

有限要素法による地盤震動解析

岡山大学工学部 正員 竹宮 宏和  
 岡山大学大学院 〇学生員 福井 智  
 日立ソフト(株) 多田 秀雄

1. よえがき

構造物の地震応答には、立地地盤条件が大きく関与してくる。そこで本研究は、地震波を実体波と表面波に分離し、多成層地盤内におけるそれぞれの波動伝播解析を行うことを目的とする。そのため、粘弾性地盤内における波動方程式を、深さ方向に有限要素法を適用し離散化して定式化する。地震入力としては、任意の入射角の実体波および表面波を採ることができる。

2. 定式化

自然地盤内の地震波動伝播として、実体波と表面波が存在する。いま、水平方向に伝播する波動を地盤の深さ方向に離散化して考える(図1参照)。

実体波については、図1のように入力基盤面を想定すると、運動方程式は、

$$(k[A] + ik[B] + [C] - \omega^2[M]) \{u^*\} = \{P\}$$

と表される。ただし、 $\{P\}$ は節点外力、 $\{u^*\}$ は節点変位であり、 $[A][B][C][M]$ は対象地盤内の物性定数より求められる。また、 $k = \omega \sin f / V_s$ は波数で、 $\omega$ は振動数、 $V_s$ は基礎内のせん断波速度、 $f$ は入射角である。式(1)の左辺(1)内は地盤の動的剛性マトリックスを意味し、これを基礎上の節点とそれ以外の表層内の自由節点に関するものに分離し、基礎面変位のみ残す縮合操作を施せば、

$$[G] \{u_b^*\} = \{P_b\}$$

となる。ここで添字 $b$ は、基礎面上の成分を示す。一方、半無限基礎内での波動は、上昇波(入射波)と下降波(反射波+表層からの透過波)の和として表現される。これより評価される変位と応力について、基礎面上での連続性を適用すると、入射振幅で正規化された形の表層内の応答が求まる(図2参照)。

つぎに表面波のうちのレリー波について考える。ここでは数値計算上、表層下にレリー波のモードが近似できる深さまで半無限基礎を導入した剛基礎モデルを採用する。従って運動方程式は実体波の場合と同様であるが、基礎面上の変位は零拘束されており、また、外力項は慣性力のみであることより、運動方程式は、

$$(k[A] + ik[B] + [C] - \omega^2[M]) \{u_s^*\} = \{0\}$$

となる。対象地盤を $n$ 層とすると、式(3)は $4n$ オーダーの固有値問題を示す。そして減衰地盤に対する解として、 $x$ 方向に伝播する波は、

$$\{u^*\} = \sum_{s=1}^{2n} \alpha_s \{V_s\} e^{-ik_s x} e^{i\omega t}$$

と固有モード波に展開される。ここで、 $\alpha_s$ は $s$ 次モード寄与係数、 $\{V_s\}$ は同モード振幅、 $k_s$ は同モード波数を表す。(図3参照)

3. 数値解析結果と考察

図2、図3のコントロールポイントに伊豆半島東方沖地震波(1980.6.29)を入力し、表1の地盤データを用い、表層内の応答を求めた。実体波については、重複

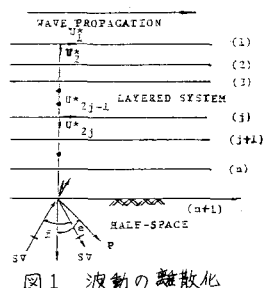


図1 波動の離散化

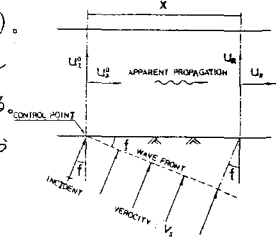


図2 実体波の波動伝播

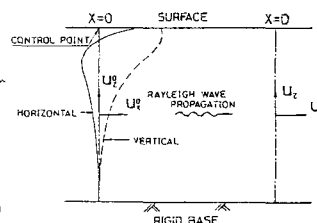


図3 表面波の波動伝播

反射理論の伝達マトリックス法を用いたプログラム(SHAKE)<sup>1)</sup>と、本研究でのプログラム(SRAP)で比較するとほとんど同じ結果が得られた(図4参照)。

また、表面波は基本モードが卓越しているとし、表層内の応答を求めるプログラム(SWAP)より、図5、図6が得られた。これより、本解析での応答の水平成分は深さ方向によく減衰するが水平方向にはあまり減衰していないのが判る。また、鉛直成分は表層が浅いため深さ方向にもあまり減衰していないのが判る。

表1 地盤データ

層No.	厚さ (m)	ポアソン比	比重	ヤング率 (kg/cm <sup>2</sup> )	減衰係数	せん断弾性係数 (kg/cm <sup>2</sup> )
1	2.000	0.40	1.800	0.15		5025607.0
2	2.000	0.40	1.800	0.15		5025607.0
3	2.500	0.40	1.800	0.15		7121672.0
4	2.525	0.40	1.800	0.15		5522932.0
5	3.475	0.40	1.800	0.15		4428966.0
6	2.800	0.40	1.800	0.15		4428966.0
7	3.250	0.30	2.100	0.05		34285714.0
8	6.950	0.30	2.100	0.05		34285714.0
9	2.100	0.30	2.100	0.05		34285714.0
10	8.750	0.30	2.100	0.05		34285714.0
11	5.950	0.30	2.100	0.05		34285714.0
12	3.400	0.30	2.100	0.05		34285714.0
13	9.400	0.30	2.100	0.05		34285714.0
14	8.000	0.30	2.100	0.05		34285714.0
15	8.000	0.30	2.100	0.05		34285714.0
		0.15	2.300	0.02		324693877.5

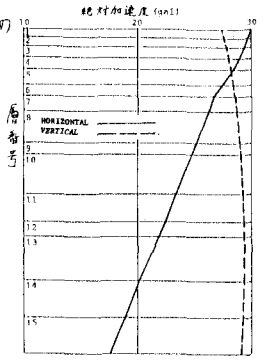
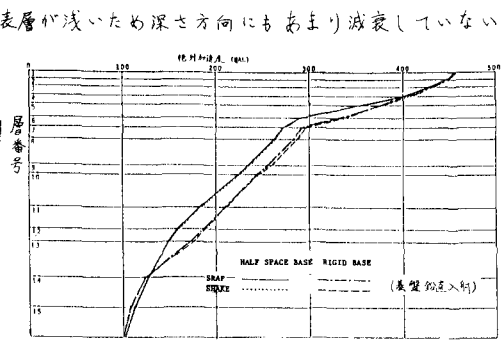


図4 実体波による最大加速度

図5 表面波による最大加速度

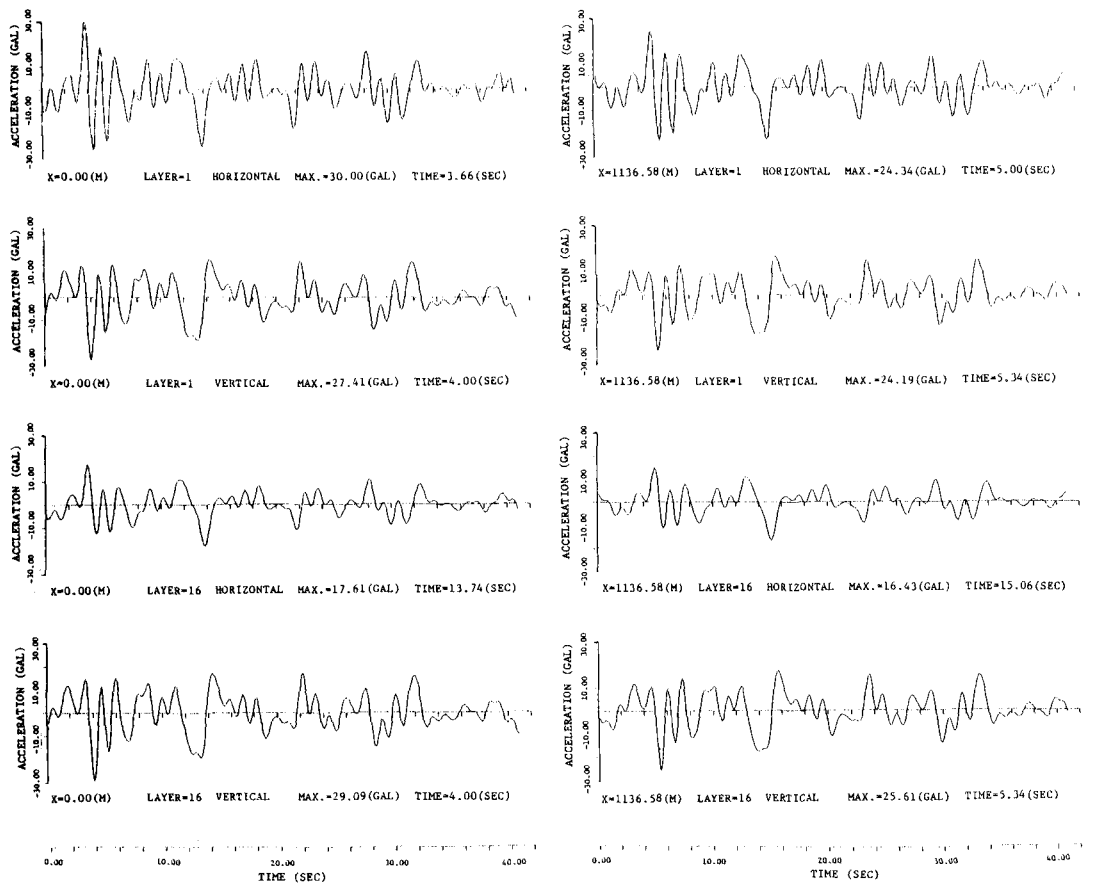


図6 表面波による加速度波形

参考文献

1) Schnable, P.B., Lysmer, J. and Seed, H.B. : SHAKE, A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites FERC Report 72-12, University of California, Berkeley, 1972