

立命館大学理工学部 学生員○蓑島美峰 理工学研究科 学生員 日比野憲太 正会員 鈴木宏信
立命館大学理工学部 正会員 高木宣章 正会員 児島孝之

1.はじめに

近年、ASR 膨張により橋脚およびフーチング内部の鉄筋の曲げ加工部が破断した事例が報告されており、拘束条件下にあるコンクリート構造物内部での劣化進行状態の的確な把握が望まれている。本研究では、鉄筋コンクリート構造物をメゾレベルでの微小構造物として捉え、格子モデルを用いて解析を行い、コンクリート構造物内部での詳細な ASR の膨張挙動に関する検討を行った。モルタルと粗骨材（以下、骨材）の界面に生じるアルカリシリカゲル（以下、ゲル）は接合要素を用いて表現し、骨材界面直交方向に初期変位を与えることにより、その膨張挙動を模擬した。

2.解析概要

(1) 格子モデル

図1に本解析で用いた平面格子モデルを示す。1つの平面格子モデルは、6つのトラス要素から構成されており、1つのトラス要素の断面積を式(1)とした。

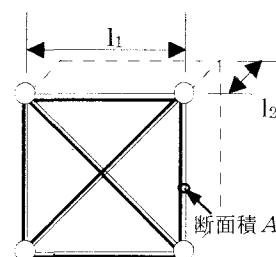
(2) 構成要素の力学的特性

表1にモルタル、骨材、ゲルおよび鉄筋の力学的特性を示す。ゲルの剛性は、既往の研究¹を参考に仮定した。モルタルの応力-ひずみ関係は、圧縮および引張域ともに凸型の二次曲線で表現し、鉄筋にはバイリニアモデルを用いた。

また、鉄筋の付着特性には、既報告²で提案した付着応力-すべりおよび支圧応力-変位関係を用いた。さらに骨材およびゲルは線形弾性として扱った。

(3) 解析モデル

図2に解析モデルの詳細図、図3に解析モデルを示す。モルタルおよび骨材は各々の材料特性をもつ平面格子モデル、鉄筋は梁要素、鉄筋とモルタル間の付着は接合要素を用いて表現した。また、ゲルはモルタルと骨材の界面に接合要素を挿入することにより表現し、界面直角方向に初期変位を与えることにより、その膨張を表現した(図4)。



$$A = \frac{l_1 \times l_2}{2 \left(1 + \frac{1}{2\sqrt{2}} \right)} \quad (1)$$

図1 平面格子モデル

表1 使用材料の力学的特性

	圧縮強度 MPa	引張強度 MPa	降伏強度 MPa	弾性係数 MPa
モルタル	49	8.8	—	24.5×10^3
粗骨材	—	—	—	58.8×10^3
ゲル	—	—	—	842
鉄筋	—	—	294	206×10^3

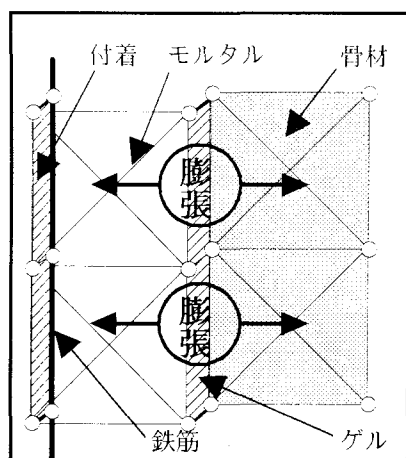


図2 解析モデル詳細図

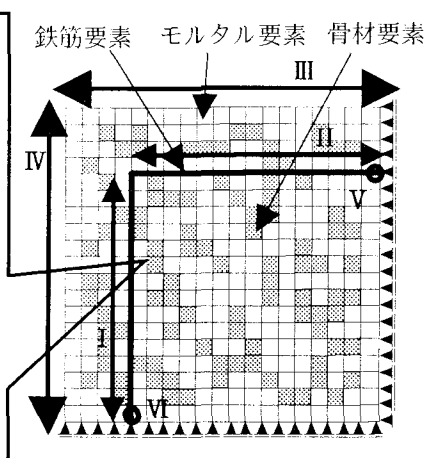
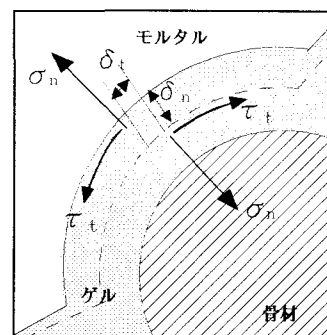


図3 解析モデル



$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_n \\ \tau_t \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} B_m & 0 \\ 0 & B_n \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_n \\ \delta_t \end{Bmatrix} = [D]\{\delta\}$$

図4 ゲルの膨張機構

また、ゲルの反応リングの初期幅は 0.5 mm とした。供試体の対称性を考慮して 1/4 のモデルを採用し、その寸法を 50×50mm、奥行きを 10mm、1つの平面格子モデルの幅を 2.5mm とした。内部ひずみは (I),(II)、表面ひずみは (III),(IV) の区間での解析モデルの変形の平均値、鉄筋ひずみは (V),(VI) でのひずみの平均から算出した。骨材要素の配置はランダムに決定し、全要素数に対しておよそ 30% になるように配置した。

3. 結果と考察

図 5 にモルタルのひずみ分布、図 6 に供試体表面、内部および鉄筋ひずみを示す。ここで、図中の ε はゲルの膨張ひずみを示す。

拘束の有無に関わらず、骨材域および骨材と鉄筋間は圧縮応力状態となり、その直交方向にポアソン効果により引張力が作用している。さらに、鉄筋比 1.0% と比較して拘束なしでは、表面近傍に多くのひび割れが発生しており、表面ひずみに差が生じている (図 6)。表面近傍のひび割れは、内部膨張により引き起こされるため、鉄筋比 1.0% の場合、内部膨張を拘束する鉄筋の拘束効果によって (図 6)、表面近傍に生じる引張応力が軽減されたため、この様な差が生じたと考えられる。

図 6 より、表面ひずみと内部ひずみに顕著な差は見られない。本解析で得られた各種ひずみは、骨材配置に大きく影響を受けるため、ひずみを算出する区間によってばらつきが大きい。さらに、本解析では、全てのゲルを一樣に膨張させており、供試体表面に生じる乾燥収縮あるいは供試体内部での水分移動などを考慮していない。そのため、表面ひずみと内部ひずみに顕著な差が生じなかったものと考えられる。

図 7 に鉄筋の曲げ加工部での鉄筋断面応力分布、図 8 に供試体変形図を示す。図 8 から ASR により生じた内部膨張によって、鉄筋ははらむような変形を生じるが、曲げ加工部に生じる変形は少なく、曲げ加工部を押し広げるような変形が生じている。そのため、図 7 に示すように曲げ加工部内側には大きな引張力が作用しているものと考えられる。

4. 結論

- (1) コンクリートを微小構造として捉え格子モデルを用い、ゲルを接合要素として表現することで、拘束下にある ASR 膨張が生じたコンクリート内部の挙動をある程度模擬することができた。
- (2) 供試体内部での膨張により、曲げ加工部を支点に鉄筋を押し広げるような変形を受けるため、鉄筋の曲げ加工部内側には大きな引張力が作用すると考えられる。

参考文献：1) LESLIE J. STRUBLE, SIDNEY DIAMOND, Swelling Properties of Synthetic Alkali Silica Gels, journal of the American ceramic society Vol.64.No.11. 2) Takayuki Kojima, Nobuaki Takagi and Kenta Hibino, DEVELOPMENT OF A DISCRETE BOND LINKAGE ELEMENT BETWEEN CONCRETE AND REINFORCING BAR, Second international conference engineering material, Vol. I, pp.315-326, 2001.8

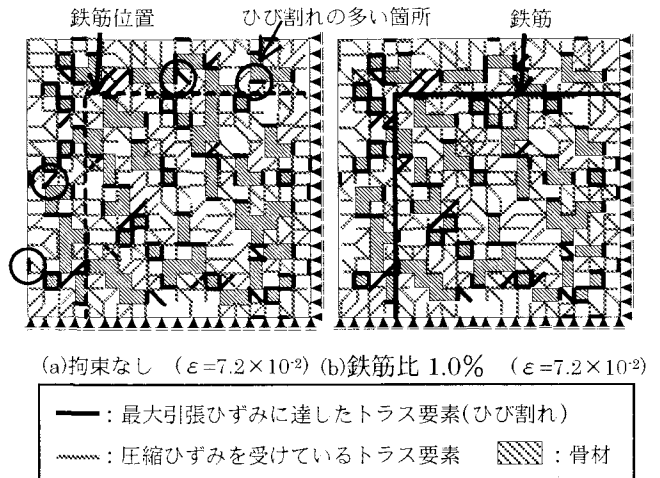


図 5 モルタルのひずみ分布

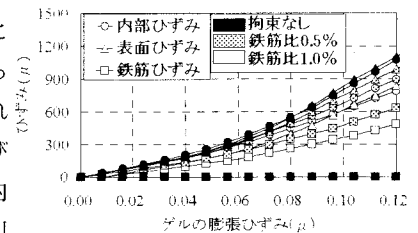


図 6 各種ひずみ

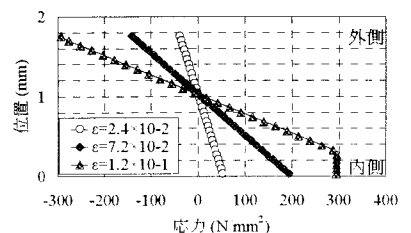


図 7 鉄筋断面応力分布
(鉄筋比 0.5%)

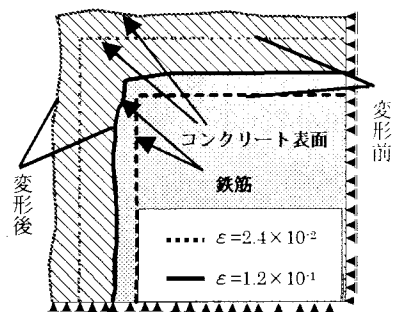


図 8 供試体変形図(鉄筋比 0.5%)