

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などの組み合わせにより、その地震時の挙動は異なってくる。そのような高架橋の橋軸方向地震応答性状を把握する際に、図-1のようなバネ質点系の簡易モデルが用いられる場合もある。そこで、種々の支承条件を有する3径間連続高架橋を対象とし、材料非線形性及び幾何学的非線形性を考慮した平面骨組要素を用いた高精度の解析法による結果と簡易モデルを用いた解析法による結果を比較し、後者の適用性を検討した。

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及び支承（鋼製、ゴム、免震支承）を有する図-2のような高架橋システムを対象とし、その橋軸方向挙動のみに着目した。

まず、図-2に示す高架橋システムを、図-1に示すような5質点5自由度のバネ-質点系の簡易モデルにモデル化する。このモデルでは、支承は水平方向のみの挙動をバネで表し、橋脚の挙動も1つの水平バネで表している。

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。ここでは、各橋脚水平バネの復元力特性として移動硬化バイリニア型の復元力特性を用いる。1本の橋脚について、橋脚頂部に死荷重反力と水平力を受ける片持ち柱として考え、その水平力とたわみの関係より復元力特性の1次勾配を決定する。また、死荷重反力と水平力の作用のもと、橋脚基部断面の最外縁が降伏する時の変位の1.3倍を水平バネの降伏変位とし、2次勾配は1次勾配の0.03倍とする。

平面骨組モデル（以下、FEMモデル）を用いる場合には、図-2に示す高架橋システムの上部構造及び橋脚をはり柱要素にモデル化し、支承部には簡易モデルと全く同じバネ特性を持つ水平バネを用いている。鋼材の応力-ひずみ関係は移動硬化バイリニア型（ひずみ硬化係数0.01）で弾性係数は 206kN/mm^2 、降伏応力は 314N/mm^2 とした。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、粘性減衰は弾性状態の1次固有振動モードに対して減衰定数1%の質量比例型とした。

3. 解析結果と考察

(1) 橋脚水平バネの復元力特性の近似結果

上記の方法により簡易モデルに用いる橋脚水平バネの復元力特性を仮定したが、ここで、鋼製の固定支承、ゴム支

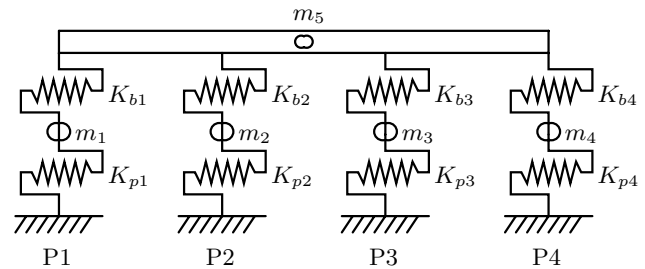


図-1 解析モデル

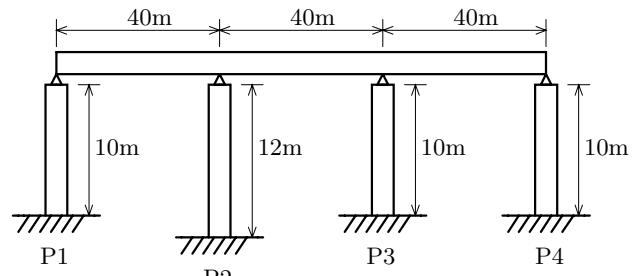


図-2 高架橋システム

承を有する場合のP2橋脚を例にとり、その復元力特性を図-3、図-4に示す。なお、同図には、幾何学的非線形性と材料非線形性を考慮したはり柱要素を用いて求めた水平力と水平変位の関係も示す。これらの図から、鋼製支承を有する橋脚水平バネの復元力特性は、橋脚の軸力比が小さいことからFEMモデルの結果に比較的一致するが、ゴム支承を有する橋脚の場合には両者の初期勾配に差異が生じているのがわかる。これは、ゴム支承を有する橋脚では軸力比が大きいことから幾何学的非線形性が大きく影響したためと考えられる。そこで、橋脚水平バネに仮定した移動硬化バイリニア型の復元力特性の1次勾配に、幾何学的非線形性を線形化有限変位理論を用いて考慮した復元力特性を図-5に示す。この図から、ゴム支承を有するP2橋脚バネの復元力特性も非常に精度良くFEMモデルの結果に近似できることがわかる。

(2) 解析結果の比較

以上のように仮定した橋脚の復元力特性を持つ簡易モデルの弾塑性地震応答性状をFEMモデルの結果と比較した。1例として、P2橋脚頂部の水平変位時刻歴および水平力-水平変位関係の比較結果を図-6～図-11に示す。なお、各解析モデルを用いた固有値解析から求められた1次固有周期を、図-6～図-8中に示す。図-6、図-9から、鋼製の固定支承を有する場合には、幾何学的非線形性を無視した簡易モデルの結果がFEMモデルの結果に一致している。しかし、図-7、図-10から、ゴム支承を有する場合には、幾何学的非線形性を無視した簡易モデルの結果は復元力特性の

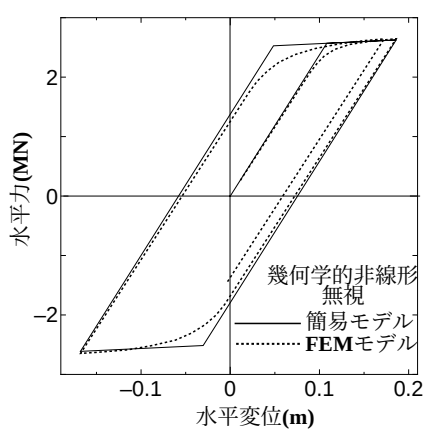


図-3 P2 橋脚パネの復元力特性 (鋼製固定)

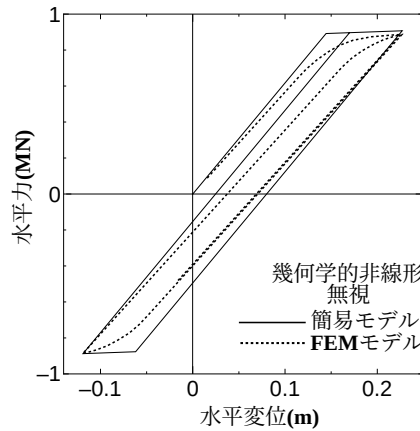


図-4 P2 橋脚パネの復元力特性 (ゴム支承)

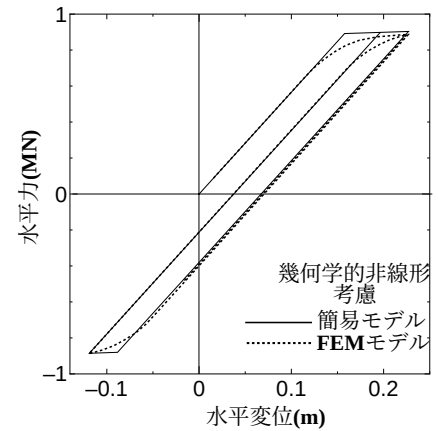


図-5 P2 橋脚パネの復元力特性 (ゴム支承)

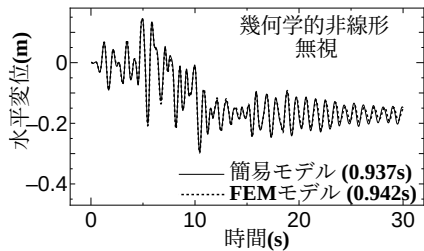


図-6 P2 橋脚頂部の時刻歴応答比較図 (鋼製固定)

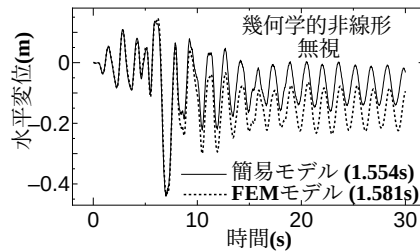


図-7 P2 橋脚頂部の時刻歴応答比較図 (ゴム支承)

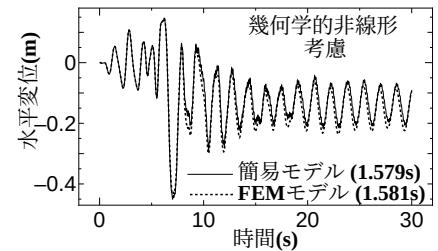


図-8 P2 橋脚頂部の時刻歴応答比較図 (ゴム支承)

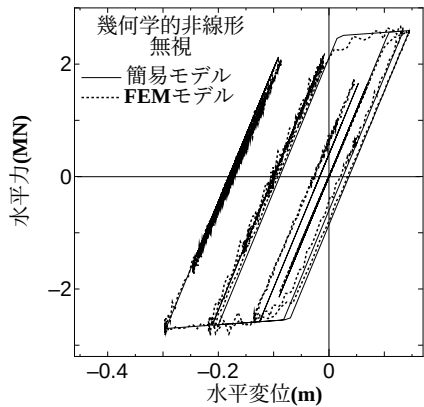


図-9 P2 橋脚水平力-水平変位関係 (鋼製固定)

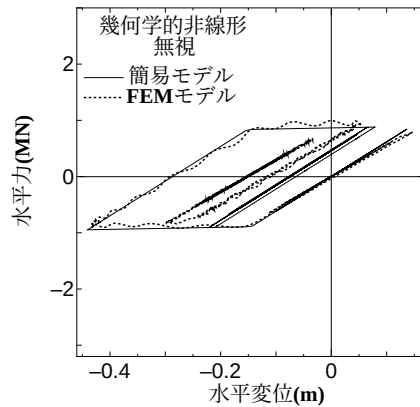


図-10 P2 橋脚水平力-水平変位関係 (ゴム支承)

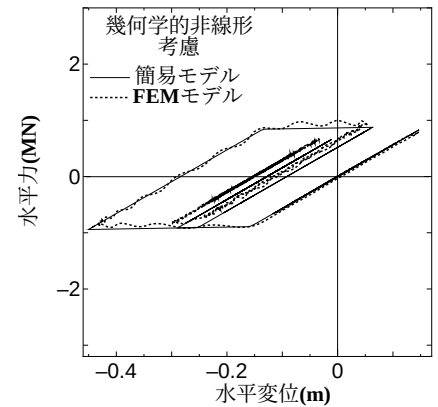


図-11 P2 橋脚水平力-水平変位関係 (ゴム支承)

1 次勾配などが異なっていることがわかる。これに対して、図-8、図-11 から、幾何学的非線形性を考慮した簡易モデルの結果は FEM モデルの結果に良く一致していることがわかる。

以上の結果を踏まえ、図-12 には、各支承条件を有する高架橋が大きさの異なる地震動を受ける場合について、簡易モデルによる P2 橋脚頂部の最大水平変位と、地震動の大きさとの関係を示している。縦軸は FEM モデルの最大水平変位で無次元化した値を、横軸には地震波に乗じる倍率を示している。ただし、最大水平変位はレベル 2 タイプ地震波 3 波による結果の平均値を示している。図中の白抜きおよび黒塗りのマークはそれぞれ幾何学的非線形性を無視した場合と考慮した場合に対応している。この図から、支承条件および地震動の大きさによらず、簡易モデルの結果

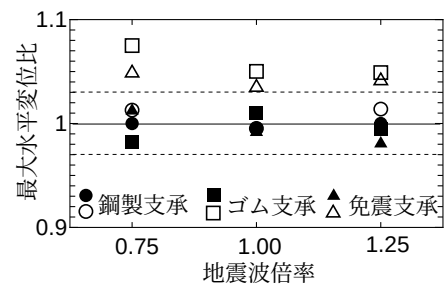


図-12 P2 橋脚頂部の最大水平変位の比較

は FEM モデルの結果に比較的よく一致し、特に、ゴム支承、免震支承の場合には、幾何学的非線形性の影響を考慮することによって両者はより良く一致することがわかる。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 (V 耐震設計編), 丸善, 東京, 1996.12.