

傾斜基盤のある地盤の震動解析

京都大学防災研究所 正員 土岐憲三
 奥村組 ○正員 田辺裕之

1. まえがき 地質や地盤構成の不連続な地域において、地震による被害が集中して生じることはいろいろな地震において古くから経験するところである。特に、堅固な地盤から軟弱な地盤へと急変する地域での被害がその両側より著しい例がしばしば見られる。そこで本研究ではそのような不連続な地形のフとして、傾斜基盤のある地盤、すなわちくさび型表層地盤の場合を考慮することとし、このような地盤モデルに対してSH波がいろいろな角度で入射する場合を対象として弾性波動理論を適用し、その震動特性についての検討を行った。

2. くさび型表層地盤におけるSH波の重複反射

図-1に示すように、媒質0から媒質1に入射したSH波は地表面や境界面で反射することによって表層地盤の傾斜角 θ だけ反射角が増えていく。したがって、境界面に一樣な平面

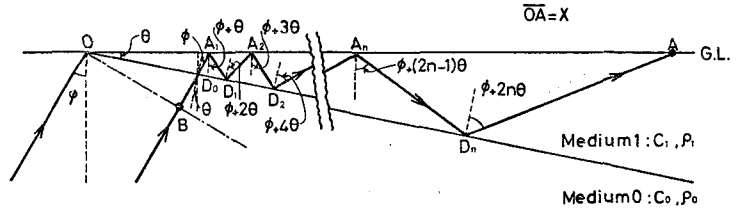


図-1 モデル図

波が入射する場合には、いつかは地表面での射出角が傾斜角より小さくなるから、地表面のある点で観測される波線の数は有限となる。その数Nは次式を満たすnの最大値である。

$$0 \leq n < \frac{90^\circ - \phi - \theta}{2\theta} \quad \phi: \text{屈折角} \quad (1)$$

ここに、nは観測点に達するまでの境界面との反射回数であり、境界面で屈折してただちに観測点に達した波線はn=0である。n=kの波線の走時 T_k は図-1のO点に入射した波線のO点での位相との差である。すなわち、B点からA点まで進むのに要した時間である。観測点Aでの地動は反射回数nが0からN回のもものが重複したもので、その変位 v_A は式(2)で与えられる。

$$v_A = 2 \sum_{k=0}^N A_k \cdot \exp\{i\omega(T_k - t)\} \quad (2)$$

ここに A_k はn=kの波線の観測点Aにおける振幅、 ω は角振動数である。 A_k は反射と屈折の振幅の関係式から次式で与えられる。

$$A_0 = \frac{2}{1 + \beta_0} A_i \quad \beta_0 = \frac{\rho_1 C_1 \cos \phi}{\rho_0 C_0 \cos(\phi - \theta)} \quad (3)$$

$$A_k = A_0 \cdot \prod_{i=1}^k \frac{1 - \beta_i}{1 + \beta_i} \quad \beta_k = \frac{\beta_0 C_0 \sqrt{1 - (C_0/C_1)^2 \sin^2(2k\theta + \phi)}}{\rho_1 C_1 \cos(2k\theta + \phi)} \quad (4)$$

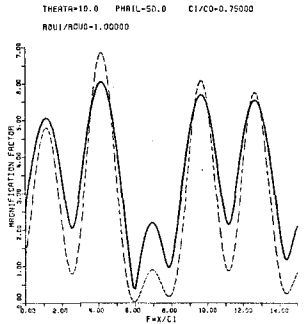
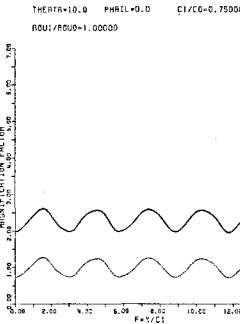
$$(1 \leq k \leq N)$$

TOKI KENZO, TANABE HIROYUKI

ここに、 A_i は媒質0からの入射波の振幅、 ρ_0 は媒質0の密度($\rho=0.1$)、 C_0 は媒質0のS波速度($\rho=0.1$)、 ψ は鉛直線から測って時計方向を正とした入射角である。

3. 数値解析結果

図2~4は式(2)に基づき計算した変位応答倍率と波動エネルギー比を示したもので、それぞれを実線と破線で表わしている。横軸は無次元パラメータ $F \times C_1 / C_0$ であり、 F は周波数、 C_1 は媒質1内のS波速度、 X は0点からの距離である。したがって、 X と C_1 を一定値とすればこれらの



図は周波数応答曲線となり、 C_1 と F を一定にすれば0点からの距離に対する応答倍率分布曲線となる。図2~4は傾斜角が一定の 10° で、入射角が 0° 、 50° 、 70° と変化した場合

図-3 地表面での応答($\psi=50^\circ$)

で、波動の入射してくる方向によって地表面での応答特性が著しく変化することがわかる。一方、入射角が 0° 、すなわち鉛直下方から入射する場合の応答特性が一次元の重複反射法によりどの程度まで近似できるかを検討した結果の一例が図5である。図5は地盤に対する表層地盤のインピーダンス比 R_C/R_0 は0.75にとり、縦軸は変位応答倍率である。これらの結果によれば傾斜角が 10° 程度までは傾斜基盤のある場合でも一次元の平行層モデル

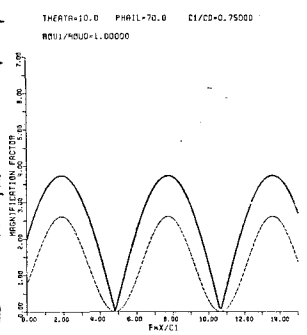


図-4 地表面での応答($\psi=70^\circ$)

で近似できることがわかる。多くの数値計算の結果によれば、変位応答倍率の分布形は大まかに次の4種類のパターンに分けられる。1) 正弦波型(図2)、2) 不規則型(図3)、3) 最小値が0になる山型(図4)、4) 一定値型、これらの分布形の現われかたは重複された個々の波がどれぐらいの振幅を持っているかに大きく依存している。上述の4種類の中で、大きな応答倍率の現われる可能性のあるものは2)、3)の場合である。地盤に対する表層地盤のインピーダンス比は図2~4では、いずれも0.75であるが、これを0.5、0.33と変えた場合の計算の結果等から、インピーダンス比が小さくなるほど増幅率の大きくなる入射方向の範囲が広くなることがわかる。また、傾斜角 θ が浅いほど入射角 ψ が正で、水平方向に近い入射波における応答倍率が大きくなる。傾斜角が深い場合には鉛直下方に近い入射波における応答倍率が大きくなることなども明らかである。

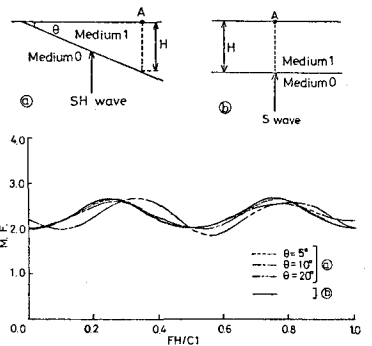


図-5 傾斜基盤のあるモデル(a)と平行層モデル(b)の変位応答倍率の比較 ($\psi=0^\circ$, $C_1/C_0=0.75$, $R_C/R_0=1.0$)

参考文献 佐藤泰夫; 弾性波動論, 岩波書店, 1978. Ishii H. and R.M. Ellis; Multiple Reflection of Plane SH Wave by a Dipping Layer, B.S.S.A., Vol. 60, NO. 1, pp. 15-28, 1970.