

鉄筋腐食の不確定性を考慮した RC はり部材のせん断耐荷性能

京都市 正会員 ○橋本 航
神戸大学工学部 正会員 森川 英典

1. はじめに

最近ではコンクリートの劣化に加え、鉄筋の腐食も確認され始めており、構造物のせん断破壊に対する安全性が懸念されている。特に、鉄筋の腐食メカニズムは非常に複雑であり、多大な不確定性を有することが知られている。本研究では、モンテカルロ法と有限要素法を用いることで、鉄筋腐食の不確定性や連続性が RC はり部材のせん断耐荷性能に及ぼす影響について評価を行った。

2. 解析の概要

(1) 解析モデル：解析対象は、幅 150mm、高さ 240mm、有効高さ 200mm の長方形断面を持つスパン 1200mm の RC はり部材で、主鉄筋には D16 を 3 本、圧縮鉄筋には D13 を 2 本、スターラップには D6 を 150mm 間隔で配置した。中央 2 点で荷重を行い、せん断スパン比は 2.5 とした。

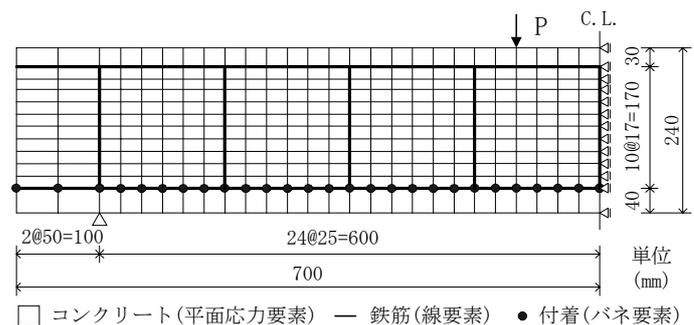


図-1 解析モデル

解析対象は左右対称形のため、片側のみモデル

化を行い、スパン中央断面をはり軸方向に拘束した。図-1 に解析モデルを示す。

(2) 材料構成則：本研究では、鉄筋腐食の指標として腐食減量率を使用した。鉄筋腐食時の降伏強度、弾性係数、付着強度の推定には、以下に示す式(1)～(3) ¹⁾²⁾を用いた。

$$\sigma_{cy} = \{1 - 1.98 (\Delta w / 100)\} \cdot \sigma_{sy} \quad (1)$$

Δw ：腐食減量率(%) σ_{cy} ：鉄筋腐食時の降伏強度 σ_{sy} ：鉄筋健全時の降伏強度

$$E_{cs} = \{1 - 1.13 (\Delta w / 100)\} \cdot E_{ss} \quad (2)$$

E_{cs} ：鉄筋腐食時の弾性係数 E_{ss} ：健全時の弾性係数

$$\text{付着強度比} = \exp(-1.2220 \cdot \Delta w) + \exp(-0.0641 \cdot \Delta w) - \exp(-2.8188 \cdot \Delta w) \quad (3)$$

(3) 解析の精度検証：鉄筋腐食

を導入した実験結果 ³⁾と比較す

ることで、本解析手法の精度検

証を行った。表-1 に解析結果と

実験結果を示す。実験では、式

(1)と式(3)により推定した断面

特性および付着特性を有する模

擬腐食鉄筋(図-2)を用いること

で、鉄筋腐食を人工的に表現し

た。表-1 から、解析値は実験値 V_y と $V_c(\text{Max})$ 間の値を示しており、実験

で得られたせん断耐力を概ね良好な精度で表現していることが分かる、

このことから、本解析手法を用いて、鉄筋腐食が存在する RC はり部材の

せん断耐力をマクロ的に評価することの有効性が伺える。

表-1 解析結果と実験結果の比較

供試体 名称	腐食減量率(%)		実験値(kN)		解析値 V(kN)	実験値/解析値	
	スターラップ	主鉄筋	V_y	V(Max)		V_y/V	V(Max)/V
S0-B0	0.0	0.0	52.8	68.6	68.1	0.78	1.01
S10-B0	10.0	0.0	50.9	61.2	58.8	0.87	1.04
S20-B0	20.0	0.0	48.0	60.6	55.1	0.87	1.10
S10-B5	10.0	5.0	56.6	60.1	60.3	0.94	1.00
S20-B10	20.0	10.0	53.8	57.8	57.6	0.93	1.00

コンクリート強度：16.9(N/mm²)

実験値 V_y ：スターラップ降伏荷重

実験値V(Max)：最大荷重

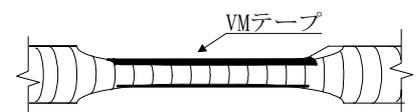


図-2 模擬腐食鉄筋

キーワード：鉄筋腐食，RC はり部材，有限要素法，不確定性，せん断耐荷性能

連絡先：森川 英典 神戸大学工学部 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 TEL：078-803-6027

(4)構成要素の不確定性：表-1 において、解析結果が実験結果を良好な精度で表現している結果を受け、図-1 に示す解析モデルに、実部材で見られるような材料強度の不確定性や鉄筋腐食の連続性を導入する。本研究では、表-2 に示すような変動を持つ正規変数を構成要素毎に仮定し、モンテカルロシミュレーションを行うことで、構成要素の不確定性を考慮した。コンクリート強度(弾性係数)は、全要素が一様に変動すると設定し、鉄筋の弾性係数、断面積、付着バネは完全相関とした。また、鉄筋腐食の連続性を導入する場合、隣接要素の影響が無視できないとの観点から、隣接要素間に数パターンの相関係数を設定した。

表-2 解析条件

変動係数 (%)	コンクリート弾性係数	鉄筋				付着バネ定数
		スターラップ		主鉄筋		
		弾性係数	断面積	弾性係数	断面積	
20.0	20.0	20.0	20.0	10.0	10.0	10.0

コンクリート強度：15.0(N/mm²)
 スターラップ腐食減量率：20.0(%) 主鉄筋腐食減量率：10.0(%)

3. 解析結果および考察

試行回数 1000 回の解析により得られたせん断耐力のばらつきと収束性に関して、図-3 と図-4 に示す(隣接要素の相関係数 0.60 の場合)。図-4 より、試行回数 1000 回での収束性が確認される。隣接要素の相関係数とせん断耐力の関係について図-5 に示す。図-5 から、隣接要素の相関係数が低下するに従って、せん断耐力の平均値も低減する傾向が確認できる。しかしながら、隣接要素の相関係数とせん断耐力の変動係数に関しては、定性的な関係は見られず、表-2 に示す解析条件では、部材のせん断耐力に 12%前後の変動が生じる結果となった。次に、図-5 において、せん断耐力が最も低下したケースに着目する。図-6 と図-7 に、せん断耐力の最低値が得られた解析ケースのスターラップ断面積とひずみ挙動について示す。図-6 および図-7 に示す解析ケースでは、コンクリート強度が著しく低下し、支点側スターラップの最も腐食した箇所が弱点となり、部材のせん断耐荷性能が大きく損なわれたと考えられる。

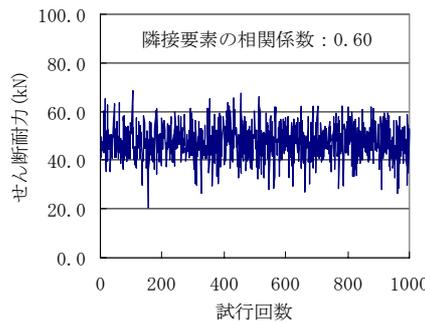


図-3 せん断耐力のばらつき

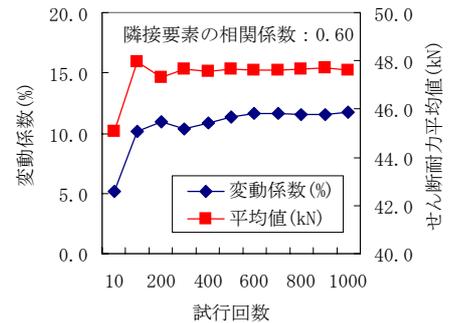


図-4 せん断耐力の収束性

図-5 に示す。図-5 から、隣接要素の相関係数が低下するに従って、せん断耐力の平均値も低減する傾向が確認できる。しかしながら、隣接要素の相関係数とせん断耐力の変動係数に関しては、定性的な関係は見られず、表-2 に示す解析条件では、部材のせん断耐力に 12%前後の変動が生じる結果となった。次に、図-5 において、せん断耐力が最も低下したケースに着目する。図-6 と図-7 に、せん断耐力の最低値が得られた解析ケースのスターラップ断面積とひずみ挙動について示す。図-6 および図-7 に示す解析ケースでは、コンクリート強度が著しく低下し、支点側スターラップの最も腐食した箇所が弱点となり、部材のせん断耐荷性能が大きく損なわれたと考えられる。

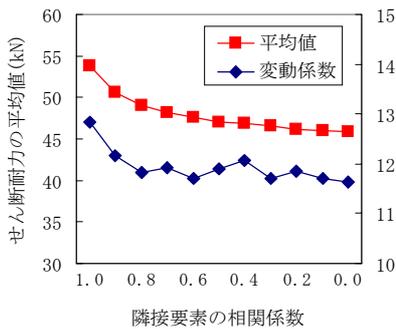


図-5 相関係数とせん断耐力

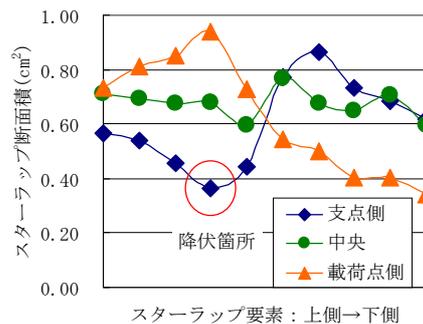


図-6 スターラップ断面積

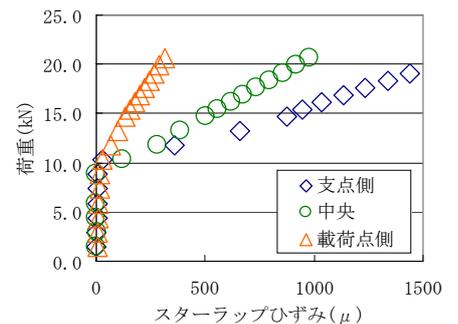


図-7 スターラップひずみ挙動

4. まとめ

本研究では、鉄筋腐食が存在する RC はり部材のせん断耐荷性能を評価する一手法として、モンテカルロ法による材料強度の不確定性および鉄筋腐食の連続性を考慮した有限要素解析手法を提案した。今後、腐食した鉄筋の材料強度やその不確定性を定量的に把握することで、解析手法の信頼性向上が課題として挙げられる。

- 【参考文献】 1) 李ら：第 19 回コンクリート工学年次論文報告集，No. 1，1997。
 2) 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の構造・耐久設計境界問題研究委員会報告書，1998。
 3) 橋本ら：土木学会年次学術講演会，V-137，2002。