

カーテングラウチングの規定孔間隔に関する基礎的検討 - 3次孔を追加孔にした場合 -

独立行政法人土木研究所 正会員 佐藤弘行
独立行政法人土木研究所 正会員 山口嘉一
独立行政法人土木研究所 正会員 中村洋祐

1. まえがき

カーテングラウチングは、ダム基礎地盤及びリム部の地盤において、動水勾配が大きい部分と貯水池外への水みちとなるおそれのある高透水性部の遮水性を改良することを目的として施工される¹⁾。カーテングラウチングの孔配置及び施工手順としては一般的に中央内挿法¹⁾が用いられており、12m 間隔のパイロット孔（以下、P 孔）から1次孔、2次孔と順次孔間隔を小さくして施工を行い、1.5m 間隔の3次孔までを規定孔として施工されている事例が多い。しかし、良好な地質条件のサイトにおいては、2次孔までの注入により、改良目標値を満足するような注入効果が得られている施工事例が見受けられる。グラウチングは地下での不確実性の高い作業であるため、確実な遮水性改良を目指して結果的に過度な施工量に至ることも考えられるが、過度な施工はコスト増や工期の延長をもたらす。そのため、所要の安全性は維持しつつもカーテングラウチングの合理化を図る1つの手段として、当初の遮水性や改良特性が比較的良好な岩盤において当初設計の最終規定孔を省略する検討が進められている^{2)~5)}。本論文では、3次孔を最終規定孔として施工された既設ダムのカーテングラウチングのデータを分析することにより、3次孔を追加孔とすることの影響を検討した。

2. 解析条件

検討対象としたダムは、表1に示す7ダムである。河床部におけるカーテングラウチングのデータのみを用い、補助カーテングラウチングの施工の有無や注入圧力から、浅部（1~3ステージ程度）・中深度（4~7ステージ程度）・深部（8ステージ程度以深）の3深度区分して分析した。7ダムともにカーテングラウチングの孔配置はP孔間隔12mで、1.5m間隔の3次孔が最終規定孔の中央内挿法で施工され、改良目標値は2Luである。表1に7ダムのルジオン値の15%超過率値を示す。グラウチングの改良効果により次数が進むに従いルジオン値は概ね小さくなっているが、一部3次孔においても改良目標値以上になっているものが見受けられる。

3. 検討方法

以下の2つの基準からなる追加孔基準を2次孔の結果に適用した。

- 1) 最大値基準：2次孔が4Lu以上の場合は、隣接する2次孔のルジオン値の大きい側に3次孔を追加する。
- 2) 不連続基準：深度方向・ダム軸方向・斜め方向に連続して2次孔が2Luを超える場合は、ルジオン値の大きい側に3次孔を追加する。

4. 検討結果

表2に検討結果の一覧、図1に2次孔における15%超過率ルジオン値と見逃し率の関係を示す。シミュレーションの結果のうち「見逃し」と「過施工」が重要となる。ここで、「見逃し」とは追加孔基準により3次孔不要と判断したが実際の3次孔のルジオン値は改良目標値以上の場合を意味し、逆に「過施工」とは追加孔基準により3次孔の施工が必要と判断したが実際の3次孔のルジオン値は改良目標値以下の場合を意味する。「見逃し」と「過施工」を共に少なくすることが望ましいが、一般的には「見逃し」と「過施工」はトレードオフの関係にあり、「見逃し」が少なく（多く）なれば「過施工」は多く（少なく）なる。そのため、ダムの安全性を損なわないような「見逃し」率に抑えるとともに、コスト縮減を最大限達成できるよう「過施工」率を可能な限り小さな値に抑制するよう、適切な追加孔基準を設定する必要がある。

表1 7ダム諸元と15%超過率ルジオン値

ダム名	型式	堤高(m)	深度方向区分	ステージ	15%超過率ルジオン値				備考
					P孔	1次孔	2次孔	3次孔	
A	G	100	浅部	1~4	1.1	0.7	1.1	0.4	補助カーテンあり
			中深度	5~9	12.1	1.5	0.4	0.2	
			深部	10~	19.8	4.2	0.7	0.3	
B	G	109	浅部	1~3	3.7	3.5	3.3	2.5	補助カーテンあり
			中深度	4~6	7.3	1.5	1.2	0.9	
			深部	7~	1.1	1.4	0.5	1.5	
C	G	84.9	浅部	1~2	6.0	3.7	1.4	0.8	補助カーテンあり
			中深度	3~6	4.1	2.7	1.6	0.9	
			深部	7~	1.6	2.4	0.9	0.8	
D	G	115	浅部	1~3	18.5	6.3	5.7	2.3	一部補助カーテンあり
			中深度	4~5	13.2	5.9	1.6	1.5	
			深部	6~12	2.7	1.2	1.1	1.1	
E	G	123	浅部	1~4	2.3	1.3	1.2	0.8	補助カーテンあり
			中深度	5~	6.1	1.6	3.5	1.0	
			深部	1~4	4.7	1.6	1.1	0.9	
F	R	105	浅部	5~8	5.8	2.0	1.8	2.1	補助カーテンあり
			中深度	9~	2.5	1.2	1.6	0.6	
			深部	1~6	2.2	2.7	1.2	1.1	
G	G	97	浅部	7~11	12.5	4.2	2.0	1.9	
			中深度	12~	8.5	4.8	3.2	2.9	
			深部						

G:重力式コンクリートダム R:ロックフィルダム

【キーワード】ダム、カーテングラウチング、規定孔、追加孔

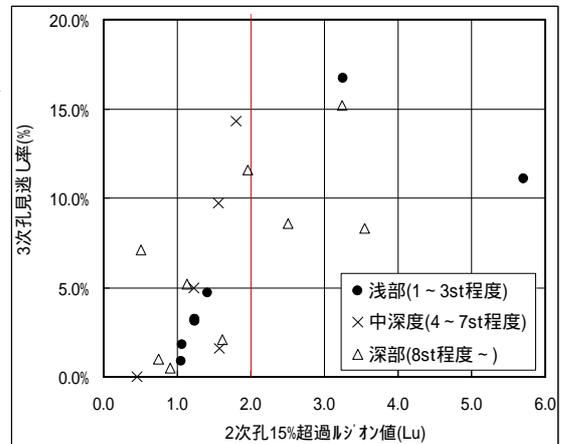
【連絡先】〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 Tel.0298-79-6781 Fax.0298-79-6737

表 2 追加孔基準適用結果

ダム名	深度方向区分	ステージ	注入成功	見逃し	省略成功	過施工	判断成功率 (うち省略成功率)		過施工率	見逃し率	見逃しルジオン値			見逃し連続ステージ	
							最大値	2番目			3番目	2st(1)	3st(2)		
A	浅部	1~4	0	1	109	2	97.3%	(97.3%)	1.8%	0.9%	3.1	-	-	0	0
	中深度	5~9	0	0	140	0	100.0%	(100.0%)	0.0%	0.0%	-	-	-	0	0
	深部	10~	1	2	189	5	96.4%	(95.9%)	2.5%	1.0%	4.5	3.6	-	0	0
	全ステージ	1	3	438	7	97.8%	(97.6%)	1.6%	0.7%	4.5	3.6	3.1	-	0	0
B	浅部	1~3	7	20	82	11	74.2%	(68.3%)	9.2%	16.7%	12.5	8.6	7.3	1	0
	中深度	4~6	1	6	109	4	91.7%	(90.8%)	3.3%	5.0%	4.4	3.2	3.0	1	0
	深部	7~	0	1	10	3	71.4%	(71.4%)	21.4%	7.1%	3.1	-	-	0	0
	全ステージ	8	27	201	18	82.3%	(79.8%)	7.1%	10.6%	12.5	8.6	7.3	2	0	
C	浅部	1~2	0	3	59	2	92.2%	(92.2%)	3.1%	4.7%	3.3	3.2	2.8	0	0
	中深度	3~6	0	2	124	2	96.9%	(96.9%)	1.6%	1.6%	5.5	2.5	-	0	0
	深部	7~	1	2	180	0	98.9%	(98.4%)	0.0%	1.1%	2.6	-	-	0	0
	全ステージ	1	7	363	4	97.1%	(96.8%)	1.1%	1.9%	5.5	3.3	3.2	0	0	
D	浅部	1~3	6	10	49	19	65.5%	(58.3%)	22.6%	11.9%	5.3	4.3	4.3	1	0
	中深度	4~5	0	7	48	1	85.7%	(85.7%)	1.8%	12.5%	12.7	4.5	4.4	1	0
	中深度	6~12	0	12	183	1	93.4%	(93.4%)	0.5%	6.1%	6.0	5.7	5.0	0	1
	深部	13~	1	9	98	0	91.7%	(90.7%)	0.0%	8.3%	6.0	4.5	4.3	1	0
E	浅部	1~4	0	3	92	1	95.8%	(95.8%)	1.0%	3.1%	5.9	3.5	2.2	0	0
	中深度	5~	0	12	122	10	84.7%	(84.7%)	6.9%	8.3%	12.7	8.3	5.9	1	1
	中深度	6~12	0	15	214	11	89.2%	(89.2%)	4.6%	6.3%	12.7	8.3	5.9	1	1
	全ステージ	1	15	392	11	87.7%	(84.5%)	4.7%	7.5%	31.4	16.5	14.9	5	5	
F	浅部	1~4	0	2	110	0	98.2%	(98.2%)	0.0%	1.8%	3.2	2.2	-	0	0
	中深度	5~8	2	16	94	0	85.7%	(83.9%)	0.0%	14.3%	6.5	4.7	3.3	0	4
	深部	9~	0	7	317	12	94.3%	(94.3%)	3.6%	2.1%	49.2	5.3	3.0	1	0
	全ステージ	2	25	521	12	93.4%	(93.0%)	2.1%	4.5%	49.2	6.5	5.3	1	4	
G	浅部	1~6	2	5	206	5	95.4%	(94.5%)	2.3%	2.3%	5.6	3.4	3.3	1	0
	中深度	7~11	4	12	99	6	85.1%	(81.8%)	5.0%	9.9%	5.7	4.9	4.6	0	2
	深部	12~	9	18	87	11	76.8%	(69.6%)	8.8%	14.4%	31.4	16.5	14.9	4	3
	全ステージ	15	35	392	22	87.7%	(84.5%)	4.7%	7.5%	31.4	16.5	14.9	5	5	

1：見逃しが2ステージ連続している箇所。 2：見逃しが3ステージ連続している箇所、-：値なし

図1を見ると、2次孔の15%超過率ルジオン値と見逃し率の関係には不明瞭ながらも相関が見られ、2次孔の15%超過率ルジオン値が小さいほど見逃し率は低い傾向にある。しかし、表2のダムごとの深度方向の見逃し率の比較、および図1の7ダムの深度方向の見逃し率の分布を見ても、深度方向に関する明確な傾向は特に見出せない。一方、表2の過施工率を見ると、一部20%程度の値を示しているが概ね10%以内になっている。



3次孔を追加孔にするかどうかを検討する際には、安全性を確保するため、見逃し率と過施工率以外にも様々な角度から検討する必要がある。表2には、各検討ケースにおける見逃しルジオン値を大きい方から3つ示している。見逃しルジオン値は概ね小さくなっているが、見逃し率は小さいのに見逃しルジオン値が大きい図1 2次孔15%超過率ルジオン値と見逃し率の関係場合もある。また、表2には見逃し連続ステージ数も示している。

見逃し連続ステージが存在するという事は、連続する高透水性が残置されているということであり、ダムの安全性上好ましいことではない。表2を見ると、見逃し率が低いと見逃し連続ステージがなかったり数が少ない傾向にはあるが、見逃し率が4.5%でも見逃しが3ステージ連続する箇所が4つある場合もある(Fダム全ステージ)。

5. まとめ

本論文では、ダム基礎グラウチングの合理化・効率化を目的として、カーテングラウチングの3次孔を追加孔にすることについての検討を行った。3次孔までを規定孔としてカーテングラウチングを施工した既設ダムのデータを基に、3次孔に追加孔基準を適用した時の影響について分析した。

それにより、本論文で対象としたような全般的に初期透水性があまり大きくなくグラウチングによる改良効果が比較的良好なダムにおいては、2次孔に追加孔基準を適用して3次孔を追加孔とした場合、見逃し率は数%程度と小さい場合が多いが、見逃し率10%以上になる場合もあること、などが分かった。今後は、既設ダムのグラウチングデータの分析をさらに進めるとともに、実際のダム基礎岩盤の条件に近い条件で数値的なシミュレーションを行うとともに、許容見逃し率について検討するなど、引き続きグラウチングの合理化に関する研究を進める予定である。

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発行、1983。
- 2) 柴田 悟、山口嘉一、平塚毅彦：ダム基礎処理のリスクマネジメント的検討、地盤の浸透破壊のメカニズムと評価手法に関するシンポジウム、地盤工学会、pp.201-206、2002。
- 3) 佐々並敏明、山下雅彦、岡田洋志、森 真樹：ダム基礎グラウチングの規定孔(3次孔)省略の可能性に関する一考察、土木学会第57回年次学術講演会、第 部門、pp.525-526 (CD-rom) 2002。
- 4) 佐藤弘行、山口嘉一：カーテングラウチングの規定孔間隔に関する基礎的検討 - 高透水性岩盤の場合、第38回地盤工学会研究発表会(投稿中)
- 5) 山口嘉一、佐藤弘行：カーテングラウチングの規定孔間隔に関する基礎的検討 - 低透水性岩盤の場合、第38回地盤工学会研究発表会(投稿中)