

ダム基礎カーテングラウチングのチェック孔の合理化に関する研究

山口 嘉一* 佐藤 弘行** 阿部 智彦***

Investigation on Rationalization of Check Holes of Curtain Grouting for Dam Foundations

Yoshikazu YAMAGUCHI, Hiroyuki SATOH and Tomohiko ABE

要 旨

ダムの基礎地盤では、遮水性を改良することを目的として孔長の長いカーテングラウチングが施工される。カーテングラウチングは、前の次数孔の間にその次の次数孔を施工する中央内挿法に従って、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。そして規定孔において改良目標値を満足できなかった箇所について、所定の追加孔施工基準により追加孔が施工され、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つて改良されたと判断される。通常この最終次数孔による改良効果の判定に加え、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おり、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、既設の9つのダムのカーテングラウチングの実績データを用い最終次数孔とチェック孔による改良効果の比較を行った。比較を行うにあたり、それぞれのダムについて初期透水性や規定孔の配置等を考慮したゾーン区分を行い、ゾーンごとに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、特に初期透水性と最終次数孔とチェック孔の改良効果判定の比較結果に着目し、4つのパターンに分類し、それぞれのパターンごとにチェック孔の省略の可能性について検討を行い、チェック孔の省略可能な条件について提案を行った。

キーワード：ダム基礎、カーテングラウチング、最終次数孔、チェック孔

Synopsis

Curtain grouting is constructed to improve the water-tightness of dam rock foundations to control underseepage. Curtain grouting is executed according to the split-spacing method, in which we construct the next order holes in the middle of the previous order holes. Then, the additional holes are constructed on the position, where we cannot meet the improvement target value in Lugeon value at the final-order of design holes according to the standard for the additional holes construction. And it is judged that it has been improved, when non-exceedance probability of the improvement target value is over 85 to 90% in the final-order holes. The improvement effect of curtain grouting is also evaluated by the check holes in addition to the final-order holes. This means that the check holes have significance as a double check.

In this paper, the evaluation of the improvement effect of curtain grouting is made using the results of the final-order holes and check holes at nine existing dams. We divide each dam foundation into several zones considering virgin permeability in particular and the layout of design grout holes. The results of curtain grouting are analyzed considering the geology of the dam foundations, virgin permeability, the tendency of improvement due to the progress of the order and the frequency distribution of Lugeon values in each zone. Then, it is classified into four patterns from the viewpoint of virgin permeability and of the results of comparing the improvement effect by the final-order holes and that by check holes, and we discuss the possibility of omission of check holes in each pattern.

Key Words: Dam Foundation, Curtain Grouting, Final-order Holes, Check Holes

* 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, 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 主任研究員, 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 元交流研究員 (現 日特建設株式会社)

目 次

1. はじめに	3
2. ダム基礎グラウチングに関する用語の説明	3
3. 最終次数孔とチェック孔による改良効果判定	4
3. 1 最終次数孔による改良効果判定	4
3. 2 チェック孔による改良効果判定	5
4. 検討対象ダム	5
4. 1 ダム諸元および地質概要	5
4. 2 初期透水性および改良傾向	5
5. 最終次数孔とチェック孔の結果の比較	6
5. 1 統計的検定の手法による比較	6
5. 2 超過確率図による比較	7
5. 3 2つの手法の適用性比較	7
6. パターン分類結果	8
6. 1 パターンⅠ	8
6. 2 パターンⅡ	8
6. 3 パターンⅢ	9
(1) Aダム ゾーン④	9
(2) Fダム ゾーン③	9
(3) Gダム ゾーン⑤	10
(4) Iダム ゾーン⑥深部	10
6. 4 パターンⅣ	10
(1) Bダム ゾーン①深部	10
(2) Gダム ゾーン⑥	11
(3) Gダム ゾーン⑦	11
6. 5 まとめ	12
7. 規定孔間隔の違いによる改良効果判定の比較	13
7. 1 規定孔間隔による影響	13
7. 2 3次孔省略による影響	14
(1) Fダム ゾーン③	14
(2) Fダム ゾーン⑤	14
(3) Gダム ゾーン③	15
(4) Gダム ゾーン⑤	15
7. 3 まとめ	15
8. 結論	15

1. はじめに

環境に配慮したダム建設を行う場合、環境保全上の制約から複雑な地質条件を有する地点をダムサイトとせざるを得ない場合がある。このため、ダムの安全性を確保するうえで、複雑な地質条件に応じた基礎岩盤の合理的、経済的な止水設計方法の開発が求められている。

ダム基礎グラウチングはダムの基礎地盤における遮水性の改良、弱部の補強を目的として、地盤内の間隙にセメントと水の混合物を圧入する処理工法である¹⁾²⁾。特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長いカーテングラウチングが施工される¹⁾²⁾。カーテングラウチングの施工は、中央内挿法に従って施工される。中央内挿法¹⁾²⁾による施工方法は、通常パイロット孔を12m間隔で配置し、その中間に1次孔を施工し、さらにその中間に2次孔、さらにその中間に3次孔を施工するといった具合に、前の次数孔の中間にその次の次数孔を施工する方法であり、順次岩盤の透水性の指標である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。

カーテングラウチング施工時における最終的な改良効果の判定は、最終次数孔²⁾³⁾と定義した孔のルジオン値をもって行うが、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り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。

本論文では、既設9ダムのカーテングラウチングの実績データを用い最終次数孔とチェック孔による改良効果の比較を行った。比較を行うにあたり、それぞれのダムについて初期透水性や規定孔の配置等を考慮したゾーン区分を行い、ゾーンごとに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、特に初期透水性と、最終次数孔とチェック孔の改良効果判定の比較結果に着目し、4つのパターンに分類し、それぞれのパターンごとにチェック孔の省略の可能性について検討を行い、チェック孔の省略可能な条件について提案を行った。

平成15年度に、安全性を損なわないという前提のもと、ダム基礎グラウチングの合理化を図ることを目的として「グラウチング技術指針・同解説」が改訂された²⁾。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、大幅なコスト削減に

貢献している。しかし、この改訂指針では、チェック孔の省略までは踏み込まれておらず、改訂指針と本研究の成果を組み合わせることにより、ダム基礎グラウチングのさらなるコスト削減が可能となる。

なお、筆者らはこれまでに、既設の5ダムのカーテングラウチングの実績データを用い、チェック孔省略の可能性について検討を行い公表している⁴⁾⁵⁾⁶⁾。本論文では、さらに4ダムの比較検討結果を追加し、全9ダムの実績データによる検討結果を基に、さらに詳細な分析・評価を行い、新たな論文として取りまとめた。

2. ダム基礎グラウチングに関する用語の説明

ここで、本論文で用いるダム基礎グラウチングに関する主要な用語について説明する。

(1) ルジオンテストとルジオン値

ルジオンテスト¹⁾²⁾⁷⁾とは、パッカーによって閉鎖されたボーリング孔内の一定区間（通常は5m）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る試験であり（図-2.1参照）、ルジオンテストによって得られるルジオン値によって地盤の透水性を評価する。ルジオンテストはボーリング孔を用いて行う透水試験方法であることから、ダム基礎グラウチングにおける透水性評価に用いられている。

ルジオンテストは、図-2.2に示すように、段階的に圧力を昇圧して行い、圧力水頭100m相当の注入圧力0.98MPa時の注水量（L/min/m）をルジオン値（Lu）で表す。つまり、圧力0.98MPaで注水した際の注水量が1L/min/mの場合、1Luとなる均質等方な多孔質媒体を仮定して、ルジオン値（Lu）を透水係数（cm/s）に換算すると、 $1Lu \div 1.0 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ となる。

また、ルジオンテストの降圧段階を省略し、圧力段階を減らして簡略したものとして水押し試験がある。通常、パイロット孔とチェック孔ではルジオンテストが行われ、1次孔、2次孔といった、それ以外の孔では水押し試験が行われる。

(2) 中央内挿法

中央内挿法¹⁾²⁾とは、通常パイロット孔を一般的に12m間隔で配置し、その中間に1次孔を施工し、さらにパイロット孔と1次孔の中間に2次孔、さらに2次孔までの全孔の中間に3次孔を施工するといった具合に、前の次数孔の中間にその次の次数孔を施工する方法である（図-2.3参照）。岩盤の透水性の指標であるル

ジオン値を指標として改良効果を確認しながら順次施工される。

(3) 規定孔および追加孔

グラウチングは中央内挿法により改良目標値に達するまで孔間隔を詰めて施工されるが、計画段階において改良目標値に達するまでに必要とされた次数孔までを規定孔²⁾と呼ぶ。なお、規定孔の次数は、施工データの分析の結果に応じて見直すことがある。また、規定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は、必要な箇所グラウチング孔が施工され、このような孔を追加孔²⁾と呼び、その追加孔の施工の判断を行うための基準を追加孔施工基準と呼ぶ。

規定孔の内、特に最初に施工される孔をパイロット孔と呼ぶ。パイロット孔では、ボーリングコアの採取が行われ、そのデータを基に、地質区分図、岩級区分図等が作図される。またパイロット孔ではルジオンテストが行われ、その結果を基に、初期透水性のマップが作図される。これらの地質、透水性のデータにより、カーテングラウチングの施工範囲の見直し等が行われる。

平成 15 年にグラウチングの技術指針が改訂され²⁾、改訂前の技術指針¹⁾で施工されたダムでは、規定孔次数を 3 次孔とするダムが多く見られたが、指針の改訂に伴い、規定孔次数の 2 次孔化が積極的に進められている。また、パイロット孔から 2 次孔までの注入結果を用い、それらの結果が良好であれば隣接する規定最終次数孔となる 3 次孔の施工を省略して合理化を図る、3 次孔の省略基準⁹⁾が適用されたダムもある。この具体的な省略基準はダムごとに地質、改良傾向等の分析が行われ設定される。

(4) 最終次数孔

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、追加孔は追加孔施工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^{2),3)}と呼ぶ。

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。規定孔を 3 次孔とした場合の最終次数孔の抽出方法を表-2.1 に示す。なお、本研究で検討を行った 9 つのダムでは、表-2.1 中に示したように、メッシュ内で施工した最後の孔、1 孔のみを最終次数孔としているダムと、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ダムの 2 通りの最終次数孔の抽出方法がある。

(5) チェック孔

チェック孔はカーテングラウチングの改良効果を確認するためのサンプリング検査の位置づけとして、最終次数孔による改良効果判定により改良されたと判断された後、カーテングラウチングの 1 ブロック (12m) もしくは 2 ブロック (24m) に 1 孔の割合で、注入孔の削孔方向に斜交する形で施工される (図-2.4 参照)。チェック孔ではルジオンテストが行われ、その結果により最終的な改良効果の確認が行われる。また、チェック孔ではボーリングコアの採取が行われ、セメントミルクが亀裂に注入されているかどうかの確認が目視によっても行われる。

3. 最終次数孔とチェック孔による改良効果判定

3. 1 最終次数孔による改良効果判定

ここで、最終次数孔^{2),3)}による改良効果判定について説明する。先に、カーテングラウチング施工時における改良効果の判定は以下の 3 条件が満足されていることを確認することで行われることを示した。

- ① 改良目標値に大きく及ばないステージが存在しないこと。
- ② 改良目標値に達していないステージが連続して存在しないこと。
- ③ 大部分の注入孔で改良目標値が達成されていること。

通常、カーテングラウチングでは規定孔の施工が完了した後、①および②の基準に満足しない箇所について追加孔が施工される。追加孔の施工により①および②の基準を満足した後、先に示した方法で最終次数孔の抽出が行われ、最終次数孔において③の基準を満足しているかどうかの確認が行われる。これが最終次数孔による改良効果判定であり、通常、その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、本研究で検

討を行った9つのダムでは2種類の最終次数孔の抽出方法があることを先に示したが、その抽出方法の違いが分析結果に与える影響は少ないと考え、分析するに当たって抽出方法による違いは考慮していない。

3. 2 チェック孔による改良効果判定

平成15年度に改訂されたグラウチングの技術指針によると、「カーテングラウチングによる地盤の改良効果は、チェック孔によるルジオンテストにより確認する」²⁾とされている。チェック孔による改良効果判定は、通常、チェック孔において、以下に示す3つの条件を満足することを確認することで行われる。つまり、①改良目標値に大きく及ばないステージおよび②改良目標値に達していないステージが連続して存在せず、かつ③大部分の注入孔で改良目標値が満足することを確認して、施工完了と判断される。また、チェック孔においてこれらの3つの条件を満足しない場合、通常、これらの条件を満足しなかった箇所さらにチェック孔に対する追加孔を施工し、これらの条件を満足したことを確認して施工完了とする場合が多い。なお、本検討においては、最終次数孔との比較が重要であるため、このチェック孔で先の3条件を満足できなかった場合に施工されるチェック孔に対する追加孔のデータは含めないで検討を行っている。

4. 検討対象ダム

4. 1 ダム諸元および地質概要

本研究では、既設9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および地質の概要を表-4.1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置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。また、ゾーンの区分にあたり、深度方向に規定孔の配置の異なるゾーンについては、深度方向にも浅部と深部にゾーンを区分し検討を行っている。これらのダムのゾーン区分、規定孔の配置および改良目標値を表-4.2に示す。

なお、平成15年度にグラウチング技術指針が改訂され、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いる。本研究において分析に用いた実績データは、基本的には改訂前の指針⁷⁾の従って施工されたものであるが、Hダムについては施工途中で指針が改訂され

たことから、左右岸の斜面部では、改訂指針に沿った形で、施工されている。また、他のダムにおいても指針の改訂前であっても、3次孔の省略基準を取り入れたダム(Fダム、Gダム)や、深部において規定孔次数を2次孔としたダム(Bダム、Dダム、Iダム)などもある。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。

4. 2 初期透水性および改良傾向

ここでは、各ダムおよびゾーンの初期透水性および改良傾向について説明する。

表-4.3は各ゾーンの次数別のルジオン値非超過確率85%値および追加率をまとめたものである。追加率とは、規定孔数に対する追加孔の孔数を百分率で表したものであり、この数字が大きいくほど追加孔の割合が多く、遮水性の改良が進みにくかったと言える。図中の規定孔次数の項目で(省略基準)とあるゾーンは、規定最終次数孔となる3次孔の省略基準を適用しているゾーンである。3次孔の省略基準²⁾とは、パイロット孔から2次孔までの注入結果を用い、それらの結果が良好であれば隣接する規定最終次数孔となる3次孔の施工を省略し、合理化を図ろうというものであり、この省略基準はダムごとに地質、改良傾向等の分析が行われ設定される。また、ルジオン値の非超過確率85%値の項目において10Luを超えるデータ、および、追加率の項目において30%を超えるデータについては、セルを灰色で表している。なお、各ダムにより追加孔の施工方法が異なり、追加孔の当該ステージのみ施工するダム(D、E、Fダム)もあれば、当該ステージより浅部について全て施工するダム(A、B、C、G、H、Iダム)もあり、追加率について考察するに当たっては、これらの影響も考慮する必要がある。

Aダムはロックフィルダムであり、改良目標値は5Luとなっている。初期透水性は河床部から右岸リム部にかけて(ゾーン⑤、⑥)特に高くなっており、また多くの追加孔が発生している。左岸側は局所的に高透水データが見られるものの、初期透水性はそれほど高くない。次数進行に伴うルジオン値の低減傾向は良好である。しかし、主な透水経路が粒子間空隙となっている軟岩は、セメントの入りにくい微小な空隙も存在することから、改良限界は2~5Lu程度であると考えられる。なお、右岸の洪水吐の下部については、改良のほとんど進まない弱層部が存在し、規定5次孔で施工されているが、本研究ではこのゾーンは検討範囲外としている。

B ダムは左右岸リム部の初期透水性が非常に高くなっている。このため、右岸リム部（ゾーン⑤）では規定4次孔で施工されており、また左岸リム部（ゾーン①）では、浅部、深部ともに改良も進みにくいため、規定孔は3次孔であるが、4次孔もしくは5次孔以降で普通ポルトランドセメントなどと比べると粒子径比が1/10程度の超微粒子セメントを用いた注入が行われている。堤体部（ゾーン②～④）については、初期透水性が低く、次数進行に伴うルジオン値の低減傾向も良好である。

C ダムは左岸リム部から河床部にかけての領域（ゾーン①～④）と右岸リム部（ゾーン⑦）初期透水性が高くなっている。全体的に次数進行に伴うルジオン値の低減傾向は良好であるが、左岸側では多くの追加孔が発生している。それに対し、右岸側ではパイロット孔において評価された初期透水性が高いが、追加孔があまり発生せずに施工が完了している。

D ダムは左岸側（ゾーン①～③）については規定孔間隔0.75m、右岸側（ゾーン④～⑥）については規定孔間隔1.5mで施工されている。基本的に左右岸のアバットメントからリムにかけての初期透水性が高くなっている。右岸のアバットメント部（ゾーン⑤）で初期透水性が高く改良もあまり進まず、比較的多くの追加孔が発生しているが、他のゾーンは次数進行に伴うルジオン値の低減傾向は良好である。なお、通常、規定孔間隔0.75mで施工する場合規定4次孔として施工するケースが多いが、D ダムでは表-4.2中の孔配置図に示すように、規定3次孔で施工されている。本論文では、他ダムの規定孔間隔0.75mで施工されたゾーンとの整合を図り、混乱を避けるため、今後Dダムのゾーン①～③については、2次孔を3次孔、3次孔を4次孔と表現することとする。また、深部は浅部よりも規定孔次数が1次少ない配置となっている。ただし、この深部の最終次数孔メッシュは、左岸側は3次孔を中心としたメッシュと4次孔を中心としたメッシュが、右岸側については2次孔を中心としたメッシュと3次孔を中心としたメッシュが混在しており、評価を行うに当たり、他ダムとの整合をはかるのが難しいため、深部については検討対象外としている。このため、Dダムのゾーン区分においては、浅部の表記を外している。

E ダムは局所的に透水性の高いデータは存在するが、全体として初期透水性は低くなっている。また、どのゾーンについても、基本的にパイロット孔から1次孔にかけてのルジオン値の低減が非常に大きく、ほとん

どのゾーンにおいて、1次孔で、ルジオン値の非超過確率85%値が改良目標値の2Luを下回っており、追加孔の発生率も非常に小さくなっている。

F ダムはロックフィルダムであり、その改良目標値は2Luとなっている。このダムは基本的に初期透水性が低く、このことから、施工途中段階において、パイロット孔から2次孔までの施工結果を基にした、3次孔省略基準を設定し、3次孔の省略が行われている。礫岩の一部において改良の進みにくいゾーンが存在するが、他のゾーンは次数進行に伴うルジオン値の低減傾向も良好である。

G ダムは右岸の斜面部からリム部にかけての領域（ゾーン⑥、⑦）においては初期透水性の高いゾーンが存在する。特にゾーン⑥の深部は断層の影響などにより、初期透水性が非常に高くなっているが、このゾーンはチェック孔が施工されていないため、本研究では検討範囲外としている。基本的に左岸リム部から河床部にかけての領域（ゾーン①～④）においては初期透水性が低く、改良傾向も良好であり、それほど多くの追加孔は発生していない。それに対し、右岸斜面部から右岸リム部にかけては、初期透水性が高く、表層部でマサ化し改良の困難なゾーンもあり、追加孔も多く発生している。

H ダムは施工途中段階において、グラウチング技術指針の改訂に伴い、3ステージ以深について規定2次孔化を行っている。基本的に初期透水性は低いが局所的に透水性の高いゾーンが見られる。次数進行に伴うルジオン値の低減傾向も良好である。表-4.3よりゾーン⑤深部の追加孔発生率が高くなっているが、これは規定2次孔としたゾーンについて、追加孔の施工基準を単位注入セメント量も含めた厳しめの基準を適用しているため（表-4.4参照）、追加孔が多くなっているが、特に改良上問題のあるゾーンというわけではない。

I ダムはアーチ式コンクリートダムであり、基礎岩盤も非常に堅硬で、左右岸のリム部に主に高角度の亀裂が要因と見られる高透水データが局所的に見られるが、基本的に初期透水性は極めて低い。透水性が低いためセメントミルクの注入量も少なく、次数進行に伴うルジオン値の低減傾向もそれほど明瞭には見られない。

5. 最終次数孔とチェック孔の結果の比較

5. 1 統計的検定の手法による比較

統計的検定の手法は、2組の異なる母集団について、

それらに有意な差が認められるかどうかを客観的に評価するための手法である。検定の手法の代表的なものとして t 検定があり、この手法は、正規分布に従う 2 組の母集団について、その平均値に有意な差があるかどうかを評価することができる⁸⁾。一般に基礎岩盤においてルジオン値の分布は正規対数分布に従うことが知られている⁹⁾ことから、最終次数孔とチェック孔の改良効果判定の比較を行うに当たり、t 検定を用いることで、最終次数孔のルジオン値分布とチェック孔のルジオン値分布に有意な差があるかどうかの定量的な評価を行うことが可能であると考えた。

そこで本研究においては、t 検定の中でも、対応のある場合の t 検定の手法を用い、最終次数孔のルジオン値とチェック孔のルジオン値分布の比較を行った。対応のある場合の t 検定とは、比較の対象となる母集団の各データが 1 対 1 の対応関係にある場合について、その平均値の差を評価する手法である⁸⁾。この対応のある場合の t 検定の手法を用いて最終次数孔とチェック孔のルジオン値の分布を比較するに際し、図-5.1 に示すような対応関係を用いた。これは、最終次数孔がその最終次数孔メッシュ内のルジオン値の評価となることから、この最終次数孔メッシュ内を通るチェック孔のルジオン値と、そのメッシュにおける最終次数孔のルジオン値を対応させて、比較を行うこととした。

ゾーンごとに最終次数孔のルジオン値とチェック孔のルジオン値について対応のある場合の t 検定を行い、有意水準 5%として、有意差の有無について調べた。なお、ここでは、最終次数孔に比較してチェック孔のルジオン値が小さくなる側の有意差の有無については議論せず、あくまで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側の有意差の有無について議論を行うこととする。

表-5.1 に各ゾーンについて対応のある場合の t 検定により、最終次数孔とチェック孔のルジオン値を比較した結果を示す。なお、表中において、最終次数孔に比較しチェック孔のルジオン値の方が大きくなる側で有意な差があると評価されたゾーンについて、灰色で着色してある。この結果より 9 のゾーンを最終次数孔に比較しチェック孔のルジオン値が大きいと判断した。

5. 2 超過確率図による比較

ルジオン値の超過確率図は、グラウチングによる遮水性の改良傾向等を評価するに際し、比較的容易に視覚的な評価を行えることから、グラウチングのデータ整理を行う際に、必ず作成される図面の一つである。

超過確率図では、例えば n 次孔の超過確率曲線に対し、(n+1)次孔の超過確率曲線が下回っていれば、改良が進んでいると評価でき、重なるか上回っていれば、改良が進んでいないと評価できる。そこで、最終次数孔とチェック孔のルジオン値の比較を行うにあたり、超過確率図によって比較を行うことを試みた。

比較を行うにあたって、ゾーンによっては、単純に最終次数孔の超過確率曲線がチェック孔の超過確率曲線を上回る（もしくは下回る）ものもあれば、途中で交差しているものもあることから、特にルジオン値の大きい側の超過確率曲線の位置関係を重視し、以下のいずれかの条件に該当する場合、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が大きいと判断した。

- ① 超過確率図において、改良目標値より大きい範囲で、最終次数孔に比較しチェック孔のルジオン値が大きく上回る（1.5 倍程度以上）場合
- ② 超過確率図において、ほぼ全域にわたって最終次数孔に比較しチェック孔のルジオン値が大きく上回る（1.5 倍程度以上）場合
- ③ 超過確率図において、ほぼ全域にわたって最終次数孔に比較しチェック孔のルジオン値が上回り（1.5 倍程度以下）、かつチェック孔で改良目標値を上回るデータが存在する場合
- ④ チェック孔におけるルジオン値（非超過確率 85% 値）が最終次数孔のルジオン値（非超過確率 85% 値）を上回り、かつ改良目標値を上回る場合（完了基準として非超過確率 90% 値を採用している場合は 90% 値を基準とする）

これらの判定のフローを図-5.2 に示す。フロー上の○数字は、上記の各条件を示している。また、図-5.3 に、これらの各条件の模式図を示す。なお、図-5.3 には、改良目標値を 2Lu、非超過確率の基準値を 85%とした場合の例を示している。

超過確率図によって判定を行った結果、15 のゾーンが、最終次数孔に比較し最終次数孔に比較しチェック孔のルジオン値が大きいと判断した。これらのゾーンの一覧を表-5.2 に示す。なお、表中の判定条件とは、上記に示した①から④のどの条件に該当してチェック孔が大きいと判断されたかを示している。

5. 3 2つの手法の適用性比較

統計的検定の手法（対応のある場合の t 検定）による比較結果と超過確率図による改良効果判定の比較結果を比べてみたところ、2つの手法により評価の分か

れるゾーンがいくつか見られた。そこで、これらのゾーンについて詳細に検証することで、どちらの手法がより適しているか検討を行った。

表-5.3 は、2 つの手法のどちらかにより、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のほうが大きいと判断されたゾーンを一覧にまとめたものである。この表を見ると、t 検定ではチェック孔のほうが大きいと判断され、超過確率図ではチェック孔のほうが小さいと判断されたゾーンは1ゾーンなのに対し、その逆の、超過確率図のみでチェック孔のルジオン値のほうが大きいと判断されたゾーンは5ゾーンであった。以下、判定結果が異なったゾーンについて詳細に検討する。

A ダムのゾーン⑤は t 検定のみでチェック孔のルジオン値が大きいと判断されたゾーンである。A ダムゾーン⑤の超過確率図を図-5.4 に示す。A ダムは改良目標値を 5Lu としているが、この図において、2Lu より大きい範囲では最終次数孔とチェック孔のルジオン値はほぼ同じ値となっているが、2Lu より小さい範囲では、チェック孔のルジオン値が最終次数孔のルジオン値を上回っている。改良目標値を 5Lu としているこのダムにおいては、2Lu を下回るような、特にルジオン値の小さい範囲における大小は遮水性改良という目的からは問題にならないと考えられる。t 検定は、基本的に等分散を仮定し平均値の大小を比較する手法であり、この例のようにルジオン値が非常に小さい範囲における大小の影響により、チェック孔のほうが大きいと判断されてしまう場合がある。また、場合によってはこの逆に、実際は改良目標値より大きな範囲でチェック孔が大きくなっていても、改良目標値より、小さい範囲でチェック孔が下回っていれば、平均値としてみれば同じ値となり、有意な差がないと判断されてしまう場合がある。最終次数孔のルジオン値とチェック孔のルジオン値の分布を比較するに当たって問題となるのは、改良目標値以上で改良目標値に比較的近い値における大小関係であり、t 検定のみによってこの大小関係を判断することは難しい。よって、超過確率図による比較のほうが、より適切な評価が行えると考えられるため、本研究においては超過確率図による判定を採用することとした。

6. パターンの分類

検討対象とした 9 ダムについて、ゾーンごとに、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。ここでは、この改良効果判定の比較結果に加え、各ゾーンの初期透水性に着目し、ゾーンの特徴を I ～ IV の 4 つのパターンに分類した。各ゾーンを 4 つのパターンに分類した結果を表-6.1 に示す。

パターン分類を行うにあたって、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、高透水ゾーンの連続性も考慮して、分類した。また、最終次数孔とチェック孔の透水性の比較に関しては先に示した超過確率図による比較方法により、分類した。

以下、これらの各パターンについて説明する。

6. 1 パターン I

このパターンは初期透水性が比較的 low、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パターンである。このパターン I には今回検討を行った全 68 ゾーンのうち、36 ゾーンと、ほぼ半分のゾーンがパターン I に分類された。

図-6.1、図-6.2 にパターン I に分類されたゾーンの例として、B ダムのゾーン③深部および D ダムのゾーン④における超過確率図を示す。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も非常に少ないため、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。D ダムのゾーン④は、B ダムのゾーン③深部ほど初期透水性は低くないが、次数進行に伴う低減傾向も見られ、順調に改良が進み、チェック孔のルジオン値分布は、ほぼ全域にわたって最終次数孔のルジオン値分布より小さい値となっている。特に、B ダムのゾーン③深部のような場合、パイロット孔においても極めて低透水であり、グラウチングの改訂指針においては、施工範囲外となることも考えられるゾーンである。

基本的に、パターン I のように初期透水性が比較的 low、次数進行に伴うルジオン値の低減傾向が明瞭な場合には、チェック孔の省略が可能であると考えられる。

6. 2 パターン II

このパターンは初期透水性は比較的高いが、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小さくなるか、それほど違いが見られないパターンである。このパターン II には今回検討を行った全 68 ゾーンのうち、17 ゾーンが分類された。

図-6.3 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ルジオン値の低減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-6.4 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において最終次数孔 = 3 次孔となったデータは図示していない。またグラフ中に n 次孔と($n+1$)次孔の相関係数 r を示す。

基本的に、初期透水性が高くても、次数進行に伴うルジオン値の低減傾向が良好で、最終次数孔よりチェック孔のほうが大きくなり逆転してしまうパターンⅡに分類されるような場合、チェック孔の省略は可能であると考えられる。

6. 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Ⅲには今回検討を行った全 68 ゾーンのうち、12 ゾーンが分類された。これらのパターンⅢに分類された 12 ゾーンについて、それぞれ詳細を調べてみると、ダム基礎の遮水性改良という観点から、チェック孔を省略することが浸透の問題とはならないと考えられるゾーンもあれば、浸透の問題となる可能性があり注意を要すると考えられるゾーンもあった。そこで、以下にこれらのゾーンの詳細な検討結果を示す。なお、問題のないと考えられるゾーンは 9 ゾーン、また注意が必要と考えられるゾーンは 3 ゾーンあったが(表-6.2 参照)、問題のないものについては、例として 1 つのゾーンを、特に注意が必要と考えられるものについては、3 ゾーン全てについて詳細の検討結果を示す。

(1) A ダム ゾーン④

検討した結果それほど問題がないと考えられたゾーンの例として、A ダムゾーン④の超過確率図を図-6.5 に示す。このゾーン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 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。

図-6.6 にゾーン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を示す。このゾーンでは、チェック孔で改良目標値 5Lu を超えたデータは 40 データ中 4 データ (10%) であった。図-6.6 より、改良目標値を超過した 4 つのデータは一箇所にま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において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 と比較的高い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 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と考えられる。

(2) F ダム ゾーン③

図-6.7 に F ダムゾーン③の超過確率図を示す。この図より、1Lu より小さい範囲では、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が小さく、1Lu より大きい範囲では、チェック孔のルジオン値が最終次数孔のルジオン値を大きく上回っている。

図-6.8 にゾーン③周辺の地質区分図にチェック孔のルジオン値分布を重ね合わせた図を示す。この図より、チェック孔で改良目標値を超過したデータのほとんどが、礫岩(1)の分布する箇所が発生していることがわかる。この礫岩(1)は固結度が低く、割れ目があり発達しておらず、地層の粒子間空隙が透水経路となっていると考えられる。このため、水は通すがセメントはあまり通さず、1 孔あたりの改良範囲が狭く改良の進みにくい岩盤である。結果的に 4 次孔もしくは 5 次孔の施工により、最終次数孔において改良目標値である 2Lu を満足したが、多くのチェック孔で改良目標値を上回るデータが発生することとなった。

先に示したように、最終次数孔による改良効果判定では、基本的に最終次数孔メッシュ内で最後に施工された孔のルジオン値がそのメッシュにおける最終次数孔のルジオン値として評価される。そのため、この例のようにセメント注入量が少なく 1 孔あたりの改良範

囲が狭いと考えられる場合、追加孔でルジオン値が改良目標値を下回った場合に、そのメッシュ内全域が改良されたわけではなくても施工完了と判断される場合がある。このことにより、最終次数孔に比較し、チェック孔が大きくなる可能性がある。

(3) Gダム ゾーン⑤

図-6.9 に G ダムゾーン⑤の超過確率図を示す。図に示すように、全ルジオン値域でチェック孔のルジオン値が最終次数孔のルジオン値を上回っており、さらにチェック孔において、ルジオン値の非超過確率 85%値が 2Lu を上回っている。このように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が大きくなった要因について検討を行った。

図-6.10 に G ダムゾーン⑤周辺の岩級区分図にチェック孔のルジオン値分布図を重ね合わせたものを示す。また図中には点線で主な断層を示している。この図より、基本的に高角度の断層に沿う形で、CL 級もしくは CM 級の岩盤が分布しているが、その断層周辺においてチェック孔で改良目標値 2Lu を上回るデータが多く発生していることがわかる。これらの高角度断層の中心は、粘土化もしくはマサ化しており、さらに周辺には破碎状の割れ目を伴い、高い透水を示す箇所が存在する。特にマサ化した箇所は、ある程度透水性はあるがセメント注入量も少なく特に改良も進みにくいことから、チェック孔で 2Lu を上回るデータが多く発生したと考えられる。

図-6.11 に G ダムゾーン⑤周辺の 3 次孔を中心としたメッシュ内の 3 次以上の次数の施工孔数の分布図にチェック孔のルジオン値分布図を重ね合わせたものを示す。なお、メッシュ内の施工孔数はメッシュ境界線上のパイロット孔および 1 次孔、2 次孔は除いた値としている。つまり、3 次孔のみ施工されている場合は 1 孔、さらに 4 次孔を 2 孔施工されている場合は 3 孔となり、色が濃くなるほど、そのメッシュ内により多くの追加孔が施工されたことを表している。この図より、追加孔の施工孔数の少ない箇所で、チェック孔で改良目標値 2Lu を上回るデータが多く発生していることがわかる。先に高角度の断層の影響を示したが、このゾーンは 85 度程度の高角度の亀裂も発達しており、この影響で、施工密度の小さい箇所で比較的高い透水性の範囲が見逃されてしまったと考えられる。

(4) I ダム ゾーン⑥深部

I ダムでは、浅部 (1~6 ステージ) については規定

3 次孔 (孔間隔 1.5m)、深部 (7 ステージ以深) については規定 2 次孔 (孔間隔 3.0m) で施工されていることから、本検討では、浅部と深部にゾーンを区分して検討を行っている。

図-6.12 に I ダムゾーン⑥深部の超過確率図を示す。図に示すように、チェック孔のルジオン値は大きく最終次数孔のルジオン値を上回っており、さらにチェック孔において、ルジオン値の非超過確率 85%値が改良目標値である 2Lu を上回っている。このように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った要因について検討を行った。

図-6.13 にパターン I に分類される I ダムゾーン⑥浅部の超過確率図を示す。深部ではチェック孔のルジオン値が最終次数孔のルジオン値を大きく上回ったのに対し、浅部では、最終次数孔のルジオン値を下回っており、また改良目標値 2Lu を上回るデータも発生していない。図-6.14 に I ダムゾーン⑥周辺のパイロット孔の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を示す。この図より、このゾーンには高角度の断層・亀裂が発達しており、その断層・亀裂沿いに比較的高い透水性のゾーンが分布していることがわかる。またチェック孔で 2Lu を上回ったデータの分布を見ると、この初期透水性の高い亀裂沿いに分布しているデータもいくつか見られる。先に示したように、このダムについて規定 3 次孔で、深部は規定 2 次孔で施工されており、深部において高角度の断層・亀裂を起因とする比較的高い透水性の高いデータが見逃されてしまった可能性がある。

6. 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、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Ⅳには今回検討を行った全 68 ゾーンのうち、3 ゾーンが分類された。パターンⅣに分類された 3 ゾーンについて、の詳細な検討結果を以下に示す。

(1) Bダム ゾーン①深部

図-6.15 および図-6.16 に B ダムゾーン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確率 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。

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 $2Lu$ 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-6.17 にゾーン①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を示す。この図をみても、初期透水性は深部に比較して浅部のほうが高いが、チェック孔で改良目標値を超過したデータは深部のほうが非常に多くなっている。また、チェック孔で改良目標値を超過したデータの発生箇所と、初期透水性の相関は特に見られない。

図-6.18 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次孔は隣接前の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。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-6.19 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。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加えている。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、概ね比較的セメント注入量の少ない箇所が発生していることがわかる。

図-6.20 にゾーン①周辺の3次孔を中心としたメッシュ内の施工孔数の分布図にチェック孔のルジオン値分布図を重ね合わせたものを示す。なお、メッシュ内の施工孔数はメッシュ境界線上のパイロット孔および1次孔、2次孔は除いた値としている。この図を見ると、

浅部は追加孔の施工密度が非常に高くなっている。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、深部は浅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 $2Lu$ を超過するデータの発生した箇所について見ると、比較的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も、多く発生していることがわかる。

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、比較的セメント注入量が少なか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、地質・岩級区分など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。

(2) Gダム ゾーン⑥

図-6.21 に G ダムゾーン⑥の超過確率図を示す。図に示すように、チェック孔のルジオン値は比較的大きく最終次数孔のルジオン値を上回っており、さらにチェック孔において、ルジオン値の非超過確率85%値が $2Lu$ を上回っている。また、このゾーンの初期透水性はパイロット孔におけるルジオン値の非超過確率85%値が $10Lu$ 程度と、非常に高くなっており、パターンIVに分類した。このように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った要因について検討を行った

図-6.22 にゾーン⑥周辺の岩級区分図にチェック孔のルジオン値分布を重ね合わせた図を示す。この図を見ると、特に J18 より右岸側については CL 級岩盤もしくは断層周辺においてチェック孔で改良目標値 $2Lu$ を超過したデータが多く見られる。

図-6.23 にゾーン⑥周辺の初期透水性の分布図にチェック孔のルジオン値分布を重ね合わせた図を示す。この図を見ると、特に J18 より左岸側については初期透水性の比較的高い箇所でもチェック孔において改良目標値 $2Lu$ を超過したデータが多く発生している。

図-6.24 に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分布にチェック孔のルジオン値分布を重ね合わせた図を示す。この図をみると、チェック孔で

改良目標値を超過したデータの多くは、比較的セメント注入量の少ない箇所が発生していることがわかる。

図-6.25にゾーン⑥周辺の3次孔を中心としたメッシュ内の施工孔数の分布図にチェック孔のルジオン値分布図を重ね合わせた図を示す。この図より、浅部において追加孔の施工密度が高い箇所で、チェック孔で改良目標値を超過するデータが発生している箇所が見られるが、基本的には追加孔の施工密度の小さい箇所において、チェック孔で改良目標値を上回るデータが発生していることがわかる。

これらの結果より、このゾーン⑥では、透水性のわりに比較的注入量が少なく、施工密度も小さい箇所でチェック孔において改良目標値を超過するデータが多く発生しており、またそれらの箇所の多くが地質的にもCL級もしくは断層周辺といった弱層部に分布していることがわかった。

(3) Gダム ゾーン⑦

このゾーンは、施工開始当初は改良目標値を2Luとして施工していたが、特に表層部の分布するD級岩盤の改良が困難であることから、施工途中段階においてD級岩盤についてはその水理地質特性を踏まえて改良目標値を5Luに変更している。このため、このゾーンについては改良目標値が2Luのデータと5Luのデータが混在している。本来であれば、改良目標値の違いによって2つのゾーンに分けるべきであるが、非常にデータ数が少なく統計的な評価の難しいゾーンであるため、1つのゾーンとしてまとめて評価することとした。

図-6.26にGダムゾーン⑦の超過確率図を示す。この図より、次数進行に伴うルジオン値の低減傾向は見られず、逆転している次数もあり、順調に改良が進んでいるとは言えない。このゾーンは、特にマサ化したD級岩盤においては、次数進行に伴い単位注入セメント量は低減するが、ルジオン値はあまり低減せず、非常に改良が進みにくいゾーンとなっている。このため、このD級岩盤部については、地質性状から見て連続するものではなく、単位注入セメント量が極めて小さいことから、水みちとなる割れ目は既にセメントミルクが充填されていると考えられ、湛水後に浸透の問題が発生するとは考えにくいことから、5次孔まで施工した段階で、改良目標値を5Luに変更している。最終次数孔とチェック孔のルジオン値を比較すると、全域にわたってチェック孔のルジオン値が大きくなっており、初期透水性も非常に高いゾーンであることからパターンIVに分類した。これらの原因について検討を行った。

図-6.27にGダムゾーン⑦周辺の岩級区分図にチェック孔のルジオン値分布図を重ね合わせたものを示す。この図をみると、このゾーン⑦は浅部にD級岩盤が分布し、深くなるにつれて、良好な岩盤となる傾向が見られる。

図-6.28にゾーン⑦の初期透水性の分布図にチェック孔のルジオン値分布を重ね合わせた図を、図-6.29に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分布にチェック孔のルジオン値分布を重ね合わせた図を、さらに図-6.30にゾーン⑦周辺の3次孔を中心としたメッシュ内の施工孔数の分布図にチェック孔のルジオン値分布を重ね合わせた図を示す。このゾーン⑦では、チェック孔の7ステージのうち、実に5ステージで改良目標値を上回っている（改良目標値5Lu範囲：3ステージ中1ステージ、改良目標値2Lu範囲：4ステージ中4ステージ）。これらの改良目標値を上回ったデータの発生位置について調べてみたが、チェック孔のデータ数がそもそも少ないこともあり、これらの解析図から明瞭な傾向を読み取ることは難しい。しかし、基本的にこのゾーンはD級、CL級といった岩盤が多くを占めており、改良の進みにくい（1孔あたりの改良範囲の非常に狭い）岩盤であることから、このようにチェック孔で多くのデータが改良目標値を上回る結果となったと考えられる。

6.5 パターン分類結果のまとめ

ここまで、初期透水性と最終次数孔とチェック孔における改良効果判定の比較結果を基に、4つのパターンに分類を行い、パターンごとに分析を行った。これらの結果から、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り逆転する原因として特に以下の3つが考えられる。

- ① 初期透水性が極めて低く、セメント注入量が非常に少ない場合において、若干初期透水性の高い箇所が見逃されてしまう場合。
- ② 透水性のわりにセメント注入量が少なく改良が進みにくい（改良範囲の狭い）岩盤において、規定最終次数孔もしくは追加孔において、発生した低透水データを、そのメッシュ内の最終次数孔とした場合。
- ③ 高角度の断層・亀裂が卓越する岩盤において、鉛直の孔配置で断層・亀裂沿いの高透水を捕捉しきれなかった場合。

①については、そもそも低透水の岩盤であることから、多少最終次数孔よりチェック孔のルジオン値が大

きくなったところで、その原因が亀裂の方向性などの地質的な要因によるものでなければ、多くの場合浸透の問題となるようなことはないと考えられる。低透水の岩盤で、パイロット孔のコア観察結果からも、特に浸透の問題となるような地質ではないと判断されれば、チェック孔の省略は可能であると考えられる。

②については、ある程度深い場所で、また上下流への連続性が認められない場合であれば、局所的に高透水を残したところで、浸透の問題となることは少ないが、堤体に近い浅部の場合、浸透の問題となる可能性もある。当初から、改良の進みにくい岩盤であると判断し、ある程度密な規定孔間隔で施工した場合や、追加孔の施工により密な孔間隔で施工された箇所については、ある程度均一に改良されていると考えられるが、比較的施工密度の少なかった箇所などについては、チェック孔による確認が必要になると考えられる。

③について、高角度の亀裂が卓越する岩盤では、鉛直で施工する一般孔では、亀裂を捕捉しきれず、斜めに施工するチェック孔において高透水データが発生する可能性がある。このような場合の対策のひとつとして、できるだけ多くの亀裂を捕捉するために一般孔を斜めに施工する方法もあるが、一般孔を斜めに施工すると、施工性がかなり劣ることから、必ずしも、適切な対応とはいえない。基本的に高角度の亀裂が卓越する岩盤では、亀裂の角度、出現率、等を考慮したうえで、適切な孔間隔、孔角度を設定し、特に鉛直の施工とした場合は、チェック孔による確認が必要であると考えられる。

また、この他にも、本検討の中でははっきりとした傾向としては見られなかったが、規定最終次数孔で比較的大きなルジオン値となった場合もパターンⅢもしくはⅣに分類される可能性が高くなると考えられる。現在の多くのダムで採用されている追加孔施工基準は、追加孔を追加対象孔の両側に一度に施工するのではなく、優先順位を付けて施工するが多い。優先順位は周辺の透水性（前の次数孔のルジオン値水押し試験結果）を考慮して付けるが、規定孔間隔が広がれば、当然最終次数孔メッシュも大きくなり、比較的透水性の高い範囲を見逃してしまう可能性は高まる。このようなことも考慮し、例えば規定2次孔で施工した場合は、追加1次孔（3次孔）の施工では無条件で両側に追加孔を施工し、追加2次孔以降では、優先順位を付けて施工するなどの配慮を行うことで、より逆転する可能性は低くなると考えられる。ただし、この方法を事前の検証なしに全域に適用するとグラウチングのコ

スト増につながるため、この方法の適用の必要性について、施工の初期段階において試験施工を行い検証することが必要である。

また、初期透水性の高低で比較すると、初期透水性の高い岩盤のほうが、初期透水性の低い岩盤に比較して、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り逆転する割合が低くなるという結果となった。これについては、ある程度、初期透水性が高いほうが、セメントミルクの注入が広範囲に広がり、比較的均質に改良される可能性が高いことが考えられる。ただし、これはあくまでグラウタビリティの高い岩盤の場合であって、初期透水性が高くても、改良の進みにくい岩盤の場合は別である。また、パターンⅢに分類されたとしても、すべてのゾーンで必ずしも浸透の問題があるとは限らず、基本的に問題が少ないものも多く含まれている。それに対し、パターンⅣに分類されたゾーンの多くは何かしら問題となる可能性があるものが多く、その辺りについては十分に考慮する必要があると考えられる。

7. 規定孔間隔の違いによる改良効果判定の比較

本研究では9ダムの全68ゾーンについて、最終次数孔とチェック孔の改良効果判定について比較検討を行ってきた。グラウチング技術指針の改訂に伴い、規定孔次数の2次孔化が積極的に進められていることは、先に述べたが、検討を行った68ゾーンの中には、規定孔次数を2次孔として施工を行ったゾーンや、規定孔次数を3次孔としているが、パイロット孔から2次孔までの結果を用いて3次孔の省略を行っているゾーンなども含まれている。よって、ここでは規定孔間隔の違いや3次孔省略の影響に伴い、最終次数孔とチェック孔の改良効果判定にどのような違いが見られるか、検討を行った。

7. 1 規定孔間隔別パターン分類結果

表-7.1 に規定孔間隔別のパターン分類結果の一覧を示す。この表は、上から規定孔間隔の広い順に並べている。3次孔省略基準を適用したものについては、3次孔省略により、孔間隔が3.0mとなった箇所と1.5mの箇所が混在していることから、規定孔間隔を「1.5m～3.0m」と表記している。また、表-7.2 に示すように、FダムとGダムでは3次孔省略基準が異なり厳密には同列とはならないが、ここでは便宜的に1つのグループとして扱うこととする。

表-7.1 中の、パターンごとのゾーン数の割合を折れ線グラフにしたものを図-7.1 に示す。この図では、規定孔間隔によってデータ数に隔たりはあるが、比率によって整理した。この図において、まずパターンⅠおよびⅡについて注目すると、基本的に規定孔間隔が狭くなるにつれて、パターンⅠの割合が減少し、パターンⅡの割合が増える傾向が見られる。これは、初期透水性の高いゾーンほど規定孔間隔を狭めて施工されていることを示しており、既設のダムでは総じて初期透水性に応じた規定孔間隔の設定がなされていることがわかる。次にパターンⅢおよびパターンⅣに注目すると規定孔間隔が広くなるにつれてパターンⅢの割合が増えていることがわかる。パターンⅣについては、そもそもこのパターンに分類されるゾーンの割合が少ないことから、はっきりとした傾向は見られない。

図-7.2 はパターンⅠとⅡ、およびパターンⅢとⅣの割合を足し合わせたもの、つまりは改良効果判定の比較結果ごと（ $Luf > Luc$ 、 $Luf < Luc$ ）に表したものである。この図を見ると、規定孔間隔が広がるにつれて、最終次数孔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ゾーンの割合が大きくなる傾向が見られる。また、特に3次孔省略を適用した場合に、逆転してしまうゾーンの割合が多くなることがわかる。以下、特にこれらの2点について考察する。

7. 2 規定孔間隔による影響

先に、パターンⅢおよびⅣに分類される要因として、高角度亀裂の卓越した岩盤や、マサ化した改良の進みにくい岩盤を挙げた。特に、高角度の亀裂が卓越する場合、孔間隔を広げれば、亀裂を捕捉できる確率が低くなることから、斜孔にて施工するチェック孔において、最終次数孔に比較して大きなルジオン値となる可能性は高くなると考えられる。図-7.3 に高角度亀裂の捕捉状況の違いを表した模式図を示す。なお、この模式図では追加孔は考慮していない。

マサ化した、改良の進みにくい岩盤については、多くの場合、規定最終次数孔においても改良目標値を超過するデータが多く発生し、結果的に多くの追加孔が施工される場合が多い。しかし、近年施工されるダムの追加孔施工基準の多くは、追加孔を施工するに当たり、追加孔の対象となる孔の両側に一度に施工するわけではなく、優先順位をつけて施工する場合が多く、最初の追加孔で小さなルジオン値が得られると、その後、その周辺での追加孔は施工されなくなり、チェック孔で大きなルジオン値となる場合も考えられる。

当初から、規定3次孔（孔間隔1.5m程度）で施工されたのであれば、そのような追加孔施工基準であっても、浸透上の問題となる可能性は低いと考えられるが、規定孔間隔を広げ、規定2次孔とした場合は、例えば3次孔（追加1次孔）の施工においては、両側に施工し、4次孔（追加2次孔）以降については、優先順位をつけて施工するなどの工夫も必要になると考えられる。

これらのことから、地質性状や改良状況に応じた適切な孔配置の設定が必要であり、特に高角度の亀裂が卓越し、その上で規定孔間隔を広げて施工するような場合には、チェック孔の施工による確認も必要になると考えられる。しかしそのような場合でも、ある程度施工が進み、チェック孔でも問題となるようなデータがほとんど発生しないようであれば、施工の途中段階において、チェック孔の施工を省略することも可能であると考えられる。

7. 3 3次孔省略による影響

本研究において検討を行った9ダムの68ゾーンの内、3次孔省略を行っているゾーンは6ゾーンあり、その中の4ゾーンで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り逆転しており、その割合は非常に高くなっている。以下、それらの4ゾーンについて検討した結果を示す。

（1）Fダム ゾーン③

このゾーンについては、先にパターンⅢに分類された要因について分析を行い、地質的な要因が大きいことを示した。ここでは改めて3次孔省略による影響という観点から考察する。

図-7.4 に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図を示す。3次孔は隣接前の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おり、矩形のメッシュで囲まれていない箇所が、3次孔を施工していない（省略した）箇所である。この図を見ると、一部、3次孔を省略した箇所でチェック孔において改良目標値である $2Lu$ を超過したデータも見られるが、チェック孔で改良目標値を超過したほとんどの箇所で3次孔が施工されていることがわかる。また、この図を見ても、チェック孔で改良目標値を超過するデータが発生している箇所は、その多くが3次孔においても改良目標値を超過していることがわかる。よって、このゾーンにおいて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った原因は、先に述べたように、改良の進みにくい地質的な要因が大きく、3次孔省略基準を適用したことによる影響は非常に少ないと考えられる。

(2) Fダム ゾーン⑤

図-7.5にFダムゾーン⑤における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図を示す。この図を見てもFダムゾーン③同様、チェック孔で改良目標値を超過したほとんどの箇所、3次孔が施工されており、また、チェック孔で改良目標値を超過したデータの多くは近傍3次孔で改良目標値を超過するデータが発生していることがわかる。よって、このゾーンについては3次孔省略基準を適用したことによる影響は非常に少ないと考えられる。

(3) Gダム ゾーン③

図-7.6にGダムゾーン③における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図を示す。このゾーンにおいてチェック孔で改良目標値を超過したデータは1データのみであったが、この箇所では3次孔が施工されており、またその3次孔のルジオン値も大きかった。

図-7.7にGダムゾーン③における最終次数孔とチェック孔の超過確率図を示す。この図では、最終次数孔、チェック孔ともに、3次孔を施工した箇所と省略した箇所とでデータを分けて作図を行っている。この図を見ると、チェック孔に関しては、3次孔を施工した箇所と省略した箇所ではほとんどルジオン値の分布が変わらないことがわかる。それに対し、最終次数孔では3次孔を施工した箇所に比較し、3次孔を省略した箇所のルジオン値が下回っていることがわかる。最終次数孔に関しては、基本的に2次孔の透水性が低い箇所について3次孔が省略され、透水性が高い箇所では3次孔が施工されていることから、当然の結果ではある。チェック孔については、省略の有無にかかわらずほぼ同じ分布を示していることから、特に3次孔を省略した箇所について、逆転の度合い（最終次数孔に比較しチェック孔のルジオン値の大きくなる割合）が大きいことがわかる。この理由としては、基本的に規定孔間隔を広げれば、最終次数孔に比較してチェック孔のルジオン値が大きくなる可能性が高まることを先に示したが、3次孔を省略した箇所に限れば、この影響が出ていると考えられる。しかし、このゾーンについては、3次孔を省略した箇所において改良目標値を上回るよう

な大きな見逃しはなく、適切に3次孔省略基準が適用されていたと考えられる。

(4) Gダム ゾーン⑤

図-7.8に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図を示す。この図を見ても、チェック孔で改良目標値を超過した全ての箇所、3次孔が施工されている。このゾーンについては、先に地質的な要因で施工密度の小さい箇所、改良目標値を上回るチェック孔が発生していることを示したが、基本的に3次孔省略基準を適用したことによる影響は少ないと考えられる。

7. 4 まとめ

以上の結果より、規定孔間隔の違いによるパターン分類結果についてまとめると以下のことがわかった。

- ① 全体として、規定孔間隔が広がると、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り、逆転する可能性が高くなることがわかった。しかし、特に問題となると考えられるゾーンに限れば、規定孔間隔による違いは特に見られず、初期透水性、改良傾向に応じた、適切な配置がなされれば、問題は少ないと考えられる。
- ② 本検討においては3次孔の省略を行ったゾーンにおいてパターンⅢに分類されるゾーンの割合が非常に高かったが、それらのゾーンを詳細に分析したところ、地質的な要因が大きく、3次孔省略基準による影響は少ないと考えられる。ただし本検討において3次孔省略基準が適用されたゾーンは6ゾーンと少なかったことから、これが一般的な傾向とは言い切れない。ただし、本研究で検討をおこなった2ダムでは、いずれも適切に3次孔省略基準が設定されていたと考えられ、適切に3次孔省略基準を設定し適用すれば、問題はないと考えられる。

8. 結論

本研究では、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、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が大きくなる可能性が高くなるのは、次のような場合が考えられる。

- ① 透水性の割にセメント注入量が少なく、改良の進みにくい岩盤の場合（風化、マサ化した岩盤、等）。

- ② 高角度の亀裂、断層の卓越する岩盤の場合。
- ③ 規定孔間隔を広くした場合。
- ④ 規定最終次数孔で比較的大きなルジオン値となった箇所。(片側にしか施工されない追加孔施工基準により見逃される可能性があるため)
- ⑤ 初期から低透水で、セメント注入量も少なく次数進行に伴う低減傾向も見られない場合。

①、②については、基本的に地質的な問題であり、調査段階において、これらのような地質状況が確認された場合、また施工開始後においても、改良がなかなか進まないような状況が見られた場合は、注意が必要であり、チェック孔の省略は難しいと考えられる。

③については、規定孔間隔を広くしたとしても、それが初期透水性、改良傾向に見合った配置がなされていれば基本的に問題は少ないと考えられるが。しかし、規定孔次数を減らし、基本的に悪い箇所は追加孔で対応しようというような場合は、例えば、規定孔次数を2次孔とした場合、追加1次孔(3次孔)については、両側に追加孔を施工し、追加2次孔以降については、優先順位を付けて施工するなどの配慮を行うことで、よりチェック孔に比較し最終次数孔のルジオン値が大きく逆転する可能性は低くなると考えられる。

④については、指針改訂前のようにほとんど規定3次孔以上で施工されているのであれば、特に問題とならないと考えられるが、指針が改訂され、多くのダムで規定孔次数の2次孔化が進んでいる中では、先に述べたように、追加孔に優先順位を付けての施工方法であると、最終次数孔メッシュが大きくなるほど、比較的透水性の高いゾーンを見逃す可能性が高くなると考えられる。このような追加孔の施工方法を行う場合は、最後にチェック孔による確認も必要であると考えられるが、両側に追加孔を施工するなどの、配慮を行った場合であれば、基本的にチェック孔の省略は可能であると考えられる。ただし、施工開始当初はチェック孔の施工を行ったとしても、施工を進めている中で、最終次数孔に比較して、チェック孔のルジオン値が大きくなるような状況がほとんど見られないようであれば、また、その後の地質状況もそれほど変わらないのであれば、施工途中においてチェック孔の省略も可能であると考えられる。

⑤については、基本的に地質的に問題もなく、初期から低透水であれば、チェック孔の省略は可能であると考えられる。ただし、低透水の理由として、高角度亀裂の卓越した岩盤で、鉛直に施工したことにより亀裂を捕捉できなかったために、たまたま低透水となる

可能性のあるような岩盤の場合においては、チェック孔による確認は必要であると考えられる。ただし、この場合についても、施工途中において、再検討を行い、その結果によってはその後のチェック孔の施工を省略することも可能であると考えられる。

また、3次孔省略による影響についても検討を行ったが、本論文において検討を行ったダムでは、いずれも適切に省略基準が作成され、基本的に3次孔省略の影響はなかった。

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、本研究の結果を基にし、さらに、各ダムにおいて、地質、改良傾向を詳細に分析することで、チェック孔の省略は可能であると考えられる。今後は、新しいグラウチングの技術指針により施工されたダムも竣工を迎えることから、これらのダムの実績データについても分析を行い、本研究で得られた成果の妥当性の検証、必要に応じた追加整理を行い、カーテングラウチングの省略基準を確立したい。

謝辞

本研究を進めるにあたり、カーテングラウチングの実績データを提供していただいた、ダム事務所の関係各位には、ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 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.
- 2) (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.
- 3) 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.
- 4) 山口嘉一・佐藤弘行・阿部智彦：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、第34回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、土木学会、pp.429-434、2005.
- 5) 山口嘉一・佐藤弘行・阿部智彦：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(その2)、第40回地盤工学研究発表会発表講演集、地盤工学会、CD-ROM、2005.
- 6) Yamaguchi, Y., Satoh, H. and Abe, T. (2005): Omission possibility of check holes of curtain grouting for dam

foundations, *Proc. The 2nd China - Japan Geotechnical Symposium*, pp.338-345.

- 7) 建設省河川局開発課監修：ルジオンテスト技術指針・同解説、(財)国土開発技術研究センター、1984.
- 8) 佐藤弘行・中村洋祐・山口嘉一：カーテングラウチングの規定孔間隔に関する検討、第32回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、土木学会、pp.215-220、2003.
- 9) 鐵 健司：新版品質管理のための統計的方法入門、(株)日科技連出版社、2000.
- 10) 松田 達、竹林征三、田村徳朗：ダム基礎岩盤の透水特性とグラウチング効果の評価について、大ダム、No.95、pp.30-51、1981.

2. ダム基礎グラウチングに関する用語の説明

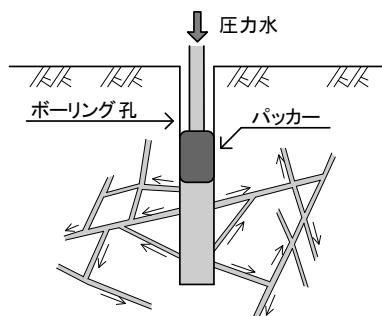


図-2.1 ルジオンテストの模式図

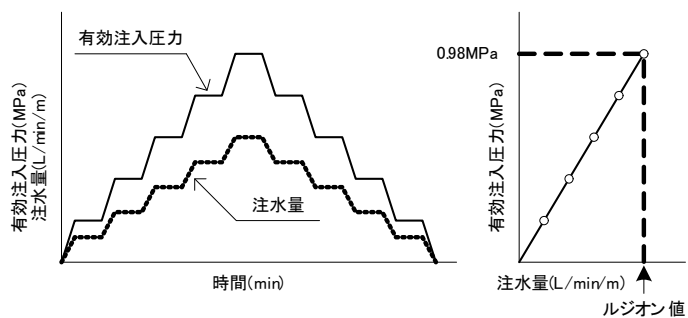


図-2.2 ルジオン値の算出方法

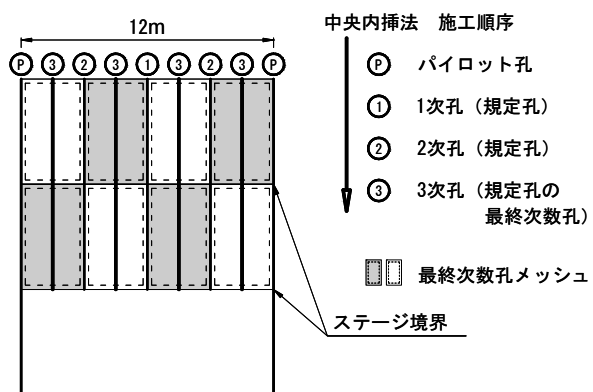


図-2.3 中央内挿法の模式図

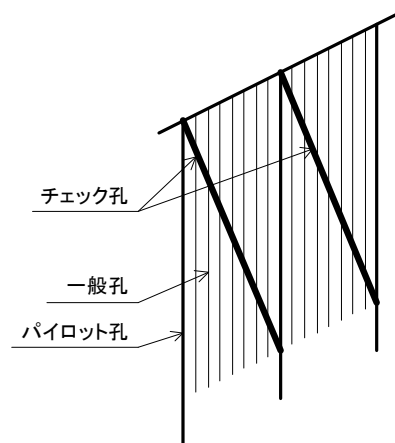


図-2.4 チェック孔の模式図

表-2.1 最終次数孔の抽出方法

最終次数孔の抽出方法	
①	規定孔まで施工した後、所定の追加孔施工基準に従い、追加孔を施工する。
②	追加孔の施工が完了した後、設計最終次数孔（この場合3次孔）を中心とし、両側の前次数までの孔とステージ境界でメッシュを区切る。このメッシュを最終次数孔メッシュと呼ぶ。
③	それぞれの最終次数孔メッシュの中で、最も最後に施工したデータを最終次数孔として抽出する。なお、追加孔が施工されていないメッシュの場合は規定最終次数孔（この場合3次孔）が最終次数孔となる。また、同じメッシュ内に4次孔が2孔施工されている場合、後に施工された4次孔を最終次数孔として抽出する方法（抽出方法-1）と、2孔とも最終次数孔として抽出する方法（抽出方法-2）がある。 (抽出方法-1) (抽出方法-2)

4. 検討対象ダム

表-4.1 ダム諸元および地質概要

ダム名	型式	諸元	地質概要
Aダム	中央コア型 ロックフィル ダム	堤高： 57.0 m 堤頂長： 390.0 m 堤体積： 1,889,000 m ³	主に新生代第四紀の溶結凝灰岩および凝灰角礫岩を基盤としている。最も広く分布する溶結凝灰岩は全体的に節理も少なく透水性は比較的低い。しかし、河床の深部において一部節理が発達し透水性の高いゾーンが分布する。左岸リム部および右岸リム部の浅部に分布する凝灰角礫岩は節理が発達しており透水性も比較的高い。
Bダム	重力式 コンクリート ダム	堤高： 109.0 m 堤頂長： 308.0 m 堤体積： 960,000 m ³	主に中生代白亜紀の砂岩、粘板岩および砂岩粘板岩互層を基盤としている。左岸リム部および堤体部の基礎には粘板岩が主に分布し、その中でも左岸リム部の透水性が特に高い。右岸リム部の基礎には砂岩および砂岩粘板岩互層が主に分布し、その中でも砂岩の透水性が比較的高い。
Cダム	重力式 コンクリート ダム	堤高： 100.0 m 堤頂長： 315.0 m 堤体積： 1,030,000 m ³	主に中生代白亜紀の砂岩、粘板岩を基盤としている。一部、断層沿いで風化により劣化した場所も見られるが、全体的には堅硬な岩盤が多くを占める。透水性については、右岸部に比較し左岸部の節理が発達しており、透水性も高くなっている。
Dダム	重力式 コンクリート ダム	堤高： 97.0 m 堤頂長： 190.0 m 堤体積： 510,000 m ³	主に中生代ジュラ紀の花崗閃緑岩を基盤としている。断層部と表層部に風化による岩盤の劣化が見られるが、全体的には堅硬な岩盤が多くを占める。基礎岩盤の透水性は深度が深くなるほど透水性が低くなる傾向が見られるが、右岸部に比較し左岸部のほうが深部まで透水性の高いゾーンが広がる。
Eダム	重力式 コンクリート ダム	堤高： 123.0 m 堤長： 393.0 m 堤体積： 1,160,000 m ³	主に新生代第三紀の安山岩自破碎溶岩、凝灰角礫岩および安山岩貫入岩を基盤としている。左岸側は主に安山岩自破碎溶岩が広く分布し、一部安山岩貫入岩が分布する。最河床部は安山岩貫入岩が分布し、河床から右岸にかけて、凝灰角礫岩、安山岩自破碎溶岩が広く分布する。基礎岩盤の透水性は、安山岩貫入岩および断層周辺で比較的高い透水性を示すが、その他は比較的低透水性は低い。
Fダム	中央コア型 ロックフィル ダム	堤高： 105.0 m 堤頂長： 664.6 m 堤体積： 8,300,000 m ³	主に新生代第三紀の礫岩および火山礫凝灰岩を基盤としている。全体として礫岩と火山礫凝灰岩が、ほぼ水平に層をなして分布しており、左岸部から河床にかけては、火山礫凝灰岩が広く分布し、その火山礫凝灰岩に挟まれる形で、うすく水平に礫岩とシルト岩質礫岩が分布する。右岸については上部から凝灰岩質礫岩、火山礫凝灰岩、シルト岩質礫岩等が層状に分布する。基礎岩盤の透水性は全体的に低透水であるが、縦亀裂に起因する高透水がスポット状に分布し、また、礫岩と火山礫凝灰岩の地質境界付近において比較的高い透水性を示す。
Gダム	重力式 コンクリート ダム	堤高： 114.0 m 堤頂長： 331.3 m 堤体積： 750,000 m ³	主に中生代白亜紀の中～粗粒花崗岩を基盤としている。基礎岩盤の透水性は、右岸部から河床部にかけては着岩部で比較的高透水性の高いゾーンが分布するほか、深部でも局所的に透水性の高いデータが分布するが、全体としては、低透水である。右岸部では、深部で水平断層沿いに非常に透水性の高いゾーンが広く分布し、またアバットメントからリムにかけて、マサ化により透水性も高く、また改良も困難なゾーンが分布する。なお、右岸深部の高透水ゾーンについては検討対象外としている。
Hダム	重力式 コンクリート ダム	堤高： 74.0 m 堤頂長： 225.0 m 堤体積： 300,000 m ³	主に中生代白亜紀の流紋岩質凝灰角礫岩を基盤としている。基礎岩盤の透水性は、一部着岩部付近で比較的高透水性の高いゾーンがみられるが、基本的に深くなるにつれて低くなり、全体としては、2Lu以下の低透水ゾーンが多くを占める。
Iダム	アーチ式 コンクリート ダム	堤高： 156.0 m 堤頂長： 382.0 m 堤体積： 810,000 m ³	主に中生代白亜紀の中～粗粒黒雲母花崗岩を基盤としている。基礎岩盤の透水性は全体的に低透水であるが、特に左右岸のリム部に高角度の断層もしくは亀裂によると考えられる高透水が局所的に分布する。

表-4.2 ゾーン区分および配孔（Aダム～Dダム）

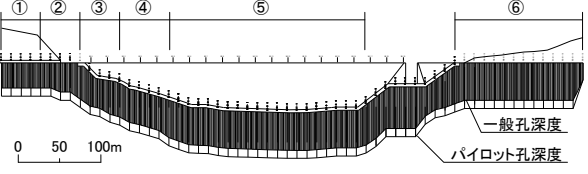
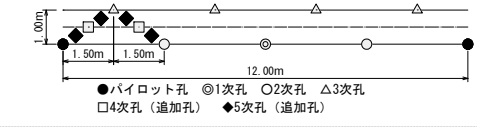
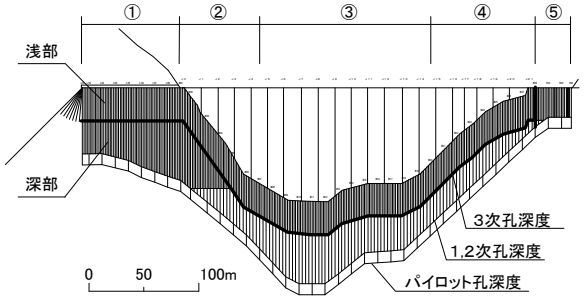
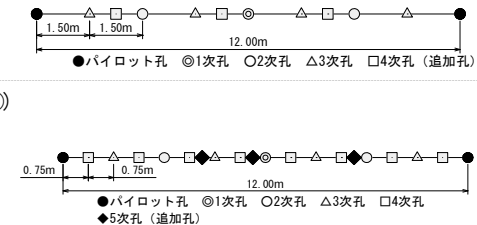
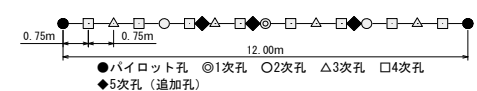
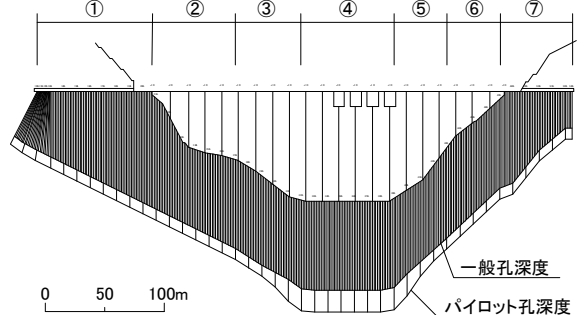
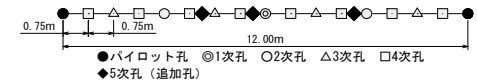
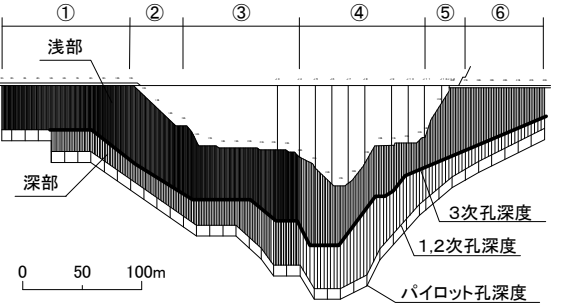
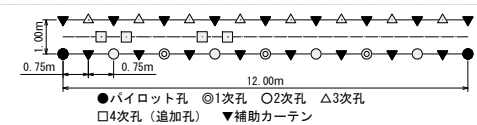
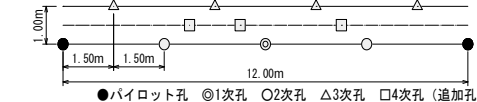
ダム名	ゾーン区分	改良目標値および配孔
Aダム		改良目標値：5Lu（非超過確率 85%） 孔配置：(①～⑥)*  ●パイロット孔 ◎1次孔 ○2次孔 △3次孔 □4次孔（追加孔） ◆5次孔（追加孔） 補助カーテン：なし *ただし、ゾーン①および④では 3 次孔を追加孔扱いとし、設計 2 次孔で施工している。
Bダム		改良目標値：2Lu（非超過確率 85%） 孔配置：(①～④)*  ●パイロット孔 ◎1次孔 ○2次孔 △3次孔 □4次孔（追加孔） ◆5次孔（追加孔） (⑤)  ●パイロット孔 ◎1次孔 ○2次孔 △3次孔 □4次孔 ◆5次孔（追加孔） 補助カーテン：①、⑤なし、②～④あり （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：2Lu（非超過確率 85%） 孔配置：(①～⑦)  ●パイロット孔 ◎1次孔 ○2次孔 △3次孔 □4次孔 ◆5次孔（追加孔） 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：2Lu （非超過確率：①～③→100%、④～⑥→90%） 孔配置：(①～③)  ●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 孔配置：(④～⑥)  ●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：①～③あり、④～⑥なし

表-4.2 (続き) ゾーン区分および配孔 (Eダム～Iダム)

ダム名	ゾーン区分	改良目標値および配孔
Eダム		改良目標値：2Lu (非超過確率 85%) 孔配置：(①, ③～⑦) ●パイロット孔 ◎1次孔 ○2次孔 △3次孔 □4次孔 (追加孔) (②) ●パイロット孔 ◎1次孔 ○2次孔 △3次孔 □4次孔 ◆5次孔 (追加孔) 補助カテン：全ゾーンで上流もしくは上下流に施工
Fダム		改良目標値：2Lu (非超過確率 85%) 孔配置：(①～⑥) ●パイロット孔 ◎1次孔 ○2次孔 △3次孔 □4次孔 (追加孔) 補助カテン：全ゾーンで上下流に施工 * ②, ③, ⑤において3次孔省略基準を適用
Gダム		改良目標値：2Lu (非超過確率 85%) 孔配置：(①～⑥) ●パイロット孔 ◎1次孔 ○2次孔 △3次孔 □4次孔 (追加孔) (⑦) ●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) 補助カテン：なし * ③, ④, ⑤において3次孔省略基準を適用
Hダム		改良目標値：2Lu (非超過確率 85%) 孔配置：(①～⑥) ●パイロット孔 ◎1次孔 ○2次孔 △3次孔 □4次孔 (追加孔) 補助カテン：なし * ①, ②, ⑤深部 (3st 以深) では3次孔を追加孔扱いとし、設計2次孔施工している
Iダム		改良目標値：2Lu (非超過確率 85%) 孔配置：(①～⑥) ●パイロット孔 ◎1次孔 ○2次孔 △3次孔 □4次孔 (追加孔) 補助カテン：なし * ②および①, ③～⑥深部 (7st 以深) では3次孔を追加孔扱いとし、設計2次孔施工している

表-4.3 初期透水性および改良傾向

ダム名	ゾーン 区分	規定孔 間隔	規定孔 次数	ルジオン値 非超過確率85%値							規定孔 孔数①	追加孔 孔数②	追加率 (②/①) %	主要地質
				P次孔	1次孔	2次孔	3次孔	4次孔	最終孔	C次孔				
Aダム	①	3.0m	2次孔	4.55	2.21	2.36			2.59	1.57	132	0	0%	凝灰岩
	②	1.5m	3次孔	8.86	7.18	6.47	3.26		2.58	4.34	235	37	16%	凝灰岩
	③	1.5m	3次孔	5.67	6.69	5.10	4.46		3.88	3.22	226	18	8%	凝灰岩
	④	3.0m	2次孔	2.21	2.75	3.09			3.03	3.08	170	19	11%	凝灰岩
	⑤	1.5m	3次孔	19.02	8.40	4.71	3.97		3.10	3.31	1815	407	22%	凝灰岩
	⑥	1.5m	3次孔	10.82	8.78	6.46	5.87		3.67	3.17	961	431	45%	凝灰岩
Bダム	①浅部	1.5m	3次孔	19.81	11.06	8.56	5.81		1.34	1.27	366	755	206%	砂岩粘板岩
	①深部	1.5m	3次孔	10.85	6.30	4.31	2.89		1.53	2.61	505	273	54%	砂岩粘板岩
	②浅部	1.5m	3次孔	5.52	5.52	3.14	2.30		1.26	1.67	288	104	36%	砂岩粘板岩
	②深部	3.0m	2次孔	1.75	2.85	1.52			1.17	1.56	249	49	20%	砂岩粘板岩
	③浅部	1.5m	3次孔	4.19	3.04	2.49	1.98		1.36	1.23	624	97	16%	砂岩粘板岩
	③深部	3.0m	2次孔	0.55	0.58	0.45			0.45	0.57	347	14	4%	砂岩粘板岩
	④浅部	1.5m	3次孔	2.72	3.26	2.68	1.79		1.50	1.63	383	63	16%	砂岩粘板岩
	④深部	3.0m	2次孔	0.80	1.35	0.73			0.73	0.33	154	0	0%	砂岩粘板岩
	⑤	0.75m	4次孔	9.85	11.74	15.68	8.37	5.47	1.75	1.87	247	87	35%	砂岩粘板岩
	⑥	0.75m	4次孔	13.19	11.59	5.07	2.95		1.46	1.09	1372	933	68%	砂岩粘板岩
Cダム	②	1.5m	3次孔	14.29	5.59	5.36	3.20		1.46	1.55	791	437	55%	砂岩粘板岩
	③	1.5m	3次孔	11.17	4.90	2.65	1.89		1.08	0.59	647	214	33%	砂岩粘板岩
	④	1.5m	3次孔	13.67	1.78	0.66	0.28		0.28	0.28	945	10	1%	砂岩粘板岩
	⑤	1.5m	3次孔	2.56	0.47	0.43	0.31		0.26	0.50	490	22	4%	砂岩粘板岩
	⑥	1.5m	3次孔	8.85	4.57	1.36	0.78		0.76	0.76	436	11	3%	砂岩粘板岩
	⑦	1.5m	3次孔	10.34	3.52	2.04	0.92		0.61	0.50	546	20	4%	砂岩粘板岩
	⑧	1.5m	3次孔	11.62	4.99		2.87	1.78	1.16	1.00	1367	246	18%	花崗岩
Dダム	②	0.75m	4次孔	8.51	5.23		3.99	2.76	1.51	1.47	796	145	18%	花崗岩
	③	0.75m	4次孔	6.01	2.88		1.92	1.60	1.30	0.83	1556	165	11%	閃緑岩
	④	1.5m	3次孔	6.37	3.09	1.98	1.36		1.22	1.09	765	12	2%	閃緑岩
	⑤	1.5m	3次孔	11.81	22.64	21.62	15.19		1.82	1.71	243	95	39%	閃緑岩
	⑥	1.5m	3次孔	8.34	10.74	5.77	4.42		1.70	1.11	417	56	13%	閃緑岩
	⑦	1.5m	3次孔	1.98	0.48	0.61	0.44		0.44	0.29	256	0	0%	安山岩
Eダム	②	0.75m	4次孔	5.09	0.68	0.47	0.36	0.20	0.20	0.21	768	1	0%	安山岩
	③	1.5m	3次孔	4.40	1.09	0.72	0.58		0.57	0.45	1490	7	0%	安山岩
	④	1.5m	3次孔	3.22	1.63	1.56	0.95		0.83	0.56	938	40	4%	安山岩
	⑤	1.5m	3次孔	1.90	0.74	0.61	0.52		0.52	0.31	843	1	0%	凝灰岩
	⑥	1.5m	3次孔	2.28	0.81	0.87	0.73		0.73	0.64	731	2	0%	安山岩
	⑦	1.5m	3次孔	1.63	1.29	0.79	0.73		0.73	0.36	520	1	0%	安山岩
	⑧	1.5m	3次孔	2.62	1.07	0.56	0.52		0.46	0.30	994	20	2%	火山礫凝灰岩
Fダム	②	1.5m	(省略基準)	4.17	1.32	0.67	0.44		0.46	0.38	900	5	1%	火山礫凝灰岩
	③	1.5m	(省略基準)	4.23	1.70	1.09	1.61		0.97	0.87	2360	129	5%	火山礫凝灰岩
	④	1.5m	3次孔	4.24	1.49	1.05	0.76		0.68	0.62	2617	59	2%	火山礫凝灰岩
	⑤	1.5m	(省略基準)	2.67	2.44	1.34	1.67		1.10	1.29	1207	77	6%	礫岩
	⑥	1.5m	3次孔	4.57	2.29	1.02	0.81		0.71	0.70	1270	177	14%	礫岩
	⑦	1.5m	3次孔	3.22	0.99	10.62	1.05		1.05	1.51	89	0	0%	花崗岩
Gダム	②	1.5m	3次孔	6.52	3.18	2.29	1.17		0.99	1.00	365	23	6%	花崗岩
	③	1.5m	(省略基準)	3.96	2.82	1.31	1.77		1.03	1.44	386	48	12%	花崗岩
	④	1.5m	(省略基準)	3.70	2.37	0.66	0.67		0.65	0.47	312	12	4%	花崗岩
	⑤	1.5m	(省略基準)	5.16	8.13	3.85	3.30		1.29	2.81	404	203	50%	花崗岩
	⑥	1.5m	3次孔	10.04	6.82	4.18	3.02		1.78	2.95	574	363	63%	花崗岩
	⑦	1.5m	3次孔	3.12	16.97	12.03	7.18		2.61	4.57	71	48	68%	花崗岩
	⑧	1.5m	3次孔	13.57	0.00	2.23	0.88		0.88	0.00	34	0	0%	流紋岩質凝灰角礫岩
Hダム	①浅部	1.5m	3次孔	4.08	5.28	1.20			0.40	0.29	29	2	7%	流紋岩質凝灰角礫岩
	②浅部	1.5m	3次孔	7.21	12.22	2.15	0.60		0.60	0.17	79	0	0%	流紋岩質凝灰角礫岩
	②深部	3.0m	2次孔	10.55	0.93	0.38			0.30	0.25	116	17	15%	流紋岩質凝灰角礫岩
	③	1.5m	3次孔	3.41	0.86	0.50	0.50		0.50	0.10	464	1	0%	流紋岩質凝灰角礫岩
	④	1.5m	3次孔	1.75	1.05	1.10	0.62		0.60	0.22	232	4	2%	流紋岩質凝灰角礫岩
	⑤浅部	1.5m	3次孔	17.01	6.56	4.75	1.13		1.13	0.04	89	0	0%	流紋岩質凝灰角礫岩
	⑤深部	3.0m	2次孔	3.26	1.82	1.20			0.50	0.16	197	109	55%	流紋岩質凝灰角礫岩
	⑥	1.5m	3次孔	3.23	3.13	1.76	0.50		0.50	0.10	298	0	0%	流紋岩質凝灰角礫岩
Iダム	①浅部	1.5m	3次孔	2.74	2.04	1.47	1.08		1.00	0.82	870	127	15%	花崗岩
	①深部	3.0m	2次孔	0.71	0.75	0.69			0.62	0.97	569	41	7%	花崗岩
	②	3.0m	2次孔	1.71	1.41	0.85			0.80	0.44	612	118	19%	花崗岩
	③浅部	1.5m	3次孔	0.91	0.74	0.66	0.49		0.49	0.48	588	9	2%	花崗岩
	③深部	3.0m	2次孔	0.49	0.43	0.28			0.28	0.49	359	0	0%	花崗岩
	④浅部	1.5m	3次孔	0.90	0.79	0.83	0.63		0.59	0.91	538	18	3%	花崗岩
	④深部	3.0m	2次孔	0.25	0.28	0.15			0.15	0.16	250	0	0%	花崗岩
	⑤浅部	1.5m	3次孔	0.50	0.31	0.32	0.19		0.19	0.18	593	0	0%	花崗岩
	⑤深部	3.0m	2次孔	0.50	0.36	0.25			0.25	0.50	398	0	0%	花崗岩
	⑥浅部	1.5m	3次孔	1.85	1.05	0.99	0.87		0.96	0.67	528	59	11%	花崗岩
	⑥深部	3.0m	2次孔	1.81	1.53	1.36			0.77	2.38	308	44	14%	花崗岩

表-4.4 H ダムの追加孔施工基準

規定孔次数	追加孔施工基準
2 次孔	隣接する 2 次孔の同標高もしくは上下各 1 ステージが、2 ルジオンまたは単位注入セメント量 20kg/m のいずれかを超えた場合 3 次孔を施工する。4 次孔以降の施工については、規定孔を 3 次孔とした場合と同じ。
3 次孔	最終次数孔で 4 ルジオン以上の孔が存在する場合、もしくは 2 ルジオン以上の孔が連続する場合、追加孔を施工する。

5. 最終次数孔とチェック孔の比較

5. 1 統計的検定の手法による比較

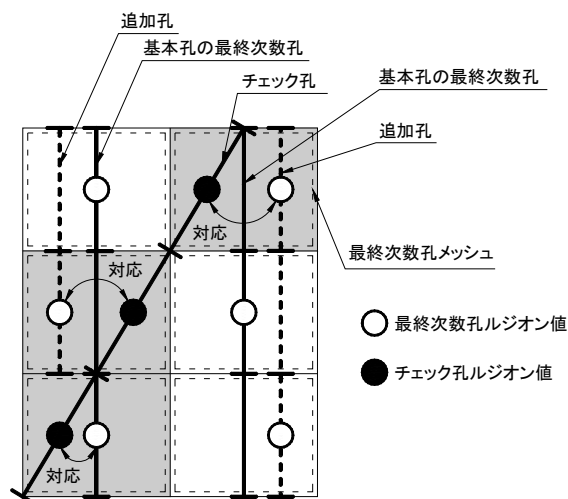


図-5.1 最終次数孔とチェック孔の対応関係

表-5.1 t 検定による比較結果

ダム名	ゾーン区分	規定孔間隔	P値 ^{*)}	有意差 ^{**) (95%)}	比較 ^{***)} 結果
Aダム	①	3.00 m	0.060	なし	Luf=Luc
	②	1.50 m	0.283	なし	Luf=Luc
	③	1.50 m	0.161	なし	Luf=Luc
	④	3.00 m	0.843	なし	Luf=Luc
	⑤	1.50 m	0.004	あり	Luf<Luc
	⑥	1.50 m	0.712	なし	Luf=Luc
Bダム	①浅部	1.50 m	0.120	なし	Luf=Luc
	①深部	1.50 m	0.124	なし	Luf=Luc
	②浅部	1.50 m	0.815	なし	Luf=Luc
	②深部	3.00 m	0.566	なし	Luf=Luc
	③浅部	1.50 m	0.000	あり	Luf>Luc
	③深部	3.00 m	0.263	なし	Luf=Luc
	④浅部	1.50 m	0.942	なし	Luf=Luc
	④深部	3.00 m	0.984	なし	Luf=Luc
	⑤	0.75 m	0.343	なし	Luf=Luc
	⑥	1.50 m	0.000	あり	Luf>Luc
Cダム	②	1.50 m	0.061	なし	Luf=Luc
	③	1.50 m	0.571	なし	Luf=Luc
	④	1.50 m	0.341	なし	Luf=Luc
	⑤	1.50 m	0.433	なし	Luf=Luc
	⑥	1.50 m	0.173	なし	Luf=Luc
	⑦	1.50 m	0.473	なし	Luf=Luc
	⑧	1.50 m	0.473	なし	Luf=Luc
Dダム	①	0.75 m	0.311	なし	Luf=Luc
	②	0.75 m	0.002	あり	Luf>Luc
	③	0.75 m	0.000	あり	Luf>Luc
	④	1.50 m	0.929	なし	Luf=Luc
	⑤	1.50 m	0.770	なし	Luf=Luc
	⑥	1.50 m	0.059	なし	Luf=Luc
Eダム	①	1.50 m	0.101	なし	Luf=Luc
	②	0.75 m	0.212	なし	Luf=Luc
	③	1.50 m	0.478	なし	Luf=Luc
	④	1.50 m	0.019	あり	Luf>Luc
	⑤	1.50 m	0.128	なし	Luf=Luc
	⑥	1.50 m	0.030	あり	Luf>Luc
	⑦	1.50 m	0.012	あり	Luf>Luc
Fダム	①	1.50 m	0.922	なし	Luf=Luc
	②	1.50 m	0.336	なし	Luf=Luc
	③	1.50 m	0.459	なし	Luf=Luc
	④	1.50 m	0.233	なし	Luf=Luc
	⑤	1.50 m	0.000	あり	Luf<Luc
	⑥	1.50 m	0.604	なし	Luf=Luc
Gダム	①	1.50 m	0.238	なし	Luf=Luc
	②	1.50 m	0.060	なし	Luf=Luc
	③	1.50 m	0.008	あり	Luf<Luc
	④	1.50 m	0.839	なし	Luf=Luc
	⑤	1.50 m	0.001	あり	Luf<Luc
	⑥	1.50 m	0.015	あり	Luf<Luc
	⑦	1.50 m	0.002	あり	Luf<Luc
Hダム	①浅部	1.50 m	0.018	あり	Luf>Luc
	①深部	3.00 m	0.681	なし	Luf=Luc
	②浅部	1.50 m	0.346	なし	Luf=Luc
	②深部	3.00 m	0.755	なし	Luf=Luc
	③	1.50 m	0.003	あり	Luf>Luc
	④	1.50 m	0.069	なし	Luf=Luc
	⑤浅部	1.50 m	0.054	なし	Luf=Luc
	⑤深部	3.00 m	0.006	あり	Luf>Luc
Iダム	⑥	1.50 m	0.001	あり	Luf>Luc
	①浅部	1.50 m	0.146	なし	Luf=Luc
	①深部	3.00 m	0.019	あり	Luf<Luc
	②	3.00 m	0.506	なし	Luf=Luc
	③浅部	1.50 m	0.015	あり	Luf>Luc
	③深部	3.00 m	0.302	なし	Luf=Luc
	④浅部	1.50 m	0.009	あり	Luf<Luc
	④深部	3.00 m	0.938	なし	Luf=Luc
	⑤浅部	1.50 m	0.418	なし	Luf=Luc
	⑤深部	3.00 m	0.887	なし	Luf=Luc
	⑥浅部	1.50 m	0.297	なし	Luf=Luc
	⑥深部	3.00 m	0.016	あり	Luf<Luc

*) P値: 臨界値。

**) 有意差の判定基準: 0.05。

***) Luf: 最終次数K上のルジオン値、Luc: チェック孔ルジオン値。

5. 2 超過率図による比較

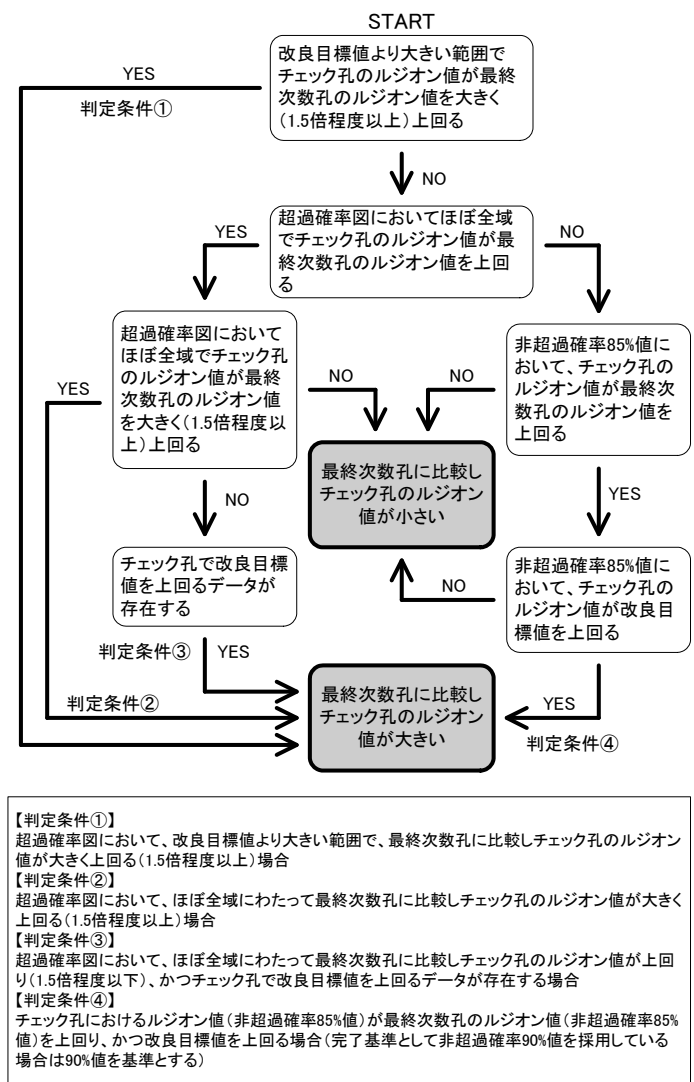


表-5.2 超過率図による判定結果

ダム名	ゾーン	判定条件
Aダム	②	①
Aダム	④	③
Bダム	①深部	①②④
Bダム	②浅部	①
Fダム	③	①
Fダム	⑤	③
Gダム	①	②
Gダム	③	③
Gダム	⑤	①②④
Gダム	⑥	①②④
Gダム	⑦	①②④
Iダム	①深部	③
Iダム	④浅部	③
Iダム	⑤深部	①②
Iダム	⑥深部	①②④

図-5.2 超過率図による最終次数孔とチェック孔の比較判定フロー

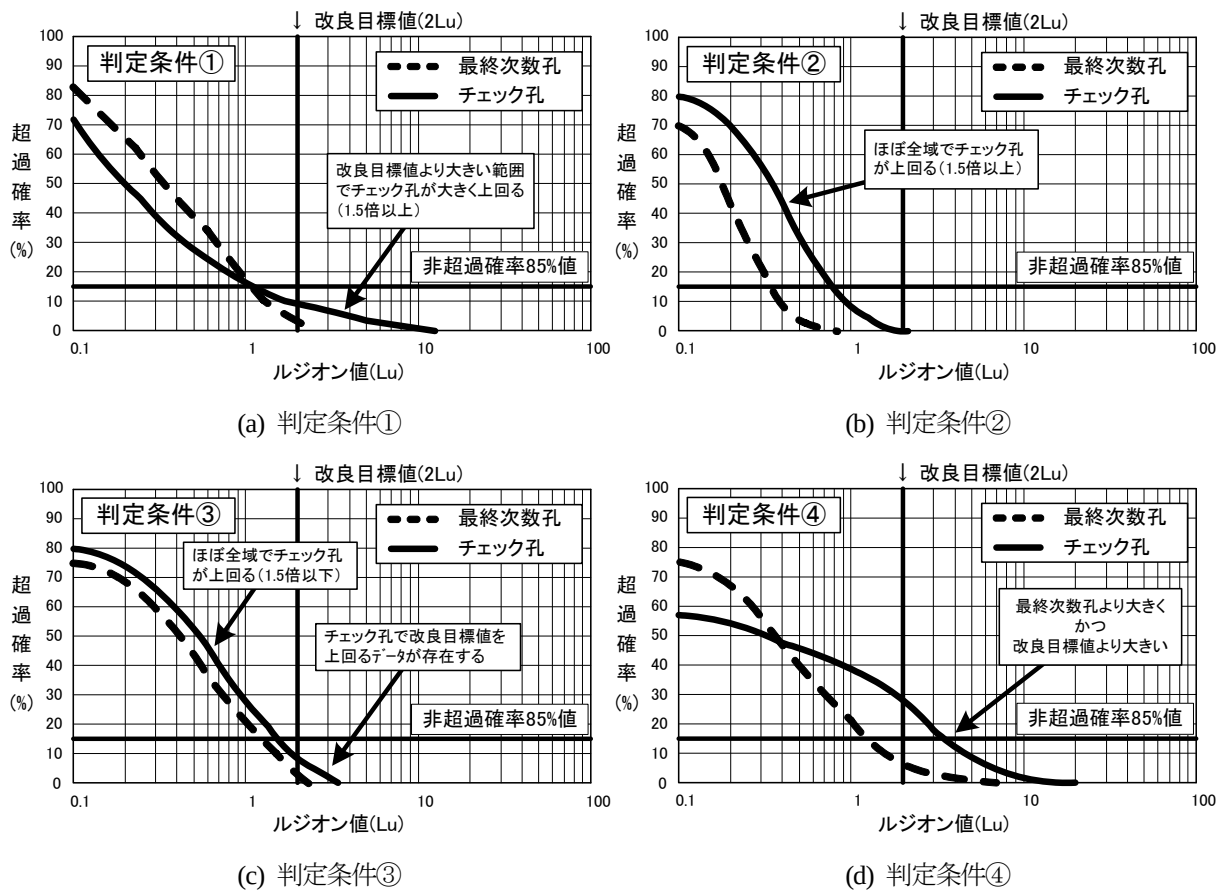


図-5.3 最終次数孔とチェック孔の比較判定の模式図

5. 3 2つの手法の適用性について

表-5.3 t 検定と超過確率図による判定の比較結果

ダム名	ゾーン	比較結果*)	
		t 検定	超過確率図
Aダム	②	×	○
Aダム	④	×	○
Aダム	⑤	○	×
Bダム	①深部	×	○
Bダム	②浅部	×	○
Fダム	③	×	○
Fダム	⑤	○	○
Gダム	①	×	○
Gダム	③	○	○
Gダム	⑤	○	○
Gダム	⑥	○	○
Gダム	⑦	○	○
Iダム	①深部	○	○
Iダム	④浅部	○	○
Iダム	⑤深部	×	○
Iダム	⑥深部	○	○

*) ○：最終次数孔に比較しチェック孔が大きい

×：最終次数孔に比較しチェック孔が小さい

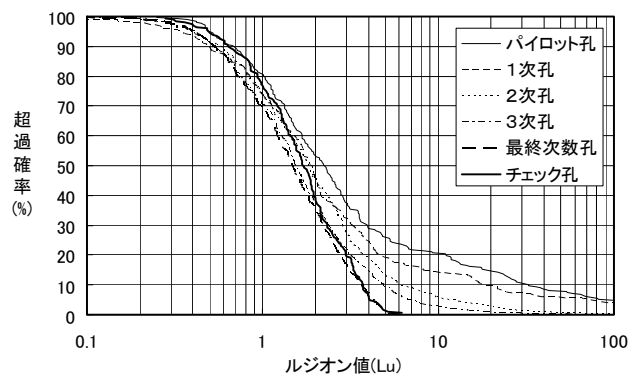


図-5.4 超過確率図 (Aダム ゾーン⑤)

6. パターンの分類

表-6.1 パターン分類結果

	パターンⅠ	パターンⅡ	パターンⅢ	パターンⅣ	ゾーン数
初期透水性	比較的低い	比較的高い	比較的低い	比較的高い	
比較結果*)	Luc<Luf	Luc<Luf	Luc>Luf	Luc>Luf	
Aダム	①、③	⑤、⑥	②、④		6
Bダム	②深部 ③浅部、③深部 ④浅部、④深部	①浅部、⑤	②浅部	①深部	9
Cダム	⑤	①、②、③、④ ⑥、⑦			7
Dダム	③、④	①、②、⑤、⑥			6
Eダム	①、②、③、④ ⑤、⑥、⑦				7
Fダム	①、②、④、⑥		③、⑤		6
Gダム	②、④		①、③、⑤	⑥、⑦	7
Hダム	①深部、②浅部 ③、④、⑤深部 ⑥	①浅部、②深部 ⑤浅部			9
Iダム	①浅、② ③浅部、③深部 ④深部、⑤浅部 ⑥浅部		①深部、④浅部 ⑤深部、⑥深部		11
ゾーン数	36 (53%)	17 (25%)	12 (18%)	3 (4%)	68

*) Luc : チェック孔のルジオン値、Luf : 最終次数孔のルジオン値。

6. 1 パターン I
6. 2 パターン II

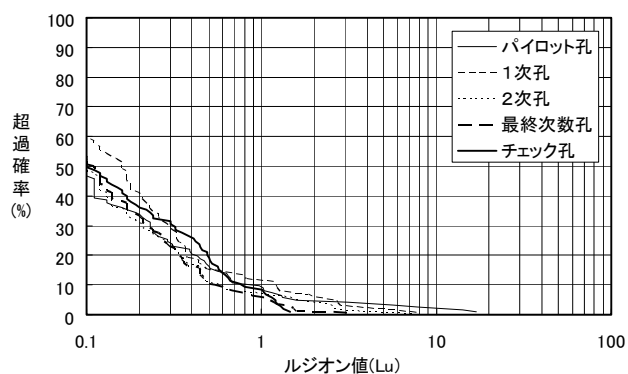


図-6.1 超過確率図 (Bダム ゾーン③深部)

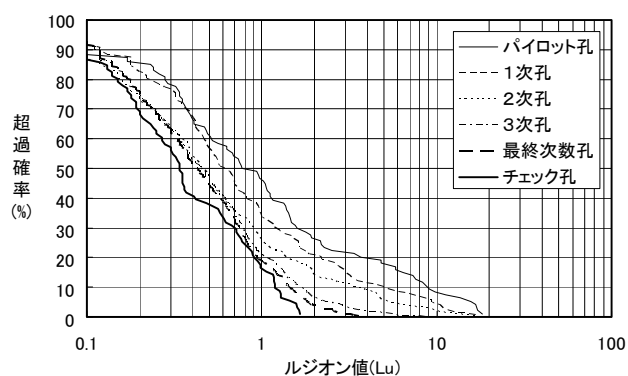


図-6.2 超過確率図 (Dダム ゾーン④)

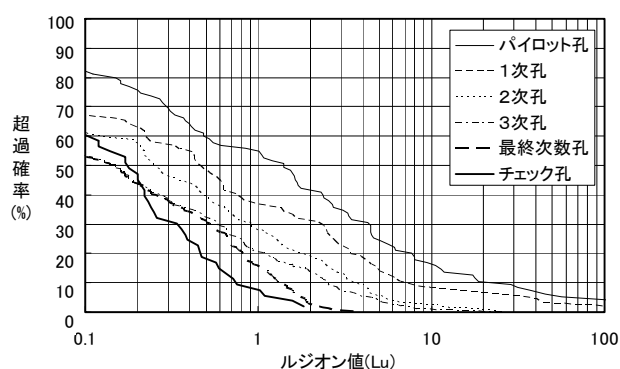


図-6.3 超過確率図 (Cダム ゾーン③)

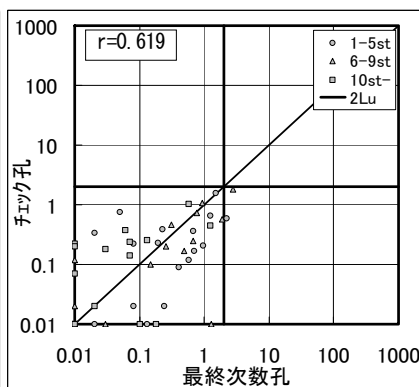
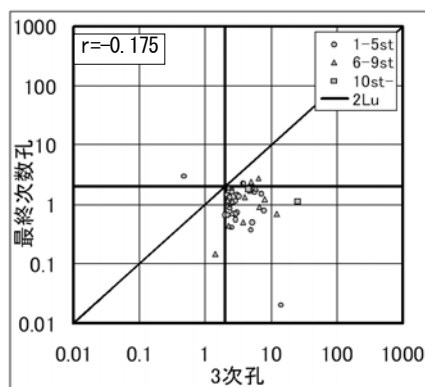
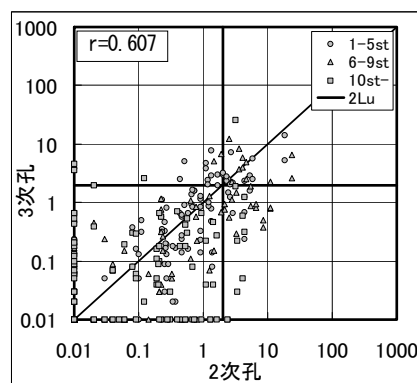
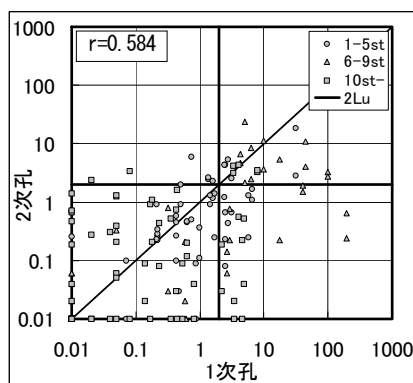
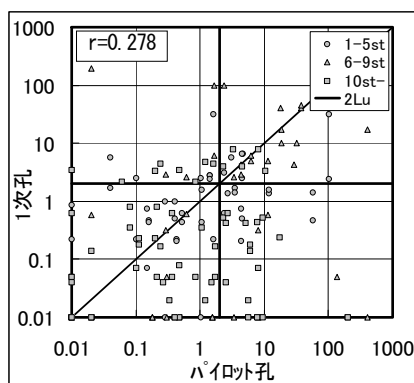


図-6.4 n 次孔と (n+1) 次孔の関係 (Cダム ゾーン③)

(r : 相関係数)

6. 3 パターンⅢ

表-6.2 パターンⅢに分類されたゾーンの一覧

問題ないと考えられるゾーン	注意を要するゾーン
A ダム ゾーン②、④ B ダム ゾーン②浅部 F ダム ゾーン⑤ G ダム ゾーン①、③ I ダム ゾーン①深部 ④浅部、⑤深部	F ダム ゾーン③ G ダム ゾーン⑤ I ダム ゾーン⑥深部

(1) Aダム ゾーン④

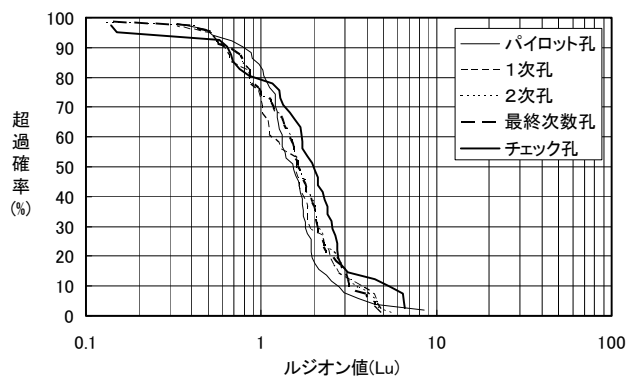


図-6.5 超過確率図 (Aダム ゾーン④)

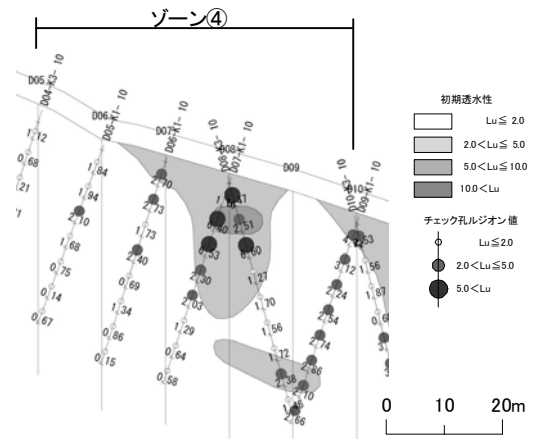


図-6.6 初期透水性とチェック孔における透水性 (Aダム ゾーン④)

(2) Fダム ゾーン③

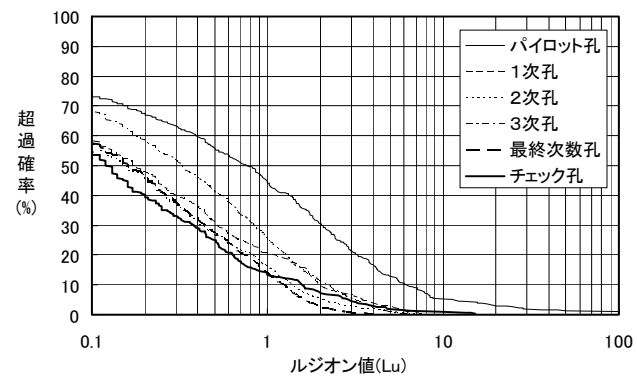


図-6.7 超過確率図 (Fダム ゾーン③)

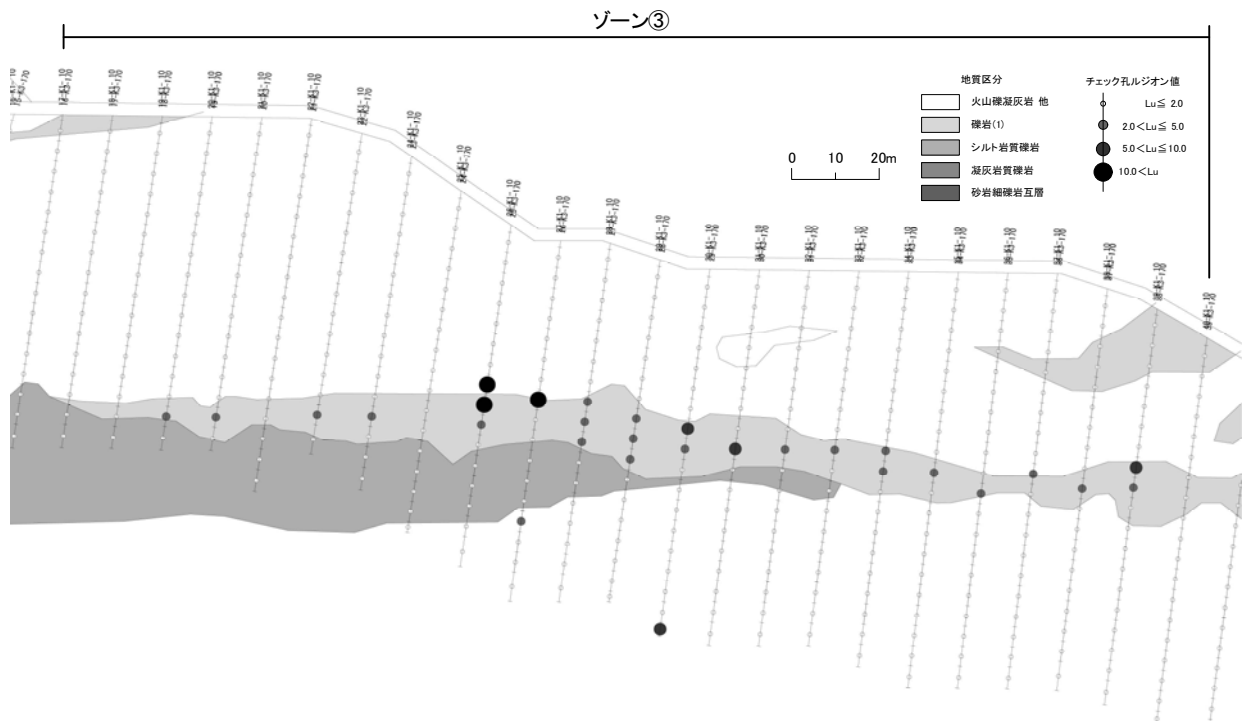


図-6.8 地質区分とチェック孔における透水性の比較 (Fダム ゾーン③)

(3) Gダム ゾーン⑤

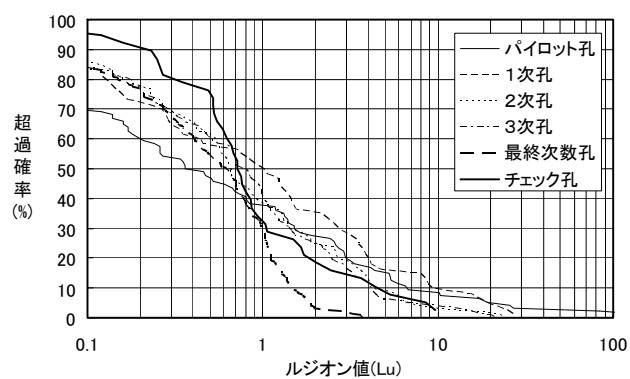


図-6.9 超過確率図 (Gダム ゾーン⑤)

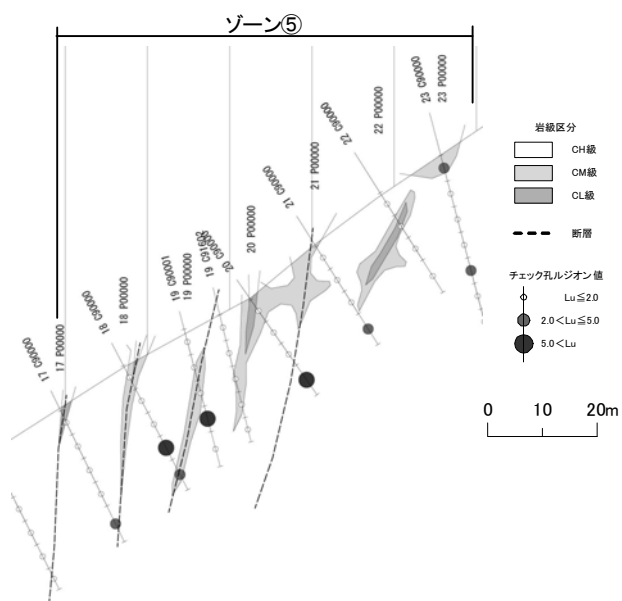


図-6.10 岩級区分とチェック孔における透水性の比較
(Gダム ゾーン⑤)

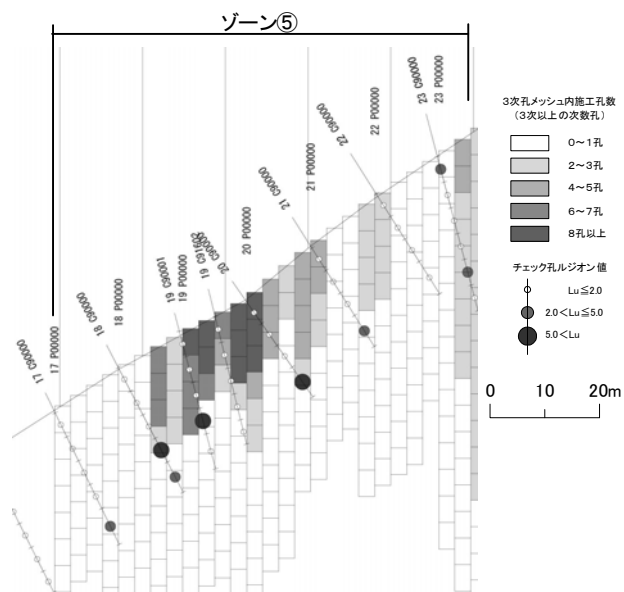


図-6.11 3次孔メッシュ内施工孔数とチェック孔のルジオン値
(Gダム ゾーン⑤)

(4) I ダム ゾーン⑥深部

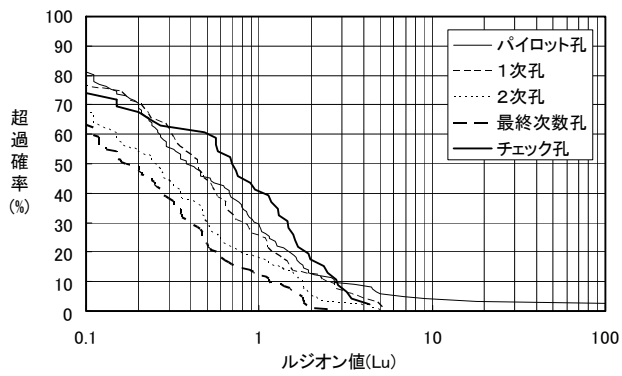


図-6.12 超過確率図 (I ダム ゾーン⑥深部)

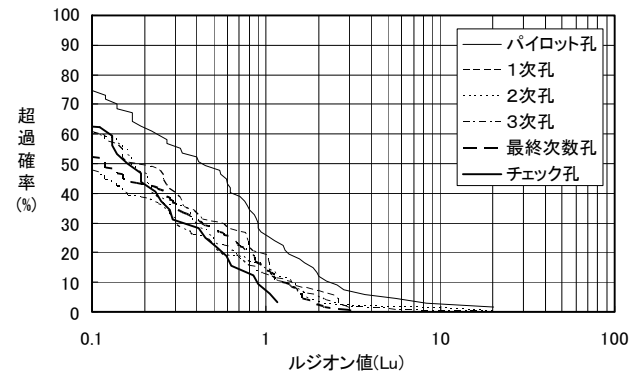


図-6.13 超過確率図 (I ダム ゾーン⑥浅部)

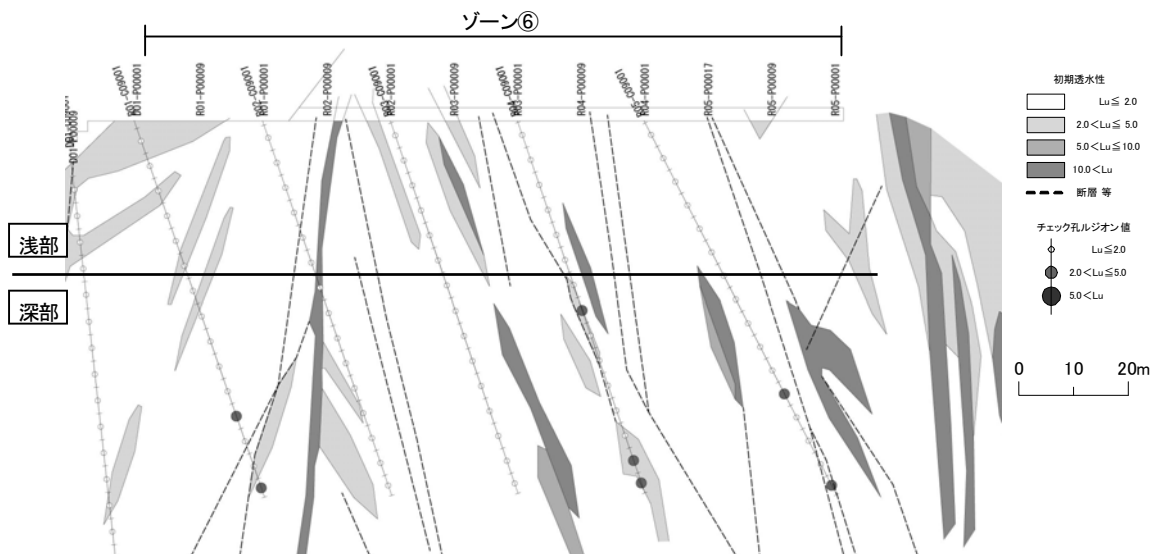


図-6.14 初期透水性とチェック孔における透水性 (I ダム ゾーン⑥周辺)

6. 4 パターンⅣ

(1) Bダム ゾーン①深部

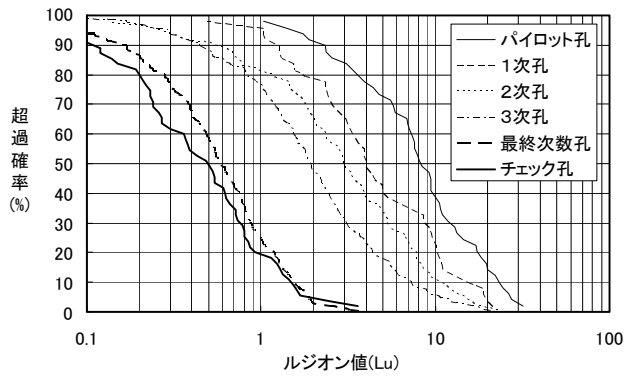


図-6.15 超過確率図 (Bダム ゾーン①浅部)

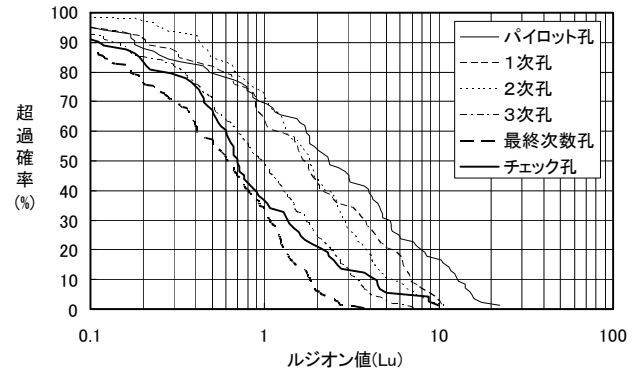


図-6.16 超過確率図 (Bダム ゾーン①深部)

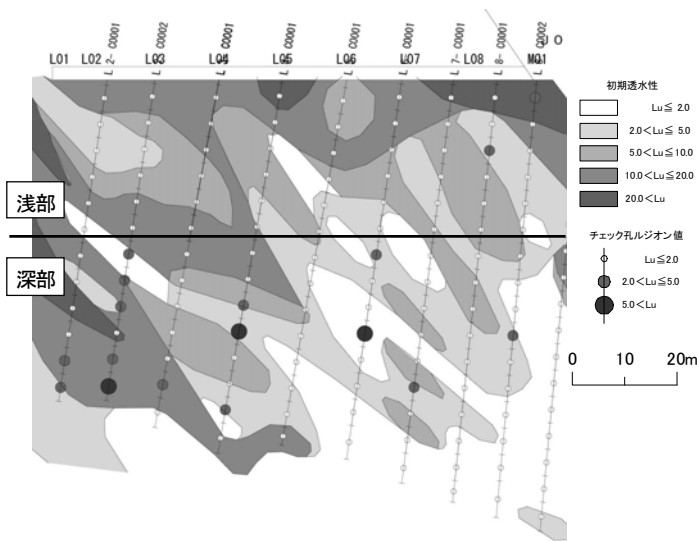


図-6.17 初期透水性とチェック孔における透水性

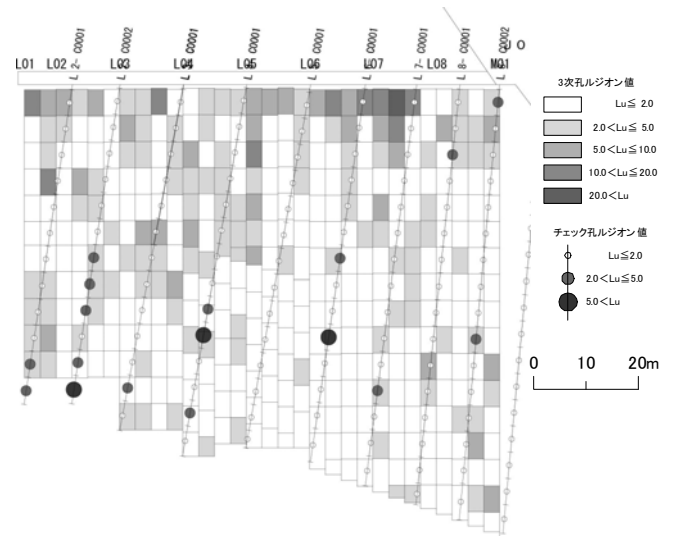


図-6.18 3次孔とチェック孔における透水性

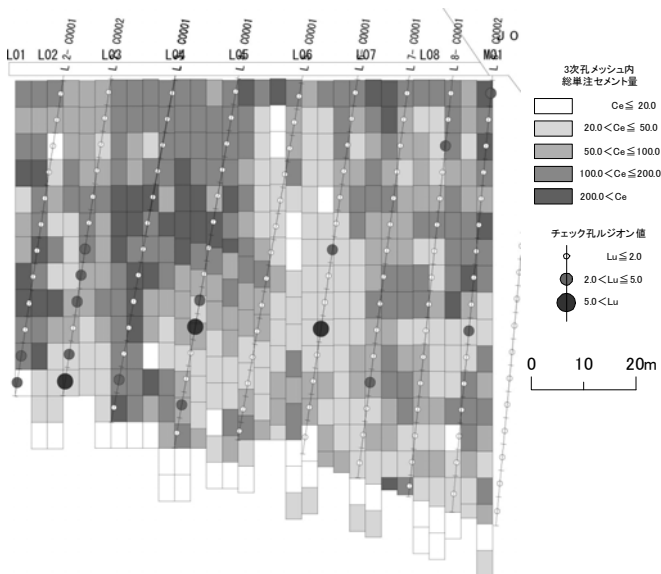


図-6.19 総単位注入セメント量とチェック孔の透水性の比較

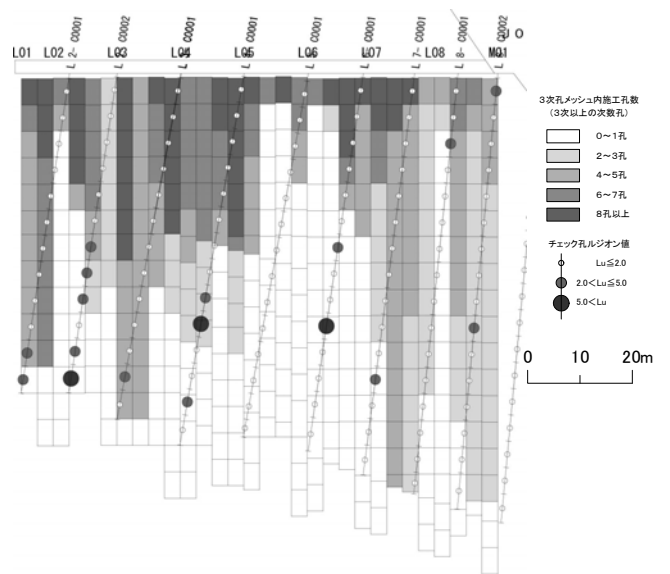


図-6.20 3次メッシュ内施工孔数とチェック孔のルジオン値

(2) Gダムゾーン⑥

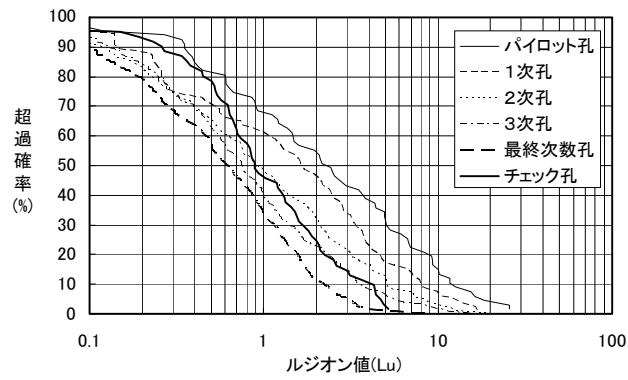


図-6.21 超過確率図 (Gダム ゾーン⑥)

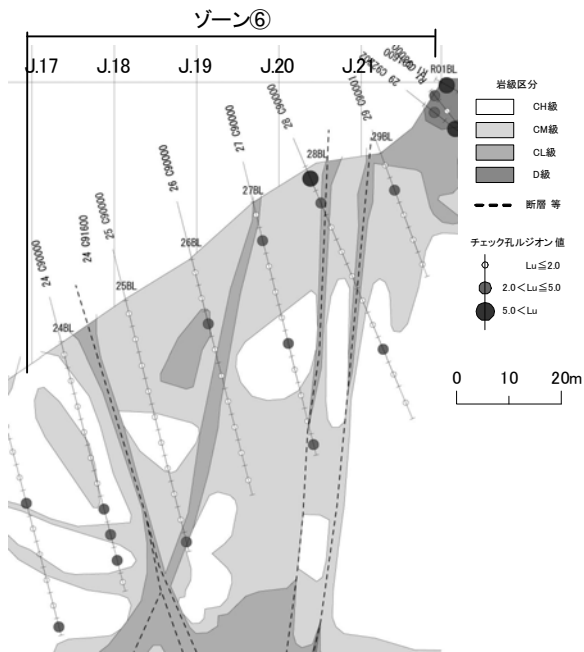


図-6.22 岩級区分とチェック孔における透水性の比較 (Gダム ゾーン⑥)

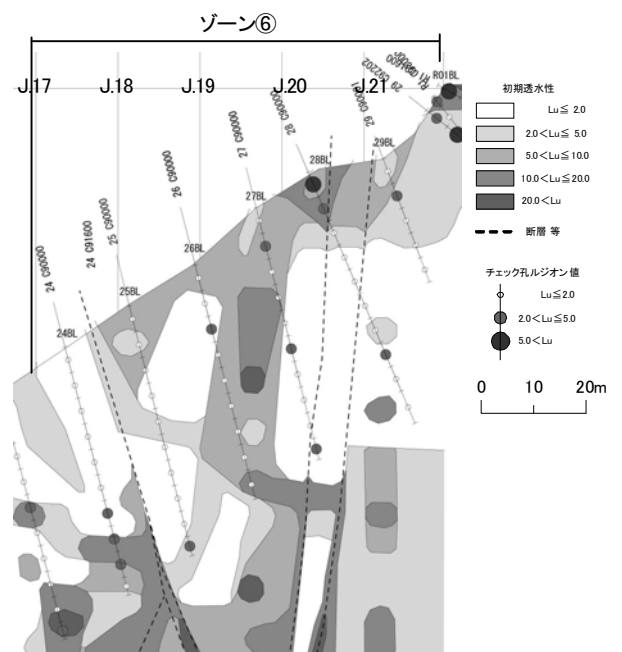


図-6.23 初期透水性とチェック孔における透水性 (Gダム ゾーン⑥)

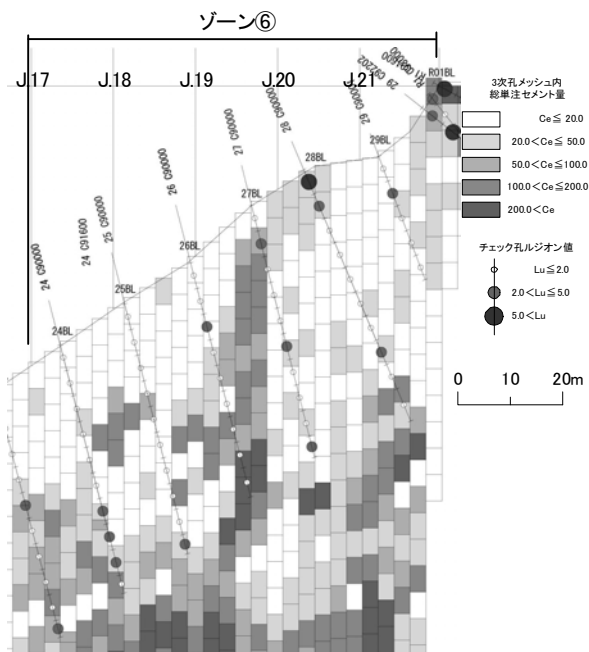


図-6.24 総単位注入セメント量とチェック孔の透水性の比較 (Gダム ゾーン⑥)

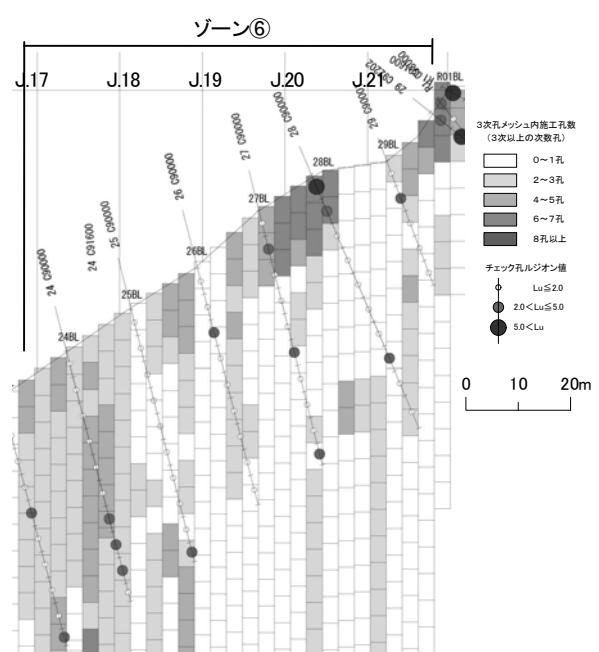


図-6.25 3次孔メッシュ内施工孔数とチェック孔のルジオン値 (Gダム ゾーン⑥)

(3) Gダム ゾーン⑦

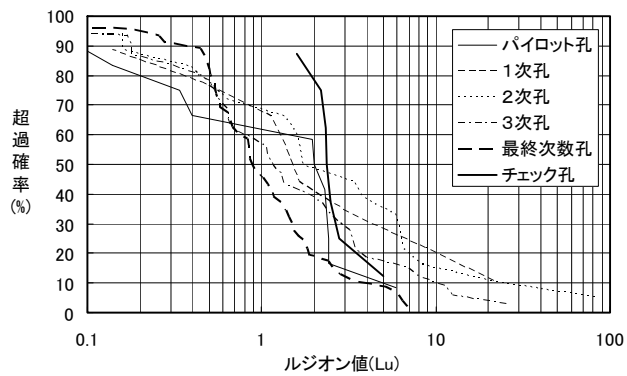


図-6.26 超過確率図 (Gダム ゾーン⑦)

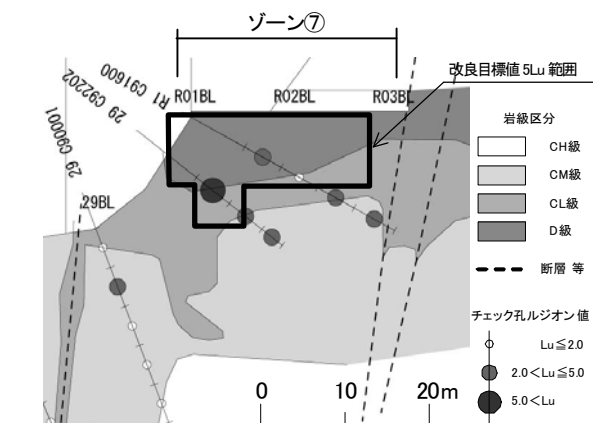


図-6.27 岩級区分とチェック孔における透水性の比較 (Gダム ゾーン⑦)

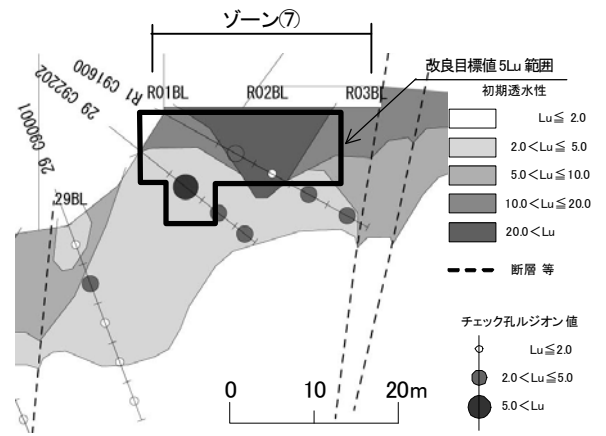


図-6.28 初期透水性とチェック孔のルジオン値 (Gダム ゾーン⑦)

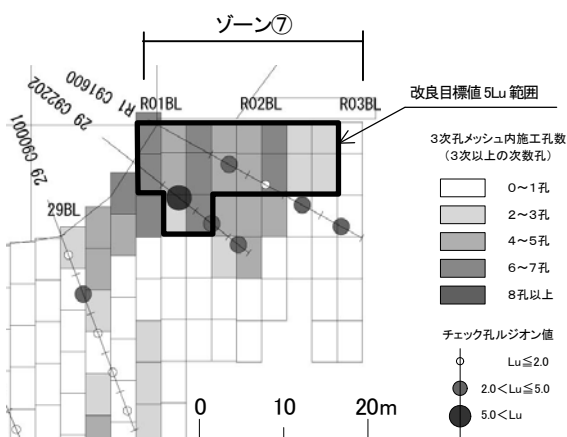


図-6.29 3次孔メッシュ内施工孔数とチェック孔のルジオン値 (Gダム ゾーン⑦)

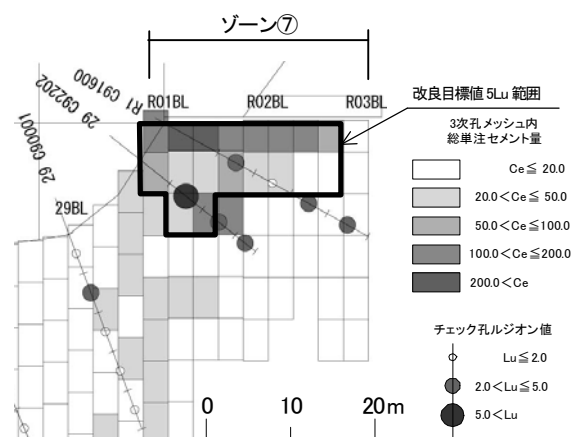


図-6.30 総単位注入セメント量とチェック孔のルジオン値 (Gダム ゾーン⑦)

7. 規定孔間隔の違いによる改良効果判定の比較

表-7.1 規定孔間隔別のパターン分類結果

規定孔間隔	ダム名	パターンⅠ	パターンⅡ	パターンⅢ	パターンⅣ	ゾーン数
3.0m 規定 2 次孔	Aダム	①		④		2
	Bダム	②深部、③深部 ④深部				3
	Hダム	①深部、⑤深部	②深部			3
	I ダム	②、③深部 ④深部		①深部、⑤深部 ⑥深部		6
	ゾーン数	9 (64%)	1 (7%)	4 (29%)	0 (0%)	14
1.5～3.0m 3 次孔省略 基準適用	F ダム	② [47%]		③ [61%] (浅部 43%,深部 83%) ⑤ [35%]		3
	Gダム	④ [40%]		③ [29%] ⑤ [23%]		3
	ゾーン数	2 (33%)	0 (0%)	4 (67%)	0 (0%)	6
1.5m 規定 3 次孔	Aダム	③	⑤、⑥	②		4
	Bダム	③浅部、④浅部	①浅部	②浅部	①深部	5
	Cダム	⑤	①、②、③、④ ⑥、⑦			7
	Dダム	④	⑤、⑥			3
	E ダム	①、③、④、⑤ ⑥、⑦				6
	F ダム	①、④、⑥				3
	Gダム	②		①	⑥、⑦	4
	Hダム	②浅部、③、④、⑥	①浅部、⑤浅部			6
	I ダム	①浅部、③浅部 ⑤浅部、⑥浅部		④浅部		5
	ゾーン数	23 (54%)	13 (30%)	4 (9%)	3 (7%)	43
0.75m 規定 4 次孔	Bダム		⑤			1
	Dダム	③	①、②			3
	Eダム	②				1
	ゾーン数	2 (40%)	3 (60%)	0 (0%)	0 (0%)	5

3 次孔省略基準適用ゾーンにおいてゾーン区分協の[]内は 3 次孔の省略率

表-7.2 F ダムと G ダムの 3 次孔省略基準

ダム名	3 次孔省略基準
F ダム	【深度 0～50m】 周辺 6 ステージ（隣接する P、1、2 次孔）が全て 1Lu 以下、かつ単位注入セメント量 30kg/m 以下の場合 【深度 50m 以深】 隣接 2 次孔の当該ステージが 5Lu 以下かつ単注注入セメント量 30kg/m 以下、なおかつ周辺 6 ステージで 2Lu を超えるステージが連続していない場合（実質 3 次孔は 2 次孔に対する追加孔扱い）
G ダム	隣接する 2 次孔の当該ステージを含む同標高ステージ（河床は 3 ステージデータ）が全て以下の基準を満足する場合 3 次孔を省略 【4～6 ステージ】 1.5Lu 以下かつ単位注入セメント量 10kg/m 以下 【7 ステージ以深】 2Lu 以下かつ単位注入セメント量 10kg/m 以下

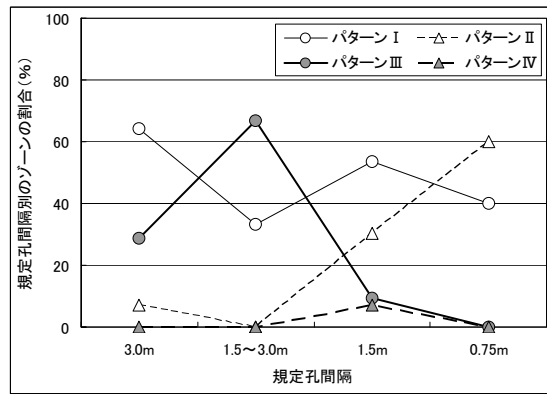


図-7.1 規定孔間隔別パターン分類結果（パターン別）

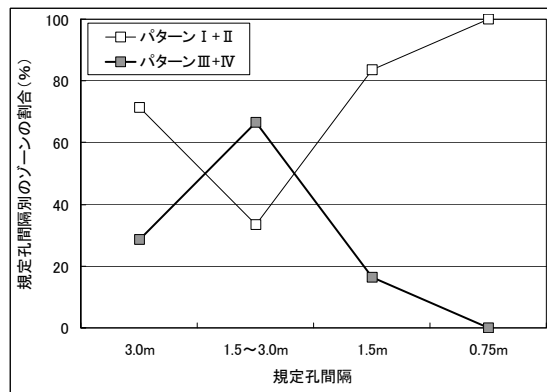


図-7.2 規定孔間隔別パターン分類結果（比較結果別）

7. 1 規定孔間隔による影響

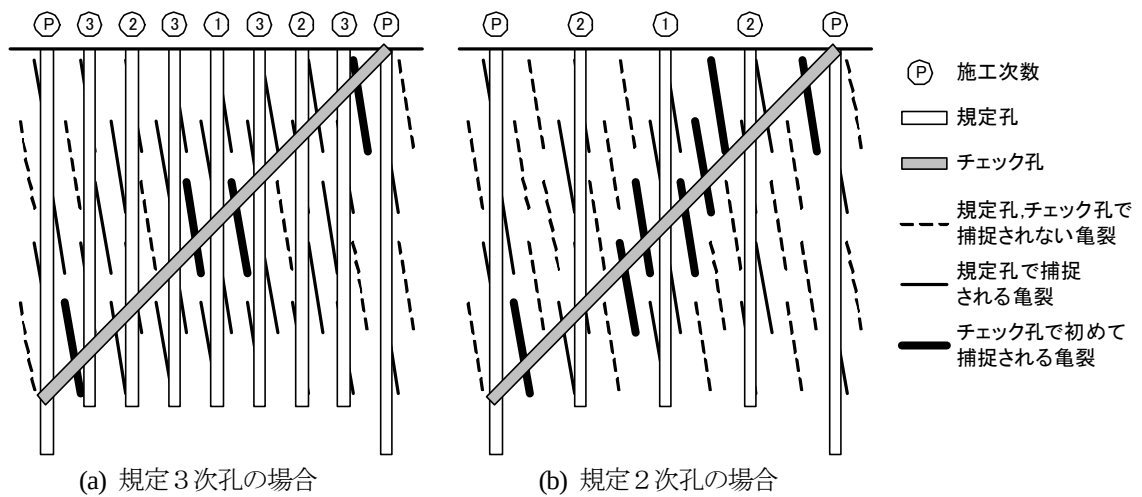


図-7.3 高角度亀裂の捕捉模式図

7. 2 3次孔省略による影響

- (1) Fダムゾーン③
- (2) Fダムゾーン⑤

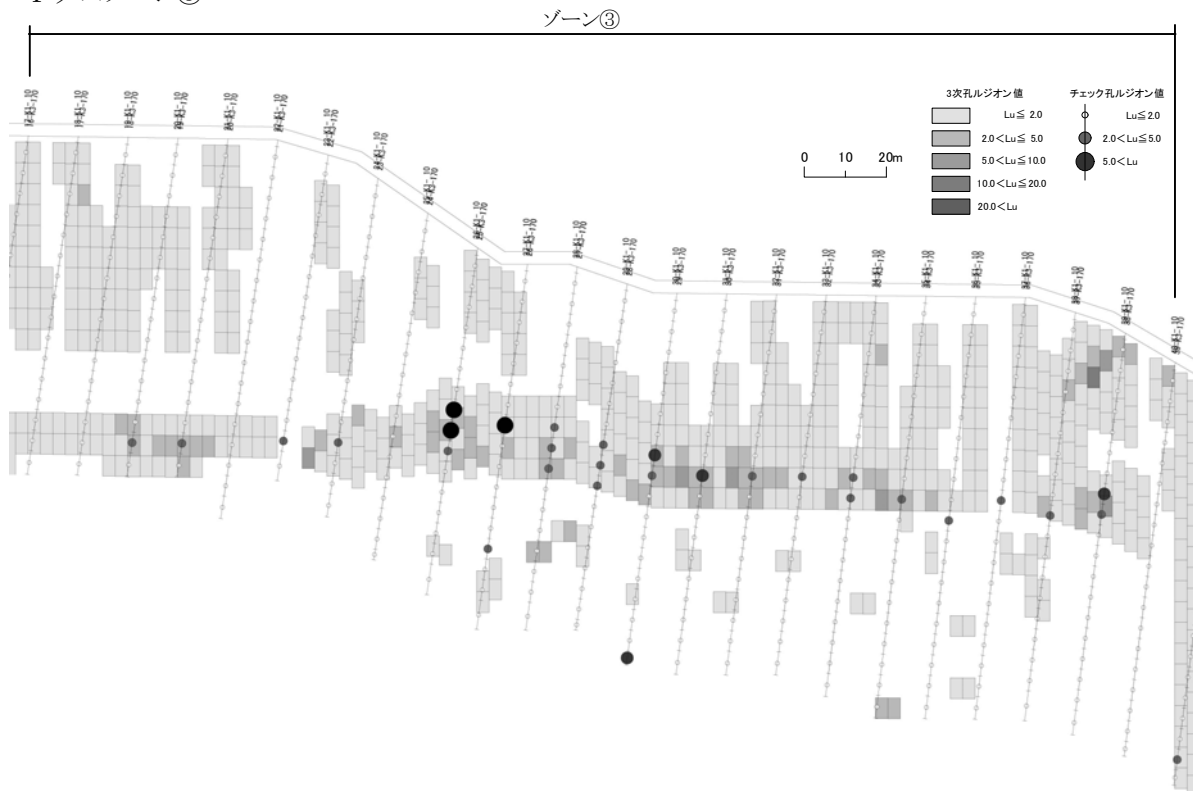


図-7.4 3次孔とチェック孔における透水性 (Fダム ゾーン③)

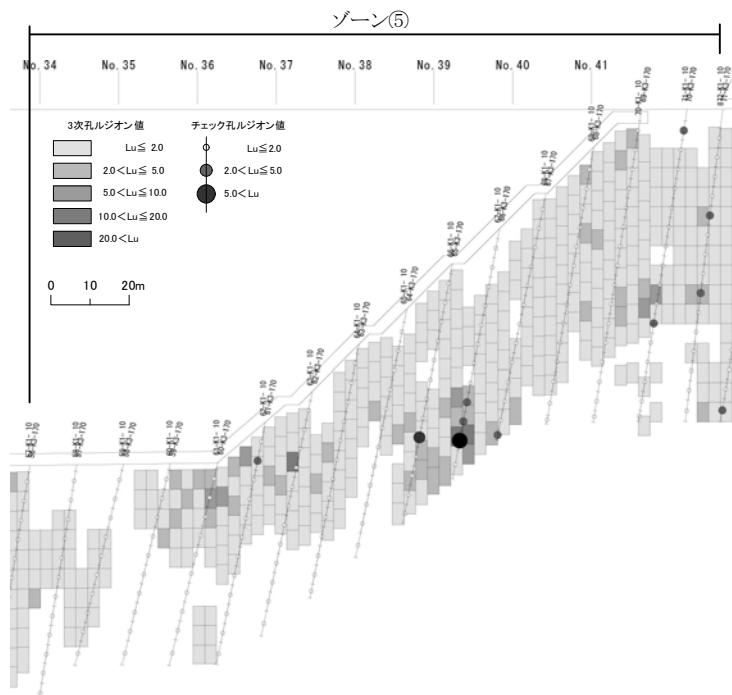


図-7.5 3次孔とチェック孔における透水性 (Fダム ゾーン⑤)

(3) Gダムゾーン③

(4) Gダムゾーン⑤

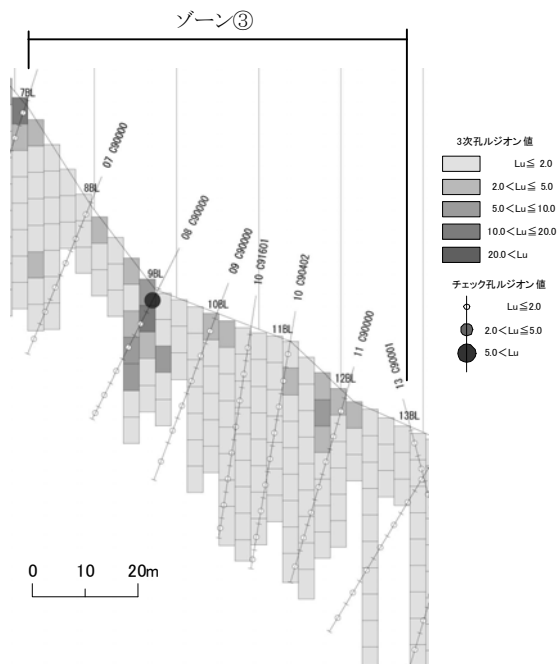


図-7.6 3次孔とチェック孔における透水性
(Gダム ゾーン③)

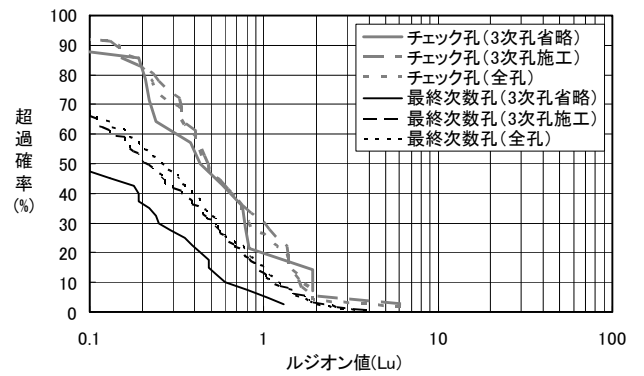


図-7.7 超過確率図 (Gダム ゾーン③)

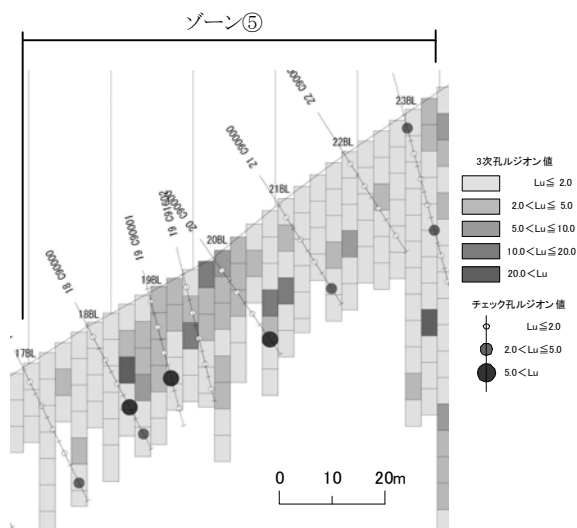


図-7.8 3次孔とチェック孔における透水性
(Gダム ゾーン⑤)