

流水型ダムにおける グラウト改良の工夫について

小波津 健太¹・一柳 知之²

¹近畿地方整備局 足羽川ダム工事事務所 工事課 (〒918-8203福井県福井市成和1-2111)

²株式会社ニュージェック 基盤技術部門地圏グループ グループ統括 (〒531-0074大阪府大阪市北区本庄東二丁目3番20号)。

足羽川ダムは、花崗岩を主体として、安山岩が複雑に貫入する基礎岩盤を持つ流水型ダムである。ダムサイトの左岸部では掘削面から深度20m程度、河床部では掘削面から深度10m程度、右岸部では掘削面から深度50mの範囲に高透水ゾーンが連続的に分布しており、グラウティングは改良が必要である。

一方、河床部では岩盤透水性を踏まえた規定孔の次数低減の見直しを行っている。さらに、右岸リム部には断層及び低透水性を示す白色変質部が存在しており、これらを考慮したカーテングラウティングの縮減、簡素化を行っている。

本論文では、他ダムの参考となるようこれらのコスト縮減策を紹介する。

キーワード グラウティング、流水型ダム、合理化、コスト縮減

1. 足羽川ダム建設事業の概要

足羽川ダムは、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）（図-1）に建設する高さ96m、総貯水容量28,700千 m^3 、有効貯水容量（洪水調節容量）28,200千 m^3 の重力式コンクリートダムである。下流域の洪水被害軽減を目的としており、平常時は水を貯留しない洪水調節専用の流水型ダムである。

足羽川ダムは流水型ダムとしては国内初のゲート付きダムであり、河川整備計画に基づき足羽川ダム本体及び水海川導水施設（水海川分水堰及び水海川導水トンネル）を整備中である（図-2）。



図-1 足羽川ダム位置図

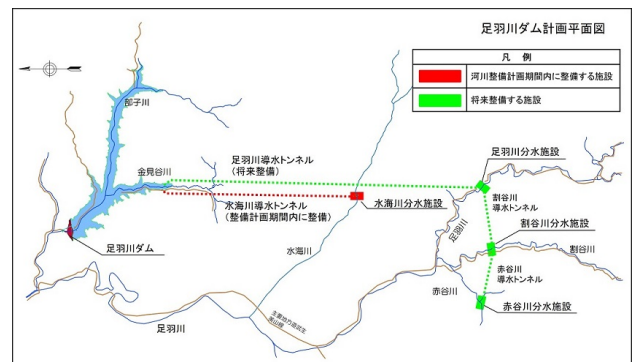


図-2 足羽川ダム計画平面図

2. 足羽川ダム基礎岩盤の特徴について

足羽川ダムの地質分布（図-3）は花崗岩（桃色）を主体として、安山岩（紫色および黄緑色）が複雑に貫入する基礎岩盤を有しており、花崗岩には、断層活動によって岩石が破碎を受けた、カタクレイサイトも見られる。

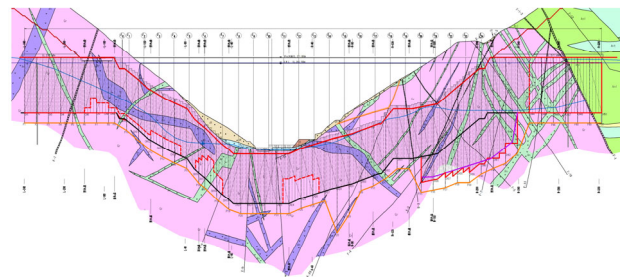


図-3 地質分布図

また、ダムサイトにはF-1断層～F-18断層の計18の断層があり、確認される断層の中で最大規模であるF-1断層を境に、花崗岩主体と安山岩主体の地質境界となっている。

岩級区分(図-4)について、全体として掘削面から深度50m範囲ではCML～CM級(黄緑及び緑色)の岩盤が主であり、河床部付近ではCH級(水色)も存在する。

岩盤透水性(図-5)の評価について、表-1に透水性区分の定義を示す。足羽川ダムの特徴的な部分として、河床部では掘削面から浅部10m～20m程度まで20Lu以上のⅢゾーンが存在し、20～70mの深さでⅡゾーンが存在する。右岸部では、掘削面以深にⅢゾーンが広く分布しているが、F-1断層より谷側に一部低透水のⅠゾーンも存在する。

次章では、河床部、右岸部について、グラウト改良にあたってのそれぞれの課題や工夫、実際の対応を紹介していく。

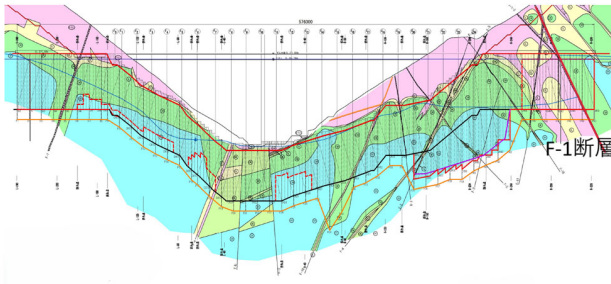


図-4 岩級区分図

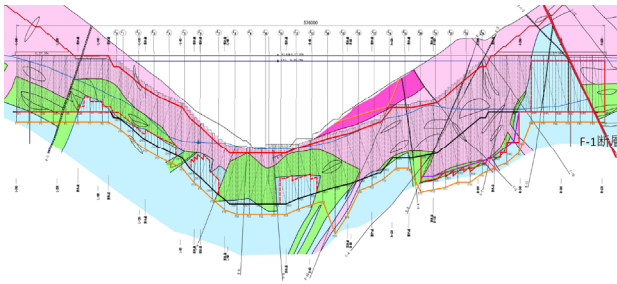


図-5 岩盤透水性区分図

岩盤透水性区分	内容
Ⅲ-2	地表から連続する風化・ゆるみの影響により高透水(100Lu以上)を示す区間
Ⅲ-1	地表から連続する風化の影響による高透水(20Lu以上)を示す区間
Ⅱ	低透水区間と高透水区間が混在し、水みちが連続する可能性がある区間
Ⅰ	地表から連続する風化・ゆるみなどの後天的な影響をほとんど受けておらず、かつ水みちが連続しない低透水区間

表-1 岩盤透水性区分の定義

3. 各岩盤における対応

(1) 河床部における対応

a) 設計段階の状況

設計段階において、河床部のカーテングラウチングの計画深度はパイロット孔60m、一般孔深度50mで計画されている。また、改良目標値はグラウチング技術指針に準拠し、深度0～50m(0～H/2):2Lu, 50～100(H/2～H):5Luと設定している。孔配置については、①改良目標値を超えるゾーンについてはⅠパターン(最少孔間隔1.5m, 規定3次孔), ②改良目標値を下回るゾーンについてはⅡパターン(最少孔間隔3.0m, 規定2次孔)としている。

b) カーテングラウチング試験施工

カーテングラウチングの施工にあたり、注入圧力と規定回数の変更を行う。所定の改良度まで適切に改良できるか確認のため、最深河床部K21～K-22BLにて試験施工を行った(図-6)。試験施工範囲の深度50m区間は①Ⅰパターン(最少孔間隔1.5m, 規定3次孔)に該当する。

試験施工で用いる注入圧力については、同種地質である舟川ダム等の事例を参考に当初仕様を設定しているところを、より効率的な改良を目指して高圧力仕様も設定(表-2)し、両者の改良度の比較を行った。

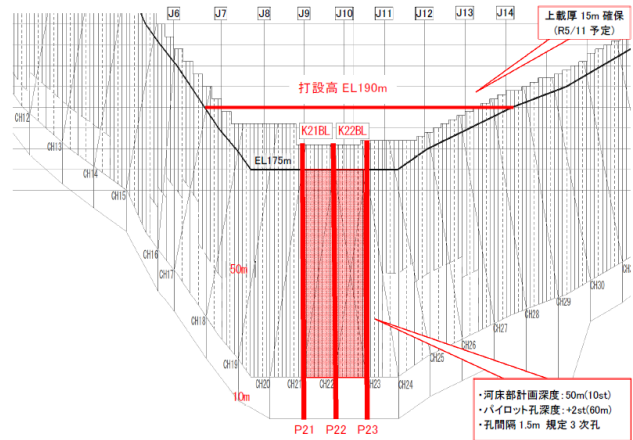


図-6 カーテングラウチング試験施工位置図

【左岸側 K21BL: 高圧力仕様】

ステージ	1	2	3	4	5	6	7～
注入圧力 (MPa)	0.5	0.7	1.0	1.5	1.5	1.8	2.0

【右岸側 K22BL: 当初仕様】

ステージ	1	2	3	4	5	6	7～
注入圧力 (MPa)	0.4	0.7	1.0	1.2	1.2	1.5	1.5

表-2 注入圧力仕様

c) 試験結果

河床部カーテングラウチング試験施工の結果を図-7に示す。岩盤透水性区分図より、施工範囲深部までⅡゾーンと評価されていた河床部であったが、安山岩貫入の影響範囲を除けば、初期から2Lu程度以下の低透水性岩盤が広がること、局所的な高透水部についても2次孔程度

までの施工で2Lu以下まで改良できることが確認された。

このことから、試験施工範囲両側における岩盤透水性区分Ⅱゾーンについては、岩盤透水性区分Ⅰゾーンと同等であると評価し、河床部におけるⅡゾーンの規定次数を見直し（最少孔間隔3.0m, 規定2次孔）の対象とした。

なお、堤敷面から浅部は止水上の重要度が高く、また、地表面からの風化による影響等が懸念されるため、見直しの対象はH/4（25m）以深とし、浅部H/4（25m）範囲までは当初計画通り規定3次孔とした。

規定次数の見直しにあたっては、カーテングラウチング施工時に2次孔の透水性から適用の可否を判断する。具体的には、2次孔全体のルジオン値の非超過確率85%値が2Lu未満である場合に規定次数を2次孔に見直すこととし、3次孔以降は追加孔として扱う。

規定次数の見直しにより、岩盤透水性区分のみで判断するのではなく、実績による柔軟な対応が可能となり、必要以上の改良を縮減することが可能となる。

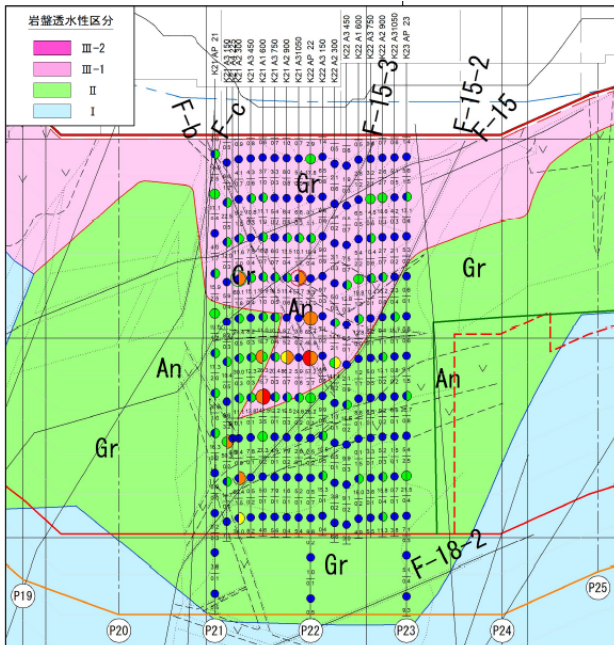


図-7 カーテングラウチング試験施工結果

また、注入仕様の違いによる改良度の比較については、左岸側K21BLは右岸側K22BLと比較して部分的に透水性が高い傾向にあるため、仕様の差異の判断が難しいが、高圧力仕様でセメント注入量が多いことから、注入効率が高くなり、透水性低減に効果があったと評価している。

K21BLおよびK22BLにおける注入状況を図-8-1、図-8-2に示す。

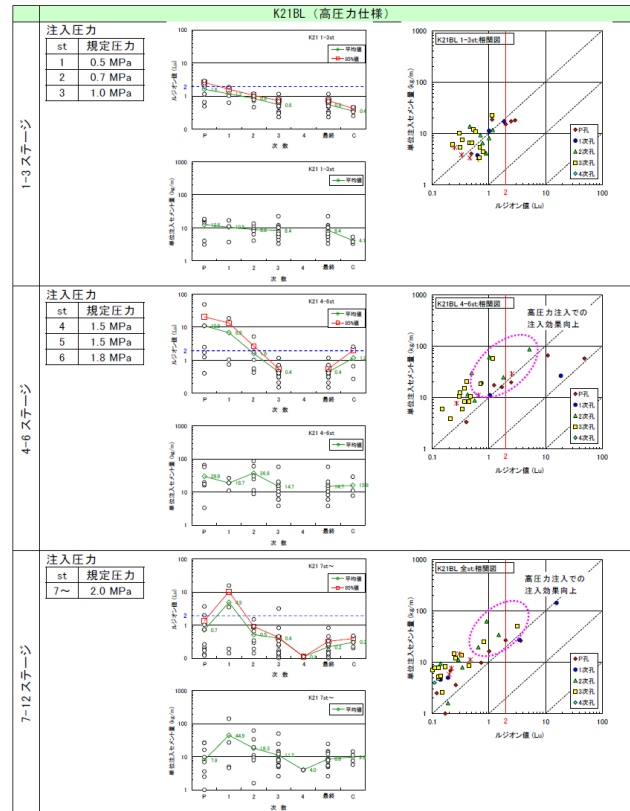


図-8-1 K21BL注入状況

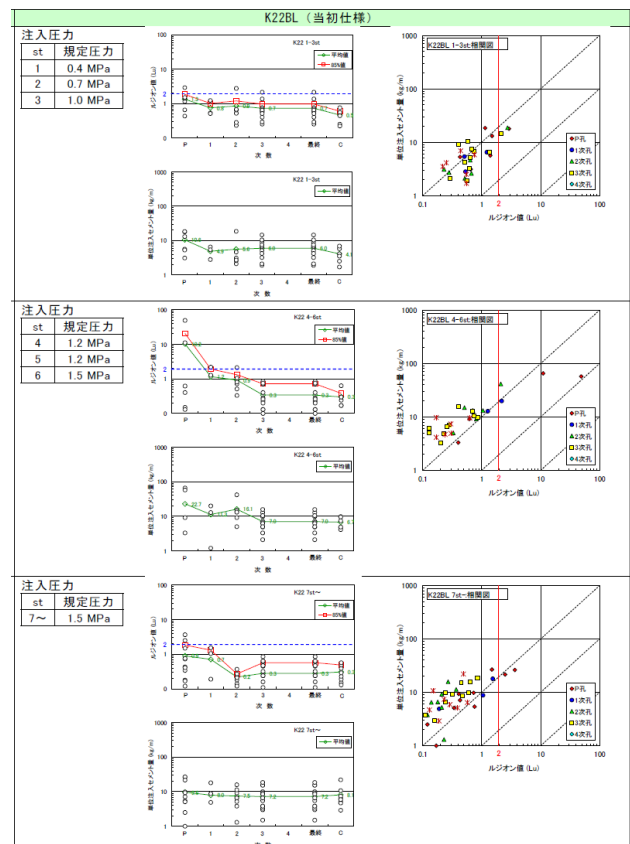


図-8-2 K22BL注入状況

浅部1～3stについて、当初仕様、高圧仕様のセメント注入量に大きな差異はなく、両BLとも適切に改良が進んでいる。なお、コンソリデーショングラウチングによる先行改良の影響もあったと考えられる。

4～6st, 7～12stにかけては高圧力仕様においてセメント注入量が多くなっており、2次孔、3次孔で注入効率が高くなる傾向がみられ、3次孔でルジオン値が低減している様子が明瞭であり、2次孔段階で低減目標値2Lu以下を満たし、チェック孔段階において高透水箇所を残さないための適切な設定と考えられる。

以上のことから、高圧力仕様の妥当性に問題はないと評価した。

(2) 右岸部における工夫

a) 設計段階の状況

右岸リム部には、ダムサイトで確認された断層の中で最大規模であるF-1断層が存在し、その下盤には厚さ20m程度の白色変質部を伴い低透水性を示すことが調査時のルジオンテストで確認されており、Iゾーンとしている。

設計時には、「F-1断層と周辺の白色変質部は天然の遮水ゾーンを形成していると推定されるが、現状地下水位が低いため、調査で未確認の漏水経路が潜在している可能性も残り、2Lu以下の難透水ゾーンではあるが確実を期して改良対象とする」としていた。

なお、低透水性を示している白色変質部は岩盤がもろいことから、カーテングラウチングによる透水試験や注入によって局所的に高い圧力を作用させると岩盤を痛め、逆に水みちを形成してしまう可能性が懸念された。

b) カーテングラウチング試験施工

先述の懸念より、白色変質部における規定孔廃止のため、試験施工では次の方針をとることとした。

①白色変質部を含むF-1断層の影響により低透水が分布すると想定される範囲は、F-1断層にかからないパイロット孔3孔（P44, P45, P46）で透水性を確認し、2Lu程度以下の低透水性が確認された場合は、規定孔を実施しない。

低透水性の確認については、カーテングラウチングの完了基準に則り、各パイロット孔（P44, P45, P46）の透水性が「2Lu非超過確率85%」を満足するか否かで判断する。

②F-1断層より山側の範囲については、地下水位がサーチャージ水位付近以上に分布し、川側への遮水構造が構築されているため、グラウチング対象外とする。

③右岸リム部谷側に広がるⅢゾーンについては、深部かつ広域に分布するため、先行して施工着手するP41～P44区間において、改良目標値2Luまでの改良進行具合と適切な孔配置及び注入仕様の確認を行う。

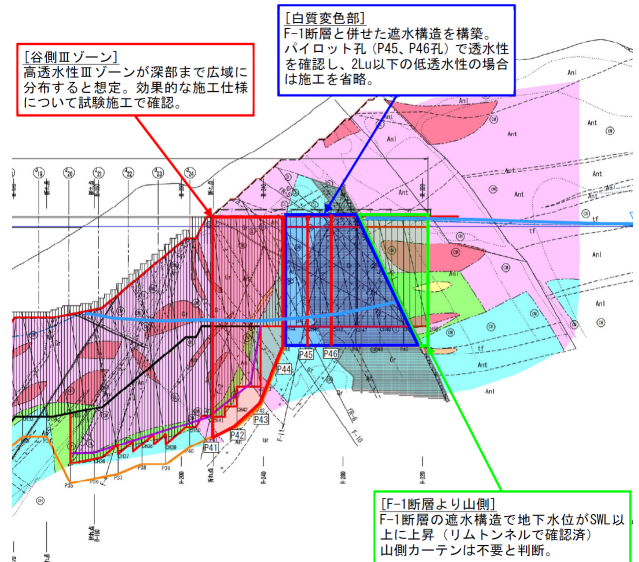


図-9 右岸部試験施工方針

c) 試験結果

白色変質部を含むF-1断層の影響による低透水範囲は、調査時のボーリング等から、白色変質部周辺範囲厚みをもって存在していることを確認した。

表-3に各パイロット孔の試験結果を示す。P44～P46の3孔において、大半が2Lu以下であること、2Lu超過ステージは3箇所のみであることを確認した。

P44について、10stまでの規定孔範囲において、超過ステージは1ステージのみ、P45, P46においても1ステージのみ、全体として非超過確率が90%であることが確認できた。

なお、規定孔範囲外ではあるが、P46の12, 13stに存在する高透水部はボーリング掘削時のコア写真（図-10）の状態より、白色変質や風化の影響、挟在物のない割れ目であったことから、水みちの形成には影響のないスポット的な高透水箇所として判断した。

以上のことから、P44から山側をカーテングラウチング範囲から除外とした。

st	P44			P45			P46		
	Lu	Pc	Ce	Lu	Pc	Ce	Lu	Pc	Ce
1	5.54	—	23.4	0.74	—	2.0	0.48	—	0.6
2	1.28	—	9.5	1.79	—	1.9	1.24	—	2.0
3	1.40	—	10.1	1.70	—	3.4	1.80	0.24	5.0
4	0.14	0.78	9.3	0.93	—	1.3	1.61	—	1.2
5	1.22	—	223.9	1.54	—	11.5	1.74	—	5.8
6	1.22	—	26.6	1.25	—	6.0	1.82	—	10.1
7	1.08	0.88	17.0	1.54	—	4.6	1.62	—	9.1
8	1.85	—	53.8	0.58	—	3.1	2.78	—	5.7
9	1.52	—	6.1	1.00	—	4.5	1.57	—	13.0
10	1.10	—	17.3	2.16	—	4.5	1.39	—	3.7
11	1.20	—	10.9	1.63	—	7.3	0.86	—	1.3
12	1.36	—	17.6	3.02	—	6.3	130.01	—	94.1
13							132.62	—	411.0
14							2.60	—	4.2
規定孔範囲での評価	超過率 10%(1/10): OK			超過率 10%(1/10): OK			超過率 10%(1/10): OK		
	P44～P45超過率			10%(2/20): OK					
				P45～P46超過率			10%(2/20): OK		
				P44～P46超過率			10%(3/30): OK		

表-3 白色変質部含むⅠゾーンにおけるパイロット孔の透水性



図-10 P46コア写真 (10~14st)

4. まとめ

本稿では、足羽川ダムにおけるカーテングラウチングの工夫を紹介した。

現状として、基礎岩盤の評価は事前のボーリング調査だけでは困難なところであるが、詳細調査による地質特性の正確な把握、特性を活用する工夫、試験施工結果の評価、及びその対応によってコスト縮減へとつなげることが可能となる。

さらに、流水型ダムにおいては、湛水期間が一時的であるといった点の評価への反映によって、より効率的、合理的な施工が可能になると考える。

謝辞： 本稿の作成にあたって適切な助言をいただきました、株式会社ニュージェックおよび関係各位に深く感謝申し上げます。