

地震により被災した調整池の復旧工事

赤嶺敏也¹・石井裕介²

¹前田建設工業株式会社 土木本部（〒102-8151 東京都千代田区富士見二丁目10-26）

²前田建設工業株式会社 北陸支店（〒930-0858 富山県富山市牛島町18-7）

本論文は、中越地震により被災した新潟県小千谷市にある山本調整池を復旧する工事の施工実績についてまとめたものである。

山本調整池は堤高27.5m、堤頂長926.6mのゾーン型アースフィルダムである。この工事はダムの新設工事ではなく、復旧工事であることが大きな特徴であった。工事は調整池内の堆泥処理、堤体の掘削、堤体の盛立から成り立っており、それぞれの工事の施工方法、問題点と解決策をまとめ、ダム復旧工事の特徴について紹介する。

キーワード：中越地震，ゾーン型アースフィルダム，復旧工事

1. 工事概要

(1) 山本調整池の概要

山本調整池は新潟県小千谷市の山本山（標高336m）の麓と水田および信濃川の境界に位置しており、東日本旅客鉄道株式会社（旧国鉄）によって、主に首都圏の電力供給を目的に造られたJR信濃川発電所の施設の一部である。JR信濃川発電所は建設年代順に「千手発電所」、「小千谷発電所」および「新小千谷発電所」からなり、最大出力は449,000kWにもものぼる。山本調整池は小千谷発電所に属し、首都圏の朝夕ラッシュ時の電力需要増加に対応するための施設である。

ダムの形式は「ゾーン型アースフィルダム」で、中央に遮水を目的とした心壁（コア）材を配置し、その外側にさや土（ロック）を盛土し、貯水池と接する部分にリップラップを配置している。ダムの諸元は次の通りである。

堤高：27.53m

盛立土量：550,800m³

堤頂長：926.6m



図-1 標準断面図

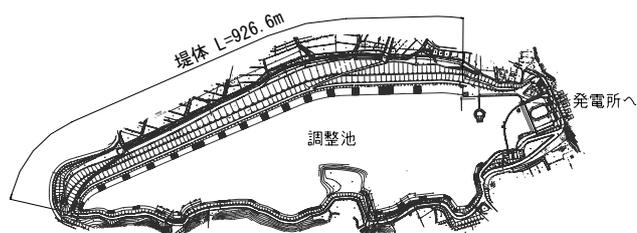


図-2 山本調整池平面図

(2) 中越地震による被災状況

中越地震は、2004年10月23日17時56分頃発生したマグニチュード6.8、最大震度7を示した大地震である。山本調整池は震央から約6kmの位置にあった。

被災状況は調査結果によると、激しく揺すられたにも関わらず下流面は無傷であり、堤体は沈下したが、さや土の盛土は健全であった。上流側リップラップ面には滑動等の変状が地震時の水位付近に見られたが、後日堤体撤去時の調査において、クラックの深度は30～50cm程度の浅いものであったことが確認された。ただ、ダム始点の止水壁部の天端にクラックが見られ、掘削調査の結果、止水壁コンクリートと心壁（コア）の間に隙間が認められた。堤体撤去時、新たに止水壁コンクリートの目地の損傷が判明し、この部分については大掛かりな補修を行った。

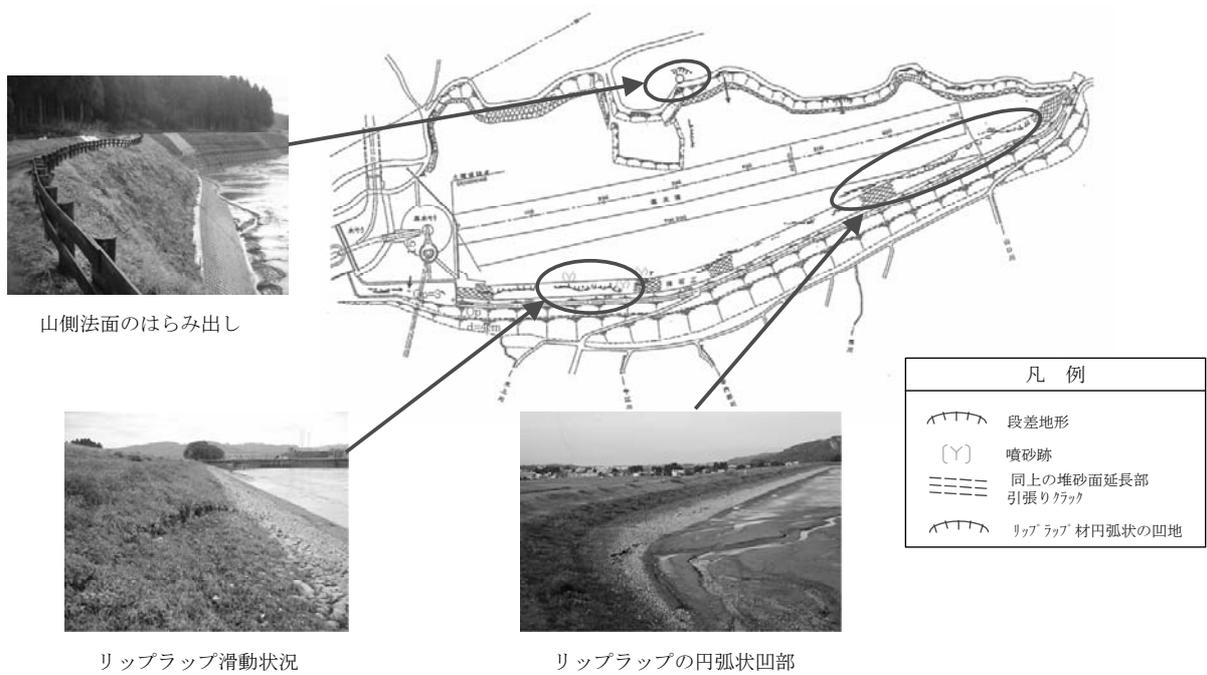


図-3 山本調整池の被災状況

(3) 復旧方法の基本方針

地震後直ちに有識者による「信濃川発電所復旧工事技術専門委員会」が設置され、復旧に関する諸方針が審議、決定された。堤体の復旧方法の検討は着工後も工事と平行して進められた。最終的な決定事項は、山本調整池は現行の「河川管理施設等構造令」制定前に造られており、堤体の非越流部の高さを見直し、天端標高を0.4m高くすること、原則として今回の被災原因を排除すること、耐震性能を向上させることなども考慮し、以下のように決定された。

- 1) 滑動などの被災原因と考えられたリップラップ下の粘性土と砂の層を掘削、除去する。
- 2) 建設時、上流面途中までのリップラップを天端まで延ばす。
- 3) 下流側小段（幅2m）を利用して建設時の天端幅を確保する。
- 4) リップラップ背面に粗粒フィルタ（幅2m）を新設する。
- 5) 再盛立するさや土と粗粒フィルタは、沈下が収束するまで転圧し、よく締固める。

決定された復旧方法の基本方針による堤体撤去図（図-4）および堤体復旧図（図-5）を示す。

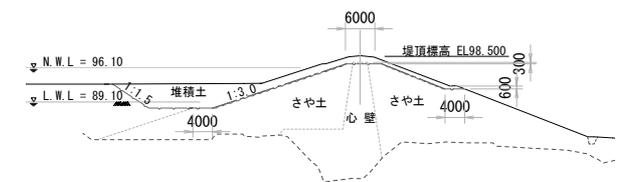


図-4 堤体撤去図

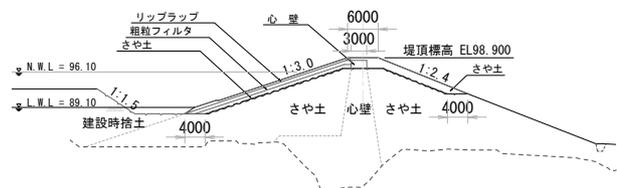


図-5 堤体復旧図

(4) 工事内容

この工事の目的は「震災で傷ついた堤体を元通りに戻すこと」であった。堤体復旧工事は「堆泥処理工」、「堤体掘削工」および「堤体盛立工」の3つに分けられる。各工事の概略工程を表-1に示す。

表-1 概略工程表

工種	数量	平成17年											
		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月			
準備工・仮設備工	1式												
堆泥処理工	204,000m ³												
堤体掘削工	71,800m ³												
堤体盛立工	90,100m ³												

試験湛水

2. 工事実績

工事のフローを図-6に示す。

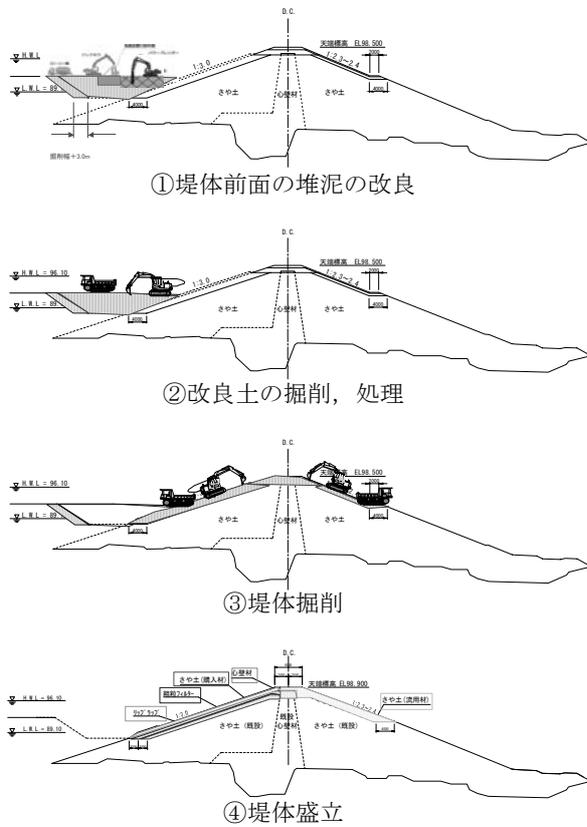


図-6 工事のフロー

(1) 堆泥処理工

a) 堆泥の性状確認

堤体掘削前に貯水池内の堆泥を処理する必要があった。堤体掘削のための堤体前面の改良に加えて、現場付近に残土仮置場の確保が出来なかったため、調整池内仮置場造成のための改良が必要となり、合計約200,000m³の改良を行った。改良範囲を図-7に示す。施工方法の事前検討として、性状の確認を行った。結果を図-8に示す。

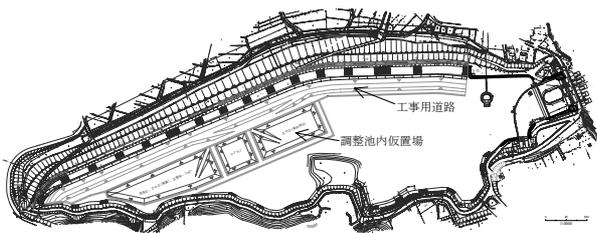


図-7 堆泥処理工の施工範囲

土粒子密度 (g/cm ³)	2.630	礫分2~75mm (%)	0
自然含水比 (%)	51.9	砂分75μm~2mm (%)	21
強熱減量 (%)	4.67	シルト分5~75μm (%)	62
液性限界 (%)	49.6	粘土分5μm (%)	17
塑性限界 (%)	33.8	均等係数U _c	37.0
塑性指数	15.8	曲率係数U _{c'}	3.55
分類	砂質シルト(MLS)	最大粒径 [mm]	0.25

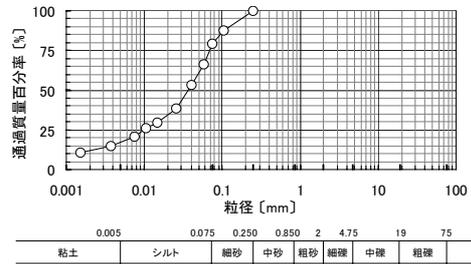


図-8 堆泥の物性値および粒度分布

図-8に示すように堆泥は最大粒径が0.25mmと小さく、シルト分62%の砂質シルトであった。従って、何らかの方法で固化しない限り場外搬出は不可能であった。実際、施工前は重機はおろか人の歩行さえままならない状況であった。特に一度乱すと手が着けられないほど軟弱化した。

b) 固化材の選定

固化材は環境に優しい材料も検討したが、当工事には短期間施工の制約があり、需要に応える供給が出来る改良材はセメントしかなく、セメントを採用した。また、六価クロムの溶出試験等を行い、高炉セメントを使用することを決定した。

c) 添加量の決定

セメントによる配合試験を実施し、材令1日で目標強度を満足させるセメント添加量を求めた結果、セメント添加量100kg/m³を得た。目標強度は河川堤防へ利用できる程度の第三種発生土 (400kN/m²) とした。図-9にセメント添加量とコーン指数の関係を示す。室内目標強度 (600kN/m²) は現場でのばらつきを考慮して (現場/室内) を2/3として設定した。

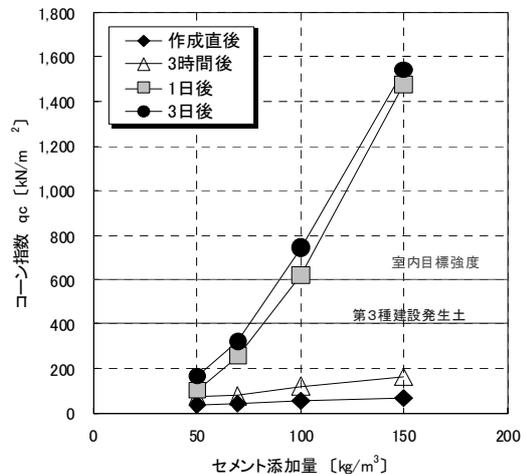


図-9 セメント添加量とコーン指数の関係

d) 混合方法の決定

日当り6,000m³の施工が必要であり、施工能力の高いパワーブレンダー工法を採用することにした。パワーブレンダー工法とはバックホウのアタッチメントに取り付けた混合用の回転装置で攪拌する工法である。

e) 施工状況

施工状況を写真-1に示す。



①改良範囲区画割り



②セメント搬入・散布



③セメント敷均し



④パワーブレンダーによる攪拌



⑤改良土敷均し



⑥改良完了

写真-1 パワーブレンダーによる堆泥改良のフロー



写真-2 堆泥処理工全景

(2) 堤体掘削工

a) 掘削の範囲

掘削範囲は上流側はL.W.L付近のリップラップ付近までとし（ダム建設時、L.W.Lまで良質土で埋め戻していた。）、下流側は2mとした。掘削幅は機械

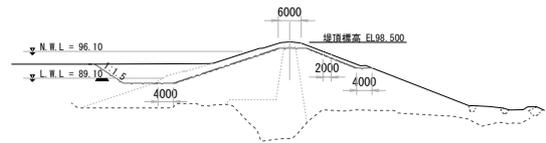


図-10 堤体掘削標準断面図

施工の最小幅を2mと設定し、盛立の施工を勘案して上流側は2ゾーン×2m=4m、下流側は2mとした。掘削にあたっては、堤体に生じた全ての亀裂に赤い水性ペイント（ペンキ:水=1:4）を流し込み、ペンキが完全になくなるまで掘削した。

b) 掘削材の再利用

堤体掘削工の課題は、掘削材の盛立材への再利用率を向上させることであった。周辺では震災復旧工事が行われており、堤体盛立材料の不足分のうち、地元で調達できないものは約100km離れた上越市や船による運搬を伴って山形県等から搬入しなければならなかった。そのため、リップラップ材とさや土材は再利用を行った。特にリップラップ材は堆泥に混ざった撤去材をスケルトンバケットにより選別し、水洗いを行って再利用できる状態にした。再利用率は最終的に約50%となった。



写真-3 リップラップ材水洗い状況

(3) 堤体盛立工

a) 盛立材の運搬

通常のフィルダムは「面」で施工するが、今回の復旧工事では盛立箇所がダムの表層に限定されるため、「線」での施工となることが特徴であった。そのため、長い堤体にどのような運搬路を造って、どのような機械で効率よく運搬するかが重要であった。「盛立材運搬の効率化」が盛立工程を左右し、全体工程の命綱であった。当初は10tダンプトラックで計画したが、狭い盛立幅（2m）でのすれ違いや方向転換時のスペースの確保がうまくいかず、10t積み



写真-4 クローラダンプによる盛立材運搬状況

の全回転式クローラダンプを使用して盛立材の運搬を行うことにした。その結果、旋回に特別なスペースを必要としないことや常に前進で作業できることから作業効率が上がり、安全性も大幅に向上した。さらに、ダンプトラックより登坂能力に優れるため、工事用道路の設置、撤去の手間も大幅に減少した。

b) 上流側の盛立

山本調整池は発電用であり、水位は毎日上昇と下降を繰り返す。そのため、上流側のさや土は下流側に比べて良質な材料が求められた。試験盛立の結果、新規購入材の方が再利用材より強度特性が優れていたため、上流側を新規購入材で盛り立てた。さや土盛立と平行して、粗粒フィルタの盛立を行った。粗粒フィルタは今回の補修で新たに設けられた。材料は粒度調整碎石で、全て新規購入材である。盛立幅が狭いため、さや土と粗粒フィルタの盛立を1層ずつ交互に行い、盛立面を同じレベルに保ちながら工事を進めた。

リップラップは、さや土と粗粒フィルタの盛立が3~4層先行した後施工した。再利用されるリップラップ材は新規購入材に比べて粒径が大きく、比重も上回っていたため、流速の速い堤体の始点部や天端付近に重点的に使用した。バックホウで材料を配り、ある程度整形した後、リップラップのすわりをよくするため、人力にて整形しながら間詰めを行った。突棒を使って人力で丁寧に隙間を充填した。(写真-5)

c) 下流側の盛立

下流側の盛立材は調整池内の仮置場から堤体天端を越えて運搬した。そのため、上流側の盛立を先行して天端まで進め、下流側へのアプローチ道路を造成することが急がれた。下流側は主に再利用材を使用して盛り立てた。



①積込・運搬



②荷下ろし



③撒き出し・整形



④間詰め(人力)



⑤水締め



⑥盛立完了

写真-5 リップラップ盛立のフロー

d) 心壁の盛立

ダム両端の止水壁部と天端部では心壁の盛立が行われた。止水壁部は一般ダムの着岩部の施工と同様にスラリー、コンタクトクレイ等により施工した。



①チッピング



②スラリー塗布



③コンタクトクレイ施工



④オーバーサイズ除去



⑤中間材敷均し



⑥中間材締固め

写真-6 止水壁部心壁盛立のフロー

e) 止水壁部の補修

前述の通り、掘削中に始点側止水壁コンクリートの目地の損傷が判明し、補修が必要となった。様々な補修方法が検討されたが、最終的には「元通りに修復する」という原則に則り、補修工事が進められた。初めにワイヤソーによる止水壁コンクリート目地部分の撤去を行い、元のように新しい銅製止水板を設置した。その後コンクリートを打設し、継ぎ目には防水工事を施した。(写真-7)



①ワイヤソーによる撤去



②銅製止水板設置



③コンクリート打設



④目地処理
(ウレタンタール系注入充填材充填)



⑤塗膜防水工



⑥補修完了

写真-7 止水壁補修のフロー

f) 品質管理

「よりよいダム構築」を施工方針とし、盛立の品質(密度)が以前よりも良い堤体を目指して、既設堤体の土質試験と試験盛立を実施し、盛立仕様を決定した。盛立管理基準と共に以下に示す。

表-2 各材料の盛立仕様

	心壁材	さや土		粗粒フィルタ材
		既設材	新規購入材	
転圧機種	11t振動タンピングローラ	10t振動ローラ	10t振動ローラ	10t振動ローラ
転圧回数	12回以上	8回以上	10回以上	10回以上
仕上げ厚	20cm以下	50cm以下	50cm以下	50cm以下

表-3 各材料の盛立管理基準

種別	場所	試験項目	試験方法	品質規格	試験頻度
細粒材	ストローク採取場	含水量試験	簡易法	80%以下	1回/日・採取地点および材料が変化しと思われる場合
		粒度試験	簡易法	0.075mm以下40%以上	
粗粒材	ストローク採取場	含水量試験	簡易法	15%以下	1回/日および材料が変化しと思われる場合
		粒度試験	簡易法	150mm以下 100% 19mm以下 30%以上 2mm以下 50%以下	
心壁材・新規購入材	ストローク採取場	含水量試験	簡易法	Wopt~Wopt+4%	1回/4h
		粒度試験	簡易法	150mm以下 100% 19mm以下 50~80% 0.075mm以下 15~40%	1回/日および材料が変化しと思われる場合
	突固め密度試験	突固め試験 迅速法(3点法)	-		
	混合材	含水量試験	JIS A 1203 19mm以下 またはR1法	Wopt~Wopt+4%	1回/層・ブロック
		粒度試験	JIS A 1204	150mm以下 100% 19mm以下 50~80% 0.075mm以下 15~40%	1回/層・ブロック
	堤体	現場密度試験	JGS 1611 φ30×H20cm程度の穴による突き砂法 またはR1法	最大乾燥密度の95%以上	1回/3層・ブロック 3孔/1回
		現場透水試験	JGS 1316 φ30×H20cm程度の穴による定水位法	1×10 ⁻⁵ cm/s以下	1回/週・ブロック
		突固め密度試験	JIS A 1210 19mm以下 φ10cm	-	1回/3層・ブロック
		三軸圧縮試験	JGS 0523 CU試験 19mm以下 φ10cm	φ _a ≥ 30°	1回/月
	さや土・既設材	ストローク採取場	粒度試験	簡易法	19mm以下 20~80% 2mm以下 10~60%
粒度試験			JIS A 1204	19mm以下 20~80% 2mm以下 10~60%	1回/週・ブロック
堤体		現場密度試験	JGS 1612 φ50×H50cm程度の穴による水置換法	ρ _d ≥ 18.0kN/m ³ 以上 (ρ _d ≥ 1.84g/cm ³ 以上)	1回/週・ブロック 3孔/1回
		三軸圧縮試験	JGS 0524 CD試験 63mm以下 φ30cm	φ _a ≥ 38° かつ τ ≥ 2.4σ ^{0.80}	1回/月
さや土・新規購入材	ストローク採取場	粒度試験	簡易法	19mm以下 10~70% 2mm以下 50%以下	1回/週および材料が変化しと思われる場合
		粒度試験	JIS A 1204	19mm以下 10~70% 2mm以下 50%以下	1回/週・ブロック
	堤体	現場密度試験	JGS 1612 φ50×H50cm程度の穴による水置換法	ρ _d ≥ 20.0kN/m ³ 以上 (ρ _d ≥ 2.04g/cm ³ 以上)	1回/週・ブロック 3孔/1回
		三軸圧縮試験	JGS 0524 CD試験 63mm以下 φ30cm	φ _a ≥ 38° かつ τ ≥ 2.4σ ^{0.80}	1回/月
粗粒フィルタ材	ストローク採取場	粒度試験	簡易法	50mm以下 100% 19mm以下 50~90% 2mm以下 5~25%	1回/週および材料が変化しと思われる場合
		粒度試験	JIS A 1204	50mm以下 100% 19mm以下 50~90% 2mm以下 5~25%	1回/週・ブロック
	堤体	現場密度試験	JGS 1612 φ50×H50cm程度の穴による水置換法	ρ _d ≥ 18.9kN/m ³ 以上 (ρ _d ≥ 1.93g/cm ³ 以上)	1回/週・ブロック 3孔/1回
		三軸圧縮試験	JGS 0524 CD試験 63mm以下 φ30cm	φ _a ≥ 38° かつ τ ≥ 2.3σ ^{0.83}	1回/月

3. おわりに

2005年4月から始まった工事は2005年12月に完了し、試験湛水および必要な検査を終えて2006年2月には実運用を開始した。

今回の工事は一般のダム新設工事ではなく、復旧工事であることの特異性に加え、震災直後から周囲で復旧工事が多々行われている中での工事であったため、数々の問題点が発生した。本稿ではそれらのことを中心に紹介した。

参考文献

- 1) 東日本旅客鉄道(株)：信濃川発電所復旧工事技術専門委員会報告書、2006年5月