

防音扉が設置されたトンネルにおける発破音の坑内伝播特性の把握とその予測手法

山口大学大学院理工学研究科 学生会員 ○柿木寛也
 中電技術コンサルタント株式会社 正 会 員 石田滋樹
 山口大学大学院理工学研究科 正 会 員 進士正人

1. はじめに

山岳トンネル工法において、トンネルを掘削する場合、時間とコストを削減できることから、発破工法が一般的に採用されている。しかし、発破時に発生する騒音や振動は、近隣住民に心理的・物理的被害を与える影響が指摘されている。そのため、トンネル坑口部に防音扉を設置することが一般的であるが、その設置枚数や厚さには目安はあるものの、経験的に決定されているのが現状である。そこで、防音扉の設計手法の確立を目的として、発破掘削時に発生する周波数成分毎の音圧分布を用いて、数値解析によって音響解析を実施し、防音扉の騒音低減効果を検証する試みが行われている¹⁾。しかし、発破掘削時に使用する火薬量や切羽からの距離によって、その周波数成分毎の音圧分布は異なることが考えられ、現時点では、この数値解析を予測段階で用いることは難しい。

本研究では、トンネル坑内に複数台設置した低周波音計で、発破時に生じる音圧を測定した。そして、発破時に使用する火薬量と切羽からの距離から、発破音の音圧分布の予測式を構築し、防音扉の音響解析を行うための精度の高い予測式を得た。

2. 現場実験

現場実験は、山岳トンネル工法で施工中の A トンネルで実施した。このトンネルでは騒音低減のため、トンネル坑口部に 2 枚の防音扉を設置してある。実験方法は図-1 のように低周波音計(リオン製 NA-17, NA-18)を 200m 間隔でトンネル坑内 6 箇所に設置し、発破時の音圧を測定した。測定は、サンプリングレートを 5kHz とし、発破時前後の 10 秒間のデータを 39 回の発破にて計測した。

3. 周波数分析

周波数分析は時間に伴い変化する関数を周波数の関数に変換し分析を行うものである。音響解析において、時系列で表された音圧データを周波数成分に変換する

ことで、周波数分析が可能となる。一般的に、周波数分析の方法として、騒音を感覚的に評価するオクターブバンド分析と、音を定量的に分析する高速フーリエ変換(以下、“FFT”と略称する)分析がある²⁾。本研究では FFT 分析を行った。

4. 発破音の周波数特性

図-2 は計測地点 P1 と P5 において、測定した音圧時系列データに FFT を実行し、各火薬量における発破を 1/3 オクターブバンドレベルで整理した音圧分布である。この図より、発破音は 50~80Hz 以下の低周波音

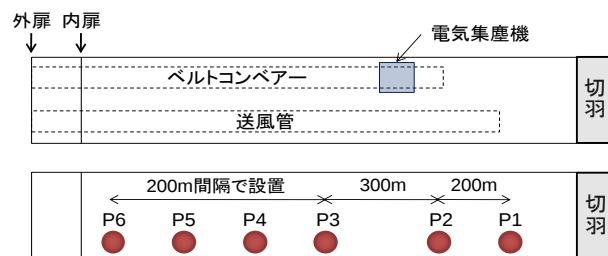
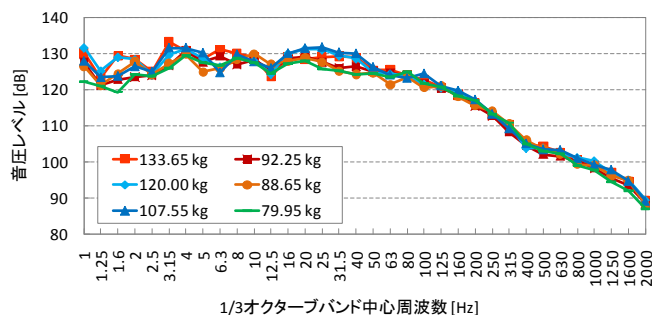
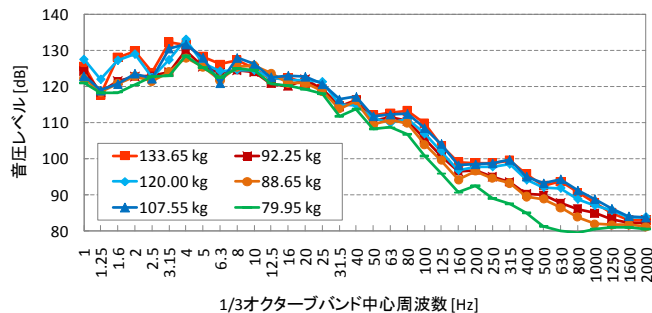


図-1 低周波音計配置図



(1) 計測地点 P1



(2) 計測地点 P5

図-2 FFT 分析結果

キーワード トンネル, 発破, 防音扉, 周波数, 音圧
 連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学大学院理工学研究科 TEL 0836-85-9335

域では比較的大きい音圧レベルを示すものの、火薬量による差異は小さく、火薬量が音圧分布に与える影響は小さいことがわかる。また、距離と音圧レベルの關係に着目すると、図-3 のように低い周波数ではほとんど減衰がみられないのに対し、80Hz 以上の周波数帯域では減衰の仕方が変化することがわかり、周波数が高いほど減衰量も大きくなる。このことから、63Hz と 80Hz を境界として、減衰傾向が変化し、発破音の音圧分布に違いが生じると考えられる。したがって、音圧分布の予測には、1~63Hz と 80Hz 以上の 2 つの周波数領域に分けて検討を行った。

5. 音圧パワースペクトルの予測式

従来のトンネル発破音の予測式では、音を定量的に評価するオーバーオール値での予測であるため、周波数毎の音圧分布がわからない。そこで、本研究では周波数、火薬量、切羽からの距離を変数として、音圧パワースペクトルの予測式を構築する。発破音の周波数特性から 1~63Hz、80~2,000 Hz の 2 つの周波数領域に分割して検討を行った。予測式の構築方法として、図-2 より、1~63Hz では周波数と音圧レベルの關係が線形であるため、線形近似によって構築し、80~2,000Hz では対数的な關係がみられることから、対数近似によって予測式を構築した。以下にその予測式を示す。

$$L_{f=1\sim63} = -0.18 f + 0.07 w - 0.006 D + 124 \quad (1)$$

$$L_{f=80\sim2,000} = -19 \log f + 25 \log w - 23 \log(D/6) + 145 \quad (2)$$

ここで、 L : 1/3 オクターブバンド中心周波数 f (Hz) における音圧レベル (dB), w : 総火薬量 (kg), D : 切羽からの距離 (m)

この式の予測精度を検証するため、図-4 に計測地点 P1(切羽からの距離 241.05m)における総火薬量 95.10kg の発破の予測値と実測値の比較を示す。多少のばらつきがみられるものの、実測値と予測値は比較的良好一致していることがわかる。

次に、この提案した予測式を別の B トンネルへ適用させた結果を図-5 に示す。図からわかるように、B トンネルの実測値と予測値もよく対応していることがわかる。このことから、本研究で提案した予測式の汎用性は高いといえる。

6. 結論

本研究ではトンネル坑内における発破時の音圧パワースペクトルの予測式を提案した。その予測式を別のトンネルに適用したところ、実測値と予測値が対応し

ていることから、提案した予測式によって実際の発破において生じる音圧分布を再現でき、防音扉の騒音低減効果を検証する数値解析への適用に期待できる。しかし、本研究で行った現場実験では発破段数が全て同じであり、段数の違いが発破時に生じる音圧の大きさに影響している可能性もある。また、地山条件なども影響することが考えられるため、今後、本研究と測定条件が異なる現場で実験を行うことで、提案した予測式の精度を検討したい。

参考文献

- 1) 石田滋樹・森厚夫・進士正人, 「トンネル防音扉の発破騒音低減解析への統計的エネルギー解析法の適用」, 土木学会論文集 G(環境), vol.67, No.1, pp.11~20, 2011
- 2) 鈴木昭次・西村正治・雉本信哉・御法川学, 「機械音響工学」, コロナ社, pp.58~67, 2004.4

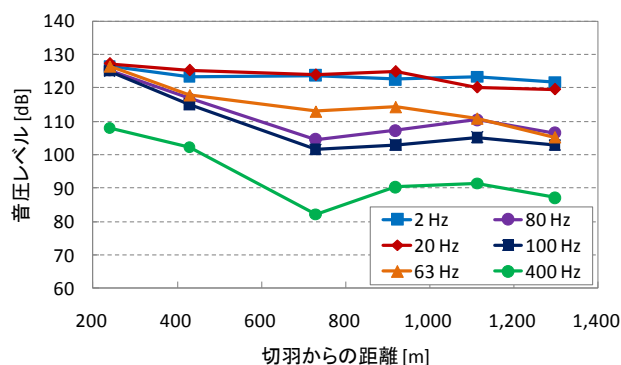


図-3 距離と音圧レベルの關係

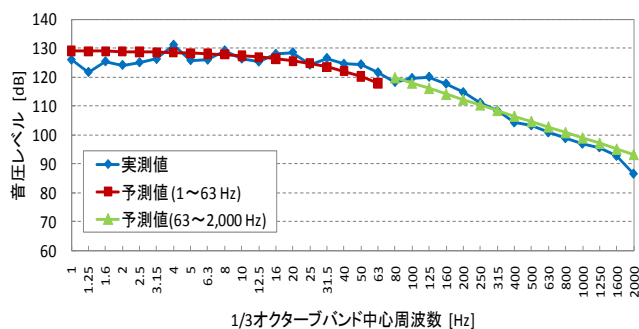


図-4 実測値と予測値の比較

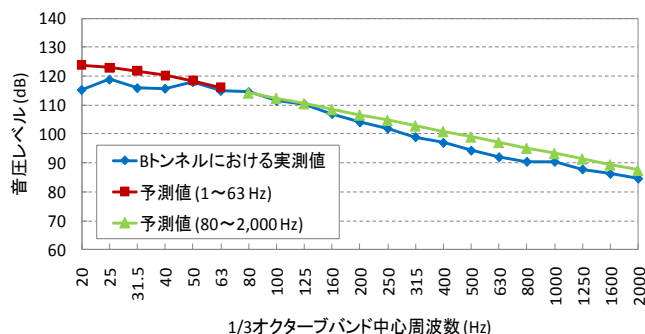


図-5 B トンネルへの適用結果