

# 逗子地域における表層地盤の地震時応答特性に関する研究

岩楯 徹広<sup>1</sup> 久木崎 隆<sup>2</sup> 川畑 次郎<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 正会員 工博 東京都立大学大学院 工学研究科 教授 (〒192-0397 八王子市南大沢 1-1)

<sup>2</sup> 工修 水戸市役所 (〒310-0805 水戸市中央 1-4-1)

<sup>3</sup> 東急建設 (〒150-8340 東京都渋谷区渋谷 1-16-14 渋谷地下鉄ビル)

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地表及び地下の5地点において地震観測を実施し、現在までに91地震、約909のデータを得た。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を検討するとともに、数値解析シミュレーションを行い、不整形地盤の応答特性を調べた。常時微動観測データから得られた地盤の応答特性は地震観測から得られた特性とよく対応した。また、数値解析により、一次元モデルで現地盤の物性を評価でき、2次元モデルでは傾斜基盤上で大きな応答値を示し、傾斜基盤が表層の応答特性に影響を与えることが明らかとなった。

**Key Word:** Earthquake observations, Microtremor measurement, Seismic response analysis, Seismic characteristics, Zushi

## 1. はじめに

不整形地盤に建設された土木構造物が地震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。逗子市では、直下型地震を想定し、地域防災計画の策定を進めてきた<sup>1)</sup>。都立大学では、逗子市の地域防災計画に協力し、その一環として、被害想定に必要な基礎的な地震データを取得するため、地盤構造の異なった地表5地点(K1~K5)とK1地点の地下-30mの基盤に地震計(K6)を設置し、平面アレー及び鉛直アレー地震観測を実施している<sup>2)</sup>(図1)。1996年から2000年までに91地震データを観測した。本研究はこれらの観測データの分析により表層地盤のスペクトル特性を評価するとともに、地盤構造の1次元モデル及び2次元モデルによる応答解析により表層地盤の応答特性を検討したものである。

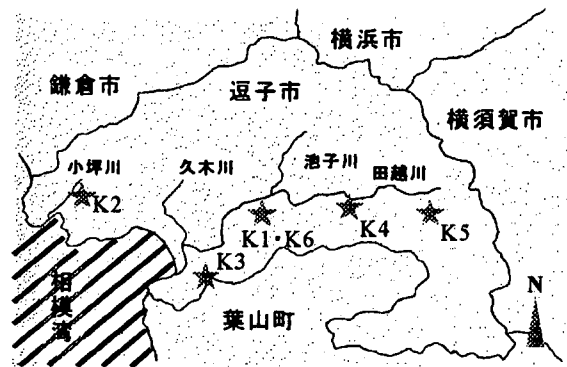


図1 地震観測地点

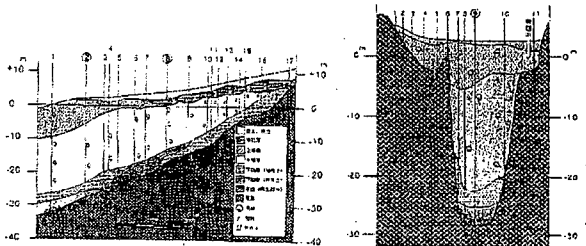


図2 地質断面図

左: 東西方向 右: 南北方向

## 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、西側には相模湾、市内を東西に横切る形で田越川が流れ、流域は、比較的軟弱な沖積低地となっており、その層厚が変化している。地形は全体として、東西方向には緩やかな傾斜となり、南北方向には谷地形が形成されている(図2)。地震計は、田越川流域の沖積地盤地表の3点(K1:逗子小学校 ZSS、K4:沼間小学校 NMS、K5:沼間公民館 NMK)、小坪川流域の地表の1点(K2:小坪小学校 KTS)、逗子市南部の丘陵地の露頭岩盤上1点(K3:青少年野外活動センター-SYK)及び地表観測点K1の直下のボーリング孔内の基盤上に1点(K6; N値 $\geq 50$ , 深さ-30m)に設置している。

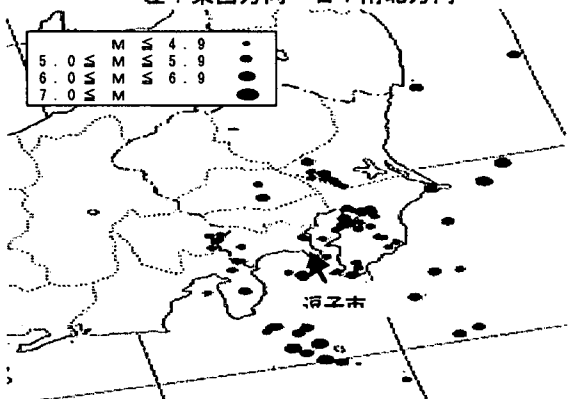


図3 震央プロット図

## 3. 地震観測データ

### (a) 観測記録

1996年から2000年までに91地震、約909成分の地震

記録を観測した。その中で比較的新しい主な地震の諸元を表1に示す。また、図3に震央プロット図、図4に観測波形の一例を示す。この中で最大の地震は、東京湾を震源とした地震（地震番号1:M=5.1, 98/8/29）であり、最大水平加速度は沖積層が最も堆積したK1地点の地表で、43gal、基盤で15galを記録した。

日時	1998/8/29	1998/11/8	1999/5/22	1999/9/13
震央位置	東京湾	東京湾	神奈川県西部	千葉県西北部
震源	35.6N 140.0E	35.6N 140.0E	35.3N 139.1E	35.6N 140.2E
M	5.4	4.9	4.1	5.1

表1 主な地震諸元

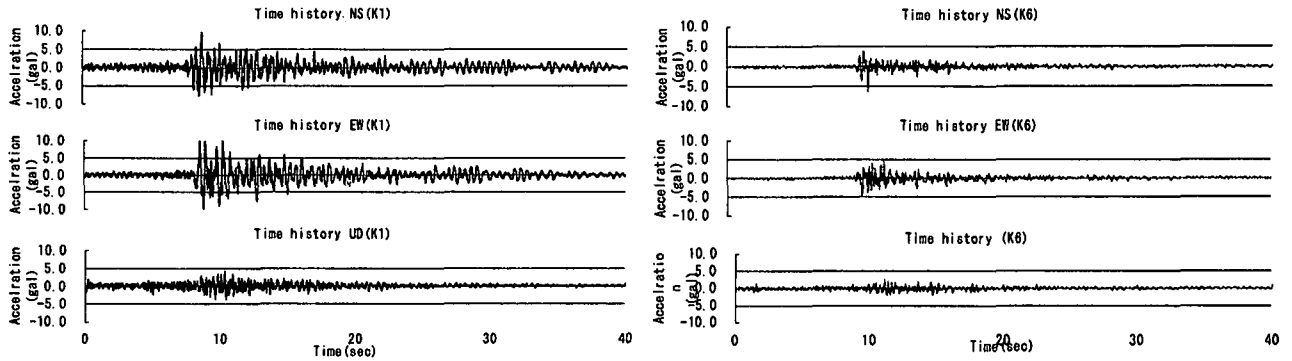


図4 地震観測データ (98/11/8、左 K1、右 K6)

(b) 伝達関数

各観測点の地盤特性を把握するため各観測点で得られた応答スペクトルをK6地点の応答スペクトルで除し伝達関数を算出した。なお、K6地点の地震計を設置する以前のものについては露頭基盤上のK3地点の応答スペクトルで除している。図5に各観測点の伝達関数を示す。K1では3Hz付近に卓越振動数が見られ、K4は4Hz、K5は7Hz付近でピークが見られた。K3（露頭基盤上）では明確なピークは見られなかった。K2では顕著な卓越振動数は読み取れず、かなり硬い地盤であると推定される。

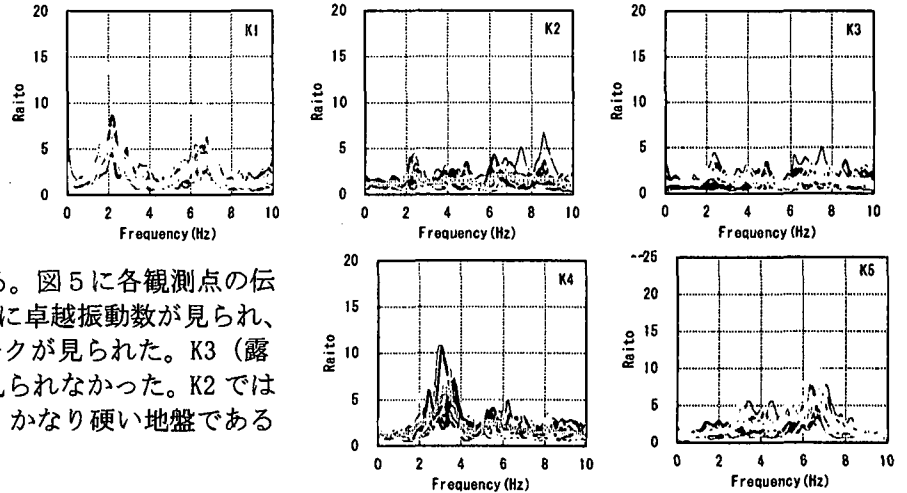


図5 伝達関数

(c) 地震波特性

応答スペクトルには地盤の特性の他に地震そのものの特性や伝播経路の特性が含まれているものと思われる。そこで、K3地点で観測された地震を震央距離別、震源深さ別、方向別、及び三宅島噴火に伴い生じた火山性の群発地震に場合わけし、その特性を見た。その結果、震源深さ別、方向別に分けたものには特性の違いが見られなかったが、震央距離については、距離が離れると長周期側にピークがずれる特性を示し、また、火山性地震についても他の地震に比べて長周期側にピークを持つ特性を示すことが分かった。(図6)

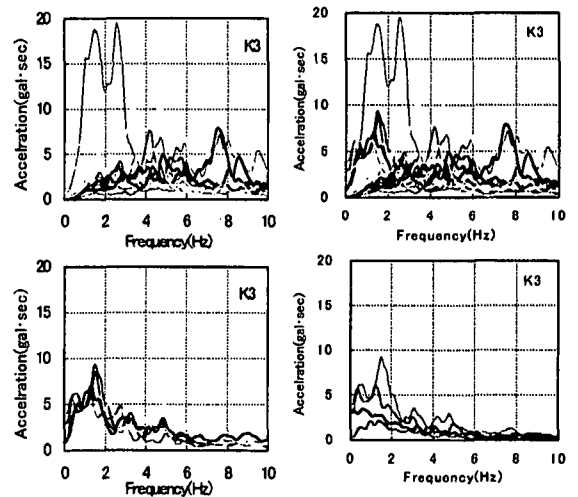


図6 応答スペクトル

左上：震源距離 100km以下 右上：全地震  
 左下：震源距離 100km以上 右下：火山性地震

(d) 常時微動観測

今回、地震計設置点付近で常時微動観測を行った。5分間の観測データの中からノイズの少ないと思われる20秒間を選んでFFT解析するとともに、水平成分(H)の上下成分(V)に対するフーリエスペクトル比(H/V)を表層地盤の伝達関数と仮定して求め、これらから表層地盤の応答特性を検討した。常時微動観測記録から得られた地盤の振動特性は地震観測から得られた結果と良い一致を示し、また、露頭基盤上のK3地点観測結果が概ね1を示すことからH/Vの妥当性(岩盤上でH=V)が明らかとなった。

(図7 太線は平均)

#### 4 1次元応答解析

基盤上のK6地点で得られた観測記録を用い、K1, K4地点での1次元応答解析を試みた。地盤モデルは既往の地盤調査データを参考に作成したもの (Model1) 地震観測記録及び常時微動観測記録から推定したもの (Model2) を用いた (表2 図中の ( ) 内の値は Model1)。なお、計算には重複反射理論を用いた1次元地盤応答解析プログラム (SHAKE) を用いた。図8に各観測点の観測記録による伝達関数の平均の値と応答計算による伝達関数を示す。Model1については実測値よりも長周期側に評価しているが、Model2は実測値と良い対応を示した。3 (d) の結果、常時微動観測記録から推定したモデルは実地盤の物性を妥当に評価していると思われる。

#### 5 2次元応答解析

##### (a) 地盤モデル

K1-ZSS 及び K4-NMS について谷と直角方向 (NS) に断面を切り、傾斜基盤構造を考慮した2次元でのモデル化を行い、2次元的な効果を検討した (図9)。地盤モデルは単純な2層構造として、物性値は1次元解析で用いた値を平均化したものを用いている。なお、使用する解析プログラムは FDAP III (Frequency domain 3-dimensional dynamic Analysis program III の略称) である。

##### (b) 伝達関数

地表面の応答スペクトルを基盤上での応答スペクトルで除し、伝達関数を算出し、観測記録及び1次元解析によって算出されたとも観測、1次元、2次元は良い伝達関数と比較した。K1では1次ピーク、2次ピーク応を示した。K4においては、3者とも1次ピークは良い対応を示したが、観測で見られない2次ピークが1次元では出ているが、2次元ではなく、1次元よりも観測記録と良い対応を示した (図10)。K1は谷地形の中央付近に位置し、基盤の傾斜も緩く、傾斜基盤の影響は少なく、水平成層地盤と考えても良い結果となった。K4については谷地形の比較的端の方に位置しており、傾斜基盤の影響をうけているものと考えられる。

##### (c) 表層における最大応答分布

最大応答加速度の値をプロットし各地点の傾向を見た (図11)。その結果、K1、K4両地点で同様の傾向が見られた。水平入射の場合、端の基盤から斜面に沿って堆積層が厚くなるに従い、水平動の応答加速度、応答変位とも増加していき、傾斜面上で最大となり、中央付近ではピーク時より少し下がりほぼ一定な値を示した。傾斜基盤面での反射した波が地表面の応答に影響を与えているため、モデル中央付近より傾斜基盤面上が大きな値を示すものと思われる。上下動の値も傾斜部分で大きくなり、その傾向が顕著であった。これは、傾斜基盤面において波

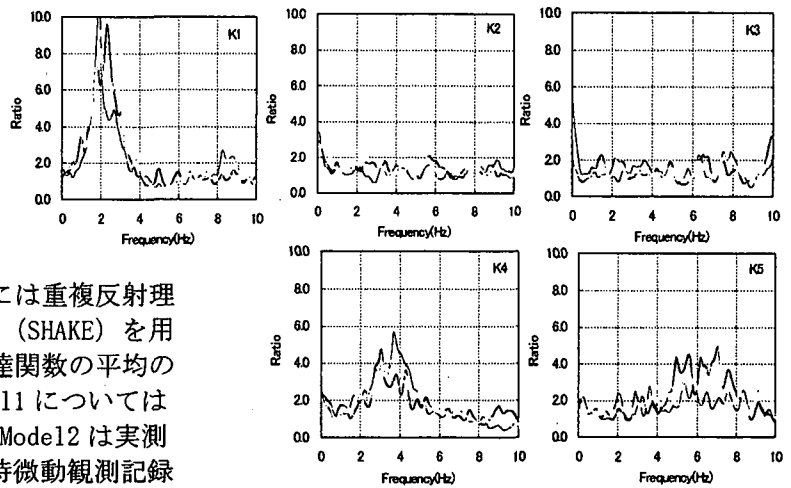


図7 H/V

k1	D	$\rho$	$V_s$	k4	D	$\rho$	$V_s$
ローム・砂	1	1.7	150	ローム・砂	1	1.7	150
砂質土	3	1.8	130	砂質土	3	1.5	100
粘性土	16	1.5	200 (100)	粘性土	1	1.8	130
粘性土	4	1.9	220	粘性土	7	1.5	200 (100)
砂質土	1	2.0	250	粘性土	3	1.6	190
基盤風化層	1	2.0	400	基盤	2.1		700
基盤		2.1	700				

表2 地盤物性値

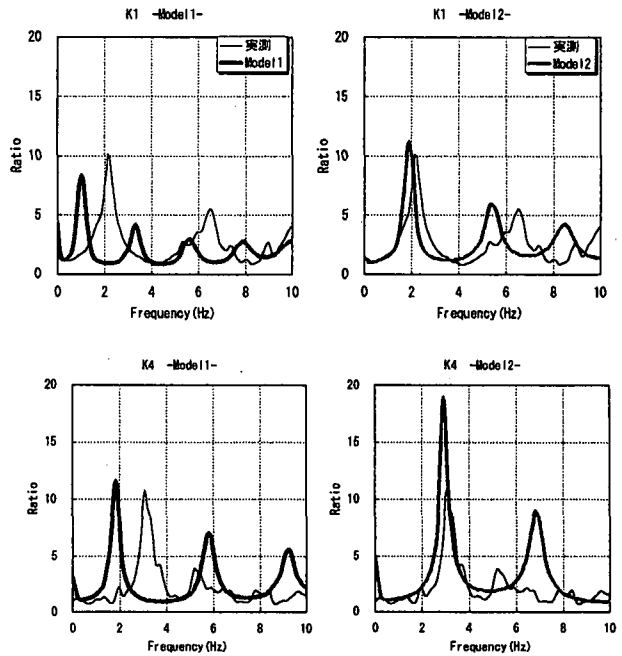


図8 伝達関数

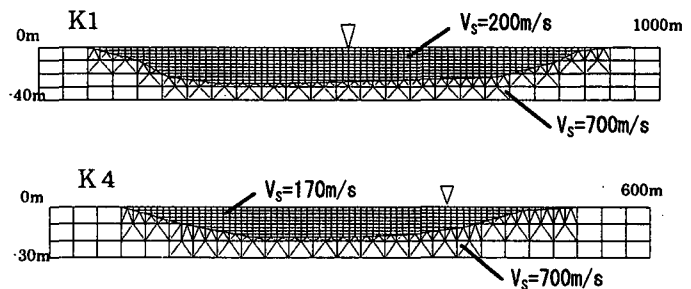


図9 メッシュ図

屈折・反射により水平動成分から上下動成分が生成されたためと思われる。鉛直入射の場合も水平動の応答加速度は傾斜付近で大きい値を示している。いずれにしても傾斜面上の地表では、最も堆積層が厚い部分よりも大きな応答を示すことが明らかとなった。

## 6 まとめ

(a) 地震観測、常時微動観測により逗子地点の表層地盤の応答特性が評価できた。震央距離が離れている地震及び火山性地震は他の地震に比べ長周期側に特性が見られた。常時微動観測記録による表層地盤の応答特性（卓越周波数）は、地震観測データによるものと相関性を示し、常時微動観測が表層地盤の応答特性を近似的に評価できるものとする。また、H/Vについてもその妥当性が示された。

(b) 1次元解析により算出された伝達関数と観測記録の伝達関数が良い一致を示したことから1次元解析によって逗子地域の地盤の応答特性及び地盤の物性値を評価できたと考える。

(c) 2次元解析では、十分広い谷形状の中央付近では、水平成層地盤構造として評価でき、両端の傾斜基盤構造の影響はないことがわかった。しかし、谷形状の両端付近では、水平動、鉛直動ともに他の地点より大きな応答値を示し、傾斜基盤構造が表層に影響を与えることが明らかとなった。

(d) 今後は、さらに詳細なモデル化を試み解析精度の向上を図るとともに、大地震時の不整形地盤の応答特性を検討していく必要がある。

## 7 謝辞

本研究は逗子市の地震防災対策の一環として実施したものであり、防災課の皆様の御協力に対し、深謝するものである。

### 【参考文献】

1) (財)都市防災研究所、「逗子市地域防災計画（地震対策編）策定事業調査報告書」平成6年2月

2) Takahiro Iwadate, Yoshio Kobayashi, 「Seismic Characteristics of Ground In Zushi」Memoirs Of Graduate School Of Engineering Tokyo Metropolitan University No. 50, 2000 平成13年3月

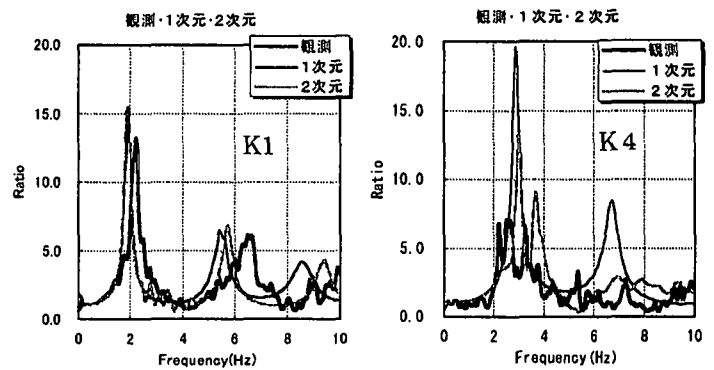


図10 伝達関数比較

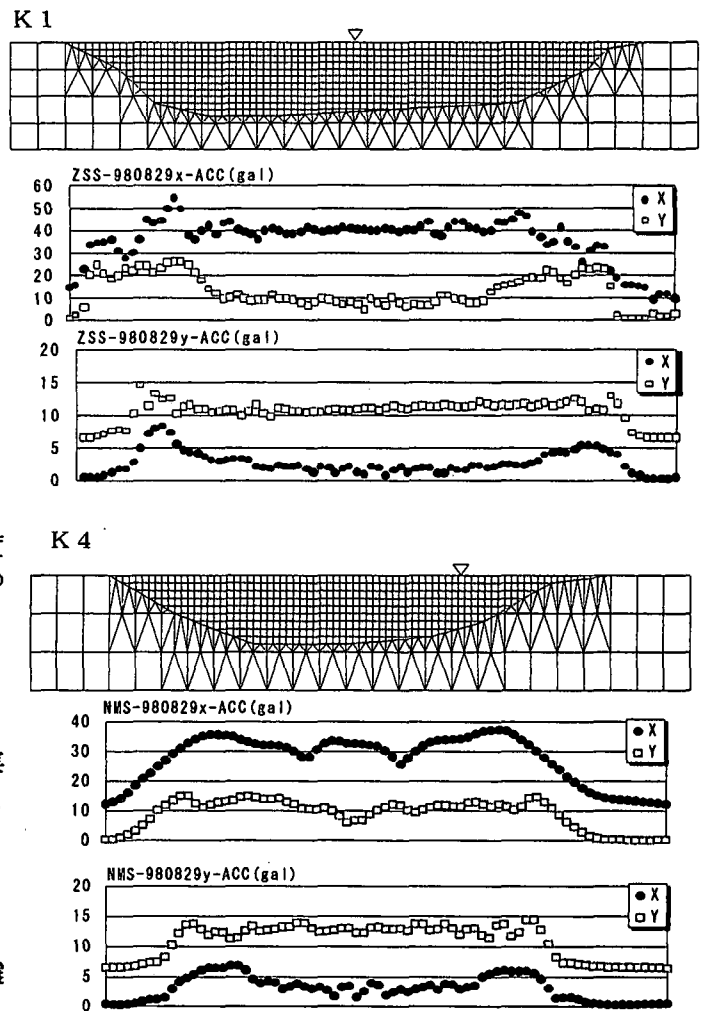


図11 最大応答加速度プロット図