

豊浦砂を用いた盛土の模型振動実験のシミュレーション

ハザマ技術研究所 正会員 浦野和彦
 ハザマ技術設計部 正会員 足立有史
 ハザマ技術設計部 正会員 三原正哉
 理化学研究所 正会員 渦岡良介

1. はじめに

阪神・淡路大震災における盛土の被害以降、盛土の地震時残留変位が重要となり、残留変位を算定するため弾塑性 F E M 解析による検討が行われるようになってきている。本報は、乾燥砂による盛土の動的挙動の把握を目的として、(財)鉄道総合技術研究所で行われた 1G 場での盛土の振動台実験¹⁾を弾塑性 F E M 解析により数値シミュレーションした結果を報告するものである。

2. 解析モデルと解析条件

(1) 解析モデル

解析では、Okazaki²⁾の弾塑性モデルを用いた弾塑性 F E M 解析を用いた。解析に用いた F E M モデルを図 - 1 に示す。振動台実験の実測点と応答値を比較するための解析結果出力節点も図中に示した。ここで、A01H は水平加速度、D01 ~ D06 は水平または鉛直変位である。境界条件としては、実験模型と同様に、底面を固定、側方は鉛直のみ自由とした。

表 1 に設定した豊浦砂の材料パラメータを示す。初期せん断剛性は、動的変形試験における微小ひずみ領域の値により決定した。破壊応力比は、内部摩擦角 ($\phi = 42$ 度) から算定した。また、その他のパラメータの設定に関しては、動的変形試験 (拘束圧 0.5 kgf/cm^2) と相対密度が同等な豊浦砂の液状化強度試験結果を参考に要素シミュレーションを行い決定した。

(2) 解析条件

初期応力は、Drucker-Prager 型の降伏曲面をもつ弾完全塑性モデルを用いた自重静的解析により算定した。実験では斜面の表面をメンブレンで被い、内側から弱い負圧 (0.17 kPa) で引くことで擬似的に小さい粘着力を発生させている。また、盛土天端にはサーチャージ (10 gf/cm^2) があり、解析ではサーチャージ分の荷重を作用させ、サーチャージの作用している斜面内の初期応力状態を忠実に再現した。

入力波は、図 - 2 に示す振動台実験の台加速度波形 A19H (5Hz の規則波形、最大加速度 618 gal) をそのまま用いた。解析での時間増分は 0.002 秒、解析時間は 130 秒間とした。また、初期剛性比例型の Rayleigh 減衰を用い、減衰定数が 2% となるようにその係数を設定した。

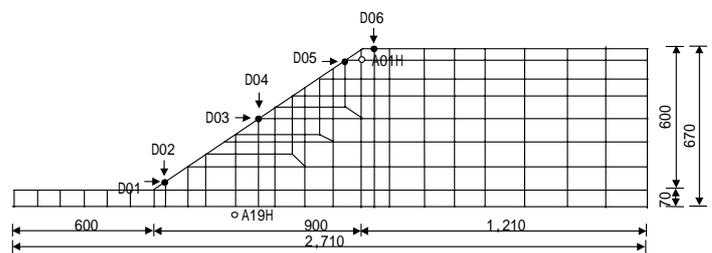


図 - 1 解析モデル

表 - 1 解析に用いたパラメータ一覧

密度	$\rho (\text{t/m}^3)$	1.55
初期間隙比	e_0	0.66
圧縮指数	λ	0.025
膨潤指数	κ	0.0025
過圧密比	OCR	1
初期せん断弾性係数	G_0 / σ'_{m0}	1531
変相応力比	M_m	0.98
破壊応力比	M_f	1.406
硬化パラメータ	B_0	5000

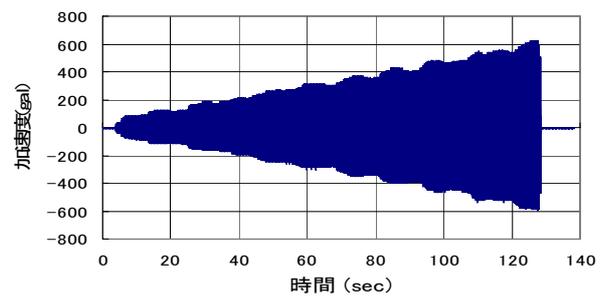


図 - 2 入力波

3. 解析結果

図 - 3 に水平及び鉛直変位の時刻歴波形を示す。対応する実験結果は図 - 4 である。水平残留変位に関しては全体的に解析結果の方が大きな値となっている。一方、鉛直残留変位に関しては、盛土天端の D06 以外は実験結果の方が大きな値となっている。また、変形量の経時変化についても、実験結果の方は 70 秒ぐらいから急速に変位が増加するのに比べて、解析結果の方は加振開始から終了まで変位が継続的に増加している。実験における残留変位は斜面にすべり面が生じそのすべりに起因すると考えられるが、本解析では連続体として解析しており局所的なすべり面の解析が十分評価できないため、このような違いが見られると考えられる。なお、本解析モデルではせん断弾性係数を平均有効応力に比例する形で与えており、このため低拘束圧下での剛性を若干小さく評価したと思われる。

図 - 5 及び図 - 6 に加振後の残留変位図を示すが、絶対値に関しては若干の差はあるが、全体的な傾向は一致している。

応答加速度に関しては、法肩近傍の A01H の解析結果が最大値 800gal 程度であるのに対して、実験結果は約 1000gal と解析結果と比較して大きな応答倍率を示しているが、全体的な分布形状は一致している。

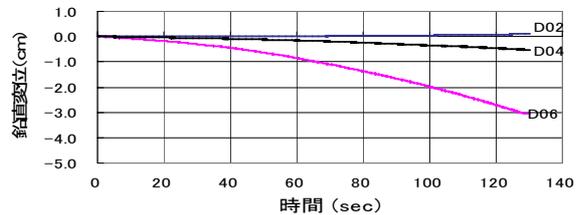
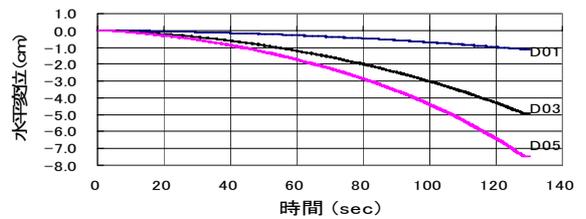


図 - 3 変位時刻歴波形 (解析)

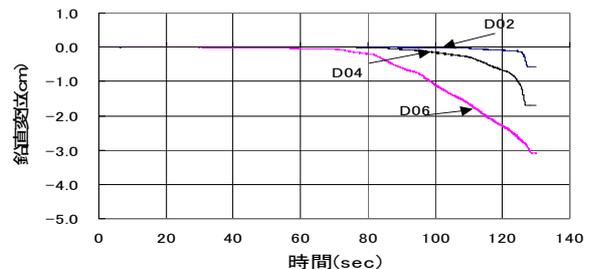
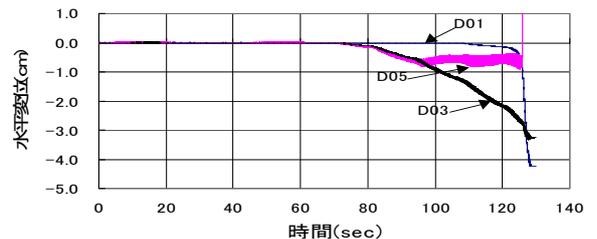


図 - 4 変位時刻歴波形 (実験)

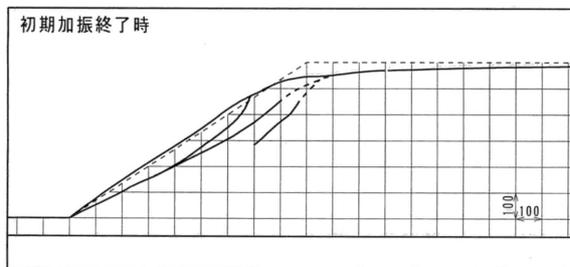


図 - 5 残留変位図 (実験)

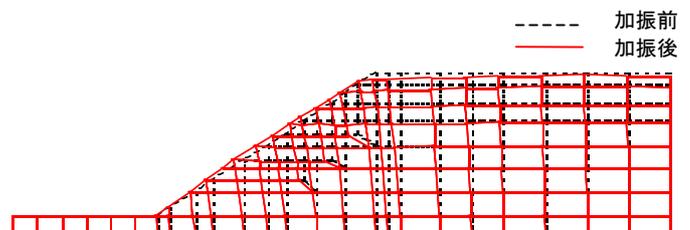


図 - 6 残留変位図 (解析)

4. まとめ

本報では砂の弾塑性モデルを用いた弾塑性 F E M 解析の乾燥砂による盛土の動的挙動への適用性の検討を行った。解析結果より、変形モードや最大加速度分布等の応答の傾向は実験結果とほぼ一致しており、全体的な挙動は再現できているが、すべり等の不連続な挙動の再現に関してはさらなる検討が必要であると考えられる。

なお、本検討は、土木学会 地震工学委員会 高地震力を受ける土構造物の耐震設計に関する研究小委員会(委員長東畑郁生東京大学教授)における活動の一環として実施したものであり、実験に関する資料を提供していただいた(財)鉄道総合技術研究所 館山勝氏には深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1)小島謙一、館山勝、木村英樹、古関潤一、龍岡文夫：盛土の模型振動実験、第 33 回地盤工学研究発表会、pp.1033-1034、1998
- 2)Oka,F.,Yashima,A.,Tateishi,A.,Taguchi,Y.and Yamashita,S.:A cyclic elasto-plastic constitutive model for sand considering a plastic-strain dependence of the shear modulus,Geotechnique ,Vol.49,No.5,pp.661-680,1999