

セメント系プレグラウトPC鋼材の現場施工確認試験報告

オリエンタル建設(株) 正会員 ○松井 英樹
 神鋼鋼線工業(株) 池田 真之
 (独) 鉄道・運輸機構 田中 健
 (独) 鉄道・運輸機構 正会員 野城 良祐

1. はじめに

ポストテンション方式PC橋において、PCグラウトの充填性に関する信頼性の確保、現場での省力化を目的にPC鋼材とシースの隙間にあらかじめ未硬化のエポキシ樹脂を注入したプレグラウト鋼材が床版の横締めとして利用されているが、エポキシ樹脂に替えて一般に充填材として広く用いられているセメント系プレグラウトPC鋼材の商品化を目的に研究開発が行われている。これまでに、材料・配合および製造方法等について実用性に帰する結果が得られた¹⁾。このように、実用化に向けてセメント系プレグラウトPC鋼材の諸検討が済んだことから、実構造物への適用を目指して、現場で施工性、緊張作業性および硬化特性の確認試験を行った。試験は、環境温度を要因として通常期(外気温10℃~30℃の期間)および冬季(外気温-10℃~15℃)の2期間で行った。

本文は、工場製作されたセメント系プレグラウトPC鋼材の特長を紹介し、現場にて実施した各試験結果について報告するものである。

2. セメント系プレグラウトPC鋼材

試験用として製品化されたセメント系プレグラウトPC鋼材は、表-1に示す1S21.8および1S28.6の2種類(工場製作)である。シースとしてポリエチレン製のものをを用いている。

表-1 セメント系プレグラウトPC鋼材の仕様

呼び名 mm	公称断面積 mm ²	引張荷重 kN以上	降伏荷重 kN以上	伸び %	リラクゼーション (1000時間)%	シース径, mm		単位重量 kg/km	ピッチ mm
						外径	内径		
21.8	312.9	573	495	3.5	2.5以下	39	30	3700	10
28.6	532.4	949	807	3.5	2.5以下	54	40	6600	13

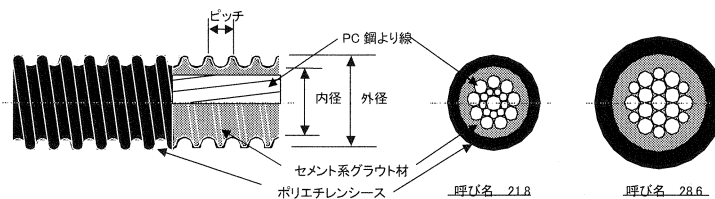


表-2にセメント系プレグラウトの硬化特性を示す。冬季と春・秋季(通常期とする)とに分かれている。いずれのタイプも製造日から緊張可能な限界日数を30日としているが、硬化までの日数は春・秋季が90日、冬季が120日と異なっている。

これは、グラウト硬化特性が温度による影響を受けることを考慮しての設定である。緊張時の摩擦係数は、以前行われた試験結果が、通常のグラウトタイプのPC鋼より線と同等であったため、長さに対する摩擦係数 $\lambda=0.004$ 、角度に対する摩擦係数 $\mu=0.3$

表-2 硬化特性

	緊張可能日数	硬化までの日数
冬季	30日	120日
春・秋季	30日	90日

※数字は製造日からの日数。

としている。エポキシ系プレグラウトPC鋼材と異なるところは、グラウトの充填をシース内にPC鋼材配置後行うことから、シース径が多少大きくなっていることである。施工試験にはこのうち1S28.6タイプを使用した。

3. 現地施工試験の目的

このようなセメント系プレグラウト鋼材の実用化のため、実構造物への適用した場合の施工性・緊張作業性・硬化特性の確認を行う必要があった。これらの検討を行うため、独立行政法人 鉄道・運輸機構発注工事の、東北新幹線、ねぶたの里高架橋他工事(施工場所:青森市)にて、通常期および冬季の施工試験を実施した。

3-1 通常期試験

(1) 目的

春、秋季(通常期)の試験は、設定緊張日(グラウト注入後30日)に緊張可能かどうかの確認、PC鋼材の長さに対する摩擦係数の確認、緊張可能限界の時期の確認、グラウト硬化の確認、施工性および緊張作業性の確認を行う目的で行われた。

(2) 試験体形状および期間

試験体は、ねぶたの里上部構造のエポキシ樹脂系プレグラウトPC鋼材1S28.6が適用されている上床版を模擬して図-1に示すような版厚280mm、長さ11480mmおよび幅2400mmの形状とした。

実構造物のPC鋼材が直線配置であることから、試験体厚さの中心にセメント系プレグラウトPC鋼材を同様に配置した。また、摩擦係数の比較のためにエポキシ樹脂のものを1本配置した。6本配置したセメント系プレグラウトPC鋼材は、製造日から30日、45日、60日および90日に試験緊張を行い、一度試験を行ったものは最終までそのままの状態を保持し、硬化状況が異なるかどうかの確認を行った。

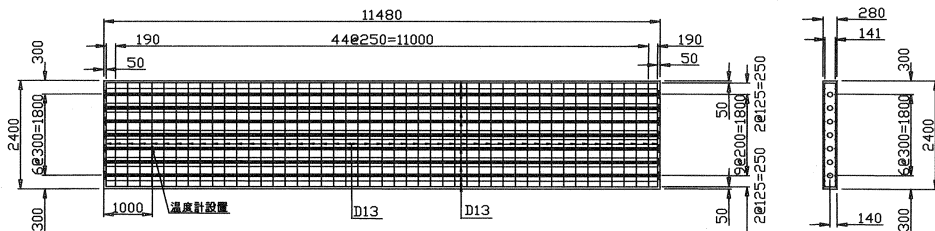


図-1 試験体形状

摩擦係数の計測は、片側より緊張力を与え、両端部に取り付けた荷重計の差を長さで除して算出した。

緊張状況を写真-1に示す。セメント系プレグラウトPC鋼材は、2005年5月12日に製造され、同月26日の現場納入、6月6日コンクリート打設、打設5日後(6月11日)に製造日より30日後の緊張試験を行った。

その後、各所定期日に試験緊張を実施、製造より90日(8月10日)の試験緊張終了後に試験体の切断を行い、硬化状況の確認を行った。図-2に試験期間の外気温度とセメント系プレグラウト温度の履歴を示す。コンクリート打設によりグラウト温度はほぼ50℃を超

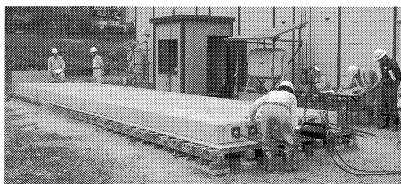


写真-1 緊張試験状況

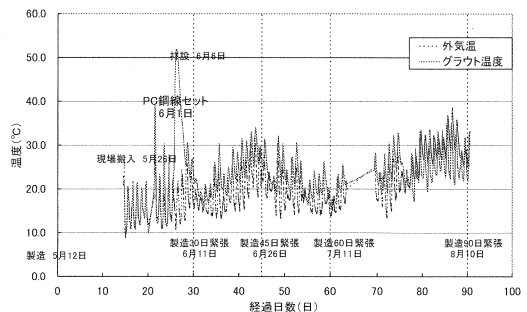


図-2 セメント系プレグラウト温度および外気温度の履歴

えている。それ以外はほぼ外気温度に推移して変動しておりほぼ10～35℃の温度履歴であった。

(3) 試験結果と考察

図-3に摩擦係数と製造日からの経過日数の関係を示す。この図より、セメント系プレグラウトPC鋼材の摩擦係数は、30日で $\lambda = 0.001$, 45日で $\lambda = 0.005$ を示し、エポキシ系プレグラウト鋼材の設計で一般に用いられている値 $\lambda = 0.004$ に近い値を示した。その後、60日では $\lambda = 0.2$ と非常に大きな値を示し、90日では固定側に緊張力が到達しなかったことより摩擦係数は $\lambda = \infty$ とした。

以上の結果より、セメント系プレグラウトPC鋼材は製造から45日以降において急激に摩擦係数が増加していることから、緊張可能限界は製造から45日と判断できる。

セメント系プレグラウトの圧縮強度試験用テストピース (直径5cm, 高さ10cm) を試験体と同じ環境下に置き、PC鋼材製造から60日, 90日および120日経過後に行った圧縮強度試験結果を表-3に示す。

写真-2に製造90日経過の緊張試験終了後、試験体を切断したセメント系プレグラウト鋼材の断面状況を示す。

この写真よりグラウトがシース内に十分充填されていること、また、グラウト硬化が十分に進んでいることが確認された。他の試験片の断面も同じ状況であった。

本試験では、セメント系プレグラウトPC鋼材とエポキシ樹脂系のもので配置および緊張作業などの施工性について比較検討した。

セメント系のは若干重量が重くなっていることから配置の際の人員が増加するものの、その他に関しては両者に違いがないことが確認できた。

3-2 冬季試験

(1) 目的

セメント系プレグラウトは通常のグラウトと同様にセメント

と水が反応して硬化するものであるため、硬化までに低温環境に置かれた場合、未反応部の水が凍結して膨張する。セメント系プレグラウトの凍結は-2℃以下であるが、その凍結膨張率は小さいこと、凍結をした後で通常温度環境下におかれることにより硬化することが、材料試験で確認されている。しかし、実構造物に適用された場合、日変化で凍結融解が繰返され、膨張することによりPC鋼材周辺への悪影響が懸念される。そこで、冬季間にセメント系プレグラウトPC鋼材をコンクリート中に設置して、冬季に設置した鋼材の所定緊張日 (製造後30日) の摩擦係数の確認、凍結による周辺コンクリートのひび割れ発生の有無および凍結した後の硬化確認を行うこととした。

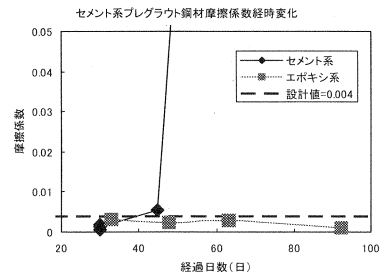


図-3 摩擦係数と製作からの経過日数

表-3 圧縮強度試験結果

経過日数 (日)	グラウト圧縮強度 (N/mm ²)
60	1.4
90	30.0
120	32.9

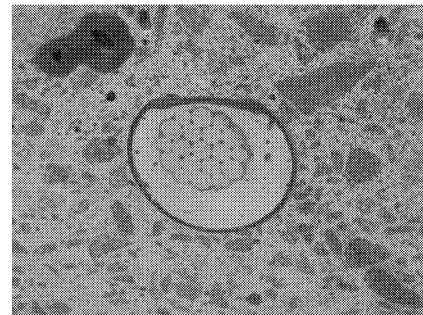


写真-2 セメント系プレグラウトPC鋼材の製造から90日経過後の断面状況

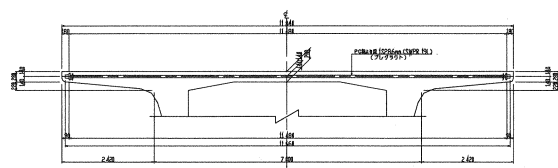


図-4 セメント系プレグラウト配置図

(2) 試験方法および期間

試験はねぶたの里高架橋の床版横締 PC 鋼材と同じ配置形状でセメント系プレグラウト PC 鋼材を 2 本配置した。配置形状を図-4 に示す。試験片は 2005 年 11 月 21 日に製造、12 月 12 日コンクリート打設し、同月 21 日 (製造後 30 日) に緊張試験を行い、翌年 4 月 21 日 (製造後 150 日) に最終緊張試験を行った。図-5 に試験期間の外気温度とセメント系プレグラウト周辺のコンクリート温度の履歴を示す。コンクリート打設によりコンクリート温度は 30°C を超えるが、製造 30 日後の緊張試験時の温度はすでに低下してほぼ 0°C であった。外気温は概ね 10~15°C の範囲であったがコンクリート温度は 3~10°C と外気温に比べ変動は小さかった。

(3) 試験結果と考察

図-6 にセメント系プレグラウト PC 鋼材製造後 30 日の緊張試験結果の一例を示す。試験時の外気温度は 1°C であり、2 本の試験結果は鋼材長さに対する摩擦係数の平均は $\lambda = 0.0045$ と通常期の試験結果とほぼ同じ値を示した。この結果よりセメント系プレグラウト PC 鋼材は、外気温度 0~25°C の状況で、摩擦係数に変化がなく同様な緊張管理ができることがわかった。

図-7 にセメント系プレグラウト PC 鋼材の上下に配置した埋込みゲージにより計測した軸直角方向コンクリートひずみと経過日数 90 日までの関係を示す。ひずみはセメント系プレグラウトによる影響のみを確認するため、プレグラウト位置のひずみからそれが配置されていない通常部分のひずみを差引くことで求めた。ひび割れ発生の有無は、設計ひび割れひずみより判断するとともに、構造物の設計コンクリート強度 $f_c = 40\text{N/mm}^2$ のひび割れ発生ひずみを引張強度をヤング係数で除して算出すると、 87μ となる。計測ひずみは 40μ 以下とひび割れ発生ひずみより小さい。

このことよりセメント系プレグラウトが凍結等によってひび割れを発生させるような有害な膨張をしていないと判断される。製造から 150 日目に硬化確認のために試験緊張を行った。その結果、緊張力が固定側に伝達していないこと、現場養生用テストピース強度が 36N/mm^2 を示したことを確認した。このことから凍結をするような低温にさらされた後においても硬化することが確認された。

4. まとめ

- (1) 製造から 30 日後の摩擦係数は、通常期および冬季において現行の設計値 $\lambda = 0.004$ とほぼ同じ値を示し、現行と同様の緊張管理で問題ないことが確認された。
- (2) 通常期において、製造から 45 日までに緊張可能で 90 日で硬化することが確認された。
- (3) 冬季において、凍結をするような低温にさらされた場合においてもセメント系プレグラウトが硬化することが確認された。

参考文献

1) 呉承寧ら: 超遅延性を有する PC グラウト工法への応用, プレストレストコンクリート技術協会 第 13 回シンポジウム論文集 (2004 年 10 月), pp. 571~576

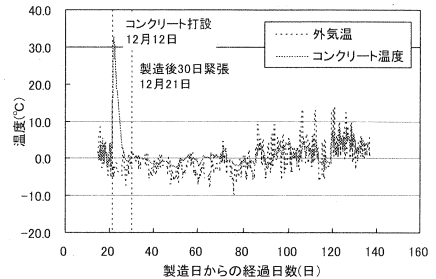


図-5 外気温度グラウト周辺コンクリート温度の履歴

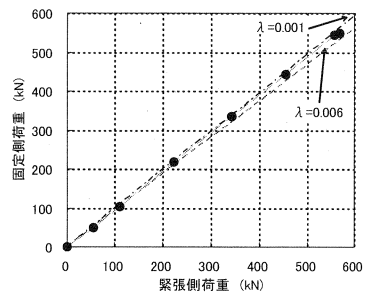


図-6 製造 30 日後の緊張力計測結果

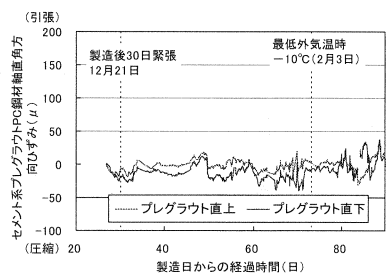


図-7 セメント系プレグラウト PC 鋼材周辺コンクリートひずみの履歴