

洪積砂の地震時挙動を対象とした遠心力模型実験の数値解析

ニュージェック 正会員 ○鈴木 達也, 大橋 豊
電力中央研究所 正会員 石丸 真, 沢津橋 雅裕

関西電力 正会員 横田 克哉
東京電力ホールディングス 及川 兼司

1. はじめに

原子力発電所の耐震性検討において、従来は液状化しないと考えられてきた洪積砂に対しても液状化評価が求められるようになってきている。しかし、洪積砂の要素試験や模型実験の事例が少ないことから、合理的な評価は必ずしも容易ではない。別報¹⁾では、天然の洪積砂の液状化特性を再現した模擬洪積砂²⁾について、遠心模型実験が実施されている。本稿では、遠心力模型実験を対象に実施した数値解析の結果について報告する。

2. 解析条件

(1) 概要

水平成層地盤、および開水路模型を対象とした遠心力模型実験について静的解析による自重解析と、時刻歴非線形解析による地震応答解析を全応力に基づいて実施した。解析コードはTDAPIIIを使用した。

(2) 解析物性値と変形特性

表-1, 2に室内要素試験結果より設定した解析用物性値を、図-1, 2に洪積砂(模擬洪積砂)、乾燥砂(栃木珪砂5号)の動的変形特性を示す。なお開水路は弾性挙動が確認されたため¹⁾線形材料として扱った。

(3) 解析モデル

図-3, 4に解析モデル図を示す。図中の引き出し線は後述する計測位置と計測記号を示す。地表面高さは実験の計測値(圧密後の地盤高さ)により設定した。地盤、開水路はいずれも平面歪要素でモデル化している。剛土層を用いた実験条件を再現するため、解析モデルの境界条件は底面を完全拘束、側方は圧縮方向には抵抗し、引張とせん断方向には抵抗しないジョイント要素を設定した。開水路模型では開水路と側方地盤の間に、モデル側方境界と同設定のジョイント要素を設け、開水路底面と地盤は剛結とした。

(4) 入力加速度

入力加速度¹⁾は、土層底面で計測された水平加速度、鉛直加速度をモデル底面に一様に入力した。

表-1 解析用物性値 (水平成層地盤)

パラメータ	洪積砂
密度 ρ (Mg/m ³)	1.920
せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)	平均有効応力 σ'_v を用いて $G_0=16000\sigma'^{0.12}$ より算出
静ポアソン比 ν	0.333
動ポアソン比 ν	0.490

表-2 解析用物性値 (開水路模型)

パラメータ	洪積砂	乾燥砂	開水路
単位体積重量 γ (kN/m ³)	-	15.10	9.42
密度 ρ (Mg/m ³)	1.921	-	-
せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)	平均有効応力 σ'_v を用いて $G_0=16000\sigma'^{0.12}$ より算出	平均有効応力 σ'_v を用いて $G_0=9500\sigma'^{0.12}$ より算出	-
ヤング率 E (kN/m ²)	-	-	7.051E+07
静ポアソン比 ν	0.333	0.333	0.322
動ポアソン比 ν	0.490	0.333	0.322

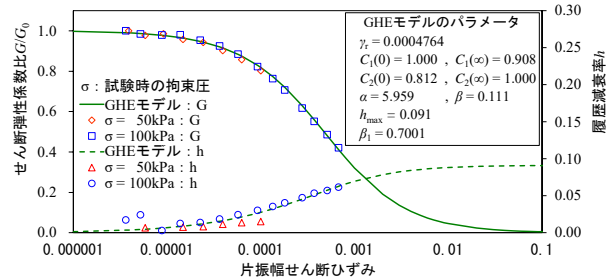


図-1 模擬洪積砂の動的変形特性

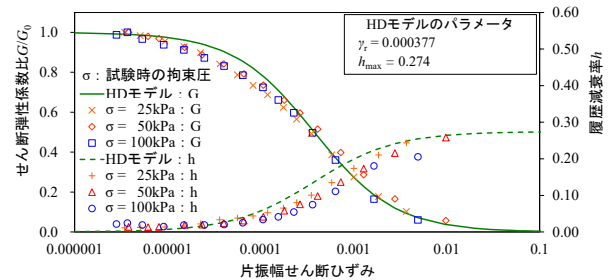


図-2 栃木珪砂5号の動的変形特性

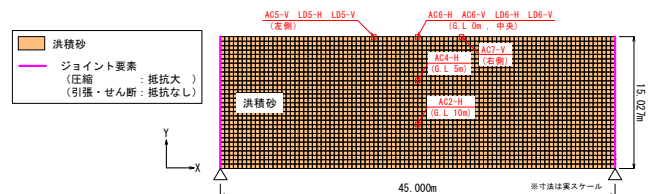


図-3 解析モデル (水平成層地盤)

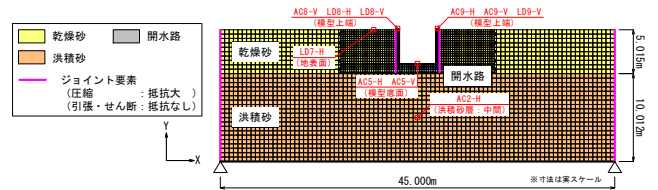


図-4 解析モデル (開水路模型)

キーワード 洪積砂, 液状化, 地震応答解析, 全応力解析, 遠心力模型実験

連絡先 〒531-0074 大阪市北区本庄東二丁目3番20号 (株)ニュージェック 原子力耐震グループ TEL 06-6374-4021 (代)

3. 解析結果

図-5 に水平成層地盤の解析で得られた加速度，変位の時刻歴を示す（実物換算値）．図中の黒線は遠心力模型実験の計測結果（以降，実験結果），赤線は再現解析による応答結果（以降，解析結果）である．比較位置は図-3 に示す位置である．水平加速度は深さに寄らず，位相・振幅共に実験結果と解析結果が整合している．地表面の鉛直加速度も，水平加速度ほどではないが同程度の振幅を再現している．一方，水平変位については，解析結果の方が実験結果よりも振幅が大きく，剛性低下を過大に評価していると推測される．鉛直変位は解析では再現できていない．

図-6 に開水路模型の解析で得られた加速度，変位の時刻歴を，実験結果と比較して示す．比較位置は図-4 に示す位置である．水平加速度は開水路模型，洪積砂ともに解析結果は実験結果を概ね再現しているが，模型上端(AC9-H)で顕著にみられるスパイク状の応答は解析では再現できていない．この傾向は鉛直加速度でも同様に確認された．また，開水路模型上端の水平変位は実験結果と整合していないが，実験結果では開水路模型のロッキング振動が推察され，解析結果では鉛直変位を含めてこれを再現できていないため，水平変位にも差異が生じたと考えられる．

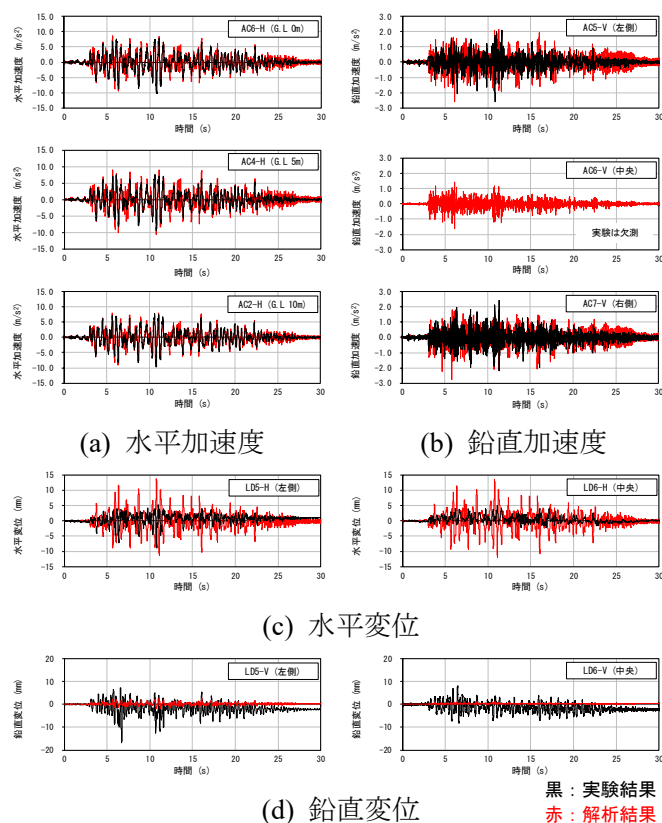


図-5 解析結果（水平成層地盤）

4. まとめ

本研究では，洪積砂の地震時挙動を対象とした遠心力模型実験について，全応力に基づく地震応答解析により再現解析を実施した．本研究対象の洪積砂のように，過剰間隙水圧比が 1.0 まで上昇せず，せん断破壊するような地盤材料の場合，全応力解析でも水平成層地盤の水平加速度，鉛直加速度，水平変位を実験と同等あるいは包絡する形で再現することができた．一方，全応力解析では，鉛直変位を再現することは困難であった．この傾向は，洪積砂を支持地盤とする開水路模型でも同様に確認され，結果として開水路模型のロッキング振動による水平変位の増加分を過小評価した．この点は今後の課題である．

謝辞

本論文は，2018～2020 年度原子力リスク研究センター共通研究（北海道電力，東北電力，東京電力 HD，中部電力，北陸電力，関西電力，中国電力，四国電力，九州電力，日本原子力発電，電源開発，日本原燃）によって得られた成果である．

参考文献

- 1) 沢津橋ほか：洪積砂の地震時挙動を対象とした遠心力模型実験，土木学会第 76 回年次学術講演会，2021．
- 2) 沢津橋ほか：人工材料による模擬洪積砂の液状化特性，第 56 回地盤工学研究発表会，2021．

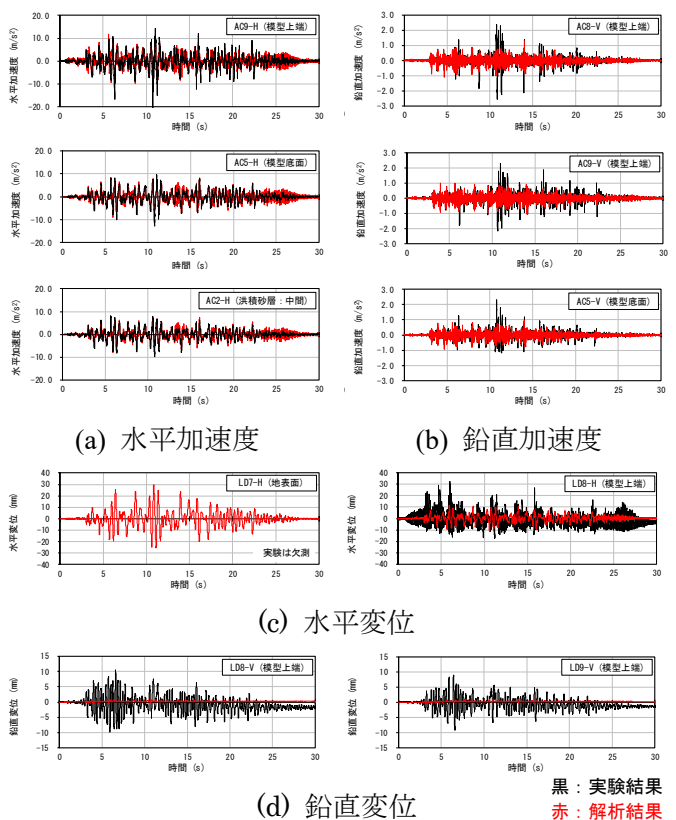


図-6 解析結果（開水路模型）