コア削孔を用いた内部ひずみ測定手法の RC 部材への適用に関する検討

三井住友建設（株）（元富山県立大学大学院）　○佐橋 宗明（正会員）
富山県立大学　小林 勇佑　伊藤 始（正会員）
北電技術コンサルタント（株）　西野 哲史　真田 裕行

１．はじめに

既存の鉄筋コンクリート（RC）構造物の長寿命化に向けた維持管理を実施するため，現有の内部ひずみを把握することは重要である．内部ひずみの把握は，RC 構造物の構成材料が有する力学性能（内部応力）を正確に求めることができ，RC 構造物の構造性能を高い精度で評価することにつながる．この内部ひずみを測定する手法のうち微破壊で精度の高い手法として応力解放法が提案されている [1)]．

著者らは要素実験レベルで様々な拘束条件の膨張コンクリートの拘束膨張実験およびコア削孔実験を実施しており，図-1 の埋込みセンサを用いた解放ひずみの測定法を提案し，安定した解放ひずみが得られることを確認した [2)]．また，解放ひずみからコンクリート内部の鉄筋ひずみやコンクリートひずみを求める際に，鉄筋の拘束状態や部材の形状寸法が複雑であり，簡易な算定式で求めることが難しいため，3 次元応力解析を組合せて内部ひずみを推定する方法を提案した [3)]．

本研究では，埋込みセンサによるコア削孔と 3 次元応力解析を組合せた内部ひずみの推定手法の RC 部材への適用検討を目的に，壁状の RC 模型供試体の拘束膨張実験とコア削孔実験を実施した．本研究は，図-2 のようにコア削孔実験の埋込みセンサと応力解析から得られた鉄筋ひずみを，拘束膨張実験で直接計測した鉄筋ひずみと比較することで実施した．

２．拘束膨張実験とコア削孔実験

(1) RC 模型供試体の製作

RC 模型供試体は，図-3 のように 820×540×350mm の合板型枠内に異形鉄筋を配置し，膨張コンクリートを打込むことで製作した．鉄筋は直径 19 mm とし，曲げ加工して端部を溶接することで閉合した形状とした．水平方向に 640×220mm の鉄筋を 3 段配置し，鉛直方向に 400×180mm（A・E 列：160mm）の鉄筋を 5 列配置した．鉄筋には図-3 のように鉄筋ひずみゲージを配置し，その位置を水平軸 X・Y・Z 軸，鉛直列 A～E 列で表した．コンクリートの配合条件は，水結合材比 56.5%（膨張材添加量 40kg/m^3），細骨材率 45.6%，粗骨材最大寸法 25mm とした．材齢 28 日の圧縮強度は 16.5 N/mm^2 であった．

(2) 実験方法

拘束膨張実験は膨張コンクリートが膨張するときの鉄筋ひずみを測定することで行った．コンクリートの打込みから材齢 7 日に脱型を行い，21 日にインナーコアを削孔し，埋込みセンサを設置した．材齢 28 日に鉄筋ひずみの計測を終了し．アウターコアの削孔を実施した．コア削孔実験は図-3 の K-1 と K-2 の 2 ヶ所をコアドリルで削孔することで行い，削孔深さごとに埋込みセンサと鉄筋のひずみを計測した．

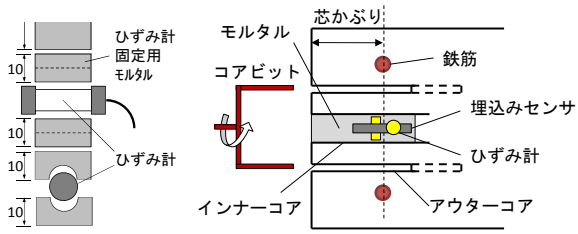

図-1　埋込みセンサを用いた解放ひずみ測定法

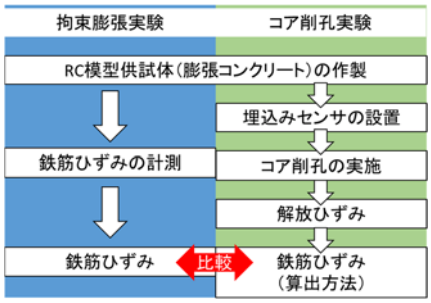

図-2　研究フロー

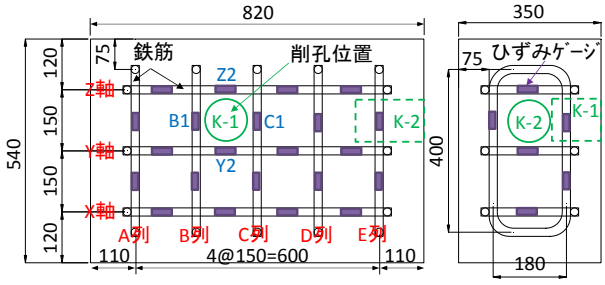

図-3　RC 模型供試体の寸法，鉄筋ひずみ位置

キーワード　解放ひずみ，拘束ひずみ，応力解放法，埋込みセンサ，3 次元応力解析
連絡先　〒939-0398　富山県射水市黒河 5180　TEL0766-56-7500

3．実験結果と鉄筋ひずみの算定

(1) 拘束膨張実験の鉄筋ひずみ

図-4 に材齢 28 日における鉄筋ひずみ分布を示す．図の横軸が供試体中心から一辺 820mm の長手方向への距離を表し，緑色の網掛けが鉛直方向の鉄筋位置を表している．網掛け上の点が鉛直鉄筋の鉛直方向ひずみであり，それ以外の点が水平鉄筋の水平方向のひずみである．鉛直方向の鉄筋ひずみは，鉄筋位置-150mm において 500～600×10^{-6} の大きい値を示した．水平方向では中央部で大きい値を示す傾向が見られた．コンクリートの膨張による鉄筋ひずみは，位置により差異があるものの，中央部で鉛直方向と水平方向で 250～500×10^{-6} と同程度の値となった．

(2) コア削孔実験の解放ひずみ

拘束膨張実験で蓄積した拘束ひずみを，コア削孔実験で解放ひずみとして測定した．図-5 に得られた解放ひずみを示す．コンクリートひずみはセンサ位置前後からコア削孔深さの増加とともに増加した．また，削孔深さがセンサ位置から離れると，ひずみの増加量が小さくなった．これらの傾向は要素実験と同じ傾向[2)]であることから，RC 模型供試体においてもひずみが適切に測定されたと判断できた．

(3) 鉄筋ひずみの比較

コア削孔実験で得られた解放ひずみから鉄筋ひずみを算定した．算定には応力解析を用い，要素はすべて弾性体とし，鉄筋はトラス要素とした．算定はコンクリート要素に任意の膨張ひずみを与え，実験の削孔位置にあたるコンクリート要素の拘束ひずみが実験の解放ひずみに一致するまで膨張ひずみを変化させ，一致したときに実験のひずみ状態とした．図-6 に実験と解析の鉄筋ひずみを示す．鉄筋ひずみは水平軸上の各測点の平均値である．

実験値は X 軸の 440×10^{-6} を除き，245～291×10^{-6}（平均値：270×10^{-6}）と安定した値が得られた．K-1 の解析値は 250×10^{-6} 前後と安定した値が得られ，実験値と同程度の値となった．K-2 の解析値は実験値に比べ 50～100×10^{-6} 小さくなった．これは削孔位置が端部であり，周囲のコンクリートの拘束が小さいことで解放ひずみが小さかったことが要因と考えられた．以上から，安定した値が得られたケースでは，コア削孔による解放ひずみからコンクリート内部の鉄筋ひずみをおおむね測定できることを確認した．

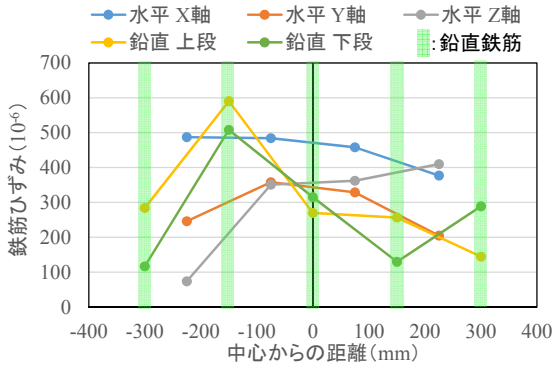

図-4 鉄筋ひずみ分布

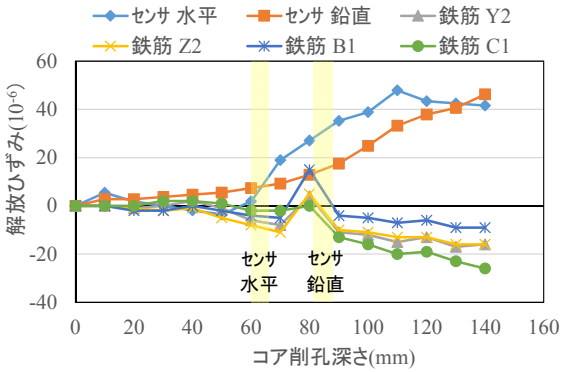

図-5 解放ひずみ（削孔位置：K-1）

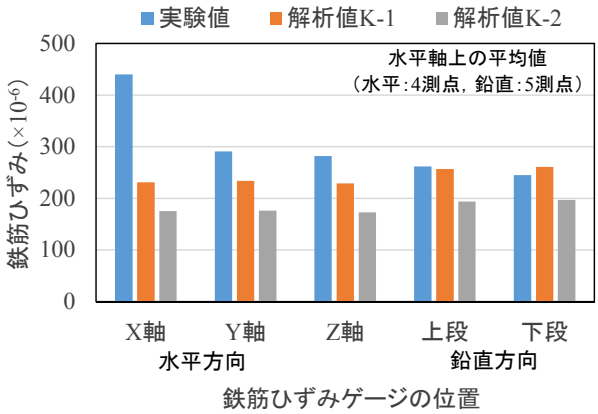

図-6 鉄筋ひずみの実験値と解析値の比較

4．まとめ

(1) コア削孔実験の結果から，解放ひずみの傾向は要素実験と同様であり，RC 模型供試体でも解放ひずみが適切に測定できることを確認した．

(2) 鉄筋ひずみの比較から，実験の 1 測線の鉄筋ひずみを除き，コア削孔による解放ひずみからコンクリート内部の現有の鉄筋ひずみをおおむね測定できることを確認した．

参考文献

1) 樋口，神田ら：コンクリート部材中の応力推定法，土木学会論文集，No.585/V-38，pp.11-18，1998
2) 若井，伊藤ら：埋込みセンサを用いた膨張コンクリートの解放ひずみ測定に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.1，pp.367-372，2013
3) 佐橋，伊藤ら：鉄筋で拘束された膨張コンクリートの解析によるひずみ挙動の検討，土木学会年次学術講演会概要集，V-270，pp.539-540，2014