

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

(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。このようなひび割れ性状に関する実験的研究が行われてきているが、解析によりその力学的挙動を的確にとらえた例はない。

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、そのひび割れ性状や膨張量と荷重の関係について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 $t_p/\phi > 1.5$ 以上の場合は鉄筋沿い型のひび割れを生じ、1.5未満の場合は剥離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。

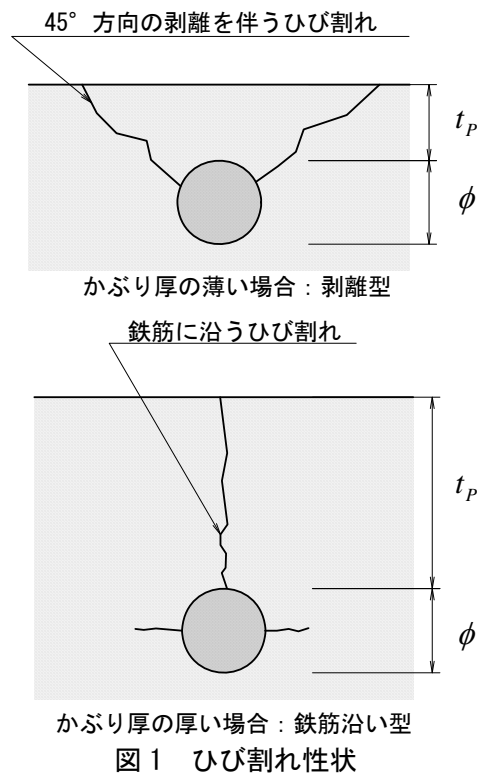


図1 ひび割れ性状

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1 かぶり厚 $t_p=20$ 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

表2 かぶり厚 $t_p=50$ mmの場合のひび割れ性状

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。

鉄筋表面にあたる膨張圧は、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、図2

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ることとした。各鉄筋径における要素長をおおよそ等しくなるように鉄筋円周を等分に要素分割し、その要素に荷重を与えた。なお、要素分割は部材外周と鉄筋要素の座標から、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、水平にひび割れが発生した後、緩い斜め方向と垂直のひび割れが発生しており、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 のケースでは鉄筋円周上の比較的高い位置に斜め 45° 方向のひび割れが発生し、剥離型のひび割れ性状となった。

解析により得られた膨張率と荷重増分量の関係を図 4 に示す。なお、荷重増分量は D13 の解析 1 ステップ分の荷重により無次元化している。かぶり 20mm ではどのケースにおいても膨張率が急激に変化しており、鉄筋径による荷重増分量の違いも確認できない。かぶり 50mm では各鉄筋径において傾きが異なるほか、降伏する荷重増分量に違いが見られた。50mm のケースにおいて膨張率が緩やかに変化する理由は、20mm のケースでは水平と鉛直のひび割れが同時期に発生するが、50mm の場合十分にかぶりが厚いため、鉄筋の水平方向のひび割れが発生した場合でも、すぐに鉛直方向のひび割れが発生しないためと推測される。

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、そのひび割れ性状及び膨張率と荷重増分量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、今後は既往の実験結果と比較し、解析結果の妥当性についての検討が必要である。また、実構造物の適用性への検討として、発生するひび割れ幅や腐食膨張量の関係について比較する必要がある。

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

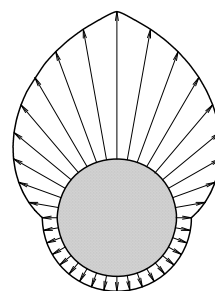


図 2 载荷モデル

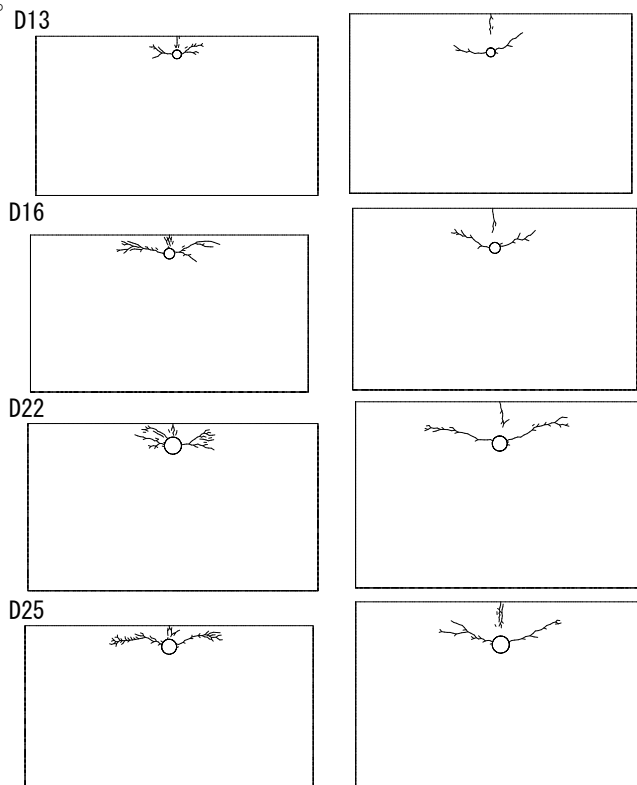


図 3 解析によるひび割れ状況
(左側 $t_p=20\text{mm}$ 、右側 $t_p=50\text{mm}$)

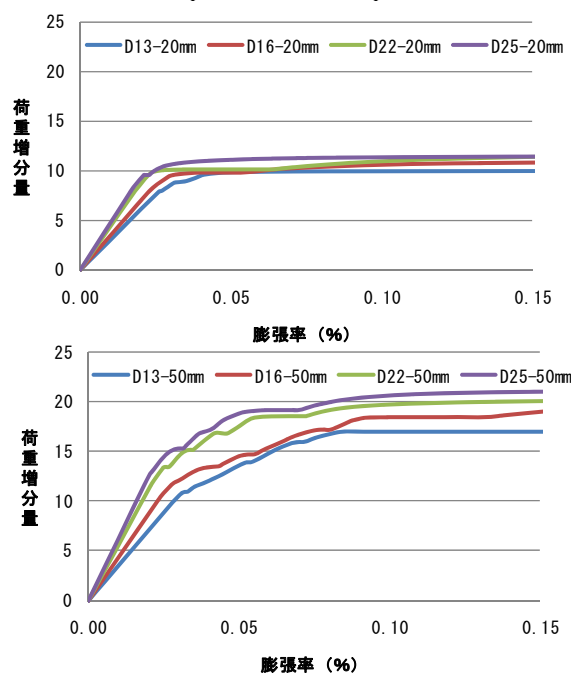


図 4 膨張率と荷重増分量の関係