

I-B162

地盤の影響を考慮した免震および非免震鋼製橋脚の動的解析による耐震性能評価

名古屋大学大学院 正会員 葛西昭¹
 名古屋大学大学院 フェロー会員 宇佐美勉¹

1. 結言

文献[1]では、震度法で1次設計された鋼製橋脚がレベル2地震動を受ける際に保有する耐震性能を、数値解析的に明らかにしている。その中では、コンクリートを最適高さだけ部分充填すれば、免震支承を用いなくても耐震安全性は満足され、かつ損傷度もほぼ小損傷程度に抑えることができるなどの知見が得られている。しかしそこでは、橋脚が地盤に完全に固定されていることを想定しており、構造物-地盤の動的相互作用の影響が考慮されていない。II種地盤のような比較的軟弱な地盤では、動的相互作用は大きく影響することが予想されるため、本研究では、地盤ばねを導入することによって、構造物-地盤の動的相互作用を考慮した上で、鋼製橋脚の耐震性能評価を行う。

2. 解析手法

2.1. 解析モデル

図-1に、解析に用いるモデルの概要図を示す。(a)、(c)は地盤を固定とした場合の解析モデルであり、以後地盤固定モデルとよぶ。また、(b)、(d)は地盤の効果用地盤ばねで表現したモデルであり、地盤ばねモデルとよぶ。(c)、(d)は免震橋脚を示す。ここに、 M_U = 上部構造質量、 M_P = 橋脚質量の30%、 k_P = 橋脚の剛性、 c_P = 橋脚の減衰定数、 k_B = 免震支承の剛性、 m_F = フーチング質量、 k_{ss} = 水平方向地盤ばね、 k_{rr} = 回転方向地盤ばねである。

橋脚の復元力モデルは、コンクリート無充填鋼製橋脚に2パラメータモデル[2]を用い、コンクリート部分充填鋼製橋脚に文献[3]に示されたモデルを用いる。また、免震支承の復元力モデルは、移動硬化型のバイリニアモデルとし、文献[1]に準じて、免震支承の履歴吸収エネルギーが最大となるように定めた。

地盤ばねは、道路橋示方書・V耐震設計編に準じて算定されている文献[4]に記載のばね定数($k_{ss} = 3.492 \times 10^5$ (tf/m)、 $k_{rr} = 6.613 \times 10^6$ (tf・m/rad))を用いた。また、ばねは弾性とした。

2.2. 数値解析方法

数値解析は直接時間積分法によって行い、数値積分法に平均加速度法を適用した。また、時間間隔 $\Delta t = 0.0025$ sとした。減衰定数は、橋脚に対して0.05、基礎に対して0.10とし、各次モードに比例する減衰定数から、減衰マトリクスを作成した。入力地震動は、道路橋示方書レベル2・タイプII地震動のうち、II種地盤用に作成された地震動3波を用いた。なお、次節の解析結果における応答変位は、いずれも各入力地震動による応答結果を平均化したものである。

3. 解析結果

図-2は、橋脚を正方形補剛箱形断面とし、そのフランジ板の幅厚比パラメータ R を0.35とし、細長比パラメータ λ を0.20から0.60まで0.05ずつ変化させ、震度法に準じて設計したモデルに対して、最大変位損傷度(最大応答変位/終局変位)、残留変位損傷度(残留応答変位/(橋脚高さ/100))をまとめたものである。図-2(a)、(b)はコンクリート無充填鋼製橋脚について、(c)、(d)はコンクリート部分充填鋼製橋脚について示しており、横軸は地盤固定モデルについては橋脚の固有周期とし、地盤ばねモデルについては地盤ばねも含めた1次モードの固有周期としている。

また、免震橋脚については、免震支承の等価剛性をもとに全体の固有周期を2秒とする設計を施した。ただし、図-2では、非免震橋脚の固有周期を用いてまとめた。

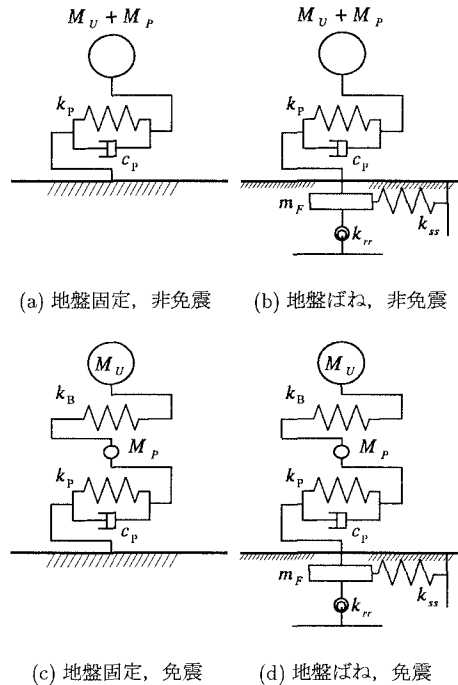


図-1 解析モデル

キーワード：鋼製橋脚、動的相互作用、免震支承、最大変位損傷度、残留変位損傷度

¹ 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 TEL 052-789-4617

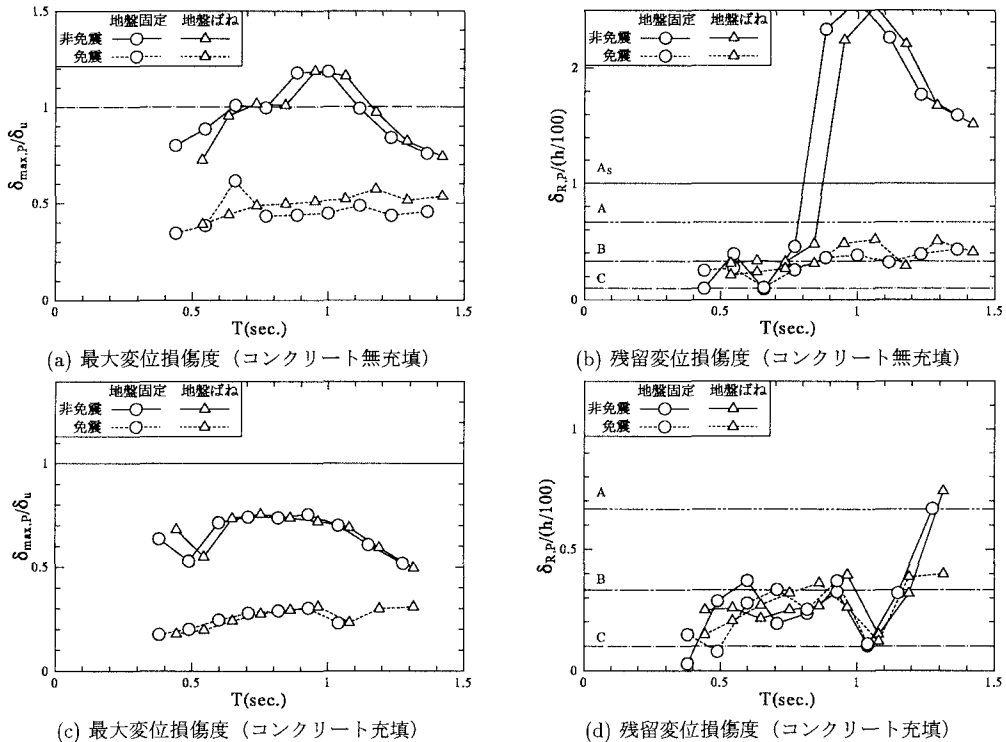


図-2 最大変位損傷度および残留変位損傷度

図-2(a)において、丸印は地盤固定モデルによる応答を表し、三角印は地盤ばねモデルによる応答を表している。非地震橋脚で地盤固定の場合は $T = 0.65 \sim 1.15\text{s}$ で最大変位損傷度が1を越えており、耐震安全性を満足していない。地盤ばねの場合は $T = 0.65 \sim 1.2\text{s}$ と若干満足しない領域が増加する。また、応答が地盤固定に比べて大きくなる場合もあるため、耐震安全性を判断する上で、地盤を考慮することが必要である。また、地震橋脚については、応答値が著しく低減し、解析を行った $T = 0.44 \sim 1.42\text{s}$ では、耐震安全性を満足した。ただし、地盤ばねの場合には $T = 0.7$ 付近から地盤固定の場合に比べて、応答が大きくなっている。従って、地震橋脚においても、地盤を考慮した耐震安全性評価が必要であることが分かる。この傾向は図-2(b)の残留変位損傷度においても同様であった。特に、 $T = 1\text{s}$ 付近では地震橋脚で地盤固定の場合 B ランクと C ランクの遷移域であったものが、地盤ばねの場合、明らかに B ランクとなっているため、機能保持評価が異なることがあるため注意を要す。なお、損傷度ランクについては、文献[5]を参照されたい。

コンクリート部分充填鋼製橋脚の場合は、コンクリート無充填鋼製橋脚の場合のような違いは表れず、最大変位損傷度については、図-2(c)より固有周期が同一であれば、地盤固定モデルと地盤ばねモデルでは橋脚の損傷度は等しい。残留変位損傷度については、地盤の有無による影響は顕著には表れなかった。

4. 結言

本研究では、コンクリート無充填鋼製橋脚およびコンクリート部分充填鋼製橋脚を1自由度モデルで表現した解析モデルに対して、地震支承の導入を試み、地盤との連成を考慮した際の耐震性能評価を行った。

得られた知見として、地震支承の導入が優れた耐震性能を示し、また、地盤との連成効果が、橋脚の応答に及ぼす影響は小さいことを示した。ただし、コンクリート無充填鋼製橋脚の場合には、やや各損傷度は大きくなる傾向がある。

本研究における地盤の扱いは、弾性域を仮定しており、地盤の持つ非線形性を正確に模擬しているとはいえないため、動的相互作用を考慮する上で、より精密な解析を行う必要がある。また、一般に地盤は不整形であるため、不整形地盤による影響も考えられる。今後は不整形地盤、地盤の非線形性を考慮した全体システムでの挙動把握より耐震性能評価を行う必要がある。

参考文献

- [1] 子林 裕ら：地震および非地震鋼製橋脚の動的解析による耐震性能評価，土木学会論文集，1999年4月登載予定。
- [2] 鈴木 森品ら：鋼製箱形断面橋脚の復元力モデルと弾塑性地震応答解析，土木学会論文集，No.549/I-37，1996年10月，pp.191～204。
- [3] 子林 裕ら：コンクリート部分充填鋼製橋脚の復元力モデルと弾塑性地震応答解析，構造工学論文集，Vol.43A，pp.859-868。
- [4] 日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料，1998年3月。
- [5] 土木学会鋼構造委員会・鋼構造新技術小委員会 耐震設計研究WG：鋼橋の耐震設計指針案と耐震設計のための新技術，1996年7月。