

実地震観測波による地盤 - 杭基礎 - 免震橋梁全体系のモデル化に関する検討

首都大学東京 大学院 都市環境科学研究科 正会員 長嶋 文雄
前 首都大学東京 都市環境学部 都市基盤環境コース 松丸 玄至
(株)大林組 東京本社生産技術本部 橋梁技術部 フェロー会員 ○伊奈 義直

1. はじめに

免震支承を用いた橋梁は 1995 年兵庫県南部地震以降、地震時における桁の慣性力低減を目的として普及、定着が進んでいる。福島県内の某火力発電内にある橋梁は免震設計を採用し、1991 年に完成し、同年 8 月から 2007 年 11 月まで加速度計 16 成分、相対変位計 3 成分を用いて地震観測を実施した。本研究は、支承ひずみ観測記録中最大の 29%に達した 2005 年 8 月 16 日宮城県沖地震で得られた同時多点観測記録を用いて地盤 - 杭基礎 - 免震橋梁全体系のモデル化に関する検討を行う。

2. 地盤 - 杭基礎 - 免震橋梁全体系のモデル化

2.1 橋梁概要

解析の対象橋梁を図 - 1 に示す。石炭輸送用のベルトコンベア橋が併設され、下部工で一体化されているが、道路橋の橋軸方向のみに高減衰ゴム支承を用いた免震設計になっている。設計変位は $UB=11.9[\text{cm}]$ 、桁の固有周期は地盤 $(0.65 \sim 0.89[\text{sec}])$ との連成を避けて、 $T=1.4[\text{sec}]$ を目標としている。

2.2 基盤入力波の解析

地盤 - 杭基礎 - 免震橋梁全体系の解析を行うため、モデルの基盤入力波を「SHAKE」解析により求めた。まず、橋脚部の地盤モデル(表 - 1, 対応する地盤定数の箇所は図 - 2 を参照)の標高 - 25.4m 位置に、観測記録中最大加速度を示した 2005 年 8 月 16 日の波形のうち、杭先端部での観測波を E+F 波として入力し、「SHAKE」によって基盤波を求め、これを FEM モデルの入力波とした。

2.3 2次元有限要素法による動的応答解析

実構造物を対象とした図 - 2 に示すような FEM 解析モデルを設定し、2次元 FEM 等価線形法による動的解析を行う。計算は汎用動的解析プログラム T-DAPIII を用い、Newmark- β 法による直接積分法で行う。橋台、橋脚、桁、杭は線形ビーム材とし、諸元を表 - 2 に示す。地盤及び支承ばねは非線形とし、地盤についてはせん断応力 - せん断ひずみ関係に対して Hardin-Drmovich モデルを用い

る。また、支承ばねについては既往の研究¹⁾に基づいて算出された高減衰積層ゴムの非線形特性を用いて、バイリニア型として設定した。

2.4 解析結果

FEM モデルの解析精度に関する検討を行うため、FEM 基盤入力波及び杭先端部、フーチング、左岸橋台での観測波形と解析波形を比較したものを図 - 3、杭先端部、フーチングでのフーリエスペクトルの比較を図 - 4 に示す。解析応答波形では特に杭先端では応答がほぼ一致し、良好な結果が得られた。また、フーリエスペクトルにおいても波形の一致が認められ、基盤入力波の確認ができた。しかし当初の解析結果では、波形の位相に一致が見られたものの、観測値に対し解析値の応答が小さくなっていた。そのため、杭のビーム材の剛性、及び地盤要素の剛性を適宜変化させ、解析を行った。解析パターンとしては、ビーム材の剛性を 2 倍 10 倍と変化させたものと、地盤の剛性をそれぞれ増加、減少した場合で 13 のパターンについて解析を行った(表 - 3)。解析波形の精度を評価する方法として、最大加速度、波形の位相、スペクトルの形状等が考えられる。ここでは加速度波形を用いて、2乗平均誤差(式 - 1)を求め、評価を行った(図 - 5)。モデルの剛性を変更して解析を行った結果、特に C2 の分類において 2 乗平均誤差の改善が認められ、精度が向上し、解析の再現性を高めることができた。

3. おわりに

同時多点観測地震記録波を用いた地盤 - 杭基礎 - 免震橋梁全体系のモデル化に関する検討を行った。加速度波形、フーリエスペクトル及び 2 乗平均誤差を用いて応答波形と観測値との比較を行い、解析の妥当性を確認した。東日本大震災における被災状況については当日発表する予定である。

【参考文献】 1) 伊奈義直, 中谷泰子, 長嶋文雄: 免震道路橋の同時多点観測と簡易モデルを用いた構造同定解析, 土木学会地震工学論文集 Vol30, pp478-487, 2009

キーワード: 免震橋梁, 地震観測, 動的応答解析, 2 乗平均誤差, フーリエスペクトル

連絡先 (東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 TEL03-5769-1306 FAX03-5769-1979)

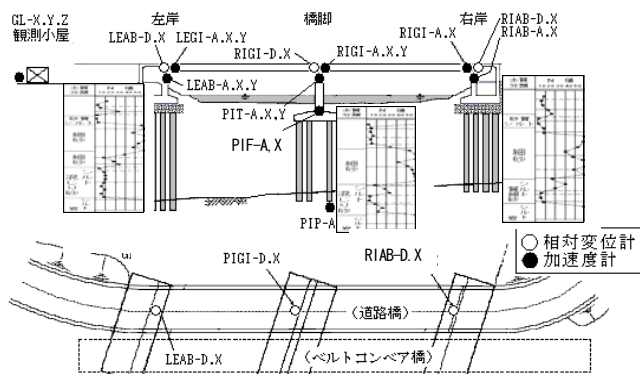


表 - 1 中央橋脚部「SHAKE」モデル、地盤定数

標高-1.144m											
深度	土層	N値	単位体積重量 (kN/m³)	Vs (m/s)	SHAKEモデル NO.	層厚 (m)	γ _t (kN/m³)	G ₀ (kN/m²)	b ₀ (%)	非線形 NO.	備考
1.06	Fs下	15	17.7	197	1	1.06	17.7	69926	2	3'	
3.00	Ac1	1	15.7	100	2	1.94	15.7	16020	2	4'	
3.90	As1'	8	17.7	160	3	0.90	17.7	46127	2	5'	
					4	3.20	18.6	154488	2	6'	
	As1	45	18.6	285	5	3.20	18.6	154488	2	6'	
					6	3.30	18.6	154488	2	6'	
13.60	As2上	22	17.7	224	7	2.75	17.7	90409	2	7'	
16.35	Ac'	3	15.7	144	8	2.00	15.7	33207	2	8'	
18.35	As2下	8.4	15.7	203	9	3.15	15.7	66002	2	9'	
21.50					10	2.76	16.7	533664	2		入力(E+F)
24.26	Ts1	>50	16.7	560	11	4.60	16.7	533664	2		出力
28.86	Ts1	>50	16.7	560	12	∞	16.7	533664	2		

図 - 1 橋梁概要とセンサー取り付け位置

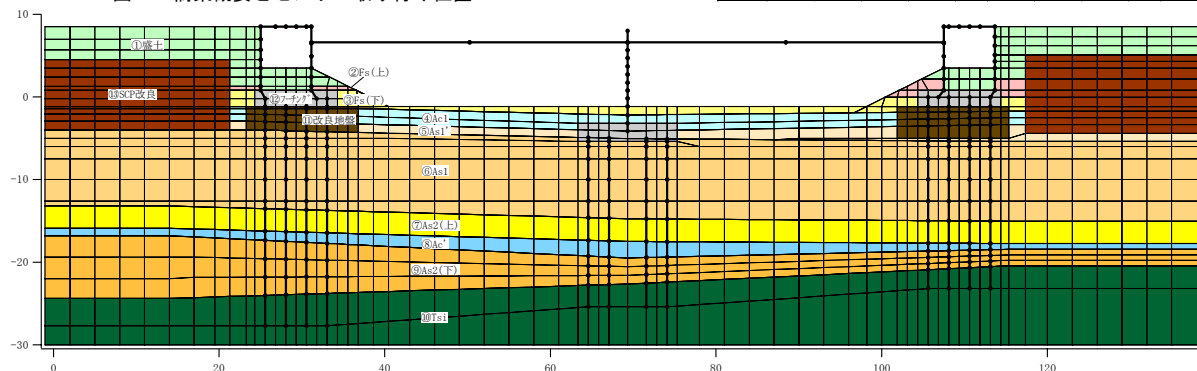


表 - 2 ビーム材定数諸元

位 置		ρ (kN/m^3)	E (kN/m^2)	ν	I (m^4)	A (m^2)	
橋台・ 左岸右岸 共通	頂版	24.5	2.65E+07	0.16	0.123	5.88	
	盛土側壁	24.5	2.65E+07	0.16	0.502	9.41	
	川側壁	上	24.5	2.65E+07	0.16	7.255	31.56
		中	24.5	2.65E+07	0.16	13.564	45.09
		下	24.5	2.65E+07	0.16	6.674	35.6
橋脚	最上部	24.5	2.65E+07	0.16	11.578	29.18	
	上 部	24.5	2.65E+07	0.16	23.156	58.36	
	中 部	24.5	2.65E+07	0.16	21.382	53.96	
	下 部	24.5	2.65E+07	0.16	19.606	49.56	
橋台杭(奥行9本分)		24.5	2.45E+07	0.16	0.916	10.18	
橋脚杭(奥行8本分)		24.5	2.45E+07	0.16	0.814	9.05	
桁		28.2	2.65E+08	0.16	3.000	7.00	

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_i - x_i')^2} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、n: データの個数 (2,000)

x_i : 観測値 x_i' : 解析値

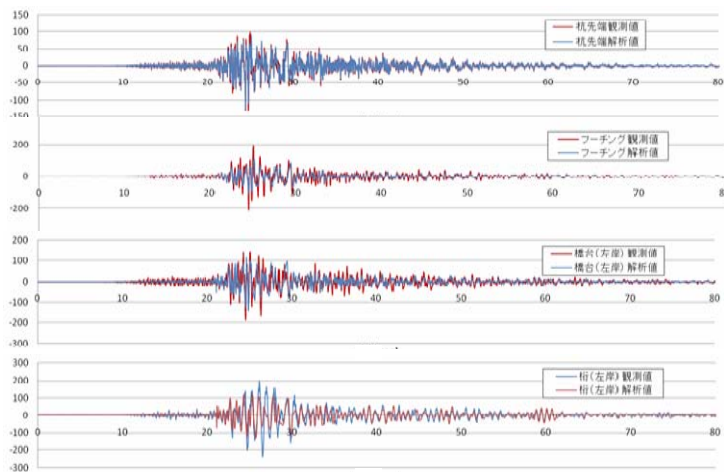


図 - 3 加速度波形図

表 - 3 解析パターン分類

剛性変更部位	解析パターン	分類
無し	標準値	A
ビーム材	ビーム材剛性2倍	B1
	ビーム材剛性10倍	B2
地盤剛性減少	Ac剛性1/2	C1
	As1剛性1/2	C2
	As2(下)剛性1/2	C3
	As2(上)剛性1/2	C4
	フーチング剛性1/2	C5
地盤剛性増加	Ac剛性2倍	D1
	As1剛性2倍	D2
	As2(下)剛性2倍	D3
	As2(上)剛性2倍	D4
	フーチング剛性2倍	D5

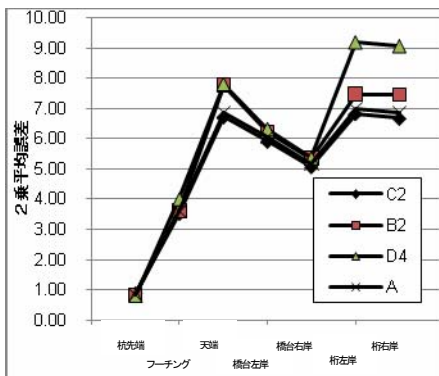


図 - 5 2乗平均誤差分布図

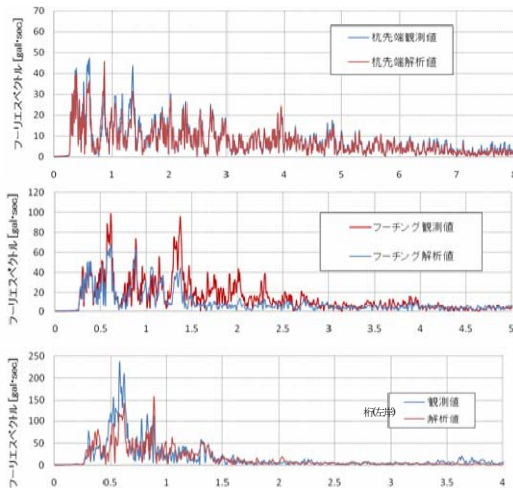


図 - 4 解析フーリエスペクトル図