

第8回 PCグラウト (その1)

講師：星野 展洋*

1. はじめに

今回のテーマは、PCグラウトです。ポストテンション方式のPC構造物において、プレストレス後のPC鋼材とシーストとの空隙にグラウトを充填させる作業がPCグラウト工です。これにより、PC鋼材の腐食を防止し、さらに部材コンクリートとPC鋼材の間に付着を生じさせ、PC構造物としての機能を発揮します。

実際のPCグラウトについては、PCグラウトの設計施工指針¹⁾(以下、PCグラウト指針)ならびにPCグラウト&プレグラウトPC鋼材[施工マニュアル2013改訂版]²⁾を参照するとよいです。

今回の講座(その1)では、PCグラウトにおける材料、設計および配合について説明します。次回の講座(その2)では、PCグラウトの施工、検査およびプレグラウトPC鋼材について説明します。

また、2012年12月に改訂されたPCグラウト指針の改訂ポイントに注意しながらPCグラウトについて説明していきます。

2. PCグラウトの材料

ポストテンション方式においては、PTシステム^{a)}の中で用いる材料であるPCグラウト、グラウトホース、グラウトキャップおよびグラウト作業後に施工するあと埋め材料などの各材料について、適切なものを用いることが重要です。

2.1 PCグラウト

PCグラウトには、水とセメントに混和剤を加えて製造するものと、プレミックス材に現場で水のみを加えて製造するものがあります。PCグラウトを構成する材料についての基準を以下に示します。

(1) 練混ぜ水

グラウトの練混ぜ水は、PCグラウトおよびPC鋼材に悪影響を与えないものを使用します。上水道水は、練混ぜ水として使用できますが、河川水や地下水などの上水道水以外の水を使用する場合は、JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」付属書Cに規定される品質の水を使用しなくてはなりません(表-1)。

表-1 上水道以外の水の品質¹⁾

項目	品質
懸濁物質の量	2 g/L 以下
溶解性蒸発残留物の量	1 g/L 以下
塩化物イオン (Cl ⁻) 量	200 ppm 以下
セメントの凝結時間の差	始発は 30 分以内、終結は 60 分以内
モルタルの圧縮強さの比	材齢 7 日および材齢 28 日で 90 % 以上

(2) セメント

セメントは、JIS R 5210「ポルトランドセメント」に適合したものを使用します。

(3) グラウト混和剤およびプレミックス材

グラウト混和剤およびプレミックス材は、体積変化が僅かでありフリーディング^{b)}の発生を抑えたもので、製造会社による基準試験に適合したノンフリーディングタイプを使用することとします。また、PCグラウトの性能に影響を及ぼす流動性や粘性は、各材料によって特徴が異なるため、その選定にあたっては、施工方法や施工条件を考慮して、より最適なタイプを選ぶ必要があると同時に、練上がり温度と流動性の関係が明らかにされているものを使用することとします。

表-2、3に、現在市販されている代表的なプレミックス材とグラウト混和剤を示します。

表-2 プレミックス材

粘性タイプ	名称	主要成分	使用セメント	内容量の範囲
高粘性 ～ 低粘性型	エッセイバー PC	ポリカルボン酸系 高性能減水剤 セルロース系増粘剤 アルコール系消泡剤 石膏系収縮低減材	高炉 セメント B種	表記質量 : 20.0 kg (製造元の管理質量 : 20.0 kg ~ 20.4 kg)
超低粘性 型	ハイジェクター (Premix-AD)	メラミン系高性能減水剤 セルロース系増粘剤 無機系分離抑制剤 特殊混和剤	普通ポルト ランドセメント 早強ポルト ランドセメント	表記質量 : 25.0 kg (製造元の管理質量 : 25.0 kg ~ 25.5 kg)

2.2 グラウトホースとグラウトキャップ

グラウトホースは、内部のPCグラウトの状態が確認できるよう半透明で、注入圧が高くならないように適切な径を有するものを使用します。また、コンクリート打設時の

* Nobuhiro HOSHINO : (株)富士ビー・エス 土木本部 土木技術グループ 土木技術チーム

表 - 3 グラウト混和剤

粘性タイプ	名称	主要成分	使用セメント
高粘性型	GF-1720	メラミンスルホン酸系化合物 水溶性高分子エーテル系化合物	普通ポルトランドセメント
低粘性型	GF-1700N	メラミンスルホン酸系化合物 水溶性高分子エーテル系化合物	普通ポルトランドセメント

衝撃や注入圧に耐える十分な強度を有するとともに、十分な気密性も必要となります。材質は、ポリ塩化ビニル製のもので補強繊維にポリエステル繊維を使用しているものが主流で、ホースの内径は、マルチストランドの場合にφ19mm以上、シングルストランド、PC鋼棒の場合にはφ15mm以上が標準です。

グラウトキャップは、空気が残留しない構造で、適切な注入口および排出口、排気口を有するものでなければなりません。また注入圧力に耐えるとともに、定着具との接合面からグラウト漏れが生じない気密性を有しているものでなければなりません。材質としては、鋼製あるいはプラスチック製のもの(写真-1)があります。

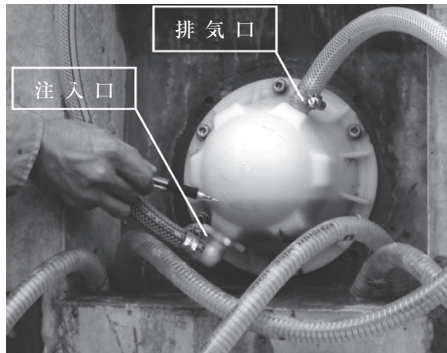


写真 - 1 プラスチック製グラウトキャップの例

2.3 あと埋め材料と防水材料

定着部切欠き部のあと埋め材料は、本体コンクリートと同等のコンクリートを使用し、切欠き部の寸法が小さい場合などは、断面修復用のモルタルを使用します。グラウトホース切断部のあと埋め材料は、一般に小規模のあと埋めとなるため、断面修復用のモルタルを使用します。また、上記どちらのあと埋め材料も、床版防水層が施工される箇所については、その性能を阻害しないものを使用します。

また、あと埋めの施工は、入念に行っても本体コンクリートとの打継ぎが生じ弱点部となりやすく、そこから劣化因子(水分、塩化物イオンおよび炭酸ガス)が侵入しやすくなるため、防水材料を使用します。防水材料は、床版防水が施工されるまでの間の劣化因子の侵入を防止するもので、床版防水層の性能を阻害しないものを使用します。図-1、2にあと埋め処理の例を示します。

3. PC グラウトの設計

PCグラウトに求められる性能は、①PC鋼材を腐食から保護すること、②部材コンクリートとPC鋼材を一体化することの2つに大別されます。

PCグラウトの設計とは、この2つの性能を満足するよ

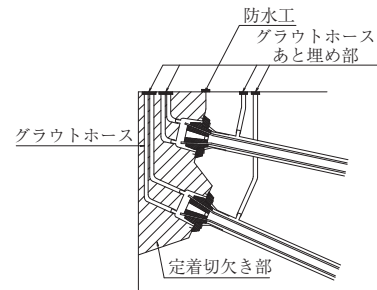
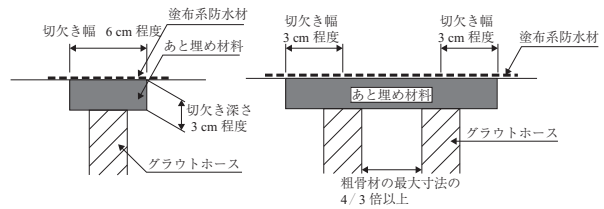


図 - 1 あと埋め処理の例(桁端部)



- ・コンクリート打設時に表面から3cm程度の深さで箱抜きする。
- ・あと埋め部の施工は、打継面を粗面にし、清掃後適切な断面修復材料を打設する。

図 - 2 グラウトホースのあと処理例

うに、以下の3項目の照査によって行います。

- ・塩化物イオン含有量
- ・圧縮強度
- ・有害となる残留空気の有無

表 - 4 PC グラウトの保有すべき性能と照査項目および照査指標¹⁾

保有すべき性能	照査項目	照査指標
PC鋼材を腐食から保護する性能	PCグラウトに内在する腐食性物質	塩化物イオン含有量
	有害となる残留空気	有害となる残留空気の有無
部材コンクリートとPC鋼材を一体化する性能	PCグラウトの強度	圧縮強度
	有害となる残留空気	有害となる残留空気の有無

3.1 塩化物イオン含有量の照査

塩化物イオン含有量の照査は、各材料の試験成績表でPCグラウトに内在する塩化物イオン量を試算し、セメント質量の0.08%以下であることを確認します。これは、セメントにポルトランドセメントを使用した場合の標準であり、高炉セメントやプレミックス材を使用する場合には、含有しているポルトランドセメントの質量を提示し、0.08%以下とするか、もしくはグラウト材料の総量として塩化物イオン濃度が0.3kg/m³以下であることを確認してもよいことになっています。

3.2 圧縮強度の照査

圧縮強度の照査は、海外の規準なども参考にした値である30N/mm²以上を標準とします。強度を確認する材齢については、今回のPCグラウト指針の改訂によって、従来の「28日」から、より合理的な品質管理とするため、「7

日以降」へ変更されました。また、建築分野においては、材齢 28 日強度で 30 N/mm² 以上を標準とします。

3.3 有害となる残留空気の照査

有害となる残留空気^①の有無は、グラウト充填の良否を判断する重要な指標ですが、構造条件や材料、施工方法等の多くの要素によって総合的に決まるものでもあります。そこで、照査方法は、実際の諸条件を再現した実物大試験によることを原則とします。ただし、対象とする構造物のケーブル条件および PC グラウトの施工条件に対して、過去の実物大試験または実際に行った施工で充填性が評価できる場合には、その結果をもって照査に代えることができます。図 - 3 には、充填性を満足させるための設計の手順を示します。

ここでは、実物大試験や過去の実績データとの比較を基準とした具体的な設計方法について順を追って説明していきます。



写真 - 2 実物大試験の例

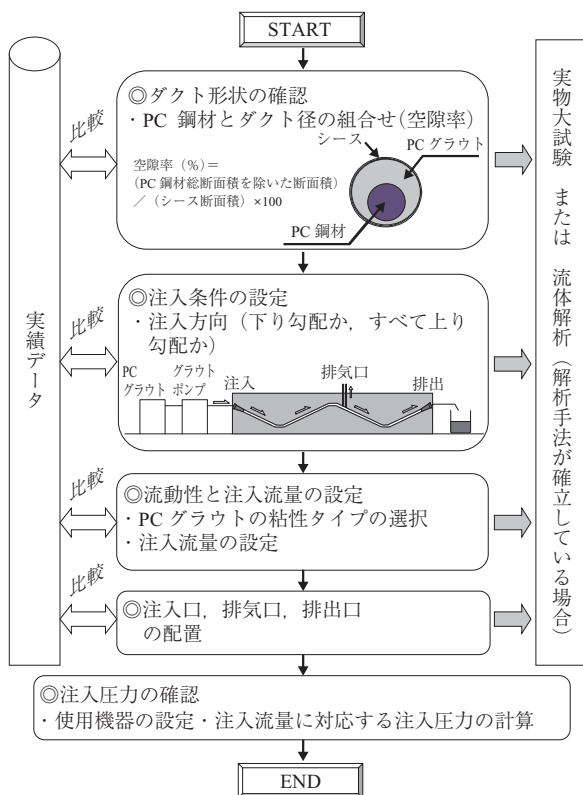
験方法（委員会試案）が、付録に示されており、この方法を標準とすることが明記されています。

実物大試験では、所要の充填性が得られることを確認する必要があります。一般に、ケーブルの構造条件（シース径やケーブル配置）や PC グラウトの施工条件を過去の実績に合わせることはできない場合に実物大試験を実施します。この場合、構造設計でケーブルの構造条件が決定され、施工条件として注入方向、使用グラウトの粘性、注入量を設定すると、決まらないのは排気口の設置位置となります。つまり、排気口の位置を適切に決め、残留空気が残らず排出できることを確認するのが、実物大試験の最も重要な役割ともいえます。

(2) ダクトの配置、空隙率の確認および注入方向の設定

PC グラウト指針の第 II 編標準マニュアルの 3.3.3 では、以下のように示されています。

- ① 対象となる PT システムのダクト配置および空隙率が、良好な充填が確認された過去の実績と同等であることを確認しなければならない。
- ② 実施工において、PC グラウトの注入方向を上りのみで設定する場合には実物大試験による照査を省略して良い。下り勾配を含む場合には、ダクト配置を勘案し、できるだけ下り勾配が少なくなるように設定する。
- ③ ダクト配置、空隙率および注入方向の組合せが過去の実績と同等でない場合には、実物大試験によって充填の確認を行わなければならない。



※ → …実績データにおいて充填性が評価できない場合

図 - 3 設計フローの概要

(1) 実物大試験

実物大試験は、実際の構造条件や施工条件を忠実に反映して実施することを標準とします(写真 - 2)。一方で、これまでに PC グラウトに関する有用なデータや知見が多く蓄積されているので、過去の実験などにより PC グラウトの流動特性や充填のメカニズムが想定できる場合には、充填性に影響のある部分のみを取り出した部分形状のモデルによる試験を行って照査してもよいことになっています。

また、今回改訂された PC グラウト指針では、実物大試

ダクト配置については、注入が下り方向である場合に、その勾配が大きすぎると PC グラウトの先流れが発生し、有害な残留空気を残す可能性があるため、ダクト勾配が過去の実績より大きくないことを確認する必要があります。

表 - 5 に示すように、PC 鋼材種別や空隙率ごとの実績のデータと比較し、下り勾配のダクト角度がその範囲にあることを確認します。

(3) 流動性と注入流量の設定

PC グラウト指針の第 II 編標準マニュアルの 3.3.4 では、

○ 講座 ○

表 - 5 過去の実物大試験および実施工により充填が確認されている鋼材種別、ダクト径および鋼材配置角度の組合せ¹⁾

	鋼材種別	標準ダクト径(mm)	空隙率(%)	下り勾配(度)
縦締め鋼材	7S12.7	55	71	5, 10, 15
	12S12.7	65	64	5, 10, 15
		70	62	5, 10, 15
	12S15.2	75	69	5, 10, 15
80		67	0, 5, 9, 10, 15, 25	
横締め鋼材	1S21.8	35	68	3.5
	1S28.6	45	67	3.5
鉛直鋼材	φ32	50	59	-
	φ40		36	-
	19S15.2	114	74	-

以下のように示されています。

- ① PC グラウトの流動性および注入流量は、ダクト配置形状や注入方向との組合せに対して過去に良好な充填が確認された実績と同様のものでなければなりません。
- ② ① でない場合には、実物大試験によって充填の確認を行わなければならない。

流動性区分は、表 - 6 に示す JP 漏斗の流下時間による3タイプに分類されていますが、一般的な管理値については、高粘性型で流下時間が14～23秒、低粘性型および超低粘性型では表 - 6 に示す範囲を管理範囲として設定します。実物大試験を行う場合は、管理範囲の下限值近傍と上限値近傍の両者で有害となる残留空気が残らないことを確認しておくことで、現場における流動性の管理が容易になります。

表 - 6 JP 漏斗試験による PC グラウトの流動性区分¹⁾

流動性タイプ	JP 漏斗試験による流下時間の目安(秒)
高粘性型	14 以上
低粘性型	6 ~ 14
超低粘性型	3.5 ~ 6

注入流量は、小さいほど先流れが生じやすくなるため、適度な量以上の注入流量によって PC グラウトが一定の流動性を保つ必要があります。過去の実績によると高粘性型および低粘性型を選定した場合には10リットル/min、超低粘性型を選定した場合には15リットル/minに設定されている場合が多いです。

(4) 注入口、排気口、排出口の配置

PC グラウト指針の第Ⅱ編標準マニュアルの3.3.5では、以下のように示されています。

- ① 注入口、排気口、排出口は、過去の実績から良好な充填が確保された配置としなければならない。
- ② ① によらない場合には、実物大試験を実施しなければならない。

注入・排気・排出口の位置は、ダクト配置や PC グラウトの流動性を考慮した上で、PC グラウトの流れ、空気の抜け方、グラウトポンプの圧力などを十分に考慮して設定し、具体的には、過去の良好な実績にしたがって設定すればよいです。図 - 4 に、例として構造条件や施工条件に応じたグラウトホースの取付け位置を示します。

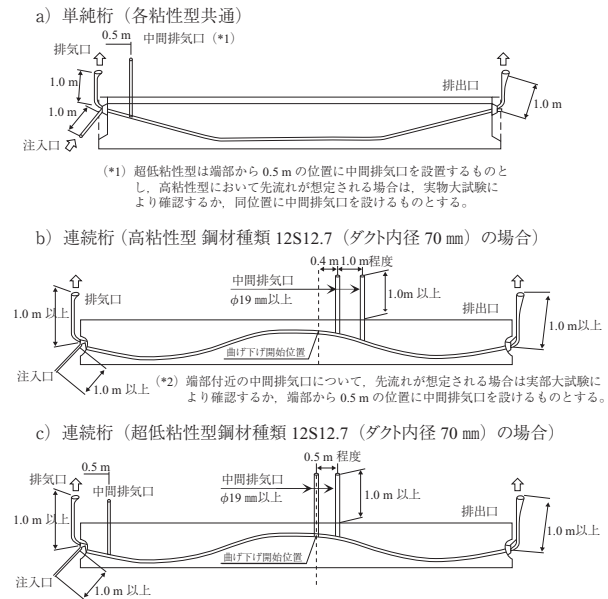


図 - 4 注入口、排気口、排出口の配置例

なお、今回の PC グラウト指針の改訂では、PC ケーブルの配置に伴い、多数のグラウトホースを設置する箇所では、グラウトホースを束ねて配置することを避け、図 - 5 のようにグラウトホースのあきを「粗骨材の最大寸法の4/3以上」確保してコンクリートの充填を満足するよう計画しなければならないことが追加されました。

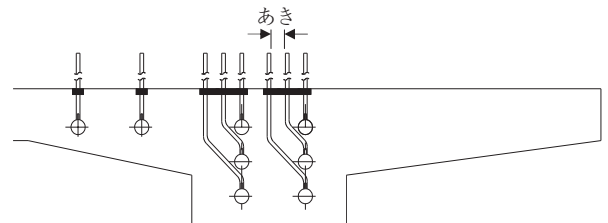


図 - 5 グラウトホースのあき

(5) 注入圧力の確認

PC グラウト指針の第Ⅱ編標準マニュアルの3.3.6では、以下のように示されています。

- ① 3.3.4 (本講座の3.3(3)) で設定した注入流量を確保するための注入圧力が、注入ポンプやグラウトホースおよびその他設備の耐圧性能以下であることを確認しなければならない。
- ② 注入圧力が、注入ポンプおよびグラウトホースの耐圧性能を超えると判断される場合には、注入口、排

出口等の再配置を行い、ステップバイステップ注入方式⁴⁾を採用するか、または流動性や注入流量の設定を変更しなければならない。

注入時のトラブル防止のためには、ダクトとの摩擦による圧力損失によって注入元側に生じる圧力上昇が、各部の耐圧性能を超えないことが必要です。参考として、注入ポンプ圧力は2.0 MPa以下、グラウトホースに作用する圧力は0.6 MPa以下を目安にします。

4. PC グラウトの配合

PC グラウトの配合は、所要の性能を満足するように計画します。塩化物イオン含有量および圧縮強度は、その規定値を満足するように計画し、流動性についても、本講座の3.3(3)で決定した粘性タイプのPC グラウトが、メーカーの推奨する流動性を満足するように配合を計画する必要があります。また、PC グラウトは、その練上がり温度によって流動性などの物理的性状が変化するため、施工時の環境条件および気象条件において、流動性を満足するようにしなくてはなりません。そのため、施工時の条件を想定して配合を決定した後、試し練りや注入前の品質確認を行って、所定の流動性および品質を満足しない場合は、配合を調整しなければなりません。ここでは、順を追って配合決定の標準について説明します。

4.1 使用材料の選定

PC グラウトに使用する各材料は、本講座の2. PC グラウトの材料の条件を満足するもので、かつ3.3(3)で設定した流動性に適したものを選定します。

流動性区分ごとの配合の目安は、表-7に示す推奨範囲と所定の品質を満足することを試験により確認することになります。

4.2 配合の決定

PC グラウトの配合は、選定したプレミックス材あるいは混和剤の特性と施工条件を考慮して、PC グラウトが設定された流動性を満足するよう計画し、試し練りを行い、それを確認しなければなりません。なお、配合計画にあ

っては、セメントや混和剤などの製造会社による最新の基準試験結果が反映された技術資料による情報を取り入れることが望ましいです。

また、計画した配合については、塩化物イオン含有量と圧縮強度の照査を行わなければなりません。それには、各材料の試験成績表または技術資料などを用いて計算（計算方法は、PC グラウト指針参照）によって行うことを標準としますが、試し練りにおける工事ごとの基準試験⁵⁾により、実際に練り混ぜられた試料で測定することによって代替してよいものとします。

4.3 試し練りおよび施工時の配合決定

PC グラウトの実際の施工にあたっては、あらかじめ施工条件に近い時期での試し練りを行い、工事ごとの基準試験を実施して、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りません。ただし、工事の規模やグラウトの施工量が少なく、試し練りが相当程度不経済になるなどの場合は、べつの工事の基準試験で代替することが特例で認められます。（特例の条件については、PC グラウト指針参照）また、試し練りは、施工時を想定したPC グラウトの練り上がり温度でその性状を確認しておくことが必要です。とくに1年を通して施工する場合などには、PC グラウトの温度調整を行って、標準期（春、秋）20℃、冬期10℃、夏期30℃といった条件下の性状を試し練りで確認する必要があります。そして、試し練りの結果、PC グラウトの品質が、設定された判定基準を満足しないときは、それぞれの条件を満足するように配合を修正しなければなりません。

施工時の配合決定においては、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りません。これは、注入直前の配合の調整で、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行います。

5. 演習問題

今回の講座のまとめとして、○×形式の演習問題を用意しましたので、チャレンジしてみてください（PC 技士試験

表 - 7 プレミックス材およびグラウト混和剤の流動性区分と水粉体比の目安（平成23年12月現在）¹⁾

粘性タイプ	混和タイプ	名称	気温(℃)	流下時間*1 (JP漏斗) (s)	フロー値*3 (mm)	配合の目安 W/P*2 (%)	備考
高粘性型	混和剤	GF-1720	5 ~ 35	23 ~ 14 (40 ~ 5)	150 ~ 270 (修正 JASS)	39 ~ 45 (35 ~ 49)	上段は推奨範囲 下段（括弧内）は使用可能範囲
高粘性型～ 低粘性	プレミックス	エッセイバー PC	5 ~ 30 30 ~ 35	35 ~ 7	240 ~ 330 (修正 JASS)	29.0 ~ 33.5 29.0 ~ 32.0	推奨範囲
低粘性型	混和剤	GF-1700N	5 ~ 35	14 ~ 6 (30 ~ 4)	150 ~ 270 (修正 JASS)	39 ~ 45 (34 ~ 47)	上段は推奨範囲 下段（括弧内）は使用可能範囲
超低粘性型	プレミックス	ハイジェクター (Premix-AD)	5 10 20 ~ 30	6 ~ 3.5 (-)	-	37 ~ 41 (36 ~ 42) 36 ~ 40 (35 ~ 41) 33 ~ 38 (32 ~ 39)	上段は推奨範囲 下段（括弧内）は使用可能範囲

※1：流下時間およびフロー値は W/P（あるいは W/C）の範囲に対応した参考値を示す。

※2：混和剤タイプの場合は水セメント比（W/C）を示す。

※3：フロー値は、修正 JASS 法（内径 50 mm 高さ 100 mm 容器）による。

○ 講座 ○

における過去問題を一部アレンジしています)。

- ① PC グラウトには、「PC 鋼材を腐食から保護する性能」および「部材コンクリートと PC 鋼材の一体化性能」が要求される。
- ② PC グラウトの性能照査は、「塩化物イオン含有量」、「圧縮強度」および「有害となる残留空気の有無」について行う。
- ③ 塩化物イオン含有量は、土木分野では普通ポルトランドセメントを使用することを前提に 0.30 kg/m^3 以下であることを照査する。
- ④ PC グラウトの圧縮強度は、プレストレスを与えるときの材齢で 20 N/mm^2 以上を標準とする。
- ⑤ ノンブリーディングタイプの PC グラウトの場合、一般に練上り温度が低いと粘性が増し、温度が高いと粘性が低下する。
- ⑥ PC グラウトの粘性は、JP 漏斗試験による流下時間の違いにより、高粘性型、低粘性型、超低粘性型の 3 タイプに分類される。
- ⑦ 所定の粘性を確保するためには、PC グラウトの練り上り温度を予測して必要な流下時間が得られるような水セメント比を設定する。
- ⑧ PC グラウトの先流れ現象に影響する品質は、単位容積質量測定試験やブリーディング率試験および体積変化率試験によって評価できる。
- ⑨ PC グラウトの流動性の設定において、20 度の下り勾配の注入に、低粘性タイプのグラウトを用いることにした。

【演習問題の解答】

①○②○③×④×⑤○⑥○⑦○⑧×⑨×

6. おわりに

今回の講座では、PC グラウトの材料、設計、配合を解説しました。PC 構造物の耐久性にも大きく影響する PC グラウトを確実に施工するためには、本講座で説明したよ

うな、施工に先立って行うグラウトの設計や配合の設定方法に関する知識を身に付けておくことが非常に重要となります。

さて、次回の講座(その2)では、PC グラウトの施工、検査、およびプレグラウト PC 鋼材について解説します。

注

- a) PT システム：Post-Tensioning System の略。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、グラウトキャップ、グラウトホース、PC グラウト等から構成されたもの
- b) ブリーディング：まだ固まらない PC グラウトにおいて、個体材料の沈降または分離によって、練混ぜ水の一部が遊離して上昇する現象
- c) 有害となる残留空気：PC 鋼材を腐食から保護する性能においては、PC 鋼材に耐久性上問題となるような腐食を生じさせる量の空気であり、部材コンクリートと PC 鋼材を一体化する性能においては、PC グラウトとシース内面との接触面が良好に確保されることを阻害する空気のことである。PC グラウト指針では、リップを有する一般的なシースの残留空気がリップ断面内に取まるものであれば PC グラウトの 2 つの保有すべき性能を満足すると考え、「残留空気がシースのリップ断面以上程度の量である」場合を有害と考える
- d) ステップバイステップ注入方式：注入口の他に中間注入口を設け、注入段階に応じて順次注入口を移動して PC グラウトを注入する方式
- e) 工事ごとの基準試験：選定した PC グラウトの品質が実際の施工においても確保できることを確認するために行う試験であり、コンクリートの試し練りと同じ位置付けの試験

参考文献

- 1) プレストレストコンクリート工学会：PC グラウトの設計施工指針 -改訂版-，2012.12
- 2) プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC グラウト&プレグラウト PC 鋼材 [施工マニュアル 2013 改訂版]，2013.8
- 3) プレストレストコンクリート技術協会：プレレストレストコンクリート技術，2011.7

【2013 年 10 月 7 日受付】