高性能自在制御発破工法による 住宅地の環境影響低減に関する考察

北村 義宜1・手塚 康成2・岩野 圭太3・佐野 雄紀3・田中 満4

¹正会員 鹿島建設株式会社 箕面トンネル西工事事務所(〒563-0252大阪府箕面市下止々呂美301) E-mail:y-kitamura@kajima.com

²正会員 鹿島建設株式会社 土木管理本部 (〒107-8348 東京都港区赤坂6-5-11) E-mail: tezuka-yasunari@kajima.com

3正会員 鹿島建設株式会社 技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1)

E-mail: iwano@kajima.com, sanoy@kajima.com

⁴正会員 西日本高速道路株式会社 新名神大阪西事務所 (〒569-1133 大阪府高槻市川西町2-10-20) E-mail:y. m.tanaka.ae@w-nexco.co.jp

箕面トンネル西工事では坑口と住宅地との距離が短いため,発破に伴う振動や騒音が近隣住民に不安感 を抱かせ,睡眠を妨害する等の影響を与えることが工事開始前より懸念された.従来の制御発破技術を用 いても住環境に与える影響が大きいと予想されたため,本工事では起爆秒時差を高精度にコントロールで きる電子雷管(eDeV[®]Ⅱ)を用いた高性能自在制御発破工法を国内の道路トンネルに初めて適用し,住宅地 における発破振動の抑制を図りながら掘削を進めている.

高性能自在制御発破工法の適用に先立ち,同工法の諸特性を把握することを目的とした試験発破を実施 した.本文では、このときに観測した振動や騒音に関する計測結果を紹介するとともに、秒時間隔を制御 することにより低周波音や地盤振動を低減できることが判明したので、この結果を報告する.

Key Words: electronic detonator, delay time, tunnel blasting, ground vibration, low-frequency sound

1. はじめに

箕面トンネルは、新名神高速道路(高槻第一JCT~神 戸JCT 全長40.5km)のうち、大阪府箕面市北部を東西 に横断する全長約5kmの2車線双設道路トンネルであり、 本工事ではこのうち西側約3kmの施工を行っている.

箕面トンネル西工事に関する工事概要を表-1に,トン ネルに関する諸元を表-2にそれぞれ示す.

| | 表─1 工事概要 |
|-------|--------------------------|
| 工事名 | 新名神高速道路箕面トンネル西工事 |
| 工事期間 | 平成24年6月~平成28年6月 |
| 工事場所 | 大阪府箕面市粟生間谷~下止々呂美 |
| 発注者 | 西日本高速道路株式会社 関西支社 |
| 受注者 | 鹿島建設株式会社 |
| | 表-2 トンネル諸元 |
| 道路規格 | 第1種 第2級 B規格 暫定4車線 |
| 工区延長 | 上り線 2,916m 下り線 2,895m |
| 縦断勾配 | 上り線 2.0% 下り線 2.0% |
| 掘削断面積 | 76.2 ~99.0m ² |
| 非常駐車帯 | 8か所 |
| 避難連絡坑 | 4 か所 |

本トンネルは、図-2に示すようにトンネル坑口と隣接 民家との最小離隔が上り線で70m程度、下り線で130m程 度と近接している. さらに下り線では坑口から約125m, 上り線では坑口から約210m入ったところで発破が必要 となる硬岩が出現しており、発破に伴う住環境への影響 を低減する必要があった.



図-2 トンネル坑口と隣接民家の位置関係

発破による振動の影響を低減させるためには、発破 による変位速度を0.03kine以下の完全な無感レベルまで 小さくすることが有効である. 従来は段発電気雷管を用 いた分割発破や電子雷管を用いた制御発破により、斉発 当りの孔数を1孔単位まで減らして薬量を低減する(以下、 斉発分離とする)ことで発破振動の低減が図られている ¹⁾が,前者は雷管自体の精度が悪く意図したほどに斉発 分離ができない上, 殉爆や不発時のリスクが大きい. 後 者は、通常は秒時間隔が30msに固定されており、斉発 分離した孔分だけ発破振動や発破騒音の持続時間が長く なるという欠点を有するため、人間の体感上、返って不 安を募らせる結果になることが多い. そこで, 最大500 発までの斉発分離が可能で、かつlms刻みで秒時間隔を 現場で任意に設定できる高精度電子雷管(eDev®Ⅱ)を用い た高性能自在制御発破工法を国内の道路トンネルに初め て適用し、確実に斉発分離するとともに、発破持続時間 を短縮し、発破振動を極限まで低減することとした.

高性能自在制御発破工法の適用に先立ち,秒時間隔を パラメータとした試験発破を実施して本工法の基本特性 を調査した.本文ではこのときに得られた振動,騒音お よび低周波音の計測結果を紹介するとともに,秒時間隔 をコントロールすることにより低周波音や発破振動を抑 制できることが判明したので,この結果を報告する.

2. 高性能自在制御発破工法の概要

高性能自在制御発破工法で使用する電子雷管の特徴²⁾ を以下に示す.

- ・任意の秒時設定が可能 ・最大500段の段発
- ・秒時精度は設定遅延秒時の±0.01%
- ・lms刻みで秒時間隔を設定可能

この雷管を用いることで斉発薬量を1孔あたりの薬量 にまで完全に分離することが可能となり,発破持続時間 も任意に調整できる.



3. 下り線試験発破時における環境影響

本工事では下り線の掘削が上り線より先行したため, まず下り線にて秒時間隔をパラメータとした試験発破を 実施し,振動,騒音および低周波音を計測した.またこれらの計測結果をもとに住環境に与える負荷の小さい秒時間隔を設定した.

(1) 試験発破の概要

a) 計測位置と計測目的

下り線の坑口よりおよそ120m入った位置から試験発 破を実施した.試験発破時に設定した計測点はヤード内 6か所(A~F)と住宅地内5か所(G-K)の合計11か所で ある(図-4参照).なお,各計測点では表-3に示す評価 を行うことを目的として騒音,低周波音および振動速度 を計測した.

b) 試験発破諸元

今回の試験発破では3種類の秒時間隔に対して2回の発 破を実施した.試験発破の諸元を表-4に示す.



図-4 発破位置と計測点(下り線試験発破)

| キ ? | 11111日本里し新年日的(下り始社) | トマダエナト |
|------------|---------------------|--------|
| রহ−১ | 可便性が見て計画日的ハトリ液的物 | そモルタノ |

| 位置 | 計測項目 | 計測点 番号 | 評価目的 |
|------|------|-----------|-----------|
| | | А | 坑内距離減衰 |
| ヤード内 | | В | 防音壁による減衰 |
| | 騒音 | С | 防音壁による減衰 |
| | 低周波音 | D | 坑外距離減衰 |
| | | E | 坑外距離+回折減衰 |
| | | F | 防音壁減衰 |
| | | G | |
| 住宅地 | 騒音 | Н | 卡尔西欧卡克 |
| | 低周波音 | | りか距離感染 |
| | 振動速度 | J | 地強派到付注 |
| | | K | |

| 表–4 | 試験発破諸元(下り線試験発破) |
|-----|-----------------|
| | |

| 試験 回数 | 秒時間隔 | 孔数 | 最大 斉発薬量 | 総装薬量 | 持続時間 |
|----------|--------------------|----|------------|--------|--------|
| 1回目 | | 72 | 0.6kg | 35.0kg | 2.26 秒 |
| 2回目 | 一作 30118 | 72 | 0.6kg | 24.3kg | 2.26 秒 |
| 3回目 | 孔間 7ms | 73 | 0.6kg | 22.8kg | 0.68 秒 |
| 4回目 | 段間 28ms | 63 | 0.6kg | 23.4kg | 0.68 秒 |
| 5回目 | / 1 7ma | 68 | 0.6kg | 24.6kg | 1.14 秒 |
| 6回目 | | 64 | 0.6kg | 14.7kg | 1.07 秒 |

[※]奇数回は昼間, 偶数回は夜間に試験発破を実施した

c) 発破パターン

図-5に示す発破パターンに基づき試験発破を実施した. なお,発破孔の配置については地山の残り具合と地質状 況に応じて適宜変更した.

d) 防音扉の仕様

下り線の試験発破時には、ソリ式防音壁を2重に設置 した.

e) 管理目標值

本工事では騒音,低周波音および変位速度の管理目標 値を表-5のように設定した.

(2) 秒時間隔に応じた坑外距離-騒音レベルの関係

a) 騒音計測結果

騒音レベルを計測した結果を表-6に示す.

b) 騒音予測式の精査

発破に伴う騒音は以下に示す船津式¹⁾で予測されるの が一般的である.

 $L_A=A+16\log(W)-16\log(D)-20\log(R)+\Delta L$ 式 (1)

La: 騒音レベル(dB)

- A: 雷管固有の設定値(dB)
- W:総薬量(kg)
- D: 坑内距離(m)





表−5 管理目標値

| | 管理目標値 | 目標値の目安 | | | |
|------|----------|----------------|--|--|--|
| 騒音 | 64dB | 静かな乗用車内程度 | | | |
| 低周波音 | 90dB | 建具のがたつきが生じない程度 | | | |
| 変位速度 | 0.03kine | 人が揺れを感じない程度 | | | |

表-6 騒音レベルの計測結果(下り線試験発破)

| 测上 | 坑口から | 騒音計測結果(dB) | | | | | | | |
|----|--------|------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|--|
| 測尽 | の距離(m) | 1回 | 2回 | 3回 | 4回 | 5回 | 6回 | 平均 | |
| Α | -13.5 | 135 | 132 | 133 | 132 | 133 | 133 | 133 | |
| В | -4 | 110 | 110 | — | — | — | — | 110 | |
| С | +5 | 107 | 108 | 108 | 108 | 107 | 108 | 108 | |
| D | +43 | 91 | 89 | 89 | 89 | 87 | 89 | 89 | |
| E | +74 | 82 | 81 | 81 | 81 | 78 | 79 | 80 | |
| F | — | 64 | | | 66 | 67 | レイブ | 66 | |
| G | +134 | — | 59 | レイブ | 57 | ノイズ | 1712 | 58 | |
| Н | +212 | ノイズ | 56 | 21へ | 64 | 57 | 59 | 59 | |
| I | +156 | — | Ι | 肥八 | 58 | レイブ | 59 | 59 | |
| J | +200 | 57 | 58 | | 59 | 717 | ノイズ | 58 | |
| K | +144 | 58 | 62 | 57 | 60 | 56 | 59 | 59 | |

R: 坑外距離(m)

ΔL:減衰補正量(dB) (指向性,防音壁や障害物等の補正値)

表-6に示す計測結果にもとづき,坑内および坑外距離 減衰に乗じられる係数,減衰補正量ΔLを求めた.

坑内距離減衰定数

坑内距離減衰に乗じる定数は,発破位置に最も近 いA地点の騒音計測結果から表-7のように求めた.坑 内距離減衰定数は各回の平均値である10とした.

坑外距離減衰定数

坑外距離減衰に乗じる定数は,各回のC地点とD 地点の計測結果から表-8のよう求められた.坑外距離 減衰定数は各回の平均値である12とした.

・減衰補正量

減衰補正量は各回のA~C, C~D, G~Kの各計測 値をもとに表-9のように求めた.防音壁で25dB,防音 壁で14dB,方向回折量で9dBの減衰が生じる結果とな り,減衰補正量はこれらの合計である48dBとした.

表-7 坑内距離減衰の計算結果(下り線試験発破)

| 試験回数 | 1回 | 2回 | 3回 | 4回 | 5回 | 6回 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
| A値 | 132 | 132 | 132 | 132 | 132 | 132 |
| 坑内距離 D(m) | 110 | 111 | 112 | 113 | 114 | 115 |
| 総装薬量 W(kg) | 35.0 | 24.3 | 22.8 | 23.4 | 24.6 | 14.7 |
| 発生源(dB) A+16Log(W) | 157 | 154 | 154 | 154 | 154 | 151 |
| A 地点(dB) | 135 | 132 | 133 | 132 | 133 | 133 |
| 距離減衰量(dB) | -22 | -22 | -21 | -22 | -21 | -18 |
| 坑内距離減衰定数 | 10.6 | 10.8 | 10.1 | 10.7 | 10.3 | 8.6 |
| 平均值 | 10.2 | | | | | |

表-8 坑外距離減衰の計算結果(下り線試験発破)

| 試験回数 | 1回 | 2回 | 3回 | 4回 | 5回 | 6回 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|
| 2点間距離R(m) | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 |
| C地点(dB) | 108 | 108 | 108 | 108 | 107 | 108 |
| D地点(dB) | 91 | 89 | 89 | 89 | 87 | 89 |
| 距離減衰量(dB) | -17 | -19 | -19 | -19 | -20 | -19 |
| 坑内距離減衰定数 | 10.8 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.7 | 12.0 |
| 平均值 | 11.9 | | | | | |

| 表-9 減衰補正量の計算結果(下り線試験発破) | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----|-------|------|-----|-----|-----------|--|--|--|
| 測点 | 1回 | 2回 | 3回 | 4回 | 5回 | 6回 | | | |
| A 地点(dB) | 135 | 132 | 133 | 132 | 133 | 133 | | | |
| C地点(dB) | 108 | 108 | 108 | 108 | 107 | 108 | | | |
| 防音扉減衰量(dB) | -27 | -24 | -25 | -24 | -26 | -25 | | | |
| 防音扉平均值(dB) | | | -2 | 25 | | | | | |
| E地点(dB) | 82 | 81 | 81 | 81 | 78 | 79 | | | |
| F地点(dB) | 64 | — | 82 | 66 | 67 | 79 | | | |
| 防音壁減衰量(dB) | -18 | — | (+1) | -15 | -11 | (0) | | | |
| 防音壁平均值(dB) | | | -1 | 4 | | | | | |
| G~Kの 実測補正量(dB) | -9 | (-23) | -11 | -7 | -11 | (- 22) | | | |
| 方向回折量(dB) | | • | ! | 9 | | | | | |

c) 秒時間隔に応じた坑外距離と騒音レベルの関係

上述した結果を考慮して、坑外距離と騒音レベルの関係を秒時間隔ごとにグラフ化した結果を図-6に示す.住宅地における騒音レベルは管理目標値である64dBを概ね下回ったが、秒時間隔を変えても騒音レベルに明確な違いは生じなかった.

(3) 秒時間隔に応じた坑外距離–低周波音レベルの関係

a) 低周波音の計測結果

11か所の計測点にて低周波音レベルを計測した結果を **表-10**に示す.

b) 秒時間隔に応じた坑外距離と低周波音レベルの関係 発破に伴う低周波音は以下の船津式¹⁾で予測される.

 $L_{C}=A+7Log(W)-20Log(R)+\Delta L$ 式(2)

La: 騒音レベル(dB)

- A: 雷管固有の設定値(dB)
- W:総薬量(kg)
- R: 坑外距離(m)
- ΔL: 減衰補正量(dB)

表-10に示す計測結果を考慮し,坑外距離減衰に乗じられる係数,減衰補正量ΔLを秒時間隔ごとに求め,坑 外距離と低周波音レベルの関係を図-7にグラフ化した.





| | 坑口から | | | | | | | |
|----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 川只 | の距離(m) | 1回 | 2回 | 3回 | 4回 | 5回 | 6回 | 平均 |
| Α | -13.5 | 141 | 141 | 140 | 141 | 140 | 141 | 141 |
| В | -4 | 124 | 124 | 122 | - | — | — | 124 |
| С | +5 | 126 | 126 | 125 | 124 | 122 | 122 | 124 |
| D | +43 | 107 | 106 | 106 | 105 | 103 | 103 | 105 |
| E | +74 | 100 | 99 | 99 | 98 | 96 | 96 | 98 |
| F | _ | 94 | _ | 92 | 92 | 88 | 89 | 91 |
| G | +134 | 85 | 85 | 86 | 86 | 82 | 82 | 84 |
| Н | +212 | 86 | 78 | 78 | 91 | 91 | 75 | 79 |
| | +156 | 74 | 85 | 91 | 86 | 82 | 82 | 83 |
| J | +200 | 71 | 85 | 85 | 85 | 86 | 80 | 82 |
| Κ | +144 | 87 | | 90 | 87 | 90 | 83 | 87 |

同図より秒時間隔に応じて低周波音レベルが異なることが確認されるが、いずれの秒時間隔でも住宅地における低周波音レベルは管理目標値である90dBを下回った.

低周波音に関しては、秒時間隔を一律17msとした場合が住宅地における環境影響の低減に最も有利であることが分かった.

(4) 秒時間隔と地盤変位速度の関係

a) 振動速度の計測結果

住宅地内に設置したG~Kの5点にて変位速度を計測した.計測結果を表-11に示す.

発破位置に比較的近い観測点G, I, Kは発破振動が明 瞭に観測されたが,発破位置から比較的遠い観測点J,H は変位速度が小さく,暗振動との判別が困難であった.

b) 秒時間隔別の坑外距離と変位速度の関係

振動予測式(旭化成式)³に計測結果をあてはめ,各 秒時間隔に対する定数Kを推定した.

V=K×W²³×R⁻² V:変位速度(cm/s) 式 (3)

- K:発破条件や岩盤特性によって変化する係数
- W:段当たりの薬量(kg)

D:発破場所からの距離(m)





表-11 振動速度の計測結果(下り線試験発破)

| 手通下 | 変位速度(kine) | | | | | | | | | |
|-----|------------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|--|
| 司则尽 | 1回 | 2回 | 3回 | 4回 | 5回 | 6回 | | | | |
| G | 0.025 | 0.006 | 0.027 | 欠測 | 0.017 | 0.014 | | | | |
| Н | 0.008 | 0.010 | 0.006 | 0.008 | 0.006 | 0.006 | | | | |
| | 0.011 | 0.011 | 0.016 | 0.014 | 0.011 | 0.013 | | | | |
| J | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | | | | |
| K | 欠測 | 0.011 | 0.017 | 0.010 | 0.014 | 0.010 | | | | |
| | | | | | | | | | | |

冒 暗振動との判別が困難なデー会

発破位置からの距離と変位速度の関係を秒時間隔ごと に整理した結果を図-8に示す.いずれの秒時間隔でも変 位速度は管理目標値0.03kineを下回ったが,秒時間隔を 一律17msとする場合にK値が最も小さくなった.

(5) 試験発破結果の考察

下り線では3種類の秒時間隔をセットして試験発破を 行った.この結果,騒音レベルについては3種の秒時間 隔とも同等の値が計測されたが,低周波音と変位速度に ついては秒時間隔に応じて違いが生じ,いずれも秒時間 隔を一律17msに設定する場合が住宅地に与える影響を 最も小さくできることが分かった.近隣住民からヒアリ ングを行った結果,秒時間隔を一律17msとした発破の 印象が最もよく,計測データと人間の体感が整合した. このため,下り線では秒時間隔を一律17msに設定して 発破掘削を継続することとした.

4. 上り線試験発破時における環境影響

下り線で実施した試験発破にて得られた知見にもとづき, 秒時間隔を一律17msに固定した試験発破を実施し, 騒音・低周波音および変位速度を計測した.

(1) 試験発破の概要

a) 計測位置

坑口よりおよそ210m入った位置にて切羽の一部に発 破が必要な岩盤が出現したため、同位置から試験発破を 開始した.試験発破時に設定した計測点はヤード内4か 所(A~D)と住宅地内4か所(G, H, I, K)の合計8か 所である(図−9参照).なお、各計測点は表-12に示す 評価を行うことを目的としている.



b) 試験発破諸元

秒時間隔を一律17msに固定して5回の発破を実施した. 試験発破の諸元を表-13に示す.なお上り線の試験発破 時には切羽の一部に脆弱な岩盤が残っており,切羽の状 況に応じて装薬位置を設定したため,発破パターンに則 した発破は実施していない.

c) 防音扉の仕様

上り線は下り線よりも民家に近く、より減音効果の高い防音扉を設置する必要があると考え、坑口固定式防音扉(コンクリートパネル二重型 写真-1参照)と坑内にソリ式防音扉を設置した.



図-9 発破位置と計測点(上り線試験発破)

| 衣-12 可供加止して計加口印バエリ形式吸光物 | 表-12 | 計測位置と評価目的(上り線試験発破) |
|--------------------------------|------|--------------------|
|--------------------------------|------|--------------------|

| 位置 | 計測項目 計測点 評価目 番号 | | 評価目的 | |
|-----|-----------------|---|-----------|--|
| | | А | 坑内距離減衰 | |
| ヤド内 | 騒音 低周波音 | В | 防音壁による減衰 | |
| | | С | 坑外距離+回折減衰 | |
| | | D | 防音壁減衰 | |
| 住宅地 | 取立 | G | | |
| | 低周波音 「低周波音」 | Н | 坑外距離減衰 | |
| | | | 地盤振動特性 | |
| | 孤到还没 | K | | |

| <u> </u> 夷_13 | 試験発破講示(トロ線試験発破) |
|---------------|-------------------|
| 衣-13 | 武家先生収留していていための代生物 |

| 試験 回数 | 秒時間隔 | 孔数 | 最大 斉発薬量 | 総装薬量 | 持続時間 |
|----------|---------|----|------------|--------|--------|
| 1回目 | | 21 | 0.6kg | 12.6kg | 0.34 秒 |
| 2回目 | | 47 | 0.6kg | 24.9kg | 0.78 秒 |
| 3回目 | 一律 17ms | 31 | 0.6kg | 11.0kg | 0.51 秒 |
| 4回目 | | 54 | 0.6kg | 29.0kg | 0.90 秒 |
| 5回目 | | 44 | 0.6kg | 21.0kg | 0.73 秒 |



写真-1 上り線の坑口固定式防音扉

(2) 騒音・低周波音および振動速度の計測結果

上り線試験発破時における騒音計測結果を表-14,低 周波音計測結果を表-15,振動速度の計測結果を表-16に それぞれ示す.

(3) 試験発破結果の考察

上り線は下り線よりも坑口が住宅地に近いため、反響 や残響による騒音レベルの上昇等が懸念されたが、下り 線で得た知見を活かしたことで騒音、低周波音、地盤変 位速度のいずれも管理目標値を下回ることができた.近 隣住民に対するヒアリングの結果でも騒音や振動に関し て問題ないとの回答が得られた.

表-14 騒音計測結果(上り線試験発破)

| 三百 | 坑口から | 騒音計測結果(dB) | | | | | | |
|----|--------|------------|------------------|------------|-----------|-----|-----|----|
| 则尽 | の距離(m) | 1回 | 2回 | 3回 | 4回 | 5回 | 平均 | |
| Α | -30 | _ | 125 | 127 | 125 | 123 | 125 | |
| B | +1 | 84 | 88 | 90 | 85 | 84 | 86 | |
| С | +25 | 75 | 81 | 82 | 77 | 78 | 79 | |
| D | +35 | 64 | 69 | 70 | 65 | 63 | 66 | |
| G | +75 | 54 | <i>ਮ</i> ر 混入 | | 60 | 1/7 | 60 | 58 |
| Н | +200 | 68 | | 1/7 | /1人 混入 | 59 | 59 | |
| I | +85 | - | | /1/A 混入 | | 61 | 61 | |
| K | +75 | 53 | | | 尼八 | 57 | 54 | 55 |

| 表-15 低周波音計測結果(上り線試験発破) | | | | | | | |
|------------------------|--------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 測点 | 坑口から | 低周波音計測結果(dB) | | | | | |
| | の距離(m) | 1回 | 2回 | 3回 | 4回 | 5回 | 平均 |
| Α | -30 | 139 | 138 | 138 | 138 | 135 | 138 |
| В | +1 | 106 | 109 | 108 | 106 | 106 | 107 |
| С | +25 | 98 | 100 | 98 | 97 | 96 | 97 |
| D | +35 | 95 | 96 | 95 | 94 | 94 | 95 |
| G | +75 | 81 | 84 | 81 | 80 | 83 | 82 |
| Н | +200 | 77 | 89 | 75 | 72 | 74 | 75 |
| | +85 | — | 85 | 83 | 82 | 83 | 83 |
| K | +75 | 84 | 87 | 83 | 84 | 84 | 84 |

表-16 変位速度の計測結果(上り線試験発破)

| 手手手 | 変位速度(kine) | | | | | | | |
|-----|------------|--------|--------|--------|--------|--|--|--|
| 訂测量 | 1回 | 2回 | 3回 | 4回 | 5回 | | | |
| G | 0.0113 | 0.0206 | 0.0079 | 0.0270 | 0.0095 | | | |
| Н | | 暗振動 | | 暗振動 | | | | |
| | 欠測 | 欠測 | 欠測 | 0.0127 | 0.0064 | | | |
| J | | 0.0109 | | 0.0159 | 0.0095 | | | |



図-10 音源と住宅地の観測点における周波数別音圧レベル(低周波音)

5. 秒時間隔によって低周波音レベルに違いが生じた原因に関する考察

(1) 低周波音に関する音源-住宅地間の減音量

上り線の試験発破にて音源(計測点A)と住宅地の観 測点(G~K)における周波数別の音圧レベルを求めた 結果を図-10に示す.また両者の差分により,音源-住 宅地間の減音量を周波数ごとに計算した結果を図-11に 示す.同図より6.3~40Hzの周波数帯にて音圧レベル差 が小さいことが分かる.これは防音扉や防音壁により十 分に減音できない周波数帯が存在することを意味する.

(2) 防音扉による周波数別の減音効果

上り線の試験発破時に観測された音圧レベルの時刻歴 波形に対してスペクトル解析を行った.図-12は計測点 Bにおけるスペクトル解析結果の一例を示している.同 図より59Hz付近の音圧レベルが卓越していることが分 かるが,これは秒時間隔を一律17msに設定したことが 原因(1000/17ms≒59Hz)と考えられる.

上り線の試験発破時にて観測された周波数別の低周波 音レベルをもとに、計測点AとBの差分を求めて防音扉 の減音効果を算出した結果を図-13に示す.





図-11 音源と住宅地の観測点における周波数別音圧レベル(騒音)

同図よりやはり6.3~40Hzの周波数帯で他の周波数帯 と比べて減音効果が小さくなっていることが分かる.下 り線の試験発破にて秒時間隔を一律17msとする場合, 減音効果が十分得られる周波数帯にピークが位置するが, 秒時間隔を一律30msに設定すれば33Hz付近にピークが 位置し,防音扉の減音効果かわずかではあるが得られに くくなることが分かった.

(3) 防音壁による周波数別の減音効果

同様に、観測点CとDの差分により防音壁の周波数別 減音効果を求めた結果を図-14に示す.防音壁について は20~40Hz付近の周波数帯に対しては減音効果がないこ とが分かる.秒時間隔を一律17msとする場合、5dB程度 の減音効果が得られるが、一律30ms(1000/30ms≒ 33Hz)とする場合は減音効果がほとんど得られない.

(4) 低周波音レベルに違いが生じた原因に関する考察

防音扉や防音壁には音圧レベルを十分に低下させるこ とができない周波数域が存在する. 秒時間隔を一律 17msとする場合に比べて一律30msとするほうが住宅地 における低周波音レベルが大きくなったが, この原因は 一律30msとする場合に音圧レベルが卓越する周波数と これらの防音設備にて減音が十分に行えない周波数帯が 一致したためと考えられる.



6. 秒時間隔によって地盤の変位速度に違いが生じた原因に関する考察

(1) 変位速度の時刻歴波形にもとづくスペクトル解析

下り線の試験発破にて発破振動が最も明瞭に観測され た計測点Gにおける変位速度の時刻歴波形をもとにスペ クトル解析を行い,変位速度に関する秒時間隔別の周波 数特性を比較した.スペクトル解析結果を図-15に示す. 同図より,秒時間隔を一律としたケース(30ms, 17ms)は,秒時間隔の逆数の整数倍の周波数が卓越し た.また秒時間隔を7ms(孔間)+28ms(段間)としたケース では,孔間の秒時間隔の逆数で周波数のピークが現れた が、段間の秒時間隔の逆数ではピークが明瞭でなく、相 互に振動の干渉が生じて30~100Hzの周波数帯が全体的 に卓越した.

(2) 変位速度に違いが生じた原因に関する考察

一般に地盤振動は、周波数が高いほうが速度振幅の距 離減衰が大きいとされている.よって、ピークが出現す る周波数が高い秒時間隔ほど、住宅地にて観測される速 度振幅が小さくなると考えられる.

秒時間隔を一律30msに設定した場合には66.5Hz,一律 17msに設定した場合には117.5Hzにてパワースペクトル が最大となっている.このため,秒時間隔を一律17ms に設定したほうが速度振幅の減衰が大きく,これに応じ てK値も低くなったと推察される.一方,秒時間隔を 7ms(孔間)+28ms(段間)としたケースでは,孔間の7msに対 する卓越周波数が確認されるが,30~100Hzに混在した 周波数も確認されており,段発することで不規則波によ る相互干渉が生じて卓越周波数がばらけることを示して いる.



7. おわりに

箕面トンネル西工事では、坑口と住宅地との距離が短 いため、従来の雷管と比較して振動を抑制することがで きる高性能自在制御発破工法を国内の道路トンネルに初 めて適用した.この工法は秒時精度がきわめて高く、か つ秒時間隔を任意に設定できることを特徴としている. このため秒時間隔を一律に設定すれば、発破振動や低周 波音と秒時間隔の関係が明確になり、これらの低減に効 果的な秒時間隔を合理的に検討することができる.

高性能自在制御発破工法の適用に先立って実施した試 験発破にて,住宅地における低周波音と地盤の変位速度 が秒時間隔に影響を受けることが判明した.この原因に ついて検討した結果,低周波音と変位速度を低減する以 下の方策を見出すことができた.

(1) 低周波音の低減方策

防音壁や防音扉は減音効果が得られにくい周波数域と 得られやすい周波数域が存在する.このため減音効果が 得られやすい周波数帯と卓越周波数が一致するような秒 時間隔を設定すれば,防音設備の能力を最大限活用し, 低周波音圧レベルを低減することが可能となる.

(2) 振動速度の低減方策

地盤振動の周波数が高いほど、速度振幅の距離減衰が 大きい.また住宅地のように比較的ルーズな地盤の卓越 振動数(周波数)は25Hz未満であることが多いため、比較 的高い周波数が卓越するように短い秒時間隔を設定すれ ば振動速度を低減することができる.ただし、秒時間隔 を極端に短くすれば斉発性が高まることによって相互干 渉が生じ、騒音や低周波音レベルが上昇する場合がある ので注意が必要である.

参考文献

- 日本火薬工業会:あんな発破 こんな発破 発破事例 集,pp.60-63, 2002.
- 2) オリカ社: eDeV Technical Data Sheet
- 3) 鹿島出版会:発破振動の周辺への影響と対策, pp14, 1984.

(2014.9.15 受付)

A CASE STUDY OF ENVIRONMENTAL IMPACT ON RESIDENTIAL AREA WITH HIGHLY ACCULATE ELECTRONIC DETONATOR

Yoshinori KITAMURA, Yasunari TEZUKA, Keita IWANO, Yuuki SANO and Yoshikatu MAEDA

Reduction of ground vibration due to tunnel blast is needed to ease environmental impact on neighborhood. Minoh tunnel, minimum distance between tunnel mouth and residential area is 70m, adopted the latest control blasting method by use of high-accuracy electronic timing detonator $eDeV^{\mathbb{B}}II$ to reduce ground vibration in residential area. $eDeV^{\mathbb{B}}II$ has a function to set delay time arbitrary on site.

This article explains the result of test blasting using $eDeV^{\otimes}\Pi$ especially about ground vibration, low-frequency sound and noises to reveal characteristics of environmental impact on residential area and propose methods for the reduction of ground vibration and low-frequency sound by controlling delay time setting.