

Ⅲ - 4

三次元有限要素法による液状化解析

東北大学工学部（学） ○須藤 巧
 東北大学工学部（正） 柳沢 栄司
 東北大学工学部（学） 大井 高志

1. はじめに

近年、液状化を含めた地盤の応答解析が盛んに行われ、計算機の発達と、地盤モデルや入力波の三次元的影響の考慮から、三次元有限要素法を用いるものが増えてきた。これは、解析結果の正当性を評価する際に、三方向入力の変動台実験結果と比較する意味でも有用なものである。

また、液状化の解析結果を議論する際、用いた土の構成則と間隙水圧モデルが重要なものとなる、特に、過剰間隙水圧発生モデル化は、様々に試行され、その挙動を明確に表現することは、容易ではない。

本研究では、過剰間隙水圧をせん断仕事量から求めるモデルを用いて、単純な地盤材料の液状化を三次元有限要素法により解析を試みたものである。

2. 解析方法

土の力学的非線形性については、応力-ひずみ関係を双曲線で近似し、除荷、再載荷は、Masin則を使うことで表現し、任意の応力状態における接線剛性係数から、ひずみ増分に対して線形とするDuncan and Changの考えを用いて、Newmarkのβ法で直接積分した。

過剰間隙水圧発生の評価に関しては、過剰間隙水圧とせん断仕事量をむすびつける研究¹⁾から次式で表わせるモデルを用いた。

$$\frac{u}{p_0} = \frac{ss}{A + ss} \quad ss = \int \frac{dW}{p'}$$

u：過剰間隙水圧、p₀：初期平均有効拘束圧、dW：せん断仕事増分、p'：平均有効応力、A：実験から得られる定数

なお、減衰には、Rayleigh減衰を用い、間隙水は、非排水条件で透水は考慮しない。

3. 解析モデルと入力波形

地盤モデルは、振動台実験で用いるせん断土槽を想定し、図-1のように、一つの直方体要素を、さらに六つの四面体要素に分けることで、総要素数=384、節点数=125とした。

拘束条件は、底面の25個の節点を3方向拘束、側面の64個の節点をz方向のみ拘束、それ以外の36個を自由節点とした。

材料定数は、単位体積重量=1.95tf/m³、ポアソン比=0.48、内部摩擦角=30度とした。

入力波形は、水平方向の最大加速度を、130gal、鉛直方向を30gal、周波数5Hzの正弦波を基盤入力し、直接積分の時間間隔をΔt=0.001秒として、0.8秒間加振した。

4. 解析結果の一例

解析では、二種類の初期剛性係数G₀で2回の計算を行った。

1回目は、要素35=436tf/m²、要素253=920tf/m²、要素323=1303tf/m²とした軟らかい材料を、2回目は、それぞれを10倍し一般的な地盤のかたさを表現するものを使った。

図-2、3は、間隙水圧比の時刻歴の解析結果を示し、図-4は振動台実験から得られた結果を示している。

図-4の上から順にモデルの要素35、253、323に対応している、パラメータの問題から厳密な比較はできないが、図-2、

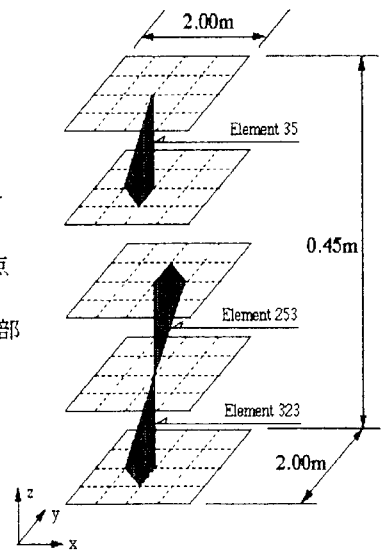


図-1 解析モデル

4では、下の要素から水圧が急増している点、水圧が振動しながら上昇している点がよくあっているように思える。しかし、解析の方は、非排水条件、透水なしという仮定のため水圧の消散は、期待できない。

次に図-5、6は、2回の実験における要素323の応力-ひずみ曲線である。一回目の結果は、1サイクルで液状化してしまいが、液状化した状態がよくわかる。2回目の結果は、液状化までには至らないが、有効応力の減少による剛性の低下が表わされている。

5. あとがき

今回解析に使った間隙水圧のモデルは、従来のものに比べ、非常に簡単にあらわすことができ、その結果も比較的良好な結果がでたように思える。しかし、振動台実験と比較するには、解析法全体として、また透水や境界条件などの問題もあり、検討の余地がある。

今回のモデルから要素ごとに間隙水圧を算出し、透水を考慮に入れることで更に要素間での間隙水のやりとりを考えれば、水圧伝播、消散の現象がうまく表現できると思う。

参考文献

- 1) 田地 陽一 (1993) : "散逸エネルギーに着目した液状化強度特性に関する二、三の考察," 東北大学修士学位論文

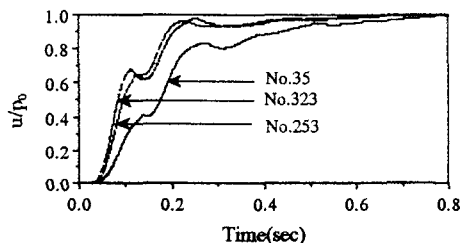


図-2 一回目間隙水圧の時刻歴

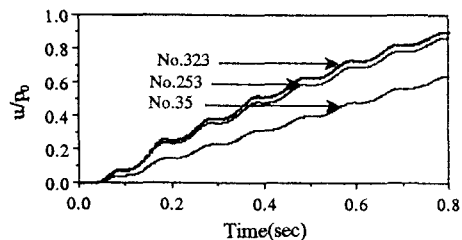


図-3 二回目間隙水圧の時刻歴

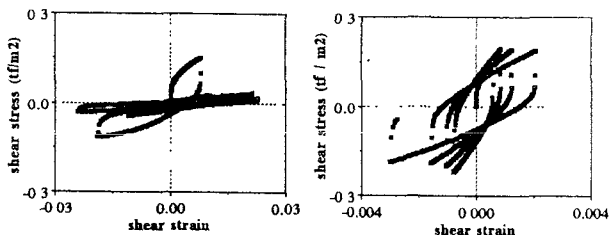


図-5 一回目

要素323の応力ひずみ曲線

図-6 二回目

要素323の応力ひずみ曲線

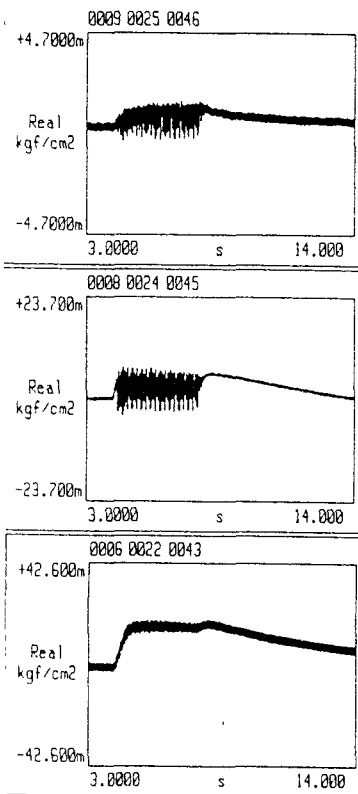


図-4 振動台による実験結果