

FLIP マルチスプリングモデルによる 岩ずり埋立地盤の地震時挙動を対象とした遠心力模型実験の数値解析

鹿島建設	正会員	○小林孝彰, 大野進太郎
電力中央研究所	正会員	石丸真, 沢津橋雅裕
電源開発	正会員	中村智
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、礫質土や岩ずりを対象とした液状化評価の必要性が高まっている。このような地盤に対し、本研究¹⁾²⁾³⁾では要素試験や模型実験によって知見を得るとともに、数値解析による液状化影響評価の合理化を目指している。本稿では、岩ずり埋立地盤の遠心力模型実験を対象とした数値解析について述べる。

2. 解析条件

数値解析には、FLIP ROSE 2D (Ver 7.4.4)を用いた。解析対象は、①密な岩ずりの成層地盤の遠心力模型実験¹⁾²⁾ (図1)と、②盛土を支持する岩ずり地盤の実験³⁾ (図2)である。①の解析では底面を固定境界、側面を鉛直ローラーとし、正弦波(水平最大 13.8m/s^2 、鉛直最大 1.9m/s^2)を底面から入力した。②では底面を固定境界、側面を周期境界とし、模擬地震波(水平最大 10.3m/s^2)を入力した。

表1に岩ずりと盛土(セメント改良土)の物性値を示す。岩ずりについては、表2に示す2種類の液状化パラメータを設定した。パラメータA(要素試験フィッティング)は、同試料の非排水繰返しせん断試験から得た液状化強度曲線にフィッティングしたものである(図3)。後述の通り、この従来法では遠心力模型実験の過剰間隙水圧と水平変位を同時に再現することが困難であった。そこでパラメータB(遠心力模型実験フィッティング)として、実験①の地表面水平変位を対象を絞り、実験値を再現する設定を逆解析的に求めた。その上で、パラメータAとBを実験②の解析に適用し、結果を比較した。

3. 解析結果

図4に解析①の主要な結果を示す。パラメータAの水圧に着目すると、上昇が実験に比べて早いものの、全体的な挙動を概ね再現した(図4c)。地表面水平加速度と水平変位は、実験の振幅を大幅に下回

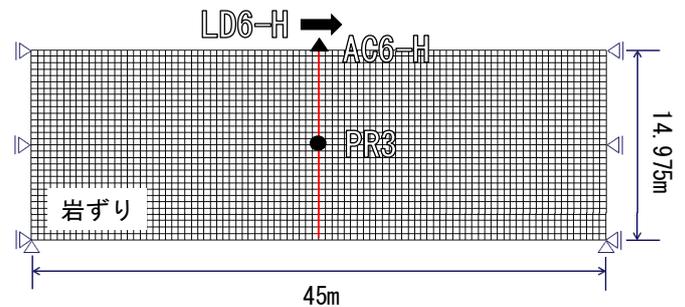


図1 ①岩ずり地盤実験の解析モデル

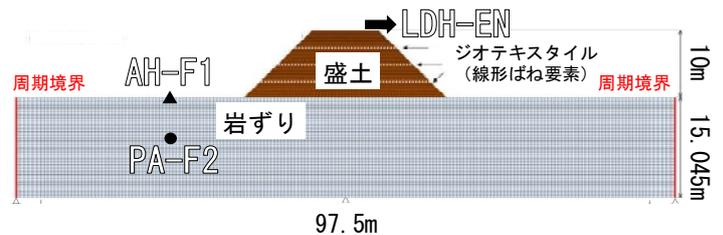


図2 ②岩ずり・盛土実験の解析モデル

表1 岩ずり・盛土の解析物性値
(FLIP マルチスプリングモデル)

パラメータ		岩ずり	盛土	
物理特性	飽和密度	ρ_{sat} Mg/m ³	1.995/1.993	1.926
	間隙率	n	0.361/0.363	0.438
変形特性	動せん断弾性係数	G_{ma} kN/m ²	170937	162600
	体積弾性係数	K_{ma} kN/m ²	454808	2568381
	基準平均有効拘束圧	σ'_{ma} kN/m ²	100	0
	拘束圧依存の係数	m_G, m_K	0.610	0
	ポアソン比	ν	0.333	0.469
	減衰定数の上限値	h_{max}	0.122	0.150
強度特性	粘着力	c' kN/m ²	0	308.94
	内部摩擦角	ϕ' °	44.3	0.001

表2 岩ずりの液状化パラメータ
(FLIP マルチスプリングモデル)

液状化パラメータ		岩ずり A	岩ずり B
変相角	ϕ_p	35.0	35.0
液状化の全体の挙動を規定するパラメータ	W_1	3.2	500.0
液状化の前半の挙動を規定するパラメータ	P_1	1.0	1.0
液状化の後半の挙動を規定するパラメータ	P_2	0.55	0.55
液状化強度曲線の下限を制御するパラメータ	C_1	1.1	1.1
液状化の終局状態を規定するパラメータ	S_1	0.015	0.015

キーワード 岩ずり, 液状化, 遠心力模型実験, 数値解析, FLIP マルチスプリングモデル

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂6-5-30 鹿島建設(株) 土木設計本部 解析技術部 t-kobayashi@kajima.com

った(図4a, b)。これは、水圧上昇に伴って地盤剛性が低下するFLIPマルチスプリングモデルの特性と、実際の岩ずりの挙動(水圧は上昇するものの顕著な剛性低下が発生しない)との乖離を示唆している。一方のパラメータBでは、実験の地表面水平変位を目標に逆解析的にフィッティングした結果、水圧は低く留まり、負圧が大きく発生した。水平加速度は、負圧による剛性増加の影響で、実験値を超えるスパイクが見られた。図5に示す解析②においても、同様の傾向が見られた。パラメータAでは、盛土天端の水平変位の位相が加振初期からずれており、盛土直下の岩ずり地盤の剛性を過小評価していることが分かる。パラメータBでは水平変位の再現性が相対的に良いが、負圧の卓越とスパイク上の加速度は①と同様であった。

4. まとめ

密な岩ずりの遠心力模型実験に対し、FLIPマルチスプリングモデルの従来法では実験の水圧、加速度、変位を同時に再現することが困難であった。一方、①成層地盤の実験の水平変位を対象にフィッティングした液状化パラメータによって、②岩ずり・盛土実験の水平変位を精度よく再現することができた。

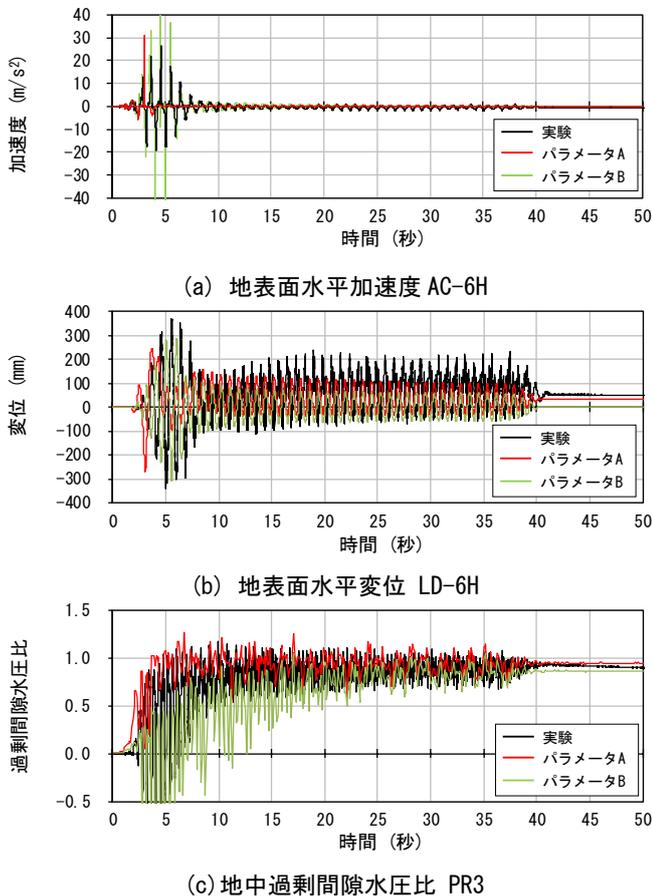


図4 解析結果(①岩ずり地盤実験)

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)の成果である。

参考文献：

- 1) 沢津橋他：損失エネルギーに基づく岩ずり埋立地盤の液状化特性評価，電力中央研究所報告，2021
- 2) 石丸他：エネルギーに基づく岩ずり埋立地盤の液状化予測，土木学会第75回年次学術講演会，2020
- 3) 加藤他：盛土を支持する岩ずり埋立地盤の液状化に関する遠心力模型実験，土木学会第75回年次学術講演会，2020

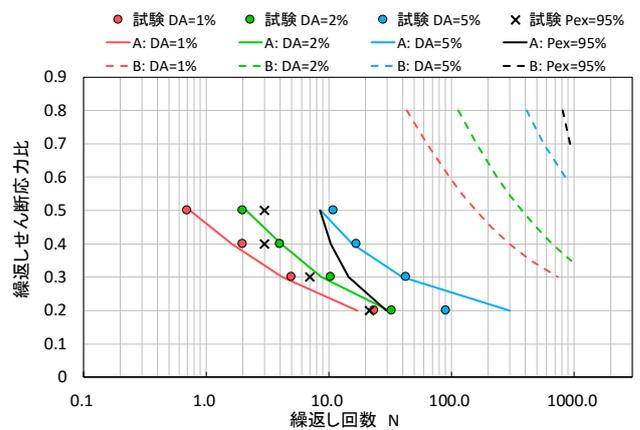


図3 岩ずりの液状化強度曲線(試験と解析)

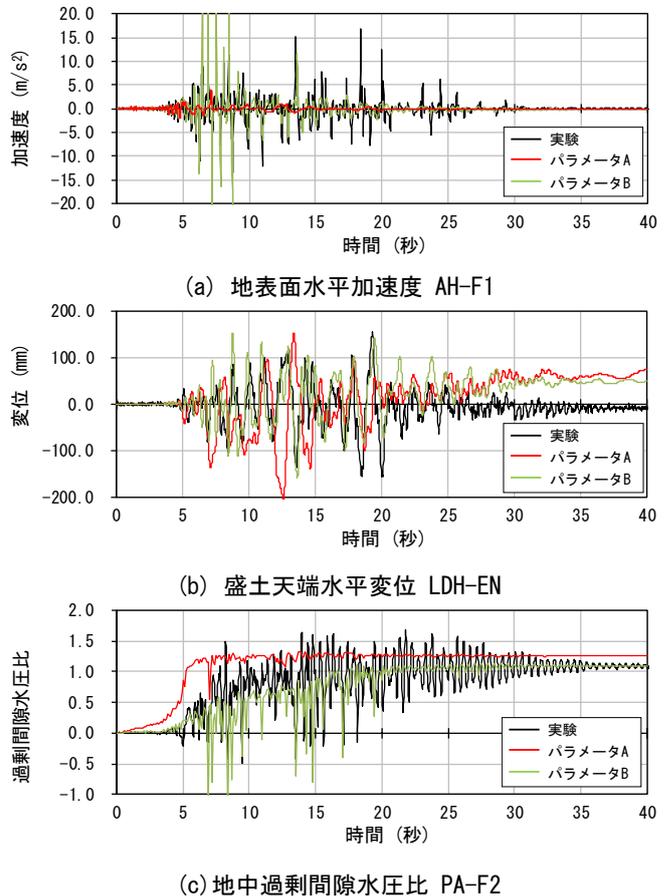


図5 解析結果(②岩ずり・盛土実験)