

一次卓越周期における地震動増幅率の簡便評価法

張 海仲* 齊藤 隆典** 趙 衍剛***

Simple Calculation Method of Seismic Motion Amplification Ratio Corresponding to Fundamental period

Haizhong ZHANG* Takasuke SAITO** Yan-Gang ZHAO***

1. はじめに

2000年の改正建築基準法に導入された限界耐力計算法では、一次卓越周期とそれに対する増幅率をパラメータとして、表層地盤による地震動の増幅効果を評価する簡便法が採用された^[1]。また、一次卓越周期における地震動増幅率 G_{s1} を評価するのは、多層からなる表層地盤を等価1層地盤に置き換え、等価1層地盤の増幅率 G_{s1} を用いて評価する^[1]。しかしながら、林ら^[2]は、表層多層地盤を1層地盤に近似することで増幅率 G_{s1} の算定では、地盤構造が複雑な場合に増幅率の計算精度が良くない事を指摘した。そこで、本論文では、成層地盤の一次卓越周期における地震動増幅率 G_{s1} に着目し、新たに簡便な計算法を提案する事を目的とする。

2. 3層地盤の地震動増幅率 G_{s1}

限界耐力計算法では、多層地盤の増幅率 G_{s1} を評価するには、表層多層地盤を等価1層地盤に置き換えしたモデルを用いる。等価1層地盤のせん断波速度と密度は、層厚で重み付けた各層のせん断波速度と密度を平均して算出されるため、表層地盤のインピーダンスが不均一になるに従い、平均による増幅率 G_{s1} の計算誤差が大きくなることが容易に想像される。本研究では、インピーダンスが大きく変化する地層を平均計算することを避けるため、表層地盤インピーダンスのコントラストが一番大きい層境界で表層多層地盤を2層地盤に等価する。また、等価した表層2層地盤と工学的基盤からなる3層地盤について、3層地盤の増幅率 G_{s1} の計算式を用いて評価する。本章では、まず、3層地盤の増幅率 G_{s1} 計算式を提案する。

3層地盤の一次卓越周期における増幅率 G_{s1} を求めるため、地盤伝達関数を求める必要がある。一次元成層地盤の運動方程式により、地盤伝達関数は次のように表せる。

$$H_2(\omega) = \frac{1}{(\cos C_1 \cos C_2 - a_1 \sin C_1 \sin C_2) + i(a_2 a_1 \sin C_1 \cos C_2 + a_2 \cos C_1 \sin C_2)} \quad (1)$$

ここで、

$$C_m = \frac{\pi T_m}{2T\sqrt{1+2ih_m}} \quad T_m = \frac{4H_m}{V_m} \quad T = \frac{2\pi}{\omega}$$

*大学院生 建築学科
Graduate (D.C.), Dept. of Architecture

**助教 建築学科
Assistant Professor, Dept. of Architecture

***教授 建築学科
Professor, Dept. of Architecture

ここで、 m は層番号、 ρ_m は第 m 層の密度、 G_{m0} は第 m 層のせん断弾性係数、 h_m は第 m 層の減衰定数、 i は虚数単位である。 a_m は m 層と $m+1$ 層地盤のインピーダンス比と表し、次式で定義する。

$$a_m = \frac{\rho_m V_m}{\rho_{m+1} V_{m+1}} \quad (2)$$

式(1)から3層地盤の一次卓越周期における地震動増幅率 G_{s1} の計算式を近似的に次式のように提案する。

$$G_{s1} = \frac{1}{a_2 \left| a_1 \sin \frac{\pi T_1}{2T_0} \cos \frac{\pi T_2}{2T_0} + \cos \frac{\pi T_1}{2T_0} \sin \frac{\pi T_2}{2T_0} \right| + 1.57h_{eq}} \quad (3)$$

ここで、 h_{eq} は二層地盤の等価減衰定数であり、文献4) を参考にし、計算される。

3. 多層地盤の地震動増幅率 G_{s1}

本研究では、インピーダンスが大きく変化する地層を平均計算することを避けるため、図1に示すような多層地盤に対して、表層地盤インピーダンスのコントラストが一番大きい層境界で表層多層地盤を2層に近似する。等価2層地盤のせん断波速度、 V_{e1} 、 V_{e2} と密度 ρ_{e1} 、 ρ_{e2} は平均で計算される。そして、等価2層地盤と工学的基盤からなる3層地盤の増幅率 G_{s1} が提案式(3)を用いて計算できる。

多層地盤に適用可能な増幅率 G_{s1} の計算法について、その実地盤への適用性を確認するため、強震観測網から任意の68箇所の多層地盤を選択して、検討を行う。選択した68箇所の地盤について、SHAKEによる初期一次卓越周期は0.05sから1.72sとなる。

提案法と一次元波動理論（ここで、SHAKEプログラムを使う）による結果の比較を図2に示す。提案法による結果の平均誤差がわ

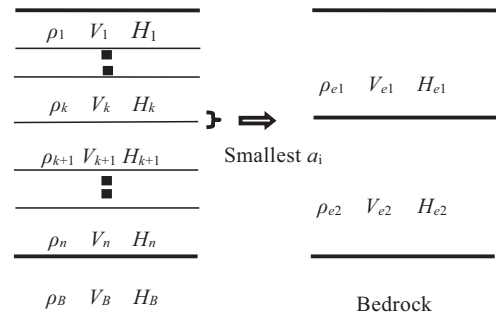


Fig. 1 Illustration of the concept of replacing a multi-layer soil profile on bedrock by an equivalent two-layer soil profile.

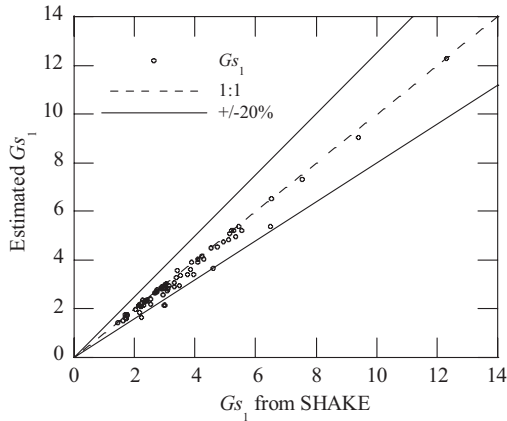


Fig. 2 Verification of proposed method of G_{s1} for multi-layer soil profiles on bedrock

ずか5.7%程度であり，提案法と一次元波動理論による結果がよく対応することが分かる．分析した地盤の94%について，提案法による計算誤差が20%を超えない範囲に収まった．

4. 提案法の限界耐力設計法への適用性の検討

増幅率 G_{s1} の提案法の限界耐力設計法への適用性を確認するため，提案法を用いて地表面での加速度応答スペクトルを計算する．また，計算した結果を SHAKE による結果と比較する．解析に用いた地盤モデルは図3にそれら地盤の S 波速度と土質特性を示す．土の非線形特性は文献 [4] に示した曲線を用いる．

2箇所の地盤を解析することより，各層の有効せん断歪が1%以下となっており，等価線形法の適用範囲以内になっている．増幅率 G_{s1} 提案法を用いて算出した地表面加速度応答スペクトルと SHAKE による結果の比較を図4に示す．Site-1と Site-2について，提案法と SHAKE による結果は概ね対応することが分かる．

告示法^[1]，井上ら^[3]の方法による地表面加速度応答スペクトルも図4に重ねて示す．これらの方法による一次卓越周期における応答スペクトルを提案法による結果と比較することにより，いずれの地盤に対しても，提案法の方がより精度よくなることが分かる．

5. まとめ

多層地盤の一次卓越周期における地震動増幅率 G_{s1} の計算法を提案した．以下に，本研究で得られた知見を示す．

- (1) 表層2層地盤と工学的基盤からなる3層地盤の伝達関数を誘導し，それに基づいて，3層地盤の一次卓越周期に対する地震動増幅率 G_{s1} の計算式を提案した．
- (2) 多層地盤の増幅率 G_{s1} を評価するため，多層地盤を3層地盤に近似し，3層地盤の増幅率 G_{s1} 計算式を用いて評価する方法を提案した．また，68箇所の地盤を解析することで，提案法の実地盤への適用性について確認した．
- (3) 多層地盤の増幅率 G_{s1} の提案法について，限界耐力設計法への適用性を確認するため，提案法を用いて，2箇所地盤の地表面加速度応答スペクトルを算出した．また，SHAKE による結果と比較，検討を行い，この適用性を確認した．

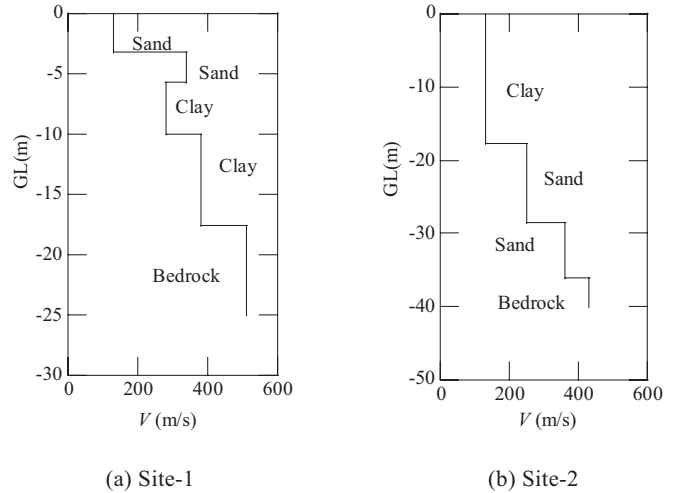


Fig. 3 Shear wave velocity of multi-layer soil profiles on bedrock used for analysis

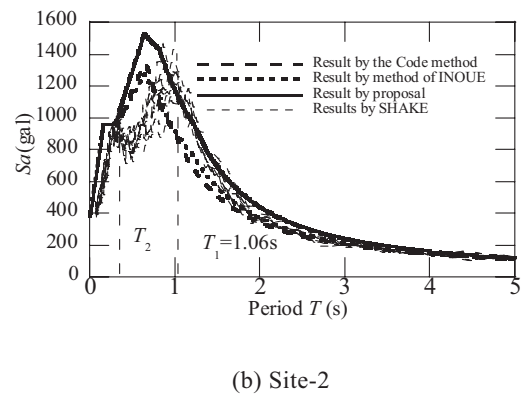
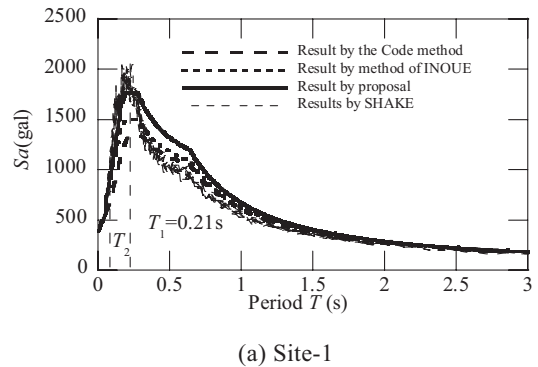


Fig. 4 Comparison of free field acceleration response spectrum of the multi-layer soil profiles calculated by different methods

参考文献

[1] 告示1457, 2007年改訂
 [2] 林康裕, 森井雄史, 鬼丸貞友, 吉川正隆, 限界耐力設計法における地盤増幅係数評価に関する研究, 日本建築学会構造論文集, 567号, pp.41-46, 2003.1
 [3] 井上和歌子, 林康裕, 新井洋, 中井正一, 飯場正紀, 表層地盤による地震動増幅率評価法に関する研究, 日本建築学会技術報告集, 32号, pp.107-112, 2010.2
 [4] 古山田耕司, 宮本裕司, 三浦賢治, 多地点での原位置採取試料から評価した表層地盤の非線形特性, 第38回地盤工学会研究発表会, pp.2077-2078, 2003.7