

突起付H形鋼を用いた SRC 柱のせん断抵抗機構 に関する研究 (その 2)

若林 實・南 宏一・岡本 浩一

SHEAR RESISTANCE MECHANISM OF COMPOSITE COLUMN WITH DEFORMED FLANGE H-SHAPED SECTION (PART 2)

By *Minoru WAKABAYASHI, Koichi MINAMI and Koichi OKAMOTO*

Synopsis

To improve the seismic performance of steel reinforced concrete (SRC) with plane flange H-shaped section, behavior of SRC columns with deformed flange section is investigated. Test of fifteen specimen was conducted, with various parameter, such as, the form of flange (plane and deformed), web reinforcement ratio, column length, steel web thickness and composition of the column cross section. Theoretical shear strength of SRC columns with deformed flange section is obtained making used of extended theory of superposed strength. It is verified that the shear strength of columns with deformed flange section is larger than that of plane flange section.

1. 序

通常のH形鋼を用いた鉄骨鉄筋コンクリート部材が、複合応力下で終局状態に達した場合、鉄骨とコンクリート間の付着はほとんど期待できないので、従って、両者は互いに独立に外力に抵抗している。

しかしながら、鉄骨とコンクリートの間に付着力を与えれば、両者の相互作用によってそれぞれの弱点を補うような付加的な効果により、耐力、エネルギー吸収能力等を向上させることができる可能性がある。

最近、異形鉄筋に対する付着作用と同様の考えに基づいて、鉄骨フランジ面に突起を設けたH形鋼が開発され、住友金属工業株式会社および日本鋼管株式会社において突起付鋼材を用いた部材の性状に関する研究が行なわれており、それらの研究報告^{1),2),3)}により突起付きの効用が示されている。

筆者らは、川崎製鉄株式会社で開発された突起付H形鋼を内蔵する鉄骨鉄筋コンクリート柱のせん断破壊性状^{4),5)}および付着性状⁶⁾に関する研究を行なっている。これらの基礎研究により、鉄骨とコンクリート間の付着により、他者の耐力の不足を補い合う形での相互作用が存在することが確かめられた。

そこで、突起による付着作用をさらに詳細に検討するために、系統的な実験変数を持つ15体の試験体によるせん断実験が計画された。本報は、その実験計画および実験結果の概要を述べるものである。さらに、拡張累加強度理論を適用して付着効果を考慮した終局せん断耐力に関する解析解を求め、本実験によってその妥当性を検証する。

2. 実 験

2.1 実験計画

前報(その1)に報告されている3体のせん断実験により、突起付H形鋼を用いた SRC 柱の耐力および履歴特性などに関する基礎資料を得ることができた。そこで、この基礎資料をもとに、突起による付着効果

Table 1 Test program and dimensions of specimens (Units: mm)

Specimen	Series					Reinforced concrete section					H-shaped section					
	1	2	3	4	5	Rib	w_t	l	Hoop*	N/N_u	b	h	r_d	s_b	s_H	f_t
(1) D-AA32	○			○		○	3.21	899	A	0.2	301	301	218.8	99.94	148.04	10.48
(2) D-CB32	○		○	○	○	○	5.88	898	B	0.2	301	301	218.6	99.96	148.10	10.33
(3) D-DC32	○	○		○		○	9.04	900	C	0.2	301	301	219.5	100.00	147.70	10.25
(4) P-AA32	○						3.21	900	A	0.2	302	301	219.0	100.08	146.99	9.89
(5) P-CB32	○						5.90	900	B	0.2	301	301	219.5	99.99	146.95	9.82
(6) P-DC32	○						8.98	900	C	0.2	301	301	219.0	99.84	147.40	9.87
(7) D-BA22				○		○	4.48	599	A	0.2	301	301	219.1	100.05	147.74	10.35
(8) D-DB22				○		○	8.88	599	B	0.2	302	301	219.3	100.03	148.23	10.61
(9) D-EC22		○		○		○	11.69	600	C	0.2	301	301	219.3	99.96	148.08	10.48
(10) D-CB42			○			○	6.08	1200	B	0.2	302	302	219.3	100.08	148.10	10.34
(11) D-CB22			○			○	5.94	600	B	0.2	301	301	218.9	100.03	148.12	10.35
(12) D-CB30					○	○	5.96	899	B	0	301	301	219.5	100.04	148.21	10.33
(13) D-CB34					○	○	5.99	899	B	0.4	301	301	218.6	99.94	148.14	10.36
(14) D-DD32		○				○	9.00	900	D	0.2	301	302	218.6	100.05	147.91	10.29
(15) D-ED22		○				○	11.74	600	D	0.2	302	301	217.4	99.94	148.11	10.38

w_t : web thickness, f_t : flange thickness, s_b : flange width, s_H : height of H-shaped section b: column width, h: height of column, l: column length, r_d : the distance between the centroid of the compressive and tension steel, N: axial force, N_u : axial compressive strength

* A: 4-D6 50 mm $\text{\textcircled{O}}$ B: 2-D6 50 mm $\text{\textcircled{O}}$ C: 2-D6 100 mm $\text{\textcircled{O}}$ D: 2-D6 100 mm $\text{\textcircled{O}}$ +Special reinforcement

をさらに詳細に調べるために、今回の実験では系統的な実験変数を持つ15体の試験体によるせん断実験を計画した。実験変数は、鉄骨フランジ面の形状（突起有り（D）、突起無し（P）の2種類）、鉄骨ウェブ厚（3 mm（A）、4.5 mm（B）、6 mm（C）、9 mm（D）、12 mm（E）の5種類）、帯筋量および形状（4-D6 50 mm ⊕（A）、2-D6 50 mm ⊕（B）、2-D6 100 mm ⊕（C）、2-D6 100 mm ⊕+特殊補強筋（D）の4種類）、柱長さ（600 mm（2）、900 mm（3）、1200 mm（4）の3種類）、および作用軸力（0（0）、0.2 N_u （2）、0.4 N_u （4）の3種類、 N_u ：中心圧縮強度）の5種類である。実験系列は5シリーズに分けられ、シリーズ1は鉄骨フランジ面の突起の有無、シリーズ2は特殊補強筋の有無、シリーズ3は柱長さ、シリーズ4は鉄骨ウェブの厚さおよびせん断補強筋量、およびシリーズ5は作用軸力をそれぞれ実験変数とする。

Table 1 に実験系列を示す*。

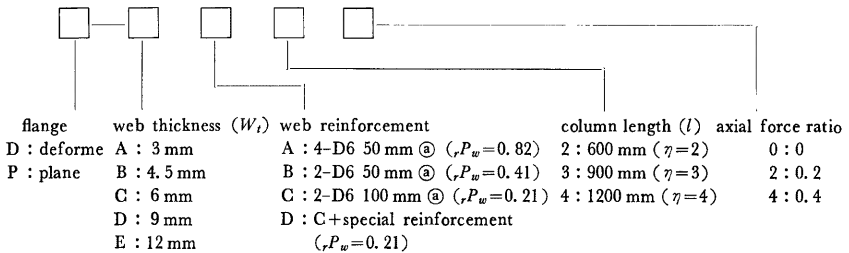
2.2 試験体

Fig. 1 に各試験体の断面構成を示す。また、Fig. 2 (a), (b) に試験体の形状寸法および配筋詳細の例を示す。Fig. 2 (b) は基準試験体 D-CB 32（左側）および特殊補強筋を配した試験体 D-ED 22（右側）をそ

		Steel Web				
		A 3 mm	B 4.5 mm	C 6 mm	D 9 mm	E 12 mm
Web Reinforcement	A 4-D6 50mm a					
	B 2-D6 50mm a					
	C 2-D6 100mm a					
	D 2-D6 100mm a					

Fig. 1 Column cross section

*試験体の名称により実験変数の組合せが示されるようにした。



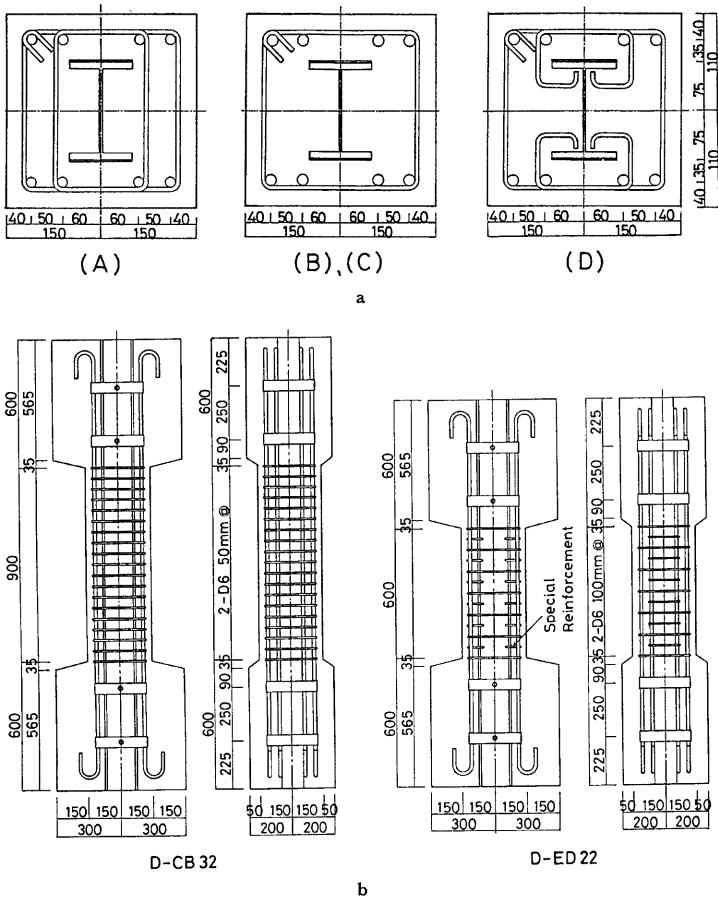


Fig. 2 Nominal dimensions and arrangement of reinforcements

れぞれ示す。試験体の大きさは実大の $1/2 \sim 1/3$ を想定して各試験体とも柱断面寸法として $b \times h = 300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ (b : 柱幅, h : 柱せい) を採用した。また, 各試験体の共通変数として, H形鋼の断面せい sH , フランジ幅 s_b およびフランジ厚 f_1 をそれぞれ $sH = 150 \text{ mm}$, $s_b = 100 \text{ mm}$ および $f_1 = 10 \text{ mm}$ (鉄骨フランジ比 $sP_1 = 1.22\%$) とし, 主筋は 4-D 16 (引張鉄筋比 $sP_2 = 0.88\%$), 主筋のせい間隔 d は $d = 220 \text{ mm}$ に統一した。また, せん断補強筋は各試験体とも D 6 を使用した。なお, 鉄骨部材の長さは定着部の上下端面までのものを使用し, 載荷軸力が直接鉄骨部材にも伝達されるように設計した。Table 1 に各試験体材料の実測寸法を示す。

2.3 試験体の材料および製作

突起付H形鋼は, 突起付 H-304 $\times 300 \times 10 \times 17$ (SM 50) から所要の寸法に切り出されたフランジ部分と

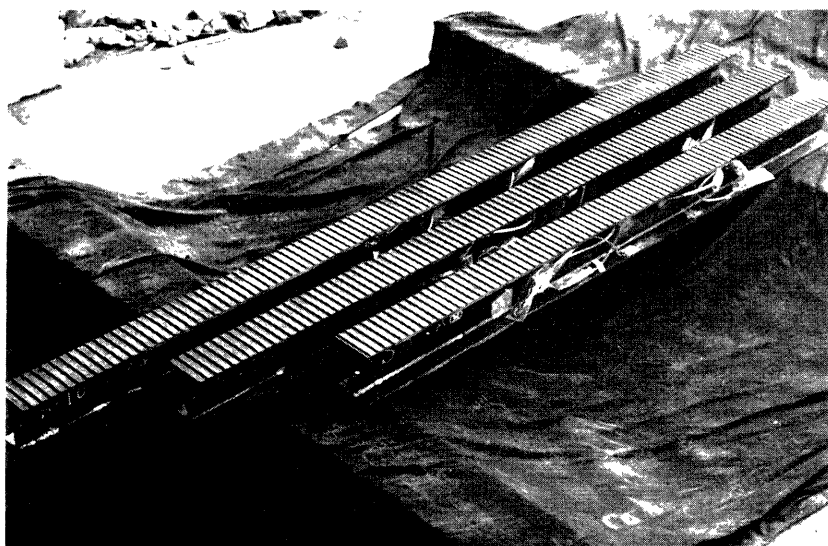


Photo. 1 Deformed flange H-shaped section

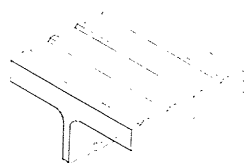


Fig. 3 Detail of deformed flange

SS41 を用いたウェブ部分とを溶接組立して製作された。フランジ部分に施こされた突起の高さ nb および間隔 np は前回の試験体と同様でそれぞれ $nb=3\text{ mm}$, $np=22\text{ mm}$ である。Fig. 3 に突起部の詳細図を、Photo. 1 に突起付H形鋼をそれぞれ示す。突起なしのH形鋼は、溶接組み立てた突起付H形鋼の突起を削り取って製作された。

主筋には SD30、せん断補強筋には SR24 の材種の鉄筋を使用した。なお、主筋の定着は試験体定着部内に 180° フックを設けることにより行なった。また、せん断補強筋の定着は 135° フックにより行ない、定着部を 90° づつずらしてウェブ筋定着部の破壊が一隅角部に集中しないようにした。なお、Photo. 2 に、特殊補強筋を用いた試験体 (D ED 22) の配筋詳細を示す。

セメントは普通ポルトランドセメント、粗骨材は最大粒径 40 mm 以下の川砂利、細骨材は 5 mm 以下の川砂を使用した。コンクリートは水セメント比 $w/c=0.62$ 、重量割合でセメント：水：砂：砂利 = 1 :

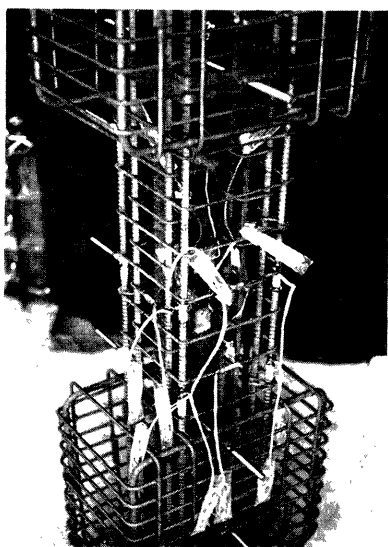


Photo. 2 Special reinforcement

Table 2 Mechanical properties of materials (Units: kgf/cm²)

Specimen	Concrete		Reinforcement		Steel	
	F_c	F_t	$r\sigma_y$	$r_w\sigma_y$	$s_r\sigma_y$	$s_w\sigma_y$
(1) D-AA32	236	26.6	3834	3298	3050	3330
(2) D-CB32	250	30.7				3880
(3) D-DC32	246	32.6				3860
(4) P-AA32	236	26.6			3190	3330
(5) P-CB32	250	30.7				3880
(6) P-DC32	246	32.6				3860
(7) D-BA22	253	36.3			3050	4330
(8) D-DB22						3860
(9) D-EC22						3520
(10) D-CB42	209	31.8				3880
(11) D-CB22						
(12) D-CB30						
(13) D-CB34						
(14) D-DD32						3860
(15) D-ED22						3520

0.62 : 2.93 : 3.45, スランプ値 18 cm, 呼び強度 210 kgf/cm² とした。Table 2 に各試験体に使用した材料の力学的特性を示す。

なお、コンクリートの打ち込みは、柱材を鋼製型枠内に鉛直に設置して縦打ちとし、コンクリート打設後 1 週間で脱枠して、実験実施時まで実験室内で空気養生を行なった。実験時の材令は33日から99日である。

2.4 実験方法

Fig. 4 に載荷装置を示す。載荷装置は、建設省建築研究所で設計されたものと同型のものを使用し、一定

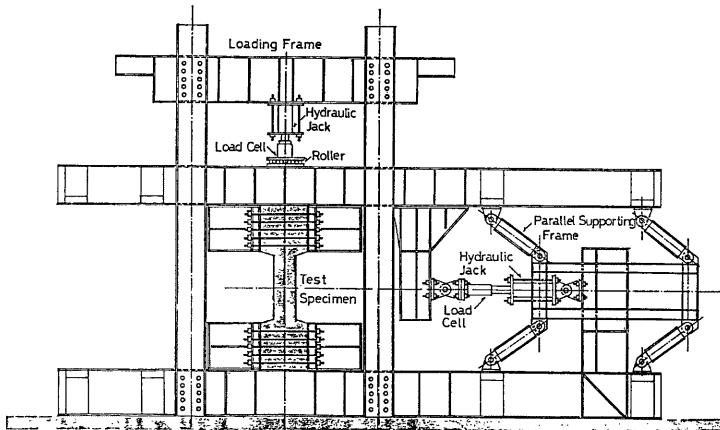


Fig. 4 Loading set-up

軸力を手動油圧ジャッキで負荷した後に、変位制御により繰り返しせん断力を電動油圧ジャッキにより試験体反曲点位置に負荷させた。なお、負荷された軸力は、実験中常に一定となるように手動油圧ジャッキにより調整を行なった。変位制御は、柱材の柱脚に対する柱頭の相対水平変位量 δ から求められる柱材の相対変位部材角 R ($R=\delta/l$, l :柱長さ) により行なった。なお、基準相対変位部材角を $R=0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5, 2.0, 3.0$ および 4.0% rad とし、同一の変位部材角において 2 回の繰り返し載荷を行なった。

試験体に負荷された水平せん断力は、電動油圧ジャッキの先端に取り付けられたロードセル (50 μ /ton) によって測定された。

2.5 変位およびひずみの測定

試験体の変形としては、柱材の柱脚に対する柱頭の相対水平変位量および軸方向変位量を摺動型変位計 (精度 200 μ /mm) によって測定した。

試験体各部のひずみ状態を測定するために、鉄骨ウェブ面には三軸の電気抵抗線ひずみゲージ (W. S. G.) を主筋、せん断補強筋および鉄骨フランジ面には単軸の電気抵抗線ひずみゲージを貼付した。

3. 実験結果

3.1 ひび割れおよび破壊状況

Fig. 5 に P-DC 32 (突起なし), D-DC 32 (突起付) および D-DD 32 (突起付+特殊補強筋) のひび割れ状況を示す*。Table 3 に各試験体の初期曲げひび割れ (Q_{FL}, R_{FL}), 初期斜張力ひび割れ (Q_{DT}, R_{DT}) および初期せん断付着ひび割れ (正面 FQ_{SB}, FR_{SB} および側面 sQ_{SB}, sR_{SB}) の発生荷重およびそのときの部材角をそれぞれ示す。各試験体とも曲げひび割れおよび斜張力ひび割れ発生状況には大きな差は見られないが、 $R=0.9\%$ rad. 以後における柱側面の主筋に沿うせん断付着ひび割れの発生には顕著な差が認められた。P-DC 32 では $R=0.9\sim 1.2\%$ rad. ではほぼ柱主筋の全長にわたってせん断付着ひび割れが認められるが D-DC 32 では一部の主筋に認められる程度になっている。さらに特殊補強筋を施した D-DD 32 では

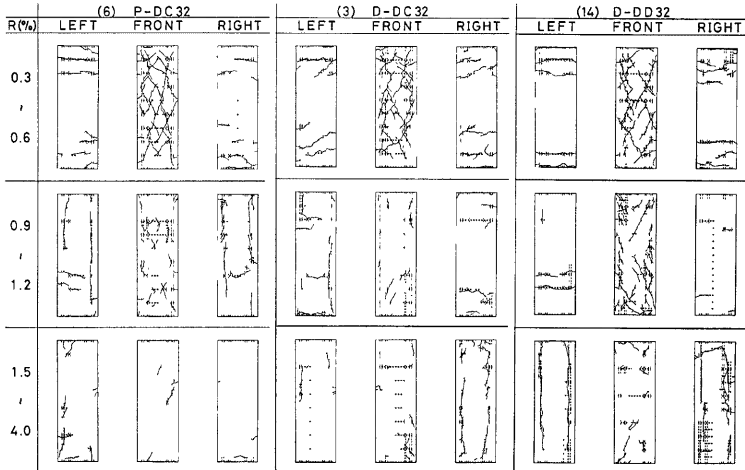


Fig. 5 Crack observation (Chosen from Series 1 and Series 2)

*この図に示されるひび割れは、実験中の履歴過程で発生したものが記入されている。

Table 3 Measured strength

Specimen		Q_{FL}	R_{FL}	Q_{DT}	R_{DT}	FQ_{SB}	FR_{SB}	sQ_{SB}	sR_{SB}	\tilde{Q}_{max}	R_{max}
(1) D-AA32	pos.	15.4	0.10	23.2	0.21	40.3	0.99	35.9	0.99	40.3	0.90
	neg.	8.1	0.07	28.7	0.62	30.7	0.78	33.0	1.02	34.3	0.90
(2) D-CB32	pos.	20.6	0.19	26.2	0.31	38.7	0.92	33.1	0.55	38.7	0.90
	neg.	15.2	0.09	24.3	0.26	35.8	0.87	35.8	0.87	35.8	0.90
(3) D-DC32	pos.	23.1	0.25	25.1	0.25	34.6	0.63	25.0	0.79	35.0	0.90
	neg.	23.1	0.21	25.1	0.29	28.1	0.49	30.9	0.88	30.9	0.90
(4) P-AA32	pos.	23.2	0.23	25.6	0.28	38.7	0.97	38.4	0.91	38.6	0.90
	neg.	18.1	0.14	20.5	0.19	28.4	0.58	6.3	0.07	35.2	0.90
(5) P-CB32	pos.	20.3	0.16	25.6	0.26	32.7	0.54	33.7	0.60	36.5	0.90
	neg.	17.8	0.14	22.8	0.26	31.1	0.59	25.5	0.50	33.3	0.90
(6) P-DC32	pos.	18.0	0.13	25.7	0.26	28.6	0.60	33.0	1.23	34.8	0.90
	neg.	12.8	0.05	23.0	0.21	30.5	0.81	20.6	0.45	31.3	0.90
(7) D-BA22	pos.	33.3	0.27	28.2	0.18	45.4	0.55	46.1	1.00	51.2	0.90
	neg.	24.2	0.17	28.0	0.16	45.7	0.55	45.6	1.15	48.5	0.90
(8) D-DB22	pos.	32.7	0.25	32.7	0.25	46.9	0.60	50.2	0.89	50.2	0.90
	neg.	28.1	0.17	33.2	0.22	31.2	0.27	47.7	1.16	47.5	0.90
(9) D-EC22	pos.	33.0	0.16	25.4	0.11	45.5	0.62	48.6	0.92	48.6	0.90
	neg.	20.4	0.03	28.3	0.13	39.8	0.55	40.7	0.43	47.0	0.90
(10) D-CB42	pos.	16.7	0.21	22.1	0.37	30.4	0.92	31.0	0.79	35.5	1.20
	neg.	11.6	0.09	21.9	0.37	30.9	0.79	32.3	0.87	34.8	1.20
(11) D-CB22	pos.	32.5	0.29	27.9	0.20	41.7	0.58	40.3	0.71	43.5	0.90
	neg.	25.2	0.11	21.5	0.07	41.6	0.57	42.2	0.91	42.2	0.90
(12) D-CB30	pos.	11.4	0.12	17.6	0.26	33.8	0.92	30.1	0.73	35.4	1.20
	neg.	11.0	0.13	15.7	0.25	32.7	1.21	31.6	0.91	32.7	1.20
(13) D-CB34	pos.	28.4	0.29	28.4	0.29	32.3	0.40	28.4	0.50	38.1	0.90
	neg.	26.7	0.20	26.7	0.26	36.5	0.61	38.2	0.91	38.2	0.90
(14) D-DD32	pos.	22.2	0.23	22.2	0.23	37.6	0.92	38.3	1.24	38.3	1.20
	neg.	19.2	0.19	23.2	0.28	23.7	0.73	23.7	0.73	34.3	0.90
(15) D-ED22	pos.	37.1	0.19	37.1	0.19	48.8	0.90	49.6	1.32	53.6	1.20
	neg.	30.3	0.20	30.3	0.20	50.8	1.16	50.8	1.16	5.08	1.20

Units, Q : t_f , R : 10^{-2} rad.

Q_{FL} , R_{FL} : Flexural Cracking

Q_{DT} , R_{DT} : Diagonal Tension Cracking

FQ_{SB} , FR_{SB} : Shear Bond Cracking (the front of the specimen)

sQ_{SB} , sR_{SB} : Shear Bond Cracking (the side of the specimen)

\tilde{Q}_{max} , R_{max} : Maximum Strength in consideration of P-A effect

$R=0.9\sim 1.2\%$ rad. ではほとんど認められなかった。なお、この状況は、D-EC 22 および D-ED 22 についても同様の傾向が認められた。

一般的なひび割れ発生状況は、初期斜張力ひび割れとしては、柱長さ比 $\eta=2$ ($\eta=l/h$) のものでは $R=0.1\sim 0.25\%$ rad. $\eta=3$ のものでは $R=0.21\sim 0.31\%$ rad. および $\eta=4$ のものでは $R=0.37\%$ rad. で発生した。また、柱主筋に沿ったせん断附着ひび割れは、 $R=0.54\sim 0.99\%$ rad. で発生し、その後、ひび割れは

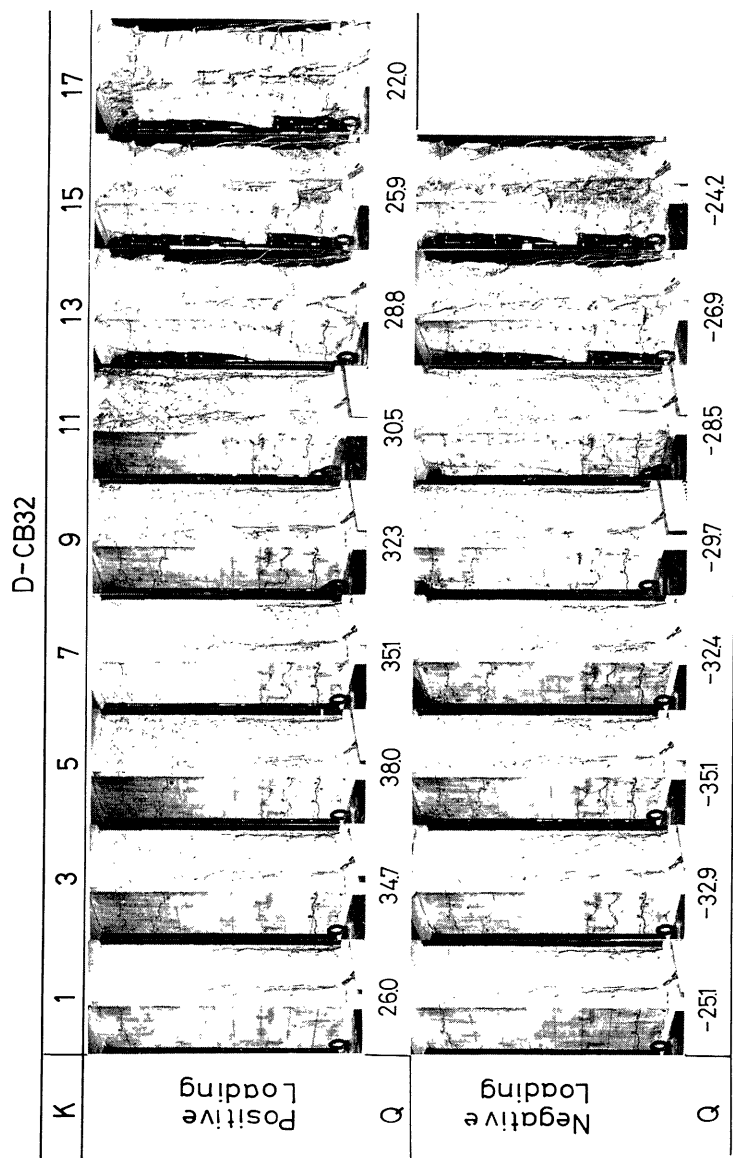
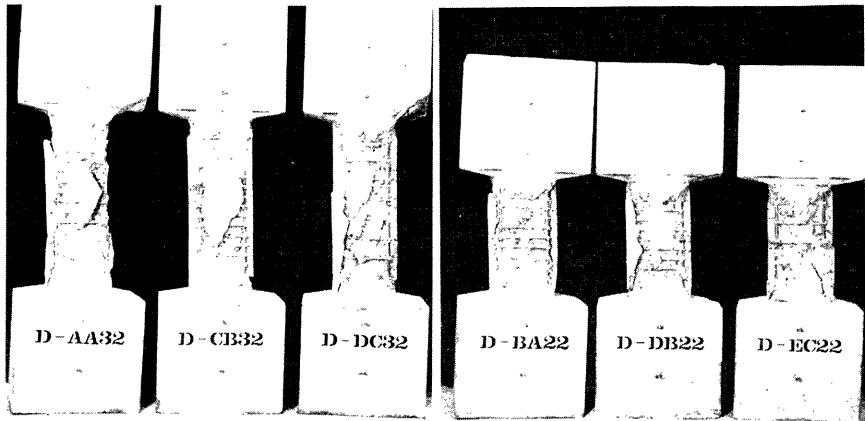


Photo. 3 Crack development (D-CB32)

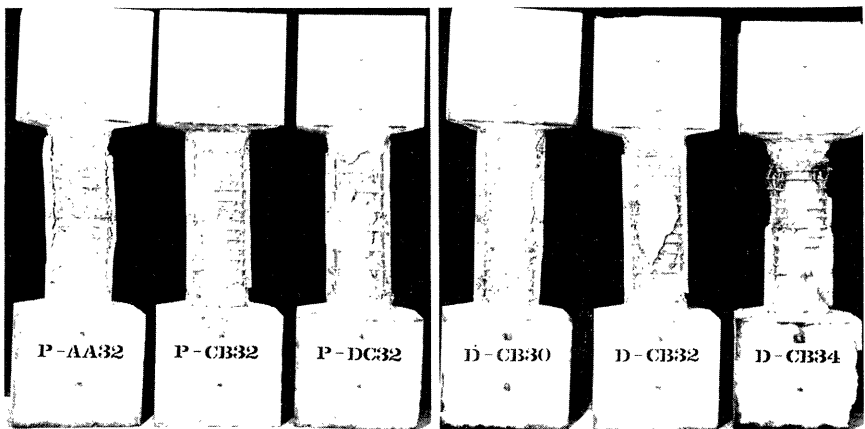
各試験体とも柱主筋の全長にまで成長し、 $R=2.0\sim 3.0\%$ rad. でかぶりコンクリートの剝離が認められた。なお、軸力比が0.4の試験体 D-CB 34 では $R=3.0\%$ rad. で柱主筋に座屈が発生し (Photo. 3 参照)、内部コンクリートまで破壊され、急激な耐力低下を生じて載荷不可能となったので、実験を打ち切った。

Photo. 3 に D CB 32 の破壊の進展状況を示す。突起付H形鋼を用いた試験体に比べて、通常のH形鋼を用いた試験体では、最終段階 $R=4.0\%$ rad. におけるかぶりコンクリートの剝落は著しいものとなっている。この状況はシリーズ1の他の試験体についても同様の傾向が認められた。Photo. 4 に各試験体の最終破壊状



Series 1
(Deformed flange)

Series 4



Series 1
(Plane flange)

Series 5

Photo. 4 Test specimens after test (Series 1, Series 4 and Series 5)

況の数例を示す。突起付H形鋼を用いた試験体（Dタイプ）に比べて、突起なしの試験体を用いた試験体（Pタイプ）のかぶりコンクリートの剝離が著しいことが示される。

3.2 履歴特性

Fig. 6 に荷重-変形曲線の数例を示す。図中の縦軸は測定されたせん断耐力 Q （単位： t_f ）を、横軸は相対変位部材角 R （単位： 10^{-2} rad）をそれぞれ表わす。また、 $srcQ_{fu}$ および sQ_{fu} は、後述の部材の終局曲げ耐力から求められる SRC 部材のせん断耐力および鉄骨部分のせん断耐力をそれぞれ表わす。 $srcQ_{su1}$ および $srcQ_{su2}$ は、後述の突起による付着効果を無視した場合の SRC 部材の終局せん断耐力をそれぞれ表わしているが、 $srcQ_{su1}$ は鉄筋コンクリート部分が一体となってせん断力に抵抗するとした場合（理論1）を、 $srcQ_{su2}$ は鉄筋コンクリート部分が鉄骨部分によって分割され、それぞれの部分が独立にせん断力に抵抗するとした場合（理論2）をそれぞれ表わしている。これらの理論耐力の横軸に対する傾斜は、軸力と水平変位による $P-d$ 効果を示している。また、図中の C_1 および C_2 は初期曲げひび割れ (Q_{F2}) および初期斜張力ひび割れ (Q_{DP}) 発生を示す。

各試験体の履歴曲線の形状はいずれもエネルギー吸収能力の大きい安定した紡錘形を示しており、鉄骨フランジ面の突起の有無による履歴曲線への影響はほとんど認められなかった。

Fig. 7 に各変位振幅の正荷重時の第一サイクルにおける最大強度を結んで求めた除荷点連結曲線を示す。縦軸は作用軸力と水平変位による付加モーメントによるせん断力を加えたせん断強度 \bar{Q} （単位： t_f ）を、横軸は相対変位部材角 R （単位： 10^{-2} rad）をそれぞれ表わす。各試験体の最大強度以後の強度低下はほぼ直線的であり、その勾配はゆるやかである。シリーズ1では、 $R=0.3\%$ rad. では突起の有無にかかわらずその強度はほぼ同じ値を示しているが、最大強度時から最終変位部材角 $R=4.0\%$ rad. まで突起付の試験体が突起なしの試験体に比べて、若干ではあるが高い強度を示している。シリーズ2では、 $R=0.3\%$ rad. では特殊補強筋の有無にかかわらずその強度はほぼ同じ値を示しているが、最大強度時では特殊補強筋を用いた試験体を用いない試験体に比べてかなり高い強度を示している。さらに最大強度後も高い強度を保有して

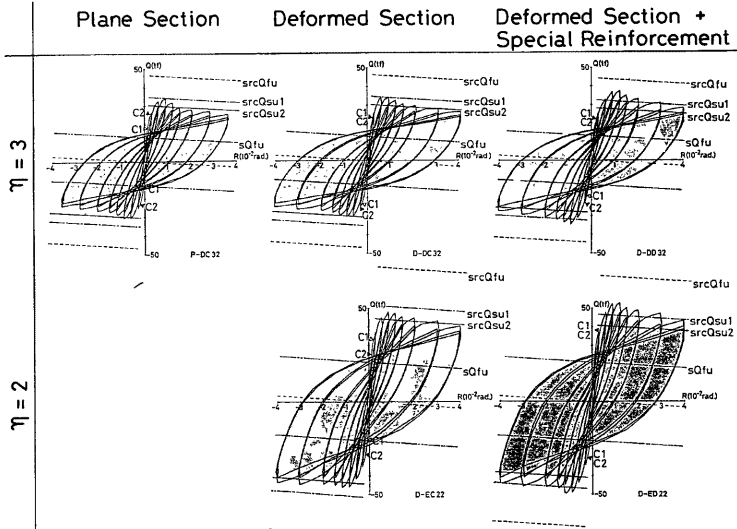


Fig. 6 Load-Deflection relationships (Chosen from Series 1 and Series 2)

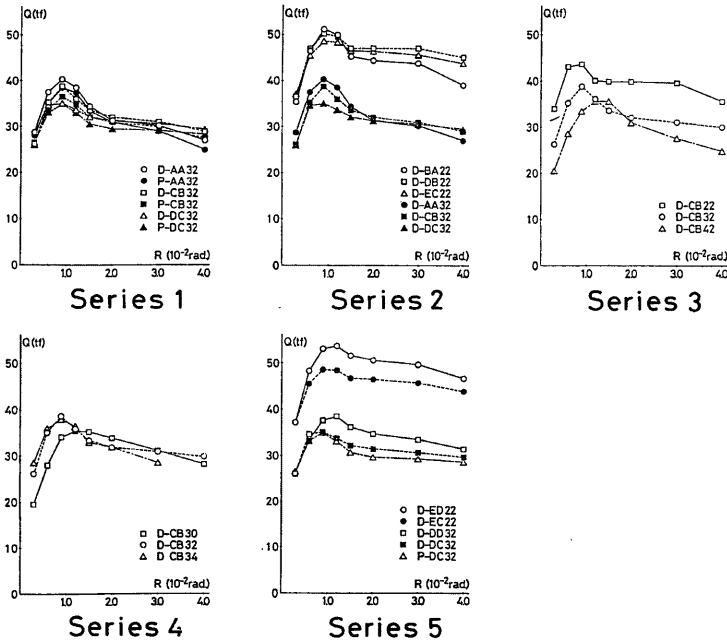


Fig. 7 Envelope curves of hysteresis loops

いる。

なお、Table 3 に各試験体の測定された最大せん断強度 (\bar{Q}_{max})* を示す。

3.3 エネルギー消費能力

Fig. 8 に各試験体のエネルギー消費量 E (単位: $10^2 \text{ tf}\cdot\text{cm}$) を示す。シリーズ1より、全エネルギー消費量は、突起付の試験体では $E=961\sim 975$ ($\text{tf}\cdot\text{cm}$)、突起なしの試験体では $E=898\sim 972$ ($\text{tf}\cdot\text{cm}$) の値を示し、突起付H形鋼を用いた場合には、突起なしのH形鋼を用いた場合に比べてせん断強度が若干増加するだけでなく、エネルギー消費能力も若干大きくなることが示された。

一方、シリーズ2では特殊補強筋によりかなりの耐力の差が認められたにもかかわらず、エネルギー消費能力に関してはほとんど差は認められなかった。

シリーズ3 (柱長さ) では、 $R=2.0\%$ rad. までは各試験体ともほとんど差は認められないが、 $R=3.0\%$ rad. 以後では柱長さが長い試験体ほどエネルギー消費量が大きくなることが認められた。

シリーズ4 (断面構成およびせん断補強筋量) では、最終変位振幅 $R=4.0\%$ rad. に至る変形過程においてほとんど差は認められなかった。

一方、シリーズ5 (軸力比) では、変形過程の初期の段階から軸力の大きい試験体ほどエネルギー消費量が大きくなることが認められた。しかしながら、 $N/N_u=0.4$ の試験体では、 $R=3.0\%$ rad. で載荷不可能となるなど、破壊の進行が早くなることが認められた。

* \bar{Q}_{max} のようにティルダー記号を付けたせん断力は、 $P-A$ 効果による転倒付加モーメントによる影響を考慮したせん断力を表す。

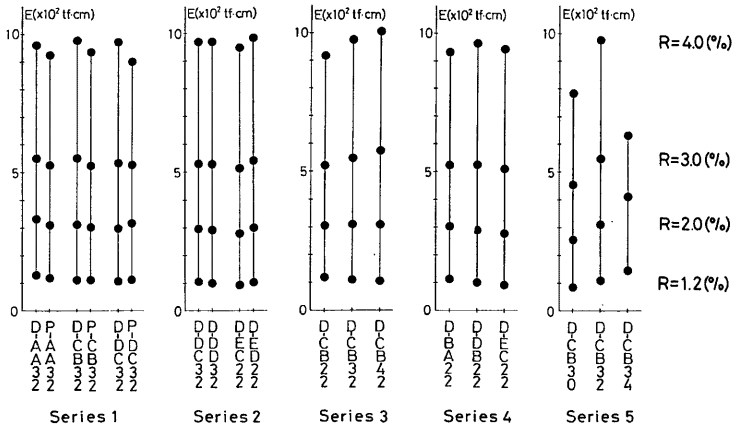


Fig. 8 The area of hysteresis loops

3.4 せん断補強筋のひずみ推移状況

せん断補強筋の挙動を検討するために、試験体中央部 (1/2) と中央から 1/4 下側のせん断補強筋に単軸 1 mm ゲージを貼付したが、Fig. 9 に測定結果の例としてシリーズ 2（特殊補強筋の有無）の場合を示す。縦軸はひずみ度 ϵ (%) を、横軸は相対変位部材角 R (単位: 10^{-2} rad.) を表わす。図中の w^{ϵ}_y は、材料試験より求めたせん断補強筋の降伏ひずみを、○印および□印は特殊補強筋を施していない試験体の 1/2 およ

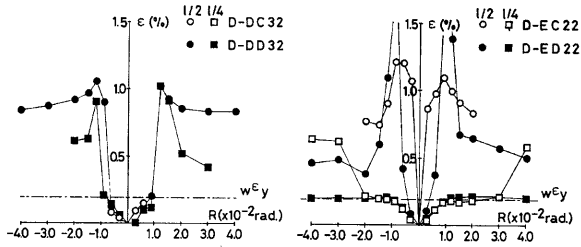


Fig. 9 ϵ -R relationships of web reinforcements

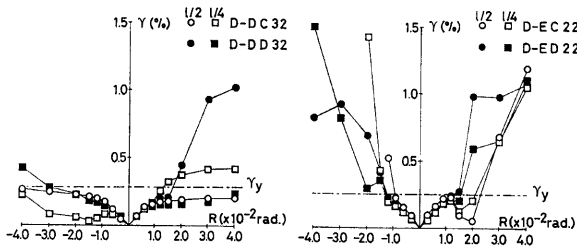


Fig. 10 γ -R relationships of steel web

び $l/4$ の位置のひずみを, ●印および■印は特殊補強筋を施した試験体の $l/2$ および $l/4$ の位置のひずみをそれぞれ表わしている。

最大耐力付近 ($R=0.9\sim 1.2$) では, 特殊補強筋を施した試験体のひずみの方が, 特殊補強筋を施さない試験体に比べて大きな値を示す傾向が認められた。また各試験体とも, 柱材中央部のひずみの方が下部よりも大きな値を示している。

3.5 鉄骨ウェブのせん断ひずみ推移状況

鉄骨部材の挙動を検討するために, H形鋼ウェブ中央部 ($l/2$) と中央部から $l/4$ 下側にロゼットゲージを貼付した。Fig. 10 に特殊補強筋の有無の効果を調べた試験体 (シリーズ 2) の各変位振幅における鉄骨ウェブのせん断ひずみ γ (%) を示す。縦軸はせん断ひずみ γ (%) を, 横軸は相対変位部材角 R (単位: 10^{-2}rad.) をそれぞれ表わす。図中の γ_s は, 材料試験より求めたウェブの降伏せん断ひずみを, ○印および□印は特殊補強筋を施していない試験体の $l/2$ および $l/4$ の位置のせん断ひずみを, ●印および■印は特殊補強筋を施した試験体の $l/2$ および $l/4$ の位置のせん断ひずみをそれぞれ表わす。

特殊補強筋を施した試験体では, $R=2.0\%$ rad. 以後において特殊補強筋を施さない試験体に比べて比較的大きなせん断ひずみを示す傾向が認められた。

4. 解 析

4.1 基本仮定

既往の解析方法 (文献 10), 11), 12) 参照) を用いて, 鉄骨とコンクリート間の付着がない場合のせん断耐力を理論的に評価することを試みる。

4.2 せん断抵抗機構

Fig. 11 および Fig. 12 に一定圧縮力 N と逆対称の曲げ M およびせん断 Q を受ける強軸まわりのH形鋼を内蔵する SRC 柱のせん断抵抗機構の模式図を示す。Fig. 11 は, 鉄骨部材の存在を無視して, RC 部分のせん断耐力を文献 10) の方法によって求めるものであり, 加藤・称原理論¹³⁾に対応するものである

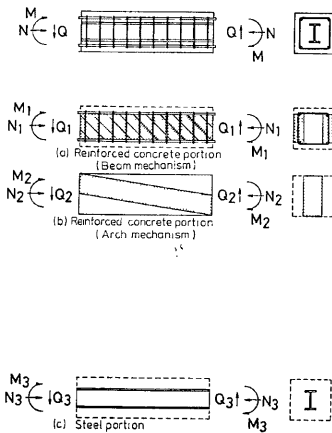


Fig. 11 Shear resistance mechanism of composite columns with wide flange section (Theory 1)

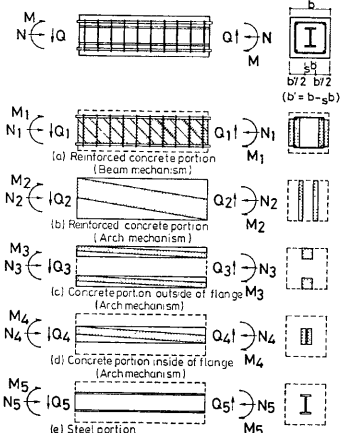


Fig. 12 Shear resistance mechanism of composite columns with wide flange section (Theory 2)

（理論1とする）。しかしながら、H形鋼が内蔵される SRC 柱では、鉄骨とコンクリートの付着作用は極めて小さく、終局状態では RC 部分にはH形鋼に相当する空洞ができるので、Fig. 12 に示されるように、次の5つの抵抗要素が構成されると仮定する。すなわち、鉄骨フランジ幅 b により決まる有効幅 b' ($=b-b$) を持つRC 部分のはり機構 (a) とアーチ機構 (b) のほかに、鉄骨フランジ外部のかぶりコンクリート部分のアーチ機構 (c)、鉄骨フランジ内部のコアコンクリート部分のアーチ機構 (d)、および鉄骨部分のはり機構 (e) である（理論2とする）。

4.3 累加強度理論の適用

前述の理論1および理論2の各抵抗機構に対する静的許容応力場を満足する強度 (M_i, N_i, Q_i) を決定すれば、SRC 部材としての強度 (M, N, Q) は拡張累加強度理論を適用することで求められる。

$$M = \sum_{i=1}^n M_i, \quad N = \sum_{i=1}^n N_i, \quad Q = \sum_{i=1}^n Q_i$$

一方、 $M_i = Q_i \cdot l/2$ の関係があるので、各抵抗機構の圧縮力 N_i とせん断力 Q_i に関する2次元の相関方程式を決定することで、SRC 部材のせん断耐力を解析的に求めることができる。

b' の幅の RC 部分のはり機構に関する $n (=N/bhF_c) - q (=Q/bhF_c)$ 相関方程式は、 b を b' に置換して、文献10)の方法をそのまま用いて求めることができるが、コンクリート部分のアーチ機構の $n - q$ 相関方程式は若干の修正を必要とする。すなわち、理論1のコンクリート部分のアーチ機構の $n - q$ 相関方程式は1つの円の方程式となるけれども、理論2では3つのアーチ機構 (Fig. 12 の (b), (c), (d)) による3つの円の方程式で表わされる耐力の累加を行なうことになり、その累加則は複雑なものになる。しかしながら、通常の SRC 部材では、かぶりコンクリート部分のせん断耐力は極めて小さいので、解析を簡単にするために理論2ではかぶりコンクリート部分は圧縮力のみ抵抗すると仮定すると、アーチ機構による耐力は2つの円の方程式で表わされる耐力の累加を行なうことによって得ることができる。

4.4 RC 部分の終局せん断耐力

本論では、理論2について述べ、理論1に関しては省略する。

本理論において拡張累加強度理論を適用する場合に、Fig. 12 のアーチ機構 (b) とアーチ機構 (d) による耐力を累加し、それにはり機構 (a) による耐力を累加し、最後にアーチ機構 (c) による耐力を累加する方法を採用する。

Fig. 13 にアーチ機構 (b) とアーチ機構 (d) による耐力を累加して求められる $n - q$ 相関曲線の模式図を示す。 $n - q$ 相関曲線は、 n の値によって3区間に対して示される。この曲線で表わされる耐力に、はり機構 (a) による耐力を累加する場合に、文献10)に示される RC 部分の $n - q$ 相関曲線の直線部分の勾配 λ_1 および λ_2^* と Fig. 13 に示される相関曲線の X_1 および X_2 点の接線の勾配 dn_1/dq_1 および dn_2/dq_2 との関係によって累加則が3ケースに分けられる。

すなわち、

Case 1 $\lambda_1 \leq dq_1/dn_1$ かつ $|\lambda_2| \leq |dq_2/dn_2|$

Case 2 $\lambda_1 \geq dq_1/dn_1$ かつ $|\lambda_2| \geq |dq_2/dn_2|$

Case 3 $\lambda_1 \geq dq_1/dn_1$ かつ $|\lambda_2| \leq |dq_2/dn_2|$

ただし、

$$\lambda_1 = \frac{\alpha \cdot \omega_1 - \{\alpha \cdot \gamma + \sqrt{(\alpha \cdot \gamma)^2 - \omega_1 \cdot \rho_1}\} \cdot \gamma}{\beta_1 \cdot \omega_1 - \{\beta_1 \cdot \gamma + \sqrt{(\beta_1 \cdot \gamma)^2 - \omega_1 \cdot \rho}\} \cdot \gamma}$$

$$\lambda_2 = \frac{\alpha \cdot \omega_2 - \{\alpha \cdot \gamma + \sqrt{(\alpha \cdot \gamma)^2 - \omega_2 \cdot \rho_2}\} \cdot \gamma}{\beta_2 \cdot \omega_2 - \{\beta_2 \cdot \gamma + \sqrt{(\beta_2 \cdot \gamma)^2 - \omega_2 \cdot \rho}\} \cdot \gamma}$$

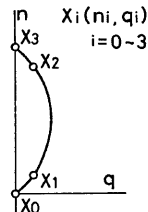


Fig. 13 Envelope of the curves obtained by the extended additive strength concept for arch mechanism (b) and arch mechanism (d).

* 理論2における RC 部分の $n - q$ 相関曲線の直線部分の勾配は λ_1 および λ_2 と同じになる。

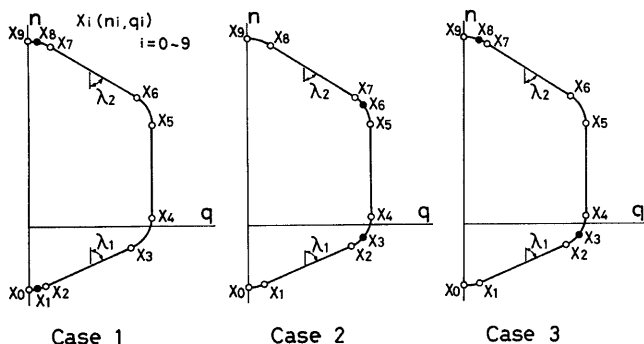


Fig. 14 Envelope of the curves obtained by the extended additive strength concept for reinforced concrete portion.

$$dq_1/dn_1 = sd_1/\eta, \quad dq_2/dn_2 = -sd_1/\eta$$

Fig. 14 に RC 部分の $n-q$ 相関曲線の模式図を示す。

4.5 S 部分の終局せん断耐力

鉄骨部分の終局せん断耐力は、材端の終局曲げ耐力から求められるせん断耐力と鉄骨ウェブの降伏せん断耐力の小さい方の値として求める。

4.6 SRC 部材の終局せん断耐力

RC 部分の耐力と S 部分の耐力を累加して求められる SRC 部材の耐力を表わす相関曲線は、(RC 部分の相関曲線 (3 ケース) に対してそれぞれ 1 ケース) 3 ケースに対して示される。すなわち、

Fig. 14 の Case 1 に対して

Case 1 $dq_1/dn_1 = sd_1/\eta$ かつ $dq_8/dn_8 = -sd_1/\eta$

Fig. 14 の Case 2 に対して

Case 2 $dq_3/dn_3 = sd_1/\eta$ かつ $dq_6/dn_6 = -sd_1/\eta$

Fig. 14 の Case 3 に対して

Case 3 $dq_3/dn_3 = sd_1/\eta$ かつ $dq_8/dn_8 = -sd_1/\eta$

と与えられ、Fig. 14 の相関曲線上の●印で示される耐力点に S 部分の相関曲線が累加される。

$sd_1/\eta, -sd_1/\eta$ は S 部分の相関曲線における直線部分の勾配である。

Fig. 15 に、SRC 部材の $n-q$ 相関曲線の例として、Case 1 に関する模式図を示す。図中の $srcI_{s2}$ および rcI_{s2} はそれぞれ SRC 部材の終局せん断耐力および RC 部分の終局せん断耐力 (Fig. 14 の Case 1) を表わす。また、 sI は S 部分のせん断耐力を表わす。

理論 1 および理論 2 の理論解と、既往の実験値と比較すると、理論 1 でもほぼ妥当な強度を与えるが、厳密には、理論 2 の方がより合理的な耐力評価となっていることが示されている¹¹⁾。

なお、付録 1 に理論 2 により求められる $n-q$ 相関方程式を示す¹²⁾。

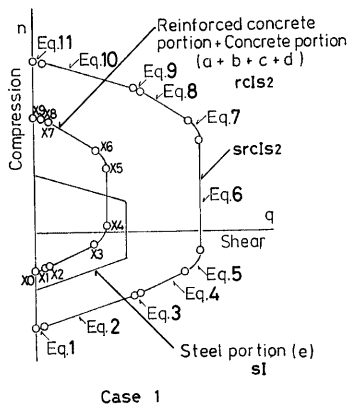


Fig. 15 Interaction curve of composite column (Theory 2)

5. 実験値と解析値の比較

Fig. 16 に各試験体の正負の最大せん断耐力 (\bar{Q}_{max}) と、解析値との対応を無次元化軸力 n と無次元化せん断力 q に関する相関曲線で表わしたものを示す。縦軸は無次元化軸力 n を、横軸は無次元化せん断力 q をそれぞれ表わす。また $srcI_{m1}$, $srcI_{s1}$ および $srcI_{s2}$ は SRC 部材の終局曲げ耐力から求められるせん断耐力, 理論1による終局せん断耐力および理論2による終局せん断耐力をそれぞれ表わす。 rcI_{m1} , rcI_{s1} および rcI_{s2} は, RC 部分の終局曲げ耐力から求められるせん断耐力, 理論1による RC 部分の終局せん断耐力および理論2による RC 部分の終局せん断耐力をそれぞれ表わす。 sI_m および sI_s は鉄骨部分の終局曲げ耐力から求められるせん断耐力および鉄骨ウェブの降伏せん断耐力をそれぞれ表わす。○印および●印は正荷重時および負荷重時の最大せん断耐力 (\bar{Q}_{max}) をそれぞれ表わす。

Fig. 16 に示されるように、突起付H形鋼を用いた試験体についても前述の理論解と比較的良好一致を示している。なお、図中の影を付した部分は理論2の理論1に対する耐力低下を生ずる領域を示す。通常用いられる断面構成、柱長さ、せん断補強筋量の部材の両理論による差はほぼ図に示す程度の差となる。

Fig. 17 は、各試験体に対する実験値と解析値の比較検討を行なった結果を示したものである。同図の左側の □印および ◻印は理論1による解析値 $srcq_{s1} (= srcQ_{s1}/bhF_c)$ および理論2による解析値 $srcq_{s2} (= srcQ_{s2}/bhF_c)$ をそれぞれ表わす。また、○印および●印は正負の最大せん断強度をそれぞれ表わす。同図の右側は実験値 (q_{ex}) を解析値 (q_{the}) で除した値を示す。○印および●印は理論1に対する正および負荷重時の値を、□印および◻印は理論2に対する正および負荷重時の値をそれぞれ表わしている。

理論1に関しては、突起なしのH形鋼を用いた試験体では正荷重時について安全率1.0を若干下回る傾向があるが、突起付H形鋼を用いた試験体では安全率1.0を上回る傾向にあることが認められる。さらに、特

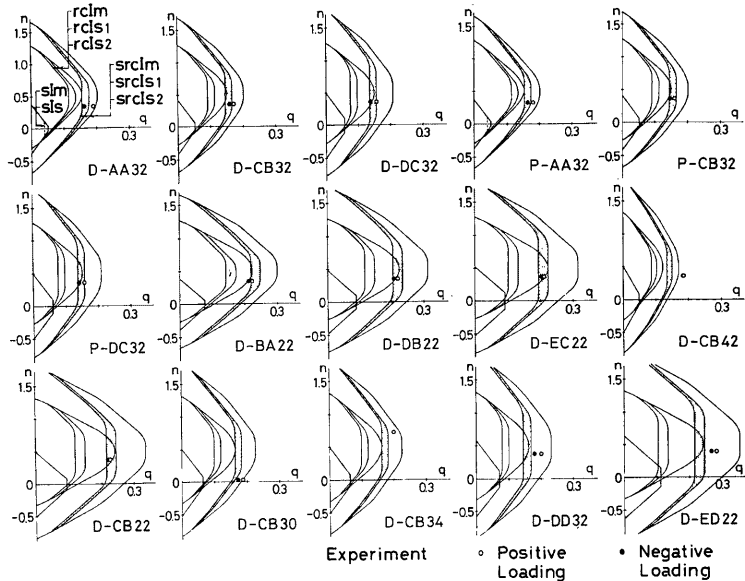


Fig. 16 Comparison of calculated and measured maximum shear strength

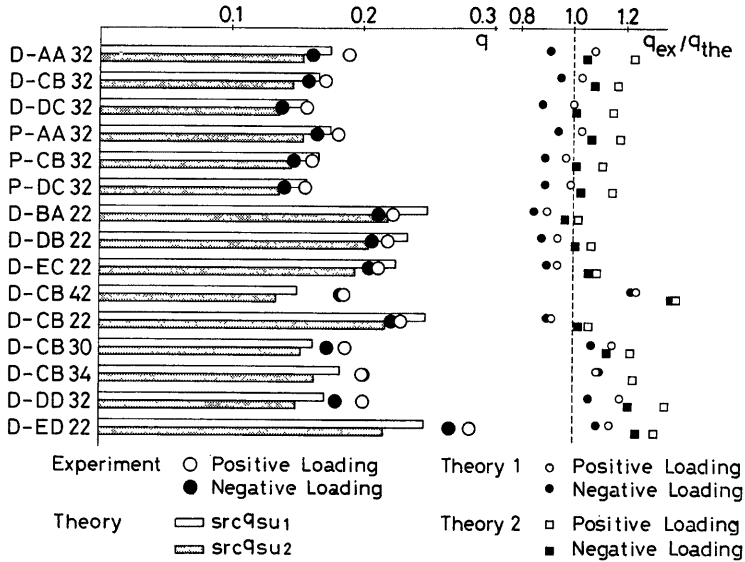


Fig. 17 Comparison of calculated and measured strength

Table 4 Calculated strength

Specimen	$srcQ_{fu}$	$srcQ_{su}$ (Units: t_f)		$\bar{Q}_{max/srcQ_{fu}}$		$\bar{Q}_{max/srcQ_{su1}}$		$\bar{Q}_{max/srcQ_{su2}}$	
		$srcQ_{su1}$	$srcQ_{su2}$	pos.	neg.	pos.	neg.	pos.	neg.
(1) D-AA32	42.3	37.4	32.9	0.95	0.81	1.08	0.91	1.23	1.05
(2) D-CB32	45.2	37.6	33.0	0.86	0.79	1.03	0.95	1.17	1.08
(3) D-DC32	46.7	35.0	30.4	0.75	0.66	1.00	0.88	1.15	1.01
(4) P-AA32	42.2	37.5	33.0	0.91	0.83	1.03	0.94	1.18	1.07
(5) P-CB32	45.2	37.6	32.8	0.81	0.74	0.97	0.89	1.11	1.01
(6) P-DC32	46.7	35.0	30.4	0.75	0.67	0.99	0.89	1.15	1.03
(7) D-BA22	67.3	57.0	50.1	0.76	0.72	0.90	0.85	1.02	0.97
(8) D-DB22	71.4	53.8	46.9	0.70	0.67	0.94	0.88	1.07	1.01
(9) D-EC22	72.3	51.5	44.4	0.67	0.64	0.94	0.90	1.09	1.06
(10) D-CB42	32.2	28.6	25.5	1.10	1.08	1.24	1.22	1.39	1.37
(11) D-CB22	64.1	46.9	41.0	0.68	0.66	0.92	0.90	1.06	1.02
(12) D-CB30	38.0	30.6	28.9	0.93	0.86	1.15	1.07	1.22	1.13
(13) D-CB34	41.6	34.6	30.8	0.92	0.92	1.09	1.10	1.23	1.23
(14) D-DD32	44.2	32.4	28.2	0.87	0.78	1.18	1.06	1.35	1.21
(15) D-ED22	67.4	46.8	40.9	0.80	0.75	1.14	1.09	1.31	1.24

$srcQ_{fu}$: Ultimate Flexural Strength

$srcQ_{su1}$: Ultimate Shear Strength (Theory 1)

$srcQ_{su2}$: Ultimate Shear Strength (Theory 2)

殊補強筋を用いた試験体 D-ED 22 および D-DD 32 では、正荷重時について安全率は、1.14および1.18とかなり高い値を示している。

なお、Table 4 に解析値および最大せん断強度を解析値で除した値をそれぞれ示す。

6. 鉄骨とコンクリート間の付着作用の検討

以上、各試験体の耐力に関する考察を行なったが、ここでは突起による付着効果を変数とする試験体 P-DC 32、D-DC 32 および D-DD 32 と D-EC 22 および D-ED 22 についてさらに詳細な検討を行なう。

Fig. 6 に示す履歴曲線は、上段は柱長さ比 $\eta=3$ で、左から順に突起なし、突起付および突起付+特殊補強筋を、下段は柱長さ比 $\eta=2$ で、左から順に突起付および突起付+特殊補強筋のものをそれぞれ表わしている。

D-DC 32 と P-DC 32 の突起の有無による耐力の差はほとんど認められず、最大耐力時では鉄筋コンクリート部分が一体となってせん断力に抵抗するとした場合（理論 1）の解析値 $s_{rc}Q_{s,n1}$ 程度の耐力しか発揮されていない。また、相対変位部材角 $R=4.0\%$ rad では、理論 2 による解析値 $s_{rc}Q_{s,n2}$ 程度の耐力を保有していることが示される。このことは D-EC 22 についても同様のことが示される。しかしながら、特殊補強筋を施した試験体 D-DD 32 および D-ED 22 では、 $s_{rc}Q_{s,n1}$ 以上の耐力が発揮されており、相対変位部材角 $R=4.0\%$ rad に至っても耐力は $s_{rc}Q_{s,n1}$ 程度を保っていることが示される。

以上のことから、通常のせん断補強筋では突起による鉄骨とコンクリート間の付着作用をせん断抵抗に対して有効に働かせることができないと考えられる。すなわち、通常のせん断補強筋では突起によって生じるコンクリートストラットを十分に拘束することができず、コンクリートが外方向に押し出されるためと考えられる。それに対して、特殊補強筋を施すことにより、このコンクリートストラットを十分に拘束することができ、鉄骨とコンクリートとの付着作用を十分期待でき、鉄骨とコンクリートの相互作用によってせん断耐力が増加していると考えられる。

そこで、付着作用がある程度期待できる特殊補強筋を施した試験体について、付着作用を考慮した終局せん断耐力を解析的に求め、実験値との比較・検討を行なうことを試みる。

7. 付着を考慮した場合の理論せん断耐力

7.1 基本設定

前述した理論 2 による拡張累加強度理論を適用することにより、特殊補強筋を施した 2 体の試験体 D-ED 22、D-DD 32 に対して付着作用を考慮に入れた終局せん断耐力を解析的に求め、実験値との比較を試みる。

7.2 仮定

- (1) RC 部分はせん断補強筋の降伏により耐力が決定されるせん断降伏形で、終局耐力時において主筋は余力を持っている。
- (2) S 部分は鉄骨フランジの引張降伏により耐力が決定される曲げ降伏形で、終局耐力時において鉄骨ウェブは余力を持っている。

この余剰の主筋および鉄骨ウェブが、鉄骨とコンクリートの付着作用により、付着面のコンクリートを介してフランジと鉄骨ウェブを持つ一組の断面を構成すると考えられ、他の抵抗機構と独立した抵抗機構を形成するものとする。従って、上記の仮定を満たしている場合の突起付H形鋼を内蔵する鉄骨鉄筋コンクリート部材のせん断抵抗機構は、理論 2 によるせん断抵抗機構に主筋と鉄骨ウェブによる抵抗機構を独立に付加すれば良い。

7.3 $n-q$ 相関方程式

理論 2 のせん断抵抗機構によるそれぞれの耐力に基づいて求められる無次元化軸力 n と無次元化せん断力 q とに関する相関方程式は、Fig. 14 に示す RC 部分の耐力を表わす相関曲線の形状により 3 つの場合

に分けられ(文献9)参照), 付着作用を考慮した場合の $n-q$ 相関方程式も3つの場合に分けられるが(文献9)参照), ここでは Fig. 15 に示す Case 1 に対応する場合の相関方程式を示す。無次元化軸力 n の値によって次の(1)~(15)式によって表わされる。

$$(a) \quad n_0 \leq n < n_1 \quad q = \{\sqrt{4 \cdot n_a(n - n_a) + \eta^2} - \eta\} b'_1 / 2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$(b) \quad n_1 \leq n < n_2 \quad q = (n - n_1) \cdot d_1 / \eta + q_1 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$(c) \quad n_2 \leq n < n_3 \quad q = \{\sqrt{4 \cdot n_b(n - n_b) + \eta^2} - \eta\} b'_1 / 2 + wq \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$(d) \quad n_3 \leq n < n_4 \quad q = (n - n_3) \cdot d_1 / \eta + q_3 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$(e) \quad n_4 \leq n < n_5 \quad q = \{\sqrt{4 \cdot n_c(1 + s_b \cdot d_1 / b'_1 - n_c) + \xi_1^2 + 2 \cdot s_b \cdot b_1(4 \cdot \gamma \cdot \gamma_1 - s_d - \eta^2) / b'_1 - \xi_1}\} b'_1 / 2 + wq + s q_{w0} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$(f) \quad n_5 \leq n < n_6 \quad q = \lambda_1(n - n_5) + q_5 \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$(g) \quad n_6 \leq n < n_7 \quad q = \{\sqrt{4 \cdot n_d(1 + s_b \cdot d_1 / (b'_1 - 4 \cdot \Phi' / \eta) - n_d) + \xi_2^2 + 2 \cdot s_b \cdot b_1(4 \cdot \gamma \cdot \gamma_1 - s_d - \eta^2) / (b'_1 - 4 \cdot \Phi' / \eta) - \xi_2}\} (b'_1 - 4 \cdot \Phi' / \eta) / 2 + 2 \cdot \Phi' \cdot r \cdot d_1 / \eta + wq + s q_{w0} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$(h) \quad n_7 \leq n < n_8 \quad q = 2 \cdot \Phi' \cdot d_1 / \eta - (s_b \cdot b_1 + b'_1 - 4 \cdot \Phi' / \eta) \cdot \eta / 2 + s_b \cdot \gamma_1 + (b'_1 - 4 \cdot \Phi' / \eta) \gamma + wq + s q_{w0} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$(i) \quad n_8 \leq n < n_9 \quad q = \{\sqrt{4 \cdot n_e(1 + s_b \cdot d_1 / (b'_1 - 4 \cdot \Phi' / \eta) - n_e) + \xi_2^2 + 2 \cdot s_b \cdot b_1(4 \cdot \gamma \cdot \gamma_1 - s_d - \eta^2) / (b'_1 - 4 \cdot \Phi' / \eta) - \xi_2}\} (b'_1 - 4 \cdot \Phi' / \eta) / 2 + 2 \cdot \Phi' \cdot r \cdot d_1 / \eta + wq + s q_{w0} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$(j) \quad n_9 \leq n < n_{10} \quad q = \lambda_2(n - n_{10}) + q_{10} \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$(k) \quad n_{10} \leq n < n_{11} \quad q = \{\sqrt{4 \cdot n_f(1 + s_b \cdot d_1 / b'_1 - n_f) + \xi_1^2 + 2 \cdot s_b \cdot b_1(4 \cdot \gamma \cdot \gamma_1 - s_d - \eta^2) / b'_1 - \xi_1}\} b'_1 / 2 + wq + s q_{w0} \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$(l) \quad n_{11} \leq n < n_{12} \quad q = - (n - n_{12}) \cdot d_1 / \eta + q_{12} \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$(m) \quad n_{12} \leq n < n_{13} \quad q = \{\sqrt{4 \cdot n_g(b'_1 - n_g) + (\eta \cdot b'_1)^2 - \eta \cdot b'_1}\} / 2 + wq \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$(n) \quad n_{13} \leq n < n_{14} \quad q = - (n - n_{14}) \cdot r \cdot d_1 / \eta + q_{14} \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$(o) \quad n_{14} n \leq n_{15} \quad q = \{\sqrt{4 \cdot n_h(b'_1 - n_h) + (\eta \cdot b'_1)^2 - \eta \cdot b'_1}\} / 2 \quad \dots\dots\dots (15)$$

ここに,

$$n_0 = -2 \cdot \Phi - 2 \cdot r \Phi - u \Phi$$

$$n_1 = n_0 + b'_1(1 - r \cdot d_1 \cdot \gamma \cdot \gamma_4) / 2$$

$$n_2 = n_0 + \eta \cdot wq / r \cdot d_1$$

$$n_3 = n_0 + b'_1(1 - s_d \cdot \gamma \cdot \gamma_1) / 2 + \eta \cdot wq / r \cdot d_1$$

$$n_4 = n_0 + b'_1(1 - s_d \cdot \gamma \cdot \gamma_1) / 2 + q_a$$

$$n_5 = n_0 + (b'_1 + s_b \cdot d_1) / 2 - \lambda_1(b'_1 \cdot \gamma + s_b \cdot \gamma_1) / \gamma_2 + q_a$$

$$n_6 = n_0 + 2 \cdot \Phi' \cdot (d_1 / \eta + 1) + (s_b \cdot b_1 \cdot d_1 + \delta_1) / 2$$

$$- \lambda_1(s_b \cdot b_1 \cdot \gamma_1 + \delta_1 \cdot \gamma) / \gamma_2 + q_a$$

$$n_7 = n_0 + 2 \cdot \Phi' \cdot (d_1 / \eta + 1) + (s_b \cdot b_1 \cdot d_1 + \delta_1) / 2 + q_a$$

$$n_8 = -n_0 + 2 \cdot \Phi' \cdot (d_1 / \eta - 1) + (s_b \cdot b_1 \cdot d_1 + \delta_1) / 2$$

$$+ 2 \cdot c_0 A_1 - q_a$$

$$n_9 = -n_0 + 2 \cdot \Phi' \cdot (d_1 / \eta - 1) + (s_b \cdot b_1 \cdot d_1 + \delta_1) / 2$$

$$- \lambda_2(s_b \cdot b_1 \cdot \gamma_1 + \delta_1 \cdot \gamma) / \gamma_3 + 2 \cdot c_0 A_1 - q_a$$

$$n_{10} = -n_0 + (s_b \cdot b_1 \cdot d_1 + b'_1) / 2 - \lambda_2(s_b \cdot b_1 \cdot \gamma_1 + b'_1 \cdot \gamma) / \gamma_3$$

$$+ 2 \cdot c_0 A_1 - q_a$$

$$n_{11} = -n_0 + s_b \cdot b_1 \cdot d_1 + b'_1(1 + s_d \cdot \gamma / \gamma_1) / 2 + 2 \cdot c_0 A_1 - q_a$$

$$n_{12} = -n_0 + s_b \cdot b_1 \cdot d_1 + b'_1(1 + s_d \cdot \gamma / \gamma_1) / 2 + 2 \cdot c_0 A_1$$

$$- \eta \cdot wq / r \cdot d_1$$

$$n_{13} = -n_0 + s_b \cdot b_1 \cdot d_1 + b'_1(1 + d_1 \cdot \gamma / \gamma_4) / 2 + 2 \cdot c_0 A_1 - \eta \cdot wq / r \cdot d_1$$

$$n_{14} = -n_0 + s_b \cdot b_1 \cdot d_1 + b'_1(1 + d_1 \cdot \gamma / \gamma_4) / 2 + 2 \cdot c_0 A_1$$

$$n_{15} = -n_0 + s_b \cdot b_1 \cdot d_1 + b'_1 + 2 \cdot c_0 A_1$$

$$n_a = (n - n_0) / b'_1$$

$$n_b = (n - n_0 - \eta \cdot wq / r \cdot d_1) / b'_1$$

$$n_c = (n - n_0 - q_a) / b'_1$$

$$n_d = \{n - n_0 - 2 \cdot \Phi' \cdot (d_1 / \eta + 1) - q_a\} / \delta_1$$

$$n_e = \{n + n_0 - 2 \cdot \Phi' \cdot (d_1 / \eta - 1) - 2 \cdot c_0 A_1 + q_a\} / \delta_1$$

$$n_f = \{n + n_0 - 2 \cdot c_0 A_1 + q_a\} / b'_1$$

$$n_g = n + n_0 - s_b \cdot b_1 \cdot d_1 - 2 \cdot c_0 A_1 + \eta \cdot wq / r \cdot d_1$$

$$n_h = n + n_0 - s_b \cdot b_1 \cdot d_1 - 2 \cdot c_0 A_1$$

$$q_1 = -b'_1(1 - \gamma / \gamma_1) \eta / 2$$

$$q_3 = -b'_1(1 - \gamma / \gamma_1) \eta / 2 + wq$$

$$q_5 = -(b'_1 + s_b) \eta / 2 + (b'_1 \cdot \gamma + s_b \cdot \gamma_1) / \gamma_2 + wq + s q_{w0}$$

$$q_{10} = -(b'_1 + s_b) \eta / 2 + (s_b \cdot b_1 \cdot \gamma_1 + b'_1 \cdot \gamma) / \gamma_3 + wq + s q_{w0}$$

$$q_{12} = -b'_1(1 - \gamma / \gamma_1) \eta / 2 + wq$$

$$q_{14} = -b'_1(1 - \gamma / \gamma_4) \eta / 2$$

$$q_a = \eta(wq / r \cdot d_1 + s q_{w0} / r \cdot d_1)$$

$$\lambda_1 = \frac{\alpha \cdot \omega_1 - \{\alpha \cdot \gamma + \sqrt{(\alpha \cdot \gamma)^2 - \omega_1 \cdot \rho_1}\} \cdot \gamma}{\beta_1 \cdot \omega_1 - \{\beta_1 \cdot \gamma - \sqrt{(\beta_1 \cdot \gamma)^2 - \omega_1 \cdot \rho}\} \cdot \gamma}, \quad \lambda_2 = \frac{\alpha \cdot \omega_2 - \{\alpha \cdot \gamma + \sqrt{(\alpha \cdot \gamma)^2 - \omega_2 \cdot \rho_2}\} \cdot \gamma}{\beta_2 \cdot \omega_2 - \{\beta_2 \cdot \gamma + \sqrt{(\beta_2 \cdot \gamma)^2 - \omega_2 \cdot \rho}\} \cdot \gamma}$$

$$\omega_1 = \alpha^2 + \beta_1^2, \quad \omega_2 = \alpha^2 + \beta_2^2, \quad \rho = \gamma^2 + \alpha^2, \quad \rho_1 = \gamma^2 - \beta_1^2, \quad \rho_2 = \gamma^2 - \beta_2^2, \quad \alpha = (r d_1 + \eta)/2, \quad \beta_1 = (d_r + \eta - 1)/2,$$

$$\beta_2 = (d_1 - \eta - 1)/2, \quad \delta' = (1 - 2 \cdot \Psi')/2, \quad \delta_1 = b_1' - 4 \cdot \Phi' / \eta, \quad \xi_1 = \eta (1 + s b_1 / b_1'), \quad \xi_2 = \eta (1 + s b_1 / 2 \cdot b_1' \cdot \delta'),$$

$$\eta = l/h, \quad \gamma = \sqrt{1 + \eta^2/2}, \quad \gamma_1 = \sqrt{s d_1^2 + \eta^2/2}, \quad \gamma_2 = \sqrt{1 + \lambda_1^2}, \quad \gamma_3 = \sqrt{1 + \lambda_2^2}, \quad \gamma_4 = \sqrt{r d_1^2 + \eta^2/2}, \quad b_1' = b'/b,$$

$$r d_1 = r d/h, \quad s d_1 = s d/h, \quad s b_1 = s b/b, \quad c_0 A_1 = c_0 d' \cdot s b/b \cdot h, \quad \Phi' = r d_1' \cdot r \sigma_y / b \cdot h \cdot F_c, \quad \Phi = s d_1' \cdot s_f \sigma_y / b \cdot h \cdot F_c, \quad \omega \Phi =$$

$$s a_w \cdot s_w \sigma_y / b \cdot h \cdot F_c, \quad \Psi' = r a_w \cdot r_w \sigma_y / b' \cdot h \cdot F_c, \quad w q = \min(D_s q_u, F), \quad D_s q_u = w \Phi / \sqrt{3} - 2 \cdot s d_1 (\Phi + \omega \Phi / 4) / \eta, \quad F =$$

$$\tau \cdot s b_1' \cdot r d_1 / F_c, \quad s q_{w0} = \min(s w q_{u3}, s f q_{w0}), \quad s w q_u = w \Phi / \sqrt{3}, \quad s f q_{w0} = 2 \cdot s d_1 (\Phi + \omega \Phi / 4) / \eta$$

8. 実験値と解析値の比較

Fig. 18 は、特殊補強筋を施した試験体 D-ED 22 および D-DD 32 の附着作用を考慮しない場合の $n-q$ 相関曲線を示す (Fig. 16 に対応)。従って、図中の $srcI_m, srcI_{s1}, srcI_{s2}, rcI_m, rcI_{s1}, rcI_{s2}, sI_m$ および sI_s は Fig. 16 に示される耐力曲線にそれぞれ対応している。

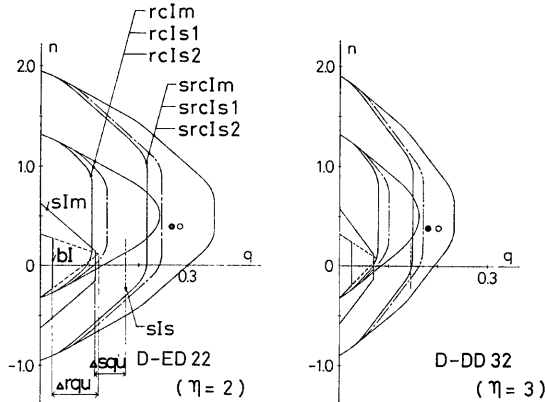


Fig. 18 Comparison of calculated and measured maximum shear strength

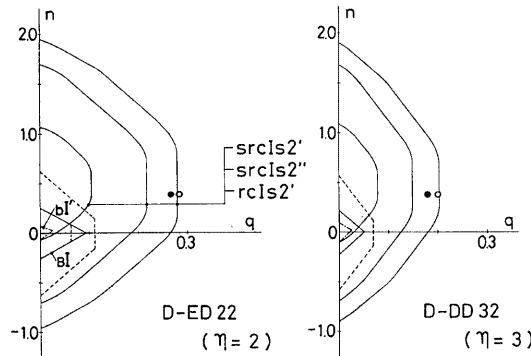


Fig. 19 Comparison of calculated shear strength in consideration of bond and measured maximum shear strength

また、 δI は有効幅 b' を持つ RC 部分のはり機構に基づいて求められるせん断耐力を表わしている。○印および●印は正および負荷重時の最大せん断耐力をそれぞれ示している。

なお、同図に示される $d_r q_u$ および $d_s q_u$ は、主筋および鉄骨部材の余剰せん断耐力を表わしており、従って付着作用により付加されるせん断耐力は、 $d_r q_u$ 、 $d_s q_u$ および鉄骨フランジ面での付着耐力 F^* により、 $\min(d_r q_u, d_s q_u, F)$ として与えられる。

Fig. 19 は、7章で示した付着を考慮した場合の $n-q$ 相関方程式に基づいて得られる理論耐力曲線と実験耐力の対応を示したものである。図中、 $srcl_{s2}'$ が付着作用を考慮に入れた理論解に基づいて求められるSRC部材の終局せん断耐力を表わしている。 $srcl_{s2}''$ および rcI_{s2}' は **Fig. 18** の $srcl_{s2}$ および rcI_{s2} にそれぞれ対応したせん断耐力を表わしている。また、 $\delta I'$ は **Fig. 18** の δI に対応する有効幅 b' を持つ RC 部分のはり機構に基づいて求められるせん断耐力を表わしているが、付着作用を考慮した本理論では、はり機構に必要な主筋はせん断補強筋が引張降伏するために必要な量だけとなるために **Fig. 19** に示すようになる。 nI は余剰の主筋と余剰の鉄骨ウェブにより構成される一組の断面による抵抗機構に基づいて得られるせん断耐力を表わしている。

Fig. 19 に示されるように、解析値は実験値に対して比較的良好一致を示している。従って、本理論解により付着効果が期待できる場合の試験体に関して、前述の仮定を満たしていれば、終局せん断耐力を十分評価できると考えられるが、さらに検討の必要がある。

9. 結 論

一定軸力と繰り返し曲げ・せん断力を受ける15体の系統的な実験変数を持つ、突起付H形鋼を内蔵するSRC柱の実験により以下の結論を得た。

- (1) 鉄骨フランジ面に設けられた突起による付着作用により、通常のH形鋼を用いた場合に比して、耐力、エネルギー消費能力とも若干高い値を示すけれども、その差はほとんどないと言える程度である。
- (2) すなわち、通常のせん断補強筋では、突起による付着作用を十分に期待することができないと考えられる。
- (3) 従って、付着面のコンクリートを拘束するために何らかの補強を施す必要があるが、その一方法として採用した特殊補強筋による拘束効果により付着強度を十分に期待できることが示された。
- (4) この特殊補強筋を施した試験体について、付着効果を考慮に入れた終局せん断耐力を拡張累加強度理論を適用することにより理論解として評価することを試みたが、解析値は実験値に対して比較的良好一致を与え、終局せん断耐力を評価できることが示された。
- (5) ただし、鉄骨フランジ面の付着強度および鉄骨付着面のコンクリートの補強方法に関しては、次回の実験によりさらに詳細な検討を行なう必要がある。

謝 辞

本実験は、昭和58年6月から9月にかけて行なわれた。試験体の製作ならびに実験の実施に対して川崎製鉄株式会社から絶大なるご援助をいただいた。また、実験にあたっては、中野 尚氏（当時、京都大学大学院学生）、北村圭史・大谷博郷・松田利之諸氏（当時、大阪工業大学学生）の御尽力を得た。ここに記して、深甚の謝意を表わします。

* 鉄骨フランジ面の平均付着応力度は $\tau/F_c=0.35$ 程度であるが、詳細については文献 8) を参照されたい。

付 録

理論 2 に基づいて求められる $n-q$ 相関方程式は、部材の形状・寸法などにより 3 つの場合に分けられるが、各場合とも無次元化圧縮力 n の値によって 11 個の式によって表わされる。以下に各場合に対する $n-q$ 相関方程式を示す。

I) Case 1

- (a) $n_0 \leq n < n_1$ $q = \{\sqrt{4 \cdot n_e(1-n_e)} + \eta^2 - \eta\} b'_1/2$ 付- (1)
- (b) $n_1 \leq n < n_2$ $q = (n-n_1)_s d_1 / \eta + q_1$ 付- (2)
- (c) $n_2 \leq n < n_3$ $q = \{\sqrt{4 \cdot n_e(1+s_b b_1 s_d / b'_1 - n_e)} + \xi_1^2 + 2 \cdot s_b b_1 (4 \cdot \gamma \cdot \gamma_1 - s_d - \eta^2) / b'_1 - \xi_1\} b'_1/2 + s_q a_0$ 付- (3)
- (d) $n_3 \leq n < n_4$ $q = \lambda_1(n-n_3) + q_3$ 付- (4)
- (e) $n_4 \leq n < n_5$ $q = \{\sqrt{4 \cdot n_c(1+s_b b_1 s_d / 2 \cdot b'_1 \cdot \delta' - n_c)} + \xi_2^2 + s_b b_1 (4 \cdot \gamma \cdot \gamma_1 - s_d - \eta^2) / b'_1 \cdot \delta' - \xi_2\} b'_1 \cdot \delta' + s_q a_0 + b'_1 \cdot r \cdot d_1 \cdot \Psi'$ 付- (5)
- (f) $n_5 \leq n < n_6$ $q = b'_1 \cdot r \cdot d_1 \cdot \Psi' - (2 \cdot b'_1 \cdot \delta' + s_b b_1) \eta / 2 + s_b b_1 \cdot \gamma_1 + 2 \cdot b'_1 \cdot \delta' \cdot \gamma + s_q a_0$ 付- (6)
- (g) $n_6 \leq n < n_7$ $q = \{\sqrt{4 \cdot n_d(1+s_b b_1 s_d / 2 \cdot b'_1 \cdot \delta' - n_d)} + \xi_2^2 + s_b b_1 (4 \cdot \gamma \cdot \gamma_1 - s_d - \eta^2) / b'_1 \cdot \delta' - \xi_2\} b'_1 \cdot \delta' + s_q a_0 + b'_1 \cdot r \cdot d_1 \cdot \Psi'$ 付- (7)
- (h) $n_7 \leq n < n_8$ $q = \lambda_2(n-n_8) + q_8$ 付- (8)
- (i) $n_8 \leq n < n_9$ $q = \{\sqrt{4 \cdot n_e(1+s_b b_1 s_d / b'_1 - n_e)} + \xi_1^2 + 2 \cdot s_b b_1 (4 \cdot \gamma \cdot \gamma_1 - s_d - \eta^2) / b'_1 - \xi_1\} b'_1/2 + s_q a_0$ 付- (9)
- (j) $n_9 \leq n < n_{10}$ $q = -(n-n_{10})_s d_1 / \eta + q_{10}$ 付- (10)
- (k) $n_{10} \leq n < n_{11}$ $q = \{\sqrt{4 \cdot n_f(b'_1 - n_f) + (\eta \cdot b'_1)^2} - \eta\} b'_1/2$ 付- (11)

ここに、(i) 鉄骨部分が曲げ降伏形の場合

$$\begin{aligned}
 n_0 &= -2 \cdot \phi - 2 \cdot f \phi - w \phi & n_{10} &= -n_0 + b'_1(1 + s_d \cdot \gamma / \gamma_1) / 2 + s_b b_1 s_d + 2 \cdot c_0 A_1 \\
 n_1 &= n_0 + b'_1(1 - s_d \cdot \gamma / \gamma_1) / 2 & n_{11} &= -n_0 + b'_1 + s_b b_1 s_d + 2 \cdot c_0 A_1 \\
 n_2 &= -2 \cdot \phi - w \phi / 2 + b'_1(1 - s_d \cdot \gamma / \gamma_1) / 2 & q_1 &= b'_1(-1 + \gamma / \gamma_1) \eta / 2 \\
 n_3 &= -2 \cdot \phi - w \phi / 2 + (b'_1 + s_b b_1 s_d) / 2 & q_3 &= -(b'_1 + s_b b_1) \eta / 2 + (b'_1 \cdot \gamma + s_b b_1 \cdot \gamma_1) \gamma_2 + s_q a_0 \\
 &\quad - \lambda_1(b'_1 \cdot \gamma + s_b b_1 \cdot \gamma_1) / \gamma_2 & q_8 &= -(b'_1 + s_b b_1) \eta / 2 + (b'_1 \cdot \gamma + s_b b_1 \cdot \gamma_1) / \gamma_3 + s_q a_0 \\
 n_4 &= -2 \cdot \phi - w \phi / 2 + (r d_1 + \eta) b'_1 \Psi' + s_b b_1 s_d / 2 & q_{10} &= b'_1(-1 + \gamma / \gamma_1) \eta / 2 \\
 &\quad + b'_1 \delta' - \lambda_1(2 \cdot b'_1 \delta' \cdot \gamma + s_b b_1 \cdot \gamma_1) / \gamma_2 & n_a &= (n - n_0) / b'_1 \\
 n_5 &= -2 \cdot \phi - w \phi / 2 + (r d_1 + \eta) b'_1 \Psi' + s_b b_1 s_d / 2 & n_b &= (n + 2 \cdot \phi + w \phi / 2) / b'_1 \\
 &\quad + b'_1 \delta' & n_c &= (n + 2 \cdot r \phi + w \phi / 2 - (r d_1 + \eta) b'_1 \Psi') / 2 \cdot b' \cdot \delta'_1 \\
 n_6 &= 2 \cdot r \phi + w \phi / 2 + (r d_1 - \eta) b'_1 \Psi' + s_b b_1 s_d / 2 & n_d &= (n - 2 \cdot \phi - w \phi / 2 - (r d_1 - \eta) b'_1 \Psi' - 2 \cdot c_0 A_1) / 2 \\
 &\quad + b'_1 \delta' + 2 \cdot c_0 A_1 & &\quad \cdot b'_1 \delta' \\
 n_7 &= 2 \cdot \phi + w \phi / 2 + (r d_1 - \eta) b'_1 \Psi' + s_b b_1 s_d / 2 & n_e &= (n - 2 \cdot \phi - w \phi / 2 - 2 \cdot c_0 A_1) / b'_1 \\
 &\quad + b'_1 \delta' - \lambda_2(2 \cdot b'_1 \delta' \cdot \gamma + s_b b_1 \cdot \gamma_1) / \gamma_3 + 2 \cdot c_0 A_1 & n_f &= n + n_0 - s_b b_1 s_d - 2 \cdot c_0 A_1 \\
 n_8 &= 2 \cdot r \phi + w \phi / 2 + (b'_1 + s_b b_1 s_d) / 2 & s_q a_0 &= 2 \cdot s_d (f \phi + w \phi / 4) / \eta \\
 &\quad - \lambda_2(b'_1 \cdot \gamma + s_b b_1 \cdot \gamma_1) / \gamma_3 + 2 \cdot c_0 A_1 & r \phi &= r a_w \cdot r \sigma_y / b \cdot h \cdot F_c \\
 n_9 &= 2 \cdot \phi + w \phi / 2 + s_b b_1 s_d + b'_1(1 + s_d \cdot \gamma / \gamma_1) / 2 & & \\
 &\quad + 2 \cdot c_0 A_1 & &
 \end{aligned}$$

(ii) 鉄骨部分がせん断降伏形の場合

$$\begin{aligned}
 n_0 &= -2 \cdot \phi - 2 \cdot f \phi - w \phi & & - \lambda_1(b'_1 \cdot \gamma + s_b b_1 \cdot \gamma_1) / \gamma_2 \\
 n_1 &= n_0 + w \phi \cdot \eta / \sqrt{3} \cdot s_d & n_4 &= n_0 + w \phi \cdot \eta / \sqrt{3} \cdot s_d + (r d_1 + \eta) b'_1 \Psi' + s_b b_1 s_d / 2 \\
 &\quad + b'_1 \delta' - \lambda_1(2 \cdot b'_1 \delta' \cdot \gamma + s_b b_1 \cdot \gamma_1) / \gamma_2 \\
 n_2 &= n_0 + w \phi \cdot \eta / \sqrt{3} \cdot s_d + b'_1(1 - s_d \cdot \gamma / \gamma_1) / 2 & n_5 &= n_0 + w \phi \cdot \eta / \sqrt{3} \cdot s_d + (r d_1 + \eta) b'_1 \Psi' \\
 n_3 &= n_0 + w \phi \cdot \eta / \sqrt{3} \cdot s_d + (b'_1 + s_b b_1 s_d) / 2 & &
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & +s_b \cdot s_{d1}/2 + b'_1 \cdot \delta' \\
 n_6 = & -n_0 - w\Phi \cdot \eta/\sqrt{3} \cdot s_{d1} + (r_{d1} - \eta)b'_1 \cdot \Psi' \\
 & + s_b \cdot s_{d1}/2 + b'_1 \cdot \delta' + 2 \cdot c_0 A_1 \\
 n_7 = & -n_0 - w\Phi \cdot \eta/\sqrt{3} \cdot s_{d1} + (r_{d1} - \eta)b'_1 \cdot \Psi' \\
 & + s_b \cdot s_{d1}/2 + b'_1 \cdot \delta' - \lambda_2 (2 \cdot b'_1 \cdot \delta' \cdot \gamma + s_b \cdot \gamma_1) / \gamma_3 \\
 & + 2 \cdot c_0 A_1 \\
 n_8 = & -n_0 - w\Phi \cdot \eta/\sqrt{3} \cdot s_{d1} + (b'_1 + s_b \cdot s_{d1})/2 \\
 & - \lambda_2 (b'_1 \cdot \gamma + s_b \cdot \gamma_1) / \gamma_3 + 2 \cdot c_0 A_1 \\
 n_9 = & -n_0 - w\Phi \cdot \eta/\sqrt{3} \cdot s_{d1} + s_b \cdot s_{d1} \\
 & + b'_1 (1 + s_{d1} \cdot \gamma / \gamma_1) / 2 + 2 \cdot c_0 A_1 \\
 n_{10} = & -n_0 + b'_1 (1 + s_{d1} \cdot \gamma / \gamma_1) / 2 + s_b \cdot s_{d1} + 2 \cdot c_0 A_1 \\
 n_{11} = & -n_0 + b'_1 + s_b \cdot s_{d1} + 2 \cdot c_0 A_1 \\
 q_1 = & b'_1 (-1 + \gamma / \gamma_1) \eta / 2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_3 = & -(b'_1 + s_b) \eta / 2 + (b'_1 \cdot \gamma + s_b \cdot \gamma_1) / \gamma_2 + s_{q_{w0}} \\
 q_8 = & -(b'_1 + s_b) \eta / 2 + (b'_1 \cdot \gamma + s_b \cdot \gamma_1) / \gamma_3 + s_{q_{w0}} \\
 q_{10} = & b'_1 (-1 + \gamma / \gamma_1) \eta / 2 \\
 n_a = & (n - n_0) / b'_1 \\
 n_b = & (n - n_0 - w\Phi \cdot \eta / \sqrt{3} \cdot s_{d1}) / b'_1 \\
 n_c = & \{n - n_0 - w\Phi \cdot \eta / \sqrt{3} \cdot s_{d1} - (r_{d1} + \eta) b'_1 \cdot \Psi' / 2 \\
 & \cdot b'_1 \cdot \delta'\} \\
 n_d = & \{n + n_0 + w\Phi \cdot \eta / \sqrt{3} \cdot s_{d1} - (r_{d1} - \eta) b'_1 \cdot \Psi' \\
 & - 2 \cdot c_0 A_1\} / 2 \cdot b'_1 \cdot \delta' \\
 n_e = & (n + n_0 + w\Phi \cdot \eta / \sqrt{3} \cdot s_{d1} - 2 \cdot c_0 A_1) / b'_1 \\
 n_f = & n + n_0 - s_b \cdot s_{d1} - 2 \cdot c_0 A_1 \\
 s_{q_{w0}} = & w\Phi / \sqrt{3}
 \end{aligned}$$

なお、その他の記号に関しては4章に示されるものと同じである。

II) Case 2

$$(a) \quad n_0 \leq n < n_1 \quad q = \{\sqrt{4 \cdot n_a (1 - n_a)} + \eta^2 - \eta\} b'_1 / 2 \quad \text{付(12)}$$

$$(b) \quad n_1 \leq n < n_2 \quad q = \lambda_1 (n - n_1) + q_1 \quad \text{付(13)}$$

$$(c) \quad n_2 \leq n < n_3 \quad q = \{\sqrt{4 \cdot n_b (1 - n_b)} + \eta^2 - \eta\} b'_1 \cdot \delta' + b'_1 \cdot r_{d1} \cdot \Psi' \quad \text{付(14)}$$

$$(d) \quad n_3 \leq n < n_4 \quad q = s_{d1} (n - n_3) / \eta + q_3 \quad \text{付(15)}$$

$$(e) \quad n_4 \leq n < n_5 \quad q = \{\sqrt{4 \cdot n_c (1 + s_b \cdot s_{d1} / 2 \cdot b'_1 \cdot \delta' - n_c)} + \xi_2^2 + s_b \cdot b'_1 (4 \cdot \gamma \cdot \gamma_1 - s_{d1} - \eta^2) / b'_1 \cdot \delta' \\ - \xi_2\} b'_1 \cdot \delta' + b'_1 \cdot r_{d1} \cdot \Psi' + s_{q_{w0}} \quad \text{付(16)}$$

$$(f) \quad n_5 \leq n < n_6 \quad q = b'_1 \cdot r_{d1} \cdot \Psi' - (2 \cdot b'_1 \cdot \delta' + s_b) \eta / 2 + s_b \cdot \gamma_1 + 2 \cdot b'_1 \cdot \delta' \cdot \gamma + s_{q_{w0}} \quad \text{付(17)}$$

$$(g) \quad n_6 \leq n < n_7 \quad q = \{\sqrt{4 \cdot n_d (1 + s_b \cdot s_{d1} / 2 \cdot b'_1 \cdot \delta' - n_d)} + \xi_2^2 + s_b \cdot b'_1 (4 \cdot \gamma \cdot \gamma_1 - s_{d1} - \eta^2) / b'_1 \cdot \delta' \\ - \xi_2\} b'_1 \cdot \delta' + b'_1 \cdot r_{d1} \cdot \Psi' + s_{q_{w0}} \quad \text{付(18)}$$

$$(h) \quad n_7 \leq n < n_8 \quad q = -s_{d1} (n - n_8) / \eta + q_8 \quad \text{付(19)}$$

$$(i) \quad n_8 \leq n < n_9 \quad q = \{\sqrt{4 \cdot n_e (2 \cdot b'_1 \cdot \delta' - n_e)} + (2 \cdot b'_1 \cdot \delta' \cdot \eta)^2 - 2 \cdot b'_1 \cdot \delta' \cdot \eta\} / 2 + b'_1 \cdot r_{d1} \cdot \Psi' \quad \text{付(20)}$$

$$(j) \quad n_9 \leq n < n_{10} \quad q = \lambda_2 (n - n_{10}) + q_{10} \quad \text{付(21)}$$

$$(k) \quad n_{10} \leq n < n_{11} \quad q = \{\sqrt{4 \cdot n_f (b'_1 - n_f)} + (b'_1 \cdot \eta)^2 - \eta \cdot b'_1\} / 2 \quad \text{付(22)}$$

ここに、(i) 鉄骨部分が曲げ降伏形の場合

$$\begin{aligned}
 n_0 = & -2 \cdot r\Phi - 2 \cdot f\Phi - w\Phi \\
 n_1 = & n_0 + b'_1 / 2 - \lambda_1 \cdot b'_1 \cdot \gamma / \gamma_2 \\
 n_2 = & n_0 + (r_{d1} + \eta) b'_1 \cdot \Psi' + b'_1 \cdot \delta' (1 - 2 \cdot \lambda_1 \cdot \gamma / \gamma_2) \\
 n_3 = & n_0 + (r_{d1} + \eta) b'_1 \cdot \Psi' + b'_1 \cdot \delta' (1 - s_{d1} \cdot \gamma / \gamma_1) \\
 n_4 = & -2 \cdot r\Phi - w\Phi / 2 + (r_{d1} + \eta) b'_1 \cdot \Psi' \\
 & + b'_1 \cdot \delta' (1 - s_{d1} \cdot \gamma / \gamma_1) \\
 n_5 = & -2 \cdot r\Phi - w\Phi / 2 + (r_{d1} + \eta) b'_1 \cdot \Psi' + b'_1 \cdot \delta' \\
 & + s_b \cdot s_{d1} / 2 \\
 n_6 = & 2 \cdot r\Phi + w\Phi / 2 + (r_{d1} - \eta) b'_1 \cdot \Psi' + b'_1 \cdot \delta' + s_b \cdot s_{d1} / 2 \\
 & + 2 \cdot c_0 A_1 \\
 n_7 = & 2 \cdot r\Phi + w\Phi / 2 + (r_{d1} - \eta) b'_1 \cdot \Psi' \\
 & + b'_1 \cdot \delta' (1 + 2 \cdot s_{d1} \cdot \gamma / \gamma_1) + s_b \cdot s_{d1} + 2 \cdot c_0 A_1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_8 = & -n_0 + (r_{d1} - \eta) b'_1 \cdot \Psi' + b'_1 \cdot \delta' (1 + 2 \cdot s_{d1} \cdot \gamma / \gamma_1) \\
 & + s_b \cdot s_{d1} + 2 \cdot c_0 A_1 \\
 n_9 = & -n_0 + (r_{d1} - \eta) b'_1 \cdot \Psi' + b'_1 \cdot \delta' (1 - 2 \cdot \lambda_2 \cdot \gamma / \gamma_3) \\
 & + s_b \cdot s_{d1} + 2 \cdot c_0 A_1 \\
 n_{10} = & -n_0 + b'_1 (1 - 2 \cdot \lambda_2 \cdot \gamma / \gamma_3) / 2 + s_b \cdot s_{d1} + 2 \cdot c_0 A_1 \\
 n_{11} = & -n_0 + b'_1 + s_b \cdot s_{d1} + 2 \cdot c_0 A_1 \\
 q_1 = & b'_1 (-\eta / 2 + \gamma / \gamma_2) \\
 q_3 = & b'_1 \cdot r_{d1} \cdot \Psi' - b'_1 \cdot \delta' \cdot \eta (1 - \gamma / \gamma_1) \\
 q_8 = & b'_1 \cdot r_{d1} \cdot \Psi' - b'_1 \cdot \delta' \cdot \eta (1 - 2 \cdot \gamma / \gamma_1) \\
 q_{10} = & b'_1 (-\eta / 2 + \gamma / \gamma_2) \\
 n_a = & (n - n_0) / b'_1 \\
 n_b = & \{n - n_0 - (r_{d1} + \eta) b'_1 \cdot \Psi' / 2 \cdot b'_1 \cdot \delta'\}
 \end{aligned}$$

$$n_c = \{n + 2 \cdot r \cdot \phi + w \cdot \phi / 2 - (r \cdot d_1 + \eta) b'_1 \cdot \Psi'\} / 2 \cdot b'_1 \cdot \delta'$$

$$n_d = \{n - 2 \cdot r \cdot \phi - w \cdot \phi / 2 - (r \cdot d_1 - \eta) b'_1 \cdot \Psi' - 2 \cdot c_0 A_1\} / 2 \cdot b'_1 \cdot \delta'$$

$$n_e = n + n_0 - (r \cdot d_1 - \eta) b'_1 \cdot \Psi' - s \cdot b_1 \cdot s \cdot d_1 - 2 \cdot c_0 A_1$$

$$n_f = n + n_0 - s \cdot b_1 \cdot s \cdot d_1 - 2 \cdot c_0 A_1$$

$$s \cdot q_{w0} = 2 \cdot s \cdot d_1 \cdot (r \cdot \phi + w \cdot \phi / 4) / \eta$$

(ii) 鉄骨部分がせん断降伏形の場合

$$n_0 = -2 \cdot r \cdot \phi - 2 \cdot f \cdot \phi - w \cdot \phi$$

$$n_1 = n_0 + b'_1 (1/2 - \lambda_1 \cdot \gamma / \gamma_2)$$

$$n_2 = n_0 + (r \cdot d_1 + \eta) b'_1 \cdot \Psi' + b'_1 \cdot \delta' (1 - 2 \cdot \lambda_1 \cdot \gamma / \gamma_2)$$

$$n_3 = n_0 + (r \cdot d_1 + \eta) b'_1 \cdot \Psi' + b'_1 \cdot \delta' (1 - s \cdot d_1 \cdot \gamma / \gamma_1)$$

$$n_4 = n_0 + w \cdot \phi \cdot \eta / \sqrt{3} \cdot s \cdot d_1 + (r \cdot d_1 + \eta) b'_1 \cdot \Psi' + b'_1 \cdot \delta' (1 - s \cdot d_1 \cdot \gamma / \gamma_1)$$

$$n_5 = n_0 + w \cdot \phi \cdot \eta / \sqrt{3} \cdot s \cdot d_1 + (r \cdot d_1 + \eta) b'_1 \cdot \Psi' + b'_1 \cdot \delta' + s \cdot b_1 \cdot s \cdot d_1 / 2$$

$$n_6 = -n_0 - w \cdot \phi \cdot \eta / \sqrt{3} \cdot s \cdot d_1 + (r \cdot d_1 - \eta) b'_1 \cdot \Psi' + b'_1 \cdot \delta' + s \cdot b_1 \cdot s \cdot d_1 / 2 + 2 \cdot c_0 A_1$$

$$n_7 = -n_0 - w \cdot \phi \cdot \eta / \sqrt{3} \cdot s \cdot d_1 + (r \cdot d_1 - \eta) b'_1 \cdot \Psi' + b'_1 \cdot \delta' (1 + 2 \cdot s \cdot d_1 \cdot \gamma / \gamma_1) + s \cdot b_1 \cdot s \cdot d_1 + 2 \cdot c_0 A_1$$

$$n_8 = -n_0 + (r \cdot d_1 - \eta) b'_1 \cdot \Psi' + b'_1 \cdot \delta' (1 + 2 \cdot s \cdot b_1 \cdot \gamma / \gamma_1) + s \cdot b_1 \cdot s \cdot d_1 + 2 \cdot c_0 A_1$$

$$n_9 = -n_0 + (r \cdot d_1 - \eta) b'_1 \cdot \Psi' + b'_1 \cdot \delta' (1 - 2 \cdot \lambda_2 \cdot \gamma / \gamma_3) + s \cdot b_1 \cdot s \cdot d_1 + 2 \cdot c_0 A_1$$

$$n_{10} = -n_0 + b'_1 (1 - 2 \cdot \lambda_2 \cdot \gamma / \gamma_3) / 2 + s \cdot b_1 \cdot s \cdot d_1 + 2 \cdot c_0 A_1$$

$$n_{11} = -n_0 + b'_1 + s \cdot b_1 \cdot s \cdot d_1 + 2 \cdot c_0 A_1$$

$$q_1 = -b'_1 (\eta / 2 - \gamma / \gamma_2)$$

$$q_3 = b'_1 \cdot r \cdot d_1 \cdot \Psi' - b'_1 \cdot \delta' \cdot \eta (1 - \gamma / \gamma_1)$$

$$q_8 = b'_1 \cdot r \cdot d_1 \cdot \Psi' - b'_1 \cdot \delta' \cdot \eta (1 - 2 \gamma / \gamma_1)$$

$$q_{10} = -b'_1 (\eta / 2 - \gamma / \gamma_2)$$

$$s \cdot q_{w0} = w \cdot \phi / \sqrt{3}$$

なお、その他の記号に関しては、4章に示されるものと同じである。

III) Case 3

(a)~(f)まではCase 2と同じで、(g)~(k)まではCase 1と同じであるのでここでは省略する。

記号

b	: 柱幅	$r \cdot P'_w$: ($r \cdot a_w / b' \cdot x$) 有効幅 b' に対するせん断補強筋比
b'	: ($= b - s \cdot b$) 鉄骨フランジ幅 $s \cdot b$ により決まる柱の有効幅	N	: 圧縮力
h	: 柱せい	n	: ($= N / bhF_c$) 無次元化圧縮力
l	: 柱長さ	N_u	: 中心圧縮塑性強度
$r \cdot d$: 主筋のせい間隔	M	: 曲げモーメント
$s \cdot d$: 鉄骨フランジ中心間距離	Q	: せん断力
$s \cdot b$: 鉄骨フランジ幅	q	: ($= Q / bhF_c$) 無次元化せん断力
$s \cdot H$: 鉄骨せい	F_c	: コンクリートのシリダー圧縮強度
$c_0 d$: ($= (h - s \cdot H) / 2$) 鉄骨フランジ外部のかぶりコンクリートの断面せい	F_t	: コンクリートの引張強度
w_t	: 鉄骨ウェブ厚さ	$r \cdot \sigma_y$: 主筋の引張降伏応力度
f_t	: 鉄骨フランジ厚さ	$r_w \cdot \sigma_y$: せん断補強筋の引張降伏応力度
$r \cdot a_t$: 引張側主筋の断面積	$s \cdot f \cdot \sigma_y$: 鉄骨フランジの引張降伏応力度
$r \cdot a'_t$: はり機構において、せん断補強筋の降伏に必要な主筋の引張側断面積	$s_w \cdot \sigma_y$: 鉄骨ウェブの引張降伏応力度
$r \cdot a_w$: 一組のせん断補強筋断面積	Ψ	: ($(r \cdot P_w \cdot r_w \cdot \sigma_y / F_c)$) せん断補強筋係数
$s \cdot a_f$: 鉄骨フランジの引張側断面積	Ψ'	: ($(r \cdot P_w' \cdot r_w \cdot \sigma_y / F_c)$) 有効幅 b' に対するせん断補強筋係数
$s \cdot a_w$: 鉄骨ウェブの断面積	$r \cdot \phi$: ($(r \cdot a_t \cdot r \cdot \sigma_y / bhF_c)$) 引張鉄筋係数
$r \cdot P_t$: ($(r \cdot a_t / b \cdot h)$) 引張鉄筋比	$r \cdot \phi'$: ($(r \cdot a'_t \cdot r \cdot \sigma_y / bhF_c)$) 付着を考慮した解析に対する引張鉄筋係数
$r \cdot P_w$: ($(r \cdot a_w / b \cdot x)$) せん断補強筋比	$f \cdot \phi$: ($(s \cdot a_f \cdot s \cdot f \cdot \sigma_y / bhF_c)$) 鉄骨フランジ係数

$w\phi$: ($\sigma_w \cdot s_w \sigma_y / bhF_c$) 鉄骨ウェブ係数	断強度に関する相関曲線
\bar{Q}_{max} : P-D 効果による付加モーメントを考慮したせん断力	rcI_{s1} : RC 部分の理論1に基づいて求められるせん断強度に関する相関曲線
Q_{FL} : 初期曲げひび割れ発生強度	rcI_{s2} : RC 部分の理論2に基づいて求められるせん断強度に関する相関曲線
Q_{DT} : 初期斜張力ひび割れ発生強度	$srcI_m$: SRC 部材の終局曲げ強度から求められるせん断強度に関する相関曲線
FQ_{SB} : 初期せん断付着ひび割れ発生強度(正面)	$srcI_{s1}$: SRC 部材の理論1に基づいて求められるせん断強度に関する相関曲線
sQ_{SB} : 初期せん断付着ひび割れ発生強度(側面)	$srcI_{s2}$: SRC 部材の理論2に基づいて求められるせん断強度に関する相関曲線
$srcQ_{fu}$: SRC 柱の終局曲げ強度から求められる終局せん断強度に関する解析値	bI : RC 部分のはり機構に基づいて求められるせん断強度に関する相関曲線
$srcQ_{su1}$: SRC 柱の理論1に基づいて求められるせん断強度に関する解析値	bI' : 付着効果を考慮した場合の RC 部分のはり機構に基づいて求められるせん断強度に関する相関曲線
$srcQ_{su2}$: SRC 柱の理論2に基づいて求められるせん断強度に関する解析値	nI : 主筋と鉄骨ウェブにより構成される抵抗機構に基づいて求められるせん断強度に関する相関曲線
sQ_{fu} : S 部分の終局曲げ強度から求められる終局せん断強度に関する解析値	$srcI'_{s2}$: 付着を考慮した場合の SRC 柱のせん断強度に関する相関曲線
sI : S 部分の相関曲線	
sI_m : S 部分の曲げ強度から求められるせん断強度に関する相関曲線	
sI_s : S 部分のウェブの降伏せん断強度に関する相関曲線	
rcI_m : RC 部分の曲げ強度から求められるせん断強度に関する相関曲線	

参 考 文 献

- 1) 坂本 傑・高田啓一: 表面に突起を有する鋼材を用いた SRC はりの耐荷性状 (その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), 昭和59年10月, pp. 2721-2722.
- 2) 松井千秋・森野捷輔・津田恵吾・成田秀幸・松村弘道: 突起付H形鋼を用いた SRC 骨組接合部の研究(その1, 単調加力実験), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), 昭和59年10月, pp. 2771-2772.
- 3) 松井千秋・森野捷輔・津田恵吾・成田秀幸・濱尾 新・松村弘道: 突起付H形鋼を用いた SRC 骨組接合部の研究 (その2, 繰返し加力実験), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), 昭和59年10月, pp. 2773-2774.
- 4) 若林 實・南 宏一・中野 尚: 突起付H形鋼を用いた SRC 柱のせん断抵抗機構に関する研究 (その1), 京都大学防災研究所年報第27号 B-1, 昭和59年4月, pp. 217-227.
- 5) 若林 實・南 宏一・山本 昇・中野 尚: 突起付H形鋼を用いた SRC 柱のせん断抵抗機構に関する研究 (その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), 昭和58年9月, pp. 2499-2500.
- 6) 若林 實・南 宏一・山本 昇・中野 尚・岡本浩一: 突起付H形鋼を用いた SRC 柱のせん断抵抗機構に関する研究 (その2), 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第24号・構造系, 1984年6月, pp. 153-156.
- 7) 若林 實・南 宏一・山本 昇・中野 尚・岡本浩一: 突起付H形鋼を用いた SRC 柱のせん断抵抗機構に関する研究 (その3) および (その4), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), 1984年10月, pp. 2723-2726.
- 8) 若林 實・南 宏一・山本 昇: 突起付H形鋼の付着抵抗機構 (その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), 昭和58年9月, pp. 2497-2498.

- 9) 岡本浩一・南 宏一・若林 實：突起付H形鋼を用いた SRC 柱のせん断抵抗機構に関する研究（その5），日本建築学会近畿支部研究報告集，第25号・構造系，1985年5月，pp. 201-204.
- 10) 若林 實・南 宏一：コンクリート系構造部材のせん断強度について，京都大学防災研究所年報第24号 B-1，1981年4月，pp. 245-277.
- 11) 南 宏一・岡本浩一・若林 實：SRC 柱のせん断強度に関する理論解，第7回コンクリート工学年次講演会論文集，1985年6月，pp. 557-560.
- 12) 森田淳之・岡本浩一・南 宏一：SRC 柱の終局せん断強度，日本建築学会近畿支部研究報告集，第25号・構造系，1985年5月，pp. 193-196.
- 13) 加藤勉・称原良一：鉄骨鉄筋コンクリート部材の耐力，日本建築学会論文報告集，第266号，1978年4月，pp. 19-29.