

信濃川水系上結東砂防堰堤に近接した立坑発破掘削

前田建設工業(株) 正会員 ○長田 将吾
(株)関電工 正会員 小宮 啓

1. はじめに

上結東水力発電所新設工事（以下、本工事と称す）は、国土交通省北陸地方整備局湯沢砂防事務所管轄のアーチ式上結東砂防堰堤（以下、堰堤と称す）の高低差（堤高 33m）を利用した小水力発電所（990kW）を新設するものである。本工事の円形立坑（直径 6.4m、深さ 20.8m）は、発破工法により掘削する必要があるが、堰堤との最小離隔距離が 6.19m と近接しており、発破振動による堤体への影響を避けるため高精度な制御発破が求められた。本稿は、振動低減に取り組んだ計測・評価及び施工方法について述べる。

2. 振動速度計測計画

振動管理は振動速度により行うため、堰堤上部に 3 軸変位速度計を立坑最近接箇所を含め 3 箇所に設置した。発破位置に最近接する地中の堤体振動値は直接測定できないため、下記の手順で算出した。

- (1) 変位速度測定値及び測定器までの距離から K 値を求める。
- (2) 求めた K 値と堤体までの最短距離により、変位速度を推定する。

$$K1 = V1 / (W^{0.75} \times D1^{-2}) \quad \dots (1)$$

$$V1' = K1 \times W^{0.75} \times D1'^{-2} \quad \dots (2)$$

K1: 発破条件や岩盤特性により変化する係数, V1: 実測変位速度 (cm/sec),
W: 斉発薬量 (kg), D1: 爆源から振動計までの斜距離 (m),
D1': 爆源から堤体までの最短距離 (m), V1': 推定変位速度 (cm/sec)

3. 振動管理値による発破計画

円形立坑の制御発破計画を以下に述べる。

- (1) 振動上限値（許容振動速度）を 5cm/sec、管理目標値を許容振動速度の 90%、4.5cm/sec とし、5 回までの発破掘削を試験発破とした。
- (2) 発破振動は斉発薬量の 3/4 乗に比例し、距離の 2 乗に反比例するため、振動を低減するには 1 孔 1 段とする必要があった。DS 雷管による 71 段発破は困難であるが、円形を 6 分割し、段発発破器を使い 40ms の秒時差起爆電流を流していくことで、疑似的な 71 段発破とした。
- (3) 斉発薬量は文献¹⁾の最大 K 値を参照、かつ 70%の薬量として 1 孔当たり 0.2kg で計画した。想定発破深度は 0.75m である。（表-1 参照）

表-1 試験発破振動予測算出表 (K 値は文献¹⁾参考)

発破パターン	区分	K	W	D	V	判定
			(kg)	(m)	(cm/s)	
円形：段発発破器制御	芯抜	900	0.2	9.39	3.05	○
	払い	500	0.2	6.19	3.91	○



写真-1 工事場所と近接するアーチ式砂防堰堤

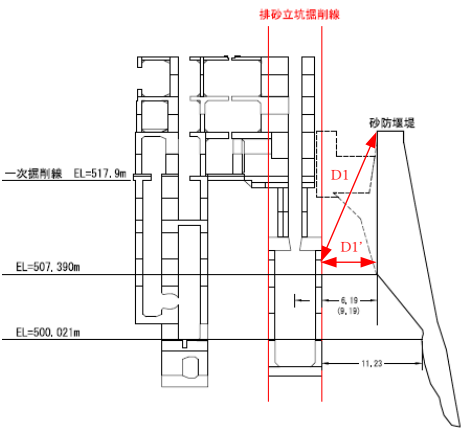


図-1 排砂立坑-砂防堰堤関係図

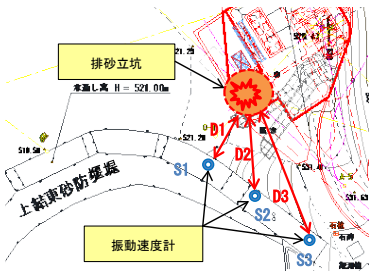


図-2 振動速度計設置位置図

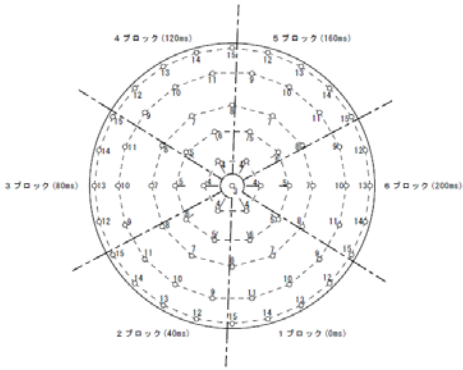


図-3 制御発破パターン図

4. 発破掘削結果の課題と対策

(1) 試験発破結果と課題

1 回目を実施した試験発破の振動測定結果は 4.6cm/sec と管理目標値を上回った. 最近接部分の一部をブレーカ掘削とすることで堤体までの離隔を 7.0m に広げ, 2 回目の試験発破を実施したが, 表-2 に示す結果の通り 4.6cm/sec と管理目標値を下回ることはできなかった. 図-4 のグラフに着目すると, 波形のばらつきの多さが目立ち, DS 雷管の秒時誤差による共振の可能性があった. 共振による振動の増幅を避けるため, 発破計画の再検討を行った.

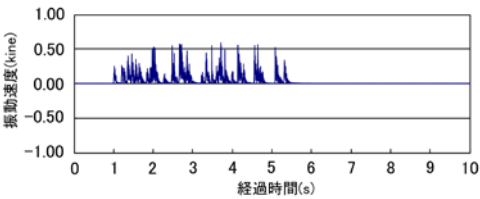


図-4 発破振動測定結果 (3 方向合成値)

表-2 試験発破結果表 (段発発破器)

発破形式	V1	V2	V3	K1	K2	K3	採用K値	堤体までの最短距離(m)	推定振動値 (cm/sec)	管理目標値 (cm/sec)	使用可能薬量 (kg)
芯抜き (円)	0.305	0.252	0.238	292	375	573	573	9.3	1.980	4.5	0.6
払い (円)	0.732	0.584	0.361	565	758	736	758	7.0	4.624	4.5	0.2

(2) 対策と結果

段発発破器と DS 雷管の使用を中止し, IC タイマーによる起爆秒時を高精度に制御できる電子雷管 EDD の使用を選択した. 計画変更後に実施した試験発破の結果は, 図-5 に示すグラフの通り波形の重なりが無く, 振動値は抑制されていた. 表-3に示す通り, 管理目標値の 4.5cm/sec を下回ることができた.

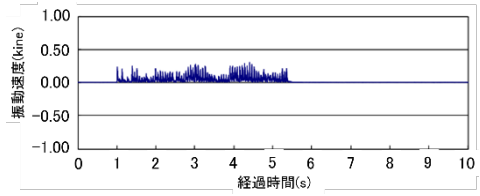


図-5 発破振動測定結果 (3 方向合成値)

表-3 試験発破結果表 (電子雷管 EDD)

発破形式	V1	V2	V3	K1	K2	K3	採用K	堤体までの最短距離(m)	推定振動値 (cm/sec)	管理目標値 (cm/sec)	使用可能薬量 (kg)
芯抜き (円)	0.240	0.375	0.234	299	704	649	704	9.3	2.433	4.5	0.5
払い (円) 11-6段	0.558	0.337	0.229	592	581	596	596	6.4	4.354	4.5	0.2

また, 起爆秒時の精度の高さから大きな振動が発生した起爆位置を特定できるという副次的な効果と, 複雑な堰堤の形状を 3D モデル化した CIM データを利用して, 堤体と爆源の距離関係を正確に捉えた. 爆源位置から堤体の距離と変位速度の測定結果を元に, 最大となる振動値を各段評価することで, 堤体への影響値を正確に把握することが可能となり, 以後の発破振動値は全て管理目標値を下回った. 試験発破含め全 18 回の発破を通して, 堰堤に影響を与える恐れのある振動値に達することなく, 立坑掘削工事を終えた.

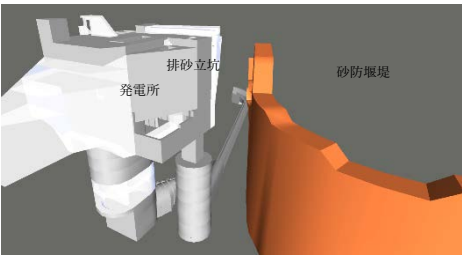


図-6 CIM (発電所と堰堤)

参考文献

1) 発破工学ハンドブック 共立出版(株)発行

キーワード：近接施工, 制御発破, 電子雷管, CIM
連絡先 〒930-0858 富山県富山市牛島町 18-7 アーバンプレイス 前田建設工業株式会社北陸支店
TEL：076-431-7531 FAX：076-442-3728