

砂層の相対密度の空間的なばらつきが防潮堤杭基礎の地震時挙動に及ぼす影響に関する実験的検討

大林組
セレス

正会員

○加藤一紀
平賀健史

電力中央研究所 正会員
九州電力

石丸真, 沢津橋雅裕
徳永仁志

1. はじめに

原子力発電所の耐震性検討では、地盤物性のばらつきとその保守性を適切に考慮する必要がある。特に、液状化強度については、試験数量が限られることから、液状化強度の下限值を用いた評価が行われる場合もあるが、局所的に液状化強度の低い領域を地盤全体の代表値として扱うことが、実現の再現という観点から合理的でない可能性が考えられる。そこで本報では、相対密度が相対的に低い領域の空間配置の異なる2ケースの遠心力模型実験を実施し、防潮堤杭基礎の地震時挙動に及ぼす影響を検討した。

2. 実験条件

図1に鋼製せん断土槽（内寸 1950mm×600mm×660mm）に作製した防潮堤模型、地盤模型、および奥行方向中央断面における計測器の配置をケースごとに示す。遠心重力は50Gとし、図中の数値は表1の相似則に基づき実物換算した寸法を表す。以降、実物換算した値を用いる。

地盤模型は下部から、ソイルセメントによる基盤層、人工地盤材料¹⁾による固結砂層、沿岸部の表層付近の風成層から採取した細砂²⁾ (G_s

= 2.668 , $\rho_{dmax} = 1.649 \text{ Mg/m}^3$, $\rho_{dmin}=1.429\text{Mg/m}^3$) による砂層より構成されている。砂層と固結砂層には一般部と体積比で2割程度の弱部を設けており、ケース1, 2では砂層の弱部配置のみ異なる。地盤模型の管理目標値と実績値を表2に示す。なお、間隙流体には粘度 50mN/m²・s のシリコンオイルを脱気して用い、水位は地表面とした。

防潮堤模型は杭基礎が地上部に突出した形式としており、杭先端を土槽底板に固定した。杭模型はステンレス製の中空パイプ（模型寸法：φ=24mm, t=0.5mm）を用い、図1に示す深度の内側にひずみゲージを設置した。プロトタイプの地上部壁重量を模擬するため、杭の軸応力が一致するように、地上部には鉄板を設置して重量調整をした。また地上部は加振直角方向に隣接する杭同士を鉄粉配合パテで固定し、地中部は地盤のすり抜けを防止する目的でシリコンシーラントを用いて間詰めした。

加振ステップと振動台の最大加速度を表3に示す。模擬地震波は、紙面左右方向に一方加振し、加振後の地盤の過剰間隙水圧が消散したことを確認した後に、次の波を入力した。

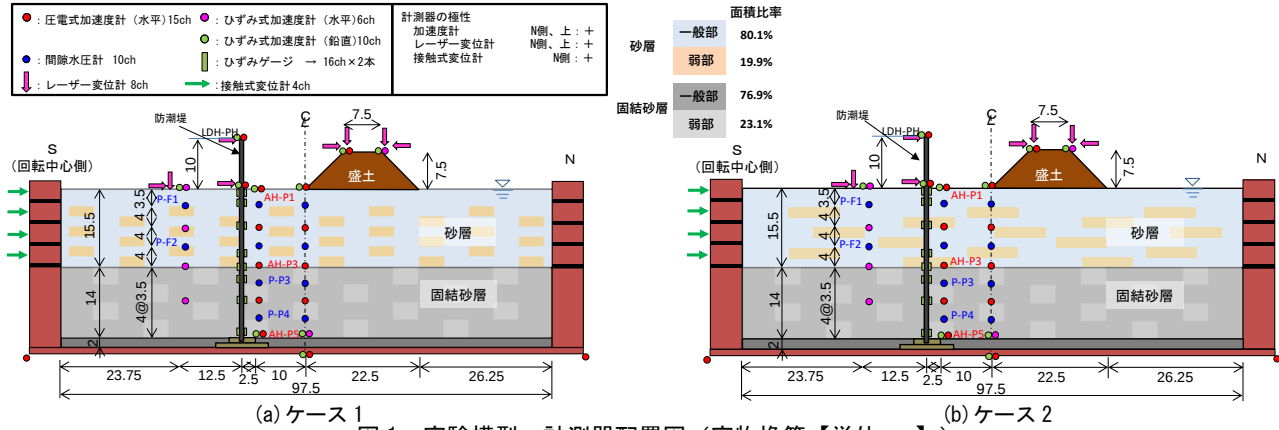


表1 相似則

物理量	模型/実物	縮尺
長さ	1/n	1/50
密度	1	1
時間	1/n	1/50
振動数	n	50
応力	1	1
間隙水圧	1	1
変位	1/n	1/50
速度	1	1
加速度	n	50

表2 地盤模型の目標値と実績値

地盤	管理項目	目標値	実績値	
			ケース1	ケース2
砂層	乾燥密度 Mg/m ³ (一般部)	1.656	1.655	1.656
	乾燥密度 Mg/m ³ (弱部)	1.576	1.575	1.575
固結砂層	乾燥密度 Mg/m ³ (一般部)	1.500	1.500	1.502
	乾燥密度 Mg/m ³ (弱部)	1.500	1.501	1.502
	一軸圧縮強度 MN/m ² (一般部)	-	0.389	0.310
	一軸圧縮強度 MN/m ² (弱部)	-	0.105	0.100
基盤層	一軸圧縮強度 MN/m ²	-	1.825	1.444

表3 加振ステップと振動台最大加速度

加振波	振動台加速度 m/s ²	
	ケース1	ケース2
ホワイトノイズ	0.3	0.2
模擬地震波 (1回目)	6.9	6.6
ホワイトノイズ	0.4	0.5
模擬地震波 (2回目)	8.6	8.4
ホワイトノイズ	0.4	0.4

キーワード 砂, 相対密度, 液状化, 杭基礎, 遠心力模型実験

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組技術研究所構造技術研究部 TEL042-495-1264

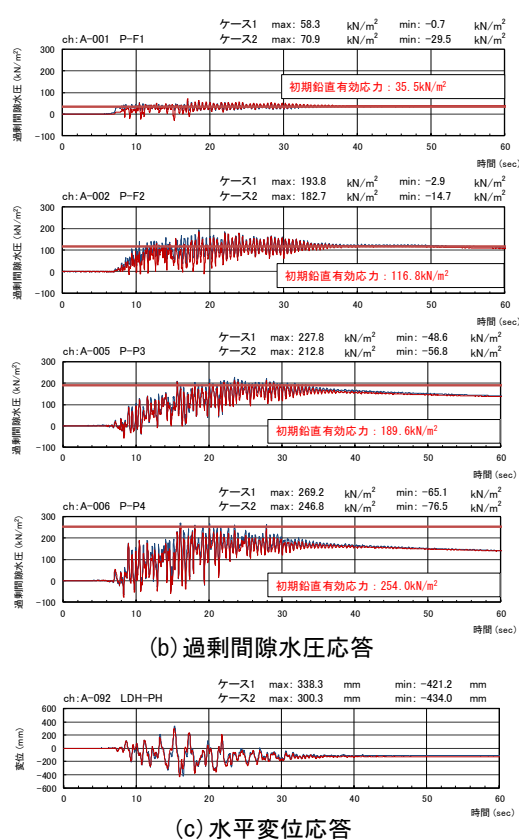
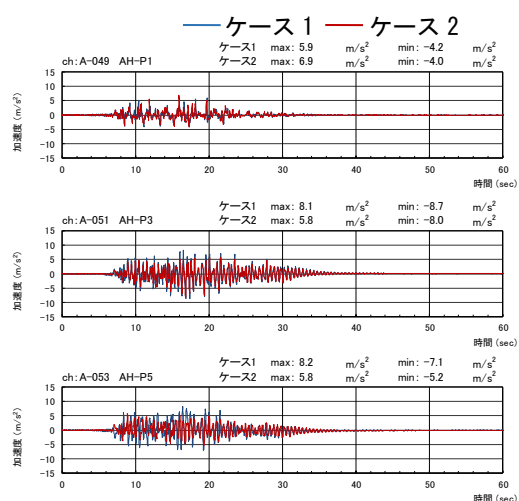


図2 模擬地震波（1回目）応答

3. 実験結果と考察

図2(a)～(c)にケース1, 2における水平加速度・過剰間隙水圧・防潮堤杭頭の水平変位応答を並べて示す。

水平加速度について、基盤層上端ではケース1の方がケース2と比較してやや大きい。固結砂層上端については基盤層上端と同様の応答波形が見られ、最大値については基盤層上端よりもやや増幅傾向である。一方、砂層上端（地表面）については8s付近からスパイク状の応答が見られるとともに、10s以降、加速度応答が小さい。これは10s以降、砂層で過剰間隙水圧が初期鉛直有効応力に達しているためである。

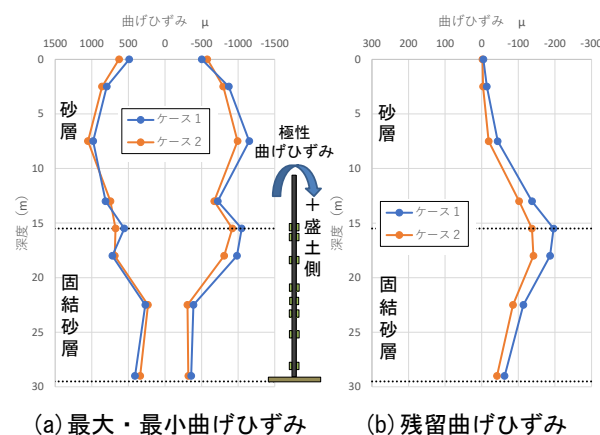


図3 曲げひずみ分布

過剰間隙水圧について、固結砂層は杭近傍地盤の応答を示し、砂層は杭近傍地盤に設置した間隙水圧計がケース1において応答不良であったため、上載圧が等しい自由地盤の応答値を示している。砂層では、過剰間隙水圧が初期鉛直有効応力相当まで上昇しており、加振終了後も水圧が維持されている。一方で、固結砂層においては加速度が入力されてから20s付近まで過剰間隙水圧が上昇し、その後、上昇が頭打ちとなり、30s以降、加振力が落ちてくることに伴い、過剰間隙水圧は消散し減少傾向となっている。ケース間の比較では、ケース1の方が入力加速度はやや大きかったため、過剰間隙水圧のピーク値もケース1の方がわずかに大きい。しかしながら、過剰間隙水圧の上昇過程や消散過程については、ケース間で大きな差は見られない。

防潮堤杭頭の水平変位について、ケース1と2で差はほとんど生じておらず、残留変位もほぼ等しい。

図3(a), (b)に防潮堤杭基礎の各深度での最大・最小の曲げひずみ分布、および加振終了時の残留曲げひずみ分布を示す。負曲げ側でわずかに差がみられるもののその差は小さくほぼ同様の応答であると考えられる。

4. まとめ

砂層における弱部配置を変えた条件で2ケースの実験を実施し、砂層・固結砂層における過剰間隙水圧応答、防潮堤の水平変位応答、および杭の曲げひずみ応答は両ケースでほぼ等しい結果となった。

謝辞：本論文は、2022年度原子力リスク研究センター持ち寄り共通研究（北海道電力、東北電力、東京電力HD、中部電力、北陸電力、中国電力、四国電力、九州電力、日本原子力発電、電源開発、日本原子力）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，2021.9. 2) 石丸他：液状化強度の空間的なばらつきが砂地盤の地震時挙動に及ぼす影響，電力中央研究所報告，2021