

音響管を用いた ニューマチックケーソンの排気騒音低減装置

角 田 晋 相

ニューマチックケーソン工法は、周辺環境への影響において他の基礎工法と比べ有利な特徴を持っていることから広く採用されている。しかし、市街地での施工においては高圧空気の排気に伴う騒音発生が問題となる。一般に消音マフラーによる騒音対策が行われるが、必ずしも全周波数帯で十分な効果は得られていない。

そこで、音響管の共鳴原理を用いた消音器を従来の消音マフラーに付加することで、消音効果を向上させる技術を開発した。開発においては、縮尺モデルによる実験で排気騒音に対する適用性および効果を確認し、実施工に導入することで実機での音圧低減効果を検証した。本稿では縮尺モデル実験と実施工に適用して効果を検証した結果について報告する。

キーワード：ニューマチックケーソン，排気騒音対策，音響管，共鳴，消音器

1. はじめに

土木工事では、建設機械の稼働により発生する騒音・振動が周辺の環境に与える影響が大きいため、施工現場ではそれらを低減する対策が求められる。基礎工法の一つであるニューマチックケーソン工法は、他の工法に比べ騒音・振動の少ない工法であるが、市街地ではマテリアルロックからの高圧空気の排気に伴う騒音発生が問題となる。一般的な排気騒音対策として用いられる消音マフラー（図-1）は高音域の音圧を大幅に低減するが、中音域以下の周波数帯に対しては効果が小さく十分な対策になっているとは言い難い。

そこで、中音域の音圧低減を対象に音響管を用いた消音器を考案し、排気音に対する適用性を検討した。

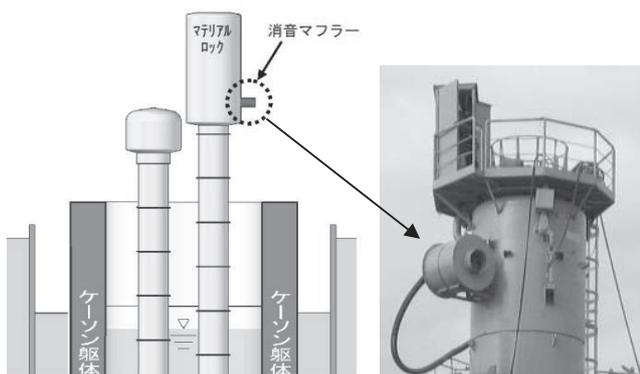


図-1 一般的な排気騒音対策

ここでは、開発において実施した縮尺モデル実験¹⁾と実際の施工に適用して効果を検証した結果について報告する。

2. 技術の概要

(1) 消音原理

音響管の共鳴原理を利用した消音器として、片端が閉塞された管の反射波を利用して特定周波数帯の音圧レベルを低減するサイドブランチ型消音器が様々な分野でよく用いられる。

サイドブランチ型消音器の原理を図-2に示す。消音の原理は、主管に対して枝管（サイドブランチ）となる音響管を取り付けて音響管内での反射波が主管の音波の逆位相になるように管長を調節して、共鳴により消音を図る技術である。

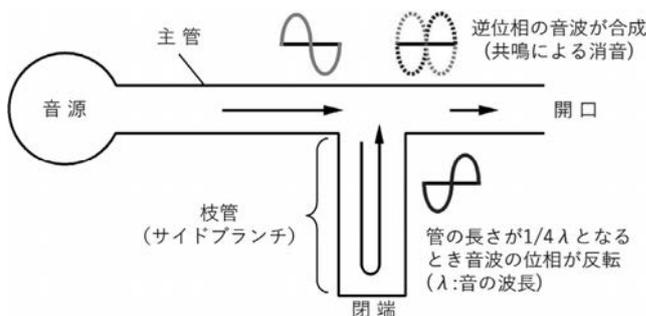


図-2 サイドブランチ型消音器の原理

(2) 課題と対策

音響管による消音器は、対象とする特定周波数帯の音圧低減に大きな効果がある。しかし、ニューマチックケーソンにおける高圧空気の排気のように流速が生じる位置で消音を行う場合には、図-3に示すように音響管の入口で乱流が発生し、消音とは逆に音圧の上昇を引き起こすといった課題がある。

そのため、本技術では図-4に示すように音響管の口元に通気性のフィルターを設置することで、排気主管の内面を平滑にして乱流の発生を防止する構造とした。

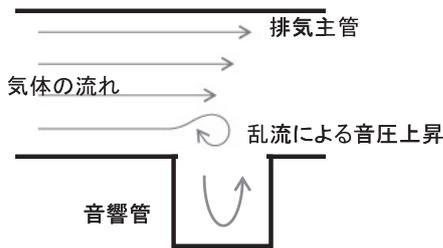


図-3 音響管による乱流の発生

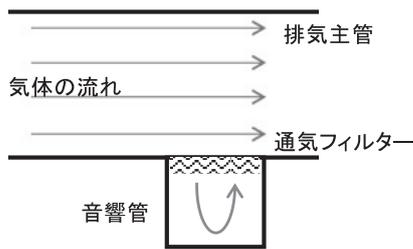


図-4 通気フィルターによる乱流の防止

(3) 排気騒音低減装置

開発した排気騒音低減装置の概要を図-5に示す。本装置は、従来の消音マフラーと併用することを前提に、音響管を用いた消音器を既存マフラーの出口に容易に設置できる構造とした。

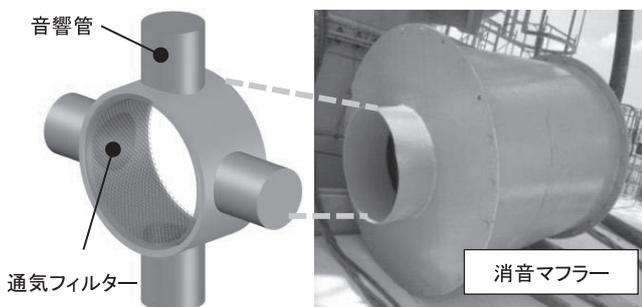


図-5 排気騒音低減装置の概要図

3. 縮尺モデル実験

(1) 試験体

音響管による音圧低減効果を把握するため、1/5縮尺の試験体による実験を実施した。音響管の試験体の概要を図-6に示す。音響管の取り付け向きは、開口面が主管断面に直交する方向とした。

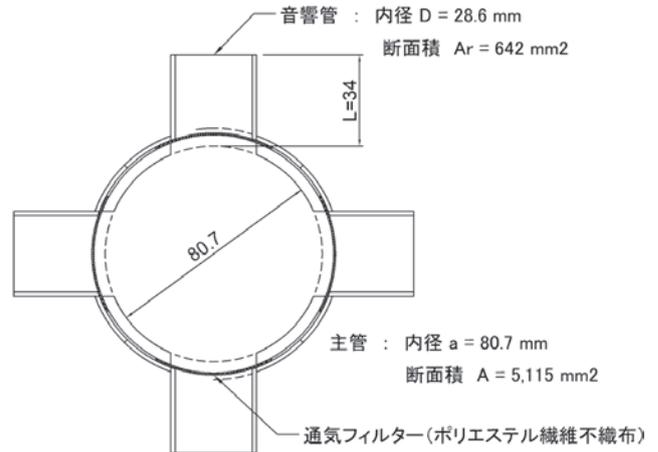


図-6 試験体の概要

音響管の効果を効率よく得るには、主管内で平面波が成立する必要がある。また、平面波が成立する最大の周波数は主管の直径に依存する。そのため、実験では消音対象とする最大周波数 f_{max} を以下の通りとした。

・管径による平面波が成立する周波数

$$f_{max} = 0.5861 \times c/a [\text{Hz}]$$

(c : 音速 = 340[m/s], a : 主管の直径 [m])

・音響管の主管径 $a = 80.7\text{mm}$

$$f_{max} = 2,469 [\text{Hz}] \approx 2.5 [\text{kHz}]$$

音響管の共鳴は、管の内部だけでなく開口端付近の空気も付加的に振動する。このため、音響管の共鳴周波数は、管の長さから算出される周波数よりも小さくなる。実験では2.0～2.5 kHz付近に効果が得られるように音響管長さを設定した。

また、気体の流れで発生する乱流を防止するため、主管と音響管の境界部にポリエステル繊維不織布を通気フィルターとして設置した。

(2) 音響実験

(a) 実験内容

音響管の適正な配置と音圧低減効果を確認するため、スピーカーからの音波 (Pink-Noise) による音響実験を実施した。音響実験の概要を写真-1に示す。実験では、試験体の前方に配置したマイクロホンにより音圧レベル波形を取得し周波数特性を把握した。

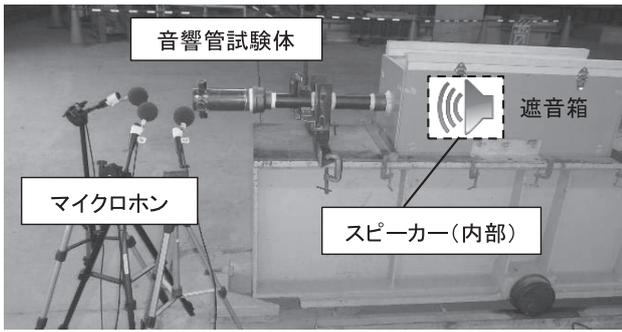


写真-1 音響実験の概要

実験における音響管の配置ケースを表-1に示す。実験では、配置する音響管の総断面積 ΣAr と主管断面積 A の比を因子にとったN0～N8の試験体について音響実験を行った。試験体の一例を写真-2に示す。

(b) 実験結果

試験体N0, N4, N8の音圧計測結果を図-7に示す。音響管がない試験体(N0)に対し、音響管を設置し

表-1 音響管の配置ケース

試験体名	主管 ϕ 80.7	音響管 ϕ 28.6		断面積比 $\Sigma Ar/A$
	A (mm ²)	数量	ΣAr (mm ²)	
N0	5,115	-	-	0%
N1	5,115	1	642	13%
N2	5,115	2	1,285	25%
N4	5,115	4	2,570	50%
N6	5,115	6	3,854	75%
N8	5,115	8	5,139	100%

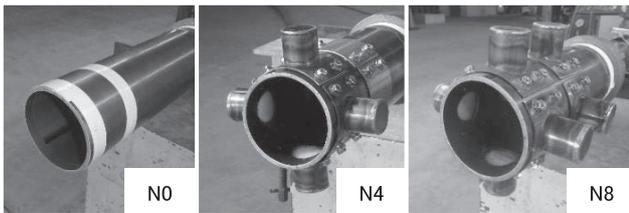


写真-2 試験体の一例

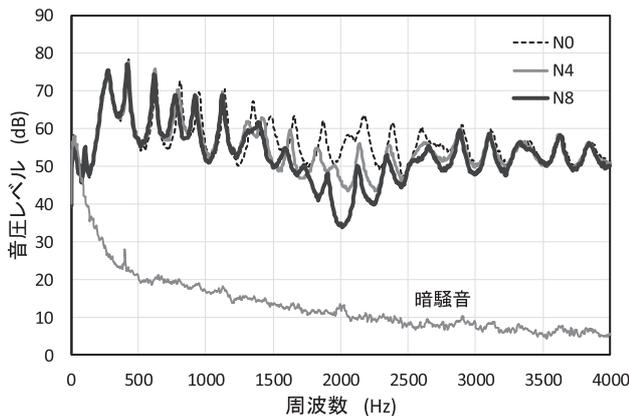


図-7 音圧計測結果 (N0, N4, N8)

た試験体 (N4, N8) では、2 kHz 付近の音圧レベルが大幅に低いことが確認できた。

各ケースの1/3オクターブバンドでの音圧低減量を図-8に示す。音響管による音圧低減効果は、音響管を配置しない試験体N0の音圧測定結果を基準に、各ケースの測定結果との差分を音圧低減量として評価した。

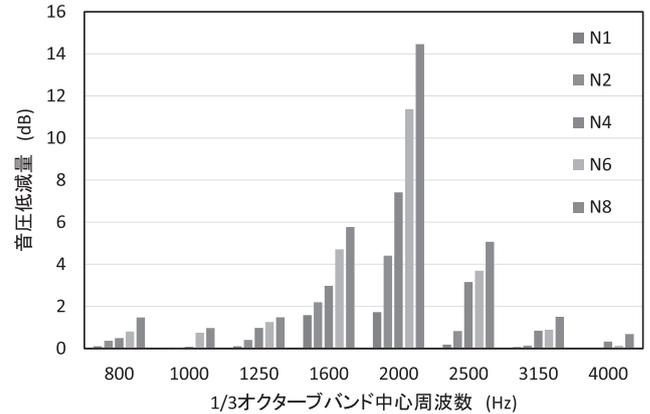


図-8 各ケースの音圧低減量

音響管を配置した全てのケースにおいて消音対象とした周波数帯の音圧レベルを低減できており、音響管の本数が多いほど効果が大きい結果が得られた。

主管と音響管の断面積比が100%の試験体N8においては、消音対象である2 kHz帯の音圧レベルを14 dB以上低減することが確認できた。

また、試験体N2においては写真-3に示すように、音響管の配置向きを対向配置および直角配置についても実験を行い、その向きによる影響を確認した。

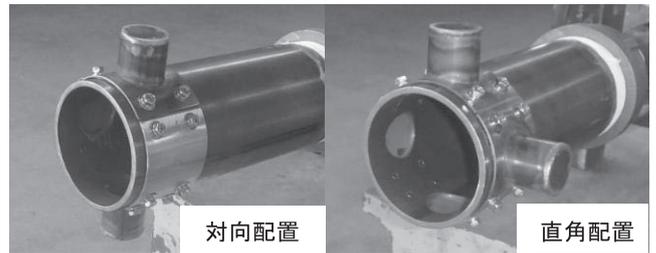


写真-3 試験体N2における音響管の配置

音響管を対向または直角に配置した場合の音圧計測結果を図-9に示す。音響管を主管の同一円周上に複数配置する場合は、音響管の開口面を対向する向きに配置することで、向き合う音響管同士の相乗効果により、音圧低減効果が高まると考えられる。

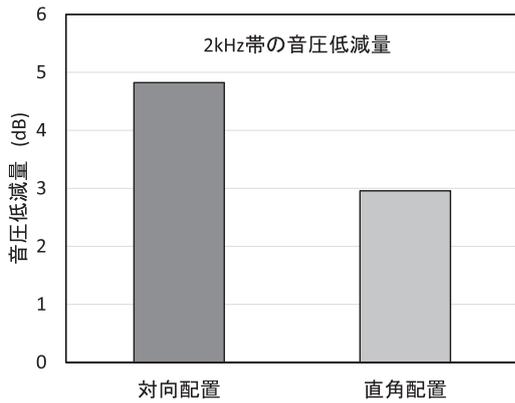


図-9 向きによる音圧低減量の比較

(3) 送風実験

(a) 実験内容

高圧空気の排出に伴う排気音に対する音響管の効果および配置の影響を確認するため、コンプレッサーからの吐出空気による送風実験を実施した。

実験の状況を写真-4、5に示す。実験時の排気流速は、熱線風速計を用いて計測した。なお、音圧の計測および分析方法は音響実験と同様とした。

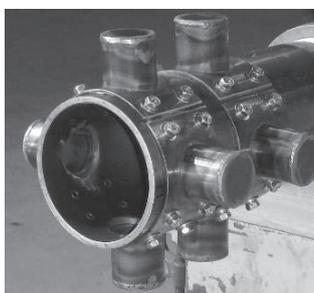
送風実験に用いた試験体を写真-6に示す。実験は、音響管を配置しない試験体N0を基準に、試験体N8に対して通気フィルターの有無による2ケースを行った。



写真-4 コンプレッサー



写真-5 計測状況



音響管のみ



通気フィルター設置

写真-6 送風実験の試験体 (N8)

(b) 実験結果

各ケースの音圧計測結果を図-10に示す。なお、実験時の排気流速は $V = 43.0 \sim 49.2 \text{ m/s}$ であった。送風実験においても音響管により、2～2.5 kHz 付近の音圧を大幅に低減できていることが確認できた。通気フィルターの有無で比較すると、音圧低減のピーク周波数においては、音響管のみの方が低減効果は高い結果が見られる。これは、通気フィルターが抵抗となり音響管内に入射する音圧が減衰するため、音響管のみの場合に比べピーク周波数における低減効果が抑えられてしまうと考えられる。

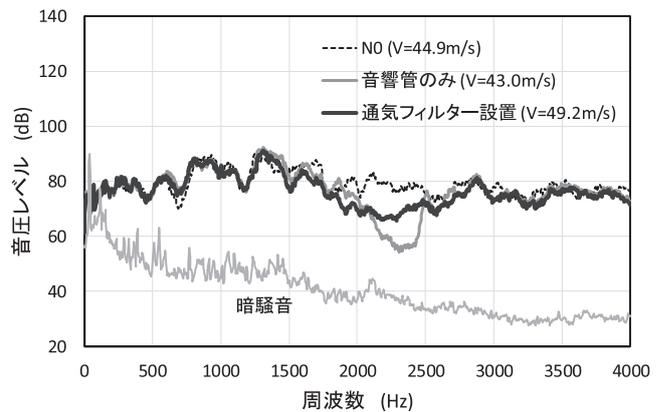


図-10 送風実験での音圧計測結果

1/3 オクターブバンドで評価した音圧低減量を図-11に示す。音響管のみのケースでは、1,250 Hz 帯において音圧低減量がマイナスとなり音圧増幅の領域が見られたが、通気フィルターを設置したケースでは音圧増幅が抑えられる結果が得られた。

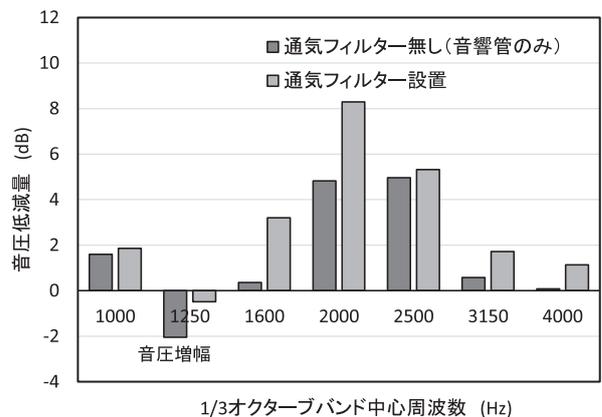


図-11 送風実験における音圧低減量

また、前述のとおり通気フィルターを設けた場合は、ピーク周波数での音圧低減は小さくなるが、1/3 オクターブバンドで評価すると、音響管のみよりも通気フィルターを設置した方が全体的に音圧低減効果は

向上することが確認できた。

4. 現場実証実験

(1) 実験の概要

開発した排気騒音低減装置をニューマチックケーソン工法による橋梁下部工事（写真—7）に導入し、実機における音圧低減効果を検証した。

現場に導入した排気騒音低減装置の概要を図—12に示す。実機における消音対象は350～450 Hz(400 Hz帯)とし、排気主管の断面積に対する音響管の総断面積の比は88%とした。

現場での計測の状況を写真—8に示す。実験では、

消音器の出口から1.5 m離れた位置にマイクロホンを設置し音圧計測を行った。

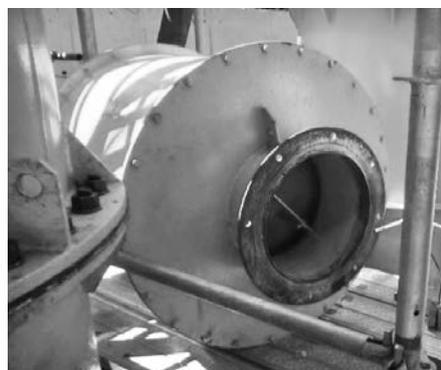
(2) 現場での計測結果

現場では、音響管による消音器を配置したケース（写真—8）と消音マフラーのみのケース（写真—9）について、それぞれ複数回の計測を行い、計測時の排気流速が同程度の計測ケースについて比較を行った。

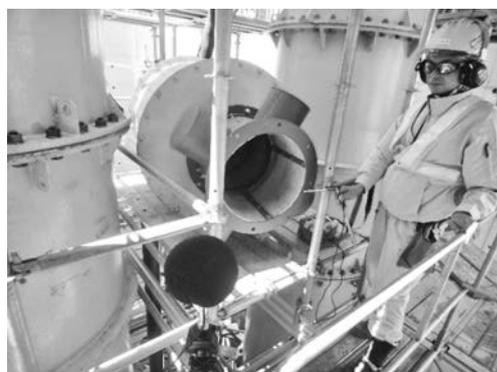
音圧の計測結果を図—13に示す。この時の排気流速は、音響管配置ケースが16.9 m/s、消音マフラーのみのケースが16.4 m/sである。計測の結果、消音対象とした400 Hz帯において8.4 dBの音圧低減が確認できた。



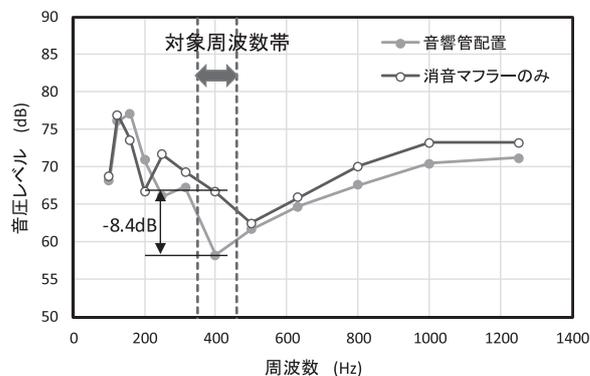
写真—7 ニューマチックケーソン施工状況



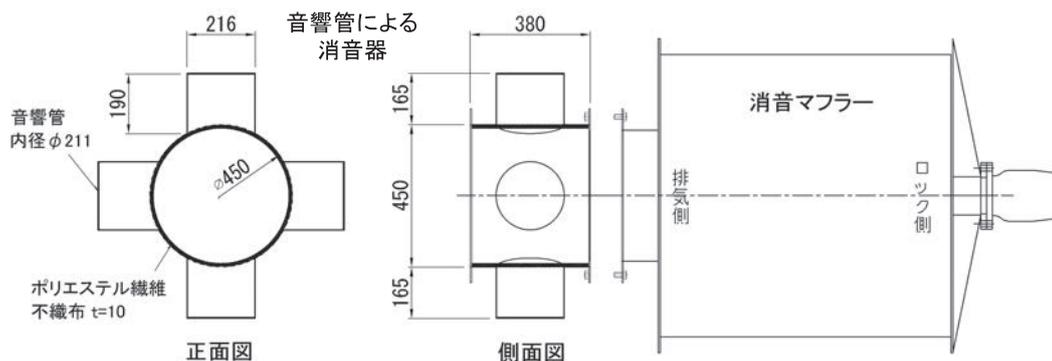
写真—9 消音マフラーのみ



写真—8 現場での計測状況



図—13 現場での音圧計測結果



図—12 導入した排気騒音低減装置の概要

5. まとめ

考案した排気騒音低減装置において実施した縮尺モデル実験の結果、以下のことが確認できた。

- ①音圧低減効果は、配置する音響管の総断面積に依存する。
- ②音響管の開口面を対向する向きに配置することで、音圧低減効果が高まる。
- ③音響管の開口面に通気フィルターを設置することで、排気流速による音圧増幅が抑えられ、全体的に音圧低減効果が向上する。

また、本装置の実現場への適用により、実機においても音圧低減効果を検証することができた。

6. おわりに

本技術は、音響管の長さを調節することで様々な周

波数帯の音圧低減に対応できるため、状況に応じた設計が可能である。

今後は、環境対策技術として積極的に現場適用を行うとともに、排気を伴うその他の対策にも展開していきたい。

J|C|M|A

《参考文献》

- 1) 角田晋相, 原田尚幸: 音響管を用いたニューマチックケーソンの排気騒音低減技術の開発, 土木学会全国大会第74回年次学術講演会, VI-1076, 令和元年9月

【筆者紹介】
角田 晋相 (つのだ しんすけ)
㈱錢高組
技術本部 技術研究所
主席研究員

