

留萌ダムにおけるグラウチングの合理化施策

留萌開発建設部 留萌ダム建設事業所 えん堤班 ○佐々木 泰訓
 土門 文之
 長原 寛

近年ダム建設において、良好なダムサイトが減少する一方で、社会資本整備に対するコスト縮減への社会的要請から個々のダムに適したグラウチングの合理化が取り組まれている。

留萌ダムにおいても、グラウチング施工中の注入状況を分析して基礎岩盤の透水性状を把握し、適宜基礎岩盤の透水性に適合する注入仕様でグラウチングを実施してきた。

本報告は留萌ダムのカーテングラウチングにおける施工仕様の改良ならびにコスト縮減効果について報告するものである。

キーワード 合理化・コスト縮減・グラウチング・注入仕様・軟岩

1. ダムの概要

留萌ダムは、北海道西北部に位置する留萌市を流れ日本海に注ぐ、一級河川留萌川水系チバベリ川（図-1）に建設中の洪水調節・流水の正常な機能の維持・水道用水の供給を目的とする多目的ダムで、堤高41.2m、堤頂長440m、総貯水量23,000千m³の中央コア型ロックフィルダムである（表-1、図-2）。ダム本体工事は平成13年度から着手し、19年度に本体盛立を完了した。

ダムの基礎地盤は、貯留水の浸透を所要のレベルまで抑制する必要があり、一般的にグラウチングによる基礎処理を行い遮水性改良が行われる。

グラウチングは、平成15年から平成19年までの5カ年で行った。

2. 地質概要

(1) 地質

ダムサイトを構成する基礎岩盤は新第三期鮮新世の幌加尾白利加層から構成され、微細粒砂岩～細粒砂岩を主体とし、海緑石砂岩、軽石凝灰岩を挟在する。基盤岩盤の走向はN-S方向（概ねダム上下流方向）、傾斜方向は全体的に東傾斜（右岸傾斜）を呈す。左岸アバット～河床部左岸では約70～80°の高角度傾斜を示し、河床部右岸～右岸アバット部では10～20°の低角度傾斜を示す（図-5）。

(2) 岩級

ダム基礎岩盤は、固結度の低いCL級岩盤が主となる。CL級岩盤は、岩片の硬さ・割れ目間隔・風化の状態か

らCLh級とCL0級に区分され、コア敷で実施した針貫入試験による推定一軸圧縮強度¹⁾では、下記のとおり全般的に軟質な岩盤である（図-6）。

○ CLh : 0.6～5.0N/mm²

○ CL0 : 0.2～4.0N/mm²

(3) 透水性

基礎岩盤は、全般的に割れ目が少なく、概ね5Lu以下の難透水性を示し、深部ほど透水性が低くなる傾向を示す（図-3参照）。表層部については、風化の影響により割れ目が褐色化した透水部（10～20Lu以上）が分布する。また、新鮮岩の一部において、応力開放の影響により、地層の分布に上下流方向の透水部が形成されている（図-7）。割れ目は全般的に開口幅1mm以下であり、規模は小さい。

3. 留萌ダムのグラウチング概要

留萌ダムの基礎グラウチングは、目的毎にコンソリデーショングラウチング、ブランケットグラウチング、

表-1 ダム及び貯水池諸元

ダ	形	式	中央コア型ロックフィルダム	
ム	堤	高	41.2m	
	堤	頂長	440.0m	
	堤	体積	1,225,000m ³	
貯	集	水面積	42.0km ²	
	湛	水面積	2.2km ²	
	総(有効)貯	水量	23,300,000m ³ (21,800,000m ³)	
	内	治水容量	11,000,000m ³	
	利	水容量(特定)	500,000m ³	
	利	水容量(不特定)	10,300,000m ³	
水	堆	砂容量	1,500,000m ³ (350m ³ /km ² /年)	
	常	時満水位	EL 40.9m	
	サ	ーチェーシ	ン水位	EL 46.8m
	最	低	水位	EL 30.1m



図-1 位置図

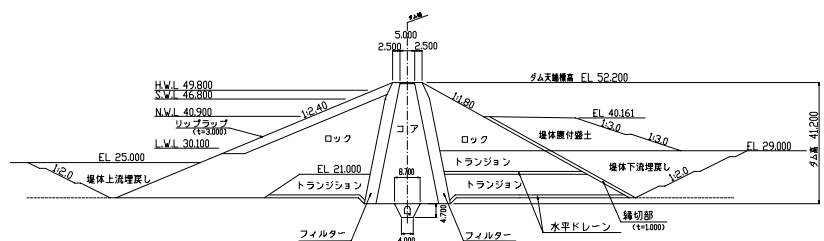


図-2 留萌ダム標準断面図

カーテングラウチングの3種があり、ブランケットグラウチングは施工場所により明り部と監査廊部に分けられる。

今回はH13年度に「グラウチング技術指針・同解説」²⁾のグラウチングの合理化を趣旨とした全面改訂が行われたことに伴い、カーテングラウチングの施工仕様の改良を行った。その結果について報告する。

グラウチング施工仕様の当初計画と見直し後の施工仕様及び施工結果概要を表-2に示す。

4. 合理的グラウチングに向けた取組み

(1) 概要

留萌ダムの基礎岩盤は、透水性が全般的に低いものの、限界圧力が0.15～0.5MPaと小さい軟岩であり、高角度傾斜の割れ目が一部に発達し10Lu以上の透水路が形成されているという特徴がある。このため、注入圧を高めすぎると割れ目が破壊して過大注入が生じる恐れがある。また、難透水であるとして孔配置を広げると、高角度傾斜の透水性割れ目への遭遇率が低下し、グラウチング改良が十分に得られない恐れがある。

留萌ダムでは、特に次の事項を着眼点として施工データの分析・検討を行った。

- ① 基礎岩盤の的確な透水性状把握
- ② 効果的な孔配置及び深度
- ③ 効率的な注入仕様

(2) 基礎岩盤の的確な透水性状把握

留萌ダムの基礎岩盤は、ルジオン試験や水押し試験において、昇圧に伴い非線形的に透水量が増加するP-Q曲線を示し、限界圧力が不明瞭な場合が多い(図-4のb)。また、一般的に水押し試験は昇圧段階が粗いため、限界圧力の判定には個人差が生じる。

このような問題点を解消し、グラウチング施工時に迅速かつ的確にルジオン値を把握するため、以下の取組みを行った。

- ① カーテングラウチング施工時の水押し試験は0.05MPa程度の刻みで4～5段階で昇圧する。
- ② 水押し試験時の圧力とグラウト注入時の規定圧到達前に圧力増加傾向が緩慢になる圧力(割れ目の開口が徐々に始まったと考えられる地点)を総合的に分析し、P-Q曲線の折角 $\theta \geq 20^\circ$ 以上となる場合、又は流量が1ℓ/min以上の状態で、昇圧により2倍程度以上に流量増加した場合は限界圧力と判定するルールとした。

カーテングラウチング施工の結果、限界圧力の発生ステージは全体平均で約15%であり、この内これまで不明瞭であった1～2割が上記の設定により的確に限界圧力が評価でき、結果としての的確なルジオン値として評価できた。

(3) 効果的な孔配置及び深度

「グラウチング技術指針・同解説」の改訂に伴い水理地質特性を踏まえ、改良目標値を以下のように定めた。

- H/2以下 : 5Lu (変更なし)

- H/2以下 : 10Lu (見直し、緩和)

Hはダム高である。非超過率はH/2以下は一般的な85%を目標とし、H/2以下は改良目標値を緩和していることから安全側を考慮して100%とした。

単列1.5mピッチ(3次孔規定孔)を基本とし、試験施工を兼ねて左岸リム部(P1～P4)と右岸リム部(P50～P52)、及び洪水吐き部(P42～P50)の施工を行った。その結果以下の事項が判明した。

- ① 左岸リム部に分布する20Lu以上の高透水路は3次孔(孔間隔1.5m)にて5Lu・非超過率85%に到達する。また、次数別のグラウチング影響範囲を確認するため、着色グラウトミルクを注入すると、パイロット孔では平均3m、最大で1次孔地点(6m)で確認された。また、1次孔のグラウトミルクは左岸部で最大4.5m(3次孔地点)、右岸部で最大6mまで到達していることを確認した(図-8)。このことは、高角度傾斜の透水路が存在した場合でも規定孔間隔1.5mとすれば、多数の追加孔が発生せずに改良目標を満足することを示している。
- ② 洪水吐き基礎浅部(2ステージ～H/2以下、1ステージ5m)では、2次孔のルジオン値を上回る隣接3次孔のステージは約40%有するが、3次孔で改良目標値(5Lu)を上回るステージは約1%と僅かである(図-9)。これにより、2ステージ～H/2以下では、2次孔が改良目標値5Lu程度以下であれば、3次孔もほぼ5Lu以下と判断した。

洪水吐き基礎深部(H/2以下)では、2次孔のルジオン値を上回る隣接3次孔は約41%であり、3次孔において改良目標値(10Lu)を上回るステージは発生し

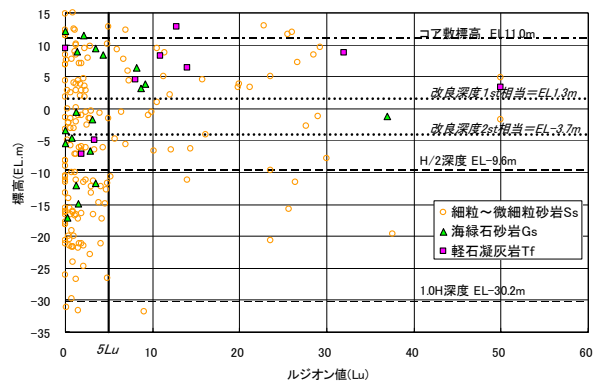


図-3 標高とルジオン値の関係(河床部)

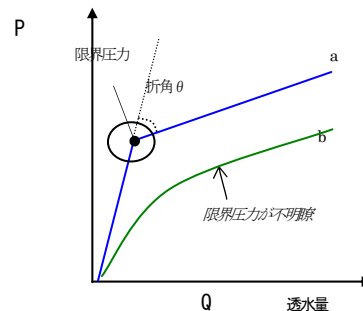


図-4 P-Q曲線概念図

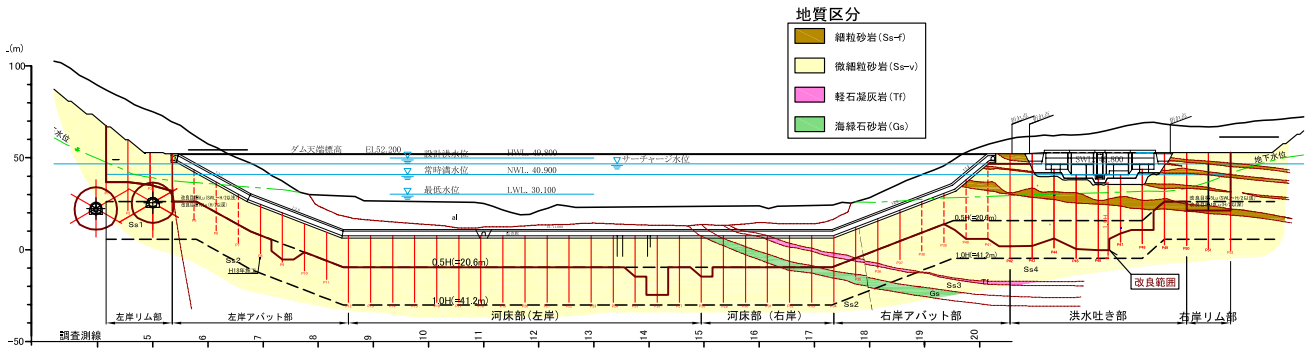


図-5 止水ライン地質図 (パイロット孔施工後)

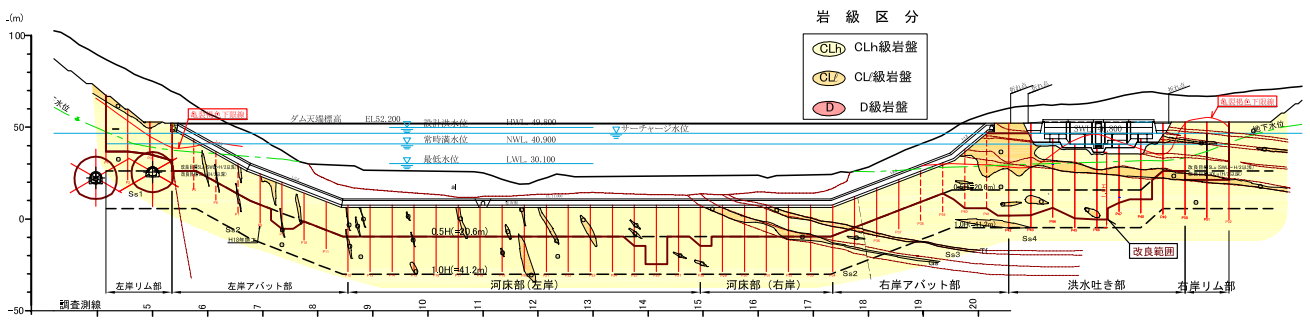
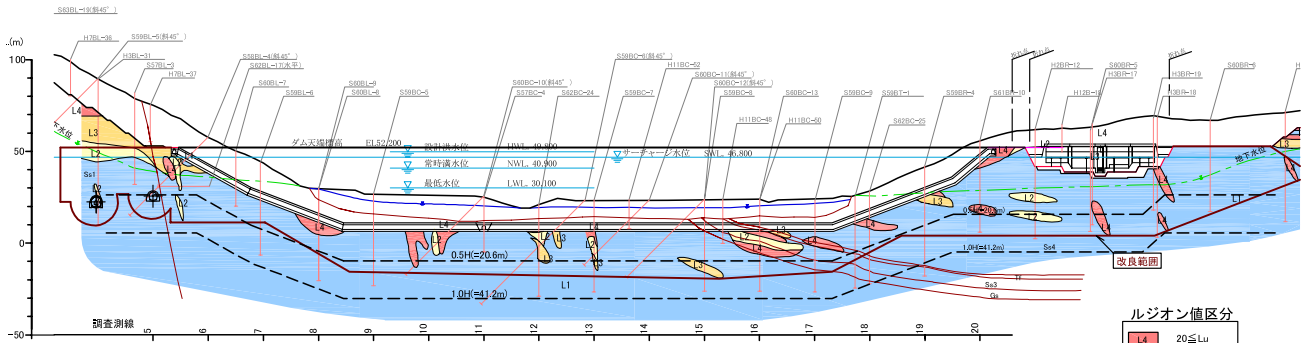


図-6 止水ライン岩級区分図 (パイロット孔施工後)

調査時



パイロット孔施工後

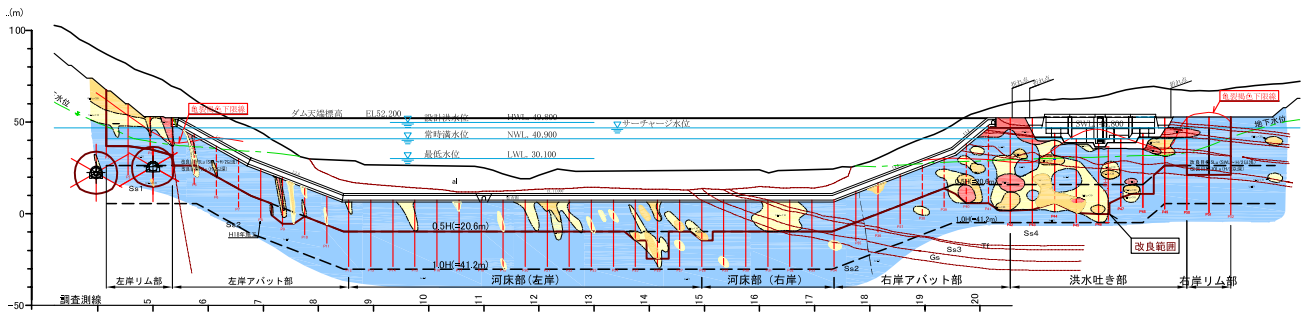


図-7 止水ラインルジオンマップ図

表-2 留萌ダムのカーテングラウチング概要

項目	カーテングラウチング																																																				
	当初計画	見直し後（現時点）																																																			
概要図																																																					
施工目的	遮水性の改良（浸透流の抑制）																																																				
改良目標	5Lu（非超過率 85%）	<ul style="list-style-type: none"> H/2 以浅：5Lu（非超過率 85%） H/2 以深：10Lu（非超過率 100%） 																																																			
施工時期	監査廊内ブランケットグラウチング施工後	同左																																																			
孔配置	単列 1.5m（規定最終孔 3 次孔） *堤体と洪水吐き間（CL0級部）については補助カーテン併用	<ul style="list-style-type: none"> H/2 以浅：単列 1.5m（規定最終孔 3 次孔） H/2 以深：単列 3m（規定最終孔 2 次孔） *補助カーテングラウチングは原則廃止 																																																			
施工深度	<p>【基本深度】</p> <ul style="list-style-type: none"> 所定の改良目標値に到達する深度まで d=H/3+8.0m 以上（H：ダム高） <p>【左右岸リム部】</p> <ul style="list-style-type: none"> 所定の改良目標値に到達する範囲まで サーチャージ水位と地下水位の交点をカバーする範囲まで 	<p>【基本深度】</p> <ul style="list-style-type: none"> 所定の改良目標値に到達する深度まで 最低 H/2（H：ダム高）以上 <p>【3 次孔短縮基準】</p> <ul style="list-style-type: none"> 左右 P~2 次孔の 3 ステージが 5Lu 以下の場合かつ、3 次孔の 2 ステージが 5Lu 以下の場合 ⇒ 3 次孔は 2 ステージに短縮。ただし、P~2 次孔の 2 ステージが 10Lu を超える場合、斜め下方の 3 次孔 3 ステージは省略しない。 <p>【左右岸リム部】</p> <ul style="list-style-type: none"> 常時満水位と地下水位の交点かつサーチャージ水位と 5Lu 以下の難透水ゾーンの交点をカバーする範囲まで 																																																			
注入圧	1st：0.3（MPa） 2st：0.45 3st：0.6 4st：0.7 5st以降：0.95	1st：0.25（MPa） 2st：0.35 3st以降：0.45 *限界圧力と規定圧力の差が 0.1MPa 以上の場合、注入圧力=限界圧力+0.1MPa																																																			
注入速度	2 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ /min/m	同左																																																			
注入配合	<table border="1"> <thead> <tr> <th>配合C 率</th> <th>標準規定量 (kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1:30</td><td>600</td></tr> <tr><td>1:8</td><td>600</td></tr> <tr><td>1:6</td><td>600</td></tr> <tr><td>1:4</td><td>400</td></tr> <tr><td>1:2</td><td>400</td></tr> <tr><td>1:1</td><td>1,000</td></tr> <tr><td>計</td><td>3,600</td></tr> </tbody> </table>	配合C 率	標準規定量 (kg)	1:30	600	1:8	600	1:6	600	1:4	400	1:2	400	1:1	1,000	計	3,600	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">配合C 率</th> <th colspan="3">標準規定量 (kg)</th> </tr> <tr> <th>Lu<10</th> <th>10≤Lu<20</th> <th>20≤Lu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1:30</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>1:8</td><td>600</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>1:6</td><td>600</td><td>600</td><td>-</td></tr> <tr><td>1:4</td><td>600</td><td>600</td><td>800</td></tr> <tr><td>1:2</td><td>800</td><td>800</td><td>800</td></tr> <tr><td>1:1</td><td>800</td><td>1,400</td><td>1,800</td></tr> <tr><td>計</td><td>3,400</td><td>3,400</td><td>3,400</td></tr> </tbody> </table>	配合C 率	標準規定量 (kg)			Lu<10	10≤Lu<20	20≤Lu	1:30	-	-	-	1:8	600	-	-	1:6	600	600	-	1:4	600	600	800	1:2	800	800	800	1:1	800	1,400	1,800	計	3,400	3,400	3,400
配合C 率	標準規定量 (kg)																																																				
1:30	600																																																				
1:8	600																																																				
1:6	600																																																				
1:4	400																																																				
1:2	400																																																				
1:1	1,000																																																				
計	3,600																																																				
配合C 率	標準規定量 (kg)																																																				
	Lu<10	10≤Lu<20	20≤Lu																																																		
1:30	-	-	-																																																		
1:8	600	-	-																																																		
1:6	600	600	-																																																		
1:4	600	600	800																																																		
1:2	800	800	800																																																		
1:1	800	1,400	1,800																																																		
計	3,400	3,400	3,400																																																		
追加基準	<ul style="list-style-type: none"> 最終次数孔の 5Lu 非超過率が 85%に達しない場合 ルジオン値が単独孔での追加基準値 10Lu より大きい場合 改良目標値 5Lu に達しないステージが連続する場合 	<p>【H/2 以浅】同左</p> <p>【H/2 以深】ルジオン値が 10Lu より大きい場合</p>																																																			
施工期間	—	平成 16 年 8 月～平成 19 年 10 月																																																			
施工結果 （非超過率 85%ルジオン 値低減 図）																																																					

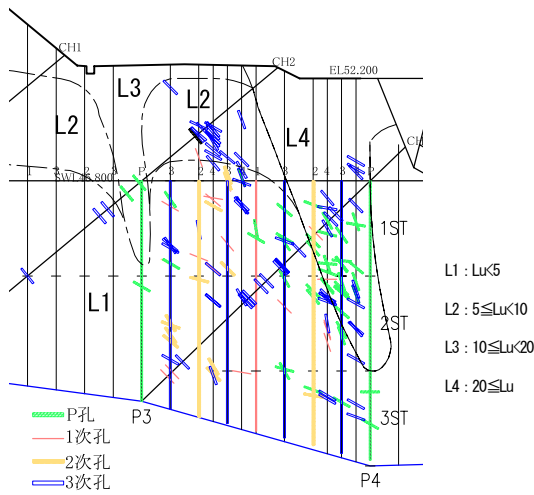


図-8 グラウトミルク確認位置図

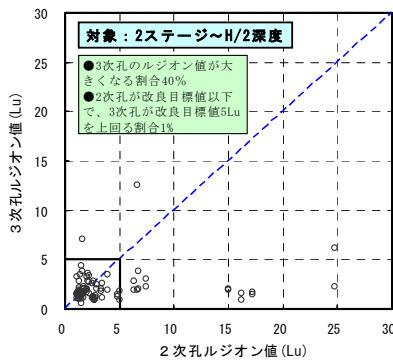


図-9 2次孔と3次孔ルジオン値の相関 (2ステージ～H/2)

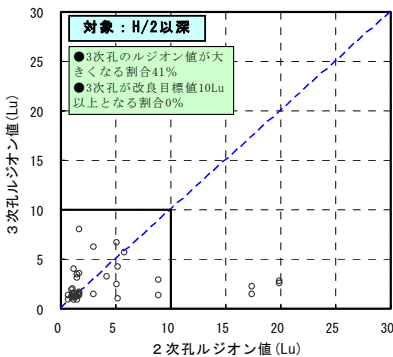
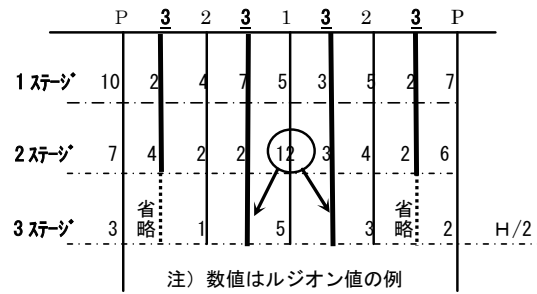


図-10 2次孔と3次孔ルジオン値の相関 (H/2以深)

ない(図-10)。この結果によれば、2次孔が改良目標値10Lu以下であれば3次孔は10Lu以下になると判断した。

以上より、本体基礎部のカーテングラウチングは、次の孔配置・孔深度に縮減する計画に変更した。

【孔深度】：改良深度は、所定の改良目標値を満足しない範囲を基本とし、最低H/2以上施工する。なお、改良目標値5Luの区間(0～H/2)において、3次孔は、左右P孔～2次孔の3ステージが5Lu以下の場合かつ、3次孔の2ステージが5Lu以下に限り、2ステージに短



注) 数値はルジオン値の例

図-11 3次孔の省略概念図

表-3 規定孔・追加孔ステージ数 (本体基礎部)

ゾーン	規定孔ステージ数	追加孔ステージ数	規定最終ルジオン値	
左岸部	H/2以浅	70	0	3.2
	H/2以深	14	0	1.9
河床部左岸	H/2以浅	347	5	3.6
	H/2以深	97	0	7.8
河床部右岸	H/2以浅	128	0	2.8
	H/2以深	34	0	5.4
右岸部	H/2以浅	63	0	3.4
	H/2以深	10	-	-

注) 規定最終ルジオン値：H/2以浅は非超過率85%ルジオン値、H/2以深は最大

表-4 注入圧の変更

ステージ	当	(MPa)	
		水	水 (H17.7.23以) 体
1	0.3	0.25	0.25
2	0.45	0.35	0.35
3	0.6	0.45	0.45
4	0.7	0.5	0.45
5以	0.95	0.55	0.45

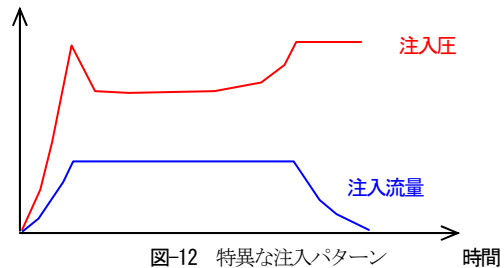


図-12 特異な注入パターン

縮する。ただし、P孔～2次孔の2ステージが10Luを超える場合は、斜め下方の3次孔3ステージは省略しない(図-11)。

本体基礎部のカーテングラウチングの施工において、H/2以浅及び以深ともに追加孔の発生は少なく(表-3)、孔配置・孔深度の縮減は妥当であったと評価される。

(4) 効率的な注入仕様

カーテングラウチングの注入仕様は、当初仕様に対して改良目標の変更等に伴い見直しを行い、注入圧を表-4のタイプIIのように設定し、左右岸リム部～洪水吐き部の施工を行った。また、洪水吐き部施工途中段階ではさらに改良を行いタイプIIIの注入圧に変更した。施工結果から以下の事項が判明した。

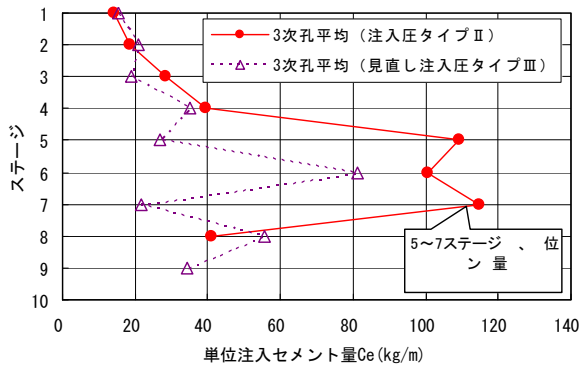


図-13 洪水吐き部3次孔平均単位注入セメント量

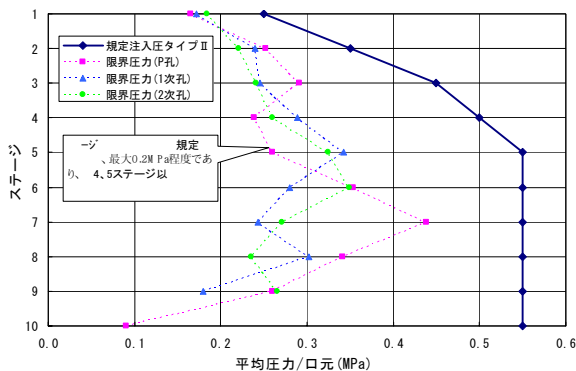


図-14 洪水吐き部ステージ別平均限界圧力

- ① 左岸リム部は、限界圧力を大きく上回るステージが発生し、単位セメント注入量が 300kg/m 以上となる大量注入が生じた（右岸リム部で規定量中断が 1 ステージ発生）。
- ② 右岸リム部では、注入圧力が初期に規定圧力に到達した後に直ちに減少し、しばらく規定圧に達しない状態が続いた後に規定圧に到達し、注入流量（流速）が減少する注入パターンが多く認められた（図-12）。これは注入により長時間加圧を続けると圧力に耐え切れず、割れ目が開口し減圧したものと考えられる。
- ③ 洪水吐き部では、右岸リム部に比べ、5～8 ステージにおける“単位注入セメント量”が明瞭に増大する傾向が認められた（図-13）。この原因は 5 ステージ以下に規定注入圧に比べて限界圧力の小さいゾーンが分布していたため（図-14）、割れ目を開口させた過大な注入が生じたと推定される。

以上より、洪水吐き部施工途中段階から 3 ステージ以深の規定注入圧の見直しを行い $P=0.45\text{MPa}$ 一定とした（表-4 のタイプⅢ参照）。

また、限界圧が発生した場合の注入圧力は、上記の規定圧力変更を考慮して限界圧 + 0.1MPa（ \leq 規定注入圧）とした。

表-4 のタイプⅢのとおり見直した注入圧に基づき、残りの洪水吐き部及び本体基礎部の施工を行った結果、追

加孔が多発する圧力不足の傾向は特に認められず、かつ圧力を抑制した 4 ステージ以深において、過大な注入を抑制することができた。

5. まとめ

カーテングラウチングの他、コンソリデーショングラウチング、ブランケットグラウチングについても、当初計画の仕様で試験施工を行い改良効果を分析した。

その結果から、改良目標値を満足した上でコスト削減を図るため、注入仕様の合理化を行った。

主な合理化項目は以下のとおりである。

- ① カーテングラウチング
 - ・地盤特性を踏まえた水押し試験仕様及び評価方法の設定。
 - ・改良目標値の見直し、及び透水性評価の精度向上に伴う改良深度の縮小
 - ・H/2 以深の規定孔間隔の拡大（2 次孔規定孔）
 - ・3 次孔深度の短縮
- ② コンソリデーショングラウチング
 - ・孔配置の合理化（最小規定孔間隔の拡大）
- ③ 明り部ブランケットグラウチング
 - ・孔配置の合理化（最小規定孔間隔の拡大）
- ④ 監査廊部ブランケットグラウチング
 - ・注入配合の高濃度化
 - ・施工深度の短縮

以上、留萌ダムでは施工に応じて迅速・積極的にフィードバックする継続的な評価、必要に応じた見直しを実施した結果、カーテングラウチングは当初計画数量に比べパイロット孔および一般孔のボーリング総延長が 8910.9m (当初の 65%)、セメント量 213.9t (当初の 65%) となった。また、グラウチング工全体で 3 割程度のコスト削減を図ることができた。

留萌ダム建設工事は、堤体盛立てが完了し、平成 21 年度の完成を目指し、試験湛水の準備を進めているところである。

参考文献

- 1) 山口嘉一, ほか: 針貫入試験によるダムの軟岩基礎の設計強度検証 応用地質, Vol. 46, No. 1 PP. 20-27, 2005. 4
- 2) 財団法人 国土技術研究センター編: グラウチング技術指針・同解説, 大成出版社, 2003. 7