

軟弱地盤を考慮した橋梁の動的解析に用いる入力地震波に関する考察

佐賀大学大学院工学系研究科

学生会員

○ 瀧 正行

正 会 員

荒牧軍治

正 会 員

大塚哲哉

1. まえがき

超軟弱な有明粘土が深く堆積する佐賀平野に有明海沿岸道路が計画されている。道路橋示方書は設計に用いる入力地震波を地表面で定義しているが、鉄道構造物等設計標準、コンクリート標準示方書では基盤で与えている。地盤特性は地域ごとで異なり、地表面で入力地震を与えることは合理的でない。本研究では、佐賀平野を対象に試設計したモデルを用いて、入力地震動の違いによる動的応答解析結果の比較を行うことを目的とする。

2. 解析モデル

解析モデルには、表-1 に示す佐賀県六角川周辺で計測された地盤データを基に、道路橋示方書に準じて積層ゴム支承を用いた地震時水平力分散構造を有する4径間連続のPC橋(HEAVYモデル)と鋼板桁橋(LIGHTモデル)を対象に、地震時保有水平耐力法、等価線形化法で試設計されたものを用いている。解析モデルは図-1 に示す単柱式橋脚とし、上部工-下部工-杭基礎系を、はり-バネ-質点系の平面モデルとした。

3. 解析方法

解析は、橋軸方向加振時における橋の動的解析とし、積層ゴム支承は線形せん断バネを、脚柱部は線形はり部材と、非線形性を考慮するため基部に塑性ヒンジを示す非線形回転バネを用いたモデルを使用した。張り出し部、フーチングを剛体、杭を線形はり-非線形回転バネでモデル化し、佐賀大学で開発した構造解析プログラムSESASを用いて解析を行った。また杭の鉛直地盤抵抗、水平地盤抵抗を表すものとして地盤バネを設け、上限値を持つ非線形せん断バネモデルとしている。SESASは市販プログラムであるDyna2-Eを用いた計算結果と比較し精度検証を行っている。杭基礎は、慣性力と地盤変位を考慮した手法であるPenzienモデルを用いている。Penzienモデルは、基盤で与えられた地震波を基に各深さ位置における変位波形を多点入力するモデルである。

4. 解析結果

入力地震波は、基盤にて与えるものとして、コンクリート標準示方書(CASE0-1、0-2)、鉄道構造物等設計標準(CASE1)、地表面で与えられたものを建設地点の地盤で引き戻したもの(CASE2)、地震波が取られた地盤で引き戻したもの(CASE3)、地表面でI種地盤のスペクトルに合致したものを基盤にて使用(CASE4)、起こりえる地震として、大崎スペクトルを用いたもの(CASE5)、当該地域で過去に発生した最大被害地震・周辺の

表-1 地盤特性

地盤種類	層厚 (m)	平均 N値	一軸圧 縮強度 (kN/m ²)	S波速度 (m/s)	粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦 角(度)	単位体 積重量 (kN/m ³)	ポアソ ン比
粘性土	2.5	0.0	—	84.2	30.0	0.0	15.0	0.5
	4.0	0.0	58.8	84.2	30.0	0.0	15.0	0.5
	3.0	0.0	—	84.2	30.0	0.0	15.0	0.5
	2.0	0.0	68.6	89.1	30.0	0.0	15.0	0.5
	2.0	0.0	88.2	97.5	30.0	0.0	15.0	0.5
	2.0	0.0	107.8	104.8	30.0	0.0	15.0	0.5
	2.0	0.0	127.4	111.3	30.0	0.0	15.0	0.5
	2.0	0.0	147.0	117.2	30.0	0.0	15.0	0.5
砂質土	4.0	30.0	—	246.6	0.0	35.0	18.0	0.5
粘性土	3.0	24.0	—	288.5	150.0	0.0	17.0	0.5
粘性土	4.0	3.0	—	144.2	30.0	0.0	15.0	0.5
砂質土	6.0	40.0	—	273.6	0.0	35.0	18.0	0.5

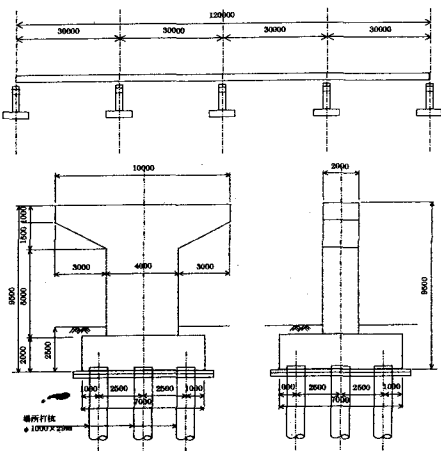


図-1 試設計モデル (mm)

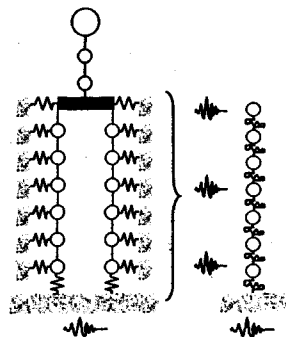


図-2 Penzienモデル

起震断層で発生すると考えられる地震(CASE6)、杭基礎全体を集中バネで表し地表面入力を与えた場合 (CASE7)とした。なおCASE1 からCASE4 及びCASE7 は3 波形の平均値を動的解析結果としている。道路橋示方書は、土質調査が行われな限りN 値ゼロ地盤におけるせん断弾性波速度を一律50m/s とすることを勧めていたが、昨年の研究でこれは合理的ではなかったため、鉄道橋の考えに則り一軸圧縮強度 q_u より求めることとした。

図-3 に基盤におけるCASE 毎の加速度応答スペクトルを示す。CASE0-1 とCASE1 はほぼ同じスペクトルを示しているが、動的解析結果に影響を及ぼすので注意が必要である。またCASE2、3 はCASE0、1 に比較すると加速度応答スペクトルが長周期側に大きくなり、地盤の卓越周期、構造物の固有周期と近くなる傾向にある。

表-2 に示すのは、CASE の違いによる塑性率と最大変位の動的解析結果(CASE0~7)である。CASE3 のスペクトルはCASE0、1 のスペクトルより低周期側では小さいが、地盤、構造物の周期に近い所で加速度応答スペクトルが最大となるため、動的解析結果は大きな値となっている。CASE5、6 はCASE0~4 に比較すると小さな挙動しか示していない。

5. まとめ

解析結果より、従来の地表面での入力地震は合理的で無いことが確認できる。また、基盤での入力地震を行う際同じスペクトルを有していても、その地震波の特性を考慮して使用する必要がある。今回のモデルでは引き戻し計算を行った基盤における加速度応答スペクトルの最大値が、構造物の固有周期、地盤の卓越周期と近かったため大きな挙動を示しており、超軟弱な有明粘土が堆積する佐賀平野には、構造物の固有周期を短くし、周期をずらしたモデルが合理的であると考えられる。そして、CASE5、6 の結果から佐賀に兵庫県南部地震のような大きな影響を与える地震が起こるとは考えにくく、地域補正係数を乗じただけの地震波は適切でないと言える。しかし、活断層による地震動の予測、過去の被害地震データベースの信頼性等、まだ検討すべき課題が多い。鉄道構造物等設計標準、コンクリート標準示方書では基盤での入力地震波は確立しつつあるので、道路橋示方書も早急な基盤地震波と適切な地震波の設定が求められる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 平成14年3月
- 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計 平成11年10月

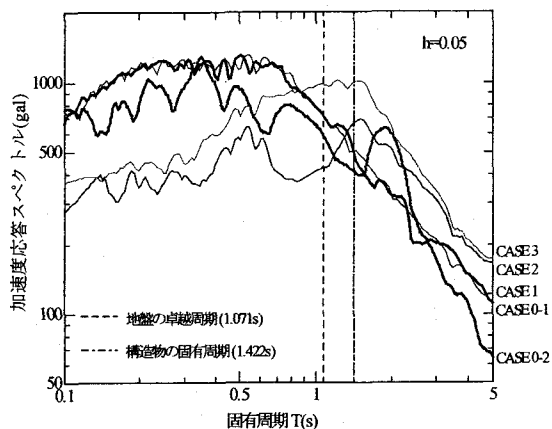


図-3 基盤における加速度応答スペクトル(Type2)

表-2 動的解析結果

type2-レベル2地震-横断方向(HEAVYモデル)-地震時保有水平耐力法											
杭先端からの高さ(m)	CASE0-1		CASE0-2		CASE1		CASE2		CASE3		最大変位(cm)
	塑性率	最大変位(cm)	塑性率	最大変位(cm)	塑性率	最大変位(cm)	塑性率	最大変位(cm)	塑性率	最大変位(cm)	
38.8(上盤工)	-	65.01	-	57.29	-	58.31	-	74.59	-	114.52	
38.8(天棚)	-	37.17	-	26.48	-	29.33	-	43.47	-	81.84	
31(基盤)	7.22	33.02	5.66	20.34	6.15	24.14	6.02	34.03	9.23	66.67	
29(杭頭)	-	32.20	-	19.48	-	23.05	-	32.52	-	66.89	
28.0	1.77	31.80	1.00	19.06	1.13	22.51	2.29	31.76	6.96	66.00	
24.0	0.46	24.29	0.32	15.09	0.34	18.11	0.37	23.41	0.75	44.19	
20.0	0.68	15.49	0.45	11.32	0.58	13.71	0.78	16.98	3.03	31.03	
18.0	0.66	12.53	0.31	9.78	0.43	11.87	0.47	14.70	1.43	26.29	
13.5	0.38	8.28	0.22	6.76	0.28	8.53	0.31	10.39	0.62	17.86	
11.0	0.50	7.06	0.37	5.58	0.47	7.24	0.53	8.89	0.87	14.75	
9.0	0.12	6.52	0.06	5.10	0.15	6.55	0.15	7.96	0.38	13.41	
6.5	0.59	5.96	0.45	4.84	0.59	6.05	0.70	7.23	1.27	12.23	
2.0	0.16	1.60	0.17	1.27	0.19	1.83	0.21	1.97	0.28	3.29	
0(杭先端)	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	

横断方向(HEAVYモデル)-地震時保有水平耐力法											
杭先端からの高さ(m)	CASE4		CASE5(M7.0)		CASE6(配前)		CASE7(西山)		CASE7		最大変位(cm)
	塑性率	最大変位(cm)	塑性率	最大変位(cm)	塑性率	最大変位(cm)	塑性率	最大変位(cm)	塑性率	最大変位(cm)	
38.8(上盤工)	-	49.67	-	21.19	-	5.42	-	7.42	-	52.87	
38.8(天棚)	-	24.47	-	9.06	-	2.38	-	2.55	-	11.41	
31(基盤)	4.34	19.72	0.78	6.83	0.09	1.77	0.09	2.41	6.96	3.94	
29(杭頭)	-	18.77	-	8.40	-	1.86	-	2.45	-	3.16	
28.0	0.67	18.30	0.34	6.19	0.07	1.64	0.13	2.47	-	-	
24.0	0.35	14.28	0.10	4.81	0.05	1.27	0.05	2.13	-	-	
20.0	0.50	10.13	0.12	3.83	0.05	0.95	0.03	1.56	-	-	
18.0	0.41	8.55	0.13	3.34	0.04	0.83	0.03	1.26	-	-	
13.5	0.23	6.02	0.11	2.17	0.04	0.61	0.05	0.87	-	-	
11.0	0.32	5.12	0.15	1.71	0.04	0.54	0.08	0.49	-	-	
9.0	0.06	4.73	0.04	1.53	0.02	0.50	0.02	0.42	-	-	
6.5	0.43	4.31	0.14	1.34	0.05	0.44	0.04	0.35	-	-	
2.0	0.17	1.13	0.07	0.30	0.04	0.09	0.04	0.06	-	-	
0(杭先端)	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	

type2-レベル2地震-横断方向(LIGHTモデル)-等価線形化法											
杭先端からの高さ(m)	CASE0-1		CASE0-2		CASE1		CASE2		CASE3		最大変位(cm)
	塑性率	最大変位(cm)	塑性率	最大変位(cm)	塑性率	最大変位(cm)	塑性率	最大変位(cm)	塑性率	最大変位(cm)	
38.8(上盤工)	-	52.88	-	44.30	-	35.03	-	38.55	-	65.79	
38.8(天棚)	-	37.19	-	21.19	-	23.73	-	30.55	-	56.48	
31(基盤)	0.51	33.35	0.81	16.48	0.65	21.81	0.28	27.72	0.73	52.78	
29(杭頭)	-	32.53	-	16.19	-	21.36	-	27.07	-	51.91	
28.0	1.81	32.12	0.74	16.04	0.84	21.14	0.90	26.75	3.27	51.47	
24.0	0.44	24.41	0.25	13.88	0.27	17.94	0.32	22.25	0.57	42.00	
0(杭先端)	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	