

鉄筋の腐食膨張圧のモデル化に関する研究

名古屋大学大学院 学生会員 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

コンクリート構造物の早期劣化の要因の1つに鉄筋腐食が挙げられる。鉄筋腐食による構造物の劣化過程のうち、潜伏期・進展期に比べ、表面にひび割れが生じた後の加速期・劣化期についての研究はあまり行われていない。しかし、劣化した構造物の補修計画を立てる際には、鉄筋腐食によりひび割れがどのように進展していくかを予測することが望まれている。そこで、本研究では腐食ひび割れ進展解析への適用を目的として、構造解析における腐食膨張圧のモデル化方法を提案し、その妥当性についての検証を行った。

2. 解析手法

解析手法にはひび割れの発生・進展挙動を直接表現可能な3次元剛体バネモデルを用いた。各要素は6自由度を持つ剛体と仮定し、図-1に示すように要素境界面に複数の評価点を設けた。各評価点には、圧縮・引張挙動を表現する垂直バネ、およびせん断すべり挙動を表現するせん断バネを配置した。また、要素分割にはひび割れの発生・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。

コンクリートの材料特性は、圧縮領域では圧縮強度まで2次曲線を用い、引張領域では、引張強度まで線形で、その後は軟化曲線に1/4モデルを用いた。また、せん断伝達機構のモデル化にはモール・クーロン型の破壊基準を用いた¹⁾。

3. 解析モデル

本研究では図-2に示すようなかぶり10mmおよび30mmの角柱供試体を解析対象とした。コンクリートの材料諸元は、弾性係数を23.6GPa、引張強度を2.1MPa、圧縮強度を21.4MPa、引張破壊エネルギーを0.07N/mmとした。なお、解析モデルは荒木らにより行われた弾性体を用いた腐食膨張圧の模擬実験²⁾で用いられた供試体と同様の寸法である。荒木らの実験で観察された破壊形態は図-3に示すように、かぶり10mmのときは剥離破壊、かぶり30mmのときは押し抜き破壊であったと報告されている。

4. 腐食膨張圧のモデル化

腐食膨張圧は既往の研究の多くは、鉄筋周囲に一樣な膨張圧を与えるようにモデル化されている。そこで、鉄筋部分を空洞とし、内側から一樣な膨張変位を作用させる解析を行った。図-4にかぶり10mmのときのひび割れ性状を示すが、かぶり表面に軸方向のひび割れのみが生じ、実験とは異なる結果となった。これは変位制御による解析では膨張変位が常に等しいため、ひび割れ発生後にかぶり

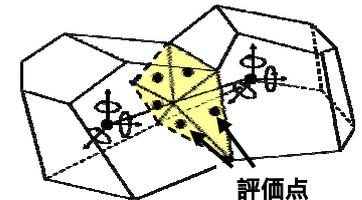


図-1 3次元剛体バネモデル

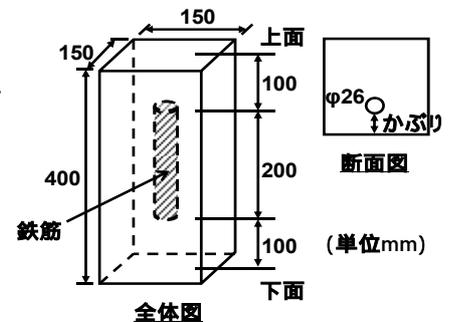
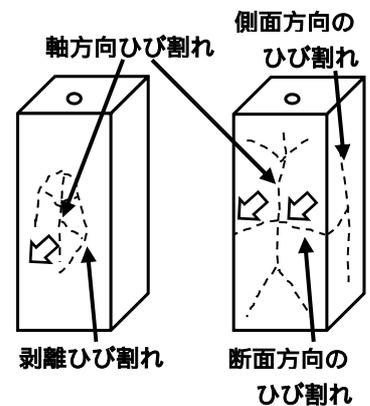


図-2 仮定した供試体



(a)かぶり10mm (b)かぶり30mm

図-3 実験でのひび割れ性状



図-4 ひび割れ性状

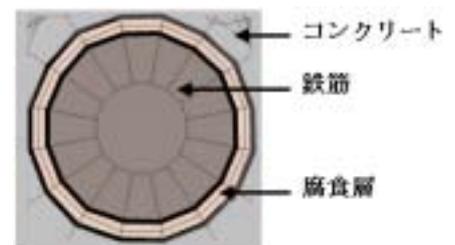


図-5 腐食層のモデル

キーワード 鉄筋腐食, 膨張圧, 剛体バネモデル, ひび割れ進展

連絡先 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町 工学部9号館526号室 TEL 052-789-4484

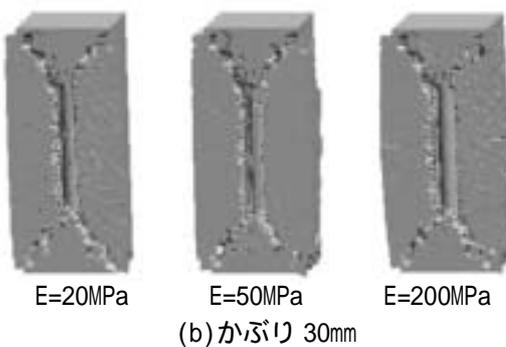
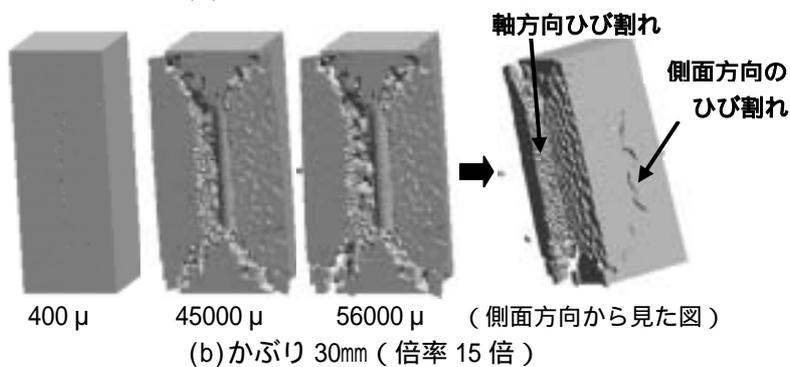
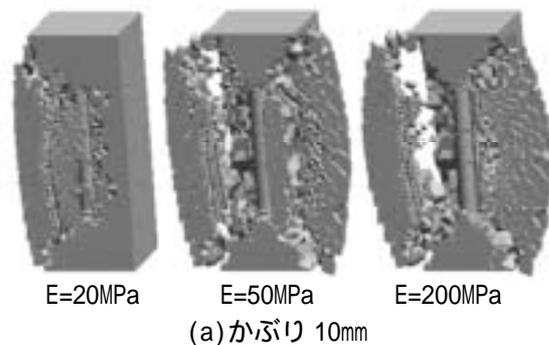
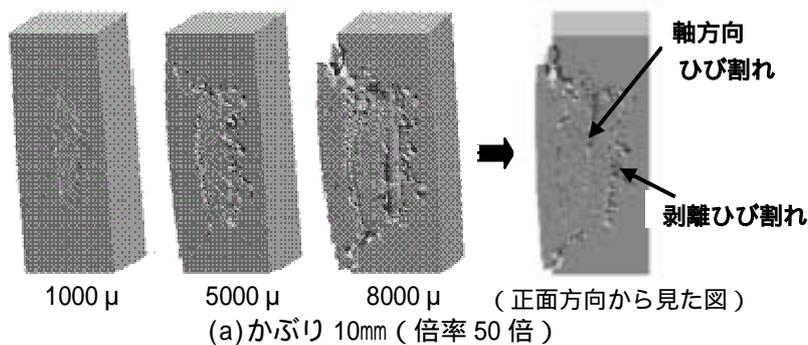


図 - 6 表面ひずみと変形図

図 - 7 腐食層のヤング係数の影響

面側の変形が卓越する挙動を表すことができないためである．したがって一様な膨張変位を与えるモデル化は必ずしも妥当なものではないと考えられる．

そこで、図 - 5 に示すように、鉄筋とコンクリートの間に腐食層をモデル化し、鉄筋と腐食層の要素境界面上に配置されている垂直バネに一樣な漸増する膨張ひずみを初期ひずみとして作用させることで腐食膨張圧のモデル化を行った．実際の腐食層のヤング係数は、未だ明確になっていないが、次章に示す検討結果より、本解析では 20MPa と仮定した．図 - 6 に、高さ中央位置におけるかぶり表面のひずみの値（表面ひずみ）に対応する変形図を示す．かぶり 10mm のときは、かぶり表面に軸方向ひび割れが生じた後、剥離ひび割れが生じ、かぶり面が剥れる挙動を示した．かぶり 30mm のときは、かぶり表面に軸方向ひび割れが生じ、拡大していく挙動を示した．また、側面方向にもひび割れが生じた．これらはいずれも弾性体を用いた実験と同様の挙動を示しており、本モデル化手法の妥当性が示されたと考えられる．

5. ひび割れ挙動に及ぼす腐食層のヤング係数の影響

腐食生成物のヤング係数は、既往の研究³⁾では様々な値が報告されている．そこで、ヤング係数がひび割れ性状に及ぼす影響について検討するために、腐食層のヤング係数を 20, 50, 200MPa と仮定して解析を行った．図 - 7 に膨張ひずみの等しい時点における変形図を示す．かぶり 30mm の解析ではいずれの場合も同様のひび割れ性状となった．一方、かぶり 10mm の解析では、ヤング係数を 50, 200MPa とする場合には剥離挙動を示さず、軸方向ひび割れが卓越するひび割れ性状となった．腐食時の破壊形態が腐食生成物のヤング係数に大きく依存することから、腐食ひび割れ解析においては腐食層のヤング係数を適切に評価する必要があると考えられる．

6. まとめ

本研究では、鉄筋とコンクリートの間に腐食層をモデル化し一様な膨張ひずみを作用させる腐食膨張モデルの提案を行った．その結果、かぶり厚の違いによりひび割れ性状が変化する挙動を概ね妥当に評価することができた．なお、ひび割れ性状は腐食層のヤング係数に依存することが示され、腐食層のモデル化についてより詳細な検討が必要であると考えられる．

参考文献 1) Saito, S.: Fracture analyses of structural concrete using spring network with random geometry, Doctoral thesis, Kyushu University, 1999 2) 荒木弘祐ほか：コンクリート中の鉄筋腐食膨張圧モデル化と実験・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，pp25-32，2004 3) 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の耐久性力学，pp132，2007