

コンクリート充てん鋼管の圧縮実験

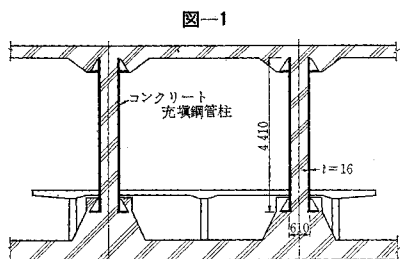
—特に支承板形式の柱頭、柱脚について—

渡 辺 健*・阿 部 一 孝**
齋 藤 政 義***・田 川 健 吾****

1. はじめに

鋼管内にコンクリートを充てんし、構造材として用いようとする試みは、すでに数年前から実施¹⁾されてきたが、最近になってその力学的特性がほぼ解明され、軸方向圧縮力が、曲げモーメントにくらべて卓越する場合には、非常に大きな耐力およびじん性を持つことが認められ、高層建築や地下構造物の柱などに有望な構造材と目されている。

この実験は、図-1 に示すような地下鉄停車場の柱として、実際に設計したものについて、つぎのような事項を目的に、純圧縮載荷試験を行なったものである。



- (1) コンクリート充てん鋼管の応力性状を調べ、従来の累加強さ式²⁾の妥当性を確かめる。
- (2) コンクリート板体との接合部（支承板形式）の応力性状を調べ、その安全性を確かめる。
- (3) 支承板下のコンクリート支圧応力をみる。
- (4) 美観上、桁面から支承板が突出しない鋼管柱を開発すること。

2. 実験計画

- * 正会員 帝都高速度交通営団建設本部設計部設計第1課長
** 正会員 日本鋼管KK加工製品部構造技術開発室課長
*** 正会員 日本鋼管KK加工製品部土木製品課係長
**** 正会員 日本鋼管KK技術研究所鋼構造研究室

写真-1 柱脚部

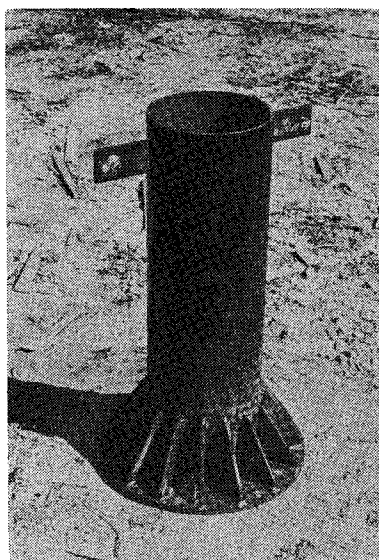


写真-2 柱頭部



(1) 試験体

実験に用いた試験体は、実際に設計したものの約 1/3 模型で、写真-1, 2 に示すように、鋼管柱の柱脚部と柱頭部に注目して、別個の 2 種の試験体とし、それぞれ 3 体宛、合計 6 体につき実験を行なった。図-2, 3 は、柱脚部および柱頭部試験体の縦断面図で、図-4 に両者の横断面図を示す。

試験体の各材料について別に素材試験を行ない、材料定数を求めた。これらを 表-1, 2, 3 に示す。

(2) 荷重装置

実験は、横浜国立大学建築学科の構造物試験フレームおよび油圧ジャッキ (120t・容量 2 本) を用いて行なった。荷重装置を 写真-3 および 図-5 に示す。

図-2 柱脚部

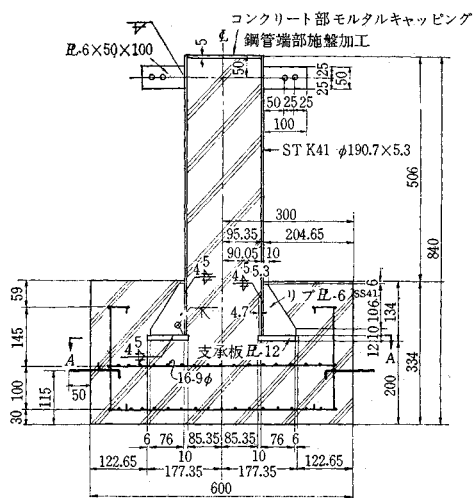


図-3 柱頭部

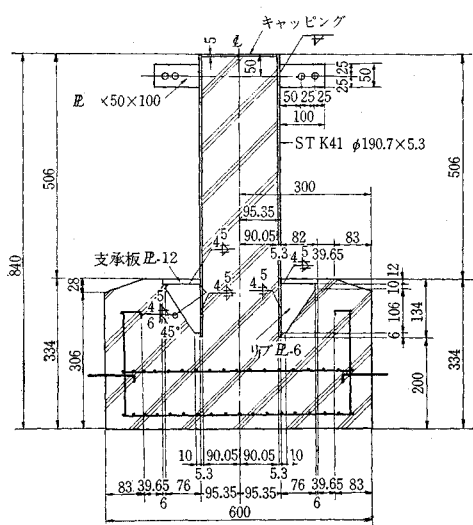


図-4

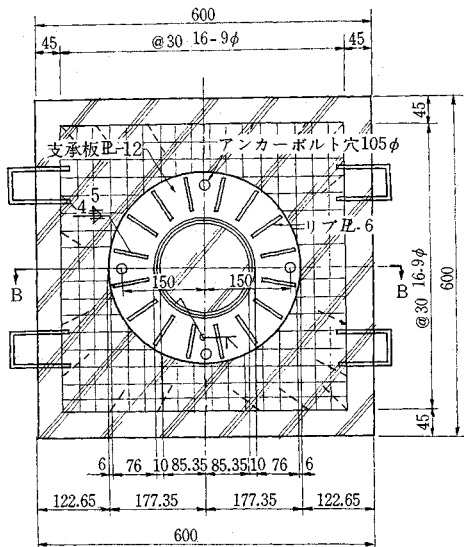


表-1 鋼材

	材質	降伏点 (t/cm ²)	ヤング係数	引張強さ (t/cm ²)	伸び (%)	備考
鋼管	STK-41	3.89	2.13×10 ⁶	4.89	32.8	試験片12号
リブプレート	SS-41	3.03	2.07×10 ⁶	4.48	23.7	1号
支承板	SS-41	2.76	1.96×10 ⁶	4.36	31.4	1号

表-2 モルタル

セメント	早強ボルトランドセメント (大阪セメント製)
砂	標準砂使用
配合	1:2
水セメント比	55%
フロー値	15.4 cm (JIS R 5201 による)
圧縮強さ	425 kg/cm (JIS R 5201 による)

表-3 コンクリート

セメント	早強ボルトランドセメント (大阪セメント製)
骨材	最大粒度 10 m/m
スランブ	10 cm
ヤング係数*	2.0×10 ⁵ kg/cm ² (σ=0~70 kg/cm ²)
圧縮強さ	188 kg/cm ² (シリンドラ φ100×200 8体の平均値)
養生	20°C 恒温室にて 7~10° 養生

* セカンドモデュラス

偏心圧縮による曲げモーメントの影響をさけるため、試験体頭部 (ピン部) は、鋼管を旋盤仕上げとしモルタルにてキャッピングを施し、かつ球座を試験体に固定して、常に荷重の作用線が鋼管材軸に一致するよう留意した。

(3) 測定量

測定量は、ダイヤルゲージによるコンクリート充てん鋼管の圧縮量 (図-6 参照)、コンクリートゲージ (仮称・図-7, 写真-7 参照) による支承板下コンクリート支圧応力、およびワイヤストレンゲージによるリブプレートおよびその周辺のひずみの 3 種を採った。

写真-3



図-5 試験体

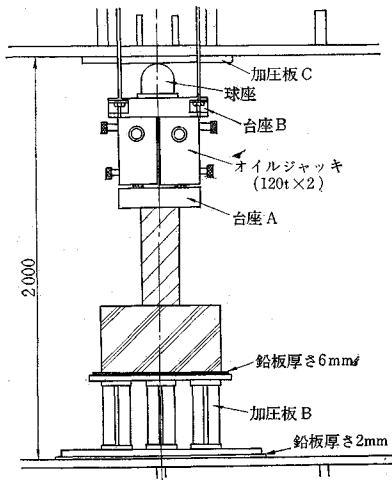
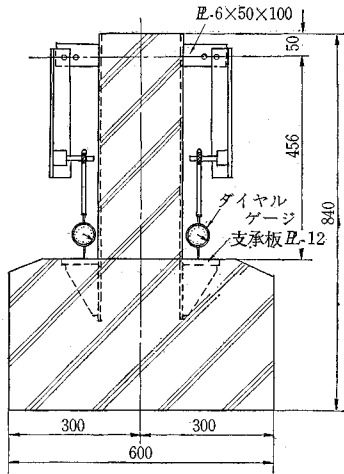


図-6



コンクリートゲージは、ロードセルの原理にもとづき考案、作製したものであるが、あとに述べるように、実用上、十分な精度で作動したようである。

写真-4

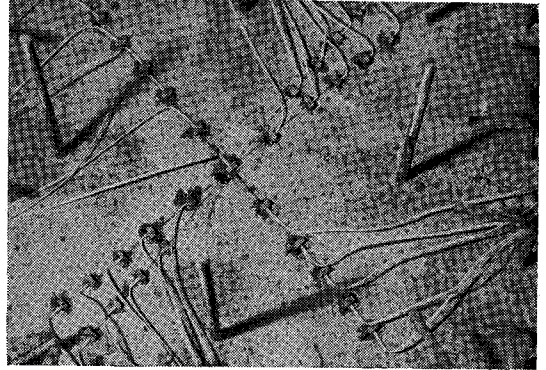
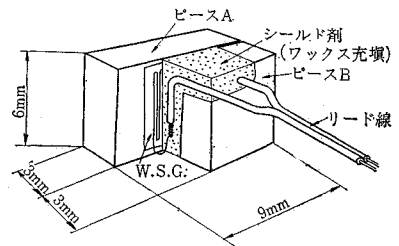


図-7 コンクリートゲージ切欠断面



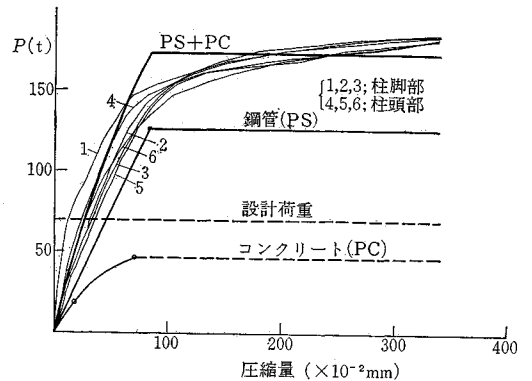
3. 実験結果とその考察

(1) コンクリート充てん鋼管

既往の研究^{3),4)}によれば、コンクリート充てん鋼管は、その短柱圧縮に対して、鋼管の弾性範囲内で、ヤング係数に応じて荷重を分担した合成柱として働き、鋼管が降伏した後の最大耐力は、鋼管とコンクリートとの累加強さで押えることができる。

今回の実験では、純圧縮荷重に対してコンクリート充てん鋼管の圧縮量を測定し、荷重-圧縮量曲線を求めた。結果を図-8に示す。図中、細実線による曲線が実験値を示し、添付番号は、試験体番号 (No. 1, 2, 3 が

図-8



柱脚部試験体、No. 4, 5, 6 が柱頭部試験体を示す) に対応している。図-8 に、別に求めた鋼管とコンクリートの素材試験の結果より、それぞれ単独の荷重-圧縮量曲線を計算して、太実線で書き入れた。この際、鋼管については、引張試験の結果を代用し、その降伏点以降については、立上がり勾配が0の塑性流れを仮定した。またコンクリートについては、そのシリンダーテストにおける荷重-圧縮量曲線をスケール調整して書き入れ、破壊荷重以降は、鋼管と同様に塑性流れを仮定した。いま、コンクリート充てん鋼管の平面保持を仮定し、かつその円周方向および半径方向応力の影響を無視して、同一圧縮量線上で、両者を単純に加えあわせた曲線を描き、この曲線により、コンクリート充てん鋼管の荷重-圧縮曲線を表わすと、弾性域では、いわゆる合成柱のつぎの関係式

$$P = P_s + P_c = \epsilon_n E_s A_s + \epsilon_n E_c A_c = \epsilon_n E_s \left(A_s + \frac{A_c}{n} \right) \dots\dots\dots(1)$$

ここに、

P : 荷重

P_s, P_c : 鋼管, コンクリートの荷重分担分

E_s, E_c : 鋼管, コンクリートのヤング係数

A_s, A_c : 鋼管, コンクリートの断面積

ϵ_n : 材軸方向のひずみ量

n : ヤング係数比

に対応し、終局状態では、いわゆる累加強さ式に対応する。図-8 にこの合成曲線を太実線で併記したが、実験曲線とかなりよく一致している。鋼管の荷重-圧縮量曲線として、圧縮実験によるものを与えれば、さらによく一致するものと思われる。

コンクリート充てん鋼管の最終形状は、写真-5, 6 に示すように、柱の根元と先端近くに互いに反対側に局部変形が生じ、全体としては、図-9 のように変形して最大荷重 (200 t 前後) に達した。荷重をいったん下げ再度載荷したが、前回最大荷重を上まわる載荷能力を示し、じん性はいちじるしく大きい。なお、除荷後ガス切断により鋼管を縦に割り内部コンクリートを観察したが、局部変形を生じた部分は、写真-7 のように粉体となって充てんされており、

写真-5

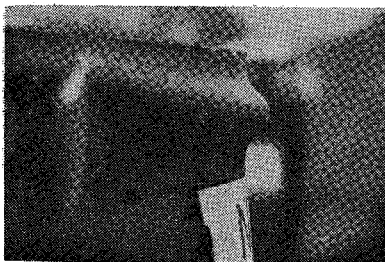


写真-6



図-9

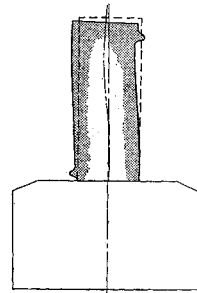


写真-7

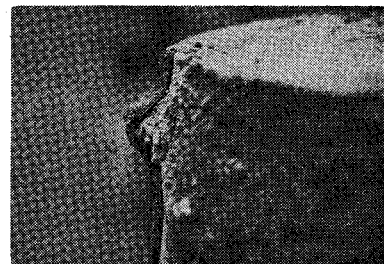


図-10

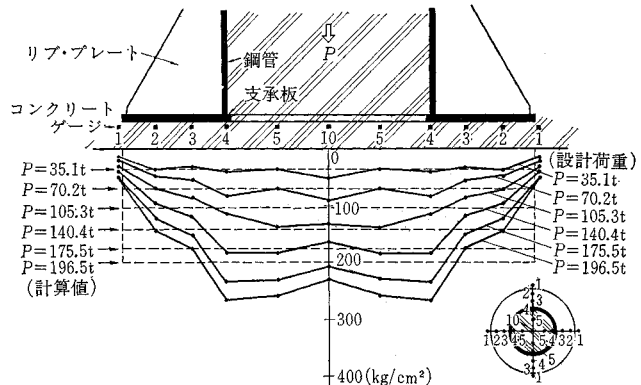


表-4 (単位: t)

荷 重	コンクリート支圧応力のゾーン (測点番号で示す)					合 計
	1~2	2~3	3~4	4~5	5~10	
35.1	9.1	9.1	7.8	7.2	2.2	35.4
70.2	11.9	14.7	14.8	14.4	4.7	60.5
105.3	17.7	22.0	21.5	24.1	8.7	94.0
140.4	23.8	30.4	32.5	35.3	11.3	133.3
175.5	29.8	38.3	41.2	44.6	14.2	168.1
196.5	33.6	45.1	47.5	50.6	15.9	192.7

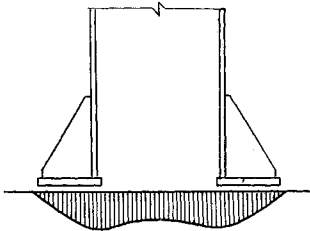
その他の部分は全く損傷が認められなかった。また、文献⁹⁾でいう除荷後の内部コンクリートのむくりも観察された。

(2) コンクリート支圧応力

先に述べたコンクリートゲージを用いて、柱脚部試験体の支承板下コンクリートの支圧応力を測定したが、その結果を図-10に示す。図-10は、半径方向に対応する4個の測定点を平均し、荷重 P に対してプロットしたもので、点線で示した値は、荷重 P をベースの全断面積で除した値で、いわば設計値である。表-4は、この支圧応力分布曲線をベースの全面積で積分し、荷重 P とのつりあいをみたものである。積分は、各測点間を直線で近似したが、分布形が中央部分で凸なため、過少評価になっていると思われる。表-4の値は、このことを考えるとよく一致しており、コンクリートゲージは、かなり精度よく作動したと思われる。

図-10をみると、 $P=70t$ (設計荷重) 程度までは、支圧応力分布はほぼ均等分布で、特定箇所に応力が集中するようなことはない。荷重の増加とともに、鋼管直下付近の支圧応力が增大する傾向がみられ、支圧応力の分布形は、図-11のような形になる。また、コンクリート支圧応力の最大値は 300 kg/cm^2 近くに達しており、シリンダーテストでは 200 kg/cm^2 足らずで、もちろん破壊したのにくらべて対称的である。これは、支承板近くのコンクリートが、周辺コンクリートの拘束を受けて3軸応力状態になっているためと考えられる。

図-11



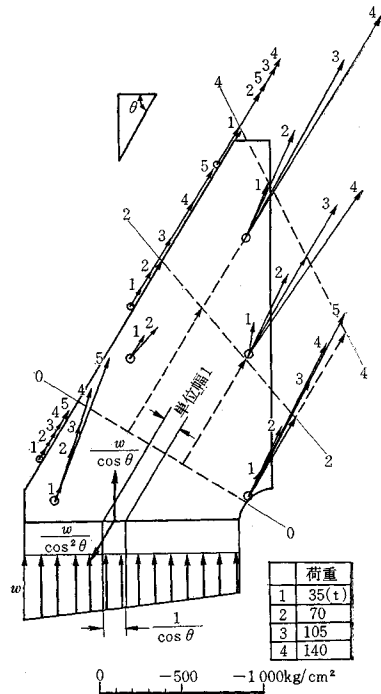
(3) リブプレートの応力

支承板、リブプレートおよび鋼管の間の応力伝達機構を調べるため、各部にワイヤストレーンゲージをは

り、そのひずみを測定したが、この部分は、形が複雑なうえコンクリートと一体となっているため、種々の要因が影響しあい、明確な事実は見つめなかった。ただ定量的には、各部分とも累加強さ式による鋼管分担分で計算した量より測定値が大幅に小さく、かなり安全側に収まっていると考えられる。

図-12は、リブプレートの両面と、りょう線上にそれぞれ3軸、単軸のワイヤストレーンゲージをはり、各部の面内応力を求めたものである。各測定点に記した矢印は、その点の主応力の方向と大きさを示し、数字は荷重の段階を示す。図-12によれば、リブプレート内主応力は、そのりょう線の方向に大体平行で、大きさは、鋼管壁の近くでほぼ一様となる。図中の点線による矢印は、支承板に働らくコンクリート支圧応力を一様と仮定し、2枚のリブプレートにかこまれた扇状受圧面に対応した台形の反力分布(図中の w)を用いて、次式により計算した値である。

図-12 リブ面内応力



$$\sigma = \frac{w}{t \cdot \cos^2 \theta} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、

σ : リブプレートのりょう線方向応力度

t : リブプレートの板厚

式(2)は、リブプレートをりょう線に平行な短冊形の集合と考えて、その単位幅の短冊形に作用する応力 $\frac{w}{\cos^2 \theta}$ を板厚で除して得たものである。

実験値の分布性状は、式(2)による計算値に良く一致しているが、量的には全体的に計算値を大幅に下回り、特にりょう線上でいちじるしい。これは先にみたように、支承板下のコンクリート支圧応力が周辺ほど小さいこと、リブプレートの間につまっているコンクリート自体がリブとして多少働いていることなどのためであろう。

4. おわりに

以上の実験結果およびその考察をもとに、本実験で得られた結論をつぎに掲げる。

(1) 純圧縮荷重に対して、コンクリート充てん鋼管の終局耐力は、累加強さで表わすことができる。また、累加強さをもとに設計した支承板形式の柱脚、柱頭部が、所定の耐力をもつことが確かめられた。

(2) 支承板下のコンクリート支圧応力は、設計荷重程度まで、特にある箇所に集中するようなことはなく、大体設計値あたりに等分布する。しかし荷重がさらに増大すると、鋼管壁の真下付近の支圧応力が増大する傾向がみられる。

(3) リブプレート面内の主応力の方向は、大体りょう

線に並行となり、その分布形は、ほぼ均等となる。また、量的にみると、りょう線に並行な短冊形の集合と考えた計算値を大幅に下まわる。

今回の実験では、リブプレート周辺の応力伝達機構について、深く追求するに至らなかったが、今後、構成要素相互の関係を単純化した模型について実験を行ない、より詳細に調べたいと考えている。

本実験を行なうに当って、横浜国立大学 田口教授をはじめ同研究室の方々に御指導を仰ぎ御力添えを得た。紙上を借りて、厚く感謝する次第である。

参考文献

- 1) たとえば、鳴戸海峡横断送電鉄塔
日本鋼管(株)福山製鉄所工場建家
地下鉄 池袋駅、新宿駅
- 2) 日本建築学会：“鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準”第16条、同解説
- 3) 仲他：“コンクリート充てん鋼管の圧縮強さ”，建築学会論報，69号
- 4) 網本克己：“鋼管とコンクリートの合成柱について”，土木学会誌，46-8号
“コンクリート充てん鋼管に関する実験的研究” (IV 偏心圧縮)
山田他：建築学会論報，40年大会号

(1966. 4. 13・受付)

朝倉土木工学講座 全22巻

大学・短大・工専の土木工学科学生、官公庁・会社の土木・建築技術者のために、発展いちじるしい土木工学の基礎から応用までにとり、第一線に活躍する研究者・技術者26氏が協力、理論的に体系だてて解説した待望の新講座。〔全22巻・好評刊行中。〕

- 〈最新刊〉第15巻「交通計画」 小川博三著 価1100円
 〈1回配本〉第5巻「土質力学」 赤井浩一著 価1200円
 〈2回配本〉第17巻「河川工学」 吉川秀夫著 価1300円

ラーメンの実用的解法

■ギヤー原著 / 京大教授 金多潔 吉田建築 金田由紀子訳
 工学博士 事務所 事務所
 不静定構造物の解析に広く用いられているモーメント分配法について、内容をすべてメートル法に換算し、土木・建築構造物が種々な荷重や変形を受けたときの応力を算出する実用的な解法など、モーメント分配法の基本原理の解説からいろいろな場合における具体的な応用例にわかりやすく解説した待望の指針。★A5判 408頁 価 2400円 (好評発売中)

コンクリート工学ハンドブック

近藤泰夫・坂 静雄 監修 価5800円

コンクリート 工業材料規格便覧

日本材料学会編(1965年版) 価1800円

基礎工学ハンドブック

村山朔郎・大崎順彦 編 価4000円

水資源ハンドブック

安芸岐一・多田文男 監修 価3800円

地下工学

酒井軍治郎 著 価2300円

河川工学

山本三郎 編 価2000円

水力工学

板谷松樹 著 価1500円

図書目録
進呈

朝倉書店

東京都新宿区東五軒町5-5
 振替 東京8673 電 (260) 0141