

2 方向繰り返し荷重を受けるコンクリート充填矩形断面鋼製橋脚の FEM 解析

名古屋工業大学大学院 大岩 俊則 名古屋工業大学大学院 学生員 ○金井 宏英
名古屋工業大学大学院 フェロー会員 後藤 芳顕 名古屋工業大学大学院 正会員 海老澤健正

1.はじめに： 中空鋼管の内部にコンクリートを充填したコンクリート充填鋼製橋脚(CFT 橋脚)はダイアフラムと鋼管に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。著者らは円形断面 CFT 柱を対象に繰り返し荷重下における精密な FEM 解析法を提案し¹⁾²⁾、この解析を用いて今までにはほとんど未知であった 1 方向繰り返し条件下の円形ならびに正方形断面 CFT 柱の充填コンクリートの拘束による強度向上と局部座屈変形の抑制・修復のメカニズムを明らかにすることに成功している¹⁾²⁾。さらに、より一般的な水平 2 方向繰り返しでの検討に着手しており、円形断面 CFT 橋脚についてはすでに一部成果を発表している³⁾。ここでは正方形断面 CFT 橋脚を対象に水平 2 方向繰り返し載荷実験を行い、解析モデルの精度検証と力学特性について検討した結果を報告する。

2. 載荷実験： 図 1 に示す正方形断面 CFT 橋脚供試体に対し一定鉛直荷重下において図 2 の螺旋載荷を行った。供試体諸元は表 1 に示す。

3. FEM 解析モデル： 解析モデルとしては著者らが提示した有限要素モデル¹⁾²⁾を用いる。仮想ひび割れは解析においてコンクリートが引張強度に達する位置に順次仮想ひび割れを挿入し履歴曲線が収束するまでこの手続きを繰り返すことで挿入位置と本数を決定する。本解析では 3 本の仮想ひび割れを図 1 に示す位置に挿入する。界面では接触・離間の挙動を考慮するため、コンタクトペア及び接触ばねを用いるが摩擦の影響は正方形断面では小さい²⁾ことから考慮しない。鋼材の材料構成則には三曲面モデルを適用し、その材料パラメータと単調引張載荷での真応力-対数ひずみ関係を図 3、表 2 に示す。また、充填コンクリートには損傷塑性モデルを用いる。この材料パラメータのうち、ヤング率、ポアソン比、圧縮側の相当応力-相当塑性ひずみ関係については一軸圧縮試験により同定する。ただし応力-ひずみ関係における軟化域の勾配は寸法効果による要素依存性があることから、CFT 解析モデルと同程度の要素寸法を持つ圧縮試験の解析モデルを作成しキャリブレーションにより勾配を定める。引張側の相当応力と-相当塑性ひずみ関係、ダメージパラメータと相当塑性ひずみの関係、支配パラメータ $\psi, e, \sigma_{b0}/\sigma_{c0}, K_c$ については文献 3)と

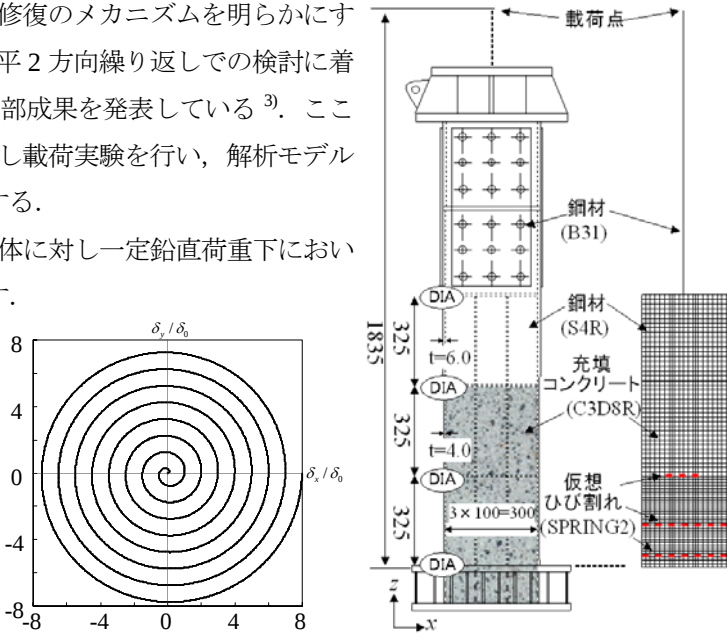


図 1 実験供試体及び解析モデル

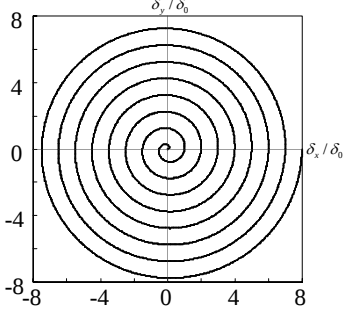


図 2 載荷履歴

表 1 供試体諸元

h (mm)	a (mm)	t (mm)	λ	R_R	α	H_0 (kN)	δ_0 (mm)
1835	296.87	4.46	0.384	0.446	0.15	76.47	8.66

表 2 三曲面モデルパラメータ

f_b / σ_y	β	κ	ρ
0.650	100	3	2

表 3 損傷塑性モデルパラメータ

ψ	e	$\sigma_{b0} / \sigma_{c0}$	K_c
30°	0.1	1.16	0.67

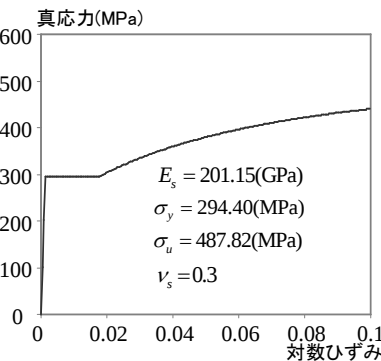


図 3 真応力-対数ひずみ関係

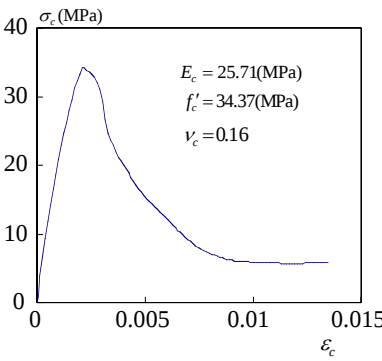


図 4 一軸圧縮応力-ひずみ関係

キーワード： コンクリート充填鋼製橋脚, 水平 2 方向荷重, FEM 解析

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

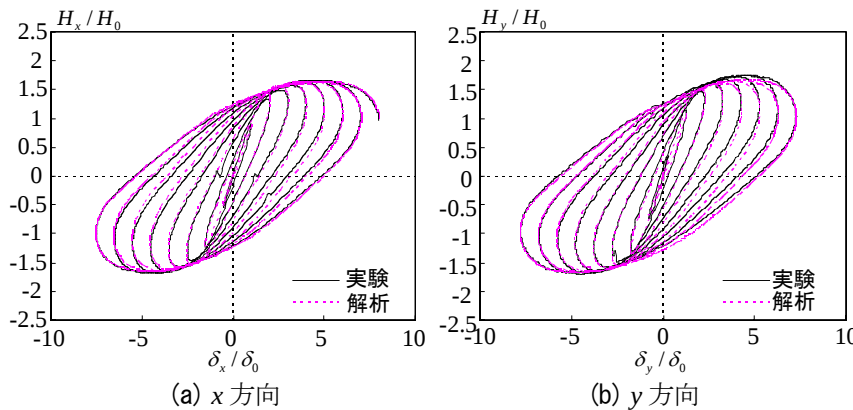


図5 荷重－変位関係

同様に決定し、これらの材料パラメータを表3、図4にまとめる。

4. 実験・解析結果： 解析モデルにおいて鋼材と充填コンクリート間の初期間隙としてコンクリート乾燥収縮ひずみから求めた値を与えたが、荷重前半においては実験結果に比べて沈下量が小さい結果となった。これより、レイタンスや水みちの影響のために乾燥収縮に基づく値よりも大きな初期間隙が生じていると考えられることから、実験結果とのキャリブレーションによりコンクリートの乾燥収縮ひずみの10倍に相当する値を初期間隙として与えた。解析で得られた荷重－変位関係および沈下量を実験結果と比較して図5、図6に示すが、解析モデルは荷重全体にわたり実験結果を精度良く再現することがわかる。

5. 局部座屈の拘束効果と自己修復機能： 解析において最も大きな座屈が生じた高さにおける補剛パネルの中央での局部座屈波形のピーク値の推移を無充填橋脚と比較して図7に示す。これより、CFT橋脚ではある方向に荷重が進み局部座屈変形が生じて、半サイクル後の反対側への荷重の際には座屈ピーク値は0に近づいており、局部座屈変形が復元していることが分かる。この局部座屈変形が抑制されるメカニズムについて検証するため、橋脚基部における鋼柱が受け持つ軸力

N_s 、コンクリートが受け持つ軸力 N_c 、軸力の総和 $N = N_s + N_c$ を鋼製橋脚に外力として与えられた一定軸力 P の絶対値で無次元化して図8に示す。この図からわかるように初期サイクルでは鋼柱が全ての圧縮軸力を受け持ち、荷重が進むにつれて徐々にコンクリートにも分担される。さらに荷重が進むと鋼柱が受け持つ軸力は、圧縮領域から引張領域へと変化していく。同様の現象は円形断面CFT橋脚においても観察されている³⁾。この現象は橋脚基部における局部座屈発生で鋼管の圧縮剛性が低下するために軸方向圧縮力は主に充填コンクリートに支持されるようになる一方で、曲げモーメントにより生じる引張力は水平ひび割れが発生した充填コンクリートでは抵抗できないので主として鋼断面に作用していくというメカニズムに起因している。鋼断面に作用する引張軸力により鋼柱の局部座屈が進展せず、加えて生じた局部座屈の修復が起こるものと考えられる。

6. まとめ： 矩形断面CFT橋脚を解析できる精緻なモデルを提案し、その精度を水平2方向繰り返し荷重下の実験結果と比較することにより検証した。また、この解析モデルを用いた検討から、より一般的な2方向繰り返し荷重においても正方形断面CFT橋脚は円形断面CFT橋脚と同様の局部座屈抑制・自己修復メカニズムが存在することを確認した。

謝辞： 本研究は科研費(基盤研究(A), 23246084)の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表する。

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) 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.

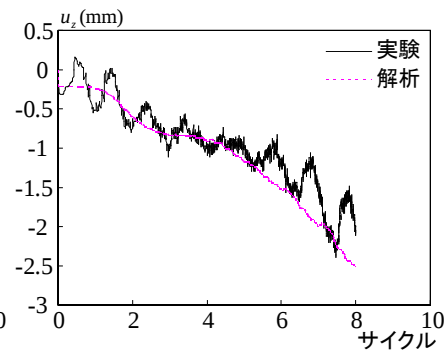


図6 鉛直変位－サイクル関係

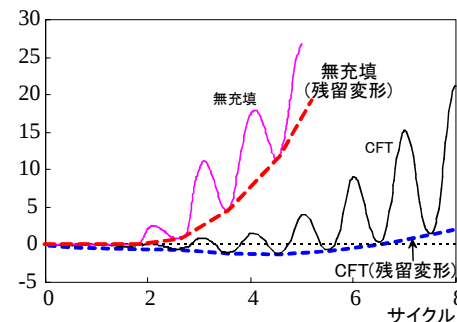


図7 座屈変形ピーク値の推移

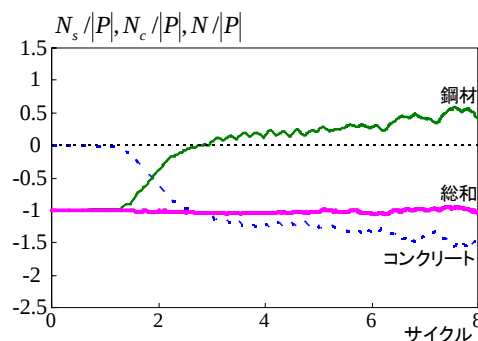


図8 鋼断面とコンクリート断面の軸力分担