

## 簡易的な材料定数による液状化判定法の開発

岐阜大学 正会員 岡 二三生 岐阜大学 正会員 八嶋 厚  
 岐阜大学 学生会員 ○稲本 昌也 岐阜大学学部生 上村 徳良

## 1. はじめに

兵庫県南部地震以降、液状化判定の諸基準（道路橋示方書に代表される）が次々と改訂されている。それらの多くは、動的応答計算を必要としない簡便法や全応力に基づく動的応答計算による方法である。これらの手法は、実務者にとってかなり使い勝手のよいものである。しかしながら、兵庫県南部地震のような大きな地震動のもとでは、液状化判定の精度がかなり悪くなることが随所で指摘されている。一方、有効応力ベースの液状化解析手法は、地盤の初期状態から液状化に至るまでの過程を精度よく再現することができる。しかしながら、解析に用いられている地盤材料の構成モデルのパラメータが、構成モデルの開発者や経験者のみしか最適に得られなかったり、また有限要素解析自体がメインフレーム・コンピュータでしか作動しないような環境となっているものがほとんどである。そこで、本研究では、著者らが開発した2次元・3次元有効応力液状化解析プログラム「LIQCA」のパソコンバージョンを作成した。初期・境界条件等の入力データの省略化と有限要素メッシュ入力過程の省略をはかり、パソコン環境で有効応力ベースの液状化解析が行える環境を整えた。解析で用いている、砂の繰り返し弾塑性構成式（非線形移動硬化則を用いている）<sup>1)</sup>のパラメータについても、原位置もしくは実験室より得られている情報の量と質に基づいた決定法を提案した。本研究では、兵庫県南部地震時のポートアイランド（PI）の鉛直アレー観測地点の挙動を、提案した解析手法によって再現した。

## 2. ポートアイランド鉛直アレー観測記録の液状化解析

アレー観測は、神戸市がPIにおいて鉛直4深度（GL-83m、-32m、-16m、0m）における3方向成分の観測を実施したものである。本研究では、GL-83mの水平動に関して Sugito ら<sup>2)</sup>の指摘により22°の方向補正を施したものの中から、NS成分について解析を行った。地震動は、北西-南東方向にその震動方向が卓越しており、必ずしもNS方向の入力のみで地震時の液状化過程が忠実に追跡できるものではないが、提案した簡易有効応力液状化解析手法のパフォーマンスを確認するために解析を行った。

## [解析パラメータの決定]

解析パラメータは理想的には、各種調査・試験に基づいて決定されるべきであるが、ここで解析対象とした地盤においては十分な情報が得られていない。したがって、最小限の地盤情報、つまり土層構成およびN値等の情報から、解析パラメータの推定を行った。今後液状化判定が実施されるであろう地盤についても、十分な調査・試験が実施されるとは限らない。したがって、本研究で提案する簡便的なパラメータ決定手法は、今後の液状化解析に非常に有効な武器となる。

|         |          |                                          |
|---------|----------|------------------------------------------|
| せん断波速度  | $V_s$    | : 道路橋示方書Vに基づき、N値より推定                     |
| 初期せん断剛性 | $G_0$    | : $G_0 = \rho V_s^2$ より決定                |
| 破壊角     | $\phi_f$ | : $\phi_f = \sqrt{20N} + 15$ より決定        |
| 変相角     | $\phi_m$ | : $\tan \phi_m = 0.875 \tan \phi_f$ より決定 |
| 液状化強度   |          | : 1) N値より相対密度を推定<br>2) 相対密度より液状化強度を推定    |
| 硬化パラメータ |          | : 液状化強度曲線のフィッティングより推定                    |

## [解析結果]

地表面からGL-83mまでを、9種類の土層でモデル化し、それらをさらに細分化して全体で33要素に分割した。方向補正されたNS成分をGL-83mに入力した。解析は主要動が始まってから20秒間を対象とした。有効応力解析にはパソコンを用いた（CPU: Pentium-133MHz）。有限要素解析の入力作業の省力化のため、メッシュ入力等が省略できるソフトウェアを開発した。つまり、地盤の土層の種類とその分割数、密度、地下水位のみを入力すれば、自動的に有限要素メッシュ、境界条件、初期応力条件、排水条件等が設定できるようにした。20秒間（2000ステップ）の計算には、およそ6分間を要した。計算された情報は、パソコンのハードディスクに記録され、Excel等の図表作成ソフトにより瞬時に図形化処理できる構成とした。解析結果の一例を以下に示す。

図-1には、入力地震動と地表面での加速度履歴を示す。埋土層の液状化によって地盤が軟化し、応答加速度が長周期化している様子がよく理解できる。図-2には、埋土層および沖積粘土層下部の砂層の過剰間隙水圧比（過剰間隙水圧/初期鉛直有効応力、この値が1になると液状化に至ったことを意味する）の時刻歴を示す。埋土層においては、過剰間隙水圧比がほぼ1となり液状化に至ったことがわかる。また、沖積粘土層下

部の砂層においても過剰間隙水圧比の大きな上昇がみられ、地盤がかなり軟化したことがうかがえる。主要地震動中の地盤のせん断応力-せん断ひずみ関係を図化したものが図-3である。この図より、埋土においては数パーセントという大きなせん断ひずみが発生していることがわかる。また、沖積粘土層下部の砂層においてもかなり大きなせん断ひずみが発生していたことがわかる。

### 3. おわりに

パソコンハードの向上、大記憶容量化と、図形処理ソフトウェアの高度化が、パソコン環境での有効応力液化化解析を可能とした。適切な材料パラメータが推定されれば、数十分という時間単位で、解析から出力までが実行できる。しかしながら、もっとも重要なのは、正確な液化化強度を再現するための材料パラメータをいかに決定するかである。本研究で紹介したパラメータの推定手法は、その一例であり、今後さらに多くのケーススタディを通して改善されなければならない。

参考文献 1) Oka et al. (1992) Proc.10WCEE, pp.2529-2534. 2) Sugito et al. (1995) 土木学会論文集, No.531/I-34, pp.51-63.

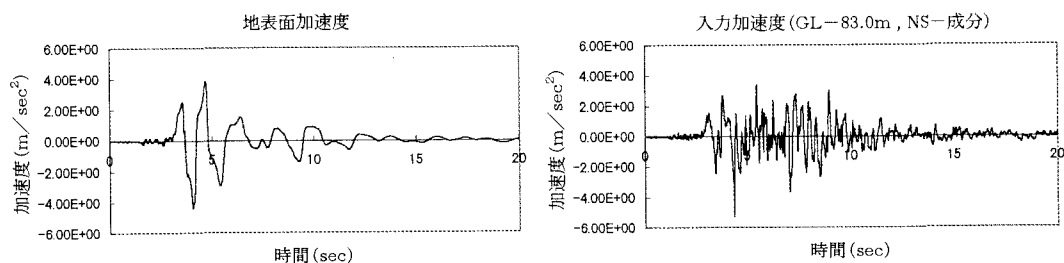


図-1 入力地震動と地表面での加速度履歴

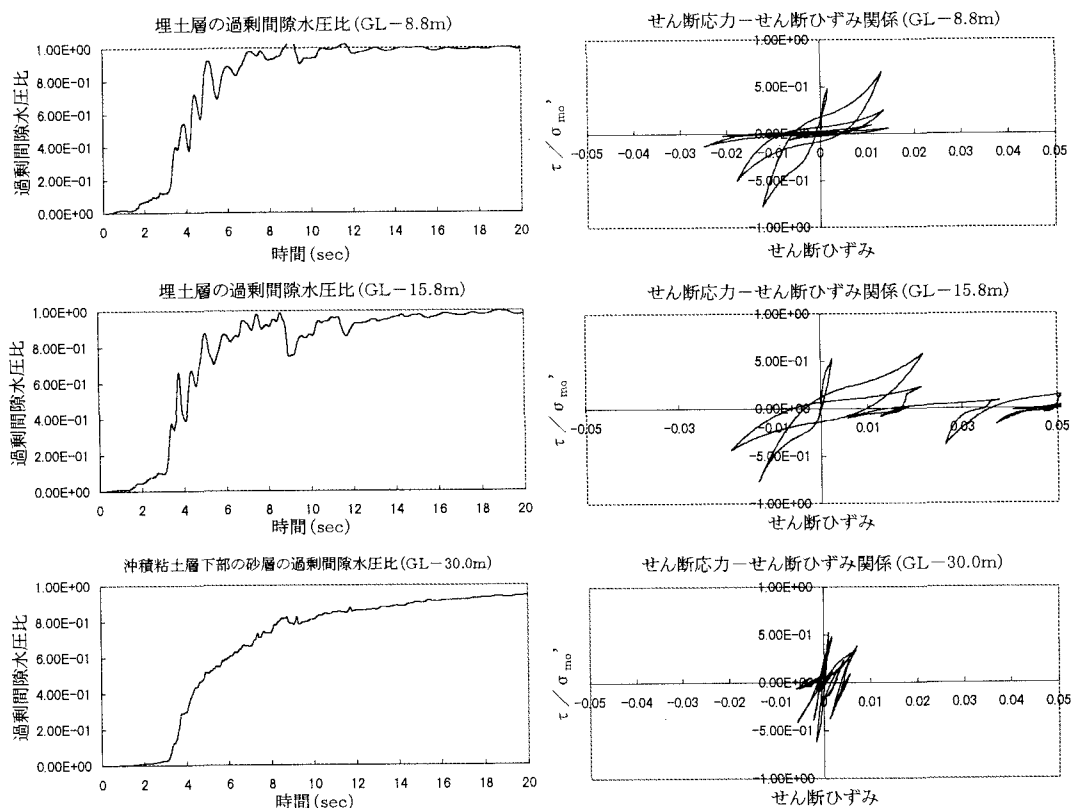


図-2 埋土層および砂層の過剰間隙水圧比

図-3 埋土層および砂層のせん断応力-せん断ひずみ関係