

# スリット型吸音装置によるトンネル発破音の低減効果に関する研究

## Experimental Study on Reduction of Blasting Sound in Tunnel by Slit Type Acoustic Absorber

技術研究所 嶋田 泰 YASUSHI SHIMADA  
 技術研究所 岩本 毅 TAKESHI IWAMOTO  
 技術研究所 小林 秀彰 HIDEAKI KOBAYASHI

トンネル工事の発破騒音に含まれる低周波音は、人体や周辺環境への影響が問題視されている。従来の坑口に防音扉を設置する対策では、比較的高周波数域での低減効果は得られるが、低周波数域での効果は少なく、その有効な対策が望まれる。そこで、本研究では、発破による低周波音を効果的に低減させる方法として、スリット型吸音装置を考案し、その低減効果に関して検討を行った。まず模型実験により装置の基本形状の検討を行い、次にその結果を現場に適用し、効果の検証を行った。その結果、対象周波数帯域において最大 10dB 近い低減効果が確認できた。

キーワード：発破騒音，低周波音，スリット型吸音機構，共鳴周波数

Low-frequency blasting sound in tunnel has been regarded as a problem. Conventional sound insulation door is effective for reducing high frequency noise, but effect on low frequency noise is fewer. To reduce low frequency noise of blasting sound in tunnel, an experimental study on the developed slit type acoustic absorber was executed by scale-model experiment for study on the standard shapes and by field experiment for the evaluation of the effect of noise reduction. As a result, noise reduction performance of 10dB at the designated frequency was observed.

**Key Words:** Blasting Sound, Low Frequency Sound, Slit Type Acoustic Absorber, Resonance Frequency

### 1. はじめに

トンネル工事の爆破掘削に伴い発生するいわゆる発破騒音は、低周波音を含んでいるため、人体や周辺環境への影響が問題視されることが多い。そのため、通常はトンネルの坑口に防音扉の設置などの対策が取られるが、低周波音に対しては十分な効果が得られないことが多い。

そこで、本研究では発破による低周波音を効果的に低減させるための方法として、スリット型吸音装置（以下、吸音装置）を考案し、その低減効果に関する検討を行った<sup>1)</sup>。本報では、装置の基本形状を検討するための模型実験および現場での低減効果を検証するための現場実験の結果について述べる。

### 2. スリット型吸音装置の原理

吸音装置の構造を図-1 に示す。トンネル坑口からトンネルの両側の側壁に沿ってスリットを有する隔壁を設置し、その切羽（掘削面）側の妻面の開口を妻隔壁で塞

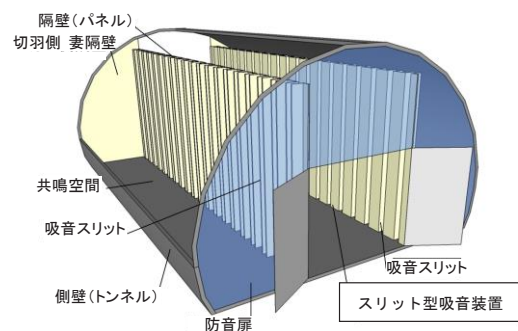


図-1 吸音装置の構造

ぐことで、スリットの背後に共鳴空間を構成する。これにより、スリットと共鳴空間とによるスリット型吸音機構が形成され、ある共鳴周波数の音に対して低減効果が得られる。なお、共鳴空間は工事中の歩行通路として利用することができる。

トンネル発破音は対象とする岩盤、使用する火薬、発破方法によって卓越する周波数成分が異なるため、現場毎に効果的に発破音を低減させるためには現場条件に合わせて共鳴周波数を調整する必要がある。スリット型の

吸音機構の共鳴周波数は、図-2 に示すようにスリットの高さを  $a$ 、幅を  $b$ 、間隔を  $B$ 、厚さを  $t$ 、共鳴空間の幅を  $L$ 、スリットの開口率を  $P(=b/B)$ 、音速を  $c$  とすると、式(1)で求められる。

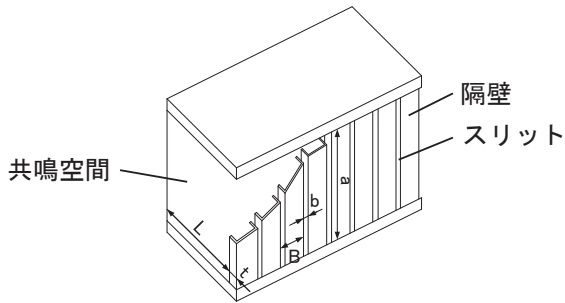


図-2 スリット型吸音機構

$$f_r = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{p}{(t + \delta)L}} \quad (1)$$

式(1)中の開口端補正值  $\delta$  はスリット幅  $b$  の関数であり、 $K$  は式(2), (3)で与えられる。

$$\delta = Kb \quad (2)$$

$$K = \frac{1}{\pi} + \frac{2}{\pi} \log_e \left( \frac{2a}{b} \right) \quad (3)$$

式(1)の関係より、原理的には、トンネル断面の大きさ(共鳴空間の大きさ)に応じて吸音装置のスリット幅を適宜変更すれば、共鳴周波数を自由にコントロールできることになる。

### 3. 模型実験による検討

吸音装置の形状と低減効果の関係について検討するため、模型実験を行った。

#### (1) 実験方法

模型は幅 12m 程度の道路トンネルを想定し、1/34 縮尺とした。トンネル本体は図-3 に示すように塩ビ管(VU管 350A)を利用し、管内空間の下部に平らな道路路面を想定した塩ビの仕切り板を設置し(図-4 参照)、その上部をトンネル形状に見立てて実験を行った。

吸音装置は図-3 に示すように、全長約 158m(実物換算)のトンネルの途中で 20m の長さで設置した。図-4、図-5 に吸音装置の概略を示す。吸音装置の試験体としては、表-1 に示すように各部の寸法を変えた Type1~5 の 5 種類を製作した。5 種類とも共鳴周波数が 24Hz とするように各部の寸法関係を設定した。

音源はトンネルの切羽側の端部に設置したスピーカ

ーからピンクノイズを発生させた。受音点はもう一方の坑口側端部の中央 1 点とし、音圧レベル(1/3 オクターブバンド)を測定した。

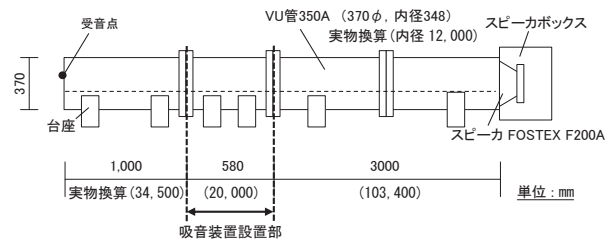


図-3 トンネル模型



写真-1 トンネル模型

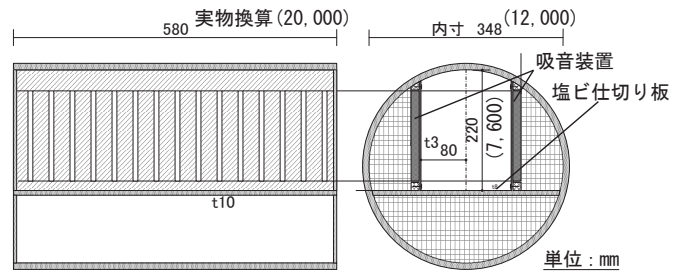


図-4 吸音装置設置部

表-1 吸音装置の試験体仕様

※寸法は実物換算

	スリット幅 $b$ (m)	隔壁厚 $t$ (m)	隔壁幅 $B-b$ (m)	共鳴空間幅 $L$ (m)	共鳴周波数 $f_r$ (Hz)
Type-1	0.3	0.5	1.0	2.0	24
Type-2	0.15	0.5	0.55	2.0	24
Type-3	0.6	0.5	1.73	2.0	24
Type-4	0.15	0.265	1.0	2.0	24
Type-5	0.6	0.855	1.0	2.0	24

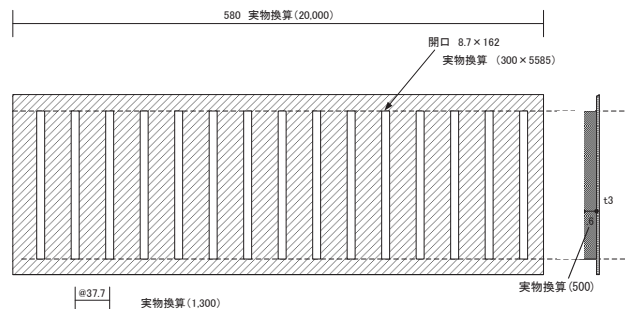


図-5 吸音装置の試験体 (Type-1)

(2) 実験結果

吸音装置無しの状態の音圧レベルを基準とし、吸音装置有り (Type-1~5) の場合の音圧レベルとの差 (低減量) を求めた結果を図-6 に示す。

細かな違いはあるものの各試験体とも概ね同様の傾向を示し、31.5Hz 帯域を中心に 10dB 程度の一定の低減効果がみられる。このことから、隔壁部の形状 (厚さと幅の寸法関係) の違いによる低減効果の差はほとんど無いことが分かる。つまり、隔壁部の形状を一定として、スリットの幅を調整すれば、任意の周波数で一定の低減効果が得られることが示唆される。なお、63Hz 以上の帯域でも 1~5dB の低減効果がみられるが、これは隔壁の板材の板振動による吸音効果と考えられる。

さらに、装置のスリット開口の背面側に吸音材 (グラスウール) を設置した場合の実験も行った。その結果の例として Type-1 の装置の場合の結果を図-7 に示す。吸音材設置により上記の 31.5Hz 帯域を中心とした低減効果がさらに 5dB 程度向上する傾向がみられる。他の装置 (Type-2~5) についても同様の傾向となった。

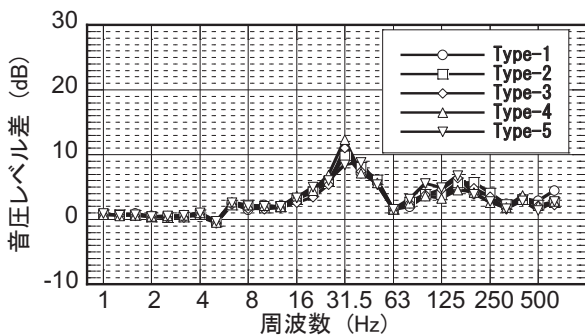


図-6 スリット型吸音装置による低減効果

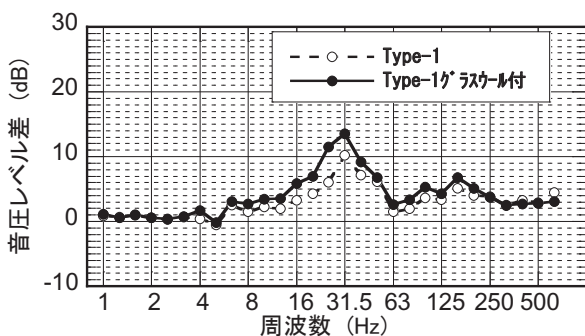


図-7 吸音材付加の効果

4. 現場実験による検証

現場において実大装置での低減効果の検証を行った。実験現場は、比較的小断面のトンネルと比較的大断面の

トンネルの 2 現場とし、前者は吸音装置を片側のみに設置、後者は両側に設置する条件とした。

(1) 現場-1 (小断面、片側設置)

a) 吸音装置の設置条件

図-8 に吸音装置の設置条件を示す。トンネル幅は約 9.2m である。装置の仕様は既成の工事仮囲いのフラットパネル (鋼板 t-1.2 mm 厚) をコの字型に組み合わせた隔壁ユニットを互いに 0.15m の離隔 (スリット) を設けて並べる仕様とした。計算上の共鳴周波数は約 20Hz である。設置長さは坑口の防音扉から約 23m とした。吸音装置の切羽側の妻側にてできる隙間は既成の防音バルーンにて塞いだ。隔壁の上部にてできた隙間は工事用防音シートにて塞いだ。

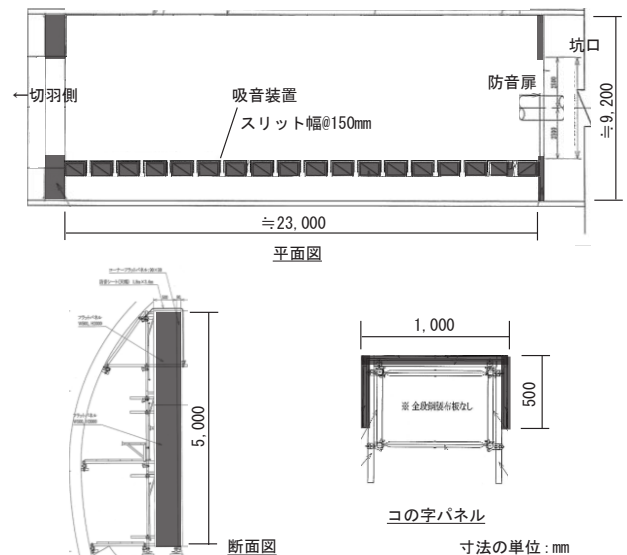


図-8 吸音装置の設置条件

b) 測定方法

音源は実際の発破騒音を用いた。受音点は図-9 に示すように、坑内は吸音装置の切羽側の端部から 20m の点 (高さ 1.2m) とし、坑外は坑口から 10m の点 (高さ 1.2m) の 2 点とした。各受音点において音圧レベル (1/3 オクターブバンド) を測定した。測定は吸音装置無し (防音扉のみ設置の状態) と、有りの状態 (防音扉+吸音装置を設置) において行った。

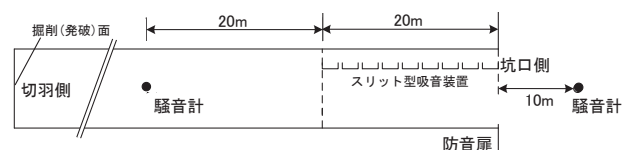


図-9 測定点位置

c) 実験結果

吸音装置を設置無しの状態（防音扉のみ設置の状態）と、有りの状態（防音扉+吸音装置を設置）における坑内・外の音圧レベルをそれぞれ図-10、図-11に示す。坑内-坑外の音圧レベル差をそれぞれ求め、さらに両者の差をとることで吸音装置による低減量を算出した結果を図-12に示す。吸音装置有りの状態では、無しの状態と比べ20Hz前後の周波数帯域で1~5dBの低減量がみられる。40Hz帯域付近で低減量がマイナスになっているのは、爆風による防音扉のバタつき等、変則的な発生音の影響と考えられる。前記の模型実験に比べ低減量が少ないのは、本現場ではトンネル内径が小さく吸音装置を片側のみの設置としたためと考えられる。

(2) 現場-2 (大断面、両側設置)

a) 吸音装置の設置条件

図-13に吸音装置の設置条件を示す。トンネル幅は約13mである。装置の仕様は鋼板 (t-1.2 mm厚) 製のボックス状の隔壁ユニットを一定の離隔 (スリット) を設けて並べる仕様とした。坑口から見て左側はスリット幅0.3m, 高さ5m, 共鳴周波数20Hzの設定とし、右側はスリット幅0.1m, 高さ3m, 共鳴周波数10Hzの設定とした。左側に比べ右側の設置高さが低いのは坑内排気用の風管を避けるためである。設置長さは坑口の防音扉から約20mとした。吸音装置の切羽側の妻側にできる隙間は防音扉用の周辺鋼製パネル (扉は付いていない) にて塞ぎ、その他の装置周辺の隙間は工事中用防音シートにて塞いだ。

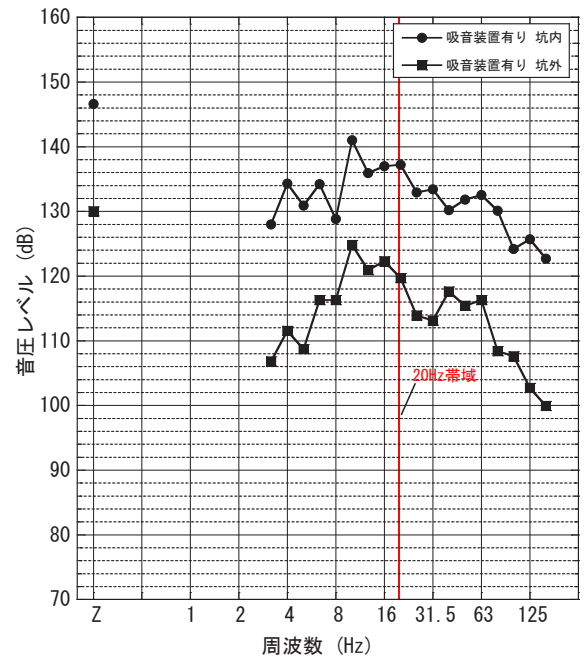


図-11 坑内外の音圧レベル測定結果 (吸音装置有り)

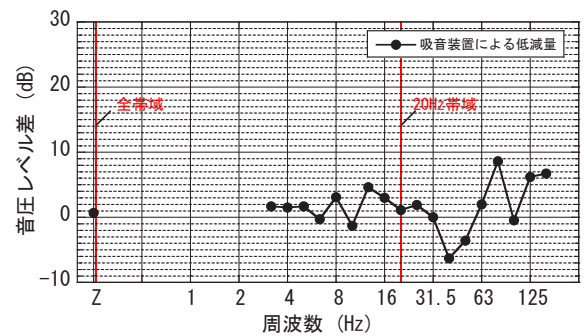


図-12 吸音装置の低減効果

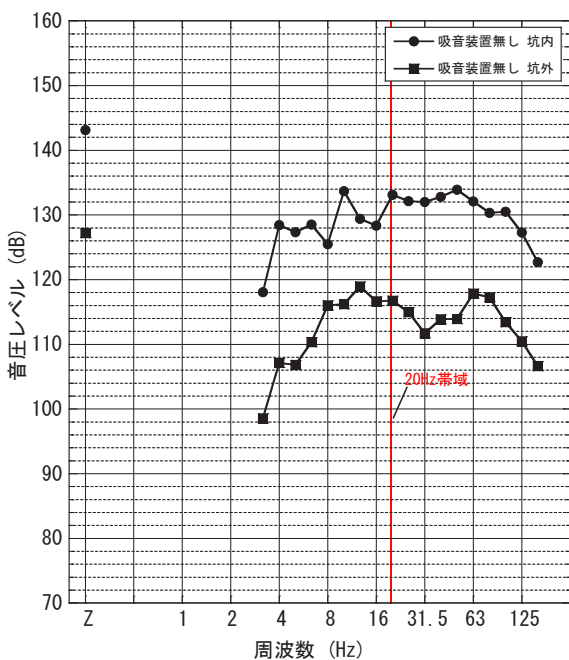


図-10 坑内外の音圧レベル測定結果 (吸音装置無し)

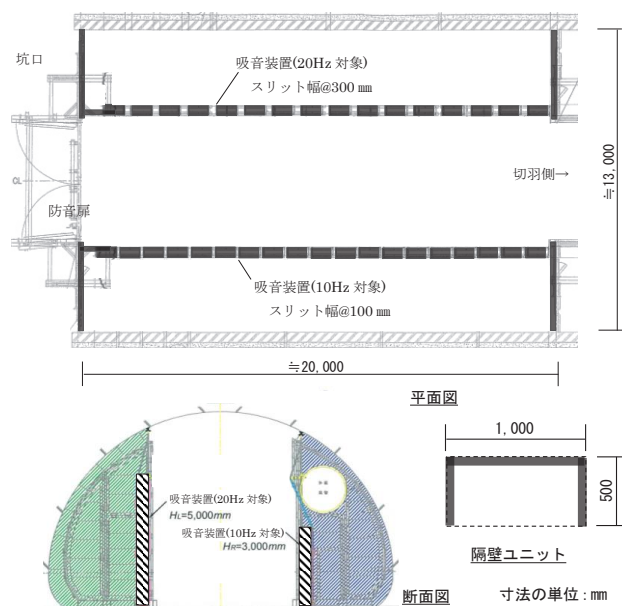


図-13 吸音装置の設置条件





写真-2 吸音装置設置状況

b) 測定方法

音源は、実際の発破騒音を用いた。受音点は、図-14に示すように、坑内は吸音装置の切羽側の端部から10mの点(高さ1.2m)とし、坑外は坑口から10mの点(高さ1.2m)とした。それ以外の測定条件は前述の現場-1と同様の方法とした。

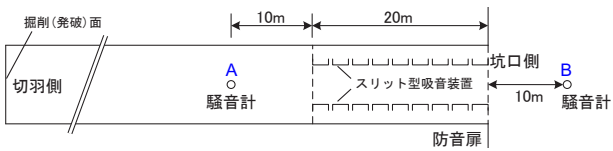


図-14 測定点位置

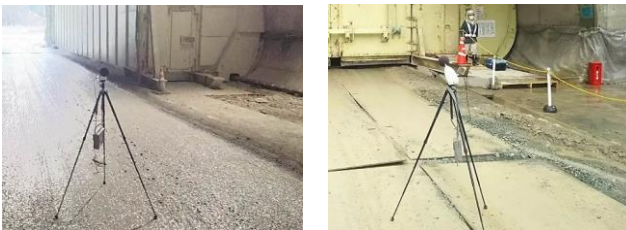


写真-3 測定状況

c) 実験結果

吸音装置無しの状態(防音扉のみ設置の状態)と、有りの状態(防音扉+吸音装置を設置)における坑内・外の音圧レベルをそれぞれ図-15, 図-16に示す。さらに前述の現場-1と同様の方法で吸音装置による低減量を算出した結果を図-17に示す。

20Hz帯域での低減量は9dB程度, 10Hz帯域では4dB程度となっている。10Hz帯域での低減量が20Hz帯域に比べ小さくなっているのは, 10Hzを対象とした吸音装置の設置高さが3mと低いことに加え, 設置長さ(約20m)が10Hzの音波の波長(約34m)に比べ短いことが原因と考えられる。

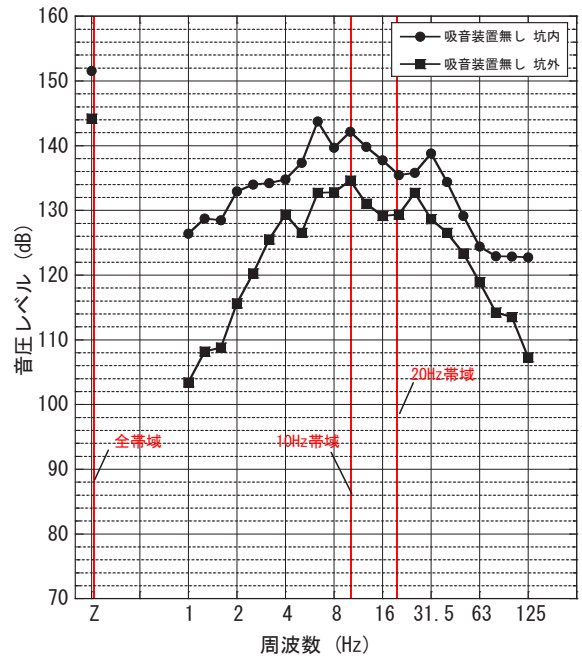


図-15 坑内外の音圧レベル測定結果(吸音装置無し)

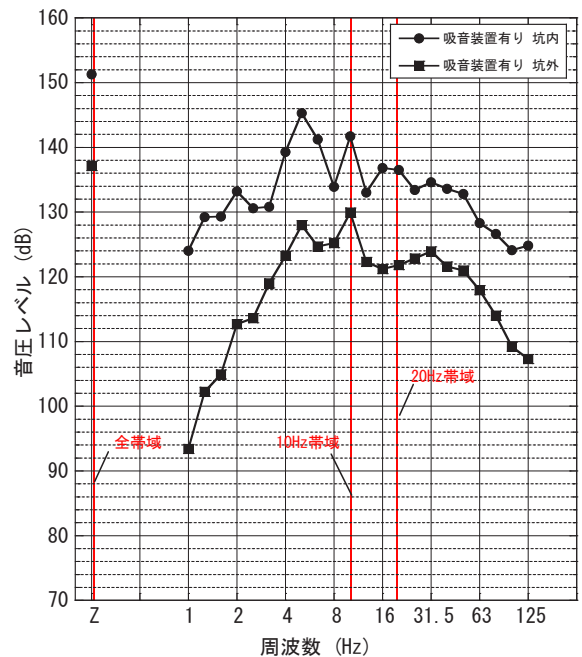


図-16 坑内外の音圧レベル測定結果(吸音装置有り)

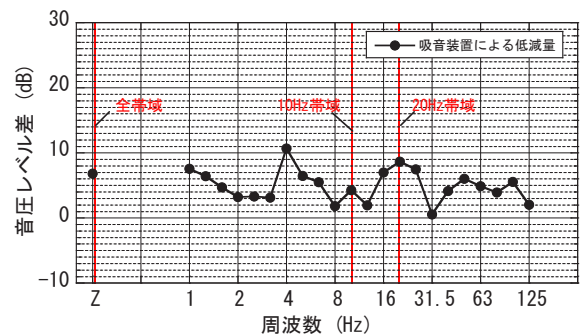


図-17 吸音装置の低減効果

d) 追加実験

両側に設置された吸音装置のうち、片側 10Hz 対象の装置を解体し、20Hz 対象の装置のみ設置された状態での測定を行った。測定結果を両側設置の場合と比較して図-18 に示す。10Hz 帯域の低減量はほとんど 0 に近づいているのに対し、20Hz 帯域では両側設置の場合に比べ多少低減量が小さくなる傾向がみられるものの、8dB 程度の効果がみられ、両側設置の場合の効果が概ね保持されている。両側設置の場合に比べ多少効果が小さくなっていることから、本吸音装置においてはスリット型の吸音機構による低減効果以外に、装置設置に伴うトンネル内の断面積変化による低減効果も多少表れている可能性が示唆される。

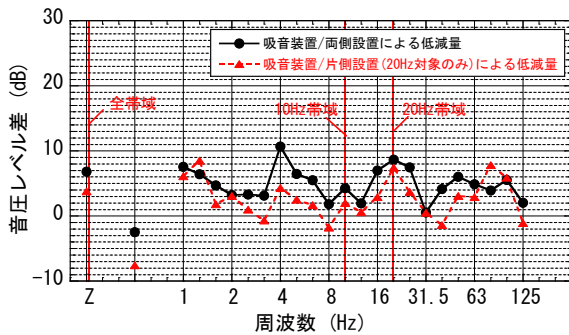


図-18 片側のみ設置の低減効果

5. おわりに

スリット型吸音装置によるトンネル発破音の低減効果について、模型実験と現場実験によって検討を行った。

その結果、現場条件によって効果は多少異なるが、スリット幅の寸法を対象周波数に合わせて設定することで、その周波数帯域を中心に最大 10dB 近い低減効果が得られることが分かった。今後、さらなる低減効果向上を目指した検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 嶋田泰, 岩本毅: スリット型吸音機構によるトンネル発破音の低減手法, 騒音制御, Vol41, No.6, pp.278-279, 2017.12