

ノンブリーディング・超低粘性型PCグラウト混和剤を用いたPCグラウトの特性

オリエンタル建設㈱ 正会員 博士(工学) ○呉 承寧
 オリエンタル建設㈱ 工学修士 大熊 晃
 オリエンタル建設㈱ 正会員 工学修士 俵 道和

1. はじめに

PCグラウトの充填性を向上するために、近年、ノンブリーディング・高粘性型または低粘性型のPCグラウトが開発された。しかし、これらのPCグラウトを用いても、PC鋼材とシースとの間の空隙が小さなダクトや、長い連続ケーブル等に注入する場合、PCグラウト施工が非常に困難となることがある。これらの問題を解決するために、ノンブリーディング・超低粘性型PCグラウト（以下は超低粘性型PCグラウトと略称）が開発された。一連のグラウト性能試験および実物大の試験体を用いた注入試験の結果により、超低粘性型PCグラウトの優れた性能が証明された^{1) 2)}。

しかし、この超低粘性型PCグラウトの製造には、セメントと混和剤を含むプレミックス材料を使用しているため、超低粘性型PCグラウトの単価は、従来の高粘性型または低粘性型PCグラウトの単価に比べ高くなっている。

超低粘性型PCグラウトの単価を低減するために、コストの高いプレミックス材料を使わずに、従来の高粘性型または低粘性型PCグラウトと同様に、施工現場で超低粘性型PCグラウト用混和剤とセメントをそれぞれ手配し、超低粘性型PCグラウトを製造する方法が考えられる。

超低粘性型PCグラウトの特性を確認するために、本研究には従来のPCグラウトの性能試験に加えて、より厳しい試験方法、例えば、5m傾斜管試験および1.5m鉛直管試験を採用し、超低粘性型PCグラウトのブリーディング率、体積変化率を測定した。さらに、超低粘性型PCグラウトの体積変化を正確に把握するために、非接触のレーザー変位計を用いて、密閉の鋼製容器に注入された超低粘性型PCグラウトの体積の経時変化を測定した。

本文は、開発された超低粘性型PCグラウト用混和剤の概要を紹介し、この混和剤を用いた超低粘性型PCグラウトの特性に関する上述試験の結果を紹介する。

2. 試験の概要

2.1 使用材料

(1) セメント

普通ポルトランドセメント：密度=3.16，3 銘柄の混合

高炉セメント（B種）：密度=3.04，3 銘柄の混合

早強ポルトランドセメント：密度=3.14，3 銘柄の混合

(2) 超低粘性型PCグラウト混和剤

超低粘性型PCグラウト混和剤は、表-1に示す高性能減水剤、増粘剤、および無機系分離低減剤を主成分とした粉体系のものである。

表-1 超低粘性グラウト混和剤の主成分および物性

主 成 分	形態	粉末度 (cm ² /g)	真密度 (g/cm ³)	全アルカリ量 (%)	塩化物イオン量 (%)
・ポリカルボン酸系セメント減水剤 ・有機系増粘剤 ・無機系分離低減剤	粉末	4,300	2.54	0.97	0.07

2.2 超低粘性型PCグラウトの配合

超低粘性型PCグラウトの配合は、適切な流動性およびノンブリーディング性を確保するために、施工時の気温および使用するセメント種類によって、若干調整する必要がある。例えば、気温 20℃の場合、JP 漏斗の流下時間が 4~6 秒の超低粘性型PCグラウトを製造するために、使用するセメントの種類によって、表-2 に示す標準的な配合がある。

表-2 超低粘性グラウトの標準配合

セメントの種類	JP 漏斗 流下時間 (s)	水セメント比 W/C (%)	混和剤量 AD/C (%)	単位量 (kg/m ³)		
				水 W	セメント C	混和剤 AD
高炉	5~7	35.0	2.0	510	1456	29.1
普通	4~6	37.0	2.0	533	1440	28.8
早強	4~6	42.0	2.0	563	1340	26.8

2.3 超低粘性型PCグラウトの製造

超低粘性型PCグラウトは、グラウトミキサ (公称容量 150ℓ 1000rpm) を用いて、次の手順で製造した。

練混ぜ開始 4 分間練混ぜ

練混ぜ水 →→→ 混和剤の投入 → セメントの投入 →→→ グラウト排出

2.4 試験項目

超低粘性型PCグラウトのフレッシュ性状および硬化特性は、表-3 に示す試験方法に準拠して測定した。

表-3 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
流動性	JP 漏斗の流下時間 (土木学会 JSCE-F532-1999)
ブリーディング率	ポリエチレン袋法 (土木学会 JSCE-F532-1994)
	1.5m 鉛直管法 (日本道路公団 JHS 420-2004) : 高さ 1.7m, 内径 68mm の PVC 製透明シースに、長さ 1.9m の 1S15.2 の鋼材を中心に配置し、高さ 1.5m までグラウトを注入した後、ブリーディング水および高さの変化量を測定し、ブリーディング率および体積変化率を計算する (写真-1)
体積変化率	5m 傾斜管法 (日本道路公団 JHS 419-2004) : 長さ 5m, 内径 79mm の PVC 製透明シースに、12S15.2 の PC 鋼より線を入れ、傾斜勾配 30° に配置し、下端から約 4.75m までグラウトを注入した後ブリーディング率を測定する (写真-2)
	ポリエチレン袋法 (土木学会 JSCE-F532-1994)
	容器法 : 直径 76mm, 高さ 152mm の鋼製容器の内面にテフロンシートを貼り、グラウトを高さ 145mm まで注入し、透明の亚克力製蓋で密閉し、レーザー変位計を用いてグラウトの高さの経時変化を測定する (図-1)
圧縮強度	1.5m 鉛直管法 (日本道路公団 JHS 420-2004)
	土木学会 JSCE-G531-1999

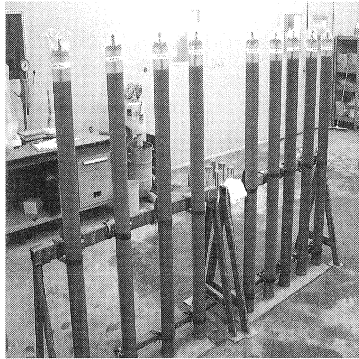


写真-1 1.5m鉛直管試験

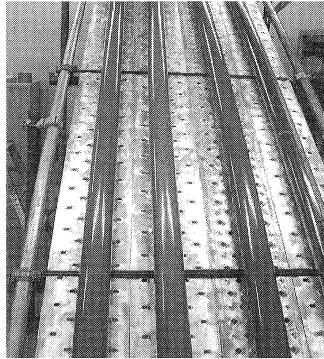


写真-2 5m傾斜管試験

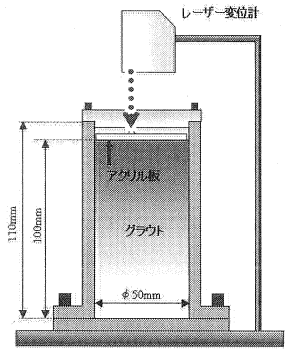


図-1 体積変化率の容器法試験

3. 試験の結果

3.1 流動性

(1) 流動性に及ぼすセメント種類の影響

超低粘性型PCグラウトの流動性は、用いたセメント種類およびグラウトの水セメント比によって異なる。図-2に環境温度20℃で、普通セメント、高炉B種セメントおよび早強セメントをそれぞれ用いた超低粘性型PCグラウトのJP漏斗流下時間と水セメント比との関係を示す。

この図より、超低粘性型PCグラウトのJP漏斗流下時間は、セメントの種類と関係なく、PCグラウトの水セメント比の増加につれて短くなる。

また、同じJP漏斗流下時間を得るために、各種のセメントに対して、必要な水セメント比が異なる。例えば、5秒のJP漏斗の流下時間を有する超低粘性型PCグラウトを製造するために、必要な水セメント比は、高炉セメントを用いる場合35.0%、普通セメントを用いる場合36.5%、早強セメントを用いる場合40.5%である。

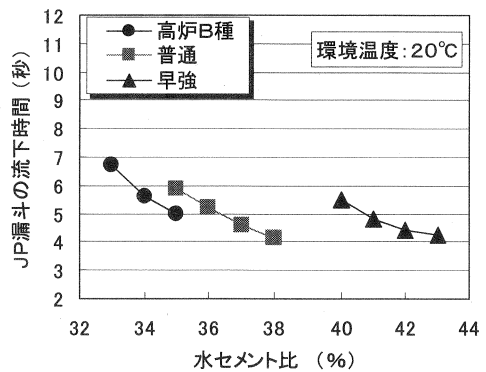


図-2 流動性とセメント種類および水セメント比との関係

(2) 流動性に及ぼす環境温度の影響

超低粘性PCグラウトの流動性はその環境温度にも影響を受ける。図-3には、同じ普通セメントおよび配合を用いた超低粘性型PCグラウトの各環境温度下のJP漏斗の流下時間を示す。同図に示すように、環境温度が高いほど、超低粘性型PCグラウトのJP漏斗の流下時間が短く流動性が高い。

各環境温度でJP漏斗の流下時間が4.5±0.5秒の流動性およびノンブリーディング性を確保するために、各種のセメントにおいて、図-4に示す最適な水セメント比がある。

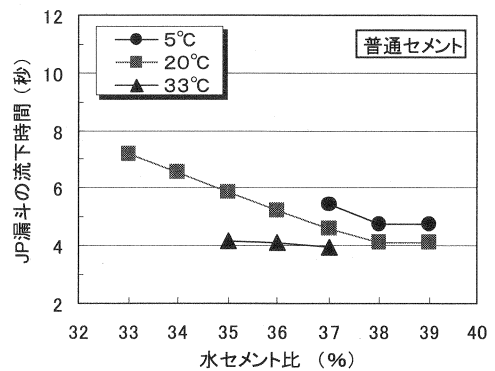


図-3 流動性に及ぼす温度の影響

(3) 流動性の経時変化

環境温度が 5℃, 20℃, および 33℃における超低粘性型 PC グラウトの流動性の経時変化をそれぞれ図-5, 図-6 および図-7 に示す。

普通セメントおよび高炉 B 種セメントを用いる場合, PC グラウト施工のできる温度範囲内, すなわち, 5℃~33℃の環境温度範囲内, 超低粘性型 PC グラウトの流動性の経時変化は少なく, 練り上がったから 3 時間を経過しても, 流動性の低下は JP 漏斗の流下時間で約 2 秒以内に収まる。

一方, 早強セメントを用いる場合, 環境温度が 5℃と 20℃であれば, 普通セメントと同じく練り上がった 3 時間以内の流動性低下は少なく, JP 漏斗の流下時間で約 1.5 秒以内である。しかし, 環境温度が 33℃になると, 練り上がった 2 時間以内の流動性低下は少ないが, その後, セメントが凝結し始め, グラウトの流動性が急激に低下し, 練り上がった 3 時間に JP 漏斗にグラウトが閉塞し, 流下時間の測定が不可能となった。

よって, 超低粘性型 PC グラウトの注入施工の可使用時間は, 普通セメントまたは高炉セメントを用いる場合は 3 時間, 早強セメントを用いた場合は 2 時間と考えられる。

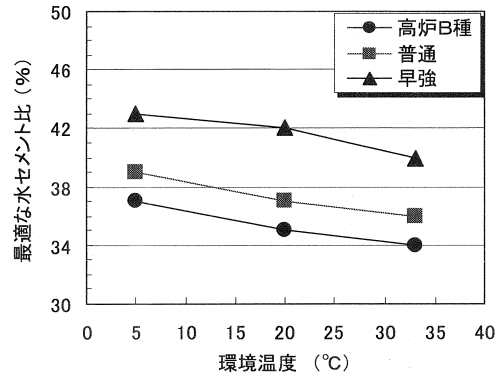


図-4 各種のセメントおよび環境温度における最適な水セメント比

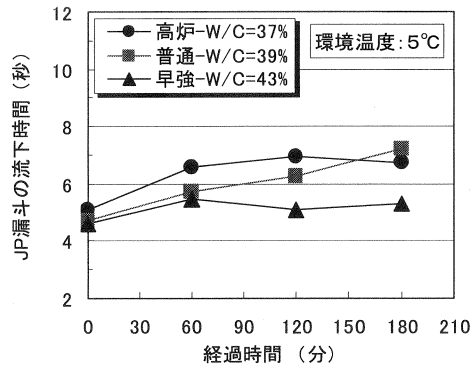


図-5 環境温度 5℃に流動性の経時変化

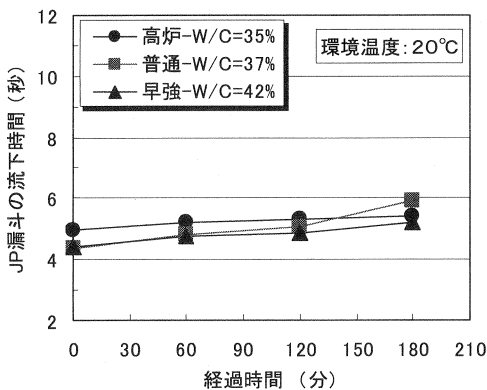


図-6 環境温度 20℃に流動性の経時変化

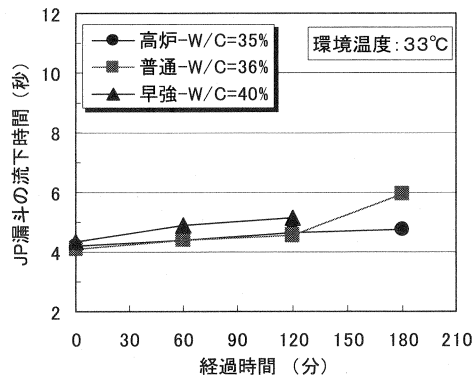


図-7 環境温度 33℃に流動性の経時変化

3.2 ブリーディング率

超低粘性型 PC グラウトのブリーディング率は表-4 に示すように、土木学会の規準に規定されているポリエチレン袋法試験で0%となり、すなわち、超低粘性型 PC グラウトはノンブリーディングタイプのPCグラウトであることを意味する。

また、より厳しい、日本道路公団の試験規準に基づく 1.5m鉛直管のブリーディング率試験においても、普通セメントまたは高炉B種セメントを用いた超低粘性型PCグラウトは、全ての環境温度の下でのブリーディング率が0%であり、早強セメントを用いた超低粘性型PCグラウトは、環境温度20℃と33℃の場合、微量のブリーディングが発生したが、日本道路公団の0.3%以下の規格値を満足している³⁾。

さらに、日本道路公団の5m傾斜管試験には、環境温度20℃で、全てのセメント種類において超低粘性型PCグラウトにブリーディングが発生しなかった。

表-4 グラウトのブリーディング

セメント種類	環境温度 (°C)	水セメント比 (%)	ブリーディング率 (%)		
			ポリエチレン袋法	1.5m 鉛直管法	5m 傾斜管法
高炉 B種	5	37	0	0	--
	20	35	0	0	0
	33	35	0	0	--
普通	5	39	0	0	--
	20	37	0	0	0
	33	36	0	0	--
早強	5	43	0	0	--
	20	42	0	0.10	0
	33	40	0	0.05	--

3.3 体積変化率

(1) 材齢 24 時間の体積変化率

現在、土木学会規準にPCグラウトの体積変化率の測定方法としては、ポリエチレン袋法と容器法がある。施工現場で、ポリエチレン袋法が一般的に使われているが、試験の精度は決して高いとは言えない。

一方、日本道路公団は、fibのPCグラウトガイドを参考とし、PC鋼より線を入れた1.5m鉛直管試験でグラウトの体積変化率を測定することを規定している。本研究は、より正確にPCグラウトの体積変化を測定するために、さらに、透明のプラスチック製蓋が付いている鋼製容器に超低粘性型PCグラウトを注入し、非接触のレーザ変位計を用い、その体積の経時変化を測定した。

これらの試験結果を図-8に示す。同図より、超低粘性型PCグラウトの材齢24時間の体積変化率は試験方法によって異なる。ポリエチレン袋法の測定値は、早強セメントを用いたPCグラウトを除いて、土木学会のコンクリート標準示方書に規定されている-0.5%~0.5%の規格値を満足した。

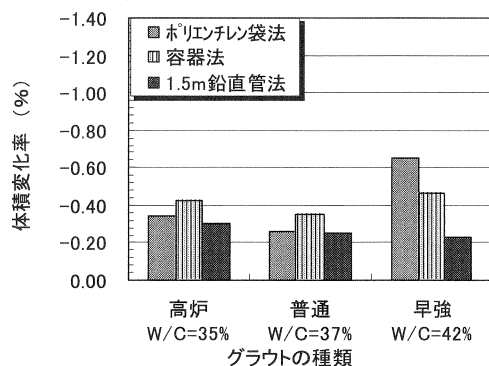


図-8 各試験方法で測定した材齢24時間の体積変化率

1.5m 鉛直管法の測定値は、ポリエチレン袋の測定値に比べ小さく、日本道路公団の-0.5%~0.5%の規格値を満たした。また、容器法で測定された超低粘性型PCグラウトの体積変化率は、土木学会の-0.5%~0.5%の規格値を満足した。

(2) 体積の経時変化

レーザー変位計を用いた容器法で測定された超低粘性型PCグラウトの体積の経時変化を図-9に示す。この試験に超低粘性型PCグラウトの凝結の始発時、すなわち材齢6時間を基準とした。

この図より、超低粘性型PCグラウトは、注入後の1日以内、かなりの収縮があり、その後材齢につれて収縮が少なくなった。材齢1日から材齢60日までの体積変化率は、高炉B種セメントを用いた場合は約0.019%、普通セメントの場合は約0.023%、早強セメントの場合は約0.032%となった。

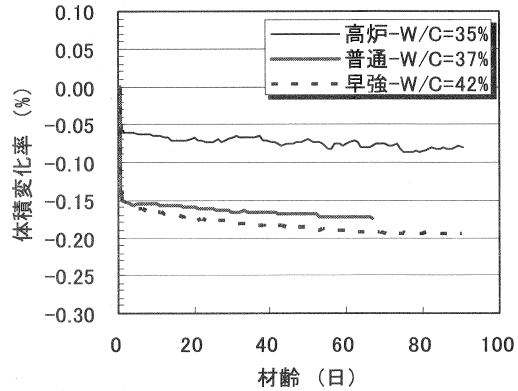


図-9 超低粘性型PCグラウトの体積変化率

3.4 圧縮強度

超低粘性型PCグラウトの材齢28日の圧縮強度は、図-10に示すようにセメント種類および水セメント比に影響を受ける。

同図より、いずれのセメント種類および水セメント比においても、超低粘性型PCグラウトの材齢28日の圧縮強度は、80N/mm²以上であり、土木学会の規格値30N/mm²を遥かに超えたことが分かる。

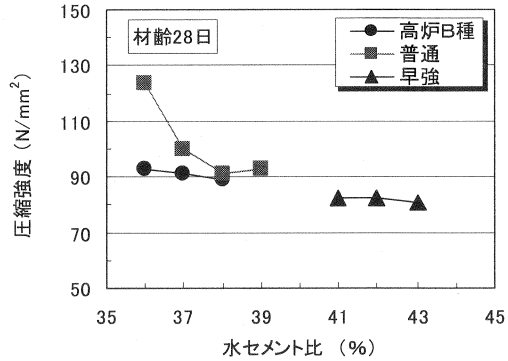


図-10 超低粘性型PCグラウトの圧縮強度

5. まとめ

超低粘性型PCグラウト用混和剤およびこの混和剤を用いた超低粘性型PCグラウトにおいて次のことが分かった。

(1) 超低粘性型PCグラウト用混和剤を使用することにより、普通ポルトランドセメントだけではなく、高炉B種セメントまたは早強ポルトランドセメントを用いても超低粘性型PCグラウトを製造することができる。

(2) この混和剤を用いた超低粘性型PCグラウトは、高流動性、ノンブリーディング、高強度、および非膨張などの特性がある。

参考文献

- 1) 高速道路技術センター：PC橋のグラウトに関する技術検討 グラウトの品質管理について、2003.1
- 2) 高速道路技術センター：PC橋のグラウトに関する技術検討 グラウト充填確認試験，2003.1
- 3) 日本道路公団：構造物施工管理要領，平成16年4月版，pp.145-152