

山地形における地震動特性（その3）

— 3次元数値シミュレーション —

東電設計(株) 正会員 栗田哲史・正会員 安中 正
東京電力(株) 正会員 高橋 聡・正会員 嶋田昌義
(株)ユニック 正会員 前原達也

1. はじめに

山地形の増幅特性を把握する事を目的として、1982年から横須賀市内の山地においてアレイ観測を行ってきた。本研究では、山頂において水平最大加速度 132cm/s^2 が観測されている1987年12月17日千葉県東方沖地震の記録を対象として、3次元の有限要素法による数値シミュレーションを実施した。観測記録を良く説明できる適切な解析モデルを作成することによって、山地形の増幅特性を評価する事を目的としている。

これまでの検討^{1),2)}では、①山頂の増幅率が非常に大きくなること、②地中の観測記録には反射波によって打ち消されたとされると思われる周波数成分が存在すること、などが観測記録の分析によって判明している。本研究では、これらの事項について解析的な検討を行う。

2. 数値シミュレーション手法

対象となる山地形の断面図およびアレイ観測の地震計配置を図-1に示す。数値シミュレーションは、図-2に示す解析モデルを用いて3次元の有限要素法によって行った。境界条件は、底面・側面ともに粘性境界である。尚、側方境界については、2次元の自由地盤モデルとの間にダッシュポットを配置している。要素には8節点要素を用いた。入射波は水平2成分および鉛直1成分で与えた。

入射波には、自由地盤に最も近い条件であるNo.5地震計の記録（3成分）を、以下の式により周波数領域で入射面(EL.-50m)まで引き戻した波を用いた。

$$\mathbf{I}(\omega) = \mathbf{H}^{-1}(\omega) \cdot \mathbf{R}(\omega) \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{I}(\omega) = \{I_x, I_y, I_z\}$ は入射波、 $\mathbf{R}(\omega) = \{R_x, R_y, R_z\}$ は No.5 地震計の観測記録、 $\mathbf{H}(\omega)$ は入射波に対する No.5 位置の応答の理論伝達関数（先の解析モデル使用）を表している。

解析に用いた物性値は表-1に示す通りである。表の値は地震計設置時に行ったボーリング調査の結果に基づいている。また、減衰マトリックスは Rayleigh 減衰によって与え、 $f_0=2.24\text{Hz}$ と $f_1=13.0\text{Hz}$ において $h=1\%$ となるように設定した。

3. シミュレーション結果

図-3にシミュレーション結果と観測記録とのフーリエスペクトル比の比較を示す。ここで、解析値および観測値は、バンド幅 0.2Hz で平滑化処理している。両者は非常によく一致しており、ここで用いた解析モデルが実際の山地形を良く再現できていることを示している。特に、山頂において 5Hz 以上の増幅率が10倍程度で一定となる様子、山頂直下の地中で打ち消される周波数成分が有る事などが忠実に表現できている。

ここでは特に、地中の地震波が反射波によって打ち消される現象に着目した。図-3(1)のフーリエスペクトル比で振幅比が1以下の深い谷になっている周波数を2つ選び、その周波数における加速度ベクトルの分布を図-4の通り求めた。分布図より、No.1地震計の位置においてのみ振幅が小さくなっており、正にこの点が振動の節となっていることが分かる。また、山地形全体としては、節となる点を中心として点対称の振動状態となっている事が分かる。

4. おわりに

山地形の増幅特性を把握する事を目的として、3次元有限要素法による山地形における地震動のシミュレーションを実施した。山地形を忠実にモデル化し、観測記録を良く説明できるシミュレーションが可能となった。更に、同モデルを用いて山地形の振動特性を評価した。

参考文献

- 1) 高橋 他：山地形における地震動特性(その1)、第55回年次学術講演会講演概要集、平成12年9月。
- 2) 栗田 他：山地形における地震動特性(その2)、第55回年次学術講演会講演概要集、平成12年9月。

キーワード：山地形、FEM解析、地震動、地形効果、増幅特性

連絡先：東電設計(株)地震技術部（〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3 Tel. 03-4464-5569）

表-1 解析モデルの物性値

No.	層厚 (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	密度 (g/cm ³)
1	4	1600	250	1.7
2	4	1600	400	1.8
3	10	1900	600	1.9
4	∞	2000	700	1.9

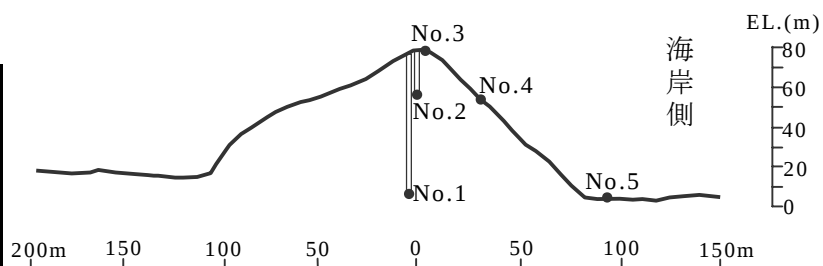
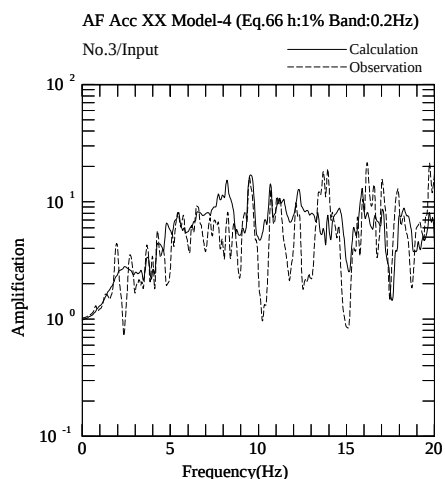
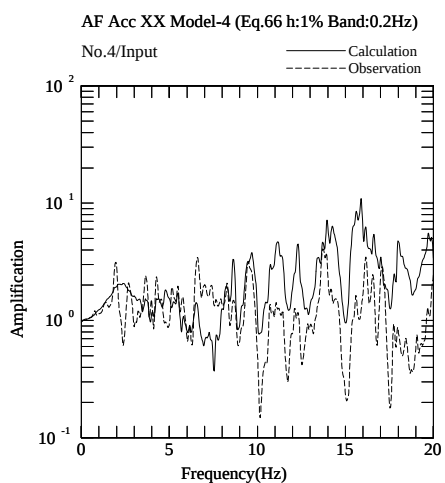


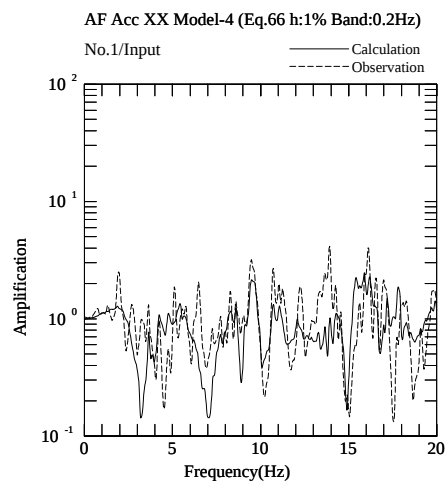
図-1 対象山地と地震計の配置



(3) No.3 の応答/入射波



(2) No.4 の応答/入射波



(1) No.1 の応答/入射波

図-3 フーリエスペクトル比の比較

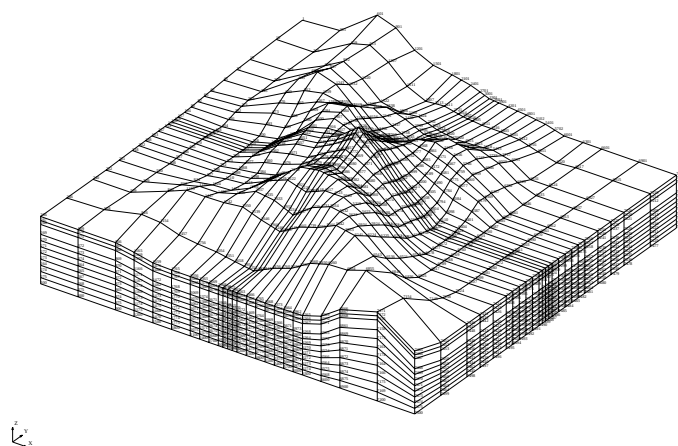
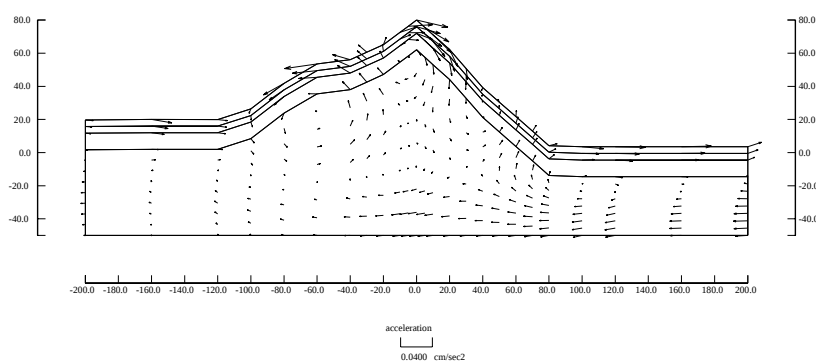
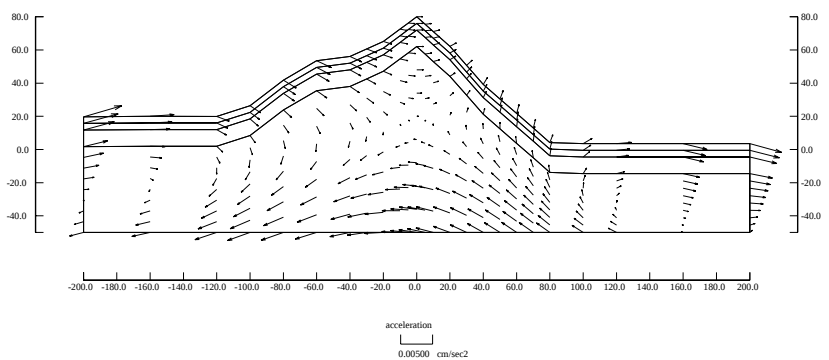


図-2 3次元解析モデル



(2) 7.06Hz



(1) 3.27Hz

図-4 着目周波数における加速度ベクトル分布