

VI-101

電子雷管を用いた家屋内の低周波音対策の検討

㈱大林組 ○正員 小出 忠男 藤野 順也
正員 武田 明 松本 司
旭化成工業㈱ 松永 博文

1. まえがき

発破掘削時の振動・低周波音（騒音を含む）対策には、薬量の制限や発破方法の工夫がよく用いられている。しかし、トンネル工事で従来の電気雷管を用いた発破掘削では段発総数や段発の時間（秒時）精度の限界から薬量の制限や発破方法の工夫に限界があった。ここに、電子雷管（E D D : Electronic Delay Detonator）は電子回路により秒時設定を高精度化し、これまでと比較して数十倍以上の段発総数を可能にした。この段発総数の増加は、1孔発破ごとの薬量まで減少させた段発発破を可能にし、従来の電気雷管による段発発破以上に振動・騒音の低減を可能にした。また、E D D 雷管は高精度な秒時設定が可能なることから、筆者等は、トンネル工事での段発発破の秒時間隔（段発時間間隔）の調整による波動の重ね合わせによる打消しで、薬量低減による効果以上に低周波音を低減できることを検証したので報告する。

2. 実験概要

実験を行なったトンネルは、NATM工法で吹き付けコンクリートが覆工され、その内、坑口より1 kmが二次覆工されている。直径は約10mである。実験時の発破点の岩盤は弾性波速度3～4 km/secを示す中硬岩の凝灰角礫岩である。

実験は、各種秒時設定したE D D 雷管を用いたダブルVカット1～2孔発破の心抜き発破（E D D 発破）と現行発破を、坑口より約2.9 kmの切羽で実施した。なお、秒時設定の為の予備実験として現行発破と単発発破を坑口より約2.6 kmの切羽で実施した。現行発破とはトンネル全断面掘削の為のD S電気雷管を用いた段発発破（心抜き発破はシングルVカット、10孔発破）である。また、E D D 発破は1～2孔発破となり、現行発破に比べた心抜き発破時の掘削効率が低下するので、発破パターンと心抜き総薬量を変更した。各発破の孔数と使用薬量を表-1に示す。E D D 雷管の秒時設定は、予備実験単発発破時の屋内の低周波音波形を用いて、種々時間間隔で装薬孔数だけ波形合成した計算上の波形から求め実験目的に合った値とした。屋内の低周波音が最小となる秒時間隔は90 msecで、波動の重ね合わせによる打消しで低周波音の低減効果（秒時

表-1 E D D 発破時の低周波音と振動速度結果（掘進長：2.5 m）

測定番号	発破名称	心抜き発破の内容				最大低周波音音圧レベル(dB)		床の最大振動速度(cm/sec)	
		秒時間隔(msec)	孔×列	装薬量(kg)	装薬量(kg)	室内	屋外	最大値	低減比
1	E D D	20	4×2	1.60	3.20	88	89	0.025	1/6.8
2		60	4×4	1.52	3.04	94	—	0.025	1/6.8
3		75	4×4	1.24	2.48	76	89	0.038	1/4.5
4		90	4×4	1.17	2.34	74	88	0.025	1/6.8
5	現行	250全発破DS10段	5×2(心抜き発破)	1.50	15.0(心抜き発破)	98	100	0.171	低減比基準値1/1

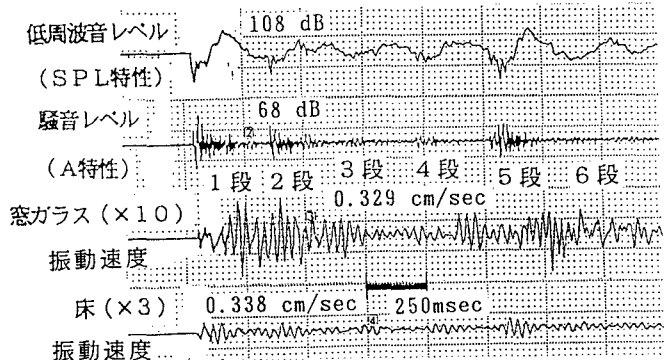


図-1 予備実験現行発破時の屋内騒音

と窓ガラス・床の振動波形例

設定効果）が 13 dB得られると予測された。

測定点は坑口より谷を挟んで 310m 前方の丘の上にある家屋（プレハブ平屋）の 6 畳一室で、測定は発破時の屋内・外での低周波音と騒音および低周波音による窓ガラス（アルミサッシ）や床の振動である。

3. 測定結果と考察

図-1 は予備実験時の現行発破の実測例である。振動速度波形は、床では各発破時を示す騒音の音圧波形に対応した変動を示すが、窓ガラスでは低周波音圧波形と同様に各段発時の後の屋内の残響の影響で不規則な変動を示している。しかし、両者の最大振動速度は低周波音の最大音圧レベルと図-2 に示すような相関性が見られた。よって、E D D 発破時の屋内での低周波音の低減効果は、最大音圧レベルで評価することとした。

表-1 は各種秒時間隔の E D D 発破時と現行発破時の低周波音と振動測定の結果である。また、図-3 はこれ等発破時の屋内の低周波音記録を 1/3 オクターブ分析した結果である。E D D 発破時の低周波音の低減効果は、測定番号 3 と 4（秒時間隔 75 と 90 (msec)）の発破時では、現行発破時の音圧レベル値に比べ各周波数帯域で約 20 ～ 30 dB、表-1 よりオーバーオール値で 24 dB と 22 dB 低いことが知れる。薬量の減少による低周波音の低減量は、1/2 の薬量減少で一般に約 4 dB²⁾とされていることから、測定番号 3、4 と 1、2（秒時間隔 25 と 60 (msec)）の発破時でそれぞれ 11 dB と 9 dB 程度と推定される。

このことから、屋内での低周波音の秒時設定による低減効果は測定番号 4 の発破時が最も大きく、その効果は予測値と同じ約 13 dB 有ることになる。一方、その効果が最も小さい測定番号 2 の発破時は、逆に波動が重なった為に薬量の減少による低減効果以下の効果となったものと考えられる。

なお、測定番号 4 の発破時の床の振動は、現行発破時の最大振動速度値の 1/6.8 (- 17 dB) に低下することが表-1 で知られる。この内、薬量の減少による床の振動量は、図-1 より低周波音が 20 dB 低下すると約 1/10 (- 20 dB) 低下することから、現行発破時の振動量より約 1/3.5 (- 11 dB) の低下になると推定される。床では屋外からの低周波音の影響を受けるので振動する為、屋内での低周波音の低減量に比べ測定番号 4 の発破時の秒時設定による低減効果は、1/1.9 (- 6 dB) 程度の低減量にとどまったものと推定される。

4. まとめ

屋内での低周波音の低減を目的とした秒時設定を行なった結果、現行発破時に比べ E D D 雷管を用いた発破時の低周波音は、薬量の減少による効果 11 dB に秒時設定による効果 13 dB を加えた 24 dB の低減効果を得ることができた。

参考文献 注 1) 中野有朋「入門超低周波音工学」 耕文社 1981.9.15 注 2) 小出忠男他 1 名「トンネル発破の低周波音レベルの予測式に関する検討」 第 49 回土木学会年次学術講演会 1994.9

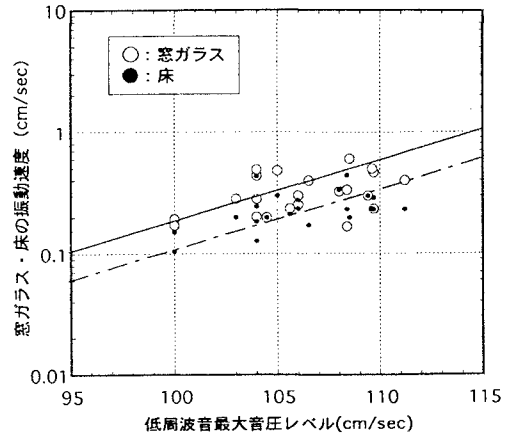


図-2 発破による屋内の低周波音と窓ガラス・床の振動の関係

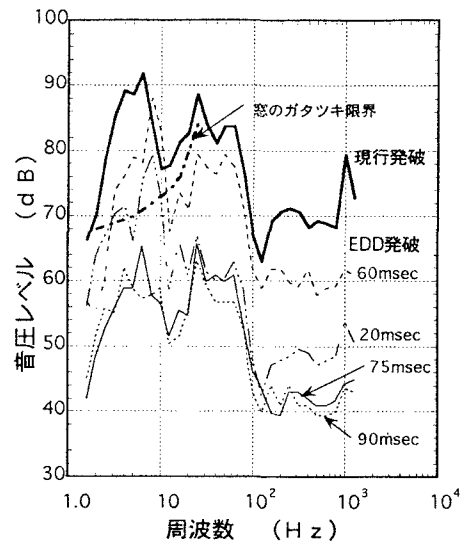


図-3 屋内の低周波音の周波数比較