

地盤構造の不整形性を考慮した 地震動特性の評価に基づく マイクロゾーニングに関する基礎的研究

荻本 孝久¹・喜多村 学²・栗山 利男³・岩楯 敏広⁴

¹正会員 工博 神奈川大学講師 工学部建築学科 (〒221 横浜市神奈川区六角橋 3-27-1)

² 工修 神奈川大学大学院工学研究科 (〒221 横浜市神奈川区六角橋 3-27-1)

³正会員 工修 株式会社構造計画研究所 (〒164 東京都中野区本町 4-38-13)

⁴正会員 工博 東京都立大学教授 工学部土木工学科 (〒192-03 八王子市南大沢 1-1)

地震動特性に表層の地盤構造(堆積層の土質や層厚、基盤の形状)が与える影響は大きい。また、1985年メキシコ地震以降傾斜した基盤上に表層地盤が堆積した地盤構造が地震動特性に影響を与えることが知られており⁽¹⁾、1995年の兵庫県南部地震においても基盤構造の影響について同様なことが指摘されている⁽²⁾。また、地域的な地震被害予測のための Ground Shaking Hazard に関するマイクロゾーニングがあるが、一般に傾斜基盤構造のような2次元的地形を考慮したものは行なわれていない。筆者らは基盤構造が地震動特性に与える影響を定量的に把握することを目的として、神奈川県逗子市において地震観測と数値解析を行い、マイクロゾーニングに関する基礎的な検討を行った。

key words: strong motion observation, irregular boundary, numerical simulation, microzoning

1. はじめに

本研究では、神奈川県逗子市における地震観測結果と数値解析結果の検討を踏まえ、2次元的地形を考慮したマイクロゾーニングを試み、若干の検討を行った。

その結果、観測された地震記録は2次元モデルと比較的によく説明でき、1次元モデルと2次元モデルによるマイクロゾーニングには顕著な差異が認められた。

2. 地震観測

当研究室では、神奈川県逗子市において地震観測を実施している。以下にその概要を示す。

(1) 観測地点概要

逗子市は三浦半島の付け根に位置している。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。地震観測は、地盤構造の異なる5地点の地表面で実施しており、そのうち1地点は丘陵地の岩盤上に地震計を設置している。地震計の設置場所、記号及び基盤の深度分布を図1に示す。

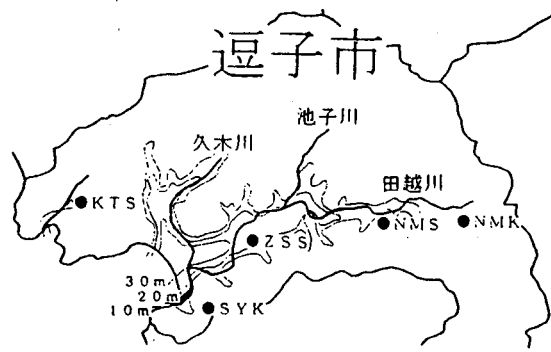


図1 観測地点概要

表1 観測地震一覧

地震番号	発生日	震源	緯度	経度	深さ	M
1	94/06/29	千葉県南部	34° 57'	139° 53'	60Km	5.2
6	94/10/04	神奈川県西部	35° 11'	138° 59'	24Km	4.3
7	94/10/04	北海道東方沖	43° 22'	147° 40'	30Km	8.1
13	95/01/01	東京湾	35° 37'	140° 06'	76Km	4.8
15	95/01/07	茨城県南西部	36° 17'	139° 59'	70Km	5.4
19	95/03/23	茨城県南西部	36° 06'	140° 01'	58Km	5.1
23	95/07/03	相模湾	35° 09'	139° 34'	122Km	5.6
28	96/02/17	福島県沖	37° 06'	141° 98'	25Km	5.2
29	96/03/06	山梨県東部	35° 28'	138° 55'	17Km	4.5
34	96/08/09	山梨県東部	35° 30'	138° 54'	18Km	4.7
37	96/09/05	房総半島沖	35° 00'	139° 42'	50Km	4.2
38	96/09/11	千葉県沖	35° 42'	141° 42'	30Km	6.6

(2) 観測記録の概要

地震は96年9月までに38地震が観測された。本研究では観測された記録の中で、4地点以上で観測され、なおかつ加速度振幅の大きい地震を選び、検討を行った。検討を行った地震の諸元を表1に示す。

(3) 観測記録の検討

本研究では、岩盤上での記録であるSYKでの記録を逗子市域に入力する地震波と仮定している。ここで、各観測地点の地盤特性を把握するために、各観測地点で得られた応答スペクトル⁽³⁾をSYKの応答スペクトルで割り、伝達関数を算出した。このようにして得られた伝達関数を基に各観測地点での卓越周期を求めた。図2に、各地点でのNS・EW成分の卓越周期を示す。ZSSにおいては、卓越周期は両成分とも0.5秒付近で推移している。NMS, NMKはそれぞれ0.3秒, 0.2秒付近に卓越している。しかし、KTSにおいては、NS・EW成分で差が見られる。これは、地震計が校舎内に設置されているため、方向性に影響を及ぼしたものと考えられる。

3. 1次元応答解析

次に、地震観測で得られた観測記録を用い、各観測地点での1次元応答解析を試みた。地盤モデルは逗子市においてボーリング資料を参考に定められた地盤モデル⁽⁴⁾を用いた。その地盤モデルを図3に示す。ここでは、基盤入射波としてSYKの記録を用い、地表面での応答を計算した。なお、計算には重複反射理論⁽⁵⁾を用いた1次元地盤応答解析プログラムSHAKEを用いた。図4に、各観測地点での応答計算による伝達関数を示す。卓越周期は、観測記録による伝達関数とほぼ一致するが、概ね解析結果が長周期側に出ている。これは、観測地点付近の局所的な地盤構造の違いによるものと考えられ、傾斜基盤構造などが影響しているものと思われる。

4. 2次元応答解析

(1) 地盤モデルの作成

ZSSとNMSを谷と直角方向(NS)に断面を切り、有限要素モデルを作成した。地盤モデルを図5に示す。堆積層の物性値は、1次元解析で用いた値を平均化したものを用いた。なお、解析には、2次元有限要素法を用いた地盤-構造物相互作用解析プログラムSuper-FLUSH/2Dを用いた。

(2) 伝達関数

地表面の応答スペクトルを入力波の応答スペク

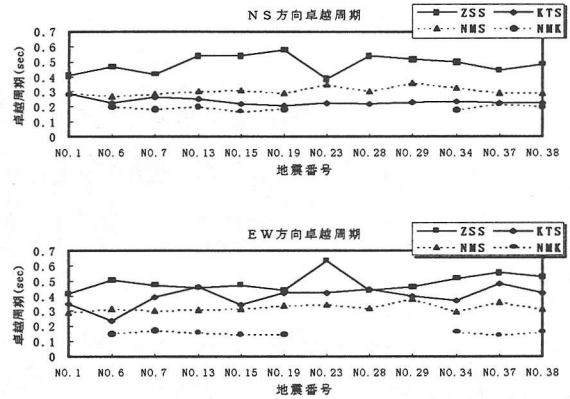


図2 各観測地点の卓越周期

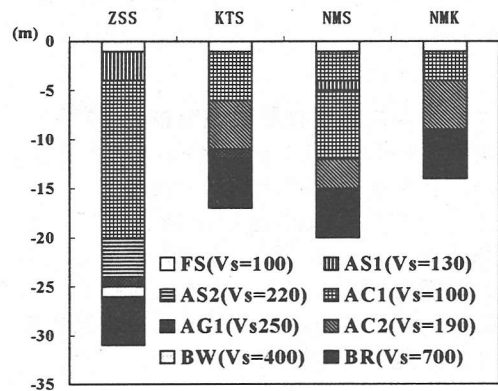


図3 1次元地盤モデル

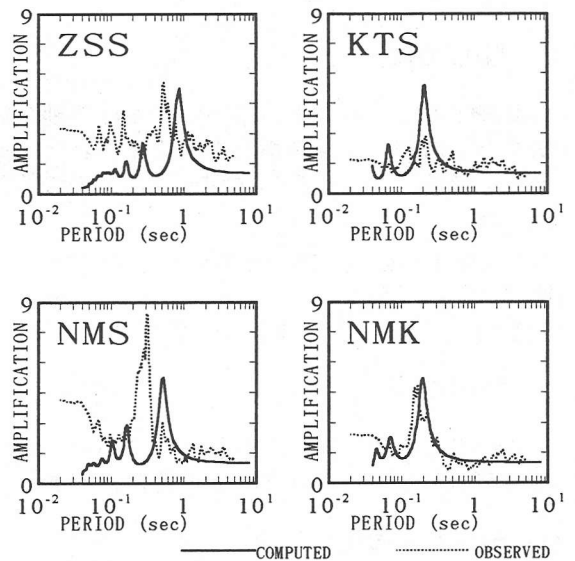


図4 1次元解析及び観測記録の伝達関数

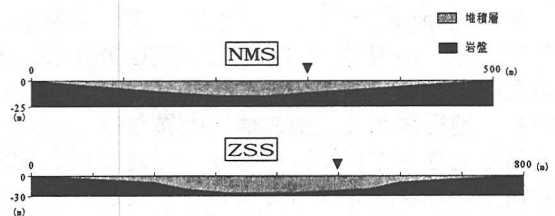


図5 2次元モデル

トルで割り、伝達関数を算出した。図6に観測記録と解析によって得られた伝達関数を示す。卓越周期は観測記録と解析結果でよく一致しており、観測記録は傾斜基盤構造の影響を強く受けていると考えられる。

5. 傾斜基盤を考慮した地盤モデルによるケーススタディー

ここでは、傾斜基盤構造が地表面の地震応答にどのような影響を与えるか把握するために、2次元有限要素法を用いたケーススタディーを行った。

(1) 解析モデル及び解析条件

図7に今回使用した2次元モデルを示す。解析モデルは基盤の傾斜角 α 、谷の長さ L 及び、堆積層のせん断波速度 V_s をパラメータとした。図中のa点は、水平部と傾斜部の境界点を示し、b点は岩盤上の節点を示す。表2に解析モデルの一覧を示す。

(2) 解析結果

図8に2次元モデルの地表面における最大加速度と各節点の層厚に各々対応した1次元解析における最大加速度との比(2D/1D)を示す。まず、全体として、傾斜部において比は1以下となっており、傾斜角 α が大きくなるほどその比は小さくなり、 $\alpha=60^\circ$ のとき0.5未満となる。また、傾斜部の挙動は谷幅 L には無関係である。このことは、 $V_s=150\text{m/s}$ のときに顕著である。水平部においては、傾斜から遠ざかるにしたがい、1に収束する傾向にあり、傾斜から十分に離れている点(a点より概ね傾斜部の4倍以上)において1次元解析と調和的である。

次に、各節点の最大加速度とb点の最大加速度との比(RATIO)を図9に示す。全体として、堆積層厚が厚くなるに従い、比は大きくなる。 $V_s=150\text{m/s}$ のとき、a点付近の水平部側で増幅率が大きくなっており、周期的な挙動を示している。これは、基盤傾斜部において反射した波が地表面の応答に影響を与えているためと思われる。

地表面での上下動の加速度最大値を図10に示す。本研究では、入射波は水平動のみ入力した。しかし、基盤傾斜部において大きな上下動が認められる。これは、傾斜基盤面での波の屈折・反射により、上下成分が生成されたためと思われる。

6. 傾斜基盤を考慮した2次元マイクロゾーニング

傾斜基盤構造を考慮したマイクロゾーニングを行い、1次元解析でのマイクロゾーニングとの比較を行った。

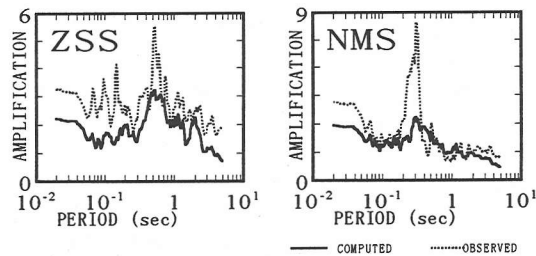


図6 2次元解析及び観測記録の伝達関数

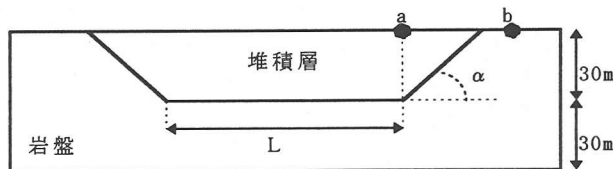


図7 ケーススタディーにおける地盤モデル

表2 解析モデル一覧

	$\alpha=15^\circ$	$\alpha=30^\circ$	$\alpha=45^\circ$	$\alpha=60^\circ$	V字型
L=100	CASE A1	CASE B1	CASE C1	CASE D1	CASE F1
L=200	CASE A2	CASE B2	CASE C2	CASE D2	CASE F2
L=300	CASE A3	CASE B3	CASE C3	CASE D3	CASE F3
L=400	CASE A4	CASE B4	CASE C4	CASE D4	CASE F4
L=500	CASE A5	CASE B5	CASE C5	CASE D5	CASE F5

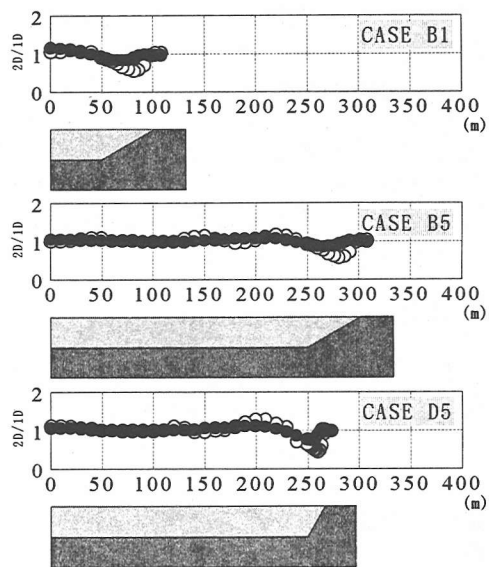


図8 最大加速度比(2D/1D) ○ $V_s=150\text{m/s}$ ● $V_s=300\text{m/s}$

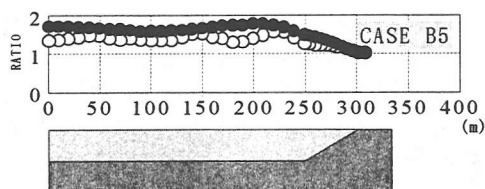


図9 最大加速度比(RATIO) ○ $V_s=150\text{m/s}$ ● $V_s=300\text{m/s}$

(1) モデルの概要

断面の位置及び形状は、堆積層厚、堆積層の物性、谷幅を考慮し、9タイプに類型化した。また、堆積層の物性値は、その断面での代表的な地盤区分に対し、平均的な値を用いた。

(2) ゴーニング・マップ

2次元ゴーニングマップは地盤モデル毎に応答計算を行ない、逗子市を100m×100mのメッシュに切り、その交点の最大加速度値を岩盤上の最大加速度値で割った増幅率で示してある。1次元ゴーニングマップは、逗子市防災計画⁽⁴⁾によって定められた地盤区分毎に前述のSHAKEを用い応答計算を行なった。図11に、2次元及び1次元でのゴーニング・マップを示す。

(3) 比較検討

全体的に、2次元の結果は1次元の結果よりも増幅率は大きい傾向を示す。特に、田越川、久木川上流部の谷幅が狭い地域において、1次元の増幅率は2倍程度であるのに対し、傾斜基盤構造を考慮した2次元での増幅率は2.5倍以上を示している。田越川中流部においては、1次元では1.5倍以下であるのに対し、2次元では基盤の傾斜部に沿って2倍以上の増幅率を示している。これは、この地域においては堆積層の $V_s=120\text{m/s}$ 程度と柔らかいため、先のケーススタディに示したように、傾斜部分での増幅率が大きくなった為と思われる。また、田越川下流部の地域についても概ね2次元の結果は1次元の結果よりも大きい。このように、地域的な地震動特性を評価する場合、傾斜基盤構造のような2次元的な広がりを持つ地形効果による影響は大きいことが判明した。

7. おわりに

以上により得られた結果を以下にまとめる。

①地震観測においては、岩盤上で得られた記録を逗子市域への入射波と考え、ボーリングデータより地盤モデルを設定し1次元解析を行ったが、伝達関数の周期特性に差異が見受けられた。これは、局所的な地形の差異によるものと考えられ、傾斜基盤構造を考慮した2次元解析によって卓越周期の改善が見られた。②傾斜基盤構造が地震動に与える影響を把握するために2次元有限要素法によるケーススタディを行い、傾斜角度と堆積層の物性値が地表面での応答に大きな影響を与えることを明らかにした。③この結果を適用したマイクロゴーニングを行ない、傾斜基盤構造を考慮した2次元マイクロゴーニングは1次元解析の結果より地震動の増幅率が大きい傾向を示した。しかし、実際の地形は3次元で評価されるべきであり、今後3次元的な地形を考慮する必要がある。

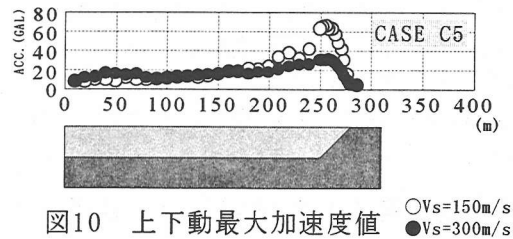


図10 上下動最大加速度値 ○ $V_s=150\text{m/s}$ ● $V_s=300\text{m/s}$

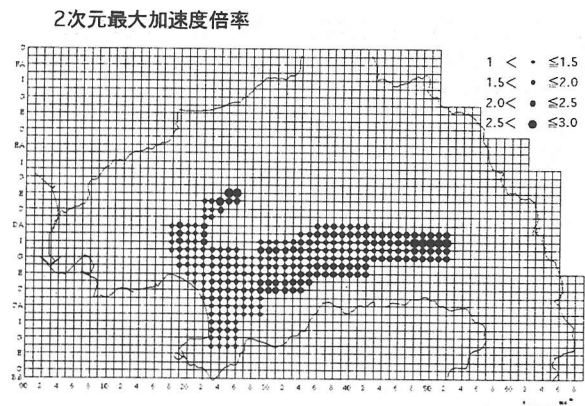


図11 2次元マイクロゴーニングマップ

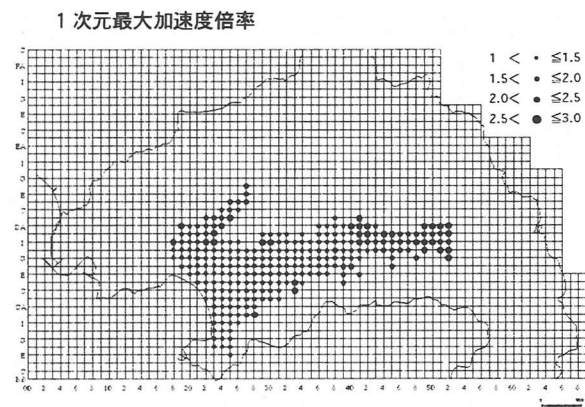


図11 1次元マイクロゴーニングマップ

参考文献

- 1) 多賀, 「地盤振動における地形・地盤の不整形形成の影響」第10回地盤振動シンポジウム, 1982. 4, P45-56
- 2) 例えば、永野, 「神戸市の基盤不整形性を考慮した地盤振動特性に関する解析的検討、その1」日本建築学会学術講演梗概集B-2, 1995, P171-172
- 3) 大崎, 「地震動のスペクトル解析入門」 鹿島出版会
- 4) (財)都市防災研究所, 「逗子市地域防災計画(地震対策編)策定事業調査研究報告書」, 平成6年2月
- 5) 志賀, 「構造物の振動」 共立出版