

常時微動観測による豊洲キャンパス内の地盤 S 波速度構造の空間変動評価

芝浦工業大学大学院 学生員 ○大貫隆輔

元芝浦工業大学 瀧澤敏隆

芝浦工業大学 正会員 紺野克昭

1. はじめに

一般に地盤の S 波速度構造を調査する方法としてはボーリングによる PS 検層が最も精度が高いが、ボーリングを伴うため時間とコストがかかる。一方、常時微動のアレイ観測を用いる方法は、ボーリングを必要としないため時間やコスト面で優れている。アレイ観測は中心点 1 台と円周上等間隔に複数台の地震計を用い、これらの微動記録に対し SPAC 法、CCA 法などの方法で位相速度を推定し、地盤 S 波速度構造が同定される。本研究では、簡便性を図るため、中心点に地震計を設置せず、円周上だけ等間隔に 3 台設置して得られた微動記録に SPAC 法を適用することにより、芝浦工業大学豊洲キャンパス内の地盤の S 波速度推定を行った。本研究ではこれと併せて、常時微動の単点 3 成分から得られる H/V スペクトル(微動 H/V スペクトル)も活用して、豊洲キャンパス内の S 波速度構造の空間変動を推定し、12 地点で実施されたボーリングデータの結果と比較したので報告する。

2. ボーリングデータから得られる標準地盤モデル

図-1 に示されている通り、豊洲キャンパスでは過去 2 回(2002 年、2012 年)、13 地点でボーリング調査^{1),2)}を行っている。この内、2 地点では PS 検層も行われている。これらの PS 検層データを用い、次の S 波速度 V_s ・P 波速度 V_p と N 値の関係式を作成した。

$$V_s = 125N^{0.27} \quad (1)$$

$$V_p = 1475N^{0.037} \quad (2)$$

この式を用いて、それぞれの地点の N 値柱状図から S 波速度構造を推定した。表層(第 1,2 層)の S 波速度については地盤改良されている可能性が考えられたが、それに関する資料が見つからなかったため、豊洲校舎竣工後の 2012 年に行った #119 の PS 検層²⁾の値を参考に後述の観測位相速度に合うよう地点ごとに S 波速度を求めることとした(表-1)。また、3~6 層目の S 波速度は逆解析の過程で、観測値に合うよう変え、式(1)から求まる V_s から大きく異ならないよう決定した。このように豊洲キャンパスは表-1 のような S 波速度構造を持つ地盤とし、以下、これを標準地盤モデルと呼ぶことにする。

3. 観測位相速度と微動 H/V スペクトルを用いた S 波速度構造の逆解析

今回の 3 点アレイ観測、単点 3 成分観測の概要を表-2 に示す。単点 3 成分観測はアレイの中心で行った。

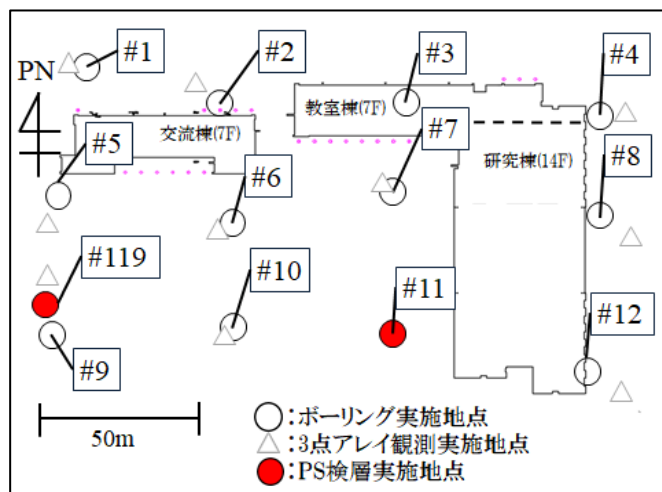


図-1 ボーリング及び微動観測位置

表-1 標準地盤モデル

層No.	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	地質名	記号
1	100~180	500	埋立土	H
2	100~180	1500		
3	230	1500	有楽町層	砂質土層 Ys 粘土層 Yc
4	140	1500		
5	265	1600	七号地層	N
6	550	1900	基盤	K

表-2 微動測定概要

観測名	半径(m)	計測時間(分)	サンプリング周波数(Hz)
アレイ観測	1.3	20	200
単点3成分観測	-	10	100

キーワード 常時微動, 地盤 S 波速度構造, アレイ観測, SPAC 法, 位相速度, H/V スペクトル

連絡先 〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5 芝浦工業大学 地震防災研究室 ME18022@shibaura-it.ac.jp

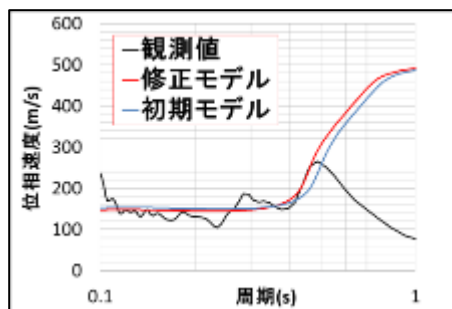


図-2 観測位相速度 (#8 地点)

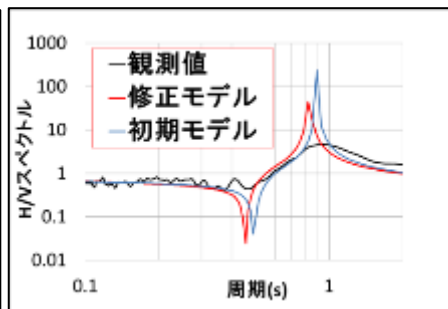


図-3 H/V スペクトル (#8 地点)

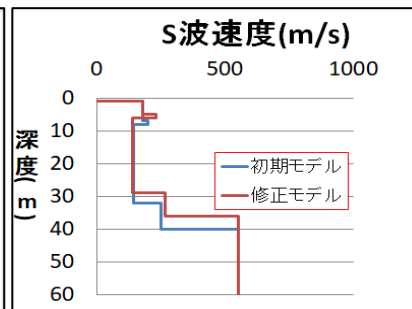
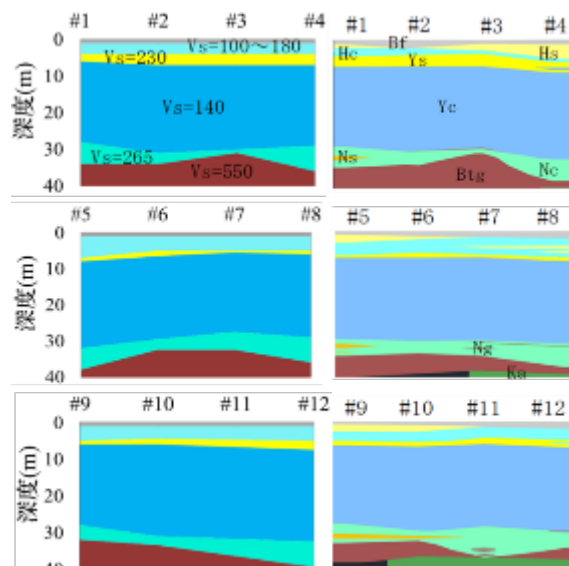


図-4 推定された S 波速度構造 (#8 地点)

ボーリングデータを参考に作成した標準地盤モデルに層厚のパラメータを付与したものを初期モデルとし、層厚をえることにより観測位相速度、微動 H/V スペクトル共にレイリー波のこれらと満足するように S 波速度を同定した。#8 地点の観測位相速度、微動 H/V スペクトルをそれぞれ図-2、3 に示す。両者の観測値にできるだけフィットするように層厚を試行錯誤で求めた結果が図-4 の修正モデルである。

4. S 波速度構造の空間変動

逆解析により推定した地盤構造と、ボーリングデータを比較したものを図-5 に示す。#11 については 2017 年 2 月に製図棟が竣工され、微動観測が不可能となったため、今回の推定断面は #10 と #12 の層厚の平均値を採用した。微動から得られた S 波速度構造とボーリングデータから得られた地質断面図は、おおむね整合性のある結果となった。



(a) S 波速度構造 (b) 地質断面図

図-5 微動観測から得られた S 波速度構造と地質断面図の比較

5. 免震層での微動観測

豊洲キャンパスは GL-10m に免震装置が配置してある基礎免震構建造建屋である。ここでは、図 1 の #3 付近の免震層上での常時微動観測により、位相速度、H/V スペクトルの算出を試みた。その結果 3 点微動アレイ観測では位相速度を推定することは困難であった。図 6 に免震層での微動 H/V スペクトルを示す。同図の自由表面@免震層は免震層を自由表面と仮定して求めた理論 H/V スペクトルで、地中@免震層は免震層を地中内と仮定して求めた理論 H/V スペクトルである。この際、地盤構造は標準地盤モデルの 5 層目の層厚のみ #3 のボーリングデータの値を参考にし、その他の層の層厚は #2 と #4 の各層の平均値を設定した。微動 H/V スペクトルは、後者と調和していることが分かる。

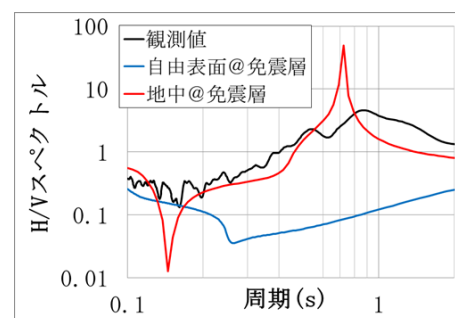


図-6 免震層での H/V スペクトル (#3 地点)

6. まとめ

微動のアレイ観測による位相速度と単点 3 成分観測により求めた H/V スペクトルを用いることにより、ボーリングデータと調和した S 波速度構造の空間分布を求めることができた。一方、GL-10m の免震層上で実施した、微動のアレイ観測では位相速度が推定できなかった。一方、微動 H/V スペクトルは掘削前の地盤モデルに対して、GL-10m における地中のレイリー波の H/V スペクトルと概ね調和することが分かった。

参考文献 1) 東建ジオテック：芝浦工業大学新キャンパス整備計画に係る地盤調査業務報告書、2002。

2) ダイエーコンサルタンツ：芝浦工業大学豊洲キャンパス加速度計追加工事（ボーリング工）報告書、2012。