

PC 舗装の裏込グラウト開発の現状等について

(国研) 海上・港湾・航空技術研究所 港湾技術研究所
構造研究領域 空港舗装研究グループ 伊豆 太
三菱マテリアル株式会社 セメント事業カンパニー 生産部
セメント研究所 製品グループ 高原幸之助
株式会社ピーエス三菱 技術本部 技術部 諸橋 克敏

1. はじめに

これまで空港 PC 舗装の裏込めグラウト（以下グラウトという。）について、現場の要請等に応じて多くのものが開発されてきた。開発開始から相当の年数が経過したこともあり、その経緯を振り返るとともに現行グラウトの性能等を紹介し、その技術的な課題について明らかにすることを目的としてとりまとめた。

2. 空港における PC 舗装とグラウト

PC 舗装については、特に、海上埋立て空港等沈下が予想される空港においては、将来の沈下対策とたわみの追従性が期待され導入がなされてきた。当初は、現場打ちのポストテンション方式が主であった。近年では、供用時間の延長等にもない、施設の更新やメンテナンスに使うことのできる時間が短くなる傾向にある。こうした更新・メンテナンス時間の制約等を考えるとコンクリート舗装については、適度な大きさのプレキャスト版による更新が現実的な選択肢の一つであると考えられ、実際、短時間で供用が求められる場合に用いられている。

グラウトは、路盤、特に粒状路盤の不陸に対応し、早期に強度を発現し、PC 版を確実に支持することが必要である。(図-2.1) PC 版はグラウトが充填されていることを前提として設計されているため、確実に充填されること供用中十分な耐久性を有していることが重要である。このため、裏込めグラウトに要求される主な性能として、路盤材としての一軸圧縮強度、充填性、水中不分離性、早期開放性、疲労耐久性が挙げられる。(図-2.2)

グラウトは基本的にセメントをベースとし、各種添加材により構成されている。黎明期における施設については、供用開始後相当の年数が経過し、近年、一部空港において、荷重及び浸水した水に起因すると考えられるグラウトの分離と PC 版ジョイント部からのノロ化したグラウトを含んだ水の噴出が見られる事例が生じている。上述の通りグラウトが損失すると PC 版自体に損傷が生じるため、グラウトの再充填といった早急で抜本的な対応が必要であるが、施設クローズまた、過去グラウトについては、耐久性について現在振り返ると必ずしも十分ではないものもあり、こうしたグラウト上に新グラウトを再注入した場合必ずしも効果がない場合がある。

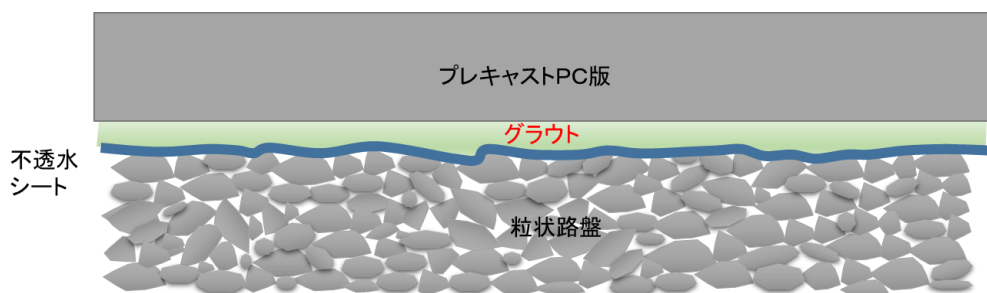


図-2.1 PC 舗装と裏込めグラウトのイメージ

- **充填性**
 - 細かい隙間へも自然流下で充填できること
 - JAロート流下時間で規定（充填試験の実施）
 - 充填後にPC版との間に空隙が生じないこと
 - ブリーディング率で規定
- **水中不分離性**
 - 滞水中に注入しても分離しないこと
 - 滞水中4m流下後の圧縮強度で規定
- **早期開放**
 - 夜間施工で翌朝に供用できること
 - 材齢2時間の圧縮強度で規定（路盤材としての強度を規定）
- **疲労耐久性**
 - 航空機荷重の繰り返し载荷を受けて粉砕化しないこと
 - 強度性状、ホイールトラッキング試験で規定

図-2.2 裏込めグラウトに求められる性能

3. グラウト開発の経緯

グラウト開発の経緯を図-3.1 に示す。弾性係数の低減から高強度、早期発現性、繊維の添加という大きな流れがある。

多くの製品等が開発されたが、現在、製品として存在しているのは、超速硬、繊維無し（以下タイプ①）及び超速硬、水中不分離、繊維有り（以下タイプ②という。）である。

- 平成3年度 使用状況に合わせた3タイプのグラウト材の開発
 - ① 普通 概ね材齢3日で供用可能
 - ② 早強 概ね材齢1日で供用可能
 - ③ 速硬 概ね材齢3時間で共用可能
- セメント安定処理路盤の強度規程を適用一軸圧縮強度が20Kfg/cm²以上
- 平成12年度 超速硬、低弾性品の開発
 - グラウト厚の増を踏まえ路盤材に近い低弾性、低強度、低コスト
- 平成19年度 水中不分離機能を付加したグラウト材の開発
- 平成20年度 粉砕化抑制グラウト材の開発
 - アラミド繊維等の補強材を混入

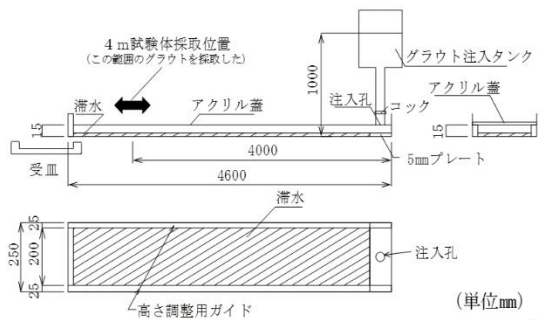
図-3.1 グラウト開発の主な経緯

4. 性能の検証試験

性能の検証については、充填性、水中不分離性、早期開放性、疲労耐久性の試験に大別される。

充填性の試験は図-4.1 のとおり、グラウトを注入孔から水路に流下させることにより行った。

水中不分離性については、4m 流下後の圧縮強度により、早期供用性については、材齢 2 時間後の圧縮強度により、疲労耐久性については、水浸ホイールトラッキング試験機により繰り返し荷重を載荷して行った。（図-4.2）試験後の状況について、タイプ①については、粉砕化後ノロ化が生じるが、タイプ②についてはアラミド繊維を添加しており、ひび割れはするものの著しい粉砕化やノロ化はみられない。（写真 4.1）



項目	条件等	測定値	要求性能
流動性(秒)	直後	17.2	20±5
ブリーディング(%)	2時間後	0.0	1.0以下
圧縮強度 (N/mm ²)	4mの位置	15.5	1.96以上
	0mの位置	37.4	

図-4.1 充填性及び水中不分離性の検証試験

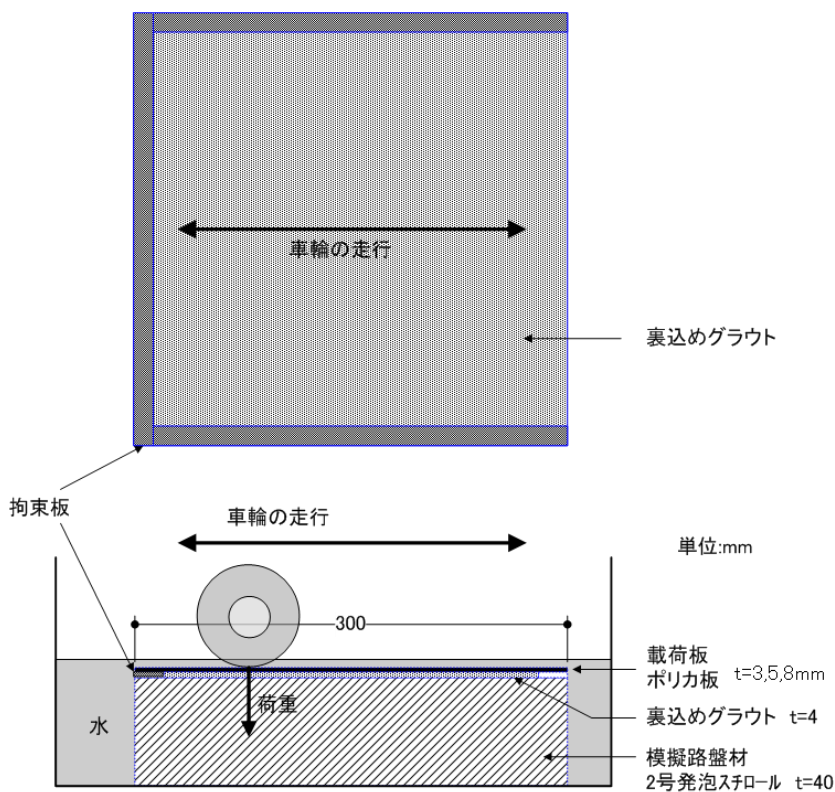
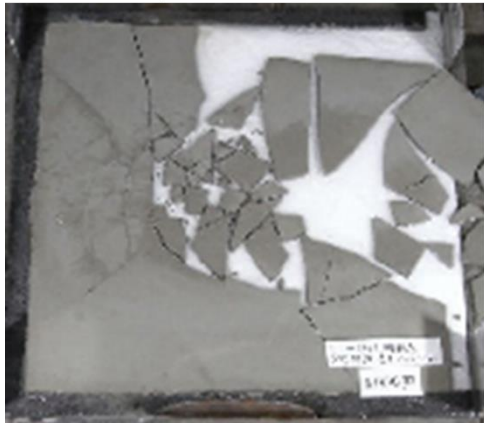


図-4.2 WT (ホイールトラッキング) 試験

タイプ①

繊維無混入品
(往復5000回)



タイプ②

繊維混入品
(往復20000回)

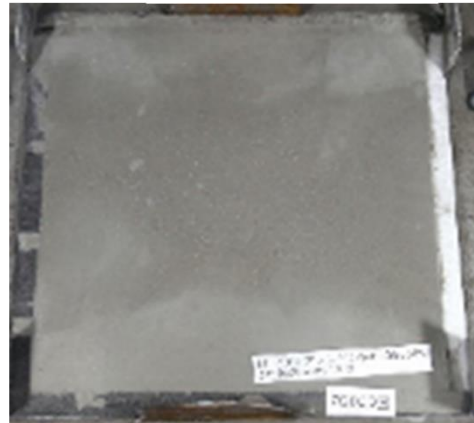


写真-4.1 WT 試験後のグラウトの状況

5. グラウトに働く応力の試算

通常の PC 版の設計においては、グラウトに働く応力の計算等に行っていない。今回空港舗装の事例を参考としつつ、仮想のケースについてグラウトに働く応力を試算した。また、若材齢時を想定して、いくつかの静弾性率のケースについて試算を行った。

計算は有限要素法のプログラムである JCAPave3D により行った。

(1) 計算条件

計算に用いたメッシュ及び主な計算条件について以下に示す。

○対象となるメッシュモデルは図-5.1 の通りとした。

- PC 版 : 14m×7m、版厚 24cm
- 荷重 B777-200 一脚
- ジョイントは、水平ジョイントとし、同径、同間隔のダウエルバーとした

○プログラムの性格上、PC 版については、無筋版と同様の設定とした。

○PC 版とグラウトの境界面は、はがれあり付着なし、はがれなしの 2 ケースとした。

○路盤は粒度調整 40cm、路床は土とし、材料定数は Pave3D のデフォルト値を使用した。

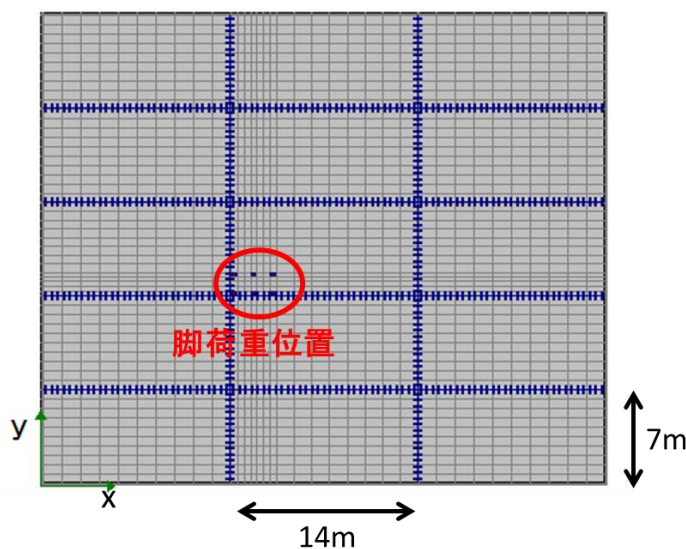


図-5.1 計算に使用したメッシュモデル

※プレキャスト PC 版 3 枚を 1 組として接合した場合を想定

(2)試算結果の概要

グラウトに発生する応力 σ_x と σ_y の試算結果を図-5.2 に示す。なお、添え字 b, t は、それぞれグラウト下(bottom)、上(top)を表す。底面に最大 2MPa 程度の応力が生じている。

疲労引張強度 ftf と引張強度 ft の関係を次式で仮定すると

$$ftf = ft \left(1 - \frac{\log N}{K} \right)$$

ここに、 N は繰り返し载荷回数、ただし K を 10 とする。

10 万回载荷の場合、 $ftf = 0.5ft$ となり、引張強度が 4 MPa 程度以上あれば、疲労破壊は生じないと考えられる。

版とグラウトの境界条件の影響については、「はがれ有り、付着無し」の条件の方が若干ではあるが、「付着有り」の条件よりも発生応力が小さい。リフトアップ工法の場合グラウトと PC 版は付着しないようにシート等を設置されているが、リフトアップ等を繰り返した場合にははがれ防止効果について低下することも思料される。このことから、版とグラウトの付着防止の徹底により発生応力を多少軽減できる可能性がある。

プレキャスト版を使用した更新作業では将来の沈下対策を考慮しておらず、シートは路盤とグラウトの間に敷設されている。(PC 版とグラウトの間にはシートは無い。)

グラウトの弾性率と発生応力の関係については、弾性率が小さいほど、発生する応力は大きくなる傾向がある。このため、グラウトの強度等の物性と比較すると材齢 2 時間等若材齢時に荷重が载荷された場合に引張強度を超過しひびが生じる可能性がある。

また、今回の計算では、既存グラウトや路盤の不均一、版への部分付着等にもない生じうる応力の集中については、考慮していないため、実際のグラウトにおいては、グラウトの不均一や路盤の不陸等による予期できない大きな応力が生じ、そこから損傷が進行していく可能性もある。

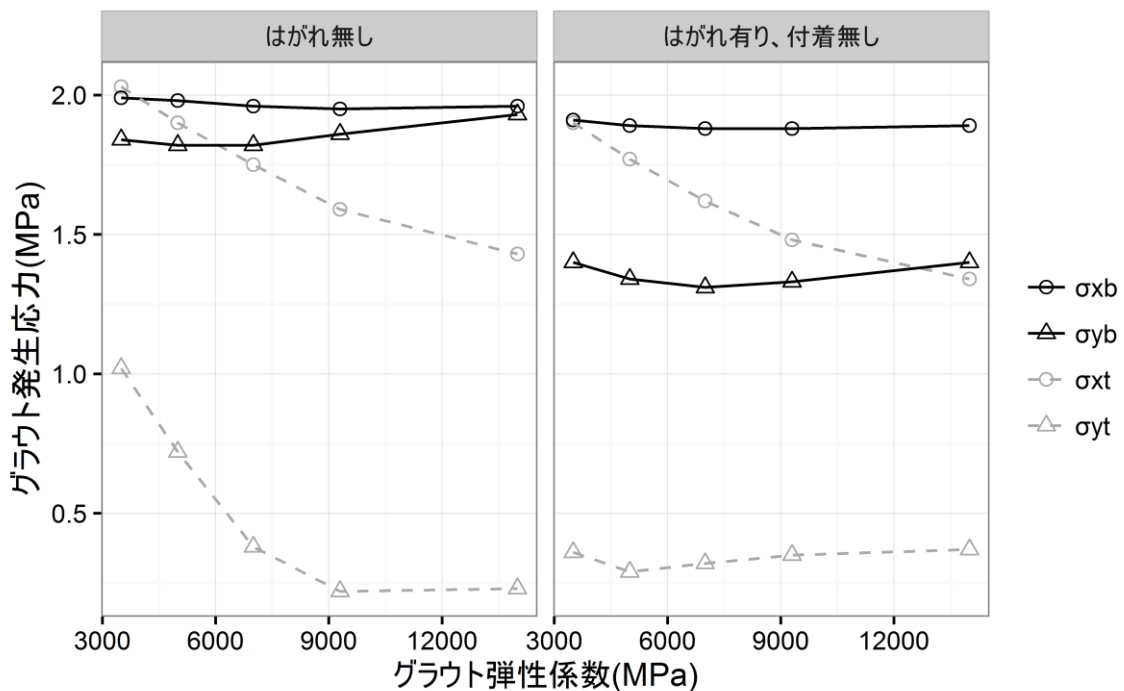


図-5.2 グラウト上下面に生じる応力 σ_x 、 σ_y の試算結果

表-5.1 グラウトの材齢別の物性値（一部推定を含む。推定値は斜体）

	材 齢		
	2時間	1d	7d
圧縮強度 (MPa)	10.55	20.9	40
引張強度 (MPa)	1.24	3~4程度	7程度
ポアソン比	<i>0.25</i>	<i>0.25</i>	0.25
静弾性係数 (MPa)	<i>7000</i>	<i>9300</i>	14000

6. 今後の課題

(1)若材齢時の強度の確保

今後若材齢時のグラウトの挙動について、さらなる検討が必要であるが、若材齢時の交通開放により、損傷を受ける可能性もある。ある程度の強度が発現するまで供用しないことが重要であるが、空港の場合早期供用を求められる状況も考えられるためグラウトの強度発現特性について、必要に応じ検討を行うことが重要と考えられる。

(2)グラウトの不良の発見・検出技術

グラウトの損傷について、地中レーダによる探査等試みられているものの、確立された手法はない。今後、版表面から早期に確実に検出する技術や点検方策の開発が重要である。

(3)適切な排水方策

空港舗装には、勾配が緩やかである。このため、沈下等により勾配が変化した場合などにおいて表面排水が良好に行われず、ジョイント等から浸水する可能性がある。浸水した場合、版内そこに大重量、高設置圧の航空機荷重が載荷された場合、大きな水圧が生じノロ化を促進する可能性がある。このため、詰まりを考慮しつつ適切な排水を考えることが重要である。

(4)グラウトの高性能化

グラウトの重要性の認識仮に版が健全であってもグラウトが損失等すると高価な版の健全性が損なわれてしまうことになる。不良部への再充填を行うことが一つの対策であるが、グラウトが粉砕化等している場合その有効性については、必ずしも明らかではなく、最終的には版を一度撤去し、不良グラウトの撤去、新グラウトの注入という抜本的な対策が必要となることも考えられる。この場合、工事が大がかりなものとなり、供用の停止につながることもなる。グラウトはPC版を支持する重要な材料として認識し、ある程度費用をかけ高性能なものを開発することが重要である。例えば、耐久性の向上として、施工時の充填性を確保した上で、補強繊維等の添加量の増加等が考えられる。

(5)既存のノロ化した箇所へのグラウトへの充填性

前項と関係するが、ノロ化等したグラウトに対する再充填性、再充填後の性状について、必ずしも明らかになっていない。今後実験等により検証することが必要である。また、不陸部分やグラウト厚が変動している箇所では、応力が集中する可能性もあり、こうした施工を可能な限り避ける方策の検討も必要である。

7. 最後に

最後にこれまで、グラウトの開発に携わってきた多くの先人のご努力、ご苦労について、改めて敬意を表明するとともに今後航空機運航の安全性の向上のため、さらなる性能の向上に向けて努力して参りたい。