

最終次数孔とチェック孔による カーテングラウチングの改良効果判定の比較

COMPARISON OF EFFECT EVALUATIONS OF CURTAIN GROUTING BY FINAL-ORDER HOLES AND CHECK HOLES

山口嘉一*・佐藤弘行**・阿部智彦***

Yoshikazu YAMAGUCHI, Hiroyuki SATOH and Tomohiko ABE

Curtain grouting is constructed for the purpose of improving in water-tightness of dam rock foundations. The evaluation of the improvement effect of curtain grouting was made using the results of the final-order holes and check holes at four existing dams. In this paper, the results were analyzed considering the geology of the dam rock foundations, virgin permeability, the tendency of improvement due to the progress of order and the frequency distribution of Lugeon value. We compared the improvement effect by the final-order holes and that by check holes, and we discussed the possibility of omission of check holes.

Key Words : dam foundation, curtain grouting, final-order holes, check holes

1. はじめに

ダムの基礎地盤とリム部の地盤では、遮水性を改良することを目的として孔長の比較的長いカーテングラウチングが施工される¹⁾。カーテングラウチングは、前次数孔の中間にその次の次数孔を施工する中央内挿法¹⁾に従って、順次ルジオン値を指標として改良効果を確認しながら施工される。改良効果の判定方法として、最終次数孔による改良効果の判定^{1), 2)}に加え、さらにサンプリング検査として位置づけられるチェック孔による効果確認が行われており、チェック孔にはダブルチェックの意味合いがあると考えられる。

本研究では、既設ダムのカーテングラウチングの実績データを用い、対象地盤の地質状況や初期透水性、次数進行に伴う改良傾向、ルジオン値データの頻度分布等の分析を行った。そして、その分析結果を基に最終次数孔による効果判定結果とチェック孔による効果判定結果の比較を行い、チェック孔の位置づけについて考察を行った。なお、「グラウチング技術指針・同解説」は 2003 年 5 月に改訂されている¹⁾が、本論文における分析に用いた実績データは、改訂前の指針に従って施工されたものである。指針の改訂に伴い、カーテングラウチングの規定孔次数の 2 次孔化や直前次数の注入効果の考慮などが積極的に取り入れられており、改訂前の指針に従ったデータの分析、評価にあたっては、このような指針改訂に伴う施工方針の変化も踏まえた。

2. 検討対象ダムの諸元とカーテングラウチングの注入仕様

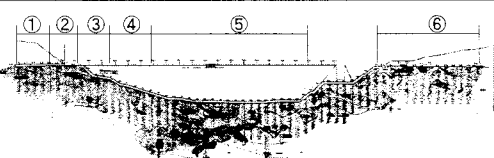
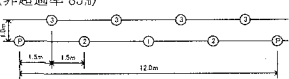
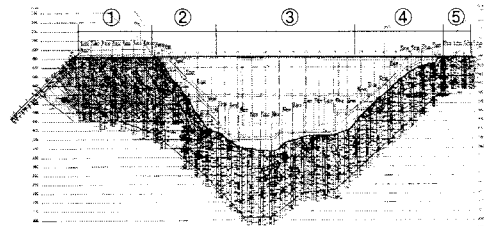
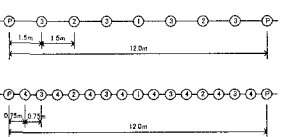
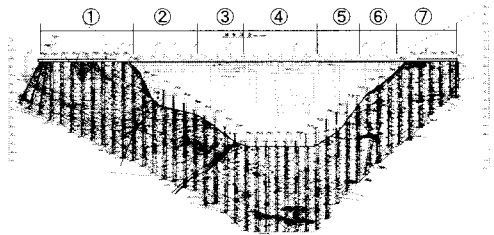
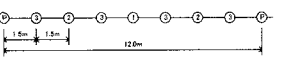
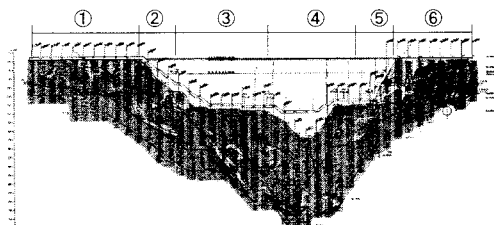
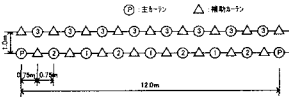
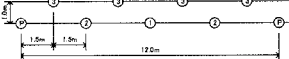
本研究では、既設 4 ダムのカーテングラウチングの実績データを用いて、最終次数孔とチェック孔による改良効果の比較検討を行った。これらのダムの諸元を表-1 に示す。また比較を行うにあたって、それぞれのダムについて初期透水性や規定孔の配孔等を考慮したゾーン区分を行い、ゾーン毎に比較検討を行った。これらのダムのゾーン区分、規定孔の配孔および改良目標値を表-2 に示す。

表-1 ダム諸元一覧

ダム名	Aダム	Bダム	Cダム	Dダム
型式	中央コア型 ロックフィルダム	重力式 コンクリートダム	重力式 コンクリートダム	重力式 コンクリートダム
堤高	57.0 m	109.0 m	100.0 m	97.0 m
堤長	390.0 m	308.0 m	315.0 m	190.0 m
堤体積	1,889,000 m ³	960,000 m ³	1,030,000 m ³	510,000 m ³
地質	新生代第四紀 熔結凝灰岩	中生代白亜紀 砂岩、粘板岩	中生代白亜紀 砂岩、粘板岩	中生代ジュラ紀 花崗閃緑岩

* 正会員 工博 独立行政法人土木研究所 水工研究グループ ダム構造物チーム 上席研究員 (チームリーダー)
** 正会員 工修 独立行政法人土木研究所 水工研究グループ ダム構造物チーム 研究員
*** 正会員 独立行政法人土木研究所 水工研究グループ ダム構造物チーム 交流研究員

表－2 ゾーン区分および配孔

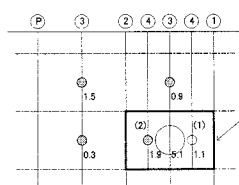
ダム名	ゾーン区分	改良目標値および配孔
Aダム		改良目標値：5 Lu (非超過率 85%) 孔配置：(①～⑥)*  *ただし、①および④では3次孔を追加孔扱いとし、設計2次孔で施工している。 補助カーテン：なし
Bダム		改良目標値：2 Lu (非超過率 85%) 孔配置：(①～④)*  補助カーテン：①、⑤なし、②～④あり (主カーテンは監査廊、補助カーテンは上流フーチングから施工) *②～④の深部(7st以深)では3次孔を追加孔扱いとし、設計2次孔で施工している
Cダム		改良目標値：2 Lu (非超過率 85%) 孔配置：(①～⑦)  補助カーテン：①、⑦なし、②～⑥あり (主カーテンは監査廊、補助カーテンは上流フーチングから施工)
Dダム		改良目標値：2 Lu (非超過率：①～③→100%、④～⑥→90%) 孔配置：(①～③)  孔配置：(④～⑥)  補助カーテン：①～③あり、④～⑥なし

3. 最終次数孔の考え方^{1),2)}

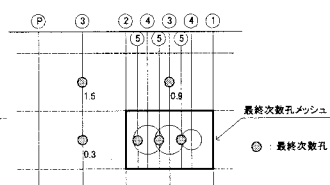
カーテングラウチングの改良効果は、通常、最終次数孔において改良目標値の非超過確率が85～90%以上であることを持って判断されている。なお、規定孔は施工範囲

全体に等間隔に配置されるため、規定孔での非超過確率による評価は施工範囲全体の評価と考えることができるが、追加孔は追加基準に該当する箇所にしか施工しないため、追加孔だけを対象に統計処理を行った場合には規定孔とは対象範囲が異なる。そのため、追加孔次数における非超過確率を求める場合には、既に完了判定をしている規定孔や最終次数直前の次数までの追加孔データも踏まえて、施工範囲全体の評価を行う必要があり、このような方法により統計処理を行う対象となる孔を最終次数孔と呼ぶ¹⁾。

最終次数孔の抽出方法は、ダムにより異なるが、通常設計最終次数孔を中心とし、両側の前次数までの孔とステージ境界で区切られるメッシュを最終次数孔メッシュとし、このメッシュの中で最後に施工した孔を最終次数孔としている。本研究で検討を行った4つのダムの内、A、C、Dダムでは、図－1に示すように、メッシュ内



図－1 最終次数孔の判定模式図
(1つのメッシュ内で1孔)



図－2 最終次数孔の判定模式図
(1つのメッシュ内で複数孔)

で施工した最後の孔、1孔のみを最終次数孔とし、Bダムでは図-2に示すように、メッシュ内で最後に施工した次数の孔、全てを最終次数孔としている。

表-3 パターン区分

4. 最終次数孔とチェック孔の比較検討

検討対象とした4ダムについて、ゾーンごとに初期透水性や改良傾向の分析を行い、最終次数孔とチェック孔による改良効果判定の比較を行った。その結果を基に、

	パターンⅠ	パターンⅡ	パターンⅢ	パターンⅣ
初期透水性	比較的小さい	比較的大きい	比較的小さい	比較的大きい
最終次数孔とチェック孔の比較	チェック孔が小さい	チェック孔が小さい	チェック孔が大きい	チェック孔が大きい
ゾーン区分	Aダム ①, ③ Bダム ②, ③, ④ Cダム ④, ⑤ Dダム ③, ④	Aダム ⑤, ⑥ Bダム ①浅部, ⑤ Cダム ①, ②, ③ ⑥, ⑦ Dダム ①, ② ③, ⑥	Aダム ②, ④	Bダム ①深部

特に各ゾーンの初期透水性と、最終次数孔とチェック孔の比較結果に着目し、表-3に示すように、4つのパターンに分類した。分類するにあたり、初期透水性については概ねルジオン値の非超過率85%値で10Lu程度を基準とし、高透水分布の広がり等も考慮して決めた。最終次数孔とチェック孔の比較については、単純な平均値等の大小だけでなく、特に改良目標値を上回る範囲における分布や超過率等も考慮して判断した。以下、これらのパターンごとに、検討結果の詳細を示す。

4. 1 パターンⅠ

このパターンは比較的初期透水性が低く、最終次数孔とチェック孔のルジオン値の比較においても、それほど違いが見られないか、チェック孔のルジオン値が小さくなるパターンである。

図-3にBダムのゾーン③深部における、超過率図を示す。Bダムのゾーン③深部は、初期から極めて低透水で、パイロット孔からセメント注入量也非常に少なく、最終次数孔、チェック孔に至るまで、ルジオン値の分布がほとんど変わらない。

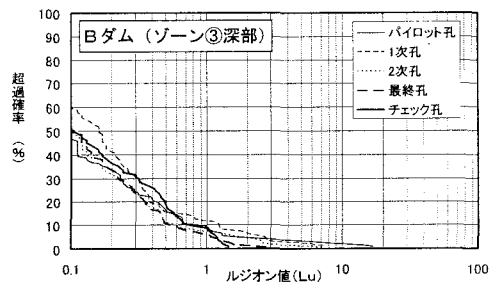


図-3 超過率図 (パターンⅠ)

4. 2 パターンⅡ

このパターンは比較的初期透水性は高いが、最終次数孔とチェック孔のルジオン値の比較において、それほど違いが見られないか、チェック孔のルジオン値が小さくなるパターンである。

図-4にCダムのゾーン③における超過率図を示す。このゾーンでは、パイロット孔の透水性は非常に高いが最終次数孔に至るまで次数低減に伴う改良傾向が明瞭に見られ、最終次数孔とチェック孔の比較では、改良目標値 2Lu よりもルジオン値のかなり小さい範囲で若干チェック孔のルジオン値が大きくなっているものの、ルジオン値の大きい側ではチェック孔が下回っている。

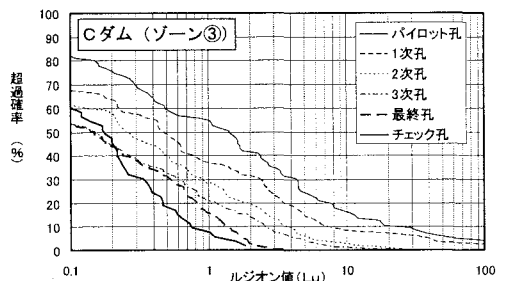


図-4 超過率図 (パターンⅡ)

図-5は、Cダムのゾーン③における、n次孔に対する隣接n+1次孔のルジオン値の関係を示したものである。この図を見ると、次数進行に伴い、次第に分散が小さくなり、データ分布の範囲が1対1の対応関係周辺か

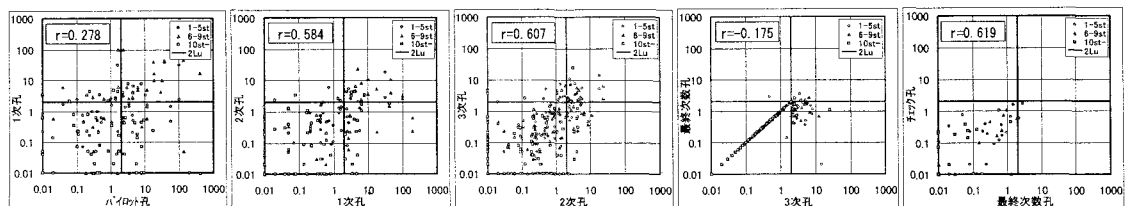


図-5 n次孔に対するn+1次孔のルジオン値 (Cダム ゾーン③)

(r=相関係数)

らその下のほうへと移っており、また最終次数孔とチェック孔では相関も比較的高くなっている。なお、3次孔と最終次数孔のグラフで1対1の直線上に並ぶデータは、追加孔を施工しなかったために、最終次数孔=3次孔となったデータである。また、グラフ中にn次孔とn+1次孔の相関係数rを示すが、特に3次孔と最終次数孔については、最終次数孔=3次孔となったデータを省いて算出している。

4. 3 パターンⅢ

このパターンは比較的初期透水性は低いが、最終次数孔に比較しチェック孔のルジオン値が大きくなるパターンである。

パターンⅢに該当するAダムのゾーン②および④の超過率図を図-6に示す。ゾーン②は、初期透水性は比較的低く、低減傾向も見られ、最終次数孔で改良目標値(Aダムは5Lu)を下回っている。しかし、最終次数孔とチェック孔のデータを比較すると、超過率図を見てもわかるように2Luより小さい範囲では、ほぼ同様の値を示しているが、2Luを超えると、ルジオン値が大きくなるにつれて、最終次数孔がチェック孔に比較し大きくなり、その差も広がる傾向が見られる。

ゾーン④は初期透水性が低く、パイロット孔ですでに多くのデータが改良目標値を下回っている。パイロット孔から最終次数孔に至るまで次数進行に伴うルジオン値の低減傾向見られず、最終次数孔とチェック孔の比較では、1Luを越えるあたりからチェック孔のルジオン値が大きくなっている。

次に、両ゾーンにおける改良目標値 5Lu を超えるデータの発生箇所について考察する。

図-7および図-8は、ゾーン②および④周辺における初期透水性分布図にあたるパイロット孔によるルジオンマップにチェック孔のルジオン値分布を重ね合わせた図である。

ゾーン②では、チェック孔で改良目標値を超えたデータは28データ中2データ(7%)と、比率としては大きくはない。図-7より、改良目標値を超過した2つのデータはいずれも左岸リムトンネル坑口付近の浅部で初期透水性が比較的高かった箇所が発生しており、値は10.17Luおよび8.58Luとなっている。また、これらのデータに隣接するステージにおいても、改良目標値よりは小さいものの、4~5Lu程度の比較的大きなデータが発生している。

ゾーン④については、チェック孔で改良目標値を超えたデータは40データ中4データ(10%)とゾーン②に比較するとその比率は若干高くなっている。図-8より、改良目標値を超過した4つのデータは一箇所にとまって発生していることがわかる。この箇所は、ゾーン④は全体的にパイロット孔でほとんどのデータが2Lu以下を示す中で、5~10Luと比較的透水性の高かった箇所である。また、このゾーン④は初期透水性が極めて低いことから、3次孔を省略し、規定孔間隔3.0mで施工されている。このことから若干透水性の高い部分が見逃されてしまったことが考えられる。しかし、これらのデータはいずれも6Lu

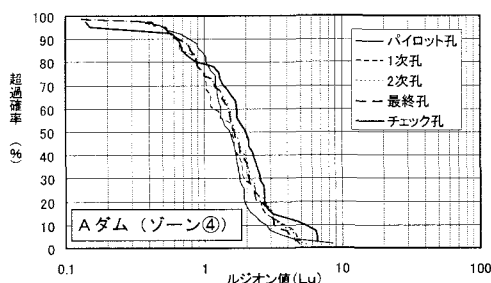
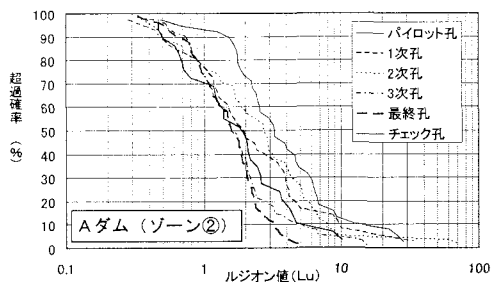


図-6 超過率図 (パターンⅢ)

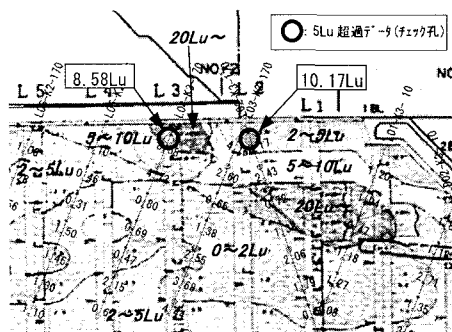


図-7 ゾーン②の5Lu 超過データ発生位置

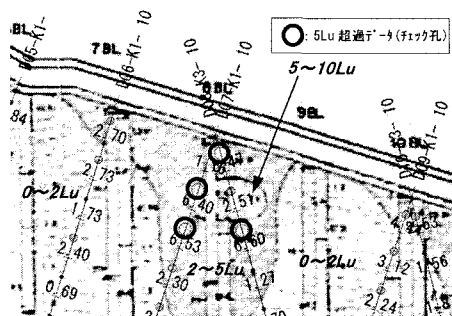


図-8 ゾーン④の5Lu 超過データ発生位置

程度と、改良目標値に比較しそれほど高くはなく、浸透の問題となるような値ではない。

これらの結果から、そのゾーンが全体として低透水であると、おそらく注入もあまり入らないため、局所的に高透水ゾーンがあった場合、改良しきれずに見逃す可能性があることがわかった。しかし、見逃されたとしても、ごく局所的な狭い範囲でもあり、通常問題はないと考えられる。

4. 4 パターンⅣ

このパターンは初期透水性は比較的高く、最終次数孔に比較しチェック孔のルジオン値が大きくなるというパターンである。このパターンに該当するゾーンは、Bダムのゾーン①深部だけであった。以下、このゾーンについて詳細に検討を行う。

図-9および図-10にBダムのゾーン①の浅部（1～6ステージ）および深部（7ステージ以深）の超過率図を示す。ゾーン①の初期透水性は、浅部において特に高く、低減傾向は見られるが、規定最終次数孔の3次孔においても非超過率85%値で5Luを超え、追加孔も大量に発生し、最終的に6次孔まで施工している。ゾーン①深部は浅部ほどではないが、初期から高透水を示し、浅部ほど多くの追加孔は発生しなかったが、浅部と同様最終的に6次孔まで施工している。なお、このゾーンでは浅部、深部ともに改良が進まないため4次孔もしくは5次孔から超微粒子セメントを使用し、注入を行っている。

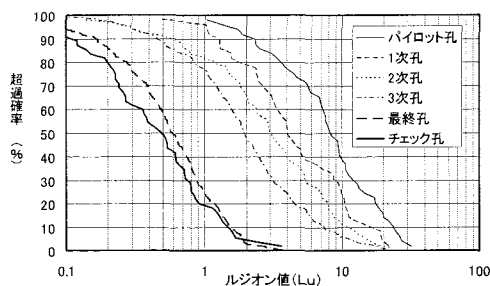


図-9 超過率図（Bダム ゾーン①浅部）

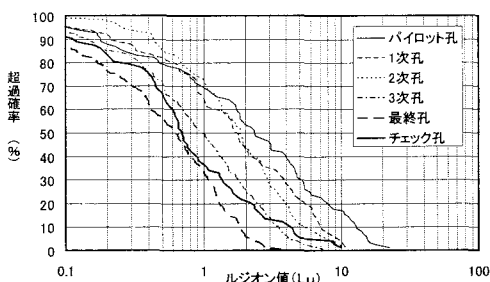


図-10 超過率図（Bダム ゾーン①深部）

ゾーン①の浅部と深部の超過率図をみると、浅部のほうがパイロット孔の透水性が高く、最終次数孔とチェック孔を比較すると、チェック孔のほうのルジオン値が小さくなっている。それに対し、深部では、パイロット孔の透水性は浅部ほどは高くないが、最終次数孔とチェック孔の比較ではチェック孔のルジオン値のほうが大きくなっている。改良目標値を超過したデータの比率を比較すると、浅部は4%（2/54）、深部は21%（15/72）と、特に深部において非常に高くなっている。この違いについて詳細に検討を行った。

図-11はゾーン①において3次孔のルジオン値分布にチェック孔のルジオン値分布を重ね合わせたものである。3次孔は隣接前次数孔とステージを境界とした矩形の色で、チェック孔は円のサイズと色でルジオン値を表している。またチェック孔の円の下には実際の値を示した。この図によると、チェック孔において改良目標値2Luを超過したデータの多くは3次孔において2Lu以上のデータの周辺で発生している。

図-12は3次孔を中心としたメッシュ内の総単位注入セメント量の分布にルジオン値分布を重ね合わせたものである。総単位注入セメント量とは、そのメッシュ内におけるパイロット孔から最終次数孔までのすべての孔の単位注入セメント量を合計したものである。メッシュ境界部の孔については、半分の値を両脇のメッシュに足している。この図を見ると、チェック孔で2Luを越えるデータは、一部例外はあるが、概ね比較的少注入の箇所が発生していることがわかる。

図-13は追加孔とチェック孔のルジオン値分布を重ね合わせたものである。この図を見ると、浅部は非常に追加孔の施工密度が高くなっている。この理由として、初期透水性が深部に比較し浅部のほうが高いことのほかに、このダムでは追加孔を施工する際、当該ステージだけでなくその浅部についても全て注入を行うため、特に浅部において施工密度が高くなっていることが考えられる。チェック孔で2Luを超過するデータの発生した箇所について見ると、比較的追加孔の施工密度の少ない箇所もしくは、追加孔を施工していない箇所で、多く発生していることがわかる。

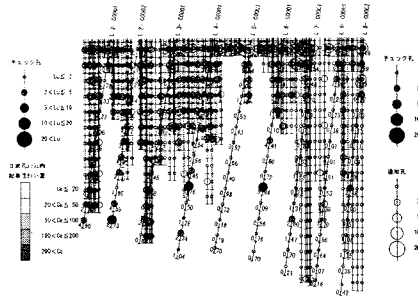
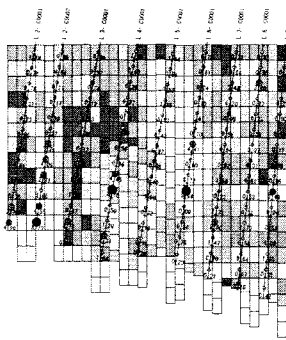
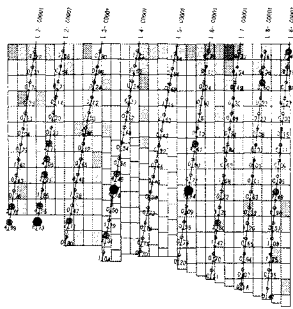


図-11 3次孔 Lu 値とチェック孔 Lu 値 図-12 総単注セメント量とチェック孔 Lu 値 図-13 追加孔とチェック孔 Lu 値

以上、ゾーン①においてチェック孔で改良目標値を超過したデータについてまとめると、ルジオン値のわりに、注入量の少ない箇所つまり、比較的改良の進みにくい箇所や、3次孔の結果が良く追加孔が発生していなくても、比較的少注入あった箇所でも改良目標値を超過するデータが発生していた。

また、この他にも、初期透水性や地質、岩級区分による比較も行ったが、それらからはチェック孔で改良目標値を超過した箇所について特徴は見られなかった。なお、本研究ではパイロット孔のボーリングコア等による、亀裂の方向や風化の度合い等の詳細な検討は行っていないが、これらの検討により、何らかの特徴が得られる可能性はある。

5. まとめ

本研究では、既設のダムのカートングラウチング実績データを用い、最終次数孔による効果判定結果とチェック孔による効果判定結果の比較を行った。旧グラウチング施工指針により施工されたダムにおいては、一部で最終次数孔に比較しチェック孔のほうが大きくなる場合があった。そのデータについて分析したところ、3次孔で高いルジオン値が発生した箇所やルジオン値に比較し注入量が少なく改良が進まない箇所でも改良目標値を上回るデータが発生し、また、低透水少注入であっても局所的に改良目標値を上回るようなデータが発生することがわかった。しかし、ほとんどのゾーンでは最終次数孔に比較しチェック孔のデータは同等かもしくは小さくなる結果であった。また、チェック孔における高透水データが、ある程度広がりを持ったゾーンとして存在する場合は注意が必要であるが、局所的に発生し、連続性が認められない場合は問題はないと考えられ、初期透水性や改良傾向等について十分な検討を行うことでチェック孔を省略できる可能性があることがわかった。また、本研究において初期透水性や地質区分図、岩級区分図をもとにした検討も行ったが、パイロット孔のボーリングコア等による、亀裂の方向や風化の度合い等の詳細な検討は行っていない。各現場においてこれらの地質の詳細な検討を行うことにより、チェック孔が必要であると考えられる箇所はさらに絞り込められると思われる。

現在施工されているダムは、グラウチング技術指針の改訂により、カートングラウチングにおいて規定孔次数の2次孔化や直前次数の注入効果の考慮などが積極的に取り入れられており、単純に本研究の結果を当てはめるのは難しい。しかし、それぞれの現場で初期透水性や地質、改良傾向等を詳細に検討することにより、チェック孔を省略することは可能であると考えられる。今後は、さらに多くの既設ダムのグラウチングデータを用いて分析を行い、チェック孔省略のための具体的な指標等も見出せるよう、研究を進めて行きたい。

参考文献

- 1) (財)国土技術研究センター編集：グラウチング技術指針・同解説、大成出版社、2003。
- 2) 佐藤弘行・山口嘉一：主透水経路の形成過程を考慮したブランケットグラウチング効果の合理的評価、ダム技術、No. 174、pp. 24-31、2001。