

# 非線形解析による部分的に鉄筋腐食した RC はりのせん断耐荷機構の評価

市民工学専攻：飯田 知里

指導教員：三木 朋広

## 1. 研究の背景と目的

既設の RC 構造物の劣化問題に対する合理的な維持管理を行なうために、その残存性能を適切に評価する必要がある。RC 構造物においては、鉄筋腐食が主な問題である。また、せん断破壊は脆性的な破壊を示す為、せん断耐荷機構を把握することは非常に重要である。ここで、鉄筋が腐食すると膨張圧による腐食ひび割れが発生・進展し、鉄筋とコンクリート間の付着が低下する。これらの劣化現象は互いに関係し合いながら進行することがわかっているが、それぞれがせん断耐荷機構にどのような影響を与えるかについてはまだ明らかになっていない。本研究ではこの点に着目し、軸方向鉄筋を部分的に腐食させた RC はりの載荷実験を対象とした非線形解析を実施した。パラメータは腐食位置（スパン内および定着部）、腐食ひび割れ幅および付着強度の低下率である。腐食状況の違いによるひび割れの進展の変化を捉えることで、鉄筋腐食がせん断性状に与える影響を明らかにすることを目的とする。

## 2. 解析概要

竹内らによる実験<sup>1)</sup>を対象として、2次元の非線形有限要素解析を行った。試験体概要図を図-1に示す。要素は4節点の四辺形要素でモデル化し、要素寸法は1辺が約10mmとなるように分割している。ハーフスパンでのモデル化とした。コンクリートのひび割れモデルについては固定ひび割れモデルを用い、応力-ひずみ関係については圧縮側では Parabolic モデル、引張側では Hordijk モデルとし、いずれも破壊エネルギーを考慮した。コンクリートの材料諸元については表-1に示す。ひび割れ発生後のせん断剛性保持率 $\beta$ については、図-2に示すようなひび割れ開口ひずみ $w$ による関数

とした。鉄筋はトラス要素でモデル化し、降伏強度が $345\text{N/mm}^2$ で、弾性係数が $152000\text{N/mm}^2$ である。健全の場合の鉄筋とコンクリート間の境界要素の付着応力 $\tau$ -すべり量 $s$ 関係については図-3に示す。解析パラメータについては図-4および表-2、表-3に示す。

表-1 コンクリート諸元

	圧縮強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	引張強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	弾性係数 ( $\text{kN/mm}^2$ )
No.2	23.3	2.46	24.9
No.3	33.2	3.33	28.4

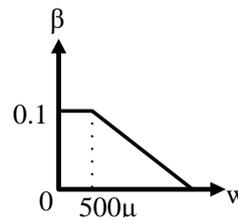


図-2 せん断剛性保持率-ひび割れひずみ関係

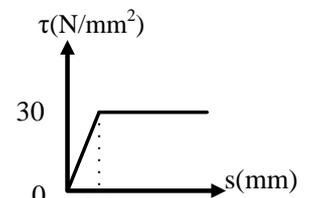


図-3 付着応力-すべり量関係

腐食範囲：スパン中央

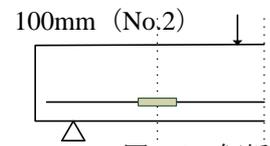


図-4 解析パラメータ (腐食領域)

腐食範囲：スパン中央から定着部



表-2 解析パラメータ (No.2, スパン内が腐食)

		最大付着強度の低下 (腐食減少率)	
		1.00(0%)	0.48(12%)
腐食ひび割れ幅 (mm)	0	健全	No.2-b12
	0.14	No.2-c0.14	
	0.24	No.2-c0.24	No.2-c0.24-b12

表-3 解析パラメータ (No.3, 定着部が腐食)

		最大付着強度の低下 (腐食減少率)	
		1.00(0%)	0.48(12%)
腐食ひび割れ幅 (mm)	0	健全	No.3-b12
	0.14	No.3-c0.14	
	0.28	No.3-c0.28	No.3-c0.28-b12

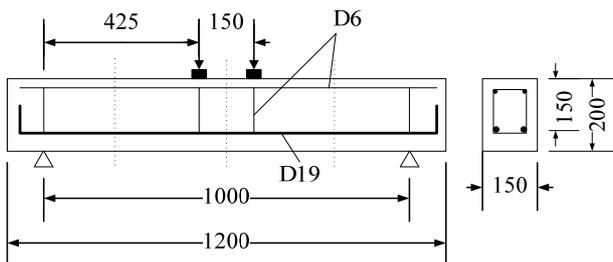


図-1 試験体概要図

キーワード 鉄筋腐食, せん断耐荷機構, 腐食ひび割れ幅, 付着強度の低下

### 3. 解析結果と考察

図-5 に試験体 No.2 (スパン内が腐食) の荷重-変位関係を示す。最大荷重を比べると、腐食ひび割れあり (No.2-c0.14, No.2-c0.24, No.2-c0.24-b12), 付着強度低下のみあり (No.2-b12), 健全の順番に高いことがわかる。図-6 に代表ケースの荷重 80kN 時, 最大荷重時, 変位 6.00mm 時の主ひずみ分布を示す。荷重 80kN 時と最大荷重時のスパン中央のひび割れの進展の性状を比較すると、健全では全体に広がるように進展しており、付着強度低下のみありでは圧縮側に進展し、腐食ひび割れのみありではほぼ進展していないという違いがみられる。これは、腐食状況がひび割れ進展に影響を及ぼし、その結果として最大荷重が増加したと考える。最大荷重後は、ひび割れ幅 0.24mm の腐食ひび割れありでは靱性的な破壊挙動となったが、その他のケースでは荷重が急激に低下している。各ケースの最大荷重時と変位 6.00mm 時の主ひずみ分布を比較すると、ひび割れ幅 0.24mm の腐食ひび割れありのみが腐食ひび割れと載荷点を結ぶような角度の大きいひび割れが生じている。スパン内におけるひび割れ幅が大きい為最大荷重後のひび割れ進展に影響を及ぼし、荷重が緩やかに低下する挙動に至ったと考える。図-7 に試験体 No.3 (定着部が腐食) の荷重-変位関係を示す。最大荷重後、健全では急激に荷重が低下し、付着強度低下のみ

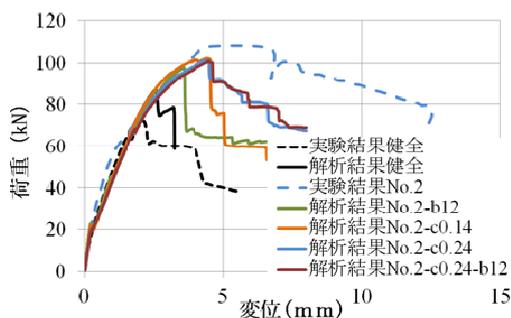


図-5 荷重-変位関係 (No.2 シリーズ)

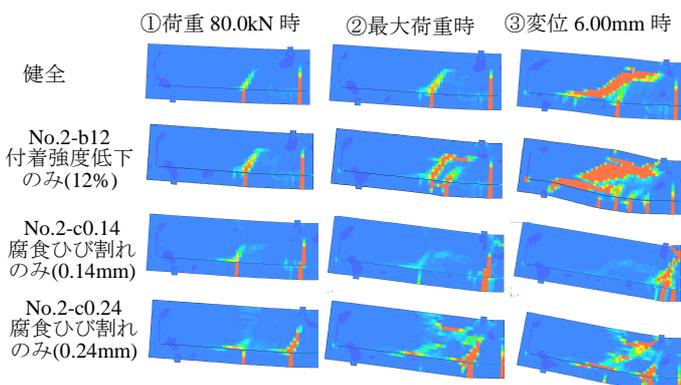


図-6 主ひずみ分布 (No.2 シリーズ)

ありでは健全と比較して靱性に富む破壊挙動を示した。腐食ひび割れあり (No.3-0.14, No.3-c0.28, No.3-c0.28-b12) では、変位が 3.00mm に達した後も荷重を保ちながら変形する挙動を示した。図-8 に代表ケースの変位 3.00mm 時および 4.56mm 時 (健全は 3.23mm 時) の主ひずみ分布を示す。変形が進行したときのスパン中央のひび割れの進展の性状に注目すると、健全では全体に広がるような進展を示し、付着強度低下のみありではスパン中央のひび割れは進展しないが、載荷点と支点側を結ぶようなもう一つのひび割れが発生し、腐食ひび割れのみありでは圧縮側に進展するという違いがみられる。定着部の腐食においても、腐食状況がひび割れ進展に影響を及ぼし、最大荷重後の挙動が変わったといえる。

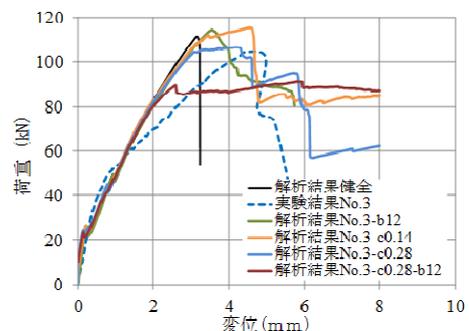


図-7 荷重-変位関係 (No.3 シリーズ)

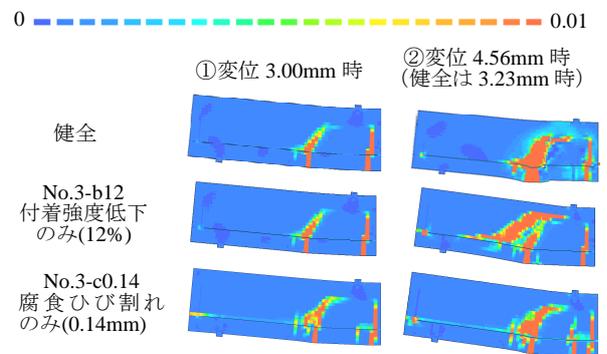


図-8 主ひずみ分布 (No.3 シリーズ)

### 4. まとめ

本研究では、腐食ひび割れと付着強度の低下及びその位置をパラメータとした非線形解析を実施することによって、部分的な鉄筋腐食が耐力および変形性能に与える影響を捉えることができた。

#### 参考文献

- 1)竹内靖人, 三木朋広: 軸方向に局所的鉄筋腐食を有する RC はりのせん断耐荷機構評価, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.10, pp.235-240, 2010