

大松川ダム—グラウト工事（コンクリートダム） —新第三紀層を基礎岩盤とし，地下水構造に着目した止水設計—

田口 郁夫

水を貯めるダムにとって，グラウト工事は単に貯水のロスを防ぐだけでなく，ダム本体や周辺地山の安定を保つという，施工中及び施工後とも表には出てこないが，非常に重要な工事である。

一方，グラウト工事のボーリングマシンによる削孔，セメントミルクの注入という施工の基本は，グラウト工事が採用されてから基本的に変わっていない。

しかし，近年，注入制御方法の合理化への取り組みや，グラウト技術指針の改訂など，グラウト工事の条件そのものは，現代の建設産業の流れを受けて確実に変化している。本報文では，一般的な重力式ダムのグラウト工事の概要について紹介する。

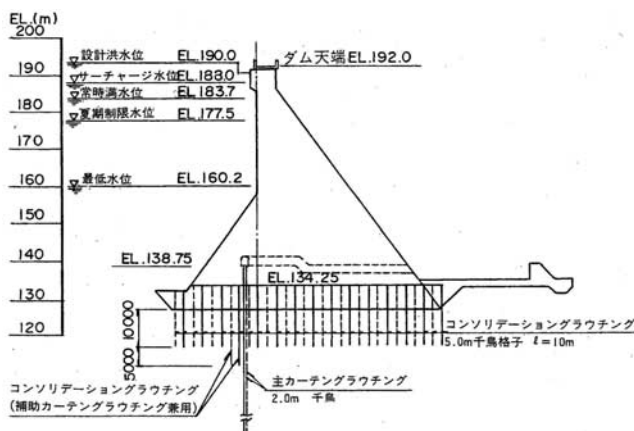
キーワード：グラウト技術指針，ルジオン，地下水構造

1. 概要

大松川ダムのグラウト工事は，平成4年1月から平成9年12月にかけて行われ，次のものが施工された。

- ①堤体コンソリデーショングラウチング
- ②カーテングラウチング
- ③断層処理グラウチング
- ④上流側止水板周辺グラウチング
- ⑤仮排水トンネル閉塞コンソリデーショングラウチング

本文では，堤体コンソリデーショングラウチング及びカーテングラウチングについて述べる（図—1）。



図—1 グラウチング施工概要図

2. コンソリデーショングラウチング概要

(1) コンソリデーショングラウチング基本計画

大松川ダムでは，基礎岩盤の均一化を図り，変形性を改善するとともに岩着部付近の基礎岩盤の遮水性を改良するために，コンソリデーショングラウチングを施工した。

(2) 施工範囲

施工範囲は，基礎岩盤の緩みの影響が考えられる堤体の基礎岩盤全面に施工した。

(3) 孔配置・間隔・改良深度

①孔配置・間隔

孔配置は，基礎岩盤の透水性が10～20 Lu と高く，縦方向の割れ目も多いことから，当初計画では2.5 m 格子を基本としたが，平成4年度に行った実施工を兼ねたグラウチング試験の結果，5 m 千鳥（3.536 m 格子）のパターンとし，3次孔までを規定孔とした（表—1，図—2）。

②改良深度

大松川ダムの基礎岩盤は10～20 Lu 以上の高透水ゾーンを呈していることを考慮し，コンソリデーションの孔深は10 m（2ステージ）を標準とした。

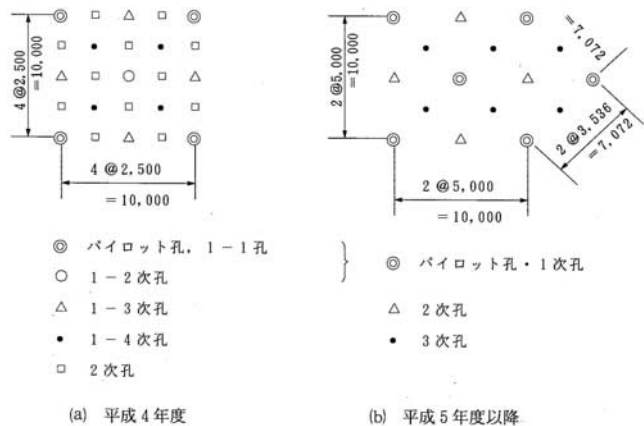
(4) 改良目標値

5 Lu：非超過確率85%以上，ただし，カーテン軸

表一 1 コンソリデーショングラウチング試験実績

平成4年度グラウチングテスト呼称		パイロット孔 1 - 1	1 - 2	1 - 3	1 - 4	規定孔 2次孔
孔 間 隔 (m)		10	7.071	5	3.536	2.5
ス	孔 数	21	14	35	58	100
	ルゾン値 85%非超過確率値 (Lu)	35.9	18.1	3.7	2.2	1.2
	平均単位セメント量 (kg/m)	169.3	99.0	38.8	8.6	8.2
テ	孔 数	21	14	35	58	100
	ルゾン値 85%非超過確率値 (Lu)	22.6	8.8	11.0	2.1	1.1
	平均単位セメント量 (kg/m)	108.3	61.9	142.7	61.1	13.8
ジ	孔 数	4	—	3	3	6
	ルゾン値 85%非超過確率値 (Lu)	5.6	—	5.3	34.5	1.8
	平均単位セメント量 (kg/m)	64.1	—	12.6	188.1	55.5
平成5年度以降の呼称		1次孔	2次孔	規定孔 3次孔	追加孔	

施工は平成4年度に河床部6, 7BLで行っている。



図一 2 コンソリデーショングラウチング孔配置

から上流の非超過確率は95%以上とした。

(5) 施工時期

基礎岩盤はC_M級の硬質頁岩を主体とするが、亀裂が多く、透水性が高いことから、グラウトのリークを防止し、グラウチング効果の向上を図るため堤体コンクリートを2リフト(3m)以上打設後に施工した。

(6) グラウト配合

1:10, 1:8, 1:6, 1:4, 1:2, 1:1とし、普通ポルトランドセメントと分散剤としてポゾリスN0.8をセメント量の0.25%使用した。

初期配合は、透水試験、水押試験の結果から、次のとおりとした(表一2)。

表一 2 グラウト初期配合

注入前 Lu	Lu < 10	10 ≤ Lu < 20	20 ≤ Lu
初期配合	1 : 10	1 : 8	1 : 6

(7) 配合切替基準

グラウトの配合切替は透水試験、水押試験による初期配合から、600リットルから400リットルの注入を経て順次濃い配合へ切り替え、1:1で完了もしくは中断するまでとした。ただし、総注入量は3,800リットルとした。

(8) 注入圧力

- 第1ステージ : 0.3 MPa
 - 第2ステージ : 0.3 (0.4) MPa
 - 第3ステージ以上 : 0.4 (0.5) MPa
- ()内は平成5年度以前の圧力

なお、水押時に限界圧力が認められた場合、限界圧力 + 0.1 MPaとした。

(9) 注入速度

- ①注入速度は6リットル/min/mを上限とした。
- ②注入圧力まで昇圧速度は5分間で0.2 MPaを目安とし、規定注入圧力の1/2に達してから5分間を保持して注入し、その時の注入深度をそのステージの規定圧力に達するまでの注入速度とした。
- ③②の注入速度が2リットル/min/m以下の場合は2リットル/min/mとした。

(10) 変位量

コンクリートの変位量は0.2 mm以下とする。0.1 mm程度となった時点で、注入速度を落とすなどの制限をした。

3. コンソリデーショングラウチング施工仕様

主な施工仕様は次のとおりである。

(1) 削孔機械

基礎岩盤の性状、孔の深さ等を考慮し、ロータリーボーリングマシンとした。一般孔はφ 46 mm のノンコアリング、パイロット及びチェック孔はφ 66 mm のオールコアリングとした(写真—1)。



写真—1 ロータリーボーリングマシン

(2) ルジオン算出

ルジオン値は当時の技術指針である「ルジオン施工

指針(案)同解説」を参考にステージ毎の昇圧を設定し、算出した。

(3) 施工方法

1ステージ5mのステージ方式により、中央内挿法により施工した。

(4) 追加基準(表—3)

4. コンソリデーショングラウチング施工実績

(1) 施工実績

コンソリデーショングラウチングの施工実績は、表—4に示すとおりである。

表—4 コンソリデーショングラウチング施工実績

孔区分	規定孔			追加孔			追加孔	全孔	
	P・1次孔	2次孔	3次孔	4次孔	5次孔	6次孔			
ステ	1ステージ	266	267	561	160	18	2	43	1,317
	2ステージ	266	267	561	120	8	—	43	1,265
1ジ	3ステージ	59	63	131	32	5	—	19	309
	4～5ステージ	18	19	31	12	3	—	2	85
数	小計	609	616	1,284	324	34	2	107	2,976

(2) 改良傾向と効果判定

コンソリデーションの注入実績として、左岸部、河

表—3 コンソリデーショングラウチング追加基準

<p>① 最終次数孔(3次孔)のうち、20Luを超える孔がある場合、隣接して向かい合う全ての3次孔(4孔)との中心に追加する。</p>	<p>図-1</p>	<p>④ 最終次数孔(3次孔)の第1および第2ステージのルジオン値が上下に連続して5Lu以下を満足しない場合、隣接して向かい合う最終次数孔(3次孔)のいずれか大きいルジオン値を示す孔との中心に1孔中央内挿法で追加する。 なお、追加孔の第1および第2ステージのいずれかのルジオン値が改良目標値に達していない場合は、順次同様に追加する(図-2に準ずる)。</p> <p>⑤ 改良目標値に対する非超過確率は85%以上とする。</p> <p>⑥ 4次孔(追加孔)において、そのルジオン値が改良目標値に達しない場合、上記①～④に準拠して追加孔(5次孔)を実施する。</p>
<p>② 最終次数孔(3次孔)のうち、10Luを超える孔がある場合、隣接して向かい合う2次孔のいずれかルジオン値の大きい方との中心に追加する。</p>	<p>図-2</p>	
<p>③ 隣接して向かい合う最終次数孔(3次孔)のうち、両孔が5Lu以下を満足しない場合、2孔の中心に追加する。</p>	<p>図-3</p>	
<p>【凡例】</p> <p>○ : P・1次孔 △ : 2次孔 ● : 3次孔</p> <p>□ : 追加孔</p> <p>NG : 5 < Lu ≤ 10</p> <p>G : Lu ≤ 5</p>		

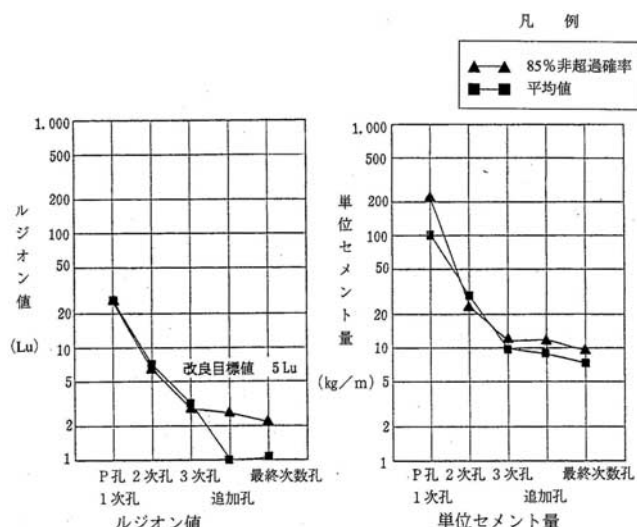


図-3 コンソリデーショングラウチング遞減図

床部、右岸部に区分して改良傾向と効果判定を行った。ルジオン値及び単位セメント量は、全域にわたって次数の進行に伴う遞減が明瞭であり、改良目標値 5 Lu を満足していた (図-3)。

5. カーテングラウチング概要

(1) カーテングラウチング基本計画

カーテングラウチングは、貯留水が基礎岩盤または地山を通じ漏水することを抑制するとともに、ダム底面に作用する揚圧力の低減を図り、浸透流による基礎岩盤のパイピングを防止すること等を目的として施工した。

(2) 施工範囲の考え方

カーテングラウチングの施工範囲は、貯水位、地形、地質、岩盤性状、ダム基礎の透水性及び地下水位等を考慮して決定する。

通常、カーテングラウチングの範囲は、改良目標値に達する範囲及び地下水位とサーチャージ水位が交わる範囲を目安としている。

大松川ダムのカーテングラウチング計画の最大の特

徴は、通常の岩盤の透水性状の他、基礎岩盤の地質構造や地下水位構造の情報から、改良深度を決定したことである。

(3) 施工範囲・深度

河床部のグラウチング深度は、難透水層である挟み層は大きく分類して m-5 層から m-a 層までの上位と m-b から s-c 層までの下位の二つの層群に分類できることから、一般孔は下位の層群中の m-d 層の下 3 m まで (深度約 55 m) 行うものとした。なお、当初はブロック孔間隔 12m とした。

また、パイロット孔と 1 次孔は下位の最下層 s-c 層の下 3 m (深度約 80 m) まで行う計画とした。その後、平成 6 年度に行った実施工兼用のグラウチング試験の結果から、一般孔より 2 ステージ深い施工に変更し、また深部の透水性の把握及び挟み層の層順の確認のためであることから、改良目標値は特に定めないものとした。なお、ブロック孔間隔も 8 m へと変更した。

左右岸リムグラウチングの範囲は、地山地下水位がサーチャージ水位 EL.188.0 m 以上の標高となる所までとし、リムグラウチングトンネルを設けた。右岸リムグラウチングの深さは、宙水構造をなし、地下水の不連続面となっている m-3 層の下 3 m までとし、左岸側についても宙水構造をなす不連続面を抱絡するようにした。

河床部から左右岸リム部への接続は、ダム高程度のグラウト長を保ちながら、挟み層の密集ゾーンや、比較的透水性の低いゾーンを抱絡するように計画した (図-4)。

(4) 施工位置

カーテングラウチングの施工は、通常上流フォーチング又は、監査廊から行い、ダム形式、規模、岩盤性状、施工性等を考慮して決定する。大松川ダムの場合は、施工速度等は劣るものの、湛水後の再グラウチングが容易なように監査廊から行うものとした。

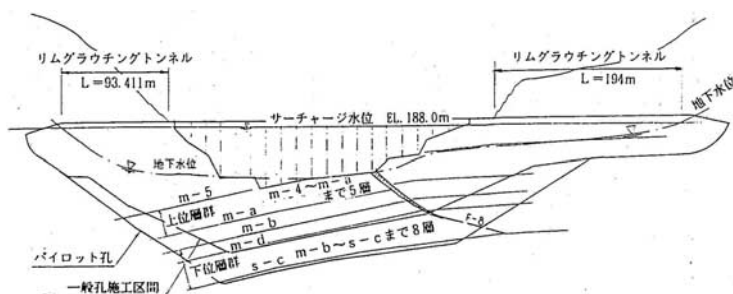
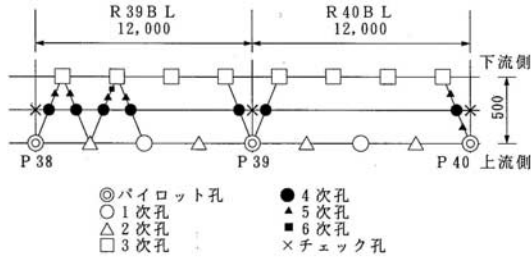


図-4 カーテングラウチング施工範囲

(5) 孔配置・孔間隔

孔配置は、列間隔 0.5 m, 孔間隔 1.5 m の千鳥配置とした。千鳥配置にしたのは、大松川ダムの基礎岩盤が高透水性を示すため、追加孔が多くなると予想されたからである (図-5)。

(a) 平成4年度(初年度)



(b) 平成5年度以降

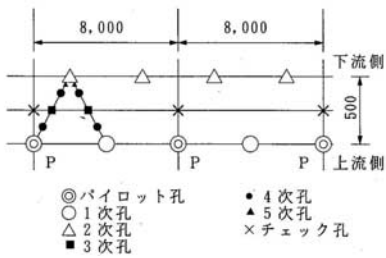


図-5 カーテングラウチング孔配置図

(6) 改良目標値

2 Lu 以下, 非超過確率 85%以上

(7) 施工時期

堤体コンクリート 15 m 以上を打設後, 堤高が 15 以下の範囲ではダム天端打設後とした。

(8) グラウト配合及び配合切り替え基準

概ねコンソリデーショングラウチングと同様であるが, 注入前ルジオン値が 5 Lu 未満の基準を追加している。

(9) 注入圧力

注入圧力は, 堤体及び基礎岩盤に有害な変位や破壊を生じない範囲でグラウチング効果が最大となるよう, 基礎岩盤の特性を考慮して決定した (表-5)。

表-5 グラウト注入圧力

ステージ	1	2	3~5	6~
最高圧力 (MPa)	0.3	0.4	0.5	0.6

なお, 限界圧力が認められた場合, 限界圧力 + 0.1MPa とした。

(10) 注入速度

注入速度はコンソリデーショングラウチングと同様である。

6. カーテングラウチング施工仕様

(1) 削孔機械

(2) ルジオン算出

(3) 施工方法

等についてはコンソリデーショングラウチングと同様である。

表-6 カーテングラウチング追加基準

<p>① 最終次数孔(2次孔)のうち4Luを超えるステージがある場合, 隣接するグラウチング孔のルジオン値が高い側に追加孔を施工する。この追加孔のルジオン値が改良目標値に達していない場合反対側にも追加孔を施工する。</p>		<p>④ 最終次数孔(2次孔)において, 上下・左右の斜方向に2Luを超える孔が3ステージ以上連続している場合, または2ステージ以上3Luを超える孔が連続している場合, ルジオン値の高い側に追加孔を施工する。追加孔のルジオン値が改良目標値に達しない場合右図に示す順に追加孔を施工する。</p>	
<p>② 最終次数孔(2次孔)において, 上下方向に2Luを超える孔が3ステージ以上連続している場合, または2ステージ以上3Luを超える孔が連続している場合, 隣接するグラウチング孔のルジオン値が高い側に追加孔を施工する。この追加孔のルジオン値が改良目標値に達していない場合反対側にも追加孔を施工する。</p>		<p>⑤ 各ブロック(隣接する2つのパイロット孔の間の区間)の最終次数孔において改良目標値に対する非超過確率が85%以上に達していない場合追加孔を施工する。</p>	
<p>③ 最終次数孔(2次孔)において, 左右方向に2Luを超える孔が3ステージ以上連続している場合, または2ステージ以上3Luを超える孔が連続している場合, ルジオン値が高い側に追加孔を施工する。追加孔のルジオン値が改良目標値に達していない場合, 反対側にも順に追加孔を施工する。</p>			<p>【凡例】</p> <p>○内 : ルジオン値</p> <p>□内 : 施工順序</p>

(4) 追加基準 (表—6)

7. カーテングラウチング施工実績

(1) 施工実績

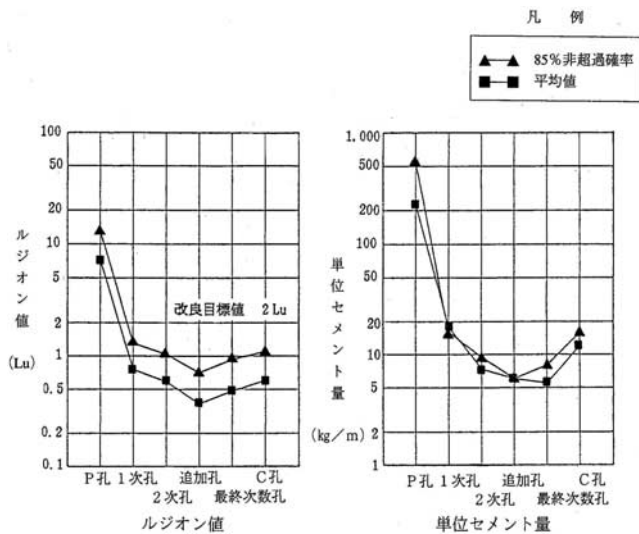
カーテングラウチングの施工実績は、表—7に示すとおりである。

表—7 カーテングラウチング施工実績

孔区分	P孔	1次孔	2次孔	追加孔	追加P孔	追加追加孔	合計
堤体部	617	527	1,060	410	664	120	3,398
リム部	500	675	1,106	531	429	15	3,256
全体	1,117	1,202	2,166	941	1,093	135	6,654

(2) 改良傾向と効果判定

カーテングラウチングについては、コンソリデーショングラウチングと同様に、次数が進むのに従って



図—6 カーテングラウチング通減図 (河床部)

ジオン値及び単位セメント量が明瞭に通減した。河床部のカーテングラウチング通減状況を図—6に示す。

8. 終わりに

大松川ダムは平成2年に本体着工し、平成10年10月に試験湛水開始、平成11年3月に竣工した、秋田県営ダムとして初のRCD工法を採用したダムである。

同ダムは上流水没区域の住民移転及び生活再建対策などの行政課題、ダムサイト周辺地質状況の課題、コンクリート用骨材の粘土鉱物対策など数々の技術的課題を乗り越え、現在、下流地域の治水はもちろん、水道用水及び農業用水等の利水供給の目的を担っている。

今回紹介したグラウト工事は、当時のグラウト技術指針に基づくものであり、特にコンソリデーショングラウトの施工範囲や、カーテングラウチングの改良目標値の設定については、現指針下のそれと大きく異なっており、現在の目からみれば過大施工に見える点もある。

しかし、カーテングラウチングについて、単純にルジオン値のみにとらわれずに、地下水構造に着目して経済的な止水設計を行った点が現指針に通ずるのではないかと思う。

JCMA

[筆者紹介]

田口 郁夫 (たぐち いくお)
 秋田県砂子沢ダム建設事務所工事班
 副主幹 (兼) 班長

