

Ⅲ - 292

剛塑性動的変形解析による液状化過程のシミュレーション

(株)大林組 正 ○小島真志
 名古屋大学 正 大塚 悟
 名古屋大学 正 松尾 稔

1. はじめに

地震による地盤構造物の残留変形の評価は構造物の安定性の検討だけではなく、変形を生じた場合の2次災害を防止する上で極めて重要である。剛塑性構成式による地盤構造物の地震時残留変形量の予測は構造物が破壊に至るような大荷重を受ける問題に適している。文献1)では盛土構造物を例に残留変形や崩壊モードの解析を行い、剛塑性動的変形解析の適用性について詳細に検討を行った。しかし、過去の崩壊事例には地盤や構造物が液状化、もしくは繰り返し荷重の影響によって強度の低下を起こして、崩壊や変形を引き起こした事例が数多く報告されている。本研究は液状化を伴うような地盤構造物の残留変形量の評価を目的に、Carterら(1982)の構成式を剛塑性構成関係に適用した解析を試みた。

2. 解析手法の概要

地震時の挙動を非排水条件にモデル化してMisesの降伏関数を適用すると、非排水強度が剛塑性構成式の入力定数となる。液状化に伴う強度の低下を、Carterらの考え方を用いて応力履歴の関数に表し、剛塑性解析を適用する。土の挙動はカムクレイモデルに従うものとする。Carterらは繰り返し荷重に対する地盤の液状化過程を表現するために、荷重の載荷方向の変化による弾性的除荷において降伏関数が縮小するモデルを提案した。このモデルでは、カムクレイモデルの降伏関数の硬化パラメータ p'_y を応力状態の変化に応じて次式で表している（図1参照）。

$$\frac{dp'_y}{p'_y} = \theta \frac{dp'_c}{p'_c} \quad \text{where } dp'_c < 0 \quad (1)$$

p'_c は有効応力状態 σ の大きさを示すパラメータであり、硬化パラメータに対応する。図1に示すようにカムクレイモデルの降伏関数と相似形の応力関数を用いている。 θ は降伏関数の縮小率を表すパラメータであり、 θ が大きいと液状化し易くなる。非排水強度は非排水パスと降伏応力とから一意的に与えられる。図2に示すように、A点にある応力に繰り返し荷重を作用する場合の有効応力経路を考える。載荷と共に応力はB点に移動する。AからB点までは非排水強度に変化はない。しかし、荷重方向の変化に伴う除荷を受けると降伏関数が縮小するために有効応力はC点を経過してD点に達する。この時に発揮される強度はAからBに至る載荷時に較べて低下し、応力履歴の影響を表す。このように地盤の応力状態と降伏関数を追跡することによって地盤の非排水強度を刻々と定義して、剛塑性変形解析を実施する。基礎方程式等は文献1)を参照されたい。

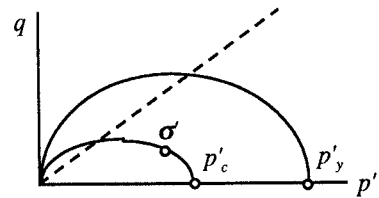


図1 Carterらのモデル

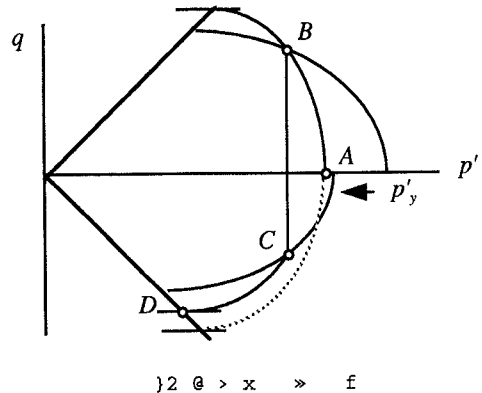


図2 $\theta > 1$ の場合

3. 平面ひずみ試験のシミュレーション

剛塑性動的変形解析を用いて繰り返し平面ひずみ試験の数値解析を実施した。供試体には側圧 23.3kN/m^2 を載荷し、軸方向に最大荷重 10.0kN/m^2 の繰り返し荷重（sin波）を周期を変化させて載荷する。用いた弾塑性パラメータは表1に示す。供試体中央上部、端点上部の2点において鉛直変位、過剰間隙水圧、並びに有効応力経路を解析から求めた。解析結果を図3、4に示す。周波数はそれぞれ 0.05, 5.0 Hz を用いている。変位図は変位量を供試体長さで基準化した量を示し、有効応力経路については第2不変量を縦軸にして記述している。両者共に初期には剛体挙動を示すが、過剰間隙水圧の上昇にしたがって液化化すると大変形を生じる。長周期の場合には1周期で大変形が発生したことから計算を中止している。短周期の場合には実線と破線を示しているが、実線は供試体中央部、破線は端部の挙動を示している。慣性力が働くために供試体内部では要素性が失われている。

表1 弾塑性パラメータ

M	1.2	θ	1.0
λ	0.25	κ	0.130435

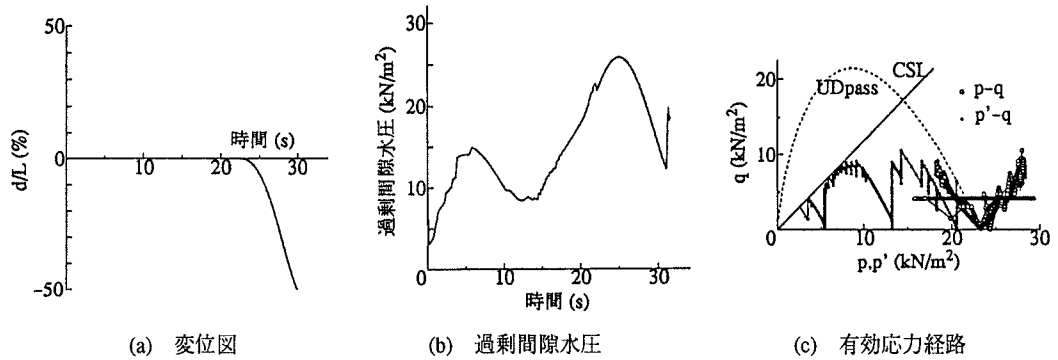


図3 長周期の場合の変位、過剰水圧、有効応力経路

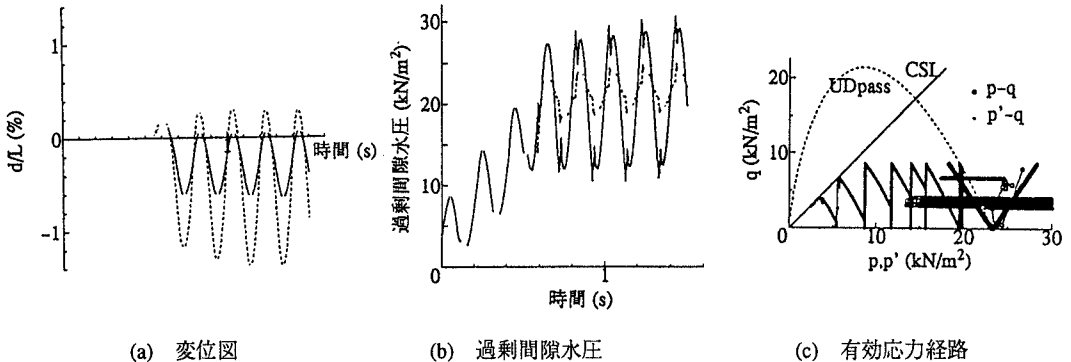


図4 短周期の場合の変位、過剰水圧、有効応力経路

参考文献：

1. 小島, 大塚, 松尾 (1995) : 幾何形状変化の及ぼす残留変形への影響, 土質工学研究発表会 (投稿中)
2. J.P.Carter, J.R.Booker and C.P.Wroth (1982) : A critical state soil model for cyclic loading, Soil Mechanics - Transient and Cyclic Loads, pp.219-252, Wiley.