

III-297 多曲面モデルによる二次元液状化解析

髙奥村組 技術研究所 正会員 森尾 敏

髙奥村組 電算センター 正会員 塚本耕治

1. まえがき

筆者ら¹⁾は、繰り返し载荷時の砂の挙動を表現する異方硬化モデルを提案し、土質工学会シンポジウム²⁾で取り上げられた要素試験（非排水単純せん断試験）の解析および新潟地震での川岸町地盤の二次元液状化解析を行い、他の7種類のモデルと比較した。本報では、同様に同シンポジウムで取り上げられた遠心力载荷実験のシミュレーション解析を行い、初期せん断を有する二次元問題への本モデルの適用性を調べた。

2. 解析の概要

提案したモデル¹⁾は、偏差応力比 η_{12} ($=S_{12}/\sigma'_m$ 、 S_{12} : 偏差応力、 σ'_m : 有効平均主応力) 空間で負荷曲面の移動、拡大（縮小）を考えた多曲面モデルで、Drucker-Prager型の境界曲面内に異方硬化則を導入したものである。

対象とした実験は、Cambridge 大学所有の振動型遠心载荷装置による水浸（シリコンオイル使用）盛土の振動実験で、41.8gの遠心力場で行われている。入力地震波は、58.8 Hz の疑似正弦波、最大加速度は 20 % G (41.8g の何%に相当するかを示す) で、解析には 200 Hz のローパスフィルターをかけた図-1を用いた。解析に用いたFEMのメッシュを図-2に示す。図中に、実験結果と解析結果を比較した節点番号 (NP)、要素番号 (四角で囲んだ数字) を示した。

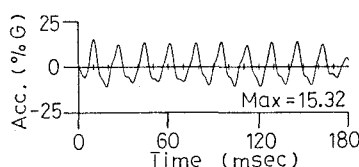


図-1 入力地震波

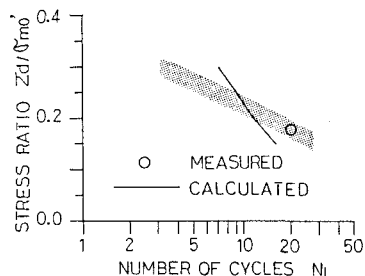


図-3 液状化強度曲線

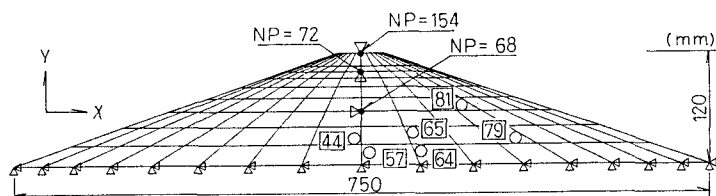


図-2 解析モデル

モデルは天端まで水没しており、各節点は非排水とした。初期

期応力は、シンポジウムとほぼ同様の手順で決定した。まず、41.8gの場で線形自重解析を行い、得られた各要素の σ'_m から $G_o = 8672 (\sigma'_m)^{1/2}$ kPa を用いて初期せん断弾性係数 G_o を決めた。この G_o とポアソン比 $\nu = 0.3$ を用いて再度線形自重解析を行い、得られた応力を初期応力とした。ただし、側方有効応力と鉛直有効応力の比 K_o が0.4を下回る要素は、 $K_o = 0.4$ になるように側方有効応力を設定し直した。

実験に用いられた砂 ($G_s = 2.65$ 、 $e_{max} = 1.025$ 、 $e_{min} = 0.65$) の相対密度 D_r は60%で、内部摩擦角 $\phi = 39^\circ$ 、変相角 $\phi_m = 32^\circ$ 等の物性値はシンポジウムと同じにした。本モデル固有のパラメーターは1つで、 $a = 25$ とした。このパラメーター値を用いた液状化強度曲線を図-3に実線で示す。図中の○印はシンポジウムで設定された強度で、着色部のような強度曲線を想定した。

時間積分法、収束計算法、レイレイ減衰の係数は文献1)と同じで、積分時間間隔は0.1 msecとした。

3. 解析結果

図-4に加速度時刻歴、図-5に過剰間隙水圧時刻歴を示す。解析では間隙水圧の上昇に伴う加速度振幅の低下がうまく表現されていないが、実験との対応はおおむね良い。図-6に地震終了時 (0.18秒) の変形と過剰間隙水圧の等高線を示す。過剰間隙水圧=0の線より上方では、0～-3 kPa程度の負の間隙水圧が発生している。図-7に要素44と要素57のせん断応力-せん断ひずみ関係、有効応力経路を示す。要素44は

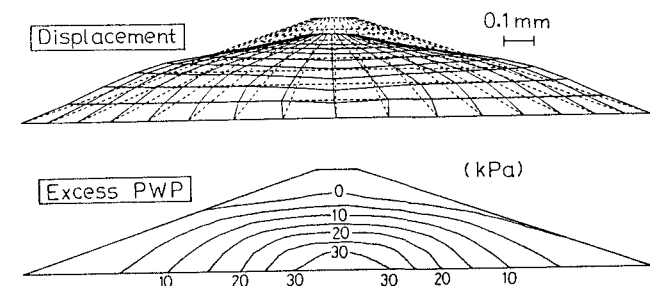


図-6 地震終了時の変形、過剰間隙水圧の等高線

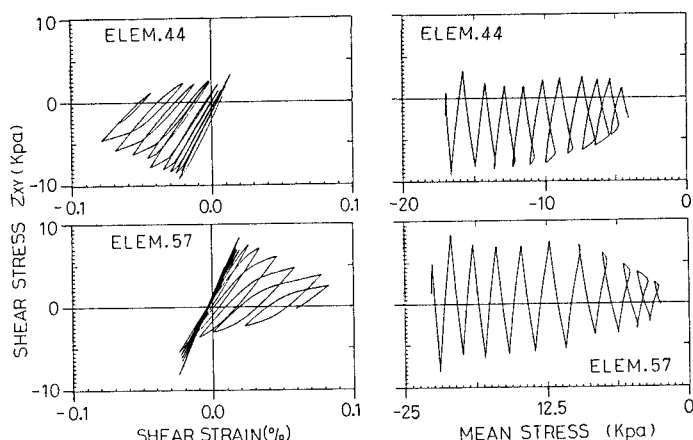


図-7 応力-ひずみ関係、有効応力経路

の初期せん断応力、要素57は+の初期せん断応力を有しており、初期せん断の方向にひずみが累積される傾向が表現されている。これは、初期せん断の方向にせん断応力が作用するときの硬化係数が小さくなる（負荷曲面の径が大きくなる）ためである。また、6波目（100 msec付近）以後せん断応力振幅が低下する傾向が表現されている。図-6の変形は、この（残留）せん断ひずみによる変形と間隙水圧上昇に伴う剛性低下が重力のもとで生み出す変形の和を表しており、堤体の透水性を考慮すると異なった結果が算出されることが予想される。

4. あとがき

本解析は、有効応力に基づくFEM解析プログラム（DIANA-J）に提案したモデルを組み込んで行った。解析結果は、実験結果を比較的良く表現しており、文献2）の他のモデルによる結果と大差ないものであると考えられる。動的解析のCPU時間は、IBM-4381（3.8 MIPS）で75分であった。

謝辞：遠心力実験データ、FEM節点データ等は、佐藤工業㈱・中央技術研究所・吉田博士からいただいた。記して、謝意を表す。
参考文献：1）森尾ほか、「多曲面モデルによる液状化解析について」、第25回土質工学研究発表会 2）石原ほか、地盤と土構造物の地震時の挙動に関するシンポジウム、PP. 50～133、1989

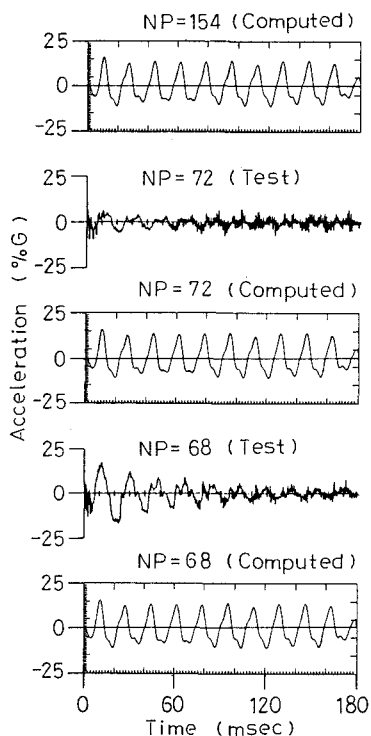


図-4 加速度の時刻歴

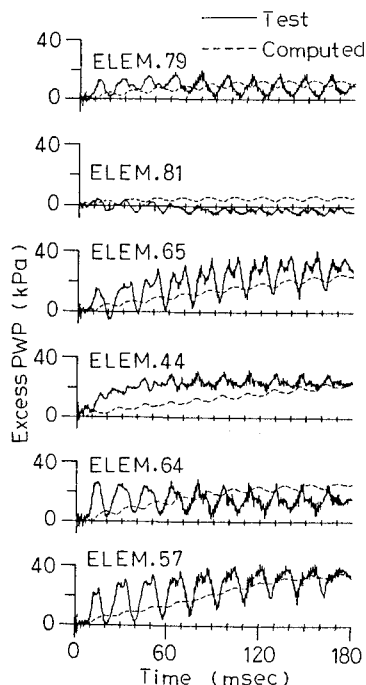


図-5 過剰間隙水圧の時刻歴