

鉄道構造物における CFT 柱の適用範囲拡大に向けた交番載荷試験に関する一考察

JR 東日本 正会員 ○黒田 智也
 JR 東日本 正会員 山口 慎
 JR 東日本 正会員 小林 一也
 JR 東日本 正会員 山田 正人

1.はじめに

コンクリート充填鋼管柱（以下，CFT 柱）は変形性能に優れ，施工時には型枠が不要となること等から工期短縮が可能である利点を有し，鉄道構造物においても用いられている構造形式である．この CFT の適用にあたっては設計式¹⁾（以下，設計式）が定められており，適用に当たっては部材の断面諸元等から決定される細長比パラメータ（以下， λ ）と，径厚比パラメータ(以下， R_t)，軸力比パラメータ(以下， N'/N'_y)が定められており，このパラメータの範囲を超える場合は別途検討を行い CFT 柱の評価を行わなければならない．

最近，新たな事業空間の創出に向けて線路上空に地盤を構築する工事や既設構造物の改良工事等において高い耐震性を有し，狭隘な空間に施工が可能な柱構造が求められている．こうした施工条件の厳しい箇所に CFT を適用する場合は，設計式の適用条件となっている部材パラメータの制限をうけることが多い．そこで本研究では設計式の適用条件となっている部材パラメータを超える断面諸元を有する CFT 試験体について，水平交番載荷試験を行い設計式の適用性について検証したのでその結果について報告する．

2.試験概要

CFT 柱の耐力及び変形性能を確認するため，水平交番載荷試験を実施した．試験体諸元を表 1，試験体と設計式の適用条件となる部材パラメータとの関係を表 2，鋼材の材料試験結果を表 3 に示す．

試験体は表 1 に示すとおり 2 体とし，TYPE1 は既往の研究等²⁾を参考とし，これまで試験データが少ないとされる λ が 0.7， R_t が 0.09 程度の細長く薄肉の CFT 柱である．一方，TYPE2 は λ が 0.2， R_t が 0.03 程度の柱長さが短く厚肉の試験体である．試験に使用した軸力は表 3 に示すとおりで CFT 柱断面の全塑性軸力の 0.2 程度（軸力比 $N'/N'_y=0.2$ ）とした．

図 1 に載荷方法の概要を示す．載荷は鉛直軸力を一定載荷しながら正負交番載荷を実施し，載荷ステップは水平方向に降伏変位 δ_y の整数倍の変位を各 1 回とした．降伏変位 δ_y は引張，圧縮側の載荷方向 45 度の箇所のうち初めに降伏変位に達した時点を降伏変位 δ_y とした．

3.試験結果

3.1 損傷状況

図 2,3 に各試験体の荷重変位関係と最大荷重，載荷終了時の鋼管基部の損傷状況を示す．図 2,3 に示すとおり TYPE1,2 とともに最大荷重付近で鋼管基部（フーチング天端から 50mm 付近）に局部座屈が発生した．その後は荷重の増加とともに局部座屈が進展し，TYPE2 は $8\delta_y(P:192kN,\delta:86.3mm)$ 後に鋼管基部にき裂が生じ載荷を終了した．

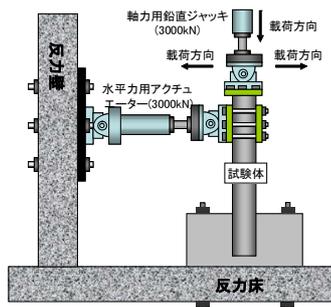


図 1 試験体概要図

表 1 試験体諸元

試験体	鋼管寸法 (mm)	材質	せん断スパン L(mm)	D/t	L/D
TYPE1	D210×3.2	SPCC	1985	65.6	9.5
TYPE2	D210×9.0	SM490	540	23.3	2.6

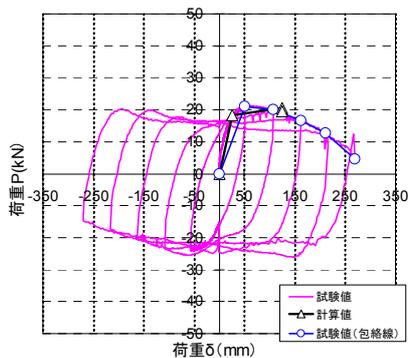
表 2 試験体の部材パラメータ

試験体	部材パラメータ		
	λ	R_t	N'/N'_y
TYPE 1	0.652	0.064	0.2
TYPE 2	0.196	0.030	0.2
設計式	$0.2 \leq \lambda \leq 0.4$	$0.06 \leq R_t \leq 0.170$	≤ 0.3

表 3 材料試験結果

	(A) 鋼管	
	SPCC	SM490
鋼管降伏強度 (N/mm ²)	199	448
引張強度 (N/mm ²)	306	559
	(B) 鋼管充填コンクリート	
	TYPE1	TYPE2
圧縮強度 (N/mm ²)	20.9	26.4

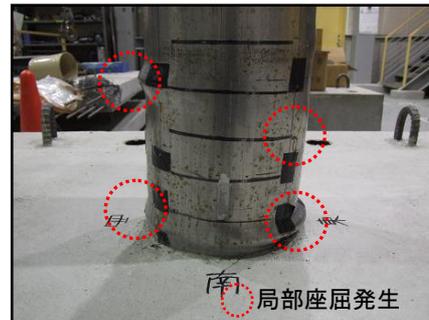
キーワード：コンクリート充填鋼管構造 部材パラメータ 細長比 径厚比 変形性能
 連絡先：〒181-8512 東京都渋谷区代々木二丁目 2 番 6 号 JR 新宿ビル TEL 03-3379-4353 FAX 03-3372-7980



(a) 荷重-変位関係

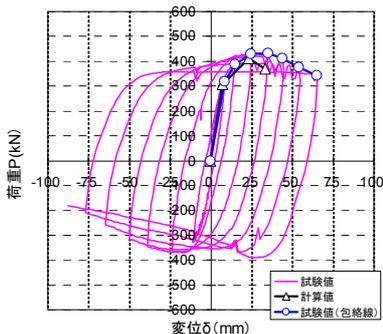


(b) 柱基部損傷状況 (最大荷重時)



(c) 柱基部座屈状況 (載荷終了時)

図 2 TYPE1 試験結果



(a) 荷重-変位関係



(b) 柱基部損傷状況 (最大荷重時)



(c) 柱基部座屈状況 (載荷終了時)

図 3 TYPE2 試験結果

一方、TYPE1 は最初の局部座屈の発生以降、鋼基部付近に複数の局部座屈が発生したが、鋼管にはき裂は発生せず試験機のスローク限界により載荷を終了した。載荷終了時の荷重と変位は(P:22kN,δ:270mm)であった。

3.2 荷重変位関係

図 2 に示すとおり、TYPE1 は降伏荷重に達するまでに試験値、計算値の変位に大きな差が生じ、降伏変位では計算値の 2 倍の変位が生じた。降伏、最大荷重は計算値に対して試験値は降伏荷重で 1.15 倍、最大荷重で 0.9 程度であった。これは明確な降伏点を示さず大きな変形性能を有する冷間圧延鋼板の材料特性に起因するところが大きく、こうした材料を用いた場合の設計式による評価は難しい。

TYPE2 は降伏荷重まで計算値、試験値共にほぼ同じ挙動を示した。降伏以降は $4\delta_y$ で最大荷重をむかえ、徐々に荷重が低下した。TYPE2 は図 3 の荷重変位関係に示すとおり設計式で終局とされている最大荷重の 90%においても降伏荷重を維持しており、最大荷重以降も荷重の低下が緩やかなことがわかる。このことから、今回の TYPE2 のようなせん断スパン比が短く厚肉の CFT 柱においても設計式を用いることで降伏荷重、最大荷重をおおむね再現可能であると考えられる。

4. おわりに

本研究では耐震性、施工性等多くの利点を有する CFT 柱の適用の拡大に向けて、鉄道構造物等の CFT 柱の耐震設計に用いられる設計式の適用制限となっている部材パラメータに着目し水平交番載荷試験を実施し CFT 柱の耐震性能について確認をおこなった。せん断スパン比が短く肉厚の試験体である TYPE2 は、今回設定した部材パラメータであれば、おおむね設計式を再現することが可能である事を確認した。

本研究のように設計式の適用範囲を超える部材の変形性能に関する研究事例はこれまで少なく、今後も引き続き多くの利点を有する CFT 柱の適用拡大に向けて試験を行っていく予定である。

参考文献

- 1) (財)鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計）,1999.10
- 2) 三木孝則，池田学，柳沼謙一，工藤伸司：CFT 構造を適用したこ線人道橋の耐震性評価に関する基礎的検討（その 1），第 64 回土木学会年次学術講演会，2009.9