

## 熱弾性効果を利用したPC鋼材中間部の緊張力推定方法に関する研究

飛島建設 建設事業本部 正会員 ○北 倫彦  
 飛島建設 建設事業本部 石塚 健一  
 飛島建設 建設事業本部 正会員 津川 優司

## 1. はじめに

橋梁上部工等プレストレストコンクリート構造物の耐力, 耐久性を確保するには, 設計断面等の構造上重要な部位に所定の緊張力を正確に導入する必要があるが, 現場における緊張管理は, PC 鋼材端部のジャッキ圧力と伸びから, 設計断面に導入された緊張力の大きさを推定しているのが現状である. 緊張力の推定値は摩擦係数のばらつき等変動要因による誤差を含むことから, 設計断面等任意の位置における PC 鋼材緊張力を直接測定し管理することができれば, 構造物の安全性, 耐久性がより確かなものになると考えられる.

PC 鋼材任意の位置の緊張力を直接測定する手段として, ひずみゲージや鋼材の磁気特性変化を利用したセンサー等があるが, 多数の PC 鋼材の緊張管理を行う場合, ひずみゲージは取付と配線の処理が煩雑となること, 上記センサーは高価なことが課題となる.

筆者らは PC 鋼材任意の位置の緊張力を直接測定できる簡便かつ正確な手段として, 固体の熱弾性効果による温度変化を利用する方法を研究しており, PC 鋼材の温度変化から緊張力が推定可能か確認するための基礎的な試験を実施した.

## 2. 熱弾性効果を利用した応力の推定方法

等方均質な弾性体に応力が作用した際, 応力の大きさに比例した温度変化が生じる現象を熱弾性効果という. Kelvin により定式化された熱弾性効果による温度変化  $\Delta T$  の算定式を以下に示す.

$$\Delta T = -kT\Delta\sigma \quad (1)$$

ここに  $k$  は熱弾性係数,  $T$  は材料の絶対温度,  $\Delta\sigma$  は主応力の変化量である. 熱弾性係数  $k$  は次式で算定される.

$$k = \frac{\alpha}{\rho C_p} \quad (2)$$

ここに  $\alpha$  は線膨張係数,  $\rho$  は密度,  $C_p$  は定圧比熱である.

$\Delta\sigma$  は引張の場合を正とし, 温度は引張応力が作用する場合に降下, 圧縮応力が作用する場合に上昇する. この算定式を使用することで, 緊張前後の PC 鋼棒の温度変化量から簡便に応力度が推定できると考えられる.

PC 鋼材の線膨張係数を  $\alpha=12.1 \times 10^{-6}/K$ , 密度を  $\rho=7850 \text{ kg/m}^3$ , 定圧比熱を  $C_p=444 \text{ J/kg/K}$  と鋼に準じ設定し, 熱弾性係数を  $k=3.47 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{N}$  とすれば, PC 鋼材に  $1000 \text{ N/mm}^2$  の引張応力を作用させた場合, 材料の絶対温度  $288 \text{ K}$  ( $15^\circ\text{C}$ ) という条件下で  $\Delta T = -1.00 \text{ K}$  の温度降下が生じる.

## 3. PC鋼材緊張時における温度変化の測定試験概要

熱弾性効果による温度変化の挙動確認と, 実用的精度で温度変化を測定できる手段の検討を目的に, PC 鋼材緊張時の温度変化測定試験を行った.

## (1) 緊張力作用方法と試験供試体

温度変化と応力変化の関係が明確に把握できるよう, 一軸引張試験機で PC 鋼材に引張力のみ作用させる方法とし, 断面内の引張応力が均等と考え

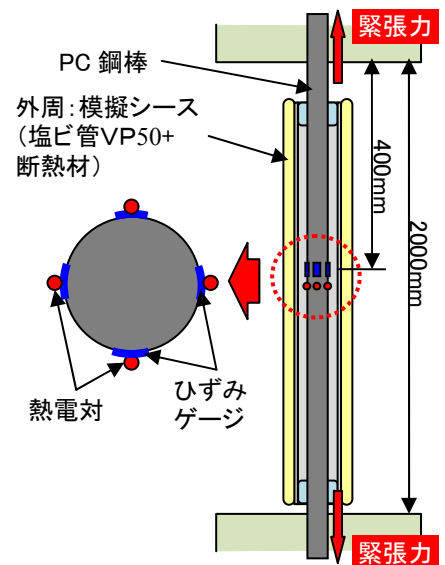


図-1 試験方法



写真-1 試験状況

キーワード 熱弾性効果, 応力測定, 緊張管理

連絡先 〒213-0012 川崎市高津区坂戸3-2-1 KSP R&D棟2F TEL: 044-829-6713

られた PC 鋼棒 (C 種 1 号 SBPR1080/1230 : 呼び径 17mm,  $A=227.0\text{mm}^2$ ) を試験供試体に選定した. 試験方法を図-1, 試験状況を写真-1 に示す. 緊張力の大きさは PC 鋼棒降伏荷重 246kN の約 95% に相当する 236kN ( $\sigma=1040\text{N/mm}^2$ ) とし, 2 分間で最大緊張力に到達するよう速度を調整した.

また, 実施工では PC 鋼材がコンクリート中のシース内に配置されるため, 供試体外周に塩ビ管と断熱材から成る模擬シースを設置し, 外気の影響で供試体の温度変化に過度の変動が生じることを回避した.

## (2) 温度測定方法

緊張管理の手段として応力変化  $10\text{N/mm}^2$  に相当する  $0.01^\circ\text{C}$  単位の温度変化の測定が望ましいこと, 熱弾性効果で生じた温度変化は外気の影響で短時間に増減することを考慮し,  $0.01^\circ\text{C}$  の分解能を有し対象物の温度を数秒で検知できる熱電対 T タイプと市販の高精度温度電圧計測ユニットの組み合わせで温度を測定した.

また, 試験機セット時の偏心や PC 鋼棒のそり等によって緊張時に生じる曲げの影響の考慮するため, 図-1 に示すように熱電対は PC 鋼材表面に  $90^\circ$  間隔で 4 点設置し, 直近の位置に応力比較用のひずみゲージを 4 点設置した.

## 4. 試験結果

2 本の供試体について実施した試験結果の一覧を表-1 に, 供試体番号 1 の緊張力と PC 鋼棒温度変化 (4 点平均値) の経時変化を図-2, 両供試体の緊張力と PC 鋼棒温度変化の関係を図-3 に示す.

PC 鋼棒の温度は緊張力の増加とともに降下し, 降伏点近くまではほぼ一定の比例関係を示すことが確認できた. 最大緊張力作用直後において PC 鋼棒の温度変化はいずれも  $-1.04^\circ\text{C}$  降下し, 温度変化から式(1), (2)により推定した供試体番号 1, 2 それぞれの引張応力度は  $1033\text{N/mm}^2$  および  $1036\text{N/mm}^2$  となったが, これは緊張力を PC 鋼棒断面積で除算して求めた引張応力度  $1043\text{N/mm}^2$  および  $1046\text{N/mm}^2$  の約 99%, 測定ひずみに PC 鋼棒の弾性係数  $2.01 \times 10^5\text{N/mm}^2$  を乗じて求めた引張応力度  $1057\text{N/mm}^2$  の約 98% の値であり, ほぼ同等の結果が得られた.

表-1 試験結果一覧

| 供試体<br>番号 | 最終<br>緊張力<br>(kN) | 温度変化<br>測定値<br>$\Delta T(\text{K})$ | 材料<br>温度<br>$T(\text{K})$ | 測定<br>ひずみ<br>$\mu$ | 発生応力度 ( $\text{N/mm}^2$ ) |                     |                     | 応力度比率<br>(%) |      |
|-----------|-------------------|-------------------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|--------------|------|
|           |                   |                                     |                           |                    | a: 温度変化より<br>式(1)(2)で推定   | b: 緊張力を鋼棒<br>断面積で除算 | c: 測定ひずみに<br>弾性係数乗算 | a/b          | a/c  |
| 1         | 236.7             | -1.04                               | 291                       | 5257               | 1033                      | 1043                | 1057                | 99.0         | 97.7 |
| 2         | 237.4             | -1.04                               | 290                       | 5261               | 1036                      | 1046                | 1057                | 99.0         | 98.0 |

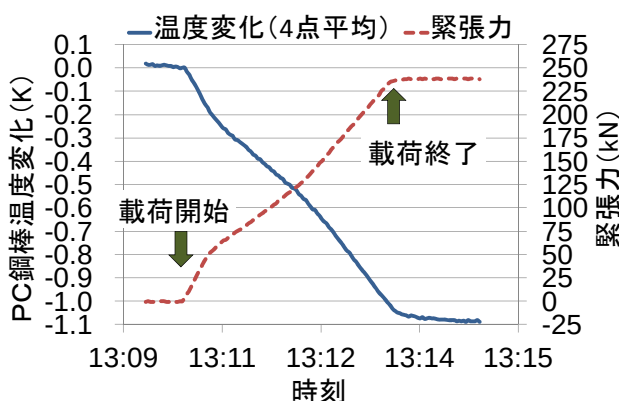


図-2 PC 鋼棒温度変化と緊張力の経時変化  
(供試体番号 1)

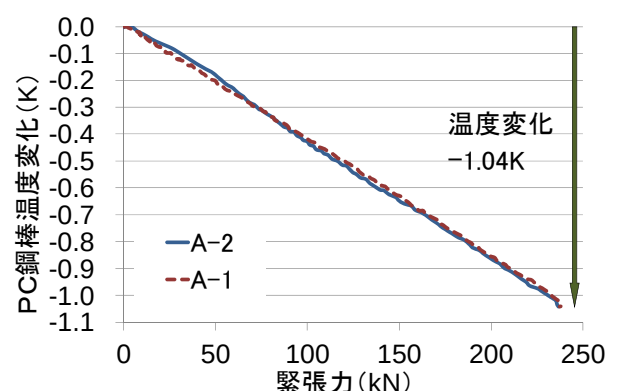


図-3 緊張力と PC 鋼棒温度変化の関係

## 5. まとめ

PC 鋼棒の緊張時, 発生応力と温度変化の間にはほぼ一定の比例関係があり, 熱弾性効果を利用して温度変化から任意の位置の緊張力を推定することは可能と考えられる.

現在, 実施工を見据え PC 鋼より線に対する本手法適用性の確認や, シース内の鋼材温度を非接触で測定できる赤外線サーモグラフィーあるいは放射温度計の使用について研究を進めており, 今後新たな知見が得られた折に報告したいと考えている.