

貯水池内崖錐斜面における残留間隙水圧の評価

建設省温井ダム工事事務所 為沢長雄 正会員 池田龍彦 野元俊秀 ○池田健二

【要 旨】

貯水池周辺での地すべりが発生する誘因には、ダムの湛水に伴う浮力と地山内の地下水分布の急激な変化による残留間隙水圧の発生が挙げられる。温井ダムの地すべり対象斜面は角礫を主体とした崖錐堆積物で覆われて空隙を有する部分が多く、残留間隙水圧の残留率を一般的な50%とするのは対策工の規模が過大となる可能性がある。そこで、地質状況に応じた地質構造及び水理特性を把握し、飽和・不飽和浸透流解析によって残留率を設定した。

1. 調査地の地質概要

本報告で対象とした斜面は、厚さ10m程度の崖錐堆積物で覆われている。この崖錐堆積物は、硬質な花崗岩の礫と軟質な土砂で構成される層と、花崗岩の巨礫（径 50～100cm）を主体とし、礫間に空隙を有する層とに大別できる。

2. 調査方法および結果

飽和・不飽和浸透流解析を実施する場合に必要なパラメータとしては、地盤の飽和状態での透水係数、飽和度（体積含水率）－比透水係数の関係、飽和度（体積含水率）－毛管圧の関係、および間隙率があげられる。これらの中で、飽和度－比透水係数、飽和度－毛管圧の関係は、不飽和浸透特性と言われ、現状では砂質土、粘性土での代表的な関係を引用することが多い。しかしながら、地下水分布形状の推定では、それらの不飽和浸透特性が大きな影響を及ぼす。そこで、ボーリング孔による孔内透水試験、および不攪乱試料による室内透水試験ならびに蒸発散量計測によって、対象斜面の不飽和浸透特性を把握することを試みた。また同時に、ボーリング調査および物理探査（弾性波探査、電気探査）によって、崖錐堆積物の分布層厚等の地質構造を把握した。

1) 孔内透水試験

ボーリング孔を使って原位置透水試験を行った結果、崖錐堆積物の透水係数は、ほぼ 1×10^{-2} cm/secであった。

2) 室内透水試験および蒸発散量計測

不攪乱試料から簡便に不飽和浸透特性を推定する方法として、蒸発散量計測を用いた推定法を実施した。次に、一次元浸透流解析を行い、その結果得られた飽和度分布を測定から得られた飽和度分布とフィッティングさせることによって不飽和浸透特性を推定した。ここで、測定で供試体内の流れが定常となったかどうかの判定が極めて難しい。そこで解析では、測定で得られた供試体上面からの蒸発量の経時変化を与え、測定終了までの



図－1 解析手順のフロー

の最小二乗法非定常計算を行い、その結果を用いて逆解析した。解析の手順を図－1に示す。ここで、図中の van-Genuchten式とは、不飽和特性を表す関数式の1つであり、基本的に α , m の2つの変数で不飽和特性を表現できることに特徴がある。一般に α は小さな間隙を持つ媒体ほど小さな値をとる傾向があり、また m は水分特性曲線の傾きに相当するパラメーターである。図－2に van-Genuchten式を示す。

以上により、供試体スケールでの飽和透水係数、不飽和浸透特性を求めた。その結果、岩石部に関しては、ほぼ 10^{-10} cm/sec $\sim 10^{-9}$ cm/sec オーダー、土砂部は、 10^{-3} cm/sec $\sim 10^{-4}$ cm/secオーダーの透水係数であった。また、土砂部の間隙率は約36%、 α は0.1 $\sim$ 0.385、 m は0.49 $\sim$ 0.70の値が得られた。

$$\theta_s = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (0 = \theta_s \leq 1)$$

$$\theta_s = \{1 + |\alpha \phi|\}^{-m} \quad (\alpha > 0)$$

$$n = \frac{1}{1-m} \quad (0 < m < 1, n > 1)$$

$$r(\theta) = \theta_s^{1/2} \{1 - (1 - \theta_s^{1/m})^m\}^2$$

$$c(\theta) = \alpha(n-1)(\theta_s - \theta_r)\theta_s^{1/m}(1 - \theta_s^{1/m})^m$$

θ : 飽和度
 ϕ : 圧力水頭
 $r(\theta)$: 相対透水係数
 θ_s : 有効飽和度
 θ_r : 最小水分量
 θ : 飽和水分量
 α, m : パラメーター

ここで、比水分容量 $c(\theta)$ は圧力水頭の増分に対する飽和度の変化率を示すパラメーターで、 $c(\theta) = \delta \theta / \delta \phi$ の関係がある。また、上式における未知数は $\theta_r, \theta_s, \alpha, m$ の4つであるが、 θ_r, θ_s の2つは室内試験から決定できるので、結局未知パラメーターは α, m の2つとなる。

図-2 van-Genuchten式の概要

3. 検 討

1) 飽和透水係数の把握

室内透水試験によって、土砂部および礫部の透水係数を個別に求めたが、地盤の土砂と岩石の比率から地盤全体の平均的な透水係数を求めた。その結果、崖錐堆積物の平均透水係数としては、 $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-3}$ cm/secの範囲と考えることが妥当であることがわかった。ここでは、孔内透水試験の結果はかなり高透水性を示しているが、間隙水圧の残留という問題を考慮し、透水係数が低い方がより水圧が残留しやすくなることから地盤の平均透水係数として 1.0×10^{-4} cm/secを採用して、予測解析を行うこととした。

2) 地盤の不飽和特性曲線の把握

一般的に不飽和パラメータは、体積含水率-サクション、体積含水率-比透水係数の関係図で示される。これまでに求めた間隙率と不飽和パラメータを用いて作成した関係図の一例を図-3に示す。

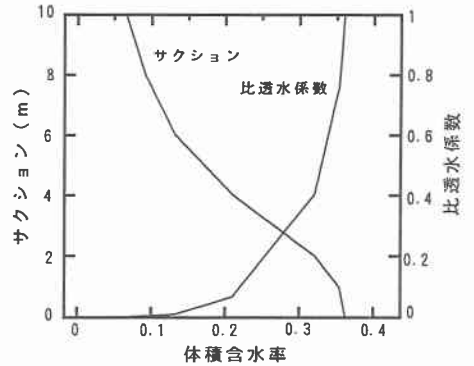


図-3 今回求めた曲線の例

3) 水理地質モデルの作成および残留間隙水圧の推定

ボーリング調査および物理探査結果から作成した地質断面をもとに、各層の飽和・不飽和浸透特性を与えた水理地質モデルを作成し、飽和・不飽和浸透流解析を行った。また、解析は2ケースについて、それぞれ2種類の低下速度について、飽和・不飽和浸透流解析を行い、残留間隙水圧を算定した結果を表-1に示す。したがって、この斜面における残留率は30%を見込んでおけば十分であることがわかった。

表-1 残留間隙水圧解析結果一覧表

ケース1		ケース2	
サクション→夏期制限		常時満水位→最低水位	
初期地下水分布		初期地下水分布	
230m ²		941m ²	
低下速度		低下速度	
1m/日 2.9m/h		1m/日 0.12m/h	
低下時地下水分布		低下時地下水分布	
4m ²	80m ²	217m ²	299m ²
残留率		残留率	
2%	35%	23%	32%

4. まとめ

本報告の事例では、試験結果から得られた危険側の透水係数を用いて解析した場合でも、従来画一的に設定されていた残留率50%よりも小さな残留率(30%)で済むことが判明した。この結果、現状にあった経済的な対策工を検討することが可能となった。また今回の結果は、温井ダム貯水池内で地質構造が同様な斜面についても適用できる見込みであり、全体としてもより経済的な事業の推進を可能ならしめるものであると考えている。