

# 上面鉄筋が腐食した RC 床版の腐食ひび割れ進展と耐荷力の解析的評価

名古屋大学大学院 学生会員 ○石黒 裕崇

名古屋大学大学院 正会員 中村 光, 山本 佳士, 三浦 泰人

独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 非会員 中野 昂人

## 1. はじめに

コンクリート構造物の挙動は引張側の軸方向鉄筋と密接な関係があるため、引張鉄筋の腐食による構造性能への影響は数多く検討されている。これに対し、耐荷力への寄与分が小さい圧縮鉄筋の腐食が構造性能に及ぼす影響を評価した検討例は少ない。当研究室で行った圧縮鉄筋を電食によって腐食させた RC 床版の実験では、圧縮鉄筋の周囲に水平方向の腐食ひび割れが生じ、RC 床版の押抜きせん断耐力に影響を及ぼすという知見を得ている<sup>2)</sup>。このような挙動を数値解析的に評価するためには、腐食ひび割れ進展解析と、荷重載荷解析を組み合わせた解析を行う必要がある。そこで、本研究では、ひび割れを精度よく評価可能な3次元剛体バネモデル<sup>3)</sup>を用いて、腐食ひび割れ進展解析を行い、同時に荷重を作用させた構造解析を行う方法を提案し、その手法の適用性を検討した。

## 2. 解析手法

腐食ひび割れ進展解析を行うためには、一般には鉄筋・腐食層・コンクリートの3相構造<sup>3)</sup>あるいは、鉄筋・コンクリートの2相構造でモデル化し、膨張力を与える解析が行われる。しかしその場合は、鉄筋を直接ソリッド要素でモデル化する必要があり、多数の鉄筋が配置された構造物では、モデル化の複雑さとともに計算コストがかかり、一般的なコンピューターによる解析は現実的ではない。そこで鉄筋は、従来の構造解析と同様にトラス要素でモデル化し、ボロノイ分割によりランダム要素形状を持つ剛体バネモデルに対し以下の考え方で膨張力を与える手法を用いた。図-1の赤色で示す領域を仮想鉄筋領域とする。仮想鉄筋領域は、トラス要素を中心として実際に使用した鉄筋と同様の径の円とする。そして、領域の中に含まれるコンクリート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、腐食膨張を再現した。

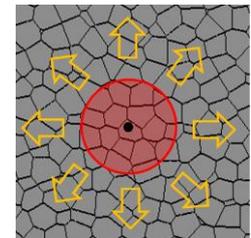


図-1 腐食膨張モデル概要

## 3. 実験および解析概要

当研究室で行った実験<sup>2)</sup>を対象とし、解析を行った。対象とした供試体は図-2に示すような1200×1200mm、高さ85mmの複鉄筋2方向スラブである。鉄筋はD10(SD295A)を用い、図-2のように主筋と配力筋が配置されている。実験では、供試体中央部に330×330mmの水槽を設置し、通電時間を変化させた電食によって鉄筋腐食を生じさせた。異なる通電時間に対する主筋・配力筋の平均腐食率は1.9, 2.6, 5.2, 9.3%であった。電食は同一通電時間に対し2体行い、1体は電食後中央断面で切断し内部ひび割れ進展挙動を確認した。残りの1体は1000×1000mmの4辺単純支持で、供試体中央部において100×100mmの鋼板を介して載荷を行った。載荷試験後は、供試体を切断し内部ひび割れを確認した。解析モデルは、計算コストや要素数を低減するために、対称性を考慮した1/4モデルとした。要素寸法は、最小で10mm、最大で20mmとなるように勾配をつけてモデル化した。

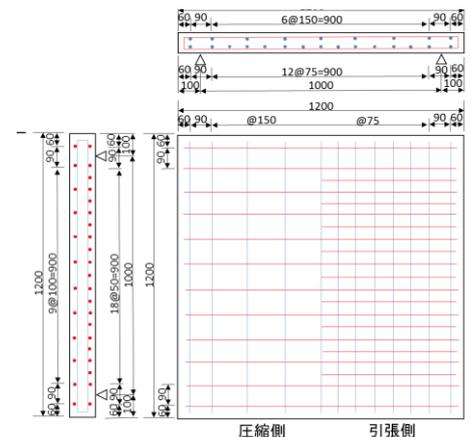


図-2 供試体概要

キーワード 剛体バネモデル, RC 床版, 鉄筋腐食, 水平ひび割れ, 押抜きせん断耐力  
 連絡先 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町 名古屋大学 9号館 526 TEL 052-789-4484

### 4. 腐食ひび割れ進展解析結果

図-3 に供試体切断面の腐食ひび割れの様子を示す。図は、実験結果については腐食量の小さい1.9%と、ある程度腐食した5.2%の結果を示し、解析結果については実験と概ね等しい腐食量を想定した膨張力を与えた場合の結果を示す。実験では上面鉄筋間の水平ひび割れの進展が観察され、解析ではひび割れ進展挙動を概ね妥当に再現できているといえる。しかし、実験の腐食率1.9%では水平につながらないひび割れが生じているのに対し、解析の腐食率2%では水平につながるひび割れが生じている。また、解析の6%と実験の5.2%を比較すると、解析の6%の方がより多くのひび割れが進展していることが分かる。これは本研究で用いた腐食ひび割れ進展解析手法が簡便な手法であるためと考えられ、その精度向上が今後の課題である。

### 5. 荷重解析結果

図-4 に解析、実験より得られた荷重-変位関係を示す。図より、健全供試体において押抜きせん断耐力が妥当に評価できていることが確認できる。しかし、初期剛性は解析値の方が大きな値となった。これは解析では支点鉛直方向の要素境界条件を固定としたが、実験では浮き上がりが確認されており、境界条件の違いが一つの原因として考えられる。また、解析において腐食した供試体のポストピーク挙動が、延性的な挙動となっており実験のような急激な荷重低下を再現できていない。提案手法の適用性を高めていくために、これらは今後の検討課題としたい。

図-5 に荷重後の内部ひび割れ性状を示す。実験では、腐食ひび割れが存在することで水平な腐食ひび割れと荷重荷重による斜めのひび割れが干渉し、押抜きせん断破壊に伴う斜めひび割れ進展角度が小さくなり、進展長さが長くなるという挙動が確認された。解析においてその傾向は再現できたと言える。図-6 に押抜きせん断耐力と、腐食量の関係をプロットしたグラフを示す。図より、腐食率の増加に伴って、押抜きせん断耐力が低下していく傾向を妥当に示している。腐食ひび割れ進展解析と荷重解析を統合した本手法の有用性が示された。

### 6. まとめ

本研究では、腐食ひび割れ進展解析と荷重を作用させた構造解析を同時に行う手法を提案し、RC床版の上面鉄筋の腐食ひび割れ進展と耐荷力の解析的評価を行うことで手法の適用性を検討した。鉄筋をトラス要素でモデル化した簡便な腐食膨張モデルを用いて、計算コストを増やさずに実験で確認された水平な腐食ひび割れが再現できることを示した。また、上面鉄筋の腐食率の増加に伴って、RC床版の押抜きせん断耐力が低下する傾向を確認することができた。今後は、提案手法の更なる適用性向上のための検討を行っていく予定である。

#### 参考文献

- 1) 高橋良輔：圧縮主鉄筋の腐食ひび割れがせん断圧縮破壊挙動に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.2，pp.475-480，2014
- 2) 中野昂人：上面鉄筋の部分腐食により損傷を受けたRC床版の耐荷力評価，名古屋大学大学院工学研究科，修士論文，2015
- 3) 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，pp.707-714，2015

| 解析-腐食ひび割れ図 | 実験-腐食ひび割れ図 |
|------------|------------|
| 2%         | 1.9%       |
| 6%         | 5.2%       |

図-3 腐食ひび割れ進展 0.2(mm) 0.1(mm)

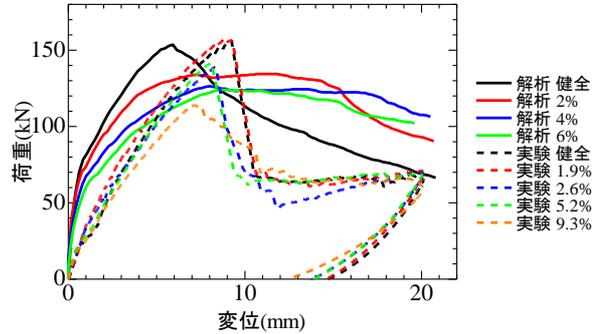


図-4 荷重-変位関係

| 解析-荷重後 | 実験-荷重後 |
|--------|--------|
| 健全     | 健全     |
| 2%     | 1.9%   |
| 6%     | 5.2%   |

図-5 荷重後の内部ひび割れ

0.2(mm) 0.1(mm)

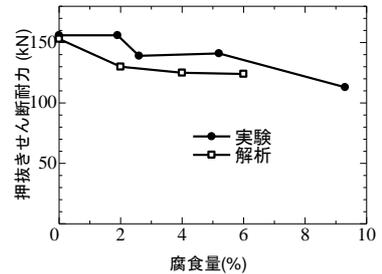


図-6 押抜きせん断耐力-腐食量関係