

III-191

根固めを含む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 既存土構造物の液状化対策として深層混合処理工法をモデル化した振動台実験¹⁾を対象に、著者らが開発している二次元動的有効応力解析プログラム"EFFCTD"²⁾でのシミュレーション結果を報告する。

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モデルと呼ばれている関数型履歴曲線を用い、初期剛性法によるNEWMARK- β 法で直接積分して応答を得る。有効応力法では過剰間隙水圧の変化に伴う、微小時刻ごとのせん断剛性率とせん断強さを求める必要がある。本手法では、Seedら³⁾が提案した規則波に基づく間隙水圧上昇実験式を不規則波で運用可能とした国生ら⁴⁾の方法に準拠して水圧上昇を求めている。さらに、かなり単純化しているがサイクリックモビリティに伴う有効応力増加も評価している。

盛土斜面と基礎地盤には、地震前から初期せん断応力が作用しており、その大小が過剰間隙水圧発生に影響すると考えられる。著者らは、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を加えた非排水中空ねじり繰返しせん断試験結果²⁾に基づき、最大発生水圧に制限を加えてきたが、Masing則に基づく修正 R-0モデル自体は変えていない。今回は、初期せん断応力作用時の残留ひずみを評価するために、藤川ら⁵⁾が提案した初期せん断応力作用方向のせん断剛性率をMasing則を改良して低下させる方法をプログラム化した。

3. 実験概要 振動台実験には図-1に示す規模のせん断土槽を使用した。模型基礎地盤には豊浦標準砂($D_{50}=0.20\text{mm}$)を使用し層厚は70cmとした。相対密度 D_r が60%になるように、乾燥砂の空中落下高さを調整して砂層を作成したが、投入した砂重量から求めた D_r は79%で密な状態を示した。深層混合処理地盤は、格子状(改良率38%)および杭状(改良率27%)のコンクリート製改良体(単位体積重量 2.3gf/cm^3)を盛土法尻位置にそれぞれ設置した。改良体の寸法および計測器の配置は図-1に示した。地盤面まで飽和させた後、高さ29cm、天端幅15cm、法勾配1:1.5の不飽和豊浦砂盛土を作成した。液状化加振は土槽長手一方向で、入力波形は1983年日本海中部地震において秋田港で記録された加速度NS成分の波形を時間軸で1/4に圧縮し、実験継続時間は14秒とした。底盤でモニターした入力最大加速度は194gal(目標値170gal)であった。計測された加速度と過剰間隙水圧の時刻歴波形の一部を図-2に示す。

4. 解析モデルと解析結果 二次元FEM解析モデルを図-3に、解析土質パラメータを表-1に示す。直接積分は時間増分を0.0003125秒、初期剛性法の繰返し回数を2回とし、解析時間は実験開始から5.0秒間とした。解析から得られた加速度と過剰間隙水圧の時刻歴を対応する計測値とあわせて図-4に示す。なお、解析から得られた水圧は有効平均応力表示であり計測値の有効上載圧表示と異なる。図-4から、解析応答加速度の波形形状と最大振幅値、最大振幅発生時刻ともに計測値とよく一致している。過剰間隙水圧時刻歴では、有効上載圧との比から計測値が盛土直下では液状化を示さず、側方地盤では液状化することを確認している。斜面下で計測された水圧は、激しい変動を伴って上昇するが液状化には至っていない。一方、解析から得られた各水圧値の発生時刻は計測値にほぼ一致すること、また、側方地盤では計測値と同様に液状化を示すことが有効平均応力との比から確認できたが、斜面下と盛土直下で水圧がかなり上昇しており、特に盛土直下では液状化を示し、計測値との差が出ている。図-5に最大せん断ひずみ分布と4.5秒における過剰間隙水圧比、変形形状を示す。液状化加振後測定した地表面での変位量から、杭状改良体は横倒れしながら改良体頂部が12mm側方地盤側に移動し、格子状改良体は移動していない結果が得られている¹⁾。盛土部の変形は改良体の挙動に支配されており、杭状改良体側では法尻の沈下は大きい側方流動のために周辺地盤の沈下が少なくなっている。このことから、格子状改良の方が杭状改良より側方流動防止効果は大きいと判断した。図-5でも、改良法の差異が表われており同様な考察が可能である。最後になりますが、振動台実験、解析を担当していただいた大崎総合研究所と清水建設技術研究所、CRC 総研の皆様に感謝いたします。

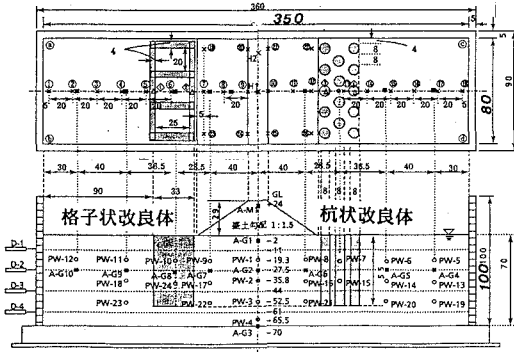


図-1 模型盛土地盤の断面図と計測器配置

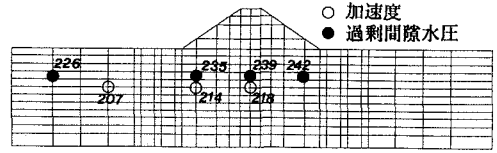


図-3 解析モデル

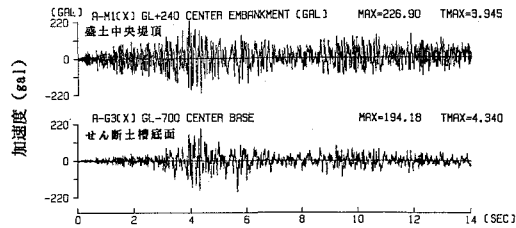


図-2 計測された加速度と過剰間隙水圧の時刻歴

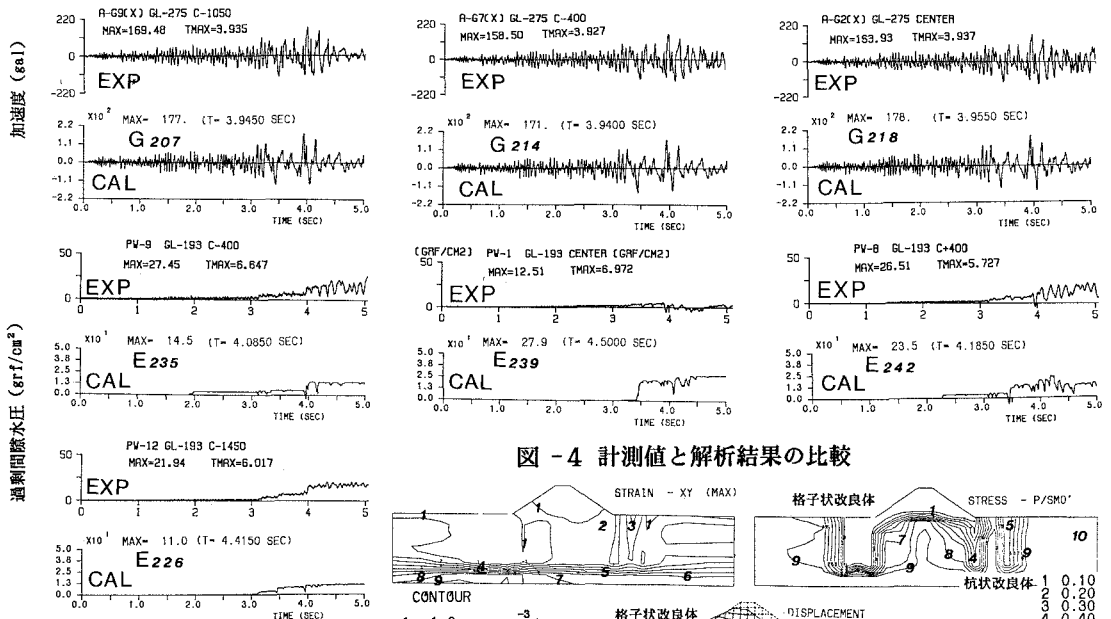


図-4 計測値と解析結果の比較

表-1 解析土質パラメータ

	修正R-0モデル					水圧上昇パラメータ		
	h_{max} (%)	α' (2°)	β	ϕ' (度)	ϕ_{cw} (度)	R_{sw}	η	E
CASEB-4	32	3.18	1.87	39	28	0.165	-9.83	0.5
盛土地盤	29	4.05	2.02	39	28	---	---	---

盛土地盤の $1\sigma/c^*$ あたりの初期せん断剛性係数 G_0 を23880、盛土の G_0 を18783とした。
 h_{max} は最大減衰比、 α' と β は非線形パラメータ、 ϕ' は有効応力表示の内部摩擦角、 ϕ_{cw} は液相角、 R_{sw} は液状化抵抗応力比で超臨界域圧の場合には増加補正している。
 η は液状化強度直線の勾配、 E はSeedらの実験式のパラメータで一般には0.7が使用されている。
 盛土地盤のポアソン比 ν は0.4とした。改良体のコンクリートは弾性体としている。

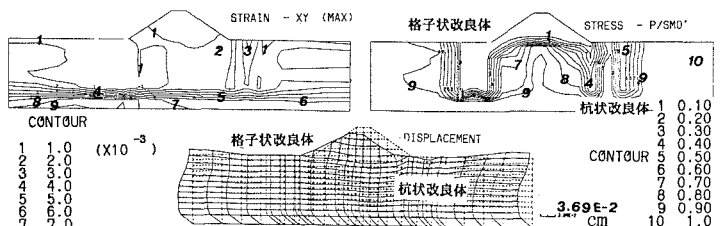


図-5 最大せん断ひずみと4.5秒での水圧比、変形状

参考文献

- 1) 阿部 博、草野 郁(1998): 盛土を含む砂地盤の液状化振動台実験、第28回土質工学研究発表会、投稿中
- 2) H.ABE(1992): Two dimensional liquefaction analysis for ground with embankment, IONCEE, pp.888-897
- 3) Seed, H.B. et al.(1976): Pore-Water Pressure Changes during Soil Liquefaction, Proc. ASCE, Vol.102, GT4
- 4) 国生剛治、江崎靖行、坂井彰雄(1982): 砂層の液状化現象についての数値シミュレーション、電中研報告、ND-381023
- 5) 藤川智、福武毅夫、大槻明(1992): 初期せん断作用時の応力・ひずみ関係と加振中における残留変形解析、第27回土質工学研究発表会、pp.1111-1114