

## 複数配置された鉄筋の腐食に伴うひび割れ性状に関する解析的研究

(株)国土開発センター 正会員 ○三浦 幸太  
石川工業高等専門学校 正会員 富田 充宏

### 1. はじめに

コンクリート部材に塩分が侵入し鉄筋の腐食が生じた場合には、その腐食膨張によりかぶりコンクリートに引張力が生じる。腐食の進行に伴い、引張応力がコンクリート部材の強度を超えた場合は、部材にひび割れが発生し、かぶりコンクリートのはく離・はく落へと発展する。コンクリート部材のはく落現象は、第三者被害の観点からその予測及び対策技術の開発が注目されており、種々の実験的研究が行われているが、解析的な力学的挙動の解明や様々な条件を含む解析事例は少ないのが現状である。

筆者らの既往の研究<sup>1)</sup>では、コンクリート部材中に鉄筋を1本配置し、その鉄筋径とかぶり厚の違いにより、発生するひび割れ性状及び鉄筋膨張量と膨張圧の関係について整理を行っている。その結果、松島らの研究<sup>2)</sup>による鉄筋径とかぶり厚により求めるひび割れ算定式と同様に、鉄筋径に対してかぶり厚を大きくした場合は「鉄筋沿い型」、小さくした場合は「はく離型」のひび割れが生じることが確認されている。

本研究は、コンクリート部材中に鉄筋を複数配置し、その鉄筋径、配置間隔、かぶり厚に違いのあるケースについて解析を行い、発生するひび割れ性状の評価を目的とする。

### 2. 解析対象

本研究の解析対象は、図-1のようにコンクリート部材中にD13, D16, D22, D25の4種類の鉄筋径について、かぶり厚20mm及び50mm, 鉄筋間隔50mm, 100mm, 150mmにて鉄筋を3本配置した断面とする。なお、水平方向及び鉛直方向の部材寸法は鉄筋外縁から200mm確保し、形状による影響が生じないように配慮した。

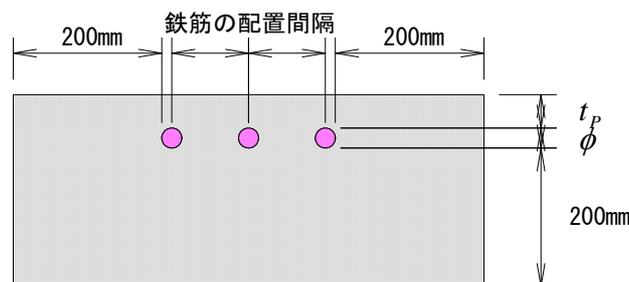


図-1 解析対象のコンクリート断面

### 3. 解析方法

解析前の前処理として上記の解析対象に対して、コンクリート部材外周を外部境界、鉄筋を内部境界としてデローニ三角分割法により図-2のように要素分割を行った。なお、要素分割数は要素形状が鉄筋要素上で扁平とならないよう設定している。鉄筋表面に与える膨張圧は、かぶり側からの塩分の浸透により鉄筋が腐食すると考えられるため、既往の研究により図-3のようにかぶり方向に対して下半分は0.1倍、上半分は0.1倍から1.0倍まで順次増加させ、分割された鉄筋要素の辺上に鉛直に荷重を与えている。

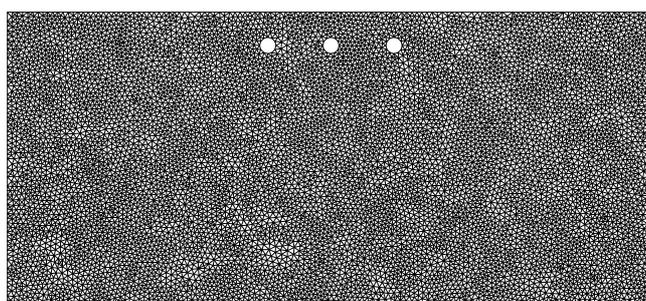


図-2 要素分割図

解析の手法は、はく離・はく落等のコンクリート部材の非線形挙動を扱うため、強い非線形領域を対象とした解析法である剛体ばねモデル<sup>3)</sup> (Rigid Bodies-Spring Model:RBSM) を用いて解析を行う。なお、解析で用いたコンクリートの物性値は表-1の通りである。

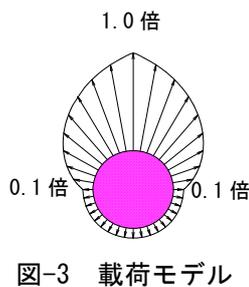


表-1 コンクリートの物性値

ヤング係数	$E_c$	( $\text{kN/mm}^2$ )	25.0
ポアソン比	$\nu_c$		0.20
圧縮強度	$F_c$	(MPa)	30.0
引張強度	$F_t$	(MPa)	3.0
粘着力	$C$	(MPa)	3.3
内部摩擦角	$\phi$	( $^\circ$ )	37.0

キーワード 鉄筋腐食, RBSM, デローニ三角分割法, かぶり厚

連絡先 〒924-0838 石川県白山市八束穂3丁目7番地 (株)国土開発センター TEL076-274-8816

4. 解析結果

解析により得られたひび割れ性状を表-2, 3に示し, ひび割れ発生状況の例を図-4, 5に示す. なお, ひび割れ発生状況は, コンクリート要素の降伏したばねを着色して表現している.

かぶり厚20mmの場合の解析結果では, ひび割れ算定式とほぼ同様なひび割れ性状であったが, 鉄筋径D16, 間隔50mmの解析例では, はく離型のひび割れが確認できた. これはひび割れ算定式と異なる結果となったが, 比較的初期に図-4のような鉄筋間の連続した水平方向のひび割れが生じ, 鉄筋を複数配置した効果によりはく離型のひび割れが発生したと考えられる. また, 鉄筋間隔150mmの場合には水平方向のひび割れが繋がることはなく, ひび割れ性状への影響は小さいと考えられる.

かぶり厚50mmの解析結果は, 鉄筋間隔50mmの解析例では, すべてはく離型のひび割れ性状となった. これは, かぶり厚が深い場合は鉛直方向のひび割れが進行する前に鉄筋間の水平方向のひび割れが連続し, はく離型のひび割れの発生が容易となるためと考えられる. また, 図-5のように鉄筋径D25, 間隔100mmの解析でははく離型のひび割れが生じており, 鉄筋径が太い場合は付近の鉄筋の腐食膨張の影響を強く受けると考えられる.

5. まとめ

本研究では, 鉄筋径, かぶり厚, 鉄筋間隔の異なるケースで解析を行った結果, 腐食により発生するひび割れ性状は鉄筋間隔の影響を受けることを確認することができた. また, 鉄筋径が太い場合やかぶり厚が大きい場合には, より鉄筋間隔の影響を受けやすい傾向があった. このことから, 鉄筋腐食により発生するひび割れ性状は, かぶり厚と鉄筋径により一律に求められるものではなく, 鉄筋間隔等の境界条件の影響を受けることが推察される.

なお, 本研究ではコンクリート部材断面に対して, 鉛直に配置された鉄筋を想定してモデル化を行い, その影響を確認することができたが, 現実の構造物と同様に交差している鉄筋の拘束力や腐食膨張の影響を考慮することが今後の課題となる. また, 各鉄筋に生じる腐食は一樣ではなく, そのばらつきを考慮した解析が必要となることが予想される.

参考文献

- 1) 三浦幸太 他: 鉄筋腐食に伴うコンクリート部材のひび割れ性状及び膨張圧に関する解析的研究, 第64回土木学会年次学術講演会, 2009
- 2) 松島学 他: 鉄筋の腐食膨張によるひびわれモード, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 15, No. 1, 1993
- 3) 竹内則雄 他: 鉄筋コンクリート構造の離散化極限解析法, 丸善株式会社, 2005

表-2 かぶり厚  $t_p=20\text{mm}$  の場合のひび割れ性状

		鉄筋径 $\phi$			
		D13	D16	D22	D25
解析結果 (鉄筋間隔)	50mm	鉄筋沿	はく離	はく離	はく離
	100mm	鉄筋沿	鉄筋沿	はく離	はく離
	150mm	鉄筋沿	鉄筋沿	はく離	はく離
ひび割れ算定式		鉄筋沿	鉄筋沿	はく離	はく離

表-3 かぶり厚  $t_p=50\text{mm}$  の場合のひび割れ性状

		鉄筋径 $\phi$			
		D13	D16	D22	D25
解析結果 (鉄筋間隔)	50mm	はく離	はく離	はく離	はく離
	100mm	鉄筋沿	鉄筋沿	鉄筋沿	はく離
	150mm	鉄筋沿	鉄筋沿	鉄筋沿	鉄筋沿
ひび割れ算定式		鉄筋沿	鉄筋沿	鉄筋沿	鉄筋沿

※赤で囲んだ解析結果は, ひび割れ算定式と結果が異なったもの



図-4 解析結果 (D16,  $t_p=20\text{mm}$ , 鉄筋間隔 50mm)

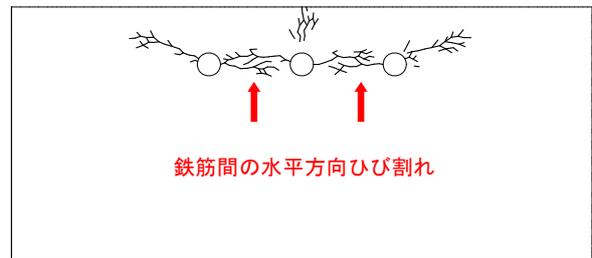


図-5 解析結果 (D25,  $t_p=50\text{mm}$ , 鉄筋間隔 100mm)

※線はひび割れ発生位置を示し, 線の太さはひび割れ幅と関係ない