

# 発破による騒音・振動・低周波音の調査について

下元健二\*、松本恵明\*\*

Resartch On Blaste Sound、Vibration and Low Frequency Noise Caused  
by Blasting

Kenji Simomoto 、Yoshiaki Matumoto

---

\*大阪府環境農林水産部 交通公害課

\*\*大阪府公害監視センター 騒音環境課

\*Traffic Pollution Control Division,Department of Environment,Agriculture,Forestry and Fisheries,Osaka Prefectural Government

\*\*Noise analysis Section,Osaka Prefecture Environmental Pollution Control Center

## はじめに

発破によって発生する騒音、低周波音は音圧が急激に上昇するなど一般的な騒音などと性質が大きく異なる。しかも低周波音は、卓越成分があるような場合だと建具のがたつきを発生させる可能性もある。このように発破によって発生する騒音、低周波音及び振動は環境に大きな影響を与える可能性がある。そのため、事前に予測によって影響をある程度把握しておく必要がある。そこで、大阪府が行っている開発事業に伴う発破作業から発生する騒音、低周波音及び振動の現地調査の結果からすでに報告されている予測方法<sup>1)</sup>の検証を

行った。

## 測定概要

発破の諸元を表1に示す。発破場所と測定地点の水平距離及び位置関係を表2、図1に示す。

発破の雷管の種類は全てDS雷管であった。また発破は全て盤打ち発破であった。

測定を行った地点を として示している。

表1 測定地点及び発破の諸元一覧表

発破番号	地点1	地点2	地点3	地点4	孔間隔 (m)	穿孔長 (m)	孔当たり薬量 (kg)	段当たり 孔数	段数	段当たり薬量 (kg)	総薬量 (kg)	発破 地点
1					3	5	10.1	3	10	30.3	303	1
2					3	5	10.1	3	10	30.3	303	1
3					3	5	10.1	3	10	30.3	303	1
4					3	5	10.1	3	10	30.3	303	1
5					3	5	10.1	2	15	20.2	303	1
6					3	5	10.1	2	15	20.2	303	1
7					3	5	10.1	2	15	20.2	303	1
8					3	5	10.1	2	15	20.2	303	1
9					3	5	10.1	2	15	20.2	303	1
10					3	5	10.1	2	15	20.2	303	1
11					3	5	10.1	2	15	20.2	303	1
12					3	5	10.1	2	15	20.2	303	1
13					2	3	2.6	6	10	15.6	303	2
14					3	5	10.1	2	15	20.2	303	2

表2 発破地点から測定地点までの水平距離

		発破地点	
		1	2
測定地点	地点1	250m	220m
	地点2	500m	490m
	地点3	270m	370m
	地点4	530m	630m



図1 発破地点と測定地点の位置関係

## 測定方法

測定は、騒音・低周波音については「環境騒音の表示・測定方法 (JIS Z8731)」に準拠し、振動については「振動レベル測定方法 (JIS Z8735)」に準拠した。図2に測定及び分析のシステム図を示す。騒音及び低周波音の測定は周波数特性はLin特性を用い、地面から1.2mの高さにマイクロホンを設置した。振動の測定においては、ピックアップは十分に踏み固めた凹凸の少ない地面の上に設置した。

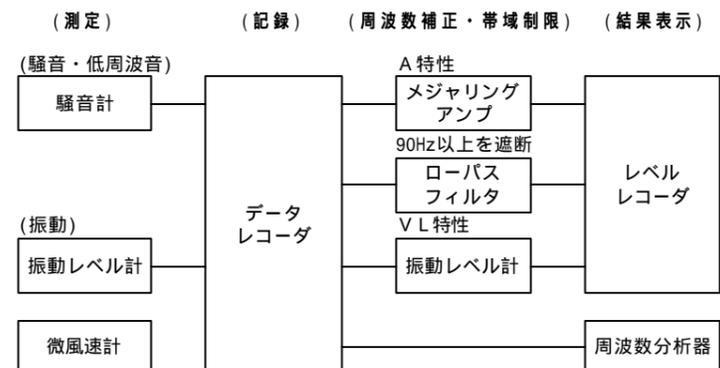


図2 測定及び分析のシステム図

## 測定結果

分析は、騒音レベル、振動レベル（3方向）、振動加速度レベル（3方向）、振動速度（Z方向）、低周波音圧レベル、低周波音のピーク値、低周波音圧レベルとピーク値の差について行った。それぞれについての平均値を表3に示す。振動レベル、振動加速度レベル、低周波音圧レベルの時間波形の例を図3に示す。各地点ごとの低周波音圧レベルの1/3オクターブバンド周波数分析の結果の平均を図4に示す。

表3 各地点における測定結果の平均値

	騒音 最大値	振動						低周波音			
		Z方向		X方向		Y方向		振動速度	最大値	音圧ピーク値	最大値とピーク値の差
		VL	VAL	VL	VAL	VL	VAL				
地点1	56	56	62	54	67	51	64	0.043	95	104	12
地点2	58	44	51	42	52	41	51	0.012	92	106	16
地点3	60	54	61	54	66	48	63	0.036	91	102	14
地点4	-	42	50	42	55	42	54	0.009	84	94	12

\*ここでの単位は、振動速度は（kine）、その他は（dB）である。

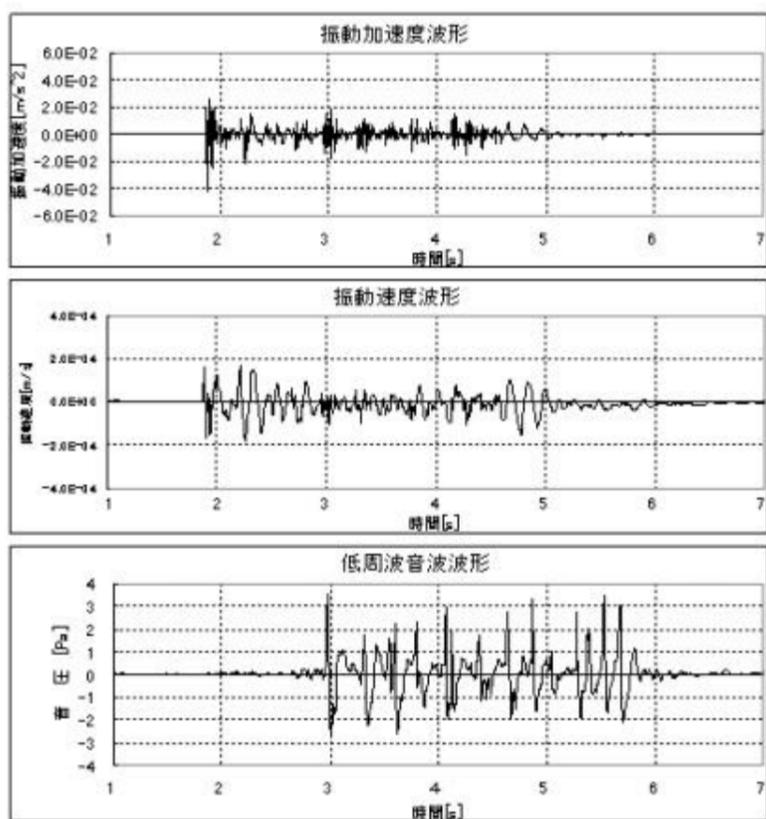


図3 振動加速度波形、振動速度波形、低周波音圧波形の例

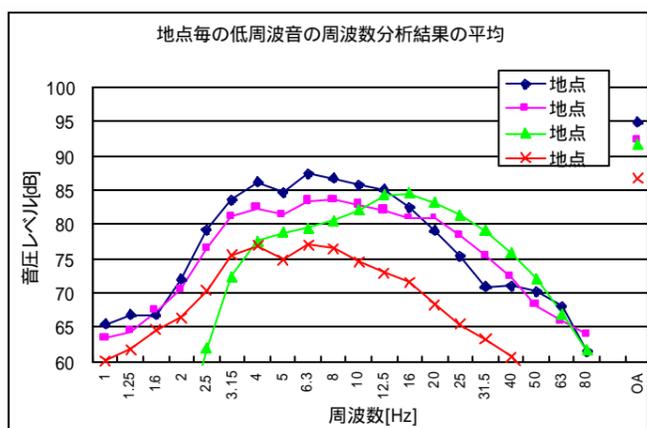


図4 測定地点別の低周波音の周波数分析結果の平均

地点4における騒音レベルは暗騒音と明確な差が見られなかったため欠測であった。

ここで、VLは振動レベル、VALは振動加速度レベルを表している。

## 予測方法

### 1. 騒音および低周波音

発破騒音および発破による低周波音の予測に用いる面音源モデルは次に示すとおりである<sup>1)</sup>。

$$L = Lw + 10 \log(1 + D/2R)^2 - 3 + 10 \log M - 0.05 \alpha$$

L : 騒音レベル・低周波音圧レベルの最大値[dB]

Lw : みかけの単位面積あたりの騒音・低周波音のパワーレベル[dB] (DS雷管、盤打 騒音112、低周波音146)

D : 1孔あたりの音の放射面の等価半径[m]

R : 発破位置と予測地点の距離[m]

M : 1段あたりの孔数

$\alpha$  : ベンチ発破時における切羽からの角度[度]

$\alpha$  : 地形による減衰量[dB] (代表周波数を5 Hzに設定し、前川チャートの関数近似式から求めた)

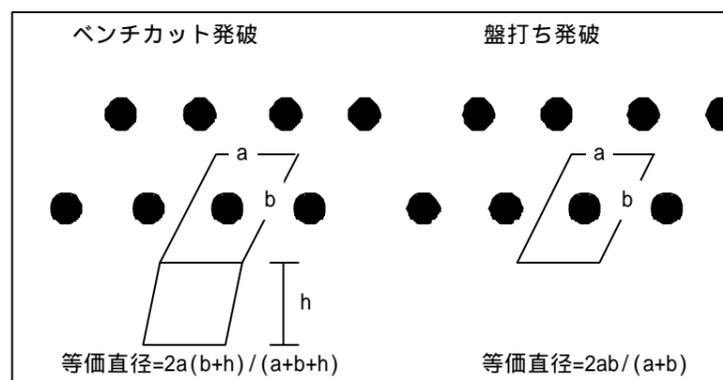


図5 等価直径の決め方

音源と受音点及び障壁の位置関係を図6に示す。

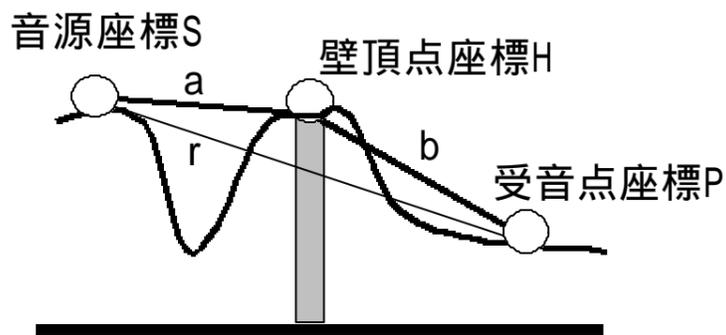


図6 音源位置と障壁、受音点の関係

r : 音源と予測地点との距離[m]

a : 音源と仮想障壁の天端との距離[m]

b : 予測地点と仮想障壁の天端との距離[m]

## 2. 振動

発破振動の予測式は主として最大速度振幅をその対象としており、最大速度振幅を  $V_p$  とした場合、以下のように表される<sup>2)</sup>。

$$V_p = K \cdot W \cdot D^{-1}$$

W : 振動の大きさを規定している総薬量[kg]

D : 発破中心からの距離[m]

K : 発破方法や岩盤の特性によって変化する係数

は通常の 0.5 ~ 1 の範囲で、 $K$  は 2 前後の値をとる。ここでは  $K = 0.7$ ,  $n = 2$  とした。

また、周波数 8 Hz 以上の鉛直方向の連続正弦振動については、最大速度振幅と振動レベル  $V_L$  との間には次式が成立する。

$$V_L = 20 \log(A/A_0) = 20 \log(V_p) + 91$$

$V_L$  : 連続正弦波の振動レベルの最大値[dB]

A : 連続正弦振動の振動加速度実効値 [ $m/s^2$ ]

$$A = 2 \pi f V_{rms}, f : \text{卓越周波数[Hz]}$$

$V_{rms}$  : 連続正弦振動の振動速度実効値

$$V_{rms} = V_p / \sqrt{2}$$

しかし、これは連続正弦波について成立するものであり、発破振動のように継続時間の短い衝撃的な振動に適用すれば振動レベルを過大に評価することになる。そこで、今回の予測式では、

$$V_L = 20 \log(A/A_0) = 20 \log(V_p) + 91$$

$$+ v_L$$

$v_L$  : 衝撃振動補正值

を用いて検証を行った。

## 予測結果

### 1. 騒音と低周波音の伝搬について

#### (1) 距離減衰について

騒音レベル、低周波音圧レベル最大値を発破の切羽の位置から受音点までの距離について整理した。整理にあたっては

発破の諸元によりその大きさが変化することが考えられるので、発破の諸元別とすべてを同一にあつかったものの2通りで行った。なおここで、発破の諸元は発破番号 1 ~ 4、5 ~ 12、13、14 で同じとなる。なお騒音レベルについては、地点 4 において有効なデータが十分に得られなかったため、その傾向を示すことができなかった。

それぞれの項目ごとの距離減衰の傾きを表 4 に示す。なお、予測式においては低周波音圧レベルは、距離減衰の傾きは実測値では 18.5、予測値では 20 (倍距離 6dB の減衰) となっており、よく一致していると考えられる。

表4 距離減衰の傾き

	全て	諸元別				理論値
	発破番号	発破番号	発破番号	発破番号	発破番号	
	1 ~ 14	1 ~ 4	5 ~ 12	13	14	
低周波音	18.5	4.2	17.7	19.6	28.4	20

#### (2) 地形による減衰量

##### ア) 位置関係

発破位置の標高が高いため、音が各測定点へ伝搬するにあたり伝搬経路上に図 7 に示すような仮想的な障害物があると考えることができる。この障害物を半無限長障壁とみなした場合の減衰量は前川チャートの近似式から求めることができる。また地点 4 に音が伝搬する場合においては、地点 3 の山が障害物と見なせる場合は、図 8 に示すように二重回折を見込むことが可能であると考えられる。

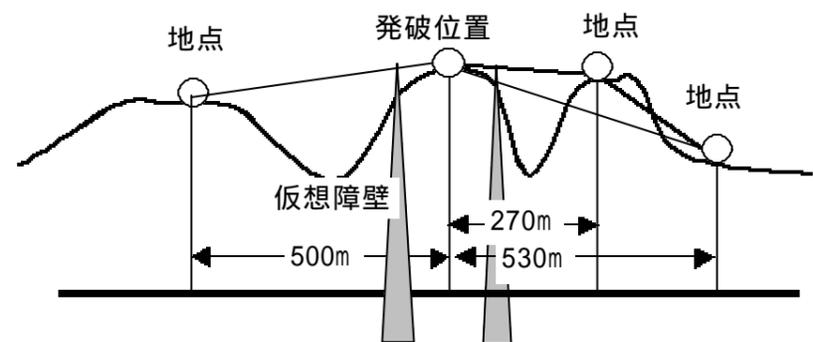


図7 音源、測定点及び仮想障壁の位置関係

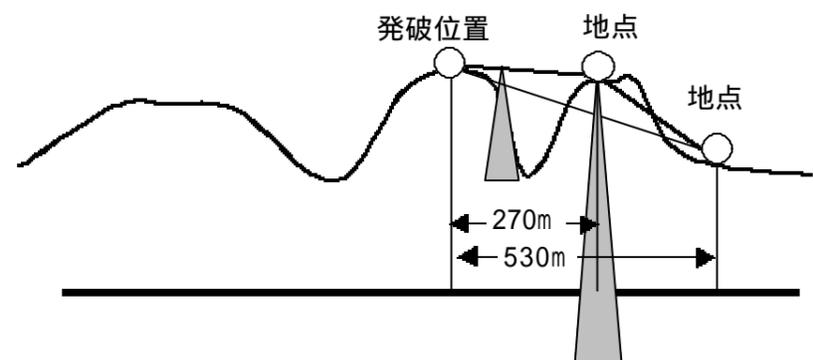


図8 地点4において山を二重障壁として扱った場合の音源、測定点及び仮想障壁の位置関係

イ) 地点2と4の比較

二重回折の効果を見るために地点2と4の測定値を比較した結果を以下に示す。

地点2と4は発破位置が北山1の場合、その距離がそれぞれ500m, 530mであり、計算上の距離減衰による差は、0.3dBであり無視することができる。よって地点2と4による低周波音の実測値の差は二つめの山などの地形による効果と考えることができる(図9)。また地点2と4における低周波音の発破毎の最大値の平均を図10に示す。山による理論上の周波数毎の減衰量の大きさと地点2と4における実測値の差の平均を図11に示す。周波数毎の実測値の差は一重回折の場合よりも大きな減衰量が得られているが、二重回折ほどの減衰量が得られていないことがわかる。なおここでは、周波数が50Hz以上では地点4における音圧レベルが60dB以下となり、発破による影響が暗騒音よりも十分に大きいとは考えにくいので考慮していない。

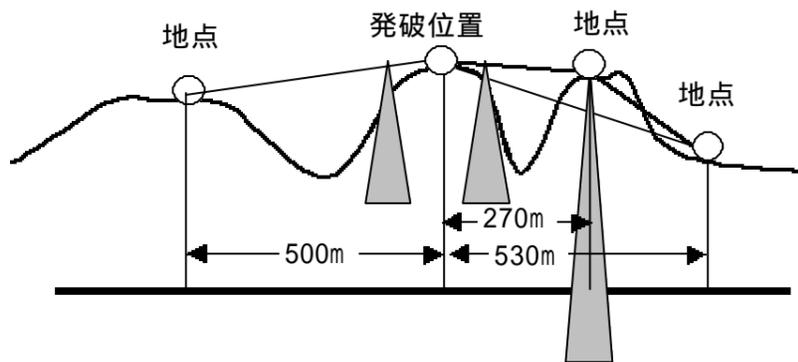


図9 二重回折を考慮した場合の地点2と地点4の位置関係

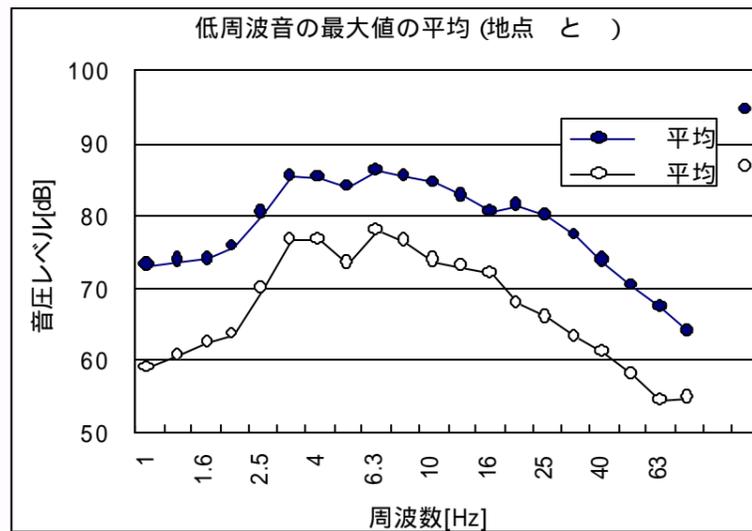


図10 地点2と4の低周波音の最大値の平均

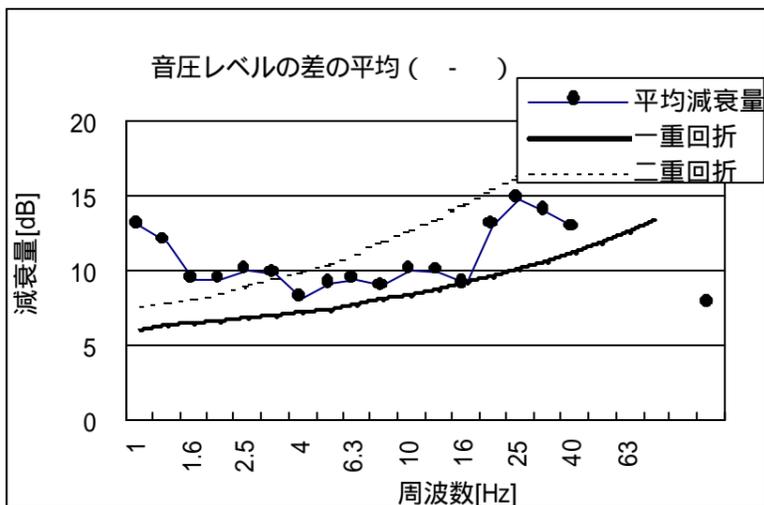


図11 地点2と4における周波数別減衰量

2. 振動の伝搬について

(1) 距離減衰について

振動レベルの最大値を発破の切羽の位置から受音点までの距離について整理した。整理にあたっては発破の諸元によりその大きさが変化することが考えられるので、発破の諸元別とすべてを同一にあつかったものの2通りで行った。なおここで、発破の諸元は発破番号1~4、5~12、13、14で同じとなる。距離減衰の傾きを表5に示す。なお、予測式においては振動レベルは、距離減衰の傾きは40(倍距離12dBの減衰)となっており、よく一致している。

表5 距離減衰の傾き

	全て		諸元別			理論値
	発破番号	発破番号	発破番号	発破番号	発破番号	
	1~14	1~4	5~12	13	14	
振動レベル	41.9	33.4	41.7	47.8	18.2	40

(2) 発破定数K値

発破定数Kは振動速度の予測式における定数項であり、発破工法などによってその大きさの範囲が異なるとされている。なお発破定数Kは、実測した振動速度をもとに次式より算出した。

$$K = V_p \cdot D^2 \cdot W^{-0.7}$$

発破定数Kは地点1では140~505の間にあり、平均は306であった。地点2では216~418の間にあり、平均は314であった。地点3では145~432の間にあり、平均は324であった。地点4では288~336の間にあり、平均は310であった。

(3) 振動速度から振動レベルへの変換式

振動速度(Vp)から振動レベル(VL)は以下の関係から求められている。

$$VL = 20 \log(Vp) + n$$

そこで、振動速度の発破の諸元からの予測値及び実測値のそれぞれから上式の定数項であるnを発破毎に求めた。求めたnのヒストグラムと累積相対度数を図12及び図13に示す。振動速度から振動レベルを求める予測式であるので、nは図12において頻度の高い83を採用するのが妥当であると考えられるが、振動速度は振動レベルを求めるために用いられており、図13における最頻値である84が妥当であると考えられる。

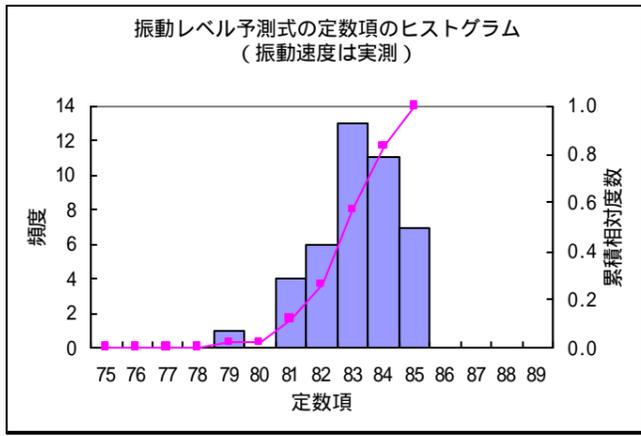


図 1 2 振動レベル予測式の定数項のヒストグラム(実測値)

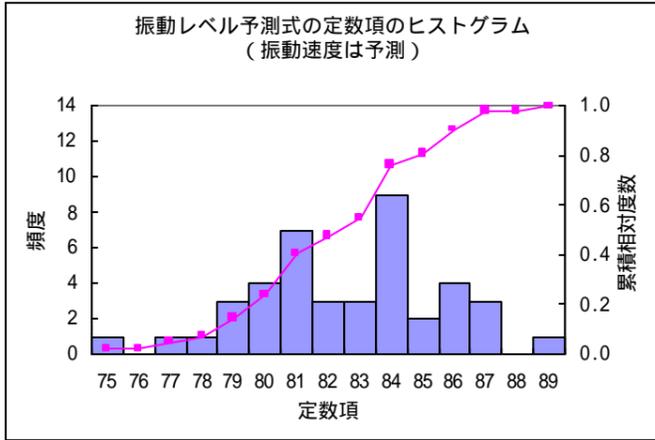


図 1 3 振動レベル予測式の定数項のヒストグラム(予測値)

### 3. 実測値と予測値の比較

#### (1) 騒音と低周波音

発破による騒音レベル、低周波音の予測値と実測値の比較を図 1 4 に示す。また地点 4 における低周波音について地点 3 における山を障壁とみなした二重回折の取り扱いをした場合の予測値と実測値の比較を図 1 5 に示す。二重回折を見込んだ場合の方が、予測値と実測値の相関は若干よくなっている。

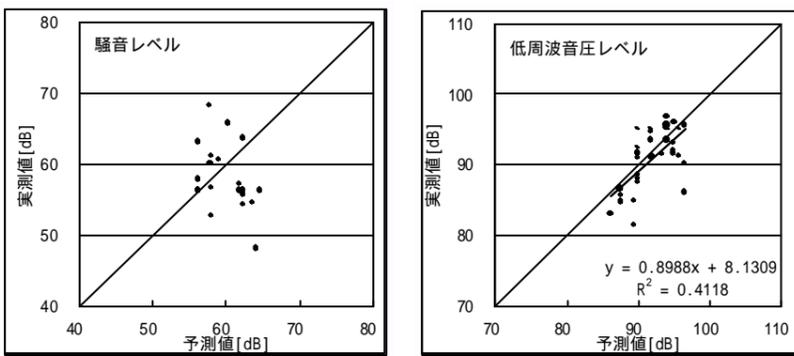


図 1 4 予測値と実測値の相関

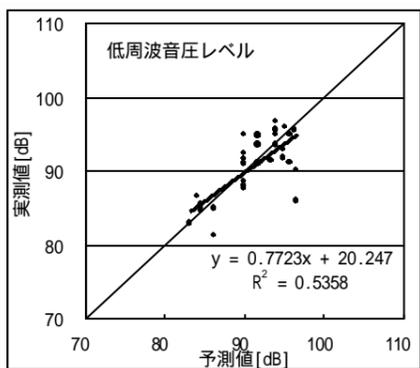


図 1 5 予測値と実測値の相関(地点 4 において二重回折を見込んだ場合)

#### (2) 振動レベル

発破による振動レベルの予測値と実測値の比較を図 1 6 に示す。予測式は比較的よくあっていると考えられる。

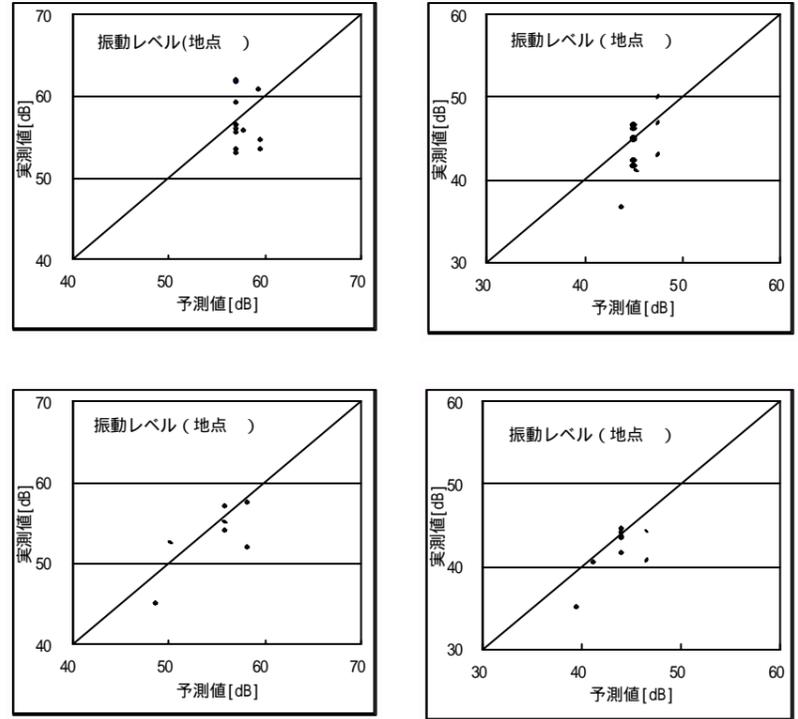


図 1 6 予測値と実測値の比較

### まとめ

今回の調査結果より、発破に起因する騒音、振動及び低周波音の伝搬状況および予測方法の検証を行った結果を以下にまとめて示す。

#### 1. 距離減衰について

騒音レベルについては地点 4 で有効なデータが測定できず、距離との関係を示すことができなかった。振動レベルについては予測式では 10 倍の距離で 40dB の割合で減衰し、測定値では約 41.9dB となった。低周波音圧レベルについては、予測式においては倍距離 -6dB の割合で減衰し、測定値では約 5.5dB となった。

#### 2. 発破による周波数特性について

振動加速度レベルの鉛直方向の卓越周波数は地点によりほぼ一定で地点 1 では 16 ~ 25Hz、地点 2 では 50Hz、地点 3 では 80Hz、地点 4 では 63Hz であった。

低周波音の音圧レベルの卓越周波数は地点 1 では 3.15 ~ 12.5Hz、地点 2 では 3.15 ~ 10Hz、地点 3 では 12.5 ~ 20Hz、地点 4 では 3.15 ~ 8Hz であった。しかし、その周波数構成は卓越周波数付近で平坦に近いものであった。

### 3. 発破定数Kについて

振動速度を予測するにあたって測定地点毎、発破毎に発破定数Kを求めた。その結果地点1では140～505の間にあり、平均は306であった。地点2では216～418の間にあり、平均は314であった。地点3では145～432の間にあり、平均は324であった。地点4では288～336の間にあり、平均は310であった。

### 4. 振動レベルと振動速度の関係について

振動レベルの予測においては一般に振動速度を予測し、振動速度から振動レベルを予測しているが、振動速度と振動レベルの間には

$$V L = 20 \log ( V p ) + 84$$

の関係が成立していた。

### 5. 予測結果と実測結果の比較

騒音レベルの測定値については、予測値をほぼ中心に分布しているがそのばらつきは大きかった。振動レベルについては、予測値と実測値がよく一致していた。低周波音については、予測値と実測値により相関が見られた。また地点4において地点3における山を二重回折があるとした場合には、よりよい相関が見られた。ただし周波数別に山による減衰量を見た場合においては、両者の間をとるものであり、その取り扱いには十分な注意が必要である。

### 6. 今後の課題

今回の調査結果から阪南丘陵開発計画に係る土砂採取事業における実測事例をもとに作成された盤打ち発破に起因する騒音・低周波音の予測モデルの検証が行うことができた。また従来から用いられている振動レベルの予測式についても検証することができた。しかし、測定した発破数はその数が少ないものであり、今後より多くの事例を収集して予測式のさらなる検証を行うことが必要であると考えられる。

また周辺地域への影響がより大きいと考えられるベンチカット発破についても、同様に測定データを蓄積していくことが必要である。

### 参考文献

- 1) 大阪府土地開発公社 財団法人 関西空港調査会：発破による騒音及び低周波空気振動の予測モデル検討結果報告書
- 2) 工業火薬協会編 新発破ハンドブック 山海堂 1989年