

常時微動観測を用いた地盤構造の推定について

井上慎二*・松井創**・白井博己***・西田芳浩****・細川浩志*****

* 前 (財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

** 前 (財) 沿岸技術研究センター 理事

*** (財) 沿岸技術研究センター 調査役

**** 前 国土交通省 中国地方整備局 広島港湾空港技術調査事務所 所長

***** 国土交通省 中国地方整備局 広島港湾空港技術調査事務所 係長

ボーリングを実施することなく、地盤構造を推定する手法である常時微動観測（1地点3成分観測及び多地点1成分同時観測）について報告する。

キーワード: 常時微動観測, 常時微動アレー観測, サイト増幅特性, 地盤のS波速度

1. はじめに

一般に、地震時の揺れは図-1に示すように震源特性、伝播経路特性、サイト特性（対象地点周辺の地盤特性）によって決まると考えられている。地盤構造は、地震時に構造物へ与える影響の要因の一つであり、耐震工学上の観点から地盤構造を精度よく把握することは重要である。

観測波形 = 震源特性 × 伝播経路特性 × サイト増幅特性

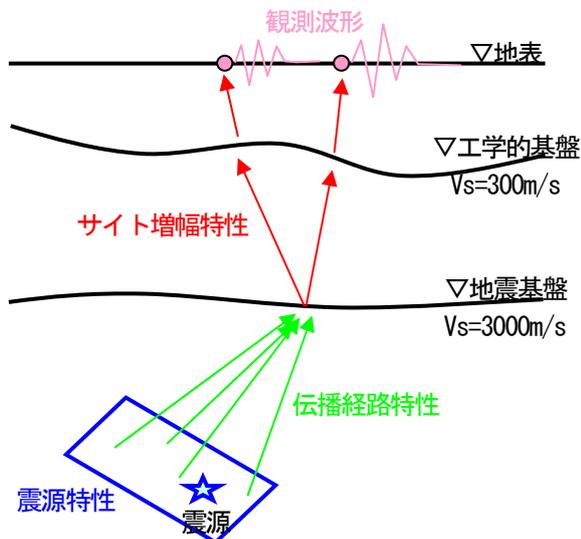


図-1 地震動イメージ図

2. 地盤構造の推定

地盤構造を評価する指標として、地震時の振動特性に支配的な影響を持つ要因の一つである地盤のS波速度構造がある。

地盤のS波速度構造を把握するための最も信頼性が高い手法は、速度検層試験（PS 検層）であるが、ボーリングを伴うため、費用の面から数多くを実施することは難しい。

ボーリングを伴うことなく低コストで簡易に地盤構造を推定する方法として、常時微動観測が挙げられる。

常時微動観測結果を用いた地盤の評価手法としては、常時微動アレー観測（以下、アレー観測と称する）結果から地盤構造を推定する手法¹⁾と、常時微動観測結果から得られる鉛直成分と水平成分のフーリエ振幅スペクトル比（以下、H/V スペクトルと称する）を用いてサイト増幅特性が類似する地域をゾーニング²⁾することが可能な手法とがある。

3. アレー観測による地盤構造の推定

3.1 検討概要

水島港玉島地区の臨港道路右岸および岸壁における、地震基盤までの地盤のS波速度構造を推定するために、アレー観測を図-2の位置にて実施した。あわせて、表層地盤のPS検層結果との比較を実施した。



図-2 アレー観測実施位置図

アレー観測とは、地震計を円の中心と円周上に正三角形配置(図-3参照)し、地表面を伝播する微小な振動(微動)の鉛直成分を同時に観測する手法である。

観測結果から、地震計間の距離と地震計間の微動の到来時刻のずれとの関係から位相速度(波の伝播速度)を求め、微動の位相速度を周期(周波数)の関数として解析し、その分散曲線の特徴から地盤のS波速度構造を推定することが可能である。

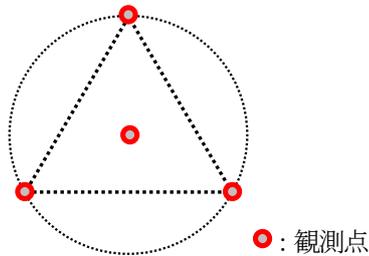


図-3 アレー配置例

3.2 アレー観測諸元の設定

中央防災会議にて公開されている地盤メッシュデータから、水島港玉島地区の地震基盤相当をGL-600mと推定し、現場計測条件を考慮し、最大底辺長を600mと設定した。アレー観測諸元を表-1に、アレー配置を図-4に示す。

表-1 アレー観測諸元表

地区名	名称	底辺長	同時測定点数
臨港道路 右岸	Lアレー	600m	4
	M1アレー	300m, 150m	7
	M2アレー	75m, 37.5m	7
	Sアレー	20m	4
玉島地区 岸壁	L1アレー	600m	4
	L2アレー	300m	4
	Mアレー	150m, 75m	7
	Sアレー	45m, 22.5m	7

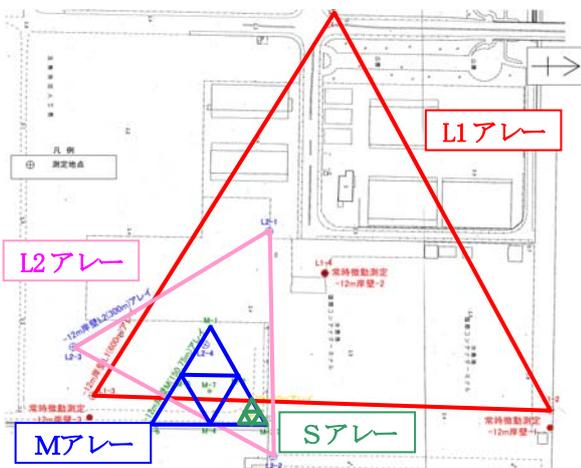


図-4 アレー観測配置図(玉島地区岸壁)

3.3 解析方法

アレー観測結果から周波数毎に位相速度を算出し、逆解析によりS波速度構造を推定した。

逆解析の方法は、遺伝的アルゴリズムにより観測値に最もフィットする20個の速度構造を求め、これらを逐次非線形最小二乗法により更に解を収束(最適化)させ、観測値と理論値の差の平均が最も小さいモデルを最終結果とした。

なお、位相速度の算出方法には、周波数-波数スペクトル法(F-K法)と自己相関関数法(SPAC法)があるが、SPAC法の方がより長い波長の位相速度を抽出することが可能であり、深い地盤までのS波速度構造が推定できるため、本調査ではSPAC法を採用した。

解析の流れを図-5に示す。

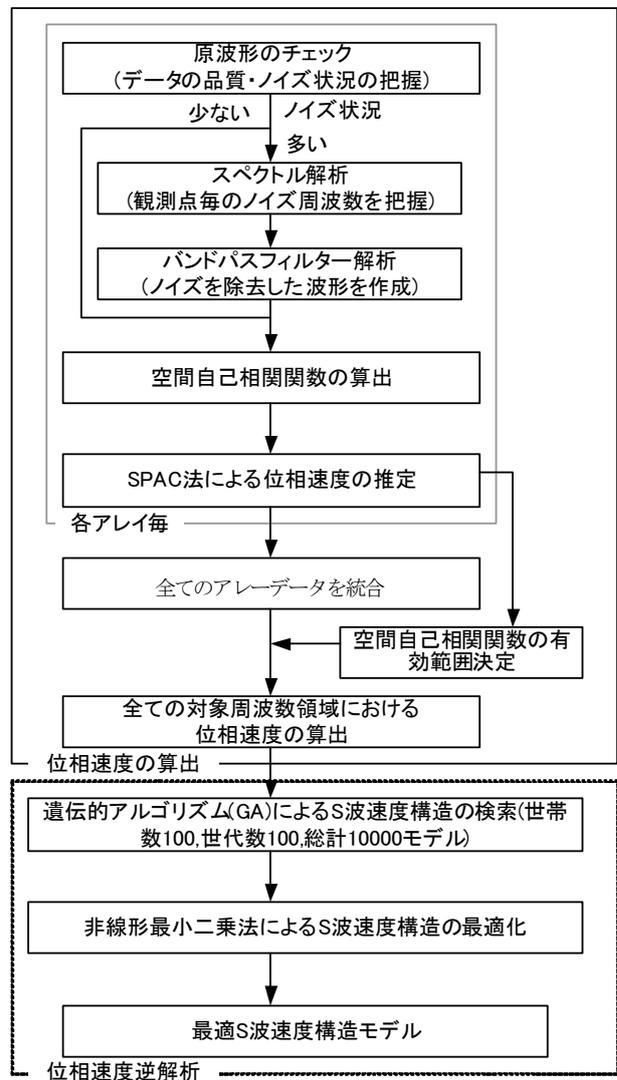


図-5 解析フロー

3.4 解析結果

解析結果を図-6および図-7に示す。

地震基盤は、玉島地区岸壁のほうが深い結果となった。

3.5 PS検層結果との比較

アレー観測付近のPS検層結果（実測値）とアレー観測結果（推定）の比較を図-8および図-9に示す。

PS 検層の試験結果は、表層付近しかないが、両者の表層地盤のS波速度は、概ね整合する結果となった。

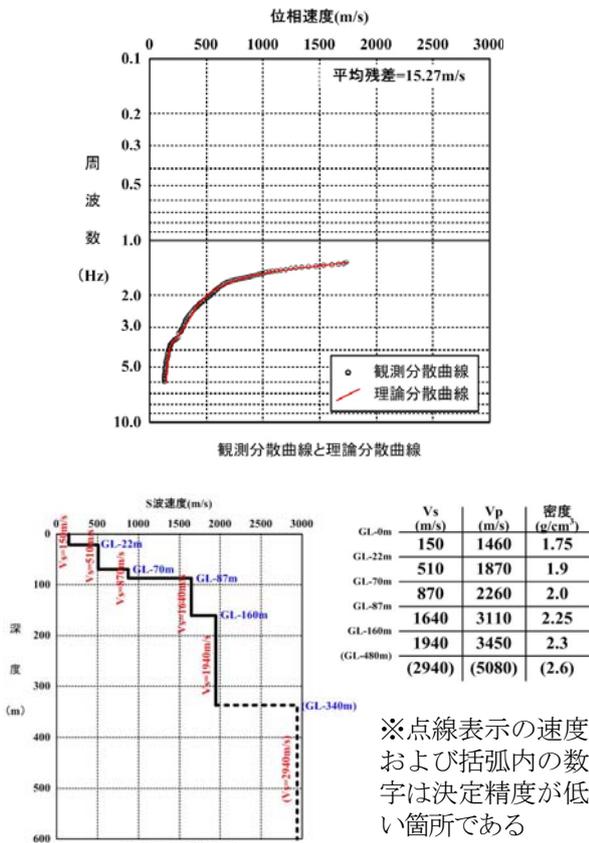


図-6 臨港道路右岸側のS波速度構造

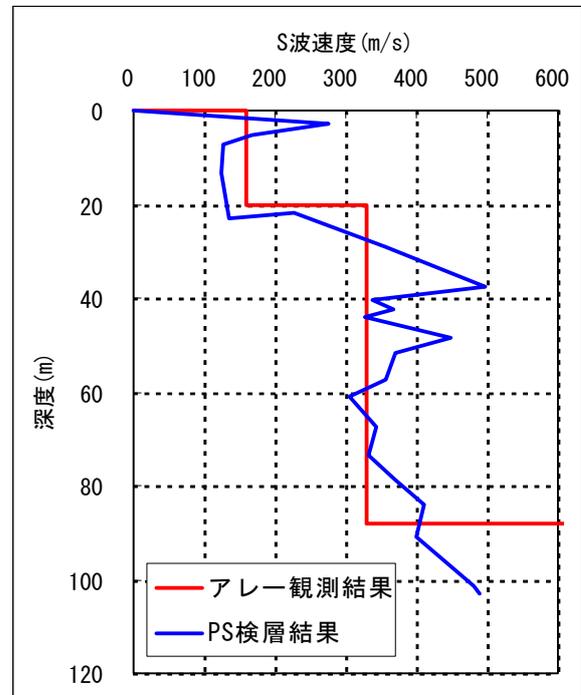


図-8 玉島地区岸壁

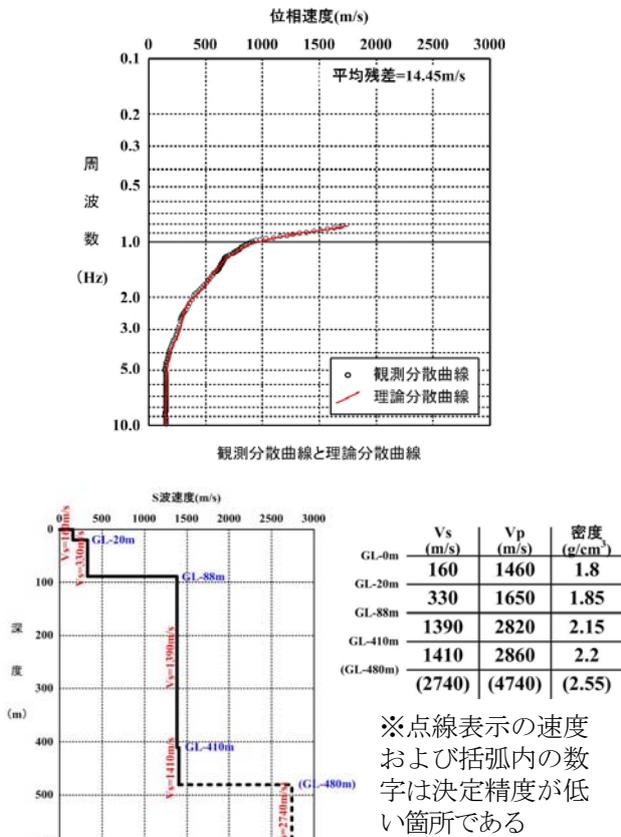


図-7 岸壁のS波速度構造

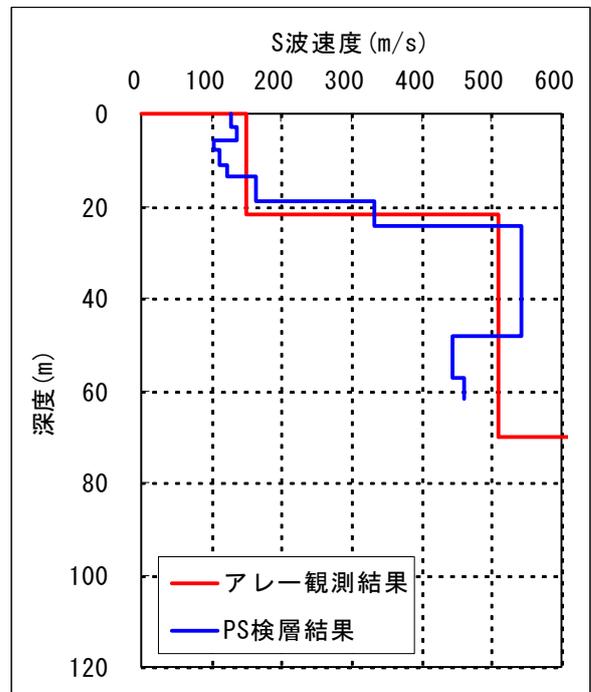


図-9 臨港道路右岸

4. H/Vスペクトルの適用

4.1 H/Vスペクトルを用いたゾーニング

常時微動観測より求めたH/Vスペクトルのピーク周波数は、通常は長周期側ほど深い構造を反映した結果であり、地盤の卓越周期(周波数)を表しており、サイト増幅特性のピーク周波数と調和的である。

従って、複数地点で常時微動観測を実施し、H/Vスペクトルの長周期側のピーク周波数に着目することにより、深層地盤のサイト増幅特性の類似する区域をグルーピングすることが可能である。

なお、強震記録によるスペクトルインバージョンと、常時微動を併用するゾーニング手法により、地震観測点のスペクトルインバージョンによって推定されているサイト増幅特性が、どのエリアで適用可能か、また、新規に地震観測を行う必要があるかどうかを評価することが可能である。

4.2 広島港におけるゾーニング例

広島港において複数地点で常時微動観測を行い、地理的連続性を考慮しつつ、常時微動観測結果(ピーク周波数、波形)の比較から、工学的基盤以深のサイト増幅特性が類似する区域のゾーニングを実施した。

常時微動観測結果例と、ゾーニング結果例を図-10～図-12に示す。

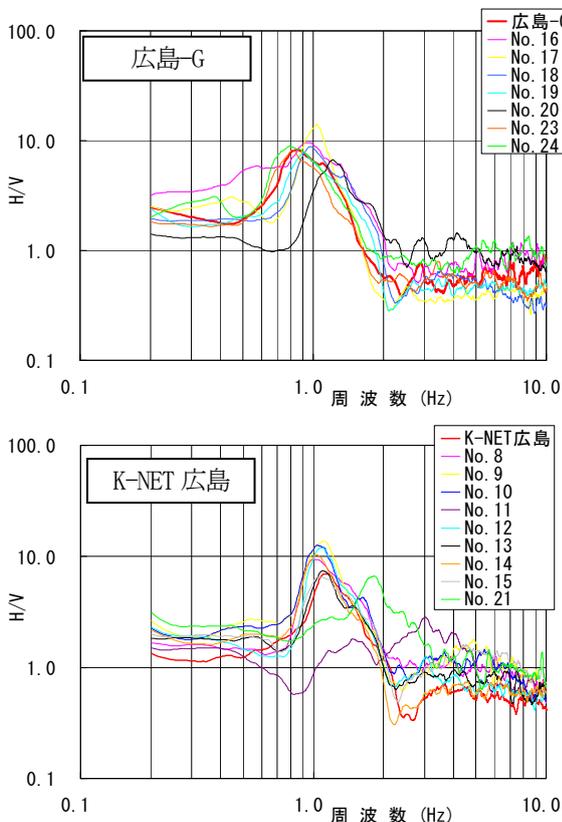


図-10 常時微動観測結果例

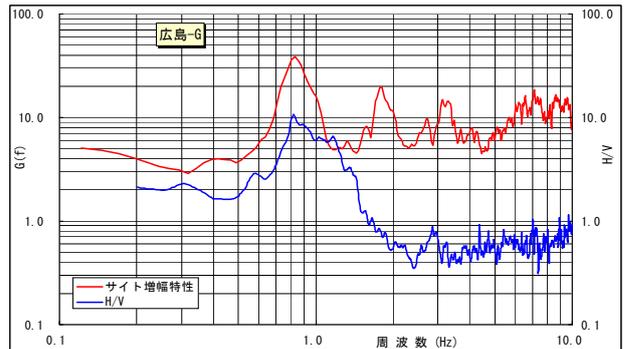


図-11 サイト増幅特性と常時微動観測結果の比較例

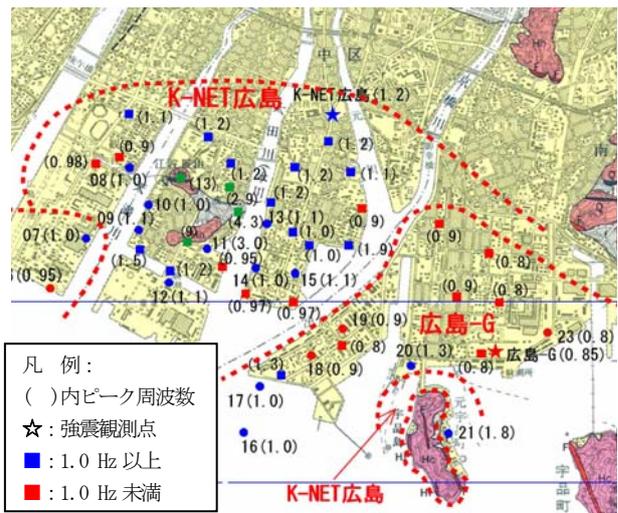


図-12 ゾーニング例

ゾーニング図は、増幅特性の類似する区域をグルーピングするとともに、強震観測点と常時微動観測点のピーク周波数を併記した。

5. おわりに

本稿は、国土交通省中国地方整備局広島港湾空港技術調査事務所発注による「水島港他技術基準改正に伴う地震動検討業務」及び「技術基準改正に伴う地震動検討業務」での検討の一部を取りまとめたものであり、国土交通省中国地方整備局・広島港湾空港技術調査事務所のご支援を頂きましたことを感謝します。

参考文献

- 1) 長尾毅・岩田直樹・紺野克昭：常時微動アレー観測に基づくS波速度構造の最適推定手法に関する研究, 国土技術政策総合研究所資料, No.62, 平成15年3月
- 2) 長尾毅・山田雅行・野津厚：深層地盤構造を考慮した臨海部のゾーニング手法に関する研究, 海洋開発論文集, 第21巻, pp.951-956, 平成17年7月