

坑内減衰を考慮した発破低周波音の予測について

Prediction of Infrasonic Sound Produced by Blasting while Considering Attenuation in the Tunnel

小林 真人^{*1} 筒井 隆規^{*2}
 Masahito Kobayashi Takanori Tsutsui
 渡邊 博^{*3} 山田 伸志^{*4}
 Hiroshi Watanabe Shinji Yamada

【キーワード】 トンネル 発破 低周波音 坑内減衰

1. はじめに

トンネル工事の発破掘削により発生する低周波音の予測において、発破に伴い切羽から生じた音波は1次元の連続的な閉鎖空間とみなされるトンネル坑内を伝搬するため、一種の導波管現象と同じように、ほとんど減衰しないでトンネル坑口に伝達するものとされている¹⁾。環境アセスメントに用いられる予測式(1)²⁾においてもトンネル坑内の減衰は考慮されておらず、また、予測式を導くための低周波音の実測範囲も坑内距離が250mまでであることから、これ以上に掘削延長のあるトンネル工事では低周波音の予測に適用しにくいといった課題がある。

このような背景のもと、発破による低周波音の予測精度を向上させることを目的に、施工中のトンネルにおいて低周波音の計測を実施した。本報では低周波音の計測結果に基づき、総爆薬量と最大音圧レベルの関係、切羽からの離隔と最大音圧レベルの関係を整理した。これらの関係から実験式を組み立て、これによる計算値と実測値との比較を行った結果について報告する。

$$L = K + 7 \log_{10} W - 20 \log_{10} R \quad (1)$$

ここで、L:坑外の予測点における低周波音レベル(dB)、K:雷管による定数、W:総爆薬量(kg)、R:坑口から予測点までの距離(m)。

2. 低周波音の計測概要

表-1に低周波音計測時の発破諸元を示す。図-1に低周波音の計測システムを示す。計測点は切羽から約100m離れた地点から25m~200mの間隔で6点設定した。これらの計測点は切羽の進捗に応じて適宜切羽方向へ移動させた。計測機器は、低周波音レベル計:リオン NA-17 (BトンネルのP6とP5はアコー Type6226Hを使用)、データレコーダ:TEAC ES-8である。データはP6の応答を

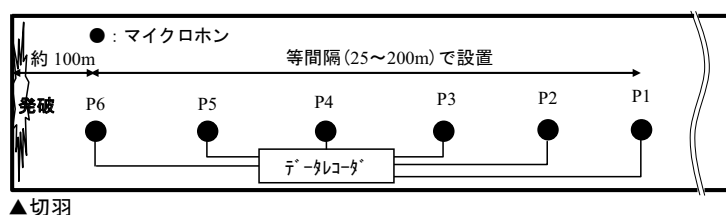
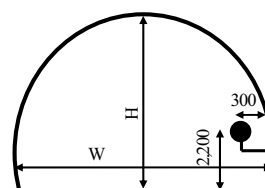


表-1 計測期間における発破の諸元

	Aトンネル	Bトンネル
掘削延長 (m)	4,878	2,074
標準内空断面積 (m ²)	81	80
地山等級	C II	C I
掘削方法	上下半分割	上下半同時
雷管	DS 250ms	DS 250ms
段数	10	10
爆薬	HIGH JEX	HIGH JEX (快力)
総爆薬量 (kg)	7~60	45~111



「W」
 Aトンネル: 12.9m
 Bトンネル: 11.7m
 「H」
 Aトンネル: 7.9m
 Bトンネル: 7.7m

図-1 低周波音の計測システム

トリガとして全計測点の応答を同時にデータレコーダへ記録した。計測した音圧波形から分析器の時定数をSlowとして最大音圧レベルを求めた。

3. 低周波音の計測結果に基づく伝搬特性の検討

坑内での音波の伝搬性状について、筆者らは周波数別の坑内減衰の検討結果から、切羽から概ね200m以内では減衰が生じないことを報告している³⁾。そこで、切羽からの離隔200mまでの計測結果を用い総爆薬量と最大音圧レベルの関係、200mから600mまでの計測結果を用い切羽からの離隔と最大音圧レベルの関係を整理した。

3.1 総爆薬量と最大音圧レベルの関係

図-2に総爆薬量と最大音圧レベルの関係を示す。これらの関係は比例関係にあり、参考文献2)と同様に概ね $7 \log W$ の関係が見られる。ただし雷管の種類による定数Kに相当する総爆薬量1kgの最大音圧レベルは134dBであり、参考文献2)に示された141dBに比べ小さな値となった。

3.2 切羽からの離隔と最大音圧レベルの関係

図-3に切羽からの離隔と最大音圧レベルの関係を示す。ばらつきはあるが200m以遠で、Aトンネルでは概ね $-20 \log D$ (D:切羽からの離隔(m))、Bトンネルでは $-10 \log D$ の坑内減衰が確認できる。既報の参考文献3)で示したよ

1. 建設事業本部 技術研究所 第二研究室 2. 九州支店 新津トンネル作業所 3. 九州支店 大万木トンネル作業所
 4. 放送大学 山梨学習センター

うに、トンネル幅に比べて音波の半波長が短くなる周波数以上の成分(両トンネルとも16Hz)で減衰が大きくなったためと考えられる。ただし、AトンネルとBトンネルでは坑内減衰の傾向が異なった。地山への振動伝搬によるトンネル壁面からの音響放射の違い、覆工割合の違いによるトンネル空間の吸音条件の違い、坑内仮設の違いなどが原因として考えられるが、詳細については今後の検討課題である。

3.3 坑内減衰を考慮した伝搬予測

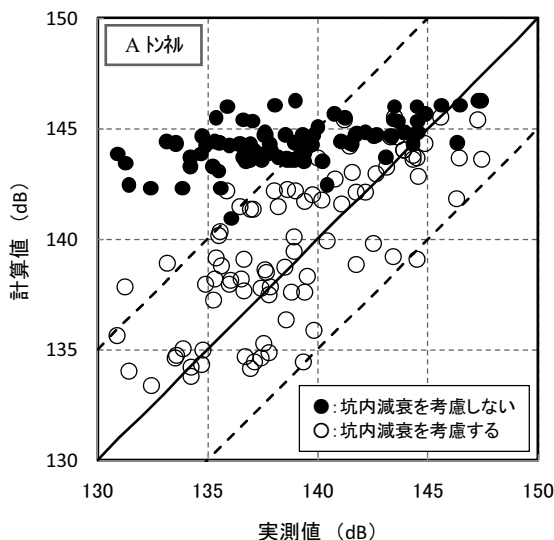
上述の検討結果から、坑内減衰を考慮した伝搬予測式を式(2)に示す。図-4に式(2)で坑内減衰を考慮した場合と坑内減衰を考慮しない場合(N=0)での計算値と実測値との比較を示す。両トンネルとも坑内減衰を考慮しない場合に、実測値が小さくなるほど計算値との差が大きくなり影響を過大評価している。一方で、坑内減衰を考慮することで実測値と計算値との差異は概ね5dBの範囲に入る。これらのことから坑内減衰を考慮することで予測精度が向上することは明らかで、式(2)により坑内減衰を考慮した最大音圧レベルの実用的な予測が可能である。

$$L_D = 134 + 7 \log W - N \log(D/200) \quad (2)$$

ここで、 L_D : 坑内距離D(m)における最大音圧レベル(dB)、 W : 総爆薬量(kg)、 N : 減衰定数(10~20)。

4. まとめ

発破低周波音の計測結果に基づき、坑内減衰を考慮した低周波音の予測に関する実験式を提案した。坑内減衰の傾きはトンネルの施工条件によって異なると考えられるので、式(2)の適用時には減衰定数Nを10~20の範囲で用い、危険側と安全側の減衰を想定する必要がある。また掘削延長の長いトンネルでは、防音計画時に坑内減衰を考慮することで防音扉等の設備についてコストダウンが図れる可能性がある。今後も可能な範囲で現場データを蓄積し予測精度の向上を図りたいと考えている。



【参考文献】

- 1) (社)日本騒音制御工学会低周波音分科会編：発破による音と振動, pp.187-190, 1996.
- 2) 船津弘一郎, 坂野良一：トンネル発破工事における振動, 騒音, 低周波音の予測方法, トンネル工学研究発表会論文報告集第2巻報告(26), pp.215-219, 1992.
- 3) 小林真人, 渡邊博：トンネル坑内を伝搬する発破低周波音の予測に関する研究, 日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, pp.91-94, 2010.

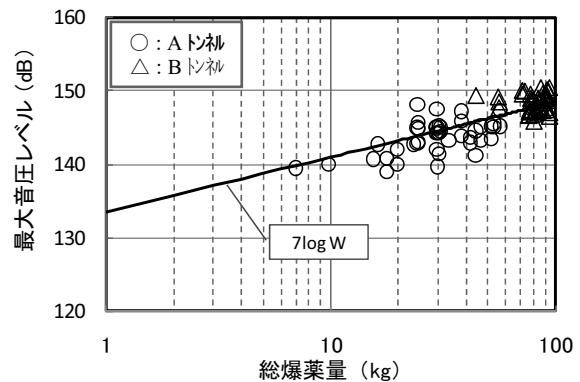


図-2 総爆薬量と最大音圧レベルの関係

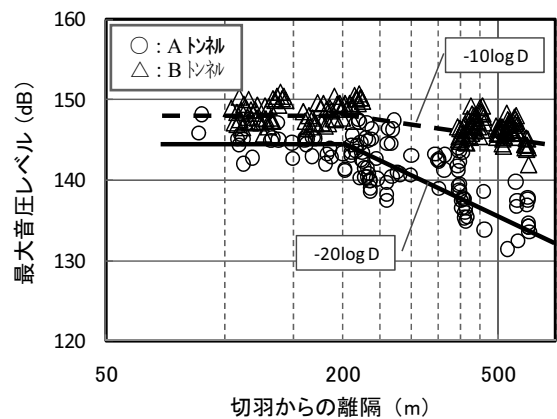


図-3 切羽からの離隔と最大音圧レベルの関係

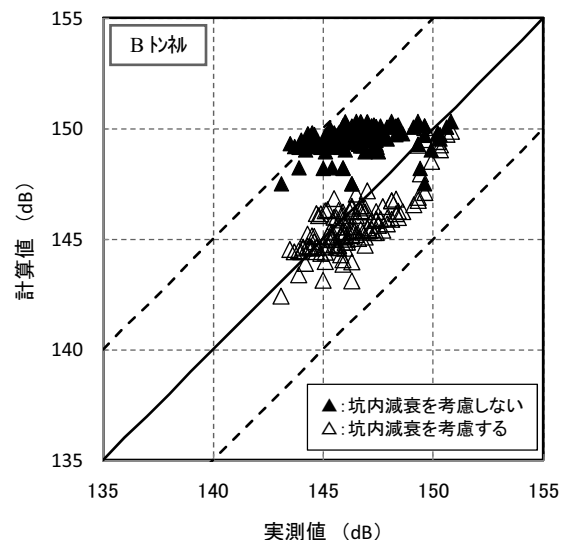


図-4 最大音圧レベルの実測値と計算値の比較