

## 損傷した CFT 部材の補修方法に関する交番載荷試験

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○萬代 能久  
 (公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 吉田 直人  
 (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(CFT)部材は鉄道高架橋の柱などに用いられ、その耐震照査では部材の塑性化・損傷を許容する<sup>1)</sup>。そのため、大規模地震時に損傷が生じる可能性があるが、CFT部材の補修の研究はほとんどない。そこで、本研究では、地震により損傷した高架橋のCFT柱を想定して、柱で曲げモーメントが大きい部材基部で鋼管の局部座屈が生じたCFT部材の補修方法を提案し、その効果を交番載荷試験で把握した。

### 2. 補修方法について

CFT部材では鋼管基部での局部座屈発生・進展により曲げ耐力が低下し(図1)、また、局部座屈が大きいと、局部座屈部で鋼管にき裂が生じるリスクが高まるため、補修には局部座屈の進展抑止と曲げ耐力回復が求められる。そこで、標準型(図2)と一体型(図3)という補修方法を考えた。標準型はリブとベースプレートを取り付けた鋼管(外側鋼管)をCFT部材の局部座屈部とその近傍に巻き立てた構造である。外側鋼管で局部座屈の進展抑止を図り、また、局部座屈による鋼管の圧縮耐力低下をリブの支圧で補って、CFT部材の曲げ耐力回復を図った。一体型は標準型に上側プレートを増設した構造で、上側プレートとベースプレートを溶接やボルトでCFT部材に固定し、外側鋼管などの補修部材とCFT部材を一体化させた。局部座屈が特に大きい場合を想定し、補修部材との一体化によりCFT部材の局部座屈にはたらく曲げなどを軽減し、局部座屈進展の抑止効果の向上を意図した。なお、標準型・一体型とも外側鋼管とCFT部材の隙間はモルタル充填し、外側鋼管やリブの形状はCFT部材の最大曲げ耐力と作用軸力の7割程度の荷重に対して弾性設計した。

### 3. 試験の概要

表1に試験体P-1,P-2の諸元を示す。また、表2にCFT部材を損傷させるための載荷(初期載荷)方法、補修方法、補修後の載荷方法を示す。表2の損傷レベル<sup>3)</sup>は、最大耐力到達後、局部座屈が発生・進展した状態である。初期と補修後の載荷は軸力を一定として、水平力はCFT部材の降伏水平変位 $\delta y$ <sup>1)</sup>を基に漸増載荷した(図4)。初期載荷は $1\delta y, 2\delta y, 4\delta y$ の変位を2回繰り返したのち、P-1は $6\delta y$ 相当の変位を、P-2は $8\delta y$ 相当の変位を2回繰り返した。補修後の載荷は初期載荷と同じ $\delta y$ で図5のように実施した。

### 4. 試験の結果

初期載荷により、P-1,P-2とも鋼管基部に局部座屈が生じた。P-1に比べ、P-2の局部座屈の面外変形量が2割程度大きかった。両者とも最大変位を2回繰り返すと、水平荷重の低下を確認でき、計画した損傷を与えられた(図6)。P-1は標準型で補修した。補修後の載荷試験では $7\delta y$ まで緩やかに荷重は上昇し、 $8\delta y$ で初期載荷による局部座屈部(補修前座屈)で鋼管にき裂が発生し、荷重が急激に低下し、載荷を終了した。荷重・変位関係は設計値や初期載荷時とほぼ同じに回復した(図7)。P-2は一体型で補修した。補修後の載荷試験では、補修部材の直上で、新たに鋼管に局部座屈(補修後座屈)が発生・進展して、き裂が発生した(図8)。最大水平荷重は初期載荷時を上回った(図7)。解体調査の結果、P-2では補修前座屈には鋼管にき裂が生じなかった。

### 5. 考察

P-1の補修後の載荷では初期載荷時や設計値と同等の荷重・変位関係であったことから、標準型は有効な補修と考えられる。水平荷重増加に伴ってリブの圧縮ひずみが増加しており、2で述べたように、局部座屈による鋼管の圧縮耐力低下をリブの支圧で補完し、CFT部材の曲げ耐力が回復したと考えられる(図9,10)。また、

キーワード CFT部材, 補修, 局部座屈

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 TEL042-573-7280

補修前座屈部で CFT 部材の鋼管にき裂が生じたものの、外側鋼管はほとんど変形しておらず、局部座屈が進展して面外変形量が大きくなろうとするのに対して、外側鋼管が抵抗する効果もあったと考えられる。

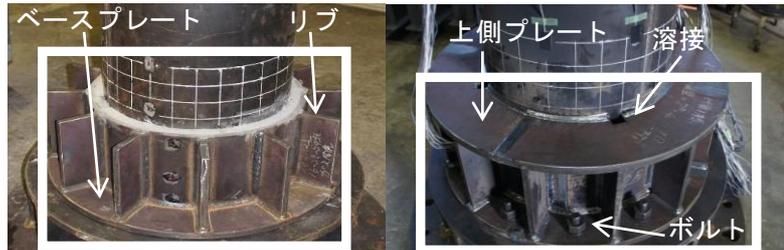
P-2 では初期載荷終了時と補修後の載荷終了時で補修前座屈の形状がほぼ同じであり(図 11)、また、補修前座屈ではき裂が生じておらず、一体型は局部座屈進展の抑止効果が標準型より高い。2 で述べたように、CFT 部材と補修部材の一体化で補修前座屈にはたらく曲げなどを軽減できたためと考えられる。また、P-2 の補修後の水平荷重が初期載荷時より高いのは、P-1 と同様の効果に加え、補修部材直上で補修後座屈が発生・塑性ヒンジ化し、せん断スパンが短くなったためと考えられる。一体型は局部座屈が大きい時は有効と考えられる。

6. まとめ

本研究では、CFT 部材の損傷として鋼管の局部座屈に注目し、その程度に応じて適用する 2 つの補修方法(「標準型」と「一体型」)を提案し、その補修効果があることを実験で確認した。今後は、標準型と一体型の使い分けの定量的基準や補修部材の設計の合理化、あるいは、異なる補修方法の提案・検証などが必要である。



図 1 損傷した部材



外側鋼管(補修部材)について 外径: CFT 部材の外径 $D+25\text{mm} \times 2$ 高さ: $0.6D$ 板厚: $16\text{mm}$ (リブとも) 外側鋼管を CFT 部材の局部座屈部に巻き立てたのみで固定せず	外側鋼管(補修部材)について 外径: CFT 部材の外径 $D+25\text{mm} \times 2$ 高さ: $0.6D$ 板厚: $16\text{mm}$ (リブとも) 外側鋼管の上側プレートとベースプレートを溶接とボルトで CFT 部材に固定
---	---

図 2 標準型

図 3 一体型

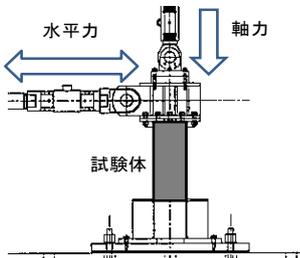


図 4 載荷状況

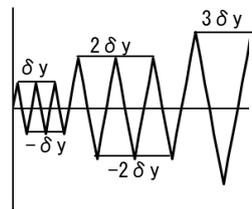


図 5 補修後の載荷サイクル

表 1 CFT 部材の諸元

試験体名	外形 D(mm)	鋼管厚 t(mm)	径厚比 D/t	せん断スパン比 L/D	軸力比 N'/N <sub>y</sub>	材料強度	
						コンクリート f <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	鋼管降伏強度 f <sub>sy</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
P-1	450	9.0	50	3.0	0.15	24.0	346.0
P-2							

表 2 載荷方法・補修方法

試験体名	初期載荷	初期載荷後の損傷レベル	補修方法	補修後の載荷方法
P-1	交番載荷試験 (2回繰り返し)	3	標準型	交番載荷試験 (3回繰り返し)
P-2		3(局部座屈大)	一体型	

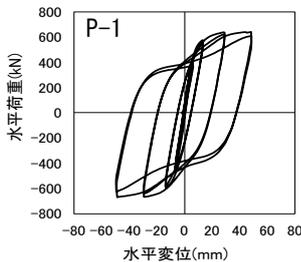


図 6 初期載荷の荷重・変位関係

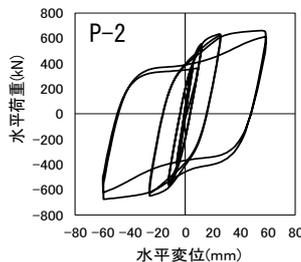


図 7 補修前後の荷重・変位関係

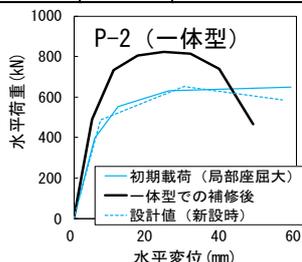
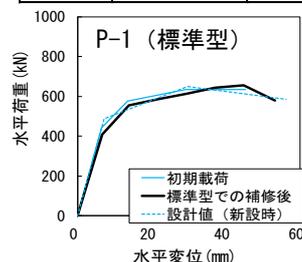


図 8 補修部材直上のき裂

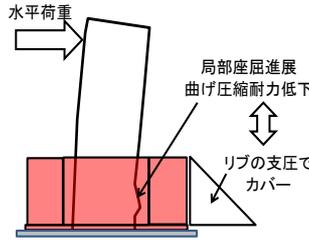


図 9 標準型の機構

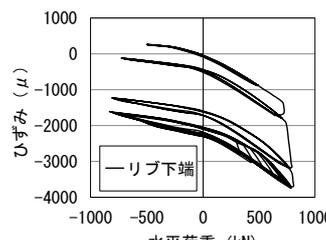


図 10 リブのひずみ (P-1)

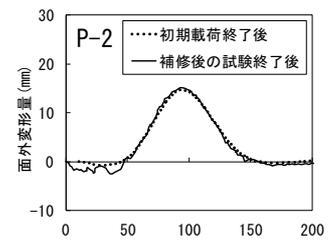


図 11 局部座屈形状

参考文献 1) (公財) 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