

弾塑性圧密連成解析手法を用いたロックフィルダムの湛水シミュレーション

- (その2) 初期湛水時の水理的安定性の評価に関する検討 -

前田建設工業(株) 正会員 ○藤山哲雄 石黒 健
東京電力(株) 正会員 内田善久 中野 靖
東京工業大学 フェロー 太田秀樹

1.はじめに

(その1)では、湛水時の堤体内間隙水圧や土圧の解析結果が実挙動を良好に再現できていることを示した。本報では、湛水解析の結果を利用して、ハイドロリックフラクチャリングに対する安定性評価について検討を試み、これをダム初期湛水時の堤体の計測管理へ適用した事例を示す。

2. ハイドロリックフラクチャリングに対する安定性の検討

ハイドロリックフラクチャリングのメカニズムはいまだ十分に解明されてはいないが、ここでは Seed ら¹⁾の考え方を援用し、弾塑性圧密連成解析によって計算される堤体の間隙水圧と土圧値を用いて、その安定性の定量的評価を試みる。Seed¹⁾によって提案された基準は次のようなものである。

$$\Delta u > \sigma_3 + \sigma_t \cdots (1) \quad \text{ここに } \Delta u: \text{間隙水圧、} \sigma_3: \text{最小主応力、} \sigma_t: \text{土の引張強度}$$

土に働く間隙水圧が全応力の最小主応力を上回り、さらに引張強度を越えた時点(すなわち、土中にクラックが発生した時点)で水理的破壊が始まるとの考え方である。Duncan は、コア底の岩盤沿いのパイピングに対する判定基準として、 σ_3 を最大主応力 σ_1 に置き換えた式を提案しているが、ここでは安全側の評価式として(1)のSeed式を用いる。本式は、元々Tetonダムのコアトレンチ沿いのパイピング現象を説明するために準備されたものであるが、ここではVaughn²⁾にならい、コアゾーン内部の任意の点で(1)式が成立した時にハイドロリックフラクチャリングが始まるものと仮定する。(1)式の妥当性は、柳澤³⁾らによる室内試験、および著者らが上日川ダムコア材を用いて別途行ったハイドロリックフラクチャリングの要素試験⁴⁾によって確認済みである。コア材のハイドロリックフラクチャリング現象の発生の有無が前出の(1)式によって記述されると仮定し、ハイドロリックフラクチャリングに対する局所安全率を次のように定義する。

$$Fsh = (\sigma_3 + \sigma_t) / \Delta u \cdots (2)$$

(その1)に示した圧密連成解析によってH.W.L.時の間隙水圧と全応力の最小主応力が計算される。引っ張り強度 σ_t を安全側に無視するならば、間隙水圧を差し引いた有効最小主応力がマイナスにならないければハイドロリックフラクチャリングは発生しないことになる。図-1にはH.W.L.時の堤体の間隙水圧コンター、および築堤完了時と湛水終了時での最小有効主応力 σ_3' コンターの変化を示した。図より、湛水に伴って上流側堤体の間隙水圧が上昇し、有効応力が減少する様子が良く判る。

しかしながら、図-1(c)よりコアゾーン内で最小有効主応力 σ_3' がマイナスになる箇所はなく、この場合、水理的破壊は発生し

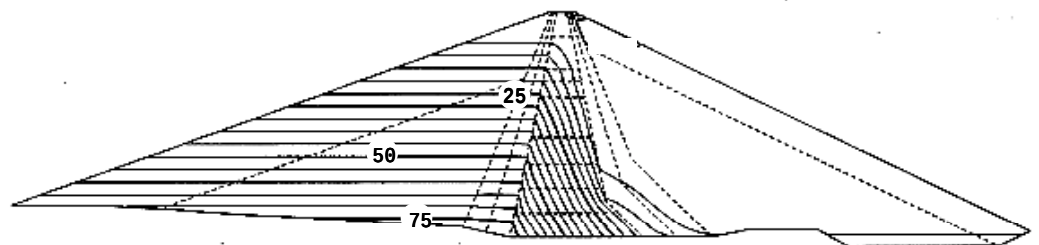


図-1(a) 間隙水圧コンター(H.W.L.時)

ないものと結論される。式(2)で定義したハイドロリックフラクチャリングに対する局所安全率をコアゾーン内でのコンターとして表示した結果が図-2である(引っ張り強度 σ_t は考慮せず)。間隙水圧が上昇するコア上流側ほど安

キーワード：ロックフィルダム / 湛水解析 / ハイドロリックフラクチャリング / 計測管理

連絡先：〒179-8914 東京都練馬区旭町 1-39-16 / TEL03-3977-2572 / fujiyamt@jcity.maeda.co.jp

全率は小となること、Seed の最小主応力による安全率でさえ、最低 1.2 程度の値が上流端で確保されていることが判る。堤体のパイピング現象は、局所安全率が 1.0 を切るゾーンが上下流方向に連続して貫通した時に生ずるものと考えられる。図-2 より、コアゾーンの下流側ほどハイドロリックフラクチャリングに対する安全率は

大となり、上下流で貫通する可能性は極めて低いものと考えられる。

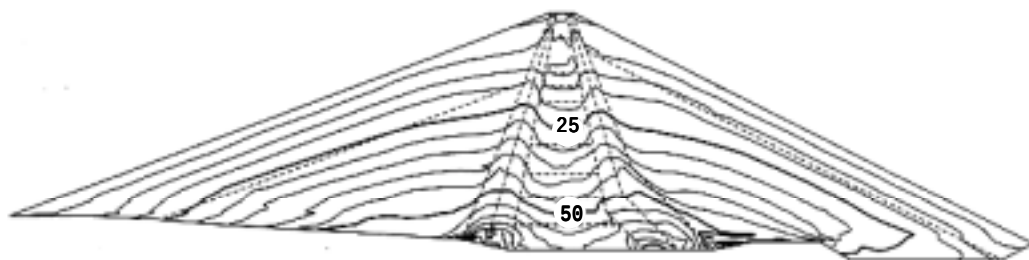


図-1(b) 最小有効主応力コンター(築堤完了時)

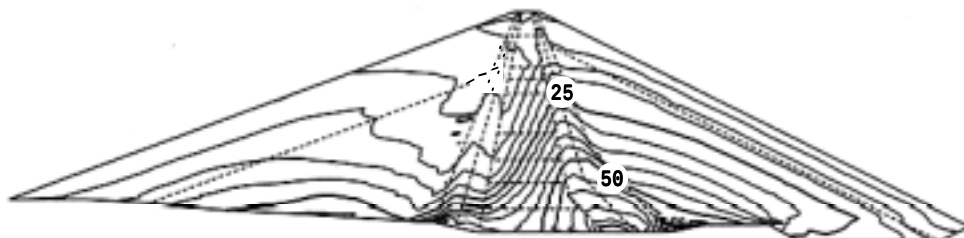


図-1(c) 最小有効主応力コンター(H.W.L.時)

3. 初湛水時の堤体計測管理への適用事例

ダムの初湛水時には、堤体の間隙水圧や漏水量、変形量などが計測され、堤体挙動が監視される。上日川ダムでは、前述した湛水解析結果とこれらの計測データを利用した新しい堤体計測管理が試みられた。弾塑性圧密連成解析によって、あらかじめコアゾーン内の間隙水圧計設置位置(これに相当する要素)の間隙水圧および全応力(σ_1, σ_3)の値を求めておく。これを、湛水位に対してプロットし、図-3 のような管理図を作成する。実測された間隙水圧が σ_1, σ_3 ラインを越えれば、ハイドロリックフラクチャリングが発生するものと判断される。湛水開始後、得られた実測間隙水圧をこの管理図上にプロットし、解析予測値から大きく逸脱しないこと、2つの管理限界線 σ_1, σ_3 を越えないことを確認しながら湛水を継続する。図-3 には、一例としてコア底上流端での管理結果を示したが、実測間隙水圧は解析で予測された値に近い挙動をとり、かつ2つの管理基準と比べても十分に安全な領域で推移していることが判る。ロックフィルダムの崩壊や損傷

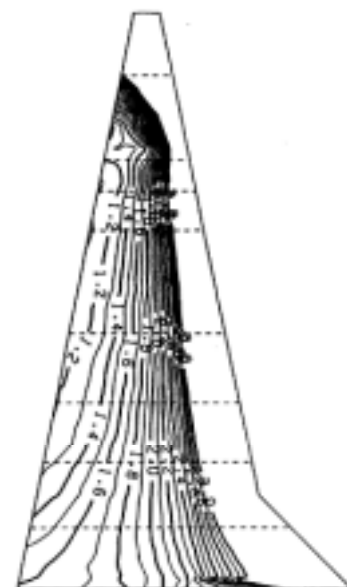


図-2 安全率コンター

は、初期湛水時のハイドロリックフラクチャリング現象が引き金となって生ずることが指摘されており、初期湛水時には図-3 に示すような計測管理が必要と考えられる。

参考文献 1)Seed ら:Report to U.S. Department of The Interior and State of Idaho on failure of Teton Dam
2)Vaughan ら : Cracking and Erosion of The Rolled Clay Core of Balderhead Dam and The Remedial Works Adopted for Its Repair ,Commission Internationale des Grands Barrages,Dixieme Congres des Grands Barrages Montreal,1970
3)柳沢ら : フィルダムコア材における水圧破壊基準に関する研究、ダム工学 No12、1993、12
4)飯島ら : 締めめられた土の浸透破壊の発生条件に関する実験的検討、第 35 回地盤工学研究発表会(投稿中)

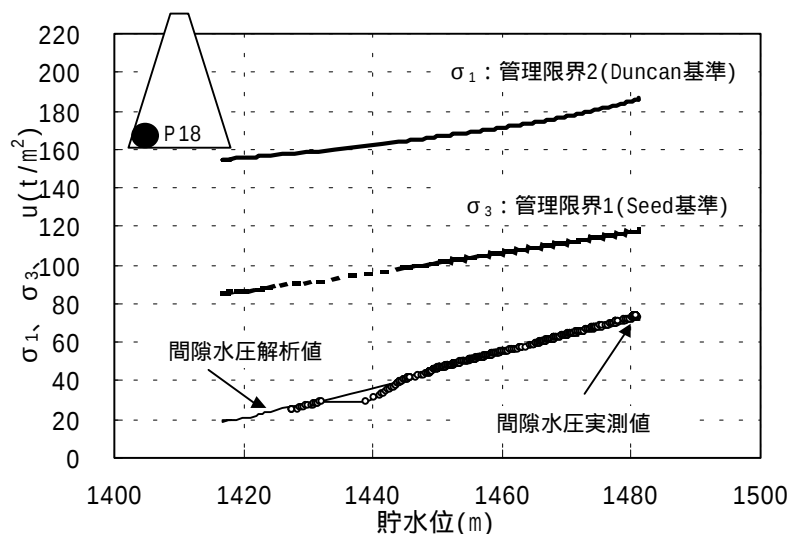


図-3 堤体計測管理図