

制御エリアを限定した ANC によるトンネル発破音の低減効果

株式会社フジタ 正会員 ○阿部 将幸
 株式会社フジタ 正会員 野間 達也
 株式会社フジタ 小谷朋央貴
 株式会社フジタ 漆戸 幸雄

1. 目的

音の波動性を利用したアクティブノイズコントロール（以下、ANC）は、波長の長い低周波音の低減に適した手法である。最近のデジタル信号処理装置の性能向上と低廉化により騒音対策技術の選択肢の一つになりつつあり、様々な分野への適用例が報告されている¹⁾²⁾。トンネル発破音を制御する場合、制御エリア拡大のためには、坑口、若しくは坑内に二次音源を配置する事が理想的であるが、一般的なスピーカでは発破音と同振幅の逆位相音を発生させることが困難であり、発破音への適用事例は極めて少ない³⁾⁴⁾。

本報では、ANC による制御対象を坑外の特定エリア（近隣民家の敷地内を想定）に限定することにより、制御スピーカの出力や設置台数を抑えることを目的とした発破音低減の試みについて報告する。

2. 制御対象範囲

制御対象とする近隣民家が坑口から 100m 点に存在すると想定し、坑口と二次音源の距離を 90m、二次音源と制御点の距離を 10m とし、坑口、二次音源、制御点を直線状に配置した場合の位相干渉による発破音低減効果を波動音響解析により検証した。

x-y 面($z=0\text{m}$)、z-x 面($y=0\text{m}$)を対称面とし、 $x=0\text{m}$ 、 $y=0\text{m}$ 、 $z=0\text{m}$ に点音源（振幅：100[Pa]、位相 0[deg.]）、 $x=0\text{m}$ 、 $y=90\text{m}$ 、 $z=0\text{m}$ に二次音源（点音源）を配置し、 $x=0\text{m}$ 、 $y=100\text{m}$ 、 $z=1.5\text{m}$ の制御点で音圧が 0 となるよう二次音源の振幅、位相を設定した。制御点周辺 $x=-25\sim 25\text{m}$ 、 $y=90\sim 140\text{m}$ 、 $z=1.5\text{m}$ における 16Hz、31.5Hz、63Hz の音圧レベル、及び制御前と比較した低減量分布を図 1 に示す。何れの周波数でも制御点近傍では 10dB 以上の低減効果が得られ、二次音源、制御点の直線上に制御エリアが広がっていることがわかる。

一方、制御点から直線方向に遠ざかるにつれ低減効果が小さく、水平方向に離れるにつれ一部で増幅エリアが生じるなど、低減エリアは限定的であることがわかる。これは、三次元空間での伝搬音は距離の二乗に反比例して減衰するため、坑口からの伝搬音と二次音源からの制御音の振幅のズレが制御点から離れるにつれ大きくなること、坑口からの伝搬音が平面波に近い形状であるのに対し、二次音源からの発生音が球面波に近い形状となり、波長の短い高周波音になるほど位相のズレが大きくなることが要因である。

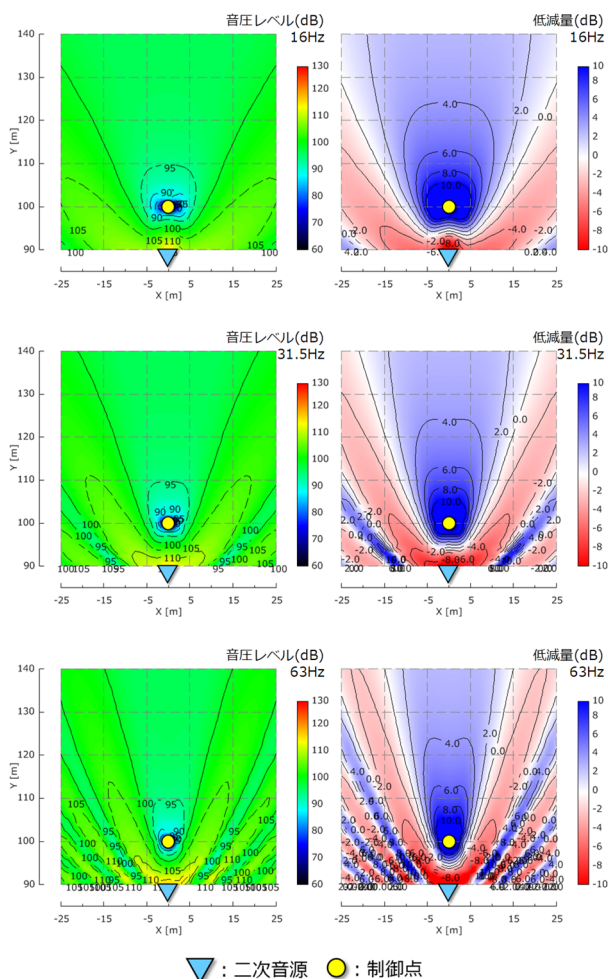


図1 ANC制御後の音圧レベル分布、及び低減量分布 $z=1.5\text{m}$

キーワード トンネル、発破、低周波音、アクティブノイズコントロール、ANC

連絡先 〒243-0125 神奈川県厚木市小野 2025-1 ㈱フジタ建築本部建築 EC 環境技術部 TEL 046-250-7095

3. 現場適用実験

実際のトンネル発破音に対する ANC 制御の効果を検証するため、坑口から約 150m 点の橋上にある工事用ユニットハウスを制御対象とした現場適用実験を行った。参照点 1 箇所、制御点、二次音源をそれぞれ 2 箇所とするフィードフォワード (1-2-2) 制御システムを採用し、図 2、写真 1 に示す様、ユニットハウスからの反射音の影響を最小限に抑えるレイアウトとした。制御時間は発破音継続時間と同程度とし、発破音を複数回制御することにより制御フィルタを更新した。測定量は 1/3 オクターブバンド音圧レベルの最大値、時間重み特性は Slow とした。

発破毎に参照点 (R1)・制御点 (C1) 間の音圧レベル差を測定し、予め ANC 非制御時に測定した参照点 (R1)・制御点 (C1) 間の音圧レベル差の 5 回平均値と比較することで算出した、制御点 (C1) における低減効果を図 4 に示す。ANC の制御回数が増すにつれ徐々に低減量が増大し、制御 4 回目に 31.5Hz、63Hz 帯域で最大 8dB の低減効果を確認した。同様に、参照点 (R1) とユニットハウス内受音点 (P1~P4) との音圧レベル差を ANC 非制御時の 5 回平均値と比較した結果を図 5 に示す。50Hz 以上の低減量に多少のバラつきがあるものの、ユニットハウス内の各点で制御点と同様の低減効果が得られていることを確認した。

ここで、ANC 制御 5 回目に観測したユニットハウス内平均音圧レベルと、各受音点にユニットハウス内の低減量 (図 5) を加算した後に平均した ANC 非制御時の室内音圧レベル推定値との比較を図 6 に示す。ANC 非制御時のユニットハウス内音圧レベルは 25~63Hz 帯域が卓越した周波数特性であったと推定されたが、ANC 制御により卓越成分が低減され、騒音レベルで 7.0dB、低周波音レベルで 4.1dB 低減できていることがわかる。

4. まとめ

制御エリアを限定した ANC による発破音制御について、波動音響解析、現場適用実験により低減効果を確認した。

制御対象を 100Hz 以下の低周波音に限定することにより、スピーカ 1 台で約 200 m²程度の範囲内を 5~10dB 程度低減させることが可能であることや、二次音源を水平方向に並列配置することで水平方向の低減エリアを拡大することも可能であることから、予め制御対象エリアや坑口からの伝搬距離、制御周波数帯域などの条件を確認し、システム設計を行うことで有効な発破音対策ツールとなると思われる。

参考文献

- 1) 西村正治、宇佐川毅、伊勢史郎、梶川嘉延 新版 アクティブノイズコントロール、コロナ社、2017。
- 2) 漆戸幸雄、阿部将幸 建設重機が発生する低周波音のアクティブノイズコントロールによる制御、フジタ技術研究報告第49号、2013。
- 3) 稲葉秀雄、福田雅司、上田泰孝 : アクティブノイズコントロールによる発破音低減の試み、土木学会第67回年次学術講演会論文集、2012.9。
- 4) 後藤達彦、江波戸明彦、西村修、佐野雄紀、三浦悟、松井信行 : トンネル発破音に対するアクティブノイズコントロール適用性の検討、日本音響学会2012年秋季研究発表会講演論文集、2012.9

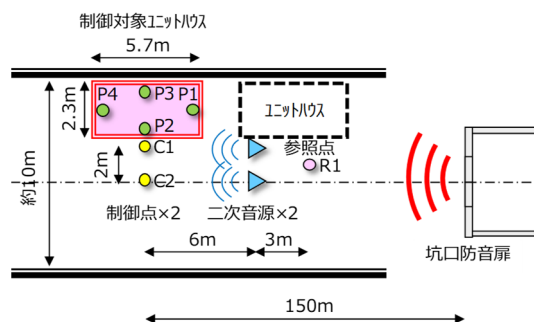


図2 現場適用実験の概要



写真1 現場適用実験の様子

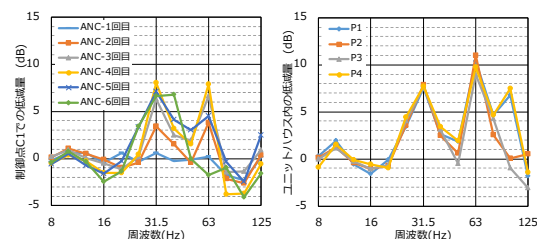


図4 制御点(C1)における低減量

図5 ユニットハウス内低減量(ANC5回目)

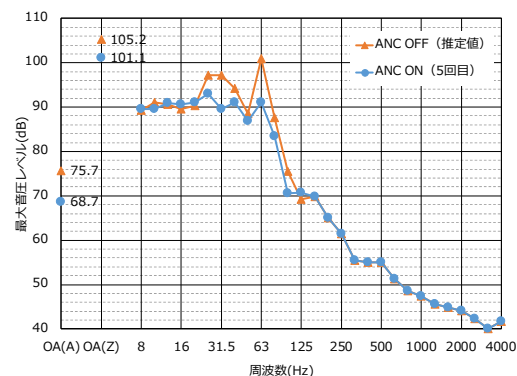


図6 ユニットハウス内平均音圧レベル