

Ⅲ-A135 液状化地盤上に位置する浅い基礎の沈下解析

東京大学 正 東畑郁生

1. はじめに

本節の目的は、液状化層中に埋設された基礎の沈下時刻歴を計算するための解析的な方法を開発することである。土の応力ひずみ構成式の点では、有限要素解析は柔軟性と精密性に優れているが、不攪乱土試料の採取と室内実験とが必要であり、それに要する費用と時間は大きい。通常の場合それが許されるかどうか、は疑問が大きい。通常のボーリングデータ程度から物性を決定するのは有限要素解析法の長所は失われ、本質を捉えながらも簡便な方法に価値が生ずる。

2. 沈下解析法の説明

本研究では地盤と基礎を図1のような軸対称モデルで表現する。基礎は根入れ D_f に加えて直下の液状化しにくい部分（初期せん断の影響） B も併せ、一体となって沈下する。本研究では既往の模型振動実験や杭の被災例の分析を参考に、液状化砂層の水平変位 u が図2の二つのモード（ F と J ）の重ね合わせで成り立つ、としている。砂の変形特性は陽には考慮しないながら、これらモードの中に考慮されている。

$$u(r, z, t) = F(r, t) \sin \frac{\pi z}{2h} + J(r, t) \sin \frac{\pi z}{h} \quad (1)$$

ここで r は半径方向座標、 t は時刻、 h は基礎直下の液状化層厚である。そして液状化砂は体積一定で流動すると考えると、鉛直変位と基礎の沈下も未知関数 F と J で表現できる。また液状化した砂はニュートン粘性流体として振る舞うと見なす。さらに基礎が傾かないで沈下する、という制約から $F = f \times r$ 、 $J = j \times r$ という関係の導き出すと、地盤モデル全体の変位、ひずみエネルギー Q 、運動エネルギー K 、粘性によるエネルギー消散 D がすべて f と j で表現される。それをLagrangeの運動方程式

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial (K-Q)}{\partial \dot{f}} \right\} - \frac{\partial (K-Q)}{\partial f} &= -\frac{1}{2} \frac{\partial D}{\partial \dot{f}} \\ \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial (K-Q)}{\partial \dot{j}} \right\} - \frac{\partial (K-Q)}{\partial j} &= -\frac{1}{2} \frac{\partial D}{\partial \dot{j}} \end{aligned} \quad (2)$$

に代入すると、一般化変位と呼ばれる未知量 f と j について解くべき方程式が得られる。なお式2で上付きドットは時間微分を意味する。この理論の原理はTowhata et al. (1999)に詳しい。また流動と沈下の継続時間 T_L を粗く見積もる近似的方法として

$$T_L = \frac{\varepsilon_v h}{4ki_\sigma} \quad (3)$$

を用いている。ここで k は透水係数、 i_σ は限界動水勾配、 ε_v は液状化後の砂の体積収縮量である。

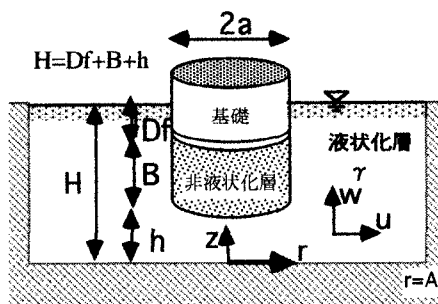


図1 軸対称な地盤モデル

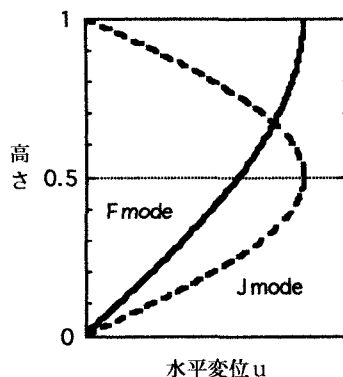


図2 液状化層の水平変位の分布形状

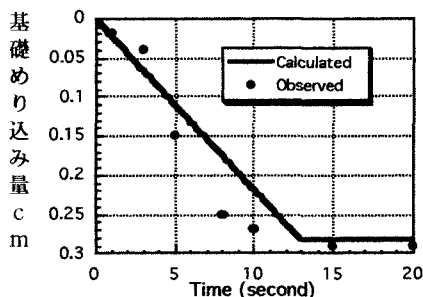


図3 遠心実験における基礎めり込み量の再現

3. 計算例

Kawasakiら(1998)の50G遠心载荷実験を取り上げて解析する。これは豊浦砂とシリコンオイルの間隙流体を使用して行なわれた実験である。解析の中でもっとも不明確なものは、液状化砂の（見かけの）粘性係数 η であるが、実験結果と整合するようにその値を決め、以後の解析に利用した。本稿では基礎の「めり込み」量、すなわち「基礎の鉛直変位－地表の鉛直変位」を計算と実験とで一致させるために、粘性係数をきわめて大きな25,000kPa秒にした。なお引用される数値はすべて実験スケールの値であり、実スケールへの換算はしていない。

フーチングの根入れ D_f や B を一定に保ちつ

つ、基礎直下の液状化層厚 $h = H - D_f - a$ を変化させて、めり込み挙動の変化を調べた。この時 h とともに全液状化層厚 $H = D_f + a + h$ も変化した。また式3に従って沈下の継続時間 T_L も変動した。めり込みの時刻歴を図4に示す。液状化層が厚いときほど、沈下の進行速度、最終めり込み量ともに、大きいことがわかる。この最終めり込み量を基準値（図3の最終値）0.28cmで割ったものを、液状化層厚の影響係数 C_1 と呼び、これを液状化層厚に対してプロットした（図5）。計算とKawasakiらの実験値（○印）との対応は良い。同様にフーチングの直径 $2a$ やフーチングに载荷した上载荷重の影響係数（おのおの D_1 と D_2 ）も計算して図6、7に示した。いずれも実験結果を良く再現できた。

研究に当たっては、東京電力（株）、大成建設（株）の援助をいただいた。ここに感謝いたします。

参考文献

- Kawasaki, K. et al. Earthquake-induced settlement of an isolated footing for power transmission tower. Proc. Centrifuge 98, 271-276. Balkema, 1998.
Towhata, I. et al. Mathematical principles in prediction of lateral ground displacement induced by seismic liquefaction, Soils Found. 39(2) 1-19, 1999.

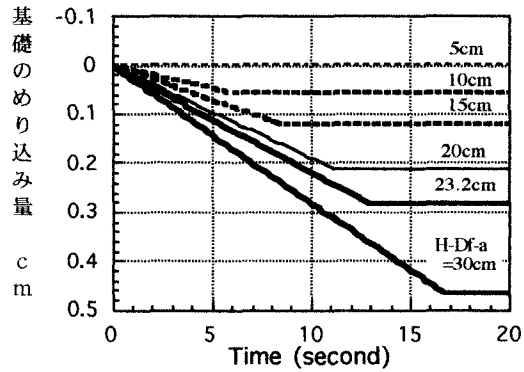


図4 基礎沈下時刻歴に及ぼされる液状化層厚 h の影響

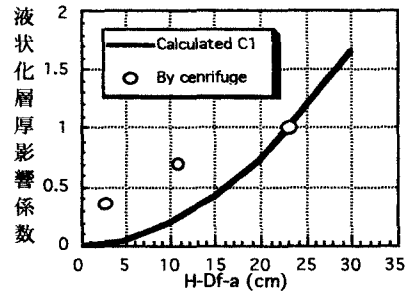


図5 液状化層厚の影響係数の算定

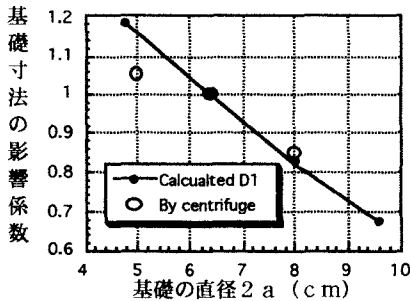


図6 基礎幅の影響係数の計算

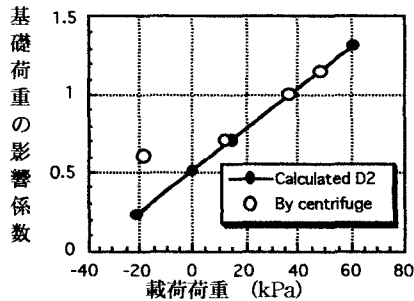


図7 基礎载荷荷重の影響係数の計算