

ANC を用いた建設機械騒音の低減 TANC (タンク)

小林 正 明

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、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する。

キーワード：建設工事騒音，騒音低減，アクティブ騒音制御，2次音源，レジェューサ

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等の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（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、これまでも多くの報告がなされているが¹⁾、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（TANC: Toda 式 Active Noise Control）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。なお、実験には0.7 m³クラスの掘削機を使用した。

(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。

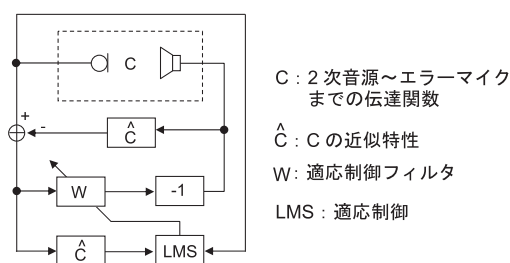


図-1 ANC システムブロック図 (実験1)

(2) 実験概要

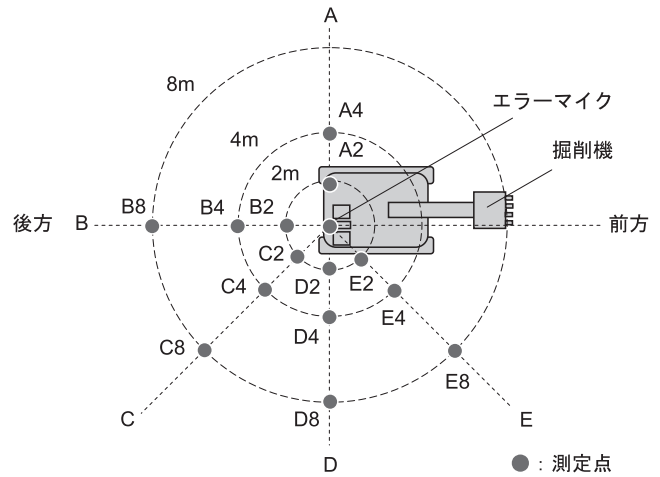
スピーカ（2次音源）とエラーマイクの設置状況を写真-1に示す。2次音源には制御対象の騒音と同等の音圧レベルが必要となる。本実験では、2次音源ス



写真一 2次音源およびエラーマイク設置状況 (実験1)

ピーカとして、口径 30 cm (40 cm × 40 cm × 50 cm 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。

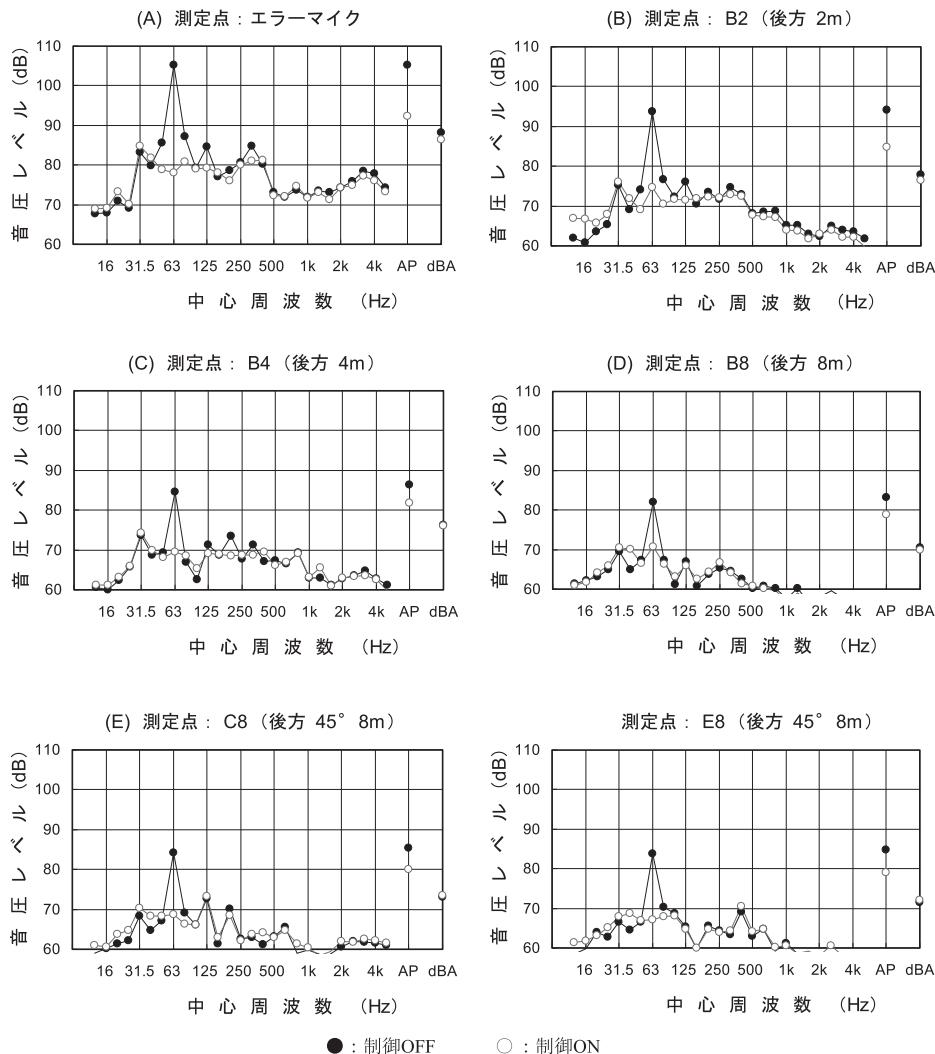
実験は屋外で実施し、図一2に示す各測定点において、掘削機稼動時にANCをOFFまたはONとした場合の音圧レベルから騒音低減効果を確認した。なお、各測定点は掘削機の排気口を中心とした同心円状に位置しており、測定点の高さは排気口と等しい高さ (GL+2.3 m) とした。



図一2 測定点 (実験1)

(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一3に示す。図中の記号はANCの状態を表し、●と○はそれぞれ



図一3 音圧レベル測定結果 (実験1)

制御 OFF と ON を表す。

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 63 Hz 帯域のみに鋭いピークが現れ、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 63 Hz 帯域において 25 dB 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 63 Hz 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。

表 1 ANC による音圧レベル低減量 (63 Hz) (実験 1)

測定点	音圧レベル		低減量
	単位: dB		
	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

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関わらず 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。

(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 12.5 cm とした。2 次音源スピーカは口径 25 cm (30 cm × 30 cm ×

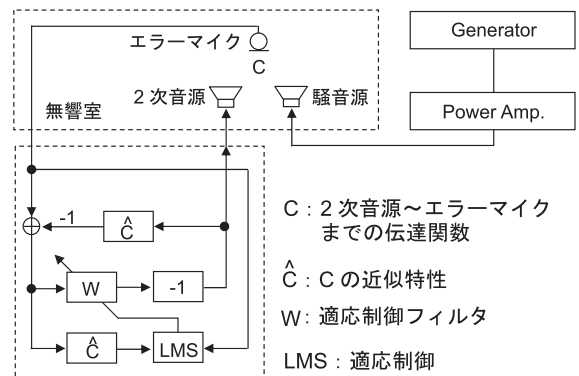


図 4 実験および ANC システムのブロック図 (実験 2)

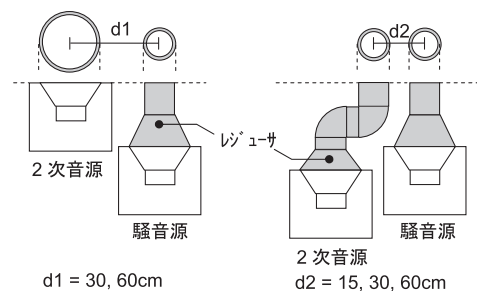


図 5 スピーカ配置 (実験 2)

25 cm のエンクロージャに搭載) のものを 1 つ使用し、筒先が内径 12.5 cm 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, 60 cm 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²⁾。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³⁾。

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 $h = 0$ cm)

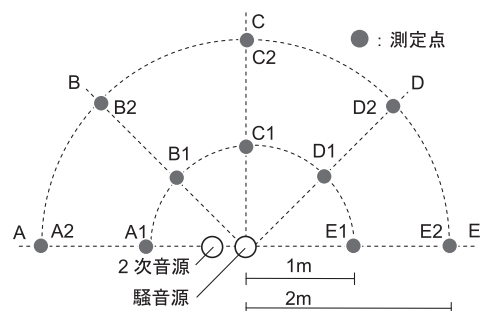


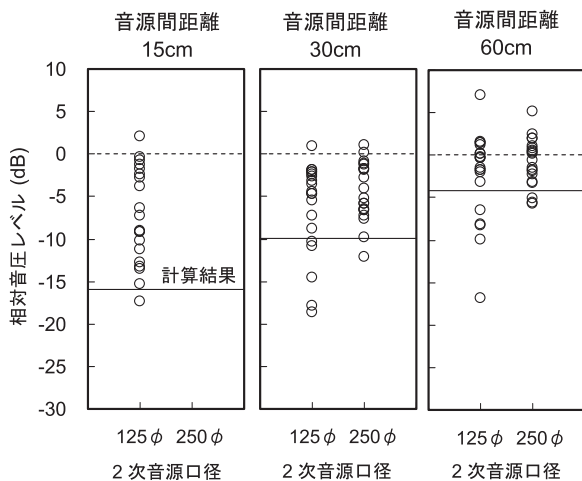
図 6 測定点 (実験 2)

となるよう配置し、**図一6**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行った。

(2) 実験結果

図一7に100 Hz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表す。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。**図一7**より、音源間距離が30 cmと60 cm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大きい。一方、音源間距離15 cmと30 cmの場合には、低減量に明らかな差は見られない。これは、実験室内での僅かな反射音等により、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(零とならない)ことが原因と考えられる。

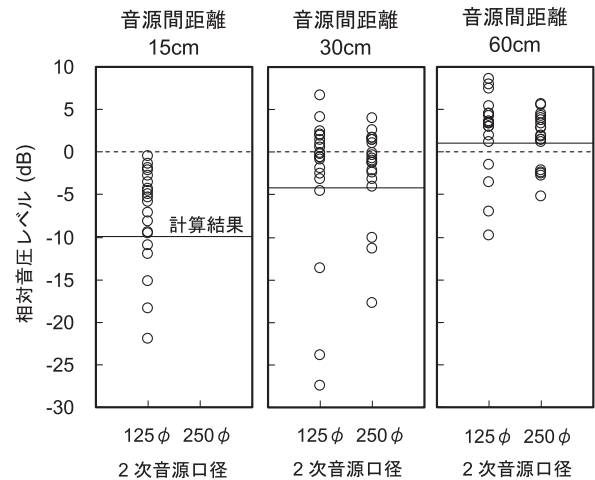


図一7 ANCによる音圧レベル低減量(100 Hz)(実験2)

図一8に200 Hz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。**図一8**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、100 Hzの場合とは異なり、2次音源の口径を小さくしても、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。



図一8 ANCによる音圧レベル低減量(200 Hz)(実験2)

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0.7 m³クラスであるが、機種は異なる。

(1) 設置状況

写真一2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30 cm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。鋼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を懸念し、2重構造、かつ、水抜き穴を設けた。



写真一2 2次音源およびエラーマイク設置状況(建設現場)

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、エンジン排気の影響が少ない場所に固定した。エラーマイクの全面は鋼

板で覆い、下面にスリットを設け、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。

(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一9に示す。図中の記号はANCの状態を表し、●と○はそれぞれ制御OFFとONを表す。

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10m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、エラーマイクや後方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（TANC）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。TANC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⁴⁾、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頂いた、阿部眞一氏、および、関係者各位に深く感謝いたします。

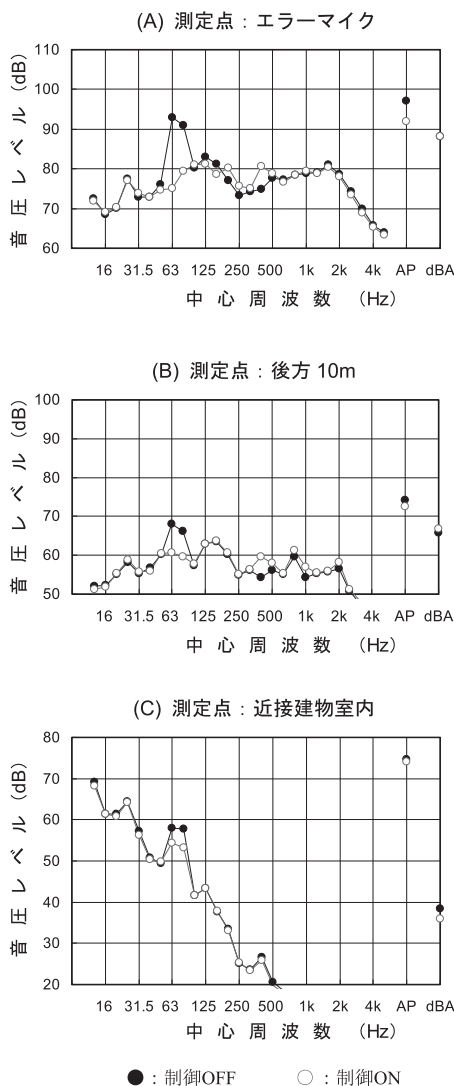
JCMMA

《参考文献》

- 1) 例えば、阿部眞一、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

【筆者紹介】

小林 正明（こばやし まさあき）
 戸田建設㈱
 技術研究所 音環境チーム
 研究員



図一9 音圧レベル測定結果（建設現場）