

## ANC を用いた建設機械騒音の低減

小林 正明<sup>\*1</sup>

半田 雅俊<sup>\*2</sup> 柳楽 毅<sup>\*3</sup>  
松岡 明彦<sup>\*1</sup> 鈴木 信也<sup>\*1</sup>

### 概 要

建設工事騒音の対策では、特に低周波数帯域の音圧レベル低減が課題とされている。これは遮音壁や防音シートの設置といった従来の対策が高周波数帯域に有効であるものの、低周波数帯域においては明らかな効果がみられないためである。アクティブ騒音制御（ANC: Active Noise Control）はマイクやスピーカ等の電気音響機器を利用し、対象とする騒音と逆位相の音を放出することで原音をキャンセル消音する技術であり、低周波数帯域の音圧レベル低減に有効である。

本報告では、低周波数帯域にピークを有する掘削機のマフラー騒音に ANC を適用した事例を報告する。

### Active Noise Control of Construction Machine Noise

Masaaki KOBAYASHI<sup>\*1</sup> Masatoshi HANDA<sup>\*2</sup>  
Takeshi NAGIRA<sup>\*3</sup> Akihiko MATSUOKA<sup>\*1</sup>  
Shinya SUZUKI<sup>\*1</sup>

In solving construction noise problem, it is necessary to find out how to reduce the noise at low frequencies. When a sufficiently large solid screen is erected between a noise source and receiver, a finite noise reduction can be expected on the receiving side because of the acoustic shadow, but the sound transmission loss and diffraction effect are large at high frequencies and small at low frequencies. There is a device, which uses a microphone and speaker system in order to cancel the noise by generating sound in antiphase, called an active noise control as noise control at low frequencies. This method has become effective for localized spaces such as air-conditioning ducts.

In this paper, it is investigated the effect of ANC for noise with a peak in the low frequency range generated from construction machine.

<sup>\*1</sup> 技術研究所 <sup>\*2</sup> 技術企画部 <sup>\*3</sup> 環境ソリューション部

<sup>\*1</sup> Technical Research Institute <sup>\*2</sup> Department of Research Planning and Management <sup>\*3</sup> Environment Solution Department

# ANC を用いた建設機械騒音の低減

小林 正明<sup>\*1</sup> 半田 雅俊<sup>\*2</sup>  
 柳楽 毅<sup>\*3</sup> 松岡 明彦<sup>\*1</sup>  
 鈴木 信也<sup>\*1</sup>

## 1. はじめに

近年、建設工事騒音に関する苦情件数は増加傾向にあり、建設工事における工事騒音対策はこれまで以上に重要な問題となっている。

従来の建設工事騒音対策として、遮音壁や防音シートの設置が挙げられる。しかし、透過損失や回折に伴う減衰効果は高周波数帯域の音圧レベル低減には大きな効果がみられるものの、低周波数帯域においては明らかな効果がみられないのが実状であり、その低減対策が課題とされている。

低周波数帯域の騒音低減手法として、原音と逆位相の音をスピーカなどの2次音源から放射し、原音をキャンセル消音するアクティブ騒音制御技術（以下ANC: Active Noise Control）が知られている。ANCの屋外騒音への適用については、これまでにも多くの報告がなされているが<sup>1)</sup>、その多くは遮音壁にANCを付加する形態や局所空間の制御について示されたものであり、空間的、時間的変動が複雑な建設工事の発生音源そのものへのANCの適用事例はみられない。

本報告では、建設機械から発生する様々な騒音の中から低周波数帯域にピークを有する掘削機のエンジンマフラー騒音に着目し、ANCを用いた騒音低減対策手法を紹介する。

## 2. 実験1 - ANCによる掘削機の騒音低減効果

低周波数帯域にピークを有する掘削機のエンジンマフラー騒音にANCを適用した場合の騒音低減効果を確認する。

### 2.1 ANCシステム概要

図-1に本実験で用いたANCのシステムブロック図を示す。本実験では、放射音をとらえるためのマイクロホン（センサマイク）を設置せず、ANCによる制御効果を監視するマイクロホン（エラーマイク）のみを設置するフィードバックシステムを採用した。

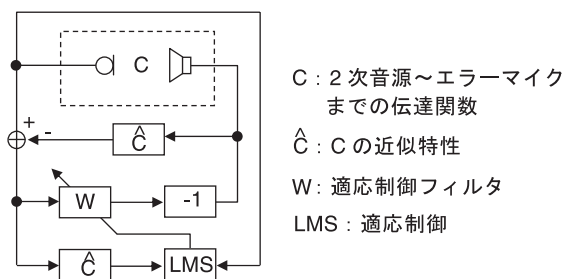


図-1 ANCシステムブロック図（実験1）

### 2.2 実験概要

スピーカ（2次音源）とエラーマイクの設置状況を写真-1に示す。2次音源には制御対象の騒音と同等の音圧レベルが必要となる。本実験では、2次音源スピーカとして、口径30cm（40cm×40cm×50cmのエンクロージャに搭載）のものを2個用いた。なお、スピーカおよびエラーマイクの設置はいずれも排気口近傍とした。

実験は屋外で実施し、図-2に示す各測定点において、掘削機稼動時にANCをOFFまたはONとした場合の音圧レベルから騒音低減効果を確認した。なお、各測定点は掘削機の排気口を中心とした同心円状に位置しており、測定点の高さは排気口と等しい高さ（GL+2.3m）とした。

### 2.3 実験結果

エンジン出力を50%にセットし、油圧負荷をかけた状態における音圧レベル測定結果を図-3に示す。図中の●と○はANCの状態を表し、それぞれ制御OFFとONを表す。



写真-1 2次音源およびエラーマイク設置状況（実験1）

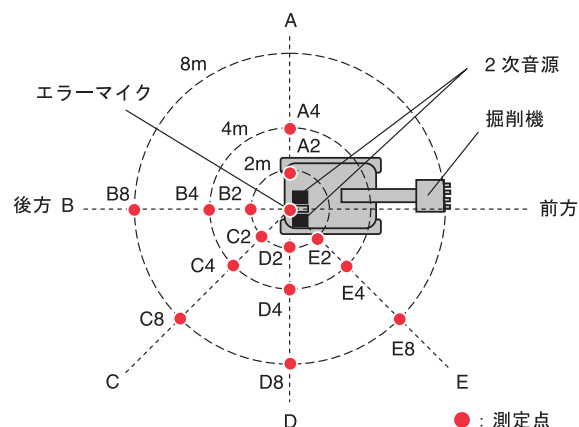


図-2 ANCシステムブロック図（実験1）

<sup>\*1</sup> 技術研究所 <sup>\*2</sup> 技術企画部 <sup>\*3</sup> 環境ソリューション部

ANCがOFFの場合、掘削機の発生騒音周波数特性はいずれの測定点においても63Hz帯域のみに鋭いピークがあらわれ、建設機械周辺においてかなり耳障りな騒音が発生している。これに対し、ANCがONの場合、エラーマイク点では63Hz帯域において25dB程度の低減効果が得られており、鋭いピークはみられない。同様の傾向が2次音源スピーカの正面に位置する測定点(B2、B4、B8)や2次音源スピーカの正面より外れた領域に位置する測定点(C8、E8)にもみられた。

実験1の各測定点について、制御OFFおよびONの各状態における63Hz帯域音圧レベルとその低減量を表-1に示す。騒音源であるマフラー近傍に2次音源スピーカを配することで、広範囲において低周波数帯域における音圧レベルの低減効果が確認された。

### 3. 実験2 - 2次音源スピーカに設置したレジューサの効果

騒音源であるマフラーの位置や2次音源として使用するスピーカの口径にかかわらず2次音源を騒音源に近接させる方法としてレジューサ(管径の異なる管の接続用管継手)を使用し、スピーカ前面にレジューサを設置した場合の3次元空間での音圧レベル低減効果を確認する。

#### 3.1 実験概要

実験は当社技術研究所簡易無響室で行った。図-4に実験およびANCシステムのブロック図を示す。

図-5に騒音源および2次音源スピーカの配置を示す。マフラーを模擬した騒音源には、スピーカ前面にレジューサを常設し、筒先は内径12.5cmとした。2次音源スピーカは口径25cm(30cm×30cm×25cmのエンクロージャに搭載)のものをひとつ使用し、筒

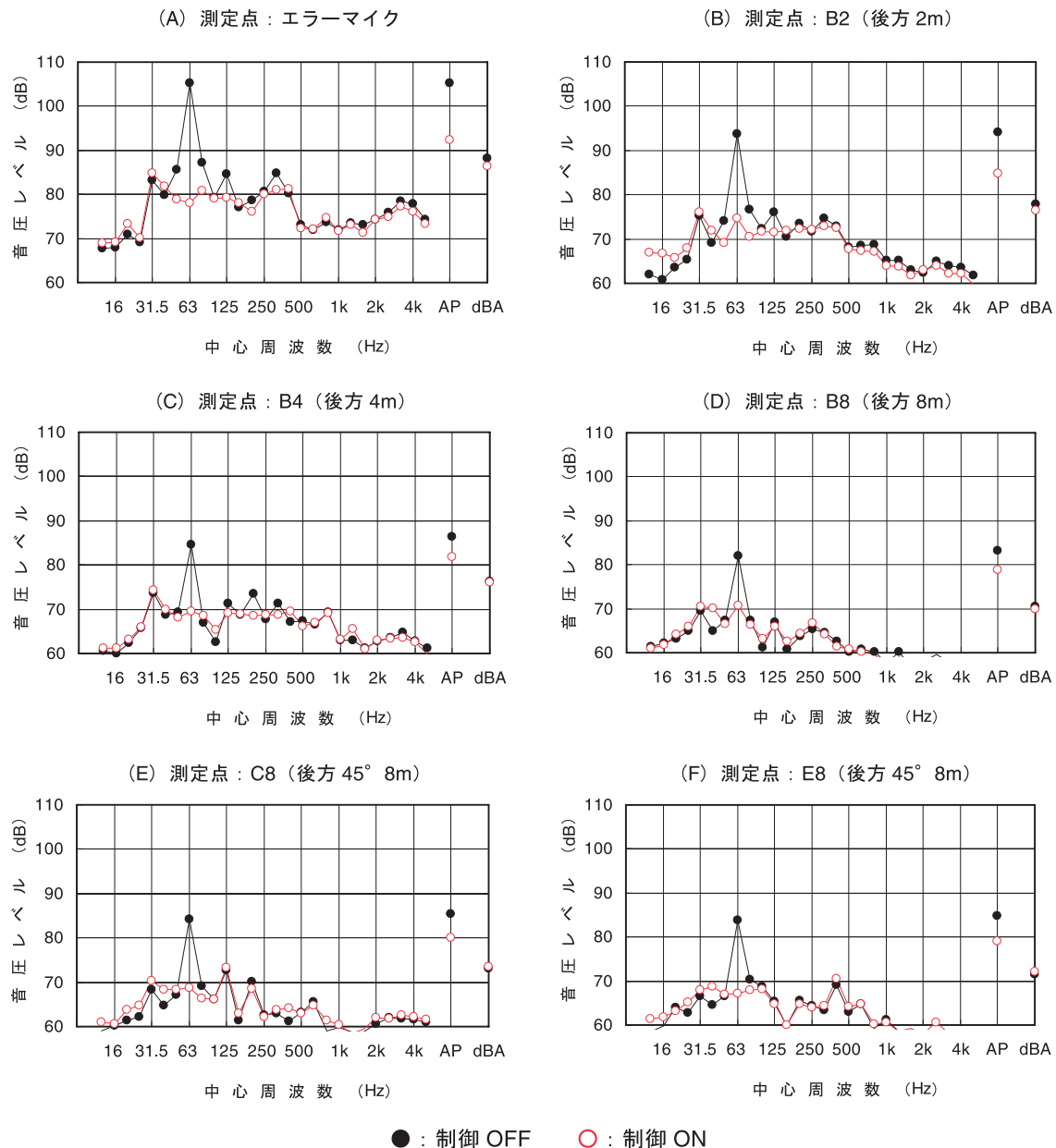


図-3 音圧レベル測定結果(実験1)

先が内径 12.5cm のレジューサを脱着可能とした。騒音源と 2 次音源の中心間距離は 15、30、60cm とした。

ANC における一般的な制御手法はエラーマイク位置の音圧レベルが最小となるように制御係数を決定するものであるが、このことは空間全体の音圧レベル、すなわち、音響パワーを低減することとは必ずしも合致せず、音響パワーの低減はエラーマイクや 2 次音源位置に大きく依存することが明らかにされている<sup>2)</sup>。本実験では、音響パワーを最小とするためにエラーマイクを騒音源と 2 次音源から等距離、かつ、両者から十分離れた位置に設置した<sup>3)</sup>。

表-1 ANCによる音圧レベル低減量(63Hz)(実験1)

測定点	音圧レベル		低減量
	ANC=OFF	ANC=ON	
エラーマイク	105.2	78.1	27.1
A2	91.2	82.8	8.4
A4	85.9	75.6	10.3
B2	93.7	74.6	19.1
B4	84.6	69.6	15.0
B8	82.1	70.7	11.4
C2	92.2	74.7	17.5
C4	83.3	70.7	12.6
C8	84.3	68.7	15.6
D2	89.0	77.2	11.8
D4	79.8	71.0	8.8
D8	82.4	67.2	15.2
E2	86.1	75.6	10.5
E4	84.1	68.8	15.3
E8	83.9	67.1	16.8

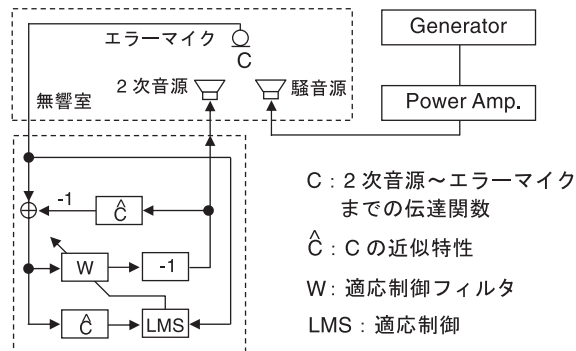


図-4 実験および ANC システムのブロック図(実験2)

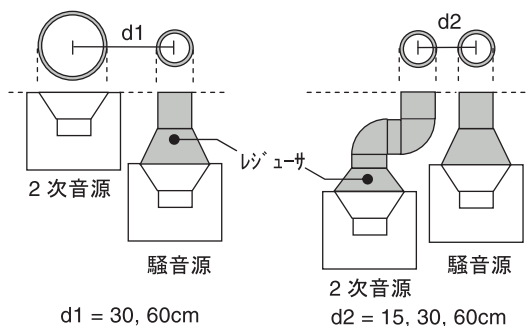


図-5 スピーカ配置(実験2)

騒音源に対する測定点の位置を図-6に示す。実験では、2次音源スピーカのレジューサの脱着に応じて2次音源と騒音源が同一平面上(設置高さ  $h = 0\text{cm}$ )となるよう配置し、図-6に示した10点を  $h = 0$  および  $h = 100\text{cm}$  の2平面について測定した(計20点)。音源信号には純音を用い、各測定点における騒音制御前後の音圧レベルから2つの音源間距離と2次音源の口径に応じたANCの効果を確認した。なお、制御時の測定はエラーマイクの音圧レベルが30~40dB低減したことを確認した後にいった。

### 3.2 実験結果

図-7に100Hzにおける全20測定点の音圧レベル低減量を音源間距離ごとに示す。低減量は制御前の音圧レベルに対する相対レベルとしてあらわす。なお、図中の実線は、両音源を点音源と仮定した場合の騒音源パワーレベル低減量の計算結果である。図-7より、音源間距離が30cmと60cmの場合、計算結果と同様、音源間距離を近づけることでANCによる測定点全体の低減量が増している。また、同一の音源間距離であれば、2次音源の口径が小さい方の低減量が大きい。一方、音源間距離15cmと30cmの場合には、低減量に明らかな差はみられない。これは、実験室内でのわずかな反射音などにより、エラーマイクにおける音圧信号が完全に収束していない(ゼロとならない)ことが原因と考えられる。

図-8に200Hzにおける全20測定点の音圧レベル低減量を音源間距離ごとに示す。図中の実線は、両音

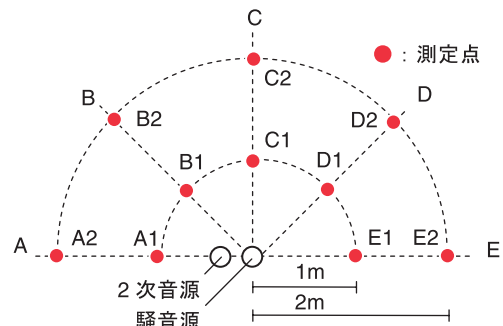


図-6 測定点(実験2)

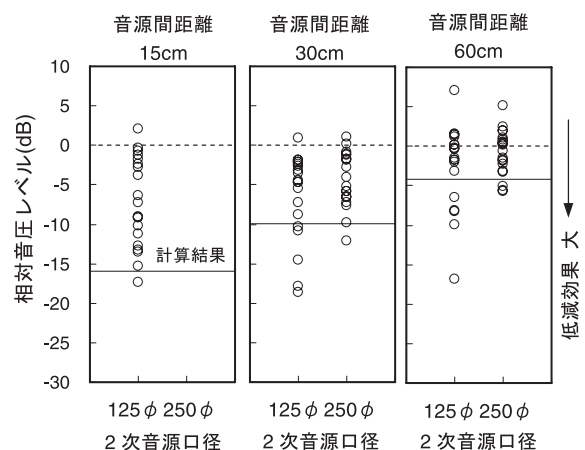


図-7 音圧レベル低減効果(100Hz)(実験2)

源を点音源と仮定した場合の騒音源パワーレベル低減量である。図-8より、音源間距離が近いほど ANC による低減量が測定点全体で増している。一方、100Hz の場合とは異なり、2次音源の口径を小さくしても、全20測定点でとらえた場合には音圧レベルの低減に明らかな効果はみられない。

以上より、2次音源スピーカの前面にレジューサを設置することで、周波数によって効果は異なるものの、ANCによる騒音低減効果を増大できることが示された。

#### 4. 建設現場への適用

実験1および2で得られた知見を建設現場で使用されている掘削機に適用した。なお、対象とした掘削機は実験1と同様の0.7m<sup>3</sup>クラスであるが、機種は異なる。

##### 4.1 設置状況

写真-2に2次音源およびエラーマイクの設置状況を示す。2次音源として使用するスピーカは給油口や油圧配管を避けて掘削機に設置した架台に固定した。事前に実施したマフラー騒音のパワーレベル測定結果に基づき、スピーカ口径は30cmとした。また、実験2の結果に基づき、スピーカの先端にはレジューサを設置し、レジューサの筒先と排気口を近接させた。銅板で製作したスピーカBOXはレジューサ先端からの雨水の浸入対策として、2重構造、かつ、水抜き穴を設けた。

エラーマイクは騒音源である排気口とレジューサの筒先から等距離になるよう設置し、エンジン排気が直接当たらない場所に固定した。エラーマイクは下面に

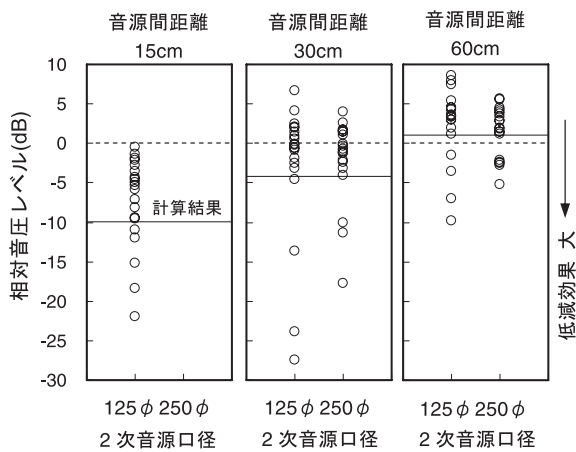


図-8 音圧レベル低減効果 (200Hz) (実験2)

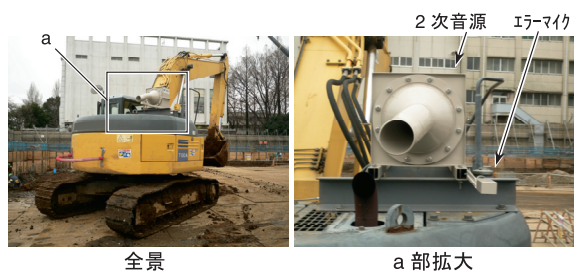


写真-2 2次音源およびエラーマイク設置状況

スリットを設けた銅板で覆い、雨水が入らない形状とした。

電源は掘削機に搭載されているバッテリー (24V) にDC/ACインバータを介して100Vに変換して使用し、コントロールBOXやパワーアンプとともに運転席内部に設置した。

##### 4.2 低減効果

アイドリング状態における音圧レベル測定結果を図-9に示す。図中の●と○はANCの状態の制御OFFとONをあらわす。

ANCがOFFの場合、エラーマイク点では63Hzおよび80Hz帯域にピークが生じている。これに対し、ANCがONの場合、63Hz帯域では18dB、80Hz帯域では12dBの騒音低減効果が得られており、両帯域に鋭いピークはみられなくなった。同様の効果は後方

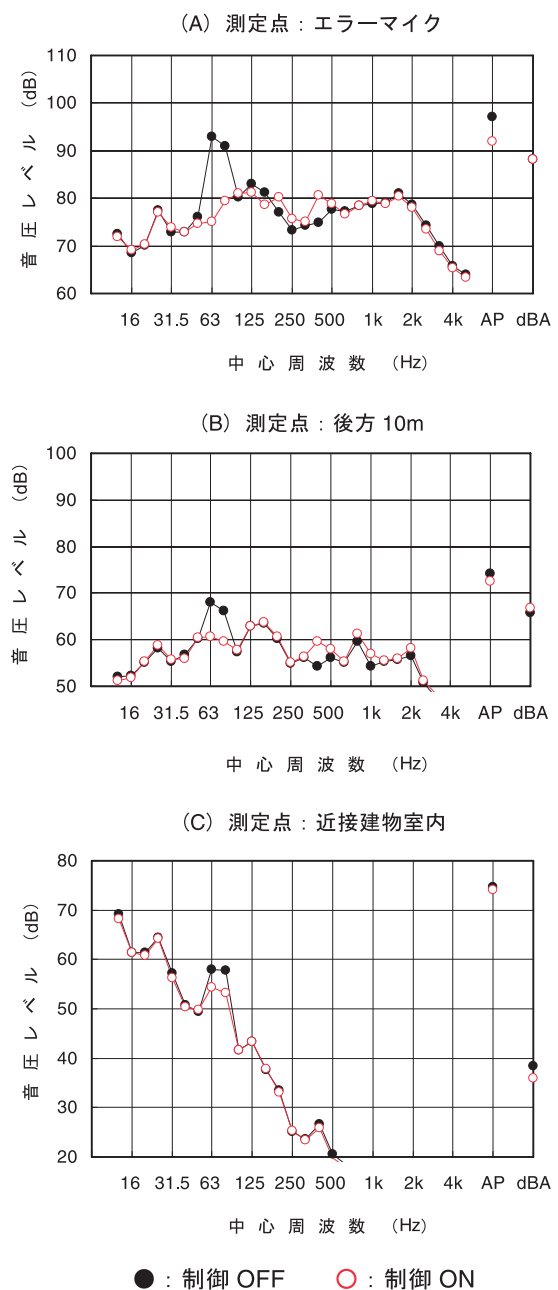


図-9 音圧レベル測定結果 (建設現場)

10 m点においても確認された。

一方、建設現場に近接した建物室内（1階）では、エアーマイクや後方10m点と比較して中高音域の音圧レベルに明らかな低減が生じている。これは、建設現場の敷地境界に設置されている仮囲いによる回折や建物のサッシ（ガラス）の透過損失によるものである。このような低音域が卓越した周波数特性の状況下において、ANCによる騒音低減効果は63Hzおよび80Hz帯域でそれぞれ4dB程度生じており、その結果、A特性音圧レベル（dBA）においても3dBの低減が確認された。

## 5. おわりに

本報告では、ANCを用いた建設機械騒音の低減手法を紹介するとともに、低周波数帯域にピークを有する掘削機のマフラー騒音への適用事例を報告した。ANCを用いた騒音低減効果は発電機騒音においても確認されており<sup>4)</sup>、今後も適用機械の拡大を図るとともに、建設現場へ積極的に展開していく所存である。

なお、本実験を進めるにあたり多大な協力をいただいた、阿部真一氏、および関係者各位に深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 例えば、阿部真一、栗栖清浩、IPP ガスタービン排気音等のANCによる低減、騒音制御、Vol.27, No.4, 247-251, 2003
- 2) 林卓郎、江波戸明彦、鈴木成一郎、三次元空間における能動消音に関する研究（音響パワーを最小にする評価マイクの配置法）、機械学会論文集（C編）、60巻575号、2293-2298, 1994
- 3) 林卓郎、江波戸明彦、鈴木成一郎、三次元空間における能動消音に関する研究（音響の節を利用した音響パワー制御）、機械学会論文集（C編）、61巻586号、2402-2407, 1995
- 4) 小林正明、松岡明彦、半田雅俊、鈴木信也、ANCを用いた建設機械騒音の低減に関する実験的検討その2 発電機騒音への適用、建築学会梗概集D-1, 277-278, 2009