

(45) 明石海峡大橋架設地点における3点アレー観測システム

京都大学工学部 伊津野和行 山田善一 家村浩和 中西伸二

1. はじめに 明石海峡大橋は完成すれば中央スパン1980 mを有する世界最長の吊橋となり、その1次の固有周期は約20秒だと考えられている。著者らは1989年7月より、橋の架設予定地点の本州側1箇所（兵庫県明石市）における長周期地震動の観測を実施してきた¹⁾。さらに1990年11月からは観測点数を橋の兩岸3点に増やし、観測を継続している。ここでは、その3点アレー観測システムの概要と得られた地震記録例、及びその記録を用いた多点入力応答スペクトルの試算例を示す。

2. 観測システム 観測地点はFig. 1に示すように、明石海峡大橋架設予定地を取り囲む3地点であり、各点は互いに4.8～6.0 km離れている。このうちA地点は以前から観測を行ってきた場所¹⁾であるが、観測機器は観測点を3点に増やした際に新しいシステムとなっている。用いた観測システムをFig. 2に示す。本観測システムの特長は以下の通りである。

- ピックアップで観測された記録は、デジタルデータレコーダに内蔵されたAD変換器でデジタル値に変換されてフロッピーディスクに書き込まれるため、パソコンでデータを読みとる事が可能である。フロッピーディスクの容量と交換に行く頻度とのかねあいで、記録時間は10分間、サンプリング周波数は10 Hzに設定している。この設定では1枚のフロッピーディスクに約20回の記録が可能である。
- 用いたサーボ型速度計は公称測定振動数が0.025～70 Hzと広く、長周期の地震動を精度よく観測できる。トリガーレベルは各観測地点によって異なるが、15～45 m/sに設定してある。
- 新たに設置したタイムコード発生器は、ラジオの時報によって内蔵時計を1時間ごとに自動修正するため、誤差は日差±0.01秒以内に抑えられる。そしてタイムコードを常時発生して、これをデジタルデータとして0.1秒単位でレコーダの第4チャンネルに記録する。

以上、以前の観測システム¹⁾での問題点であった時刻の精度や最大記録時間などをほぼ解消したシステムを構築することができた。新たな問題点としては、3地点での平常時のノイズレベルに差があるために、すべての地震時に3地点同時に記録を開始することが困難な点が挙げられる。また、A地点とC地点ではピックアップの信頼できる範囲を越えた100秒以上の長周期の波によってトリガーされてしまうことが多かった。そこで現在ではトリガー専用のチャンネルを設け、データを分岐させてハイパスフィルターを通し、100秒以上の波によるトリガーを防いでいる。

3. 地震観測記録 1989年7月19日から1991年5月16日までに、本システムで得られた地震記録の一覧表をTable 1に示す。ただし、この表中1番から16番までは従来のシステムによって得られたA地点での記録であり、17番以降は新システムによる記録である。震源距離が1500 km以上とかなり大きな海外の地

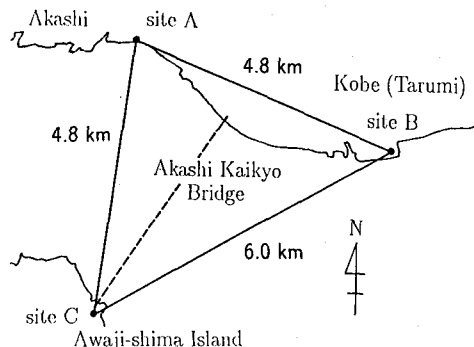


Fig. 1 Location of array observation system.

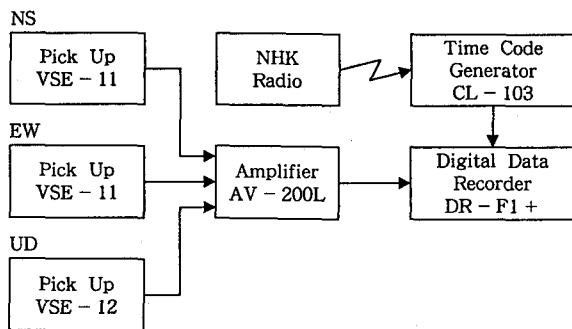


Fig. 2 Diagram of array observation system.

Table 1 Observed earthquake list.

No.	Date	Hypocenter	Epicenter		Depth (km)	M	Dis- tance (km)	Max. Vel. (mkine)		
			°N	°E				NS	EW	UD
1	1989/08/10	Wakayama-Ken Hokubu	34.2	135.6	65	4.6	71	71	40	18
2	1989/11/02	Iwate-Ken Oki	39.8	142.8	38	7.3	921	121	207	173
3	1989/11/02	Tottori-Ken Seibu	35.3	133.4	16	5.4	165	149	66	44
4	1990/02/20	Izu Ohshima Kinkai	34.7	139.3	17	6.5	393	118	98	55
5	1990/03/12	Tokaido Haruka Oki	33.4	138.7	44	5.2	366	6	6	3
6	1990/04/06	Near Mariana Trench	15.2	147.5	33	7.5	2490	39	40	43
7	1990/04/12	Wakasa-Wan	35.5	135.6	367	6.4	114	92	80	152
8	1990/04/18	Indonesia, Minahassa Pen.	1.2	122.9	?	7.4	3920	21	11	25
9	1990/05/12	Deep Sakhalin	48.9	142.9	600	7.7	1720	52	28	32
10	1990/05/17	Noto-Hanto Oki	37.1	137.1	272	5.8	336	12	10	5
11	1990/06/01	Chiba-Ken Toho Oki	35.6	140.7	59	6.0	530	16	15	21
12	1990/06/05	Kanagawa-Ken Chubu	35.6	139.2	123	5.5	398	13	11	5
13	1990/06/14	Philippines	11.4	122.1	33	7.1	2890	10	12	8
14	1990/06/21	Iran, Manjil	37.0	49.4	10	7.7	7440	11	11	11
15	1990/07/16	Philippines, Luzon	15.4	121.3	36	7.7	2540	104	145	62
16	1990/09/05	Akashi Kaikyo	34.6	135.0	8	3.3	0	88	51	39
17	1991/01/06	Myanmar	23.5	96.3	?	7.2	3930	27	30	28
							(site B: 38	24	21)	
18	1991/03/10	Kii Suido (site B only)	33.8	134.9	20	?	89	7	6	3
19	1991/05/03	Torishima Kinkai	28.2	140.2	460	6.5	866	17	14	6
							(site B: 21	29	10)	
20	1991/05/13	Between Kyoto and Osaka	34.9	135.6	10	?	64	5	8	6

震でもマグニチュードが7以上のものは観測できていることがわかる。最も遠いものでは震央距離が7000 kmのものまで観測されている。表中の14番イラン地震、15番フィリピン地震は多くの死傷者を出し、建造物の被害も多く報告されている。また、2番岩手県沖地震、6番マリアナ地震、9番サハリン深発地震もかなり大きな地震であり、各地で記録されている。最大値を示したのはFig. 3の2番岩手県沖地震であり、0.2 kine程度であった。この記録は20~25秒が卓越する長周期波で、3方向ともほぼ同じ大きさであった。また、断続的に40分以上にわたって観測された。

17番ミャンマー地震は、A地点（明石市）とB地点（神戸市垂水区）において記録されたが、C地点（淡路島）ではトリガーしなかった。これはC地点における常時微動のレベルが高く、トリガーレベルを

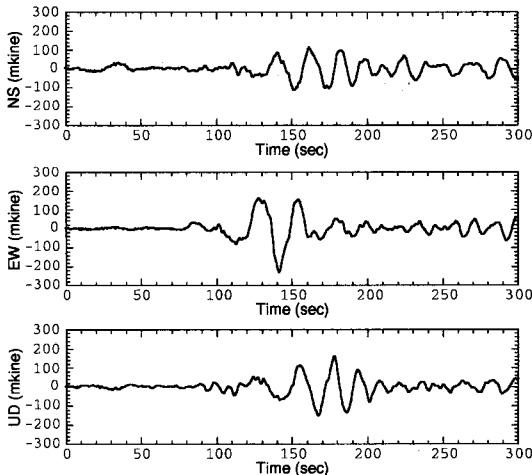


Fig. 3 Velocity time histories of Iwate-ken Oki earthquake.

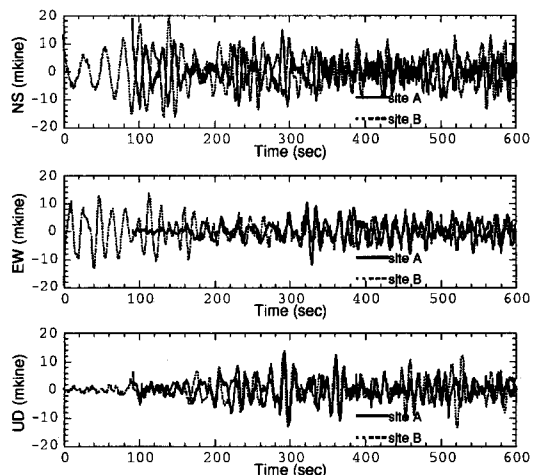


Fig. 4 Velocity time histories of Myanmar earthquake.

高く設定している事が大きく影響している。Fig. 4には、A地点とB地点の記録を絶対時刻をあわせてプロットしている。トリガーレベルが違うこともあってA地点の記録はB地点の記録の途中から始まっているが、両者の波形はEW成分の前半を除いて非常に類似している。両記録の相互相関関数(最大値が1になるよう正規化してある)をFig. 5に示す。相互相関関数はほぼ正弦波に近く、相関が高いことがわかる。この図よりNS方向で0.9秒、EW方向で0.7秒、UD方向で1.2秒、それぞれA地点(明石)の記録を遅らせると相互相関関数が最大となり、両者の一致度が高いことがわかった。2地点間の距離が約4.8 kmであるので、この地震波の伝播速度は4~7 km/secと推定される。また、この地震のフーリエスペクトルFig. 6は、A地点B地点ともに類似した形状を示している。両地点の地盤がほぼ同じであることが大きく影響している。卓越周期は13~20秒であり、明石海峡大橋の一次のたわみ振動の固有周期に近い成分が多く含まれている。さらに、5秒以下の短周期成分がほとんど含まれていないのも特徴である。

19番鳥島近海地震もA地点とB地点で記録された。絶対時刻を合わせた両記録をFig. 7に示す。前半30秒の水平動は相関が高く、位相差はないと考えられる。しかし、記録全体として見た場合、ミャンマー地震の場合ほど明確な相関は見られなかった。卓越周期はFig. 8のフーリエスペクトルよりA地点では8秒前後、B地点では5~6秒である。

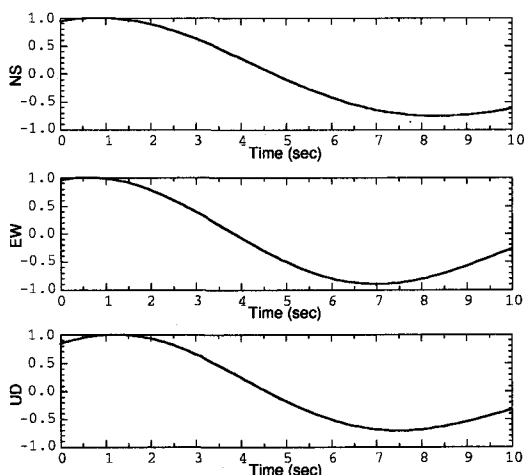


Fig. 5 Cross correlation function of Myanmar earthquake.

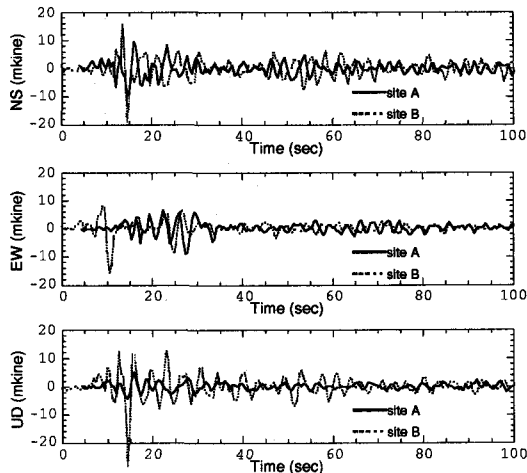


Fig. 7 Velocity time histories of Torishima Kinkai earthquake.

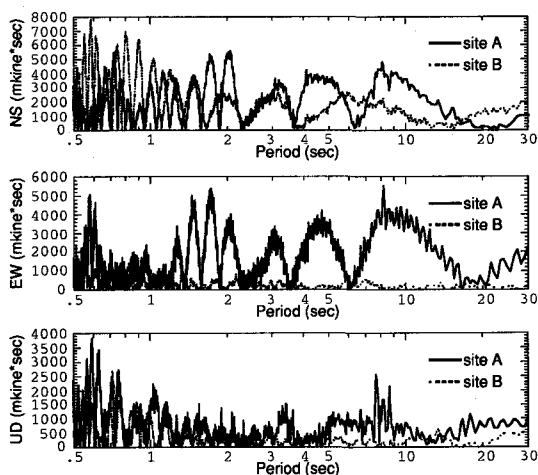


Fig. 6 Velocity Fourier spectra of Myanmar earthquake.

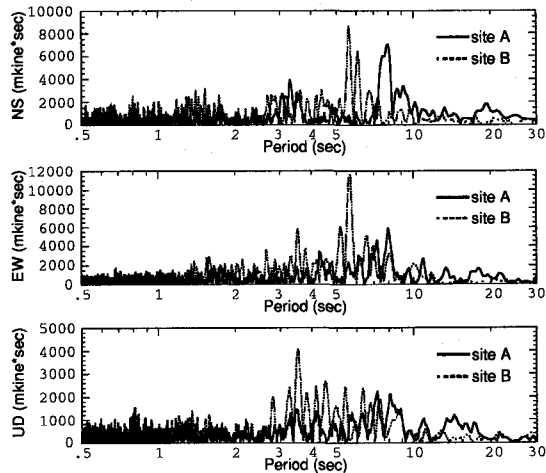
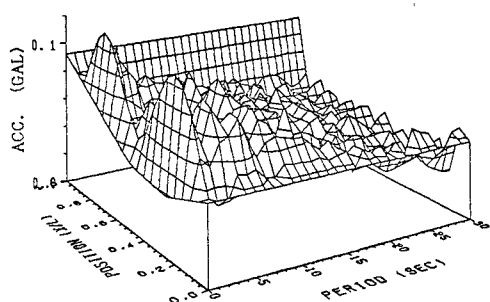


Fig. 8 Fourier spectra of Torishima Kinkai earthquake.

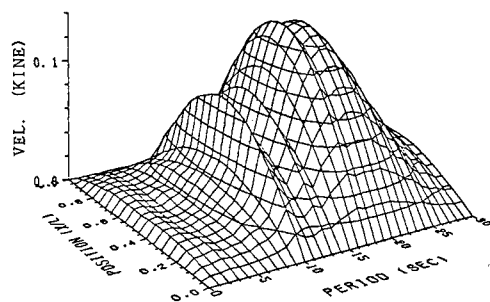
4. 多点入力応答スペクトル 長大橋梁の地震応答に関しては、位相差などを考慮した入力を行う必要がある。ここでは簡単な例として、単純梁の両支点が異なる入力を受けた場合の応答を、2地点で得られた地震記録から計算した。Fig. 9は入力に17番のミャンマー地震のA地点とB地点で得られたNS記録を用い、x軸に単純梁の1次の固有周期（0秒～30秒、減衰2%）、y軸に単純梁における位置（0と1が両支点）、z軸に最大応答値をプロットしたものである。Fig. 9(a)の絶対加速度応答では、固有周期が短いところで2次モードが卓越している様子がわかる。周期が長くなると高次モードの影響が大きくなるが、値としては小さい。Fig. 9(b)の相対速度応答と(c)の相対変位応答では1次モードの影響が強く、20秒前後の構造物で応答が最大値を示す。この結果を、各次モードの2乗和の平方根による従来の近似解と比較したのがFig. 10である。実線が単純梁の最大応答で、点線が近似解である。Fig. 10(b)の相対速度と(c)の相対変位に関しては周期25秒以上の長周期構造物以外は非常によい近似を与えており、また、長周期領域でも安全側である。Fig. 10(a)の絶対加速度に関しては、近似解は50%以上過大評価することになる。

参考文献 1) 中西・山田・家村・伊津野・稼農: 土木学会第45回年次学術講演会, pp. I-1054~1055, 1990.

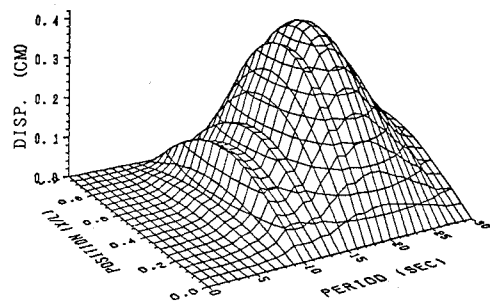
発表者連絡先 〒606 京都市左京区吉田本町 京都大学工学部土木工学科耐震工学研究室 TEL. 075-753-5089



(a) Absolute acceleration

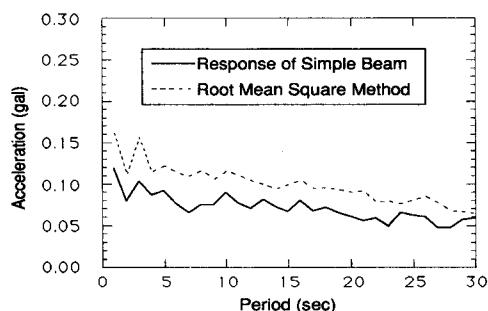


(b) Relative velocity

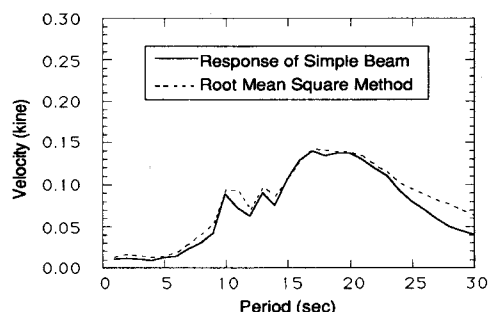


(c) Relative displacement

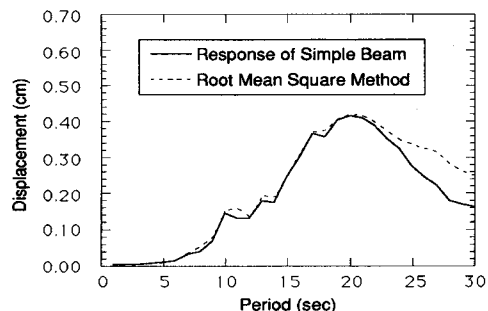
Fig. 9 Response spectra for simple beam.



(a) Acceleration



(b) Velocity



(c) Displacement

Fig. 10 Comparison of simulation to RMS method.