

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) — 細長比の大きい CFT 部材の耐力・変形性能の評価 —

(財) 鉄道総合技術研究所 (正)〇三木孝則 (正)池田 学
東日本旅客鉄道株式会社 (正)柳沼謙一 (正)工藤伸司

1. はじめに

こ線人道橋に適用される鋼管柱は、列車を支持する鉄道構造物の鋼管と比較して細長比の大きいものが多い(図1)。このような構造物の耐震設計は明確になっておらず、安全側の設計を行っているのが現状である^{1),2)}。こ線人道橋は限られたスペース内で施工されるため鋼管外径が制限され、その結果、過大な板厚が必要となる場合もある。この対策として、コンクリート充填構造(CFT)を適用して、小断面で耐震性能を向上させる方法が考えられる。しかしながら、細長比の大きい CFT 部材の耐力・変形性能に関する検討事例は少ない。

そこで、本論文では、細長比の大きい CFT 部材を用いて交番載荷試験を行い、耐力・変形性能を確認し、その評価法について検討した。



図1 こ線人道橋の例

2. 細長比の大きい CFT 部材の交番載荷試験

2.1 概要

細長比の大きい CFT 部材の耐力・変形性能を検討するため交番載荷試験を実施した。試験体は表1に示すように、CFT 部材1体、その比較用に鋼管部材(コンクリート充填無し)1体である。また、鋼管の材料の引張試験結果を表2に、試験体 No.2 の充填コンクリートの圧縮試験結果を表3に示す。

試験体は実構造物の1/2程度のサイズを想定した。鋼管の径厚比 D/t は51.4、せん断スパン比 L/D は11.3である。このせん断スパン比は、既設のこ線人道橋の実績調査より、鋼管の細長比パラメータがほぼ最大に近い0.7程度となるように設定した。なお、表2,3の材料試験の強度を用いると、細長比パラメータは0.9程度となる。

図2に載荷方法の概要を示す。載荷は、柱上端に一定の鉛直力を載荷した状態で、水平方向に降伏変位 δ_y の整数倍の変位を各3回正負繰返して行った。鉛直力は載荷梁を介して2本の油圧ジャッキで載荷した。水平変位に伴いジャッキが傾くため、2本の油圧ジャッキを別々に制御して常に試験体に一定の軸圧縮力が作用するようにした。作用する軸力は、こ線人道橋は一般に上載荷重が軽く、既往の実績では鋼管の軸力比の平均値0.05程度、最大でも0.1以下であることより、いずれの試験体ともに軸力比0.1となるように設定した。

2.2 試験結果

試験結果の水平荷重と水平変位の関係を図3に示す。試験体 No.1 (鋼管) は、水平変位 63mm で鋼管の最外縁が圧縮降伏し、 $2\delta_y$ 時には基部から 100mm 程度の位置に局部座屈が認められた。 $3\delta_y$ 時で最大荷重となり、その後載荷に伴い局部座屈が進展し、荷重が大きく低下した。試験体 No.2 (CFT 部材) は、水平変位 62.6mm で鋼管の最外縁が引張降伏し、 $3\delta_y$ 時に試験体 No.1 と同様に、基部から 100mm 程度の位置に局部座屈が発生し、このとき最大

表1 試験体一覧

試験体 No.	鋼管寸法(mm)	せん断スパン L (mm)	D/t	L/D	軸力 (kN)	軸力比	備考
No.1 (鋼管)	D406.4×t7.9 (7.63) ※	4600	51.4	11.3	353.7	0.1	—
No.2 (CFT)	(STK400)				725.4		コンクリート充填

※ () 内は実験で使用した供試体の実板厚を示す。

表2 鋼管材料の引張試験結果

降伏強度 (0.2%オフセット時)	引張強さ	伸び
370(N/mm ²)	472(N/mm ²)	34.7(%)

表3 コンクリートの圧縮試験結果

圧縮強度	弾性係数	ポアソン比
30.9(N/mm ²)	27519(N/mm ²)	0.186

キーワード こ線人道橋 コンクリート充填鋼管構造 細長比 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 構造物技術研究部 鋼・複合構造
TEL 042-573-7280 FAX 042-573-7369

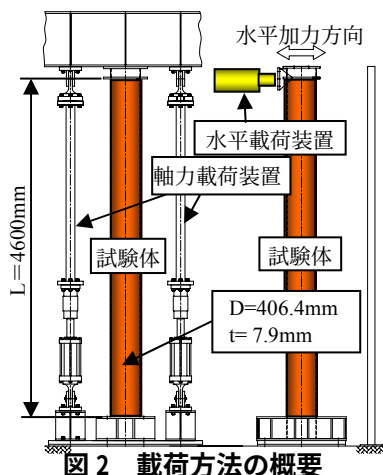


図2 荷重方法の概要

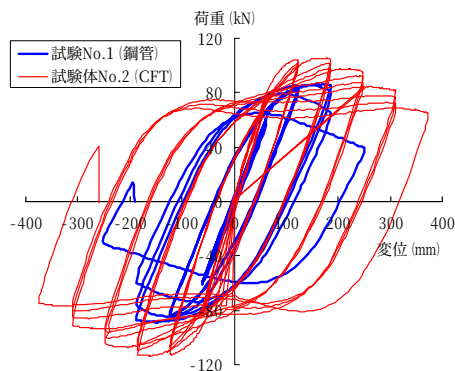


図3 試験結果の荷重-変位関係

(a)試験体 No.1
(鋼管)(b)試験体 No.2
(CFT)

図4 荷重終了時の試験体の損傷状況

荷重となった。その後荷重に伴い局部座屈が進展し荷重が低下した。2体の試験体とも水平荷重が降伏荷重を下回った段階で荷重を終了したが、荷重終了までき裂は発生せず、損傷は基部のみに生じていた(図4)。

図3より、鋼管内部にコンクリートを充填することにより、細長比の大きい部材においても、耐力および変形性能ともに向上し、最大荷重以後の荷重の低下も緩やかになることがわかる。

3. 細長比の大きい CFT 部材の耐力・変形性能の算定法

細長比の大きい CFT 部材の非線形特性は、こ線人道橋のように軸力が小さい部材の場合には、図3より、耐震設計標準³⁾と同様にテトラニア型の骨格曲線で表現することができると考えられる。図5に、試験体 No.2 (CFT 部材) について、試験結果と、適用範囲外ではあるが耐震設計標準³⁾の算定法を適用した結果の比較を示す。耐震標準の算定方法³⁾では、耐力を2割以上過大に評価しており、細長比の大きい部材にはそのまま適用することはできないと考えられる。

細長比の大きい部材では、水平変位に伴う鉛直軸力の影響である P-Δ 効果が大きくなり、これによる耐力・変形性能に与える影響を考慮する必要がある。耐震設計標準³⁾では、CFT 部材の細長比パラメータの適用範囲を 0.4 に制限しており、耐力や変形性能の算定においては全体座屈の影響を考慮していない。そこで、CFT 部材の鋼管の圧縮側の強度 f_{sy} に、次式に示すような局部座屈と全体座屈の影響を考慮した強度を用いることを検討する。

$$f_{sy} = f_{sbk} \cdot F(\bar{\lambda})$$

ここに、 f_{sbk} : 鋼管の局部座屈強度⁴⁾、 $F(\bar{\lambda})$: 柱の基準耐力曲線から定まる細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ の関数⁴⁾で、 $F(\bar{\lambda}) = 1.0$ ($\bar{\lambda} \leq 0.1$)、 $1.0 - 0.53(\bar{\lambda} - 0.1)$ ($0.1 < \bar{\lambda} \leq \sqrt{2}$)、 $1.7 / (2.8\bar{\lambda}^2)$ ($\sqrt{2} < \bar{\lambda}$) である。

図5に、上式により鋼管の強度を算定し、それ以外は耐震設計標準の算定方法を適用した結果を示す。ここでは、降伏点を鋼管引張縁が降伏する時点とした。図より、荷重および変形性能ともに実験結果とよく合っていることがわかる。本検討は1ケースのみであるが、細長比の大きい CFT 部材の耐力・変形性能の算定には、全体座屈の影響を考慮する必要があること、さらに上記の方法によって評価することが概ね可能であることがわかった。

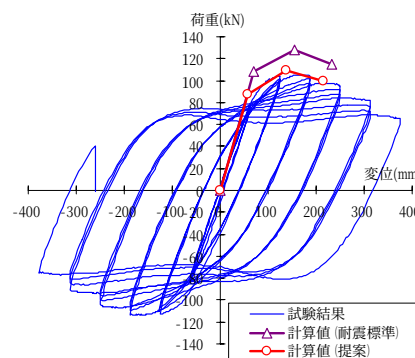


図5 試験結果と計算値の比較

4. おわりに

こ線人道橋の鋼管のように、細長比が大きく軸力比の小さい CFT 部材について、交番荷重試験を行い、耐力および変形性能の算定方法を提案した。本検討は1ケースのみの結果であり、細長比による鋼管の拘束効果への影響や提案する算定法の適用条件等、今後より詳細な検討が必要と考えられる。

【参考文献】

- 1) 柳沼, 久保, 池田: 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2), 土木学会第64回年次学術講演会, 2009.9(投稿中), 2) 東日本旅客鉄道(株): 旅客・保守施設構造物設計マニュアル, 2004.12, 3) (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, 4) (財) 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), 2002.12