

京都大学 学生会員 ○佐藤 吉孝
正会員 服部 篤史

正会員 山本 貴士
フェロー 宮川 豊章

1. はじめに

本研究では、鉄筋腐食が生じた RC 部材のせん断耐荷特性を明らかにすることを目的として、せん断補強筋の腐食を電食法によりモデル化した RC はり供試体について実験的および解析的検討を行なった。

2. 実験概要

せん断補強筋の腐食は電食法によりモデル化し、要因としてその腐食量を採り上げた。腐食段階 1 は加速期後期を想定した質量減少率 5.90%(せん断補強筋断面減少量 0.15mm)、段階 2 は劣化期を想定した 11.90%(せん断補強筋断面減少量 0.22mm)とした。

供試体は、 $200^B \times 200^H (175^d) \times 1500^{SL}$ mm の 4-D16(SD295A)単鉄筋はりで、せん断補強筋には 135° フック付 D6 スターラップ(SD295A)を用いた。供試体形状・寸法を図 1(○印スターラップは電食対象)に示す。コンクリートの目標配合強度は $f'_c=30$ N/mm² とし、载荷は一方向単調曲げ载荷とした。

3. 試験結果および考察

3.1 曲げ载荷試験結果

荷重-変位曲線の包絡線を図 2 に、終局時のひび割れ状況を図 3 に示す。いずれも斜め引張破壊を生じたが、腐食供試体では、せん断ひび割れの位置が载荷点寄りに変化した。腐食にともなうせん断補強筋の付着低下により、せん断補強筋の定着部、すなわち主筋とせん断補強筋の接点に大きな応力が作用し、斜めひび割れの起点が変化したと考えられる。その結果、腐食供試体では、斜めひび割れがせん断補強筋量の多い载荷点から $0.7d$ 付近(有効高さ $d=177$ mm, $s_s=80$ mm, $p_w=0.40\%$)に発生し、健全のせん断補強筋負担せん断力 V_s よりも大きくなった可能性がある。そこで、健全では $s_s=160$ mm, 腐食では $s_s=80$ mm としてせん断補強筋の実験ひずみよりトラス理論を用いて $V_s(\gamma_m=\gamma_b=1)$ を算定¹⁾し、全荷重との差からコンクリート負担せん断力 V_c を求めた。結果を図 4 に示す。なお、斜めひび割れと交差したせん断補強筋はいずれも降伏に至った。腐食供試体では、健全よりも変位の小さい段階で V_c の低下が生じている。せん断補強筋の付着性能の低下により、斜めひび割れの抑制効果が低下したためと考えられる。

3.2 有限要素解析結果

せん断補強筋の腐食をせん断補強筋の機械的性質および付着性能の低下としてモデル化し、有限要素解析によるせん断耐荷特性の検討を行なった。解析には、汎用有限要素解析コード ABAQUS/STANDARD_Ver6.3 を用い、解析モデルは対象性を考慮して供試体の左半分とした。主筋とスターラップの付着はバネ要素でモデル化した。付着性能の低下は、最大付着力を 6(健全)から 0N/mm² の間で腐食量に応じて低下(付着剛性は一定)させ、機械的性質の低下は、腐食量に応じてせん断補強筋断面積と降伏点を低下させることで表現した。

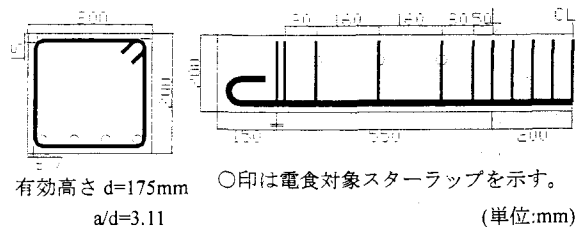


図 1 供試体形状・寸法

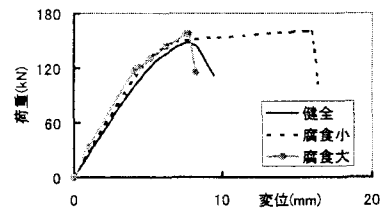


図 2 包絡線

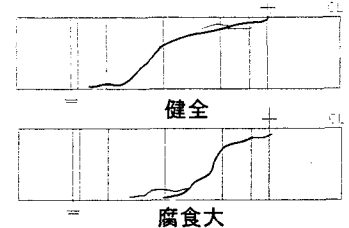


図 3 ひび割れ状況

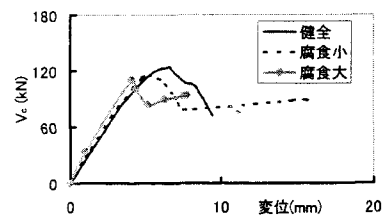


図 4 V_c -変位関係

機械的性質の低下(付着性能健全)が最大荷重に与える影響を図5に示す。計算値は、現行のせん断耐力算定式¹⁾にせん断補強筋の断面減少と降伏点低下を考慮して求めた。また、付着性能の低下(機械的性質健全)が最大荷重に与える影響を図6に示す。

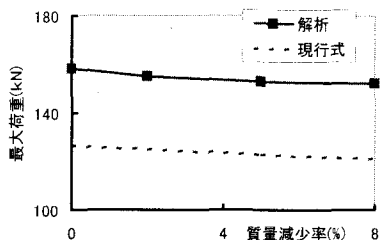


図5 機械的性質低下の影響

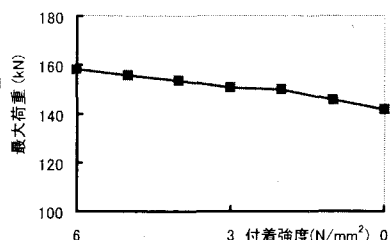


図6 付着性能低下の影響

いずれも耐力が低下したが、機械的性質の低下によるせん断耐力の低下は V_s の低下によると考えられ、その傾きは、現行式の計算値とほぼ等しくなった。また、付着性能の低下によるせん断耐力の低下は、部材変形の小さい段階からの斜めひび割れの拡大によって V_c が低下したことを表していると考えられる。さらに、2つの要因を合わせた解析の結果、機械的性質の低下による V_s の低下と付着性能の低下による V_c の低下が累加的に生じ、せん断耐力が低下したことを確認した。

3.3 鉄筋腐食の生じたRCはりのせん断耐力の評価

以上より、斜め引張破壊を生じるRCはりにおいて、せん断補強筋が腐食した場合、せん断補強筋の機械的性質の低下による V_s の低下、および付着性能の低下による V_c の低下が生じると考えられる。このうち V_s の低下は、現行式に断面減少と降伏点低下を考慮することで算定できると考えられる。また図7に示すように、 V_c の低下は、付着性能の低下によって斜めひび割れ幅が部材変位の小さい段階で拡大し、これにともなって生じたと考えられる。そこで、まず健全($\tau=6\text{N/mm}^2$)の解析結果の最大荷重(図6のy切片)から、健全のせん断補強筋無($p_w=0.00\%$)の解析結果から得られた最大荷重($=V_c$ とする)を引いて V_s を求め、この V_s と図6の各付着段階の最大荷重の差から V_c -付着強度関係を求めた。 V_c 、付着強度ともに健全時の値で除すことで無次元化して整理した結果を図8に示す。この傾きを低減係数 α_b として V_c に乗じた。以上より、せん断補強筋の腐食したRCはりのせん断耐力を次式(1)(部材係数 $\gamma_b=1$ 材料係数 $\gamma_m=1$)で表した。

$$V_{c(\text{corr})} = \alpha_b \cdot V_c \quad \alpha_b = 0.144 r_b + 0.856 \quad r_b: \text{付着強度比} \quad \text{式(1)}$$

$$V_{s(\text{corr})} = A_{w(\text{corr})} \cdot f_{wy(\text{corr})} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) \cdot z/s_s \quad (\text{N})$$

本式による算定値と実験結果および既往の結果³⁾との比較を、それぞれ図9、図10に示す。概ね実験結果の傾向を捉えることができたが、種々の安全係数の考慮については今後の課題である。

4. 結論

せん断補強筋が腐食したRCはりにおいて斜め引張破壊が生じる場合、機械的性質の低下によるせん断補強筋負担せん断力 V_s の低下、付着性能の低下によるコンクリート負担せん断力 V_c の低下が生じると考えられる。また、これらの影響を考慮したせん断耐力算定式を提案した。
参考文献: 1)土木学会:コンクリート標準示方書(2002年制定)-構造性能照査編-, 2002. 2)JCI: コンクリート構造物のリハビリテーション研究委員会報告書, pp43-52, 1998.10. 3)佐藤ら: せん断補強筋および主筋の腐食がRC部材のせん断耐荷特性に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.2, 2003.

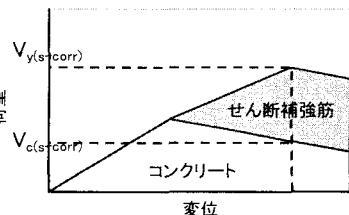


図7 付着性能低下による V_c 低下

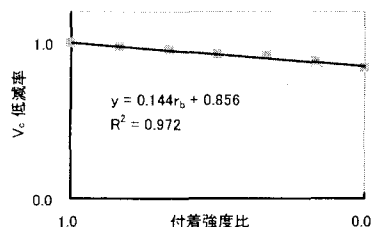


図8 V_c 低減率-付着強度比関係

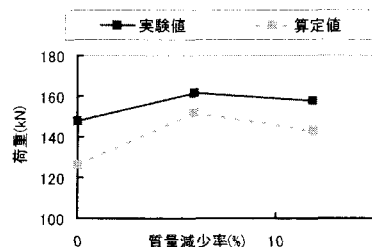


図9 実験値と算定値の比較

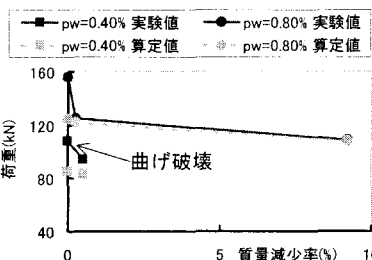


図10 既往の結果と算定値の比較