

## III-482 盛土の二次元液状化解析

東京都土木技術研究所 正会員○阿部 博 草野 郁

**1. はじめに** 本報告は、東京都が土構造物の液状化対策を目的として開発している有限要素法を用いた二次元平面ひずみ動的有効応力解析プログラム"EFFCTD"での解析結果を述べたものである。解析の対象としてCambridge大学で行われた盛土の遠心載荷実験を選んだ。

**2. 解析手法** "EFFCTD"では、地盤の動的応力～ひずみ関係に修正R-0と修正H-Dと呼ばれている2つの関数型履歴曲線を用い、運動方程式を増分形で表し微小時刻ごとの接線剛性とせん断強度を有効応力法から求め、中央差分法あるいはNEWMARK- $\beta$ 法で直接積分して応答を得る。過剰間隙水圧変化はSeedら<sup>1)</sup>の間隙水圧上昇実験式から直接求めているが、不規則波への適用では国生ら<sup>2)</sup>の提案した方法に従った。なお、修正R-0と修正H-Dモデルはもともと一次元で表現されているため二次元化にあたっては、①一次元での鉛直応力 $\sigma'_v$ は平面ひずみ条件下の平均主応力 $\sigma'_m$ で表し、②二次元平面ひずみ弾性マトリックスでのせん断剛性率 $G$ は一次元の応力～ひずみ関係から得られる接線剛性率 $G_s$ で置き換え、地震時には $G_s$ だけを変化させ体積弾性係数 $K$ を一定とする応力・ひずみマトリックスとした。また、過剰間隙水圧の発生は一次元での水平面上のせん断応力 $\tau_{xy}$ に対応させて②から得られる水平面上のせん断応力 $\tau_{xy}$ のみで生じるとしている。

**3. 初期せん断応力の影響評価** 盛土斜面とその基礎地盤には、地震前から初期せん断応力が作用しており、その大小が地震時挙動に影響すると考えられる。相対密度 $D_r=60\%$ の飽和豊浦砂についての異方圧密平面ひずみ条件下で初期せん断応力 $\tau_0$ を加えた非排水中空ねじり繰返しせん断試験から、繰返し回数20回における $\tau_0/\sigma'_{m1}=0.0, 0.15, 0.3$ での過剰間隙水圧比 $u_v/\sigma'_{v1}$ を求め図-1に示す。初期せん断応力比 $\tau_0/\sigma'_{m1}$ が $0.1\sim 0.15$ とある程度作用していると $\tau_0/\sigma'_{m1}$ が $0.0$ の場合よりもやや間隙水圧が上昇しやすい傾向を示すが、さらに $\tau_0/\sigma'_{m1}$ が大きくなると間隙水圧が上昇しにくくなる傾向がある。解析ではこの関係を不規則波でも利用できるように、等価せん断応力の概念を使いプログラム化<sup>3)</sup>した。

**4. 解析モデルと解析結果** 解析の対象を土質工学会"地盤と土構造物の地震時の挙動に関する研究委員会"<sup>4)</sup>で取り上げた動的遠心載荷実験とした。解析モデルと計測器位置を図-2に示す。基本的な土質パラメータは表-1に示すように委員会が設定した値に従い、解析条件も同じとした。ただし、ポアソン比 $\nu$ は非排水状態に近づけるために $0.40$ とした。"EFFCTD"が独自に必要なパラメータは $D_r=60\%$ の豊浦砂から推定し、実験式に含まれる過剰間隙水圧の上昇度をきめる $\xi$ を全要素一律 $0.5$ 、液状化に至るまでの応力比 $\sigma d/2\sigma'_{m0}$ と繰返し回数 $N_L$ の関係を示す $\eta$ を $-3.77$  ( $N_L=5$ で、 $\sigma d/2\sigma'_{m0}=0.26$ と推定)、修正R-0モデルの $\beta$ を $1.4$ 、 $\alpha' (=2^\beta)$ を $2.64$ とした。線形静的解析の後、修正R-0と修正H-Dの2つのモデルで有効応力解析を行った。数値積分には中央差分法を用い、時間増分を $0.005$ ミリ秒、解析時間を $180.45$ ミリ秒とした。

修正R-0での解析結果として過剰間隙水圧と加速度、せん断応力の時刻歴を図-3に、修正H-Dの結果を図-4に実験計測値と合せてそれぞれ示す。過剰間隙水圧と応答加速度の最大値は両モデルとも計測値に近い。修正R-0で求めた過剰間隙水圧の時刻歴は、周期までは合っていないが実験時のサイクリックモビリティと見られる激しい水圧変動を加振終了まで追跡している。一方、修正H-Dではその変動を表現できない。初期せん断応力が過剰間隙水圧に及ぼす影響を評価したが、動的せん断応力がかなり大きいため、大半の要素で有効上載圧まで水圧が上昇しており、その差は出なかった。加速度応答の時刻歴では、修正R-0が定常波動的であるのに対して、修正H-Dでは計測値と同じように振幅が低下する傾向を再現している。せん断応力時刻歴でも修正R-0では定常波形状、修正H-Dは収斂形状を示した。図示していないが、加振終了時の変形状は、計測値が押込まれたような沈下を示すのに対して、両モデルとも大小の差はあるが天端の浮き上がりを伴う横ずれを示しており実験を再現できなかった。現在、加振終了時の自重解析から沈下量を求める方法を検討している。最後に、解析用データを提供していただきました竹中工務店の塩見忠彦氏に謝意を表します。

