

多径間連続橋－基礎－地盤一体型モデルの大地震時における応答

日本鋼管株式会社 正会員 河村康文¹
 名古屋大学大学院 正会員 葛西昭²
 名古屋大学大学院 フェロー会員 宇佐美勉³

1. 緒言

大地震時における鋼製橋脚の挙動を把握する際には、構造物と地盤との動的相互作用の影響が非常に大きいため、橋脚だけでなく基礎や地盤の挙動も考慮した上で一体解析を行うことが重要である。また、多径間連続橋に関する解析は、基礎や地盤の影響を考慮した例は少ない。しかし、実際の地盤を考慮すると、地盤の構造により各橋脚に与えられる地震動が異なり、位相差を生じることも予想される。よって、多径間連続橋を解析する場合においても、基礎および地盤の考慮が必要であると考えられる。本研究では、多径間連続橋－基礎－地盤の一体型モデルの弾塑性地震応答解析を行い、基礎および地盤を考慮することによる多径間連続橋の応答へ与える影響を示す。

2. 解析手法

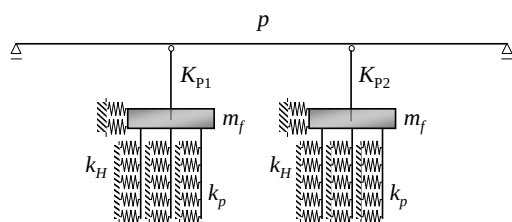


図1 解析モデル（地盤ばねモデル）

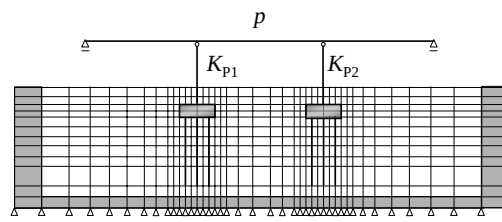


図2 解析モデル（地盤一体型モデル）

2.1. 解析モデル

地盤を固定とした場合の解析モデルとして、2本の鋼製橋脚および上部構造から構成される3径間連続橋を考える。ここで、 p = 上部構造の単位長さあたりの重量、 K_{P1} , K_{P2} = 橋脚の剛性である。また、鋼製橋脚の鋼材はSM490、断面は正方形補剛箱形断面とし、構成則は名古屋大学で開発された修正2曲面モデル[1]を用いる。橋脚および上部構造は鋼製支承で結合し、以下このモデルを地盤固定モデルと呼ぶ。

図1に示すモデルは、橋脚は地盤固定モデルと同様とし、地盤の効果として地盤反力度等を考慮した動的な地盤ばねを導入したモデルである。以下このモデルを地盤ばねモデルと呼ぶ。ここに、 m_F = フーチングの質量、 k_p = 杭の剛性、 k_H = 地盤ばね定数である。基礎は杭基礎を仮定し、フーチング部分は剛体、杭部分には非線形のはり要素を用いる。なお、これらは道路橋示方書IV（下部構造編）、V（耐震設計編）に準拠するように算定し、地盤ばねは弾性ばねとした。

図2に示すモデルは、地盤固定モデルと同様の橋脚に加え、地盤に対して有限要素分割を行ったモデルである。このモデルを地盤一体型モデルと呼ぶ。地盤一体型モデルでは、地盤要素として平面ひずみ要素を用い、非線形モデルとしてMohr-Coulombモデルを適用した。また、側面および底面には無限要素を設置し、無限性を模擬した。地盤は、表1に示すような表層地盤と基盤の2層地盤を仮定し、III種地盤として N 値=1の整形地盤、II種地盤として N 値=5および10の整形地盤、および各橋脚が支持する地盤の N 値が5、10である不整形地盤の4種類とした。

表1 地盤データ（ N 値=1）

層番号	1	2
地盤の種類	粘性土	砂質土
層厚 H (m)	18.0	2.0
単位体積重量 γ_s (N/m ³)	1.76×10^4	1.96×10^4
せん断波速度 V_s (m/s)	100	400
せん断弾性係数 G (N/m ²)	1.80×10^7	3.20×10^8
ポアソン比 ν	0.47	0.47
減衰定数 h	0.02	0.02
粘着力 c (N/m ²)	2.94×10^4	0.0
せん断抵抗角 ϕ	0.0	30.0

2.2. 数値解析方法

解析は汎用構造解析用プログラムABAQUSを用いた。数値解析は直接時間積分法によって行い、その際の数値積分法として線形加速度法を用いた。時間間隔は初期時間増分を0.001sとし、ABAQUSに導入されている自動時間増分法を適用した。減衰定数は、橋脚に対して0.05、基礎に対して0.10とした。入力地震動はレベル2タイプII地震動のうち、JRT-NS-Mを用いた。地盤ばねモデルおよび地盤一体型モデルでは、地震動の入力深度が地盤固定モデルとは異なる（地盤固定モデルは地表面）ため、それぞれの基準面での入力地震動を作成する必要があるが、これらの入力地震動を作成する際には、プログラムFDEL[2]を利用し、地表面における地震動から推定した。

キーワード：動的相互作用、多径間連続橋、地震応答解析

¹ 〒100-8202 東京都千代田区丸の内1-1-2 TEL 03-3217-2906

² 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 TEL 052-789-4619

³ 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 TEL 052-789-4617

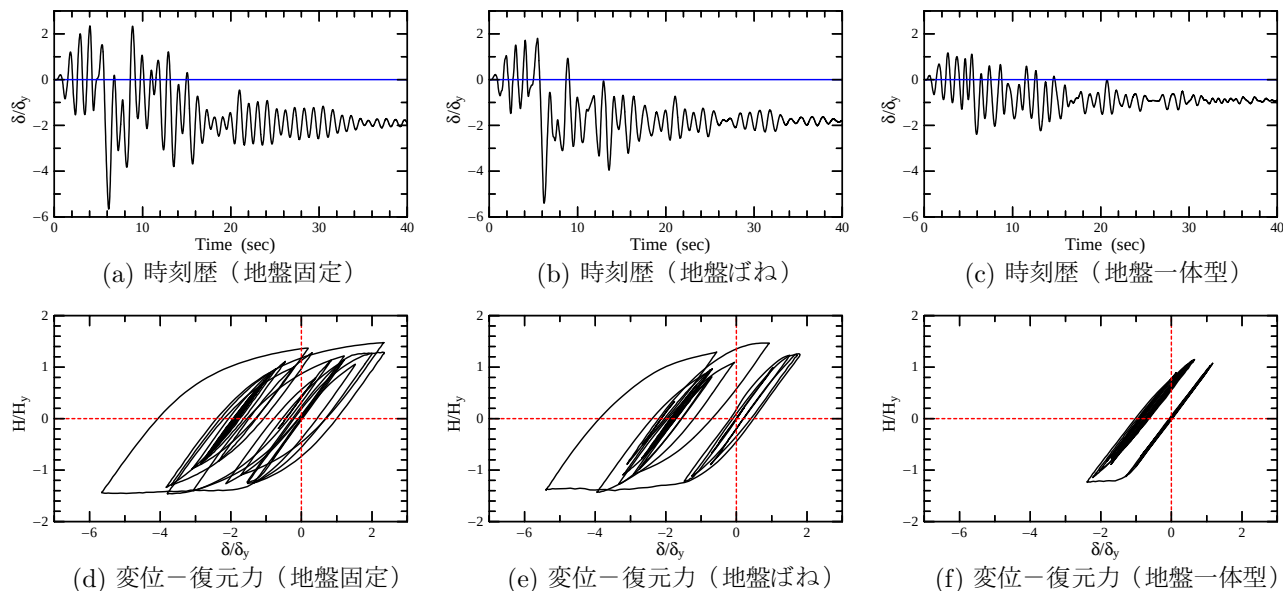


図3 時刻歴応答および変位－復元力関係 (N 値=1)

3. 解析結果

図3に、地盤の N 値=1における各モデルの地震応答解析結果を示す。(a)～(c)は橋脚の時刻歴応答であり、横軸は時間、縦軸は応答変位 δ を降伏変位 δ_y で無次元化した。また、(d)～(f)は変位－復元力関係であり、横軸は δ/δ_y 、縦軸は復元力 H を降伏荷重 H_y で無次元化した。さらに、 N 値=5および10の地盤における最大応答変位 δ_{max}/δ_y を表2にまとめる。なお、地盤ばねモデルおよび地盤一体型モデルでは、橋脚基部の剛体的な回転成分を除去した。

表2 最大応答変位 δ_{max}/δ_y

モデル	橋脚	地盤の N 値			
		1	5	10	5,10
地盤固定モデル	P1	5.66	7.41		
	P2	5.66	7.41		
地盤ばねモデル	P1	5.40	6.43	6.79	6.55
	P2	5.40	6.43	6.79	6.81
地盤一体型モデル	P1	3.07	2.61	3.38	3.41
	P2	3.10	2.65	3.40	3.20

図3より、地盤ばねモデルおよび地盤一体型モデルの応答は、地盤固定モデルよりも小さくなる。これは、地盤を考慮することにより、各橋脚に入力される加速度が小さくなるためである。特に、地盤一体型モデルは地盤の非線形性を考慮しているため、地盤部分において大きく変形し、逆に加速度が減少すると考えられる。ただし、本研究では、地盤ばねモデルは弾性地盤を想定しているため、非線形性を導入することが今後の課題と言える。

また、表2より最大応答変位を比較すると、地盤の N 値=5および10についても同様の傾向があることが分かり、 N 値=5および10の整形地盤の結果より、地盤を考慮したモデルでは、同一の地盤種においても地盤の N 値により橋脚の応答が変化し、 N 値が大きいほど応答も大きくなるのが分かる。さらに、地盤一体型モデルでは、P1、P2橋脚で、最大応答変位が多少異なる。これは、地盤内にせん断ひずみが集中する箇所が現れ、それが左右対称でないため、地盤が変形するためである。

次に、 N 値=5、10の不整形地盤は、他の整形地盤と比較して、P1、P2橋脚で最大応答変位の応答差が大きい。これは、不整形地盤であるため各橋脚基部の加速度が異なるが、上部構造で連結されているため、橋脚の応答は比較的堅い地盤が支持する橋脚の応答に依存し、結果として比較的軟らかい地盤が支持する橋脚の応答が大きくなったと考えられる。

4. 結言

本研究では、地盤を考慮することによる多径間連続橋の応答に与える影響を調べるため、地盤固定モデル、地盤ばねモデル、地盤一体型モデルを構築し、地震時挙動を調べた。以下に結果をまとめる。

1. 地盤の効果を考慮することにより、橋脚の応答は減少する。地盤に非線形性を導入すると、その効果はより大きくなる。これは、地盤の変形が大きいため、橋脚基部に入力される加速度が小さくなるためである。
2. 同一の地盤種においても、地盤の N 値によって橋脚の応答は変化する。
3. 各橋脚を支持する地盤の N 値が異なる不整形地盤の場合、橋脚の応答は比較的堅い地盤の応答に依存し、それによる慣性力および基盤より伝わる地震力の相互作用により、応答変位が大きくなる。

参考文献

- [1] 坂野茂，宇佐美勉，水野英二：修正二曲面モデルによる板要素の繰返し圧縮・引張弾塑性有限変位解析，土木学会論文集，No.525/I-33，pp.1-15，1995。
- [2] 杉戸真太，合田尚義，増田民夫：周波数特性を考慮した等価ひずみによる地盤の地震応答解析法に関する一考察，土木学会論文集，No.493/III-27，pp.49-58，1994。