

ノンブリーディング・超低粘性型 PC グラウトの開発とその物性

呉 承寧*1・林 浩志*2・綿貫 輝彦*3・大熊 晃*4

1. はじめに

プレストレストコンクリートのポストテンション部材においては、緊張されたPC鋼材を腐食から保護すると同時に、PC鋼材とコンクリートの一体化を図るために、ダクト内のPC鋼材とシースとの隙間にはPCグラウトを充填する必要がある。

PCグラウトの充填性を向上するために、近年、高性能減水剤や増粘剤などの混和材料を用いた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。しかしながら、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グラウトを開発した。本文では、高粘性型、低粘性型および超低粘性型のPCグラウト粘性範囲は、JP漏斗の流下時間で、それぞれ14秒以上、4秒～14秒未満、および4秒以下とする。

2. 超低粘性型 PC グラウトの開発コンセプト

従来のノンブリーディング・PCグラウトは、通常増粘剤を使用してブリーディングを阻止しているため、粘性の高いPCグラウトになっている。そのため、注入条件によってはPCグラウト充填時の圧力が高くなったり、時間の経過に伴って粘性が増大するなどの施工性に関わる問題が生じることがある。確実なPCグラウト施工を行うためには、ダクトの空隙や長さなどの注入条件によらず、「誰でも、どこでも、いつでもダクトにPCグラウトを確実に注入することができる」ことが重要であり、「水のように粘性の低いPCグラウトであれば注入条件によらず確実な充填が可能ではないか」という着想から、超低粘性PCグラウトの

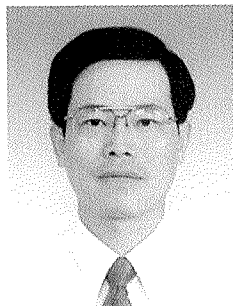
開発を行った。

さらに、もうひとつの大きな着目点は、誰でも、どこでも、いつでも高品質のPCグラウトが製造できるために、粉体材料をプレミックス化することである。従来のノンブリーディング・PCグラウトは、セメントに対してPCグラウト混和剤を所定量添加し、さらにPCグラウト温度に応じた練混ぜ水を加えて製造されるが、PCグラウト温度やセメントの銘柄により流動性（粘性）が大きく変化することがあるため、PCグラウトの製造管理は必ずしも容易な作業ではなかった。PCグラウトの粉体部分をプレミックス化することにより、現場では水を計量して練混ぜするだけで所要の品質のPCグラウトが製造できる。また、プレミックス化した粉体材料については、あらかじめ製造工場での粉体材料を用いたPCグラウトが所要の品質を満たすかどうかを確認することで、施工現場でPCグラウトの品質不良が生じるおそれを解消することができる。

以上のような製品コンセプトを実現するためにさまざまな材料を選択し、開発したのがノンブリーディング・超低粘性型PCグラウトである。

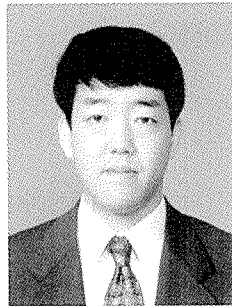
3. 超低粘性型 PC グラウトの材料設計

水のような超低粘性とノンブリーディングを両立させるために、超低粘性型PCグラウトにはポルトランドセメントのほかにシリカ質混和材と粉末高性能減水剤が配合されている。超低粘性型PCグラウトでは分離抵抗性を確保するために水粉体比を35%以下に設定しているが、シリカ質混和材と粉末高性能減水剤の組み合わせにより、このような低い水粉体比でも粘性が低かつ分離抵抗性が高いPCグラウトを実現している。使用している粉末高性能減水剤は、セメント系プレミックス製品用に新規に開発されたものであり、セメントおよびシリカ質混和材に対する分散性能が



*1 Chengning WU

オリエンタル建設(株)
技術研究所主任研究員



*2 Hiroshi HAYASHI

太平洋セメント(株)
中央研究所主任研究員



*3 Teruhiko WATANUKI

太平洋マテリアル(株)
開発研究所主任研究員



*4 Akira OHKUMA

オリエンタル建設(株)
技術研究所研究員

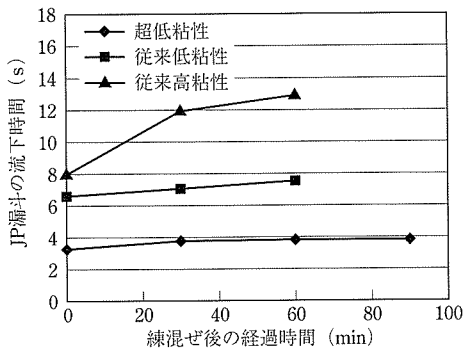


図 - 1 PC グラウトの流動性とその経時変化

粘性型 PC グラウトに比べ、流動性の経時変化が小さく、
 可使用時間が 1 時間以上と長い。

2) 流動性と温度との関係

超低粘性型 PC グラウトの流動性に及ぼす温度の影響を調べるために、練混ぜ前の使用材料の温度と試験中の環境温度を 5, 20, 30, および 40℃ に調整し、超低粘性型 PC グラウトの流動性を測定した。図 - 2 に示すように、環境温度が 5℃ から 40℃ まで変化しても、超低粘性型 PC グラウトの流動性には大きな変化がなく、流動性の温度依存性は低いことが確認された。したがって、施工時期などにより、環境温度や材料温度が変化しても、安定したフレッシュ性状が得られる。

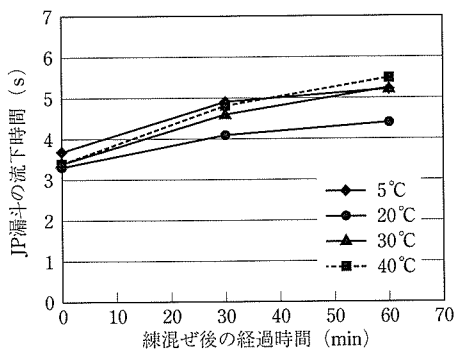


図 - 2 超低粘性型 PC グラウトの流動性と環境温度との関係

3) 流動性と水粉体比との関係

PC グラウトの注入工事では、セメントおよび練混ぜ水の計量誤差などにより、PC グラウトの流動性が変化する場合がある。そのため、PC グラウトの完全充填を実現するためには、流動性に対する計量誤差の影響が少ない PC グラウトが望ましい。

超低粘性型 PC グラウトの流動性とその水粉体比との関係を図 - 3 に示す。図に示すように、水粉体比が 28% から 32% まで変化しても、JP 漏斗の流下時間の差はわずか 1 秒内にとどまり、超低粘性型 PC グラウトの流動性は大きく変化しない。

この結果より、超低粘性型 PC グラウトは、製造現場での練混ぜ水の計量誤差による流動性の変動が比較的少ないと考えられる。いいかえれば、超低粘性型 PC グラウト

を製造する時、流動性のコントロールは比較的容易である。

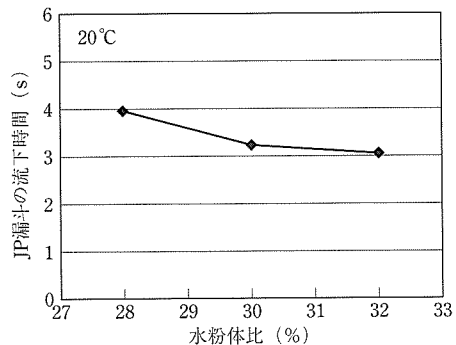


図 - 3 超低粘性型 PC グラウトの流動性と水粉体比との関係

4) 流動性と練混ぜ時間との関係

図 - 4 に超低粘性型 PC グラウトの流動性と練混ぜ時間との関係を示す。超低粘性型 PC グラウトの JP 漏斗流下時間は練混ぜ時間が長くなるにつれて短くなるが、練混ぜ時間が 4 分間以上となると変化が少なくなる。よって、流動性の安定した超低粘性型 PC グラウトを製造するためには、4 分間の練混ぜが必要である。

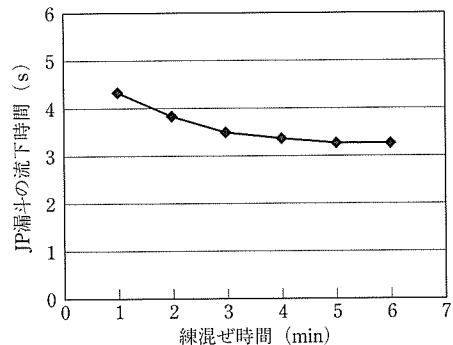


図 - 4 超低粘性型 PC グラウトの流動性と練混ぜ時間との関係

5) 流動性と練混ぜ量との関係

超低粘性型 PC グラウトの流動性に及ぼす練混ぜ量の影響を調べるために、公称容量 150 リットルグラウトミキサーを用い、1 バッチの練混ぜ量を公称容量の 50%、67% および 100% として、超低粘性型 PC グラウトを製造した。

図 - 5 に各練混ぜ量における JP 漏斗流下時間の測定結果を示す。超低粘性型 PC グラウトでは、練混ぜ量が公称容量の 50% 以上であれば、1 バッチの練混ぜ量が異なる場合でも、JP 漏斗流下時間はほぼ同等となり流動性への影響は少ない。

6) 流動性とミキサーの回転速度との関係

超低粘性型 PC グラウトの流動性に及ぼすグラウトミキサーの回転速度の影響を調べるために、グラウトミキサーの回転速度をそれぞれ 600, 800 および 1 000 rpm に設定して、練混ぜ時間を 4 分間とし、超低粘性型 PC グラウトを製造

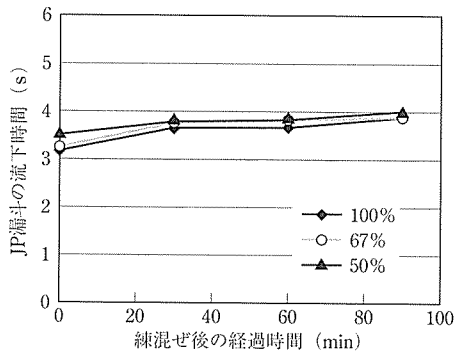


図 - 5 超低粘性型 PC グラウトの流動性と練混ぜ量との関係

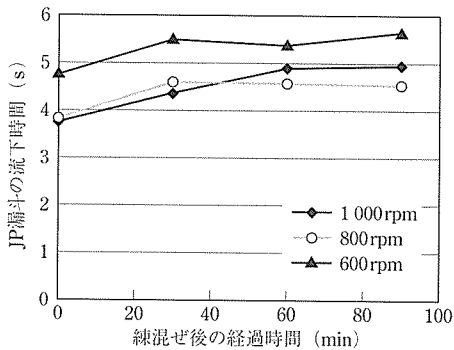


図 - 6 超低粘性型 PC グラウトの流動性とミキサの回転速度との関係

した。

図 - 6 に各回転速度で製造された超低粘性型 PC グラウトの JP 漏斗流下時間を示す。ミキサの回転速度が高いほど製造された超低粘性型 PC グラウトの流動性は高くなる傾向があり、回転速度が 800 rpm 以上のミキサを用いれば、所定の流動性が得られる。

7) 各種の漏斗の流動時間の関係

PC グラウトの流動性の測定においては JP 漏斗が標準的に用いられる。しかしながら、粘性の低い PC グラウトの場合、状況によっては JA 漏斗を使用することがある。図 - 7 に示すように、超低粘性型 PC グラウトの JP 漏斗流下時間と JA 漏斗の流下時間には直線的に高い相関がある。

(2) プリーディング率

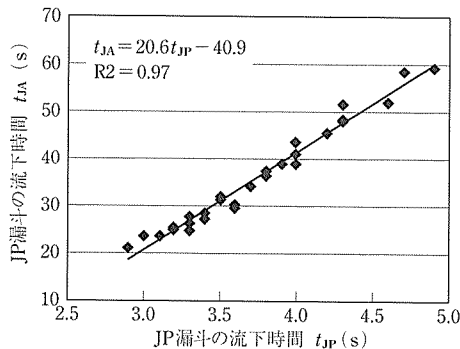


図 - 7 超低粘性型 PC グラウトの JP 漏斗と JA 漏斗の流下時間の関係

土木学会のコンクリート標準示方書の「PC グラウトのプリーディング率および膨張率試験方法（ポリエチレン袋方法）」に準拠して測定された超低粘性型 PC グラウトのプリーディング率は、材齢 3 時間後と材齢 24 時間後とともに 0% である。

さらに、圧力を受ける場合の超低粘性型 PC グラウトのプリーディング抵抗性を調べるために、0.22 MPa の圧力で、超低粘性型 PC グラウトと従来のノンプリーディング・高粘性型 PC グラウトおよび低粘性型 PC グラウトの加圧プリーディング率を測定した。図 - 8 に示すように、超低粘性型 PC グラウトの加圧プリーディング率は従来のノンプリーディング・高粘性型 PC グラウトと低粘性型 PC グラウトの中間のレベルである。

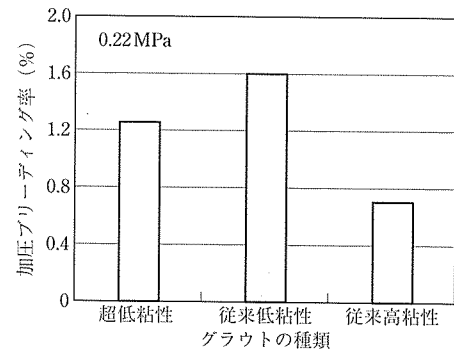


図 - 8 PC グラウトの加圧プリーディング率

(3) 凝結時間

超低粘性型 PC グラウトの凝結時間を図 - 9 に示す。超低粘性型 PC グラウトの凝結時間は環境温度が高いほど短くなり、この傾向は従来のノンプリーディング・低粘性型 PC グラウトと同様である。また、いずれの環境温度においても超低粘性型 PC グラウトの凝結時間は従来の低粘性型 PC グラウトに比べ短い。

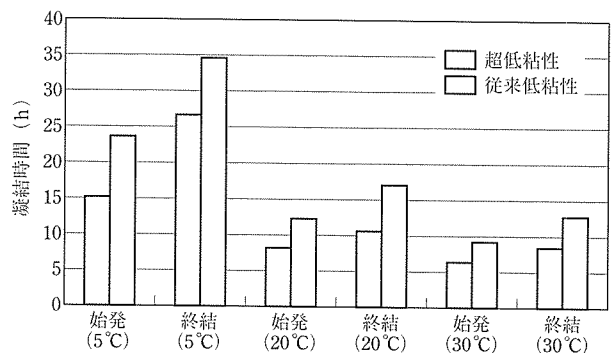


図 - 9 各環境温度における PC グラウトの凝結時間

(4) 膨張率

非膨張タイプの PC グラウトの膨張率規定値については、土木学会の 2002 年版「コンクリート標準示方書 施工編」にはとくに規定されていない。図 - 10 に示すように、超低粘性型 PC グラウトの膨張率は材齢 7 日で 0%，材齢 28 日で -0.08% であり、高い無収縮性を有している。

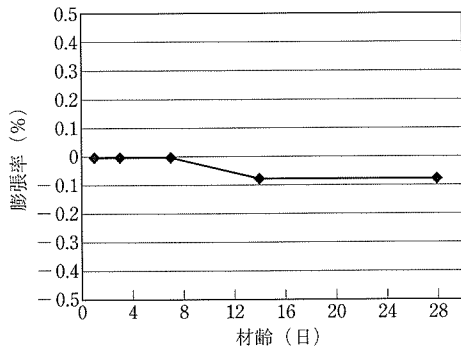


図-10 超低粘性型 PC グラウトの膨張率

(5) 圧縮強度

20℃の温度で養生した超低粘性型 PC グラウトの圧縮強度を図-11に示す。超低粘性型 PC グラウトの圧縮強度はテストピースの養生方法によって異なる。超低粘性 PC グラウトの圧縮強度は水中養生の場合がもっとも高く、長期間にわたり増加する。

一方、封緘養生した場合は水中養生したものに比べ、圧縮強度が低下する傾向があり、とくに長期材齢では強度がほとんど増加しなくなる。しかしながら、封緘養生した場合でも材齢 28 日における圧縮強度は 70 N/mm² 以上と高く、土木学会の最小規定値 30 N/mm² を大幅に上回っている。

また、超低粘性型 PC グラウトの圧縮強度はテストピースの養生温度にも影響を受ける。図-12に封緘養生した場合の超低粘性型 PC グラウトの圧縮強度に及ぼす養生温度

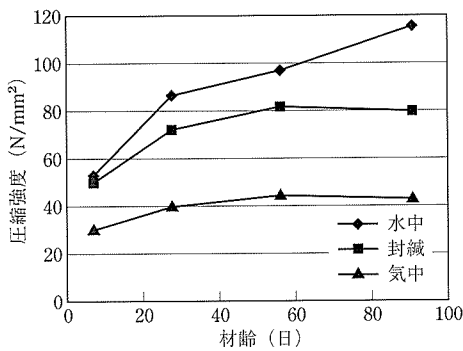


図-11 超低粘性型 PC グラウトの圧縮強度に及ぼす養生方法の影響

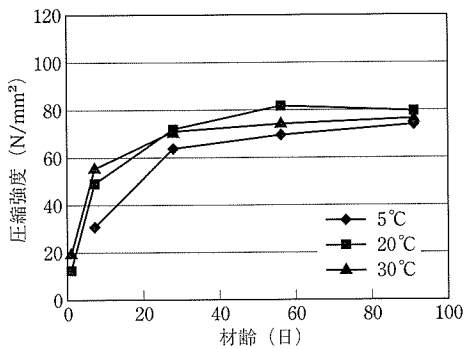


図-12 超低粘性型 PC グラウトの圧縮強度に及ぼす養生温度の影響

の影響を示す。

30℃の温度で養生された超低粘性型 PC グラウトは 20℃で養生した場合に比べ、初期材齢における圧縮強度は高くなるが、材齢 28 日以後の長期強度は低くなる。また、5℃の低温で養生した場合、初期材齢の圧縮強度は比較的低いが、材齢 28 日以後の長期強度は 20℃または 30℃で養生したものと同様となる。

(6) 鉄筋との付着強度

PC グラウトと PC 鋼材との付着強度は PC 部材のコンクリートと PC 鋼材との一体性を確保するうえで、重要な性能である。しかし、PC グラウトと PC 鋼材との付着強度試験において正式な方法がないため、ここで、PC グラウトと鉄筋との付着強度試験によって、各種の PC グラウトの付着強度を比較する。その結果、図-13に示すように、超低粘性型 PC グラウトと鉄筋との付着強度は 13.5 N/mm² と従来の高粘性型 PC グラウトに比べて約 35% 高くなっており、優れた付着特性が確認された。

(7) 塩化物イオン浸透抵抗性

PC グラウトは外部からの塩化物イオンの浸透に対する最後の防護壁であるため、PC グラウトの塩化物イオン浸透抵抗性（遮塩性能）は PC 鋼材の腐食防止を図るうえできわめて重要な性能である。図-14に硬化した PC グラウトの急速塩化物イオン通過性試験の結果を示す。超低粘性型 PC グラウトの通過電荷量は従来の高粘性型 PC グラウトに比べてきわめて小さく、高い遮塩性を有することが明らかとなった。

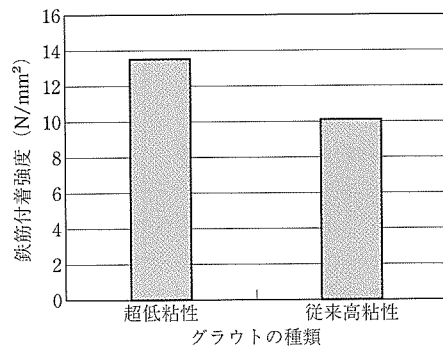


図-13 PC グラウトと鉄筋との付着強度

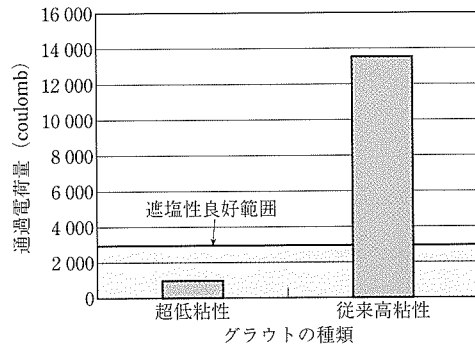


図-14 硬化した PC グラウトの塩化物イオン浸透抵抗性

(8) 収縮ひび割れに対する抵抗性

PC グラウトに自己収縮が生じると PC 鋼材に拘束されて、PC グラウトに引張応力が発生する。この自己収縮応力が PC グラウトの引張強度を超えると PC グラウトにひび割れが発生し、外部からの塩化物や、水分および酸素の浸入に対する抵抗性が低下する場合がある。

超低粘性型 PC グラウトおよび従来の高粘性型 PC グラウトに発生した自己収縮による引張応力を図 - 15 に示す。超低粘性型 PC グラウトに発生した引張応力は、材齢につれて緩やかに増加するが、材齢 70 日以後は収束に向かう。

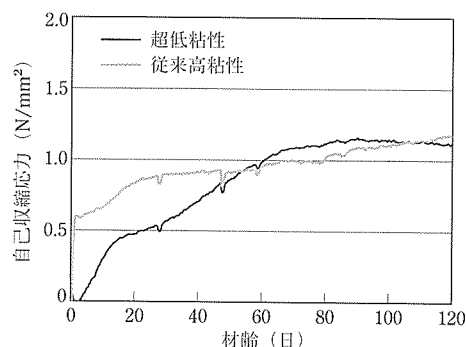


図 - 15 PC グラウトの自己収縮により発生する引張応力

一方、超低粘性型 PC グラウトと対照的に、従来の高粘性型 PC グラウトに発生した引張応力は、材齢 1 日までに急激に 0.5 N/mm^2 まで達し、その後は緩やかに増加を続ける。

自己収縮によって発生する最大引張応力は超低粘性型 PC グラウトおよび従来の高粘性型 PC グラウトともに約 1.1 N/mm^2 である。しかし、実際のダクトに配置される PC 鋼材量が多いため、PC グラウトに自己収縮による発生する引張応力はこの試験値より大きいと考えられる。

また、図 - 16 に示すように、超低粘性型 PC グラウトの引張強度は材齢 1 日で 2 N/mm^2 、材齢 3 日以後では約 3 N/mm^2 である。

超低粘性型 PC グラウトの引張強度はいずれの材齢においても自己収縮により発生する引張応力を上回っており、

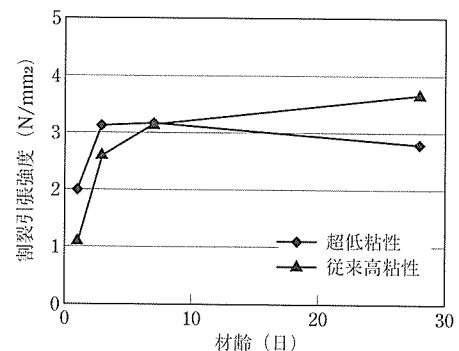


図 - 16 PC グラウトの割裂引張強度

超低粘性型 PC グラウトに自己収縮によるひび割れが発生する可能性は低いと考えられる。

5. あとがき

超低粘性型 PC グラウトは高い充填性に加え遮塩性能にも優れていることから、PC 構造物の耐久性向上に大きく寄与するものとする。また、超低粘性型 PC グラウトは、厳選された原材料を工場でプレミックスした材料であり、工場出荷前には所定の性能が確実に得られることを確認したうえで出荷されるため、現場では所定量で練り混ぜるだけで、常時安定した性能を発揮することができる。しかしながら、超低粘性型 PC グラウトは決してオールマイティな PC グラウトではなく、下り勾配では PC グラウトが先走りして、エアポケットが形成される可能性もあるため、適確な位置に排気孔を設けるなどの注意も必要である。

また、開発コンセプトを実現するために、結果的には従来品と比べて高価な材料となってしまったことも事実である。しかし、超低粘性型 PC グラウトは、誰がどこでいつも、要求性能を満足できる結果が得られ、施工性が改善されることから、コストアップに見合う結果が得られるものと確信している。

参考文献

- 1) Post-Tensioning Institute, Specification for Grouting of Post-tensioned Structures, First Edition, pp.26-30, 2001

【2002 年 12 月 10 日受付】