

## 段発発破の秒時間隔変化によるトンネル発破音の低減対策に関する検討

中澤 真司\*1・石渡 康弘\*2・山本 博嗣\*3

## 概 要

多数の実測結果から導出されたトンネル発破音の簡易予測式によると、トンネル発破音は総薬量の対数に比例して増加し、総薬量が 1/2 になると発破音はおよそ 5dB 小さくなる。そこで、DS 雷管による段発発破を、前群と後群の大きく 2つのブロックに分け、前群と後群の発破秒時間隔を調整することにより、1回の発破に要した総薬量を前群と後群の2つのブロックに分割して扱い、発破音の低減効果を得ることの可能性を実験により検討した。

検討の結果、秒時間隔を 1.0 秒以上確保すれば、各群の騒音レベル最大値は、それぞれ各群の総薬量の対数に比例して増加する傾向が認められ、秒時間隔の調整による発破音の低減が有効であることが確認された。

キーワード：トンネル発破音・低減・対策

## STUDY OF REDUCTION OF SOUND PRESSURE LEVEL AS A FUNCTION OF TIME LAG IN DELAY BLASTING

Shinji NAKAZAWA \*1, Yasuhiro ISHIWATA \*2, Hirotsugu YAMAMOTO \*3

## Abstract

Using a simplified approximation equation of the blasting sound pressure level in tunneling, deduced from many measurements, it can be shown that the blasting sound pressure increases proportionally to the logarithm of the total explosive charge quantity. Hence, if the total charge quantity is halved, the blasting sound pressure level decreases by about 5 dB. In the study discussed in this paper, delay blasting with DS detonators was divided into two blocks, before and after. By changing the time lag between these blocks, and dividing the total charge quantity into these two blocks, potential reduction of blasting sound pressure level was verified by experiments.

The study showed that, with a time lag of 1.0 second or more, the maximum sound pressure level of each block tends to increase proportionally to logarithm of the total charge quantity, and therefore, appropriate adjustment of the time lag is effective for reducing the blasting sound pressure level.

Keywords: Sound Pressure Level by Blast in Tunnel Construction, Reduction, Countermeasure

---

\*1 Manager, Environment Engineering Group, Research and Development Department, Engineering Division

\*2 Environment Engineering Group, Research and Development Department, Engineering Division

\*3 Manager, Technological proposal group, Civil Engineering Department, Civil Engineering Division

段発発破の秒時間隔変化によるトンネル発破音の低減対策に関する検討

中澤 真司\*1・石渡 康弘\*2・山本 博嗣\*3

1. はじめに

多数の実測結果から導出されたトンネル発破音の簡易予測式(式(1))が船津等により報告されている<sup>1)</sup>。式(1)によると、トンネル発破音は、総薬量の対数に比例して増加し、坑内距離と坑外距離の対数に比例して低下する。総薬量が1/2、或いは坑内距離が2倍になると、発破音はおよそ5dB小さくなる。

$$L = A + 16 \log(W) - 16 \log(D) - 20 \log(R) + \Delta L \quad \text{----- (1)}$$

ここで、

- L : 騒音レベル (dB)
- A : 定数 (DS 雷管 130, MS 雷管 136)
- W : 総薬量 (kg)
- D : 坑内距離 (m)
- R : 坑外距離 (m)
- ΔL : 指向性, 防音扉, 解析減衰などの補正値 (dB)

そこで、今回、DS 雷管による段発発破を、前群と後群の大きく2つのブロックに分け、前群と後群の発破秒時間隔を調整することにより、1回の発破に要した総薬量を前群と後群の2つのブロックに分割して扱い、発破音の低減効果を得ることの可能性を実験により検討した。

なお、本検討と同様に段発発破の秒時間隔を調整してトンネル発破低周波音の低減対策を検討した事例が内田等により報告されている<sup>2)</sup>。

2. 秒時間隔の設定

秒時間隔の設定条件を表-1に示す。本実験では、秒時間隔0.25秒のDS雷管の段数を3段、

5段、7段と空けることにより、前群と後群の発破秒時間隔を1.0秒、1.5秒、2.0秒と変化させた。なお、発破は1自由面発破であり、1段目の芯抜き部の発破は、標準パターンは瞬発電機雷管を用いて、パターンA~パターンCはDS雷管を用いて行った。

3. 実験方法

実験は、切羽より100m、150m、200m離れたGL+1.5mの3地点に1/4インチマイクロホン(ONO SOKKI MI-1531)+プリアンプ(ONO SOKKI MI-3140)を設置し、発破時に生じる音圧応答を、多チャンネルデータ収録解析装置(ONO SOKKI DS-2000シリーズ)に3点同時に収録した。

また、トンネル内の残響時間を音響測定器(エヌ ASA-2)、パワーアンプ(BOSE 600SR)、スピーカ(JVL MP415)のシステムにより計測した。なお、発破音の収録は、各パターン2回実施した。

表-1 秒時間隔の設定条件

段数	標準		パターンA		パターンB		パターンC	
	遅れなし		1.0秒遅れ		1.5秒遅れ		2.0秒遅れ	
	上半	下半	上半	下半	上半	下半	上半	下半
1	○		○	○	○	○	○	○
2	○	○	○	○	○	○	○	○
3	○	○	○	○	○	○	○	○
4	○	○	○	○	○	○	○	○
5	○	○	○	○	○	○	○	○
6	○	○	↓		↓		↓	
7	○							
8	○		↓		↓		↓	
9	○		○		○		○	
10			○		○		○	
11			○		○		○	
12			○		○		○	
13					○		○	
14					○		○	
15							○	
16							○	
17							○	

\*1 エンジニアリング本部 研究開発部 環境グループ グループリーダー

\*2 エンジニアリング本部 研究開発部 環境グループ

\*3 土木本部 土木部 技術提案グループ グループリーダー

4. 実験結果

試験パターン毎に各段に使用した雷管数と薬量を表-2に示す。雷管の使用数は64~131の範囲に、薬量は51.4~142.2 kgの範囲にある。

各パターンの発破音の時系列波形例を図-1に示す。パターンAとパターンBでは前群と後群の間隔は、設定した1.0秒並びに1.5秒に近いが、パターンCではDS雷管の秒時間隔のばらつきによるためか、前群と後群の間隔は2.5

秒近くになっている。また、本実験では測定点を50m間隔で3点設けているが、切羽から距離が離れるに従い騒音レベルが低下する傾向が時系列波形によく表れている。

次に、発破音の周波数分析結果例を図-2に示す。発破音の周波数特性は、31.5~63Hz帯域付近でゆるやかなピークを示し、それ以上の帯域では徐々にレベルが低下する傾向がみられた。また、距離による減衰傾向は周波数が高く

表-2 各段の使用雷管数と薬量

パターン	No	諸元	1段	2段	3段	4段	5段	6段	7段	8段	9段	10段	11段	12段	13段	14段	15段	16段	17段	前群	後群	合計			
標準	①	雷管数	6	4	9	8	4	9	7	15	2												64		
		薬量	6.0	4.0	8.4	6.4	3.2	7.2	5.6	9.0	1.6													51.4	
	②	雷管数	8	9	16	7	3	4	18	35	4													104	
		薬量	11.2	12.6	22.4	8.6	3.6	4.8	14.4	28.0	4.8													110.4	
パターンA	①	雷管数	8	9	11	10	9				10	16	24	4							47	54	101		
		薬量	11.2	10.8	13.2	12.0	10.8					10.0	12.8	14.4	4.0							58.0	41.2	99.2	
	②	雷管数	6	11	18	15	14					16	17	30	2							64	65	129	
		薬量	8.4	13.2	21.6	15.2	14.0					16.0	13.6	18.0	2.0							72.4	49.6	122.0	
パターンB	①	雷管数	6	7	7	7	7					10	17	24	2							34	53	87	
		薬量	6.0	6.8	5.6	5.6	5.6						8.0	13.6	14.4	1.6							29.6	37.6	67.2
	②	雷管数	12	13	15	9	8						10	19	30	4							57	63	120
		薬量	16.8	15.6	18.0	10.8	9.6						10.0	19.0	18.0	4.0							70.8	51.0	121.8
パターンC	①	雷管数		6	10	15	11								9	11	18	29	2			42	69	111	
		薬量		8.4	12.0	18.0	13.2									7.4	8.8	14.4	11.6	2.0			51.6	44.2	95.8
	②	雷管数		10	10	19	12									10	10	20	36	4			51	80	131
		薬量		16.0	14.0	26.6	16.8									12.0	10.0	20.0	22.0	4.8			73.4	68.8	142.2

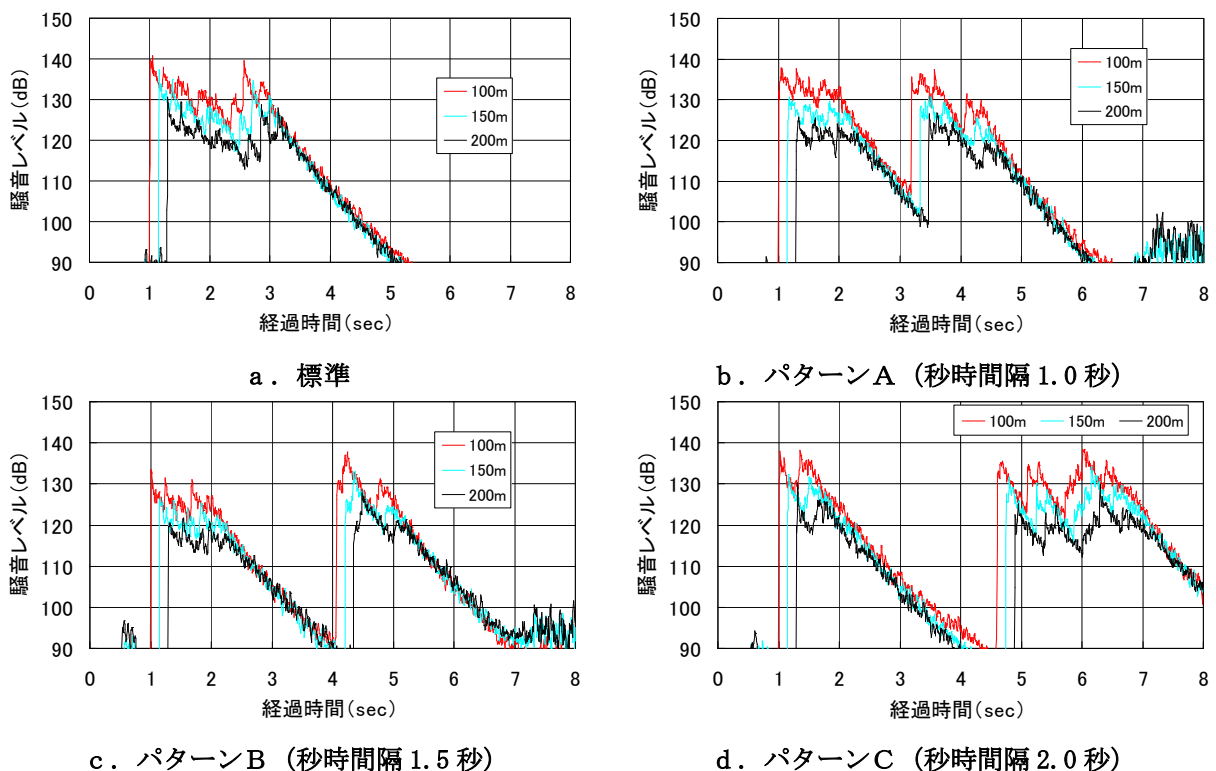


図-1 各パターンのトンネル発破音時系列波形例

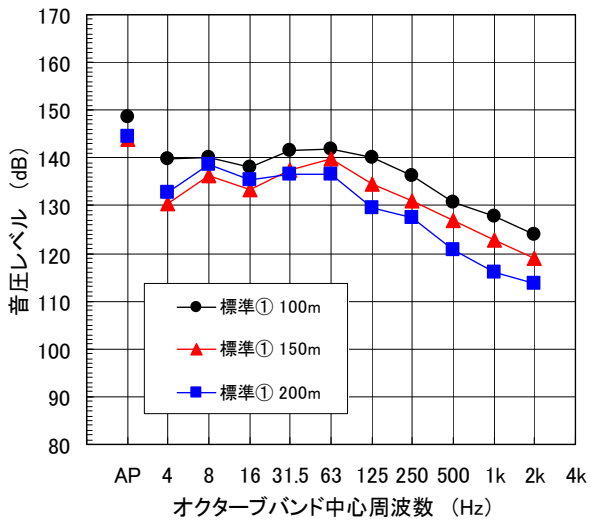
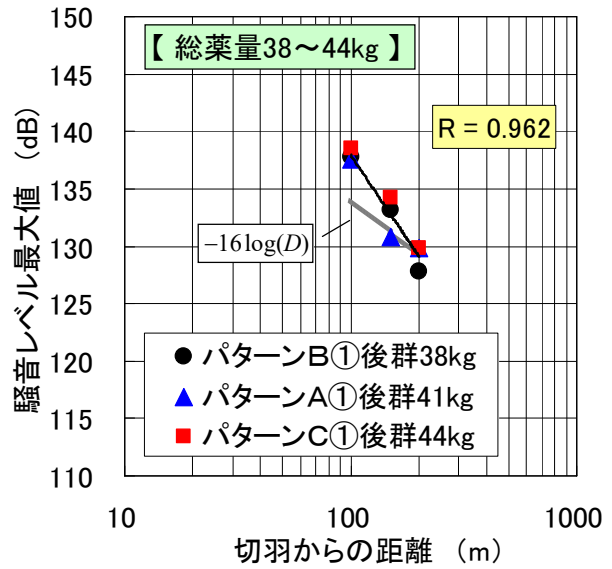


図-2 発破音の周波数分析結果例  
(標準パターン)

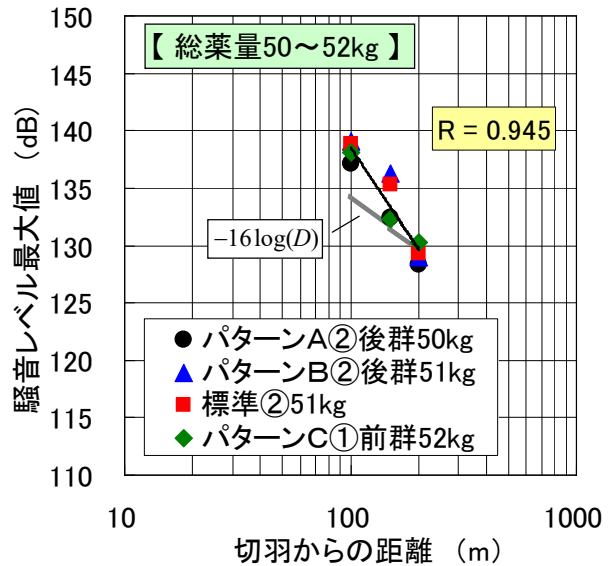
なるほど明らかになっている。なお、ここに示した発破音の周波数特性は、実験を行った全てのパターンで同様に表れていた。

総薬量が近い試験結果を抽出して騒音レベル最大値を切羽からの距離で整理し、近似曲線、相関係数とともに図-3に示す。なお、図には参考として、式(1)に倣いの傾きを併せて示した。これらの結果をみると、距離による減衰の傾向は、より大きく、切羽からの距離が100mから200mになると、総薬量の大小に係わらず騒音レベル最大値はおよそ10dB程度小さくなる傾向がみられた。また、相関係数は0.94以上となり比較的高い相関を示した。

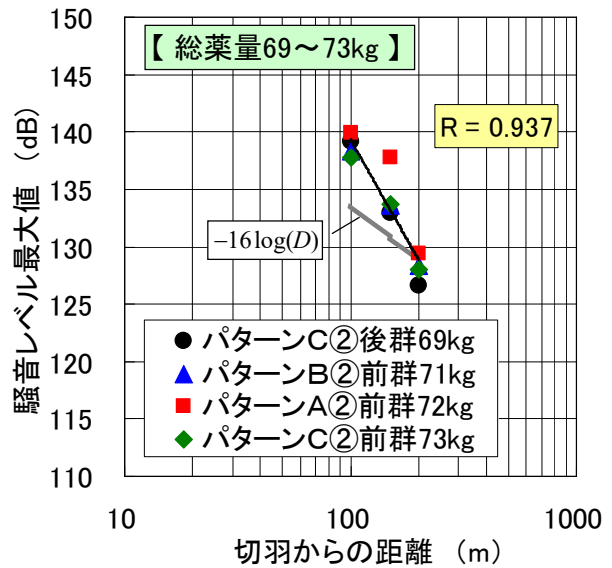
測定点毎に標準パターンの総薬量、また、段発破の秒時間隔を調整したパターンの前群並びに後群の総薬量と騒音レベル最大値の関係を整理して近似曲線、相関係数とともに図-4に示す。なお、図には図-3と同様に参考として、式(1)に倣いの傾きを併せて示した。これらの結果をみると、100m点、150m点、200m点ともに各群の総薬量が増すにつれて騒音レベル最大値が大きくなる傾向が認められた。ただし、その傾きは150m点で近づくものの、それ以外の点では緩やかとなった。相関係数は、切羽に近い測定点ほど高く、100m点では0.78、200m点では0.56程度となった。



a) 総薬量：38～44kg



b) 総薬量：50～52kg



c) 総薬量：69～73kg

図-3 総薬量毎の発破音調査結果

最後に、トンネル内の残響時間測定結果を図-5に示す。残響時間周波数特性は右下がりの特性を示し500Hz帯域で約2.7秒程度であった。

5. まとめ

DS 雷管による段発発破を前群と後群の大きく2つのブロックに分け、前群と後群の発破秒時間隔を調整して、1回の発破に要した総薬量を前群と後群の2つのブロックに分割して扱うことにより発破音を低減する方法の可能性を実験により検討した。

検討の結果、秒時間隔を1.0秒以上確保すれば、各群の騒音レベル最大値は、それぞれ各群の総薬量の対数に比例して増加する傾向が認められたことから、秒時間隔の調整による発破音の低減が有効であることが確認された。

今後さらにデータを蓄積して検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 船津弘一郎, 内山恒光: トンネル発破の特性と予測, 日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集No.1-2-1, 昭和62年9月
- 2) 内田季延, 塩田正純, 安藤四一: M系列信号処理技術を用いた発破工法による低周波音制御について, 環境システム Vol.18, 1990.

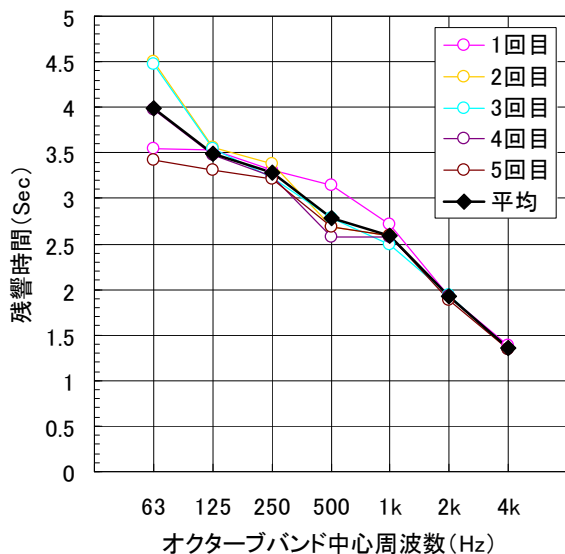
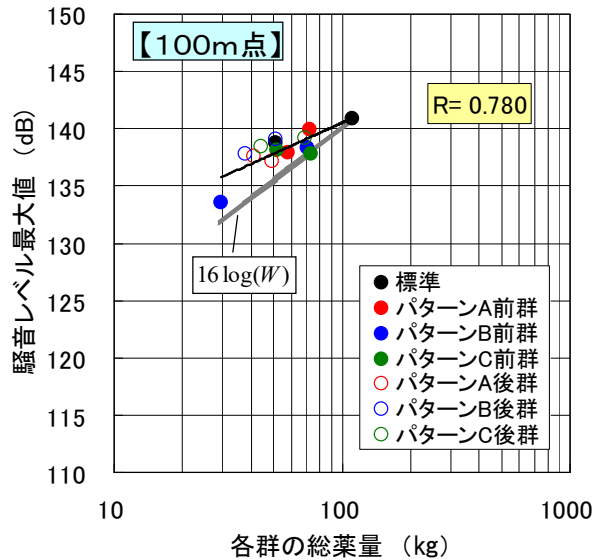
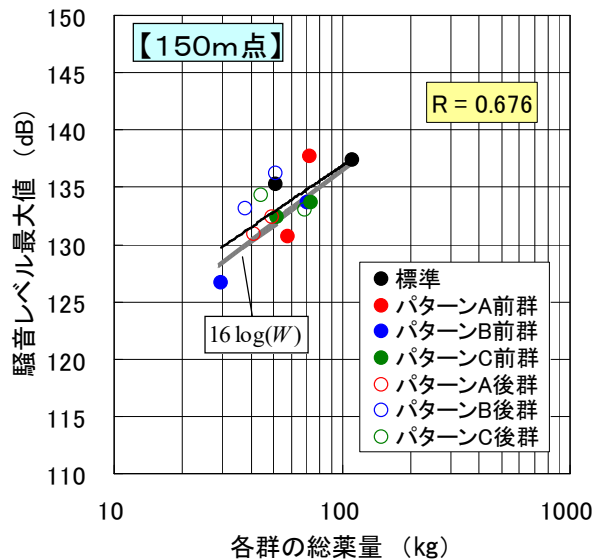


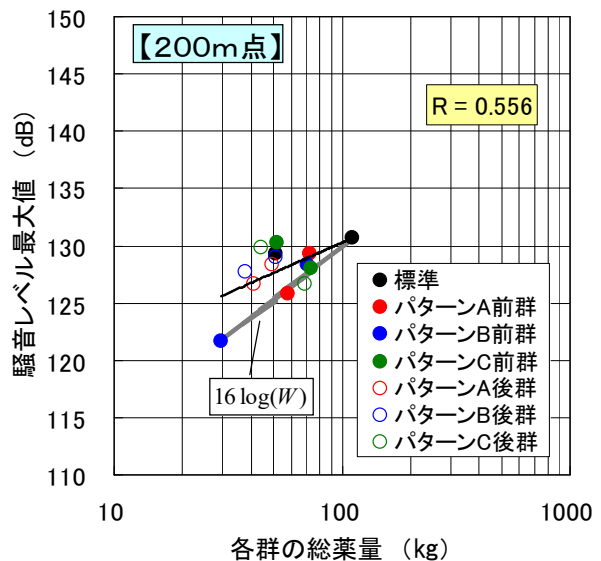
図-5 トンネル内の残響時間周波数特性



a) 100m点



b) 150m点



c) 200m点

図-4 測定点毎の発破音調査結果