

土舗装材料の材料特性と試験施工

大中規行¹・佐藤研一²・吉田信夫³・佐藤雅治⁴

¹学生会員 福岡大学大学院工学研究科博士課程前期建設工学専攻
(〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1)

²正会員 博士(工学) 福岡大学助手 工学部土木工学科(同上)

³正会員 工修 福岡大学教授 工学部土木工学科(同上)

⁴非会員 (協)九州ベック (〒812-0006 福岡市博多区上牟田 1-3-2)

本研究は、簡易舗装である土舗装の材料特性を調べる為に、土質材料、セメント添加量、無機系硬化剤及び養生期間に着目し、一軸圧縮試験、曲げ試験による検討を行った。さらに、福岡大学構内の大学通学用人道において試験施工を実施し、舗装体強度、摩耗量及びひび割れ等の追跡調査をすることにより、土舗装の耐久性の検討を行った。その結果、土舗装材料の一軸圧縮強さ、曲げ強さともに、土質材料の影響を受け、粒径が幅広く分布している筑紫野まさ土の方が初期強度の伸びが大きいことが分かった。また、現場施工試験の結果、土舗装の耐久性は土質材料とセメント添加量に大きく影響を受けることが明らかになった。

Key Words : *soil pavement, execution test, unconfined compressive strength, bending strength, cement quantity, earth materials*

1. はじめに

現在、環境問題や高齢化社会の進展を背景に人にやさしい街づくりが注目を浴びている。公園内の園路、河川敷等を景観に配慮し、アスファルト舗装やコンクリート系舗装に配色を施し、施工する例が増加している。その一方で簡易舗装として土系舗装が注目され始め、自然景観を考慮する都市整備において軒並みその需要が増加し、その研究も行われるようになってきた^{1) 2)}。この舗装は、現地発生土または自然の土にセメント系固化剤と、それに特殊混和剤等を加えて攪拌混合することにより作られる。この舗装は、自然にやさしい舗装である反面、摩耗しやすく、耐久性が望めない舗装とされている。土舗装は未だ設計法、耐久性、安全性における明確な基準の設定はなく、材料特性についても不明点が多く残されているのが現状である。そこで本研究では、土舗装の基本的な材料特性について土質材料、セメント添加量、無機系硬化剤(特殊混和剤)及び養生期間に着目し、一軸圧縮及び曲げ試験結果より検討を行った。さらに、自然環境条件下における土舗装体の耐久性を検討する為に、福岡大学構内において配合

設計の異なる7種類の舗装体の試験施工を実施した。耐久性の評価法として、簡易支持力測定器による路盤強度測定や水準測量による舗装面の摩耗量調査及びゴルフボール(GB)反発試験を実施した。また、歩行者の歩き心地を調べるために、アンケート調査も行った。

2. 土舗装の材料特性

(1) 使用材料

材料試験及び試験施工に用いた土質材料は、筑紫野まさ土、海砂とガラス瓶の処理方法の一つとしてガラスを砕いたガラスカレットの3種類を使用した。ここでガラスカレットを用いた理由は、廃棄処分されるガラス瓶を破碎して生じるガラスカレットの新しい再利用の方法の一つとして使用した。また、ガラスカレットには土質舗装材料と同程度の粒度分布のものを選り、現状の土舗装材料に一定の割合で混合する形で施工を行った。図-1に各試料の粒径加積曲線、表-1に各試料の物理特性を示す。セメントには、普通ポルトランドセメントを使用し、混和材と

して無機系硬化剤を用いた。この硬化剤は、各種廃棄物や建設発生土等の素材とセメントを添加混合することにより、相互のヒドロニウムイオンと金属イオンとの結合を促し、吸着力を強めて、凝結を早め、硬化を促進させるという特徴を有している。

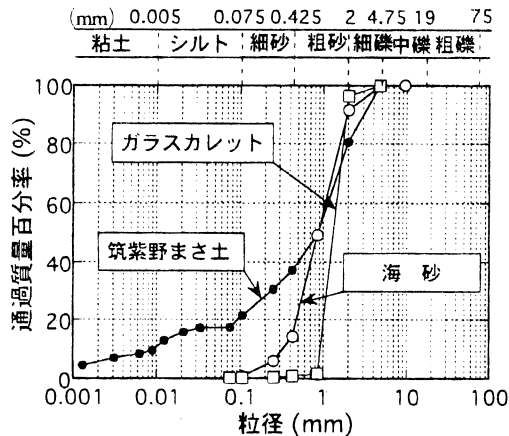


図-1 各試料の粒度分布

表-1 各試料の物理特性

	筑紫野まさ土	海砂	ガラスカレット
密度 ρ (g/cm ³)	2.76	2.65	2.51
均等係数 U_c	122.2	3.33	1.725
曲率係数 U_c'	6.31	1.16	0.94
10%粒径 D_{10} (mm)	0.009	0.31	0.91
50%粒径 D_{50} (mm)	0.85	0.85	1.40
レキ分 (%)	19	8	3
砂分 (%)	64	92	97
シルト分 (%)	9	0	0
粘土分 (%)	8	0	0

(2) 供試体の大きさ及び作成方法

実験に用いた供試体の大きさは、一軸圧縮試験は直径約 5cm、高さ約 10cm の円柱供試体を用い、曲げ試験では幅約 4cm、高さ約 4cm、長さ約 16cm の角柱供試体を用いた。供試体の作成は、使用する土質材料の湿潤密度と含水比を測定し、各材料を式 (1) に示す現場施工経験式を参考に混合させ十分に混練し、土舗装材料の作成を行った。

$$W = \frac{970\rho_s(1+\omega)}{1.48+2\omega} \quad (1)$$

ここで、 W : 土舗装材料 1m³ あたりの湿潤土質材料の重量 (kg)

ρ_s : 土質の湿潤密度 (kg/m³)

ω : 土質材料の含水比 (%)

供試体作成条件は表-2 に示している。ここで混和材は土舗装材料 1m³ 当たり 1800 cc を添加している。

土質材料として 2 種類、セメント添加量 80, 160, 240kg/m³ の 3 種類、無機系硬化剤添加の有無の条件で各供試体を作成した。養生日数はそれぞれ 7, 28, 91, 182 日の 4 種類である。なお、養生方法は、供試体の乾燥を防ぐ為にビニール袋で包み、20℃ 一定の養生箱に入れ養生を行った。

表-2 供試体作成条件

土質材料 (2種類)	筑紫野まさ土 海砂	混和材	無機系硬化剤
セメント 添加量 (3種類)	80kg/m ³ 160kg/m ³ 240kg/m ³	養生日数 (4種類)	7日
			28日
			91日
			182日

(3) 試験方法

今回、材料特性の評価には、一軸圧縮試験と曲げ試験により検討を行った。曲げ試験については、曲げ試験用の固定装置に供試体を固定し、一軸圧縮試験と同様な載荷試験を行い、最大荷重のみの計測を行った。曲げ強さの算定に当たっては以下に示す式を用いた。

$$b_{\max} = \frac{M}{W} \quad (2)$$

ここで、 M , W は次式で求める。

$$M = \frac{P_{\max} \times L}{4} \quad (3)$$

$$W = \frac{bH^2}{6} \quad (4)$$

(2), (3), (4) 式中に、曲げ供試体の幅 $b=4\text{cm}$ 、高さ $H=4\text{cm}$ 、スパン $L=10\text{cm}$ を代入し、次式により曲げ強さの算定を行った。

$$b_{\max} = 0.234 \times P_{\max} \quad (5)$$

3. 試験舗装概要

(1) 試験舗装

土舗装の耐久性については、7 種類の配合別試験舗装を施工し、検討を行った。図-2 及び図-3 に示す福岡大学構内の大学通学用人道の概略図と舗装体の

断面図を示す。今回施工した道路は、幅約 $B=2.5\text{m}$ 、延長約 $L=95\text{m}$ である。また、施工前の路床の K_{30} 値はほぼ 14.9kgf/cm^3 であった。写真-1 は施工を行う前、写真-2 は施工直後の状況を示す。施工前は写真-1 に示すように、降雨時には水溜まりができ、通行不可能となっていた。写真-2 に施工直後の状況を示しているが、歩行性は十分に向上していることが分かる。この歩道は、1 日当たり延べ人数約 1520 人、自転車等約 340 台が通行している。

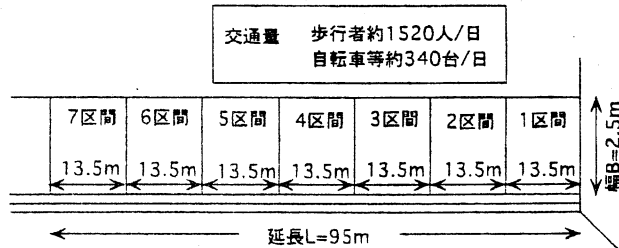


図-2 現場概略図

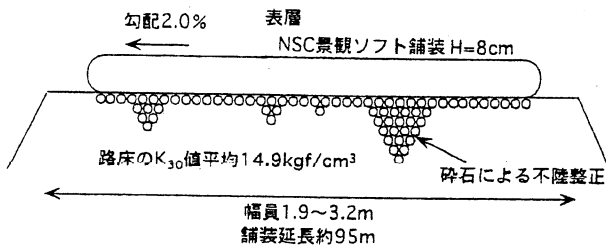


図-3 舗装体断面図

(2) 施工方法

表-3 は各施工区間における施工条件を示したものである。試験施工では室内試験を参考に、図-1 に示す粒度分布を持つ筑紫野まさ土、海砂、ガラスカレットの 3 種類を使用し、セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。セメント添加量は 80、 160kg/m^3 の 2 種類とし、特殊混和剤として無機系硬化剤を使用した。土舗装材料の配合形式は、スランプ一定（スランプ値を 15cm）と水セメント比一定を比較する為に、2 つの方法で管理した。施工手順は、路床に水を十分に散布し、ひび割れ対策を行った後、舗装材料を攪拌混合し、所定の場所に舗装厚さが一定になるように均一に敷き均し、表面の整正を行う方法により実施した。また、雨水対策として勾配を 2.0% つけて施工を行っている。施工後には、散水による養生を行った。

(3) 試験方法

施工 5 日後に解放し、任意の経過日数において舗装体の追跡調査を行った。



写真-1 施工前の歩道

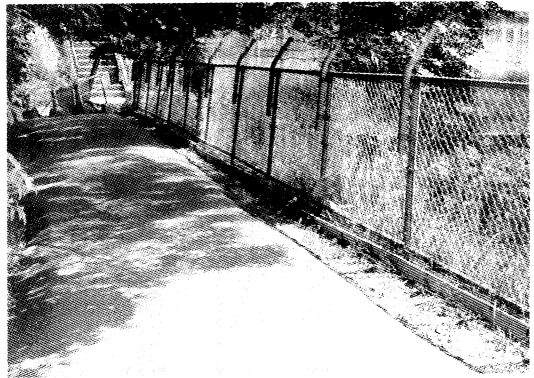


写真-2 施工後の歩道

表-3 各施工区間における施工概要

条件 区間	土質材料 (3種類)	セメント添加量 (kg/m^3)	無機系硬化剤 ○: 有 ×: 無 180g/m^3	配合形式 (2種類)
①	筑紫野まさ土	80	○	スランプ一定 (スランプ値15cm)
②	筑紫野まさ土	160	○	スランプ一定 (スランプ値15cm)
③	筑紫野まさ土	160	×	スランプ一定 (スランプ値15cm)
④	筑紫野まさ土	160	○	水セメント比一定
⑤	海砂	160	○	スランプ一定 (スランプ値15cm)
⑥	ガラスカレット50% 海砂 50%	160	○	スランプ一定 (スランプ値15cm)
⑦	ガラスカレット 30% 筑紫野まさ土70%	160	○	スランプ一定 (スランプ値15cm)

a) 一軸圧縮試験及び曲げ試験

舗装体の圧縮強さと曲げ強さを室内試験と比較するために、現場施工時に型枠に詰め作成し、現位置に放置し養生を行った供試体を用いて行った。

b) 舗装体の強度変化の測定

地盤支持力の測定は、図-4 に示す簡易支持力測定器を使用した。今回使用した測定器は、加速時計を内蔵したランマーを一定の高さから地盤上に自由落下させ、そのランマーが地盤に衝突する際に得られる衝撃加速度の最大値を地盤反力係数等と相関させ、

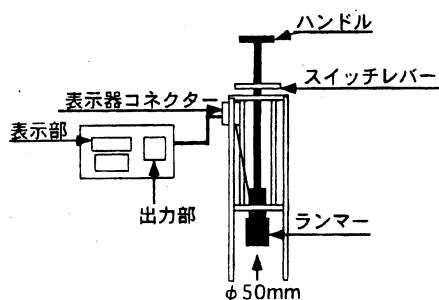


図-4 簡易支持力測定器

測定値を求めるものである。

c) 摩耗量調査

舗装体の摩耗量は、レベルを用いた水準測量で舗装体の沈下量から算出した。ここで摩耗量には、土舗装面下の路床の沈下については、考慮していない。ただし、施工前の路床の修正 CBR 値が各施工区間ともに 20 以上である為、沈下がないものとして評価している。

d) ゴルフボール (GB) 反発試験

舗装の人が感じる弾力性は、人が歩いた時、走った時、またその人の年齢や履いている靴等によっても異なり、多くの因子により影響される為、まだ統一された試験方法がないのが現状である。今回は、GB 係数を用いて舗装体の衝撃吸収性について評価を行った³⁾。測定は 5 回行い、ほぼ同一値を示した 3 回の平均から求めている。

e) アンケート調査

施工 1 ヶ月経過した後、舗装道路について歩行者にアンケート調査を行った³⁾。アンケート調査結果より、歩きやすさ、滑りやすさについての検討を行った。

4. 試験結果及び考察

(1) 室内試験結果

土質材料、セメント添加量及び無機系硬化剤の有無の違いで作成される供試体を一軸圧縮及び曲げ試験結果より評価し、その影響について検討を行った。

a) 土質材料の違いによる影響

同一セメント添加量 (160kg/m^3) で土質材料の違いによる影響について、一軸圧縮及び曲げ試験結果についてまとめたものを図-5、6 に示す。その結果、一軸圧縮強さでは、粒径が幅広く分布している筑紫野まき土は 7 日から 28 日間では急激な強度上昇を示し、その後も上昇傾向にある。これに対し単

一粒度の海砂は筑紫野まき土に比べ、初期強度の増加は小さく、緩やかな強度上昇を続けている。182 日経過後では、筑紫野まき土の一軸圧縮強さと海砂の一軸圧縮強さは、約 3 倍の強度差が生じている。

曲げ強さは、一軸圧縮強さと同様、筑紫野まき土の方が強いことが分かる。しかし、双方の材料ともに 91 日経過後の強度の増加はなく、一定値を示している。以上のことより、土質材料の粒度分布の違いは材料の強度特性に大きな影響を及ぼすことが明らかになった。

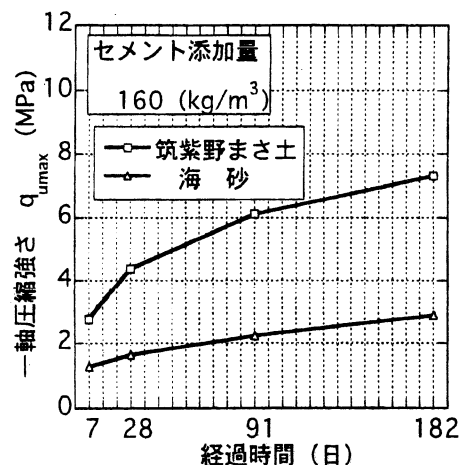


図-5 一軸圧縮強さと経過時間

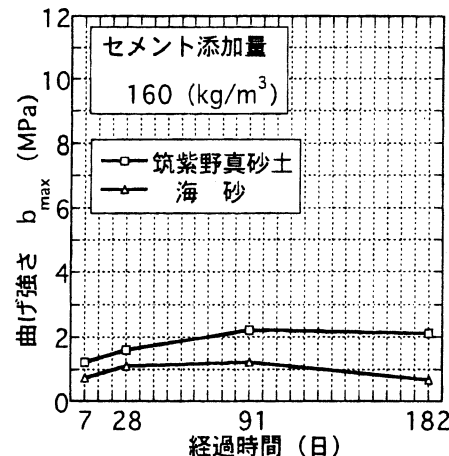


図-6 曲げ強さと経過時間

b) セメント添加量の違いによる影響

土舗装材料の強度に及ぼすセメント添加量の影響について、筑紫野まき土を用いた一軸圧縮及び曲げ試験結果についてまとめたものを図-7、8 に示す。その結果、セメント添加量の違いが一軸圧縮強さに及ぼす影響は非常に大きく、セメント量の増加にほぼ比例して強度増加が見られ、養生日数が経過してもその傾向は変化していないことが分かる。曲げ強

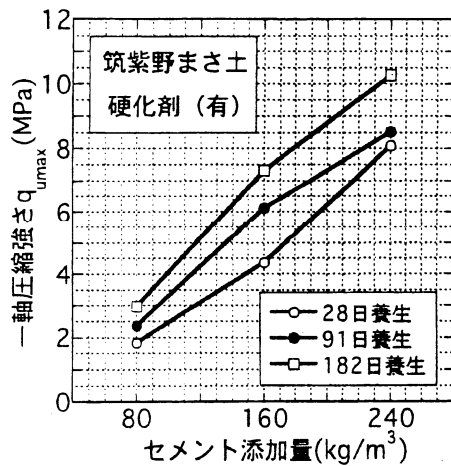


図-7 セメント添加量別の一軸圧縮強さ

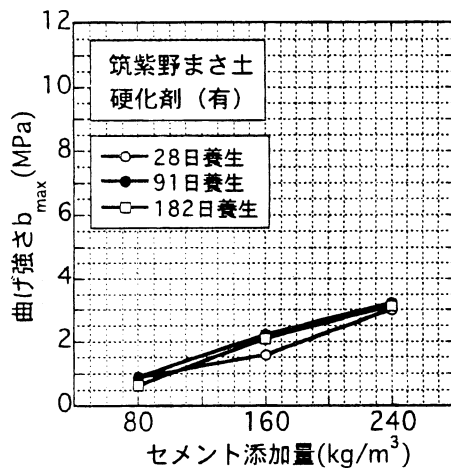


図-8 セメント添加量別の曲げ強さ

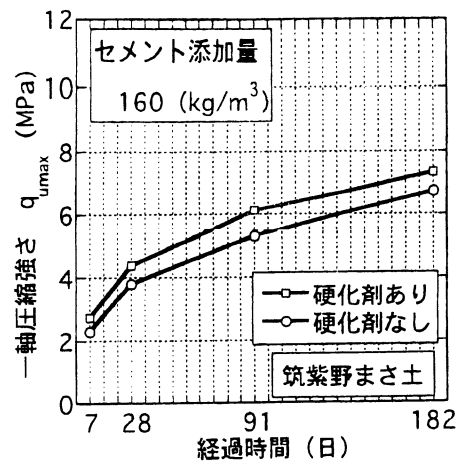


図-9 無機系硬化剤添加による影響

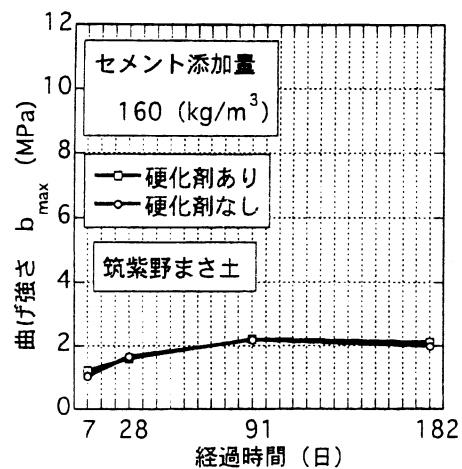


図-10 無機系硬化剤添加による影響

さについても同様な傾向が見られるが、一軸圧縮強さほどセメント添加量の影響及び養生日数の違いによる影響が見られないのが特徴である。

c) 無機系硬化剤の有無による影響

無機系硬化剤添加の影響について一軸圧縮及び曲げ試験結果を図-9、10にそれぞれ示す。ここではセメント添加量 160kg/m³、筑紫野まさ土の結果を示している。一軸圧縮強さでは、無機系硬化剤を添加した方がわずかに強度増加が見られるが、曲げ強さには差が生じていないことが分かる。本来、硬化剤は、有機物を多く含む材料についてその効果を発揮する為、今回の材料より風化の進んだまさ土を使用し、検討する必要があると思われる。

(2) 現場試験結果

試験施工による土舗装体の耐久性については、施工完了後1ヶ月、3ヶ月、6ヶ月、1年経過時において前述した各調査を行った。

a) 施工1年経過した全区間の舗装状況

施工1年経過した舗装体の状況について摩耗量、GB係数、 K_{30} 値について取りまとめたものを図-11に示す。セメント添加量が他区間の半分である1区間については、摩耗量は7cmと大きく、摩耗に対する抵抗力がないことが分かる。GB係数についても、1区間のみは他区間に比べわずかであるが小さくなっている。これに対し、 K_{30} 値についてはどの区間もほぼ一定値を示し、強度変化が少ないことが分かる。

b) 土質材料の違いによる影響

2区間の筑紫野まさ土と5区間の海砂についての土質材料の違いによる影響について取りまとめた結果を図-12、施工後1年経過した2区間と5区間の舗装体状況を写真-3、4に示す。摩耗量においては6ヶ月経過ではあまり差が見られないが、1年経過後では約2倍の摩耗量が生じている。また、長期的な摩耗量については、筑紫野まさ土の方が海砂よりも優れていることが明らかになった。これは室内試

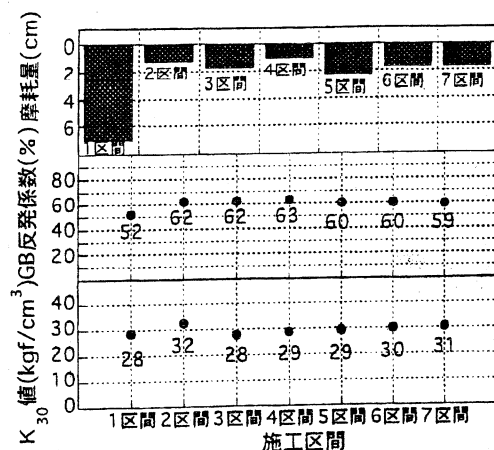


図-11 施工1年経過した舗装体状況

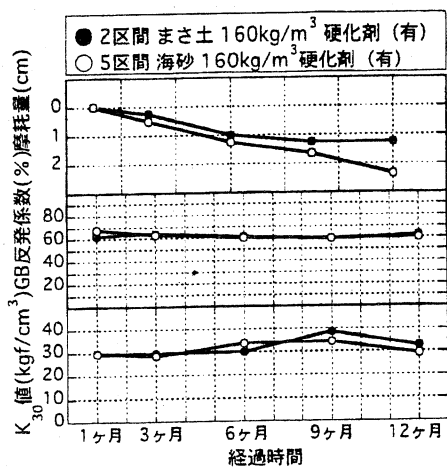


図-12 土質材料による影響

験の一軸圧縮強度の差が現われたと考えられる。しかし、写真-3, 4 のように、2 区間は舗装表面のひび割れが発生しているのに対して、5 区間は舗装表面にほとんどひび割れが生じていないことが分かる。これは、筑紫野まき土が海砂に比べ、材料の乾燥収縮の影響が強いことを示している。一方、K₃₀ 値及び GB 係数はほぼ同一値を示したことから、土質材料による影響は少ないことが明らかになった。

c)セメント添加量の違いによる影響

同一土質材料を用い、セメント添加量の異なる 1 区間と 2 区間についてその影響を比較した結果を図-13 に示す。また、1 年経過後の 1 区間の舗装体状況を写真-5 に示す。その結果、1 年経過後の舗装体の摩耗量はセメント添加量 160kg/m³ の 2 区間の約 1cm に対し、セメント添加量 80kg/m³ の 1 区間では約 7cm と施工時の舗装体の厚さとはほぼ同程度を示し、写真-5 に示すように 1 区間は、路床が見え始めている。また、K₃₀ 値、GB 係数は経時的な変化はほとんどなく、ほぼ一定値を示している。しかし、



写真-3 2区間の舗装体状況



写真-4 5区間の舗装体状況

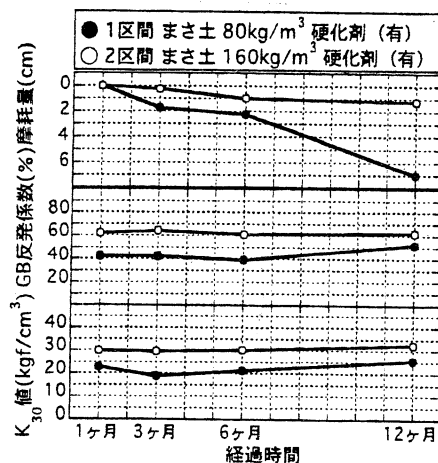


図-13 セメント添加量の違いによる影響

セメント添加量を半分にすることにより、各値は約 2/3 程度低減していることが分かる。一方、写真-3 に示している 2 区間と比較すると分かるように、舗装体の摩耗が激しい為、雨天時には表面の土が流出し、摩耗がさらに進んでいることが明らかになった。今回の通行条件下ではセメント添加量 80kg/m³ 程度では、1 年が耐久限界であると思われる。



写真-5 1区間の舗装体状況

d)無機系硬化剤による影響

同一土質材料、セメント添加量の2区間と3区間において無機系硬化剤添加の有無の影響をまとめた結果を図-14、1年経過した3区間の舗装体状況を写真-6に示す。摩耗量は、無機系硬化剤を添加することによりわずかであるが抑制することができることが分かった。また、写真-3と写真-6を比較すると分かるように、無機系硬化剤を添加していない方が、

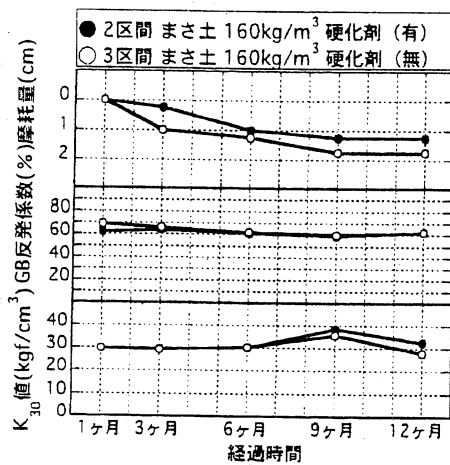


図-14 無機系硬化剤添加による影響

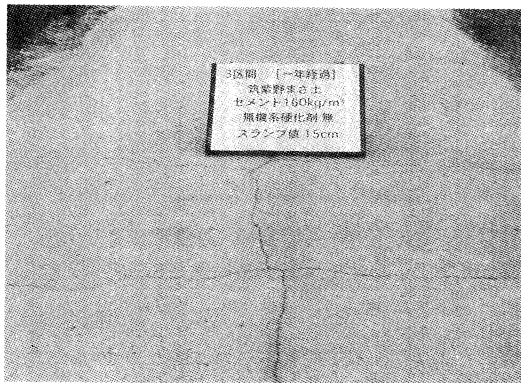


写真-6 3区間の舗装体状況

ひび割れが非常に激しく、舗装体の両端からもひび割れが生じており、無機系硬化剤添加によりひび割れも抑制する効果があることが分かった。これに対し、K₃₀値、GB係数においては、無機系硬化剤の有無による影響は見られないことが明らかになった。

e)ガラスカレットを使用した舗装体の状況

ガラスカレットと海砂を混合し、施工を行った6区間とガラスカレットと筑紫野まさ土を混合し、施工した7区間の舗装体状況を写真-7, 8に示す。図-11に示すように、ガラスカレットによる舗装体の表面剥離が激しい為に、2区間の筑紫野まさ土のみの施工区間に比べると、30%ガラスカレットを混入させた7区間の方が摩耗量は大きくなっている。また、海砂で施工した6区間にひび割れ発生がないのに対し、筑紫野まさ土を使用した7区間は、ひび割れが発生している。ガラスカレットの混入率、安全性等についても、今後検討を行う必要がある。



写真-7 6区間の舗装体状況

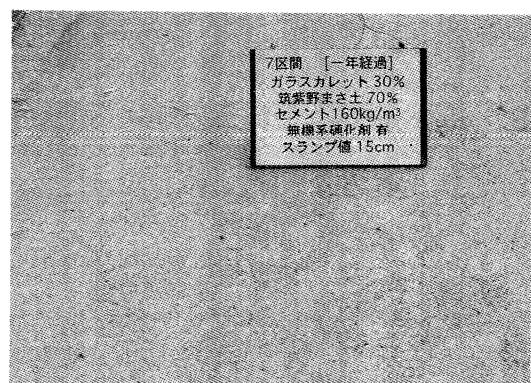


写真-8 7区間の舗装体状況

f)一軸圧縮強さと曲げ強さの関係

現場施工時に型枠に詰め作成し、屋外28日養生、室内28日養生の供試体の一軸圧縮強さと曲げ強さの関係を図-15に示す。室内養生は曲げ強さの2.5倍が一軸圧縮強さであるのに対し、屋外28日養生で

は曲げ強さの約 4 倍が一軸圧縮強さとなっている。これは、屋外養生が室内養生に比べ、日中の温度、湿度の変化が土舗装材料の強度に影響を及ぼしていると考えられる。

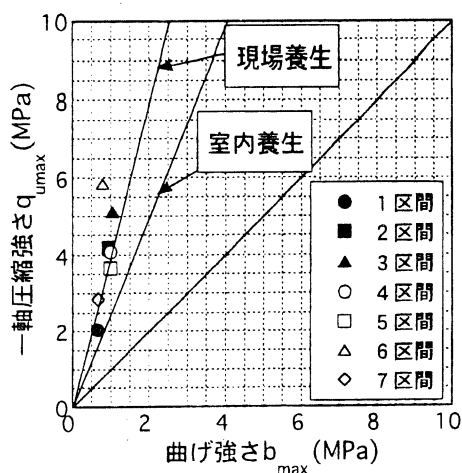


図-15 一軸圧縮強さと曲げ強さの関係

g) アンケート調査結果

アンケート調査を行った結果、歩行者は施工前に比べ歩きやすさが向上し、雨天時においても水溜まりを気にせず、容易に歩行ができるという意見が大半を占めた。また、ハイヒールによる歩行についても歩きずらはさほど気にならないとの回答を得た。

5. 結論

本論文では、土質材料として筑紫野まさ土、海砂及びガラスカレットを使用し、土舗装材料の材料特性の把握及び試験施工による耐久性について検討を行った。その結果得られた知見を以下に示す。

(1) 室内試験における一軸圧縮及び曲げ強さに及ぼ

す土質材料の違いは大きく、均一粒径の海砂に比べ、筑紫野まさ土の方が強度増加が著しいことが明らかになった。また、セメント添加量の影響は、一軸圧縮強さに顕著に現われ、強度の増加量はセメント添加量の増加とほぼ比例関係を示した。

(2) 試験施工を実施し、摩耗量、衝撃吸収性、舗装体強度及び土舗装の耐久性を検討した結果、摩耗量から判断する耐久性は、セメント添加量に大きく左右されることが分かった。また、長期的な摩耗量については、セメント添加量を多くし、粒径が幅広く分布している土が摩耗に対する抵抗が強いということが分かった。また、無機系硬化剤を添加することにより摩耗量を抑制することができることも明らかになった。

(3) 粘土、シルト分を多く含む土はひび割れが生じやすく、セメント添加量 80kg/m^3 程度で 1 年が耐久限界であることが分かった。また、砂質土系の材料と無機系硬化剤添加により、ひび割れを抑制する効果があることが明らかになった。

今回検討を行った土舗装については未だ明確な設計基準が決まっておらず、以上の結果はその足がかりになると考えている。今後はさらなる検討を行い、設計基準の確立を目指していきたい。

参考文献

- 1) 斎藤弘志・小林耕平・森芳徳：歩行者系舗装材料の試験舗装とその評価、第 22 回日本道路会議論文集, pp. 582-583, 1997.
- 2) 島津義輝・宇佐美圭一：自然色舗装の一施工例、第 22 回日本道路会議論文集, pp. 596-597, 1997.
- 3) 達下文一・笹岡弘治・田中輝栄：歩行者系道路舗装の「歩きやすさ」の一考察, vol.22 No.2, pp.10-15, 1987.

(1998. 8. 31 受付)

MATERIAL CHARACTERISTICS OF SOIL PAVEMENT AND ITS EXECUTION TEST

Noriyuki OHNAKA, Ken-ichi SATO, Nobuo YOSHIDA and Masaharu SATO

A series of unconfined compression test and bending test has been carried out to investigate the effect of soil materials, cement content, admixture and recuperation days of soil pavement material. Additionally, the execution test has been carried out to estimate the durability of soil pavement. This study has indicated that : (1) The unconfined compressive strength and the bending strength are influenced by the grain size distribution of soil materials and the cement content, (2) the abrasion and strength of soil pavement are influenced by the cement content.