

久木野尾ダムにおける堤体盛立品質管理 Quality Control in Embankment of Kuginoo Dam

森方 浩順*
Hiroyuki Morikata

要 約

久木野尾ダムは農業用水の確保を目的とした堤体積 33.4 万 m^3 の小規模なロックフィルダムである。盛立仕様は施工に先立ち、盛立試験により決められた。2008 年 4 月に転流後、2008 年 7 月より上流仮締切の盛立を開始し、2009 年 12 月より下流ロックゾーンの先行盛立を行い、2010 年 5 月から遮水ゾーンの盛立を開始し、約 15 ヶ月後の 2011 年 8 月初旬に完了した。

本稿は久木野尾ダムにおける盛立、品質管理についてまとめたものである。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要およびダム諸元
- § 3. 品質管理基準および盛立仕様
- § 4. 堤体盛立
- § 5. 品質管理試験
- § 6. おわりに

久木野尾ダム諸元

型 式：中心遮水ゾーン型ロックフィルダム
堤 体 積：334,000 m^3
堤 高：34.7 m
堤 頂 長：232 m
総貯水量：527,000 m^3
流域面積：3.4 km^2

§ 1. はじめに

十文字原演習場に源を発する久木野尾川は、長年にわたる軍事演習によって土地の保水力が低下し、湧水量・基底流量が減少した。この川を取水源とする山香町の水田では、用水不足による減収被害が発生している。

この対策として久木野尾ダムが建設されることとなった。

§ 2. 工事概要およびダム諸元

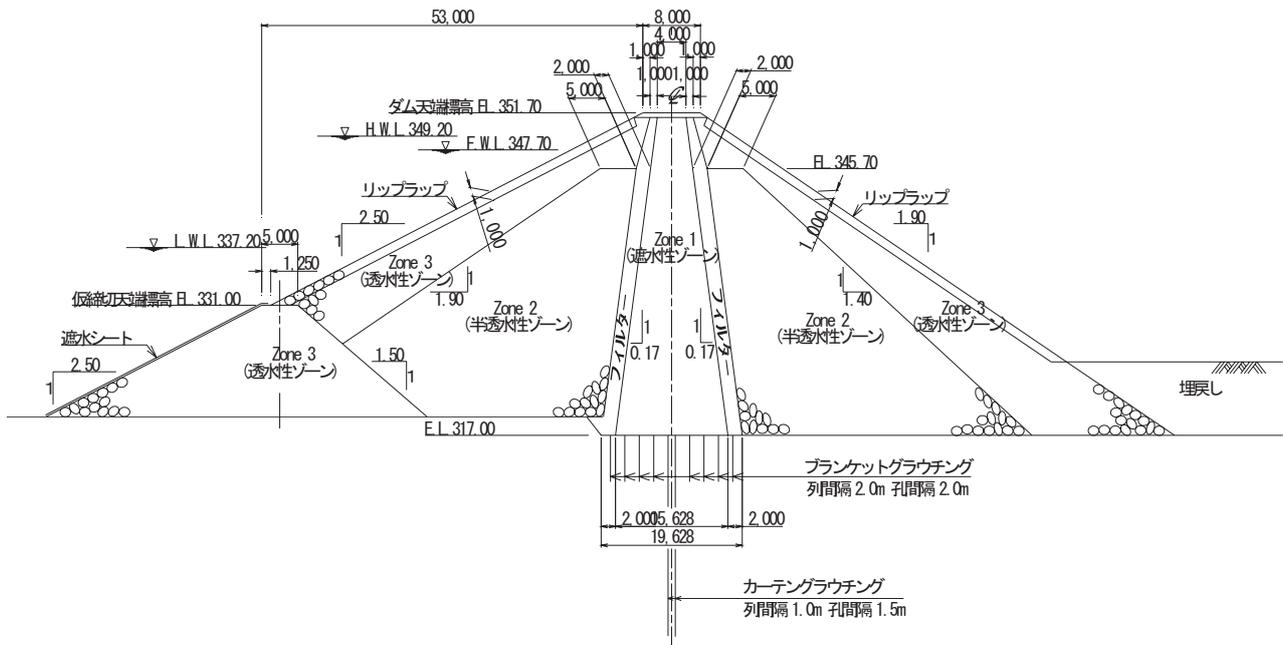
工事概要

工 事 名：障害 久木野尾ダム建設工事
発 注 者：大分県
工事場所：大分県杵築市山香町大字久木野尾
河 川 名：八坂川水系久木野尾川
工 期：平成 18 年 3 月 31 日～平成 24 年 5 月 27 日
施 工 者：西松・梅林・梅高特定建設工事共同企業体
(50:30:20)



図一1 完成予想図

*九州（支）久木野尾ダム（出）



図一 標準断面図

§ 3. 品質管理基準および盛立仕様

3-1 品質管理基準

久木野尾ダムの遮水性ゾーンの品質管理基準を表一に示す。

表一 品質管理基準一覧表

ゾーン		管理項目		Zone1 (遮水性ゾーン)			Zone2 (半透水性ゾーン)		Zone3 (透水性ゾーン)			フィルター		
				コンタクト クレイ	コンタクトコア 斜面部 河床部	標準部	着岩部 斜面部 河床部	一般部	着岩部 斜面部 河床部	一般部	着岩部	一般部		
材料管理規格値	粒	最大粒径	Dmax (mm)	10	53	150	300	700	300	700	53			
		礫率	P+4.75 (%) P+4.75 (%)	-	-	15 ~ 50	-	-	-	-	-	60 ~ 85		
	礫物性	細粒分含有	Fc (%)	-	≥ 20	≥ 20	-	-	-	-	-	≤ 5		
		タルボット	n	-	-	-	-	0.15 ~ 0.60	-	-	0.4 ~ 0.8	-		
		絶対比重	Gb	-	-	-	≥ 2.00	≥ 2.00	≥ 2.40	≥ 2.40	≥ 2.50	≥ 2.50		
		吸水率	Q (%)	-	-	-	≤ 15	≤ 15	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 3		
	コンシステンシー	Ip	≥ 15	≥ 15	≥ 15	-	-	-	-	≤ 15 (安定性 損失重量比)	-			
盛土管理規格値	盛土密度 (D 値, 間隙比)		-	D 値 ≥ 95%	D 値 ≥ 95%	eb ≤ 0.23	eb ≤ 0.23	eb ≤ 0.28	eb ≤ 0.28	eb ≤ 0.28	eb ≤ 0.45			
	施工目標含水比		W (%)	-	Wopt ~ Wwet	Wopt ~ Wwet	-	-	-	-	-			
	飽和度		Sr (%)	-	≥ 80	≥ 80	-	-	-	-	-			
	透水係数		k (cm/s)	-	≤ 1 × 10 ⁻⁵	≤ 1 × 10 ⁻⁵	-	-	≥ 1 × 10 ⁻³	≥ 1 × 10 ⁻³	≥ 1 × 10 ⁻³	≥ 1 × 10 ⁻⁴		
(材 料)			右岸土取場の ローム (Lm)	右岸土取場ローム (Lm) と堤敷左岸凝灰岩 (Tb) の混合材 Lm : Tb=1:3 (乾土比)		原石山安山岩弱風化部 (CL 級)		原石山安山岩新鮮部 (CM 級以上)		購入材				

3-2 盛立仕様

堤体材料の妥当性の確認を行うとともに、最適な転圧仕様を決定するために盛立試験を実施し、表一のように盛立仕様を決定した。Zone1 の盛立試験状況を写真一に示す。



写真一 Zone1 盛立試験

表一 盛立仕様一覧表

ゾーン 管理項目	Zone1 (遮水性ゾーン)				Zone2 (半透水性ゾーン)			Zone3 (透水性ゾーン)			フィルター	
	コンタクトクレ イ	コンタクトコア		標準部	着岩部		一般部	着岩部		一般部	着岩部	一般部
		斜面部	河床部		斜面部	河床部		斜面部	河床部			
撤出機種	人力	バックホウ (山積 0.8 m ³)	バックホウ (山積 0.8 m ³)	21 ton 級 ブルドーザ	バックホウ (山積 0.8 m ³)	バックホウ (山積 0.8 m ³)	32 ton 級 ブルドーザ	バックホウ (山積 0.8 m ³)	バックホウ (山積 0.8 m ³)	32 ton 級 ブルドーザ	バックホウ (山積 0.8 m ³)	バックホウ (山積 0.8 m ³)
撤出厚 (cm)	(仕上 5cm 以上)	10 cm	10 cm	30 cm	40 cm	40 cm	80 cm	40 cm	40 cm	80 cm	10 cm	30 cm
転圧機種	18kg 級エアタン バまたは人力	1 ton 級 振動ローラ	1 ton 級 振動ローラ	16 ton 級 振動タンピ ングローラ	1 ton 級 振動ローラ	4 ton 級 振動ローラ	11 ton 級 振動ローラ	1 ton 級 振動ローラ	4 ton 級 振動ローラ	11 ton 級 振動ローラ	1 ton 級 振動ローラ	11 ton 級 振動ローラ
転圧回数 (回)	-	8 回	8 回	10 回	8 回	6 回	8 回	10 回	6 回	6 回	4 回	4 回

§4. 堤体盛立

久木野尾ダムでは進入路が上流側のみにしか設置できなかつたため、コア横断道路を設置し左右岸交互に盛立を行う必要があった。ブロック割りの基本方針、ブロック割図 (図一3) を以下に示す。

＜基本方針＞

- ・盛立縦断勾配は 10% 以下とする。
- ・左右岸での高低差は 10 m 以下とする。
- ・盛立開始位置はアバット部より 20 m 以上離す。

遮水ゾーン盛立の内、着岩部は将来漏水の原因となりやすい場所であることから以下の点に注意する必要がある。

- ① 遮水性ゾーンの着岩部は、大きい礫を含む遮水材料を堅い岩盤に付けた場合、空隙となり水みちになりやすい
- ② 局所的な凹凸部に礫を含む塑性の低い材料を用いると締固めが不十分な箇所が残ったり、付着力が不足したりすることがある
- ③ アバット部では大きなせん断変形が生じることからパイピングなどにより浸透水に対する安全性が損なわれる
- ④ 転圧の際大型の転圧機械を使用すると岩盤を損傷する恐れもある

したがって、着岩部では標準部よりも粒径の小さい着岩材を人力あるいは小型の機械を用いて施工する必要があった。

着岩部ゾーニングを図一4 に示す。

標準部の施工では以下の点に注意する。

- ① 着岩部や他ゾーンとの境界部に大粒径の材料が集中することがある
- ② 敷均し、転圧は原則としてダム軸と平行に行うとともに均等な厚さに仕上げる
- ③ 木根やオーバーサイズが認められた場合は人力またはバックホウで除去する

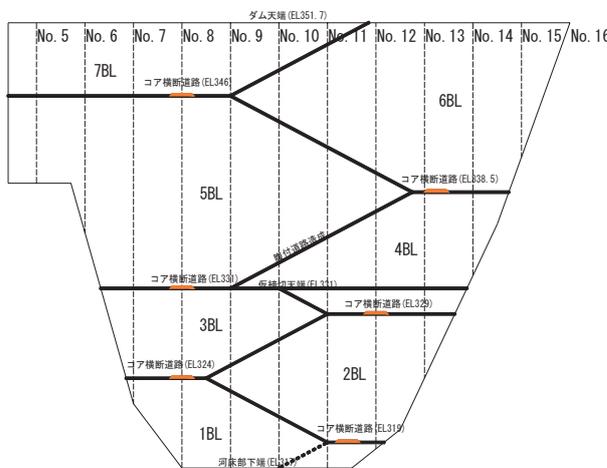
遮水性ゾーンの盛立については降雨規制および気温規制がある。

降雨規制：降雨時、降雨が予想される場合および降雨後の一定期間

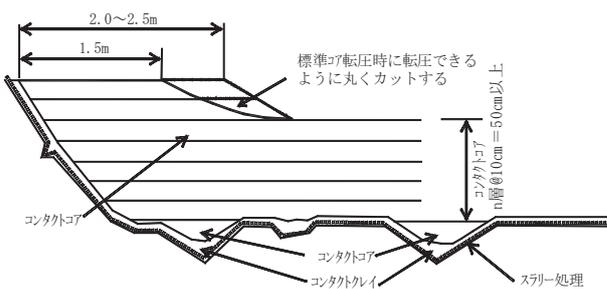
温度規制：盛立時の気温が 3℃ 以下の場合



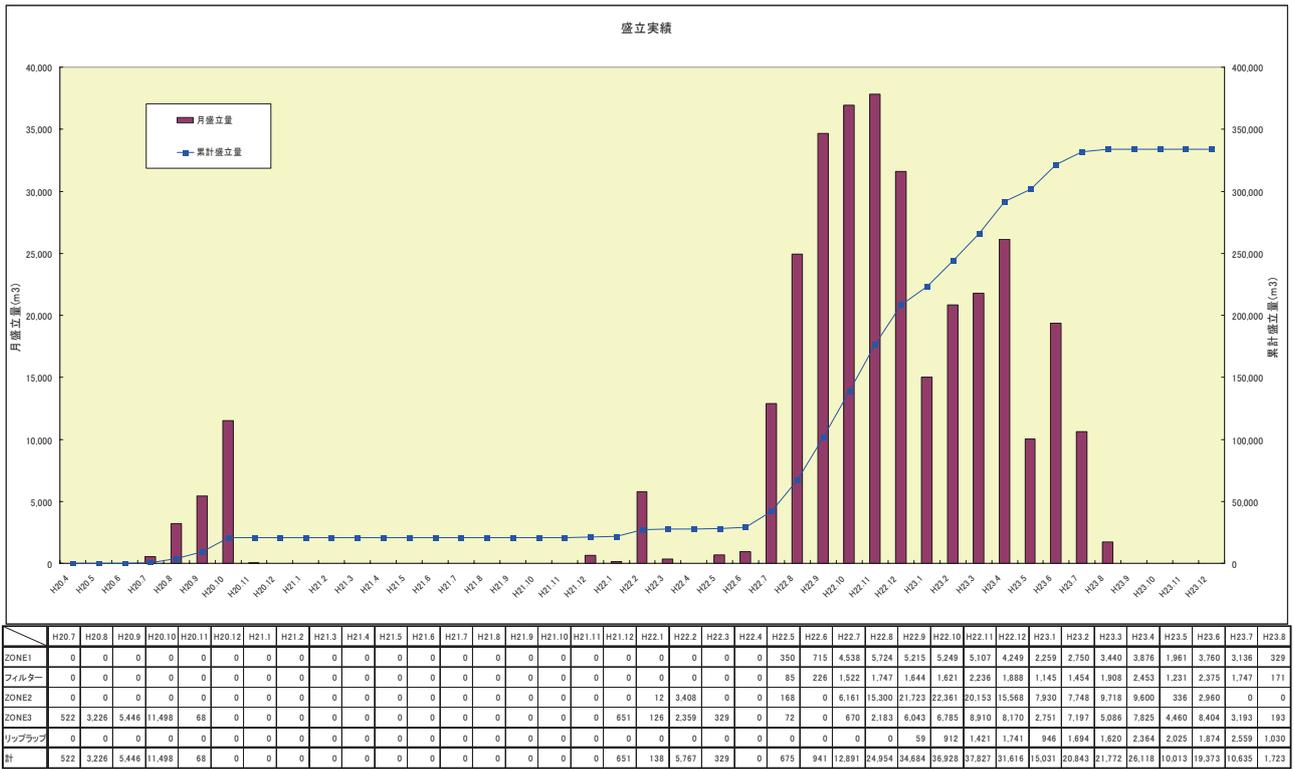
写真一2 施工状況



図一3 ブロック割図



図一4 遮水性ゾーン着岩部ゾーニング



図一5 施工実績

当初は2月下旬から3月上旬までの約2週間が冬季休工の予定であったが、日中に遮水ゾーンの施工を行い、気温の低い朝晩はロックゾーンの施工を行うことにより、冬季休止せずに盛立を行うことができた。

§5. 品質管理

5-1 Zone1 品質管理

フィルダムにおいて実施する品質管理試験は以下の3種類に分けられる。

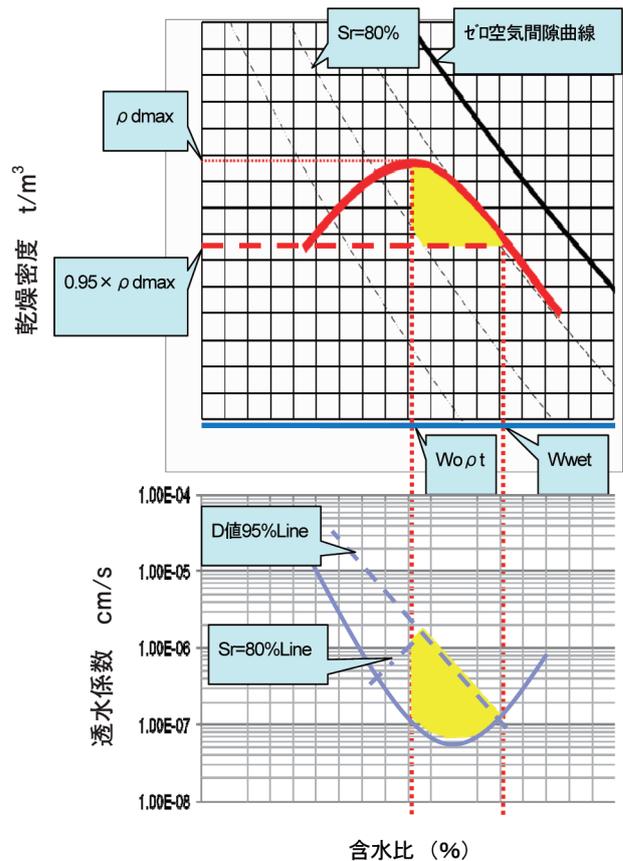
- ・日常管理試験
- ・定期管理試験
- ・品質確認試験

それぞれの試験の目的は以下の通りである。

日常管理試験は日々行っている盛立が、品質管理基準を満たしているか確認する。定期管理試験は定期的に試験を行い、施工目標含水比や最大乾燥密度を見直す。品質確認試験は日頃行わない盛立試験時に行った試験を行い設計値を満たしているか確認する。久木野尾ダムでの試験頻度一覧表を表一3に示す。

Zone1の品質管理で最も重要になるのが含水比管理である。一般的に同じ材料であっても含水比によって以下の点が変わる。

- ・乾燥密度：最適含水比で最大となる。
- ・せん断強度：最適含水比-2, 3%で最大となる。
- ・間隙圧：最適含水比+2, 3%でほぼ100%となる。
- ・透水係数：最適含水比+2, 3%で最大となる。



図一6 締りめカーブと透水係数の関係

表-3 試験頻度一覧表

試験項目	試験方法	Zone1(遊水性ゾーン)										Zone2(半透水性ゾーン)		Zone3(透水性ゾーン)		フィルター			
		コンタクトクレイ		コンタクトコア		標準部						採取場	堤体	採取場	堤体	採取場	堤体		
		ストックパイル	堤体	ストックパイル	堤体	採取場	ストックパイル	堤体	採取場	堤体	採取場							堤体	
日常管理試験	含水比試験	JIS A 1203(フライパン法)	1回/日(3ヶ所/回)		1回/日(3ヶ所/回)	1回/日(3ヶ所/回)		1回/日(3ヶ所/回)	4時間毎(3ヶ所/回)										
		JIS A 1203(炉乾燥法)					1回/日(3ヶ所/回)	1回/層(3ヶ所/回)		1回/1万m3(3ヶ所/回)			1回/5千m3(3ヶ所/回)			1回/2千m3(3ヶ所/回)			
	現場密度試験	JIS A 1214(φ200mm, 砂置換法)																	
		JGS 1611(φ300mm, 突砂法)																	
		JGS 1612(φ300mm, 水置換法)																1回/2千m3(3ヶ所/回)	
	現場透水試験	JGS 1612(φ1500mm, 水置換法)											1回/1万m3(3ヶ所/回)			1回/5千m3(3ヶ所/回)			
		JGS 1316(φ200mm, 定水位法)						2回/月(3ヶ所/回)											
		JGS 1316(φ300mm, 定水位法)																	
	粒度試験(1)	φ300mm, 変水位法																1回/2千m3(3ヶ所/回)	
		φ1500mm, 変水位法											1回/1万m3(3ヶ所/回)			1回/5千m3(3ヶ所/回)			
		JIS A 1204(Dmax~75μmまで)					2回/月(3ヶ所/回)	1回/月(1ヶ所/回)		1回/層(3ヶ所/回)			1回/7千m3(1ヶ所/回)	1回/1万m3(3ヶ所/回)	1回/3千m3(1ヶ所/回)	1回/5千m3(3ヶ所/回)	1回/5千m3(3ヶ所/回)	1回/2千m3(3ヶ所/回)	
	礫の比重・吸水率試験	JIS A 1204【現場フルイ分け】																	
JIS A 1110(37.5mm以上)																			
JIS A 1110(26.5, 19.0, 9.50mm)																	1回/5千m3(3ヶ所/回)		
JIS A 1110(63, 53, 37.5mm)												1回/7千m3(1ヶ所/回)	1回/1万m3(3ヶ所/回)				1回/2千m3(3ヶ所/回)		
定期管理試験	土粒子の密度試験	JIS A 1202																	
		JIS A 1204(Dmax~1μmまで)																	
	液性・塑性限界試験	JIS A 1205																	
		JIS A 1210(φ150mm, 1.0Ec)																	
	品質確認試験	土粒子の密度試験	JIS A 1202																
			JIS A 1203(炉乾燥法)																
		含水比試験	JIS A 1203(炉乾燥法)																
			JIS A 1204(Dmax~75μmまで)																1回/1万m3(1試験/回)
		粒度試験(1)	JIS A 1204(Dmax~1μmまで)																
			JIS A 1204(Dmax~1μmまで)																
		液性・塑性限界試験	JIS A 1205																
			JIS A 1110																1回/1万m3(1試験/回)
礫の比重・吸水率試験		JIS A 1110																	
		JIS A 1122																	
岩の安定性試験	JIS A 1122																		
	JIS A 1210(φ150mm, 1.0Ec)																		
三軸圧縮試験	JIS A 1210相当(φ200mm, Ec変化)																		
	JIS A 1210相当(φ300mm, Ec変化)																1回/1万m3(2カーブ/回)		
	JGS 0521(φ150mm, UU)																		
	JGS 0523(φ150mm, CU)																		
	JGS 0524(φ200mm, CD)																1回/1万m3(1点/回)		
圧密試験	JIS A 1217(φ200mm)																		
	JIS A 1218(φ200mm, 変水位法)																		

以上の関係を整理すると図-6となる。D値95%以上、飽和度80%以上透水係数1.0E-5以下のすべてを満足する含水比Wopt~Wwetが施工目標含水比となる。中でもダムは遮水性構造物なので透水係数が最小となるWopt+3%を目標として施工した。

また社内基準として施工前の含水比がWopt~Wopt+1%の範囲にあった場合は加水, Wwet~Wwet-1%の範囲にあった場合は曝気を実施した。Wwetは概ねWopt+4.5%程度であった。

試験結果を図-7に示す。Wopt+3%を目指し施工した結果、含水比は平均値がWopt+2.3%となり湿潤側で施工が出来た。それにともない透水係数は最大値6.6E-6, 最小値1.9E-7, 平均値2.0E-6となり品質管理基準値の約5分の1程度の良い盛立ができた。飽和度, D値に関してもいずれも品質管理基準を満足しており良好な結果であった。

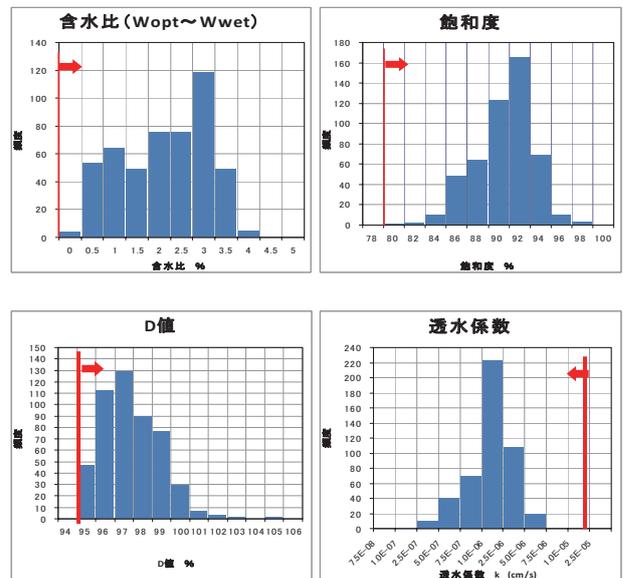


図-7 Zone1 日常管理試験結果

5-2 ツインヘッダによる曝気効果

現場施工においては含水比が低い場合は加水により比較的簡易に含水比の調整を行うことができる。しかし含水比が高い場合は天日による曝気しか方法が無く、時間がかかるうえかなり天候に左右される。

ブレンドヤードでの遮水性材料の切崩し攪拌は、通常ブルドーザによる押土で施工するが、今回試験的にツインヘッダを用いた攪拌、とツインヘッダの排気口に送風機を装着し温風を送風しての攪拌を実施した。

試験条件を以下に示す。

- A) ブルドーザによる撒出しのみ
- B) ブルドーザによる撒出し+ツインヘッダ攪拌 2回
- C) ブルドーザによる撒出し+排気熱を取り込んだツインヘッダ攪拌 2回

試験手順を以下に示す。

- ① バックホウにて t=50 cm で 5 m×15 m の試験ヤードを造成する
- ② 試験ヤードを 3 分割 (5 m×5 m×3) する
- ③ B ヤードをツインヘッダで 2 回攪拌する
- ④ C ヤードをツインヘッダの排気熱を送風機で送りながら 2 回攪拌する
- ⑤ ④の作業完了後含水比測定用試料を採取する (約 10 kg)
- ⑥ ④の作業完了から 15 分後、30 分後、60 分後に含水比測定用試料を採取する (約 10 kg)

試験結果を表-4 に示す。ツインヘッダで攪拌した材料はブルドーザ押土のみの材料と比較して 2% 程度含水比を下げる効果があった。送風機を使用した場合も 3% 程度含水比を下げる事ができた。しかし試験中、熱により送風機が故障してしまい、耐久性が今後の課題として残った。またコスト面の問題で本施工でのツインヘッダの使用は見送った。

§6. おわりに

本稿ではロックフィルダムの品質管理の中でも Zone1 の品質管理に重点を置いた。特に含水比を管理することが良好な盛立につながるため、今後遮水ゾーンの盛立において容易に含水比を調整する方法を確立することが重要である。そのことが工期の短縮、工事費の低減につながると思われる。

今回詳しく述べる事が出来なかったが、フィルターゾーン、ロックゾーンについても試験を行い良好な結果であった。(表-5)

現在久木野尾ダムは 2012 年 6 月からの試験湛水にむけ、仮排トンネル閉塞やダム関連設備の施工を実施している。

最後に本工事の施工にあたり、関係各位の皆様には多大なるご指導、ご協力を頂きましたことを心より感謝し、厚く御礼申し上げます。



写真-1 Zone1 盛立試験

表-4 曝気試験による含水比の推移 (%)

	攪拌前 (初期値)	0分	15分	30分	60分
A	30.5	+0.1	-0.4	±0	±0
B	31.2	-0.5	-0.7	-2.0	-2.4
C	31.6	-1.0	-2.1	-2.7	-3.2

表-5 フィルターゾーン・ロックゾーン試験結果一覧表

ゾーン	試験項目	最大値	最小値	平均値
フィルターゾーン	細粒分含有率 (%)	4.7	1.6	3.4
	礫率 (%)	79.8	64.3	73.2
	乾燥密度 (t/m³)	2.217	1.974	2.075
	間隙比	0.29	0.15	0.24
	絶対比重	2.585	2.514	2.563
	吸水率 (%)	2.46	1.61	2.05
	透水係数 (cm/s)	2.7E+00	1.7E-02	4.4E-01
Zone 2	タルボット指数	0.57	0.21	0.42
	乾燥密度 (t/m³)	2.247	1.725	2.051
	間隙比	0.22	0.12	0.16
	絶対比重	2.579	2.069	2.382
	吸水率 (%)	11.31	2.68	5.98
Zone 3	透水係数 (cm/s)	8.2E-01	3.8E-05	1.5E-01
	タルボット指数	0.78	0.42	0.58
	乾燥密度 (t/m³)	2.319	1.956	2.111
	間隙比	0.27	0.13	0.23
	絶対比重	2.645	2.477	2.589
Zone 3	吸水率 (%)	4.12	1.68	2.57
	透水係数 (cm/s)	2.1E+00	1.6E-02	5.5E-01