

ダム基礎グラウチングの効果と追加孔必要性の判定に関する検討

A Study on Estimation of Improvement of Water-tightness by Grouting for Dam Foundation

永山 功*・宮内 茂行**・西村 義***

Isao NAGAYAMA, Shigeyuki MIYAUCHI and Tadashi NISHIMURA

Grouting is the principal technique to improve the water-tightness of foundation rock of dams. The effective method of estimation of water-tightness of foundation rock is necessary to be developed in order to achieve economical execution of grouting. In this paper, the relationship of Lugeon values of the n-th grout hole and the n+1-th grout hole is examined in a statistical manner. It is concluded that the improvement of water-tightness of foundation rock is well estimated from this procedure. It is also understood that higher grouting pressure is effective to improve water-tightness.

1. まえがき

ダム建設にあたっては、その基礎岩盤の遮水性を改良するために、基礎岩盤に対してグラウチングが実施される。グラウチングの施工は中央内挿法によって行われ、所要の改良度が得られるまで順次孔間隔を狭めてグラウトの注入を行っている。その際、追加孔が必要かどうかを判断する基準が追加基準であり、追加基準の妥当性が確かかつ効率的なグラウチングを実施する上で決め手となる。

そこで、本論文は、Aダムにおけるカーテングラウチングの施工実績を基に、注入孔のルジオン値と近接する次の次数孔のルジオン値の関係を調べることによって、中央内挿法による岩盤の遮水性の改良度の変化を分析し、グラウチングの追加基準のあり方について考察したものである。

2. 検討内容

2.1 対象ダムサイトの地質

Aダムサイトは中生代白亜紀の砂岩、頁岩の互層からなり、砂岩、頁岩ともに割れ目が発達し、層理面に沿い薄い頁岩が粘土化している部分も認められる。Aダムのカーテングラウチングは、パイロット孔間隔が12mの単列孔配置で、規定孔を3次孔(孔間隔1.5m)までとして中央内挿法を用いて施工されている。グラウチングのステージ長は5mで、改良目標値は2Lu

表-1 Aダムカーテングラウチング施工実績

	左岸 リム部	河床部	右岸 リム部	合 計	備 考
パイロ ット孔	52	154	53	259	規定孔
1次孔	30	136	56	222	"
2次孔	63	263	98	424	"
3次孔	108	510	196	814	"
4次孔	44	141	131	316	追加孔
5次孔	—	14	34	48	"
合 計	297	1218	568	2083	

表-2 深度別の注入圧力

ステージ	深度(m)	注入圧力 (N/mm ²)
1	0~5	0.4
2	5~10	0.8
3	10~15	1.0
4	15~20	1.2
5	20~25	1.5
6	25~30	2.0
7~	30~	2.5

* 建設省土木研究所ダム部ダム構造研究室

** 同上

*** 同上

表-3 配合切替え基準

注入配合	1:10	1:8	1:6
規定量(ℓ)	400	400	400
累計	400	800	1200
注入配合	1:4	1:2	1:1
規定量(ℓ)	400	400	400
累計	1600	2000	3000

表-4 グ라우チング範囲の分類

ステージ	表層からの深さ	注入圧力(N/mm ²)
1~3	0~15m	0.4~1
4~6	15~30m	1.2~2
7以上	30m以上	2.5

である。表-1 にカーテングラウチングの施工実績を示す。また、深度別の注入圧力を表-2 に、配合切替え基準を表-3 に示す。

2.2 検討方法

本論文では、グラウト注入孔(以下、 n 次孔)と隣接する次の次数孔 (以下、 $n+1$ 次孔) のルジオン値の關係に着目してグラウチングの効果を分析した。すなわち、図-1 に示すように、同深度のステージで、 n 次孔のルジオン値とそれに近接する $n+1$ 次孔のルジオン値の關係(パイロット孔(以下、P 孔)と 1 次孔の關係は図中の①と②、1 次孔と 2 次孔の關係は②と③、④、2 次孔と 3 次孔の關係は③と⑤、⑥および④と⑦、⑧で表される)を分析した。なお、分析にあたっては、注入圧力の影響を見るため、表-4 に示すように、グラウチング施工範囲を 0~15m、15~30m、30m 以上の 3 つのゾーンに分割した。

3. 検討結果

3.1 ルジオン値の非超過確率の変化

図-2 に、グラウチングの深度(ステージ)別に注入次数とルジオン値の非超過確率の關係を示す。ここで、非超過確率は $2Lu$ に対する値を示している。図を見ると、3 次孔(最終規定孔)のルジオン値の非超過確率は P 孔に比べて、深度 0~15m ではほとんど変化していないのに対し、深度 15~30m、30m 以上では大きくなっている。これは、深いステージほど注入圧力が高くなっているため、グラウトが広範囲に行き渡る結果と思われる。すなわち、グラウチングによる改良は注入圧力が高いほど効果的であるといえる。

3.2 隣接孔のルジオン値の変化

図-3 に、グラウチングの深度(ステージ)別に n 次孔のルジオン値と隣接する $n+1$ 次孔のルジオン値の關係を示す。図において、1:1 を示す線より下の領域は $n+1$ 次孔のルジオン値が n 次孔のルジオン値より小さいことを示しており、この領域に多くのデータがあるほどグラウチングの改良効果が現れていることを示している。また、縦軸の $2Lu$ より下の領域は所定の改良目標値まで改良したことを示しており、この領域に大部分のデータがあれば、グラウチングによる改良がなされたと判断してよい。

以上の点に留意して図-3 を見ると、次数が進展するほど、また、グラウチング深度が深くなって注入圧力が大きくなるほどグラウチングの効果が現れていることがわかる。なお、次数の進展とともにルジオン値

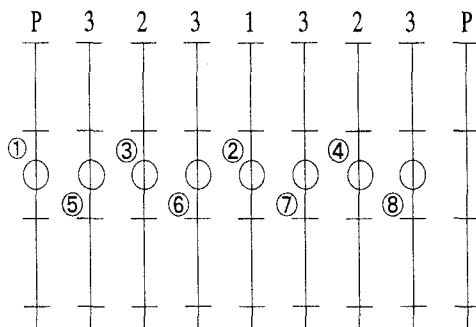


図-1 注入孔と隣接する次の次数孔の關係

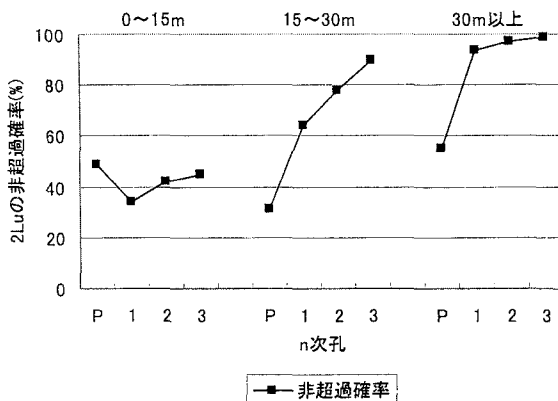


図-2 次数とルジオン値の非超過確率

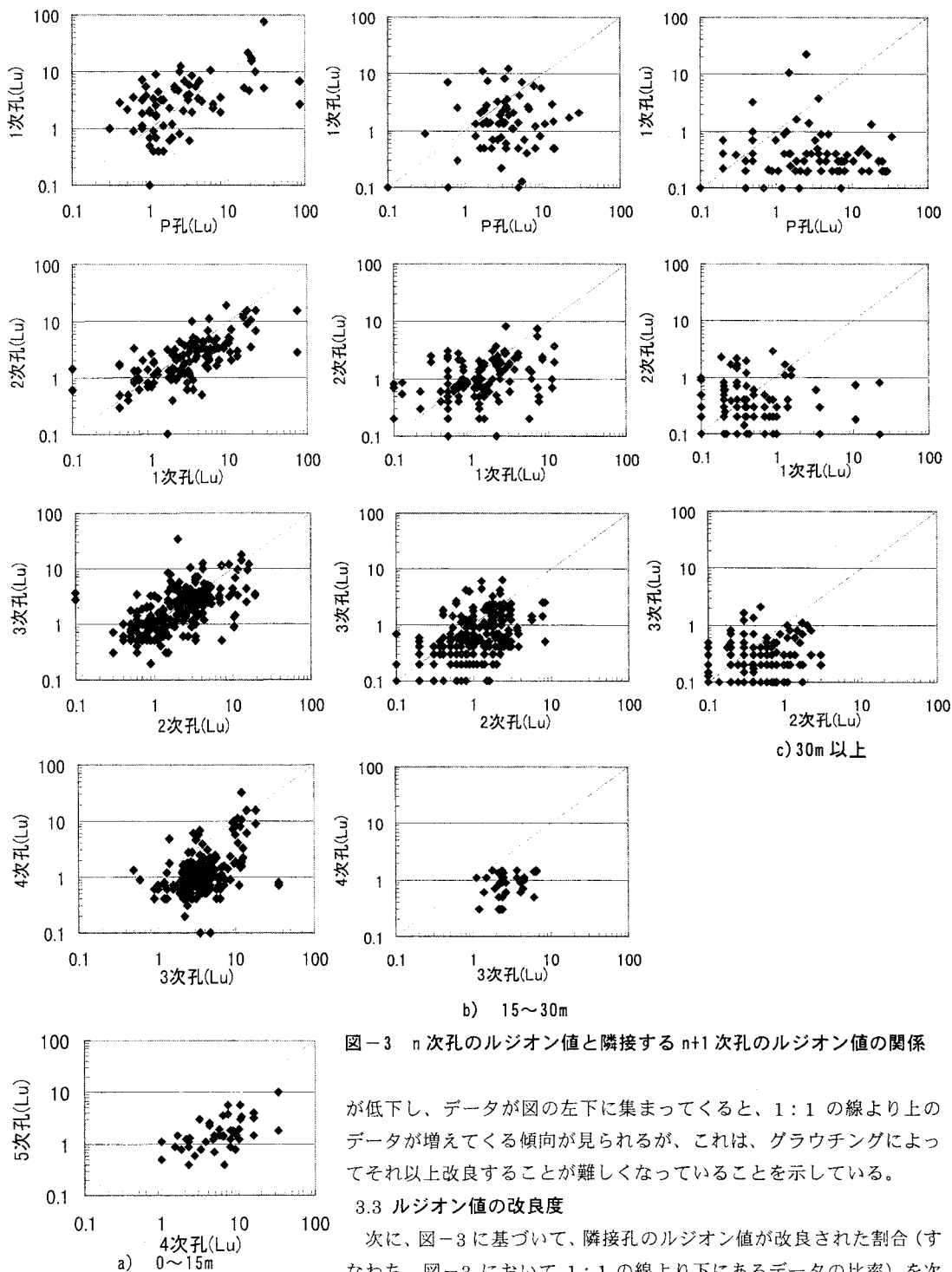


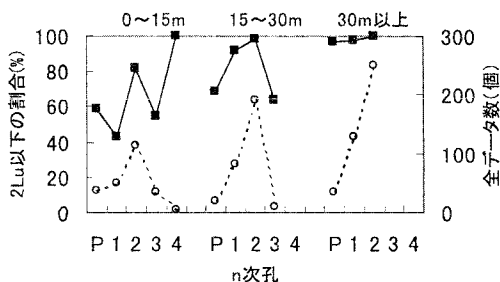
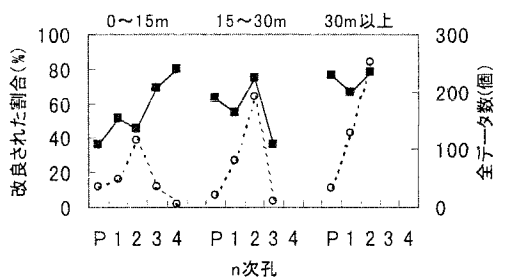
図-3 n 次孔のルジオン値と隣接する n+1 次孔のルジオン値の関係

が低下し、データが図の左下に集まってくると、1:1 の線より上のデータが増えてくる傾向が見られるが、これは、グラウチングによってそれ以上改良することが難しくなっていることを示している。

3.3 ルジオン値の改良度

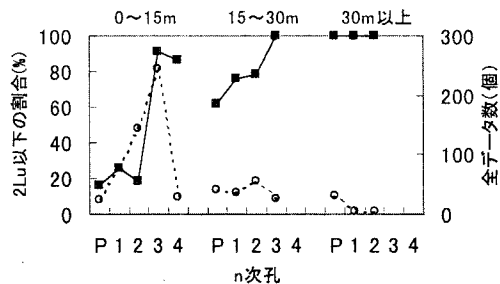
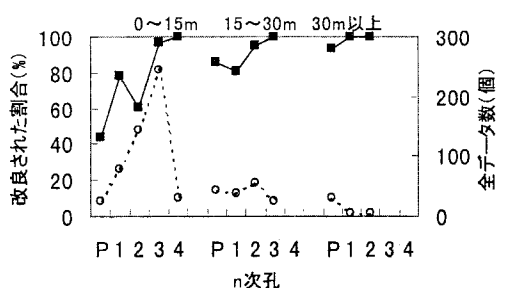
次に、図-3 に基づいて、隣接孔のルジオン値が改良された割合（すなわち、図-3 において 1:1 の線より下にあるデータの比率）を次数毎に追っていったものが図-4 である。なお、図は、n 次孔のルジオン値が 2Lu 以下の場合、2~10Lu の場合、10Lu より大きいの場合に分け、さらに深度別に分けて示している。

まず、n 次孔のルジオン値別にデータを比較すると、10Lu より大きい場合には、早い段階から高い改良



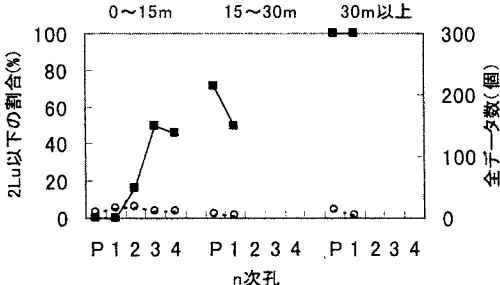
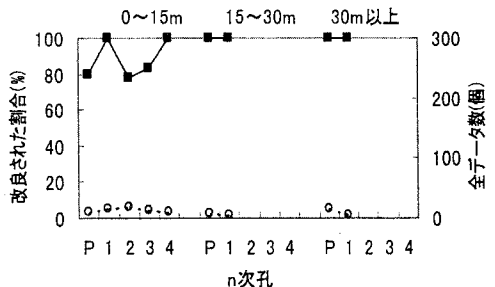
a) n 次孔が 2Lu 以下の場合

a) n 次孔が 2Lu 以下の場合



b) n 次孔が 2~10Lu の場合

b) n 次孔が 2~10Lu の場合



c) n 次孔が 10Lu より大きい場合

c) n 次孔が 10Lu より大きい場合

図-4 次数とルジオン値が改良された割合の関係

図-5 次数とルジオン値が 2 ルジオン以下になる割合の関係

度が得られているが、2Lu 以下の場合には、次数を追って改良効果は見られるものの全体的に改良度は低くなっている。このことは、ルジオン値が大きい場合にはグラウトが遠くまで到達し、孔間隔が粗くても改良効果が得られること、また、ルジオン値が低い場合にはグラウトの到達範囲が短くなり、改良が難しくなっていることを示している。

一方、深度別にデータを比較すると、深度 0~15m の範囲は改良度が低く、深度 15~30m、30m 以上になると改良度が高くなっている。これは、深部ほど高い注入圧力が採用されているためであり、注入圧力が高いほど改良効果が大いことを示している。

次に、図-5 は、同様に、隣接孔のルジオン値が $2L_u$ 以下に改良された割合を次数毎に追っていったものである。図によれば、 n 次孔のルジオン値による改良度の差はそれほど明瞭に見られない。しかし、深度別に見ると、深度 $0 \sim 15m$ の範囲で改良度が相対的に悪くなり、深度 $30m$ 以上の範囲では改良度がもっとも良くなっている。これは、上に述べたように、注入圧力が高いほど改良効果が大きいためである。

さらに、図-6 は、隣接孔のルジオン値が増加し、かつその値が $2L_u$ 以上を示した孔の割合（以下、未改良部と呼ぶ）を、深度毎、次数毎に調べたものである。このような孔の割合が高い場合には、 n 次孔の結果から $n+1$ 次孔の改良度を推定するのは適切でないが、このような孔の割合がごくわずかなれば、 n 次孔の結果から $n+1$ 次孔の改良度を推定しても問題ないといえる。図によれば、本ダムの場合、未改良部の割合が 10% 以下となるのは（非超過確率が 90% に相当）、深度 $0 \sim 15m$ の範囲では 3 次孔以降、深度 $15m \sim 30m$ では 2 次孔以降、深度 $30m$ 以上ではパイロット孔以降で、このような場合、 n 次孔から $n+1$ 次孔の改良度を推定しても概ね間違いないといえる。

4. まとめ

本論文では、注入孔（ n 次孔）のルジオン値と隣接する次の次数孔（ $n+1$ 次孔）のルジオン値との関係から、グラウチングによる改良効果を分析した。その結果得られた知見は次のとおりである。

- ① n 次孔のルジオン値と隣接する $n+1$ 次孔のルジオン値の関係から、グラウチングによる改良効果を合理的に分析することができる。
- ② グ라우チング孔の深度（ステージ）が深くなるほど、 n 次孔に対する $n+1$ 次孔のルジオン値の改良度が大きい。これは、深部ほど注入圧力が高く、グラウトが隣接孔まで到達しやすいためと考えられる。
- ③ 次数が進展するほど、 n 次孔に対する $n+1$ 次孔のルジオン値の改良度が大きい。これは、次数が進展すると孔間隔が狭まり、グラウトが隣接孔まで到達しやすくなるためと考えられる。
- ④ ルジオン値が大きいほど、 n 次孔に対する $n+1$ 次孔のルジオン値の改良度が大きい。これは、ルジオン値が大きいほど、グラウトが隣接孔まで到達しやすいためと考えられる。
- ⑤ 本ダムの場合、深度 $15m$ 以浅では 3 次孔以降、深度 $15m \sim 30m$ では 2 次孔以降、深度 $30m$ 以深ではパイロット孔以降から、当該注入孔のルジオン値から追加孔の必要性を推定することができると考えられる。

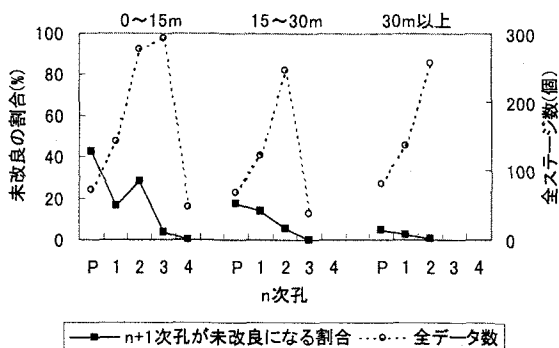


図-6 次数と未改良部の存在割合の関係