

小牧高架橋における温度追従養生システムを用いた緊張強度管理

中日本高速道路(株) ○片山 雅夫  
 中日本高速道路(株) 正会員 野島 昭二  
 清水建設(株) 中島 淳太  
 清水建設(株) 頃安 研吾

1. はじめに

新名神高速道路の四日市北ジャンクション(仮称)から菰野インターチェンジ(仮称)間に建設中の新名神高速道路小牧高架橋他2橋(PC上部工)工事では、三岐鉄道および河川横断部のPC箱桁橋施工には張出し架設工法が採用されている。本報告では、張出し架設部におけるPC緊張時のコンクリート強度管理手法として採用した温度追従養生システムの運用方法について報告する。

2. 工事概要

小牧高架橋の工事概要を表-1に示す。本橋は、9径間連続箱桁橋と5径間連続箱桁橋で構成され、張出し施工延長は上下線合わせて529mである(図-1, 図-2)。

表-1 工事概要

工事名	小牧高架橋他2橋(PC上部工)工事
工事場所	三重県四日市市小牧町~中野町
発注者	中日本高速道路株式会社 名古屋支社
施工者	清水建設株式会社
工期	平成24年4月26日~平成27年8月8日
構造形式	(PRC5径間+PRC9径間)連続箱桁橋
橋長	702.0m (272.0m+430.0m)
支間長	46.8+85.0+56.0+43.0+39.1 m 37.9+55.0(62.0)+60.0(53.0) +49.0 +4@46.0+41.9 m ※()内寸法は下り線を示す。
有効幅員	10.0m
架設工法	張出し架設工法, 固定支保工式架設工法

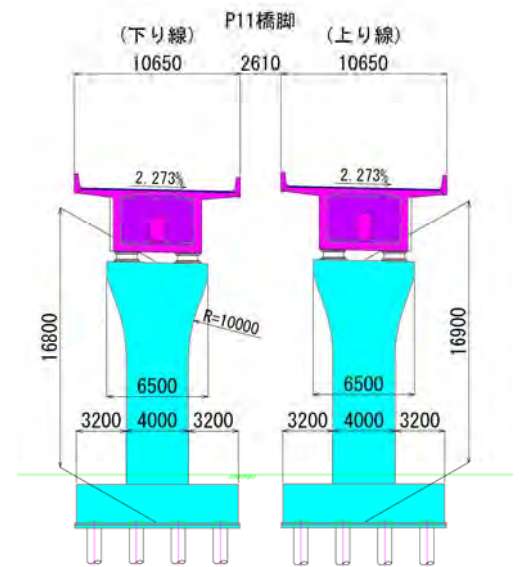


図-1 正面図(P11橋脚)

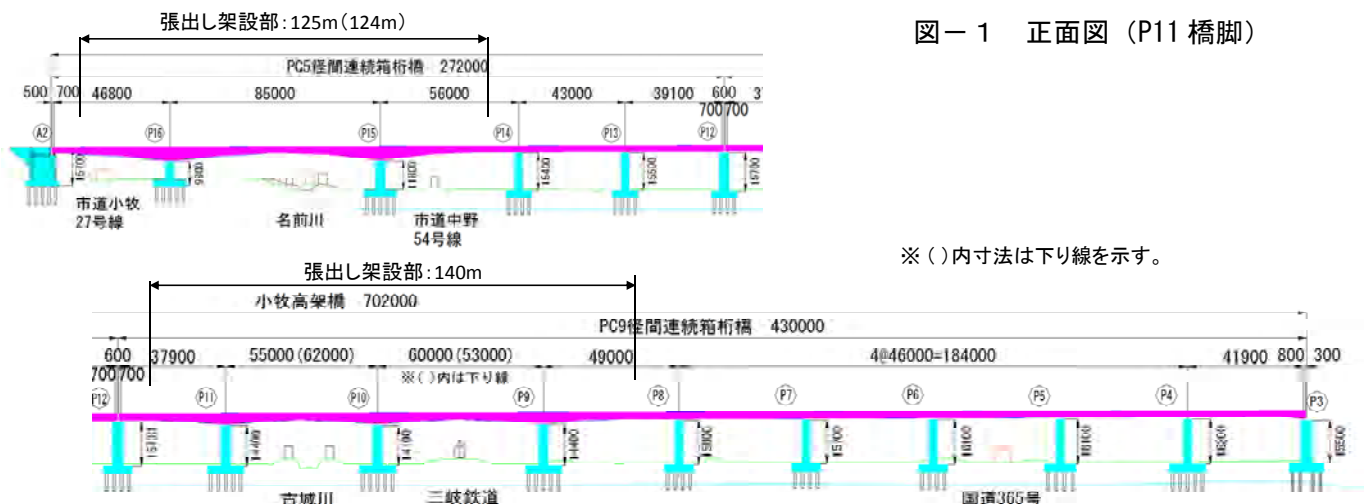


図-2 全体一般図

※()内寸法は下り線を示す。

### 3. 目的

張出し架設工法で使用するコンクリートには、早期に緊張可能な強度を得るために早強ポルトランドセメント（以下、早強セメント）を選定することが多い。本工事では普通ポルトランドセメント（以下、普通セメント）を使用することで打込み後のコンクリート温度上昇量を低減し、初期ひび割れを抑制して品質の向上を図ることとした。

しかし、普通セメント使用の場合、早強セメントに比べ初期強度の発現が遅く、プレストレスの緊張可能強度に達する時期が遅れることになる。PC構造物の緊張強度管理では、コンクリート打込み時に作製した圧縮強度試験用供試体（以下、圧縮供試体）を現場で気中養生し、圧縮強度試験により緊張可能強度を確認したのちにPCケーブルを緊張する手順となる。本工事では、打設から緊張までの工程管理の効率化を目的とし、緊張強度管理に「温度追従養生システム」を採用した。

本システムは、定着部近傍のコンクリート温度を熱電対により直接測定し、その測定温度と同温度に調整した水槽内で圧縮供試体を養生するものであり、実構造物における若材齢時の養生環境を忠実に再現できるシステムである。

緊張強度の推定には、選定した配合（表-2）に対して有効材齢による強度推定式を用いた。温度追従養生システムにより養生された圧縮供試体の有効材齢と圧縮強度との相関関係を分析することで、若材齢時における実構造物内のコンクリート強度を精度良くリアルタイムに管理することができる。

なお、PC緊張時に必要なコンクリート圧縮強度は、使用するPC定着工法の仕様から 27N/mm<sup>2</sup> 以上とした。

### 4. 温度追従養生システムの概要

温度追従養生システムの概要を図-3に示す。

打込み後のコンクリート温度を自動連続計測し、その温度計測結果を無線で現場詰所内の管理用水槽に転送し、実養生温度に制御された水槽内で供試体を養生する。

併せて計測結果からコンクリートの有効材齢を算出するとともに、その後に作成した強度推定式と比較し、強度が 27N/mm<sup>2</sup> を超える時期に圧縮供試体を水槽から取り出し圧縮強度試験を実施する。

表-2 コンクリート配合

f' <sub>ck</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Slump (cm)	Air (%)	G <sub>MAX</sub> (mm)	W/C	s/a	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					SP (C×%)
						W	C	S1	S2	G	
40	13	4.5	20	42.5	44.5	158	372	403	390	1018	0.7

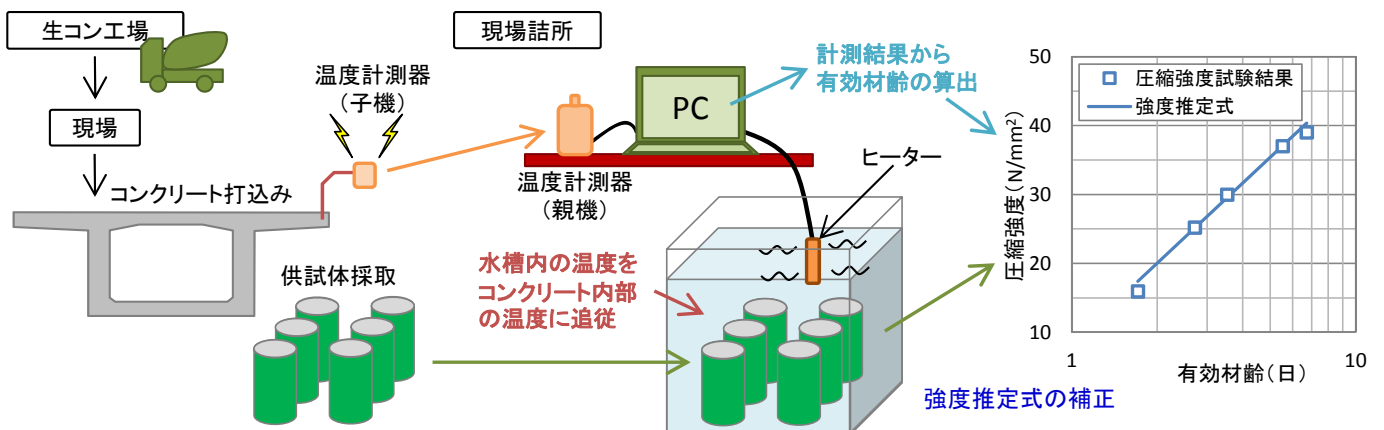


図-3 温度追従養生システム

5. 温度追従養生システムの運用

5.1 強度推定式の算出<STEP-1>

温度追従養生システムによって実構造物と同条件で養生された供試体による圧縮強度試験を実施する前に、実配合における強度推定式の算出方法を以下のとおりに決定した。

試験練りにより配合を決定した後、レディーミクストコンクリート工場（以下、工場）にて圧縮供試体を5材齢分および温度計測用として同寸法の供試体を1本作製した。

材齢7日までの若材齢で圧縮強度試験を行うとともに、温度計測用供試体も他の供試体と同一環境下（標準養生）で水中養生を行い、内部温度の計測を行った。練上り時から計測した温度と材齢によって有効材齢を算出し、これと圧縮強度試験の結果から強度推定式（有効材齢－圧縮強度関係式：式(2)）を算出した。

$$t_e = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \cdot \exp \left[ 13.65 - \frac{4000}{273 + T(\Delta t_i)} \right] \dots\dots \text{式(1)} \quad \text{ここに、} \Delta t_i : \text{温度が } T(\Delta t_i) \text{ である期間の日数}$$

$$f(t_e) = a \cdot \log_{10} t_e + b \dots\dots \text{式(2)} \quad \text{ここに、} a, b : \text{回帰係数}$$

有効材齢 ( $t_e$ ) はコンクリート標準示方書より抜粋した式(1)を採用している。また、若材齢時の有効材齢に対する圧縮強度は式(2)で直線近似でき、この直線近似を強度推定式とした。以上の過程をSTEP-1とし、結果を図-4に示す。

5.2 温度追従養生システムの稼働確認<STEP-2>

STEP-2として、実施工前に工場の実機で練り混ぜたコンクリートを用いて上床版の模擬試験体（500×500×250mm：写真-1）を作製し、システムの稼働状況確認およびSTEP-1で算出した強度推定式の検証を行った。圧縮強度試験は2材齢分（材齢4日、6日）で実施し、その試験結果を図-5に示す。圧縮強度試験結果は強度推定式と良く一致していることが確認でき、STEP-2の試験結果も加えて、強度推定式を微修正した。

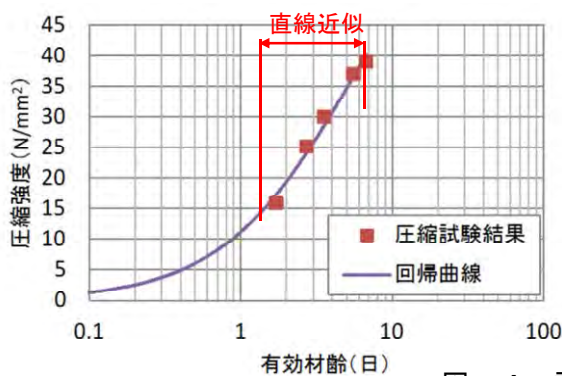


図-4 試験結果<STEP1>

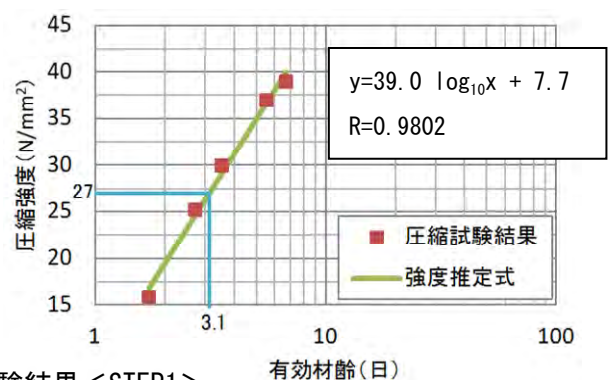


写真-1 上床版模擬供試体（型枠）

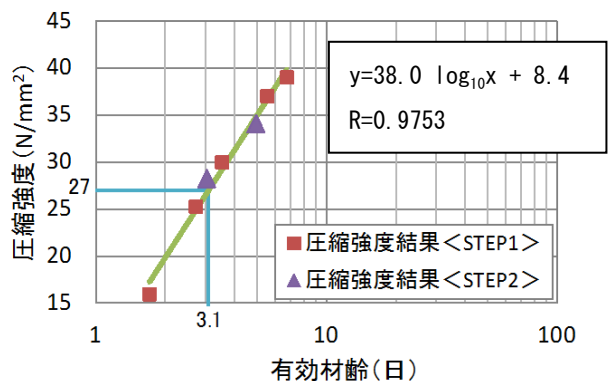


図-5 試験結果<STEP2>

### 5.3 温度追従養生システムの運用<STEP-3>

STEP-3 として、実構造物においてコンクリート打設後の温度履歴を測定し、STEP-2 と同様に有効材齢による強度推定式と圧縮強度試験の結果を比較した。温度計測位置は最も部材厚が小さい張出し床版先端の床版横締ケーブル支圧板の前面位置とした(写真-2, 図-6)。温度追従システムを写真-3に示す。

試験結果は、強度推定式と良く一致しており、その後の管理ではこれらのデータも加え、強度推定式を微修正した。以後、STEP-3 を3ブロックまで繰り返し、有効材齢-圧縮強度関係のデータ数を増やすことにより図-7に示す相関を確認し、強度推定式の信頼性を検証した。

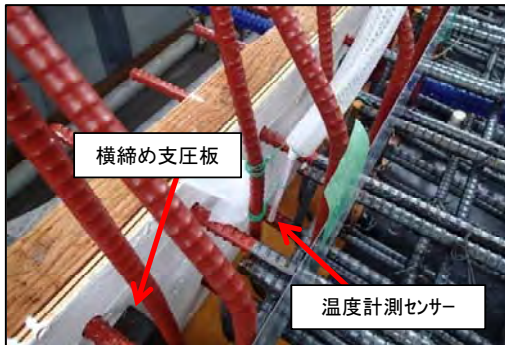


写真-2 実構造物での温度計測状況

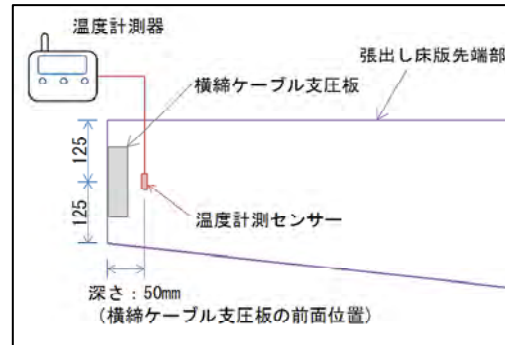


図-6 温度計測位置



写真-3 温度追従養生システム

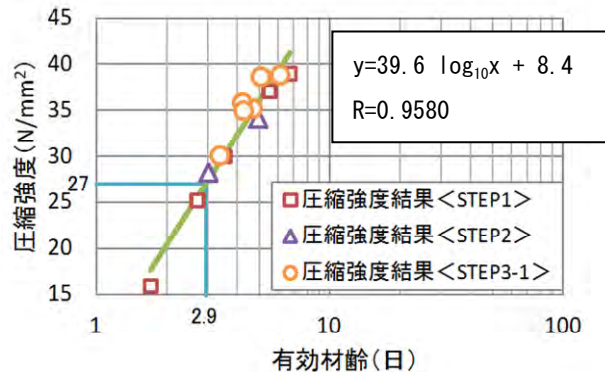


図-7 試験結果<STEP3>

## 6. 実施工への適用

STEP-3 以降の実施工においては張出し床版先端での温度計測結果を用いて有効材齢を算出し、強度推定式(図-7)から緊張可能強度 ( $\sigma_c=27\text{N/mm}^2$ ) を超えた時点で緊張作業を実施することとした。すなわち、圧縮強度試験を行わず、温度追従養生システムによって精度を確認した強度推定式により対象構造物の緊張可能時期をタイムリーに把握できる管理手法を確立できた。なお、当現場の配合において、2014年4月中(外気温15℃程度)の実績では、緊張可能となる材齢が約2.5日程度であった。

## 7. おわりに

- (1) 温度追従養生システムの運用により、若材齢時の有効材齢と圧縮強度の関係を精度よく推定できた。
- (2) 実構造物を直接温度計測することにより、定着部近傍のコンクリート強度を正確にリアルタイムに把握できた。
- (3) 圧縮強度試験を行わずにプレストレス導入時期を的確に判断できる管理手法を確立できた。
- (4) 普通セメントを採用しても効率的な工程管理が実施でき、初期ひび割れの抑制にも寄与できた。

本工事は平成25年10月に工事着手し、現在、張出し施工部の工事を進めている。最後に本工事の施工に際し、多大なるご指導を頂いた関係各位に謝意を表します。