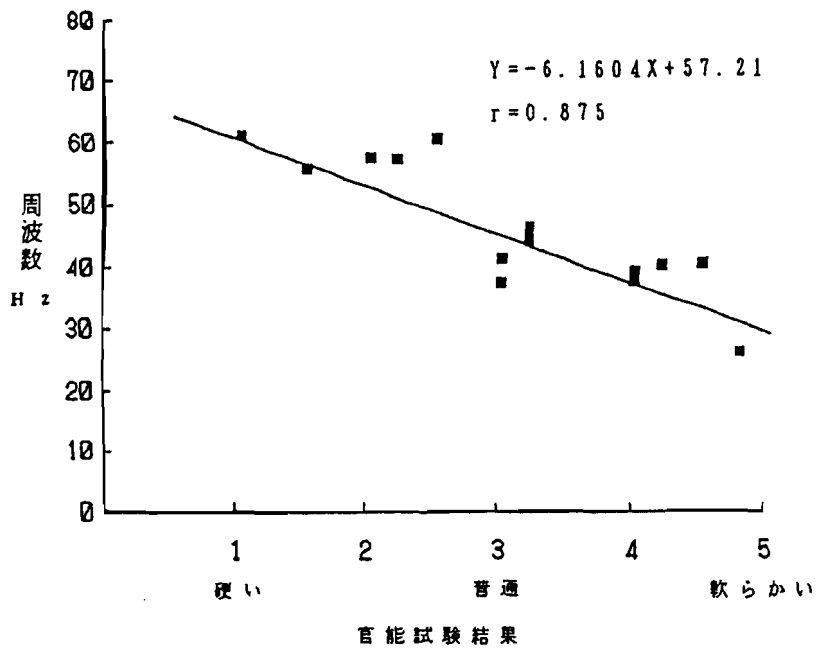


図 2 - 1 7 男子の官能検査結果と周波数値の相関

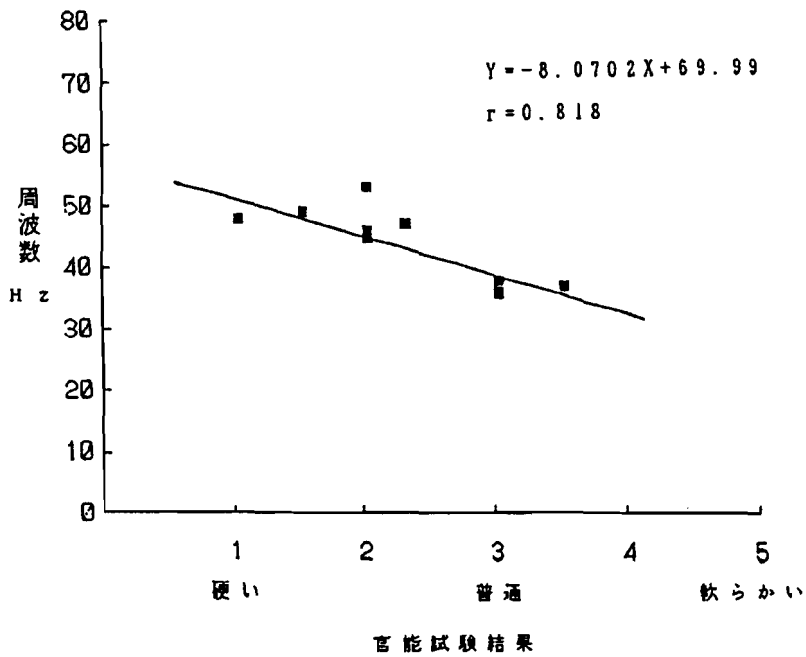


図 2 - 1 8 女子の官能試験結果と周波数値の相関

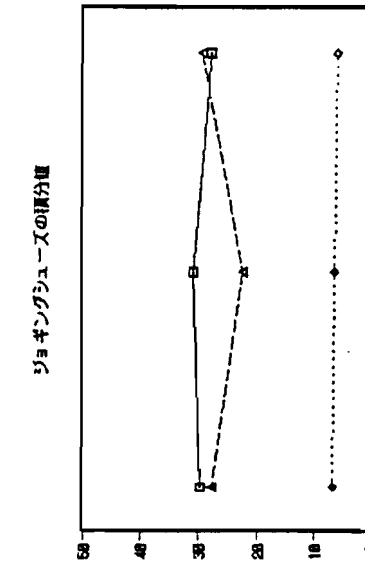
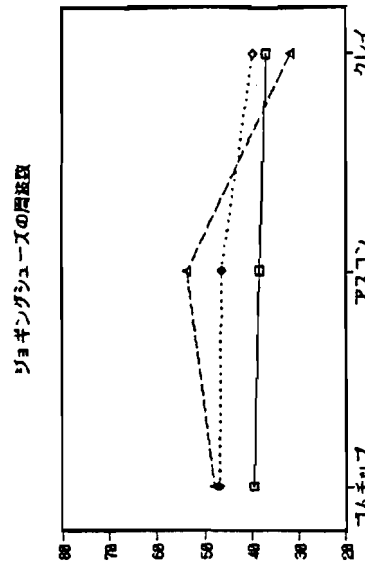
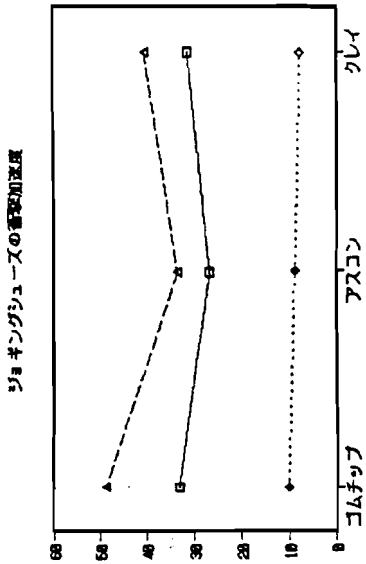
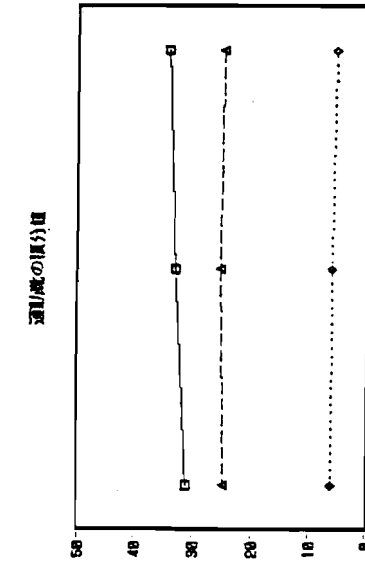
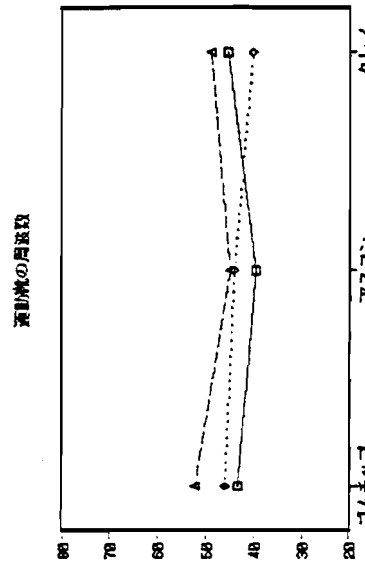
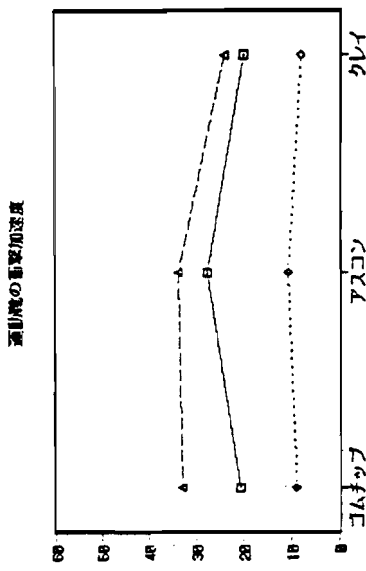
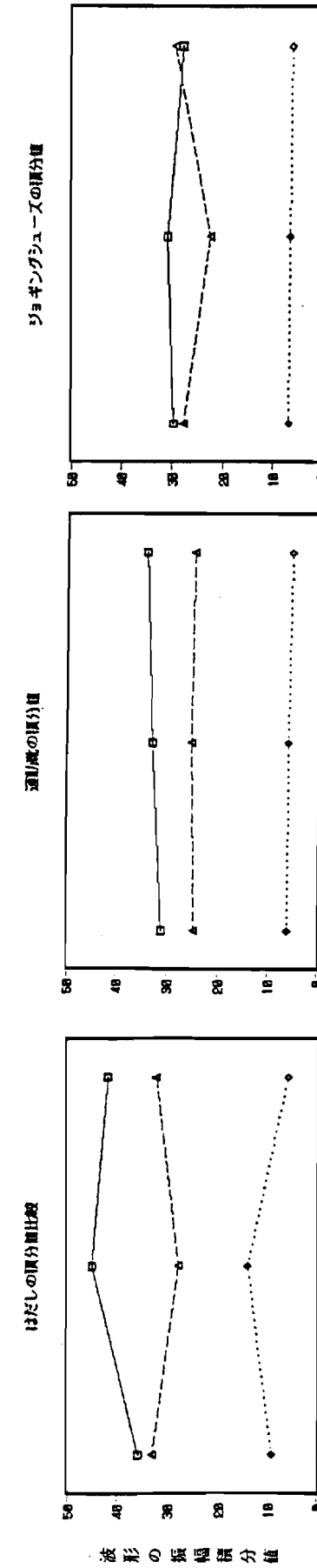
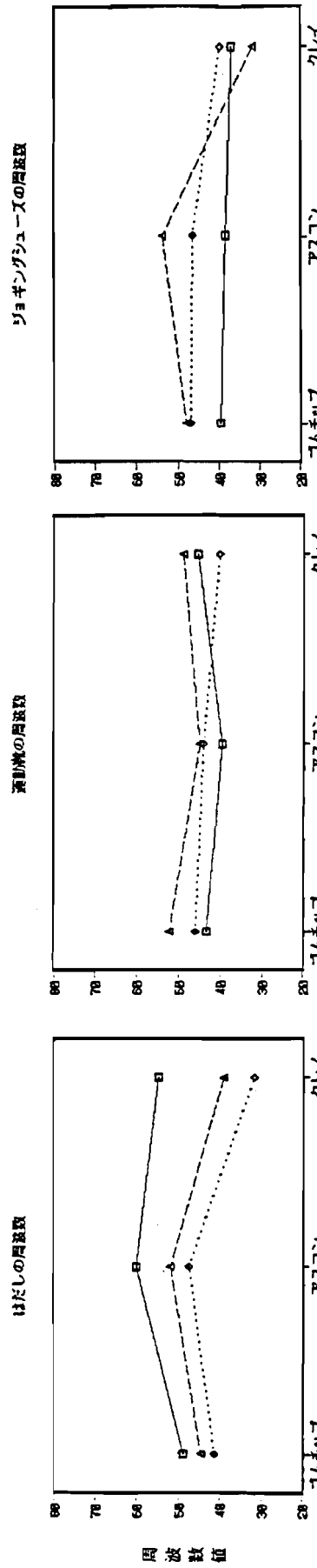
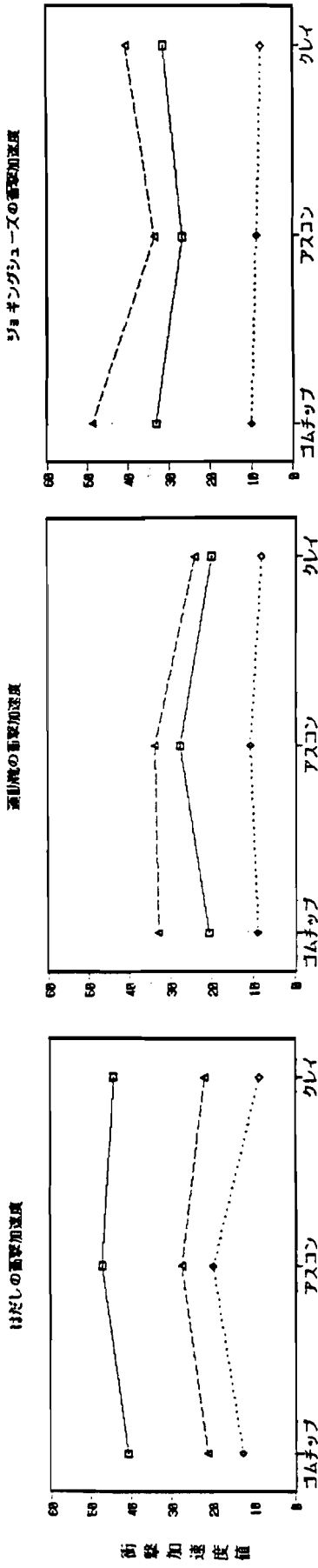


図 2 - 1 9 男子 3 人の被験者による裸足の測定

3-5 各種舗装材の弾性比較

(1) 概要

人のための舗装材は様々な分類が行われているが¹⁾、これら舗装材の弾性を比較するために、(1)土系舗装、(2)芝系舗装、(3)樹脂系舗装、(4)一般のアスコン舗装の4分野について、生体振動解析法を用いて測定を行った。あわせて、重錘落下試験を行い、生体振動解析法とのデータ比較を行った。試験に使用した重錘は茄型(3640g)で、舗装に接する部分は直径35mm厚さ2mmのゴムが張りつけてあり、その接地面積は9.62cm²である。なお、重錘は生体解析に用いたものと同じタイプの加速度計を内蔵しており、人体と同様に2m/sの接地速度で舗装面に落下させ、シグナルプロセッサーで衝撃加速度と反発係数を求めた。⁷⁾

測定に用いた舗装は、図2-20に示す舗装断面を持ち、本学内で歩経路あるいは運動の出来る広さを持つ舗装面として実際に施工されているものである。その概要は次の通りである。

(1)土系舗装： 弾性・衝撃吸収性があり疲れにくい舗装として土系の舗装があげられるが、土系の舗装でも、一般の裸地と表土を改良して転圧したクレイ舗装では弾性が異なる。そこで、土系の舗装としては、a)裸地、b)陸上競技場のフィールド、c)陸上競技場のトラックの3種類を選択した。裸地は関東ロームで比較的堅く締め固まっており、フィールド、トラックは大島産の火山砂利や川越産の荒木田粘土、石灰ダスト、ローム黒土等を混合し締め固めた舗装である。

(2)芝系舗装： 天然芝は使用感が良く、広場や運動場の舗装に使用されるが、維持管理が難しい舗装である。今回は高麗芝の広場を試験区として用いた。また、最近では各種競技場やテニスコート等に人工芝が使用される事例が多いので、アスコンやコンクリートを基盤とした人工芝の中から、葉の形状が直毛タイプとループタイプの2種類の舗装を選択した。

(3)樹脂系舗装： 樹脂系の舗装は従来高級な舗装として陸上競技場を中心に施工されていたが、最近小学校等の校庭の舗装や、ジョギング道の舗装などに多く用いられるようになった。そこで樹脂系の中では比較的安価な舗装として、ひじき状ゴムチップをウレタン樹脂で固めた舗装と、粒状ゴムチップと碎石、砂など

をアクリル系樹脂で固めたゴム碎石混合舗装について実施した。

(4) アスコン舗装： 従来から一般歩道の舗装に用いられている密粒度アスコン舗装で、一般歩道舗装の仕様にもとずき碎石路盤と密粒度アスコン(13)からなる。

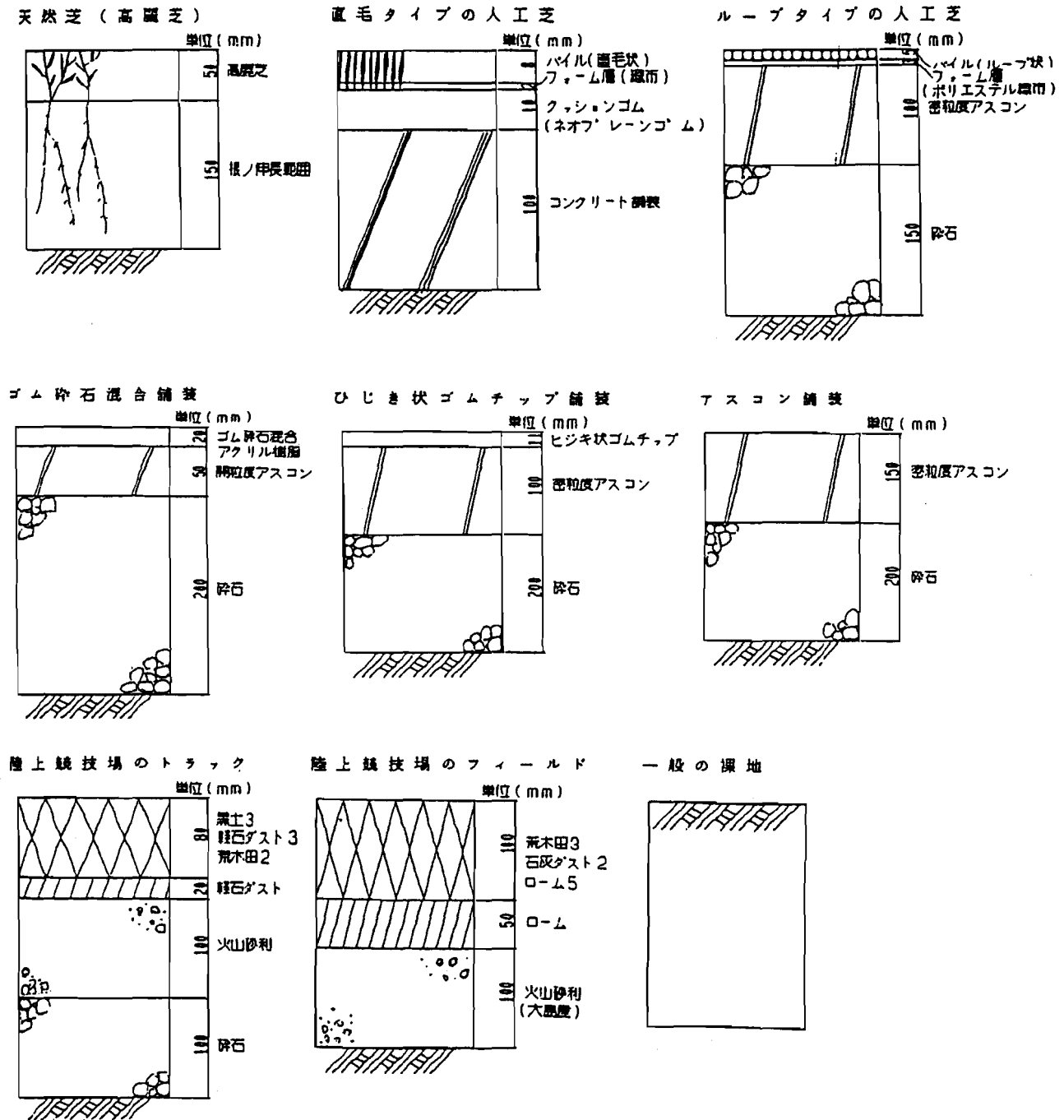


図 2 - 2 0 測定舗装断面図

(2) 測定結果および考察

測定結果を図2-21, 22, 23に示す。芝系の舗装を見ると、衝撃加速度は、裸足ではアスコン基礎の上に直接施工されたループ人工芝が大きな値を示したが、靴を履いた場合いずれの人工芝系でも緩衝効果が認められた。これは人工芝上では靴全体が一枚の板となり靴底が緩衝して、表層も天然芝と同様の緩衝作用をしていることが原因と考えられる。また、周波数値は、衝撃の大きい舗装では高い周波数値となり、人工芝では多少芝の葉の形状やアンダーパットが影響していると考えられる。次に積分値は、人工芝では舗装の変形応答特性が小さく、人工芝による差は殆ど認められなかった。

土系の舗装を見ると、いずれの舗装もほぼ同様の衝撃加速度値で、舗装に当たった時の感覚も土系の舗装では殆ど同じと思われる。しかし、一般の裸地に比べてトラックやフィールドは受けた衝撃量が大きくなり、特に表面に粘土分の土が多いトラックは砂分の多いフィールドに比べて軟らかく、同じグラウンド舗装にも差がある。

樹脂系舗装を見ると、衝撃加速度値に差が認められなかったが、アスコン舗装は周波数値が高く積分値も低いことから、舗装の弾性が小さく当たった時の感覚も他の舗装に比べるとかなり硬い舗装であった。また表面は弾性があっても基盤に硬い素材を用いた舗装やアスコン舗装では、靴により緩衝の程度が異なり中でも靴底の厚いジョギングシューズはその効果が著しい。また、ゴム碎石混合舗装は、表面を見ると硬く感じる舗装であるが、人体が受ける衝撃の程度は予想したよりも小さく、舗装の厚さが厚いこともあり舗装全体で緩衝効果があるものと思われる。

重錘落下試験の測定結果は、表2-10に示す。衝撃加速度を見ると、アスコン舗装は、裸地の約10倍の衝撃を受けることになるが、舗装の反発係数を見るとあまり差がなく、フィールド等の土系の舗装と同程度の値を示しており、実際に受けた衝撃とかなり異なる。また、フィールドやトラックは、天然芝の2倍以上の衝撃加速度値を示したが、裸地は天然芝と同程度の値で、土系の舗装でデータに大きな差を生じた。また、クッションゴム入りの人工芝やゴムチップ舗装は、クレイ系の舗装より大きな衝撃加速度値となり、ほぼ予想された通りの傾向を示した。以上のことから、重錘落下試験は、重錘の接地部の面積や舗装表面の性状

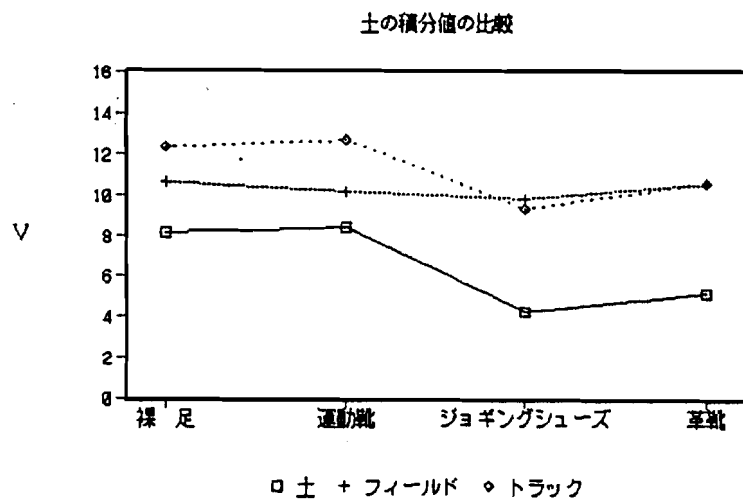
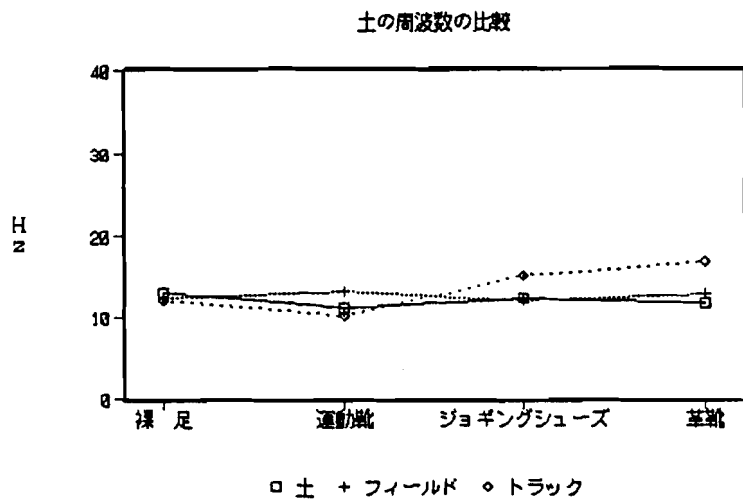
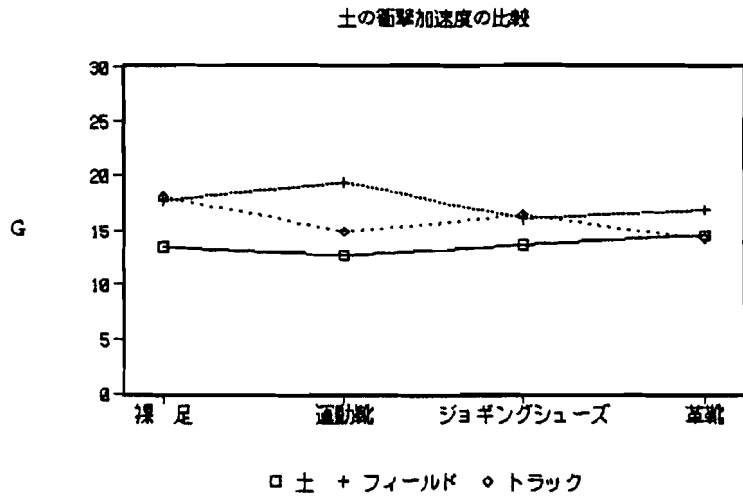
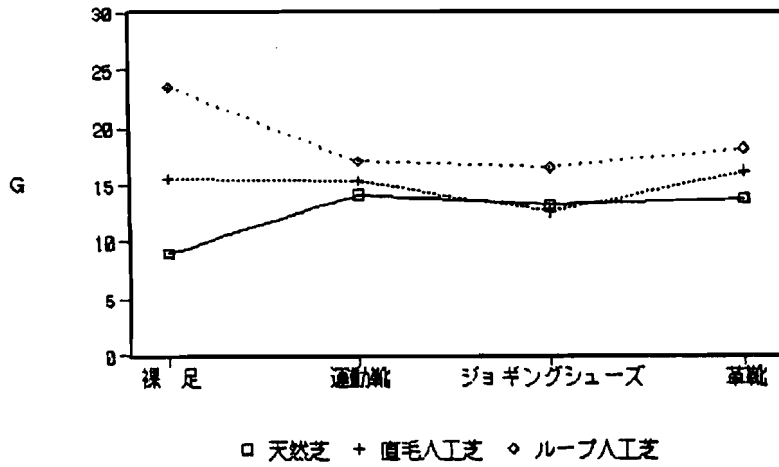
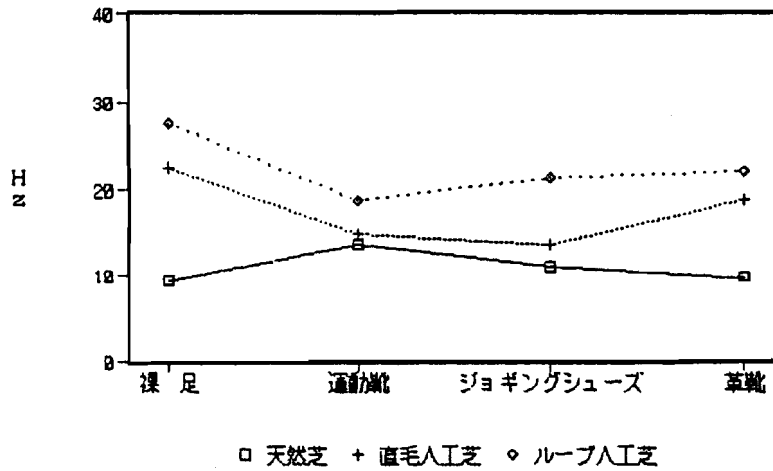


図 2 - 2 1 土系舗装の弾性測定結果

芝の衝撃加速度の比較



芝の周波数の比較



芝の積分値の比較

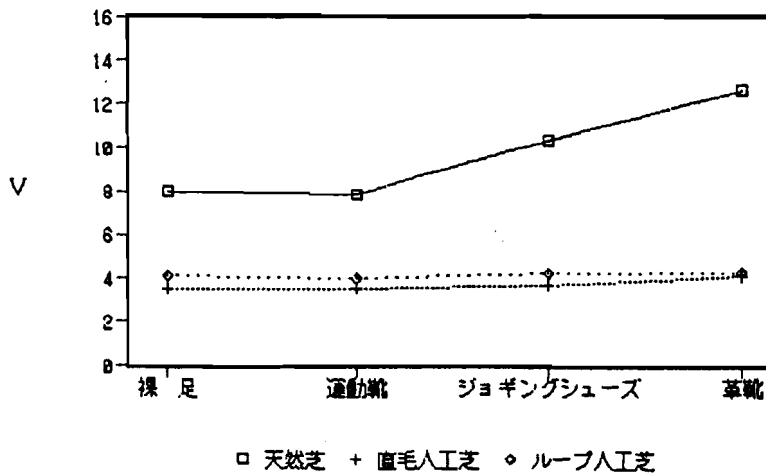
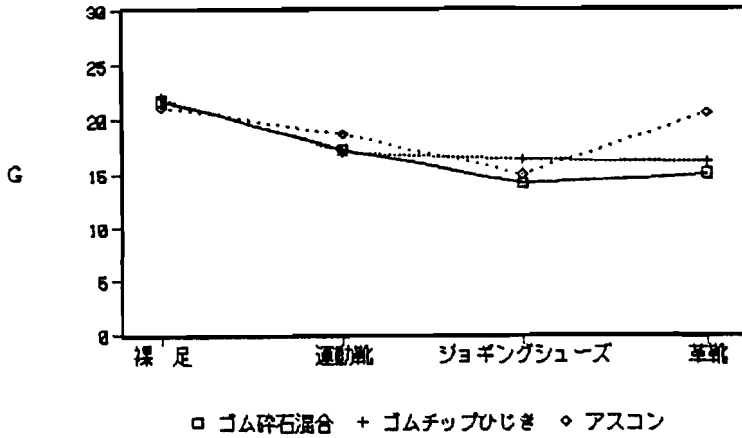
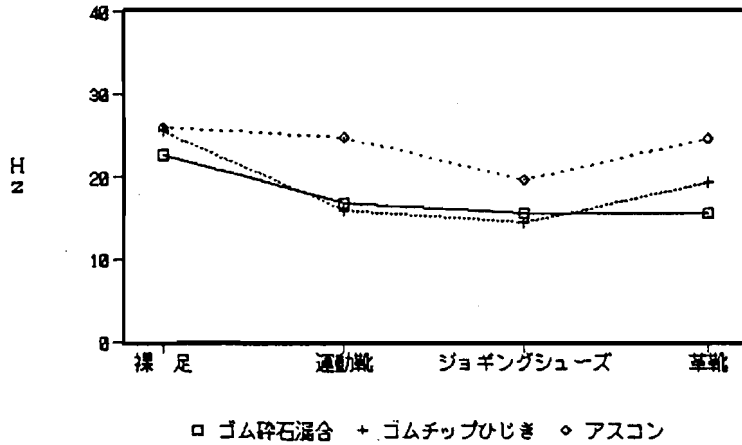


図 2 - 2 2 芝系舗装の弾性測定結果

他舗装の衝撃加速度の比較



他舗装の周波数値の比較



他舗装の積分値の比較

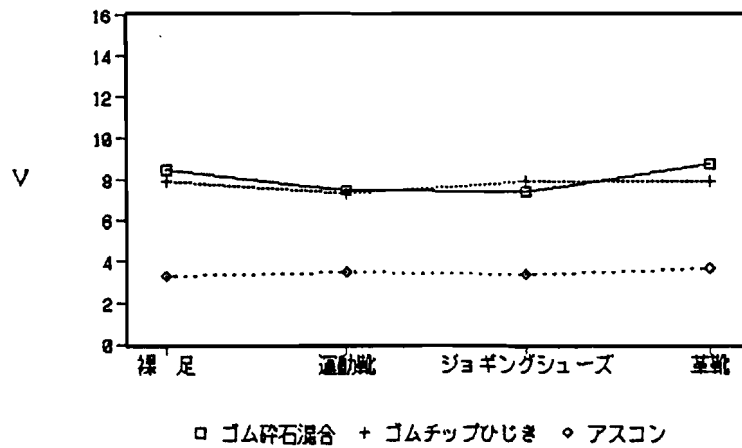


図 2 - 2 3 ゴムチップ系舗装材の測定結果

表 2 - 1 0 重錘落下試験の結果

舗装の種類	衝撃加速度	反発係数
天然芝	33(G)	0.359
直毛人工芝	98	0.564
ゴム碎石混合	75	0.460
ひじき状ゴムチップ	91	0.575
アスコン	288	0.279
トラック	63	0.319
フィールド	71	0.282
裸地	29	0.225

にかなり影響される可能性があり、その結果から人体が受けた衝撃や、舗装から受ける感覚を直接測定する事は出来ないが、同一材質を用いた場合、舗装の弾性を比較することが出来ると考える。

3 - 6 結論

舗装材の弾性を測定する方法として、従来から重錘落下などによる物理的試験方法や、人体が受ける衝撃を衝撃加速度値で判定する試験方法が行われてきたが、これらの方法は人体が受ける感覚との間に大きな差があったり、官能検査結果との相関が小さいなどの問題があった。そこで、人体が受けた感覚を測定する試験方法として、人体から得られる生体データを用いて解析する事が好ましいと考え、靴を通して人体が舗装から受ける衝撃波形を用いて舗装の弾性を解析する生体振動解析法の開発を行った。

その結果、

(1) 加速度計を用いた測定法は、加速度計の取り付け位置や固定方法がデータに影響する可能性は高いが、足首のくるぶしの様に、皮膚や筋肉などによる緩衝

作用が比較的少ない場所に取り付けることで、人体の緩衝作用をあまり受けず、人体が受けた衝撃を振動波形として求めることができた。

(2) 人体が受ける衝撃量を定量化するために、比較的個人差の出にくい方法として、ぶら下がり健康器より各10回づつの飛び降り測定を行ったが、垂直落下法でも飛び降り方に多少差が生じた。また、人体が衝撃に慣れ、最初の衝撃波形と終わりの衝撃波形では波形の形状が異なったことから、10回程度の落下試験では、これらのデータを平均した数値を用いて解析する方が良い。

(3) 振動波形は、裸足と靴を履いた場合では波形の形状が異なり、裸足ではつま先と、かかとの衝撃ピークが明確に表れたが、靴を履くと靴底が1枚の板となって衝撃を受けるのか、衝撃ピークが表れにくい波形を得た。また、靴底が厚く衝撃を吸収しやすい材料で出来ている靴は、予想通り硬い舗装において大きな衝撃吸収効果を示した。

(4) 衝撃加速度値は、膝の緩衝作用が舗装材により異なることから、足首と膝の衝撃加速度値を加えた値を、足全体が受けた衝撃加速度値として検討したが、この解析法は、膝の緩衝を考慮に入れており、着地時の個人差も含まれた値であることから、比較的受けた衝撃の感覚に近い測定方法であった。

(5) 足首の衝撃波形のメデアン周波数値は、官能検査結果と高い相関を示し、舗装から受ける官能検査の感覚と足が舗装に当たった時の感覚は、類似していることが判った。

(6) 靴を通した舗装の弾性変形は、振動波形を振幅積分して求めた舗装の変形応答特性で比較検討出来る。

(7) 生体振動解析法と、従来から行われてきた重錘落下試験による衝撃加速度と反発係数を求める試験方法を比較した。その結果、生体振動法は、人体が受けた感覚に類似した舗装の弾性傾向を示したが、重錘落下試験は、衝撃加速度値や反発係数が、人体が受ける感覚と大きく異なる結果を示し、人体の受ける衝撃や弾性を判定する試験方法としては、好ましくないと考える。しかし、試験方法が簡易なことから、舗装の品質管理などには適した試験方法と考える。

本試験方法は、従来の舗装弾性判定法と全く異なり、人体が受けた生体データを多方面から解析し、舗装の弾性を解析しようとする新しい方法である。現在は、まだ測定事例が少ないが、今後各種舗装材の弾性測定を行い比較検討してデータ

を集めていくと、これらが、今後の舗装材開発や人のための快適な舗装を作り出す上で、重要なデータになりうると考える。



写真 2 - 4 生体振動解析法による測定状況

第 4 節 砂詰め人工芝の舗装構造と衝撃緩和特性について

4-1 概説

芝生は、鮮やかな緑と弾力性のある歩行感が好まれて、公園や運動施設あるいはゴルフ場、一般の家庭などで多く用いられている。天然芝は、維持管理に多くの手間と時間を要することから、最近の運動施設では人工芝を用いる事例が多くなった。しかし、人工芝は舗装基盤が硬く、人工芝上で長時間運動を行うと膝や腰などに悪影響を与えるとされており、人工芝に弾性を持たせるために表層材を工夫したり、中間層に緩衝材を用いるなど様々な改良が行われてきた。

一般に、人工芝は表層材の形状からカットパイル、カールパイル、ループパイル、砂詰めタイプの4種類に分類され、表面の素材もポリエステル、ポリプロピレンやナイロンなどいろいろな種類のものが開発されている¹⁾。中でも、天然芝の体感性が注目され、人工芝でも運動時の衝撃緩衝性やボールの跳ね返り特性などが天然芝に近づく様に改良がなされている。一般に、人工芝はアスコン舗装やコンクリート舗装を基盤とし、塩化ビニールやプチルゴムなどのアンダーパットを中間層に用い、表層と中間層で衝撃を吸収させる舗装構造とすることが従来の方法であった。しかし、これらの舗装構造でもまだ受ける衝撃は大きく、天然芝の体感と異なるので、表層に適度のすべりがあり、使用感が似ている人工芝として、砂詰め人工芝が注目された。砂詰め人工芝は、表層部に粒径の整った砂層を設けることで、衝撃を吸収する構造であったが、表層の改良だけでは十分にその効果が認められず、緩衝材を用いた舗装構造の開発が試みられている。しかし、表層材の厚さや中間層に用いた素材の衝撃吸収性、あるいは舗装基盤材の影響など、舗装を構成する材料の特性が十分理解されていない。そこで、本節では舗装構成材料の衝撃緩和特性を調べ、天然芝に近い性状を持つ砂詰め人工芝の舗装構造について検討する事を目的とし、人体が受けた衝撃を直接解析する生体振動解析法²⁾を用い、あわせて、物理的な試験方法としてバネ定数を用いた弾性試験法³⁾を実施した。

4 - 2 試験方法

生体振動解析法は、人体が受ける衝撃波形を解析し舗装の衝撃緩和特性を判定する方法で、使用する靴の条件や人体自身の緩衝機能がデータに含まれている。本実験では、衝撃波形を人体の中でも緩衝作用が比較的少なく、波形を求めやすい足首（前脛骨下端の外果）と膝関節（大腿骨下端の外側顆）で求めた。そして、波形を解析し、足首と膝の衝撃加速度の和から足全体が受ける衝撃加速度値を求め、足首の振動波形をFFTで周波数分析して得られたメジアン周波数値から舗装に当たった時の硬さを求め、振動波形の波形積分値から舗装の変形応答特性を求め、これらの3つのデータから舗装の衝撃緩和特性を検討した。測定に使用した加速度計は、いずれも圧電素子タイプの小型加速度計で、共振周波数50000Hz、測定加速度0～5000Gのものを用いた。測定データは、データレコーダに記録し、5kHzでA/D変換の後、コンピュータで解析を行った。また、運動時に人体が受ける衝撃を定量化することは難かしいことから、本試験では衝撃条件が一定となる様に、ぶら下がり健康器からの垂直落下で測定を行った。落下高さは、地面への接地速度を2.0m/s程度として、20cmの高さから各舗装面に10回ずつ落下させた。測定に使用した靴は、ジョギングシューズ、ゴム底の運動靴、靴底の固い革靴と裸足を加えた4種類である。なお、被験者は23歳と22歳の男子2名で行った。

バネ定数を用いた弾性試験方法は、5000±50gの重錘を100cmの高さから自由落下させ、衝撃時の加速度波形を求めこれを積分計で変位に換算し変位置曲線を求めた。そして、この最大変位置からバネ定数を求め舗装の弾性を測定した。測定に使用したゴムバネは、外径8cm、厚さ0.4cmのゴム板を15枚重ねたもので、全体のバネ定数は250～300kg/cmである。試験は各舗装に対し3回ずつ実施した。

4 - 3 試験材料と舗装構造

砂詰め人工芝の緩衝緩衝機能を高める方法として、表層を厚くしたり、中間層あるいは基盤材料に衝撃吸収性の良い材料を用いる等の方法がある。そこで、本

試験では、表層材の厚さが異なる人工芝を3種類、中間層の材料として高分子系の緩衝材2種類、ゴム系の緩衝材2種類、砂系の緩衝材2種類、基盤材料としてアスコン基盤、碎石基盤、砂系基盤など5種類の基盤をつくり、これらの材料を組合わせた舗装構造を15種類作成し施工した。さらに、標準舗装として天然芝舗装、クレイ舗装、開粒度アスコン舗装の3種類を施工した。試験舗装区の面積は7.2 m² (4 m * 1.8 m) で写真2-5, 2-6に試験区の概況と試験状況を示す。



写真 2 - 5 砂詰め人工芝の試験区の概況



写真 2 - 6 生体振動解析法による測定状況

試験に使用した材料は次の通りである。

表層材

砂詰め人工芝

芝の毛足長 $t = 50, 25, 19 \text{ mm}$ の 3 種類で、充填量は細珪砂を用い、 19 mm の芝で 26 kg/m^2 の砂詰め量を標準とし、芝の毛足長に比例して砂の量を変えた。

中間層材

・プラスチックハニカム

ハニカム構造 ($d=8\text{mm}$) をしたプラスチック製パネルで、厚さ $t = 30, 50 \text{ mm}$ の 2 種類があり、両面にポリプロピレン不織布 (200g/m^2) がついている。

・発泡ポリエチレンフォーム

発泡倍率 20 倍で厚さ $t = 10 \text{ mm}$ のシート。

・高分子ネット+ゴム G タイプ

ポリプロピレンネットに破碎ゴム (径 $3.36 \sim 1.14 \text{ mm}$) を詰めたもので、ポリプロピレンの不織布 (200g/m^2) と組み合わせて用いる。

・高分子ネット+ゴム H タイプ

ポリプロピレンネットに破碎ゴム (径 $2.00 \sim 1.00 \text{ mm}$) を詰めたもので、ポリプロピレンの不織布 (200g/m^2) と組み合わせて用いる。

・ゴムチップ+山砂

粒状グレインゴム (径 $3.0 \sim 1.0 \text{ mm}$) と山砂を混合したもの。

・メッシュエレメント+山砂

ポリプロピレンメッシュ ($50 \times 100 \text{ mm}$) と山砂を混合したもの。

基盤材

・密粒度アスコン (13)

・ソイルセメント

・碎石 (C40 級)

・山砂 (0.075mm 通過分が 10~15% のもの)

・土 (普通の裸地)

試験区の舗装構造を表 2 - 1 1 に示す。

表 2 - 1 1 舗装試験区

(表層)	(中間層)	(基盤)	(番号)
人工芝 19mm	なし	アスコン基盤	6 区
人工芝 19mm	プラスチックハニカム 30mm	アスコン基盤	8 区
人工芝 19mm	プラスチックハニカム 50mm	アスコン基盤	10 区
人工芝 19mm	プラスチックハニカム 30mm	ソイルセメント基盤	11 区
人工芝 19mm	プラスチックハニカム 50mm	ソイルセメント基盤	12 区
人工芝 25mm	なし	アスコン基盤	4 区
人工芝 25mm	プラスチックハニカム 30mm	アスコン基盤	1 区
人工芝 25mm	プラスチックハニカム 50mm	アスコン基盤	5 区
人工芝 25mm	発泡ポリエチレンフォーム	アスコン基盤	9 区
人工芝 25mm	高分子ネット+ゴム G	アスコン基盤	3 区
人工芝 25mm	高分子ネット+ゴム H	アスコン基盤	7 区
人工芝 25mm	高分子ネット+ゴム G	砂基盤	17 区
人工芝 50mm	高分子ネット+ゴム H	砂基盤	18 区
人工芝 25mm	ゴムチップ+山砂	碎石基盤	13 区
人工芝 25mm	メッシュエレメント+山砂	碎石基盤	14 区
標準舗装区	開粒度アスコン 50mm	碎石基盤	2 区
標準舗装区	クレイ舗装 150mm	土基盤	15 区
標準舗装区	天然芝	土基盤	16 区

基盤の厚さは次の通りである。

アスコン基盤	50mm	土基盤	100mm
碎石基盤	150mm		
ソイルセメント基盤	50mm		
砂基盤	100mm		

4-4 結果および考察

(1) 衝撃緩和特性について

舗装から人体が受ける衝撃は、舗装材の弾性、人体の緩衝作用、靴底の材質などで変化するが、砂詰め人工芝のように、舗装に弾性があり表面の性状が同じ舗装材料を比較した場合、舗装の衝撃緩和特性の差が少なく思われたが、測定結果を見ると、僅かな舗装構造の違いで衝撃緩衝特性がかなり異なることが判明した。(衝撃加速度値)

表層材の厚さの違いによる衝撃加速度値は、図2-24, 2-25に示してある。衝撃加速度値の最大値は被験者によって異なるが、いずれも19mm芝の衝撃加速度値が25mm芝に比べて5%~15%程度大きい結果を示し、表層材の厚さは衝撃緩和特性に関係していた。

中間層の材質の違いによる衝撃加速度値を見ると、図2-24, 2-25に示してあるように、プラスチックハニカム材を中間層に用いた舗装は、アスコン基盤上に中間層を作らず直接人工芝を設置した舗装と同程度の衝撃加速度値であった。これは、プラスチックハニカム材は空隙は大きい、表面が硬く変形しにくい材料であることから、中間層として用いても、衝撃緩衝材としての機能がほとんど無かったことが原因である。しかし、図2-26に示すように、中間層にゴムチップ系の素材を用いると、同じ25mm芝でも図2-25の舗装に比べて衝撃加速度値が20%~40%程度低下した。また、図2-27に示す様に、高分子ネットとゴムチップを組合せた中間層や、発泡ポリエチレンフォームのシート、あるいはゴムチップと山砂を混合して用いた中間層は、衝撃加速度値が小さくなり衝撃緩和特性が大きい結果を示していた。以上の事から、衝撃加速度値は中間層の素材の影響が大きい事を示していた。

基盤の材質の影響は、アスコン基盤とソイルセメント基盤の衝撃加速度値の差を比較してみると、基盤材料の影響は小さく、中間層の緩衝機能が大きい舗装構造では、基盤の材質が舗装の衝撃緩和特性にさほど影響しない。

各舗装を個別に検討してみると、天然芝の衝撃加速度値に近い値を示した舗装構造は、図2-27に示すように、高分子ネット+ゴムGの中間層と発泡ポリエ

チレンフォームの中間層を持つ舗装構造で、靴の種類が違ってもほとんど影響は無かった。また、密粒アスコン舗装では、表層が硬いので相当大きな衝撃加速度値となることが予想されたが、図2-24, 2-25を見ても判るように、他の舗装と比較して極端に大きな値は示さなかった。これは、「アスコン舗装は硬い」とのイメージがあり、落下時に事前に人体の緩衝作用が強く働いた結果と思われる。また、砂の中間層を用いた舗装では、メッシュエレメント入りの砂が高い衝撃加速度値を示したが、メッシュエレメントは砂の移動を押える効果があることから砂層を固めてしまい、逆に緩衝機能が小さくなる結果を得た。

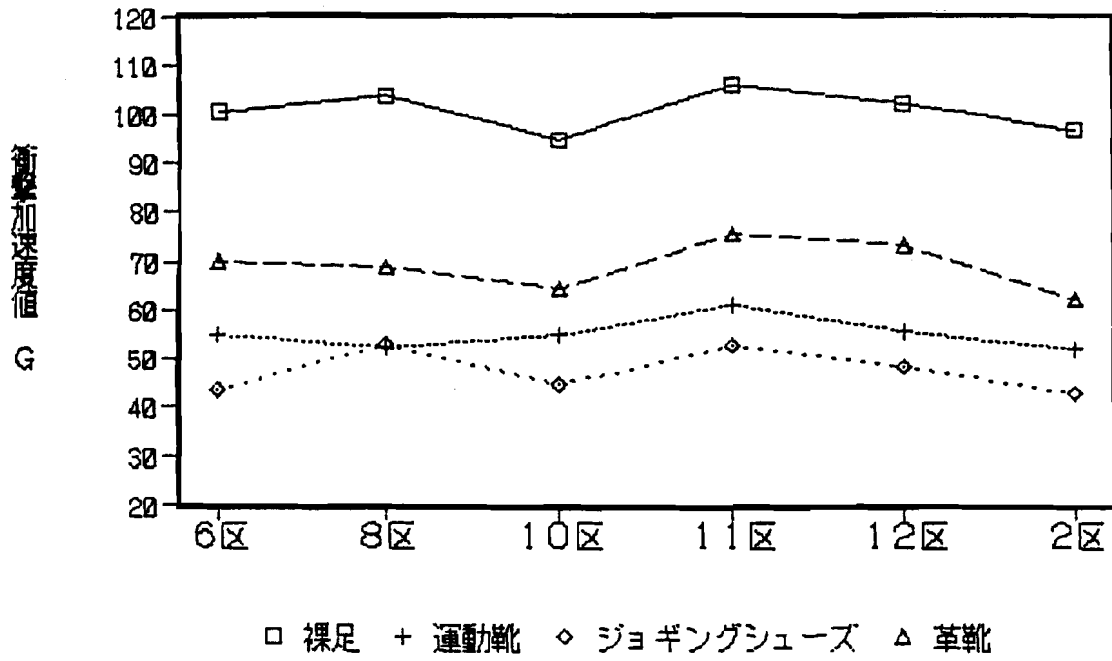
(周波数値)

舗装に当たった時の感覚を測定するために、周波数値を比較検討した。舗装の厚さによる影響は、図2-28, 2-29に示す様に、25mm芝に比べ19mm芝が高い周波数値を示し、表層の厚さが薄いと硬く感じると思われる。また、天然芝に近い性状を示した舗装は、図2-30に示すように、高分子ネット+ゴムG、発泡ポリエチレンフォーム、ゴムチップ+山砂の中間層をもつ舗装構造であった。従って、表面性状が同じ舗装材では、衝撃加速度値が高いと舗装に当たった時に硬く感じると思われる。また、今回は対象となる舗装がいずれも砂詰め人工芝であることから、舗装に当たったときの感覚よりは、使用する靴の種類が硬さに影響すると考えられたので検討した。周波数値の分布を靴別に求めたものを図-31に示す。裸足の周波数値は靴を履いた場合に比べ全体に高い値で分布しており、革靴、ジョギングシューズ・運動靴の順に低い値を示していた。特に、ハニカム基盤やアスコン基礎ではクレイ舗装よりも高い周波数値を示した。次に、図-32に示す様にジョギングシューズでは一般に低い周波数値を示すが、他の靴に比べて舗装により周波数値がばらつき、靴底の厚さが落下時の感覚にかなり影響すると考えられる。

(積分値)

舗装の変形の程度を示す積分値は、表層材の素材がいずれも同じであることから、図2-33に示す様に積分値に極端な差は生じなかったが、裸足で落下した場合は人体の緩衝機能がそれぞれの舗装に働いて積分値の変動が大きく、靴を履くと靴底の衝撃緩和特性によりその差は少なくなる。また、図2-33に示すよ

A 氏



B 氏

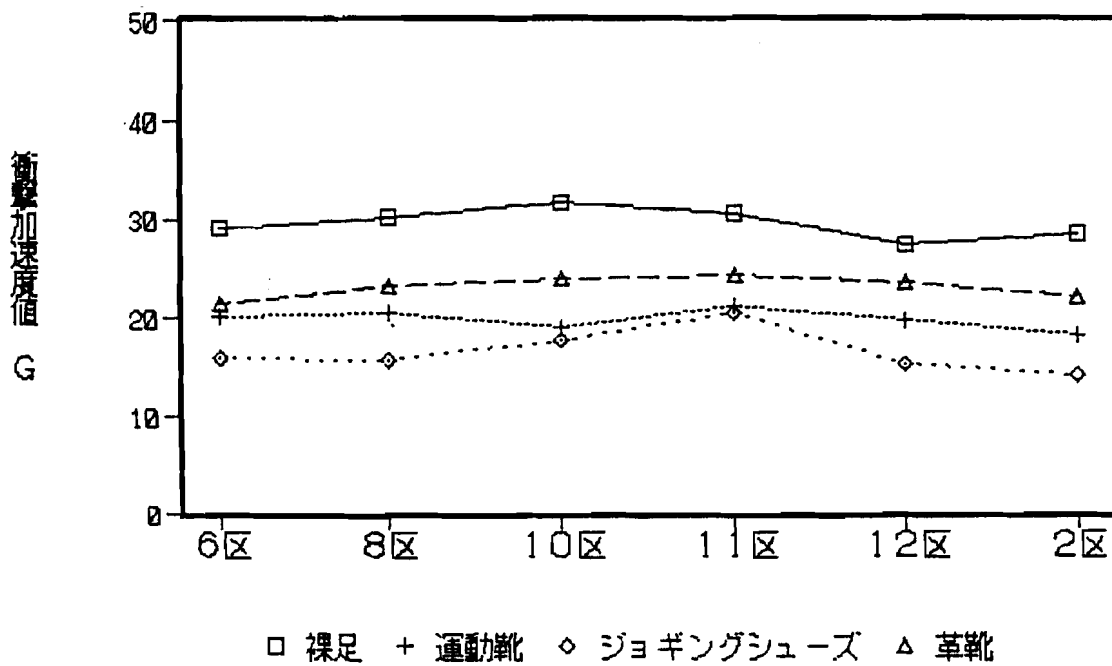
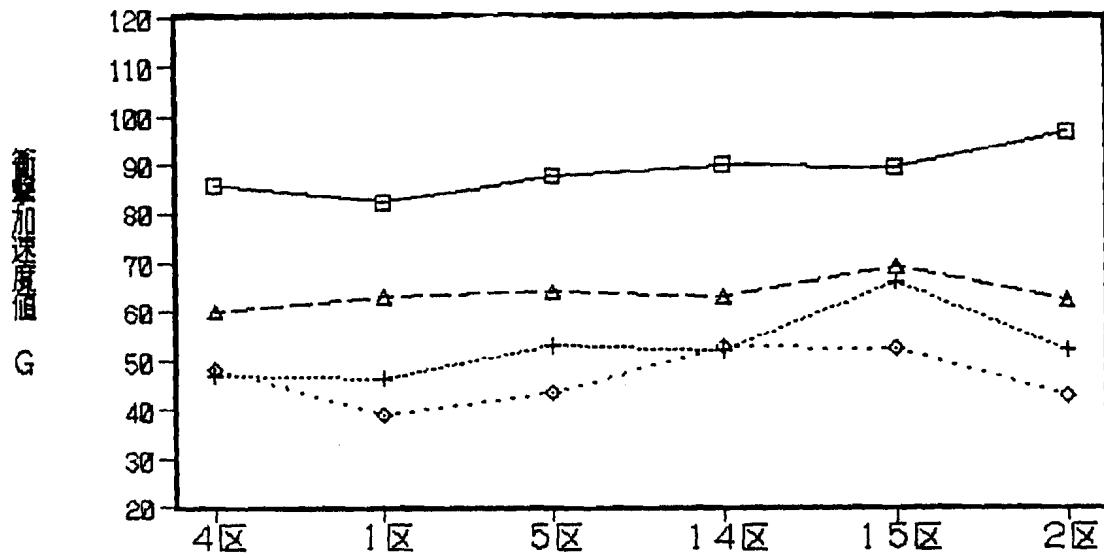


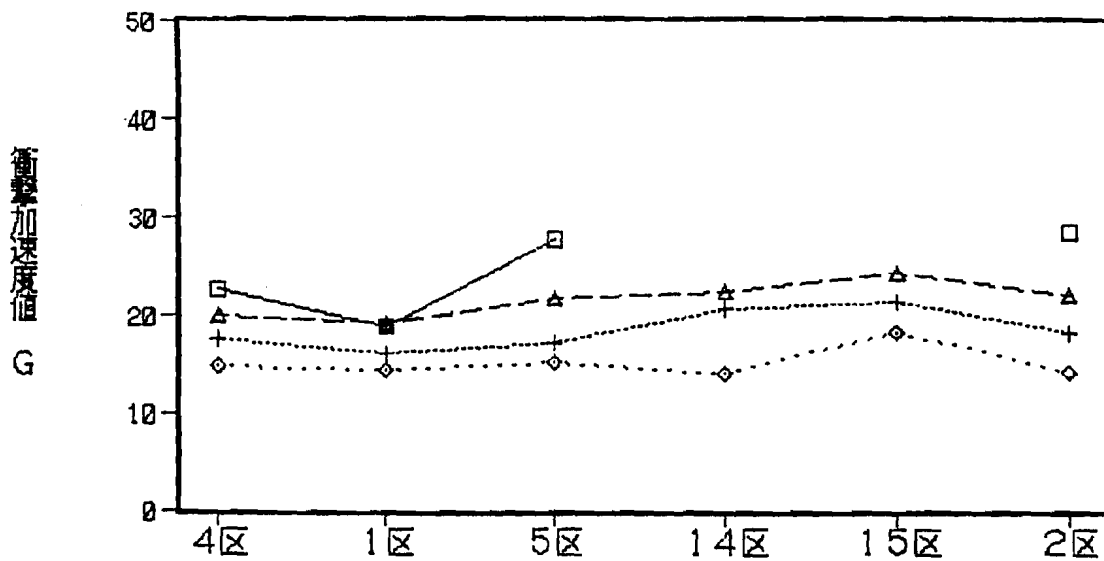
図 2 - 2 4 19mm人工芝の衝撃加速度値

A 氏



□ 裸足 + 運動靴 ◇ ジョギングシューズ △ 革靴

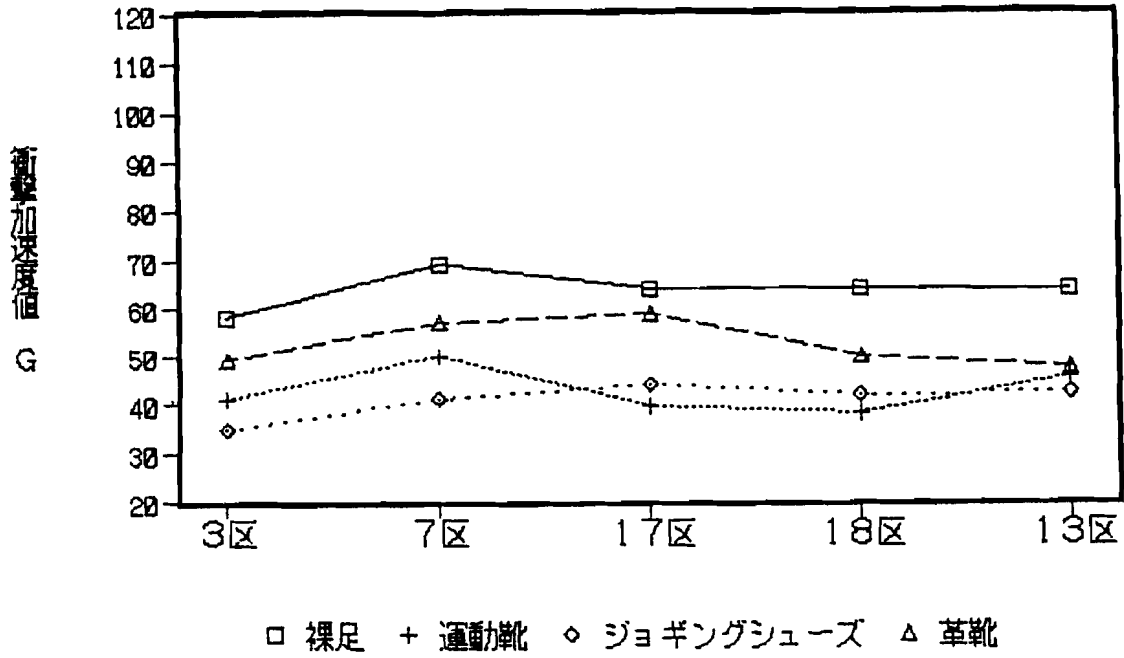
B 氏



□ 裸足 + 運動靴 ◇ ジョギングシューズ △ 革靴

図 2 - 2 5 25 mm 人工芝の衝撃加速度値

A 氏



B 氏

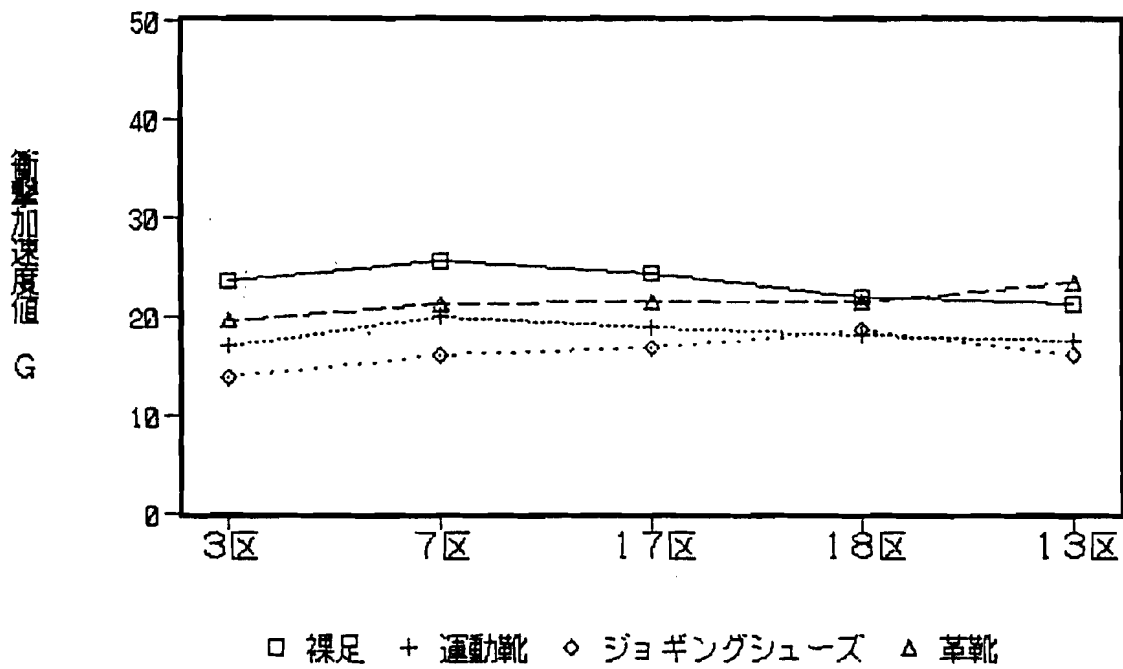
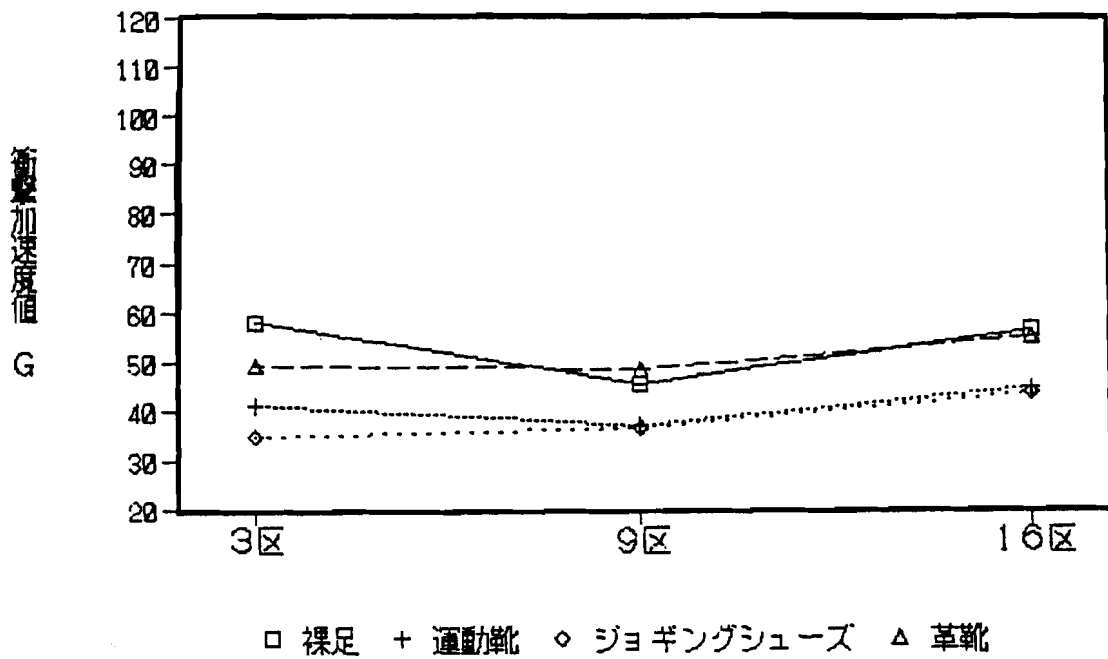


図 2 - 2 6 ゴムチップを用いた 25 mm 人工芝の衝撃加速度値

A 氏



B 氏

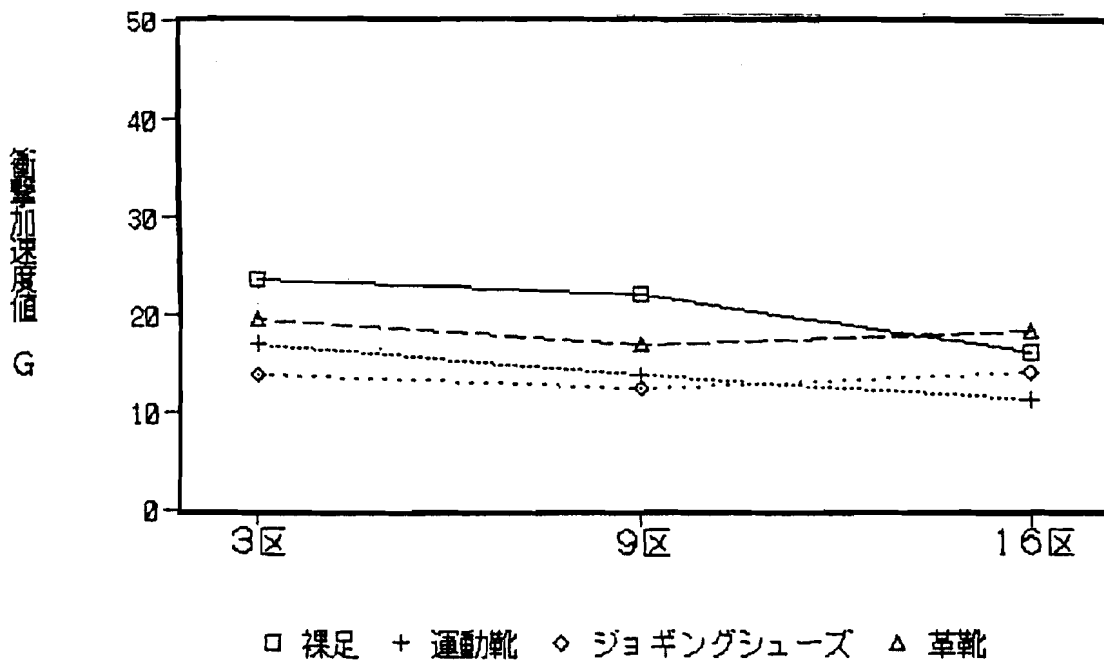
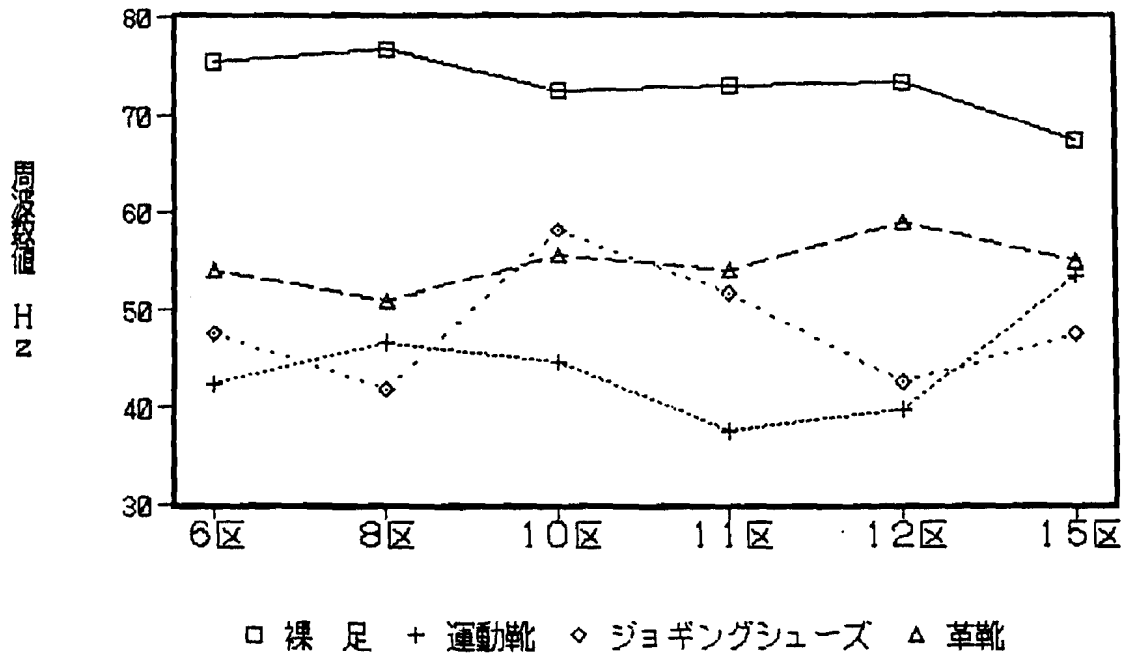


図 2 - 2 7 天然芝に近い性状を示した舗装の衝撃加速度値

A 氏



B 氏

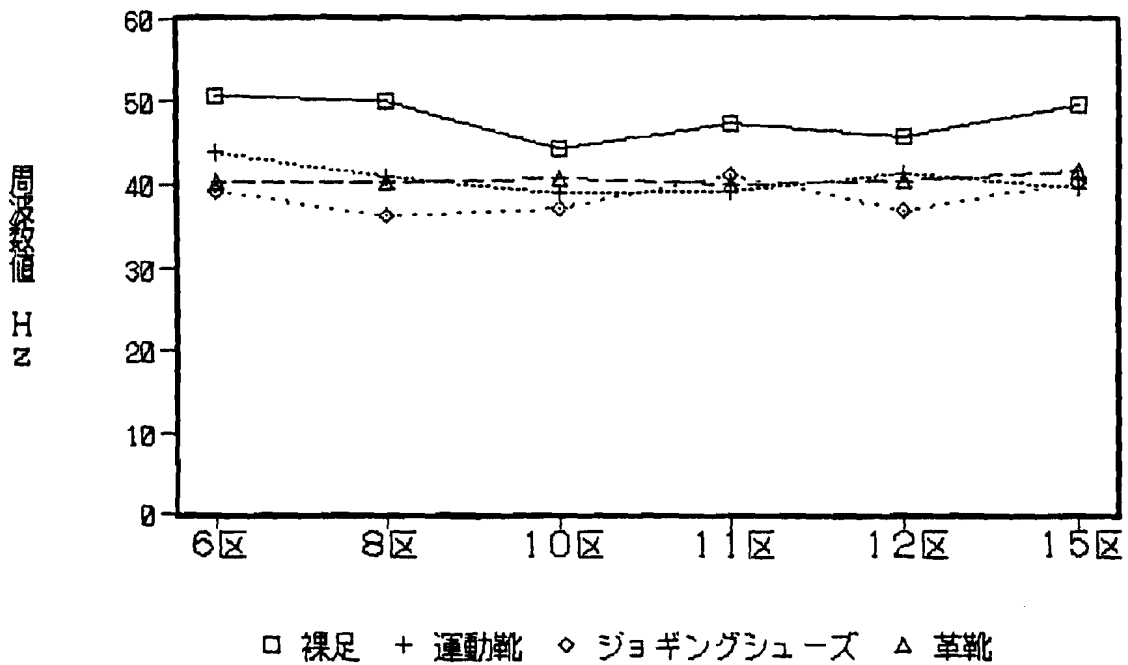
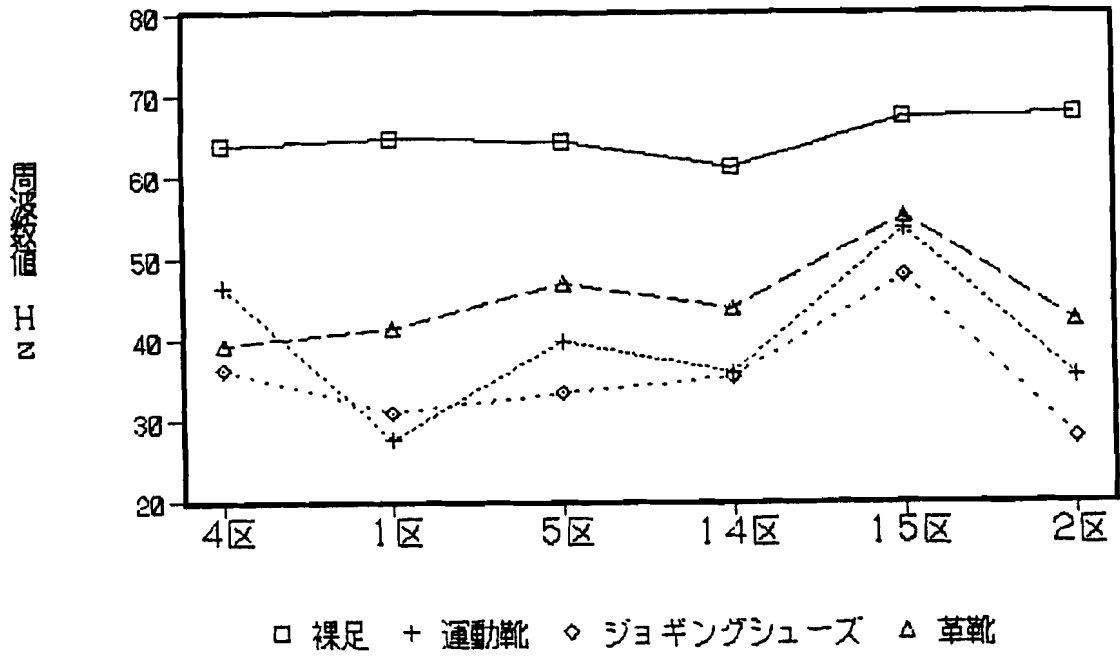


図 2 - 2 8 19 mm 人工芝の周波数値

A 氏



B 氏

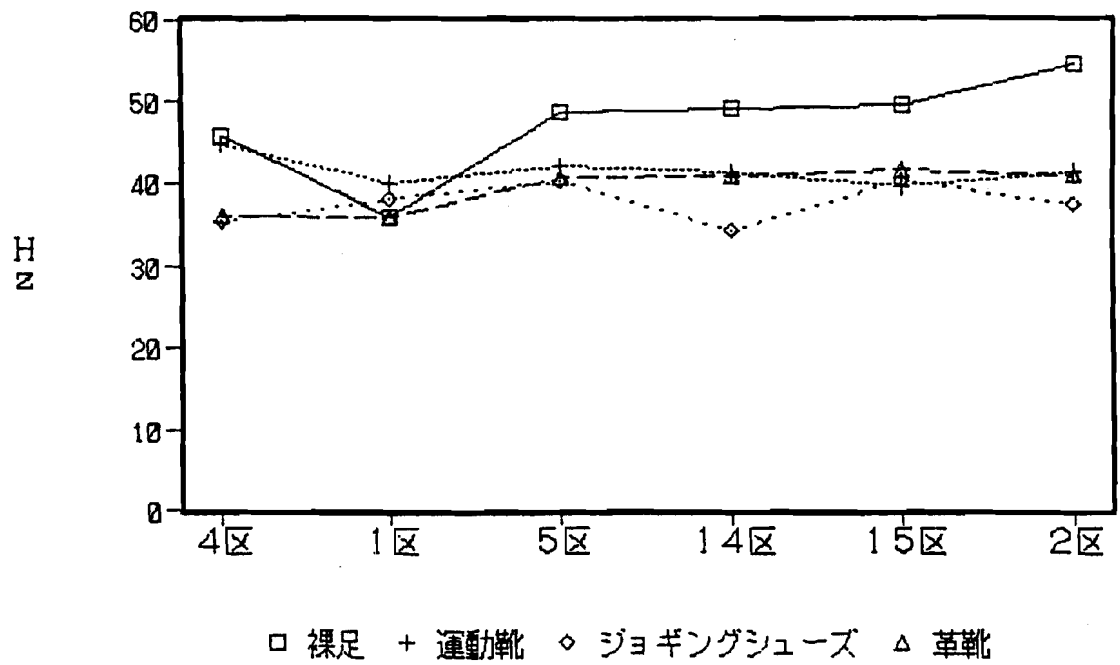
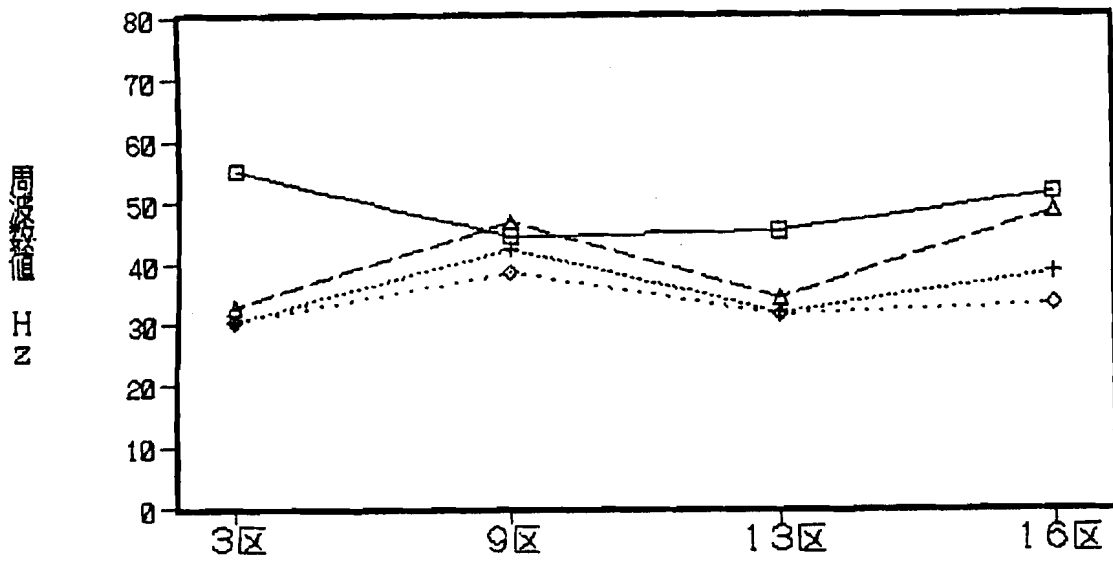


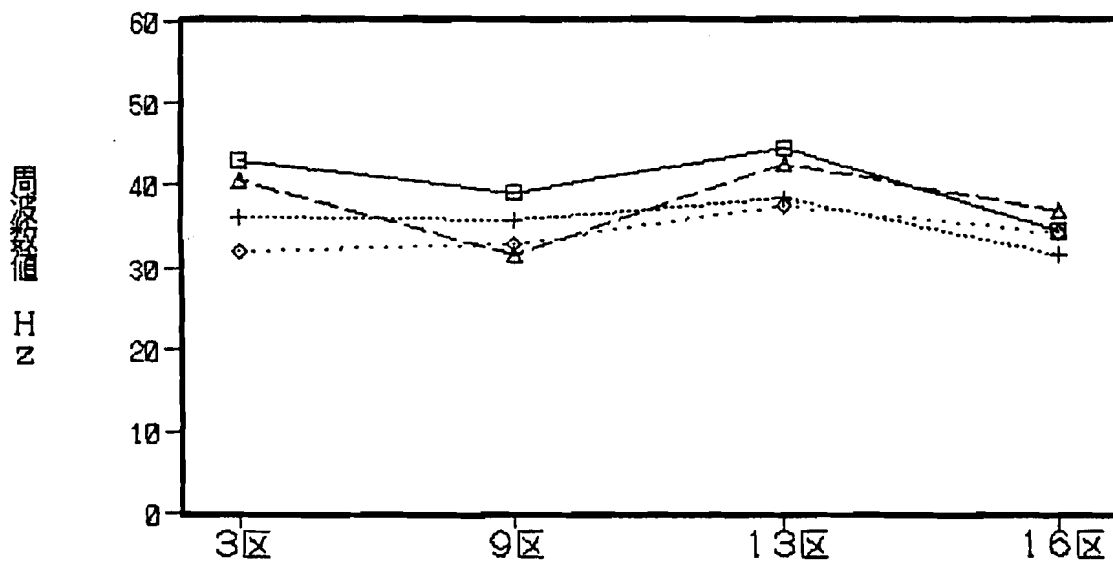
図 2 - 2 9 25mm人工芝の周波数値

A 氏



□ 裸足 + 運動靴 ◇ ジョギングシューズ △ 革靴

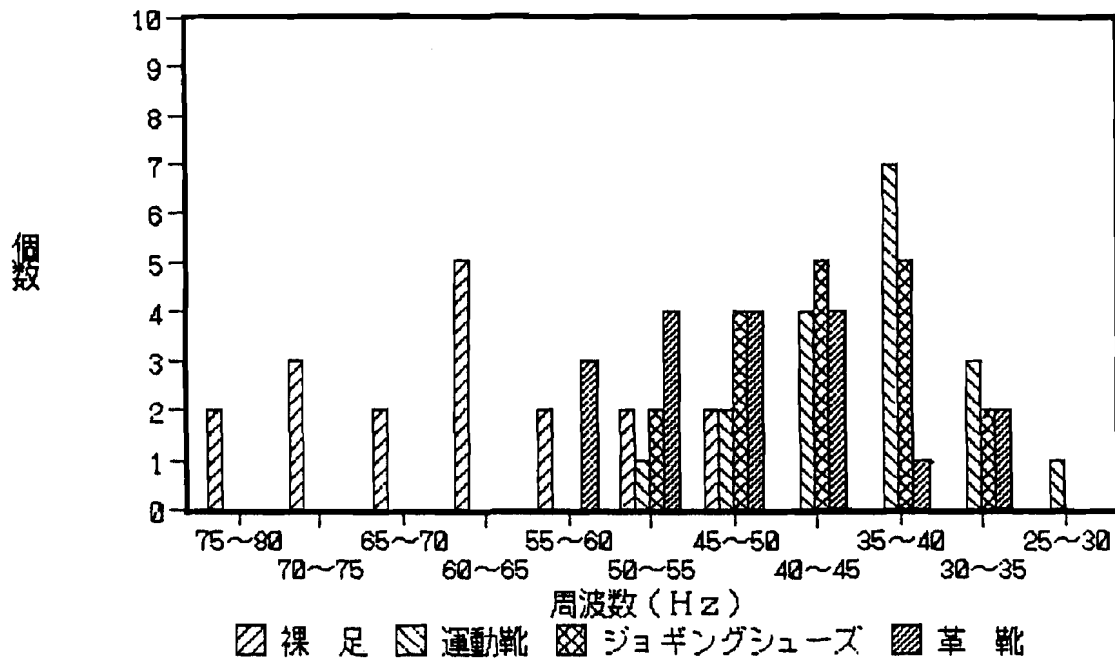
B 氏



□ 裸足 + 運動靴 ◇ ジョギングシューズ △ 革靴

図 2 - 3 0 天然芝に近い性状を示した舗装の周波数値

A 氏



B 氏

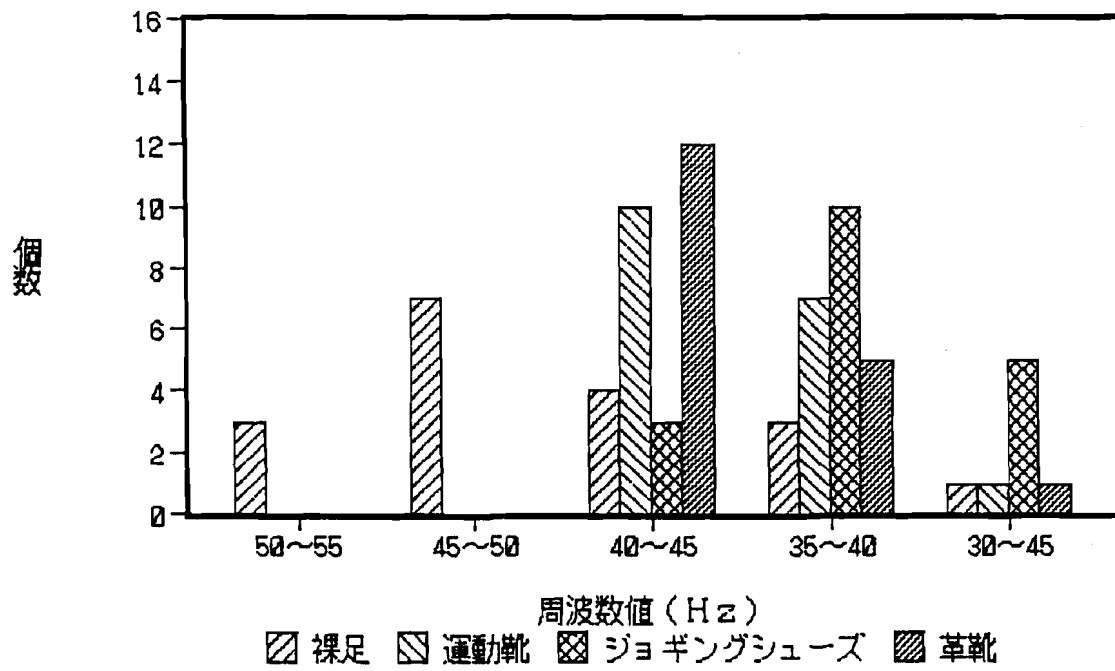
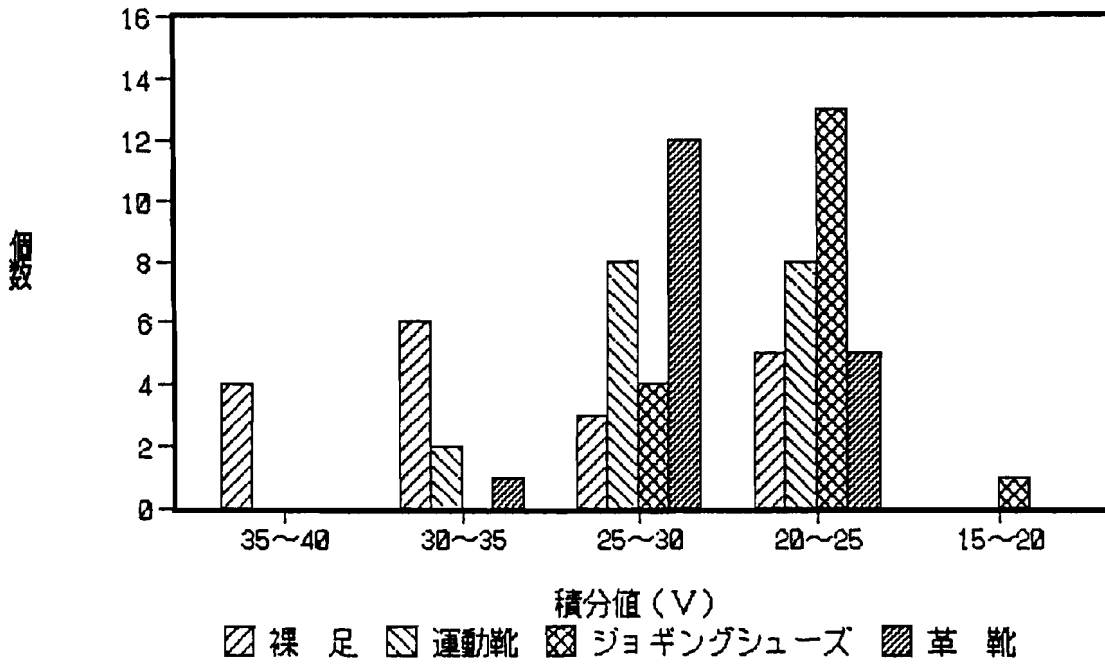


図 2 - 3 1 靴の種類別の周波数分布図

A 氏



B 氏

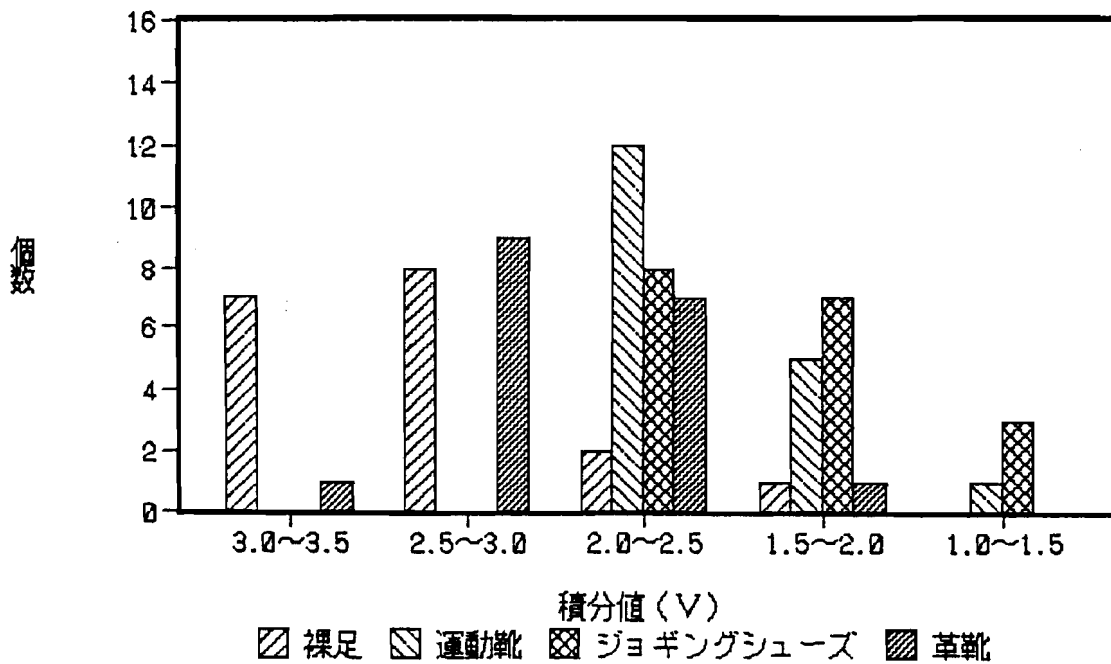
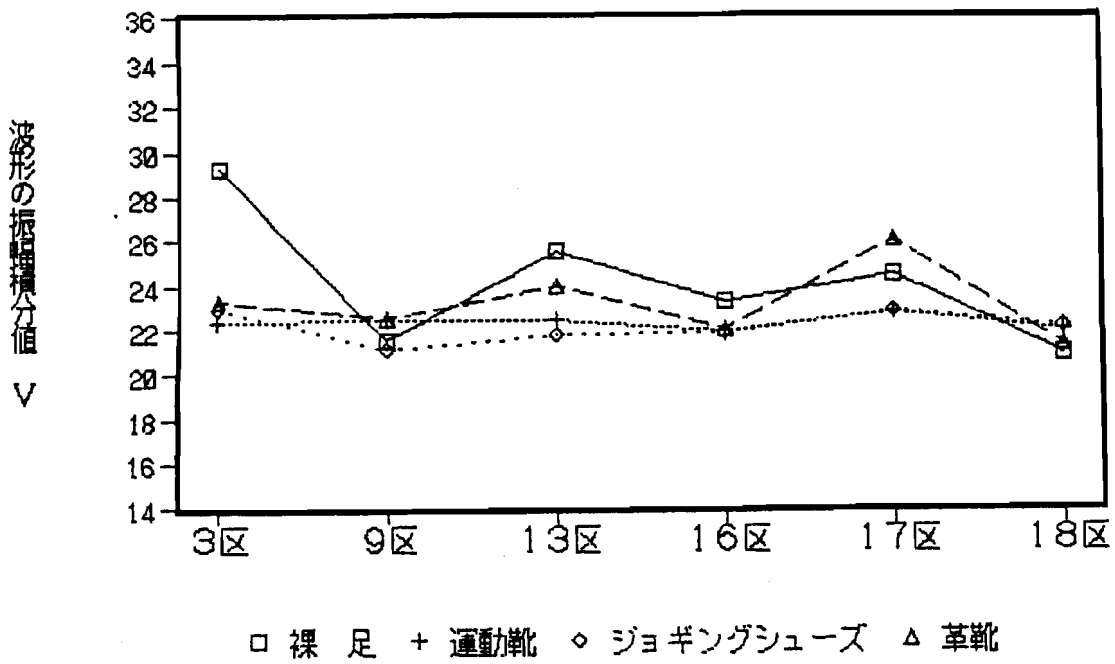


図 2 - 3 2 靴の種類熱の積分値分布図

A 氏



B 氏

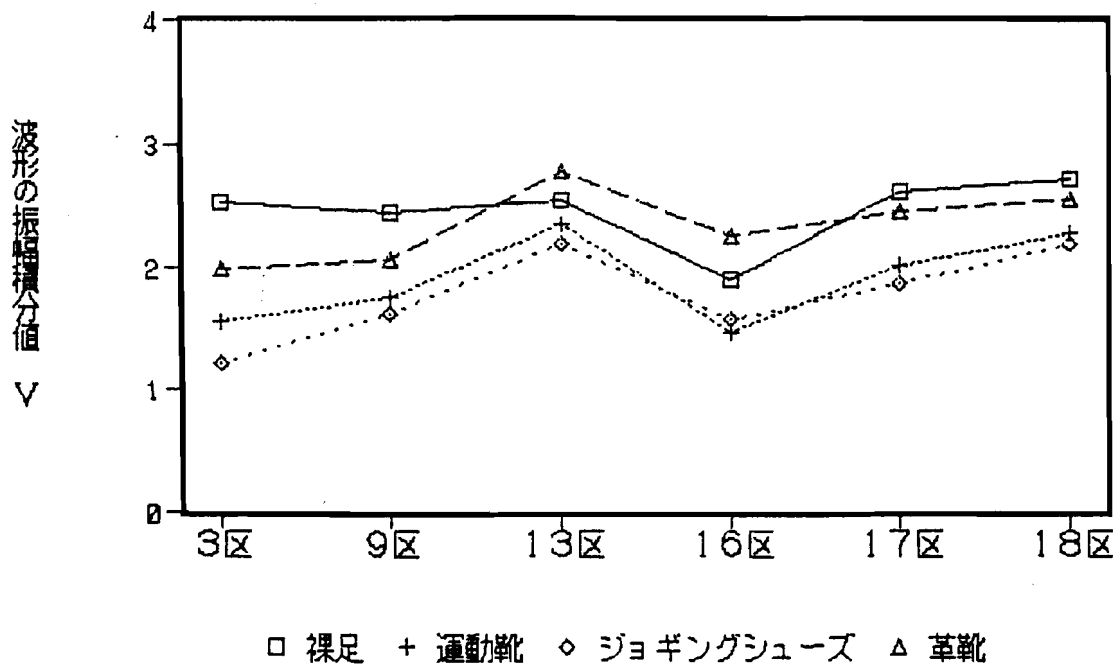


図 2 - 3 3 天然芝に近い性状を示した舗装の振幅積分値

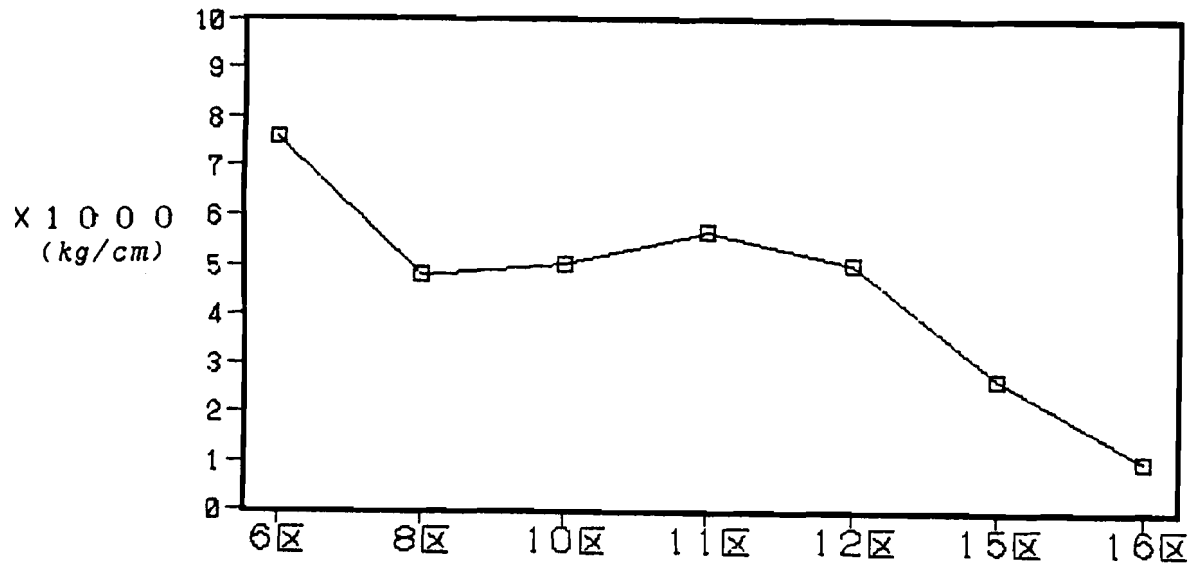


図 2 - 3 4 19 mm 芝のバネ定数の測定結果

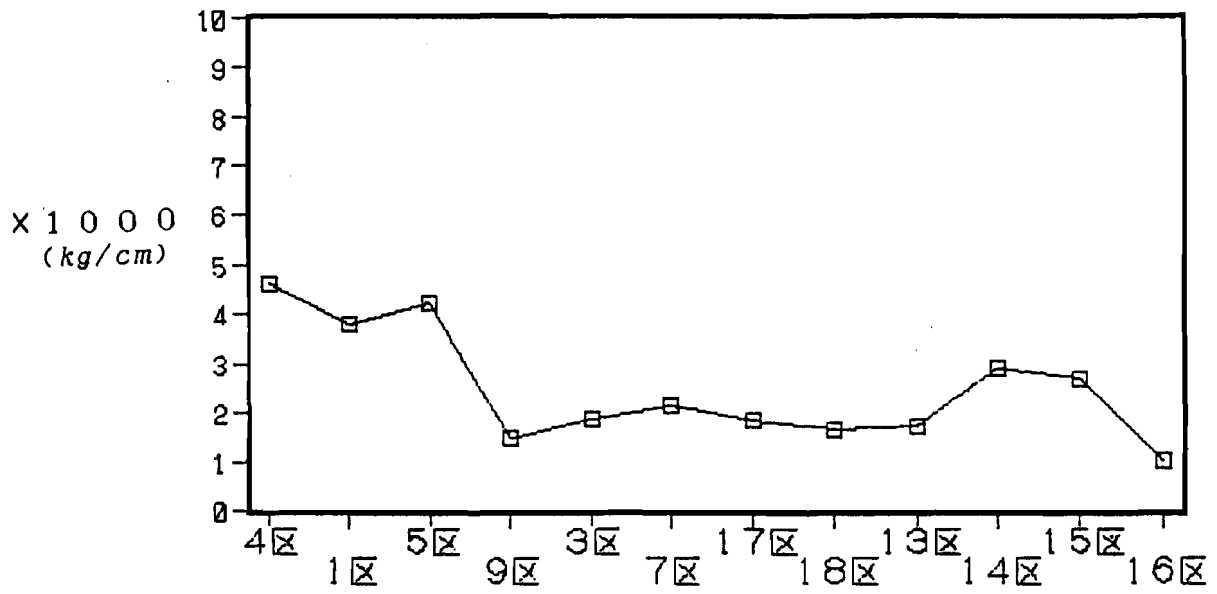


図 2 - 3 5 25 mm 芝のバネ定数の測定結果

うに、天然芝に近い性状を示したのは、発泡ポリエチレンフォーム、50mm人工芝の高分子ネット+ゴムHであった。同様に積分値に靴の種類が影響しなかった舗装は、ゴムチップ+山砂、高分子ネット+ゴムGであった。

(2) バネ定数を用いた弾性測定法について

重錘落下試験によるバネ定数の測定を行った結果を表2-12に示す。密粒度アスコン舗装のバネ定数は、人工芝のバネ定数に比べて極端に大きな値を示した。

表2-12 重錘落下試験の測定結果

舗装の種類			(kgf/cm)
			バネ定数
密粒度アスコン			36000
人工芝19mm		アスコン基礎	7600
人工芝19mm	ハニカム30mm	ソイル基礎	5700
人工芝19mm	ハニカム50mm	アスコン基礎	5000
人工芝19mm	ハニカム50mm	ソイル基礎	5000
人工芝19mm	ハニカム30mm	アスコン基礎	4800
人工芝25mm		アスコン基礎	4600
人工芝25mm	ハニカム50mm	アスコン基礎	4200
人工芝25mm	ハニカム30mm	アスコン基礎	3800
人工芝25mm	メッシュ+山砂	碎石基礎	2900
クレイ			2700
人工芝25mm	ネット+ゴムH	アスコン基礎	2150
人工芝25mm	ネット+ゴムG	アスコン基礎	1900
人工芝25mm	ネット+ゴムG	砂基礎	1850
人工芝25mm	ゴムチップ+山砂	碎石基礎	1750
人工芝50mm	ネット+ゴムH	砂基礎	1650
人工芝25mm	発泡ポリエチ	アスコン基礎	1480
天然芝			1020

これは、表層の性状や弾性が大きく異なる舗装は、バネ定数を用いた物理的試験で弾性を比較測定することは不可能であり、測定結果が体感と大きく異なる事を意味している。しかし、同一種類の材料で検討する場合には、図2-34, 2-35に示すように、生体振動解析法を用いた測定結果と同様の傾向を示し、アスコン基盤やプラスチックハニカムを中間層に用いた舗装では、高いバネ定数となったが、高分子ネット+ゴムや発泡ポリエチレンフォームを中間層に用いた舗装では、天然芝の性状に近い値を示した。従って、条件が近い舗装材料では、バネ定数による舗装の弾性測定は可能で、舗装の弾性の傾向はつかむことができる。

4-5 結論

砂詰め人工芝の衝撃緩和特性を調べる目的で、人工芝の構成材料を変えながら、生体振動解析法を用いて検討を行った。あわせて重錘落下試験によるバネ定数を用いた弾性測定試験を行った。その結果、各種舗装材の衝撃緩和特性について、材料別に検討し次の結果を得た。

(a) 芝の厚さについて、25mmの芝に比べ19mmの芝の衝撃加速度値が大きい結果を得た。また、舗装に当たった時の硬さも19mmの芝の方が硬く、表層材の厚さで緩衝機能が異なる。

(b) プラスチックハニカム材はアスコン基盤に人工芝を直接施工した時と同程度の衝撃加速度値を示し、ハニカム材は緩衝機能を持たない事が分かった。

(c) ゴムチップ系の材料を中間層に用いた場合、いずれの構造でも緩衝機能が大きく、特に高分子ネット+ゴムGの中間層が大きな緩衝機能を示した。また、ゴムは細かいHタイプより粒径が大きいGタイプの方が緩衝機能が大きい。

(d) 砂を用いた基盤について、メッシュエレメントをいれた中間層には緩衝機能がなかった。

(e) 発泡ポリエチレンフォームは緩衝機能が大きく、靴の種類が異なっても衝撃加速度値や周波数値に差がなく、天然芝に一番近い似た性状を示した。

(f) 基盤材料の材質は、中間層を持つ舗装構造では衝撃緩和特性に影響しない。また、直接人工芝を施工した場合、基盤がソイルセメント基盤でも、アスコン基盤を直接用いた舗装構造と同程度の衝撃加速度値となり、直接基盤に人工芝を施

工した場合でも、基盤材料が硬いと衝撃緩和特性は影響しない。

(g) 標準舗装のアスコン舗装について、アスコン舗装は硬いと言う先入観があり、飛び降りる前から人体が緩衝している可能性が高く、アスコン舗装が他の舗装に比べ大きな衝撃を受けるとの結果は得られなかった。また、運動靴やジョギングシューズなどで飛び降りると、靴の緩衝効果と人体の緩衝機能が相乗的に働き、アスコン舗装上の衝撃加速度値は予想よりかなり小さな値を示した。

(h) 天然芝に近い性状を示した舗装構造は、25mm芝で中間層に高分子ネット+ゴムGタイプを用いたものと、25mm芝で中間層に発泡ポリエチレンフォームを用いた舗装であった。

(i) バネ定数による舗装の弾性測定法は、大まかな弾性の傾向はつかめるが、比較的弾性がある構造の舗装では、中間層の微妙な衝撃緩衝機能が比較しにくいし、密粒度アスコンの様な硬い舗装では、バネ定数の数値に大きな差が生じ体感とは異なる数値であることから、表面性状の全く異なる舗装で比較はできない。

第5節 合成樹脂系舗装材の舗装厚さと弾性について

5-1 概説

近年、人のための舗装では様々な種類の舗装材が用いられている。特に、ジョギング道や小学校の校庭などでは、アスコン系の舗装にかわり、弾性がある色彩の鮮やかな合成樹脂系の舗装材が多く使用されている。従来、合成樹脂系の舗装材は運動施設専用に使われてきた。また、一般道路では、ウレタン、アクリル、エポキシなどの樹脂を特殊結合材料として取り扱っており²³⁾、すべり止め用やカラー舗装用、あるいは橋梁などの局所的な補修用として用いられるケースが多く、合成樹脂系の舗装材を歩道用舗装材として取り扱った研究は行われていない。

合成樹脂系舗装の構造は、砕石路盤上に開粒度アスコンなどで基盤をつくり、表層を8mm～20mm程度の厚さに施工する構造が一般的である。そして、表層は、着色したりすべり止め加工したりするが、樹脂の添加量が舗装材の強度や透水性に関係し、表層の厚さが衝撃に影響する。しかし、樹脂の値段が高く、舗装材の衝撃吸収量のデータが無い現状では、経験的な施工条件と樹脂添加量で決定されている。わが国では合成樹脂系舗装材の弾性の研究は、小林²⁴⁾や著者²⁵⁾らの報告があるがその数も少なく、DIN規格²⁶⁾や英国の Center for Sports Technology²⁷⁾のような試験方法の規格化も検討されていない。

表層の厚さは舗装の弾性に関係するが、現在、規格化された弾性の基準がなく筆者は、舗装の弾性を測定する方法として、生体情報をもとに舗装の弾性を解析する生体振動解析法²²⁾を提案してきた。弾性のない舗装に飛び降りた場合、人体は、受ける衝撃を事前に予測して着地直前や直後に体の緩衝機能が働くことで衝撃を吸収している。本節では、この足の筋肉の動きに着目し²⁸⁾、衝撃前後の筋肉の緊張と舗装の弾性の間に何等かの関係があるのではないかと考え、筋肉の緊張を筋電図を用いた解析法²⁹⁾で解析する方法を試みた。

本節では、最近多く使用されている合成樹脂系の舗装材の中から、ゴムチップ舗装や、ゴムチップと砕石を混合した弾性のある舗装材について、生体振動解析

法を用いて舗装の弾性を調べ舗装厚さを検討するとともに、これに併せて衝撃時の筋肉の動きについて解析する。

5 - 2 試験方法

(1) 試験方法の概要

生体振動解析法は、舗装の弾性を人体を通して得られる生体データを用いて解析する方法で、舗装上に垂直に落下した時に人体が受ける衝撃波形を、人体の中でも比較的緩衝作用が少ない足首（前脛骨下端の外果）と膝関節（大腿骨下端の外側顆）で求め、この解析結果から、舗装の弾性を判定しようとする方法である。

また、人体は硬いものの上に飛び降りたり、大きな衝撃を受けることが予想される場合、衝撃を受ける直前あるいは衝撃を受けた直後に、衝撃を緩衝しようとして本能的に筋肉を強く緊張させる。そこで、本実験では舗装着地時の衝撃波形を求める時に、着地前後の足の筋肉の緊張を表面筋電位で求め、筋電波形を解析して舗装の硬さの違いによる筋肉の緊張度や筋肉の使用状況^{29) 30)}を測定する事を試みた。

(2) 測定方法

本実験の被験者は22歳男子（身長175cm、体重75kg）で、ぶら下がりが健康器で20cmの高さから舗装面に10回づつ垂直落下させた。測定に使用した靴は、運動靴、ジョギングシューズ、裸足の3種類で、衝撃波形の測定に使用した加速度計はいずれも圧電素子タイプの小型加速度計で、共振周波数50000Hz、測定加速度0~5000Gのものを用いた。

筋電位の測定は、衝撃を受ける直前に働く筋肉として前脛骨筋、着地後に衝撃を緩衝する筋肉として腓腹筋を選び、ディスプレイ電極（2電極間距離44mm）を用い、小型アンプを通してポータブルカセットレコーダで記録し、A/D変換の後、コンピュータで解析を行った。そして、測定した筋電位を定量化するために、筋電位の発生時間と活動している筋肉の緊張度を比較するために、FFTによる周波数分析を行い活動している中心的な周波数成分を求め、更に筋収縮の仕事量を知るために波形積分による積分値を求めた。³¹⁾

(3) 測定に用いた舗装材料

合成樹脂系の舗装材は色々な種類があるが、比較的安価で最近多く用いられている材料として、ゴムチップにウレタン樹脂を混合して固めた材料がある。この舗装材をベースに表面のトップコート材が異なるものを2種類と、粒径の大きいゴムチップと碎石をアクリルエマルジョンで固めた材料を1種類、また、これらの舗装と比較するために学校の運動場などで使われているクレイ舗装、開粒度アスコン舗装などについて測定を行った。

[舗装材料の種類]

ゴムチップA舗装

3mmアンダーのゴムチップをウレタン樹脂で固めたクッション層と、2液型ウレタンのトップコートからなり、施工厚さ8mmである。

ゴムチップB舗装

3mmアンダーのゴムチップをウレタン樹脂で固めたクッション層と、ウレタンチップが混入したウレタンのトップコートからなり、施工厚さ10mmである。

ゴム碎石混合舗装

8mmアンダーのゴムチップと碎石をアクリルエマルジョンで固めたクッション層と、アクリルとウレタンを混合したトップコートからなり、施工厚さ20mmである。

開粒度アスコン舗装

10cmの碎石路盤上に4cmの開粒度アスコン(13)が施工されている。樹脂系舗装材も、このアスコン舗装上に施工されている。

クレイ舗装

石灰岩ダスト20cmを表層材とした運動場用舗装。

なお、舗装の性状試験結果は、表2-13に示す。

表 2 - 1 3 試験舗装区の性状試験

舗装の種類	現場透水試験 15secに 透水する量 (cc)	滑り抵抗試験 BPN値	
		Wet	Dry
ゴムチップA	1065.2	84	109
ゴムチップB	1228.6	74	109
ゴム碎石混合	1375.4	75	103
開粒度アスコン	1223.1	86	98

5 - 3 結果および考察

(1) 人体の受ける衝撃について

生体振動解析法を用いた測定結果を図 2 - 3 6 に示す。衝撃加速度値は、いずれの舗装も弾性があるので、靴の影響が大きく、特に衝撃吸収性が良いジョギングシューズでは、アスコン舗装以外の舗装は判定できなかった。また、裸足では人体の緩衝機能が働き、ゴムチップ系舗装とクレイ舗装が近い値を示し、ゴム碎石混合舗装はアスコン舗装と同程度の値を示した。運動靴は、ゴム碎石混合舗装やアスコン舗装では大きな衝撃値を示していた。次に、舗装に当たった時の硬さを表す周波数値の結果を図 2 - 3 7 に示す。運動靴では、ゴムチップ系に比べてクレイ舗装やゴム碎石舗装が高い周波数値を示した。これは、ゴムチップ系の舗装は表面がすぐ変形する柔らかさであるが、クレイ舗装やゴム碎石舗装は変形せず、表面が硬いと舗装全体に衝撃吸収性があっても、硬く感じる事を示していた。また、ジョギングシューズでは周波数値に差がなく、靴の衝撃吸収性が結果に表れている。次に、積分値をみると、図 2 - 3 8 に示すようにゴムチップ系の舗装はクレイ舗装やゴム碎石混合舗装にくらべ応答特性が小さい結果を得た。これは、ゴムチップ系の舗装の表層が衝撃を吸収していることを示している。開粒度アス

コンは、クレイ舗装やゴム碎石舗装より少し大きい程度の衝撃加速度となったが、アスコン舗装に弾性はないので人体による緩衝の結果がデータに表れていると考えられる。

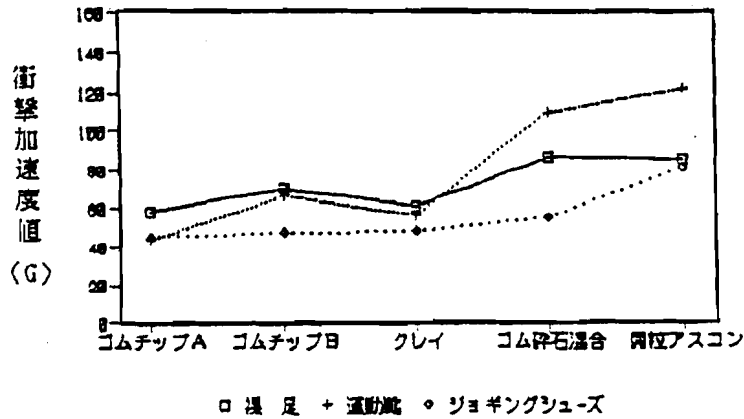


図 2 - 3 6 衝撃加速度値

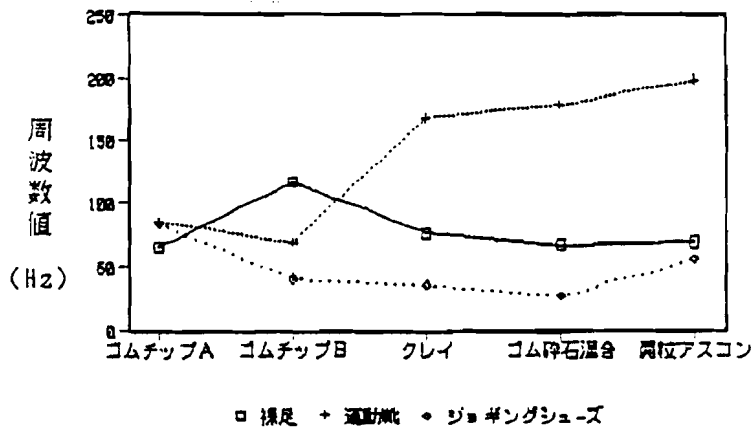


図 2 - 3 7 周波数値

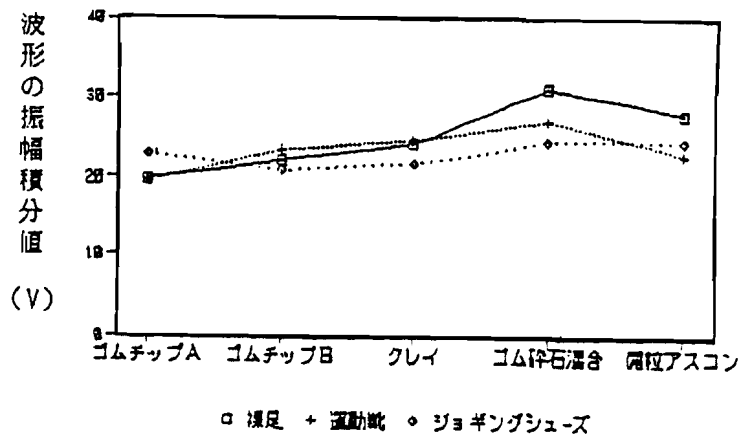


図 2 - 3 8 積分値

(2) 衝撃波形と筋電図について

衝撃落下時の筋電図の発生状況を図2-39, 2-40に示す。落下時に発生した筋電位と足首・膝の衝撃波形を解析してみると、舗装に足が着く直前に前脛骨筋の筋肉が筋収縮を行い、直後に足首が衝撃を受ける。次に膝が衝撃を受け、その後腓腹筋が衝撃を緩衝しようとして筋収縮を行う。そこで、前脛骨筋は落下する直前に筋収縮が起きるため、舗装の硬さのイメージで緊張の度合いが異なるものと予想され、腓腹筋は衝撃を受けた直後に筋収縮が働くことから、受けた衝撃を緩衝したり、舗装が軟らかすぎる場合には姿勢を安定させる為に強く働くと考えられる。そこで、前脛骨筋の筋電発生時間の測定結果を図2-44に示す。

ゴムチップ系舗装とクレイ舗装は筋電発生時間に差が少ないが、ゴム碎石混合舗装やアスコン舗装は時間が長く硬いと筋肉を使用する時間が長い。靴の種類により筋電発生時間に差を生じていた。しかし、筋肉の緊張を周波数値で見ると、図2-43に示すように、ゴム碎石混合舗装やクレイ舗装ではゴムチップ系の舗装材よりも周波数値が低く、筋肉の緊張度が低いことが判る。また筋肉の仕事量を表す波形積分値を図2-46に示す。積分値は筋収縮時間に関係するが、舗装材や靴の種類別では一定の傾向を示さなかった。以上から前脛骨筋の収縮では、落下する直前の筋肉の緊張度を求め舗装の弾性を判定することは難しい。

次に、落下直後に働く腓腹筋を見ると、図2-41, 2-42に示すように、筋電発生時間はゴムチップB舗装とゴム碎石混合舗装は短く、筋肉の緊張度は、小さい。また、ジョギングシューズでは靴底の緩衝機能が大きいせいか、裸足によりも筋肉の緊張度が小さかった。積分値は図2-43に示す通りに、ゴムチップB舗装とクレイ舗装、ゴム碎石混合舗装では小さく、衝撃直後の筋収縮量が少ないことを示していた。以上の結果から腓腹筋のを解析することで、舗装材の弾性の傾向はつかめるが、現在技術的に未熟なところもあり、多くの測定事例が必要と思われる。

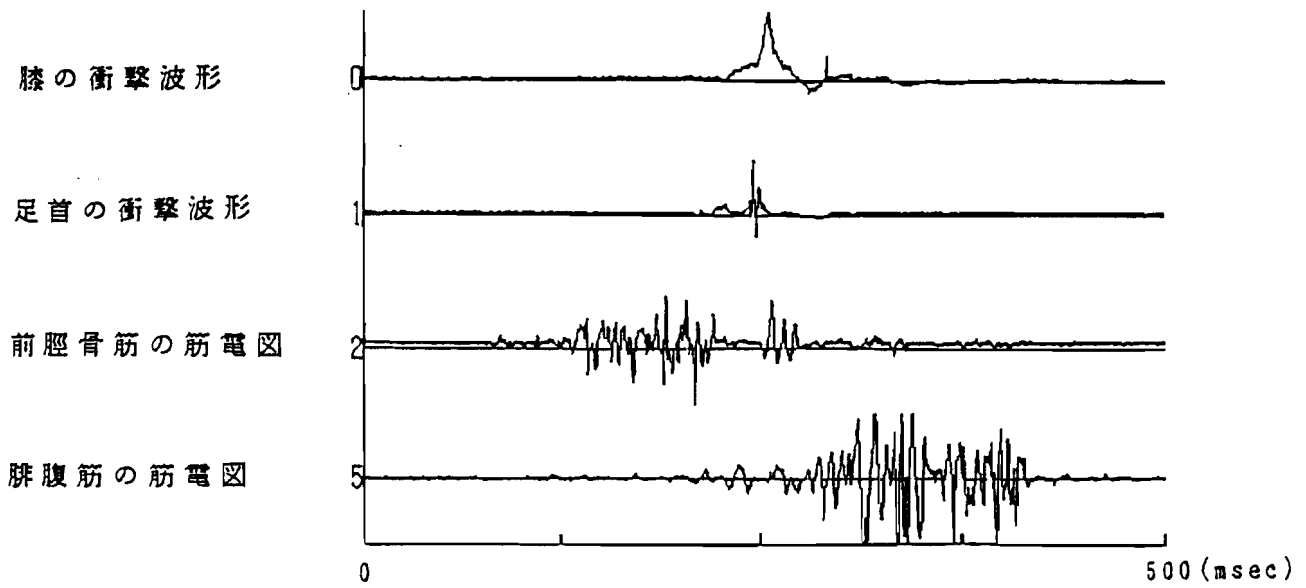


図 2 - 3 9 アスコン舗装に運動靴で落下したときの衝撃波形と筋電図
 (足首と膝の表示レンジは異なっている)

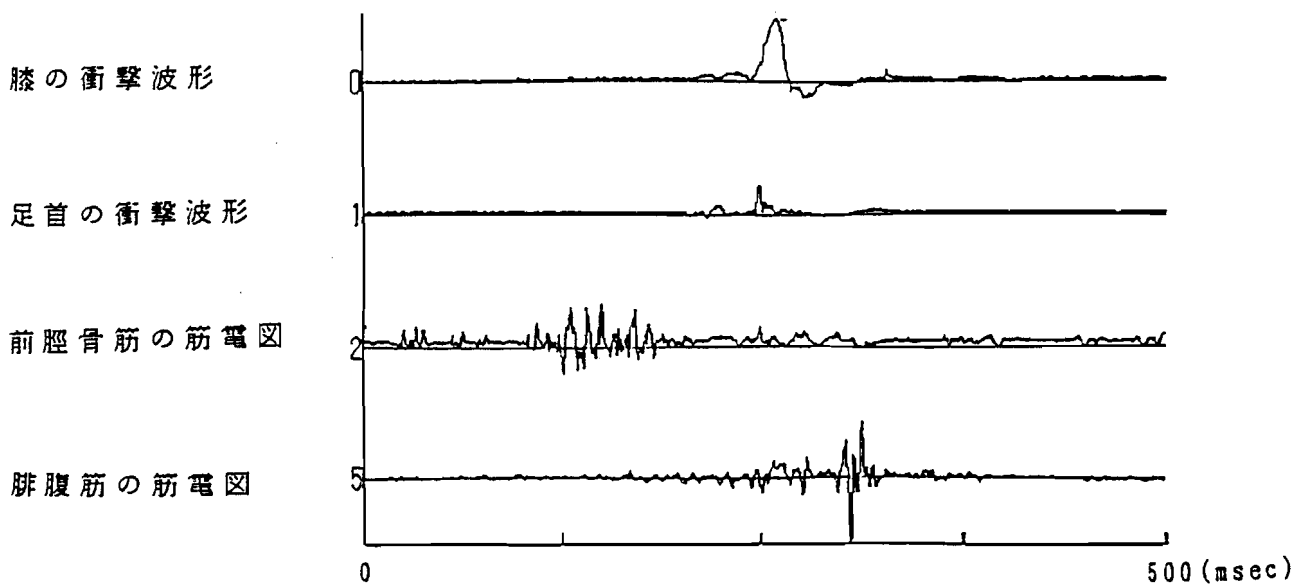


図 2 - 4 0 ゴムチップ A に運動靴で落下したときの衝撃波形と筋電図
 (足首と膝の表示レンジは異なっている)

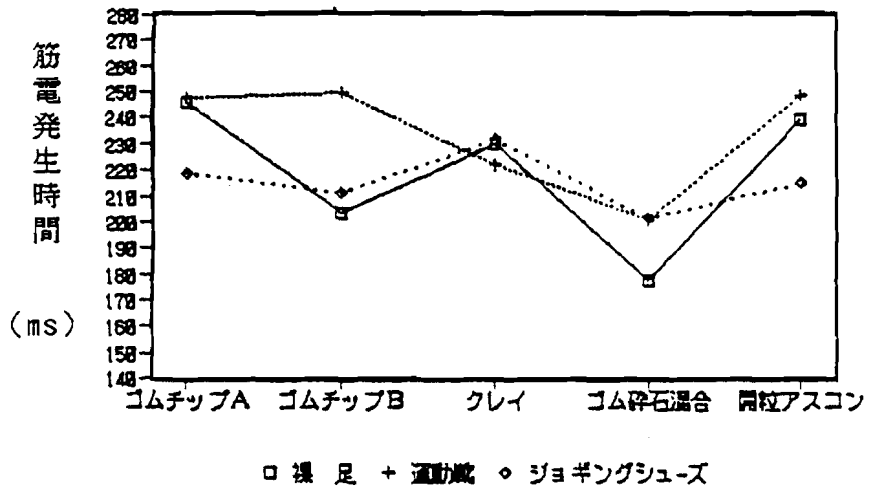


図 2 - 4 1 腓腹筋の筋電発生時間

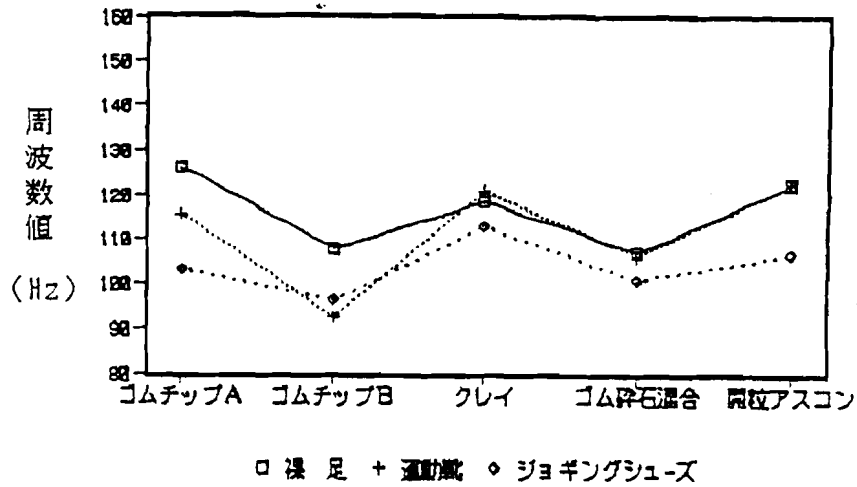


図 2 - 4 2 腓腹筋のメジアン周波数値

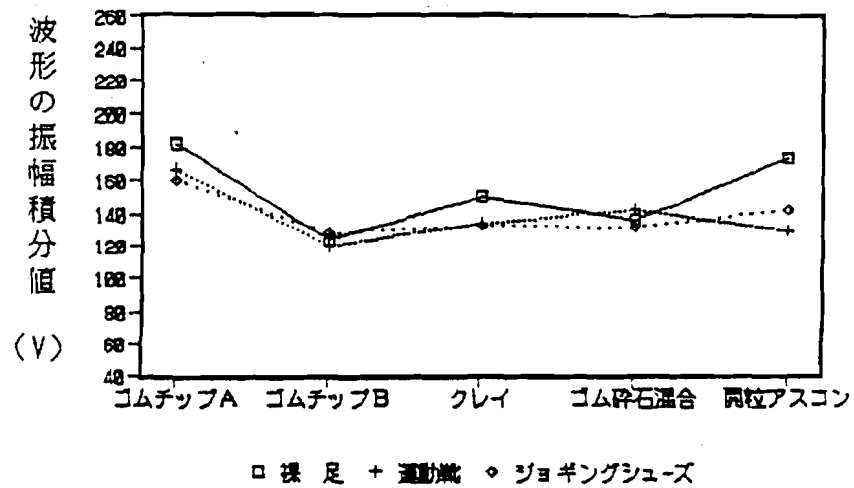


図 2 - 4 3 腓腹筋の波形積分値

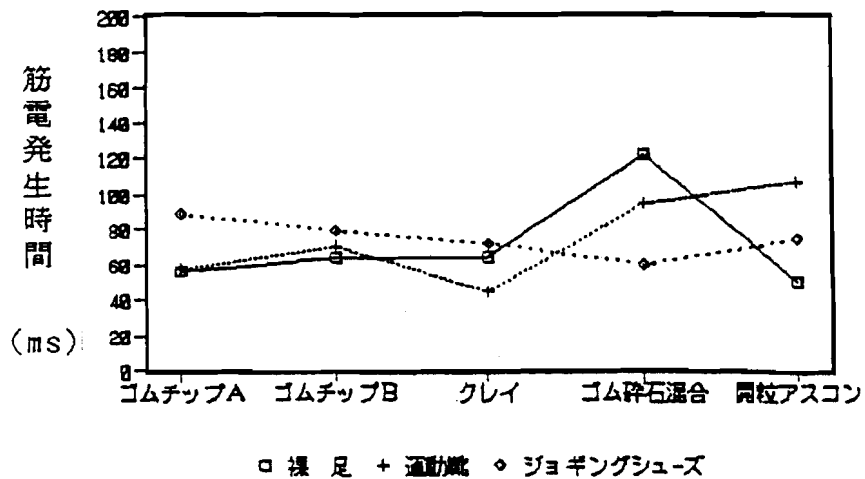


図 2 - 4 4 前脛骨筋の筋電発生時間

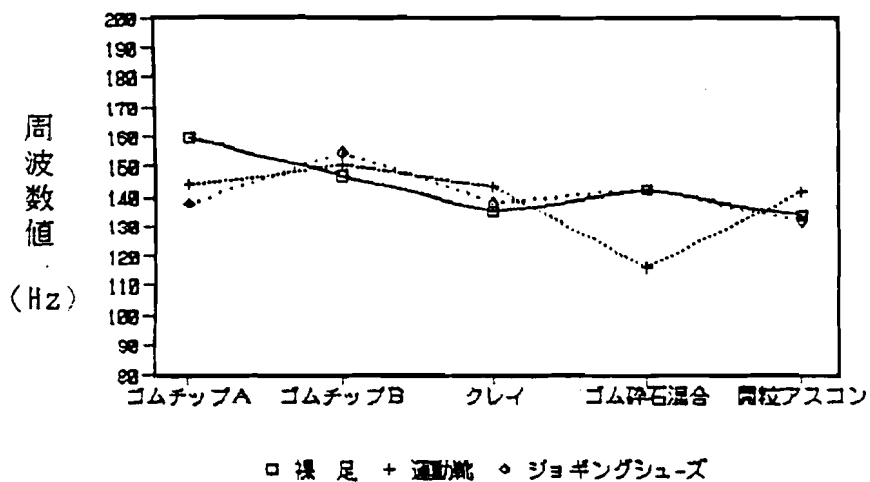


図 2 - 4 5 前脛骨筋のメジアン周波数値

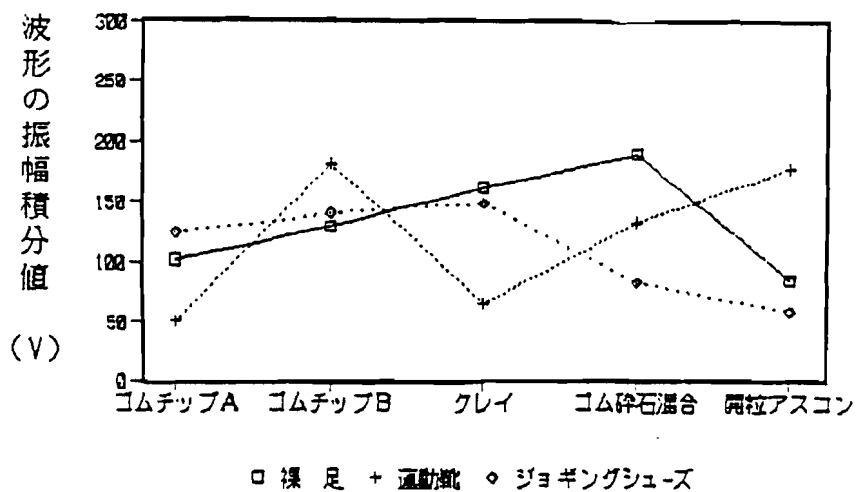


図 2 - 4 6 前脛骨筋の波形積分値

5 - 4 結 論

合成樹脂系の舗装材の弾性を生体振動解析法で測定した。また、アスコン舗装など硬くて弾性がない舗装材は、測定結果が人体の緩衝作用に強く影響される事から、衝撃を受ける前後の筋肉の活動を知る目的で、前脛骨筋と腓腹筋について表面筋電図を求め解析を試みた。結果は次の通りである。

(1) ゴムチップ系舗装材は表層の弾性が大きく、本実験では現在施工されている厚さ程度の厚さで弾性の機能を維持できる。またゴムチップ系の2舗装を比較すると、機能的には殆ど同じであるが、表層にウレタンチップを用いたゴムチップB舗装は、舗装の変形量も大きく、ゴムチップA舗装に比べて表層材料厚い分だけ安定しているので、測定結果にばらつきが少ない。

(2) ゴム碎石混合舗装は、粒形の大きいゴムチップと碎石が影響し、表層が硬く弾性をあまり感じない舗装材ではあるが、舗装全体の衝撃吸収特性はクレイ舗装と似た結果をしめした。

(3) アスコン舗装は、弾性の大きい舗装と比較しても特に硬い舗装であるとの結果が得られず、測定結果にかなり人体の緩衝作用が働いていた。

(4) 衝撃について筋電位を用いた解析を試みた。その結果、落下直前に働く前脛骨筋は、ゴム碎石混合舗装やクレイ舗装では、筋肉の緊張度が低い結果を得たが、筋収縮の仕事量を見ると、舗装材の種類との間に関係が認められなかった。しかし、落下直後に働く腓腹筋では、筋電発生時間、周波数値、波形積分値の間に一定の傾向が認められ、ゴムチップB舗装とゴム碎石混合舗装は、衝撃直後の筋肉緊張度も小さく筋肉の使用量も少ない結果を得た。

第 6 節 結 論

舗装材の弾性測定について、現在いろいろな測定法が行われているが、人体の体感と異なる測定結果が得られるなどの問題があり、新しい測定法の開発が望まれている。従来から行われてきた試験法は、人体の持つ衝撃緩衝作用や使用する靴の特性などが測定結果に反映されず、歩道舗装の弾性測定法としては十分な試験方法でなかった。また、運動分野等で使用されている生体的な測定法は、運動時の人体が受ける衝撃を測定するだけで、これを基に舗装の弾性を解析するにはむずかしい面があった。そこで、人体が受ける衝撃を舗装材の特性や使用する靴の条件を考慮して測定する方法として、生体振動解析法を開発した。その内容は、人体の緩衝作用が少ない足首から求めた振動波形から、人体が受ける衝撃加速度値、舗装に当たった時の硬さ、舗装の変形応答特性等を調べ、舗装の衝撃吸収特性を検討する方法で、各種舗装材を用いて測定を行ない良好な結果を得た。

この、生体振動解析法を用いて、最近運動施設などで使われている砂詰め人工芝について、人工芝の衝撃緩和特性を調べ、天然芝に感触に近い人工芝の舗装構造を検討すると共に、人工芝の中間層に用いる舗装材料について、その緩衝特性の検討を行った。また、最近小学校の校庭などに多く用いられている合成樹脂系の舗装材について、舗装材の舗装厚さについて解析を行った。このとき、弾性の大きい合成樹脂系の舗装材では、測定結果に差が出にくいことから、生体振動解析法にあわせ、足の筋肉の緊張をの程度を調べるために筋電図を用いた解析法を試みた。その結果、着地後の筋肉の収縮は舗装材の弾性結果に関係することが判明した。

このように、舗装の弾性を人体が受けた衝撃振動から直接測定、解析する生体振動解析法は、今後、人の為の舗装材が多様化するなかで、舗装材料と人との関わりを測定する為の重要な方法であると考えられる。



写真 2 - 7 重錘落下試験の測定状況



写真 2 - 8 加速度計の取り付け位置と筋電図測定状況



写真 2 - 9 ボール落下による反発係数試験



写真 2 - 10 B P S T を用いたすべり抵抗測定試験

参考文献

- 1) 金井 格、梅沢篤之介、岸塚正昭、小林 章、鈴木 敏、牧 恒雄 :
人のための道と広場の舗装：技報堂出版 PP119～128 1897.5
- 2) (財)日本体育協会：大衆ランナーの整形外科的研究：昭和54年度日本体育協会スポーツ科学研究報告：1979
- 3) 小林一敏：スポーツにおける身体の衝撃：日本機械学会誌 Vol 90-828,
PP65～70 ,1987.11
- 4) 小野英哲、三上貴正、渡辺博司：安全性からみた学校体育館床のかたさに関する研究：日本建築学会論文報告集 Vol 321 ,PP9～16, 1982.11
- 5) 前田 博：都市公園における施設の安全性に関する検討—ジョギングのための舗装材に関する研究—：新都市 Vol 43,PP45～52, 1989.10
- 6) 佐鳥悦久、鈴木敏：弾性歩道舗装についての提言：第15回日本道路会議論文集：PP405～406,1983
- 7) (財)日本体育施設協会：屋外体育施設の建設指針-各種スポーツ施設の設計・施工-, PP172-173 ,1987.
- 8) 牧恒雄、壁谷紀郎、金井利浩：舗装の弾力性に関する研究：土木学会44回
年次学術講演会講演概要集第5部, PP64～65,1989.10
- 9) R.P.BROWN : SPECIFICATIONS AND TESTS FOR ARTIFICIAL SPORTS SURFACES:
Polymer Testing 3 ,PP85-98, 1982
- 10) DIN 18035 Teil 6:Sportplatze Kunststoff-Flachen Anforderungen,
Prufung,Pflege: 1978.4
- 11) 増田 稔：木質床の衝撃特性に関する研究：第33回日本木材学会大会研究
発表要旨集、PP84 , 1983.4
- 12) 小野英哲、三上貴正：屋外スポーツサーフェイスのかたさ測定装置の設計・
試作—屋外スポーツサーフェイスのかたさの評価方法に関する研究(第1報)
：日本建築学会構造系論文報告集 第369号：PP1～8,1986.
- 13) 小林一敏・菅原秀二：身体に与える合成樹脂系舗装材の力学的特性：順天堂
大学保健体育紀要：Vol 18 , PP24-35 ,1975

- 14) Der Schbearbeiter Kolitzus, Der Abteilungsleiter Henke:
Forschungsauftrag Sportplatzbeläge : OTTO-GRAF-INSTITUT : 1971.1
- 15) 福田萬大、佐藤育正、西村尚志: 各種ジョギング道路の路面評価結果: 第1
8回日本道路会議論文集: PP632-633, 1989.10
- 16) 三上直樹: デジタル信号処理入門: CQ出版社, PP96-104, 1989
- 17) 臼井支朗、伊藤宏司、三田勝巳: 生体信号処理の基礎: オーム社 PP36-39
1985
- 18) 井上健: 脳波のパワースペクトル(V) - 脳波のパワースペクトルの推定方
法 - : 臨床脳波 Vol.30 No.10 PP684-688 1988.10
- 19) 芝祐順編: 統計用語辞典: 新曜社 PP170-171, 1984
- 20) Basmajian, J.V.: Muscle Alive: Willams and Wilkins Co. Baltimore, PP94
-100 1974
- 21) 財団法人 日本体育施設協会編 : 屋外体育施設の建設指針、各種スポーツ
施設の設計・施工, pp202~207, 1987.10
- 22) 牧 恒雄 : 歩道舗装材の弾性測定法に関する研究 - 生体振動解析法につ
いて -, 土木学会論文集第426号/V-14, PP141~150, 1991.2
- 23) 日本道路協会編: アスファルト舗装要綱
- 24) 小林一敏、菅原秀二: 身体に与える合成樹脂系舗装材の力学特性, 順天堂大
学保険体育紀要, Vol.18 pp24~35 1975
- 25) 牧恒雄、高橋英一、後藤秀夫: ひじき状ゴムチップウレタン舗装材の性質に
ついて, 土木学会第44回年次学術講演会講演概要集 5部 pp138~139
1989
- 26) DIN 18035 Teil 6: Sportplätze Kunststoff-Flächen Anforderungen,
Prüfung, Pflege 1978.4
- 27) G. Tipp, V. Watson : SPIKETOP (porous) synthetic sports surfacing
(Universal), Centre for Sports Technology Laboratory Report 60805,
1987
- 28) 小野三嗣: あし いま、身体について考える: 風濤社 pp41~46、1975

- 29) 牧恒雄、藤原孝之、高橋英一：舗装材料が人体に与える影響についての研究
－筋電計を用いた解析手法の検討について－、土木学会第44回年次学術講演
会講演概要集 5部 pp72～73 1989
- 30) 岡本勉、澤田敏、堤博美、吉澤正尹、後藤幸広、風井 恭、岡秀郎、根本芳
男：シューズを検討するための歩行・走行・跳躍時における足関節運動のX
線映画、動作筋電図的研究, デサントスポーツ科学 Vol.5 pp78～89
1984
- 31) 鮫島宗弘：表面筋電図のスペクトル解析、臨床脳波 Vol.115 No.6
pp357～383 1973

第 3 章 弾性舗装材の開発について

第 1 節 序論

1-1 概説

歩道舗装材として現在用いられている材料は、アスコン系、コンクリート系、タイル系、高分子材料系、天然石、木材系などで、その他公園の園地や散策路等を入れると、砂利や碎石などの土石材料系も含まれる¹⁾。これらの舗装材料は、ほとんど表面が硬い材料で出来ており、比較的舗装に弾性があるのは、土石系のクレイ舗装や高分子系の舗装に一部見られるだけである。

現在作られている児童公園などではクレイ舗装が多く、時には碎石系の石灰ダストなどを使って維持管理の容易な舗装を行っている所が見受けられる。しかし、ヨーロッパなどでは、児童公園や児童遊園地に弾性のあるシート系の舗装材や、ゴムマットなどの舗装材が用いられ²⁾、安全に対する配慮が見受けられる。しかし日本では、遊具の下に安全を考慮して弾性のある舗装を施工したり、老人ホームなどで、散策路などに安全を考えた舗装を行うなど、人を中心に考えた舗装の開発と適用は非常に遅れている。

1-2 研究の目的と範囲

わが国で近年弾性舗装材の研究が盛んになってきた理由には、舗装の多様化に対応するだけでなく、舗装材の高級化や色彩のニーズが多いことが原因で、ゴルフ場の歩径路に多く利用されるなど、純粹に人の安全や健康を考えての材料開発ではない。しかし、最近では都会の小中学校などで、コンクリートやアスコン舗装された校庭が、弾性のある舗装材に変わって行きつつある様子を見ると、安価で施工性の容易な弾性舗装材の開発が急務と考える。本章では、弾性舗装材として比較的利用しやすいゴムチップに注目し、舗装材としての物理特性、歩径路としての特性、運動用舗装材としてテニスコートに利用した場合の特性について研究したものである。

第 2 節 ゴムチップ舗装材の物性について

2 - 1 概説

弾性舗装の中で比較的多く用いられているのが、粒状ゴムを用いた舗装である。その構造はポリウレタン系の樹脂上にゴムをまいて転圧し一体化したものや、粒状ゴムとウレタン樹脂を混合して転圧したものなどがある。しかし、最近では粒状ゴム以外に、再生タイヤ製造時に出る糸状のタイヤ切削かすの利用が求められ、資源再利用の立場からも、これらのゴムを用いた舗装材の開発が望まれている。

糸状の切削かす（今後ひじき状ゴムと呼ぶ）は粒状のゴムに比べ、その形状を考えると、樹脂の混合量などでその性質が異なって来るものと思われる。そこで、第 2 節ではゴムチップと一液性のウレタン樹脂を現場混合して施工するタイプの弾性舗装材を取り上げ、ゴムの形状や材質あるいはそれに使われる樹脂の配合などが、舗装材に与える影響について実験的に検討した。

2 - 2 試験方法

a) 試験材料

使用したゴムチップは、表 - 1 に示す粒状ゴムチップと、ひじき状ゴムチップの 2 種類である。樹脂は、一液タイプのウレタン樹脂を用い、樹脂混合量（ゴムチップに対する重量比）を 20%、25%、30%、35% の 4 種類に変化させ、現場と同じ施工方法で 1 m² 程度の舗装を行い、これを加工して試験用供試体を作成した。また、実際に舗装材として使用する場合、必ず表層を着色することから、供試体にも表 3 - 2 に示す塗料を用いて塗装した。

b) 物理特性試験

ゴムチップ舗装材用の物理試験は、規格化された試験方法がないので、加硫ゴム物理試験法（JIS-K-6301）に準じて試験を行なった。測定項目は、密度、引張強さ、伸び、反発弾性、透水係数、滑り抵抗、圧縮永久歪、耐候性である。なお引張試験と伸びの測定はダンベル幅 15 mm、クロスヘッドスピード 300 mm / min で行い、圧縮永久歪は温度が 20℃、45℃、70℃ の 3 種類について、

25%圧縮を22時間継続した後に測定を行った。また耐候性試験については、UV照射60℃で8時間、結露50℃で4時間のサイクルで1000時間行った。滑り抵抗は、英国式ポータブル・スキッドレジスタンス・テスター（BPST）を用いた。

使用したゴムチップの緒元は表3-1に示す。

表3-1 ゴムチップの諸元

種類	材質	寸法
ひじき状ゴム 粒状ゴム	タイヤトレッドゴム EPDM（加硫ゴム）	長さ 4mm～15mm 径 1mm～4mm

表3-2 ゴムチップ舗装材の表面塗装材料

塗装の色	材質（アクリル系）
緑色 赤色	酸化クロームグリーン 酸化鉄レッド

2-3 結果および考察

物理特性の試験結果は、表3-3に示す。ゴムチップ舗装は樹脂混合量が多くなると、密度が大きくなり引張強さが強くなる傾向を示した。また、ひじき状ゴムチップは粒状ゴムチップと比較すると、密度は小さいが引張強さは逆に大きくなっていった。これは、樹脂接着面積が粒状ゴムチップに比べて大きいことがその

原因と考えられる。また、粒状ゴムチップに比べ1.7～1.8倍の伸びを示し、反発弾性値も大きいことから弾力性にすぐれた舗装材であった。透水係数はいずれも 1×10^{-1} (cm/sec)程度で透水性に優れていた。滑り抵抗値の差はほとんどなかった。圧縮永久歪は、20℃、45℃の時は粒状ゴムチップが大きな値を示し、70℃の時はひじき状ゴムチップの歪量が大きくなった。これは、ひじき状ゴムチップが構成する大きな空隙が影響しているものと考えられる。耐候性試験については、1000時間経過後の引張試験では強度的に全く差がなかったため、表面塗装した部分の色彩変化について測定を行った。なお色彩の変化は、色彩色差計を用いて測定し、マンセル表示で結果を示してある。結果を表-4、5に示す。その結果、赤色はほとんど変化しておらず、緑色は緑の中から黄色の成分が少なくなり、緑が濃くなっていた。しかし、いずれも塗装変化量は少なく、ウェザーメータ1000時間程度では表面の色彩に変化はなかった。

また、ゴムチップと樹脂を混合したり施工するとき、樹脂量が少ないと施工性が悪くなり、樹脂量が多いと混合しにくくなる傾向にあった。従って、引張強さ 5 kgf/cm^2 を樹脂混合量の目標としたが、実際の材料の混合性や施工性を考慮すると、粒状ゴムチップでは25%程度、ひじき状ゴムチップでは28%程度の樹脂混合量が必要と思われる。

表 3 - 3 物理特性試験の測定結果

ゴムの種類	樹脂の混入量	密度 (g/cm ³)	引張強さ (kgf/cm ²)	伸び (%)	反発弾性 (%)	透水係数 (cm/sec)	すべり抵抗(BPN)		圧縮永久歪 (%)		
							dry	wet	(20℃)	(45℃)	(70℃)
粒状	20	0.70	4.2	40.8	39.8	2.57×10^{-1}	95	45	21.6	40.7	48.6
	25	0.72	6.2	43.2	39.5	1.10×10^{-1}	95	41	19.6	38.6	48.3
	30	0.76	7.3	49.6	40.0	1.01×10^{-1}	97	44	15.6	34.2	46.9
	35	0.80	7.8	50.7	38.0	1.16×10^{-1}	94	43	18.5	37.4	57.9
ひじき状	20	0.66	7.3	71.9	42.8	5.58×10^{-1}	95	46	15.8	32.7	52.8
	25	0.69	8.9	83.1	41.4	6.15×10^{-1}	95	42	19.1	31.8	53.4
	30	0.72	10.8	78.3	41.8	4.22×10^{-1}	95	42	13.7	26.3	53.8
	35	0.74	12.0	88.9	41.6	1.82×10^{-1}	95	43	13.3	27.5	55.1

但し樹脂の混入量はゴムを100とした時の値

表 3 - 4 ウェザーメータ 1 0 0 0 時間後の色の变化 (ひじきタイプ)

樹脂量	赤色		緑色	
	試験前	試験後	試験前	試験後
20%	0.8YR 3.3/4.6	10.0R 3.1/5.2	9.3GY 3.3/2.3	0.1G 3.4/2.8
25%	10.0R 3.1/5.2	10.0R 3.2/5.2	9.6GY 3.4/2.6	0.1G 3.4/2.9
30%	9.8R 3.2/5.0	10.0R 3.2/5.2	9.7GY 3.5/2.6	0.1G 3.5/2.7
35%	10.0R 3.1/5.0	10.0R 3.1/5.3	9.7GY 3.7/3.0	0.1G 3.6/3.2

表 3 - 5 ウェザーメータ 1 0 0 0 時間後の色の变化 (粒状タイプ)

樹脂量	赤色		無塗装	
	試験前	試験後	試験前	試験後
20%	10.0R 3.3/5.2	10.0R 3.3/5.5	N 2.1	N 2.1
25%	10.0R 3.4/5.2	9.9R 3.3/5.4	N 2.2	N 2.0
30%	9.8R 3.5/5.1	10.0R 3.3/5.4	N 2.1	N 2.0
35%	9.6R 3.6/5.3	9.7R 3.3/5.5	N 2.1	N 2.1

2 - 4 結論

ゴムチップを用いた弾性舗装材について、粒状ゴムチップ（EPDM）とひじき状ゴムチップ（タイヤトレッドゴム）を用い、ウレタン樹脂の混合量を変化させながら物理特性を測定した。その結果、

（1）ゴムチップ舗装材は、弾力性と透水性を有し、耐候性に優れた舗装材であった。

（2）表面の塗装に用いた材料の色彩変化はわずかで、カラー舗装として必要な機能を有していた。

（3）ゴムチップ舗装材は、樹脂混合量が25%程度で舗装材の機能を十分発揮できるが、ひじき状ゴムチップは表面積が大きいことから、施工性などを考慮すると28%程度の樹脂混合量が適当である。

第 3 節 ゴムチップ舗装の歩行官能検査について

3 - 1 概説

従来から弾性舗装材が施工されていた専用の運動施設は別として、一般道路や歩道舗装上でジョギング等の運動を行っていた人にとって、ゴムチップ舗装材を用いたジョギング道などが各所に施工されることは、期待されることである。ゴムチップ舗装材は、舗装材の空隙が大きく、施工厚さ10mm程度の表層材でも十分な弾性を示すことから、足首や膝などに強い衝撃を受けずに、快適にジョギング出来る機能を有しているが、これらの性能について、実際にジョギングを行い、走行した人からのアンケート調査を行い、ジョギング道としての性状について、検討することが重要になる。

ゴムチップ舗装は、体育施設等で用いられてきたアンツーカーやタータン等の舗装材料と同様に、弾性舗装の性質を持つが、これらの舗装に比べて価格が安いことから、陸上競技場等以外の運動施設や建物周辺の舗装で利用される可能性が高い。しかし、最近では、ジョギングシューズなどでも、靴底で衝撃を緩衝する工夫を行っており、使用する靴の影響を無視できないなどの条件があり、表面の滑りや弾性の程度について知る必要がある。そこで、実際にゴムチップ舗装を歩行、走行した人の官能検査が重要になって来る。本節では、本学学生を使って体育の時間に官能検査を実施したので、その結果を報告する。

3 - 2 試験方法

a) 測定場所の概要

歩径路は、図 3 - 1 に示すように密粒度アスコン上に、現場で混合した2種類のゴムチップ舗装を表装材として施工したもので、表層厚さ11mm、幅2.4m、長さ55.4mの直線歩径路である。ウレタン樹脂の混合量は、試験結果をもとにひじき状ゴムチップ28%、粒状ゴムチップ25%で行った。歩径路は、図 3 - 2 に示すように、ゴムチップ舗装材を施工した後、塗装だけを行った場所

と、滑り止め加工を行なった場所に分かれており、滑り止め加工は7号硅砂を混合したトッピング加工で行った。施工法としては、ゴムチップとバインダーをモルタルミキサーで混合し、サイド定規にあわせて一定の厚みで敷ならした後、熱ローラー（重量21Kg）で転圧した。なお、歩経路の物理特性試験結果と滑り抵抗試験結果は、表3-6、3-7に示す。

表3-6 ゴムチップ歩経路の物理特性試験結果

ゴムの種類	密度 (g/cm ³)	引張強さ (Kgf/cm ²)	伸び (%)	反発係数 (%)	透水係数 (cm/sec)	圧縮永久歪 (70°C) (%)
ひじき状	0.70	8.4	78.8	43.5	6.1*10 ⁻¹	50.2
粒状	0.86	5.6	44.4	38.8	1.1*10 ⁻¹	50.8

表3-7 ゴムチップ歩経路の滑り抵抗値測定結果

舗装の種類	BPNの値
ひじき状ゴムチップ	67
粒状ゴムチップ	62
ひじき状滑り止め加工	84
粒状滑り止め加工	81
テラゾ平板	71
磁器質タイル	26
人工芝（ループタイプ）	86
アスファルト舗装	80

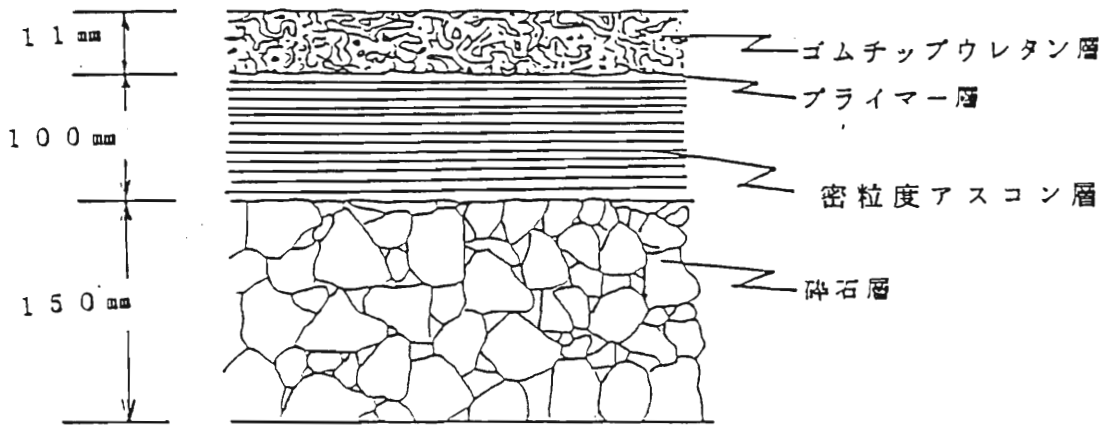


図 3 - 1 歩経路の断面図



写真 3 - 1 歩経路の状況

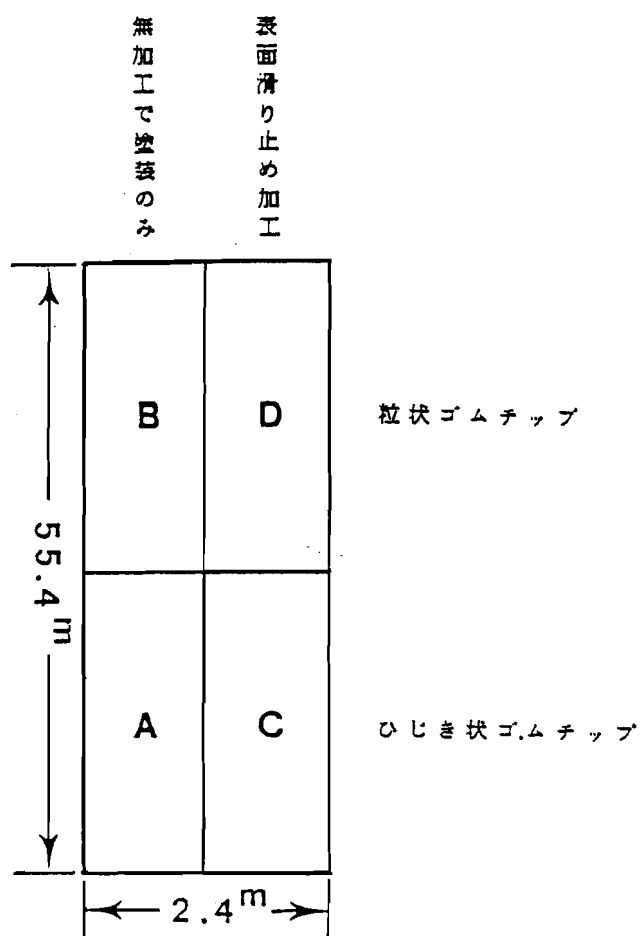


図 3 - 2 歩経路の平面図

舗装は次のように分類した。

- A - ひじき状ゴムチップで塗装を行っている
- B - 粒状ゴムチップで塗装を行っている
- C - ひじき状ゴムチップで滑り止め加工を行っている
- D - 粒状ゴムチップで滑り止め加工を行っている

b) 官能検査の方法

官能検査を行なった被験者は19才から22才までの本学学生で、男女併せて307名に行ったが、94.5%が男子学生である。歩経路には、運動用の靴と裸足で歩行・ジョギングを行なってもらい、ゴムチップ舗装材から受けた感

記入してもらうアンケート方式で行った。

アンケートの内容は、高校時代までの運動経験、現在の運動状況、使用している靴の種類や使用状況、各種ゴムチップ舗装から受ける色彩、弾力性、滑り、歩きやすさ、ジョギングのしやすさなどの評価を行った。

3-3 結果および考察

被験者の状況は、高校時代には多くの人が良く運動していたが、大学に入ると運動する人が少なくなり、現在はほとんどの人が本格的に運動をしていない。測定に使用した靴は、ジョギングシューズが全体の1/4強を占め、他の靴はほぼ同じ割合であった。

舗装の色彩について、赤色に塗装してある舗装部は、70%の人がちょうど良い色であると思っているが、もう少し薄い方が良いとする意見も24%程度あった。緑色では、ちょうど良いとする回答は61%程度であったが、更に濃い方が良いとする意見が多かった。

ゴムチップ全体を相対的に比較してみると、弾力性を感じた舗装はひじき状ゴムチップ舗装が多く、逆に硬さを感じた舗装は粒状ゴムチップ舗装で、物理特性の試験結果と一致する。滑り易さについては、滑り止め加工がしてある舗装は、塗装をしただけの舗装に比べ滑りにくいとの結果を得ており、滑り止め加工の施工効果が認められた。また、滑りやすいと感じた舗装は粒状ゴムチップが多く、ゴムチップの形状が滑りに関係していると思われる。裸足と靴を履いた場合を比較すると、弾力性や硬さの判定では靴底の影響が測定値に認められた。滑りについては、「滑りにくさ」を聞くと靴と裸足では測定結果に差がほとんどないが、「滑りやすさ」を聞くと、靴による影響が認められ、言葉から受けるイメージが感覚にかなり影響していると思われる。

次に、個々の舗装評価は、非常に良い(+2)、やや良い(+1)、普通(0)、やや悪い(-1)、非常に悪い(-2)の5ポイント評価に換算して評価した。結果を図3-3~7に示す。舗装の「軟らかさ」と「弾力性」では、言葉は違いますが体感的には同じことを質問している。図3-3、4に示すように、弾力性は、滑り止め加工をしていないひじき状ゴムチップ舗装が大きかった。しかし、ひじ

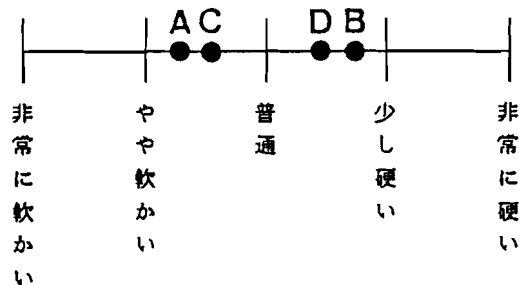
き状ゴムチップが滑り止め加工されると、やや硬く感じるとの結果を示していた。これは、珪砂による表面加工が、硬く感じさせるものと考えられる。しかし、粒状ゴムチップは空隙が少なく比較的硬いので、表面加工による硬さの影響が出ていない。「滑りやすさ」の結果は、図3-5に示す。滑り止め加工をしていない粒状ゴムチップは、靴を履いた場合、やや滑りやすく感じる傾向にあったが、物理特性で行ったすべり抵抗試験の測定結果では、他の舗装と変わらないすべり抵抗を持っていた。

次に、「歩きやすさ」と「ジョギングのしやすさ」を見ると、図3-6、7に示すように、裸足と靴を履いたときでは感覚に差が生じていた。靴をはいた場合では舗装間で差が小さく、測定結果がまとまる傾向にあったが、裸足で差が広がっており、舗装感覚の測定に靴の影響が大きいことを示していた。

また、靴の種類別に検討してみると、図3-8、9に示すように、歩行でもジョギングでも靴の種類により、測定結果に一定の傾向が見られた。いずれの靴でも、ひじき状ゴムチップは粒状ゴムチップに比べ、歩きやすく走りやすいとの傾向を示したが、靴底の厚いジョギングシューズでは、靴底が弾力性を吸収するので測定結果が集まっており、ここでも靴の種類による影響が大きいことを示している。

舗装の軟らかさ

[裸足]



[靴]

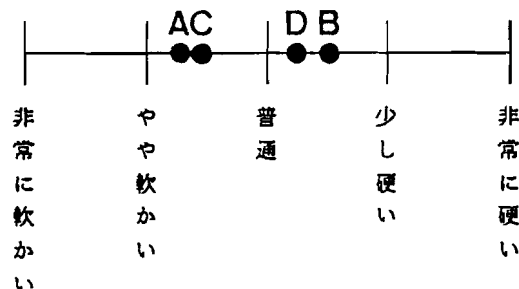


図3-3 舗装の軟らかさの評価

舗装の弾力性

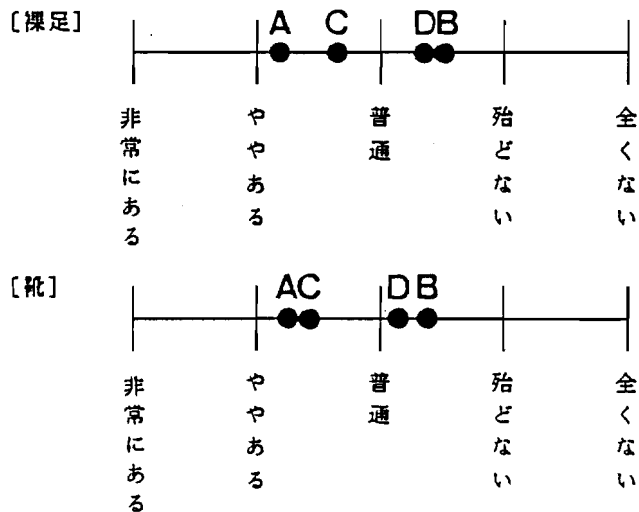


図 3 - 4 舗装の弾力性の評価

舗装の滑りやすさ

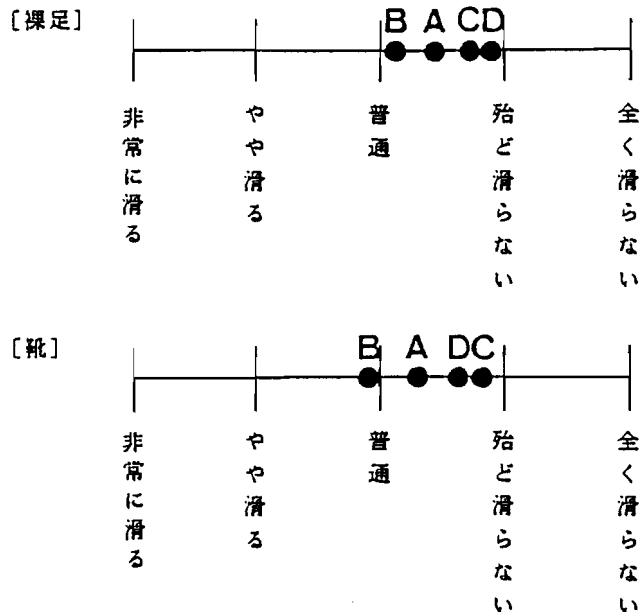


図 3 - 5 舗装の滑りやすさの評価

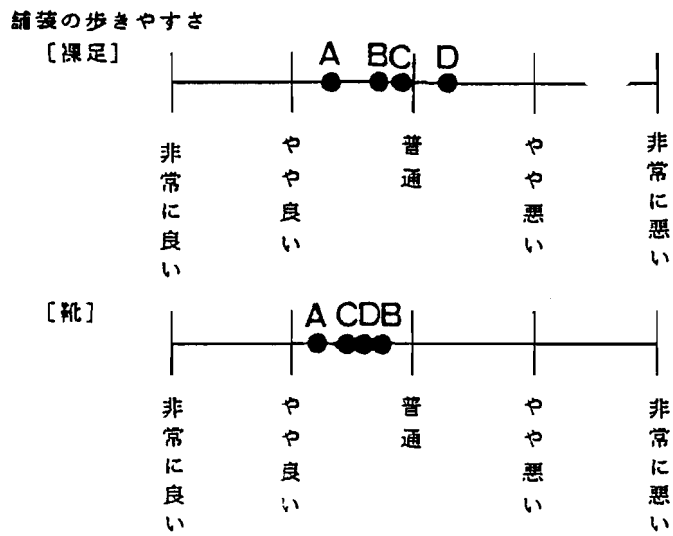


図 3 - 6 歩きやすさの評価

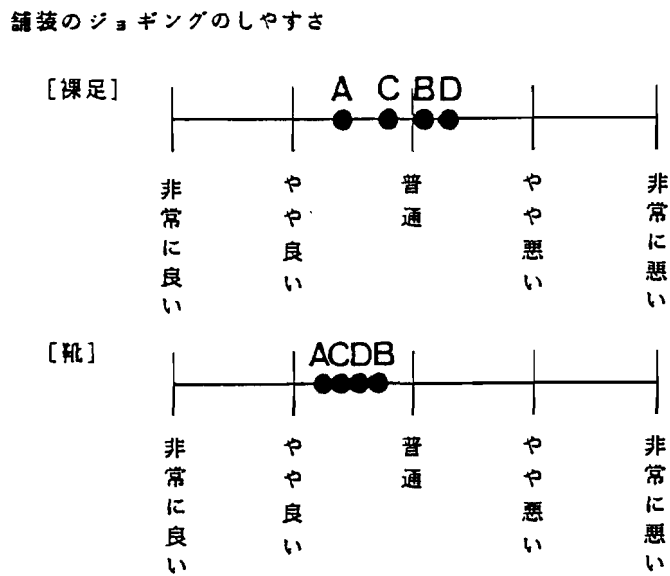


図 3 - 7 舗装のジョギングのしやすさの評価

- A - ひじき状ゴムチップで塗装のみ
- B - 粒状ゴムチップで塗装のみ
- C - ひじき状ゴムチップで滑り止め加工
- D - 粒状ゴムチップで滑り止め加工

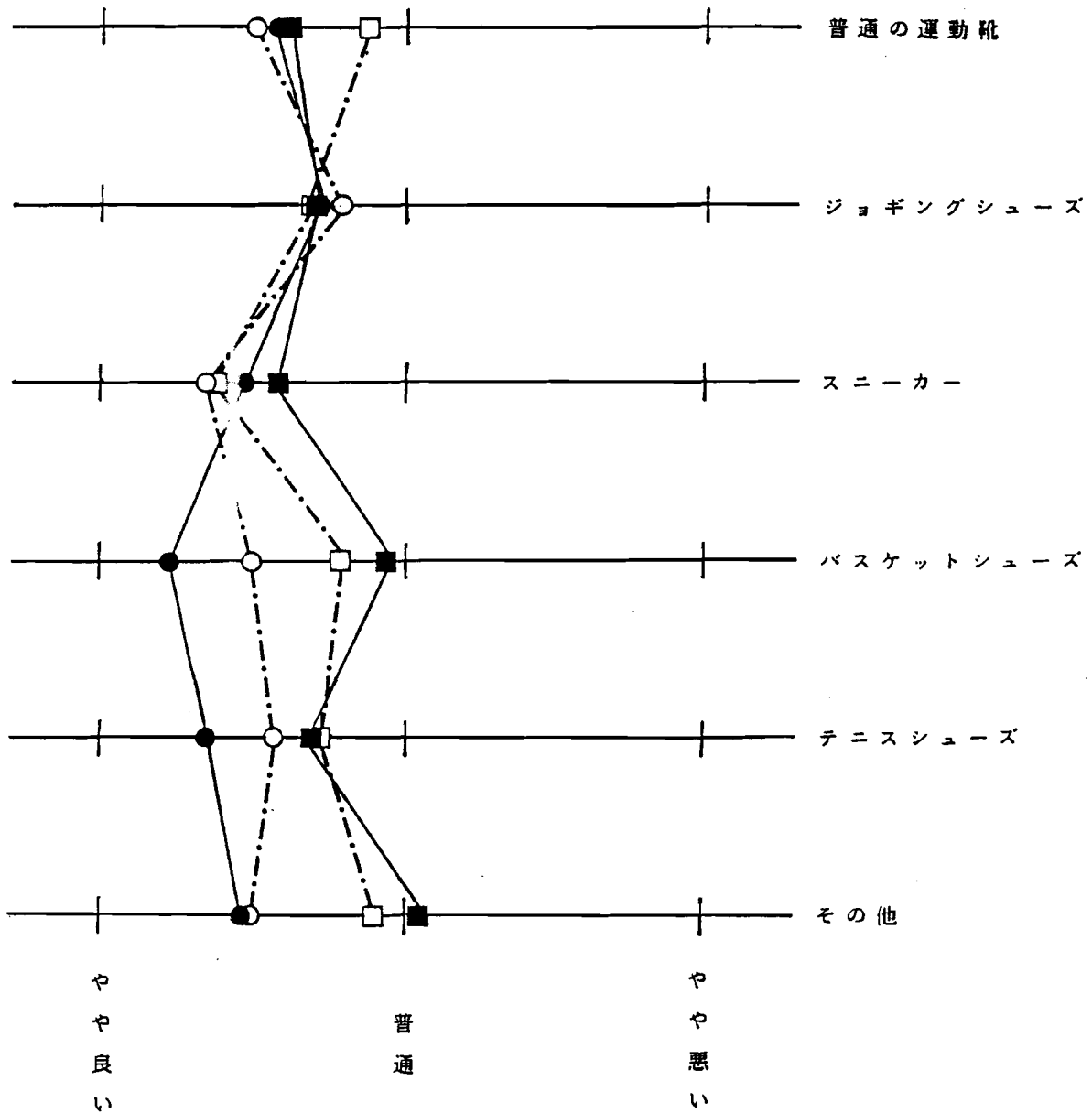


図 3 - 8 靴別の歩きやすさの比較

- A - ひじき状ゴムチップで塗装のみ
- B - 粒状ゴムチップで塗装のみ
- C - ひじき状ゴムチップで滑り止め加工
- D - 粒状ゴムチップで滑り止め加工

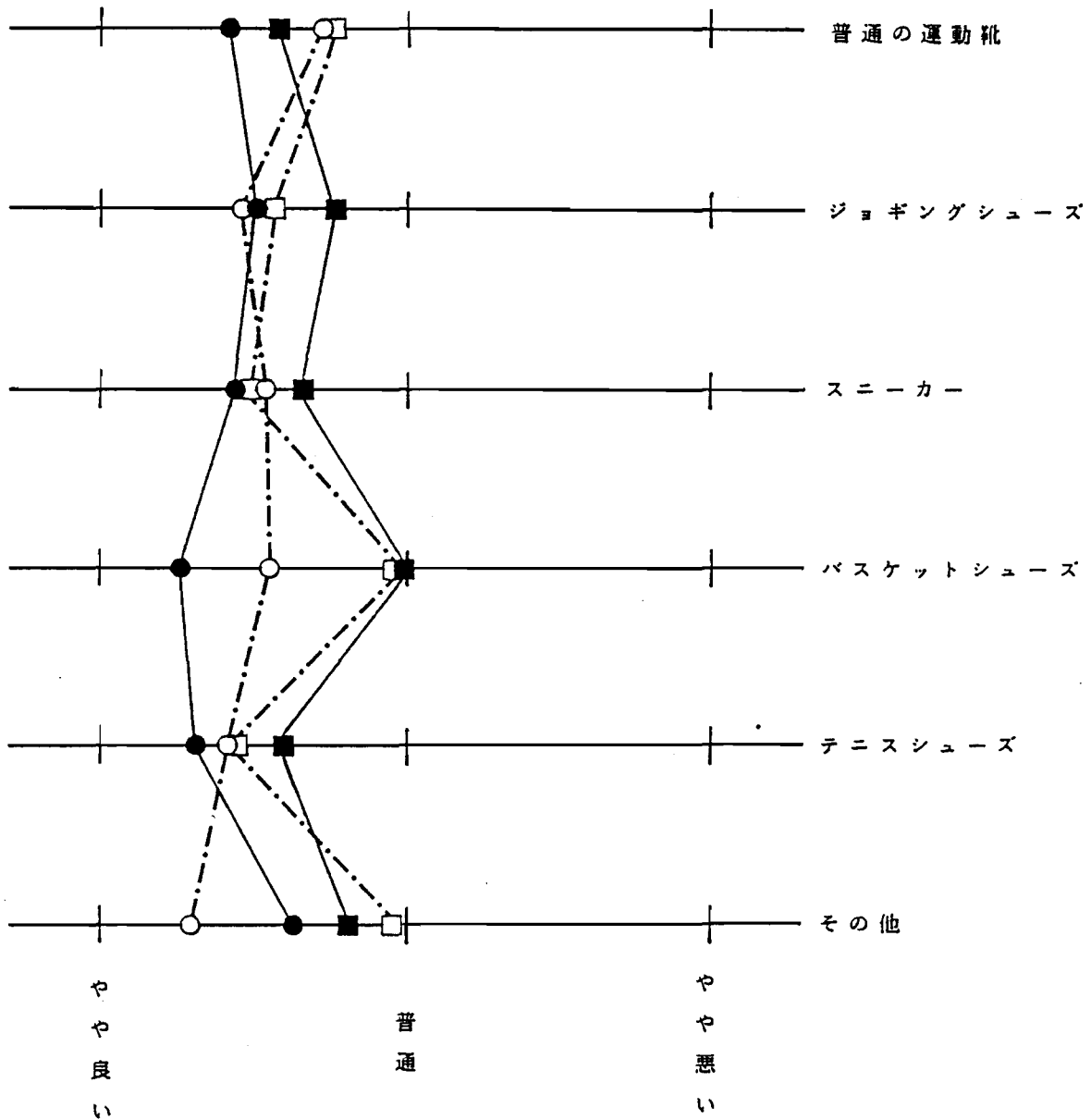


図 3 - 9 靴別のジョギングのしやすさ

3 - 4 結論

ひじき状ゴムチップと粒状ゴムチップ舗装の4種類の歩径路を作成し、307名の学生による官能検査を行った。その結果、

(1) 弾性を感じる舗装はひじき状ゴムチップで、硬く感じた舗装は粒状ゴムチップであった。

(2) 滑り止め加工はその効果が認められたが、ひじき状ゴムチップでは、滑り止め加工をすることにより、多少舗装が硬くなる傾向にあった。

(3) 靴と裸足では、弾性や軟らかさなどでは感覚的な差は生じなかったが、滑り易さでは滑り止め加工の感触が異なるのか、測定結果に差が生じた。

(4) 靴の種類別に結果を分析すると、舗装から受ける感覚は靴底の硬さや形状などに強く影響された。

(5) 舗装の色彩について、概ね適当な色彩であるとの結果を得た。

資料 官能試驗結果

アンケート内容

アンケート

年齢(才) ① 男 ② 女

今日はいている靴について

靴の種類 ①普通の運動靴 ②ジョギングシューズ ③バスケットシューズ
④テニスシューズ ⑤スニーカー ⑥その他()

靴底のおおよその厚さ (cm)

靴の使用年数 (年 月)

靴の使用状況 ① 非常に長く履いている
② やや長く履いている
③ 普通
④ 少ししか履いていない
⑤ ほとんど履いていない

あなたの運動経歴について

高校時代は ① 本格的に運動をしていた
② 本格的にはしていなかったが運動はしていた
③ ときどき運動はしていた
④ 運動はほとんどしていなかった
⑤ まったくしていなかった

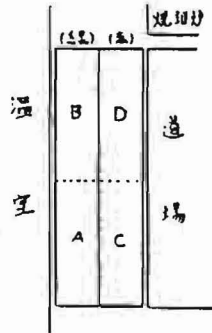
現在は ① 毎日クラブで本格的に運動している
② 本格的ではないがほぼ毎日している
③ ときどきしている
④ 季節によって運動をするときとしないときがある
⑤ 体育の時間以外はほとんど運動をしない

制振について

ここに施工してある制振はゴムを用いた制振です。この制振を揉み足と現在履いている靴でジョギングしてもらい、その感想をアンケートに○で記入してください。なお、制振は図の様に4区画に分かれています。

減速の場合

- ・制振の中で1番弾力性を感じた制振はどれですか
A, B, C, D
- ・制振の中で1番硬く感じた制振はどれですか
A, B, C, D
- ・滑りにくく感じた制振はどれですか
A, B, C, D
- ・滑りやすいと感じた制振はどれですか
A, B, C, D



靴の制振について評価してください

制振の軟らかさ	非常に軟らかい	やや軟らかい	普通	少し硬い	非常に硬い
A	_____				
B	_____				
C	_____				
D	_____				

制振のすべりやすさ	非常にすべる	ややすべる	普通	殆どすべらない	まったくすべらない
A	_____				
B	_____				
C	_____				
D	_____				

制振の弾力性	非常にある	ややある	普通	殆どない	まったくない
A	_____				
B	_____				
C	_____				
D	_____				

歩きやすさ	非常によい	ややよい	普通	やや悪い	非常に悪い
A	_____				
B	_____				
C	_____				
D	_____				

ジョギングのしやすさ

	非常によい	ややよい	普通	やや悪い	非常に悪い
A	_____				
B	_____				
C	_____				
D	_____				

制振の色は

- みどり ()
- 赤 ()

- ① もっと滑い方がよい
- ② ちょうどよい
- ③ もっと滑いほうがよい

加速をはいた場合

- ・制振の中で1番弾力性を感じた制振はどれですか
A, B, C, D
- ・制振の中で1番硬く感じた制振はどれですか
A, B, C, D
- ・滑りにくく感じた制振はどれですか
A, B, C, D
- ・滑りやすいと感じた制振はどれですか
A, B, C, D

靴々の制振について評価してください

制振の軟らかさ	非常に軟らかい	やや軟らかい	普通	少し硬い	非常に硬い
A	_____				
B	_____				
C	_____				
D	_____				

制振のすべりやすさ	非常にすべる	ややすべる	普通	殆どすべらない	まったくすべらない
A	_____				
B	_____				
C	_____				
D	_____				

制振の弾力性	非常にある	ややある	普通	殆どない	まったくない
A	_____				
B	_____				
C	_____				
D	_____				

歩きやすさ	非常によい	ややよい	普通	やや悪い	非常に悪い
A	_____				
B	_____				
C	_____				
D	_____				

ジョギングのしやすさ

	非常によい	ややよい	普通	やや悪い	非常に悪い
A	_____				
B	_____				
C	_____				
D	_____				

アンケート調査結果

- ・調査対象者 男子 290 (94.5%) 女子 17 (5.5%) 合計 307
- ・年齢 19才～22才
- ・測定に使用した靴の種類について
 - ①普通の運動靴 19.3%
 - ②ジョギングシューズ 28.4%
 - ③バスケットシューズ 16.7%
 - ④テニスシューズ 17.6%
 - ⑤スニーカー 11.1%
 - ⑥その他 6.9%
- ・靴の現在までの使用状況
 - ①非常に長く履いている 19.3%
 - ②やや長く履いている 22.0%
 - ③普通 37.4%
 - ④少しか履いていない 17.4%
 - ⑤ほとんど履いていない 3.9%
- ・高校時代の運動経歴について
 - ①本格的に運動していた 38.8%
 - ②本格的にはしていなかったが運動はしていた 19.5%
 - ③ときどき運動はしていた 22.8%
 - ④運動はほとんどしていなかった 13.0%
 - ⑤まったくしていなかった 3.9%
- ・現在の運動経歴について
 - ①毎日クラブで本格的に運動している 7.0%
 - ②本格的ではないがほぼ毎日運動している 7.4%
 - ③ときどきしている 26.6%
 - ④季節によって運動する時としない時がある 15.2%
 - ⑤体育の時間以外は殆ど運動しない 43.8%

		裸足の場合	靴の場合
・舗装の中で一番弾力性を感じたのは	A	34.8%	25.8%
	B	6.8%	11.1%
	C	50.8%	55.8%
	D	7.6%	7.3%
・舗装の中で一番硬く感じたのは	A	7.1%	10.0%
	B	50.8%	55.9%
	C	11.8%	11.1%
	D	30.3%	23.0%
・滑りにくいと感じたのは	A	12.0%	12.1%
	B	12.4%	12.8%
	C	40.8%	41.6%
	D	34.8%	33.5%
・滑りやすいと感じたのは	A	20.6%	24.7%
	B	55.3%	53.7%
	C	11.0%	8.6%
	D	13.2%	13.0%

舗装の色は

	緑	赤
①もっと濃い方がよい	22.3%	6.6%
②ちょうど良い	61.5%	69.5%
③もっと薄い方がよい	16.2%	23.9%

個々の舗装の評価について

・舗装の軟らかさ

		裸足		靴	
Aタイプ	非常に軟らかい	22.	0%	18.	1%
	やや軟らかい	45.	5%	46.	3%
	普通	17.	8%	21.	9%
	少し硬い	12.	8%	11.	5%
	非常に硬い	1.	9%	2.	2%
Bタイプ	非常に軟らかい	2.	3%	1.	1%
	やや軟らかい	9.	8%	10.	4%
	普通	27.	1%	34.	6%
	少し硬い	41.	7%	41.	3%
	非常に硬い	19.	1%	12.	6%
Cタイプ	非常に軟らかい	18.	1%	21.	3%
	やや軟らかい	39.	5%	37.	5%
	普通	19.	5%	24.	3%
	少し硬い	16.	5%	14.	7%
	非常に硬い	6.	4%	2.	2%
Dタイプ	非常に軟らかい	4.	9%	5.	9%
	やや軟らかい	11.	3%	16.	5%
	普通	26.	7%	29.	8%
	少し硬い	38.	3%	36.	8%
	非常に硬い	18.	8%	11.	0%
人工芝	非常に軟らかい	8.	3%	10.	3%
	やや軟らかい	50.	7%	5.	2%
	普通	29.	3%	62.	1%
	少し硬い	11.	9%	21.	6%
	非常に硬い	0.	0%	0.	8%

舗装のすべりやすさ

		裸足	靴
Aタイプ	非常にすべる	2.6%	2.6%
	ややすべる	14.0%	20.3%
	普通	34.0%	30.0%
	殆すべらない	21.1%	25.6%
	まったくすべらない	10.9%	16.5%
Bタイプ	非常にすべる	4.9%	4.4%
	ややすべる	25.3%	30.3%
	普通	35.8%	33.3%
	殆すべらない	21.1%	25.6%
	まったくすべらない	12.9%	6.7%
Cタイプ	非常にすべる	0.7%	1.5%
	ややすべる	7.1%	7.8%
	普通	20.8%	26.3%
	殆すべらない	47.2%	42.9%
	まったくすべらない	24.2%	21.5%
Dタイプ	非常にすべる	1.8%	2.2%
	ややすべる	8.6%	13.0%
	普通	25.4%	24.2%
	殆すべらない	44.6%	40.5%
	まったくすべらない	19.6%	20.1%
人工芝	非常にすべる	2.2%	1.8%
	ややすべる	19.7%	14.5%
	普通	24.7%	20.9%
	殆すべらない	46.2%	57.3%
	まったくすべらない	7.2%	5.3%

舗装の弾力性

		裸足		靴	
Aタイプ	非常にある	24.	0%	15.	7%
	ややある	43.	2%	47.	8%
	普通	22.	1%	24.	6%
	殆どない	9.	6%	10.	1%
	まったくない	1.	1%	1.	8%
Bタイプ	非常にある	2.	2%	3.	0%
	ややある	12.	4%	15.	2%
	普通	35.	2%	43.	0%
	殆どない	38.	6%	30.	0%
	まったくない	11.	6%	8.	8%
Cタイプ	非常にある	18.	4%	21.	7%
	ややある	39.	8%	37.	5%
	普通	24.	1%	23.	6%
	殆どない	13.	2%	14.	2%
	まったくない	4.	5%	3.	0%
Dタイプ	非常にある	6.	6%	7.	1%
	ややある	15.	6%	16.	9%
	普通	34.	1%	41.	7%
	殆どない	30.	7%	27.	1%
	まったくない	13.	0%	7.	2%
人工芝	非常にある	9.	4%	7.	4%
	ややある	52.	1%	48.	4%
	普通	28.	7%	33.	6%
	殆どない	9.	4%	9.	2%
	まったくない	0.	4%	1.	4%

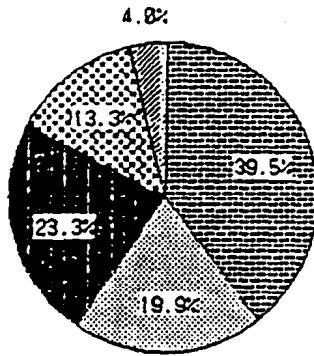
舗装の歩きやすさ

		裸足	靴
Aタイプ	非常によい	22. 8%	18. 1%
	ややよい	30. 2%	29. 5%
	普通	28. 9%	39. 1%
	やや悪い	13. 4%	12. 5%
	非常に悪い	4. 7%	0. 8%
Bタイプ	非常によい	8. 7%	8. 1%
	ややよい	23. 8%	26. 3%
	普通	44. 2%	51. 9%
	やや悪い	17. 7%	11. 5%
	非常に悪い	5. 6%	2. 2%
Cタイプ	非常によい	9. 6%	14. 0%
	ややよい	23. 6%	25. 1%
	普通	35. 8%	42. 1%
	やや悪い	23. 2%	17. 0%
	非常に悪い	7. 8%	1. 8%
Dタイプ	非常によい	9. 0%	14. 7%
	ややよい	18. 0%	17. 3%
	普通	41. 9%	51. 1%
	やや悪い	21. 7%	15. 4%
	非常に悪い	9. 4%	1. 5%
人工芝	非常によい	23. 1%	12. 4%
	ややよい	38. 0%	45. 4%
	普通	29. 4%	35. 3%
	やや悪い	8. 6%	6. 9%
	非常に悪い	0. 9%	0. 0%

ジョギングのしやすさについて

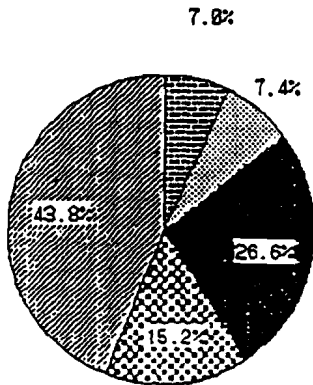
		裸足	靴
Aタイプ	非常によい	17.8%	16.9%
	ややよい	34.4%	37.5%
	普通	33.2%	36.4%
	やや悪い	12.7%	8.1%
	非常にわるい	1.9%	1.1%
Bタイプ	非常によい	4.8%	7.7%
	ややよい	20.8%	29.7%
	普通	48.7%	48.0%
	やや悪い	19.8%	12.4%
	非常にわるい	5.9%	2.2%
Cタイプ	非常によい	13.5%	16.0%
	ややよい	23.3%	34.2%
	普通	34.7%	37.1%
	やや悪い	22.4%	10.9%
	非常にわるい	6.1%	1.8%
Dタイプ	非常によい	6.3%	11.4%
	ややよい	23.5%	30.9%
	普通	35.4%	39.7%
	やや悪い	26.2%	16.2%
	非常にわるい	8.6%	1.8%
人工芝	非常によい	13.7%	10.1%
	ややよい	30.1%	37.8%
	普通	41.2%	35.5%
	やや悪い	13.2%	15.2%
	非常にわるい	1.8%	1.4%

スポーツ歴 (高校)



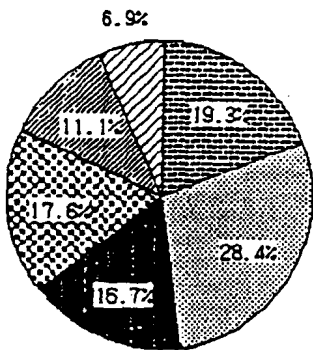
- 本格的に運動していた
- 本格的にはしていなかったが運動はしていた
- とまどき運動はしてた
- 運動は殆どしていなかった
- まったくしていなかった

スポーツ歴 (現在)



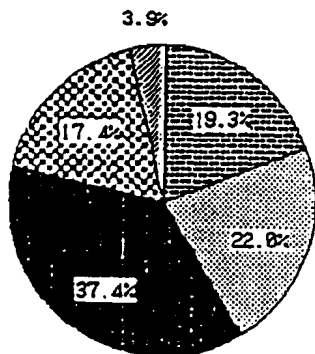
- 毎日クラブで本格的に運動している
- 本格的ではないがほぼ毎日している
- とまどきしている
- 季節によって運動する時としない時がある
- 休日の時間以外はほとんど運動をしない

靴の種類



- 1 普通の運動靴
- 2 ジョギングシューズ
- 3 バスケットシューズ
- 4 テニスシューズ
- 5 スニーカー
- 6 その他

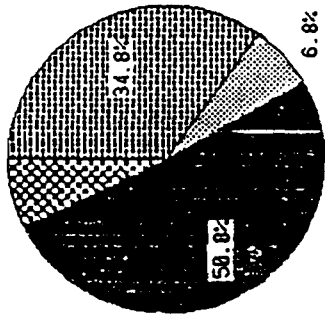
靴の使用状況



- 非常に長く履いている
- やや長く履いている
- 普通
- すこししか履いていない
- 殆ど履いていない

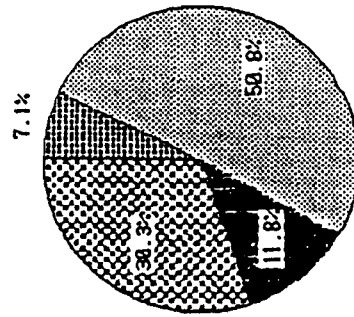
裸足 (弾力性)
7.6%

- 舗装 A
- 舗装 B
- 舗装 C
- 舗装 D



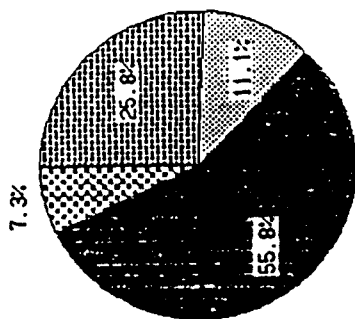
裸足 (硬さ)
7.1%

- 舗装 A
- 舗装 B
- 舗装 C
- 舗装 D



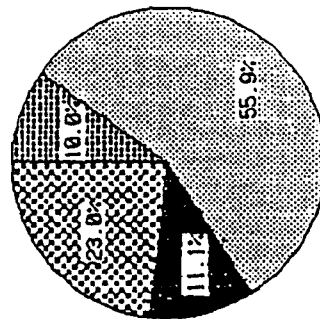
靴 (弾力性)
7.3%

- 舗装 A
- 舗装 B
- 舗装 C
- 舗装 D

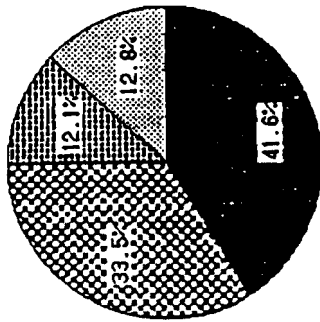
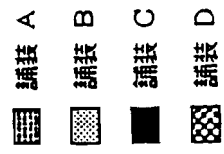


靴 (硬さ)
7.1%

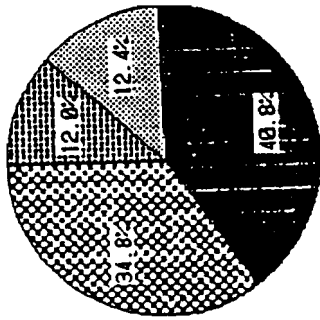
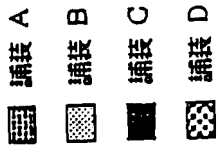
- 舗装 A
- 舗装 B
- 舗装 C
- 舗装 D



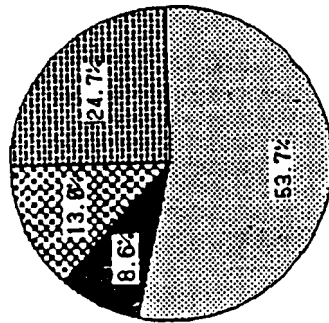
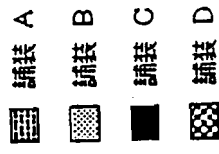
靴 (清りにくさ)



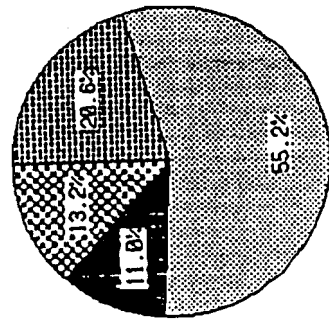
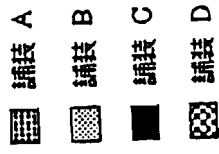
裸足 (清りにくさ)



靴 (清りやすさ)



裸足 (清りやすさ)



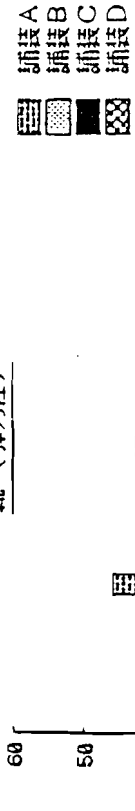
標足 (5W/31E)



標足 (軟らかさ)

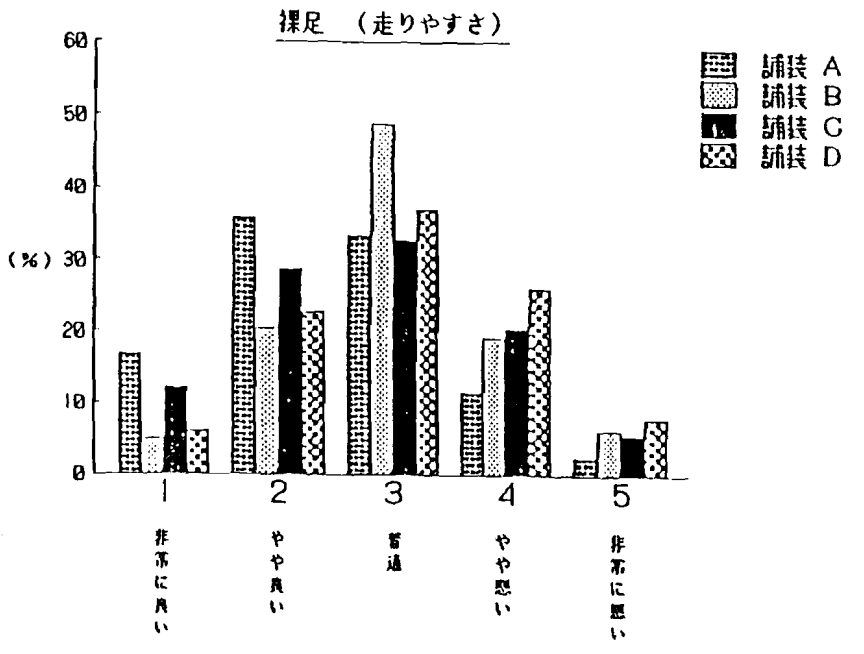
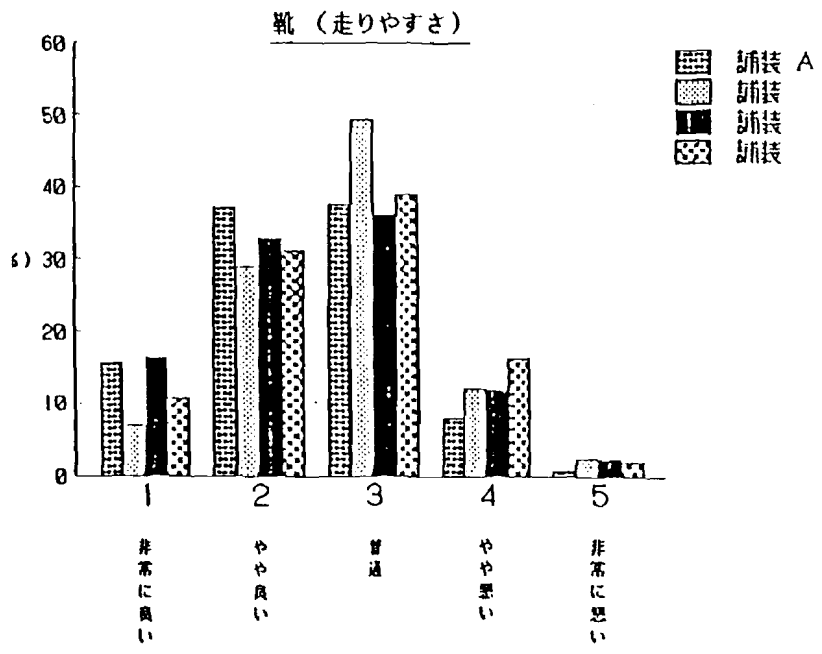
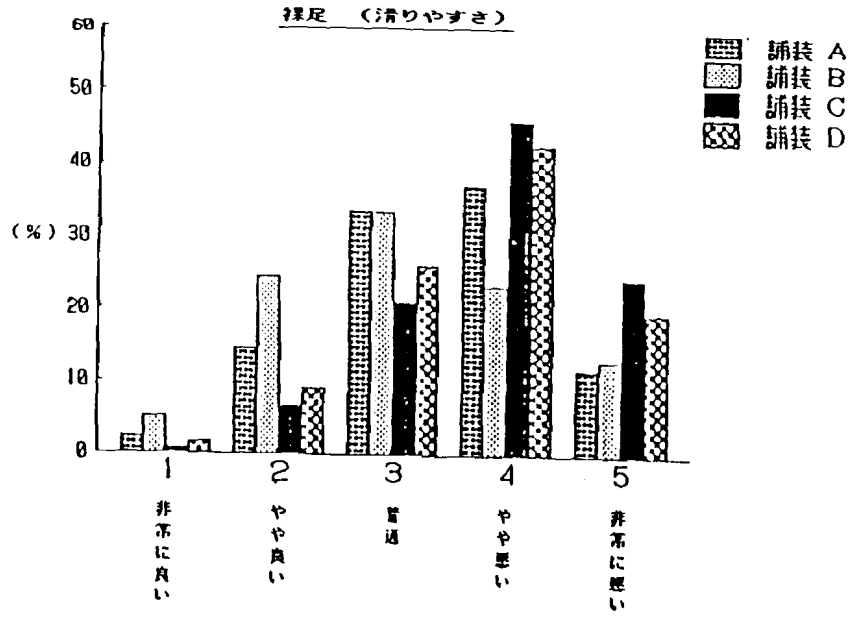
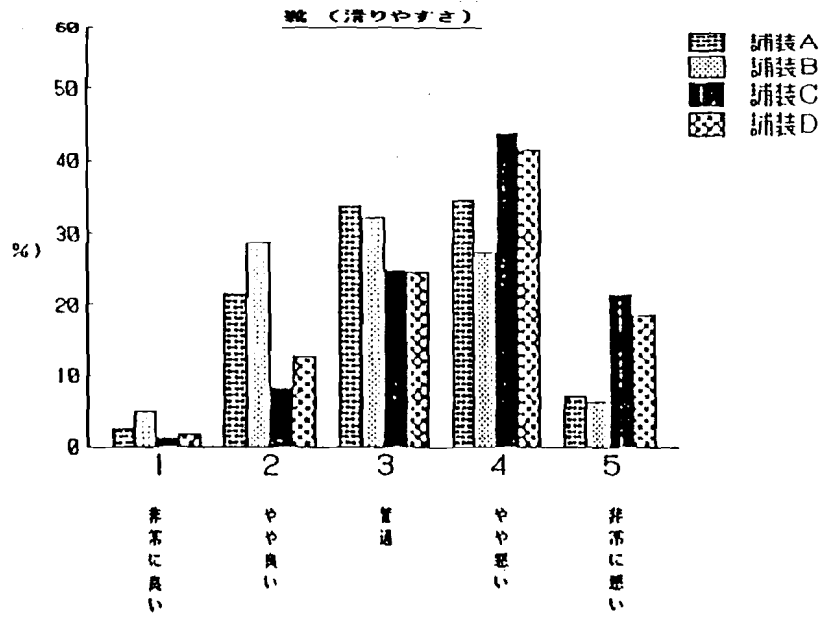


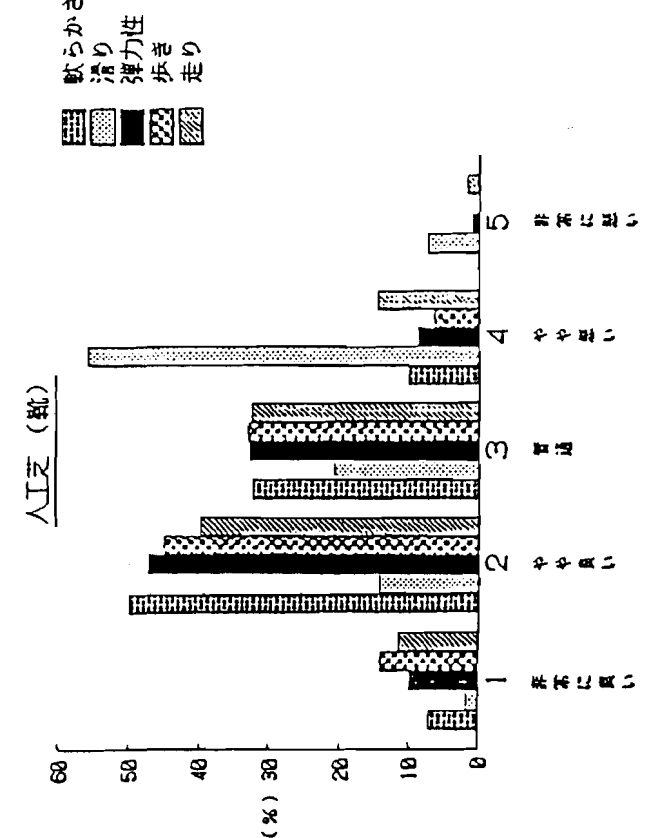
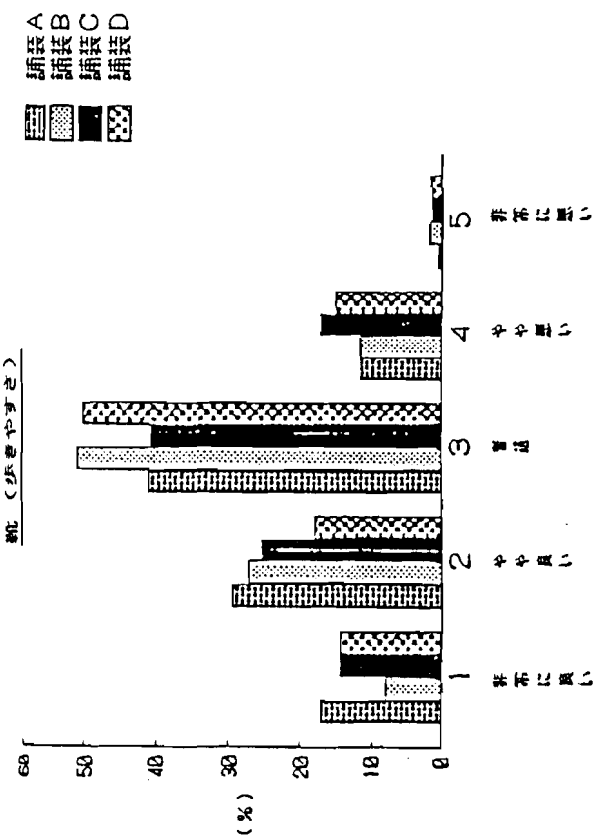
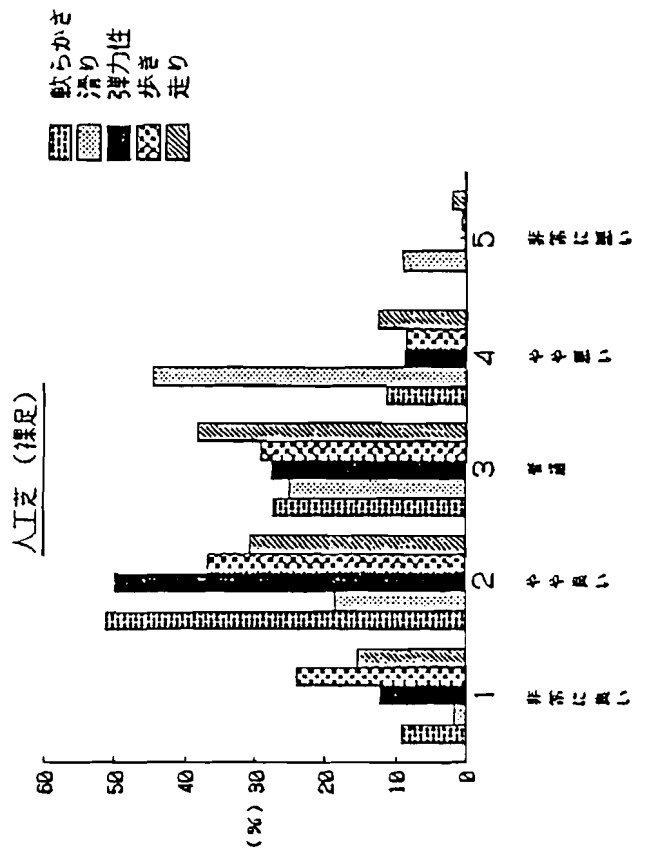
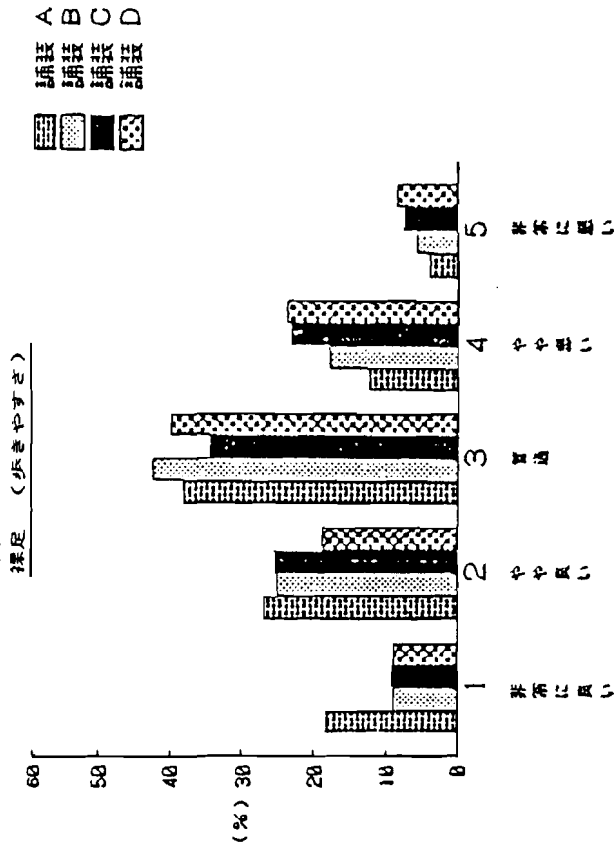
靴 (弾力性)



靴 (軟らかさ)

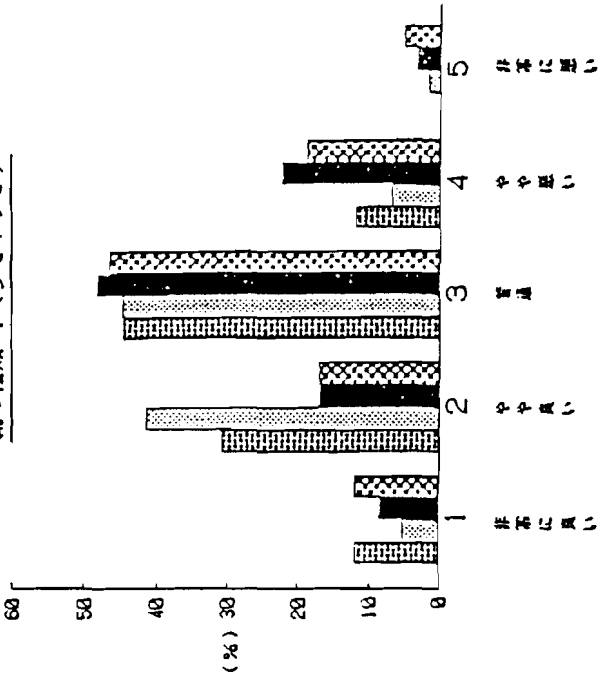






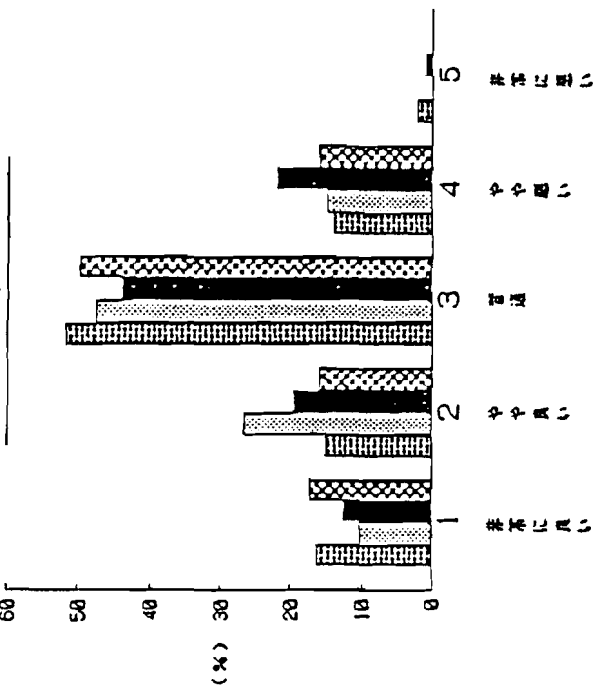
靴の種類 1 (歩きやすさ)

A 舗装
B 舗装
C 舗装
D 舗装



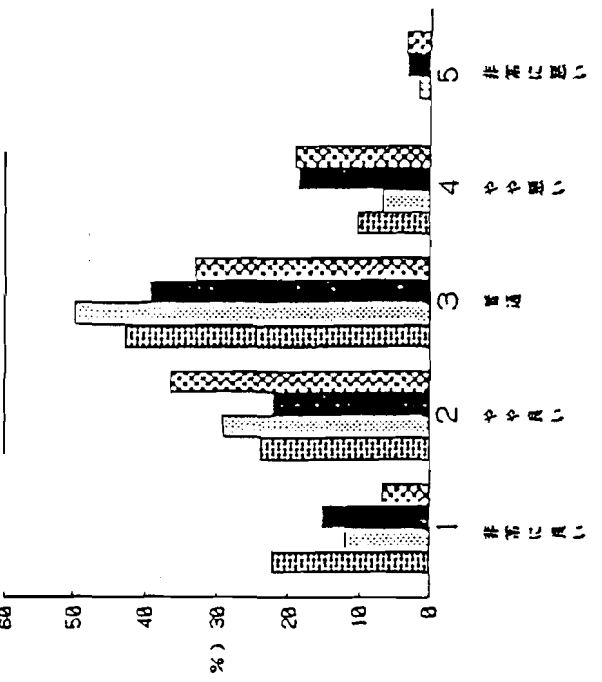
靴の種類 2 (歩きやすさ)

A 舗装
B 舗装
C 舗装
D 舗装



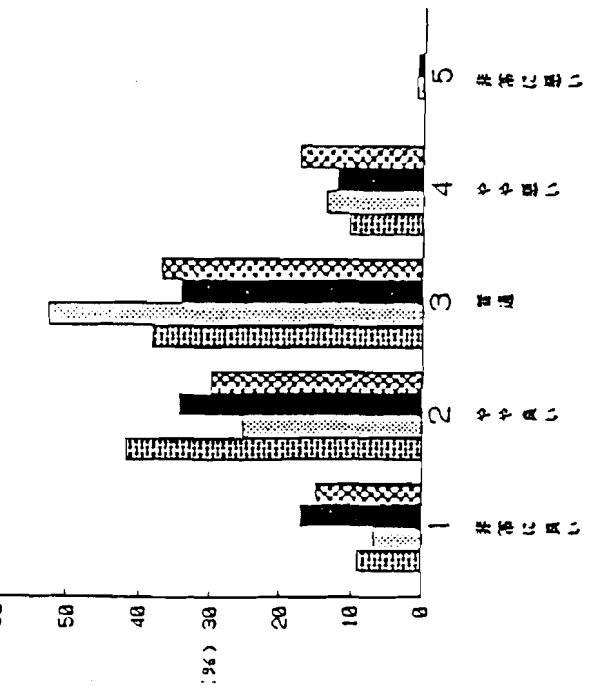
靴の種類 1 (走りやすさ)

A 舗装
B 舗装
C 舗装
D 舗装

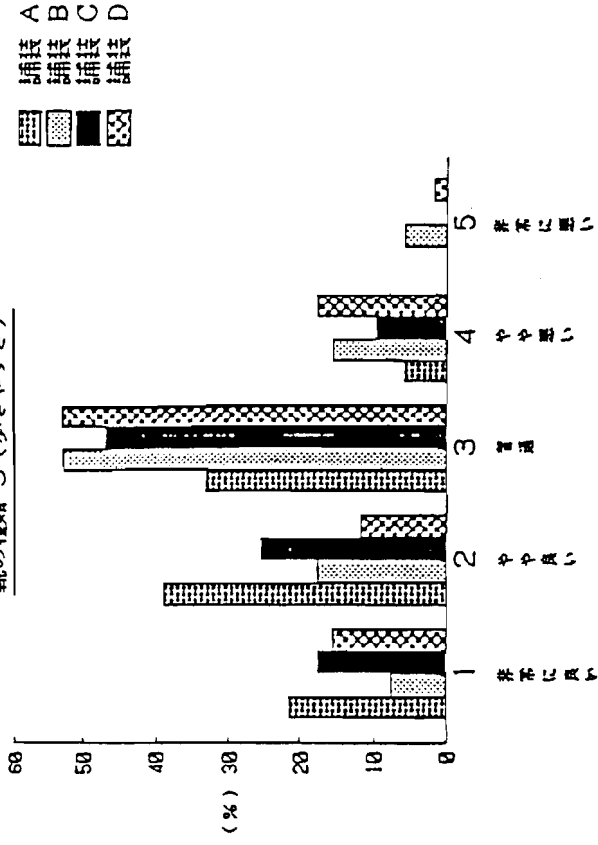


靴の種類 2 (走りやすさ)

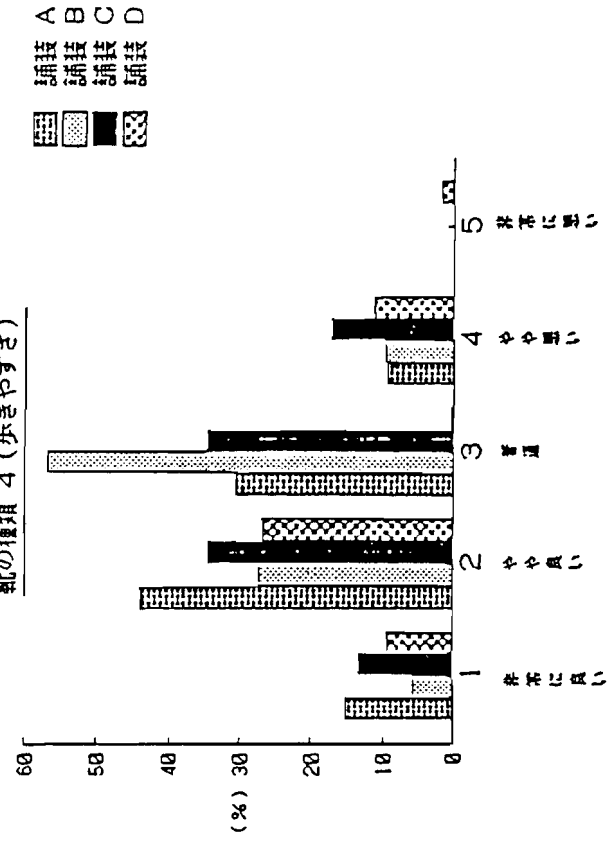
A 舗装
B 舗装
C 舗装
D 舗装



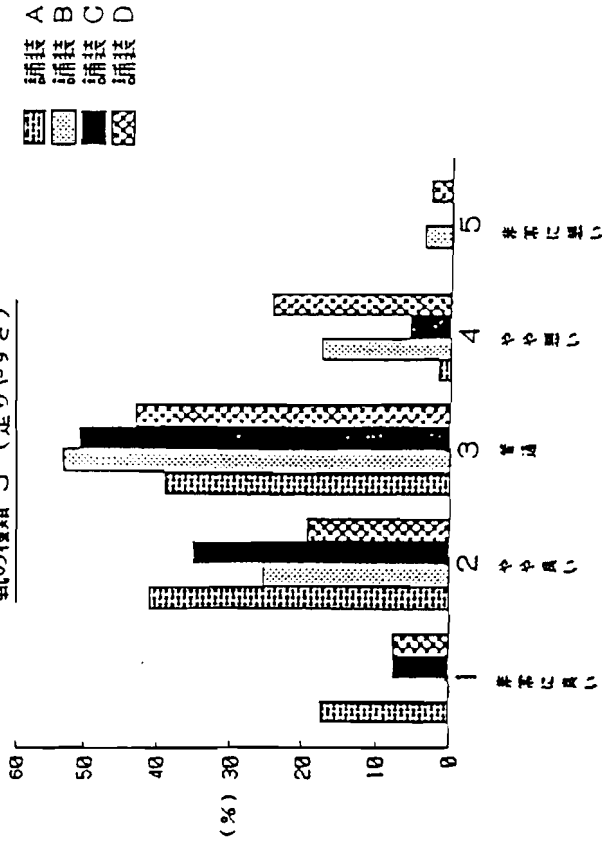
靴の種類 3 (歩きやすさ)



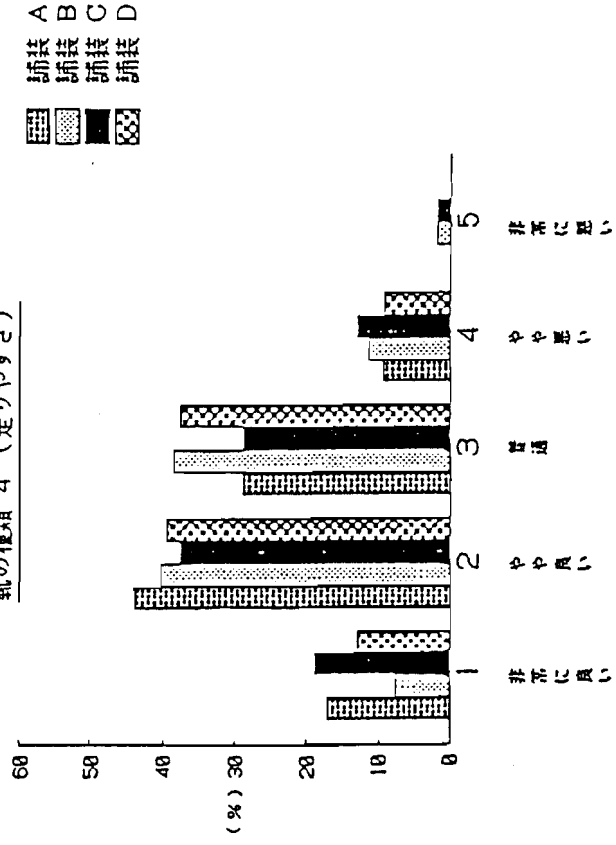
靴の種類 4 (歩きやすさ)



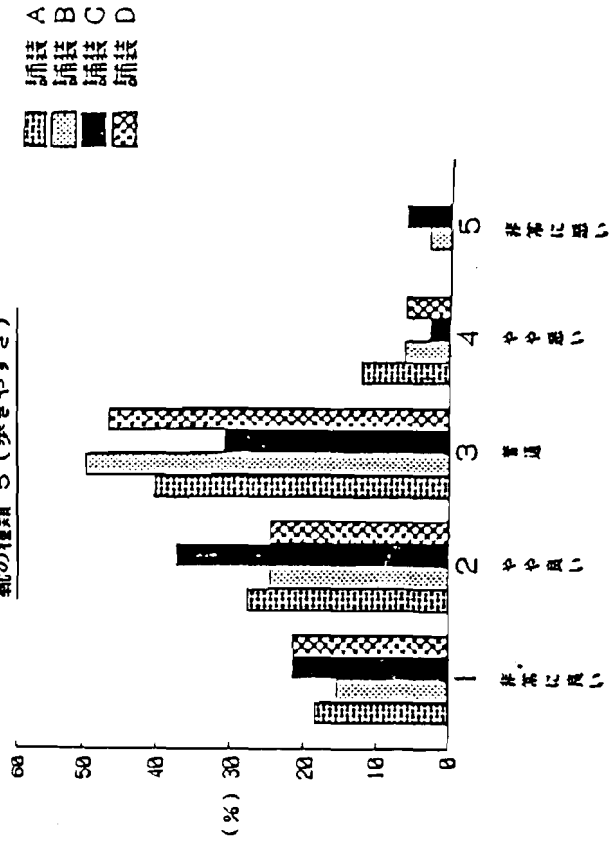
靴の種類 3 (走りやすさ)



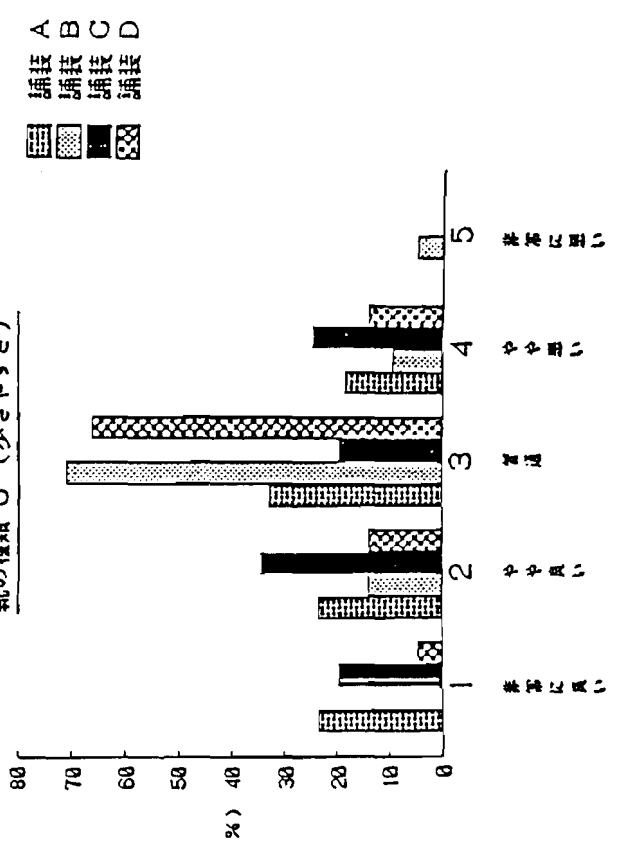
靴の種類 4 (走りやすさ)



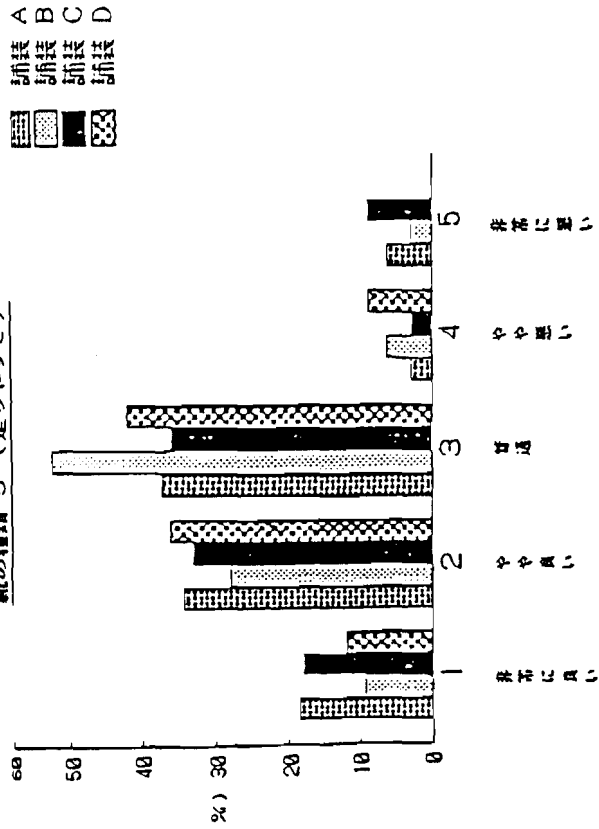
靴の種類 5 (歩きやすさ)



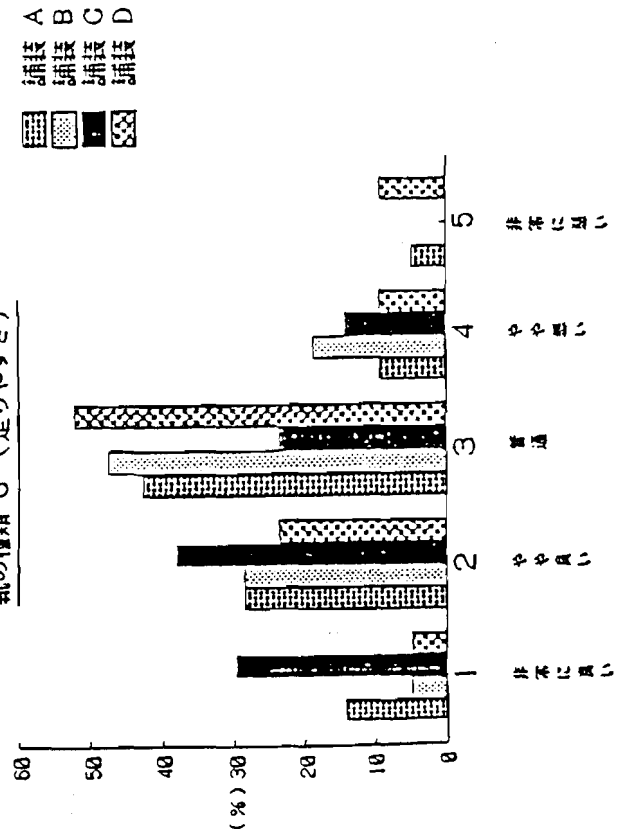
靴の種類 6 (歩きやすさ)



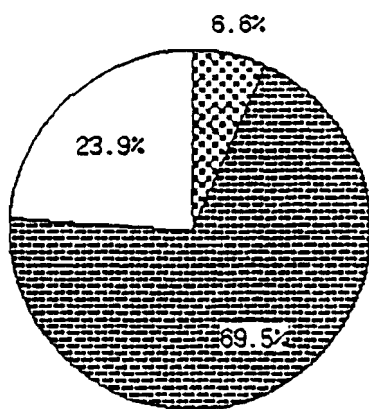
靴の種類 5 (走りやすさ)






靴の種類 6 (走りやすさ)

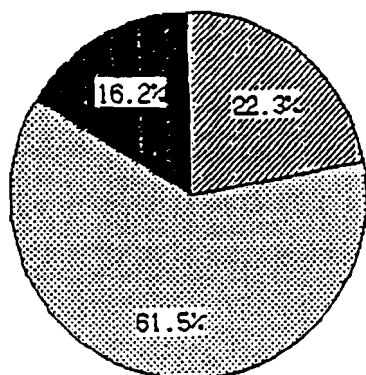





色のデータ（赤）



-  もって薄い方がよい
-  ちょうどよい
-  もって濃い方がよい

色のデータ（緑）



-  もって薄い方がよい
-  ちょうどよい
-  もって濃い方がよい

第 4 節 ゴムチップ舗装のテニスコート 特性

4-1 概説

ゴムチップ舗装材は、弾力性があり衝撃を緩和する効果があることから、人体が強い衝撃を受けるスポーツの舗装に多く利用されると思われる。そこで、今後、多く利用されると思われるテニスコートの舗装に注目し、ひじき状ゴムチップを表層材に用いたテニスコートを作製し、そのコート特性について検討することを目的とした。なお、ゴムチップ舗装の仕様は歩経路と同じである。

4-2 試験方法

テニスコートの表層材の性能を測定する方法として、1983年に東京都港湾局開発部海上公園課が定めた試験方法³⁾が一般に使われている。この試験はテニスコートの硬さ、ボールのバウンド性を調べる試験であるが、これだけでは、コート特性として実用的でないことから、今回はこれらの試験に加えて、表面の滑りや、ボールの回転と入射角及び反射角の関係について測定を行った。併せて、一般にテニスコートとして使用されている舗装材と比較を行うために、アスファルト、コンクリート、粒状ゴムチップ、クレイ、人工芝（ループタイプ）での試験もあわせて実施した。

a) テニスコートの硬さに関する試験

テニスコートの硬さは、舗装材の衝撃吸収性（GB反発試験）と弾性反発性（SB反発試験）の2種類で行う。GB反発試験はゴルフボール（Dunlop Maxfly 赤）を1mの高さから落下させ、反発高さの比からGB係数を求める。また、SB反発試験は直径25mmの鋼球を1mの高さから落下させ、反発高さの比からSB係数を求める。

b) テニスボールの反発試験

テニスボールによる反発試験は、実際の反発形態と異なるが、次の方法で行わ

れている。日本テニス協会公認のテニスボールを254 cmの高さから3回自由落下させ、その平均反発高さ (h_1) を求め、同じテニスボールでコンクリート面に同様の試験を実施し、平均反発高さ (h_2) を得る。そして反発係数 e は次の式でもとめる。

$$\begin{aligned} \text{反発係数 } e &= a \times (V_1 / V_2) \\ &= a \times \sqrt{h_1 / H} \\ \text{但し } a &= \sqrt{140 / h_2} \end{aligned}$$

V_1 : 衝突直前の速度

V_2 : 衝突直後の速度

H : ボールの落下高さ (254 cm)

h_1 : テニスコート面での反発高さ (cm)

h_2 : コンクリート面での1回目の反発高さ (cm)

c) 摩擦測定試験

摩擦試験は、テニスコート面上に図3-10に示すコートテスター (2枚の平行なプレートにテニスボール3個を固定したもの) を置き、水平に1.5~2.0 m/minの等速度で引張り、このときの引張力をバネ秤で読み取り計算して摩擦係数を求める。

$$\text{摩擦係数 } \mu = F / W \times 100 (\%)$$

F : 等速度で引張したときの力 (kgf)

W : 試験機的全重量 (10kgf)

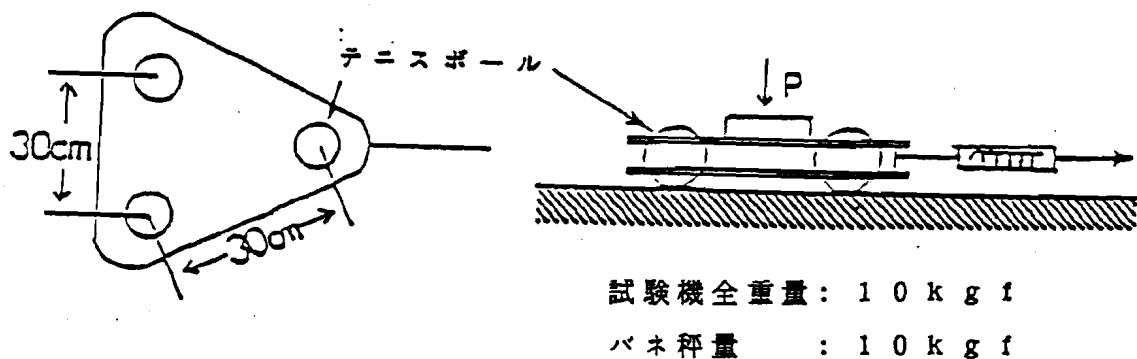


図3-10 コートテスターの構造

d) テニスボールの回転と反射角度測定試験

テニスボールが実際にどのような角度で反射していくかを知ることは、テニスコートとして重要な要素である。そこで実際のテニスボールをテニス用打撃マシンで打ち出し、その時のスピードと回転、舗装面の入射角、反射角を測定し、角度比（反射角／入射角）を求めて、ボールに対する影響を測定した。測定に使用した打撃マシンは S.A.H.L.社の LANCE-BALLES TENNIS-BJL 55を用い、ボールのスピード測定にはシャープ社製のスピードガン ES-20を用いた。また入射角、反射角測定やボールの回転測定には CCD シャッターカメラを用いて球筋をビデオテープに録画し、これを再生して解析した。

4-3 結果および考察

(1) テニスコートの硬さについて

硬さに関する試験の結果は図3-11に示す通りである。ゴムチップ舗装の硬さは人工芝系とポリウレタン系の境ぐらいに位置しており、テニスコートとしても比較的高級なコートと言える。

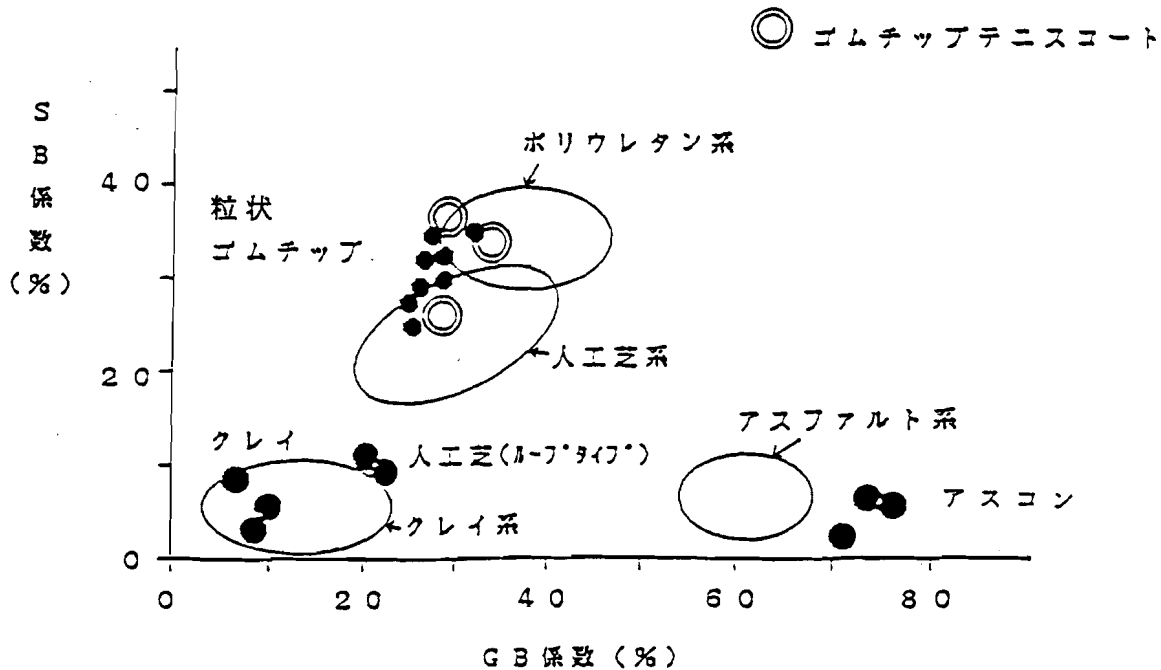


図3-11 テニスコートの硬さ測定試験結果

(2) テニスボールのバウンド性について

バウンド性についての測定結果は、図3-12に示してある。この図は、クレイコートを中心とした図であるが、ひじき状ゴムチップのテニスコートは、バウンド性が比較的クレイコートに近い結果を得た。しかし、粒状ゴムチップのテニスコートは、舗装の密度が高いことからボールの反発係数も高い結果を得た。

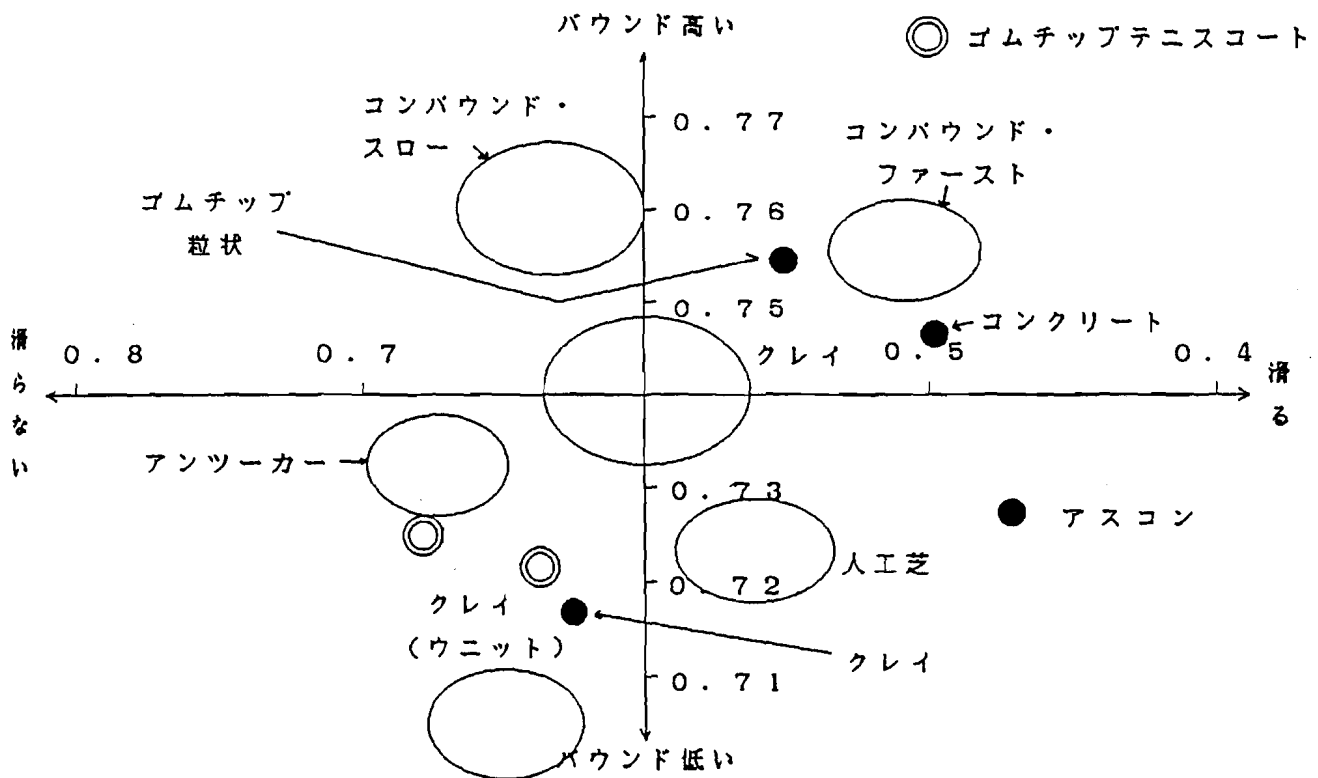


図3-12 テニスコートのバウンド性測定試験結果

(3) テニスボールの反射角度

打撃マシンより打ち出されたボールは、回転のあるボールあるいは回転のないボールなどがあり、一定の力で打ち出してはいるが、球の速度を完全に一致させて測定を行うことは出来ない。そこで、テニスプレー中のボールのスピードとして70 m/sec程度を標準として、50球ほど打ち出し解析を行った。なお、ボールの回転は、ストレートボールとスピニングボールのものを採用した。

テニスコートのボール跳ね返り試験結果は、表3-8に示す。コート各所におけるボールの跳ね返り状況を見ると、今回のひじき状ゴムチップコートでは、コート内における表面性状のばらつきもほとんどなく、精度の必要な広い面における施工も出来ることがわかった。

表3-8 テニスコートのボール跳ね返り試験結果

測定 場所	ストレートボール				スピニングボール			
	入射速度	入射角	反射角	角度比	入射速度	入射角	反射角	角度比
コート中央部	71.6	26.0	36.0	1.385	72.3	24.5	34.4	1.404
コート中央部	66.9	24.3	35.7	1.469	66.9	24.5	35.9	1.465
コート端部	69.5	24.4	35.2	1.442	68.5	24.8	35.5	1.431
エンドライン	69.9	24.7	34.9	1.413	72.8	24.8	35.3	1.423

角度比：(反射角/入射角)

また、テニスコートの表層材別の反射角度については図3-13に示す。コート表面の特性を比較するために、その結果、入射角度 17° 前後の低い角度で測定を行った場合、ひじき状ゴムチップコートは、角度比が1.4前後であった。これを表3-8の入射角が 24° と大きい場合と比較すると、入射角が大きい場合でも、角度比は1.4前後を示した。従ってこの数値は、ひじき状ゴムチップのコート特性を示す数値と思われる。また、他のコート舗装材と比較すると、クレイやセメントコンクリートでは1.27の割合を示し、ひじき状ゴムチップより、跳ね返り角度が少ない事を示している。しかし、粒状ゴムチップでは、逆に1.64と割合が大きくなっていった。次に、アスファルトコンクリートは、施工時の転圧方向や、転圧ローラーの影響が表面に影響していると思われ、安定した結果が得られないと思われる。一般には、スピニングボールはボールが回転しているので跳ね返り角度が大きいとの結果を得た。

4-4 結論

ひじき状のゴムチップをテニスコートの表層材として使用したときの性状について一般的に行われているテニスコートの性状試験と、反射角度の測定を行った。(1)ひじき状ゴムチップ舗装の硬さは、人工芝系とポリウレタン系の中間に位置していた。

(2)テニスボールの反発性状を見ると、ひじき状ゴムチップは、クレイコートに近いバウンド性を持つと考えられる。

(3)テニスボールの反射角度について、打撃マシンを使って入射角 17° ボールスピード 70 m/sec におけるコート表面の反射特性について測定した。その結果、ひじき状ゴムチップのコートにおける反射角のばらつきはなく、ほぼ一定の表面性状が保たれていると思われる。

(4)ひじき状ゴムチップコートの跳ね返り特性は、クレイに近い値を示した。また、粒状ゴムチップは、ひじき状ゴムチップより大きな反射角を示した。

(5)スピニングボールはストレートボールに比べ反射角度が $2\sim 5^{\circ}$ 程度大きくなる。

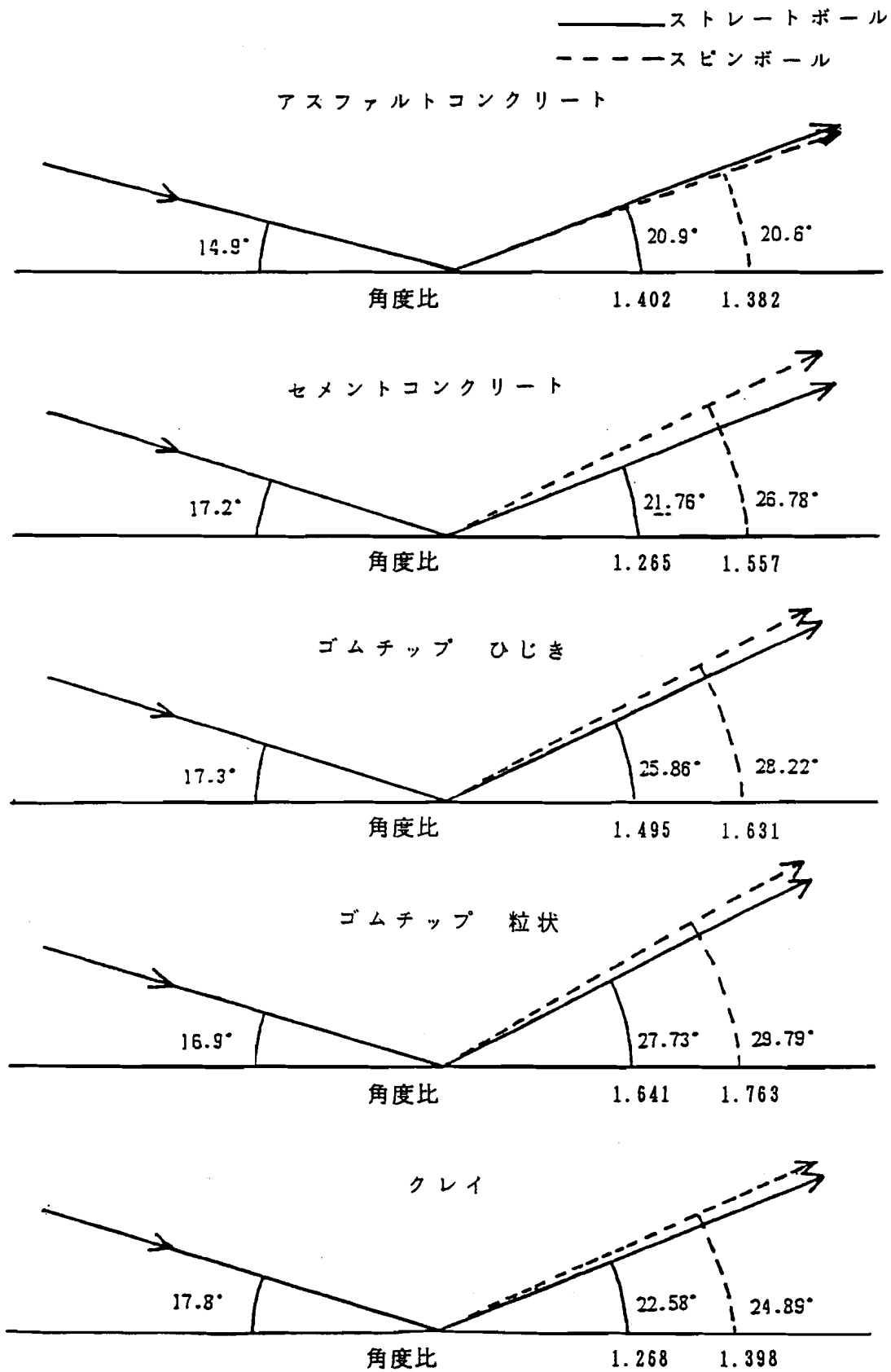


図 3 - 1 3 各種テニスコートのボール跳ね返り試験結果



写真 3 - 1 ゴムチップテニスコートの概況



写真 3 - 2 ゴムチップ平板の色彩の種類と表面性状

第 5 節

結 論

弾性舗装材の開発を目的に、産業廃棄物である古タイヤの切削かすを、一液性ウレタン樹脂で固め着色したひじき状ゴムチップの舗装材について、物理特性試験などを実施した。その結果、ひじき状ゴムチップ舗装材は、以前から使用されていた粒状ゴムチップ舗装材に比べて、引張強度などに優れ舗装の弾性も大きく透水性があり、優れた舗装材であった。また、歩径路などの人が利用する場所の舗装材として、色彩の劣化や耐候性、すべり等を測定したが、良好な結果を得た。

次に、これをもとにゴムチップ舗装材を用いて50mの歩径路を作成し、歩行感や滑り等、実用的な見地から307人の官能検査を行った。その結果、ひじき状ゴムチップは、粒状ゴムチップに比べて、弾性やすべりなどでも優れており、歩径路やジョギング等の軽い運動用舗装材としては、優れた舗装材であることを示した。

次に、ひじき状ゴムチップ舗装材を用いて、テニスコートとしての特性について検討を行った。その結果、テニスコートとしての硬さは、ソフトコートの部類にはいる人工芝とポリウレタン系コートの間間的な硬さを示した。また、クレイ舗装よりもバウンド率は低い、人工芝よりもバウンド性の大きい性質を示した。ひじき状ゴムチップは、粒状ゴムチップに比べて反射角度が小さくなった。

これらの結果をまとめると、ひじき状ゴムチップは弾性が大きく施工が容易で色彩が豊かであると言う特徴を持った舗装材であるが、現在は、いろいろな場所に利用されるほど普及していない。しかし、現在の社会環境などを考えると、今後の利用は増大すると考えられ、今回の様々な実験結果はゴムチップ舗装材の実用的な問題を検討した報告として十分意義があると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 金井 格他：人のための道と広場の舗装 [設計・施工要覧]：
技報堂出版株式会社：1987. 5
- 2) 日本体育施設協会：屋外体育施設の建設指針（各種スポーツ施設の設計・
施工） 改訂2版：1990 : PP 227～252
- 3) 東京都港湾局開発部海上公園課：テニスコートサーフェスの性能評価法：
月刊体育施設：1983年2月号 : PP 91～106

第 4 章 舗装材の色彩について

第 1 節 序論

1-1 概説

従来、歩道舗装は、機能性や経済性を中心に設計されていたが、最近では、歩道の舗装材が街の個性的な景観を作り出す重視な要因として認識され、街づくりの重要な要素となっている。歩道舗装に用いられる材料は、無彩色のアスコン舗装やコンクリート舗装が多かったが、最近ではテラゾ平板やタイル、陶板などの着色加工した材料や、インターロッキングなどのブロック類、あるいは天然石が多く用いられる用になってきた。これらの材料の中には、色彩が全く変化しない材料もあるが、多くは時間が経過するにつれて、設計時と微妙に異なったり、汚れや紫外線による退色で景観にマッチしない色になるなど、色彩に関しては種々問題がある。また、舗装材を着色することで、夏場の舗装表面温度が上昇し、舗装からの照り返しなどで体感的に不快に感じるなど、歩道舗装材として様々な問題が生じる可能性もあり、今後の研究が待たれる。

1-2 既往の研究

都市における色彩の研究は、都市環境と色彩¹⁾など多くの研究があり、歩道用舗装材料と景観デザインについての研究²⁾も多い。しかし、舗装材料そのものの報告は、佐藤³⁾他の研究に見られる明色骨材を用いた舗装体と温度の関係などがあるだけで、舗装表面の温度と人間の体感を対象にした研究などは行われていない。また、舗装材の色彩の色調と路面温度の研究⁴⁾や、カラー舗装の表面温度と色彩の研究など⁵⁾、舗装の色調と温度に関する研究が最近行われるようになって来たが、報告数もまだ僅かで、現在各地でカラー舗装が多く行われている状況を見ると研究の発展が強く望まれる。

1-3 研究の目的と範囲

舗装材を着色する方法⁶⁾として、塗装工法や敷均し工法、流し込み工法などがあるが、第2節では、塗装工法で使用される塗料を用いて、コンクリート平板、アスコン舗装、ゴムチップ平板及びインターロッキングブロックにおける舗装体表面温度と色彩の経時的変化について測定し解析した。特に、塗装工法で施工される材料については、気温と表面温度の日変化関係、舗装設置場所の差による温度変化と色彩の変化について解析した。また、第3節では、塗装工法に併せて、敷均し工法で用いられている脱色アスファルトを用いた舗装、あるいはコンクリート製のテラゾ平板を用いて、実際の歩行による汚れと摩耗による色彩の経時的変化を測定し、併せて舗装材が持つ体感への影響を調べるため、舗装板が持つ放射エネルギーについての基礎的なデータ収拾を目的とした。

第 2 節 舗装材の色彩について

2 - 1 概説

塗装工法を行う場合、塗装材料の種類は、素材や塗料の持つ性質、施工場所の条件などから決定されるが、色彩は、景観を考慮した色調を決定するだけでなく、塗料を施工した後の、色彩の変化や変化後の色調を考慮して決定する必要がある。しかし、現実には塗料の種類は多く、色彩の退色試験を行なったデータも少ない。そこで本試験では、これらの塗装工法について、舗装材を設置する場所によって色彩がどの様に変化するかを調べるために、塗装工法として用いられる多くの塗料の中から、水性塗料を2種類選び、それぞれ4色の色調について、アスコン舗装とコンクリート舗装に塗布した場合の塗料の色彩変化について実験を行った。併せて、今後利用が増えると思えるゴムチップ平板について、5種類の色調で測定を行った。なお、ゴムチップ平板はウレタン樹脂をバインダーとしているので、バインダーに顔料を混合する方法で着色を行った。また、最近歩道にも多く使用されているインターロッキングブロック（以後 I L B と呼ぶ）について、赤と白の I L B を用い、色彩の変化を測定した。

2 - 2 試験方法

本試験では、供試体としてコンクリート平板（300*300*60mm）に塗装を行い、各場所に設置した。なおコンクリート平板と比較するために、碎石路盤（15cm）上に施工された密粒度アスコン（10cm）舗装にも塗料を塗布した。また表面温度測定用として舗装厚さ5cmの密粒度アスコン舗装、碎石厚さ15cmの碎石舗装、I L B 舗装、クレイ舗装でも行った。なおこれらの舗装面積はいずれも4m²である。

設置場所は、（1）日光が十分に当り風雨にもさらされるが、歩行者はいない場所で、自然条件による色彩の変化を測定した。なお、その他のアスコン舗装や I L B 舗装なども同じ条件下にある（以降日向と呼ぶ）。（2）直射日光が当たらないところで、日陰になっている所ではあるが風の流通はよい（以降日影と呼ぶ）。（3）歩行者の通行量はごく少ないが、長靴などで舗装材に泥の着く可能

性は非常に大きい（以降歩行と呼ぶ）。（４）北側斜面で直射日光が当たらず冬場は凍上するような場所（以降凍上と呼ぶ）。（５）雑木林の中で葉の落葉もある場所で、樹木の下に敷並べてある（以降樹木下と呼ぶ）。

舗装材に用いた塗料は、アクリル樹脂系エマルジョンタイプの塗料（以降アクリル樹脂系と呼ぶ）と、変性高分子シリカ系水性塗料（以降シリカ系と呼ぶ）の塗料で、ゴムチップには1液性ウレタン樹脂に無機顔料を混合して用いた。

なお、アクリル樹脂系塗料の色は赤・黄・緑。灰色で、シリカ系塗料は赤・黄・緑・白である。塗料は舗装上にローラ刷毛で塗布したが、シリカ系の塗装表面は光沢が無く、アクリル樹脂系は表面に光沢がある。なお、ゴムチップでは、赤・黄・緑・青・茶の5色で行った。

色彩の測定は、MINOLTA製の色彩色差計CR100とデータプロセッサーDP100を用いた。色彩はXYZ表色系で測色しYxyで表示した。Yは視感反射率、xyは色度座標を示す。同時にマンセル表色系でも測定した。マンセル表示ではHは色相、Vは明度、Cは彩度を示す。なお、色彩測定時の光源はC光源とし、色差計の測色面は直径8mmの円形断面で、各舗装について8箇所測定した。また、舗装面は表面のはこり等を除去し、乾燥状態で測定を行った。

表面温度の測定は、非接触タイプのMINOLTA製の放射温度計IR-0510を用いて、1時間毎に測定を行った。なお、日向の測定場所では、地上1.2mの気温測定を行い、日射量と風速、雨量の測定を行った。

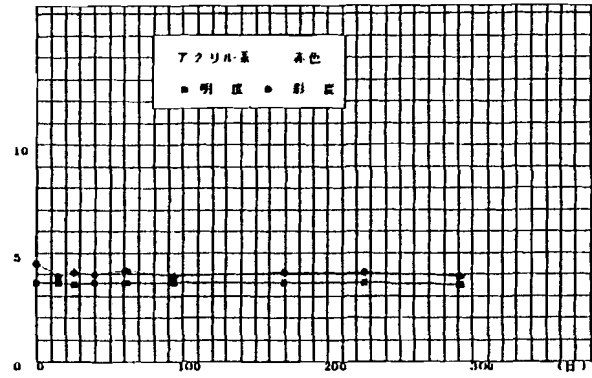
2-3 結果および考察

(1) 舗装の色彩の変化

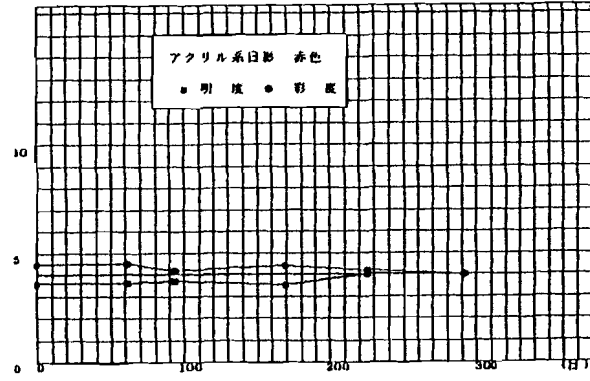
舗装の色彩測定データの一部を表4-1～表4-3に示す。測定値はXYZ表色系のYxyで示し、最初と最後の値については、マンセル表色系のHVCでも表示した。

コンクリート系の舗装材を見ると、無塗装のコンクリート平板は時間が経過するにつれて視感反射率が低下し、色相として黄色系の色相になった。これは時間が経過するにつれて表面が汚れ、空気中の炭酸ガスなどで徐々に表面性状が変化したり、降雨などの影響も受けて、視感反射率の高い白色から黄色味を帯びた色

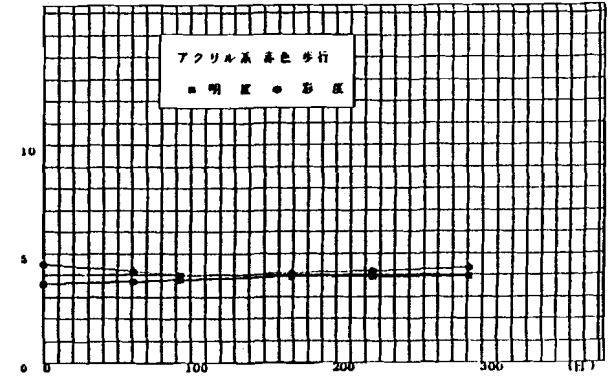
日向に置いた場合



日陰に置いた場合



歩行者のある場所に置いた場合



-137-

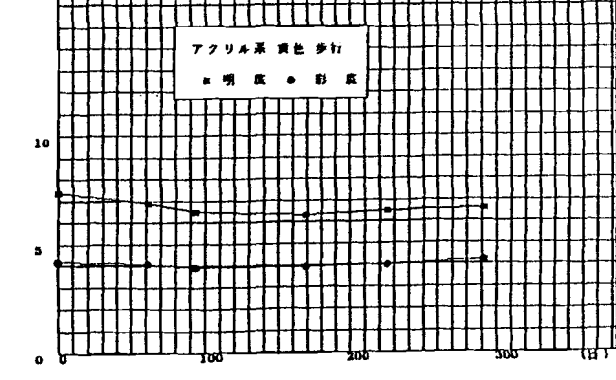
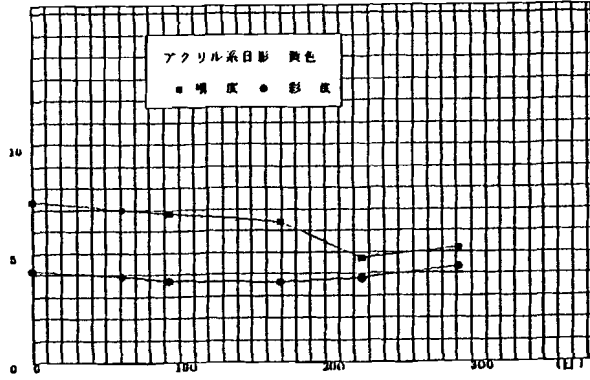
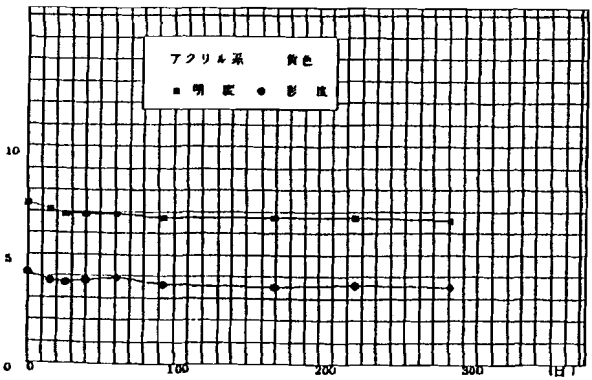
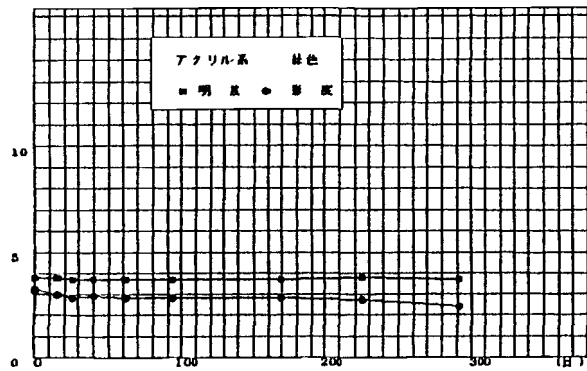
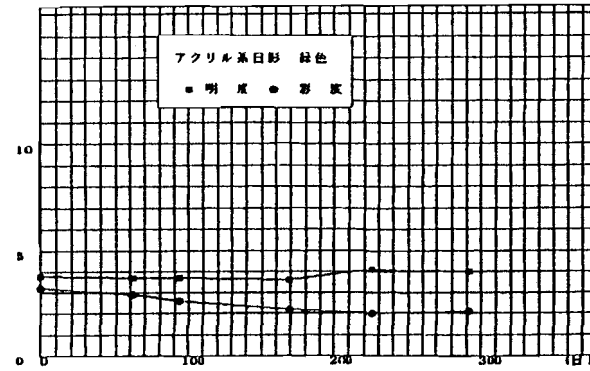


図 4-1 マンセル表示によるコンクリート平板の明度と彩度の変化
(アクリル系塗料)

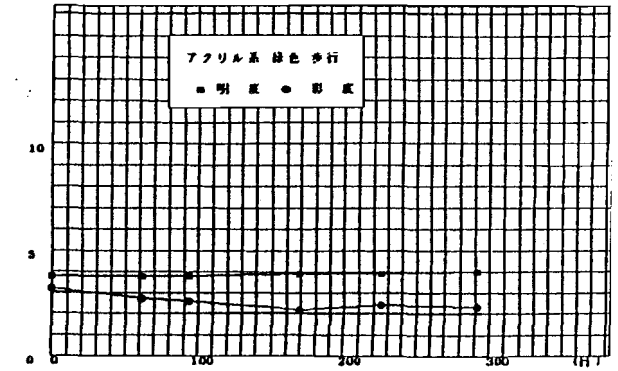
日向に置いた場合



日陰に置いた場合



歩行者のある場所に置いた場合



-138-

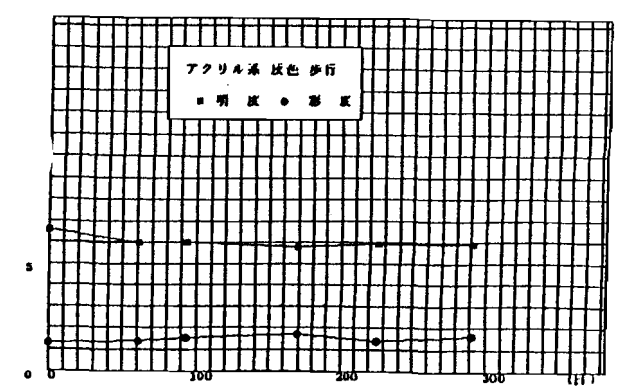
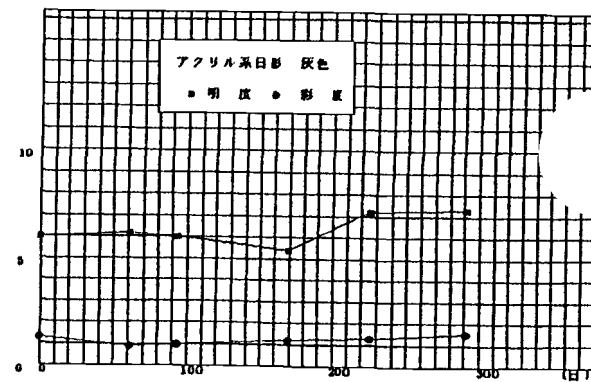
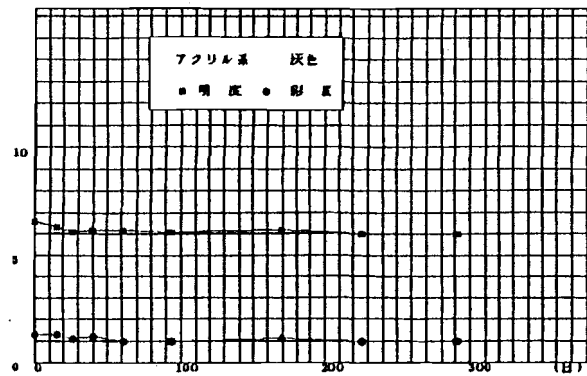
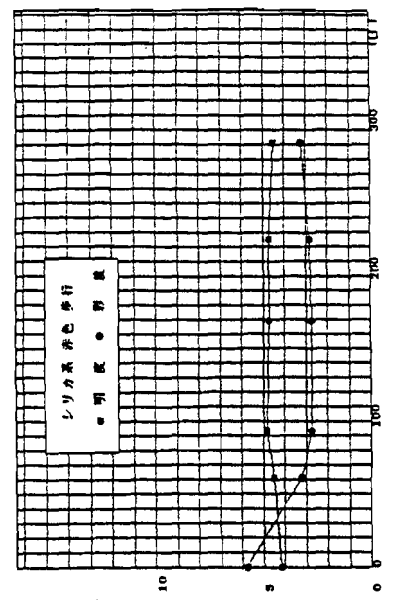
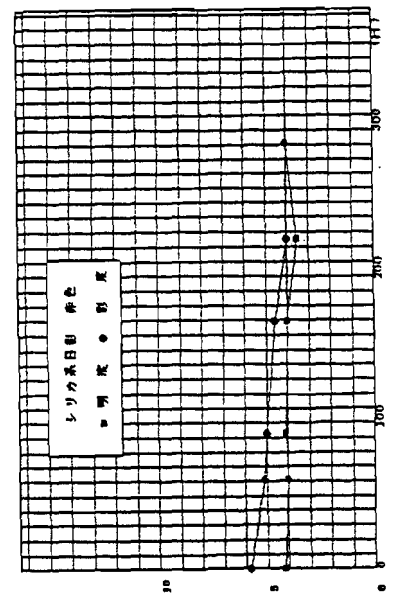


図 4-2 マンセル表示によるコンクリート平板の明度と彩度の変化 (アクリル系塗料)

歩行者のある場所に置いた場合



日陰に置いた場合



日向に置いた場合

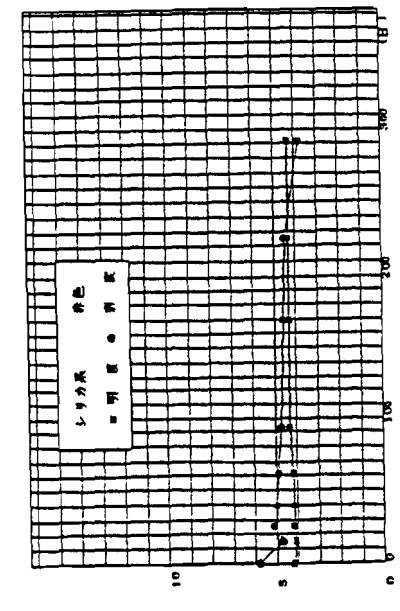
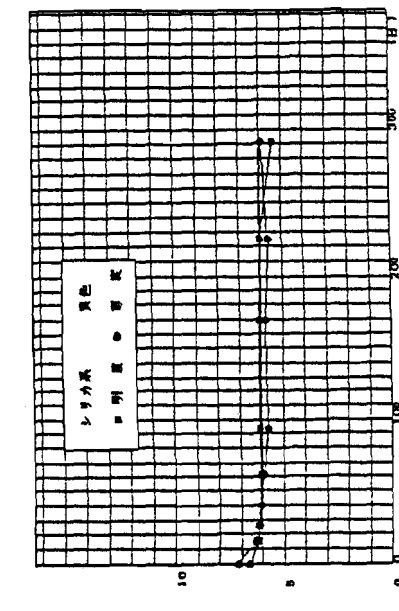
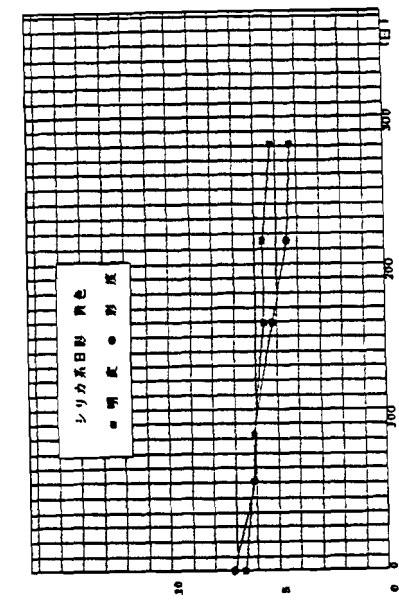
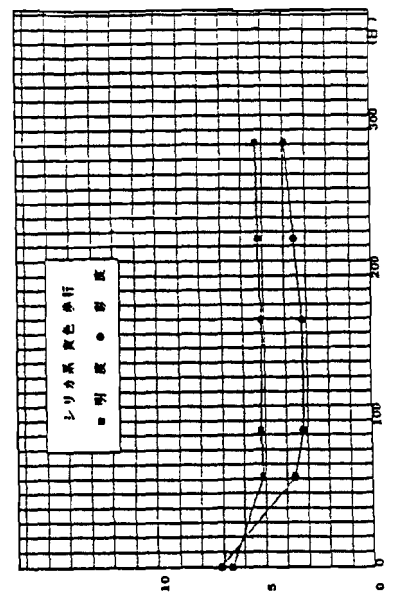
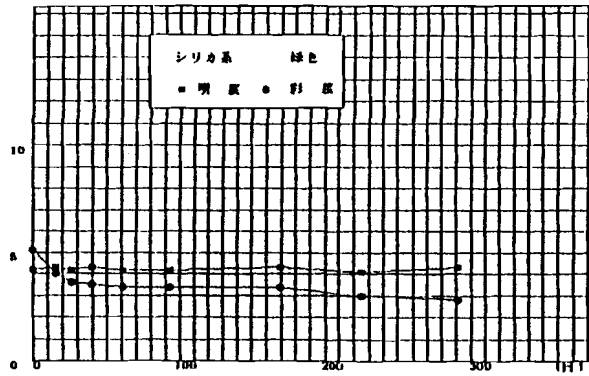


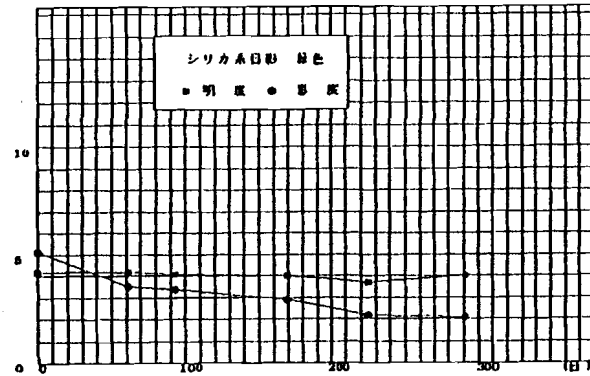
図 4-3 マンセル表示によるコンクリート平板の明度と彩度の変化 (シリカ系塗料)



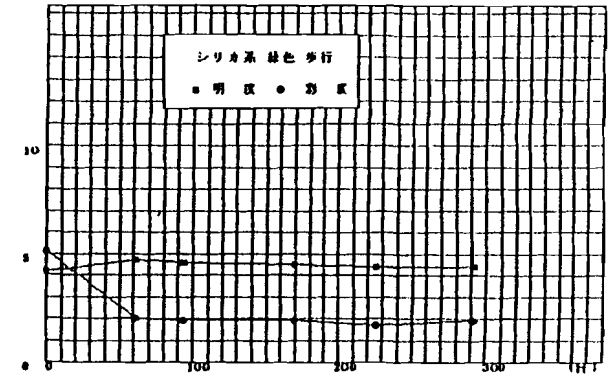
日向に置いた場合



日陰に置いた場合



歩行者のある場所に置いた場合



-140-

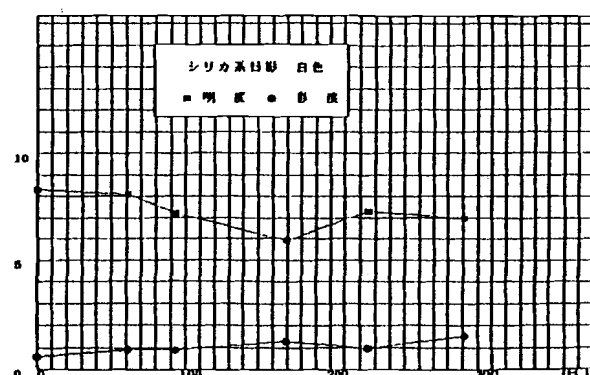
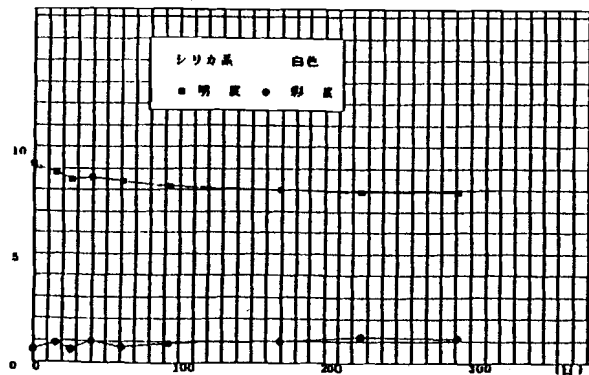
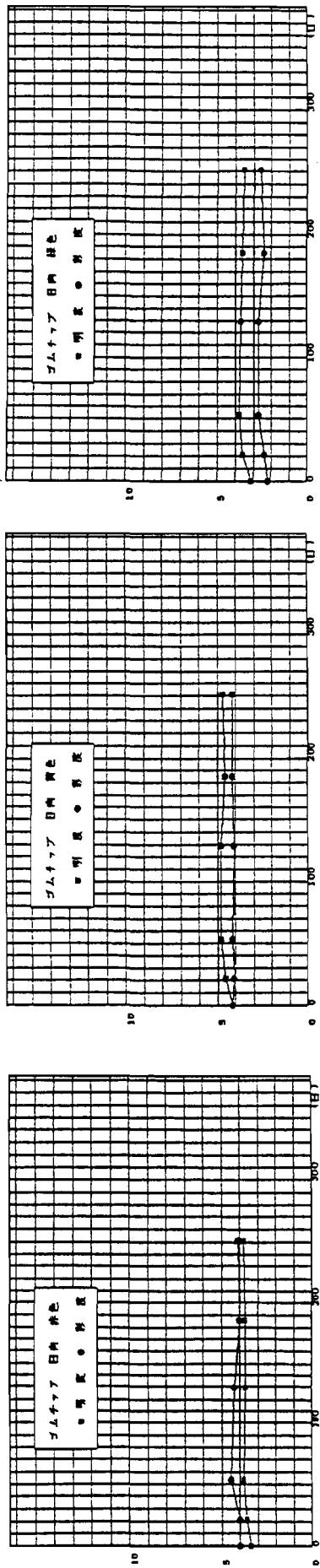


図 4-4 マンセル表示によるコンクリート平板の明度と彩度の変化 (シリカ系塗料)

日向に置いた場合



日陰に置いた場合

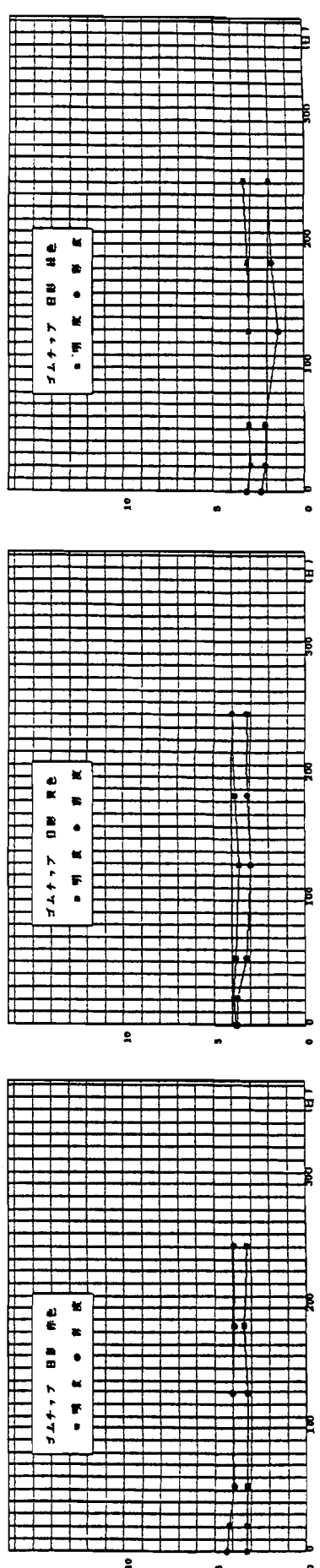
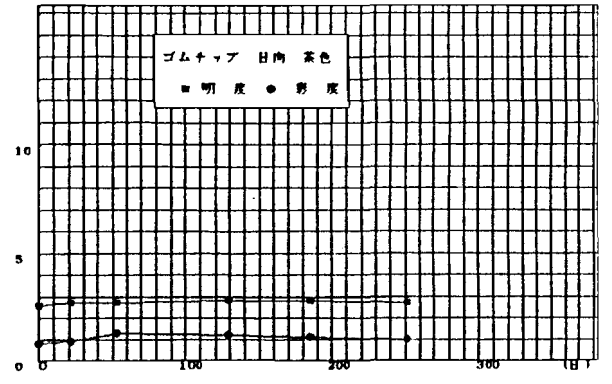
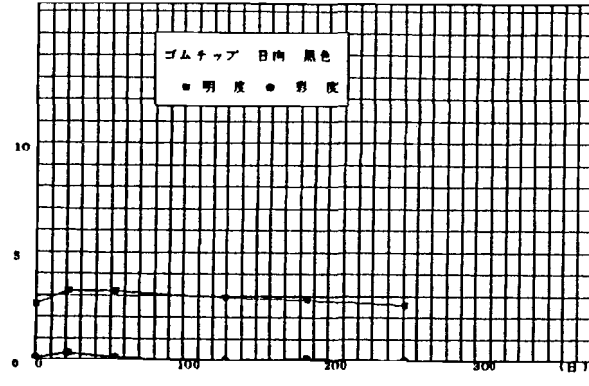
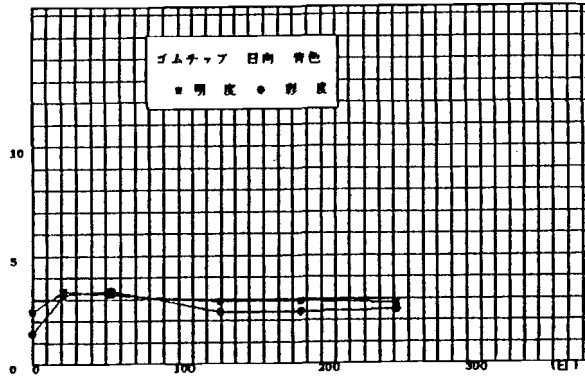


図 4-5 マンセル表示によるゴムチップ平板の明度と彩度の変化

日向に置いた場合



日陰に置いた場合

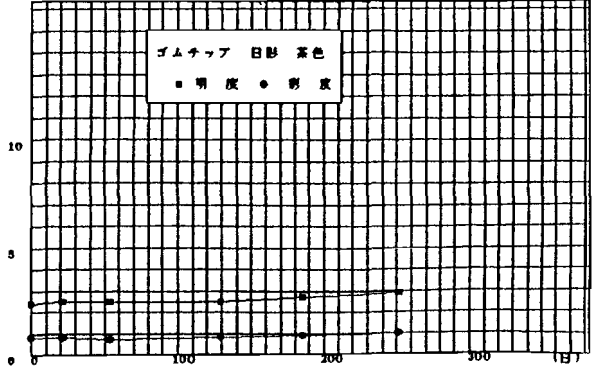
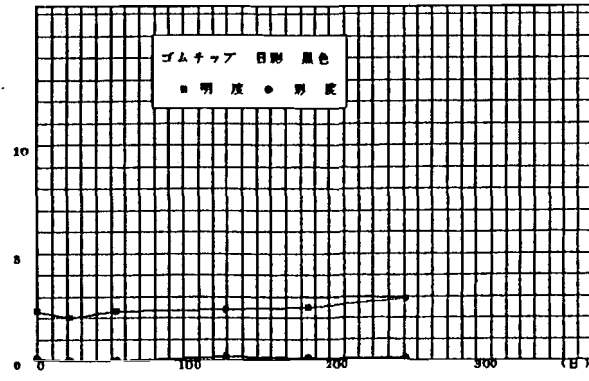
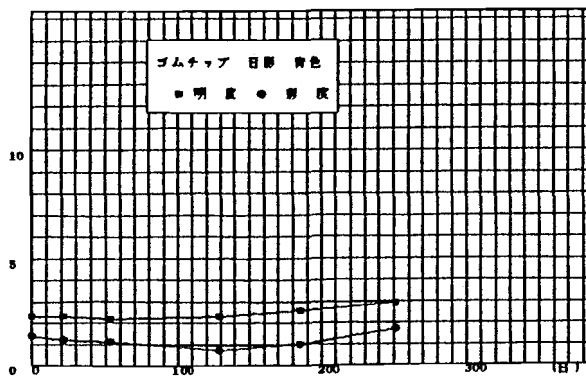


図 4-6 マンセル表示によるゴムチップ平板の明度と彩度の変化

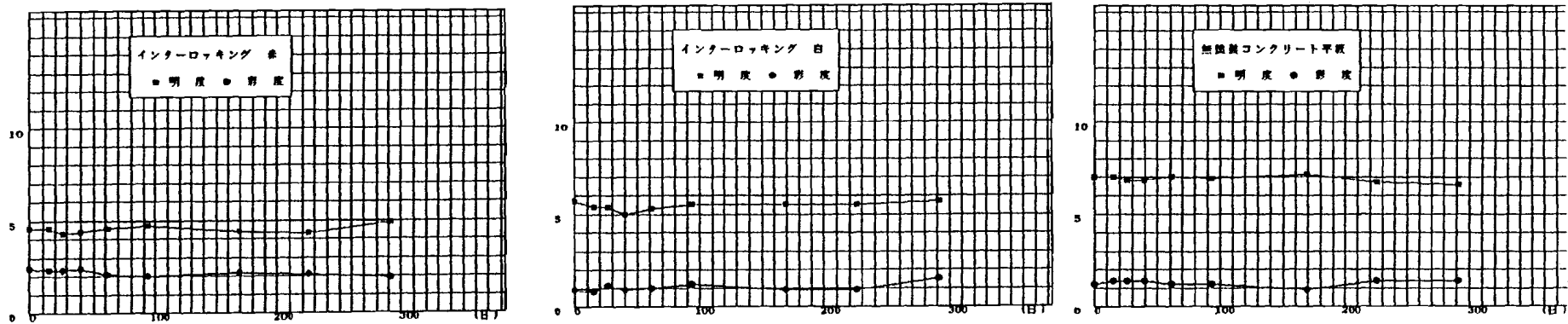


図 4-7 マンセル表示によるその他の舗装材の明度と彩度の変化

に変化するからである。塗装をしたコンクリート平板では、赤色や緑色でシリカ系塗料の視感反射率が上昇していたが、アクリル樹脂系塗料では逆に低下していた。しかし、黄色や白色・灰色はもともと視感反射率が高いので、いずれの塗装でも視感反射率は低下していた。次に、アスコン系の舗装を見ると、無塗装のアスコン舗装は、アスコン表面にゴミなどが付着し、表面が白くなって来るので視感反射率は上昇した。また、赤色、緑色などでも同様の傾向が認められたが、黄色・灰色ではコンクリート系の材料同様に低下していた。また、塗料を塗布した場合、彩度の高い色は退色しやすく、明度の高い色は明度の低下量が大きい結果を得た。これは、紫外線や降雨などによる劣化で舗装が輝きを失ったり、砂ぼこりで表面が傷つき退色したりして、明度が低下するものと思われる。

次に、設置場所による明度と彩度の変化について検討した。マンセル表示で表された明度と彩度の測定結果を図4-1～図4-7に示す。アクリル系塗料は、赤色では設置場所が異なっても塗装の明度や彩度がさほど変化していないが、緑色や黄色では、明度が多少変化していた。一方シリカ系塗料では、各色とも、歩行者のある場所に設置した場合、明度の低下量が大きい結果を得た。また全体的にシリカ系塗料よりもアクリル系塗料の方が経時的な変化率は小さかった。ゴムチップ舗装では、明度・彩度とのほとんど変化していなかった。これは、ゴムチップ舗装の着色方法が塗装工法と異なり、ウレタン樹脂の中に顔料が混合されているので色彩が変化しにくく、劣化の過程が異なるので退色しにくいことが原因と考えられる。

ILBは、コンクリート製ではあるが、塗料を塗布した工法とは異なり色彩の彩度も小さいことから、変化する割合は少なかつた。また、全体的に色彩は時間が経過するにつれて色度座標の内側に

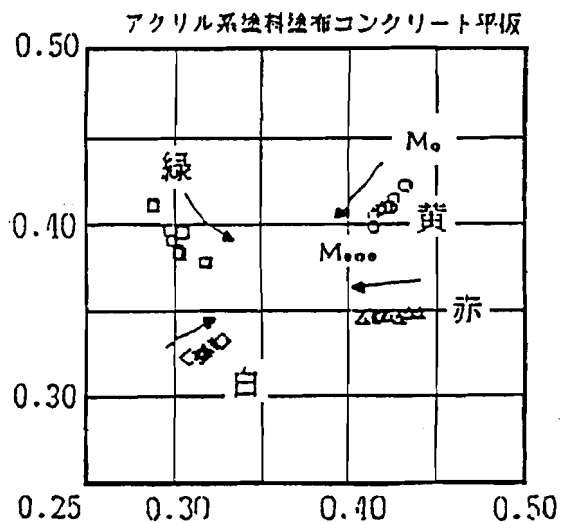


図4-8 アクリル系塗装の色度座標変化

向かって色が変化しており、これは色が徐々に白に近くなってきている事を示している。（図4-8参照）

（2）舗装の表面温度について

表面温度の測定結果は図4-9～図4-21に示す。測定は、2月19日～10月9日までの間に6回行い、図4-9には測定当日の気温と表層厚さ5cmと10cmの2種類のアスコン舗装、碎石舗装、裸地の各表面温度を示してある。舗装材の表面温度は気温と日射量、風、降雨などによって大きく影響を受けるが、同一条件で各舗装間の表面温度を比較してみると、夏は気温と舗装材の表面温度の差が5℃～25℃程度になり、アスコン舗装などでは50℃を越す温度が測定された。また、4月でも表面温度の最高値は45℃程度になり、気温との格差も夏場と同様の5℃～25℃程度ではあったが、相対的な体感温度が低いので、体感的には舗装の温度が大きく上昇しているとは感じられないと思われる。

塗料の種類別に見てみると、シリカ系、アクリル系とも色彩によっては冬場の2月でも15℃前後の温度差を生じていた。特に、表面が太陽に暖められた場合、アスコン舗装の方が熱を吸収しやすいことから、アスコン舗装ではコンクリート平板に比べ温度格差が大きくなっていった。また、夏場になるとアスコンの温度は急激に上昇し、舗装としては体感的に好ましくない状況と言える。しかし、アスコン舗装でも、図4-12に示すように、色彩によっては表面温度が低くなり、塗装することでかなり温度低下が可能である。

設置場所による温度格差について検討してみると、公園などの舗装の様に、樹木の下に設置されたコンクリート平板は、ほとんど表面温度が上昇せず夏でも30℃を越えるのはわずかであった。また、北側面で日光が当たらず凍上しやすい場所に置いた舗装材は、図4-15に示すように、2月では0℃以下になることがあり、4月にはアスコン舗装では40℃を越える温度になっても、25℃程度しか上昇せず、気温と同じ程度の表面温度を示していた。また、人が歩く場所に設置した平板は、図4-17に示すように、人為的な汚れを生じない舗装に比べて、温度上昇と場所との関連が明確に出てこなかった。

その他の舗装材について検討してみると、ゴムチップ舗装板は、温度上昇の割合が大きく、色彩による温度差は他のコンクリート平板などに比べて少ない。ま

た、測定時の温度変化量が大きく、表面温度が気温や日射の影響により上下しているものと思われる。これは、ゴムチップ舗装の空隙率が大きく、空気相が舗装表面にある状態と同じであることから、これが原因で温度格差が大きく出て来るものと考えられる。ILB舗装を見ると、色彩による温度差はほとんどなく、一般のコンクリート平板よりも多少温度が高い性状を示した。

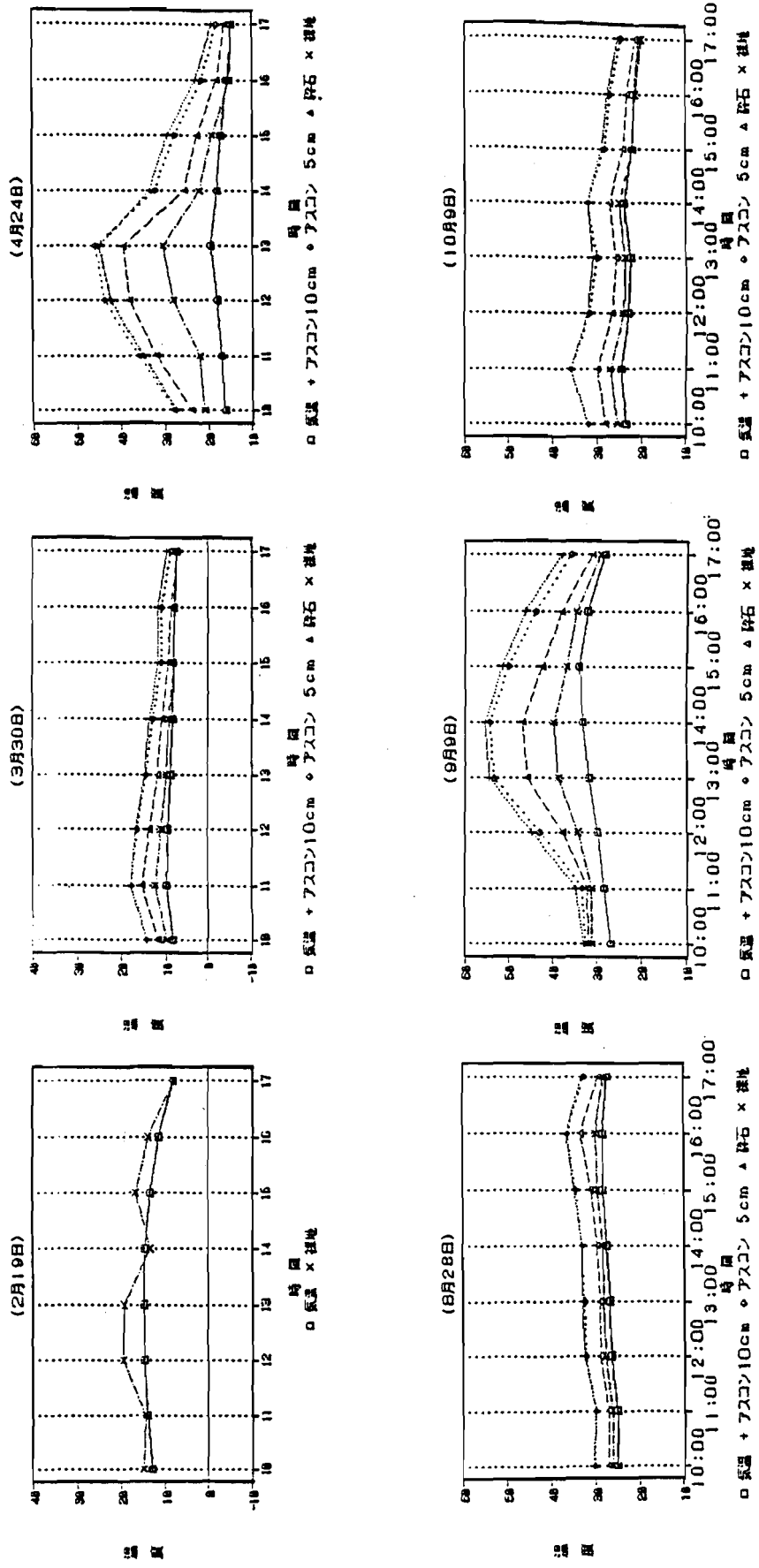


図 4-9 測定値点の気温と各種舗装の表面温度
(直射日光が十分にあたり、風通しも良い場所)

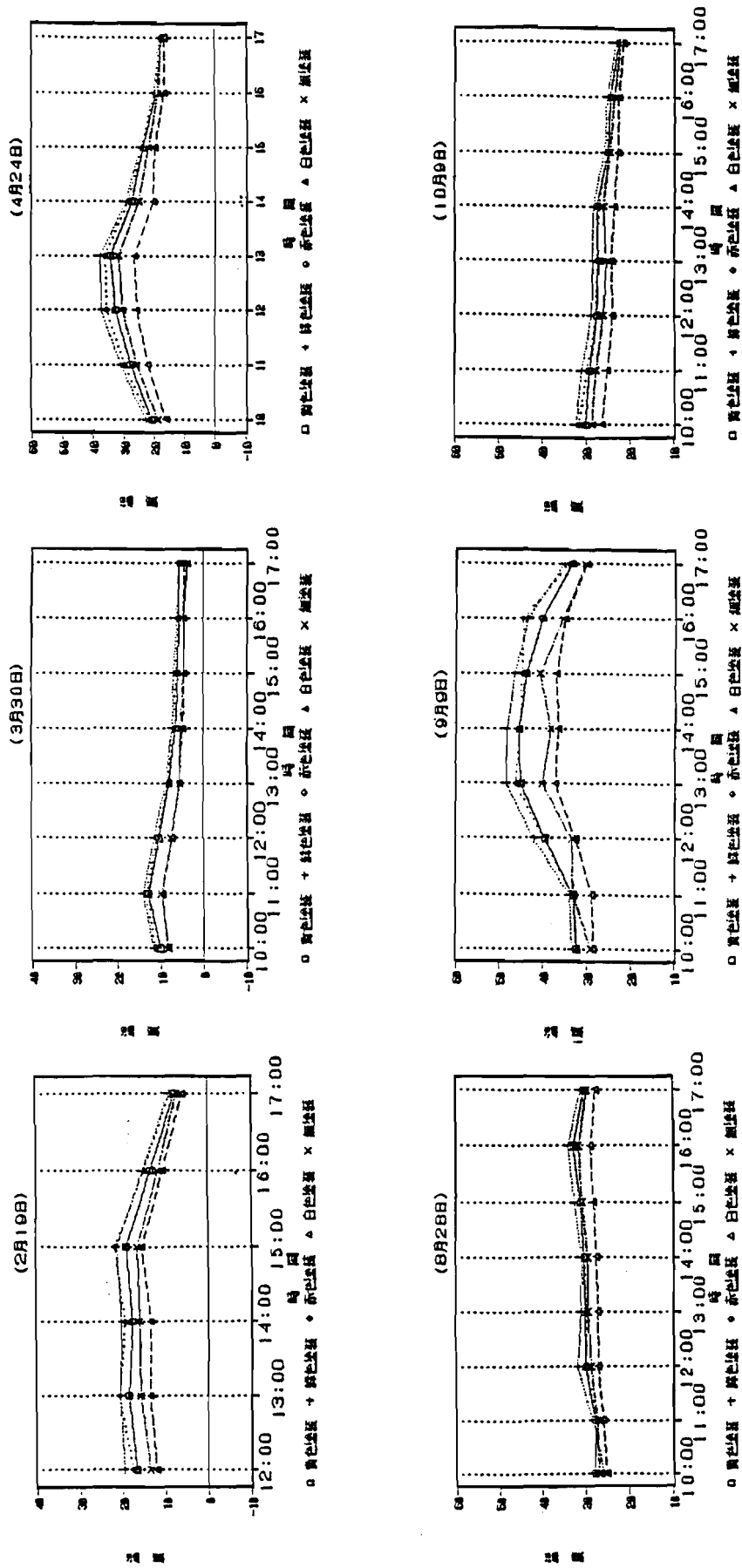


図 4-10 コンクリート平板に塗布したシリカ系塗料の日温度変化
(直射日光が十分にあたり、風通しも良い場所)

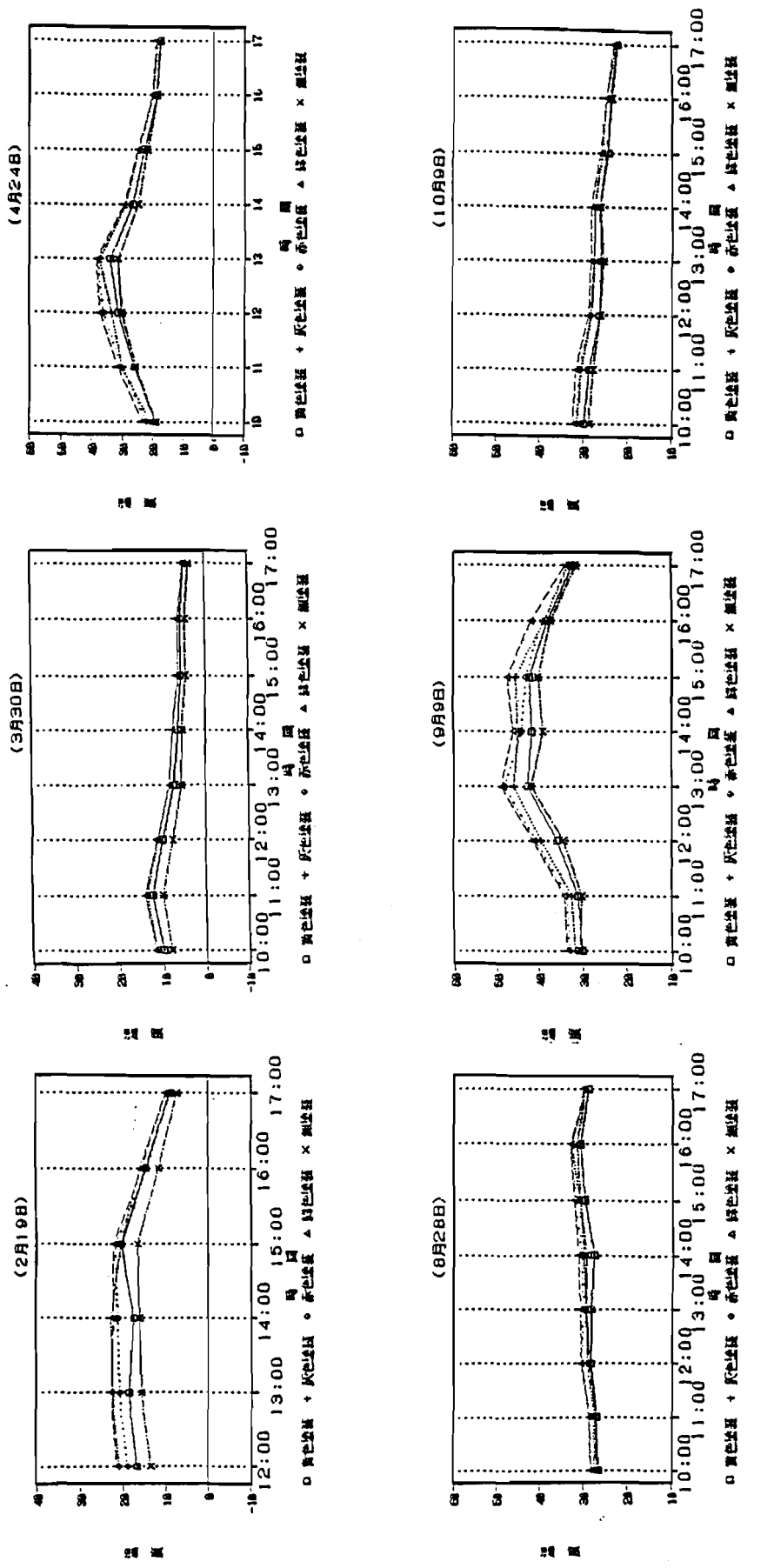


図 4-11 コンクリート平板に塗布したアクリル樹脂系塗料の日温度変化
(直射日光が十分にあたり、風通しも良い場所)

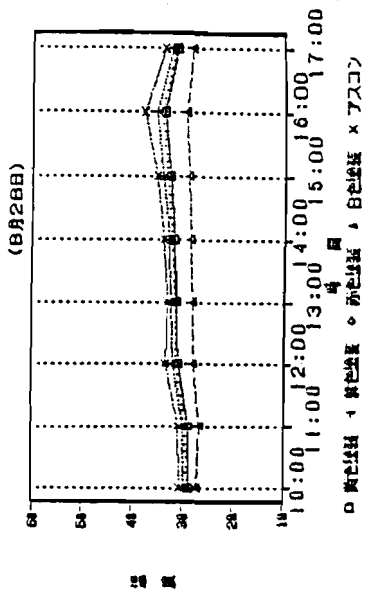
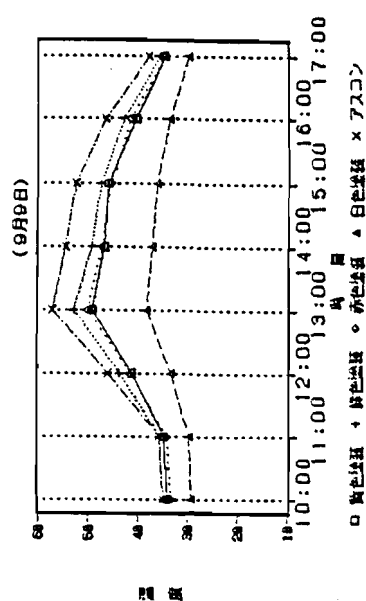
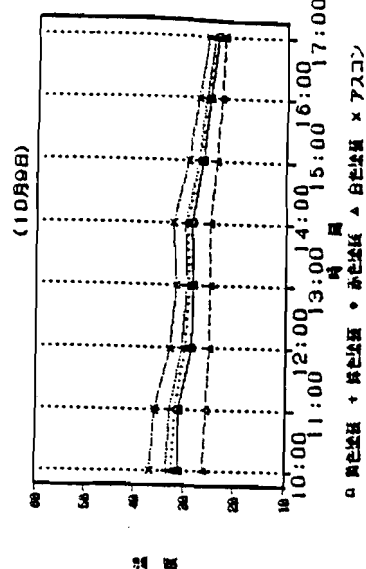
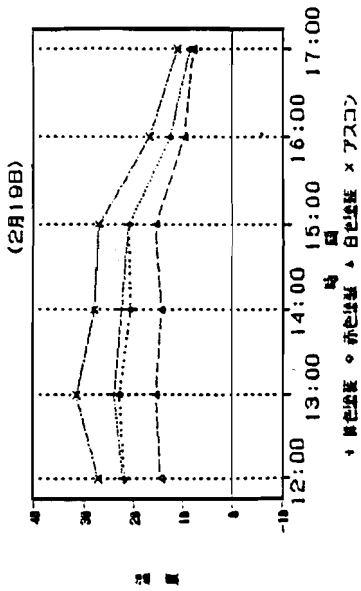
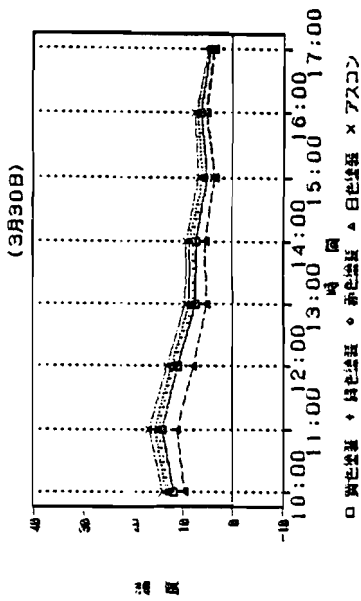
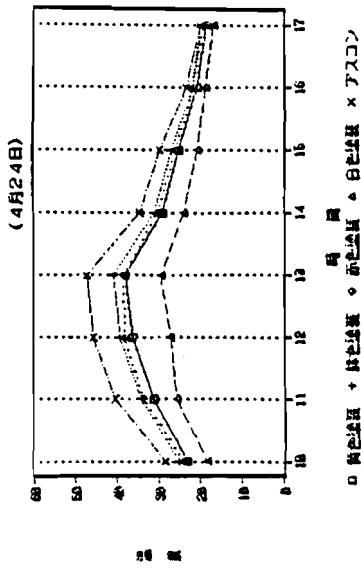


図 4-12 アスコン舗装に塗布したシリカ系塗料の日温度変化
(直射日光が十分にあたり、風通しも良い場所)

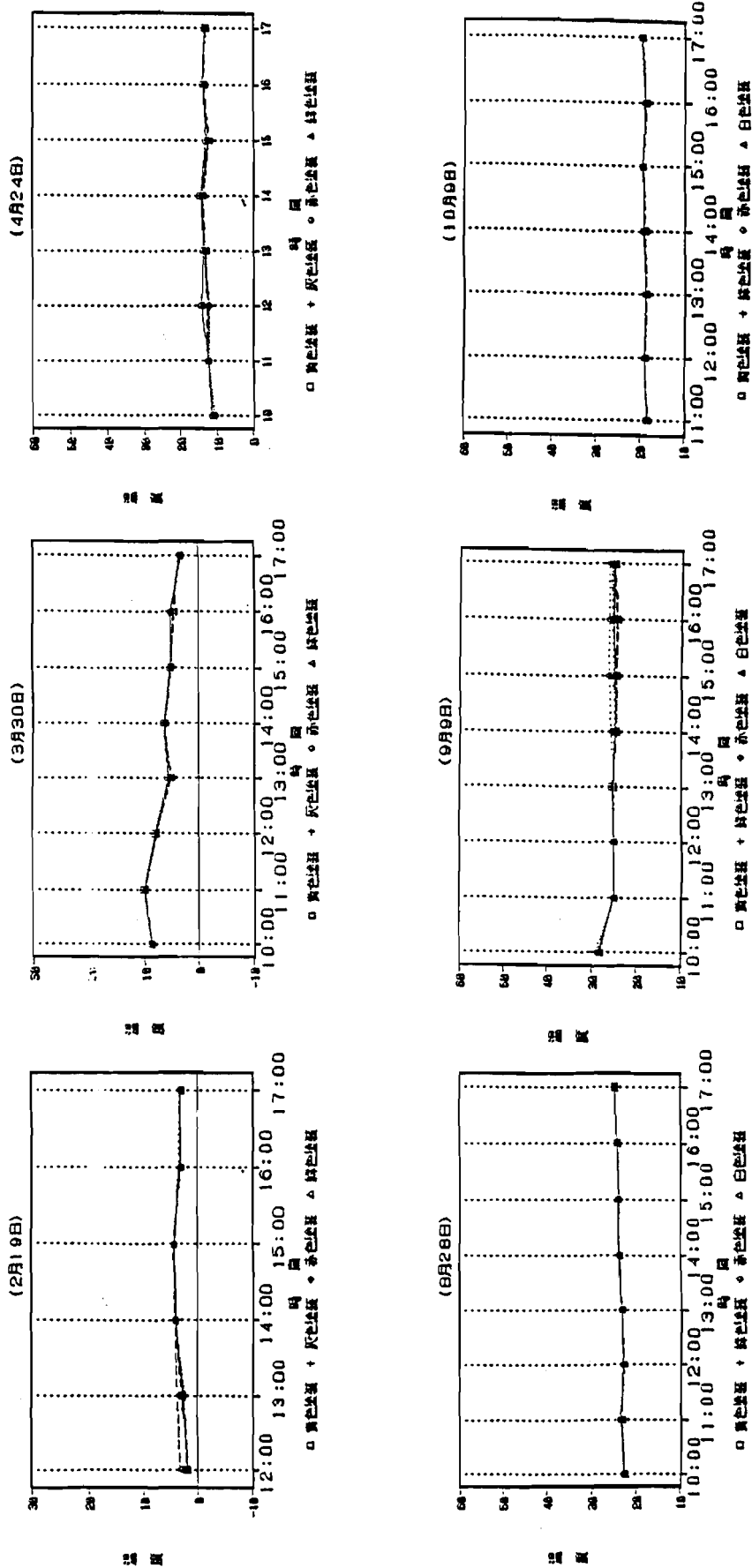


図 4-13 コンクリート平板に塗布したシリカ系塗料の日温度変化
(樹木の下にあり直射日光は当たらないが、風通しは良い場所)

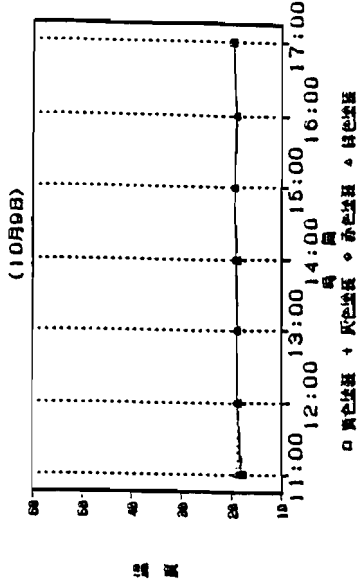
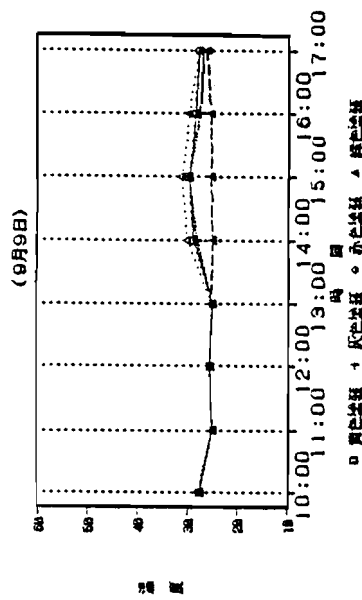
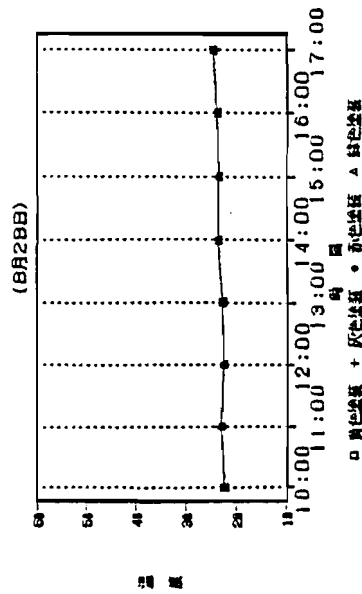
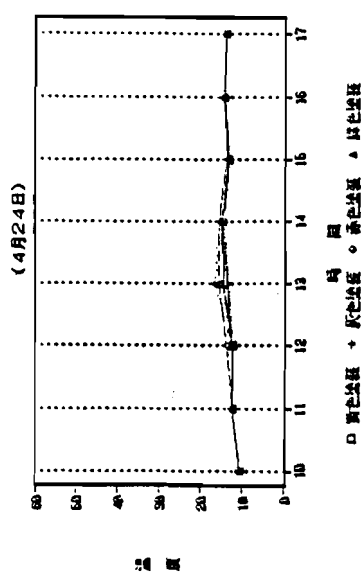
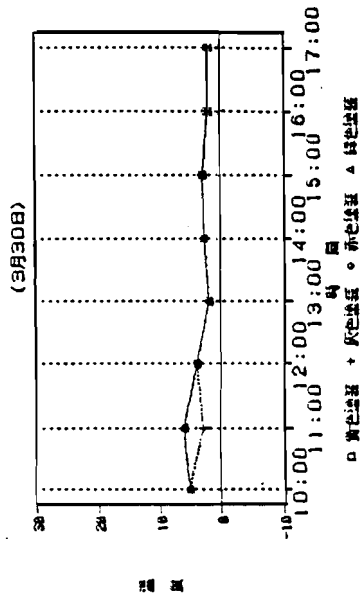
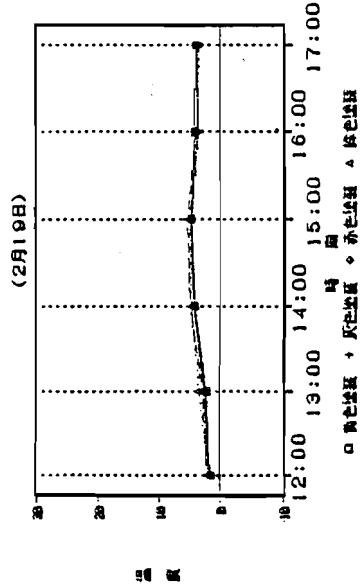


図 4-1-4 コンクリート平板に塗布したアクリル樹脂系塗料の日温度変化
(樹木の下にあり直射日光は当たらないが、風通しは良い場所)

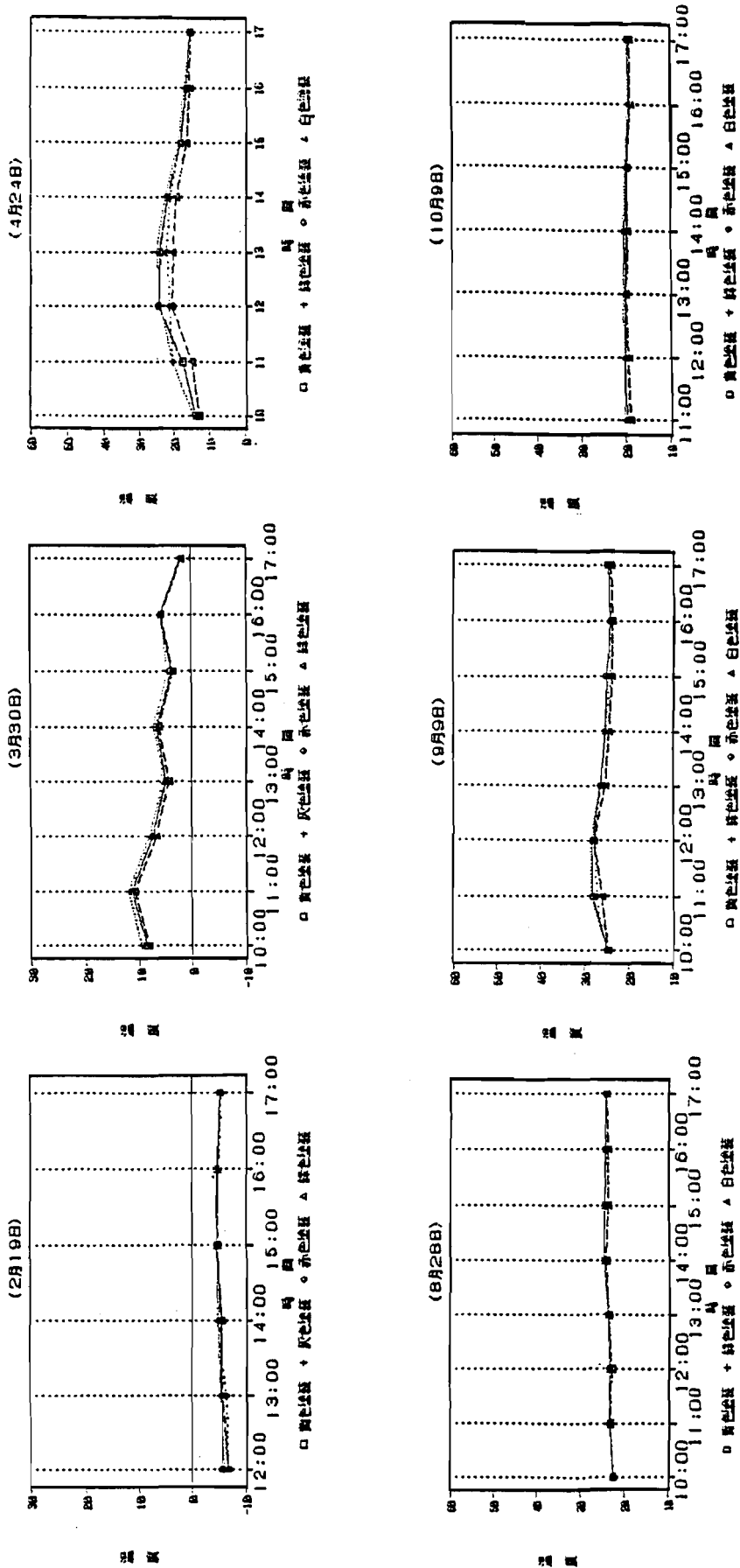


図 4-15 コンクリート平板に塗布したシリカ系塗料の日温度変化
 (北側にあり直射日光も当たらず風通しも悪く、凍上しやすい場所)

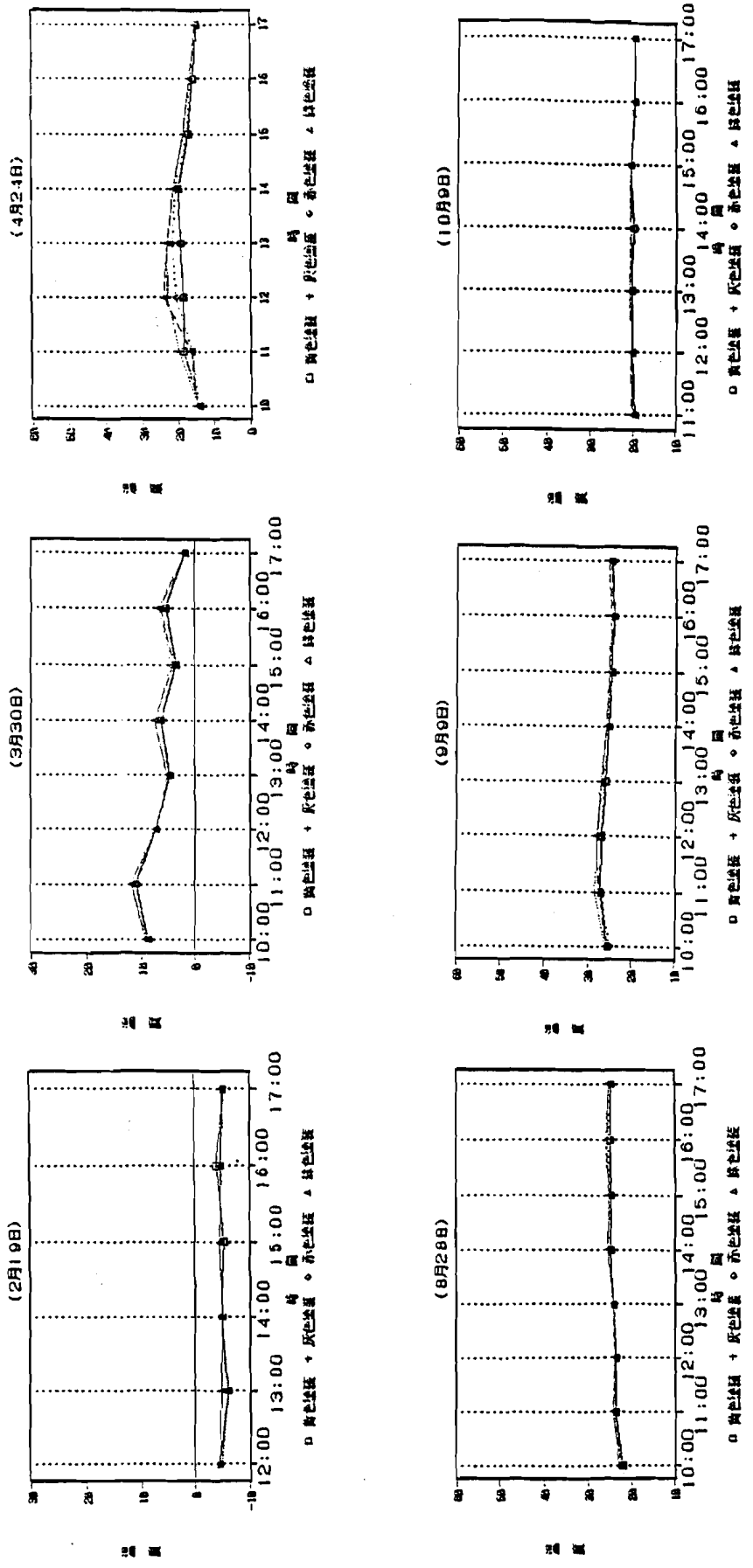


図 4-16 コンクリート平板に塗布したアクリル樹脂系塗料の日温度変化
 (北側にあり直射日光も当たらず風通しも悪く、凍上しやすい場所)

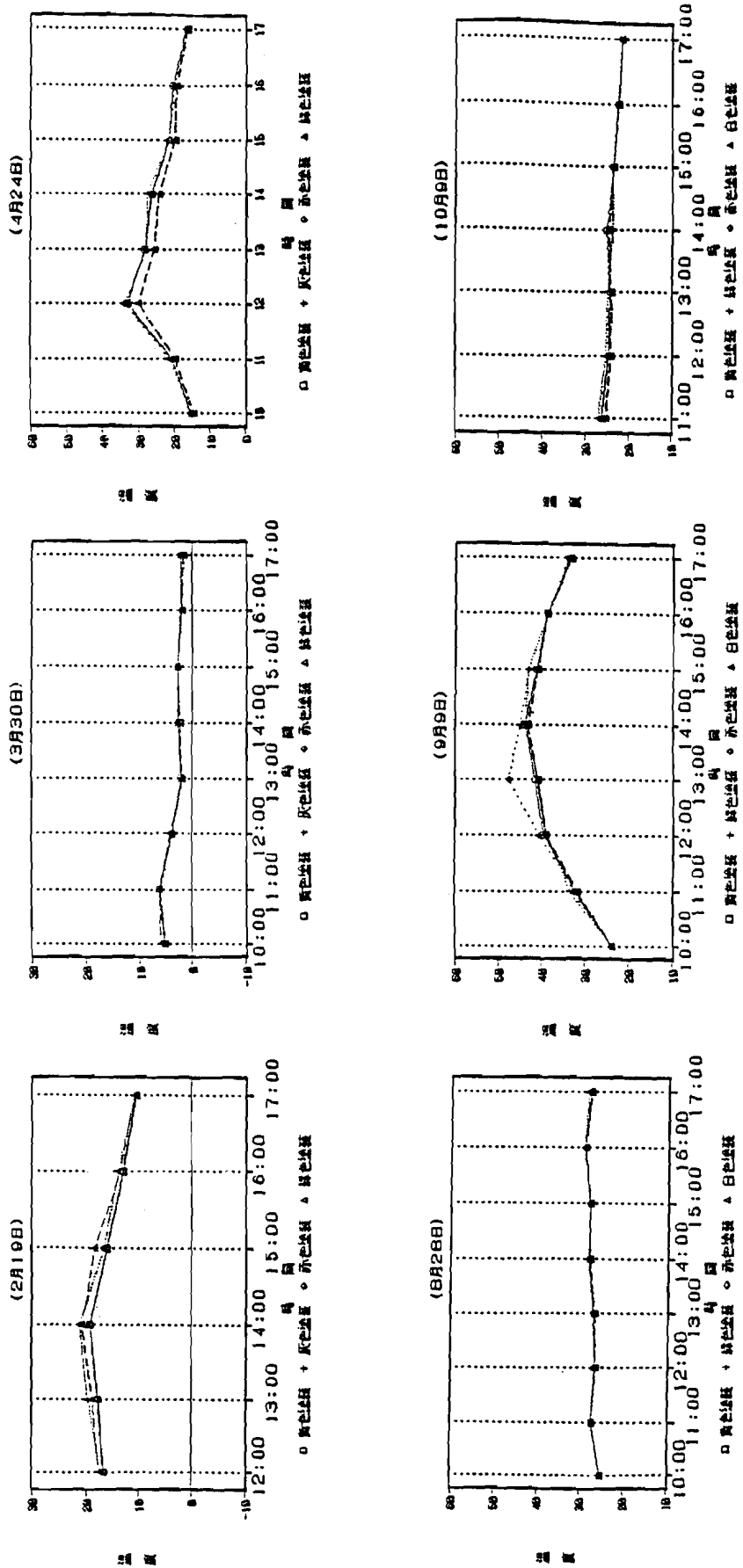


図 4-17 コンクリート平板に塗布したシリカ系塗料の日温度変化
(建物入口にあり、人の通行量は少ないが汚れて摩耗する)

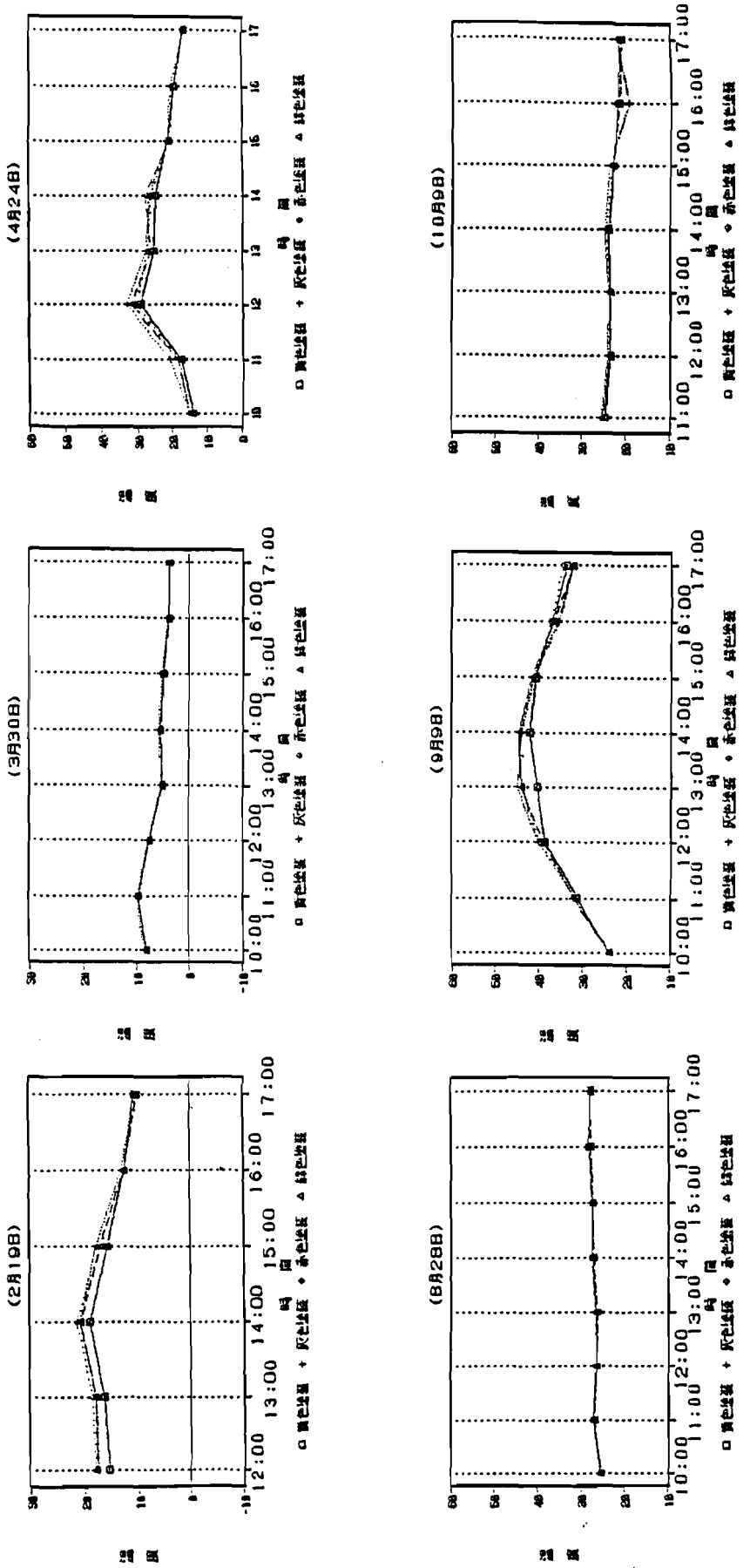


図 4-18 コンクリート平板に塗布したアクリル樹脂系塗料の日温度変化
 (建物入口にあり、人の通行量は少ないが汚れて摩耗する)

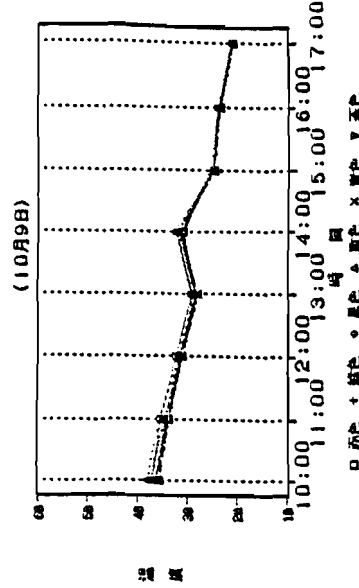
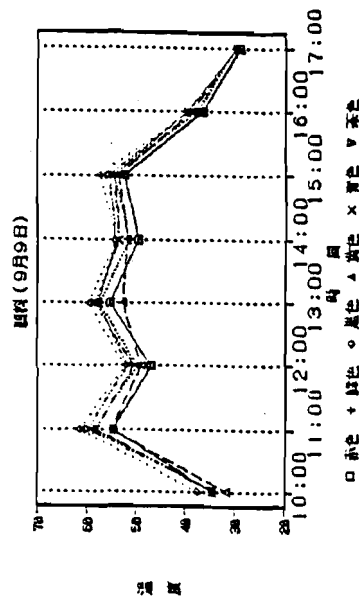
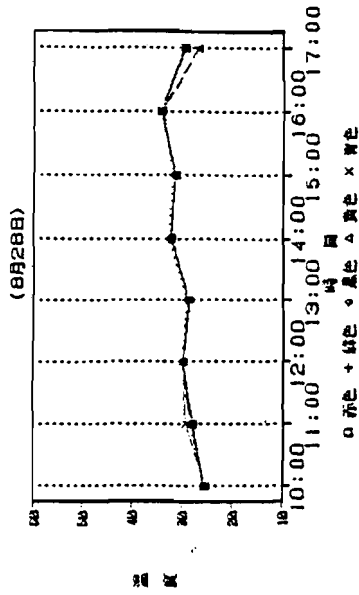
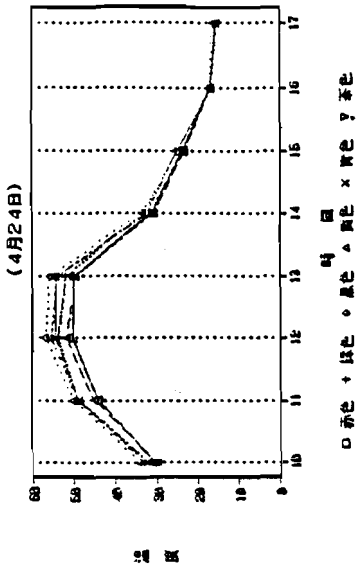
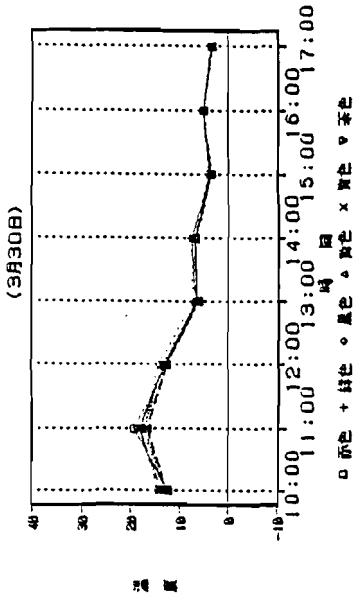
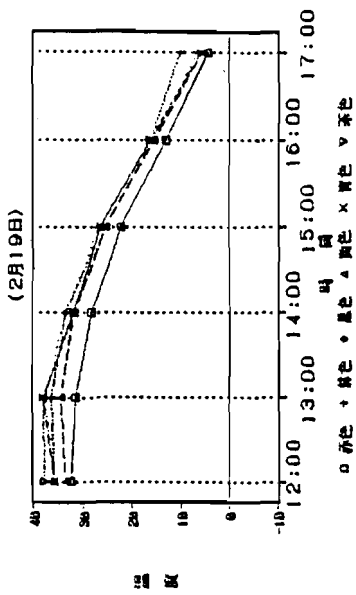


図 4-19 ゴムチップ平板の日温度変化
(直射日光が十分にあたり、風通しも良い場所)

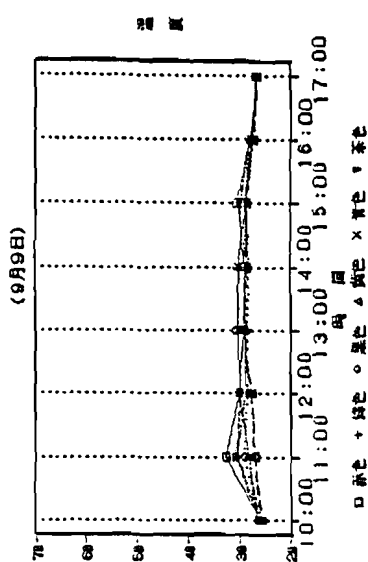
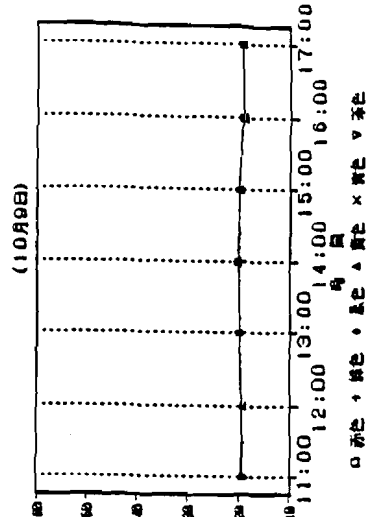
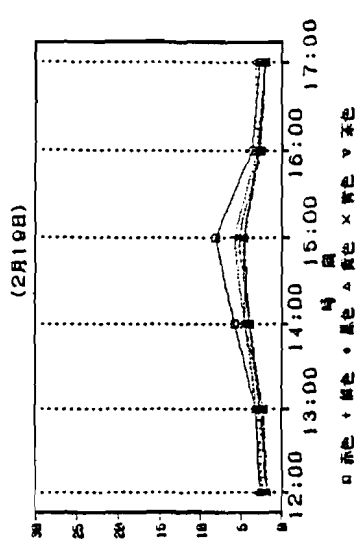
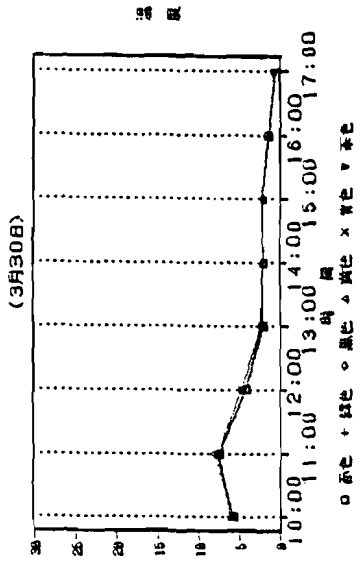
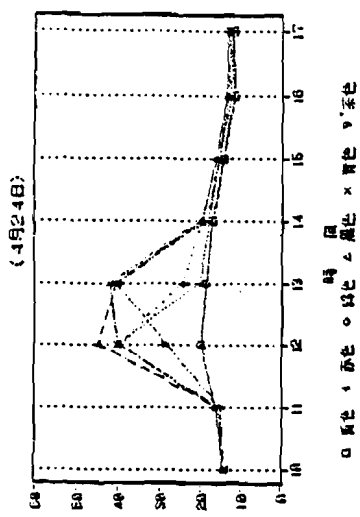


図 4-20 ゴムチップ平板の日温度変化
 (北側にあり直射日光も当たらず風通しも悪く、凍上しやすい場所)

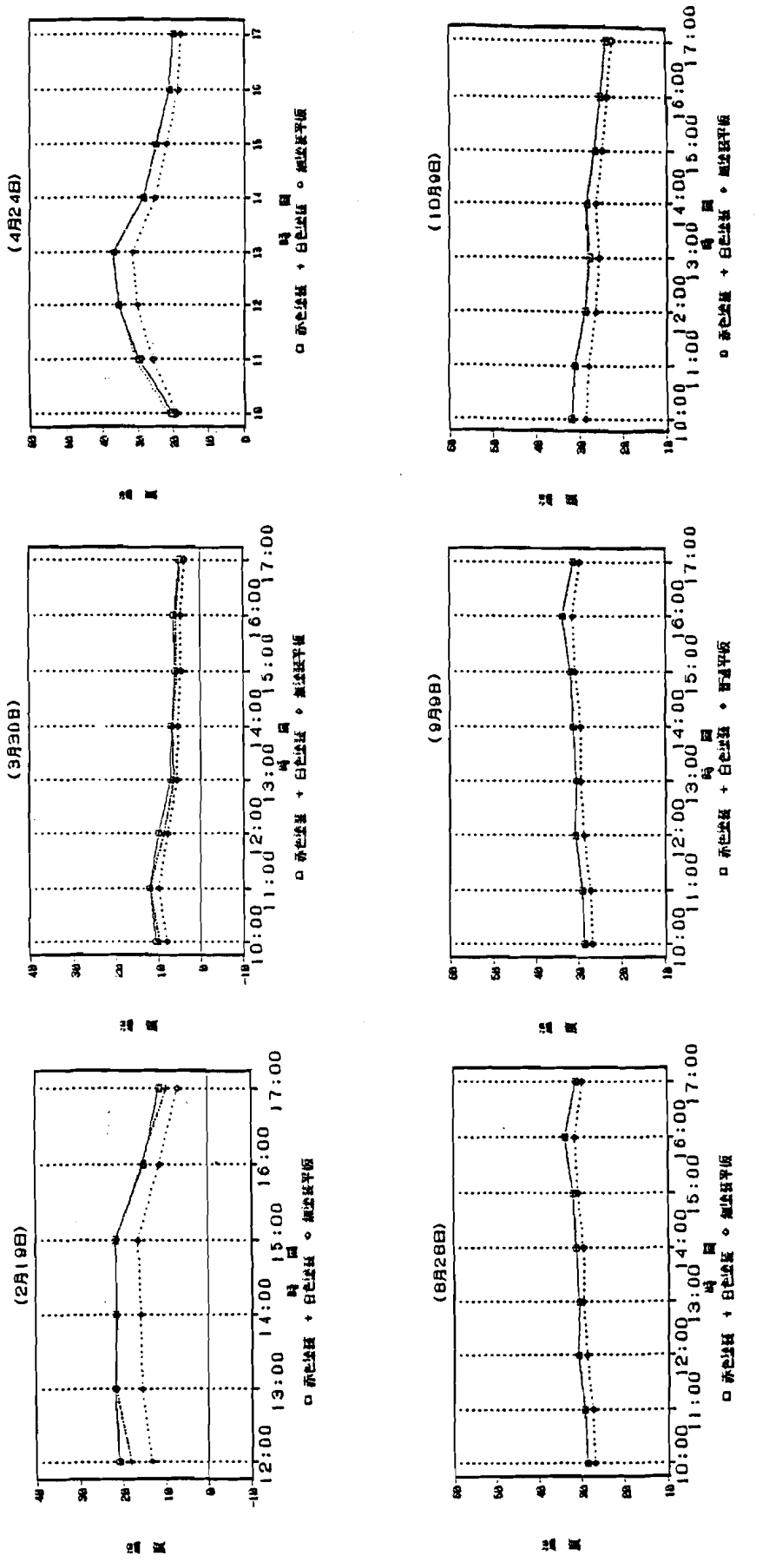


図 4-21 インターロッキングブロックの日温度変化
(直射日光が十分にあたり、風通しも良い場所)

(3) 舗装の表面温度と色彩について

(a) 基盤材料と表面温度

アスコン舗装とコンクリート舗装の表面温度について、回帰式を求めてみた。その結果、表4-4に示すように、白色を除いて式の傾きが1.03~1.05程度で、同じ塗料で同じ色の場合、材質による表面温度差はほとんど無いことが分かった。

表4-4 表面温度の回帰式

$$8(Y=A+BX)$$

色 彩	A	B
黄色	-0.1461	1.0535
緑色	0.1197	1.0428
赤色	0.4812	1.0305
白色	0.9286	0.9941

Y: アスコン表面温度 X: コンクリート表面温度

(b) 視感反射率と表面温度について

視感反射率Y値と供試体表面温度の関係を調べる場合、舗装体の温度は観測データから解析したが、舗装構成材料・塗料等によって条件が変わることから、供試体表面温度の変化量として、未塗装の舗装材と塗装された材料との表面温度差(Δtとする)を求めて検討した。

Δtは次式で求める。

$$\Delta t = (\text{未塗装の供試体表面温度}) - (\text{着色供試体表面温度})$$

その結果、視感反射率Y値とΔtの関係を図4-21に示すが、いずれの供試体でも視感反射率が低下すると温度の上昇が大きくなるという負の関係がある事

が分かった。このときゴムチップの視感反射率は5～20%を示したが、これは
 ゴムチップ舗装の材料特性によるものと考えられる。これを、実際の気温測定結
 果を用いて、気温が大きく上昇する季節の表面温度と視感反射率について比較検
 討した。その結果、図4-22に示すように、午前中と夕方では傾きが異なるが、
 いずれも負の関係を示しており、温度が高くなるとその傾きも大きくなった。ま
 た、アスコン舗装に、視感反射率の大きい塗料を塗布すると、表面温度が降下す
 ることが分かり、コンクリート平板に、視感反射率の小さい塗料を塗布すると、
 表面温度が上昇した。

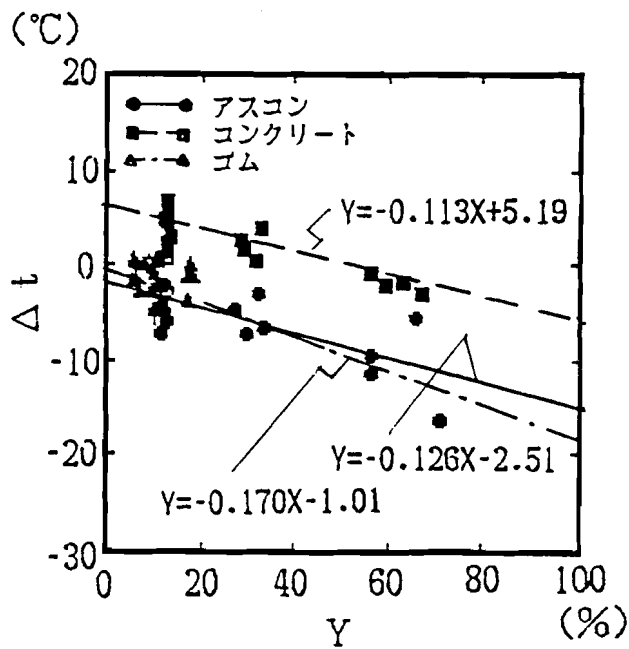


図4-21 Y値とΔtとの関係

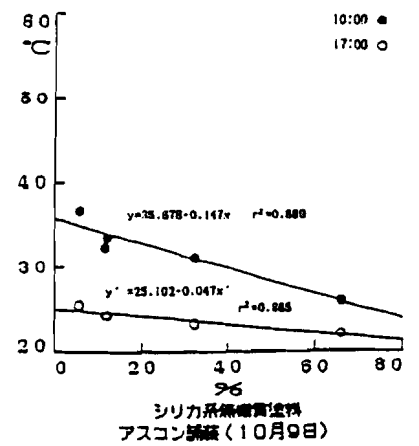
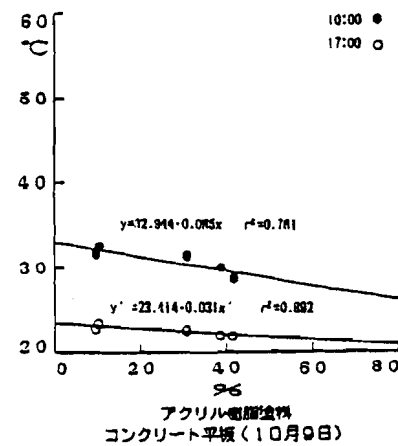
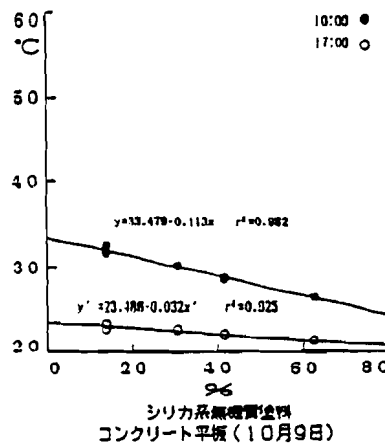
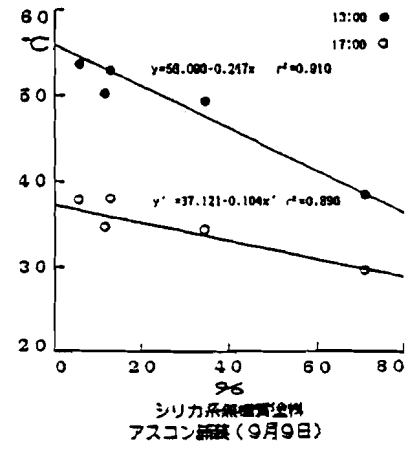
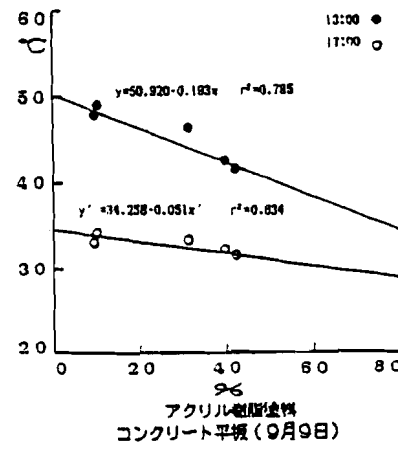
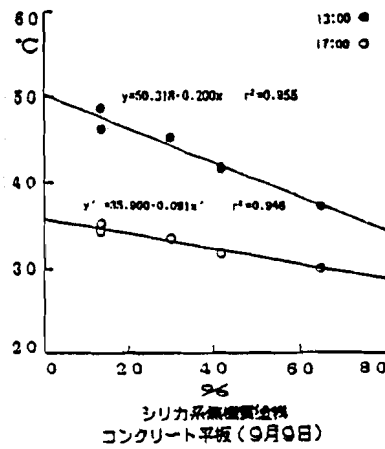
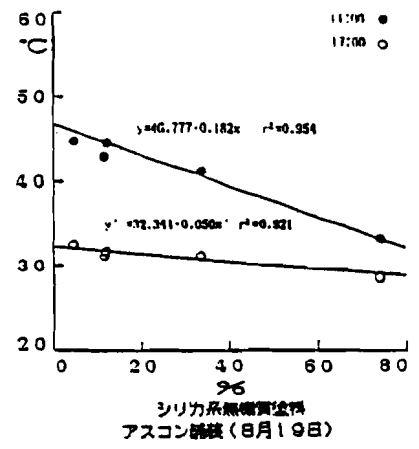
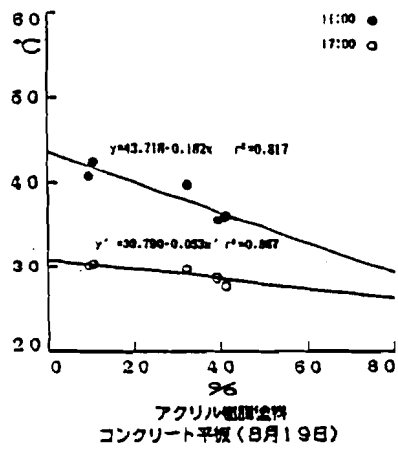
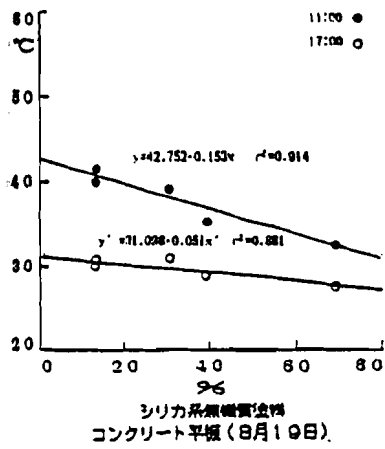


図-6 舗装の表面温度(°C)と視感反射率(%)の関係(1987)

図4-22 表面温度と視感反射率の関係

2 - 4 結論

塗料工法に用いる舗装材の色彩の変化について、コンクリート平板、アスコン舗装、ゴムチップ平板、ILBを用いて行った。使用した塗料は、水性塗料2種類（各4色）で、ゴムチップ平板は、ウレタン樹脂の中に顔料を混合して使用した。ILBは2種類用いた。測定は、色彩色差を用い温度測定は放射温度計を用いた。

今回の実験より以下の事項が確認できた。

- (1) 色彩の変化は色によってかなり異なり、シリカ系塗料よりもアクリル系塗料の方が経時的な変化率は小さい。
- (2) アスコン舗装は、コンクリート舗装よりも温度上昇の割合が大きい。
- (3) ゴムチップ舗装材は材料特性により、温度上昇量や温度変化量が大きく、色彩の経時的変化も小さいし、樹脂の中に混合してあるので視感反射率が低い。
- (4) ILBは色彩の変化率も小さく、温度上昇率も少ない。
- (5) 舗装の設置場所によって表面温度はかなり変化するが、晴天時には気温との差がかなり生じており、塗料を選ぶことでかなり表面温度が上昇・低下する。
- (6) 色彩が経時変化すると、色度座標値 x, y が小さくなる傾向にあり、白色に向かっている。
- (7) 視感反射率と舗装体表面温度については負の関係が認められた。

第 3 節 舗装板の表面温度と放射収支について

3-1 概説

色のついた舗装材には、テラゾ平板やタイル類あるいはインターロッキングブロックなど色々な材料があるが、アスコン舗装やコンクリート舗装などの現場施工タイプの舗装材でも、舗装材の上に直接塗装して着色するか、高価な脱色アスファルトや白セメントに顔料を混合して練り混ぜて用いるなど、舗装のカラー化に様々な努力が行われている。しかし、これらの舗装材が夏場にどの程度表面温度が上昇するのか、あるいはどの色を塗ると表面温度が高くなるのかなど、歩行する人の体感的な面からの研究はほとんど行われていない。また、塗料を塗布するタイプの舗装は、平板やタイル類に比べて塗装表面が摩耗されたり汚れが残るなど、その表面の色彩もかなり変化することは予想される。そこで、第3節では、自然条件による色彩の変化と、歩行者の通行で変化する舗装面の性状を比較するために、歩行者の多い場所に舗装材を施工し、色彩の変化について実験を行った。

次に、舗装材は夏場に気温の上昇で加熱され、特にアスコン舗装面は相当高温になる。従って、アスコン舗装をベースとした舗装材などでは、表面の塗装材料と色彩によって、舗装表面の温度上昇の程度がかなり異なって来ると予想される。そこで、加熱された舗装材からでる熱の影響は、今後の舗装材選定や色彩選定の重要なデータになると考え、舗装材が持つ温度上昇の変化量や舗装材の放射エネルギーについて、実験的に検討を行うこととした。

3-2 測定方法

(1) 測定材料

今回測定に使用した舗装材料は、一般に多く使用されているコンクリート平板、密粒度アスコン平板、脱色アスファルト平板、テラゾ平板、ひじき状ゴムチップ平板で、平板の寸法は300*300*60mmである。コンクリート平板とアスコン平板は塗料で着色したが、使用した塗料は、コロイダルシリカ系塗料（以降シリカ系と

呼ぶ)、アクリル系塗料、および室内のコンクリート床等に塗布する塗料で汚れにくいアクリル系塗料(以降室内アクリル系と呼ぶ)の3種類である。テラゾ平板は平板作成時にセメントに顔料を入れて着色しており、表面を研磨してあるので、色彩は変化しにくい材料の一つである。ゴムチップ平板や脱色アスファルト平板は、平板作成時にアクリル樹脂や脱色アスファルトに無機顔料を添加して着色したもので、樹脂が劣化したりや脱色アスファルトの性状が変化すると、色彩も変化するが、塗装タイプと違って塗料が剝離することはない。

測定に用いた材料の一覧を示す。

アスファルト系(14枚)

・無塗装(原色)	黒色	No. 1
・脱色アスファルト+顔料		
	緑色	No. 2
	赤色	No. 3
	黄色	No. 4
	白色(かなり黄色に近い)	No. 5
・コロイダルシリカ系		
	黄色	No. 6
	緑色	No. 7
	赤色	No. 8
・アクリル系		
	黄色	No. 9
	緑色	No. 10
	赤色	No. 11
・アクリル系、室内用非汚染性		
	黄色	No. 12
	緑色	No. 13
	赤色	No. 14

コンクリート系（14枚）

・無塗装 白色 No. 15
・テラゾ平板

緑色 No. 16

赤色 No. 17

黄色 No. 18

白色 No. 19

・コロイダルシリカ系

黄色 No. 20

緑色 No. 21

赤色 No. 22

・アクリル系

黄色 No. 23

緑色 No. 24

赤色 No. 25

・アクリル系、室内用非汚染性

黄色 No. 26

緑色 No. 27

赤色 No. 28

ゴムチップ系（4枚）

・ひじき状ゴムチップ平板

黄緑色 No. 29

緑色 No. 30

赤色 No. 31

白色 No. 32

(2) 測定方法

(a) 測定用平板は32枚を1セットとし、3セット用意した。1組は人の通行量が多い建物入口に設置して、人の通行による色彩の変化を測定した。また、建物の屋上に1組セットし、人の通行が無い場所で自然の劣化による色彩の変化を測定した。残り1組は、放射エネルギー測定に用いた。特に、人の通行がある場所では同一位置にセットしたままでいると、人が歩行する動線による影響を受ける可能性があるため、人の通行量を考え、約4カ月に1回のローテーションを組んで平板を移動させた。なお、通行量は、月～金曜日は平均2600人、土曜日は1600人であった。

(b) 色彩の変化測定は、前節で用いた色彩色差計(CR100)を用いた。なお、測定時は舗装板に泥やゴミなどかなりの汚れが付着しているため、測定前に濡れた布で汚れを拭き取り、表面が乾燥した後で測定を行った。

(c) 舗装材は加熱されると、表面温度が上昇するが、温度が上昇し始めると、舗装材の放射エネルギーも変化する。そこで、舗装材の温度が上昇した時に人が受ける体感的なデータを得るために、表面温度の変化量と放射エネルギーの変化量を測定することとした。この実験では、舗装材を加熱するエネルギーが一定でなければ比較できないことから、本実験では、ハロゲンライトを2個を舗装板に45度の方向で3時間照射した時と冷却後3時間の温度上昇量と、放射エネルギー量を測定した。放射エネルギー量の測定は、英弘精機社製の放射収支計を用いた。なお、供試材料は周囲を黒色の断熱材で囲み、表面を照射しているライトの照り返しが放射収支計に影響しないように考慮した。また、室内の空気の流れの影響や、温度の上昇による空気の対流の影響があると思われることから、舗装板上5cmの高さから10cmごとに65cmまで温度測定を同時に行なった。舗装材の表面温度は、非接触型の放射温度計を用いて測定した。

放射エネルギーの測定は次の式で計算した。

$$R = R_a + \sigma T_c^4$$

R_a : 放射収支計の出力より求めた放射収支量 ($\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$)

σ : スティフソン・ボルツマン定数 ($5.67032 \times 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$)

T_c : 放射計-内面温度 ($273.15^\circ\text{C} + \theta^\circ\text{C}$) (K)

3-3 結果および考察

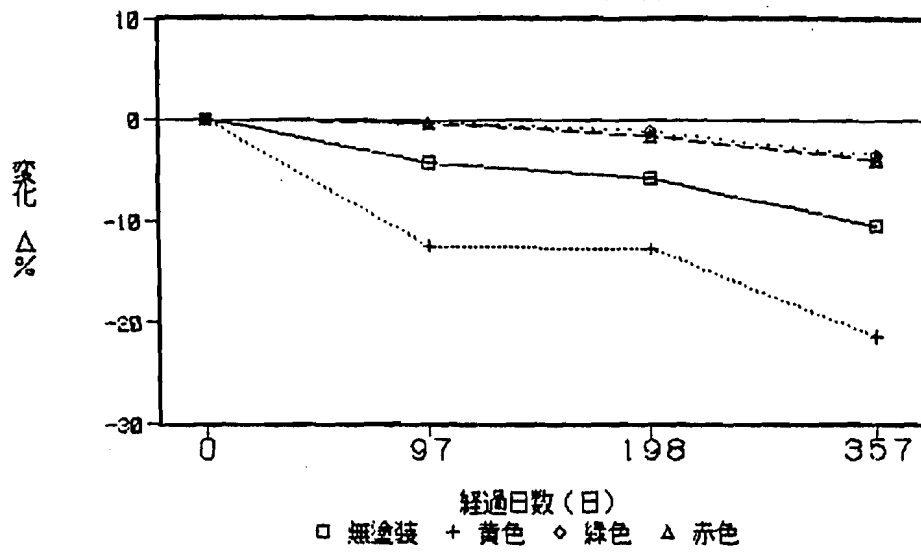
(1) 色彩の変化について

人の通行がない屋上と人の通行がある建物入口に置いた材料について、色彩色差計を用いて、塗装後97日、189日、357日の3回にわたって色の変化を測定した。結果を表4-5, 6に示す。これを基に、試験実施前に測定した視感反射率を基準値として、測定日ごとの変化率を求め検討した。図4-23, 24にコンクリート平板の測定結果を示す。自然の劣化で変化する未歩行部はいずれの舗装も黄色の視感反射率が15%前後低下していた。しかし、緑色や赤色では198日の測定時までほとんど変化しておらず、1年を経過した時点でも変化率は5%程度であった。一方、摩耗や汚れで変化する歩行部では、黄色の視感反射率は20%程度低下していたが、緑色や赤色では未歩行部と同程度しか低下しておらず、緑色と赤色は視感反射率が変化しにくい色彩であった。また、これらの現象は、図4-25, 26に示すアスコン平板でも同様の結果となり、黄色の視感反射率の低下量は、コンクリート平板よりも大きい値となった。また、赤色と緑色を比べてみると、赤色は材料間で差が少なく、従って、どの舗装に塗布しても安定した色彩が維持できることを表している。その他の舗装の測定結果を、図4-27, 28に示す。脱色アスファルト系は、未歩行部で当初視感反射率が上昇していた。これは、アスファルトの視感反射率が、ほこりなどが着いて上昇したり、多少紫外線などで劣化したものと思われるが、1年を経過したあたりから視感反射率は低下しはじめている。また、歩行部は視感反射率の変化量が大きく、色彩の薄い白色や黄色が大きく変化していた。テラゾ平板では、赤い平板の変化率が小さく白い平板の変化率が大きい結果を得たが、色彩によりそれぞれ変化率がかなり異なる。また、ゴムチップ系舗装は、色彩による歩行部と未歩行部の差は少ないが、白色は変化している。また、ゴムチップ舗装は他の舗装と塗装状況が異なっているので一概に比較は出来ないが、脱色アスファルト等と比べると視感反射率の変化は少ない。いずれの舗装も赤色塗装の視感反射率の変化が少なく、白色や黄色の変化量が大きい結果を得た。

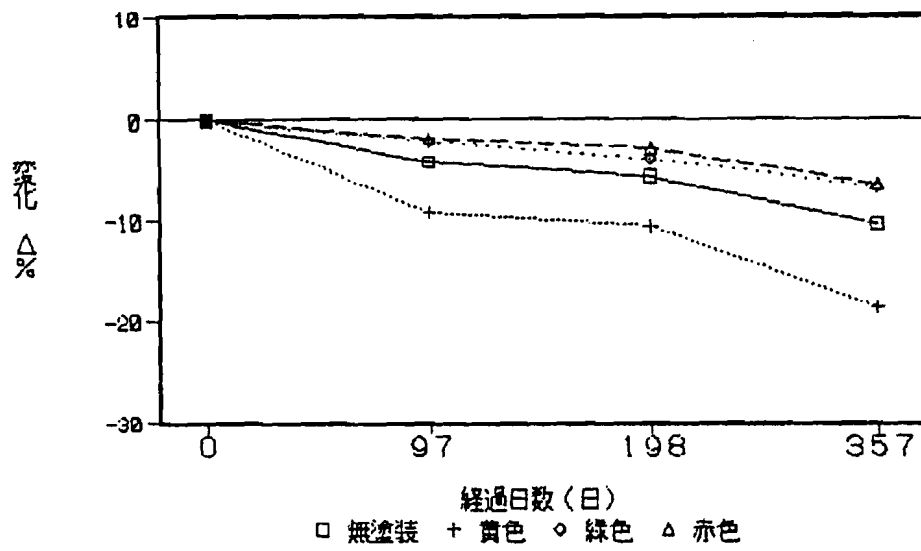
表 4-5 屋上に置いた場合の色彩の彩化（歩行者無し）

		表紙面のデータ						97日様のデータ						198日様のデータ						357日様のデータ					
系	No.	Y		x		Y		x		Y		x		Y		x		Y		x		Y		x	
		Y	x	Y	x	Y	x	Y	x	Y	x	Y	x	Y	x	Y	x	Y	x	Y	x	Y	x		
アスファルト系	アスファルト平板	2.8450	0.3119	0.3158	4.0800	0.3120	5.3833	0.3126	5.3833	0.3129	8.1667	0.3129	8.1667	0.3129	13.0400	0.3129	13.0400	0.3129	13.0400	0.3129	13.0400	0.3129	13.0400	0.3129	13.0400
	灰色アスファルト緑	6.4733	0.3187	0.3494	10.5600	0.3170	8.6833	0.3526	8.6833	0.3179	9.1667	0.3179	9.1667	0.3179	17.8200	0.3179	17.8200	0.3179	17.8200	0.3179	17.8200	0.3179	17.8200	0.3179	17.8200
	灰色アスファルト赤	5.3017	0.4406	0.3452	7.5200	0.3474	8.1667	0.3297	8.1667	0.3452	9.1667	0.3297	9.1667	0.3297	17.8200	0.3297	17.8200	0.3297	17.8200	0.3297	17.8200	0.3297	17.8200	0.3297	17.8200
	灰色アスファルト黄	11.5550	0.4215	0.4650	18.0100	0.3903	17.2000	0.3988	17.2000	0.4215	18.0100	0.3903	18.0100	0.3903	32.8500	0.3903	32.8500	0.3903	32.8500	0.3903	32.8500	0.3903	32.8500	0.3903	32.8500
	緑色アスファルト白	24.8550	0.3570	0.3678	26.0700	0.2985	18.5867	0.3061	18.5867	0.3570	26.0700	0.2985	26.0700	0.2985	49.3100	0.2985	49.3100	0.2985	49.3100	0.2985	49.3100	0.2985	49.3100	0.2985	49.3100
	シリカ系緑色	30.9100	0.4389	0.4200	25.1900	0.3952	23.5133	0.3918	23.5133	0.4389	30.9100	0.3952	30.9100	0.3952	54.1100	0.3952	54.1100	0.3952	54.1100	0.3952	54.1100	0.3952	54.1100	0.3952	54.1100
	シリカ系赤色	9.2583	0.2853	0.4178	10.4300	0.2840	11.0767	0.3461	11.0767	0.2853	9.2583	0.3461	9.2583	0.3461	18.9600	0.3461	18.9600	0.3461	18.9600	0.3461	18.9600	0.3461	18.9600	0.3461	18.9600
	シリカ系黄色	6.2467	0.4394	0.3375	9.9100	0.2814	7.4667	0.3450	7.4667	0.4394	6.2467	0.3375	6.2467	0.3375	11.0767	0.3375	11.0767	0.3375	11.0767	0.3375	11.0767	0.3375	11.0767	0.3375	11.0767
	アクリル系黄色	35.3250	0.4219	0.4110	24.7400	0.3943	23.2700	0.3952	23.2700	0.4219	35.3250	0.3943	35.3250	0.3943	64.7100	0.3943	64.7100	0.3943	64.7100	0.3943	64.7100	0.3943	64.7100	0.3943	64.7100
	アクリル系緑色	10.0400	0.3028	0.3649	10.3700	0.3925	8.7133	0.3298	8.7133	0.3028	10.0400	0.3649	10.0400	0.3649	18.7500	0.3649	18.7500	0.3649	18.7500	0.3649	18.7500	0.3649	18.7500	0.3649	18.7500
	アクリル系赤色	10.7600	0.4350	0.3409	9.7200	0.2962	9.3400	0.3419	9.3400	0.4350	10.7600	0.3409	10.7600	0.3409	19.2000	0.3409	19.2000	0.3409	19.2000	0.3409	19.2000	0.3409	19.2000	0.3409	19.2000
	アクリル室内系黄色	30.9717	0.4252	0.4149	27.0600	0.3900	27.0600	0.3910	27.0600	0.4252	30.9717	0.3900	30.9717	0.3900	51.7200	0.3900	51.7200	0.3900	51.7200	0.3900	51.7200	0.3900	51.7200	0.3900	51.7200
	アクリル室内系緑色	10.2283	0.2925	0.3688	8.4400	0.3748	9.2500	0.3235	9.2500	0.2925	10.2283	0.3688	10.2283	0.3688	18.9600	0.3688	18.9600	0.3688	18.9600	0.3688	18.9600	0.3688	18.9600	0.3688	18.9600
	アクリル室内系赤色	12.5050	0.4084	0.3371	8.0300	0.3028	8.0300	0.3488	8.0300	0.4084	12.5050	0.3371	12.5050	0.3371	21.1300	0.3371	21.1300	0.3371	21.1300	0.3371	21.1300	0.3371	21.1300	0.3371	21.1300
	コンクリート平板	20.0467	0.3147	0.3238	18.1600	0.2951	16.1667	0.3256	16.1667	0.3147	20.0467	0.3238	20.0467	0.3238	36.8200	0.3238	36.8200	0.3238	36.8200	0.3238	36.8200	0.3238	36.8200	0.3238	36.8200
	セラソ平板緑色	19.5483	0.3056	0.3380	15.6300	0.3372	15.6300	0.3187	15.6300	0.3056	19.5483	0.3380	19.5483	0.3380	30.5000	0.3380	30.5000	0.3380	30.5000	0.3380	30.5000	0.3380	30.5000	0.3380	30.5000
	セラソ平板赤色	27.8300	0.3761	0.3692	30.5000	0.3527	29.7667	0.3553	29.7667	0.3761	27.8300	0.3692	27.8300	0.3692	54.7100	0.3692	54.7100	0.3692	54.7100	0.3692	54.7100	0.3692	54.7100	0.3692	54.7100
	セラソ平板黄色	39.3583	0.3130	0.4200	26.0400	0.3006	26.0400	0.3952	26.0400	0.3130	39.3583	0.4200	39.3583	0.4200	73.9400	0.4200	73.9400	0.4200	73.9400	0.4200	73.9400	0.4200	73.9400	0.4200	73.9400
	シリカ系黄色	31.6117	0.4403	0.4200	26.0400	0.3990	26.0400	0.3952	26.0400	0.4403	31.6117	0.4200	31.6117	0.4200	54.7100	0.4200	54.7100	0.4200	54.7100	0.4200	54.7100	0.4200	54.7100	0.4200	54.7100
	シリカ系緑色	9.4083	0.2655	0.4182	10.7100	0.2945	10.7100	0.3813	10.7100	0.2655	9.4083	0.4182	9.4083	0.4182	18.9600	0.4182	18.9600	0.4182	18.9600	0.4182	18.9600	0.4182	18.9600	0.4182	18.9600
	シリカ系赤色	6.4683	0.4386	0.3385	8.7900	0.3775	8.7900	0.3232	8.7900	0.4386	6.4683	0.3385	6.4683	0.3385	15.1000	0.3385	15.1000	0.3385	15.1000	0.3385	15.1000	0.3385	15.1000	0.3385	15.1000
シリカ系白色	37.0667	0.4188	0.4692	32.2500	0.3938	32.2500	0.3951	32.2500	0.4188	37.0667	0.4692	37.0667	0.4692	66.0000	0.4692	66.0000	0.4692	66.0000	0.4692	66.0000	0.4692	66.0000	0.4692	66.0000	
アクリル系黄色	11.6183	0.3034	0.3618	11.5000	0.2924	11.5000	0.3439	11.5000	0.3034	11.6183	0.3618	11.6183	0.3618	22.1000	0.3618	22.1000	0.3618	22.1000	0.3618	22.1000	0.3618	22.1000	0.3618	22.1000	
アクリル系緑色	12.0417	0.4285	0.3393	11.3800	0.3985	11.3800	0.3307	11.3800	0.4285	12.0417	0.3393	12.0417	0.3393	21.4400	0.3393	21.4400	0.3393	21.4400	0.3393	21.4400	0.3393	21.4400	0.3393	21.4400	
アクリル系赤色	34.1633	0.4279	0.4144	29.5200	0.3998	29.5200	0.3983	29.5200	0.4279	34.1633	0.4144	34.1633	0.4144	54.7000	0.4144	54.7000	0.4144	54.7000	0.4144	54.7000	0.4144	54.7000	0.4144	54.7000	
アクリル室内系黄色	14.5817	0.2972	0.3617	14.9300	0.2867	13.4867	0.3418	13.4867	0.2972	14.5817	0.3617	14.5817	0.3617	28.6500	0.3617	28.6500	0.3617	28.6500	0.3617	28.6500	0.3617	28.6500	0.3617	28.6500	
アクリル室内系緑色	15.1900	0.3861	0.3353	13.2800	0.3745	12.6967	0.3251	12.6967	0.3861	15.1900	0.3353	15.1900	0.3353	26.4100	0.3353	26.4100	0.3353	26.4100	0.3353	26.4100	0.3353	26.4100	0.3353	26.4100	
アクリル室内系赤色	12.3667	0.4042	0.4656	11.5800	0.3942	10.7400	0.4355	10.7400	0.4042	12.3667	0.4656	12.3667	0.4656	19.5800	0.4656	19.5800	0.4656	19.5800	0.4656	19.5800	0.4656	19.5800	0.4656	19.5800	
ゴムチップ平板黄白色	7.4683	0.3144	0.3737	10.7400	0.3729	10.7400	0.3259	10.7400	0.3144	7.4683	0.3737	7.4683	0.3737	15.7300	0.3737	15.7300	0.3737	15.7300	0.3737	15.7300	0.3737	15.7300	0.3737	15.7300	
ゴムチップ平板赤色	4.9817	0.4087	0.3375	21.1500	0.2983	21.1500	0.3085	21.1500	0.4087	4.9817	0.3375	4.9817	0.3375	37.5900	0.3375	37.5900	0.3375	37.5900	0.3375	37.5900	0.3375	37.5900	0.3375	37.5900	
ゴムチップ平板白色	22.8650	0.3411	0.3494	27.0300	0.2970	27.0300	0.3060	27.0300	0.3411	22.8650	0.3494	22.8650	0.3494	47.5000	0.3494	47.5000	0.3494	47.5000	0.3494	47.5000	0.3494	47.5000	0.3494	47.5000	

アクリル系塗料



アクリル室内系塗料



シリカ系塗料

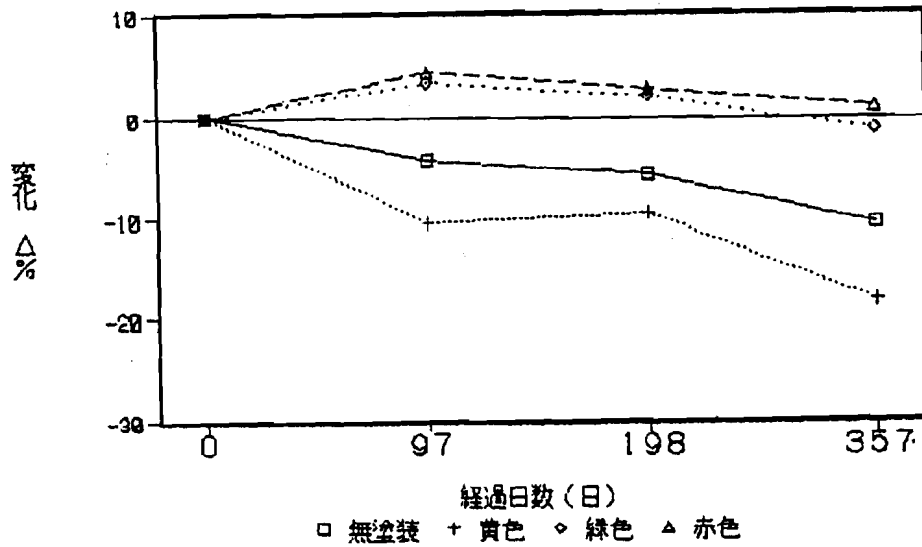


図 4 - 2 3 コンクリート平板の視感反射率の変化 (歩行部)

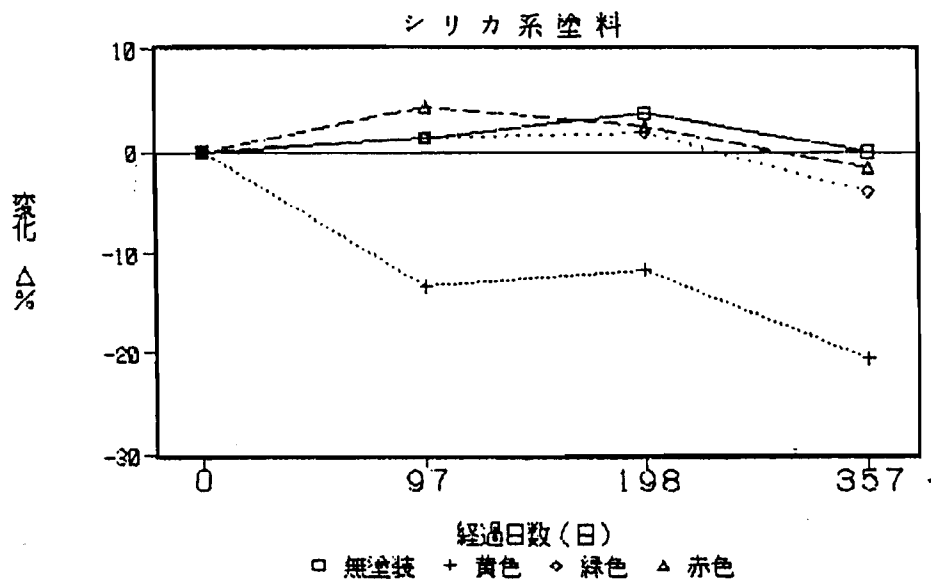
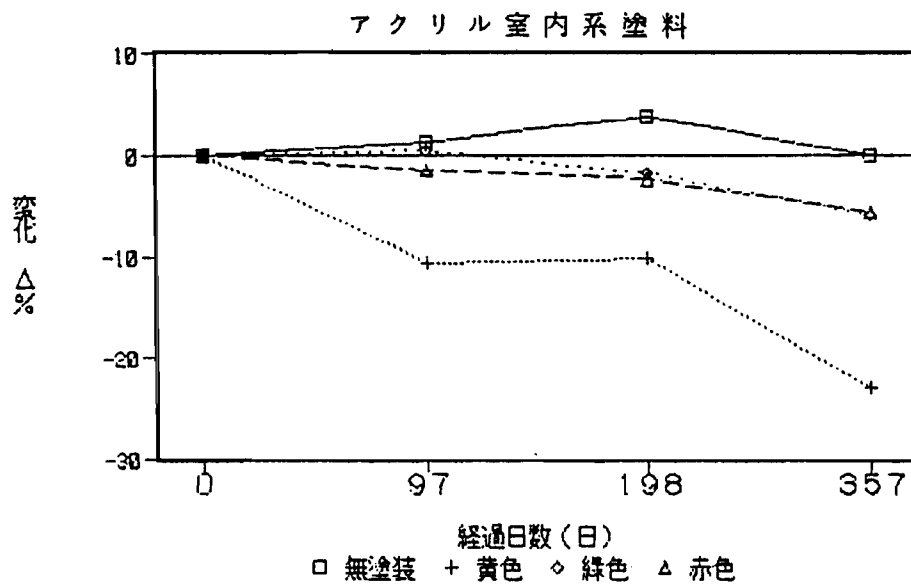
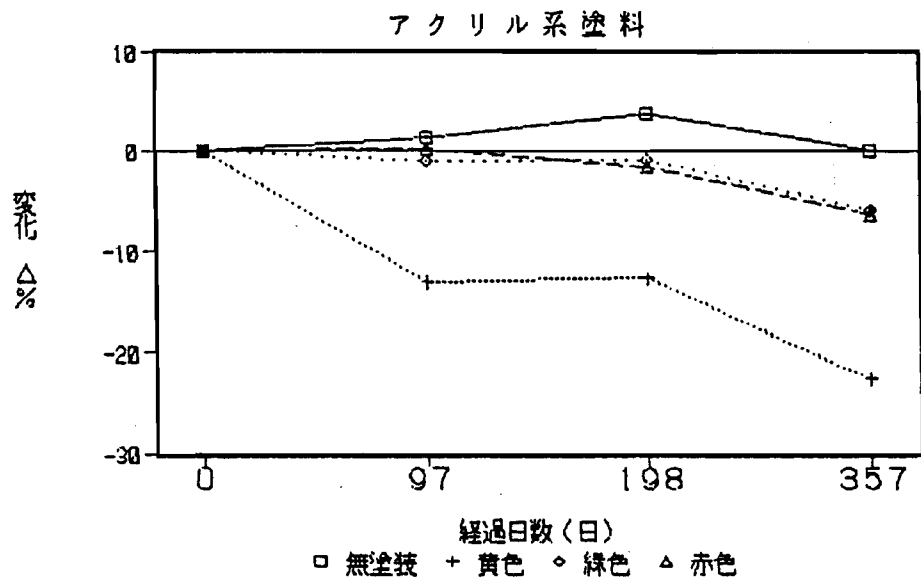


図 4 - 2 4 アスファルト平板の視感反射率の変化 (歩行部)

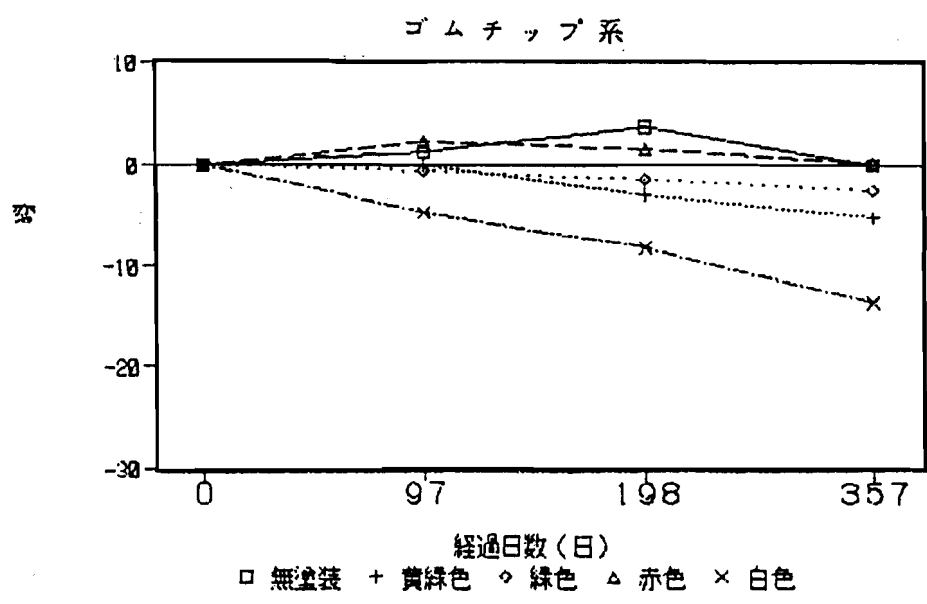
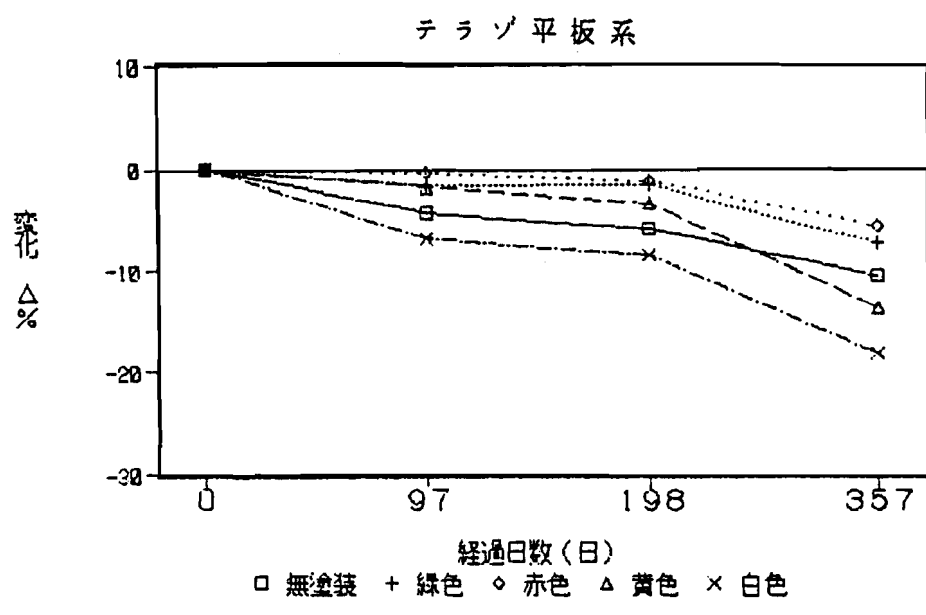
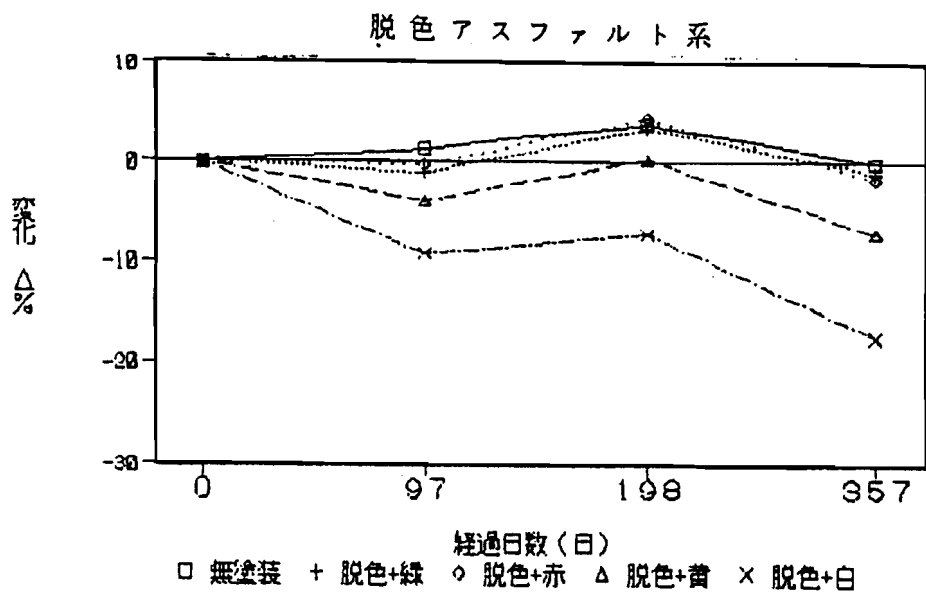


図 4 - 2 5 その他の平板の視感反射率の変化 (歩行部)

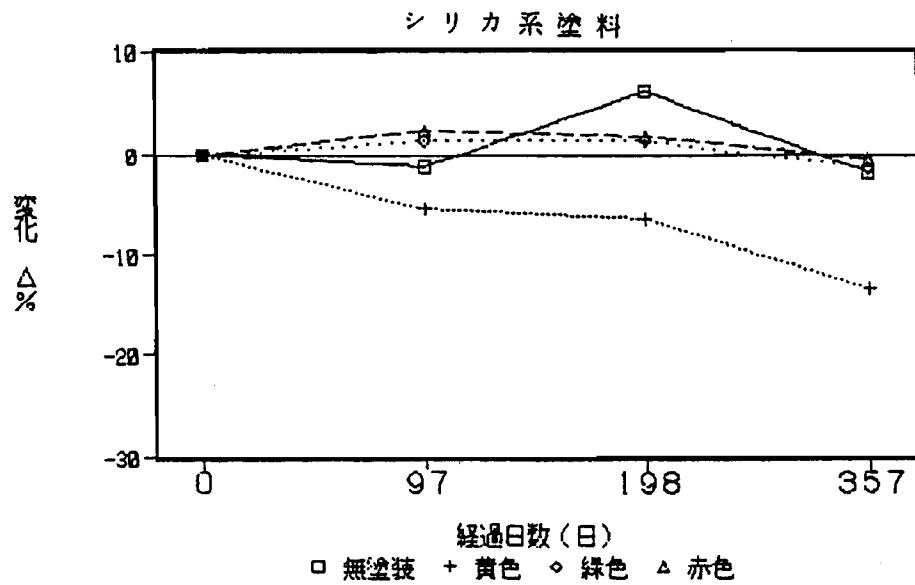
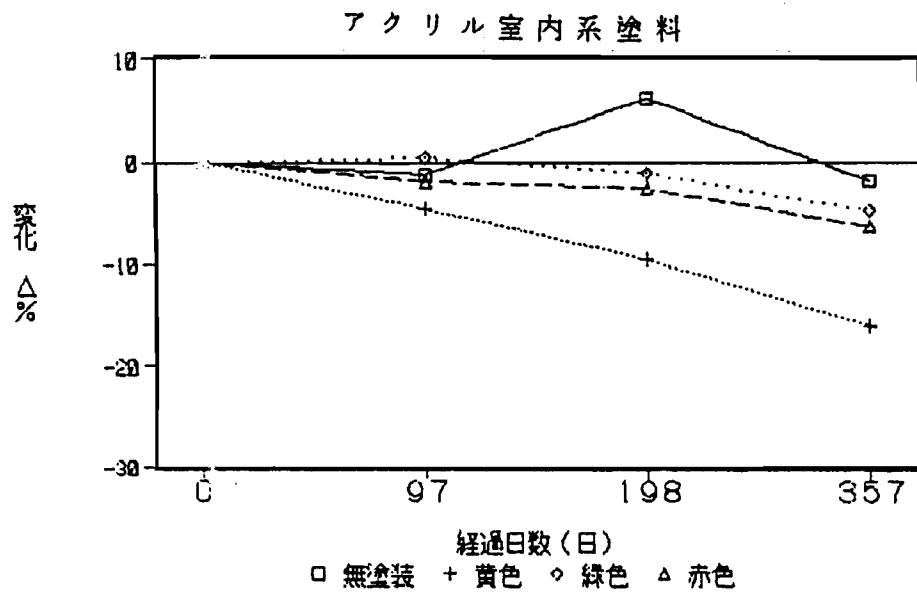
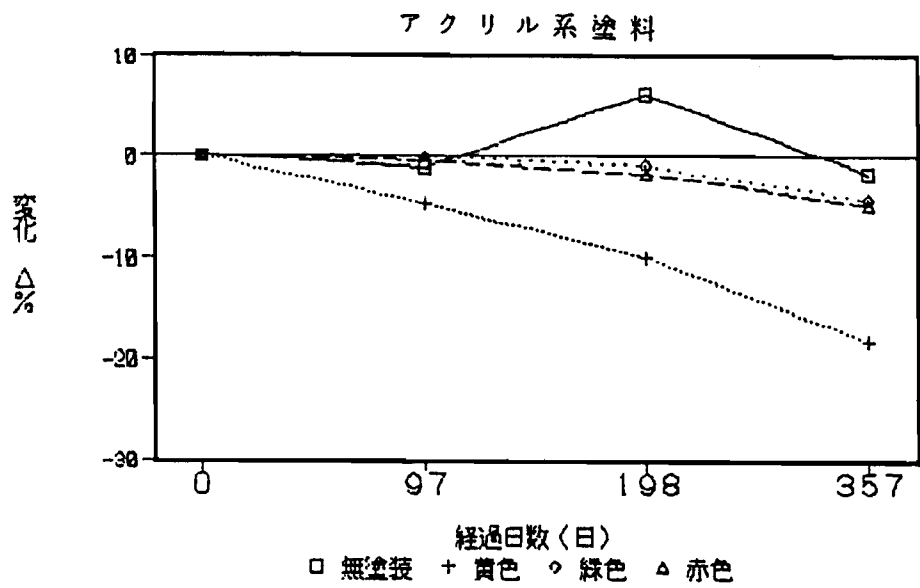


図 4 - 2 6 コンクリート平板の視感反射率の変化 (未歩行部)

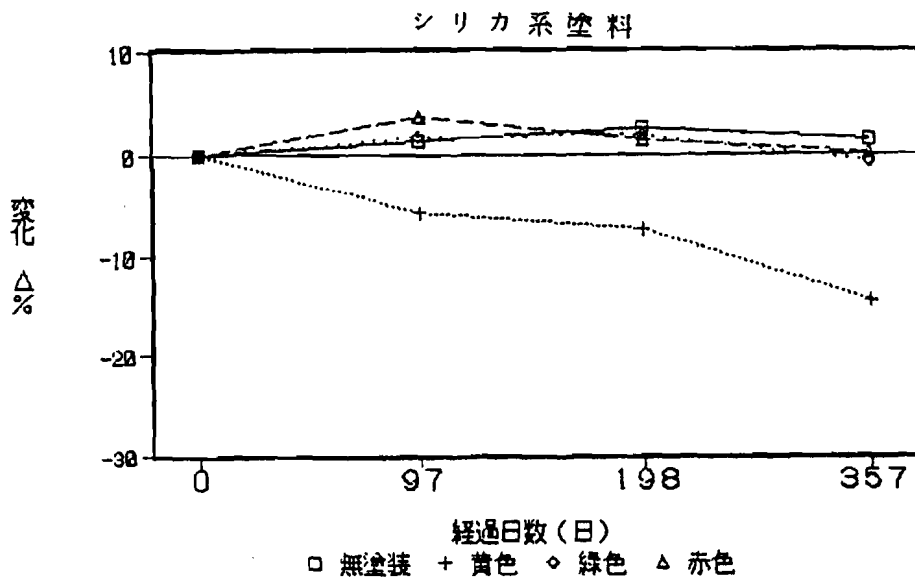
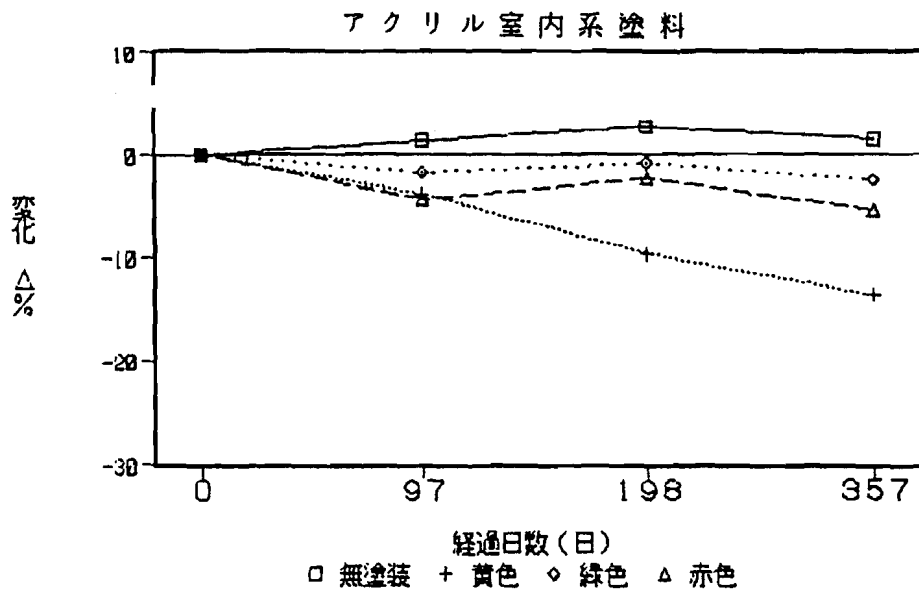
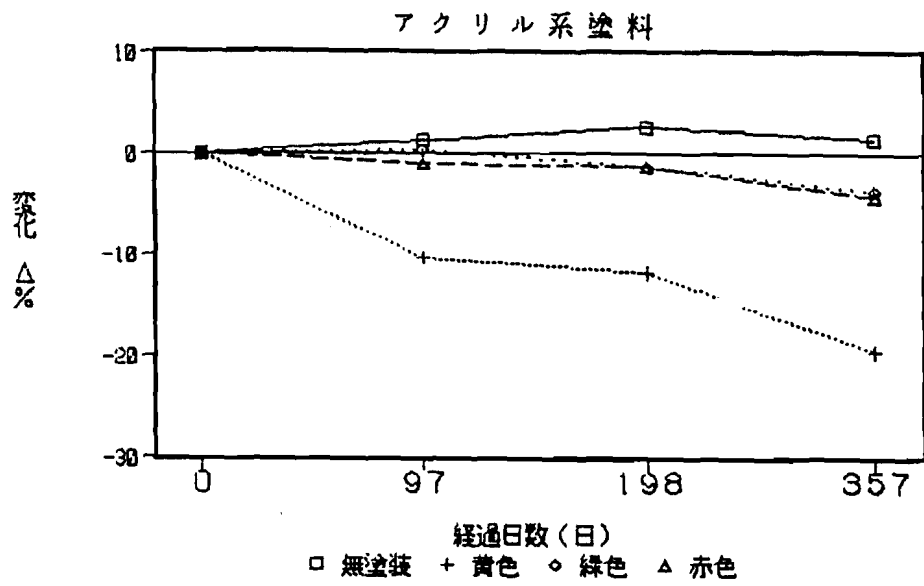


図 4 - 2 7 アスファルト平板の視感反射率の変化 (未歩行部)

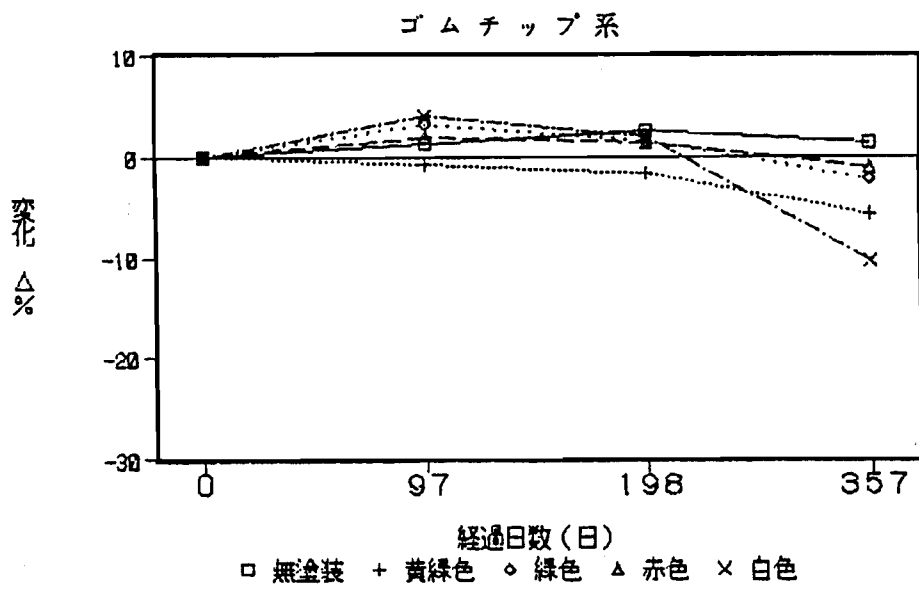
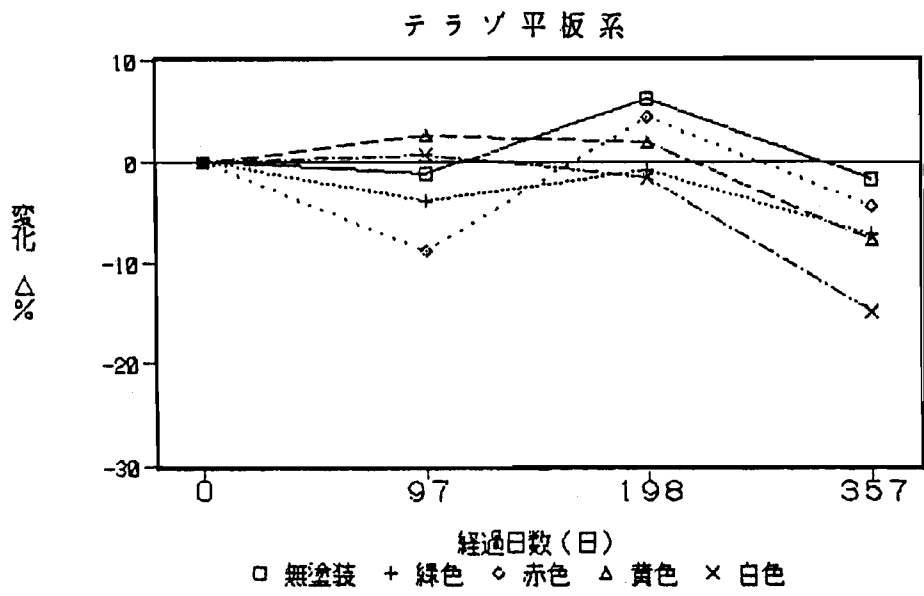
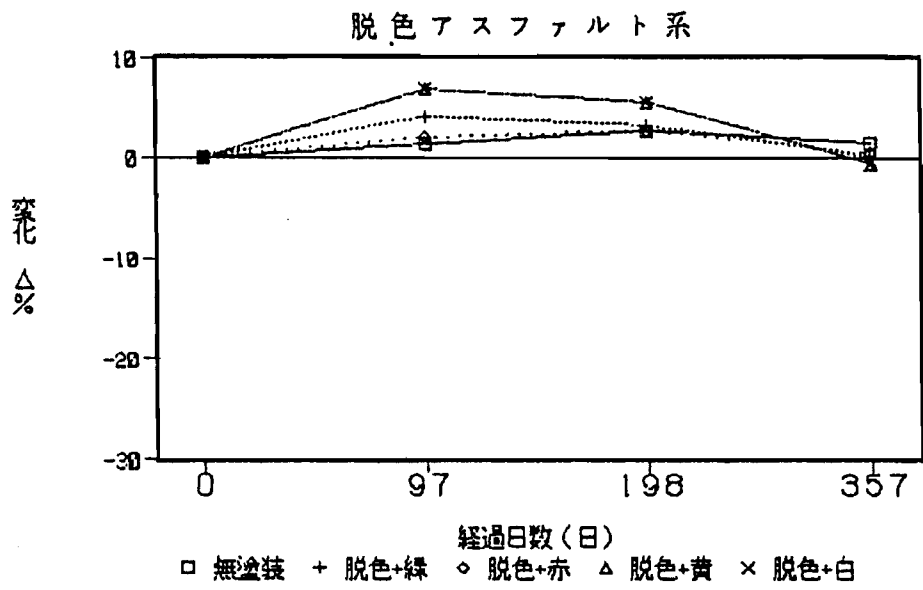


図 4 - 2 8 その他の平板の視感反射率の変化 (未歩行部)

(2) 舗装材の温度と放射エネルギーについて

舗装材料をハロゲンライトで加熱したときの表面温度変化と舗装材から出る放射エネルギーについて、3時間照射し3時間自然冷却した時の性状について測定を行った。その結果、樹脂別の温度変化を図4-29, 30に示す。いずれの塗料も表面温度が一番上昇したのは緑色で、緑色の視感反射率は赤色よりも小さいが温度上昇率が高い。また、アクリル室内系やシリカ系の塗料では、材料による温度上昇率の差はほとんどなかったが、アクリル系ではアスコン平板の方が温度上昇が大きい結果を得た。これを放射エネルギーで見ると、図4-31, 32に示すように、アスコン平板ではアクリル室内系やシリカ系で緑色の放射エネルギーが大きく、舗装材がすぐ温まり放射するエネルギーも大きいことを示しており、表面温度の測定結果とも一致する。しかし、コンクリート平板では、舗装の温度上昇が少なく、舗装材から放射されるエネルギーも小さく、コンクリート平板が温まりにくく、体感的にもアスコン平板よりも良い。

色彩別に見ると、図4-33, 34に示すように、コンクリート系では色によって、温度差に一定の傾向は見られなかったが、アスコン系の舗装材では脱色アスファルトの温度がアスコン平板より高い結果を示しており、シリカ系の塗料と比べると、赤色では15℃程度の温度差がある。これを放射エネルギーで見ると、図4-35, 36にあるように、脱色アスファルトの放射エネルギーはあまり大きくなく、むしろアクリル系の塗料を塗布した舗装材の方が放射エネルギーは大きい。これは、同じ赤系統でも、表面をコーティングされた形になっているアスコン平板と直接熱エネルギーを受ける脱色アスファルトの違いが温度差になっていると考える。

その他の舗装材について検討してみると、図4-37, 38に示す様に、脱色アスファルトでは、緑色の温度上昇率が大きいですが、放射エネルギーは白色が大きい値を示した。しかし、他の脱色アスファルトはほとんど同じ性状を示していた。テラゾ平板は、色彩による温度差も少なく、放射エネルギーも他の舗装に比べて小さく、表面が研磨してあることもあり舗装材は温度が上昇しにくく、暖まりにくいことを示している。ゴムチップ平板は、温度上昇の変化率は色彩によって異なるが、エネルギー照射後の温度変化率はほとんど差がなかった。しかし、放射エネルギーはバラバラで、空隙が多いことや他の舗装材と材料構成が異なること

もあって、比較するのは難しい。

3 - 4 結論

色の着いた舗装材の色彩変化と温度上昇率および放射エネルギーを比較するために、3系統32種類の舗装平板を用いて実験を行った。

その結果、

(1) 塗装系では赤色や緑色に比べて、黄色の視感反射率の変化量が大きく、色彩によってかなり異なる。

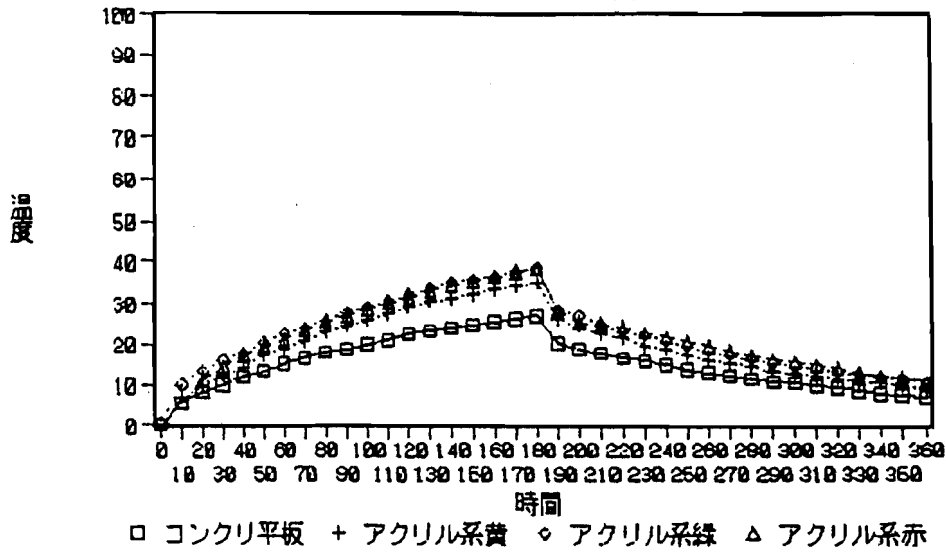
(2) 脱色アスファルトでは、歩行による汚れなどで視感反射率がかなり変化するが、テラゾ平板は白色以外は変化率が小さい。また、ゴムチップ平板は、白色を除いて視感反射率の変化が少ない。

(3) コンクリート平板とアスコン平板を比較すると、アスコン平板の温度上昇率が大きく放射エネルギーも大きい。しかし、脱色アスファルトの放射エネルギーは小さい。

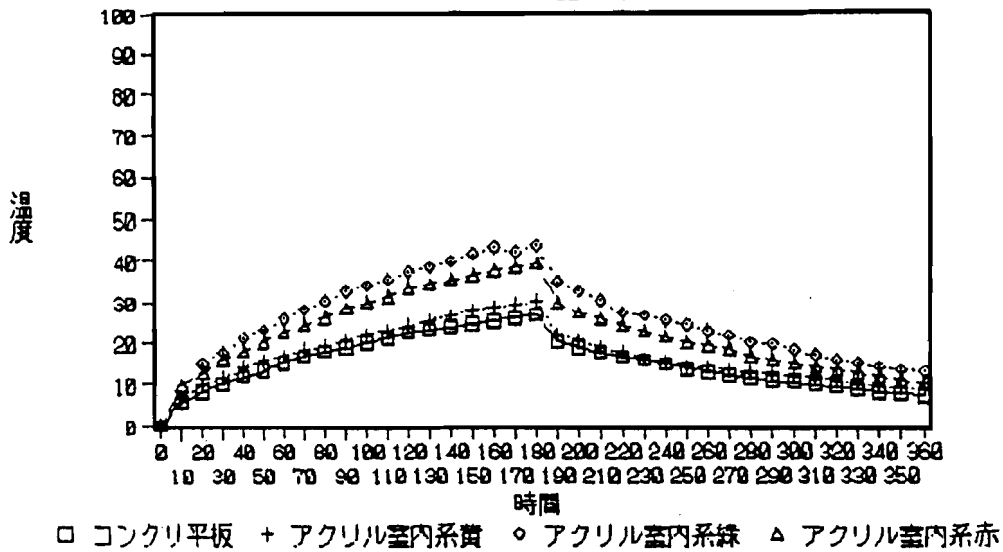
(4) テラゾ平板は温度差も小さく、放射エネルギーも小さく色彩の影響は認められなかったが、ゴムチップ平板は、温度上昇率が色彩の影響を受ける。

(5) 色彩の異なる各種舗装材について、加熱時の温度変化と放射エネルギーを測定した。その結果、材質や色彩の影響は大きいですが、塗料の種類や塗装方法でも測定値に差が出ることを確認できた。

アクリル系塗料



アクリル室内系塗料



シリカ系塗料

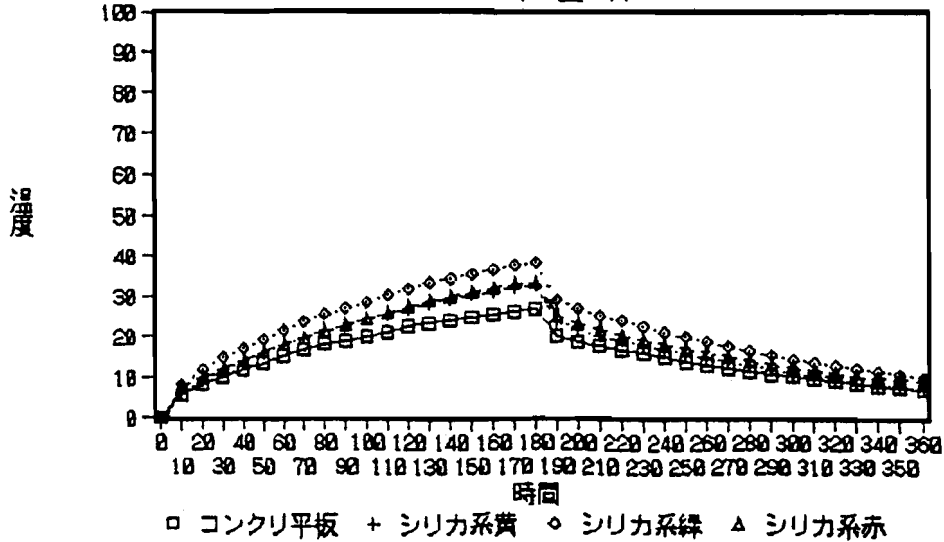
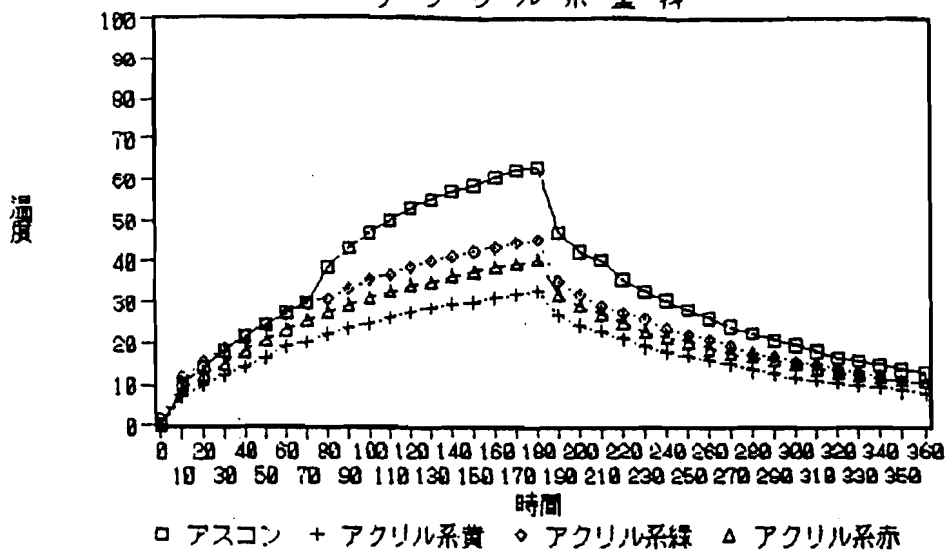
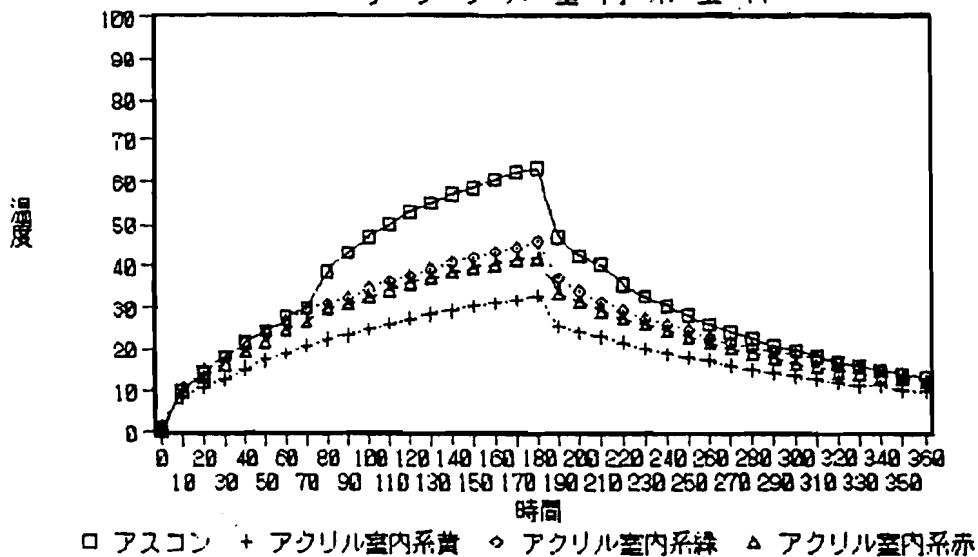


図 4 - 2 9 コンクリート平板上の塗料別温度変化

アクリル系塗料



アクリル室内系塗料



シリカ系塗料

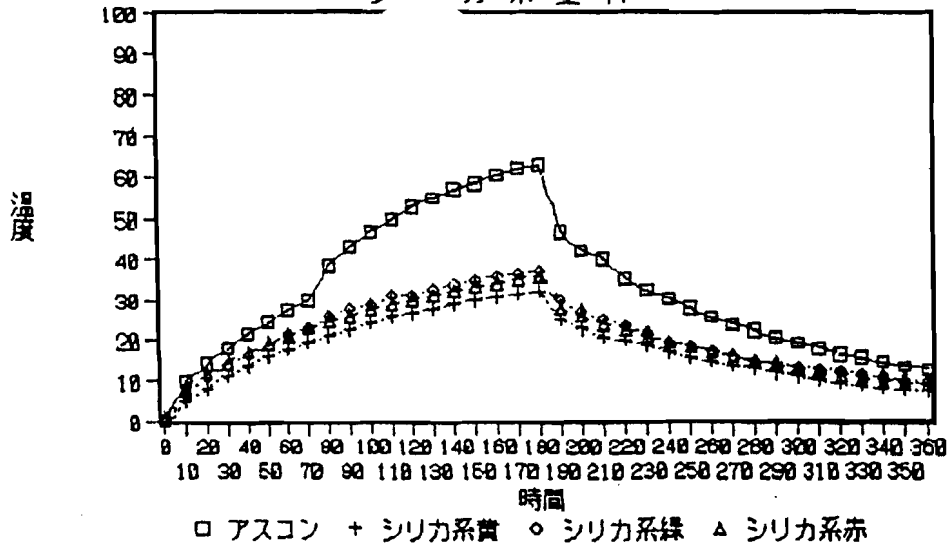


図 4 - 3 0 アスコン平板上の塗料別温度変化

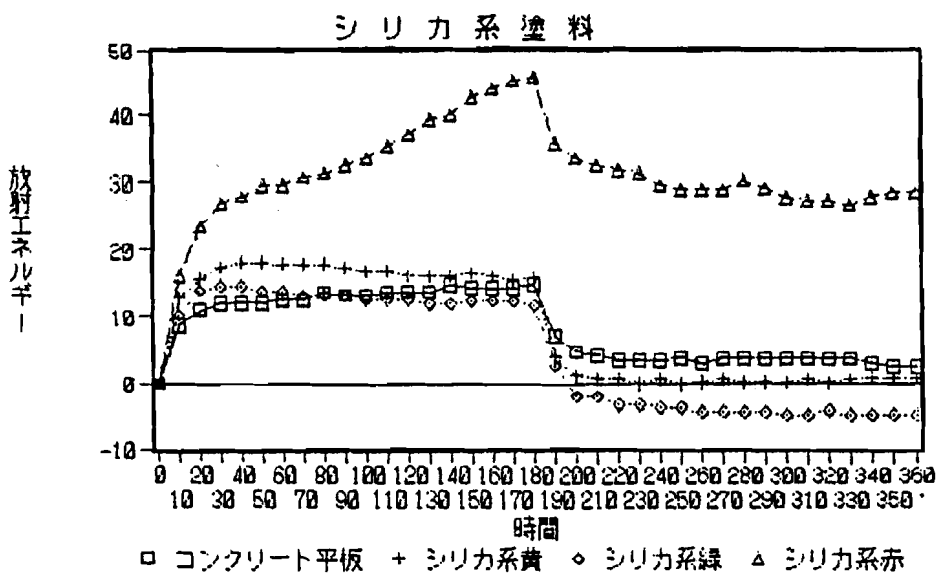
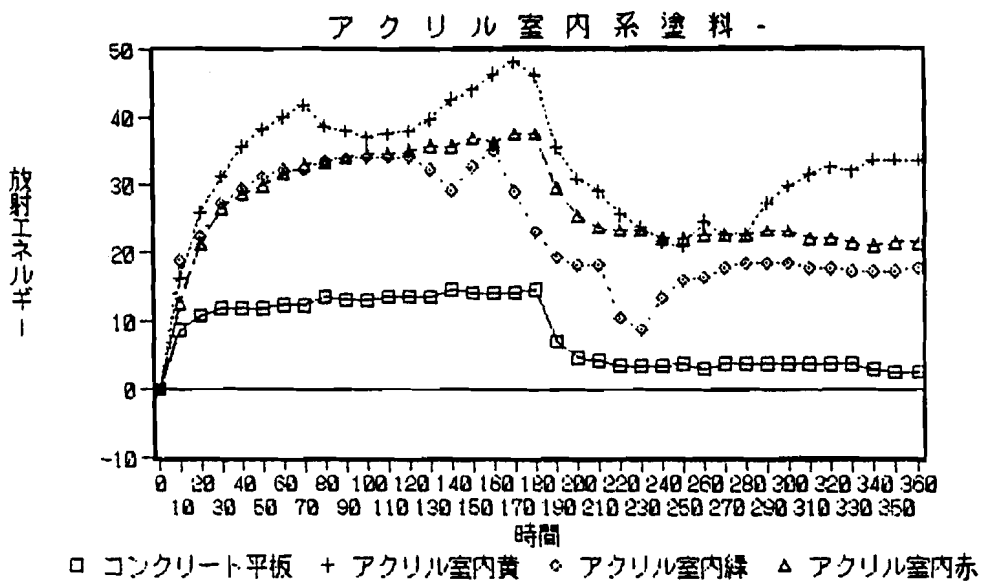
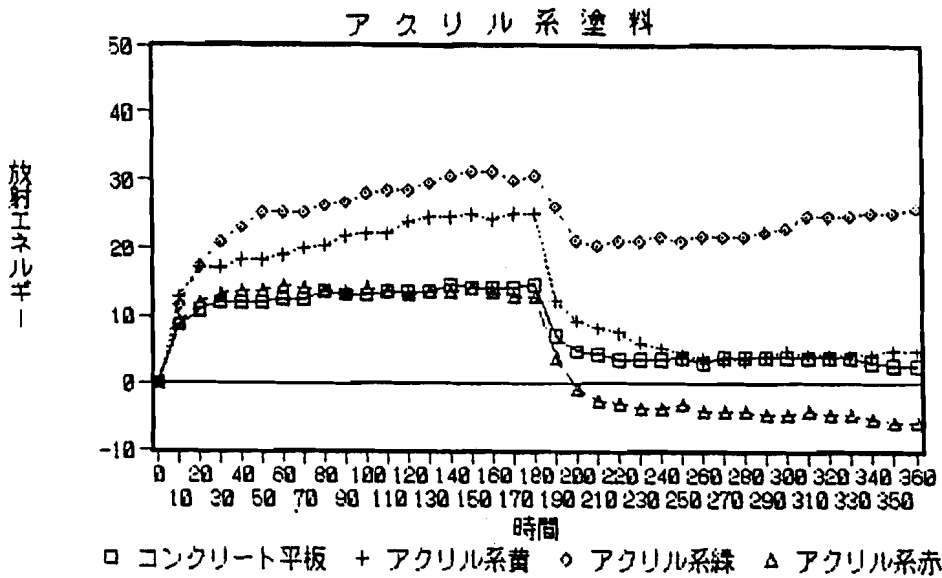


図 4 - 3 1 コンクリート平板上の塗料別放射エネルギー変化

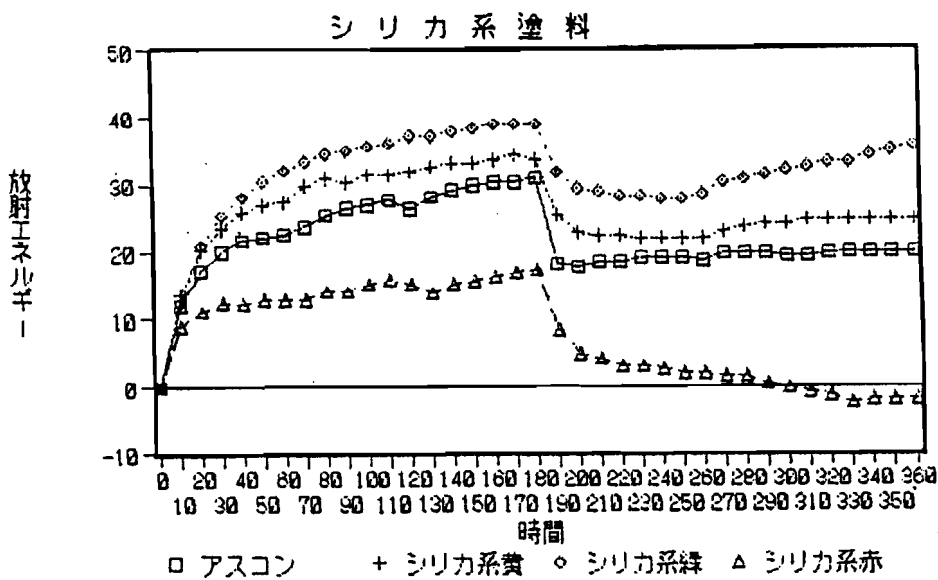
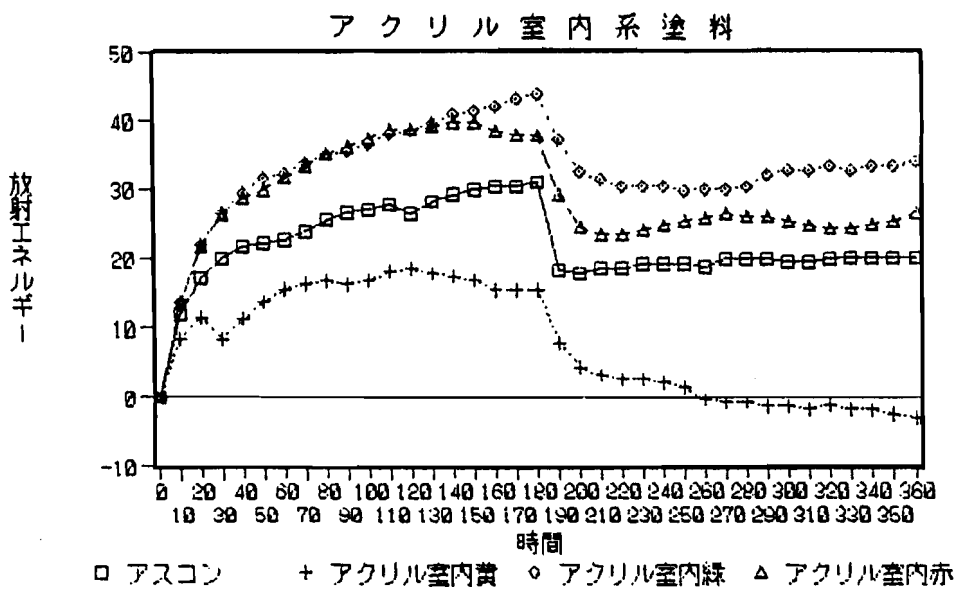
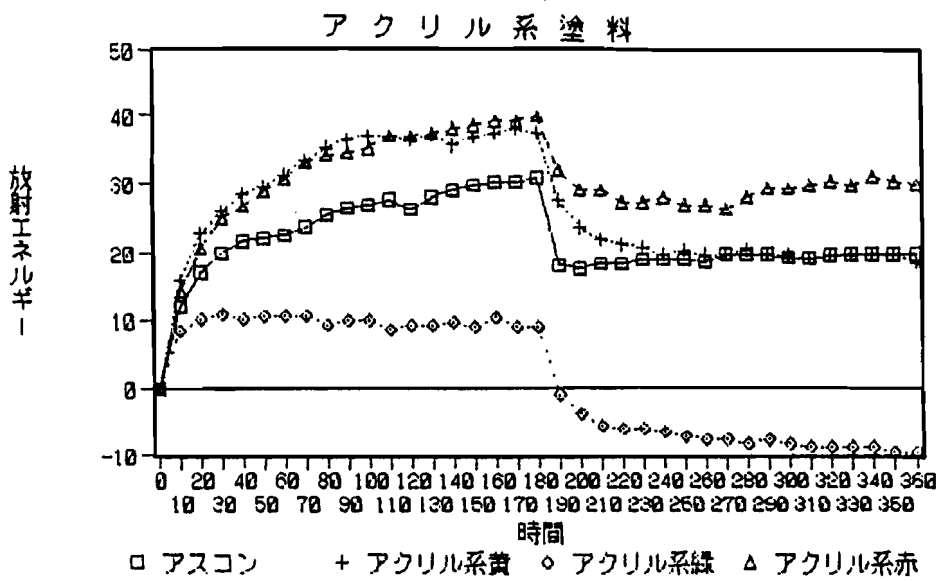
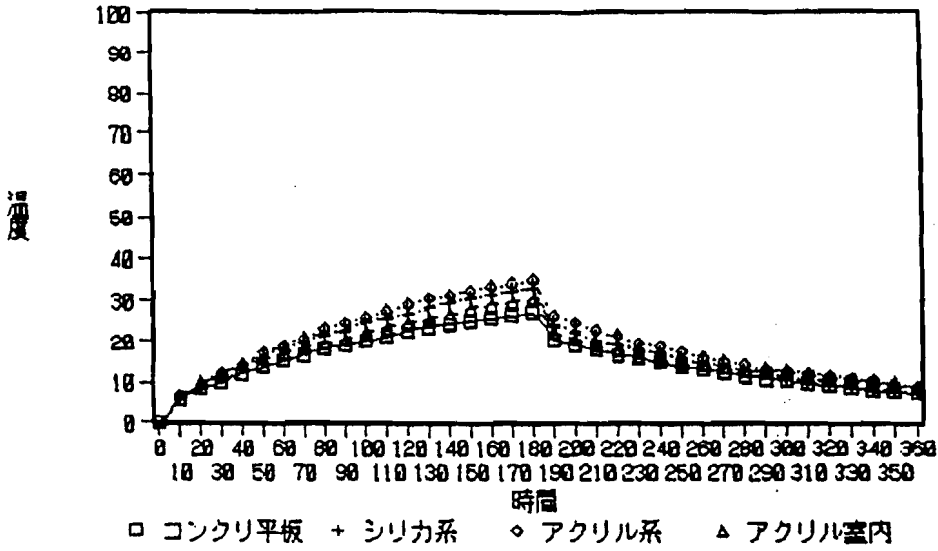
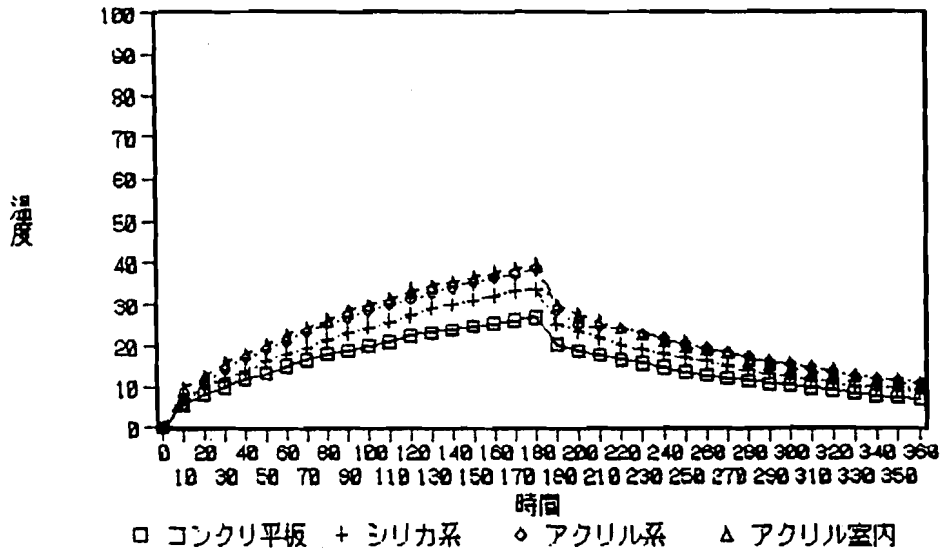


図 4 - 3 2 アスコン平板上の塗料別放射エネルギー変化

表面が黄色



表面が赤色



表面が緑色

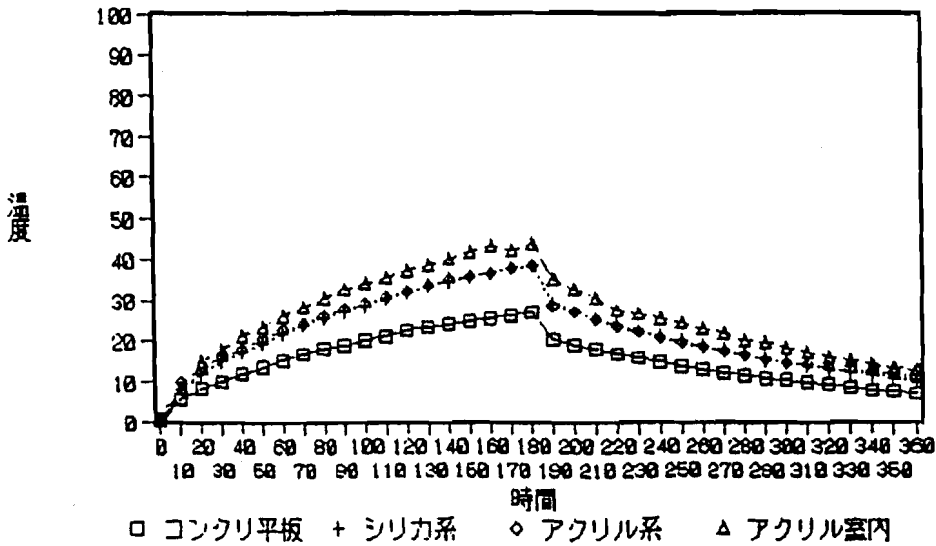
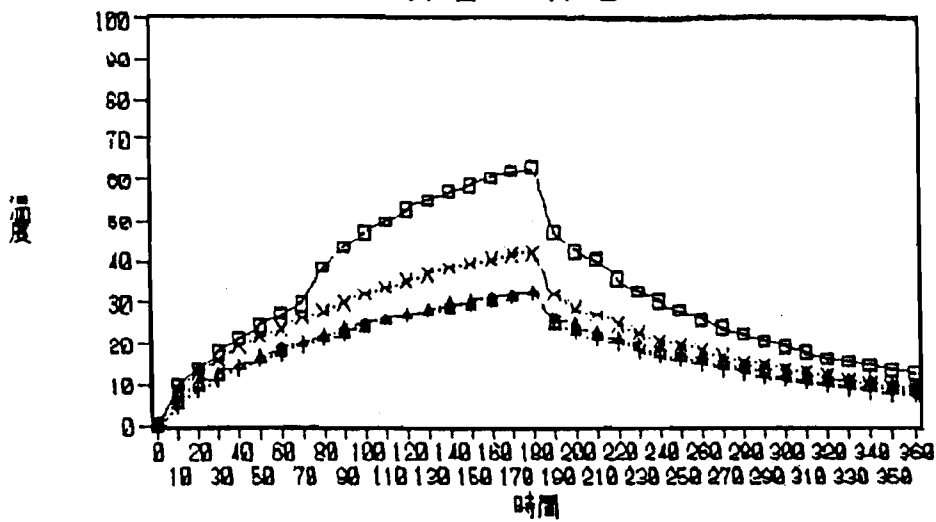


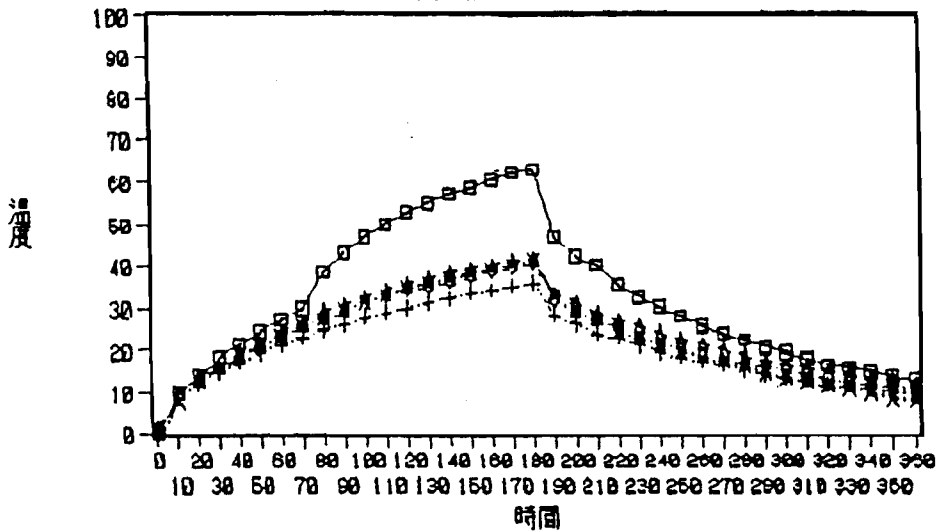
図 4 - 3 3 コンクリート平板上の色彩別温度変化

表面が黄色



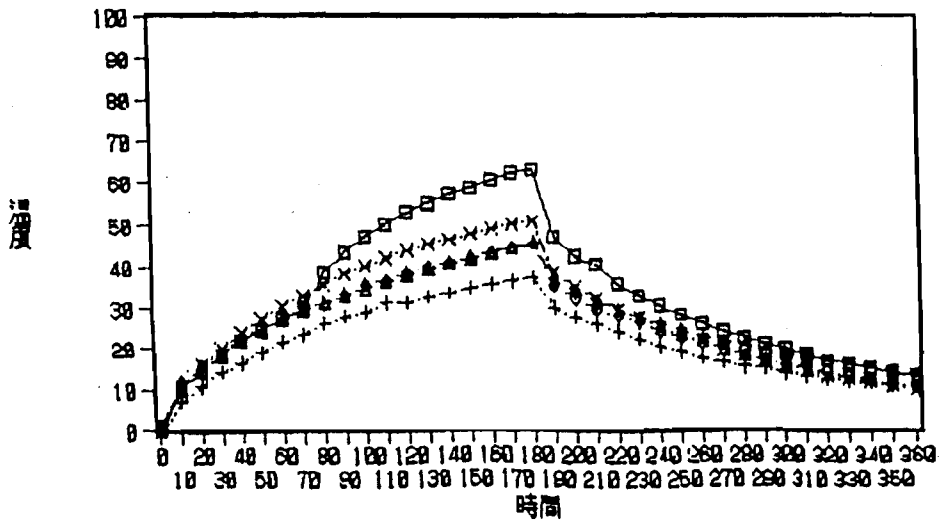
□ アスコン + シリカ系 ◯ アクリル系 △ アクリル室内 × 脱色アスコン

表面が赤色



□ アスコン + シリカ系 ◯ アクリル系 △ アクリル室内 × 脱色アスコン

表面が緑色



□ アスコン + シリカ系 ◯ アクリル系 △ アクリル室内 × 脱色アスコン

図4-34 アスコン平板上の色彩別温度変化

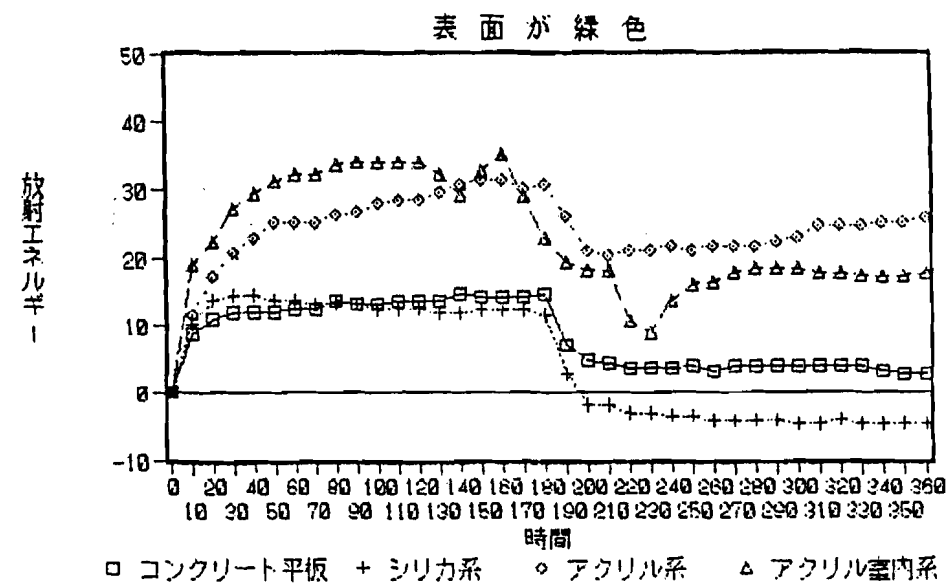
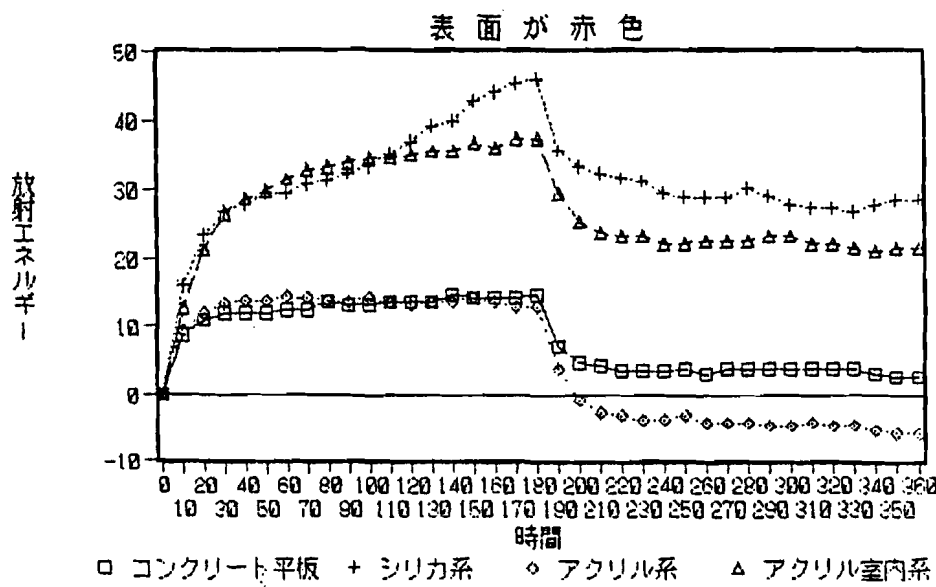
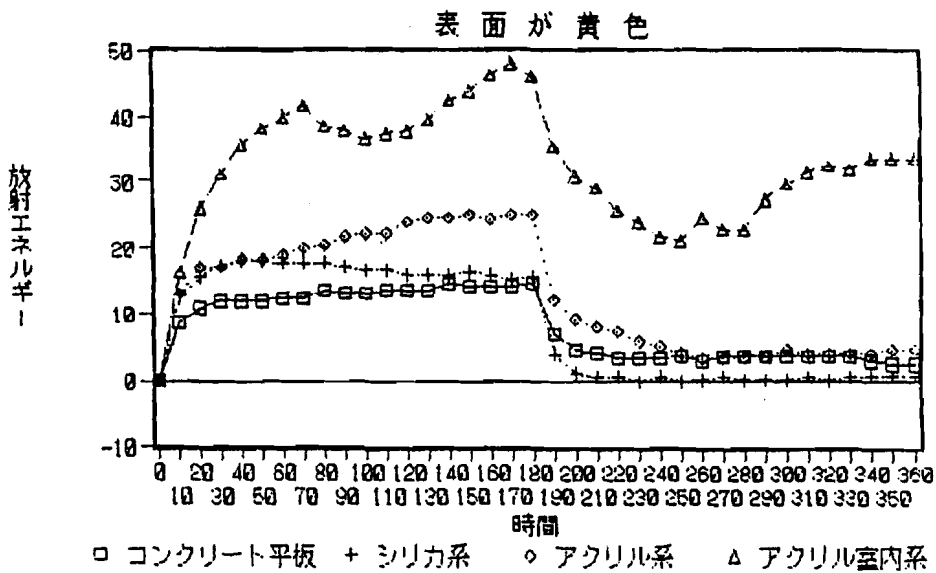


図 4 - 3 5 コンクリート平板上の色彩別放射エネルギー変化

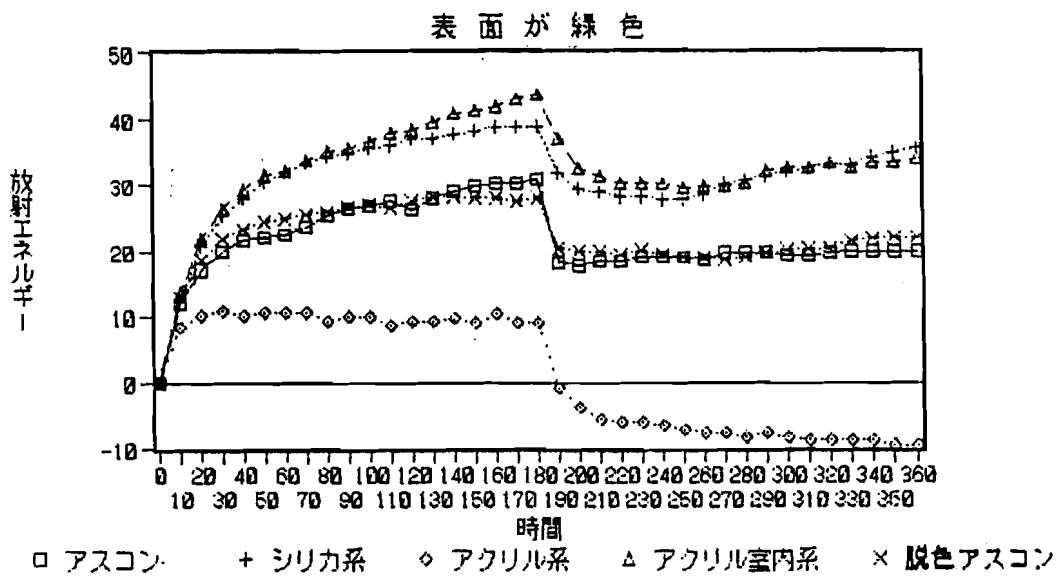
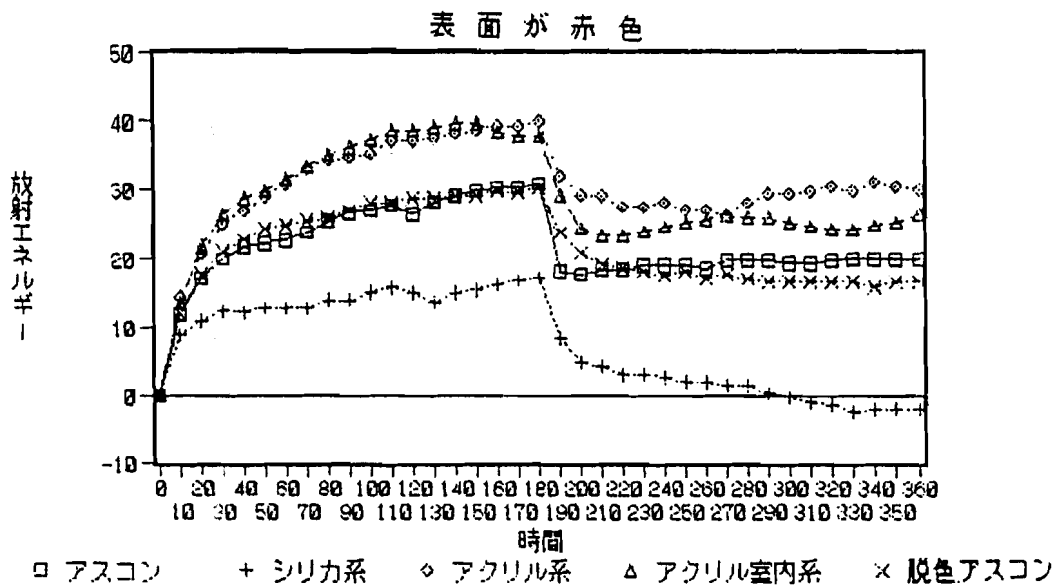
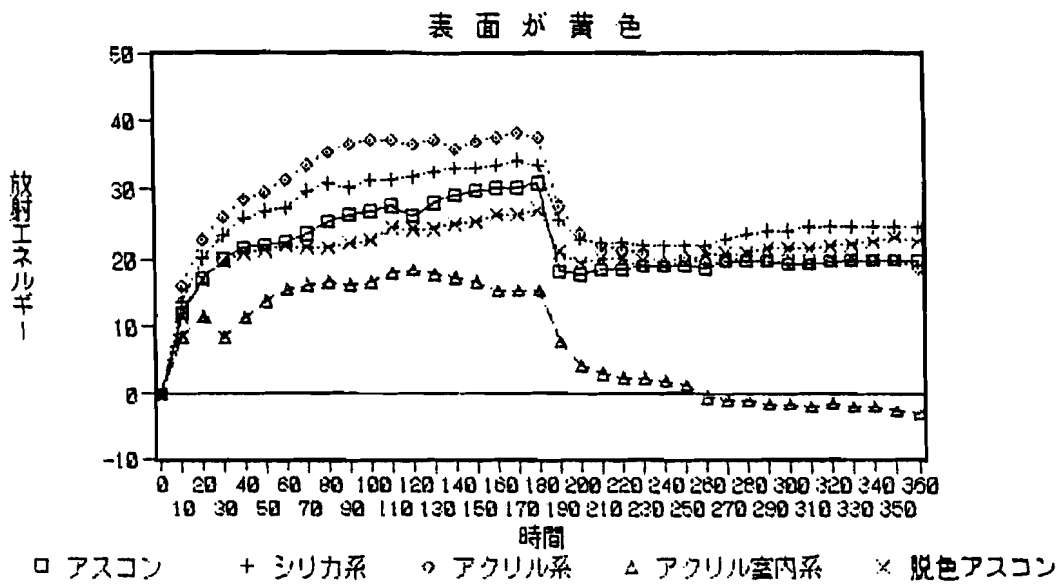
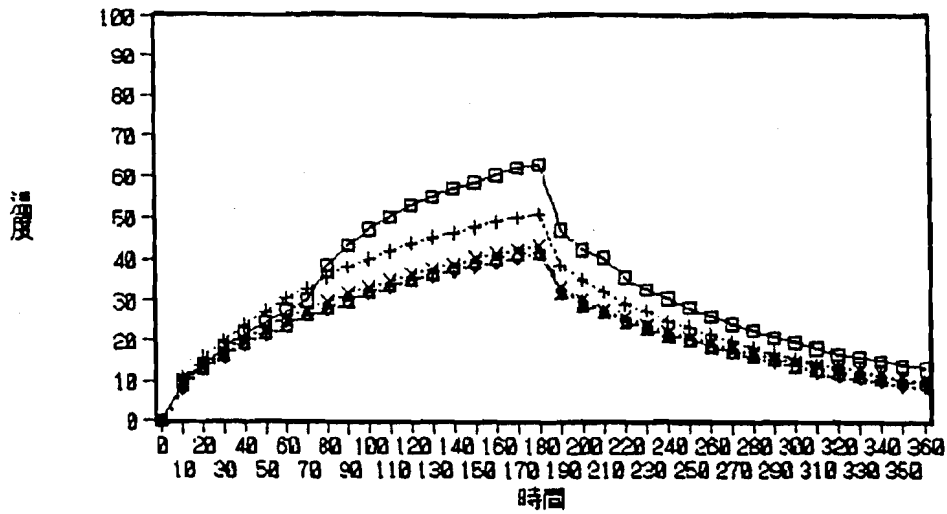


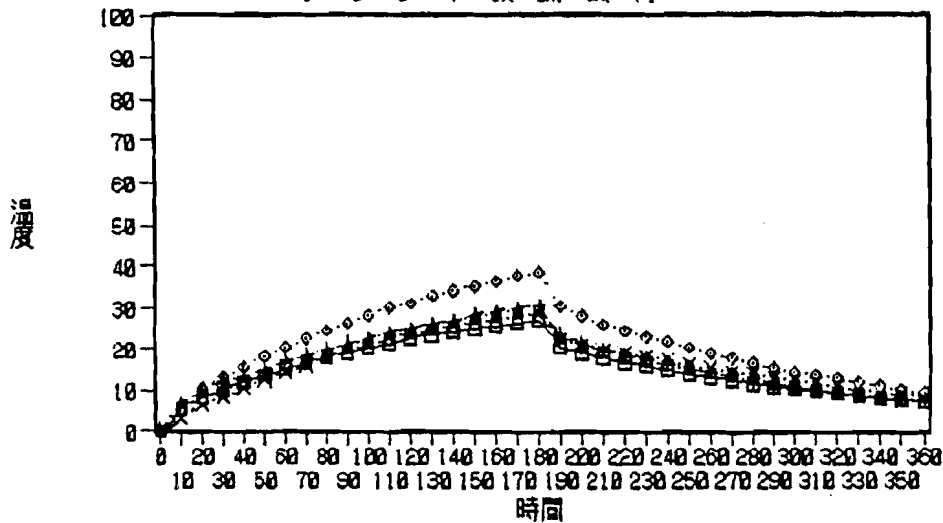
図 4 - 3 6 アスコン平板上の色彩別放射エネルギー変化

脱色アスファルト舗装材



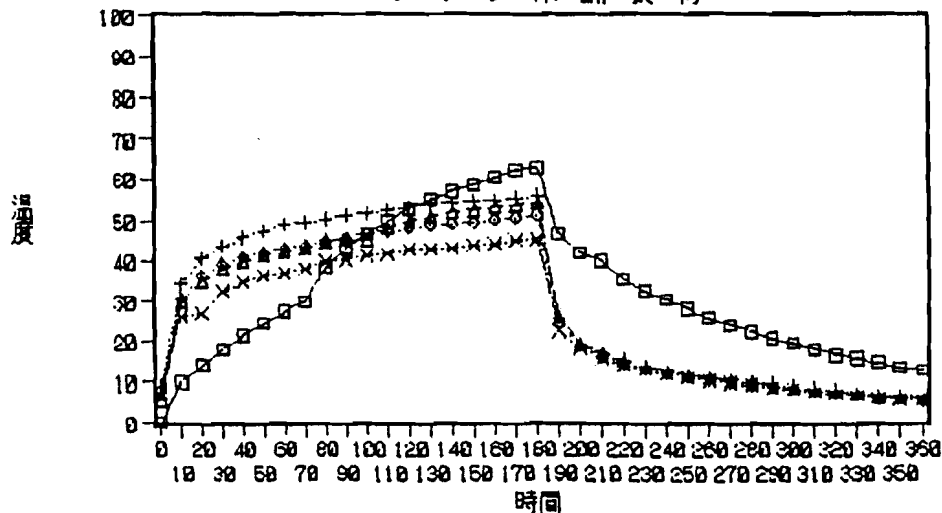
□ アスコン + 脱色アス緑 ◇ 脱色アス赤 △ 脱色アス黄 × 脱色アス白

テラゾ平板舗装材



□ コンクリ平板 + テラゾ緑 ◇ テラゾ赤 △ テラゾ黄 × テラゾ白

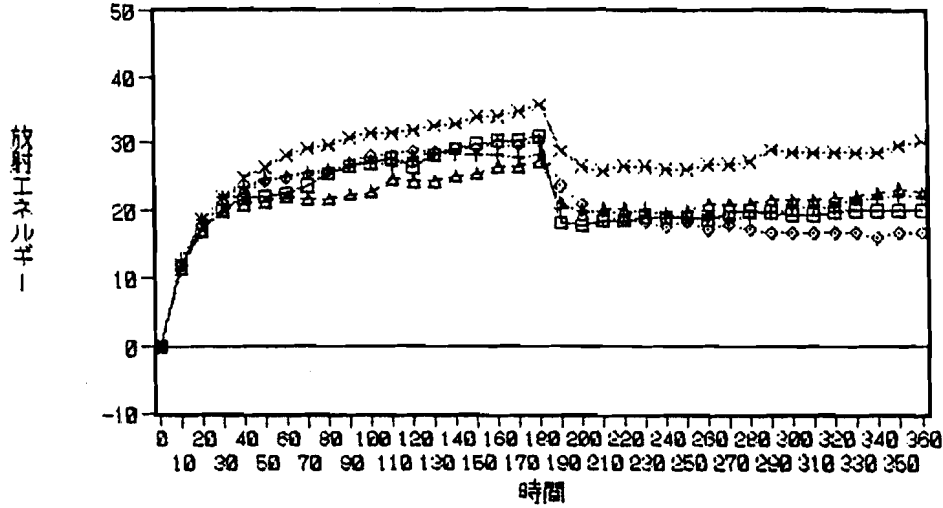
ゴムチップ系舗装材



□ アスコン + ゴムチップ黄緑 ◇ ゴムチップ緑 △ ゴムチップ赤 × ゴムチップ白

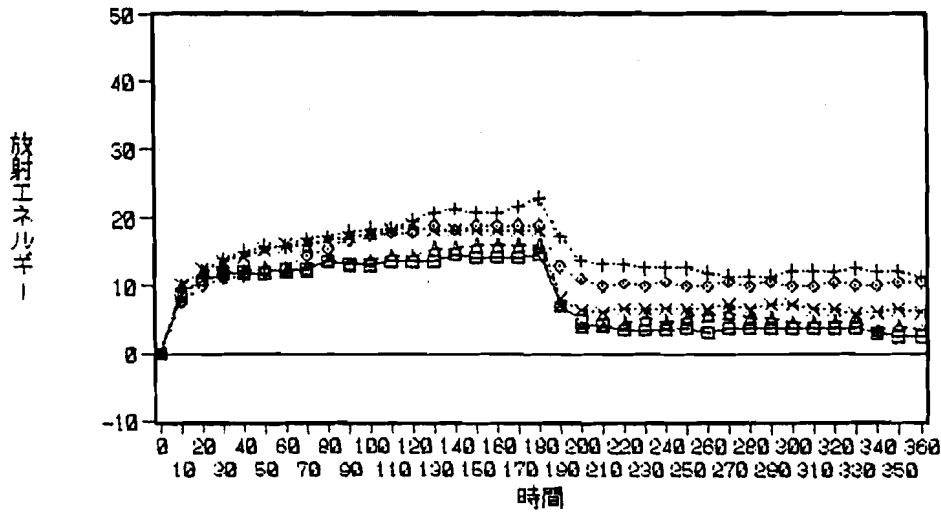
図 4 - 3 7 舗装材料別の温度変化

脱色アスファルト舗装材



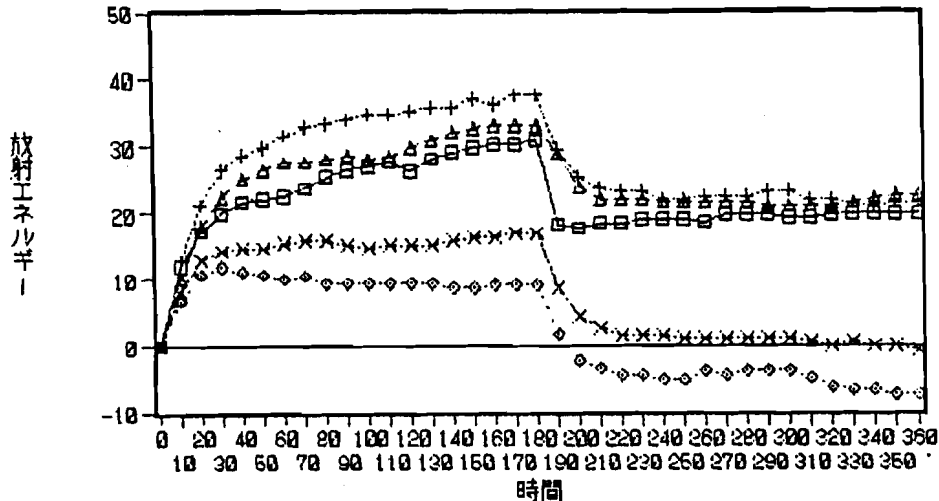
□ アスコン + 脱色アス緑 ◇ 脱色アス赤 △ 脱色アス黄 × 脱色アス白

テラソ平板舗装材



□ コンクリート + テラソ緑 ◇ テラソ赤 △ テラソ黄 × テラソ白

ゴムチップ系舗装材



□ アスコン + ゴムチップ黄緑 ◇ ゴムチップ緑 △ ゴムチップ赤 × ゴムチップ白

図 4 - 3 8 舗装材料別の放射エネルギー変化



写真 4 - 1 屋上の試験状況（未歩行部）



写真 4 - 2 建物前の試験状況（歩行部）



写真 4 - 3 建物前の塗装の変化（約 1 年後の状況）



写真 4 - 4 舗装材料の放射エネルギー測定状況

第 4 節 結 論

歩道の色彩が注目され、舗装材のカラー化が進んでいる今日、新たな舗装材の開発やデザイン的な研究は多く行われているが、カラー舗装材を施工した時の色彩の経時的変化や、退色・変色の状況あるいは舗装材の汚れや摩耗の影響、歩行者の体感に影響する表面温度の上昇率や舗装材の放射エネルギー量など、本来、歩道舗装材として検討されなければならない問題が数多く取り残されている。しかし、これらの事項は全く検討されていないことから、これらの事項について塗装工法で着色したカラー舗装材について実験的に検討をした。

その結果、自然条件における表面温度の変化と設置場所における温度変化を測定したが、中でも舗装材の材質による影響が一番大きかった。また舗装材を設置する場所によってもかなりの温度差と色彩の変化差を生じたことから、色彩の変化を知る上で設置場所も関係して来る。次に視感反射率の変化量が色彩によって異なるが、視感反射率と表面温度は強い相関があり、歩道舗装では視感反射率の変化は色彩と表面温度の両方に影響することが分かった。

また、3節では、カラー舗装材を歩道に施工し、歩行者による色彩の変化と舗装材の持つ放射エネルギーについて測定した。その結果、色彩によって視感反射率の変化量が異なり、赤色や緑色は視感反射率が変化しにくい塗料であった。また、アスファルト系の舗装材である脱色アスファルトは、色彩の変化率は大きい放射エネルギーは小さいなど、実際に測定しないと判断できないことが多く、今後、多くの種類の舗装材を用いた実験が必要である。

参考文献

- 1) 納谷嘉信、児島修二、栗岡豊：都市環境と色彩－総論－：人間工学
VOL.20 No.3 PP129～131 1984
- 2) 石田勝大、斉藤健治：景観デザインと歩道系舗装材料：舗装 VOL.25 No.3
PP16～20 1990
- 3) 佐藤 明色骨材を用いた舗装体の内部温度分布に関する調査研究：舗装
VOL.13 No. PP29～34 1978
- 4) 松永 正：舗装の色調と路面温度：舗装 VOL.23 No.7 PP31～34 1988
- 5) 小林 章、青木司光、萩原信弘、小野耕平、牧恒雄：舗装の色彩と表面温度
について：造園雑誌 VOL.52 No.5 PP133～138 1989
- 6) 金井格、梅沢 篤之介、岸塚正昭、小林章、鈴木敏、牧恒雄：人のための道
と広場の舗装：技報堂出版株式会社 PP131～140 1987

色彩の解析はJIS Z 8701の色の表示方法を用いた。

第 5 章 街路樹の根系による歩道舗装材の破壊について

第 1 節 序論

1 - 1 概説

歩道の役割は、街の景観を構成する重要な要素となるだけでなく、そこに住む人が、安全で快適な生活を営むための必要な施設である。歩道の多くは、街路樹が植えられている。街路樹は街に緑と潤いを与え、歩行者を夏の暑さや車から守っている。現在、街路樹として植えられている樹木はその種類も多く、それぞれの地方の土壌や気候に適したものが植えられている。しかし、日本の道路は車道を中心に作られているので、車道部に比べて歩道部の幅が狭く、街路樹のための植栽枿も小さい。また、歩道の表面はアスコン舗装などで覆われているので、地表水が地下に浸透しにくく、十分に成長しない街路樹もあるが、一方では、街路樹が成長し過ぎて電線にかかったり、街路樹の根が歩道舗装下に伸びてアスコン舗装を持ち上げて破壊しているなどの状況も見られる。これらの街路樹による舗装破壊は、特異な現象ではなく各所で見られるが、舗装の凹凸が激しいと、歩道を歩行する人にとって歩きにくかったり、自転車で走行中に転んで怪我をする事故も発生している。破壊の激しい歩道では、伸びた根系を切ったり舗装の補修を行うなど何等かの対策を行っているが、これらの補修も、街路樹の根系がアスコン舗装下に伸張して破壊する原因が解明できないと根本的な対策とはならず、道路管理者の間で、これらの原因解明と対策法の確立を望む声は大きい。

1 - 2 既往の研究

街路樹による歩道舗装破壊の原因は、樹木の種類、舗装構造、植栽樹の形状、土壌条件など様々な要因が考えられるが、歩道舗装を対象に十分な研究や実態調査は行われていない。街路樹に用いられる樹木の根系繁茂状況や、土壌の理化学性の調査などは、荻住¹⁾の研究や、建設省中部地方建設局²⁾の調査事例があり、

街路樹の生育実態³⁾や生態の研究⁴⁾もある。植物の根系によるアスコン舗装破壊の研究は、天野・牧^{5,6,7,8,9)10)}の研究で、干拓堤防の法面舗装破壊の原因を解明した報告があるが、歩道舗装構造と植栽研の関係から調査研究を行った事例はない。しかし、天野らの研究では、舗装破壊の主な原因が土壌の水分、酸素量で、Anderson¹¹⁾らの研究でも、根系の発達に土壌の孔隙量と酸素の分布量に関係するとの報告がある。

一般に、樹木の生長にはいろいろな環境要因が影響するが、特に根系の生長は土壌構造と重要な関係があることが調査・研究等により数多く報告されている。土壌構造の中でも、根系生長にとって重要な要因は水分と孔隙である。土壌水分が根の生長に適当な場合、孔隙量の多い方が根の生長に良く、緻密で孔隙量の少ない粘性土壌では根の生長が悪い。また、土壌中の根系分布は、通常土壌表層部に細根が集中するが、これは土壌表層部に有機質が多いことや、孔隙量が多くて土壌中の酸素量が多いことも影響している。これに対して、下層部では土壌密度が緻密で水分量も比較的多く孔隙が少ないため、根の生長も悪く根系の分布も少ない。表5-1は、気相と主要樹木の根系分布割合を示したもので、図5-1は、空気量と根量分布を示したものである。孔隙量は根の生長に物理的影響を及ぼす土壌の硬さや、生長・吸収のエネルギーを供給する新陳代謝に不可欠の酸素量とも関係して、根の生長に物理的・生理的な影響を与えている。また、石原¹²⁾らは最小容気量と最大容水量との比率が、根系の生長と関係があることを認め、トドマツの根系は最小容気量対最大容水量比率(L/W)が大きいほど根系の分岐・発達が著しく、L/W比が正となる場合には根の発達は良いが、負の場合には悪くなると報告している。Anderson¹¹⁾らも、孔隙量は根の呼吸に必要な酸素の分布量とも関係し、根系の発達に大きな役割を果たしていると述べ、Weaver¹³⁾もストロブマツの根系は孔隙量の多い表層部で分布が多く、深くて堅密な土壌では、根系の発達が妨げられていたことを報告している。以上のことより、液相・固相・気相の土壌三相容積組成(三相構造)を調べることで、根系の繁茂状況に大きく関係することがわかる。一般に自然土壌地の中においては、固相が26~36%、液相40~47%、気相23~32%の範囲で、根系生長がもっとも良かったと報告されている¹⁾。また、石原¹²⁾は固相が60%以上の圧密された層では、根系の発達は見られなかったと述べ、荻住¹⁾らもスギ林を調査した結果、

固相が40～50%の所では根系の生長が阻害されていたと報告し、これらの地区では全般的に気相は少なかったとしている。なお、図5-2は、土壤孔隙量と根の関係¹⁵⁾を示し、図5-3は、土壤孔隙量と細根の多さを示したもの¹⁾である。

また、Boynton¹⁴⁾らの研究によると、土壤中の酸素濃度は、0～30cmの表層部では、19～20%で大気中の酸素濃度に近いが、深くなるにつれて急速に減少する傾向が見られた。これは、地表に近い部分では気体の拡散や、気温・地温の変化によって、土壤中の気体と大気との間のガス交換が盛んに起こるためである。深さ90cmになると、冬季の酸素濃度は3.5%であったと報告されている。

表5-1 容気量と主要樹種の細根の分布割合¹⁾

深さ cm	土壤の理学的組成(容積%)					細根の分布割合(%)				
	固相 土質 ・ 容積	孔隙量	最大容 水量(W)	最小容 水量(L)	土中の 容気量	L/W	スギ	ヒノキ	アサギ	カラマツ
10	25	75	64	11	39	17.2	33	35	33	45
20	22	78	71	7	35	9.8	7	17	19	24
30	19	81	75	6	31	8.0	7	10	13	16
40	19	81	75	6	31	8.0	7	12	19	8
50	19	81	75	6	31	8.0	9	6	0	5
60	19	81	75	6	31	8.0	7	9	6	2
70	19	81	75	6	31	8.0	12	4	3	
80	17	83	78	5	21	6.4	3	4	0	
90	17	83	78	5	21	6.4	3	4	3	
100	20	80	76	4	8	5.3	3	3		
100										
!	19	81	79	2	5	2.5	10	+		
200										

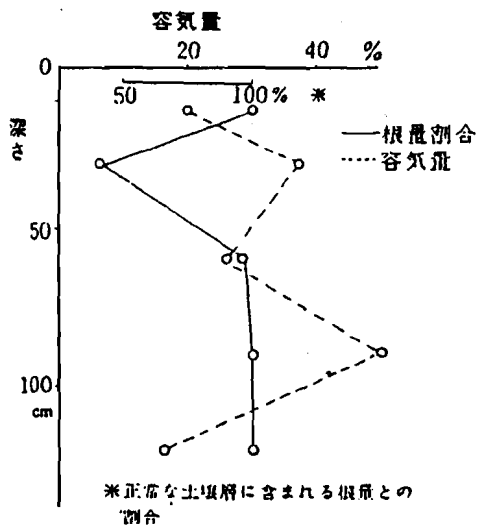


図5-1 容気量と根量分布¹⁾

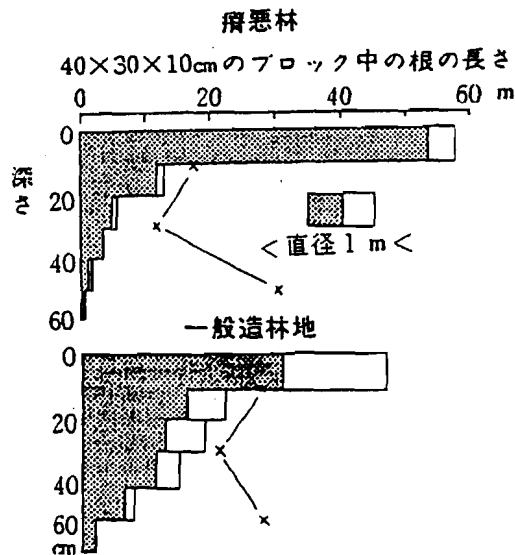


図5-2 土壤の孔隙量と根の長さ¹⁵⁾

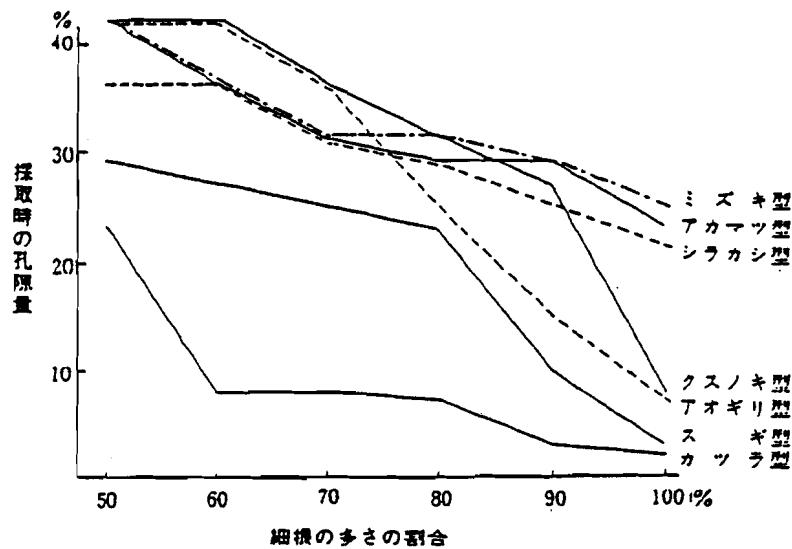


図 5 - 3 各根系型の細根の分布と採取時の土壌孔隙量¹⁾

1 - 3 研究の目的と範囲

街路樹による歩道舗装破壊の原因を解明するために、施工後年限がある程度経過して街路樹が十分に成長し、且つ、歩道の破壊が認められる場所における解析が必要である。そこで、これらの測定を行う場所として、道路の舗装構造や整備記録、あるいは樹木の植栽時の状況など、ある程度履歴が判明している場所として、日本住宅・都市整備公団の管理する多摩ニュータウン内の歩道を選び実施した。

測定内容は、

- (1) 植物樹種と舗装破壊の関係について。
- (2) 植栽柵の構造と歩道舗装の構造について。
- (3) 植栽柵と歩道舗装下の植物の根系の繁茂状況について
- (4) 植栽地の土壌条件硬度、土壌の三相構造などについて。

の項目について行ったが、これらの結果を基に、街路樹による歩道舗装破壊の原因について解明することを目的とした。

第 2 節 歩道舗装材破壊の実態調査

2 - 1 概説

歩道舗装の構造は、一般的に、路床の上に10cm程度の碎石路盤を施工し、表層材として、密粒度アスコンあるいは、透水性を考慮して開粒度アスコンが施工している場合が多い。また、歩道には電柱や電線、住宅地区からの排水管などの管渠が埋設してあるなど様々な構造物があり、歩道の掘削、埋戻し、部分的な改修など、舗装下の土壌条件や根系の生育条件は、自然の条件で生息する植物に比べて、かなり悪条件となっている。また、植栽樹が狭く、土壌の改良範囲が小さいことも歩道舗装破壊の原因と考えられる。

そこで、本調査では、

- (1) 歩道舗装破壊の実態と破壊箇所の樹種や生育環境の調査を行う実態調査
- (2) 舗装破壊箇所を実際に掘削し、根系の繁茂状況と土壌条件測定を行う掘削調査

の2つに分けて実施した。

2 - 2 実態調査

2 - 2 - 1 調査方法

舗装破壊の実態調査は、多摩ニュータウンで行った。多摩ニュータウンの本格的な街路植栽工事は、1971年から行われている。当時、車道であった所を改修して歩道を設けるなど、初めから歩道用として設計された場所は少なく、従って、植栽樹の構造や形状等も歩道によってかなり異なっている。しかし、舗装破壊の原因としては、歩道の幅以外にも様々な要因が考えられることから、舗装破壊箇所のと街路樹の生育環境や歩道の施工履歴などを調査した。

調査路線は、多摩ニュータウン内の都市幹線道路（2路線）、地区幹線道路（3路線）、住区幹線道路（2路線）、住区内道路（10路線）の合計17路線、街路樹の測定本数530本を調査した。

また、調査項目としては、街路樹の樹種と樹木の直径や高さ、植栽樹の形状、

舗装の破壊状況、地形などの樹木の生育環境などである。

2-2-2 調査結果および考察

調査結果は、表5-2に示すが、舗装破壊が顕著な場所は、1971年から1978年にかけて植栽された場所で、歩道舗装改修後でも10年程度経過していることから、生長した樹木が多い。

舗装の破壊は主にケヤキ・トウカエデ・イチョウ・サクラの樹種について多く見られた。そして、舗装破壊は植樹の形状に関係なく発生していた。しかし、同一路線の中でも発生が顕著な箇所と発生していない箇所があったが、これは、樹木をとりまく環境が影響しているものと考えられる。一般的には、破壊が起きている樹木環境は、地形的に切土で宅地側に石積み擁壁がある環境で多く見られた。また、破壊の起きていない樹木環境は、盛土地で宅地側も構造物による土留めを行っていない箇所が多かった。

なお、植栽樹木の形状は、次の記号で示す。

H (樹高)

C (1.2mの高さにおける樹木の周長)

W (平均的な枝張りの直径)

単位はいずれも(m)である。

表 5 - 2 破壊箇所の調査結果

地区	路線名	植 栽 樹 種						植栽地 形状	歩道 舗装 改修	加築破壊割合		備 考
		高 木			低 木					設置数 本	破壊数 箇所	
		H	C	W	H	C	W					
B1	(住区内道路) 101	トウカエデ			ササギ			連続例	S53	40	30	
B1	(住区内道路) 102B	ケヤキ			ササギ			単独例	S52	109	73	
B1	(住区内道路) 104A	ケヤキ			ササギ			単独例	S60	31	21	
B1	(住区内道路) 104B	ケヤキ			ササギ			連続例	S52	20	5	
B1	(住区内道路) 108	ソメイヨシノ			ドウダンツツジ			連続例	S55	30	10	
B2	(住区内道路) 201	コブシ			ドウダンツツジ			連続例	S56	30	-	
B2	(住区内道路) 203	シラカシ			ドウダンツツジ			連続例	S60	30	-	
B3	(住区内道路) 302B	ヤマザクラ			サツキンツツジ			連続例	S59	30	-	改築例であるが 生育の若しく悪い ところがある。
B1	(地区幹線) 多2・1・6	アオギリ			ツツジ類			連続例	S59	30	-	
B2	(地区幹線) 多2・2・6	ハクウンボク			ニシキギ			連続例	S60	30	-	
B1	都市幹線 多1・3・2	ブラタナス			ササギ			連続例	S49	30	-	
B3	都市幹線 多1・3・3	クスノキ			ドウダンツツジ			連続例	S59	30	-	
B2	(地区幹線) 多2・1・7	アメリカフウ			キリンマツツジ			連続例	S61	30	-	
B1	(住区幹線) 106	ブラタナス			ヒラドツツジ			連続例	S52	30	-	
D3	(住区幹線) 304	メクセコイア			芝			連続例	S59	30	-	

2 - 3 掘削調査

掘削調査は、実体調査で行った調査結果から舗装破壊の著しい箇所を選び、道路幅員構成、交通量、通風、日照、沿道の利用形態等などの道路環境調査を行い、破壊状況の調査・舗装下の根系発達状況調査・土性・土壌硬度等をより詳しく調査した。

調査は、舗装をはがしアスコン舗装下に伸長した根系の状況を測定し、さらに掘削を行って、植栽樹内および歩道舗装部の路床内の根系の繁茂状況を詳細に測定するとともに、道路と平行な面での表層下10cm・20cm・30cm・40cm・50cm・60cmの6箇所、土壌硬度と土壌の三相構造を調査した。土壌硬度の測定は山中式硬度計を用いた。

調査位置は、実体調査で樹種の差や、道路環境等で舗装破壊箇所に顕著な差が認められなかったため、比較的類似した環境で舗装破壊の発生している場所と、破壊していない場所について測定を行った。測定箇所は全部で10ヶ所で、樹種としてケヤキ6ヶ所（102B号線、104B号線）、ソメイヨシノ2ヶ所（108号線）、ヤマザクラ2ヶ所（302B号線）である。

道路及び植栽樹の施工履歴としては、102B号線・104B号線は、昭和45年～46年にかけて道路築造がなされている。102B号線・104B号線は単独樹で、植栽樹形式はG-1タイプを使用し、それぞれ昭和47年10月、昭和52年7月に、ケヤキ（ $H=3.5\text{m}$ 、 $C=0.18\text{m}$ 、 $W=1.5\text{m}$ ）が植栽されている。また、昭和52年3月に、管理者引き継ぎにより歩道舗装の改修が行われている。以来11年経過している。

108号線は、昭和45年～46年にかけて道路築造がなされている。当初単独樹で植栽樹形式はG-1タイプを使用し、昭和52年8月にソメイヨシノ（ $H=3.5\text{m}$ 、 $C=0.15\text{m}$ 、 $W=1.8\text{m}$ ）が植栽されたが、昭和59年3月に歩道改修がなされ連続植栽樹G-1タイプになり、かん木（ドウダンツツジ $H=0.6\text{m}$ 、 $W=0.5\text{m}$ ）が植栽された。同時期に歩道舗装の改修も行われた。以来4年経過している。

302B号線は、道路築造が昭和51年に施工され、道路改築により、昭和5

表 5 - 3 調査路線及び街路樹の施工履歴

路線番号	植栽帯形式	植栽樹木	植栽時樹木寸法・形状	調査時樹木寸法・形状				道路築造年月日	植栽年月日	歩道及び植栽帯改修年月日	道路標準横断面図	植栽帯標準断面図
				樹木 1	樹木 2	樹木 3	樹木 4					
南多摩地区B-1 102B号線	単独植栽樹	ケヤキ	H 3.5 C 0.18 W 1.5	H 4.7 C 0.64 W 4.5	6.5 0.40 4.8	5.3 0.44 4.3	9.0 0.77 7.7	S 46.2	S 47.10	S 53.3		
南多摩地区B-1 104B号線	単独植栽樹	ケヤキ	H 3.5 C 0.18 W 1.5	H 7.5 C 0.64 W 5.5	7.2 0.55 4.8			S 45.10	S 52.7	S 53.3	同上	同上
南多摩地区B-1 108号線	連続植栽樹	ツバキ	H 3.5 C 0.15 W 1.8	H 5.8 C 0.93 W 8.1	5.9 0.97 9.3			S 45.8	S 52.8	S 60.3		
南多摩地区B-3 302B号線	連続植栽樹	ツバキ	H 3.5 C 0.18 W 1.5	H 5.0 C 0.26 W 2.0	2.3 枯死			道路 S 51.10 歩道 S 54.3	S 59.12	S 61.3	同上	

4年に歩道が増設されている。302B号線は、昭和54年の歩道増設時に連続植栽樹G-1タイプになり、昭和59年12月にヤマザクラ（H=3.5m, C=0.18m, W=1.5m）、サツキ（H=0.5m, W=0.4m）が植栽され、昭和61年3月に歩道舗装の改修が行われている。以来2年経過している。

2-4 結果および考察

(1) 道路環境

①102B号線は、道路幅員9.5m（車道6.0m, 歩道3.0m（内植栽帯が0.76m）, 路肩0.5m）で構成されている片側歩道の道路である。調査地点No1～3は盛土地区で、バス通りになっているが、人・車とも通行量は少ない。No4は切土地区で、車の通行量は少ないが、バス利用のための人の通行がある。全体的に通風・日照量とも十分得られている。

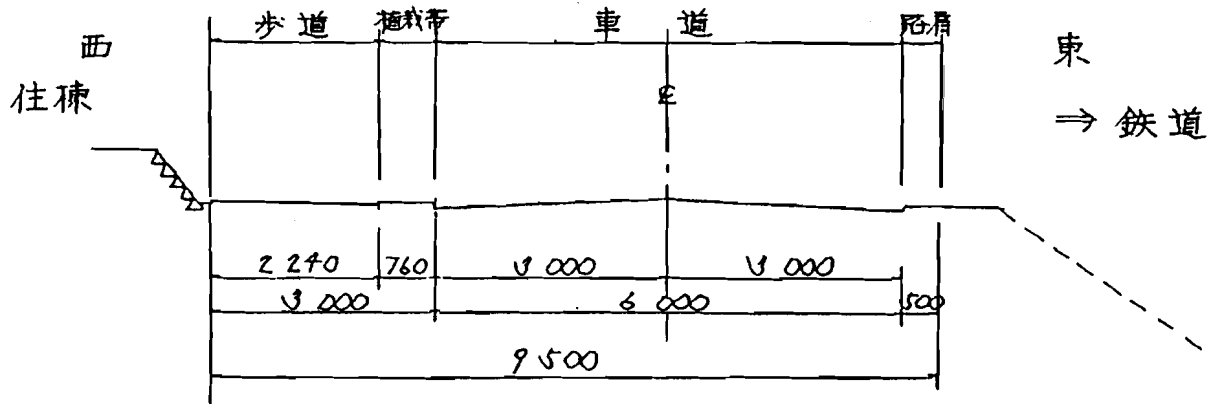


図5-4 102B号線道路標準断面図 S=1/100

②104B号線は、道路標準断面図としては102B号線と同一仕様の道路で、No1, No2とも切土地区である。本線は、幹線間のショート・カット道路であるので車の通行量は比較的多く、バス利用のための人の通行もかなりある。通風は問題ないが、日照は南側に接近して11階建の住棟及び石積擁壁の上に幼稚園があるので、冬季は少ないと考えられる。

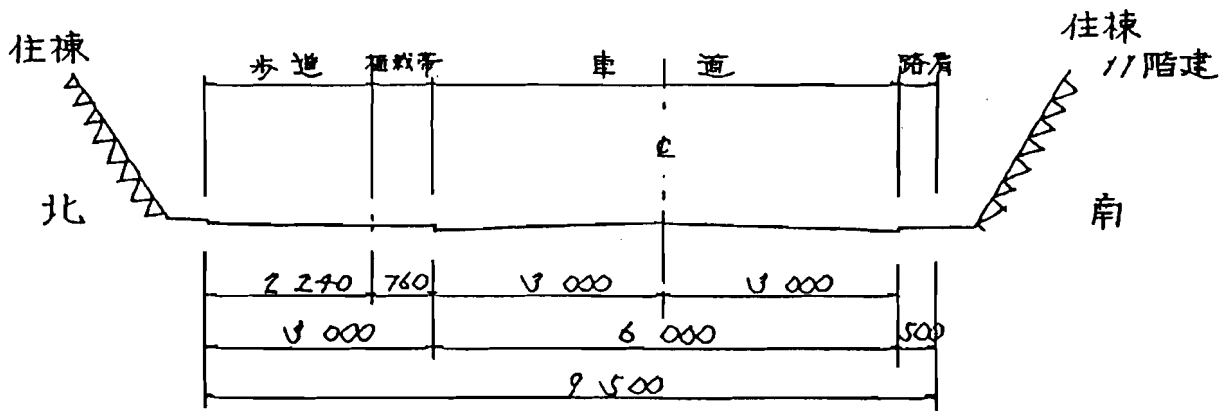


図 5 - 5 104 B号線道路標準断面図 S = 1 / 100

③ 108号線は、102 B号線と同一仕様の道路である。Na 1、Na 2とも切土地区で、本線は住区幹線であるので、比較的車・人の通行量は多い方である。通風は問題ないが、日照は南側に近接して5階建の住棟があるので、冬季は少ないと考えられる。

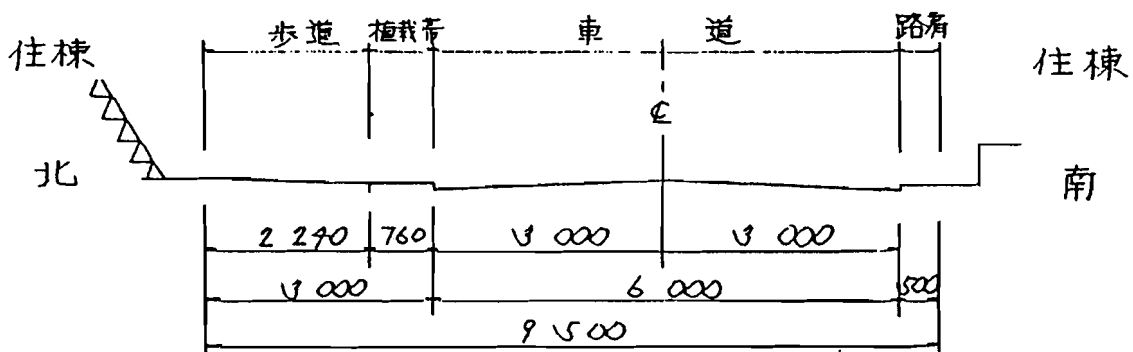


図 5 - 6 108号線道路標準断面図 S = 1 / 100

④ 302 B号線は、道路幅員11.5m（車道6.34m，歩道2.58m）で構成されている両側歩道の道路である。ここもNa1，Na2とも切土地区である。本線は住区内道路であるので、車・人とも通行量は比較的少ないと考えられる。通風・日照量とも十分である。

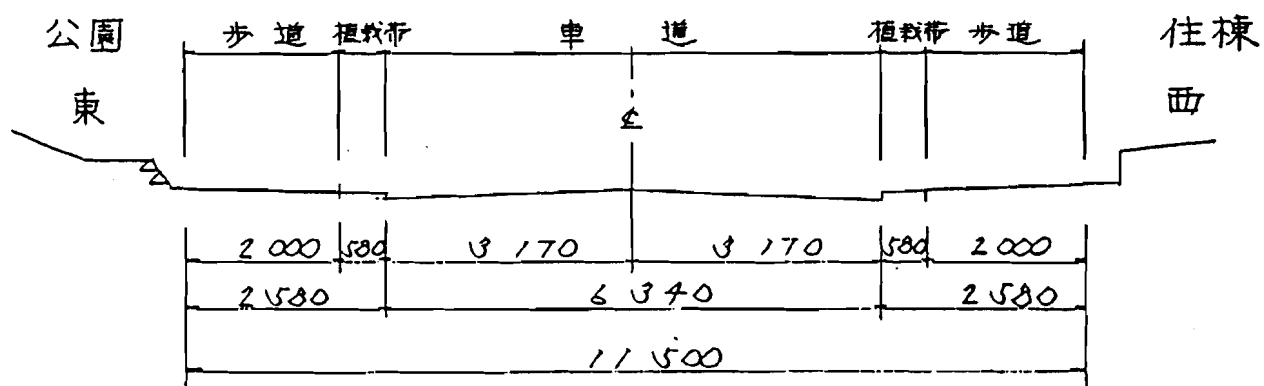


図5-7 302号線道路標準断面図 S=1/100

(2) 植栽帯の構造

① 102B号線・104B号線は、単独樹で下図の仕様になっている。

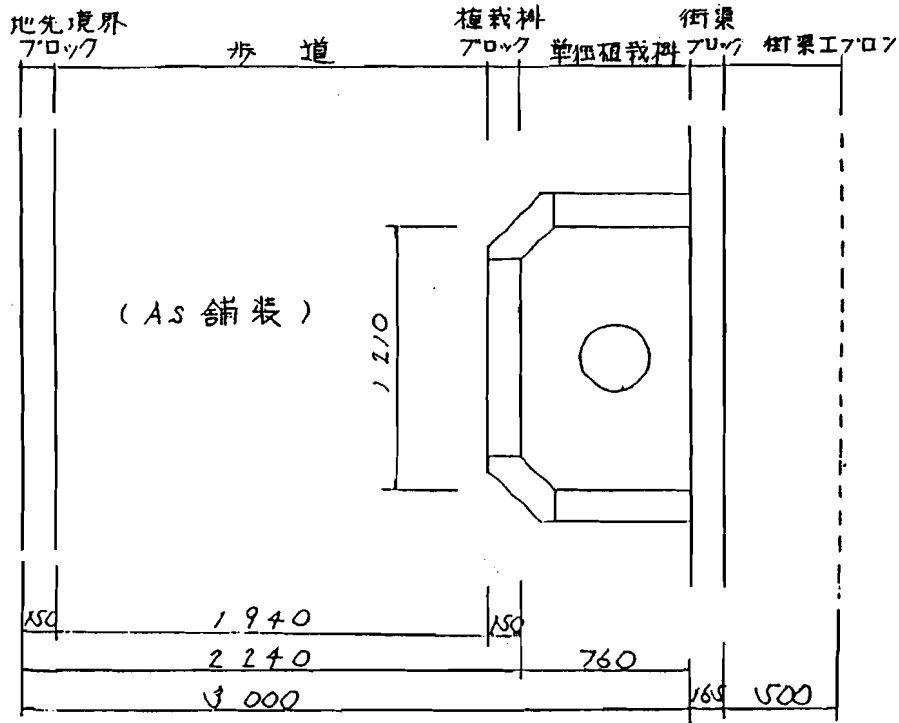


図5-8 平面図 S=1:30

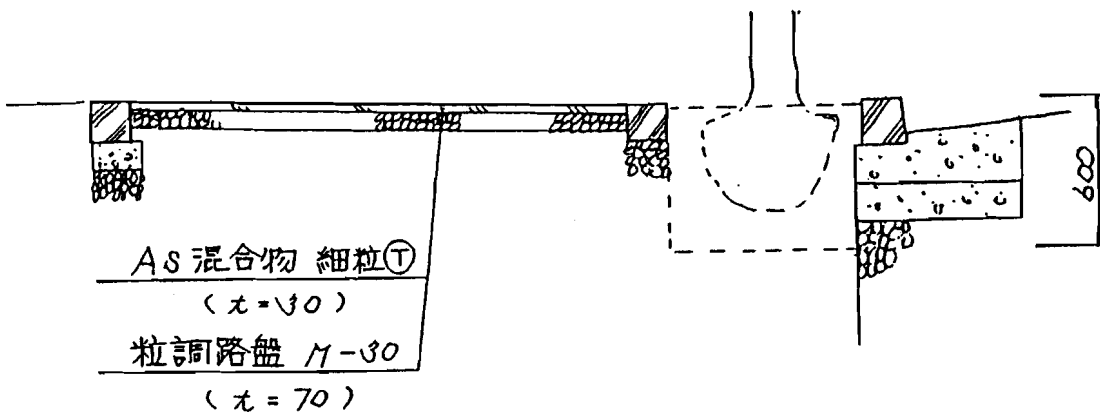


図5-9 断面図 S=1:30

② 108号線は、連続柵で下図の仕様になっている。

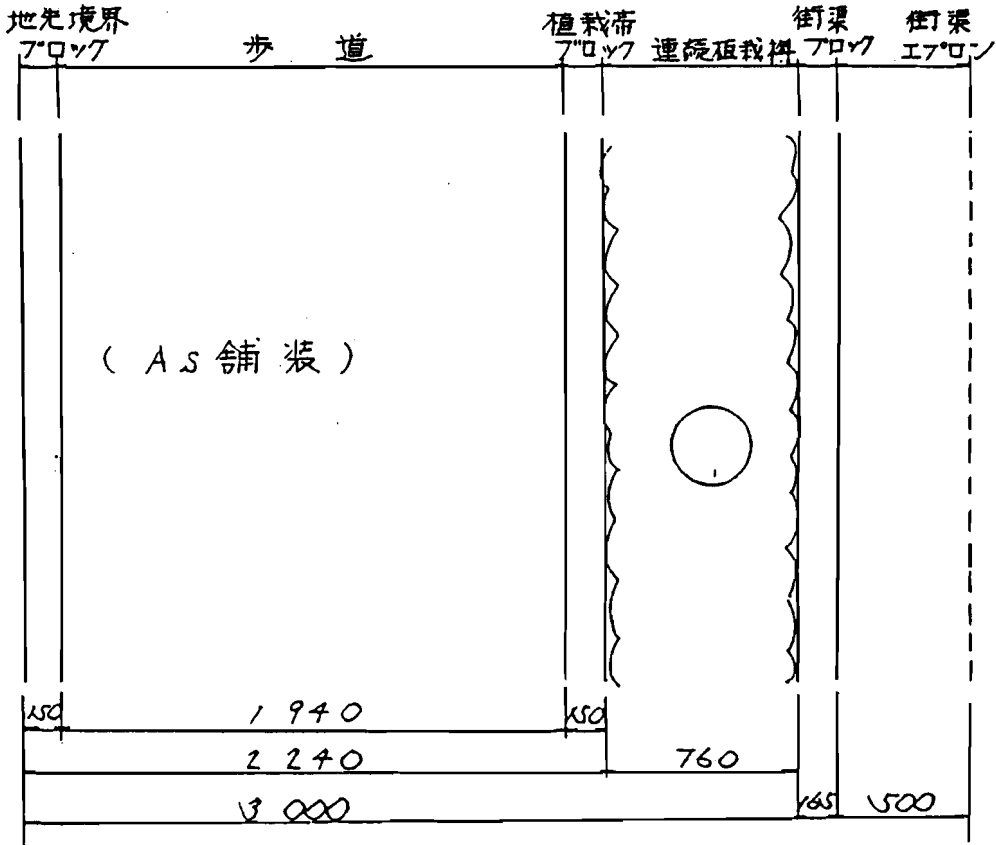


図5-10 平面図 S = 1 : 30

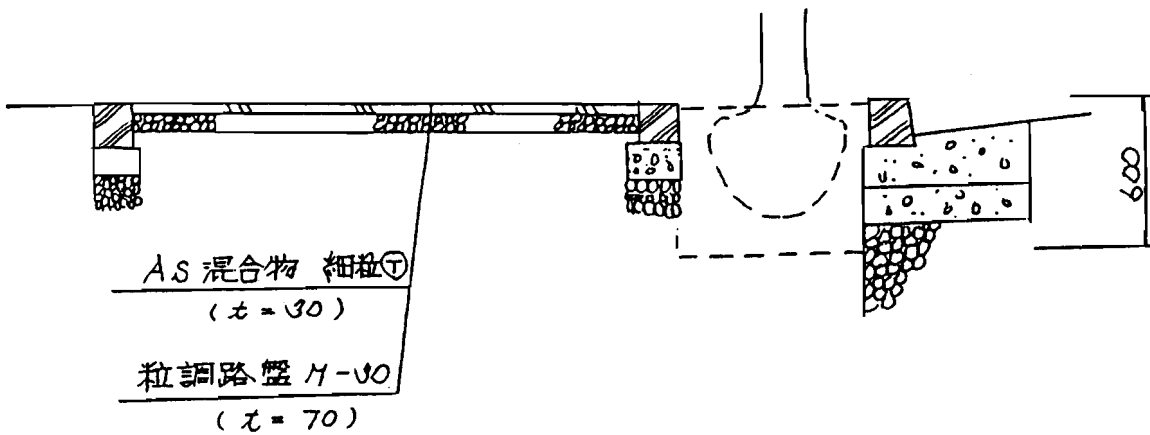


図5-11 断面図 S = 1 : 30

③ 302B号線は、連続樹で改良型の植樹となっている。

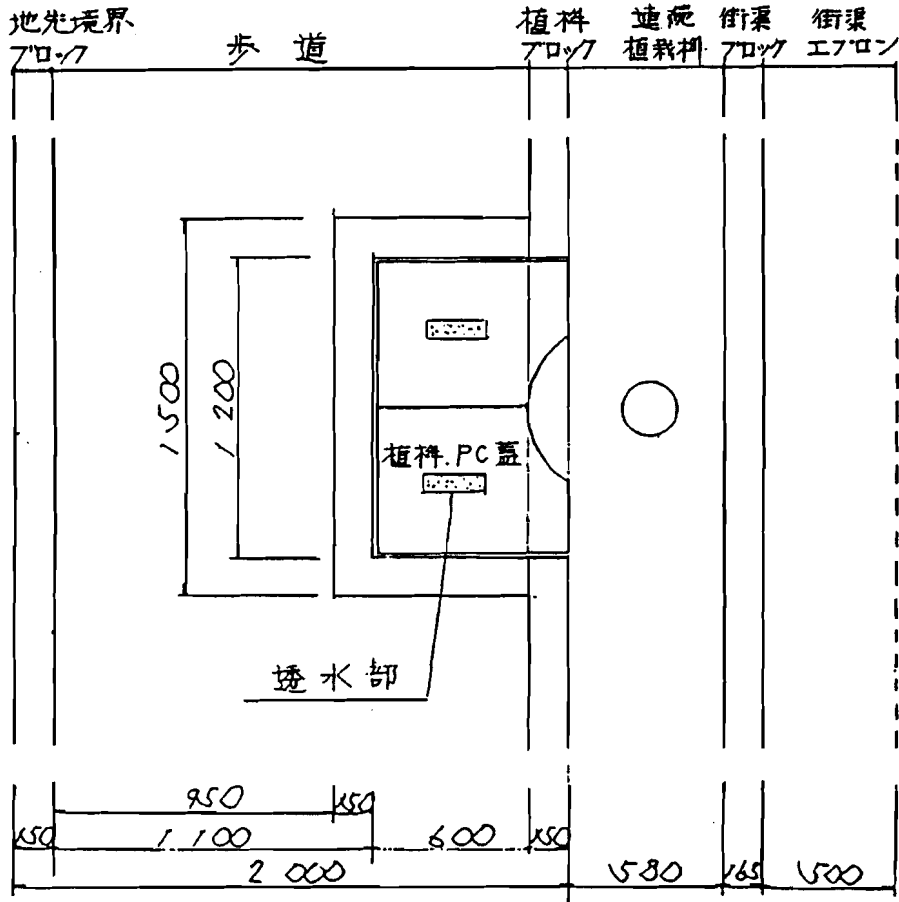


図5-12 平面図 S=1:30

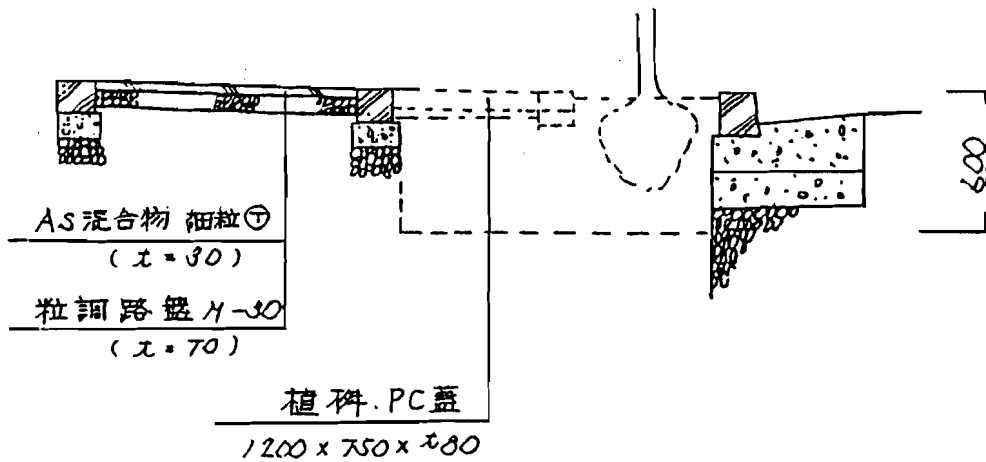


図5-13 断面図 S=1:30

(3) 破壊状況

102 B号線で4箇所掘削調査を行ったが、調査の結果、舗装破壊が認められなかったのは、No 3の植樹1箇所のみであった。No 1, No 2, No 4については、歩行に支障をきたすほどの破壊で、舗装のめくれの高さが3～4 cmに達する舗装もあった。

104 B号線では、2箇所とも破壊が生じていた。特にNo 2では、大きな2条の舗装のめくれがあり、その高さが4～5 cmに達する舗装もあり、歩行等の通行に支障をきたしていることが推測できる。

108号線では、復旧舗装を行って間もないこともあり、No 2でめくれは無いものの多数のクラックが認められた。

302 B号線では、2箇所とも舗装の破壊は見られなかった。以下は、舗装下の根系侵入状況を示したものである。

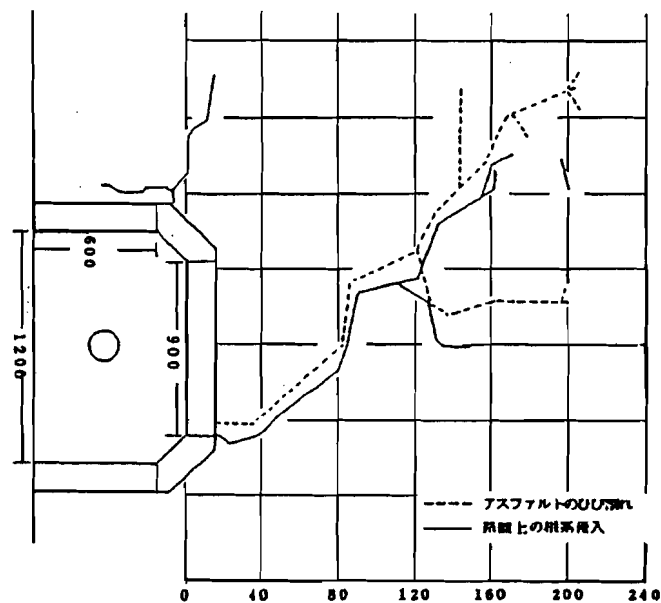


図5-14 102 B号線 No 1

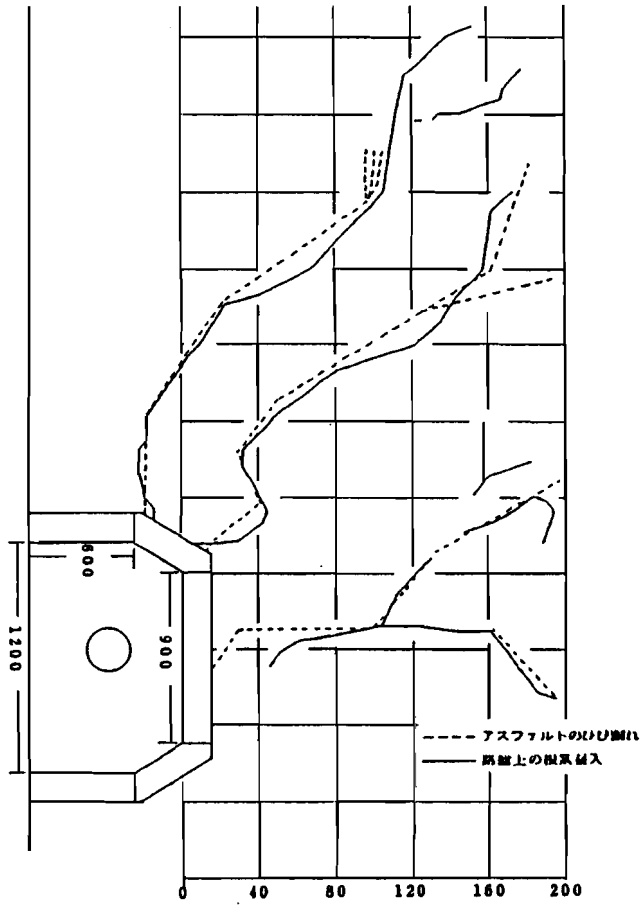


図 5 - 1 5 1 0 2 B 号線 No 2

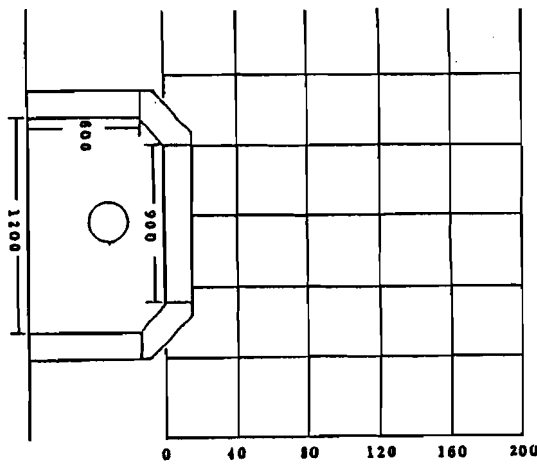


図 5 - 1 6 1 0 2 B 号線 No 3

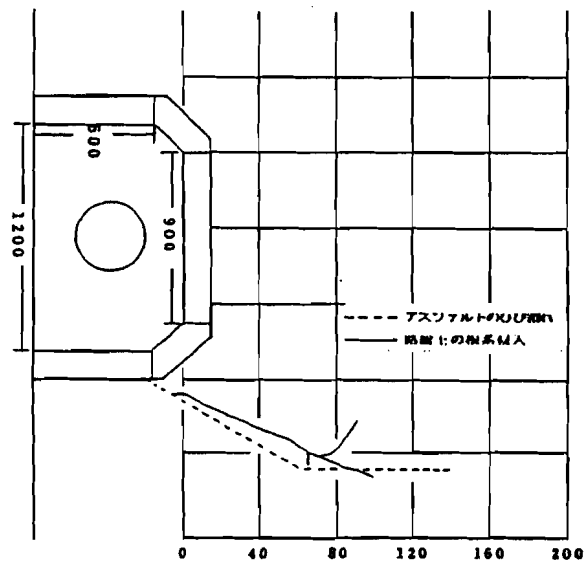


図 5 - 1 7 1 0 2 B 号線 No 4

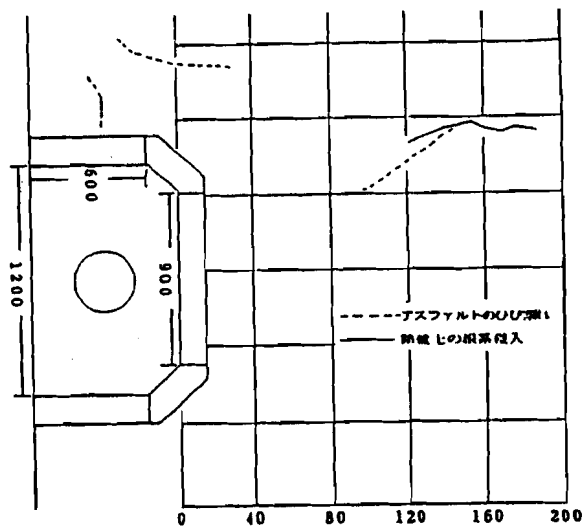


図 5 - 1 8 1 0 4 B 号線 No 1

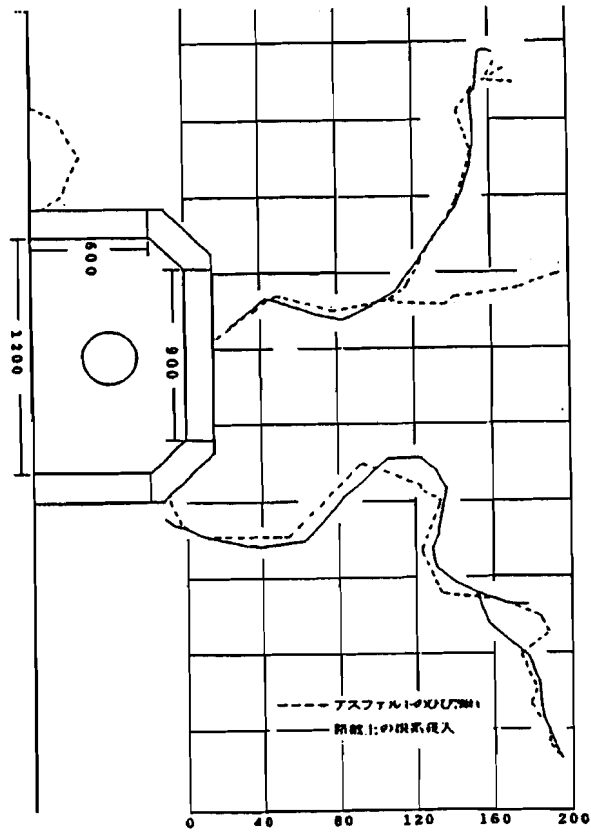


図 5 - 1 9 1 0 4 B 号線 No 2

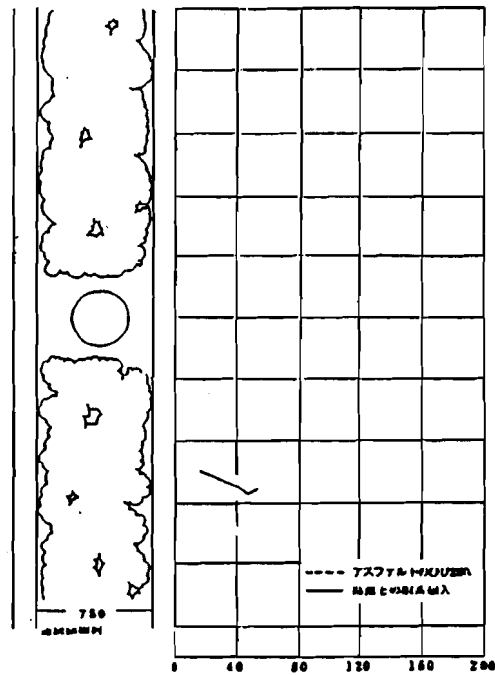


図 5 - 2 0 1 0 8 号線 No 1

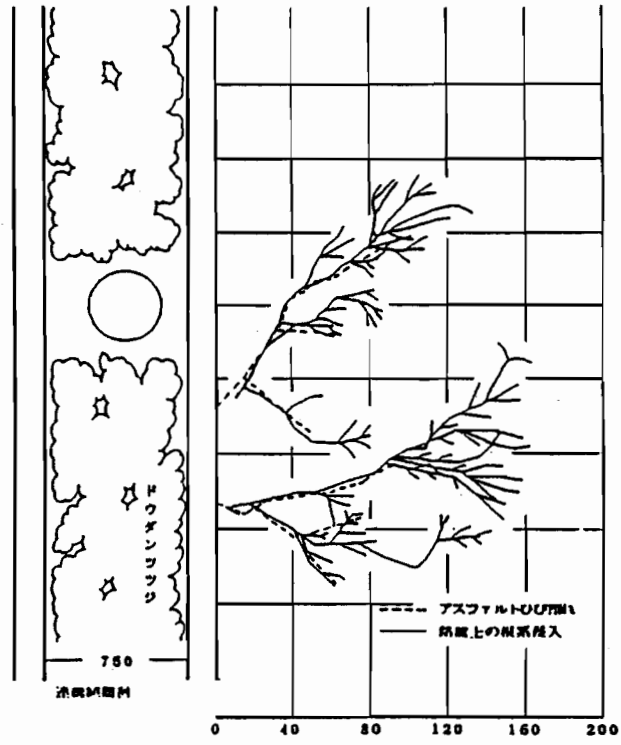


図 5 - 2 1 108号線 No 2

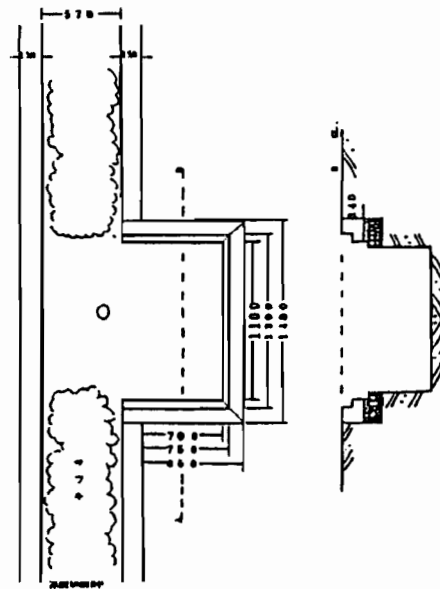


図 5 - 2 2 302B号線 No 1, No 2 (改良樹、舗装破壊無し。)

(4) 根系伸長状況

根系の伸長状況は、植栽帯ブロックを基準に、各測定位置毎の根系の位置と根系の直径について測定を行った。

102B号線 No.1

植栽帯ブロックの砂基礎部に細根群（根径5mm未満）が集中し、この細根群はさらに舗装部のアスコン舗装直下に伸びている。根系は貧弱で水平的な広がりも、幹回りの大きさからすると少なく、垂直方向的にも少ない。根径10mm以上の根は、地表下30cmまでの範囲ではほとんどみられなかった。路床は、レキ混じりの締め固まった粘性土であった。

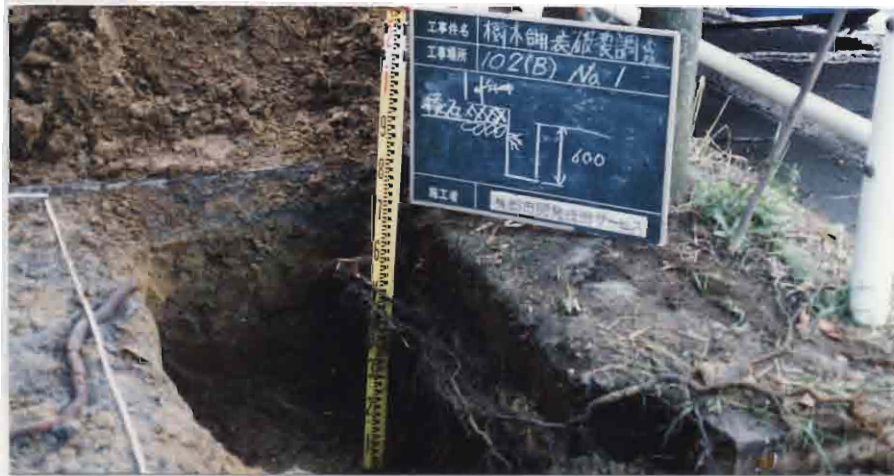


写真5-1 ケヤキの掘削状況

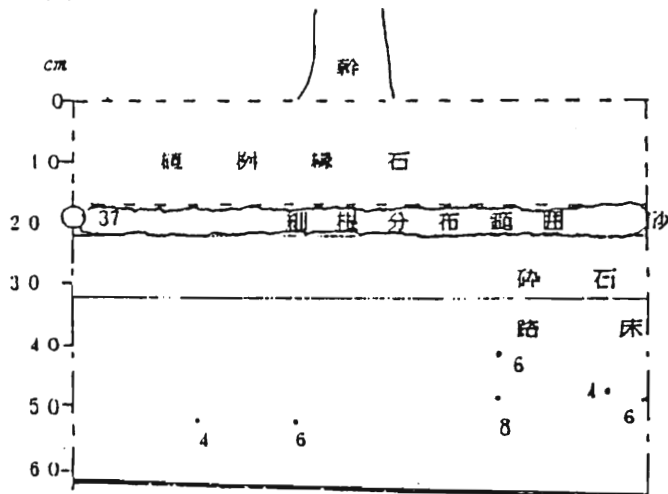


図5-23 ケヤキの根分布図（根径mm）

1 0 2 B 号線 No 2

No 1 と同様、植栽帯ブロックの砂基礎部に細根群が集中し、この細根群はさらに舗装部のアスコン舗装直下に伸びている。水平分布的には、 $\phi 10$ mm から $\phi 40$ mm のものが 3 方に伸びており、下層においても比較的よい分布であった。垂直分布的には、表層下 15 cm から 40 cm の間には根系が見られなかった。 $\phi 10$ mm の前後の根が、表層下 40 cm から 55 cm の範囲において、細根群と合わせて多く見られた。路床は、レキ混じりの締め固まった砂質ロームであった。



写真 5 - 2 ケヤキの掘削状況

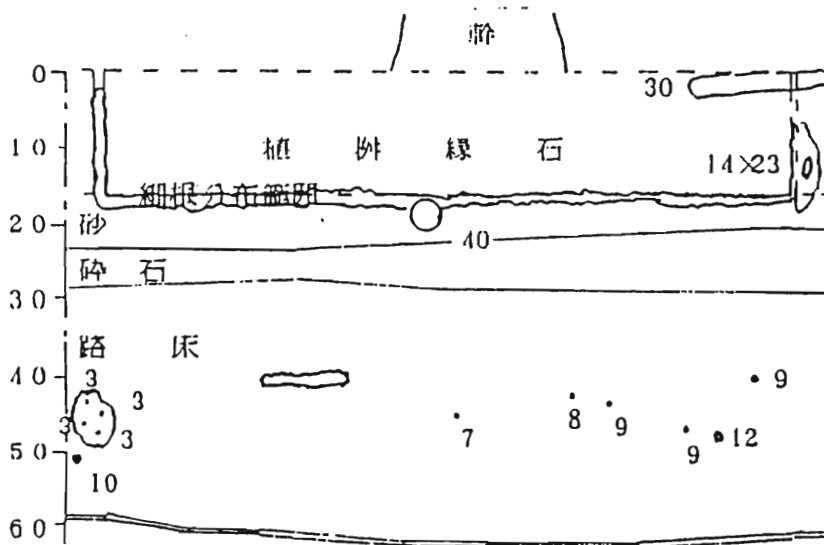


図 5 - 2 4 ケヤキの根分布図 (根径 mm)

102B号線 No.3

この地点は舗装破壊のない箇所として、掘削調査を行ったものである。植栽帯ブロックを据え付けるための砂基礎部に、細根群が集中している。水平・垂直方向とも、ケヤキの標準的な樹木根系の特徴をあらわした根系分布となっている。表層下60cm前後にもφ20mm前後の根系が認められた。路床は、レキ混じりの粘性土であったが、掘削時においても比較的軟らかく掘りやすかった。ただ、下層になるにしたがって湿り気が強かった。



写真5-3 ケヤキの掘削状況

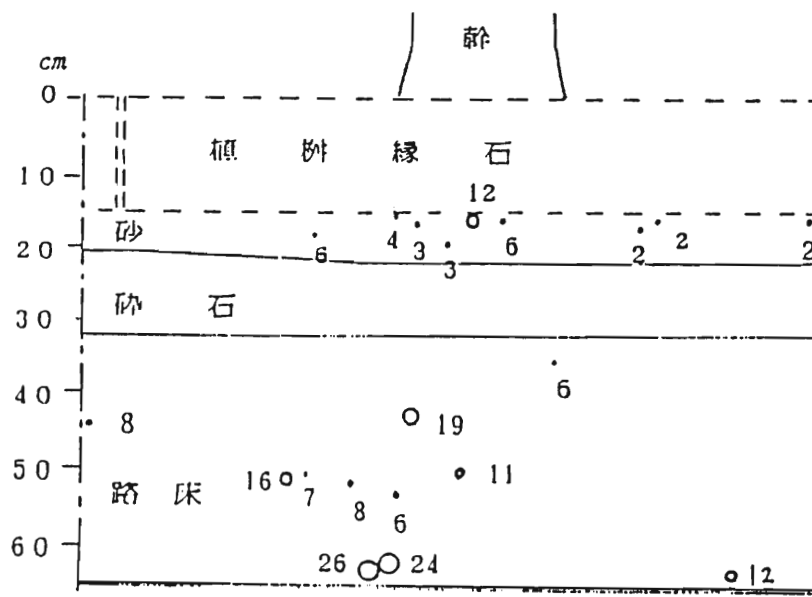


図5-25 ケヤキの根分布図（根径mm）

102B号線 No.4

この地点は舗装の破壊のみならず、植栽帯ブロックにも不陸が生じている箇所として調査を行ったものである。この地点の路床は、埋戻し用の砂である。根系的には、植栽帯ブロックの砂基礎部に細根群が集中生長して、そのまま舗装部のアスコン舗装直下に伸びていた。舗装部では、表層下20 cm以下にはほとんど根系は見られず、表層下5.8 cmの所に1本φ6 mmがあるのみであった。ブロックの不陸は、根群の集中と根系の生長による浮き上がりであった。根系的には、水平・垂直とも貧弱であった。



写真5-4 ケヤキの掘削状況

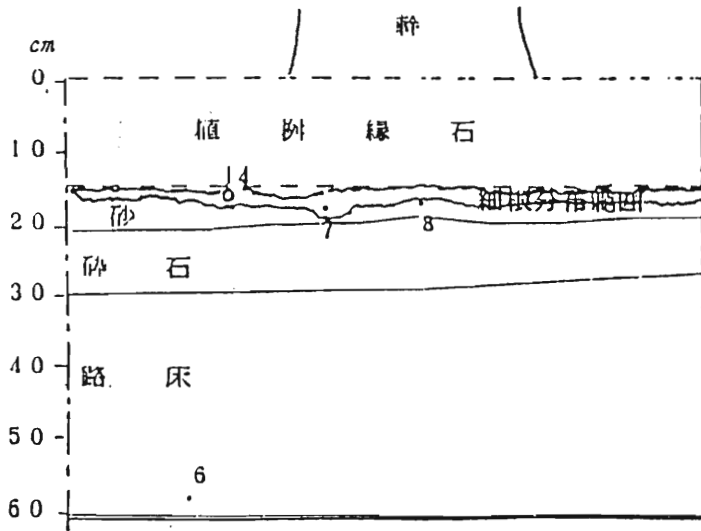


図5-26 ケヤキの根分布図 (根径mm)

104B号線 No.1

舗装破壊は、境界ブロック側1.0m程度に認められるが、路盤上部及び路床上部に、植栽帯ブロックの下部より多数の細根が伸びていた。また、植栽帯ブロックの基礎部の上の砂層に、細根群が集中してみられた。路床は、締め固まった粘性土であった。水平分布的には、車道と平行する方向にφ20mmからφ40mm前後の根系がみられたが、垂直分布的には表層下25mm以下には、ほとんど根系は見られなかった。



写真5-5 ケヤキの掘削状況

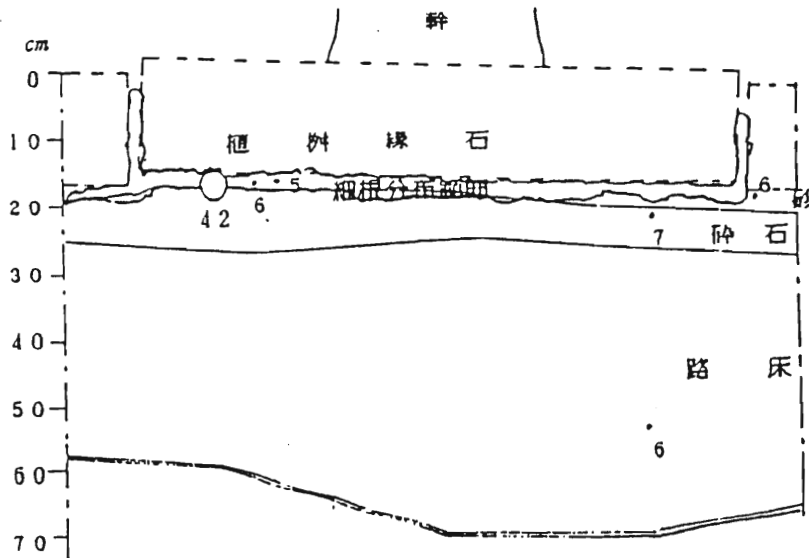


図5-27 ケヤキの根分布図(根径mm)

104B号線 No.2

全調査地点の中でも、最も舗装破壊が著しい箇所であった。植栽樹ブロック下部の砂層及び碎石層から伸びた根が深層に伸長せず、再度上昇しアスコン舗装直下に伸び、そこで生長して舗装のめくれを生じさせていた。ただ、境界ブロックから先は深層方向に伸びていた。植栽樹ブロック下部に細根群が集中している。比較的軟らかい部位の、表層下40cmから60cmの範囲に、細根群の根系が見られた。路床は、締め固まった砂質土であった。



写真5-6 ケヤキの掘削状況

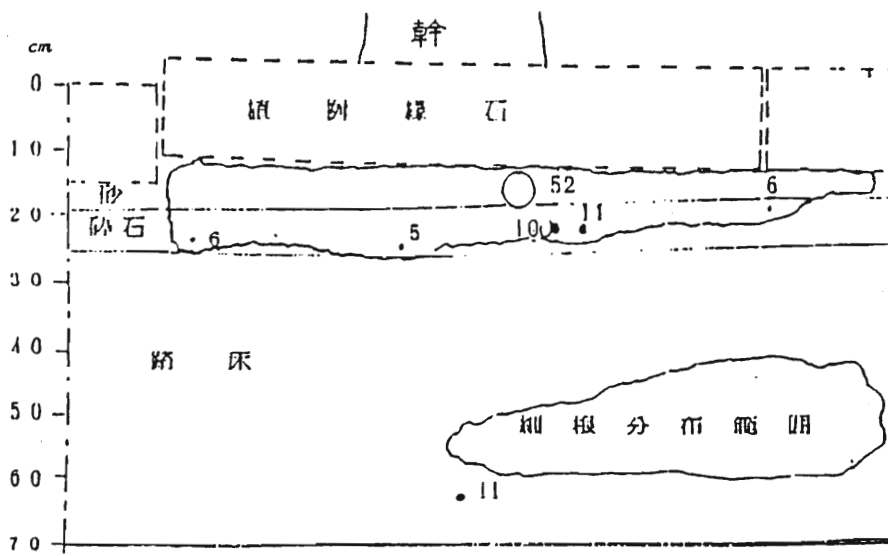


図5-28 ケヤキの根分布図 (根径mm)

108号線 No.1

本路線は、歩道舗装改修後3年経過した路線ある。しかし、すでに表層部にクラック等の破壊が見られる箇所もある。この地点は、あまり破壊の無い箇所を選んで掘削したが、すでにアスコン舗装部と路盤部の間には根系が伸びていた。本路線の植栽帯ブロックは、コンクリート基礎のあるタイプであるが、すでにクラシャーラン基礎の上部と植栽帯ブロックの間を通して、路盤の中に $\phi 5$ mm前後の根が伸びていた。路床は、レキ混じりの締め固まった砂質土であった。



写真5-7 ソメイヨシノの掘削状況

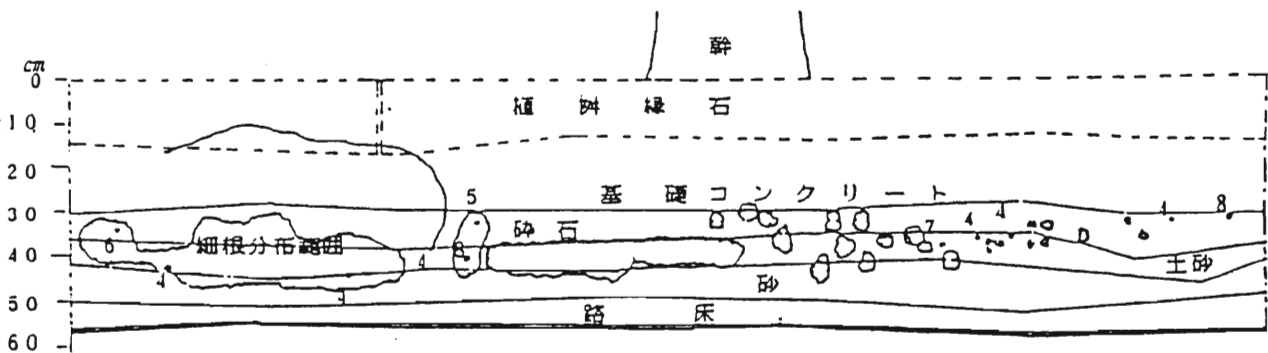


図5-29 ソメイヨシノの根分布図(根径mm)

108号線 Na2

Na1と同時期に、歩道舗装改修が行われているが、すでに舗装にヘアクラックが発生している。表層を取り除いてみると写真のごとくφ10mm前後の根系が、アスコン舗装直下に伸びている。植栽樹ブロックのクラシャーラン基礎上部と植栽樹ブロックの間より、多くの細根群が伸びている。根系の発達は比較的良く、水平分布的にもよく分布し、垂直分布も表層下60cmにφ155mmの太根があるなど、中・太径の垂下根・斜出根型がよくあらわれていた。路床は、レキ混じり粘性土であるが、比較的掘り易かった。



写真5-8 ソメイヨシノの掘削状況

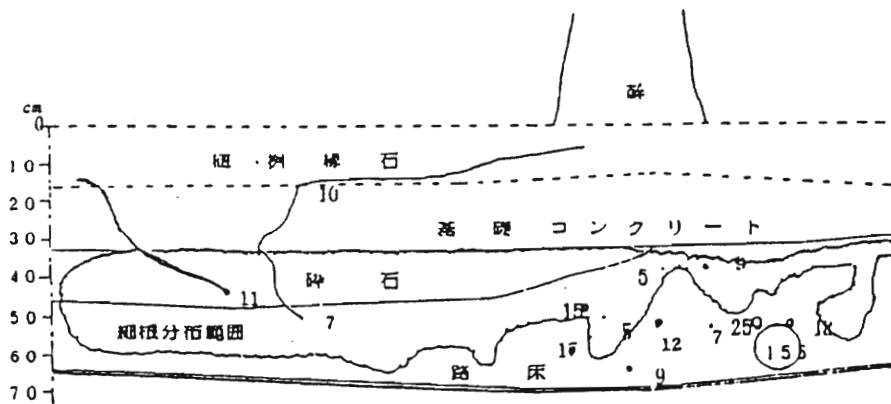


図5-30 ソメイヨシノの根分布図(根径mm)

302B号線 NO.1

この路線は他調査路線と異なり、根系生長領域を大きくした改良樹となっている。したがって、舗装の破壊のための調査ではなく、同一路線の中で比較的順調な生長を示しているNo1と、生長が貧弱なNo2を比較するものである。根系的には、垂直分布としては表層下20cmまでの範囲の中で $\phi 10$ mm前後の根が分布し、水平分布的には3方に比較的好く分布していた。改良樹蓋下の地表部に巻き根が発生していた。これは、表層下45cm付近で湧水が認められたのでこの影響を受けているものと考えられる。



写真5-9 ヤマザクラの掘削状況

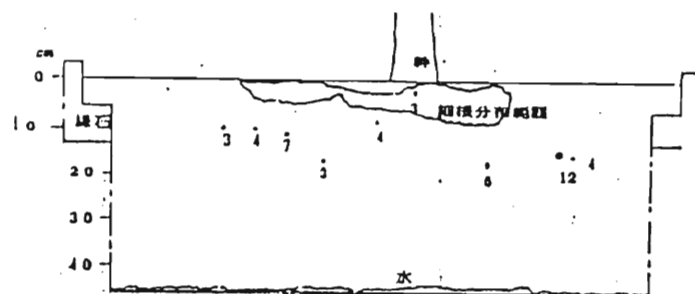


図5-31 ヤマザクラの根分布図(根径mm)

3 0 2 B 号線 No 2

No 1 と同様、改良樹蓋下の地表部に多数の巻き根が発生している。客土層の中には、夾雑物が多数見られた。根系は非常に貧弱でφ 4 mm 前後の細根が、表層下 1 0 cm から 3 0 cm の範囲で見られた。表層下 4 5 cm 付近から湧水が見られた。No 1, No 2 とも、排水処理施設が必要と思われる。



写真 5 - 1 0 ヤマザクラの掘削状況

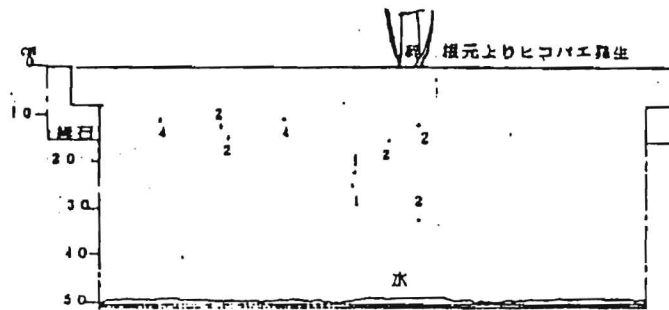


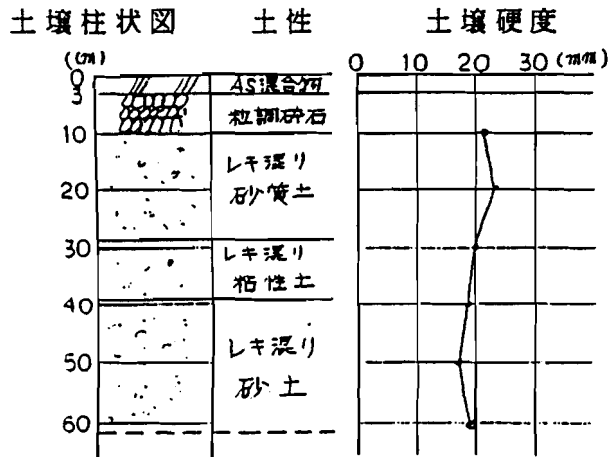
図 5 - 3 2 ヤマザクラの根分布図 (根径 mm)

(5) 土性及び土壤硬度

街路樹周辺の土壤環境は、舗装・縁石ブロック等を設置するため、一定の支持力が必要な環境にある。このような環境下では、土壤は極度に圧密され、根系の土壤中への侵入生長は物理的に制限される状態である。土性の分類は、土壤の成分分析を行っていないので、土の三角座標分類を参考にした。

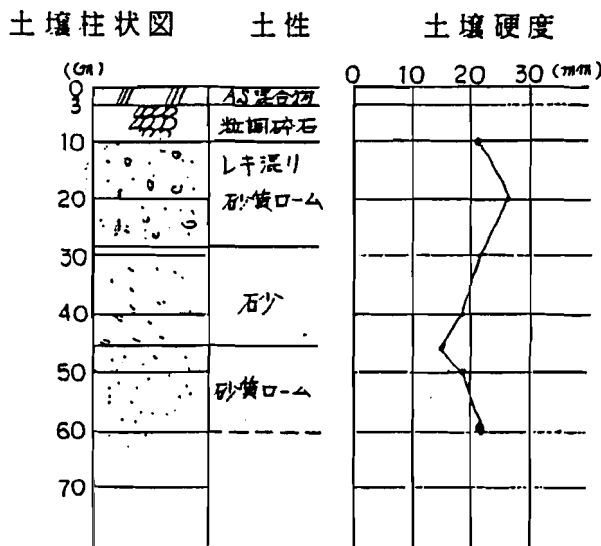
102B号線 No 1 (土壤状況)

根系は、表層下15cmから30cm前後の範囲には根系分布が見られない。この範囲は、管渠の埋戻し時にレキ混じり砂壤土が用いられ、かなり締め固められたものと思われる。土壤硬度的にも、根の生育にやや困難な22mm~25mmの範囲にある。



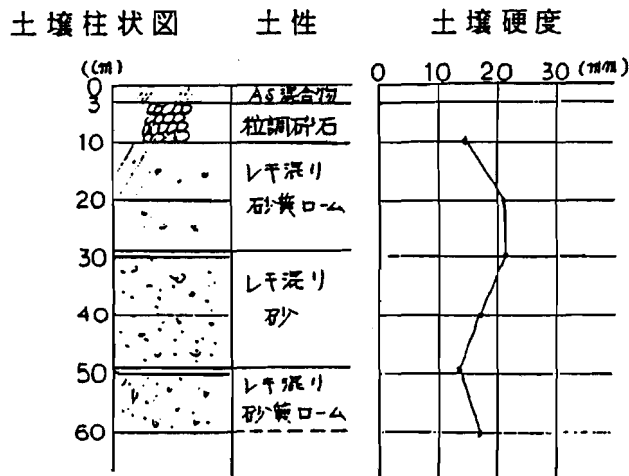
102B号線 No 2 (土壤状況)

No 1 よりも舗装破壊が顕著であった。土壤硬度を見ると表層下20cmでは26mmで、表層下40cmから55cmの範囲では15mm~20mmであった。この範囲には、根系状況でも分かるように、細根群や根系がよく発達していた。



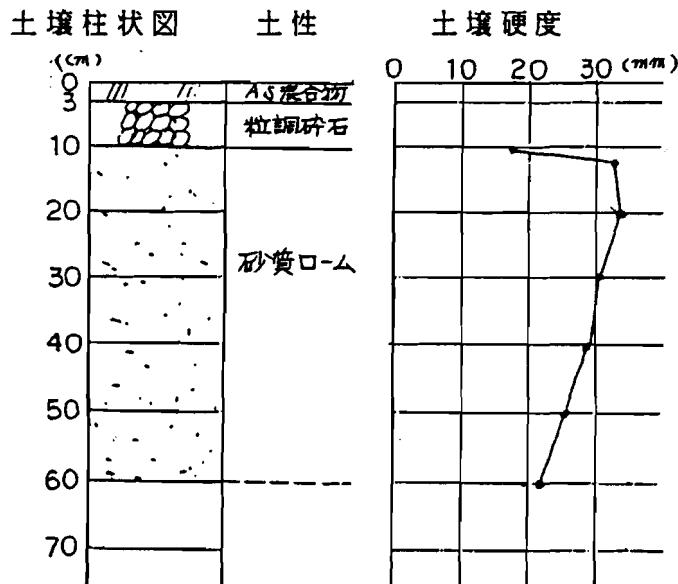
102B号線 No 3 (土壌状況)

102B号線の中で唯一舗装破壊の無い箇所であったが、土壌硬度を見ても、表層下10cmから40cmの範囲で平均18mmであった。さらに、表層下40cmから60cmの範囲では15mmであった。根系についても、水平・垂直分布ともケヤキの特性である小・中径の水平根型で、垂直浅根型・水平分散型を示していた。



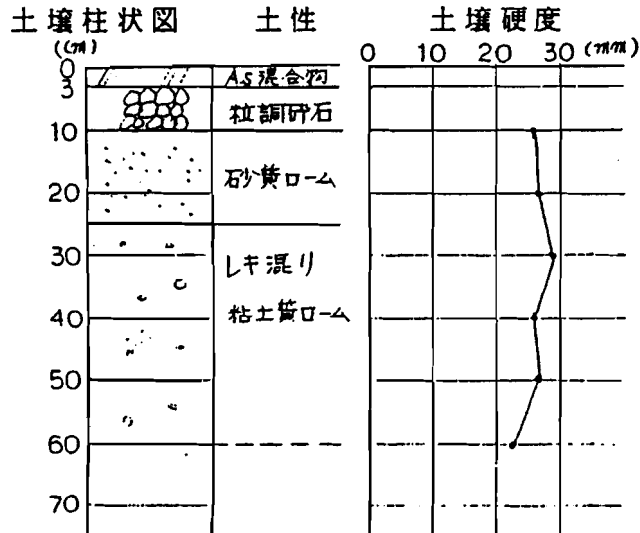
102B号線 No 4 (土壌状況)

舗装下は管渠の埋戻し用砂と思われるが、圧密が相当なされたものとみえて、表層下10cmから35cmの範囲で、全て30mm以上を示していた。根系状況を見ても、歩道側には表層下57cmにφ6mmの根が1本あるのみであった。レキ混じり砂質ローム層である車道側には比較的多くのφ15mm前後の根系が見られ、土壌硬度も20mm前後であった。



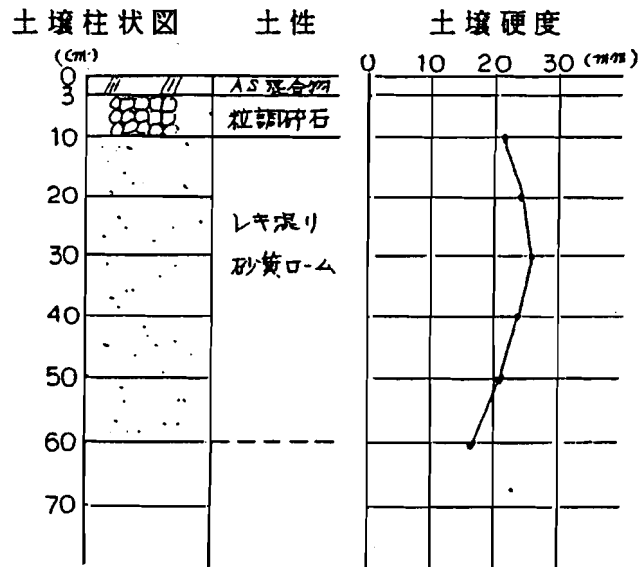
104B号線 No 1 (土壌状況)

根系は、表層下20cm前後の範囲で見られるのみで、それ以下では、55cmの所にφ6mmが1本見られるのみであった。歩道側では、表層下50cmまでの範囲で、硬度も平均28mmであった。



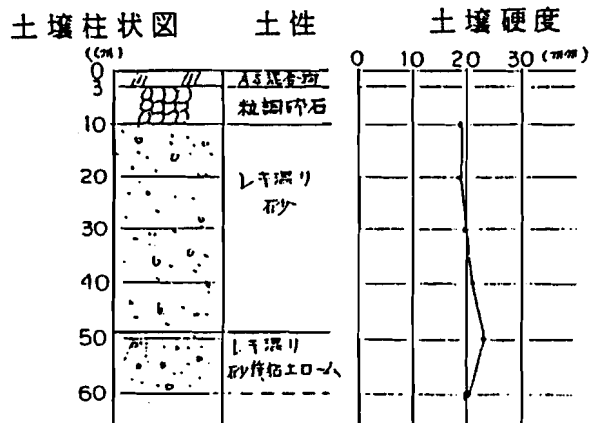
104B号線 No 2 (土壌状況)

土壌硬度は、表層下20cmから40cmの範囲で平均25mm程度であるが、舗装破壊がもっとも顕著であった。表層下40cmを超えると土壌硬度も20mmを下回るようになる。この範囲では細根群が発達している部位も見られた。車道側には、車道と平行する方向にφ30mm前後の根系も見られた。土壌硬度的には20mm以下であった。



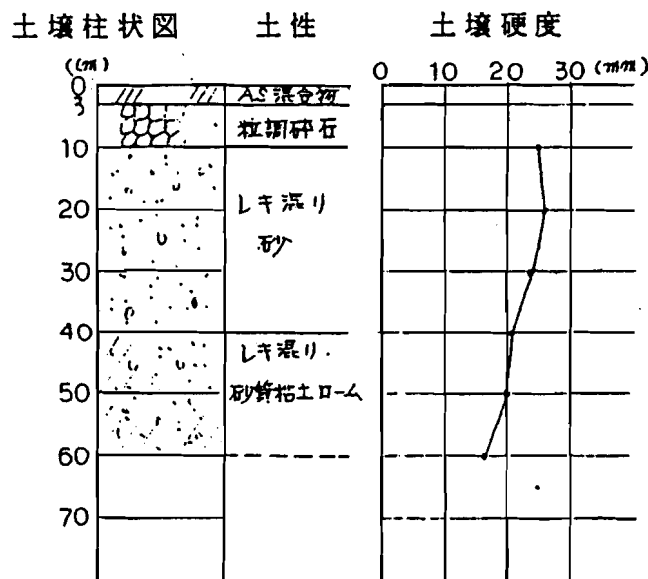
108号線 No 1 (土壌状況)

路床の土壌は比較的団粒構造に近い状態となっていて、空隙のある部分もあった。植栽樹ブロックの全厚が30cmあり、根系はその下のクラッシャーラン基礎下部より伸びていた。土壌硬度は20mm前後であるにもかかわらず、根系はアスコン舗装下に向けて伸長していた。全体的には中・太径の垂下根・斜出根型の特徴があらわれていた。



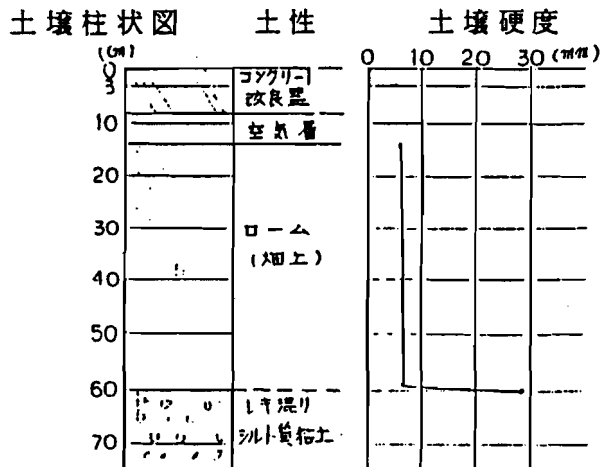
108号線 No 2 (土壌状況)

植栽樹ブロックから歩道側に、20cm前後離れた位置で、根系がアスコン舗装下に伸びていた。土壌硬度も、表層下30cmまでは平均25mmであるが、30cm以下では平均20mmである。根系はNo 1と同様、クラッシャーラン基礎下部より伸びているが、そのまま歩道路床の中に伸びているものは少なく、ほとんどは舗装下部に向けて伸びていた。土性は、管渠の埋戻し用砂が主であった。



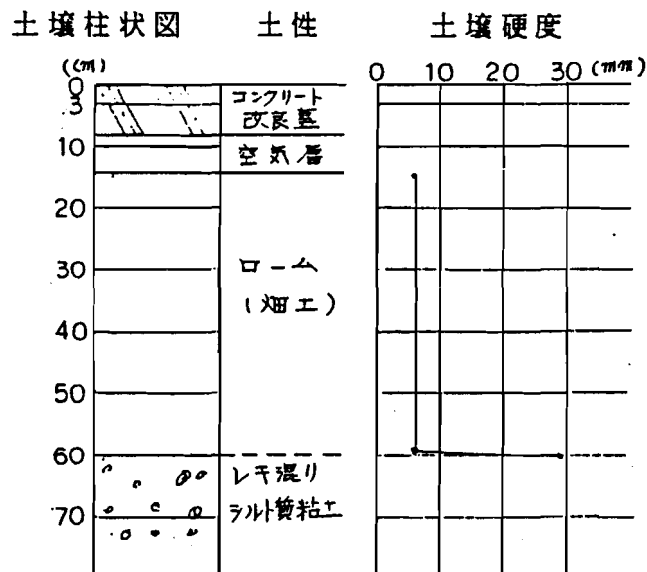
3 0 2 B 号線 No 1 (土壤状況)

歩道舗装の路床部を掘削調査したのではなく、改良樹の中を掘削調査した。改良樹の中は、全面的に畑土を客土し畑土は南多摩基準の客土仕様に合致したものを使用している。表層下60cm以上はレキ混じりのシルト質粘土層であった。含水率が非常に高くこより状に指で伸ばすことが可能であった。



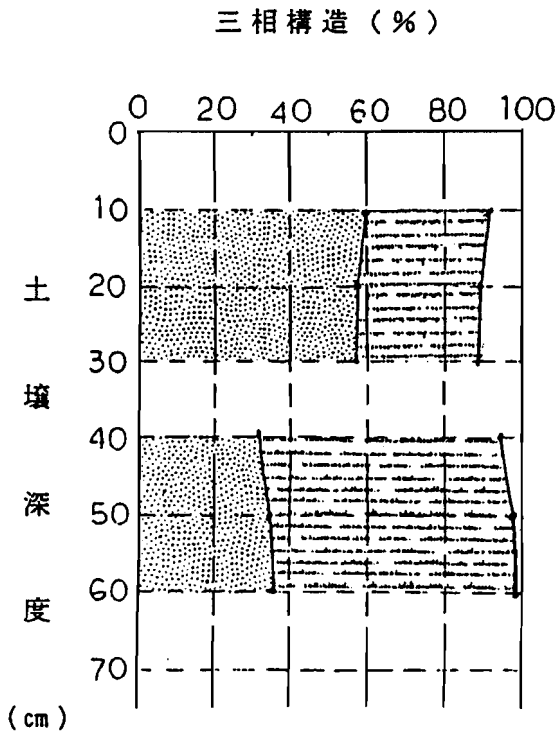
3 0 2 B 号線 No 2 (土壤状況)

No 1 と同仕様であるが、No 1 よりも樹木の生育が貧弱な箇所である。改良樹の中は、No 1 と同様畑土の客土であった。表層下45cm付近から、湧水が見られた。表層下60cm以上は、レキ混じりシルト質粘土で、浸透性はなさそうであった。含水率もNo 1 より高く、こより状に指で伸ばすことが容易にできた



(6) 土壤三相構造

102B号線 No.1

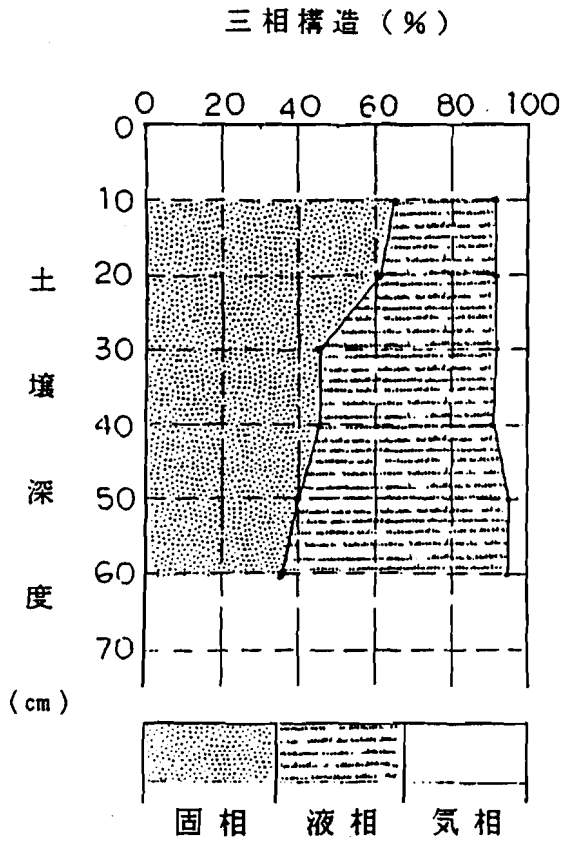


表層下30 cmから40 cmの範囲は、レキ混じり土で土壤採取ができなかった。

表層下10 cmから30 cmの範囲では、固相が60%から57%と非常に高い数値であった。逆に40 cmから60 cmの範囲では、液相が63%と非常に高く、気相に至っては6%から2%と異常に少ない比率であることが分かった。

このことは、歩道側に根系が伸びることを阻止する土壤状態であることを示している。

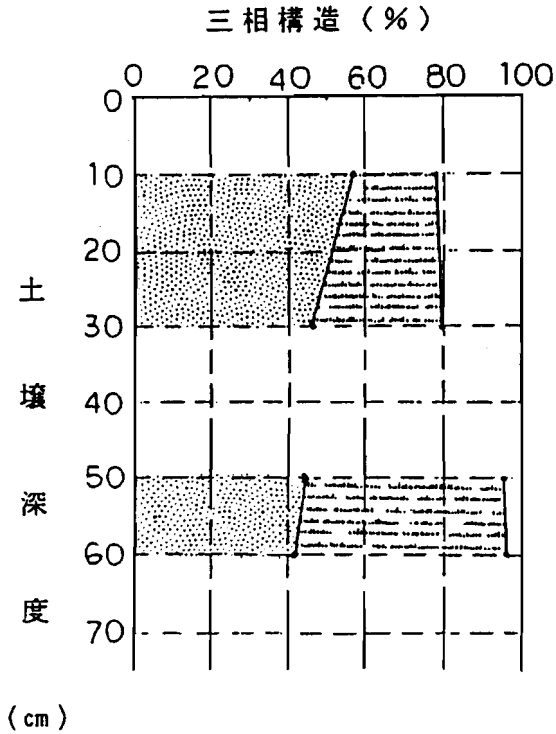
表層下40 cm以上では、液相が60%もあり、一定の地下水位高を示しているものと思われる。



表層下10 cmから20 cmにかけては60%を超えている。このことは、路床転圧による圧密が影響しているものと考えられる。

表層下30 cm以上では、固相・液相の比率が逆転し、さらに気相は、No 1と同様根系の生長には適さない土壤状態であることを示している。

表層下40 cm以上では、液相が50%以上もありここでも一定の地下水位高を示していると思われる。



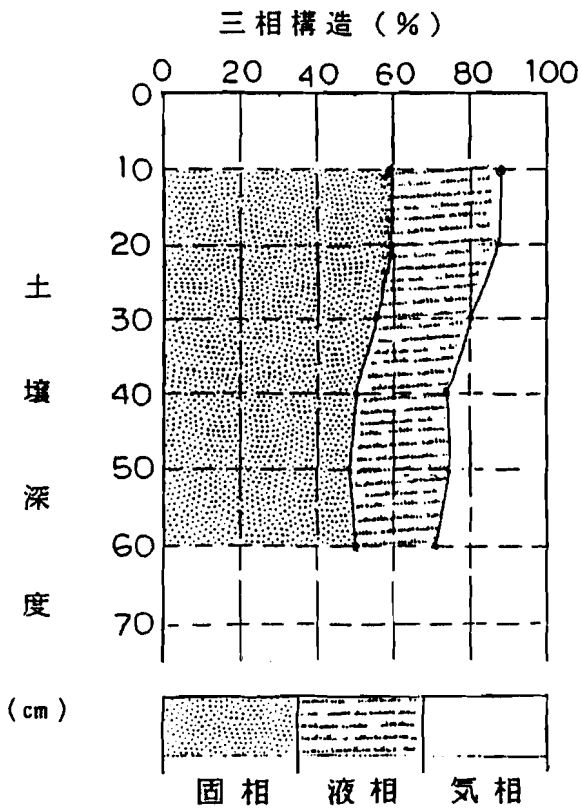
表層下30 cmから50 cmの範囲は、レキ混じり土で土壤採取ができなかった。

表層下10 cmから30 cmの範囲を平均化すると、固相が51%、液相28%、気相21%となり、今回の調査地点の中では最も良い土壤構造であった。

表層下50 cmから60 cmの範囲にあつては液相が53%にもなっており、ここでも一定の地下水位高を示しているものと思われる。

ただ、この調査地点は唯一舗装破壊の無い箇所である。

102B号線 No.4

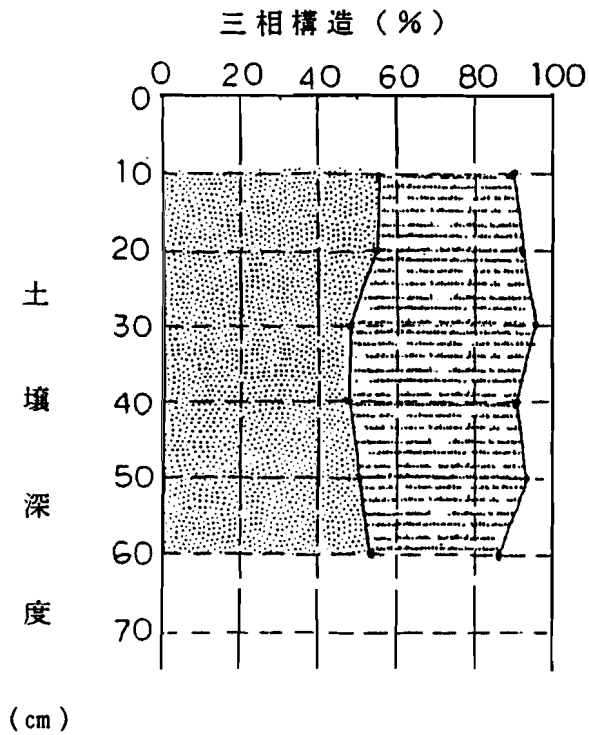


全層とも埋戻し用砂の砂質ローム土の層であった。

表層下10 cmから30 cmの範囲では、固相が55%を超えており、しかも路床転圧による圧密を受けていることが判断できた。

表層下30 cm以上では、気相は20%から30%の範囲を示しているが、液相は20%前後である。固相は50%前後あり、根系発達には適さないと判断できる。

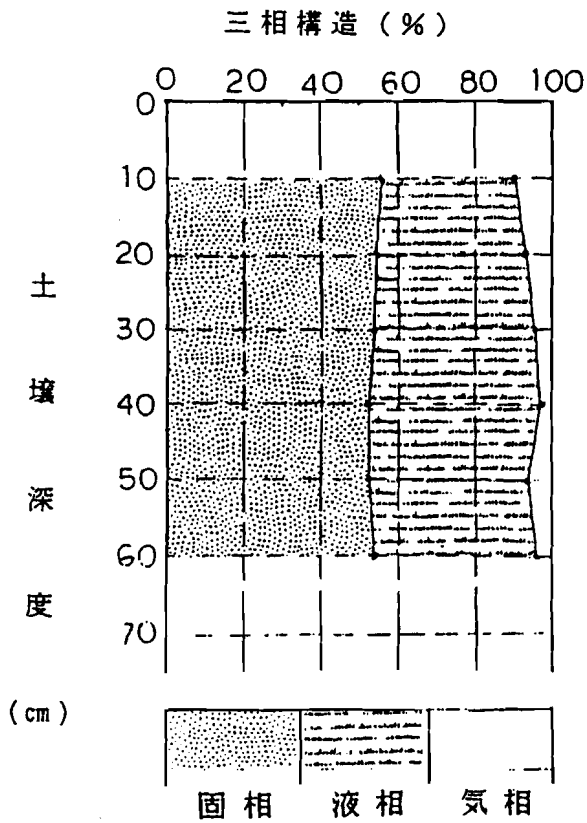
104B号線 No 1



固相が表層下10 cmから60 cmまでの全層にわたり、50%以上を示している。

液相は30%から40%を示し、自然条件に近い値を示しているが、気相は平均10%前後を示し、全体としては根系の生長が望めない土壌条件となっている。

根系状況写真及び分布図でも分かるように、路床体への根系の生長は見られない。



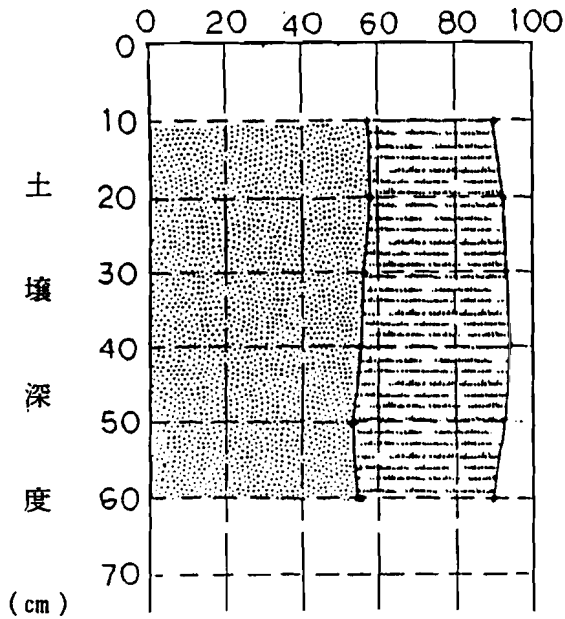
No 1 の調査地点と同様の土壌構造を示している。

表層下 40 cm から 60 cm の土壌硬度の低い範囲で、細根群の分布が見られるが路床体への根系生長は見られない。

滲み出る水はないが、気相は 10 % 以下を示しているので、根系の生長は望み得ない。

根系は、道路のブロックと平行する方向へ伸びていた。

三相構造(%)



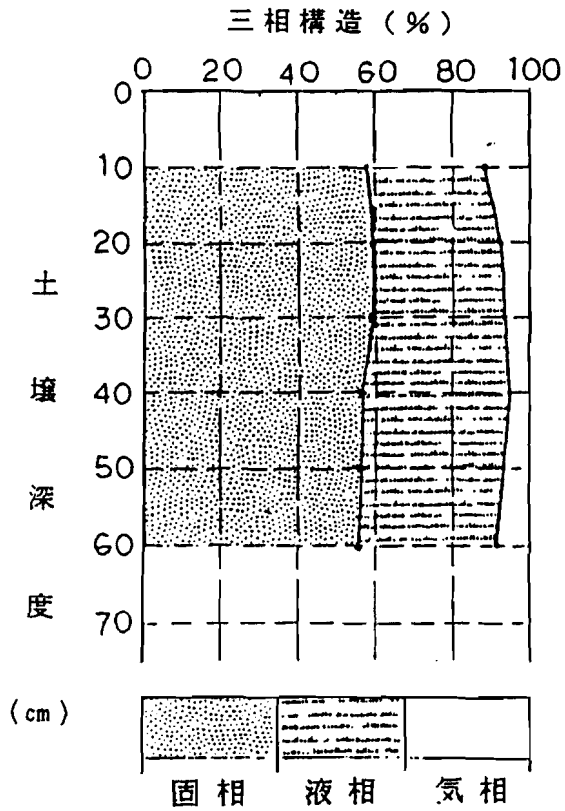
本調査地点でも、路床転圧及び管渠埋戻し土転圧による圧密を受けているものと思われる傾向があり、固相が50%以上の値を示している。

ソメイヨシノの大きさに比較して、路床側への太径の根系が見られない。これは舗装及び植栽樹ブロック改修時に、植樹内で太径の根系が切断されたものと考えられる。

調査時点では表層下30cmから45cmの範囲で、細根群が見られるのみである。

生長している根系は、路盤材の上部方向へ伸びていた。

108号線 No 2

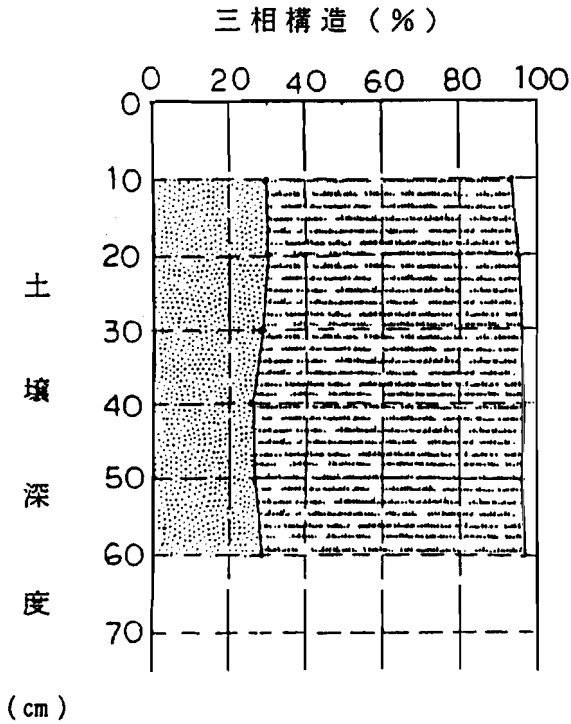


No 1 の地点から西方向へ 16 m 離れた位置であるので、樹木生育環境条件は No 1 と同様である。

土壌硬度は、表層下 45 cm 以上で 20 mm 以下となり、太径の根系発達が良好であった。

ただ、No 1, No 2 とも気相は 10% 以下であり、根系の生長には適さないことが判断できる。

発生している小径の根系にあっては、植栽樹ブロックから歩道側へ 15 cm 離れた位置で、アスコン舗装下へ伸びている。

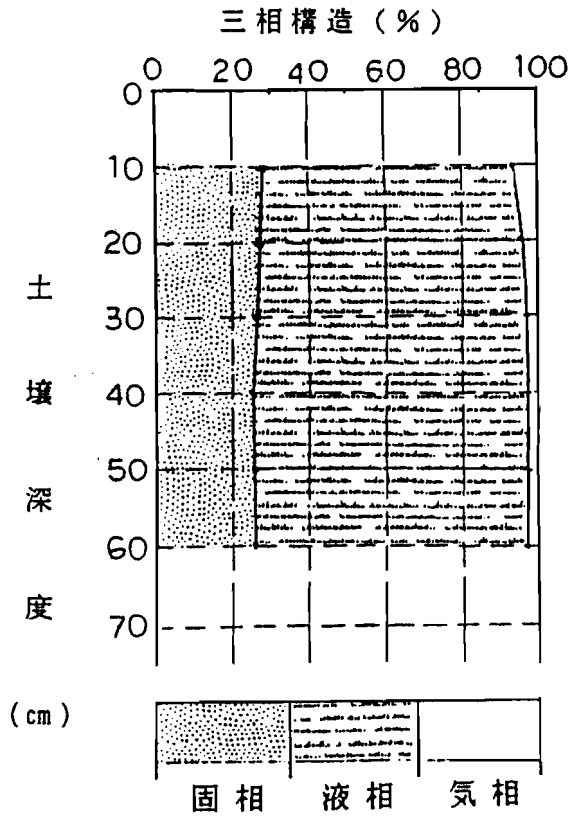


本調査路線は、植栽帯幅 76 cm に加え、ヤマザクラ植栽部位について幅 75 cm 長さ 120 cm の改良樹を施工している箇所である。調査のための採土はこの改良樹の土を対象として行った。

この調査地点では、全層にわたり液相が 60% 以上を示していた。気相はこの地点でも 10% 以下であった。

表層下 60 cm 以上の土層は、管渠等の埋戻し土であると判断され、この層は不透水層となっていると考えられる。

表層下 45 cm 以上では、湧水と思われる滞水が見られた。



No 1 の調査地点と同仕様の環境であるが、この地点では表層下 50 cm 以上の所で、湧水と思われる滞水が見られた。

No 1, No 2 とも異常に液相が高く、根系が生長し得ない土壤環境である。

したがって、No 1, No 2 とも細根群の発達も見られなかった。

2 - 5 結論

街路樹の根系による歩道舗装破壊について、多摩ニュータウンにおける舗装破壊の状況調査を街路樹530本について行い、調査結果にもとずいて破壊ヶ所の掘削調査を10ヶ所行った。

その結果、

(1) 舗装が破壊されている場所は、多少樹種により差は認められるが、歩道の植栽樹の形状や地上の生育環境が破壊の原因にはなっていない。しかし、舗装の破壊は、盛土の場所で比較的多く見られた。

(2) アスコン舗装の破壊状況は、3年前に歩道舗装を改修した地点でも見られ、ひび割れ程度の破壊が生じていたが、施工後時間が経過している路線では、アスコン舗装厚3cmの舗装が、高さ5cm以上もめくれてしまう程の大きな破壊状況を示していた。

(3) 根系の発達状況は、街渠ブロックと平行方向にはよく発達していたが、歩道側の路床部への生長は著しく貧弱であった。しかし、路床部の土壤硬度が比較的小さい所では、 $\phi 10\text{mm}$ から $\phi 30\text{mm}$ の根系の伸長が多くみられた。

(4) 歩道の路床部では、管渠等の埋戻しによるレキ混じり砂質ロームが多く見受けられ、土壤の理化学性は調査していないが、土の色により腐植分が希薄な土壤であることが判断できた。

(5) 土壤硬度は、山中式土壤硬度計で、23mmまでは根の生長が容易、23mmから27mmは生長可能、それ以上は生長困難とされているが、舗装破壊が顕著である所ほど硬度が高く、全体としても20mmを超える土層がほとんどであった。

(6) 三相構造は、破壊の著しい場所では、固相が35%から65%、液相が23%から60%、気相は3%から30%で、気相は平均すると12%前後と極端に少なく、自然条件の中での土壤生成では見られない土壤構造となっていた。

第 3 節 結 論

舗装材が破壊されている歩道の掘削調査を行なった結果、樹木の根系による破壊は、本来地中深く伸長するはずの根系がアスコン舗装直下に伸長し、太く成長してアスコンが持ち上げられ、曲げ破壊を起こしていることが原因であることが判った。

一般に樹木は、葉の茂る範囲と同じ面積だけ根を張ると言われており、良好な生育条件として、自然生成土壌下では三相構造が固相 26%～36%、液相 40%～47%、気相 23%～32% の範囲にある¹⁾と言われている。従って、街路樹でも、根系の生育環境を整えることが舗装材の破壊防止につながると考えられるが、現実には、歩道の道路幅が狭く、植栽枿が大きく取れないので土壌改良される範囲が狭いことや、歩道下の土壌条件が悪いことなどから、根は舗装下に伸長せずに、植栽枿用のブロックを水平に置くための砂基礎部から、比較的空隙の多いアスコン舗装と碎石路盤の間に伸長し、そこで成長するなどの現象が見られた。

そこで、街路樹の根系が舗装下の土壌中に伸長し、アスコン舗装材が破壊されないようにするためには、次のような対策が考えられる。

(1) 歩道の基盤は車道を造成するときと一緒に施工されることが多く、歩道の路床部も車道と同様十分に締め固められたり、硬い地盤であることが多い。そこで、街路樹を植えるとき、出来る限り植栽枿の体積を増やし、土壌改良する範囲を広げるなど、植物の根系が生育しやすい環境を作る。

(2) 歩道下は、管渠などが施工されることが多く、その際使用される埋戻し土は、植物成長に必要な有機質が少ない砂質土や碎石まじり土が多く、しかも転圧されるので過度な圧密状態となっている場合が多い。従って、歩道部ではできるだけ地下埋設物を減らし、舗装に載荷される荷重を考え、地耐力があまり必要でない場所では、埋戻し土の条件や施工条件を変更する必要がある。

(3) 道路の縦断方向には下水用の管渠が埋設されていることが多く、これらの管渠のジョイントなどからの漏水がある場合、周辺の土壌が過度の湿潤状態になり、土壌中の酸素が不足している可能性がある。そこで、暗渠排水をおこなうなどの対策が必要である。

(4) 歩道下の路床部には、地中に空洞を設けたり、酸素の補給を行うパイプを埋設するなど、根系を誘引するような新たな対策を考える必要がある。

参考文献

- 1) 苧住 昇：新装版 樹木根系図説：誠文堂新光社 1987.4
- 2) 建設省中部地方建設局：街路樹の生育調査報告書：1977.11
- 3) 建設省 関東地方建設局：道路植栽計画調査業務委託報告書：1975
- 4) 小沢知雄、川上忠夫、北沢清、萩原信弘、近藤三雄、市村匡史：街路樹の生態に関する基礎的研究 一街路樹の生育状況と根圏樹土壌状態との関係について一：造園雑誌 第39巻 第1号 pp23~34 1975.8
- 5) 天野景敏、牧恒雄：堤防等の法面簡易舗装工法に関する研究 (第1報) ヨシの法面破壊に対応した防草シートの開発について：東京農業大学農学集報 創立90周年記念論文集：pp129~140、1981
- 6) 天野景敏、牧恒雄：堤防等の法面簡易舗装工法に関する研究 (第2報) 防草シートの改良並びに試験施工について：東京農業大学農学集報 創立90周年記念論文集：pp141~149、1981
- 7) 天野景敏、牧恒雄：堤防等の法面簡易舗装工法に関する研究 (第3報) ヨシによる舗装破壊とそのメカニズムについて：東京農業大学農学集報 第29巻2号：pp89~100、1984
- 8) 天野景敏、牧恒雄：堤防等の法面簡易舗装工法に関する研究 (第4報) 防草シートの機能について：東京農業大学農学集報 第29巻2号：pp101~108、1984
- 9) 天野景敏、牧恒雄：堤防等の法面簡易舗装工法に関する研究 (第5報) 干拓堤防における防草シートの施工例 (第5報)：東京農業大学農学集報 第29巻4号：pp318~325、1985
- 10) 天野景敏、牧恒雄：植物によるアスファルト舗装の破壊と対策工法について：農業土木学会誌 第55巻10号：pp27~34、1987
- 11) C.H.Anderson and E.C.CHEYNEY：JOURNAL OF FORESTRY Vol.32 PP32~34：1934
- 12) 石原供三、高橋健三：植栽木の生長に及ぼす土壌性の影響に就て (第1報トドマツ)：昭和13年度 日本林学会大会号 P1210~1225：1939

- 13) J.E.Weaver: Root Distribution of Trees in Relatio to Soil Profile :
Ecology, vol.19 PP155~156: 1938.1
- 14) D.Boynton, J.DeVilliers and W. Reuther: Are There Different Critical
Oxygen Concetration for the Different Phases of Root Activity? :
Science, vol.88 PP569~570: 1938
- 15) 佐藤大七郎、若林義男: ハゲヤマにはえた クロマツの根のタテの分布:
日本林学会誌 第37巻第9号: pp407~408: 1955

第 6 章 結 論

最近、色彩豊かでデザイン性にすぐれた歩道舗装材が各地で使用されている。これらの舗装材は、力学的な条件を満足するだけでなく、そこを歩く人に対して人間的な面からも十分に配慮された材料でなければならない。しかし、人体が舗装から受ける影響を測定する場合、測定内容や測定方法あるいは、比較検討するための資料などはほとんどなく、これらの研究もあまり行われていない現状を考えると、何等かの対策が早急に必要である。

本研究ではこれらの状況を考え、歩行する人を対象とした歩道舗装材の持つ性状について様々な面から研究を行った。その結果、次の事項が考察できた。

(1) 舗装の弾性を測定する方法として、従来から行われている物理的な測定法や人体に加速度計を取り付けて衝撃量を測定する方法を行ったが、人体の持つ衝撃緩衝機能や、使用している靴の条件が測定結果に取り入れられておらず、これらの測定方法で値を求めても、舗装の弾性を判定することは困難であることが分かった。そこで、これらの条件を十分試験方法に考慮した試験方法として、人体が舗装から受ける衝撃波形を緩衝作用の少ない場所で求め、この波形を解析して、舗装の弾性を測定する生体振動解析法を開発した。これを用いて各種舗装材の弾性測定を行ったところ、人体が受ける感覚に近い測定データが得られ、生体振動解析法の有効性は実証された。

(2) 人工芝はその構造から、比較的人体が衝撃を受けやすい舗装材であるが、天然芝の感覚に近い材料として、芝の表面に砂を詰めた砂詰め人工芝が開発された。しかし、砂詰め人工芝だけでは、天然芝の性状とは大きく異なっていたことから、砂詰め人工芝の舗装構造を再検討し、中間に衝撃緩衝層などを入れて、天然芝の性状に近い砂詰め人工芝を開発する目的で、生体振動解析法を用いて舗装の衝撃緩衝機能の検討を行った。その結果、表層材の厚さにより緩衝機能が異なったが、主に衝撃を緩衝する機能は中間層にあり、中間層に用いる材料によってその衝撃緩和特性がかなり異なった。また基盤材料の影響はほとんどなかったことから、測定結果を検討した結果、表層厚さが25mmの人工芝で中間層に高分子ネットとゴムチップを用いた舗装材が天然芝の持つ性状に一番近いことが判明した。

(3) 合成樹脂系の舗装材が最近多く使用されているが、中でも比較的安価で

施工も容易なゴムチップ舗装材が注目されている。そこで、古タイヤの切削かすを用いて、これを一液性のウレタン樹脂と混合した、ひじき状ゴムチップウレタン舗装について検討した。その結果、ひじき状ゴムチップは、粒状ゴムチップに比べ空隙が多く、引張強度が大きく反発弾性も優れていた。そこで、ゴムチップ舗装材の歩径路へ適用を考え、各種性状試験を行う目的で50mの歩径路を作成した。そして、歩行感やすべりなど舗装材として適用状況を知るために、307名で官能検査を実施した。また、テニスコートへの適用を考へ、ひじき状ゴムチップでテニスコートを作成し、コート表面の各種性能試験を行なった。その結果、ひじき状ゴムチップ舗装材は、歩行やジョギング性能に優れ、テニスコートとしても人工芝系とポリウレタン系のコートの間間的な性状を示すなど、舗装材として良好な結果を得た。

(4) 塗料で着色された舗装材の欠点は、色彩の変化が予測出来ないことである。色彩は自然条件で変化するだけでなく、人の通行などによっても変化することから、コンクリート系とアスコン系の舗装材を用い、色彩の経時的な変化や色調と気象条件による温度変化などについて検討した。その結果、表面温度と視感反射率は強い負の相関関係にあり、自然劣化による色彩の変化は塗料の材質に関係し、白色に向かって変化していることが確認できた。従って、目に鮮やかな緑色をした舗装面よりは、赤色をした舗装面の方が表面温度が低いことが確認され、塗料を舗装材に用いるときは、塗装の色調と材料と施工場所を考慮して選択する事が必要であることが判明した。

(5) 色彩によって舗装材の表面温度の上昇率が異なることが確認されたので、歩行者の体感温度などに影響する舗装材の持つ放射エネルギーについて、32種類の材料を用い検討を行った。また、歩行者による塗料の色彩変化を調べるために、人の通行が多い場所に舗装材を施工し1年にわたって測定を行った。その結果、色彩の変化や放射エネルギーの差は、塗料の種類や下地の材料でかなり異なっていた。特に色彩の変化は、黄色などの視感反射率が高い塗料が著しく、緑色や赤色では歩行した場合でも、色調の変化が少ない塗料であった。また、放射エネルギーはアスコン系の材料でも、表面に塗料を塗布するタイプと、脱色アスファルトを用いて着色するタイプではかなり異なることから、今後様々な種類の材料で比較検討することが必要である。

(6) 歩道に植えられた街路樹の根系が、アスコン舗装直下に伸長してきて舗装を破壊し、歩行者の安全を損なっている問題について、街路樹の樹種や植栽柵の構造、あるいは歩道舗装の経歴などを530箇所にわたり調査を行った。その結果、植栽柵や樹木の生長度に関係なく、舗装の破壊現象が認められた。そこで、樹種を3種類選り、破壊の著しい場所と破壊の生じていない場所に対し、根系の掘取り調査を行った。その結果、破壊の著しい場所は根系の繁茂が貧弱で、三相構造の中で気相の割合が小さかったり、管渠等からの水が漏れて液相の割合が高くなっているなど舗装下の土壌条件が悪かった。また、管渠の埋戻し土や歩道の路床土では、強く転圧され土壌硬度が大きくなっているなど、歩道舗装破壊を起こしている場所では、舗装下が植物生育に適した環境では無かった。従って、根系は酸素量が多く、土壌硬度が高くない舗装直下の路盤部に伸長し、ここで生長して舗装を破壊している実態が解明でき、歩道舗装材の改良より、舗装下の土壌条件の改良が効果的である事が判明した。

歩道舗装材の研究は、舗装材と人とのかかわり合いを無視しては行えないことから、試験方法や測定基準値などが未確定で研究成果も少なく、研究が進展しない原因がここにあると思われる。しかし、歩道舗装の持つ意義が認識され、各地に色彩豊かな舗装が施工されている状況を見ると、早急に研究方法の確立や測定データの活用が望まれる。

謝 辞

本研究を行うにあたり、ご指導を賜りました神戸大学 農学部 尾崎 叡司教授、豊國永次教授、工学部 西 勝教授、多淵敏樹教授に心から御礼申し上げます。また、日頃、研究室でご指導賜りました東京農業大学 農学部 天野景敏教授、吉良八郎教授、中谷三男教授ならびに実験等にご協力頂きました農業造構学研究室の学生の皆様、実験材料等でご協力頂いた各社の皆様に心から御礼申し上げます。