

## 高性能PCグラウトに関する研究

オリエンタル建設機技術研究所 ○大熊 晃  
 同上 正会員 吳 承寧  
 太平洋セメント(株)中央研究所 石森 正樹  
 同上 林 浩志

### 1. はじめに

プレストレストコンクリート構造物において、ポストテンション部材は、PC鋼材を腐食から保護し、PC鋼材と部材コンクリートの付着を確保するために、ダクトにPCグラウトを完全に注入することが重要となる。特に、塩害の激しい海岸地区、または、塩化物の融雪剤を散布される地区において、PCグラウトの品質および充填度合いは、PC構造物の耐久性に大きな影響を与える。近年、プレストレストコンクリート構造物の大型化、多様化、高耐久化などにもない、そこに用いられるPCグラウトに高性能化・多機能化が要求される。そのため、高分離抵抗性（ノンブリーディング）、高充填性、高施工性、高強度および高防食性などの特性をもつ高性能PCグラウトの研究開発および実用化が必要となる。

本研究は、PC建設業協会におけるPCグラウトの高品質化の一翼を担う形で、高性能PCグラウトを研究開発する[1]。

### 2. 試験の概要

#### 2.1 PCグラウトの使用材料および配合

表-1には本試験に用いたPCグラウトの使用材料を示す。

試験に用いたPCグラウトには、高性能PCグラウトおよび比較のため従来の低粘性PCグラウトとがある。さらに、高性能PCグラウトには、水粉体比を調整することによって、超低粘性型、低粘性型および高粘性型の3種類の高性能PCグラウトを使用する。表-2にはこれらのグラウトの配合を示す。

同表に示す水結合材比は、練り混ぜ水と結合材（セメント+混和材）の重量比である。高性能PCグラウトには、セメントと混和材料をプレミックスしたものを使用するため、混和剤を単独的に添加することはない。

表-1 PCグラウトの使用材料

材料名	種類	記号
セメント	普通ポルトランドセメント	普通
	低熱ポルトランドセメント	低熱
減水剤	ナフタリン系高性能減水剤	N
	ポリカルボン酸系高性能減水剤	P
分離低減材	セルロース系分離低減剤	C
	超微粒子無機混和材	M
グラウト混和剤	ノンブリーディング低粘性用	GA

表-2 PCグラウトの配合

グラウト種類	水結合材比 W/B	混和剤添加率 (×C%)	
従来の低粘性	45	1.0	
高性能	超低粘性	31	—
	低粘性	26	—
	高粘性	24	—

#### 2.2 試験の方法

グラウトの流動性試験は、JSCE-F531-1999およびJSCE-F531-1994に基づいて、JPロートおよびJ14ロートを用いて測定する。

グラウトの加圧ブリーディング率は、0.5MPaの圧力の下で10分間、測定する。

グラウトの膨張率は、JSCE-F532-1994に基づいて、ポリエチレン袋を用いて測定する。

グラウトの圧縮強度は、JSCE-G531-1994に基づいて測定する。

グラウトの塩化物イオン浸透抵抗性試験は、AASHTO T277-96 (ASTM C 1202-94)に基づいて測定し、印加電圧を30Vおよび60Vとする。

### 3. 試験の結果

#### 3.1 高性能PCグラウトの組成材料の選定

##### (1) セメントの選定

PCグラウトの強度、充填性、分離抵抗性、施工性および耐久性を向上するために、高性能PCグラウトには、低熱ポルトランドセメントの使用が考えられる。低熱ポルトランドセメントは、普通ポルトランドセメントに比べ、球状のピーライト化合物の含有量が多いため、フレッシュペーストの流動性が高く、流動性の保持時間も長い。また、硬化ペーストの長期強度および耐久性が高いなどの特性がある。

図-1はJPロートの流下時間で測定されたPCグラウトの流動性に及ぼすセメント種類の影響を示す。同図より、低熱ポルトランドセメントを用いたPCグラウトは、普通ポルトランドセメントを用いたものに比べ、流動性が高く、流動性の経時変化が少ないことが分かる。

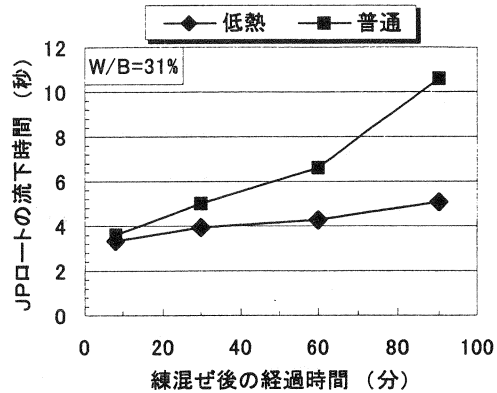


図-1 PCグラウトの流動性に及ぼすセメント種類の影響

##### (2) 減水剤の選定

PCグラウトの流動性は、セメント種類の他に、減水剤の種類にも大きな影響を受ける。したがって、PCグラウトの流動性を向上するために、減水率の高い高性能減水剤の使用が望ましい。

図-2は低熱ポルトランドセメントを用いたグラウトの流動性、すなわち、JPロートの流下時間に及ぼす高性能減水剤の種類の影響を示す。同図より、同程度の流動性を得るために、ポリカルボン酸系の高性能減水剤の添加量はナフタリン系の高性能減水剤の添加量の40%となっている。さらに、この流動性の経時変化において、ポリカルボン酸系の高性能減水剤を用いた場合は、ナフタリン系の高性能減水剤を用いた場合に比べ、少なくなっている。よって、高流動性を要求される高性能PCグラウトには、ポリカルボン酸系高性能減水剤の使用は、ナフタリン系の高性能減水剤より適することが分かった。

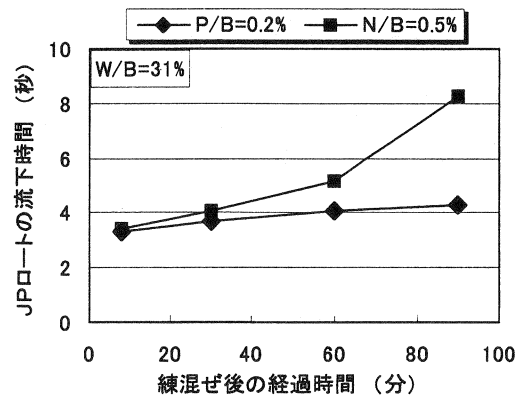


図-2 PCグラウトの流動性に及ぼす高性能減水剤の影響

##### (3) 分離低減材の選定

PC鋼材に対する防食の観点から、ダクトに充填されたグラウトは、ブリーディングによる空隙が発生し

てはいけないと規定されている。

従来のノンブリーディングPCグラウトの製造には、一般的にセルロース系の分離低減剤を使用している。従来のノンブリーディングPCグラウトは、JSCE-F532-1994により、20cm高さのポリエチレン袋を用い、ブリーディング率を測定すると、0%となる。しかし、鉛直ダクトなどのダクトに充填されるグラウトが高い圧力を受けているため、そのブリーディングはポリエチレン袋を用いた場合と異なる。例えば、従来のノンブリーディング低粘性PCグラウト(C)は、0.5MPaの圧力を受けた場合、図-3に示すように約14%のブリーディング率がある。

一方、超微粒子無機系分離低減材を用いるPCグラウト(M)は、分離低減材の混和量により、加圧ブリーディング率が8%から4.5%まで低減される。

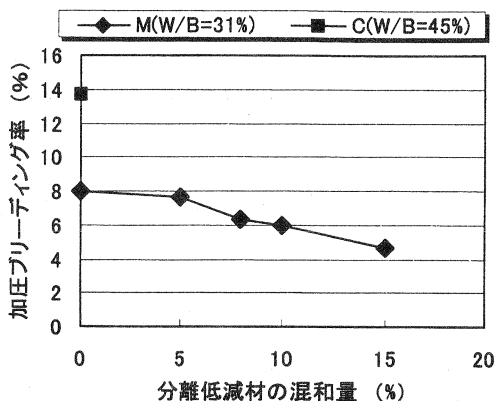


図-3 PCグラウトの加圧ブリーディング率に及ぼす分離低減材の影響

### 3.2 高性能PCグラウトの基本特性

以上の試験で選定された低熱ポルトランドセメント、ポリカルボン酸系高性能減水剤および超微粒子無機分離低減材等の材料を用いた高性能PCグラウトは下記の基本特性がある。

#### (1) 流動性および粘性

高性能PCグラウトに、流動性の高い低熱ポルトランドセメント、球状の超微粒子無機混和材および減水効果の高い高性能減水剤を使用するため、低い水粉体比の領域において、必要な粘性を確保し、さらに、ノンブリーディングのグラウトを容易に製造することができる。図-4は高性能PCグラウトのロート流下時間と水粉体比との関係を示す。

同図より、PCグラウトの水粉体比を31%とする場合、J14ロートで測定された流下時間が約2.7秒となる。このPCグラウトは、従来の低粘性型PCグラウトに比べ、J14ロートの流下時間が短く、非常に流動性が高い。よって、水粉体比を31%としたPCグラウトを超低粘性PCグラウトと称する。

一方、水粉体比を24%としたPCグラウトは粘性が高くなり、J14ロートの流下時間が8秒となる。これは、従来のノンブリーディングPCグラウトと同程度の流動性を有している。

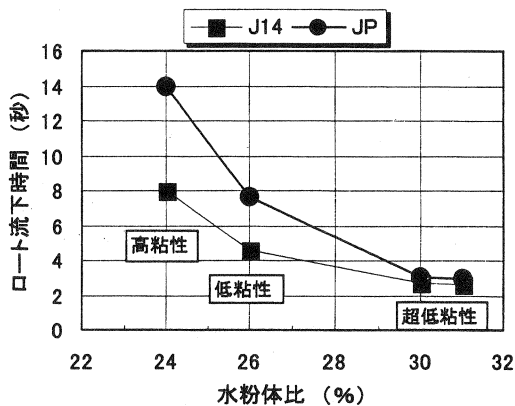


図-4 高性能PCグラウトのロート流下時間と水粉体比との関係

#### (2) ブリーディング抵抗性

高性能PCグラウトおよび従来のノンブリーディング低粘性型グラウトは、ポリエチレン袋を用いる従来の試験でブリーディング率が0%である。しかし、鉛直および傾斜方向に配置されるダクトに注入されるグ

ラウトは、その自重による圧力を受けるため、ブリーディング率が大きくなる可能性がある。特に、超低粘性のPCグラウトは、空隙率が非常に低い場合の使用を対象としているため、注入時の圧力が、非常に大きくなる可能性がある。

よって、本研究には、ポリエチレン袋を用いる従来のブリーディング率試験だけでなく、0.5MPaの圧力下での加圧ブリーディング試験を行った。図-5はその試験の結果を示す。高性能PCグラウトの加圧ブリーディング率は、水結合材比が異なるため、粘性によって異なるが、従来のノンブリーディング低粘性型グラウトの62%以下となった。この結果により、高性能PCグラウトは、従来のノンブリーディング低粘性型グラウトに比べ、ブリーディングに対する抵抗性が高いことが分かる。

### (3) 圧縮強度

高性能PCグラウトは、水結合材比が低いため、硬化後の圧縮強度が非常に高くなっている。図-6は従来のノンブリーディング低粘性型グラウトおよび高性能PCグラウトの材齢28日における圧縮強度を示す。同図より、高性能PCグラウトの圧縮強度は粘性、すなわち水結合材比によって異なる。高粘性、低粘性および超低粘性の高性能PCグラウトの材齢28日にける圧縮強度はそれぞれ150MPa、130MPaおよび100MPaである。これらの圧縮強度は、従来のノンブリーディング低粘性グラウトと比べ、2~3倍に達していることが分かる。

### (4) 膨張率

従来の膨張型PCグラウトには、膨張材として、アルミニウム粉末が使用されている。しかし、アルミニウム粉末とアルカリ性のグラウトとの反応による発生する水素ガスは、PC鋼材に浸入し、PC鋼材を脆化させる可能性がある。よって、高性能PCグラウトには、水素ガスが発生しないように、アルミニウム粉末の代わりに石灰系膨張材を使用している。

図-7は高性能PCグラウトの膨張率を示す。同図より、高性能PCグラウトの膨張率は、グラ

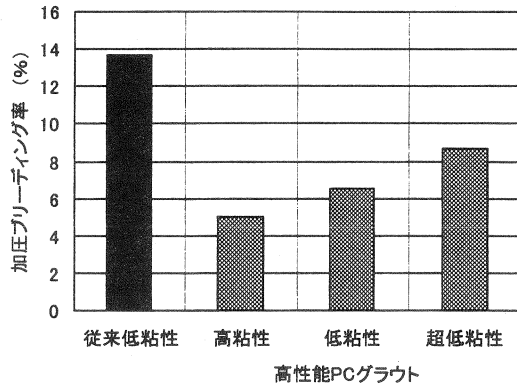


図-5 高性能PCグラウトの加圧ブリーディング率

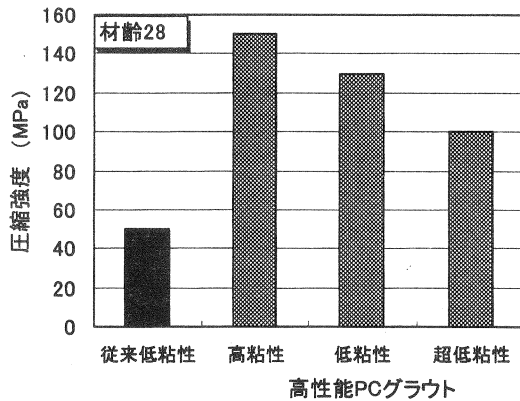


図-6 高性能PCグラウトの圧縮強度

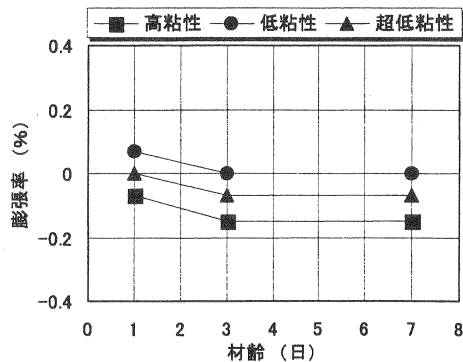


図-7 高性能PCグラウトの膨張率

ウトの粘性によって異なっていることが分かる。高粘性型の高性能PCグラウトは、水結合材比が比較的低いため、自己収縮が大きく、材齢20時間後の膨張率が $-0.05\%$ となった。この膨張率はPC建協の $\pm 0.5\%$ の基準値を満足している。

一方、低粘性型および超低粘性型の高性能PCグラウトは、高粘性型に比べ、自己収縮が小さく、材齢1日の膨張率は $0\sim 0.05\%$ の範囲内にとどまった。

現在、グラウトの最終的膨張率に関する基準値はないが、グラウトの最終的膨張率または収縮率ができるだけ小さいことが望ましい。高性能PCグラウトの材齢7日の膨張率は、 $-0.15\%$ 以下となり、材齢3日の膨張率とほぼ同じである。この収縮傾向により、高性能PCグラウトは、最終的膨張率または収縮率がPC建協の材齢20時間後の基準値 ( $\pm 0.5\%$ ) を超えることはないと考えられる。

### (5) 塩化物イオン浸透抵抗性

高性能PCグラウトには、水結合材比が比較的小さく、超微粒子の無機混和材を用いる。このようなグラウトは、塩化物イオン浸透に対する抵抗性が高いことが予想される。これを確認するために、AASHTO T277-96 (ASTM C 1202-94) に基づいて、硬化グラウトに対して、急速塩化物イオン通過試験を行った。硬化グラウトの塩化物イオンに対する抵抗性は、グラウトを通過した電荷量と反比例の関係がある。

AASHTO T277-96に規定された60Vの電圧を印加した場合、従来の低粘性グラウトに非常に大きな電流が流れ、通過電荷量の測定ができなかった。よって、印加電圧を30Vまで下げ、急速塩化物イオン通過試験を行った。図-8はその結果を示す。

同図より、高粘性PCグラウトを通過した電荷量は、グラウトの粘性によって異なる。高粘性の高性能グラウトを通過した電荷量が最も少なかった。すなわち、高粘性の高性能グラウトは塩化物イオンの浸透に対する抵抗性が最も高いといえる。超低粘性の高性能PCグラウトは、高性能PCグラウトにおいて、通過された電流量が最も多いが、従来の低粘性PCグラウトのわずか7%しかない。これらの試験結果により、高性能PCグラウトは、従来のPCグラウトに比べ、塩化物イオンの浸透に対する抵抗性が極めて高いことが明らかになった。

### (6) 施工性

#### (a) 流動性の温度依存性

フレッシュPCグラウトの流動性は、グラウ

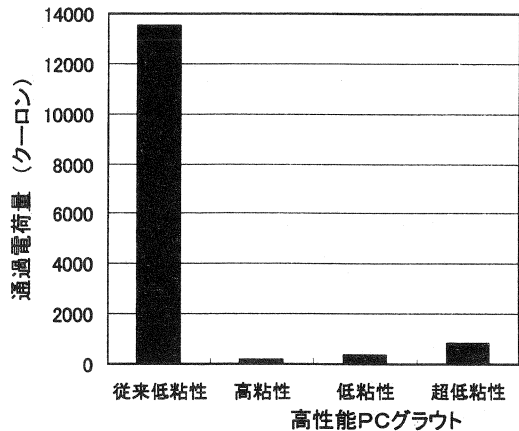


図-8 硬化した高性能PCグラウトの急速塩化物イオン浸透試験

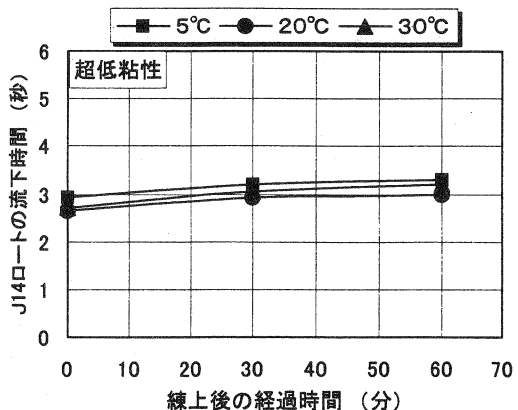


図-9 超低粘性PCグラウトの流動性とその温度との関係

トの温度との関係がある。一般的に、PCグラウトの流動性は、その温度が高くなるにつれて、流動性が高くなる。これをグラウトの温度依存性といい、PCグラウトの注入工事には、流動性の安定しているグラウト、すなわち、温度依存性の少ないグラウトとすることが望ましい。

図-9は超低粘性の高性能PCグラウトを使用したときのJ14ロートの流下時間とその温度との関係を示す。同図より、超低粘性の高性能PCグラウトは、その温度が5℃から30℃まで変化しても、そのルート流下時間がほとんど変わらないことが分かる。これは超低粘性PCグラウトの流動性は温度に対する依存性が非常に少ないことを示す。

(b) 流動性の経時変化

フレッシュPCグラウトの流動性は、練り上がった後の経過時間につれて低くなる傾向がある。PCグラウトの可使時間は、その流動性の経時低下の速度との関係がある。

図-10は温度20℃の高性能PCグラウトのルート流下時間と練り混ぜ後の経過時間との関係を示す。同図より、高性能PCグラウトのJPロートの流下時間は、練り混ぜ後の経過時間につれて長くなることが分かる。

しかしながら、この流動性の経時低下は、グラウトの種類によって異なり、グラウトの粘性が低いほど少ない。超低粘性の高性能PCグラウトは、練り混ぜ後60分が経過しても、そのJPロートの流下時間がほとんど変わらず、流動性の経時低下が最も少ない。

一方、高粘性の高性能PCグラウトは、練り上がった時のJPロートの流下時間が長く、粘性が高い。さらに、この粘性は、経過時間と共に高くなり、練り混ぜ後60分の時、グラウトの注入限界値（JPロートの流下時間が約25秒）に達した。

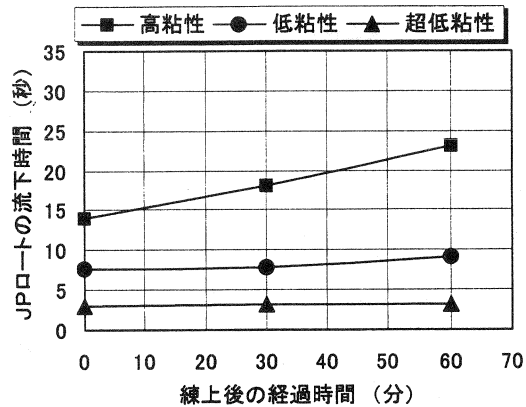


図-10 高性能PCグラウトの流動性の経時変化

4. まとめ

本研究は、高性能グラウトの使用材料及び基本特性を検討し、以下の結論が得られた。

低熱ポルトランドセメント、ポリカルボン酸系の高性能減水剤および超微粒子無機分離低減材を用いた高性能PCグラウトは高流動性、高強度、高塩化物イオン浸透抵抗性、高分離抵抗性及び高施工性などの優れた特性がある。

参考文献

[1] プレストレストコンクリート建設協会：「PCグラウト&プレグラウトPC鋼材 施工マニュアル」、改訂版、1999