I-245 地盤定数の不確定性を考慮した斜面の動的応答解析

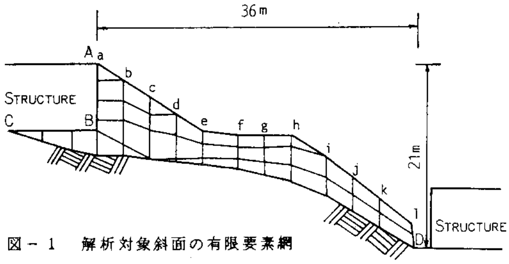
京都大学大学院　学生員　国近光生
山口大学工学部　正会員　三浦房紀
山口大学工学部　正会員　古川浩平

1．まえがき

従来、斜面の動的応答解析に際しては、斜面の地盤定数は確定量として扱われている。しかし、この地盤定数は本来ばらつきをもつものであるから、これを確定量としてではなく、確率量として考えれば斜面の動的応答量の評価をより合理的に行なえると考えられる。この様な観点から本研究は斜面の地盤定数に内在する不確定性が動的応答量に及ぼす影響を線形一次近似理論を用いて調べたものである。

2．解析対象斜面および地盤定数の変動

解析の対象とした斜面の有限要素網を図1に示す。図中のA-B-C-D 線上の節点変位は拘束されており、ここから地震波が入力される。斜面の地盤定数は、ボーリング調査結果および室内試験結果を基に、平均値（E）および変動係数を求めた。[1] ここでは不確定要因として、せん断弾性係数、ポアソン比、単位体積重量及び減衰定数をとり上げた。得られた結果を表1にまとめて示す。これより、最も変動係数が大きいのはせん断弾性係数であり、次いで減衰定数であることがわかる。



図－1　解析対象斜面の有限要素網

表－1　地盤定数の平均値と変動係数

不確定要因	平均値	変動係数
せん断弾性係数	3720.0 tf/m²	0.28
ポアソン比	0.40	0.01
単位体積重量	1.62 tf/m³	0.06
減衰定数	0.20	0.20

3．ランダム固有値解析

まず線形一次近似理論を用いて斜面に内在する不確定要因が固有値、固有ベクトルの変動に与える影響を調べる。j次の固有値、固有ベクトルをそれぞれ λ_j 、ϕ_j とすると線形一次近似理論による固有値、固有ベクトルの平均値および分散は、それぞれ次式で与えられる。[2]

$$\mu_{\lambda_j} = \lambda_j(\mu_{r_1}, \mu_{r_2}, \cdots, \mu_{r_m}) \tag{1}$$

$$\mu_{\phi_j} = \phi_j(\mu_{r_1}, \mu_{r_2}, \cdots, \mu_{r_m}) \tag{2}$$

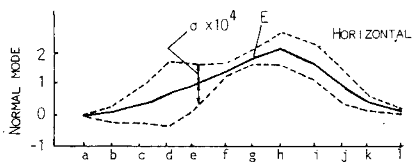
$$\sigma_{\lambda_j}^2 = \sum_{\ell=1}^{m}\left(\frac{\partial \lambda_j(\mu_{r_1}, \mu_{r_2}, \cdots, \mu_{r_m})}{\partial r_\ell}\right)^2 \sigma_{r_\ell}^2 \tag{3}$$

$$\sigma_{\phi_j}^2 = \sum_{\ell=1}^{m}\left(\frac{\partial \phi_j(\mu_{r_1}, \mu_{r_2}, \cdots, \mu_{r_m})}{\partial r_\ell}\right)^2 \sigma_{r_\ell}^2 \tag{4}$$

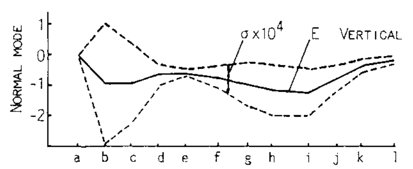
但し、μ_{λ_j} 、μ_{ϕ_j} はそれぞれ固有値、固有ベクトルの平均値を、$\sigma_{\lambda_j}^2$ 、$\sigma_{\phi_j}^2$ はそれぞれ固有値、固有ベクトルの分散をまた、$\sigma_{r_\ell}^2$ は不確定要因 r_ℓ の分散を表わす。(2),(4) 式中の固有値 λ_j および固有ベクトル ϕ_j の不確定要因 r_ℓ による偏微分の具体的表示式は文献 (2)を参照されたい。

表－2　固有値の変動

モード	固有値 (rad/s)²	不確定要因		
		せん断弾性係数	ポアソン比	単位体積重量
1	2959.6	0.257	0.00180	0.0552
2	4132.0	0.314	0.00492	0.0673
3	6264.1	0.262	0.00347	0.0562



（a）水平成分



（b）鉛直成分

図－2　固有モードの平均値と標準偏差

得られたそれぞれの不確定要因による固有値の平均値および変動係数は表2に示す通りである。これよりせん断弾性係数、ポアソン比、単位体積重量の変動による固有値の変動は、入力した不確定要因の変動量とほぼ同じ程度の大きさとなること、ポアソン比の固有値に及ぼす影響は無視できるほど小さいので考えなくてもよいことがわかる。次に、固有ベクトルの変動に関しては、上記3つの不確定要因による固有振動モードの変動量は小さく、固有値の変動に最も大きい影響を及ぼすせん断弾性係数にしても図2に示すように変動量はごくわずかで無視できる程度のものである。ただし、この図は斜面の表面のみを考え、水平、鉛直方向を別々に示してある。なお平均値Eに対して標準偏差σは10^4倍して示してあることに注意を要する。

4．不確定要因による動的応答量の変動

地震外力が平均値0の定常確率ガウス過程と考えると、動的応答量も同様に平均値0の定常確率ガウス過程となり応答変位の最大値$|x|_{max}$は次式で与えられる[2]。

$$|x|_{max}=\sqrt{2\sigma_x^2 \ln\left(\frac{T}{\pi}\frac{\sigma_{\dot{x}}}{\sigma_x}\right)} \tag{5}$$

ここに、σ_x、$\sigma_{\dot{x}}$は応答変位x、応答速度$\dot{x}$の標準偏差で、Tは振動の継続時間である。σ_x、$\sigma_{\dot{x}}$は入力をホワイトノイズとすると、ホワイトノイズレベル So、固有値、固有ベクトル、刺激係数の関数として与えられる。

線形一次近似理論によると、最大応答変位の平均値および分散$\sigma^2_{|x|_{max}}$は次式で表わされる[2]。

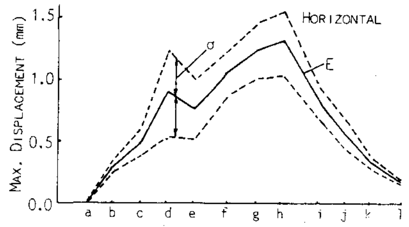
$$\mu_{|x|_{max}}=|x|_{max}(\mu_{r_1},\mu_{r_2},\cdots,\mu_{r_m}) \tag{6}$$

$$\sigma^2_{|x|_{max}}=\sum_{l=1}^{m}\left(\frac{\partial|x|_{max}(\mu_{r_1},\mu_{r_2},\cdots,\mu_{r_m})}{\partial r_l}\right)^2\sigma_{r_l}^2 \tag{7}$$

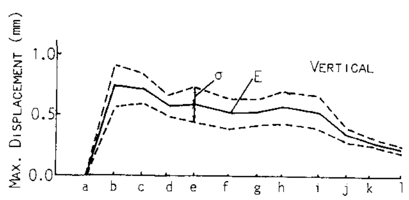
ここでは、So として入力の平均加速度が約150galとなるように So ＝0.003($m^2/s^4/rad/s$) とし、振動の継続時間は10秒とした。その結果、ポアソン比、単位体積重量の変動が応答量の変動に与える影響は小さいものであった。影響の大きいせん断弾性係数の場合を図3に、減衰定数の場合を図4に示す。これらの図より斜面の層が厚い所ほど最大応答量の変動が大きいことがわかる。

以上の結果、斜面の問題を取り扱う上で注意を払うべき不確定要因としては、せん断弾性係数と減衰定数であり、ポアソン比、単位体積重量については考慮しなくてもよいものと考えられる。

最後に本研究を進めるに当り、有益な助言をいただいた山口大学工学部中川浩二教授に謝意を表する次第である。

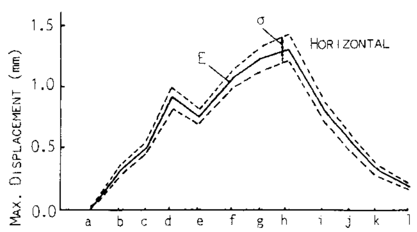


（a）水平成分

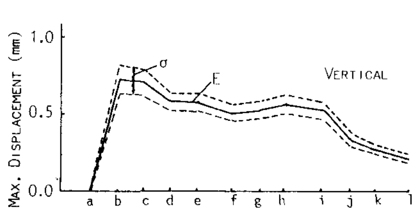


（b）鉛直成分

図－3　せん断弾性係数が最大応答の変動に与える影響



（a）水平成分



（b）鉛直成分

図－4　減衰定数が最大応答の変動に与える影響

参考文献　1）三浦、国近、古川、中川：地盤定数の不確定性を考慮した斜面の動的応答解析、山口大学工学部研究報告、第33号、1、1984．

2）山田、古川、北島：長大吊橋タワーピアー系の地震応答に及ぼす不確定要因の影響に関する研究、土木学会論文報告集、第293号、1980．