

ロックフィルダムの長期的な圧密変形特性に着目した沈下量近似式の適用性検討

独立行政法人 水資源機構 正会員 曾田 英揮、久保田 貴史、佐藤 信光
国際航業 正会員 ○加藤 大佑、佐藤 渉、伊東 広敏

1. 目的

ロックフィルダムの長期的な維持管理において、その変形挙動を把握することは通常の変形と特異な変形を見分け、異常を検知するための大きな判断材料となりうる。通常、ロックフィルダムは経年的な沈下や水圧によるクリープ変形、貯水位変化に伴う水平方向の弾性的な変形等が発生しているとされる。このような沈下・変形量は、計測頻度が限定されたり、人為的な誤差が生じたりするような観測手法では、詳細かつ定量的な挙動の把握は難しい。そのため、筆者らは連続的かつ高精度に計測可能な GPS 計測装置を用いて、堤体挙動の計測を行った。

実測より確認された事象から、筆者らはロックフィルダムの堤体挙動について近似式を提案した²⁾。しかしながら、提案近似式は徳山ダムの事例のみであるため、他ダムへの適用にあたっては更なる適用性の検討が必要である。ここで、水平変位の近似式は弾性的な挙動を近似するために高頻度の計測データを必要とするが、沈下量の近似式は水平変位ほど高頻度の計測データは必要としないため、GPS 計測データに加え計測頻度の低い光波水準測量データを使用できる可能性がある。そのため、水資源機構が有する 8 つのロックフィルダムについて、GPS 計測と光波水準測量データを用いることでデータの拡充を行い、他ダムにおける沈下量の近似式の適用性について検討した。

2. 沈下量近似式の概要

筆者らが提案したロックフィルダムの沈下量近似式を式-1 に示す。近似式では、①二次圧密現象と同様に経過日数に対し対数的な挙動を示すこと²⁾、②沈下は貯水位低下時に発生し、その沈下量は貯水位低下の繰り返しの伴い沈下増分が次第に減少すること³⁾、③その沈下増分は貯水位低下量の総和に対し対数的に減少することを考慮した。

$$dv = \alpha \times \ln(day) - \beta + \eta \log(\sum_{i=1}^n(hw - hi)) \quad \text{式-1}$$

ただし、 $\sum_{i=1}^n(hw - hi)$ は $hw - hi > 0$, $hw > hi$ の場合のみ
ここに、 dv : 沈下量, α, β, η : 係数, day : 経過日数 (日),
 hw : 基準水位 (m), hi : 水位 (m)

3. 光波水準測量結果を用いた近似式の適用性検討

光波水準測量を行っている 8 ダム (表-1) に近似式を適用し、その精度検証を行った。例として、奈良俣ダム TD-3 の光波水準測量データを用いた近似式の経時変化図を図-1 に示すとともに、図-2 に近似値と計測値の差を示す。また、近似値と計測値から RMSE (Root Mean Squared Error) を算出した。GPS 計測データより近似した場合の RMSE は 2mm 程度であったが、光波水準測量データより近似した場合の RMSE は計測精度や計測頻度が低いために、大きな値となっている。しかしながら、光波水準測量の RMSE は 10mm 以内であるため、ある程度大きな特異挙動が計測値に認められた場合には、異常検知が可能であることがわかった。以上より、光波水準測量データを用いた場合においても、沈下量近似式によりある程度の精度で近似できることがわかった。

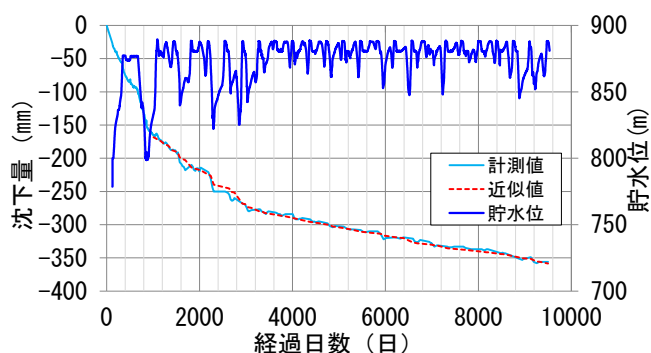


図-1 近似値と計測値の経時変化図 (奈良俣ダム)

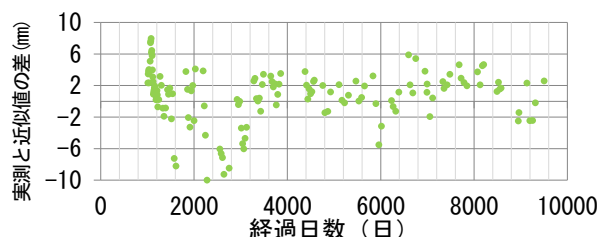


図-2 近似値と計測値の差 (奈良俣ダム)

キーワード フィルダム, 沈下予測, 堤体挙動観測, GNSS (GPS)

連絡先 〒183-0057 東京都府中市晴見町 2-24-1 国際航業(株) 防災部モニタリンググループ TEL 042-307-7210

表-1 近似値と計測値から算出した RMSE

観測点 No	RMSE (GPS 計測)	RMSE (水準測量)
徳山ダム TD-4	2.022	3.529
阿木川ダム TD-5	1.472	3.722
岩屋ダム D-14	-	7.773
寺内ダム TU1-3	-	8.422
味噌川ダム F-8	-	4.417
奈良俣ダム TD-3	-	4.204
山口調整池 F-5	-	2.337
山口調整池副堤 AD-3	-	1.297

4. 他ダムにおける近似式の適用性検討

前項において、光波水準測量データを用いた場合においても近似式はある程度の精度が得られることが確認できた。そのため、GPS 計測データに加えて光波水準測量データを用いて、他ダムにおける沈下量近似式の適用性について検討した。

まず、GPS 計測事例のある阿木川ダムにおける近似式の適用性について検討した。阿木川ダムの GPS 計測点配置図を図-3 に示す。なお阿木川ダムは築堤完了から 6000 日程経過後に GPS 計測を開始しているため、それ以前は光波水準測量データを使用した。GD-5、GD-21 における近似式のパラメータ α 、 β 、 η を表-2 に示す。 α は二次圧密的な沈下挙動、 η は水位低下時における沈下挙動を示しており、盛土高が大きくなるにつれ、これらのパラメータは大きくなると考えられる。これを考慮すると、盛土高の大きい GD-5 では α 、 η は大きく、盛土高の小さい GD-21 においては α 、 η は小さい結果となっているため、近似式により算出したパラメータは、盛土高に対する沈下挙動として整合性がとれている結果となった。

表-2 阿木川ダムの近似式の係数一覧

観測点	盛土高(m)	α	β	η
GD-5	101.5	-89.6	-549.9	-49.8
GD-21	44.3	-14.8	8.2	-1.0

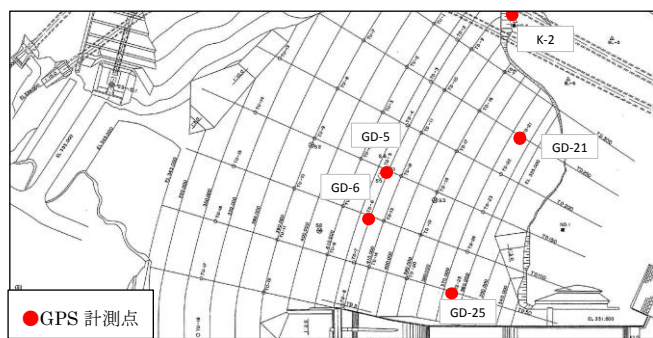


図-3 阿木川ダムの GPS 計測点配置図

次に、奈良俣ダム TD-3 の経時変化図(図-1)を見ると、近似式は計測値を概ね追従していることがみてとれる。特に、貯水位低下の繰り返し回数が少ない 3000 日頃までは貯水位低下時に沈下が発生しているのに対し、繰り返し回数が増加した 8000 日以降では同程度の貯水位低下が発生しているにも関わらず、その沈下量は大きく減少しており、当該近似式が堤体の実挙動を再現していることが確認できた。これと同様の結果が阿木川ダム(図-4)、及びその他のダムにおいても確認できた。以上より、他ダムへ近似式を適用した場合においても、沈下量近似式は堤体挙動を再現できていることがわかった。

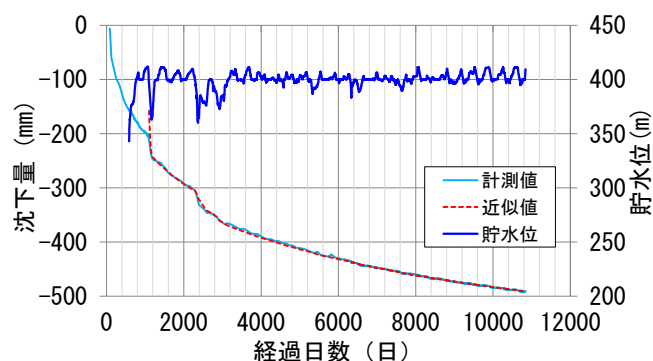


図-4 近似値と計測値の経時変化図(阿木川ダム)

5. 沈下量近似式の活用と課題

沈下量近似式の近似値と現時点における計測値の比較により、特異な挙動の検出や将来の変位量予測ができるため、簡易に堤体の安定性を評価する方法として活用できる可能性がある。なお、課題として、徳山ダムの事例¹⁾と同様に他ダムにおいても初期沈下の近似式の精度が十分でないことから、近似式の改良を行なってゆく必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 曾田英揮, 仁子幸子, 佐藤信光, 佐藤渉, 清水則一: 長期的な圧密変形特性に着目したロックフィルダムの変形挙動, 土木学会第 72 回年次学術講演会, 2017.
- 2) 松本徳久, 安田成夫, 伊藤基博: フィルダムの挙動解析(その 1), 土木研究所資料第 3001 号, 建設省土木研究所, 1991.
- 3) 井上元之, 内田善久, 望月直也, 石黒健, 大田秀樹: ロックフィルダム遮水ゾーンの湛水沈下メカニズム, 土木学会論文集 No.582/III-41, pp275-284, 1997.