

### コンクリート充填円形断面鋼製橋脚の自己修復特性に関する検討

名古屋工業大学大学院 正会員 ○海老澤健正 名古屋工業大学大学院 フェロー会員 後藤 芳顕  
中日本高速道路株式会社 正会員 長田 直也 新日本製鐵株式会社 正会員 関 一優

**1.はじめに:** 中空鋼管のダイヤフラムと鋼管に囲まれた内部に部分的にコンクリートを充填した部分充填鋼製橋脚(CFT 橋脚)は拘束された充填コンクリートの圧縮強度向上と充填コンクリートによる鋼管の局部座屈防止効果などにより高い強度と変形能を有する. 一方向繰返し条件下の CFT 橋脚の特性を検討してきた中で, この特性を發揮させる原因が局部座屈の自己修復メカニズムである

ことが明らかになってきた<sup>1)4)</sup>. この修復メカニズムは **図 1** に示すように, 圧縮力の大部分は充填コンクリートが支持することで鋼管の局部座屈の進展が抑制される一方, 充填コンクリートには水平ひび割れが生じることで引張り力の大部分が鋼管に作用し局部座屈変形は引き延ばされて残留変形が修復される. 本研究では, CFT 橋脚の持つ自己修復特性について円形断面 CFT 橋脚の水平 2 方向繰返し載荷試験および振動台実験, さらに対応する高精度有限要素解析に基づき, より一般的な条件下で詳細な検討を行う.

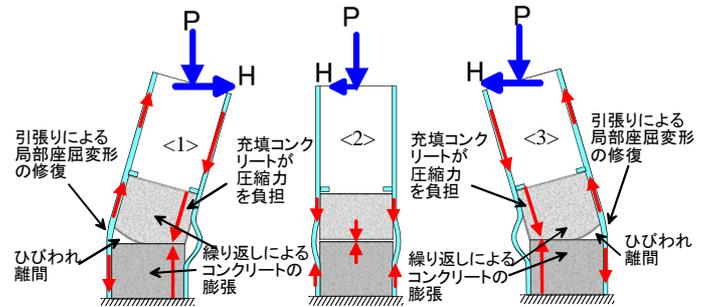


図 1 一方向繰返しでの自己修復メカニズム

### 2. 静的繰返し載荷実験による自己修復メカニズムの検討:

(a) **実験・解析概要:** CFT 橋脚において局部座屈が防止され残留変形が回復する自己修復特性についてその發揮メカニズムを明らかにするために, **図 2** に示す円形断面 CFT 橋脚を対象により一般的な載荷条件である 2 方向繰返し載荷(螺旋載荷)試験を実施する<sup>5)</sup>. また, この試験に対応した FEM 解析を実施する. 解析モデル<sup>1)4)</sup>では, 鋼管を三曲面モデルによるシェル要素, 充填コンクリートは損傷塑性モデルによるソリッド要素に水平ひび割れとしてコンタクトペアを導入する. さらに界面の接触・離間と摩擦も考慮している.

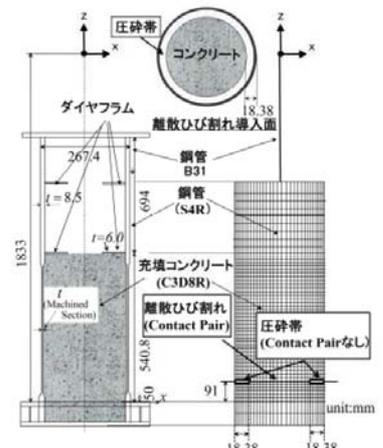


図 2 静的繰返し試験供試体

(b) **局部座屈変形の修復:** **図 3** には数値解析による鋼管の局部座屈波形のピーク値の推移状態を CFT 橋脚と無充填橋脚について比較して示す. CFT 橋脚では, 無充填橋脚に比べ, 半サイクルで生じた座屈変形が後の半サイクルで修復機構によりほとんど消滅することがわかる.

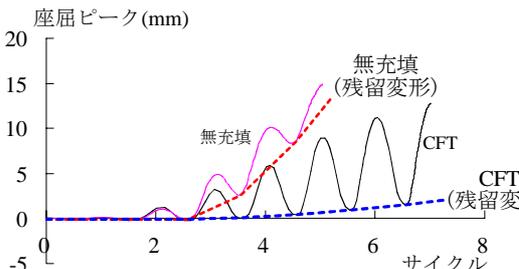


図 3 座屈ピーク値の推移

(c) **メカニズムの検証:** 自己修復メカニズムを解明するため, 鋼管と充填コンクリートにおける軸力の分担の推移を解析により算定し結果を **図 4** に示す. 初期の段階では死荷重 P の大部分を鋼管が負担するが, 載荷の進行に伴い鋼管の軸力  $N_s$  は圧縮領域から引張り領域に変化していく. 一方, コンクリートの分担軸力  $N_c$  は圧縮方向へ単調に増加する傾

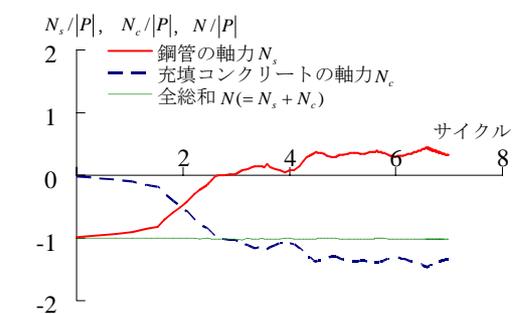
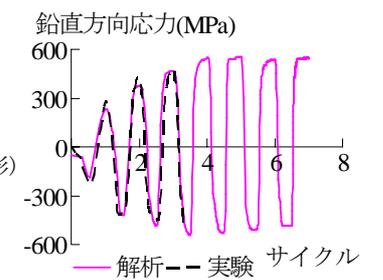
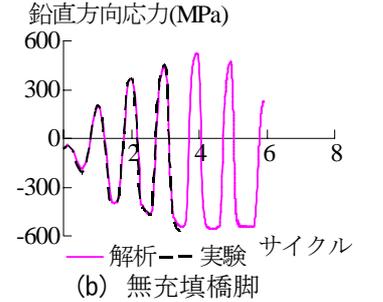


図 4 軸力分担(静的載荷試験)



(a) CFT 橋脚



(b) 無充填橋脚

図 5 鋼管基部での鉛直応力

キーワード: 自己修復, コンクリート充填鋼製橋脚, 残留変位, 局部座屈, 水平 2 方向載荷, 振動台実験  
連絡先: 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 TEL 052-735-5021 FAX 052-735-5563

向が確認される。このように、鋼管に作用する軸力が圧縮側から引張側に移行することで局部座屈変形が抑制・修復されると考えられる。

さらに、CFT 橋脚のローカルな応力状態を検討するために、鋼管基部表面での鉛直方向応力の履歴を解析結果とともに図 5 に示す。実験結果は、ひずみゲージによる多軸ひずみの計測値を三曲面モデルを用いて変換したものである。振動する応力の正負でのピーク値を見ると、ほぼ 3 サイクルまでは圧縮側の応力ピーク値の絶対値は引張り側より大きい。これを越えると引張り側のピーク値が圧縮側を逆転し引張り側の各ピークは圧縮側に比べよりフラットになっている。これより、引張り方向では圧縮方向に比べより大きな軸方向の塑性変形が生じていると理解され、局部座屈変形の抑制や修復機構が確認される。一方、無充填橋脚では図 5(b)のように CFT 橋脚とは逆に圧縮側での応力のピーク値が引張り側より大きくなるとともに圧縮側でのピークがフラットになっており、局部座屈変形を含め圧縮側の塑性変形が一方向的に進み、座屈変形の修復挙動が生じていない。解析結果は実験結果とこのような局所的な応力についても非常に良く一致しており、解析モデルの信頼性が確認されよう。

**3. 振動台実験による自己修復特性の検証：** (a) 実験・解析概要： 中国同済大学にて実施した CFT 橋脚の振動台実験結果<sup>9)</sup>より、静的載荷試験で確認された CFT 橋脚の自己修復特性が地震動下で機能することを検証する。図 6 に示す供試体は実橋脚の 1/8 スケールとし、相似則に基づき諸条件を決定している。入力地震動は相似比に基づき載荷時間を調整した上で日本海中部地震 Tsugaru 実測波の振幅を 300%に増幅し LG 及び TR 成分を同時に入力している。また、解析では、充填橋脚部については静的繰り返し載荷試験と同様にモデル化を行い、上載質量は等価な集中質量要素と回転慣性要素により表わしている。ただし、界面挙動については、動的応答解析における数値安定性の問題から非線形ばね要素による接触ばねにより表現している。

(b) 橋脚頂部変位の自己復元特性： CFT 橋脚と無充填橋脚頂部での水平変位の振動中心の推移を図 7 に示す。ここでは、水平変位が卓越する LG 方向成分をローパスフィルタにより振動成分を除去して表している。図 7 より、CFT 橋脚の振動中心は 13 秒付近で一度負方向へ振れた 18 秒付近で正方向に大きく移動している。しかし、その後振動中心は原点へ再び戻っていき最終的な残留変位は実験、解析とも非常に小さく、CFT 橋脚の自己修復特性が確認できる。一方、対応する無充填橋脚ではそのような挙動は見られず変位が増大し最終的に倒壊に至っている。

(c) メカニズム： 解析より求めた鋼管と充填コンクリート間での軸力分担の推移を図 8 に示す。加振の進行に伴い圧縮力はコンクリートが分担するようになり、鋼管には引張り力が作用するようになる。特に、大きな変位が生じる 15 秒以降では鋼管に作用する圧縮力が最大で  $0.7|P|$  程度と小さくなっているのに対し、引張り力は約  $1.8|P|$  作用している。これより、静的繰り返し載荷試験の場合と同様のメカニズムが作用し CFT 橋脚の自己修復特性に寄与していることが確認できる。

**4. まとめ：** 円形断面 CFT 橋脚の静的繰り返し載荷試験およびその FEM 解析から、局部座屈を抑制し残留変位を回復する自己修復特性とそのメカニズムを明らかにした。さらに、振動台実験により CFT の自己修復特性が発揮されることを確認した。

**謝辞：** 本研究は 2009-2010 年度一般社団法人日本鉄鋼連盟「鋼構造研究・教育助成事業(特別研究助成)」による助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

**参考文献：** 1) 後藤芳顕ら，土木学会論文集 A, Vol.65, No.2, pp.587-504, 2009. 2) 後藤芳顕ら，土木学会論文集 A, Vol.66, No.4, pp.816-835, 2010. 3) Goto, Y., et. al., *J. Struct. Eng.*, Vol.136, pp.1413-1422, 2010. 4) Goto, Y., et. al., *J. Struct. Eng.*, doi:http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000504, 2012. 5) 関一優ら，土木学会第 66 回年次学術講演会概要集, I-195, pp.389-390, 2011. 6) 長田直也ら，土木学会第 66 回年次学術講演会概要集, I-206, pp.411-412, 2011.

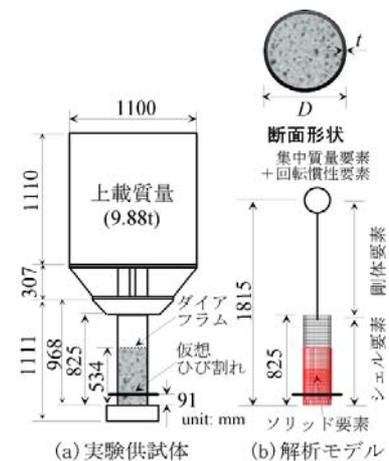


図 6 実験供試体

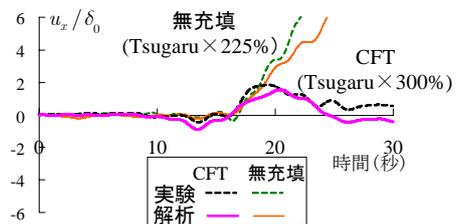


図 7 水平変位の振動中心の推移

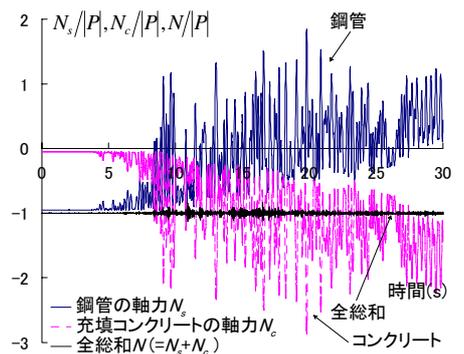


図 8 軸力分担(振動台実験)