

立野ダムの基礎処理施工について

永田 幸也¹・岩元 隆太郎¹

¹九州地方整備局立野ダム工事事務所 工事課 (〒861-8019 熊本県熊本市東区下南部1-4-73) .

現在建設中の立野ダムは堤体コンクリート打設最盛期であるとともに、ダム基礎地盤・リム部地盤の遮水性を高めることを目的とした基礎処理工を施工中である。ダム建設特有の工種である基礎処理工について、目的・種類・施工手順・改良効果及び立野ダムの基礎処理施工内容や施工を進めている中で課題となっている追加孔に対する抑制対策として期待できる長時間透水試験実施の取組みについて報告する。

キーワード 基礎処理工、グラウチング、追加孔、長時間透水試験

1. はじめに

立野ダムは、政令指定都市熊本市中心部を貫流する一級河川白川沿川の洪水被害を防ぐことを目的とした治水専用ダムである。2018年9月に基礎掘削工事に着手し2023年出水期までにダムの洪水調節機能が発揮されるよう施工中である。



図-1 立野ダム流域図

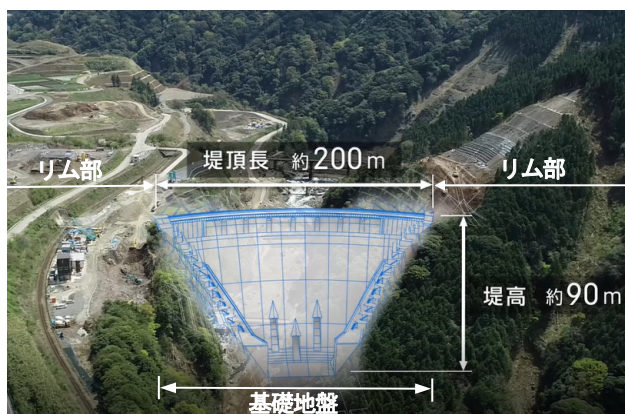


図-2 立野ダム完成イメージ図

2. 基礎処理工の概要

(1) 目的及び種類

基礎処理工とは、ダム貯水池から地盤内を經由した漏水を防ぐためにダム基礎地盤・リム部地盤(図-2)の遮水性を高めることを目的として、地盤内にセメントミルク(セメント+水)を注入する工事でグラウチングとも呼ばれる。

カーテングラウチングはダム基礎地盤とリム部地盤の遮水性を改良することを目的とした削孔長の比較的長いグラウチングで堤体及び基礎地盤の安全性を確保し、所要の貯水機能を確保するために実施する。

コンソリデーショングラウチングはダム着岩付近において、浸透路長が短い部分の遮水性改良と不均一な変形を生じるおそれのある断層・破碎帯、強風化岩等の弱部を対象とした補強のため実施する。

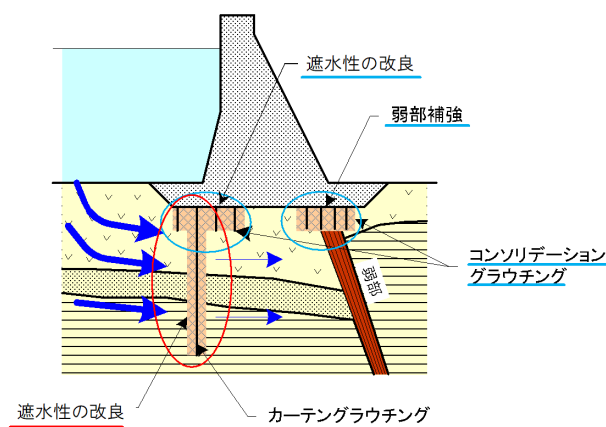


図-3 グラウチング概要図

(3) 右岸の止水方針

ダムサイト右岸側は、上位に高透水性の立野溶岩塊状部 (Ttm)、その下位に固結度が相対的に低い立野溶岩自破砕部 (Tta) と立野層が右岸奥行き方向に広く分布する。



写真-3 立野溶岩塊状部 (Ttm)

Ttmは、開口した節理や割れ目を透水要因とする高透水性の岩盤である。右岸奥側においても高透水性の割れ目が分布しており、水みちとなり得るこれらの割れ目を改良し漏水を抑制する必要がある。Ttmの下位に分布するTta・立野層については、地層・層相ごとの透水性・浸透破壊抵抗性を踏まえ、止水対象とする範囲を検討するとともに、作用する動水勾配による浸透破壊に対して安全性を確保する必要がある。以上より「立野溶岩からの著しい漏水を抑制する」と「立野層・立野溶岩自破砕部の浸透破壊に対する安全性を確保する」ことを右岸側の止水方針とした。

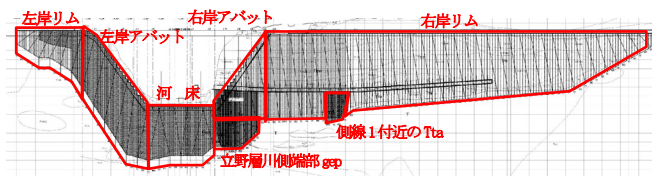


図-7 基礎処理施工範囲

表-1 箇所ごとの止水対象、改良目標値、孔配置

止水対象	改良目標値	孔配置
左岸リム部・アバット部・河床部 先阿蘇火山岩類塊状部 (Pam)	2Lu	単列、孔間隔1.5m、規定3次孔
左岸リム部・アバット部・河床部 先阿蘇火山岩類自破砕部 (Paa)	5Lu	複列(2列)、列間隔0.75m 孔間隔0.75m、規定4次孔
右岸リム部・アバット部 立野溶岩塊状部 (Ttm)	2Lu 5Lu	単列、孔間隔1.5m、規定3次孔 単列、孔間隔3.0m、規定2次孔
右岸立野層川側端部gep	5Lu	複列(3列×4)、列間隔1.0m 孔間隔0.50m、規定4次孔
右岸側線1付近のTta	5Lu	複列(3列×5)、列間隔1.0m 孔間隔0.50m、規定4次孔

(4) 基礎処理施工経過

立野ダムの基礎処理は止水対象地盤が多く、範囲も広域に渡っていることから計画段階よりダム建設全体工程のクリティカルになることが懸念されていた中で2018年11月から施工数量の多い右岸立野層川側端部gep

に着手、2019年6月に右岸リム部に着手、2019年11月に右岸側線1付近のTtaに着手、2021年3月に左岸リム部に着手し現在は、堤体回り周辺を主として施工中である。いずれの箇所においても追加孔が発生しており追加孔の抑制が課題となっている。

4. 右岸立野層川側端部gepの課題・対応

(1) 右岸立野層川側端部gepの課題

右岸立野層川側端部gepは堆積層である立野層の中でも特に締まりの不良な層のことであり、浸透破壊抵抗性を確保するという観点から設計がなされており複数膜の施工が必要となった。

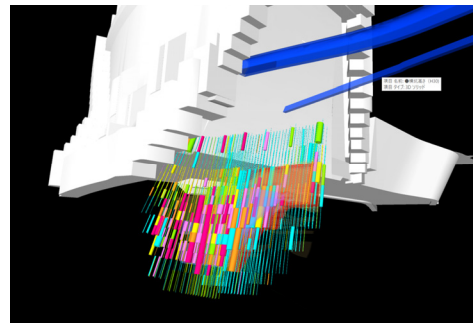


図-8 gep改良状況3Dモデル

gepの施工箇所は右岸下段リムトンネルからの施工により狭い範囲で孔配置が密集していることもあり、中央挿法や同時注入規制を考慮すると施工機械を多く入れての施工（写真-4）が不可能であった。また、規定次数4次孔に対して5次～7次孔の追加孔（図-9）が発生したこともあり、1膜目の施工は1年9ヶ月の期間を要し2020年8月に完了した。



写真-4 施工状況

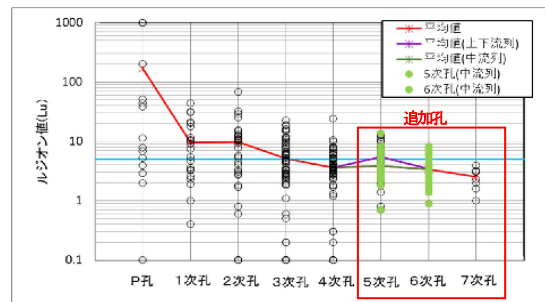


図-9 1膜目KB4ルジオン値低減図

1 膜目の施工結果から見てきた課題として、gcpの透水・水押し試験では図-10に示すように圧力定常状態における定常流量ではなく、図-11に示すような圧力定常状態における流量減少傾向を示すステージが多く見られた。これらのステージは定常流量に達する前の流量により透水性を評価している可能性があり、透水性を過大評価しているおそれがあった。

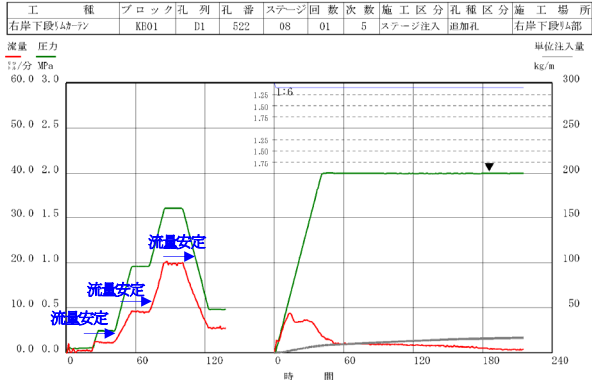


図-10 圧力定常状態における定常流量の例

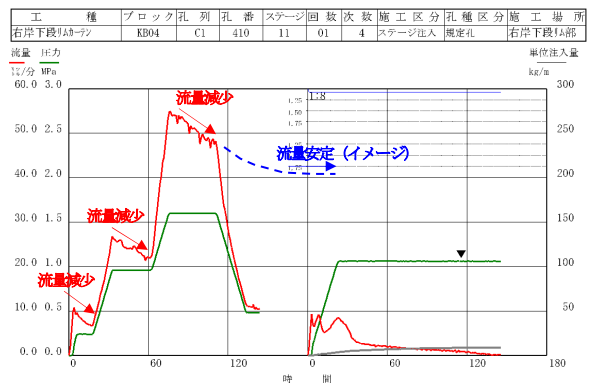


図-11 圧力定常状態における流量減少傾向の例

(2) 長時間透水試験

通常施工で実施している標準の透水・水押し試験ではgcpがもつ本来の透水性を捉えきれていないと判断し、より丁寧な試験実施により、適切に透水性を評価することを目的として長時間透水試験を実施することとした。長時間透水試験は、通常2時間程度で試験実施するところを、圧力定常状態において流量が安定するまで試験時間を長くとる方法である。透水性を適切に評価することで追加孔の削減にも繋がることを期待された。試験対象ステージは、2膜目以降の3次孔以降の孔で、通常の試験結果で5~10Luを示したステージとした。また試験方法は、通水時間24h×1段階(圧力は0.98Mpa程度)とした。

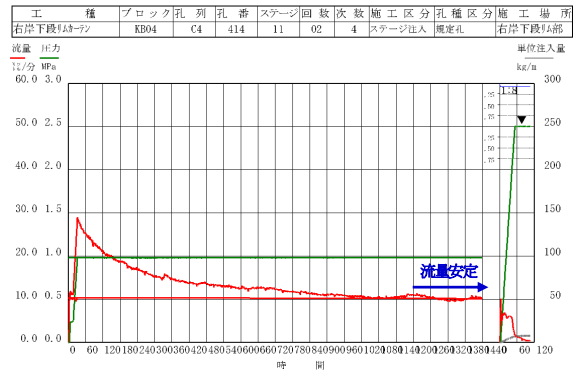


図-12 長時間透水試験の例

(3) 長時間透水試験結果

長時間透水試験を実施した全ステージで標準の試験結果よりも低いルジオン値を示した(図-13)。以上のことからgcpの真の透水性は、標準の試験結果で得られる透水性よりも低透水である可能性が高いと推測された。

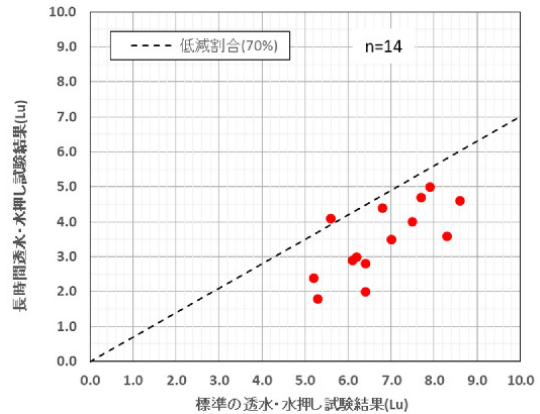


図-13 標準の試験結果と長時間透水試験結果の関係

(4) 適切な透水性評価

gcpの標準の透水・水押し試験で5~7Luのステージが、長時間透水試験では5Lu以下になることが確認された。標準の試験は、短時間かつ局所的に動水勾配を強制的に大きくした試験であり、長時間透水試験が、実際に湛水した状況に近い透水性を示す。更にパイプフローの亀裂性岩盤(写真-5)に比べてgcpなどのダルシーフローとして流れる礫質岩盤(写真-6)は、同じルジオン値であっても流速が小さく、圧力が伝播する速度も小さくなり、水押し試験の各圧力段階で定常状態に達するまでに時間を要する。このため、標準の透水・水押し試験では実際にダムに湛水したときのルジオン値に比べて安全側の高いルジオン値となり、この傾向は礫質岩盤の方がより顕著になると考えられる。



写真-5 亀裂性岩盤のコア



写真-6 礫質性岩盤gcp相のコア

したがって、礫質岩盤であるgcpの長時間透水試験の結果から、標準の透水・水押し試験で7Lu未満を5Lu以下と評価しても実際の湛水時においては危険側の評価にはならないと判断した。以上より、gcpは規定孔の最終次数孔である4次孔と追加孔、チェック孔を対象に、標準の透水・水押し試験の7Lu未満は5Luと評価することとした。

(5)適切な透水性評価を実施することによる効果

適切な透水性評価を実施することにより追加孔をどの程度削減できるかということを確認するため、標準の透水・水押し試験結果を基に施工した1膜目に適切な透水性評価を反映したケースを検討した。

その結果、標準の透水・水押し試験で5~7Luとなったステージを対象に実施する追加孔を削減できる結果となった。右岸立野層川側端部gcpの施工数量は現時点までで6割完了している。残り4割の残数量については、適切な透水性評価を適用することによりコスト縮減及び工期短縮に努めていく予定である。

5. 左岸・河床部での課題・対応

(1)左岸・河床部の課題

左岸・河床部については、改良性に乏しい先阿蘇火山岩類自破砕部(Paa)が分布する範囲で、「軟岩等の遮水性の改良が難しい地盤では、改良目標値を5Lu程度とする代わりに、浅部の複数列化によって厚みのある遮水ゾーンを形成する等、地盤状況に応じた適切な対応をとる。1)」考え方にに基づき孔配置を複列配置・改良目標値5Luとして計画された。

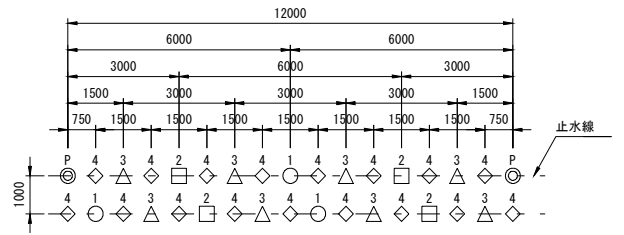


図-14 先阿蘇火山岩類自破砕部(Paa)孔配置

先阿蘇火山岩類自破砕部(Paa)は左岸から河床の広い範囲に分布しており、同じPaaでも分布場所により改良性が異なる可能性があることを考慮し、施工を進める中で単列施工・改良目標値2Luの可能性について検討中である。しかし、左岸リム部では試験施工として1ブロックを単列・2Luで施工した結果、規定次数4次孔に対し7次孔までの追加孔が発生しており、左岸リム部では単列での施工は困難であるという結果に至った。

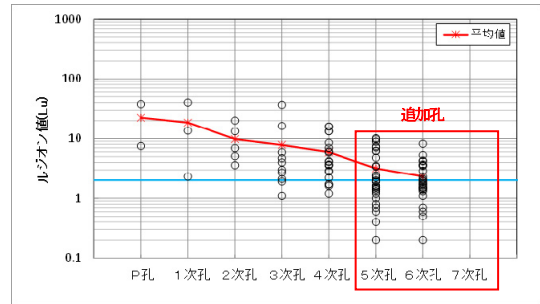


図-15 KB3ルジオン値低減図

(2)長時間透水試験

左岸リム部での単列施工は困難という結果となったが、アバット部・河床部での施工はこれから本格化するため引き続き単列施工の可能性を探りながら施工中である。単列施工の改良目標値は複列施工改良目標値5Luよりも低い値である2Luとなり、透水性を適切に評価することが単列施工への変更及び追加孔削減という目標達成には重要となってくる。このため透水性を適切に評価することを目的としてgcp同様圧力定常状態における流量減少傾向を示すステージが多く確認されている先阿蘇火山岩類自破砕部(Paa)でも長時間透水試験を実施することとした。

(3)長時間透水試験結果

長時間透水試験結果は現在とりまとめ中であり、gcp同様に標準の試験結果よりも低いルジオン値を示している状況である(図-16)。結果整理後に関係機関協議を実施の上、適切な透水性評価を実施し単列施工、追加孔削減に繋げていく予定である。

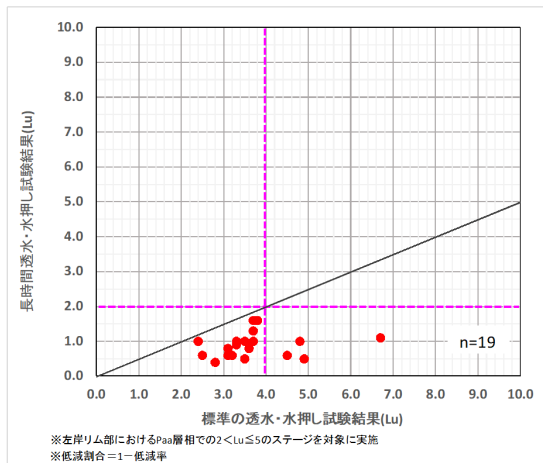


図-16 透水試験結果（長時間・標準）の関係

6. まとめ

立野ダムの基礎処理施工に携わり、地中の中の見えない施工ということもあり、計画どおりに進まない事象が多く日々難しさを感じている。今後の基礎処理施工は堤体部周辺が中心となるため、他工種間との調整事項もより一層増えて課題発生についても予想される。しかし、施工上の課題や工程に関する課題に対して発注者・受注者一丸となって取り組み、コスト縮減や工程短縮を図りながら2023年出水期までにダムの洪水調節機能が発揮されるよう工事進捗を図っていきたい。

(参考文献)

1) グラウチング技術指針及び同解説 平成15年4月
 国土交通省河川局治水課