

港湾技研資料

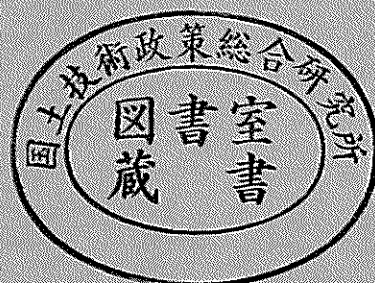
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 818 Dec. 1995

コンクリート舗装用グラウト材の品質

八 谷 好 高
福 手 勤
梅 野 修 一
田 中 順

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨

1. はじめに	3
2. グラウト材の材質規定の現状	4
2.1 グラウトを伴う舗装の供用性	4
2.2 グラウト材の材質規定	8
2.3 グラウト材の耐久性	10
3. グラウト材に関する基本的検討	12
3.1 グラウト層の応力	12
3.2 ホーンジョイント部の支圧応力	14
4. セメント系材料の検討	14
4.1 材料・試験方法	15
4.2 流動性ならびに強度	15
4.3 充填性ならびに耐久性	18
5. 有機エマルジョン系材料の開発	20
5.1 使用材料とグラウト材の目標品質	20
5.2 試験項目	21
5.3 配合選定試験の結果	22
5.4 基本物性確認試験の結果	23
5.5 大型注入試験の結果	25
6. まとめ	26
7. おわりに	26
参考文献	27

Quality of Grouting Material for Concrete Pavements

Yoshitaka HACHIYA*
Tsutomu FUKUTE**
Shuichi UMENO***
Jun TANAKA****

Synopsis

The reconstruction work with pre-cast prestressed concrete (PC) slabs has been utilized as a rehabilitation method. In addition, a lift-up method has been used practically in case that the PC pavement was settled after opening to traffic. Voids underneath the PC slab that would be caused inevitably must be grouted in both methods.

In this paper, the properties of the grouting material are investigated. First, laboratory tests were conducted on the material prepared in accordance with the current specification, after surveying the condition of the pre-cast PC slab pavement in service. Next, the load-induced stress on the material was calculated. Finally, the possibility of new materials was examined minutely.

As a result, the following conclusions were obtained.

- 1) The lack of the durability of grouting material lead to the distress such as faulting, which required the rehabilitation work a few years after opening to traffic in case of the PC pre-cast slab pavement constructed earlier.
- 2) The material, for injecting the voids both underneath the slab and around the dowel bar, had the sufficient strength against the repeated loading of 20,000 cycles with the amplitude of 60% of the specified strength.
- 3) The aircraft induce the stress on the grouting material, of which magnitude is 7 - 12 kgf/cm², 400 - 600 kgf/cm² for injecting underneath the slab, around the bar, respectively.
- 4) As the items required for the specification on the grouting material, the liquidity, its retaining time, strength, shrinkage and bleeding must be included. In addition, the durability in the submerged condition must be also specified.
- 5) New kinds of materials investigated in this study were possibly used.

Keywords: grout, pre-cast slab pavement, lift-up method, PC pavement, quality specification, laboratory test

* Chief, Runways Laboratory, Geotechnical Engineering Division

** Chief, Materials Laboratory, Structure Division

***Senior Research Engineer, Geotechnical Engineering Division

****Member, Materials Laboratory, Structure Division

コンクリート舗装用グラウト材の品質

八 谷 好 高*
福 手 勤**
梅 野 修 一***
田 中 順****

要 旨

コンクリート系材料によるコンクリート舗装の補修法として、プレストレストコンクリート(PC)プレキャスト版による打ち換え工法が実用化されている。また、PC舗装が沈下した場合の補修法としてリフトアップ工法が開発されている。両者にはコンクリート版と路盤との間の空隙を充填しなければならないという共通点がある。このほか、前者ではプレキャスト版を相互に結合する場合にもグラウトが必要となる。

本研究では、このようなグラウト材の品質について検討を加えた。まず、供用中に破損の生じたPCプレキャスト版舗装の現状について調査した後、現在一般的に用いられている規格に基づいたグラウト材について室内試験を行った。次に、航空機荷重によりグラウト材に加わる応力を検討して、グラウト材の品質規格について詳しく吟味した。そして、新しい形式のグラウト材の可能性についても検討した。一連の結果は、以下のようによまとめられる。

- 1) グラウト材の耐荷力不足は、段差、目地部の破損といった路面性状の悪化に結びつき、初期に建設されたPCプレキャスト版舗装は供用後数年で補修が必要とされる状況に至った。
- 2) 裏込め用、ホーンジョイント孔充填用グラウト材とも、規定強度(材齢7日)の60%に相当する荷重応力を20,000回程度繰返して載荷した場合には破損は生じていない。
- 3) 航空機荷重によりグラウト層に加わる応力は、裏込め用では7~12kgf/cm²、ホーンジョイント孔充填用では400~600kgf/cm²にもなる。
- 4) グラウト材に関する規定としては、流動性と保持時間、強度、収縮、ブリーディングのほか、水浸状態での耐久性が挙げられる。
- 5) 裏込めを対象とした新しいグラウト材として、フィラー入りセメントミルク、セメントモルタル、有機エマルジョン系材料について検討した結果、それらの実用性が検証できた。

キーワード：グラウト材、プレキャスト版舗装、リフトアップ工法、PC舗装、品質規定、室内試験

1. はじめに

コンクリート系材料によるコンクリート舗装の補修法として、プレストレストコンクリート(PC)プレキャスト版による打ち換え工法が実用化されている。また、PC舗装が沈下した場合の補修法としてはリフトアップ工法が開発されている。前者は大阪国際空港等各地の空港で使用されており、後者は東京国際空港、関西国際空港で採用されている。

両者には、コンクリート版と路盤との間の空隙を充填しなければならないという共通点がある。すなわち、前者では工場製作された舗装版を現地に敷並べたときに舗装版と路盤との間に空隙が生じ、後者では、PC版は現地で打設されるものの、供用後地盤が沈下した場合にPC版を持ち上げるので路盤との間に空隙が生ずることとなる。このほかにも、前者ではプレキャスト版を相互に結合する場合にグラウトが必要となる。

* 土質部滑走路研究室長

** 構造部材料研究室長

*** 土質部主任研究官

**** 構造部材料研究室研究員

PCプレキャスト版舗装工法開発時には、工法全体について十分な検討がなされたとはいえ、グラウト材については従来の規格を踏襲していた。すなわち、裏込め用材料についてはセメント安定処理路盤としての材料規定が適用され、ホーンジョイント孔充填用については舗装用コンクリート相当のものが用いられた。このような規定に従って施工したところ、供用後数年で航空機の走行に支障が出る状況となったことから、この配合によるグラウト材の耐久性については懸念されていた。

そこで、このようなグラウト材の品質について検討を加えた。まず、供用中に破損の生じたPCプレキャスト版舗装の現状を調査した後、現在一般的に用いられている規格に基づいたグラウト材に関する室内試験を行った。次に、航空機荷重によりグラウト材に加わる応力を検討して、グラウト材の品質規格について詳しく吟味した。そして、新しい形式のグラウト材の可能性について検討することにした。

2. グラウト材の材質規定の現状

裏込め用ならびにホーンジョイント孔充填用として現在使用されているグラウト材の性状として、供用中に破損の生じたPCプレキャスト版舗装の現状調査とグラウト材に関する室内試験の結果についてまとめる。

2.1 グラウトを伴う舗装の供用性

(1) PCプレキャスト版舗装

空港舗装として、PCを用いたプレキャスト版舗装工法^{*)}が実用化されている。この場合には、舗装版相互を連結するためにホーンジョイント工法^{*)}が用いられている。

プレキャスト版舗装は大阪国際空港において昭和56年に採用されて以来いくつかの空港で使用されている^{*)}。早い時期に大阪国際空港で施工されたこの形式の舗装は、一部でボンピング^{**)}の発生がみられ(写真-1)、舗装版端

部で大きな段差が生じている(写真-2)。この部分の舗装版は厚さが25cmで、幅2.5m、長さ10mのものが標準となっており、支持力係数7kgf/cm²の路盤上に敷設されている。

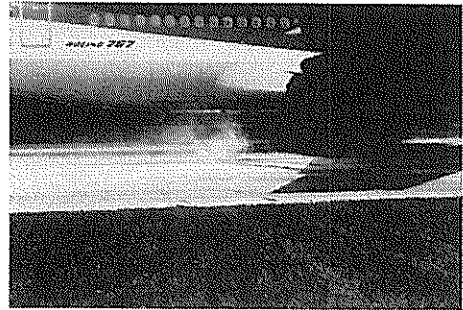


写真-1 ポンピングの状況



写真-2 段差の状況

この部分の破損状況を把握するために、平成3年度に調査が行われている。図-1には舗装版ならびに調査区域を示した。この図からわかるように、誘導路中心線が舗装版に対して斜めに横切っており、舗装版中心位置でみればA、B列でそれぞれNo.16、27の版が誘導路中心線位置に相当する。

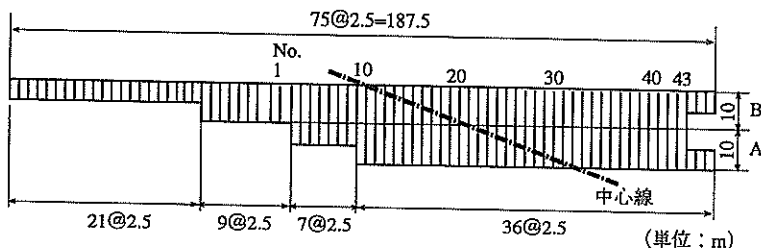


図-1 PCプレキャスト版舗装の平面図

*あらかじめPC版中に設けた孔中に円弧状の鉄筋を挿入し、その周囲を充填することにより2枚の版を結合する工法

**コンクリート舗装において、交通荷重の繰返し作用により、路床・路盤材料が目地やひび割れ部分から舗装表面に吹き出す現象

図-2、図-3、図-4には、路面の破損状況として、ひび割れ度、目地部破損率、最大段差を、また、図-5にはPRI*について示してある。これらの図には、それぞれの破損程度から判定される補修の必要性が、①不要、②将来必要、③直ちに必要、の3種類に分けて示されている。

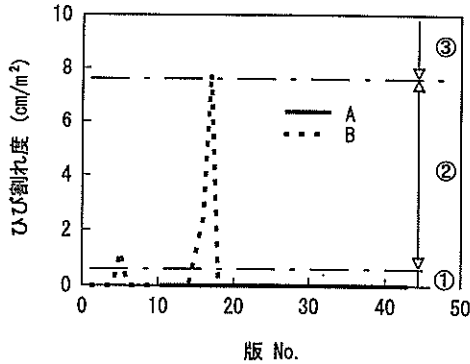


図-2 ひび割れ度の状況

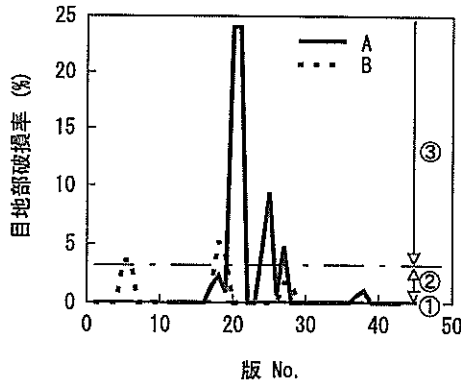


図-3 目地部破損率の状況

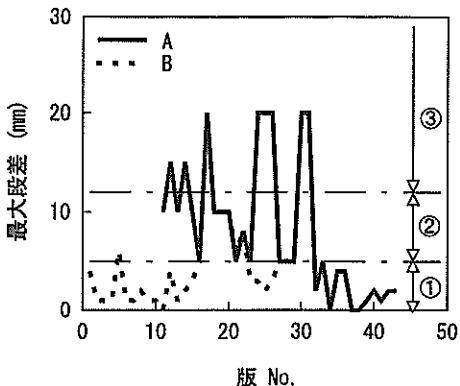


図-4 最大段差の状況

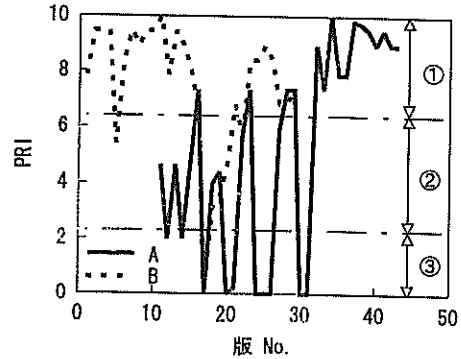


図-5 PRIの状況

個々の破損状態をみよう。まず、ひび割れ度では補修が直ちに必要とされる版はほとんどないようである。これに対して、目地部破損と段差については、航空機車輪の通過位置付近で補修が直ちに必要と判断されるほどになっている。舗装の破損状態を総合的に評価するPRIにはこれらの目地部における破損が大きく影響し、補修が必要と判断される舗装版は車輪通過位置付近に集中していることがわかる。破損がこれらの目地部に集中した原因は、ポンピングによる路盤の支持力低下であると推定される。

舗装の構造状態については、FWD**による調査がなされた。ここでは荷重を約20tfとして、舗装版中央部、隅角部、目地部でたわみ測定を実施した。得られたデータから、荷重中心のたわみ（最大たわみ）と目地部の荷重伝達機能に注目して解析した。

図-6には版中央部におけるたわみを示してある。A,B列とも誘導路中心線から5m程度離れた箇所でも最大値を示すことがわかる。また、図-7に示した隅角部のたわみからも、中心線から5m程度の地点でたわみが大きくなっていることがわかる。さらに同様のことは図-8、図-9に示した目地部についてもわかる（それぞれ、舗装版長辺、短辺におけるもの）。版中央部のたわみは、主として路盤支持力係数の影響を受けることから、以上の結果をみると路盤の支持力に何らかの問題の生じたことが懸念される。

A-25とA-26については、舗装版を撤去して路盤の状況を調査した。図-10には、舗装版と路盤との間に生じていた空隙の状況を示してある。また、この図には大型航空機(B-747)のノーズギヤが誘導路中心線に沿って走行する場合の主脚中心の軌跡も示してある。

この主脚位置では空隙量が30mmを超えるまでに大きくなっており、路盤の永久変形は航空機荷重の繰返し作

*補修の必要性を表す指数で、コンクリート舗装ではひび割れ度、目地部破損率、最大段差から計算される

**Falling Weight Deflectometerのことで、舗装面に加えられた荷重による動的たわみを測定する試験機

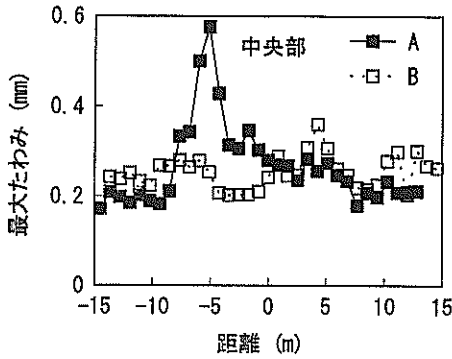


図-6 FWD最大たわみ (中央部)

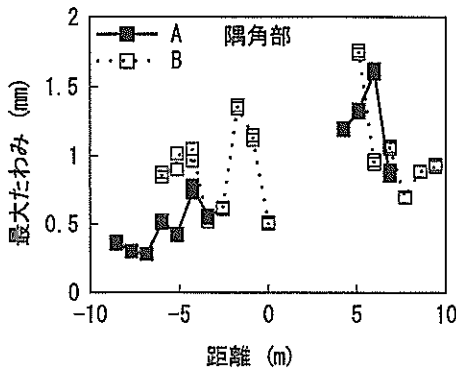


図-7 FWD最大たわみ (隅角部)

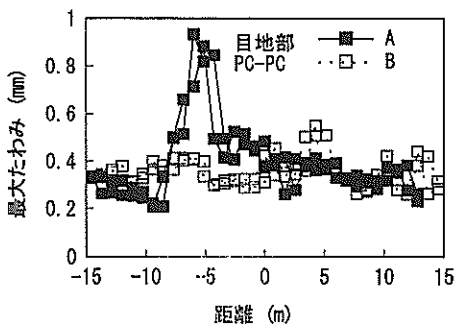


図-8 FWD最大たわみ (長辺目地部)

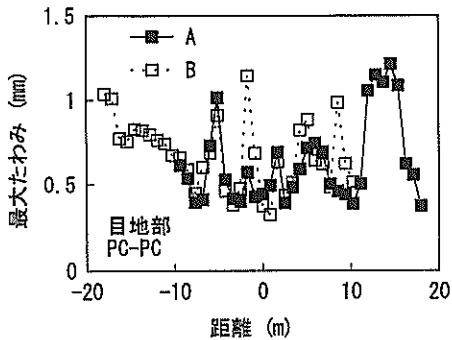


図-9 FWD最大たわみ (短辺目地部)

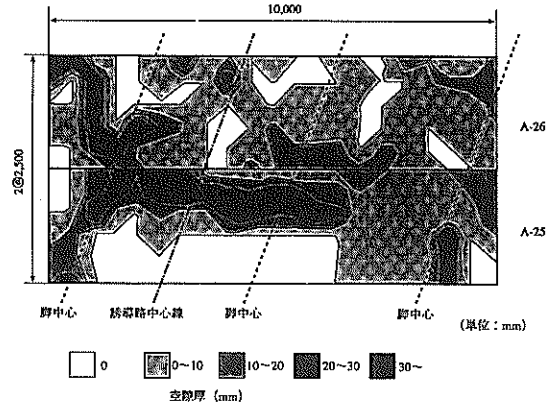


図-10 空隙の状況

用により生じたことが推定される。

目地部と隅角部のたわみに対しては、路盤支持力のほかに、目地の荷重伝達機能も影響を及ぼすので、式(1)による荷重伝達率 E_{ff}' を算出して、その定量化を図った。

$$E_{ff}' = d_n / \left\{ (d_l + d_n) / 2 \right\} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

ここで、 d_l 、 d_n は、載荷板を目地に接するように置いて得られる載荷側、非載荷側のたわみである。

図-11、図-12には、図-8、図-9に対応した荷重伝達率を示した。このうち、車輪が横断する舗装版短辺の場合を示した図-12にみられるように、車輪通過位置の荷重伝達率が極端に低下していることがわかる。この荷重伝達率について、米国連邦航空局の設計法⁹⁾では90%程度と仮定していることを考えると、車輪通過位置での荷重伝達機能は満足できるものではないと結論づけられる。

調査箇所舗装の上層路盤には水硬性粒度調整スラグ上層路盤材が用いられており、十分な強度が確認されている。このことから、裏込めグラウト材やホーンジョイント孔のグラウト材が雨水や地下水により水浸した状態の下で荷重が繰返し作用したために、問題が生じたものと考えられる。

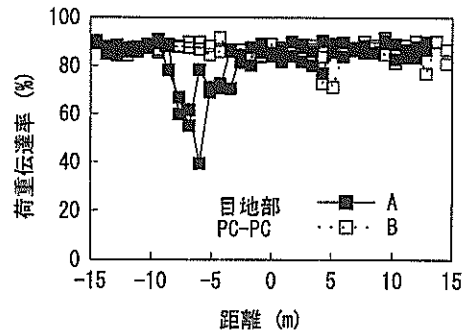


図-11 目地の荷重伝達率 (長辺目地部)

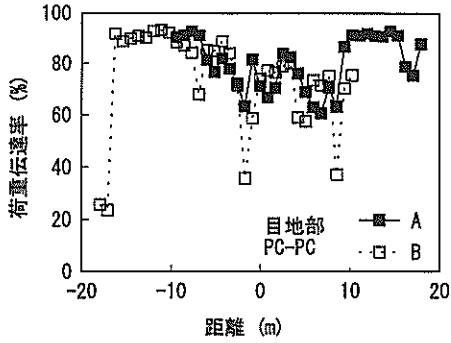


図-12 目地の荷重伝達率 (短辺目地部)

(2) リフトアップ工法

リフトアップ工法の開発過程では、幅20m、長さ34m、厚さ18cmのPC舗装版を用いた試験施工を実施している(図-13)。

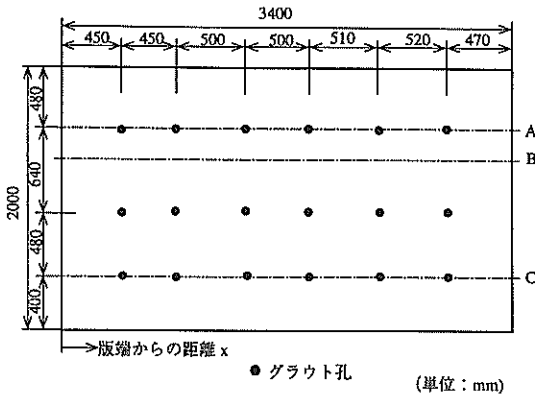


図-13 リフトアップ工法用試験舗装

グラウト材の充填状況は、FWDによるたわみ測定を実施するとともに、グラウト材注入後約7週間経過した時点で抜取ったコアを目視観察することによって確認した。この試験では、グラウト材注入前後のたわみの比較のほか、たわみ曲線から推定した路盤支持力係数にも注目した。

測定例としてC列の最大たわみを図-14に示した。グラウトの実施によってFWDの最大たわみが減少することは、グラウト後4日および30日のデータを見て明らかである。さらに、各点のたわみを詳しく検討すると、リフトアップ用ジャッキ孔から遠くなればたわみも若干小さくなっていることがわかる。FWDのたわみから推定した路盤支持力係数には当然ながらこの結果が反映され、グラウト孔から遠いほうが小さな値となっている(図-15, グラウトの材齢30日)。

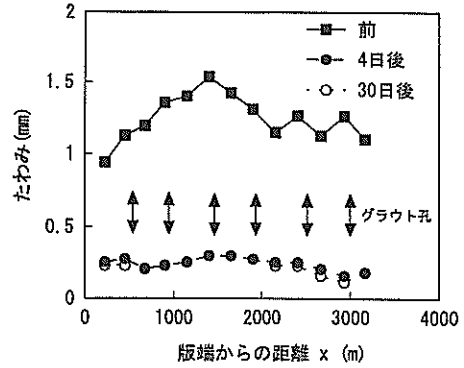


図-14 グラウト材注入前後のFWD最大たわみ

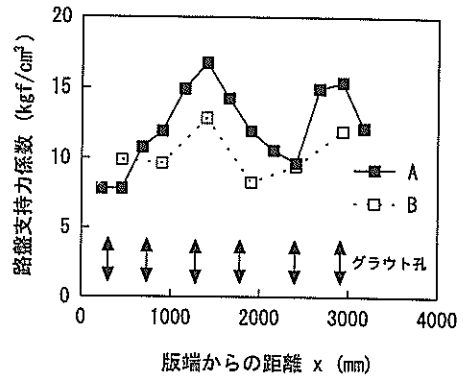


図-15 グラウト材注入後の路盤支持力係数

グラウト後約7週間経過した時点で舗装版から抜き取ったコアを観察すると、グラウト孔から遠い地点で、グラウト材が完全には充填されていない箇所も見られた。41箇所て抜取ったコアのうち、約30%でグラウト材の表面に直径数mmから1~2cm程度の気泡の跡が残っていることも確認されている(写真-3)。



写真-3 グラウト層表面の気泡

以上の考察に基づき、ここで用いた方法によれば舗装版と路盤の間に微細な空隙が残ってしまう危険性があると指摘している。

2.2 グラウト材の材質規定

2.1で述べたPCプレキャスト版舗装の主たる破損原因は、グラウト材であることが推察された。これは、リフトアップ工法でも、グラウト材のブリーディングにより舗装版と路盤との間に空隙が生ずる結果となっていたことから推定される。以下では、グラウト材の品質規定として、現在までに施工された事例をみていくことにする。

まず、PCプレキャスト版舗装を開発する過程では、以下の仕様をグラウト材に対して設けている。

- ①セメントの種類: ジェットセメント
- ②水セメント比(W/C): 80%
- ③ジェットセッター量: 0.4%

これは、20分経過時のフロー値が6~7秒(J漏斗)となるように決定された配合である。これによれば、収縮量は0.1%以下で、圧縮強度は30kgf/cm²(材齢1.5時間)となっていることが確認できたとされている。

この配合は、PCプレキャスト版舗装を実施工に用いた大阪国際空港の事例で踏襲されている。表-1、表-2には、それぞれ、裏込め用ならびにホーンジョイント孔充填用のグラウト材の配合を示している(昭和56年分)。後者においては舗装コンクリート程度にまで強度を高める必要があるため、水量の少ない配合となっている。そのときの舗装版下面へ注入したグラウト材の品質管理試験結果として、図-16、図-17が、また、ホーンジョイント孔充填用として図-18が得られている。昭和63年実施分についての施工管理試験結果のうち、圧縮試験については図-19、図-20のようにまとめられる(それぞれ、裏込め用、ホーンジョイント孔用で、配合は表-1、2と同様)。これらから、グラウト材の強度については、裏込め用の場合では材齢2時間で圧縮強度が50kgf/cm²に達していること、また、ホーンジョイント孔充填用についても、材齢28日で350kgf/cm²を超えるような圧縮強度が得られていることがわかる。昭和63年施工分の場合、グラウト層厚は図-21に示すようになっており、平均で14mm程度であった。

表-1 裏込め用グラウト材の配合

超速硬セメント(kg)	水(kg)	水セメント比(%)	凝結調整剤(g)	AE剤(g)
240	189.86	80	1,200	2,400

表-2 ホーンジョイント孔用クラウント材の配合

超速硬セメント(kg)	水(kg)	水セメント比(%)	凝結調整剤(g)	AE剤(g)
80	34.57	45	400	1,600

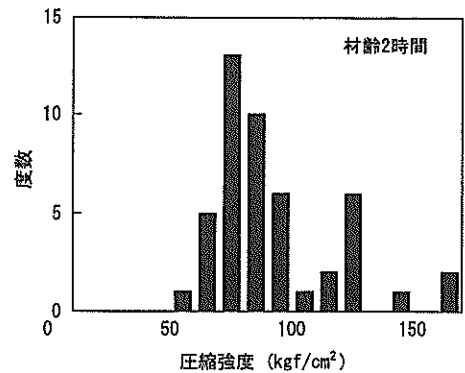


図-16 裏込め用グラウト材の圧縮強度(材齢2時間)

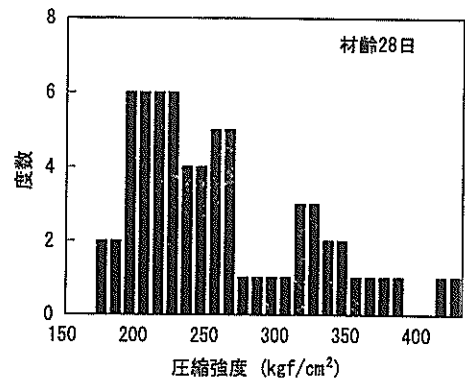


図-17 裏込め用グラウト材の圧縮強度(材齢28日)

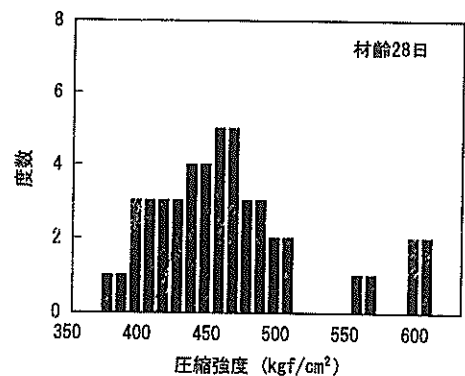
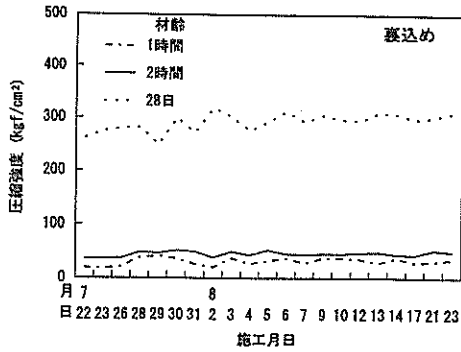
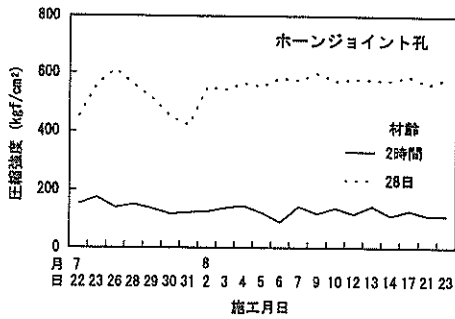


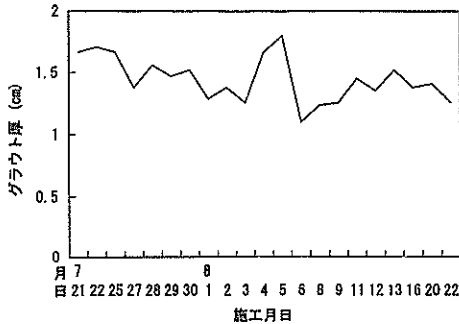
図-18 ホーンジョイント孔用グラウト材の圧縮強度



図一19 裏込め用グラウト材の圧縮強度



図一20 ホーンジョイント孔用グラウト材の圧縮強度



図一21 グラウト層厚の状況

PC舗装版のリフトアップ工法開発時には、圧縮強度として30kgf/cm²(材齢3日)、フロー値として15秒(JA漏斗)を目標に、水セメント比45%のグラウト材を使用している(表-3に配合を示す)。この場合は、PCプレキャスト版舗装での裏込め用グラウト材についての経験を踏まえて、水セメント比を45%と小さくしている。

このときは規模の小さい試験工事であったため、グラウトはレディーミクストコンクリート工場で製造された。グラウトの品質管理試験として、流下時間とブリーディング率を表-4に示した。流下時間が21秒と目標より6秒

程度大きいものの、ブリーディング率は材齢24時間で10%程度にまで達する材料であることがわかる。このグラウト材の圧縮強度については、表-5に示すとおり、材齢3日で85.7kgf/cm²と目標強度である30kgf/cm²を上回っていることが確認されている。

表一3 リフトアップ工法用グラウト材の配合

目標沈下 時間 (秒)	水セメン ト比 (%)	配合 (kg/m ³)		
		セメント	水	混和剤
15	45.0	1,280	576	C×0.25%

表一4 リフトアップ工法用グラウト材の管理試験

バッチ No.	流下 時間 (秒)	ブリーディン グ率 (%)		グラウト 温度 (°C)	気温 (°C)
		3時間	24時間		
1	16.8	5.06	10.1	12.0	-
2	20.1	2.93	10.6	13.0	-
3	18.1	3.68	13.3	13.5	8.0
4	22.3	3.75	11.0	13.0	11.5
5	17.5	3.57	8.52	12.0	9.5
6	22.6	3.80	8.91	11.5	8.5
7	19.0	3.70	9.19	12.5	9.5
8	22.8	4.20	8.74	12.5	8.5
9	24.3	2.83	9.01	11.5	8.5
10	26.4	-	-	11.0	7.6
11	23.9	-	-	16.5	7.5
平均	21.0	3.72	9.93	12.6	8.8

表一5 リフトアップ工法用グラウト材の圧縮強度

養生方法	材齢 (日)			
	1	3	7	28
標準養生	10.0	85.7	112	136
現場気中養生	-	-	75.3	115

(単位: kgf/cm²)

その後、東京国際空港沖合展開事業第二期工事地区で実施された試験施工においては、フロー値16~20秒、ブリーディング率4%以下、圧縮強度20kgf/cm²(材齢12時間)以上を目標として、水セメント比46%の材料が使用されている。

このリフトアップ工法では、PCプレキャスト版舗装での実測例である14mmというグラウト材の厚さに比べて、かなり厚いものが必要とされることが想定される。そのような場合にブリーディングの比較的大きい材料を用いることは、コンクリート版と路盤の間に空隙が生ずることになりかねない。

2.3 グラウト材の耐久性

大阪国際空港のPCプレキャスト版舗装において、試験施工時の促進繰返し走行試験では想定し得なかった問題が生じたことから、グラウト材の耐久性が懸念されるところである。そこで、この点についての室内試験を実施することとした。この試験では、流動性と圧縮強度として標準的な値を設定して、これを満足するような材料を4種類選定した。

(1) 材料

ここでは、裏込め用とホーンジョイント孔充填用の両者を対象とした。

表-6には、それぞれで目標とした材質をまとめた。このうち、流動性については、施工可能時間を確認するために、製造直後のほか、製造後所定の時間が経過した時点についても規定している。ここで用いた流下時間については、材質Ⅰ、ⅡではJA漏斗を、材質ⅢではJ漏斗を使用した場合である(図-22)。また、裏込め用材料については、交通開放時間に応じて2種類を検討対象とした。なお、ジョイント孔充填用材料では、材齢7日で舗装用コンクリートと同等の強度が必要であるとの規定も盛り込んである。以後、これらの材質については、材質Ⅰ、Ⅱ、Ⅲと称する。これらに対応する4種類の材料(材料A、B、C、D)の配合(水・材料比)は、表-7に示すとおりである。

表-6 材質Ⅰ～Ⅲの品質

材質	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
用途	裏込め	裏込め	ジョイント孔充填
流動性* (秒)	直後	13~16	16~18
	20分後	-	≤20
	40分後	≤20	-
圧縮強度(kgf/cm ²) ()内は材齢	≥50 (3日)	≥50 (3時間)	≥200(3時間) ≥400(3日)

注) 材質Ⅰ、Ⅱ: JA ロート, 材質Ⅲ: J ロート

表-7 材料A~Dの水・材料比

材料	水・材料比 (%)		
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
A	50	65	45
B	48	41.5	39.5
C	80	70	29
D	50	50	38

注) AのⅠならびにBはフィルター入り

図-23、図-24、図-25には、それぞれ、材質Ⅰ、Ⅱ、Ⅲのフロー値の経時変化を示してある。材料Ⅰ、Ⅱについては、初期流動性、40分経過時流動性とも規定を満足していることがわかる。これに対して、材料Ⅲでは、製造直後の規定を満足しないものが3種類あるが、いずれも製造後20分の規定(20秒以下)は満たしている。これらの材料の圧縮強度については、図-26、図-27、図-28に示した(それぞれ、材質Ⅰ、Ⅱ、Ⅲに対するもの)。これらの図から、いずれの材質に対しても、いずれの材料も表-6に示した強度規定を満たしていることがわかる。

(2) 繰返し載荷試験

繰返し載荷試験は、表-8に示すように、いずれの材質についても、材齢7日において、通常行われる方法(気中)でのほかに、供試体を水浸させた状態でも実施している。試験条件としては、上限、下限応力度を材齢7日強度のそれぞれ60%、5%、周波数を10Hz、載荷回数を20,000回としている。

供試体の寸法は直径10cm、高さ20cmであり、所定の材齢に達した時点で脱型し(材質Ⅰでは3日、その他は1日)、以後試験時まで水中養生を行った。水浸状態での試験は供試体高さの80%が水に浸る状態で実施した。

今回の繰返し載荷試験では、いずれの供試体も破壊現象を呈することはなかった。載荷試験終了後の残存強度

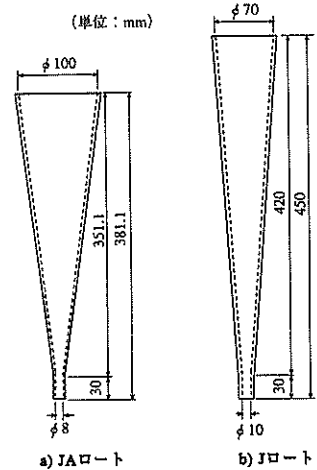


図-22 漏斗の形状

表-8 繰返し載荷試験の条件

材質	応力度 (kgf/cm ²)		周波数 (Hz)	載荷回数	材齢 (日)	載荷条件
	上限	下限				
I・II	30	1.5	10	20,000	7	気中・水中
III	240	12	10	20,000	7	気中・水中

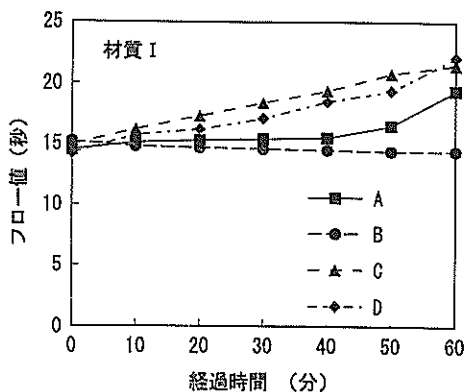


図-23 フロー値 (材質 I)

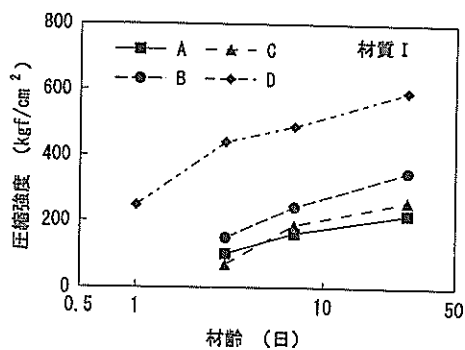


図-26 圧縮強度 (材質 I)

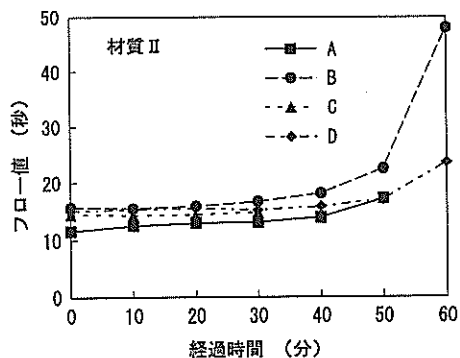


図-24 フロー値 (材質 II)

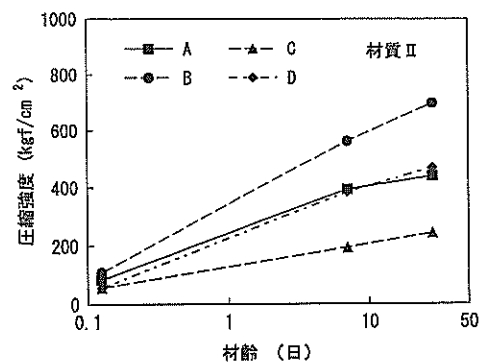


図-27 圧縮強度 (材質 II)

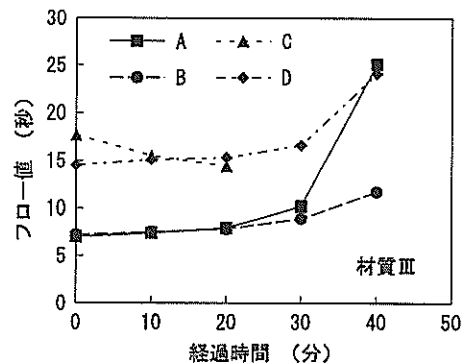


図-25 フロー値 (材質 III)

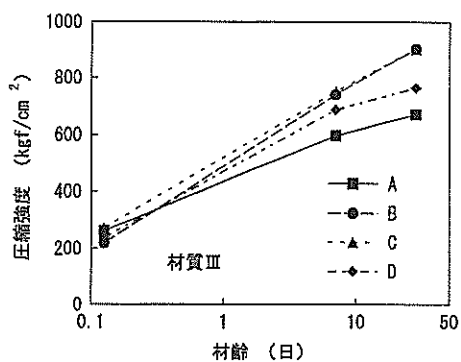


図-28 圧縮強度 (材質 III)

をまとめた表-9からは、繰返し載荷履歴は強度に影響しないことも認められる。しかし、試験条件の違いは若干ではあるが強度に影響を及ぼしており、水中でのものが気中でのものに比べて小さくなっていることがわかる。このことから、雨水が浸透しやすい、あるいは地下水位が高いといったように、水浸状態でしかも排水条件が悪い場合には、グラウト材が繰返し載荷により破損する危険性が大きいものと思われる。

表-9 繰返し載荷試験後の残存強度

a) 材質Ⅰ

材料	圧縮強度 (kgf/cm ²)	残存強度 (kgf/cm ²)	
		気中	水中
A		160	158
B	206 (気中) 207 (水中)	216 (105)	206 (100)
C	190	193 (102)	193 (102)
D	424	431 (102)	412 (97)

b) 材質Ⅱ

材料	圧縮強度 (kgf/cm ²)	残存強度 (kgf/cm ²)	
		気中	水中
A		344	345
B	598 (気中) 574 (水中)	615 (103)	600 (105)
C	198	194 (98)	201 (102)
D	257	263 (102)	257 (100)

c) 材質Ⅲ

材料	圧縮強度 (kgf/cm ²)	残存強度 (kgf/cm ²)	
		気中	水中
A		521	525
B	785 (気中) 745 (水中)	757 (96)	782 (105)
C	780	773 (99)	703 (90)
D	579	556 (96)	543 (94)

3. グラウト材に関する基本的検討

2.では、舗装版の裏込め用グラウト材ならびにホーンジョイント孔充填グラウト材の品質について、その現状をみてきた。その結果、材料のブリージングにより舗装版と路盤との間に空隙が生ずること、圧縮強度で30kgf/cm²というセメント安定処理路盤材として所要強度を満足していても実際の荷重条件下ではその耐久性に問題のあることがわかった。その反面、目標強度の60%程度に相当する荷重を20,000回繰返し載荷しても、耐久性については問題ないこともわかった。

この室内試験の結果が現地の状況と必ずしも結びつくものではないことから、ここでは従来より用いられている目標強度の妥当性について吟味することとした。具体的には、まず、荷重により裏込め用グラウト材に作用する力を算定し、次にホーンジョイント孔のグラウト材に作用する力を計算した。

3.1 グラウト層の応力

舗装版下の空隙をセメントミルクにより充填することは、硬化後は舗装に対して構造的に寄与する層が形成されることを意味する。その場合のグラウト材に必要なとされる強度について、Westergaardの載荷公式と有眼要素解析により検証した。

具体的には、まず、コンクリート舗装にB-747-400の一脚が載荷されたときのたわみを計算した。そして、得られた最大たわみに路盤支持力係数を乗ずることにより、グラウト層に作用する垂直応力を求めた。

Westergaard公式による場合の載荷状態として、脚位置が舗装版中央部、縁部となる場合を考えた。プレキャスト版舗装とリフトアップ工法でのPC版厚、路盤の支持状態を考慮して、舗装版厚を18cm、25cmの二とおり、路盤支持力係数を7kgf/cm²、20kgf/cm²と仮定した。コンクリートのヤング係数、ポアソン比は350,000kgf/cm²、0.15とした。

解析方法として有眼要素法を用いると隅角部の解析が可能となる。計算に用いた舗装版の寸法は75m×100m(隅角部はその1/4程度)であるが、その他の計算条件は上記と同様である。

得られた結果を表-10に示す。この表から、荷重が舗装版の隅角部に載ったときにたわみが最大となり、グラウト層には最大で4~7kgf/cm²の荷重による垂直応力が加わることがわかる。ここで、舗装版端部の応力についてOhdeによる帯状基礎の垂直応力の考え方*を適用すると、グラウト層には7~12kgf/cm²にも達する垂直応力が加わることとなる。

*接地応力は縁端部から基礎幅の0.035倍の位置で最大値(平均値の1.75倍)をとる

表-10 路盤に作用する垂直荷重強度

解析方法	Westergaard公式			有限要素法		
	中央部	縁部	縁部	中央部	隅角部	隅角部
路盤支持力係数 (kgf/cm ³)	7.0	7.0	20.0	7.0	7.0	20.0
コンクリート版厚 (cm)	18.0	25.0	18.0	18.0	25.0	18.0
最大たわみ (cm)	0.144	0.221	0.122	0.182	0.626	0.322
路盤垂直応力 (kgf/cm ²)	1.01	1.55	2.44	1.27	4.38	6.44

次に、路盤の構造上から必要となるグラウト材の品質について検討する。これは、路盤支持力係数が設計時点から変動していると考えられる場合に、設計当初の路盤支持力係数を確保するために必要となる品質のことである。解析手法には現行の空港コンクリート舗装構造設計要領に使用されている層理論を用いている。

地盤を半無限弾性体と仮定すると、剛性載荷板を介して一層系地盤に載荷される場合のたわみ w は、式(2)により求められる。

$$w = \frac{\pi(1-\nu^2)a\rho_m}{2E} \quad (2)$$

ここで

- w : 剛性載荷板の沈下量(cm),
- ν : 地盤のポアソン比,
- a : 剛性載荷板の半径(cm),
- E : 地盤のヤング係数(kgf/cm²),
- ρ_m : 荷重強度(kgf/cm²).

支持力係数 K_{75} は ρ_m/w と定義されるので、 $\nu=0.4$, $a=37.5$ cmとすると、 E は式(3)のように表すことができる。

$$E = 49.5 \cdot K_{75} \quad (3)$$

ここで、 $K_{75}=7$ kgf/cm²とすると、 E として347kgf/cm²が必要となることになる。同様に、 $K_{75}=15$ kgf/cm²とするためには、 E が743kgf/cm²である必要がある。

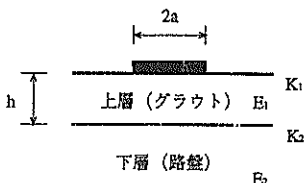


図-29 二層系路盤モデル

Barberの2層弾性理論によれば、図-29に示す各層上面での支持力係数とヤング係数は式(4)により関係づけられる¹⁰⁾。

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{1}{\left\{ 1 + \left(\frac{h}{a} \right)^2 \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{2/3} \right\}^{1/2}} + \frac{1}{\left(\frac{E_1}{E_2} \right)} \left[1 - \frac{1}{\left\{ 1 + \left(\frac{h}{a} \right)^2 \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{2/3} \right\}^{1/2}} \right] \quad (4)$$

ここで、

- K_1 : 上層での支持力係数,
- K_2 : 下層での支持力係数,
- h : 上層の厚さ,
- E_1 : 上層のヤング係数,
- E_2 : 下層のヤング係数.

この式から、 $K_1=7$ kgf/cm², $a=37.5$ cm, $h=5, 10$ cmの条件で、 K_2 と E_1/E_2 との関係を示したものが図-30である。

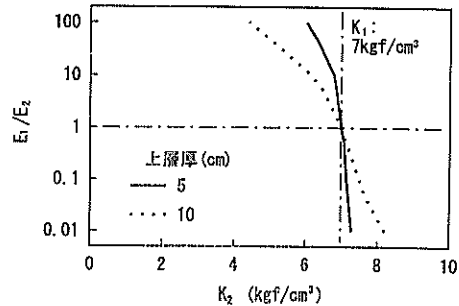


図-30 グラウト材に必要とされるヤング係数

この図から、下層、すなわち路盤の支持力係数 K_2 が7kgf/cm²から6kgf/cm²程度に低下した場合を考えると、上層、すなわちグラウト層厚を5cmとしたのでは上層での設計値 K_1 を回復することは難しいことがわかる。しかし、グラウト材厚を10cmとするならば、路盤の10倍程度のヤング係数を有する材料をグラウト材として使用する

ことにより、設計当初の値を確保できることもわかる。また、路盤のヤング係数が設計当初の値を確保できている場合には、ヤング係数の小さい材料を用いることも可能であるが、ポンピング防止といった観点から現行のセメント安定処理材程度のものが必要であろう。

3.2 ホーンジョイント部の支圧応力

ここでは、現地調査を行った事例を対象として、ホーンジョイントを直線状の鉄筋とみなして解析を行う。

まず、現行の空港コンクリート舗装構造設計要領に示されている方法により、検討する。この場合は、鉄筋の長さ a を60cm、目地幅 t を1cm、鉄筋径 d を38mm、鉄筋の許容引張応力度 σ_{sa} を2000kgf/cm²とすると、支圧応力 σ_a は式(5)により185kgf/cm²となる。使用されたグラウト材の設計圧縮強度が200kgf/cm²(材齢7日)であることを考えると、許容支圧応力 σ_b は200kgf/cm²となり(安全率2.0, 支圧強度2.0), 安全性は伴たれていることがわかる。

$$\sigma_a = \frac{25d^2\sigma_{sa}}{a^2} \cdot \frac{a + 1.5t}{a + 8.8t} \quad (5)$$

次に、これとは別に、参考文献¹⁾に示されている道路舗装を対象とした方法により検討する。上記と同様に、ホーンジョイントの鉄筋を直線と仮定すると、支圧応力 σ_b は式(6)により求めることができる。

$$\sigma_b = \frac{KP}{4\beta^3 EI} (2 + \beta z) \quad (6)$$

ここに、

σ_a : 支圧応力(kgf/cm²),

K : グラウト材の支持力係数(kgf/cm³),

P : 鉄筋の先端に載荷された荷重(kgf),

E : 鉄筋のヤング係数(kgf/cm²),

I : 鉄筋の断面二次モーメント(cm⁴),

z : 目地幅(cm),

β : 鉄筋の相対剛度($=\sqrt[3]{Kd/4EI}$).

荷重として航空機の等価単車輪荷重(ESWL)を考えると、B-747-200B, B-747-400のそれぞれの場合で20.7tf, 23.2tfとなる。この荷重がホーンジョイントにより隣接版へ伝達される場合の考え方は、上記の空港コンクリート舗装構造設計要領の方法とは異なっている。すなわち、荷重伝達に寄与する範囲は載荷位置から剛比半径の1.8倍の位置にあるとする点は同じであるが、荷重は載荷点からの距離によって異なり、載荷点が1, 最遠点が0となるように直線的に変化すると考えている。

したがって、PC版の短辺、長辺に載荷された場合は、

図-31に示すようなホーンジョイントの荷重分担となり、載荷位置のホーンジョイントの荷重は、B-747-200Bで短辺4.8tf, 長辺3.7tf、B-747-400で短辺5.4tf, 長辺4.2tfとなる。

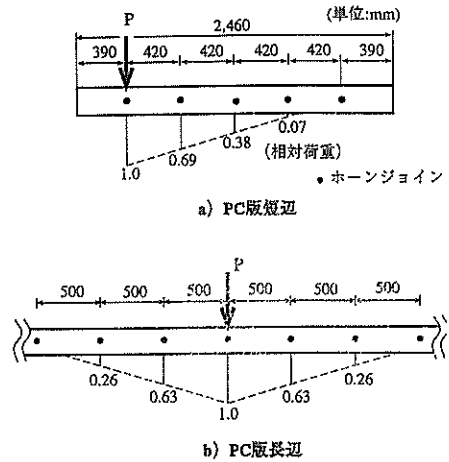


図-31 ホーンジョイントの分担荷重

この荷重に対する支圧応力は、グラウトの支持力係数41,600kgf/cm³, 鉄筋のヤング係数2,100,000kgf/cm², 目地幅0.6cmとすると、それぞれ、558, 430, 628, 483kgf/cm²となる。これは、上記の空港コンクリート舗装構造設計要領の方法によるものの3倍を超える程度にまでなっている。近年航空機の横断方向走行位置の分散が小さくなる傾向にあることを考慮すると、このような状況が起こり得ないとはいえず、グラウト材の強度、特に耐荷性・耐久性が非常に重要となることがわかる。

4. セメント系材料の検討

本章では、PC舗装版の裏込め用材料として、従来より使用されているセメントミルク(セメントと水との混合物)の耐久性を高める方策について検討する。特に、2.で示したように、水浸状態で荷重が繰返し載荷する場合を想定して、それに対して十分な耐久性を有する材料を見出すことを目的とした。そのため、粉体(フィラー入りセメント)のほか、砂分の入ったモルタルについても試験を実施している。

4.1では試験に供した材料の特徴を記してから、試験の方法について示した。試験結果として、4.2では従来より材料を規定するために使用されている項目、すなわち流動性と強度について示した。また、4.3では今回新たに注目した充填性と繰返し載荷に対する耐久性についてまとめた。

4.1 材料・試験方法

試験に供した材料は、表-6に示した材質Ⅱを対象として、フィラー入りセメントペーストとセメントモルタルの2種類を用いた。流動性の目標値として初期フロー値(JA漏斗による)を13, 15, 17秒と設定して配合を決定した材料に対して、以下の特性を調べた。

①流動性

流動性はJA漏斗により流下時間を測定することによつた。これは、製造直後から10分ごとに測定が不可能となるまで実施した。

②圧縮強度

圧縮強度試験はJIS A 1108に準じて行った。供試体の寸法は直径50mm, 高さ100mmであり、材齢3時間, 7日, 28日の時点での強度を測定した。

③ブリーディング・材料分離

ブリーディングは、土木学会による方法に準じて、材齢3時間と1日の時点で測定した。また、材料分離については、ブリーディング用供試体の上・下部(それぞれ端部から10mm~40mmの部分)の密度を測定し、その差によって把握した。

④充填性

充填性については、路盤上に置いたアクリル板下の空隙を充填するのに要する時間で表した。アクリル板は幅、長さ、厚さが900mm×900mm×30mmのもので、路盤との隙間が100mmとなるように置いた。このアクリル板の隅角部に設けた直径50mmの孔からグラウト材を自然流下させて(水位差100cm)、空隙が充填されるまでの時間を測定した。また、材料が凝結してからグラウト孔近傍ならびに対角部の密度を測定して、材料分離の程度を把握した。

⑤耐久性

耐久性については、直径100mm, 高さ200mmの供試体を用いて、表-11に示す条件で試験を計画した。ところ

が、後述するように、この上限応力度では繰返し載荷により供試体が破壊したため、上限応力度を静的圧縮強度の50, 35, 20%に変更している。

4.2 流動性ならびに強度

3種類の目標フロー値が得られるようなフィラー入りペーストとモルタルの配合として、表-12に示すものが得られた。これらの材料の品質については、この表に示す配合のものを標準として検討している。

(1) 初期流動性

まず、流動性が製造後の時間経過に伴って変化する状況を図-32, 図-33に示した(それぞれフィラー入りペースト, モルタルの場合)。2と同様に、製造後40分経過時のフロー値20秒を規格値とすると、両者とも初期フロー値が17秒となるものはそれを満足しないようである。

その場合の圧縮強度について図-34, 図-35に示した。強度については、いずれの配合においても材齢3時間で50kgf/m²以上となっていることから、規格を十分満足していることがわかる。

ブリーディングは、両者ともいずれの配合においても認められなかった。しかし、上・下部の密度については表-13に示すように、明らかに差が見られ、特にモルタルで水・グラウト材比の大きい配合では顕著であった。また、この場合には目視にても材料分離が確認された。なお、密度そのものについては配合の違いが影響を及ぼし、水量の少ない場合が密度が高いものとなっていることに注意すべきである。

(2) 流動性保持時間

以上の検討により、流動性、強度、材料分離の3つの観点から最適と思われる配合(水・グラウト材比)として、フィラー入りペーストについては41.5%, モルタルについては33%を選定して、流動性保持時間の延長ならびに短縮の可能性について検討を加えた。ここでは目標流動性保持時間を20分, 40分, 60分と設定して、凝結調整剤

表-11 繰返し載荷試験の条件

上限応力度	下限応力度	周波数	繰り返し回数	材齢	載荷条件
圧縮強度の 50, 65, 80%	圧縮強度の 5%	10Hz	200,000 回	28 日	水中

表-12 グラウト材の配合

グラウト材の種別	目標初期フロー値	水・グラウト材比 (%)	単位量(kg/m ³)		凝結調整剤添加量 (対グラウト材, %)
			グラウト材	水	
ファイラー入りペースト	13	45.5	1271	578	0.09
	15	41.5	1339	556	
	17	39.5	1376	544	
モルタル	13	36.0	1417	510	0.05
	15	33.0	1480	488	
	17	30.5	1537	469	

表-13 グラウト材の上下部密度差

グラウト材の種別	目標初期フロー値	水・グラウト材比 (%)	密度(g/cm ³)		密度差 (%)
			上部	下部	
ファイラー入りペースト	13	45.5	1.775	1.813	97.88
	15	41.5	1.801	1.841	97.81
	17	39.5	1.838	1.871	98.25
モルタル	13	36.0	1.795	1.925	93.22
	15	33.0	1.875	1.936	96.87
	17	30.5	1.942	1.970	98.58

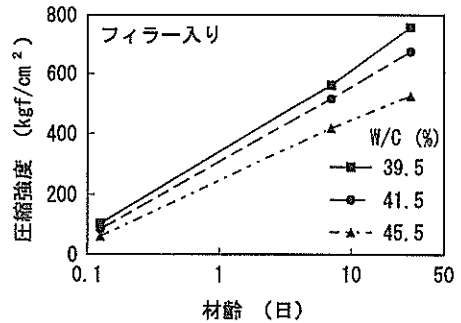
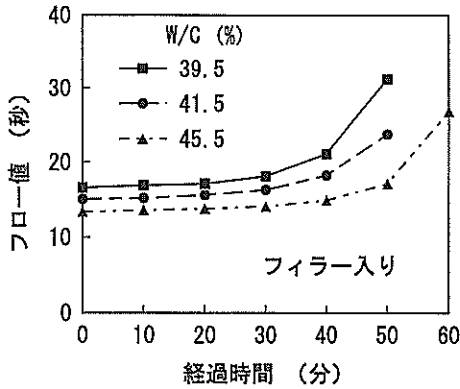


図-32 水セメント比とフロー値 (ファイラー入りペースト)

図-34 水セメント比と圧縮強度 (ファイラー入りペースト)

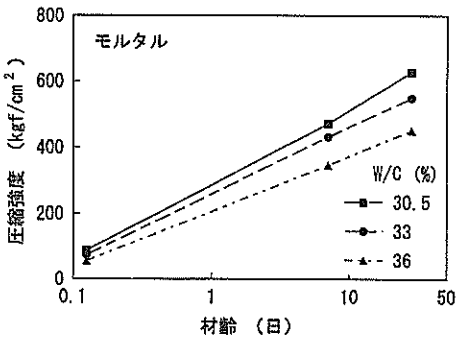
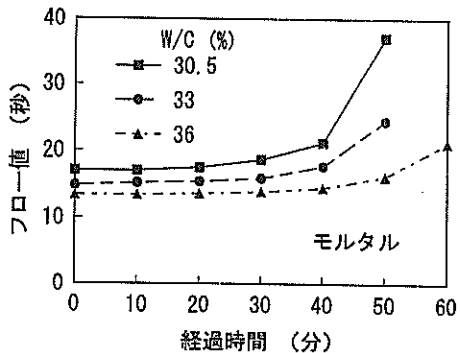


図-33 水セメント比とフロー値 (モルタル)

図-35 水セメント比と圧縮強度 (モルタル)

量を表-14に示すように変化させることによって、保持時間を調整した。

表-14 流動性保持時間と凝結調整剤添加量

グラウト材の種別	目標流動性保持時間 (分)	凝結調整剤添加量* (%)
ファイラー入りペースト	20	0.05
	40	0.09
	60	0.13
モルタル	20	0.02
	40	0.05
	60	0.08

* 対グラウト材比

図-36、図-37には製造後の時間経過に伴ってグラウト材のフロー値が変化する状況を示してある。凝結調整剤量を増加すれば、目標とする流動性保持時間が確保できることがわかる。ただし、これによって初期強度も小さいものとなる(図-38、図-39)。しかし、材齢7日ならびに28日のものに見られるように、最終的に得られる強度については影響を及ぼさないようである。

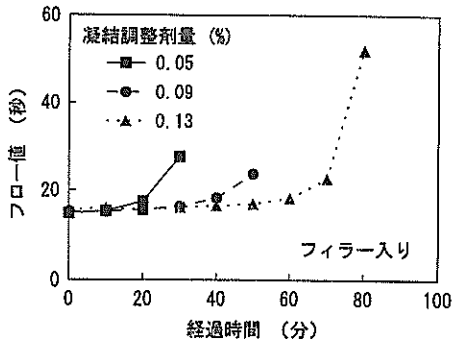


図-36 凝結調整剤量とフロー値(ファイラー入りペースト)

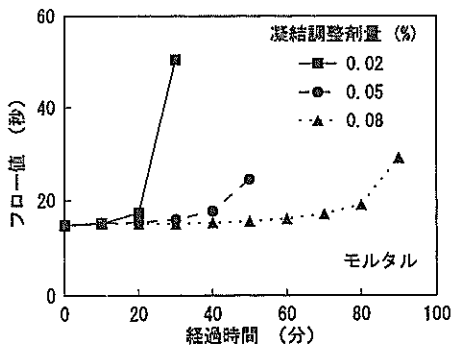


図-37 凝結調整剤量とフロー値(モルタル)

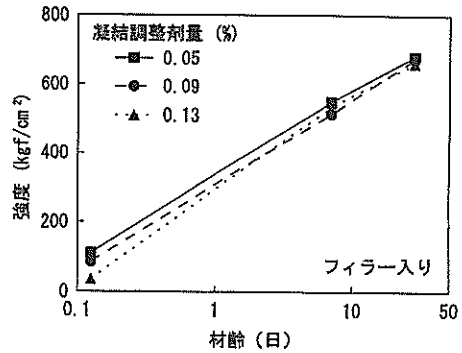


図-38 凝結調整剤量と圧縮強度(ファイラー入りペースト)

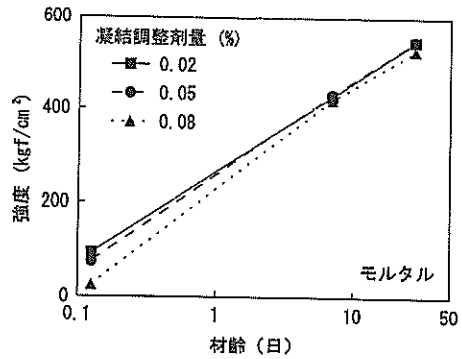


図-39 凝結調整剤量と圧縮強度(モルタル)

ブリーディングについては、両者ともいずれの配合においても認められなかった。表-15には供試体上下部の密度差を示したが、凝結調整剤量の少ないほうが、密度差が小さいばかりでなく、密度自体も大きくなっていることがわかる。

(3) 低温時材料特性

グラウトの施工が気温20℃以下の条件下で実施される場合の材料特性について調査した(試験温度5℃)。使用した材料の水・グラウト材比は、ファイラー入りペースト、モルタルのそれぞれで、41.5%、33%とした。なお、凝結調整剤は添加していない。

低温条件下では、凝結調整剤を添加しない状態でも、流動性、圧縮強度とも所定の規格を満足する材料が得られた(図-40、図-41は、それぞれフロー値、圧縮強度を示している)。表-16に示すように、上下部の密度についてはあまり差がないようである。また、試験温度20℃のものに比べて密度自体が大きくなっていることもわかる。

表-15 流動性保持時間とグラウト材上下部密度差

グラウト材の種別	凝結調整剤添加量 (対グラウト材, %)	密度(g/cm ³)		上下密度差 (%)
		上部	下部	
ファイラー入り ペースト	0.05	1.836	1.856	98.88
	0.09	1.801	1.841	97.81
	0.13	1.816	1.855	97.88
モルタル	0.02	1.911	1.956	97.68
	0.05	1.875	1.936	96.87
	0.08	1.862	1.924	96.78

表-16 低温施工時のグラウト材上下部密度差

グラウト材の種別	水・グラウト 材比 (%)	密度(g/cm ³)		上下密度差 (%)
		上部	下部	
ファイラー入り ペースト	41.5	2.056	2.125	96.77
モルタル	33.0	2.021	2.077	97.30

注) 凝結調整剤は不使用

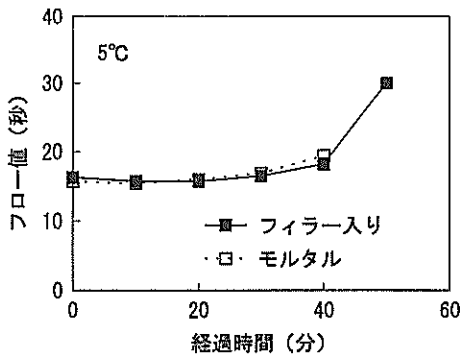


図-40 低温条件下でのフロー値

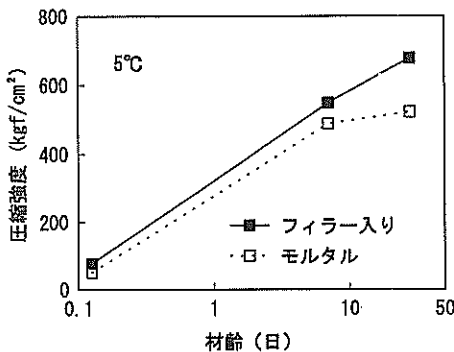


図-41 低温条件下での圧縮強度

4.3 充填性ならびに耐久性

(1) 充填性

グラウト材の充填性を検討するために、表-17に示す配合の材料を使用した。

表-18には、表-17に示した材料の初期流下時間と、それを使用した場合の充填時間をまとめた。水・グラウト材比が高いほど、初期流下時間が小さく、充填時間も短いことが明らかである。しかし、モルタルで水・グラウト材比が38%のものについては逆に充填時間が長くなっている。

表-19には、グラウト注入口近傍と対角位置から取得したコア（直径50mm、高さ100mm）の密度を示した。ほとんどの材料では注入口近傍と対角位置での密度差は小さいが、水・グラウト材比38%のモルタルについては砂分がグラウト孔より遠い箇所へ運ばれたためか、対角部のほうが密度が大きくなっている。

(2) 耐久性

グラウト材の耐久性については、表-12に示したように、ファイラー入りペーストについては水・グラウト材比が41.5%のもの、モルタルについては33%のものを用いて検討した。

上記のように、上限応力を強度の50%としたものについては、載荷回数が200,000回に達する以前に破壊している。具体的な破壊回数を示せば、前者では5,000~47,000回、後者では90,000~180,000回であり、2.3で用いた程度の繰返し載荷回数では評価できないものである。

表一17 充填性試験に用いた材料の配合

グラウト材の種別	水・グラウト材比 (%)	単体量 (kg/m ³)		凝結調整剤添加量 (対グラウト材比, %)
		グラウト材	水	
ファイラー入りペースト	49.0	1217	596	0.09
	40.5	1358	550	
	37.5	1415	531	
モルタル	38.0	1378	524	0.05
	31.0	1525	473	
	28.0	1598	448	

表一18 水・グラウト材比と充填時間

グラウト材の種別	水・グラウト材比 (%)	初期流下時間 (秒)	充填時間 (秒)
ファイラー入りペースト	49.0	13.4	8.0
	40.5	19.2	11.8
	37.5	28.1	14.3
モルタル	38.0	13.4	23.0
	31.0	19.4	16.2
	28.0	29.5	22.7

表一19 グラウト材密度の比 (注入口/対角位置)

グラウト材の種別	水・グラウト材比 (%)	密度 (g/cm ³)		注入口/対角位置 (%)
		注入口	対角位置	
ファイラー入りペースト	49.0	2.036	2.030	100.30
	40.5	2.027	2.034	99.66
	37.5	2.056	2.037	100.93
モルタル	38.0	1.961	2.037	96.27
	31.0	2.110	2.111	99.95
	28.0	2.155	2.155	100.00

表一20 繰返し載荷試験後の残存強度

グラウト材の種別	項目	静的圧縮試験	繰返し載荷試験		
			20%	35%	50%
ファイラー入りペースト	圧縮強度 (kgf/cm ²)	605	619	586	-
	静弾性係数 (×10 ⁵ kgf/cm ²)	1.47	1.59	1.52	-
モルタル	圧縮強度 (kgf/cm ²)	458	464	465	-
	静弾性係数 (×10 ⁵ kgf/cm ²)	1.58	1.61	1.61	-

注) 20,35,50% : 上限応力 (対静的強度比)

繰返し荷重レベルを最大で35%に低下させた場合に実施した、繰返し荷重履歴を有する供試体の残存強度とヤング係数（静的）を表-20に示した。また、強度の35%を上限応力とした場合、フィラー入りペーストについては目視により若干の劣化が確認され、残存強度にもそれが現れている。これに対して、モルタルの場合は、上限応力を強度の35%としても劣化の兆候は認められなかった。

5. 有機エマルジョン系材料の開発

PC舗装版下のグラウトは厚さが薄いため、セメント系材料のみを結合材とするグラウトは比較的ヤング係数が大きいことと相まって、大きな曲げ作用を受けるとひび割れる可能性がある。その対策として、グラウトのヤング係数を小さくし破壊ひずみを大きくすることが考えられる。

このような背景から、セメントと有機エマルジョン（アスファルト乳剤）を結合材とする有機系グラウトの材料開発を行った。本章では、モルタルを対象とし、最適配合を絞り込むために順次行った配合選定試験、基本物性確認試験、大型注入試験の結果の概要を示すとともに、決定された配合のグラウトの力学特性を述べる。

5.1 使用材料とグラウト材の目標品質

(1) 使用材料

一連の実験に用いた主要な材料は、普通ポルトランドセメント、急硬材、有機エマルジョン、細骨材、凝結遅延剤などで、それらの材料特性を表-21、表-22、表-23、表-24、表-25に示す（凝結遅延剤の比重：2.23）。

表-21 セメントの物理試験結果

試験項目		試験結果
比重		3.16
比表面積		3,300
凝結	標準軟度水量 (%)	27.6
	始発 (時-分)	2-27
	終結 (時-分)	3-37
安定性		良
圧縮強さ (kgf/cm ²)	材齢 3 日	160
	材齢 7 日	263
	材齢 28 日	421
全アルカリ R ₂ O (%)		0.65

表-22 急硬剤の分析値

試験項目		試験結果
比重		2.92
ブレン値 (cm ² /g)		6,400
化学分析 (%)	AL ₂ O ₃	20.6
	C ^o O	44.9
	SO ₃	33.8

表-23 アスファルト乳剤の試験結果

試験項目		規格値	試験結果
粒子の電荷		—	ノニオン
エングレー度 (25℃)		5~15	6.4
ふるい残留分 (1.18mm,%)		0.3 以下	0.1
貯蔵安定度 (24 時間,%)		1.0 以下	0.2
凍結安定度 (-5℃)		合格	合格
セメント混合物 (%)		1.0 以下	0.5
蒸発 残留物	蒸発残留分 (%)	58~63	60.3
	針入度 (25℃,1/10mm)	60~120	89
	伸度 (25℃,cm)	100 以上	100 以上
	三塩化エタン可溶分 (%)	97 以下	98.0

表-24 シリカフェームの試験結果

試験項目		試験結果
比表面積 (cm ² /g)		100,000 以上
かさ比重		2.2
強熱減量 (%)		5.0 以下
化学分析 (%)	二酸化けい素	85 以上
	二酸化硫黄	3.0 以下
	酸化マグネシウム	5.0 以下

表-25 細骨材の試験結果

ふるい目 (mm)	通過質量 百分率 (%)
5.0	0
2.5	0
1.2	0
0.6	0
0.3	0.1
0.21	9.9
0.15	53.6
0.1	57.0
0.074	97.7
0.053	99.6

このうち、急硬材は初期強度の確保、凝結遅延剤は施工性の確保のためのもので、すべての実験ケースで用いた。増粘材は、最終的な大型注入試験の結果から、グラウト注入時のグラウト構成材料の分離を低減するために用いることにした。

(2) 配合

配合は、一般的なグラウトの配合設計法に従い、まずセメント(C)、急硬材(QT)からなる粉体の配合比率を選定し、その全粉体質量に対するアスファルト乳剤(A)、細骨材(珪砂7号, S)、練混ぜ水(W)それぞれの配合割合を仮定した。すなわちCとQTは全粉体量に対する内割り配合で、A、S、Wは全粉体量に対する外割り配合で示す。以下の配合表は、このような考え方で表わしている。

(3) 練混ぜ

本試験におけるグラウトは、セメント、アスファルト乳剤、水、凝結遅延剤、細骨材から構成されるA液、および急硬材、水、凝結遅延剤から成るB液を別々に混ぜ合わせておき、注入直前にそれらを混合して製造する方法とした。

(4) 品質の達成目標

グラウト材を検討するのに際し、目標とした品質は表-26に示すとおりである。

表-26 試験目標値

試験項目	目標値	試験方法
流動性	15~20 秒	JAロート法
可使時間	20 分以上	JAロート法
ブリーディング	なし	ポリエチレンチューブ法
初期膨張収縮	なし	ポリエチレンチューブ法
圧縮強度	30kgf/cm ² 以上 (3 時間)	JIS A 1108

5.2 試験項目

配合選定試験、基本物性確認試験、大型注入試験における試験項目は以下の通りである。

(1) 配合選定試験

目標を満足する複数のグラウト材を一次選定するために、配合を変化させ、以下に示す試験を行った

- ①流動性試験：JA漏斗法（JISCE-F531-1993に準拠）
- ②可使時間試験：JA漏斗法により流動性を10分間隔で測定し、流下時間が20秒を越えた時間または目視により測定した。
- ③ブリーディング試験：ポリエチレンチューブ法（JISCE-F531-1993に準拠）

④圧縮強度試験：JIS A 1108に準拠し、直径5cm、高さ10cmの円柱供試体を用いて、材齢3時間の時点で行った（20℃気中湿潤養生）。

⑤曲げ強度試験は：JIS R 5201に準拠し、幅4cm、高さ4cm、長さ16cmの供試体を用いて、材齢3時間の時点で行った（20℃気中湿潤養生）。

(2) 基本物性確認試験

配合選定試験で選定された3種類の配合に関し、その基本物性を確認し、大型注入試験のための配合を選定するため、以下の項目の試験を行った。

- ①流動性試験
- ②可使時間試験
- ③ブリーディング試験
- ④初期膨張収縮試験：ポリエチレンチューブ法（JISCE-F531-1993に準拠）
- ⑤圧縮強度試験：材齢3時間、1日、3日、7日、28日の時点で実施した。同時に、ヤング係数とポアソン比も計測した。
- ⑥曲げ強度試験：材齢3時間、1日、3日、7日、28日の時点で実施した。
- ⑦圧縮疲労試験：直径10cm、高さ20cmの供試体を7日間20℃にて気乾養生した後、試験に供した。上限応力度は20kgf/cm²、下限応力度は1.5kgf/cm²、繰返し回数は20,000回（10Hz）とした。

なお、①~③、⑤、⑥の試験方法は(1)と同様である。

(3) 大型注入試験

基本物性確認試験にて選定した配合を選んで注入試験を実施した。試験装置は、図-42に示すように、縦2m、

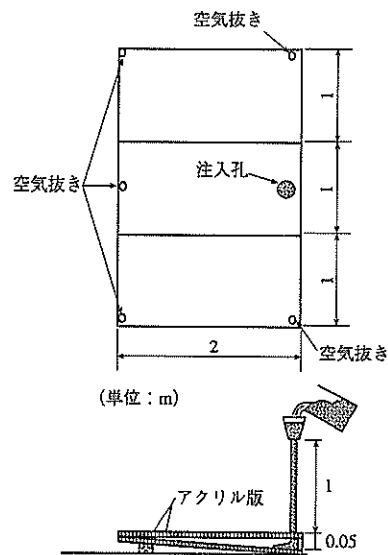


図-42 大型注入試験の概要

横3mのアクリル板2枚を用いて、隙間が5cmから0cmまで変化するような構造を有している。グラウト材は、この空隙に対して、水位差1mで自然流下方式により注入した。

品質管理試験として、練上がり直後および時間経過に伴う流動性試験（JA漏斗法）、3時間後の圧縮強度試験（JIS A 1108）を行った。また、注入時には注入状況の確認をするとともに、硬化後にはアクリル版を解体して充填状況の確認を行った。

5.3 配合選定試験の結果

(1) アスファルト乳剤配合率

試験に用いた配合は表-27のとおりである。また試験結果を図-43に示す。

表-27 アスファルト乳剤量の検討

配合	C	S ₇	A _s	QT	W	Set
A-1	75	50	15	25	40	1.5
A-2			25			
A-3			30			
A-4			35			
A-5			50			
A-6			100			

(単位：%)

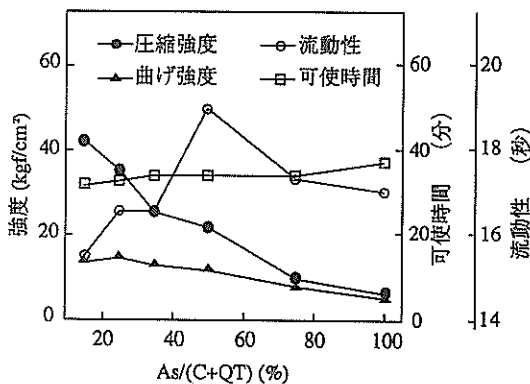


図-43 アスファルト乳剤の配合率が圧縮強度に及ぼす影響

いずれの配合も流動性の目標値であるJA漏斗流下時間15~20秒を満足している。アスファルト乳剤の配合率の増加とともに可使用時間は長くなり、いずれの配合も目標値（20分以上）を満足しており、32~37分と長い可使用時間が得られている。

圧縮強度、曲げ強度はいずれも、アスファルト乳剤の配合率の増加につれて低下する。圧縮強度の目標値（3時

間強度30kgf/cm²）を満足するためには、アスファルト乳剤の配合率を30%以下とする必要がある。

なお、いずれの配合においてもブリーディングは認められなかった。

(2) 水粉体比

水粉体比の検討のために用いたモルタルの配合を表-28に示す。また試験結果を図-44に示す。ここでいう粉体とはセメント(C)と急硬材(QT)の合計である。

表-28 水粉体比の検討

配合	C	S ₇	A _s	QT	W	Set
B-1	75	50	25	25	40	1.5
B-2					42.5	
B-3					45	
B-4					50	
B-5					55	
B-6					60	

(単位：%)

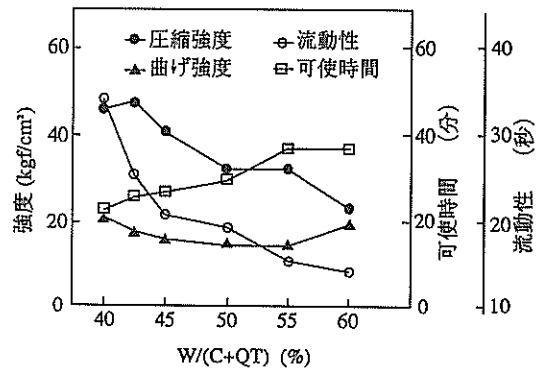


図-44 水粉体比が圧縮強度に及ぼす影響

流動性は水粉体比の増加とともに大きくなる。目標値である15~20秒を満足するのは、水粉体比が50%、55%の場合である。可使用時間はいずれの配合も目標値を十分満足していることがわかる。

圧縮強度、曲げ強度は水粉体比の増加とともに低下する。圧縮強度の目標値を上回るためには、水粉体比を55%以下とする必要がある。

なお、ブリーディングはいずれの配合においても認められなかった。

(3) 急硬材配合率

急硬材配合率の検討に用いた配合を表-29に示す。また試験結果を図-45に示す。

表-29 急硬剤添加率の検討

配合	C	S ₇	A ₅	QT	W	Set
C-1	85	50	25	15	45	1.5
C-2	80			20		
C-3	75			25		
C-4	70			30		
C-5	65			35		
C-6	60			40		

(単位：%)

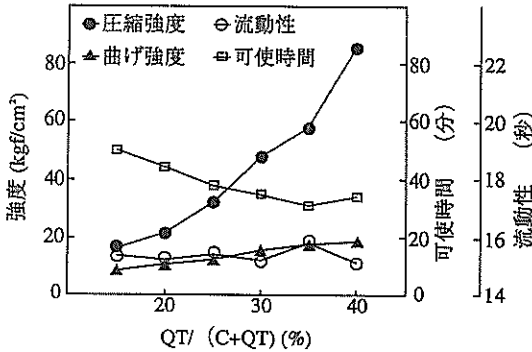


図-45 急硬材配合率が圧縮強度に及ぼす影響

流動性はすべての配合において満足している。また可使用時間は、急硬材配合率の影響を強く受けるが、いずれの配合も目標値を満足している。

材齢3時間における圧縮強度、曲げ強度は急硬材配合率の影響を受ける。特に圧縮強度は強い影響を受け、目標値を得るためには25%以上とする必要がある。

なお、ブリーディングはいずれの配合においても認められなかった。

(4) 細骨材配合率

細骨材配合率の検討に用いた配合を表-30に示す。またその試験結果を図-46に示す。

表-30 細骨材量の検討

配合	C	S ₇	A ₅	QT	W	Set
D-1	75	25	25	25	45	1.5
D-2		50			45	
D-3		75			50	
D-4		100			55	
D-5		125			60	
D-6		150			65	

(単位：%)

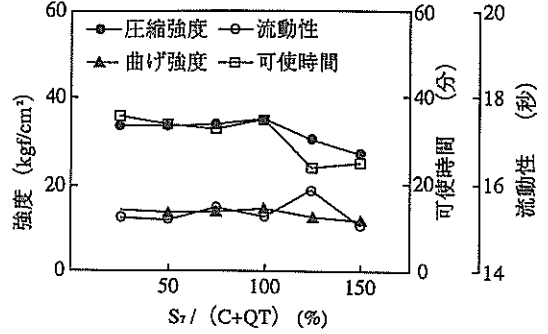


図-46 細骨材配合率が圧縮強度に及ぼす影響

流動性はいずれの配合も目標値を満足している。可使用時間は細骨材量の増加とともに短くなるが、今回の範囲ではいずれも目標値を満足している。

圧縮強度、曲げ強度は細骨材配合率の増加とともに下つて低下する。特に細骨材配合率が100%を越えると圧縮強度の目標値を下回るようになるため、細骨材配合率は100%以下とする必要がある。

なお、いずれの配合もブリーディングは認められない。

5.4 基本物性確認試験の結果

5.3で示した配合選定試験の結果から、大型注入試験に用いる配合の選定を目標とする基本物性確認試験のための配合として、表-31に示すM-1からM-3の3配合を選定した。

表-31 選定されたモルタルの配合

配合	C	S ₇	A ₅	QT	W	Set
M-1	75	50	25	25	45	1.5
M-2		35				
M-3		75	25			

(単位：%)

(1) 流動性・可使用時間

流動性は、M-1、M-2、M-3のそれぞれで、17.3秒、16.1秒、19.4秒と、目標値を満足するものであった。

また、可使用時間は、M-1、M-2、M-3のそれぞれで、26分、23分、23分と、いずれも目標値を満足していた。

(2) ブリーディング・所期膨張収縮

ブリーディングによる材料分離は、3配合とも全く認められなかった。ただ、M-2は表面にアスファルト乳剤の薄い層が見られ、M-3は下部に細骨材の沈降が観察された。前者は35%のアスファルト乳剤量は過大であるこ

と、また後者は75%の砂量は過大であったことによるものと思われた。

3配合とも、初期膨張収縮量は0%であり、初期膨張によるPC舗装版の浮き上がりや沈下は発生しないと考えられる。

(3) 強度

図-47に圧縮強度試験結果を示す。配合M-1, M-2は3時間における圧縮強度の目標値を満足しているとともに、長期においても十分な強度増進を示している。これに対しM-2は初期強度、長期強度とも小さい。これはアスファルト乳剤の配合比率が高いことによるものと思われる。

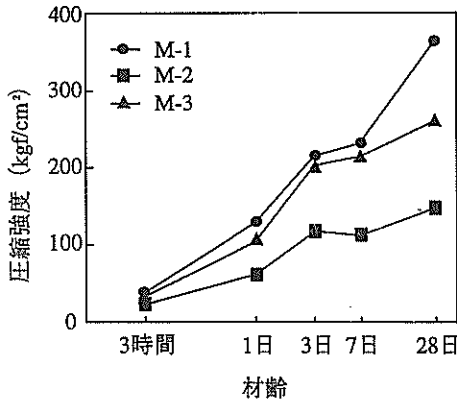


図-47 材齢と圧縮強度の関係

図-48にヤング率の結果を示す。試験結果から、材齢28日では $1\sim 1.4 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$ の静弾性係数を示しており、一般のグラウト材に比べ小さい低い値となっていて、アスファルト乳剤を添加した効果がみられる。

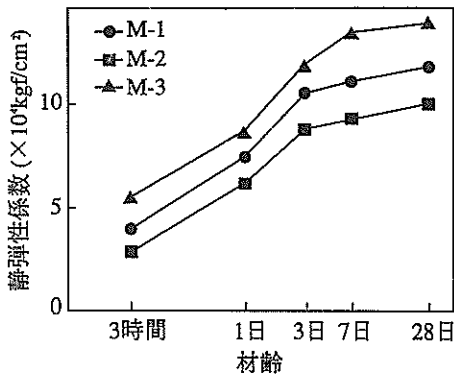


図-48 材齢とヤング係数の関係

ヤング率と同時に測定したポアソン比を図-49に示す。ポアソン比は0.22~0.27程度で、材齢の経過（強度の増加）に伴い、増加する傾向が認められる。

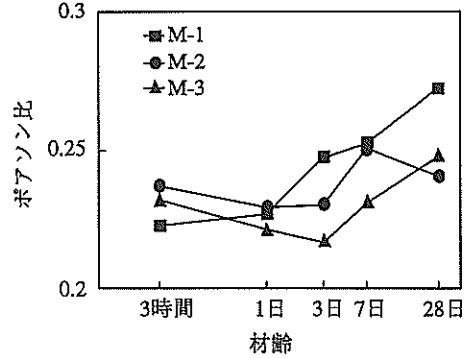


図-49 ポアソン比とヤング係数の関係

図-50に曲げ試験の結果を示す。圧縮強度と同様に、アスファルト乳剤や砂の増加が曲げ強度の低下につながる事がわかる。アスファルト乳剤5%の増加に対し曲げ強度は30~40%低下し、また細骨材の5%の増加に対し曲げ強度は約20%低下する。

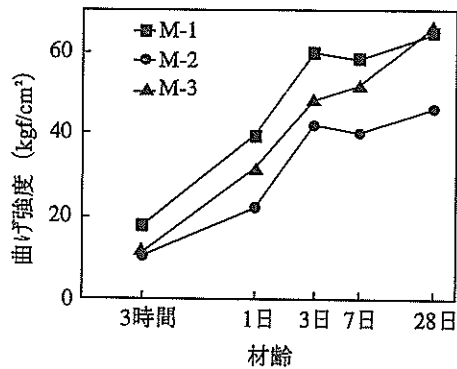


図-50 曲げ強度とヤング係数の関係

(4) 疲労強度

図-51は通常の圧縮強度と、繰返し圧縮試験後の圧縮強度を併記したものである。今回の実験レベルでは、3配合のグラウト材は、繰返し圧縮応力を受けても圧縮強度の低下しないことが確認された。逆に、100~200kgf/cm²の強度を有するモルタルにその強度の1/5~1/10を上限応力とする繰返し応力を与えることは、強度を増進することになる傾向が見られた。

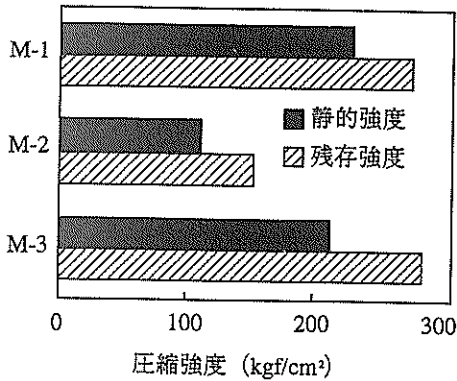


図-51 繰返し圧縮試験前後の圧縮強度の変化

5.5 大型注入試験の結果

以上の基本物性確認試験の結果より、表-32に示す配合を最適配合とし、大型注入試験に用いた。

表-32 大型注入試験時の配合

C	S ₇	A _s	QT	W	Set
75	50	30	25	42	1.5

(単位：%)

(1) ケース1

このグラウト材に対し、規模が大きくなった場合の練混ぜ特性、施工性、注入特性などのワーカビリティの確認を行うために、5.2に示した大型注入試験を行った。

グラウト材の製造においては、ポリバケツに材料を投入し、ハンドミキサーを用いて練混ぜた。この作業においては、細骨材の分離や粉体の“だま”なども確認されず、問題はなかった。

1mの水位差で注入されたグラウト材は注入孔から同心円状に拡がり、側面に接してから先端部分は一直線になりながら充填されていった。しかしながら、上下版の隙間が非常に狭いアクリル板の先端数cmの部分では水分の多いペースト分が観察された。これは、隙間が小さい先端部においてアーチアクション、または細骨材がフィルターの役目を果たしたためと考えられた。また硬化したグラウトの表面にはアスファルト乳剤と思われる薄い皮膜が存在していた。これはグラウト注入および硬化反応中に分離したものと考えられた。

このような傾向は、基本物性確認試験までの段階では確認されなかった現象であり、大型注入試験の結果により初めて確認された現象である。

(2) ケース2

上記のような現象を改良するためにグラウトに分離低減材を加えることを試みた。

まず、分離低減材を加えたいくつかの配合について、5.3の配合選定試験と同様の予備検討を行い、流動性、可使用時間、ブリーディング、初期膨張収縮、圧縮強度、ヤング係数、曲げ強度などを試験した。

その結果、表-33に示す品質の粉体ポリビニールアルコール (PVA) を分離低減材として、セメントの1.3%添加した配合 (C:QT:PVA=74:25:1) が最適であることがわかった。その配合を表-34に示す。この配合のグラウトのJA漏斗流下時間は20秒、可使用時間は30分、ブリーディング・初期膨張収縮は0であり、また圧縮強度、ヤング係数、曲げ強度は図-52、図-53、図-54に示すとおりである。これらの結果から、この材料は表-27の開発目標値を満足する性能を有する配合であることがわかった。

表-33 PVAの試験結果

試験項目	規格値	
発揮分 (%)	≤5.0	
鹼化度 (モル%)	87.0-89.0	
粒 度	60M/S 以上	≤0.1
	80M/S 以上	≤0.1
	180M/S 以上	
外観	01-02 合格	

表-34 モルタルの配合

C	PVA	A _s	QT	W	S ₇	Set
74	1.0	30	25	50	50	0.9

(単位：%)

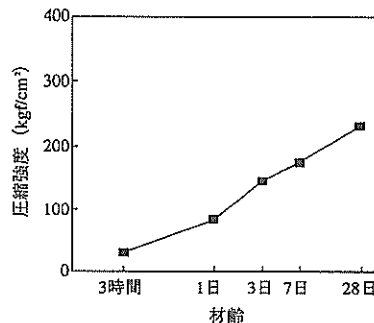
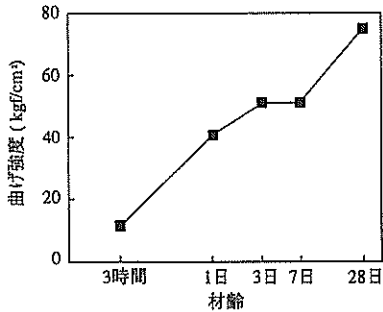
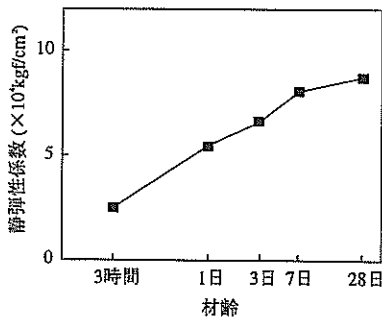


図-52 最終配合における材齢と圧縮強度の関係



図一53 最終配合における曲げ強度とヤング係数の関係



図一54 最終配合における材齢とヤング係数の関係

この配合を用いて、再度注入試験を行った。その結果、

- ①練混ぜ性能に問題はない
- ②注入時にアクリル版先端部での分離もなく、空隙厚さが0の部分まで十分に充填される
- ③硬化後もアスファルト乳剤膜や層状分離がみられず均一なモルタル硬化体得られる、ことなどが確認された。

このように、分離低減材の添加により材料分離を低減させ、層状分離やアスファルト乳剤膜の形成を防止することが可能となったことから、今回の開発目標を満足する配合のグラウトが得られたものと考えられる。

6. まとめ

PCプレキャスト版舗装とリフトアップ工法に用いた、グラウト材の注入が必要とされる舗装工法におけるグラウト材の品質について検討した。その結果は、以下のようによまとめられる。

- (1) グラウト材の耐荷力不足は、段差、目地部の破損といった路面性状の悪化に結びつき、初期に建設されたPCプレキャスト版舗装は供用後数年で補修が必要とされる状況に至った。
- (2) 裏込め用、ホーンジョイント孔充填用グラウトとも、

規定強度（材齢7日）の60%に相当する荷重応力を20,000回程繰返して載荷した場合には破損は生じていない。

(3) 航空機荷重によりグラウト層に加わる応力は、裏込め用では7~12kgf/cm²、ホーンジョイント孔充填用では400~600kgf/cm²にもなる。

(4) グラウト材に関する規定としては、流動性と保持時間、強度、収縮、ブリーディングのほか、水浸状態での耐久性が挙げられる。

(5) 裏込めを対象とした新しいセメント系グラウト材としてフィラー入りのものとモルタルについて検討し、その実用性が検証できた。

(6) 配合選定試験、基本物性確認試験、大型注入試験からなる一連の実験を通して、セメント、有機エマルジョン、急硬材、細骨材、凝結遅延剤、分離低減剤などから構成されるグラウト材を開発した。

以上の結果に基づくと、グラウト材の所要材質としては、次のような点を考慮に入れて規定しなければならないことになろう。

(1) 流動性ならびにその保持時間は、セメントミルク製造直後のフロー値ではなく、作業上必要となる時点でのフロー値により規定する必要がある。

(2) 強度については、施工後供用開始時の静的強度のほかに、繰返し載荷に対する安全性を確認しなければならない。この場合、舗装構成に応じた繰返し荷重、設計耐用期間に応じた載荷回数、そして排水状態を含めた環境条件を勘案する必要がある。

(3) ブリーディング、収縮は認められない。

(4) 養生時の環境条件が反映できるような試験方法としなければならない。

7. おわりに

今回実施した研究は、舗装版自体は十分な耐久性を有しているものの、それを支持する路盤や荷重伝達装置といった点の問題から舗装構造全体としてみれば破壊したPCプレキャスト版舗装の調査が契機となって、その原因であるグラウト材の品質規定について明らかにすることを目的としたものである。一連の検討を通じて、グラウト材が舗装構造全体の挙動に及ぼす影響が明らかになり、グラウト材の重要性が認識された。このグラウト材に対する新たな要求事項としては、水浸条件下での過剰な荷重の繰返し作用に対する耐久性といったものを設けることの必要性が指摘できる。

結論では材質について具体的な数値を挙げなかったが、次のようなものが参考にできよう。まず、流動性については、裏込め用、ジョイント孔充填用ともに20秒（前者

は40分経過時・JA漏斗使用，後者は20分経過時・J漏斗使用）が考えられる。また，強度として，一軸圧縮強度でみれば裏込め用で50kgf/cm²，ジョイント孔充填用では400kgf/cm²が考えられる（材齢としては早期交通解放の場合には3時間程度とする）。繰返し載荷試験においては，載荷応力としては，それぞれ，20kgf/cm²，500kgf/cm²が考えられ，繰返し回数としては設計耐用期間中の交通量そのものとすればよからう（試験時の材齢は7日程度で，水浸状態で実施）。

また，従来より用いられているセメントミルクに代わるものとして検討した，3種類の材料については実用的なものとなりうることがわかった。これらの実用化にあたっては，現場施工を行って，試験もしくは供用時の挙動を吟味することが必要であろう。

（1995年9月29日受付）

参 考 文 献

- 1) 佐藤勝久，福手 勤，山崎英男，犬飼晴雄：ホーンジョイントによるPCプレキャスト版舗装の開発，港湾技術研究所報告，第19巻，第4号，pp.101～128，1980。
- 2) 第三港湾建設局大阪空港工事事務所：大阪国際空港バイパス誘導路新設工事にもなうPCプレキャスト版舗装について，第16回空港土木工事報告会，54p.，1981。
- 3) 第三港湾建設局大阪空港工事事務所：大阪国際空港におけるPCプレキャスト版による空港舗装について，第24回空港土木工事報告会，89p.，1989。
- 4) 第三港湾建設局大阪空港工事事務所：大阪国際空港W-2誘導路舗装体調査報告書，129p.，1992。
- 5) Federal Aviation Administration:FAA Advisory Circular, AC150/5230-6C, 159p., 1978.
- 6) 佐藤勝久，八谷好高，上中正志，犬飼晴雄，川本幸広，塚田 悟：沈下したプレストレストコンクリート舗装版のリフトアップ工法の開発，港湾技術研究所報告，第28巻，第2号，pp.49～76，1989。
- 7) 八谷好高・上中正志・早田修一・森 好生：PC舗装のリフトアップ工法の現場実証試験，港湾技研資料，No.689，19p.，1990。
- 8) 土質工学会（編）：土質工学ハンドブック，技報堂，1317p.，1965。
- 9) 植下 協：舗装の力学（第3回），舗装，第8巻，第1号，pp.35～37，1973。
- 10) 植下 協：舗装の力学（第4回），舗装，第8巻，第2号，pp.32～35，1973。
- 11) Yorder, E.J., Witzak, M.W.: Principles of Pavement Design, 2nd Ed., John Wiley & Sons, 711p., 1975.

港湾技研資料 No.818

1995・12

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 横浜ハイテクプリンティング株式会社

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.

Copyright © (1995) by P.H.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.H.R.I.

この資料は、港湾技術研究所所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。