

1) - 4 杭基礎の 2 次設計用地盤変位の簡易算定法の開発

【安全・安心】

A Simplified Method to Evaluate Ground Deformation for Design of Pile Foundations

(研究開発期間 平成 28~30 年度)

構造研究グループ
Dept. of Structural Engineering

新井 洋
Hiroshi Arai

A practical method estimating lateral ground displacement is proposed for aseismic design of buildings with pile foundations. Considering the effects of dynamic soil properties during large earthquakes, the proposed method mainly consists of two parts; one is the determination of the maximum horizontal displacement at ground surface, the other is the computation of the fundamental vibration mode for multi-degree-of-freedom soil layered system without the eigenvalue techniques. The accuracy and reliability of the proposed method are revealed through the strong ground motion simulations for various soil profiles at 114 sites in Japan.

【研究開発の目的及び経過】

杭基礎の 2 次設計では、地震外力の想定において、上部構造の慣性力に加えて、地盤変位の評価が重要となる。しかし、建築分野の構造設計者が安定して解を求められる地盤変位の簡易な算定法は、未だ見あたらない。

担当者は、単純な計算法を用いて地盤変位を簡便に算定する方法を提案してきた。本研究では、提案法の更なる実用化に向けた改良を行い、その妥当性と有効性の検証事例を蓄積することで、杭基礎の 2 次設計用地盤変位の簡易算定法を確立することを目的とする。

【研究開発の内容】

従来の提案法は、工学的基盤または地表で設定された建物の地震荷重に対して、地表変位を概算し、その深さ方向分布を 1 次元多質点系の振動モードとすることで、地盤変位を求めるものである。本研究では、系に対応する等価物性地盤モデルを明確化し、その固有値解析を行わずに振動モードを略算する方法を新たに示すことで、電卓でも計算可能な設計用地盤変位算定法を提案する。

【研究開発の結果】

図 1 に示すように、地盤は表層と工学的基盤から成る水平多層構造とし、表層の層数 N 、地表から第 i 番目の層の厚さ H_i (m)、単位体積重量 γ_i (kN/m³)、初期 S 波速度 V_{S0i} (m/s)、地震時の等価 S 波速度 V_{SEi} (m/s)、表層の厚さ $\sum H_i$ (m)、工学的基盤の単位体積重量 γ_B (kN/m³)、S 波速度 V_{SB} (m/s) とする。表層の土質は粘性土か砂質土のいずれかに区分し、地盤は液化化しないものとする。地盤の水平変位は、次の手順①、②により算定する。

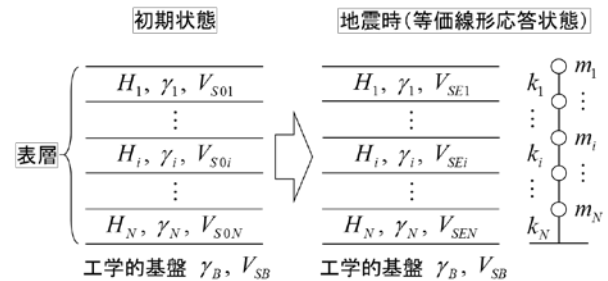


図 1 水平多層地盤と多質点系への置換

① 地表変位 D_{max} の算定

地震動の設定位置（工学的基盤か地表面か）に応じて地表変位 D_{max} (m) を式 1 または式 2 により算定する。

- ・地震荷重を工学的基盤で設定する場合

$$D_{max} = C_1 (\alpha^2 - 1) f_A \sum H_i \quad (1)$$

- ・地震荷重を地表で設定する場合

$$D_{max} = C_1 (\alpha^2 - 1) f_A \sum H_i \left\{ C_2 \left(1 - \frac{1}{\alpha^2} \right) + \frac{2R_{Z0}}{\alpha} \right\} \quad (2)$$

ここに、 C_1 ：表層の土質の G - γ 関係から決まる定数（粘性土で 0.0028、砂質土で 0.0015）、 C_2 ：表層の土質の減衰特性から決まる定数（粘性土で 0.53、砂質土で 0.66）、 α ：地盤の地震時の固有周期の延び、 f_A ：地震荷重の加速度一定領域の影響を考慮する補正係数、 R_{Z0} ：地盤の表層と工学的基盤の初期インピーダンス比である。 α 、 f_A 、 R_{Z0} は、それぞれ式 3、式 4、式 5 で与えられる。

$$\alpha = 1 + \frac{LC_\alpha T_0}{\sum H_i} \quad \text{ただし } \alpha \leq 4 \quad (3)$$

$$f_A = \min(1.6\alpha T_0, 1) \quad (4)$$

$$R_{Z0} = \frac{\sum \gamma_i V_{S0i} H_i}{\gamma_B V_{SB} \sum H_i} \quad (5)$$

ここに、 L ：地震荷重レベルにより決まる定数（レベル 1 で 0.2、レベル 2 で 1.0）、 C_α ：表層の土質の動的変形特性から決まる定数（粘性土で 25、砂質土で 40）、 T_0 （s）：地盤の初期固有周期である。 T_0 は、式 6 により求める。

$$T_0 = 4 \sum \frac{H_i}{V_{S0i}} \quad (6)$$

なお、表層の土質を粘性土か砂質土のいずれかに明確に区分できない場合、両方の土質を仮定した計算を行い、 D_{max} の値が大きい方の結果を採用する。

② 地盤の水平変位の深さ方向分布の算定

地震動の設定位置によらず、次の方法により地盤の水平変位の深さ方向分布を算定する。

図 1 に示すように、水平多層地盤を、単位面積土柱に対応する多質点系（質点数 N 、工学的基盤の上で基礎固定条件）に置換する。この系の地表から第 i 番目の質点（質量 m_i (Mg)）の水平変位の深さ方向分布 $\{u_i\}$ を、式 7 の漸化式を用いて、 D_{max} で無次元化した地表における変位 $u_1 = 1$ から工学的基盤の上における変位 u_{N+1} まで順次計算する。

$$u_{i+1} = u_i - \frac{40}{k_i (\alpha T_0)^2} \sum_{j=1}^i m_j u_j \quad (7)$$

ここに、 k_i (kN/m)：地表から第 i 番目の等価せん断ばね剛性である。 k_i は、対応する地層の地震時の等価 S 波速度 V_{SEi} を用いて $k_i = (\gamma_i/g) V_{SEi}^2/H_i$ (g は重力加速度) と表され、 V_{SEi} は、式 8 により求める。

$$V_{SEi} = \left(\frac{\gamma_i V_{S0i}}{\gamma_B V_{SB}} \right)^\beta V_{S0i} \quad \text{ただし} \quad \beta = \frac{3}{4} \left(1 - \frac{1}{2^{\alpha-1}} \right) \frac{1}{1-R_{Z0}} \quad (8)$$

式 7 により得られる u_{N+1} の値は、式 8 の近似精度などに起因して、一般にゼロとはならない。そのため、無次元化水平変位が地表で 1、工学的基盤の上でゼロとなるよう、各質点の水平変位を式 9 により調整して、その深さ方向分布 $\{u_i^*\}$ を採用する。

$$u_i^* = \frac{u_i - u_{N+1}}{1 - u_{N+1}} \quad (9)$$

以上の手順①、②より、地盤の水平変位 $D_{max}\{u_i^*\}$ (m) を算定できる。この方法¹⁾⁻³⁾は、地盤の最大せん断ひずみ 1% 程度以下の場合に適用可能と考えられるが、一方で、建築基礎構造設計指針の液状化判定および動的水平変位 D_{cy} と組み合わせることで、液状化地盤への拡張が容易に可能である。

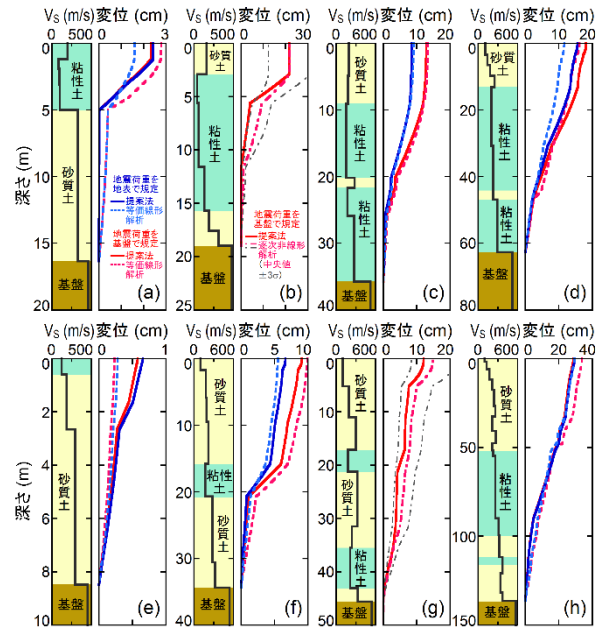


図 2 提案法と地震応答解析による地盤変位の比較

提案法の妥当性と有効性を検討するため、国内 114 地点の工学的基盤以浅の地盤モデルについて、地表および工学的基盤で設定したレベル 2 地震荷重に対して、提案法による地盤変位を求め、等価線形解析や逐次非線形解析など地震応答解析の結果と比較する。代表的な 8 地点の例を図 2 に示す。提案法による地盤変位は地震応答解析の結果と概ね整合している。

【参考文献】

- 1) 新井洋：建築基礎設計への利用を前提とした地盤変位の簡易評価法、日本地震工学会大会-2015 梗概集、ポスターセッション(3) P3-4、2015
- 2) 新井洋：建築基礎設計に用いる動的地盤変位の簡易評価法、日本建築学会大会、構造 I、455-456、2016
- 3) 大村早紀、新井洋：建築基礎構造設計のための動的地盤変位の簡易算定法（その 2）、地盤工学会大会、1803-1804、2018