

鉄筋腐食を生じたRC梁部材の残存耐荷性能に及ぼす定着性能の影響

中央大学 学生会員 児島 拓朗
 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う耐久性能の低下が深刻な問題となっている。このことから、各種劣化損傷を生じたRC構造物の構造性能について多方面で研究が実施されており、特に、構造性能に直接影響を及ぼすことが多い鉄筋腐食劣化については盛んに研究が行なわれている。

鉄筋腐食を生じたRC梁部材の残存耐荷性能評価については現在までに多くの研究が行なわれているが、これらの研究の多くは主鉄筋の定着が十分に保たれている状態で検討されている。しかしながら、鉄筋の腐食により付着劣化が生じ、また、応力腐食によって定着フック曲げ加工部に破断が生じる等、主鉄筋の定着が不十分となる場合も想定される。したがって、定着不良を生じた状態での耐荷性状に及ぼす鉄筋腐食の影響についても検討することは重要な位置付けとなる。

このような背景から、村上らは定着不良を生じたRC梁の残存耐荷性能に及ぼす鉄筋腐食の影響についての検討を行っており¹⁾、鉄筋腐食に伴う主鉄筋の付着劣化により荷重が定着領域まで伝達する可能性があることを明らかにし、定着が不十分な場合、主鉄筋が抜出で、残存耐荷性能が健全時に比べて大幅に低下することを指摘した。しかしながら、既往の研究においてはその定量的評価までには至っていない。

そこで本研究では鉄筋腐食を生じたRC梁部材の耐荷性状に及ぼす主鉄筋の定着性能の影響を定量的に評

価することを目的とし、構造緒元の異なる鉄筋腐食RC梁部材に対して曲げ載荷試験を実施し、定着性能と残存耐荷性能について検討した。

2.実験概要

2.1 試験体

試験体の形状寸法と配筋を図-1に示す。試験体は2種類であり、Lシリーズは幅240mm、高さ200mm、長さ2100mm、Hシリーズは幅210mm、高さ260mm、長さ2100mmである。また、Lシリーズ、Hシリーズ共に定着長は150mmとした。

主鉄筋はD16異形鉄筋(SD295)を使用した。コンクリートの配合は表-1に示す。設計時の曲げ耐力およびせん断耐力算定値を表-2に示す。各種耐力の算出に際しては、コンクリートの圧縮強度および鉄筋の降伏強度は実測値を使用した。また、せん断耐力は二羽式²⁾から算出した。

2.2 実験パラメータ

実験パラメータを表-2に示す。実験パラメータは主鉄筋の腐食レベル、定着筋量などである。

2.3 腐食試験方法

鉄筋の腐食手法は、電食試験法を採用した。電食試験の概要は既往の研究を参照されたい¹⁾。鉄筋腐食の評価指標は、試験前後の鉄筋の質量減少率を用いることとした。

表-1 コンクリートの配合

Gmax (mm)	W/C (%)	スラブ厚 (cm)	空気量 (%)	単位水量(kg/m ³)				
				水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
				W	C	S	G	
20	60	10	5	168	280	826	996	2.8

表-2 実験パラメータ及び実験結果

シリーズ	試験体名	定着筋の本数 (本)	設定腐食率 (%)	主鉄筋腐食率 (%)	定着筋平均腐食率全体 (%)	曲げ耐力示方書 Vc(kN)	せん断耐力二羽式 Vc(kN)	破壊荷重 (kN)	破壊モード
L	L-S0-0	0	-	-	-	80.5	42.8	94.9	曲げ
	L-S0-10	0	10	10.2	-			53.1	付着剥離
	L-S0-20	0	20	18.6	-			34.3	付着剥離
	L-S2-0	2	-	-	-			91.4	曲げ
	L-S2-10	2	10	10.1	39.2			69.8	せん断
	L-S2-20	2	20	16.4	42.6			59.2	せん断
H	L-S2-10ub	2 (アンボンド)	10	11.3	-	76.8	45.4	52.9	付着剥離
	H-S0-0	0	-	-	-			101.1	曲げ
	H-S0-10	0	10	10.8	-			80.7	付着剥離
	H-S0-20A	0	20	19.0	-			75.4	付着剥離
	H-S0-20B	0	20	20.9	-			39.9	付着剥離
	H-S2-10	2	10	7.4	29.9			85.9	せん断
	H-S2-20	2	20	18.2	27.3			72.4	付着剥離
	H-S3-20	3	20	12.3	10.5			74.9	付着剥離
	H-S4-20	4	20	16.0	10.3			64.4	付着剥離

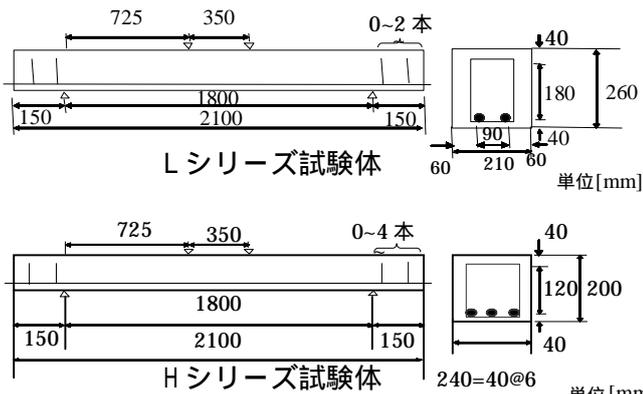


図-1 試験体概要

キーワード：鉄筋腐食，残存耐荷，定着性能，せん断スパン比

連絡先 〒112-0003 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部 TEL 03-0817-1892

2.4 荷重方法および測定項目

荷重は変位制御で行い、図 - 1 で示したように荷重点間隔 350mm、支点間距離 1800mm の静的 4 点曲げ荷重試験である。せん断スパン比は L シリーズでは 4.53、H シリーズでは 3.29 である。

測定項目は鉄筋の腐食率、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 変位計を荷重点直下に 2 点、試験体中央に 1 点設置して測定した。

鉄筋の軸方向のひずみの測定は、ひずみゲージが鉄筋腐食によって破損すること避けるため、鉄筋内部に貼り付けることとした。その具体的な手法であるが、鉄筋を軸方向に切断した後にその断面に 2 × 4mm の溝を掘り、ひずみゲージをその溝内に貼り付けた。その後エポキシ樹脂接着剤により鉄筋を接合し一本の鉄筋とした。

3. 定着性能の異なる腐食した RC 梁の破壊

3.1 L シリーズ試験体 (a/d:4.53)

図 - 3 に L シリーズ試験体の荷重と中央変位の関係、図 - 4 に鉄筋ひずみ分布を示す。

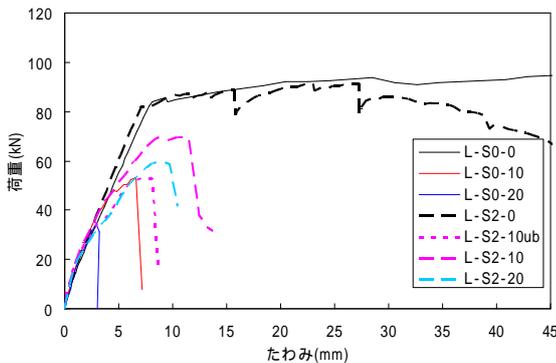


図 - 3 荷重と中央変位(L シリーズ)

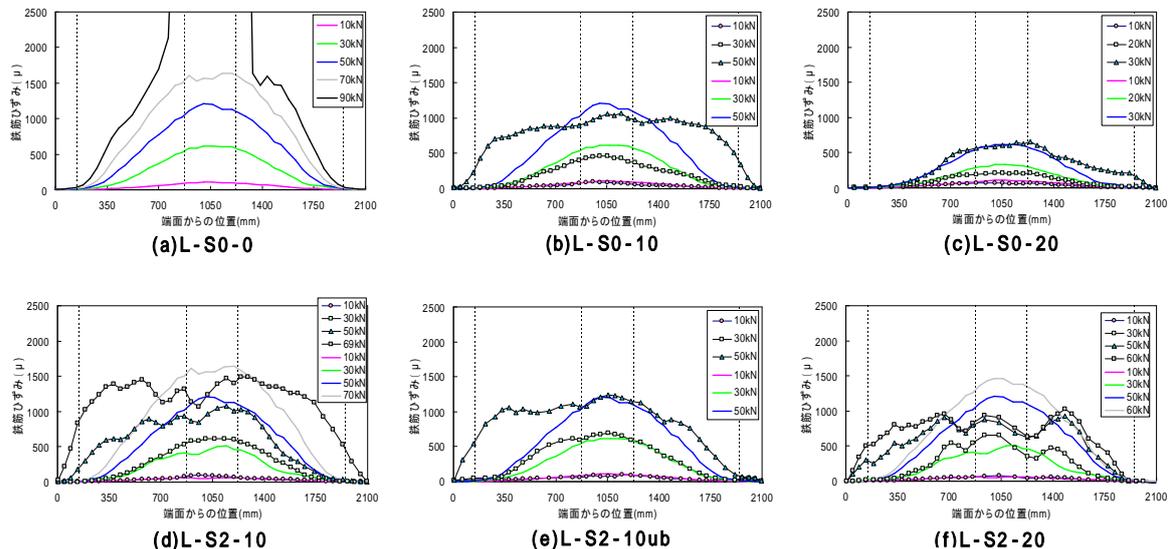


図 - 4 鉄筋ひずみ分布 (L シリーズ)

まず、非腐食試験 L-S0-0 では主鉄筋は降伏に至り、破壊モードも曲げ引張破壊を示した。

平均腐食率が約 10%と 20%である L-S0-10、L-S0-20 の耐力は非腐食時の耐力と比べてそれぞれ 56%と 33%となっており、腐食による耐力の影響が大きいことを示している。また、その破壊は極めて脆性的で、斜めひび割れが荷重点近傍に発生し付着ひび割れへと進展したことにより破壊に至った。

図 - 4 に L-S0 シリーズの主鉄筋のひずみ分布を示す。まず、図 - 4(a) に示す鉄筋が非腐食である試験体 L-S0-0 のひずみ放物的な分布性状を示し、荷重が 90kN の時点で等曲げ区間の鉄筋が降伏した。支点間は付着があるので定着領域近傍ではひずみがほとんど生じていない。

一方、腐食試験体に関しては、荷重の増加に伴ってせん断スパンのひずみ勾配が緩やかになるとともに、定着領域までひずみが発生している。これは、鉄筋腐食によりコンクリートの腐食劣化が生じたためであり、支点方向に荷重が伝達したことを示している。L-S0 シリーズでは腐食により定着不良を生じているため、定着領域まで荷重が伝達すると端部から鉄筋が拔出し、梁は破壊に至る。すなわち、定着性能が耐荷性能に重要な位置づけとなるのである。

定着筋を配筋した L-SA シリーズが鉄筋腐食を生じた場合では、健全時より耐力は低下するものの、L-S0 シリーズよりも耐力の低下は大幅に抑制されている。

また、L-SA シリーズ腐食試験体も付着割裂破壊を生じた。

3.2 Hシリーズ試験体(a/d:3.29)

図 - 5にHシリーズ試験体の荷重と中央変位の関係、図 - 4に鉄筋ひずみ分布を示す。H-S0-10 および H-S0-20A では、鉄筋腐食による耐力の低下割合はLシリーズの腐食試験体に比べて小さく、破壊も延性的なものであった。

H-S0-10 及び H-S0-20A では、付着割裂破壊を生じたが、これはL-S0シリーズと同じく、鉄筋腐食により破壊モードが移行したためである。

次に、定着筋を配筋したH-SAシリーズ試験体であるが、H-S2-10 と H-S0-10 の残存耐力に差異がない。これは、図 - 6(b), (d)に鉄筋ひずみ分布を示すように、定着破壊を生じる前に等曲げ区間において主鉄筋が降伏に至ったためである。また、平均腐食率が20%であるH-S0-20 と H-S020B を比較すると定着筋を配筋したことで残存耐力の低下が大幅に抑制されている。

定着筋の多いH-S3-20 及び H-S4-20 においては耐力の低下は抑制されているが、H-S2-20 と比べて明確な差は生じておらず、本実験の範囲内では定着筋による

主鉄筋の拘束効果は期待できるものの、その効果には上限があると考えられる。

4. 鉄筋腐食を生じたRC梁の耐荷性状に及ぼす主鉄筋の腐食と耐力

4.1 主鉄筋の腐食率と耐力

図 - 7は、せん断或いは付着割裂破壊を生じた試験体における主鉄筋の平均腐食率と耐力比の関係を示したものである。腐食試験体の耐力は、非腐食時のコンクリートのせん断耐力算定値を用いて正規化した。

また、図 - 7はXUEらの提案式³⁾から算出した腐食RC梁のせん断耐力と主鉄筋の平均腐食率との関係を破線で示している。Lシリーズ、Hシリーズともに評価式に比べて全体的に耐力が低くなっているが、これはXUEらの評価式が完全定着状態における腐食RC梁のせん断耐力を想定しているためであり、XUEらもこのことを指摘している。本実験のように腐食に伴って定着不良が生じた場合は、完全なアーチ機構が形成される過程で鉄筋が抜出してしまいうため、定着性能を考慮する必要がある。

4.2 定着性能がせん断耐荷性能に及ぼす影響

図 - 8にせん断或いは付着割裂破壊を生じた試験体の定着領域における平均付着応力の最大値と単位幅当りの耐力の関係を示す。図 - 8に示すように定着性能の低下に伴い耐力はほぼ線形的に低下しており、定着性能が残存耐力に支配的な影響を及ぼすことが確認される。また、HシリーズはLシリーズに比べて同一性能に対する耐力が大きい値を示しており、定着性能に加えてせん断スパン比も残存耐力に及ぼす影響は大きいと考えられる。

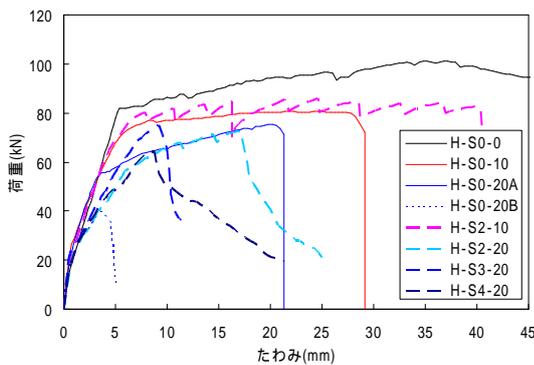


図 - 5 荷重と中央変位 (Hシリーズ)

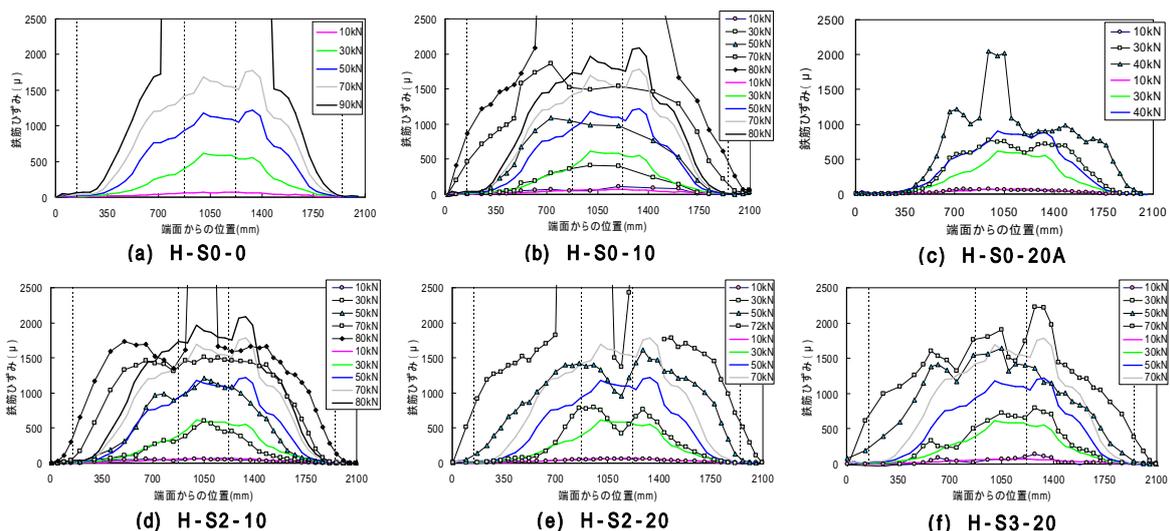


図 - 6 鉄筋ひずみ分布 (Hシリーズ)

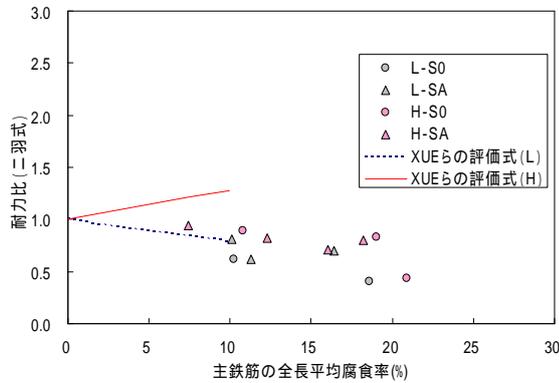


図 - 7 耐力と主鉄筋の平均腐食率

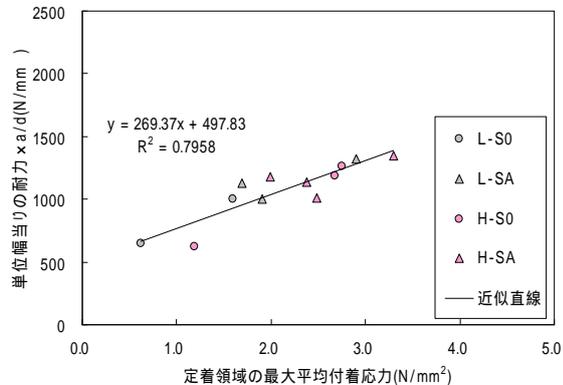


図 - 9 単位幅当りの耐力 × a/d と定着性能

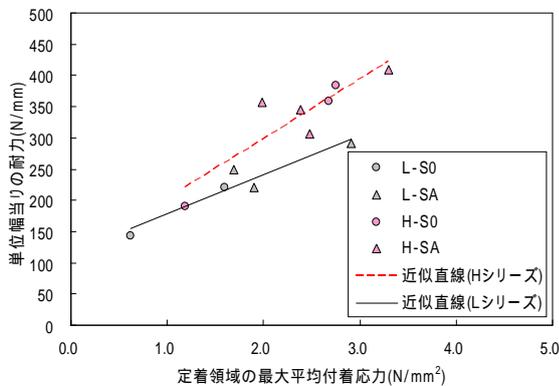


図 - 8 単位幅当りの耐力と定着性能

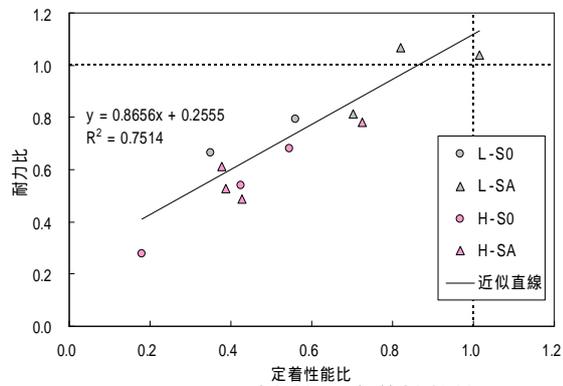


図 - 10 耐力比と定着性能比

図 - 9 に単位幅当りの耐力にせん断スパン比を乗ずることにより a/d を考慮した耐力と定着領域の平均付着応力の最大値との関係を示す。平均付着応力は計測した鉄筋ひずみ値を用いて算出した。定着性能と a/d を考慮したせん断耐力はほぼ一義的な関係を示している。

図 - 7 に示した XUE らによる完全定着状態時の腐食 RC 梁のせん断耐荷力の評価式は次のようになる。

$$V = \alpha_1 \cdot V_{C0}$$

$$\alpha_1 = 1 + [0.16 - 0.04a/d] \cdot C_m \quad (1)$$

ここで、a/d：せん断スパン比， C_m (%)：軸引張鉄筋の平均腐食率， V_{C0} ：軸引張り鉄筋のみの健全な梁部材のせん断耐力である。

式(1)より、各腐食試験体の完全定着状態におけるせん断耐力を算出し、図 - 9 の耐力と定着性能の近似式を用いて完全定着状態でのせん断耐力を得るのに必要な定着性能を式(2)により逆算した。

$$(2V/b) \cdot a/d = 284.74\tau_{anc} + 522.04 \quad (2)$$

ここで、b(mm)：はり幅， τ_{anc} (N/mm²)：定着領域の最大平均付着応力である。

式(1)および式(2)より算出した完全定着状態でのせん断耐力及び定着性能を 1.0 として、各腐食試験体のそれらを正規化すると、図 - 10 に示すようになる。図 - 10 より耐力比と定着性能比の間には試験体の形状寸法に

よらず一義的な線形関係が認められ、本実験の範囲内では定着不良によるせん断耐力の低下を概ね評価することが可能である。

5. 結論

本研究では形状・寸法の異なる RC 梁部材に対して鉄筋腐食により定着不良を生じた場合の残存耐荷性状について実験的検討を行なった。以下に本研究で得られた知見を示す。

- (1)鉄筋腐食を生じた RC 梁部材においてアーチ耐荷機構が形成される場合、定着性能は耐力に支配的な影響を及ぼす。
- (2)定着不良により不完全なアーチ機構が形成された場合のせん断耐力は、せん断スパン比と定着性能を考慮することである程度評価することが可能である。

参考文献

- 1)村上祐貴，大下英吉，鈴木修一，堤知明：鉄筋腐食した RC 梁部材の残存耐荷性状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 E,vol.64,No.4,pp.631-649,2008.12
- 2)二羽淳一郎，山田一宇，横沢和夫，岡村甫：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
- 3)Xin XUE，関博，佐藤靖彦，広森紳太郎：鉄筋が腐食した RC はりのせん断耐荷挙動に関する研究，土木学会論文集 E,vol.65,No.2,pp.161-177,2009.4