

## 新たな埋込型コンクリート応力計に関する基礎実験

オリエンタル白石 (株) 正会員 環博 ○二井谷教治  
 (株) 東京測器研究所 末吉 良敏  
 オリエンタル白石 (株) 中村 育樹  
 オリエンタル白石 (株) 正会員 佐藤 忍

Abstract : In order to guarantee quality of prestressed concrete structures, it is important that introduce prestress into concrete as planned. Strain gages can be used to estimate prestress. They are attached on the surface or embedded in concrete, however modulus of elasticity have to be measured in other way. Also embedded effective stress meter has been developed, however setting is complicated and accuracy is dependent on quality of setting. Authors aim at offer a new embedded stress measuring sensor. In this paper, basic experiments to develop simple and precise sensor are described. It was found that the new sensor estimate elastic stress precisely. However, the sensor has to be improved more because influence of temperature on measurement was not eliminated enough.

Key words : Prestress , Effective stress, Strain gage , Stress measuring sensor, Stress release method

### 1. はじめに

プレストレスを計画通りに導入することは、プレストレストコンクリート (以下PC) 構造物の品質を保証するために重要である。本来は、コンクリートの応力を直接管理すべきであるが、PC鋼材の緊張管理を行うことでこれを担保している。また、既設PC構造物の健全性を判断し、必要に応じて補修・補強計画を策定するためには、有効プレストレスを定量的に把握することが重要である。新設構造物のプレストレスを推定する方法としては、ひずみゲージを用いる方法があるが、別途弾性係数を測定する必要がある。また、長期的に計測する場合は、クリープや乾燥収縮ひずみがふくまれ、有効応力度を算定するためにはこれらを分離する必要があることなどの問題がある。また、直接応力度を計測できる有効応力計<sup>1)</sup>が開発されているが、設置が煩雑であることなどの問題がある。一方、既設構造物の有効応力の推定では、フラットジャッキを利用した応力開放法<sup>2)</sup>が開発されているが、キャリブレーションを伴うなどの問題がある。また、筆者らもひずみゲージとコア削孔を利用した応力開放法<sup>3)</sup>を提案しているが、微破壊を伴うことが問題となることがある。

本論文では、新設構造物の建設時および長期の有効応力を計測できる、簡便で精度のよい新たな埋込型応力計の開発を目的とし、基礎実験を行ったのでその概要を述べる。

### 2. 応力計の試作

開発する応力計は、箔ゲージを利用し応力度を直接計測できるセンサであること、小型軽量で取扱いが容易であること、計測が簡便であることを目標とした。写真-1に試作した応力計を示す。形状は写真に示すとおり、全長が220mm、幅が30mm程度の小型である。箔ゲージに用いる金属としては、銅とマンガンを主成分とした銅合金であるマンガンを用いることとした。マンガンは、ひずみ感度が低く圧力感度が高いため、油圧の応力計測などにも応用されている。これを感圧箔ゲージとしてコンクリートに埋め込むことに

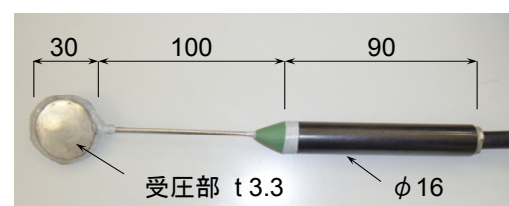


写真-1 試作した応力計の概要 (単位:mm)

より、直接コンクリートの応力を計測できる可能性がある。なお、写真の円板部分が受圧部である。

### 3. 検証実験1

#### 3.1 供試体

試作した応力計の適用性や計測精度などを検証するため、供試体を用いた実験を行った。実験に用いた供試体の種類を表-1に示す。また、供試体の形状寸法を図-1に示す。供試体は版状で、アンボンドのPC鋼棒を2本配置した。コンクリートの配合強度は40N/mm<sup>2</sup>で、中央部に応力計とひずみ計を埋め込んだ。実験の要因はプレストレスの有無である。

#### 3.2 実験方法

持続応力を与えるC-1供試体には、材齢4日でプレストレスを導入した。供試体は、年間平均温度20℃、相対湿度50%程度の室内に静置し、計測はコンクリートのひずみおよび応力度、PC鋼棒の緊張力について継続的に行った。

#### 3.3 実験結果および考察

図-2は、プレストレス導入時の応力計による計測値とロードセルによる計算値との比較を示す。なお、計算値とは、ロードセルによる緊張力を供試体断面積で除した平均値である。計測値は計算値にほぼ等しく、応力計は短期プレストレス、すなわち弾性応力度を精度よく推定できる。

図-3は、長期にわたる有効応力度の比較である。なお、横軸の経過時間とは、プレストレス導入後のコンクリート材齢である。ロードセルによる計算値から、クリープおよび乾燥収縮により有効プレストレスが材齢とともに徐々に減少していることがわかる。応力計による計測値は、いったん増加し、後半では計算値より小さくなっている。この原因を考察するため、図-4にプレストレスを導入したC-1供試体とプレストレスを導入していないS-1供試体の計測値を示す。S-1供試体にはプレストレスを導入していないため、外力による応力度は作用していないが、材齢とともに変化する応力度が計測されている。この原因のひとつは、乾燥収縮の進行速度がコンクリート表面近くと深部では異なり、それに起因する内部拘束圧縮応力が計測されているためであると考えられる。筆者らは、種々の実験により、一般のコンクリート部材には、この内部拘束応力が存在することを確認している<sup>3)</sup>。

#### 4. 検証実験2

表-1 検証実験1に用いる供試体

供試体名称	寸法(mm) 幅×長さ×高さ	プレストレス (N/mm <sup>2</sup> )
C-1	1000×2400×200	6.0
S-1	1000×2400×200	0

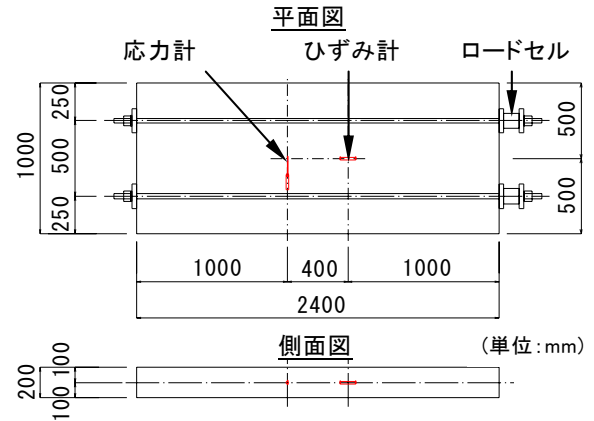


図-1 検証実験1に用いる供試体の概要

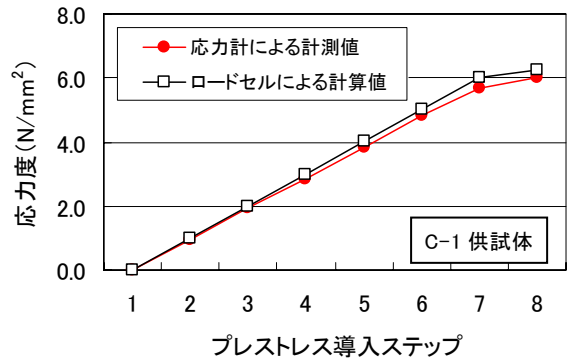


図-2 導入時応力度の比較

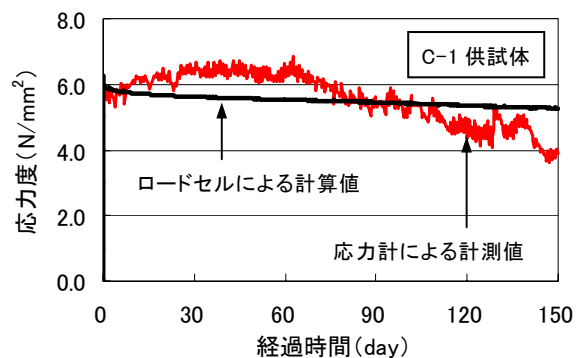


図-3 有効応力度の比較

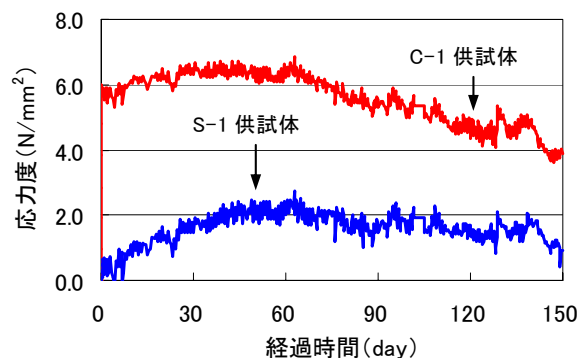


図-4 応力計による計測値

### 4.1 供試体

検証実験1では、試作した応力計の長期有効プレストレスの計測精度の検証には至らなかった。そこで、できるだけ乾燥収縮による内部拘束応力の影響を排除した条件の供試体を用いて検証を行うこととした。

実験に用いた供試体の種類を表-2に示す。プレストレスを作用させる供試体C-2は、検証実験1で用いたのと同様の版とし、プレストレスを作用させない供試体S-2およびS-3は、小型の版とした。小型供試体の形状寸法を図-5に示す。コンクリートの配合強度は $40\text{N/mm}^2$ で、中央部に応力計とひずみ計を埋め込んだ。供試体は、コンクリートの打設後3週間養生し、C-2供試体にはアンボンドのPC鋼棒2本によりプレストレスを導入した。また、C-2およびS-3供試体は、プレストレス導入時にアルミテープを用いて表面をシーリングした。実験の要因は、プレストレスの有無および供試体の表面処理状態である。

### 4.2 実験方法

持続応力を与えるC-2供試体には、材齢3週でプレストレスを導入した。供試体は前シリーズと同一の室内に静置し、計測はコンクリートのひずみおよび応力度、PC鋼材の緊張力について継続的に行った。

### 4.3 実験結果および考察

図-6は、各供試体の埋込型ひずみ計により計測されたひずみの経時変化である。S-2供試体は、時間の経過とともに乾燥収縮が徐々に進んでいることがわかる。一方、供試体表面をシーリングしたS-3供試体では、ほとんど乾燥収縮が進展していない。なお、横軸の経過時間とは、実験開始後すなわちプレストレス導入およびシーリング施工後のコンクリート材齢である。プレストレスを導入したC-2供試体では、プレストレスによる弾性ひずみが $200 \times 10^{-6}$ 程度発生し、その後時間の経過とともに徐々に増加している。これは、シーリングを施しているため、乾燥収縮はほとんど進んでいないと考えられ、クリープひずみが主体であると考えられる。

図-7は、応力計による計測値とロードセルによる計算値との応力度の比較である。プレストレス導入後のコンクリート材齢は、まだ1ヶ月あまりであるが、応力計による計測値は、ロードセルによる計算値とほぼ等しく、精度よく有効応力を推定できていると考えられる。供試体表面をシーリングし、乾燥収縮による

表-2 検証実験2に用いた供試体

供試体名称	寸法(mm) 幅×長さ×厚さ	プレストレス ( $\text{N/mm}^2$ )	表面処理
C-2	1000×2400×200	6.0	シール
S-2	500×600×200	0	無処理
S-3	500×600×200	0	シール

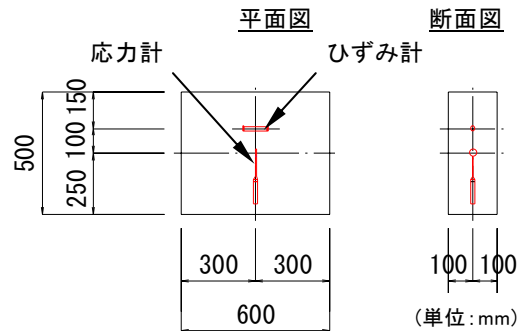


図-5 検証実験2に用いた供試体の概要

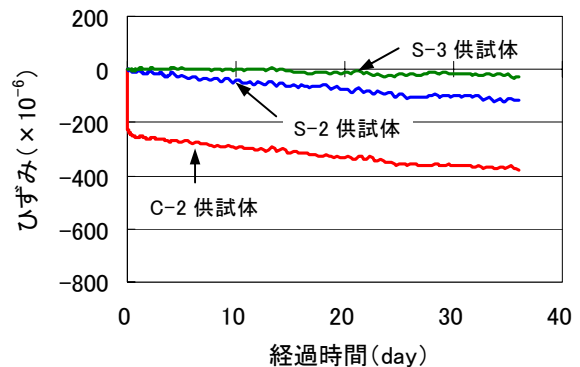


図-6 ひずみの比較

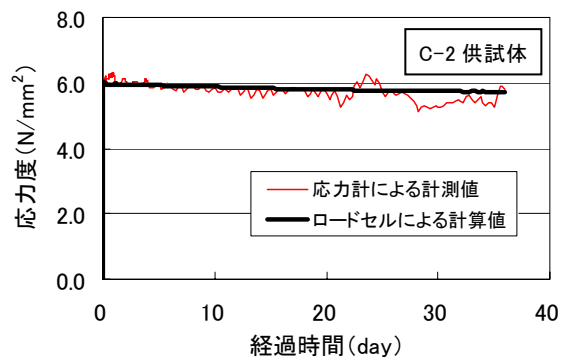


図-7 有効応力度の比較

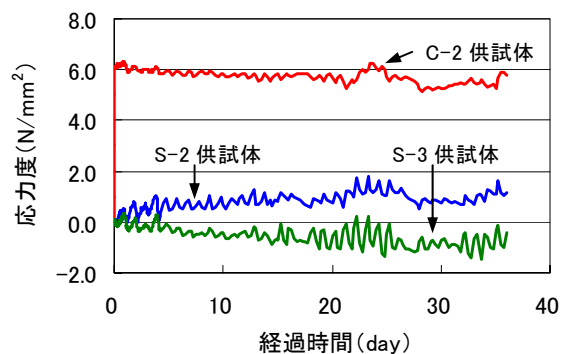


図-8 有効応力度の比較

拘束応力を抑えた効果が現れているものと考えられる。

各供試体に埋め込んだ応力計による応力度の計測値を図-8に示す。これらの結果からも、供試体表面をシーリングした供試体では、乾燥収縮による拘束応力を抑制できていることが伺える。ただし、計測値には短期間の増減が見られる。

図-9は、S-3供試体の応力度と温度の計測値の経時変化を示したものである。温度の変化に応じて応力度が変化していることがわかる。箔ゲージに使用しているマンガニンは、温度感度が高いという欠点があるため、本センサは、ホイートストンブリッジ回路内に温度補償用抵抗を備え、温度特性を極力抑制するように設計したが、コンクリート中では、若干温度変化の影響が残っていると考えられ、今後の検討事項である。

なお、図-10に示すような箱型断面を有する橋梁において応力計を埋込み、プレストレスの計測を行っている。これについては、別の機会に報告することとする。

5. まとめ

弾性応力および長期の有効応力を計測できる、簡便で精度のよい新たな埋設型応力計の開発を目的として基礎的な実験を行った。限られた検証範囲ではあるが、以下のことが確認された。

- 1)マンガニンを感圧箔ゲージとして使用した、小型で簡便な応力計を試作した。
- 2)弾性応力に対しては、精度よく計測できた。
- 3)乾燥収縮による内部拘束応力をできる限り抑制した供試体を用いた実験では、1ヶ月あまりの範囲では、概ね有効応力を計測できることが検証できた。
- 4)試作した応力計では、温度変化の影響を十分には除去することができておらず、この点については改良が必要である。

以上の結果を受け、今後検証を進めるとともに、より精度のよい応力計に改良していく予定である。

参考文献

- 1) 夏目忠彦, 徳山清治, 日紫喜剛啓: 新型のコンクリート応力計とPC斜張橋のクリープ測定への応用, プレストレストコンクリート, Vol.27, No.1, pp.56-67, 1985.1
- 2) Thomas Le Diuron, Bernard Basile, Jerome Stuble: Stress Measurements in Concrete and Tensioned Steel Bars and Bolts, Proceedings of Structural Engineers World Congress, 2002. 10
- 3) 二井谷教治, 渡瀬博, 阪田憲次, 綾野克紀: コンクリート部材の有効応力の推定手法に関する研究, コンクリート工学論文集, Vol.20, No.2, pp.27-37, 2009.5

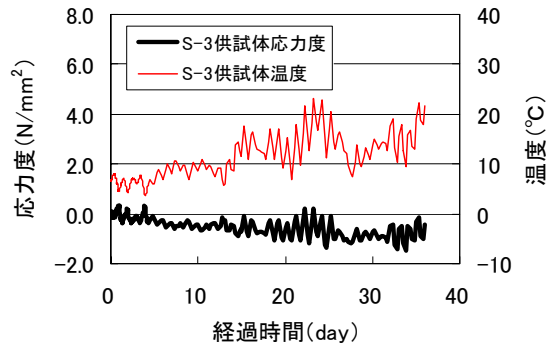


図-9 S-3 供試体の応力度と温度

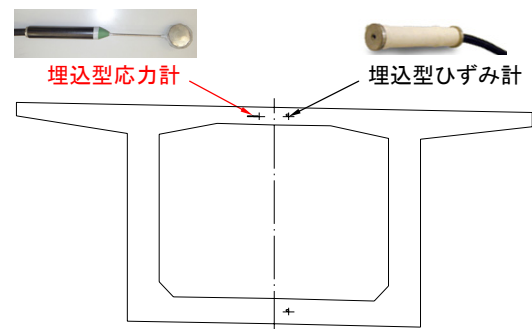


図-10 実橋での検証