

応力状態に依存した内部膨張ひずみを考慮した RC 部材の解析

名古屋大学大学院 学生会員 ○澤部 純浩
 名古屋大学大学院 正会員 中村 光
 名古屋大学 F10-会員 田辺 忠顕

1. はじめに

近年、アルカリ骨材反応によるコンクリート構造物の損傷が多数報告されており、内部膨張を考慮した構造物の損傷予測が急務となっている。アルカリ骨材反応によるコンクリートの内部膨張は、鉄筋による拘束等に依存することが知られているが¹⁾、内部膨張が構造物に及ぼす影響については、解析的に殆ど評価されていない。そこで本研究では、3次元有限要素法を用いて、内部膨張ひずみを考慮した解析を行い、内部応力状態がコンクリート表面ひずみおよび鉄筋ひずみに及ぼす影響を評価した。

2. 解析手法

本研究では、構成則に格子等価連続体モデル²⁾を用いた3次元有限要素法により解析を行った。等価一軸応力-ひずみ関係は、引張領域では1/4モデル($G_F = 100 \text{ N/m}$)を、圧縮領域では圧縮強度までを2次放物線としたモデルを用いた。鉄筋はトラス要素により離散的にモデル化し、リンク要素により付着の影響を考慮した。

3. 実験概要および解析概要

アルカリ骨材反応によるコンクリートの内部膨張を反応性骨材を用いて模擬的に再現した実験¹⁾を解析対象とした。実験供試体の概要を図-1に示す。供試体は、直角方向には帯鉄筋 D13 が配置され、上下2段に配置された軸方向鉄筋は、下段の鉄筋を D13 と一定とし、上段の鉄筋量を D6, D10, D13 と変化させたものであり、上段鉄筋の鉄筋量により上部軸方向の膨張が卓越するようにされている。

解析は実験供試体の対称性を考慮して1/4モデルを用いて行い、境界条件としては、各境界面、および下面中央を鉛直方向に固定とした。

4. 等方的な膨張ひずみを与えた解析

全コンクリート要素の全ガウス点に逐次的に一樣で等方的な膨張ひずみを与えることで、コンクリートの内部膨張を再現する解析を行った。膨張ひずみは図-2に示すように鉄筋を配置していない供試体より得られた自由膨張量により与えた。図-3に150日後における側面軸方向の上下部の表面ひずみの差を示す。実験結果では上段の鉄筋比が小さいほど表面ひずみの差が大きくなるという傾向が見られ、上下段で鉄筋量が等しい場合は、殆ど差が生じず、膨張量が鉄筋拘束の影響を顕著に受けることが分かる。一方、解析結果では、鉄筋比の相違による上下段のひずみ差は殆ど生じておらず、またその絶対値もかなり小さい値となった。図-4に解析より得られた側面のひずみゲージ貼付位置における軸方向の応力状態を示す。上下の鉄筋比が異なるモデルでは上部において引張、下部において圧縮の応力が発生しており、上下の応力に差が生じていることが確認される。また、上下の鉄筋比の差が小さいほど、応力の差も小さくなり、鉄筋量が等しい上段鉄筋 D13 の場合は、ほぼ同一の値となっている。このことは、実験値と同様な挙動を再現するためには、等方的な膨張ひずみモデルは不適切であり、応力状態に依存した膨張ひずみを与える必要

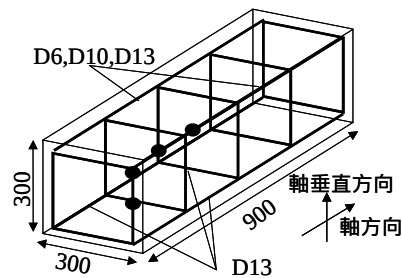


図-1 実験供試体の概要

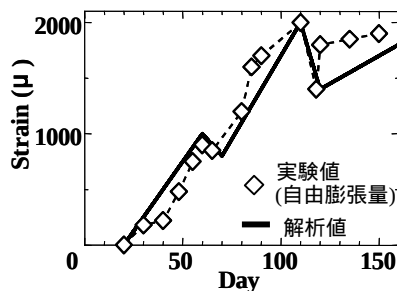


図-2 与えた膨張ひずみ

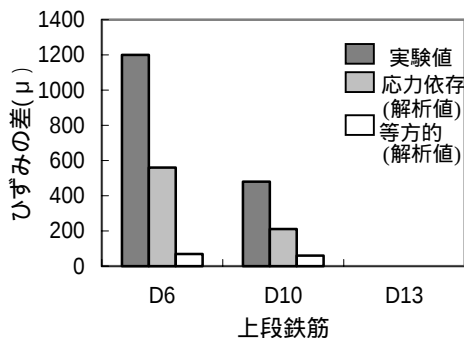


図-3 表面ひずみの差

キーワード 内部膨張ひずみ, 鉄筋比, 鉄筋ひずみ

連絡先

〒464-8603 名古屋市千種区不老町

名古屋大学

TEL052-789-5478

性を示すものと考えられる。

5. 応力状態に依存した膨張ひずみを与えた解析

応力状態に依存した膨張ひずみを以下のように算定し，応力状態の影響を解析的に評価した．主応力方向に対する単位立方体に対し，等方的なひずみ ε_0 を既知量と考えた場合と，各主応力方向に $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ を与えた場合の体積は，高次項を無視すると式（1）のようになる．

$$V = (1 + \varepsilon_0)(1 + \varepsilon_0)(1 + \varepsilon_0) = 1 + 3\varepsilon_0 \quad (1)$$

$$V' = (1 + \varepsilon_1)(1 + \varepsilon_2)(1 + \varepsilon_3) = 1 + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$$

$V = V'$ とすることで膨張後の体積は応力状態によらず一定， $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ は式（2）のように応力状態に比例すると仮定する．

$$\varepsilon_1 : \varepsilon_2 : \varepsilon_3 = 1 - \alpha \frac{\sigma_1'}{f_c} : 1 - \alpha \frac{\sigma_2'}{f_c} : 1 - \alpha \frac{\sigma_3'}{f_c} \quad (2)$$

ここで $\sigma_i \geq 0$ のとき， $\sigma_i' = 0$ として圧縮側の応力値のみを評価した．また α は応力への依存度を示す係数であり，本解析では $\alpha = 10$ とした．式（1），（2）より各ガウス点ごとに応力状態に依存した主応力方向の膨張ひずみを求めることが出来る．

図-3 に解析結果を示す．等方的な膨張を仮定した場合は，鉄筋量の影響は見られなかったが，応力状態に依存したモデルを用いることで，上下の鉄筋比が異なることによるひずみの差が生じ，実験値と同様の傾向が確認される．以上より，応力状態に依存した膨張ひずみを与えることで実験と同様な傾向を予測することが可能であると考えられる．但し，値としては実験値の方が大きなひずみの差が生じ，今回仮定したモデルでは未だ不十分と考えられ，更なるモデルの検討が必要となる．

6. 鉄筋のひずみ分布

図-5 に 150 日後における上段鉄筋 D6 の供試体の図-1 中に示す からの位置の軸鉄筋曲げ加工部付近の鉄筋のひずみ分布を示す．実験結果では鉄筋曲げ加工部（ ）において，それ以外の箇所に比べ局所的な引張ひずみが生じている．等方的な膨張を与えた解析結果では，曲げ加工部におけるひずみの局所化は確認されず，，， の位置でほぼ同様の値となった．一方，応力状態に依存した膨張を与えた解析結果では実験結果と同様，曲げ加工部において局所的なひずみが発生する傾向が予測された．したがって，曲げ加工部における局所的なひずみを評価する場合でも，応力状態に依存した膨張モデルを用いることが必要であることが分かる．

7. まとめ

応力状態に依存した膨張ひずみを与えることで実験と同様なコンクリート表面および鉄筋に発生するひずみの傾向を予測することが可能である．今後，内部膨張ひずみの算定において応力状態への依存度を正確に把握し，実現象をより忠実に予測可能な膨張モデルを開発する必要がある．

8. 参考文献

- 1) 中島俊和，久保善司，鳥居和之：ASR 膨張がコンクリート構造物の鉄筋に与える影響，コンクリート工学年次論文集 Vol.25，No.1，pp1535-1540，2003
- 2) 牧真也，Kongkeo P. 伊藤睦，田辺忠顕：三次元格子等価連続体化法による PC 定着部の破壊解析，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.25，No.2，pp967-972，2003.7.

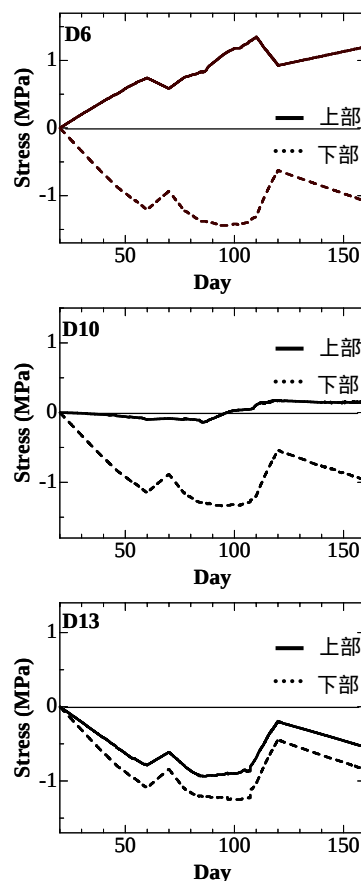


図-4 側面軸方向応力状態

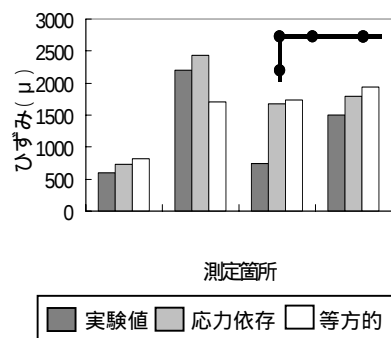


図-5 鉄筋ひずみ