水平2方向繰り返し荷重を受けるコンクリート充填円形断面鋼製橋脚のFEM解析

名古屋工業大学大学院 学生会員 〇関 一優

名古屋工業大学 産学官連携センター 正会員 Ghosh Prosenjit KUMAR 名古屋工業大学大学院 フェロー会員 後藤 芳顯

1. 背景・目的: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)はダイヤ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.しかしながら、このようなメカニズムを精度良く解析できる 手法については極端に悪い数値安定性のため十分なものが提示されていない。す でに著者らは繰り返し荷重下の精密な解析法として ABAQUS¹⁾を用いることを前 提に、鋼管に構成則として3曲面モデル ²⁾を導入したシェル要素(S4R), 充填コ ンクリートには構成則として損傷塑性理論を用いたソリッド要素(C3D8R)と離 散ひび割れモデル,さらに鋼管とコンクリート界面の接触・離間挙動や接触時の b 摩擦挙動を表すためにコンタクトペアを用いた FEM 解析手法を提案している ³⁾. この解析法により繰り返し荷重下の挙動を安定して解析できるとともに、実験で 得られている CFT 柱に特有のくびれのある履歴曲線を精度良く再現することに も成功した.以上の結果を踏まえ、本報告では、より一般的な載荷形態である水 平2方向繰り返しを受ける円形断面の CFT 橋脚供試体の載荷実験を行い、精緻な解析 を実施するためのモデル化ついて検討を行う.なお,比較のために同じ仕様の供試体の 1方向繰り返し載荷実験も実施する.



No.5

らに,比較のため,従来の1方向繰り返し載荷を行 った.供試体諸元は**表1**に示す.

3. 繰り返し荷重下の充填コンクリートの破壊性状: FEM解 析では充填コンクリートの引張り応力下の挙動は主として離 散ひび割れによりモデル化するが,離散ひび割れを挿入する方 向と位置を決定する必要がある.1方向繰り返し載荷では実験 結果をもとに水平方向の離散ひび割れを導入した³⁾.ここでは, 実験結果を基に,2方向繰り返しの場合のひび割れパターンを 1方向繰り返しの場合と比較し,充填コンクリートの離散ひび 割れモデルに採用するパターンについて考察する.繰り返し実 験終了後に,鋼管を切除することで,充填コンクリートの破壊 性状を検討した.その結果以下のことが判明した.1方向繰り 返し載荷,2方向繰り返し載荷によらず引張りによるひび割れ



は水平に入る.また,主要なひび割れ部には,圧砕帯が,一方向繰り返し載荷では載荷方向の充填コンクリー ト両縁端部において,また,2方向繰り返しでは充填コンクリートの外縁の周方向に発生する(図3参照).圧

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 TEL052-735-5021 FAX052-735-5563 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 砕帯と鋼管の局部座屈変形位置は一致しており,上 ベースプレートから高さ 60mm~100mm の範囲(幅 40mm) で、半径方向の平均深さは 19.4mm である. 4. モデル化:解析モデルとしては著者らが提示

した有限要素モデル³⁾を用いる.コンクリートと鋼材の界面には乾燥収縮を 考慮して 0.3mm のギャップを設けている.鋼管とコンクリートの材料試験に もとづき、鋼材の1軸真応力-対数ひずみ関係を図4(a)、繰り返し塑性モデ ルである3曲面モデルの材料パラメータ値を表2(a)に、コンクリートの一軸 圧縮応力 - 圧縮ひずみ関係を図4(b),損傷塑性モデルの材料パラメータ値を 表 2(b)示す. ここで, 膨張角は $\psi = 10^{\circ}$ と仮定している. 充填コンクリートの 膨張角は実験とのキャリブレーションにより決定した. コンクリートと鋼材 の界面については接触離間の挙動を正確に反映したコンタクトペアを用いる が、界面での摩擦係数 µ=0.1とし、クーロン摩擦モデルを用いる.

4. 離散ひび割れの挿入と圧砕帯のモデル化: 充填コ ンクリートのひび割れ発生が予測される位置に水 平な離散ひび割れを導入するが、ここでは引張り 相当塑性ひずみが最大となる位置に順次離散ひび 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. 最終的な離散ひび割れの挿入位置 を図5に示す. なお,離散ひび割れにはそれぞれコ ンタクトペアを導入することで破壊面の接触・離間

挙動をモデル化する. 破壊面の摩擦係数は $\mu = 1.0$ とする. 図5より設定され た離散ひび割れ6本のうち3本は圧砕帯の範囲に存在している. コンタクトペ アをそのまま離散ひび割れ面に用いると接触時の圧縮応力下における圧砕帯の 軟化挙動を表すことができない. そこで, 圧砕帯の深さを実測値の平均 19.4mm と仮定して、この部分の離散ひび割れ面のコンタクトペアを除去する. 図7 合水平変位一鉛直変位関係

5.解析結果:解析結果として、2方向繰り返し載荷での履歴曲線を図6に、さらに、頂部の合水平変位

 $100 \frac{H_x(kN)}{m}$

-100

 $u_{\Sigma} = \sqrt{u_x^2 + u_y^2}$ と鉛直下方向変位 u_z の関係を図7に、実験結果と比較する形で示している.いずれについても、

解析と実験はほぼ一致している.ただ、図7から、u,が65mmあたりで供試体頂部の変位が上方向へ反転してい る.反転位置での充填コンクリートの相当塑性ひずみは約20%と大きく、コンクリート損傷塑性モデルで膨張量 が過大に評価されている可能性があり、その適応範囲につて検討する必要がある.

6. まとめ:水平2 方向繰り返し荷重を受けるコンクリート充填円形断面鋼製橋脚の精緻な有限要素モデルに ついて検討した.基本的にはすでに提示した一方向繰り返し荷重下でのモデル ³⁾とほぼ同様であるが,充填コ ンクリートにおいて、複数の離散ひび割れ、ならびに主要なひび割れの外縁の周方向に発生する圧砕帯の影響 をモデル化において新たに考慮する必要がある.

参考文献: 1) ABAQUS/Standard User's Manual, Version 6.7, 2007. 2) Goto, Y., Wang, Q. Y. and Obata, M.: FEM analysis for hysteretic behavior of thin-walled column, J. Struct. Engrg., Vol.124, No.11, ASCE, pp.1290-1301, 1998.

3) 後藤芳顯, Ghosh Prosenjit KUMAR, 川西直樹: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, 487-504, 2009.

19.4mm ,

離散ひび割れ

離散ひび割れ

コンタクトペア消去部分

91mm

79mm



