

森吉山ダムの基礎処理工（グラウチング）における施工合理化の取り組み

国土交通省（東北）森吉山ダム工事事務所 法人会員 五十嵐 悟 藤原 巖

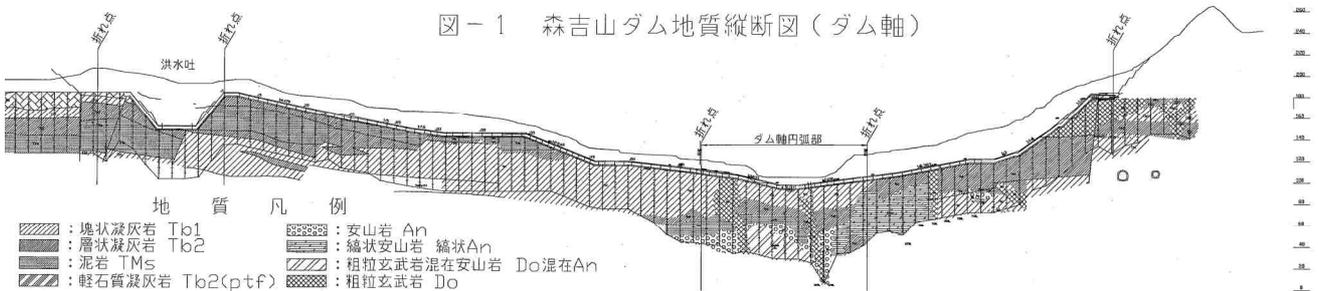
1. はじめに

森吉山ダムは秋田県北の一級河川米代川の左支川阿仁川の右岸支川小又川に位置する堤高 89.9m、堤体積 585 万 m³の中央コア型ロックフィルダムです。本報告では、当ダムにおける基礎処理工（グラウチング）について、水押時間の短縮（無段階水押）及び、グラウト注入効果を損なわない難透水路の2ステージ一括注入によるグラウト注入時間の短縮（ロングステージ注入）による施工合理化を目指したもので、現在施工中であるため、カーテングラウチングについてその効果を中間報告するものである。

2. ダムサイトの地質

ダム軸の地質は、火山礫凝灰岩成層部(Tb2)、同塊状部(Tb1)及び泥岩と凝灰岩の互層(TM_s)が主体をなし、下部に安山岩溶岩(An)が重なり、一部貫入岩である粗粒玄武岩(Do)が存在する(図 - 1)。全体的に難透水性であるが、断層付近、Do とその付近及び、凝灰岩・An 中の高角度亀裂箇所が高透水性を示す。

図 - 1 森吉山ダム地質縦断図（ダム軸）



3. カーテングラウチングの概要

カーテングラウチング実施要領を表 - 1 に示す。（ロングステージ注入項目も含む）

表 - 1 カーテングラウチング実施要領

項目	カーテングラウチング実施要領																																
改良目標値	0~40mまで (0~H/2相当) : 5Lu 40~85m (H/2~H相当) : 7Lu (Hは最大ダム高 85.9m)																																
孔配置	3m 間隔 単列配孔 																																
穿孔方法	<table border="1"> <thead> <tr> <th>工種</th> <th>次数</th> <th>穿孔方法</th> <th>孔径 (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>カーテングラウチング</td> <td>P、C次孔</td> <td>ローラー</td> <td>66(φ採取)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>一般孔</td> <td>ローラー</td> <td>46(φ/φ27)</td> </tr> </tbody> </table>	工種	次数	穿孔方法	孔径 (mm)	カーテングラウチング	P、C次孔	ローラー	66(φ採取)		一般孔	ローラー	46(φ/φ27)																				
工種	次数	穿孔方法	孔径 (mm)																														
カーテングラウチング	P、C次孔	ローラー	66(φ採取)																														
	一般孔	ローラー	46(φ/φ27)																														
穿孔角度	鉛直下向き																																
ステージ長	<p>【水押し・透水試験は、標準ステージ（区間長 5m）を標準とする。注入は、上側・下側ステージがいずれも改良目標値以下の場合は、2ステージを一括して注入する。】</p> <p>水押し・透水試験：5.0m（標準ステージ）</p> <p>注 入：1次孔(5st~最終-1st)、チェック孔(5st)：10.0m (2ステージ一括注入) 上記以外の孔 : 5.0m (標準ステージ)</p> <p>以下の場合には2ステージ一括注入を適用せず標準の5mステージで注入する。 ○ルジオン値が改良目標を上回る場合 ○降伏圧力(PQ)の折れ角45度以上が発生した場合 ただし、1次孔の改良目標境界と最終ステージはルジオン値に関わらず標準ステージでの注入とする。</p>																																
施工時期	コア材の盛立高さ 15m 以上完了後																																
同時注入規制	孔間隔及び施工深度が 6m の範囲内では、同時に穿孔、及び注入は実施しない。																																
水押し及び透水圧力	<p>【適用範囲】 通常段階試験：パイロット孔、チェック孔 無段階水押し試験：1次孔、2次孔、3次孔以降（追加孔）、再注入孔</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">透水試験（段階試験）</th> <th colspan="2">水押し試験（無段階試験）</th> </tr> <tr> <th>ステップ</th> <th>圧力段階 (MPa)</th> <th>ステップ</th> <th>圧力段階 (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.05→0.1→0.2→0.3→0.1</td> <td>1</td> <td>0.1→0.2→0.3</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.1→0.2→0.3→0.5→0.3→0.1</td> <td>2</td> <td>0.1→0.3→0.5</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0.1→0.2→0.3→0.5→0.7→0.3→0.1</td> <td>3</td> <td>0.1→0.3→0.7</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0.1→0.2→0.3→0.5→0.8→0.5→0.3→0.1</td> <td>4</td> <td>0.1→0.3→0.8</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0.1→0.2→0.3→0.5→0.7→0.8→0.5→0.3→0.1</td> <td>5</td> <td>0.1→0.3→0.5→0.8</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>0.1→0.2→0.3→0.5→0.7→1.0→0.7→0.5→0.1</td> <td>6</td> <td>0.1→0.3→0.6→1.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>昇圧・降圧時間：0.1MPa/分 測定時間 通常段階試験 安定時間 5分 無段階水押し試験 安定時間 1分</p>	透水試験（段階試験）		水押し試験（無段階試験）		ステップ	圧力段階 (MPa)	ステップ	圧力段階 (MPa)	1	0.05→0.1→0.2→0.3→0.1	1	0.1→0.2→0.3	2	0.1→0.2→0.3→0.5→0.3→0.1	2	0.1→0.3→0.5	3	0.1→0.2→0.3→0.5→0.7→0.3→0.1	3	0.1→0.3→0.7	4	0.1→0.2→0.3→0.5→0.8→0.5→0.3→0.1	4	0.1→0.3→0.8	5	0.1→0.2→0.3→0.5→0.7→0.8→0.5→0.3→0.1	5	0.1→0.3→0.5→0.8	6	0.1→0.2→0.3→0.5→0.7→1.0→0.7→0.5→0.1	6	0.1→0.3→0.6→1.0
透水試験（段階試験）		水押し試験（無段階試験）																															
ステップ	圧力段階 (MPa)	ステップ	圧力段階 (MPa)																														
1	0.05→0.1→0.2→0.3→0.1	1	0.1→0.2→0.3																														
2	0.1→0.2→0.3→0.5→0.3→0.1	2	0.1→0.3→0.5																														
3	0.1→0.2→0.3→0.5→0.7→0.3→0.1	3	0.1→0.3→0.7																														
4	0.1→0.2→0.3→0.5→0.8→0.5→0.3→0.1	4	0.1→0.3→0.8																														
5	0.1→0.2→0.3→0.5→0.7→0.8→0.5→0.3→0.1	5	0.1→0.3→0.5→0.8																														
6	0.1→0.2→0.3→0.5→0.7→1.0→0.7→0.5→0.1	6	0.1→0.3→0.6→1.0																														
水押し及び透水速度	4 L/min/m 以下																																
注入材料	高伊セメントB種																																

項目	カーテングラウチング実施要領																																																
	（標準ステージ）	（2ステージ一括注入）																																															
配合切替基準	<table border="1"> <thead> <tr> <th>配合</th> <th>ルジオン値</th> <th>リブ発生時</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1:8</td> <td>Lu<10</td> <td>20≤Lu</td> </tr> <tr> <td>1:8</td> <td>400L</td> <td>400L</td> </tr> <tr> <td>1:4</td> <td>400L</td> <td>400L</td> </tr> <tr> <td>1:2</td> <td>600L</td> <td>600L</td> </tr> <tr> <td>1:1.5</td> <td>600L</td> <td>600L</td> </tr> <tr> <td>1:1</td> <td>1600L</td> <td>2000L</td> </tr> <tr> <td>1:0.8</td> <td>-</td> <td>2800L</td> </tr> <tr> <td>計</td> <td>4000L</td> <td>4000L</td> </tr> </tbody> </table>	配合	ルジオン値	リブ発生時	1:8	Lu<10	20≤Lu	1:8	400L	400L	1:4	400L	400L	1:2	600L	600L	1:1.5	600L	600L	1:1	1600L	2000L	1:0.8	-	2800L	計	4000L	4000L	<table border="1"> <thead> <tr> <th>配合</th> <th>ルジオン値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1:8</td> <td>Lu<10</td> </tr> <tr> <td>1:8</td> <td>600L</td> </tr> <tr> <td>1:8</td> <td>600L</td> </tr> <tr> <td>1:4</td> <td>600L</td> </tr> <tr> <td>1:2</td> <td>900L</td> </tr> <tr> <td>1:1.5</td> <td>900L</td> </tr> <tr> <td>1:1</td> <td>2400L</td> </tr> <tr> <td>1:0.8</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>計</td> <td>6000L</td> </tr> </tbody> </table>	配合	ルジオン値	1:8	Lu<10	1:8	600L	1:8	600L	1:4	600L	1:2	900L	1:1.5	900L	1:1	2400L	1:0.8	-	計	6000L
	配合	ルジオン値	リブ発生時																																														
1:8	Lu<10	20≤Lu																																															
1:8	400L	400L																																															
1:4	400L	400L																																															
1:2	600L	600L																																															
1:1.5	600L	600L																																															
1:1	1600L	2000L																																															
1:0.8	-	2800L																																															
計	4000L	4000L																																															
配合	ルジオン値																																																
1:8	Lu<10																																																
1:8	600L																																																
1:8	600L																																																
1:4	600L																																																
1:2	900L																																																
1:1.5	900L																																																
1:1	2400L																																																
1:0.8	-																																																
計	6000L																																																
注入圧力	<table border="1"> <thead> <tr> <th>標準ステージ</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8以降</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>注入圧力 (MPa)</td> <td>0.3</td> <td>0.5</td> <td>0.7</td> <td>0.8</td> <td>0.9</td> <td>1.0</td> <td>1.0</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <th>ロングステージ</th> <td colspan="8">適用しない</td> </tr> <tr> <td>注入圧力 (MPa)</td> <td colspan="8">0.9MPa</td> </tr> <tr> <td colspan="9">水押し・透水試験時に降伏圧力(PQ)曲線の折角 45°以上が確認された場合は、注入圧力を降伏圧力+0.1MPaとする。ただし、降伏圧力+0.1MPa≤0.3MPaの場合は、最低注入圧0.3MPaとする。</td> </tr> </tbody> </table>		標準ステージ	1	2	3	4	5	6	7	8以降	注入圧力 (MPa)	0.3	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	ロングステージ	適用しない								注入圧力 (MPa)	0.9MPa								水押し・透水試験時に降伏圧力(PQ)曲線の折角 45°以上が確認された場合は、注入圧力を降伏圧力+0.1MPaとする。ただし、降伏圧力+0.1MPa≤0.3MPaの場合は、最低注入圧0.3MPaとする。										
標準ステージ	1	2	3	4	5	6	7	8以降																																									
注入圧力 (MPa)	0.3	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0																																									
ロングステージ	適用しない																																																
注入圧力 (MPa)	0.9MPa																																																
水押し・透水試験時に降伏圧力(PQ)曲線の折角 45°以上が確認された場合は、注入圧力を降伏圧力+0.1MPaとする。ただし、降伏圧力+0.1MPa≤0.3MPaの場合は、最低注入圧0.3MPaとする。																																																	
注入速度	4 L/min/m																																																
変位規制	変位規定値：0.20mm、変位警戒値：0.10mm																																																
硬化待ち時間	硬化待ち時間は原則として6時間以上とする。ただし、単位注入セメント量が0kg/mの場合は硬化待ち時間を省略する。また、バックステージ注入を行う場合は下側ステージを注入した後に硬化待ち時間を省略し、上側ステージの注入を行う。																																																
完了基準	注入圧力が規定圧力に達し、注入速度が0.2L/min/m以下の状態を30分間継続した場合、注入完了とする。																																																
注入中断	<p>1)規定量中断 注入時、規定量グラウトを注入しても、注入圧力の上昇、注入速度の低減が認められず、注入完了が見込めない場合、注入を中断する。</p> <p>2)リーク中断 注入時、リークが発生し完了が見込めない場合は注入を中断する。</p> <p>3)変位中断 注入時、岩盤変位量が規定値に達した場合は、注入を中断する。</p> <p>4)機械トラブル等による中断 注入時、注入機械の故障等により30分以上注入を中断した場合は、一時、注入を中断し、監督職員の指示を受ける。</p>																																																

4. 無段階水押し試験

グラウチング技術指針が改定され、当ダムでは既に施工が進んでいるため、現行の注入管理システムを

変更せず対応でき、換算ルジオン値を算出できる時間の設定として、1分測定による「無段階水押」にて施工することとした。

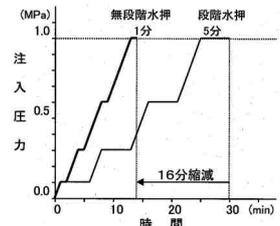


図-2 圧力パターンの比較 (Gst以降の場合)

(1) 仕様

従来の安定時間5分測定を測定時間1分とした。これにより注入圧力段階が3段階の場合12分、4段階の場合は16分の時間短縮が見込まれる。

(2) 効果

段階水押と無段階水押の比較を、地質の類似した隣り合ったブロック（段階水押；41～42BL、短段階水押；39～40BL）で比較した（表-2）。但し、限界圧力・降伏圧力の発生したステージは除く。

表-2 水押試験時間の比較

ステージ (一般孔)	圧力段階(Mpa)	①段階水押(41～42BL)		②無段階水押(39～40BL)		②-① 試験時間 平均の差 (分)	圧力段階別 試験時間差 (分)
		n	試験時間 計(分)	n	試験時間 計(分)		
1	0.1→0.2→0.3	6	130	6	36	6.00	-15.67
2	0.1→0.3→0.5	6	153	6	49	8.17	-17.33
3	0.1→0.3→0.7	6	125	5	50	10.00	-15.00
4	0.1→0.3→0.8	5	111	6	67	11.17	-16.58
5	0.1→0.3→0.5→0.9	4	206	5	65	13.00	-28.20
6	0.1→0.3→0.6→1.0	12	449	26	365	14.04	-23.38
計		39	1,174	54	632	632.00	-19.36

ステージ毎に圧力段階が異なるが、いずれのステージにおいても試験時間の縮減効果が見られ、圧力段階が3段階では平均で約16分、4段階では平均で約26分の縮減効果が確認された。

5. ロングステージ注入（2ステージ一括注入）

当初1ステージ5mでの注入を標準として実施していたが、本ダムでは広範囲にわたって低透水ゾーンが存在するため、2ステージ10mを一括注入（ロングステージ注入）し、注入時間を短縮し、施工合理化を図るものである。

(1) 仕様

2ステージ一括注入とした場合、注入量が膨大になり、プラントが対応できなくなるおそれがあるため、対象は上位ステージ、下位ステージとも低透水である場合のみとした。そのため、ロングステージ注入の判定フローを図-3に示す。また、注入仕様については前頁の表-1のとおり。

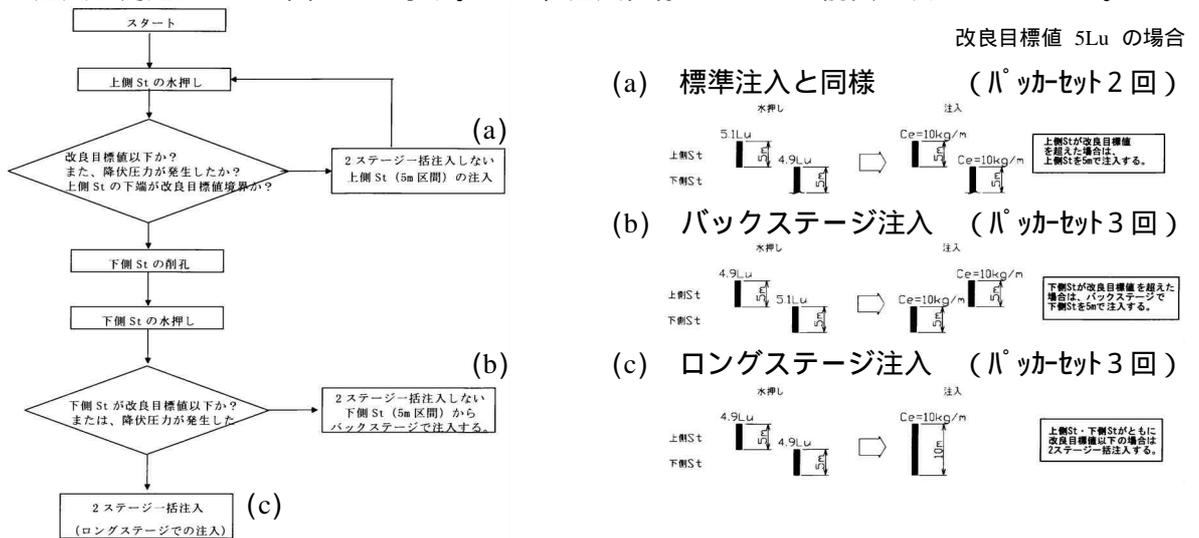


図-3 ロングステージ注入判定フロー

(2) 効果

同一地質(Tb1)における標準注入とロングステージ注入の比較を行った(表-3)。同じ18ステージ分において注入時間計が1243分から403分に、注入セメント量が186.4kgから21.8kgに縮減されている。

表-3 標準注入とロングステージ注入の比較

	ステージ数	注入時間計(分)	注入(回)当たり注入時間(分)	注入セメント量計(kg)	1m当たり注入セメント量(kg/m)
標準注入 (注入ステージ長=5m)	水押	18	—	—	—
	注入	18	1,243	69.1	186.4
ロングステージ注入 (注入ステージ長=10m)	水押	18	—	—	—
	注入	9	403	44.8	21.8

6. まとめ

短段階水押、ロングステージ注入とも施工合理化の効果が確認されている。また、ロングステージ注入については注入量の大小の差が非常に大きいため、評価方法が今後の課題である。当ダムの基礎処理工は来年度施工完了予定であるため、今後、全体の施工を終えた段階でこれらの施工合理化の効果について総合評価したいと考えている。