

不整形地盤の地震応答特性

岩楯 敏広¹ 野田 幹雄² 小田 義也³ 大岡 晃⁴ 安藤 幸治⁵ 荻本 孝久⁶

¹正会員 東京都立大学教授 工学研究科(〒192-03 八王子市南大沢 1-1)

²東京都立大学大学院 工学研究科(〒192-03 八王子市南大沢 1-1)

³(財)電力中央研究所 我孫子研究所(〒270-11 我孫子市我孫子 1 6 4 6)

⁴大成建設 (新宿区西新宿 1-2 5-1 新宿センタービル)

⁵正会員 東電設計株式会社 耐震技術部 (台東区東上野 3-3-3)

⁶正会員 神奈川大学講師 工学部建築学科 (横浜市神奈川区六角橋 3-2 7-1)

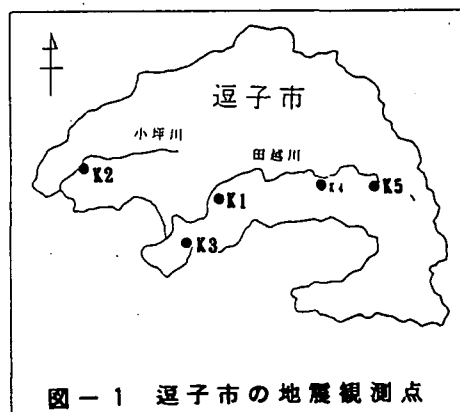
都立大学では、逗子市の地震防災対策の一環として地盤構造の異なった 5 地点において平面アレー地震観測を実施し、今までに 4 5 地震約 4 5 0 のデータ (最大水平加速度 7 5 gal) を得た。これらの地震データ、常時微動観測データに基づいて地盤の応答特性について検討するとともに、地震探査を行い不整形地盤の地盤構造、速度構造を調べた。浅層反射法によって求めた基盤深さは、ボーリング調査結果および常時微動観測データの卓越振動数を用いて推定した結果と良く対応した。また、開発した手法により地表面の観測データを用いて表層地盤構造を同定し妥当な結果を得た。

Key Word : Earthquake observation , Microtremor measurement , Surface ground characteristics , Identification method , Zushi site , Seismic exploration

1. はじめに

軟質地盤に建設された土木構造物が地震応答解析時に地盤の応答特性の影響を強く受け、大きな被害を被ったことが過去の地震被害や阪神・淡路大震災により明らかとなった。都立大学では、逗子市の地域防災計画の一環として、被害想定に必要な基礎的データを取得するため、地盤構造の異なった 5 地点 (地表) において、平面アレー地震観測を実施し、地盤の応答特性を調査するとともに、各観測点において各種物理探査及び常時微動観測を行い、不整形地盤の地下構造、速度構造について調べた。更に、地表面で観測された微動データとボーリングデータを用いて開発した手法により地盤構造を同定した。¹⁾

本報告では、これらの結果により明らかになった不整形地盤の 1 次元的、2 次元的な地盤構造と震動特性について述べる。



2. 観測地点の概要

逗子市は、三浦半島の付け根に位置し、南北は丘陵地、西側に相模湾、市内を東西に横切る形で田越川が流れ、その流域は比較的軟弱な沖積低地となっている。逗子市の表層は不整形性を示しており、地盤の基盤をなす三浦層群 (逗子層) は西北西-東南東の走方で北に傾斜している。地震観測は、図 1 に

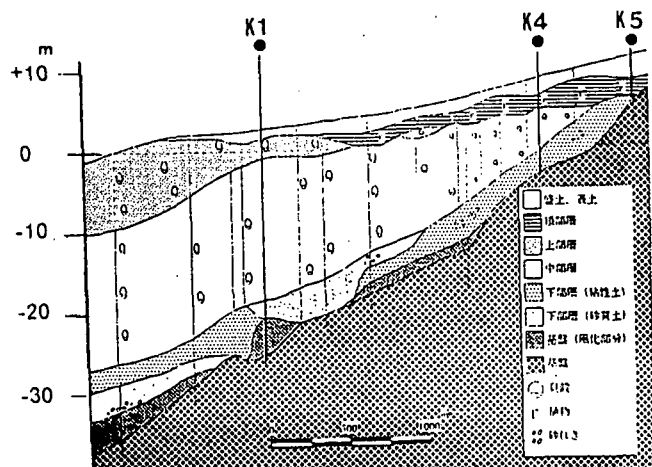


図-2 地質断面図

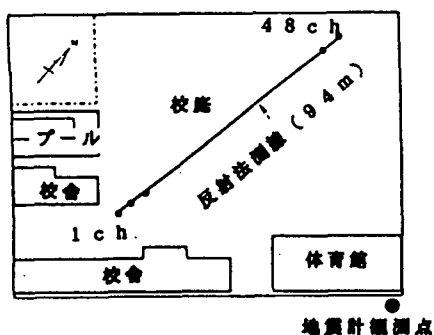


図-3 返子小学校 (K1) の測線配置

示すように、ボーリング柱状図より地盤構造が既知な沖積地盤上の田越川流域に3点 (K1、K4、K5)、小坪川流域に1点 (K2)、および南側丘陵地の岩盤上に1点 (K3) を観測点に選び、1994年6月より実施している。また、図2に田越川沿いの地質断面図を示す。

3. 地震探査の概要

平成8年度においては、不整形地盤の地盤構造をよりの確に評価することを目的にK1、K2地点において地震探査及び常時微動観測を行い、表層地盤の2次元的な地下構造、速度構造と地盤の微動特性について調べ、既往のボーリング調査結果による地盤構造と比較した。

地震探査は、浅層反射法による弾性波探査と板たたき法である。前者からは表層地盤の深度分布と速度構造を、後者からは表層地盤のせん断波速度を調査した。

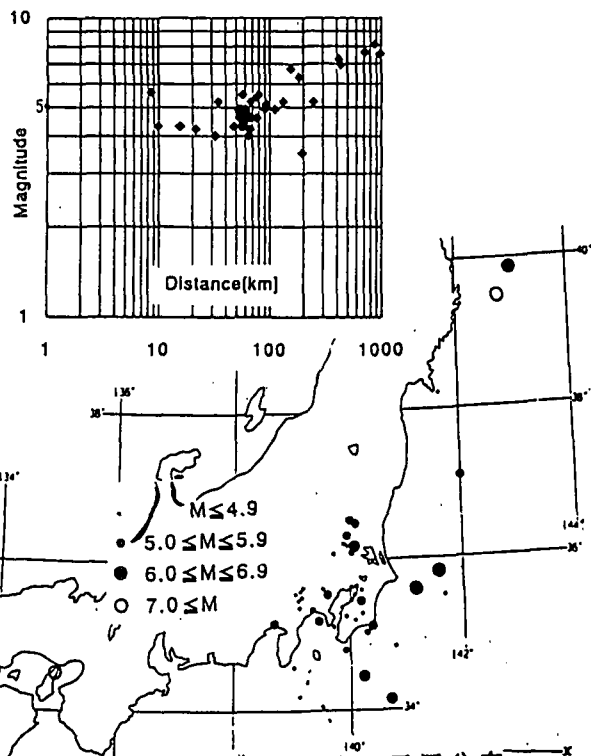


図-4 観測地震動の規模と震源分布

図3にK1地点の地震探査の測線図 (A-A 測線) と弾性波探査の展開図を示す。測線長は南北方向に94mで、測点は2m間隔で合計48点ある。電中研式自走式震源車を震源として移動し、各測点で鉛直方向 (弾性波探査)、水平方向 (板たたき法) の伝播速度を計測した。

4. 地震観測データ

94年から96年までの3年間の観測で、45地震、約400成分の地震記録を得た。主な地震は茨城県南西部や山梨県東部、相模湾、千葉県、茨城県沖などを震源とした、震央距離60km程度の中小規模 ($M \leq 5$) である。図4に観測された地震の規模と震央分布を示す。この内、最大加速度記録は、平成7年7月3日の相模湾地震で、7.5 gal (水平)、2.1 gal (上下) であった。図5に相模湾地震のK1地点で観測された加速度波形とスペクトルを示す。

5. 常時微動観測による地下構造の推定

微動観測は、5つの地震観測点で実施した他、K1、K2地点において地震探査を行った測線に沿って5m間隔の観測点を20設け、地震探査と同時に外乱の少ない静寂な時を選んで実施した。1測点のデータ数は、0.01秒サンプリングで30000個 (5分間) である。また解析は、1測点、1ケースにつき

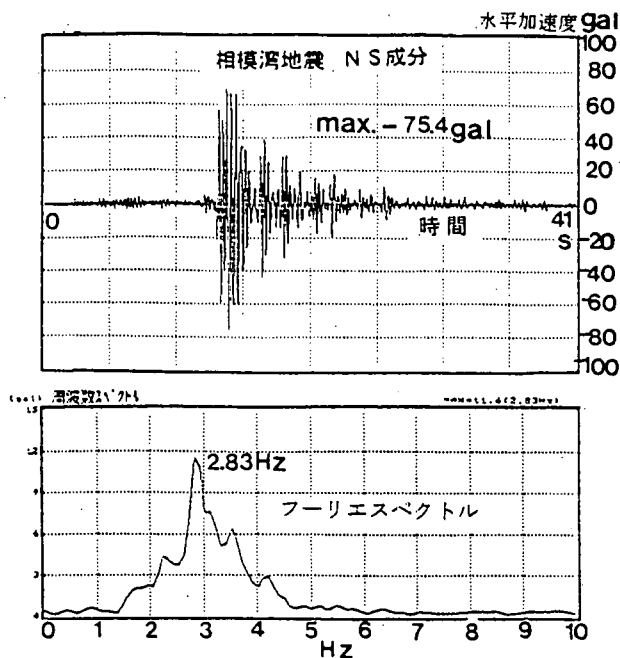


図-5 加速度記録と応答スペクトル

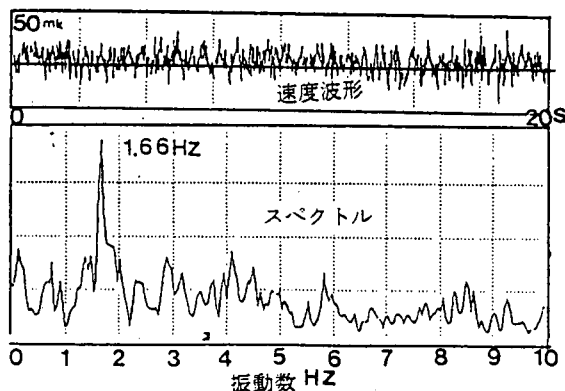


図-6 常時微動観測波形とフーリエスペクトル

ノイズの少ない波形が定常性を保っていると考えられる区間のデータを2048個選び、FFT解析によりフーリエスペクトルを算出し、これから表層地盤の卓越振動数を求めた。観測波形とそのフーリエスペクトルの1例を図6に示す。

(1) 表層地盤厚さの推定

常時微動観測によって得られた卓越振動数(f_0)とボーリング調査結果から求めた表層地盤のせん断波速度(V_s : m/s)を用いて、4分の1波長則(式(1))により表層地盤厚さ(H_s : m)を推定した。

$$H_s = V_s / 4 f_0 \quad (1)$$

(2) 解析結果

図7に、5つの地震観測点(K1~K5)における4分の1波長則及び既往のボーリング結果により求めた表層地盤厚さ(推定深度)を比較して示す。

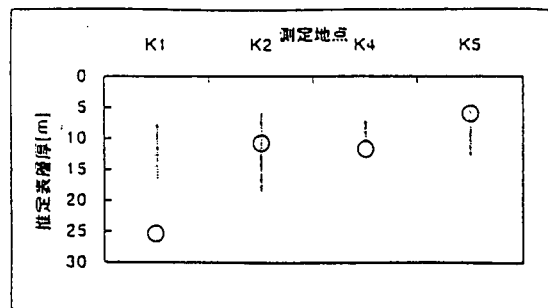


図-7 表層厚さ推定値の比較

(線: 微動による推定, 点: ボーリング)

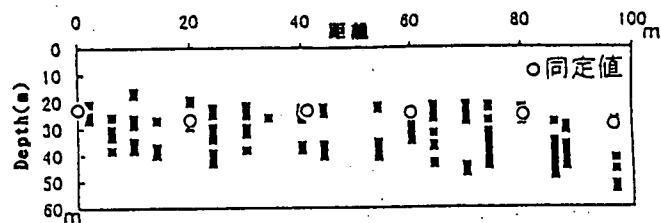


図-8 常時微動観測から求めた深度分布と同定値

両者は比較的良好な対応を示した。卓越振動数の値は、各観測点において差があり、表層地盤の物性や層厚の違いを反映しているものと考えられる。また、図8は、K1地点の南北方向のA-A測線に沿った測点(94m)で観測した卓越振動数から4分の1波長則により算定したK1地点の表層地盤の厚さ(基盤の深度)の変化を示したものである。これらの値は若干ばらついてはいるが、南から北に向かって深度が増加する傾向が見られた。

6. 地震探査法による地下構造の推定

(1) 図9に、K1地点において実施した板たたき法によるS波受振記録の1例を示す。本探査から求めた表層地盤のS波速度は250~300 m/sとなり、ボーリング調査試験結果より推定した値より大きめの値を示した。

(2) 図10に浅層反射法により特定したK1地点の地盤構造を示す。これによると、K1地点は、左側(南)の深度約15mから右(北)に進むにつれて深度30mまで降下する連続性の良い反射面が存在する。これは表層の沖積地盤と三浦層群(基盤面)の境界の形状を表わしているものと考えられる。また、測線の右側(北側)では、深さ3m~10mに分布する反射面が存在するが、盛土と沖積地盤の境界面と考えられる。ボーリング柱状図による南端(左

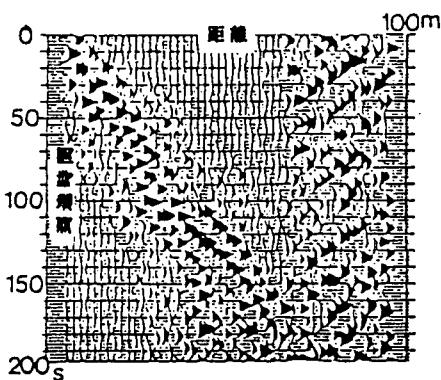


図-9 S波探索記録の1例

端) 基盤深度は約28mであり、浅層反射法による結果と良く対応している。

7. 常時微動観測記録を利用した地盤物性値の同定

(1) 今、2地点の地表面で観測された地震記録(U1、U2)があり、それらの2地点の地盤構造が成層構造でその物性が概略知られているとする。地表面の観測記録を用いて、重複反射理論により求めたある深さの2地点に共通な地層内(共通基盤層)における入射波(Z1、Z2)は、ほぼ同一となると考えてよい。このような仮定に基づいて、K1地点の浅層反射法の測線に沿った地表の観測点で得られた微動観測記録とボーリング調査結果で得られた地盤構造モデル(初期値)を用いて、開発した同定手法により、基盤層(深さ40m: $V_s = 700$ m/s)の物性を固定し表層地盤の層厚をパラメーターとして、測線に沿った地盤の2次元的な構造を同定した。

(2) 同定解析により得られた各測線における表層地盤の層厚(深度)は、4分の1波長則の結果及び地震探査の結果とほぼ良い一致を示した(図8、図10)。

また、隣接する2地点の同定モデルによる共通基盤層における速度入射波スペクトルもほぼ良い一致を示しており同定結果が妥当であると考え(図11)。

8. まとめ

(1) 常時微動観測結果及び地震探査から推定した表層地盤の厚さは共に既往のボーリング調査試験結果と良い対応を示し、常時微動観測、浅層反射法を組み合わせることにより簡易にかつ経済的に表層地盤の層厚を概略推定できることが分かった。

(2) ボーリング調査結果などで代表的な地盤構造

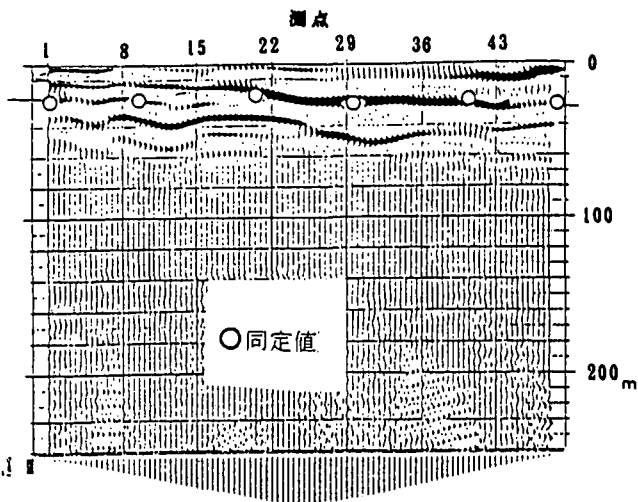


図-10 反射法から求めた地盤構造と同定値

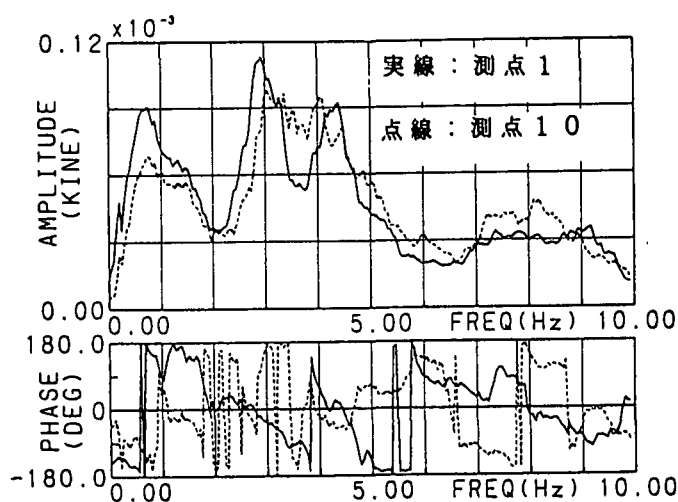


図-11

共通基盤の加速度(入射波)スペクトルの比較が概略知れていれば、詳細な物理探査を行わなくても、ここに提案した同定手法により地表面の常時微動観測記録を用いて、表層地盤の構造を概略推定できることが分かった。

(3) 今後は、逗子地域の2次元的な地盤構造モデルを作成し、地震観測データを用いて地震応答解析を行う予定である。

参考文献

- 1) Takahiro IWATATE, Koji ANDO, Takahisa ENOMOTO, and Akira OHOKA: STUDY ON LOCAL SITE EFFECTION IN GROUND SHAKING CHARACTERISTICS, CONSIDERING IRREGULAR SOIL BOUNDARY CONDITION. Pacific Conference on Earthquake Engineering (PCEE' 95) Volume3, Australia, 20-22, November 1995