

角形 CFT 部材の地震時の変形性能の算定法

東日本旅客鉄道(株) 正会員 ○青木 千里 正会員 井上 佳樹 正会員 山田 正人
(公財) 鉄道総合技術研究所 (現 東日本旅客鉄道(株)) 正会員 網谷 岳夫
(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 池田 学

1. はじめに

コンクリート充填鋼管 (以下, CFT) 部材の中でも, 角形 CFT 部材は内接する円形 CFT 部材に比べて断面積が大きく, より高い耐力が期待できる. しかし, 鉄道構造物において, 円形 CFT 部材は「鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼とコンクリートの複合構造 (以下, 複合標準)」¹⁾に曲げ耐力および変形性能の算定法が示されているが, 角形 CFT 部材は精度のよい算定法が提案されるに至っていない. そこで, 幅厚比やせん断スパン, 材料強度に着目した角形 CFT 部材の交番載荷試験を実施し, 曲げ耐力および変形性能の算定法を検討している^{2),3)}. 後述する載荷試験の結果より, 角形 CFT 部材の曲げモーメント M と部材角 θ の関係は, 図-1 のように, 複合標準¹⁾で示される円形 CFT 部材と同様の骨格曲線で表現できると考えた³⁾. 鋼管降伏点の Y 点, 最大耐力点の M 点における曲げ耐力や部材角の算定方法については文献³⁾で報告を行っている. 本稿では, N 点について報告する.

2. 交番載荷試験

2.1 試験概要

試験体諸元および試験体形状を表-1, 図-2 に示す. 試験は, 鉛直方向に一定軸力を与えた状態で, 試験体頂部に水平方向に正負交番する変位を変位制御で与える方法とした. 水平変位は正側から与え, 降伏変位 δ_y の整数倍の変位を $1\delta_y$, $2\delta_y$, $3\delta_y \dots$ と段階的に大きくした. 1 ステップ当たりの繰り返し数は 3 回とし, 降伏変位は, 柱基部に貼り付けたひずみゲージのうち, 載荷方向に対して圧縮側か引張側のいずれかが, 鋼管の降伏ひずみに達した時の変位とした.

2.2 試験結果

試験から得られた水平荷重-水平変位関係の例を図-3 に示す. なお, 図-3 は $P-\Delta$ 効果を考慮している. 試験体 K-3 は, 鋼管が圧縮降伏した後, 最大荷重に到達する少し手前の $3\delta_y$ の手前で鋼管基部に曲げ圧縮による局部座屈が生じ, 局部座屈発生後の $4\delta_y$ で最大荷重に到達した. さらに載荷が進むにつれて局部座屈が進展して変位が大きくなり, 緩やかに荷重が低下した. 最終的には, $9\delta_y$ の 2 回目の載荷時に, 鋼管角部でき裂が生じ, 急激に荷重が低下したため, この時点で載荷を終了した. これらの載荷時の試験体の損傷の進展および破壊性状は, いずれの試験体も同様であった.

3. 角形 CFT 部材の N 点における曲げ耐力と部材角の評価方法

3.1 N 点の定義

前述の試験結果を基に, どこを N 点として定義するか検討した. 図-4 に, 試験時の水平変位-鉛直変位関係の例

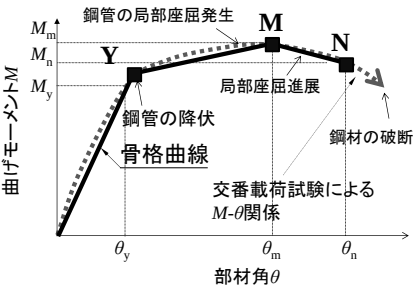
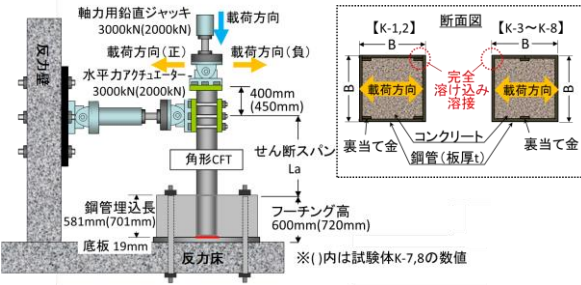


図-1 CFT 部材の骨格曲線

表-1 試験体諸元

試験体	鋼管幅 B (mm)	鋼管厚 t (mm)	せん断スパン L_a (mm)	材料強度		幅厚比 B/t	せん断スパン比 L_d/B	軸力比 N'/N'_y	着目 パラメータ
				鋼材 f_{sy} (N/mm^2)	コンクリート f'_c (N/mm^2)				
K-1	360	6.0	1080	434	20.2	60	3.0	0.2	基本
K-2	360	6.0	1800	434	27.2	60	5.0	0.2	L_d/B
K-3	360	12.0	1080	377	22.3	30	3.0	0.2	B/t
K-4	360	6.0	2300	458	25.2	60	6.4	0.2	L_d/B
K-5	360	4.5	2300	411	26.3	80	6.4	0.2	$B/t, L_d/B$
K-6	360	6.0	1080	389	26.6	60	3.0	0.4	N'/N'_y
K-7	360	6.0	1080	496	55.8	60	3.0	0.2	材料強度
K-8	360	4.5	1080	433	30.7	80	3.0	0.2	B/t
RA-1	320	3.0	1080	426	24.5	107	3.4	0.2	B/t
RA-2	320	4.0	1080	431	26.1	80	3.4	0.2	B/t
RA-3	320	6.0	1080	437	24.5	53	3.4	0.2	基本
RA-4	320	8.0	1080	401	24.4	40	3.4	0.2	B/t
RB-1	320	6.0	1080	387	26.5	53	3.4	0.0	N'/N'_y
RB-2	320	6.0	1080	437	27.1	53	3.4	0.27	N'/N'_y



※RA, RB シリーズは, 鋼管基部を床鋼板に直接溶接し, リブで補強している

図-2 試験体形状 (K シリーズ)

を示す。最大荷重の 90%荷重低下点における状態を見ると、鉛直変位量は最大で 10mm 程度と、比較的小さな値であった。また、図-3 の荷重-変位関係の通り、最大荷重以降、繰り返しの伴う急激な荷重低下も生じておらず、90%荷重低下点において、鋼管角部のき裂の発生も見られなかった。これらは、すべての試験体に共通しており、円形 CFT 部材と同様の傾向である。以上から、角形 CFT 部材の N 点は、最大荷重の 90%荷重低下点として定義した。

3.2 N 点の部材角

N 点の部材角 θ_n は、最大荷重の 90%まで荷重が低下した点の部材角と定義し、最大荷重時の部材角 θ_m と同様の考え方に基づき、鋼管基部の伸び出しによる回転角 (θ_{n1})、N 点の塑性ヒンジ部以外の曲げ変形による回転角 (θ_{nb})、N 点の塑性ヒンジ部の曲げ変形による回転角 (θ_{pn}) の和で算出する。

鋼管基部の伸び出しによる回転角 (θ_{n1}) は、最大荷重時における鋼管基部の伸び出しによる回転角 (θ_{m1}) と同じ値を用いた。これは、載荷試験において、最大荷重時から N 点にかけて鋼管埋込み部の軸方向ひずみ分布に顕著な変化が認められなかったためである。また、塑性ヒンジ部以外の曲げ変形による回転角 (θ_{nb}) は、部材を材軸方向に分割し、各断面の曲率を 2 階積分することで算定した。

塑性ヒンジ部の曲げ変形による回転角 (θ_{pn}) は、式(1)のように、最大荷重時から N 点までの塑性ヒンジ部の回転角の増分 ($\Delta\theta_p$) と最大荷重時における塑性ヒンジ部の曲げ変形による回転角 (θ_{pm}) を用いて算出できると考えられる。

$$\theta_{pn} = \Delta\theta_p + \theta_{pm} \quad (1)$$

θ_{pm} は、幅厚比 B/t および軸力比 N'/N'_y をパラメータとして定式化している³⁾。 $\Delta\theta_p$ について各パラメータ (幅厚比、軸力比等) との相関を調べたところ、顕著な傾向を示すパラメータはなく、今回用いた試験結果のみではパラメータを用いて定式化することは難しい。そのため、 θ_{pm} の計算値から θ_{pn} の試験値までの増分の平均値 (= 0.0129 (rad)) を用い、式(2)の通り定式化した。

$$\theta_{pn} = 0.0129 + \theta_{pm} \quad (2)$$

図-5 に、上記を踏まえて算出した N 点の部材角 θ_n の計算値と試験値を示す。 θ_{pm} からの増分 $\Delta\theta_p$ を一定値に割り切ったが、計算値は試験値を概ね精度よく評価できている。

4. おわりに

角形 CFT 部材の地震時の性能評価法を確立するため、交番載荷試験を行い、その結果を基に曲げ耐力と変形性能の評価法を検討した。本報告では、N 点を定義し、N 点の部材角が概ね精度よく評価可能なことを確認した。以上から、既往の研究³⁾とあわせ、角形 CFT 部材の曲げ耐力および変形性能を評価する算定法が提案できたと考える。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼とコンクリートの複合構造物，丸善，2016.1
- 2) 井上他：幅厚比やせん断スパン比，材料強度に着目した角型 CFT 柱の力学的特性，土木学会第 70 回年次学術講演会，2015.9
- 3) 井上他：角形 CFT 柱の曲げ耐力・変形性能の評価方法の検討，土木学会第 71 回年次学術講演会，2016.9

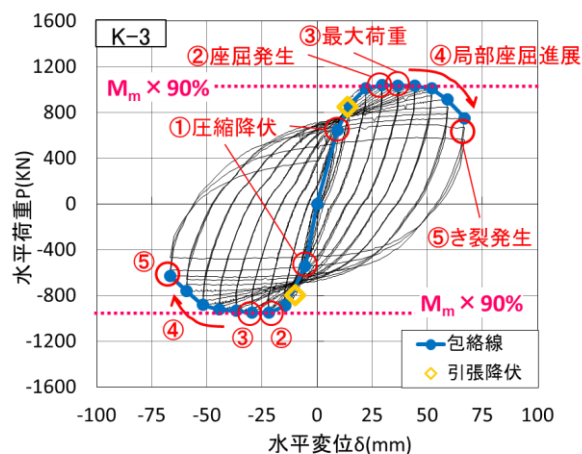


図-3 水平荷重-水平変位関係の例 (K-3)

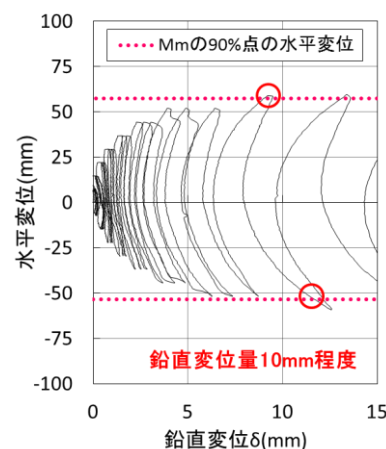


図-4 水平変位-鉛直変位関係の例 (K-3)

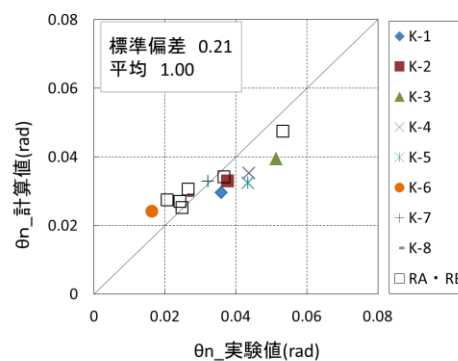


図-5 実験値との比較 (部材角 θ_n)