

コンクリート構造物の応力測定手法の省力化に関する実験的検証

東京電力(株) 正会員○佐々木建一 正会員 久保田 克寿
東電設計(株) 正会員 瀬下 雄一 正会員 溜 幸生 正会員 中川 貴之

1. はじめに

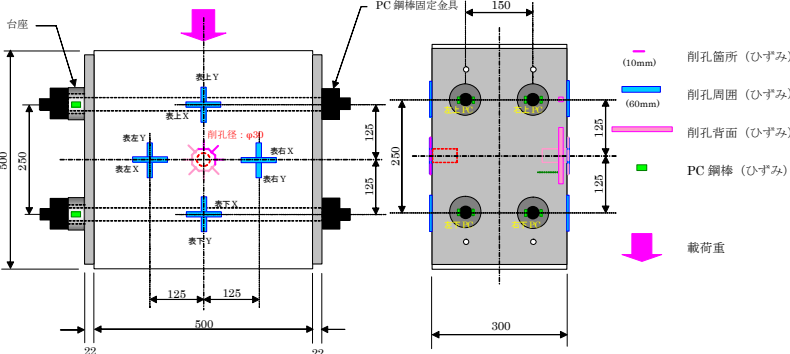
既設コンクリート構造物の応力状態を測定することで、当該構造物に作用する外力等の推定が可能となり、その構造物の耐力評価等、維持管理上有益な情報を得ることができる。筆者らは、既設コンクリート構造物の応力測定手法の一つである応力解放法¹⁾に着目し、一軸および二軸応力状態におけるコンクリート試験体の応力測定を行い、適用可能性に関し実験的検証を行ってきた²⁾³⁾。

しかし、作業条件の厳しい抜水中の水路トンネルに適用するためには、従来の応力測定手法をさらに簡素化する必要があったため、今回、円孔周りの応力集中を利用して簡素化した応力測定手法の適用可能性について、一軸および二軸応力状態のコンクリート試験体を用いた実験的検証を行った。

2. 実験方法

応力測定実験に用いたコンクリート試験体の概要を図－1に示す。試験体の大きさは、幅 500mm、高さ 500mm とし、厚さは中小規模の水路トンネル覆工コンクリート相当の 300mm とした。試験体への载荷は、水平方向は PC 鋼棒の緊張により、鉛直方向は载荷試験機により実施した。試験体に用いたコンクリート配合は表－1に示すとおりである。従来の応力測定手法では、応力解放のための円孔を直径 150mm のコアビット削孔により作成していたが、今回は削孔径を 30mm とし円孔周辺にひずみゲージを配置した。削孔径を小径化することで、手持ち式コアドリルが採用でき、応力測定作業の省力化を図ることが可能となる。実験ケースは①等方応力、②偏差応力（水平応力/鉛直応力=0.5）および③一軸応力について実施した（表－2）。最大削孔深さは、3次元 FEM 解析により検討を行い、削孔深さの影響がなくなる削孔径の 2 倍の 60mm とした。

また、従来の実験から試験体の乾燥収縮ひずみの影響が無視できないことが判明しており、別の試験体において無载荷状態における乾燥収縮ひずみを測定し、その影響を取り除いて評価した。



図－1 コンクリート試験体

表－1 試験体のコンクリートの配合

呼び強度	24 N/mm ²
粗骨材の最大寸法	20 mm
スランブ	8.0cm
空気量	4.5 %
W/C	56.5 %
セメントの種類	普通ポルトランド
単位量	W=162kgf/m ³ C=287kgf/m ³
28 日強度	31.3 N/mm ²

表－2 実験ケース (引張：正)

ケース	目標導入応力 (N/mm ²)		実験時 材令
	水平	鉛直	
1 (等方)	-4.0	-4.0	58 日
2 (偏差)	-3.5	-7.0	59 日
3 (一軸)	0.0	-7.0	58 日

3. 実験結果

図－3に一軸応力状態（ケース 1）における半径方向ひずみの経時変化例を示す。削孔位置の左右に位置する半径方向のひずみゲージ R3, R7 の挙動は、理論上は削孔箇所が上下につぶれる形に変形するため、削孔に伴って圧縮ひずみが増加する傾向を捕らえることができている。なお、図中には、削孔深さも示しており、概ね一定の速度で削孔できていることがわかる。削孔終了後もひずみが増加するものが認められているが、結果の整理においては、図－3に示すとおり削孔終了時の測定ひずみから削孔開始前の測定ひずみを差し引き削孔によるひずみ変化量として評価した。

キーワード コンクリート、応力測定、応力集中、応力解放法、水路トンネル

連絡先 〒100-8560 東京都千代田区内幸町 1-1-3 東京電力（株）建設部 TEL 03-4216-4259

このひずみ変化量は、乾燥収縮ひずみの影響分も合わせて測定されているため、別途測定した乾燥収縮ひずみの影響分を差し引き、試験体に生じている応力を推定した。従来の応力解放法による試験では、3方向ロゼットゲージにより測定されたひずみを用いて応力を算定することが多い。今回の応力測定手法では、局所的なひずみ変化を捉える可能性が高くなり、かつ、測定するひずみレベルが従来方法に比べて小さくなるため、図-4のとおり、円孔の周囲に半径方向、円周方向それぞれ45度ピッチで8個ずつ、計16個配置し、それらのひずみ変化量から応力状態を推定した。

応力状態の推定は、無限遠平板の円孔削孔前後の半径方向および円周方向のひずみ変化量が式(1)、(2)で与えられるため、測定した半径方向ひずみ増分のデータ組 $(\cos(2\theta), \Delta \varepsilon_r)$ と円周方向ひずみ増分のデータ組 $(\cos(2\theta), \Delta \varepsilon_\theta)$ からそれぞれ未知数 σ_x 、 σ_y を最小二乗法により2組ずつ求めた。また、応力推定に必要な定数については表-3に示す数値を用いた。

$$\Delta \varepsilon_r = \frac{1}{E} \left\{ - (1 + \nu) \frac{a^2}{r^2} \cdot \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \left[(1 + \nu) \frac{3a^4}{r^4} - \frac{4a^2}{r^2} \right] \cos(2\theta) \right\} \quad (1)$$

$$\Delta \varepsilon_\theta = \frac{1}{E} \left\{ (1 + \nu) \frac{a^2}{r^2} \cdot \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \left[(1 + \nu) \frac{3a^4}{r^4} - \nu \frac{4a^2}{r^2} \right] \cos(2\theta) \right\} \quad (2)$$

表-3 応力推定に用いた定数

項目	数 値	備 考
コンクリート弾性係数 E	25.9kN/mm ²	49 日圧縮強度試験
コンクリートポアソン比 ν	0.168	同上
削孔半径 a	15.0mm	円孔半径
ひずみ測定位置 r_1	22.6mm	$\Delta \varepsilon_\theta$ のデータ使用時
ひずみ測定位置 r_2	33.2mm	$\Delta \varepsilon_r$ のデータ使用時

推定応力と導入応力の比較を図-5に示す。円周方向ひずみを用いて推定した応力は、等方応力状態の水平方向応力を除き、導入応力と良く一致している。円周方向ひずみを用いた推定値が半径方向ひずみを用いた推定値よりも精度が高い理由の一つとして、本手法が円孔周辺の応力集中理論を用いており、ひずみゲージ設置位置が円孔に近いほど、より大きなひずみを測定できるためと考えられる。

4. まとめ

従来の応力測定手法の省力化を図る手法を考案し、実験的検証を行った。その結果、円孔周囲に45度ピッチで配置したひずみゲージより得られる削孔前後のひずみ変化量から、一軸、二軸応力状態のコンクリート試験体の応力状態を誤差1~2N/mm²程度で推定できた。今回は主応力方向を既知としたが、主応力方向が未知の場合でも主応力方向を仮定し試行計算を行うことにより推定可能である。

謝辞 本実験を行うにあたり、東洋大学工学部 新延泰生教授にご助力をいただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 樋口嘉剛・神田亨・三木千壽：コンクリート部材中の応力推定法，土木学会論文集 V, Vol.585, V-38, pp.11-18, 1998.
- 伊東敏彦・久保田克寿・瀬下雄一・溜幸生：大型試験体を用いた応力解放法によるコンクリート応力評価に関する実験的検証，土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集 VI, pp.287-288, 2006.
- 伊東敏彦・久保田克寿・瀬下雄一・溜幸生：二軸圧縮状態のコンクリート試験体を用いた応力解放法に関する実験的検証，土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集 VI, pp.649-650, 2007.

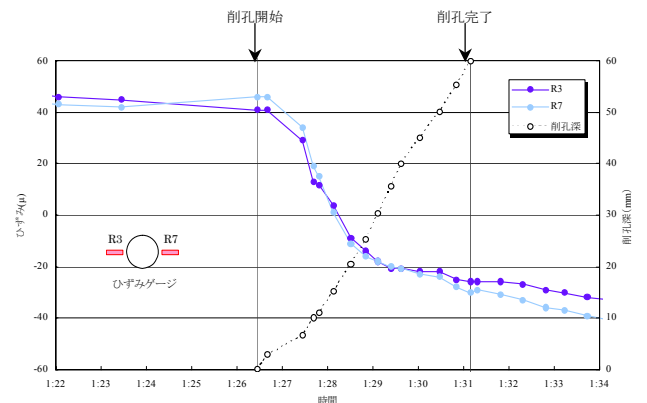


図-3 削孔中のひずみ変化（一軸載荷；半径方向）

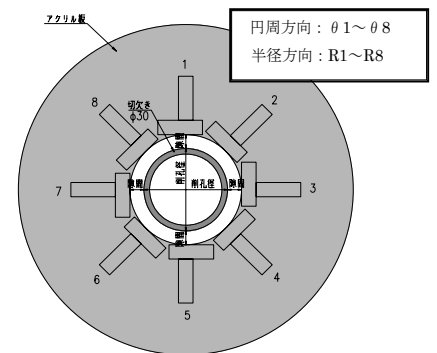


図-4 ひずみゲージ配置図

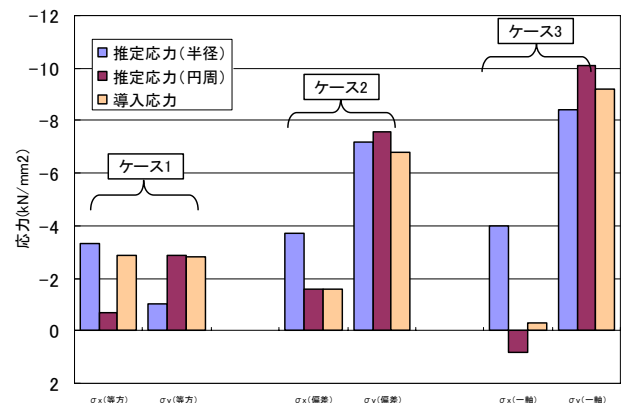


図-5 推定応力と導入応力の比較