

断面の膨張パターンと変形状に關する数値解析的検討

東京大学大学院 学生会員 ○酒井 雄也

東京大学生産技術研究所 正会員 岸 利治

1. はじめに

コンクリート構造物の隅角部において、ASR 膨張による鉄筋破断が報告されている¹⁾。しかし構造物表面のひび割れ性状から鉄筋破断の有無を判定する手法や、効果的な対策等は確立されておらず、ASR 膨張による鉄筋破断シナリオにも不明な点が多い。本検討では離散解析手法の1つである剛体ばねモデル(RBSM)を用いて、部材断面を対象として ASR 膨張条件と損傷プロセスとの関係を検討した。

2. 解析概要

(1) 構成則

RBSM は離散化された要素間に設置されたバネにより応力を伝達する解析手法である。それぞれの要素間には垂直バネおよびせん断バネが設置されている。本検討ではコンクリートをモルタル、粗骨材の二相系とみなした。図 1 に垂直バネの構成則を示す。(a)はモルタル要素同士及びモルタル要素とそれ以外の要素との界面、(b)は鉄筋要素同士の構成則である。(a)では垂直バネは圧縮域で弾性挙動を示し、引張側では終局引張ひずみの半分を超えた時点でひび割れが生じたとみなし、応力は減少に転じる。終局引張ひずみに至った時点で応力は 0 となる。(b)では垂直バネは圧縮域で弾性挙動を示し、引張側では降伏ひずみを超えた場合、剛性を 100 分の 1 とした。せん断ばねには弾塑性挙動を導入し、降伏値はモルクーロン型の基準により決定される。図 2 にせん断バネの構成則と降伏基準を示す。入力定数は Nagai ら²⁾の検討を参考にして決定し、バネ定数は平面ひずみ条件に基づいて算出した。入力定数を表 1 に示す。

(2) 解析モデル

長さ 1150mm 幅 1150mm の 2 次元モデルを用いて解析を実施した(図 3)。使用要素は円形とし、まずモルタル要素(直径 10mm)を最密充填配置した後、面積比 40%を粗骨材要素(直径 25mm)とランダムに置換することでコンクリートモデルとした。鉄筋は、円形の鉄筋要素(直径 7mm)を直径 21mm となるように並べ、これを四角形状に配置した。この場合、2 次元モデルでは鉄筋比が高くなる(6.9%)ことから、鉄筋要素のヤング係数を 6,000MPa とすることで、鉄筋比を 0.2%相当とした。曲げ半径は 1.5d である。残留応力や初期欠陥は考慮していない。ASR 膨張は粗骨材要素を膨張させることにより表現しており、膨張量は 20 μ /step とした。検討は 全ての粗骨材を膨張、内部のみ膨張、外部から順に膨張の 3 ケースを対象とした。では中央の 400 $\times$ 400mm の領域を膨張し、では初めに外縁部から 100mm の領域を膨張し、50 ステップごとに膨張領域を 100mm ずつ内側に移動した。

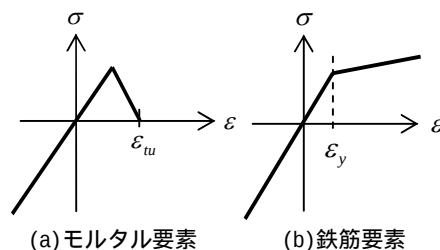


図 1 垂直バネの構成則

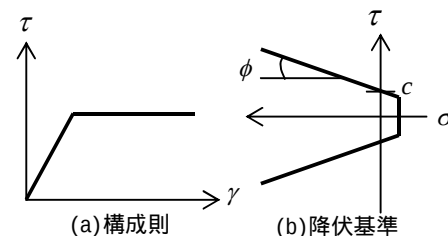


図 2 せん断バネの構成則

表 1 入力定数

モルタル要素	
弾性係数 E_m	20,000MPa
ポアソン比 ν_m	0.18
終局引張ひずみ ε_{tu}	0.0004
粗骨材要素	
弾性係数 E_g	50,000MPa
ポアソン比 ν_g	0.25
モルタル要素と他の要素の境界	
粘着力 C	3.0MPa
粒子間摩擦角 ϕ	35°
終局引張ひずみ ε_{tu}	0.0004
鉄筋要素	
弾性係数 E_s	6,000MPa
ポアソン比 ν_s	0.3
降伏ひずみ ε_y	0.002

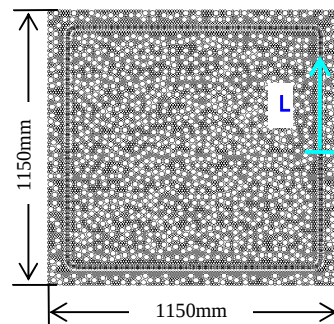


図 3 解析モデル

キーワード ASR、アルカリ骨材反応、鉄筋破断、RBSM、剛体ばねモデル

連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 生産技術研究所 Be407 岸研究室 TEL 03-5452-6098 (Ex.58090)

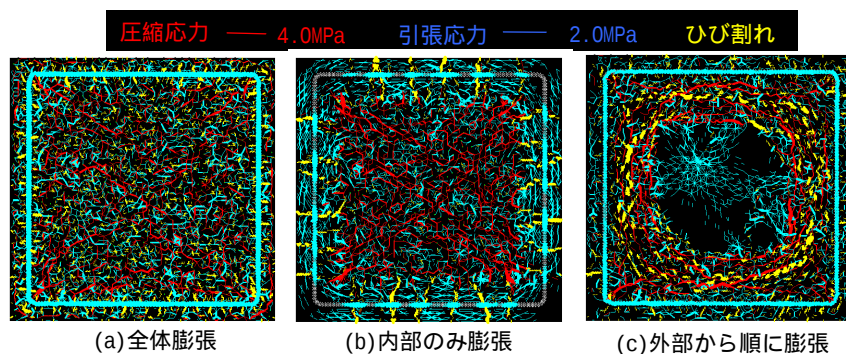


図4 応力およびひび割れの分布

緑：全体膨張 青：内部のみ膨張
赤：外側から順に膨張

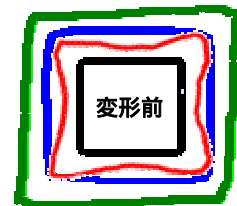
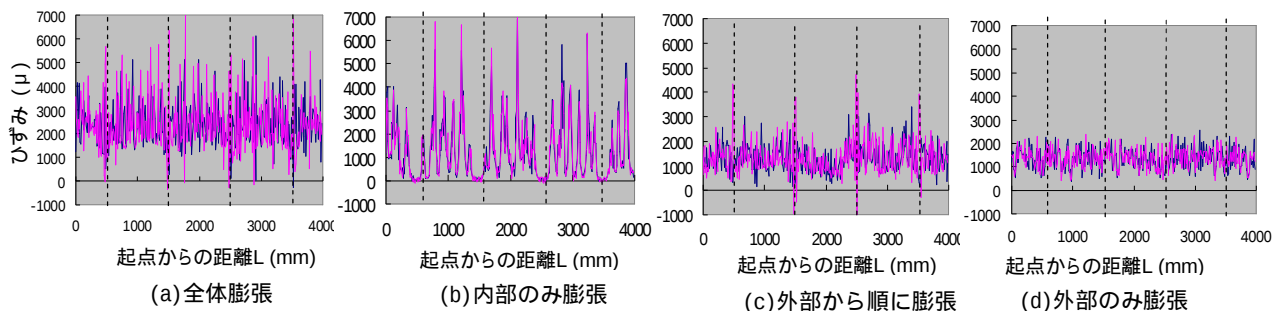
図5 鉄筋形状の変化
(変形は500倍表示)

図6 鉄筋に沿ったひずみ分布 (青：鉄筋内側, 赤：鉄筋外側)

3. 解析結果

150 ステップ目(導入されたひずみは3000μ)における解析結果を図4~6に示す。図4は応力分布とひび割れを示しており、図中の青は引張、赤は圧縮応力を、黄はひび割れを表す。線が太いほど応力の絶対値が大きく、凡例の線は最も細い線を示す。図5は鉄筋の変形図であり、黒が変形前、他の色が変形後(500倍表示)を示す。図6には、鉄筋に沿った距離L(図3参照)とひずみとの関係を示す。青が鉄筋の内側の、赤が外側のひずみをそれぞれ表している。また図中の点線は隅角部の位置を示している。全体を膨張させた場合、全体的に圧縮と引張が混在した応力分布となり、鉄筋に垂直なひび割れが発生した(図4(a))。図5より、鉄筋はその形状を保ったまま膨張変形していることが確認できる。内側のみを膨張させた場合、周囲に引張応力が導入され、放射状にひび割れが発生し(図4(b))、鉄筋ははらみ出すように変形した。外側から徐々に膨張させた場合には、図4(c)に示すように、膨張部には圧縮応力が導入されるが、その内側には引張応力が生じており、内部に円状のひび割れが発生した。変形形状をみると、隅角部が押し出されるような変形が生じている。鉄筋に沿ったひずみを見ると、全体を膨張させた場合には、全体的にひずみが生じた(図6(a))が、内部を膨張させた場合にはひび割れ部にひずみが集中した(b)。一方、外部から順に膨張させた場合には鉄筋のひずみは隅角部において最大となる分布となった(c)。外側のみ(中央の400×400mmの領域外)を膨張させたケースも検討したが、隅角部への集中は生じなかった(d)。このように、膨張領域のみでなく、膨張のプロセスにより部材の変形形状及び鉄筋のひずみ分布が変化する可能性が示された。

4. まとめ

本研究で得られた結論を以下に纏める。1)膨張性状(領域, プロセス)により応力分布や断面の変形形状および鉄筋のひずみが増加した。2)本検討では外側から順に膨張させた場合に隅角部にひずみが集中した。

構造物のサイズや暴露条件及び透水性の違いによって膨張性状や損傷シナリオが異なる可能性があり、ASR膨張の検討においては膨張条件を適切に設定する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会：アルカリ骨材反応対策小委員会報告書—鉄筋破断と新たな対応—、コンクリートライブラリー124、2005.8
- 2) Kohei NAGAI, Yasuhiko SATO and Tamon UEDA: Mesoscopic Simulation of Failure of Mortar and Concrete by Failure of Mortar and Concrete by 2D RBMS, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.2, No.3, pp.359-374, 2004.10