

飽和-不飽和弾塑性モデルを用いた初期湛水時の飽和コラプスの検討

Saturation collapse analysis during first reservoir filling of a fill dam

林田 洋一 向後 雄二 浅野 勇

Hayashida Yoichi, Kohgo Yuji, Asano Isamu

1. はじめに ロックフィルダムにおける初期湛水時の挙動は、不飽和状態にあった堤体が飽和状態へと遷移することによる材料物性の変化を伴った非常に複雑な挙動である。その挙動は コアに作用する水圧による下流方向及び下方への変位、 上流基礎に作用する水圧による上流及び下方への変位、 上流シェルゾーン内の浮力によるこのゾーンの上方への移動とダムの下流方向への回転、 上流シェル部の飽和コラップスによる下方への変位とダムの上流方向への回転といった4つの効果が組み合わさった挙動と考えられている。このようなロックフィルダムの築堤から初期湛水時にかけての挙動を解析するため、筆者らは不飽和土の弾塑性構成式を用いた飽和・不飽和圧密解析手法を開発し、その適用を行っている¹⁾。本論文では、飽和コラップスが懸念される、吸水率10%以上のロック材を利用することを仮定した、ロックフィルダムの飽和コラップスを検討した。

2. 解析方法 筆者等は吸水率10%以上のロック材の浸水に伴う変形および強度特性の変化を表現できる構成モデルを開発し、その適用性の検討を行っている²⁾。その結果、吸水率が10%以上であっても浸水による変形および強度特性の変化が顕著に現われる材料と、そうでない材料があることがわかった。そこで、浸水により顕著な飽和コラップスを呈した材料を対象に解析を行った。この材料の9.5mm以上の粒子における密度と吸水率を表-1に示す。ロック材の材料パラメータは上述の文献と同じものを用いた。なお、ロック部の初期間隙比は0.21とした。解析に用いた有限要素メッシュを図-1に示す。堤高は43.9m、節点数は1513、要素数は470である。緑がロック部、赤がフィルタ部、青がコア部を示している。なお、境界条件として基盤面は変位固定かつ不透水とした。初期湛水時における飽和コラップスの検討を行うため、まず築堤解析を実施し、その結果を初期状態として湛水解析を実施した。築堤解析では、盛立速度を0.13m/dayとし、ロックおよびフィルタ部で初期間隙水圧が保持されるよう、間隙水圧境界条件を設定した。また、湛水解析においては、満水位(コア敷きから40.5mの高さ)まで、97日で貯水位を上昇させ(貯水速度：約0.31m/day)、上流側ロックゾーンに水深相当の間隙水圧境界条件を設定した。

表-1 粒子の密度と吸水率

粒径 (mm)	粒子密度 g/cm ³	吸水率 (%)
9.5 - 19.0	2.31	11.00
19.0 - 26.5	2.33	9.73
26.5 - 37.5	2.39	6.99
37.5 - 53.0	2.36	7.50

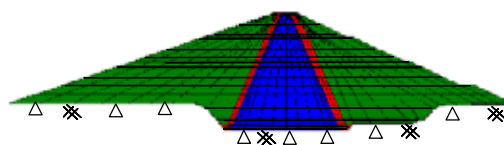


図-1 解析に用いた有限要素メッシュ

3. 解析結果 築堤時における堤体変形図および間隙水圧分布図を、それぞれ図 2、3 に示す。築堤終了後の変形状態はコア部の中央付近が大きく沈下し、上流および下流方向に膨らむ。また、間隙水圧分布は、基盤面を不透水としたことから、フィルタ部からの排水により放射状に分布した。湛水時の堤体変形図、間隙水圧分布図を、図-4、5 に示す。図-4 より貯水位の上昇により堤体は全体的に下流方向へ変形し、上流側ロック部では浸水による飽和コラップスは発生していない。図-5 より、間隙水圧分布は満水位到達後比較的早く定常に近い状態になることがわかった。上流側ロック部の底部における築堤 - 湛水にかけての e - $\log p'$ 関係 (p' : 平均有効応力) を図-6 に示す。なお、飽和状態および $S_r=25\%$ における正規圧密線(状態面)を併記する。図-6 より、ロック部は常に飽和状態における状態面の内側にあることがわかる。このことから、飽和コラップスを起こしうる材料であっても、締め固めを十分に行うことで、飽和コラップスの発生を抑制しうるということがわかった。

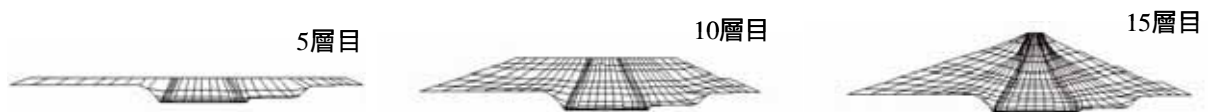


図-2 築堤時の堤体変形図 (変形量×50)

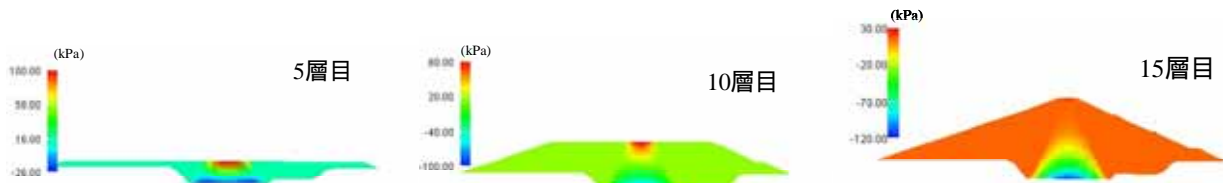


図-3 築堤時の間隙水圧分布図

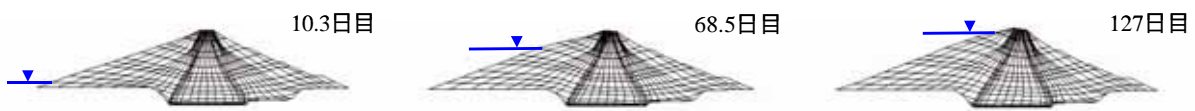


図-4 初期湛水時の堤体変形図 (変形量×50)

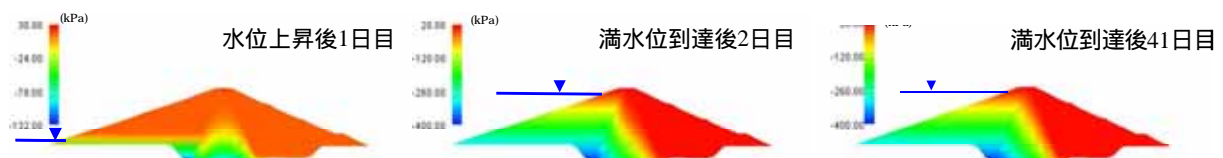


図-5 初期湛水時の間隙水圧分布図

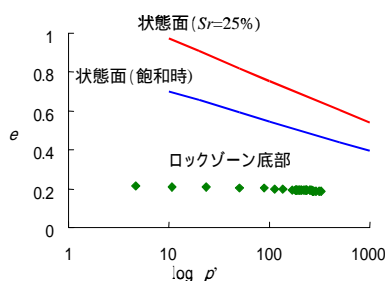


図-6 ロックゾーン底部における e - $\log p$ 関係

- 1) Kohgo, Y, et al. (2000). Application of FE consolidation analysis method to fill-type dams. Proceedings of the Asian Conference on Unsaturated Soils, 189-194
- 2) Kohgo, Y, et al. (2003). A constitutive model for unsaturated weak rockfills. Proceedings of the International Conference on Problematic Soils, 349-356