

(25) トンネルの先進導坑にTBMを使用した場合の 発破振動低減効果

関西電力(株) 正会員 ○ 斉野 進
関西電力(株) 目見田 哲
(株)間組 久良木法昭

The effect of the TBM pilot to reduce the vibration of the existing structures caused by blasting

Susumu SAINO, The Kansai Electric Power Co., Inc.
Tetsu MEMITA, The Kansai Electric Power Co., Inc.
Noriaki KURAKI, The Hazama cooperation

Abstract

The construction site of Ohi 3,4 plants is adjacent to the existing 1,2 plants in operation, so we should employ the construction method which minimize the impact on them.

In the excavation of the discharging tunnel which is very close to the reactor building, we used the TBM pilot to reduce the vibration caused by blasting

Comparison of the vibration data obtained in the discharging tunnel using TBM and that in other tunnel without using TBM revealed that, in the former case, the vibration was 1/2~1/3 as small as that in the latter case.

1. はじめに

大飯発電所は、現在1、2号機(出力117.5万kW×2基)が運転中であるが、関西電力(株)では、1990年代中期以降の機軸エネルギーとして電力供給の長期安定化を図るため、3、4号機(出力118.0万kW×2基)の増設工事を鋭意進めている。

大飯3、4号機は稼働中の1、2号機のすぐ西隣に設置されるが、既設原子力発電所に隣接して原子力発電所を増設する場合、建設工事中の振動を軽減し、既設発電所の重要機器に影響を与えないよう慎重に施工する必要があり、これが一つの大きな課題である。同発電所増設工事の放水路トンネル工事は、既設発電所の背後山地の硬岩を、延長約190m施工するものであるが、既設2号機の原子炉建屋に非常に近接しているので、通常の発破による上半先進掘削工法では発破振動による既設設備への影響が特に懸念された。このため発破振動の低減を目的に、TBMのパイロット機を放水路トンネルの先進導坑として使用することとし、TBM掘削後、発破によって上半掘削、下半掘削の順で最終断面に拡張した。

放水路トンネルにほぼ平行して掘削した海水管トンネルの作業横坑(発破掘削)と放水路トンネル下口側のTBM発進坑(発破掘削)および放水路トンネルの本施工時に計測した発破振動データを重回帰分析により比較検討することによって、トンネルの先進導坑にTBMを使用した場合の発破振動低減効果について考察したので本稿で報告する。

2. トンネル工事の概要

放水路トンネルは、既設1、2号機の同トンネルの西側に位置し、掘削径約9.6mの馬てい形で延長193mであり、先進導坑として掘削径3.6m (10.2m²) のTBMで掘削したのち、発破により上半掘削、下半掘削の順で最終断面 (82.4m²) に拡幅した。このうち、放水路トンネルの下口 (北) 側16m については、TBM発達用として縦3.8m×横3.8mの断面を発破にて掘削した。(以下『発進坑』という。)

海水管トンネルの作業横坑 (以下『作業横坑』という。) もこれら放水路トンネルとほぼ平行に位置し、延長68mのうち、北側28m間は、掘削断面が縦7.0m×横7.0mで発破による上半掘削、下半掘削で施工し、残り40mは、掘削断面が縦4.7m×横4.8m と小さいため、発破による全断面掘削とした。

これらのトンネルは、既設発電所に非常に近接し、2号機の原子炉建屋との最小距離が約130mである。トンネルの地質はいずれも、夜久野複合岩類 (Ⅱ) に属する輝緑岩および斑れい岩からなり、弾性波速度 (P波) が4.5km/s 以上の新鮮で堅硬な岩盤であり、破碎帯等の大きな弱層部は存在しない。図2に、放水路トンネルの地質状況を示す。

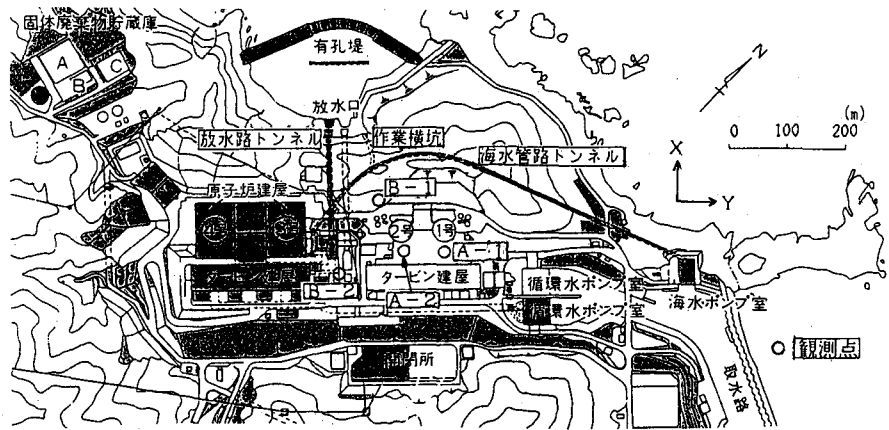


図1. 発電所構内配置図 (観測点位置図)

表1. 発破期間、回数、標準発破パターンの例

	放水路トンネル	発進坑	作業横坑
発破期間	S63.7～S63.11	S63.4～S63.4	S62.9～S62.10
発破回数	350	12	100
標準発破パターン			

– 124 –

3) 発破振動推定式の検討

2) の観測データを用いて、重回帰分析を行った。発破振動推定式の一般形である $V=Q^n/r^m$ を考慮して、薬量 Q と距離 r は、つねに説明変数に取り入れ、統計学的に有意であると認められた変数でも技術的判断を施し、変数の採択、棄却を判定し、得られた回帰式でのモデルの適合性を2重調整済み率で評価した。

その結果、得られた発破振動推定式を示すと、表3のとおりである。

今回得られた式(1)～(6)は2重調整済み率で0.89-0.98と高く、これらの式と一般式と比較した場合の考察は、次のとおりである。

①距離指数は、 $m=2.4-4.0$ で一般的にいわれている $m=2.0$ より大きく、距離に伴う振動の減衰が大きいことを示している。これは

イ) 伝播経路上の岩質(例えば微細亀裂が多いなど)による影響

ロ) 振動に高周波成分が多いこと

によるものと考えられる。

②薬量指数は、作業横坑、発進坑と放水路トンネルとは違が見られる。

作業横坑、発進坑においては、一般的に言われている値($n=2/3-3/4$)より大きめの $n=0.9-1.4$ であり、薬量の変化が振動の大きさに与える影響が大きいことを示しているが、後者では、逆に一般に言われている値より小さめの $n=0.17-0.25$ である。

放水路トンネルの場合、薬量が少ない場合($Q=0.3\text{kg}$)の発破では、弱装薬等により振動値

が大きくなり、一方、薬量を多くした場合($Q=1.5\text{kg}$)の発破では過装薬きみになり、薬量が多いわりには振動値が小さくなり、薬量の増加率にくらべ、振動値の増加率が小さくなったためと思われる。

③芯抜き発破の振動は、払い発破の $10^{0.2}=1.6$ 倍程度であり、一般に言われている値の1.4-1.7とほぼ同じ結果になった。

表3. 発破振動推定式

発破場所	方向	発破振動推定式	備考	式
作業横坑	水平	$A=1.43 \times 10^{10} \cdot Q^{1.35} / r^{4.01} \cdot 10^{0.236} X_1$	$X_1=1$	(1)
	鉛直	$A=1.15 \times 10^9 \cdot Q^{1.23} / r^{3.47} \cdot 10^{0.213} X_1$	; 芯抜き	(2)
発進坑	水平	$A=2.87 \times 10^8 \cdot Q^{0.92} / r^{3.45} \cdot 10^{0.254} X_1$	$X_1=0$	(3)
	鉛直	$A=1.71 \times 10^8 \cdot Q^{0.88} / r^{3.20} \cdot 10^{0.202} X_1$	; 払い	(4)
放水路トンネル	水平	$A=3.72 \times 10^6 \cdot Q^{0.25} / r^{2.56} / 10^{0.161} X_2$	1,2号放水路トンネル	(5)
	鉛直	$A=2.33 \times 10^6 \cdot Q^{0.17} / r^{2.37} / 10^{0.098} X_2$	$X_2=1$; 有り, $X_2=0$; 無し	(6)

(A: 振動加速度値(gal), Q: 薬量(kg), r: 距離(m))

4) TBMによる芯抜き効果

一般に、芯抜き部分に口径の大きな空孔を先に穿設し、この孔の周辺部から順次空孔の方へ向けて発破を行ういわゆるバーンホール等による工法は、発破振動低減として効果があることは知られているが、それを定量的に評価した例は案外に少ない。

今回、筆者等が、放水路トンネル掘削に先進導坑としてTBMを使用したのも、バーンホール等による工法と同様の発破振動低減効果を期待したからであり、その定量的な効果の検討を試みた。

その結果は、以下のとおりである。

①作業横坑のデータでは、振動値が下半に比べ上半では、XY方向で1.27倍、Z方向で1.33倍である。

②放水路トンネルのデータでは、振動値が下半に比べ上半では、XY方向で0.96倍、Z方向で0.81倍である。

③作業横坑と放水路トンネルの下半発破では、発破条件がほぼ同じであるので下半部の振動値を基準とし、上半断面の比較をすると、作業横坑に対し放水路トンネルでは振動値がXY方向で0.76倍、Z方向で0.61倍という結果になる。

以上から、上半発破：TBMによる芯抜き後の上半発破 $\approx 1:0.6\sim 0.8$ となる。したがって、放水路トンネルを発破による芯抜きで行ったとすれば、芯抜き発破の場合の振動値は払い発破の1.6倍程度となることを考えあわせると、先進導坑としてTBMを使用した今回の場合、通常の発破工法と比較して1/2-1/3程度の発破振動低減効果があったといえる。

4. おわりに

トンネル掘削時の発破振動低減効果として、バーンホール等による工法は比較的良好に用いられるが、TBMを使用した大口径の先進導坑の例はほとんどない。筆者の知る限りでは、アルプスの複線鉄道トンネルで、掘削径 3.5m のTBMを使った例のみであるが、残念ながら振動低減効果の定量的な評価は報告されていない。経済性や工期等の要因のため、TBMを使用することは、確かに一般的ではないかもしれないが、今回筆者等は海水管トンネル工事にTBMを採用したため、これを有効利用する機会があり、既設原子力発電所設備の保全を目的に、発破による振動(加速度)を常に監視することとしたため、作業横坑発進孔および放水路トンネルの発破時のすべてのデータを計測し、これらの多数のデータを重回帰分析により検討し、トンネルの先進導坑にTBMを使用した場合の発破振動低減効果を評価した結果、定量的にその有効性が示された。

今回の成果は、トンネル発破時の芯抜き時、払い時、先進導坑後の払い時における振動値の比率の目安を示すものであり、既設構造物に隣接して、特に発破振動が問題となるような場所でのトンネル掘削計画の一助になるものと思われる。

また、トンネルの先進導坑にTBMを使用すれば、芯抜きが不要で、発破振動の低減に大きな効果があるほか、発破で最終掘削断面に拡張する場合の地質の把握とライニング決定資料となるばかりでなく、発破時のベンチレーション対策としても有効であろうと考えられる。

[参考文献]

- (1) 土木技術者のための岩盤力学
土木学会編
- (2) 発破振動の周辺への影響と対策
郷侯 謙、鹿島出版会
- (3) TBM pilots the way for twin track Alpine railway tunnel, David Martin, T&Tl, 1986