

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE

OF

THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No. 1183

September 2008

空港PC舗装版下に使用するグラウト材の開発

北詰 昌樹

早野 公敏

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,
Port and Airport Research Institute, Japan

目 次

要 旨	3
1. まえがき	4
2. 現行グラウト材の耐久性調査	4
2.1 材料特性	4
2.2 試験方法および試験ケース	4
2.3 試験結果	6
2.4 粉砕の要因の推定	8
3. 新グラウト材の要求性能	8
3.1 強度に関する要求性能	8
3.2 流動性に関する要求性能	9
3.3 可使時間に関する要求性能	9
3.4 ブリーディングに関する要求性能	9
4. 新グラウト材の開発と特性	10
4.1 強度・変形特性	10
4.2 PC舗装版下に打設されたグラウト材の強度特性	11
4.3 充てん特性	11
4.4 流動性の経時変化	14
4.5 ブリーディング特性	14
5. 模擬舗装版を用いたグラウト材の特性試験	15
5.1 充てん性試験	15
5.2 耐久性試験	19
6. 結論	23
謝辞	23
参考文献	24

Development of High Durable Grouting Materials for Injection beneath Airport PC Pavement

Masaki KITAZUME *
Kimitoshi HAYANO**

Synopsis

World-wide globalization of aircraft transportation has promoted to construct new airports or to expand current airports for aiming a status of hub airport in regional areas. As airport requires huge area space for facilities, some of recent airports are constructed on a reclaimed land at coastal area. Relatively large ground settlement may take place after opening of airport due to consolidation in soft ground. In order to mitigate the adverse settlement effect, the Up-Lift Method was developed in which PC slabs are lift up and grouting material is injected in openings beneath the pavements for compensating the ground settlement. The strength and deformation characteristics of the grouting material should be precisely designed to assure safety traffic of aircrafts.

In several years ago, some PC pavements were severely damaged where the grouting material was broken into pieces and squeezed up onto the pavement by repeated aircraft passings. The authors conducted a series of cyclic loading tests to investigate the cause of the damage and develop the countermeasure, while the breakage of the grouting material similar to that found in-situ was observed in several test cases. Based on the observations in the tests, new grouting materials are developed to assure the sufficient strength, even though they are injected into the water remained beneath the PC slabs. In this article, a series of the cyclic loading tests on the current grouting materials and on the new-developed grouting materials are described briefly as well as the material property.

Key Words: grout, injectability, durability, PC pavement, cyclic loading test

* Director, Geotechnical and Structural Engineering Department

** Associate professor, Yokohama National University, (formaly, Senior Researcher, Geotechnical and Structural Engineering Department)

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5037 Fax : +81-46-844-0255 e-mail: kitazume@pari.go.jp

空港PC舗装版下に使用するグラウト材の開発

北詰 昌樹*
早野 公敏**

要 旨

近年の空港建設は軟弱な沿岸部を埋め立てて建設される事例が多く見られる。このような空港では、供用後に大きな沈下が生ずることが多く、空港施設を閉鎖することなく、いかにして沈下対策を行うかが大きな課題となっている。ひとつの解決策として、エプロン部のPC舗装版とリフトアップ工法の組み合わせが開発され実用化されている。近年、PC舗装版を設置したエプロンにおいて、航空機がエプロン上を通過する時にPC舗装版の端部から水が噴き上げる現象（ポンピング現象）が生じた。これについて、構造的対策としてはPC舗装版端部と緩衝版を一体化する構造とともに、航空機通過時に目地から水が上方に噴出しない目地構造の改良が挙げられる。一方、材料的対策としては、充てん性に優れ、ポンピング現象を生じさせないようなグラウト材の開発が挙げられる。

本研究では、材料的対策として、現行のグラウト材の性能確認に基づき、構造・施工上の要求を満足する新しいグラウト材を開発することとした。研究では、まず、現在用いられているグラウト材の耐久性の調査を行い、新しいグラウト材の要求性能の設定を行い、これらの要求性能を満足するグラウト材を開発した。開発したグラウト材について、模擬舗装版を用いたグラウト材の充てん性試験と疲労載荷試験を用いた耐久性調査を行い、その有効性を確認した。

キーワード：グラウト，充てん性，耐久性，PC舗装，載荷疲労試験

* 地盤・構造部 部長

** 横浜国立大学 大学院工学研究院システムの創生部門 准教授（前、地盤・構造部 主任研究官）
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 独立行政法人 港湾空港技術研究所
電話：046-844-5037 Fax：046-844-0255 e-mail: kitazume@pari.go.jp

1. まえがき

近年の空港建設は軟弱な沿岸部を埋め立てて建設される事例が多く見られる。このような空港では、供用後に大きな沈下が生ずることが多く、空港施設を閉鎖することなく沈下対策を行うのが大きな課題となっている。ひとつの解決策として、エプロン部の PC（プレストレストコンクリート）舗装版とリフトアップ工法の組み合わせが開発され実用化されている^{1),2)}。PC 舗装版は、縦 100m、横 80m 程度を 1 つのユニットとした構造であり、ユニット間は PC 鋼材を緊張させた後に幅 2m 程度の PC 舗装版（緩衝版）が施工される。また、図-1 に示すように緩衝版と PC 舗装版端部の下面にはコンクリート製の枕版が設置されており、両者の間の段差を防ぐ構造となっている。

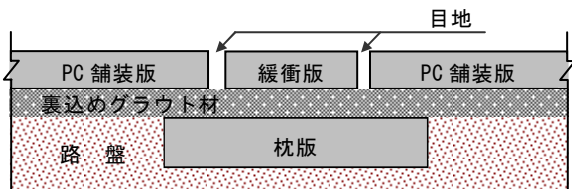


図-1 PC 舗装版の構造（概略図）

近年、PC 舗装版を設置したエプロンにおいて、航空機がエプロン上を通過する時に PC 舗装版の端部から水が噴き上げる現象（ポンピング現象）が生じ、目地部近傍には図-2 に示すような細粒化した裏込めグラウト材が噴出する事例が生じた。この原因として、地盤の不同沈下が生じて目地部から雨水が PC 舗装版下へ浸入し、航空機荷重が繰返し作用したことで裏込めグラウト材が細粒化し、さらに PC 舗装版下の滞水と混じり合って PC 舗装版と緩衝版の隙間からエプロン上に吹き上がったことと考えられた。



図-2 細粒化した物質の噴出し状況

本研究では、上記の問題を解決するために、現行のグラウト材の性能確認に基づき、構造・施工上の要求を満足する新しいグラウト材を開発することを目的とした。研究では、まず、現在用いられているグラウト材の耐久性の調査を行い、新しいグラウト材の要求性能の設定を行い、グラウト材の開発を行った。次に、開発したグラウト材について、充てん性試験と耐久性調査を行った。

なお、本グラウト材の開発は、(株)ピーエス三菱、三菱マテリアル(株)ならびに住友大阪セメント(株)と共同で行った研究であり³⁾、研究の一部は既に発表している⁴⁾。

2. 現行グラウト材の耐久性調査

2.1 材料特性

リフトアップ工法に使用される裏込めグラウト材は、図-1 に示すように PC 舗装版と路盤の空隙を充てんするための材料であることに加え、グラウト充てん後にエプロンの早期供用が可能となるよう早期の強度発現が要求されている。そのためグラウト材には、①流動性が高く充てん性に優れていること、②材料分離抵抗性に優れていること、③早期強度発現性があること、④低弾性材料でたわみ追従性に優れること、⑤ブリーディングが少ないこと、等が要求されている。本研究で対象とした現在用いられている 2 種類のグラウト材（A および B）は、セメント系材料をベースにしたグラウト材で、空港・道路舗装の裏込め材の分野で用いられているものと同種のもので、その性能を表-1 に示した。これらのグラウト材は、空港エプロン部のリフトアップ工法用に開発され、雨水や地下水を想定した湿潤状態での繰返し荷重下での耐久性も確認されているものである⁵⁾。

表-1 グラウト材の配合と強度特性

	A (現)	B (現)
配合 (水結合材比)	58.7 %	50 %
圧縮強度 (材齢 2 時間)	2N/mm ² 以上	2N/mm ² 以上
変形係数	500 ~ 2000N/mm ²	2000N/mm ²

2.2 試験方法および試験ケース

本研究では実際にポンピング現象が生じた環境に近い状況を模擬するため、模擬路盤と PC 舗装版を製作し、その間にグラウト材を充てんした後、40,000 回までの疲労載荷試験を実施した。疲労載荷試験の状況ならびに

構成を図-3 と図-4 にそれぞれ示した。試験装置は、台座コンクリート、模擬路盤（発泡スチロール）、グラウト材、PC 舗装版から構成されている。PC 舗装版は、長さ 2.7m、幅 1.0m、厚さ 18cm の PC である（図-4）。本試験では、PC 舗装版下面にグラウト材と PC 舗装版が付着しないように剥離シートを貼っている。模擬路盤として、本試験では厚さ 150mm の発泡スチロール板を用いた。コンクリート舗装での路盤支持力係数、 k_{75} が $0.07\text{N}/\text{mm}^3$ 程度となるように、厚さ 75mm で、硬度が $30\text{kg}/\text{m}^3$ と $40\text{kg}/\text{m}^3$ の硬質発泡スチロールを 2 層重ねて用いた。

荷重は、ポンピング現象が生じている箇所が目地部近傍であること、PC 舗装版に作用する応力は中央部荷重に比べて縁部荷重が大きくなる傾向にあることを考慮し、本試験では PC 舗装版の縁部に荷重するものとした。

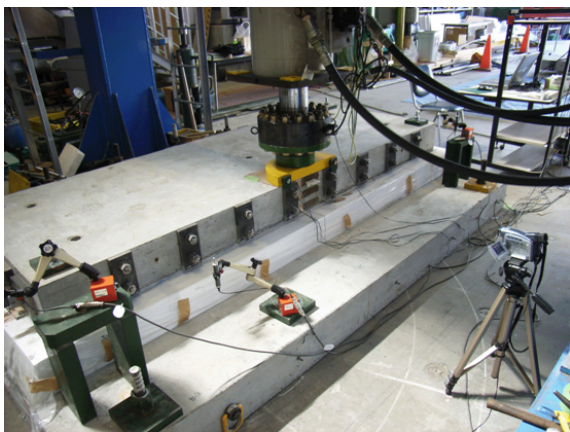


図-3 疲労荷重試験の状況

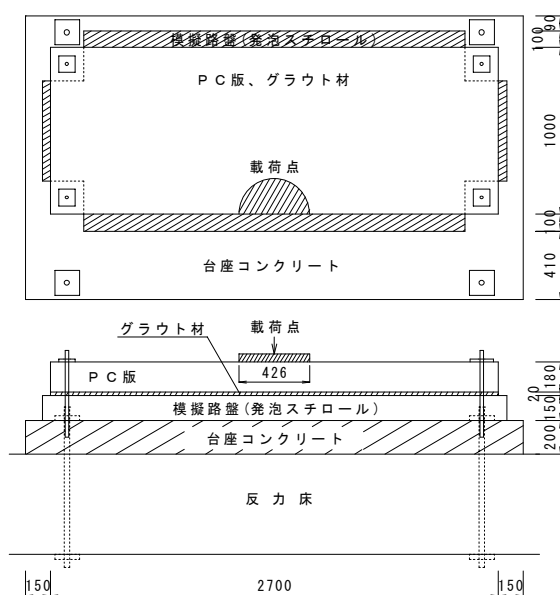


図-4 疲労荷重試験の概略図（単位：mm）

荷重は、現地の PC 舗装版を設計する際に算出されている PC 舗装版の縁部応力 ($6.3\text{N}/\text{mm}^2$) 相当が PC 舗装版下縁部に作用するように、最大荷重 106.6kN (case-1 は 97.3kN)、最小荷重 6.0kN 、周波数 0.5Hz とした。繰り返し回数は $40,000$ 回を基本としたが、グラウト材の粉砕が著しい場合は途中で試験を終了した。

試験ケースは表-2 に示すように、PC 舗装版とグラウト材との隙間の有無、滞水の有無、グラウト材の品質を変化させた。case-1 は、PC 舗装版とグラウト材との間に隙間も滞水もない状態であり、当初の設計で想定されたケースである。case-2 は、PC 舗装版とグラウト材との間に隙間が生じた状態を想定したものである。ただし PC 舗装版とグラウト材との隙間は、荷重側で約 1mm とし、荷重反対側には隙間を設けないものとした。case-3 は、case-2 と同じ条件で、模擬路盤、グラウト材、PC 舗装版の一部を浸水させることにより、路盤内が滞水している環境であることを想定したケースである。case-4 は、PC 舗装版の注入孔と排出孔の間の空隙内に滞水し、かつグラウト材の水結合材比を大きくした状態（グラウト材と水が混じり合って品質が低下した状態）を想定したケースである。グラウト材 A は 58.7% の水結合材比に対して、圧縮強度基準である $2\text{N}/\text{mm}^2$ に近い値を目標に水結合材比を 105% に、グラウト材 B は、当初の 50% を材料分離が生じない範囲の 55% まで水結合材比を増加させた。一方、case-5 は、PC 舗装版とグラウト材の間に隙間を設けた状態を模擬したものであるが、荷重位置と反対側にも隙間を設けることにより、荷重によってグラウト材にも局所的な応力が生じる状態を想定したケースである。

なお、case-1～case-4 は、グラウト材 A と B の両方で実施したが、case-5 についてはグラウト材 B についてのみ実施した。

表-2 荷重ケース

	PC 舗装版とグラウト材の隙間	滞水	水結合材比
case-1	なし	なし	58.7% (A) 50% (B)
case-2	あり (約 1mm)	なし	
case-3		あり	105% (A) 55% (B)
case-4			50% (B)
case-5			50% (B)

今回の試験では、実際のリフトアップ工事を模擬して、厚さ 20mm のグラウト層を2層に分けて作製した。まず、1層目は図-5 に示すように、四辺に厚さ 10mm の鋼製プレートをセットし、グラウト材を充てんした。2層目のグラウト材は、1層目打設後 2～3 時間養生の後に PC 舗装版をセットし、四辺に1層目と同様に鋼製プレートをセットした後に PC 舗装版とプレートの間をシーリングし、図-6 に示すように、注入孔よりグラウト材を自然流下させて充てんした。



図-5 1層目グラウト材の充てん方法



図-6 2層目グラウト材の充てん方法

2.3 試験結果

case-1 について、荷重試験終了後のグラウト材 A および B の状況を図-7 (a) と (b) にそれぞれ示した。A、B いずれのグラウト材に関しても、荷重面および周辺にグラウト材の損傷は見られなかった。



(a) グラウト材 A



(b) グラウト材 B

図-7 荷重後のグラウト材の状況 (case-1)

case-2 について、荷重試験終了後のグラウト材 A および B の状況を図-8 (a) と (b) にそれぞれ示した。A、B いずれのグラウト材に関しても、PC 舗装版の荷重面側にひび割れが生じたが、粉砕には至らなかった。



(a) グラウト材 A



(b) グラウト材B

図-8 載荷後のグラウト材の状況 (case-2)



(b) グラウト材B

図-9 載荷後のグラウト材の状況 (case-3)

case-3 について、載荷試験終了後のグラウト材AおよびBの状況を図-9(a)と(b)にそれぞれ示した。グラウト材Aについては、40,000回載荷後にPC舗装版側面から目視で調べたが粉砕は確認できなかった。その後、完全に水を張った状態で、さらに3,000回載荷したが粉砕には至らなかった。グラウト材Bについては、40,000回載荷後にPC舗装版を外してグラウトを確認したが、粉砕は認められるもののその範囲はごく一部であった。

case-4 について、載荷試験終了後のグラウト材AおよびBの状況を図-10(a)と(b)にそれぞれ示した。グラウト材Aは、載荷を開始してからすぐに割れ始め、500回程程度の載荷で粉砕し始めた。1,000回になると割れたもの(ノロ)がPC舗装版の外に出てきたため、6,000回載荷したところで載荷を中止した。PC舗装版を外して確認したところ、載荷側端部に粉砕が確認できた。グラウト材Bは、2,000回を超えた頃から割れ始め、40,000回載荷後にPC舗装版を外して確認したところ載荷側端部に粉砕が生じていることが確認された。

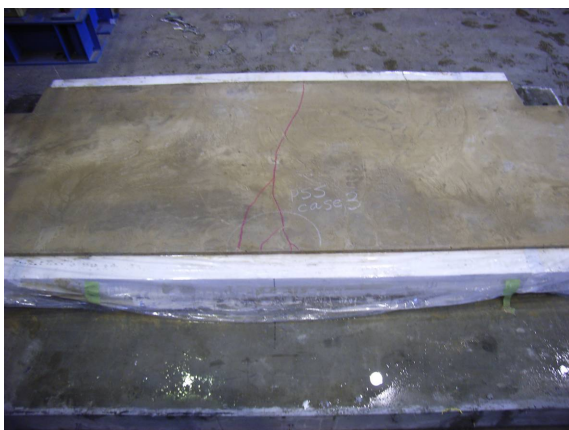


(a) グラウト材A



(b) グラウト材B

図-10 載荷後のグラウト材の状況 (case-4)



(a) グラウト材A

case-5 について、載荷試験終了後の状況を図-11に示した。載荷位置直下を中心に100回の載荷で割れ始め、載荷回数が200回で粉砕し始めた。さらに、載荷回数が1,000回になると粉砕したものが表面に出てきたので、3,000回の繰り返し載荷を行った時点で試験を中止した。

PC 舗装版を外したところ、荷側端部から 5~10cm の範囲で粉砕を確認した。



図-11 荷後のグラウト材の状況 (case-5)

2.4 粉砕の要因の推定

各実験ケースで得られた結果を表-3 にまとめて示した。表より、グラウト材と PC 舗装版に隙間が生じていない場合は、繰り返し荷側に対してグラウト材は健全な状態を保っていることが分かった。そのため、PC 舗装版とグラウト材に隙間がない状態では、現行のグラウト材の疲労耐久性に対して問題ないものと考えられる。

一方、グラウト材の品質が低下した場合で、PC 舗装版とグラウト材に隙間が生じて PC 舗装版とグラウト材に生じる隙間の範囲が大きく、グラウト材に局所的な応力が生じるような状態になった場合には、グラウト材の細粒化が生じ、そしてノロが発生することが分かった。

表-3 疲労荷側試験結果

試験ケース	状態
case-1	
A (荷側回数 40000)	損傷なし
B (荷側回数 40000)	損傷なし
case-2	
A (荷側回数 40000)	ひび割れあり・粉砕なし
B (荷側回数 40000)	ひび割れあり・粉砕なし
case-3	
A (荷側回数 43000)	ひび割れあり・粉砕なし
B (荷側回数 40000)	一部粉砕
case-4	
A (荷側回数 6000)	粉砕
B (荷側回数 40000)	粉砕
case-5	
B (荷側回数 40000)	粉砕

3. 新グラウト材の要求性能

2. で述べた荷側試験の結果から、路盤内に滞水している状態であっても、所定の品質が確保できるような水中不分離機能に優れたグラウト材が必要であることが分かった。

水中不分離機能を付与したグラウト材の開発にあたっては、路盤内に滞水している箇所が存在しても、グラウト材が所要強度を有していることが重要である。一方、グラウト材の水中不分離機能を高めた場合は、一般に流動性が低下するため施工時間が著しく増加してしまう可能性が考えられる。これらの要素を踏まえ、グラウト材の強度と流動性に関しては、以下を目標として材料開発を行った。

3.1 強度に関する要求性能

これまで、グラウト材の強度（圧縮強度、引張強度）について、材齢 2 時間での圧縮強度は、航空機荷重が PC 舗装版の中央部に荷側された際にグラウト材に発生する応力を考慮し、グラウト材の変形係数に応じた圧縮強度、引張強度の規定を設けている⁶⁾。また、材齢 7 日強度に関しては、PC 舗装の設計思想を確保することを考慮し、上層路盤材としての必要強度（一軸圧縮強度が 20kgf/cm² (1.96N/mm²)) 以上と規定されている。一方、引張強度に関しては、材齢 2 時間での試験が困難であることから、材齢 7 日での強度のみが設定されている。

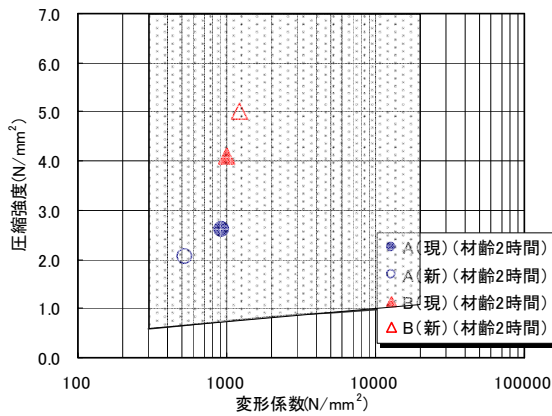
以上のことを考慮し、本研究では新しいグラウト材の強度（圧縮強度、引張強度）は、グラウト材の粉砕が生じた箇所が PC 舗装版の版端部であったため、PC 舗装版の版端部に荷側された場合を対象に、ボーイング 747-400 1 脚 4 輪を作用させた際にグラウト材に発生する応力を算出することにより、グラウト材の変形係数に応じた圧縮強度、引張強度の規定を設けるものとした。

グラウト材に発生する応力は、バネにて支持された弾性床の 2 層 (PC 舗装版とグラウト材) の版に静的な荷重が作用された状況を弾性 FEM で解析して検討した。解析の結果、版縁部に荷側したケースでは、鉛直方向の圧縮応力が水平方向の圧縮応力に比べて大きくなる傾向が認められた³⁾。この理由として、版縁部のグラウト材は PC 舗装版と枕版のように剛性の高いもの同士に挟まれているため、鉛直方向に生じる圧縮応力が支配的になったものと考えられる。引張応力は、PC 舗装版中央部に荷側した結果と版縁部に荷側したケースを比較すると、PC 舗装版縁部と版中央部ともほぼ等しくなった。

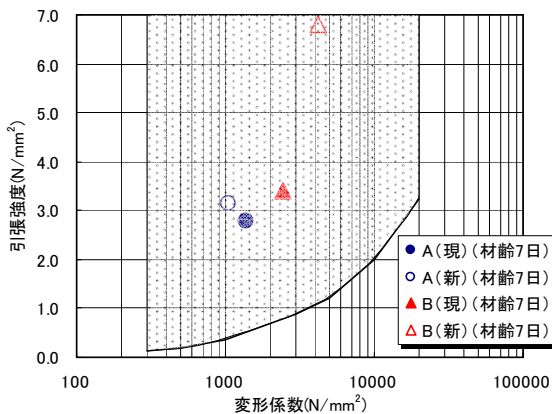
以上の解析結果を踏まえ、今回開発したグラウト材

の2時間強度については、解析の範囲内の最大値を抽出し、図-12に示す圧縮強度、引張強度の規定を設けた。

リフトアップ工法では、路盤上に敷設されたPC舗装を所定の間隔で電動油圧ジャッキをセットし、コンピュータ制御によりこれらを同時に作動させることにより所定の高さに持ち上げ、その後リフトアップしたPC舗装版と路盤との空隙にグラウト材を充てんする。しかし路盤の沈下は一様に生じるものではなく、場所によって凹凸が生じ、凹部に滞水すること多いと考えられる。グラウト注入孔や確認孔は一般に5mピッチで設けられているので、今回は、幅250mm×全長5m×充てん厚さ15mmとしたグラウト材の充てん性試験機を用いて、充てん厚さの1/3相当が滞水している条件下でグラウト材を充てんし、その際に所定位置から採取したグラウト材の圧縮強度が前述したグラウト材の圧縮強度の基準値を有しているかを確認するものとした。



(a) 圧縮応力と変形係数



(b) 引張応力と変形係数

図-12 グラウト材の要求強度・変形係数特性

3.2 流動性に関する要求性能

リフトアップ工法の場合、グラウトの充てんは通常自然流下方式で行われるため、グラウト材は流動性が良く、さらにグラウトの製造から充てんまでの時間（可使用時間）の長い方が望ましい。しかし水中不分離性を高めた場合には、グラウト材の粘性が高まり、流動性が低下することが考えられる。流動性に関しての品質管理試験はJA漏斗⁷⁾を用いているが、JA漏斗流下時間と充てん時間の関係は求められていない。そこで今回は、現地での施工時間などを考慮し、図-13に示したようなグラウト材の充てん性試験機を用い、グラウト材の充てん時間が現行のグラウト材に比べて2倍程度の時間以内で充てんできることを流動性に関する要求性能として設定した。

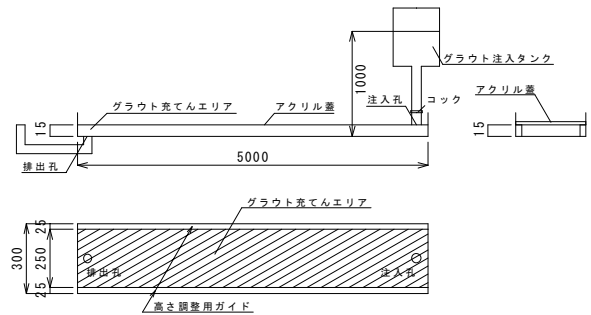


図-13 グラウト材の充てん試験機

3.3 可使用時間に関する要求性能

グラウト材の要求性能として、早期強度を有していなければならない一方で、硬化時間が著しく速い場合には充てんの途中でグラウト材が閉塞してしまい、施工に問題が生じる危険性が考えられる。そこでグラウト材の可使用時間としては、これまでの品質管理基準と同様に40分と設定した。

3.4 ブリーディングに関する要求性能

グラウト材のブリーディングが大きい場合は、PC舗装版とグラウト材の間に空隙が生じる可能性があるため、ブリーディングは極力小さいことが望ましい。そこで、グラウト材のブリーディング率としては、現行のグラウト材で定められている品質管理基準と同様に、1.0%以下と設定した。

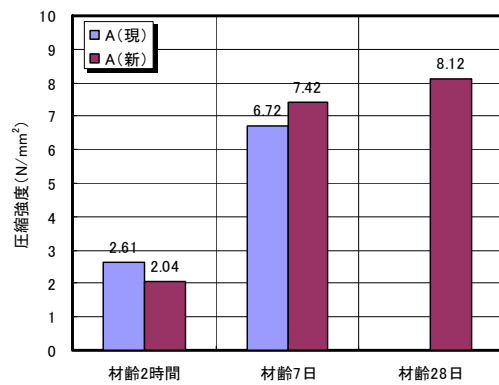
4. 新グラウト材の開発と特性

4.1 強度・変形特性

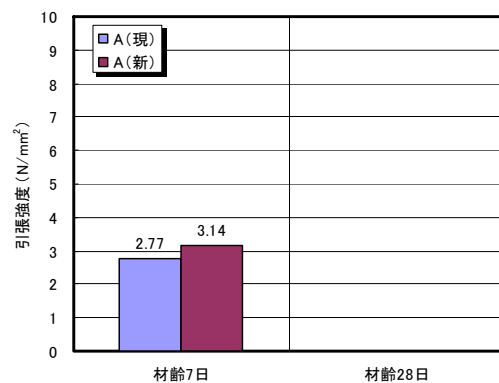
3. で述べた要求性能を満たす様に、現行のグラウト材にセルロース系の水不分散性混和剤を添加したグラウトを新たに開発した。開発したグラウト材（A（新）とB（新））について、材齢2時間、7日および28日での圧縮強度、引張強度、変形係数の結果を図-14（グラウトA（新））と図-15（グラウトB（新））にそれぞれ示した。なお、図には、現行のグラウト材（A（現）とB（現））についてもあわせて示している。A、Bいずれのグラウト材も、新たに開発した方が高い強度を示していることが分かる。グラウト材の変形係数に関しては、グラウト材Aでは、新たに開発した方が現行のものより小さくなっているが、グラウト材Bでは大きくなっていることが分かる。

試験結果を、図-12の要求強度・変形係数の関係にプロットした。図より、いずれのグラウト材も要求性能を満足しており、航空機荷重による発生応力に対して、十分な強度・変形を有していることが確認された。

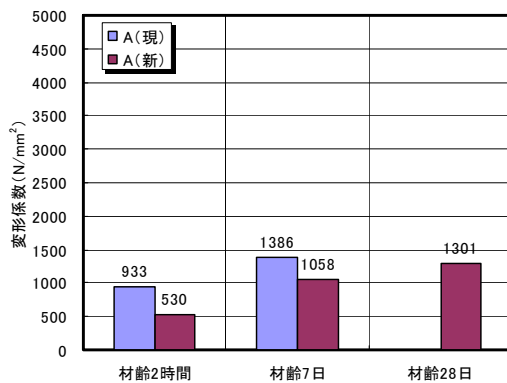
試験結果を、図-12の要求強度・変形係数の関係にプロットした。図より、いずれのグラウト材も要求性能を満足しており、航空機荷重による発生応力に対して、十分な強度・変形を有していることが確認された。



(a) 圧縮強度

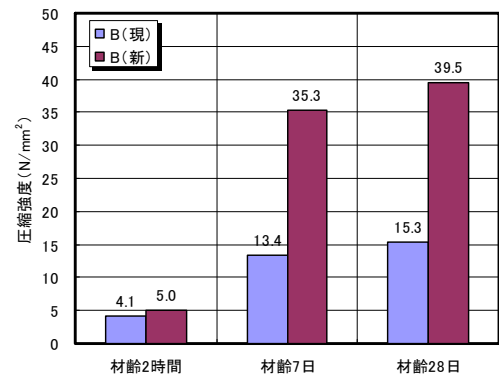


(b) 引張強度

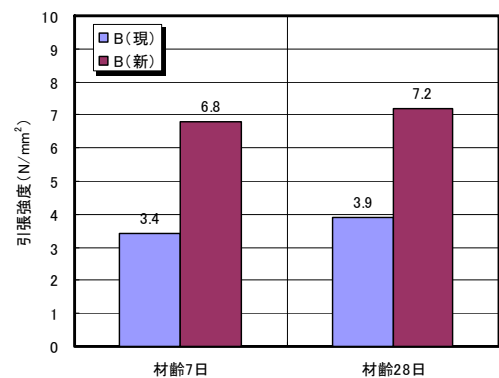


(c) 変形係数

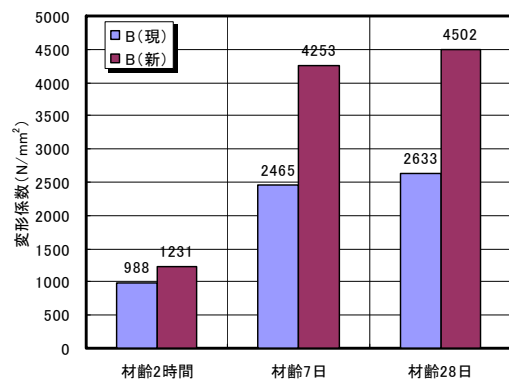
図-14 グラウト材Aの強度特性



(a) 圧縮強度



(b) 引張強度



(c) 変形係数

図-15 グラウト材Bの強度特性

4.2 PC 舗装版下に打設されたグラウト材の強度特性

(1) 試験方法

ここでは、充てん性試験機（図-13）での充てん厚さの1/3にあたる5mmが滞水している環境でグラウト材を充てんし、直ちにグラウト材を採取して供試体を作製し、圧縮試験を行うことにより、滞水環境にグラウト材を充てんした際の圧縮強度を検討した。試験の手順ならびに状況を図-16に示した。試験では、充てん性試験装置をセット後、試験器の底面から水頭差が1mとなるようにグラウト材を充てんした。グラウト充てん後、直ちに蓋を外し、注入孔付近（0～50cm）、注入孔から1m、2m、3m、4mならびに5m付近のグラウト材を採取し、

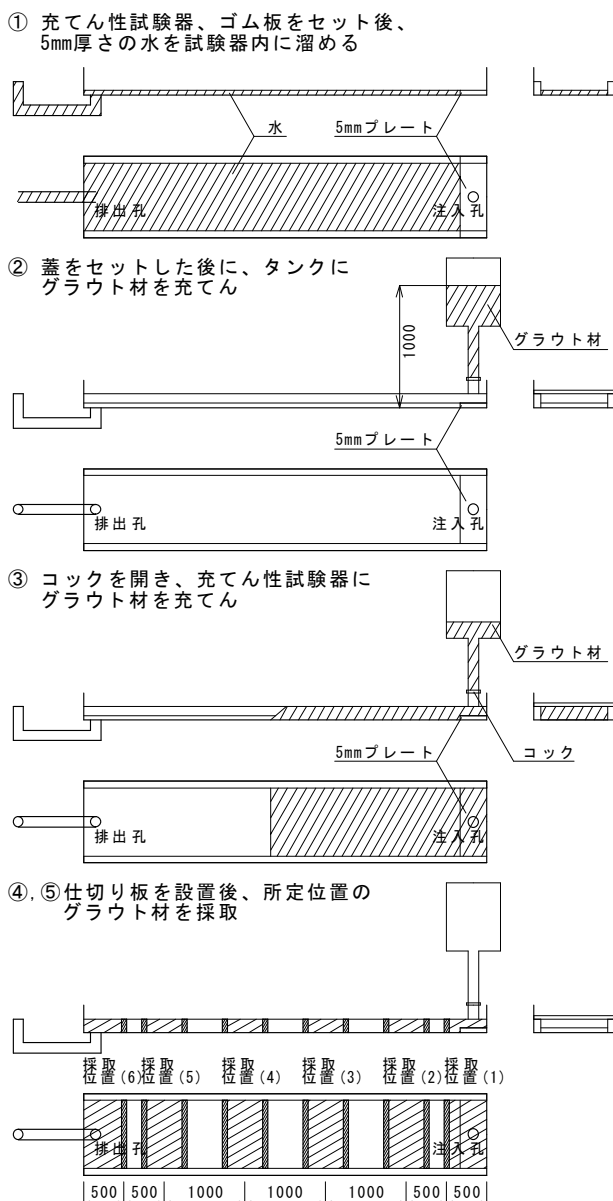


図-16 試験手順と状況

φ50mm×100mm のモールドに詰め、供試体を作製した。材齢2時間、1日、7日経過後に圧縮強度を測定した。

(2) 試験結果

充てん位置から1m、2m、3m、4m、5mの位置で採取したグラウト材の圧縮強度と材齢の関係を、図-17（グラウト材A）と図-18（グラウト材B）にそれぞれ示した。なお、図中に示した管理供試体は、充てん性試験機を通さずに作製した供試体の強度を示している。

まず、グラウトAでは（図-17参照）、現行グラウト材（A（現））は、充てん位置から1m程度までの近い箇所では管理供試体の強度とはさほど大きな差は認められないが、充てん位置から2m程度以上となると管理供試体の強度よりも低い強度であることがわかる。特に、充てん位置から4m離れると約26%程度まで低下する傾向が見られる。一方、今回新たに開発したグラウト材（A（新））は、充てん位置から5mの位置を除き、充てん位置から離れても強度の低下傾向は小さく、充てん位置から4mでも85%程度の強度が得られている。これは、開発したグラウト材は水を押し出しながらグラウト材が充てんされ、水と混じり合うことなく充てんされるためと考えられる。なお、充てん位置から5mの箇所において強度が急激に低下する結果が得られているが、この理由としては、今回用いた充てん試験機のグラウト材の排出孔の径が小さかったため、水の逃げ場がなくなり、水を多く含んだ供試体ができてしまったためと考えられる。

同様の傾向はグラウト材Bについても認められ（図-18参照）、現行のグラウト材（B（現））では充てん位置から離れるにつれて強度の低下が大きいが、新たに開発したグラウト材（B（新））では強度の低下傾向が小さいことがわかる。

4.3 充てん特性

図-13に示した充てん性試験機を用いてグラウト材の充てん時間の測定を行うことにより、グラウト材の充てん性に関する検討を行った。試験は、表-4に示したように充てん厚さと滞水の有無を変化させて行った。なお、case-5およびcase-6に関しては、15mmのグラウト厚さの1/3にあたる5mmを滞水させた状態で試験を実施した。

試験は、グラウト材を水頭差1mの自然流下により充てんし、充てん位置から1m、2m、3m、4m、5mまでのグラウト到達時間を測定した。なお、各ケースの試験時には、JA漏斗による流下時間の測定⁷⁾も併せて測定した。

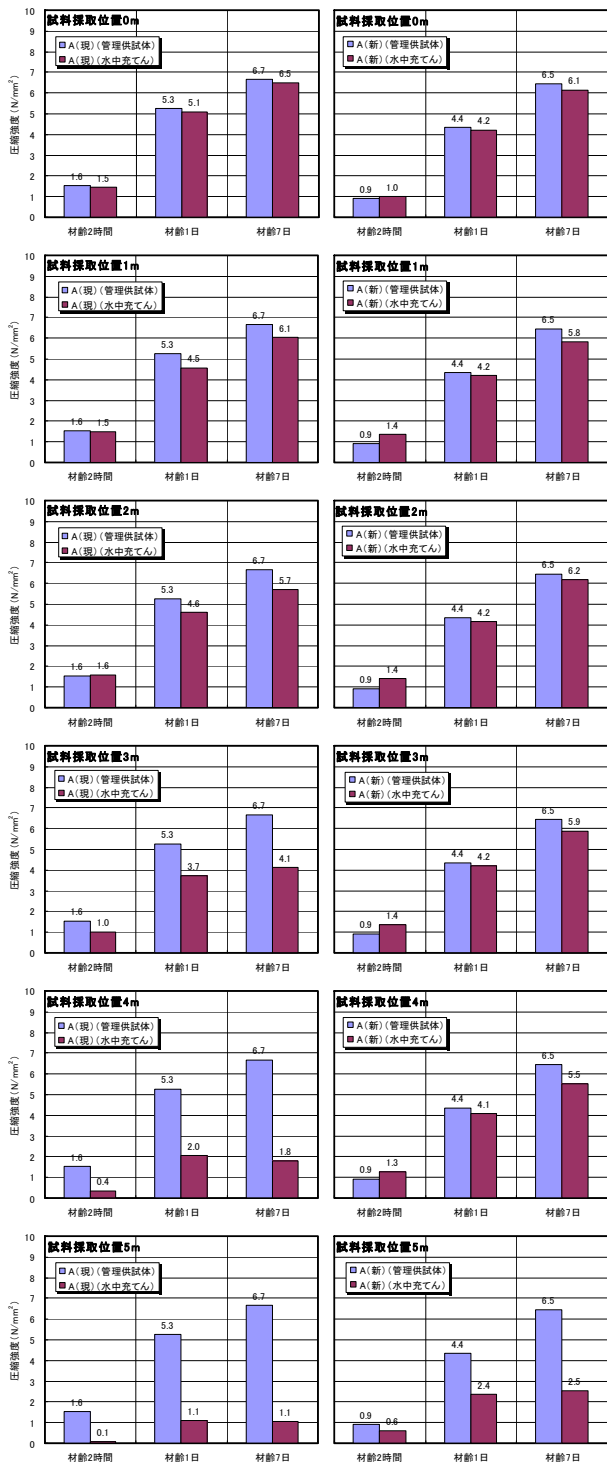


図-17 各採取位置における圧縮強度の測定結果 (グラウト材A)

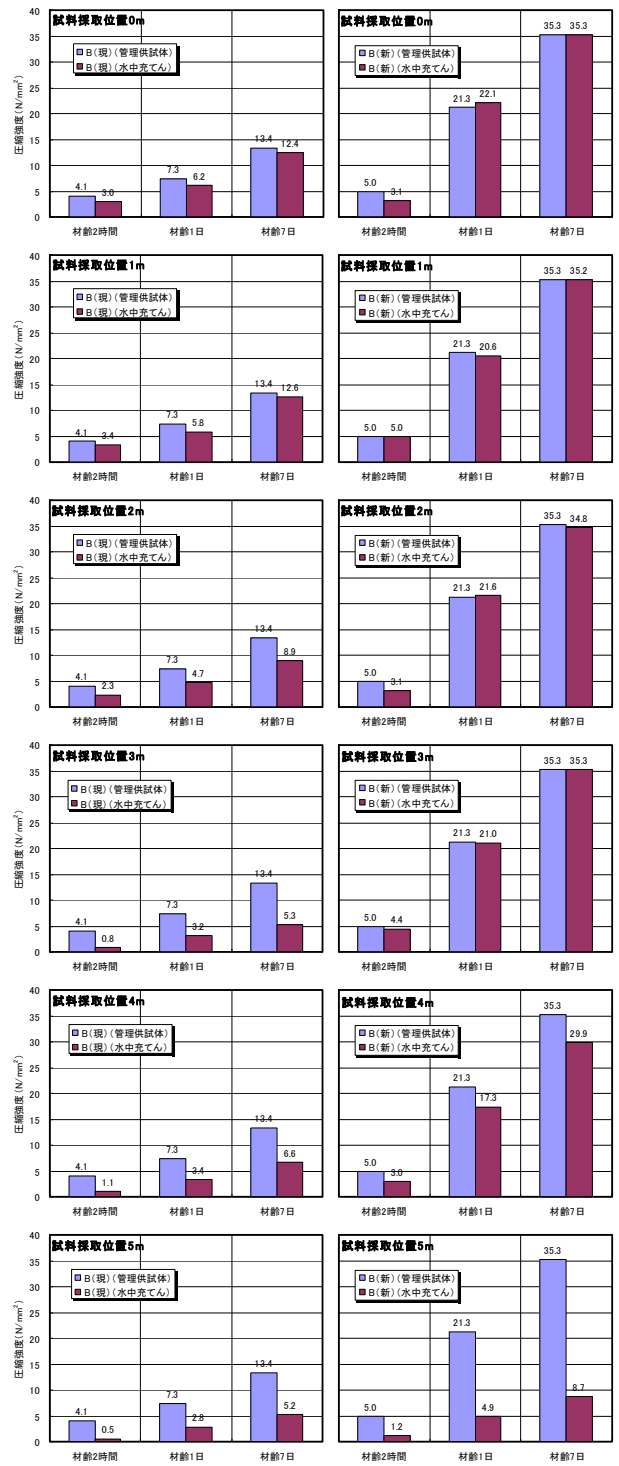
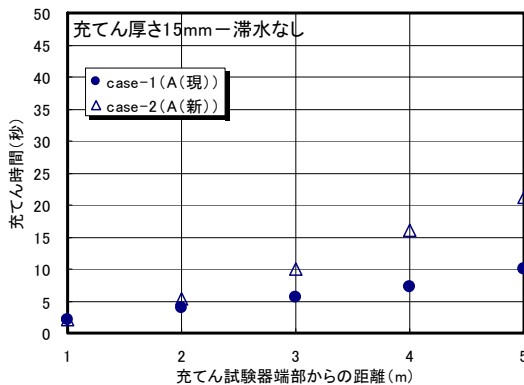


図-18 各採取位置における圧縮強度の測定結果 (グラウト材B)

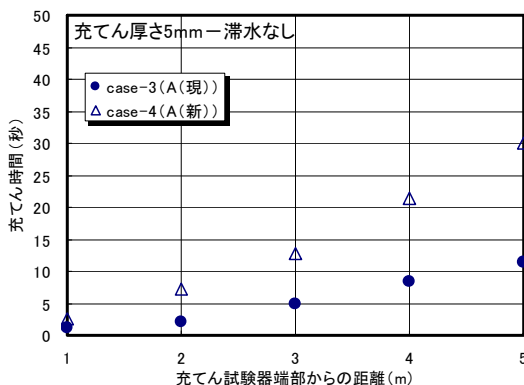
表-4 試験ケース

	材料	充てん厚さ	滞水
case-1	A (現), B(現)	15mm	なし
case-2	A (新), B(新)		
case-3	A (現), B(現)	5mm	
case-4	A (新), B(新)		
case-5	A (現), B(現)	15mm	あり
case-6	A (新), B(新)		

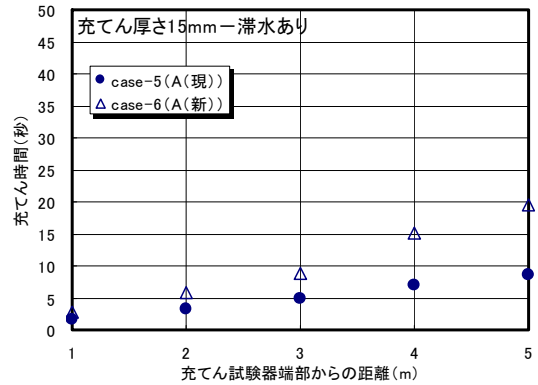
グラウト材Aについて、case-1～case-6における充てん時間の測定結果を図-19(a)～(c)に示した。グラウト材の充てん厚さが15mmで滞水がない場合(case-1, case-2)での5m到達時間は、A(現)が10.1秒(8.1sec/m²)に対して、A(新)は21.2秒(17.0sec/m²)で、約2倍の時間を要している。また、グラウト材の充てん厚さが5mmで滞水がない場合(case-3, case-4)の5m到達時間は、A(現)が11.3秒(9.0sec/m²)に対して、A(新)は30秒(24.0sec/m²)であった。さらに、グラウト材の充てん厚さが15mmで滞水がある場合(case-5, case-6)の



(a) case-1, case-2



(b) case-3, case-4

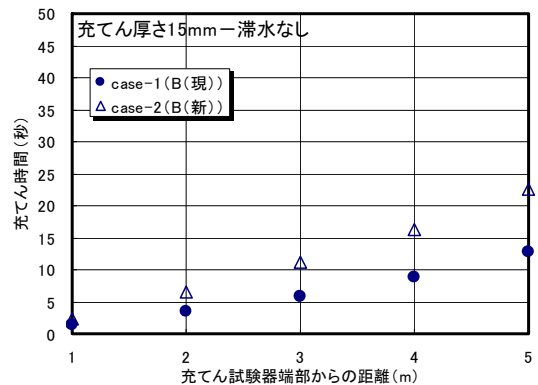


(c) case-5, case-6

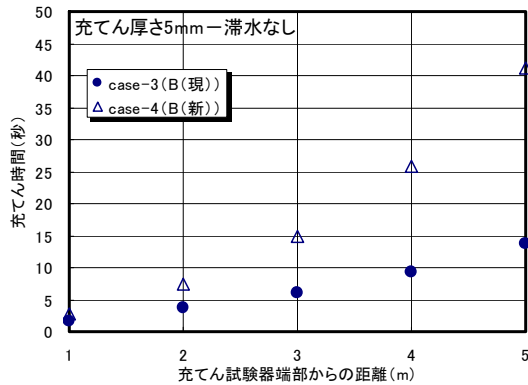
図-19 充てん時間結果

5m到達時間は、A(現)が8.5秒(6.8sec/m²)に対して、A(新)は19.5秒(15.6sec/m²)であり、約2倍の時間を要していることが分かった。

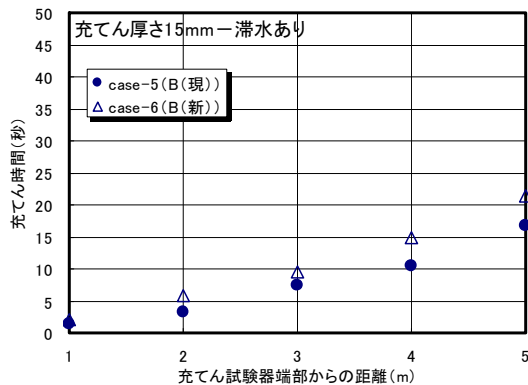
グラウト材Bについて、case-1～case-6における充てん時間の測定結果を図-20(a)～(c)に示した。グラウト材の充てん厚さが15mmで滞水がない状態(case-1, case-2)の5m到達時間は、B(現)が12.9秒(10.3sec/m²)に対して、B(新)は22.6秒(18.1sec/m²)であった。また、グラウト材の充てん厚さが5mmで滞水がない状態(case-3, case-4)の5m到達時間は、B(現)が13.7秒(11.0sec/m²)に対して、B(新)は41.1秒(32.9sec/m²)であった。さらに、グラウト材の充てん厚さが15mmで滞水がある場合(case-5, case-6)の5m到達時間は、B(現)が16.8秒(13.4sec/m²)に対して、B(新)は21.5秒(17.2sec/m²)であり、約2倍の時間を要していることが分かった。



(a) case-1, case-2



(b) case-3, case-4



(c) case-5, case-6

図-20 充てん時間結果

4.4 流動性の経時変化

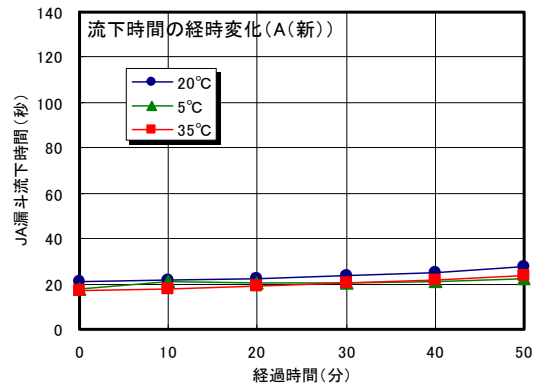
次に、今回新たに開発したグラウト材について、JA 漏斗流下時間の経時変化を測定することにより、流動性の経時変化を実験的に確認した。なお、リフトアップ工事は、冬場や夏場に施工することも考えられるため、実験は 20℃の環境に加え、5℃、35℃の環境下で土木学会基準⁸⁾に準拠して、JA 漏斗による流下時間の経時変化を練混ぜ直後から 10 分おきに測定した。

グラウト材 A (新) および B (新) の JA 漏斗流下時間とグラウト材練り混ぜ後の経過時間の関係を図-21 に示した。グラウト材 A (新) は、環境温度に応じてセメントの硬化速度を遅延させる薬剤 (セッター) を添加した際の測定結果を示している。一方、グラウト材 B は、凝結遅延剤は添加せず材料自体の流動性の経時変化を示した結果を示している。

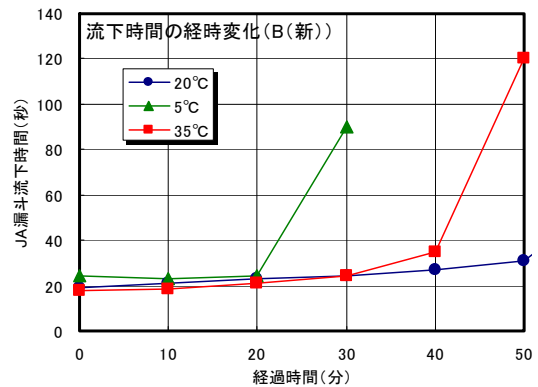
グラウト材 A (新) について見ると (図-21(a))、いずれの環境温度においても、経過時間を経ても JA 漏斗流下時間に大きな変化は見られておらず、これまでの考え方と同様に、環境温度に応じてセッター量を調整することにより、グラウト材の流下時間の経時変化を調整す

ることが可能であることが分かった。

一方、グラウト材 B (新) は (図-21(b))、環境温度が 20℃の時の JA 漏斗流下時間の経時変化は小さいが、高温や低温環境になると、JA 漏斗流下時間に大きな変化が見られた。その対応策としてグラウト材 B についても、環境温度に応じて凝結遅延剤の添加量を調整することにより、可使時間の経時変化を小さくすることが可能である。



(a) グラウト材 A



(b) グラウト材 B

図-21 JA 漏斗流下時間の経時変化

4.5 ブリーディング特性

新たに開発したグラウト材のブリーディング特性を土木学会基準⁸⁾に基づき測定した。試験は、流動性の経時変化測定試験と同様に、20℃の環境に加え、5℃と 35℃の環境下においても実施した。

グラウト材 A (新) ならびに B (新) でのブリーディング率と試験温度との関係を図-22 に示した。グラウト材 A (新) でのブリーディング率は、全ての環境温度において 0%であり、ブリーディングは確認されなかった。一方、グラウト材 B (新) は、グラウト材の温度が高くなるに従いブリーディングが増加する傾向が見られてい

る。しかし、その大きさは、従来からの管理基準値である 1.0%以下であることが分かった。

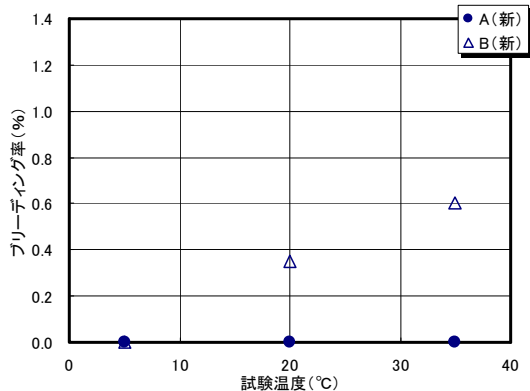


図-22 ブリーディング率と試験温度

5. 模擬舗装版を用いたグラウト材の特性試験

5.1 充てん性試験

(1) 試験方法

4.3 で述べたように、新たに開発したグラウト材は現行のグラウト材に比べて 2 倍程度の時間で充てんできることが確認できた。ここでは、より実際に近い状況を想定し、充てん面積が大きい場合のグラウト材の充てん状況、充てん時間、水中不分離性機能の効果について、模擬舗装版を用いて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図を図-23 に、グラウト材の充てん性試験の状況を図-24 にそれぞれ示した。試験では、3.2m×4.4m のコンクリート底版と 2.1m×4.4m のコンクリート版との隙間にグラウト材を充てんすることとした。グラウト材の充てん範囲は 1.92m×4.22m (≒8.1m²) とし、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するものとした。

試験ケースを表-5 に示した。case-1 と case-2 は滞水のない条件で現行のグラウト材と新たに開発したグラウト材の充てん時間を確認するもので、case-3 と case-4 は水中環境下においてグラウト材の充てん性を確認するケースである。また、case-5 は、新たに開発したグラウト材を対象に充てん厚さが充てん時間に及ぼす影響を確認するケースである。

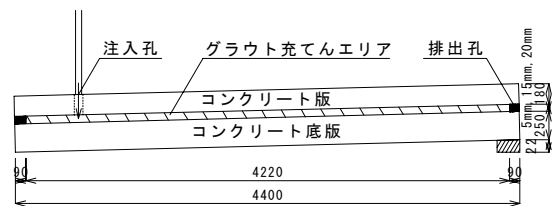
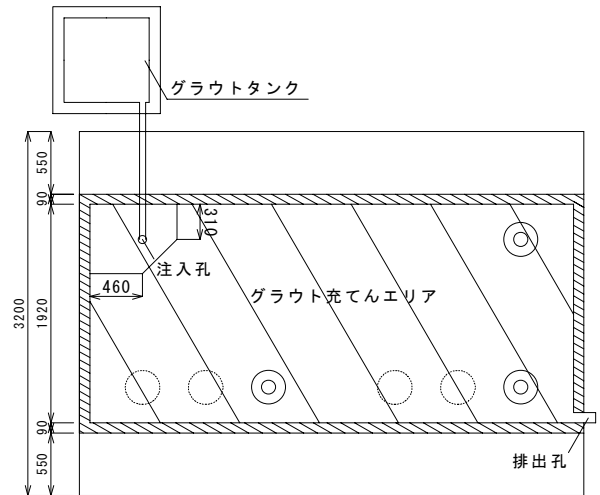


図-23 グラウト材の充てん性試験（概要図）

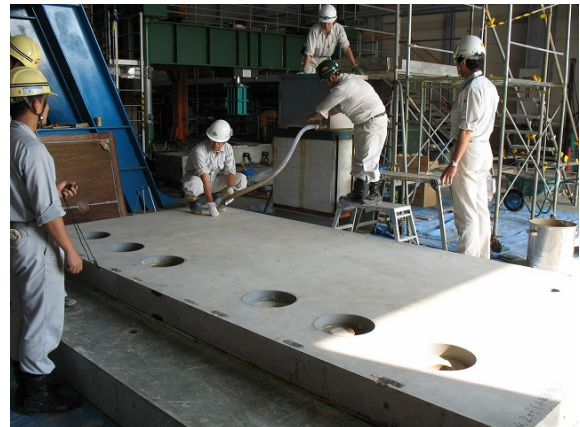


図-24 グラウト材の充てん性試験状況

表-5 試験ケース

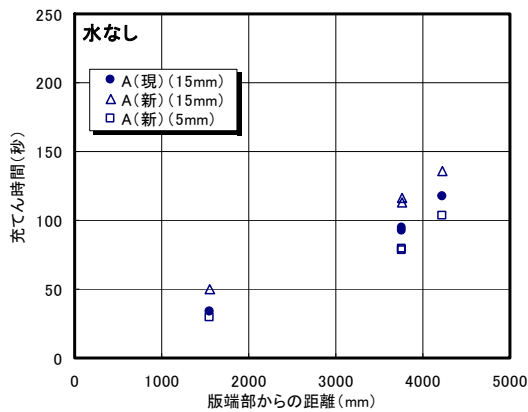
	材料	充てん厚さ	滞水
case-1	A(現), B(現)	15mm	なし
case-2	A(新), B(新)		
case-3	A(現), B(現)	20mm	あり
case-4	A(新), B(新)		
case-5	A(新), B(新)	5mm	なし

滞水なしのケース (case-1, case-2, case-5) については、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達した段階で試験を終了した。滞水ありのケース (case-3, case-4) は、グラウト注入孔近傍のみ水がなく、排出孔からは水を排出させない条件とした。グラウト材の充てんは、0.6m×0.6m×0.74m のタンク内にグラウト材を貯めた後に、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とした。

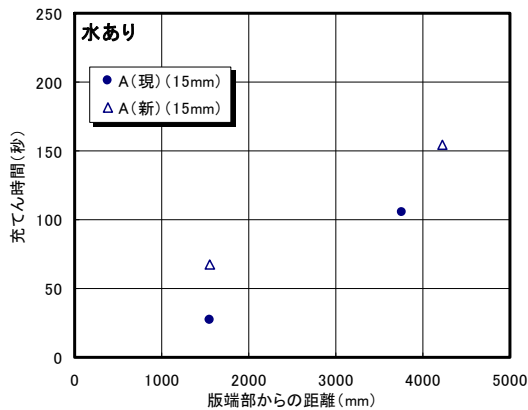
充てん中には、版端部から 1.56m, 3.76m ならびに排出孔位置にグラウト材が到達した時間を測定した。滞水ありのケース (case-3, case-4) については、120 リットルのグラウト材の充てん完了時間もあわせて測定した。

(2) 充てん性時間

版端部からの距離と充てん時間の関係を図-25 (グラウト材 A) と図-26 (グラウト材 B) に示した。また、今回の実験結果を単位面積あたりの充てん時間に換算した値を表-6 に示した。

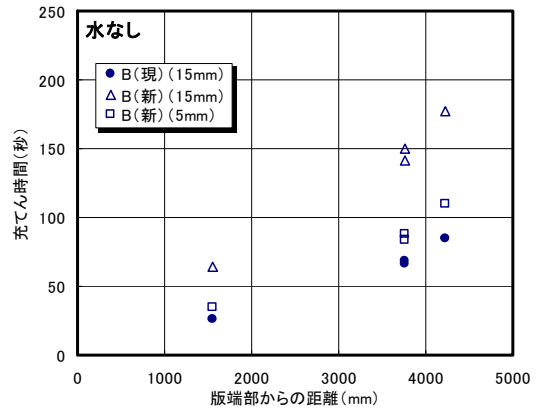


(a) 水なし

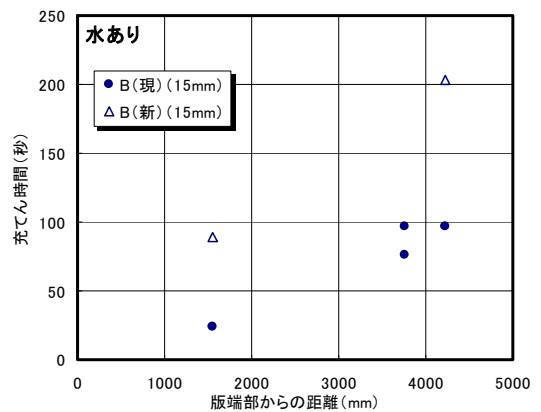


(b) 水あり

図-25 充てん時間と距離の関係 (グラウト材 A)



(a) 水なし



(b) 水あり

図-26 充てん時間と距離の関係 (グラウト材 B)

表-6 充てん時間の測定結果

	模擬版	試験装置
case-1		
グラウト材 A (現)	15sec/m ²	8sec/m ²
グラウト材 B (現)	11sec/m ²	10sec/m ²
case-2		
グラウト材 A (新)	17sec/m ²	17sec/m ²
グラウト材 B (新)	22sec/m ²	18sec/m ²
case-5		
グラウト材 A (新)	13sec/m ²	24sec/m ²
グラウト材 B (新)	14sec/m ²	33sec/m ²

グラウト材 A について、グラウト充てん完了時間は、現行のものが 118 秒 (62l/min, 15sec/m²) であったのに対し、新たに開発したものは約 135 秒 (53l/min, 17sec/m²) と、さほど大きくは異なっていない。グラウト材 B は、現行のもので約 85 秒 (85l/min, 11sec/m²) であったのに対し、新規開発したものは約 177 秒 (41l/min, 22sec/m²) で、約 2 倍の時間を要した。充

てん厚さが 5mm で滞水がない場合 (case-5) の充てん完了時間は、グラウト材 A (新) が 104 秒 (231/min, 13sec/m²), グラウト材 B (新) が約 109 秒 (221/min, 14sec/m²) で、ほぼ同程度であった。

充てん性試験機を用いた実験結果も表-6 にあわせて示しているが、いずれのグラウト材とも、今回開発したものは現行のものに比べて約 2 倍の時間を要していた。今回、模擬版を用いた試験より、充てん面積が大きくなった場合でも充てん性試験機での結果程度に収まることが確認できた。なお、充てん性試験機を用いた場合には、充てん厚さが 15mm から 5mm と薄くなるに従い充てん時間が長くなる傾向が認められたが、模擬舗装版を用いた試験では、5mm 厚さの充てんに関しても同一面積の充てんに対しては、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認できた。

(3) 充てん状況

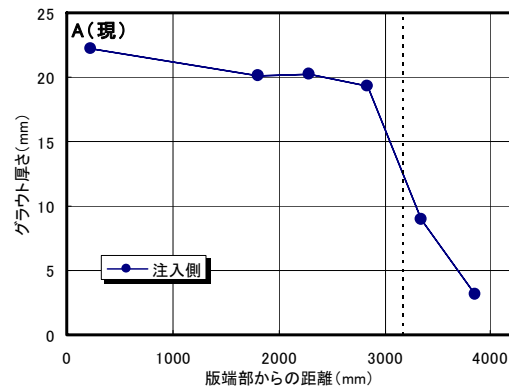
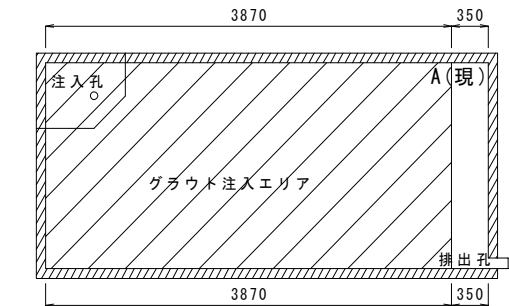
試験後にグラウト材の充てん状況を目視観察した結果、滞水なしのケース (case-1, case-2, case-5) は、いずれのグラウト材も問題なく充てんされていることが確認できた。また、滞水のある case-3 の場合には、グラウト材 A (現), グラウト材 B (現) とともに、グラウト材の先端にいくに従いグラウト材が水と混じりながら充てんされる傾向が認められた。一方 case-4 の場合には、グラウト材 A (新), グラウト材 B (新) とともに、グラウト材が水を押し出ししながら注入する傾向が見られた。

(4) 充てん範囲と充てん厚さ

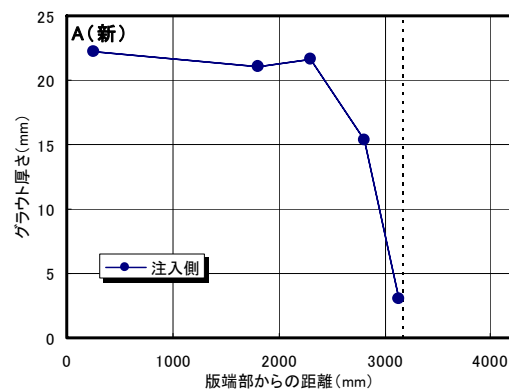
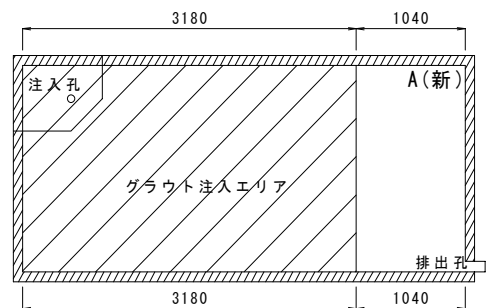
滞水ありのケース (case-3, case-4) について、グラウト材の充てん範囲と充てん厚さの測定結果を図-27 (グラウト A) と図-28 (グラウト B) にそれぞれ示した。現行のグラウト材 (A (現) と B (現)) は、グラウト材が水と混じりながら充てんされる結果、グラウト材の充てん範囲はグラウト材 A が排出孔側の版端部から 350mm 程度まで、グラウト材 B が 290mm 程度までであった。一方、新たに開発したグラウト材 (A (新) と B (新)) は、水を押し出しながら充てんされた結果、グラウト材の充てん範囲は、グラウト材 A が排出孔側の版端部から 1040mm 程度、グラウト材 B が 900mm 程度までで、現行のグラウト材よりも充てんの範囲が小さい結果であった。

また、グラウト材の充てん厚さに関しては、現行のグラウト材は、グラウト材 A, B とともに版端部から 2m 程度のエリアからグラウト材の厚さが薄くなる傾向が認

められたが、新規に開発したグラウト材は、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いることが分かった。

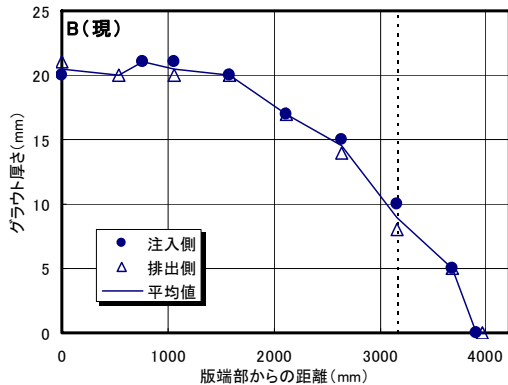
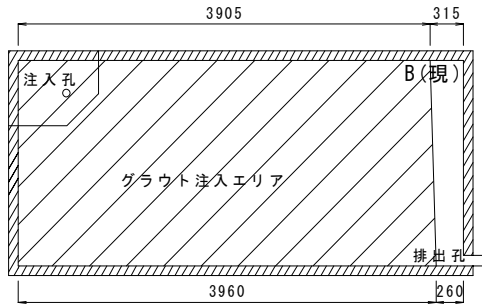


(a) グラウト A (現)

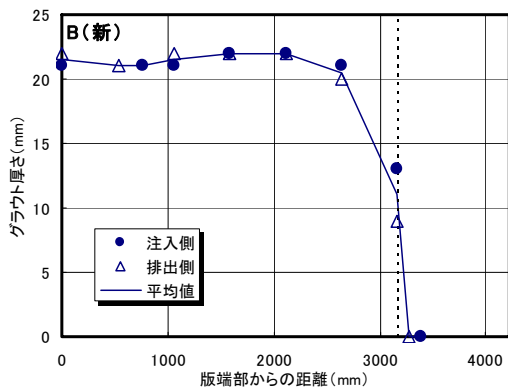
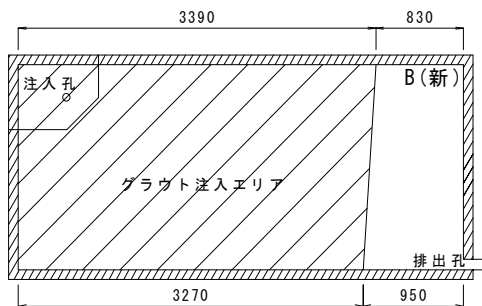


(b) グラウト A (新)

図-27 グラウト材の注入厚さ



(a) グラウト B (現)



(b) グラウト B (新)

図-28 グラウト材の注入厚さ

以上の結果より、今回開発したグラウト材は、路盤内に水が存在する場合においても、水を押し出しながらグラウト材を充てんすることが可能であるものと考えられる。現行のグラウト材も、滞水とグラウト材が完全に混じりあう状況には至らなかったが、グラウト材が水に対して潜行する可能性が高いため、グラウト材の先端部に脆弱層が形成され、このような箇所が PC 舗装版端部に設けられた場合にはグラウト材の粉砕が生じる可能性も高くなるものと考えられる。

(5) グラウト強度

滞水ありのケース (case-3, case-4) については、図-29 に示したように 1.92m×4.22m の範囲を約 500mm 程度のメッシュに分割し、材齢 2 時間後に硬度計を用いて各メッシュにつき 3 箇所の硬度を測定した。硬度の測定結果から圧縮強度の推定は、あらかじめ実施したグラウト材の硬度と圧縮強度の関係式³⁾から算出した下式を用いて行った。

グラウト A について

$$\sigma = 0.0257e^{0.0508 \cdot HV} \quad (1)$$

グラウト B について

$$\sigma = 0.1213e^{0.0607 \cdot HV} \quad (2)$$

ここで、

σ : 圧縮強度 (N/mm²)

HV: 硬さ

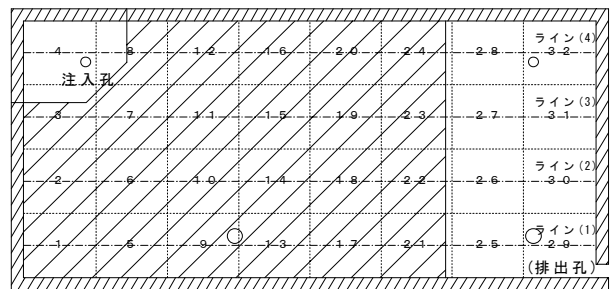
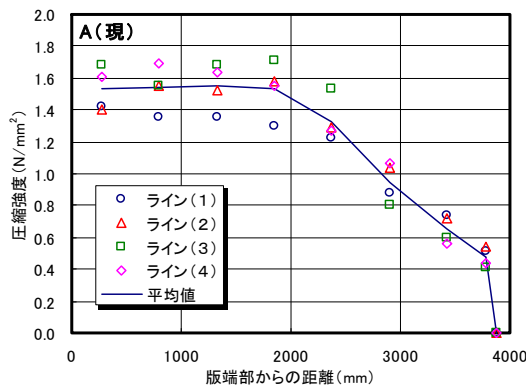


図-29 グラウト材の強度測定位置

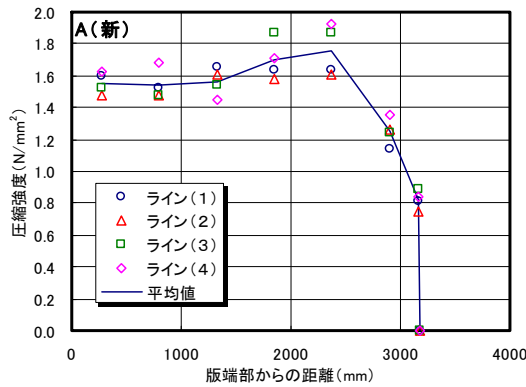
グラウト材 A (現) と A (新) のグラウト材の硬度の測定結果から推定した圧縮強度を図-30(a) (グラウト A (現)) と図-30(b) (グラウト A (新)) に示した。同様に、グラウト材 B について推定した圧縮強度を図-31(a) (グラウト B (現)) と図-31(b) (グラウト B

(新))に示した。

グラウト材A(現)は、グラウト充てん厚さの場合と同様に、注入孔側の版端部から2m程度の箇所からグラウト材の強度が低下する傾向が認められた。グラウト材B(現)は、グラウト材A(現)に比べるとグラウト材の先端部においても強度の低下の割合が小さい。この理由としてグラウト材B(現)では、グラウト硬化後の水の排出時において、版の表面を直接的に触れることにより水を排出したため、グラウト材表面のノロが取り除かれた可能性があることが考えられる。なおグラウト解体時には、先端部のグラウト材はすぐに割れ、脆弱層が形成されている可能性が考えられた。



(a) グラウト材A(現)

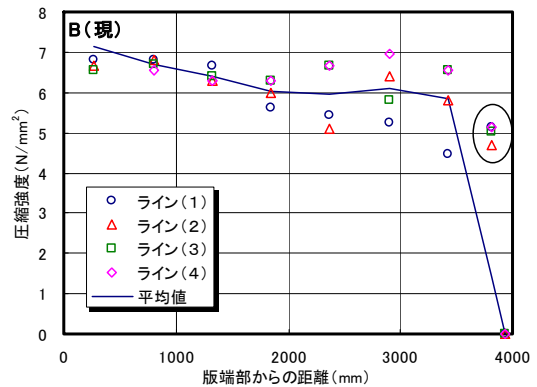


(b) グラウト材A(新)

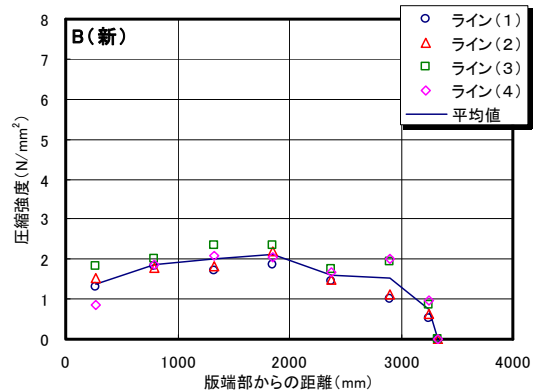
図-30 圧縮強度(材齢2時間)

一方、グラウト材A(新)、グラウト材B(新)はいずれも版端部から2.5~3m程度までは、注入孔近傍のグラウト材の圧縮強度に比べて強度の低下が小さく、グラウト材の充てん厚さの結果と比較的一致する傾向にあった。また、グラウト材Bに関しては、新しく開発した材料はこれまでの材料に比べて材齢2時間後の圧縮強度が全体的に低い傾向にあった。この理由としては、予備試

験として実施した硬度と圧縮強度の関係式で、新材料で測定した硬度の強度レベルが測定されていないこと、新材料は混和剤を使用しているが、これらの影響によりグラウト材の初期強度の発現性が抑制されている可能性があることなどが理由として考えられる。ここには記載していないが、注入孔近傍における材齢半日後の硬度の測定値から算出した新グラウトの圧縮強度は、これまでの材料の圧縮強度と同等以上の値を示していた。



(a) グラウト材B(現)



(b) グラウト材B(新)

図-31 圧縮強度(材齢2時間)

5.2 耐久性試験

(1) 試験概要

これまでの検討より、今回開発したグラウト材(A(新)、B(新))は、材料強度や充てん性に関してほぼ所定の品質を確保できることが分かった。ここでは、疲労荷重試験を行い、最終的な確認を行うこととした。試験ケースを表-7に示した。試験は、新たに開発したグラウト材A(新)およびB(新)について、グラウト材の厚さを20mmと50mmとした。case-1は現行グラウト材と同様な条件の下での疲労耐久性の検討を、case-2はグラウト材に発生する応力のFEM解析との比較検討を目的とした。

表-7 試験ケース

	グラウト材の厚さ
case-1	20 mm
case-2	50 mm

試験装置は、2.に記述したものと同一であり、模擬路盤は厚さ 150mm の硬質発泡スチロールを用いた。なお、今回使用した硬質発泡スチロールの路盤支持力係数は、0.07~0.08N/mm³ 程度であった。裏込めグラウト材は、現行グラウト材と同様に、PC 舗装版に設けたグラウト注入孔より自然流下方式により充てんした（図-32 参照）。なお、現行グラウト材を対象とした実験では、実際のリフトアップ工事を模擬して 2 層にわけてグラウト層を製作したが、その影響は特に見られなかったため、今回の実験では 1 層でグラウト層を作製した。

グラウト材充てん後、7 日間の養生を行った後、荷重試験を行った。荷重は、周波数 0.5Hz で表-8 に示す方法で行った。

case-1 における疲労荷重試験の荷重ステップを表-8(a)に、case-2 における荷重ステップを表-8(b)にそれぞれ示した。試験時の荷重荷重は、荷重荷重、周波数とも現行グラウト材に対して行った試験と同一条件で実施するものとした。



図-32 グラウト材の充てん方法

(2) 試験結果

case-1 と case-2 について、疲労荷重試験終了後のグラウト材の状況を図-33 と図-34 にそれぞれ示した。いずれのグラウト材についても、case-1, case-2 ともに、PC 舗装版とグラウト材に隙間がない状態（荷重 STEP1）では、荷重によるひび割れは生じなかった。また、PC 舗装版とグラウト材に隙間を設けた状態（荷重 STEP2 以降）では、荷重点近傍とグラウト材の隅角部にひび割れが生じたが、荷重に伴うひび割れの進展はほとんど認められなかった。また全てのケースにおいて、グラウト材の粉砕は認められなかった。

表-8(a) case-1 の荷重ステップ

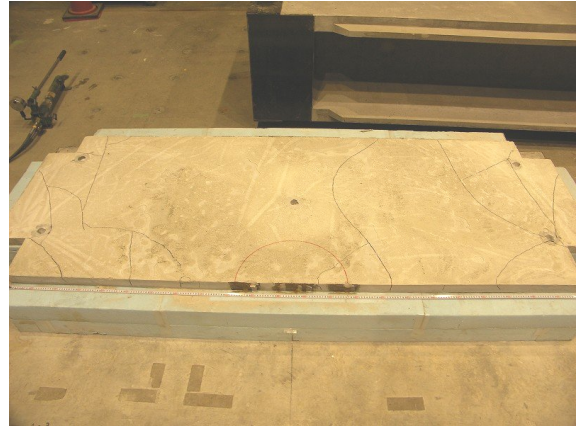
荷重ステップ	荷重状態	最小荷重 P_{min} (kN)	最大荷重 P_{max} (kN)	周波数 (Hz)	荷重回数 (回)
STEP1	PC 舗装版とグラウト材には隙間がない状態	6.0	97.3	0.5	1,000
STEP2	PC 舗装版とグラウト材には隙間を 1mm 設けた状態		106.6		1,000
STEP3	PC 舗装版とグラウト材には隙間を 1mm 設けた状態かつ水を溜めた状態		40,000		

表-8(b) case-2 の荷重ステップ

荷重ステップ	荷重状態	最小荷重 P_{min} (kN)	最大荷重 P_{max} (kN)	周波数 (Hz)	荷重回数 (回)
STEP1	PC 舗装版とグラウト材には隙間がない状態	6.0	97.3	0.5	3,000
STEP2	PC 舗装版とグラウト材には隙間を 1mm 設けた状態		106.6		1,000
STEP3	PC 舗装版とグラウト材には隙間を 4mm 設けた状態		1,000		
STEP4	PC 舗装版とグラウト材には隙間を 10mm 設けた状態		1,000		



(a) グラウト材 A (新)



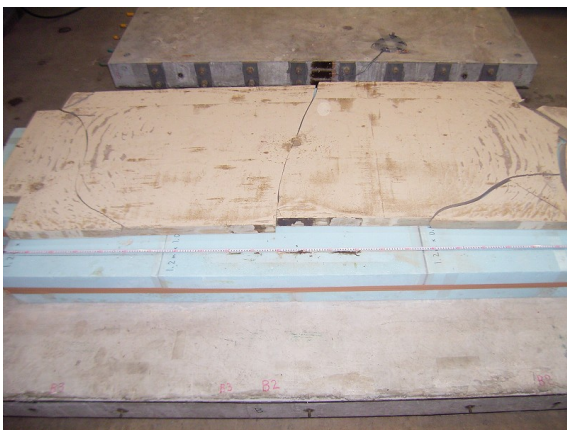
(b) グラウト材 B (新)

図-34 荷重試験終了後の状況 (case-2)



(b) グラウト材 B (新)

図-33 荷重試験終了後の状況 (case-1)



(a) グラウト材 A (新)

(3) FEM 解析結果との比較

3.1 のグラウト材の要求性能の整理では、航空機荷重に対してグラウト材に発生する応力を弾性 FEM 解析により算出した。まず、疲労荷重試験時にグラウト材に生じた応力の実験値と FEM 解析値を比較することにより、FEM 解析モデルの妥当性について検討した。

解析は、バネにて支持された弾性支床上の 2 層 (PC 舗装版とグラウト材) として行った。荷重は、実験での荷重条件にあわせ、半径 213mm の半月状の荷重板で $P=97.3\text{kN}$ を版縁部に荷重した。グラウト材の変形係数は、A (新)、B (新) それぞれ、 950 N/mm^2 、 4750 N/mm^2 である。

解析ケースは、case-1 と case-2 を対象にグラウト材 A (新) と B (新) の合計 4 ケース行った。なお多層弾性理論による解析プログラム (GAMES) や 3 次元 FEM による舗装解析プログラム (Pave3D) 等では、コンクリート層と路盤等の材料特性が異なる版の解析において、層間の付着特性を考慮した解析を行っているが、今回の解析ではコンクリート版とグラウト層間の付着特性は考慮しない (コンクリート版とグラウト材の水平方向の滑りは考慮しない) ものとした。また拘束条件、荷重条件は実験条件に合わせ、グラウト材の変形係数は実験時に測定された変形係数を入力した。

グラウト材に生じる応力の解析値について、荷重回数との関係を図-35～図-38 にそれぞれ示した。これらの図には実験値もあわせて示した。なお、本解析はグラウト材と PC 舗装版に隙間が生じたようなケースは想定していないため、図に示した実験値は荷重 STEP1 での値である。また、図中の応力の最小値、最大値は、所定回数ごとに測定したひずみデータからそれぞれのグラウト

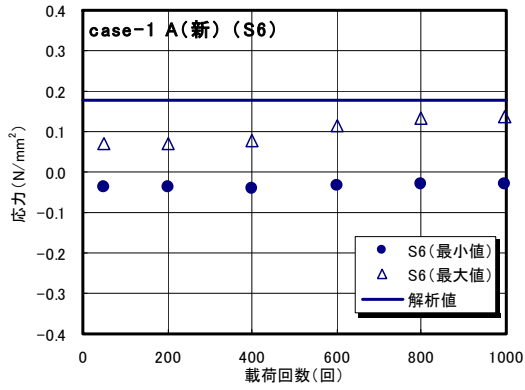


図-35 発生応力 (case-1 (A (新)))

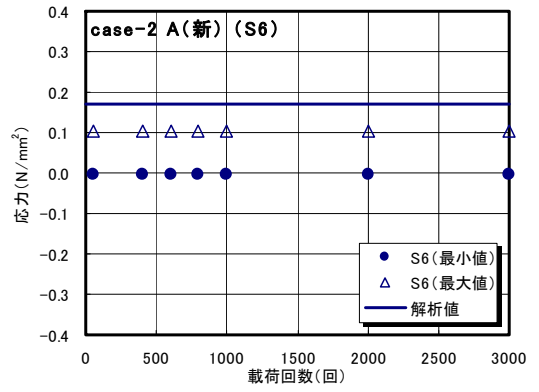


図-37 発生応力 (case-2 (A (新)))

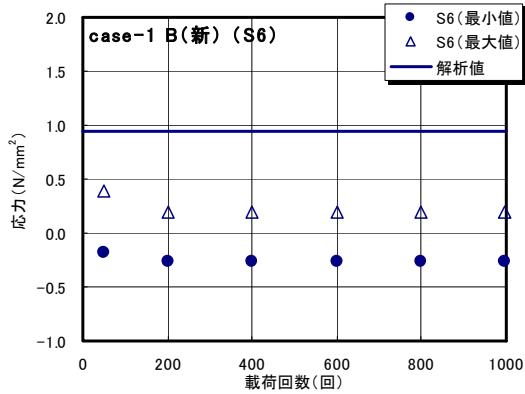
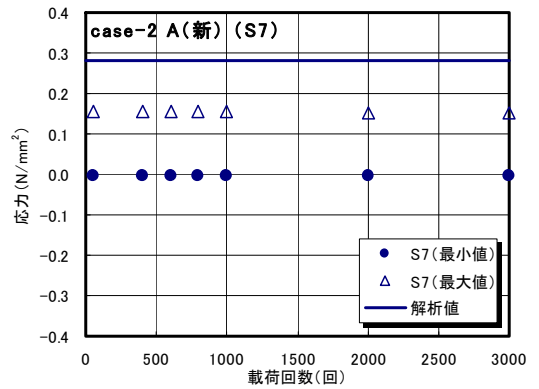
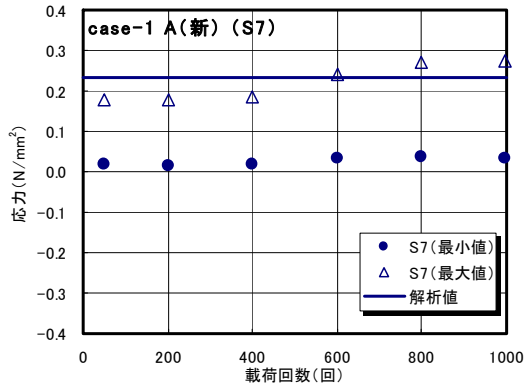


図-36 発生応力 (case-1 (B (新)))

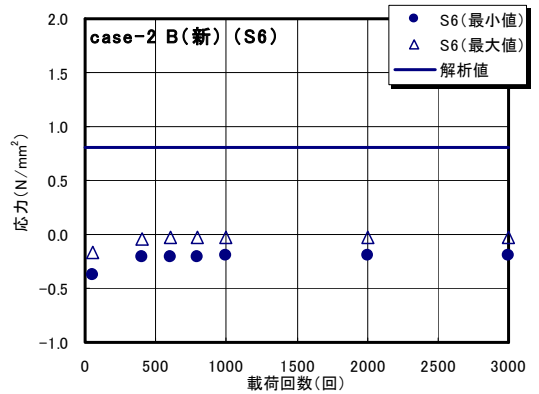
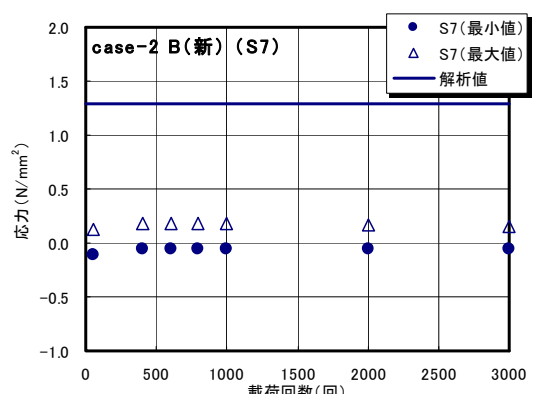
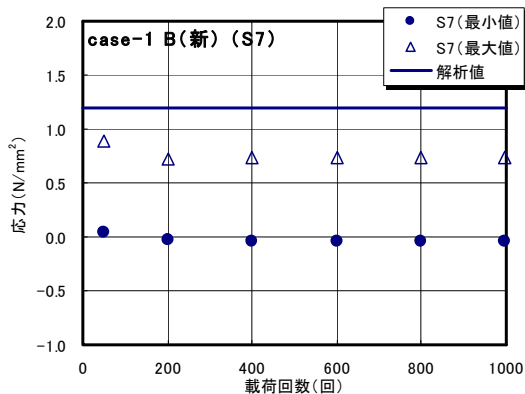


図-38 発生応力 (case-2 (B (新)))



材の変形係数を乗じて求めたものである。

(2008年6月13日受付)

case-1, case-2 のグラウト材Aについては、グラウト上縁、下縁に生じる応力の実験値はともに引張側に生じる傾向を示し、実験値と解析値も比較的良好な整合性を示した。一方 case-1 のグラウト材Bについては(図-36)、グラウト材の下縁中心(S7)に生じる応力の実験値と解析値は概ね一致する傾向にあったが、グラウト材上縁に生じた応力は、解析では引張応力として作用するのに対して、実験では圧縮応力として作用する傾向を示した。case-2 のグラウト材Bについても(図-37)、グラウト材上縁に生じた応力の実験値は、圧縮応力として作用する傾向を示し、グラウト材下縁に生じた応力は解析値に比べて実験値は小さい傾向を示した。これらの理由として、今回の解析ではPC 舗装版とグラウト層の付着は完全であるものとして解析しているが、実際にはPC 舗装版とグラウト層の間で水平方向に滑りが生じたことが、実験値と解析値で異なる結果が生じた原因のひとつではないかと考えられる。但し全体的には、実験値と解析値とも載荷回数によらずほぼ一定の値を示しており、実際にグラウト材を充てんする環境下においても、今回設定したグラウト材の強度を有していれば、グラウト材の粉砕は生じないものと考えられる。

6. 結論

エプロン部のPC 舗装版端部と緩衝版の目地部において、航空機荷重が通過する際にPC 舗装版の端部から水が噴き上がる現象(ポンピング)が生じ、目地部近傍には細粒化した物質が発生したことを踏まえ、本研究ではグラウト材が粉砕した原因と、粉砕を防止するためのグラウトの開発ならびにその性能の確認を行った。本研究で得られた結論を以下に示す。

(1) 疲労載荷試験の結果、グラウト材とPC 舗装版に隙間が生じていない場合は、繰返し載荷に対しても、グラウト材にひび割れや粉砕は認められなかった。一方、PC 舗装版とグラウト材の間に隙間が生じ、グラウト材の水結合材比が路盤内の滞水等の影響により大きくなった場合には、グラウト材に粉砕が生じることが分かった。

(2) 新たに開発したグラウト材は、滞水環境においても設定した強度を有していること、流動性に関しては現行グラウト材の充てん時間の2倍程度以内に収まることを確認した。疲労載荷試験の結果、載荷点付近にひび割れが生じたが、粉砕は生じなかった。

謝辞

本研究は、国土交通省関東地方整備局からの受託試験費で行った研究をとりまとめたものである。研究を進めるに当たって、関東地方整備局関係者から多くの情報・助言を頂いた。ここに、感謝の意を表します。また、本研究を進めるに当たり、青山敏幸氏(株式会社ピーエス三菱)、中野正一氏(三菱マテリアル株式会社)ならびに宮脇賢司(住友大阪セメント株式会社)には、グラウト材の開発ならびに材料の試験他に多大な貢献をしていただいた。あわせて、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 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, Vol. 28, No. 2, 1989. 6.
- 2) 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, 1990. 12.
- 3) 港湾空港技術研究所, (株)ピーエス三菱, 三菱マテリアル(株), 住友大阪セメント(株): 空港 PC 舗装版下に使用する改良品グラウト材の耐荷性・充填性に関する検討, 試験報告書, 2007. 5.
- 4) 早野公敏, 北詰昌樹, 青山敏幸, 中野正一, 宮脇賢司: 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, 土木学会, 舗装工学論文集, 第 12 巻, pp. 173-181, 2007. 12.
- 5) 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, 港湾技研資料, No. 818, 1995. 12.
- 6) 上菌 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, 舗装工学論文集 Vol. 1, pp. 299-304, 1996. 12.
- 7) 土木学会: PC グラウトの流動性試験方法, JSCE-F 531-1999, 2007.
- 8) 土木学会: PC グラウトのブリーディング率および膨張率の試験方法, JSCE-F522, 1999.

港湾空港技術研究所資料 No. 1183

2008. 9

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 昭和情報プロセス株式会社

Copyright © (2008) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI.

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事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。