

腐食鉄筋のRC梁部材の重ね梁機構の形成と耐荷性状に及ぼす影響に関する研究

中央大学 学生会員 ○塩谷 文彬
 長岡工業高等専門学校 正会員 村上 祐貴
 中央大学 正会員 大下 英吉

1. はじめに

近年、既存の鉄筋コンクリート構造物の経年劣化に伴い、耐久性能の低下が深刻な問題となっている。このことを背景として、構造物を適切に維持管理し、長期的な供用を目指す動向が各方面で活発となっている。特に中性化や塩害に伴う鉄筋腐食は、鉄筋コンクリート構造物の構造性能を直接低下させることが多い劣化現象であり、鉄筋腐食を生じたRC構造物の耐力予測は重要な位置付けにある。

現在までに鉄筋腐食を生じたRC梁部材の残存耐荷性状について有用な知見が蓄積されつつある¹⁾。

既往の研究成果を整理すると、曲げ耐荷性能については、鉄筋の腐食程度が大きな影響を及ぼし、主鉄筋の断面減少と残存耐力は概ね線形関係にある²⁾、³⁾。

一方、せん断耐荷性能については鉄筋腐食に伴う主鉄筋とコンクリートの付着低下により、アーチ耐荷機構が形成され、非腐食時よりも耐力が向上するとの報告が多い⁴⁾、⁵⁾。

この一方で、鉄筋腐食により主鉄筋とコンクリートの付着が低下により、主鉄筋を境にコンクリートが重ね梁の状態となり、不連続な変形挙動を示し、直角フックなどにより、この変形が拘束されると定着破壊を生じる恐れがあることが報告されている⁶⁾。

したがって鉄筋腐食に伴うせん断耐荷性能を議論する上で重ね梁機構の影響について議論することは重要な位置付けにある。

そこで本研究では、腐食鉄筋のRC梁部材の重ね梁機構の形成とせん断耐荷性状に及ぼす影響について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 試験体

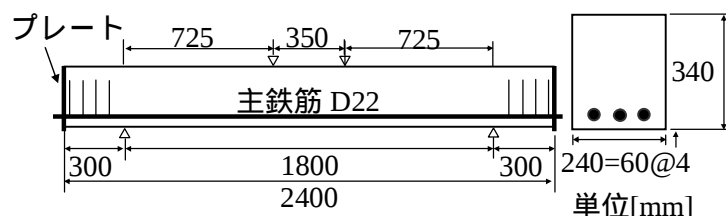
試験体の形状と寸法および配筋を図-1に示す。試験体は3種類であり、Fシリーズのうち、F0-4試験体

表-1 コンクリートの配合表

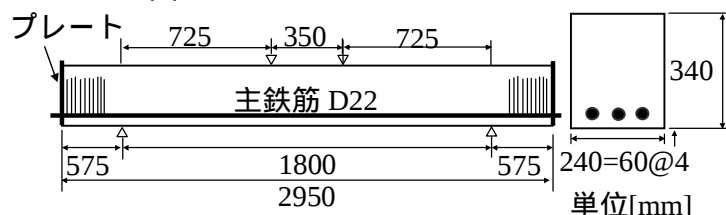
Gmax	W/C	SI	Air	単位量(kg/m ³)				
(mm)	(%)	(cm)	(%)	W	C	S	G	混和剤
20	60	10	5	168	280	826	996	2.8

表-2 実験体のパラメータ

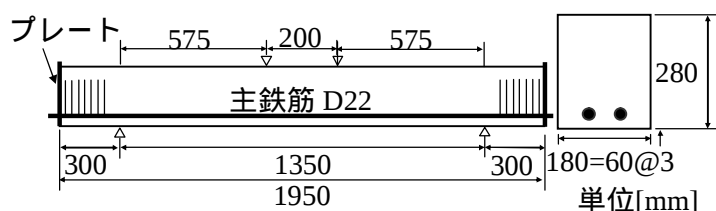
シリーズ	試験体名	主鉄筋 (D22)	定着筋 (本数)	平均腐食率(%)
F	F0-4	普通鉄筋	4	-
	F10-4			7.2
	F10-10		10	13.3
K	K0-7	高張力鉄筋	7	-
	K10-7			15.2



(a) F0-4試験体およびF4-10試験体



(b) F10-10試験体



(c) Kシリーズ試験体

図-1 試験体概要

およびF10-4試験体は240×340×2400mmのRC梁部材、F10-10に関しては240×340×2950mmのRC梁部材とし、

キーワード 鉄筋腐食、重ね梁機構、定着部上縁ひび割れ

連絡先 〒112-0003 東京都文京区春日 1-13-27 TEL 03-3817-1892

引張鉄筋には、D22(SD345)異形鉄筋を3本配筋した。

また、F10-10試験体は定着筋を10本配筋し、F10-4試験体では4本配筋した。Kシリーズにおいては定着筋を7本配筋した。いずれの試験体も主鉄筋の引抜けを防止するための鋼鉄製のプレートを用いて主鉄筋を端面に固定した。

Kシリーズでは、 $180 \times 280 \times 1950$ mmのRC梁部材であり、引張主鉄筋には、DD高張力鉄筋(USD685)を2本配筋した。コンクリートの配合は表-1に示す通りである。

2.2 電食方法

本実験では、腐食試験方法として、電食試験法を採用した。まず、試験体を5%NaCl水溶液を満たした水槽内に浸漬し、鉄筋を陽極側、銅板を陰極側に接続し、直流定電流20Aを通电した。なお、F10-4試験体は全長腐食で、F10-10試験体およびK10-4試験体は支点間のみとして、鉄筋を腐食させた。本研究においては、鉄筋の腐食劣化指標として腐食率(腐食後の質量減少率)を用いることとした。

2.3 実験パラメータおよび載荷試験方法

実験パラメータを表-2に示す。目標腐食率は0%および10%の2水準とした。

載荷試験は、図-1に示す通りFシリーズの場合は載荷点間350mm、支点間1800mmの静的4点曲げ載荷試験であり、Kシリーズの場合は載荷点間200mm、1350mmであるが、 a/d はいずれのシリーズも2.40である。なお、載荷は変位制御(0.5mm/min)で行った。

2.4 測定項目

測定項目は、鉄筋の腐食率、腐食ひび割れ幅、スパン中央部のたわみおよび鉄筋の軸方向ひずみである。スパン中央部のたわみは、1/100mm変位計を載荷点直下に2点、試験体中央に1点設置して測定した。

鉄筋の軸方向ひずみの測定であるが、鉄筋を軸方向に2分割し、切断面に設けた溝にひずみゲージを貼り付け、その後、2対の鉄筋をエポキシ樹脂で接合し、ひずみゲージを鉄筋腐食から保護した。なお、鉄筋ひずみの測定間隔は、48mmである。

3. 重ね梁機構と耐荷性状

3.1 破壊性状

図-2に各試験体の終局時における破壊ひび割れおよび腐食ひび割れを示す。図中の黒線は破壊ひび割

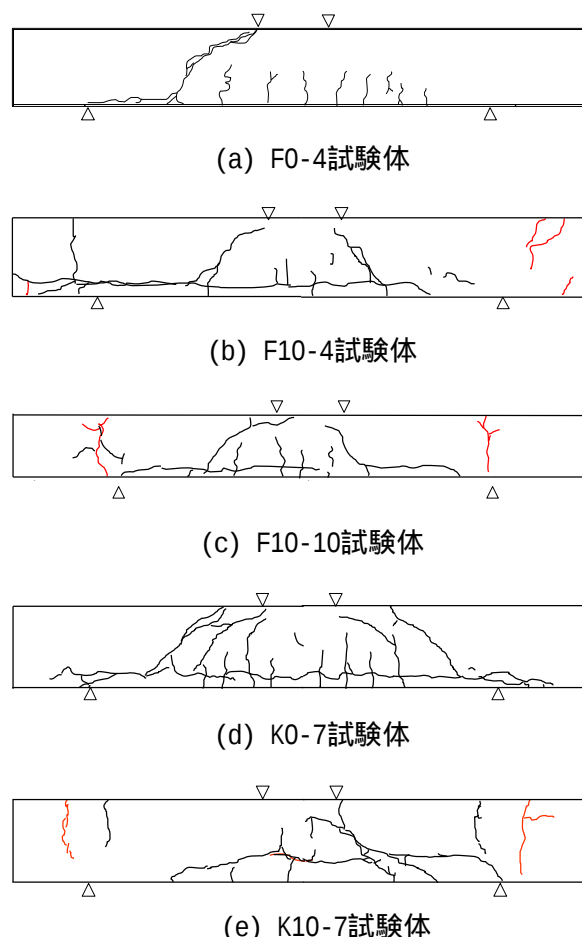


図-2 破壊ひび割れおよび腐食ひび割れ性状

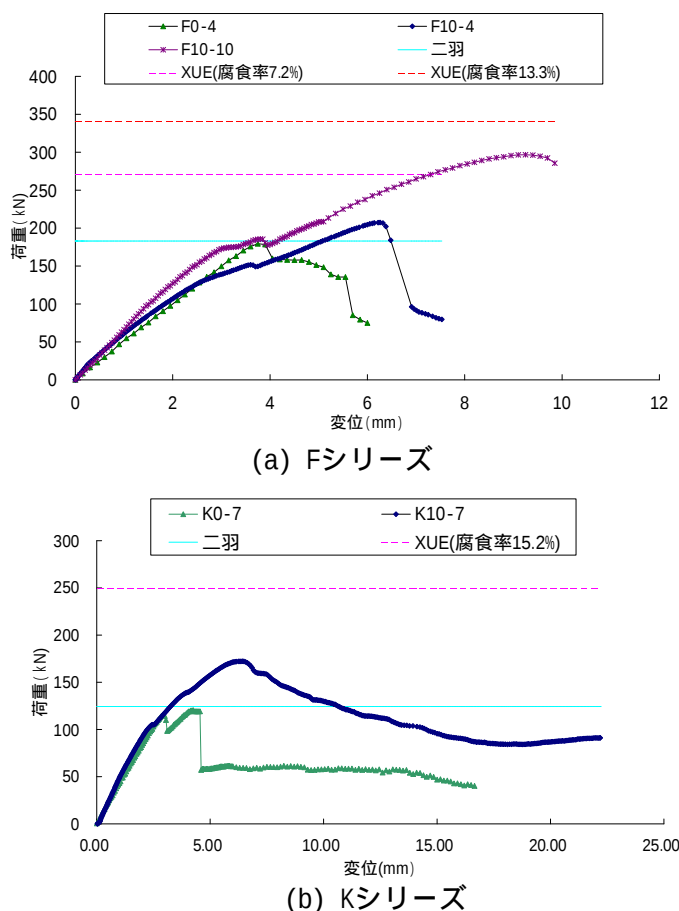


図-3 荷重～中央変位関係

れを示し、赤線は腐食ひび割れを示す。

全ての試験体において斜めひび割れが発生し、鉄筋軸に沿って水平ひび割れが支点まで進展した。また、腐食試験体においては、定着上縁ひび割れが発生しているのに対し、健全試験体においては定着上縁ひび割れが発生しなかった。

図-3に各試験体の荷重～中央変位関係を示す。図中の実線は式(1)に示す二羽式により算出した非腐食時のせん断耐力算定値である⁷⁾。また、図中の破線は、XUEらによる式(2)に示す鉄筋腐食を生じたRC梁のせん断耐力算定値である⁸⁾。

$$V_c = 0.20 f_c^{1/3} (100 p_w)^{1/3} d^{-1/4} \left(0.75 + \frac{1.4}{a/d} \right) b_w d \quad (1)$$

$$V_{cu} = \alpha_1 \cdot V_{c0} \quad (2)$$

$$\alpha_1 = 1 + (0.16 - 0.04 \times (a/d)) C_m$$

C_m : 主鉄筋の平均腐食率 (%)

V_{c0} : 非腐食時のコンクリートのせん断力

また、表-3には各試験体の破壊性状と最大荷重を示す。

まず、Fシリーズにおいて、健全試験体であるF0-4試験体では最大荷重が181kNとなった時点で斜め引張破壊を生じた。一方、定着を非腐食としたF10-10試験体においては最大荷重が297kNとなり、健全試験体に比べて最大荷重が大幅に増加した。

これは、支点間の主鉄筋の付着損失により、アーチ耐荷機構が形成されたためと考えられる。一方、F10-4試験体では、健全試験体の耐力である181kNを上回ったものの、207kNの時点で定着部上縁から支点に向かってひび割れが発生するとともに荷重が低下した。F10-4試験体においては最大荷重になる直前で定着部上縁のひび割れが鉄筋位置まで到達した。

次に、Kシリーズにおいては、健全試験体であるK0-7試験体では、最大荷重が121kNとなりFシリーズと同様、式(1)から算出される124kNと概ね近い値を示した。一方、腐食試験体であるK10-7試験体においては最大荷重が173kNとなり健全試験体よりも耐力が増大した。K10-7試験体はF10-10試験体と同様に、腐食によるせん断スパンの付着損失により、アーチ耐荷機構が形成されたものと考えられる。また、この試験体においても定着部上縁ひび割れは発生した。

3.2 重ね梁機構

表—3 各試験体の破壊性状と最大荷重

試験体名	最大荷重(kN)	関式(kN)	二羽式(kN)	破壊モード
F0-4	181	-	184	斜め引張り
F10-4	207	269		定着部上縁
F10-10	297	341		せん断圧縮
K0-7	121	-	124	斜め引張り
K10-7	173	249		せん断圧縮

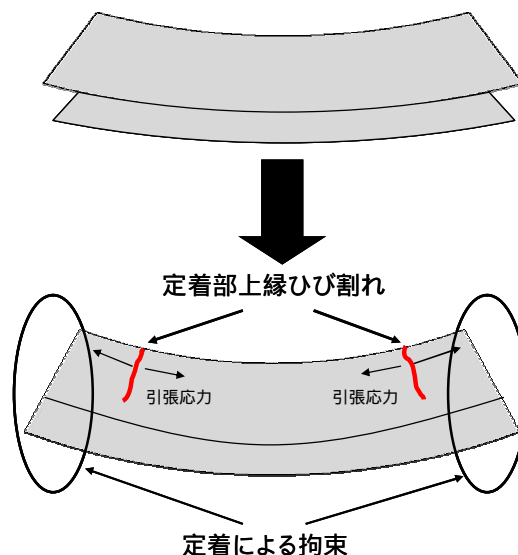


図-4 重ね梁機構の形成



写真-1 定着部上縁ひび割れ

前節において、腐食試験体においては定着部上縁ひび割れが発生し、F10-4試験体においては、そのひび割れが破壊直前に鉄筋位置まで達したことを述べた。

健全な梁においては鉄筋とコンクリート間の付着によって梁全体が一体性を保ちながら変形し、定着領域にまで鉄筋力は伝達されない。

一方、腐食試験体のように鉄筋とコンクリートとの付着が損失した場合、定着領域まで荷重が伝達す

る。これによって、図 - 4に示すような重ね梁機構が形成されているものと考えられ、主鉄筋の上下のコンクリートが不連続な挙動を生じているものと考えられる。

この不連続な変形をプレートによって拘束したことにより、支点近傍には、負の曲げモーメントが発生し、写真 - 1に示すような定着部上縁においてひび割れが発生し、破壊に至ったものと考えられる。

3.3 耐力性状

図 - 2より、いずれの腐食試験体においても定着部上縁ひび割れが発生している。また、図 - 3および表 - 3より、定着性能を十分に確保した腐食試験体 F10-10およびK10-7試験体においては非腐食試験体に比べて耐力が大幅に増加したことに対し、全長腐食に伴う主鉄筋の定着不良を生じたF10-4試験体では前の2試験体に比べ耐力増加は小さいことがわかる。F10-4試験体においては、定着を含む梁全体にわたり鉄筋腐食が生じたことから、図 - 4に示す主鉄筋の上下のコンクリートの不連続な変形挙動が他の試験体に比べ大きく、低い荷重レベルで定着部上縁が破壊に至ったことから、アーチ耐力機構の形成による耐力の増加は小さかったものと考えられる。一方、定着が十分に確保された腐食試験体においては定着部上縁ひび割れが生じるものの、定着領域の鉄筋とコンクリートの一体性が高いことで、コンクリートの不連続な変形が抑制され、強固なアーチ耐力機構が保持されているものと考えられる。

これらのことから、鉄筋腐食に起因したアーチ耐力機構の形成に伴う残存耐力性状は支点間の付着性状に加えて、定着性能が大きく影響していると考えられる。また、アーチ耐力機構が形成される過程において、重ね梁機構の影響により、定着部上縁が破壊に至り、大きな耐力増加を見込めない場合があり、今後、定量的に評価を行う必要がある。

4. まとめ

- 1) 鉄筋腐食を生じたRC梁部材は主鉄筋の付着劣化により、主鉄筋を境界に重ね梁機構を形成する場合がある。
- 2) 本実験の範囲内では、支点間のみの鉄筋腐食をしたものは、重ね梁機構を形成するものの、非腐食時に比べて耐力は大幅に増加した。

- 3) 本実験の範囲内では、全長にわたり鉄筋腐食をしたものは、重ね梁機構を形成し定着部上縁ひび割れが鉄筋位置まで進展し、非腐食時からの耐力増加は小さかった。

参考文献

- 1) 土木学会：材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能,コンクリート技術シリーズ71, 2006
- 2) 大屋戸理明, 金久保利之, 山本泰彦, 佐藤勉：鉄筋の腐食性状が鉄筋コンクリート部材の曲げ性状に与える影響, 土木学会論文集, Vol.62, No.3, pp542-554, 2006
- 3) 村上祐貴, 山内佑樹, 堤知明, 大下英吉：鉄筋腐食したRC部材の残存曲げ耐力に及ぼすせん断補強筋の影響評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.2, pp.727-732, 2006
- 4) 佐藤吉孝, 山本貴士, 服部篤史, 宮川豊章：せん断補強筋および主筋の腐食がRC部材のせん断耐力特性に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, pp.821-826, 2003
- 5) 佐藤吉孝, 山本貴士, 服部篤史, 宮川豊章：鉄筋腐食の生じたRC部材のせん断耐力特性の検討, アップグレード論文報告集, Vol.4, pp.33-38, 2004
- 6) 村上祐貴, 大下英吉, 鈴木修一, 堤知明：鉄筋腐食したRC部材の残存耐力に及ぼすせん断補強筋ならびに定着性能の影響に関する研究, 土木学会論文集, Vol.64, No.4, pp.631-649, 2008.12
- 7) 二羽淳一郎, 山田一字, 横沢和夫, 岡本甫：せん断補強鉄筋を用いないRCはりのせん断強度式の再評価, 土木学会論文集, 第325号, V-5, pp167-176, 1986
- 8) Xin XUE, 関博, 佐藤靖彦, 広森紳太郎：鉄筋が腐食したRCはりのせん断挙動に関する研究, 土木学会論文集E, Vol.65, No2, pp.161-177, 2009.4