

実遮水材料の材料パラメータ推定とアースダムの貯水時変形問題 Estimation of impervious material properties and the deformation problem of an earth dam with reservoir filling

○ 藤沢 和謙*・木山 正一*・青山 咸康*
Kazunori FUJISAWA, Shoichi KIYAMA and Shigeyasu AOYAMA

1. はじめに

土構造物の変形挙動を体系的に理解することができれば最適材料設計や実地盤の力学的安定性に関するクラスタリングなど防災、環境問題を支援する情報システムが可能となる。そのためには第一に施工材料の性質を特徴づける材料パラメータが信頼性をもった絶対的な値として得られなくてはならない。まず、遮水材のデータベースを作成し、重回帰分析によりパラメータを推定することを試みた。続いて推定されたパラメータを用いて締固め盛土の貯水時の変形安定性問題を考察した。

2. 実材料パラメータの推定

データベースをダム技術検討委員会資料((財)日本農業土木総合研究所)から作成した。ここでは締固め試験結果は Wolker-holtz の式によって粒径が 4.75mm 以下に補正されたもの、透水、三軸、圧密試験結果は締固め条件 D95W wet (標準締固めエネルギー) のものを推定の対象にした。

推定は重回帰分析による。モデルフローを Fig.1 に示す。変数増減法¹⁾とは独立変数の候補から有意なものを選定する方法である。6 個の従属変数 (推定値) [最大乾燥密度 (gf/cm³), 最適含水比 (%), 飽和透水係数 (cm/s), 内部摩擦角 (°), 粘着力 (kPa), 圧縮指数] を, 10 個の独立変数 (入力値) [土粒子密度 (gf/cm³), 最大粒径 (mm), レキ率 (%), 砂分 (%), シルト分 (%), 粘土分 (%), 細粒分 (%), 塑性限界 (%), 液性限界 (%), 締め固めエネルギー (%)] から求めた。てこ比を用いてハズレ値 (てこ比が相対的に大きなデータ) の除去, 偏回帰係数の検定によって重回帰モデルの妥当性を向上させ, さらに多重共線性の有無を確認してモデルの安定性を保証した。それらの詳細は文献1)2)に譲る。分析の結果, 最大乾燥密度, 最適含水比, 圧縮指数については有意な回帰式を決定することができた。ただし, 最適含水比, 圧縮指数についてはそれ

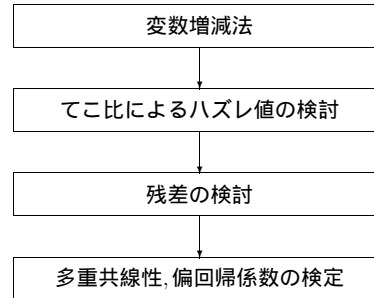


Fig.1 Flowchart of analysis

Table1 Analytical results of maximum dry density

指標					
データ数	119				
決定係数	0.852				
自由度調整済み決定係数	0.8454				
誤差分散の推定値	0.01634				
偏回帰係数表					
	偏回帰係数	t 値	F 値	有意確率	検定
塑性限界	-2.33×10 ⁻⁰²	-6.70×10 ⁰⁰	4.50×10 ⁰¹	8.33×10 ⁻¹⁰	1% 有意
シルト分	-1.04×10 ⁻⁰²	-6.71×10 ⁰⁰	4.50×10 ⁰¹	8.11×10 ⁻¹⁰	1% 有意
エネルギー	5.13×10 ⁻⁰⁴	1.99×10 ⁰⁰	3.95×10 ⁰⁰	4.92×10 ⁻⁰²	5% 有意
土粒子密度	9.01×10 ⁻⁰¹	3.42×10 ⁰⁰	1.17×10 ⁰¹	8.59×10 ⁻⁰⁴	1% 有意
液性限界	-3.21×10 ⁻⁰³	-1.45×10 ⁰⁰	2.11×10 ⁰⁰	1.49×10 ⁻⁰¹	
定数項	0.11928				

Table2 Analytical results of optimum water content

指標					
データ数	122				
決定係数	0.813				
自由度調整済み決定係数	0.80825				
誤差分散の推定値	1.02×10 ⁻⁰⁴				
偏回帰係数表					
	偏回帰係数	t 値	F 値	有意確率	検定
塑性限界	-1.87×10 ⁻⁰³	-1.51×10 ⁰¹	2.27×10 ⁰²	2.73×10 ⁻²⁹	1% 有意
細粒分	-3.48×10 ⁻⁰⁴	-5.43×10 ⁰⁰	2.94×10 ⁰¹	3.11×10 ⁻⁰⁷	1% 有意
エネルギー	6.22×10 ⁻⁰⁵	3.07×10 ⁰⁰	9.40×10 ⁰⁰	2.69×10 ⁻⁰³	1% 有意
定数項	0.11138				

Table3 Analytical results of compression index

指標					
データ数	20				
決定係数	0.92016				
自由度調整済み決定係数	0.89886				
誤差分散の推定値	0.004759				
偏回帰係数表					
	偏回帰係数	t 値	F 値	有意確率	検定
土粒子密度	7.04×10 ⁻⁰¹	3.12×10 ⁰⁰	9.72×10 ⁰⁰	7.06×10 ⁻⁰³	1% 有意
最大粒径	-4.76×10 ⁻⁰³	-3.71×10 ⁰⁰	1.38×10 ⁰¹	2.09×10 ⁻⁰³	1% 有意
シルト分	6.74×10 ⁻⁰³	4.18×10 ⁰⁰	1.75×10 ⁰¹	8.00×10 ⁻⁰⁴	1% 有意
塑性限界	6.37×10 ⁻⁰³	4.41×10 ⁰⁰	1.94×10 ⁰¹	5.08×10 ⁻⁰⁴	1% 有意
定数項	-1.9074				

*京都大学大学院農学研究科 ; Graduate School of Agricultural Science, Kyoto University. キーワード ; 重回帰分析, 不飽和土, 変形問題.

それ逆数と常用対数をとって従属変数とした。それらの結果を Table 1 ~ 3 に示す。粘着力, 内部摩擦角, 透水係数については有意な回帰式を決定することのできなかった。その理由の一つに遮水材料のデータベースにおいてはこれらのパラメータの値は狭い範囲に集中していることが考えられた。次節の解析では粘着力, 内部摩擦角の材料パラメータ値に収集データの平均値を用いたが, これによって妥当性を大きく失わないと考えたためである。

3. フィルダムの貯水時変形問題

前節での材料パラメータの推定法を適用して高さ 50m の均一型フィルダムの築堤解析を行った。その際, 異なった粒度分布と物理特性 (Table 4) を持つ材料 1 (有機質土:OH), 材料 2 (礫質土:GF) を考えた。礫は吸水率 2(%) 絶乾比重 2.6(g/cm³) と仮定した。前者は軽量かつ高含水な材料, 後者は典型的な遮水材料と推定された。不飽和土のモデルは向後³⁾の一般化弾塑性モデルを用いた。Table 5 に解析に用いたパラメータの一部を示す。* 印は前節から推定されたパラメータである。その他は van-Genuchten モデルの保水曲線, 有効応力式等を適当に与えて得た。初期応力には盛土厚 5m の土圧を考え, 過圧密比 2 を与えた。掲載しないその他の必要なパラメータは向後³⁾を参考にした。Fig.2 には用いた有限要素メッシュ, Fig.3 に盛立て, 貯水履歴を示す。境界条件として基盤は不透水とし, 貯水位と等価な節点荷重および間隙水圧を上流斜面に与えた。貯水位を 20m とした理由は軽量な材料 1 ではより高水位にすると応力が限界状態を超え, リターンマッピングによる塑性計算が収束せず破壊領域に達したためである。このことから細粒分の多い軽量かつ高含水な材料 (材料 1) は高い盛立, 貯水に不向きなことがわかる。比較考察が可能な 20m 貯水における上流 A 点の時間沈下曲線を Fig.4 に示す。材料 2 の方が材料 1 よりも 6 倍ほど沈下が抑制され, 築堤材料に適することがわかる。また材料 1 において貯水過程を節点荷重のみで表した場合 (浸水効果なし) と比べ, 浸水による沈下は非常に急速で大きく発生することがわかる。これは貯水によるコラプスの評価が重要であることを示している。

参考文献

1) 長谷川勝也:これならわかる Excel で楽に学ぶ多変量解析, 技術評論社, pp1-102, 2002. 2) 永田靖, 棟近雅彦:多変量解析法入門, サイエンス社, pp,43-86, 2002. 3) 向後雄二:不飽和土の土質力学的特性と土質構造物の安定性に関する研究, 農業工学研究所報告, 第 34 号, 1995.

Table4 Assumed material properties

	土粒子密度	gf/cm ²	最大粒径	mm	礫率	%	砂分	%
材料 1		2.65		100		10		25
材料 2		2.65		150		50		25
シルト分	%	粘土分	%	液性限界	%	塑性限界	%	
	50		15		80		45	
	15		10		35		20	

Table5 Material parameters for analysis

材料パラメータ		材料 1	材料 2	
弾性	*	0.02044	0.00337	
塑性	ϕ'	22.37	22.37	
	ϕ'_{cs} *	30.7	30.7	
	I_c	kN/m ²	-402	-603
	p'_0	kN/m ²	-63.9	-100
有効応力式	a_e	kN/m ²	10	10
	s_e	kN/m ²	22	35
状態面	λ	0.06875	0.0113	
	Sr_0 *	0.6526	0.8465	
	s_0	kN/m ²	53.2	67.5
	e_0 *	2.156	0.237	
透水・保水	k_s	m/d	0.0393	0.0393
	α_G	cm ⁻¹	0.00216	0.0014
	m_G		0.537	0.29
単位体積重量	γ *	kN/m ²	12.62	22.94

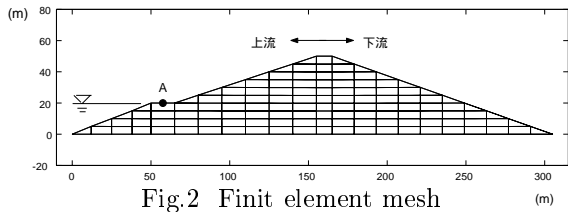


Fig.2 Finit element mesh

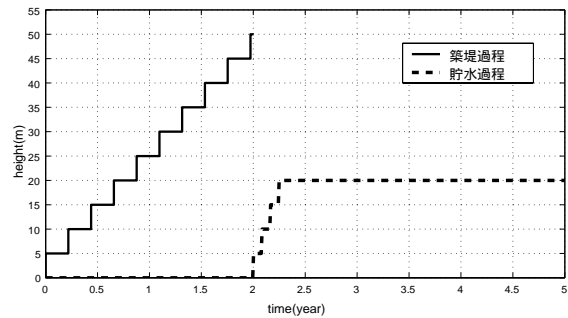


Fig.3 Filling and reservoir filling history

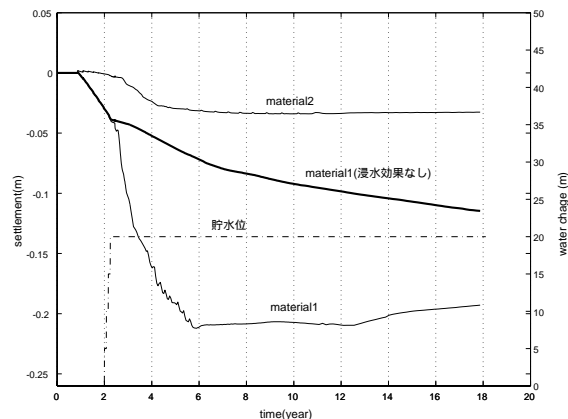


Fig.4 Relationship at point A between settlement and elapsed time