

1. はじめに

ダムは水を貯めるために造られる構造物である。しかし、ダムは貯水池という容器の下流側を堰止める構造物に過ぎない。すなわち、貯水池の兩岸と底面に難透水性の岩盤があって初めて貯水池が存在するのであり、基礎岩盤内の浸透流の影響とその処理方法を考えずに、ダムを設計することはできない。ダムの構造の安定性についても同様である。岩盤という堅固な土台の上に造られて、初めてダムは巨大な水圧を支持することができるのであり、貯水池の水圧荷重を最終的に支えているのは、ダムではなく、その基礎岩盤である。

近年、複雑な地質条件の基にも大規模なダムが造られるようになり、ダムの設計における基礎岩盤の評価と対応がますます重要なものとなっている。ここでは、ダムの構造と基礎岩盤の関わりについて略述する。

2. ダムの型式と基礎岩盤の設計上の課題

2.1. 重力式コンクリートダム

重力式コンクリートダム（以下、重力ダム）は堤体自重と基礎岩盤の強度を利用して貯水池の水圧荷重に抵抗する構造物である。重力ダムは図-1に示すように鉛直な2次元構造物として設計される。この場合、水圧荷重 H に抵抗するのは、堤体自重による摩擦抵抗 fV と堤体底面における岩盤のせん断抵抗 $\tau_0 l$ である（ f ：内部摩擦係数、 V ：堤体自重、 τ_0 ：せん断強度、 l ：堤体幅）。いま、安全率を F_s とすれば、重力ダムの安定性を確保するためには次の関係が必要となる。

$$F_s H \leq f V + \tau_0 l \quad \dots (1)$$

ここで、水圧荷重に対して転倒しない条件から定まる重力ダムの下流面勾配は堤高に関わらずほぼ一定である。したがって、(1)式の H 、 V は堤高の2乗に比例する。しかし、 l は堤高の1乗にしか比例しない。このため、同じ安全率を確保するには、 τ_0 が堤高に比例して大きくならなければならない。すなわち、重力ダムでは、堤高の大きなダムほど基礎岩盤に高いせん断強度が要求される。また、特定のダムにおいては、兩岸袖部よりも断面が最大となる河床部において高いせん断強度が必要となる。

次に、基礎岩盤内の弱層について考える。(1)式においてダムの安定性を左右するのはダムの底面に沿ったせん断強度の分布である。したがって、重力ダムでは、堤体底面に沿った水平な弱層が問題となる。一方、高角度の弱層はその面が堤体の滑りの方向と一致しないため、断層の規模が大きくない限り、重力ダムの安定性に及ぼす影響は小さい。

また、重力ダムから基礎岩盤に作用する単位面積あたりの荷重は堤趾部（下流端）で最大となる。そこで堤趾部に変形係数の低い岩盤が存在すると、重力ダムは岩盤の支えを失い、安定性を損なうことになる。したがって、重力ダムの設計においては堤趾部の岩盤の変形性が重要となる。

一方、基礎岩盤内の浸透流の流速は、その透水性と動水勾配によって定まる。このうち、動水勾配は貯水深に比例し、浸透路長（堤体底面幅）に反比例する。重力ダムはその底面幅が広く、他の型式のダムに比べて動水勾配は小さい。しかし、反面、揚圧力の作用面積が大きくなって堤体の安定性が損なわれやすい。このため、重力ダムでは堤踵部（上流端）の基礎岩盤に基礎排水孔を設け、揚圧力の低減を図っている。基礎排水孔は堤踵部付近の基礎岩盤の動水勾配を増大させるため、重力ダムでは堤踵部の止水処理が重要となる。

2.2. アーチ式コンクリートダム

アーチ式コンクリートダム（以下、アーチダム）は堤体コンクリートと基礎岩盤の強度を利用して貯水圧に抵抗する構造物である。アーチダムは3次元構造物として設計されるが、原理的には図-2に示すような

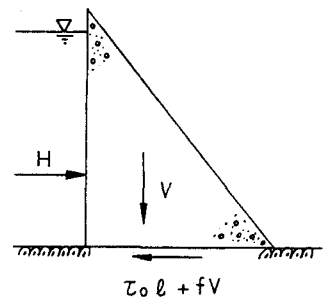


図-1 重力ダム

水平な2次元構造物を考えればよい。この場合、水圧荷重 H はアーチスラスト T として基礎岩盤に伝わり、アーチスラスト（せん断力成分 $T \cos \theta$ ）に抵抗するのは岩盤のせん断抵抗 $\tau \circ l$ とアーチスラストの摩擦抵抗成分 $f T \sin \theta$ である（ θ ：すべりの方向、 l ：岩盤の長さ）。いま、安全率を F_s とすれば、ダム の安定性を確保するためには次の関係が必要となる。

$$F_s T \cos \theta \leq f T \sin \theta + \tau \circ l \quad \dots (2)$$

ここで、アーチスラストは貯水深に比例し、アーチスパンに比例する。したがって、アーチダムでは、堤高の大きなダム、堤頂長が長いダムほど基礎岩盤に高いせん断強度が要求される。また、特定のダムにおいては、貯水深と谷幅の関係から中位標高で最も

高いせん断強度が必要となる。さらに、アーチスラストに抵抗する岩盤の長さ l はダムの下流側の岩盤（ショルダー）の厚みに関係し、ショルダーが厚いほどアーチダムの安定性は向上する。

次に、基礎岩盤内の弱層について考える。アーチダムの安定性を左右するのは、(2)式の l に沿ったせん断強度の分布である。したがって、アーチダムでは、上下流方向の走向をもった（下流側で地表に抜ける）鉛直な弱層が問題となる。一方、低角度の弱層はその面が基礎岩盤の滑りの方向と一致しないため、断層の規模が大きくない限り、アーチダムの安定性に及ぼす影響は小さい。

また、アーチダムは堤体幅が薄いため、基礎岩盤に作用する単位面積あたりの荷重は重力ダムに比べてかなり大きくなる。さらに、アーチダムは不静定構造物であるため、堤体の応力分布は基礎岩盤の変形係数に大きく依存する。このため、基礎岩盤の変形性はアーチダムの設計において重要な要素となる。

一方、アーチダムは重力ダムに比べて底面幅が狭いため、基礎岩盤内の動水勾配はかなり大きくなる。このため、浸透流対策として確実な止水処理が必要となる。また、上述のように、ダムの安定性はショルダー部の岩盤の安定性によって定まり、堤体底面よりもショルダー部の岩盤の揚圧力を減じることが必要となる。このため、ショルダー部に高密度に基礎排水孔が削孔される。

2.3. ゾーン型ロックフィルダム

ゾーン型ロックフィルダム（以下、ロックフィルダム）は、図-3に示すように、コアゾーンに作用する貯水池の水圧荷重を下流側ロックゾーンで支持し、基礎岩盤に伝達する構造物である。しかし、フィルダムの堤体設計では、堤体法面の滑りに対する安定性が支配的条件になり、水圧荷重に対する安定性から堤体形状が定まることはない。すなわち、岩盤を基礎とする限り、基礎岩盤のせん断強度は問題にならない。

また、フィルダムの堤体材料は塑性に富み、ある程度の変形にも追従できる。このため、堤体の安定性に関して基礎岩盤の変形性が問題となることも少ない。ただし、フィルダムの基礎部にはカーテングラウチングの施工や安全管理のためにコンクリート製の通廊が設置される。そこで、基礎岩盤の変形係数が小さいと、堤体自重によって通廊に曲げ応力によるクラックが発生し、着岩部の止水性が損なわれることになる。このため、フィルダムの設計では、基礎岩盤の変形性が重要となる。

フィルダムの止水機能はコアゾーンが受け持ち、フィルターゾーン、ロックゾーンは止水機能を有さない。したがって、基礎岩盤内の浸透流の動水勾配はコア幅によって定まり、アーチダムと同程度の大きな動水勾配が発生する。このため、浸透流対策として確実な止水が必要となる。フィルダムでは、基礎岩盤の強度や変形性より、確実な遮水性が得られるかどうかが基礎掘削線の決定根拠となる場合が多い。

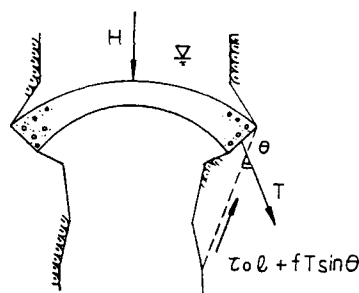


図-2 アーチダム

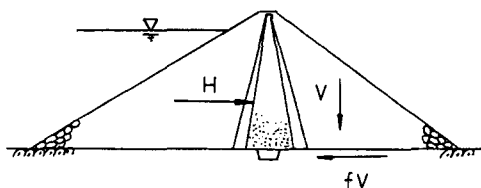


図-3 フィルダム