

鉄筋腐食が RC はりのせん断挙動に及ぼす影響に関する一考察

早稲田大学大学院 正会員 ○薛 昕
 清水建設 正会員 関 雅人
 早稲田大学 フェロー 関 博

1. はじめに

RC 構造物の耐久性に関する研究では、実験的な研究のみならず有限要素解析を用いる評価方法も増えている。劣化した RC はり部材を解析する際、鉄筋腐食が付着強度に与える影響に関する基礎的なデータの蓄積が必要である。本研究では両引き試験を行い鉄筋腐食が付着特性に及ぼす影響を調査すると共に付着実験結果を応用してはりせん断実験結果を検証することを試みた。

2. 実験

(1) 実験概要

はり部材の引張域では荷重の増加に伴ってひび割れの数が増し、最終的にひび割れは定常状態になる。はり部材の引張域の付着挙動を調査する際、定常状態下のひび割れ間隔(以下定常間隔と呼ぶ)を対象とする必要がある。今回の供試体の定着長さは定常間隔を考慮し、既往の研究¹⁾を参考にし定めた。図-1 に供試体寸法、表-1 に供試体一覧を示す。供試断面は 82×82mm で、かぶりは 30mm である。付着強度に達する以前の鉄筋降伏を防ぐため、高強度ねじ棒鋼 D19 ($f_y=716\text{N/mm}^2$) を使用した。載荷端におけるコンクリートの面外変形の影響を避けるため、定着部を除いたコンクリート中における鉄筋両端部をアンボンドとした。コンクリート強度は 34N/mm^2 である。鉄筋の腐食は電食試験により模擬した。図-2 に両引き試験概略を示す。測定項目は、鉄筋の真中の引張ひずみ、端部の変位である。平均付着応力 τ は鉄筋の端部と中央の引張応力の差により計算した。

表-1 供試体一覧

供試体	付着長さ mm	腐食減量 %
健全	140	0
腐食	280	4.1

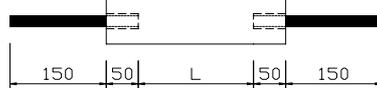


図-1 供試体寸法図(mm)

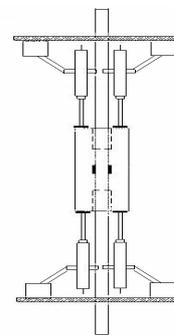


図-2 載荷概略

図-2 に両引き試験概略を示す。測定項目は、鉄筋の真中の引張ひずみ、端部の変位である。平均付着応力 τ は鉄筋の端部と中央の引張応力の差により計算した。

(2) 実験結果

図-3 に電食供試体の腐食性状を示す。鉄筋に沿う腐食ひび割れが発生した。載荷試験後、鉄筋を取り出して確認した結果、ほぼ全面に腐食したことが確認された。図-4 に平均付着応力-すべり関係を示す。載荷試験中健全と腐食供試体とも軸直角にはひび割れは発生しなかった。健全供試体の最大平均付着強度は過去の両引き試験での実験結果と比較的一致していることがわかった。健全供試体と比べ、腐食供試体の最大平均付着応力は健全供試体より小さいが、最大付着応力時のすべりは大きい。ポストピークの挙動については、健全の場合、比較的急激に低下したが、腐食供試体では、緩やかに減少した。健全供試体に対して腐食した供試体の付着強度の低下率は 0.82 であり、文献²⁾の式を用いた計算結果のおおよそ 1.05 倍である。



図-3 電食性状

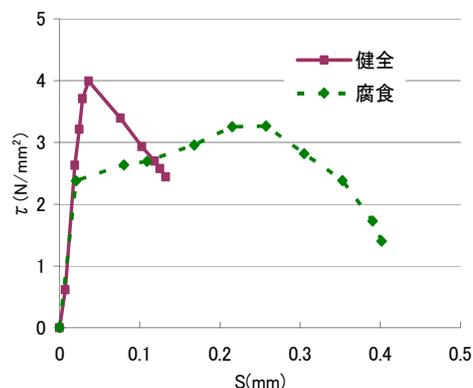


図-4 平均付着応力-すべり関係

キーワード 鉄筋腐食, 付着強度, 両引き試験, FEM 解析

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 早稲田大学理工学術院 51-16-09 関研究室 Tel:03-3355-3442

3. 解析

(1) RCはり試験

図-5 にはり供試体の概略を示す。供試体は $120 \times 240 \times 700\text{mm}$ で、せん断スパン比は 2.6 である。高強度ねじ棒鋼 D19 を引張主鉄筋に使用した。コンクリート強度は 34 N/mm^2 である。健全供試体の破壊モードは斜め引張破壊に対し、腐食供試体の破壊モードはせん断圧縮破壊であった。

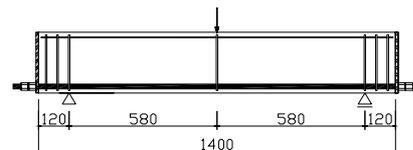


図-5 実験供試体(単位: mm)

(2) 解析概要

解析は、FEM 汎用プログラム DIANA を用いた。図-6 に解析モデルを示す。供試体の片側をモデルし、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た。コンクリートの引張、圧縮側とも破壊エネルギーを考慮した。コンクリートと鉄筋の界面に境界要素を設定し、支点より外側の境界要素を定着部として完全付着と仮定した。せん断スパン内の境界要素には、Dorr の 3 次関数による Bond-slip モデルを導入した。最大付着応力は健全な供試体の場合、付着実験の結果を用いた。腐食供試体の場合、付着低下率は文献²⁾ の計算式に実験結果による値 1.05 をかけることにより補正した。固定ひび割れモデルを用いて解析を行った。



図-6 解析モデル

表-2 解析結果

供試体	腐食減量 (%)	実験 V_u (KN)	解析 V_u (KN)
健全	0.0	43.2	44.1
腐食	7.0	50.7	51.4

(2) 解析結果

表-2 に解析結果を示す。解析結果は実験のせん断耐荷力をうまく評価したと思われる。図-7 に実験と解析の破壊時のひび割れパターンを示す。実験結果では、健全供試体と比べ、腐食供試体の斜めひび割れの傾きが急になり、発生場所が荷重点に近づくことが確認された。解析結果も同じような傾向を示した。これは、鉄筋の付着低下により鉄筋が負担する引張応力がせん断スパン内のコンクリートに伝達されにくくなり、はりの平面保持はできなくなり、タイドアーチ手的な耐荷機構が形成したためと思われる。解析の結果で健全な供試体の場合、ひび割れひずみが進展し荷重板の隣に位置するコンクリート要素の Gauss 点でひび割れが発生し、貫通した斜めひび割れの発生により耐力を失った。これは、実験結果の斜め引張破壊モードをよく再現していた。腐食した供試体の場合、ひび割れひずみが荷重板の下部に進展し、荷重板下に位置するコンクリートの要素の Gauss 点での圧縮破壊により耐力を失った。したがって、破壊モードはせん断圧縮破壊と考えられ、実験結果と一致している。

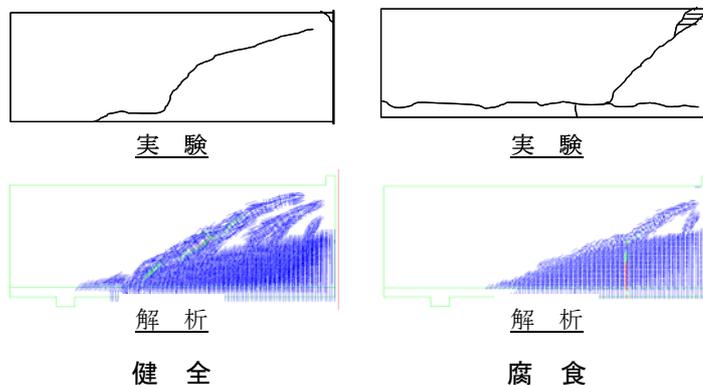


図-7 ひび割れ図比較

図-7 に実験と解析の破壊時のひび割れパターンを示す。実験結果では、健全供試体と比べ、腐食供試体の斜めひび割れの傾きが急になり、発生場所が荷重点に近づくことが確認された。解析結果も同じような傾向を示した。これは、鉄筋の付着低下により鉄筋が負担する引張応力がせん断スパン内のコンクリートに伝達されにくくなり、はりの平面保持はできなくなり、タイドアーチ手的な耐荷機構が形成したためと思われる。解析の結果で健全な供試体の場合、ひび割れひずみが進展し荷重板の隣に位置するコンクリート要素の Gauss 点でひび割れが発生し、貫通した斜めひび割れの発生により耐力を失った。これは、実験結果の斜め引張破壊モードをよく再現していた。腐食した供試体の場合、ひび割れひずみが荷重板の下部に進展し、荷重板下に位置するコンクリートの要素の Gauss 点での圧縮破壊により耐力を失った。したがって、破壊モードはせん断圧縮破壊と考えられ、実験結果と一致している。

3. まとめ

実験及び解析の結果、以下に示す知見が得られた。

- ① 鉄筋の腐食により平均付着応力は低下したが、最大値時のすべりは大きくなった。
- ② 付着実験結果を応用して解析した結果、はり部材における主鉄筋の付着低下により耐荷機構の変化を再現することができる。

参考文献

- 1) 角田与史雄：鉄筋コンクリートの最大ひび割れ幅，コンクリート・ジャーナル，vol. 8, No. 9, pp1-10, Sept. 1970
- 2) 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，コンクリート工学協会，1998. 10