

足羽川ダムにおける地質調査について

豊田 陽介¹・横山 英樹²

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

²近畿地方整備局 河川部 河川計画課 (〒540-8586大阪市中央区大手前1-5-44)

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、これまでの調査によって、概ねの地質の構造がわかってきた。ダムにおける地質調査は、ダム本体の安全はもちろん地域の安全をも左右するものであり、正確な地質情報の把握は不可欠である。足羽川ダムにおいても、より正確な地質情報の把握に取り組んでおり、今後設計を進めていく上での課題が明確になってきた。

キーワード ダム、地質調査、地質解析、岩盤変質

1. はじめに

ダムは河川の水を貯める土木構造物であり、ダム建設地の地盤はその本体の重量を支え、水圧に抵抗できる一定の強度を有し、止水性を確保していなければならない。そのため、ダム建設地の地質を把握することは、ダムを安全かつ経済的に設計、建設する上で重要な事項であり、一般的な構造物に比べより綿密な調査を行う必要がある。

本項では、ダム事業の地質調査について、足羽川ダムにおける事例を紹介するものである。

2. 足羽川ダム建設事業の概要

足羽川ダムは、足羽川、九頭竜川及び日野川の下流域の洪水被害の軽減を目的として、足羽川の支川部子川に建設する高さ約96mの重力式コンクリートダムである。

1967年に予備調査開始して以来、種々の調査検討がなされ、2002年からは九頭竜川流域委員会において議論が重ねられた結果、2007年に現ダムサイトにおいて洪水時のみ貯留を行い、平常時は水を貯めない洪水調節専用（流水型）ダムとして九頭竜川水系河川整備計画に位置づけられた。足羽川ダムはダム本体と他の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堰と導水トンネルから構成される（図1）。

福井市をはじめ、足羽川、日野川及び九頭竜川の下流域では過去から洪水被害がたびたび発生している。また近年では2004年の福井豪雨で甚大な被害を被ったこともあり、ダムの早期完成が望まれている。現在、早期の工事着手、完成に向けて、用地買収のための地元交渉、地質調査や構造物設計を進めている。

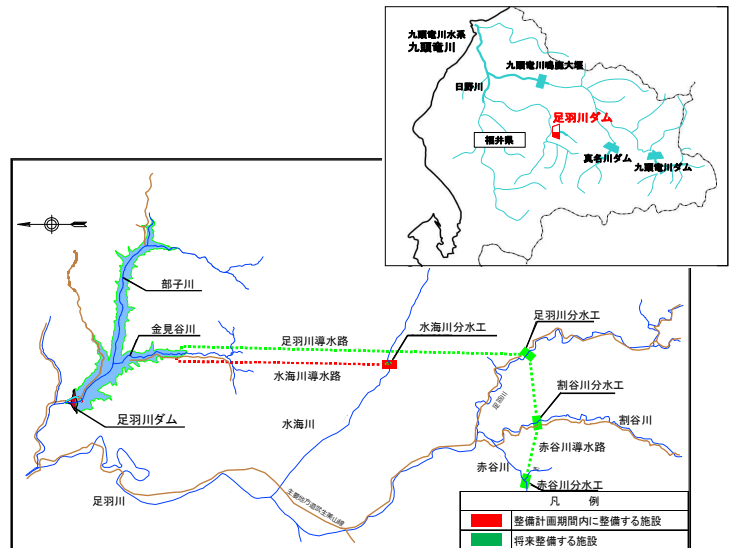


図1 足羽川ダムの概要

3. 足羽川ダムの地質について

(1) 地質調査の概要

ダム地質調査は、まずダムサイトの候補地から周囲50kmの範囲において、地質時代の第四紀（約200万年前～現在）に地表に変位を生じたことのある断層を文獻、空中写真、地形図及び現地踏査により調査を行い、ダムサイトとして評価を行う。その後、ダム予定地付近へと調査範囲を絞り込んで調査を進める。これまで実施した地質調査では、ダム建設上問題となるような断層等は発見されていない。その後、適切と判断されたダムサイト候補地において、ボーリング調査等を実施していく。ダムの地質調査ではボーリング調査は必ず実施される重要

かつ基本的な手法である。足羽川ダムではダムサイトを40m ピッチのグリッド（格子状）に区切り、その節点においてダム高ー深度 100m 程度のボーリング調査を実施している。さらにボーリングは点の地質情報でしかないため、地質情報を補足する目的で、高さ 1.8×幅 1.2m 程度の横坑と呼ばれる地質調査専用のトンネルを3カ所配置し、断層、破碎帯や岩盤の劣化の位置、規模、方向性などを調査している。さらに、ダムサイトの岩盤が、高さ約 96m のコンクリート重力式ダムを上座させるのに十分な岩盤強度を有しているか、水を貯留するのに十分な止水性を有しているのかをグリッド（格子）上に配置されたボーリング、横坑および各種試験等のデータから、様々な区分要素を用い、岩盤の状態を等級別に分類した岩級区分図と岩盤の透水性を表すルジオンマップを作成し、ダムが立地する基礎岩盤が問題ないか確認している。現在、足羽川ダムで行われている調査手法とこれまでの調査数量を以下に示す。

〈調査手法〉

- ・ボーリングによる調査
 - ボーリングコアの目視、打診
 - 岩盤の透水性（ルジオン）試験
 - ボーリングコアの室内試験（一軸圧縮試験、超音波試験等）
 - ボアホールテレビによる観察
- ・横坑による調査
 - 坑壁の目視、打診
 - 原位置せん断強度試験
- ・その他
 - 弾性波試験
 - 現地踏査

〈調査数量〉

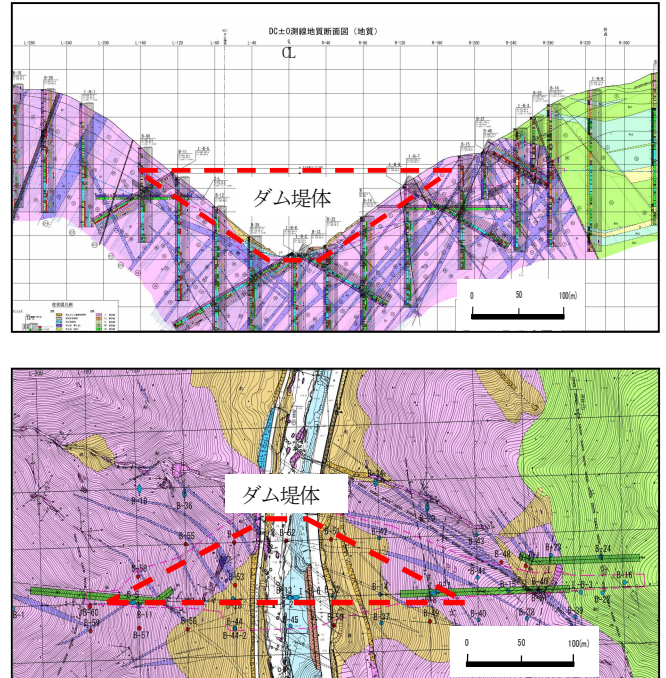
ボーリング 71本 7,740m
 岩盤の透水性（ルジオン）試験 1,303回
 横 坑 3坑 360m
 弾性波試験 8測線 4,180mm

(2) 足羽川ダムの地質構成

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～三畳紀(2.5億年～6500万年前)の船津花崗岩類（花崗岩（Gr））であり、ダムサイト周辺の部子川沿いに分布する。この花崗岩帯を取り囲む形で新第三期中新世(2300万年～250万年前)の糸生累層甲楽城火山岩類（安山岩溶岩（Anl）、安山岩質凝灰角礫岩（Ant）、凝灰岩（Tf））が広く分布し、花崗岩と安山岩の境界は傾斜約60度の断層となっている。

また、ダムの基礎岩盤となる花崗岩中にはマグマの貫入により出来た安山岩質岩脈が頻繁に見られる。この安

山岩脈の周辺に岩盤の節理等の割れ目に沿って熱水（地下水）が上昇した際に岩盤を変質させ、割れ目に粘土鉱物等を生成している箇所や固結しているが過去に破碎を受けている箇所が確認されている。基盤岩類を被覆して、未固結の段丘堆積物、崖錐堆積物が分布する（図2）。



凡例			地質時代	地質区分	岩相・層相
新生代	第四紀	更新世	盛土		礫・砂・粘土
		完新世	現河床堆積物		礫・砂
			崖錐堆積物		礫・砂・粘土
			段丘堆積物		礫・砂・粘土
	新第三紀	中新世	糸生累層 甲楽城火山岩類		安山岩質溶岩 安山岩質凝灰角礫岩
時代未詳			岩脈		安山岩
中生代	ジュラ紀～三畳紀		船津花崗岩類		花崗岩

図2 地質平面図（上）地質断面図（下）

(3) 足羽川ダムの岩級区分

ダムの基礎岩盤は一般的に岩石の硬さ、割れ目の間隔や状態などの要素をそれぞれに区分し、それらの組み合わせで表現する土研式岩盤分類と、それらの要素を定性的に分類した電研式岩盤分類により評価しており、足羽川ダムでは、この2つの方法を組み合わせて岩級を評価しており、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等級に区分している。ダムサイトにおける各等の分類区分は表1及び図3のとおりである。ダムの標高により、その重量を支持できる岩級（強度）が異なり、足羽川ダムでは高さが約100mとなる河床部（低標高部）付近ではCM級以上の岩級（強度）が必要となる。

(4) 水理地質構造

ダム基礎岩盤の透水性を評価する指標として、ルジオン値が一般的に採用されている。ルジオン値はルジオン試験により求められ、ボーリング孔に1Mpaの水圧をかけて、その際に1mあたり、1分間に地盤に浸透する水の量(リットル)で表され、数値が大きくなるほど透水性が高くなる。足羽川ダムに透水性を表した断面図(ルジオンマップ)を図4に示す。ダムサイトにおける透水性は、左岸部高～中標高部においては、地下深部に向けて徐々に難透水性となる。河床部では地表5～10mからダム高程度の深度130mまで広く2ルジオン以下の難透水性を示す。

表1 岩級区分表

岩級区分	状態	せん断強度(Mpa)
CH級	新鮮、極硬質で節理間隔の広い(15cm以上)岩盤。ハンマー打診で金属音が生じる	-
CM級	硬質な岩塊からなるが、風化や変質により軟質化(変色も含む)した部分も含み、節理間隔は15cm未満の岩盤。ハンマー打診では割れにくくや濁音が生じる	2.39
CML級	硬質な岩塊からなるが酸化褐色の顕著な節理が10cm以下の間隔で発達している岩盤。ハンマー打診では割れにくくや濁音が生じる	1.54
CL級	岩石内部まで風化(または変質)した中硬質岩塊を主体とする岩盤。節理間隔は5cm未満であり、ほとんどの節理面に粘土が介在している。ハンマー打診で容易に割れる	-
D級	著しく風化・変質した粘土状～砂状を主体とし、ハンマーで容易に崩せる岩盤。	-

右岸部は50ルジオン以上の高透水性ゾーンの分布が高標高部では地表から80～120m付近まで低標高部では30m～60mの深度に広がっている。

4. 地質情報のより正確な把握のために

(1) 高品質なボーリングコアの採取

ダムの地質調査ではボーリング調査は必ず実施される重要かつ基本的な手法である。足羽川ダムではダムサイトを40mピッチの格子状に区切り、その節点においてダム高～深度100m程度のボーリング調査を実施している。ダムの地質調査では、限りなく地山に近い状態で地質情報を把握する必要があるため、ボーリングコアをいかに乱さずに採取できるかが大きな課題である。足羽川ダムでは平成24年度の調査において、口径の大きい(86mm)のボーリングマシンの使用により、より良質なボーリングコアの採取を行った。特に亀裂の多い割れやすい地層や風化の進んだ地層で効果を発揮した。(図5 図6)

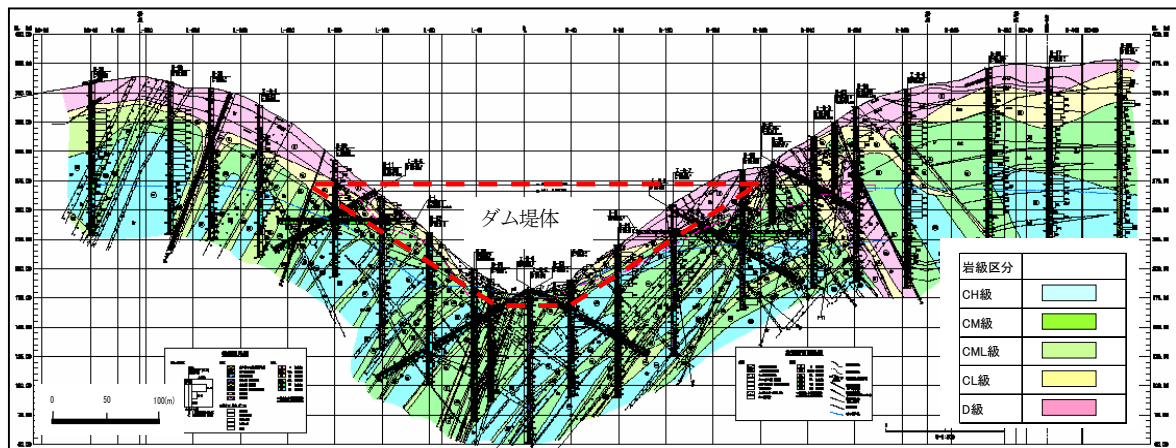


図3 岩級区分図

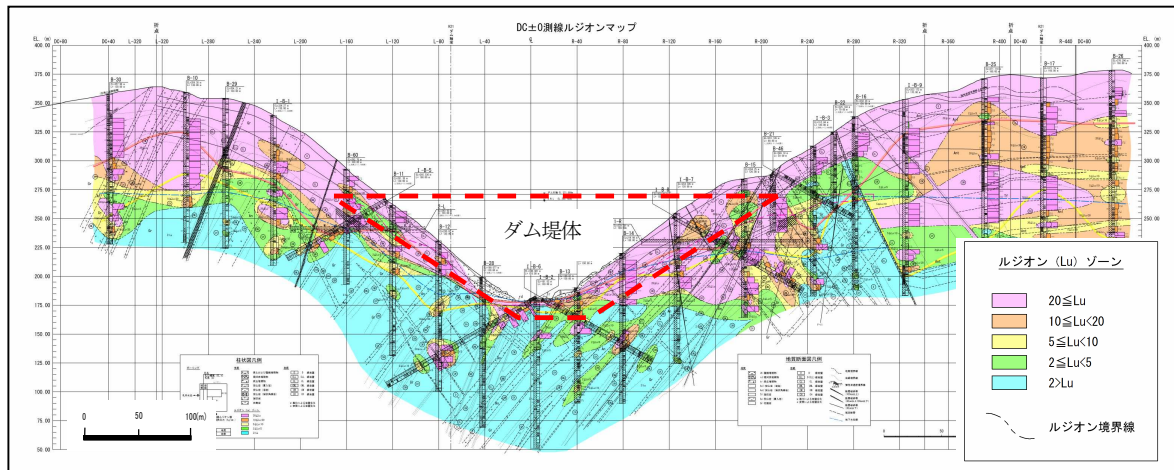


図4 ルジオンマップ



図5 口径86mmのボーリングコア



図6 口径66mmのボーリングコア

(2) ボアホールテレビによる孔内観察

ボアホールテレビによる孔内観察は、ボーリング孔を利用して、その中にCCDカメラを挿入し、孔壁を直接観察したり、岩盤の変質や亀裂の方向、傾斜を求めたりする手法である。CCDカメラの下に円錐形の鏡があり、これに映った孔壁の全周をカメラで撮影し、モニタに展開画像が表示される。(図7)

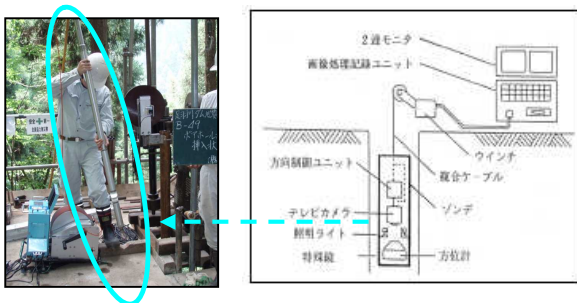


図7 ボアホールテレビ観測

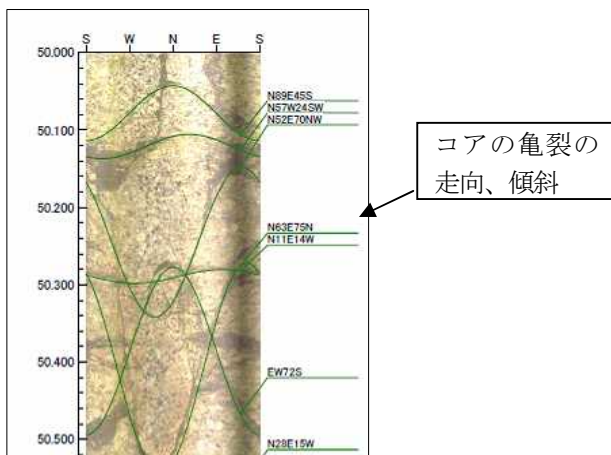


図8 ボアホールテレビ観測による孔壁の展開

(3) 室内試験

ボーリングコアの目視、打診観察の結果より、コアの堅さ、岩種別にサンプルを採取し、一軸圧縮試験、密度試験および超音波伝播速度試験など、岩盤の定量的、地質学的な評価を実施した。

(4) 横坑による調査

横坑は地質調査のため、ダムサイトに掘られた高さ1.8m幅1.2m程度のトンネルで、地盤を直接肉眼で観察でき、様々な調査を原位置で実施が可能である。この横坑観察により、破碎、変質を受けている箇所および岩盤の割れ目の位置、規模、方向について把握することが出来る。横坑の岩盤の状況と割れ目の観察結果(スケッチ)を図9に示す。

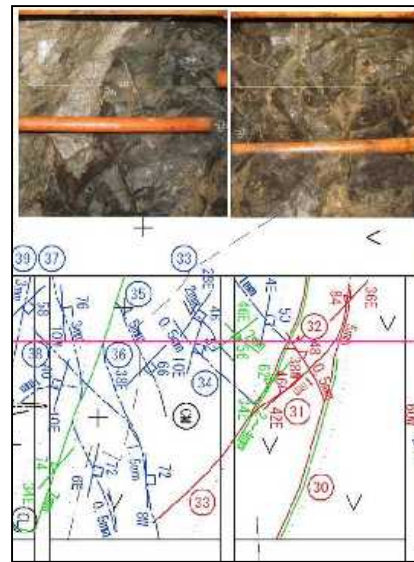


図9 横坑の岩盤状況と割れ目の観察

5. 調査結果と設計において留意すべき地質

(1) 調査結果

2012年度に実施したボーリング孔でのボアホールテレビ観察により、ボーリング孔壁に確認される開口亀裂、安山岩貫入岩等の走向・傾斜についてのデータを得ることが出来た(図8)。また、ボーリングコアの観察で判定した岩級区分と一軸圧縮試験及び超音波伝播速度試験の結果を表2に示す。顕微鏡観察、X線解析では変質を受けた部分箇所の資料では、粘土鉱物等が認められた。

表2 岩級別一軸圧縮試験および超音波試験結果(平均値)

コア観察による判定	一軸圧縮強度(MN/m ²)	超音波試験(km/s)	試料数
CM級	41	3.5	11
CML級	30	2.5	16
CL級	9	2.1	8

2) 留意すべき地質特性

a) カタクレーサイト

ダムサイトに分布する花崗岩は全体的にカタクレーサイト化している部分が多い。特に左岸低標高部に多く分布する。カタクレーサイトとは、ジュラ紀～三畳紀に地殻運動により破碎を受けているが再固結している岩盤で花崗岩本来の固さより若干低下する。ボーリングコアでは一般的な花崗岩と比べ、表面がザラザラした状態で岩自体が白濁したように見える。また、微細な破碎組織及び黒色の細粒部が認められる。(図10 図11)

これまでの調査によりダム軸(河川横断方向)断面上では20帯程度確認されている。ボアホールテレビの解析結果から、その走向は右岸上流から左岸下流方向を主として、3方向程度が認められている。顕微鏡観察では黒色の細粒部以外では、原岩の組織が残っているものの一部は粘土鉱物に置き換わっている。また、変形により形成されたクラックが多く認められる。

b) 白色または褐色を呈する変質岩

第三紀頃(6500万年～250万年前)の地殻運動により出来た破碎帯に沿って熱水が上昇した際に、岩盤を変質させたものである。白色の変質では原岩の組織が不明瞭になる程度に変質が進み、岩塊は軟質化する。右岸部、河床部に認められ、幅1～5m程度が上下流方向に分布する。また、褐色の変質では浅部では岩塊全体が赤褐色を呈し、深部では割れ目沿いに褐色化する。左右岸の破碎帯周辺に分布する。顕微鏡観察では原岩の組織が残っているものの一部は粘土鉱物に置き換わっている。変質の度合いにより、軟質度に違いが見られる。(図12 図13)



図10 一般的な花崗岩



図11 カタクレーサイト化した岩



図12 白色変質した岩



図13 褐色変質した岩

c) 岩盤の亀裂

ボーリングコアの観察において、コア表面には現れない潜在的な亀裂により、5回程度のハンマー打診で割れる箇所が存在する。目視での観察では判定できなかったもので、再チェックを行う必要がある。また、ボアホールカメラによる解析および横坑による地山観察により、岩盤の亀裂の特徴と分布を確認した。ダムサイト右岸部については、安山岩貫入岩及びその周辺に、左岸部については、安山岩貫入岩およびその周辺に加え花崗岩中にも見られた。

6. 今後の課題

前述の定性的、定量的調査の結果、足羽川ダムにおいては、特に変質や劣化を受けている部分―ダムサイトの基礎岩盤部分には広範囲に変質した部分が分布していることが判った。ダムの設計に適切かつ精度よく反映させるため、主に横坑掘削により、変質部分の分布や強度をより詳細に広範囲に調査するとともに、設計上の岩級区分を設定、評価を行う予定である。

7. 足羽川ダムの建設に向けて

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。物理試験の結果など地質の定量的な情報とともに、定性的な評価も必要である。地質や透水性などデータを並べただけでは、ダムの設計に必要な地盤情報は得られず、前後、左右、上下のデータとデータの間をつなぎ一枚の図面として完成させる作業が必要である。点を線に、線を面にすることは地質技術者の知識、経験や勘に負うところが大きく、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。

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地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。