

殿ダムカーテングラウチング河床部の施工について

玉井 順也

国土交通省 殿ダム工事事務所 工事課



ダムの基礎地盤は、堤体の安全性を確保し、あわせてダムの貯水機能を確保するために、遮水性を有することが必要である。グラウチングは、必要な遮水性確保や弱部補強による基礎地盤均一性向上を図るものであり、計画段階で施工範囲、改良目標値、規定孔間隔等の基本方針を決定した上で、施工している。

本報告では、河床高透水路部の事前対策として施工した下流ストッパー孔をの施工状況及び施工途中において4次孔の施工を行っても改良目標値を満足できない河床部難改良箇所が出現したことから、工事コストを考慮しつつ、所要の遮水効果を図れる改良方法に取り組んだ施工状況について報告する。

キーワード 殿ダム、基礎処理、カーテングラウチング、難改良部、安山岩

1. はじめに

殿ダムは、治水、工業用水・水道用水の確保、環境保全、発電を目的として、千代川水系袋川の上流に建設する堤高75m、堤体積約206万m³の中央遮水壁型ロックフィルダム（写真1-1）である。



写真1-1 殿ダム全景写真

カーテングラウチングとは、基礎岩盤及びリム部の地盤において、動水勾配が大きい部分と、貯水池外への水みちとなるおそれのある高透水路部の遮水性を改良することを目的としている。また、グラウチングは、調査結果をもとにダムサイト全体の地形、水理地質構造等の地質、地盤の透水性状、地盤の力学的性状、グラウチングによる改良特性を把握した上で施工範囲、改良目標値、孔配置、注入圧力、配合の設定等の注入計画を定めている。計画段階では、グラウチングの基本方針を決定し、詳細な仕様は施工時の状況を見ながら適宜変更して行くのが一般的である。

グラウチングの施工は、ボーリングマシンを使用して地盤を削孔しグラウト（セメントミルク）を注入することにより行う。グラウチングは、削孔→孔内洗浄→水押し→グラウト注入の手順で行う。

2. 地質特性

殿ダム河床部の基礎地盤は浅部が安山岩（KAn）で深部が粗粒凝灰岩（Tb）で形成され、岩級区分は、浅部からCM級岩盤が分布し、深部に進むに従いCH級岩盤が分布している。安山岩は硬質・塊状の緻密な溶岩で割れ目（柱状節理・板状節理）が発達している。調査時の地質図を図2-1に示す。

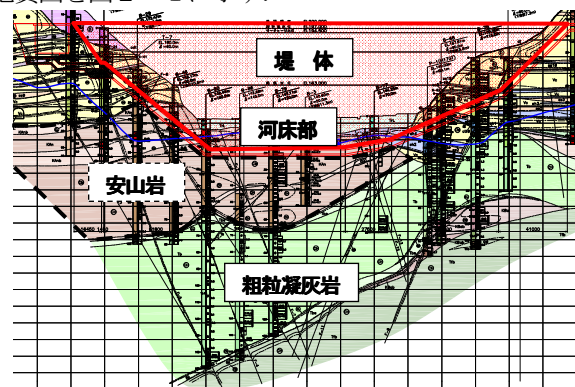


図2-1 調査時の地質図（堤体全体）

調査時のルジオンマップを図2-2、施工時のルジオンマップを図2-3に示す。地盤の透水性状は、深部の粗粒凝灰岩部では100Lu以上の高透水（ここで高透水とは、ルジオン値（Lu）が20以上を示す箇所のこと）が存在していることを確認していた。以降この高透水路部を「河床高透水路部」という。一方、浅部の安山岩部にも高透水路部が見られたが、断層沿いに限られ全般に20Lu以下

の低透水と想定していた。

施工結果から安山岩部は、調査時低透水と想定していたが施工した結果、ほとんどが20Lu以上を示した。

注) Lu値とはパッカーにより閉鎖されたボーリング孔内の一定区間に圧力水を注入し、試験区間の有効注入圧力と試験区間1m当たりの注水量から地盤の透水性を測り、その結果で得られる圧力水頭100m相当(10kgf/cm²)時の注水量($l/min/m$)のことである。

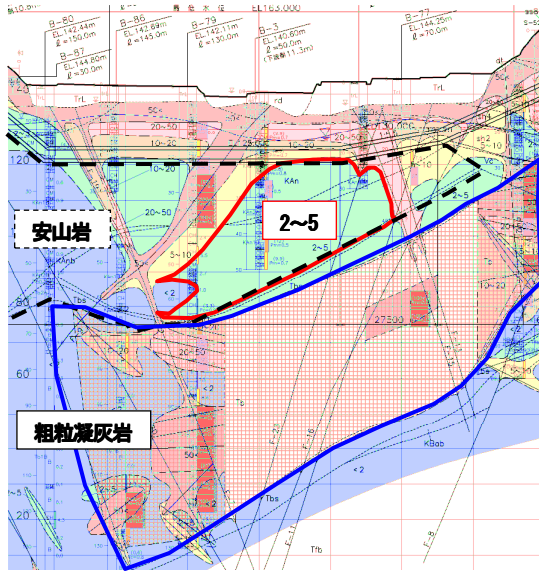


図2-2 調査時のルジオンマップ (堤体河床)

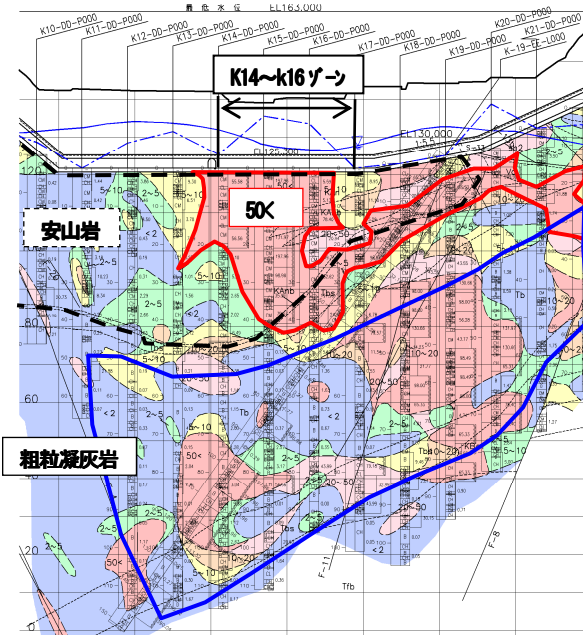


図2-3 施工時のルジオンマップ (堤体河床)

3. 下流ストッパー工の施工

(1) 下流ストッパー孔の施工範囲

粗粒凝灰岩層では、開口割れ目の有無により大きくルジオン値が異なるという特徴を持ち、この開口割れ目はランダムに分布し、方向・場所を特定できないうえに、

上下流方向への連続性もあり、河床高透水路部を下流ストッパー孔の範囲としを施工した。

(2) 孔配置計画

カーテングラウチング施工時において、下流へのグラウトミルクのリーク防止等、下流域への環境保全を目的として、ダム軸下流10.5mに下流ストッパー孔を施工した。

規定孔はパイロット孔(36m間隔)で1次~2次孔を単列3m孔間隔で配置し中央挿法で計画した。下流ストッパー孔の孔配置図を図3-1を示す。下流ストッパー孔範囲は河床高透水路部を囲むものとし、カーテングラウチングの改良深度と同程度とした。下流ストッパー孔施工断面図を図3-2に示す。

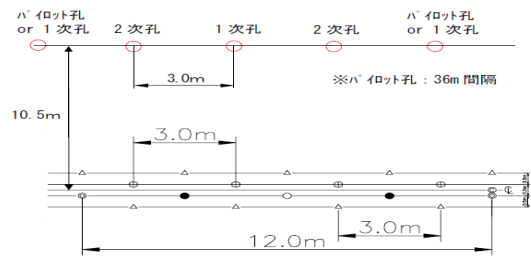


図3-1 下流ストッパー孔配置平面図

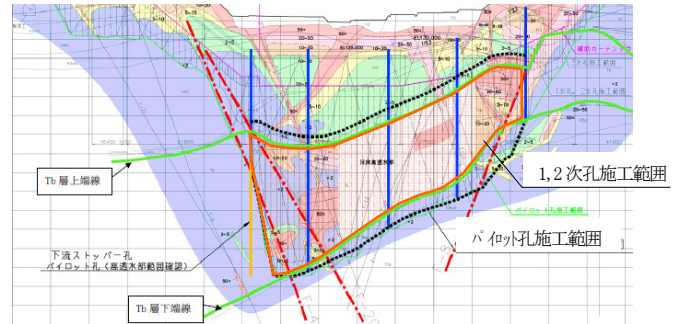


図3-2 下流ストッパー孔施工断面図

(3) 完了基準

河床高透水路部は、開口割れ目が原因で透水・水押し試験時に圧力が上昇しない50Lu以上の透水路部が約40%を示した。既往のグラウト試験により所定の注入材(早強セメント)では、規定量中断を複数回繰り返していたため、注入材は急硬性セメントを使用した。一方、透水・水押し試験時に最大注入速度(4l/min/m)で0.1MPa程度の圧力上昇が確認できれば所定の改良が可能であった。

完了基準は、透水・水押し試験時における圧力上昇確認とし、透水性の判断は50Lu程度を目安として施工した。

(4) 改良判定

施工を行った結果、2次孔終了段階において平均値で12.49Lu、85非超過値で9.11Luとなり、所要の改良目標に到達したものと判断できたため、追加孔の施工は行っていない。下流ストッパー孔の施工結果を図3-3に示す。

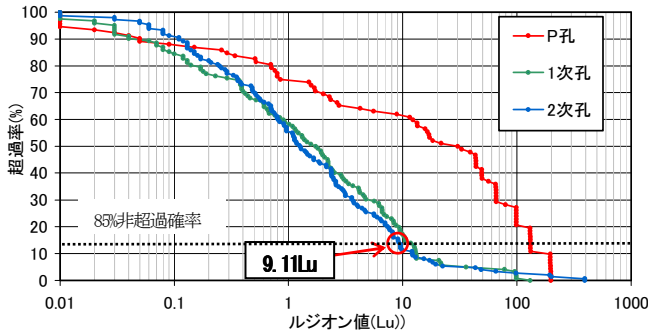


図3-3 下流ストッパー孔施工結果

4. カーテングラウチング施工

(1) 殿ダムのグラウチング計画

殿ダムのカーテングラウチングは、止水ラインをダム軸とし、改良目標値を深度0~H/2 (Hは最大ダム高75m) まで5Lu, 深度H/2~H (ただし、河床高透水部では高透水部の下端まで) まで10Lu, 非超過確率を85%として計画した。施工範囲はH/2までの範囲を基本とし、河床高透水部についてはその予想範囲から2ステージ(10m)延長した範囲とした。

規定孔はパイロット孔~2次孔を単列3m孔間隔, 3次孔をH/4まで1.5m孔間隔で止水ラインの0.5m下流に配置し中央内挿法で計画した。殿ダムのカーテングラウチングの孔配置図を図4-1, 図4-2に示す。

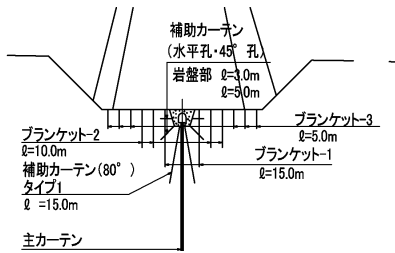


図4-1 グラウチング配孔図 (河床部)

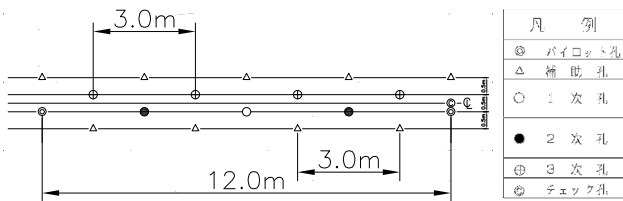


図4-2 カーテン孔配置平面図

(2) 追加孔の考え方

追加孔とは、規定孔の最終次数孔まで施工してもルジオン値が改良目標値に達していないと判断される場合に、必要な箇所に施工するグラウチング孔であり、下記の場合に追加孔の施工を行う。

① 最大基準

最大値の基準は、許容する値 (改良目標値5Luの場合は最大値10Luとする) を超える最終次数孔が発生した場合に追加孔の施工を行う。規定最終次数孔を3次孔とした場合の追加4次孔の施工例を図3-3に示す。

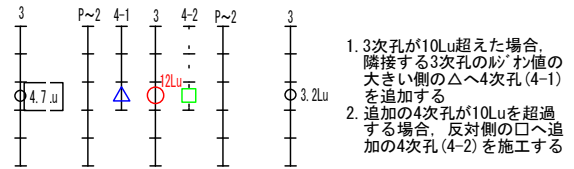


図4-3 最大基準の施工例

② 連続の基準

改良目標値を上回る最終次数孔が連続 (上下, 左右, 斜め方向) して発生した場合に追加孔の施工を行う。連続基準 (上下) 追加4次孔の施工例を図3-4に示す。

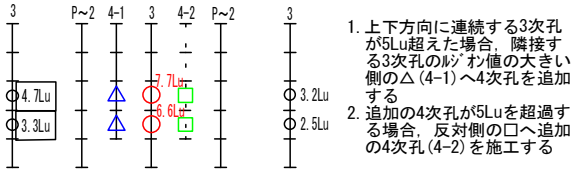


図4-4 連続基準 (上下) の施工例

③ 全体の基準

上記の規定に該当せず、改良目標値を上回る孔が改良対象となる施工範囲内で15%を超えて残存する場合。

5. 施工方法の見直しと対策方法の決定

(1) 難改良箇所の出現とその原因

パイロット孔施工後、河床部K14~K16ゾーンにおいては当初想定と異なり、河床浅部に高透水箇所が出現したが、1・2・3次孔と順番に改良を進めれば、Lu値は低減し改良目標値を満足できるものとして施工を進めた。しかし、浅部の安山岩部では、4次孔の施工を行っても20Lu以上の箇所が多く残存し、改良することが困難であることが判明した。以降この高透水部を「河床難改良部」という。

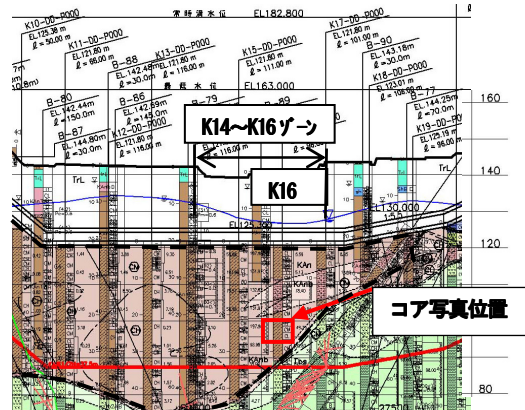


図5-1 河床難改良部のコア位置

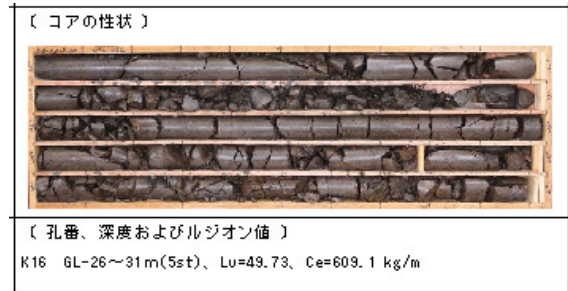


写真5-2 河床難改良部のコア写真

河床難改良部のボーリングコアを観察するとCM級の岩盤を主体とするが、CL級岩盤よりなる礫上コア箇所も含み、割れ目の一部に粘土が付着している。この割れ目に存在する粘土が改良が進まない原因と考えられた。(図5-1, 2)

4次孔以降については、50Lu以上の場合、注入開始のセメントミルクの配合(セメント:水比)を1:2から1:4に変更して注入効果の向上を図った。しかしながら、河床難改良部のうち4次孔を施工しても20Lu以上の高透水箇所が残った。この4次孔と隣接孔の水平間隔は75cmであり、グラウチングによる改良範囲が非常に狭いといえる。その原因は、割れ目に存在する粘土がセメントミルクの入り込みを遮り、透水性の改良を困難にしていると考えられる。そこで、5次孔を施工しても改良目標値以下に至ると考えられる範囲について、対策方法を検討することとした。

なお、対策方法に合わせて注入材料を「超微粒子セメント」に変えることも検討したが材料費が高額、河床難改良部に対する効果が不明、セメントサイロを専用する等問題点があり、今回は不採用とした。

(2) 対策方法の比較

対策方法として、改良目標値を満足させる考え方と改良目標値を満足しなくても厚み(動水勾配を緩やかに)を持たせて遮水性を改良する考え方について検討を行った。

まず、補助孔を追加し、先行施工することを考えた。この方法は、5次孔施工前に補助孔を上下流側に先行して5次孔の改良範囲を狭めて改良効果の確実性を高めるものである。

先行補助孔案(図5-3)は、カーテンライン下流側(P~2次孔)及び上流側(3,4次孔)の間をつめる形で補助孔を配孔した。

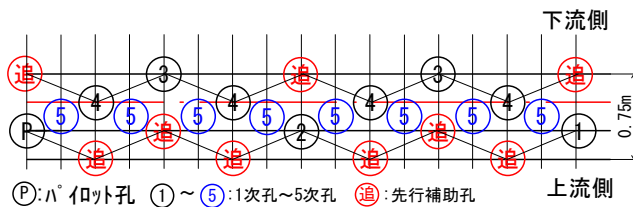


図5-3 先行補助孔案

次に複列化案(図5-4)として、カーテンライン上流側1mにP~4次孔を追加配孔することによって、遮水ゾーンに厚みを持たせることにより遮水ゾーンの動水勾配が小さくなり、改良目標値を緩和することが期待できる方法を検討した。

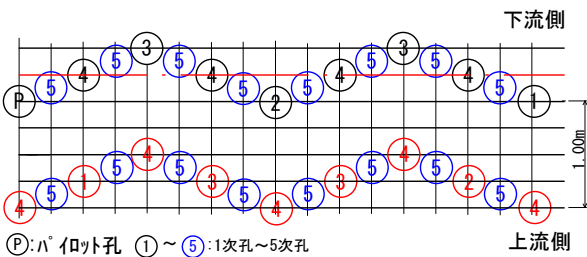


図5-4 複列化案

(3) 対策方法の決定

複列化案は、孔配置の複列化によって改良目標値の緩和を図れるが、河床難改良部は改良効率が悪いいためすべての5次孔が必要と想定されるため、高コストであるとともに工程が長くなる。

これに対して、先行補助孔案は、補助孔の数量は複列化案と同程度となるが補助孔を4次孔の前に配孔することにより、上下流に厚み(幅0.75m)を一体にもたせ5次孔の改良効果を高めることが期待出来る。

以上のことにより、試験湛水開始までの工程及び確実性を考慮し、先行補助孔案を採用した。

6. 対策後の評価

(1) 河床高透水部の対策結果

① 改良判定

下流ストッパー孔施工範囲は、規定孔(2次孔)の施工までで、ほとんどの箇所でも所要の改良目標値を満足した。また、F-8断層沿い及び部分的に追加孔を施工することより、所定の完了基準を満足するに至った。河床高透水部を含む河床部(10Lu範囲)の85%非超過確率は2.12Luであり、所要の改良目標に到達したものと判断できる。河床部(10Lu範囲)の施工結果を図6-1に示す。

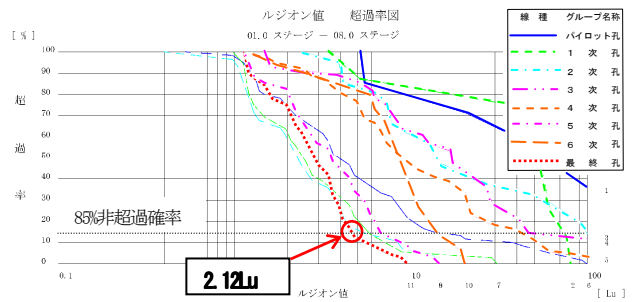


図6-1 河床部施工結果(10Lu範囲)

(2) 河床難改良部の対策結果

① 改良判定

追加補助孔の施工を改良状況を確認しながら進めた結果、局部的に20Lu以上の箇所が出現したがほとんどの箇所でも5Lu以下であった。局部的に6次孔を施工することより、所定の完了基準を満足するに至った。河床難改良部全体の85%非超過確率は4.66Luであり、所要の改良目標に到達したものと判断できる。河床難改良部の施工結果を図6-2に示す。

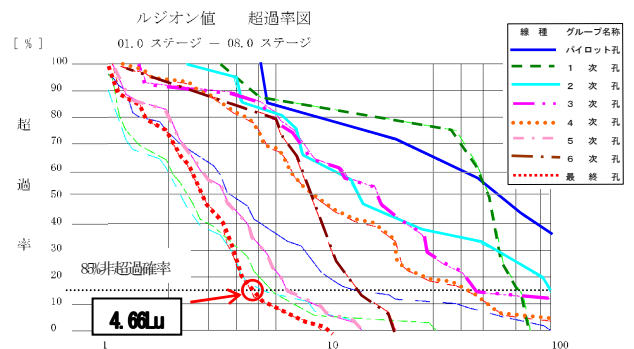


図6-2 河床難改良部施工結果

③ コスト

河床難改良部の施工結果に基づき、工事コストについて検証した。工事費の比較を表6-3に示す。先行補助孔案の工事費は実績である。複列化案は、先行補助孔案の先行補助孔と1次孔～4次孔までは同額であるが、改良目標値の緩和を考えるとすべての5次孔が必要と考えられ、先行補助孔案より工事費が高額となる。

表6-3 工事費比較表

(金額:千円)

| | 単位 | 補助孔案 | | 複列化案 | |
|-------|----|------|--------|------|--------|
| | | 数量 | 金額(千円) | 数量 | 金額(千円) |
| 規定孔 | 孔 | 11 | 14,100 | 11 | 14,100 |
| 4次孔 | 孔 | 10 | 9,700 | 10 | 9,700 |
| 補助孔 | 孔 | 18 | 10,700 | | |
| 複列規定孔 | 孔 | | | 18 | 10,700 |
| 5次孔 | 孔 | 7 | 3,500 | 32 | 14,900 |
| 6次孔 | 孔 | 4 | 1,700 | | |
| 合計 | | | 39,700 | | 49,400 |

④ 改良効果

試験湛水を開始し、開始後のデータに異常漏水がない。さらに、堤体中央部NO.6測線の基礎地盤下15m付近の間隙水圧計(図6-4)で、貯水位はEL194.5m(サーチャージ水位)での河床難改良部付近のカーテンライン挟んで上流側のP3は0.5MPa、下流側のP-4・P-5は0.35MPa程度を示しており、上下流の浸透圧差から遮水効果が発現(図6-5)していることが認められる。

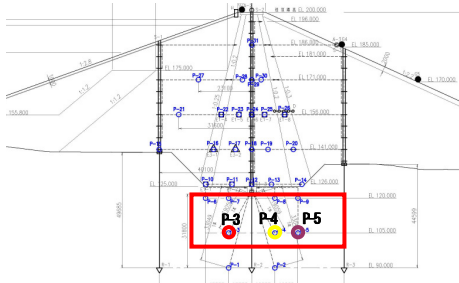


図6-4 間隙水圧計位置図

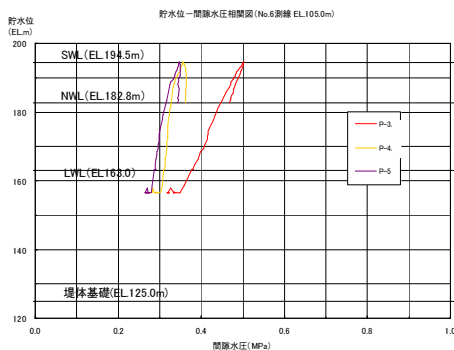


図6-5 貯水位-間隙水圧相関図

(3) 評価

① 河床高透水路部

カーテングラウチング施工前に下流ストッパー孔を施

工したことにより、ほとんどの箇所において規定孔で改良目標値を満足した。下流ストッパー孔の施工により河床高透水部の改良ができ、河床高透水部の工期短縮に寄与したと考えている。

② 河床難改良部

難改良箇所以外の高透水箇所については、1次、2次、3次孔と順に改良を行っていけば、Lu値は低減しそのほとんどが、4次孔(最大は5次孔)で所定の完了基準を満足した。本施工は難改良箇所に限定して施工したことが工事費低減に寄与したと考えている。

カーテングラウチングは、ダム本体施工後に追従して施工するため、カーテングラウチングの進捗は試験湛水開始の工程に大きく影響する。本案件ではコスト、工程を勘案して確実性のある改良工法を選定し施工したと考える。その結果、計画通り平成23年度に試験湛水を開始しすることができた。

7. 終わりに

調査時点で、高透水と判定されカーテングラウチン施工前に下流ストッパー孔を施工した河床高透水路部は、ほとんどの箇所において、規定孔で改良目標値を満足し、下流ストッパー孔による事前対策の効果と考えられる。

一方、調査ボーリング等から河床浅部の安山岩は低透水と判定され、改良困難と想定されていなかったが、堤体工事の進捗に追従してカーテングラウチングの施工を進める必要があり、工程を確保しつつ難改良箇所を含む改良方法を決定する必要があった。

注入効果等を含む地質特性を調査時点で把握して、工程確保と地質特性に合わせた改良方法を両立する具体的な検討が重要であるといえるが、地質全体を詳細に把握することは、調査コストからみて現実的でない。

局所的な難改良箇所の施工事例は文献として記録される事例も少ない。割目に粘土を介在した基礎地盤の改良事例として今後の施工の参考としていただきたい。

参考文献

- 1) 財団法人 国土技術研究センター:「ガウチング」技術指針・同解説