

カーテングラウチングにおける 2 ステージ一括注入適用上の課題

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 ○塚越 雅之

1. 目的

ダム基礎グラウチングの基準である「グラウチング技術指針」は、近年のダム基礎地盤の多様化に適切に対応するために、平成 15 年（2003 年）に抜本的に改訂された¹⁾。改訂指針の主旨は、『安全性を損なわないという前提でのグラウチングの合理化』にある。改訂指針の適用により、グラウチングの施工数量が減少し、結果として大きなコスト縮減効果をあげている²⁾が、現在のわが国における逼迫した財政事情を考慮すると、上記の主旨を遵守した中でさらなる合理化の検討が望まれている。

ここでは、グラウチングの合理化策として、施工深度の長いカーテングラウチングを対象として、通常 5m とするステージ長を 2 倍の 10m にして注入の効率化を図る、いわゆる「2 ステージ一括注入」を取り上げ、国内外における著書や実施例に基づき、「2 ステージ一括注入」の具体的な課題の抽出を行った。

2. 改訂指針におけるステージ長に関する規定

改訂指針におけるステージ長に関する解説文から、以下のことが読みとれる。

- 1) 透水性が小さくセメント注入量が比較的少ないと予想される場合やカーテングラウチングの深部のステージにおいては、10m 程度の長いステージ長を採用することが可能である。
- 2) しかしその際でも、透水試験（ルジオンテストないしは水押し試験）はステージ長 5m で実施すべきである。

3. 海外におけるステージ長の考え方

ダム基礎グラウチングを取り扱った海外の著書として有名なものに、A. C. Houlsby の「Construction and Design of Cement Grouting」³⁾や K. Weaver の「Dam Foundation Grouting」⁴⁾がある。彼らの著書によると、長いステージ長の採用に際しての留意点として以下の事項があげられている。

- 1) セメントグラウトの品質低下が懸念される。
- 2) 注入圧力の制御精度の低下や深度方向の地質変化に適切に対応できない可能性が高まるなど、グラウチングの施工精度の低下が懸念される。
- 3) 許容される最大のステージ長は 10m 程度である。
- 4) ステージ長は、表層近くの浅部で短く、深くなると長くすることが考えられる。

4. 我が国における 2 ステージ一括注入の事例

改訂指針が発刊された後、我が国のダムのカーテングラウチングにおいて採用された 2 ステージ一括注入の 2 事例について、ダムの諸元、2 ステージ一括注入の適用範囲や適用条件、および 2 ステージ一括注入と標準の 1 ステージ注入との注入仕様比較を表-1 にまとめて示す。この表から、以下のことが考察できる。

- 1) 2 事例は、ロックフィルダム（A ダム）と重力式コンクリートダム（B ダム）という型式の異なるダムの事例であることから改良目標値が異なるが、浸透流制御上重要度の高い基礎地盤浅部（A ダムで 4 ステージ 20m まで、B ダムで 2 ステージ 10m まで）には 2 ステージ一括注入を採用していない。
- 2) また、A ダムではチェック孔にも 2 ステージ一括注入を適用しているものの、両ダムとも、追加孔の判断を伴わない、規定最終次数を除く規定孔に適用している。
- 3) A ダムでは、2 ステージ連続で改良目標値（5 あるいは 7Lu）以下である箇所に適用しているが、B ダムでは、透水性による適用制限は設けていない。なお、A ダムでは、比較的抵透水性の領域が広く分布していたため、透水性に基づく適用制限を設けたにもかかわらず、最終的な適用率は、例えば 1 次孔で 86% とかなり高かった。
- 4) 注入仕様のうち注入圧力については、両ダムとも一括注入する 2 ステージの上部ステージを単独で注入する場合の注入圧力としている。これは、標準の 1 ステージ注入よりも大きな注入圧力を載荷して過度な注入を引き起こすことを避けるための対応と考えられる。適切な注入圧力については、今後の検討課題である。

キーワード ダム、カーテングラウチング、合理化、2 ステージ一括注入

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 番地 6 （独）土木研究所 ダム構造物チーム（水工） TEL029-879-6781

5) 配合切替基準

表-1 我が国における2ステージ括注入の事例

共通事項	ダム名	Aダム		Bダム	
	型式	ロックフィル		重力式コンクリート	
	堤高(H)	89.9m		125.5m	
	カーテングラウチングの改良目標値	0~H/2相当(0~40mまで) :5Lu H/2~H相当(40~85m) :7Lu		0~H/2(0~63mまで) :2Lu H/2~(63m~) :5Lu	
2ステージ括注入の適用範囲・条件等	2ステージ括注入対象回数対象ステージ	1次孔の5St~(最終-1)St 及び チェック孔の5St以深(該当エリアは規定3次孔、ただし3次孔は削減検討回数) 改良目標値境界の上側ステージと最終Stは5mステージの注入とする		(0~H/2) 1.2次孔の3St以深 (H/2~) 1次孔 (該当エリアは0~H/2:規定3次孔、H/2~:規定2次孔)	
	水押し・透水試験	水押し・透水試験は5mステージで行う。		水押し試験は10mステージで行う。	
	2ステージ括注入適用条件	上側ステージ・下側ステージの試験結果がいずれも改良目標値以下の場合、2ステージ括注入を行う。		試験結果に関わらず10mステージで注入(2ステージ括注入)を行う。	
1ステージ注入と2ステージ括注入の比較		1ステージ(5m)注入の場合	2ステージ括(10m)注入の場合	1ステージ(5m)注入の場合	2ステージ括(10m)注入の場合
	注入圧力	1	2	3	4
	配合切替基準	5	6	7	8
	最大注入速度	4ℓ /min/m	4ℓ /min/m	4ℓ /min/m	2ℓ /min/m
	注入完了基準(30分継続)	注入圧力が規定圧力に達し、注入速度が0.2ℓ /min/m(1.0ℓ /min)以下の状態	注入圧力が規定圧力に達し、注入速度が0.2ℓ /min/m(2.0ℓ /min)以下の状態	注入圧力が規定圧力に達し、注入速度が0.2ℓ /min/m(1.0ℓ /min)以下の状態	注入圧力が規定圧力に達し、注入速度が0.1ℓ /min/m(1.0ℓ /min)以下の状態

注入圧力(1)		標準									
ステージ	注入圧力(Mpa)	0.3	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	以降	
注入圧力(2)		標準									
2ステージ一括注入	ステージ	1~4			5~6		6~7		7~8以降		
	注入圧力(Mpa)	適用しない			0.9		1.0		1.0		

水押し・透水試験にて降伏圧力(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、最低注入圧力0.3Mpaとする。

注入圧力(3)									
標準	ステージ	1	2	3	4	5	6	7以降	
ステージ	注入圧力(Mpa)	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	
注入圧力(4)									
2ステージ	ステージ	1~2			3~4		5~6		7~8以降
一括注入	注入圧力(Mpa)	適用しない			1.0		2.0		3.0

水押し・透水試験にて限界圧力が確認された場合は、
注入圧力を限界圧力+0.1Mpaとする。

配合切替基準(5)		配合切替基準(6)									
配合	ルジオン値	(2ステージ括注入)									
		Lu<10	10<Lu	20	Lu	20	Lu	20	Lu	20	Lu
1:8	400L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1:6	400L	400L	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1:4	400L	400L	400L	-	-	-	-	-	-	-	-
1:2	600L	600L	400L	-	-	-	-	-	-	-	-
1:1.5	600L	600L	600L	400L	-	-	-	-	-	-	-
1:1	1600L	2000L	2600L	800L	-	-	-	-	-	-	-
1:0.8	-	-	-	2800L	-	-	-	-	-	-	-
計	4000L	4000L	4000L	4000L	-	-	-	-	-	-	-

規定量中断後は硬化待ち後、再度水押し試験から実施

配合切替基準(7)		配合切替基準(8)									
配合	ルジオン値	(標準ステージ)									
		Lu<10	10<Lu	20	Lu	20	Lu	20	Lu	20	Lu
1:10	600L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1:6	600L	600L	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1:4	600L	600L	600L	-	-	-	-	-	-	-	-
1:2	600L	600L	600L	600L	-	-	-	-	-	-	-
1:1.5	400L	600L	600L	600L	-	-	-	-	-	-	-
1:1	400L	600L	600L	600L	-	-	-	-	-	-	-
1:0.75	400L	600L	600L	1200L	-	-	-	-	-	-	-
計	3600L	3600L	3600L	3600L	-	-	-	-	-	-	-

配合切替基準(9)		配合切替基準(10)									
配合	ルジオン値	(2ステージ括注入)									
		Lu<10	10<Lu	20	Lu	20	Lu	20	Lu	20	Lu
1:10	1200L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1:6	1200L	1200L	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1:4	1200L	1200L	1200L	-	-	-	-	-	-	-	-
1:2	1200L	1200L	1200L	1200L	-	-	-	-	-	-	-
1:1.5	800L	1200L	1200L	1200L	-	-	-	-	-	-	-
1:1	800L	1200L	1200L	1200L	-	-	-	-	-	-	-
1:0.75	800L	1200L	1200L	2400L	-	-	-	-	-	-	-
計	7200L	7200L	7200L	7200L	-	-	-	-	-	-	-

注入量が規定量を超えた場合でも注入圧力が規定圧力に達し注入速度が減少傾向にあり注入の完了が見込める場合は継続して注入を実施する。配合切替は規定量で切替えることを原則とするが、注入圧力の上昇、注入速度の低減が顕著な場合は、亀裂内のグラウトの閉塞現象を防止する為配合は切替えず、同一配合で注入を継続する。

ダムにおいて、単純に2ステージ括注入では標準の1ステージ注入の2倍と割り切れる理由として、透水性の評価を10mステージで実施していることがあげられる。仮に、透水試験を5mステージで実施し、2ステージ括注入する2つのステージで配合切替基準の異なる透水性であった場合に、どちらの配合切替基準を採用するかが議論になる。この点も今後検討すべき重要な課題である。

6) 最大注入速度については、Aダムでは標準の1ステージ注入と2ステージ括注入でおなじ4ℓ/min/m、Bダムでは2ステージ括注入において2ℓ/min/mと標準の1ステージ注入における4ℓ/min/mの半分としている。また、注入完了の基準注入速度についても、Aダムでは標準の1ステージ注入と2ステージ括注入でおなじ0.2ℓ/min/m、Bダムでは2ステージ括注入において0.1ℓ/min/mと標準の1ステージ注入における0.2ℓ/min/mの半分としている。この点は、ダムごとに注入初期の段階で時々刻々の注入データなども含めて詳細に分析して検討すべき課題である。

5. まとめ

本報では、カーテングラウチングにおける2ステージ括注入について、国内外の著書や実施例を参考に適用にむけた課題抽出を行った。その結果、2ステージ括注入する2つのステージで配合切替基準の異なる透水性であった場合の配合切替基準の設定や高透水地盤を想定した最大注入速度の設定など、適用にむけてのいくつかの課題が明らかになった。今後は、具体的な課題をもれなく抽出したうえで課題解決に向けた検討、課題を考慮した適用条件(制約条件)を明確にする検討をすすめていきたい。

参考文献

1) (財)国土技術研究センター編集：グラウチング技術指針・同解説、(株)大成出版社発行、2003年7月。
2) (独)土木研究所水工研究グループ：グラウチング技術指針の改訂によるコスト削減効果、ダム技術、No.241、pp.90-92、2006年10月。
3) Houlsby, A. C.: Construction and Design of Cement Grouting -A Guide to Grouting in Rock Foundations-, John Wiley & Sons, Inc., pp.125-126, 1990。
4) Weaver, K.: Dam Foundation Grouting, ASCE, p.51, 1991。