

PC グラウトの設計施工指針の改訂について

池田 尚治*1・手塚 正道*2・二井谷 教治*3・細野 宏巳*4

1. はじめに

プレストレストコンクリート工学会（2012年3月以前は同技術協会）では世界的にPCグラウトの技術的な問題点が顕在化したことに呼応して2005年に「PCグラウト設計施工指針」を規準化した。これは(株)プレストレスト・コンクリート建設業協会からの受託事業として同協会の協力のもとに実施されたものであった。この指針の内容は、コンクリート標準示方書¹⁾、道路橋示方書²⁾等に反映され、わが国のPCグラウトの信頼度を大幅に向上し、PC構造物の耐久性確保に大きく貢献する役割を果たしてきた。しかしながら、その後のPCグラウトの技術的な発展や多くの経験を積み重ねた結果、より合理的な品質管理方法、更なる信頼性の向上に向けて、改訂の必要性が生じてきた。そこで、再び同協会からの受託として「PCグラウトの設計施工指針改訂委員会」（委員長：池田尚治 横浜国立大学名誉教授）を設置し、改訂作業に取り組んだ。委員会は、4つのWGを設置し、実務者へのアンケート調査、海外規準類および文献調査、PCグラウトの物性に関する室内ならびに現場フィールド試験、PC鋼材がシースに挿入後腐食するまでの期間に関する確認実験等を実施した。それらを参考に改訂案を作成し、委員会での審議、意見照会等を踏まえて、2012年12月に「PCグラウト設計施工指針 -改訂版-」（以下、改訂版）を発刊した（写真-1）。



写真 - 1 PC グラウトの設計施工指針 - 改訂版 -

本稿では、改訂内容の概要と、改訂にあたり実施した実験等根拠とした内容を合わせて報告するものである。

2. 構成、章立て

改訂版は、第I編 設計施工指針、第II編 標準マニュアル、付録、参考資料（CD）で構成されている。

第I編 設計施工指針の章立てを図-1に示す。第I編では、2011年9月に「コンクリート構造設計施工規準 -性能創造型設計-」³⁾が策定されたことを受けて、その概念を基本とすることとした。1章1.1 適用の範囲では、この指針が、プレストレストコンクリート橋において、内ケーブルのダクトの空隙充填材料としてPCグラウトを用いる場合の設計および施工に適用するものであることを明記している。2章では、プレストレストコンクリート橋の保有すべき性能のうち、とくにPCグラウトに関連するのは耐久性と安全性であり、この章では、この2つの性能において、PCグラウトに関連する事項に着目し、その照査の基本的な考え方を示している。これを受けて、3章以降PCグラウトについて、保有すべき性能、性能照査、施工、検査、記録、教育と章立てし、基本原則を示している。

1章	総 則
2章	プレストレストコンクリート橋の保有すべき性能
3章	PC グラウトの保有すべき性能
4章	PC グラウトの性能照査
5章	施 工
6章	検 査
7章	記 録
8章	教 育

図 - 1 第I編 設計施工指針章立て

第II編 標準マニュアルの章立てを図-2に示す。この標準マニュアルでは、第I編の考え方に沿って現時点の技術レベルにおけるPCグラウトの標準的な設計施工方法を示している。2章ではPCグラウトが保有すべき性能を満足するPTシステム（ポストテンション方式において、PC鋼材、シース、定着具、アンカーキャップ、グラウト

*1 Shoji IKEDA：(株)複合研究機構 代表取締役 横浜国立大学 名誉教授

*2 Masamichi TEZUKA：オリエンタル白石(株) 施工・技術本部

*3 Kyoji NIITANI：オリエンタル白石(株) 技術研究所

*4 Hiromi HOSONO：三井住友建設(株) 土木技術部

キャップ、グラウトホース、PCグラウト等から構成された一連のものをいう)の現時点での一般的な材料の範囲を示した。3章では、第I編に示される照査方法の具体的な実施方法に基づくPCグラウトの設計を行い、4章では3章で規定する品質や流動性を実現するための実際の配合設計、5章では、4章までに決定した内容を施工に反映する場合の具体的な方法と、確実な施工を行うために考慮すべき内容について示した。6章では、保有すべき性能を満足するPCグラウトが確実に施工されたことを確認するための、各施工段階において実施される検査の項目と方法について示した。

付録の目次構成を図-3に示す。付録では、標準マニュアルを理解する上で必要となる情報等を掲載したものである。

参考資料は、付録の原典となる報告書、文献等をCDに集録したものである。

今回の改訂版では、第II編 標準マニュアルの改訂を主眼において取り扱ったので、本稿では標準マニュアルの改訂事項について示す。

3. 改訂事項

第II編 標準マニュアルの主な改訂事項について、章立てに沿って以下に示す。

3.1 1章 総則

1.2 PCグラウトの設計施工の基本

(2) PCグラウトの設計施工にあたっては、PCグラウトに関する十分な知識を有する技術者が行わなければならない。

1章の総則では、「1.2 PCグラウトの設計施工の基本」において、PCグラウトに携わる技術者はPCグラウトに関して十分な知識を有する必要があることから、上記の条文を追加した。

さらに解説には具体的な資格要件として、PTシステムおよびPCグラウトの設計に携わる技術者は、プレストレストコンクリート工学会認定のプレストレストコンクリート(PC)技士、またはコンクリート構造診断士の資格を有するものとする。また、グラウト作業管理者およびグラウト検査員はPC技士、またはコンクリート構造診断士の資格を有し、かつプレストレスト・コンクリート建設業協会が実施しているPCグラウト研修会受講修了者であることを記載している。

3.2 2章 材料

2章の材料では、プレミックス材(セメントと混和剤があらかじめ混ぜ合わせられて製品化されたもの)とグラウト混和剤について、現状で流通し、6章 検査で合格が確認できているものについて、解説に名称、主要成分等を表示した。

2.5.1 シース

(2) シースは、プラスチック製シースを使用するのがよい。

また、プラスチック製シースについて、これまでは、塩害対策等で特に耐久性が要求される場合に推奨してきたが、改訂版では、PC鋼材の腐食に対してより対策を高くしておくこと、言い換えると安心を付加しておくことが重要であるとの観点から、一般環境においても推奨することとし、条文を上記のように改訂した。

1章 総 則	5.2 施工計画
1.1 適用の範囲	5.3 使用材料の確認
1.2 PCグラウトの設計施工の基本	5.4 使用材料の保管と取扱い
1.3 用語の定義	5.5 注入までの処置
2章 材 料	5.6 材料の計量
2.1 一 般	5.7 練混ぜおよび攪拌
2.2 PC鋼材	5.8 注入作業
2.3 定着具	5.9 ステップバイステップ注入方式
2.4 PCグラウト材料	5.10 注入口、排気口、排出口のあと処理
2.5 ダクト形成材料	5.11 定着具のあと埋めおよび部材端面の保護
2.6 グラウトホース	5.12 施工機械、器具
2.7 グラウトキャップ	5.13 寒中グラウト工
2.8 あと埋め材料	5.14 暑中グラウト工
2.9 あと埋め部分の防水材料	5.15 プレキャストセグメント工法
3章 PCグラウトの設計	5.16 トラブル対策
3.1 一 般	6章 検 査
3.2 塩化物イオン含有量および圧縮強度の照査	6.1 一 般
3.3 有害となる残留空気照査	6.2 PCグラウトの品質検査
4章 配 合	6.3 PCグラウトの施工に関する検査
4.1 一 般	6.4 PCグラウトの充填検査
4.2 使用材料の選定	6.5 発注者による検査
4.3 配合の決定	7章 記 録
4.4 試し練り	7.1 一 般
4.5 施工時の配合決定	7.2 記録内容
5章 施 工	7.3 記録の保存
5.1 一 般	8章 教 育
	8.1 一 般
	8.2 PC技術者の教育

I PCグラウト設計施工指針試験方法案
1. PCグラウトの充填性に関する実物大試験方法
2. PCグラウトの流動性試験方法(自動質量計測方法)
II 過去の実物大試験
III PC鋼材の腐食に関連した耐久性問題の事例と課題
IV PCグラウト注入時のトラブルと対処の事例
V PCグラウトに関連する研究と技術の動向
VI PCグラウトの室内試験およびフィールド試験結果
VII PCグラウト充填までの期間および一時防錆対策に関する試験結果
VIII 記録用紙

図-2 第II編 標準マニュアル章立て

図-3 付録目次構成

○委員会報告○

解説には、その主旨を記載するとともに、取り扱い上、鋼製シースと異なる留意すべき点を記載し注意喚起した。

3.3 3章 PC グラウトの設計

3章のPCグラウトの設計では、「3.3 有害となる残留空気の照査」において、実物大試験によることを原則としているが、改訂前では、実物大試験についてどのような試験を実施するのか明確に記載されておらず、また、実物大試験と実際の施工との関連性も不明確であった。そこで、改訂版では、「3.3.2 実物大試験」の項を設けて、条文、解説にどのような試験を実施するのか記載するとともに、「3.3.1 一般」に実施工との関連性について、以下の条文を追加した。

3.3.1 一般

(3) 実施工では、実物大試験で設定した内容を再現しなければならない。

実物大試験で充填が確認されているグラウト材料、施工方法、たとえば、排気口の位置、注入流量等を施工でも確実に踏襲することを明確に示した。また、5章の施工においても、これを受けて「5.2 施工計画」に以下の条文を追加している。

5.2 施工計画

(2) PCグラウトの施工計画書は、実物大試験の結果を反映し作成しなければならない。

実物大試験については、試験の効率化、試験の内容で必要となるデータを収集し、より有効なデータベースの構築を図ることを目的に、統一的な試験方法を策定した。策定した統一的な試験方法を「付録I PCグラウト設計施工指針試験方法案 1. PCグラウトの充填性に関する実物大試験方法」として収録している。

次に、「3.3.5 注入口、排気口、排出口の配置」において、グラウトホースの処理に関して、複数本ある場合に束ねて橋面に出す方法がこれまで採用されてきたが、束ねることによってホース間に隙間が生じ、その隙間が水みちとなる場合があることが分かってきたため、解説に、グラウトホース間のあきを「粗骨材最大寸法の4/3以上」確保するよう注意喚起した。

3.4 4章 配合

4章の配合については、実際の施工で使用されているブレミックス材およびグラウト混和剤を調査して見直すとともに、それらの材料に関して、配合を決定する上で必要な配合例などを最新の情報に更新した。これらに加え、主として下記の項目に関して変更を行った。

① 試し練り

② 施工時の配合

以下に、それぞれの項目について、変更点の詳細を記載する。

(1) 試し練りについて

PCグラウトが保有すべき性能は「PC鋼材を腐食から保護する性能」と「部材コンクリートとPC鋼材を一体化する性能」である。それらを満足させるためには、ダクト内

に有害な残留空気を残さず、PCグラウトを確実に充填しなければならない。そのため、PCグラウトの設計においては、構造物のダクト配置形状に対してPCグラウトの流動性を設定し、実物大試験などによって、確実に充填できることを照査しなければならない。この照査において、設定した条件に応じて、ダクトに設ける中間排気口位置など注入の方法が決まる。それらの条件のなかでも、PCグラウトの流動性はPCグラウトの充填性を大きく左右する要因であるため、施工時においても設定した流動性を確保することが必要となる。

4.4 試し練り

(2) 試し練りは、施工時を想定した外気温でその性状を確認しなければならない。

試し練りは、施工時において設計で設定されたPCグラウトの品質を担保するために重要であり、水粉体比または水セメント比を調整して所要の流動性を確保するとともに、工事ごとの基準試験を実施して、PCグラウトの品質が設定された判定基準を満足することを確認しなければならない。図-4は、水粉体比または水セメント比を一定としたときの、PCグラウト温度とJP漏斗流下時間との関係の例である。PCグラウトの流動性は、その温度に大きく影響を受けることがわかる。すなわち、PCグラウトの特性、とりわけPCグラウトの流動性は、施工時の環境条件および気象条件の影響を大きく受けるため、PCグラウトの練上がり温度を予測して、試し練りを行うことが必要である。

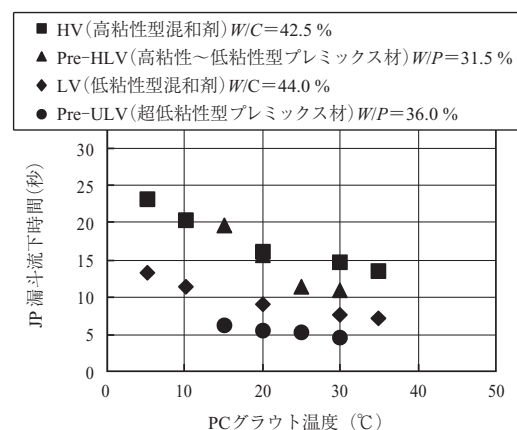


図-4 PCグラウトの温度と流下時間との関係の例

これまでの、PCグラウトの圧縮強度は、材齢28日で30 N/mm²以上であることを確かめることによって保証していた。したがって、試し練りと実施工との期間は、28日以上確保する必要があるが、施工場所や時期などによっては、試し練り時と実施工との環境差が大きくなる場合があり、実施工に試し練りの結果を反映できないことも想定された。改訂版においては、後述する「3.6 6章 検査」において示すように、材齢7日以上28日以内で強度を保証することに変更されたため、試し練りと実施工との期間は、最短で7日となり、より実施工と近い環境で試し練り

を実施することが可能となった。

なお、施工時には気象条件等により、想定したPCグラウト温度と異なる場合が考えられるので、試し練りにおいては判定基準に対して余裕をもった配合としておくことが望ましい。また、PCグラウト温度が低くなると流下時間が長くなる傾向があるため、冬期施工が想定される場合には、水粉体比あるいは水セメント比を推奨値の範囲内でできるだけ高めに調整しておいた方がよい。

(2) 施工時の配合について

4.5 施工時の配合決定

PCグラウトの施工時には、計画において設定した環境条件が異なる場合など、必要に応じて配合を適切に調整しなければならない。

先に述べたように、PCグラウトの特性は、施工時の気象条件の影響を受けるため、試し練りにおいては、実施工の環境にできるだけ近い状態で、品質が設定された判定基準を満足するよう配合などを計画しておかなければならない。

それでも、気象条件などの自然条件により、施工時の環境が試し練りにおいて想定した条件と異なり、PCグラウトの流動性などが設定した条件と異なる場合には、必要に応じて配合を適切に調整しなければならない。このときに優先すべきことは、PCグラウトの流動性の確保である。PCグラウトの流動性は、練り上がり温度によっても影響を受けるため、施工時の気温によって変動し、有害となる残留空気の有無を照査したときの条件範囲を外れ、充填性を確保できない可能性がある。このような場合には、注入直前に、水粉体比あるいは水セメント比の軽微な変更のみによって調整を行うこととした。これは、図-5に示すように、PCグラウトの流動性は水粉体比または水セメント比に敏感であるのに対し、圧縮強度や塩化物イオン含有量はあまり敏感でないためである。ただし、軽微な変更でPCグラウトの所要の流動性および品質を満足できない場合は、注入作業を中止し、再度工事ごとの基準試験を行って配合の修正を行わなければならない。

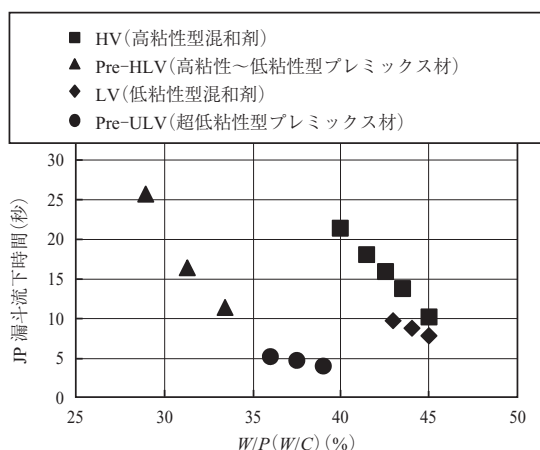


図-5 W/P (W/C) と流下時間との関係の例

3.5 5章 施工

5章の施工については、実際の施工を反映した最新の情報に更新したのに加え、主として下記の項目に関して変更を行った。

- ① PCグラウト注入までの期間
- ② 材料の計量
- ③ 寒中グラウト工

以下に、それぞれの項目について、変更点の詳細を記載する。

(1) PCグラウト注入までの期間について

5.5 注入までの処置

(3) PC鋼材のダクトへの挿入および緊張後、速やかにPCグラウトを注入し、有害な錆が生じないようにしなければならない。

PC鋼材は、速やかにPCグラウトを注入し、有害な錆が生じないようにしなければならない。このことについては、道路橋示方書²⁾にも同様の記述があり「できるだけ早い時期にグラウトの注入作業を行う必要がある」と記されているが、「速やか」とはどの程度の期間なのかが明確でない。そこで、今回の改訂では、実験を行ってPCグラウトを注入するまでの期間を明らかにし、その期間を例示することとした。

実験は、図-6に示すコンクリート供試体を製作し、φ70mmのポリエチレン製シース内にPC鋼材(SWPR7B, 1S12.7, L=900mm)を12本ずつ挿入し、屋外に暴露した。所定期間暴露したPC鋼材はシースから取り出し、健全性の調査を行った。実験要因は、暴露期間、シース端部の密閉・開放、および一時防錆対策の有無である。これらの要因を組み合わせ、10種類の条件によって実験を行ったが、ここでは、それらのうちから、表-1に示す代表的な4つのケースについてのみ取り上げることとする。

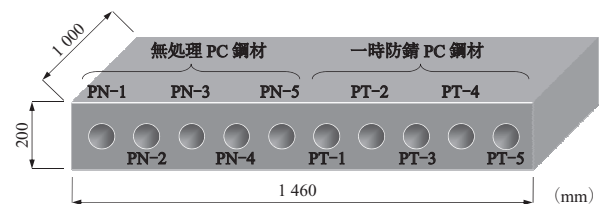


図-6 屋外暴露用コンクリート供試体

表-1 実験要因

ケース名称	シース	一時防錆対策	暴露期間	初期損傷	初期濡れ	シース端部
PN-4	PE	なし	16週	予めPC鋼材をシース内で100m相当移動させる	水で濡らして乾いた布で拭き取る	密閉
PN-5		なし				開放
PT-1		防錆油	30週			密閉
PT-3		乾燥空気 ≤ RH60%				
ブランク	比較用：暴露、初期損傷、初期濡れなしの試験体					

PN-4およびPN-5は、グラウトを注入するまでの期間を検討するケースで、無処理のPC鋼材に「初期損傷」お

○委員会報告○

よび「初期濡れ」の前処理を施した後、シースの端部を密閉または開放して16週間暴露した。「密閉」はシース端部をアクリル板にて蓋を施し、「開放」はアクリル板にφ26mmのグラウトホースを接続して、雨水が入らないように外気と通気させた。2種類の前処理は、実施工を模擬したものである。「初期損傷」は、連続ケーブルをシースに挿入することを想定したもので、PC鋼材を100m相当シース内を移動させた。一方、「初期濡れ」は、PC鋼材をシースに挿入する前に濡らし、乾いた布で水分を拭き取った後に挿入することを想定したものである。PT-1およびPT-3は、一時防錆対策の効果を検証するケースである。PT-1は、PC鋼材に防錆油を塗布したもので、すでに国内でも使用されている対策である。PT-3は、除湿機能を持った送風機によってシース内に乾燥した空気を送風したケースで、シース内の湿度がRH60%を超えないように制御した。ブランクは、PC鋼材に前処理および暴露をまったく施さないものであり、基準となる試料である。

PC鋼材は、ダクトへ挿入後、PCグラウトを注入するまで錆がまったく生じないのが理想であるが、実施工では現実的とはいえない。そこで、表面的な極軽微な錆は許容し、有害な錆が発生する前にPCグラウトを注入することが合理的である。したがって、実験においても許容できる錆を定義することとした。それらは、以下のとおりである。a) 錆の形成：錆が発生したときの暴露材齢、b) 錆の程度：柔らかい乾布で錆が拭き取れること、c) 機械的特性：PC鋼材の引張強度がブランクと比較して95%以上であること、d) 電気化学的特性：PC鋼材をPCグラウトに埋めたときの自然電位により再不導体化していると判断できること、の4項目であり、これらから総合的に判定することとした。なお、「柔らかい乾布で拭き取れる錆」は許容できる錆であることの判定については、FIPの文献⁴⁾を参考にした。

各ケースの実験結果を表-2に示す。無処理PC鋼材については、暴露8週ないし9週で点錆の発生を確認したが、暴露16週においても錆は十分乾いた布で拭き取れる軽微なものであった。また、ブランク試料の引張り強度を1.00とした時の引張強度比は1.02で、強度の低下もなかった。一時防錆対策を行ったPC鋼材については、暴露20週ないし25週で点錆の発生を確認したが、暴露25週においても錆は十分乾布で拭き取れる軽微なものであった。また、引張強度比は1.02～1.03で、強度の低下もなかった。写真-2は、PN-4（無処理、端部密閉）ケースのPC鋼材に発生した錆の状況である。9週で発生した錆は、16週ま

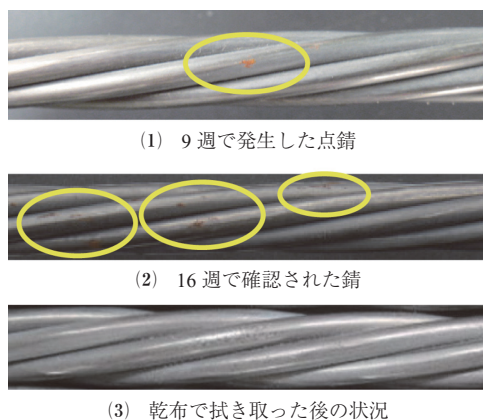


写真-2 PN-4に発生した錆の状況

で増加したが、乾布で容易に拭き取れる軽微なものであった。

暴露4週で錆のないPC鋼材、暴露16週で錆の発生したPC鋼材、およびブランク試料について、PCグラウト中に埋め込んだ後の自然電位測定結果を図-7に示す。なお、測定結果は、試料3本の平均値とした。ASTM C876⁵⁾の腐食判定によれば、各ケースとも不確定領域に位置するが、電位が材齢とともに貴な方向に推移していること、およびブランクと比較して同程度の電位であることから、暴露期間中に腐食したPC鋼材でも今回のような軽微な錆であれば、腐食は進行せず再不動態化していると考えられる。

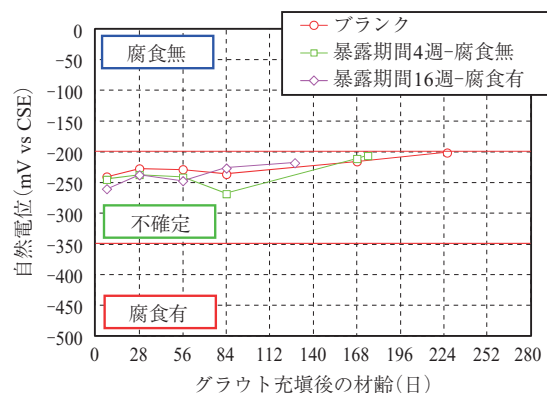


図-7 PC鋼材の自然電位測定結果

屋外暴露実験のシース内平均温度は、暴露開始から16週までの期間を通じての平均が19℃であった。一方、近年の日本の夏季においては猛暑日も珍しくなく、実施工を考えると、さらに厳しい環境条件で検討しておくことも必要であると考えられた。そこで、室内の恒温恒湿槽内で、温度30℃、湿度RH90%一定とした環境下での追加実験を行った。その結果、暴露5日で錆が発生し、2週では乾布で十分拭き取れたが、5週では拭き取ることが難しかった。ただし、引張強度については、6週においても引張強度比は1.00であり、強度の低下はみられなかった。

これらの実験結果を受け、環境条件に応じて、PC鋼材をダクトへ挿入後、次の期間を限度としてPCグラウトの

表-2 屋外暴露実験結果

ケース名称	一時防錆対策	シース端部	発錆確認した時期	引張強度比	錆が柔らかい乾布で拭き取れるか
PN-4	なし	密閉	9週	1.02	16週でも拭き取れる
PN-5	なし	開放	8週	1.02	
PT-1	防錆油	密閉	25週	1.02	25週でも拭き取れる
PT-3	乾燥空気 ≤ RH60%		20週	1.03	

注入を実施してもよいこととした。a) 厳しい環境の場合（期間中の日平均気温が 30℃ 以上になると予想される場合、または海上での施工）：2 週間以内。b) 中程度の環境の場合（期間中の日平均気温が 30℃ 未満になると予想される場合）：4 週間以内。c) 穏やかな環境の場合（期間を通して日平均気温が 20℃ 未満と予想される場合）：8 週間以内。ただし、上記期間内のできるかぎり速やかに PC グラウトの注入を行うことが原則である。なお、海上での施工は、気温に関係なく PC 鋼材の腐食に対して厳しい条件であるため、厳しい環境とした。また、降雨時の PC 鋼材の挿入は避け、やむを得ない場合はシートで覆うなどして雨を直接 PC 鋼材にあてないように処置をしなければならない。誤って PC 鋼材を濡らした場合には、乾いた布などで水分を拭き取ってからシースに挿入しなければならない。なお、これらと同様の記述は、fib の文献^{6, 7)}にも見ることができる。

(2) 材料の計量について

5.6 材料の計量

(1) PC グラウト材料の計量は、配合に示された質量であることを確認しなければならない。

(2) プレミックス材およびグラウト混和剤については、製造会社で計量した質量が製品に記載されているものを使用することを原則として、その値を計量値としてよい。

(3) セメントと練混ぜ水の質量の計量誤差については、下記の範囲内とする。

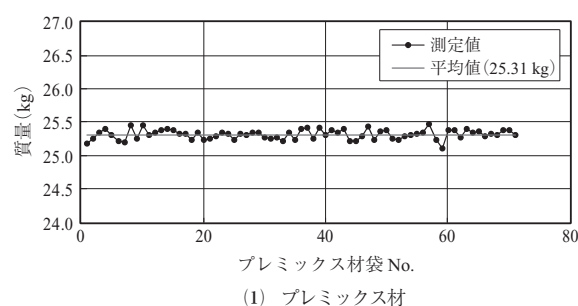
- セメント：セメント計量値の平均値に対して ± 2.0 % 以内
- 練混ぜ水：セメント計量値の平均値に対して調整した練混ぜ水質量の ± 1.0 % 以内

(4) セメントと練混ぜ水については、現場において、練混ぜ前までに計量を実施し、設定された質量であることを確認しなければならない。

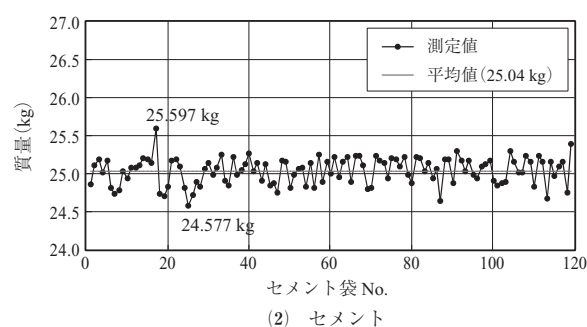
これまででは、材料の計量に関する規定は設けていなかった。しかしながら、PC グラウトの配合は、品質に大きく影響するため、国際規格 (ISO) への対応も視野に入れ、PC グラウト材料は、配合に示された質量であることを計量するなどして確認することとした。

図 - 8 は、現場に納入された PC グラウトプレミックス材の袋詰め製品およびセメントの袋詰め製品の質量を計量した結果である。

プレミックス材は、試料数が 71 袋で、計量した質量は表示値 25 kg に対して +0.4 ~ +1.9 %、計量結果平均値に対しては -0.8 ~ +0.6 % と小さなバラツキであった。それに対して、セメントは、試料数が 119 袋で、計量した質量は、表示値 25 kg に対して -1.7 % ~ +2.4 %、計量結果平均値に対しては -1.8 ~ +2.2 % と大きなバラツキであった。さらに測定した袋詰めセメントの約半数が、25 kg を下回る結果であった。また、べつの計量では、平均値が 25.5 kg を上回る場合も見られた。なお、これに合わせて行った混和剤の計量結果は、表示値に対して +0.7 % ~ +



(1) プレミックス材



(2) セメント

図 - 8 袋詰め材料の計量結果

1.3 % とバラツキは小さかった。

これらの計量結果を受け、プレミックス材およびグラウト混和剤については、製造会社で計量した質量が製品に記載されているものを使用することを原則として、その値を計量値としてよいこととした。一方、セメントと練混ぜ水については、現場において、練混ぜ前までに計量を実施し、設定された質量であることを確認することとした。なお、セメントと練混ぜ水の質量の計量誤差については、次の範囲内とした。a) セメント：セメント計量値の平均値に対して ± 2.0 % 以内、b) 練混ぜ水：セメント計量値の平均値に対して調整した練混ぜ水質量の ± 1.0 % 以内。なお、セメントの計量は、抜き取り方法によって行うこともできることとしたが、詳細については、改訂版を参照されたい。

(3) 寒中グラウト工について

5.13 寒中グラウト工

(2) やむを得ず寒中グラウトを行う場合には適切な対応を取らなければならない。

指針では、日平均気温が 4℃ 以下になることが予想されるときは、PC グラウトの注入作業を行わないことを標準としている。しかしながら、冬季においても PC グラウトの注入作業を行わなければならない場合もある。やむを得ず寒中に PC グラウトの注入を行う場合は、次の 2 項目の条件を満足しなければならない。a) 注入前にダクト周辺のコンクリート温度を 5℃ 以上におこななければならない。b) PC グラウトの温度は、注入後少なくとも 3 日間 5℃ 以上に保つことを原則とする。土木学会「コンクリート標準示方書 [施工編]」¹⁾の寒中コンクリートでは、普通の露出状態にある部材では、圧縮強度が 5 N/mm² に達するまでを要件として、5℃ 以上で養生する期間の目安が示

されている。図 - 9 は、現在使用されている 4 種類の PC グラウトについて 5℃ で養生した時の圧縮強度と材齢との関係を示す。

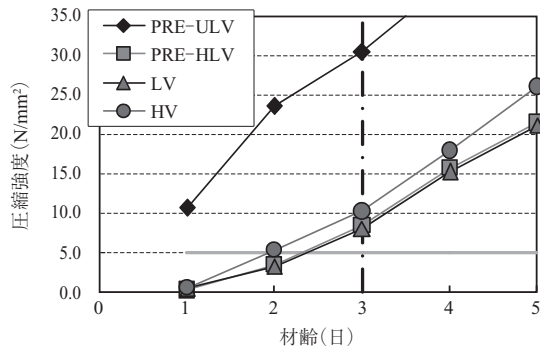


図 - 9 5℃ で養生した時の圧縮強度と材齢の関係

圧縮強度は、5℃ で 3 日間養生を行えば十分 5 N/mm² に達することが明らかである。そこで、同示方書を参考に、グラウトの温度を 5℃ 以上に保つ期間は、以前の 5 日間から 3 日間を原則とするように短縮した。

実際の寒冷地における施工では、冬季において 5℃ を 3 日間保持することが困難であったり、不合理であったりする場合がある。また、冬季施工以外においても、先に示した環境に応じた PC グラウト注入までの期間を超えて注入作業が行えないことが想定される場合には、以下に示す一時的な防錆対策のうち、いずれかを行わなければならない。a) 防錆油によってコーティングされた PC 鋼材を使用する。b) 乾燥空気（ダクト内の湿度が 60% を上回らないような制御）を連続的または間欠的にダクトに通風をしなければならない。ただし、いずれの場合でもプラスチック製シースをを用いることを標準とする。これは、先に示した屋外暴露実験の結果を反映したものであり、これらの対策を行った場合は、PC 鋼材をダクトに挿入後 25 週程度まで有効であることが実験によって確認されている。防錆油を選定する場合は、実験によってその付着性状が確認されたもの等、付着に対する影響ができるだけ小さいものを選定しなければならない。

上記の対策を実施しても、PC 鋼材の腐食が避けられない事例となることが想定される場合には、PC 鋼材の恒久的な防錆対策を実施することが望ましい。恒久的な防錆対策としては、樹脂被覆 PC 鋼材の使用がある。これを用いる場合には、関連基準を参考にするとよい。

3.6 6 章 検査

6 章の検査では、主な改訂として下記の項目があげられる。

- ① 圧縮強度の保証材齢を 7 日以降に短縮
 - ② レオロジー試験の ISO 規格との整合性および自動質量計測方法を追加
 - ③ 鉛直管試験の計測終了時点の短縮（日常管理試験に限定）
 - ④ 日常管理試験の頻度と測定項目の変更
- 以下に、それぞれの項目について、改訂点の詳細等を記

載する。

(1) 圧縮強度試験について

「6.2.2 品質検査」において、これまでの圧縮強度試験の判定基準は材齢 28 日で 30 N/mm² 以上としていた。工事ごとの基準試験（試し練り）は実施に近い環境条件で実施することが重要であるが、この判定基準に従うと、施工場所や時期によっては実施と環境が異なる場合があることが指摘されていた。

また、現行で市販されているプレミックス材やグラウト混和剤を用いた PC グラウト材においては、材齢 28 日で 30 N/mm² 以上を十分に満足できる性能を有していることがわかっていた。

そこで、圧縮強度の発現が遅れる低温環境下（5℃ 環境）において、材齢に伴う圧縮強度発現を確認する試験を実施した。試験結果を図 - 10 に示す。その結果、一部の PC グラウト材料を除いては、材齢 7 日において 30 N/mm² を超えることが確認された。また、材齢 7 日で保証強度を満足しなかった材料に関しても、材齢 28 日では 40 N/mm² 以上の強度発現が確認された。この結果を踏まえ、より実施と近い環境条件で工事ごとの基準試験（試し練り）を実施することを目的として、圧縮強度の保証材齢を材齢 7 日以降で 28 日までに 30 N/mm² 以上を確認することとした。

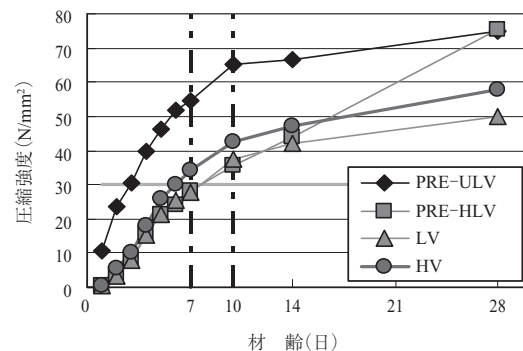


図 - 10 低温環境下（5℃）における圧縮強度発現結果

試験体の作製については、JSCE-G 531-2013「PC グラウトの圧縮強度試験」に従い、直径 50 mm × 高さ 100 mm の円柱供試体を用いて実施し、供試体 3 個平均値で評価することとした。なお、とくに冬期の低温環境下においては、強度発現が遅れる場合があるため、予備の供試体を採用しておくことも追記している。

(2) レオロジー試験について

「6.2.2 品質検査」において、レオロジー試験については、現行で市販されている PC グラウト材において、現行指針作成時に実施した JP 漏斗（JSCE-F 531）を用いた流下時間測定試験と円筒容器（JASS 15 M-103）を用いたフロー試験を実施した。なお、ISO 規格との整合も確認しておくことを目的に、Marsh コーンを用いた流下時間測定試験も並行して実施した。試験結果を図 - 11, 12 に示す。

その結果、現行指針作成時と同様に、日本の JP 漏斗（土木学会規格）と欧州の Marsh コーン（ISO 規格）を用いた

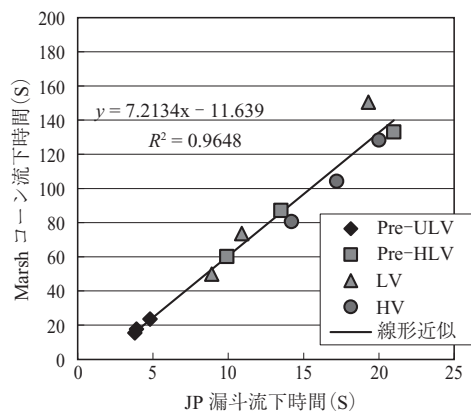


図 - 11 JP 漏斗と Marsh コーンによる流下時間の関係

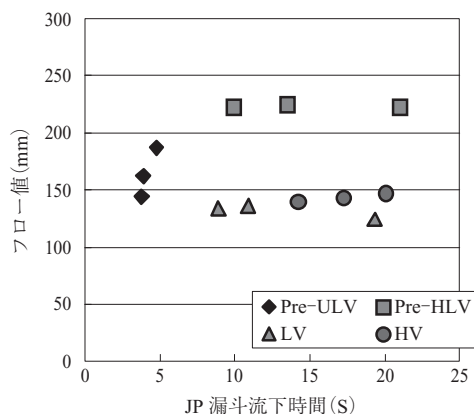


図 - 12 JP 漏斗による流下時間とフロー値の関係

流下時間は、非常に強い相関関係があることが再確認できた。現行指針作成時に得られた知見では、レオロジー特性を評価する試験のうち、流下時間測定試験では塑性粘度が、フロー試験では降伏値が確認でき、さらにその両者においては、相関関係が認められないことが確認されていたが、今回の試験においても同様な結果が確認された。

JP 漏斗を用いる方法はストップウォッチによる流下時間の計測となるため、人的誤差が生じる場合がある。そこで、JP 漏斗から流下する PC グラウトの質量を連続的に自動計測し、流下時間を推定する方法が提案されており、満足する精度が確認できたことから、この方法を PC グラウトの流動性試験方法（自動質量計測方法）として取りまとめ、ここで紹介することとした。自動質量計測方法の装置写真を写真 - 3 に、装置の構成例を図 - 13 に、計測結果を図 - 14 に示す。この方法によれば、人的誤差や個人差の大幅な軽減が可能となる。

(3) ブリーディング率、体積変化率試験について

「6.2.2 品質検査」において、ブリーディング率および体積変化率試験については、現行指針では NEXCO 規格となっていた鉛直管試験が土木学会規格 (JSCE-F 535) に規定されたことから、鉛直管試験を標準的に実施することとした。

今回実施した一般環境下と低温環境下における鉛直管試験結果を図 - 15 ~ 18 に示す。その結果、両者の環境下

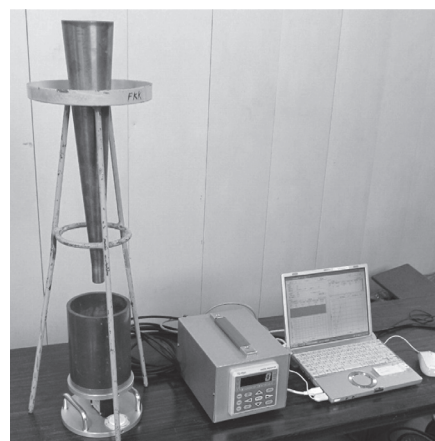


写真 - 3 自動質量計測装置



図 - 13 自動質量計測装置の構成例

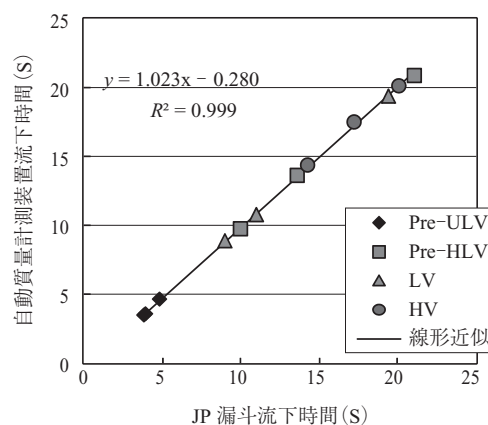


図 - 14 自動質量計測装置による流下時間推定結果

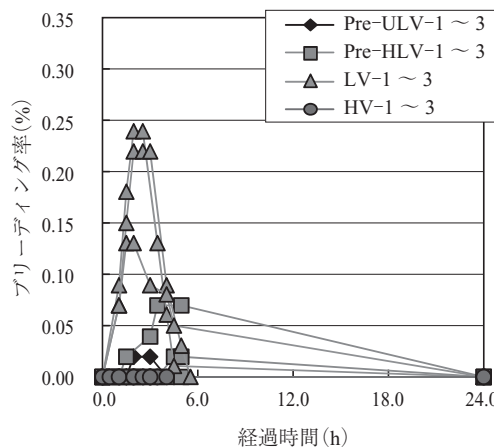


図 - 15 一般環境下におけるブリーディング率の推移

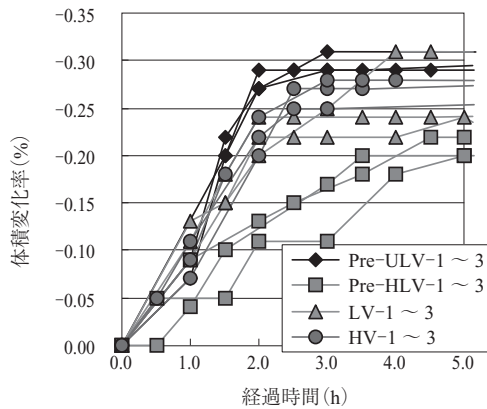


図 - 16 一般環境下における体積変化率の推移

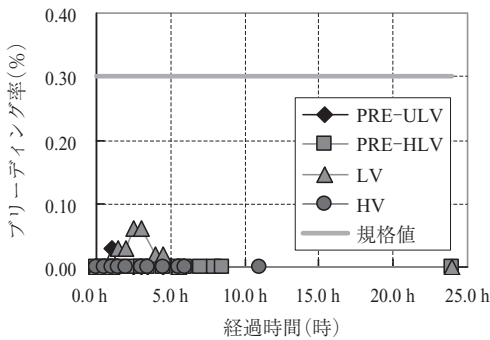


図 - 17 低温環境下におけるブリーディング率の推移

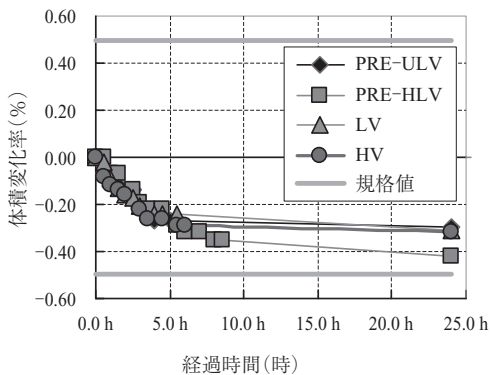


図 - 18 低温環境下における体積変化率の推移

において、一度、ブリーディング高さが0 mm となるとその後ブリーディングが再発生することがないこと、体積変化においては、ある程度の時間を経過すれば、それ以降の体積変化がほとんどなく、かつ24時間後の測定においては、体積変化率の判定基準である $\pm 0.5\%$ 以内を満足することがわかった。そこで、従来の鉛直管試験では24時間後に最終の測定を行う必要があったが、日常管理試験に限り、グラウト上端の高さ変化が $\pm 0.5\%$ 以内で、その値が連続3回(2時間)の計測で変化しないことを確認した時点で、ブリーディング高さが0 mm (ブリーディング率が0%)であれば、試験を終了してもよいものとした。日常管理試験においては、PCグラウトが硬化前に鉛直管試験を終了できる場合があり、試験装置(鉛直管)の再利用が

可能となる。

(4) 日常管理試験について

PCグラウトの品質は現場の状況により微妙に変化するため、適切に試験を行って品質を確保する必要があり、「6.2.5 日常管理試験」において、条文中に示す試験時期および頻度で指定された品質管理試験を実施することを標準とした。

下記に示す試験時期および頻度で日常管理試験を実施し、グラウト作業中においても継続的に品質を検査することとした。とくにPCグラウトの流動性と注入流量については、PCグラウトの充填性に大きく影響することから、グラウト作業中、連続的に確認することとした。現在、注入流量については、流量計によって連続的に確認されていることから十分に管理されていると考えられるため、ここでは、連続的に一様な流動性を持つPCグラウトが供給されていることを確認することを主目的とした。

6.2.5 日常管理試験

(3) 試験は、以下に示す試験時期および頻度で指定された品質管理試験を実施することを標準とし、レオロジー試験の結果が規格値を満足しない場合は、グラウト作業を中止しなければならない。

- 1) グラウト開始前 : すべての項目
- 2) 最初の3バッチ連続: レオロジー試験, 温度計測
- 3) ・4バッチ以降の全バッチ: 温度計測
・最初の3バッチ平均温度から
グラウト作業中にPCグラウト温度が 5°C 変化した時 : レオロジー試験, 温度計測
- 4) グラウト作業中断後, 作業を再開する時 : レオロジー試験, 温度計測
- 5) グラウト作業中に配合を変更する時 : すべての項目

日常管理試験の頻度と試験内容を設定するために実施した実施現場における継続的な品質管理試験(現場フィールド試験)の結果を図-19, 20に示す。これらの結果によると、PCグラウトの流動性については、練り混ぜられたPCグラウトの温度変化により変動することがわかった。また、バッチごとのPCグラウトの温度変化が 5°C 程度の範囲に収まっていれば、一様な流動性を確保できることも確認した。

そのため、材料温度やPCグラウト機器の温度の影響を受けやすいと考えられる施工日の最初においては、連続した3バッチについて連続的にレオロジー試験と温度測定を実施する。その3バッチの試験結果が、規格値を安定して満足し、かつ温度差が 5°C 以内であることが確認された場合には、シースへのグラウト注入を開始してよいこととした。最初の3バッチの試験結果が規格値を満足しない、あるいは安定しない、または 5°C 以上の温度変化がある場合には、連続した3バッチの試験結果が規格値を満足し、安定するまで試験を実施し、シースへのグラウト注入を行ってはならないこととした。連続した3バッチの試験結果が

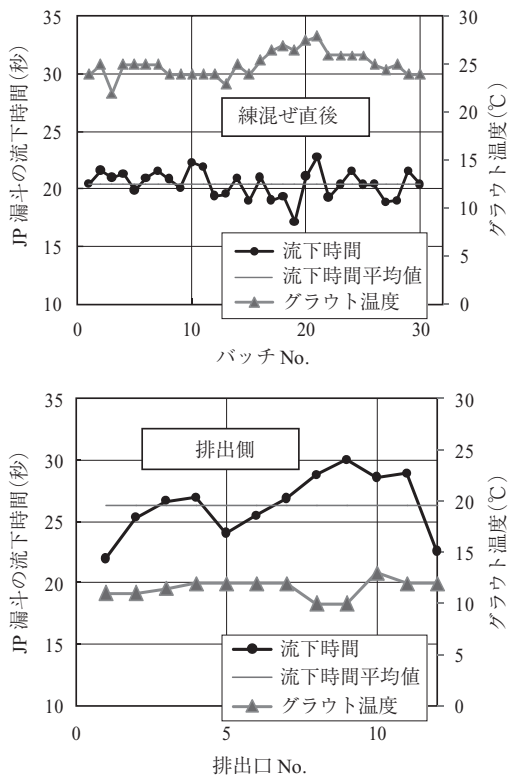


図 - 19 現場フィールド試験におけるグラウト温度と流動性の変化 (高粘性型)

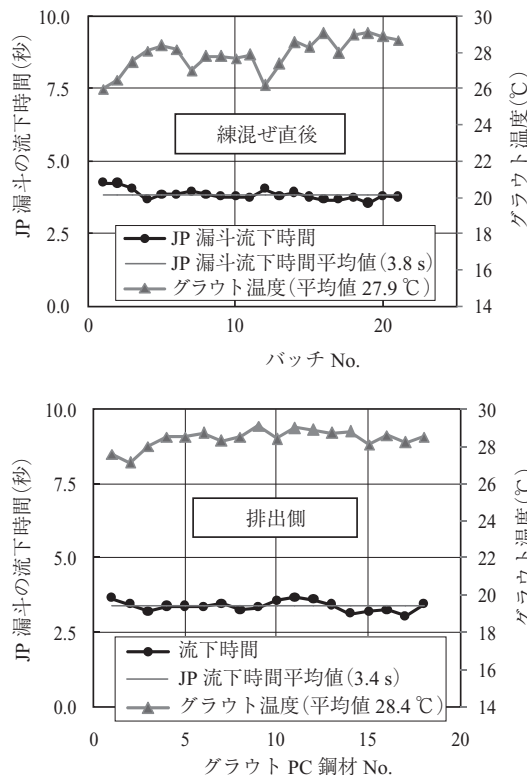


図 - 20 現場フィールド試験におけるグラウト温度と流動性の変化 (超低粘性型)

規格値を満足し、安定した以降のバッチについては、温度計測のみを継続的に確認すればよいこととした。

PC グラウトの施工日の最初には、設計で設定した流動性を満足するために配合の調整と練り上がり温度を確認するため、同一日内においては、PC グラウトの練り上がり温度が大きく変化することは考えられず、練り上がり温度が5℃以上変化する場合には、材料の恒温状態が維持できていない等、何らかの状況の変化が発生したと想定されることから、その時点で流動性のチェックを行うこととした。

4. おわりに

「PC グラウトの設計施工指針」が2005年に規準化されて以降、PC グラウトに関する不具合は報告されていない。今回の改訂により、PC グラウトの設計施工における信頼性の更なる向上、より合理的な品質管理が図られたものと考えられる。PC グラウトの役割はきわめて重要である。そのことを再認識し、今後のPC 構造物の施工に本改訂版をご活用頂ければ幸いである。

最後に、改訂にあたり多大なるご協力をしていただいた委員会委員各位およびWGに参加していただいた方々、また、各種試験で材料の提供をしていただいた混和材料製造会社、PC 鋼材製造会社に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書〔施工編〕，2007
- 2) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅲコンクリー

ト橋編，2012。

- 3) プレストレストコンクリート工学会：コンクリート構造設計施工規準 -性能創造型設計-，2011
- 4) FIP：FIP Recommendations, Corrosion Protection of Prestressing Steels, 1996. 9
- 5) ASTM：Standard Test Method for Half-cell Potentials of Uncoated Reinforcing in Concrete, ASTM C876, 1987
- 6) fib：Bulletin 20, Grouting of Tendons in Prestressed Concrete, 2002
- 7) fib：Bulletin 33, Durability of Post-Tensioning Tendons, 2005

PC グラウトの設計施工指針改訂委員会

- | | |
|-----|--|
| 委員長 | 池田 尚治 |
| 顧問 | 睦好 宏史 |
| 委員 | 青木 圭一, 吳 承寧, 小川 彰一,
勝田 浩一, 国枝 稔, 近藤 拓也,
玉井 真一, 玉越 隆史, 津吉 毅,
野島 昭二, 橋本 親典, 矢口 稔,
山家 芳大, 渡辺 博志 |
| 委託側 | 今川 隆広, 國富 康志, 鈴木 雅博,
武部 行男, 手塚 正道, 徳光 卓,
二井谷教治, 西村 一博, 船野 浩司,
細野 宏巳, 大和 信夫, 吉松 秀和 |

WGメンバー (委員を除く)

- 東 洋輔, 中田 学, 堀 健治, 本田 亮,
山口 隆裕, 山口 光俊

(敬称略)

【2013年3月1日受付】