

1. はじめに

従来、ダムは堅硬な岩盤を基礎として建設されることが多かったが、近年では、治水、利水上の要請から地質時代が新しい固結度が低い「軟岩」を基礎としてダムが建設される事例が増えてきている。

軟岩は、その固結度が低いため、せん断強度、変形性などの力学的特性において硬岩よりも劣っているのが一般的である。反面、硬岩に比べて亀裂の発達が少ないため、一般に難透水性を示すことが多い。しかし、ある程度まで固結度が高まると、亀裂の発達が見られるようになり、亀裂沿いに透水性が高まるが、限界圧力が低いため、グラウチングによる改良が難しい場合が多い。また、乾湿の繰り返しによってスレーキング生じ、その性質を著しく劣化させる場合もある。

本章では、軟岩をダム基礎とするダムの設計上の課題と対応について述べる。また、未固結層についても併せて述べる。

2. 強度

硬岩のせん断強度は亀裂などの不連続面の存在によって大きく左右されるが、軟岩は、その固結度が低いため、岩石自体の強度が問題となる。また、スレーキングを起こす岩盤では、乾湿を繰り返すと岩盤の強度が著しく低下するため、基礎掘削後には乾湿の繰り返しの防止し、岩盤の劣化を防ぐための対策が必要となる。

軟岩は硬岩に比べてせん断強度が低いため、堤高の高いコンクリートダムの建設は難しいが、小～中規模のダムであれば、フィレットやマットコンクリートを採用してコンクリートダムを建設する事例も多い。なお、強度について見た場合、フィルダムの建設にとって大きな問題はなく、多くのダムが建設されている。

3. 変形係数

硬岩の変形係数も亀裂などの不連続面の存在によって大きく左右されるが、軟岩は、その固結度が低いため、岩石自体の変形性が変形係数の値に大きく影響する。また、スレーキングを起こす岩盤では、岩盤の劣化に伴い変形係数が著しく低下するため、この面からも、基礎掘削後には乾湿の繰り返しの防止し、岩盤の劣化を防ぐための対策が必要となる。

コンクリートダムのような剛性の高い構造物では、軟岩を基礎とした場合、基礎岩盤の過大な変形によって堤体底面に大きな引張応力を発生させることがある。特に、大きなフィレットやマットコンクリートを採用したダムでは、堤体の応力状態について入念な解析が行われる事例が多い。

これに対して、フィルダムは基礎岩盤の変形に対してある程度まで追随できるため、基礎岩盤が均質であれば、堤体自体の安定性について問題を生じることは少ない。しかし、コンクリート構造である底設通廊や洪水吐きの設計においては、基礎岩盤の変形性を考慮した解析が必要となる。底設通廊の設計上の対応としては、継目間隔を狭くして変形を吸収する方法が一般に採用されている。この場合、継目部の止水処理が重要であることはいうまでもない。

なお、著しく変形性の高い岩盤では、底設通廊の設置が困難な場合があり、完成後のダムの安全管理に対して適切な代替措置をとることによって底設通廊を省略する事例もある。しかし、このような例は比較的小規模なダムに限られている。

4. 透水性

本来、軟岩は難透水性であるが、ある程度固結度が高まると、潜在的な亀裂が生じ、局部的に高透水性を示すことがある。しかし、難岩は固結度が低い場合限界圧力が低く、このような潜在的な亀裂に対して効果的なグラウチングを行うことは難しい場合が多い。このため、軟岩の止水処理にあたっては、止水工法の選定が大きな課題となる。

止水工法としては、グラウチングが採用される場合が最も多いが、注入材料、配合、注入圧力、孔間隔などの決定にあたっては、グラウチングテストを含めた入念な検討が必要となる。注入圧力は限界圧力よりもやや高い圧力を採用することが一般的であり、孔間隔は硬岩よりも狭くなることが多い。なお、軟岩における特殊なグラウチングとして、セメントの注入効率を高めるため超微粒子セメントを採用した事例、岩盤を割裂破壊して強制的にセメント注入を行う二重管ダブルバック工法を採用した事例などがある。

一方、グラウチングによる止水が難しい場合には、土質ブランケットによって貯水池を覆い、浸透路長を確保する工法が採用されている。しかし、この方法は、元来、ダルシーの法則が成り立つ土質基礎に適用されるものであり、ある程度の亀裂の発達が見られる軟岩では、グラウチングが併用される場合も多い。

また、軟岩は、基礎排水孔によって揚圧力の低減を図ることが難しい場合が多く、基礎排水孔の設計にあたっては十分な注意が必要となる。

5. スレーキング

泥岩など膨張性の粘土鉱物を含有する軟岩においては、乾湿の繰返しによって岩盤中に無数の細かなひび割れを生じ、岩盤としての性質を著しく劣化させる場合がある。このような現象をスレーキングという。このような岩盤では、本来、ダム基礎として十分な性質を有していても、基礎掘削など施工時にその性質が損なわれてしまうのが一般的である。そこで、このような岩盤では、設計時の対応よりも施工時の対応がより重要になる。

スレーキングに対する対応としては、モルタル吹付けによる乾湿の繰返しや劣化の進行の抑制、仕上げ掘削による劣化部分の除去、散水や養生マットによる仕上げ掘削後の乾燥防止などがあげられる。

6. 未固結層

未固結層は、強度、変形性などの力学特性に劣り、また、透水性が高い場合も多いので、原則としてこれをダム基礎とすることはない。ただし、ロックフィルダムにおいては、ロック材の基礎についてはよく締まった河床砂礫などの未固結層を残してロック材の盛立てを行う場合もある。しかし、この場合、その変形性について十分な検討を行う必要がある。

一方、ダムの基礎として未固結層を避けたとしても、貯水池内やダムサイト左右岸のアバットメント深部に旧河床砂礫などの未固結層が存在し、貯水池からの浸透流対策が問題となる場合がある。このような事例は、第四期の火山岩地帯などにしばしば見られる。このような場合の対応としては、土質材料やコンクリート擁壁などを用いた貯水池表面からのフェーシング、地下連続壁による地山内部での遮水など、特殊な工法が採用される事例が多い。

また、比較的小規模なダムでは、ダムサイト両岸の尾根が低く、ダム天端付近で岩盤が現れない場合がある。このような場合、この部分をダム本体と縁切りし、堤体は岩着させ、未固結層については地下止水壁や土質材料による置換え工法（コアウォール）を採用する事例がある。

参考文献

- 1) 建設省河川局監修：多目的ダムの建設、(財)ダム技術センター
- 2) (社)土木学会：軟岩評価－調査・設計・施工への適用－
- 3) (社)土木学会：軟岩の調査・試験の指針(案)
- 4) (社)土木学会：ダムの岩盤掘削
- 5) (社)土木学会：「ダム基礎の地質と岩盤評価に関する調査」資料集