

アクティブ・ノイズ・コントロールによるトンネル発破音低減に関する検討

鹿島建設(株) 正会員 ○佐野雄紀 大西健司 田淵哲也 末吉隆信 埴原新奈 矢入幹記

1. はじめに

山岳トンネルの火薬を用いた発破工法では、しばしば発破音に含まれる低周波音により近隣民家のサッシを揺らすなどの影響を及ぼす。その主な対策として防音扉¹⁾の設置が挙げられるが、低周波音に対しては十分な減音効果を得るには至っていない。そこで山岳トンネルの坑口から発生する発破音のような広い面的な騒音を発する音源(以下、広い面音源)に対応可能なアクティブ・ノイズ・コントロール(以下、ANC)を用いた騒音低減手法を提案し、シミュレーションとフィールド実験を実施した。本報文は、その概要について報告する。

2. ANCのシステム概要

ANCとは制御用スピーカから制御音を出力し、騒音を打ち消して減音するものである。図-1にシステム概要を示す。広い面音源から発生する騒音Rの制御点マイクにおける音の特性Eは騒音Rの伝搬特性Tr、Cr、Cを用いて式(1)で与えられる。制御点マイクにおいて騒音Rを打ち消す(E=0)ためには制御システムの制御特性Wrを式(2)のように設定し、制御用スピーカからWrに基づく制御音を出力する必要がある。

$$R \cdot Cr \cdot Wr \cdot C + R \cdot Tr = E \quad (1)$$

⇓ E=0として式変形

$$Wr = -R \cdot Tr / (R \cdot Cr \cdot C) = -Tr / (Cr \cdot C) \quad (2)$$

一方、広い面音源の近傍に置いた模擬音源スピーカより出力される模擬音Iを打ち消すための制御システムの制御特性Wiは式(3)で与えられる。

$$Wi = -Ti / (Ci \cdot C) \quad (3)$$

(Ti, Ci, C: 模擬音Iの伝搬特性)

広い面音源から制御システムと制御点マイクの距離を十分に遠方に置くことで騒音Rと模擬音Iの伝搬特性は近づき(Tr≐Ti, Cr≐Ci)、制御特性も近似できる(Wr≐Wi)。そのため制御特性Wiを用いて広い面音源からの騒音Rは制御できる可能性がある。

3. シミュレーション

時間領域差分法(FDTD法)によるシミュレーションを用い、ANCの減音領域と減音量の把握を試みた。表-1にシミュレーション条件、表-2に音源と制御点の数量と配置を示す。地形条件は後述するフィールド実験と同じものを用い、地面や障害物に衝突した音は全反射する設定にした。騒音源には広い面音源を模した点音源9個を用いた。

図-2にシミュレーション結果を示す。制御音源からの距離10m以降から減音領域が始まり、制御音源から距離が離れるほど減音領域は広がった。シミュレーションにより広い面音源から制御音源と制御点の距離を離れた場合の減音効果が確認された。

キーワード: 山岳トンネル、発破、低周波音、アクティブ・ノイズ・コントロール

連絡先 〒107-8348 東京都港区赤坂6-5-11 鹿島建設(株) 機械部 TEL 03-5544-0874

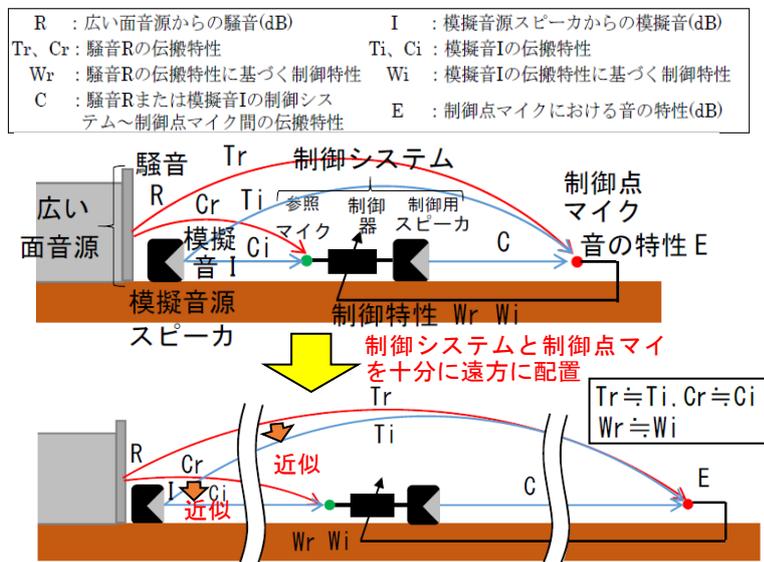


図-1 ANCのシステム概要

表-1 シミュレーション条件

| 項目 | 計算条件 |
|-------|------------|
| 格子間隔 | 0.07m |
| 時間間隔 | 0.0001秒 |
| 計算時間 | 1.7秒 |
| 音源の種類 | ガウシアンパルス |
| 周波数範囲 | 8~125Hz |
| 境界条件 | 地面や障害物は全反射 |

表-2 音源と制御点の数量と配置

| 騒音源 | 数量 | 点音源 9個 (水平方向3個×鉛直方向3個。音源間の間隔@5m) |
|------|----|-------------------------------------|
| | 配置 | 高さ1m |
| 制御音源 | 数量 | 点音源 1個 |
| | 配置 | 高さ1m 騒音源から距離50m |
| 制御点 | 数量 | 1ヶ所 |
| | 配置 | 高さ1m 制御音源から距離150m |

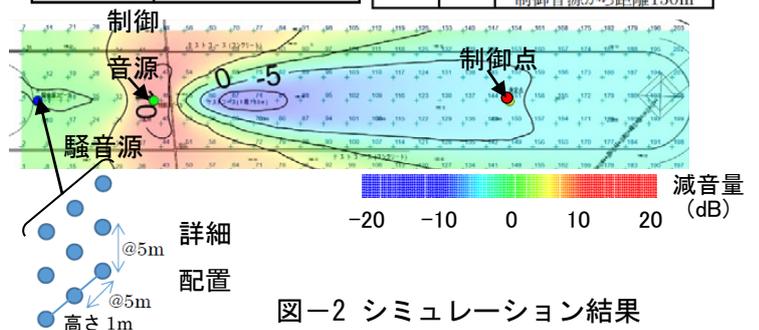


図-2 シミュレーション結果

4. フィールド実験

シミュレーションの結果を受け、フィールド実験を実施した。実験は制御特性の近似 ($W_r \approx W_i$) の検証ではなく、その前提となる模擬音源スピーカによる制御特性 W_i を用いた場合のフィールド上における減音領域を把握することを目的に行った。芝生で覆われ一部、若干の反射の影響も想定される壁面や森林があるフィールドで実施した(写真-1)。

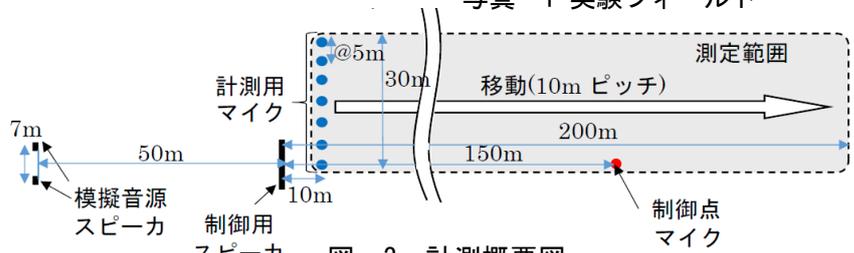
4.1 実験方法

表-3 に実験用資機材の数量と配置、図-3 に計測概要図を示す。模擬音源スピーカからピンクノイズ(各周波数帯域に均等な音圧を含んでいるノイズ)と制御用スピーカから制御音を発生させて、計測用マイクにより測定した。計測用マイクを制御用スピーカから距離 10~200m 地点まで 10m ピッチに移動させて、各地点において測定を実施した。減音量は ANC 制御の有無によるデータを取得し、その差分から算出した。



表-3 実験用資機材の数量と配置

| 機器 | 数量 | 配置 |
|----------|-----|--|
| 模擬音源スピーカ | 2台 | スピーカ間の距離: 7m |
| 制御用スピーカ | 10台 | 騒音源スピーカより距離: 50m スピーカ間の距離: 1m |
| 制御点マイク | 1台 | 制御用スピーカから距離: 150m マイク高さ: 1.0m |
| 計測用マイク | 7台 | 制御用スピーカから距離: 10~200m マイク間の距離: 5m マイク高さ: 1.5m |



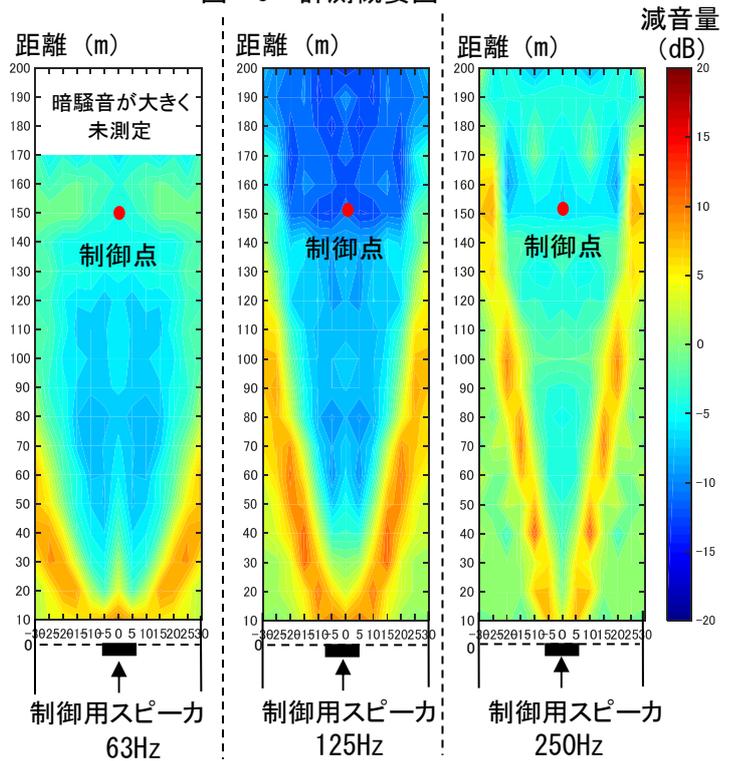
4.2 実験結果

図-4 に周波数 63Hz、125Hz、250Hz における実験結果、表-4 に各周波数の減音領域を示す。

表-4 各周波数の減音領域

| 周波数 | 奥行方向 | 水平方向 | |
|-------|---------------|---------------|----------------|
| | | 制御音源から距離50m地点 | 制御音源から距離100m地点 |
| 63Hz | 制御音源から距離20m以降 | 30m | 60m |
| 125Hz | 制御音源から距離40m以降 | 10m | 40m |
| 250Hz | 制御音源から距離20m以降 | 10m | 20m |

63Hz、125Hz、250Hz の結果を比較すると、減音領域の広さは 63Hz > 125Hz > 250Hz となった。その理由として周波数が低いほど位相は合いやすいことが挙げられる。一方、減音領域の両側において音の増幅も確認された。これは、当該エリアにおいては騒音が同位相に近くなったために増幅したと考えられる。



5. まとめ

シミュレーションにより、広い面音源から制御音源と制御点を離れた場合の減音効果が確認された。またフィールド実験により、模擬音源スピーカを用いた場合に一定の領域で減音することが確認された。今後、山岳トンネルの発破音のような広い面音源への本システムの適用に向けて更なる検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 阪上公博ら：防音扉による低周波音の遮音特性に関する基礎的研究，神戸大学大学院研究科紀要 第1号，pp22-28, 2010.1