

奥只見増設発電所地下掘削における振動制御発破の方法について

電源開発株式会社 奥只見・大鳥増設建設所 正会員 〇旭 剛志
 同 正会員 橋本 長幸
 同 非会員 吉村 光夫

1. はじめに

奥只見発電所増設計画は、既設奥只見貯水池（総貯水量約6億m³）より最大使用水量138m³/sを取水し、有効落差164.2mを得て、最大出力20万kWの発電を行うものである。本計画が位置する只見川上流は、福島県（右岸側）と新潟県（左岸側）の県境を流れており、奥只見発電所は福島県南会津郡檜枝岐村に位置している。なお、既設奥只見発電所の最大出力は36万kWあり、増設発電所の運開後は計56万kWの発電所となる。

奥只見発電所は地下約150mに位置している地下発電所であり、その地下空洞の大きさ（幅×高さ×長さ）は既設発電所が、24.6m×40.6m×89.6m、増設発電所が、22.0m×41.3m×45.8mとなっている。また、既設発電所と増設発電所の空洞は完全に隣接しており、これら2つの空洞は一体のものとなる。

増設発電所工事のうち、発電所本体地下掘削工事については、平成11年から開始し現在は終了している。

この大規模地下空洞の掘削工事の方法は、主として発破工法を用いており、既設発電所（既設発電機位置）から最短距離で約30mの位置で発破を行う必要があった。また、空洞周辺地山の岩盤は堅硬で、掘削体積も大きいため、発破規模も大きくする必要があった。

発破を行う際の既設発電所への影響として、それに伴って発生する振動によって既設構造物並びに発電機器が損傷・破壊することが考えられるが、ここでは発破振動を軽減するための制御発破方法について述べることにする。

2. 許容振動値の考察について

1) 既設コンクリート構造物に対する許容振動値の検討

既設奥只見発電所は鉄筋コンクリート構造であることから、まず、コンクリートの引張強度に対して許容振動値の検討を実施した。既設コンクリートの引張強度は、その調査実績から1.5(N/mm²)程度以上は見込むことが出来るとした。コンクリートに、引張強度1.5(N/mm²)が発生した時の発破振動値は、弾性波理論から20kineと算出される。（kine=cm/sで、発破振動の単位は一般に速度値の単位を用いる。最近では振動に対する構造物への影響は、加速度galよりも速度値と相関があると言われている。）

今回の工事では、ここでさらに安全率10をとり、既設コンクリート構造物に対する許容発破振動値は、2kineとした。

2) 既設発電機器に対する許容振動値の検討

発破振動による発電機器への影響として、損傷・破壊はもとより、発電機器に設置している保護リレーが振動により誤動作し、その結果トリップする可能性が考えられた。この保護リレーの許容振動値については、今のところ明確なデータ・理論はないが、調査の結果、震度階4～5程度でこの保護リレーが作動する可能性があった。

今回の工事において、2.の1)で述べたように、既設コンクリートの許容振動値2kineが、その引張強度に対しては十分過ぎる程安全率をとっていること、また、発破振動値と地震の震度階との関係（概ねの目安）から、2kineが震度3に相当し、保護リレーが作動すると考えられている震度階より小さいことから、この値をそのまま発電機器周辺の許容振動値として用いても問題ないものとして考えた。

3. 発破振動の計測方法

発破振動の計測は、ある設定した発破振動値を越えた際に自動的に測定可能な発破振動自動監視装置を用いて、原則的には全発破について振動測定を実施した。

測定位置は、既設発電所保護リレー設置箇所である主要変圧器室の増設発電所寄りの位置（No. 1）と発破位置から至近地点となる既設発電所の妻壁位置（No. 2）とした（図-1）。

4. 制御発破方法の考え方と振動予測式について

一般に、発破振動を軽減する方法として、爆源周辺あるいは爆源と振動を抑えたい箇所との間に溝や破碎帯を作り、これを緩衝体として、直接入射波、表面波のエネルギーを吸収する方法（プレスブリット工法）、穿孔径に対し、装薬径を小さくし、この空隙により衝撃効果を弱める方法、爆速の遅い火薬（制御用火薬）を使用する方法、発破1回当りの火薬量を減らす（その結果、発破1回当りの掘削量が減る）方法、1回の発破で何段にも分割して起爆させる方法（段発破）などがあるが、今回の工事では、主として段発破による振動制御方法を採用した。また、この段発破を行うに当たり、雷管には

キーワード：発破振動、振動制御、段発破、奥只見増設発電所地下掘削、回帰分析、予測式

連絡先 〒946-0011 新潟県北魚沼郡小出町小出島字坂之下938 TEL：02579-2-9740 FAX：02579-2-4207

その制御が行い易い（延時時間が正確で段発も無限に設定可能な）非電気式雷管（NONEL雷管）を用いることとし、火薬については、ANFO爆薬を用いた。なお、発破1回当たりの掘削（リフト・ブロック割り）は、3m高さのリフト、発電所全幅（22m）×12mのブロックを標準として施工した。

今回実施した制御発破は、1段当たりの火薬量（斉発薬量）を抑える必要があるわけであるが、この斉発薬量の決定については、次に示す振動予測式を用いて行った。

$$v = K \times W^n / r^m$$

ここに、 v ：発破振動速度(kine) W ：斉発薬量(kg)
 r ：発破振動発生源から予測地点までの距離(m) K, n, m ：定数

この式の中で、定数 K, n, m については地形・地質・発破方法等により異なった値をとる。一般的には $K=100\sim1000$ 、 $n=0.6\sim0.75$ 、 $m=2\sim3$ であると言われているが、真の値を把握するためには、発破振動の計測を行い、この結果を基にした回帰分析により K, n, m を算出するしかない。

今回、発破掘削工事と計測を並行して行いながら必要の都度、計測結果からこの定数を回帰分析により求め、発破計画を立てていくこととした。

5. 発破振動計測結果から算出した回帰分析結果と計画斉発薬量について

1) 初年度の工事（平成11年度工事）

初年度の工事においては計測結果がないため、定数 K, n, m を求めることができない。従ってここでは一般的な数値を用いることとし、定数はそれぞれ、 $K=500$ 、 $n=0.75$ 、 $m=2$ とした。

また、至近距離が30mで、その地点での振動速度値を2kine以下に抑えるという条件から、算出される計画の斉発薬量 W は5.5kgである。

2) 2年目の工事（平成12年度工事）

2年目の工事では初年度の計測結果を基にして回帰分析を行った。ここで、 n を0.75に固定して算出する方法、 m を2に固定して算出する方法、 n, m を固定しない方法があるが、初年度工事の斉発薬量についてはほとんど一定であったことから、これにかかっている定数 n については回帰分析を行う際、固定した方が計算上、精度が良くなる。従って今回は定数 n を固定して回帰分析を行った。

回帰計算結果は、 $K=102.63$ 、 $n=0.75$ 、 $m=1.539$ と算出され、この時の相関係数は99.8%であり、予測式としては相当精度が高くなっている。

2年目の工事では予測式の定数に、この数値を用いた。これにより算出される計画の斉発薬量は、初年度の計画とほぼ同じ $W=5.6\text{kg}$ である。

6. 増設発電所本体発破掘削工事を終えて

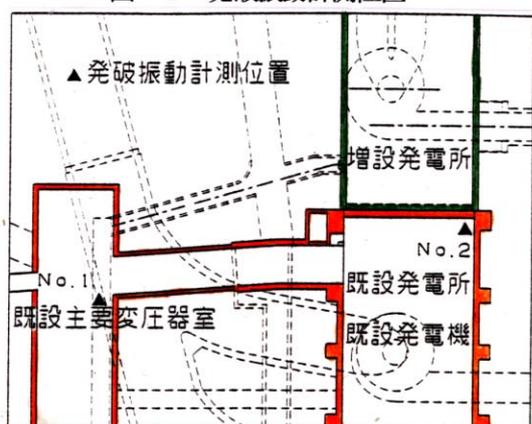
平成12年10月に奥只見増設発電所の本体掘削工事は終了した。発破振動の計測結果、初年度並びに2年目の工事で使用した予測式と、最終的に算出した式をそれぞれプロットしたものを図-2に示す。

最終的に算出した式（ $K=309.94$ 、 $n=0.75$ 、 $m=1.805$ ）については相関係数が64.7%まで落ちたが、これは、全ての計測結果を取込んで予測式を算出したため、計測データを分類（例えば各リフト毎、各ブロック毎、地質領域毎、発破の掛け方などで分類）し、それぞれ予測式を算出すればさらに精度は高くなると考えられる。今回の計測結果を見ると、既設発電所近くの発破ほど予測式から外れる傾向が見られたため、これを別にして予測式を算出する必要があると考えられる。

また、計測結果が予測式から外れ、計測値が許容振動値を上回るケースが発生したが、その場合には随時、掘削のリフト・ブロック割りを変更し発破規模を小さくする、あるいは、発破の削孔角度を変更するなどの変更を行ってきた。

増設発電所本体発破掘削工事を終えて、既設奥只見発電所内の発電機器、コンクリート躯体の異常は確認されていないことから、今回実施した方法による振動制御発破は特に問題なかったと言える。

図-1 発破振動計測位置



(参考文献)「発破振動の周辺への影響と対策」 雑候 謙著 鹿島出版会

図-2 発破振動計測結果と予測式

