

大阪大学工学部

学生員 ○北市 さゆり

大阪大学大学院工学研究科

正会員 小野 潔

1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震では継続時間が非常に長く主要動が複数含まれるといった、兵庫県南部地震と比べて異なる性質を有する地震動の加速度波形が観測された¹⁾。しかしながら、この地震動が鋼製橋脚の応答特性にどのような影響を及ぼすかは明らかではない。そこで本稿では、東北地方太平洋沖地震の地震動が鋼製橋脚の非線形応答特性に及ぼす影響を明らかとするため、鋼製橋脚を対象とした 1 自由度質点系の非線形時刻歴応答解析を行った。そして動的解析から得られる最大応答変位と残留変位に主に着目して考察を行った。

2. 動的解析の概要

鋼製橋脚を 1 自由度の質点系にモデル化し、バネの復元力特性をバイリニア型の水平荷重－水平変位関係で表現した。鋼製橋脚の水平荷重－水平変位関係の特性を精度よく表現するため、既往の研究²⁾に示されるコンクリート充填の有無、断面形状(円形、矩形)が様々な実験供試体 31 体の正負交番載荷実験に基づく水平荷重－水平変位関係を、既往の研究³⁾の相似則に従い相似率を 3 として実構造物レベルに変換して、動的解析の復元力とした。さらに、上部構造の質量を基準の質量の 0.3 倍、0.7 倍、0.8 倍、0.9 倍と調節することにより、固有周期を変えたモデルを多数設定した。本稿ではⅡ種地盤に着目し、入力地震動は東北地方太平洋沖地震で観測された 6 波(仙台 EW, 仙台 NS, 石巻 EW, 石巻 NS, 気仙沼 EW, 気仙沼 NS)、道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編⁴⁾で解説される兵庫県南部地震の観測波を基に設定された設計地震動 3 波(Ⅱ-Ⅱ-1, Ⅱ-Ⅱ-2, Ⅱ-Ⅱ-3)である。減衰定数はコンクリート充てん柱に対して 0.02, コンクリート無充てん柱に対して 0.01 とした⁴⁾。

なお本稿では動的解析から得られる最大応答変位を δ_{max} , 残留変位を δ_R , 正負交番載荷実験から得られる最大荷重時変位を相似則により実構造物レベルに変換したものを δ_a と表記する。以下の考察では簡便のため、兵庫県南部地震に関するものを「兵庫」、東北地方太平洋沖地震に関するものを「東北」とよぶこととする。

3. 解析結果

3. 1 最大応答変位 δ_{max} について

ここで、各モデルの兵庫の 3 波(Ⅱ-Ⅱ-1, Ⅱ-Ⅱ-2, Ⅱ-Ⅱ-3)の動的解析で得られた δ_{max} のうち最も大きな値を「兵庫 δ_{max} 」と定義する。各モデルに対する東北のそれぞれの地震動に対する最大応答変位 δ_{max} と各モデルに対する兵庫 δ_{max} を比較したものを図-3.1 に示す。図-3.1 では、各モデルに対する兵庫 δ_{max} を δ_a で除した値を横軸にとり、各モデルに対する東北のそれぞれの地震動に対する δ_{max} である「東北 δ_{max} 」を δ_a で除した値を縦軸にとった。図-3.1 からわかるように、兵庫より大きな δ_{max}/δ_a を示すものは仙台で観測された NS 成分の地震動である。図-3.2 にどの固有周期で兵庫を上回る応答があるかを示す。仙台 NS 波では、固有周期が 0.4 秒から 0.65 秒付近で兵庫を超える応答がある。既往の研究⁵⁾に示される地震動の加速度応答スペクトルと比較したところ、兵庫を上回る加速度となる固有周期帯は 0.3 秒から 0.7 秒程度で、仙台 NS 波で兵庫より大きな δ_{max}/δ_a を示す鋼製橋脚の固有周期帯と概ね一致していることがわかる。

3. 2 残留変位 δ_R について

残留変位 δ_R は大きな値を示す特徴的なものだけを示す。ここで主要動が 2 つ存在する仙台 NS 波に着目し、

第1主要動が収束する85秒付近と第2主要動が収束する200秒付近の応答変位を比較したものを図-3.3に示す。図-3.3の横軸はモデルの番号、縦軸は第1主要動および第2主要動による応答変位を表す。ほとんどのモデルで、第2主要動の影響により変位が増幅したことが確認できる。図-3.3で大きな応答を示すモデル5の時刻歴応答変位を図-3.4に示す。これより、第2主要動による残留変位の増幅が確認される。

4. まとめ

最大応答変位に関しては、概ね兵庫県南部地震の応答と同程度、もしくは下回るケースがほとんどである。兵庫県南部地震を上回る応答が得られたのは、0.4秒から0.65秒程度の固有周期の鋼製橋脚であり、地震動の加速度応答スペクトルで兵庫県南部地震の加速度を上回る固有周期帯と概ね一致している。残留変位に関しては、大きな残留変位を示すのは地震動が複数の主要動からなることに影響されていると考えられる。なお、今後詳細に検討を行う予定である。

【謝辞】 本稿で用いた地震動は、防災科学研究所の強震ネットワークおよび基盤強震観測網の観測データ、国土交通省地震計ネットワークの観測データを利用させていただきました。(株)地震工学研究開発センターの野中哲也氏、馬越一也氏には解析ソフトについてご協力をしていただきました。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】 1)国土交通省国土技術政策総合研究所：平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震土木施設災害調査速報，国総研資料第646号，平成23年。 2)建設省土木研究所ほか：道路橋橋脚の地震時限界状態設計法に関する共同研究報告書(I)～(VIII)，(総括編)，1997年～1999年。 3)建設省土木研究所：鋼製橋脚のハイブリッド地震応答実験，土木研究所資料第3583号，平成11年。 4)(社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，平成14年。 5)坂柳皓文，星隈順一，塚淳一：東北地方太平洋沖地震による地震動が構造物の非線形応答特性に及ぼす影響，第31回土木学会地震工学研究発表会講演論文集，平成23年。

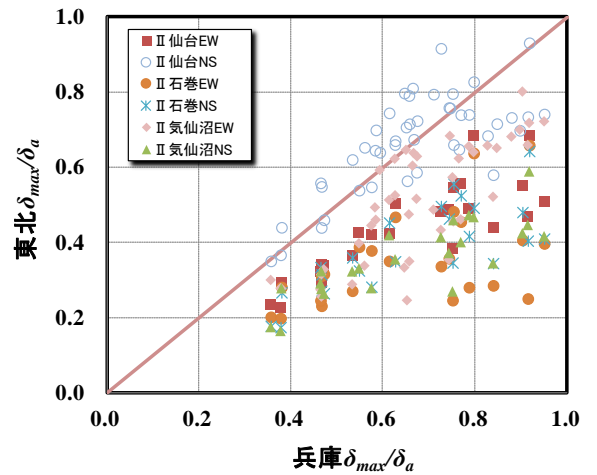


図-3.1 兵庫 δ_{max}/δ_a と東北 δ_{max}/δ_a の比較

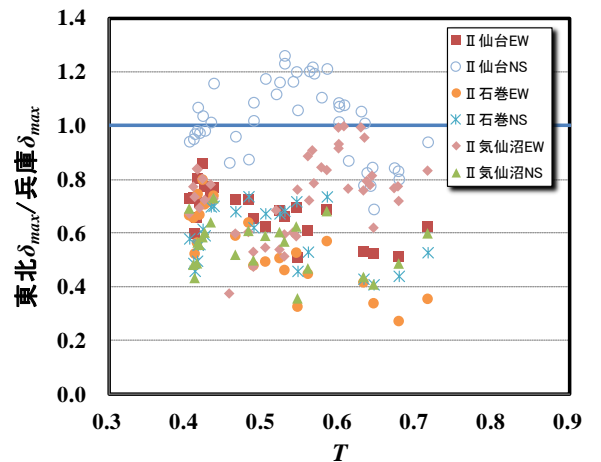


図-3.2 固有周期 T ごとの分布

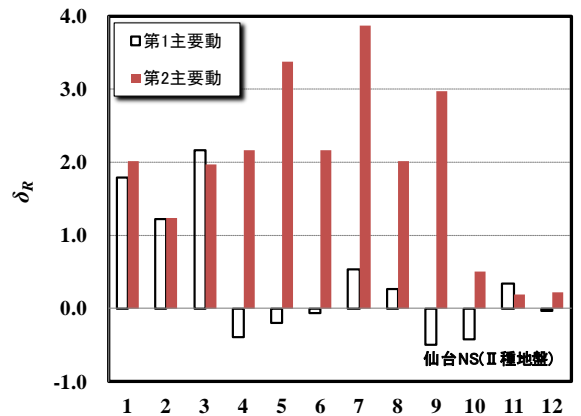


図-3.3 各主要動が残留変位 δ_R に与える影響

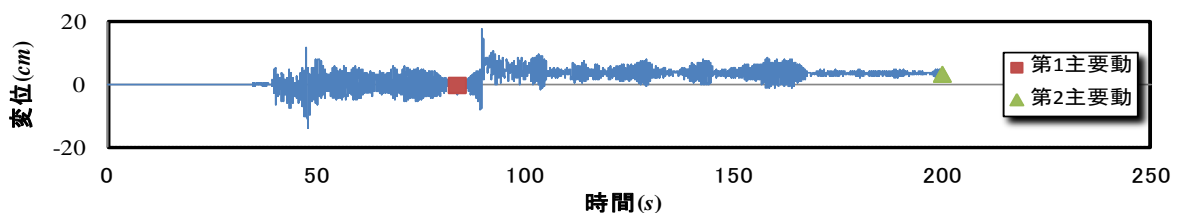


図-3.4 モデル5の時刻歴応答変位