

超遅延性を有するPCグラウトのプレグラウト工法への応用

セメント系プレグラウト工法研究会 正会員 博士(工学) ○呉 承寧
 セメント系プレグラウト工法研究会 正会員 工学博士 石橋 忠良
 セメント系プレグラウト工法研究会 正会員 工学博士 白濱 昭二
 セメント系プレグラウト工法研究会 正会員 広瀬 晴次

1. はじめに

ポストテンション方式プレストレストコンクリート部材において、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である。本来、施工マニュアルに従ってノンブリーディングタイプのPCグラウトを用い、確実に充填できるはずであるが、実態としてPCグラウトが十分に充填されていないことも報告された。

この問題を解決するために、PCグラウトの注入を不要とした硬化遅延性を有するエポキシ樹脂を用いるプレグラウトPC鋼材が開発された。しかし、エポキシ樹脂は比較的高価であるため、プレグラウトPC鋼材はシングルタイプPC鋼材に限られ、マルチタイプPC鋼材を用いるケーブルへの使用は難しい。そこで、プレグラウトPC鋼材に、エポキシ樹脂の代わりにセメント系の硬化遅延性を有するPCグラウトを使用することが提案された¹⁾。また、施工現場で、コンクリートの打込み前に、透明シースに硬化遅延性を有するPCグラウトを注入して、グラウトの充填度合いを検査し、必要がある場合、グラウトを再注入し、再度確認した上で、コンクリートを打込むプレグラウト工法が提案された²⁾。

本文はこの硬化遅延性を有するセメント系PCグラウト（以下は超遅延PCグラウトと略す）の特性を紹介し、さらに、このグラウトを用いたプレグラウト工法の模擬施工実験の結果を報告する。

2. 超遅延PCグラウトとその特性

2.1 使用材料と配合

超遅延PCグラウトはプレミックス型の超遅延PCグラウト材および練混ぜ水により製造される。プレミックス型の超遅延PCグラウト材に対する練混ぜ水の重量比は31%である。

超遅延PCグラウト材の主な組成材料は、低熱ポルトランドセメント、超遅延剤、減水剤、分離低減剤、無機質混和材等である。

2.2 超遅延PCグラウトの特性

(1) 流動性

図-1に各温度の超遅延PCグラウトのJP漏斗流下時間の測定値およびその回帰式を示す。同図より、グラウトの温度が高いほど、グラウトの流動性が高く、JP漏斗の流下時間が短くなる。通常の施工におけるPCグラウトの温度範囲は5～35℃である。この温度範囲内で、超遅延PCグラウトのJP漏斗流下時間は約140～40秒となり、普通の高粘性PCグラウトの26～14秒に比べ、粘性がかなり高い。実験により、このような高粘性を有していても、通常のグラウトミキサおよびポンプを用いて、超遅延PCグラウトの製造および注入ができることを確認した。

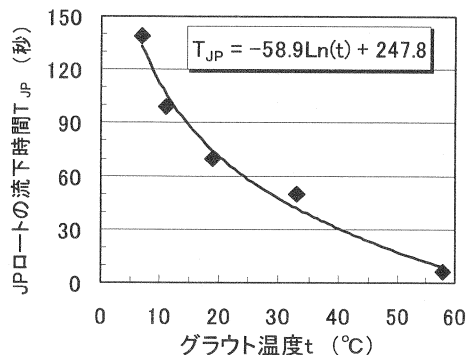


図-1 流動性とグラウト温度との関係

(2) 凝結遅延性

プレグラウト工法またはプレグラウトPC鋼材に使用する超遅延PCグラウトでは、施工に必要な

凝結時間(硬化時間)は少なくとも2週間以上である。そこで、凝結時間の温度依存性の確認を目的に実験を行った。

超遅延PCグラウトの凝結時間を測定するために、冬期、通常期および夏期のグラウトの温度に、さらに、その季節のコンクリートの硬化熱を考慮し、図-2に示す養生パターンを設定し、超遅延PCグラウトを養生し、凝結時間を測定した。その結果を図-3に示す。超遅延PCグラウトの凝結時間は、図-3に示すように、グラウトの養生温度によって異なる。超遅延PCグラウト凝結時間は、養生温度が低いほど長くなる。試験の結果によると、通常期養生の超遅延PCグラウトの始発時間、すなわち、緊張できる限界時間は28日であるが、強度発現が始まる終結時間は約35日となる。一方、冬期養生の場合、始発時間は約35日であり、夏期養生の場合、始発時間は約18日である。

(3) 分離抵抗性

超遅延PCグラウトは、通常のPCグラウトに比べ長時間に渡って硬化せず、コンクリートの硬化熱を受けるため、グラウトの粘性が小さくなり、分離しやすい傾向がある。

本研究で開発した超遅延PCグラウトは、分離低減剤と無機質混和材の使用および低水粉体比の配合により分離抵抗性が向上された。JSCE-F532に準拠したブリーディング試験により、冬期、通常期および夏期養生、いずれの養生期間中、超遅延PCグラウトにブリーディングが発生していないことが確認された。

(4) 体積変化

現在、非膨張タイプPCグラウトの体積変化率に対する規定はないが、PCグラウトの硬化収縮が極めて大きい場合、PCグラウトにひび割れが発生する可能性がある。

超遅延PCグラウトの体積変化率を調べるために、20℃で封緘養生した超遅延PCグラウトに対して、その膨張率を測定した。その結果を図-4に示す。図-4に示すように、普通の高粘性PCグラウトと同様に、注入された直後から材齢1日まで大きなマイナス膨張率が発生し、すなわち、沈下収縮が起こった。その後、超遅延PCグラウトは、材齢35日の凝結まで体積変化が少なく、凝結後 400×10^{-6} の膨張率が発生し、さらに、材齢につれて緩やかに収縮する。凝結後、材齢130日まで超遅延PCグラウトの膨張率は収縮率より大きいいため、硬化超遅延PCグラウトに、収縮ひび割れ発生の可能性が少ないと考えられる。

(5) 圧縮強度

超遅延PCグラウトの圧縮強度と材齢との関係を図-5に示す。同図より、超遅延PCグラウトの

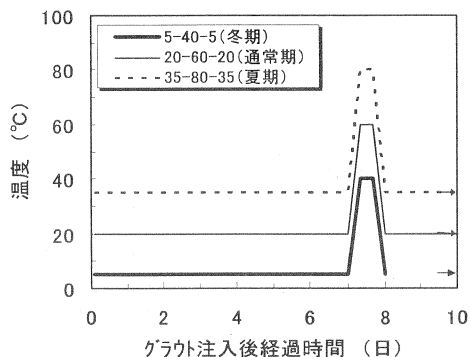


図-2 超遅延PCグラウトの養生パターン

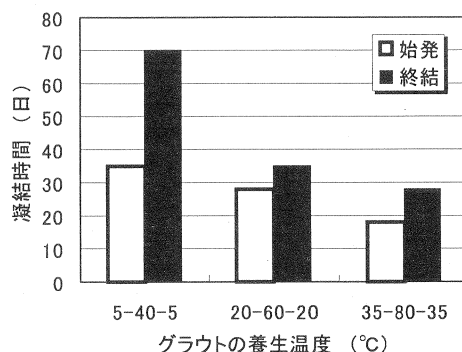


図-3 凝結時間とグラウト温度との関係

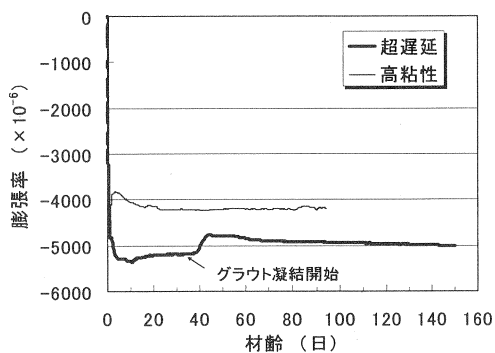


図-4 グラウトの体積変化

圧縮強度は、材齢 28 日後開始する硬化の材齢に伴って高くなり、材齢 70 日に 48N/mm² となり、材齢 133 日に 70.5 N/mm² に至った。この圧縮強度は通常の PC グラウトに対する規定値 30N/mm² を大幅に超えた。

超遅延 PC グラウトの圧縮強度は、グラウトの養生温度の影響を受ける。図-6 に冬期、通常期、および夏期養生における超遅延 PC グラウトの凝結の終結後 28 日の圧縮強度を示す。同図によると、通常期養生の超遅延 PC グラウトの圧縮強度は最も高く、全ての養生において凝結の終結後 28 日の圧縮強度は PC グラウトの圧縮強度規定値 30N/mm² を上回ったことが分かる。

養生温度による圧縮強度の差は、各グラウトの積算温度だけではなく、セメントの水和に及ぼす養生温度の影響にも関係する。夏期の養生パターンで養生された超遅延 PC グラウトは積算温度が最も高いが、高温で養生されたため、圧縮強度の伸びが少なく、終結後 28 日の圧縮強度は通常期のグラウトに比べ低くなった。

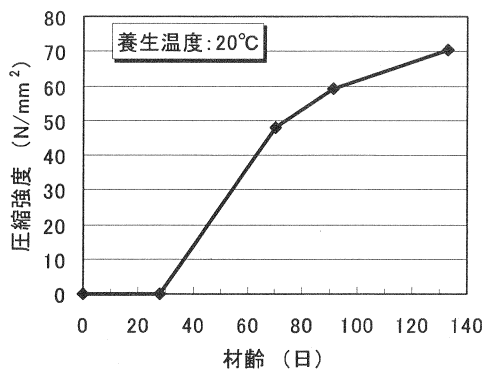


図-5 圧縮強度と材齢との関係

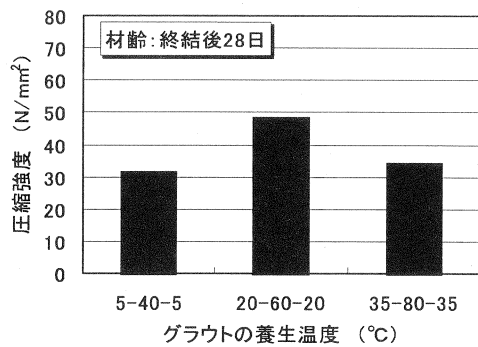


図-6 圧縮強度と養生温度との関係

(6) PC 鋼材と付着強度

図-7 に終結後材齢 91 日の超遅延 PC グラウトと PC 鋼より線 (φ19.3mm) との付着応力度とすべり量との関係を示す。試験は土木学会の鉄筋付着強度試験方法を参考にして行った³⁾。図より、超遅延 PC グラウトは、材齢 91 日の高粘性 PC グラウトに比べ、PC 鋼より線と付着強度が低いものの、7割以上の付着強度があり、この付着強度は遅延されたグラウト中のセメントの水和により、さらに増進することが考えられる。よって、付着強度に対して特に問題はないと考えられる。

(7) 防食性

PC 鋼材に対する PC グラウトの防食性は、PC グラウトの pH と塩化物イオン量の影響を受ける。一般的に、PC 鋼材は 11.5 以上の pH を有する PC グラウトに不動態が形成し、防食される。しかし、PC グラウトにある濃度以上の塩化物イオンが存在すると、PC 鋼材に形成された不動態が破壊されてしまう。これを防ぐために、PC グラウ

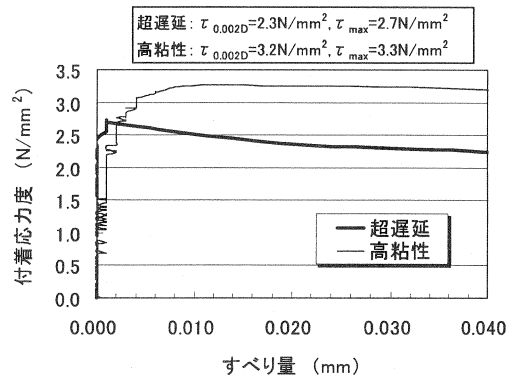


図-7 PC 鋼材との付着強度

表-1 PC グラウトの防食性

グラウトの種類	pH	Cl ⁻ (kg/m ³)
超遅延	13	0.173
高粘性	13	0.206

ト中の塩化物イオン量が 0.3kg/m^3 以下に制限されている⁴⁾。表-1により、超遅延PCグラウトのpH および塩化物イオン量は、通常の高粘性型PCグラウトと同程度であり、PC鋼材を防食するために必要なpHおよび塩化物イオン量の制限値を満足している。

3. プレグラウト工法の模擬施工実験

3.1 模擬施工実験の計画

前述の超遅延PCグラウトを用いたプレグラウト工法の施工性を確認するために、PC橋梁の床版を対象物とし、その横締めPC鋼材を超遅延PCグラウトでプレグラウトを実施する模擬施工実験を行った。施工実験に、図-8に示す長さ8m、高さ1.2m、幅さ0.2mの模擬床版試験体を製作した。試験体を用いたPC鋼材は19本より $\phi 21.8\text{mm}$ シングルストランドである。用いたシー스는透明のポリエチレン製シースである。

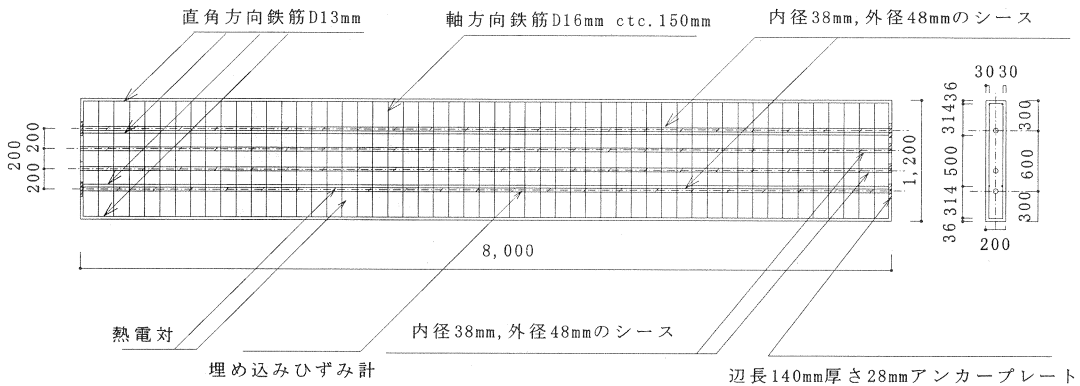


図-8 模擬施工実験の試験体

本実験の施工の流れを図-9に示す。通常のPC床版の施工と異なり、コンクリート打込み前に、透明のポリエチレンシースにPC鋼材を挿入し、超遅延PCグラウトを注入するプレグラウトを行い、プレグラウトPC鋼材を製作する。その後、従来のプレグラウトPC鋼材と同じ手順でPC床版の施工を行う。

3.2 使用するグラウトの特性

施工実験に使用した超遅延PCグラウトの特性を表-2に示す。前節に述べたように、超遅延PCグラウトの流動性、ブリーディング、凝結時間および圧縮強度等の特性値は養生温度に影響される。施工実験での超遅延PCグラウトの温度履歴は図-10に示すように、練上がり直後の 35°C からコンクリートの硬化熱を受けて 62°C に上昇し、その後、約 30°C 前後で推移していった。

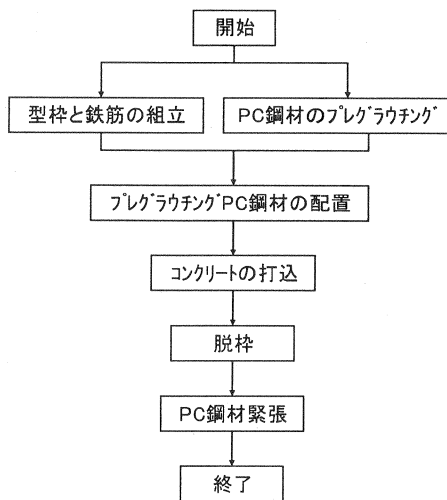


図-9 施工実験の流れ

表-2に示すように、施工実験に用いた超遅延PCグラウトは、高粘性、ノンブリーディング、高圧縮強度等の特性に加えて、夏期の高温を受けたにもかかわらず材齢34日まで凝結が開始しなかった。この凝結の開始までの時間は前節の夏期養生の場合に比べ、長くなった。これは施工実験での超遅延PCグラウトの温度が前節の夏期養生パターンの温度より低かったことと関係する。

表-2 超遅延PCグラウトの特性

項目	特性値
流動性	JP漏斗の流下時間 44.4 秒
ブリーディング率	0%
凝結の始発時間	34 日
圧縮強度	52 N/mm ² (終結後 28 日)

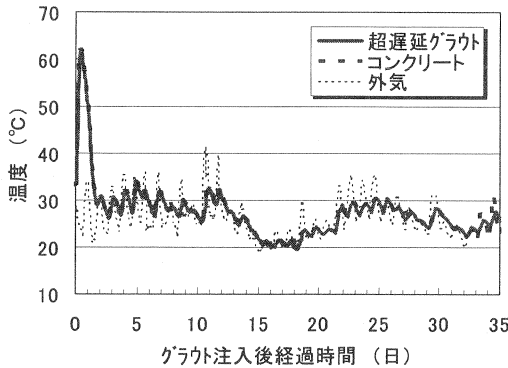


図-10 超遅延PCグラウトの養生温度

3.3 PC鋼材のプレグラウト

超遅延PCグラウトを用いたPC鋼材のプレグラウトとは、PC鋼材の製造工場または施工現場で予めポリエチレンシースにPC鋼材を挿入し、シースの端部に注入・排出用キャップを付け、超遅延PCグラウトを注入することである。

シース内に超遅延PCグラウトを完全に充填させるために、写真-1に示すように、グラウトを注入する時、シースを傾斜に設置し、低い端部から注入することにした。また、注入されたPCグラウトの充填情况进行るために、透明のポリエチレンシースを使用した。

超遅延PCグラウトを注入した後、シースを約1日間傾斜に置き、グラウト排出端のキャップを外し、グラウト沈下により発生した空隙に超遅延PCグラウトを足して、グラウトが漏れないようにゴム栓とビニルテープで密閉した。同様に注入端のキャップを外して密閉した。

3.4 PC鋼材の配置とコンクリートの打込み

プレグラウトPC鋼材を写真-2に示すように、事前に組み立てた鉄筋および型枠に配置し、コンクリートを打込んだ。超遅延PCグラウトを用いたプレグラウトPC鋼材は、従来の樹脂系プレグラウトPC鋼材より若干重いため、コンクリートの打込み時の振動締固めにより変形すると考えていたが、本施工実験では、そのような現象は確認されなかった。

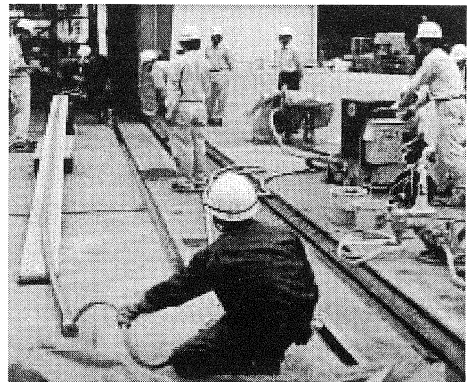


写真-1 プレグラウチングの状況

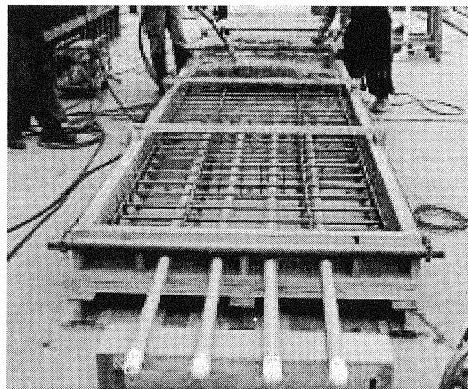


写真-2 プレグラウトPC鋼材の設置

3.5 PC鋼材の緊張

本施工実験において、PC鋼材の緊張をグラウト注入の6日後(コンクリート打込み後5日)で行った。さらに、グラウト注入後の13日、20日、27日および34日で緊張を行い、それぞれの摩擦係数は緊張測定の結果により算出した。

実験の結果を図-11に示す。図より、超遅延PCグラウトを用いたプレグラウトPC鋼材の摩擦係数は、グラウト注入後の4週間以内では大きな変化がなく、通常のPC鋼より線と鋼製シースとの摩擦係数と同程度($\lambda=0.003$)であった。しかし、グラウト注入後5週間となると、超遅延グラウトの硬化により、摩擦係数が極めて大きくなり、通常の摩擦係数の数十倍を示し、実質上、緊張不可能となった。したがって、超遅延PCグラウトを用いたプレグラウトPC鋼材の緊張可能時間は、夏期施工において約4~5週間の間であることが分かった。

実験に使用された超遅延PCグラウトの凝結の始発時間が約5週間であるが、安全側で緊張可能の時間を設定するために、超遅延PCグラウトを用いたプレグラウトPC鋼材の夏期施工における緊張可能時間は、超遅延PCグラウトの凝結開始より短く、4週間に設定する必要があると考えられる。

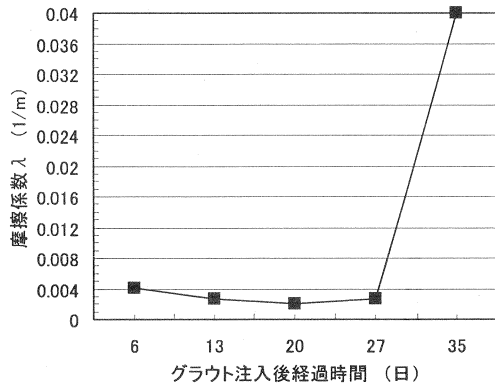


図-11 緊張時の摩擦係数の経時変化

4. まとめ

本研究の範囲内で下記の結果が得られた。

- (1) 低熱ポルトランドセメント、超遅延剤、減水剤、分離低減剤および無機質混和材を用いた超遅延PCグラウトは、高粘性、凝結遅延性、ノンブリーディング、高圧縮強度などの特性を有する。
- (2) 超遅延PCグラウトを用いることにより、プレグラウトは施工現場でも行うことができる。構造物への配置および緊張は従来の樹脂系のプレグラウトPC鋼材とほぼ同じである。
- (3) 夏期の施工実験において、超遅延PCグラウトを用いたプレグラウトPC鋼材の緊張可能時間は約4週間であった。その時間内に緊張の摩擦係数は通常のポストテンション工法と同じ数値を示した。

5. おわりに

本研究は、東日本旅客鉄道(株)、オリエンタル建設(株)、神鋼鋼線工業(株)、極東鋼弦コンクリート振興(株)、および竹内技術研究所が会員とするセメント系プレグラウト工法研究会の共同研究である。

参考文献

- 1) 石橋忠良, 斎藤啓一, アフターボンド工法, 特開 2000-145018
- 2) 広瀬晴次, 笹子和弘, PCグラウト充填方法, 特開 2001-30226
- 3) 引抜き試験による鉄筋とコンクリートの付着強度試験方法, JSCE-G 503-1999
- 4) 土木学会, コンクリート標準示方書[施工編], 2002年版, pp.196
- 5) 日本道路協会, 道路橋示方書・同解説, 平成14年版, pp.26-27