

## ダム堤体および基礎地盤の合理的安全性評価による試験湛水の効率化に関する研究②

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 25

担当チーム：地質チーム

研究担当者：佐々木靖人 阿南修司（特命上席）

江口貴弘 品川俊介

### 【要旨】

本研究では、今後のダム試験湛水における漏水の発生や揚圧力異常等の課題発現を防ぐことを目的とし、特に地質的観点から、基礎地盤からの浸透を起源とする漏水発生や揚圧力異常、濁水の発生等の事例を分析した。

また、ダム試験湛水時の漏水を防止するための方策として、調査時、基礎掘削時、基礎処理施工時における漏水懸念のある地質に対する地質調査方法と着目点および試験湛水前に追加対策の必要性を確認するための手順と確認項目を示したチェックシート等の素案を作成した。

キーワード：試験湛水 ダム ダム基礎 漏水事例 漏水原因地質

### 1. はじめに

近年、渇水の頻発や、河川流量に対して貯水池の容量が大きいなどの理由から、ダムの試験湛水が長期化し、それに伴うダムの効用発現の遅延が社会的に大きな問題となっている。

一方、近年のコスト縮減に力点を置いた設計施工の合理化等により、試験湛水において堤体および基礎地盤からの漏水の発生や揚圧力異常等の課題が発生している例が見られる。

これにより、貯水位の上昇停止ないしは低下、さらには補強対策の措置が執られ、試験湛水がさらに長期化することによるダムの効用発現の遅延が発生している事例も見られている。

本研究では、今後のダム試験湛水における漏水の発生や揚圧力異常等の課題発現を防ぐことを目的とし、特に地質的観点から、基礎地盤からの浸透を起源とする漏水発生や揚圧力異常、濁水の発生等の事例（以下「漏水事例」と略す）を分析した。また、ダム試験湛水時の漏水を防止するための方策として、調査時、基礎掘削時、基礎処理施工時における漏水懸念のある地質に対する地質調査方法と着目点および試験湛水前に追加対策の必要性を確認するための手順と確認項目を示したチェックシート等の素案を作成した。

### 2. 研究方法

#### 2. 1 漏水事例の収集・抽出

本研究では、試験湛水において基礎地盤からの浸

透を起源とする漏水や揚圧力上昇等の事例を収集した。ここで、基礎地盤からの浸透を起源とする漏水や揚圧力上昇等の事例については、「試験湛水時に基礎排水孔等で排水量や揚圧力の上昇、排水の濁りなどの現象が見られ、それらが基礎地盤からの浸透に由来することが確認され、さらに代替孔の設置や追加グラウチングなどの具体的な対策を実施した事例」と定義した。

調査対象および収集した事例は以下の通りである。

まず、土木研究所におけるダムの打合せ議事録を確認した。対象は昭和 50 年代中頃以降から平成 24 年度までの約 700 ダムとした。その中で、試験湛水時に基礎地盤由来と見られる漏水や揚圧力異常などが議題に挙がった 35 ダムの事例を抽出した。

さらにその 35 ダムにおいて、打合せ資料や試験湛水報告、論文などの資料を収集し、対策の実施が確認された事例を抽出した。抽出した結果は 25 ダムであった。しかし、このうち 8 事例については、入手資料では漏水原因が確認できなかったため、漏水の地質的原因を抽出・分析した事例数は 17 ダムとなった。なお、この 17 ダムの内、2 つのダムにおいては 2 通りの異なった地質原因であることが確認された。よって、本研究で分析の対象とした「漏水事例」数は、19 事例とした。

#### 2. 2 漏水事例分析結果

今回対象とした 19 事例における地質状況、漏水経路、周辺の施工状況等を表-1 に示す。この結果を基に地質的観点から以下の考察を行った。

ダム堤体および基礎地盤の合理的安全性評価による試験湛水の効率化に関する研究

表-1 漏水事例一覧

番号	ダム形式	地質(概略)	漏水等の発生状況	漏水経路および周辺の地質性状(具体)	漏水箇所における基礎処理施工状況	実施された対策	基礎処理上の問題要因	漏水原因地質	
								大項目	小項目
1	重力式コンクリート	堆積岩類(中生代)	基礎排水孔漏水、擁圧力上昇(2孔)	地質は粘板岩であるが、周辺の岩層はCM~OH級で、透水性が高い箇所は見当たらない。ただし、該当の基礎排水孔をポアホールカメラで観察すると、開口亀裂が存在し、そこから湧水が確認された。	パイロット孔では周辺に高透水箇所は見当たらない。	当該孔の注入閉塞、代替孔設置	高透水箇所	岩盤内に存在する割れ目、空洞部	局所的な開口亀裂
2	重力式コンクリート	花崗岩類	基礎排水孔漏水、擁圧力の上昇(1孔)	シーティングジョイントについては掘削除去を行っていたが、試験湛水時に基礎排水孔でマサの流出が見られた。マサの流出した孔でのポアホールカメラ観察の結果、低角度亀裂の開口が確認された。	BL-19周辺はコンクリートでは高透水箇所が確認される。コンクリート埋設上流~基礎排水孔間、DL-3、BL-4、右岸中位堤趾部、改良目標値:5Lu、孔配置:6m格子、深度5m	当該孔の注入閉塞、代替孔設置	高透水箇所	岩盤内に存在する割れ目、空洞部	岩盤内の低角度節理
3	重力式コンクリート	堆積岩類(中生代)	基礎排水孔漏水(1孔)	河床部の輝緑凝灰岩(緑色岩)は概ね硬質であるが、方解石脈の溶解が部分的に見られ、浅部に高透水箇所が分布していた。溶解は数mm~1cm程度の幅。	コンクリートは6m格子、カーテンは1.5m格子。グラウトマップでは高透水箇所の周辺は概ね改良しているように見られる。(しかし、溶解のスケールを考えるとコンクリートの幅は広いと思われる。)	当該基礎排水孔の注入閉塞、代替孔の設置、追加グラウティング	高透水箇所	岩盤内に存在する割れ目、空洞部	方解石脈溶解
4	重力式コンクリート	火山岩類	基礎排水孔漏水(1孔)	岸島層互層と粗粒玄武岩の境界付近に位置し、近傍にF-2断層が存在する	コンクリートやカーテンは一般部と同等の施工をしており、断層周辺での特別な設計は無し	当該孔の注入閉塞、代替孔設置	高透水地盤	高角度断層およびその周辺	断層周辺の亀裂性岩盤
5	重力式コンクリート+中央コア型ロックフィル	火山岩類	浸透流観測孔漏水(1孔)	火山岩類であるが、高角度で灰色変質や緑色変質といった変質帯が分布。漏水孔近傍には右岸上流-左岸下流走向、85度左岸側傾斜の高角度断層(F-2断層)が分布しており、この断層沿いに灰色変質帯が分布している。	カーテンは概ね2列で1.5m間隔で、断層に対しての施工の違いは無い。グラウトマップでは高透水箇所が改良目標値を満たすまで追加孔が実施されている。ただし、漏水孔周辺のF-2断層で6次孔が施工されているのは1箇所だけである	当該孔周辺の追加グラウティング	高透水箇所	高角度断層およびその周辺	断層周辺の亀裂性岩盤
6	重力式コンクリート	堆積岩類(中生代)	縦目排水孔漏水(3孔)	左岸河床~アバットにはF-1断層(ほぼ鉛直傾斜)、F-38断層(左岸側~高角度傾斜)が分布している	F-1断層では、断層処理グラウティング(遮水性改良):改良目標値5Lu、孔配置3m間隔(上流側は1列片差し、下流側水平部は2列)深度は基礎排水孔より上流は10m、下流は5m	追加カーテン(断層周辺の透水性改良)	高透水箇所	高角度断層およびその周辺	断層周辺の亀裂性岩盤
7	重力式コンクリート	花崗岩類	基礎排水孔漏水(1孔)	基礎排水孔No.35周辺は、CM級岩盤を主体とするが上下流方向に連続するF-2断層が分布している。F-2断層は、破碎幅最大130cmであり、確固じり状で半固結。ダム軸よりではクラッキーな岩盤状。掘削面では断層沿いに湧水は見られない。	コンクリートでは断層周辺の高透水部は改良されているように見える(3m格子基本だが、上流側は堤体形状に合わせて孔間隔を狭めている)カーテンは単列3m間隔で、No.35孔(断層下盤)では概ね遮水性が良く、上盤側では5次孔まで施工。F-2断層への弱部補強目的の串刺し施工は下流側の実績から上流側では省略されている(基礎排水孔より下流側でしか行われていない)。	追加グラウティング、代替孔	高透水箇所	高角度断層およびその周辺	断層周辺の亀裂性岩盤
8	重力式コンクリート	花崗岩類	基礎排水孔漏水(1孔)	節理沿いに割れ目が発達し、マサ状に風化した弱層。幅1m程度で砂状を呈する。(基盤岩が花崗岩であること、河床から少し上の標高にあること、水平に近い傾斜であることから、風化したシーティングジョイントであると推定)が分布	弱層部はカーテンで5次孔まで施工。(前列0.75mピッチ、後列1.5mピッチ)ただし、漏水孔周辺ではカーテンの複列施工を行っていない(周辺の透水性が低かったため通常箇所と同様の施工を実施)。地質断面図ではこの位置まで弱層の存在が記載されている	当該孔の注入閉塞、代替孔の設置、コンクリートシーティングジョイント追加	高透水箇所	低角度亀裂、シーティングジョイント	シーティングジョイント
9	重力式コンクリート	火山岩類	縦目排水孔(1孔)の漏水	F-32断層は上下流方向に分布し、J9と隣接(一部交差)する。断層部は角礫混じり粘土からなり、連続性があり、変質しているため遮水性があると考えられる。	カーテンではJ-9の深部に高透水箇所が存在しているが、追加孔、延伸等は行われていない。F-32断層周辺の遮水性改良部のコンクリートでは、改良目標値(5Lu)以下まで施工されており、資料では断層沿いでは改良ができていないと判断されている。	堤体上下流面を修繕(ひび割れ注入)	浸透水の貯留	高角度断層およびその周辺	高角度断層による漏水
10	重力式コンクリート	堆積岩類(中生代)	擁圧力上昇(3孔)	擁圧力観測値の大きいブロックのうち、J-14.15では砂岩が分布(止水線沿いでは一般的)。岩層はOHで堅硬、割れ目も少ない。(ただし漏水量は不明)J-14.15では左岸下流~右岸上流走向、上流傾斜のF-3断層、および上下流方向でF-3断層に切られる鉛直に近いF-5断層が存在	F-3、F-5に挟まれた部分は、周辺よりやや透水性が高い(2~5Lu)。改良目標値の達成状況は不明。断層処理グラウティング等の実施状況は不明であるが、基本設計会議資料に記載が無いので未対策の可能性が高いと考えられる。	基礎排水孔を追加	浸透水の貯留	高角度断層およびその周辺	高角度断層による漏水
11	重力式コンクリート	花崗岩類	基礎排水孔および縦目排水孔漏水、擁圧力上昇	河床部では漏水量、擁圧力も高い。左岸アバット部にはF-1断層、右岸アバット部にはF-2断層が存在し、ダム下流の河床部で交差する。この2つの断層自体は難透水で、地下水流動を規制している。基礎掘削時に断層周辺と河床で大量の湧水を確認している	コンクリートは基礎排水孔より上流側で、改良目標値5Lu、孔配置基礎排水孔から3列、孔間隔3m、深度5m(F-1断層部は10m)カーテンは単列1.5m、0~H/4は2Lu、H/4~H/2は5Lu、H/2~Hは10Lu	擁圧力対策孔設置(28孔)	浸透水の貯留	高角度断層およびその周辺	高角度断層による漏水
12	重力式コンクリート	花崗岩類	基礎排水孔漏水(4孔)	河床部には花崗岩で、地質分裏面が発達し岩質の劣化が見られる。(河床部にはF-1断層(高角度)F-6断層(中角度)F-6断層(中角度)が分布しているが、強風化が見られる。漏水量の多いD-12、D-13、D-17はグラウトカーテンがF-6系断層で効率がよくないため、特にマサ化した部分を通っての浸透流であると推定されている。(打合せ議事録)	河床部のF-1断層(高角度)F-6断層(中角度)F-6断層(中角度)が分布域では、25m深度まで超微粒子セメントを利用し、4次孔でレジオン値が低減した。(最終的に4次孔で非超過確率15%以下、5Lu以下に低減)	追加グラウティング	難改良性地盤	高角度断層およびその周辺	断層のマサ化
13	重力式コンクリート+中央コア型ロックフィル	火山岩類	基礎排水孔漏水(1孔)	漏水孔の周辺は火山岩類であるが、表層部は灰色変質がある。透水性が高く、微細な亀裂が分布している	漏水孔周辺は3列の複列で6次孔まで施工している(最小孔間隔0.375m)。チェック孔では概ね2Lu以下	当該孔周辺の追加グラウティング	難改良性地盤	岩盤の風化・変質に伴う難改良性	熱水変質
14	重力式コンクリート	花崗岩類	基礎排水孔漏水、堤体下流のり面湧水	河床部は、カタクレサイト化と緑泥石化が見られる変質ゾーンで、さらに基礎掘削面付近の表層部(最大20m程度)には褐色風化(割れ目にマサを挟み、岩片が褐色化したもの)の部分も見られる。今回の漏水箇所周辺の高透水箇所は、浅部が褐色風化、深部がカタクレサイト化と緑泥石化下盤で見られる。	コンクリートは基礎排水孔より上流側で、5Lu、5m格子中央10m、深度10mカーテンはH/2までは単列1.5m間隔で改良目標値2Luであるが緩和基準がある	補強カーテングラウティング、地下水排水工の施工	難改良性地盤	岩盤の風化・変質に伴う難改良性	花崗岩の風化と変質
15	重力式コンクリート	堆積岩類(新生代)	基礎排水孔での漏水(漏水量は少ない)	左岸アバット~河床左岸側の基礎排水孔で湧りが検出された。分析結果から湧りは今市火砕流の強溶結部の割れ目を充填し分布する硬質粘土であると推定された。基礎排水孔のポアホールカメラ観察で、浮遊物の浮き上がり(流出)が確認された亀裂は、幅が0.8mm~8.5mm、1孔辺りの本数は1~4本、亀裂の走向傾斜に共通点はない。	湧りの確認された基礎は止水孔の周辺では、コンクリートが下向きになっている。高透水箇所が確認されるが、追加孔で概ね5Lu以下に改良されている。	当該孔の充填、代替孔の設置予定(資料では「予定」)	パイピング・流出	亀裂内挟入物の流出	亀裂に挟入した硬質粘土
16	重力式コンクリート	堆積岩類(中生代)	基礎排水孔漏水、土粒子の流出(1孔)	漏水孔のうち14BL-1孔周辺には、上下流走向で左岸側へ40~80度傾斜するFn-7断層が分布しており、14BL-1孔はFn-7断層を貫いている	Fn-7断層周辺では、基礎排水孔上流側の遮水性改良目的のコンクリートが2.5m格子、深度5m、改良目標値5Lu程度で実施されている。さらに断層沿いに、著しい酸化褐色化や流入粘土を伴う小断層および割れ目を対象としたコンクリートとして3m間隔の片差しでグラウティングを実施	上流側にコンクリートシーティンググラウティング追加	パイピング・流出	高角度断層およびその周辺	断層粘土
17	重力式コンクリート	花崗岩類	基礎排水孔漏水(3孔)、湧り(1孔)	基礎排水孔No.37では漏水量が多く、断層粘土由来の沈殿物(石英砂、粘土分)が確認された。No.38では漏水が確認され、細粒砂を含む沈殿物が確認された。No.39は38閉塞時に漏水量が増加。No.37付近ではF-2断層が確認されており、特にNo.37孔はF-2断層を貫いていることが確認された。	漏水箇所周辺のカーテンでは追加孔が実施(4次)されており、非超過確率を下回っている。コンクリートは部分的に追加孔が実施(4次)されており、非超過確率を下回っている。断層処理グラウティングは行われていない	当該孔の注入閉塞、代替孔の設置	パイピング・流出	高角度断層およびその周辺	断層粘土
18	中央コア型ロックフィル	堆積岩類(新生代)	河床ドレーンからの漏水が予測値を大幅に超過	止水線より下流側で、断層沿いの高透水部を通じて温泉水を含む地下水が湧水したと推定されている。	チェック孔の結果からは施工範囲の改良は問題ないと考えられるが、右岸及び河床部の施工範囲外に高透水ゾーンが見られる。(打合せ議事録より)	追加グラウティング後二次湛水	河床湧水	河床湧水	河床湧水
19	重力式コンクリート	花崗岩類	基礎排水孔漏水、下流法から漏水	ダムサイトは概ね花崗岩が分布し、河床部には深部まで高透水ゾーンが確認されている。湛水前は湧水が確認され、地下水圧が高かった。	コンクリートは基礎排水孔より上流で、改良目標値5Lu、孔配置上下流2.5m、軸方向5m間隔の千鳥配置、深度10mカーテンは河床高透水ゾーン(H(60m)まで、改良目標値は0~H/4は2Lu、H/4~H/2は5Lu、孔配置は単列1.5m)ただし深部は孔間隔が広く、改良目標値が設定されていない	下流排水ボーリング孔の追加(9孔)	河床湧水	河床湧水	河床湧水

### (1) 漏水経路となった地質の種類

まず、地質の種類と漏水事例数の関係について整理した。整理結果を図-1のグラフに示す。

堆積岩類が7事例で、花崗岩類が8事例、火山岩類が4事例であった。

堆積岩の内訳は、四万十帯の緑色岩・砂岩・泥岩が4事例、北上古生層の砂岩粘板岩が1例、新第三紀の凝灰岩類が1例、第四紀の火砕流堆積物が1例であった。

花崗岩類では、花崗岩が4例、花崗閃緑岩が2例、花崗岩と閃緑岩の分布が1例、花崗閃緑岩と閃緑岩の分布が1例であった。

火山岩類では、安山岩2例、玄武岩1例、流紋岩質熔結凝灰岩（固結度が非常に高く亀裂が多いことから、ダム基礎の透水特性の観点で火山岩類として分類）1例であった。

漏水事例としては花崗岩類、堆積岩類が多いことが確認される。

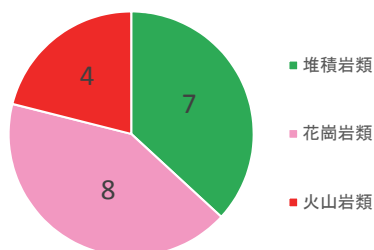


図-1 漏水事例における地質の種類との関係

### (2) 漏水原因となった地質現象の種類

次に漏水原因となった地質現象を基礎処理上の問題要因としての観点から分類した。

基礎処理上の問題要因とは、事例における漏水等の状況と地質性状からその原因をまとめたもので、以下の5つに分類した。またその内訳を図-2に示す。

#### 1) 高透水箇所

透水経路が割れ目の多い箇所など、高透水箇所を通じて基礎排水孔や継目排水孔に漏水として観測されるものである。高透水箇所における漏水の地質的な原因として今回抽出されたものは、「高角度断層およびその周辺の高透水部」(4例)、「岩盤内の開口亀裂」(1例)、「岩盤内の低角度亀裂」(1例)、「岩盤内の方解石の溶脱」(1例)、「シーティングジョイント」(1例)が挙げられる。このように、今回の漏水事例では、高角度断層およびその

周辺の高透水部を原因とする事例が多かった。事例を見ると、高角度断層に対して、止水線沿いのコンソリデーショングラウチングやカーテングラウチングで一般部と同等程度の施工を行っていた例が多い。また、断層処理グラウチングを実施しているものの、遮水性改良目的でないため、周辺より高い透水性が確認されても追加孔などが実施されない例もあった。このことから、高角度断層周辺では、止水線沿いにおける断層の周辺の高透水箇所の分布や透水特性を確認したうえで設計・施工を行う必要があると考えられる。

#### 2) 浸透水の貯留

ダムの基礎岩盤を流れている浸透水がダム堤敷下で貯留し、基礎排水孔や継目排水孔につながって漏水として観測されたり、揚圧力の上昇として観測されるものである。浸透水の貯留における漏水の地質的な原因として今回抽出されたものは、「高角度断層による遮断」が挙げられ、4例確認された。

#### 3) 難改良性地盤

限界圧力が低いことや亀裂が細かいこと等の理由で、改良目標値への改良が進まなかった結果、高透水箇所が残ってしまい、その箇所から漏水が観測されるものである。難改良性地盤における漏水の地質的な原因として今回抽出されたものは、「断層沿いのマサ化」(1例)、「安山岩の変質」(1例)、「花崗岩の風化・変質」(1例)が挙げられる。いずれも追加孔を施工して改良成果を上げることに努めているが結果的に漏水が発生している(1例追加孔の緩和基準を設けているものがあった)。

#### 4) パイピング・流出

基礎排水孔で流出物が確認され、その結果排水の濁りや漏水量の増加が確認されるものである。パイピング・流出における漏水の地質的な原因として今回抽出されたものは、「断層粘土」(2例)「亀裂内に狭在した硬質粘土」(1例)が挙げられ、いずれも基礎排水孔周辺でこれらの物質が分布している。

#### 5) 河床湧水

調査時や試験湛水時の漏水の水質分析結果より、河床深部にある浸透水が、試験湛水による貯水の圧力により上昇し、漏水や揚圧力上昇を引き起こしたと推定されたものが2例存在した。漏水等の原因としては、地盤の透水性や透水経路等も影響しているが、大きな原因としては湧水の存在であ

と考えられることから、基礎処理上の問題要因を河床湧水と分類した。

(3) 今回の地質要因と既往文献による地質要因との比較

次に、今回の漏水事例における地質的要因が、これまで一般的に基礎処理上問題のある地質と認識されているものであったか確認するため、文献より基礎処理上問題のある地質を抽出し、今回の漏水事例と地質的要因との比較を行った。

ダムの建設現場では、基礎処理上の問題のある地盤として高透水地盤、難改良性地盤などが存在し、多数の事例として挙げられている。本研究では、これらのいわゆる基礎処理上問題のあると言われている地質については、「多目的ダムの建設第3巻調査II編」の記載を元に抽出を行った。

その抽出結果と、今回の漏水事例地質と比較したものが表-2である。比較結果についての考察は以下の通りである。

1) 高透水箇所

高透水箇所では、概ね「多目的ダムの建設」でも基礎処理上問題のある地質としてあげられているものが多かったが、同書には記載されていない要因としては2つ挙げられる。「局所的な開口亀裂」は、他の亀裂性地質における開口亀裂と異なり、開口亀裂周辺の調査や施工結果からは高透水

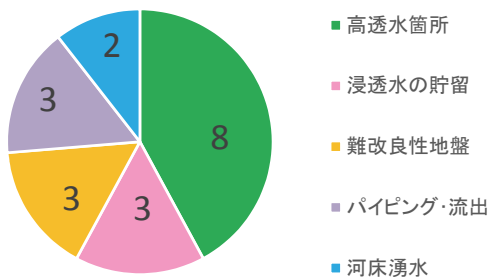


図-2 基礎処理上の問題要因とその数

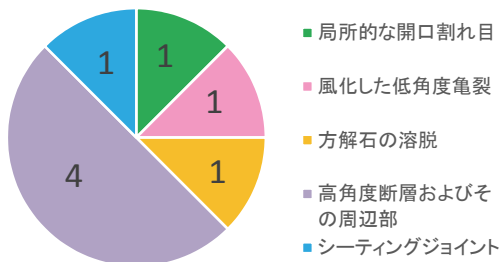


図-3 高透水箇所における詳細地質要因とその数

や亀裂の開口を示唆する状況は見られず、開口原因そのものが不明であったものである。「方解石脈溶脱」については、もともと溶脱のスケールが小さいため、あまり高透水要因として認識されづらかったものであると推察される。しかし、今回漏水事例として抽出されたことを考慮すると、今後このような溶脱箇所を確認した場合は、漏水原因とならないよう分布や透水性状の把握を行い、必要に応じ対策工を実施する必要があると考えられる。

2) 難透水地盤

難透水地盤では、今回の漏水事例の地質的要因の内、熱水変質と断層のマサ化が基礎処理上問題のある地質としてあげられていたが、花崗岩において風化と変質が相まって発生する事例は挙げられていなかった。

「花崗岩の風化と変質」の事例では、浅部では

表-2 既往の漏水懸念地質と漏水事例地質の比較 (今回抽出した漏水事例は色付きで示している)

基礎処理上の問題	原因地質 (大項目)	原因地質の詳細	多目的ダムの建設における記載	今回の漏水事例
高透水箇所	亀裂性地質	火山岩類の冷却節理	○	
		軽石凝灰岩	○	
		自破砕溶岩	○	
		岩脈(石英斑岩、ひん岩、安山岩)	○	
		開口節理	○	
		岩盤内の低角度節理	○	1
	原因不明	局所的な開口亀裂		1
	熱水変質、化学的風化	石灰岩溶食空洞	○	
		砂岩粘板岩互層の熱水変質帯	○	
		凝灰岩質堆積岩の熱水変質部	○	
方解石脈溶脱			1	
風化	石墨片岩の風化	○		
	古期風化帯(熔結凝灰岩)	○		
	深部風化(堆積岩類)	○		
外力による亀裂	造構運動による割れ目の発達	○		
	断層周辺の亀裂性岩盤	○	4	
	シアーズン周辺の亀裂性岩盤	○		
	ゆるみゾーン	○		
	クリープによる開口割れ目	○		
	開口した層理面	○		
	シーティングジョイント	○	1	
人為的空洞	挟炭層(採掘跡)	○		
浸透水の貯留	高角度断層	高角度断層による漏水		3
難改良性地盤	風化	花崗岩の風化(マサ)	○	
		ひん岩の風化	○	
		断層のマサ化	○	1
	変質	熱水変質	○	1
		断層沿いの熱水変質	○	
	風化と変質	花崗岩の風化と変質		1
未固結堆積物	段丘堆積物	○		
	湖沼堆積物	○		
	崖錐堆積物	○		
	火砕流堆積物	○		
オリストストローム	オリストストローム(砂岩泥岩互層)	○		
	自破砕溶岩	○		
パイピング、流出	未固結堆積物	段丘堆積物	○	
		崖錐堆積物	○	
		火砕流堆積物	○	
	軽石凝灰岩	○		
断層挟在物	断層粘土	○	2	
	割れ目の挟在物	亀裂に挟在した硬質粘土		1
河床湧水	河床湧水	河床湧水		2



「褐色風化」による風化が、深部では「カタクレーサイト化」や「緑泥石化」による変質が進行したものである。「褐色風化」は亀裂のマサ化が進行し、改良性が低くなる現象である。「カタクレーサイト化」や「緑泥石化」は、岩盤が変質を受けて軟質化すると共に亀裂が発達することで、難改良であるけれども透水性が高くなる現象である。

このように、難改良性となる地質要因が風化と変質の複合要因である可能性も考慮し、水理地質構造を推定すべきであると考えられる。

### 3) パイピング・流出

今回の漏水事例の地質要因の内、断層粘土の流出は、基礎処理上問題のある地質として抽出されていたが、「亀裂に挟在した硬質粘土」については抽出されていなかった。この事例は、基礎排水孔孔壁にあった硬質粘土が剥落して濁りとして観測されたもので、漏水量の増加は見られなかったものの、今後の濁りの発生や漏水量増加を防ぐため当該孔の閉塞と代替孔の設置が行われたものである。

このような現象は、建設時の調査や対策ではあまり着目されてない事例であると考えられる。

今後試験湛水時にはこのような事例があることを考慮し、基礎排水孔周辺の地質状況の確認を行う必要があると考えられる。

### 4) 浸透水の貯留、河床湧水

「多目的ダムの建設」は基礎処理上の問題として個別の地質を抽出しているものであるため、このような現象に対する抽出はなされていない。

とはいえ、一般的にこのような現象は、ダム設計時にはあまり考慮されていなかったと思われる。今後は断層の分布や湧水の発生状況を確認し、水理地質構造をよく把握し、浸透水の貯留、河床湧水による漏水、揚圧力の増加の可能性がないか確認しておく必要がある。

## 3. 漏水原因地質の事前確認に関する提案

### 3.1 調査・施工時における漏水原因地質の確認について

漏水事例の分析結果から、漏水懸念のある地質の種類は多岐にわたることが確認された。これらの存在を試験湛水実施前に存在を把握し、対策を行うためには、まず、調査、基礎掘削時、基礎処理施工時に行われる調査や施工結果に基づいて漏水懸念地質

の存在、分布、透水性（改良性）を的確に把握する必要がある。そのため、本研究では、調査時、基礎掘削時、基礎処理施工時における漏水懸念のある地質に対する地質調査方法と着目点について整理した。

まず、調査時、基礎掘削時、基礎処理施工時における漏水懸念のある地質に対する地質調査の流れについて図-5に示す。また、各段階における調査の視点を漏水事例の地質ごとに整理したものを表-3に示す。

図-5の中で示された「漏水懸念地質※1」は、表

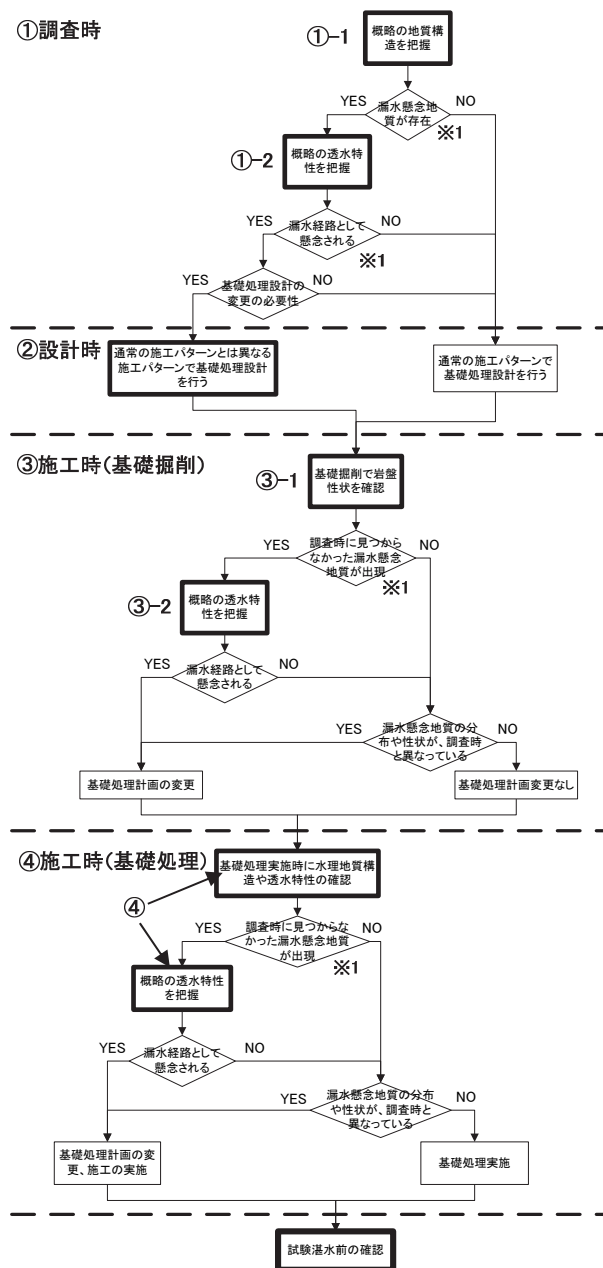


図-5 調査、基礎掘削時、基礎処理施工時における漏水懸念のある地質に対する地質調査のフロー（素案）

※1：表-2にある地質



経路として懸念されるかを確認することが望ましい。ここで、各段階の注意点の概要を以下に示す。

#### ①調査時

##### ①-1 調査時における概略の地質構造の把握

この時点で実施される調査は、サイトの地質構造を概略把握する目的で行われ、調査方法としては地表踏査、ボーリング、横坑、弾性波探査、電気探査が挙げられる。

この時点では、漏水懸念地質の存在を確認すること、およびその概略の分布を確認することが必要である。

しかし、この時点では調査量が少なく、漏水懸念地質の存在が確認できない場合や分布の詳細が確認できないことも多いため、基礎掘削以降増加する地質情報を基に地質構造を随時見直す必要がある。

##### ①-2 調査時における概略の透水特性の把握

この時点で実施される調査は、サイトの地質の透水特性を概略把握する目的で行われ、調査方法としてはルジオンテスト、横坑での原位置透水試験が挙げられ、これらの試験結果とボーリングや横坑壁観察結果を組合せ、透水特性を推測していく。

#### ②設計時

調査時の結果に基づき、漏水懸念地質を確認した場合、必要に応じて一般部とは異なった孔配置の設定などを行う。

#### ③基礎掘削時

##### ③-1 基礎掘削時における岩盤性状の確認

基礎掘削により、掘削面の地質情報が追加される。基礎掘削面の観察により、調査時に推定した漏水懸念地質の有無や分布などを再確認することができる。

また、このとき、掘削面で確認された地質性状の深部での分布や性状を確認するため、ボーリング調査が実施されることもある。

##### ③-2 基礎掘削時における透水性状の確認

掘削面の観察結果から調査時に想定していなかった漏水懸念地質が確認された場合は、その透水特性を確認するため、必要に応じてルジオンテストを実施する。

また、グラウチングテストで透水特性や改良特性の確認が行われるのもこの時期である。これらの情報を総合的に判断し、孔配置や注入仕様等を再確認する。

#### ④基礎処理施工時

基礎処理施工時はパイロット孔による地質情報の増加（精密化）、施工結果の分析による透水性や改良特性の把握が行われる。

なお、今回の漏水事例では基礎排水孔での開口亀裂の確認や流出物の事例が見られた。基礎排水孔設置時にはコアの確認や必要に応じてボアホールカメラ観察を行い、このような事象の有無を確認しておくことも必要である。

### 3.2 試験湛水直前における漏水原因地質の確認について

試験湛水前に漏水を防ぐための方法として、試験湛水前に再度漏水原因地質の有無と、それに対して適切に対策が行われているかをチェックすることが考えられる。本研究では、漏水事例を元に、漏水しやすい地質に対して試験湛水前に追加対策の必要性を確認するための手順と確認項目を示したチェックシート等の素案を作成した。図-6に試験湛水前における漏水地質の確認と対策のフロー（案）を、表-4にチェックシート（案）を示す。

漏水事例の分析結果から、そもそも漏水原因地質に対する認識が不足しているケースが多く見られている。そのため、このフローは、そのサイトで確認された漏水懸念地質に対して一つずつチェックを行うべきものである。

また、チェックシートは、該当する漏水原因地質とフローにおけるチェック内容を対応させたものであり、表で○に該当すれば、フローでYESの方向へ向かうことを示している。

漏水原因地質の分布を再確認したうえで、施工すべき箇所（改良目標値を上回っている箇所）が残っている場合、このままでは漏水する可能性が高いと判断されるため、試験湛水前に該当箇所に対する追加対策を実施することが考えられる。また、今回の漏水事例では、基礎排水孔で開口亀裂の確認や断層を確認している例があり、基礎排水孔の状態をコアやボアホールカメラで確認することも試験湛水前にチェックすべき項目の一つである。さらに、浸透水の貯留や河床湧水が想定される場合は、断層で浸透水が遮断される上流側や湧水箇所近傍で排水孔が設置されているか確認する必要があると考えられる。

非超過確率やチェック孔によるチェックでは満足しているが、部分的に改良目標値を上回っている箇所が残っている場合、施工上は問題無いとされたも

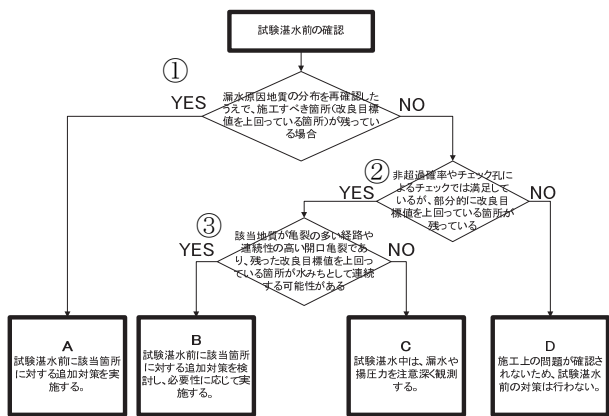


図-6 試験湛水前における漏水地質の確認と対策フロー (素案)

※図-6のフローでの選択肢①、②、③と表-4チェックシート(素案)のチェック項目①、②、③は対応しており、チェック項目で○に該当があった場合、選択肢はYESを選択する。

表-4 チェックシート(素案)

基礎地質上の問題	原因地質の詳細	①漏水原因地質の分布を再確認したうえで、施工すべき箇所(改良目標値を上回っている箇所)が残っている場合			②非超過確率やチェック孔によるチェックでは満足しているが、部分的に改良目標値を上回っている箇所が残っている			③該当地質が亀裂の多い経路や連続性の高い開口亀裂であり、残った改良目標値を上回っている箇所が水みちとして連続する可能性がある			考えられる追加対策の例(事例参照)
		該当地質で、透水性の高い箇所が残っている	基礎排水孔で、処理されていない原因地質が確認される	地質構造や漏水状況から検圧が想定される箇所が残っている	チェックでは満足しているが、部分的に改良目標値を上回っている箇所が残っている	該当地質が亀裂の多い経路や連続性の高い開口亀裂であり、残った改良目標値を上回っている箇所が水みちとして連続する可能性がある	該当地質が亀裂の多い経路や連続性の高い開口亀裂であり、残った改良目標値を上回っている箇所が水みちとして連続する可能性がある	該当地質が亀裂の多い経路や連続性の高い開口亀裂であり、残った改良目標値を上回っている箇所が水みちとして連続する可能性がある			
高透水箇所	局所的な開口亀裂	○	○	○	○	○	○	○	○	○	該当基礎排水孔閉塞と代替孔設置
	方解石脈溶解	○	○	○	○	○	○	○	○	○	該当基礎排水孔閉塞と代替孔設置
	岩盤内の低角度節理	○	○	○	○	○	○	○	○	○	溶跡範囲が広い場合は追加グラウチング
	火山岩類の冷却節理	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	亀裂の多い軽石凝灰岩	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	亀裂の多い自硬砕溶岩	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	開口節理の多い地質	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	石墨片岩の風化	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	古期風化帯(溶結凝灰岩)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	深部風化(堆積岩類)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	断層周辺の亀裂性岩盤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	シーティングジョイント	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	岩脈(石英斑岩、ひん岩、安山岩)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	追加グラウチング
	石灰岩溶食空洞	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	砂岩粘板岩互層の熱水変質帯	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
凝灰岩堆積岩の熱水変質帯	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
断層周辺の亀裂性岩盤	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
断層周辺の亀裂性岩盤	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
ゆるみゾーン	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
クレーンによる開口割れ目	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
開口した層理面	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
挟岩層(採掘跡)	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
浸透水の貯留	高角度断層による透水			○							排水孔設置
難改良性地盤	熱水変質	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	花崗岩の風化と変質	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	花崗岩の風化(マサ)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	ひん岩の風化	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	オリスストローム	○	○	○	○	○	○	○	○	○	追加グラウチング
	自硬砕溶岩	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	断層のマサ化	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
バイディング、流出	断層粘土	○	○	○	○	○	○	○	○	○	基礎排水孔の導孔で確認される場合は、該当基礎排水孔閉塞と代替孔設置。複数孔で確認される場合は追加グラウチングを併用。
	未固結堆積物	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	河床透水	河床透水			○						排水孔設置

※本チェックシートで、着色した原因地質は、今回の漏水事例。それ以外の地質原因は多目的ダムの建設<sup>2)</sup>より参照。

の、漏水した事例があるため、この場合は以下のように対象となる漏水懸念地質の性状を判断材料として適切に対応する。

例えば漏水原因地質が「高角度断層」、「シーティングジョイント」など、亀裂の多い経路や連続性の高い開口亀裂である場合、漏水経路が連続的であるため、高透水箇所が残っていると、その部分を経路とした漏水が発生する可能性が考えられる。そのためこの場合は、高透水箇所を埋めるための追加対策の必要性を検討することが考えられる。

非超過確率やチェック孔によるチェックでは満足しているが、部分的に改良目標値を上回っている箇所が残っている場合、施工上は問題無いとされたものの、漏水した事例があるため、この場合は以下のように対象となる漏水懸念地質の性状を判断材料として適切に対応する。

上記の漏水懸念地質でない場合は、水みちとして亀裂が連結しているか不明である。この場合は、仮に漏水が発生しても大規模な対策が必要となる可能性は低いと考えられる。そのため、試験湛水前の対策は行わないが、漏水や揚圧力を注意深く観測することが考えられる。

例えば、高角度断層の亀裂性岩盤が確認された場合、①「漏水原因地質の分布を再確認したうえで、施工すべき箇所(改良目標値を上回っている箇所)が残っている場合」のチェックでは、「該当地質で、透水性の高い施工箇所が残っていて周辺に追加孔等が実施されていない」、「基礎排水孔で、処理されていない原因地質が確認される」の二つの項目をチェックし、いずれか一つでも該当する項目があれば、「A 試験湛水前に該当箇所に対する追加対策を実施する」に進む。

①で○がなかった場合は、②「非超過確率やチェック孔によるチェックでは満足しているが、部分的に改良目標値を上回っている箇所が残っている」をチェックし、該当しない(つまり最終次孔で透水性の高い箇所が全く残らなくなった)場合、「D 施工上の問題が確認されないため、試験湛水前の対策は行わない」となる。②で該当する(つまり最終次孔で非超過確率を満足しているが改良目標値を上回っている箇所が残っている)場合は、③「該当地質が亀裂の多い経路や連続性の高い開口亀裂であり、残った改良目標値を上回っている箇所が水みちとして連続する可能性がある」をチェックする。高角度亀裂の場合は○となるため、「B 試験湛水前に該当箇所に



対する追加対策を検討し、必要性に応じて実施する。」となる。

(素案) とチェックシート (素案) を作成した。

#### 4. まとめ

本研究では、試験湛水において基礎地盤からの浸透を起源とする漏水や揚圧力上昇等が発生し、対策工を実施した 19 事例について、漏水事例の地質的分析を行った。

・漏水原因となった地質現象を基礎処理上の問題要因としての観点から分類した。

##### 1) 高透水箇所

「高角度断層およびその周辺の高透水部」、「岩盤内の開口亀裂」、「岩盤内の低角度亀裂」、「岩盤内の方解石の溶脱」、「シーティングジョイント」といった事例が挙げられ、特に「高角度断層およびその周辺の高透水部」の事例が多かった。

##### 2) 浸透水の貯留

「高角度断層による遮断」の例が 4 例あった。

##### 3) 難改良性地盤

「断層沿いのマサ化」、「安山岩の変質」、「花崗岩の風化・変質」が挙げられた。

##### 4) パイピング・流出

「断層粘土」、「亀裂内に挟在した硬質粘土」が挙げられ、これらはいずれも基礎排水孔で原因地質が確認された。

##### 5) 河床湧水

2 例確認された。

・これらの地質原因を「多目的ダムの建設」における基礎処理上問題のある地質と比較を行った結果、局所的な開口亀裂、方解石脈溶脱、花崗岩の風化と変質、亀裂に挟在した硬質粘土は、挙げられていなかった。これらの地質では、漏水の可能性がある地質として調査・施工時から注意する必要がある。また、浸透水の貯留、河床湧水についてもこのような現象が想定される場合は、調査・施工時から注意する必要がある。

・事例分析結果を踏まえ、漏水懸念のある地質試験湛水実施前に存在を把握し対策を行うために、調査、基礎掘削時、基礎処理施工時における漏水懸念のある地質に対する地質調査のフロー (素案) を作成した。

・事例分析結果を踏まえ、試験湛水前に追加対策の必要性を確認するための手順と確認項目を示した試験湛水前における漏水地質の確認と対策フロー

#### 参考文献

- 1) 国土技術研究センター編：グラウチング技術指針・同解説，大成出版社，2003 年 7 月。
- 2) 財団法人ダム技術センター編：多目的ダムの建設第 3 巻調査Ⅱ編，pp. 34-62，2005 年 6 月。
- 3) 品川・江口・佐々木・阿南：「ダムの試験湛水時における漏水・揚圧力異常事例の地質的分析」，日本応用地質学会平成 25 年度研究発表会講演論文集，pp. 71-72，2013 年。
- 4) 古賀・齋藤・信野：「日中ダム試験湛水時の漏水対策」，農業土木学会誌，61，pp. 745-750，1993 年。
- 5) 北海道開発局帯広開発建設部：札内川ダム工事誌，2001 年。
- 6) 泉田・斉木：「比奈知ダムの試験湛水結果について」，ダム日本，660，pp. 31-45，1999 年。
- 7) 谷田部：「小山ダムにおける漏水の原因究明と対策」，ダム技術，266，pp. 104-109，2008 年。
- 8) 馬場・高橋・正国：「忠別ダム試験湛水結果報告 (第 2 報) ～試験湛水時の観測結果から見える忠別ダムの挙動～」，ダム技術，256，pp. 54-75，2008 年。
- 9) 大石・五十嵐：「木戸ダム河床部の被圧湧水による揚圧力低減対策」，ダム技術，266，82-103，2008 年。
- 10) 竹中・中田：「石井ダム河床部高透水ゾーンにおける浸透流抑制対策」，ダム技術，266，120-132，2008 年。
- 11) 雁田・藤原：「梶毛ダムにおける基礎処理について」，ダム技術，266，pp. 140-149，2008 年。
- 12) 松枝・西村・新見・仁子：「滝沢ダムの試験湛水結果」，ダム技術，294，pp. 61-76，2011 年。

## **A STUDY TO IMPROVE THE TEST FILLING OF DAM RESERVOIR BASED ON THE SAFETY ASSESSMENT**

**Budget** : Grants for operating expenses

General account

**Research Period** : FY2011-2013

**Research Team** : Geology and Geotechnical

Engineering Research Group

(Geology)

**Author** : SASAKI Yasuhito

ANAN Shuji

EGUCHI Takahiro

SHINAGAWA Shunsuke

**Abstract** : The purpose of this study is that problems such as uplift or abnormal water leakage will not happen, in the first filling of reservoir of the dam. Therefore, we analyzed the case of water leakage, uplift pressure anomaly, turbid water that originating from the penetration of the foundation ground, based on the geological point of view.

Further, we have created two drafts, as the specific measures to prevent the leakage, uplift pressure anomaly, turbid water in the first filling of reservoir.

The first drafts are flow chart and checklist of survey method to geology causing the leakage at the time of survey, excavation, foundation treatment.

The second drafts are flow chart and checklist to check the need for additional measures before first filling of reservoir.

**Key words** : first filling of reservoir, dam, dam foundation, case of the leakage, geology causing the leakage