

三次元フリーメッシュ法による鉄筋腐食膨張に伴うコンクリートのひび割れ解析

琉球大学 正会員 ○山城 建樹 琉球大学 正会員 松原 仁
琉球大学 正会員 伊良波 繁雄 琉球大学 正会員 富山 潤

1. 目的

鉄筋コンクリートが塩害や中性化等の要因により腐食し錆による体積膨張を起こすとコンクリートにひび割れが生じる。ひび割れの発生により腐食はさらに促進され、ひび割れの増加やコンクリートの剥離へ発展する。本研究は三次元フリーメッシュ法¹⁾を用いた、コンクリート内部の鉄筋自体の腐食膨張によるひび割れ解析を行った。

2. フリーメッシュ法

FMM は、図-1 に示すように解析領域内に配置された各節点(中心節点)ごとに、その付近の節点(衛星節点)を集めてローカルな領域で一時的に四面体要素を作成する。これらの一時的な四面体要素の要素剛性マトリックスから中心節点に寄与する行成分のみを全体剛性マトリックスに足し合わせる。これを全ての節点で行い、全体剛性マトリックスを作成し、連立一次方程式を解く。このように FMM はローカルな要素生成、全体剛性マトリックスの作成及び求解までをシームレスに行うことができる。

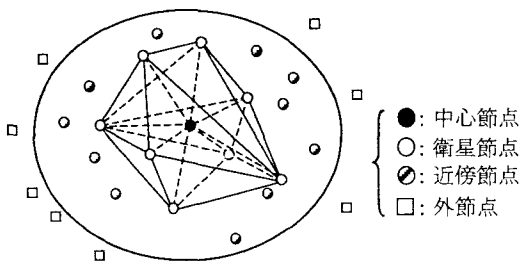


図-1 局所要素概念図

3. 鉄筋腐食膨張解析

3. 1 異種材料の考慮方法

本解析では鉄筋の腐食により生成される錆の体積膨張を単純に鉄筋自体の膨張と仮定した。求解法として用いたフリーメッシュ法は、局要素生成のアルゴリズム上、要素に異種材料値を持たせるのが困難

なため、本解析では図-2(a)に示すように解析モデル内の鉄筋設置方向に垂直な断面に対して鉄筋の図心を中心とする円の内外判定により異種材料の判別を行い、各節点に材料値を持たせた。図-2(b)に本解析で用いた解析モデルの異種材料考慮後の結果を示す。

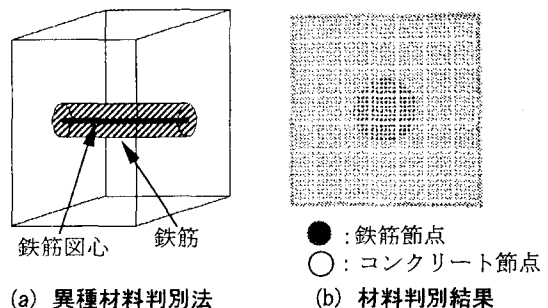


図-2 節点判別法

3. 2 鉄筋腐食膨張量

本研究は鉄筋自体の膨張を考慮するため、材料分類により鉄筋節点と判定された節点を含む局所要素に対し、式(1)、(2)に示される熱応力解析に用いられる熱ひずみによる見かけの節点荷重ベクトル $\{f_i\}$ ²⁾を適用した。

$$\{f_i\} = \int_V [B]^T [D] \{\epsilon^i\} dV \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \{\epsilon^i\} &= \{\epsilon_x^i \quad \epsilon_y^i \quad \epsilon_z^i \quad \gamma_{xy}^i \quad \gamma_{yz}^i \quad \gamma_{zx}^i\}^T \\ &= \{\alpha T \quad \alpha T \quad \alpha T \quad 0 \quad 0 \quad 0\}^T \end{aligned} \quad (2)$$

$[B]$: ひずみ-変位マトリックス, V : 要素体積,
 $[D]$: 応力-ひずみマトリックス, α : 線膨張係数,
 $\{\epsilon^i\}$: 熱ひずみベクトル, T : 温度,

3. 3 簡易ひび割れ解析法³⁾

本解析では、鉄筋の腐食膨張により発生するコンクリートの複雑なひび割れ挙動のシミュレーションを行うため、簡略化したひび割れ解析を用いた。具体的にはまず、鉄筋節点を含む全ての要素に対して、先に示した熱ひずみによる膨張量を与え全節点の応

キーワード 鉄筋腐食膨張, ひび割れ進展解析, 三次元フリーメッシュ法

連絡先 〒903-0129 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地 琉球大学工学部環境建設工学科 TEL098-895-8663

力を求める。全節点から最大主応力を検索しその節点の最大主応力がコンクリートの引張強度に達する比率を求める。この比率が最小の節点をひび割れ節点とし、ひび割れ面に直交する応力を0と仮定したひび割れ要素とした。この手法はコンクリートの引張軟化を考慮しておらず、応力が低下するまで解析を繰り返すことによりひび割れシミュレーションを行う簡略化した手法である。

4. 数値解析例

ここで、本手法を用いた鉄筋腐食膨張によるひび割れ進展状況を示す。本解析は図-3 (a) に示すようにコンクリート内に鉄筋が密に設置された状態での鉄筋の腐食膨張によるひび割れ進展状況を考慮した。このため、図-3 (b) に示す局所的な領域に着目し、図-4 に示す解析モデルを用いた。表-1 に本解析での鉄筋とコンクリートの材料係数を示す。

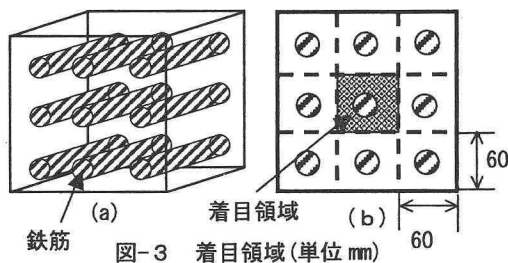


図-3 着目領域 (単位 mm)

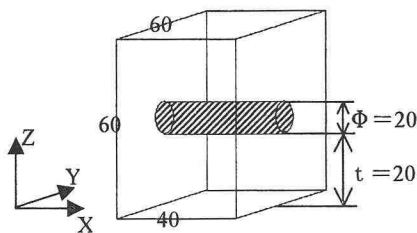
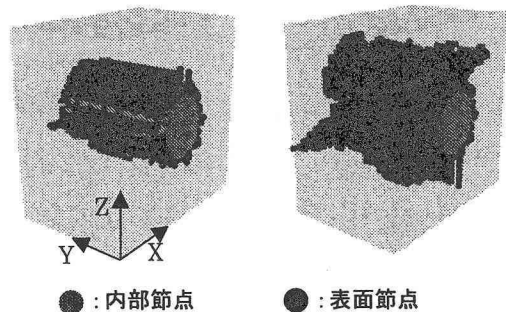
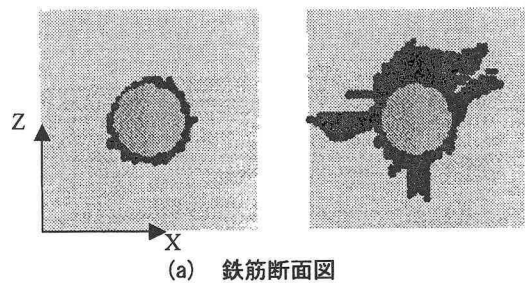


図-4 解析モデル (単位 mm)

表-1 鉄筋・モルタルの材料係数

	ヤング率 (N/mm ²)	ポアソン比
鉄筋	200000	0.3
モルタル	25000	0.2

図-5 に鉄筋を一樣膨張させた状態でのひび割れ進展状況を示す。境界条件は、コンクリート中心部に設置された鉄筋を考慮しているため解析モデル各面の垂直方向変位を固定した。解析結果は、ひび割れは鉄筋周囲を覆うように一様に発生した後、外側へ十字に進展した。これにより図-3 (a) のような状



● : 内部節点 ● : 表面節点
(b) ひび割れ全体図
総節点数 53394
鉄筋節点 : モルタル節点 = 4365 : 49029
ひび割れ節点 3583
図-5 ひび割れ進展状況

態では隣り合う鉄筋同士を結ぶひび割れが発生すると考えられる。

5. まとめ

本研究では、三次元フリーメッシュ法を用い鉄筋自体を膨張させることにより鉄筋腐食膨張によるコンクリートのひび割れシミュレーションを行った。本研究では、解析例として境界条件の単純な一例のみを示したが、今後各種の境界条件の元、三次元ひび割れ解析を行い腐食に伴うひび割れをより詳細に研究する予定である。

参考文献

- 1) 矢川元基・細川孝之：フリーメッシュ法の三次元問題への適用，日本機学会論文集 (A 編)，64 巻，1998
- 2) 矢川元基・宮崎則幸：有限要素法による熱応力・クリープ・熱伝導解析，サイエンス社，1985
- 3) 安和守史・伊良波繁雄・富山潤・矢川元基：3 次元フリーメッシュ法を用いたコンクリートの破壊解析手法に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，CD-ROM，2002