

近接構造物に対する発破振動抑制対策

Measures to Control the Effect of Blasting Vibration on Adjacent Structures

竹岡 将之^{※1}
Masayuki Takeoka
佐川 範章^{※1}
Noriaki Sagawa

井垣 一之^{※1}
Kazuyuki Igaki
原 直之^{※1}
Naoyuki Hara

小林 一士^{※1}
Kazuhito Kobayashi
小川 統史^{※2}
Toushi Ogawa

【キーワード】 水力発電所 近接施工 発破振動 制御発破

1. はじめに

東北電力第二葦神発電所の建設では、第一発電所のダム構築時の仮排水路トンネルと第二発電所の放水路トンネルが近接して交差する計画となっていた(図-1、図-2)。この仮排水路トンネル交差部はダム軸に近く、プラグ部の構造であり坑内はコンクリートで閉塞されていた。しかしながら仮排水路トンネルは昭和11年頃に構築されたものであり、トンネル構造が明確でなく、ボーリング調査結果から、天端部にセメント分が流出して骨材のみとなっている部分が存在することが判明していた。こうした条件下で放水路トンネルを発破掘削していく場合、仮排水路トンネル閉塞部に新たな損傷が発生してダム湖水が逸水するリスクが懸念された。

一方、第二葦神発電所は平成28年3月の運転開始のため、放水路トンネルの掘削においては工程遅延リスクを排除した工程の確保が必須となっていた。

以上のことを踏まえ、仮排水路トンネル近接部において、確実な進行を確保し、かつ振動規制値を遵守した放水路トンネルの発破振動抑制対策について検討した結果について報告する。

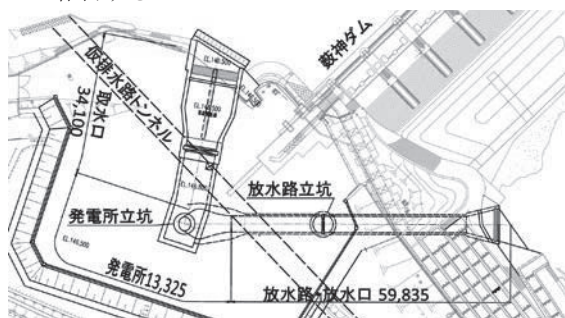


図-1 第二葦神発電所平面図

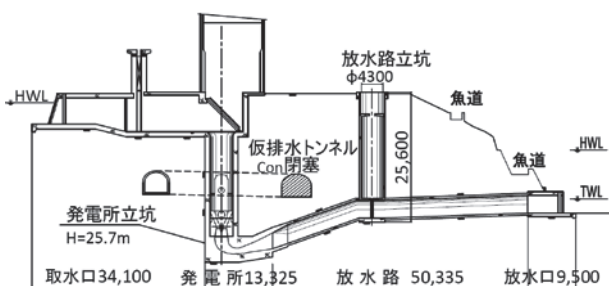


図-2 第二葦神発電所縦断面図

2. トンネル部の地質

立坑掘削時の地質は深度が増すにつれて茶色に変色した緑色岩から新鮮な青灰色を呈す緑色岩に変わっていったものの、亀裂が発達し粘土を挟在する変質した地質であった。岩級区分は、茶色に変色した部分がCL~D級、新鮮な青灰色部がCM級であり、放水路トンネル部の地質は、CM級と想定された。

3. 発破振動制御工法の検討

表-1に既存の発破振動制御工法の種別と特徴を示す。当該工事では、汎用性と経済性を考慮してMS・DS雷管と導火管付雷管による多段発破(含水爆薬)、およびガンサイザー(非火薬破砕剤)の併用を検討した。なお、分割発破は工程の確保を考慮して断面分割発破断面分割発破工法を検討した。

表-1 発破振動制御工法一覧

種別	細別	特徴
機械方式	機械掘削	岩盤強度に適用の限界あり
	割岩工法	掘削作業に非常に時間がかかる
静的破砕剤工法	ブライスター	破砕に時間がかかる
	NRC	破砕剤と多段雷管が高価
非火薬破砕剤	ガンサイザー	破砕剤と多段雷管が高価
	低爆速爆薬	振動はダイマイトに比較して60%程度
爆薬種類変更	低比重硝安爆薬	振動はANFOに比較して60~80%程度
	コングリト破砕器	振動はダイマイトに比較して25~30%程度
多段発破	MS・DS雷管	通常の発破とほぼ同額で施工できる
	導火管付雷管	雷管がやや高価
分割発破	電子雷管	雷管が高価
	進行分割	掘削作業に時間がかかる
	断面分割	発破作業に若干時間がかかる

仮排水路トンネルに対する振動規制値は、Langefors¹⁾が提案した、既設構造物に対して「要注意」の7.0kineとし、この振動規制値を遵守するために必要な発破振動抑制工法別の斉発薬量を設定し必要離隔距離を算出した。必要離隔距離は、式(1)により求めた²⁾。ここで、多段発破のK値は、試験発破で得られた芯抜き450、払い350を、ガンサイザーのK値は、38-30型の一般値として芯抜き・払いとも40を採用した。

$$D = \sqrt{\frac{K \cdot W^{2/3}}{V}} \quad (1)$$

V : 変位速度 (cm/sec)

K : 定数

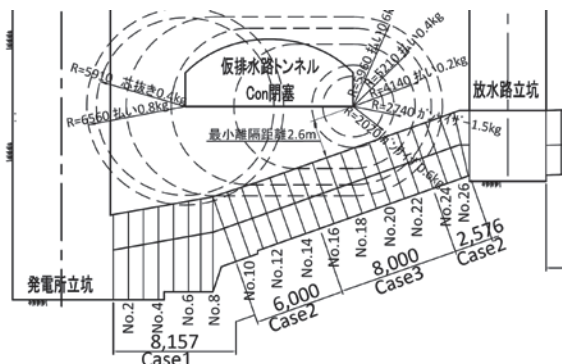
W : 段当り装薬量 (kg)

D : 距離 (m)

表一 2 発破振動制御工法と斉発薬量および必要離隔距離

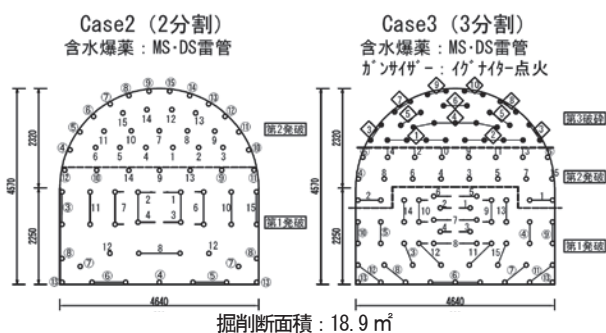
種別	発破パターン	掘進長 m	細別	K値	斉発薬量 kg	必要距離 m	摘要(点火方式)
含水爆薬	Case1	1.0	芯抜き	450	0.4	5.91	MS・DS
	Case1・2	1.0	払い・払助	350	0.8	6.56	MS・DS
	Case1・2・3	1.0	払い・払助	350	0.6	5.96	MS・DS
	Case2・3	1.0	払い・払助	350	0.4	5.21	MS・DS
	Case2・3	1.0	払い・払助	350	0.2	4.14	MS・DS
ガンサイザ	Case3	1.0	払い・払助	40	1.5	2.74	イナイター
	Case3	1.0	払い・払助	40	0.6	2.02	イナイター

表一 2 に発破振動制御工法と斉発薬量および必要離隔距離を示す。また、表一 2 に基づく発破振動制御工法の適用区間の検討結果を仮排水路トンネル周辺の縦断面図として図一 3 に示す。



図一 3 発破振動制御工法の適用区間縦断面図

表一 2 の斉発薬量に基づいて発破パターンおよび破砕パターンを検討した結果を図一 4 に示す。MS・DS 併用多段発破とすることで Case1 では全断面、Case2 では上下 2 分割の発破パターンが可能となった。また、図一 3 で仮排水路トンネルに近接する Case3 においては切羽を 3 分割することとし、その最上段部にはガンサイザーを適用することで振動規制値を超過しない発破パターンが可能となった。なお、ガンサイザーは 10 段、MS・DS は 15 段までとして計画した。



図一 4 発破振動制御工法の各発破パターン

4. 放水路トンネル掘削時の発破振動の監視

振動規制値を遵守する監視方法としては、仮排水路トンネルに振動測定器を直接設置し振動を測定することが望ましい。しかしながら、仮排水路トンネルの交差部にはアプローチができなく、地質調査時の垂直ボーリング孔も現存しない。このため、放水路トンネル掘削時における仮排水路トンネルでの振動値は、放水路立坑で振動測定を行い、その結果から仮排水路トンネルでの振動値

を推定する計画とした。

図一 5 に各発破箇所における芯抜き位置の仮排水路トンネルとの離隔距離算出断面図を示す。

ここでは、各発破場所から振動測定値までの距離 D1 を使用し、式(2)により K 値を算出し、この実測 K 値と発破場所から仮排水路トンネルまでの距離 D2 を式(3)に入力して仮排水路トンネルでの振動値を推定した。

$$K = V / (W^{2/3} \cdot D1^{-2}) \quad (2)$$

$$V = K \cdot W^{2/3} \cdot D2^{-2} \quad (3)$$

5. 制御発破による掘削

放水路トンネルの掘削は芯抜き、払いとも斉発薬量を 0.4kg として開始した。地質が想定より脆弱であったため、測定値から算出した No.14 までの K 値は芯抜き・払いとも 300 以下の値を示し、仮排水路トンネルにおける振動推定値は最大で 3.2kine であった (表一 3)。

なお、放水路トンネル斜坑部を掘り上がっていくにつれて、切羽の上方は比較的脆弱な地山に変化していったため、No.17 以降は下半部を制御発破で掘削し、上半部を機械掘削で行う掘削方法に変更した。

表一 3 発破振動の測定結果 (抜粋)

No.	V		離隔距離D1		斉発薬量		算出K値		距離D2		振動推定値		備考	
	測定値 kine	芯抜き m	払い m	芯抜き kg	払い kg	芯抜き kine	払い kine	仮排水路 m	芯抜き kine	払い kine				
1	0.20	30.18	27.85	-	0.4	-	282	8.65	-	2.04				
2	0.15	25.34	27.67	-	0.4	-	209	7.97	-	1.78				
4	0.21	24.97	27.30	0.4	0.4	237	284	6.89	2.71	3.24				
6	0.09	24.60	26.93	0.4	0.4	105	126	6.30	1.44	1.73				
8	0.10	24.31	26.64	0.4	0.4	113	135	6.02	1.69	2.03				
10	0.13	26.08	24.05	0.4	0.4	165	140	5.45	3.02	2.57				
12	0.13	26.74	24.71	0.4	0.2	166	225	6.11	2.41	2.06				
14	0.10	27.40	25.37	0.4	0.2	132	180	6.77	1.56	1.34				
16	0.15	28.06	26.03	0.4	0.2	222	303	7.10	2.39	2.06				
17	0.19	28.39	26.36	0.4	0.2	286	392	7.43	2.81	2.43	上半機械掘削			
18	0.21	28.72	26.69	0.4	0.2	325	445	7.76	2.93	2.53	''			
19	0.17	29.05	27.02	0.3	0.2	320	363	8.09	2.19	1.89	''			
20	0.18	29.38	27.35	0.3	0.2	355	403	8.42	2.24	1.94	''			
21	0.20	29.71	27.68	0.3	0.2	389	442	8.75	2.27	1.97	''			
22	0.19	30.04	28.01	0.3	0.2	375	427	9.08	2.04	1.77	''			
23	0.23	30.37	28.34	0.3	0.2	466	532	9.41	2.36	2.05	''			
24	0.21	30.70	28.67	0.3	0.2	450	514	9.74	2.12	1.85	''			
25	0.21	31.03	29.00	0.3	0.2	449	514	10.07	1.98	1.73	''			
26												機械掘削		
27													''	

6. まとめ

本工事では、構築後約 80 年が経過した構造物に対し、最短離隔 2.6m で掘削していく厳しい条件において、工程を確保しつつ振動規制値を超過しない発破振動制御工法を計画した。放水路トンネルの地質が想定より脆弱であったためにガンサイザーを併用する発破パターンは実施する必要はなかったが、振動規制値を超えることなく放水路トンネルの掘削を完了することができた。

謝辞：本工事における東北電力第二蕨神発電所建設所関係各位のご指導に対し感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 日本火薬工業会：あんな発破こんな発破, p.6, 2002.
- 2) 日本火薬工業会：あんな発破こんな発破, p.3, 2002.