

地震応答解析における技術者の違いによるパラメータのばらつきの影響 Effect of variations in parameters determined by engineers on seismic response analysis

○一井康二・植村一瑛・生頼直樹・兵頭順一

○Koji ICHII, Kazuaki UEMURA, Naoki ORAI, Junichi HYODO

Seismic response analysis to evaluate the seismic performance of structures is important. However, the appropriateness of the analytical results depends on not only the soil-constitutive model but the model parameters. Thus, the analytical results cannot be unique when several engineers work on the identical target analysis. In this study, using the occasion of international cooperative study: LEAP (Liquefaction Experiment and Analysis Project), the possible variation of numerical parameters determined by several engineers was investigated for Ottawa F65-sand, which was used in the centrifuge tests. Also, a case of centrifuge test was simulated using these parameter sets. Thus, it was confirmed that the possible variation of parameters can cause a large variation in computed deformation.

1. はじめに

構造物の地震時応答を求めるために高度な構成則を用いた地震応答解析が用いられている。

しかし、このような解析結果の妥当性は、解析モデルの観点だけではなく、解析パラメータの設定方法の観点からも議論されなければならない。とくに、耐震設計実務への適用を考えた場合、実務者の経験等の違いによる解析パラメータの違いにも着目する必要がある。例えば三上らによる研究報告¹⁾があるが、検討事例は多くはない。

本研究では、国際共同研究 LEAP (Liquefaction Experiment and Analysis Project) の機会を利用して、共通する解析対象に対して複数の技術者により解析パラメータを設定し、解析パラメータの設定のばらつきの程度や、そのばらつきが解析結果に及ぼす影響について検討した。

2. 解析対象と解析プログラム

LEAP での遠心実験で用いられている Ottawa (F65) 砂を解析対象とした。LEAP の土質条件の詳細は参考文献²⁾を参照されたい。

解析プログラムには、FLIP ROSE³⁾を用いて、Cocktail glass model により解析することにした。なお、三上らによる先駆的な検討でも FLIP を用いているが、マルチスプリングモデルを用いて非排水条件での解析を行っており、本研究の方が最新の高度な解析コードを用いていることになる。

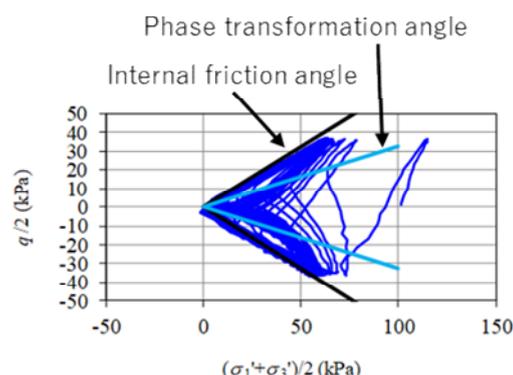


図1 内部摩擦角と変相角の設定例

3. 解析パラメータの設定法

図1に内部摩擦角と変相角の算定例を示す。これは、土質試験における有効応力経路から算定でき、技術者による違いがあっても、それほど大きな違いにはならないと思われる。

一方で、解析モデル固有のパラメータは、土質試験結果から直接的に算定することが難しい。例えば、表1に Ottawa (F65) 砂の3種類の密度に対して、著者らが算定した液状化パラメータの例を示す。正負のダイレイタンスのそれぞれに応じて複数のパラメータがあるが、一般の試験結果は正負のダイレイタンスの影響が同時に生じた状態として得られるため、個々のパラメータをユニークに算定することは難しい。このため、液状化試験などの試験結果を再現するように、試行錯誤的にパラメータが設定される。

表 1 Ottawa F65 砂のパラメータ設定例

Name of the parameters	Loose condition	Medium condition	Dense condition	Meaning of the parameters
Initial void ratio e_0	0.585	0.542	0.515	Just to give relative density
Phase transformation angle ϕ_s (deg.)	14.0	14.0	17.8	NOT control the stress path directly
r_{dc}	0.73	0.40	0.25	Control negative dilatancy
r_{sd}	0.50	0.50	0.50	Control overall dilatancy
q_1	1.00	1.00	1.00	Control negative dilatancy in initial phase
q_2	0.50	1.00	2.00	Control negative dilatancy in final phase
r_k	1.00	1.00	1.00	Control negative dilatancy in final phase and K_α effect
c_1	1.53	2.00	2.50	Threshold for dilatancy

* The values for the following parameters are generally unique: $-e_{lim} = 0.10$, $STOL = 1.0E-06$, $r_k = 1.0$, $S_1 = 0.005$, $q_{us} = 0$, $q_4 = 1.0$, $r_{tmp} = 0.5$, $I865SW = 0$.

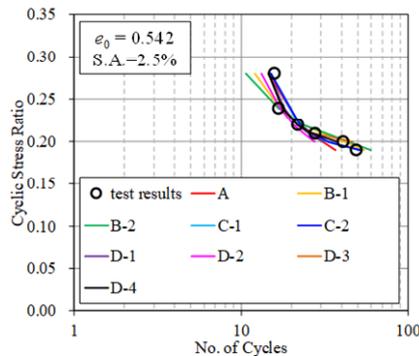


図 2 複数の技術者によるパラメータの設定結果 (設定したパラメータによる液状化強度曲線)

図 2 に複数の技術者によるパラメータの設定結果を示す。ただし、設定されたパラメータを用いて液状化試験を再現計算した液状化強度曲線である。4 グループで計 9 通りの解析パラメータセットを得たが、どのパラメータセットにおいても液状化強度曲線をよく再現できていることがわかる。

4. 異なる解析パラメータによる変形解析結果

LEAP での遠心実験は傾斜地盤を対象としている。対象断面と変形解析結果の例を図 3 に示す。

解析結果の比較例として、断面中央部の沈下量の比較を図 4 に示す。パラメトリックスタディでは、密度が緩いほど沈下量が大きくなっており、感覚的に納得しやすい結果である。

一方で、Medium の条件に対して設定した 7 ケースでは解析結果が大きくばらついており、解析が不安定となったケースもあった。

FLIP では、地盤条件パラメータの設定後に、そのパラメータを用いて解析を安定させるためのレーレー減衰パラメータが設定される。

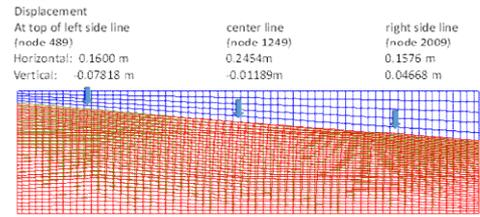


図 3 遠心実験結果の再現計算例

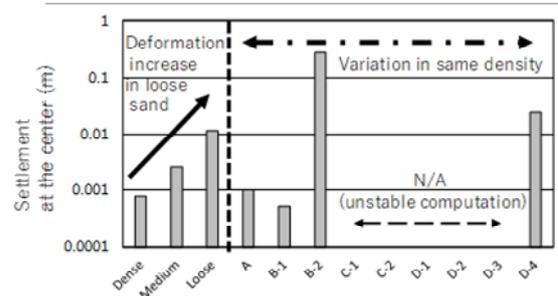


図 4 解析結果の比較例 (中央部の沈下)

しかし、本検討では機械的に地盤条件パラメータのみを入れ替えた。このことが解析の不安定性を引き起こした可能性がある。

5. 結論

本研究では、解析パラメータの設定のばらつきの程度や、そのばらつきが解析結果に及ぼす影響について検討した。その結果、地盤だけでなく、解析全体のパラメータの設定方法を含めた議論が必要であり、機械的に地盤物性のパラメータを変更した場合は、同じ土質試験結果を対象に設定したパラメータであっても、技術者の違いにより大きな解析結果の違いが生じる場合があることが確認された。

参考文献

- 1) 三上武子, 一井康二, 植村一瑛, 仁科晴貴 (2009). 耐震性検討のための数値解析におけるパラメータ設定についての課題, 地盤と建設, 27 (1), pp. 81-88.
- 2) El Ghoraihy, M.A., Park, H., and Manzari, M.T. (2017). LEAP 2017: Soil Characterization and Element Tests for Ottawa F65 Sand. The George Washington University, Washington, DC.
- 3) Iai S, Tobita T, Ozutsumi O, Ueda K. (2011) Dilatancy of granular materials in a strain space multiple mechanism model. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 35(3):360-392.