

発破に伴う低周波音の管理目標値の設定と抑制対策、および効果の検証

西日本高速道路株式会社四国支社 高知工事事務所 石井義信 高田克也

(株)鴻池組大阪本店 正会員 ○木村圭吾 寺西克彦

(株)鴻池組土木技術部 正会員 後藤裕一 山田浩幸

高規格道路トンネルの施工に際し、発破掘削時に発生する騒音のうち特に対策が困難な低周波音が問題となった。これに対し低周波音に関する管理目標値を、現場測定結果をもとに見直し再設定を行った。対策として坑口部に3枚の防音扉を設置し効果を得た。本稿では、その対策概要と効果の検証結果について報告する。

1. 工事概要

四国横断自動車道焼坂第二トンネル工事の内、焼坂第二トンネルは延長 $L=920\text{m}$ の2車線高規格道路の山岳トンネルであり、NATMで施工を実施した。掘削断面積 $86\sim 106\text{m}^2$ 、掘削方式は補助ベンチ付き全断面掘削発破工法により施工を行いトンネルは、西側（四万十町側）から東側（高知市側）に向けて掘削を進めた。

2. 低周波音の管理目標値

(1) 西側坑口部発破騒音、振動対策対象家屋

トンネル発破掘削の実施にあたり、坑口付近に民家が近接しているため発破騒音に対する対策として防音扉を設置する必要がある。当初、防音扉（コンクリートパネ付）2基を設置し、騒音・振動測定を実施しながら施工していた。対象家屋での測定結果（表-1 参照）から、当初設定した管理目標値（表-2）に対しては騒音・振動・低周波ともにこれを下回っていた。しかし、周辺住民より、発破の直接的な騒音・振動（人体に感じる）についての苦情等は無くなったが、低周波音による影響と思われる建具のガタツキに関する苦情が引き続き寄せられ問題となった。これを受けて、管理目標値として使用している火薬学会の提言値の中で低周波音に関する値を見直すとともに、防音対策の強化について検討した。

(2) 管理目標値再設定

この提言値は周辺環境に対し物理的被害を与えないことを一義に考え、心理的被害についても、発破の特徴である一過性（単発性）を考慮し、著しい不快感を与えないと考えられる規制値として推奨されているものである。また低周波音に関してはその影響度合いが不明確とされている。したがって、今回の苦情のように心理的被害という個人差が生じやすいものを管理対象とする場合は、もう少し掘り下げた管理目標値を設定する必要があると考えた。

今回の苦情についてヒアリングおよびJV職員による対象家屋内での体感実験により、建具のガタツキが確認され苦情の原因が振動か低周波音であると限定できた。騒音・振動測定結果から振動値は $20\sim 40\text{dB}$ 程度であり、人体には無感である。したがって、今回の苦情の原因は低周波音であると判断できた。そこで、低周波音に関する管理目標値を見直すこととした。

今回の苦情についてヒアリングおよびJV職員による対象家屋内での体感実験により、建具のガタツキが確認され苦情の原因が振動か低周波音であると限定できた。騒音・振動測定結果から振動値は $20\sim 40\text{dB}$ 程度であり、人体には無感である。したがって、今回の苦情の原因は低周波音であると判断できた。そこで、低周波音に関する管理目標値を見直すこととした。

(3) 低周波音管理目標値の見直し

環境省「低周波音問題対応の手引書（平成16年6月）」（以下、手引き）によると、低周波音による苦情には物的苦情（建具のガタツキに関するもの）と、心身に関わる苦情（室内における不快感に関するもの）があるとされ、物的苦情に関しては表-3に示すとおり、1/3オクターブバンド中心周波数毎に目安となる値を参照値として設定され示されている。

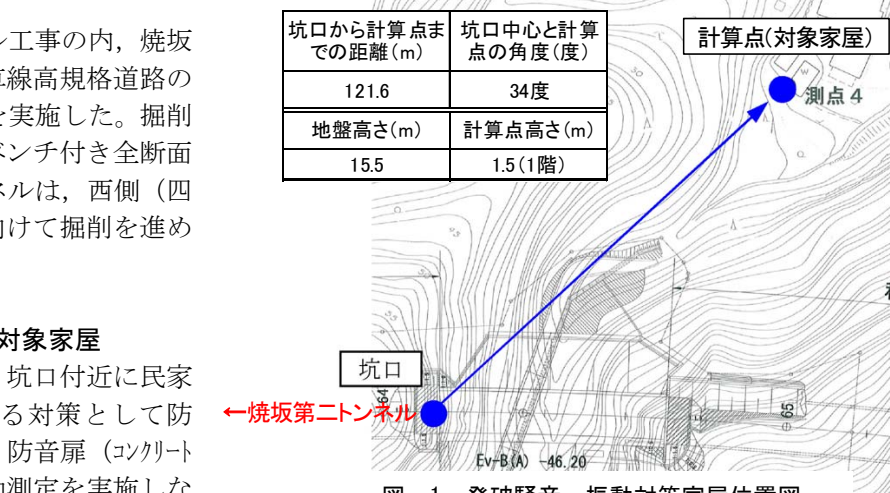


図-1 発破騒音、振動対策家屋位置図

表-1 騒音・振動・低周波音測定結果

測定日	測定箇所	発破箇所	装薬量	段数	騒音	振動	低周波音
		坑口～	(kg)		(dB)	(dB)	(dB)
2008/1/21 AM9:10	澁谷邸母屋前	372.8m 上半 (STA.60+41.2)	67.4	14	51	33	97
2008/1/23 PM 10:36	澁谷邸母屋前	386.0m 下半 (STA.60+28.0)	23.2	6	51	34	96

表-2 騒音・振動・低周波音規制値の提言値（火薬学会・発破専門部会 1994）

	騒音 (dB(A))	低周波音 (dB)	振動 (dB)
昼間	100 あるいは (暗騒音+30) のいずれか小さい方	130	79
夜間	70 あるいは (暗騒音+20) のいずれか小さい方	100	64

表-3 低周波音による物的苦情に関する参照値

1/3オクターブバンド 中心周波数 (Hz)	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.6	40	50
1/3オクターブバンド 音圧レベル (dB)	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99

今回の苦情については表-3に示すとおり、1/3オクターブバンド中心周波数毎に目安となる値を参照値として設定され示されている。

キーワード トンネル、発破、低周波音対策、防音扉、管理目標値

連絡先 〒530-8517 大阪市北区梅田 3-4-5 (株)鴻池組土木技術部 TEL 06-6343-3216

$$L=10\text{Log}\left(10^{\frac{L_{12.5\text{Hz}}}{10}}+10^{\frac{L_{61\text{Hz}}}{10}}+10^{\frac{L_{20\text{Hz}}}{10}}+10^{\frac{L_{25\text{Hz}}}{10}}+10^{\frac{L_{31.5\text{Hz}}}{10}}+10^{\frac{L_{40\text{Hz}}}{10}}\right)$$

=95dB　（表-3 のうち発破の主成分周波数の音圧レベル合成値（管理目標値①））

式-1

ここで現在、低周波音の測定値が各周波数帯における音圧レベルを合成した値であるため、表-3 参照値のうち発破音の主成分である周波数帯 12.5～40Hz の音圧レベルを合成して目標値（管理目標値①）を求めるものとする。音圧の合成式は（式-1）を使用する。一方、手引きによれば心身に関わる苦情に関しては、1/3 オクターブバンド中心周波数毎に G 特性補正したものを音圧合成した値 LG=92dB を参照値（管理目標値②）としている。以上より、①、②を比較し低周波音管理目標値としては、現在の苦情が物的苦情である可能性が高いと思われるが、感情面を優先し心身に関わる苦情に関する参照値（管理目標値②）：92dB を採用した。

3. 低周波音対策の検討

低周波音圧レベルを軽減する方法としては、①発生減における音圧レベルの低減②防音扉の増設が考えられる。①に関しては、すでに火薬量の制限措置による分割発破を実施しており、今後の硬岩地山が予想されている中で、事実上困難であった。よって②の防音扉の増設を検討した。防音扉の防音効果としては、現対策での低周波音実測値の最大値が 97dB であることから、先に検討した管理目標値 92dB を満足するには防音扉増設による低周波音の減音効果が 6dB 以上であることが必要となる。表 4 に各種防音扉の増設時における減音効果（低周波音）予測値一覧表を示す。

表-4 各種防音扉の増設時における減音効果（低周波音）予測値一覧表

No.	防音扉種類	増設時の減音効果（低周波音）		経済性（概算金額）		総合
①	吸音パネル（坑口固定型）	4dB	×	2,000,000	○	×
②	吸音パネル+吹付 con (t=100)（坑口固定型）	8dB	○	2,800,000	○	◎
③	グラスウール充填式	5dB	×	5,000,000	×	×
④	グラスウール充填式+コンクリート吹付 (t=150)	9dB	○	6,500,000	×	△
⑤	水充填型	11dB	○	12,000,000	×	×

表-4 より②吸音パネル+吹付 con（t=100）を坑口部に増設するのが適切であると判断し採用した。

4. 坑口防音扉の概要

吸音パネルを設置し、面密度を確保するため吹付けコンクリート (t=100mm) を施工した。（写真-1） 坑口部では既に坑門工が完成しており、密閉度を確保するため鉄板及び土のう等で間詰めを行い、坑門工と防音扉を密着させ発破低周波音の防止対策を行った。



写真-1
坑口部設置状況
吸音パネル埋設
型吹付け防音扉

5. 対策工実施の効果

表-5 発破振動・騒音測定結果一覧表

	装薬量 (kg)	段数	振動 (dB)	騒音 (dB)	低周波音 (dB)	低周波音平均 (dB)
設置前	51.8	15	15	56	99	99
	59.2	15	26	52	99	
パネル	70.8	15	26	48	95	95.5
	69.8	15	28	58	96	
パネル + 吹付 Con	91.4	15	27	45	89	88
	64.2	7	15 以下	44	87	
	72.8	7	22	47	90	
	82.0	7	26	44	86	

量が増えているにもかかわらず(約 22kg 増)、予測値▲8dB に対して、▲11dB であり、減衰効果は予想以上であった。

6. おわりに

対策が困難な低周波音による苦情に対し、分割発破併用の防音扉 3 枚設置による対策を実施し標準的な管理目標値に対し約 10 d B の低減効果を得た。これにより苦情は減少したが低周波音に関してはその感じ方に個人差が大きく完全な解決は難しい。工事の積極的な情報提供、密なコミュニケーションと相互理解を深める対応も重要な対策項目である。技術的には、低周波音を減衰させるには、物体の重量(面密度)が影響することが確認できた。また、今回の場合、トンネル出口部の地形が谷部であることから、トンネル外での低周波音の減衰効果が予測値を下回り効果を得ていない（反響音等が影響している）ことより、3 枚目の防音扉を坑門部に密着させるトンネル内である程度、低周波音を減衰させる（封じ込める）事が予測値以上の効果が得られた要因であると考察された。

参考文献 低周波音問題対応の手引書 環境省環境管理局 平成 16 年 6 月

表-5 の測定結果より、パネル設置のみでは、減衰効果は満足せず、吹付けコンクリート (t=100) を施す事により減衰効果の確保が出来た。
・パネルのみの場合、予測値▲4dB に対して、▲3.5dB であり、ほぼ予測値通りであった。
・パネル+吹付 Con の場合、装薬