

◆ 報 文 ◆

カーテングラウチングのチェック孔省略に関する検討

山口嘉一* 佐藤弘行** 阿部智彦*** 西岡正浩****

1. はじめに

ダム基礎岩盤とリム部の地盤の遮水性を改良することを目的として実施する孔長の比較的長いグラウチングをカーテングラウチングという¹⁾。カーテングラウチングは図-1に示ように中央内挿法¹⁾に従い実施する。中央内挿法では、隣接する前次数までの孔の中間に新たな孔を実施するため、施工の進捗に伴い各次数孔のルジオン値や単位注入セメント量を比較することにより、地盤の遮水性の改良効果を確認できる工法である。カーテングラウチングの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、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いる。そのため、チェック孔にはダブルチェックの意味合いがある。

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、チェック孔の省略可能性について考察した。

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

計画段階において改良目標値に達するまでに必要と想定された次数までの孔を規定孔というが、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、初期透水性や規定孔の配置等を考慮してゾーン区分を行い、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。検討対象ダムの諸元を表-1に示し、ゾーン区分、規定孔の配置および改良目標値を表-2に示す。

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%以上であることをもって判断されている。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

表-1 検討対象ダムの諸元一覧

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	57.0m	109.0m	100.0m	97.0m
堤頂長	390.0m	308.0m	315.0m	190.0m
堤体積	1,889,000m ³	960,000m ³	1,030,000m ³	510,000m 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

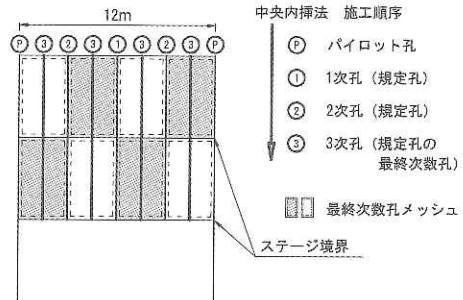
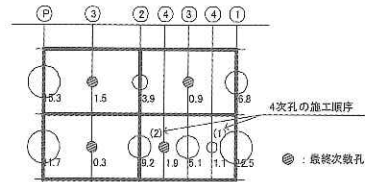
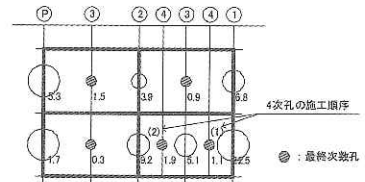


図-1 中央内挿法・規定孔・最終次数孔メッシュの模式図



(a) 1つのメッシュ内に1孔存在する場合



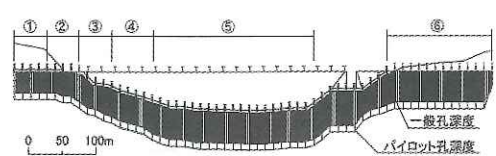
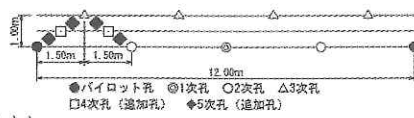
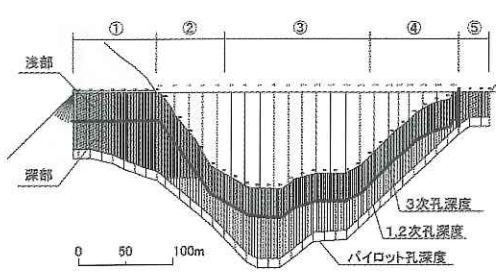
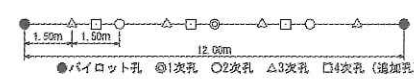
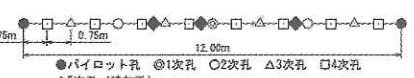
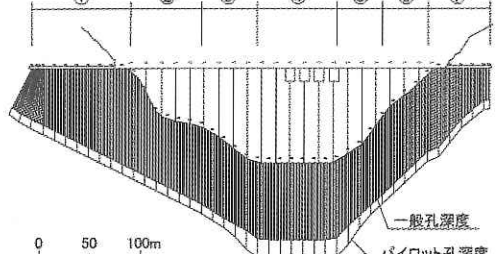
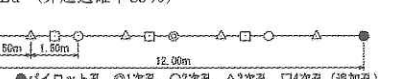
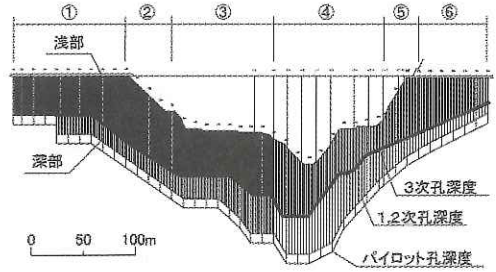


(b) 1つのメッシュ内に複数孔存在する場合

図-2 最終次数孔の判定模式図

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は施工しないため、追加孔だけを対象に統計処理を行う場合には、規定孔とは対象範囲が異なる。そのため、追加孔回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

Investigation of Omission of Check Holes for Curtain Grouting

表-2 検討対象ダムのゾーン区分および孔配置

ダム名	ゾーン区分	改良目標値および孔配置
A ダム		<p>改良目標値：5Lu（非超過確率85%）</p> <p>孔配置： ①～⑥*</p>  <p>●パイロット孔 ◎1次孔 ○2次孔 △3次孔 □4次孔（追加孔） ◆5次孔（追加孔）</p> <p>補助カーテン：なし *ただし、ゾーン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。</p>
B ダム		<p>改良目標値：2Lu（非超過確率85%）</p> <p>孔配置： ①～④*</p>  <p>●パイロット孔 ◎1次孔 ○2次孔 △3次孔 □4次孔（追加孔）</p> <p>孔配置： ⑤</p>  <p>●パイロット孔 ◎1次孔 ○2次孔 △3次孔 □4次孔 ◆5次孔（追加孔）</p> <p>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</p>
C ダム		<p>改良目標値：2Lu（非超過確率85%）</p> <p>孔配置： ①～⑦</p>  <p>●パイロット孔 ◎1次孔 ○2次孔 △3次孔 □4次孔（追加孔）</p> <p>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）</p>
D ダム		<p>改良目標値：2Lu（非超過確率：①～③→100%、④～⑥→90%）</p> <p>孔配置： ①～③</p>  <p>●パイロット孔 ◎1次孔 ○2次孔 △3次孔 □4次孔（追加孔） ▼補助カーテン</p> <p>孔配置： ④～⑥</p>  <p>●パイロット孔 ◎1次孔 ○2次孔 △3次孔 □4次孔（追加孔）</p> <p>補助カーテン：①～③あり、④～⑥なし</p>

う必要がある。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若干異なるが、通常規定孔の最終次数孔を中心とし、両側の前次数までの孔と同一ステージ境界で区切られる範囲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。最終次数孔メッシュを図-1に示す。

本研究で検討を行った4つのダムのうち、A、

C、Dダムでは、図-2 (a) に示すように、メッシュ内で施工した最後の1孔のみを最終次数孔としているが、Bダムでは図-2 (b) 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。しかし、統計処理上、この2つの方法による差は、比較的小さいと考えられる。

表-3 パターン区分

パターン分類	初期透水性	最終次数孔とチェック孔の透水性の比較	ゾーン区分
パターンⅠ	比較的低い	チェック孔が小さい	Aダム①, ③ Bダム②, ③, ④ Cダム④, ⑤ Dダム③, ④
パターンⅡ	比較の高い	チェック孔が小さい	Aダム⑤, ⑥ Bダム①浅部, ⑤ Cダム①, ②, ③⑥, ⑦ Dダム①, ②⑤, ⑥
パターンⅢ	比較的低い	チェック孔が大きい	Aダム②, ④
パターンⅣ	比較の高い	チェック孔が大きい	Bダム①深部

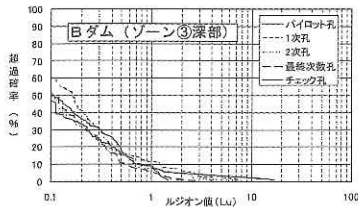


図-3 超過確率図 (パターンⅠ)

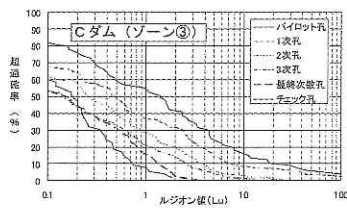


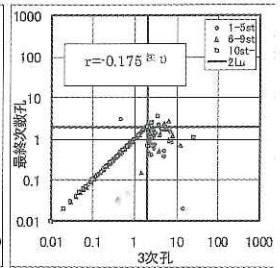
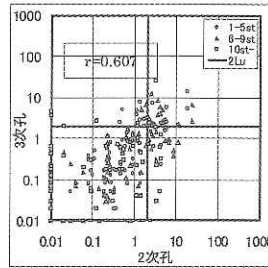
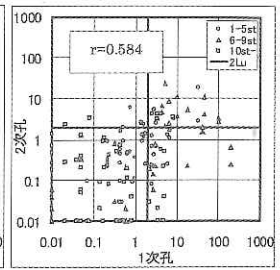
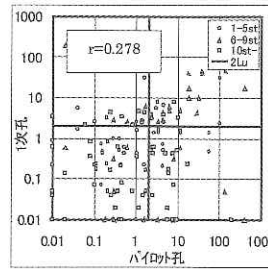
図-4 超過確率図 (パターンⅡ)

4. 最終次数孔とチェック孔の透水性の比較検討

検討対象とした4ダムについて、各ゾーンの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、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、ゾーンの特徴を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確率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透水性の比較については、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確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

このパターンは初期透水性が比較的低く、最終次数孔のルジオン値に比較し、チェック孔のルジオン値のほうが小さくなるか、それほど違いが見られないため、チェック孔の省略が可能と考えられるパターンである。



注1) 3次孔と最終次数孔の図については、最終次数孔が3次孔であるデータを省いて算出している。

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)

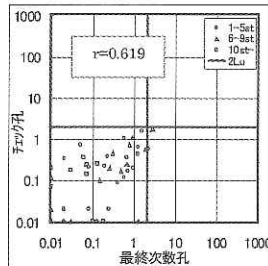


図-3にBダムのゾーン③深部における超過確率図を示す。このゾーンは初期から透水性が極めて低く、パイロット孔の段階から少注入のため改良が進まず、最終次数孔、チェック孔に至るまでルジオン値の分布がほとんど変わらない。

4.2 パターンⅡ

このパターンは初期透水性が比較的高く、チェック孔のルジオン値が、最終次数孔のルジオン値より小さくなるか、それほど違いが見られないため、チェック孔の省略が可能と考えられるパターンである。

図-4にCダムのゾーン③における超過確率図を示す。このゾーン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いルジオン値の低減傾向が明瞭に見られる。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-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の対応関係周辺からその下のほうへと

移っている。また、最終次数孔とチェック孔では相関係数が他の相関係数よりも比較的高くなっている。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、追加孔を施工していないために、最終次数孔が3次孔となったデータである。グラフ中にはn次孔と(n+1)次孔の相関係数rを示す(注1)。

4.3 パターンⅢ

このパターンは、初期透水性は比較的低いが、最終次数孔のルジオン値に比較し、チェック孔のルジオン値のほうが大きくなり、逆転してしまうパターンである。このパターンでは、チェック孔の省略には注意が必要であるが可能と考えられる。

Aダムのゾーン②および④の超過確率図を図-6に示す。ゾーン②は、初期透水性が比較的低く、低減傾向も見られ、最終次数孔のルジオン値が改良目標値(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ルジオン値を比較すると、超過確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、チェック孔のルジオン値が最終次数孔のルジオン値よりも大きくなり、ルジオン値が大きくなるにつれて、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(Aダムは5Lu)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は見られず、最終次数孔とチェック孔の比較では、1Luを超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く。

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。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%)あり、ゾーン②と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、

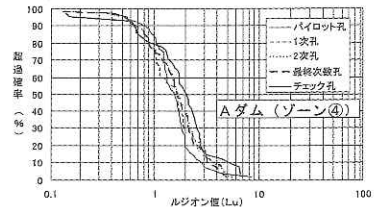
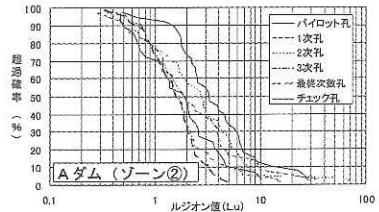


図-6 超過確率図 (パターンⅢ)

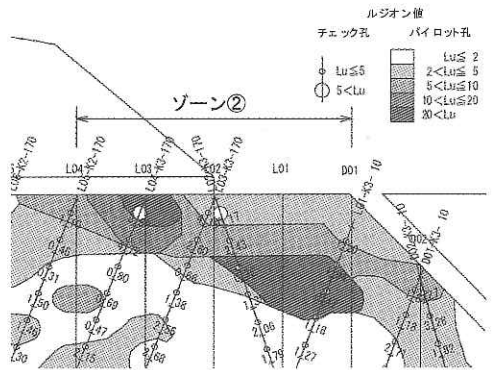


図-7 Aダム ゾーン②の5Lu超過データ発生位置

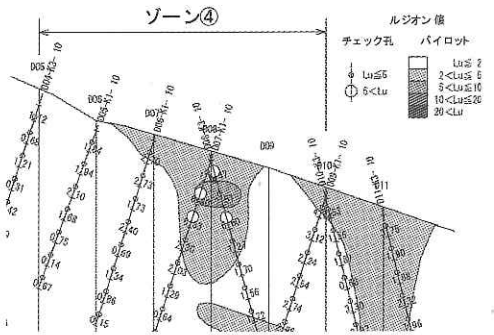


図-8 Aダム ゾーン④の5Lu超過データ発生位置

ゾーン④のパイロット孔のほとんどが、2Lu以下を示す中で、5~10Luと比較的透水性が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ため、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を見逃し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程度と、改良目標値と比較しても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、ゾーン④は全体として低透水かつ少注入のため、局所

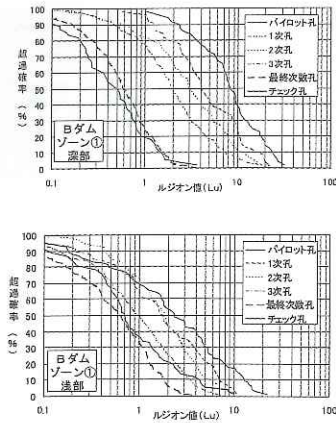


図-9 超過確率図 (パターンⅣ)

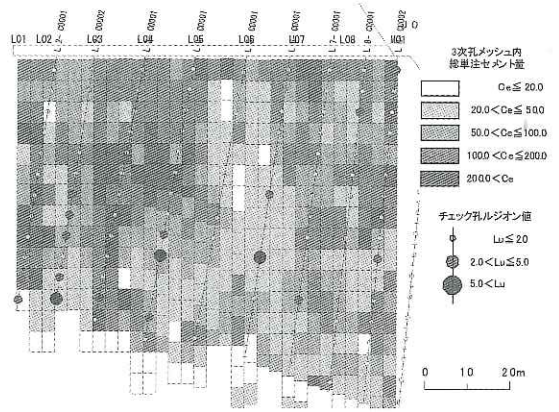


図-11 Bダム ゾーン①の総単注セメント量とチェック孔ルジオン値

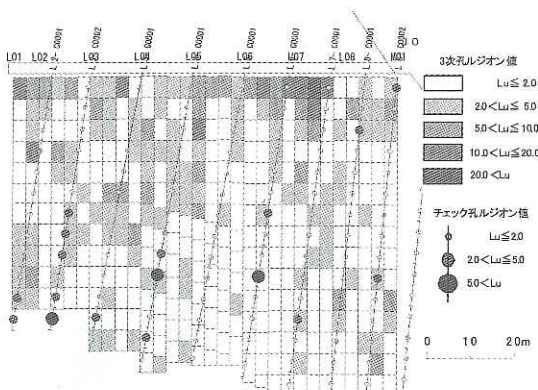


図-10 Bダム ゾーン①の3次孔ルジオン値とチェック孔ルジオン値

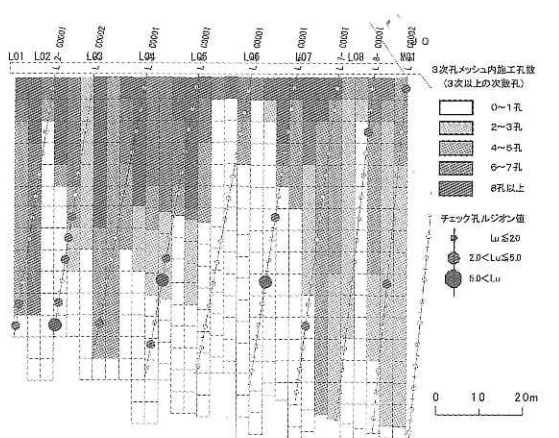


図-12 Bダム ゾーン①のメッシュ内施工孔数とチェック孔ルジオン値

的に高透水ゾーンを残していることがわかった。しかし、見逃したとしても局所的な狭い範囲であり、通常は問題ないと考えられる。

4.4 パターンⅣ

このパターンは初期透水性が高く、最終次数孔のルジオン値に比較してチェック孔のルジオン値が大きくなり逆転してしまうため、チェック孔の省略は難しいと考えられるパターンである。このパターンに該当するゾーンはBダムのゾーン①深部のみである。

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)の超過確率図を図-9に示す。ゾーン①浅部は、初期透水性が特に高く、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確率85%で5Luを超えていて、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、初期から高透水性を示し、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。ゾーン①の浅部と深部の超過確率図をみると、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、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-10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表し、チェック孔については円のサイズと色でルジオン値を表した。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以上のデータが発生した周辺で発生していること

がわかる。図-11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全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を超えるデータは、一部例外はあるが、比較的少注入の箇所が発生していることがわかる。図-12はメッシュ内の施工孔数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、浅部は深部よりも注入圧力が低くグラウトが遠くまで到達しにくいことなどが考えられるほか、実際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。チェック孔で2Luを超過するデータが発生した箇所について見ると、比較的追加孔の施工密度が低い箇所もしくは、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。Bダムゾーン①についてまとめると、チェック孔のルジオン値が改良目標値を超過したデータは、3次孔で2Lu以上が発生した箇所、ルジオン値のわりに比較的少注入の箇所、施工密度が低い箇所で発生していることがわかった。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、特徴は見られなかった。

5. まとめ

本研究では、旧グラウチング施工指針³⁾により施工された既設のダムのカーテ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。ほとんどのゾーンでは、最終次数孔のルジオン値

とチェック孔のルジオン値が同等か、小さくなる結果であったが、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ケースがあり、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、ルジオン値と比較して単位セメント注入量が少ない箇所で改良目標値を上回るデータが発生していた。また、低透水かつ少注入を示す地質であっても、チェック孔のルジオン値が局所的に改良目標値を上回るデータが発生する箇所が存在することもわかった。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チェック孔を省略しても問題ないと考えられ、基礎岩盤の初期透水性や地質状況、中央内挿法による改良傾向等を詳細に検討することにより、チェック孔の施工範囲を特定できる可能性があることがわかった。

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¹⁾により、カーテ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いるため、単純に本研究の結果を当てはめるのは難しいが、それぞれの現場において、チェック孔を必要とする範囲を特定することにより、より効率的な効果の判定ができると考えている。今後は、さらに多くの既設ダム、特に改訂グラウチング技術指針を適用したダムのグラウチングデータを分析し、さらなる研究を進めていきたい。

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、2003.7
- 2) 佐藤弘行・山口嘉一：主透水経路の形成過程を考慮したプ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, 2001.3
- 3) 建設省河川局開発課監修：グラウチング技術指針・同解説、(財)国土開発技術研究センター、1983.11

山口嘉一*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所水工研究グループダム構造物チーム上席研究員、工博
Dr. Yoshikazu YAMAGUCHI

佐藤弘行**



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所水工研究グループダム構造物チーム主任研究員、工修
Hiroyuki SATOH

阿部智彦***



日特建設(株)(前 独立行政法人土木研究所つくば中央研究所水工研究グループダム構造物チーム交流研究員)
Tomohiko ABE

西岡正浩****



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所水工研究グループダム構造物チーム交流研究員
Masahiro NISHIOKA