

# 液状化解析のパラメータ設定の精度向上方法の検討

一井康二\*

## 1. 研究の目的

FLIP<sup>1)</sup>等の液状化解析プログラムでは、液状化に関するパラメータ設定が液状化試験結果へのフィッティングに基づき決定されている。しかし、このとき、技術者によりフィッティングの度合いが異なり、解析結果がばらつくという問題が生じることが知られている。そこで、既往の液状化パラメータ設定例をもとに、FLIPを対象に液状化解析パラメータ設定の精度向上策を検討した。

## 2. 研究の方法

液状化解析プログラムとして FLIP を想定し、そのパラメータの設定法を検討した。FLIP では液状化対象地盤の構成則として、マルチスプリングモデル<sup>1)</sup>およびカクテルグラスモデル<sup>2)</sup>の2種類が組み込まれており、既往の設計実務への適用実績は前者のほうが多い。しかし、液状化した地盤からの間隙水圧の消散等を考慮できる後者のモデルを実務で用いたいというニーズも多い。そこで、前者のモデルに対して既に提案された簡易パラメータ設定法の枠組みを後者のモデルに適用し、簡易パラメータセットの試験を行った。

### a) パラメータ設定の方針

前提条件として、ダイレイタンシーに関するパラメータ以外は、既往のマルチスプリングモデルの簡易設定パラメータ<sup>3)</sup>の再訂版で、上載圧 98kPa のケースを標準とした。また、既往の検討では上載圧を変化させたケースのシミュレーションに基づいたパラメータの議論も行われていたが、拘束圧依存性の考慮の方法が何通りか存在するため、本検討では上載圧の影響を全て 98kPa 相当に換算して計算することに簡素化した。

ダイレイタンシーに関するパラメータの設定方針を下記の通りとした。

- ・液状化強度は、再訂版の上載圧 98kPa のケースと同様とする。
- ・初期せん断の影響については、いろいろな考え方がありえると思うが、北米方式の Ross Boulanger<sup>4)</sup>のチャートに適合するように相対密度に応じてパラメータのうち、 $r_y$  を変化させたバージョン (verA) と一定値 ( $r_y=0.15$ ) にしたバージョン (verB) を設定する。
- ・ひずみの伸び方については、三上モデル<sup>5)</sup>により、何段階かのひずみレベル (せん断ひずみ片振幅 1.5, 3.75, 5.0, 7.50 %) の液状化強度曲線を設定し、全体を合わせる (ように努力する)。
- ・N 値の増加あるいは細粒分の増加に対し、パラメータの変動は単調減少もしくは単調増加になるように設定することとし、小刻みな値の変動は許容しない。
- ・液状化パラメータを N 値 5, 10, 15, 20, 25 ( $\sigma'_v = 98\text{kPa}$ ,  $F_c = 0\%$ ) について暫定的に定めた後、液状化後の体積ひずみが石原・吉嶺のチャート<sup>6)</sup>に整合するようにパラメータ  $r_k$  を設定。その後、検討が進むにつれて液状化パラメータ等も見直されるが、最終的に定めた液状化パラメータにおいても体積ひずみが石原・吉嶺のチャート<sup>6)</sup>とほぼ整合することを確認する。
- ・終局状態の体積ひずみ、EPSCM は、相対密度に応じて  $e_{min}$  に相当する値に設定する。

### b) パラメータ設定結果 (初期せん断の影響の比較)

初期せん断の影響について、2 種類のバージョンのパラメータ設定の比較を図 1 に示す。液状化強度曲線への適合状況は、どちらのバージョンも適合状況は良好であるものの、初期せん断の影響については大きな違いをパラメータにより表現できている。

このことから、通常の液状化試験のシミュレーションだけでは初期せん断の影響の評価が妥当であるかどうかは、議論しにくいことがわかる。

---

\*広島大学・准教授

c) パラメータの違いによる変形量評価結果の変化（試算）

初期せん断の影響の考慮の有無が異なれば、液状化解析により求まる構造物の変形量も異なると考えられる。そこで、兵庫県南部地震における神戸港 RF3 岸壁の被災事例の再現解析<sup>7)</sup>により簡単な検証を行った。検証結果を図 2 に示す。

N 値 5, 10, 15, 20, 25 ( $\sigma'_v = 98\text{kPa}$ ,  $F_c = 0\%$ ) のケースのみを取りあえず対象とし、天端の変形量を比較した。また、比較対象として、マルチスプリングモデルにおける簡易設定パラメータ 3 種の結果も示している。

### 3. 得られた成果

図 2 より、カクテルグラスモデルとマルチスプリングモデルの違いは、マルチスプリングモデル 3 種間の違いと比べても、概ね同程度である。N 値 10～15 程度で、カクテルグラスモデルにおける水平変位がマルチスプリングモデルによる水平変位より小さくなる点が気になるが、解析の精度を考えると、今回提案したカクテルグラスモデルのパラメータも、ある程度は適用性が確認されたといえる。

また、初期せん断の影響の考慮の有無はそれほど大きな違いとしては現れていない。これは、実際の解析対象地盤には初期せん断の大きな部分と小さい部分の双方があり、その平均的な挙動の結果として、岸壁天端の変形量のみを比較したためであると考えられる。

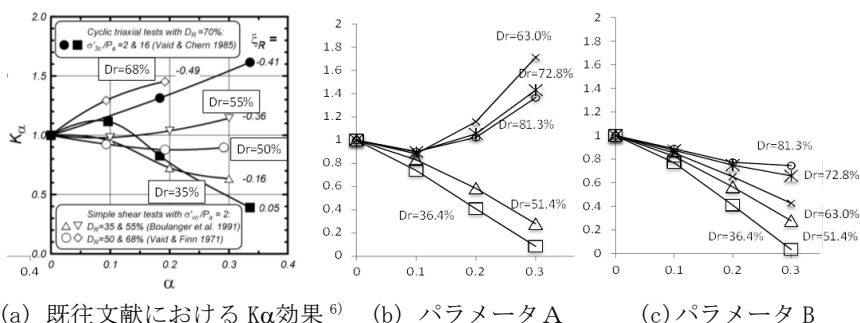
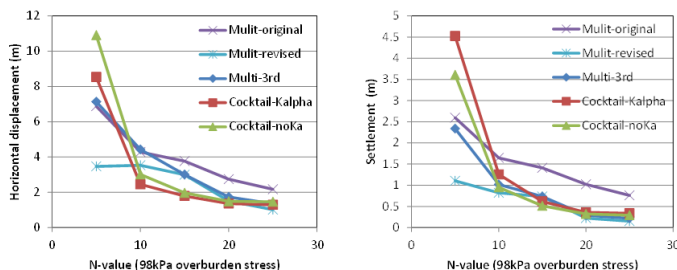


図 1 初期せん断の影響による液状化強度の変化 ( $K_\alpha$ 効果)



(a) 岸壁天端の水平変位の比較 (b) 岸壁天端の沈下量の比較

図 2 初期せん断の影響の考慮の有無による岸壁の地震時変形量の比較

参考文献: 1) Iai S., Matsunaga Y., Kameoka T.: Parameter Identification for a Cyclic Mobility Model, Report of the Port and Harbour Res. Inst. Vol. 29, No. 4, 1990. 2) Iai S., Tobita T., Ozutsumi O., Ueda K.: Dilatancy of granular materials in a strain space multiple mechanism model, International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, Vol. 35, pp. 360-392, 2011. 3) 森田年一ほか: 液状化による構造物被害予測プログラム FLIP において必要な各種パラメータ簡易設定法, 港湾技研資料, No. 869, 1997. 4) Boulanger, R. W.: Relating  $K_\alpha$  to relative state parameter index, J. Geotechnical and Geoenvironmental Eng., ASCE, 129(8), 770-773, 2003. 5) 三上武子ほか: 非排水繰返しせん断時のひずみの発達モデル, 地盤工学ジャーナル, Vol. 7(1), pp. 311-322, 2011. 6) Ishihara, K., and Yoshimine, M.: Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes, Soils and Foundations, 32(1), 173-88, 1992. 7) (財)沿岸技術研究センター: 液状化解析プログラム FLIP による動的解析の実務～FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ～ (事例編), 2011, 入手先<<http://www.flip.or.jp/history.html>>(参照 2015 年 5 月 5 日).