

地下駅新型合成鋼管柱の開発

DEVELOPMENT OF NEW TYPE CONCRETE-FILLED TUBULAR STEEL COLUMN ON UNDERGROUND RAIL STATION

青木一二三¹⁾・木村光夫²⁾・磯谷篤実³⁾

Hifumi AOKI, Mitsuo KIMURA and Atsumi ISOGAI

Concrete-filled tubular steel columns are generally used as center piles in underground rail station constructed by open cut method. However, as underground rail stations tend to be constructed at deeper place below the ground, the axial force over the column tends to increase, and due to the increase of steel pipe thickness and a size of bearing plate cost becomes a problem. Therefore, to lower costs, we suggest a new type concrete-filled tubular steel column.

This article reports that the result of specimen loading test at a reduction model to confirm a validity of an investigation and suggestion by analysis. Also according to the results of the test we will suggest a method of design of concrete-filled steel columns.

Key Words: underground rail station, new type concrete-filled tubular steel column, high-strength filled concrete, local bearing stress, seismic design

1. はじめに

地下駅の設計に際しては、地下空間を確保するために、構造上中間柱を設置しており、ホーム階、コンコース階等の乗降客で混雑する場所には空間を有効に利用するため、鋼管内にコンクリートを充填して合成構造とした合成鋼管柱が多く用いられている。また、この合成鋼管柱の上下端には、軸力を支圧コンクリート（縦桁）に滑らかに伝達するため、鋳鋼製の支圧板が取り付けられている。

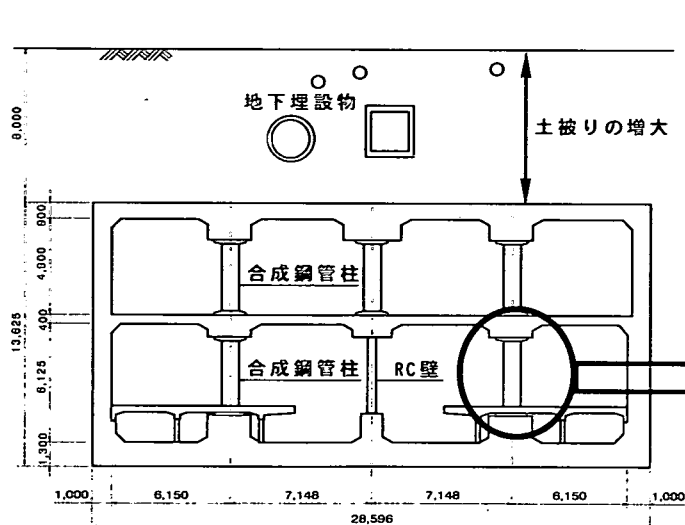
近年の都市部における地下駅は、大規模な地下埋設物を避けるため、ますます大深度化の傾向にあり、土被りの増大によって柱1本にかかる軸力が増加してきていることに加え、阪神・淡路大震災以降の耐震設計とも相まって、鋼管の厚肉化と支圧板の大型化が顕著になってきている（図-1、2）。

このため、経済化を図る目的で、従来型¹⁾から充填コンクリートの強度と支圧板形状を変更した新型合成鋼管柱の開発を行った。

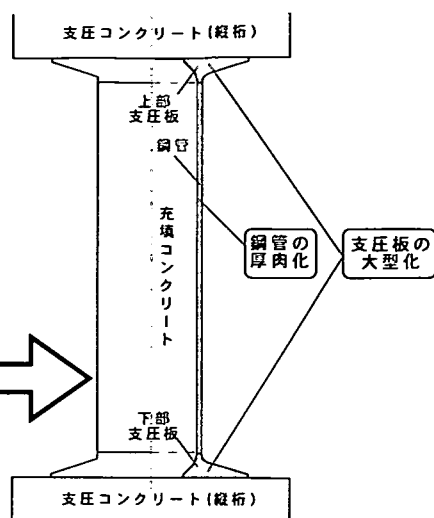
2. 新型合成鋼管柱の着目点

- ① 材料強度の変更：地下駅の中間柱は、軸力が支配的な部材であることから、充填コンクリート強度を従来の 24 N/mm^2 から 50 N/mm^2 に上げてコンクリート部分の耐荷力を増加させ、相対的に鋼管部分の薄肉化

1) 正会員 日本鉄道建設公団 設計技術室 補佐
2) 正会員 日本鉄道建設公団 東京支社 横浜鉄道建設所 所長
3) 正会員 日本鉄道建設公団 東京支社 浅草鉄道建設所 所員



図－１ 地下駅一般図



図－２ 合成鋼管柱部材名称

を図る。

- ② 設計方法の変更：支圧板の設計においては、支圧板の外径に比べ、支圧コンクリートの幅が大きいことから、従来における全面载荷の許容支圧応力度に対して、支圧コンクリートの局部载荷割増を考慮した許容支圧応力度を用いることで、支圧板の小型化を図る。
- ③ 市場原理の導入：支圧板の形状の特許²⁾外とするとともに、鋼管の材質についても溶接用遠心力鋳鋼管（SCW-CF）から一般構造用炭素鋼管（STK）も使用可能とすることで、市場原理の導入を図る。

3. 载荷実験の実施

(1) 実験概要

実験は、新しい合成鋼管柱の設計方法の妥当性を検証するとともに合成鋼管柱の耐震設計方法を提案するための基礎資料を得ることを目的として、従来型と新型の合成鋼管柱を比較検討する方法で実施した。

新型合成鋼管柱のコンセプトの妥当性を確認するために、実験により、以下の事項を検討した。

- ① 従来型と新型の軸力に対する耐力の比較
- ② 支圧分布に対する予備解析（FEM解析）と実験値との比較
- ③ 合成鋼管柱の変形性能
- ④ 支圧板の回転剛性（ $M-\theta$ 関係）
- ⑤ 地震により大変形を生じた合成鋼管柱の補修後の力学的性状

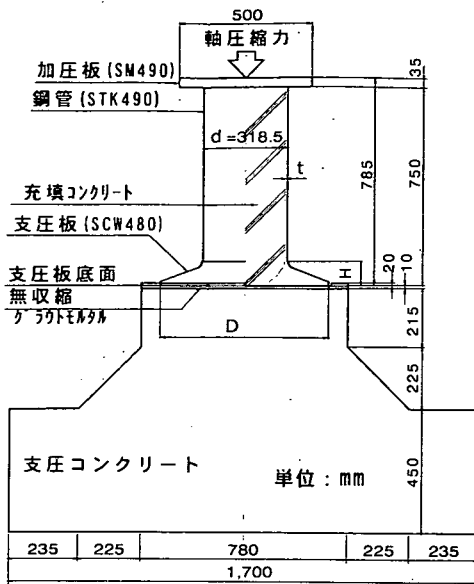
実験では、従来型と新型の合成鋼管柱の縮小モデルを作成し、常時荷重に対応する鉛直载荷実験と地震時荷重に対応する水平交番载荷実験を行った。

試験体は、1/2.5 縮尺によるハーフモデルで充填コンクリート強度や支圧板外径を変化させ、各载荷実験で4体ずつ作成し比較を行った（表－1、

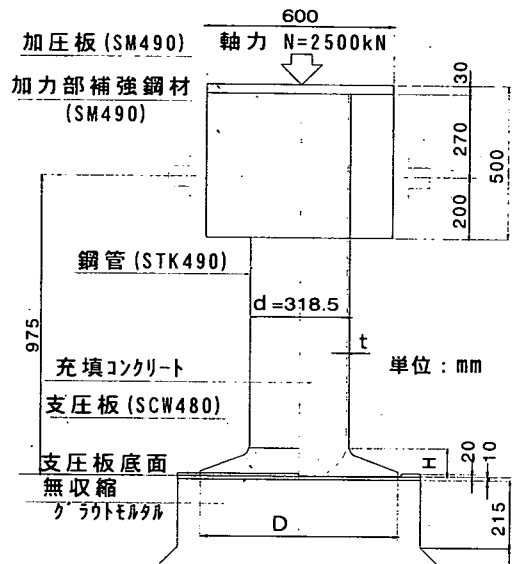
表－1 試験体一覧

項 目	記号	単位	A1 B1	A2 B2	A3 B3	A4 B4
鋼管径	d	mm	318.5			
鋼管肉厚	t	mm	9		6	
充填コンクリート強度	f' ck	N/mm ²	24		50	
支圧板外径	D	mm	635	520		450
支圧板厚さ	H	mm	92	79		66
支圧コンクリート強度	f' ck	N/mm ²	24			
許容支圧応力度	σ' ca	N/mm ²	8	12		16

- 備考 1) A1～A4：鉛直载荷実験用試験体
 2) B1～B4：水平交番载荷実験用試験体
 3) このうち、A1、B1が従来型



図－３ 試験体形状（鉛直載荷実験）



図－４ 試験体形状（水平交番載荷実験）

図－３，４）。

使用材料の素材試験結果を鉛直載荷実験および水平交番載荷実験について、それぞれ表－２，３に示す。

載荷方法は、鉛直載荷実験では、一方向の単調漸増載荷とし、最大耐力および破壊性状が確認できる変形量まで連続的に載荷した。一方、水平交番載荷実験では、定軸力制御装置を用いて常時荷重に相当する一定軸力（ $N=2.5 \times 10^3 \text{ kN}$ ）を作用させたまま、変位制御により正負交番載荷を行い、最大耐力および破壊性状が確認できる変形量まで載荷した。

(2) 実験結果

鉛直載荷実験の結果、充填コンクリートの強度を 50 N/mm^2 とし、鋼管の肉厚を薄くした試験体は、従来型の試験体（Ａ１）と比較して最大耐力には差が無く、長期設計荷重相当（ $2.5 \times 10^3 \text{ kN}$ ）の軸力に対して 2.8 倍の耐力を有していた（図－５）。また、支圧板から支圧コンクリートへの応力伝達は、応力分布が台形分布となっており、従来型（Ａ１）と新型（Ａ３）で大きな差は見られず、支圧板の小型化が可能であることがわかった（図－６）。

水平交番載荷実験の結果では、最大水平力の相

表－２ 素材試験結果（鉛直載荷実験）

部位	項目	単位	A1	A2	A3	A4
充填 コンクリート	圧縮強度	N/mm^2	23.4		49.3	
	弾性係数	$\times 10^4 \text{ N/mm}^2$	2.64		3.12	
支圧 コンクリート	圧縮強度	N/mm^2	28.3		28.3	
	弾性係数	$\times 10^4 \text{ N/mm}^2$	2.28		2.20	
鋼管 (STK490)	降伏点	N/mm^2	422		469	
	引張強度	N/mm^2	561		590	
	弾性係数	$\times 10^5 \text{ N/mm}^2$	2.03		1.91	
支圧板 (SCW480)	降伏点	N/mm^2	339		339	
	引張強度	N/mm^2	535		498	
	弾性係数	$\times 10^5 \text{ N/mm}^2$	1.96		1.96	

表－３ 素材試験結果（水平交番載荷実験）

部位	項目	単位	B1	B2	B3	B4
充填 コンクリート	圧縮強度	N/mm^2	23.9		49.8	
	弾性係数	$\times 10^4 \text{ N/mm}^2$	2.70		3.16	
支圧 コンクリート	圧縮強度	N/mm^2	28.4		28.4	
	弾性係数	$\times 10^4 \text{ N/mm}^2$	2.32		2.19	
鋼管 (STK490)	降伏点	N/mm^2	422		469	
	引張強度	N/mm^2	561		590	
	弾性係数	$\times 10^5 \text{ N/mm}^2$	2.03		1.91	
支圧板 (SCW480)	降伏点	N/mm^2	339		339	
	引張強度	N/mm^2	535		498	
	弾性係数	$\times 10^5 \text{ N/mm}^2$	1.96		1.96	

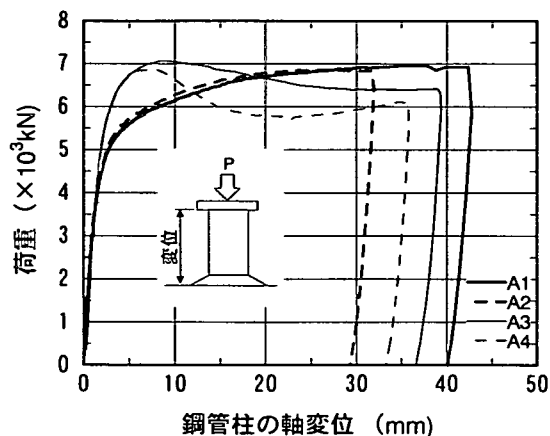


図-5 荷重と鋼管柱の軸変位の関係

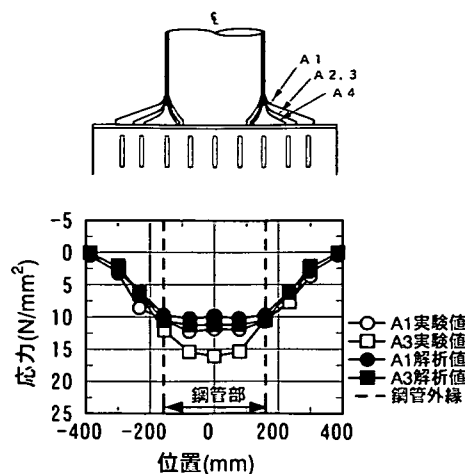


図-6 支圧コンクリートの応力度分布（桁直交方向）

違はあるものの、最大部材角まで、モーメントの低下が見られず、いずれも安定した変形性能を示し、充填コンクリートを高強度化することで、鋼管の薄肉化が可能であることがわかった（図-7、8）。また、支圧コンクリートは、繰り返し変形を与えてもほとんど損傷が無かった。

これらの結果から、充填コンクリートの高強度化による鋼管の薄肉化、支圧板の小型化は充分実用化が可能であることが確認できた。

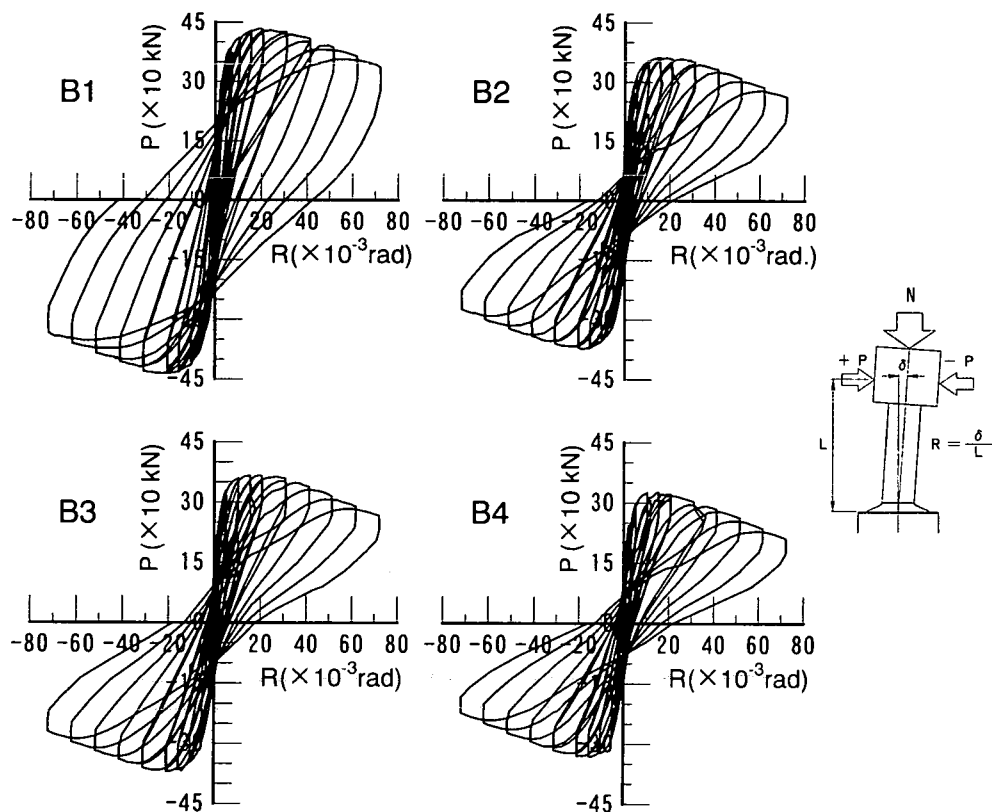


図-7 P-R関係

また、支圧板の回転剛性は、支圧板の大きさ(鋼管 45 度降伏時の支圧反力分布)と軸力から算定することができることがわかった(図-9, 10)。

さらに、合成鋼管柱が、大地震時に大きな相対変位を受けた場合の補修方法および補修後の力学的性状を把握するために、試験後の B 3 試験体について、変形した支圧板と支圧コンクリートの隙間に高

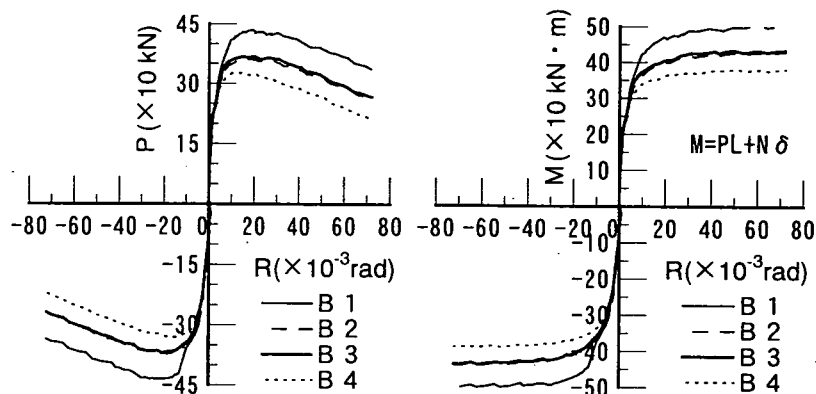


図-8 P-RおよびM-R関係(包絡線)

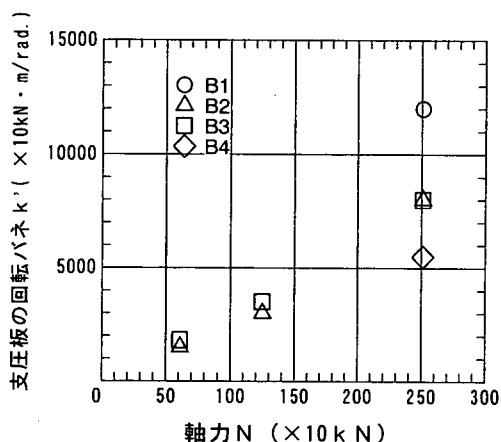


図-9 支圧板の回転バネと軸力の関係

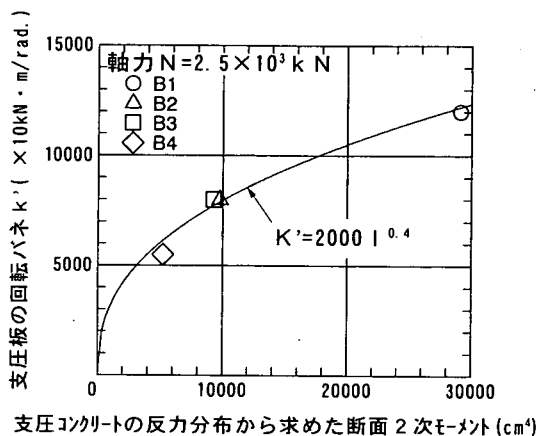


図-10 支圧板の回転バネと接地面積に対する断面2次モーメントの関係

強度無収縮モルタルを充填して補修を行い、再度水平交番載荷実験を実施した。部材角 70/1000rad.まで変位を与えたが、剛性、耐力、変形性能は1度目と差が無く、ほぼ健全な状態まで復元できることがわかった(図-11, 12)。

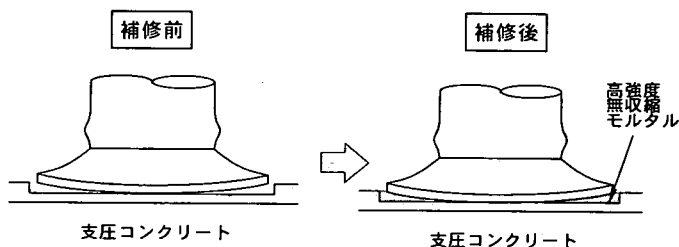


図-11 試験体の補修方法

(3) 実験結果のまとめ

本実験結果より、以下のことが言える。

- ① 充填コンクリートの強度を高強度化することで、鋼管の肉厚を薄くしても、従来と同等以上の性能を有しており、設計上問題はない。
- ② 支圧板の大きさは、従来型より縮小しても設計上問題はない。
- ③ 常時の鉛直荷重により諸元を決定した合成鋼管柱は、十分な耐震性能を有する。
- ④ 総合的に見て、A 3, B 3 タイプが、最適な形状であると判断される。

4. 設計手法の提案

実験結果に基づき、開削地下駅の合成鋼管柱の設計法を以下のように提案する。

(1) 常時設計

材端に支圧板を考慮した線形回転ばねを設定し、合成鋼管柱部材として、コンクリートと鋼管の合成した軸剛性および曲げ剛性（線形剛性）を設定する。鋼管肉厚は、充填コンクリートを考慮した累加強度法（単純累加式）により設計する。支圧板外径は、支圧コンクリートの局部載荷の許容支圧応力度を考慮して算出する。

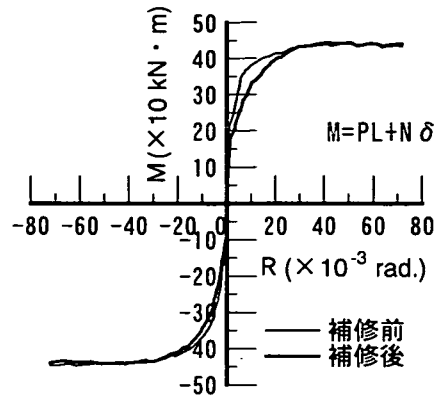


図-12 B3試験体のM-R関係（包絡線）

(2) 地震時設計

応答変位法により検討を行う。

① 中地震に対する設計

材端に支圧板を考慮した等価線形回転ばねを設定し、合成鋼管柱部材として、コンクリートと鋼管の合成した軸剛性および降伏曲げ剛性（等価線形剛性）を設定する。そして、合成鋼管柱の曲げ降伏耐力および支圧板の曲げ降伏応力度の照査を行う。

② 大地震に対する設計

本構造における合成鋼管柱は、支圧板の外径が大きく、また、軸力が大きいことため水平変位が生じたとき曲げモーメントが発生するが、上下端は固定されていないため、図-13に示すような構造解析モデルとなる。材端に支圧板を考慮した非線形回転ばねを設定し、合成鋼管柱部材として、コンクリートと鋼管の合成した軸剛性およびM-φ曲線（非線形剛性）を設定する。そして、合成鋼管柱の曲げ変形性能の照査を行う。

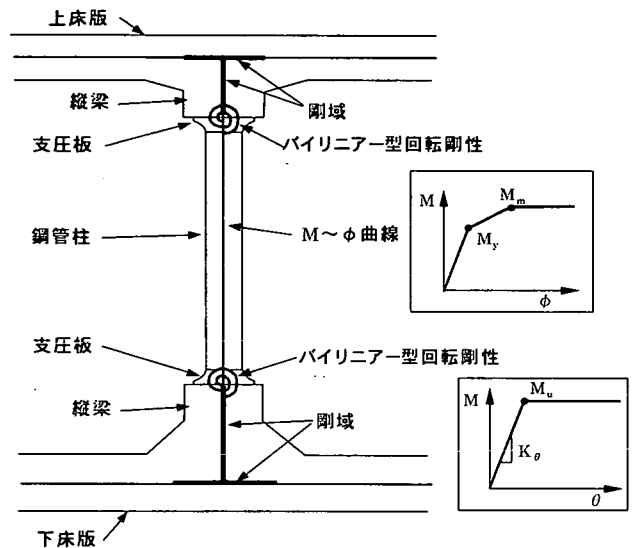


図-13 構造解析モデル

5. おわりに

今回の載荷実験の結果から、充填コンクリートの高強度化による鋼管の薄肉化、支圧板の小型化が可能であり、合成鋼管柱の経済化を図ることができることがわかった。

今後、今回提案した設計法に基づき、合成鋼管柱の設計を行い、実施工に反映させる予定である。

参考文献

- 1) 渡邊・木川・森崎：新しい地下構造用合成鋼管柱の開発，土木学会論文集 No.480/VI-21，pp.43～52，1993.12
- 2) 木川・森崎・渡邊：構造体用鋼管柱，特許出願公告，平 6-76711，1994