

既設圧力水路トンネル直下を掘削するための制限発破について

九州電力(株) 小丸川発電所建設所 正会員○今林 達雄
九州電力(株) 小丸川発電所建設所 正会員 河原田寿紀
九州電力(株) 小丸川発電所建設所 非会員 古川 洋一

1. まえがき

小丸川発電所は、九州電力が宮崎県児湯郡木城町に建設を進める最大出力 120 万 kW の純揚水式発電所である。このうち、地下約 400 m に位置する地下発電所と地上とを結ぶ工事用トンネルは、既設の圧力水路トンネル（以下、圧力水路）の直下を離間距離約 17 m で通過するルートであるため、発破掘削時の地盤振動が圧力水路へ及ぼす影響を回避する必要があるが、併せて地下発電所までの急速施工を確保することも必要であった。このため、圧力水路内での振動測定結果（本発破試験）および工事用トンネル内での振動測定結果（模擬発破試験）に基づいて、通常と同等の進行を確保しつつ、発破振動を軽減させるための制限発破を行った。本稿では、振動測定結果に基づく振動予測式の算出および制限発破内容について述べる。

2. 本発破試験

(1) 目的

発破による地盤振動は、発破方法や地盤性状等多くの因子により異なり、これらの因子を考慮して地盤振動を表す一般式を求めることは、理論的に極めて困難である。しかし、これまでに振動測定実績に基づいた実験式が提案されており、今回は①式で表される振動予測式を用いた。ここで、指数 m 、 n は一般的な数値である $m=0.75$ 、 $n=2$ を使用し、 K の値（以下、 K 値）は工事用トンネル掘削時の発破振動を圧力水路内で測定して求めることとした。なお、既設水路のコンクリート構造物に対する許容変位速度は 2cm/sec とした。

$$V = K \cdot W^m \cdot D^{-n} \quad \dots \dots \textcircled{1}$$

ここに、 V ：変位速度 (cm/sec)、 D ：振動発生源からの距離 (m)、 W ：斉発薬量 (kg)

K ：発破条件や岩盤特性等によって変化する係数

m ：薬量の指数、 n ：距離の指数

(2) 試験方法

圧力水路が断水した時の限られた期間を利用して、圧力水路内に工事用トンネルとの交差部および交差部から約 70 m 離れた 2 箇所受信器を設置し、工事用トンネルで発破を行った時の振動測定を行う。測定箇所は、切羽からの離間距離がそれぞれ約 200 m、約 150 m である。

(3) 試験結果

各段数において K 値を評価した結果、芯抜き部が最大となり $K=1,352 \sim 1,732$ であった。この結果、最小離間距離となる交差部においては、許容変位速度を満足する薬量は 0.2kg となり、発破パターンの変更だけでは通常の進行を確保できない結果となった。

3. 模擬発破試験

(1) 目的

本発破試験では、指数 m 、 n を一般的な数値を用いて振動予測式を算出した。しかし、 K 値がこれまでの実績（芯抜き部：450～900）と比べても非常に大きく、進行にも影響を及ぼす結果となったことから、 K 値以外の指数についても評価するために模擬発破による振動測定を行う。振動予測式については、測定データ数が少なかったことから、求める変数を K 、 n に限定した、Oriard らによる換算距離 ($D/W^{0.5}$) を用いた予測式②を用いることとした。

キーワード：発破振動測定、制限発破、振動予測式

連絡先 〒884-0104 宮崎県児湯郡木城町大字石河内 1261 Tel：0983-32-4024 Fax：0983-32-4079

$$V = K \cdot (D/W^{0.5})^{-n} \quad \dots \dots \textcircled{2}$$

(2)試験方法

工事用トンネル内の側壁に7本の試験孔を穿孔し、側壁を損傷させない程度の薬量（50g, 100g）で順次発破させる。この時、試験孔No.1から50m離れた測点1および25m離れた測点2に受信器を設置してこの時の振動を測定した。図1に模擬発破試験概要図を示す。

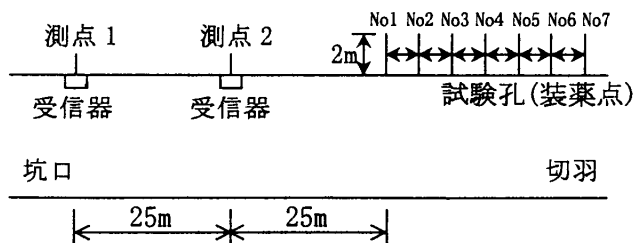


図1 模擬発破試験概要図

(3)試験結果

図2に変位速度と換算距離（ $D/W^{0.5}$ ）の関係を示すが、変位速度と換算距離には高い相関性が見られ、図中の近似曲線式から $K=1,000$, $n=1.94$ が得られる。発破によるエネルギーは壁面に達すると、通常の発破掘削のように壁面が破壊していれば放射されるが、模擬発破試験のように壁面が破壊しなかった場合は反射して内部に伝達する。このため、両者の発破振動値は異なり、模擬発破試験の方が変位速度およびK値を大きく評価することになる。そこで、 n の値は1.94を採用し、K値は本発破試験で得られた変位速度を②式に代入して求めることにした。

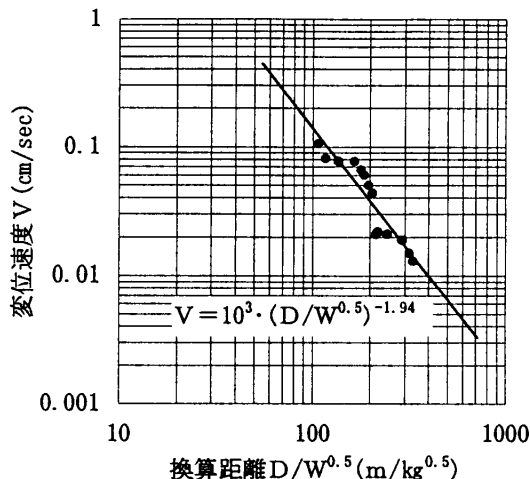


図2 変位速度と換算距離の関係

4. 制限発破計画の検討

(1)K値の評価

K値を発破段数毎に分けて発破パターンを設定すると、発破段数毎に薬量が変わるために装薬作業が非常に煩雑となる。このため、K値は芯抜き発破部（#1）と払い発破部（#2～8）に、さらに払い発破部を払い発破1（#2～8）と払い発破2（#3～7）の2つに分け、3つにグループ化した。表1に示すように、K値は各グループの最大値を採用した。

表1 K値（発破係数）の設定値

項目	発 破 段 数							
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8
最大値	758	217	189	154	82	66	110	261
設定値	758	261	189	189	189	189	189	261

表2 制限発破区間および1段当りの装薬量(単位:kg)

発破パターン	離間距離	芯抜き発破 (K=758)	払い発破1 (K=261)	払い発破2 (K=189)
通常発破	68m以上	10.1	30.4	42.5
パターン1	36m～67m	2.8	8.5	11.9
パターン2	25m～35m	1.3	4.1	5.7
パターン3	17m～24m	0.6	1.8	2.5

(2)発破パターンの検討

表1に基づいて圧力水路への影響を検討したところ、離間距離が67m以下になると、通常の発破では許容変位速度を上回る結果となった。このため、67m以下では3区間の制限発破パターンを設定した。表2に区間毎の装薬量を、図3に発破パターン別進行図を示す。

5. あとがき

今回は、圧力水路という重要構造物近傍を掘削することから、発破振動測定を行って発破振動による影響およびその回避対策を検討した。近接区間では制限発破が必要となったが、制限発破パターンに基づき施工を行った結果、変状は生ぜず、1発破当たりの進行長2.0mを確保して掘削を行うことができた。

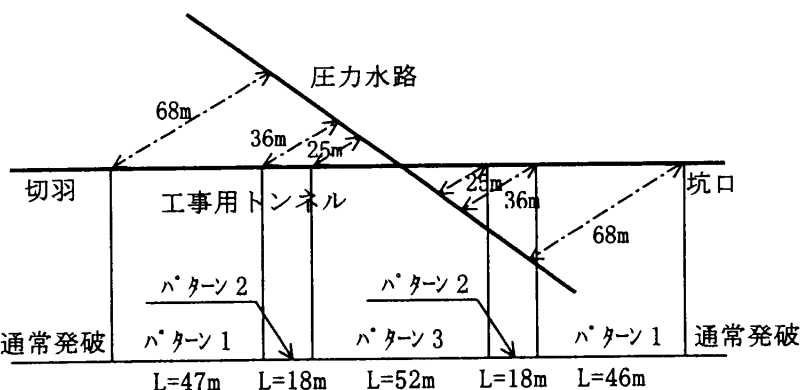


図3 発破パターン別進行図

【参考文献】「発破振動の測定と対策」Charles H Dowding 著：山海堂