

鉄骨鉄筋コンクリート構造柱脚部の応力伝達 機構に関する研究（その1）

若林 實・南 宏一
西村 泰志・辻田 耕一

STRESS TRANSFER MECHANISM OF COLUMN BASES OF COMPOSITE COLUMNS (PART 1)

By *Minoru WAKABAYASHI, Koichi MINAMI, Yasushi NISHIMURA,*
and *Koichi TSUJITA*

Synopsis

To investigate stress transfer mechanism of base plate of composite columns with base, 13 specimens were tested under monotonic and reversed loading. Experimental variable was chosen for the amount of main reinforcement, applied axial load and with or without anchor bolts at base.

Main discussion was concentrated on deformability, strain distribution of base plate and main reinforcement and the failure mechanism.

From the test results, it was showed that flexural strength of steel member was developed by providing concrete and main reinforcement which restrains rotation of base plate and rising of concrete. Also, the analytical model was formulated to estimate the strength of the test specimens and comparisons were made between the calculated and experimental values.

1. 序

柱脚は柱の応力を基礎に伝達させる箇所であり、その挙動は骨組全体の挙動に影響を与える構造的に非常に重要な要素である。

鉄骨鉄筋コンクリート構造の場合、一般に、柱脚までは柱の鉄骨が設けられ、その下の基礎は鉄筋コンクリート構造としている場合が多い。したがって、柱脚部において構造上の不連続部分が生じることになり、特に、鉄骨部分の応力伝達が円滑に行なわれる設計手法の確立が望まれる。

しかしながら、既往の研究は、仲・森田・立花²⁾らのベースプレート中央に2本のアンカーボルトでピン支持された柱脚を含む鉄骨鉄筋コンクリート柱の実験によれば、柱脚側に曲げひび割れが発生するまでは鉄骨要素と鉄筋コンクリート要素とは一体として働き、曲げひび割れが発生すると柱脚から柱せいまでの範囲のそれぞれの要素は別々に働くことが示され、鉄骨柱脚部の耐力は鉄骨フランジの測定ひずみ値より、アンカーボルトを主筋とみなしベースプレートの大きさをもち鉄筋コンクリート断面としての耐力と鉄骨部材の耐力のいずれか小さい方の値によって評価できることが述べられているにすぎず、その力学的挙動に関する実験的および理論的な研究はほとんど行なわれていない現状にあり、実施設計においても柱脚部における鉄骨部分の抵抗力を無視して設計される場合が多い。

本研究は、この様な観点に基づき、特に、柱脚部における鉄骨部分の応力伝達に着目して、その力学的機構を解明しようとするものである。

2. 鉄骨柱脚部の応力伝達機構に関する考察

鉄骨柱脚部における応力伝達機構には **Fig. 1** に示すように、(I) ベースプレートに起因する機構および (II) 鉄骨母材による機構の2つに大別できる。更に、前者 (I) に対しては、(I-1) ベースプレートにてこ作用、(I-2) アンカーボルトの協同による作用が考えられ、一方、後者 (II) に対しては、(II-1) 鉄骨母材にてこ作用、(II-2) 鉄骨母材にてこ作用に基づく圧縮面での摩擦力による作用が考えられる。実際の柱脚では、これらの (I)、(II) の機構が存在し、極めて複雑な力学的挙動を示すものと考えられる。後者 (II) の作用に関して、既往の研究では、ある一定の埋込み長さのもとでは鉄骨母材の耐力が発揮できること^{5)~7)}、埋込み長さが短い場合でも付着補強筋等の付着補強を施せば部材の耐力が発揮できること^{3)~5)~7)}、また、埋込み長さが短い場合や付着に対して補強が施されている場合には抵抗機構が変化する等⁷⁾ の実験的な観点からの評価が示されている。また、解析的な試みとして支圧耐力を評価する一手法^{6)~7)} が述べられている。しかしながら、前者 (I) の作用に着目した研究は皆無である。そこで、本報告ではベースプレートによる作用に主眼をおいてその耐力を評価する手法について検討を加えるものである。

2.1 ベースプレートにてこ作用に基づく耐力評価

Fig. 2 (a-1), (b-1) はコンクリートに埋込まれた鉄骨柱脚部が外力の作用のもとに変形した状態を模式図によって示したものである。なお、この場合、鉄骨部材の作用を取り除くために鉄骨部材とコンクリートの間にはすきまが設けられている。また、鉄骨部材は剛体に近いものを想定している。

Fig. 2 (a-1) は鉄骨が埋込まれたコンクリートが非常に大きい場合に対応するものであるが、この場合は、ベースプレートの曲げ引張力 C_1 に対してベースプレート上面のコンクリートの拘束力 R_c が大きいと考えられる。すなわち、**Fig. 2 (a-2)** に示すように $R_c > C_1$ の関係にあれば、曲げ引張力はすべて有効に作用するものと考えられ、この時の鉄骨柱脚部の耐力線は **Fig. 2 (a-3)** より次式によって求められる。

$$s_m = \frac{1}{4} \cdot b_{b1} \cdot D_{b1}^2 \cdot \lambda \cdot \left\{ 1 - \left(\frac{s_n}{b_{b1} \cdot D_{b1} \cdot \lambda} \right)^2 \right\} \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

ただし $s_m = sM/bD^2F_c$, $s_n = sN/bDF_c$, $b_{b1} = b_b/b$, $D_{b1} = D_b/D$ であり、 b および D は断面の幅およびせい、 b_b および D_b はベースプレートの幅およびせい、 F_c はコンクリートの圧縮強さ、 λ は局部圧縮係数で、ベースプレート下面のみかけ上のコンクリートの圧縮強さは F_c よりも大きいものと考えられるので、その支圧的な効果を考慮したものである。なお、ここではベースプレートは充分剛なものとして仮定し、かつ、**Fig. 2**

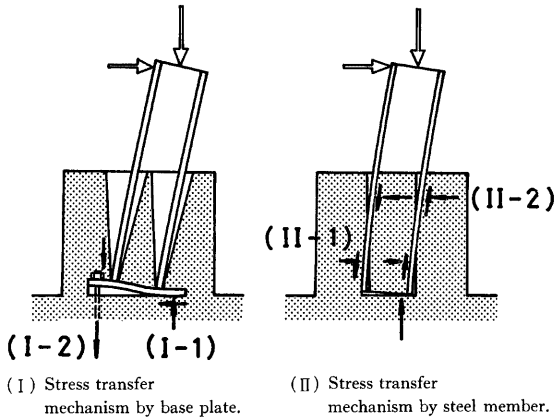


Fig. 1. Stress transfer mechanisms.

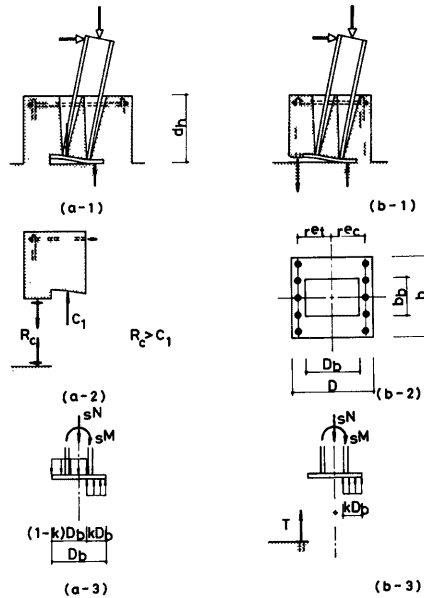


Fig. 2. Stress transfer mechanisms by base plate.

(a-2) に示される様に曲げ引張力とコンクリートの拘束力によって生じる付加モーメントの影響は考慮されていない。またせん断力は曲げ圧縮面での摩擦力によって充分伝達できるものと仮定する。

一方, Fig. 2 (b-1) は, コンクリートによる拘束力が小さい場合に対応する時の変形状態を示したもので, この場合, 曲げ引張力は付着を介して主筋に引張力として伝達されることになる。したがって, 曲げ引張力に対する拘束力は主筋の降伏強さ R_{y1} , 付着強さ R_{b1} , 主筋が伝達しうる材軸方向のせん断強さ R_{s1} ⁽⁴⁾ のうち最小の値によって決定されることになる。すなわち, この場合は Fig. 2 (b-2) に示す様にベースプレート下面のコンクリート断面と引張力にのみ有効に作用する主筋から構成される断面によって鉄骨柱脚部の耐力線は決定され则认为られる。この時の鉄骨柱脚部の耐力線はベースプレート下面のコンクリート断面と引張主筋について各々次式の様に示される。すなわち, Fig. 2 (b-3) よりベースプレート下面のコンクリート断面については

$$s_m = \frac{1}{2} \cdot D_{b1} \cdot s_n \left(1 - \frac{s_n}{b_{b1} \cdot D_{b1} \cdot \lambda} \right) \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

一方, 引張主筋については

$$r_m + r_{e1} \cdot r_n = 0, \quad r_m - r_{e1} \cdot r_n = 0 \quad \dots\dots\dots (2-3)$$

ただし $\min. (R_{y1}, R_{b1}, R_{s1}) \leq r_n \leq 0$

$$R_{y1} = T_y / b D F_c = n \cdot a_t \cdot \sigma_y / b D F_c$$

$$R_{b1} = n \cdot \phi \cdot d_h \cdot \tau_b / b D F_c$$

$$R_{s1} = [\{b - (1 - \eta) \cdot b_b + (D_b - H)\} \cdot d_h \cdot F_s + \mu \cdot d_h \cdot p_w \cdot r \cdot \sigma_{wy}] / b D F_c$$

ここで r_{e1} および r_{e1} は断面の重心軸からの主筋の偏心量 r_{e1} および r_{e1} と断面せい D との比, n は鉄筋本数, a_t および ϕ は鉄筋 1 本の断面積および周長, τ_b および F_s はコンクリートの終局付着応力度および

終局せん断応力度, σ_y および $r\sigma_{wy}$ は主筋およびせん断補強筋の降伏応力度, d_h は根巻き高さ, H は鉄骨部材のせい, η は $D_b = H$ の時 0, $D_b \neq H$ の時 1.0 を与える係数, μ は摩擦係数, p_w はせん断補強筋比を示す。

したがって, この場合の鉄骨柱脚部の耐力線は (2-2) 式および (2-3) 式によって求められた耐力線を累加することによって決定される。

なお, アンカーボルトが存在する時は (2-3) 式と同様の手法によってその耐力を決定し, (2-1) 式および (2-2), (2-3) 式によって求められた耐力線に更に累加すればアンカーボルトの作用の効果が表現できる。

以上, 上述よりベースプレートのてこ作用により決定される鉄骨柱脚部の耐力線は (2-1) 式および (2-2), (2-3) 式によって求められる耐力線のうち最小の耐力線によって決定される。

Fig. 3 (a) は **Fig. 3 (c)** のような断面構成および形状寸法をもつ鉄骨柱脚部の耐力線を上述の考えに基づいて求められたもので, 縦軸は無次元化軸力 $s_n = sN/bDF_c$, 横軸は無次元化抵抗モーメント $s_m = sM/bD^2F_c$ を示す。図中の bI_c は (2-1) 式, bI_r は (2-2), (2-3) 式に基づいて求められた耐力線で, 各耐力線ともアンカーボルトの効果が考慮されている。 bI_c と bI_r の耐力線のうち最小の耐力線を求めれば, **Fig. 3 (b)** に示すように鉄骨柱脚部の耐力線が決定される。なお, **Fig. 3 (a)** の I_{rc} および I_s は, ベースプレート下面の鉄筋コンクリート断面および鉄骨部材の耐力線を示したものである。本計算例では鉄骨部材の耐力線 I_s は鉄骨柱脚部の耐力線よりも大きくなる様に想定されたが, 実際の柱脚では逆の場合も考えられ, この様な場合は両者の耐力線の最小の耐力線によって鉄骨柱脚部の耐力は決定されると考えられる。なお, 本計算例では, 鉄骨の降伏応力度は 2.7 t/cm^2 , 主筋およびアンカーボルトの降伏応力度は 3.0 t/cm^2 , コンクリートの圧縮強さは 210 kg/cm^2 , 終局付着応力度は $0.1F_c$, 終局せん断応力度は $0.05F_c$, $\lambda=2$, $\mu=1.0$ とした。

2.2 ベースプレートの耐力評価に関する妥当性

Fig. 4 は既往の実験的研究^{1),2),8),10)} で用いられた試験体の一部を選択して, 前述のベースプレートの耐力評価の手法の妥当性を検討したものである。縦軸は無次元化軸力 $s_n = sN/bDF_c$, 横軸は無次元化抵抗モ

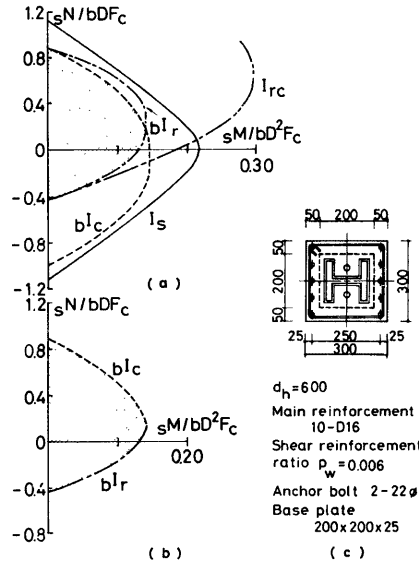


Fig. 3. Calculated model and strength of steel column base.

ーメント $s_m = sM/bD^2F_c$ を示す。図中の bI_c は (2-1) 式, bI_r は (2-2), (2-3) 式より求められたベースプレートの耐力線を示す。また, I_{rc} はベースプレート下面の鉄筋コンクリート断面, I_{src} は鉄骨鉄筋コンクリート断面および I_s は鉄骨断面の耐力線を示す。仲らによる実験値⁽¹⁾⁽²⁾ が■□印で Fig. 4 (a)~(c) に, 増田⁽³⁾ による実験値が▲△印で Fig. 4 (d), (e) に, また, 鈴木⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾ による実験値が●印で Fig. 4 (f)~(i) にそれぞれ示されている。なお図中の■□印, ▲△印および●印の番号は Table A-1^(*) の整理番号を示し, 各耐力線を示す記号の () 内の数値は計算上評価されるべき整理番号をもつ試験体の耐力線と対応している。なお (2-1) 式および (2-2), (2-3) 式の計算では前述の例題と同様, $\lambda=2.0$, $\mu=1.0$, $\tau_b=0.1F_c$, $F_s=0.05F_c$ とした。また, 各試験体とも, ベースプレートの耐力はベースプレートの張出し部分の曲げ強さによって決定されることが確かめられた。

Fig. 4 (f)~(i) で鉄骨母材の作用による効果が小さいと考えられる根巻き高さの低い試験体, たとえば試験体整理番号 3, 11, 12, 13, 22 等に対しては, 実験値は前述の考えに基づいて求められる耐力線とほぼ一致し, 本モデルの考え方に対する妥当性は評価できるものと考えられる。しかしながら, 一方, Fig. 4 (a)~(e) の鉄骨鉄筋コンクリート構造の試験体および Fig. 4 (f)~(i) で根巻き高さの高い試験体, たとえば 4, 6, 23, 24 等では実験値は大概ベースプレート下面の鉄筋コンクリート断面の耐力線と一致している。これは, 主鉄筋は鉄筋コンクリート部分に対する補強筋としての作用および前述のベースプレートのごて作用と鉄骨母材のごて作用の両者に対する拘束筋としての作用が混然一体として働いていることによるものと考え

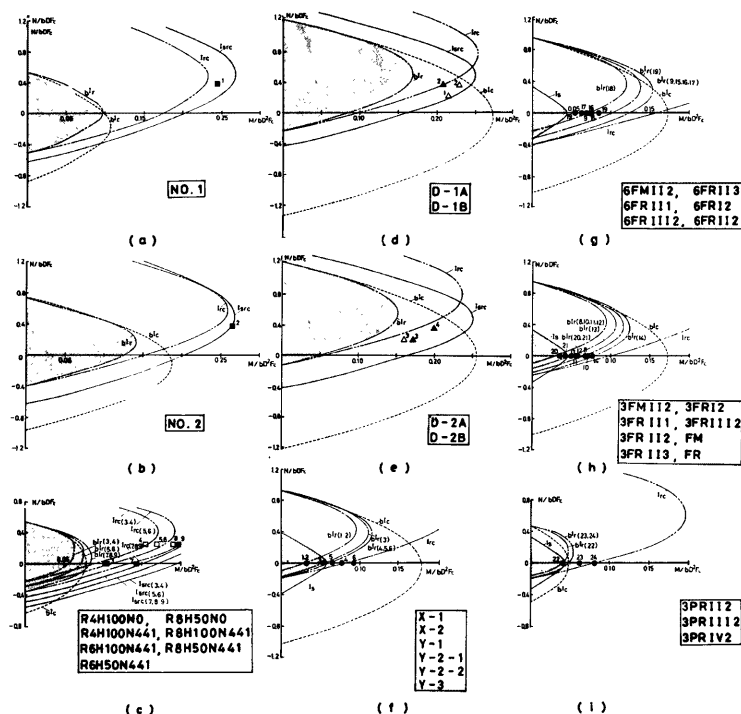


Fig. 4. Comparison between experimental values obtained by other investigators and calculated values.

*) 附録 (Table A-1) に採用された試験体の構成要素, 形状寸法および実験結果の概要を示す。

えられ、本考察に対する妥当性は確かめられなかった。

この様な観点に基づき、ベースプレートでの作用による応力伝達機構を調べることを主眼として、下記の実験が計画された。*)

3. 実 験

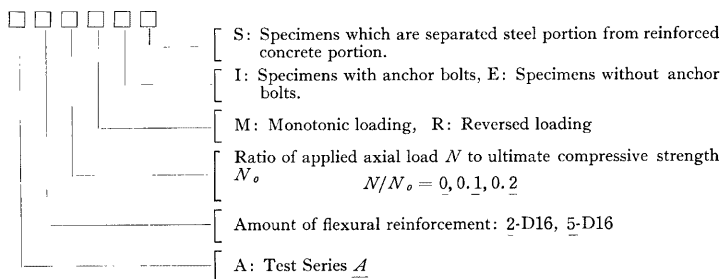
3.1 実験計画の概要

本実験で計画された試験体の形状は固定部を含む片持ばり形式であり、骨組構造物に水平荷重系の外力が作用した場合の最下層柱の反曲点位置より下の部分を抽出したことに対応する。試験体はベースプレートを

Table 1. Test program

Specimen*)	Steel portion		Anchor bolt	Reinforced concrete element		Applied axial load N/N_o	loading
	Base plate $b_b \times D_b \times t_b$ (mm)	Section (mm)		Section $b \times D$ (mm)	Reinforcement		
A20MES	200×200×25	H—150×150×12×22	None	300×300	4-D16 6φ□35②	0	Monotonic
A21MES						0.1	
A22MES						0.2	
A50MES						0	
A50RES			2-22φ		0	Reversed	
A50MIS					0	Monotonic	
A50RIS			None		0	Reversed	
A51MES					0.1	Monotonic	
A51MIS			2-22φ		0.1		
A52MES			None		0.2		
A52RES					0.2	Reversed	
A52MIS			2-22φ		0.2	Monotonic	
A52RIS					0.2	Reversed	

*) The meaning of the name of specimens is as follows.



*) SRC 規準の初版では、ベースプレートでの応力伝達は鉄筋のフックの応力伝達にらって母材耐力の1/3を期待できることが示されているが、その理論的根拠については全く示されていない。

含む鉄骨部分に根巻き補強された形状である。本実験ではベースプレートの応力伝達機構を調べることに主眼をおいているので、大変形後にも根巻き補強された鉄筋コンクリート部分と鉄骨部材が接触しない様に各試験体ともくさび状のすきまが設けられている。試験体は、前述の補強主筋の付着破壊、根巻き補強された鉄筋コンクリート部分の材軸方向のせん断破壊および鉄骨部材の破壊が、根巻き補強された鉄筋コンクリート部分の曲げ引張破壊に対して先行しない様に計画された。

試験体の実験変数としては前述の考察より、根巻き補強された鉄筋コンクリート部分の引張主鉄筋比 ρ_t 、作用軸力 N 、アンカーボルトの有無および載荷法である。引張主鉄筋比としては、 $\rho_t=0.442, 1.11(\%)$ の 2 種類、作用軸力 N としてはベースプレート下面の鉄筋コンクリート断面の中心圧縮塑性強さ $N_o^{*)}$ の 0, 0.1, 0.2 の 3 種類、載荷法としては、単調および正負くり返し載荷の 2 種類が選択され、アンカーボルトの有無を含めて計 13 体の試験体が計画された。

Table 1 に計画された試験体の実験系列および構成要素を示す。

本実験は、これらの実験変数を含む片持ばり形式の反曲点に対応する位置で、鉄骨部分に所定軸力を負荷したのち水平力を単調あるいは正負くり返し載荷することによって、ベースプレートによる応力伝達機構を実験的に調べることを主眼とする。

3.2 試験体

Fig. 5 に試験体の形状寸法、断面構成、配筋詳細および根巻き補強された鉄筋コンクリート部分と鉄骨部材の間に設けられたすきまの状況を示す。試験体は交換可能な補助ビームをとりつけることによって、固定部から反曲点位置までの長さが所定の寸法 1000mm になるように設計された。

各試験体とも根巻き補強された鉄筋コンクリート部分の断面 $b \times D$ は 300mm $\times$ 300mm (b : 幅, D : せい) であり、根巻き部の高さ d_k は 600mm である。

鉄骨部材は H 形鋼であり、その寸法は H-150 $\times$ 150 $\times$ 12 $\times$ 22 が採用された。また、端部に設けられるベースプレートの寸法 $b_b \times D_b \times t_b$ は 200mm $\times$ 200mm $\times$ 25mm (b_b : 幅, D_b : せい, t_b : 厚さ) が用いられた。な

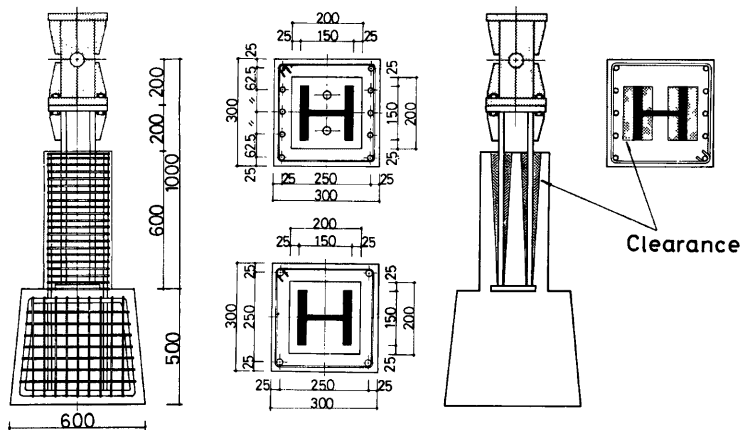


Fig. 5. Specimen and cross sections.

^{*}) N_o の算定は $N_o = a_r \cdot r \cdot \sigma_y + A_c \cdot F_c$ によって求められた。ただし、 a_r および A_c は、鉄筋コンクリート部分の全主筋量およびコンクリートの断面積、 $r \cdot \sigma_y$ および F_c は、主筋の降伏応力度およびコンクリートの圧縮強さである。

お、アンカーボルトは直径 22mm の丸鋼で作製され、アンカーボルトを有する試験体ではベースプレートの重心軸上に 2 本配置された。

根巻き部の補強引張主筋は D16 が用いられ、実験変数に応じて 2 本（引張主鉄筋比 p_t は $p_t=0.442(\%)$ に対応する）あるいは 5 本（ $p_t=1.11(\%)$ ）配筋された。なお、圧縮側に対応する位置にも引張側と等量の

Table 2. Properties of Materials

Specimen	Concrete			Steel				Steel bar			
	F_c (kg/cm ²)	F_t	F_t/F_c	P	σ_y (t/cm ²)	σ_{max}	ϵ_u	ϕ	σ_y (t/cm ²)	σ_{max}	ϵ_u
A20MES	320	33.2	0.104	12 22 25	3.05 2.61 2.35	4.40 4.29 4.22	0.374 0.439 0.457	6 ϕ D16	2.21 3.40	3.56 5.14	0.364 0.264
A21MES	287	33.2	0.116								
A22MES	254	26.9	0.106								
A50MES	294	24.9	0.085								
A50RES	286	22.7	0.079					6 ϕ D16	2.37 3.71	3.77 5.80	0.396 0.248
A50MIS	274	24.7	0.090								
A50RIS	278	23.6	0.085					6 ϕ	2.21	3.56	0.364
								22 ϕ	2.88	4.13	0.419
								D16	3.40	5.14	0.264
A51MES	342	30.2	0.088					6 ϕ	2.37	3.77	0.396
								22 ϕ	2.88	4.13	0.419
								D16	3.71	5.80	0.248
A51MIS	279	26.4	0.095					6 ϕ	2.21	3.56	0.364
								22 ϕ	2.88	4.13	0.419
								D16	3.40	5.14	0.264
A52MES	315	27.3	0.087					6 ϕ	2.21	3.56	0.364
A52RES	286	26.3	0.092					D16	3.40	5.14	0.264
								6 ϕ	2.37	3.77	0.396
A52MIS	230	25.2	0.110					D16	3.71	5.80	0.248
								6 ϕ	2.21	3.56	0.364
								22 ϕ	2.88	4.13	0.419
A52RIS	280	24.9	0.089					D16	3.40	5.14	0.264
								6 ϕ	2.37	3.77	0.396
								22 ϕ	2.88	4.13	0.419
				D16	3.71	5.80	0.248				

Note F_c : Maximum compressive strength

F_t : Splitting tensile strength

σ_y : Yield stress

σ_{max} : Maximum tensile strength

ϵ_u : Maximum elongation

鉄筋が配筋された。また、せん断補強筋は 6 mm の丸鋼が 35mm の間隔で設けられている。

3.3 試験体の材料および製作

鉄骨部分は所要の寸法に切り出された材料を溶接組立^{*}して作製され、その板材の材質は SS41 材とした。補強主筋は SD30、せん断補強筋は SR24 相当品、アンカーボルトは SR24 の材種の鉄筋が使用された。

セメントは普通ポルトランドセメント、単軸載荷の試験体に対して、細骨材は 1.2mm 以下の山砂、粗骨材は 5 mm 以上 10mm 以下の川砂利が使用され、コンクリートは水セメント比 $W/C = 0.67$ 、重量調合比 $C : S : G = 1 : 1.90 : 2.61$ 、スランプ 21cm とした。一方、正負くり返し載荷の試験体では、細骨材は 2.5mm 以下の山砂：海砂 = 6 : 4 のもの、粗骨材は 20mm 以下の山砂利が使用され、コンクリートは水セメント比 $W/C = 0.60$ 、重量調合比 $C : S : G = 1 : 2.20 : 2.40$ 、スランプ 21cm とした。Table 2 に使用された材料の力学的特性を示す。

コンクリートは柱材を鉛直に設置された木製型枠内に打設された。コンクリートの打設にあたっては、まず、固定部に若干多い目打に打設し、約 30~40 分程度コンクリートが沈降した後、Photo 1 に示す様にジャッキで持ち上げられていた部分部分を所定の位置までおろし、ベースプレート下面が凹凸にならない様、鉄骨部分の自重によって圧着させた後、根巻き部分が打設された。

なお、根巻き補強された鉄筋コンクリート部分と鉄骨部材との間にすきまを設けるためのスペーサーは、厚紙で所定のくさび状の箱を作り、その周囲をビニールシートによって防水し、その面にグリースを塗付した後もう一度ビニールシートをまいたものが用いられた。Photo 1 にスペーサーが設置された状況を示す。試験体は、コンクリート打設後 3~4 日で脱型および前述のスペーサーを抜きとり実験実施口まで空中養生が施された。

3.4 載荷装置

Fig. 6 に載荷装置を示す。載荷機構としては、試験体の固定部は L 字型の反力ビームに固定され、柱頭の反曲点位置に対応する位置に両端ピンの載荷ばりが設けられ、その載荷ばりと反力ビームの間にロードセルおよび 50 ton 手動式油圧ジャッキが設置され、油圧ジャッキを作動させることによって任意の水平力を負荷することができる。一方、軸力を負荷する試験体の場合は、上述の様に組立てられた状態で 100 ton 用アムスラー型長柱試験機に組込まれ、任意の軸力が負荷される。なお、この場合は反力ビームと長柱試験機の載荷ベッドの間にはローラーが設けられ、油圧ジャッキを作動させて水平力を負荷するとこの反力ビームが水平に移動し、その結果試験体に任意の軸力と曲げ・せん断力を負荷することができる。

3.5 測定法

負荷された荷重として、軸力はアムスラー型長柱試験機によって、水平荷重は 20ton 用ロードセル (感度 $100\mu\text{ton}$) によって測定された。

測定された変形としては Fig. 7(a) に示す様にベースプレートの重心位置およびベースプレート底面より 77.5cm 位置の部材の水平 ($\delta_1, \delta_2, \delta_4, \delta_5$)、鉛直 (δ_3, δ_6) の変位が増動型変位計 (感度 $200\mu\text{mm}$) によって求められた。これらの測定された値に基づいて、Fig. 7 (b) の幾何学的な関係

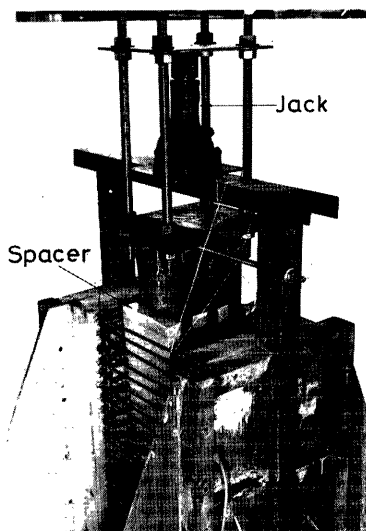


Photo. 1. General view prior to casting.

^{*} 鉄骨部分は溶接組立後焼鈍処理されている。なお、鉄骨部分の力学的特性は各試験体とも同一である。

より, ベースプレートの重心軸位置での回転角 θ_b , 柱頭部の水平変位 dx_2 および相対部材角 R は $\theta_b = (\delta_1 - \delta_2) / (b'_y + b_y'')$, $dx_2 = \{\delta_4 + \theta_1(a_x \cdot \theta_1 + \delta_6 - a_y')\} / (1 + \theta_1^2)$ および $R = dx_2 / h$ によって求められた。ただし, $\theta_1 = (\delta_4 - \delta_5) / (a'_y + a_y'')$ である。なお, 根巻き補強された鉄筋コンクリート部分上端の水平変形 (δ_7, δ_8) も測定され, それらの値より根巻き部分の回転角 θ_m は, $\theta_m = (\delta_7 + \delta_8) / 2h'$ によって求められた。

柱脚部のひずみ状態を測定するために鉄骨面および鉄筋の主要な位置に電気抵抗線ひずみゲージ(W.S.G.)が貼付された。

3.6 載荷法

載荷法としては柱材にあらかじめ所定の軸力を負荷したのち, 水平力を単調および正負くり返し載荷しようとするものである。

くり返し載荷の載荷法則としては, 相対部材角 R の 0.005 rad. を単位振幅とし, 各振幅において正負 2

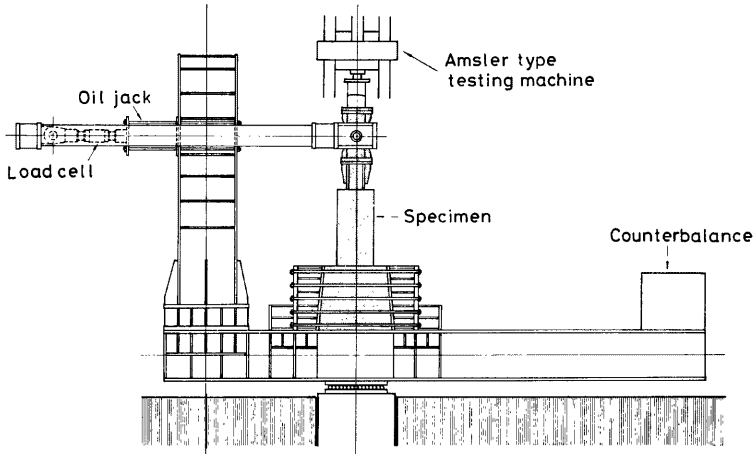


Fig. 6. Loading apparatus.

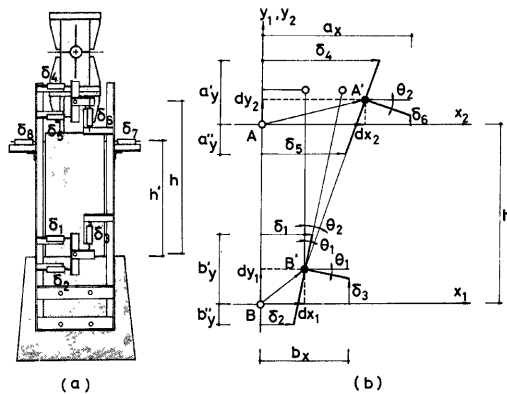


Fig. 7. Measurement of deflection.

回のくり返しを行い、単位振幅を漸増させて 0.03 rad. まで負荷した後は、単位振幅を 0.01 rad. とし最大振幅 0.05 rad. まで負荷するものである。

4. 実験結果および考察

4.1 破壊状況

Photo. 2 に実験終了後の破壊状況の数例を示す。単調およびくり返し載荷の各試験体とも、ひび割れの発生過程は、まず、柱脚部の引張り面に曲げひび割れが発生し、ついで、ベースプレートと補強主筋の間に斜張力ひび割れおよび引張面の主筋に沿った付着ひび割れがほぼ同時に観察された。なお、この斜張力ひび割れは、ベースプレートのでこ作用による曲げ引張力はせん断力としてコンクリートを介して主筋に伝達されるが、このせん断力によるものと考えられる。この斜張力ひび割れは変形の増大とともに引張面に進展し、付着ひび割れとともに根巻き部上部へと、更に進展していくのが観察された。また、大変形時では圧縮縁のコンクリートの圧壊が観察された。

各試験体には、上述したように斜張力ひび割れや付着ひび割れの発生はみられたが、これらのひび割れは破壊に対して支配的な要因とはならず、典型的な主筋の引張降伏による曲げ引張破壊の様相を呈した。

なお、**Table 3** に各ひび割れの発生荷重を示す。

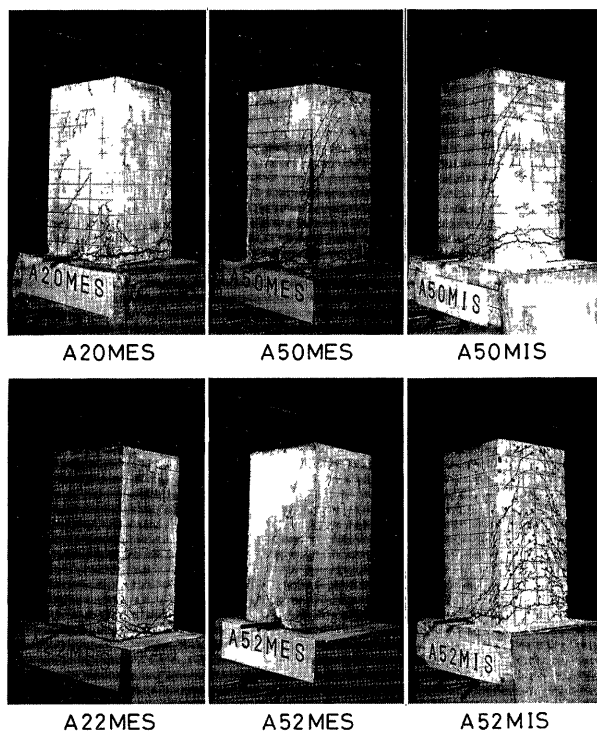


Photo. 2. Crack observation.

Table 3. Test Results

Specimen	Applied axial load $N(t)$	Flexural cracking load $P_{fl}(t)$	Splitting cracking load $P_{s,cr}(t)$	Maximum load $P_{max}(t)$
A20MES	0	1.15	4.09	4.96
A21MES	28.5	4.06	7.16	7.17
A22MES	51.2	5.56	—	9.70
A50MES	0	2.46	7.05	8.70
A50RES	0	5.01 (4.01)*	6.70 (8.36)	6.70 (9.17)
A50MIS	0	2.47	6.34	9.76
A50RIS	0	3.99 (1.01)	6.15 (4.90)	7.58 (7.86)
A51MES	37.5	6.87	11.50	12.34
A51MIS	31.9	4.83	7.29	11.38
A52MES	70.2	9.01	14.34	14.59
A52RES	66.2	9.50 (9.23)	11.88 (14.16)	12.64 (14.26)
A52MIS	54.9	5.93	10.56	11.74
A52RIS	65.2	6.96 (4.98)	9.93 (5.98)	12.51 (12.47)

* (): Negative loading.

4.2 変形状

Fig. 8 および Fig. 9 に単調載荷およびくり返し載荷時の荷重変形曲線を示す。縦軸は荷重 P 、横軸は、固定部に対する鉄骨柱頭部の水平変形から求められた相対部材角 R を示す。図中の ▼、▽ および ▽印はそれぞれ曲げひび割れ発生荷重、引張側主筋に沿った付着ひび割れ発生荷重および最大荷重を示す。

各試験体の変形状としては、曲げひび割れ発生後剛性は低下し、付着ひび割れ発生後耐力はほぼ横ばいとなり、軸力の大きい試験体では最大耐力後の耐力低下の傾向が認められる。なお、この曲げひび割れは部材角 R がほぼ 0.005rad. で発生し、一方、付着ひび割れはほぼ 0.01~0.02rad. の間で観察された。また、主筋量が多く、軸力比の高い試験体ほど耐力が大きいことが示されている。このことは、ベースプレートのご作用によって生じる回転を拘束するコンクリートとそのコンクリートの浮上りを拘束する補強主筋を配置することによって、鉄骨母材の耐力が発揮できることを示している。

くり返し載荷の場合、軸力 0 の履歴曲線はエネルギー消費量の小さい逆 S 字型を示している。すなわち、この場合の変形状としては、ベースプレートの回転にともなってベースプレートが根巻き部分に接触して

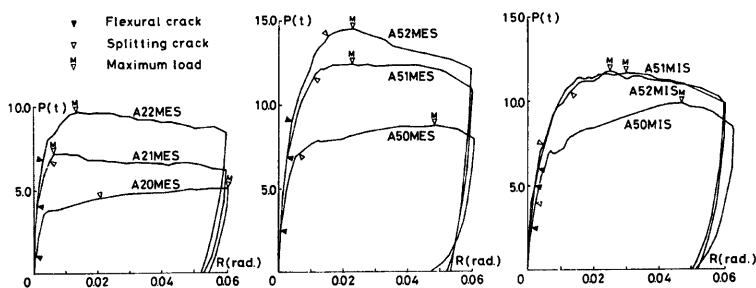


Fig. 8. Load-deflection curves for monotonic loading.

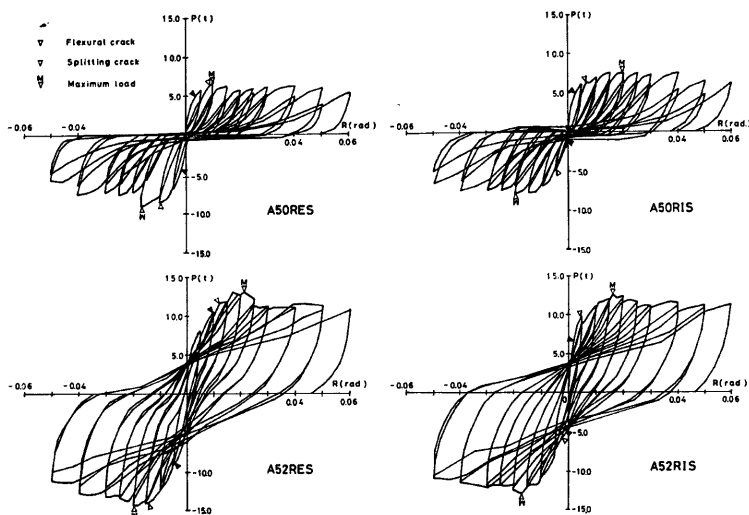


Fig. 9. Hysteresis loops.

いる時は、補強主筋が回転を拘束し耐力は発揮するが、接触していない場合は荷重は0で変形のみ進展する、いわゆる、すべり現象を呈する。一方、軸力が存在する試験体の履歴曲線はエネルギー消費量の大きいほぼ紡錘型を示す。この場合は、すべり領域において変形とともに荷重が増大していることから、ある程度の軸力が存在すれば、鉄骨柱脚部の応力はベースプレートとの作用によってのみ伝達されるのではなく、ベースプレート下面のコンクリートに直接伝達されることが推察される。

Fig. 10 に単調載荷時のベースプレート位置での作用モーメントとベースプレートの回転角の関係を示す。縦軸は無次元化抵抗モーメント M/bD^2F_c 、横軸はベースプレートの回転角 θ_B を示す。▼および▽印は曲げ引張りひび割れおよび付着ひび割れ発生荷重を示す。各試験体とも曲げひび割れの発生にともなってベースプレートは回転しはじめることが認められる。また、この図では各実験値はコンクリートの圧縮強さ F_c で無次元化されているので、前述された傾向は更に明確に示されている。

なお、本実験では、アンカボルトは耐力およびベースプレートの回転性状に対して、顕著な効果は示されなかった。

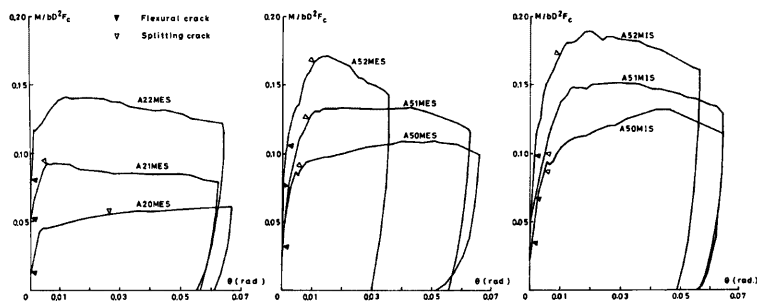


Fig. 10. Relationships between moment loaded at base and rotation of base plate.

4.3 ベースプレートのひずみ状況

Fig. 11 にベースプレートの張出し部の鉄骨フランジより 5 mm 離れた位置の上下面に貼付された W. S. G. によるひずみ測定値の結果の一例を示す。縦軸は荷重 P , 横軸はひずみ ϵ を示す。

柱脚部の曲げ圧縮側のベースプレート張出し部には、ベースプレートの回転にともなう曲げ作用がみられ、ベースプレート下面に生じるコンクリートの圧縮反力は相当大きいことを示しているが、一方、曲げ引張側の張出し部のひずみ測定値は、若干、不規則な値は示しているが曲げ圧縮側の様な曲げ作用はほとんどみられず、ベースプレートの回転を拘束することによって生ずるベースプレート上面の圧縮応力度はさほど大きい値を示していないことが認められる。また、ベースプレート張出し部の曲げ作用によるひずみは作用圧縮力および補強主筋量の増加に対して、大きい値を示すことが観察される。なお、この傾向はくり返し載荷の場合に対しても同様である。

4.4 補強主筋のひずみ状態

Fig. 12, 13 に単調載荷およびくり返し載荷の試験体について補強主筋に沿った各点でのひずみの推移状

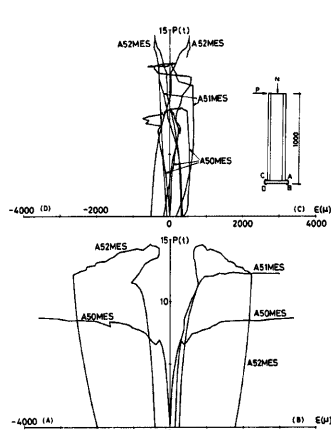


Fig. 11. Relationships between load and strain at base plate.

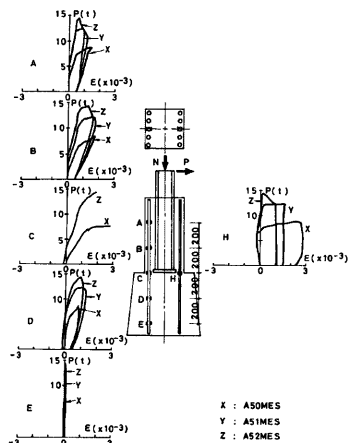


Fig. 12. Axial strain distribution of main reinforcement under monotonic loading.

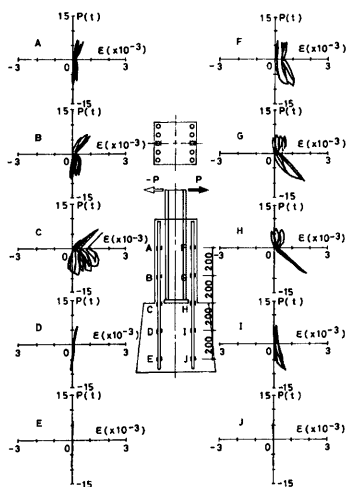


Fig. 13. Axial strain distribution of main reinforcement under reversed loading.

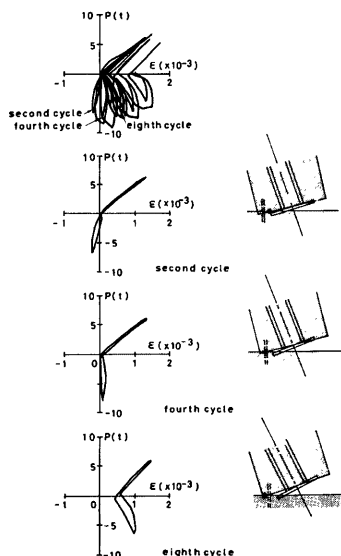


Fig. 14. Axial strain distribution of main reinforcement at base for specimen, A50RES.

況の一例を示す。縦軸は荷重 P 、横軸は軸ひずみ ε を示す。

単調およびくり返し載荷とも主筋の軸ひずみはベースプレート位置に近づくにつれて徐々に増加し、ベースプレート位置で最大となっている。

単調載荷の場合、曲げ引張側の主筋のひずみは荷重の増加にともなって単調に増加しているが、圧縮側の主筋は複雑な挙動を示している。すなわち、荷重の初期段階においては圧縮ひずみが若干進行するが、曲げひび割れ前後において、ひずみの進行の状況は反転し、耐力時付近ではむしろ引張ひずみが生じ実験終了時には引張降伏を生ずる場合がある。これらの傾向は、くり返し載荷の場合に対してもほぼ同様である。

Fig. 14 は、A50RES の試験体について、ベースプレート位置での主筋の軸ひずみの状態を第 2, 第 4, 第 8 サイクル時について取り出して示したもので、これらのひずみ状態から曲げ圧縮側になる場合の根巻き鉄筋コンクリート部分の中立軸の移行する状況を模式化したものである。この図より根巻き鉄筋コンクリート部分の中立軸が補強主筋の内側から外側へと移行していく状況が明確に示されている。なお、この様な挙動を示す一因としてはベースプレートの回転にともなう作用によって、ベースプレートのコンクリートに浮き上りを生じ、その影響が圧縮側主筋にもおよびされるためであると考えられる。

4.5 ベースプレートの回転角と補強引張主筋の軸ひずみとの関係

Fig. 15 にベースプレートの回転角とベースプレート位置での補強引張主筋の軸ひずみとの関係の代表例を示す。縦軸はベースプレートの回転角 θ 、横軸は補強引張主筋の軸ひずみ ε を示す。また、図中の破線は、そのくり返し載荷に対応する単調載荷の試験体の結果を示す。単調載荷の場合、各試験体とも、ベースプレートの回転角と補強引張主筋の軸ひずみには相関性がみられ、主筋量が少ない場合には回転角に対する主筋の軸ひずみは大きくなる傾向にあり、ベースプレートの回転にともなうベースプレート下面の圧縮域は小さく、逆に、主筋量が多い場合には圧縮域は大きくなることを示し、かつ、鉄骨柱脚部に生ずる曲げモーメン

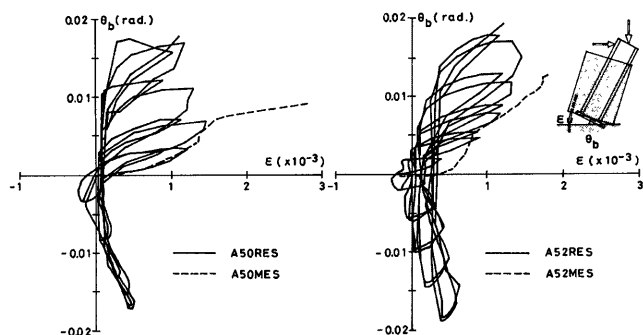


Fig. 15. Relationships between rotation of base plate and axial strain of main reinforcement at base.

トはベースプレートにて作用によって補強主筋に伝達されることが推察される。

一方、くり返し载荷の場合、振幅が小さく、補強主筋がほぼ降伏ひずみに達するまでは単調载荷の場合と同様の傾向を示すが、振幅が増大しても、補強主筋の軸ひずみは低振幅における最大軸ひずみとはほぼ同じ値で増加しないにもかかわらず、ベースプレートの回転は増加する傾向を示している。

4.6 ベースプレートの回転角と根巻きコンクリート部分の回転角の関係

Fig. 16 に根巻き部の鉄筋コンクリート部分の回転角 θ_m とベースプレートの回転角 θ_b の関係の数例を示す。縦軸は根巻き鉄筋コンクリート部分の回転角 θ_m 、横軸はベースプレートの回転角 θ_b を示す。なお、根巻き鉄筋コンクリート部分の回転角は、根巻き部上端で測定された水平変位 δ_1, δ_2 から $\theta_m = (\delta_1 + \delta_2)/2h'$ によって求められた。ただし h' は、固定端から変形の測定位置までの距離である。

図中の一点鎖線上に実験値があれば両者の回転角は一対一の関係にあるわけであるが、実験値は、 θ_b の値に対して θ_m の値は小さい。これは、ベースプレート位置では平面保持の仮定は成立せず、ベースプレートの回転に対して根巻きコンクリート部の回転は補強主筋によって、かなり拘束されていることが推察される。

4. 解析解^{*}

Fig. 17 (a) は、上述の実験結果の知見に基づいて求められたアンカーボルトのない試験体の崩壊機構を模式図によって示したものであり、Fig. 17 (b)~(d) は鉄骨部材、根巻きコンクリート部分、および、ベースプレート下面の鉄筋コンクリート部分に関する自由体の釣合い状態を示したものである。鉄骨部材について、作用軸力 N および水平力 P は、ベースプレートにて作用による曲げ引張力 C_1 、曲げ圧縮力 C_2 および圧縮力にともなう摩擦力 F_1, F_2 で釣合い状態にある (Fig. 17 (b) 参照)。すなわち、 $P = F_1 + F_2, N = C_2 - C_1$ である。なおこの釣合式において、ベ

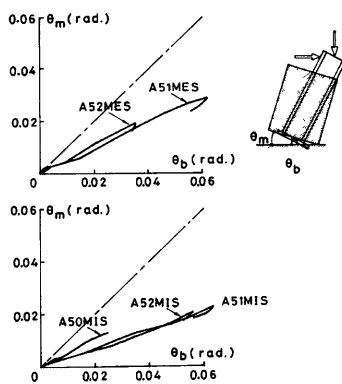


Fig. 16. Relationships between rotation of base plate and rotation of reinforced concrete element.

^{*} この解析解は、前述の累加強度理論とは異なった終局強度理論によって展開されるものである。

ースプレートおよび根巻きコンクリートの回転角は微小なものとしている。

根巻きコンクリート部分については、ベースプレートのでこ作用による曲げ引張力 C_1 および摩擦力 F_1 に対して、補強引張および圧縮鉄筋の引張力 T_1, T_2 、根巻きコンクリートの回転にともなう生じる圧縮力 C_3 および圧縮力にともなう摩擦力 F_3 によって釣合い状態にある (Fig. 17 (c) 参照)。すなわち、 $F_1 = F_3, C_1 = T_1 + T_2 - C_3$ である。また、ベースプレート下面の鉄筋コンクリート部分については、ベースプレートのでこ作用による曲げ圧縮力 C_2 およびその圧縮力にともなう摩擦力 F_2 、補強引張および圧縮鉄筋の引張力 T_1, T_2 、根巻きコンクリートの回転にともなう圧縮力 C_3 およびその圧縮力にともなう摩擦力 F_3 は反力と釣合い状態にあり、 $P = F_2 - F_3, N = C_2 + C_3 - T_1 - T_2$ となる (Fig. 17 (d) 参照)。これらの釣合条件と変形の適合条件および材料の構成法則を用いる事によって、この機構に対する抵抗力を求める事ができる。

いま、断面の重心軸からベースプレートと根巻き補強された鉄筋コンクリート部分が接触している位置の圧縮側および引張側までの距離を d_1, d_2 、根巻き補強された鉄筋コンクリート部分とベースプレート下面の鉄筋コンクリート部分が接触している位置までの距離を d_3 、および圧縮、引張主筋までの距離を r_{ec}, r_{et} とすると、鉄骨部材とベースプレート下面の鉄筋コンクリート断面について、軸力と曲げモーメントの釣合式は上述より、次の様に示される。すなわち鉄骨部材について、

$$N + \frac{1}{2} b_b (D_b - 2d_2) \lambda_1 F_c - \frac{1}{2} b_b (D_b - 2d_1) \lambda_2 F_c = 0 \quad \dots\dots\dots (4-1)$$

$$M = \frac{1}{8} b_b F_c \{ \lambda_2 (D_b^2 - 4d_1^2) + \lambda_1 (D_b^2 - 4d_2^2) \} \quad \dots\dots\dots (4-2)$$

鉄筋コンクリート断面について、

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} b_b (D_b - 2d_1) \lambda_2 F_c \\ & + \frac{1}{2} b (D - 2d_3) F_c - (\gamma_1 + \gamma_2) T_y - N = 0 \quad \dots\dots\dots (4-3) \end{aligned}$$

$$M = T_y (\gamma_1 \cdot e_t - \gamma_2 \cdot e_c) + \frac{1}{8} F_c \{ \lambda_2 b_b (D_b^2 - 4d_1^2) + b (D^2 - 4d_3^2) \} \quad \dots\dots\dots (4-4)$$

となる。

ここで、 γ_1, γ_2 は引張側および圧縮側の主鉄筋の応力度レベルを規定する係数、 T_y は鉄筋の降伏強さ、 F_c はコンクリートの圧縮強さ、 λ_1, λ_2 は C_1, C_2 を求める時のコンクリートの圧縮強さ F_c に対する支圧係数である。

材料の構成法則を仮定し、かつ、 γ_1, γ_2 および λ_1, λ_2 を与えれば、この機構に対する解が求められられる。

なお、計算では、(4-1)、(4-3) 式より任意に与えられた N を一定とし、 d_1 を任意に与えることによって、 d_2, d_3 を求め、それを (4-2)、(4-4) 式に代入することによって、一定軸力 N に対する最大の曲げモーメント M が求められることになる。

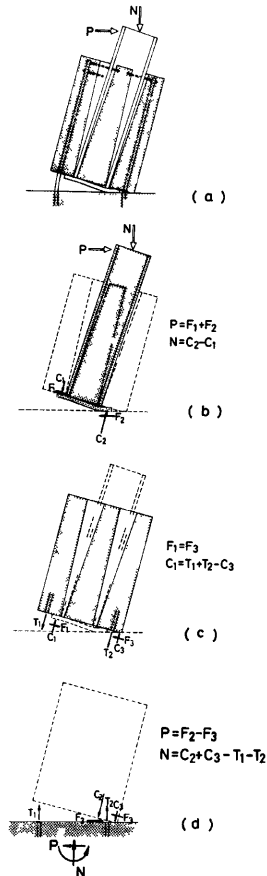


Fig. 17. Stress transfer mechanism based on test results.

5. 解析解の検討

Fig. 18 (a) は、上述の崩壊機構に基づいて求められた A50RES についての耐力線を示したものである。縦軸は軸力 N 、横軸は曲げモーメント M を示す。図中の ●○印は、実験値を示し、各々、正荷重および負荷重を示す。図中の実線は、(4-1)、(4-2) 式より求められた耐力線、破線は (4-3)、(4-4) 式より求められた耐力線、一点鎖線は鉄骨断面の耐力線を示す。ベースプレートの耐力線はこれらの3つの耐力線のもっとも内側の部分の耐力線によって決定される。なお、耐力線の計算は、構成法則としては剛塑性を仮定し、 $\gamma_1=\gamma_2=1.0$, $\lambda_1=\lambda_2=2.0$ として求められた。なお、実際には、ベースプレート下面のみかけ上のコンクリートの圧縮強さは、コンクリートの圧縮強さよりも大きいと考えられるが、不明な点が多い。そこで Fig. 18 (b) はこのみかけ上の圧縮強さを調べる為におこなわれた実験の結果を示したものである。縦軸は軸力 N 、横軸はベースプレート位置での作用曲げモーメント M を示す。図中の、破線は $\lambda=1$ とした時の計算値、一点鎖線は、 $\lambda=2$ とした時の計算値、実線は、既往の研究¹⁰⁾等より、 $\lambda=\sqrt{A_c/A_1}$ (ただし、 A_c は全断面積、 A_1 はベースプレート下面の圧縮側の面積) とした時の計算値で、中立軸の移動にともなう局所圧縮係数が変化することに対応する。また、○印は根巻き部が取除かれた実験終了後の試験体について鉄骨部材に任意の軸力を負荷した後、水平力を加えて得られた最大耐力より求められた値である。実線は実験値を良く評価しており、支圧係数 λ の値として $\lambda=\sqrt{A_c/A_1}$ を用いるべきであるが、この λ を用いて、 M と N の関係を求めると、計算上未知数が一つ増加することになり M と N の関係が求められないため、Fig. 18 (b) より、今回の実験での軸力レベルでは $\lambda=2$ と便宜上採用しても、さほど影響しないものと判断したことによる。このような崩壊機構に基づいて求められた計算値は、実験値をほぼ評価できるものと推察される。

6. 結 語

ベースプレートのおこ作用による応力伝達機構に関する考察に基づいて計画された単調およびくり返し載荷の13体の試験体について実験をおこなった結果次の様な結論が得られた。

- (1) ベースプレートを有する鉄骨部材の応力伝達に関する基本的な性状が明らかにされた。すなわち、ベースプレートの回転を拘束するコンクリートおよびそのコンクリートの浮上りを防止する補強引張主筋を設けることによって、鉄骨柱脚部の応力をベースプレートのおこ作用によって基礎部に伝達することは可能

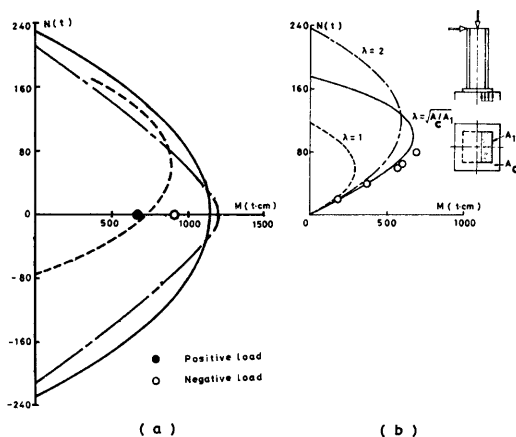


Fig. 18. Comparison experimental values with calculated values.

である。このでこ作用に対して補強主筋量および作用圧縮力の大きさは著しい影響を与えるが、本実験に関してはアンカーボルトの量はあまり影響を与えないことが示された。また、くり返し载荷を受けた試験体の挙動は基本的には、単調载荷の場合と同じであるが、履歴曲線は低軸力下の試験体では逆 S 字型となりエネルギー消費量は小さい。しかしながら、高軸力下の試験体では、履歴曲線は安定した紡錘型に近づき、エネルギー消費量は大きくなる。

- (2) 実験結果の知見に基づいて得られた崩壊機構から求められた計算値によって、ほぼ実験値を評価できるものと考えられる。しかしながら、他の崩壊機構の設定やコンクリートの支圧係数の扱い方については、今後更に検討の余地がある。なお、本研究成果は、鉄骨鉄筋コンクリート構造柱脚部にのみ適用されるばかりでなく異種構造の接合部、たとえば、鉄筋コンクリート柱と鉄骨柱の接合部、あるいは、鉄筋コンクリート柱と鉄骨はりとの接合部における応力伝達機構にも適用でき、かつ、鉄骨構造の根巻きコンクリートで補強された柱脚部に対しては直接適用できるものである。

謝 辞

本実験を行なうにあたり、当時、大阪工業大学建築学科4回生徳岡敦・星野基両氏の協力を得たことに對しここに記して深く感謝の意を表する。なお、本研究は昭和54年度科学研究補助金試験研究(I)(研究代表者若林實)の一部として行われたものである。

参 考 文 献

- 1) 仲威雄・海野三蔵・森田耕次・立花正彦：鉄骨鉄筋コンクリート柱脚に関する実験的研究(その2)、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、昭和54年9月、pp.1669~1670.
- 2) 仲威雄・森田耕次・立花正彦：鉄骨鉄筋コンクリート柱脚の耐力と履歴特性に関する実験的研究、日本建築学会論文報告集第276号、昭和54年2月、pp.43~50.
- 3) 園部泰寿・石橋一彦・山本周次郎・中西靖直：RC境界ばりのH形鋼によるせん断補強効果に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、昭和54年9月、pp.1191~1192.
- 4) 園部泰寿・石橋一彦・山本周次郎・中西靖直：RC境界ばりのH形鋼によるせん断補強効果に関する実験的研究(その2)境界ばりの軸方向拘束について、(その3)鉄骨端定着について、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、昭和55年9月、pp.1483~1486.
- 5) 武田寿一・高橋泰彦：S造およびSRC造の建物の柱脚の実験的研究(その1)4種類の柱脚の比較実験、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、昭和55年9月、pp.1915~1916.
- 6) 秋山宏・黒沢稔・和国信之・西村功：埋め込み形式柱脚の強度と変形、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)、昭和56年9月、pp.2041~2042.
- 7) 土質工学会：鋼グイ-鋼グイ研究委員会報告一、土質基礎工学ライブラリー6、pp.188~204.
- 8) 増田貫志・平坂繼臣・松田寿彦・田中邦博：鉄骨鉄筋コンクリート柱脚部の力学性状に関する実験的研究一軸力・曲げモーメント・せん断力を受ける柱脚の実験(その3)、(その4)一、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、昭和54年9月、pp.1671~1674.
- 9) 斎藤次郎・鈴木豊朗・中島茂寿・久恒治郎：鋼構造柱脚部における根巻きコンクリートの補強効果について、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)、昭和47年10月、pp.1671~1674.
- 10) 鈴木豊朗・中島茂寿・河井清・久恒治郎：鋼構造柱脚部における根巻きコンクリートの補強効果について第Ⅱ報一その1 実験結果の概要について一、その2 A、B、根巻き補強筋、鋼柱の変形並びに根巻きコンクリートの破壊性状について一、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、昭和51年10月、pp.1223~1226.
- 11) 鉄筋コンクリート構造分科会第3小委員会：鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料 シリーズ

- 23 コンクリートの支圧強度, 建築雑誌 Vol. 96, No.1180, 1981年6月, pp.71~78.
- 12) 若林實・南宏一・西村泰志・辻田耕一: 鉄骨鉄筋コンクリート構造柱脚部の応力伝達機構に関する研究 (その1, 鉄骨柱脚部の耐力評価に関する一考察), (その2, 鉄骨柱脚部の耐力評価に関する妥当性), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), 昭和55年9月, pp.1917~1920.
- 13) 若林實・南宏一・西村泰志・辻田耕一: 鉄骨鉄筋コンクリート構造柱脚部の応力伝達機構に関する研究 (その3), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州), 昭和56年9月, pp.2149~2150.
- 14) 日本建築学会: 鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 1975年, pp. 112~116, pp. 171~176.
- 15) 日本建築学会: 鋼構造塑性設計指針, 昭和50年11月, pp.159~169.

記 号

A_c : ベースプレート下面のコンクリート全断面面積	$r\epsilon_{t1}$: $r\epsilon_t/D$
A_1 : ベースプレート下面の圧縮側の面積	F_c : コンクリートの圧縮強さ
a_r : 根巻き部分の全主筋量	F_s : コンクリートの終局せん断強さ
a_t : 鉄筋一本の断面積	F_1, F_2, F_3 : ベースプレートのでてこ作用によって生じる圧縮力に基づく摩擦力
$\alpha_x, \alpha_y', \alpha_y''$: 柱頭部の鉛直および水平変形を測定するためにとりつけられた変位計の基準点からの距離	H : H形鋼のせい
b : 根巻き部分の幅	h : ベースプレートの板厚の中心から柱頭部の変形測定位置までの距離
b_b : ベースプレートの幅	I_{rc} : ベースプレート下面の鉄筋コンクリート断面の耐力線
b_{b1} : b_b/b	I_s : 鉄骨断面の耐力線
b_y', b_y'' : ベースプレートの水平変形を測定するためにとりつけられた変位計の基準点からの距離	I_{src} : 鉄骨鉄筋コンクリート断面の耐力線
C_1 : ベースプレートのでてこ作用による曲げ引張力	bI_c : ベースプレートのでてこ作用による抵抗力がコンクリートの圧壊によって決定される耐力線
C_2 : ベースプレートのでてこ作用による曲げ圧縮力	bI_r : ベースプレートのでてこ作用による抵抗力が主筋に関係する強さによって決定される耐力線
C_3 : 根巻きコンクリートの回転にともなう圧縮力	M : 作用曲げモーメント
D : 根巻き部分のせい	sM : 鉄骨柱脚部の曲げ強さ
D_b : ベースプレートのせい	sm : sM/bD^2F_c
D_{b1} : D_b/D	N : 作用軸力
d_h : 根巻き部分の高さ	N_o : ベースプレート下面の鉄筋コンクリート断面の中心圧縮塑性強さ
d_{x2} : 柱頭部の水平変形	sN : 鉄骨柱脚部の軸方向力
d_1, d_2, d_3 : 断面の重心軸からベースプレートと根巻き部分が接触している位置までの距離および根巻き部分とベースプレート下面の鉄筋コンクリート部分が接触している位置までの距離	n : 鉄筋本数
$r\epsilon_c, r\epsilon_t$: 断面の重心軸から圧縮側および引張側の主筋までの距離	sn : sN/bDF_c
$r\epsilon_{c1}$: $r\epsilon_c/D$	P : 作用水平力
	p_t : 引張主鉄筋比
	p_w : せん断補強筋比
	R : 相対部材角
	R_{b1} : 主筋の付着強さの無次元量
	R_c : 曲げ引張力に対するコンクリートの拘束

力	ε : ひずみあるいは軸ひずみ
R_{s1} : 主筋が伝達しうる材軸方向のせん断強さ の無次元量	η : $D_b = H$ の時 0, $D_b \neq H$ の時 1.0 を与える係数
R_{y1} : 主筋の降伏強さの無次元量	θ_b : ベースプレートの回転角
T_y : 主筋の降伏強さ	θ_m : 根巻きコンクリート部分の回転角
T_1, T_2 : 引張側および圧縮側の主筋に作用する引張力	$\lambda, \lambda_1, \lambda_2$: 局部支圧係数
t_b : ベースプレート厚	μ : 摩擦係数
γ_1, γ_2 : 引張側および圧縮側の主筋に作用する応力レベルを規定する係数	$r\sigma_y$: 主筋の降伏応力度
$\delta_1 \sim \delta_8$: 測定された変位量	$r\sigma_{wy}$: せん断補強筋の降伏応力度
	τ_b : 終局付着応力度
	ψ : 主筋一本の周長

附 録

Table A-1 に (2-1) 式および (2-2), (2-3) 式によるベースプレートの耐力評価の手法の妥当性を検討するために採用された既往の実験的研究^{(1),(2),(8)~(10)}で用いられた試験体および実験結果の概要を示す。

Table A-1. Experimental data obtained

The name of Specimens		An outline of Specimen (mm)					
		Steel element			Reinforced concrete		
		Steel	Base plate $b_b \times D_b \times t_b$	Anchor- bolt	Section $b \times D$	Height d_h	Main Reinfor- cement
1	No. 1	H-140×70×6×6	90×160×18	4-M16	200×270	1000	4-D13
2	No. 2	//	90×220×18	4-M14	//	//	//
3	R4H100N0	H-140×70×4.5×6	90×160×18	2-19φ	200×270	500	4-D13
4	R4H100N441	//	//	//	//	//	//
5	R6H100N441	//	//	//	//	//	6-D13
6	R6H50N441	//	//	//	//	//	//
7	R8H50N0	//	//	//	//	//	8-D13
8	R8H100N441	//	//	//	//	//	//
9	R8H50N441	//	//	//	//	//	//
1	D-1A	H-200×100×5.5×8	220×250×25	4-19φ	300×300	1200	4-D16
2	D-1B	//	//	//	//	//	//
3	D-2A	//	//	—	//	//	//
4	D-2B	//	//	—	//	//	//
1	X-1	H-200×200×8×12	300×400×25	4-22φ	—	—	—
2	X-2	//	//	//	—	—	—
3	Y-1	//	//	//	460×560	250	6-D16 2-D13
4	Y-2-1	//	//	//	//	450	//
5	Y-2-2	//	//	//	//	//	//
6	Y-3	//	//	//	//	650	//
8	3FMII2	H-125×125×6.5×9	200×260×19	4-16φ	300×380	250	6-D13
9	6FMII2	//	//	//	//	//	12-D13
10	3FRII1	//	//	//	//	//	6-D13
11	3FRII2	//	//	//	//	//	//
12	3FRII3	//	//	//	//	//	//
13	3FRI2	//	//	//	//	150	//
14	3FRII2	//	//	//	//	375	//
15	6FRII1	//	//	//	//	250	12-D13
16	6FRII2	//	//	//	//	//	//
17	6FRII3	//	//	//	//	//	//
18	6FRI2	//	//	//	//	150	//
19	6FRII2	//	//	//	//	375	//
20	FM	//	//	//	—	—	—
21	FR	//	//	//	—	—	—
22	3PRII2	//	160×160×19	2-16φ	300×380	250	6-D13
23	3PRII2	//	//	//	//	375	//
24	3PRIV2	//	//	//	//	500	//

by other investigators

	Properties of materials (kg/cm ²)							Test results		Re- ference	
element	Yield Stress σ_y							N $\frac{N}{bDF_c}$	M $\frac{M}{bD^2F_c}$		
Shear Reinfor- cement	Steel		Main Reinforcement		Shear Reinfor- cement	Anchor- bolt	Concrete				
	flange	Web	D16	D13							
9φ@100 //	3452 //	3452 //	4072 //		3532 //	10600 9100	227 //	0.367 0.367	0.244 0.265	1 ■	
9φ@100 // //	3680 // //	4050 // //	4740 // //		3390 // //	3050 // //	344 // //	0 0.242 //	0.105 (0.165) (0.170)	2	
9φ@50 //	// //	// //	// //		// //	// //	// //	// 0 0.242 //	// 0.143 (0.190)		
9φ@100 9φ@50	// //	// //	// //		// //	// //	// //	// //	// 0.197		□■
9φ@100 // // //	3050 // // //	3830 // // //	4230 // // //			3460 // // //	2750 // — —	310 // // //	0.201 0.351 0.201 0.351	(0.215) (0.208) (0.229) (0.172) (0.160) (0.195) (0.201)	8 △▲
— — D10@150	2880 // // // // //	2880 // // // // //	— — 3790 // // //	— — 3880 // // //		— // 3970 // // //	2720 // // // // //	R.C. element 177 Footing 177 // // //	0 // // // // //	0.032 0.033 0.054 0.077 0.065 0.092	9 ●
6φ@50 // 6φ@25 6φ@50 6φ@100 6φ@50 // 6φ@25 6φ@50 6φ@100 6φ@50 // — — 6φ@50 // //	2530 //										

(): Negative loading