

論文

[2037] SRC-RC 梁の接続部に関する実験的研究

正会員 ○福知保長 (名古屋工業大学)
外村吉隆 (清水建設)

1. 序

1987年の鉄骨鉄筋コンクリート(以下SRCと記す)構造計算規準(以下SRC規準と記す)¹⁾の改定により、SRC構造の鉄骨継手(以下Jと記す)部における断面耐力の算定に、鉄骨部と鉄筋コンクリート(以下RCと記す)部の応力の伝達が円滑に行われるのであれば、設計・施工上の都合により鉄骨部の設計応力が部材の許容耐力を超過した時でも、鉄骨の耐力不足分をRC部の耐力で補った設計が可能であるとする項目が盛り込まれた。筆者らは、鉄骨母材に対して欠損率50%程度までの断面欠損を持つ鉄骨を内蔵するSRC部材において引張実験および純曲げ実験を行い、鉄骨の欠損耐力に対する鉄筋による補強効果を確認、その際補強率が約120%あれば、鉄筋によって鉄骨の耐力欠損分を補うことを示している。²⁾³⁾これを極端に進めると、J部の鉄骨を全面的に無くした場合でも、鉄骨部とRC部との間の応力伝達は可能で、梁耐力を全面的にRC部にもたせ得るという考え方が成立する。更に、地震応力の大きな梁端部はSRC造、応力の小さな梁中央部はRC造とする混合構造が考えられ、力学的に一番問題となるSRC-RC接続部に、鉄筋に十分な強度を与えることが可能であれば、梁端部で破壊が生じ、耐震性能もSRC造と同等程度になると思われる。この混合構造には、鉄骨の削減による経済性、コンクリートの充填性も確保でき、また壁筋としての鉄筋が上層部、下層部への通し筋とすることが可能であるという利点もある。以上の事を鑑み、この混合構造の有効性を実験的に明らかにした。

2. 実験計画

図1に示すような片持梁に繰返し荷重を加える。実験変数は次の通りである。

1) SRC-RCの接続(J)部より先の鉄骨の有無:
Aシリーズは、梁のブラケット部まではSRC構造、中央部では純RC構造、Bシリーズは、鉄骨柱建方時のつなぎ材として、梁中央部にごく軽微な鉄骨をブラケットと簡便なつなぎ方



図1 試験体図

表1 試験体一覧表

	R.B.			Steel		SRC	
	rPt (%)	rM (t·cm)	rN (t)	sM (t·cm)	sN (t)	srcM (t·cm)	r. (%)
END	0.33	547.45	15.64	741.95	96.50	1289.40	(1910.33)
J						859.60	(1273.55)
A-1	0.55	961.87	27.48	-	-	961.87	(112%)
A-2	0.72	1202.25	34.35	-	-	1202.25	(140%)
A-3	0.87	1458.40	41.67	-	-	1458.40	(170%)
A-4	1.02	1718.21	49.09	-	-	1718.21	(200%)
B-1	0.39	731.03	20.89	224.27	35.76	1418.88	(110%)
B-2	0.45	1142.16	32.63	224.27	35.76	1830.01	(145%)
B-3	0.74	1398.31	39.95	224.27	35.76	2086.16	(165%)

R.B.:Reinforcing Bar r.:Reinforcing Ratio

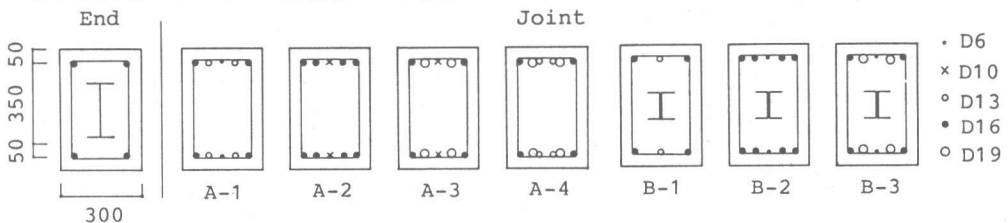


図2 試験体横断面図

で設けた構造形式。

2) J部の鉄筋による補強率:鉄骨の耐力低下分に対する鉄筋の補強耐力の割合で1式で表す。

$$r = (bM + rcM + aM) / srcMj \times 100(\%) \quad (1)$$

bM:ボルト耐力による曲げ耐力, rcM:主筋とコンクリートによる曲げ耐力, aM:添筋による曲げ耐力, srcMj:端部SRC耐力をJ部に換算した曲げ耐力 (Aシリーズ:bM=0)

試験体一覧表を表1に、試験体横断面図を図2に示す。載荷は梁端部より150cmの所に一点集中荷重とした。試験体に使用した鉄骨はSS41のH-200・100・5.5・8, 2x [-100・50・5・7.5、鉄筋はSD30、コンクリートは $F_c = 240 \text{ kg/cm}^2$ で、その機械的特性を表2に示す。BシリーズにおけるJ部のつなぎはM16の高力ボルト6本で簡便に行われ、その曲げ耐力bMは予め裸鉄骨の曲げせん断実験を行って求めた。bM=約220 t・cmで梁端部耐力をJ部に換算したときの値の約26%に相当する。せん断補強筋は、支圧力による応力の伝達を考慮して密に配した($wP = 0.64\%$)。

3. 実験結果・考察

1) 荷重-変形曲線 図3~図6に、A, Bシリーズの端部, J部破壊型の荷重-変形曲線を示す。A-1以外はエネルギー吸収能力の優れた紡錘形を示した。J部の添筋は、J部破壊型ほど早いサイクルで降伏しているのが確認できる(図中のaで表す)。AシリーズのA-1とA-3の履歴性状に大きな違いが見られるため、ここで比較検討する。A-1は9サイクル(変位振幅0.013rad)時に最大荷重9.0tに達し、それ以降の変位振幅の漸増にともない13サイクル時(変位振幅0.016rad)を境に耐力が急激に低下し、変位も伸長した。一方、A-3は11サイクル(変位振幅0.017rad)時に最大耐力に達し、それ以降、変位振幅を漸増させても耐力はあまり低下せず、15サイクル(変位振幅0.026rad)でも、最大耐力の93.6%の耐力が保持されている。Bシリーズにおいては、B-1は13サイクル(変位振幅0.04rad)の時に最大耐力11.98tに達した。また、最大耐力が決定した13サイクルと同じ変位振幅の14サイクルとの最大荷重比は、

表2 素材の機械的特性

	σ_y (t/cm^2)	σ_b (t/cm^2)	E (t/cm^2)
D 6	4.22	6.34	2156
D10	4.32	5.92	2199
D13	4.13	5.40	2188
D16	3.93	5.69	2154
D19	4.00	6.21	1978
HF	3.55	4.99	2038
HW	3.40	4.47	1866
CF	3.52	4.48	1906
CW	3.15	4.38	1824

84.6%である。最終載荷時の変位振幅0.06radで、J部

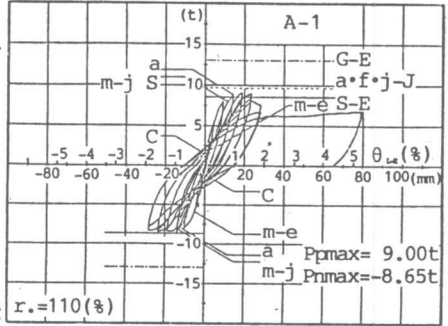


図3 A-1の荷重-変形曲線図

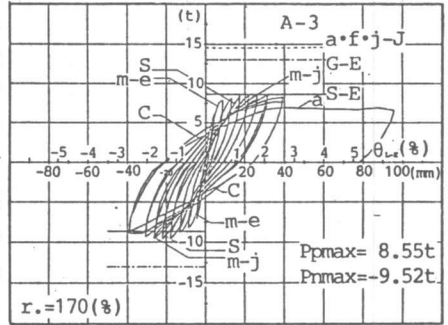


図4 A-3の荷重-変形曲線図

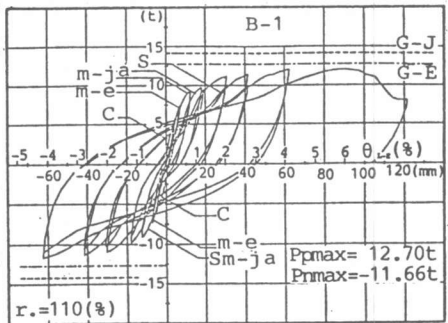
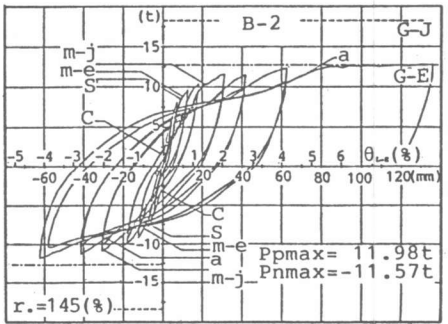


図5 B-1の荷重-変形曲線図



G-J: Generalized Superposed Strength Joint
G-E: Generalized Superposed Strength End
S: Steel Yield C: Crack Point
m: Main Bars Yield e: End j: Joint
a: Additional Bars Yield

図6 B-2の荷重-変形曲線図

のボルト耐力が限界に達し破壊に至った。B-2は、変位振幅が 0.06radの最終載荷時でも耐力上昇がみられ、補強が十分で靱性の優れたものとなった。13サイクルと14サイクルとの最大荷重比は83.5%でB-1とほぼ同一の値を示し、B-1が0.04radの大変形時でも耐力が保持されていることが確認できる。

2) **耐力** 表3に実験値(最大耐力)と一般化累加強度式(2式)ならびに単純累加強度式(3式)

$$\mu = s\mu(-N) + r\mu(N) \quad (2)$$

$$\mu = s\mu(0) + r\mu(0) \quad (3)$$

$s\mu(0)$, $s\mu(-N)$: それぞれ、軸力0, 引張力Nを負担した時の鉄骨の全塑性モーメント,
 $r\mu(0)$, $r\mu(N)$: それぞれ、軸力0, 圧縮力Nを負担した時のRC部分の終局曲げ耐力、但し、Nは μ を最大にする値

により算出した計算値の一覧表を示す。また、図7に実験値(P_{max})と計算値の耐力比を図式化して示す(○: P_{max} /端部単純、△: P_{max} /端部一般、●: P_{max} /J部)。A-2~4とB-1~3は端部で最大耐力が決定して、その耐力は、Aシリーズでは単純累加強度式、Bシリーズでは一般化累加強度式で求めた計算値とほぼ一致している。Aシリーズは、鉄骨とコンクリートの付着が切れると鉄骨の抜け出しにより、H形鋼に軸方向力が発生しないため、その耐力は単純累加強度式による値までしか発揮されない。一方、Bシリーズでは柱間の確保等の施工上の目的で配したみぞ形鋼が、H形鉄骨内に軸方向力を発生させ、それとともに曲げ耐力はSRC部材としての一般化累加強度式による値まで上昇した。図からも分かるようにA-1は、J部で最大耐力が決定されたが、その耐力

は端部の耐力と有意の差はなく、接続部の耐力低下を補えたと言える。補強率140%の試験体は、耐力・変形能力が回復し異種構造部材間の応力が双方に伝達されたと考えられる。

3) **応力伝達** 図8にAシリーズのJ部破壊型 A-1、端部破壊型 A-3の最大荷重時の材軸方向の引張側の鉄骨(St.), 主筋(m.b.), 添筋(a.b.)の歪分布図を示す。A-1は端部の鉄骨が降伏したにも拘らず、それ以降歪が進展せず、応力が継手部に集中したためJ部の主筋・添筋の歪が増大し、J部で破壊した。A-3はJ部の添筋が十分であるため、J部の主筋・添筋は降伏域に留まり、梁端部の鉄骨・主筋の歪値が進展して破壊に至った。SRC-RCの異種構造部材間の応力伝達には、図9に示すように、鉄骨~RC間の付着、支圧、支圧にともなう摩擦が考えられる。載荷初期では、鉄骨とコンクリート間の応力の伝達には、付着が大きな役割を占めている。鉄骨~コンクリート間の付着強度は、 $\tau_b/\sigma_B=0.07$ (付着強度 τ_b 、圧縮強度 σ_B)を使用して、その付着力を梁端部の鉄骨のモーメントに換算すると約260t・cm程になる。図10(Aシリーズ)に、梁端部の鉄骨に貼付したゲージの歪値より算出した鉄骨端部の測定モーメント(sM)とJ部のあばら筋に貼付したゲージの歪値から推定した支圧力および摩擦力(摩擦係数を0.3とした)による伝達モーメント(hM)との

表3 実験結果

	Pcal (t)	Pmax (t)	Pmax/Pcal	crack (t)	B.P.
End	8.60 ^{*1} (12.63 ^{*2})				
A-1	9.61 (110%)	+ 9.00	1.047 ^{*3}	3.0	J
A-2	12.02 (140%)	+ 8.58	0.998 ^{*3}	2.0	E (J)
A-3	14.58 (170%)	+ 8.55	0.994 ^{*3}	2.5	E (J)
A-4	17.18 (200%)	+ 9.19	1.069 ^{*3}	2.0	E (J)
B-1	14.19 (110%)	+11.98	0.941 ^{*4}	3.0	J
B-2	18.30 (145%)	+12.70	0.998 ^{*4}	3.5	E
B-3	20.86 (165%)	+13.60	1.068 ^{*4}	2.5	E

*Pcal: Calculated Value B.P.: Breaking Point
 *1: By Simple Superposed Strength Method
 *2: By Generalized Superposed Strength Method
 *3: Pmax/8.60 t *4: Pmax/12.63 t

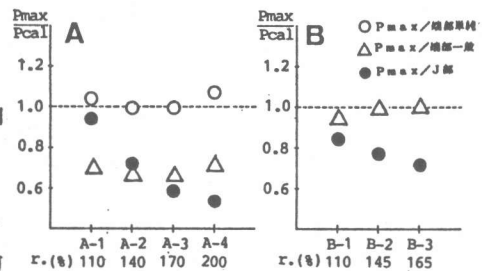


図7 計算値と実験値の耐力比

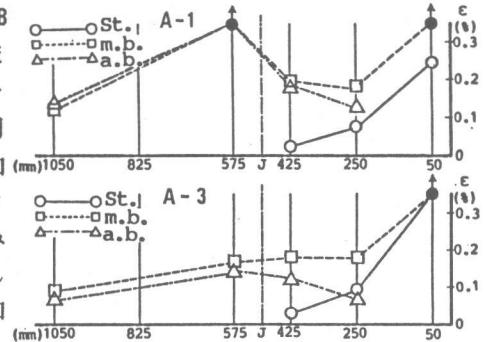


図8 材軸方向の歪分布図

相関図を示す。Aシリーズ(A-1は除く)では、載荷初期においてhMが小さく、hM=200t cmで横ばいの様相を呈しているのは、応力の伝達において付着が大部分の役割を占め、また、応力の伸介役としてのコンクリートがまだ健全であるからである。A-1は、5サイクル程からJ部で曲げ破壊が進展したため、hMの方が大きい値を示すことになった。しかし、最終的には、どの試験体においてもhMとsMはほぼ等しい値を示し、SRC-RCの異種構造部材間の応力の伝達

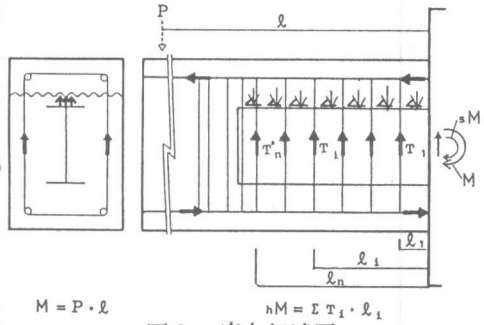


図9 応力伝達図

は、支圧力および支圧に伴う摩擦力によることが確認できた。Bシリーズも同じ傾向を示すが、ボルト頭による支圧力も多少は作用しているものと考えられる。なお、あばら筋の最終的な歪は、降伏歪の約50%であり、応力伝達のためにあばら筋量は、本実験で採用した値より少なくすることができると考えられる。図11に、J部破壊型A-1と端部破壊型A-3の最終サイクル終了時の破壊性状を示す。両試験体ともに載荷初期において曲げ亀裂が数カ所に発生し、その後変位漸増後A-1は亀裂がJ部に集中し、破壊に至ったのに対して、A-3はJ部～端部間に亀裂が分散し、特に端部の亀裂が顕著となった。A-3においては、端部で最大耐力が決定したが、最終破壊はJ部に移行した。これは、漸増繰返しにより添筋の付着が無くなり、荷重に対し主筋だけが抵抗したからと考えられる。

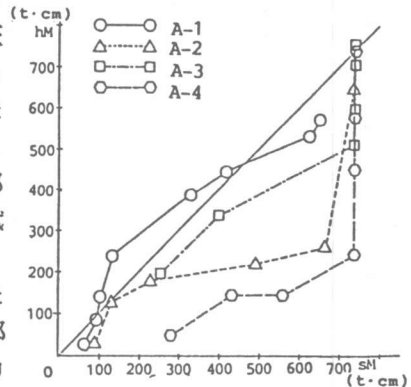


図10 sM-hMの相関関係図

4. 結論

端部SRC-中央部RC構造梁の履歴性状は、接続部に十分な補強(主筋補強率で約140%、あばら筋補強率wP=0.64%)を施せば、SRC構造と同等程度のエネルギー吸収能力の優れたものとなることが示された。また、ブラケット間に軽微なつなぎ材を設ければ、施工上の役割ばかりではなく、ブラケット部の鉄骨の軸方向の拘束材として作用し、材の端部の曲げ耐力を一般化累加強度式による耐力まで上昇させることが分かった。接続部でのあばら筋補強率は、本実験で採用した値より緩和できるものと考えられるが、この点については、更に検討を要する。

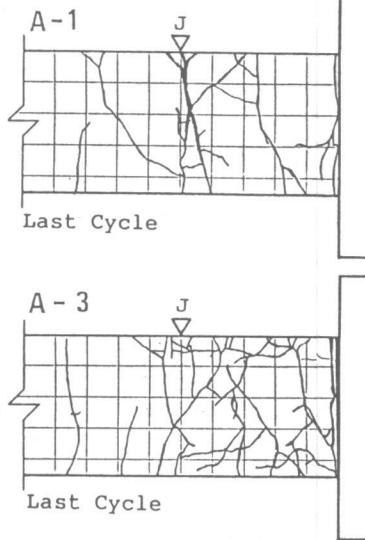


図11 破壊性状(最終サイクル)

〈謝辞〉本実験の遂行にあたっての諸費用は、文部省科学研究費補助金(総合A:代表福知保長)によった。また、名古屋工業大学建築学科福知研の卒論生各位、特にデータ整理において新美禎久君の御協力を得、ここに感謝の意を表します。

〈参考文献〉1) 鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 日本建築学会(1987.6)

2) FUKUCHI Y. and SHIMOMURA H. Japan 「Experimental Study on the effect of Reinforcing Bars to Steel Plates with Loss of Section Areas in SRC Tension Members Using High Strength Steel」 INTERNATIONAL SYMPOSIUM COMPOSITE STEEL CONCRETE STRUCTURES. BRATISLAVA 132/1987 P19~26

3) 福知、外狩; 「高張力鋼を用いたSRC構造の開発研究(No.21) 鉄骨の断面欠損に対する鉄筋の補強効果」日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)昭和62年10月 P1243~1244