

神戸大学大学院自然科学研究科	学生員	○早川 英司
兵庫県	正会員	吉牟田 竜太
(株) 日建設計	正会員	本田 道識
神戸大学工学部	正会員	河井 克之
神戸大学工学部	正会員	飯塚 敦

1. 研究の目的

ロックフィルダムの長期沈下挙動解析では、築堤から湛水時のように不飽和状態で形成された土塊が飽和状態へ移行していく挙動を表現するにおいて、不飽和、飽和状態を連続的に表しうる構成モデルが求められる。近年の研究¹⁾で、不飽和土の挙動はサクシジョンの値だけではなく土塊内の間隙水分分布にも影響を受けることが明らかになっており、サクシジョンと飽和度関係を示す水分特性曲線の定式化が重要視されている。筆者らは、これらの影響を考慮した不飽和構成モデルを用いて初期値境界値問題を定式化し²⁾、理論的な挙動予測手法の確立を試みており、今回、一つの例題として仮想の中央遮水壁型ロックフィルダムをモデル化し、築堤及び湛水シミュレーションを行った。

2. 構成モデル及び使用パラメータ

解析では、水分特性曲線のヒステリシスを考慮するため、軽部らが提案した不飽和構成モデル³⁾を用いた。材料パラメータは表1の示すとおりで、軽部らのモデルでは基本的に飽和土の試験から得られたパラメータを用いるが、その他に不飽和土用のパラメータが必要になる。表1において、 A, B は水分特性曲線の形状を決めるパラメータで、水分特性曲線のヒステリシスを考慮するため、サクシジョン増加過程、減少過程のそれぞれで設定している。 A_d, B_d がサクシジョン増加過程に対するもの、 A_w, B_w がサクシジョン減少過程に対するものである。さらに残留飽和度 S_{r0} 、サクシジョン→0における飽和度の漸近値 S_{rf} 、水侵入値 s_w といった水分特性曲線に関するパラメータが必要となる。その他、初期降伏関数の傾き a 、土粒子半径 R 、構成モデル中のパラメータ α など不飽和解析特有のパラメータが必要となる。今回は仮想のロックフィルダムを解析対象としているため、表1に示すパラメータの値は既往のダムの解析事例^{4)~7)}を参考にして決定している。

表1 材料パラメータ (■:飽和土用のパラメータ, □:不飽和土用のパラメータ)

コア材									
λ	κ	M	ν	k_s (m/s)	k_r (m/s)	G_s	S_{sj}	e_{cr}	α
0.097	0.029	1.347	0.33	1.16E-09	1.16E-09	2.67	0.84	0.53	1.0
A_d	B_d	S_{r0}	A_w	B_w	S_{r0}	S_{rf}	s_w	a	$R(m)$
14.4	2.37	0.44	-9.63	1.82	0.44	1.0	98.0	60.0	4.8E-06
フィルター材									
λ	κ	M	ν	k_s (m/s)	k_r (m/s)	G_s	S_{sj}	e_{cr}	α
0.04	0.004	1.6	0.3	1.16E-03	1.16E-03	2.67	0.745	0.25	1.0
A_d	B_d	S_{r0}	A_w	B_w	S_{r0}	S_{rf}	s_w	a	$R(m)$
3.85	0.957	0.15	3.85	0.957	0.15	1.0	0.98	0.5	0.0001
シェル材									
λ	κ	M	ν	k_s (m/s)	k_r (m/s)	G_s	S_{sj}	e_{cr}	α
0.08	0.016	1.823	0.3	1.16E-01	1.16E-01	2.67	0.265	0.3	1.0
A_d	B_d	S_{r0}	A_w	B_w	S_{r0}	S_{rf}	s_w	a	$R(m)$
3.85	0.957	0.11	3.85	0.957	0.11	1.0	0.98	0.5	0.001

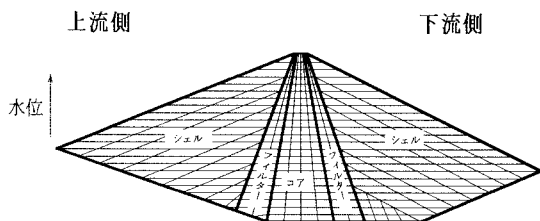


図1 解析メッシュ図

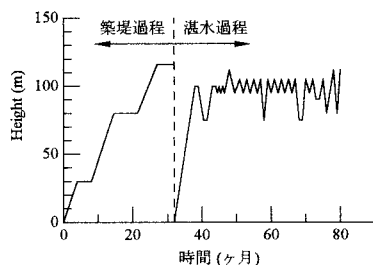


図2 築堤工程及び貯水位変動

3. 解析条件

解析メッシュは図1に示すとおりで、要素数は358である。計算は平面ひずみ条件下で行った。堤体下端は変位を水平、鉛直共に固定とし、非排水境界としている。その他の部分では排水境界としており、湛水過程ではダム堤体上流側の斜面に貯水位相当の全水頭及び湛水荷重（等方水圧）を与えた。初期条件は各材料で同一とし、初期サクシオンを一定としている。築堤工程及び貯水位変動は図2のように仮定している。

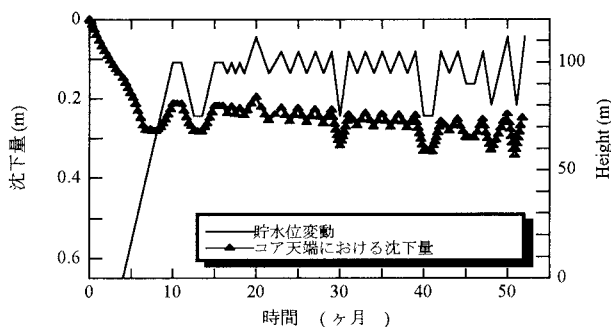


図3 コア天端部分の沈下量～時間関係

4. 解析結果

図3はダムの遮水機能を担うコア天端部分の沈下量～時間関係を示したものである。この図より、放置期間、初期湛水時での体積圧縮が表現されていることがわかる。放置期間での体積圧縮は载荷重により飽和した部分での圧密沈下(コア下部), 及びサクシオン(負圧)増加による沈下(コア上部)と考えられる。湛水時の沈下は不飽和土特有のコラプス現象による沈下であると考えられる。また水分特性曲線のヒステリシスを導入していることにより、初期湛水以後の貯水位変動の繰返しで体積圧縮が生じる様子が表現されていることが確認できる。

5. 結論

仮想の中央遮水壁型ロックフィルダムをモデル化し、不飽和構成モデルを用いて、築堤及び湛水シミュレーションを行った。放置期間中での体積圧縮、初回湛水時でのコラプス沈下が表現された。また水分特性曲線のヒステリシスによる貯水位変動に伴う体積圧縮が表現された。今後の検討課題として、実測値との整合性の確認、初期条件や水分特性曲線のパラメータ決定方法の確立、初期湛水後の貯水位変動に伴う繰返し挙動の表現が挙げられる。

参考文献 1)軽部ら：土木学会論文集(1996), 2)飯塚ら：土木学会論文集(2000), 3)軽部ら：土木学会論文集(1997), 4) Kohgo, Y: Proc. 1st International Conference on Unsaturated Soil(1995), 5) Alonso, E. E. et al: Proc. International Conference on Numerical Method in Geomechanics(1988), 6)吉越ら：土木学会論文集(1997), 7)井上ら：土木学会論文集(1997)