

論文 鉄筋腐食を生じた RC 梁部材の残存耐力性状に及ぼすせん断スパン比の影響

若林 泰光*1・村上 祐貴*2・大下 英吉*3・堤 知明*4

要旨: 本研究では、鉄筋腐食した RC 梁部材の残存耐力性状におよぼすせん断スパン比の影響評価を目的として、せん断スパン比の異なる RC 梁部材の定着性能とアーチ耐荷メカニズムの関係について検討を行った。その結果、定着性能（定着領域の最大平均付着応力）と残存耐力には明確な相関性が確認された。また、その関係は有効断面積（試験体幅×有効高さ）を考慮することでせん断スパン比によらず、統一的に評価可能であることを明らかとした。

キーワード: 定着性能, アーチ耐機構, せん断スパン比

1. はじめに

近年、諸外国において性能検査が実施された直後に道路橋が崩落するといった事故が発生しており、一般的な検査手法である目視による定性的な耐久性能評価の限界が露呈し、合理的な維持管理と事故の防止に寄与する客観的手法に向けた技術の確立が強く求められている。コンクリート構造物の劣化現象は様々あるが、各種劣化の中でも中性化や塩害に伴う鉄筋腐食は比較的起こりやすい劣化現象であるとともに、直接耐荷性能を低下させる場合が多い。そのため、近年では鉄筋腐食を生じた RC 部材の耐荷性能評価に関して、各方面で研究が盛んに行われている。

既往の研究において得られた知見を整理すると、曲げ耐力は、鉄筋の材料劣化が支配的な要因となり、鉄筋の腐食量(率)と残存耐力は比較的良好な線形関係を有する¹⁾。一方、せん断耐力に関しては、せん断補強筋の分担分(V_s)はせん断補強筋の断面減少および付着劣化に起因して減少するが、コンクリートの分担分(V_c)は主筋の腐食に伴って非腐食時に比べて大きくなるとする見解が多い^{2),3)}。これは主筋の腐食に伴う付着劣化により、引張主鉄筋より上部にアーチリブが形成されるためである。このようなアーチ耐荷機構の形成には定着が十分に確保されていることが前提条件となる。

既往の研究では曲げ耐力およびせん断耐力のいずれを対象とした場合においても定着が十分に確保された状態で、鉄筋腐食が残存耐荷性能に及ぼす影響評価を行う場が多い。しかしながら、実構造物においては凍結防止剤の漏出などにより定着部が先行して腐食する場合があることに加えて、定着フックの曲げ加工部は応力腐食により腐食が進行しやすいことから、定着性能が不十分

となる状況も起こり得る。したがって、定着不良を生じた状態における、RC梁部材の残存耐荷性状について検討を行うことは重要な位置づけにある。

このような背景から、著者らは非腐食時に曲げ破壊を呈する定着フックを有しないRC梁部材に対して、定着を含む梁全長にわたり、鉄筋腐食を生じた場合の残存耐荷性状評価を行ってきた^{4),5)}。その結果、せん断補強筋が消失あるいは過度に腐食した場合、せん断スパンの付着が消失し、定着領域まで荷重が伝達される場合があることが明らかとなった。そして、定着領域の腐食劣化程度によっては僅かな荷重で鉄筋が拔出し、残存耐力は大幅な低下を示すとともに、極めて脆性的な破壊性状を示すことを明らかとした。このように、定着不良を生じた試験体の場合、アーチ耐荷機構を保持することが出来ず、脆性的な破壊を示す場合があるが、せん断スパン比によってもその耐荷機構は変化するものと考えられる。

そこで、本研究では、鉄筋腐食した RC 梁部材の残存耐力性状に及ぼすせん断スパン比の影響評価を目的として、せん断スパン比の異なる RC 梁部材の定着性能とアーチ耐荷メカニズムの関係について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 実験パラメータおよび試験体概要

実験パラメータを表-1、試験体の形状と寸法および配筋を図-1に示す。試験体タイプは2種類であり、同図(a)に示すLシリーズ試験体は240×200×2100mmのRC梁部材であり、せん断スパン比は4.53である。Lシリーズ試験体はさらに3つの試験体シリーズに分かれており、S0シリーズは引張主鉄筋(D16 SD295A)のみを有する試験体、S1シリーズ試験体は主鉄筋に加えてせん断

*1 中央大学 理工学部土木工学科(学生会員)

*2 中央大学大学院 理工学研究科 土木工学専攻(学生会員)

*3 中央大学 理工学部 教授 工博

*4 東京電力株式会社技術開発研究所 工博

表-1 各試験体データ

シリーズ	試験体名	a/d	目標腐食率 (%)	積算電流量 (hr·A)	せん断補強筋間隔・s (せん断補強筋量・Pw)	圧縮強度 (N/mm ²)	主鉄筋腐食率(%)				変動係数(-)	せん断補強筋腐食率(%)	最大荷重 (kN)	破壊モード
							L	M	R	平均				
L	S0	4.53	0	-	-	30.8	-				-	94.9	曲げ	
			10	909		31.6	10.7	9.5	10.3	10.2		0.07	53.1	付着割裂
			20	2233		35.5	18.6	18.4	18.8	18.6		0.21	34.3	付着割裂
	S1	4.53	80mm(0.33%)	0	-	27.0	-				-	91.3	曲げ	
				5	2030	29.6	3.7	3.5	4.0	3.7	0.43	17.2	77.0	曲げ
				10	4459	26.5	14.9	16.7	12.8	14.8	0.55	62.6	57.9	曲げ(破断)
				20	7476	27.2	24.2	14.0	16.7	18.4	0.58	73.7	56.7	曲げ(破断)
	SF	SF-20	20	2700	-	34.2	25.0	2.1	17.8	21.2	0.39	-	68.9	曲げ
	H	S0-H	3.24	0	-	-	30.4	-				-	101.1	曲げ
				10	745		30.9	10.8	-	10.9	10.8		0.20	80.7
20				1474	30.8		19.7	-	18.3	19.0	0.34		75.4	せん断
S1-H		3.24	110mm(0.22%)	0	-	29.6	-				-	100.2	曲げ	
				10	2131	30.7	12.8	-	6.7	9.7	0.44	35.3	83.5	曲げ
				20	4262	30.8	23.2	-	16.9	20.0	0.39	58.3	63.0	曲げ
				10	747	31.6	13.2	-	12.9	13.1	0.14	-	76.1	曲げ

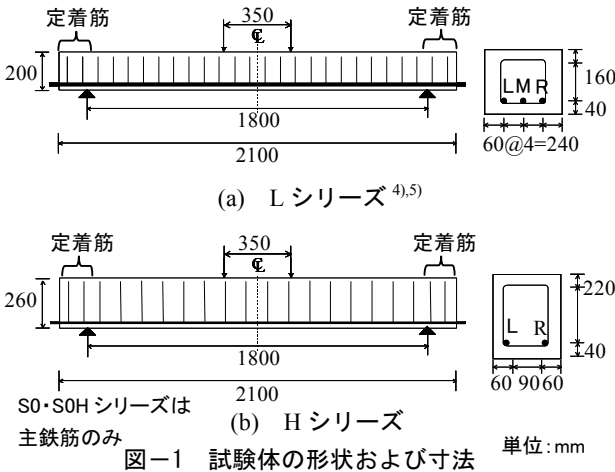


図-1 試験体の形状および寸法

表-2 コンクリートの配合 (設計基準強度 30N/mm²)

G _{max} (mm)	W/C (%)	SL (cm)	Air (%)	単位量(kg/m ³)					
				W	C	S	G	混和剤	NaCl
20	60	10	5.0	168	280	826	996	2.8	8.8

表-3 各種耐力

シリーズ	曲げ (kN)	せん断 (kN)	
L	S0	81.2	80.8
	S1	81.2	162.1
	SF	81.2	80.8
H	S0-H	76.8	77.3
	S1-H	76.8	158.6
	SF-H	76.8	77.3

表-4 鉄筋の材料特性

鉄筋径	D16	D6
降伏応力 (N/mm ²)	369	438
引張強度 (N/mm ²)	523	557
弾性係数 (N/mm ²)	2.1 × 10 ⁵	2.1 × 10 ⁵

補強筋(D6 SD295A)を示方書の規定に基づき有効高さの1/2間隔で配筋した試験体である。SFシリーズ試験体は試験体端面でプレートにより鉄筋を固定した試験体であり、同図(a)に示す定着筋は配筋した。なお、Lシリーズに関しては、その結果の一部を既に報告している^{4), 5)}。

同図(b)に示すHシリーズ試験体は210×260×2100mmのRC梁部材であり、せん断スパン比は3.59である。HシリーズにおいてもLシリーズと同様、引張主鉄筋のみを有する試験体(S0-H)、せん断補強筋を有効高さの1/2間隔で配筋した試験体(S1-H)およびプレートにより鉄筋を固定した試験体(SF-H)を作成した。なお、SF-10Hに関しては、定着筋は配筋していない。

コンクリートの配合を表-2に示す。設計基準強度は、30N/mm²であり、練り混ぜ水には5%NaCl溶液を使用した。試験体は28日間湿布養生した後、電食試験を行い、曲げ載荷試験を実施した。

各試験体シリーズの非腐食時における曲げ耐力およびせん断耐力を表-3に示す。せん断耐力は式(1)に示す示方書算定式より算出した⁶⁾。各種耐力の算出に際しては、鉄筋の降伏応力は表-4に示す鉄筋単体の引張試験から得られた実測の降伏応力値を用い、コンクリートの圧縮強度は、表-1に示した各試験体の圧縮強度の平均値(30N/mm²)を用いた。なお、部材係数は1.0としている。同表に示すようにいずれの試験体シリーズにおいて

も曲げ破壊が先行する断面諸元である。

$$P_y = 2V_y \quad V_y = V_c + V_s$$

$$V_c = f_{vcd} \cdot \beta_w \cdot d$$

$$f_{vcd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \quad f_{vcd} = 0.20 \sqrt[3]{f'_{cd}} \leq 0.72$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \leq 1.5 \quad \beta_p = \sqrt[3]{100 p_w} \leq 1.5 \quad \beta_n = 1 (\text{軸力0より})$$

$$V_s = A_w \cdot f_{wyd} (\sin \alpha + \cos \alpha) (z/s) \quad z = d/1.15 \quad (1)$$

ここで、 P_y : 4点載荷の場合のせん断耐力、 V_c : コンクリートが分担するせん断耐力、 V_s : せん断補強筋が分担する耐力、 f'_{cd} : コンクリートの圧縮強度、 p_w : 引張鉄筋比、 b_w : 試験体幅、 d : 有効高さ、 A_w : 一組のせん断補強筋断面面積、 f_{wyd} : せん断補強筋の降伏応力、 α : せん断補強筋と部材軸のなす角度、 z : 応力中心間距離、 s : せん断補強筋間隔である。

また、いずれの試験体シリーズにおいても、引張主鉄筋の腐食率を0~20%の間で変化させており、試験体名称の最後の数値は目標腐食率を表している。

2.2 電食試験方法および腐食率測定手法

腐食試験方法には、電食試験法を採用した。5%NaCl水溶液を満した水槽内に試験体を侵漬し、鉄筋を陽極側、銅版を陰極側に接続した後、表-1に示す所定の積算電流量に到達するまで直流定電流20Aを通電した。

載荷試験終了後、試験体からはつり出した鉄筋は、

10%濃度のクエン酸アンモニウム溶液に 24 時間侵漬させ、腐食生成物を除去した後に質量を測定した。

主鉄筋の腐食率は、S0 シリーズを除く試験体シリーズでは、主鉄筋を 50mm 間隔に切断し、一本あたり 42 ヶ所を測定した。S0 シリーズに関しては、主鉄筋を 5 分割し、各領域から主鉄筋を 100mm 切出し、腐食率を測定した²⁾。せん断補強筋に関しては、全体の腐食率を計測した。

2.3 測定項目

測定項目は、荷重、たわみ量、鉄筋の軸方向ひずみである。載荷試験は、図-1 に示すように載荷点間隔 350mm、支点間距離 1800mm とした静的 4 点曲げ載荷試験であり、載荷速度は 0.5 (mm/min) である。たわみ量の測定は、変位計(1/1000mm)を荷重載荷点およびスパン中央部の 3 箇所を設置して実施した。

鉄筋の軸方向ひずみの測定方法は、鉄筋表面にひずみゲージを貼付けた場合、鉄筋腐食に伴いゲージが破損することから、貼付け位置は鉄筋内部とした。その具体的な手法であるが、図-2 に示すように鉄筋を軸方向に切断し、その断面に 2×4mm の溝を掘り、ひずみゲージ(検長 2mm)を貼り付けた。その後、2 対の切断された鉄筋をエポキシ樹脂接着剤により接合し一本の鉄筋とした。

鉄筋ひずみの計測は、配筋した主鉄筋の一本を対象とし、L シリーズは M 鉄筋(中央鉄筋)、H シリーズは L 鉄筋の鉄筋ひずみを 3D(48mm)間隔の計 45 箇所計測した(図-1 参照)。なお、ひずみ計測を行わない鉄筋に関しては、通常の鉄筋を用いた。

3. 鉄筋の腐食性状

表-1 に各試験体の主鉄筋およびせん断補強筋の平均腐食率を示す。主鉄筋全体の平均腐食率は、いずれの腐

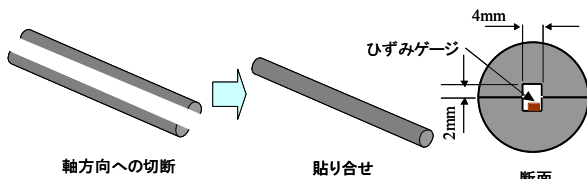


図-2 貼合せ鉄筋概要

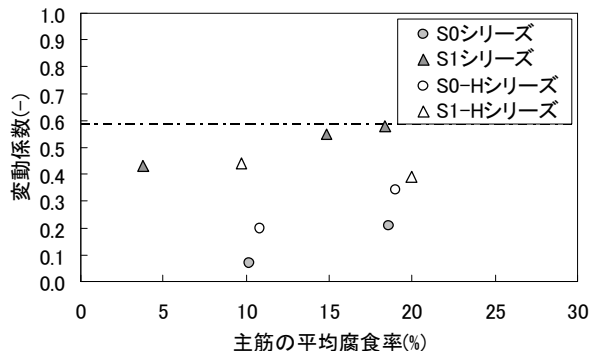


図-3 主鉄筋軸方向の腐食率の変動

食試験体においても目標値に近い値を示した。

表-1 には各腐食試験体の主筋軸方向の腐食率の変動係数を示しているが、これらを主筋全体の平均腐食率で整理すると図-3 に示すようになる。全体的な傾向としては、主鉄筋軸方向の腐食率の変動は、平均腐食率の増加に伴い、大きくなっている。このような腐食の不均一性は、鉄筋の腐食膨張圧により発生するコンクリートのひび割れ状況の不均一性およびマイクロレベルにおける塩分濃度やマイクロクラックの違いにより生じるものと考えられる。せん断補強筋を有する試験体シリーズは主鉄筋のみを有する試験体に比べて変動係数は全体的に大きい値を示しており、せん断補強筋間隔が密なほどその傾向が顕著である。本実験においては主鉄筋に加えてせん断補強筋も腐食の対象としており、表-1 に示すようにせん断補強筋の腐食率は、主筋に比べてかぶり小さいことおよび鉄筋径が小さいことから、相対的に大きい。せん断補強筋は、かぶりコンクリートの鉄筋軸に沿った腐食ひび割れの進展・拡大を抑制し、その抑制効果は腐食の進行に伴い低下する。せん断補強筋についても主鉄筋と同じく、位置によって腐食率は相違することから、拘束効果も局所的に異なり、かぶりコンクリートに発生する鉄筋軸に沿った腐食ひび割れは主鉄筋のみを有する場合に比べて不均一となる。その結果、腐食ひび割れを介して内部に浸漬する塩水の程度が局所的に異なり、主鉄筋軸方向の腐食率の変動が大きくなったものと考えられる。

4. 曲げ載荷試験結果

4.1 荷重と中央変位

(1) 主鉄筋のみを有する試験体

表-1 に各試験体の耐力および破壊モードを示す。また、図-4 には、S0 シリーズおよび S0-H シリーズ各試験体の荷重と中央変位の関係を示す。まず、鉄筋が非腐食である試験体 S0-0 および試験体 S0-0H に関しては、本試験体が曲げ破壊を呈する断面諸元であることから、主鉄筋は降伏し、延性的な破壊性状を示している。

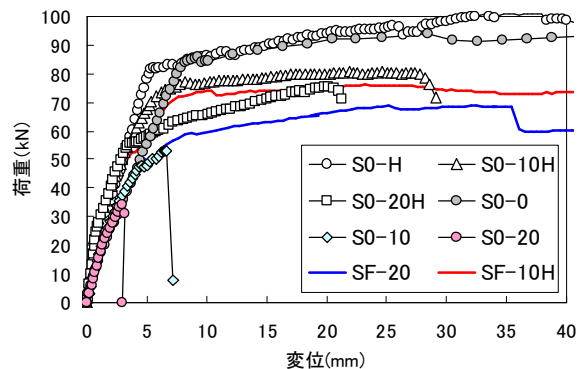
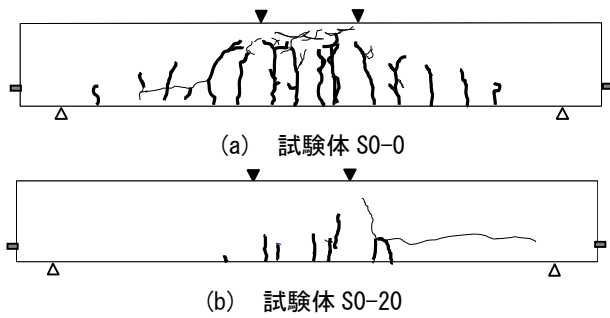
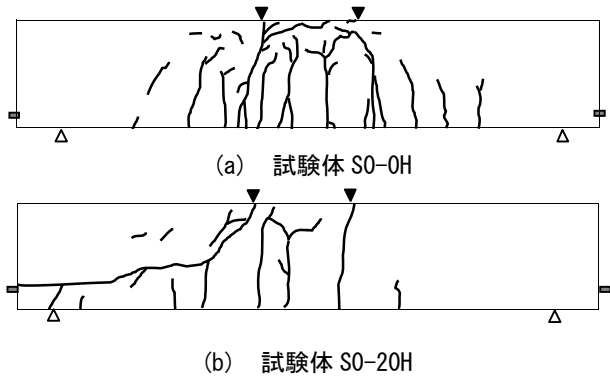


図-4 荷重と中央変位(主筋のみ)



図—5 破壊ひび割れ性状 (S0-L シリーズ)



図—6 破壊ひび割れ性状 (S0-H シリーズ)

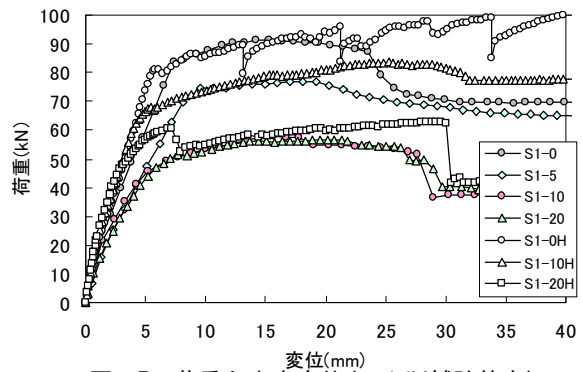
一方、鉄筋腐食を生じた試験体に関しては、S0 シリーズ腐食試験体は鉄筋が降伏に至る前に梁は破壊に至っており、その形態は極めて脆性的である。これに対して、S0-H シリーズ腐食試験体は、いずれの試験体も S0 シリーズに比べて耐力は非常に大きく、主鉄筋も降伏し延性的な破壊性状を示した。

図—5 および図—6 に一例として S0 シリーズおよび S0-H シリーズ試験体の内、主鉄筋が非腐食時および目標腐食率が 20% である試験体の破壊ひび割れ性状を示す。鉄筋が非腐食である試験体 S0-0 および試験体 S0-H は広範囲にわたり多数の曲げひび割れが発生しており、典型的な曲げ破壊性状を示していることが分かる。

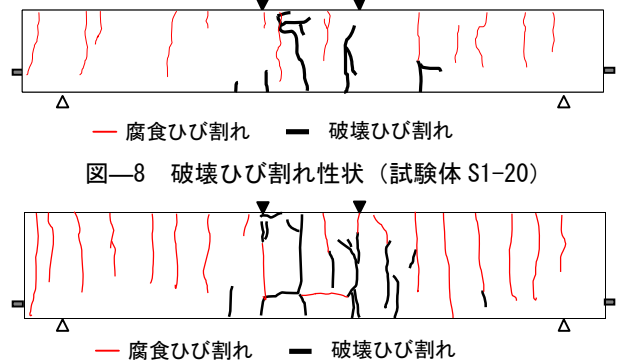
一方、鉄筋腐食を生じた試験体 S0-20 および試験体 S0-20H においては、破壊に至るまでに発生した曲げひび割れの本数は非常に少なく、鉄筋腐食に伴いひび割れ分散性能が著しく低下している。また、載荷点近傍のコンクリート下縁に発生した曲げひび割れが荷重の増加にともなって上縁に向かって進展し、その後、ひび割れ先端と載荷点とを結ぶ斜めひび割れが発生し、主筋位置まで進展すると鉄筋軸に沿った水平ひび割れが支点近傍まで急速に進展して梁は破壊に至った。このような鉄筋軸に沿ったひび割れはダウエル作用が主たる要因であるものと考えられる。

(2) せん断補強筋を有する試験体

図—7 に S1 シリーズおよび S1-H シリーズ各試験体の荷重と中央変位の関係を示す。いずれのシリーズにおいても主鉄筋は降伏し、曲げ破壊性状を示した。図—8 お



図—7 荷重と中央変位(せん断補強筋有)



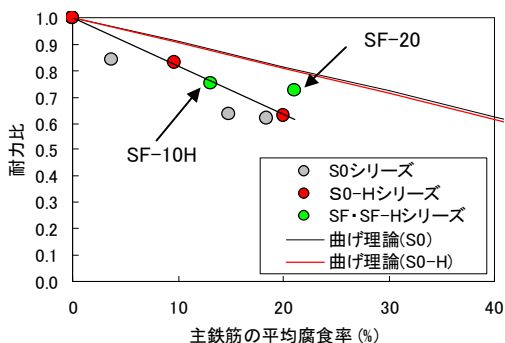
図—9 破壊ひび割れ性状 (試験体 S1-20H)

よび図—9 に一例として試験体 S1-20 および試験体 S1-20H の破壊ひび割れ性状を示す。上述した主鉄筋のみを有する腐食試験体と同様に鉄筋腐食に伴う鉄筋とコンクリートの付着劣化により、ひび割れ分散性能が低下しているものの破壊に至るまで鉄筋軸に沿った水平ひび割れは発生していない。これは、せん断補強筋のコンファインド効果により、鉄筋の拔出しが抑制されたことに起因する²⁾。

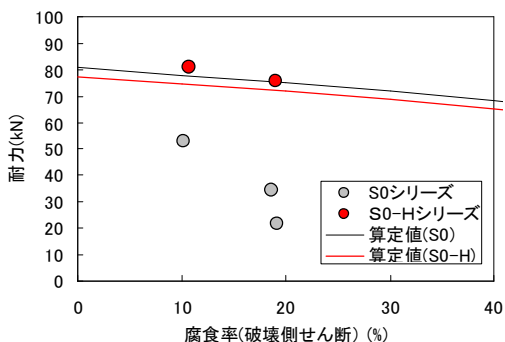
4.2 耐力

図—10 は各試験体の耐力と腐食率の関係を破壊モードごとに分類して示したものである(表—1 参照)。同図(a)は曲げ破壊を呈した試験体の耐力と主筋腐食率の関係を示しており、耐力は鉄筋が健全な場合の耐力で除することにより無次元化した。図中には鉄筋の材料劣化を考慮し、曲げ理論に基づき算出した耐力比も併せて示した⁵⁾。同図(b)はせん断破壊を生じた試験体の耐力であり、図中にはせん断耐力算定値(コンクリート分担分)も併せて示している。なお、せん断耐力算定値は主鉄筋の断面積は腐食率に応じて低下させ、式(1)を用いて算出した。

まず、曲げ破壊を生じた試験体に関しては、腐食率の増加とともに耐力比はほぼ線形的に低下しており、その低下率は試験体シリーズによらずほぼ一定である。これは、腐食に伴う主鉄筋の断面減少や力学的特性の低下が耐力低下の支配的な要因となるためであると考えられる。また、理論値に比べて実験値が全体的に小さい値を示したことは、腐食に伴う付着劣化の影響により、ひび



(a) 曲げ破壊モード



(b) せん断破壊モード

図-10 耐力と腐食率の関係

割れ分散性能が低下し、鉄筋腐食が著しい領域において塑性ヒンジが形成され、鉄筋が早期に降伏に至るためであると考えられる。

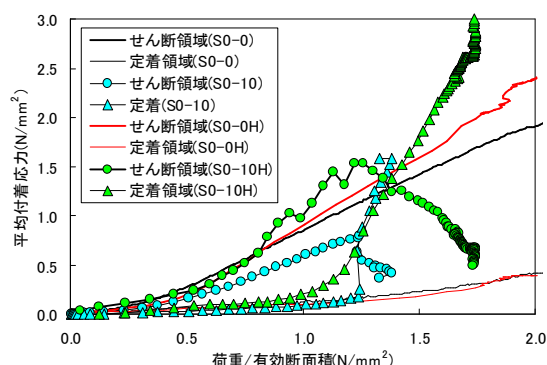
一方、せん断破壊を生じた場合には S0 シリーズ腐食試験体の耐力は大幅な低下を示したことに對して、S0-H シリーズ腐食試験体の耐力低下量は S0 シリーズに比べて非常に小さく、試験体シリーズによって残存耐力は大きな差異が生じている。このことは、後に詳述する。

4.3 鉄筋の付着応力性状

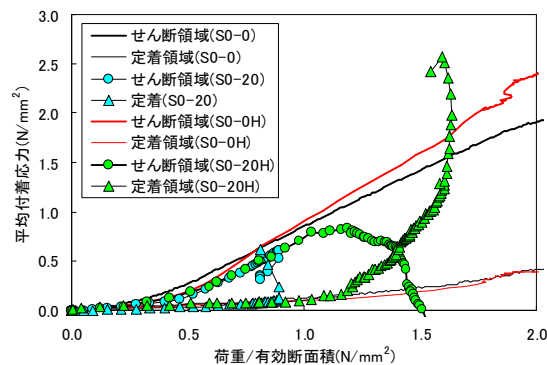
図-11 はせん断破壊を生じた S0 シリーズおよび S0-H シリーズ試験体のせん断近傍領域(試験体端部から 250mm~750mm)および定着近傍領域(試験体端面から 250mm)における平均付着応力と荷重の関係を示している。なお、横軸の荷重は有効断面積(試験体幅×有効高さ)で除することにより、せん断断面積の違いを考慮した。付着応力の算出は既往の文献を参照されたい⁴⁾。

いずれの試験体においてもせん断領域の付着応力は、ある荷重レベルから低下を示すとともに、定着領域の平均付着応力が急激に増加している。このような、せん断スパンの付着応力の損失は、斜めひび割れの発生により、主鉄筋に大きな荷重が作用し、側面方向の腐食ひび割れが進展・拡大したことにより、コンクリートの拘束力が低下したためであると考えられる。

すなわち、S0 シリーズ試験体においては、梁断面に鉄筋間を水平に貫通するひび割れが発生しており、側面方向のかぶりのみで、ダウエル作用に抵抗する。これに



(a) 平均腐食率約 10%



(b) 平均腐食率約 20%

図-11 各領域の平均付着応力

對して、S0-H シリーズにおいては、鉄筋のあきが大きいことから、そのようなひび割れが発生しておらず、ダウエル作用に抵抗するコンクリートボリュームは S0 シリーズに比べて大きく、せん断スパンの最大平均付着応力が相対的に大きな値を示したものと考えられる。定着領域の最大平均付着応力が S0-H シリーズの方が約 2 倍大きいことも鉄筋間に腐食ひび割れが発生しなかったために、コンクリートの拘束力の低下が小さいためであるとされる。

5 定着性能に着目したせん断耐力評価

上述したように、せん断破壊を生じた腐食試験体はいずれも定着領域に荷重が伝達され、最終的に鉄筋が端部から拔出し、梁は破壊に至ったわけである。したがってこれら試験体の耐力は主鉄筋の平均腐食率より付着性能、特に定着領域の付着性能が極めて支配的な影響を及ぼすことは、図-11 に示した付着応力性状からも明らかであろう。

そこで、本研究では定着不良を生じた試験体のせん断耐力を定着性能に着目して統一的に評価することを試みる。

図-12 および図-13 に部材端面で鉄筋を固定した試験体 SF-20 および試験体 SF-10H の破壊ひび割れ性状を示す。同図に示すようにいずれの試験体も鉄筋軸に沿った水平ひび割れが発生している。しかしながら、図-4 に示す荷重と中央たわみの関係から分かるように、両試

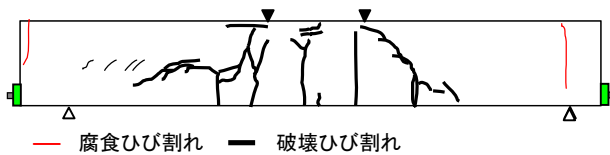


図-12 破壊ひび割れ性状(試験体 SF-20)

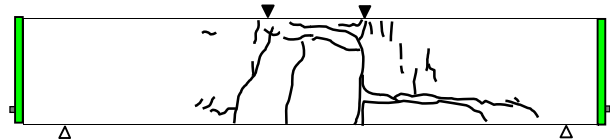


図-13 破壊ひび割れ性状(試験体 SF-10H)

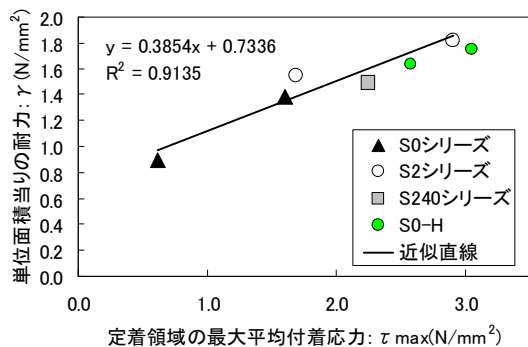


図-14 定着性能と耐力の関係

験体ともにたわみが40mmの時点においても梁は破壊に至っていない。また、図-10(a)に両試験体の耐力比を示すように、他の曲げ破壊を生じた試験体の耐力比とほぼ同様の直線上に位置している。すなわち、定着性能が十分に確保されていれば、せん断スパンの付着が消失した後もアーチ耐荷機構が形成されることにより荷重は保持され、主鉄筋が降伏に至ることから、主鉄筋の腐食率が耐力に支配的な要因となるものと考えられる。

図-14はLシリーズおよびHシリーズ試験体の定着領域における最大平均付着応力と単位有効断面積当りのせん断耐力の関係を示したものである。同図には既往の研究で報告したせん断破壊を生じた試験体の結果も併せて示した^{7), 8)}。

同図に示すように定着領域の最大平均付着応力と単位有効断面積当りの耐力は良好な線形関係を有することが分かる。すなわち、本実験の範囲内ではあるが、有効断面積を考慮することにより、単位有効断面積当りの耐力と定着領域における最大平均付着応力の関係は統一的に扱えるものと考えられる。

以上のように、せん断領域の付着劣化により、定着領域に荷重が伝達された場合においても、定着性能が確保されていれば、せん断耐力の低下は大幅に抑制される。また、定着領域の腐食ひび割れ性状や腐食性状から定着領域の付着性能を評価することにより、残存せん断耐力を有効断面積を考慮することで、 a/d によらず統一的に評価可能であると考えられる。

6. 結論

本研究は鉄筋腐食を生じたRC梁部材の残存耐力性状に及ぼすせん断スパン比の影響を評価した。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梁部材において曲げ破壊を呈する場合、主筋の材料劣化が残存耐力に及ぼす支配的な要因となる。
- (2)鉄筋腐食に伴い、せん断スパンの付着性能し、定着領域まで荷重が伝達される場合がある。その場合、定着性能は残存耐力に支配的な影響を及ぼす。
- (4)定着を完全に固定した場合、せん断スパンの付着が消失した後もアーチ耐荷機構が保持されることにより、残存耐力の低下は大幅に抑制される。
- (5)本実験の範囲内ではあるが定着領域の最大平均付着応力と最大せん断応力は有効断面積を考慮することによせん断スパン比によらず、統一的に評価可能であるとえられる。

参考文献

- 1)土木学会：コンクリート技術シリーズ材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能，2007，9
- 2)松尾豊史，酒井里哉，松村卓郎，金津努：鉄筋腐食したRCはり部材のせん断耐荷機構に関する研究，コンクリート工学論文集，vol.15，No.2，pp.69-77，2004.5
- 3)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.1，pp.821-826，2003
- 4)村上祐貴，木下哲秀，鈴木修一，福本幸成，大下英吉：鉄筋腐食を生じたRC梁部材の残存曲げ耐力性状に関する研究，コンクリート工学論文集，vol.17，No.1，pp.61-74，2005
- 5)村上祐貴，山内佑樹，堤知明，大下英吉：鉄筋腐食したRC梁部材の残存曲げ耐力に及ぼすせん断補強筋の影響，コンクリート工学年次論文集，vol.28，No.2，pp.727-732
- 6)土木学会：コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕，2002年
- 7)鈴木修一，村上祐貴，大下英吉，堤知明：腐食鉄筋を有するRC部材の残存耐力にせん断補強筋の及ぼす影響について，土木学会第62回年次学術会講演概要集，V-038
- 8)村上祐貴，鈴木修一，大下英吉，堤知明：腐食鉄筋を有するRC部材の定着性能に及ぼすせん断補強筋の影響，土木学会第62回年次学術会講演概要集，V-310