

ANC を用いた建設機械騒音の低減に関する実験的検討

小林 正明^{*1}

半田 雅俊^{*1} 松岡 明彦^{*1}
 鈴木 信也^{*1} 柳楽 毅^{*2}
 高木 努^{*2}

概 要

従来の建設工事騒音対策として、音源を包み込むカバーやフード、あるいは障壁の設置が挙げられる。音源と受音点間に障壁を設けることで受音点での音圧レベル低減が期待できるが、障壁の遮音性能（透過損失）や回折にともなう減衰効果は高周波数帯域の音圧レベル低減に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る。低周波数帯域の騒音低減手法としては、マイクやスピーカなど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アクティブ消音技術（ANC：Active Noise Control）が知られており、空調ダクトなどの局所的な空間に対して実用され始めている。

本稿では、低周波数帯域にピークを有する建設機械騒音に着目し、ANCを用いた広域消音の実験結果について報告する。

An Experimental Study on Active Noise Control of Construction Machine Noise

Masaaki KOBAYASHI^{*1} Masatoshi HANDA^{*1}
 Akihiko MATSUOKA^{*1} Shinya SUZUKI^{*1}
 Takeshi NAGIRA^{*2} Tsutomu TAKAGI^{*2}

In solving construction noise problem, the noise source should be dealt with by enclosing the equipment using a cover, hood or barrier. 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 generated from construction machine with a peak in the low frequency range.

^{*1} 戸田建設（株）技術研究所 ^{*2} 戸田建設（株）環境ソリューション部

^{*1} Technical Research Institute, Toda Corp. ^{*2} Environment Solution Department, Toda Corp.

ANC を用いた建設機械騒音の低減に関する実験的検討

小林 正明^{*1} 半田 雅俊^{*1}
 松岡 明彦^{*1} 鈴木 信也^{*1}
 柳楽 毅^{*2} 高木 努^{*2}

1. はじめに

環境省の報告¹⁾によれば、建設作業騒音に関する苦情件数は過去5年間で1,200件以上も増加しており、平成18年度においては全国で約5,500件に上る。また、近年、建設作業騒音の騒音苦情全体に占める割合が増加傾向にあることから、建設工事における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、透過損失や回折にともな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、スピーカ等の2次音源より放射される逆位相の音によって原音をキャンセル消音するアクティブ消音技術(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²⁾、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る。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。

本稿では、建設機械から発生するさまざまな騒音の中から、低周波数帯域にピークを有するエンジンマフラー騒音に着目し、ANCを用いた3次元空間における広域消音の実験結果について報告する。

2. 実験1－掘削機

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。

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図-2に示す。ANCでは、2次音源の能力として、消音対象の騒音と同等の音圧レベルの発生が必要である。本実験では、2次音源スピーカとして、口径30cm(400mm×400mm×500mm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-3に示す各測定点において、掘削機稼動時にANCをONまたはOFFとした

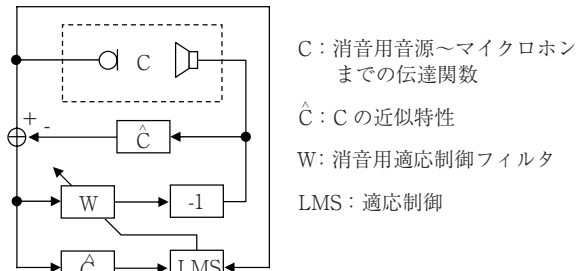


図-1 実験に用いたANCシステムブロック図

(A) 全景



(B) 後方



(C) 上方

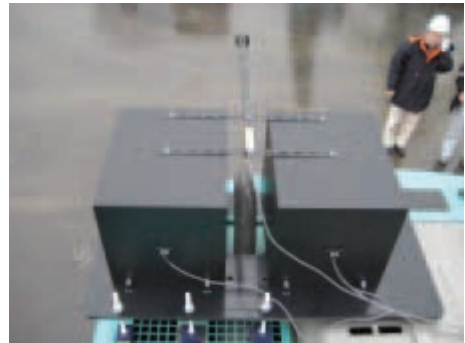


図-2 2次音源スピーカおよびエラーマイク設置状況(実験1)

^{*1} 戸田建設(株) 技術研究所 ^{*2} 戸田建設(株) 環境ソリューション部

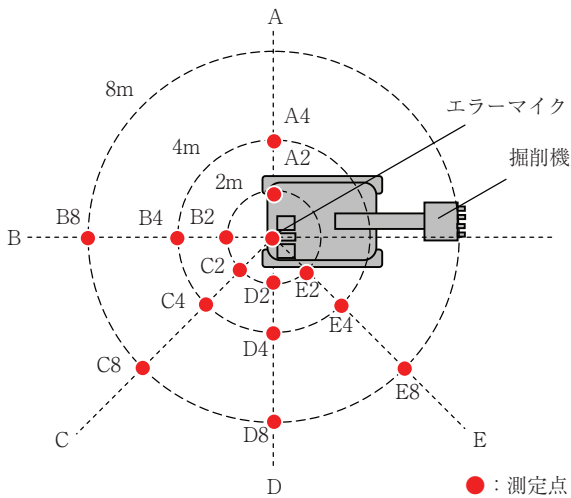


図-3 測定点 (実験 1)

場合の音圧レベルをそれぞれ測定し、ANC の効果を確認した。

また、本実験で使用したフィードバックシステムによる ANC は、放射音をとらえるためのマイクロホン (センサマイク) を設置していないため、対象騒音が変動した際の制御の遅れが問題となることも考えられる。そこで、本システムを用いた ANC について、対象騒音の音圧レベルが変動した場合の制御の追従性を確認した。

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、測定点の高さはいずれも GL + 2.3m とした。

2.3 実験結果

2.3.1 発生騒音

実験に用いた掘削機の発生騒音について、エンジン出力 50% 時のエラーマイク点での測定結果を図-4 に示す。なお、図-4 に示した測定結果はいずれも ANC を稼働させない場合、すなわち、消音 OFF 状態のものである。また、図中の記号は油圧負荷の状態をあらわし、●が負荷をかけた状態、△が負荷のない状態をあらわす。

図-4 より、掘削機の発生騒音周波数特性は、油圧負荷のない状態では 40Hz、80Hz および 160Hz 帯域にそれぞれピークがみられる特性を有する。一方、油圧負荷をかけた状態では 63Hz 帯域のみに鋭いピークがあらわれ、建設機械周辺では、かなり耳障りな騒音が発生している状況である。

2.3.2 ANC の効果

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-5 に示す。図中の記号は ANC の状態を表し、●と○はそれぞれ消音 OFF と ON をあらわす。

図-5 (A) より、エラーマイク点では、63Hz 帯域において、ANC による 25dB 程度の低減効果が得られており、消音 ON の状態において 63Hz 帯域に鋭いピークはみられない。

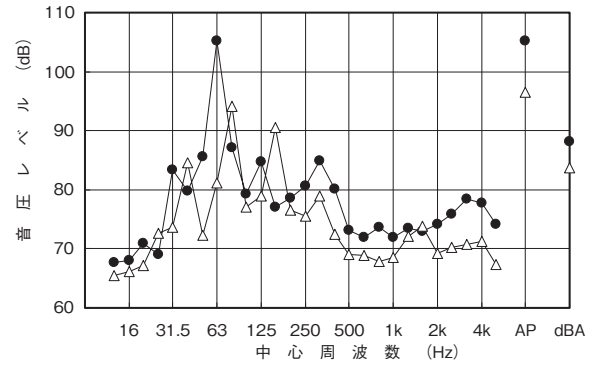


図-4 発生騒音の周波数特性 (実験 1)

- : 油圧負荷あり (消音 OFF)
- △ : 油圧負荷なし (消音 OFF)

図-5 (B)、(C)、(D) はいずれも 2 次音源スピーカの正面に位置する測定点 B2、B4、B8 の測定結果を示したものである。いずれの場合も、消音 OFF では 63Hz 帯域に明らかなピークがみられたが、消音 ON では 63Hz 帯域に鋭いピークはみられなくなった。ANC による 63Hz 帯域の音圧レベル低減量はそれぞれ約 19dB、15dB、11dB であった。

図-5 (E) と (F) はいずれも 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、および、E8 の測定結果をあらわしたものである。いずれの場合も、消音 OFF の状態において 63Hz 帯域にみられた明らかなピークが、消音 ON の状態ではみられなくなった。ANC による 63Hz 帯域の音圧レベル低減量はそれぞれ約 16dB、17dB であった。

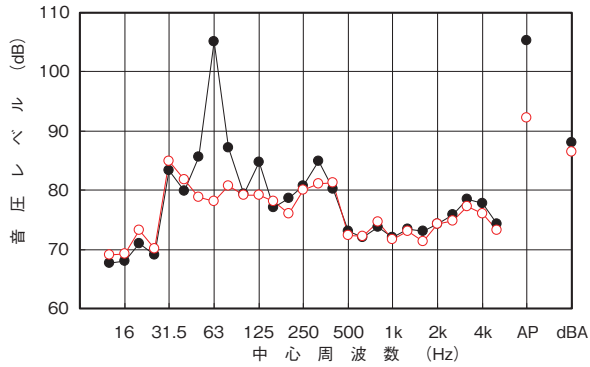
ANC による 63Hz 帯域のピークの低減は、図-5 に示した以外の測定点でも生じており、実験 1 における ANC の効果は、音源 (排気口) からの方向や距離によらず、広域で得られるものと考えられる。実験 1 の各測定点について、消音 OFF および ON の各状態における 63Hz 帯域音圧レベルとその低減量を表-1 に示す。

表-1 63Hz 帯域における ANC の効果 (実験 1)

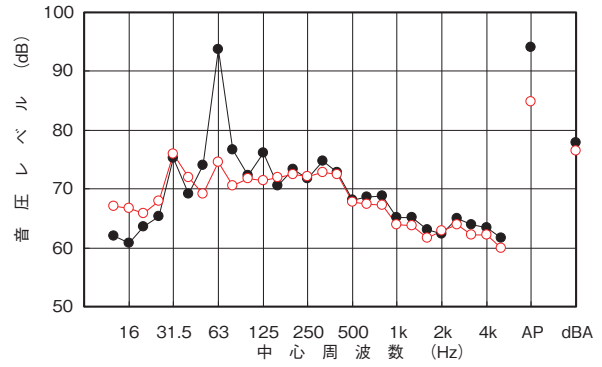
単位 : dB

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

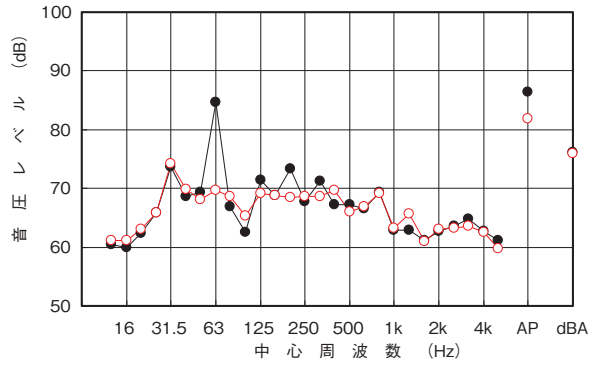
(A) 測定点：エラーマイク



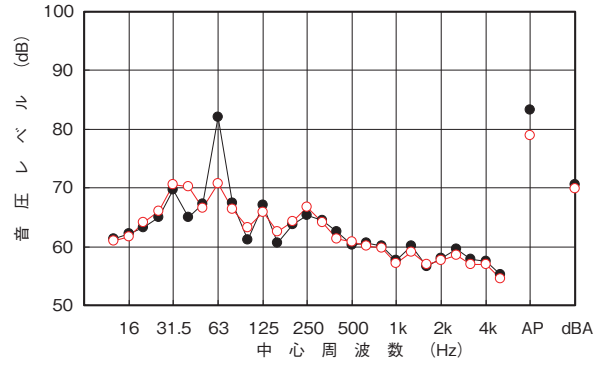
(B) 測定点：B2



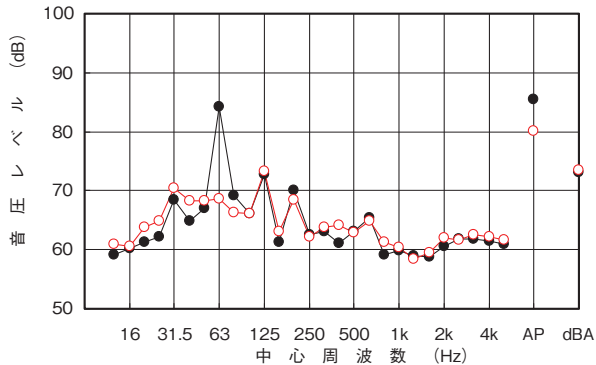
(C) 測定点：B4



(D) 測定点：B8



(E) 測定点：C8



(F) 測定点：E8

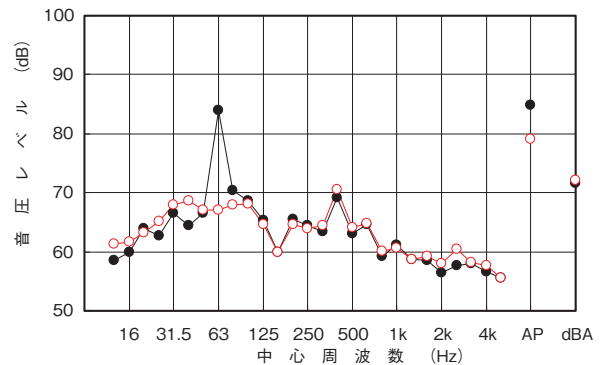


図-5 音圧レベル測定結果 (実験 1)

- : 油圧負荷あり (消音 OFF)
- : 油圧負荷あり (消音 ON)

2.3.3 ANCの追従性

ANCをOFFまたはONとした場合のそれぞれについて、油圧稼動にともなう63Hz帯域の音圧レベル変動結果を図-6に示す。なお、図-6はエラーマイク点における測定結果を示したもので、図中の縦軸、横軸はそれぞれ音圧レベルと測定時間をあらわしている。また、ANCをOFFまたはONとしたいずれの場合も、測定開始15秒後に油圧を稼動させている。

図-6より、消音OFFの場合、音圧レベルは油圧の稼動と共に急激に上昇し、0.5秒程度で定常状態に達している。一方、消音ONの場合、油圧稼動時に音圧レベルの上昇がみられるものの、直ちに音圧レベルの低下が生じており、定常状態には達しない。また、油圧の稼動から約5秒後には音圧レベルが安定し、消音OFFの場合と比較して約30dBの消音効果が得られている。

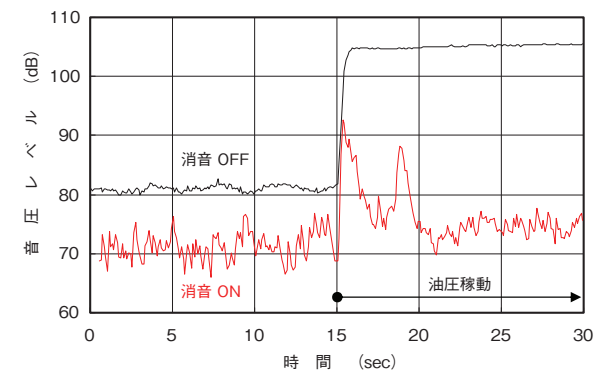


図-6 変動音に対するANCの追従性 (実験 1)
測定点：エラーマイク / 63Hz帯域

3. 実験 2 - 発電機

3.1 ANC システム概要

実験 1 と同様、図 - 1 に示したフィードバックシステムを用いた。

3.2 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図 - 7 に示す。本実験では、2 次音源スピーカとして、口径 25cm (300mm × 300mm × 250mm のエンクロージャに搭載) のものを 1 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 - 8 に示す各測定点において、発電機稼動時に ANC を ON または OFF とした場合の音圧レベルをそれぞれ測定し、ANC の効果を確認した。

なお、各測定点は発電機の排気口を中心とした同心円状に位置しており、測定点の高さはいずれも GL + 2.0m とした。

3.3 実験結果

3.3.1 発生騒音

実験に用いた発電機の発生騒音について、排気口近傍 (機側 50cm) での測定結果を図 - 9 に示す。なお、図 - 9 に示した測定結果はいずれも消音 OFF 状態のものである。また、図中の記号は油圧負荷の状態をあらわし、●が負荷をかけた状態、△が負荷のない状態をあらわす。

図 - 9 より、発電機の発生騒音周波数特性は、油圧負荷の有無にかかわらず 50Hz 帯域のみに鋭いピークがあらわれる。

3.3.2 ANC の効果

油圧負荷をかけない状態での音圧レベル測定結果を図 - 10 に示す。図中の記号は ANC の状態をあらわし、△と▲はそれぞれ消音 OFF と ON をあらわす。

図 - 10 (A) はエラーマイク点における測定結果である。消音 OFF では 50Hz 帯域に明らかなピークが生じているものの、消音 ON では鋭いピークがみられず、ANC による 17dB 程度の低減効果が確認された。

図 - 10 (B) ~ (D) はそれぞれ測定点 B4、D4、および、E4 における測定結果である。いずれの測定点においても、消音 OFF では 50Hz 帯域に明らかなピークが生じている。消音 ON では、測定点 D4、E4 において 50Hz 帯域に鋭いピークがみられなくなり、ANC による音圧レベルの低減効果が確認された。50Hz 帯域の音圧レベル低減量は測定点 D4、E4 においてそれぞれ約 13dB、11dB であった。一方、測定点 B4 では、50Hz 帯域における低減効果が小さく、消音 ON においても 50Hz 帯域にピークが生じている。

実験 2 の各測定点について、消音 OFF および ON の各状態における 50Hz 帯域音圧レベルとその低減量を表 - 2 に示す。表 - 2 より、実験 2 の全測定点において ANC の効果が得られたものの、その効果は音源 (排気口) からの方向や距離によって変化することが示された。

(A) 全景



(B) 上方



図 - 7 2 次音源スピーカおよびエラーマイク設置状況 (実験 2)

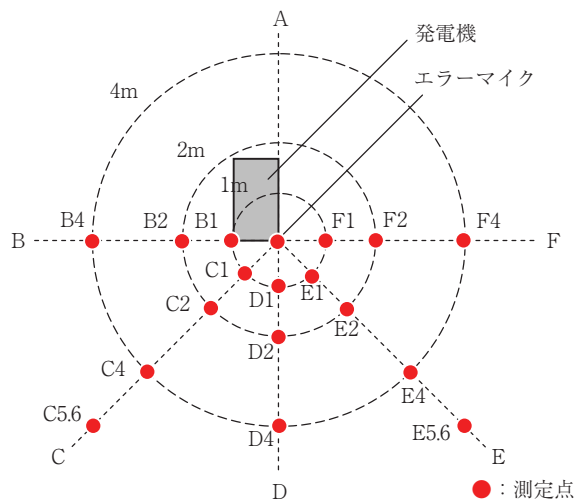


図 - 8 測定点 (実験 2)

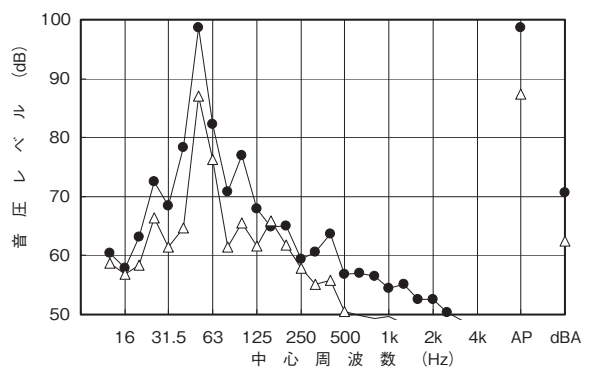


図 - 9 発生騒音の周波数特性 (実験 2)

● : 油圧負荷あり (消音 OFF)
 △ : 油圧負荷なし (消音 OFF)

表-2 50Hz 帯域における ANC の効果 (実験 2)
単位: dB

測定点	音圧レベル		低減量
	ANC = OFF	ANC = ON	
エラーマイク	90.8	73.9	16.9
B1	85.6	81.6	4.0
B2	80.6	77.4	3.2
B4	79.4	77	2.4
C1	84.4	75.3	9.1
C2	79.6	72.5	7.1
C4	76.9	70	6.9
C5.6	77.3	72.2	5.1
D1	84	69.5	14.5
D2	80.6	66.7	13.9
D4	79.1	65.9	13.2
E1	85.2	71.9	13.3
E2	82.7	70.2	12.5
E4	78.7	67.5	11.2
E5.6	75.2	64.1	11.1
F1	85.2	73.6	11.6
F2	80.3	69.5	10.8
F4	77.2	68.3	8.9

4. まとめ

低周波数帯域にピークを有する建設機械発生騒音に対し、ANC を用いて 3 次元空間における広域消音を検討した結果、低周波数騒音の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、低周波数帯域における音圧レベルの低減が広範囲で確認された。従来の騒音対策手法である防音壁の透過損失や障壁等の回折にともなう減衰効果が中・高周波数帯域の騒音低減に大きな効果がみられることから、ANC と従来の対策を組み合わせることにより、広帯域での騒音低減効果が期待される。ただし、ANC による低減効果は 2 次音源スピーカやエラーマイクの配置などに多大な影響を受けるため、今後は、ANC の効果を最大限に発揮するための 2 次音源スピーカやエラーマイクの設置方法について検討し、より実用的なシステムの構築を進める予定である。

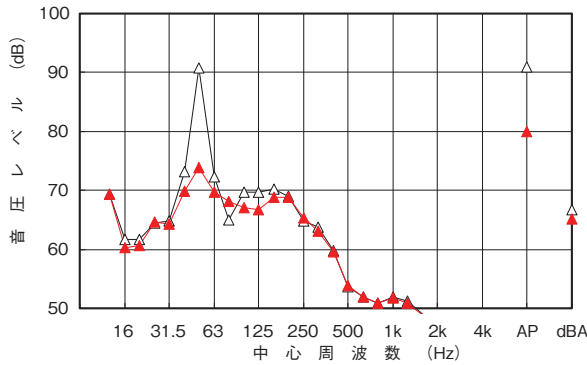
謝辞

本実験を進めるにあたり多大な協力をいただいた、TOA 株式会社の阿部真一氏、および、株式会社レンタルのニッケンの関係者各位に深く感謝いたします。

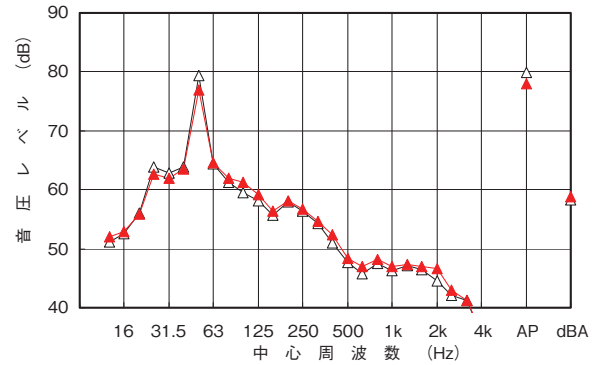
【参考文献】

- 1) 環境省, 平成 18 年度騒音規制法施工状況調査について, 2007.
- 2) 例えば, 大西慶三, 西村正治, アクティブノイズコントロールによる道路交通騒音対策の実情, 騒音制御, 23 巻 6 号, 153 - 159, 1999.

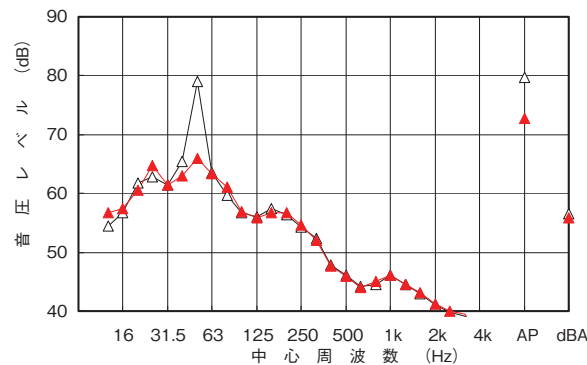
(A) 測定点: エラーマイク



(B) 測定点: B4



(C) 測定点: D4



(D) 測定点: E4

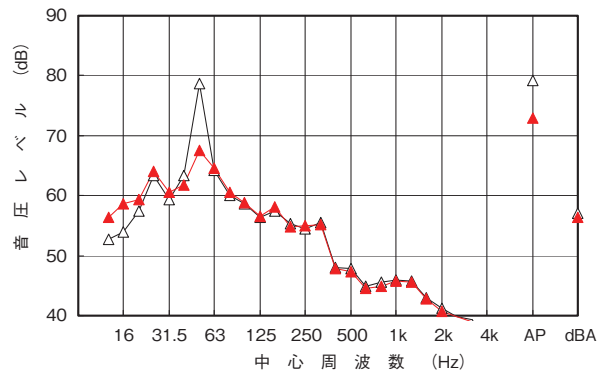


図-10 音圧レベル測定結果 (実験 2)

- △: 油圧負荷なし (消音 OFF)
- ▲: 油圧負荷なし (消音 ON)