

# トンネル発破音の特性とその対策例について

真藤利孝 平野 滋  
縄岡 好人

## Characteristics of Noise in Tunnel Blasting and an Example of Noise Control

Toshitaka Shindo Shigeru Hirano  
Yoshihito Nawaoka

### Abstract

Noise is generated in blasting work for tunnelling, and the surroundings are affected by this noise. As the blasting noise is an unfamiliar, impulsive, and loud sound, there are more complaints against it than for other noises. The complaints are that the blasting is “noisy” or that “windows rattle”; the one is an ordinary noise problem, the other is a new problem arising from low frequency noise. This low frequency noise from tunnel blasting has not yet been sufficiently studied, and estimating and measuring methods have not been established. This report explains the low frequency noise of tunnel blasting, shows the characteristics of tunnel blasting sounds, and describes an example of noise control carried out against the low frequency noise.

### 概 要

トンネル建設現場において、発破を用いた掘削作業を行なう場合には、発破により発生する騒音が周囲の環境に影響を及ぼす。発破騒音は、日常聞かない音であること、衝撃的な音であること、大きな音であることなどによって、他の騒音と比較して、周辺の住民から苦情が発生し易い。苦情の内容は、「うるさい」といった今迄の騒音問題と同様のものもあるが、「窓や戸がガタツク」といったものもある。これは発破により発生した低周波音によるものであるが、発破による低周波音については、いまだ研究が十分されておらず、評価方法、測定方法についても明らかとされていない。この報告は、トンネル発破騒音問題で今迄あまり考慮されていなかった低周波音について解説し、トンネル発破音の特性を示し、低周波音の対策を行なった例について述べる。

## 1. はじめに

トンネル建設現場において、発破を用いた掘削作業を行なう場合は、発破により発生する地盤振動と騒音が周辺の環境に影響を及ぼす。

発破による地盤振動は、その影響により構造物にまで被害が及ぶこともあるが、かなり研究が進んでおり、振動の予測手法、火薬と振動の関係および対策例も数多く発表されている。

発破騒音は、日常聞かない音であること、衝撃的な音であること、大きな音であることなどによって、他の騒音と比べて周辺の住民から苦情が発生し易い。特に、住民の公害問題に対する意識が高まってくるにつれて都市部だけでなく山間部においても、現場近くに民家があ

れば苦情が持ち込まれる例が多くなってきている。

苦情の内容は、「うるさい」といった今迄の騒音問題と同様のものもあるが、「窓や扉がガタツク」、「窓がぬけてくるようだ」といったものもある。これは、発破により発生する低周波音の影響によるものであるが、発破による低周波音については、いまだ研究が十分なされておらず、評価方法、測定方法についても明確となっていない。

ここでは、トンネル発破騒音で今迄あまり考慮されていなかった低周波音について解説し、トンネル発破音の特性を示し、低周波音について対策した例を示す。

## 2. 発破による騒音公害について

### 2.1. 低周波音とは

音とは、音波（空気の圧力変動の伝搬）によって耳の鼓膜が振動し、その振動によって生ずる感覚である。圧力の変化は、1秒間に何回圧力が変動するかで表わし、Hzという単位を用いる。

我々は、20~2万 Hzの範囲の音波が聞えるといわれている。耳に聞える音の中で「うるさく聞える音」、「不快となる音」が騒音であり、比較的感度の良い40~8 kHzぐらい（ただし、最も感度の良いのは4 kHz付近であり、低音域になる程感度は悪くなっていく）が対象となる。

可聴音の下限である20 Hz以下の音は、超低周波音または低周波空気振動と呼ぶ場合もある。超低周波音は、可聴域以下であるため通常の騒音のように「うるさい」といった苦情は発生しないが、超低周波音によって建物の窓や戸がガタガタ振動してその音がうるさいといった二次的な騒音問題が発生することがある。この建具のガタツキは、可聴音域の低音域（90 Hz程度以下）でも見られる場合があるので、最近では、90 Hz以下の可聴音と超低周波音を合せて低周波音と呼ぶことが多い<sup>1)</sup>。

低周波音域の考え方を図-1に示す。

## 2.2. 低周波音の影響

低周波音の周囲に対する影響は、騒音ではみられない

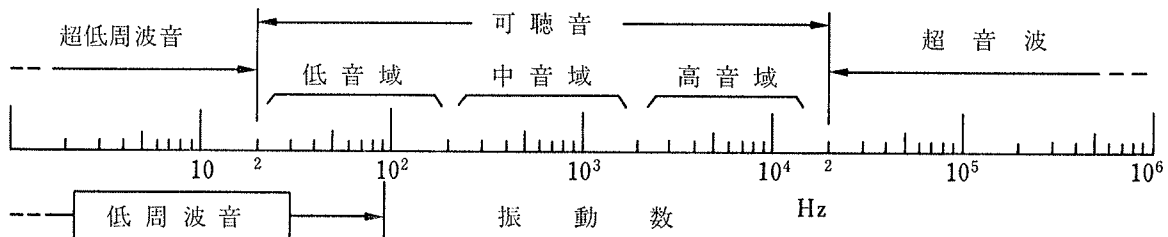


図-1 低周波音の考え方

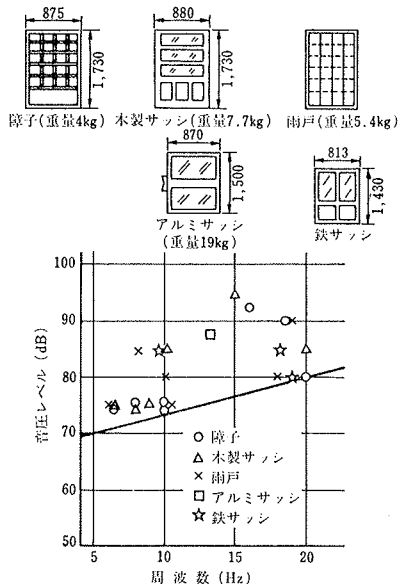


図-2 窓や戸などがガタツキ始める値

影響があり、見方によっては振動による影響に似ている。低周波音の苦情内容は、建具、家具、窓ガラスがゆれる、ガタツクといった物的なもの、気分がいらいらする、睡眠が妨害されるといった心理的なもの、頭痛、吐き気、圧迫感があるなどの生理的なものもある。このうち、発破音については、発破音が発生頻度も少なく、瞬間的な音であることから、人体に対する生理的な影響は考えなくとも良い場合が多いと思われる。

図-2は、ガタツキの発生する音圧レベルと周波数の関係を示したものであり、図-3は、低周波音を感知する最小のレベル（閾値）を示したものである。これらの図より、人間が低周波音の存在を感知し始めるレベルよりもかなり小さいレベルで、窓ガラスなどがガタツキ始めることがわかる。

従って、トンネル発破による低周波音の影響については、窓がガタツクことによって二次的な騒音が発生する問題について考えておけば良い。

## 3. トンネル発破による発破音の特性

### 3.1. トンネル発破音のスペクトル

トンネル建設工事の発破作業により発生する音の音圧

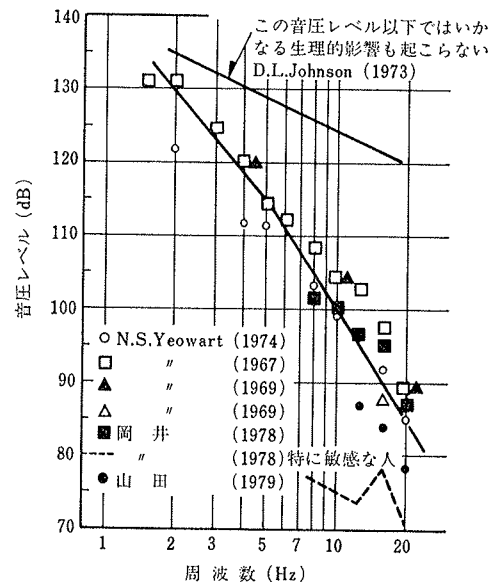


図-3 超低周波音の閾値

レベルと周波数特性は、地質、火薬量、発破パターンなどの影響を受ける。

図-4は、トンネル発破音の音圧レベルとその周波数特性の例である。これは、古生代粘板岩主体の地質で、2号榎を用いて発破を行なったときの坑口(切羽は1,240m奥)において測定した。低周波音は、4~10 Hz にピークがあり、音圧レベルは130dBを越えている。騒音(可聴音)は、A特性補正をして、80~160 Hz にピークがありレベルは90 dB(A)を越えている。

3.2. 一段発と音圧波形

図-5は、坑口から350mの切羽で発破をかけたときの坑口から5mのトンネル内での音圧波形を示したものである。図-6は、その切羽面の発破パターンと段数および薬量である。このトンネルでは、坑口に防音扉が設置されており、防音扉は閉じた状態で測定した。

音圧波形のピークは、ほぼ0.25秒間隔で変動しており発破の段発とよく対応している。ただし、6段目までの発破に対しては明確なピークが現れるが、7段目以降で

は、坑口で反射して後退してくる音と重なるため、各段発ごとのピークはわかりにくい。

一般に、発破による振動は段ごとの薬量が同程度であれば、1段目の振動振幅が大きいといわれている。しかし、騒音の場合には、この例では1段目の音圧振幅が大きくなっているが、同様な発破で他の段が大きくなっている例もあり<sup>3)</sup>、必ずしも1段目の音圧振幅が大きくなるとはいえないようである。

3.3. 発破音の坑内における減衰

図-7は、トンネル内の切羽から360m離れた点と坑口(切羽から1,240m)における音圧レベルをプロットしたものである。

トンネル内での低周波音の減衰は、約1km離れていても1~5dB程度しかない。測定したトンネルは二次復工が完了しているため、二次復工前の状態と比較して、坑内の減衰が小さく出る傾向にある。しかし、トンネル内が一次元に制限された空間であることを考えれば、低周波音については、二次復工前でもあまり減衰せず同様

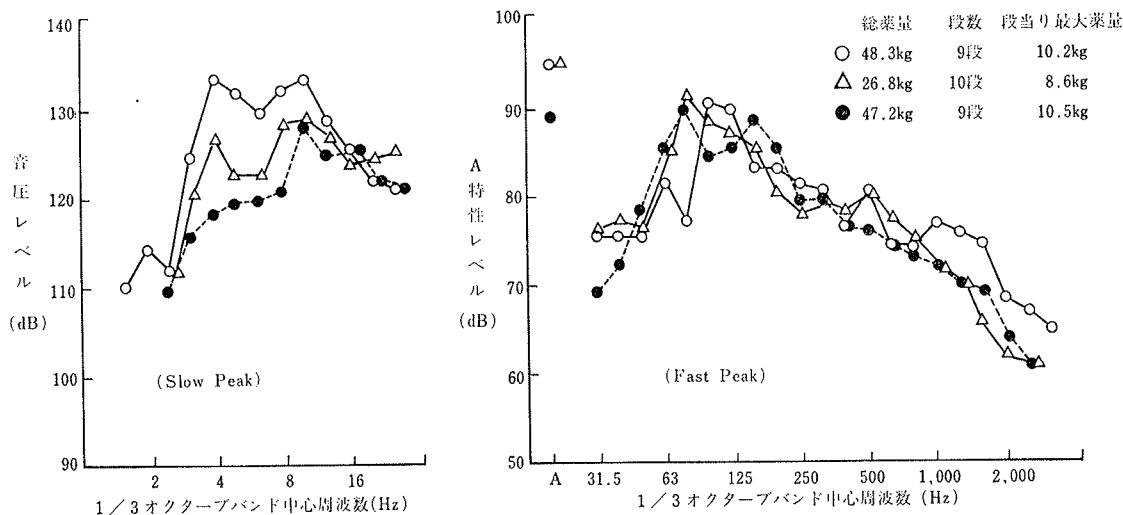


図-4 発破音の音圧レベルと周波数特性

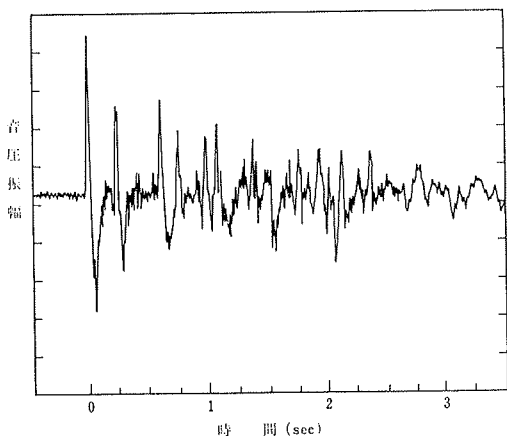


図-5 音圧振幅波形

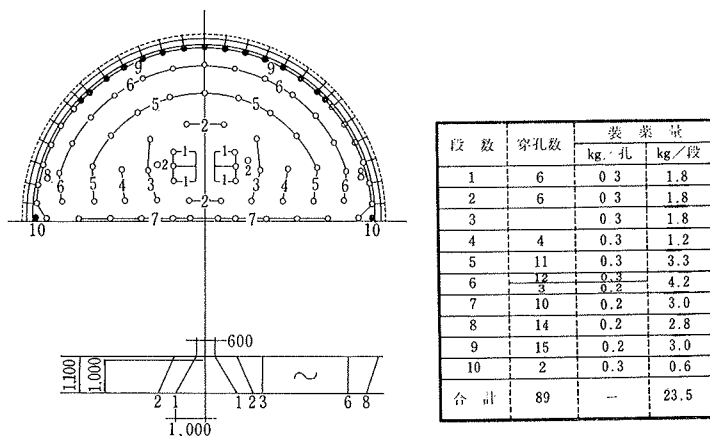
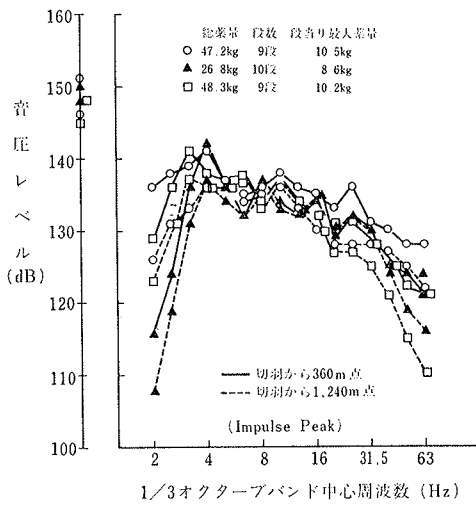
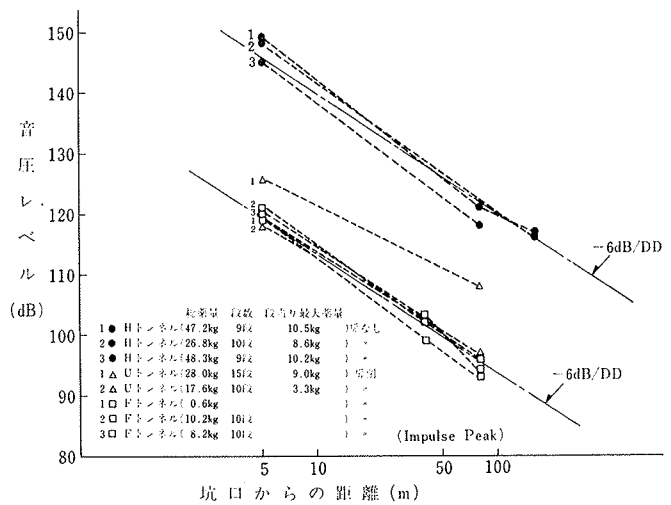


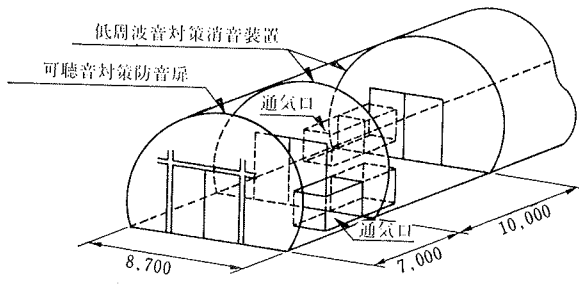
図-6 発破パターンと段数および薬量



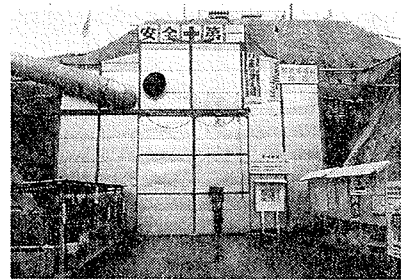
図一七 坑内における発破音のレベル



図一八 発破音の距離減衰



図一九 消音装置の概要



写真一 可聴音用防音扉

な減衰特性となるものと思われる。

### 3.4. 発破音の距離減衰

図一八は、坑口から放射された発破音の距離減衰を示したものである。発破音のレベルは、600 Hzのローパスフィルタをかけて求めた。

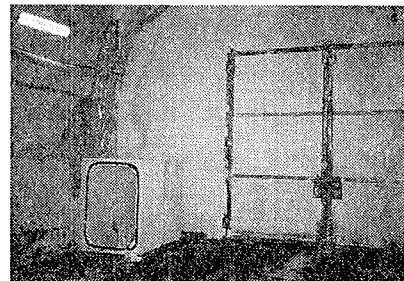
発破音は、倍距離で 6 dB 減衰する特性を示している。

## 4. 対策例

対策を実施したトンネル建設現場は、上部半断面先進の NATM 工法で施工されており、坑口より約 300 m 付近から粘板岩主体の地質となる。トンネルの坑口より 80 m 離れた地点に最寄りの民家がある。粘板岩を掘削するためには、発破を使用する必要があり、一切羽当りの総火薬量も 50 kg 程度となるものと予定され、発破により発生する音が民家に影響を及ぼす必配があった。

対策をしない場合は、総火薬量 50 kg、発破段数 10 段のときには、最寄りの民家で低周波音が 110 dB、騒音レベルが 70 dB(A) と予測された。この低周波音のレベルは、ガタツキ限界を 10~30 dB 上廻っており、騒音レベルも 70 dB(A) と大きいので、対策なしでの発破の使用は無理であると判断された。

建設現場では、騒音(可聴音)対策として、1.6 mm 厚

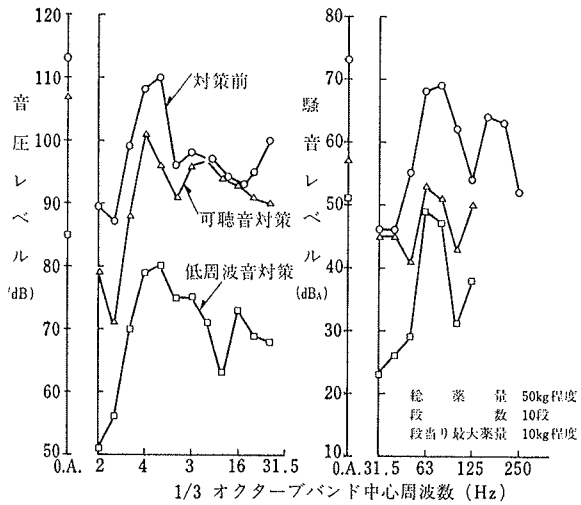


写真二 低周波用消音装置

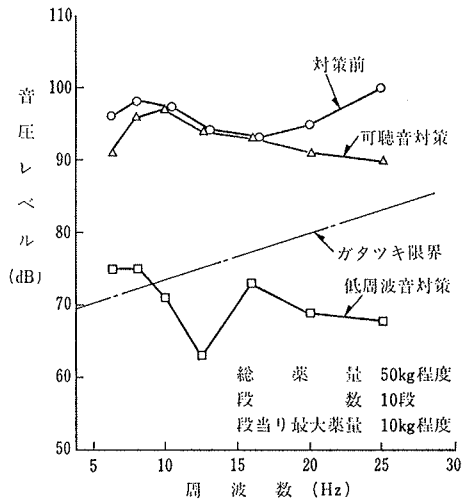
の鉄板にガラスウールを張った防音扉が準備されていた。扉の概要を写真一に示す。

防音扉を設置したときの最寄りの民家での発破音は、騒音レベルで 60 dB(A) となり、約 10dB(A) の効果があった。低周波音は 107 dB 程度となるが、依然としてガタツキ限界を 10~25 dB 上廻っている。

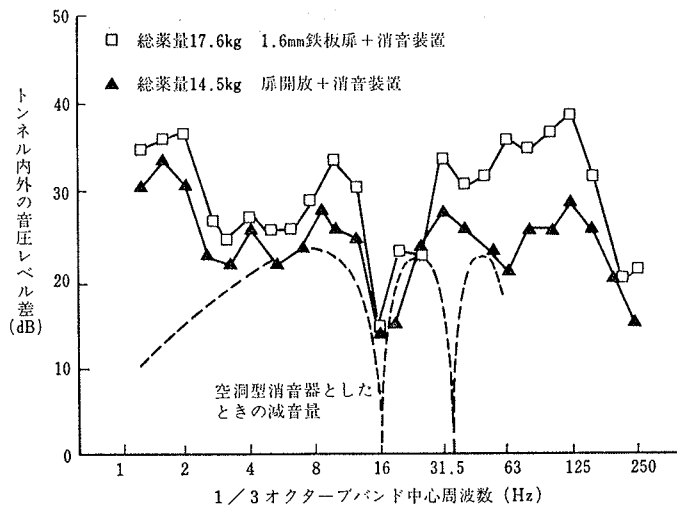
低周波音の対策として、トンネル本体を消音器の一部とし、尾管を設けた対策を試みた。消音装置は、8 Hz を中心に消音するように設定し、隔壁は鉄板にコンクリートを厚さ 15 cm 吹きつけ、尾管は暗渠などに使用されるプレキャストコンクリート製のものを利用し、1.3 m × 1.7 m の開口とした。この消音装置は爆風圧を通気口(尾管)から逃がしながら消音を意図したものである。



図一10 最寄りの民家における発破音レベル



図一11 民家における発破音レベルとガタツキ限界



図一12 消音装置のトンネル内外音圧レベル差

図一9, 写真一2に消音装置の概要を示す。

図一10は、トンネル坑口に最寄りの民家における発破音のレベルを対策前後で比較したものであり、図一11は同様に、発破音のレベルと建具のガタツキ限界を比較したものである。図一12は、消音装置のトンネル内側と外側の音圧レベル差を示したものである。

図一12から、可聴音を対象とした防音扉は、31.5 Hz以上の可聴音域では閉めることによって内外レベル差が大きくなるが、超低周波音域では開けても閉めても差がない。従って、防音扉の効果は、31.5 Hz以上では認められるが、低周波音域ではあまり認められないので、低周波音の対策は、通常の防音扉以外の工夫が必要である。

### 5. 結び

発破により発生する低周波音の特性について述べ、低周波音の対策例を示した。

現在のところ、発破による低周波音についての法的規制はない。しかし、発破音は特異な音であるため、坑口周辺に民家があれば必ずといっていい程苦情が持ち込まれる例が多い。従って、発破音の特性をよく理解した上で、低周波音の対策をあらかじめ考えておく必要がある。その場合、通常用いられている防音扉によって低周波音の低減を期待することは無理があり、今回紹介したような消音器などの対策を検討しておくことが望ましい。

おわりに、発破音の対策および測定に御理解、御協力いただいた道路公団大阪建設局 高橋文雄氏、大林組工事事務所 沢井 昭所長、福岡 馨所長ならびに工事関係者の方々に謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 通産省立地公害局：低周波防止技術解説書，産業公害防止協会
- 2) 中野有朋：入門超低周波音工学，技術書院
- 3) 塩田，他：トンネル発破から発生する低周波音について，日本騒音制御工学会講演論文集，（昭和61.9），pp. 325～328