充填コンクリートとの相互作用を考慮した 水平2方向繰り返し荷重を受ける円形断面充填鋼製橋脚のFEM解析と局部応力

新日本製鐵株式会社 正会員 ○関 一優 Image Real Estate Ltd 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.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.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に,世界的に見ても十分な解析法が 提示されているとは言い難い.著者らは繰り返し荷重下の CFT 橋脚 の挙動を解析するために,ABAQUS¹⁾を用いることを前提に,鋼管に 構成則として三曲面モデルを導入したシェル要素(S4R),充填コンク リートに構成則として損傷塑性モデル¹⁾を用いたソリッド要素 (C3D8R)と離散ひび割れモデル,コンクリートの圧壊による劣化を表 現する圧砕帯モデル,さらに鋼管とコンクリート界面の接触・離間挙 動や接触時の摩擦挙動を表すためにコンタクトペア¹⁾とクーロン摩 擦モデルを用いた精密な FEM による解析手法を提案した^{2),3)}.この

解析法によると繰り返し荷重下の挙動に ついて実験で得られている特徴的な履歴 曲線を,数値的な安定性のもとで,比較 的良く再現できることが明らかになった 2).3).以上の結果を踏まえ,本報告では, 水平2方向繰り返しを受ける円形断面 CFT 橋脚供試体の載荷実験をもとに,さ らに,鋼管の局部応力算定への本解析モ

デルの適用性の検討を行う.そして,算定された局部 応力に基づき局部座屈抑制メカニズムの考察を行う. 2.実験方法:コンクリート充填円形断面橋脚供試体(図 1)と無充填橋脚に対して一定鉛直荷重下で2方向繰り 返し載荷として,図3の螺旋載荷を行った.供試体諸 元は表1に示す.

3.2 方向繰り返し荷重下のコンクリート充填橋脚のモ デル化:鋼管の材料構成則は鋼材の引張り試験にもと づき決定する.求められた鋼材の一軸真応カー対数ひ ずみ関係と繰り返し塑性モデルである三曲面モデルの 材料パラメータ値を図4(a)と表2に示す.

充填コンクリートには損傷塑性モデルを用いるが、



これを一意的に定めるには以下の5つの項目について定める必要がある. ①ヤング率, ポアソン比②圧縮側の相当応力-相当塑性ひずみ関係③引張側の相当応力-相当塑性ひずみ関係④ダメージパラメータと相当塑性ひずみの関係⑤支配パラメータ ψ , e, σ_{b0}/σ_{c0} , K_c である. ①と②については一軸圧縮試験により求める. ただし, 圧縮側の応力-ひずみ関係の軟化域の勾配は要素の大きさによる寸法効果の影響を受けることが知られている. ここでは充填コンクリートを離散化したのと同寸法の要素を用いて圧縮供試体を離散化し, 軟化域における荷重-変位関係と解析結果が一致するように応力-ひずみ関係の軟化勾配を定めた. 求めた関係を図4(b)に示す. ③④⑤については文献 3)で使用されるパラメータを用いる. ここでは以上の方法で決定した支配パラメータを表3にまとめる.

供試体

No.2(CFT)

No.7(Hollow)

鋼材

STK400

STK400

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



図5 2方向繰り返し荷重下での履歴挙動

5. 解析結果と実験結果の比較による解析モデルの検証:前述した解析モデルを用いた No.2(螺旋)の解析結果を図5に実験結果と比較して示す.最大荷重と,その後の軟化挙動について比較的精度良く解析できている.

<u>6. コンクリート充填による局部座屈抑制のメカニズム:</u>+5 δ_0 での無充填橋脚と充填橋脚,+7 δ_0 での充填橋脚の変形形状を図7 に示す.+5 δ_0 での変形形状より,充填橋脚は無充填橋脚と比較して局 部座屈変形が小さいことがわかる.このメカニズムを解明するため,図 6に解析で算定された橋脚基部において鋼管が受け持つ軸力 N_s ,充填コ ンクリートが受け持つ軸力 N_c と軸力の総和 $N=N_s+N_c$ 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表す.これらの値 は正のときに引張,負のときに圧縮であることを示す.図6からわかる

ように、当初の軸力のほとんどを鋼断面が分担している が、振幅の増大により3サイクルから引張り領域に入り、 最後のサイクルでは鋼断面に軸力 P の 40%~50%の引張 力が作用し、コンクリート断面に 150%~160%の圧縮力が 作用する.このような現象は次のように説明できる.最 大振幅時、充填鋼管基部には軸圧縮力と曲げモーメント が作用するが、鋼管の局部座屈発生により鋼管の圧縮剛 性が低下するため、軸方向圧縮力は主に充填コンクリー トに支持される. 逆に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、主として鋼管で支持される.以上のよ うに,鋼断面に作用する引張軸力により鋼管の局部座屈 が進展しないものと考えられる.この結果を詳細に検証 するために, 図9に実験において橋脚基部より高さ 74mm にある 4 箇所のゲージ(図 8 参照)で測定されたひ ずみから算出した鋼管の鉛直方向応力を解析値と比較 している. 図9より、鋼管応力は表面ゲージが剥がれる 3.4 サイクルまでしか計測されていないが、計測値と良 く一致している. さらに, 繰り返し載荷回数が増えると



一定圧縮軸力下でも充填橋脚の鋼管表面に大きな引張り応力が作用しており、これが座屈変形の修復に寄与 していることが確認できる.

<u>7. まとめ</u>: 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を安定的に解析できるモデルを提案し,精度を実験結果との比較により検証した.その結果,荷重-変位関係のみならず,応力のレベルでも精度良く解析しうることがわかった.また,この応力レベルの検討から,充填鋼脚の局部座屈抑制メカニズムについても明らかにすることもできた.

参考文献: 1) Hibbit,Karlsson & Sorensen, Inc.: ABAQUS/Standard User's Manual, Version 6.6, 2006 2) 後藤芳顯, 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 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-Pcific Conference on Structural Engineering and Construction(EASEC-12),Hong Kong,China,extended abstract,pp.577-578,Proc.of EASEC-12 published in CD-ROM