

## 伊豆味親名線（4号橋上部工）のプレグラウトPC鋼材使用に関する検証試験

(株)安部日鋼工業 九州支店 技術部 正会員 ○ 西岡 健一  
 (株)安部日鋼工業 九州支店 工務部 鳥越 健吾  
 神鋼鋼線工業(株) 大阪支店 PC鋼線事業部 大西 睦彦

## 1. はじめに

橋長98.0m, 幅員11.50mの2径間連続PC箱桁橋の施工にあたり, 現場における省力化を目的として, PC床版横締めプレグラウトPC鋼より線(熱硬化型)を採用した。採用に際し, 温暖な沖縄県での使用を踏まえ, プレグラウトPC鋼材の緊張可能な期間の確認と1年後に確実に硬化することの確認を目的に検証試験を行ったため, その内容について報告する。

## 2. プレグラウトPC鋼より線の概要

プレグラウトPC鋼材は, 現場でのグラウト注入を不要にした防食型PC鋼材である。この製品は工場でのPC鋼より線の表面にグラウト材として未硬化の常温硬化性樹脂を塗布し, その上からポリエチレンシートを連続成形して被覆したものである。この樹脂は硬化するまでの期間が長く, 必要な期間アンボンド状態を保ち, プレストレス導入後, 時間の経過に伴い自然硬化して, PC鋼材とコンクリートが一体化する。この熱硬化型樹脂には, 硬化の速い順から常温タイプ, 暑中タイプ, 高温タイプ, 超高温タイプの計4タイプがある。本工事においては, 床版横締めとして使用するが, 冬期施工であることを踏まえ, 予め樹脂タイプの検討を行い, 硬化の最も速い常温タイプを採用した。

## 3. プレグラウト樹脂の硬化予測

プレグラウト熱硬化型樹脂は, 樹脂の曝される温度が上昇すると指数関数的に硬化が促進される。熱硬化型は, この指数関数を基にした硬化予測式が提案されており, これにより緊張可能日数および硬化完了日数の予測が可能である。本試験においては, 供試体コンクリート打設日からの温度測定を7ヶ月間行っており, この温度測定データおよび過去の気象データを基に硬化予測を行った。打設時の温度測定結果を表-1に示す。供試体の月平均温度および名護市の月平均気温データを表-2に示す。打設日より起算した硬化予測式による緊張可能日数および硬化完了日数を表-3に示す。

表-1 温度測定結果

項目	測定結果
コンクリート打設日	2004年12月9日
気温	21℃
打設時コンクリート温度	26℃
コンクリートの最高温度	42.5℃
コンクリートが外気温と同等の温度となる日数	5日

表-2 供試体月平均温度および名護市の月平均気温データ (℃)

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
計測した供試体温度	14.0	16.1	15.3	20.0	23.5	26.3	31.3	—	—	—	—	19.9
月平均気温(1973~2000)	16.3	15.9	18.4	20.8	23.5	26.6	28.7	28.3	27.1	24.7	21.3	17.8

表-3 予測式による緊張可能日数および硬化完了日数

項目	コンクリート打設後の日数
緊張可能日数	145日
硬化完了日数	299日

#### 4. 確認試験

##### 4. 1 試験目的

プレグラウト熱硬化型樹脂は、温度依存性が大きく、樹脂が受ける温度が10℃高いと硬化速度がおよそ2倍速くなる性質を有している。温暖な沖縄県での使用を踏まえ、以下に示す目的を確認するものとした。

- 1) PC橋の一般的な工程において安全に緊張ができること
- 2) 1年程度で確実に硬化すること

##### 4. 2 緊張可能期間確認試験

###### (1) 供試体概要

図-1、図-2に供試体の概要を示す。供試体は、実橋と同ピッチでプレグラウトPC鋼より線を3本配置したもの1体と、試験本数を多くするために5本配置したもの1体の計2体製作した。プレグラウトPC鋼より線は、断面中央に直線状に配置し、鉄筋は、実橋と同様 (D16ctc250) に配筋を行い、コンクリートは、実橋に打設するものと同じ仕様の $\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$ とした。養生は、散水後にシート養生とし、保管場所は施工現場近傍とした。

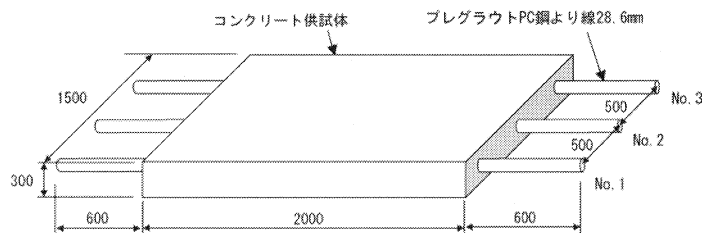


図-1 緊張可能期間確認供試体 (No. 1)

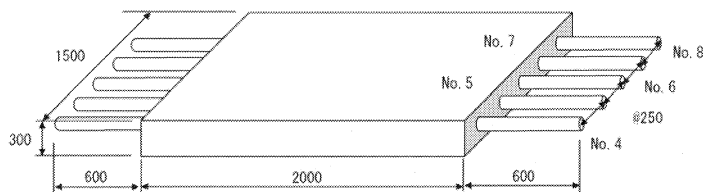


図-2 緊張可能期間確認供試体 (No. 2)

###### (2) 試験方法

コンクリート供試体両端にジャッキおよびポンプをセットし、片端 (緊張側) より荷重を載荷し、他端 (固定側) に伝達する荷重を読み取った。載荷する荷重は、実橋と同程度とし、圧力計の圧力示度で 60MPa (緊張力 707kN) とし、計測は 10MPa から 10MPa 毎に計 6 ステップとした。荷重の計測は、緊張側および固定側ともに、ひずみゲージ式圧力変換器とデジタルロードメータをポンプにセットして圧力を読み取る方法とした。なお、ジャッキの内部ロスについては、予めジャッキの突き合わせにより緊張側と固定側の圧力差を測定して、試験結果に対して補正を行った。

###### (3) 評価方法

評価方法としては、固定側と緊張側の緊張力差が 2MPa 以内であれば、緊張可能であることとした。これは、プレグラウトPC鋼より線のケーブルの長さ 1m 当たりの摩擦係数  $\lambda = 0.003$  として固定側の緊張力を算出し、さらに緊張装置および定着部の摩擦損失として 2%、および測定機器の機械誤差として 0.3% を考慮したものである。評価値の算出結果を以下に示す。

$$P_x = P_0 e^{-\lambda L} - \Delta P1 - \Delta P2$$

ここに、 $P_0$ ：緊張側緊張力

$P_x$ ：固定側緊張力

$\Delta P1$ ：緊張装置および定着部の摩擦損失  $P_0 \times 2.0\% = 1.2$  (Mpa)

$\Delta P2$ ：測定機器の機械誤差  $P_0 \times 0.3\% = 0.18$  (Mpa)

$\lambda = 0.003$ ,  $L = 2$  (m),  $P_0 = 60$  (MPa) とすると、

$$P_x = 60 e^{-(0.003 \times 2)} - 1.2 - 0.18 = 58.20 \text{ (MPa)}$$

緊張力差： $P_0 - P_x = 1.80 \rightarrow 2$  (MPa)

(4) 試験結果

緊張可能期間確認試験は、2004年12月13日から2005年7月14日まで計7回実施した。各ケーブルごとに60MPa 載荷した結果の緊張力差を表-4に示す。

表-4 緊張可能期間確認試験結果 (60MPa 載荷時) (MPa)

試験日 ケーブルNo.	2004年	2004年	2005年	2005年	2005年	2005年	2005年
	12月13日	12月20日	1月12日	3月9日	4月5日	6月2日	7月14日
	打設 4日後	打設 11日後	打設 34日後	打設 90日後	打設 117日後	打設 175日後	打設 217日後
No. 1	1.08	1.14	0.52	0.84	0.66	0.98	0.84
No. 2	0.88	0.71	0.24	0.56	0.45	0.85	0.77
No. 3	1.08	0.88	0.52	0.70	0.63	1.18	1.29
No. 4	0.53	0.49	0.60	0.49	0.35	0.77	0.90
No. 5	0.03	0.60	0.81	0.60	0.35	0.88	0.87
No. 6	0.53	0.81	1.26	0.88	0.60	0.94	0.84
No. 7	0.53	0.80	0.81	0.07	0.45	1.08	0.76
No. 8	0.43	0.77	0.81	0.24	0.49	1.08	0.66
判定基準	2MPa以下						
判定	緊張可能	緊張可能	緊張可能	緊張可能	緊張可能	緊張可能	緊張可能

試験の結果、測定結果にばらつきがあるが、緊張側と固定側の圧力差は2MPa以内であり緊張可能であることが確認出来た。試験により得られた緊張可能日数が予測値よりも長いことは、硬化予測式による緊張可能日数が、元々、安全側の結果が得られるように係数を定めていることによる影響と樹脂の製造上のばらつきによるものと推察する。

4. 3 硬化完了期間確認試験

(1) 供試体概要および試験方法

硬化完了期間確認試験としては、図-3に示す供試体の引抜試験を実施した。供試体には、割裂補強筋としてスパイラル筋（鋼材径φ9mm、巻き径φ20、長さ25cm）を配置した。使用するコンクリートおよび保管場所は、緊張可能期間確認供試体と同様とし、供試体は3体を同条件にて作成した。引抜試験は、供試体コンクリート打設後372日に行い、供試体に埋め込んだプレグラウトPC鋼より線を手動油圧ポンプと200kNセンターホールジャッキを用いて、片側からジャッキの最大能力値（200kN）まで載荷した。計測方法は、手動ポンプにひずみ式圧力変換器をセットし、デジタルロードメータにより最大圧力示度を読み取った。

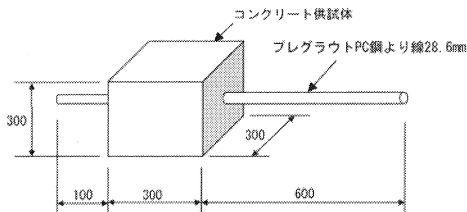


図-3 硬化完了期間確認供試体

(2) 評価方法

硬化完了を確認する評価方法としては、試験により得られた最大荷重より付着強度を算出し、道路橋示方書コンクリート橋編 3.2、表-3.2.6 に示される異径棒鋼のコンクリートの許容付着応力度に記載されている  $2.0(N/mm^2)$  以上の値が得られれば硬化完了と評価した。

$$\tau_{max} = \frac{P_{max}}{d \times L}$$

ここに、 $\tau_{max}$  : 最大付着強度 ( $N/mm^2$ )

$P_{max}$  : 最大荷重 (N) = 最大圧力示度  $\times$  3063 (ジャッキ受圧面積)

$d$  : PC 鋼より線の見かけの周長 =  $28.6 \times \pi = 89.8$  (mm)

$L$  : コンクリート供試体の長さ = 300 (mm)

(3) 試験結果

引抜試験結果を表-5 に示す。

表-5 硬化完了期間確認試験結果

項目 ケーブルNo.	最大圧力示度 (Mpa)	最大荷重 (N)	付着応力度 ( $N/mm^2$ )	判定基準	判定
No. 1	64.19	196614	7.3	2.0 $N/mm^2$ 以上	硬化完了
No. 2	63.38	194133	7.2		硬化完了
No. 3	63.10	193275	7.2		硬化完了
平均	63.56	194674	7.2		硬化完了

試験の結果、付着応力度は判定値  $2.0N/mm^2$  を大きく上回る  $7.2N/mm^2$  が得られた。樹脂は、完全に硬化しているものと見なした。

5. おわりに

試験結果と予測式による日数の対比を表-6 に示す。プレグラウトPC鋼より線熱硬化型常温タイプは、実橋と同様の条件においてコンクリート打設後 217 日間は緊張可能状態が維持できた。通常の工事工程を考えれば十分な緊張可能期間があり、緊張工事に関すれば安全側の結果を得た。硬化完了日数は、経時的な試験結果が得られていないため対比は難しいが、打設後 372 日で判定値  $2.0N/mm^2$  を大幅に上回る  $7.2N/mm^2$  が得られており完全に硬化していることが判るとともに、硬化完了の判定値に達した時期は、12 月よりも以前であったと思われる。よって、現状の硬化予測式は、プレグラウトPC鋼材の採用、工程管理等の検討に対して十分な指標を提案できると考えられる。このように、採用時に目標とした緊張工事に支障をきたさず、かつ1年程度で硬化する条件を満足できた。今回、プレグラウトPC鋼より線の樹脂タイプの中で最も硬化が速い常温タイプを用いたが、適切な条件下で使用すれば、温暖な沖縄県においても熱硬化型が使用できることが確認された。本橋は、試験を踏まえて実施工を行い、平成17年9月に無事に完了した。

表-6 試験結果と予測式による日数の比較 (コンクリート打設後日数)

項目	予測式による日数	試験により確認された日数
緊張可能日数	145日	217日
硬化完了日数	299日	372日