

地盤物性値の誤差が地盤の地震応答解析に及ぼす影響について

豊橋技術科学大学 〇木田 秀人
 豊橋技術科学大学大学院 園田 一博
 豊橋技術科学大学 正会員 Leelawat Chartchai
 豊橋技術科学大学 正会員 栗林 栄一

1. はじめに 地盤の振動解析に際して、地盤を構成する土の非線形特性を適宜線形化して、連続な弾性体としてみなすことが行われる。このような場合には地盤の力学的な特徴は密度、せん断弾性係数などの地盤物性値のような定数で表現されることが多く、それらは確定値として取り扱うのが一般的であるが、これらの地盤物性値にはそれ自身が本来持っているばらつきや、それを推定する際に生じる誤差といった不確定な要素が含まれている。本研究では、地盤物性値（密度、せん断弾性係数）のばらつきおよび推定誤差に着目し、これが地盤の地震応答解析結果に及ぼす影響について検討する。

2. 解析概要 豊橋技術科学大学とその周辺に設置された地震観測システムの観測点の1つである天伯小学校の地盤を解析モデルとし、5層の実地盤を等価の層に置換した3層のモデル地盤である。基盤層は確定値とする。

表-1 解析定数

	密度の平均値 ρ (t/m ³)	せん断弾性係数の 平均値 G (tf/m ²)	層厚 H (m)	せん断波速度の 平均値 V_s (m/sec)
第1層	1.7	8,108	5.0	187.6
第2層	2.1	35,828	28.5	408.9
基盤層	2.5 *	81,837 *	-	600.0 *

* 確定値

平行な成層地盤における鉛直入射波の応答は重複反射理論²⁾により求められる。本論文では、基盤面からの入射波の振幅が1の場合に対する地表面での振幅の大きさを求める。表層が地表から順に第1層、第2層からなり、基盤層が第3層である地盤において、振幅 U_1 は ω の関数となり、

$$U_1(\omega) = \frac{2}{\sqrt{[R_2(1,1)]^2 + [R_2(2,1)/(G_3 k_3)]^2}}$$

と表される。ここで $R_2(1,1)$ 、 $R_2(2,1)$ はそれぞれ $[R_2]$ の第1行第1列および第2行第1列の係数である。第3層から上層に向かってSH波が鉛直に入射する場合、 $[R_2]$ は

$$[R_2] = [S_2][S_1]$$

$$[S_n] = \begin{bmatrix} \cos(k_n H_n) & \sin(k_n H_n)/(G_n k_n) \\ -(G_n k_n)\sin(k_n H_n) & \cos(k_n H_n) \end{bmatrix}$$

k_n : 波数(ω/c_n) c_n : 第 n 層内でのせん断波速度
 G_n : 第 n 層でのせん断弾性係数 ω : 円振動数

本研究では、解析振動数は20Hz、標本点間隔は0.02Hzである。

3. 地盤物性値のばらつきの考慮 ばらつきをもつ地盤物性値として、せん断波速度(V_s)を決定する密度(ρ)とせん断弾性係数(G)を考える。

密度のばらつきの程度は変動係数(COV、標準偏差/平均値)にして0.02~0.08³⁾であるので、本研究では、0.00、0.05、0.10の変動係数を持つように標準偏差を決めた。

せん断弾性係数は、 N 値と土のせん断波速度の回帰式およびせん断弾性係数とせん断波速度の関係式の両式から推定されるせん断弾性係数は、 N 値の変動係数は0.3程度であることから大きなばらつきをもっていると思われる、本研究では、0.0、0.1、0.2、0.3の変動係数を持つように標準偏差を決めた。

次に平均、標準偏差の推定法として、モンテカルロシミュレーション(10,000回)を採用した。土の密度は正規分布に従うことが明らかになっている³⁾が、せん断弾性係数についても簡単のため正規分布に従うと仮定した。

4. 解析結果、および考察 密度およびせん断弾性係数の変動係数における、固有振動数と応答倍率の関係を図-1と図-2に示す。図-1は、第1、2層のせん断弾性係数の変動係数を変化させて表したもので、密度の変動係数は0.10である。せん断弾性係数の変動係数が増加するにつれて、卓越

振動数が減少し、応答倍率も減少している。図-2は、密度の変動係数を変化させて表したもので、せん断弾性係数の変動係数は0.2である。密度の変動係数が増加するにつれて、卓越振動数も応答倍率も、ほとんど変化がない。

地盤が固有振動数の調和波入力によって共振に近い状態にあるときの変動係数と応答倍率の関係を図-3と図-4に示す。図-3の地盤の応答倍率の変動係数は、最大で0.21の変動係数をもつことがわかる。せん断弾性係数の変動係数が増加するにつれて、応答倍率の平均値が減少し、標準偏差が増加し、変動係数が増加しているが、変動係数が小さい場合は、共振点近傍の解析を行っているのに対して、変動係数が大きくなると共振点から外れた点で解析する回数が多いからと考えられる。図-4の地盤の応答倍率の変動係数は、ほとんど変化が無いことが分かる。密度の変動係数は、せん断弾性係数に比べて、応答倍率にほとんど影響がないと考えられる。

5. あとがき 本研究では、地盤物性値のばらつきおよび推定誤差に着目し、これが地盤の地震応答解析結果に及ぼす影響について検討する事を目的とした。これからの地震応答解析においては、地盤物性値の誤差を考慮する事が重要と考えられる。

- 参考文献 1) 北浦 勝・池本 敏和・鶴来 雅人：地盤係数の不確実性を考慮した地盤の地震応答に関する研究、土木学会構造工学論文集、1990
 2) 土岐 憲三：新体系土木工学11、構造物の耐震解析、技報堂出版、1981
 3) 松尾 稔：地盤工学—信頼性設計の理念と実際—、技報堂出版、1981

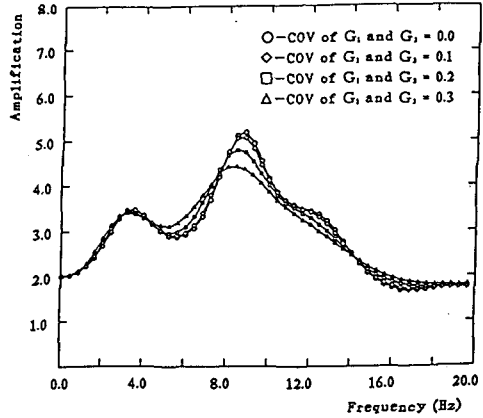


図-1 固有振動数と応答倍率の関係 (COV of ρ_1 and $\rho_2 = 0.10$)

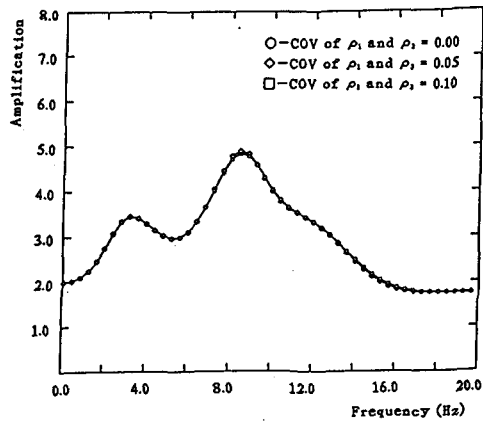


図-2 固有振動数と応答倍率の関係 (COV of G_1 and $G_2 = 0.2$)

注) COV : Coefficient of Variation 変動係数
 amp : Amplification 応答倍率
 $E[U_1(\omega)]$: $[U_1(\omega)]$ の平均値
 $\sigma[U_1(\omega)]$: $[U_1(\omega)]$ の標準偏差

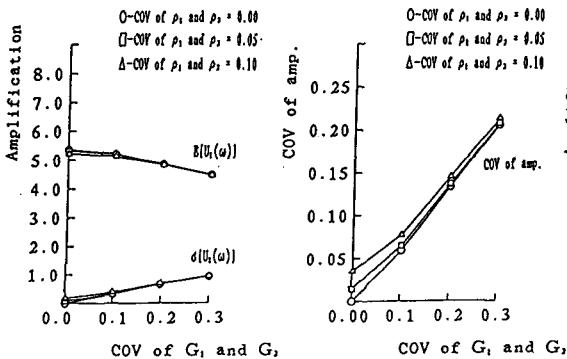


図-3 せん断弾性係数の変動係数と応答倍率の関係 ($\omega = 8.66\text{Hz}$)

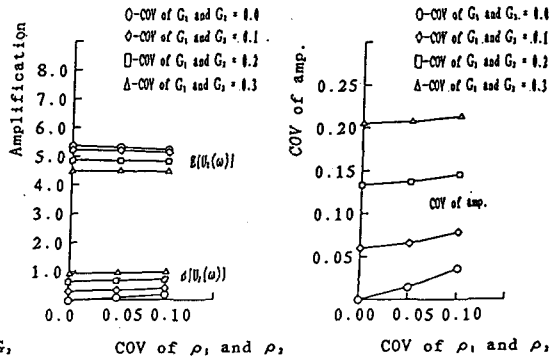


図-4 密度の変動係数と応答倍率の関係 ($\omega = 8.66\text{Hz}$)