

## 鉄筋が腐食した RC はり部材のせん断耐力に関する一考察

早稲田大学大学院 学生会員 ○井上 武也  
 早稲田大学大学院 学生会員 薛 昕  
 早稲田大学 フェロー 関 博

## 1. はじめに

コンクリート部材は、塩害や中性化による鉄筋腐食によって経年とともに耐荷性能は低下することが予想される。そこで本研究では、スターラップ及び主鉄筋の腐食が RC はりのせん断耐荷特性に与える影響を検討することを目的とし、実験および解析を行った。実験では、電食試験により鉄筋を腐食させた後に2点集中載荷試験を行った。また解析では、主鉄筋の付着劣化をモデル化し、その耐荷性状を検討した。

## 2. 実験概要

供試体は、スターラップのない供試体を Ae シリーズ、スターラップのある供試体を Be シリーズとした。図1に示すように供試体は、幅×高さ×全長が 90×140×1000mm、断面有効高さは 120mm である。せん断破壊を先行させるために、主鉄筋に高強度異型鉄筋 2×D13 ( $f_y=741\text{N/mm}^2$ ) を用いて対称複鉄筋 RC はりとした。Be シリーズでは、スターラップ  $\phi 6$  ( $f_y=321\text{N/mm}^2$ ) を 90mm の間隔で配置した。コンクリートの配合強度は  $f_{cr}=24\text{N/mm}^2$  とした。今回の実験では、鉄筋の腐食を模擬するために電食試験を行った。Ae シリーズでは主鉄筋、Be シリーズではスターラップを電食対象とした。載荷試験は、純曲げ区間 140mm、せん断スパン 330mm ( $a/d=2.75$ ) の1方向2点集中載荷とした。

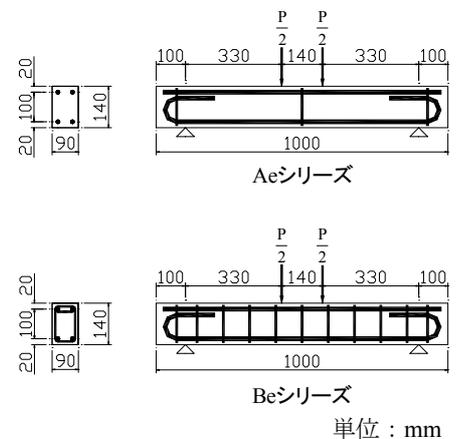


図1 供試体概略

単位：mm

## 3. 実験結果および考察

Ae シリーズは、通电後、主鉄筋に沿ったひび割れが確認できた。また、載荷試験後鉄筋を取り出して確認したところ、ほぼ全面腐食していた。表1に最大荷重を示した。すべての供試体の破壊モードはせん断破壊である。健全な供試体 A0 に対し、腐食した供試体の耐荷力は増加した。これは、鉄筋の腐食によって鉄筋とコンクリートの付着が劣化したため、アーチ的な耐荷機構になり、斜めひび割れ発生後も耐荷力が増加したためと考えられる。一方 Be シリーズでは、電食後スターラップに沿うひび割れが確認できた。載荷試験終了後鉄筋を抜き出した結果、全面腐食していたが、箇所によって極端に断面が減少しているところも存在した。表2に最大荷重を示す。実験値  $V_{s-exp}$  は実験値から得られたせん断耐力 ( $V=P/2$ ) より  $V_{s-exp}=V-V_{c-exp}$  として求めた。最大荷重は、腐食量が大きくなるほど減少した。すべての供試体の破壊モードはせん断破壊である。表2に示した計算値  $V_{s-exp}$  はスターラップの質量減少率を断面減少率としてトラス理論より求めた。実験値は、計算値を上回る耐力の低下が確認された。これは、次の原因が考えられる。①計算では質量減少率を用いたが、実際には電食させた鉄筋は均一に腐食しておらず極端に断面が減少している箇所が存在した。②スターラップの腐食によって鉄筋とコンクリートの付着強度が低下し、それによってひび割れの幅が大きくなるため、ひび割れ面のかみ合いによるせん断耐荷力が低下した。

表1 Ae シリーズにおける最大荷重

供試体名	腐食減少率(%)	実験値(KN)				計算値(KN)		Vc-exp
		主鉄筋	最大荷重	Vc-exp	変化率	Vc-cal	変化率	
A0	0	42.6	21.3	1.00	15.6	1.00	1.37	
Ae1	4.17	55.4	27.7	1.30	15.5	0.99	1.79	
Ae2	6.98	65.7	32.9	1.54	15.3	0.98	2.15	

注：\*二羽式を用いた

表2 Be シリーズにおける最大荷重

供試体名	腐食減少率(%)	実験値(KN)					計算値(KN)		Vc-exp
		スターラップ	最大荷重	Vc-exp	Vs-exp	Vs変化率	Vs-cal	Vs変化率	
B0	0	91.5	21.3	24.5	1.00	21.0	1.00	1.16	
Be1	6.51	83.8	21.3	20.6	0.84	19.7	0.94	1.05	
Be2	17.84	70.2	21.3	13.8	0.56	17.3	0.82	0.80	

注：\*A0の値を用いた

キーワード 鉄筋腐食 せん断 付着 FEM 解析

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 早稲田大学理工学研究科 51-16-09 関研究室 TEL: 03-5286-3407

#### 4. 解析概要

解析には、FEM 汎用プログラムソフト DIANA を用いた。図 2 に解析モデルの一例を示す。解析モデルは、実験供試体 Ae シリーズをもとに、片側のみをモデル化し、スパン中央断面を軸方向に拘束した。コンクリートを平面応力要素、鉄筋をトラス要素とし、コンクリート-主鉄筋の界面に境界要素を設定した。境界要素には、Dorr による 3 次関数による付着-すべりモデルを導入した。ただし、供試体では端部に U 字フックを設けており十分定着がなされていると考えられるので、支点より外側は完全付着として定着部を仮定した。また、鉄筋の腐食量と付着強度低下率の関係は既往の計算式<sup>1)</sup>を用いた。さらにせん断スパン比 2,2.75,3.5 および付着強度低下率 0.8,0.6,0.4,0.2,0 をパラメータとした解析も行った。なお、今回の解析では、分散ひび割れモデルを用いた。

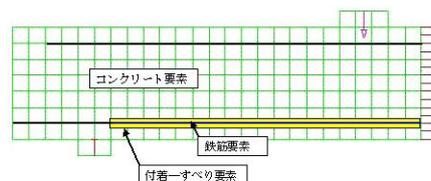


図 2 解析概略

#### 5. 解析結果および考察

表 3 に最大荷重の解析結果と実験結果の比較を示す。全体的に実験値は、解析値よりも上回った。今回の実験では、支点での形状により軸方向の拘束があり、実験値が大きくなった一因と思われる<sup>2)</sup>。しかし、解析結果においても付着が劣化することで耐力の上昇を確認することができており、既往の解析結果<sup>3)</sup>とも同様の結果となった。また、図 3 には最大荷重直前での Ae2 の主圧縮応力の流れを示した。下縁近辺のコンクリートの圧縮応力の流れは、はり機構とは異なる耐荷機構であり、タイドアーチを形成していたと考えられる。

図 4 にはパラメータ解析の結果を示す。解析では付着の状態によって次に示す 3 パターンの異なる耐荷機構を示した。

- ①完全付着状態：付着が劣化していない通常の状態、破壊モードは計算で予測されたモード。
- ②中間付着状態（付着強度比：0.8~0.4 程度）：ひび割れ発生後もタイドアーチを形成して荷重が増加する状態。
- ③アンボンド状態（付着強度比：0.2~0）：ひび割れがスパン中央に局所化し、斜めひび割れは発生せず、曲げひび割れ発生後図 6 に示すような耐荷機構を形成し、最大荷重は大幅に増加する。

#### 6. まとめ

本研究から得られた結果をまとめると、以下とおりである。

- ①スターラップのない RC はりにおいては、主鉄筋の腐食により付着が劣化するとタイドアーチを形成して耐力は増加した。
- ②スターラップのある RC はりにおいては、スターラップが腐食すると、スターラップが受け持つせん断耐力は低下するが、その低下率は腐食量から想定される低下率を大幅に上回った。
- ③付着の劣化をモデル化して行った解析により、アーチ機構を形成して耐力が上昇することを示した。
- ④解析では、主鉄筋の付着の状態によって 3 パターンの異なる耐荷機構が示された。

#### 参考文献

- 1)日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物のリハビリテーション委員会報告書，1998
- 2)二羽淳一郎：FEM 解析に基づくディープビームのせん断耐力算定式，第 2 回 RC 構造のせん断問題に対する解析的研究に関するコロキウム論文集，pp119-128，1983.10
- 3)菅満宣他：RC はりの力学的挙動に及ぼす付着特性の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.23, No.3, 2001

表 3 解析値と実験値の比較

供試体名	腐食減少率(%) 主鉄筋	実験値(KN)		解析値(KN)		Vc-exp Vc-ana
		Vc-exp	変化率	Vc-ana	変化率	
A0	0	21.3	1.00	17.5	1.00	1.22
Ae1	4.17	27.7	1.30	19.3	1.10	1.44
Ae2	6.98	32.9	1.54	23.3	1.33	1.41

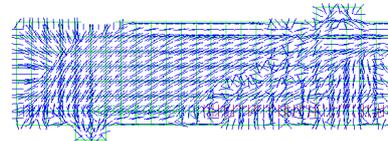


図 3 Ae2 における主圧縮応力の流れ

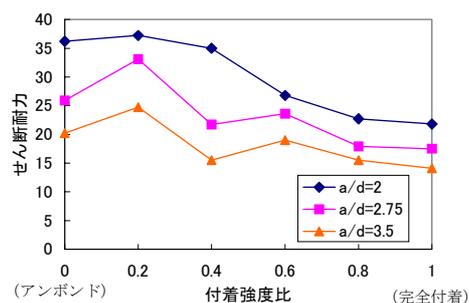


図 4 パラメータ解析結果

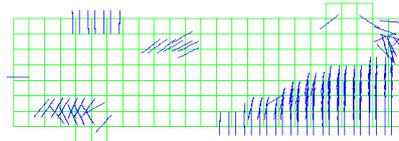


図 5 アンボンド状態でのひび割れ状況

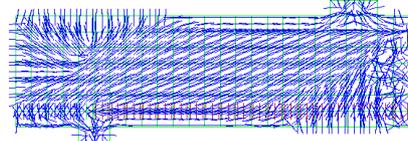


図 6 アンボンド状態での主圧縮応力の流れ