

浸透および地震を考慮した河川堤防の安定化対策の解析

河川堤防を対象とした豪雨と地震の複合的な災害に対する対策工の効果検証を目的とした 50G 場の遠心模型実験の再現解析を実施した (LIQCA2D20) ^{1),2)}。

図-1, 表-1 に模型概要図と模型材料一覧を示す。対策工として上流側に止水性改良体, 下流側に透水性改良体を配置した。透水性改良体とは, 透水性の高い砕石等に少量のセメントスラリーと水中不分離材を添加し, 空隙を確保した状態で固化したもので, 優れた透水性とせん断強度を兼ね備えた材料である。

図-2 に解析モデルを示す。境界条件は, 基盤層底面を全方向固定, 基盤層および基礎地盤の側面を水平固定・鉛直自由境界とした。基礎地盤の天端および堤体盛土の法面を流入-流出境界とした。表-3, 4 にモデルパラメータを示す。基礎地盤および堤体盛土は三軸試験結果に基づいてパラメータを設定した。改良体は模型材料の一軸圧縮試験結果からパラメータを設定した。水分特性曲線は, 堤体材料, 基礎地盤, 止水性改良体は共通とし, 堤体材料の保水性試験結果を用い, また, 透水性改良体は, 既往の研究における単流砕石を参考に van-Genuchten のパラメータを設定した。実験は, 上流側水位を所定の水位まで上昇後, 定常状態に至るまで一定に保持し, その後, 加振を行った。図-3, 4 に上流側水位データと入力波形を示す。入力加速度は, 正弦波 (2Hz, 250gal, 20 波) である。解析では, 実験時に水圧計により取得した上流側水位を用いて浸透流解析を行った後, 実験と同様の入力波を用いてリスタート解析を行った。表-4 に実験および解析ケース一覧を示す。

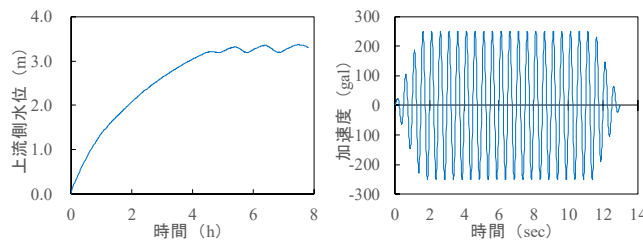


図-3 上流側水位

図-4 入力波形

【水位上昇過程】

図-5 に実験における加振直前の堤体内の水位を示す。堤体内の水位は, 堤体底面の中央部と上流側および下流側法尻部における間隙水圧から算出した。各ケースで上流側水位にばらつきがあるものの, 無対策に比べて対策幅 2.0m の CASE2 の水位勾配は大きい。また, 対策幅 4.0m

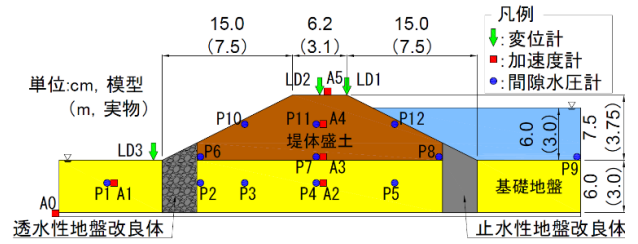


図-1 模型概要図

表-1 模型材料一覧

モデル名	材料	物性等
堤体盛土	日光珪砂 4~8 号 カオリン粘土	$D_{max}=2.0\text{mm}$, $U_c=5.7$, $D_c=85\%$, $\rho_d=1.591\text{g/cm}^3$, $w_{opt}=11.6\%$, $k=2.71 \times 10^{-5}\text{m/sec}$
基礎地盤	東北珪砂 6 号	$D_r=85\%$, $\rho_d=1.621\text{g/cm}^3$, $k=5.6 \times 10^{-4}\text{m/sec}$
止水性改良体	セメント改良体	$\rho_d=1.795\text{g/cm}^3$, $k=6.8 \times 10^{-10}\text{m/sec}$
透水性改良体	ポーラスコンクリート	$\rho_d=1.836\text{g/cm}^3$, $k=5.8 \times 10^{-3}\text{m/sec}$
間隙水	粘性流体	$\eta=50\text{mPa}\cdot\text{s}$

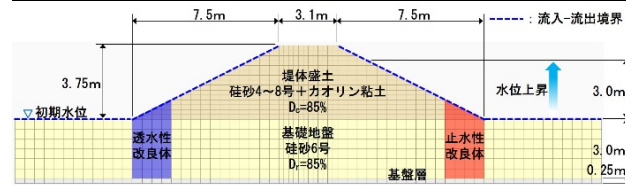


図-2 2次元 FEM モデル

表-2 モデルパラメータ (繰返し弾塑性モデル)

対象材料		堤体盛土 $D_c=85\%$	基礎地盤 $D_r=85\%$
密度	ρ_t (g/cm ³)	1.776	2.017
透水係数	k (m/sec)	5.4E-5	5.6E-4
初期間隙比	e_0	0.677	0.629
圧縮指数	λ	0.0203	0.0061
膨張指数	κ	0.0060	0.0045
擬似過圧密比	OCR	1.0	1.0
無次元化初期せん断係数	G_0/σ_{m0}'	851.2	1600.0
変相応力比	M_m^*	1.459	1.441
破壊応力比	M_f^*	0.908	0.908
硬化関数中のパラメータ	B_0^*	2400	2800
	B_1^*	50	50
	C_f	0	0
規準ひずみ (塑性)	γ_r^{*p}	0.007	0.006
規準ひずみ (弾性)	γ_r^{*e}	0.07	0.04
ダイレイタンシー係数	D_0	3.5	4.5
	n	3.0	1.2
異方性消失のパラメータ	C_d	2000	2000
初期飽和度	S_{r0}	0.63	1.0
水分特性曲線パラメータ	α	1.8	1.8
	n'	4.0	4.0

表-3 モデルパラメータ (弾性モデル)

対象材料		止水性改良体	透水性改良体
密度	ρ_t (g/cm ³)	1.828	1.940
透水係数	k (m/sec)	1.0E-7	5.8E-3
Lame'の定数	λ	1.1E+6	2.5E+6
	μ	5.6E+5	1.3E+6
初期飽和度	S_{r0}	1.0	0.1
水分特性曲線パラメータ	α	1.8	19.0
	n'	4.0	4.2

表-4 ケース一覧

ケース名	対策	
	上流側	下流側
CASE1	なし	なし
CASE2	止水性改良体 2.0m	透水性改良体 2.0m
CASE3	止水性改良体 4.0m	透水性改良体 4.0m

では無対策，対策幅2mに比べ水位が低く，透水性改良体の排水効果が顕著である。図-6に浸透解析終了後の飽和度分布を示すが，対策工の効果により堤体内の飽和領域が縮小しており，実験結果の傾向を再現できている。

【加振過程】

図-7に加振後の変形状況を示す。無対策時は基礎地盤の液状化に伴い法尻が外側に変形するとともに上流側のり面部も液状化による流動変形が発生した。これに対し対策時には基礎地盤の側方変位および上流側の流動が抑制された。これらの挙動を解析において概ね再現できている。

また，図-8に堤体天端中央の沈下量の時刻歴を示す。最終沈下量は実験値に対して解析値が最大2.0倍程度大きな値を示したが，沈下傾向や対策による沈下低減効果は，実験と解析で概ね一致する結果であった。

参考文献

- 1) 足立，西尾，小林，市坪，渦岡：浸透および地震に対する既設盛土の安定対策の効果検証（その1.遠心模型実験），第56回地盤工学研究発表会，2021（投稿中）。
- 2) 西尾，足立，小林，市坪，渦岡：浸透および地震に対する既

設盛土の安定対策の効果検証（その2.数値解析），第56回地盤工学研究発表会，2021（投稿中）。

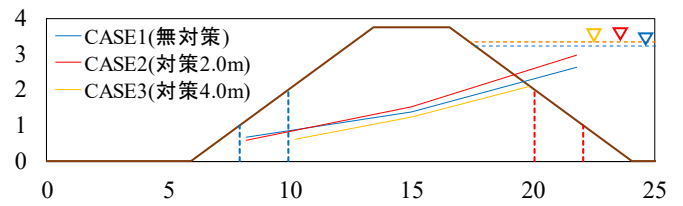


図-5 実験における加振直前の堤体内水位（堤体底面の過剰間隙水圧より算出）

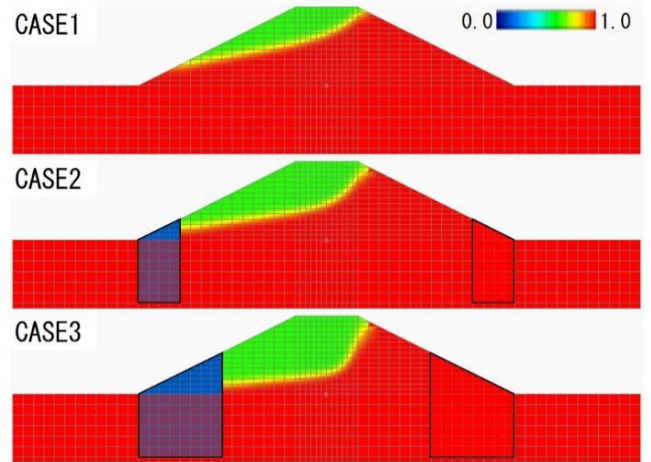


図-6 浸透流解析後の飽和度分布

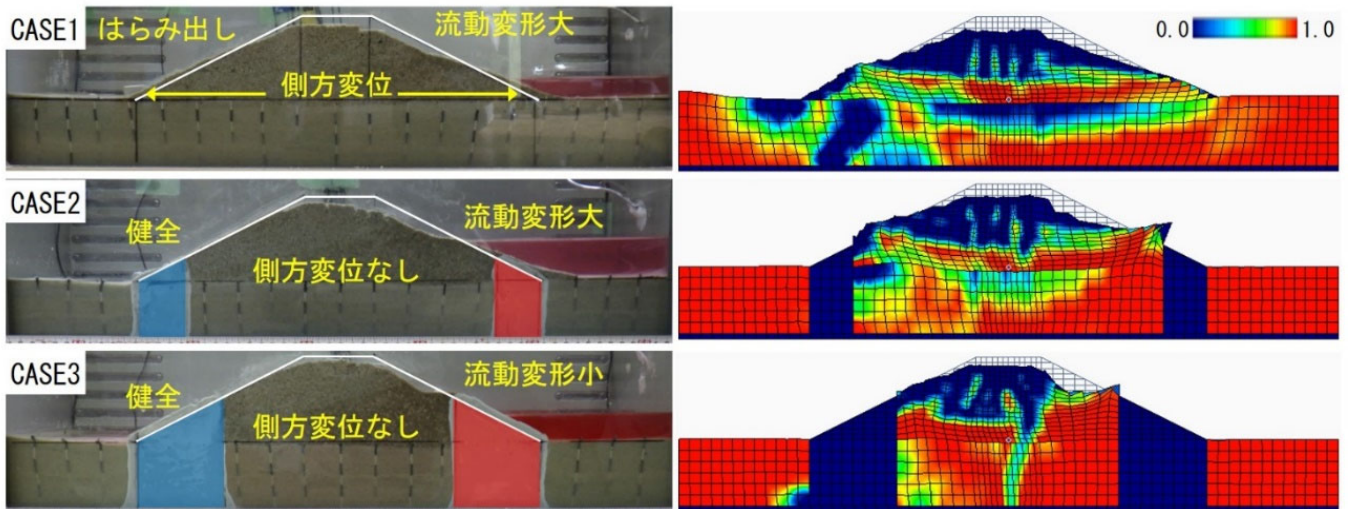


図-7 加振後の変形状況（左：実験，右：解析（有効応力減少比））

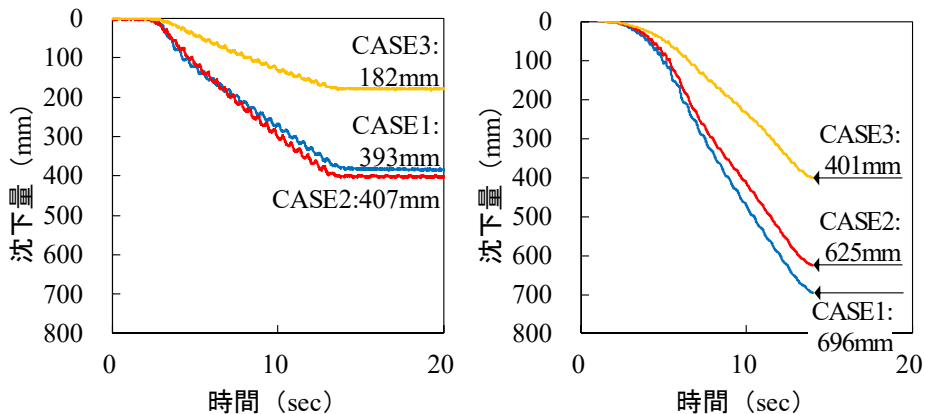


図-8 加振時の堤体天端中央の沈下量時刻歴（左：実験，右：解析）