

I - B 122

橋脚長の異なる3径間連続高架橋の大地震時非線形応答解析

北海道大学大学院工学研究科 フェロー 林川 俊郎
 北海道大学工学部工学研究科 学生員 佐野 雅章
 新日本製鐵(株) 正会員 大嶽 敦郎
 宇都宮大学工学部 正会員 中島 章典

1. まえがき

先の兵庫県南部地震では、多数の構造物が被害を受けた。これに対し一昨年発行された道路橋示方書¹⁾によると、移動方向が自由であるゴム支承、エネルギー吸収性能も兼ね備えた免震支承等を採用することを推奨している。また、橋脚の変形性能の照査に対応した動的解析では、橋脚自身の非線形性及び支承部の非線形性を考慮した適切な解析モデルを適用することが求められている。規模の大きな地震波が構造物に作用する場合、部材強度のみで抵抗するには物理的、経済的に限界がある。そのため構造部材が非線形領域に入っても適切な靱性を保ちエネルギー吸収性能を高めることで、結果として構造系全体としての崩壊を防ぐことが重要と考えられる。また、構造形式により高架橋がどのような非線形挙動を示すのかを検討しておく必要がある。

そこで本研究では鋼製橋脚を持つ3径間連続高架橋を対象とし、橋脚高さが同じ場合と橋脚高さが異なる場合の2つの解析モデルについて、その動的非線形挙動を考える。同時に大地震時における高架橋システムの橋軸方向に対する支承部への影響も考慮し、平面骨組のための弾塑性有限変位地震応答解析によって比較検討する。支承部には①鋼製支承(摩擦と移動制限を考慮しない)、②鋼製支承(摩擦と移動制限を考慮する)、③水平反力分散支承、④免震支承の4タイプを考える。

2. 解析モデル

2.1 上部構造、下部構造

本研究では、橋脚高さが同じ場合と橋脚高さがそれぞれ異なる場合において支承部および橋脚基部そして高架橋全体系における非線形挙動を比較するために、図-1のような解析モデルを用いる。

上部構造を支間長40m、鋼主桁4本の鉄筋コンクリート床板からなる総重量約900tの合成桁として考える。解析に際し、これを断面2次モーメントと総重量が等価な鋼断面に換算しモデル化する。橋脚は震度法と許容応力度法により概略設計し、断面幅を2000mm、板厚を50mmの鋼製の正方形箱形断面とした²⁾。また橋脚高さが同じ場合には、 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 橋脚の高さをともに20mとし、橋脚高さが異なる場合には P_1 、 P_4 橋脚の高さを20m、 P_2 橋脚の高さを28m、 P_3 橋脚の高さを36mとした。橋脚の基礎は十分剛である場合を考慮固定とした。

2.2 支承部モデル

鋼製支承および水平反力分散支承は、摩擦や移動制限装置、水平力-水平変位の非線形履歴の影響を考慮するために支承部を非線形ばねにモデル化する。免震支承は鉛プラグ入り積層ゴム支承とし水平力-変位関係はバイリニア型とする。

3. 解析方法

本研究においては、材料非線形性と幾何学的非線形性を考

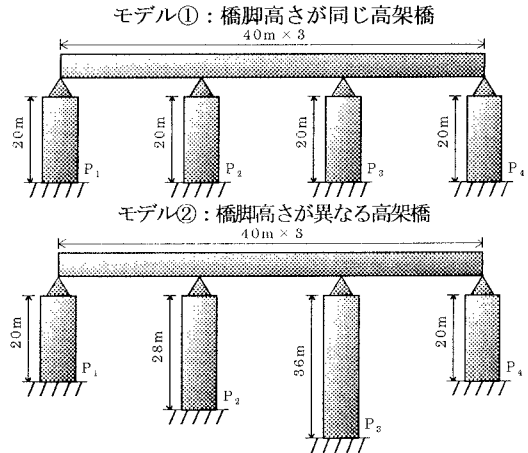


図-1 3径間連続高架橋の解析モデル

慮した、いわゆる複合非線形問題として弾塑性有限変位解析をもとにNewmark β 法により動的応答解析を行う。その際、構造物における荷重-変位の非線形性を考慮した解法には増分理論を用い、Newton-Raphson法により収束計算を行う。また、桁や橋脚に用いる鋼材は、応力-ひずみ関係がバイリニア型になるものとし、ヤング率を 2.1×10^7 t/m²、降伏応力を24000 t/m²、ひずみ硬化を1%とする。減衰については質量比例型を仮定し、1次の固有振動モードに対する減衰定数5%を用いることとする。

4. 解析結果

本研究では図-1の解析モデル①、解析モデル②について解析を行った。ここでは解析モデル②の結果を示す。

4.1 橋脚上端の時刻歴応答変位

橋脚高さが異なる解析モデル②の P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 橋脚上端の時刻歴応答変位を図-2に示す。また(a)は鋼製支承、(b)は水平反力分散支承、(c)は免震支承をそれぞれ設置したモデルの応答変位である。なお図-2の破線は、高架橋モデルの上部構造の応答変位を表し、実線は P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 橋脚上端の応答変位を表している。

橋脚高さが異なる場合、鋼製支承モデル、水平反力分散支承モデルの上部構造と各橋脚上端との相対変位は、橋脚高さが同じ場合と大きな差はない。免震支承モデルは、 P_1 、 P_4 橋脚上の支承部において上部構造と各橋脚上端との相対変位が大きく、 P_3 橋脚上の支承部において上部構造と各橋脚上端の相対変位は最も小さくなっている。これは免震支承に同一の非線形履歴定数を用いているためと考えられる。一般的に、橋脚高さが異なる解析モデルは橋脚高さが同じ解析モデルに比べ、どの支承条件においても応答変位が大きくなり長周期化する傾向が見られる。

Keywords: 弾塑性有限変位、非線形動的応答解析、連続高架橋、支承条件

北海道大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 札幌市北区北13条西8丁目 TEL:011-706-6172 FAX:011-726-2296

4. 2支承部の

水平力—水平変位関係

橋脚高さが異なる解析モデル②の支承部の水平力—水平変位関係を図-3に示す。また(a)は鋼製支承、(b)は水平反力分散支承、(c)は免震支承をそれぞれ設置したモデルの水平力—水平変位関係であり、縦軸は支承部に作用する水平力、横軸は支承部の相対水平変位を表している。

いずれの支承条件においても、設定した支承部モデルの履歴特性を示している。橋脚高さが異なる場合、鋼製支承モデルでは橋脚高さが低い橋脚上の鋼製可動支承に大きな水平力が作用するため、移動制限装置を破損する可能性がある。また、水平反力分散支承モデルおよび免震支承モデルともに P_1 、 P_4 橋脚上で大きな水平力を発生し、 P_2 橋脚、 P_3 橋脚の順に水平力が低減することが認められる。この理由として、橋脚高さが異なる解析モデル②では橋脚高さが高い橋脚上の支承ほど作用する水平力が小さく、橋脚高さが低い橋脚上の支承ほど作用する水平力が大きいと考えるとされる。

4. 3橋脚基部の曲げモーメント—曲率関係

橋脚高さが異なる解析モデル②の橋脚基部の曲げモーメント—曲率関係を図-4に示す。(a)は鋼製支承、(b)は水平反力分散支承、(c)は免震支承をそれぞれ設置したモデルの橋脚基部の曲げモーメント—曲率関係であり、縦軸は曲げモーメント、横軸は曲率を表している。

橋脚高さが異なる解析モデル②では、鋼製可動支承を設置した P_1 、 P_4 橋脚基部において大きな履歴ループを描いている。これは、移動制限装置に設計荷重以上の水平力が作用したためと考えられる。鋼製支承、水平反力分散支承を設置した解析モデルは橋脚高さが低い P_1 、 P_4 橋脚基部で大きな履歴ループを示し、橋脚高さがやや高い P_2 、 P_3 橋脚基部では履歴ループが小さくなる傾向にある。また免震支承を設置すると、免震支承のエネルギー吸収特性により橋脚基部はほぼ弾性範囲内にあることがわかる。

5. あとがき

本研究では、橋脚高さが同じ場合と橋脚高さがそれぞれ異なる場合の支承部や橋脚基部、および高架橋全体系における非線形挙動を比較検討した。

橋脚高さが異なる場合はそれぞれの橋脚の挙動が異なるため、橋脚や支承部が負担する水平力に差が生じる。また、応答変位が大きくなり長周期化する傾向が見られる。鋼製支承、水平反力分散支承を設置すると、橋脚高さが低い橋脚には橋脚高さが高い橋脚よりも支承部に大きな地震力が作用し、それにより橋脚基部に大きな履歴が生じる。また免震支承の場合、各支承部が負担する水平力は鋼製支承、水平反力分散支承の場合と同じ様な傾向を示すが、生じる水平力は最も小さいことが認められる。その結果、免震支承を有する橋脚基部では履歴ループが小さくなりほぼ弾性域にあることが確認できる。

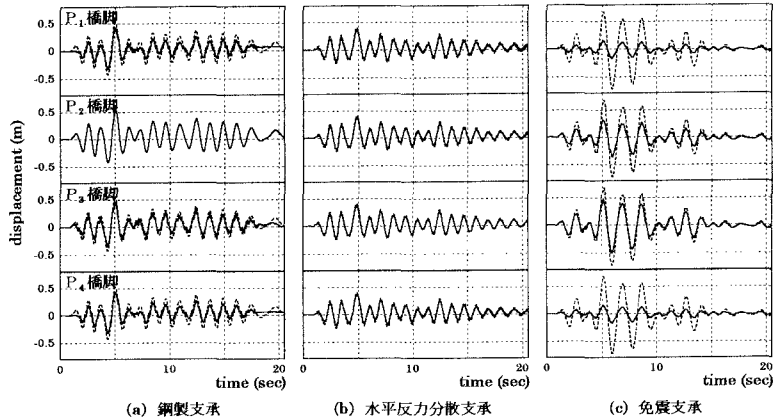


図-2 橋脚上部の時刻歴応答変位

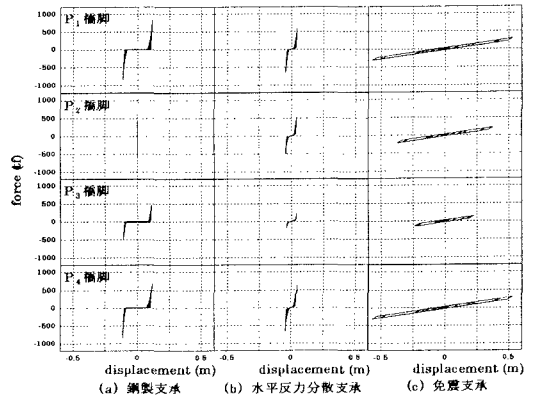


図-3 支承部の水平力—水平変位関係

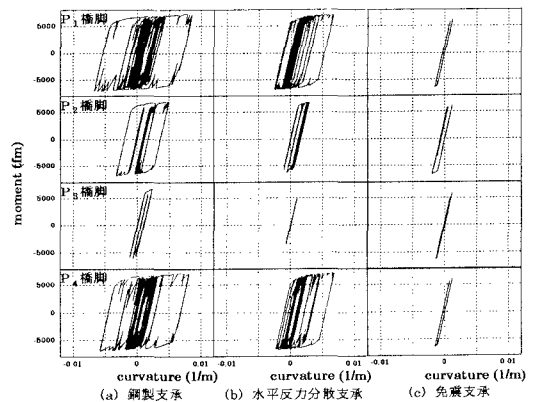


図-4 橋脚基部の曲げモーメント—曲率関係

【参考文献】

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、Ⅱ鋼橋編、V耐震設計編、1996.12.
- 2) 中島章典・大嶽敦郎・安波博道：上部構造の支承条件を考慮した高架橋の大地震時挙動に関する研究、鋼構造年次論文報告集、第4巻、pp.9-16、1996.11.
- 3) 林川俊郎・佐野雅章・大嶽敦郎・中島章典：橋脚長の異なる高架橋の大地震時非線形挙動、土木学会北海道支部論文報告集、第54号(A)、pp156-161、1998.2.