

鉄筋腐食に伴うコンクリート部材のひび割れ進展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
中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 正会員 青山 實伸

1. はじめに

コンクリート表面からの塩分の浸透により、鉄筋が腐食し、かぶりコンクリートには膨張による引張力が発生する。鉄筋腐食の進行に伴い、かぶりコンクリートにはひび割れが生じ、最終的にかぶりコンクリートの剥離・剥落へと進展する。

実際のひび割れを観察した際には、コンクリートのかぶり厚が厚い場合には鉄筋に沿ったひび割れが生じ、かぶり厚さが薄い場合は、鉄筋に沿ったひび割れが発生する前に剥離する現象がみられる。

本研究は、鉄筋腐食によるコンクリートのひび割れの発生・進展する現象を、鉄筋径及びかぶり厚の違うケースについて解析的に求め、比較することを目的とする。なお、解析方法として、解析対象をデローニ三角分割法¹⁾により分割し、強い非線形領域を対象とした解析法である剛体一ばねモデル²⁾(Rigid Bodies-Spring Model:RBSM)を用いて解析を行う。

2. ひび割れの算定式³⁾

コンクリートのひび割れ性状は、「剥離型」と「鉄筋沿い型」の2種類がある。前者は鉄筋から45°方向にひび割れが発生し、かぶりコンクリートの剥離を伴うひび割れ型であり、後者は垂平と垂直にひび割れが発生するひび割れ型である。

Browneによると、ひび割れ性状の違いは鉄筋のかぶりコンクリート厚さ t_p と鉄筋径 ϕ の比 t_p/ϕ で表し、図1に示すように $t_p/\phi > 1.5$ 以上の場合は剥離型のひび割れを生じ、1.5未満の場合は鉄筋沿い型のひび割れが生じるとした。また、松島等は $(2t_p + \phi)/\phi < 3$ の場合には剥離型のひび割れが生じ、3以上の場合には鉄筋に沿い型のひび割れが発生するとした。両式では、鉄筋径とかぶりによりひび割れのパターンが異なっている。

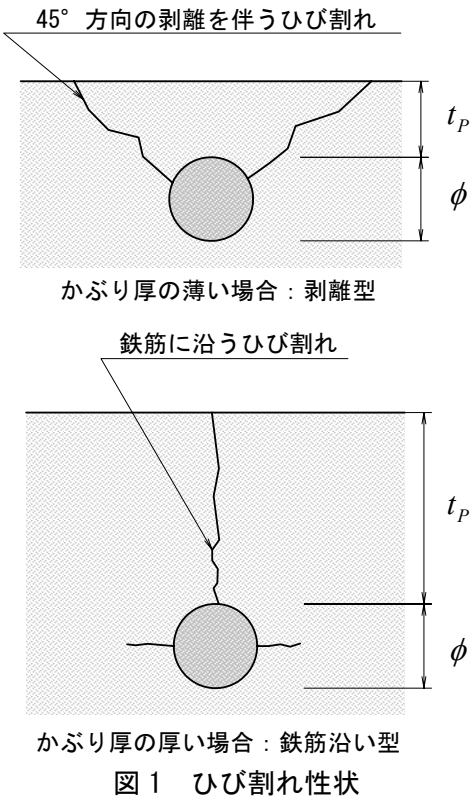


表1 かぶり厚 $t_p=20\text{mm}$ の場合のひび割れ性状

鉄筋径 ϕ	かぶり厚 $t_p=20$			
	Browne式		松島式	
	t_p/ϕ	ひび割れ型	$(2t_p + \phi)/\phi$	ひび割れ型
D13	1.54	鉄筋沿	4.08	鉄筋沿
D16	1.25	剥離	3.50	鉄筋沿
D22	0.91	剥離	2.82	剥離
D25	0.80	剥離	2.60	剥離

表2 かぶり厚 $t_p=50\text{mm}$ の場合のひび割れ性状

鉄筋径 ϕ	かぶり厚 $t_p=50$			
	Browne式		松島式	
	t_p/ϕ	ひび割れ型	$(2t_p + \phi)/\phi$	ひび割れ型
D13	3.85	鉄筋沿	8.69	鉄筋沿
D16	3.13	鉄筋沿	7.25	鉄筋沿
D22	2.27	鉄筋沿	5.55	鉄筋沿
D25	2.00	鉄筋沿	5.00	鉄筋沿

3. 解析方法

本研究の解析手法として RBSM を使用し、鉄筋径 D13、D16、D22、D25 に対して、かぶり厚 20mm 及び 50mm の計 8 種類の解析を行った。各鉄筋径とかぶり厚の関係から算定式により求められるひび割れ型を表 1、2 に示す。

本研究における解析では、腐食による膨張圧を鉄筋円周上の荷重として与えるため、鉄筋の円周を等分に要素分割し、その要素に荷重を与える。なお、各鉄筋径の要素長をおおよそ等しくするため表 3 のように、鉄筋の分割数及び解析対象の要素数を設定し、図 2 に示すようにデローニ三角分割法により要素分割を行った。

4. 解析結果

解析により得られたひび割れの発生状況を図 3 に示す。かぶり厚 50mm のケースのひび割れ性状は D16 以外のケースにおいて、垂直とほぼ水平にひび割れが発生し、鉄筋沿い型のひび割れ性状が確認できる。また、かぶり厚 20mm のケースでは鉄筋から垂直にひび割れが発生しているが、斜め 45° 方向にひび割れが進行し、剥離型のひび割れ性状となった。

5. まとめ

本研究では、鉄筋径 D13、D16、D22、D25 についてかぶり厚 20mm 及び 50mm の計 8 種類の解析を行い、そのひび割れ性状とその進展状況について検討した結果、算定式にあるような明確な違いを確認することができなかった。このことを踏まえ、本研究では鉄筋の腐食による膨張圧として荷重を鉄筋円周上に均一に与えているが、この荷重の載荷方法について検討するとともに、解析対象の要素分割についても検討する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 谷口健男：FEM のための自動要素分割、森北出版株式会社、1992
- 2) 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
- 3) 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

表 3 解析ケースと要素分割数

鉄筋径	鉄筋要素分割数
D13	16
D16	20
D22	26
D25	30

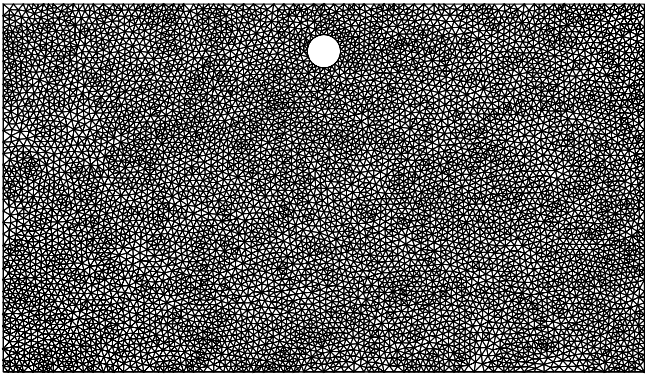


図 2 要素分割例 (D13、 $t_p=20\text{mm}$)

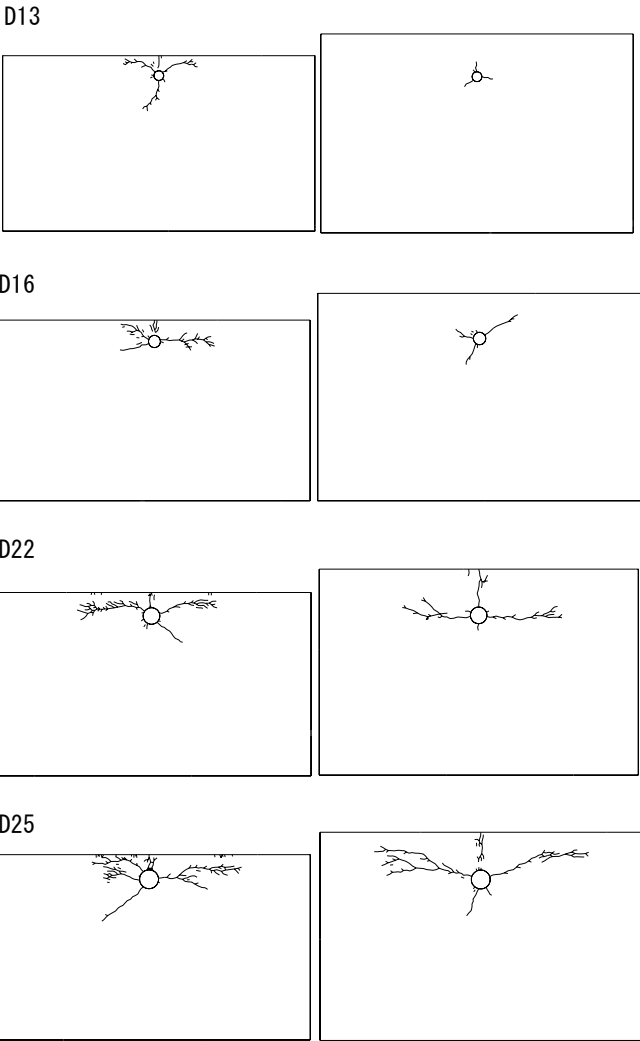


図 3 解析によるひび割れ状況
(左側 $t_p=20\text{mm}$ 、右側 $t_p=50\text{mm}$)