

## 洪積砂の地震時挙動を対象とした遠心力模型実験

電力中央研究所 正会員 ○沢津橋 雅裕、石丸 真  
 セレス 平賀 健史  
 東京電力ホールディングス 非会員 及川 兼司  
 関西電力 正会員 横田 克哉

### 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。本研究では、天然の洪積砂の液状化特性を再現した模擬洪積砂<sup>1)</sup>の遠心力模型実験について報告する。

### 2. 地盤材料の物性

本実験で使用した地盤材料の物性値を表1に、粒度分布と配合表を図1に示す。本実験では、飽和地盤層として模擬洪積砂を、開水路模型側面の乾燥砂層として栃木硅砂5号を使用した。模擬洪積砂は文

表1 地盤材料の物性値

項目	模擬洪積砂 <sup>[5]</sup>	栃木硅砂5号(D <sub>90</sub> )
乾燥密度 $\rho_d$ (Mg/m <sup>3</sup> ) <sup>[1]</sup>	1.50	1.54
間隙比 e	0.787	0.761
粘着力 c (kPa) <sup>[2]</sup>	48.2	10.1
内部摩擦角 $\phi$ (deg) <sup>[2]</sup>	44.2	53.8
透水係数 k (m/s) <sup>[3]</sup>	$3.46 \times 10^{-4}$	$5.63 \times 10^{-4}$
液状化強度 $R_L$	$1.67(\sigma'_c=50\text{kPa})$	
( $\gamma_{DA}=7.5\%$ , $N_c=20$ ) <sup>[4]</sup>	$1.01(\sigma'_c=100\text{kPa})$	
	$0.71(\sigma'_c=150\text{kPa})$	

[1] 目標密度として供試体を作製、[2] 圧密排水中空ねじり試験より、[3] 定水位透水試験より、[4] 非排水繰返し中空ねじり試験より、[5] 材齢約14日まで封緘養生

献りと同一のものであり、実物の洪積砂の乾燥密度、粒度分布、液状化強度を再現できるように配合を決定し、材齢14日を基本に各種の要素試験を実施した。非排水繰返し中空ねじり試験においては、過剰間隙水圧比が1に到達することなく、供試体斜めにせん断帯が形成され破壊する現象が観察された。栃木硅砂5号の粘着力が10.1kPaと比較的大きいが、これは低拘束圧 ( $\sigma'_c = 15\sim 100\text{kPa}$ ) で試験を実施したため、見かけのインターロッキング効果が強く発現されたためだと考えられる。

### 3. 遠心力模型実験

本研究では、遠心力模型実験の相似則<sup>2)</sup>に従い、剛土槽内に前述の地盤材料と粘性流体 (50mN/m<sup>2</sup>・s

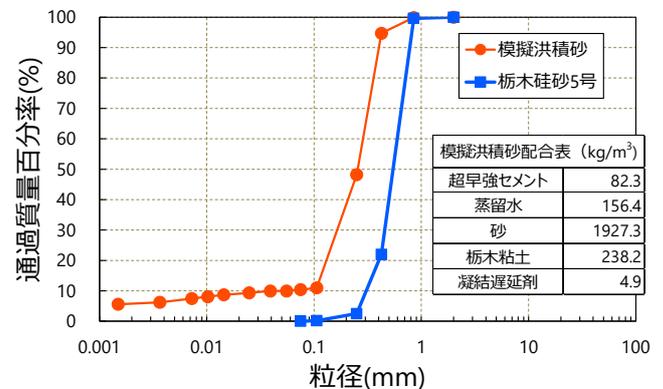


図1 模擬洪積砂と栃木硅砂5号の粒度分布と配合表

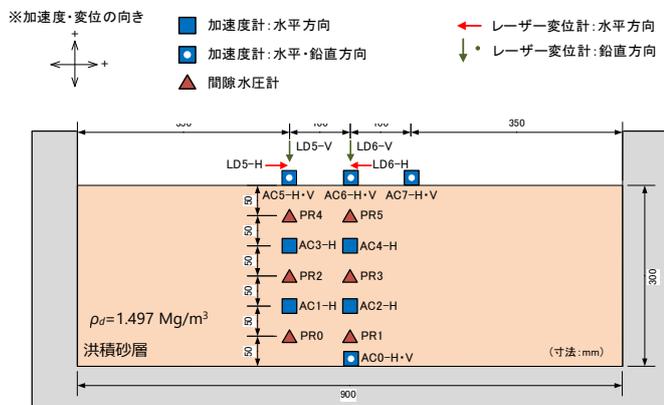


図2 地盤模型と計測器配置 (水平成層地盤)

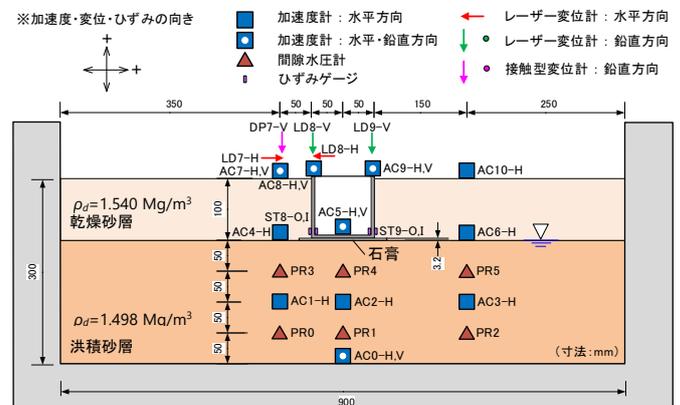


図3 地盤模型と計測器配置 (開水路模型)

キーワード 洪積砂、液状化、沈下、遠心力模型実験、過剰間隙水圧比

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 一般財団法人 電力中央研究所

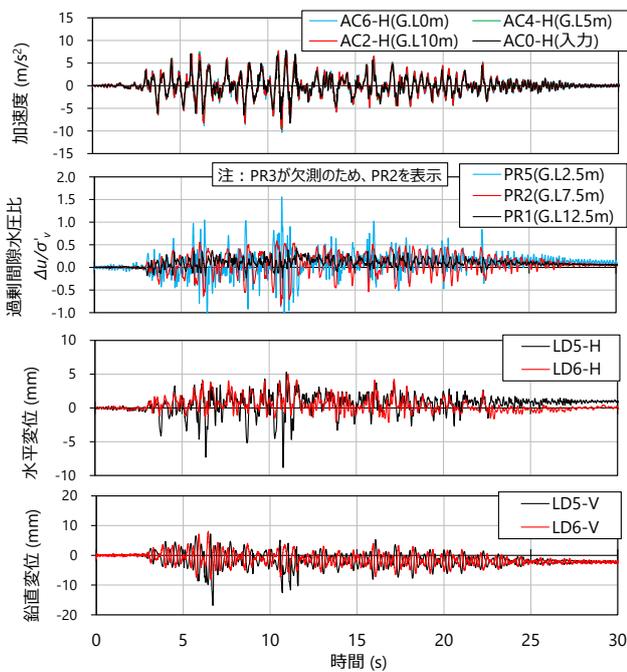


図4 加振終了までの水平加速度・過剰間隙水圧比・水平変位・鉛直変位の時刻歴（水平成層地盤、実物換算値）

のシリコンオイル)を用いて飽和水平成層地盤または開水路支持地盤を作製し、遠心加速度 50G の遠心力場で加振実験を行った。図2、3に地盤模型の形状と計測器配置図を示す。地盤模型の寸法は幅 900×高さ 300×奥行 300mm であり、各種計測器は奥行方向中央断面付近に設置した。開水路模型については、加工が容易なアルミ合金を材料とし、見かけ単位体積重量が RC を材料とする実物（部材厚さ 0.7m）と同等となる範囲で、曲げ剛性 EI が実物と近い値（実物の 2.3 倍）となるように部材厚さを決定した。

図4に水平成層地盤の加振終了までの水平加速度、過剰間隙水圧比、水平変位、鉛直変位の時刻歴を示す（以下、実物換算値で示す）。水平加速度は土槽底面から地表面に向かって 1~3m/s<sup>2</sup> 程度増幅しており、位相のずれが見られない。過剰間隙水圧比は、浅部 PR5 は瞬間的には 1.0 を上回っているが、全体としては 0.5 以下に留まり、加振中から消散が始まっている。水平変位は最大 10mm 以下に留まり、残留変位も 1mm 未満である。鉛直変位は加振終了とともに変位がほぼ停止し、最終的に約 3mm の沈下が発生した。

図5に開水路模型の加振終了までの水平加速度、鉛直加速度、過剰間隙水圧比、鉛直変位の時刻歴を示す。水平成層地盤と同様に、水平加速度は土槽底面から地表面に向かって増幅している。振動台のロ

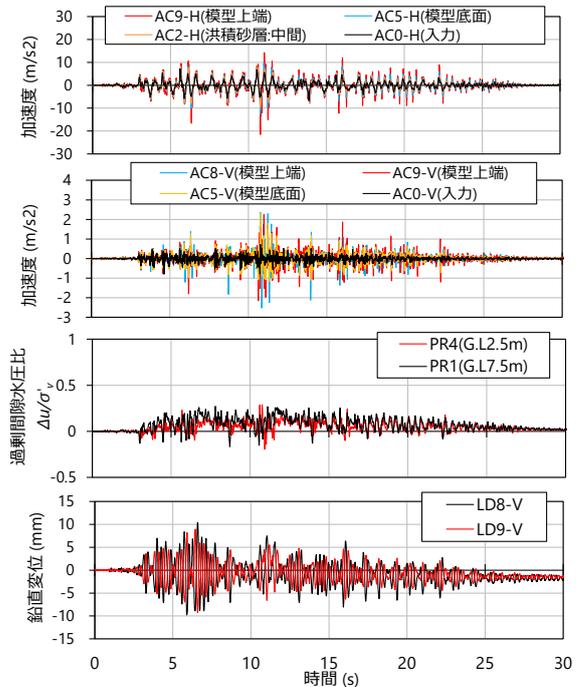


図5 加振終了までの水平加速度・鉛直加速度・過剰間隙水圧比・鉛直変位の時刻歴（開水路模型、実物換算値）

ッキングによって意図せず入力された鉛直加速度は開水路模型上端で増幅しているが、開水路模型のロッキングによるものと推察される。また、過剰間隙水圧比は 0.4 以下に留まった。開水路模型の沈下量は 2mm 程度、残留傾斜量にして約 1/9000 と微小であった。なお、模型側面のひずみは最大でも 200μ $\epsilon$  程度、残留ひずみは 10μ $\epsilon$  未満と弾性範囲内に収まった。

#### 4. まとめ

本研究では、模擬材料を用いて洪積砂の地震時挙動を対象とした遠心力模型実験を行い、実証的なデータを取得した。続報<sup>3)</sup>では、本実験を対象とした数値解析の結果を報告する。

#### 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、東京電力ホールディングス、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) 沢津橋他：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
- 2) 風間基樹、稲富隆昌：遠心力載荷模型実験手法の振動実験への適用について、土木学会論文集、No. 477/I-25、pp.83-92、1993
- 3) 大橋他：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、土木学会第 76 回年次学術講演会、2021