

地震観測にもとづく地盤と基礎構造物間の 地動の伝達性に関する一考察

宮島信雄¹，加藤教吉²，平野昌治³

¹ 正会員 日本シビックコンサルタント(株) (〒116 東京都荒川区西日暮里 2-26-2)
² 正会員 日本シビックコンサルタント(株) 計測・診断部 (〒116 東京都荒川区西日暮里 2-26-2)
³ 日本シビックコンサルタント(株) 情報技術部 (〒116 東京都荒川区西日暮里 2-26-2)

これまで地震時における地盤と基礎構造物間の波動の伝達性の検討に関連して、大ひずみ時の実測報告は見当たらない。兵庫県南部地震で東神戸大橋において橋梁基礎ケーソンと地動の記録が取得された。これより、応答スペクトルによる伝達関数を求めた。また、二次元時刻歴解析により、全体系の挙動と観測波形から波動の伝達性を考察した。また、地中鉛直 2 地点の波形から同様手法により、余震記録から伝達関数の変化を検討した。この結果ケーソンは地盤と略同様の挙動を示し短周期部分で伝達が落ちる傾向が見られた。また、攪乱を受けた地盤強度の回復の様態が把握できた。

Key Words : earthquake observation, dynamic response analysis

1. はじめに

これまで根入れのある構造物と地盤間の相互作用のうち、波動の伝達性についての報告¹⁾は、数値計算や模型実験には数多く見られるが、大ひずみ時の観測事例は乏しい。今回兵庫県南部地震の折、東神戸大橋で地震と構造物についてのアレー観測で見事に記録が採取された。この波形をもとに、単純に大型橋梁の基礎の床版中央と同深度地盤間での伝達関数を求めた事と、地盤鉛直方向 2 地点間の同種の解析から、増幅性の特徴から地震発生直近の 8 ヶ月間での回復の様態を把握した。一方、2 次元等価線型解析法によって近傍神戸港島 KP-39 で得られた観測波を導入して観測波との整合を試み、総合的に東神戸大橋地点における動的挙動を把握した。

2. 観測諸元と観測波

(1) 観測諸元

図-1 に示す加速度計配置、即ち地中部 2 箇所、離間 34m のケーソン基礎底部 1 箇所および塔柱 3 箇所所で観測された。爾後地中-33.5m 地点を G1、-1.5m 地点を G2、橋脚ケーソン底面 K1、主塔頂部 T1、主塔中段 T2、主塔下段を T3 と略し、橋軸方向を X、橋軸直角方向を Y と名付ける。計測機器

の仕様を表-1 に示した。

表-1 計測機器の仕様	
サーボ型加速度計 (橋塔、ケーソン、地中)	記録範囲: 0.05~1,000gal 周波数特性: 0.05~30Hz 収集間隔: 0.01sec

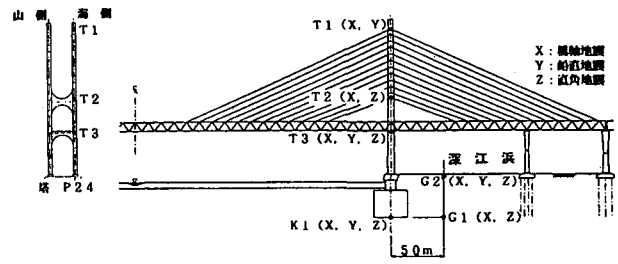


図-1 加速度計の設置位置

(2) 地震記録

1995 年 1 月 17 日 5 時 46 分の本震記録後停電のため、余震の記録開始は 6 時 10 分からとなり、同年 9 月 12 日までに 160 回の記録が採取された。このうち、解析には本震と余震 12 箇所程を取り扱う事とした。

図-2 に本震採取記録のうち G1、G2、並びに K1 の水平動について、解析上 0.1~5Hz の帯域濾波器を介した加速度波形を示した。図-3 にその応答変位スペクトルを示した。

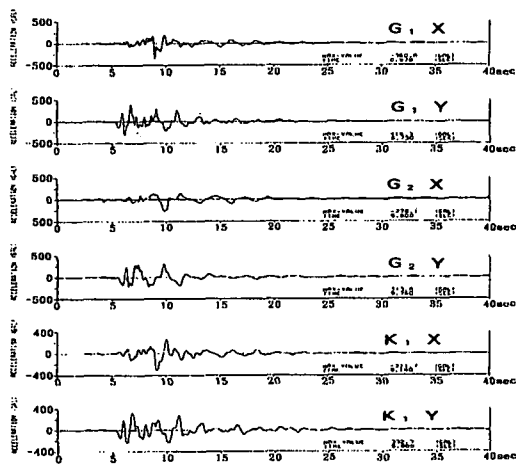


図-2 解析加速度波

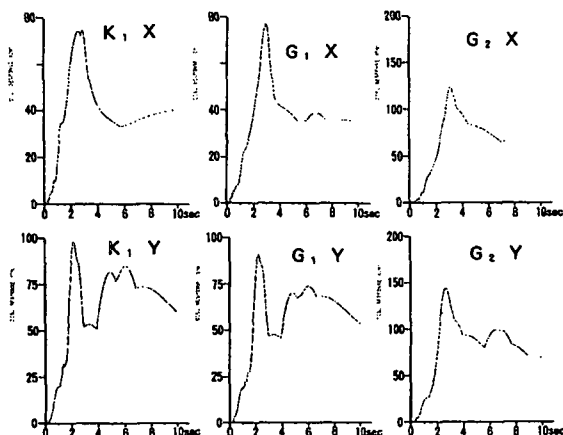


図-3 変位応答スペクトル

3. 地盤定数

計算モデル用の地盤定数²⁾は、図-4よりケーソン基礎の陸側の地盤から採った。また、ひずみ依存性曲線を図-5に示す。ただし、沖積粘土層は運輸省基準によった。

地質の概要は図-4の地層断面に見られるようにOP-80mまでの地層はおおよそ4層に区分される。

- 埋立層(B)は海を埋め立てた層で層厚約 15m程度であるが、護岸部には海底の軟弱粘土層の置き換えがなされ 25m程度と厚くなっている。
- 沖積層 (Ac, A(s-c)) は上部に層厚 6~10mの粘土層があり、下部は砂質土と粘性土層の互層である。陸側の粘性土層は埋め土によりN値が 4~5と海側の粘性土N値と差が認められる。
- 上部洪積層 (Dug, Du(c-s)) は OP-22~55m付近にかけて堆積する主に礫混り砂に粘性土の複雑な互層によりなっている。このうち砂礫互層が支持層の対象となっている。
- 下部洪積層 (D1c, D1g, D1(c-s)) OP-55m以深

の地層で神戸港島と同種類であることが照合確認されている。

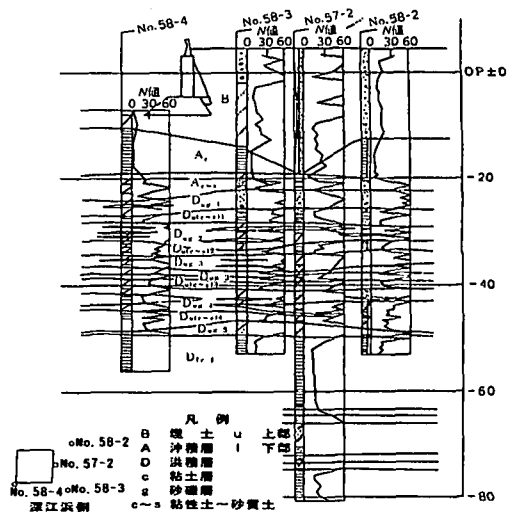


図-4 基礎周りの地層

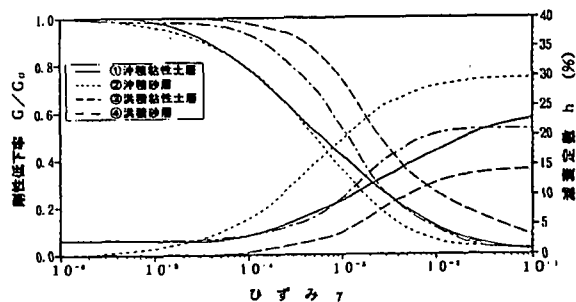


図-5 ひずみ依存性曲線

4. 橋構造物諸元

(1) 下部工

鋼製大型ケーソンで寸法諸元³⁾を図-6に示したが、橋軸 32m橋軸直角 35mの外寸をもっている。

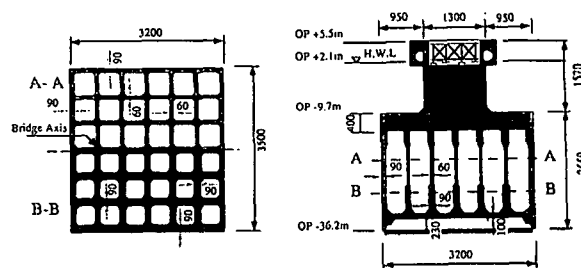


図-6 ケーソン基礎の諸元

(2) 上部工

上部工の基本構造系はオールフリーの特徴を持つ。図-1でも見られる通り中央径間 485mの3径間連続ダブルデッキートラス斜張橋である。

5. 2次元等価線形応答解析モデル

(1) 地盤構造物一体化モデル

上述3, 4から図-7に示す下部構造物モデルと地盤モデルを一体として作成した。

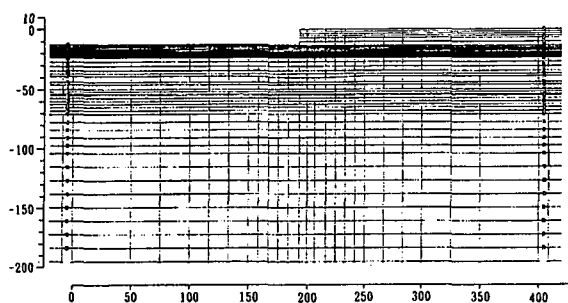


図-7 二次元地盤・構造物一体モデル（橋軸方向）

(2) 入力地震波

全体の地盤構成から判断して近傍神戸港島と共通基盤として-195mと設定、ここに神戸港島で検証した基盤での作成波（最大値 383.8gal, 5.18sec）を当モデルに入射させる手法で解析した。

6. 地盤の増幅特性

(1) 観測結果

G_1 , G_2 の観測値について変位応答スペクトル（図-3）から伝達関数を算出し図-8に示す。図から橋軸成分については0.7sec以下で0.5程度に増幅性に低減、長周期側で最大2倍程度に増幅する形である。また、橋軸直角成分では0.7sec以下が0.7程度、長周期で橋軸方向と同様の増幅が見られる。

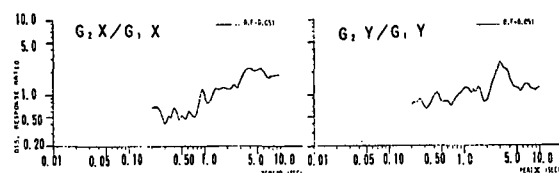


図-8 観測値による応答変位の地盤上/地盤下伝達関数

(2) 応答計算結果

図-9に見られるように、(1)の観測結果とは異なりプログラムの性格上ひずみ依存性 α を入れられないため、性格が変わる。即ち、地表付近の変動の整合がない。

現実には地盤浅所は当時液状化現象が観測されており、図-10に示すひずみの深さ分布に見られる通り大ひずみが地盤浅所で現れているのが伺える。

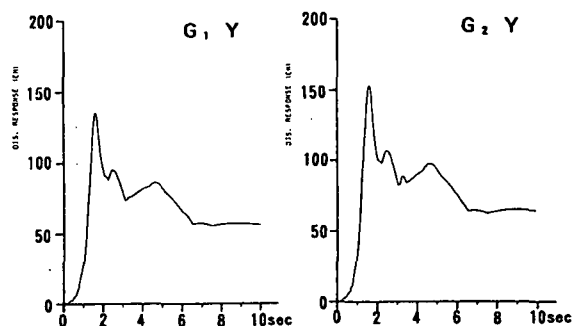


図-9 解析結果の応答スペクトル

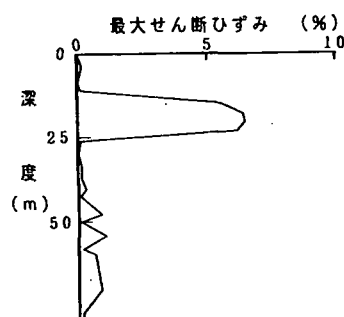


図-10 応答計算によるひずみ分布

(3) 地盤とケーソン間の伝達関数

- 観測結果：図-3に示した変位応答スペクトルを用いて G_1 と K_1 間の伝達関数を求めて図-11に示した。0.3~0.5secで伝達性が0.5程度と悪いが、長周期側では1.2を平均して越す形である。
- 応答計算結果：図-11に応答スペクトルから求めた伝達関数を示した。この結果は併記した観測結果と相異している。

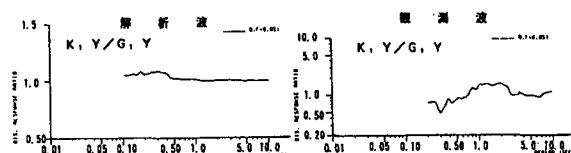


図-11 応答変位のケーソン/地盤伝達関数

7. 大ひずみ発生後の地盤強度の回復様態

当地盤は大ひずみに見舞われたが、その後の地盤強度回復の時間経過を G_1 と G_2 の2地点間について、ここでは表-2に示す大阪湾に震源をもつ発震時に着目した7個の地震例について示す。手法はフーリエ応答解析結果から伝達関数を求めた。

余震波形の例として、図-12に9ヶ月後の地中2地点の地震波形を掲げた。波形の処理として地震規模が小さいため解析範囲を初期20sec間とし、濾波帯域も0.2~5Hzで処理した。

また、図-13に応答変位スペクトルを示し、図-

14に紙面の都合で1月17日とともに2地点間の伝達関数を示した。

7個の地震の橋軸並びに軸直角成分について各周期毎に1月17日の伝達関数(本震と相似)を基準に比を採り図化すると図-15となる。図より地耐力の回復が、初期値が不明であり量的推定はできないが、徐々に回復の傾向が認められる。

表-2 G1地点の加速度最大最小値

観測No.	発生日時	λ	ϕ	H	M	観測波				解析波			
						橋軸	橋軸	直交	直交	橋軸	橋軸	直交	直交
						最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小
本震	H7.17 6:11	34° 36.0'	135° 00.0'	14	7.2	425.4	200.2	443.4	329.5	188.7	360	414.3	324.3
28	H7.1.17 7:27	34° 36.8'	135° 05.1'	10		0.8	0.7	1.9	1.5	0.8	0.7	1.9	1.5
44	H7.1.19 1:52	34° 36.4'	135° 07.0'	13	3.1	3.2	3.9	1.9	1.1	0.2	0.2	0.4	0.3
130	H7.5.15 7:33	34° 36.8'	135° 07.9'	13	3.4	2.2	3.1	2.1	2.8	0.5	0.4	0.5	0.5
135	H7.6.16 7:55	34° 46.0'	135° 18.0'	12	3.8	6.1	6.8	5.7	6.6	1.7	1.8	2.6	2.3
160	H7.8.4 7:33	34° 44.0'	135° 18.0'	12	3.0	10.5	10.2	7.9	5.6	0.5	0.5	1.1	0.9
161	H7.8.4 8:46	34° 43.0'	135° 16.0'	13	3.4	6.8	6.2	7.2	6.0	1.3	0.9	2.6	2.0
166	H7.9.11 3:19	34° 44.0'	135° 18.0'	12	3.4	9.4	8.4	8.1	7.7	1.5	2.3	1.3	2.2

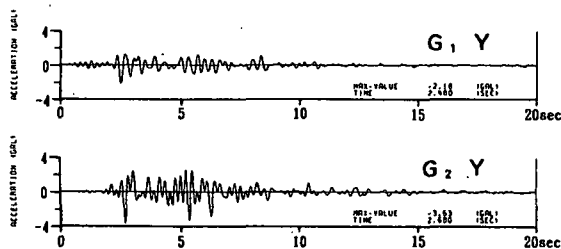


図-12 平成7年9月11日 3時19分余震(加速度)

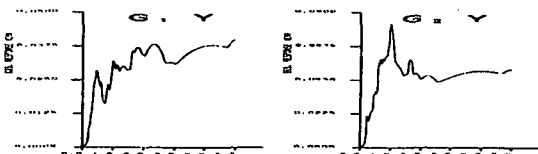


図-13 平成7年9月11日 3時19分余震

応答変位スペクトル

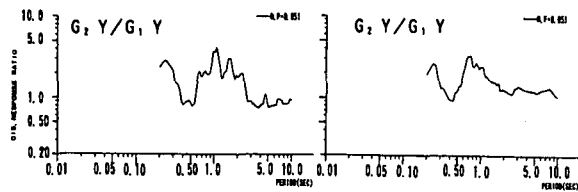


図-14 平成7年1月17日 7時27分余震および
平成7年9月11日3時19分余震変位伝達関数

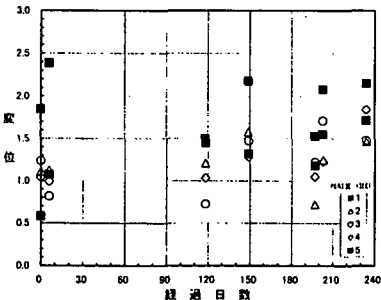


図-15 余震の伝達関数の経時変化図

9. まとめ

本報告では大型橋梁ケーソン基部の床盤部と軸間距離 50mでの地盤間の加速度記録について単純に伝達関数を検討したものである。結果の要約を以下に示す。

- 地盤からケーソン基礎への伝達関数は大ひずみ時でも短周期成分で0.5程度と伝達性は低減するが、長周期成分では1を越している。
- モデルによる地盤・基礎を一体とした2次元解析の結果でも相似の結果を得た。
- ケーソン基礎の影響の小さいと考えられる地盤橋軸直角成分について、鉛直2点間の伝達関数を本震後6ヶ月間の経時変化を見ると、初期値は不明であるが漸次地盤強度が回復する傾向が認められた。

謝辞：阪神高速道路公団には本研究の目的を理解して頂き、貴重な本震並びに余震観測記録と地盤・構造物の資料の提供を頂き目的を達成することができた。末尾ながら記して謝意を表します。

参考文献

- 土木学会耐震工学委員会：基礎・地盤・構造物系の動的相互作用 46有効入力動, pp. II-56-58, 1992.
- 河井章好, 塚原悌二, 北沢正彦, 吉田 聡：東神戸水路橋の大型ケーソンの耐震設計(上)(下), 橋梁と基礎, 85-11, pp. 6-10, 85-12, pp. 27-33, 1985.
- 宮島信雄, 平野昌治：兵庫県南部地震における軟弱地盤中の地動特性に関する考察, 土木学会第24回地震工学研究発表会, 1997.