

[110] 鉄骨鉄筋コンクリート構造柱脚部の応力伝達機構について

正会員 若林 實（京都大学防災研究所）
 正会員 南 宏一（大阪工業大学工学部）
 正会員 ○ 西村泰志（大阪工業大学工学部）
 正会員 辻田耕一（前田建設工業 技術研究所）

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。しかしながら現状では、その力学的挙動に関する実験的および理論的な研究はあまり行なわれておらず、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。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. 柱脚部における鉄骨部分の応力伝達に関する考察

鉄骨部分の柱脚部における応力伝達機構は図-1に示すように、(I)ベースプレートによる機構、および、(II)鉄骨母材による機構の2つに大別され、更に、前者(I)に対しては、(I-1)ベースプレートのてこ作用、および(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)鉄骨フランジの付着による作用、および、(II-2)鉄骨母材のてこ作用が考えられる。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。前者(I)の機構に影響を与える要因としては、ベースプレートのてこ作用による曲げ引張力に対するコンクリートの拘束力および、引張主筋とアンカーボルトの拘束力が考えられる。しかしながらこれらの効果に着目した研究は皆無である。一方、後者(II)の作用に関する研究としては、武田・高橋らの実験的研究があり、²⁾鉄骨母材のてこ作用による支圧力および支圧力に基づく摩擦力の影響は大きく、外力が小さい場合は、なんら補強することなく鉄骨母材のてこ作用による抵抗機構をもつ柱脚で十分であることが報告されている。この様な観点から、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一手法を提案したが、本報では、これらの応力伝達機構を実験的に解明しようとするものである。

3. 実験

試験体の実験変数は、作用軸力、引張側補強主筋量、および、アンカーボルトの有無の3種類が選択された。これらの実験変数の組合せによって計9体の試験体が計画された。なお、作用軸力はベースプレート直下の鉄筋コンクリート断面の中心圧縮塑性強度N₀の0, 0.1, 0.2の3種類、鉄筋コンクリート部分の引張主筋量はD16を2本、5本の2種類とし、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、22φのアンカーボルトが2本配置された。図-2に、試験体の断面および形状寸法を示す。表-1に、実験変数および実験結果、表-2に、材料の力学的特性を示す。載荷方法としては、図-2に示す様に、所定軸力を負荷した後、柱反曲点に対応する位置に水平力を載荷するものである。なお、全試験体とも、図-2に示すように鉄骨フランジ部分と鉄筋コンクリート部分との間にはくさび状の空洞が設けられている。

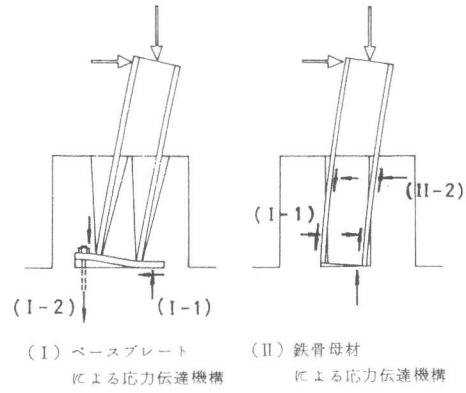


図-1 鉄骨柱脚部の応力伝達機構

(I) ベースプレートによる応力伝達機構

(II) 鉄骨母材による応力伝達機構

4. 実験結果および考察

4-1. 破壊状況

図-3に、ひび割れ状況の数例を示す。各試験体において、斜張力ひび割れ、あるいは付着割裂ひび割れの形成は見られたが、各試験体とも破壊に対して支配的な要因にならず、典型的な曲げ引張破壊の様相を呈した。

4-2. 変形性状

図-4は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 θ の関係を示す。縦軸は無次元化モーメント M/BD^2Fc を示す。

▼は初期曲げ引張りひび割れ、▽は付着ひび割れ発生荷重を示す。各試験体とも初期曲げ引張りひび割れの発生とともにベースプレートは回転し始めることが認められ、主筋量が多い程、また軸力比が高くなる程、最大耐力は大きくなる傾向にある。このことは、ベースプレートのてこ作用によって生ずる回転角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引張鉄筋を配置することによって鉄骨母材の耐力を發揮できることを示している。なお、軸力比の大きい試験体では、最大耐力以後の耐力の低下が著しい。アンカーボルトを有し

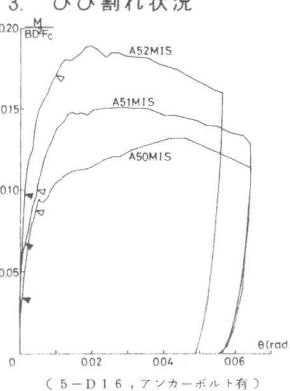
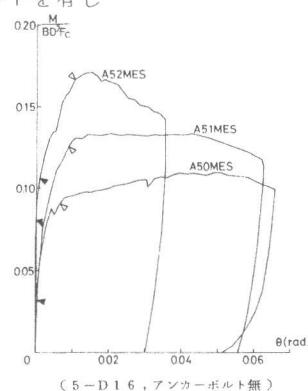
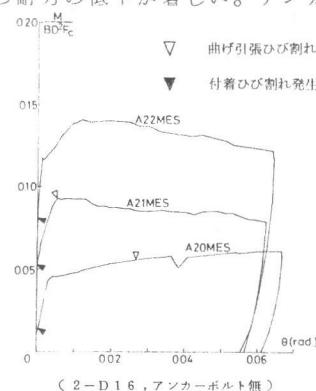


図-4. モーメント一回転角関係

表-1 実験変数および実験結果

試験体名	主筋量	アンカーボルトの有無	軸力(t)			コンクリート(kg/cm²)			実験結果(t·cm)			
			No	N	N/N ₀	F _c	F _t	F _t /F _c	M _{max}	M _{max*}	t _{Mcr}	b _{Mcr}
A20MES	4-D16	無	299	0	0	320	33.2	0.110	497	497	116	413
A21MES	(0.44%)		285	28.5	0.1	287	33.2	0.092	718	704	400	717
A22MES			256	51.2	0.2	254	26.9	0.106	971	915	549	—
A50MES			332	0	0	294	24.9	0.085	871	871	250	715
A51MES			375	37.5	0.1	342	30.2	0.088	1234	1166	700	1158
A52MES	10-D16	有	351	70.2	0.2	315	27.3	0.087	1459	1337	898	1423
A50MIS	(1.11%)		314	0	0	274	24.7	0.090	976	976	250	642
A51MIS			319	31.9	0.1	279	26.4	0.095	1138	1062	500	748
A52MIS			275	54.9	0.2	230	25.2	0.110	1174	1064	600	1060

表-2. 材料の力学的特性

	鉄骨			鉄筋		
	FL 12	FL 22	FL 25	D16	6φ	22φ
$\sigma_y(t/cm^2)$	3.051	2.609	2.349	3.401	2.211	2.881
$\sigma_u(t/cm^2)$	4.398	4.292	4.215	5.135	3.558	4.131
$\epsilon_u(%)$	37.03	44.29	47.08	30.50	36.41	41.93

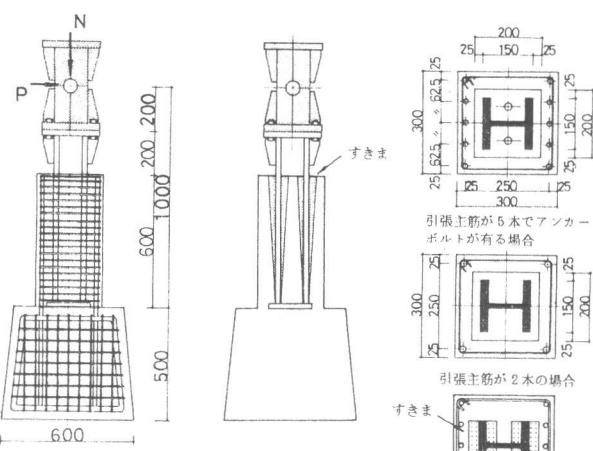


図-2. 試験体の断面および形状寸法

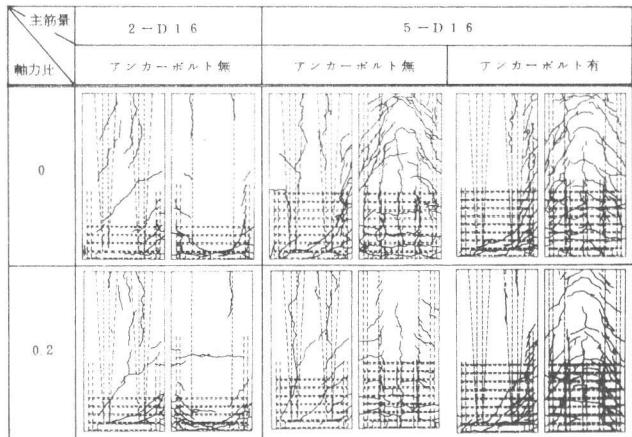
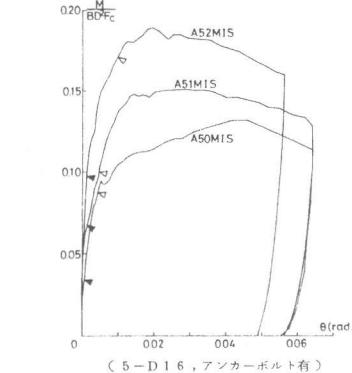


図-3. ひび割れ状況



(5-D16, アンカーボルト有)

M_{max} : 最大曲げモーメント
M_{max*} : 軸力による付加モーメントを考慮した最大曲げモーメント

t_{Mcr} : 初期曲げひび割れ発生曲げモーメント

b_{Mcr} : 付着ひび割れ発生曲げモーメント

た試験体は耐力およびベースプレートの回転性状に対してあまり影響を与えたなかった。

4-3 ベースプレートのひずみ状況

図-5に、ベースプレートの張出し部の鉄骨フランジより5mm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を示す。縦軸は水平荷重P、横軸はひずみ度 ϵ を示す。全試験体とも、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とともに曲げ作用が見られ、ベースプレート下面に生ずるコンクリート圧縮反力は相当大きいことを示している。しかしながら曲げ引張側の張出し部のひずみ測定値は、若干、不規則な値を示すが、曲げ圧縮側のような曲げ作用はほとんど見られず、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コンクリート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。

4-4 補強引張主筋のひずみ状況

図-6に、ベースプレート位置における補強主筋および補強主筋の軸方向のひずみの推移状況を示す。縦軸は荷重P、横軸はひずみ度 ϵ を示す。各試験体とも、曲げ引張側の主筋のひずみは荷重の増加とともに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、曲げひび割れ前において、ひずみの進行状況は反転し、最大耐力時付近では、むしろ引張ひずみが生じ、実験終了時には引張降伏を生じる場合が見られる。このよう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てこ作用によって、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ぼされているものと推察される。なお、補強主筋の軸方向のひずみ状況は、ベースプレート位置において急激に増加している傾向を示している。

4-5 ベースプレートの回転角と補強引張鉄筋のひずみおよび根巻きコンクリート部分の回転角の関係

図-7は、ベースプレートの回転角 θ_b に対する補強引張鉄筋のひずみ度 ϵ と根巻きコンクリート部分の回転角 θ_m の関係を示す。いずれの試験体においても、ベースプレートの回転角と補強引張鉄筋のひずみには相関性が見られる。主筋量が少ない場合には回転角に対する主筋のひずみは大きくなる傾向があり、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い。しかしながら主筋量が多い時には、圧縮域は大きくなることを示している。また、作用軸力が高くなる程、圧縮域が大きくなる傾向を示していることから、鉄骨柱脚部にある一定の軸力が作用した場合、鉄骨柱脚の応力は、根巻き鉄筋コンクリートを設けなくても、ベースプレート下面の鉄筋コンクリート断面に直接伝達されるものと推察される。

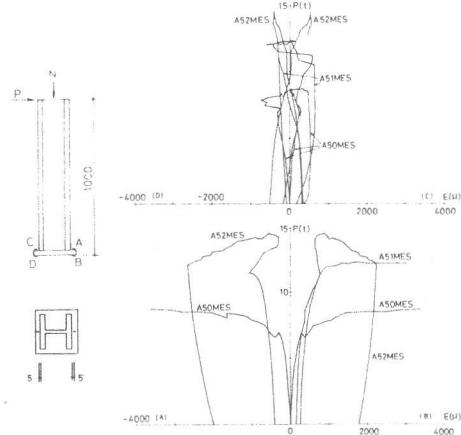


図-5. ベースプレートのひずみ状況

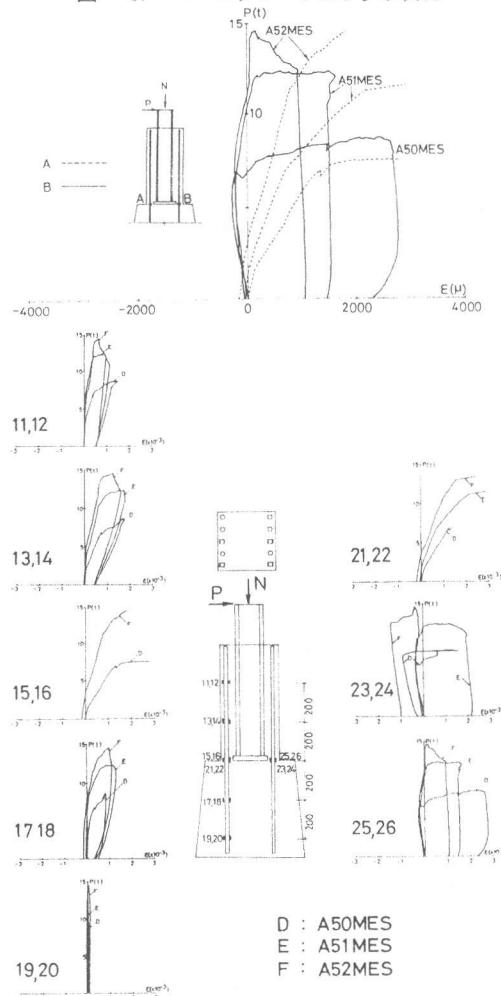


図-6. 補強主筋のひずみ状況

ベースプレートの回転角 θ_b と根巻きコンクリート部分の回転角 θ_m に関しては、ベースプレートの回転とともに根巻きコンクリート部の回転も生じるが主筋によって回転が拘束されるために、その回転量は小さい。しかしながら、その拘束力は主筋量が少ない程小さい。このことから、ベースプレート位置では平面保持の仮定は満足されず、鉄骨柱脚部のベースプレートのてこ作用による曲げ引張力は補強引張主筋に伝達され、その補強引張主筋を介して基礎部に伝達されるものと考えられる。

5. 崩壊機構およびその応力伝達機構

図-8(a)は、上述の実験結果の知見に基づいて求められるアンカーボルトのない試験体の崩壊機構の模式図を示し、図-8(b)～(d)は鉄骨母材、根巻きコンクリート部分、および、ベースプレート直下の鉄筋コンクリート部分に関する自由体の釣合を示す。鉄骨母材において、作用軸力 N および水平力 P は、ベースプレートのてこ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 $F_1 \cdot F_2$ で釣合う。すなわち、 $P = F_1 + F_2$ 、 $N = C_2 - C_1$ となる。なおこの釣合式において、ベ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。つぎに根巻きコンクリート部分においては、ベースプレートのて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って生じる圧縮力 C_3 および圧縮力にともなう摩擦力 F_3 によって釣合う。すなわち $F_1 = F_3$ 、 $C_1 = T_1 + T_2 - C_3$ である。また、ベースプレート直下の鉄筋コンクリート部分においては、ベースプレートのてこ作用による曲げ圧縮力 C_2 およびその圧縮にともなう摩擦力 F_2 は、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反力 C_3 およびその圧縮力にともなう摩擦力 F_3 によって釣合い、 $F_2 = F_3$ 、 $C_2 = T_1 + T_2 - C_3$ となる。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。

6. 結語

本実験により曲げを受ける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、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拘束する補強引張主筋を設けることによって鉄骨部分の応力を基礎部に伝達することは可能であり、このてこ作用に対して補強引張主筋量、および作用圧縮力の大きさは著しい影響を与えるがそれに対して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。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され、かつ鉄骨構造における根巻きコンクリートで補強された柱脚部に対しても直接適用できるものである。

7. 参考文献

- 1) 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 P.P. 171～176
- 2) 武田・高橋：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 P.P. 1915～1916
- 3) 若林・南・西村・辻田：鉄骨鉄筋コンクリート構造柱脚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 P.P. 1917～1920

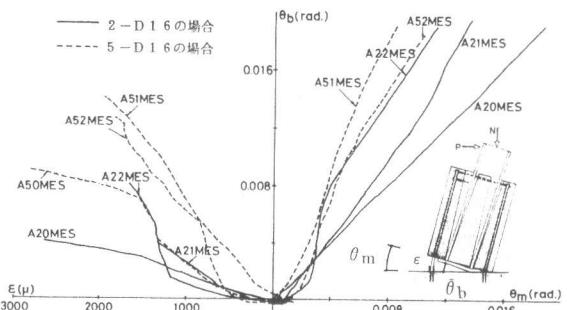


図-7. ベースプレートおよび根巻きコンクリートの回転角と補強主筋のひずみの関係

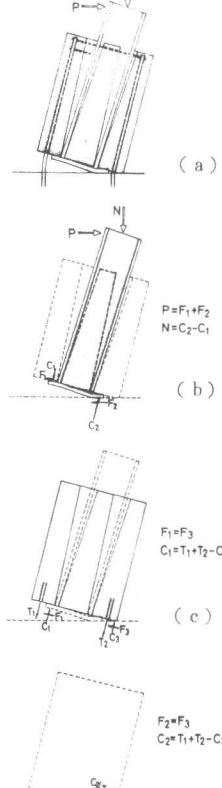


図-8. 崩壊機構とその応力伝達機構