

# PC グラウトの設計施工指針の概要

手塚 正道 \*1・内田 誠二郎 \*2・睦好 宏史 \*3・池田 尚治 \*4

## 1. はじめに

十数年前から、PC グラウトの施工不良あるいは不具合により、海外ではPC 鋼材が破断して落橋した事例が、また国内においてもPC 鋼材が破断して突出するなどの現象が見られ、PC 橋の耐久性、第三者被害への影響に対して大きな問題を投げかけるとともに、PC グラウトの重要性が認識されるようになってきた。

このような背景から、信頼できるPC グラウトの設計施工方法を早急に確立する必要が生じ、プレストレスト・コンクリート建設業協会からの委託を受けて、プレストレストコンクリート技術協会では、2003年に「PC グラウト規準作成委員会」(委員長：池田尚治、幹事長：睦好宏史)を発足させた。その後2年間にわたり調査研究を行うとともに、設計施工指針の審議を行い、2005年12月にプレストレストコンクリート技術協会として「PC グラウトの設計施工指針」を作成し、これに関するセミナーを開催した。ここでは、この指針について解説する。

## 2. 指針の要点

本指針は、性能照査型の体系を念頭に、PC 橋におけるPC グラウトの位置づけを明確にして、PC グラウトに要求される性能を設定し、これらの要求性能を満足するための照査法を規定したものである。

### 2.1 適用の範囲

本指針の適用範囲は、PC 橋においてもっとも適用実績の多い内ケーブルでPC 鋼材緊張後のダクトの空げき充填材料としてセメントを主材料とするPC グラウトを用いる場合を対象としている。

### 2.2 指針の構成

本指針は、PC グラウトの設計施工の流れおよび性能照査の基本的な考え方を示す第Ⅰ編「性能照査型設計施工指針

(以下、照査型指針)」と、仕様規定を含みながらより具体的な方法を示す第Ⅱ編「設計施工指針に準拠した標準マニュアル(以下、標準マニュアル)」との2編構成とした。前者はあまり大きく変わることはないが、後者は技術の発展に伴い内容の改訂がその都度行われるべき性格のものである。本指針の目次構成を図-1に示す。

第Ⅰ編	性能照査型設計・施工指針
1章	総 則
2章	プレストレストコンクリート橋の要求性能
3章	PC グラウトの要求性能
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
第Ⅱ編	指針に準拠した標準マニュアル
1章	総 則
2章	材 料
3章	PC グラウトの設計
4章	配 合
5章	施 工
6章	検 査
7章	記 録
8章	教 育

図-1 PC グラウトの設計施工指針の目次構成

### 2.3 PC グラウトの性能照査

#### 2.3.1 性能照査の流れ

本指針は、PC グラウトに対する要求性能を設定し、施工前に、設定された要求性能を満足することを照査する「PC グラウトの設計」という行為を明確にし、実施することとした。さらに照査した内容を施工段階に反映し、検査に合格することで当初設定した要求性能が満たされたことを保証する体系をとっている。性能照査の流れを図-2に示す。



\*1 Masamichi TEZUKA

オリエンタル建設(株)  
技術研究所・工学博士



\*2 Shejiro UCHIDA

三井住友建設(株)土木本部  
PC 設計部



\*3 Hiroshi MUTSUYOSHI

埼玉大学 工学部建設工学科  
教授・工学博士



\*4 Shoji IKEDA

(株)複合研究機構、横浜国立  
大学名誉教授・工学博士

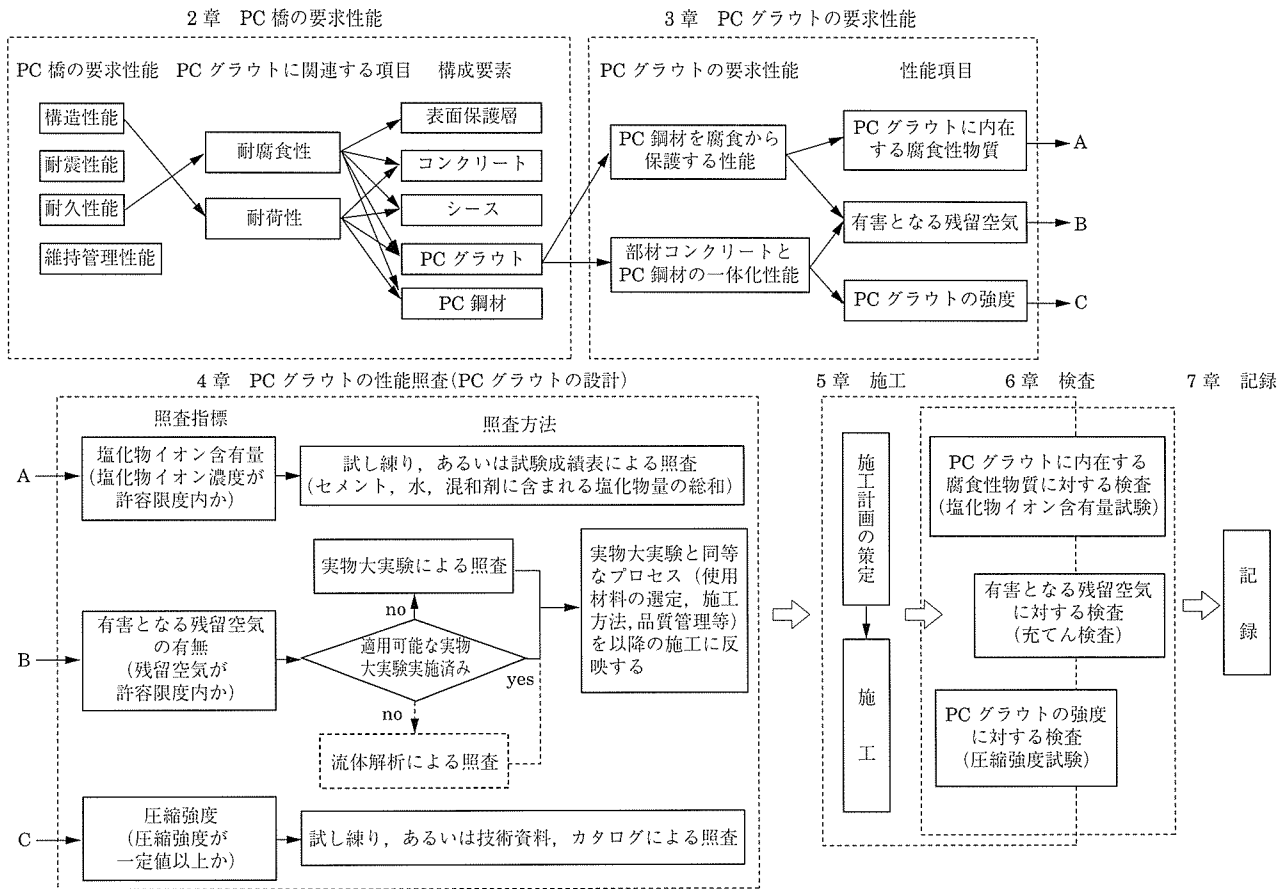


図 - 2 PC グラウトの設計施工指針における性能照査の概要と全体フロー

### 2.3.2 PC グラウトの要求性能

PC グラウトの要求性能は、PC グラウトが用いられている PC 橋が満たすべき性能から決められるべきもので、単独で設定されるべきものではない。PC 橋が満たすべき性能としては、構造性能、耐震性能、耐久性能、維持管理性能などがあり、PC グラウトはそれぞれに少なからず関わりを持っているが、主に関連するのは、耐久性能における PC 鋼材の耐腐食性と構造性能における耐荷性である。この 2 つの性能を満足していれば他の性能に関わる要件も満足していると考えられるので、PC 鋼材の耐腐食性と耐荷性に着目して、PC グラウトの要求性能を設定した。

耐久性能のうち、PC グラウトに関連する塩化物イオンの侵入に伴う PC 鋼材腐食に関する照査では、PC 鋼材が挿入配置されているシースの表面までのかぶりコンクリートで評価し、シース位置の塩化物イオン量が 1.2 kg/m<sup>3</sup> を超える場合にはプラスチックシースを採用することとしている。PC グラウトは、強アルカリ性であるため鋼材を腐食から保護する性能を有しているが、シースと PC 鋼材が接した場合、PC グラウトをかぶりとして確保できないことが想定されるため、安全側の評価として、外部からの塩化物イオンの侵入に対する遮へい効果は見込まないものとした。このような条件のもとで、PC グラウトの要求性能としては、シース内において内在する水、酸素および塩化物イオンなどの腐食性物質から PC 鋼材を保護する性能を設定すること

とした。

次に、構造性能のうち、PC グラウトに関連するものとして、部材コンクリートと PC 鋼材との付着があげられる。ダクトの空隙を PC グラウトで充てんすることによってはじめて部材コンクリートと PC 鋼材との付着を得ることができるため、PC グラウトの要求性能としては、応力伝達可能となる充てん性と強度を包含した一体化性能を設定することとした。

PC 鋼材を腐食から保護する性能を満足するためには、具体的に以下の 2 項目を満足することが必要である。

- ① 練り混ぜられた PC グラウトに、腐食性物質が有害量存在しない品質を有していること。
- ② ダクトの空けきを PC グラウトで充たし、腐食の原因となる水と酸素をダクトから排除して、有害となる残留空気を残さないこと。

部材コンクリートと PC 鋼材の一体化性能を満足するためには、具体的に以下の 2 項目を満足することが必要である。

- ① PC グラウトは部材コンクリートと PC 鋼材との一体化に必要な強度を有していること。
- ② 部材コンクリートと PC 鋼材との付着伝達機能を阻害するような有害となる残留空気を残さないこと。

### 2.3.3 照査指標

PC グラウトに内在する腐食性物質に関して (図 - 2 の A

の流れ)、海外の指針では、PCグラウト中に硝酸塩、チオシアン酸塩などが含まれないことを規定する例もあるが、これは、それらの成分が応力腐食割れや水素脆性のような遅れ破壊を引き起こす可能性があるためである。本指針においてもこれらの成分がPCグラウトのグラウト混和剤あるいはプレミックス材に含まれないことを確認することとし、腐食性物質に対する照査指標としては、従来どおりPCグラウト中の塩化物イオン含有量のみ限定してよいこととした。具体的な内在する塩化物イオン量の制限値は、普通ポルトランドセメントを使用した場合には、実験による確認<sup>1)</sup>、海外規準等を参考にセメント質量比の0.08% ( $C \times 0.08$  質量%) 以下であることを標準とした。

部材コンクリートとPC鋼材との一体化に必要な強度においては(図-2のCの流れ)、硬化後に付着に対して十分な強度を有することが必要である。PCグラウトの強度としては、従来と同様に圧縮強度で照査するものとした。具体的な一体化性能の確保に必要な圧縮強度は、海外の規準等も参考にして、材齢28日強度で30 N/mm<sup>2</sup>以上を標準とすることとした。この値は、現在一般に使用されているPCグラウトで十分に達成できる強度である。

耐久性と付着伝達機能の両面から有害となる残留空気を残さないことが求められており、照査指標としてそれぞれの面から残留空気を定量的に設定できれば合理的である(図-3のBの流れ)が、現状では定量的な評価が十分なされていないこと、適切な測定方法がないことから、定量的に残留空気を設定することは難しい。また、従来より安全性を考慮して、「完全に充てんする」ことが求められてきたが、これまでに行われた実物大実験などの結果では、リブを有する一般的なシースで形成されるダクトに対して、リブの部分までまったく残留空気を生じさせずにPCグラウトを充てんさせることは不可能であることが明らかになっている。このため、PCグラウトの上記2つの要求性能を満足するためには、ダクトに残留する空気がまったく生じない完全なPCグラウトの充てんを必ずしも求める必要はない。すなわち、ダクトに残留空気を生じた場合でも、それが有害となる量以下であれば支障はないのである。そこで、照査指標としては有害となる残留空気の有無とし、具体的には、残留空気がシースのリブ断面内に収まる量までであれば有害ではないとした。これは、その程度の残留空気が生じた場合においても、その量は微少であり、かつ離散的に存在することになり、PC鋼材の腐食<sup>2)</sup>や部材との一体化に対して有害な影響を及ぼす可能性は非常に小さいものと考えられるためである。

#### 2.3.4 照査方法

塩化物イオン含有量、圧縮強度の照査については、試験成績表、技術資料、あるいは試し練りなど、直接的な評価が可能であるが、ダクトの残留空気に対する照査については、構造・材料・施工方法などの多くの要因によって総合的に決まるため、机上での評価は難しい。PCケーブルの配置形状とPCグラウトの品質、あるいはPCグラウト材料と施工機械など適切な組合せを選択する必要があり、それらの良否を判定するためには実際の諸条件を再現した実物大

実験を実施し、具体的に充てん結果の状況を確認することがもっとも確実な手段である。そこで、有害となる残留空気の照査は、実際の構造物と同等の構造条件および施工条件を反映した実物大実験によることを原則としたうえで、過去の実験や施工実績で蓄積されたデータをもとに行ってもよいこととした。また、現時点においては限定的にしか使用できないが、流体解析による照査も可能とし、将来的な技術開発に期待を込めたものとしている。

さらに、実物大実験で良好な充てん性が確認されたPCグラウトの材料や施工方法は、正しく実施工に反映されなくてはならない。そのためには、実物大実験で使用されたPCグラウトの材料や施工に関連する項目を一連のプロセスとして把握し、実際のグラウト施工の仕様として規定しておく必要がある。施工時にはこの仕様が満足されるように施工計画が立案され、かつその実施がプロセス検査によって確認されなくてはならない。こうした一連のプロセスを確認することで実物大実験と実施工の整合がとれ、施工されるPCグラウトの充てん性が保証できるのである。

#### 2.4 施 工

PCグラウトの施工に先立ち、性能照査で行った照査方法を正しく反映した施工計画を策定することとした。ここで、施工計画の際に反映する照査の項目は、施工に関する項目と材料に関する項目の2つに大別できる。施工に関する項目は、ダクト構造や注入・排出・排気口の位置および注入圧力などであり、材料に関する項目はセメントやグラウト混和剤などの使用材料の選定である。これらは、施工後のPCグラウトの性能を保証するために、PCグラウトの性能照査にて行った照査方法と実際の施工の整合を確実にとる必要がある。また、その他の項目として、各工事ではさまざまな状況が考えられるため寒中および暑中グラウト対策やトラブル対策など環境条件や施工条件にも留意しなければならない。

#### 2.5 検 査

検査は、施工されたPCグラウトで直接確認するのが理想である。しかし、ダクトの全延長においてPCグラウトの性能を確認することは、現時点では、技術的・経済的に困難である。そこで、照査型指針では、表-1に示すように検査項目を設定している。

塩化物イオン含有量および圧縮強度は、性能照査と同様に直接的に評価することができ、塩化物イオン含有量試験および圧縮強度試験を実施して検査することができる。

一方、有害となる残留空気に対する検査は、PCグラウトの充てんに関するものであり、施工の各段階でプロセス検査および充てん検査を適切に実施する必要がある。具体的には、まず施工計画が照査した方法に基づいて策定されたことを検査し(施工計画の検査)、材料の受入れ、PCグラウトの製造、施工の各段階において、それぞれ必要な検査を組み合わせる実施する、いわゆるプロセス検査を体系的に実施していくことが合理的かつ現実的である。また、プロセス検査と並行して充てん検査を実施すると検査精度は向上するので、充てん検査を実施することも規定している。

表 - 1 PC グラウトの性能照査指標と検査体系

照査指標	検査項目		標準マニュアルの区分
塩化物イオン含有量 (図-2 : A)	塩化物イオン含有量試験		PC グラウトの品質検査
圧縮強度 (図-2 : C)	圧縮強度試験		
有害となる残留空気の有無 (図-2 : B)	プロセス検査	材料	流動性検査 材料分離抵抗性試験 ブリーディング率試験 体積変化率試験 単位容積質量試験
		施工	施工計画書 ダクトの配置形状、空隙率 排出・排気口の位置 練混ぜ方法、練混ぜ設備 注入圧力・注入量、注入設備
	充てん検査	排出孔位置での充てん検査 非破壊検査等による充てん検査	PC グラウト工の検査

2.6 記 録

PC グラウトの施工を各段階で記録することは、適切な施工を実施するうえでの管理となるとともに、検査時の資料、さらには維持管理をするうえで構造物の現状を把握するための重要な資料となる。また、これらの記録を保存・蓄積することで、PC グラウトの施工方法の妥当性を確認することができる。そのため、配合、品質検査および各検査の結果、注入状況などを記録するものとした。

2.7 教 育

PC グラウトの必要性や充てんメカニズムを理解したうえで PC グラウトの施工計画の立案、グラウト注入作業、検査を行うことは、不必要な試験や検査を省略でき、逆に必要な試験、施工、検査に特化できるため、その精度向上に有効である。そのため、PT システム<sup>a)</sup> の設計に携わる技術者、グラウト作業管理者、グラウト作業員およびグラウト検査員は、PC グラウトに関する教育を受けなければならないものとした。

3. 標準マニュアルの要点

標準マニュアルは、照査型指針の考え方に基づいて、実際に運用するために必要な要件を、現状の技術レベルにおいてより具体的に示したものである。ここでは、全体の構成の中から、とくに力点をおいた「PC グラウトの設計」と「検査」をとり上げて解説することとする。

3.1 PC グラウトの設計

PC グラウトの設計とは、PC グラウトが要求される性能を満足していることを照査することであり、要求性能を満足する PC グラウトおよび PT システムの設定を行うことである。

照査指標のうち塩化物イオン含有量と圧縮強度は PC グラウトの材料のみに関する項目であり、これらに対してはすでに確立された試験方法があり、また指標として定量的であるため、照査の方法とその判定が明確かつ簡易である。

これに対して、PC グラウトの充てん後、ダクトに空気が残留する要因としては、PC グラウトの体積変化やブリーディングなどの材料的なもの、PC グラウトの施工時にダクト中の空気が排出されずに残留する施工的なものがある。材料的なものに関しては、標準マニュアルに規定される適切な材料選定と練混ぜを行い、品質試験によりその品質を確認することで残留空気の発生を防止することが可能である。しかしながら、PC グラウトの施工における充てんの良否は、構造・材料・施工方法などの多くの要因によって総合的に決定されるものであり、対象とする PC グラウトそれぞれについて異なるため、PC グラウトの特性やメカニズムに留意して、個別に検討する必要がある。表 - 2 にダクトの長さ、空げき率、PC グラウトの流動性、シースの配置角度、注入量、排気口、ダクト配置の高低差が、PC グラウトの充てん性に及ぼす要因と影響を示す。このように、PC

表 - 2 PC グラウトの充てん性に及ぼす要因と影響

要 因	PC グラウトの充てん性に及ぼす影響			備 考
	注入圧力	先流れのしやすさ	ブリーディング	
ダクトの長さ	長い程大	—	—	注入圧力が大きい場合にはステップバイステップ方式の採用の検討
空げき率	小さい程大	大きい程大	—	空げき率の小さいケーブルの場合、シース長が長いケーブルへ適用することは困難
PC グラウトの流動性	粘性が高い程大	粘性が低い程大	—	超低粘性タイプを下り勾配を有するダクト形状の PT システムに使用する場合には注意が必要
シースの配置角度	上り勾配が大きい程大	下り勾配が大きい程大	—	上り勾配では先流れしない
注入量	多い程大	少ない程大	—	下り勾配では、注入量が少なすぎると先流れしやすくなる
排気口	少ない程大	—	—	ダクト長の長い場合や下り勾配を有するダクト形状の場合には、設置位置や個所数に留意
ダクトの高さ	高い程大	—	高い程大	ノンブリーディングタイプでも高圧力下では、ブリーディングが発生しやすくなる

グラウトの充てんに関しては多くの影響を及ぼす要因があり、その確認技術にも課題がある。

これらの現状をふまえ、照査型指針においては、原則として実際の構造物と同等の構造条件および施工条件を反映した実物大実験による照査が規定されている。PC グラウトの実施工にあたっては、PT システムにおけるダクト構造と PC グラウトの品質、あるいは PC グラウト材料と施工機械

など適切な組合せを選択する必要がある、それらの良否を判定するためには、対象とする PC グラウトの諸条件を再現した実物大実験を実施し、具体的に充てん結果の状況を確認することが確実な手段である。なお、実物大実験には、実際の鋼材配置を完全にモデル化したものと一部を取り出してモデル化した要素実験があり、PC グラウトの特性や充てんのメカニズムをふまえたうえで、対象とする PC グラ

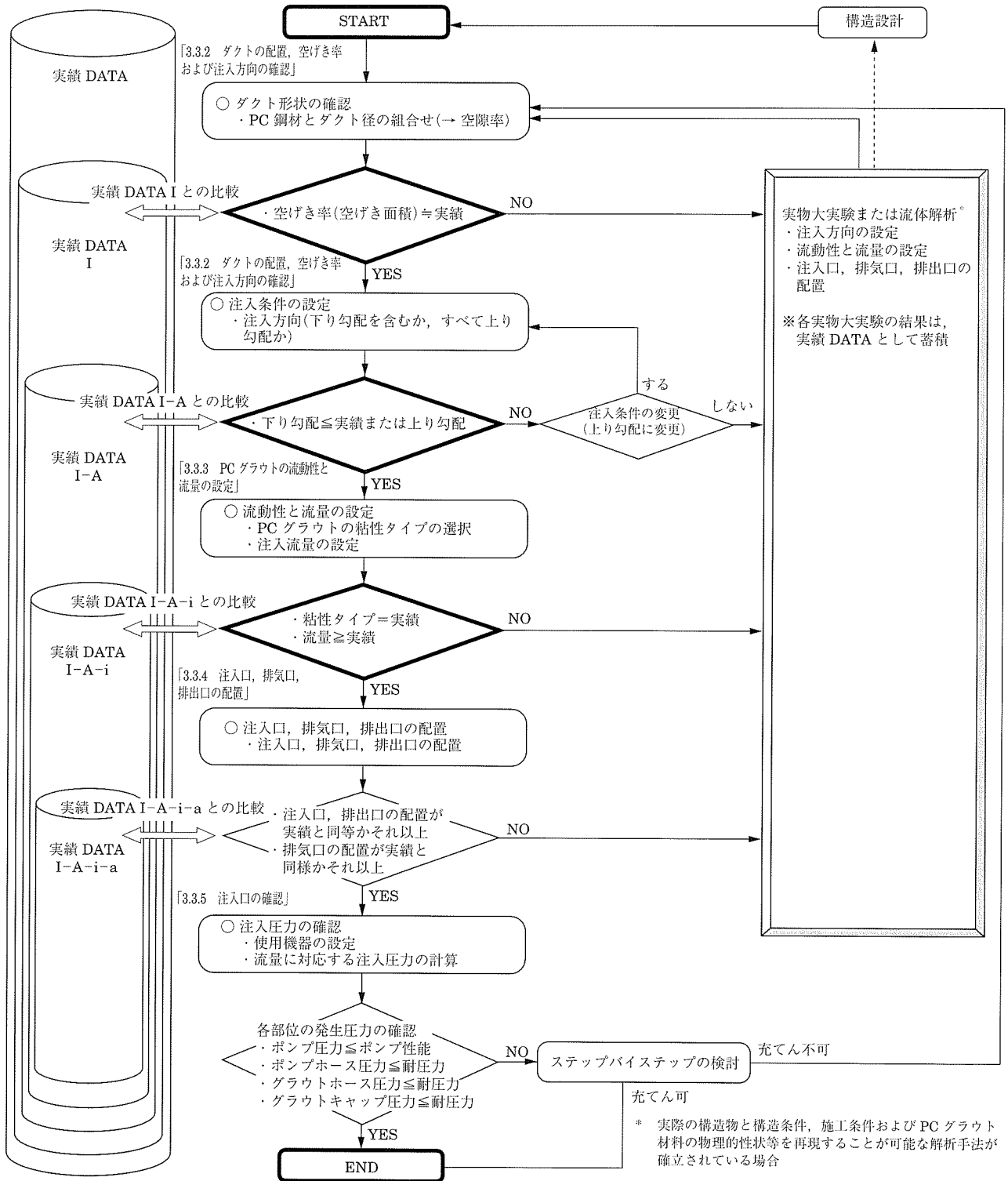


図-3 PC グラウトの設計フロー

表 - 3 PC グラウトの品質検査の概要

検査項目	試験項目	試験段階			備考 (試験名)	
		製造会社による 基準試験	工事ごとの 基準試験	日常管理試験		
有害となる 残留空気	施工性 先流れ現象	レオロジー定数	○	○	○	漏斗試験 フロー試験
	PC グラウト の品質	材料分離抵抗性	○			傾斜管試験
		ブリーディング率	○	○		鉛直管試験
		体積変化率	○	○		〃
		単位容積質量	○	○	○	容器法
圧縮強度	圧縮強度	○	○	○		
塩化物イオン含有量	塩化物イオン含有量	○	○	○		

製造会社による基準試験：PC グラウトの基本的な品質を確認

工事ごとの基準試験：工事で所要の品質を有する PC グラウトを製造できることを確認（配合の調整）

日常管理試験：実施工に用いる PC グラウトの品質を確認

ウトの充てん性が確認可能な供試体を用いた実験方法を選択しなければならない。また、照査型指針においては、対象とする PC グラウトが過去に良好な結果が得られた実験や実施工と類似の内容であると判断できる場合には、その結果をもって実物大実験の実施に代えることができると規定している。過去の実施工あるいは実験の結果を適用する場合には、その内容を十分検討し、適用に問題がないことを確認しなければならないとしている。

また、標準マニュアルにおいては、実物大実験に代わり、流体解析等の数値解析による充てん性の照査も可能であるが、現時点の解析技術レベルにおいては、解析結果の信頼性の点において課題が残されている。したがって、流体解析による充てん性の照査を行う場合には、その適用性に関する検討を十分に行う必要がある。図 - 3 に本標準マニュアルにおける PC グラウトの充てんに関する設計フローを示す。

## 3.2 検査

### 3.2.1 検査体制

これまで、品質管理と検査は区分されて認識され、品質管理は施工者により実施されるもの、検査は発注者により行われるものと認識されてきた。しかし、施工者においても施工された PC グラウトが所要の性能を有することを確認すべきとの考えから、標準マニュアルでは、施工者においても検査を行うことを規定した。また、発注者においても PC グラウトが所要の性能を満足することを検査し、確認することを改めて規定した。発注者が行う検査方法としては、施工者が行う検査に立会って確認する方法、施工者が行った検査結果を書類により確認する方法、発注者が抜取的に検査を行い確認する方法等、種々の選択肢が考えられる。

### 3.2.2 品質検査

標準マニュアルではプロセス検査の方法を具体的に規定しているが、プロセス検査の検査項目は、一般に材料もしくは施工に関するものに分類できる。その材料に関する検査項目に塩化物イオン含有量試験および圧縮強度試験を加えたものが、いわゆる PC グラウトの品質検査であり、実務的には、これらを体系的に実施する方が合理的である。そこで、標準マニュアルでは、表 - 1 に示すように、PC グラウト材料に関する検査項目（試験）を「PC グラウトの品質検査」としてまとめて規定した。これに伴い、プロセス検査の施工に関する項目を材料に関する検査項目と分離し、「PC グラウト工の検査」として規定した。

次に、標準マニュアルでは、規準の国際整合化を念頭において PC グラウトの品質検査項目を設定するとともに、各品質検査を段階的に実施し、合理的に PC グラウトの品質を検査する体系を規定している。表 - 3 に、PC グラウトの品質検査の概要を示す。

なお、具体的な品質試験方法、判定基準については、本誌「解説 PC グラウトの品質管理」に詳細が述べられているので本稿では割愛することとする。

### 3.2.3 PC グラウトの充てん検査

充てん検査は、一般に施工段階もしくは竣工段階に実施するが、従来から、排出側グラウトホースに PC グラウトが充てんされていることを目視で確認する「排気・排出口位置での充てん検査」が適用されてきた。最近では、電磁波法、センサーをシース内面に貼付して確認する手法、ファイバースコープ等による目視での確認、超音波等により充てんを確認する手法等の非破壊検査手法が開発されている。これらの中にはグラウト延長の任意断面で検査を行えるものもあるが、現時点では、これらの非破壊検査手法の適用性や経済性に関して課題が残るため、すべてを非破壊検査に頼ることは困難である。そこで、プロセス検査や排気・排出口位置での充てん検査と非破壊検査手法を適切に組み合わせて実施し、プロセス検査の頻度を減らすなど検査の合理化を図ることを推奨している。

## 4. おわりに

本指針に基づいて、PC グラウトの設計を行い施工し検査することで、これまでに生じた PC グラウトの施工不良や不具合についてはほとんどが解消されるものと確信している。今後さらに充実を図るために、実物大実験のデータベース化、流体解析における解析技術の向上、施工技術の改善、非破壊検査の充実などへの取組みを継続していくことが肝要であると考えられる。

最後に指針作成にあたり参画していただいた(社)プレストレストコンクリート技術協会 PC グラウト規準作成委員

会委員並びに WG 委員各位に心より感謝申し上げます。

プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，2005年11月

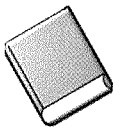
参考文献

- 1) 野島 昭二，二井谷 教治，小林 俊秋，宮川 豊章：PCグラウトの塩化物イオン濃度と鋼材腐食に関する実験的研究，第14回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.309-314，2005年11月
- 2) 徳光 卓，野島 昭二，山田 一夫，宮川 豊章：グラウト中の空気が鋼材腐食性に与える影響に関する実験的研究，第14回プレ

脚 注

- a) Post-Tensioning System の略で，ポストテンション方式において，PC鋼材，シーズ，定着具，アンカーキャップ，グラウトキャップ，グラウトホース，PCグラウトなどから構成されたものの総称。

【2005年12月26日受付】



新刊図書案内

PC技術規準シリーズ

## 貯水用円筒形PCタンク設計施工規準

頒布価格：会員特価 3 500 円（送料 500 円）

：非会員価格 4 200 円（送料 500 円）

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編  
技報堂出版