

剛体バネモデルを用いた構造解析モデルによる腐食ひび割れ進展解析

名古屋大学 学生会員 ○石黒 裕崇

名古屋大学大学院 正会員 中村 光, Di Qiao, 山本 佳士, 三浦 泰人

1. はじめに

有限要素法などの構造解析モデルにより鉄筋コンクリートの腐食ひび割れ解析を行う場合、一般に、鉄筋も腐食層もコンクリート同様に領域を有する要素としてモデル化をする^{1) 2)}。例えば著者らの剛体バネモデルを用いた解析では²⁾、図-1に示すように鉄筋と腐食層をモデル化することで、腐食ひび割れ進展挙動や腐食量と表面ひび割れ幅の関係を妥当に再現することに成功している。しかし、腐食ひび割れの進展と同時に構造物レベルの挙動を解析する場合、このようなモデル化は、煩雑となることや、要素数が莫大な数になって計算負荷が大きくなるといった難点がある。そこで、本研究では3次元剛体バネモデル²⁾において、鉄筋を離散鉄筋としてはり要素でモデル化し、通常の構造解析モデルの中で腐食ひび割れ進展解析を行う方法を提案し、その適用性について検討を行った。

2. 離散鉄筋はり要素用いた剛体バネモデルの腐食膨張モデルの提案

本研究では、鉄筋はり要素を用いて離散鉄筋要素でモデル化する。はり要素を用いる場合、要素モデルに領域としての断面積の概念はないため、図-1に示すように鉄筋領域表面での腐食膨張を与えることができない。しかしながら、腐食ひび割れパターンは、かぶりと鉄筋径に依存することが知られており³⁾、鉄筋断面積の概念は重要である。そこで、図-2に示すように、はり要素を中心として、使用した鉄筋の断面積に対応する仮想の鉄筋断面エリアを考え、その仮想鉄筋断面内の剛体要素の垂直バネに腐食生成量に応じた初期ひずみを与えることで、腐食膨張の再現を試みた。

3. 解析概要

本研究では、河村らによって行われた実験⁴⁾を対象とし、腐食ひび割れ進展解析を行った。対象とした供試体は異形鉄筋 D19 が純かぶり 30mm で 1 本または 2 本配置されたものである。鉄筋 1 本のものは断面 150×150mm、鉄筋 2 本のものは断面 150×300mm であり、ともに奥行き長さは 300mm である。供試体断面の概要を図-4に示す。解析モデルは、平均要素寸法を 5mm とした。また、解析負荷を少なくし、要素数を低減するために、モデルの奥行き長さを 10mm とし、面外方向への変形を防ぐために、要素を供試体奥行き方向で固定した。図-5に単鉄筋供試体解析モデルの概要を示す。鉄筋図心位置である供試体上面から 39.5mm、断面幅方向中心に離散鉄筋はり要素を配置して直径 19mm の円形を仮想鉄筋領域とした。また、ヤング係数の影響を検討するため、膨張を与える領域のコンクリート要素のヤング係数が、コンクリート部分の要素と同じものと、その 1/10 としたものの 2 ケースの解析を行った。

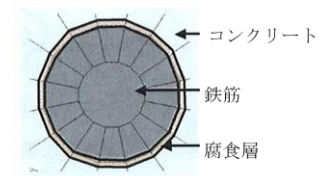


図-1 剛体バネモデルによる鉄筋のモデル化²⁾

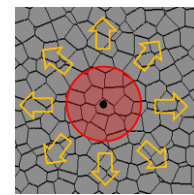


図-2 腐食膨張モデル概要

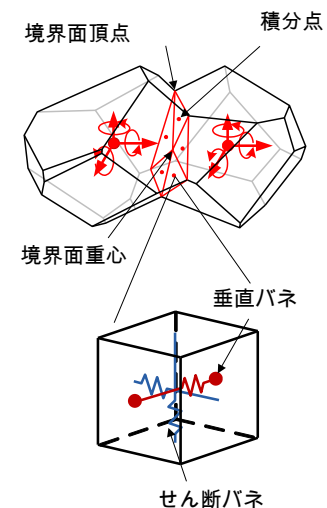


図-3 剛体要素間のバネ

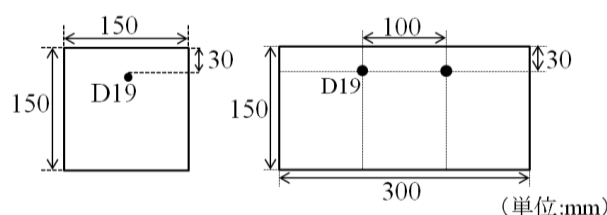


図-4 供試体概要

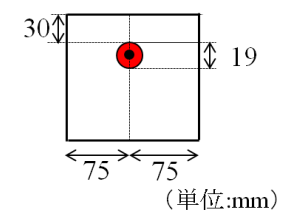


図-5 解析モデル概要

4. 解析結果

図-6に単鉄筋供試体の解析で得られた表面ひび割れ幅-腐食量関係と、河村らの実験結果を示す。図より、今回提案した腐食膨張モデルによって得られた表面ひび割れ幅と腐食量の関係が、実験結果に近いものであることがわかる。ヤング係数の影響については、ヤング係数を小さくすることで表面ひび割れ発生時の腐食量が大きくなる。ただし、表面ひび割れ発生後の挙動の影響は小さいと考えられる。図-7に解析より得られた図-6中の(a)~(d)点における、モデル中央断面のひび割れ図を示す。ひび割れは0.1mm以上のものを表示している。ひび割れの進展挙動は、最初かぶりから鉄筋に向かって進展し(a)，その後鉄筋から水平あるいはある程度角度を持ったひび割れが進展していく。この挙動は実験で得られたひび割れパターンと傾向が一致するものがある。弾性係数の影響については、ひび割れパターンが大きく変化することは無かった。同様に複鉄筋供試体のひび割れ進展挙動を見ると、複鉄筋供試体のひび割れ進展挙動は、初めにかぶりから鉄筋に向かって進展し、その後、鉄筋間をつなぐようなひび割れが発生する。その後は鉄筋から水平もしくは鉛直方向のひび割れが進展していく。なお、鉛直方向のひび割れが徐々に水平方向に進展することは、解析上下面を完全固定としたことによるものと考えられる。これを考慮すると、複鉄筋供試体の場合も実験値を再現しているものと考えられる。

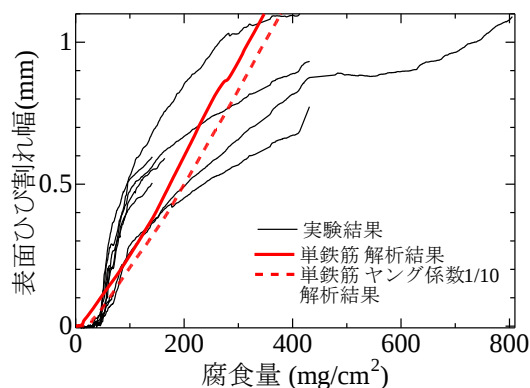


図-6 表面ひび割れ幅-腐食関係

鉄筋数	弾性係数	(a)	(b)	(c)	(d)	実験値
1 本	コンクリートの弾性係数					
	コンクリートの弾性係数の10分の1					
2 本	コンクリートの弾性係数					

図-7 解析値と実験値のひび割れ図

ひび割れ幅（青色：0.1-0.125mm，水色：0.125-0.15mm，緑色：0.15-0.175mm，黄色：0.175-0.2mm，赤色：0.2mm）

5. まとめ

本研究では、三次元剛体バネモデルを用いて、腐食ひび割れ進展解析と、構造解析を同時に行うために、離散鉄筋でモデル化したはり要素を中心として、仮想の鉄筋断面エリアを考えて、腐食膨張量を導入する方法を提案し、その適用性を検討した。提案モデルによって、離散鉄筋はり要素でモデル化した場合に、腐食ひび割れの進展を解析的に評価することができることを示した。今後は、構造物レベルの挙動に適用し、その妥当性について検討を行う。

参考文献

- 1)前川宏一ほか：Multi-chemo physical approach to life-cycle assessment of structural concrete and soil foundation, IBRACON Structural Journal Volume2, Number3 pp.293-311, 2006
- 2)Di Qiao ほか：experimental and analytical evaluation of concrete cover spalling behavior due to local corrosion, 土木学会構造工学論文集, pp707-714, 2015
- 3)堤知明ほか：腐食ひび割れの発生機構に関する研究, 土木学会論文集, No.532/V-30, pp.159-166, 1996
- 4)河村圭亮ほか：鉄筋腐食に伴うコンクリートの表面および内部ひび割れ進展挙動, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.1007-1012, 2010