

振動台を用いた円形断面コンクリート充填鋼製橋脚の2方向加振実験とFEM解析

名古屋工業大学大学院 学生会員 ○長田 直也
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 芳顯
中国・同済大学 Wensheng Lu, Xilin Lu

1. はじめに

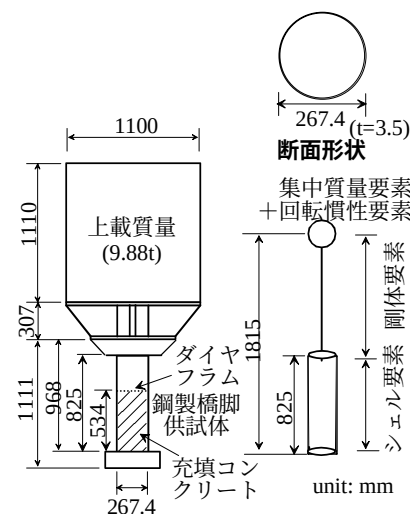
中空鋼管のダイヤフラムと鋼管に囲まれた内部に部分的にコンクリートを充填した部分充填鋼製橋脚(CFT橋脚)は拘束された充填コンクリートの圧縮強度向上と充填コンクリートによる鋼管の局部座屈防止効果などにより, 高い強度と変形能を有する. このようなメカニズムを数値的な安定性のもとで精度良く解析しうる手法を静的繰り返し載荷実験を基に提案した^{1)~3)}. しかしながら, 実現象の再現性と言う観点からすれば振動台実験により検証がなされるのがより望ましい. そこで本研究では, 円形断面コンクリート充填鋼製橋脚の約1/8スケールの供試体を用いた水平1方向および水平2方向加振の振動台実験を実施し, コンクリート充填による効果を確認するとともに, 動的応答解析の精度検証を行う.

2. 実験概要

解析対象とする振動台実験は2010年に中国同済大学にて実施した円形断面コンクリート充填鋼製橋脚の振動台実験である. 図1(a)に示す供試体は, 表1のように橋脚パラメータを設定し, 実橋脚の1/8スケールとして相似則に基づき上載質量の慣性力による発生応力が実橋脚と同一となる条件から各諸元を決定している. コンクリートは1つ目のダイヤフラムまで無荷重下で打設した. また入力地震動は, 固有周期の相似比と一致するように載荷時間を $1/\sqrt{8}$ 倍に調整した上で, 日本海中部地震 Tsugaru 実測波の振幅を225~450%に増幅し, 1方向加振ではLG成分を, 2方向加振の場合はLG及びTR成分を同時に入力している.

3. 解析モデル

解析モデルでは, 図1(b)に示すように供試体の橋脚部をシェル要素(S4R), 上載質量を集中質量要素および回転慣性要素によって表現し, 両者を剛体要素にて接合している. また, 充填コンクリートはソリッド要素(C3D8R)と離散ひび割れモデルで表現し, 鋼管とコンクリート界面には接触ばね(非線形ばね要素)を導入することで接触・離間挙動を表わす. また, 鋼管とコンクリート界面での摩擦についてはその影響が小さく, 数値解析での収束性を確保することが難しいことから, 本研究では無視している. 材料構成則は, コンクリートの構成則については損傷塑性モデルを適用し, 表2に材料パラメータを示す. 鋼材については繰り返し載荷挙動をよく表現する三曲面モデル^{4,5)}を適用し, 汎用構造解析ソフトABAQUSの



(a) 実験供試体 (b) 解析モデル
図1 解析対象供試体

表1 供試体諸元

R_t	$\bar{\lambda}$	P/P_y
0.072	0.42	0.083

表2 損傷塑性モデル支配パラメータ

ψ	K_c	σ_{b0}/σ_{c0}	e
10	0.70	1.10	0.2

表3 三曲面モデルのパラメータ

E (GPa)	ν	σ_y (MPa)	σ_u (MPa)	ε_{yp}	f_b/σ_y	β	ρ	κ
233	0.3	399.9	498.2	0.007	0.38	150	2	2

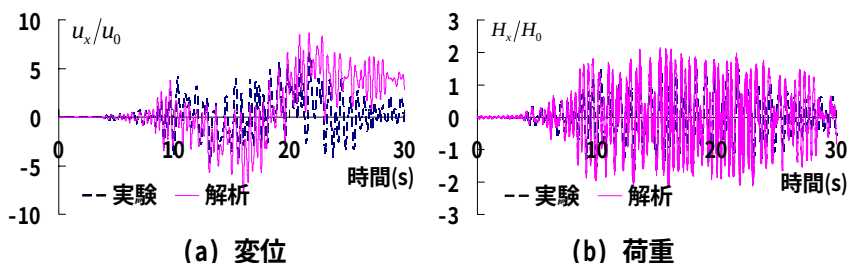


図2 時刻歴応答(1方向加振)

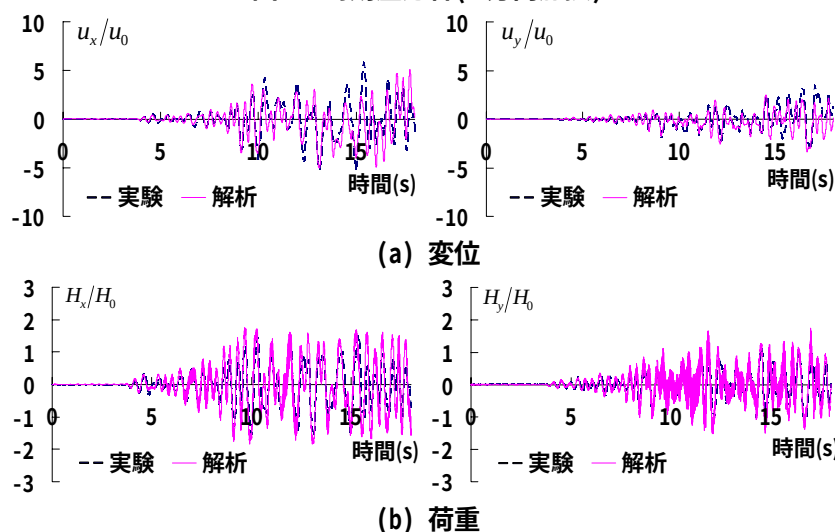


図3 時刻歴応答(2方向加振)

キーワード: 2方向地震動, 動的応答解析, 振動台実験, コンクリート充填鋼製橋脚

連絡先: 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御所町 名古屋工業大学 TEL 052-735-5021 FAX 052-735-5563

ユーザーサブルーチンとして組み込む。

表3に三曲面モデルのパラメータを示す。なお、粘性減衰は弾性加振での自由振動波形から定めた減衰定数に基づき質量比例減衰として与え、曲げ1次の固有周期が実験と一致するように、供試体基部に線形の回転ばね要素を配置しばね剛性を調整している。

4. 解析結果

(a) 1方向加振： 図2にTsugaru波LG成分450%加振時の水平変位、水平荷重の時刻歴応答を実験結果と解析結果について比較して示す。変位の解析結果は実験結果に較べ、振動中心が15秒付近で負側に、20秒以降は正側に移っており、若干差異が生じた。一方、荷重についてはおおむね解析結果は実験結果を再現している。

(b) 2方向加振： 図3にTsugaru波LG, TR成分450%加振時水平変位、水平荷重の時刻歴応答を実験結果と解析結果について比較して示す。これを見ると変位、荷重ともに解析結果は実験結果と一致しており、解析結果は実験結果を精度よく再現していることがわかる。

5. コンクリート充填の効果

コンクリート充填の有無による比較として、Tsugaru波300%加振時の水平変位時刻歴応答を図4、図5に示す。ただし、無充填橋脚の2方向加振のみ充填橋脚より加速度の小さいTsugaru波225%加振となっている。これより、1方向加振においては、無充填橋脚では13秒前後で振動中心が一度、負側へ移動した後、17秒以降で急激に正側へ変位が増大し倒壊に至っている。一方、コンクリート充填橋脚では、変位が $5u_0$ 以内である19秒付近までは無充填橋脚とほぼ同様の挙動を示すが、それ以上に変位が増大することはない、残留変位もほぼ0となる。これは、2方向加振においても同様の傾向がある。また、基部の変形形状を図8に示すが、充填橋脚においては加振終了後には大きな残留変形が生じていない。このようなコンクリート充填橋脚の特性は、鋼管に局部座屈が生じると圧縮応力の大部分を充填コンクリートが分担することで鋼管に引張応力が発生し、局部座屈の進行が抑制されるためであると考えられる。以上のような挙動は今回の数値解析モデルで全て精度良く予測されている。

6. まとめ

振動台実験結果により、コンクリート充填円形断面鋼製橋脚の動的応答解析の精度検証を行った。水平変位については一部差異が生じたがおおむね実験結果を再現しており、また、水平荷重については精度よく解析しうることを確認した。また、コンクリート充填橋脚では、鋼管に局部座屈発生後、圧縮応力の大部分を充填コンクリートが分担することで鋼管に引張応力が発生し局部座屈の進行が抑制される。これにより、無充填橋脚に較べ耐震性能が向上し残留変形の発生も抑制できることが確認された。

参考文献：1) 後藤芳顕, 水野貢介, Ghosh Prosenjit Kumar, 藤井雄介：充填コンクリートとの相互作用を考慮した矩形断面鋼製橋脚の繰り返し挙動のFEM解析, 土木学会論文集A, Vol.66, No.4, pp.816-835, 2010. 2) 後藤芳顕, Ghosh Prosenjit Kumar, 川直樹：充填コンクリートとの相互作用を考慮した円形断面鋼製橋脚の繰り返し挙動のFEM解析, 土木学会論文集A, Vol.65, No.2, pp.487-504, 2009. 3) Goto, Y., Ghosh, P.K., Seki, K.: Finite element analysis of hysteretic behavior of thin-walled CFT columns with large cross section, 12th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-12), Hong Kong, China, extended abstract, pp.577-578. 34 後藤芳顕, 王慶雲, 高橋宣男, 小畑誠：繰り返し荷重下の鋼製橋脚の有限要素法による解析と材料構成則, 土木学会論文集, No.591/I-43, pp.189-206, 1998. 5) Goto, Y., Jiang, K., and Obata, M.: Stability and ductility of thin-walled circular steel columns under cyclic bidirectional loading, J. Struct. Engrg., Vol.132, No.10, ASCE, pp.1621-1631, 2006.

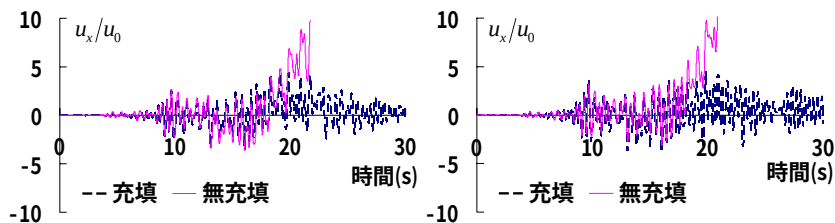


図4 充填と無充填の変位時刻歴応答の比較(1方向加振)

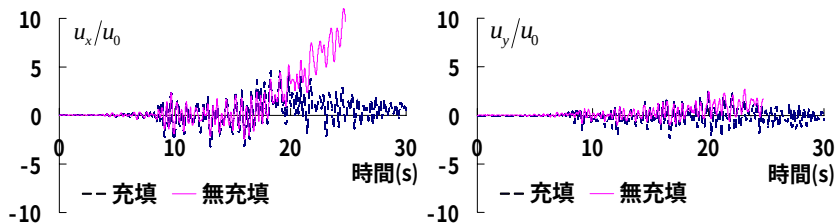


図5 充填と無充填の変位時刻歴応答の比較(2方向加振)

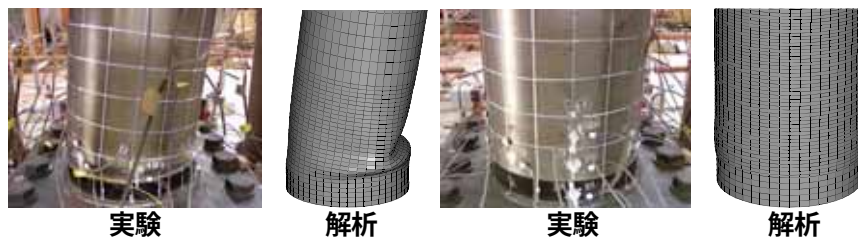


図6 基部の変形形状(1方向加振)