

(I-25) 高架橋システムの簡易モデルによる大地震時挙動の検討

宇都宮大学 学生員 工藤 忠
宇都宮大学 正会員 中島 章典
宇都宮大学 正会員 斉木 功

1. はじめに

高架橋は上部構造、支承、橋脚及び基礎などから構成されており、橋脚高さの差異や支承の種類、上部構造の形式などそれぞれの組み合わせによって、地震時の挙動が異なってくる。そのため種々のタイプの高架橋が図-1のような簡易モデルで置き換えることが可能であるかどうかはあまり明確にされていない。そこで、支承条件や、橋脚高さおよび橋脚断面の差異を考慮した3径間連続高架橋を対象とし、簡易モデルを用いて高架橋システムの大地震時応答性状を、弾塑性地震応答解析により求めた。そして、その解析結果を、材料非線形及び幾何学的非線形を考慮したFEMモデルを用いたより高精度の解析結果との比較、検討を行った。

2. 解析モデルおよび解析方法

本研究では、震度法により概略耐震設計を行った鋼製橋脚および支承（鋼製、ゴム、免震支承）を有する高架橋システムを対象とする。なお、固有値解析及び地震応答解析に際しては橋軸方向挙動のみに着目し、減衰はないものと仮定している。

図-2に示す高架橋システムに簡易モデルを用いる場合には、図-1に示すように5質点5自由度のバネ-質点系にモデル化している。支承は水平方向のみの挙動をバネでモデル化し、橋脚の剛性は1つの水平バネで表している。

バネ-質点系にモデル化した高架橋システムの橋脚に用いる水平バネの復元力特性の決定法について説明する。まず、それぞれの支承条件を有する高架橋システムから異なった断面諸元を持つP1~P4橋脚を1本ずつ取り出す。そして橋脚1本ずつに対しその頂部に繰り返し水平力を載荷する静的応答解析を行った。なお、この解析には幾何学的非線形性及び材料非線形性を考慮した、はり-柱のFEMモデルを用いて解析を行った。図-3のように、静的応答解析により得られた橋脚の復元力特性に対し、降伏変位と2次勾配（初期勾配の0.03倍）を近似させた移動硬化バイリニア型の復元力特性をバネ-質点系の対応する橋脚の水平バネに用いている。ただし、ここでは降伏変位、2次勾配のみを近似しており、橋脚水平バネの1次勾配には、幾何学的非線形を無視したバネ定数を用いている。

FEMモデルを用いた場合の解析モデルでは、図-2に示す高架橋システムについて上部構造及び橋脚をはり-柱要素にモデル化している。支承部は水平、鉛直、回転のバネ要素にモデル化し、その水平バネ定数で鋼製の可動、固定支

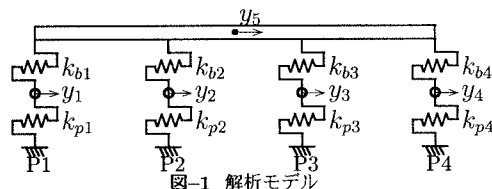


図-1 解析モデル

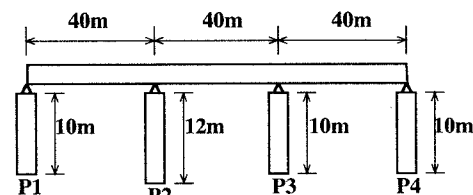


図-2 高架橋システム

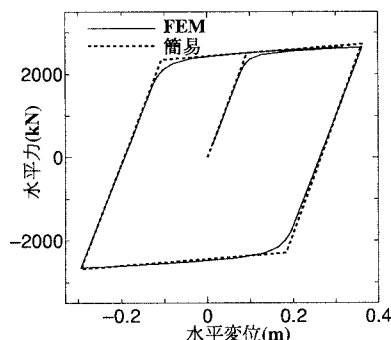


図-3 P2 橋脚バネの復元力特性（鋼製支承）

承、ゴム支承及び免震支承を表した。つまり、支承の水平バネ特性は簡易モデルと全く同じである。鋼材の応力-ひずみ関係は移動硬化バイリニア型とし、降伏後のひずみ硬化域の2次勾配は1次勾配の0.01倍と仮定している。なお、鋼材の弾性係数は206kN/mm²、降伏応力は314N/mm²とし、解析において簡易モデルを用いた場合とFEMモデルを用いた場合共に弾塑性地震応答解析に用いる地震波にはI種地盤レベル2のタイプI地震波3波を用いた。また、弾塑性地震応答解析における数値積分にはNewmarkの β 法($\beta=1/4$)を用いている。

3. 解析結果と考察

(1) 固有値解析結果

図-2に示す高架橋システムに対して、簡易モデル及びFEMモデルの固有値解析を行った場合の1次の固有周期を表-1に示す。この表には1次の固有周期のみ示したが、橋

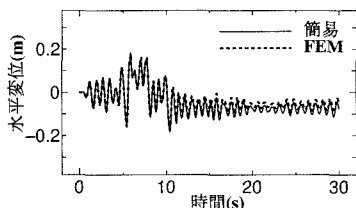


図-4 上部構造の時刻歴応答比較図（鋼製支承）

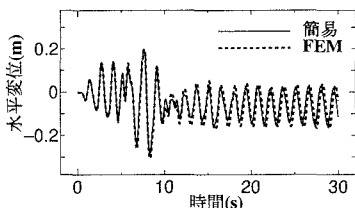


図-5 上部構造の時刻歴応答比較図（ゴム支承）

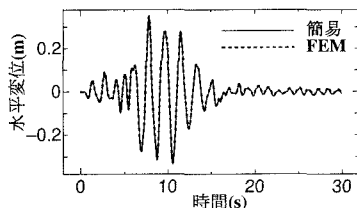


図-6 上部構造の時刻歴応答比較図（免震支承）

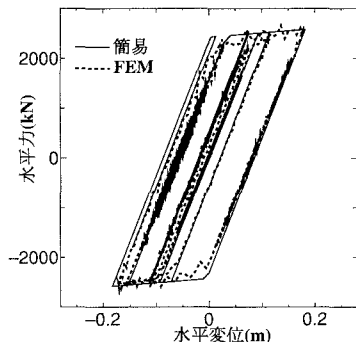


図-7 P2 橋脚水平力-水平変位関係（鋼製固定）

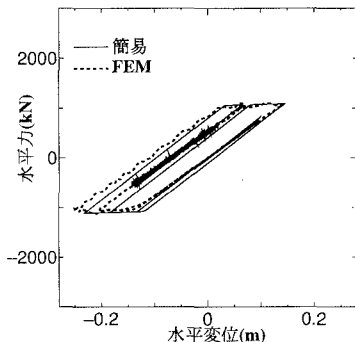


図-8 P2 橋脚水平力-水平変位関係（ゴム支承）

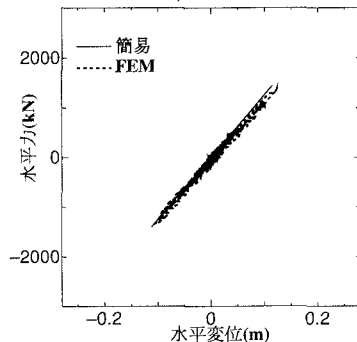


図-9 P2 橋脚水平力-水平変位関係（免震支承）

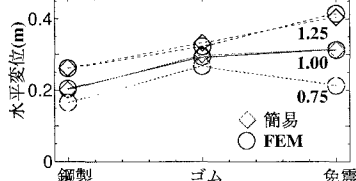


図-10 上部構造の最大応答変位比較図

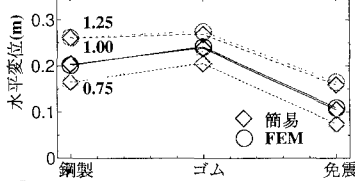


図-11 P2 橋脚頂部の最大水平変位比較図

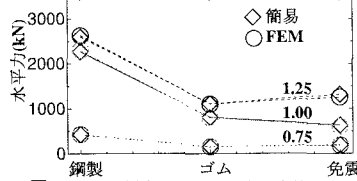


図-12 P2 橋脚頂部の最大水平力比較図

軸方向振動が卓越する低次のモードにおいても、両者で同じ振動モードが、ほぼ同じ固有周期となった。

表-1 固有周期

	簡易モデル解析	FEM モデル解析
鋼製支承	0.828s	0.830s
ゴム支承	1.446s	1.460s
免震支承	1.075s	1.081s

(2) 弾塑性地震応答解析結果の比較

2つの解析法をそれぞれ使用して求めた地震応答解析結果のうち、1例として、システムの典型的な弾塑性応答性状を示す上部構造の水平変位時刻歴と、P2橋脚の水平力-水平変位関係に着目し比較している図を支承条件別に図-4から図-9に示す。これらの図を比較してみると、鋼製支承の場合には両者の初期勾配、降伏変位が比較的一致するが、ゴム支承、免震支承の場合に多少違いが見られる。これは、簡易モデル解析では幾何学的非線形を考慮していないことから、鋼製支承の場合に比べ軸力の大きかったゴム支承、免震支承の場合にFEMモデルにおいて幾何学的非線形が大きく影響したこと、また図-3に示すように橋脚水平バネの復元力特性に移動硬化バイリニア型を仮定したことによる影響が考えられる。

次に、各橋脚の塑性化の程度を変えた場合にも簡易モデルを用いて高架橋システムの応答を正確に追跡できるかどうかを調べるために、同じ解析モデルに対して地震力の大き

さを変化させて検討した。ここでは、上部構造最大応答変位及びP2橋脚頂部の最大水平変位、最大水平力に着目し、2つの解析モデルの結果を比較した。その比較図を図-10から図-12に示す。なお、図中に示す数値は地震力の拡大・縮小の割合を示している。ただし、ここではレベル2タイプI地震波3波を用いて求めた応答解析結果の平均値で比較を行っている。これらの図からも分かるように地震力の大きさ、支承条件の差異を問わず簡易モデルがかなりの高い精度で高架橋システムの応答性状を近似できていると言える。

4. おわりに

本研究では、高架橋システムに対して2つの解析モデルを用い固有値解析、弾塑性地震応答解析を行い、両者の結果を比較した。その結果、簡易モデルを用いた解析でも高い精度で高架橋システムの応答を追跡できることが確認できた。また、簡易モデルを用いて、さらに精度よく解析を行うためには、橋脚水平バネに用いる復元力特性の改善が必要である。

参考文献

- 1) 中島章典, 安波博道, 大嶽敦朗: 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
- 2) 土木学会鋼構造委員会鋼構造物の耐震検討小委員会: 鋼構造物の非線形数値解析と耐震設計への応用に関する論文集, pp.227-239, 1998. 11