

足羽川ダムにおける横坑調査について

石飛 隆司

近畿地方整備局 足羽川ダム工事事務所 工事課 (〒918-8239福井県福井市成和1-2111)。

足羽川ダムでは、ダム本体の設計に向け地質調査を実施しており、2013年度にはダムサイトの左右岸の低標高部で調査横坑の掘削を行った。近年、近畿地方整備局管内でも横坑掘削の事例は少ないため、本論文にて報告するものである。本論文では、横坑掘削及び横坑内の調査について事例紹介するものである。

キーワード ダム地質調査、横坑掘削、開口割れ目

1. はじめに

足羽川ダムは、足羽川、日野川、九頭竜川の下流域における洪水被害の軽減を目的として、九頭竜川水系足羽川の支川部子川（福井県今立郡池田町小畑地先）に建設する高さ約96mの洪水調節専用の重力式コンクリートダムである（図-1）。



図-1 足羽川ダム位置図

足羽川ダム建設事業は、この重力式コンクリートダムと併せて、図-2のように他流域の4河川（水海川、足羽川、割谷川、赤谷川）の洪水を導水するための分水施設（堰・導水路）を整備するものである。現在、早期の完成に向けて、工事用の道路、付替道路等が着工され、また用地買収のための地元交渉、地質調査や構造物の設計を鋭意進めているところである。本論文では、その中で、ダム本体の地質調査等について述べるものである。

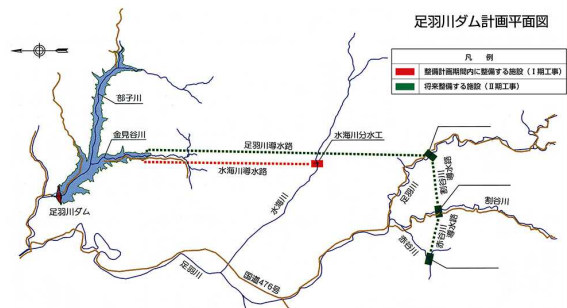


図-2 足羽川ダム計画平面図

2. 足羽川ダムの地質状況

(1) 足羽川ダムサイトの地質概要

ダムサイトに分布する地質は、基礎岩盤として中生代ジュラ紀の船津花崗岩（中粒花崗岩）及びこれを不整合で覆う新第三紀中新世糸生累層（火山砕屑岩）からなる。また、基礎岩盤となる花崗岩中には、安山岩質岩脈が頻繁に貫入している。河川に面した斜面や河床には、未固結の段丘堆積物、崖錐堆積物が分布する（図-3）。

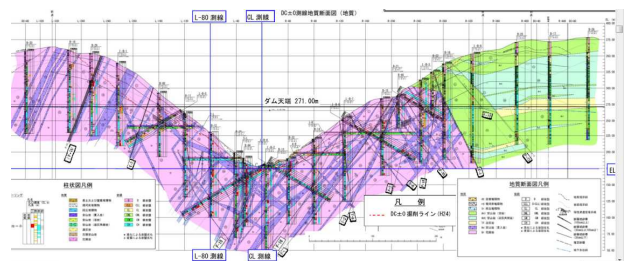


図-3 足羽川ダム地質断面図

代表的な花崗岩、安山岩岩脈は写真-1、2のとおりである。



写真-1 花崗岩（足羽川ダムボーリングコア）



写真-2 安山岩岩脈（足羽川ダムボーリングコア）

(2) 足羽川ダムの地質調査

一般的にダムの地質調査については、まずダムサイトの候補地の周辺で既存の文献調査を行い、ダムサイト候補地点として基礎岩盤の生成年代や岩種を調べ、現地踏査等を行って断層や崖錐、地すべりなどの有無を調査し、活断層等がないかなどを確認する。その後、ボーリング調査、弾性波探査、透水試験（ルジオン試験）等を行って、ダム基礎岩盤としての性状を強度、止水性等から問題が無いか把握していく。そして、その調査の中に、調査横坑がある。

なお、現在までに足羽川ダムで行われている地質関係の調査は下記のとおり行っている。

弾性波探査 8測線 4,180m

ボーリング調査 75本 8,139m

ルジオン試験 1,376回

調査横坑 6坑 555m

その他 現地踏査、岩盤せん断試験、ボアホールテレビによる観察、コアの室内試験 等

(3) 横坑調査

地質調査については、ボーリングが主体であり主な調査手法として、非常に重要な調査となる。しかし、基礎地盤の状況は、直接確認出来れば確実性が増す。そのために、地山に横坑という地質調査専用のトンネルを掘削し（図4）、中から直接岩盤の状況を観察する。

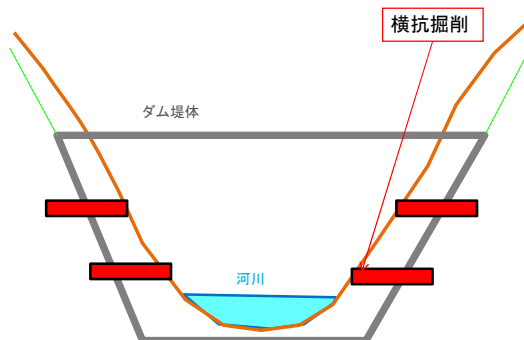


図4 ダムサイトの横坑イメージ図

横坑の大きさは任意ではあるが、掘削作業や観察しやすさ、経済性等を考慮し、足羽川ダムでは高さ1.8m、幅1.2m程度の断面としている。岩盤の観察が主目的のため、素掘りが最も望ましいが、風化やゆるみ、変質等により劣化している箇所もあるため、安全性を確保するために支保工を設置した。掘削が終われば、側壁及び天井を水洗いし、観察が行える状態にする。一人が入れる大きさであるため、削孔、発破、ズリ出し、支保工建込、水洗いなどを人力で行うことが一般的であり、近年、横坑掘削を行う作業員の確保が難しくなっていると筆者は感じている。



写真-3 横坑掘削状況（発破完了時）

横坑においては、ハンマーで打診しながらの観察などを行うのだが、まずは横坑の展開図を作成する。側壁や天井をスケッチし、地質、断層、地質、割れ目の走行傾斜などを記録し、ボーリングコアの結果と合わせて岩盤状況を判定して岩級区分を行う。

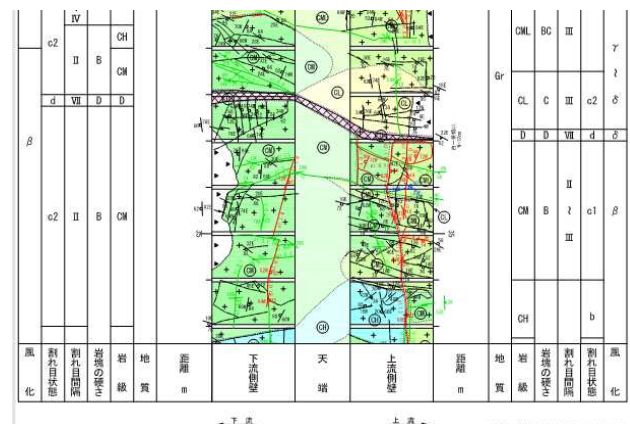


図5 横坑展開図

(4) 足羽川ダムの地質状況

このような調査を行い、地質図（図-3）、岩級区分図を作成する。ダムの基礎岩盤は一般的に岩塊の硬さ、割れ目間隔、風化や変質の状況を組み合わせて評価する。足羽川ダムの岩級区分では、岩盤状況の良好なものから順にCH級、CM級、CML級、CL級、D級の5区分としているが、ダム毎に岩級の区分をしていることが多い。ボーリングコアや横坑を観察して出来たボーリング柱状図、横坑展開図を基に、この区分された岩級を用いて岩級区分図を作成する。足羽川ダムの岩級区分図は図-6のとおりである。その他、地質と共に透水性の確認を行うルジオンテストというものがあり、ルジオンテストの結果から、ルジオンマップ等の作成も行うが今回は省略する。

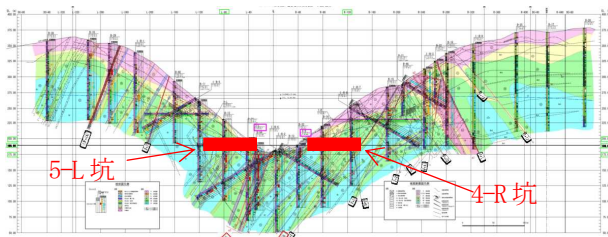


図-6 岩級区分図（足羽川ダムサイトDC±0測線）

(5) 横坑内の試験

このようにして、岩級区分図等を作成して、基礎掘削線やダムの形状を決定していく基礎資料として設計へ進んでいく。コンクリートダムのような大規模構造物の設計を行う際、断層や破砕帯等の特別な箇所やアーチダムの場合を除いて、普通の岩盤基礎であれば、圧縮強度や変形性が問題となることは少なく、一般的に岩盤のせん断強度が問題となる。せん断強度を確認するためには、横坑内でせん断試験を行う必要があり、ブロックせん断試験とロックせん断試験の二通りがあるが、一般にはブロックせん断試験が用いられる。

ブロックせん断試験は、横坑底面を浮き石等を除去しながら清掃した上で岩盤を整形しコンクリートブロックを打設する。このブロックを1つの岩級毎に4ブロック程度作り、異なる鉛直圧でせん断し、その際の変位を計測し、破断面の観察等を行いながら、せん断強度を設定していく。

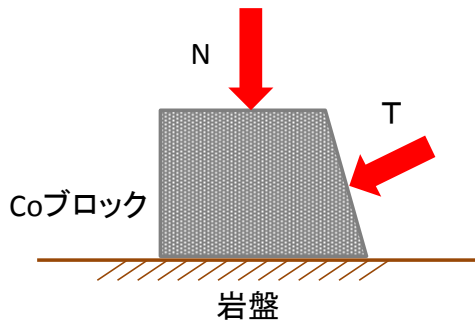


図-7 せん断試験のイメージ



写真4 ブロックせん断試験状況(試験中)



写真5 ブロックせん断試験状況(試験後)

3. 2013年度の足羽川ダムサイト横坑掘削

(1) 横坑掘削

以上のように、地質調査を行っていく中で、2013年度に当事務所ではダムサイトの低標高部の左右岸で横坑掘削を行った。右岸（4-R坑）は標高約197mに延長80m、左岸（5-L坑）は標高約190mに延長90m、途中で枝分かれする枝坑25mの合計195mを掘進した（図-6）。

掘進時には、横坑の中心線がちょうど花崗岩と安山岩の境目にあるため切羽が不安定になることや、低標高部であるため地下水の湧水が発生するなどの問題が生じたが、特に事故もなく完了した。



写真6 掘進状況

(2) 横坑内の開口割れ目観察の目的

近年、全国的にダムサイトでのゆるみ岩盤の対応が課題となることがある。ゆるみ岩盤とは、応力解放や風化作用などで開口亀裂が発達して岩盤が変形しやすくなっている状態の岩盤である。基本的にはゆるみ岩盤の箇所については、掘削除去する方法が一般的であるため、ゆるみの範囲を確定させる必要がある。このゆるみ範囲を確認することなどを目的に、横坑内で開口割れ目観察を行った。

(3) 開口割れ目観察の方法

割れ目状況については、横坑展開図を作成する際に、地質分布、岩級区分図を作成すると共に、割れ目の状況（挟在物、開口幅、割れ目の走向・傾斜、開口割れ目の形状等）を把握するために両側壁において長さ500mm以上の割れ目をスケッチした横坑割れ目観察図を作成する。この観察結果より、割れ目がゆるみと関係する可能性のある開口割れ目と、熱水変質等による劣化を原因とする割れ目、密着した割れ目に区分し、開口割れ目には番号を付け、現地でわかるように標記した。また、開口割れ目状況の割れ目一覧表を作成すると共に、地山のゆるみ領域について把握するために、横坑の側壁の高さ1.0m付近に水糸を張り、これと交差する開口割れ目の開口量を計測し、開口割れ目と深度の関係についての累積開口量曲線図を作成し、ゆるみ領域についての評価を行った。

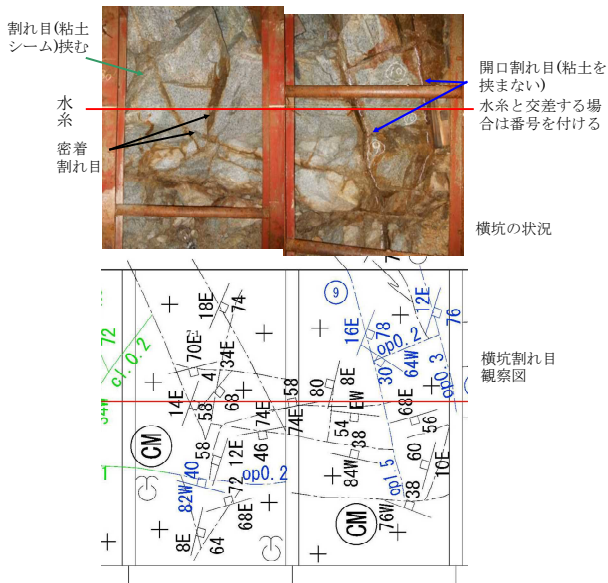


図-8 開口割れ目観察例

(4) 開口割れ目観察の結果

a) 右岸（4-R坑）

右岸4-R坑の開口割れ目観察の結果は、図-9のとおりである。坑口から約40～45mにある安山岩岩脈の周辺に、流入粘土を挟む割れ目が多く分布する。また、花崗岩中には5m程度連続する流入粘土を挟む低角度の割れ目の分布が認められる(写真-7)。流入粘土は高角度傾斜で貫入

した安山岩岩脈と同方向に発達した高角度傾斜の割れ目から流入粘土が表層部より地下水と一緒に浸透し、低角度の割れ目沿いにも浸透したものと考えられる。開口割れ目の開口量が小さく、周囲の岩盤に変状も認められないことから、開口割れ目の形成は岩盤の変形に伴うゆるみではなく、通常の風化によるものと考えられる。

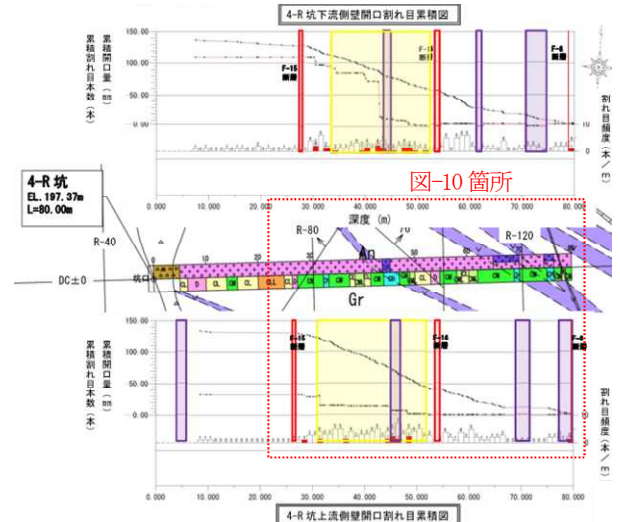


図-9 4-R坑累積開口量曲線図

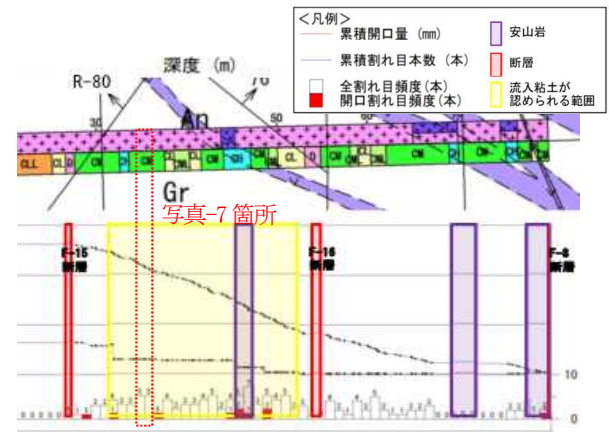


図-10 図-9の拡大（4-R坑口から30m上流側）



写真-7 4-R坑口から34～35m 上流側側壁状況

b) 左岸 (5-L坑)

左岸5-L坑の開口割れ目観察の結果は、図-11のとおりである。

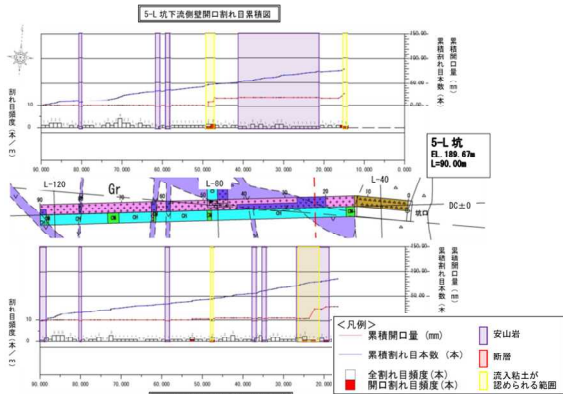


図-11 5-L坑累積開口量曲線図

坑口から約20～40m間に分布する安山岩岩脈と花崗岩の境界面付近で流入粘土を挟む割れ目が確認されるが、分布範囲が限られており左岸全体の岩盤強度に影響を与えるものではないと考えられる。

(5) 開口割れ目観察のまとめ

(4)から、右岸については、ゆるみ岩盤ではないが風化の影響を受け岩盤の劣化が進んでいることを考慮する必要がある。左岸については、ゆるみの観点からは問題の無いことが分かった。図-12に右岸低標高部の岩級区分図を示すが、現在想定している基礎掘削線と風化の影響を受け岩盤の劣化が進んでいる範囲がほぼ同じとなっているため、現在の検討の掘削線には大きく影響しないといえるが、今後岩級区分図の精度を高めダム本体の設計を行う際には注意していきたい。

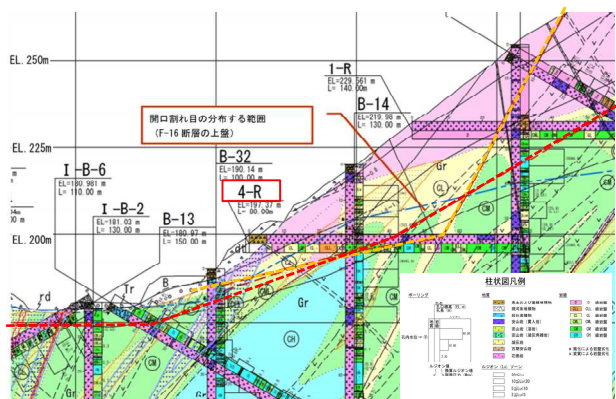


図-12 右岸低標高部岩級区分図

4. 今後の課題

現在足羽川ダムでは、図-6のように、岩級区分について評価をしているところであるが、岩盤の劣化要因についての把握はまだ不完全であるため、今後は調査・解析を進め、ダム本体の設計を行うための精度を向上させる必要がある。

5. 最後に

ダムの地質調査は、難解で専門的な知識と経験が必要である。ボーリングのコアや物理試験結果、透水試験の結果などを並べただけではダムの設計に必要な地質情報は得られない。それぞれの点のデータをつなぎ合わせて図面として完成させる作業が必要であり、地質技術者の知識、経験などが大切であり、設計者と地質技術者が連携、協力して調査を進めていく必要がある。足羽川ダム工事事務所では過去に数回、近畿地方整備局管内を対象に横坑の観察会等を開催しており、知識と経験の向上に努めている。今後も引き続き技術力向上に努めていきたい。

最後に、事業により移転を余儀なくされた地元関係者の方々の生活再建を第一に、足羽川、日野川及び九頭竜川の下流域の治水安全度の向上に向け、一日も早いダムの完成を目指すと共に、より安全なダムとなるよう地質調査や設計等を確実に進めていきたい。