

Ⅲ—6 コンクリート破砕器による岩盤破砕時の 振動・騒音測定について

札幌市建設局土木部 正会員 荻田 広之
〃 佐々木利勝
〃 川 端 隆

1. ま え が き

近年においても札幌市の人口増加は衰える事がなく、昭和58年5月には京都市の人口を上回り同年12月に150万人を超えた。今、この社会的要因による人口増加に伴い、教育施設の整備も急がれているが、市街地の中に適地が見つからず、一部には、やむを得ず急傾斜地を造成し用地を確保する状況が現出している。

今回、札幌市西区に新設した福井野中学校造成工事において、コンクリート破砕器による岩盤破砕時の振動・騒音について測定したので、ここに報告する。

2. 工 事 概 要

福井野中学校造成工事は、昭和57年6月に着手し、昭和58年11月にしゅん功した。所在地は西区平和の市街化調整区域にある五天山（標高303.5m）の山麓部であるが、当該地の北東は第一種住居専用地域となる市街化区域に隣接しており、もう一方、南東にあたる隣接地は福井野小学校である。この地理的条件の中で崖錐55,600m³、軟岩Ⅰ 29,300m³、軟岩Ⅱ 46,200m³、中硬岩30,700m³、硬岩 2,400m³からなる総計 164,200m³の掘削運搬作業を行なわなければならなかった。

ここで問題となったのは、弾性波速度 $V_p = 1,800 \sim 3,600 \text{ m/s}$ の軟岩Ⅱ、中硬岩、硬岩の掘削方法であった。機械施工はジャイアントブレーカーにより可能であるが、作業効率が悪く、費用が割高になる事、工期（2年）を割る恐れがある事や隣接地の関係で騒音問題が予想され採用されなかった。また、ダイナマイト等の爆薬についても、第一種保安物件である小学校が隣接している事、第一種住居専用地域の密集市街地に隣接している事等の安全的理由から監督官庁である北海道の許可が得られず、また、地域住民の同意が得られなかった。そこで、最近、市街地の岩盤破砕工事で使用されているコンクリート破砕器により岩盤破砕を行う事となった。

コンクリート破砕器は火薬類取締法で火工品に指定されており、燃焼時における燃焼ガスの膨脹を利用し岩盤にき裂を与えるため、爆薬等に比べ振動・騒音が低く、また、飛石も少ない事が特徴である。しかし、札幌市において、これだけ大量の岩盤破砕工事は実績がなく、コンクリート破砕器の使用例も限られていたため、地域住民に対し地元説明会を開催し、工事の周知を図ると共に試験破砕を実施した後、振動規制法に定める敷地界で75デシベルを10デシベル下回る65デシベルを目標に薬量を設定し、本工事を行った。

3. 測 定 概 要

- (1) 一自由面岩盤破砕時に生ずる地盤振動および破砕音を測定した。参考のため作業中の土木機械の稼動音も測定した。
- (2) 地盤振動については、現在の破砕時の影響を把握することは勿論であるが、得られるデータを継続する第二期工事に有効に活用するため本現場における振動推定式が得られるよう配慮し

た。即ち、周辺に位置する既設住宅の各地点への影響が推定できるよう破砕地点から三方向を測点に選り各方向毎に原則として直線上三点に振動計を設置した。(図 3. 参照)

- (3) 地盤振動は垂直成分が一般に最も大きく表われるとの理由から速度型振動計を用いて垂直振動を測定した。
- (4) 通常作業における破砕は防護マットおよびシートの併用で飛石防護を行っているが、今回の測定時には防護材の影響を除去するため便宜的にマットおよびシートの防護を施さず測定を行った。
- (5) 破砕音は音圧レベルの測定の他にオクターブバンド周波数分析を行った。
- (6) 破砕対象岩盤は安山岩であり次の性質を有する。

岩 種	圧縮強度 (kg/cm^2)	地山弾性波速度 (m/sec)	R Q D 分類 (%)
軟 岩 II	1,200	1,790	10 ~ 20
中 硬 岩	1,560	1,800 ~ 2,500	30 ~ 80
硬 岩	1,920	3,600	55 ~ 100

表 1 岩石分類

ここに $R Q D = \frac{5 \text{ cm 以上のコアの累計長さ}}{\text{単位掘進長さ}} \times 100$

4. 測定方法

(1) 振 動

イ) 測定・解析は次図により行った。

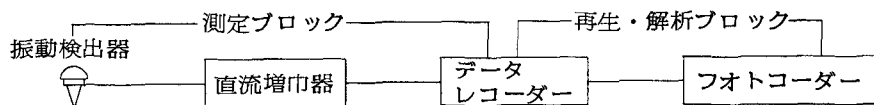


図 1 測定・解析ブロックダイアグラム

ロ) 測定機器の仕様は次のとおりである。

- 振動検出器 : Geo Space Corporation (USA) 製
G S C - 11 D 型、速度型検出器
- 直流増巾器 : 岩崎通信機製 D A - 1 型
- データレコーダー : ソニー製 4 要素 D F R - 4 5 1 5
- フォトコーダー : 横河電機製 I M 2 9 3 2 - 4 0 (A T T 内蔵)
- ガルバノメータ : 横河電機製 2 5 0 0 A F

ハ) 検出器は岩盤上に安定できる適当な位置に選定スパイクをそう入固定した。

(2) 騒 音

イ) 測定・解析は次図により行った。

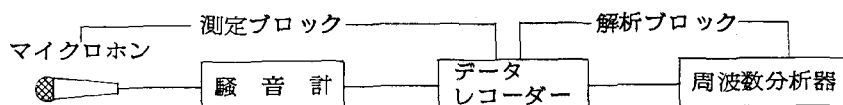


図 2 測定・解析ブロックダイアグラム

ロ) 測定機器の仕様は次のとおりである。

- マイクロホン : リオン製 コンデンサーマイクロホン VC-11 プリアンプ NC-20B

b. 騒音計：リオン製 インパルス精密騒音計 NA-57

c. データレコーダー：ソニー製 4要素 DFR-4515

d. 周波数分析器：リオン製 オクターブ分析器 SA-60

ハ) マイクロホンは地上約 1.5m 位置および新築校舎屋上に設置した。いずれも C特性にて測定した。

(3) 測定点および破砕諸元 (図 3 および表 2 参照)

図 3. 測定点説明図

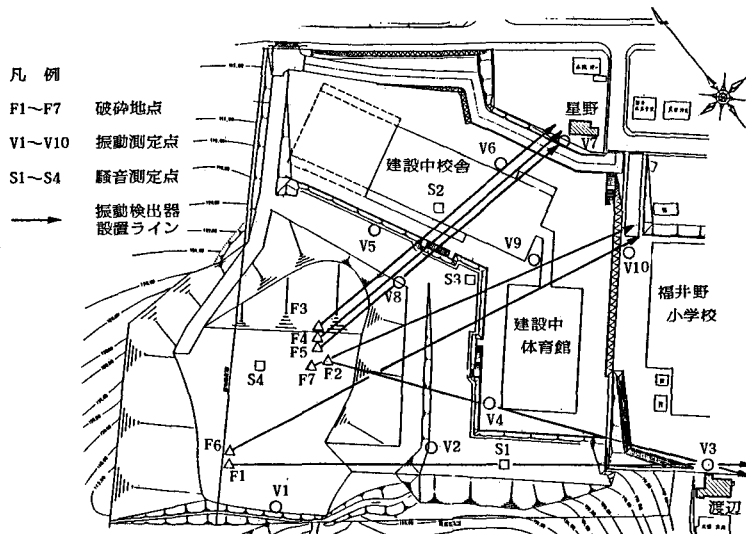


表 2. 破砕振動・破砕音測定諸元

破砕地点	振動検出器設置点	マイクロホン設置点	測定日時	破 砕 諸 元						総重量	備 考
				孔長 (m)	孔間隔 (m)	1孔装薬量 CCR装薬 個数 (g)	孔数	総孔数	総CCR 個数		
F1	V1	35m	12月7日 11時30分	1.5	1.1	2 360	15	51	166	29.88	穿孔径 55mm又は60mm (以下同)
	V2	80		2.0	1.0	3 540	8				
	V3	194		2.5	1.0	4 720	28				
F2	V4	63	12月7日 14時50分	2.5	1.0	4 720	46	46	184	33.12	
	V3	163									
F3	V5	37	12月8日 11時30分	1.5	1.0	2 360	7	19	53	9.54	
	V6	82		2.0	1.1	3 540	9				
	V7	106		2.5	1.1	4 720	3				
F4	V5	42	12月8日 11時32分	1.5	1.0	2 360	1	45	179	32.40	
	V6	87		2.5	1.1	4 720	44				
	V7	111									
F5	V5	47	12月8日 14時30分	2.5	1.0	4 720	40	80	320	57.60	発破器 2台にては、同時点火 ① 28.80 Kg ② 28.80 Kg
	V6	92		2.5	1.0	4 720	40				
	V7	116									
F6	V8	87	12月9日 11時32分	1.0	0.8	1 180	65	127	222	39.96	全上 ① 20.70 Kg ② 19.26 Kg
	V9	133		1.5	1.0	2 360					
	V10	164		1.0	0.8	1 180					
				1.7	1.1	2 360					
F7	V8	32	12月9日 15時30分	1.5	1.1	2 360	20	95	310	53.80	全上 ① 32.40 Kg ② 23.40 Kg
	V9	82		2.0	1.1	3 540	30				
	V10	116		2.5	1.0	4 720	45				

註 1. CCRは全て180号-Bを使用した。

2 穿孔配置が異なるのは、現に作業現場の破砕そのものを測定したため岩盤の状況に依存している。

5. 測定結果

(1) 振動測定結果

振動速度測定結果を表 3に示す。又、参考の為測定オシログラムから算出した振動周波数も併せて記載した。測定オシログラムからの数値の読みとりは常法により図4 より求めた。オシログラムの最大巾 (peak to peak) を実測し、その半を振動速度とした。したがってこの値はピーク値である。オシログラムからの振動速度の算出は検出器の出力特性からみると半振巾から求めるのが正しいが、実測されるオシログラムの十側および一側の振れが一樣でないとの理由から最大巾から求めた。周波数は最大振巾位置から求めた。

表 3. 振動速度測定結果

破砕点	検出器設置点	破砕地点からの距離	振動速度 (cm/S)	周波数 (Hz)	CCR 本数	総薬量 (Kg)
F 1	V 1	35 m	0.39	25	166	29.88
	V 2	80	0.09	37		
	V 3	194	0.06	17		
F 2	V 4	63	0.06	29	184	33.12
	V 3	163	0.03	21		
F 3	V 5	37	0.18	21	53	9.54
	V 6	82	0.05	19		
	V 7	106	0.02	18		
F 4	V 5	42	0.15	21	179	32.40
	V 6	87	0.10	20		
	V 7	111	0.03	17		
F 5	V 5	47	0.60	21	320	57.60
	V 6	92	0.23	21		
	V 7	116	0.09	16		
F 6	V 8	87	0.22	42	222	39.96
	V 9	133	0.08	38		
	V 10	164	0.04	20		
F 7	V 8	32	0.58	43	310	55.80
	V 9	82	0.28	38		
	V 10	116	0.06	33		

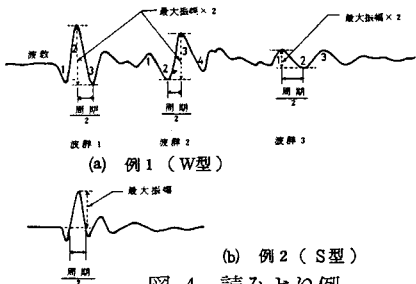


図 4. 読みとり例

(2) 測定結果の解析

イ) 過去の実測結果等から求めた最も一般化した推定式を示す。

$$v = k \cdot w^m \cdot d^{-n}$$

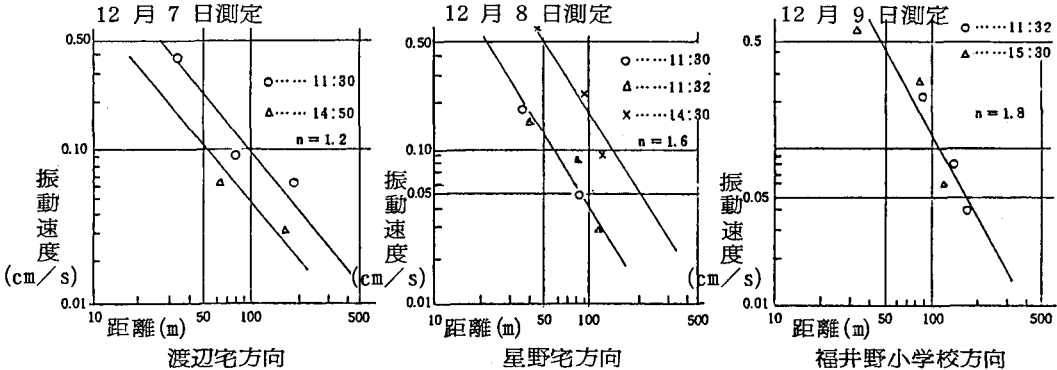
ここに v : 振動速度 (cm/s) w : 薬量 (g) d : 距離 (m)

k : 薬種、岩盤状態等により定まる定数 m : 薬量指数 (一般に 2/3 の値を採用)

n : 距離減衰係数 (一般に 1.5~2.0 の値を採用)

ここで表 3 の実測値を用いて $v - d$ 関係の作図から n を求める。

図 5. 距離減衰図



ロ) 次に、 $w-v$ 関係を作図し $m=2/3$ の勾配を有する直線をこの図にそう入するとプロットされた点の直線からの偏倚は少ないので、本現場における薬量係数 m は $2/3$ の値にほぼ等しいと考えられる。これらの結果から得られた $m=2/3$ 、 $n=1.2, 1.6, 1.8$ を用いて $v=k \cdot w^m \cdot d^{-n}$ における k 値を求めると表4 のようになる。この式が本現場における破砕振動の大きさを表わす一般式と考えてよく、今後の破砕設計に活用できるものである。 n 値が方向により異なるのは岩盤の強度・き裂等の状態が異なるためと推定される。

(3) 騒音測定結果

破砕音の測定結果を表5 に示す。測定はC特性にて行ったが、補正値を用いて算出したA特性の値も併せて記載した。

(4) 測定結果の解析

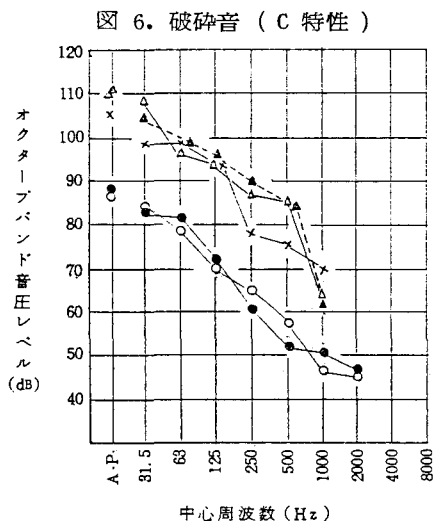
応答性のよいインパルス騒音計にて測定しているため時定数の小さい衝撃音を精度良く捕えている。又、周波数分析を行う関係で常法に基づきC特性を用いて測定したが、この値を人間の感覚として捕えるのは誤

表 4. 振動速度式

破砕点	検出器設置点	破砕地点からの距離	振動速度 (cm/s)	k	$\bar{k}$	n	振動速度式
F 1	V 1	35 m	0.39	0.03	0.02	1.2	A 方向 $v=0.02 w^{2/3} d^{-1.2}$ (渡辺宅方向)
	V 2	80	0.09	0.02			
	V 3	194	0.06	0.03			
F 2	V 4	63	0.06	0.01		1.2	
	V 3	163	0.03	0.01			
F 3	V 5	37	0.18	0.13	0.12	1.6	B 方向 $v=0.12 w^{2/3} d^{-1.6}$ (星野宅方向)
	V 6	82	0.05	0.13			
	V 7	106	0.02	0.08			
F 4	V 5	42	0.15	0.06		1.6	
	V 6	87	0.10	0.12			
	V 7	111	0.03	0.06			
F 5	V 5	47	0.60	0.19		1.6	
	V 6	92	0.23	0.21			
	V 7	116	0.09	0.12			
F 6	V 8	87	0.22	0.58	0.38	1.8	C 方向 $v=0.38 w^{2/3} d^{-1.8}$ (福井野小学校方向)
	V 9	133	0.08	0.46			
	V10	164	0.04	0.33			
F 7	V 8	32	0.58	0.20		1.8	
	V 9	82	0.28	0.53			
	V10	116	0.06	0.21			

表 5. 破砕音測定結果

薬量 (Kg)	距離 (m)	聴感補正特性	中心周波数 (Hz)							
			AP (dB)	31.5	63	125	250	500	1000	2000
29.88	100	C	86	83	78	70	65	57	47	45
		A	61	47	52	54	56	54	47	46
33.12	85	C	88	83	81	72	60	51	50	46
		A	60	47	55	56	51	48	50	47
39.96	48	C	110	109	96	93	87	85	64	—
		A	85	73	70	77	78	82	64	—
55.80	55	C	105	99	99	93	78	75	70	—
		A	83	63	73	77	79	72	70	—
57.60	48	C	110	105	99	95	90	84	62	—
		A	86	69	73	79	81	81	62	—



記号	破砕点	測定点	総薬量 (Kg)	距離 (m)
○	F 1	S 1	29.88	100
●	F 2	S 1	33.12	85
△	F 6	S 2	39.96	48
×	F 7	S 3	55.80	55
▲	F 5	S 2	57.60	48

りがあるので、表5 に記載してある補正されたA特性の値で人への影響を評価すべきである。今回は一点測定のみで音圧レベルを一般式で表現することはできないが、以上の結果を基に次のように考察する。表5 から図6 が得られる。

音の周波数特性を見ると、破砕音は低周波部分（主として31.5Hz）にエネルギーが集中していることがわかる。この結果を聴感補正を行ってA特性で見ると図7 のとおり破砕音は20dB以上低下し、感覚的には非常に低い音と感じられる。今回は測定の便宜上、直接防護措置を行っていないがこれを施すことにより更に音圧レベルは低下するものと推測される。

今回の測定結果を爆発音測定データの整理に習慣的に用いられる手法により、相似距離に対し音圧レベルをプロットすると図8 のようになる。この図から破砕時に生ずる破砕音の近似値を求めることができる。

6. ま と め

(1) 振 動

イ)測定値から次の振動速度式が得られた。

$$A \text{ 方向: } v=0.02W^{2/3}d^{-1.2}, \quad B \text{ 方向: } v=0.12W^{2/3}d^{-1.6}, \quad C \text{ 方向: } v=0.38W^{2/3}d^{-1.8}$$

これ等の式を用いて、現場における振動自主規制値(65dB, 振動速度0.05cm/s)を超えない距離-薬量関係を求めると図9 のようになる。この図の安全域および無感域は今回得られた式の最も振動値を小さく保持し得る範囲を示しており安全サイドに立った管理域であるので、この範囲内で作業を実施すれば既設住宅への影響は生じないと考えられた。尚、振動速度から音圧レベルへの換算は次式によった。

$$dB=20\log V+71 \quad \text{ここで } V \text{ は振動速度(mm/s) である。}$$

ロ)破砕地点から住宅までの最短距離は130mであるので、一回の破砕薬量を24kg以内に押えて施工すれば破砕振動は65 dB(0.05cm/s) 以内に保持できると推定され、現場においても住民からの苦情は発生しなかった。

(2) 騒 音

イ)測定にインパルス騒音計を用いたことおよび破砕測定時に防護マット等を施していないことの2つの理由により、

一般の公害振動計で測定される値よりも大きな値を測定しているが、この値を用いれば安全サイドの評価が出来ると考えられる。又、振動測定において結論づけられた最大薬量24kg、距離130m地点における音圧レベル(A特性)は図8を用いると50dBとなり、苦情が発生する大きさではない。

ロ)今回の測定から音圧レベルが90dB(C特性)付近の低周波が確認された。このことから、今後、破砕音を論じる場合には低周波の精密な計測と低減対策を講じなければならない。

おわりに、今回の測定及び解析は昭和57年度に関するものであったが、そこで確認された低周波について、次年度に測定と解析を行っており機会があれば報告したい。

参 考 文 献

- (1) 日本鉱業会, 物理探鉱技術協会: 発破振動測定指針について
- (2) 黒田, 小林: 工業火薬協会誌 Vol.43, No. 4 (1982)
- (3) 通産省立地公害局, 工業技術院化学技術研究所: 昭和54年度相馬ヶ原爆発実験報告書(1980.3)
- (4) 公害防止の技術と法規(振動編)
- (5) 公害防止の技術と法規(騒音編)
- (6) 土木学会西部支部: 騒音, 振動に関する環境問題

図7. 破砕音の特性

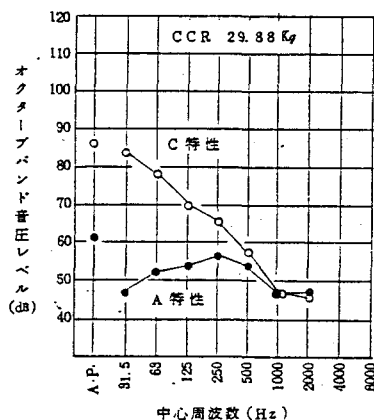


図8. 薬量, 距離と音圧レベルの関係

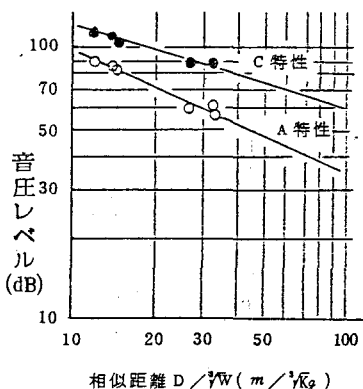


図9. 実測値から求めた安全域・無感域

