

FEM 解析を用いた塩害による RC 橋梁ひび割れ発生メカニズムの検討

高知工科大学 学生会員 ○白石 琢人

高知工科大学 正会員 那須 清吾

1. はじめに

社会資本の新たな維持管理手法として、橋梁アセットマネジメントシステム（BMS）が注目されている。

BMS では、LCC の算出と維持修繕の時期・工法を決定するために、長期的な劣化予測を行う必要がある。しかし、塩害を受ける RC 橋梁に関しては、コンクリート中の塩化物イオン濃度を基にして予測が行われており、鉄筋の腐食開始からひび割れが発生するまでの期間が正確に予測されているとはいえないのが現状である。鉄筋の腐食モデルに関しては、現在までに数多くの研究が行われているが、橋梁内部における鉄筋の腐食速度と、ひび割れ発生時期の予測には至っていない。

本研究では、鉄筋の腐食による体積膨張の圧力を受けるコンクリートの状況を FEM 解析で再現し、解析結果から、使用されている鉄筋の直径やかぶり厚さ、コンクリート強度に応じて変化するひび割れ発生時期の算定方法を検討した。今後、高精度の腐食速度モデルが完成した場合、コンクリートのひび割れ発生時期の予測精度の向上が計られることを目的としている。

2. ひび割れ発生時の腐食率の算出

図 1 に示すようなコンクリート断面の FEM モデルを作成し、ひび割れ発生時の鉄筋の腐食率を算定する。

解析では、コンクリートは均一な材料として扱い、解析対象のコンクリートの鉄筋部分は空洞とした。鉄筋の腐食が均一に起こったと仮定して膨張した鉄筋との界面に辺荷重を与え、ひび割れが発生した時点での辺荷重と空洞の変位量を記録する。

腐食した鉄筋は鉄と錆の二層構造になっており、鉄筋層は縮小するが腐食層は拡大する。図 2 に示すように、これらの合計としての鉄筋の直径は増大するが、コンクリート内では鉄筋径は圧縮を受けており、鉄筋の膨張圧とひび割れ発生時のコンクリートの圧縮圧が均衡している状態である。このことから、解析から得られるひび割れ発生時の空洞部分の直径と、ひび割れ

発生時の辺荷重により圧縮された鉄筋径が一致するまで繰り返し計算を行い、図 3・図 4 に示すひび割れ発生時の応力状態と腐食率が特定できることとなる。

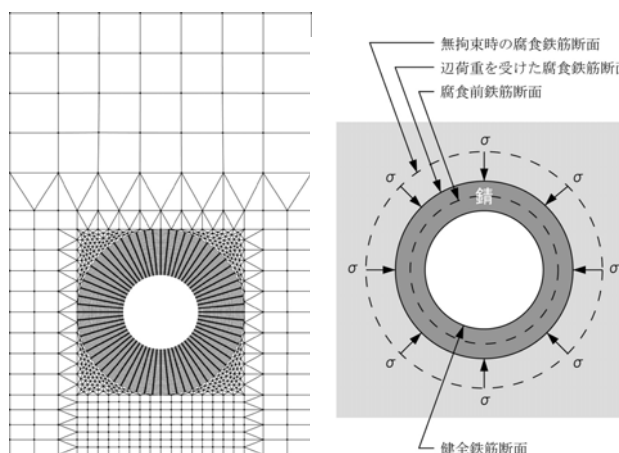


図1 メッシュ分割例

図2 拘束時の鉄筋断面

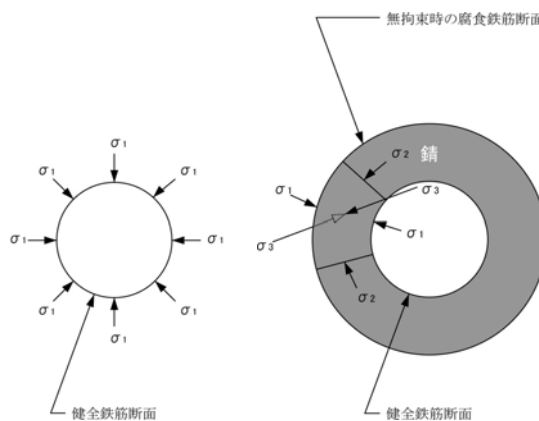


図3 鉄筋のひずみ

図4 腐食層のひずみ

表1 材料パラメータ

	鉄筋	錆
弾性係数 (N/mm ²)	200 × 10 ³	200
ポアソン比	0.3	0.2

鉄筋の膨張係数は 3 とした 使用鉄筋・・・D6, D25, D51

	コンクリート				
圧縮強度 (N/mm ²)	21	24	27	30	36
引張強度 (N/mm ²)	2.1	2.4	2.7	3.0	3.6
弾性係数 (N/mm ²)	23.5 × 10 ³	25 × 10 ³	26.5 × 10 ³	28 × 10 ³	29.8 × 10 ³
ポアソン比	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

キーワード 塩害、腐食率、ひび割れ、FEM 解析、劣化予測

連絡先 〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口 185 高知工科大学 tel.0887-53-1111

3. 解析結果

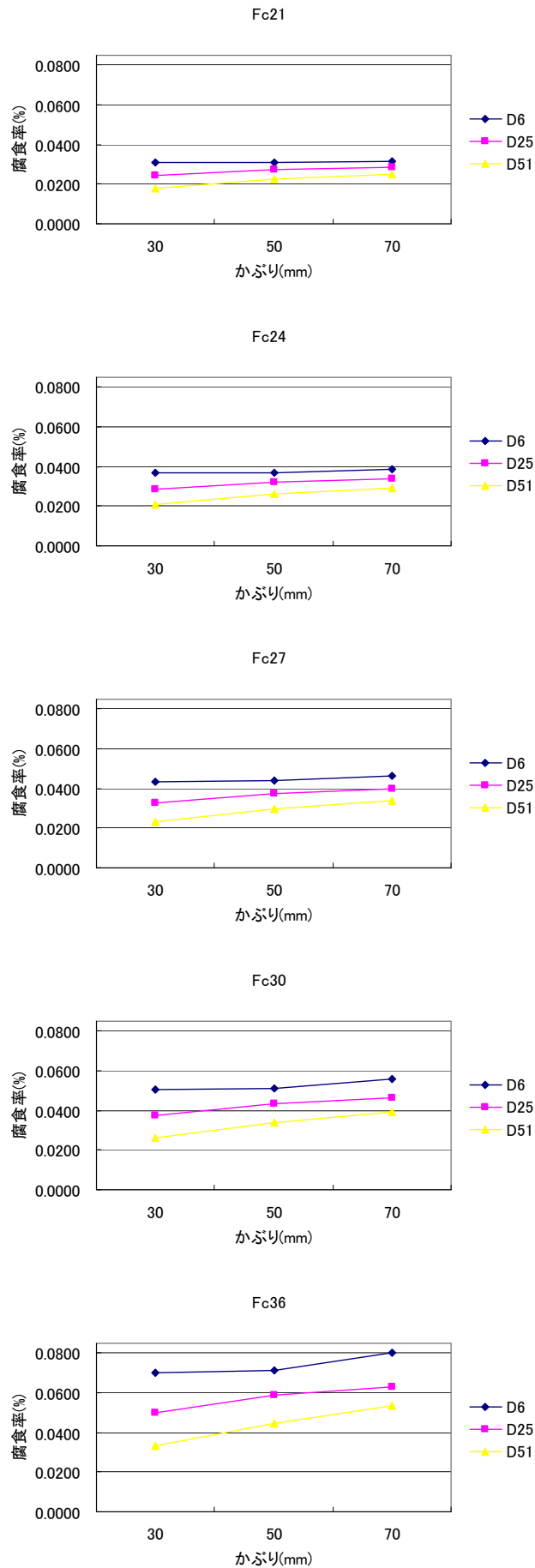


図 5 各条件でのひび割れ発生時の腐食率

4. ひび割れ発生腐食率の予測式

解析結果を基に重回帰分析を行い、本研究で使
した鉄筋径、かぶり厚さ、コンクリート強度によるひび
割れ発生時の腐食率 V を算出する式 (1) を得た。

$$V = 1.97 \times 10^{-4} \cdot c - 3.85 \times 10^{-4} \cdot \phi + 2.112 \times 10^{-3} \cdot fc - 1.84 \times 10^{-2} \quad \dots (1)$$

V = ひび割れ発生腐食率 (%)
 c = かぶり厚さ (mm)
 ϕ = 鉄筋径 (mm)
 fc = コンクリート圧縮強度 (N/mm²)

表 2 重回帰分析結果

	回帰統計		係数	標準誤差	t
重相関 R	0.9586	切片	-0.01844	0.00398	-4.632
重決定 R ²	0.9189	X 値 1	0.00020	0.00004	5.199
補正 R ²	0.9129	X 値 2	-0.00038	0.00003	-11.309
標準誤差	0.0042	X 値 3	0.00211	0.00012	17.588
観測数	45				

5. まとめ

今回は、鉄筋径・かぶり厚さ・コンクリート強度の違
いによる、ひび割れ発生時の腐食率を算出し、得られ
たデータから回帰分析を行い、ひび割れ発生時腐食率
の予測式を設定した。それぞれのパラメータには、あ
る程度の相関性があり、腐食速度式と組み合わせるこ
とでひび割れ発生時期の予測が可能かどうか、検討し
ていくことになる。なお、今回は腐食による膨脹圧の
みをひび割れ発生の対象として平面ひずみ解析を行っ
たが、モーメントやせん断力などを考慮した、より実
橋梁に近いモデルで解析を行うことも、今後の課題と
なる。

6. 参考文献

- ・元路寛・関博：「離散ひび割れモデルに基づく鉄筋腐食によるひび割れ幅に関する解析的検討」コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 21, No2, 1999
- ・山田義智・大城武：「破壊力学に基づく FEM による縦ひび割れ発生腐食量の解析的検討」コンクリート工学年次論文報告集、Vol115, N01, 1993
- ・土木学会：2001 年制定 コンクリート標準示方書[維持管理編]