

発破時に発生するトンネル坑内の音圧の伝播特性の把握とその予測

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 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、発破掘削が一般的に利用されている。しかし、発破時に発生する騒音や振動は、近隣住民に心理的被害や物理的被害を与えるリスクが指摘されている。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一応目安はあるものの、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は異なることが考えられる。

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、発破に使用する火薬量と切羽からの距離から、音圧パワースペクトルの予測式の構築を行い、より精度の高い防音扉の音響解析の入力データを得ることを目的とする。

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、トンネル坑口部に防音扉を2枚設置してある。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、時系列で表されたデータを周波数成分に変換することで、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、音を定量的に評価する高速フーリエ変換(以

下、"FFT"と略称する)分析がある²⁾。本研究では発破音を定量的に分析するため、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、各火薬量の1/3オクターブバンドレベルで整理したものである。この図より、発破音は50~80Hz以下の周波数で音圧レベルは比較的大きい値を示すものの、火薬量によって音圧レベルに大きな差が生じていないことがわかる。また、距離と音圧レベルの関係に着目すると、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以上の周波数では音圧レベルの減衰が大きいことがわかる。このことから、発破音の予測には、1~63Hzと

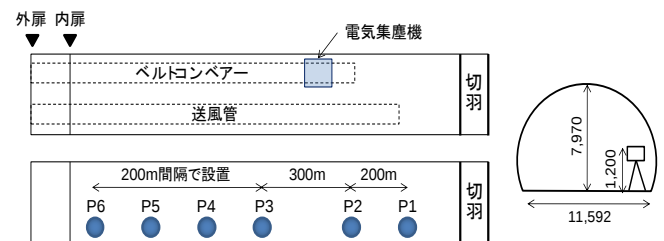
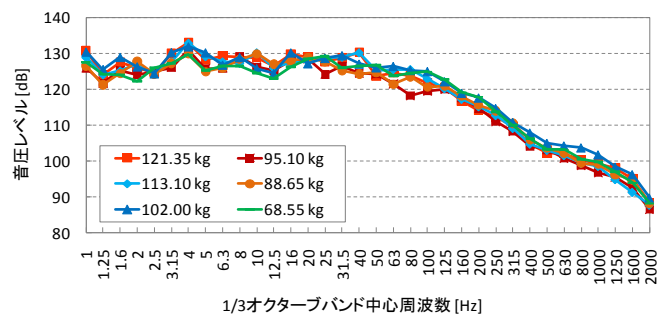
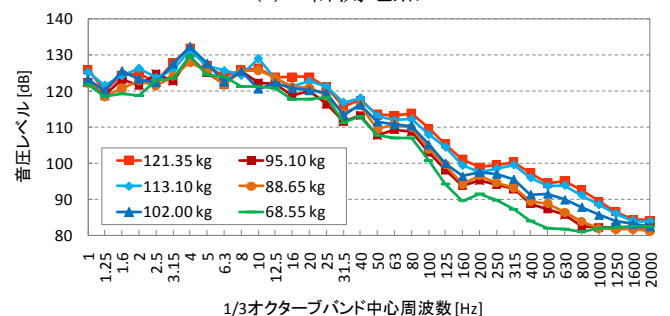


図-1 低周波音計配置図



(1) 計測地点 P1



(2) 計測地点 P5

図-2 FFT 分析結果

80Hz 以上の 2 つの周波数領域に分けて検討を行う必要があると考えられる。

5. 既往の研究との比較

現在、発破音の予測式として船津が提案した予測式³⁾(以下, ”船津式”と略称する)が提案されており, 実現場では, 船津式で算出される値と騒音規制値を比較することで, 防音扉の枚数などを決定している。そこで, 図-4 に計測地点 P1 における本研究の実験結果と船津式で算出される値の比較を行った。図からわかるように, 傾きはほぼ類似しているが, 予測値と実測値では約 15dB 程度の大きな差がみられる。これは, 表-1 に示すように, 段数や切羽からの距離の測定条件が大きく異なるためと考えられる。

6. 音圧パワースペクトルの予測式

船津式などの従来の予測式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, 周波数毎の音圧レベルがわからない。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関係が線形であるため, 線形近似によって構築し, 80~2,000Hz では対数的な関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-5 に計測地点 P1 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に対応していることがわかる。

7. 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。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全て同じ発破段

数であり, 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, 2011.2.15 登載
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
3) 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, pp.215~220, 1992.10

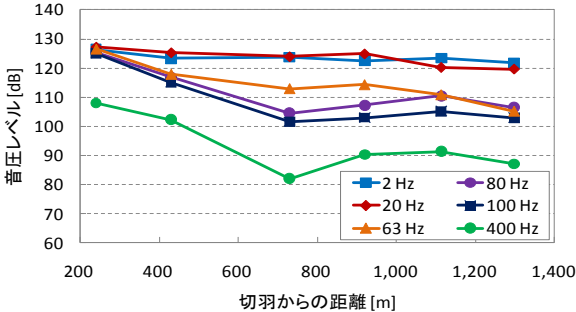


図-3 距離と音圧レベルの関係

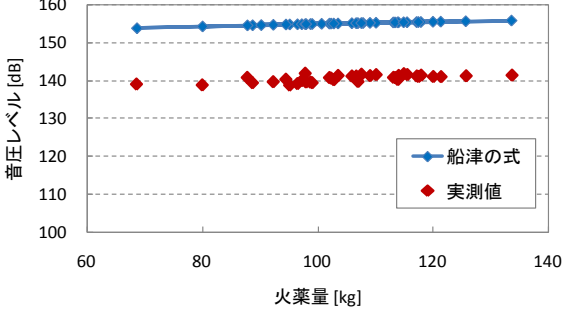


図-4 既往の研究との比較

表-1 測定条件

	船津の式	本研究の実験
総火薬量 (kg)	2.5 ~ 124	68.55 ~ 133.65
段数	10 ~ 20 段	10段
切羽からの距離 (m)	70 ~ 250	239 ~ 1,372

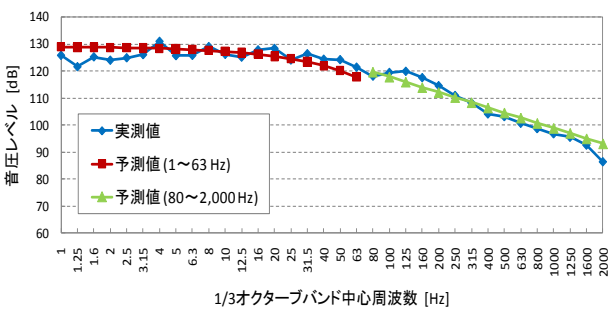


図-5 実測値と予測値の比較