低せん断スパン比の CFT 部材の耐力・変形性能に関する検討

（財）鉄道総合技術研究所　　正会員　○萬代　能久　正会員　池田　学

1．はじめに

建築・土木分野の円形断面 CFT 部材の耐力・変形性能に関する既往研究[例えば文献 1)]の調査結果が図 1 である．その多くは，せん断スパン比 L/D（L：せん断スパン，D：外径）が 3≦L/D≦6 程度の試験体が対象である．これらの研究により，その範囲では，CFT 部材はコンクリートと鋼管の相互の拘束効果による高い耐力・変形性能を持ち，靭性のある曲げ破壊の挙動を示す事が分かっている．一方，L/D が小さいと，曲げ破壊ではなく，せん断破壊の可能性がある．実際，文献 1)では矩形断面 CFT 部材でせん断破壊した例の報告がある．しかし，L/D が小さい円形断面の CFT 部材を対象とした，どのような破壊でどのような荷重・変位関係を示すのかといった耐力・変形性能に関する研究は少ない．本研究では，L/D の小さい円形 CFT 部材について，交番載荷試験により，その耐力・変形性能を検討する．

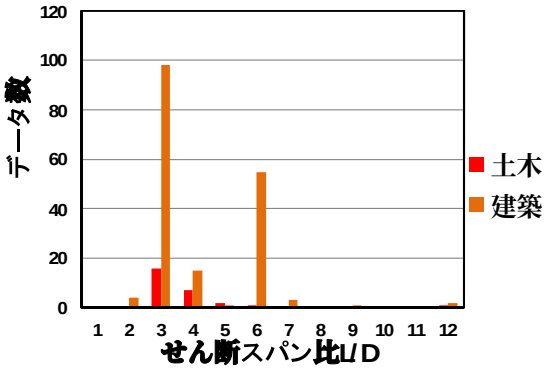

図 1　既往文献の試験体分布

2．交番載荷試験の概要

試験体の一覧を表 1 に示す．標準的な L/D=3.0 の試験体 K-1 と，L/D=1.7 の試験体 K-2，L-1 の 3 体で試験した．K-1，K-2 は L/D 以外はほぼ同等の諸元であり，L-1 は他 2 体より薄肉断面である．試験体に一定軸力を加えて，変位を制御して水平荷重を繰り返し漸増載荷した．制御する変位のステップは引張側 45°位置の鋼管ひずみが降伏ひずみに達した時の降伏変位 δy の整数倍(1δy，2δy，・・)として，1 ステップを正負交番で 3 回繰返して，次のステップに移るという方法で水平荷重を載荷した．

表 1　試験体の一覧表

試験体名	外径 (mm)	鋼管厚 (mm)	材料降伏強度 (N/mm²) コンクリート	鋼管	せん断スパン (mm)	導入軸力 (kN)	径厚比	せん断スパン比	軸力比	径厚比パラメータ	細長比パラメータ
	D	t	f'c	fsy	L	N'	D/t	L/D	N'/N'y	Rt	$\bar{\lambda}$
K-1	269.0	4.2	21.9	299.8	810	425	64	3.0	0.21	0.08	0.22
K-2	269.5	4.2	23.2	299.8	459	374	64	1.7	0.21	0.08	0.12
L-1	269.9	2.3	24.9	358.9	459	374	117	1.7	0.20	0.17	0.13

3．交番載荷試験の結果

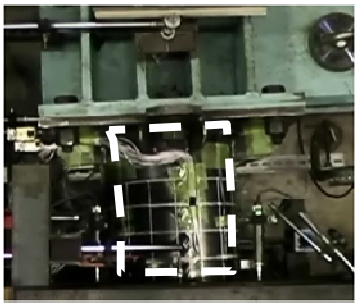

図 2　K-2 の破壊状況

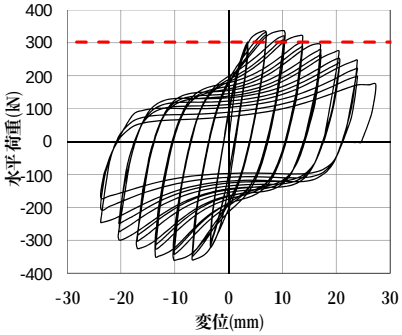

図 3　K-2 の荷重変位関係

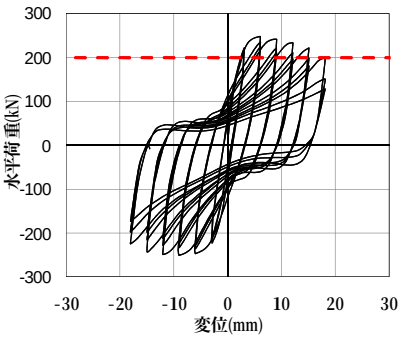

図 4　L-1 の荷重変位関係

試験結果を図 2,3,4 に示す．L/D が小さいと，降伏はせん断降伏先行も考えられたが，L/D=1.7 の 2 体とも降伏は引張・圧縮による降伏が先行した．L/D=1.7 の K-2，L-1 の破壊は鋼管基部の局部座屈を伴う曲げ破壊（図 2）で，試験後の解体調査でも，コンクリートにせん断き裂はなかった．また，図 3,4 から，L/D が小さい試験体でも靭性のある破壊である．これらは，L/D=3 の K-1 と同様の結果であった．なお，3 体とも，鋼管基部の局部座屈発生と概ね同時に最大耐力に達し，鋼管基部のき裂により，耐力・変形性能が劣化した．図 3,4 にせん断耐力計算値[文献 2)]を破線で示すが，それ以上の水平荷重が作用してもせん断破壊しなかった．

キーワード　CFT 部材，コンクリート充填鋼管，せん断スパン，曲げ耐力，変形性能

連絡先　　〒185-8540　東京都国分寺市光町 2-8-38　（財）鉄道総合技術研究所　TEL 042-573-7280

4．せん断ひずみの計測結果

交番載荷試験では，図 5 に示す位置で，鋼管ひずみを 3 軸ゲージで測定した．鋼管基部及び基部から 0.25D,0.50D の高さで測定したが，全試験体でせん断ひずみが最大であった高さ 0.25D の測定結果から，最大主応力方向を求めた結果が表 2 である．

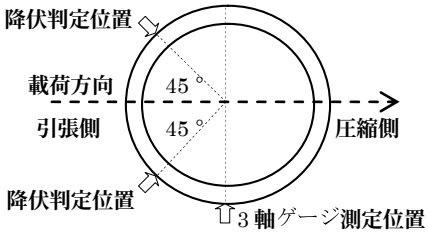

図 5　3 軸ゲージ測定位置断面図

表 2　最大主応力方向

試験体	L/D	径厚比	最大主応力方向 1δy時
K-1	3.0	64	33 °
K-2	1.7	64	38 °
L-1	1.7	117	40 °

表 2 より，試験体が概ね弾性域にある 1δy では L/D=1.7 の試験体 K-2 の方が最大主応力方向は 45°に近く，L/D=3.0 の試験体 K-1 よりも，相対的にせん断力の影響が強いことが確認できた．なお，L/D 以外はほぼ諸元が同等な K-1 と K-2 では，水平荷重が大きいので明らかだが，せん断ひずみも K-2 の方が大きかった．局部座屈が発生する 3δy 以降，K-1 と K-2 の両者とも最大主応力方向は水平方向に近づく（図 6）．これは，両方とも高さ 0.25D 付近まで局部座屈の変形が及び，局部座屈の影響が卓越したためと考えられる．

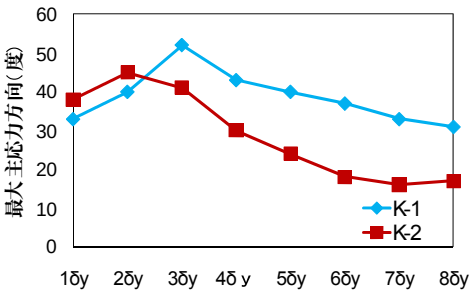

図 6　最大主応力方向の変動

5．耐力・変形性能の実験値と計算値の比較

試験から得た荷重・変位関係の定量的検討として，鉄道構造物等設計標準[文献3)]による計算値と実験値とを比較した（図 7）．本来は，L/D=1.7 の CFT 部材は文献 3)の適用範囲外だが，補正等はしていない．実験値は文献 3)で考慮する「最大耐力到達後，耐力が 10%低下するまでの範囲」を示している．

図 7 から，標準的な L/D=3.0 の試験体 K-1 では計算値と実験値は精度よく合致するが，L/D=1.7 の試験体 K-2，L-1 では，計算値が実験値の耐力を過大評価している．

この結果，L/D が小さい CFT 部材を鉄道構造物に適用する場合，現在の耐力・変形性能の計算式を見直す必要があると考えられる．

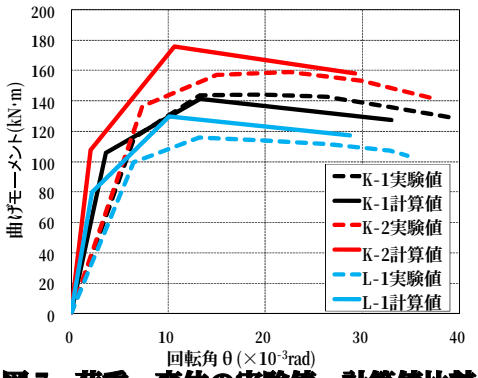

図 7　荷重・変位の実験値・計算値比較

6．まとめ

本研究では，低せん断スパン比の円形 CFT 部材の耐力・変形性能を交番載荷試験により確認・検討した．

・せん断スパン比 L/D=1.7 の円形断面の CFT 部材は，3≦L/D≦6 の CFT 部材同様に，せん断破壊ではなく，最大耐力到達後も耐力の低下が緩やかな靭性のある曲げ破壊であることなど，基本的な挙動を把握した．

・鋼管から高さ 0.25D の位置では，局部座屈発生前では，L/D=3.0 の試験体に比べ，L/D=1.7 の試験体の方が相対的にせん断力の影響は強いが，局部座屈発生後は，両者とも局部座屈の影響が強くなると考えられる．

・L/D の小さい CFT 部材を鉄道構造物に用いる場合，文献 3)の耐力・変形性能の計算方法を見直す必要があると考えられる．

今後の課題として，L/D の小さい CFT 部材に対する耐力・変形性能の計算式の検討などが考えられる．

本研究の一部は，国土交通省委託の「平成 21 年度鉄道技術基準整備のための調査研究」により実施した．

参考文献

1）例えば，日本建築学会：コンクリート充填鋼管構造設計施工指針（H20.10）など
2）鉄道総合技術研究所編：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（H14.12）
3）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（H11.10）