

鉄筋の腐食ひび割れ解析のための腐食膨張モデルの検討

名古屋大学

河村 圭亮

名古屋大学大学院 正会員

中村 光, 国枝 稔, 上田 尚史

1. はじめに

鉄筋の腐食による鉄筋コンクリートの劣化過程のうち、潜伏期・進展期に対しては多くの研究が行われているが、コンクリートにひび割れが生じた後の劣化状態である、加速期・劣化期に対しては研究が少ないのが現状である。しかしながら、劣化した構造物の維持管理計画を立てる際は、加速期・劣化期まで含めた評価技術が必要である。そこで本研究では、腐食膨張によるコンクリートのひび割れ進展を評価する技術を確立するための基礎的な研究として、構造解析における腐食膨張圧のモデル化の検討を行った。

2. 解析手法

本研究では、構造解析手法としてひび割れを直接的に可視化できる 3 次元 RBSM を用いた¹⁾。要素分割はひび割れの発生・進展挙動の要素形状依存性を低減するために、Voronoi 多角形分割を用いた。各要素は図 - 1 に示すように 6 自由度を持つ剛体と仮定し、要素間の境界面重心と境界面頂点からなる三角形の重心に、垂直バネおよびせん断バネを配置した。

コンクリートの材料特性は、垂直バネについては、圧縮領域では圧縮強度まで Saenz の式に従い、その後は圧縮終局ひずみまで直線軟化するモデルを用い、引張領域については 1/4 モデルの引張軟化曲線を用いた。せん断バネについては、コンクリートのせん断伝達機構のモデルとして、モール・クーロン型の破壊基準を用いた。

3. 解析モデル

本解析では、荒木らが行った弾性体を用いた腐食模擬実験²⁾を対象とした。供試体は図 - 2 に示すような、内部に空洞が設けられた 400×150×150mm の角柱供試体であり、かぶり 10mm と 30mm の供試体を解析対象とした。コンクリートの材料諸元は、実験結果を参考にヤング係数を 23.6(GPa)、引張強度を 2.1(MPa)、圧縮強度を 21.4(MPa)、引張破壊エネルギーを 0.07(N/mm)とした。法線方向の膨張圧の与え方として、一様な膨張変位を与える手法（変位制御）および一様な内圧を与える手法（荷重制御）の二つの手法を用いた。

4. 内圧をコンクリートに直接作用させるモデルの解析結果

解析モデルとして、空洞の内部から直接内圧を作用させるモデルでの検討を行った。図 - 3 に表面ひずみの最大値が約 1000 μ のときのかぶり表面の高さ方向のひずみ分布を示す。荷重制御による解析では、供試体内部にひび割れが発生した時点で、解析不能となったが、変位制御では実験値とほぼ一致している。ひび割れ性状については、かぶり 10mm の実験結果では、かぶり表面に軸方向ひび割れが発生したのち、鉄筋から斜め方向に進展するひび割れによりかぶりが剥離する、剥離破壊と報告されている。一方、解析結果では図 - 4 に示すように、軸方向のひび割れのみが進展する割裂破壊性状を示し、実験とは異なる結果となった。したがって、内圧を直接作用させるモデル化は本手法においては必ずしも適切なものではないと考えられる。

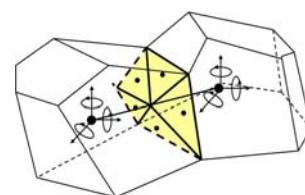


図 - 1 剛体要素の自由度と要素境界面上の評価点

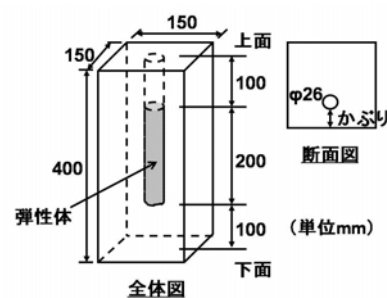


図 - 2 供試体概要

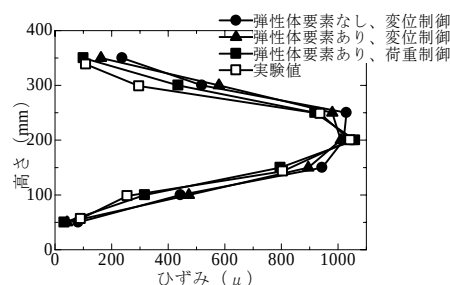


図 - 3 表面ひずみ分布
(かぶり 10mm)

5. 内圧をコンクリートに間接的に作用させるモデルでの解析結果

4章の結果を踏まえて、図-5に示すような弾性体の層状要素をモデル化し、空洞側から変位制御および荷重制御を行うことで、コンクリートに間接的に内圧を作用させるモデルにより解析を行った。図-3に表面ひずみ分布を示すが、いずれのモデルも実験値とほぼ一致している。

供試体内部でのひび割れ性状および解析終了時点での変形図を図-6および図-7に示す。図-6はかぶり10mm、図-7はかぶり30mmの結果である。図中の緑色は垂直バネの応力が引張強度に達した面、黄色は応力が引張強度の1/4まで低下した面、赤色は応力が0まで低下した面をそれぞれ表している。かぶり10mmの場合、実験におけるひび割れ進展は4章で述べた通りであるが、解析においては変位制御、荷重制御とも軸方向ひび割れと斜め方向でひび割れの進展が見られ、実験で観測された剥離ひび割れ性状を再現していると考えられる。最終的な変形状態からも軸方向ひび割れとともに、かぶり全体が押し出される変形性状を示していることがわかる。かぶり30mmの場合は、実験では軸方向ひび割れの発生後、側面の軸方向ひび割れおよびかぶり表面の断面方向ひび割れが発生する押し抜き破壊であったと報告されている。解析では、いずれのモデル化でも同様のひび割れを再現していることがわかる。

かぶり10mmの解析における、供試体高さ中央位置でのコンクリートに作用する内圧と表面ひずみの関係を図-8に示す。なお、内圧はコンクリートと弾性体の境界面でのバネの圧縮応力を平均化したものを示した。実験では最大内圧約4MPaが計測されている。内圧変化の特徴としては、○の時点は、鉄筋周辺からかぶり方向へのひび割れが発生する時点、△の時点は、かぶり表面が引張強度に達する時点、□の時点は、かぶり表面のひび割れ部で引張応力を受け持たなくなった時点である。実験結果でも同様の挙動が考察されており、傾向としては一致したものとなっている。荷重制御と変位制御を比べると、荷重制御の方が小さな内圧となった。内圧の値は異なる結果となり、内圧分布は、内圧を与える方法で異なるため、どのような方法で内圧を作用させることが妥当かは今後詳細に検討する必要がある。

6. まとめ

本研究では腐食膨張モデルとして間接的に内圧を与える手法での検討を行ったところ、実験同様のひび割れ性状が得られた。しかし内圧の作用方法により、内圧分布が異なることから、より詳細な検討を今後進める必要がある。

参考文献

- 1) 山本佳士ほか：剛体バネモデルによる高速載荷を受けるRC梁のせん断破壊解析，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No3，pp.805-810，2007
- 2) 荒木弘祐ほか：コンクリート中の鉄筋腐食膨張モデル化と実験・解析手法，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，第4巻，pp.25-32，2004.10



図-4 軸方向ひび割れ

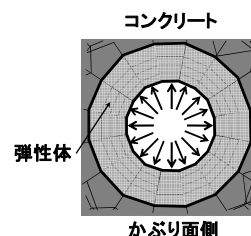


図-5 弾性体要素

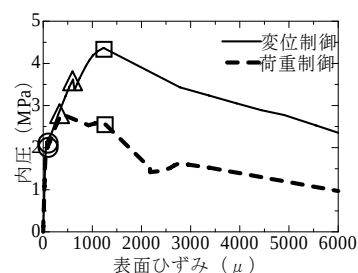


図-8 内圧と表面ひずみの関係

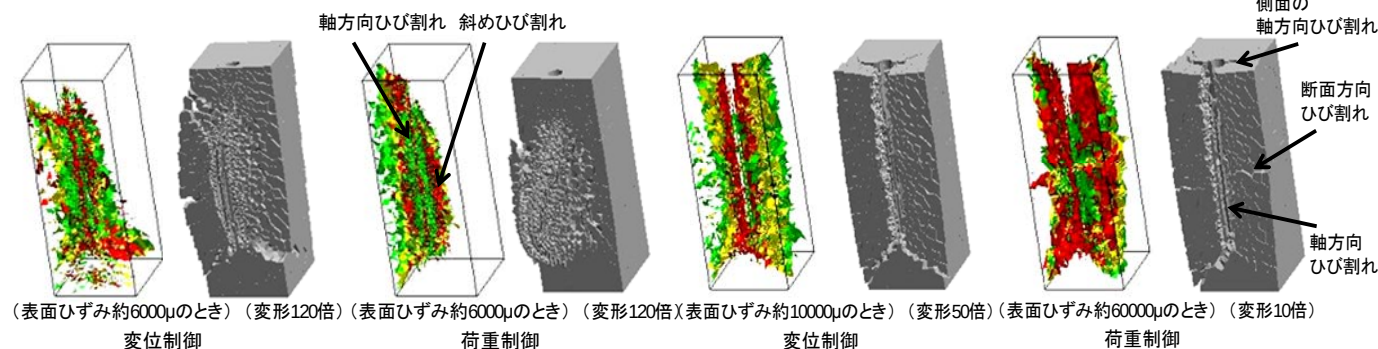


図-6 ひび割れ図および変形図 (かぶり 10mm) 図-7 ひび割れ図および変形図 (かぶり 30mm)