

スリット型吸音機構によるトンネル発破音の低減手法

Reduction of Tunnel Blasting Noise by Slit Type Acoustic Absorption Mechanism

岩本 毅 TAKESHI IWAMOTO

山地 宏志 HIROSHI YAMACHI

嶋田 泰 YASUSHI SHIMADA

技術企画部 中森 純一郎 JUN-ICHIRO NAKAMORI

トンネル掘削時の発破音を低減する手法としてスリット型吸音機構に着目し模型実験を行った。その結果実物換算で 20m 程度の吸音機構を設けることによっておよそ 10dB 程度の低減効果を確認した。また、目標とする周波数が一定であればスリットの形状を変化させても減音効果が変わらないことからスリットを構成する部材をプレキャスト化すればスリットの間隔のみで共鳴周波数を変更できることを明らかにした。

キーワード：トンネル発破音，スリット型吸音機構，模型実験

Model experiments simulating slit type acoustic absorption mechanism as a technique to reduce blasting charge sound in the tunnel digging were conducted. As a test result, the model showed a reduction effect of 10dB degree by installing the acoustic absorption system of around 20m length in terms of real scale.

Key Words: Tunnel blasting noise, Slit type acoustic absorption mechanism, Model experiment

1. はじめに

トンネル掘削時の発破音は、数 Hz から数十 Hz の低周波音帯域で音圧が最大となるため、低周波騒音被害がしばしば問題となる。低周波騒音被害は、建具等をがたつかせる「物的影響」、眠りを妨げる「睡眠影響」、圧迫感、振動感や頭痛等をもたらされる「心理的・生理的影響」等に分類されるが、いずれも社会生活に影響を与え、トンネル施工に係る最も重要な環境問題となっている。

低周波騒音は波長が長く、従来のトンネル防音壁等では有効な減衰が得られ難い。また空気による音響吸収も極めて小さいため、遠方までその影響が及ぶ。近年、プラント等で発生する定常的な低周波騒音に対しては、逆位相の音源と重ね合わせることで、これを打ち消すアクティブ制御型の対策が開発されている¹⁾が、発破などのように突発的な低周波騒音に関しては、共鳴箱の設置等を除き、有効な対策は多く示されていない。

現在、トンネル施工に供されている共鳴箱は、工場等で製作した製品を坑内に運搬し、設置する方式が採用されているが、運搬等の理由からその寸法・重量は限定され、その共鳴空間も限られたものとならざるを得ない。また、大型共鳴箱の運搬・設置が可能としても、坑内作

業の障害となることが懸念される。

このような現状に鑑み筆者らは、図-1に示すように坑内のデッドスペース（坑内作業に顕著な影響を及ぼさないという意味で）を共鳴空間として利用する現地組み立て型の低周波音減衰装置を設計・開発した。本報告ではスリット型吸音構造の低減効果について模型実験により検討した結果を報告する。

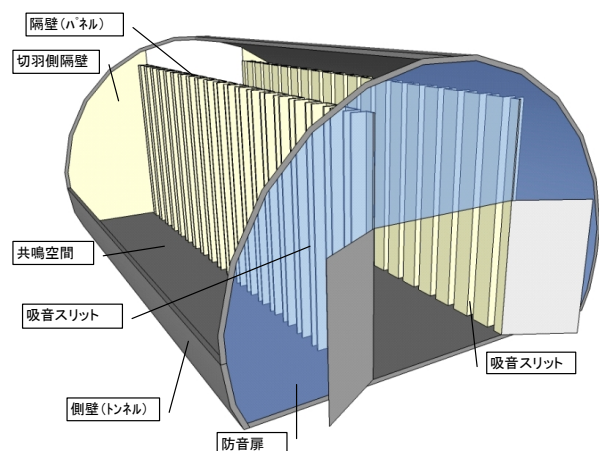


図-1 スリット型吸音機構を用いた低周波音低減装置

2. スリット型吸音機構

図-1に示すように、トンネル進行方向に等間隔のスリットを設けた共鳴型吸音機構を組み立て、トンネル断面方向に設置した妻隔壁とスリットで囲まれた共鳴空間により吸音を行う方法を検討した。

トンネル発破音は対象とする岩盤、使用する火薬、及び発破法によって卓越する低周波成分が異なる。したがって、効果的に低周波騒音を減衰するためには、対象工事に合わせて共鳴周波数を調整することが望ましい。

図-2に示すように、スリットの高さを a 、幅を b 、板の間隔を B 、板の厚さを t 、背後空気層の深さを L 、スリットの開口率を $p (=b/B)$ とするとスリット型吸音構造の共鳴周波数 f_r は、

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

で求められる²⁾。式(1)中の、開口端補正值 δ はスリット幅 b と $\delta = Kb$ の関係にあり、 K は以下のように与えられる²⁾。

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

式(1)の関係は、トンネル断面の大きさに応じてレゾウール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することができる可能性が高いことを示す。

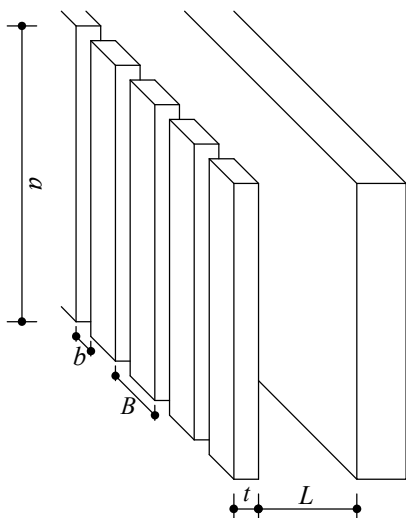


図-2 スリット吸音構造

3. 模型実験による確認

スリット型吸音機構の減音効果を評価するため、模型実験による検討を行った。モデルとして、幅12m程度の道路トンネルを想定し、1/32縮尺とした。模型の概要を図-3.4及び写真-1に示す。図に示すように、トンネル本体は塩ビ管（VU管 350A）とし、中央付近の580mm（実物換算 20,000mm）部分にスリット型の隔壁を設置できるようにした。ひとまず目標とする共鳴周波数を816Hz（実物換算 24Hz）とし、模型のスリット間隔37.7mm（同1300mm）、スリット厚さ15.6mm（同500mm）、スリット幅8.7mm（同300mm）に設定した。スリット部の抵抗を増やすと共鳴周波数での吸音率は少なくなり吸音する周波数が広帯域になることは広く知られているが、実際にどの程度効果があるか不明であったためスリット型吸音機構に不織布を貼付し抵抗を増やした場合での実験も行った。

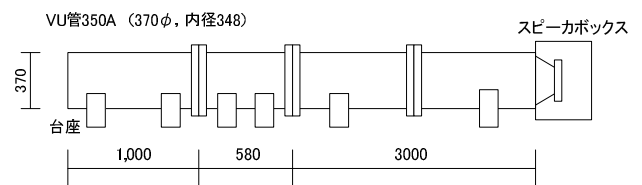


図-3 トンネル模型

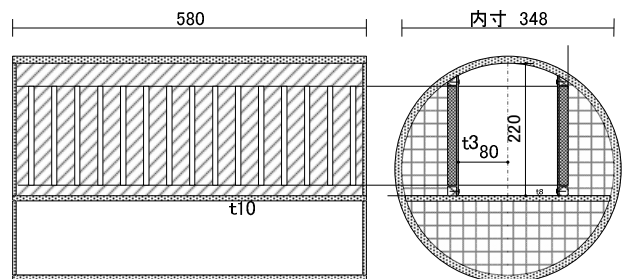


図-4 スリット型吸音構造部



写真-1 トンネル模型

実験のブロックダイアグラムを図-5に示す。音源信号はファンクションジェネレータ（エヌエフ回路設計ブロック製，WF1943A）を使用し，16～20kHzに亘って正弦波を掃引させた。掃引時間は165秒とした。開口端にマイクロホンを設置し，出力をA/Dコンバータを介してパーソナルコンピュータに取り込んだ。スリット型吸音機構が無い場合とある場合での開口端での音圧レベルを測定し，この音圧レベル差を求めることにより減音量とした。

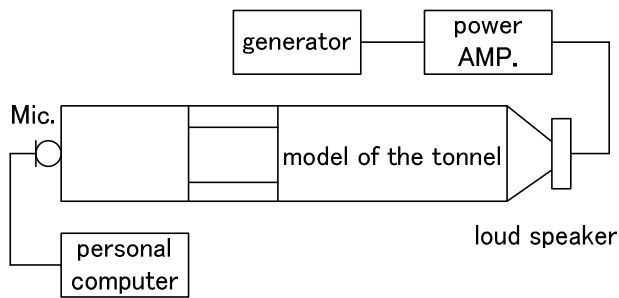


図-5 ブロックダイアグラム

図-6にスリットの有無における音圧レベル差を示す。また，図-7に不織布を貼り付けた場合のスリットなしでの音圧レベル差，図-8に不織布の有無での音圧レベル差を示す。なお，グラフは実物換算の周波数で表示している。



図-6 基本形状に対するスリット型吸音機構の効果

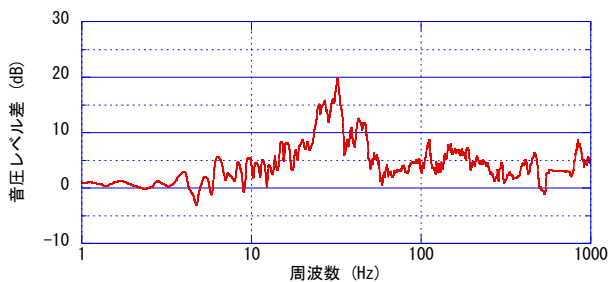


図-7 不織布を貼り付けた場合の基本形に対する効果

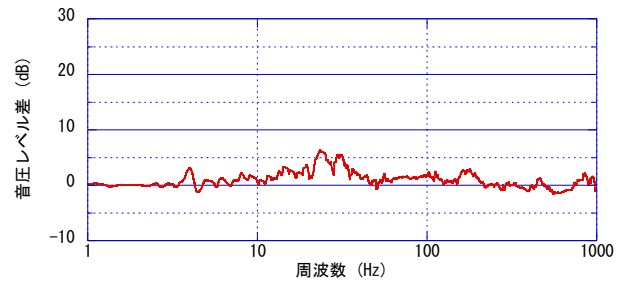


図-8 不織布の効果

いずれの場合においても31.5Hz付近が最も音圧レベルが減衰しており，スリット型吸音機構のみの場合で最大15dB，不織布を貼り付けた場合ではおよそ20dBの減衰効果が見られた。共鳴周波数は平均断面長さをを用いて計算を行い24Hzとしてスリット形状を求めたが，今回の実験では計算値よりも30%程度共鳴周波数が高くなった。これは，背後空気層が湾曲している状況では背後空気層の長さとして平均断面を用いた計算値よりも短い空気層として作用したものと考えられる。

以上の結果から，スリット型の吸音機構で発破音の低減が可能であると考えられる。

次にスリットを設置する位置は同じで，スリットの幅，間隔，奥行きを変化させた場合の効果について検討した。

表-1に実験を行ったスリット形状を示す。値は実物換算のものである。目標とする共鳴周波数はすべて24Hzとした。このうちType-1については先に行った形状とおなじものである。トンネル断面は曲面であるため，背後空気層の大きさは平均断面長さとした。

Type-2およびType-3については板厚（スリットの奥行き）を一定としてスリット幅を変化させた場合の検討，Type-4およびType-5についてはスリットを作るための板幅を一定とした場合の検討をするためのものである。

表-1 検討したスリット形状

モデル	幅 (m)	厚さ (m)	間隔 (m)
Type-1	0.3	0.5	1.3
Type-2	0.15	0.5	0.7
Type-3	0.6	0.5	2.33
Type-4	0.15	0.265	1.15
Type-5	0.6	0.855	1.6

実験は前回と同様に正弦スイープ波を用い，1/3オクターブバンドごとに減音効果としてまとめた。いずれのタイプにおいてもスリット部の抵抗を増すために不織布を設置した場合の測定も行った。

図-9に不織布を設置しない場合，図-10に不織布を設

置した場合の音圧レベル差をそれぞれ示す。いずれの場合においても31.5Hz付近が最も音圧レベルが減衰しており、およそ10dBの減衰効果が生じた。減衰効果は共鳴周波数を中心として1オクターブバンド以上の帯域で効果が見られた。63Hz以上の比較的高い周波数においても減衰効果が表れているが、板振動による吸収と思われる。

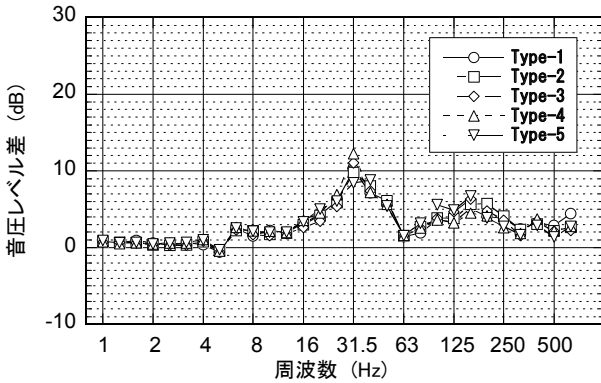


図-9 各タイプの減音量（不織布なし）

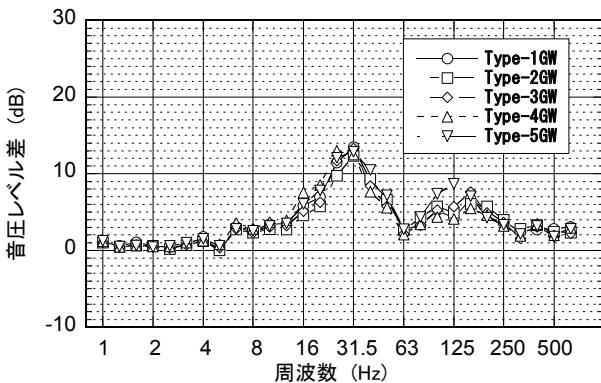


図-10 各タイプの減音量（不織布あり）

各タイプを比較すると細かな違いはあるものの、減音性能に大きな差は生じていないことが判る。ある共鳴周波数に対しては、背後空気層が等しければスリットの形状に左右されることなく減音効果はほとんど変わらない。従ってスリットを構成する部材（板幅、奥行き）を統一させてスリット幅のみの変化で様々な周波数に対応できる可能性が高いことが示唆された。またスリット部の抵抗の効果は共鳴周波数を中心に2～3dB程度であった。

実験は、片側のみに設置した場合の実験も合わせて行った。結果を図-11に示す。共鳴周波数付近の減音量は両側設置と比較しておよそ半分の5dB程度の減衰であったが、それよりも高い周波数において減衰が大きくなっている。この原因についてはあらためて検討したい。

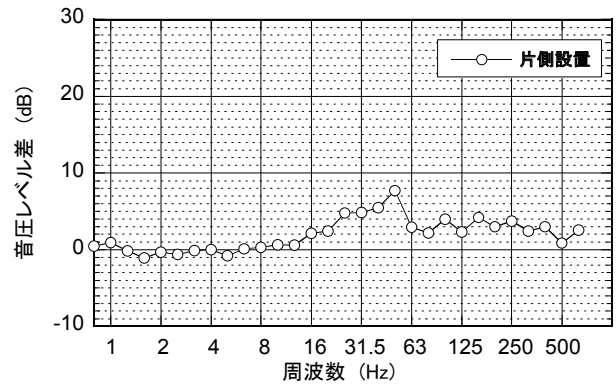


図-11 片側のみに設置した場合の減音量

4. おわりに

トンネル工事における発破音を減衰させるために、スリット型吸音機構を持った低周波音低減手法を考案し模型実験を行ってその効果を確認した。その結果、直径12m程度の一般的な断面を持つトンネルにおいては、発破音が最大となる周波数で10dB以上の低減効果があることがわかった。また、共鳴周波数は空洞部の平均長さよりも30%ほど上昇した。さらに、共鳴周波数を一定にしてスリット部の開口率などを変化させても減音量がほとんど変わらないことから、実際の適用においてもスリットを構成する部材は一定の大きさにして、スリットの間隔を変更するだけで目標とする周波数に調整が可能であることが示唆された。

模型実験結果を基に、茨城県発注の十国トンネル工事において、延長20m、高さ5m、スリット間隔1,180mm、スリット幅150mmとしたスリットをトンネル片側に設置し実証実験を試みおよそ5dBの低減効果を得ることができた。スリットの施工は現地組立式として2日程度を要したが、現在、部材のプレキャスト化、モジュール化を検討中でさらなる設置の簡便化と柔軟な変更を目指しており、実現化した場合にはあらためて報告したい。

<参考文献>

- 1)たたとえば、井上保雄：アクティブ騒音制御技術のプラント騒音への適用，環境管理，Vol.34，No.5(1998)
- 2)（社）日本騒音制御工学会編：騒音制御ハンドブック