

# トンネル工事における昇降式防音壁と 可動式封鎖装置付防音扉による騒音低減効果の検討

手塚仁 \* 青木宏一 \* 徳永英人 \*\* 山下正治 \*\*\* 近藤誠一 \*\*\*\*

トンネル工事の坑口周辺では、坑口からの発破音や仮設備ヤードでの発生音が周辺民家部分で課題となる事例が多い。周辺住民の理解を得て、円滑な工事を行うためには、発破音や坑口・仮設備ヤードで稼働する各種機械からの騒音対策が重要となる。

本報告では、①工事工程に対応可能な昇降式防音壁と、②発破音低減のための風管通過部の可動式封鎖装置付きの防音扉について騒音低減効果の検討を行い、試験施工を行った。騒音確認調査により、騒音低減対策として有効であることを確認した。

キーワード：トンネル、音カメラ、騒音、測定、防音壁、防音扉

## 1. はじめに

トンネル工事は、昼夜にわたり施工を行うことや、発破方式による掘削を行う場合が多く、特に民家に近接している場合には騒音低減対策が重要である。

工事に伴う発生音は、坑内からの発生音（発破音等）と坑外作業ヤードからの発生音（吹付けプラント稼働音、ざり出しダンプの走行音等）で構成されている。トンネル坑内発生音対策としては防音扉、坑外作業ヤードは防音壁や防音建屋を設置することが一般的である。

予測計算に基づき騒音低減対策を実施した場合でも、現地の地形条件によっては、設計値を満足しないこともあり、追加対策工を行う場合も生じている。

今回、トンネル工事における騒音低減対策として、以下の2事例について試験施工および効果の確認を行った。

### ① 昇降式防音壁

現場作業状況に応じて防音壁高さを変更することにより、騒音低減対策および周辺への日影対策として有効である。

### ② 可動式封鎖装置付防音扉

トンネル坑口部に設置した防音扉の風管孔に、可動式の封鎖装置を取り付け、開口部からの発破音の伝搬を低減し、防音扉全体の遮音性能を高めた。

騒音低減効果を確認するために、サウンドレベルメータ（騒音計）と音の到来方向を把握するために音カメラを用いて対策効果の確認を行った。

なお、昇降式防音壁の試験は、東九州道（県境～北川）古江トンネル北新設工事（九州地方整備局発注）において実施した。可動式封鎖装置付防音扉の試験は、佐賀497号山彦トンネル新設工事（九州地方整備局発注）において実施した。

*	土木事業本部 トンネル技術部
**	九州支店 古江トンネル作業所
***	九州支店 山彦トンネル作業所
****	技術研究所 都市・居住環境研究部 音環境研究グループ

## 2. 昇降式防音壁

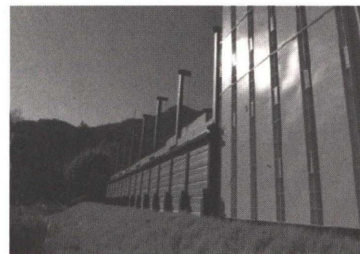
### 2.1 概要

昇降式防音壁は、騒音発生作業時には防音壁を上昇させ、作業休止時には下降させることで、従来の高い防音壁による近隣の日影の解消と景観への配慮ができる周辺環境に優しい防音壁である。

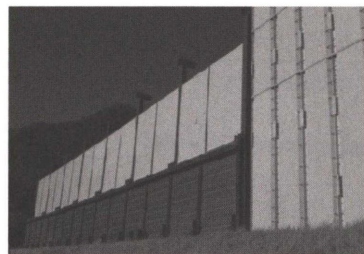
民家と作業エリアが近接している箇所では特に有効であり、今後の適用に期待できる。本試験では、トンネル作業ヤード周辺に昇降式防音壁を設置し、重機作業音の低減効果を確認することを目的とした。

### 2.2 昇降式防音壁の仕様

昇降式防音壁の下降時と上昇時の設置状況を Photo.1 に示す。なお、固定側と可動側防音壁の隙間の音漏れ対策として、Fig.1 に示すように、ゴム板を設置し隙間のない納まりとした。



(a) 下降時 H=3.5m



(b) 上昇時 H=6.0m

Photo.1 昇降式防音壁の設置状況

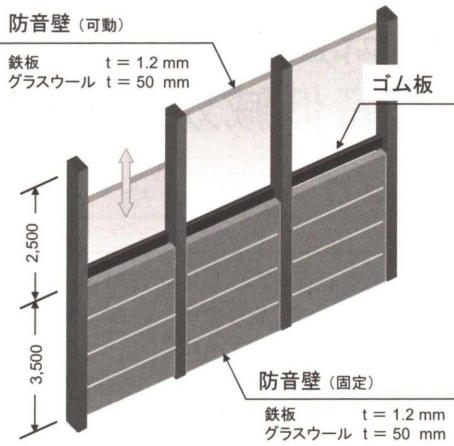


Fig. 1 昇降式防音壁

### 2. 3 試験方法

音源探査装置（以下、音カメラという）を防音壁民家側に設置し、現場作業時発生音の音漏れ箇所の有無の把握を行った。

Fig. 2 に示すように、測定点と音源位置の地盤の高低差が大きいため、測定位置に足場を設置し、受音点と測定点の高さを合わせて測定を行った。

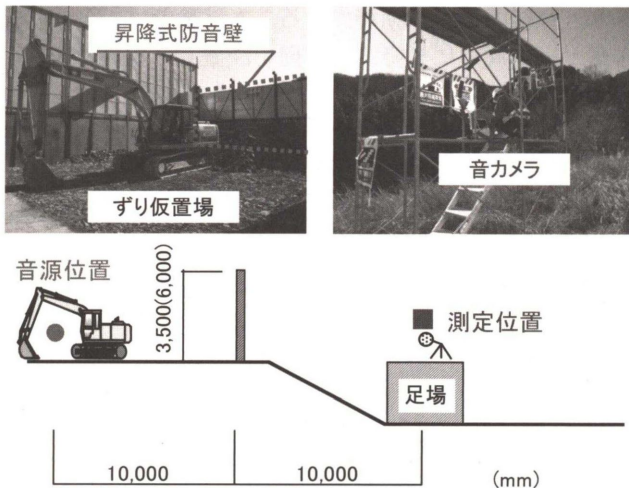


Fig. 2 測定位置縦断面図

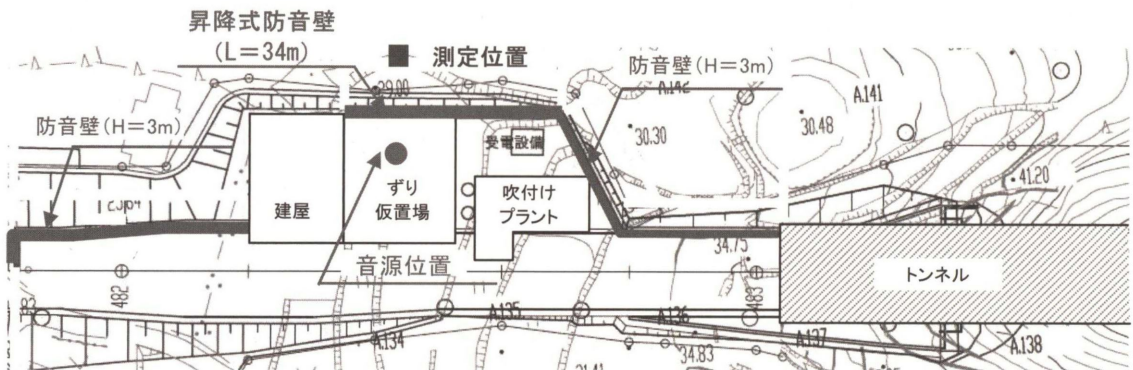


Fig. 3 測定位置平面図

Fig. 3 に示すように、試験を行ったトンネルの作業ヤードは民家側を  $H=3\text{m}$  の防音壁で防音対策が実施されている。防音壁の一部の延長  $L=34\text{m}$  区間を  $H=3.5\sim 6.0\text{m}$  に高さを変化させることができる可動式防音壁に変更して設置した。

測定条件として、Table 1 に示すように①重機（バックホウハイアイドル時）、②重機（バックホウ作業時）について、可動式防音壁の高さが、 $GL+3.5\text{m}$ 、 $GL+6\text{m}$  の各条件で測定を行った。②のバックホウ作業時は、トンネル掘削により発生した岩ズリをバックホウでかき上げ、積み込み作業を繰り返し行った。

### 2. 4 試験結果

#### 2. 4. 1 バックホウハイアイドル時の測定結果

バックホウの作業を停止し、エンジンを高速回転のアイドルリング状態とした場合の防音壁下降時 ( $H=3.5\text{m}$ )、上昇時 ( $H=6.0\text{m}$ ) の音カメラ測定結果 (37dB 以上を表示) を Fig. 4 に示す。

音カメラの出力画面は、円の位置が音の到来方向を、円の色が右側カラーバーに表示する周波数を、円の大きさが音の大きさを示す。（なお、本紙では白黒印刷のため、音の到来方向および大きさの確認のみとなる）

A 特性音圧レベルは、防音壁下降時に 49dB、上昇時に 46dB であり、その差は 3dB であった。

また、音カメラによる測定より、防音壁上昇時にも上段と下段の境界部からの音の漏れ出しがないことがわかった。

Table 1 測定ケース

測定回 No.	防音壁高さ(m)	音源
1	3.5	① バックホウ ハイアイドル音
2	6.0	① バックホウ ハイアイドル音
3	3.5	② バックホウ 作業音
4	6.0	② バックホウ 作業音



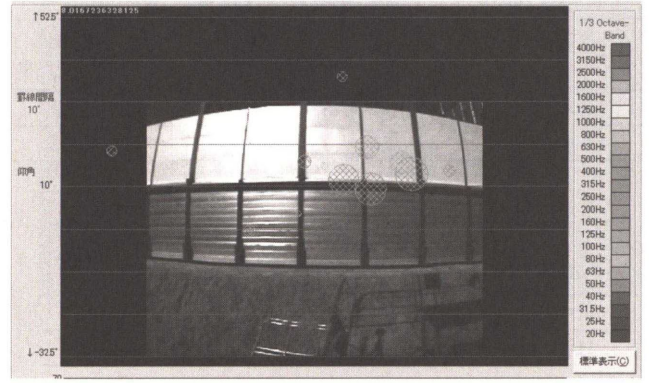
(a) 防音壁下降時



(a) 防音壁下降時



(b) 防音壁上昇時



(b) 防音壁上昇時

Fig. 4 バックホウハイアイドル音

Fig. 5 バックホウ作業音

### 2. 4. 2 バックホウ作業時の測定結果

バックホウで岩ズリをかき上げ、積み込み作業を行った際の防音壁下降時 (H=3.5m), 上昇時 (H=6.0m) の測定結果(音圧レベル45dB以上を表記)をFig. 5に示す。

測定結果より A 特性音圧レベルは, 防音壁下降時には 74dB, 上昇時には 66dB であり, その差は 8dB であった。防音壁の高さを上げる (H=GL+6.0m) ことにより, 防音壁頂部からの音の回り込み音が小さくなり, また A 特性音圧レベルも小さくなっていることを視覚的に確認できた。

また, 周波数 100Hz 以下の発生音については防音壁を透過していることを確認した。

### 2. 4. 3 現地調査結果と予測計算結果の比較

サウンドレベルメータによる測定結果と予測計算により防音壁の低減量について比較を行った。

騒音伝搬は, 以下の計算式より求められる。但し, 防音壁からの透過音はないものと想定した。

予測断面は, 現地調査時と同様にした (Fig. 6)。

#### ○ 音源のパワレベル算出

$$PWL = SPL + 20 \log_{10}(r) + 8$$

- PWL : 音源のパワレベル (dB)
- SPL : 音圧レベル (実測値) (dB)
- r : 実測時の音源までの距離 (m)

#### ○ 距離減衰

$$SPL_1 = PWL - 20 \log_{10}(r_1) - 5$$

- $SPL_1$  : 予測点の音圧レベル (dB)
- $r_1$  : 音源から予測点までの距離 (m)

#### ○ 防音壁の遮蔽による減衰 (回折減衰)

$$SPL_{r2} = SPL_{r1} - \Delta L_d$$

$$\Delta L_d = \begin{cases} -10 \log_{10} N - 13 & \dots\dots N \geq 1 \\ -5 \pm 9.1 \sinh^{-1}(|N|^{0.485}) & \dots\dots -0.322 \leq N < 1 \\ 0 & \dots\dots N < -0.322 \end{cases}$$

- $SPL_{r1}$  : 予測点の音圧レベル (防音壁なし) (dB)
  - $SPL_{r2}$  : 予測点の音圧レベル (防音壁設置後) (dB)
  - $\Delta L_d$  : 回り込み減衰 (回折減衰) (dB)
  - N : フレネル数 ( $= 2 \delta / \lambda$ )
  - $\delta$  : 行路差 (m)
  - $\lambda$  : 波長 (m)
- ±符号の+は  $N < 0$ , -は  $N > 0$  のときに用いる

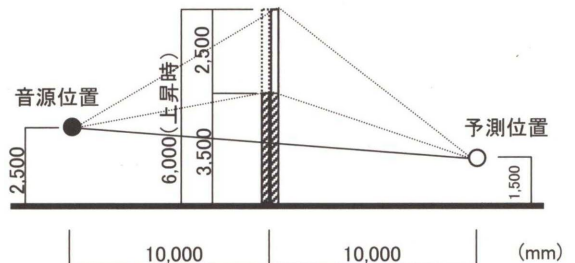


Fig. 6 回折減衰算出断面

Table 2 音源データ (dB)

音源の パワレベル	オクターブバンド中心周波数 (Hz)						
	63	125	250	500	1k	2k	4k
ハイアイドル音	78	76	83	87	85	81	76
作業音	84	95	106	108	113	116	113

Table 3 予測計算結果 (ハイアイドル音) (dB)

防音壁 高さ	A 特性帯域オクターブバンド周波数 (Hz)							A 特性 音圧レベル
	63	125	250	500	1k	2k	4k	
H=3.5m	36	36	39	41	35	29	21	45
H=6.0m	32	28	32	33	28	21	13	38

Table 4 予測計算結果 (作業音) (dB)

防音壁 高さ	A 特性帯域オクターブバンド周波数 (Hz)							A 特性 音圧レベル
	63	125	250	500	1k	2k	4k	
H=3.5m	42	52	62	62	63	64	58	69
H=6.0m	38	47	56	55	56	56	51	62

Table 5 予測結果と実測結果の比較 (dB)

防音壁 高さ	ハイアイドル音		作業音	
	予測値	実測値	予測値	実測値
H=3.5m	45	49	69	74
H=6.0m	38	46	62	66

予測計算に使用する音源データは、Table 2 に示すように、サウンドレベルメータで求めた A 特性等価音圧レベル ( $L_{Aeq, 10sec}$ ) を用いた。

予測計算結果を Table 3, Table 4 に、予測結果と実測結果の A 特性音圧レベルの比較を Table 5 に示す。

予測値と実測値を比較すると、予測値に対して実測値が 4~6dB 程度大きく、防音壁を透過する音の影響が考えられる。

### 3. 可動式封鎖装置付防音扉

#### 3.1 概要

発破時における防音扉からの音は、防音扉を透過する音と隙間などの開口部から漏れる音の合成されたものとなる。防音扉のなかで、遮音性能を大きく低下させる要因となっている風管通過部の開口を Fig. 8 に示すように、可動式の閉鎖装置を設置し、風管孔閉鎖時の発破音の低減効果を確認することを目的とした。また、扉下部部分の隙間封鎖時についても測定を行った。

#### 3.2 試験方法

音カメラ調査は、風管開放時と閉鎖時の条件について、防音扉を閉じた状態で坑口外部の防音扉方向の調査を行った。発破音の特性を考慮し、低周波音用と可聴音用の音カメラを用いた。

測定ケースを Table 6 に示す。測定は、防音扉の風管孔開放と閉鎖の状態をそれぞれ低周波音、可聴音を測定する 4 ケースで行った。

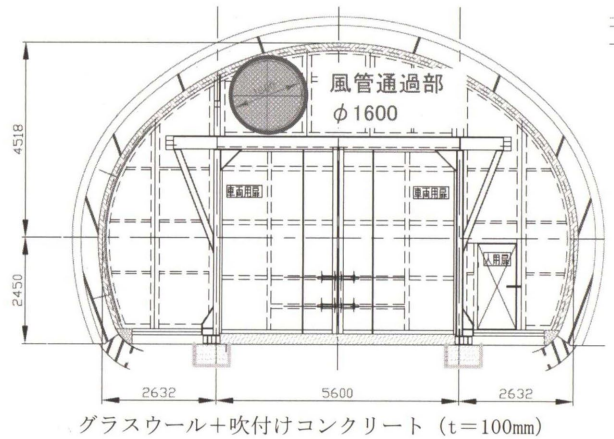
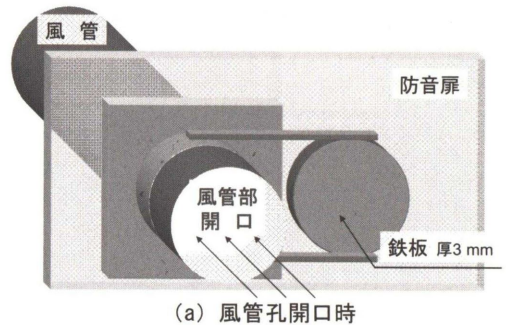
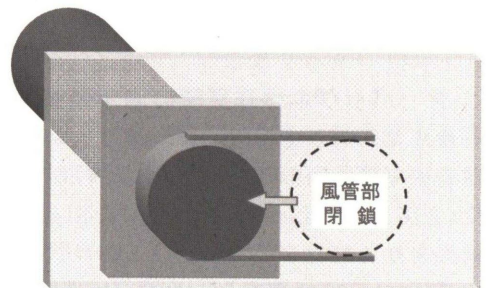


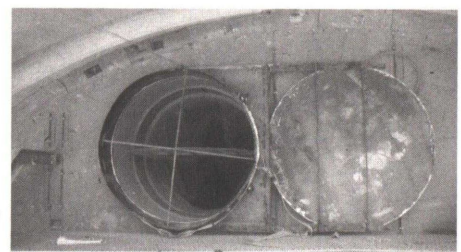
Fig. 7 防音扉の仕様



(a) 風管孔開口時



(b) 風管孔閉鎖時



(c) 設置状況 (風管孔開口時)

Fig. 8 防音扉風管孔の可動閉鎖装置

なお、風管孔閉鎖状態の No. 2 のケースでは、Fig. 9 に示すように、防音扉下部の隙間部からの音漏れを確認するために土嚢積を行った。

火薬量は切羽の状況に応じて変化するが、極力変動のないように 43~52kg の範囲で発破を行った。

音カメラ調査と併せて、全ての測定回について、A 坑内、B 坑外の 2 点において、サウンドレベルメータにより発破時の騒音調査および分析を行った。測定位置図を Fig. 10 に示す。

Table 6 測定ケース

測定 No.	火薬量 (kg)	風管部の状態	防音扉下部隙間	低周波音カメラ	可聴音音カメラ
1	52	開放	無対策	○	
2	48	閉鎖	土囊積	○	
3	43	開放	無対策		○
4	45	閉鎖	無対策		○

注) 発破段数: 15 段 (4.5 秒)

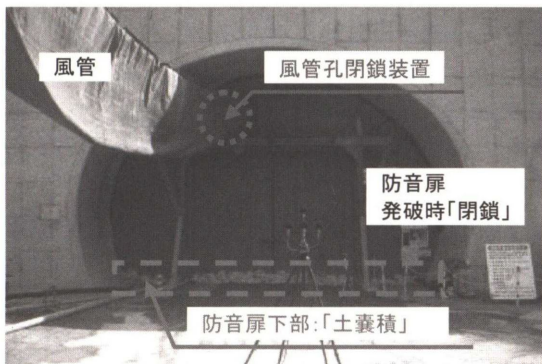


Fig. 9 防音扉の騒音低減対策

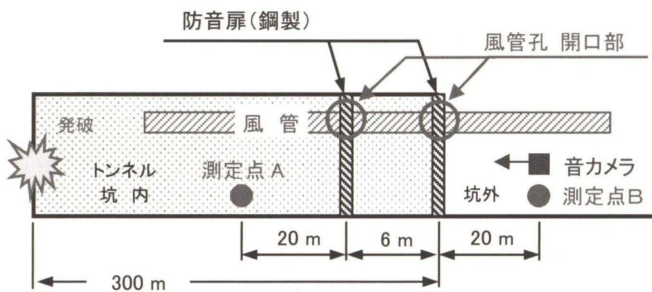


Fig. 10 測定位置図

### 3. 3 試験結果

#### 3. 3. 1 音カメラによる測定結果

##### (1) 低周波音測定結果

低周波音の測定結果 (10~100Hz) を Fig. 11 に示す。(表示は音圧レベル 70dB 以上)

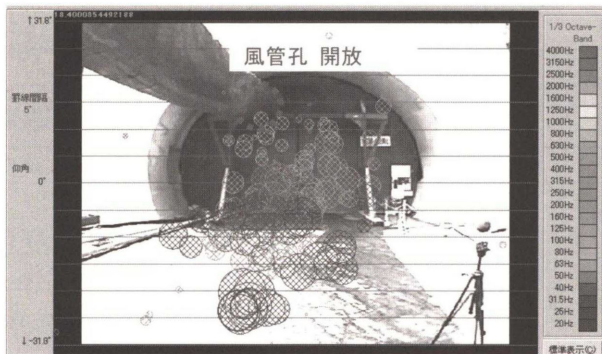
Fig. 11(a)と(b)を比較すると、対策ありと対策なしでは、風管部からの音がなくなっていることがわかる。これにより、風管孔開口部対策は、音の漏れ出しに対する効果が高いことが視覚的に捉えられている。

また、防音扉下部の隙間についても、土囊による対処の有無で低周波音が低減されていることが確認できた。

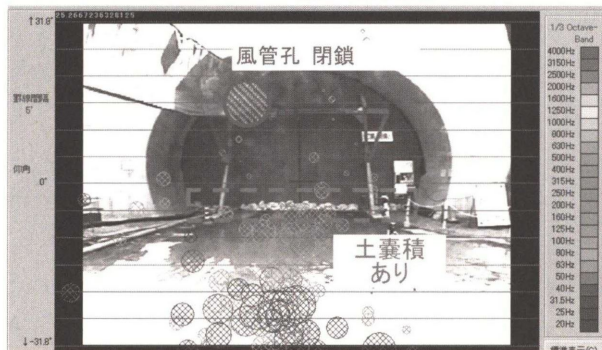
##### (2) 可聴音測定結果

可聴音用の音カメラの測定結果(周波数 100~4, 500Hz) を Fig. 12 に示す。(表示は音圧レベル 50dB 以上)

低周波音測定結果と同様に、風管孔開放時には音の到来方向が風管方向を示していることがわかる。風管孔を閉鎖することにより風管の開口部近傍部分から到来する音が低減されていることが確認できた。

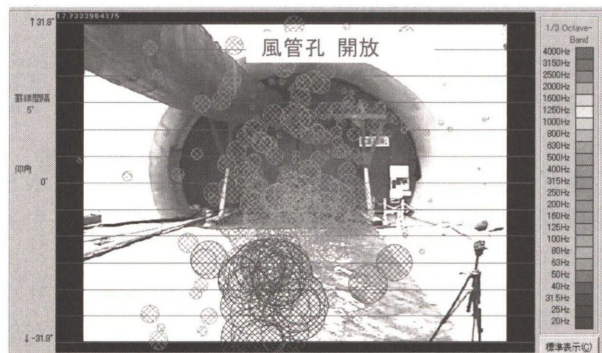


(a) 測定 No. 1 開口部対策なし

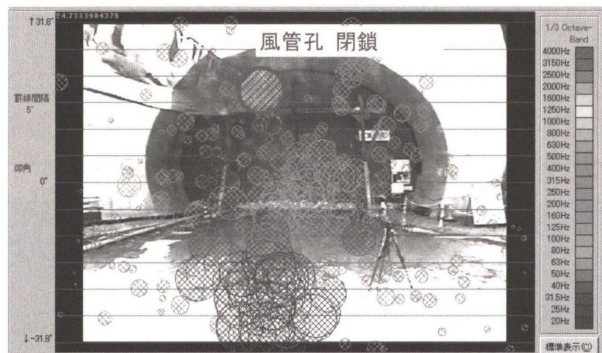


(b) 測定 No. 2 開口部対策あり

Fig. 11 低周波音測定結果



(a) 測定 No. 3 開口部対策なし



(b) 測定 No. 4 開口部対策あり

Fig. 12 可聴音測定結果

#### 3. 3. 2 サウンドレベルメータによる測定結果

音カメラを用いた測定と同時に、サウンドレベルメータを用いた測定を Fig. 10 の測定点 A, B において行った。

発破時の騒音は、トンネル発破音の防音扉の減音効果を把握するため、評価量としてエネルギーベースに基づく単発音圧暴露レベルで風管塞ぎなどの騒音対策の評価を行った。

Table 7 測定結果 (dB)

測定 No.	風管部の状態	防音扉下部隙間	単発騒音暴露レベル (L <sub>AE</sub> )		
			測定点 A (坑内)	測定点 B (坑外)	差
1	開放	無対策	114	94	20
2	閉鎖	土嚢積	115	88	27
3	開放	無対策	113	93	20
4	閉鎖	無対策	117	92	25

Table 8 騒音低減量 (dB)

測定 No.	風管部の状態	防音扉下部隙間	相対音圧レベル差 (dB)
1	開放	無対策	0 *
3	//	//	
4	閉鎖	無対策	5
2	閉鎖	土嚢積	7

※ 測定 No. 1 と 3 の単発騒音暴露レベルの差 20dB をゼロとする

ここに、

- $P_A(t)$  : 対象とする騒音の瞬時音圧 (Pa)
- $P_0$  : 基準音圧 (20  $\mu$  Pa)
- $t1 \sim t2$  : 対象とする騒音継続時間を含む時間 (s)  
発破 15 段 (4.5 秒) より 5 秒間とした
- $T_0$  : 基準時間 (1s)

上記計算式で求めた、単発音圧暴露レベルに A 特性補正を行い、単発騒音暴露レベル (L<sub>AE</sub>) として Table 7 に示す。

騒音対策の効果は、測定点 A の坑内騒音と測定点 B の坑外騒音の差によって表される。測定ケース No. 1 および No. 3 のレベル差を 0dB とした場合の相対音圧レベルを Table 8 に示す。風管部の開口を塞ぐことにより 5dB (No. 4) , さらに防音扉下部の隙間に土嚢を積んだ場合 7dB (No. 3) の騒音低減効果を確認した。

音カメラを用いて、対策箇所を的確に捉え、対策を実施することにより、防音扉の遮音性能を確実に向上させることができた。

## 4. おわりに

本報告では、トンネル工事における坑口からの発破音や仮設備ヤードでの発生音に対する騒音低減対策として、昇降式防音壁と可動式封鎖装置付防音扉を開発し、その低減効果を現場試験にて確認を行った。

昇降式防音壁は、防音壁上昇時の上段と下段の境界部からの音漏れもなく、現場作業状況に応じて防音高さを変更しても所定の防音性能を発揮することを確認した。

発生音の卓越周波数により低減量に差が見られるが、防音壁の高さを高くすることにより音源の種類によるが 3~8dB 程度の低減効果を確認した。

一方、防音扉の風管孔の開口部に可動式の封鎖装置を設置することで 5dB 程度低減し、発破時における防音扉からの音の漏れ出しに対する効果が高いことを確認した。さらに、扉可動部下部分に土嚢を積むことにより、隙間をより少なくすると、低減量が 2dB 程度大きくなることを確認した。

これまで明らかにされていなかったトンネルの発破音の伝搬状態が、音カメラにより視覚的に捉えることができ、対策工を検討する際に有効な手段となることも証明できた。

今後のトンネル工事において、これらの防音設備を設置することで、周辺環境に配慮した工事の一助となれば幸いです。

## 謝辞

九州支店古江トンネル作業所及び山彦トンネル作業所の皆様には、稼働中の現場での準備・試験等に多大なる御協力を賜りました。末筆ではありますが、ここに深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 社団法人日本音響学会：平成 19 年度 建設工事騒音の予測手法に関する検討 報告書，平成 20 年 3 月

# A Study on Effectiveness of Elevating Noise Abatement Hoardings and Ventilating Duct Valve at Intermediate Bulkheads

Hitoshi TEZUKA, Koichi AOKI, Hideto TOKUNAGA, Masaharu YAMASHITA and Seiichi KONDO

## Abstract

Construction noises emitted at tunnel portal areas are mainly attributable to blasting operations in a tunnel and miscellaneous mechanical noises generated in temporary workshops. Such noises usually give rise to a public nuisance against the neighboring residents. It is therefore important to have noise control measures which are viable and also acceptable to the neighboring residents for a smooth project management.

This paper reports the effectiveness of two types of noise reduction measures that has actually been acquired through practical experiences at a project site; they are, viz. 1) Elevating Sound Abatement Hoardings and 2) Ventilating Duct Valve at Intermediate Bulkheads. Note that the Ventilating Duct Valve is a device installed at the intermediate bulkhead to reduce the blast sound behind the intermediate bulkhead. The valve is removable for normal ventilation. The experiments proved the two noise reduction measures effective and viable.

Keywords: Tunnel, Sound camera, Noise, Measurement of noise, Noise abatement hoarding, Ventilating duct valve