

日本大学 正員 色部 誠 柏市役所 古市 等 宅地開発技術サービス 山口 博文

まえがき

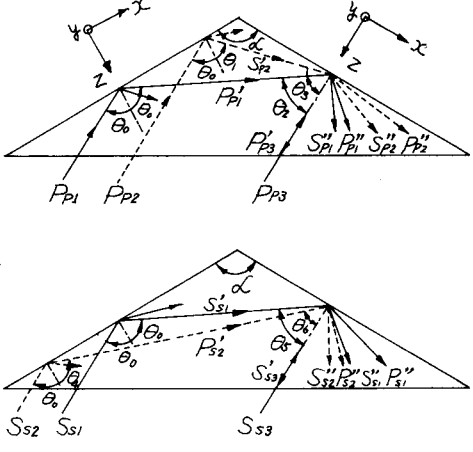
最近の被害地震では斜面災害の多いが目立つようである。そこで、
① 1974年伊豆半島沖地震、② 1978年伊豆大島近海地震、③ 1978年宮城県沖地震をとりあげ、震源地と斜面の位置関係に着目する。一般に、震源地側斜面に滑落が起こりやすいと思われがちであるが、必ずしもそうではおらず表-1に示す地区において震源地反対側斜面に滑落が起きていることがわかった。これは、震源地側斜面に入射した地震波による反射波と直接震源地反対側斜面に入射した地震波が合成された結果、滑落が起きたものと考えられる。そこで、本小文では、媒体が線形弾性体でありかつその幾何学的形状が比較的簡単である山をモデルとして考え、震源地反対側斜面において滑落が起こることを証明するものである。

表-1 震源地反対側斜面の滑落地区

地震名	地区名
① 伊豆半島沖地震 M=6.9	石廊崎 入間
② 伊豆大島近海地震 M=7.0	梨本 川横
③ 宮城県沖地震 M=7.4	緑ヶ丘 黒松

1 モデル

- i) モデルの山は二次元 (u_x, u_z はY方向には変化がなく、 y 方向の変位 u_y は x, y, Z の3方向に変化ないとしている。)で弾性媒体とする。
- ii) 本小文では、震源地反対側斜面において最大の変位が生ずる場合を想定するため、地震波は図-1のように震源地反対側斜面に対して直角に入射する方向に進むものとする。
- iii) 震源地反対側斜面の任意の点において、震源地側斜面に入射するP波によって生ずる反射波 P_1', S_1' とS波によって生ずる反射 S_2, P_2 波及び震源地反対側斜面に直角に入射する P_3, S_3 波の6種が入射するものとする。



上:P波,下:S波

図-1 P波,S波の入射反射経路モデル

2 解析方法

二次元波動方程式は、 ϕ, ψ なる二つの変位ポテンシャルを用いて次式で表わされる。

$$\nabla^2 \phi = \frac{1}{U_P^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} \text{-----(1)} \quad \nabla^2 \psi = \frac{1}{U_S^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} \text{-----(2)}$$

ϕ, ψ はそれぞれP波、S波の伝播速度特性をもったものであり、その変位は次式で表される。

$$u_x = \frac{\partial \phi}{\partial x} + \frac{\partial \psi}{\partial z}, \quad u_z = \frac{\partial \phi}{\partial z} - \frac{\partial \psi}{\partial x} \text{-----(3)}$$

P波及びS波が図-2のように入射したときの入射P波、反射P波、反射S波及び入射S波、反射P波、反射S波の変位ポテンシャル ϕ_0, ϕ_1, ϕ_2 及び ψ_0, ψ_1, ψ_2 は次式で表わされる。

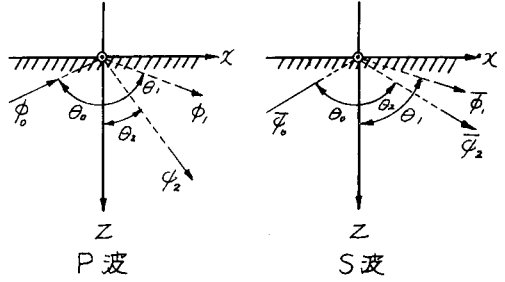


図-2 P波,S波地表面の反射

$$\left. \begin{aligned} \phi_0 &= A_0 \exp \left[\frac{i\omega}{v_p} (v_p t - \sin \theta_0 x + \cos \theta_0 z) \right] \\ \phi_1 &= A_1 \exp \left[\frac{i\omega}{v_p} (v_p t - \sin \theta_0 x - \cos \theta_0 z) \right] \\ \phi_2 &= B_2 \exp \left[\frac{i\omega}{v_p} \left(v_p t - \sin \theta_0 x - \sqrt{\left(\frac{v_p}{v_s} \right)^2 - \sin^2 \theta_0} z \right) \right] \end{aligned} \right\} \text{---(4)}$$

$$\left. \begin{aligned} \phi_0 &= B_0 \exp \left[\frac{i\omega}{v_s} (v_s t - \sin \theta_0 x + \cos \theta_0 z) \right] \\ \bar{\phi}_1 &= A_1 \exp \left[\frac{i\omega}{v_s} \left(v_s t - \sin \theta_0 x - \sqrt{\left(\frac{v_s}{v_p} \right)^2 - \sin^2 \theta_0} z \right) \right] \\ \bar{\phi}_2 &= B_2 \exp \left[\frac{i\omega}{v_s} (v_s t - \sin \theta_0 x - \cos \theta_0 z) \right] \end{aligned} \right\} \text{---(5)}$$

- i) 上式において A_1, B_2 は境界条件 $Z=0$ のとき $G_{zz}=0, G_{zx}=0$ によって調整する。
- ii) 震源地側斜面の変位 u_x', u_z' は、入射波 P_1, S_1 とその反射波 P_1', S_1' の合成波動を考える。
- iii) 震源地反対側斜面の変位 u_x, u_z は、入射波 $P_1', S_1', P_2, S_2, S_3$ とその反射波 $P_1'', S_1'', P_2'', S_2'', P_3, S_3$ の合成波動を考える。
- iv) ii), iii) によって求めた変位 u_x', u_z', u_x, u_z を用いて震源地側斜面の合成変位 U' と、震源地反対側斜面の合成変位 U との比率 K_1 、また震源地反対側斜面の合成変位 U と震源地反対側斜面に直角入射する地震波の合成変位 U'' との比率 K_2 を求める。
- v) 計算において、ポアソン比 $\gamma = 0.25$ (すなわち $v_p/v_s = \sqrt{3}$) とする。

3 結果と考察

i) 図-3よりそれぞれの斜面の変位 u_x', u_z', u_x, u_z の符号は負, 正, 正, 正となった。これは、図-1よりわかるように震源地側斜面において u_x は斜面上も下側へ向かって変動することを示し、 u_z は地上面につきあげる方向へ変動することを示し、震源地反対側斜面においても u_x は下側へ向かって変動することを示し、 u_z は地上面につきあげる方向へ変動することを示している。これらから地震波は斜面の滑落が起こりやすいように作用していることがわかる。

ii) 図-4より頂角 α が大きくなるにつれて K_1 値は小さくなり 130° 近くで最小となる。このことは頂角が大きくなるにしたがって震源地側斜面と震源地反対側斜面の変位に差がなくなっていくことを示している。

iii) 図-5において K_2 値は最大でも約 1.5 であり大部分 1 に近い。このことは震源地反対側斜面における変位の大部分が斜面に直角入射した地震波によるものであり反射波 (P_1', S_1') によって生ずる変位はあまり大きくないことを示している。

iv) 震源地反対側斜面に任意角で入射する地震波とその反射波による合成変位は、直角入射のとき $2\sqrt{2}$ となり斜面の変位は最大となる。

以上のことをまとめると、震源地反対側斜面に地震波が直角入射した場合においては、震源地側斜面より震源地反対側斜面における変位の方が最低でも 2 倍近く大きい。このことから、震源地反対側斜面において滑落が起こることがわかる。

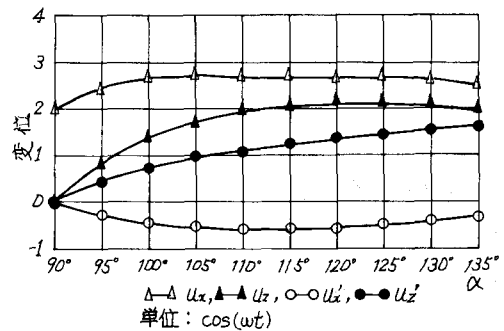


図-3 u_x, u_z, u_x', u_z' の変位図

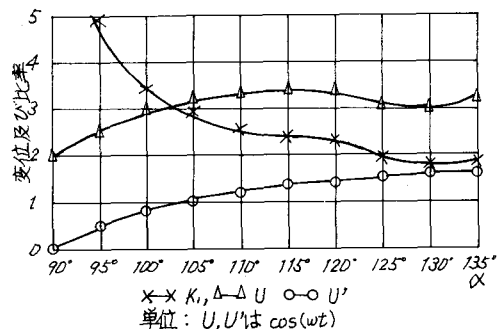


図-4 U, U' の変位及び K_1 値

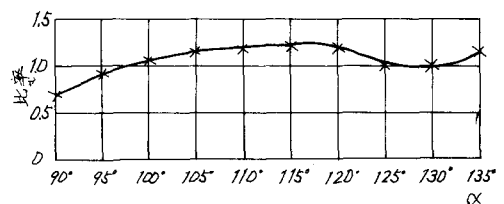


図-5 K_2 値