

(142) プレグラウト PC 鋼材の主桁主ケーブルへの適用について

(株)富士ピー・エス 技術本部設計部 正会員 ○篠原 貴
 日本道路公団静岡建設局掛川工事事務所 廣畑 浩司
 日本道路公団静岡建設局掛川工事事務所 菊川 秀之
 (株)富士ピー・エス, (株)日本ピー・エス J V 正会員 管谷 晃彦

1. はじめに

近年 PC 橋の設計・施工において、構造物の耐久性向上を目的として、セメントグラウトされる内ケーブルに代わりプレグラウト PC 鋼材使用が増加している。

同 PC 鋼材は、床版横締めケーブルとしての施工実績はかなりあるものの、部材厚が厚く、特に夏期の温度上昇が予想される主ケーブルへの適用は未だ少なく、設計・施工上確認すべき点が多い。

第二東名高速道路敷地高架橋はポストテンション方式 PRC20 径間連続橋 (12 径間中空床版+3 径間箱桁+5 径間中空床版) であり、主ケーブルとしてプレグラウト PC 鋼材の採用を計画した。本橋は桁高が 1.45m 以上であり、横桁部等はいわゆるマスコンに類し、夏期のコンクリート打設も予定している。

そこで実施工に先立ち、プレグラウト PC 鋼材の主ケーブルへの適用性について検討するため、実物大供試体による事前実験を実施することとした。ここにその概要を報告する。

2. 実験の概要

2.1 問題点

プレグラウト PC 鋼材を主ケーブルとして使用する場合の問題点を以下に示す。

- 1) 部材厚が厚く、夏期施工時の硬化温度が高いため、高温域での温度依存性の確認が必要。
- 2) 確実な施工を実施するためには緊張可能日数の把握が重要であり、精度良く推定できる解析方法の確立が必要。
- 3) ケーブルの配置形状が複雑であり、設計で使用する適切な摩擦係数の確認が必要。

2.2 実験の目的

本実験の目的を以下に示す。

- 1) 高温域での樹脂硬化特性 (温度依存性) の確認。
- 2) 高温域を経験した樹脂の硬化特性の確認。
- 3) 高温域での摩擦係数の確認。
- 4) コンクリートの温度履歴の把握。

2.3 供試体

図-1 に供試体の形状寸法と配筋状況、図-2 に PC 鋼材配置状況を示す。本実験では、供試体中に 2 種類のプレグラウト PC 鋼材を配置しており、樹脂の硬化メカニズムについては表-1 に示すとおりである。

供試体の設計にあたり、実橋敷地高架橋の主要断面について温度解析を実施した。解析の結果、供試体は最高温度を与える部位の実物大抜き取りモデルとした。さらに、夏期のコンクリート打設を想定し、温度上昇の促進を目的として、側型枠に発砲スチロール合板を使用した。型枠の解体は材令 1 日とした。

表-1 樹脂の硬化メカニズム

A社製	B社製
主剤と硬化剤は、熱を与えることにより硬化反応を起こす。これを人為的に行う。(プレヒーティング)	液状で個々の分子にキャップをかぶせた状態の硬化剤を用いる。このキャップは樹脂中に含まれる微量の水分の作用で時間の経過とともに少しずつ外れてブロックが解除されることでエポキシが硬化する。

また、ケーブルの配置形状による影響も確認するため、棚筋間隔と配置高さを変化させた。供試体製作に使用したコンクリートの配合・打設時のフレッシュ性状・硬化性状を表-2~4に示す。

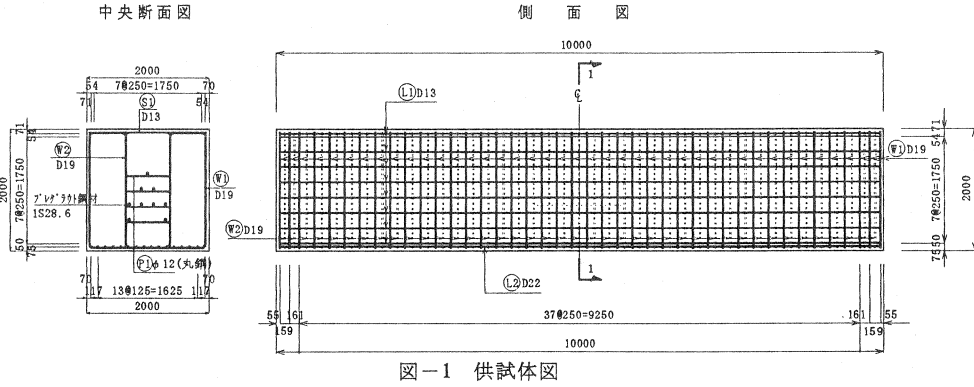


図-1 供試体図

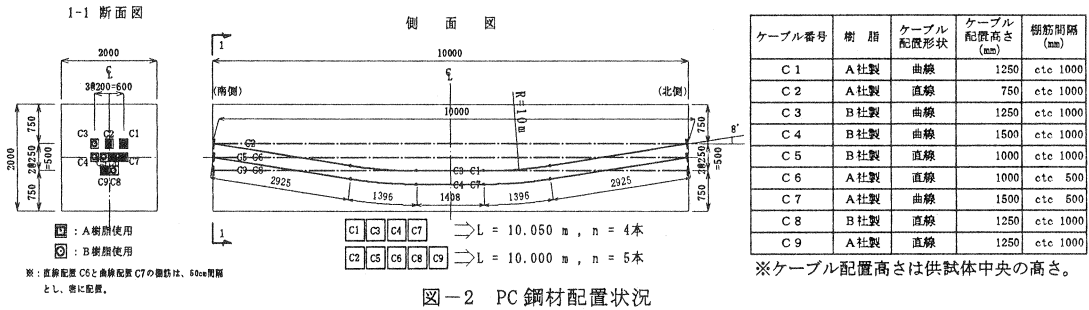


図-2 PC鋼材配置状況

表-2 配合

単位: N/m³

W/C	S/A	セメント	水	細骨材①	細骨材②	粗骨材	混和剤
35.5%	38.0%	4197	1491	3266	3236	10758	29

表-3 コンクリートのフレッシュ性状

スランプ	11.0 cm
空気量	3.4 %
コンクリート温度	26 °C
外気温	28 °C

表-4 コンクリートの硬化性状

材令	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (×10 ⁴ N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
σ 2	33.1	2.91	2.8
σ 4	41.4	—	3.5
σ 7	48.2	—	—
σ 28	54.6	3.57	4.0

2.4 実験および計測方法

図-3に、コンクリート温度および外気温計測用に埋設した熱電対の位置を示す。熱電対は、高さの違いによる温度履歴の差を確認するため、供試体上面から100mm、750mm、1000mm、1250mm、1500mmと5種類の位置とした。計測はコンクリート打設後から材令45日まで継続して行った。

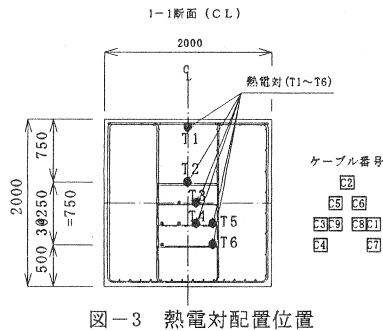


図-3 熱電対配置位置

表-5 緊張実験

荷重 (kN)	緊張実験作業のフロー
0	固定端側：ロードセル・支圧板（小）・シムプレート・定着グリップの取付け 緊張端側：ロードセル・ジャッキの取付け
50	固定端・緊張端側に変位計の取付けと零補正
100	50kN間隔で荷重を上げる。各荷重に達した時、両端の荷重と変位の計測を実施。計測時間として約30秒間の保持時間を設定した。
700	
50	変位計の取り外し
0	1ケーブルの緊張実験完了

緊張実験は、材令4日、7日、15日、28日、45日の合計5回行った。図-4に緊張状況と計測機器配置状況を、表-5に緊張実験のフローを示す。緊張は、ポンプのマノメーターの読み値ではなく緊張端側のロードセル計測値にて制御した。50kNで変位計の零補正を行ったのち、50kN間隔で最大700kNまで荷重を漸増した。各荷重段階において、固定および緊張端の荷重と変位を計測した。

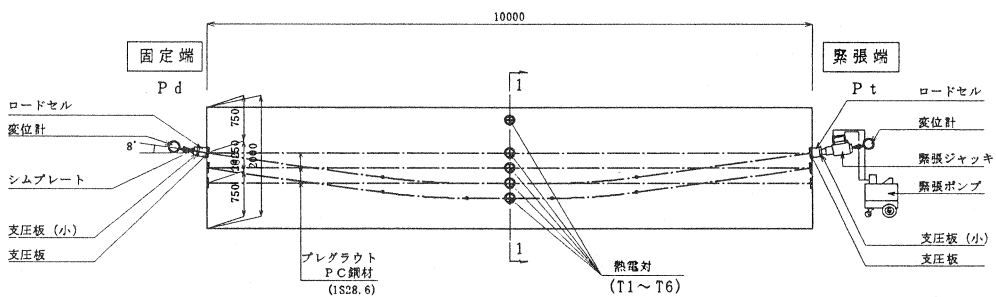


図-4 緊張・計測機器配置状況

3. 実験結果および考察

3.1 温度履歴

コンクリートと外気温の温度履歴を図-5に示す。ピーク温度は熱電対 T3 の位置で、打設後約1.2日で、最高温度 87.2°C を示した。材令2日頃までは T3 が最も高い温度を示した。その後

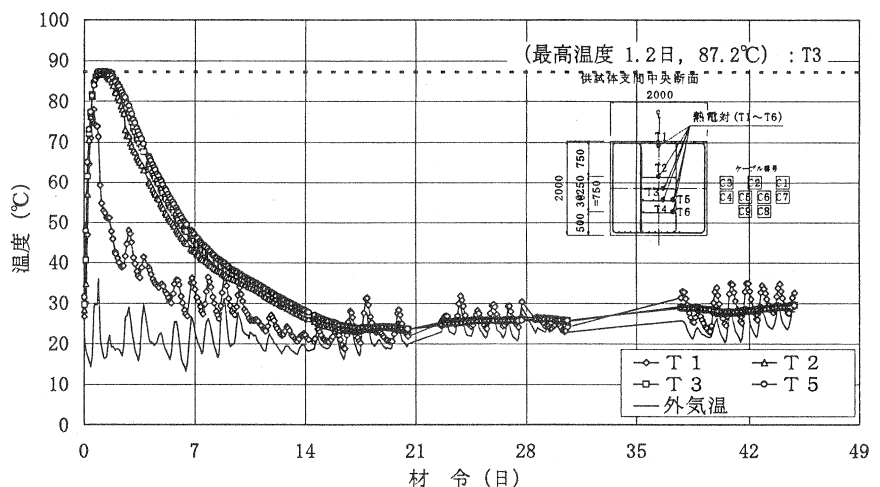


図-5 供試体コンクリート温度と温度履歴

れ以降は T5 の位置が最も高い温度を示した。材令1.2日以降、T1~T6 は材令の経過とともに徐々に温度が低下し、配置位置の違いによる差はあるものの、材令16日以降はほぼ外気温と同等となった。

3.2 温度解析結果と緊張可能日数の推定

緊張可能日数とはケーブル摩擦係数 $\mu=0.1$ (1/rad)、 $\lambda=0.003$ (1/m) を保証する日数であり、鋼材メーカーが樹脂の調度から推定している予測値である。

1) 温度解析

解析プログラムは、(社)日本コンクリート工学協会「マスコンクリートの温度・応力計算用パソコンプログラム集 FEM (2次元) 温度解析」を使用した。

解析モデルは、供試体断面が矩形であることを考慮し、断面の1/4をモデル化した。供試体の内部となる辺では断熱温度境界、外部となる辺では熱伝達境界とした。なお、モデルの長さ方向は連続した部材と見なしている。解析条件を表-6に示す。

表-6 解析条件

セメント	早強ポルトランドセメント
単位セメント量 C	428 kg/m ³
断熱温度上昇量 K	67.6°C (K=0.13×C+12.0)
初期温度	コンクリート打設温度 30°C
	外気温 20°C
養生方法	発砲スチロール (厚さ 50mm) + シート
型枠種類	発砲スチロール (厚さ 50mm) + 合板型枠 型枠存置期間=側面 1日, 底面 30日

2) 緊張可能日数の推定

緊張可能日数は、樹脂の温度-調度の関係式 (3.1) を用いて計算した。

$$W: \text{温度保持日数} \quad Y: \text{温度特性日数} (Y=A \cdot e^{-\beta X}) \quad X: \text{温度} (^\circ\text{C})$$

$$\sum (W/Y) = 1.0 \dots (3.1)$$

となる時の $\sum W$ が緊張可能日数

(A社製プレグラウトPC鋼材樹脂の場合、 $A=2370$ 日、 $\beta=0.0776$)

図-6にT5位置の温度履歴、温度解析結果、および緊張可能日数を示す。解析は、コンクリート打設時の温度を30°Cとして行ったが、実験供試体が26°Cであったため、履歴曲線をY軸(温度)一方向に4°C分平行移動させた曲線も図中に示した。

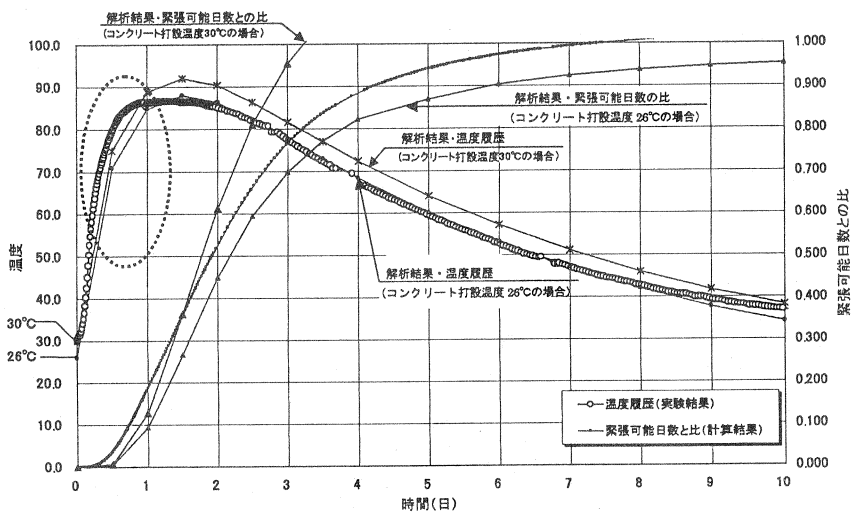


図-6 温度履歴と緊張可能日数 (T5)

材令1日以後

(型枠脱型後)の実測値と解析値は、比較的近い履歴を示していることが解かる。緊張可能日数については、実測値から算出した場合7日程度と推定されるが、解析値では10日以上となった。この実測値と解析値の違いは材令1日までの温度履歴の差が影響しているものと考えられる。材令1日までの温度履歴(図-6中点線で囲った部分)を実測値と解析値で比較すると、実測値の方が温度上昇勾配が急になっている。

これは発砲スチロール型枠の断熱効果が予想より高かったためではないかと推定される。

3.3 摩擦係数の推定

PC 鋼材 1m 当りの摩擦係数、角変化 1 ラジアン当りの摩擦係数は下式を用いて算出した。

(「道示 I 共通編、2.1.5 プレストレス力」より)

$$P_x = P_i \times e^{-(\mu \cdot \alpha + \lambda \cdot x)} \quad \dots \dots \text{(解 2.1.3)}$$

ここに P_x : 設計断面における PC 鋼材の引張力
 P_i : PC 鋼材のジャッキの位置の引張力
 μ : PC 鋼材の角変化 1 ラジアン当りの摩擦係数
 α : PC 鋼材の角変化 (ラジアン) $\alpha = \sum \alpha_i$
 λ : PC 鋼材の長さ 1 m 当りの摩擦係数
 x : PC 鋼材の引張端から設計断面までの長さ (m)

図-7 に直線配置ケーブル (C6 : A社製、C8 : B社製) の 1m 当りの摩擦係数 λ と材令の関係を示す。材令 4 日では両ケーブルともに λ の設計用値 0.003 に近い値が得られた。これより、材令 4 日程度では緊張時のコンクリート温度が約 60°C であっても十分緊張可能であり、所定のプレストレスの導入が可能であることが確認された。また、B社製のプレグラウト PC 鋼材は、最高温度 87°C という高温域を経験したにもかかわらず、材令 28 日まで λ が 0.004 で推移していることから、A社製に比べ温度依存性は少ないと考えられる。A社製プレグラウト PC 鋼材は、材令 7 日で λ が 0.0063 まで増加しており、さらに材令 15 日では緊張端の導入応力が固定端まで伝達されなくなった。

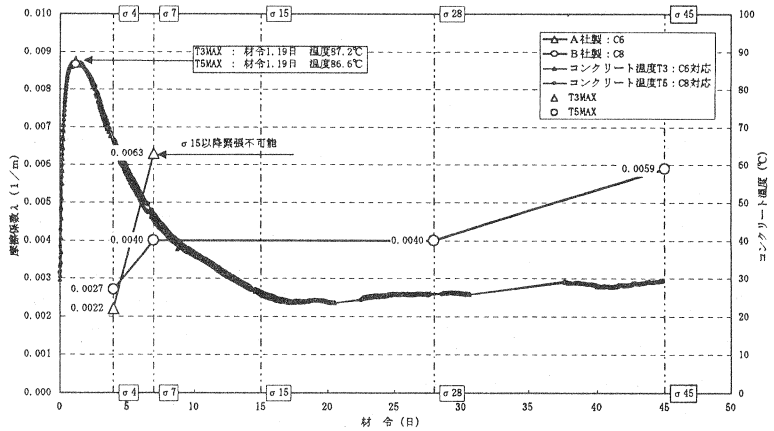


図-7 摩擦係数 λ と供試体材令

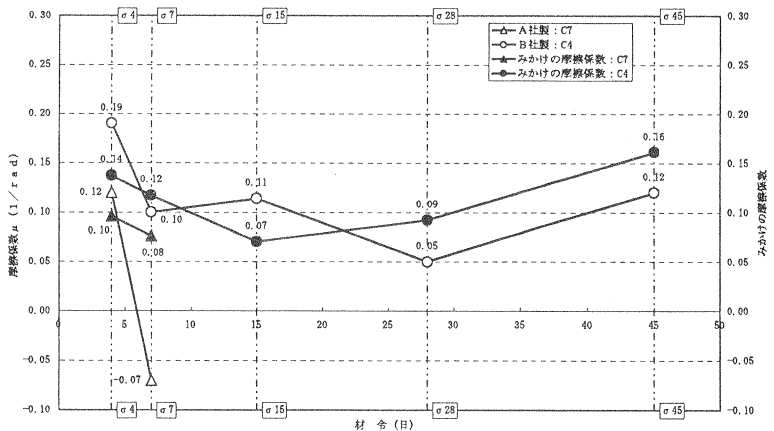


図-8 摩擦係数 μ ・みかけの摩擦係数と供試体の材令

図-8 に曲線ケーブル (C7 : A社製、C4 : B社製) の 1 ラジアン当りの摩擦係数 μ と供試体材令の関係、みかけの摩擦係数と供試体材令との関係を示す。(解 2.1.3) を用いた μ の算出にはそれぞれ C6、C8 ケー

ブルで得られた λ を使用した。みかけの摩擦係数の算出には $\lambda/\mu=0.03$ を使用した。

C6、C8 ケーブルで得られた λ を使用して実測値から算出した μ はばらつきの多さが目立つが、みかけの摩擦係数は材令に関わらずほぼ設計用値 $\mu=0.1$ に近い値を示していることが解かる。なお、今回の実験ではケーブル配置形状による摩擦係数への顕著な影響は確認されなかった。

4. まとめ

本実験で得られた結果をまとめると以下の通りである。

- 1) コンクリートの最高温度が 80°C を超えても材令4日程度までは、摩擦係数は設計で仮定した値と同程度を示し、プレグラウトPC鋼材の緊張作業に与える影響は小さい。
- 2) A社製プレグラウトPC鋼材は高温域を経験すると樹脂の硬化が促進され、今回の実験では材令15日以降は緊張が不可能となった。B社製プレグラウトPC鋼材は温度による影響は小さい。
- 3) コンクリートの温度履歴については温度解析により十分推定可能であるが、緊張可能日数の推定については、現在の推定式では精度に問題がある。さらなる検討・研究が必要である。

参考文献

- 1) 大塚行輝・相原英治・田村多佳志・荒木毅：プレグラウトPC鋼材を主ケーブルに用いたPRC中空床版橋の設計と施工，プレストレストコンクリート，Vol. 42, No. 3, ページ pp. 52～57, 発行年月日 2000. 5
- 2) 中村・宮越・高木・脇島：プレグラウト鋼材を用いた十号沢川橋の設計と施工，第9回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，ページ pp. 647～652, 発行年月日 1999. 10
- 3) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，I 共通編，2. 1. 5, ページ pp32～34, 発行年月日 1996. 12
- 4) 社団法人 プレストレスト・コンクリート建設業協会：施工計画書作成の手引き，場所打編，8-4-5, ページ pp109～112, 発行年月日 1995. 3
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書，設計編，10. 3, ページ pp129～132, 発行年月日 1996