

平行多層地盤の応答解析

広島大学工学部 正員 佐藤 誠
同上 学生員 西 宏昌

1. まえがき

現在の耐震設計の目的が、各種の構造物や施設の地震による災害を防止もしくは軽減することであるからには、その原因となる地震時の地盤の挙動を十分に把握する必要がある。そのために、震源で発生した地震が地表にどのような形で伝達されるかを明らかにする必要がある。これらの問題を定量的に取り扱うために、地盤内における弾性波の重複反射理論が、しばしば用いられる。

しかしながら、現在この地震解析には、主としてSH波が垂直に入射する場合が取り扱われている。本報告は地表に水平及び垂直な変位成分を持つようにP波・SV波が基盤に任意角度で入射する場合の地表の応答倍率をSH波のそれを基準に比較検討したものである。

2. 解析方法

図-1に示す平行多層地盤を考へ、境界(1)を地表、才 $n+1$ 層を基盤とし、SH波が基盤の上境界に任意角度で入射した場合を考える。才 l 層を才 l と境界 $(l-1)$ と (l) とにおける変位成分 U_y と応力成分 τ_{xy} の関係は、以下の様に書ける。

$$\begin{Bmatrix} U_y^{(l)} \\ \tau_{xy}^{(l)} \end{Bmatrix} = [a]_l \begin{Bmatrix} U_y^{(l-1)} \\ \tau_{xy}^{(l-1)} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ここで、係数行列の要素 a_{ij} は才 l 層の値に添字 l をつけると、

$$a_{11} = \cos(\eta_l d_l), \quad a_{12} = \frac{1}{\mu_l \eta_l} \sin(\eta_l d_l),$$

$a_{21} = -\mu_l \eta_l \sin(\eta_l d_l), \quad a_{22} = a_{11}$ であり、 μ はラメの定数、 $\eta_l = \frac{\omega}{C_{TL}} \cos \gamma_l$ である。また、 C_{TL} は横波の速度、 γ_l はSH波のSnellの法則を満足する入射、反射角、 ω は基盤へ入射する波の円振動数である。

以下、 $[a]_l$ は、伝達行列と呼ぶことにする。(1)式を境界(1)から (n) までに順次用いると(2)式となる。

$$\begin{Bmatrix} U_y^{(n)} \\ \tau_{xy}^{(n)} \end{Bmatrix} = [a]_n [a]_{n-1} \cdots [a]_2 \begin{Bmatrix} U_y^{(1)} \\ \tau_{xy}^{(1)} \end{Bmatrix} = [A] \begin{Bmatrix} U_y^{(1)} \\ \tau_{xy}^{(1)} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

したがって、各層の物質特性と基盤での入射角、入射波の振中および調和振動数が、既知ならば、容易に各境界での応答倍率を求めることができる。

SV波・P波入射についても、伝達行列を求めて同様に解析できる。¹⁾

3. 解析結果と考察

解析に用いた平行多層地盤の層性質を表-1に示す。これは、文献2)に示された地盤例の才2種、才3種地盤の一つである。なお、ポアソン比は仮定した。また、ここでは、入力地震周期を、 $T = 0.05 \sim 2.0 \text{ sec}$ に限定して考察を行なった。SH波を入射波とし、基盤への入射角 $\gamma = 30^\circ$ とし縦軸に地表の応答倍率、横軸に Q_2 として横波の表層における波数と表層の層厚の積をとり、才3種地盤を解析した結果と、図-2に示す。また、同様にP波を入射波とした場合の結果を図-3に示す。この場合文献2)で定義された基本固有周期 T_0 における応答倍率より第2次固有周期での応答倍率の方が、大きな値を持つ場合がある。また、入射角 30° の場合のSH波に対する変位とP波に対する変位の応答倍率を比較すると、応答倍率のピークを生じる周期が良く一致している。

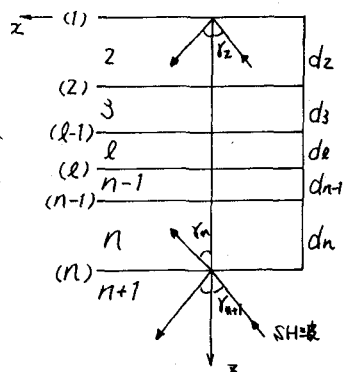


図-1 多層地盤モデル

これは、垂直入射以外では入射P波および透過P波は、各境界でS波成分を生ずるが、本研究の対象とした地盤例では、基礎面をはさむ上下の層の ρc の差が、他の境界に比較して最大であるため、そこで生ずるS波成分の応答特性が基礎上部の層境界で発生するS波成分より支配的なためである。次に、第2種地盤にSV波、SH波が、 $\delta=40^\circ$ で入射した結果を図-4に示す。縦軸は、地表の変位の応答倍率である。基本固有周期 T_g におけるSV波の応答倍率は、急激に大きくなる。また、SV波 U_y

Location & T_g (s)	C_T (m/s)	ρ (t/m ³)	d (m)	ν	Location & T_g (s)	C_T (m/s)	ρ (t/m ³)	d (m)	ν	
第2種 L6) 0.30	150.4	1.4	2.8	0.45	第3種 L9) 0.43	118.7	1.9	3.1	0.45	
	205.5	1.9	3.2			200.5	1.9	3.3		
	160.1	1.4	1.4			316.8	2.1	5.9		
	318.5	2.1	4.5			328.0	2.1	2.3		
	295.3	2.1	1.2	$\bar{\rho} = 2.1$ (t/m ³)		267.4	1.8	0.8	$\bar{\rho} = 1.95$ (t/m ³)	
	328.9	2.1	1.1			314.0	2.1	3.0		
	282.0	1.8	3.3			269.2	1.8	7.7		
	500	2.1	∞			500	2.1	∞		

表-1 解析地盤

の応答倍率がSV波 U_y のものを T_g 付近で大きく上まわる。これは、入射角 40° ではSV波が境界角を超え反射P波が内部境界波となり、水平動、上下動共に境界面で急激に大きな値を持つことによる。

4. おとめ

1) SH波が基礎に垂直に入射する時、基本固有周期 T_g より、第2次固有周期の方が大きな応答倍率を示す場合があり、 T_g が卓越周期を示すとは限らない。

2) P波入射の場合、ここで扱ったような地盤については境界で発生するP波とSV波は以後それぞれの成分が独立して層内を伝達すると思われることができる。

3) 地表の応答を正確に知るには、特に基礎に垂直に入射しない波動に対しては、SH波のみならずSV波の応答解析が不可欠である。

4) 本解析によ、P波・S波による固有周期をより正確に求めることが出来るのが明らかになった。

参考文献 1) 佐藤 誠: "平行多層地盤に対する調和SV波の伝播解析", 土木学会論文報告集, 第328号, PP57~88, 1982年12月

2) 日本道路協会; "道路橋示方書, 同解説, 耐震設計編", 日本道路協会, PP88~102, 1980年

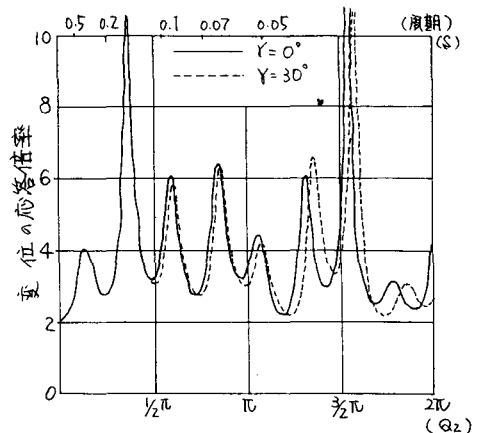


図-2 変位の応答倍率, SH波・地表

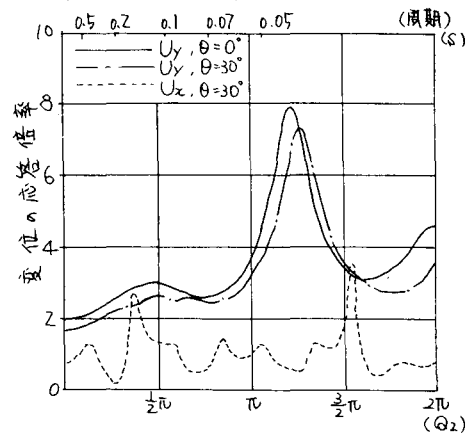
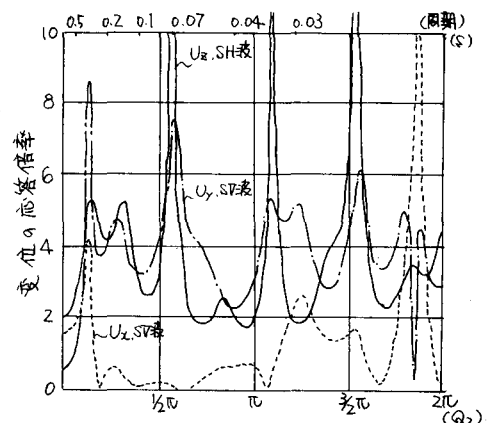


図-3 変位の応答倍率, P波・地表

図-4 変位の応答倍率, S波・地表, $\delta=40^\circ$