

I-47 地盤物性のばらつきのモデル化とその地盤の地震応答に及ぼす影響

日本大学 工学部 中村 晋

1.はじめに

地盤の震動解析は、成層近似された地盤構造モデルの要素分割と、個々の要素に材料特性を設定するという過程によりモデル化された地盤モデルを用いて実施される。その際、地盤材料の空間的な不均質性の影響を適切に評価することが必要となる。それを地盤物性のばらつきとしてモデル化し、1次元地盤構造モデルを対象とした検討¹⁾が行われているが、地盤物性のばらつきのモデル化手法、地層分割の影響の評価についても十分とは言えない。

ここでは、地盤材料のばらつきを考慮した地盤モデルを対象とし、地盤材料のばらつきのモデル化が地盤の応答特性に及ぼす基本的な影響を伝達関数を用いて明らかにする。

2.地盤物性のばらつきを考慮するための地盤のモデル化

ここでは、図-1に示す厚さ30mの表層および基盤層からなる2層モデルを基本地盤構造モデルとする。表層地盤の質量密度 ρ 、Q値はそれぞれ定数 $1.8t/m^3$ 、50とした。せん断波速度は、その空間的な不均質性を考慮し、平均せん断波速度とそのばらつきを表す変動係数により設定する。ここで、平均せん断波速度 $\bar{V}_s$ は150m/s、その変動係数は0.1とした。

せん断波速度の空間的不均質性を考慮した地盤モデルには、三角級数法を用い、次式に示す相関距離を考慮したガウス場の確率地盤モデル⁵⁾（以後、モデル1と呼ぶ）を用いる。そのモデルは、式(5)に示すように平均値と空間的確率変動モデルとの和で表される。

$$V_s(z) = \bar{V}_s + f(z_p) = \text{Re}[\sqrt{2}(\sum_{i=0}^M A_i \exp\{i(k_z z_p + \phi_i)\} + \sum_{i=0}^M A_i \exp\{i(-k_z z_p + \phi_i)\})] \quad (1)$$

ここで、 ϕ_i 、 ϕ_i は0から 2π までのランダムな位相角、Mは深さ方向の要素数、 S_f は変動せん断波速度の空間軸方向のパワースペクトル、 R_f は自己相関関数であり、次式のようなガウス型の特性を用いる。

$$A_i = \sqrt{2S_f(k_z) \Delta k_z} \dots (2), S_f(k_z) = \sigma^2 \frac{d^2}{4\pi} \exp(-d^2 \frac{|k_z|^2}{4}) \dots (3), R_f(\xi) = \sigma^2 \exp(-\frac{|\xi|^2}{d^2}) \dots (4)$$

また、その地盤モデルとの比較として、表層地盤内の特性がランダムではあるものの、各層全体で正規分布の特性分布したと仮定したモデル2、各層毎の特性が正規分布の特性に従うとしたモデル3の2つのモデルとの比較を行う。それらモデルに応じた60層分割（各層厚さ0.5mm）に対する深度方向のせん断波速度構造モデルの一例を図-2に示す。

3.ばらつきのモデル化が周波数応答倍率に及ぼす影響

まず、地盤物性のばらつきの影響を評価する際の試行回数を設定するため、60層分割モデルを用い、試行回数が100、300、500、1000、3000、5000の6ケースに対する表層上下面間の平均伝達関数の最大増幅率を図-4に示す。これより、モデル1の増幅率は他の増幅率に比べ最も小さく、試行回数による差異、特に500回以上に対する差異は小さい。他のモデルでは、1000回以上において差異が小さい。

次に、前述の平均伝達関数の最大増幅率に及ぼす層分割とばらつきのモデル化の影響を把握するため、1か60層までの9個の分割モデルについて図-5に示す。図には、表層地盤の平均せん断波速度を用いた伝達関数の最大増幅率も合わせて示す。ここで、1、2、3層分割に対してはモデル2、またモデル1は60層分割のみとする。これより、地層分割数が増加するにつれ最大増幅率は増加するが、平均せん断波速度に対する増幅率より小さい。また、モデル3に対するモデル1の差異は1割程度であることが分かる。

最後に、せん断波速度構造のモデル1において、相関距離の及ぼす影響を把握するため、相関距離1.0、2.0、3.0mに対する平均伝達関数と伝達関数の変動係数を図-5に示す。これより、相関距離が大きくなると、平均伝達関数の増幅率が小さくなり、変動係数が大きくなっている。地震観測記録より得られる伝達関数の

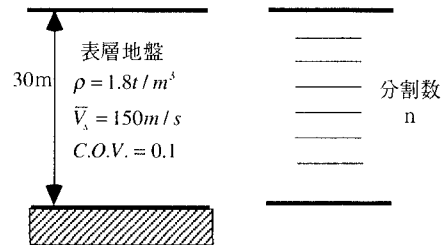


図-1 基本地盤モデル

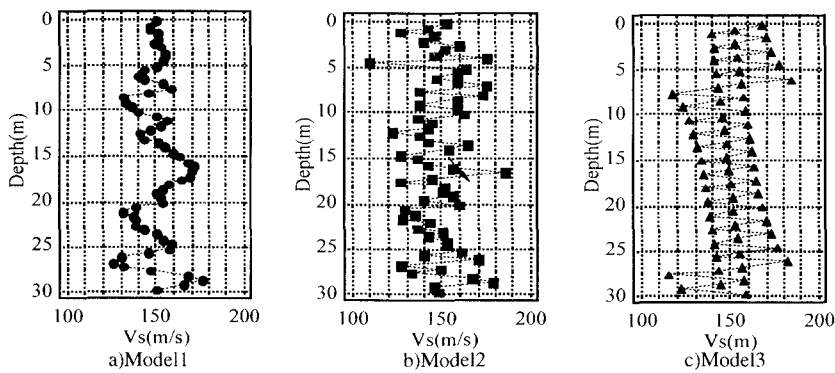


図-2 せん断波速度構造の空間的な不均質性モデルの一例

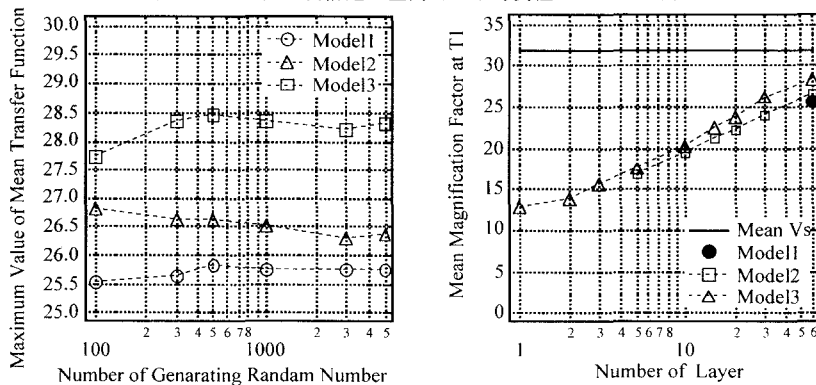


図-3 試行回数と伝達関数の最大増幅率の関係

図-4 層分割数と伝達関数の最大増幅率の関係

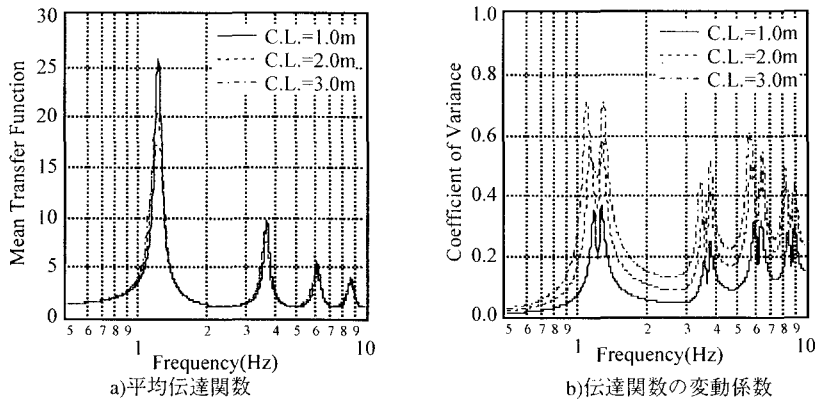


図-5 相関距離に応じた伝達関数の統計的性質

変動係数は0.2から0.3程度であることから、少なくとも相関距離1.0m程度のモデルが適当であると考えられる。

5. あとがき

ここでは、地盤材料のばらつきを考慮した地盤モデルを対象とし、ばらつきのモデル、地層分割などが地盤の線形応答に及ぼす影響について検討を行った。その結果、地盤媒質の不均質性を考慮した地盤のモデル化を行う際、そのモデル化自体より地層分割は地盤の周波数応答特性に大きく影響を及ぼすことが明らかとなった。

参考文献：1)例えば畠中仁，空野剛隆，棚村史郎，地盤の地震応答解析結果に与える初期速度構造の精度の影響，第26回地震工学研究発表会講演論文集，pp.453-456，2001，2)Fumio Yamazaki，Masanobu Shinozuka，Digital Generation of Non-Gaussian Stochastic Field，ASCE，Engineering Mechanics，Vol.114，pp.1183-1197，1988