

不飽和浸透特性値に着目した令和2年7月豪雨での球磨川堤防決壊要因に関する解析的検討

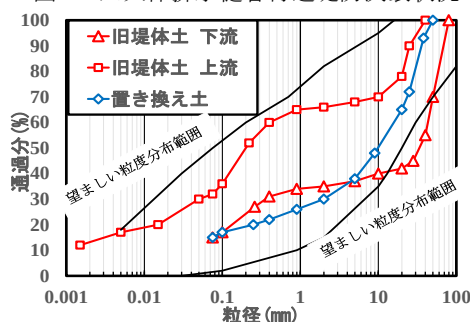
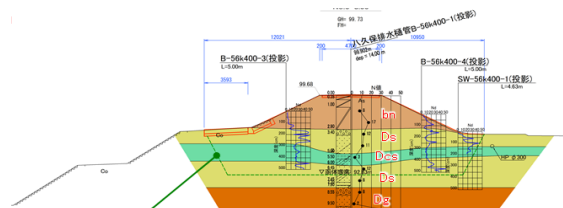
九州大学 学 ○吉田圭佑

九州大学大学院 正 アデル・アロウイシー

F 安福規之 正 石蔵良平

1. はじめに

近年日本各地で豪雨が発生しており堤防決壊の事例は増加している。堤防決壊を未然に防ぐためには既存の事例の決壊要因、決壊メカニズム、決壊の時間・空間的状況を今後の堤防構造検討に反映させることが重要である。そのため本研究では令和2年7月豪雨での球磨川堤防決壊の決壊要因分析を行う。熊本県球磨川流域では7月3日から4日にかけて1時間降水量が30mmを超える大雨が約8時間続き36箇所で堤防決壊や護岸損傷の被害があった。本研究では特に被害の大きかった図1の56.4k地点(八久保排水樋管付近)での決壊要因分析を行う。56.4k地点では2008年に置き換え工事を行っており、決壊断面は土質特性の違う3つの断面があり、それぞれ旧堤体土下流,旧堤体土上流,置き換え土と呼ぶことにする。図2からわかる通りどの断面の堤体盛土の粒度分布は河川土木マニュアルで示されている適切な粒度分布範囲内にあったが、旧堤体土下流と置き換え土の堤体は決壊する結果となった。一般的に堤防構造の安定性は力学的性質や粒度分布から評価されるが決壊するという結果になったため本研究では不飽和浸透特性値に着目してHYDRUS-2Dを用いてFEM不飽和浸透流・安定解析を実施し決壊要因分析を行う。

図1 八久保排水樋管付近堤防決壊状況¹⁾図2 56.4k 地点堤体盛土の粒度分布¹⁾図3 56.4k-1(旧堤体土下流)断面図¹⁾

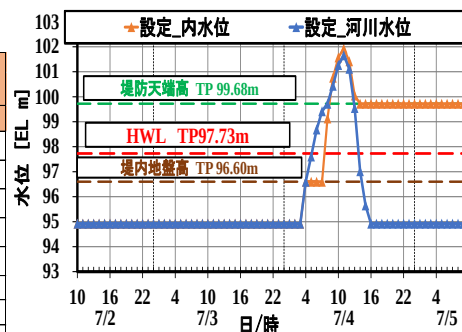
2. 土質パラメータと解析条件

2.1 土質パラメータ

HYDRUS-2Dの解析パラメータは浸透と強度・変形に関するパラメータに分けられる。飽和透水係数と力学的パラメータに関しては九州地方整備局による地質調査結果を使用した。¹⁾浸透パラメータのうち不飽和浸透特性値に関しては複雑で求めるには時間とお金を必要とするので一般的に土質分類ごとに実験された実験値が推定値として用いられている。本研究では堤体盛土に関しては採取してきた不攪乱試料があるので推定値と実験値に分け、解析結果の違いを確かめる。試料がない層は推定値を使用する。なお、本研究での推定値はHYDRUSのカatalogから求め、実験値は連続加圧式保水性試験²⁾と遠心法によって水分特性曲線を求めて排水過程でVGモデルの不飽和浸透特性値を求めた。VGモデルの θ_s 、 θ_r はそれぞれ飽和体積含水率、残留体積含水率である。 n は細孔径に関するパラメータ、 α は空気侵入圧の逆数に相関するパラメータである。

表1 解析パラメータ

土質区分		bn		bn		Nbn		Ds	Dcs	Dg
		堤体盛土(旧堤体土下流)	堤体盛土(旧堤体土上流)	堤体盛土(旧堤体土上流)	堤体盛土(旧堤体土上流)	新規堤体盛土(置き換え土)	新規堤体盛土(置き換え土)	砂質層	砂質粘土	砂礫層
		推定値	実験値(排水)	推定値	実験値(排水)	推定値	実験値(排水)	推定値	推定値	推定値
浸透 パラ メータ	θ_s	0.375	0.3487	0.386	0.3486	0.3747	0.3588	0.3858	0.4588	0.3747
	θ_r	0.0530	0.1962	0.117	0.2281	0.0530	0.1527	0.1169	0.0982	0.0530
	α (1/m)	3.530	3.961	3.340	1.213	3.530	0.2533	3.340	1.500	3.530
	n	3.180	1.808	1.207	1.545	3.180	1.821	1.207	1.253	3.180
力学的 パラ メータ	ks (m/hour)	0.3064		1.487-E04		0.1620		1.048-E04	3.60-E03	0.7560
	比重Gs	2.670		2.749		2.670		2.670	2.750	2.700
	粘着力c (kPa)	18		4.9		12		18	19	18
	内部摩擦角 ϕ (°)	41.9		33.4		39.3		33.3	0	31.2
メータ	ポアソン比 ν	0.249		0.310		0.268		0.311	0.330	0.3252
	弾性係数E (MPa)	62.7		62.3		96.3		106	2.00	160

図4 56.4k 地点のハイドログラフ¹⁾

2.2 解析条件

図4は56.4k地点での7月2日の10時から5日の9時までの計71時間の外水位と内水位のハイドログラフである。42時間地点で外水位が上昇して、46時間地点で外水位が堤防天端に達し、47時間地点で内水位が外水位を上回り、49時間地点で天端より約2m上の最高水位に達した。なお、境界条件と初期条件はハイドログラフに従って設定した。

3. 不飽和浸透特性値の推定値と実験値

まず各断面での水分特性曲線の推定値と実験値の結果と不飽和浸透特性値の実験値と推定値を比較したグラフを図5に示す。図5(b)より θ_s と θ_r は推定値と実験値で違いはあまりないことが確認できた。 α と n に関しては含水率とサクシジョンの変化を反映する重要なパラメータであるが、推定値と実験値で違いが大きく見られ、推定値では過大評価することが確認できた。

4. 解析結果

また、旧堤体土下流・上流で不飽和浸透特性値の推定値・実験値を使用した場合での地点①・②の局所安全率と全体の安全率を図6に示す。置き換え土に関しては旧堤体土下流と同じ傾向を示したため省略する。図6(a)より推定値・実験値を使用した解析結果で決壊時間は地点①で約6時間の違いがあり、推定値を使用した地点②の解析結果は安全率が1より下回らなかったことから推定値・実験値を使用した解析結果では違いが大きいことが確認できた。また、決壊する順番は堤外側・中央部・堤内側であることが確認できた。次に図6(b)より旧堤体上流は解析結果でも決壊していないことが確認できた。これは表1の解析パラメータから見られるように堤体盛土の透水性が低く、不飽和浸透特性値の n が低いため旧堤体下流と比較して浸透していないことが要因として考えられる。

5. 結論

本研究では不飽和浸透特性値を実験的に得て FEM 不飽和浸透流・安定解析を実施した。その結果今回の堤防決壊は堤外側から堤内側にかけて決壊していた可能性があることが分かった。また、決壊していない断面に関しては透水係数が小さく堤体内に水がほとんど浸透していなかったため、堤体内の浸透力の大きさが今回の決壊に関係があったと考えられる。

参考文献

- 1) 球磨川河川堤防調査委員会報告書 九州地方整備局, (2021).
- 2) Alowaisy, A., Yasufuku, N., Ishikura, R., Hatakeyama, M., Kyono, S., 2020. Continuous pressurization method for a rapid determination of the soil water characteristics curve for remolded and undisturbed cohesionless soils. Soils and Foundations, 66(3): 634-647

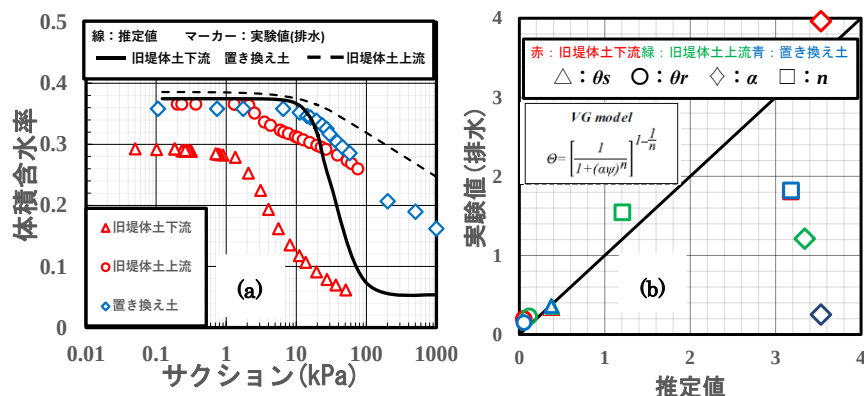


図5(a) 各断面での水分特性曲線の推定値と実験値(排水)
図5(b) 不飽和浸透特性値の推定値と実験値を比較したグラフ

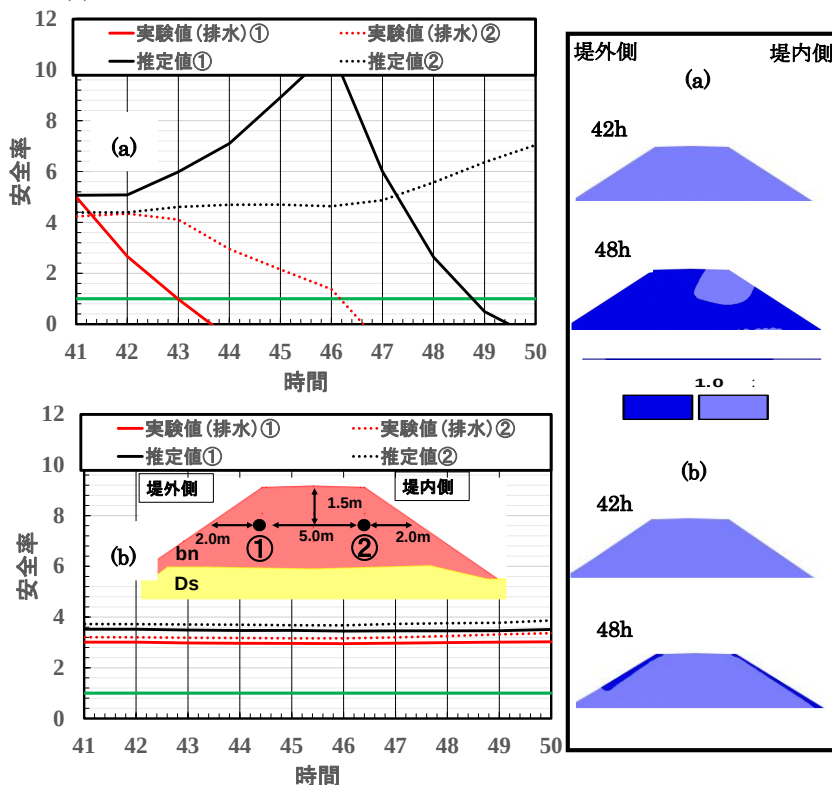


図6 (a)旧堤体下流(b)旧堤体上流の局所安全率と全体の安全率