

# 鹿野川ダムリニューアル 水中作業での機械化

## 鹿野川ダム選択取水設備施設外新設工事の例 水中ハツリ機『あざらし』の開発

副島 幸也

鹿野川ダムでは、河川環境の改善等を目的とした改造事業の一環として、取水設備の改造を行った。既設ダムを運用しながらの工事であり、作業は水深 30 m を超える湖内における潜水作業が主である。潜水作業は減圧症などのリスクを持つ危険作業であり、ダム湖の放流など外部環境による作業時間の制約を受ける。そのため作業リスクの軽減化と、工事の効率化を目的として様々な水中作業の機械化を行った。本報では深水部におけるコンクリートチップングを行うために新たに開発した水中ハツリ機『あざらし』（以下「本開発機」という）を中心に、工事に導入した機械化施工について報告する。

キーワード：ダムリニューアル, 取水設備, 潜水作業, 水中ハツリ, チップング, あざらし

### 1. はじめに

愛媛県西南部を流れる一級河川・肱川の中流に位置する鹿野川ダムは、昭和 35 年に肱川総合開発の一環として、肱川水系の洪水調節及び水力発電を目的に建設された重力式コンクリートダムである。鹿野川ダムの概要を表 1 に示す。

肱川水系は平成 16 年度に策定された肱川水系河川整備計画に基づき「安全安心の確保」「清流の復活」が図られており、鹿野川ダムにおいては治水機能の増強及び河川環境の改善等を目的とした改造事業（貯水池容量再編）が進められている。鹿野川ダム改造事業における事業内容を以下に示す。

- 1) トンネル洪水吐きの新設
- 2) クレストゲートの改造
- 3) 選択取水設備の新設（取水設備の改造）
- 4) 水質改善対策（曝気装置の設置）

本工事は、3) の選択取水設備の新設に該当する。冷水放流の解消や濁水放流の長期化を防止すると共に貯水池の富栄養化を抑制する目的で、発電取水用の既設取水塔を撤去し、選択取水機能を有する取水設備を新設する工事である。ダム湖内の既設取水塔を撤去して同位置に新設するため、最大水深 40 m での潜水作業を必要とする。

潜水作業は減圧症などのリスクを持つ危険作業であり、潜水深度に応じて潜水土の日あたり作業時間が制限される。作業を継続的に行うためには多くの潜水土が必要となるが、施工ヤードが狭小であり、地上設備

表 1 鹿野川ダム概要

ダム	
河川名	一級河川肱川水系肱川
位置	大洲市肱川町山鳥坂
地質	砂岩・頁岩・輝緑凝灰岩
型式	重力式コンクリートダム
堤高	61.0 m (基礎岩盤より堤頂まで)
堤頂長	167.9 m
堤体積	161,000 m <sup>3</sup>
放流設備	
計画洪水量	2,750 m <sup>3</sup> /s (40 年確率)
計画調節量	1,250 m <sup>3</sup> /s
計画放流量	1,500 m <sup>3</sup> /s
放流設備	クレストゲート 4 門 (巾 12.0 m × 高 10.3 m) 放水管 1 門 (直径 90 cm)
貯水池	
集水面積	513.0 km <sup>2</sup> (直接 455.6 km <sup>2</sup> 間接 57.4 km <sup>2</sup> )
湛水長	11.0 km
湛水面積	常時 2.09 km <sup>2</sup> 洪水時 2.32 km <sup>2</sup>
満水位	常時 EL86.0 m (EL84.0 m) 洪水時 EL89.0 m
貯水容量	総量 48,200,000 m <sup>3</sup> 有効 29,800,000 m <sup>3</sup>
有効水深	常時満水 14.0 m 洪水時満水 17.0 m
予備放流水位	EL81.0 m
最低水位	EL72.0 m

の配置などの問題から制限があった。またダム湖は降雨などにより頻繁に濁り、水深の深い位置では清浄化に日数を要する。そのため、工程を遵守するために視界不良下で作業を行う必要が日常的に生じていた。またダム湖の放流中は、安全を確保するために作業を中断するなど、外部環境による作業時間の制約もあった。

そのため作業リスクの軽減化と、工事の効率化を目的として様々な水中作業の機械化を行った。

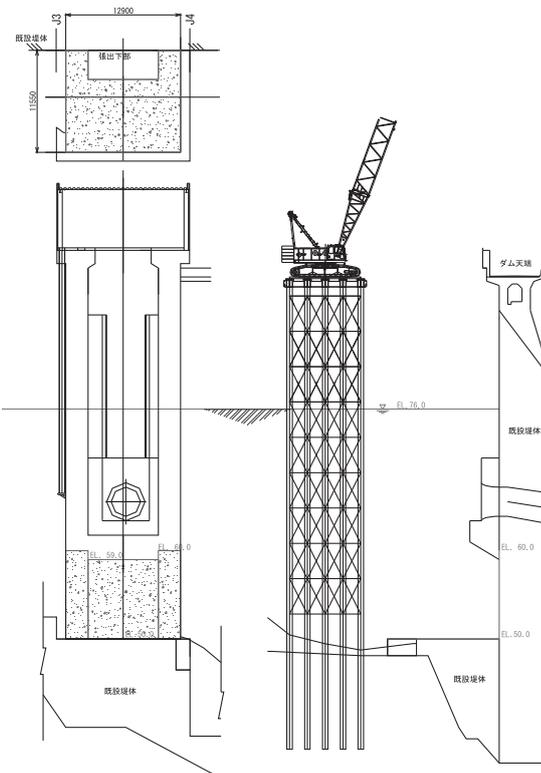
## 2. 水中ハツリ機

### (1) 開発の背景

コンクリートはつり工は、選択取水設備構築の際に既設堤体コンクリートとの接合面の付着を良好にするため行う、側壁部・底盤部における $t=3\text{ cm}$ 程度のチッピング作業である。施工範囲を図一に示す。

設計では、貯水池を運用しながら潜水士によるはつり作業を予定していた。深水部でのコンクリートはつり工は、作業中の視界が悪いことが想定され、施工性や安全面において相当に困難であることが予想されていた。そこで、チッピング作業の機械化に取り組む事となり、本開発機を開発した。

工事が始まってからの機械化着手となったため、短期間で要求性能を確保することに主眼を置き、できるだけ汎用品を改造することとした。



図一 施工範囲図

### (2) 本開発機的设计

#### (a) チッピング方法

チッピングを行う方法について、打撃・切削の2案で検討を行った(表一2)。打撃式ではその破砕力により既設コンクリートを余剰に痛めてしまう可能性があるが、反力を考えた場合には機構が容易と考えられた。一方で切削機は回転方向への反力を考える必要があり、形状が複雑となることが危惧された。短期間で開発する必要があり、対応の容易さを考慮して打撃式を選択した。

#### (b) 主動力の選定

動力源について、空圧・油圧・電動の3案で検討を行った(表一3)。

表一2 チッピング方式比較

	工法・機種例	施工リスク	設計リスク
打撃方式	ダウンザホールハンマ ブレーカ スパイクハンマー	・ハツリ過ぎ (コンクリ面を痛める)	・構造が単純
切削方式	ツインヘッダ シャフトヘッダ ウォータージェット	・切削に時間を要す ・位置固定治具検討	・反力方向への工夫

表一3 動力方式比較

	空圧	油圧	電動
地上設備	コンプレッサー	油圧ポンプ	発電機
圧力損失	大	小	無
配線配管	太	細	中
環境リスク	排気による濁水攪拌	漏油	無
コスト	安	高	高
その他			頑強な防水対策要

電動式は水中で使用するため、漏電などを防ぐためには完全な防水対策が必要となり、製作負担が大きい。また、深水部までの延長を考慮すると電圧降下を抑制するため電線は太くなり、発電機も大型となることから設備コストが高価になると考えた。

油圧式ではトラブルが発生した場合にダム湖に漏油する恐れがあり、環境保全に対するリスクが大きいと考えた。

空圧式は圧力損失が大きいですが、一般的な給気設備で十分に対応できる範囲だと判断した。また使用時の環境影響はほとんど無く、打撃式では一般的に用いる動力源であることから給気設備を整えやすいと考えた。

以上の比較検討から、打撃機構には空圧式を使用することとした。

(c) 打撃機構

様々な空圧式の打撃機械がある中で、コンクリートを余剰に痛めないよう、小さな衝撃を繰り返し与えるような機械を検討した。スパイクハンマー(写真-1)はダム工事での実績が多くあり、反力の計算などが既知であること、当初から複数ビットが一体化され、かつ必要なエア量・エア圧が他と比較して小さかったこと、排気が集約されているために対策が行い易いことから、これをベースに改造を行うこととした。



写真-1 スパイクハンマー

(d) 水中仕様検討

スパイクハンマーを打撃機構として製作した本開発機は、深水部で使用するための給排気対策とハツリ面で安定して作業を行うための反力対策を行った。

給気は地上から高圧コンプレッサーによる供給を行った。無駄な排気で水中を乱さないよう、レギュレーターにより適当な圧力調整を行った。排気はスパイクハンマーの外殻から地上まで水圧を考慮した専用のホースを用いて排出した。

本開発機がハツリ箇所をスムーズに移動できるように、堤体に固定せず吊り降ろした状態で施工することとした。そのため、チップングの際に発生する反力を抑えて本開発機をチップング面に押し付ける推進力が必要となった。反力対策として水中ポンプやウォータージェットなどを推進力に利用することを検討した。その中で、プロペラを回転させて水を後方に加速する水中攪拌機は、インバータによる出力調整が簡易であることから、これを本開発機の後方に複数台配置することで推進力と姿勢制御を確保した(写真-2, 表-4)。

(e) 底盤チップング検討

底盤方向はクレーンにて着床させ、はつりながら移動させる計画とした。しかしスパイクハンマーはビットの動作圧力が小さく、本体がそのまま着床する

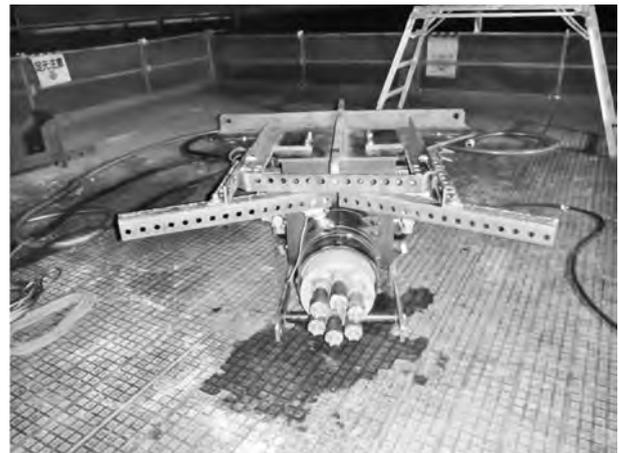


写真-2 本開発機側壁チップング仕様

表-4 本開発機諸元

		スパイクハンマー KA-200	
ハツリ機構	ビット径	70 φ × 6 本	
	打撃数	1,600 blow/min	
	ハツリ面	φ 234	
	定格	3.7 kW × 2 台	
	推力	1.64 kN	
推進部 (水中攪拌機)	定格	3.7 kW × 2 台	
	推力	1.64 kN	
使用空気圧力	0.5 MPa		
給気口	φ 50		
排気口	φ 50		
重量	側壁仕様 (攪拌機 × 2 型)	1,106 kg	
	底盤仕様	998 kg	
側壁仕様時装備	接触面調整ブラケット		
底盤仕様時装備	打撃深さ調整治具		

と、ビットは自重が負担となり上下動できなかった。そこで、ビットの上下動する隙間を確保し、かつ移動時の抵抗を減らし安定性を保つための治具を製作した(写真-3)。

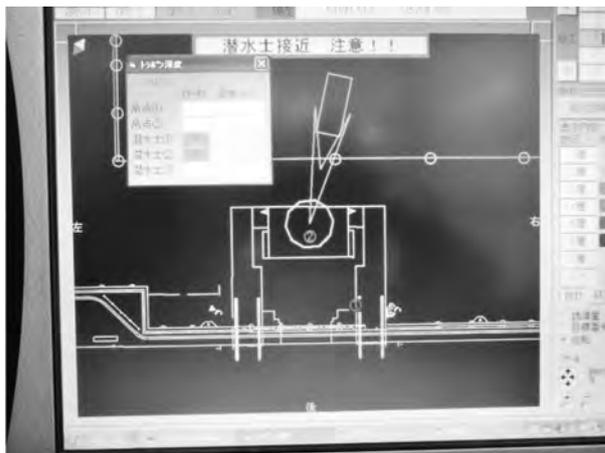
(3) 本開発機による施工

施工箇所はオーバーハングした壁の下部となっていたため、単純な吊り下げは困難であった。そこで天秤状の治具を製作した。またワイヤーの代わりに山止め材を使用して本開発機を吊り下げた。これにより地上からの本開発機の姿勢把握が容易となった(図-2, 写真-4)。

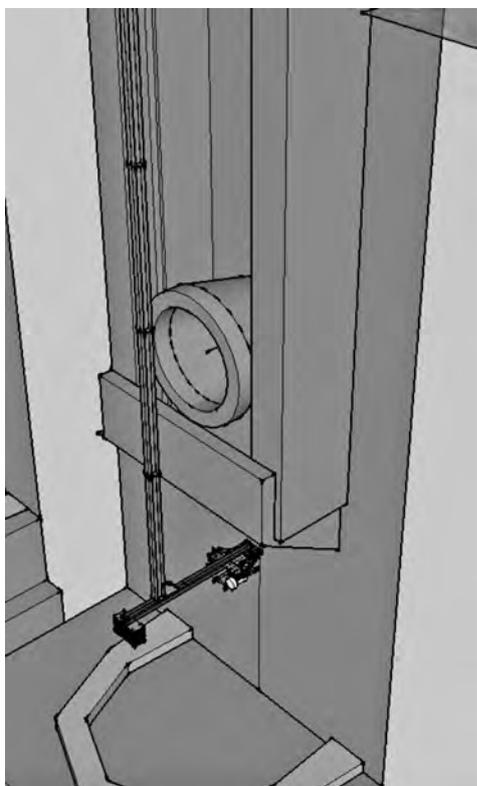
吊下ろした位置を地上から把握するため、潜水位置監視システム(写真-5)により、モニター上での座標と高さの監視を行った。また、ハツリ面は表面の藻類が除去されるため、目視でその作業状況が把握でき



写真一 本開発機底盤仕用



写真一 潜水位置監視システム



図一 山留め材と天秤を装着した本開発機



写真一 水中カメラ映像



写真一 天秤を装着した本開発機



写真一 作業監視状況

る。水中カメラの装着により、施工状況が潜水士の負担無く常時監視できるようになった(写真一 6, 7)。

本開発機によるハツリ作業は約1ヶ月の作業であったが、人力による作業の2~3倍の施工速度で作業を終えることができた(表一 5)。

表一五 本開発機施工実績

		チッピング機械 (水中)			人力 (水中)
		側壁部	底盤部	合計	—
対象面積	m <sup>2</sup>	111	123	234	26
稼動日数	日	14	6	20	6
施工能力	m <sup>2</sup> /日	8	21	12	4.0-4.5
	m <sup>2</sup> /h	1.6	4.1	2.3	0.8-1.1

### 3. 様々な機械化

#### (1) 自走式ユニットによるはつり工

既設取水塔の撤去はワイヤーソーによる切断により行った。新設する取水塔との接合面を1 cm程度に目荒しをするため、ウォータージェット工法を採用したが、水中での潜水士の安全や視界の確保、および作業時間の確保を目的として機械化に取組み、自走式のユニット型ウォータージェットを用いた(写真一8)。



写真一8 自走式ユニット型ウォータージェット

湖面の高さにより高所作業の状況が変わる中、ユニット設置のみを人力作業としたことで施工性・安全性が向上した。また、機械化により施工のムラが無くなり、品質的にも向上した。

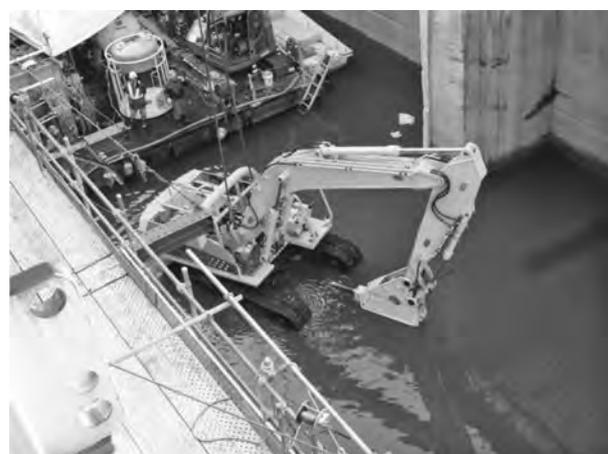
#### (2) 水中バックホウ・水中ブレーカ

50年以上前に建設された鹿野川ダムは、様々な残置物が水中にあり、取水塔新設の障害となるそれらの撤去のため、水中バックホウや水中ブレーカを導入した(写真一9, 10)。

湖内では水の動きがほとんどないため、水中作業で発生する濁りを水流で押し流す効果が期待できない。また地表からの明かりも届かないため、オペレータは作業箇所を視認することができない。そのため、オペ



写真一9 水中バックホウ



写真一10 水中ブレーカ

レータとは別途に作業箇所の確認を行う潜水士の配置が必要となった。

人と機械の混在作業を防止するため、潜水士が水中を動く際は重機の動作を停止させることを徹底した。また、オペレータが目視確認できないことから、感覚に頼った操作をできるだけ排除するため、水中ブレーカは潜水士が誘導する位置の破碎のみ行い、水中バックホウは潜水士がバケットに積み込んだ破碎材を揚重用のスキップに投入するだけの固定作業とした。

### 4. おわりに

ダムは洪水対策や発電、農業用水の確保など、日本の経済成長に伴い大きな役割を果たしてきた。現在、建設から50年以上を経過したダムが増えており、これらを今後も活用していくため、多くのダムにおいてリニューアル工事が計画、実施されている。

既設ダムのリニューアルは、ほとんどの場合において供用しながらの施工となるため、湖内の施工時には大水深での潜水作業が必要になることが想定される。

安全の確保やより効率的な作業方法の開発が急がれるところである。

鹿野川ダム選択取水設備施設外新設工事では、様々な機械の開発・導入を行うことで、無事に工事を完了することができた。また本報は取り上げていないが、ユニット鉄筋やプレキャスト型枠など、機械化以外の効率化にも積極的に取り組んだ。本工事での取り組みが今後のダムリニューアル工事の参考となれば幸いである。

### 謝 辞

最後になりますが本開発機水中ハツリ機「あざらし」は、栗田鑿岩機(株)殿と共同で開発したものです。また、開発に当たり様々なご指導いただいた関係各位には誌面を借りて厚く御礼を申し上げます。

J|C|M|A



### 【筆者紹介】

副島 幸也 (そえじま こうや)  
株安藤・間  
土木事業本部機電部 担当課長

