

2011年淡路島地震で被災した洲浜橋周辺における地盤振動 特性評価とS波速度構造の推定

山田雅行¹・伊藤佳洋²，秦吉弥³，森伸一郎⁴，Ratna Twayana Prasad⁵

¹正会員 博士(工学) (株)ニュージェック 技術開発グループ (〒531-0074 大阪府大阪市北区本庄東2-3-20)

²正会員 工修 (株)ニュージェック 技術開発グループ (〒531-0074 大阪府大阪市北区本庄東2-3-20)

³正会員 博士(工学) 大阪大学 大学院工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

⁴正会員 博士(工学) 愛媛大学 大学院理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3)

⁵正会員 修士(工学) 愛媛大学 大学院理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3)

1. はじめに

2013年4月13日5時33分に発生した淡路島付近を震源とするマグニチュード6.3の地震(以後、2013年淡路島地震と呼ぶ)は、兵庫県洲本市市街地にも被害をもたらした。洲本市では、ガス管、水道管などの埋設物、木造家屋、洲本川河口部に架かる全長149mの斜張橋である市道洲浜橋(以後、洲浜橋と呼ぶ)などにおいて被害が見られた¹⁾²⁾。特に、洲浜橋では兩岸の橋台および移動制限装置が側方にはらみ出すようにせん断破壊するという深刻な被害が報告されている²⁾。

そこで、著者らは、今後の橋梁の耐震性評価に資する目的で、洲浜橋の被害メカニズムを解明すべく、洲浜橋周辺の地盤の特性、洲浜橋に作用した本震時の地震動を推定、洲浜橋の地震時応答解析を試みた^{3)~6)}。本稿は、洲本市市街地において、常時微動観測を行い、その広域的な地盤の振動特性の解明と、平野中央部に位置する洲浜橋付近において常時微動アレイ観測を実施して、S波速度構造の推定を試みた結果について報告するものである。

2. 洲本市付近における広域地質

洲本平野は淡路島において二番めの広さを有する平野で、南北を山地に囲まれている。北側の山地は後期白亜紀(約1億年前~6500万年前)の花崗閃緑岩、南側の山地は後期白亜紀に海で形成された砂岩泥岩互層からなる(図-1)。

縄文海進期(数千年前)には、現在の河口から4km



図-1 洲本市付近の地質図

程度まで海が入り込み、細長い内湾を成していたとされ、新しい海成または非海成堆積層を形成している。その下位には、洲本川などが運んだ砂が堆積した三角州性低地が発達しているものと考えられている(図-1)。

3. 洲本市市街地における地盤振動特性

(1) 地盤振動特性の評価方法

地盤振動特性は、常時微動H/Vスペクトル比を用いて評価を行った。

常時微動観測は周期5秒までフラットな特性を有するサーボ型加速度計(白山工業製、JU210)を用いており、常時微動H/Vスペクトル比の算出においては0.5Hz付近の波動成分の影響まで考慮できるように、各観測地点について擾乱の少ない40.96秒間の

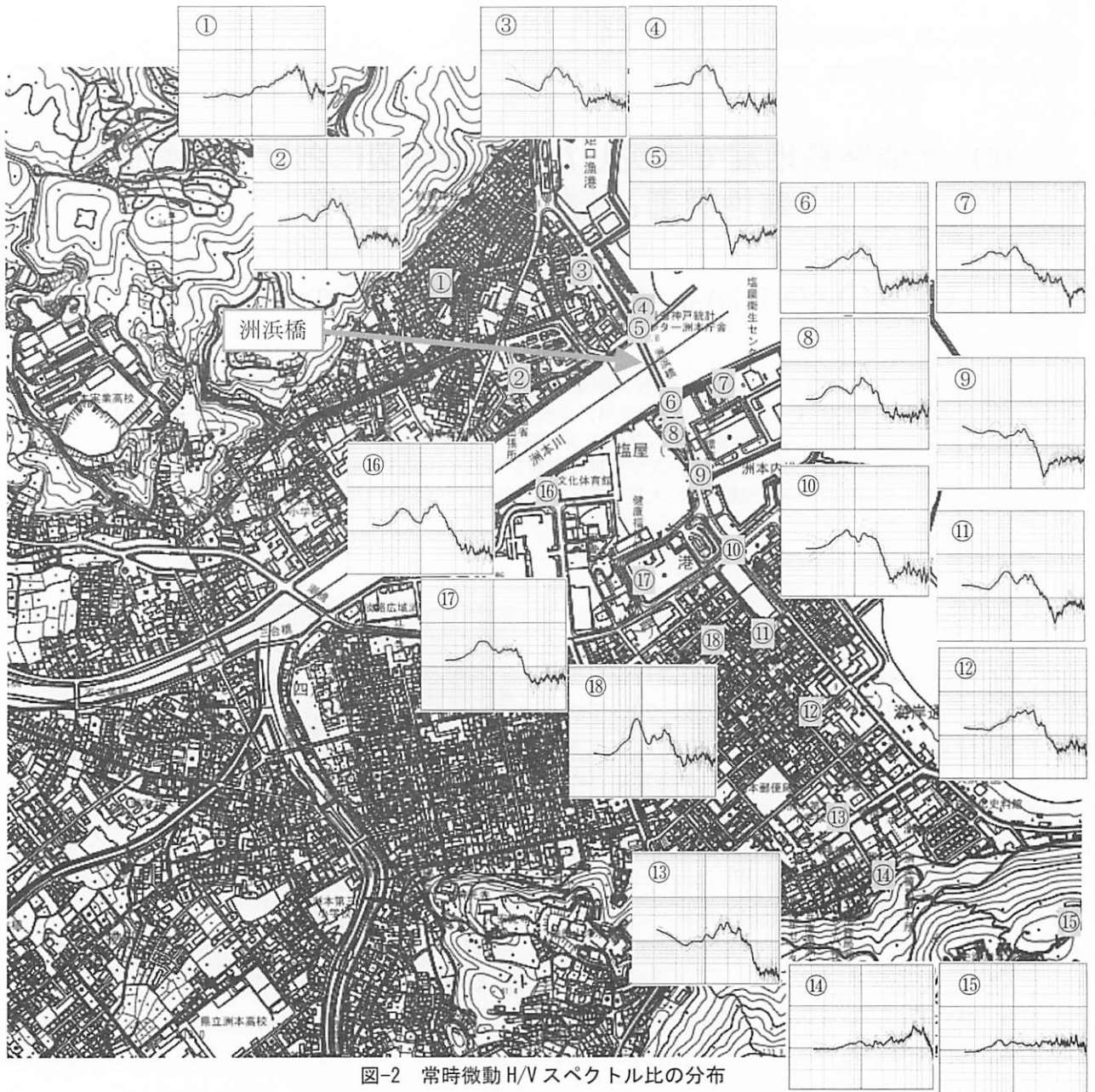


図-2 常時微動 H/V スペクトル比の分布

データを5区間抽出し、その平均値としている。水平成分は直交する2成分の相乗平均とした。スペクトルの平滑化については、0.5Hz付近においてもピークを明瞭に判別できるようにする観点から水平成分、鉛直成分ともに0.2HzのParzenウィンドウを用いている。

(2) 洲本市市街地における広域的な地盤振動特性

洲本市内の18ヶ所において、常時微動観測を実施した。常時微動H/Vスペクトル比の分布を図-2に、④地点の常時微動H/Vスペクトル比を図-3に示す。

図-3は、横軸が周波数(Hz)、縦軸が常時微動H/Vスペクトル比を示し、薄い水色線(No.1～No.5)は40.96秒間のデータを用いた5区間それぞれの常時微動H/Vスペクトル比、濃い紺色線(ave)はそれらの平

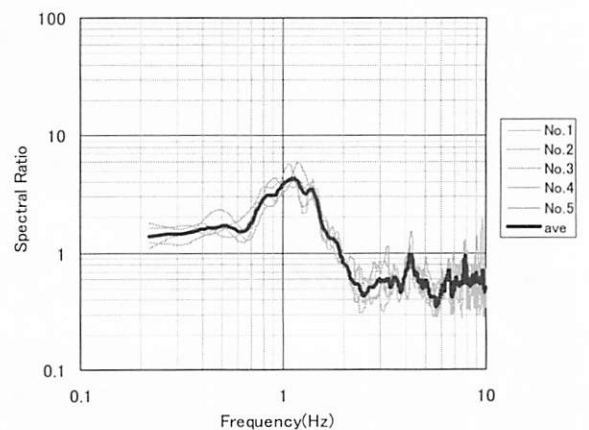


図-3 ④地点の常時微動H/Vスペクトル比

均値を示す。洲浜橋の左岸側に相当する④地点は、1Hz付近が卓越していることがわかる。

図-2中の図は図-3を縮小したもので、該当する観測地点(①～⑮)の近くに、番号を付して示している。

南北の山地および山地との境界付近では、高周波が卓越するものの、洲本市市街地では、概ね1～2Hzが卓越していることがわかる。

洲浜橋左岸では、洲浜橋近傍で約1Hzが卓越し、上流側の②地点では1.2Hz程度に変化していることから、基盤深さの変化が類推される。洲浜橋右岸では、洲浜橋近傍でも1.2Hz付近が卓越し、海岸線に沿って徐々に高周波となり、⑬地点では概ね2Hzとなる。また、⑨⑩⑪および⑯⑰⑱地点では0.5～0.9Hz付近にもピークが見られており、構造的な特徴が伺える。この付近が旧河道であったことなどを考慮して、さらに詳細な検討が必要であると考えられる。

4. 洲浜橋周辺における地盤振動特性評価とS波速度構造の推定

(1) 地盤振動特性の評価方法

洲浜橋左岸側の③④⑤地点付近および右岸側の⑥⑦⑧⑨地点付近において、常時微動アレイ観測を実施した。

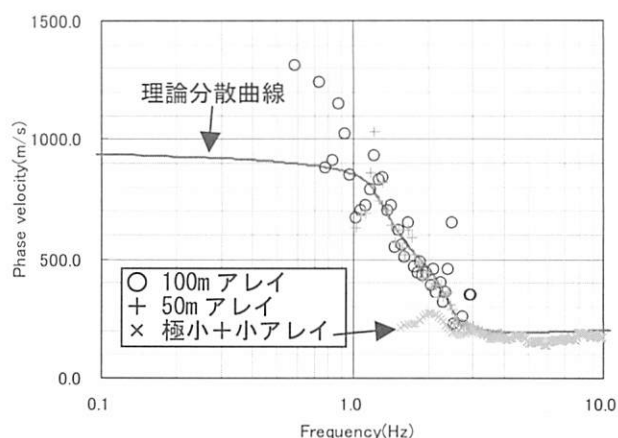
常時微動アレイ観測は周期20秒までフラットな特性を有するサーボ型速度計(Lennertz製、LE-3D/20s)を用いた。各アレイでは、中心とほぼ正三角形の頂点の4点の同時観測を行った。極小アレイ(0.6m)、小アレイ(3.0m)はCCA法⁷⁾⁸⁾⁹⁾、大アレイ(50m, 100m, 200m)は空間自己相関(SPAC)法¹⁰⁾を用いて位相速度の算定を行った。

位相速度算定結果を図-4に示す。左岸側、右岸側ともに、0.8Hz～10.0Hzの範囲で位相速度が良好に求められているものと考えられる。

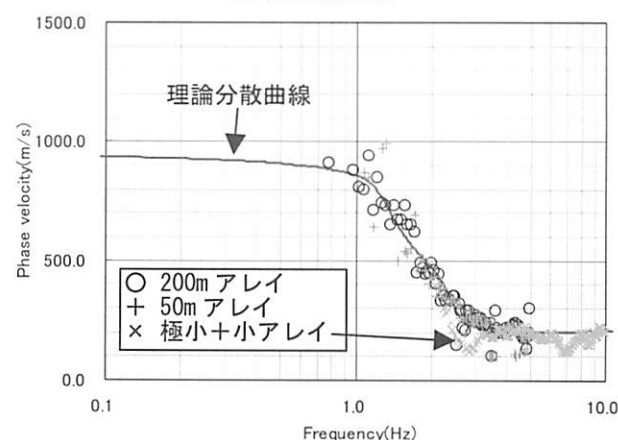
(2) 洲浜橋周辺におけるS波速度構造の推定

洲浜橋の両橋台付近では、設計時に工学的基盤までのボーリングおよび標準貫入試験が行われている¹¹⁾。また、橋台の耐震設計等を実施するために、このボーリングデータからS波速度構造(初期モデル)¹²⁾が求められている。

ここでは、常時微動観測から得られた位相速度を説明できるように、フォワードモデリングによって、初期モデルの修正を行った。また、初期モデルは工学的基盤と判断されたS波速度が約350m/sの層までしか求められていない。地震動の予測を念頭においた場合、より深部の地盤についても正確な情報が必要となるため、長周期地震動予測地図¹³⁾において公



(1) 洲浜橋左岸



(2) 洲浜橋右岸

図-4 常時微動アレイによる位相速度算定結果

開されている深部地盤モデルを参考に、工学的基盤以深についても、地盤モデルの推定を行った。

図-5に常時微動アレイによって推定したS波速度構造モデルを示す。左岸側の工学的基盤以浅については、地盤モデルを修正することなく、高周波数側において位相速度の一致が良好であった。右岸側については、表層と最低速度層(粘土層)のS波速度の修正を行うことにより、常時微動アレイによる位相速度と良い一致を示した。

今回は、常時微動H/Vスペクトル比の1Hz付近のピークに着目したため、最下層を $V_s=1000\text{m/s}$ とみなして検討を行った。図-4において、特に左岸側では、より深部の高速度層の影響を示唆する位相速度が得られている(0.6～0.9Hz)ことについて、今後の検討が必要であると考えられる。

5. おわりに

洲本測候所から、洲本港沿いに北上し、炬口地区に至る全長約2kmの区間を対象として、概ね南東～北西方向の測線上の常時微動観測を行った。その常時微動H/Vスペクトル比は、JMAやK-NETは基盤と

みなせる程度の高周波数が卓越するのに対して、平野部では1~2Hz付近が卓越することわかった。

また、平野中央部に位置する洲浜橋付近において常時微動アレイ観測を実施してS波速度構造の推定を行い、常時微動から得られた位相速度を十分に説明できる地盤モデルを得ることができた。

洲浜橋右岸側において、常時微動H/Vスペクトル比のピークが2つに分かれることや、その低周波数側のピークの発生要因について、さらに詳細な検討が必要であると考えられる。また、常時微動アレイから得られた位相速度において、より深部の高速度層の影響についても、今後の課題であると考えられる。

謝辞：本研究を実施するにあたり、洲本市都市整備部をはじめ、柳学園高等学校、炬口地区住民会、国土交通省近畿地方整備局兵庫国道事務所には、余震観測や常時微動観測の実施を快く受け入れていただきました。また、洲本市都市整備部からは、本検討に必要な資料についても貸与していただきました。ここに深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 鍛田泰子, 上仲亮：2013年4月13日に淡路島付近で発生した地震の現地の状況報告, 2013.
- 2) 森伸一郎：2013年4月13日淡路島地震被害調査 速報(橋梁編), Ver.1.02, 2013.
- 3) 森伸一郎：2013年淡路島地震における洲浜橋(斜張橋)の地震被害と被害メカニズム, 第16回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会, 2013. (this issue)
- 4) Twayana, R.P., 森伸一郎, 秦吉弥, 山田雅行：2013年淡路島地震における被害分布と洲本平野の地盤震動特性, 第16回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会, 2013. (this issue)
- 5) 秦吉弥, 山田雅行, 森伸一郎, 矢部正明：2013年淡路島地震で被災した洲浜橋での余震観測と地震動の推定, 第16回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会, 2013. (this issue)
- 6) 矢部正明, 森伸一郎：洲浜橋(斜張橋)の動的解析と2013年淡路島地震における応答評価, 第16回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会, 2013. (this issue)
- 7) Cho, I., T. Tada, and Y. Shinozaki : A new method to determine phase velocities of Rayleigh waves from microseisms, *Geophysics*, 69, 1535-1551, 2004.
- 8) Cho, I., T. Tada, and Y. Shinozaki : Centerless circular array method: Inferring phase velocities of Rayleigh waves in broad wavelength ranges using microtremor records, *J. Geophys. Res.*, 111, B09315, doi:10.1029/2005JB004235, 2006.
- 9) Tada, T., I. Cho, and Y. Shinozaki : New horizons in the utility of horizontal-motion microtremors, *Proc. 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering*, Center for Urban Earthquake Engineering, Tokyo Institute of Technology, 2010.
- 10) Aki, K.: Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, *Bull. Earthq. Res. Inst., University of Tokyo*, Vol. 35, pp.415-456, 1957.
- 11) 洲本市都市計画課：平成元年度(仮称)洲本大橋 詳細設計業務委託 上部工設計計算書, 1989.
- 12) 洲本市都市計画課：平成元年度(仮称)洲本大橋 詳細設計業務委託 下部工計画概要書, 1989.
- 13) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会：「長周期地震動予測地図」2012年試作版報告書(南海地震(昭和型)の長周期地震動予測地図), 2012.

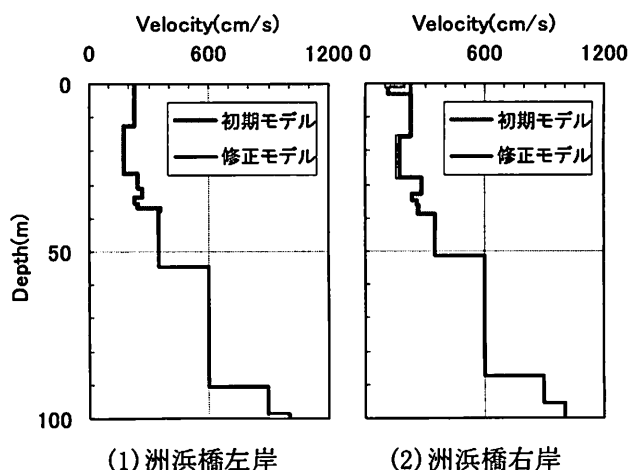


図-5 常時微動アレイによるS波速度構造推定結果