

2013年4月13日淡路島付近の地震において 大鳴門橋の両端で観測された地震動

三神 厚¹・小長井 一男²・片桐 俊彦³

¹正会員 徳島大学准教授 工学部建設工学科 (〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町2-1)

E-mail: amikami@ce.tokushima-u.ac.jp

²フェロー 横浜国立大学大学院教授 都市イノベーション研究院 (〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-1)

E-mail: konagai@ynu.ac.jp

³正会員 東京大学生産技術研究所技術専門職員

2013年4月13日午前5時33分頃、淡路島付近を震源とするマグニチュード6.3の地震が発生した。防災科学技術研究所のK-NETやKiK-net,あるいは気象庁など、淡路島内の多くの場所で複数の機関により強震観測記録が得られた。著者らは、淡路島と四国を結ぶ大鳴門橋（吊橋、橋長1629m）両端の岩盤サイトにおいて、長年にわたり強震観測を行ってきたが、今回の地震動の観測に成功した。長大橋の地震応答を考える上での課題の1つに、単一の構造物に異なる地震動が入力として与えられる問題がある。大鳴門橋での観測記録は、観測事実に基づく1つの解を与えるもので大変貴重である。本研究では、大鳴門橋両端の岩盤サイトで観測された地震動の間に認められた時間遅れについて報告する。

Key Words : Earthquake near Awajishima, strong ground motion, phase difference, long suspension bridge

1. はじめに

2013年4月13日午前5時33分頃、淡路島付近を震源とするマグニチュード6.3($M_w=5.8$)の地震が発生した。震源の深さは15kmで、マグニチュードは6.3であった。この地震によって、淡路市郡家と淡路市志筑で最大震度6弱が観測された^{1),2)}。

震源の位置は、北緯34度25.1分、東経134度49.7分で、1995年兵庫県南部地震の震源の南方すぐ近くであった（図-1）。東西方向を圧縮軸とする逆断層で、兵庫県南部地震とは異なった地震メカニズムで発生した¹⁾。

この地震で、淡路島を中心に各地で被害が発生した。消防庁による5月14日の報告³⁾によれば、死者は発生しなかったものの、負傷者34名、全壊家屋6棟、半壊家屋66棟、一部損壊は8,000棟を数えた。

淡路島の多くの強震観測点で本震記録が捉えられた。震源に最も近いK-NET五色では、586.1gal（3成分合成値）を記録した。著者らはこれまで大鳴門橋両端の岩盤サイトで強震観測を行ってきたが、2013年4月13日に淡路島付近で発生した地震による本震記録を捉えた。本研究では、大鳴門橋両端での岩盤サイトで観測された地震

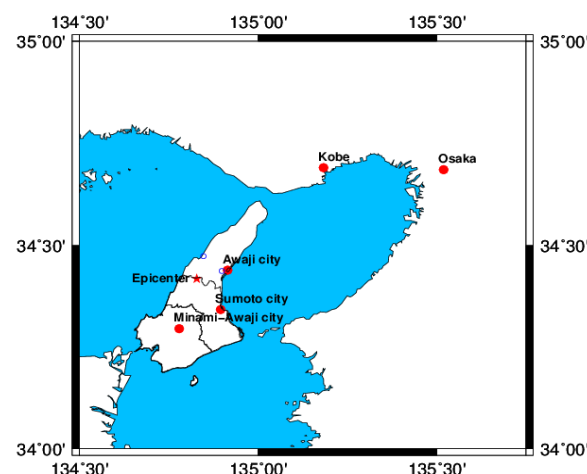


図-1 淡路島付近の地震の震央の位置

動について、震源に近い淡路側に比べ、鳴門側の地震動に時間遅れ（位相差）が認められたことについて報告する。位相差が生じる原因としては、地震動の斜め入射の他、表層地盤の構造が異なることによる影響などがあるが、本研究の観測点はともに岩盤サイトに位置しており、表層地盤の影響を受けていないという点において大変貴

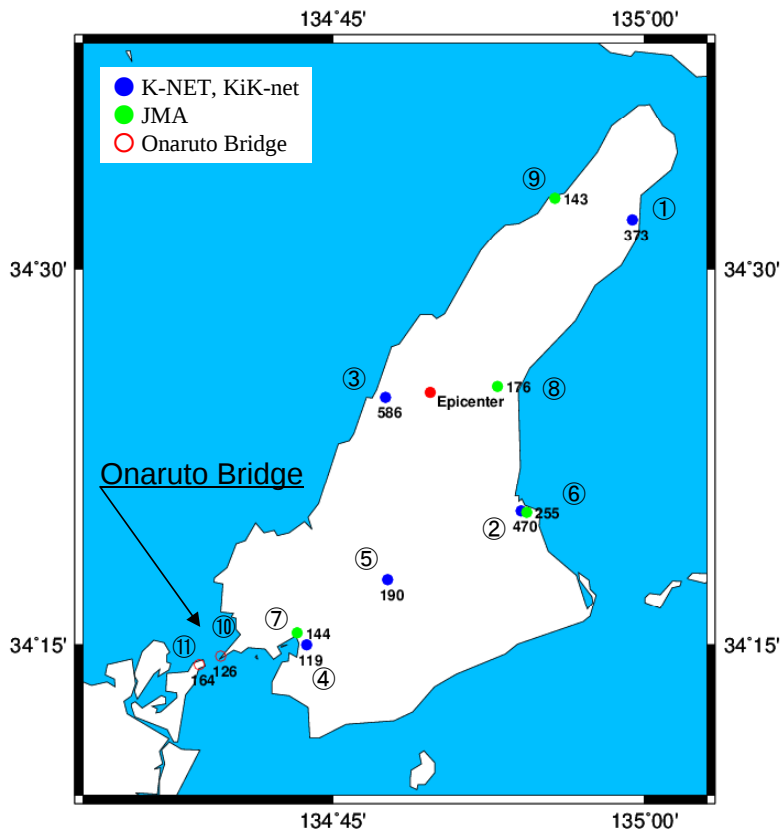


図-2 淡路島における強震観測ネットワーク

重なるものである。

本研究ではまず2章において地震のメカニズムや強震観測エリアの地形地質的な側面について述べる。3章では、各観測記録の強度特性や周波数特性について検討した後、大鳴門橋両端の岩盤サイトで観測された強震記録に見られた位相のずれの事例について報告する。

2. 淡路島の地形と地質

(1) 地質構造

淡路島の基盤岩は、中北部が白亜紀の花崗岩からなり、南部は砂岩、泥岩、礫岩からなる海成の堆積岩である。後述する鳴門海峡周辺には、後者の海成の堆積岩が広がっている。

(2) 震源断層

発震機構については、地震調査推進本部によってCMT解が示されており、東西方向に圧縮軸を持つ西傾斜の逆断層である⁴⁾。平成7年（1995年）兵庫県南部地震の余震域の南西端に近接する領域で発生したとの報告がなされている⁵⁾。

(3) 本震と余震

本震と余震の分布は防災科学技術研究所によって提供されている⁶⁾。本震の位置は、北緯34.4183N，東経134.8283 Eである。余震分布から推定される断層は、北北西～南南東に走行をもつ西傾斜の逆断層で、走行は175度、傾斜は60度と気象庁により報告されている⁶⁾。

3. 淡路島で観測された地震動

淡路島には、防災科学技術研究所のK-NET、KiK-netや気象庁、自治体によるJMAの強震計が設置されており、観測記録は公開されている。ここでは、得られた観測記録の地震動特性について概観する。

(1) K-NET, KiK-net, JMA の記録

淡路島には4箇所のK-NET観測点と1箇所のKiK-net観測点があり、ともに防災科学技術研究所によって保守されている。加えて、気象庁の観測点が4点ある。これらの観測点の位置と最大加速度の値を図-2と表-1にまとめる。なお、大鳴門橋両端で観測された地震動の詳細については、第4章で報告する。

表-1 強震観測点情報一覧

	Category	Site Code City Name	Site Name	Latitude	Longitude	Elevation	PGA** (gal)	Seismic Intensity	Epicentral Dist.(km)
①	K-NET	HYG024	東浦	34.5330	134.9904	2.0	373.2	5.3	19.6
②	K-NET	HYG025	洲本	34.3405	134.9014*	10.0	470.3	4.8	11.0
③	K-NET	HYG026	五色	34.4149	134.7925	70.0	586.1	4.8	3.3
④	K-NET	HYG027	南淡	34.2499	134.7292	115.0	119.1	3.8	20.8
⑤	KiK-net	HYGH01	三原	34.2937	134.7941	65	190.0	4.8	14.2
⑥	JMA	Sumoto	小路谷	34.3383	134.9055	-	254.6	4.8	11.4
⑦	JMA	Minami-Awaji	福良	34.2579	134.7217	-	143.9	4.7	20.4
⑧	JMA	Awaji	中田	34.4223	134.8822	-	176.2	4.5	5.0
⑨	JMA	Awaji	富島	34.5472	134.9281	-	142.6	4.5	17.0
⑩	Tokushima Univ.	Onaruto Bridge	淡路側	34.2424	134.6604	-	126.0	-	24.9
⑪	Tokushima Univ.	Onaruto Bridge	鳴門側	34.2367	134.6430	-	163.7	-	26.4

* 著者らの GPS レシーバーによれば、K-NET 洲本の位置は、34.3391N, 134.9010E であった。

** 3成分合成値

(2) 距離減衰特性

図-3に観測された最大加速度記録のプロットを両対数で表示して示す。Fukushima and Tanaka^{7,8)}の距離減衰式を併せて示す。太線はモデルの平均値を示し、点線は $\pm 1\sigma$ の変動範囲を示す。4月13日の地震によって淡路島の各地で観測された地震動は、概ね、 $\pm 1\sigma$ の範囲に入っていることがわかる。なお、ここでは、モデル、観測値とも、水平2方向のそれぞれの最大値の平均値を用いている。大鳴門橋サイトは岩盤上なので、本来はモデルは0.6倍して示すことになるが、ここではそのような補正を行っていない。

(3) 速度応答スペクトル

図-4は、今回の地震による地震動と、1995年兵庫県南部地震の際のJR鷹取の記録から計算された速度応答スペクトルを比較したものである（減衰定数は5%としている）。今回の地震でK-NET五色で観測された最大加速度の値と1995年兵庫県南部地震の際にJR鷹取で観測された値はほとんど同じであるが、JR鷹取の記録の速度応答スペクトルの方が、周期の長い領域で大きく上回っており、兵庫県南部地震の方が、破壊的な地震動成分が卓越していたことが推察される。

4. 大鳴門橋の両端で観測された地震動

2013年4月13日の淡路島付近の地震について、著者らは大鳴門橋両端の岩盤サイトで観測記録を得た。ここでは、大鳴門橋両端の岩盤サイトで観測された地震動の周

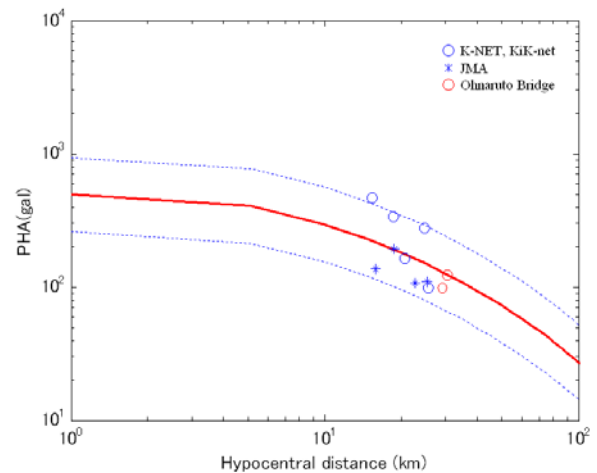


図-3 観測された最大加速度

期特性、観測記録間に見られた位相差などについて報告する。

(1) 観測点と大鳴門橋との位置関係

大鳴門橋は、鳴門海峡を横切り、淡路島と四国をつなぐ全長1629m、中央径間が876mの吊橋で、1976年に建設が始まり、1985年に完成した。

現地での強震観測について、当初は、橋の建設前の1963年に徳島県により鳴門海峡での強震観測が始められた。その後、1973年に東京大学生産技術研究所に移管され、それ以降、橋梁に対する地震動入力を検証する目的で観測が継続されてきた。2003年には、新型のサーボ型加速度計（東京測振SV-355T）と内部メモリ内蔵でGPS レシーバー付きのデータロガー（東京測振、SAMTAC-

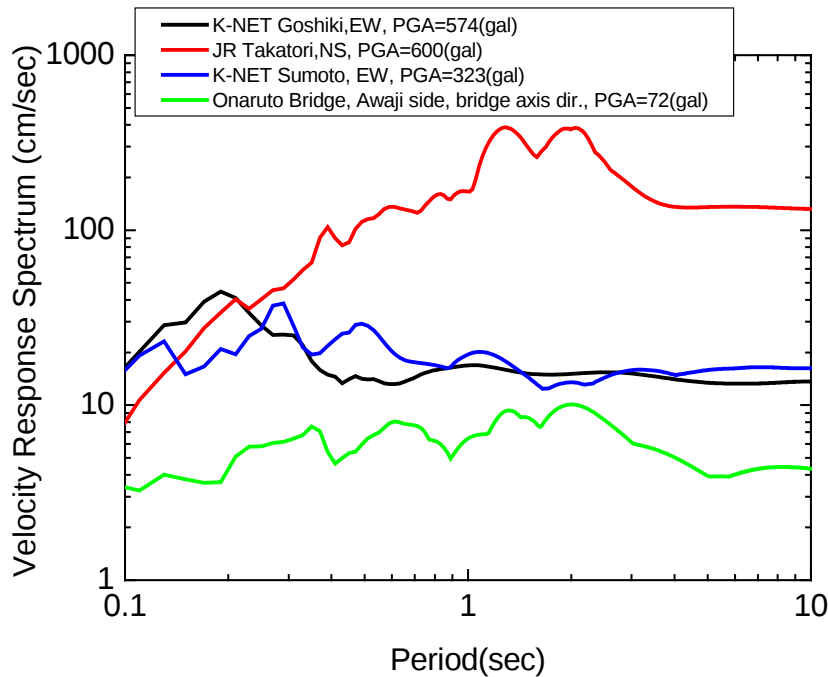


図-4 今回の地震と1995年兵庫県南部地震による地震動の速度応答スペクトルの比較

500)に更新された。カタログによれば、この更新システムで1/200秒の時間誤差が保証されている。2013年4月に、本観測システムは徳島大学に移管された。

(2) 観測された地震動の時刻歴

大鳴門橋サイトの強震計は、図-5に示すように、鳴門海峡の淡路側、鳴門側の橋台から50～100m離れた露頭岩盤に設置されているので、得られた強震記録(図-6)は、橋台に入力される地震動の基本的な特徴を反映したものとみなされる。大鳴門両端の強震計は、GPS信号を用いた時間補正により時間軸に関して非常に正確である。震源に近い淡路側の地震動は鳴門側に比べ、約0.2～0.3秒程度、初期微動が早く到達している。

(3) パワースペクトル

図-7は淡路側、鳴門側のパワースペクトルを示す。赤と青の線は、それぞれ、平滑化前と後のパワースペクトルである(平滑化バンド幅0.4Hz)。鳴門側では5～8Hz程度の範囲に明瞭なピークが見られるが、その他については特徴的な違いは認められない。

(4) 時刻歴に見られる位相差

橋軸方向、橋軸直角方向、上下方向について、加速度記録を2回積分して得られた変位記録(全長と10～25秒区間)を図-8～図-10に示す。10～25秒の区間はほぼ同位相で推移しているが、鳴門側の記録に0.5秒程度の遅れが生じている。上下動をP波と考えるなら、上下動の位

相差は小さくなりそうだが、ここでは水平動とほぼ同程度なので、震源に近いことによる斜め入射によるSV波の影響と考えられる。

なお、大鳴門橋観測サイトにおいて、鳴門側から淡路側を見た向きはN70E程度であるのに対し、大鳴門橋から震源の向きはN40E程度である。変位波形の位相の遅れを0.5秒程度とすると、橋軸方向の位相速度は $1629/0.5=3258(\text{m/sec})$ となり、その震源方向成分は、 $3258 \times \cos 30^\circ$ として、 $2822(\text{m/sec})$ 程度と大凡見積もることができる。ただし、本来は周波数に応じて変化する量となる。

5. まとめ

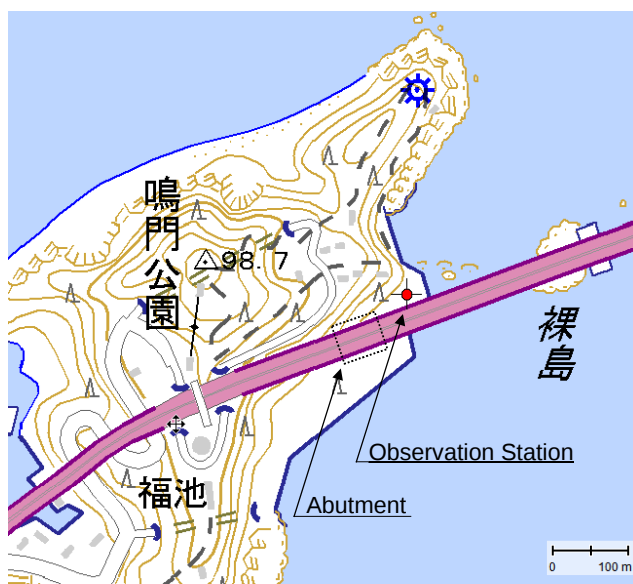
2013年4月13日に淡路新付近を震源とする地震が発生した。淡路島と四国をつなぐ大鳴門橋(吊橋、橋長1629m)両端の橋台付近の岩盤サイトにおいて、著者らは長年強震観測を行ってきたが、今回の地震を捉えることに成功した。

橋軸方向、橋軸直角方向、上下方向とも、両端の変位波形の形状は類似しており、震源に近い淡路側に対し、鳴門側の地震動において0.5秒程度の時間遅れが認められた。

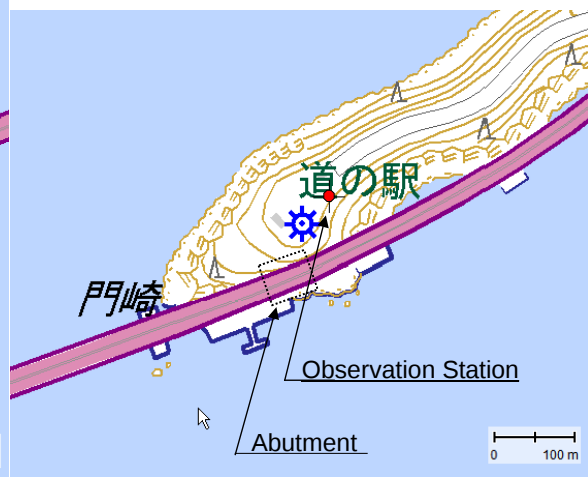
謝辞：本研究は、2013年4月13日淡路島付近の地震の被害調査と関連して行ったもので、被害調査にあたっては



(a) 大鳴門橋サイト



(b) 鳴門側



(c) 淡路側

図-5 大鳴門橋サイトにおける観測場所
(国土地理院発行の地形図を使用)

東京大学生産技術研究所の清田隆准教授より、大変有益な情報を提供して頂きました。また本研究の実施にあたっては、防災科学技術研究所のK-NETやKiK-net、気象庁によって観測された強震記録を利用させて頂きました。論文の一部の図はGeneric Mapping Tools^{9) 10)}により作成しました。関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 気象庁：平成 25 年 4 月 13 日 05 時 33 分頃の淡路島付近の地震について，気象庁報道発表資料，2013.
- 2) 気象庁：平成 25 年 4 月 13 日 05 時 33 分頃の淡路島付近の地震について（第 2 報），気象庁報道発表資料，2013.
- 3) 消防庁災害対策本部：淡路島付近を震源とする地震（第 23 報），2013.
- 4) 地震調査推進本部：平成 25 年 04 月 13 日 05 時 33 分

頃の地震の発震機構解 CMT 解，2013.

http://www.jishin.go.jp/main/chousa/13apr_awaji/p04.htm

- 5) 地震調査推進本部：2013 年 4 月 13 日淡路島付近の地震の評価，2013.

http://www.jishin.go.jp/main/chousa/13may_awaji/index.htm

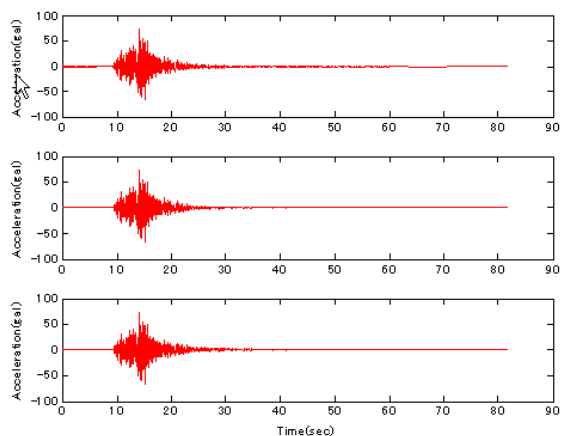
- 6) 気象庁：2013 年 4 月 13 日淡路島付近の地震 一近地強震波形による震源過程解析（暫定）一，2013.

<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/sourceprocess/event/20130413near.pdf>

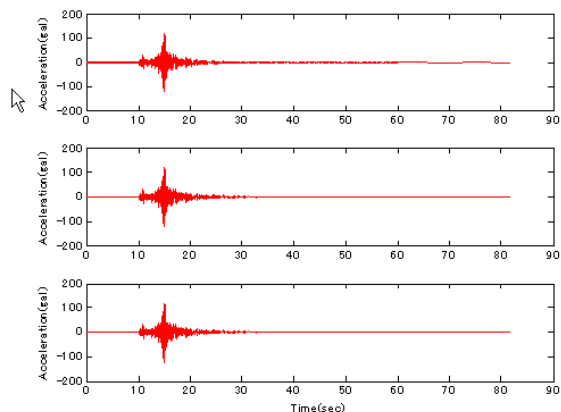
- 7) Fukushima, Y. and Tanaka, T.: A New Attenuation Relation for Peak Horizontal Acceleration of Strong Earthquake Ground Motion, Bulletin of Seismological Society of America, Vol.80, No.4, 1990.

- 8) 福島美光，田中貞二：新しいデータベースを用いた最大加速度の距離減衰式の改訂，地震学会講演予稿集，2，116，1992.

- 9) Wessel, P. and Smith, W. H. F.: New improved version of the Generic Mapping Tools released, EOS Trans. AGU, 79,

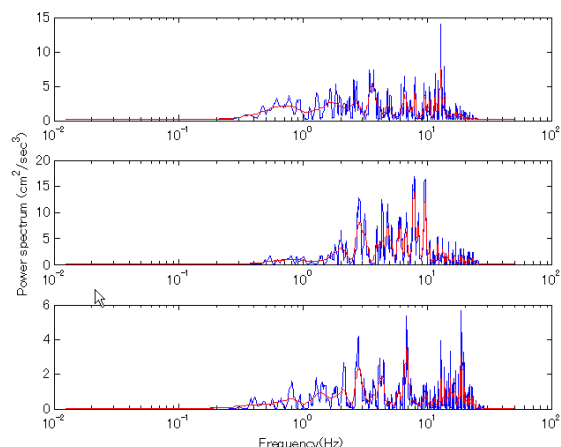


(a) 淡路側

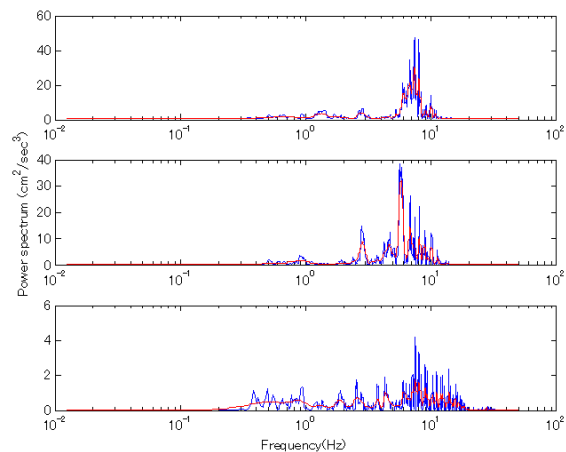


(b) 鳴門側

図-6 得られた強震加速度記録



(a) 淡路側



(b) 鳴門側

図-7 パワースペクトル

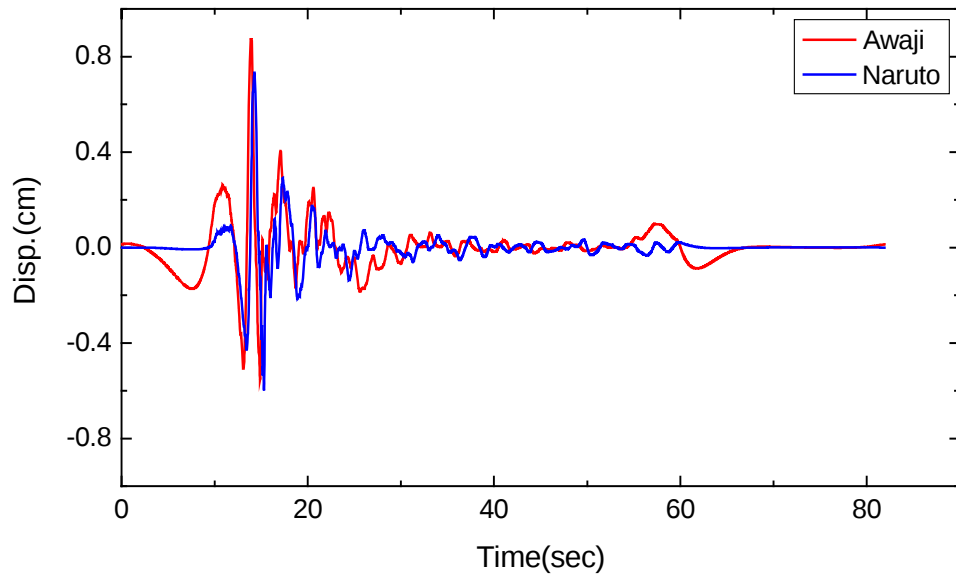
579, 1998.

- 10) Wessel, P. and Smith, W. H. F.: Free software helps map and display data, EOS Trans. AGU, 72, 441, 1991.

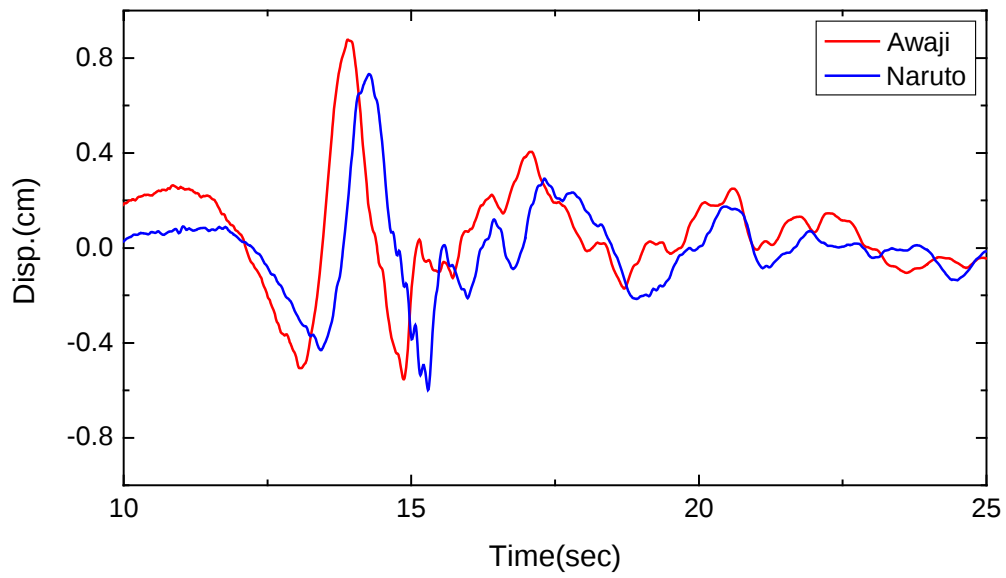
GROUND MOTIONS RECORDED AT BOTH ENDS OF LONG SUSPENSION BRIDGE DURING EARTHQUAKE NEAR AWAJISHIMA ON APRIL 13, 2013

Atsushi MIKAMI, Kazuo KONAGAI and Toshihiko KATAGIRI

An intense earthquake occurred near Awajishima island on April 13, 2013. Strong motions on rocks were successfully recorded at both Naruto and Awaji sides of Onaruto bridge, a 1629m long suspension bridge across the Naruto strait. There was about half a second time delay recognized in the record at Naruto side about 2km southwest of Awaji side. Obtained records are considered to clearly reflect the basic features of the input ground motions to the bridge abutments.

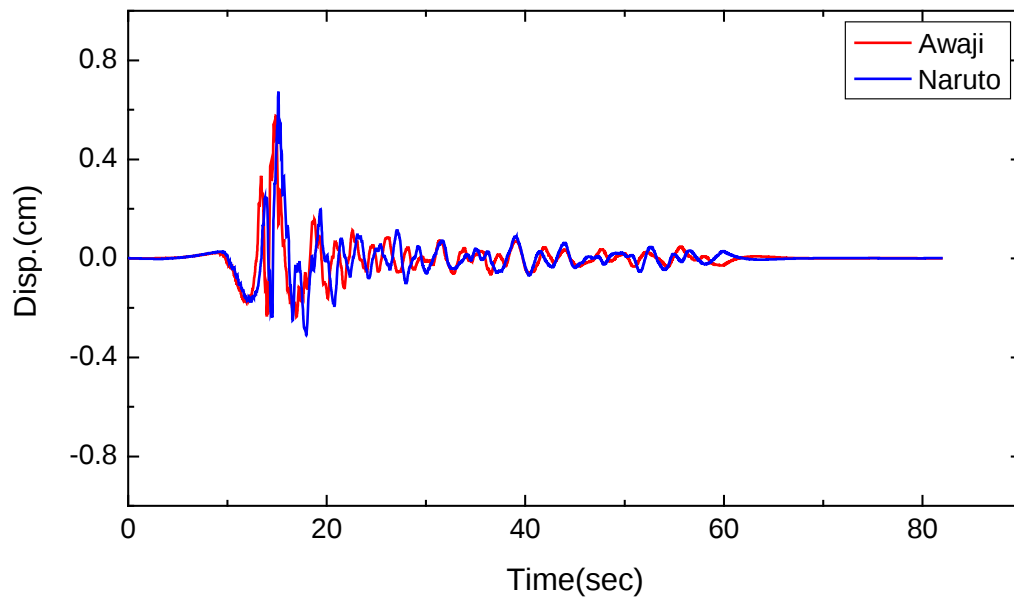


(a) 変位記録全長（橋軸方向）

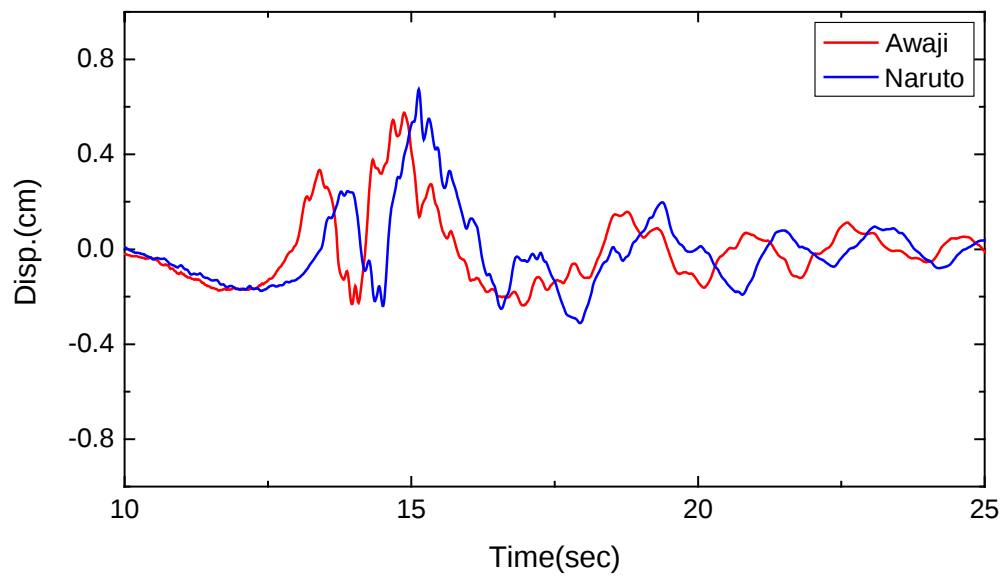


(b) 変位記録（10～25秒，橋軸方向）

図-8 大鳴門橋サイト，橋軸方向の変位記録

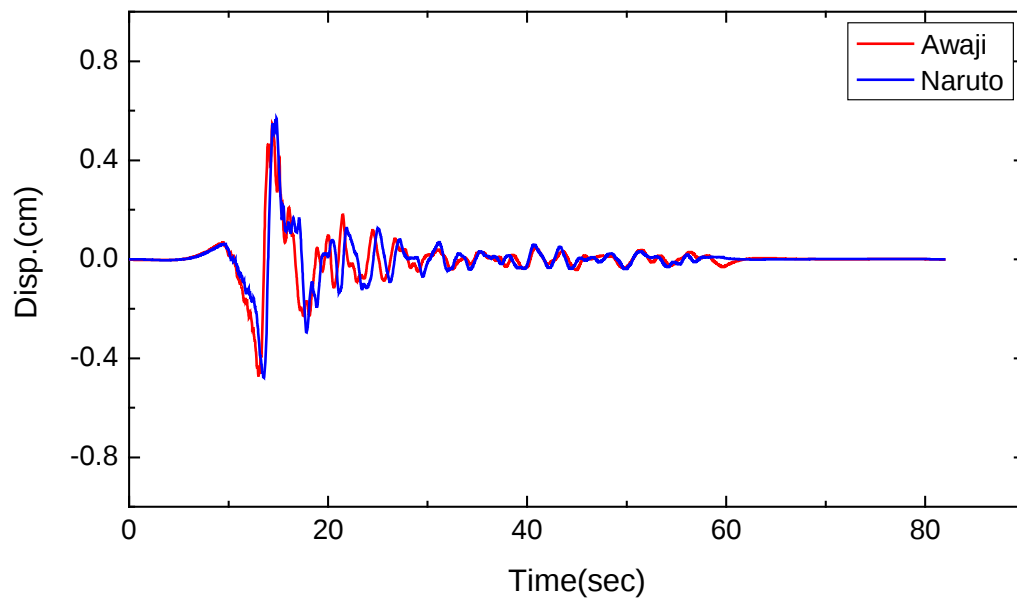


(a) 変位記録全長（橋軸直角方向）

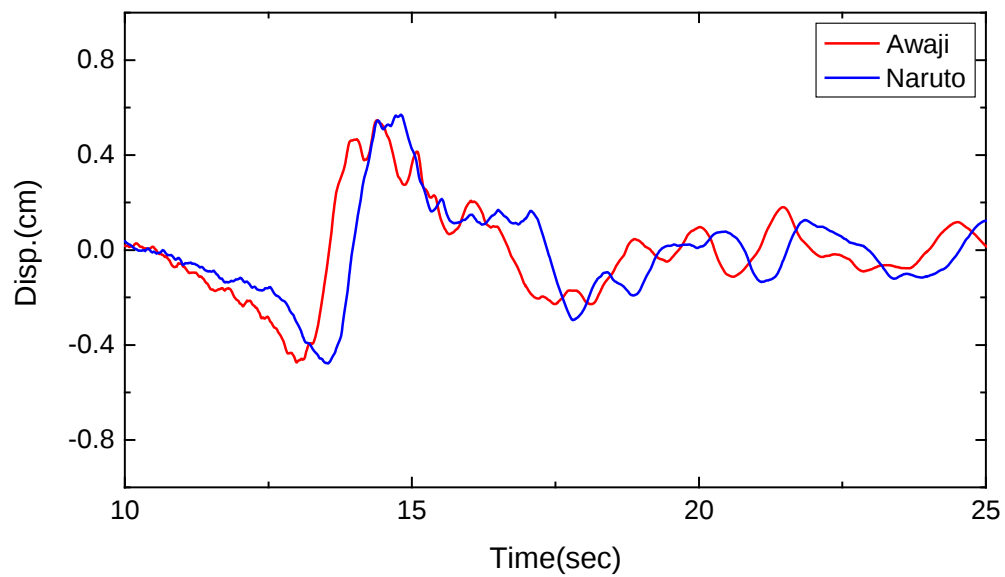


(b) 変位記録（10～25秒，橋軸直角方向）

図-9 大鳴門橋サイト，橋軸直角方向の変位記録



(a) 変位記録全長（上下方向）



(b) 変位記録（10～ 25 秒，上下方向）

図-10 大鳴門橋サイト，上下方向の変位記録