

新たな埋込み型コンクリート応力計の検証試験

オリエンタル白石(株) 正会員 博(環境) ○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) 正会員 佐藤 忍
 オリエンタル白石(株) 外久保 徹

Abstract : In order to guarantee the quality of prestressed concrete structures, it is important to prestress into concrete as designed. To judge the soundness of structures and determine the maintenance schemes, it is necessary to know effective prestress in existing structures. Some sensors and methods have been developed to measure effective prestress. However, it is difficult to apply these sensors and methods. For example, some of them need skills with installation and measurement, and others are not accurate enough. Authors developed a new proto-type of embedded stress measuring sensor, and performed basic experiments to investigate applicability. A new sensor was embedded in an existing bridge, and prestress was measured. In this paper, these experimental results are described.

Key words : Prestress , Effective stress, Strain gage , Embedded stress measuring sensor

1. はじめに

プレストレストコンクリート（以下PC）構造物の建設時において、プレストレスを計画通りに導入することは、品質保証のために重要である。本来は、コンクリートの応力度を直接管理すべきであるが、一般には、PC鋼材の緊張管理を行うことでこれを担保している。供用後の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。建設時の導入プレストレスを推定するには、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含まれ、有効応力度を算定するためには、これらを分離する労力を要し、精度の低下も懸念される。直接応力度を計測できる有効応力計¹⁾も開発されているが、設置の良否に計測精度が左右されるなどの問題がある。一方、供用後のPC構造物の有効応力度推定では、フラットジャッキを利用した応力開放法²⁾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応用した応力開放法³⁾を開発しているが、微破壊が許容されない場合には適用できない。

筆者らは、新設PC構造物の建設時および長期の有効応力度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、試作を行った。ここでは、計測精度などを検討するための検証試験、および適用性を確認するための実橋への適用試験を行ったので、その概要を述べる。

2. 応力計の概要

写真-1に試作した応力計を示す。形状は、全長が220mm、幅が30mmと小型である。応力計の受感部には、銅合金であるマンガニンの抵抗素子を用いた。マンガニンは、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。これをコンクリートに埋め込むことにより、直接コンクリートの応力度を計測できる構造とした。写真の円板部分が受感部である。また、応力計に使用しているマンガニンは、温度

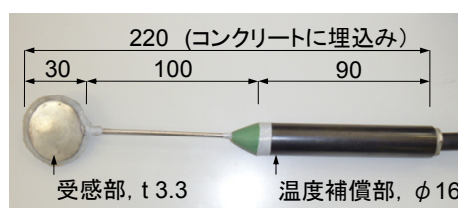


写真-1 試作した応力計の概要(単位:mm)

感度が高いという欠点があるため、本センサーは、ホイートストー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されている。写真のφ16の部分温度補償部である。

3. 検証試験

3.1 供試体

試作した応力計の計測精度や温度特性などを検証するため、プレストレスの有無および表面処理状態を変えた供試体を用いて試験を行った。試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。C-2供試体はプレストレスを約6.0N/mm²与える版状のものとし、S-1およびS-2供試体はプレストレスを与えない小型のものとした。コンクリートの配合強度は40N/mm²で、中央部に試作した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-2供試体は、アルミテープを用いて表面をシーリングした。

3.2 試験方法

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た。計測は、応力計およびひずみ計によるコンクリートの応力度およびひずみ、PC鋼棒の定着部に配置したロードセルによる緊張力、熱電対によるコンクリート温度を継続的に行った。また、温度による影響を検討する場合は、小型供試体(S-1, S-2)を恒温槽内に設置し、槽内温度を変化させて計測を行った。

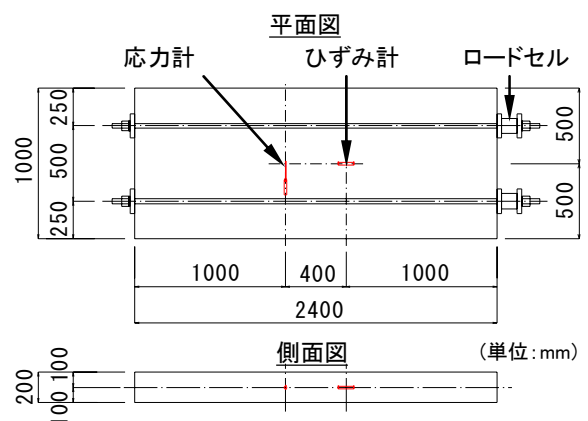
3.3 試験結果および考察

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。計測値は計算値に一致しており、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ことが検証された。また、1年経過後の緊張力開放および再導入によっても同様の精度が保たれていることが確認された。

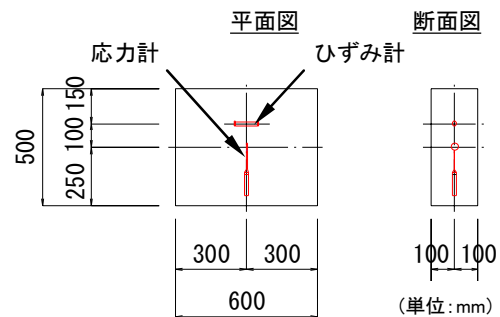
図-3は、有効プレストレスの比較である。横軸の経過時間は、プレストレス導入後の材齢である。ロードセルによる計算値が材齢の経過とともに減少していることから、クリープおよび乾燥収縮により有効プレストレスが材齢とともに徐々に減少していることがわかる。応力計による計測値は、初期材齢では計算値とほぼ一致しているが、材齢の経過とともに計算値より小さくなっている。

表-1 検証試験に用いた供試体

供試体名称	寸法(mm) 幅×長さ×厚さ	プレストレス (N/mm ²)	表面処理
C-2	1000×2400×200	6.0	シール
S-1	500×600×200	0	無処理
S-2	500×600×200	0	シール



(a) 版状供試体 (C-2)



(b) 小型供試体 (S-1, S-2)

図-1 供試体形状寸法

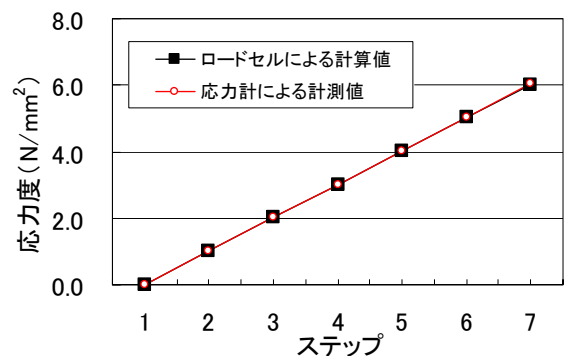


図-2 導入時プレストレス

各供試体の埋込み型ひずみ計により計測されたひずみの経時変化を図-4に示す。表面無処理のS-1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-2供試体では、ほとんど乾燥収縮が進展していない。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 200×10^{-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。C-2供試体は、シーリングを施しているため乾燥収縮はほとんど進行しておらず、クリープひずみが主体であると考えられる。

図-5は、各供試体に埋め込んだ応力計による応力度の計測値を示す。コンクリートに乾燥収縮が生じる場合、表面から進行するため、進行度合いの内外差に起因する内部拘束応力が発生することが、過去の研究³⁾で確認されている。S-1供試体はその場合にあたり、内部拘束応力が計測されているものと考えられる。しかしながら、S-2供試体では乾燥収縮がほとんど生じていないため、同図で見られる応力度は見かけの応力度、すなわち計測誤差であると考えられる。C-2供試体でも、図-3でロードセルによる有効プレストレスと比較したように、材齢の経過とともに計測値は過小評価となっているため、応力計にはS-1供試体と同様な計測誤差が発生していると考えられる。

上述の解決すべき課題には、温度補正に関する要因も含まれていると考えられる。そこで、S-2供試体を恒温槽内に設置し、温度変化を与えて計測される応力度を検証した。与えた温度は、 $-10 \sim 70^\circ\text{C}$ の範囲で、2時間で 20°C の温度変化を与えた後、22時間同一温度で保持するサイクルとした。図-6は、S-2供試体の応力度と温度の関係を示したものである。与えられた温度によらず、応力計の温度が一定値に落ち着いたときに計測される応力度が0であれば、温度補償が十分であることを意味する。試験の結果、開始温度の 10°C を中心に、温度が大きくなるにしたがって、計測される応力度の値が大きくなる傾向がある。特に、温度が 70°C で保持されている間に、応力度の大きなシフトが見られ、その後の計測値にもこのシフトの影響が残る結果となった。したがって、コンクリート中では、温度変化の影響が十分には補償されておらず、適用範囲も限られるものと考えられる。この点は、今後の検討課題の一つである。

4. 実橋への適用試験

4.1 橋梁概要

試作した応力計の適用性を検討するため、実橋のコンクリートへ埋め込んでプレストレスを計測した。対象とした橋梁は、橋長153mの3径間連続PCラーメン1

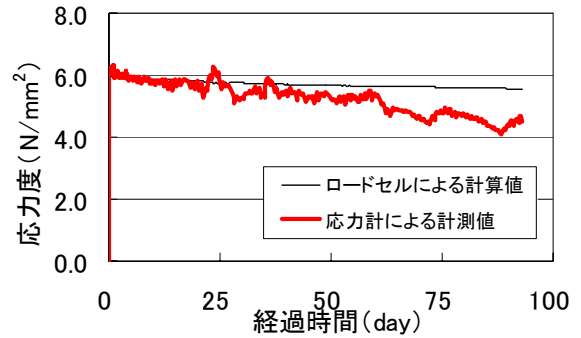


図-3 有効プレストレスの経時変化

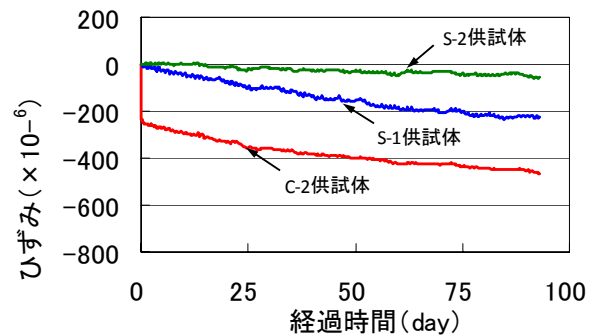


図-4 ひずみの経時変化

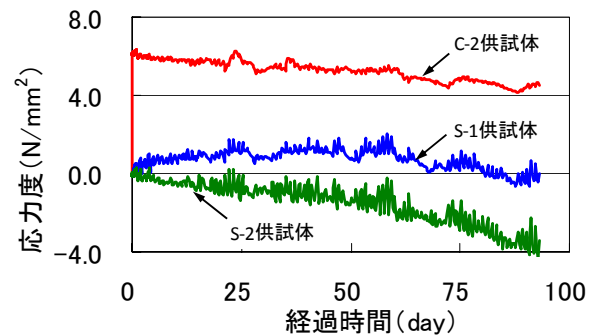


図-5 有効応力度の経時変化

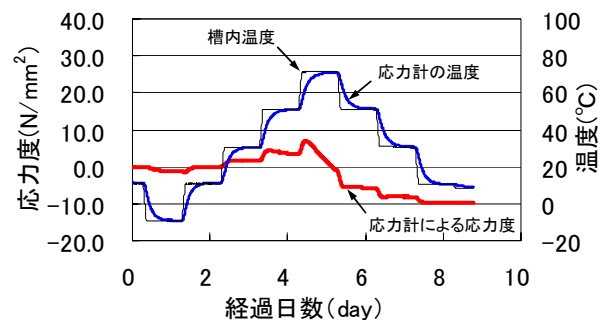


図-6 温度変化の影響

室箱桁橋で、支間は44.6m+62.0m+44.6mである。架設工法は、移動式作業車による片持ち張出しである。写真-2に橋梁の概観を示す。



写真-2 橋梁の概観

4.2 計測方法

応力計は、写真-2に示すように、P1柱頭部の中央径間側に配置した。図-7は、断面内の配置位置であるが、同図に示すように、上床版のほぼ中央に応力計を1台配置した。応力度の計測は、張出しケーブルの緊張ごとに行い、緊張前後の弾性変化量のみとした。

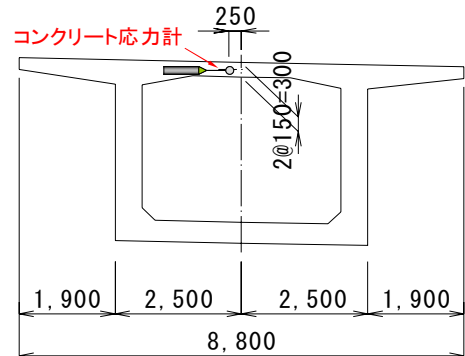


図-7 応力計の配置位置

4.3 計測結果

図-8は、各ブロックの張出しケーブルの緊張ごとに応力計によって計測された導入時のプレストレスを累計した値と設計値とを比較したものである。なお、図中の()内の数字は計測時の温度を示す。計測値は、設計値とよく一致しており、供試体のプレストレス導入時と同様に、実構造物においても、短期の弾性応力度に対しては精度よく計測できることが検証された。ただし、経時変化については、今回は未検証であり、今後の検討課題である。

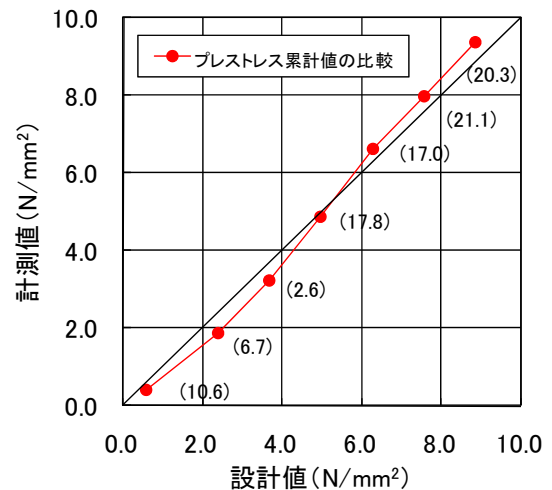


図-8 導入時プレストレスの比較

5. まとめ

弾性応力度および長期の有効応力度を計測できる、簡便で精度のよい新たな埋込み型応力計の開発を目指し、プロトタイプに応力計を試作して検証試験および実橋への適用試験を行った。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) 供試体および実橋へ応力計を適用した結果、弾性応力度に対しては精度よく計測できることが検証された。
- 2) 乾燥収縮による内部拘束応力を抑制した供試体を用いた検証試験においては、見かけの応力度すなわち計測誤差が生じており、今後解決すべき課題である。
- 3) 試作した応力計では、温度変化の影響を十分には補償できておらず、適用温度範囲を含めて今後の課題である。

以上の結果を受け、より精度のよい応力計へと改良を試みるとともに検証を進めていく予定である。

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