

位相差入力を受ける表層地盤の振動レベルの増幅特性

山口大学工学部 正 三浦房紀 山口大学工学部 正 国松 直
山口大学大学院 学○内田治文 山口大学工学部 正 中川浩二

1. はじめに 本研究は、岩盤内基盤を伝播してきた発破の振動波形が表土層の影響により地表面でどのような加速度波形になるかを2次元の有限要素法を用いて解析し、その加速度波形から表土層の条件の違いによる振動レベル(VL)を算出して、増幅特性を明らかにすることを試みたものである。解析にあたっては多点異入力の運動方程式を用いて振動波形の基盤入力条件を同時入力と位相差入力の2つの場合で比較した。

2. 解析手法 図-1は解析に用いた有限要素モデルであり、左右対称の台形の表土層を仮定した。モデルの幅は120m、深さは10mとした。表土層と岩盤との間(図中の○印)に図-2に示す多点異入力系のモデルを導入する。このモデルは質点が復元力を表す線形のバネと減衰を表すダッシュポットで構成されるスプリング要素である。この要素が岩盤を伝播してきた振動波形の入力点となる。ここで位相差入力とは、波動の進行にともない○印への入力を岩盤の伝播速度に対応させて波の進行方向に時間をずらして入力する方法であり、同時入力とは、○印にすべて同一波形が同位相で入力される方法である。図-1のA, B, C, D, E (●印)は今回の解析の対象とした節点である。多点異入力の運動方程式は次式で与えられる。

$$[M] \{\ddot{u}\} + [C] \{\dot{u}\} + [K] \{u\} - [D] \{\dot{z}\} - [S] \{z\} = 0$$

ここに、 $[M]$: 質量マトリクス、 $[C]$: 減衰マトリクス、 $[K]$: 剛性マトリクス

$[D]$: d のみで構成される対角マトリクス、 $[S]$: s のみで構成される対角マトリクス

d は図-2のダッシュポットの粘性係数、 s はバネ定数である。

上式の $\{\ddot{u}\}$ $\{\dot{u}\}$ $\{u\}$ は、それぞれ表土層の節点の加速度、速度、変位ベクトルであり、 $\{\dot{z}\}$ $\{z\}$ が地動の速度、変位ベクトルである。そこで、上式の $\{\dot{z}\}$ $\{z\}$ に基盤を伝播してきた振動波形の速度、変位波形を入力し、方程式を解けば良いことになる。この解法には時間領域で逐次計算を行うためにNewmarkの β 法($\beta=1/4$)を用い、時間刻み Δt は0.001秒である。

3. 解析条件 発破振動の波はモデル左手の方向から岩盤内を伝播してくるものとし、岩盤の縦波速度 V_p は、 $V_p=1000, 2000, 4000$ m/sの3通りとし、表土層の材料定数を表-1に示すように変化させた。表中の弾性係数は、 V_s が変化するときの値を示したものである。この表土層のせん断弾性係数(G)と表土層のヤング率(E)とを用いて、スプリング要素のバネの水平方向と鉛直方向の変形係数を

$$SK_h = G \cdot l$$

$$SK_v = E \cdot l$$

と表した。ここに、 l はスプリング要素を介している表土層の面の幅の長さでありダッシュポットの粘性係数はレーレー減衰の条件を満足するものとした。

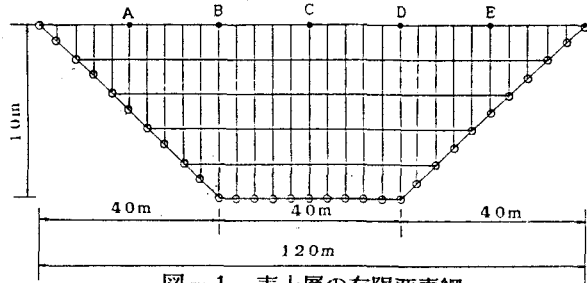


図-1 表土層の有限要素網

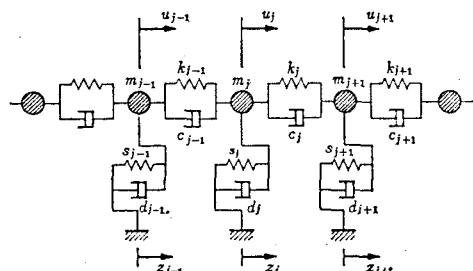


図-2 多点異入力系の力学モデル

4. 解析結果と考察 図-3は $V_p=2000\text{m/s}$ 、表土層のせん断波速度を $V_s=400\text{m/s}$ としたときの同時入力と位相差入力による表土層地表面のA点の出力波形の一例を示したものである。同時入力の場合は加速度の最大値が40gal程度であるのに対して、位相差入力の場合は加速度の最大値が10gal程度であり、30gal程度の差が見られる。本研究で用いた解析モデルでは、 V_p を変化させたときの同時入力と位相差入力との場合の水平方向と鉛直方向のVLは、同時入力の場合は着目点の違いによる影響はあまり見られないが、位相差入力の場合は着目点（位置）の違いにより大きく変化することがわかった。また、 V_p の変化によるVLの影響は大きくはみられないこともわかった。次に図-4は $V_p=2000\text{m/s}$ で表土層のせん断波速度を $V_s=600\text{m/s}$ としたときのVLの最大値と各着目点との関係を示したものである。同時入力ではVLの最大値が各着目点とも、水平と鉛直でそれぞれ同程度であるのに対して、位相差入力ではAからCへは減少しCからEへは増加する傾向がみられ、鉛直振動レベルの最大値は減少の割合が比例関係に近いことがわかるが、水平振動レベルの最大値は減少の割合が着目点によって違っていることがわかる。以上のことから、発破振動解析のための基盤入力方法として同時入力、位相差入力などが考えられるが、図-1のモデルを解析した場合、同時入力と位相差入力の場合では傾向が大きく異なり、位相差入力の場合には着目点において増幅する場所と減少する場所があることが判明した。実現象を考えると、同時入力よりも位相差入力の考え方の方が妥当性があり、本解析結果に基づけば地下構造に起因して表層地盤上の振動レベルが複雑な増幅、減少特性を示すことが予想される。今後は基本的な地下構造を仮定して、その増幅特性を定量的に求めて行く予定である。

参考文献 (1)土技：構造物の耐震解析,新体系土木工学(11),1982, (2)三浦、国松、中川：第19回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.436~440, 1987

表-1 表土層の材料定数

表土層	単位体積重量 $\rho (\text{t/m}^3)$	ポアソン比 ν	減衰定数 h	せん断波速度 $V_s (\text{m/s})$
	0.184	0.4	0.05	200, 400, 600
弾性係数	V_s	せん断弾性係数 (t/m)	ヤング率 (t/m)	
	$V_s=200$	$G=7346.9$	$E=20571.3$	
	$V_s=400$	$G=29387.8$	$E=82285.8$	
	$V_s=600$	$G=66122.4$	$E=185142.7$	

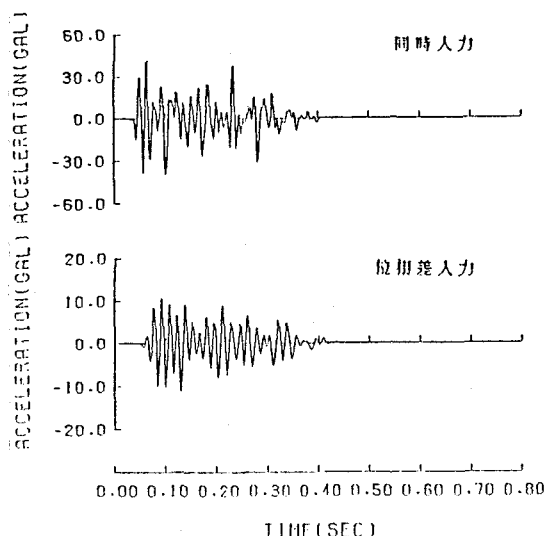
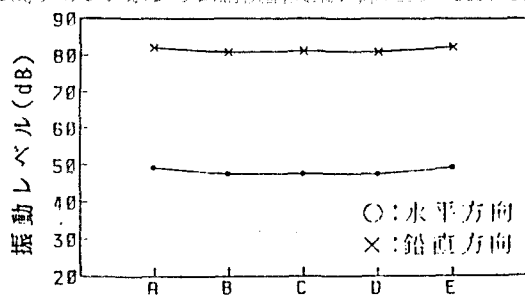
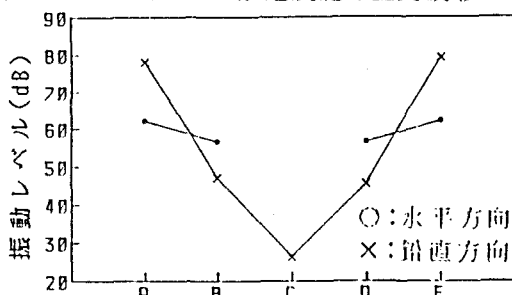


図-3 加速度記録出力波形



同時入力



位相差入力

図-4 $V_p=2000\text{m/s}$ 、 $V_s=600\text{m/s}$ の時の各着目点の振動レベル値