

盛土地盤における地震動伝達関数の簡易推定法

岐阜大学大学院 学生会員 ○細木 洋輔

岐阜大学工学部 正会員 古本 吉倫

岐阜大学 流域圏科学研究センター 正会員 杉戸 真太

1. はじめに

地震動の増幅特性は表層付近の堆積地盤に大きく支配される。特に、盛土では、表層地盤の傾斜の影響により成層地盤の場合に比べ地震波が複雑な性状を示す。2004年10月23日に発生した新潟県中越地震では、各地で高速道路の盛土をはじめとする盛土構造物は各地で多数被害を受けた。¹⁾

このように、盛土での地震動増幅を検討する場合、1次元の層状モデルではなく、2次元あるいは3次元的地盤構造を考慮したモデルが必要である。ただし、解析コストや時間、解析領域における地盤情報の確保が十分でない場合があり、容易にFEM解析を行うことができない。

本研究では、盛土地盤の傾斜上端と下端における地盤の鉛直方向の1次元層状モデルの地震動伝達関数を求め、それらを重ね合わせることで傾斜面上の堆積地盤面における地震動伝達関数を簡易に推定する方法について検討した。

2. 研究方法

ここでは、図-1示すような2層より構成される盛土地盤を解析の対象とし、モデル底面におけるSH波の鉛直入射問題を取り扱う。

本研究の流れを図-2に示す。表層地盤の傾斜上端と下端における地震動伝達関数は、各地点の地盤と同じ深さ

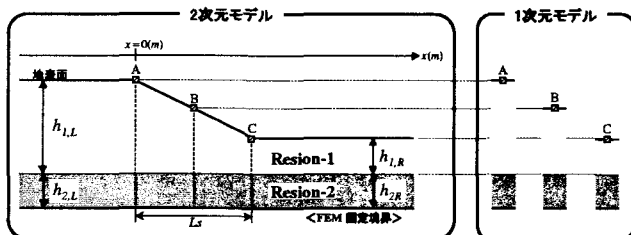


図-1 解析モデル

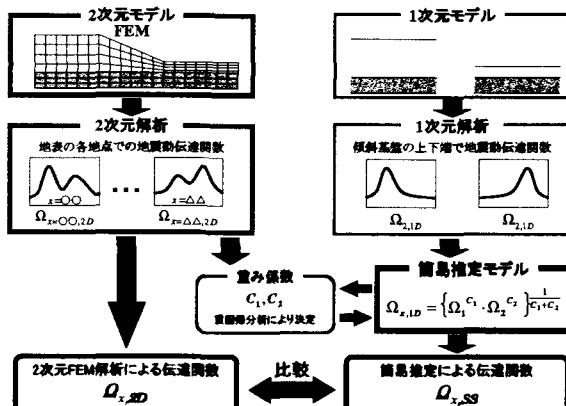


図-2 研究の流れ

の成層地盤を仮定し、周波数依存型等価線形化法FDEL²⁾を用いて算出する。

一方、2次元解析による地震動伝達関数は、FDELを2次元FEM化したFDEL-FEM³⁾を用いた地盤震動解析により算出する。当該地点における地震動伝達関数は、表層地盤の傾斜部の上端と下端における1次元伝達関数に傾斜上端からの距離と傾斜の水平長さをパラメータとする重み係数を掛け合わせ推定する。なお、その際に用いる重み係数は2次元解析による地震動伝達関数と推定した地震動伝達関数を1次元伝達関数の固有振動数で比較し、増幅率の残差を最小化する重回帰分析により決定する。

3. 盛土におけるFEM地盤震動解析

3.1 解析条件

基盤の傾斜角を1/5, 1/4, 1/3, 1/2の4種類、堆積地盤のせん断波速度を100, 300(m/sec)の2種類を、基盤面でのせん断波速度を650(m/sec)として地盤モデルを作成する。底面は固定境界とするが、解析領域と左右自由地盤との境界は粘性境界とし、領域内における波動の反射を吸収している。また、ひずみ依存性を考慮した解析を行うため、地震マグニチュードMと震源距離Rによる強震動予測モデルEMPR-I⁴⁾を用い、4波の入力地震動を作成し、FDEL-FEMにより解析を行った。

3.2 解析結果

FEM解析における傾斜領域は両側の自由地盤に挟まれた境界条件下で変形する。このとき基盤から地表面への伝達関数は底面への単位変位に対する変形モードを表す(図-3)。本来、傾斜領域の変形モードは水平成分と上下動成分の合成により複雑化するが、あまりにも急傾斜でなければ上下動成分の寄与が小さく、両側自由地盤の変形モード(伝達関数)の重ね合わせによってある程度補間することができる。



図-3 底面への単位変位に対する変形モード

4. 地震動伝達関数の簡易推定式⁵⁾

底面から地表面の点xでの伝達関数を $\Omega_x(\omega)$ 、表層地盤の傾斜上端の地盤モデルにより得られる1次元の伝達関数を Ω_1 、傾斜下端での伝達関数を Ω_2 とし、次式により重ね合わせる。ただし、 C_1, C_2 は Ω_1, Ω_2 に対する重みである。

$$\Omega_x = (\Omega_1^{C_1} \cdot \Omega_2^{C_2})^{\frac{1}{C_1+C_2}} \quad (1)$$

$$(C_2 = 1 - C_1, 0 \leq C_1 \leq 1)$$

C_1 は重ね合わせた伝達関数と 2 次元解析による伝達関数を Ω_1, Ω_2 の固有振動数で比較し、増幅率の差を残差として最小二乗法を用いて決定した。

決定した重み係数 C_1 と傾斜上端からの距離 x の関係を図-4 に示す。地盤が固い A 群、B 群、地盤が軟らかく、入力地震動の小さな C 群はばらつきが小さく、地盤が軟らかく、入力地震動の大きな D 群は少しばらついているものの、 C_1 と x は明らかに負の相関がある。

また、 C_1 と傾斜部の水平距離 Ls の関係を図-5 に示す。図-5 を見ると C_1 と Ls には正の相関があることが確認できる。

そこで、 C_1 と距離 $x(\text{m})$ 、傾斜部の水平距離 $Ls(\text{m})$ を用い、重回帰分析を行ったところ式 (2) を得た。

$$C_1 = -1.0 \times 10^{-2}x + 0.45 \times 10^{-2}Ls + 0.35 \quad (2)$$

図-6(a),(b),(c) 中の細線は 2 次元解析、破線は 1 次元解析、太線は簡易推定法により算出した伝達関数である。A 地点では 1.3(Hz) あたりに違いがみられるものの、2 次元 FEM 解析による伝達関数とほぼ一致している。特に傾斜中央 (B 地点) では、2 次元解析による伝達関数の特徴を捉え、1 次元解析と異なることが確認できる。また、傾斜下端の C 地点においても 2 次元解析による伝達関数とほぼ一致している。

しかし、高周波数領域において簡易推定法により算出した伝達関数と、2 次元解析による伝達関数は一致していない。これは、重み係数 C_1 を算出する際に、傾斜上端と下端での伝達関数の卓越振動数に着目しているためと考えられ、今後の課題である。

5. まとめ

盛土の傾斜上端と下端における地盤モデルからそれぞれ地震動伝達関数を求め、それらを重ね合わせることににより傾斜面上の堆積地盤面における地震動伝達関数を推定することができる。推定式により求めた地表面における地震動伝達関数は、有限要素法を用いた解析結果と比べ矛盾のないことを確認した。

参考文献

- 1) 土木学会・地盤工学会合同調査団：土木学会（第 1 次）・地盤工学会合同調査団 調査速報。
- 2) 杉戸真太，合田尚義，増田民夫：周波数特性を考慮した等価ひずみによる地盤の地震応答解析法に関する一考察，土木学会論文集 No493/III-27, pp49-58, 1994.6.
- 3) 古本吉倫，杉戸真太，八嶋厚：周波数依存型等価線形化法による不整形地盤の震動特性について，土木学会地震工学論文集，2003.12(CD-ROM)
- 4) M.Sugito, Y.Furumoto, T.Sugiyama : Strong Motion Prediction on Rock Surface by Superposed Evolutionary Spectra, 12WCEE, 2000.2 in Auckland, New Zealand(CD-ROM)
- 5) 古本吉倫，杉戸真太，細木洋輔：盛土や不整形地盤に適用できる地震動伝達関数の簡易推定法，土木学会地震工学論文集，2005.8(CD-ROM)

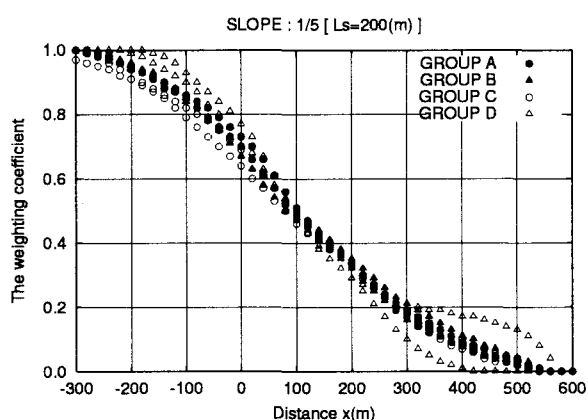


図-4 重み係数 C_1 と傾斜上端からの距離 x [$Ls=200(\text{m})$]

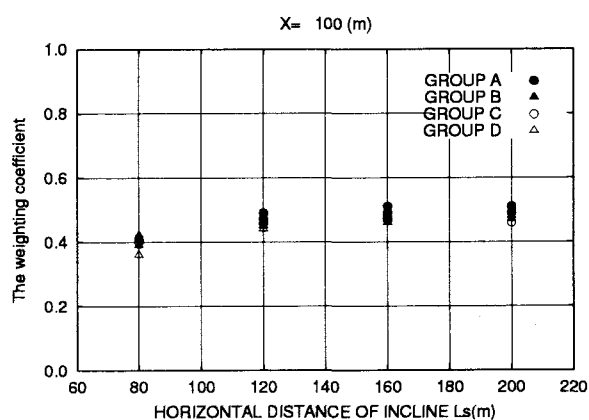


図-5 重み係数 C_1 と傾斜の水平距離 Ls [$x=+100(\text{m})$]

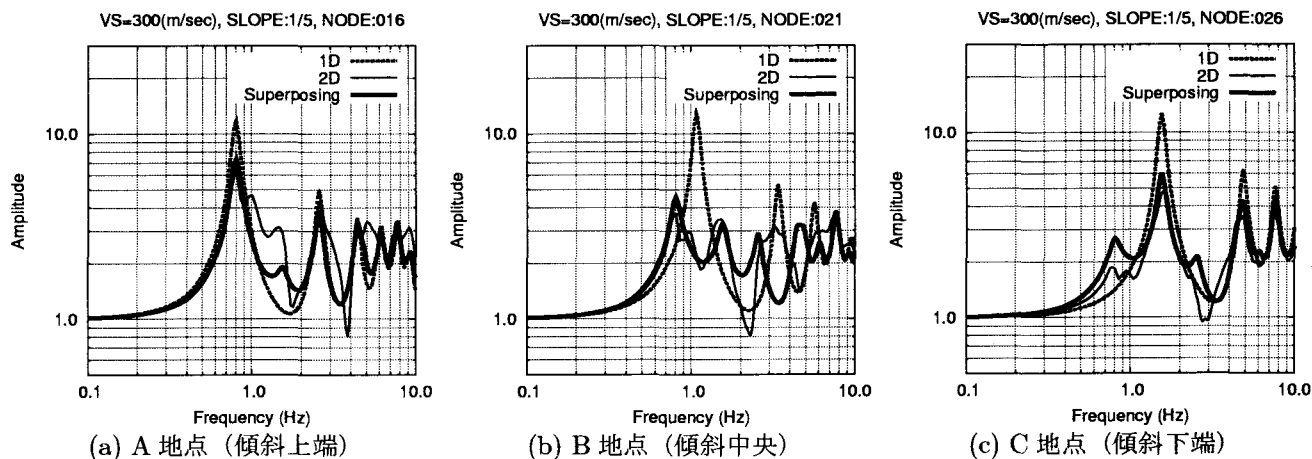


図-6 地震動伝達関数