

角形断面を有する合成柱(充てん方式)の耐荷力に関する基礎実験

大阪市立大学工学部 正員 中井 博, 阪神高速道路公団 正員の吉川 紀
(株)横河橋梁製作所 正員 寺田博昌, 同 上 正員 中村一平

1. まえがき これまでの鋼-コンクリート合成柱に対する研究は、主として建築構造物や鉄塔の分野で進められ、すでに基準化されている^{1),2)}。しかし、これらを土木構造物へそのまま適用するには、断面形状・寸法、構成の差異や作用荷重の相違などもあって問題があるように思われる。建設省土木研究所では円形断面の合成柱についての一連の実験を行い、土木構造物への適用法を検討してきている³⁾。筆者らは、今回、角形断面の合成柱を対象として、①軸方向圧縮力が作用した場合、補剛材の有無、スタッドジベルの有無により耐荷性にどのような差が出るか、また円形断面のようなフープ作用が期待できるかどうかについて理論的研究の検証として実験を行った。さらに、②曲げモーメントが作用した場合、合成柱の両端を密閉したり柱の全長にスタッドジベルを設けることにより(中間部は粗く、端部は密に)、鋼とコンクリートとの間のずれを拘束して十分な合成作用が得られるかどうか等について調べた。本文はそれらの結果を報告する。

2. 実験供試体 表-1に実験供試体の断面諸量を示す。

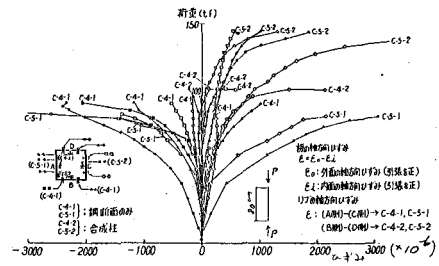
切断法で測定した板パネルの圧縮残留応力はC-1で約 $1,000\text{kgf/cm}^2$ ($\sigma_{rc} \approx 0.3\sigma_y$)、C-4,5で約 $1,700\text{kgf/cm}^2$ ($\sigma_{rc} \approx 0.47\sigma_y$)であった。

3. 圧縮実験 供試体製作に当っては、鋼管上下面に鋼板を取り付け、上面に設けた孔からコンクリートを注入した。その1日後、上面の鋼板とコンクリート打設面との空隙20mmの間を無収縮モルタルで充てんした。(1)充てんコンクリートの鋼板に及ぼす影響：鋼管柱ではまず鋼板の局部座屈が発生し、その後、強度が若干増加して破壊に至った。座屈モードもコーナー部では直角を保っており、各鋼板が単純支持とみなしてもよいことがわかった。一方、合成柱の場合、弾性状態ではコンクリートのポアソン比が鋼のそれよりも小さく、充てんコンクリートが鋼板の内側への面外変形を拘束する効果は小さいが、荷重増大に伴ってコンクリートが塑性化し、ポアソン比が増加するに従って効果が高まり、大幅な強度増加が得られた。したがって、合成柱が終局状態に至ったとき、鋼板のすべての面が外側に膨らむ座屈崩壊モードとなっており、周辺固定に近い境界条件で鋼板が局部座屈したことを示していた。(2)スタッドジベルの効果：この実験の場合、スタッドジベルはせん断力を伝達するものでなく、鋼板の外側への面外変形を拘束する効果を期待したものである。スタッドジベルには、最初から軸方向引張力が作用し、 $\sigma/\sigma_y = 0.8$ を越えたあたりから急激に増加する傾向を示した。コンクリートは圧縮状態にあるため、スタッドジベルとコンクリートとの間には通常の付着力以上の摩擦力による引き抜き抵抗力が働いていた。したがって、スタッドジベルはコンクリートから完全に抜けることなく、最後まで鋼板の面外変形を拘束していた。(3)補剛材の効果：補剛材は鋼板を補剛するとともに、合成後コンクリートとの付着力あるいは摩

表-1 実験供試体の断面諸量

		$B \times H \times t \times L$ (mm)	補剛材 ($t \times d$) (mm)	スタッド ジベル ($\phi \times L$) (mm)	A_s (cm^2)	A_v (cm^2)	備考
圧縮実験	C-1	200×200×45×800	—	—	—	—	充てん
	C-2	200×200×45×800	—	—	35.2	82.6	スタッドジベル
	C-3	200×200×45×800	—	14×330 (72)	—	—	充てん
	C-4	250×250×82×800	32×42	—	38.1	119.9	スタッドジベル
	C-5	320×320×32×800	32×51	—	46.9	172.5	スタッドジベル
曲げ実験	B-1	200×200×45×2000	—	—	—	—	充てん
	B-2	200×200×45×2000	—	—	35.2	82.6	スタッドジベル
	B-3	200×200×45×2000	—	—	—	—	充てん
	B-4	200×200×45×2000	—	14×330 (72)	—	—	充てん

擦力を取らせ、鋼板の面外変形を防止することが期待される。また、補剛材の剛度が小さい場合でも、充てんコンクリートによる剛度の増加、特にねじり剛度の増大が期待できる。これを調べるため、図-1はC-4,5の中央断面における板パネル中央および補剛材先端から10mmの位置における荷重-ひずみ曲線を示したものである。補剛材剛度に関係なく中央断面のすべての板パネルが正の曲げひずみを受ける座屈モードを呈した。



このことから、3.(1)で述べたように補剛板の板パネルは周辺固定に近い境界条件で局部座屈したと考えられる。局部座屈発生後の強度増加も鋼管柱よりかなり大きかった。(4)圧縮耐荷力：表-2に耐荷力の実験値と計算値とを比較したものを示す。合成柱の場合、コンクリートよりも、鋼板の強度が耐荷力に対して支配的になると思われる。図-2は実験から得られた板の強度と文献⁴⁾による耐荷力曲線を比較したものである。鋼管柱は道示、合成柱は周辺固定の境界条件のもとでの座屈係数を用いた。

表-2 耐荷力の実験値と計算値との比較

供試体	鋼管	鋼板	計算値 (道示)	計算値 (周辺固定)	実験値	実験値
			P_{ex}	P_{ex}	P_{ex}	P_{ex}
C-1	1	750	750	1071	1.16	0.70
C-2	1	773	773	1071	1.20	0.72
C-3	1	1513	1513	1442	1.05	0.85
C-4	1	1540	1540	1442	1.07	0.86
C-5	1	1725	1725	1442	1.20	0.97
C-6	1	1442	1442	1442	1.04	0.84
C-7	1	1708	1708	1442	1.18	0.95
C-8	1	1725	1725	1442	1.20	0.97
C-9	1	963	963	1249	1.19	0.73
C-10	1	2100	2100	2240	0.94	0.87
C-11	1	896	896	1597	1.34	0.56
C-12	1	2120	2120	2240	1.00	0.83

注) 計算値は道示、周辺固定により求めた。
() 内は鋼板は軸力を受ける場合

4. 曲げ実験 純曲げ区間と曲げとせん断力が同時に作用する区間を持つように、2点荷重を4等分点に載荷した。供試体は全長(L) 2.2m、支間長(ℓ) 2.0mとした。(1)曲げモーメント-曲率曲線：

実験値と計算値とを比較したものを図-3に示す。実験値は計算値より小さいが、その傾向は類似している。したがって、供試体は計算値に近い曲げ剛性を示している。また、スタッドジベル、端部拘束の有無にかかわらず全体的に類似の挙動を示しており、本実験からは大きな差異は認められない。(2)合成作用：合成作用を支間中央断面の鉛直方向のひずみ分布で調べてみると、いずれも直線的なひずみ分布を示した。また、中立軸は引張部分のコンクリートを無視した弾性計算による中立軸位置とは一致していた。ずれ量も合成作用に影響を与えるほど大きいものでなく、自然付着によっても十分な合成効果が得られることがわかった。(3)曲げ耐荷力：スタッドジベル、端部拘束の有無にかかわらず、各合成柱の曲げ耐荷力の差異は認められなかった。

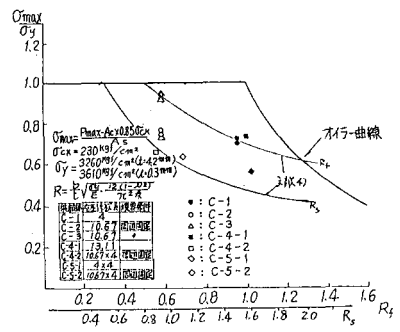


図-2 板の耐荷力

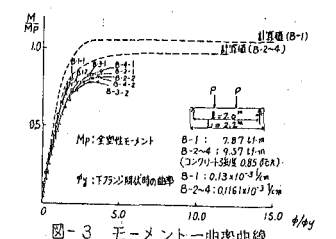


図-3 モーメント-回転曲線

5. まとめ 土木構造物への合成柱の適用の可能性が十分に判明した。今後は、実用化に向けて細部構造の設計法について研究する必要がある。

参考文献：1) 日本建築学会：鋼管コンクリート構造計算規準同解説(556年2月)，2) 送電線建設技術研究会：コンクリート充てん鋼管鉄塔施工研究報告書(1973年6月)，3) 佐伯他：コンクリートを充てんした鋼製脚、道路(1982年12月)，4) 中井他：コンクリートと充てんした鋼製角形柱の鋼板要素の一設計法、土木学会論文集第356号(560年4月)