

常時微動観測による中国上海市表層地盤の応答特性と地盤構造の評価

Estimation of the dynamic response characteristics and the structure of the surface ground of Shanghai-city from micro-tremor observations

○岩楯徹広¹, 車 愛蘭², 于 凱³

Takahiro IWATATE¹, A.L.Che² and Kai YU³

¹ 首都大学東京名誉教授

Professor emeritus, Tokyo Metropolitan University

² 中国上海交通大学教授

Professor, Shanghai Jiaotong University

³ 中国上海交通大学博士課程

Doctor course student, Shanghai Jiaotong University

In Tokyo Metropolitan University, micro-tremor measurements were performed at Shanghai-city co-work with Shanghai Jiaotong University and estimate the dynamic characteristics and the structure of the surface ground using the observation data and also estimate the dynamic responses of the surface ground by the multiple reflection theory. From the results, the dynamic characteristics and the structure of the surface ground of a wide area of Shanghai city, were fairly clarified.

Key Words: Shanghai-city, Micro-tremor measurements, Dynamic response of surface ground, Multiple reflection theory.

1. はじめに 中国の主要都市の地震防災に資するため、首都大学東京は、中国上海交通大学との共同研究として、上海市の表層地盤を対象に、長周期常時微動観測を実施し、基礎データの収集を図ると共に地盤の応答特性および地盤構造について検討を進めてきた。本報告は、上海市の表層地盤の動的応答特性および構造について検討・評価したものである¹⁾。

2. 観測地点 (1)上海は、長江河口南岸に位置し、河口島である崇明島、長興島、横沙島などが含まれ、市の北部から東部は江蘇省に、西南部は浙江省に接し、東部は東シナ海(東海)に面している。市街地は長江の支流である黄浦江を遡ったところにある。常時微動観測は、上海市のほぼ中央部に東西方向に約80kmの測線を展開し、観測点を約4km間隔に19点設定し実施した(図1)。(2)上海の表層地盤は、表層厚が約100m~250mの平坦な緩い傾斜の沖積地盤であり、西南方向~東北方向に層厚が暫増している。弾性波速度試験結果では、地盤のせん断波速度(V_s)は、表層付近(0m~20m)で、 $V_s=70\text{m/s}$ 、-20m~-240mでは、 $V_s=280\text{m/s} \sim 400\text{m/s}$ であり、約-240m以深に硬質基盤($V_s=3,600\text{m/s}$)が存在する。表層地盤の平均的なせん断波速度(V_{sa})は、 $V_{sa}=310\text{m/s}$ となった(図2)。

3. 常時微動観測とデータの解析 ①観測は、1地点3成分(NS, EW, UD)を、100Hz($\Delta t=0.01\text{sec}$)サンプリングで30分連続観測し180,000個データを得た。②データ解析は、原則として観測された時刻歴波形(NS, EW, UD)から定常性を保っている32,768(2^{15})個のデータを2~4パターン抽出してFFT解析を行ない、各成分(NS, EW, UD)のフー

リエスペクトルおよびH/Vスペクトル比(式-1)を算定し、各成分の卓越振動数から表層地盤の応答特性を評価した。

$$\frac{H}{V} = \frac{\sqrt{NS \times EW}}{UD} \quad (\text{式-1})$$

4. 常時微動解析結果 (1)図3に上海市の代表的な3地点(測点1:西端の淀山湖付近, 測点9:余山公園付近の丘陵地(近山)および測点37:東シナ海沿岸の沖積地盤(近東海))のフーリエスペクトル(NS, EW&UD)を示す。(a)フーリエスペクトルから得られた卓越振動数は、それぞれ、測点1(NS:0.29Hz, EW:0.30Hz, UD:0.30Hz), 測点9(NS:0.29Hz, EW:0.30Hz, UD:0.30Hz), 測点37(NS:0.65Hz, EW:0.61Hz, UD:0.66Hz)となっており、NS成分, EW成分, UD成分ともほぼ同じとなった。また、他の観測点に対しても、ほぼ同様な結果が得られた。(2)図4に、測点1, 測点9および測点37のH/Vスペクトル比を示す。また、図5に全観測点のH/Vスペクトル比を示す。これらの結果から、上海の表層地盤の卓越振動数は、丘陵地付近(測点9:2.24Hz, 測点7:1.32Hz)を除いて、ほぼ全点で長周期成分(0.35z~0.87Hz)が卓越していることが判った。

5. 1次元重複反射理論による表層地盤の応答特性地盤調査結果から得られた地盤物性値(図2)に基づいて、1次元地盤構造モデルを作成し、1次元重複反射理論により地盤の固有値を算定した(表1)。その結果、1次固有値は、 $f_1=0.34\text{Hz}$ となった。この結果は、表層地盤の平均的なせん断波速度($V_{sa}=310\text{m/s}$)として1/4波長則による結果($f_1=0.32\text{Hz}$)と良く一致している。

6. 1/4波長則による表層厚(H)の推定 本研究では、

表層地盤の平均的な地盤物性 ($V_{s0}=310\text{m/s}$ 一定)として、常時微動観測データの H/V スペクトル比から得られた各地点の卓越振動数(1次: f_1)を用いて、1/4 波長則 ($H=V_s/4f_1$)により、各地点の表層厚さ(H)を算定した。その結果、上海市の表層地盤厚さは、丘陵地付近(測点 12~18)では、30m~50m となり、浅くなっているが、他の地点では、100m~219m となり比較的厚く、東シナ海に向かって東西方向に若干傾斜していることが判った(図 6)。



図 1 上海市常時微動観測点(東西方向に 4km 間隔で 19 点)

以上、常時微動観測により、上海市の表層地盤の応答特性と地盤構造について検討した。得られた結果は既往の地盤調査結果と良く対応しており、常時微動観測により簡易的に表層地盤の応答特性・地盤構造(表層厚さ)を評価できることが判った。

参考文献

- 1) 車愛蘭・岩楯敏広他, 長周期地震動観測の上海地盤の深部構造調査への適用 上海交通大学研究論文第 28 卷第 I 期

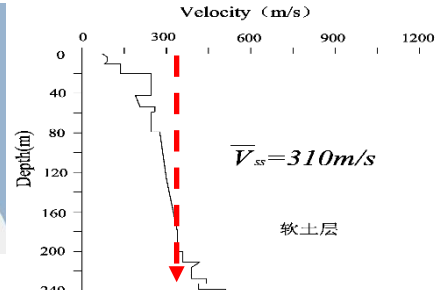


図 2 上海市の地盤構造(PS 検層試験結果の例)

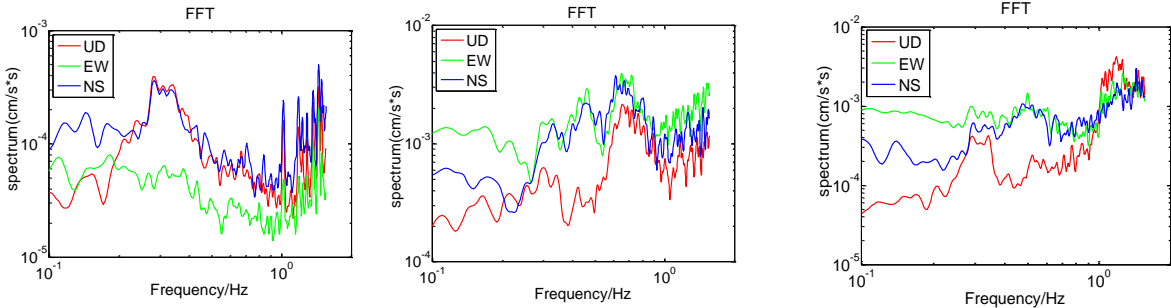


図 3 上海市常時微動観測による表層地盤の応答特性(測点 1, 9, 37 のフーリエスペクトル)

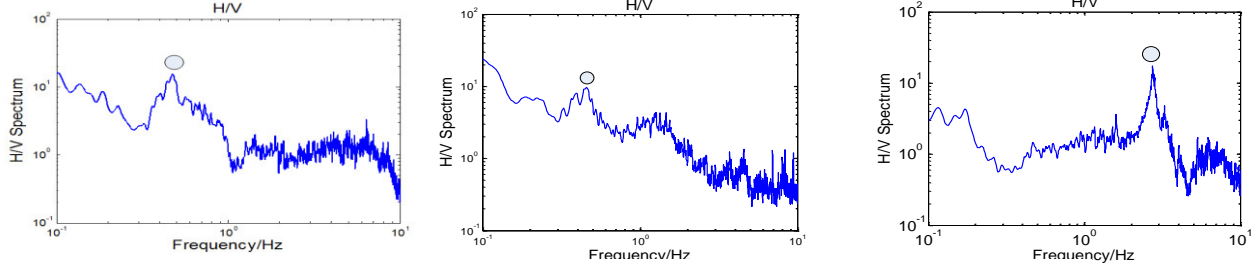


図 4 常時微動観測による表層地盤の応答特性(測点 1, 9, 37 の H/V スペクトル比)

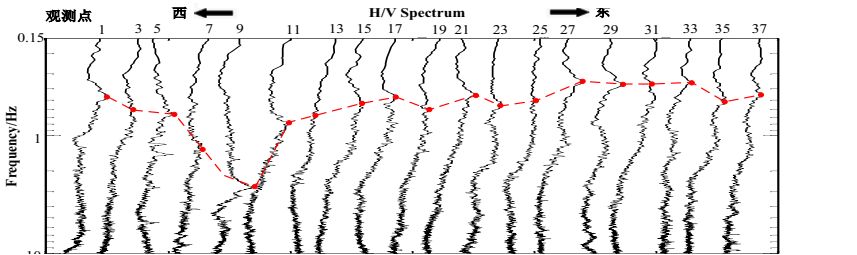


図 5 上海市常時微動観測による表層地盤の応答特性(全測点の H/V スペクトル比)

表 1 固有振動数 f (Hz)
(SHAKE の解析)

次数	f (Hz)
1	0.34 (0.32*)
2	0.88
3	1.42

(*1/4 波長則)

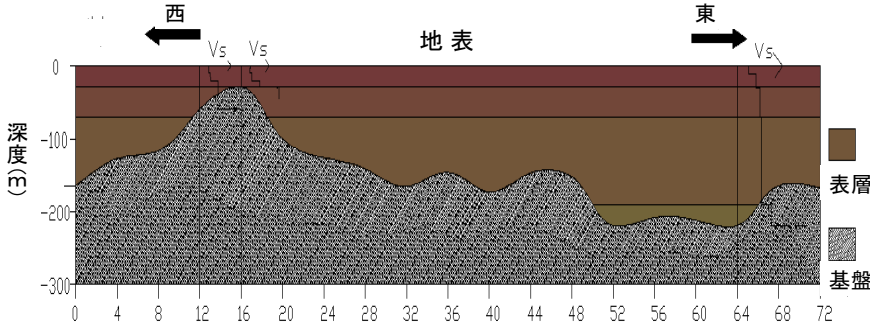


図 6 上海市の表層地盤の地盤構造(1/4 波長則による表層厚)