

ロックフィルダムを対象とした土水連成弾粘塑性 FEM 解析

鹿島建設(株) 正会員 ○大野進太郎 藤崎勝利 上本勝広
国土交通省中国地方整備局 正会員 後藤誠志 岩田輝貴
東京大学 正会員 京川裕之

1. はじめに

ロックフィルダム盛立中の堤体安定性や沈下挙動を精度良く評価することを目的として、殿ダムを対象とした土水連成弾粘塑性 FEM 解析の適用性検討を実施した。既往の検討^{1),2)}を参考に、盛立中の水理境界条件を設定するとともに、すべての堤体材料を弾粘塑性体としてモデル化した。なお、本検討では羽田 D 滑走路工事などで実績のある関口・太田による弾粘塑性構成モデル(修正カムクレイ型)³⁾を用いることにより、堤体材料の水平変位の予測精度向上と、特異点の無い降伏曲面による数値解析の安定性向上を図っている。

2. 解析対象および解析モデル

解析対象となる殿ダムは、鳥取県鳥取市に建設された堤高 75m、堤頂長 294m、堤体積 211 万 m³の中央遮水型ロックフィルダムである(2011 年竣工)。解析断面は盛立高が最大となる断面とした。図-1 に解析モデル(全体図および堤体拡大図)を示す。幾何学的境界条件は、下端を水平・鉛直固定、側方を鉛直ローラーとした。また、基礎岩盤部の水理境界条件は、下端を非排水、側方を静水圧境界(全水頭=0)とした(盛立中の堤体の水理境界条件については後述する)。

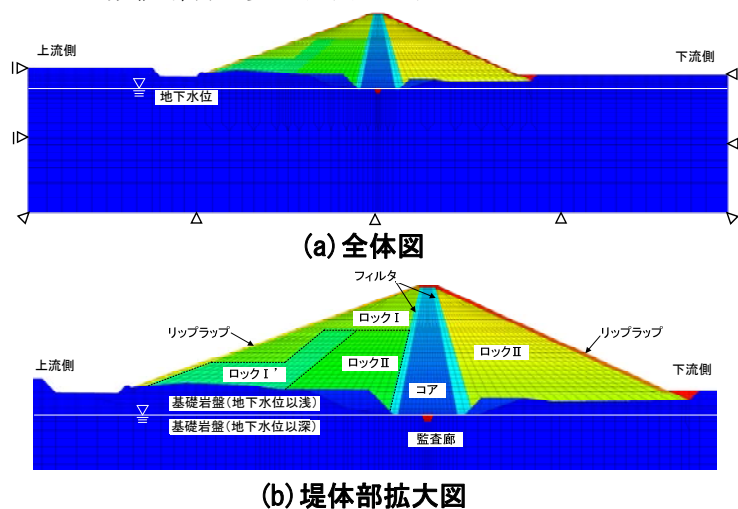


図-1 解析モデル

3. 盛立解析方法および解析物性値

盛立解析では、解析メッシュを 1 層毎に発生させ、各要素に自重と等価な節点外力を载荷した(盛立スピードは図-2 のように実施工に合わせた)。自重载荷時の水理境界条件は、コアおよびフィルタ、ロックおよびリブラップでそれぞれ異なる設定方法とした。コアおよびフィルタでは、低透水性材料のため盛立に伴う水位上昇を想定し、盛立上面とフィルタ-ロック境界面において間隙水圧をゼロ(圧力水頭=0)とした。ロックおよびリブラップでは、高透水性材料のため完全排水状態を想定し、全要素において間隙水圧をゼロ(圧力水頭=0)とした(地下水位以浅の岩盤部も同様)。表-1 に示す堤体材料の解析物性値は、各種要素試験に基づいて設定することを基本とした。ただし、コアの透水係数は、圧密試験結果をベースに間隙水圧の計測値の再現性を高めるように調整した値を採用した。

表-1 堤体材料の解析物性値

物性名	単位	コア	フィルタ	ロック I 材	ロック I' 材	ロック II 材 ^{※1}	設定根拠
湿潤密度 ρ_t	t/m ³	2.016	2.341	2.481	2.412	2.127	締固め試験
降伏時間係数 e_0	-	0.528	0.164	0.136	0.168	0.177	圧密試験
内部摩擦角 ϕ	deg	29.7	44.0	40.5	39.0	38.3	三軸試験
圧縮指数 λ	-	0.0634	0.0185	0.0154	0.0104	0.0158	$\lambda = 0.434C_c$, 圧密試験
膨潤指数 κ	-	0.0142	0.0077	0.0055	0.0036	0.0055	$\kappa = 0.434C_s$, 圧密試験
鉛直降伏応力 σ_v	kPa	640	600	600	640	600	圧密試験
ポアソン比 ν	-	0.335	0.234	0.260	0.270	0.275	$\nu = K_0 / (1 + K_0)$
静止土圧係数 K_0	-	0.50	0.31	0.35	0.37	0.38	$K_0 = 1 - \sin\phi$
二次圧密係数 α	-	0.00048	0.00070	0.00023	0.00011	0.00026	長期圧密試験
透水係数 k	cm/sec	7.53E-08	1.00E-04	1.00E-02	1.00E-02	1.00E-02	管理基準値(コアのみ圧密試験値の1/15)
透水係数の変化率 λ_k	-	0.0634	0.0185	0.0154	0.0104	0.0158	$\lambda = \lambda_k$ を仮定

※1リブラップはロック II 材と同様の物性とした ※2基礎岩盤はC₂₅級岩盤相当、監査廊はコンクリート相当の弾性体とした

キーワード ロックフィルダム, 土水連成, 弾粘塑性, FEM, 圧密沈下

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 TEL 03-6229-6567

4. 解析結果

図-3に解析との比較対象とした計測器の位置を示す。図-4～図-7に間隙水圧・土圧・層別沈下についての計測データと解析結果の比較を示す。これらの図から、各解析結果は計測データと良く一致していることがわかる。コアの透水係数については、試験結果をそのまま使用できないという課題は残るが、他ダムにおいても施工中の計測データを用いた逆解析により値を同定することで、今回と同等の精度が実現できると考える。

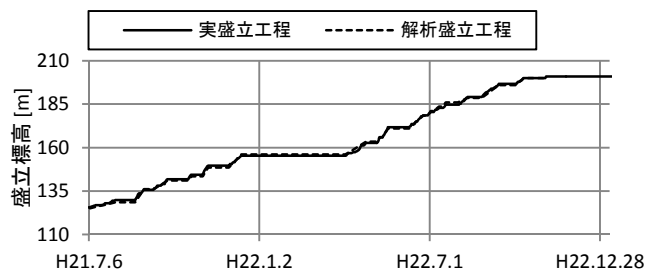


図-2 盛立工程

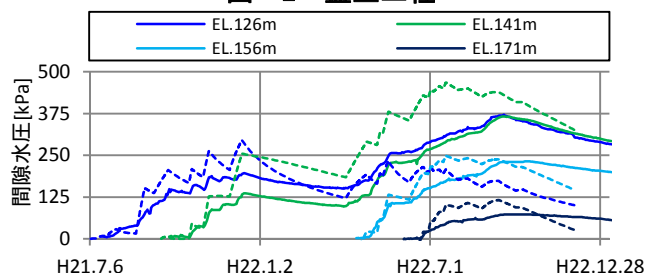


図-4 間隙水圧の比較 (コア部, 実線: 計測, 破線: 解析)

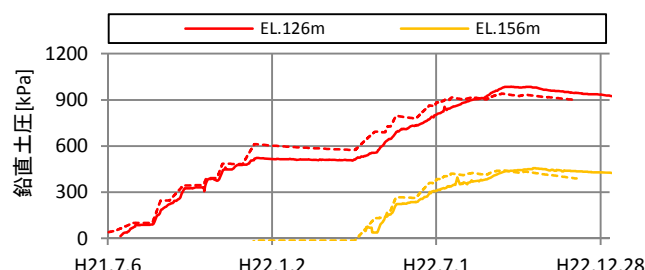
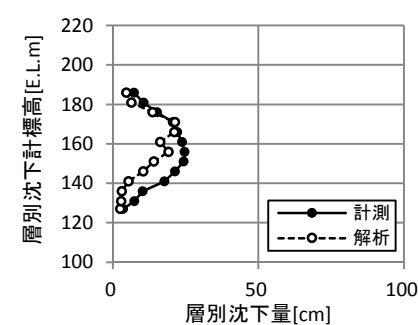
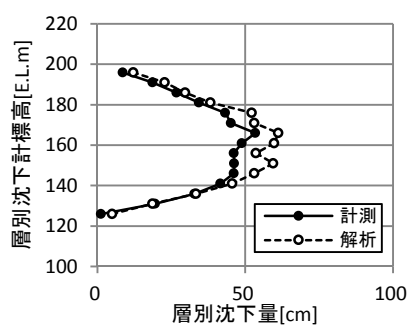


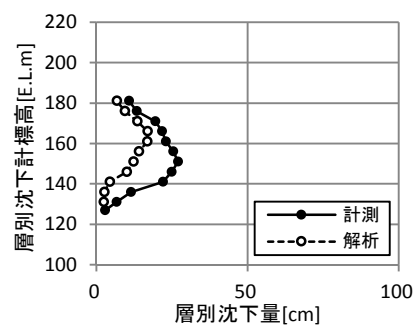
図-5 土圧の比較 (コア部, 実線: 計測, 破線: 解析)



(a) 上流側ロック部



(b) コア部



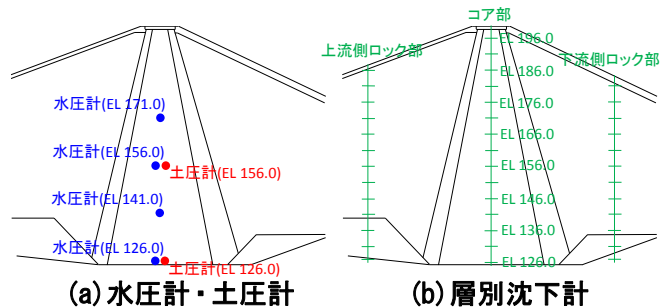
(c) 下流側ロック部

5. おわりに

本検討により、弾粘塑性解析は、ロックフィルダム盛立時の堤体挙動を精度良く評価する方法として十分に活用できることが確認できた。今後は他のロックフィルダムにも適用して、物性設定などについてのノウハウを蓄積するとともに、盛立速度がコア間隙水圧挙動に与える影響の検討や、盛立中に生じる沈下量ならびに余盛土量の評価に本解析手法を活用する予定である。

参考文献

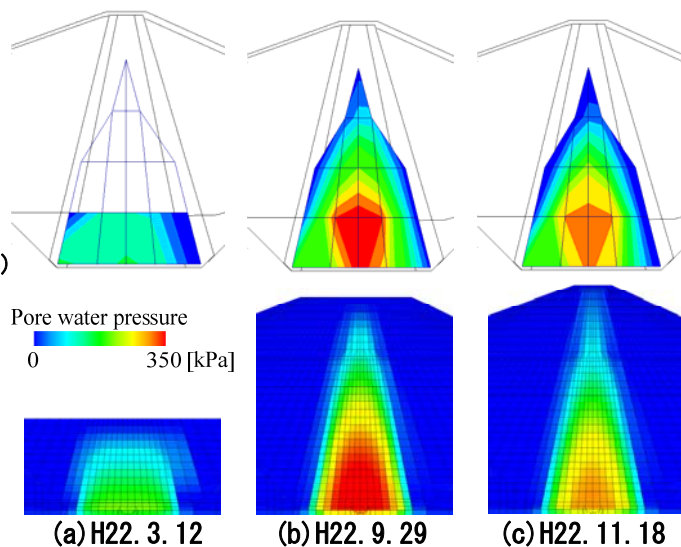
- 1) 森ら：中央土質遮水型ロックフィルダムの築堤時応力変形解析，土木学会論文集，No.743/III-64，105-124，2003。
- 2) 荒井ら：ロックフィルダムの築堤時動態解析，第40回地盤工学研究発表会，1351-1352，2005。
- 3) 村上ら：弾粘塑性 FEM 解析による大規模護岸構造物の変形予測，土木学会論文集 C，Vol.68(2)，224-238，2012。



(a) 水圧計・土圧計

(b) 層別沈下計

図-3 計測器位置



(a) H22. 3. 12

(b) H22. 9. 29

(c) H22. 11. 18

図-6 間隙水圧コンターの比較 (上段: 計測, 下段: 解析)

図-7 層別沈下分布の比較 (盛立完了時)