

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：53901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06201

研究課題名(和文)大地震により損傷した鋼製橋脚の耐震性能評価と急速補修工法の提案

研究課題名(英文)Evaluation of seismic performance and proposal of rapid repair method of steel pier damaged by large earthquake

研究代表者

川西 直樹 (Kawanishi, Naoki)

豊田工業高等専門学校・環境都市工学科・准教授

研究者番号：60300589

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：大地震が発生すると、耐震設計に塑性限界設計がなされる現行の鋼製橋脚には塑性変形による損傷が残る可能性がある。この場合の橋脚の運用継続の可否を判断するための明確な判断基準は存在せず、耐震性能を修復するための工法も提案されていないのが現状である。本研究では、大地震による損傷した鋼製橋脚に対して、損傷後の耐震性能を簡便に算定するための手法を提案し、この手法を用いた新たな耐震設計法について提案した。さらに、地震後の補修工法として簡便な工法であるコンクリート充填によるCFT橋脚についてその耐震性能を数値解析・実験の両面から明らかにした。

研究成果の概要(英文)：If a major earthquake occurs, there is a possibility that damage due to plastic deformation may remain on existing steel bridge piers with plasticity limit design on earthquake resistant design. In this case there is no clear criterion for judging whether to continue the operation of the pier, but the construction method for restoring the earthquake resistance performance has not been proposed at present. In this research, we propose a method to easily evaluate seismic performance after damage to steel bridge piers damaged by a large earthquake, and proposed a new seismic design method using this method. In addition, the seismic performance of CFT pier by in-filled concrete which is a simple construction method after earthquake was clarified from both aspects of numerical analysis and experiment.

研究分野：構造工学

キーワード：鋼製橋脚 補強法 弾塑性解析 コンクリート充填柱 耐震性能

1. 研究開始当初の背景

L2 レベルの大地震や設計想定を超えた大地震が発生し、高速道路などの主要幹線道路を支える鋼製橋脚に作用すると、耐震設計に塑性限界が考慮される現行の鋼製橋脚は損傷が発生する可能性があり、この場合の橋脚の運用継続の可否を判断するための明確な判断基準は存在せず、迅速に耐震性能を復元するための工法も提案されていないのが現状である。

そこで、大地震により損傷した鋼製橋脚に対し、適切かつ容易に実務判断が可能となるよう損傷度を的確に把握し、補修が必要な場合に対して短い日数で復元可能で耐震性能の確保が容易な工法を提案することが重要となる。

2. 研究の目的

本研究では、鋼製橋脚の耐震補修法として最も簡便で有力な工法であり、鋼製橋脚の耐震補修工法の鋼製橋脚内に低強度なコンクリートを充填する工法、いわゆる CFT 化による橋脚の耐震性能の向上について焦点をあてることとした。CFT 化による激震時における鋼製橋脚の耐震性能の向上やそのメカニズムについては現状十分解明されておらず、現行の CFT 橋脚の耐震設計法や耐震補強の設計法自体に疑問な点も多く残されている。

そこで、本研究では、高軸力下でも有効と想定される CFT 橋脚に対して、FE 解析、縮小模型実験を実施し、数値解析と実験の両面から高軸力を受ける CFT 橋脚の耐震性能を明らかにする。つぎに、CFT 化された橋脚はエネルギー吸収性能が補修前の無充填橋脚に比べ高いことが分かっており、この特徴を活用した耐震設計法の確立のため、大地震時の CFT 橋脚のポストピーク挙動まで簡便に計算できる全く新たな解析方法を提案し、その精度を既存の FE 解析や実験結果と比較することで検証する。さらに、この提案法を用いた CFT 橋脚の新たな耐震設計法を提案することを主な目的とする。

3. 研究の方法

(1) 高軸力を受ける CFT 橋脚の耐震性検討

CFT 橋脚を図 1 のような FE モデルを構築し、この解析結果と実験結果を比較することで FE モデルの精度を検証する。これにより精度検証されたモデルを用いて高軸力が CFT 橋脚に作用したときの力学挙動を調査する。

(2) CFT 橋脚のポストピーク挙動を考慮した

CFT 橋脚の簡易モデルの開発

これまで検討できなかった CFT 橋脚のポストピーク挙動を考慮した簡易モデル(セグメントモデル)を図 2 のように提案する。この解析精度を既往の FE 解析や繰り返し載荷実験、および、加振実験と比較することで、

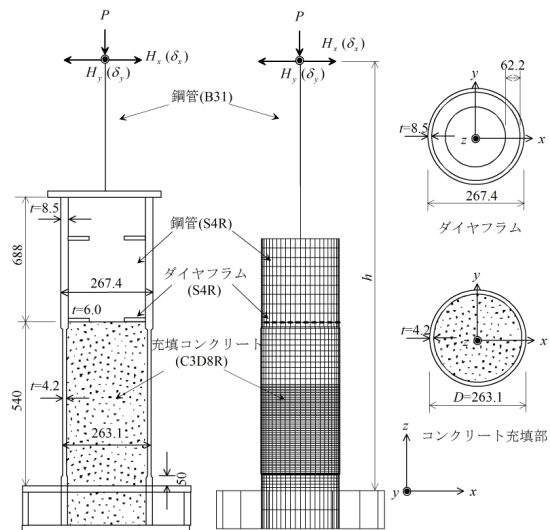


図 1 CFT 橋脚の FE モデル

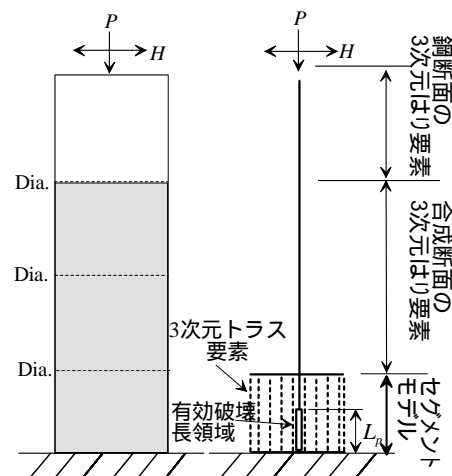


図 2 3次元セグメントモデルの概要

その精度を検証する。さらに、解析時間に関する考察を行い、提案法の有用性についても検証する。また、この提案法を用いた新たな耐震設計法について提案し、試設計を行い、その特徴を整理する。

4. 研究成果

(1) 高軸力を受ける CFT 橋脚の耐震性能

高軸力下での CFT 橋脚の有用性をより詳細に検討するため、申請者らが開発した高精度の FE 解析を用いて、軸力比 0.50 までの範囲の軸力比と細長比をパラメトリックに変化させた複数の部分充填円形断面 CFT 橋脚の繰り返し荷重下の挙動を解析した。以下に本研究で得られた知見をまとめる。

軸力比 0.15 と 0.30 のケースについての CFT 柱の繰り返し載荷実験と数値解析の結果の比較から、数値解析は CFT 柱の終局状態までの繰り返し挙動を精度よく再現できることを検証した。

Pushover 解析結果と一方向繰り返し載荷の結果より、無充填に比べ CFT の方が一般的に最大耐力や変形性能が上昇するが、この傾向は細長比が小さく、軸力比が大きい場合に顕著である。また、ポストピーク域での荷重低下量が少なく変形性能やエネルギー吸収性能に優れ

ている。ただし、繰り返しによる変形能の低下は大きく、とくに細長比と軸力比が小さい場合に顕著である。

細長比の大きなケース($\lambda = 0.57, 1.14$)では、軸力比の増加により CFT 柱の最大耐力は低下している。これは、軸力比と細長比の増加で CFT 柱の $P-\delta$ 効果が顕著になり、基部セグメントの曲げモーメントがその最大値 M_{max} に達する前に構造不安定が起きたためである。

CFT 柱の終局限界を水平荷重のピーク点とした場合について、土木学会鋼・合成構造標準示方書のようにセグメントの限界ひずみで CFT 柱の終局状態を照査する手法の問題点を踏跡的に解明した。すなわち、CFT 柱の高さ h と軸力 P が大きくなると、 $P-\delta$ 効果による作用モーメントの増加のみを考えるだけでは不十分で危険側である。基部セグメントの $M-\theta$ 関係の支配が正でも構造不安定により終局限界に到達することを考慮することが不可欠である。

(2) CFT 橋脚のポストピーク挙動を考慮した CFT 橋脚の簡易モデルの開発

CFT 構造は、繰り返し荷重のピーク点以降においても安定したエネルギー吸収能を持つ。このエネルギー吸収能を適正に評価して耐震性能照査に反映するには、ピーク点以降の CFT 構造の挙動を正確に解析できる実用性と汎用性を併せ持つツールの整備が必要である。ここでは、このような要求に適合した解析ツールに用いるはり要素とトラス要素に基づく 3 次元セグメントモデルを開発した。セグメントモデルは局部座屈の生じる CFT 部材の損傷部分に用いるもので、そのパラメータ同定には対象となる CFT 部材の適切な荷重—変位の履歴曲線データが必要である。一般には、まず、申請者らが過去に開発した精緻な FE モデルを用いて CFT 構造の中で局部座屈が生じる部材に限定して 1 方向繰り返し解析を実施する。その後、パラメータ値の同定は、解析で得られた履歴曲線データにセグメントモデルによる解析結果が一致するようにパラメータ値の最適化を行うことでなされる。この同定作業だけで、セグメントモデルは精緻な FE モデルとほぼ同等の精度で多方向地震作用を受ける CFT 構造の繰り返し解析や時刻歴応答解析にも容易に適用できる。さらに、本セグメントモデルを用いると、FE モデルによる全体系の解析で避けることのできない非現実的に長い計算時間を劇的に減少させることができるとともに、解の収束性の問題も解決することが可能である。

以上のような特長をもつセグメントモデルを耐震解析に導入すると、荷重のピーク点以降の領域も含めて CFT 構造の地震時挙動を正確に解析できるので、より直接的な構造安全性の照査を行うことが可能になる。すなわち、構造系の安全性照査では設計地震動に対する時刻歴応答解析を実施した後の CFT 構造に 1 方向繰り返し載荷解析を行うことで求めた残存耐力を指標として直接安全照

査できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 3 件)

川西直樹, 後藤芳顯: コンクリート充填構造を対象とした 3 次元セグメントモデルの開発と耐震照査法, 構造工学論文集, Vol.64A, pp.73-85, 2018., 査読有

川西直樹, 後藤芳顯: ピーク以降の履歴挙動を考慮したコンクリート充填構造の汎用的な 3 次元簡易モデルと耐震照査法, 性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, Vol.20, pp.85-92, 2017., 部分査読有

川西直樹, 後藤芳顯: 高軸力下での CFT 柱の耐震性能, 性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, Vol.19, pp.59-66, 2016., 部分査読有

〔学会発表〕(計 6 件)

川西直樹, 後藤芳顯: CFT 柱の繰り返し履歴特性を考慮した汎用的な 3 次元セグメントモデルの提案, 土木学会年次学術講演会概要集, Vo.72, I-667 2017.

藤原史, 川西直樹, 後藤芳顯, 海老澤健正: SBHS500 材による正方形断面鋼製柱の繰り返し載荷試験の FE 解析とその改善提案, 土木学会年次学術講演会概要集, Vo.72, I-662 2017.

川西直樹, 後藤芳顯, 松岡陵平, 海老澤健正: 支圧拘束板を用いた CFT 橋脚の耐震性能向上に関する研究, 土木学会年次学術講演会概要集, Vo.71, I-256, 2016.

藤原史, 後藤芳顯, 海老澤健正, 川西直樹, 増田賢人: SBHS500 を用いた無充填鋼製橋脚と CFT 橋脚の塑性域での履歴特性と FE 解析, 土木学会年次学術講演会概要集, Vo.71, I-250, 2016.

日比野司, 川西直樹, 後藤芳顯: SBHS 鋼を適用した鋼製橋脚の耐震性能評価, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.77-78(I-39), 2016.

川西直樹, 後藤芳顯: コンクリート部分充填円形断面柱の軸力比と耐震性能の関係, 土木学会年次学術講演会概要集, Vo.70, I-253, 2015.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:

種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川西 直樹 (Kawanishi, Naoki)
豊田工業高等専門学校・環境都市工学科・
准教授

研究者番号：60300589

(2) 研究分担者

なし ()

研究者番号：

(3) 連携研究者

海老澤 健正 (Ebisawa, Takemasa)
名古屋工業大学・社会工学専攻・助教

研究者番号：90332709

(4) 研究協力者

なし ()