

[78] 溝形鋼を用いた格子形鉄骨コンクリート柱のせん断抵抗機構について

正会員 ○ 南 宏一 (大阪工業大学)

正会員 若林 實 (京都大学防災研究所)

1. 序

せん断破壊が卓越する通常の非充腹の格子形SRC柱材の耐震性能は、充腹形SRC柱材に比して極めて劣ることが報告されている。その要因の一つとして、くり返し荷重によって鉄骨弦材とコンクリートとの間の付着力が劣化し、格子形鉄骨部材は鉄筋コンクリート部分と一体的に挙動せず、いわゆるフィーレンディールばりとしての抵抗機構を持つ事が指摘されている。しかし、このような力学的作用を持つ格子形鉄骨弦材にスタッドボルトとか支圧リブプレートなどを用いることにより機械的に付着力を与えれば、そのせん断抵抗機構は前述のものと異なり、せん断強度および履歴特性などに関する耐震性能が改善されることが予測される。そこで、鉄骨主材に機械的に付着力をあたえた格子形SRC部材の基本的な力学の性状を検討するために、図-1に示すような支圧リブプレートを設けた溝形鋼を鉄骨弦材とした鉄骨コンクリート柱材のせん断抵抗機構を検討がなされたが、本論はその実験的な知見の概要を述べるものである。

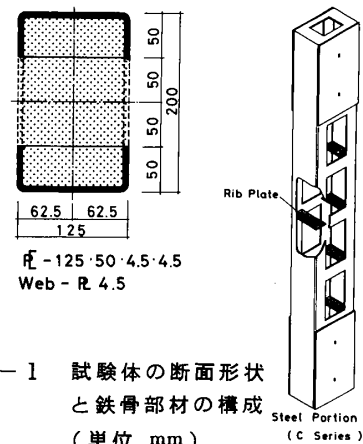
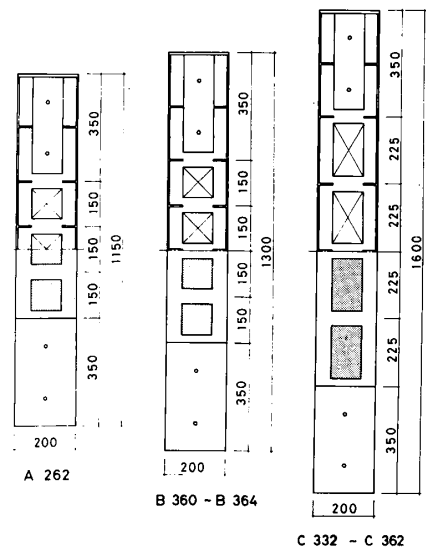


図-1 試験体の断面形状
と鉄骨部材の構成
(単位, mm)

2. 実験計画

平鋼(Ⅱ 4.5)より折り曲げ加工によって作製された溝形鋼に格子材としての帯鋼(Ⅱ 4.5)を溶接した格子形鉄骨試験体の内部にコンクリートを充填した15体の試験体を計画した。実験計画および材料強度を表一1に、試験体の形状寸法の例を図一2にそれぞれ示す。実験変数としては1)せん断スパン比3種類($h/D = 2.25$ (Aシリーズ), 3.0 (Bシリーズ)および 4.5 (CおよびDシリーズ))(h :柱長, D :柱せい)2)帯板個数4種類(1, 2, 3および5組)3)帯板間隔3種類(150, 225および300 mm, なおDシリーズ以外は帯板間隔は等間隔とした)4)支圧リブプレートの板厚5種類(0, 3, 4.5, 6および9 mm)および

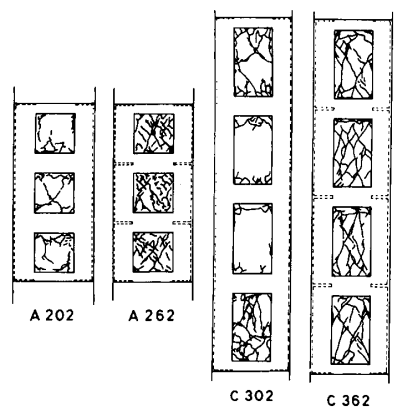


試験体の形状寸法（単位，mm）

5) 作用軸力比3種類 ($N/N_0 = 0, 0.2$ および 0.4 , N : 作用圧縮力, N_0 : 累加強さによる中心圧縮強度) である。柱材の相対部材角 R (δ/h , δ : 柱材の柱頭柱脚の相対水平変位量) を制御し、初期値を 0.01 rad 、最終値を 0.05 rad 、として各振幅において3回づつのくり返し載荷を行なった。

3. ひび割れおよび破壊状況

最大強度時のひび割れ状況の例を図-3に、全試験体の最終破壊状況を図-4にそれぞれ示す。各試験体とも $R = (0.7 \sim 4.0) \times 10^{-3}$ rad.において帯板および鉄骨弦材の境界線に沿ってひび割れが生じたが、その後のひび割れあるいは破壊状況は実験変数によって異なる様相が観察された。リブプレートを用いた場合の斜張力ひび割れは、A, Bシリーズで $R = (4.0 \sim 7.5) \times 10^{-3}$ rad.、C, Dシリーズで $(5 \sim 10) \times 10^{-3}$ rad.で帯板間隔の



図一 3 最大強度時のひび割れ状況

いかにかわらず帯板間内の対角線方向に形成され、変位振幅の漸増に伴って柱材全長にわたってひび割れの発生が観察された。最大強度時の変位振幅は、A, Bシリーズで $R = 0.02 \text{ rad}$ 。C, Dシリーズで $(0.02 \sim 0.03) \text{ rad}$ 。であり、コンクリートに圧壊現象が見られ、十分なはり機構の形成が観察された。一方、図-4に示されるように、A, Bシリーズで $R = (0.02 \sim 0.03) \text{ rad}$ 。で、C, Dシリーズでは $(0.015 \sim 0.02) \text{ rad}$ 。で柱材の上下端の溝形鋼ウェブあるいはフランジ部に局部座屈が生じた。リブプレートのない試験体ではA, Bシリーズでは $(4 \sim 8) \times 10^{-3} \text{ rad}$ で斜張力ひび割れが発生したのに対してC, Dシリーズではそのひび割れは最大強度に達するまでほとんど生じなかったが、最大強度以後において、リブプレートを用いた場合と異って、柱材の両端部の構面にのみ著しいコンクリートの圧壊が観察された。しかし溝形鋼の局部座屈は顕著ではなかった。なお、全試験体において、帯板と溝形鋼との溶接部にきれつあるいは破断が生じ、それぞれの変位振幅はA, Bシリーズで 0.02 rad 、 0.03 rad 。で、C, Dシリーズでは $(0.02 \sim 0.03) \text{ rad}$ 、 $(0.03 \sim 0.04) \text{ rad}$ 。であった。

4. 履歴曲線

履歴曲線の数例を図-5に示す。縦軸は作用せん断力 Q を、横軸は相対部材角 R をそれぞれ表わす。また、同図の点線は転倒付加モーメントの影響を表わし、図中の記号 C_1 は帯板および溝形鋼との境界線に沿うひび割れ、 C_2 は初期斜張力ひび割れ、 C_3 はコンクリートの顕著な圧壊、 B_1 および B_2 は帯板と弦材との溶接部におけるきれつおよび破断、 F は柱材の上下端の溝形鋼ウェブのきれつ、 L_1 は柱頭柱脚の溝形鋼フランジ部の局部座屈、 L_2 は溝形鋼ウェブの局部座屈の発生をそれぞれ表わす。リブプレートの有無のいかにかわらず、コンクリートのひび割れによって剛性は急激に低下するが、最大強度に達するまでは顕著なスリップ現象は見られず

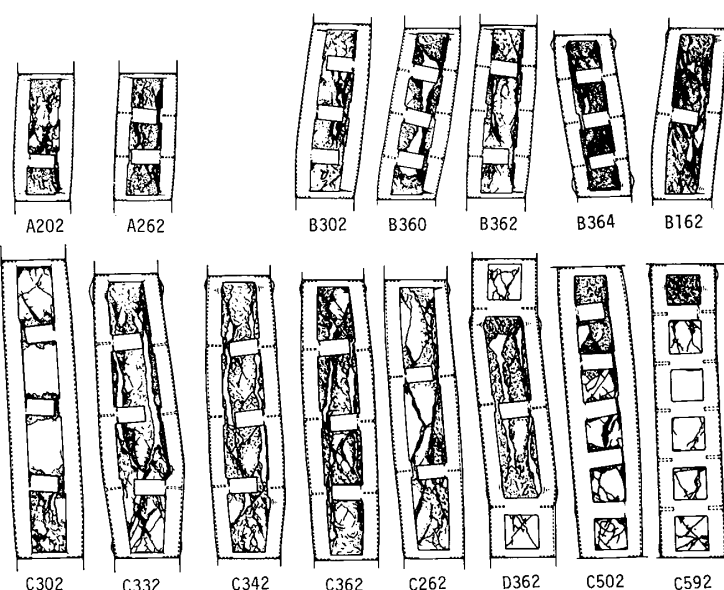


図-4 試験体の最終破壊状況

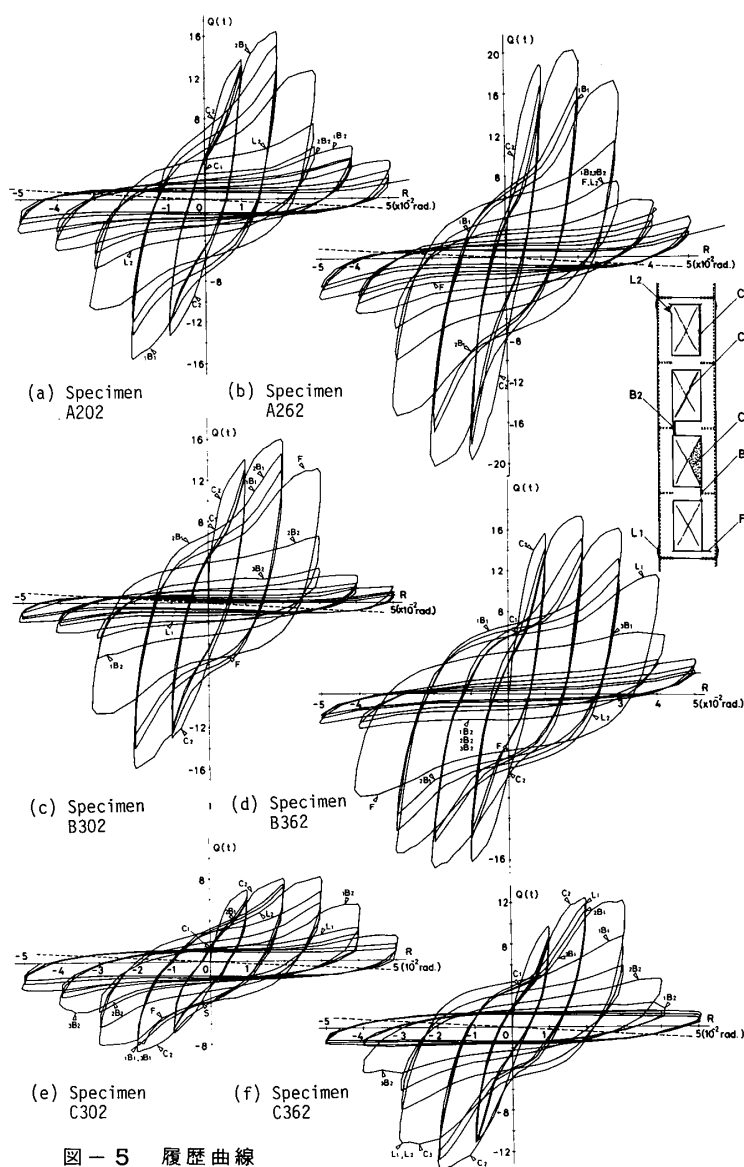


図-5 履歴曲線

比較的安定した履歴曲線を示し、その履歴特性としては充腹形部材と通常の格子形部材の中間的な性質を示す傾向にあることが認められる。リブプレートの有無あるいは板厚の相違は履歴性状に顕著な影響を与えないが、各変位振幅における強度低下率はリブプレートの板厚の薄いほど大きく、帯板間隔を変数とした場合には、帯板間隔の小さいほど安定した履歴性状を示す傾向がある。しかし、実験変数のいかににかかわらず、帯板と溝形鋼の溶接部のきれつあるいは柱材上下端部の溝形鋼の局部座屈の発生は強度低下の要因となり帯板が順次破断する変位振幅 0.03 rad. 以後の履歴過程では急激な耐力低下が生ずることが認められた。図-6 にせん断力 $\tilde{Q}$ とくり返し回数 K との関係を示す。縦軸は作用圧縮力による転倒付加モーメントの影響を考慮したせん断力 $\tilde{Q}$ を、横軸はくり返し回数の累積 K をそれぞれ示す。前述したように実験変数のいかににかかわらず、くり返し回数の累積が 6 から 9 となる変位振幅 0.03 rad. の履歴過程において急激な強度低下が見られ、その傾向は、A, B シリーズに顕著に示される。しかし、変位振幅の最終値である 0.05 rad. (くり返し回数の累積は 12 から 15) においては実験変数のいかににかかわらず、ほぼ同一の強度に収束することが認められる。

5. ひずみ履歴

帯板の軸方向ひずみ履歴 各試験体の帯板の軸方向ひずみ履歴を図-7 に示す。縦軸は各変位振幅の除荷点における帯板の軸方向ひずみ度を、横軸はくり返し回数の累積を、図中の点線は帯板の降伏ひずみ度をそれぞれ表わす。全般的には変位振幅が 0.01 rad. の範囲であればそのひずみ度はリブプレートの有無にかかわらず、降伏ひずみ度のほぼ 50% 程度の値を示し、その差違はあまり見られないが、しかし、変位振幅が 0.02 rad. に達すると、リブプレートの有無の差違は顕著に示される。リブプレートを用いた試験体では他の実験変数のいかににかかわらず、降伏ひずみ度の (10 ~ 15) 倍にも達する引張ひずみ度が正負のくり返し载荷に対して生じ、かつ、変位振幅が 0.03 rad. ではその値はほぼ一定に保たれ、帯板は

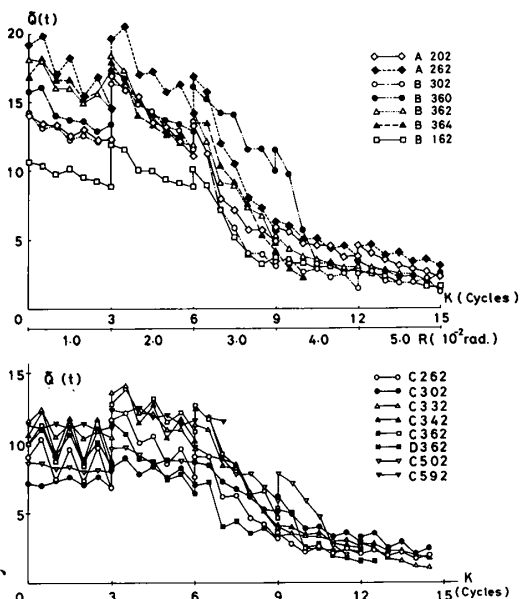


図-6 せん断力とくり返し回数との関係

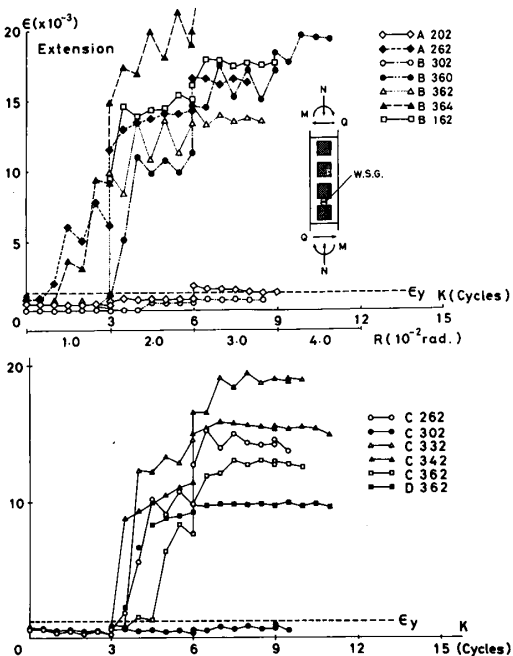


図-7 帯板の軸方向ひずみ履歴

表-1 実験計画および実験結果

Specimen Name	Test Program						Material Strength(kg/cm ²)			Test Results (t)			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	Diagonal Tension Cracking Strength		Maximum Strength	
	h	m	s	r	N/N ₀	N	F _c	s ^σ _y	rs ^σ _y	Positive Loading	Negative Loading	Positive Loading	Negative Loading
	(mm)		(mm)	(mm)		(t)							
1 A202	450	2	150	0	0.2	17.91	189	2400	-	11.13	12.65	16.53	15.57
2 A262	450	2	150	6	0.2	18.55	200	2400	2215	10.00	11.40	20.40	20.10
3 B302	600	3	150	0	0.2	18.60	201	2400	-	10.00	12.10	16.00	15.95
4 B360	600	3	150	6	0	0	236	2400	2215	14.30	7.60	17.35	16.80
5 B362	600	3	150	6	0.2	21.06	254	2400	2215	11.00	11.00	18.10	17.90
6 B364	600	3	150	6	0.4	40.52	238	2400	2215	11.00	10.75	17.15	17.80
7 B162	600	1	300	6	0.2	19.80	227	2400	2215	9.00	0.55	11.85	11.20
8 C302	900	3	225	0	0.2	18.37	196	2400	-	7.89	7.90	8.18	8.51
9 C332	900	3	225	3	0.2	17.82	233	2400	3014	10.18	10.28	13.20	13.65
10 C342	900	3	225	4.5	0.2	20.08	209	2400	2400	10.29	8.56	13.21	13.97
11 C362	900	3	225	6	0.2	19.02	184	2400	2215	11.77	12.33	12.36	13.55
12 C262	900	2	300	6	0.2	18.08	185	2400	2215	8.71	8.91	11.29	11.88
13 D362	900	3	300(150)	6	0.2	19.43	219	2400	2215	8.39	8.11	11.18	10.79
14 C502	900	5	150	0	0.2	23.30	293	2476	-	8.31	4.00	9.20	9.28
15 C592	900	5	150	9	0.2	26.10	308	2476	2830	9.00	11.00	11.97	11.83

引張材として挙動し、かつ降伏していることが認められる。しかしながら、リブプレートの無い試験体では変位振幅の漸増にかかわらず帯板の軸方向ひずみ度はほぼ一定値を保ち、鉄骨部材はフィレンディールばりとして挙動していることが観察される。なお、リブプレートを用いた試験体で材長の極めて短い場合とか作用圧縮力の大きい場合には、 $R = 0.01 \text{ rad.}$ で帯板は引張降伏する傾向にあることが認められる。

リブプレートのひずみ履歴 リブプレートのひずみ履歴の数例を図-8に示す。縦軸は作用せん断力を、横軸はリブプレートの曲率に比例する量 $r\phi \cdot r_t$ ($r\phi$: 図中に示す位置のリブプレートの曲率, r_t : リブプレートの板厚) を、図中の実験値は各変位振幅の第1サイクル時の値をそれぞれ表わす。帯板間内のコンクリートの圧縮場の形成に対してリブプレートが寄与し、最大強度以後、作用せん断力の減少にともなってリブプレートに生ずる曲率も減少しており、柱材の履歴挙動にはほぼ対応した応答を示していることが認められる。しかしながら、リブプレートの曲率よりコンクリート圧縮斜材の圧縮応力度を求めると、コンクリートの圧縮強度の10%程度の値となり、したがって、リブプレートの抵抗機構は曲げ機構ではなく、むしろ直接せん断機構が支配的であることが推測される。

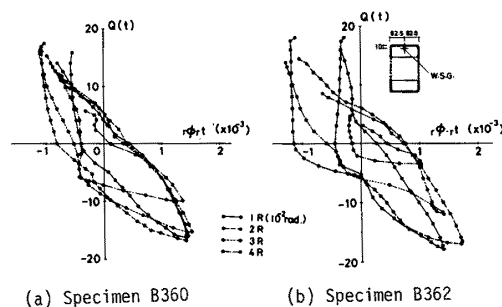


図-8 リブプレートのひずみ履歴

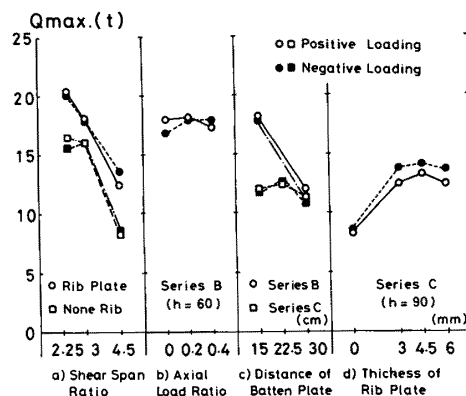


図-9 せん断強度と実験変数の関係

6. せん断強度と実験変数の関係

せん断強度と実験変数の関係を図-9に示す。○印は正荷重時、●印は負荷重時の実験値を示す。せん断スパン比を変数とした場合にはせん断スパン比の増加にともなってせん断強度は低下するが、リブプレートの有無を比較すると、リブプレートを用いた試験体の強度増加量は、せん断スパン比のいかにかわらず、ほぼ一定値を示すことが認められる。作用圧縮力を変数とした場合には、本実験で採用された実験変数の範囲では、作用圧縮力の大きさのいかにかわらずせん断強度はほぼ一定値を保ち、圧縮力の大きさはせん断強度に依存しないことが認められる。帯板間隔を変数とした場合、材長の長い場合には帯板間隔はせん断強度にほとんど依存しないが、材長が短い場合には、帯板間隔はせん断強度に影響をあたえ、帯板間隔が大きいほど、せん断強度が低下することが認められた。また、リブプレートの有無あるいは板厚を変数とした場合、本実験の範囲ではリブプレートの厚さはせん断強度にほとんど影響を与えず、せん断強度に対する影響は、リブプレートの有無が支配的であると推測される。なお、斜張力ひび割れ強度およびせん断強度の測定値を表-1にあわせて示している。

7. 結 語

溝形鋼の弦材に支圧リブプレートを用いて弦材とコンクリートとの付着力を機械的に確保することによって、格子形鉄骨コンクリート柱のせん断強度を増加させることは可能であり、帯板の破断あるいは溝形鋼の局部座屈が生ずる 0.02 rad. から 0.03 rad. の変位振幅の範囲で、ほぼ安定した履歴特性を示すことが認められた。リブプレートを用いることによって溝形鋼を弦材とし、帯板を引張材、帯板間のコンクリートを圧縮斜材とするせん断抵抗機構としてのはり機構の形成は、少なくとも 0.02 rad. の変位振幅においても可能であるが、しかし、リブプレートの抵抗機構は、曲げ機構ではなく、むしろ直接せん断に対する抵抗機構を示すことが認められた。

8. 謝 辞

本実験は昭和53年度および54年度に行なわれたものであり、計画および実施に対して日本鋼管株式会社より多大の御援助をいただいた。また、実験および解析にあたっては、島川正樹君(当時大阪工業大学大学院学生)に協力をいただいた。ここに記して深甚の謝意を表します。