

空港PC舗装版下に用いるグラウト材の高耐久性化に関する検討

早野公敏¹・北詰昌樹²・青山敏幸³・中野正一⁴・宮脇賢司⁵

¹正会員 博(工) 横浜国立大学 大学院工学研究院 システムの創生部門 (〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5)

²正会員 工博 独立行政法人 港湾空港技術研究所 (〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1)

³正会員 工修 株式会社ピーエス三菱 技術本部 開発技術部 (〒104-8215 東京都中央区晴海 2-5-24)

⁴三菱マテリアル株式会社 セメント事業カンパニー 生産管理部 (〒100-8117 東京都千代田区大手町 1-5-1)

⁵理修 住友大阪セメント株式会社 セメント・コンクリート研究所 (〒274-8601 船橋市豊富町 585 番地)

本研究は、空港PC舗装版下に充てんしたグラウト材の一部が粉砕した結果を踏まえ、グラウト材が粉砕した原因の推定、および粉砕を防止するための材料面の対策について検討した結果をとりまとめたものである。PC版端部を載荷点とした疲労載荷試験を行った結果、グラウト材が粉砕した原因は、PC版とグラウト材との間に隙間ができ局所的な応力が作用した場合、または路盤内に存在する滞水等の影響によりグラウト材の強度が基準値を下回る場合に生じる可能性が高いものと推測された。この結果を踏まえ、グラウト材の粉砕を防止するための対策として、滞水が存在する場合においても、所定の品質を確保するため、水中不分離性を付与させたグラウト材を開発した。

Key Words : grout, durability, model test, failure

1. はじめに

埋立地や高盛土部に建設された空港コンクリート舗装版は、空港供用後の地盤の沈下や不同沈下に伴い、舗装面の平坦性が損なわれるケースや、路盤内に生じる空隙により版自体が破損するケースが考えられる。

このような問題を同時に解決する技術として、リフトアップ工法¹⁾が開発された。本工法は、耐荷性に優れ、かつ自重も軽いプレストレストコンクリート舗装版(以下PC版と称す)を対象に、沈下した部分にジャッキ装着金具、ジャッキ反力盤を設置した後に、専用油圧ジャッキを所定間隔に配置し、コンピュータ制御によりPC版を所定の高さに持ち上げ、その隙間にグラウト材を充てんすることにより、不同沈下に対する補修や勾配修正を行うものである。隙間に充てんするグラウト材は、流動性、強度特性、疲労耐久性等に関する検討^{2),3)}に基づき、表-1に示す配合の材料が開発されている。しかし近年、PC版の目地近傍部においてグラウト材が粉砕され、これが路盤内の滞水とともに目地部から噴き上がるポンピング現象が発生した。

本研究は、グラウト材が粉砕された原因の推定、および粉砕を抑制する材料の開発を目的として、各種試験を

実施した結果をとりまとめたものである。

2. 疲労載荷試験に基づくグラウト材の耐久性調査

(1) 試験概要

a) 供試体の構成

既往の研究²⁾では、直径10cm、高さ20cmの円柱供試体を用いて水中環境下での疲労載荷試験を実施し、グラウト材の耐久性に問題のないことを確認している。一方、今回ポンピングが生じた箇所は、PC版とグラウト材との間に隙間が生じていたこと、また路盤内は滞水しやすい環境にあった。そこで本試験では、実際にポンピング現象が生じた環境に近い状況にて疲労載荷試験を行った。

供試体の構成を図-1に示す。試験は、台座コンクリート、模擬路盤、グラウト材、PC版から構成した。模擬路盤には、作製が容易であること、所定の地盤反力係数が確保できること、ばらつきが少ないことを考慮して発泡スチロールを用いた。

表-1 グラウト材の配合

材料A			材料B		
水結合 材比	(kg/m ³)		水結合 材比	(kg/m ³)	
	結合材	水		結合材	水
58	1075	622	50	1178	589

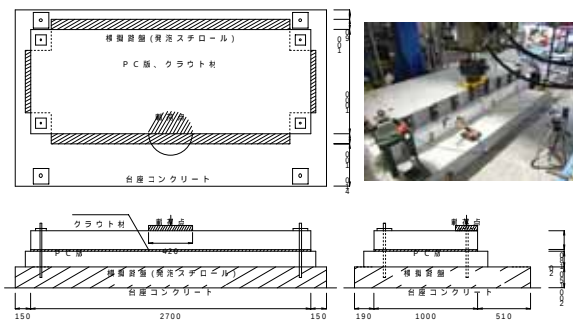


図-1 供試体の構成

グラウト材の充填厚さは代表的に 20mm とし、四辺に厚さ 10mm の鋼製プレートを模擬路盤上にセットして型枠を作り、2 層にわけてグラウト材を充てんした。また今回ポンピングが生じている箇所が目地部近傍であること、PC 版に作用する応力は中央部载荷に比べて縁部载荷が大きくなる傾向にあることから、本試験でも PC 版の縁部に载荷することとした。

b) 試験パラメータ

本試験では、比較的良好に用いられているグラウト材料 A と材料 B を対象にした。材料 A、B は結合材にセメント系成分を用いている。表-1 に結合材と水の配合を示す。材料 A、B ともに、表-2 に示す性能を満たし、低弾性であることが特徴である。両者の適用ケースに違いはないが、材料 B のほうが A に比較して変形係数と圧縮強度が若干大きい。

疲労载荷試験のケースを表-3 ならびに図-2 にそれぞれ示す。PC 版とグラウト材の隙間の有無、滞水の有無、グラウト材の品質（水結合材比）をパラメータとして疲労载荷試験を実施した。

case-1 は、PC 版とグラウト材には隙間ならびに滞水が

ない状態であり、設計で想定されたケースとした。

case-2 は、PC 版とグラウト材に隙間が生じた状態を模擬したものである。隙間は、台座コンクリートと PC 版との間にばねを配置することにより、除荷時には隙間が 1mm、载荷時には隙間が閉じるようにした。なお载荷側の反対側には隙間を設けず、载荷により隙間が閉じた際にはグラウト材全面に荷重が作用するものとした。

case-3 は、case-2 と同一条件とし、さらに模擬路盤、グラウト材、PC 版の一部を水で浸せきさせることにより、路盤内を滞水環境とした。

case-4 は、路盤内の滞水によりグラウト材の品質が低下したケース、すなわちグラウト材の水結合材比が大きい状態とした。具体的には材料分離が生じない範囲で表-2 の圧縮強度 2N/mm^2 になるべく近づくような水結合比に決定した。材料 A は、 2N/mm^2 の圧縮強度に近い水結合比として 105% とし、材料 B は、水結合比が 55% を超えると、材料が分離かつブリーディングも発生する状況になったため、材料分離が生じない範囲で水結合材比なるべく大きくなるよう、5% 増の 55% とした。

case-5 は、case-2 と同様に PC 版とグラウト材に隙間を設けた状態を模擬したものであるが、case-2 は隙間が閉じるとグラウト材全面に荷重が作用するのに対し、case-5 は版の反対側にも隙間を設けることにより、PC 版とグラウト材の隙間が閉じた際には、グラウト材の载荷点付近に局所的な荷重が作用する状態とした。

c) 载荷方法

载荷荷重は、現地の PC 版を設計する際に算出されている PC 版の縁部応力 (6.3N/mm^2) 相当が、PC 版下縁部に作用するように、今回の試験モデルの FEM 解析を実施した。その結果をもとに、上限荷重は 97.3kN 、下限荷重は 6kN として、周波数 0.5Hz にて繰返し载荷を行った。なお繰返し回数 40000 回とし、グラウト材の粉碎が著しい場合は途中で試験を終了した。

表-2 従来のグラウト材の性能

圧縮強度	材齢 2 時間	範囲（応力度エリア）に入っていること
	材齢 7 日	2N/mm² 以上
変形係数		材齢 7 日で 300N/mm² 以上
可使時間		40 分以上
流動性		14±3 秒（JA ロート法にて）
ブリーディング		1%以下

(2) 試験結果と考察

case-1～case-5の材料A，材料Bの疲労載荷試験の結果を表-4に，疲労載荷試験終了後のグラウト材の状況を写真-1にそれぞれ示す。

グラウト材とPC版に隙間がないcase-1は，材料A，材料Bともに40000回の繰返し載荷に対しても，グラウト材は健全な状態を保っていた。グラウト材とPC版との間に隙間を設けたcase-2，case-2の条件に加えグラウト材を水で浸せきさせたcase-3でも，グラウト材にひび割れが生じたが，グラウト材の粉砕には至らなかった。しかし，case-3の状況に加え，グラウト材の水結合材比を大きくした状態のcase-4，PC版とグラウト材との間に隙間を設けて，グラウト材に局所的な応力が生じる状態のcase-5では，グラウト材の粉砕が生じた。

疲労載荷試験の結果より，グラウト材とPC版に隙間がない場合は，グラウト材に繰返し荷重が作用しても性能に問題のないことを確認した。一方，グラウト材の粉砕が生じる原因として，

- ・PC版とグラウト材の間に隙間ができ，設計以上の局所的な応力がグラウト材に作用する，
- さらに，

- ・路盤内に存在する滞水等の影響により，グラウト材の施工後の品質が設計で要求される基準値を下回っている，

ことが考えられた。そこで本研究では，以降に述べるようにグラウト材の品質低下を防ぐ方針に焦点を絞り，検討を行った。

3. 改良品グラウト材の目標性能

(1) 改良品グラウト材の開発の方向性

今回対象としているようなPC版1ユニットの寸法が100m程度に及ぶ場合は，グラウト材の注入孔，排出孔の近傍であれば滞水を取り除くことが可能であるが，その間については滞水している箇所の特定が困難である。そこで本試験では，グラウト材の粉砕を防止するための材

表-3 試験ケース

	PC版とグラウト材の隙間	滞水	水結合材比	材料A	材料B
case-1	なし	なし	通常	○	○
case-2	あり (1mm)			あり	○
case-3		○			○
case-4		大	○		○
case-5	通常	-	○		

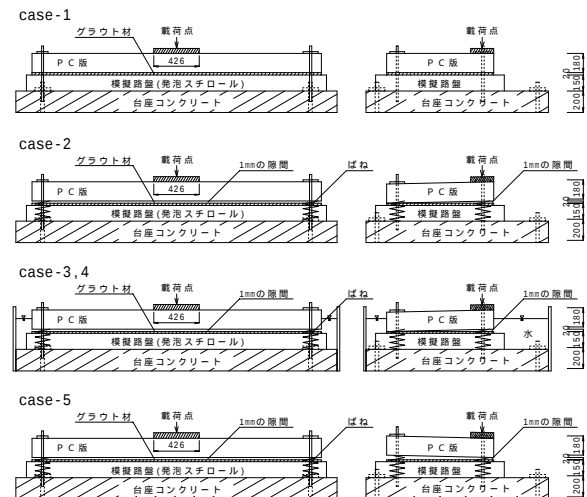


図-2 各試験ケースの載荷方法

表-4 疲労載荷試験の結果

	材料A		材料B	
	状態	載荷回数	状態	載荷回数
case-1	損傷なし	40000	損傷なし	40000
case-2	ひび割れあり・粉砕化なし	40000	ひび割れあり・粉砕化なし	40000
case-3	ひび割れあり・粉砕化なし	40000+3000	ひび割れあり・一部粉砕化	40000
case-4	粉砕化	6000	粉砕化	40000
case-5	-	-	粉砕化	40000

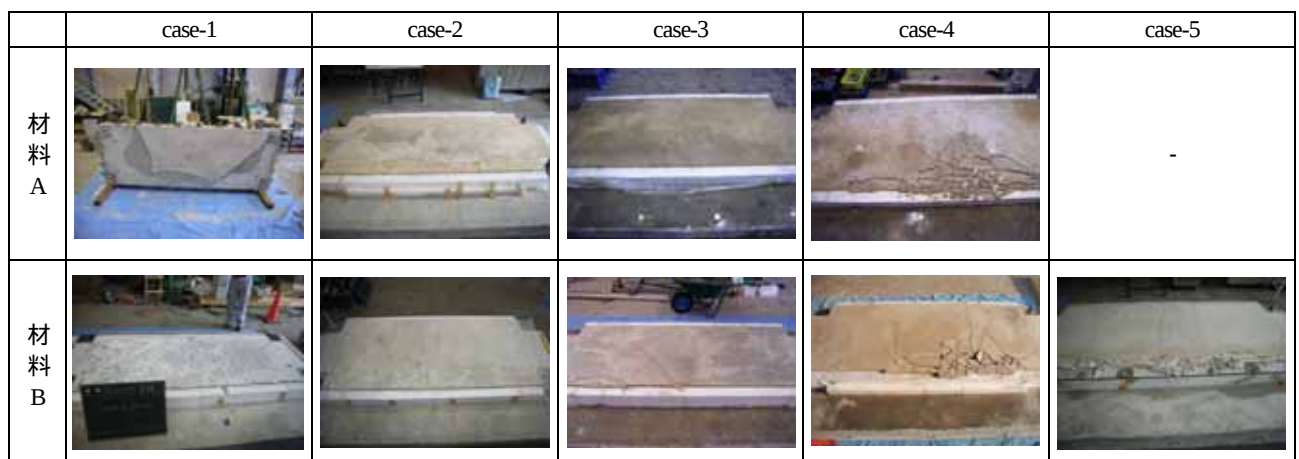


写真-1 疲労載荷試験終了後のグラウト材の状況

料的対策のひとつとして、路盤内に滞水している箇所が存在しても、滞水の影響による強度低下を抑制するため、水中不分離性を付与させたグラウト材を開発するものとした。

(2) 強度に関する目標性能

従来品グラウト材の材齢2時間後の圧縮強度の規定は、多層弾性版理論（BISAR）と有限要素法を用いて、航空機荷重がPC版の中央に載荷した際に、グラウト材の変形係数に応じて発生する圧縮応力、引張応力以上の値を、グラウト材の強度に関する基準値として、表-2に示すように設定している²⁾。また材齢7日の圧縮強度は、PC舗装の設計基準において上層路盤に要求される性能に着目し、上層路盤材にセメント安定処理材を用いたときに要求される一軸圧縮強度と同じ 2.0N/mm^2 以上を規定している。

しかし、今回グラウト材の粉砕が生じた箇所は、PC版端部であることから、今回はPC版端部を模擬した解析モデルを作成し、ボーイング747-400 1脚4輪（ $P=910\text{kN}$ ）をPC版端部に載荷させた際に、グラウト材の変形係数に応じて発生する圧縮応力、引張応力以上の値を、グラウト材の強度に関する基準値として設定した。

なお解析は図-3に示すモデルを、解析条件は表-5に示す値を用いて、2層（PC舗装版+グラウト材）の版がバネにて支持された状態のモデルとした。

グラウト材の厚さは50mmと100mmの2ケースとし、変形係数は $300\text{N/mm}^2 \sim 20000\text{N/mm}^2$ の間の7ケースとした。路盤支持力係数は、PC舗装を用いた場合に最低限必要とされる路盤支持力係数 $k=0.07\text{N/mm}^3$ となるように、メッシュサイズに応じてバネ値を設定した。また実構造物では、PC版下に剥離シートを設けているため、PC版とグラウト材の層間に滑りが生じる可能性が考えられるが、今回の解析では層間の付着特性（PC版とグラウト材の滑り）は考慮しないものとした。

以上の条件のもとで解析し、変形係数に応じた圧縮応力と引張応力の解析結果の最大値を抽出したグラフを図-4、図-5にそれぞれ示す。

改良品グラウト材の圧縮強度に関する目標性能は、材齢2時間では図-4の斜線部内に入る材料を、材齢7日では従来の設計思想を踏襲し、 2.0N/mm^2 以上を満足する材料とした。また引張強度に関する目標性能は、材齢7日では図-5の斜線部内に入る材料とした。

(3) 充てん性に関する目標性能

グラウトの充てん性は、施工時間に影響を及ぼす重要な事項である。しかし水中不分離性の効果を高めるほどグラウト材の粘性が増加し、流動性が低下する可能性が高い。

そこで今回は、後述するグラウト材の充てん性試験器により充てん時間の測定を行い、従来品グラウト材に比

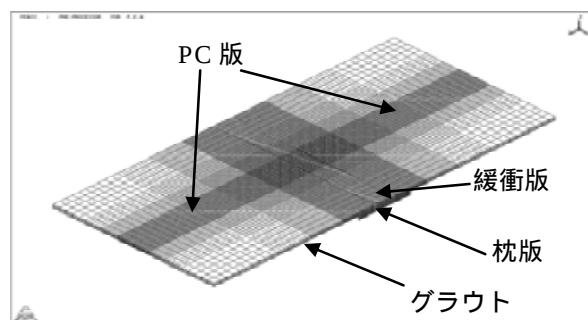


図-3 FEM 解析のモデル

表-5 FEM 解析条件

	寸 法	弾性係数 (N/mm^2)
PC版	$10\text{m} \times 10\text{m} \times t=180\text{mm}$	34000
緩衝版	$1.04\text{m} \times 10\text{m} \times t=180\text{mm}$	34000
枕版	$3.2\text{m} \times 10\text{m} \times t=180\text{mm}$	34000
グラウト	$t=50\text{mm}$, $t=100\text{mm}$	300,500,1000,3000,5000,10000,20000の7ケース
路盤支持力係数	$k=0.07\text{N/mm}^3$ (メッシュサイズに応じて、バネ値を算出)	

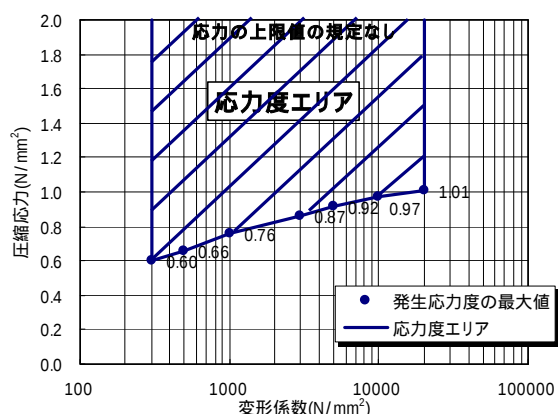


図-4 圧縮応力 - 変形係数の関係

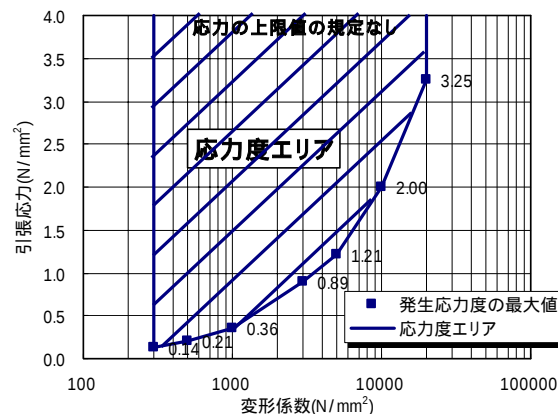


図-5 引張応力 - 変形係数の関係

べて2倍程度以内で充てんできる材料を目標性能として、最終的には模擬版により充てん性、充てん時間等を確認するものとした。

4. 改良品グラウト材の強度特性

(1) 気中環境下におけるグラウト材の強度試験

改良品グラウト材の材齢 2 時間後の圧縮強度、変形係数、材齢 7 日後の圧縮強度、引張強度、変形係数の結果を表-6 に示す。表に示す結果より、気中環境下においては圧縮強度、引張強度ともに、強度に関する目標性能を十分に満足していた。

(2) 滞水環境下におけるグラウト材の強度試験

a) 試験方法

滞水環境下におけるグラウト材の強度を評価するための試験装置と方法を図-6 に示す。試験は、グラウト材充てん性試験器内の充てん厚さの 1/3 にあたる 5mm が滞水している環境に、試験器の底面から水頭差 1m の自然流下方式によりグラウト材を充てんし、充てん位置、充てん位置から 1m、2m、3m、4m 位置のグラウト材を直ちに採取し、圧縮強度用供試体を作製することにより、滞水環境にグラウト材を充てんした際の圧縮強度を従来品グラウト材と改良品グラウト材で比較した。

b) 試験結果と考察

材料 A、材料 B について、材齢 7 日の気中環境下で採取したグラウト材（管理供試体）の圧縮強度を基準とした場合の、グラウト採取位置ごとの圧縮強度との比の関係を示したグラフを図-7、図-8 にそれぞれ示す。

従来品グラウト材は、材料 A、材料 B とともに充てん位置から近い箇所では管理供試体と水中充てん供試体の強度差は小さいが、充てん性試験器の先端部にいくに従い、管理供試体と水中充てん供試体の強度差が大きくなる傾向にあった。この理由としては、従来品グラウト材は、注入速度が速く、グラウト材の先端部は水と混じりながら潜行し、水を押し出すことができないため、グラウト材の先端部ほど管理供試体と水中充てん供試体の強度差が生じたものと考えられる。

一方改良品グラウト材は、材料 A、材料 B とともに、グラウト材の先端部においても管理供試体と水中充てん供試体による強度差は小さく、今回開発した材料が水中不分離性を有していることを確認した。改良したグラウト材は、従来品に比べてグラウト材が水と混じることが少なく、水とグラウト材の境界を明確に保ちつつ、水を押出しながらグラウト材が充てんされる傾向にあるため、グラウト材の先端部においても管理供試体と水中充てん供試体による強度差は小さかったものと考えられる。

表-6 改良品グラウト材の強度特性

材齢		材料 A	材料 B
2 時間	圧縮強度 (N/mm ²)	2.0	5.0
	変形係数 (N/mm ²)	530	1231
7 日	圧縮強度 (N/mm ²)	7.4	35.3
	引張強度 (N/mm ²)	3.1	6.8
	変形係数 (N/mm ²)	1058	4253

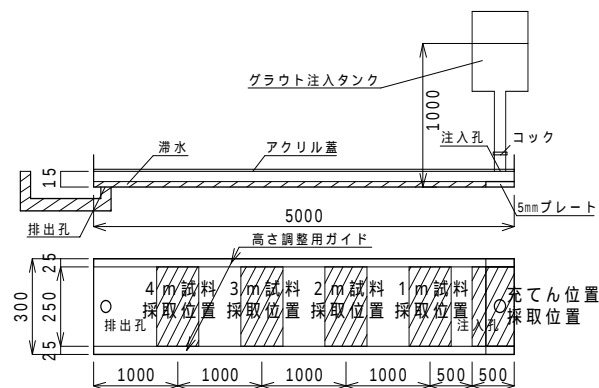


図-6 圧縮強度試験用供試体を採取するための試験方法

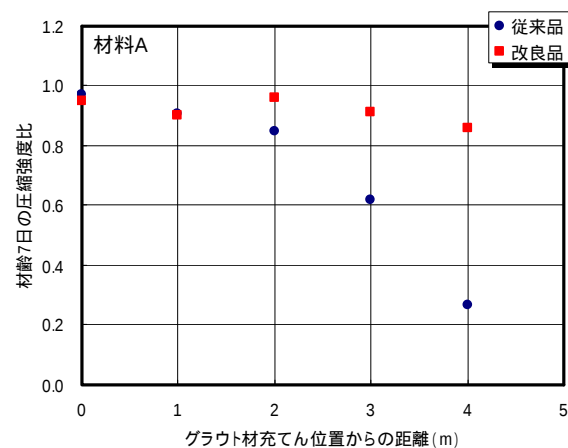


図-7 圧縮強度比とグラウト材注入位置からの距離

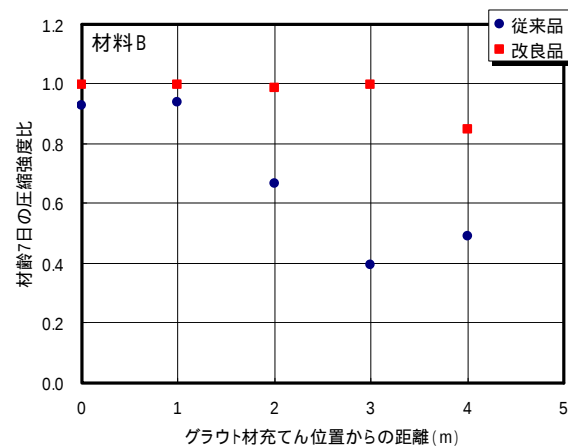


図-8 圧縮強度比とグラウト材注入位置からの距離

5. 改良品グラウト材の充てん性

(1) 試験概要

a) 充てん性試験器を用いたグラウト材充てん性試験

水中不分離性機能を付与させたグラウト材の充てん時間を測定することを目的に、滞水環境下におけるグラウト材の強度試験を実施する際に使用した試験器（図-6）を用いてグラウト材の充てん時間を測定した。

試験ケースを表-7 に示す。試験のパラメータは、充てん厚さとした。試験方法は、グラウト材を水頭差 1m の自然流下により充てんし、グラウト材が排出孔に到達する時間を測定した。

b) 模擬版を用いたグラウト材充てん性試験

実際にグラウト材を充てんする環境に近い状態においてグラウト材の充てん時間、充てん状況、水中分離抵抗性について検討することを目的に、模擬版を用いたグラウト材の充てん性試験を実施した。グラウト材の充てん性試験の概要を図-9 に、試験ケースを表-7 にそれぞれ示す。

試験は、3.2m×4.4m のコンクリート底版と 2.1m×4.4m のコンクリート版の隙間のエリア 1.92m×4.22m（ 8.1m^2 ）にグラウト材を充てんした。底版には、エプロン舗装版と同様に 0.5%の勾配を設けて、勾配の低い方から高い方へグラウト材を充てんした。試験ケースは、グラウト材の充てん厚さ（15mm と 5mm）と路盤内の滞水の有無とした。

滞水なしのケース（case-1～case-4）は、注入孔からグラウト材を充てんし、グラウト材が排出孔に到達するまでの時間を測定した。滞水ありのケース（case-5, case-6）は、水中不分離性の効果を明確にすることを目的に、排出孔からは水を排出させずに試験を実施した。試験方法は、コンクリート版をセットした後に、版にあらかじめ設けておいた滞水の確認孔から 40 リットルの水を注ぎ、グラウト材の充てん容積 160 リットルから水の容積 40 リットルを差し引いた 120 リットルのグラウト材を充てんした。

なおグラウト材の充てんは、0.6m×0.6m×0.74m のタンクにグラウト材をためた後に、32mm のホースを介して、タンク底面から充てん位置までの水頭差を 1m とした自然流下方式により行った。

case-1～case-4 はグラウト材の充てん時間を、case-5、case-6 はグラウト材の充てん厚さを測定した。

(2) 試験結果と考察

a) 充てん時間の測定結果

充てん性試験器ならびに模擬版を用いた際に測定したグラウト材の充てん時間を単位面積あたりの充てん時間に換算した値を表-8 に示す。

case-1（従来品 - 充てん厚さ 15mm）については、材料

A を用いた模擬版を除いては、 1m^2 あたりのグラウト材の充てん時間は約 10 秒であった。

case-2（改良品 - 充てん厚さ 15mm）は、材料 A について、充てん性試験器、模擬版とも、 1m^2 あたりのグラウト材の充てん時間が 17 秒であった。材料 B については 18 秒と 22 秒であり、両材料とも充てん時間の目標値として設定した従来品に比べて約 2 倍の時間でグラウト材の充てんが可能であった。また充てん性試験器を用いた場合の改良品グラウト材は、充てん厚さが case-2（改良品 - 充てん厚さ 15mm）から case-4（改良品 - 充てん厚さ 5mm）と薄くなるに従い、材料の粘性等の影響により充てん時間が著しく増加する傾向にあったが、模擬版を用いた試験では、5mm 厚さの充てんに関しても、15mm 厚さのグラウト充てんと同等以内の時間で充てんできることが確

表-7 試験ケース

装置	装置	滞水	充てん厚さ	材料	材料 A	材料 B
case-1	試験器 模擬版	なし	15mm	従来	○	○
case-2	試験器 模擬版			改良	○	○
case-3	試験器			改良	○	○
case-4	試験器 模擬版			従来	○	○
case-5	模擬版	あり	20mm	従来	○	○
case-6	模擬版			改良	○	○

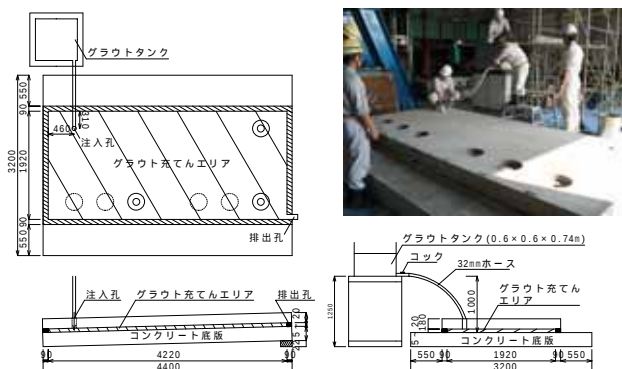


図-9 模擬版を用いたグラウト材の充てん性試験方法

表-8 グラウト材充てん時間の測定結果

	材料	充てん厚さ	材料 A		材料 B	
			試験器	模擬版	試験器	模擬版
case-1	従来	15mm	8	15	10	11
case-2	改良		17	17	18	22
case-3	従来	5mm	9	-	11	-
case-4	改良		24	13	33	14

単位（秒/ m^2 ）

認できた。両者の試験結果の違いの原因は不明であるが、試験装置の境界条件の影響などが考えられる。後者の試験結果から充てん面積が実規模程度に大きくなった場合でも目標の充てん時間に収まることが確認できた。

b) 滞水環境下へのグラウト材の充てん性

滞水ありのケース (case-5, case-6) について、材料 A、材料 B の従来品と改良品におけるグラウト材の充てん厚さを測定した結果を図-10、図-11 にそれぞれ示す。

図-10、図-11 の結果より、従来品グラウト材を滞水環境下に充てんした場合には、グラウト材が水と混じりながら潜行するため、版端部から 2m 程度のエリアからグラウト材の厚さが薄くなる傾向にあったが、改良品グラウト材は、水を押し出しながらかつてんするため、版端部から 3m 程度まではグラウト材の厚さが一定に保持されており、水中不分離の効果が確認できた。

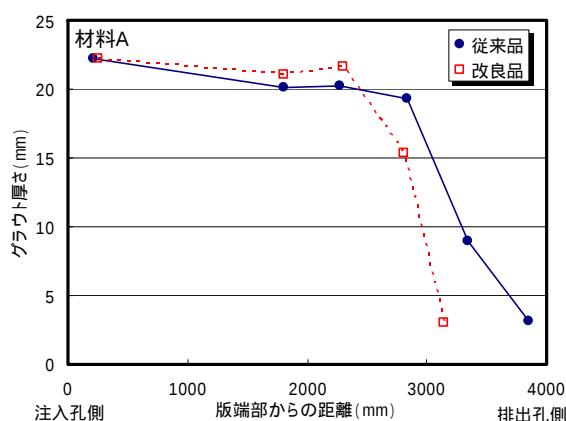


図-10 グラウト材の充てん厚さの測定結果 (材料 A)

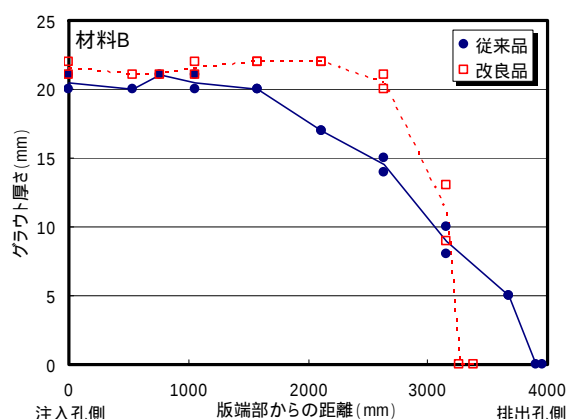


図-11 グラウト材の充てん厚さの測定結果 (材料 B)

6. 改良品グラウト材の疲労耐久性

(1) 試験概要

改良品グラウト材の疲労載荷試験は、2. 疲労載荷試験に基づくグラウト材の耐久性 と同様な手法により行

った。

載荷ステップを表-9 に示す。試験は材料 A、材料 B の改良品グラウト材を用いて、従来品グラウト材と同様な条件で疲労載荷試験を行い、グラウト材の疲労耐久性を確認した。載荷は、設計で想定される状態 (図-2 の case1) から始め、すき間がある場合、さらに滞留水がある場合と条件を段階的に厳しくして実施した。なお、水中不分離抵抗性の改良という観点からは局所的な応力に対する抵抗性は期待できないことが予想されたため、図-2 の case-5 に対応する載荷は省略した。

また本試験では、グラウト材の側面にひずみゲージを貼付することにより、各載荷条件によりグラウト材に発生する応力の推定と、FEM 解析値との妥当性について検討することを目的とした。

(2) 試験結果と考察

a) 疲労載荷試験終了後のグラウト材の状況

材料 A、材料 B の疲労載荷試験終了後のグラウト材の状況を写真-2 に示す。材料 A、材料 B とともに、PC 版とグラウト材に隙間がない状態 (載荷 STEP1) では、載荷によるひび割れは生じなかった。また PC 版とグラウト材に隙間を設けた状態 (載荷 STEP2 以降) では、載荷点近傍とグラウト材の隅角部の一部にひび割れが生じたが、載荷に伴うひび割れの進展、グラウト材の粉砕化は、改良前の同条件の試験結果と同様に認められなかった。したがって水中不分離抵抗性を付加した改良グラウト材は、改良前と同じように疲労載荷に対する耐久性を確保していることが分かった。

b) グラウト材に生じたひずみの測定結果

載荷条件 (PC 版とグラウト材に隙間を設けないケースと、隙間を設けたケース) の変化によりグラウト材に生じるひずみがどのような傾向を示すか、また FEM 解析により算出したグラウト材の応力と実験的に測定した応力との妥当性について確認することを目的に、疲労載荷試験時に、載荷点中心部のグラウト材の上縁と下縁に貼付したグラウト材の動的ひずみを測定した。

材料 A における載荷回数とグラウト材に生じたひずみの測定結果を図-12 に、材料 B における載荷回数とグラウト材に生じたひずみの測定結果を図-13 にそれぞれ示す。なお図中の凡例に示す最小値、最大値は、所定回数ごとに測定した動的データのうち、最大ひずみと最小ひずみを抽出した結果をプロットしたものである。また凡例に示す計算値は、今回の試験体を、3 章で述べた考え方と同様に弾性支床上の 2 層 (PC 版とグラウト材) として、実験時に測定したグラウト材の変形係数、コンクリートの弾性係数を入力して FEM により算出した値を示す。

また図中に示す載荷回数は、0 ~ 1000 回が載荷 STEP1、1000 回 ~ 2000 回が載荷 STEP2、2000 回以降が載荷 STEP3 を示す。

材料A,材料Bともに,PC版とグラウト材に隙間がない場合(载荷 STEP1)は,グラウト材に発生するひずみは比較的安定した挙動を示した。一方,PC版とグラウト材に隙間が生じた場合(载荷 STEP2)は,ひずみの挙動にばらつきが生じる傾向を示した。今回の実験では,グラウト材の表面にゲージを貼付したため,PC版とグラウト材に隙間を設けた载荷 STEP2以降は,载荷途中のゲージのはがれや,グラウト材に微細ひび割れが生じた等の理由により,グラウト材とPC版の隙間がグラウト材に発生する応力を定量的に評価することはできなかったが,

グラウト材とPC版に隙間が生じた場合には,グラウト材に生じるひずみが増加し,グラウト材の破壊を助長する傾向にあった。

また材料A,材料Bともに,グラウト材に生じたひずみの実験値と計算値は,大筋では一致している傾向を示した。

表-9 疲労载荷試験の载荷ステップ

载荷ステップ	载荷状態	载荷回数
STEP1	PC版とグラウト材には隙間がない状態(図-2のcase-1に相当)	1,000
STEP2	PC版とグラウト材には隙間を1mm設けた状態(図-2のcase-2に相当)	1,000
STEP3	PC版とグラウト材には隙間を1mm設けた状態かつ滞水状態(図-2のcase-3,4に相当)	40,000

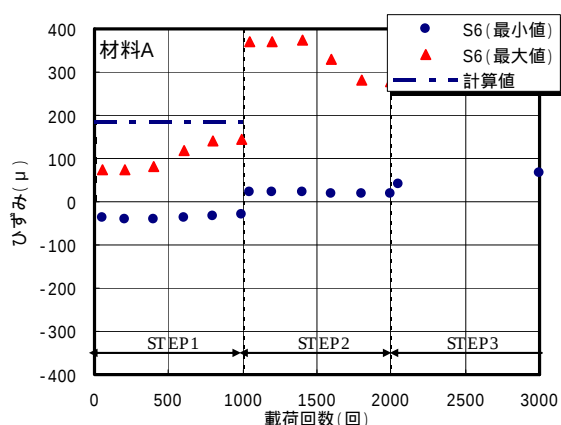


(材料A)

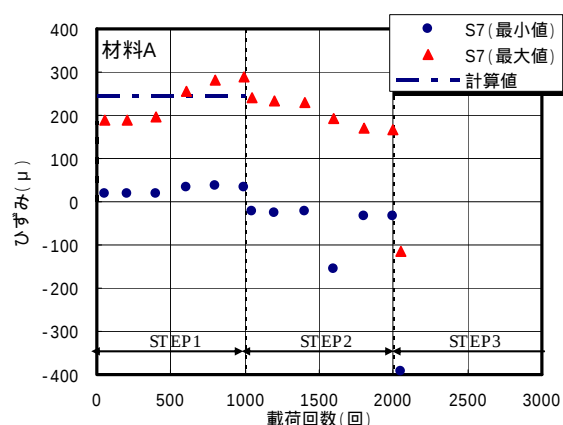


(材料B)

写真-2 疲労载荷試験終了後の改良品グラウト材の状況

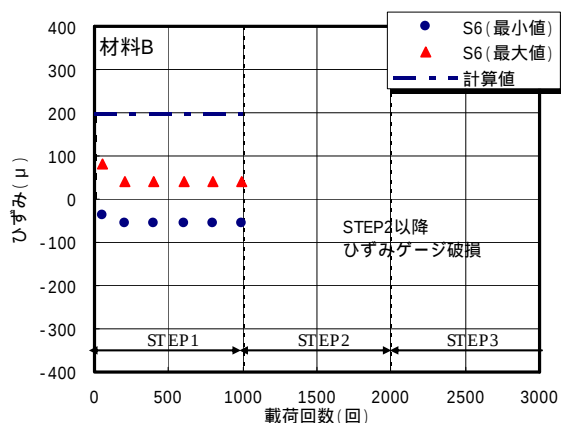


(グラウト材上縁)

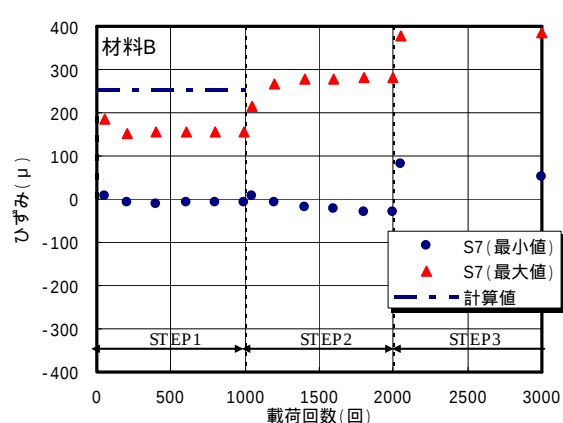


(グラウト材下縁)

図-12 材料Aに貼付したひずみの測定結果



(グラウト材上縁)



(グラウト材下縁)

図-13 材料Bに貼付したひずみの測定結果

7. まとめ

本研究は、空港の PC 舗装版下の一部でグラウト材が粉砕した結果を踏まえ、その原因を推定し、対策について検討した。グラウト材の疲労載荷試験および改良したグラウト材の充てん性試験ならびに疲労載荷試験を実施した結果、下記の内容が明らかとなった。

- (a) PC 版端部を模擬した疲労載荷試験の結果から、PC 版とグラウト材の間に隙間がない場合は、40000 回の繰返し載荷においてもグラウト材は粉砕されなかった。一方、PC 版とグラウト材との間に隙間が局所的な応力が作用した場合、および路盤内に存在する滞水等の影響によりグラウト材の強度が基準値を下回る場合にグラウト材の粉砕が生じる可能性が高いものと考えられた。
- (b) グラウト材の粉砕を防止するための材料的対策のひとつとして、滞水の影響による強度低下を抑制するため、水中不分離性を付与させたグラウト材を開発した。

本研究では、グラウト材の粉砕を抑制するために、水中不分離性を付与させたグラウト材を開発した。しかし、PC 版とグラウト材の間に隙間が生じ局所的な応力が増加すれば、グラウト材が粉砕する危険性が高くなる。

このため、特に目地部近傍では、例えば隙間を定期的にモニタリングするなど、PC 版とグラウト材との間に隙間を長期間生じさせないようにする必要がある。

謝辞：本研究は、独立行政法人港湾空港技術研究所、株式会社ピーエス三菱、三菱マテリアル株式会社および住友大阪セメント株式会社による共同研究の成果をとりまとめたものである。独立行政法人港湾空港技術研究所 八谷好高地盤・構造部長、国土技術政策総合研究所 空港施設研究室 水上純一室長、国土交通省関東地方整備局東京空港整備事務所 岩崎幸男課長をはじめ、試験に関わって頂いた関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 八谷好高, 佐藤勝久, 犬飼晴雄: 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, 土木学会論文集, 第 421 号, -13, pp145-154, 1990.
- 2) 八谷好高, 福手 勤, 梅野修一, 田中 順: コンクリート舗装用グラウト材の品質, 港湾技術研究所資料, No.818, pp.187-197, 1995.12
- 3) 上園 晃, 中島 禎, 宮内 健, 今井泰男, 稲田雅裕: PC 舗装リフトアップ工法に使用するグラウト材の品質に関する検討, 第 1 回舗装工学講演会講演論文集, pp.299-304, 1996.

STUDY ON HIGH DURABLE GROUT MATERIALS FOR AIRPORT PC PAVEMENT

Kimitoshi HAYANO, Masaki KITAZUME, Toshiyuki AOYAMA,
Shoichi NAKANO and Kenji MIYAWAKI

Grout materials were sometimes injected beneath the airport PC slabs to reinforce pavement subgrade. Its strength and deformation at the traffic opening should be precisely designed. However, a few of them were severely damaged in several years. To investigate the cause of failure, the authors conducted a series of model tests, while the grout failure similar to that found in-situ were observed in several test cases. Based on the observations in the tests, new grout materials were developed to assure the sufficient strength, even though they are injected into the water remained beneath the PC slabs.