

I-629

地盤データの不確実性が地盤震動解析に
及ぼす影響に関する研究

和歌山工業高等専門学校 正員 辻原 治

1. はじめに

地盤の地震時応答解析にあたっては、一般に、地盤係数は確定量として与えられる。しかし、実際の地盤データには種々の要因によるばらつきや推定誤差が介在する。したがって、これらの不確実性が応答解析の結果に及ぼす影響を把握しておくことは重要である。

本研究では、地盤応答解析法として有限要素法を用い、モデル定数であるヤング率の周波数伝達関数に対する感度解析を行うとともに、一次近似法によって、ヤング率のばらつきが周波数伝達関数に及ぼす影響を検討した。

2. 解析法

◆一次近似法 いま、 U が複数の確率変数 $x_1, x_2, \dots, x_n$ の関数として次式で与えられているものとする。

$$U = u(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

関数 u を確率変数の平均値 $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n$ まわりでテーラー級数展開し、一次の項で打ち切ると、 U の平均と分散の一次近似が次式で得られる。

$$\bar{U} = E[U] \approx u(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n) \quad (2)$$

$$\text{Var}[U] \approx \sum_{i=1}^n c_i \text{Var}[x_i] + \sum_{i \neq j} c_i c_j \text{Cov}[x_i, x_j] \quad (3)$$

ここに、 $E[\cdot]$ 、 $\text{Var}[\cdot]$ 、 $\text{Cov}[\cdot, \cdot]$ はそれぞれ期待値、分散、共分散を表す。また、 c_i 、 c_j はそれぞれ関数 u の x_i 、 x_j に関する偏導関数の、 $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n$ における値である。このように、もとの確率変数の平均と分散から、その関数の平均と分散を予測することができる¹⁾。

◆確率有限要素解析 一般に、有限要素法において、変位と荷重の関係が式(4)で表されるものとする、

$$[K] \{u\} = \{f\} \quad (4)$$

パラメータ x_i に関する変位の偏導関数は式(5)で表される。

$$\left\{ \frac{\partial u}{\partial x_i} \right\} = [K]^{-1} \left\{ \left\{ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right\} - \frac{\partial [K]}{\partial x_i} \{u\} \right\} \quad (5)$$

ここに、 $\{u\}$ 、 $\{f\}$ はそれぞれ変位ベクトルおよび荷重ベクトルであり、 $[K]$ は剛性行列である。

動的な問題においても、周波数領域で表した運動方程式は式(4)の形に帰着するので、式(5)の偏導関数を求め式(3)に用いることにより、節点の周波数応答あるいは周波数伝達関数のばらつきを予測することが可能となる。

3. 解析及び結果の考察

◆地盤モデルと解析条件 解析には、図-1に示す2つの地盤モデルを用いた。それぞれ、表-1に示す3種類の媒質からなる。Model 1 は成層地盤モデルであり、Model 2 は傾斜境界を有する不整形地盤モデルである。両モデルとも、底面は剛基盤と接するものとし、モデル側面は粘性境界を用いた。地盤パラメータについては、ヤング率のみばらつくものとし、他のパラメータは確定量とした。ただし、ばらつきは要素単位のものであり、か

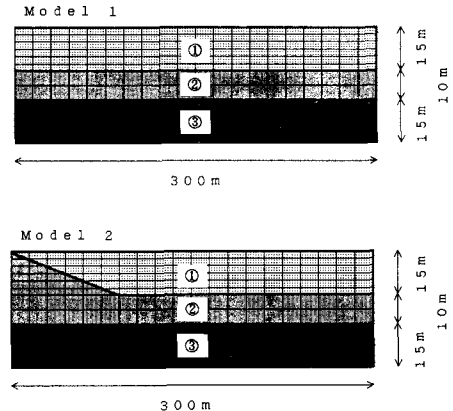


図-1 地盤モデル

つ、独立であると仮定している。なお、入力としては、面内水平成分のみを持つ平面波が鉛直入射するものとした。

◆解析結果 図-2 に、・印を付けた節点の周波数伝達関数に対する各要素のヤング率の感度を示す。各モデルの感度の最大値を100として、5段階で感度の大小を示している。ただし、ここでいう感度とは、要素 i のヤング率 E_i が微小量 ΔE_i ($\Delta E_i = 0.01 \times E_i$) だけ変化したときの、周波数伝達関数の変化量（偏微分係数 $\times \Delta E_i$ ）の絶対値を、解析周波数帯（1.0～10.0Hz）にわたって加え合わせた値である。両モデルとも、・印の下方の要素の感度が大きく、横方向に離れるにしたがって徐々に感度が小さくなる傾向があらわされている。Model 1と Model 2を比較すると、Model 2で感度20～30の領域が・印の左側で長くのびており、傾斜境界の影響が現れていることがうかがえる。図-3にはこのときの周波数伝達関数を示す。また、図-4には、要素のヤング率の変動係数をすべて0.2としたときの、周波数伝達関数のばらつきを変動係数で示している。Model 1では、変動係数の最大値は約0.6となっている。Model 2では、8.5Hz付近で変動係数が若干大きくなっているものの、Model 1と比較して顕著な差はみとめられなかった。

4. おわりに

本報告では、地盤パラメータのうちヤング率のみを対象として、パラメータのばらつきの独立性、鉛直入射波、底面固定境界などの条件の下に解析を行った。今後、種々の解析条件において、他のパラメータについても検討する予定である。

謝辞

本研究は、平成2年5月から平成3年2月の間、著者が京都大学・防災研究所・都市施設耐震システム研究センターにおいて、文部省内地留学中に行ったものである。終始ご指導いただいた亀田 弘行教授ならびに貴重なご助言をいただいた赤松 純平助教授をはじめ同センターの方々にはたいへんお世話になりました。ここに記して、深く感謝の意を表します。

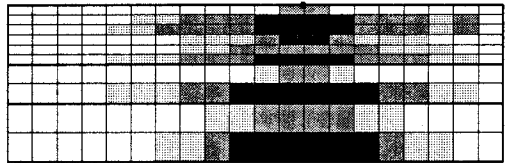
参考文献 1) Ang., Tang著, 伊藤, 亀田訳, 土木・建築のための確率・統計の基礎, 丸善, 1977

表-1 地盤パラメータ

深質	単位体積重量 (t/m ³)	ポアソン比	S波速度 (m/s)	Q値	ヤング率 (t/m ²)
①	1.3	0.49	150	1.0	8.78×10^4
②	1.7	0.48	300	2.0	6.29×10^4
③	2.0	0.47	700	3.0	2.28×10^5



Model 1



Model 2

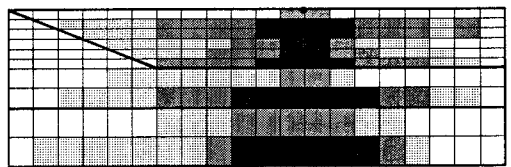
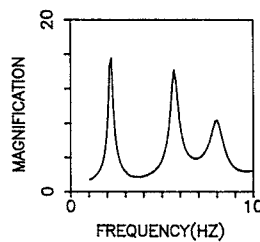


図-2 要素のヤング率の感度解析結果

Model 1



Model 2

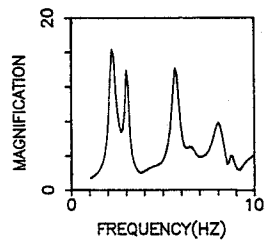
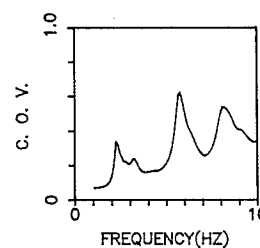


図-3 周波数伝達関数

Model 1



Model 2

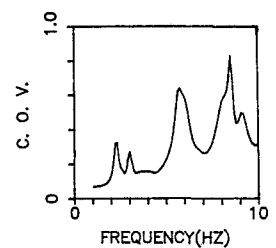


図-4 周波数伝達関数の変動係数