

VI-153

トンネル発破時の低周波音レベルの予測式に関する検討

鋼大林組技術研究所 正員 ○ 小 出 忠 男
正員 後 藤 洋 三

1. まえがき

発破による振動や低周波音の障害を未然に防止し工事を円滑に遂行するには、事前に発破振動や低周波音の大きさを予測し、その影響を評価しておくことが重要である。発破振動については著者等の提案式¹⁾も含め多くの予測式が提案されているが、低周波音の予測式はまだ数例しか報告されていない。

そこで、著者等は、低周波音の距離減衰式をトンネル現場における試験発破により求めた。そして他のトンネル現場の実測データを使ってその予測式を検証したので報告する。

2. 予測式の構成

発破時の音圧の減衰式としては、発破点からの距離 L と薬量 W をパラメーターとした山家等の式（開放地の音圧 $P \approx 3 \cdot W^{0.5} \cdot L^{-1.5}$ 、トンネル坑道内の音圧 $P \approx 20 \cdot W^{0.5} \cdot L^{-1.0}$ ）や水島等の式が報告²⁾されている。また、レベル表示での低周波音の減衰式には、黒田等³⁾の式（開放地の音圧レベル $SPL = 10 \log_{10} (L/W^{1/3})^{3.672} + 197$ ）や、坑口からの距離 L を使った縄岡等⁴⁾の式（開放地の低周波音レベル $LSPL = 140 + 10 \log_{10} (L/10)^{-2}$ ）等がある。ここに、縄岡等⁴⁾は、NATM工法で覆工されているトンネル坑道内での実測から、坑道内での距離減衰は1～5 dB/km程度と小さく無視できると報告している。

一方、トンネル工事では、10段以上の段発破による掘削が普通であり、一般に後段になるほど薬量が増加する。そのような時に測定された低周波音レベル波形の一例を図-1⁵⁾に示す。最大値は払い発破の中頃に生じている。すなわち、総薬量が同じでも発破の段数や各段の薬量等の発破条件が異なるとレベル表示が変化することを示している。

したがって、初段の薬量又は総薬量のみを用いた減衰式は段発破の場合に誤差が大きくなる。

これらのことから、本研究は縄岡等⁴⁾の式をもとに初段だけでなく、払い発破時の薬量もパラメーターに加えたトンネル発破時の低周波音の予測式を求めることとした。

3. トンネル現場での測定内容⁵⁾

測定を行なったトンネルはNATM工法で吹付けコンクリートが覆工されている。直径は8 m前後である。

低周波音レベルの測定は、芯抜き発破のみの試験発破時と、21段の多段発破による本発破工事時に実施した。測点は坑口から距離240～430 mの3か所の地表に置いた。測定結果を表-1に示す。

試験発破は薬量を0.2, 0.4, 0.8 kg/段の3種にしたMS雷管による4～6段の段発による芯抜き発破である。

本発破工事は総孔数135孔、総薬量約40 kgによる芯抜きと払い及び盤下げである。その

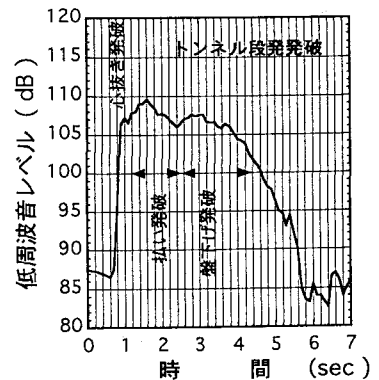


図-1 低周波音レベル記録波形例

表-1 低周波音レベルの測定結果一覧（単位：dB）

発破	薬量 kg/段		測点距離 (m)		
	心抜き	払い	240	360	430
試験発破	0.8	—	98	96	95
	0.8	—	97	92	91
	0.4	—	90	88	86
	0.4	—	90	88	87
	0.2	—	91	87	86
本工事	0.4	1.8	99	95	94
		—	98	94	93
		2.4	99	96	95

内、芯抜き発破は薬量0.4 kg/段でMS雷管による5段、続く払い発破は薬量 1.8と2.4 kg/段のDS雷管による8段である。盤下げ発破は薬量 1.5～3.8 kg/段のDS雷管による8段である。

4. 測定値にもとずいた距離減衰式の設定

①. 芯抜き発破の減衰式の設定： 求める減衰式の形を $S_1 = A + B \log_{10}(W_1) - C \log_{10}(L/10)$ (S_1 : 芯抜き発破時の最大低周波音レベル値, W_1 : 芯抜き発破の薬量, L : 坑口からの距離, A , B , C : 係数) とする。各係数は以下の手順で求めた。

まず、係数 B は、3段階の W_1 と得られた S_1 の関係から、 L が異なる3か所の観測点ごとに B を求めその平均値とした。また、係数 C は、3か所の観測点の L と S_1 の関係から、各発破ごとの C を求めその平均値とした。薬量と距離にかかる理論的な係数値では、薬量が音のエネルギーと比例するので B は10となり、音のエネルギー密度は距離の2乗に逆比例するので C は20となる。この研究で実測から求めた係数 B と C はそれぞれ11.5と21であり、理論値に妥当な値が得られていることがわかる。最後に、係数 A は、求めた係数 B と C の値を上記減衰式に用いて各発破ごとに A を逆算し、その平均値128を A とした。

②. 払い発破を含めた段発破の減衰式の設定： 払い発破による減衰式の形を $S_2 = D \log_{10}(W_2) + S_1$ (S_2 : 段発破の最大低周波音レベル値, W_2 : 払い発破の各段の平均薬量) とする。

係数 D は、本発破工事時の最大低周波音レベル値 S_2 と心抜き発破の式で L と W_1 から算定される S_1 及び W_2 を上記払い発破の式に代入し、各発破ごとに D を求めその平均値11.5とした。

以上の設定で得られた各係数の値を用いれば、段発破時の低周波音（中位値）の減衰式は次式となる。

$$S_2 = 128 + 11.5 \log_{10}(W_1) + 11.5 \log_{10}(W_2) - 21 \log_{10}(L/10) \quad (\text{dB}) \quad \text{--- (1)}$$

5. 予測式の検証

特定の発破条件とデータ個数から設定した減衰式（1）が予測に適用できるかどうかを、発破条件の明確な他のトンネル現場で実測されたデータ⁶⁾を用いて検証した。

図-2はトンネル現場での実測データ値と（1）式で算定した値とを対比したものである。

実測データは段発破時の低周波音を坑口より50～800 m離れた地表で測定した低周波音レベル値である。発破の薬量範囲は心抜き発破で0.4～9 kg/段、払い発破で1～7 kg/段、爆薬は含水爆薬、DS雷管による1段又はMS雷管2～4段の心抜き発破とDS雷管による10段以上の払いと盤下げである。

図より、（1）式で算定した値はこのトンネル現場での実測データとも良く一致していることがわかる。

6. まとめ

算定した減衰式（1）は、多段発破によるトンネル上半掘削時の低周波音レベルの予測式として適用できる。

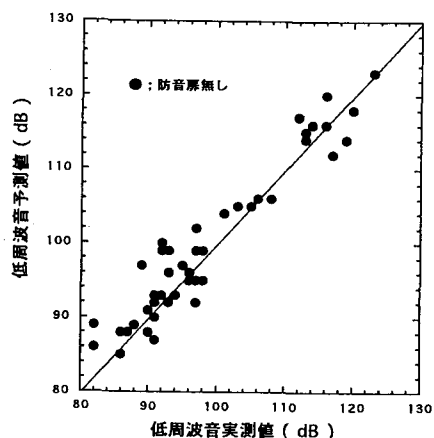


図-2 低周波音予測値と実測値の比較

〈参考文献〉注1)：「統計処理による発破振動予測式の算定」小出、後藤 第47回年次講演会（平成4年）

注2)：「新・発破ハンドブック」工業火薬協会 山海堂 1993.5

注3)：「地中爆発からの大気振動」黒田他4名 工業火薬, Vol.46, No.4, 1985

注4)：「トンネル発破音の特性とその対策例について」縄岡他2名 大林組技術研究所報 No.34, 1987

注5)：「某トンネル工事の発破試験計測データ」大林組 1993

注6)：「某トンネル工事に伴う騒音・振動測定報告書」大林組八本松他4工事事務所 1993～1994