

発破掘削工における環境影響（振動）の低減効果に関する測定 Comprehension of the Efficiency of the Controlled Blasting to the Reduction of Vibration

高村 浩彰*

Hiroaki Takamura

吉田 正樹***

Masaki Yoshida

鈴木 健**

Takeshi Suzuki

柳沢 一俊***

Kazutoshi Yanagisawa

要 約

本報告では、制御発破の環境影響に対する低減効果について把握するために、実際のトンネル現場で発破に伴う振動・騒音を詳細に測定し、得られた結果をまとめた。また、測定結果を用いて、現場の条件に合った精度の高い予測式の係数を算出した。

検討の結果、補助心抜きと多段化を併用した制御発破の振動低減効果を定量的に把握した。また、EDD 雷管の騒音低減効果についても把握した。さらに、DS 雷管での一般的な発破掘削工と比較して、すべての試験施工で用いた発破パターンの施工の作業時間はほぼ同一であり、また、特殊な重機並びに許可申請も必要としないことを確認した。

目 次

§ 1. はじめに

§ 2. 試験施工および測定の概要

§ 3. 振動速度測定結果

§ 4. 振動加速度測定結果

§ 5. 音圧測定結果

§ 6. まとめ

§ 1. はじめに

近年、工事箇所周辺環境保全に対する取り組みが重要視され、トンネル工事における発破掘削時の振動・騒音が周辺民家に与える影響の把握とその対策効果の検証が求められている。しかし、発破振動・騒音に関する予測式は、誤差が大きいことも知られており、実際の影響を精度良く算出することは困難である。

本報告では、実際のトンネル現場で試験施工を実施して、発破に伴う振動・騒音を詳細に測定し、制御発破の環境影響に対する低減効果を定量的に把握すると共に、現場の条件に合わせた精度の良い予測式の係数を算出した。

§ 2. 試験施工および測定の概要

2-1 試験施工現場の概要

試験施工は、国土交通省四国地方整備局発注の「平成20-22年度 川北トンネル工事」で実施した。川北トンネルの概要を表-1に示す。また、試験施工時の切羽観

察写真を写真-1に示す。

2-2 試験発破パターン

試験施工は、掘削区分 CII-b（設計断面積 70.07 m²、穿孔長 1.3 m、掘進長 1.2 m、補助ベンチ付全断面掘削）で実施した。

発破パターンの詳細を表-2および図-1に示す。

試験施工の制御発破では、確実に心抜き部を起爆できるように補助心抜き（削孔長 800 mm、火薬量 200 g/孔）を採用した。このため、試験施工は、すべての発破で孔数を標準案に合わせ、補助心抜き用の 6 孔だけ増加させて実施した。また、8 回（4 種×2 回）の試験発破における火薬量は、切羽の状態に応じて若干増減させた。

なお、EDD 雷管には副段（枝番）があり、副段毎に起爆時間を設定できる。本試験施工では、秒時間隔を 30 ms で統一しているため、表中の EDD-1 とは EDD-1-1～EDD-1-6 までの 6 孔を 30 ms 間隔で起爆したことを示している。また、表-2 中に着色した段は、上半だけでなく下半も起爆することを示している。

2-3 測定項目

(1) 調査日時

試験施工では、雷管種の相違による振動低減効果の把握を主たる目的とした。試験施工は表-3に示す日程で各 2 回ずつ実施した。各発破パターンの作業時間はほぼ同一であり、DS 雷管での施工と比較して、特殊な重機並びに許可申請も必要としないことを確認した。

(2) 測定位置および試験発破位置

計測器の設置位置を図-2に、切羽から測定位置まで

* 技術研究所地域環境グループ

** 関東土木（支）生麦トンネル（出）

*** 西日本（支）川北トンネル（出）

表一 試験施工場所

| | |
|--------|---|
| 企業先 | 国土交通省四国地方整備局 |
| 工事件名 | 平成20-22年度 川北トンネル工事 |
| 工事場所 | 徳島県徳島市八万町川西～川北 |
| 工期 | 平成21年2月21日～平成 23年1月31日 |
| 設計 | パンフィックコンサルタンツ株式会社 |
| 掘削方式 | 発破掘削 |
| 掘削工法 | 補助ベンチ付全断面工法(CⅡ-b、CⅠ)、 上半先進ベンチカット工法(DⅠ、DⅢ) |
| 主たる地質 | 黒色片岩、緑色片岩互層 |
| 試験施工測点 | No.244+10.2～No.245+5.8 (坑口からL=408.7m～424.3m) |



写真一 切羽観察写真 5月14日(金) No.245+8.8

表二 各発破パターン装薬量一覧(1回目)

| 標準案 (DS雷管) | | 試験施工A (MS+DS雷管) | | 試験施工B (EDD+DS雷管) | | 試験施工C (EDD雷管 1孔1段) | |
|---------------|------------------|--------------------|------------------|---------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| 雷管種 段数 | 孔数 薬量 (kg) | 雷管種 段数 | 孔数 薬量 (kg) | 雷管種 段数 | 孔数 薬量 (kg) | 雷管種 段数 | 孔数 薬量 (kg) |
| DS-1 | 8 6.4 | MS-1 | 6 1.2 | EDD-1 | 6 1.2 | EDD-1 | 6 1.2 |
| DS-2 | 8 6.4 | MS-3 | 4 3.2 | EDD-2 | 8 6.4 | EDD-2 | 10 8.0 |
| DS-3 | 9 5.6 | MS-5 | 4 3.2 | EDD-3 | 8 6.4 | EDD-3 | 10 7.2 |
| DS-4 | 8 4.8 | MS-7 | 4 3.2 | DS-5 | 9 6.0 | EDD-4 | 10 6.4 |
| DS-5 | 6 3.6 | DS-2 | 4 3.2 | DS-6 | 8 4.8 | EDD-5 | 10 6.2 |
| DS-6 | 27 18.4 | DS-3 | 9 5.6 | DS-7 | 6 3.6 | EDD-6 | 10 7.0 |
| DS-7 | 21 13.4 | DS-4 | 8 4.8 | DS-8 | 6 4.8 | EDD-7 | 10 6.0 |
| DS-8 | 10 8.0 | DS-5 | 6 3.6 | DS-9 | 8 4.8 | EDD-8 | 10 6.0 |
| DS-9 | 4 3.2 | DS-6 | 6 4.8 | DS-10 | 8 4.8 | EDD-9 | 10 7.0 |
| | | DS-7 | 8 4.8 | DS-11 | 9 5.8 | EDD-10 | 10 8.0 |
| | | DS-8 | 8 4.8 | DS-12 | 9 6.0 | EDD-11 | 10 7.2 |
| | | DS-9 | 7 4.2 | DS-13 | 8 5.6 | EDD-12 | 1 0.8 |
| | | DS-10 | 8 5.2 | DS-14 | 10 8.0 | | |
| | | DS-11 | 7 5.6 | DS-15 | 4 3.2 | | |
| | | DS-12 | 6 4.8 | | | | |
| | | DS-13 | 6 4.0 | | | | |
| | | DS-14 | 4 3.2 | | | | |
| | | DS-15 | 2 1.6 | | | | |
| 計 | 101 69.8 | 計 | 107 71 | 計 | 107 71.4 | 計 | 107 71 |

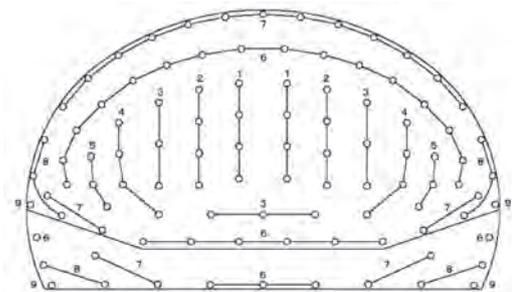
の距離を表一4に示す。

振動の測定は、速度計3箇所および加速度計2箇所ので3方向について実施した。さらに、坑口から40mの坑外で騒音レベル・低周波音圧レベルを測定した。計測機器の詳細を表一5に示す。

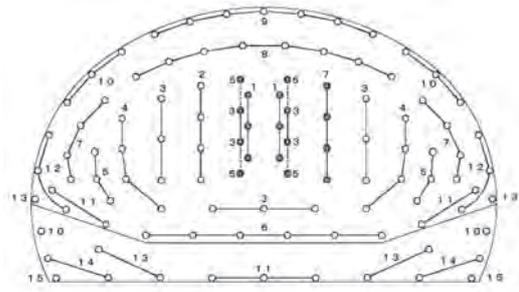
§3. 振動速度測定結果

3-1 爆音の影響

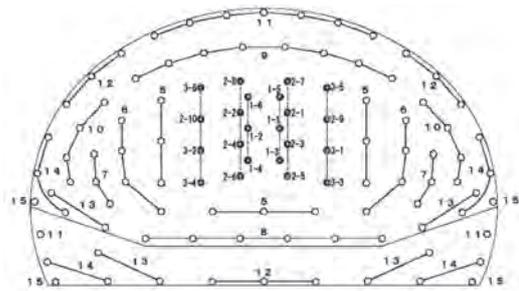
記録された振動速度波形には、振動を検知してから一定時間後に非常に高い周波数の波形が記録されている。地山の弾性波速度を $V_p = 3000 \text{ m/s}$ 、音速を $V = 340 \text{ m/s}$ と仮定し、高周波数振動が感知された時間から距離を求めると、切羽から測点までの距離とほぼ一致する。このことより、高周波の部分には速度計が爆音(爆風)に反応



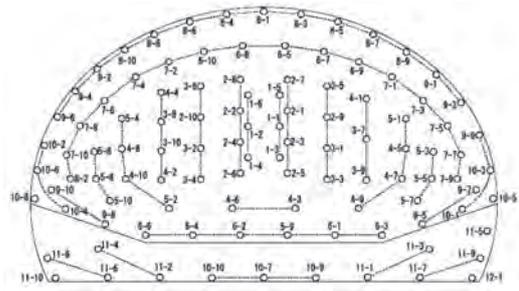
(a) 標準案 (DS雷管)



(b) 試験施工 A (MS+DS雷管)



(c) 試験施工 B (EDD+DS雷管)



(d) 試験施工 C (EDD雷管 1孔1段)

図一 試験施工発破パターン

表三 試験施工実施日時

| | 実施日 | 時間 | 切羽測点 (上半の発破測点) |
|---------------------|--------------|--------|-------------------|
| | 2010年 | | |
| 標準案 (DS雷管) | 5月11日 (火) | 7時10分 | No244+10.2 |
| | | 11時5分 | No244+11.4 |
| 試験発破A (MS+DS雷管) | 5月12日 (水) | 7時09分 | No244+15.0 |
| | | 10時49分 | No244+16.2 |
| 試験発破B (EDD+DS雷管) | 5月13日 (木) | 7時16分 | No244+19.8 |
| | | 11時47分 | No245+ 1.0 |
| 試験発破C (EDD雷管) | 5月14日 (金) | 7時17分 | No245+ 4.6 |
| | | 11時6分 | No245+ 5.8 |

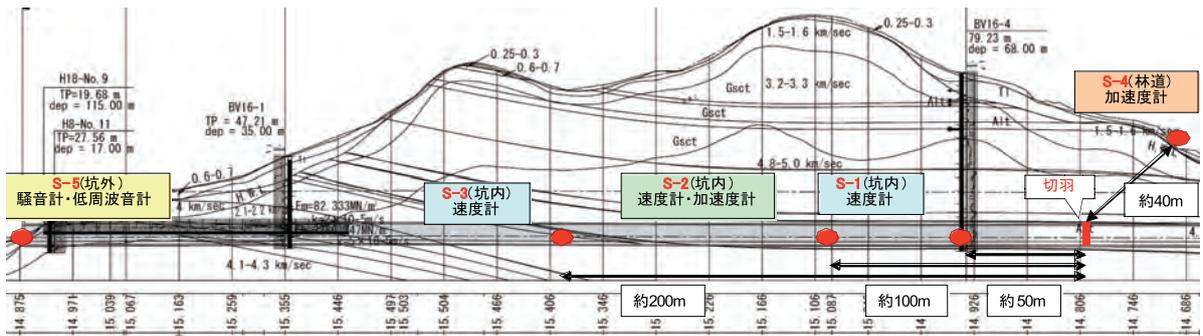


図-2 計測項目および計測位置図

表-4 切羽から測定点までの距離一覧

| | 切羽～ S-1(m) | 切羽～ S-2(m) | 切羽～ S-3(m) | 切羽～ S-4(m) | 切羽～ S-5(m) |
|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| 標準案 (DS) | 43.8 | 93.6 | 193.2 | 41.1 | 445.9 |
| 試験施工A (MS+DS) | 48.6 | 98.4 | 198.0 | 37.8 | 447.9 |
| 試験施工B (EDD+DS) | 53.4 | 103.2 | 202.8 | 34.8 | 449.9 |
| 試験施工C (EDD) | 58.2 | 108.0 | 207.6 | 32.3 | 451.9 |
| 計測項目 | 速度 | 速度 加速度 | 速度 | 加速度 | 低周波音計 普通騒音計 |

表-5 計測機器詳細

| 機器名称 | 測定レンジ(特性) | 測定周波数範囲 | 測定時設定 | 使用箇所 使用台数 |
|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|--|-------------------------|
| 変位速度計 GS-11D (Geo Space社製) | 最大測定速度 ±10cm/s | DC～200Hz(推定) | FLAT特性 | S-1, S-2, S-3 3箇所×3台 |
| サーボ加速度計 LS10C (リオン社製) | 最大測定加速度 ±30m/s ² | DC～100Hz 200Hz迄は概ね平坦 | - | S-2, S-4 2箇所×3台 |
| サーボ加速度計用電源LF-20 (リオン社製) | - | DC～100Hz 200Hz迄は概ね平坦 | DIRECT (フィルタ未使用) | S-2, S-4 2台 |
| 普通騒音計 NL-04 (リオン社製) | 28dB～140dB(A特性) 38～140dB(FLAT特性) | 20Hz～8000Hz | FLAT特性 | S-5 1台 |
| 低周波音レベル計 NA-18A (リオン社製) | 50～140dB(RMS,MAX) | 1Hz～500Hz | FLAT特性(SPL) 1～500Hz測定 | S-5 1台 |
| 機器名称 | 最大測定ch数 | 測定時設定 | 対象測定器 | 使用台数 |
| 4chデータレコーダ DA-20 (リオン社製) | 4ch | サンプリング周波数 2kHz | 加速度計 LS-10C 騒音計 NL-21 低周波音計 NA-18A | 3台 |
| コンピュータ計測システム GW-300 (北斗理研社製) | 4ch | サンプリング周波数 2kHz | 変位速度計GS-11D | 3台 |

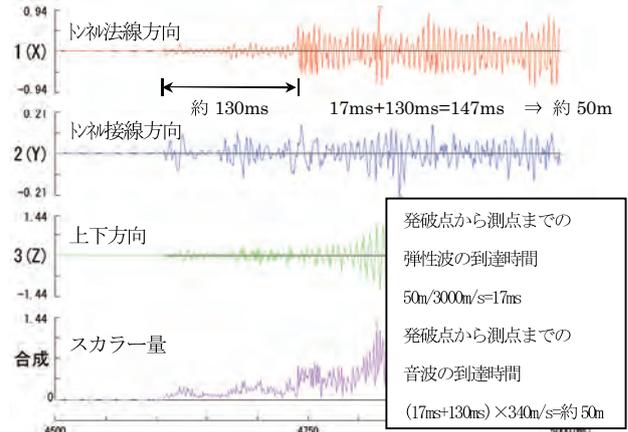


図-3 S-1 の速度時刻歴波形 (距離: 49.8 m)

した振動と考えられる。この現象は、距離の遠いS-3でも顕著に表れている。例として、試験施工A (MS+DS雷管) のS-1測点の前半部分の波形を図-3に示す。したがって、爆音到達以降の振動速度測定値は地盤振動の値ではないと判断した。

これより、心抜きに相当する爆音(爆風)到達前の振動値で各工法の比較を行うこととした。

坑内の音圧は、160 dB程度¹⁾と言われており、物理単位に直すと実効値で2000 Paとなる。これは、1 m²当たり200 kgfの変動荷重が作用していることと同意である。

時間変動を考慮すれば、200 kgfの2～3倍程度までの荷重となる可能性があり、測定時には土嚢で防爆対策をしても計測機器に影響を及ぼすことは十分想定できる。今後の測定では、この影響を十分考慮して測定計画を立案する必要がある。

3-2 距離減衰特性(心抜き)

距離減衰の検討には、爆音の影響がない範囲を対象と

して、各測点での振動検知後の約60 ms以内の振動の最大値を用いた。式(1)の振動推定式²⁾の距離減衰指数 n を求めた結果を、表-6に示す。

これらの結果より、試験施工(雷管種)毎の距離減衰指数は、高い相関性で算定されていることがわかる。本来であれば、原理的にすべての試験でほぼ同一と考えて良い。しかし、切羽が日々進行しているために伝搬経路が異なること、雷管種によって振動の周波数特性にある程度影響を及ぼすことが考えられる。本報告では、これらの影響を無視することとして、距離減衰指数 n をすべての試験施工の平均値である-2.22とする。

$$V = K \times W^{0.75} \times D^n \quad (1)$$

ただし、 V は振動速度(kine)、 K は発破条件および地盤特性によって変化する係数、 W は段当りの火薬量(kg)、 n は距離減衰指数、 D は距離(m)である。

3-3 発破振動のK値推定(心抜き)

今回の測定では、心抜き部の振動速度推定式に関するK値しか評価できない。このため、各測定点の心抜き時の最大速度と、推定した距離減衰指数($n = -2.22$)を用いてK値を算定した結果を表-7に示す。

表-7より、雷管種によって推定したK値が大きく異なることがわかった。一般的に、心抜きのK値は、 $K = 450 \sim 900$ ²⁾と言われていているのに対して、大きく異なっている。また、EDD雷管は、電気雷管(DS雷管およびMS雷管)に比べてK値が大きくなる傾向が示された。これ

表一六 距離減衰指数算定結果

| 試験施工区分 | | 速度 V (kine) | | | 距離減衰指数 n | 相関係数 (R2) |
|------------------|-----|-------------|-------|-------|----------|-----------|
| | | S-1 | S-2 | S-3 | | |
| 標準案 (DS雷管) | 1回目 | 1.057 | 0.478 | 0.065 | -1.91 | 0.94 |
| | 2回目 | 1.062 | 0.449 | 0.061 | | |
| 試験施工A (MS+DS雷管) | 1回目 | 0.247 | 0.086 | 0.011 | -2.24 | 0.97 |
| | 2回目 | 0.251 | 0.074 | 0.011 | | |
| 試験施工B (EDD+DS雷管) | 1回目 | 0.105 | 0.024 | 0.005 | -2.35 | 1.00 |
| | 2回目 | 0.12 | 0.022 | 0.005 | | |
| 試験施工C (EDD雷管) | 1回目 | 0.093 | 0.032 | 0.004 | -2.4 | 0.97 |
| | 2回目 | 0.088 | 0.032 | 0.005 | | |
| 平均値 | | | | | -2.22 | |

表一七 心抜きに関する K 値算定結果

| | 測点 | 斉発量 W(kg) | 離隔距離 D(m) | 心抜き速度 V(kine) | K値 | |
|------------------|-----|-----------|-----------|---------------|------|------|
| | | | | | 各測点 | 平均値 |
| 標準案 (DS雷管) | S-1 | 6.4 | 43.8 | 1.057 | 1157 | 1949 |
| | S-2 | 6.4 | 93.6 | 0.478 | 2825 | |
| | S-3 | 6.4 | 193.2 | 0.065 | 1920 | |
| | S-1 | 6.4 | 45.0 | 1.062 | 1235 | |
| | S-2 | 6.4 | 94.8 | 0.449 | 2730 | |
| | S-3 | 6.4 | 194.4 | 0.061 | 1826 | |
| 試験施工A (MS+DS雷管) | S-1 | 1.2 | 48.6 | 0.247 | 1196 | 1443 |
| | S-2 | 1.2 | 98.4 | 0.086 | 1993 | |
| | S-3 | 1.2 | 198.0 | 0.011 | 1204 | |
| | S-1 | 1.2 | 49.8 | 0.251 | 1283 | |
| | S-2 | 1.2 | 99.6 | 0.074 | 1762 | |
| | S-3 | 1.2 | 199.2 | 0.011 | 1220 | |
| 試験施工B (EDD+DS雷管) | S-1 | 0.2 | 53.4 | 0.105 | 2402 | 2390 |
| | S-2 | 0.2 | 103.2 | 0.024 | 2370 | |
| | S-3 | 0.2 | 202.8 | 0.005 | 2213 | |
| | S-1 | 0.2 | 54.6 | 0.120 | 2884 | |
| | S-2 | 0.2 | 104.4 | 0.022 | 2229 | |
| | S-3 | 0.2 | 204.0 | 0.005 | 2242 | |
| 試験施工C (EDD雷管) | S-1 | 0.2 | 58.2 | 0.093 | 2575 | 2738 |
| | S-2 | 0.2 | 108.0 | 0.032 | 3496 | |
| | S-3 | 0.2 | 207.6 | 0.004 | 1864 | |
| | S-1 | 0.2 | 59.4 | 0.088 | 2550 | |
| | S-2 | 0.2 | 109.2 | 0.032 | 3583 | |
| | S-3 | 0.2 | 208.8 | 0.005 | 2360 | |

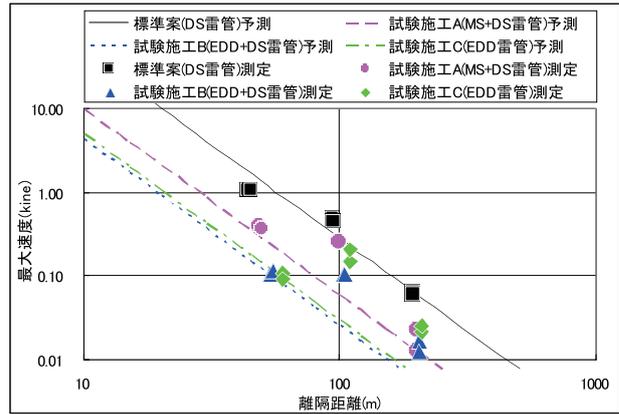
は、EDD 雷管が1孔1段で発破抵抗が大きくなるために K 値も大きくなるものと考えられる。

3-4 雷管種による推定式（心抜き）

検討した心抜きによる振動速度伝搬に関する推定式と測定結果の比較を図一四に示す。

図一四から、S2 測点（離隔距離 100 m 前後）の推定精度が悪くなっていることが確認できる。しかし、推定式は、試験施工 B (EDD+DS 雷管) および試験施工 C (EDD 雷管) の結果が近いなど、心抜きの雷管特性を表現していると推察される。一般的に、管理値を設定した現場では、安全側で評価するため、試験施工結果の最大 K 値を用いて予測する 경우가多いが、本報告では平均値を採用した。

本検討結果は、心抜きだけの効果を示しているため、試験施工 A (MS+DS 雷管) および試験施工 B (EDD+DS 雷管) では払いの振動が心抜きに比べ大きくなることから、振動低減効果を検証することはできない。しかしながら、標準案に比べ、試験施工 C (EDD 雷管 1 孔 1 段) は、斉発量の低減効果を含めて振動速度を 10% 程度に低減できる可能性を有していることがわかった。なお、それぞれの雷管の低減効果の詳細については後述する。



図一四 推定式と測定結果の比較

§ 4. 振動加速度測定結果

4-1 時刻歴特性

爆音（爆風）が測定結果に影響しない S4 測点の加速度測定結果から、雷管種毎の速度（1 階積分）に関する時刻歴特性を図一五に示す。

試験施工 A (MS+DS 雷管) および試験施工 B (EDD+MS 雷管) は、標準案 (DS 雷管) に比べて継続時間が長い。これは、標準案の DS 雷管は 9 段で終了しているのに対して、試験施工 A および試験施工 B では斉発量を低減するために 15 段まで使用しているためである。このため、払いで用いる斉発量も低減されており、振動が低減されている。試験施工 C (EDD 雷管 107 段) は、継続時間が標準案 (DS 雷管 9 段) とほぼ同一であるが、雷管の秒時間隔が DS 雷管の 250 ms に対して EDD 雷管では 30 ms であるためである。さらに、斉発量が小さくなっているため、振動速度が小さくなっている。

4-2 周波数特性

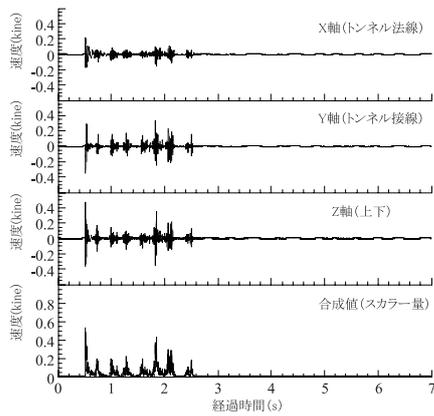
測点 S4 で測定された加速度時刻歴波形を周波数分析した結果を図一六に示す。

試験施工 C (EDD 雷管) は、他の試験施工と大きく異なる特性を有している。これは、雷管の秒時間隔精度が高いことに起因している。すなわち、30 ms 間隔毎の加振（爆発）から 1/30 ms = 33.3 Hz の加振と評価でき、33.3 Hz の衝撃的な加振であるため、33.3 Hz の n 倍 (n: 正の整数) でエネルギーが高くなったものと考えられる。

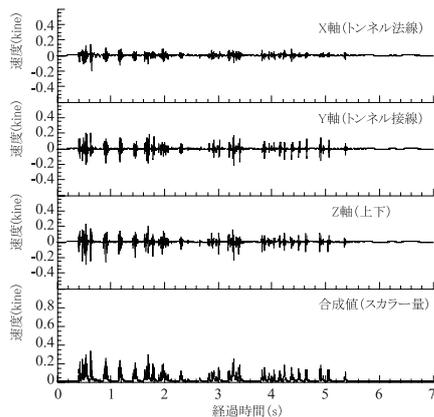
試験施工 C (EDD 雷管) 以外の結果は、DS 雷管の秒時間隔が卓越しているものと推察できるが、DS 雷管の秒時間隔精度が低いために、広い周波数帯で卓越したものと考えられる。

4-3 最大振動速度からの振動レベル推定式

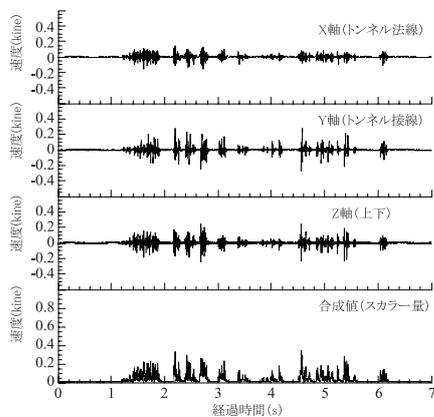
S2 および S4 測点における加速度測定の結果から、最大速度と振動レベルの関係を検討した。この結果を用いて、式(2)に示す関係式²⁾の係数 α を回帰分析によって算定した結果、係数 α は 82.36 となり、一般的に用いる 83



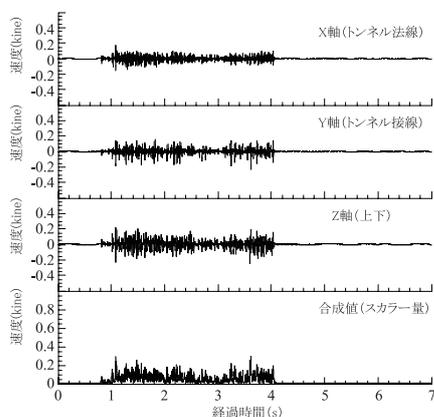
(a) 標準案 (DS 雷管)



(b) 試験施工 A (MS+DS 雷管)



(c) 試験施工 B (EDD+DS 雷管)



(d) 試験施工 C (EDD 雷管)

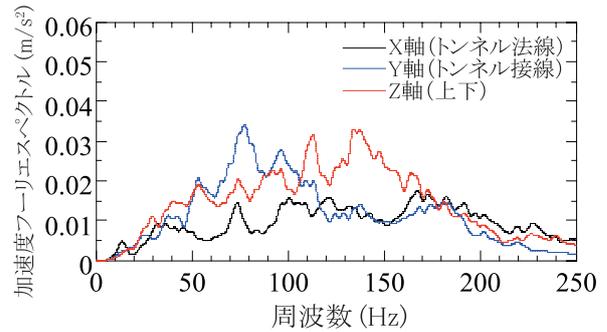
図一五 雷管種毎の振動速度の時刻歴特性 (1 回目)

に近い値となった。ただし、寄与率 0.52 とあまり相関性の高い結果とはなっていない。

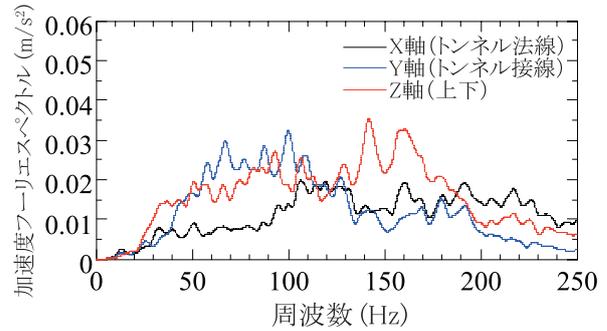
相関性が低い理由としては、雷管種毎に振動加速度の周波数特性が異なること、測定箇所数および測定回数が少ないことが挙げられる。

$$L_v = 20 \log V + \alpha = 20 \log V + 82.36 \quad (2)$$

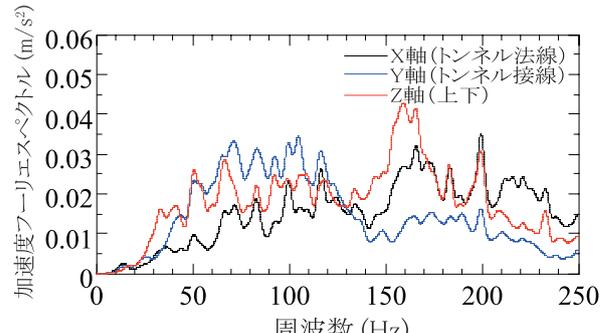
ただし、 L_v : 振動レベル (dB), V : 変位速度 (kine = cm/s), α : 係数 (理論的な最大が 91, 一般的には 83) である。



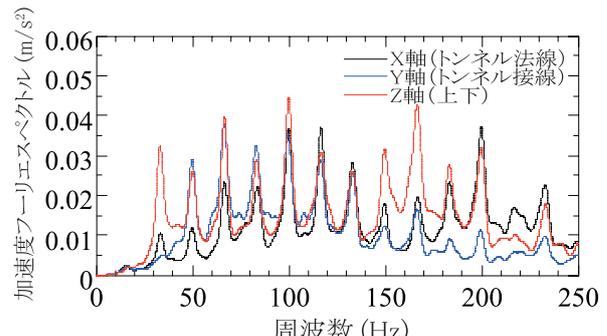
(a) 標準案 (DS 雷管)



(b) 試験施工 A (MS+DS 雷管)



(c) 試験施工 B (EDD+DS 雷管)



(d) 試験施工 C (EDD 雷管)

図一六 雷管種毎の周波数特性 (S-4 測点, 1 回目)

4-4 振動の低減効果

各雷管を用いた試験施工では、切羽との距離が異なるため、相対量を正確に比較することはできない。このため、算定した距離減衰特性と、S4 測点（坑外）の最大速度を用いて比較した。すなわち、式 (1) において、雷管種によって K 値および薬量 W は異なるものの、距離減衰は同じ特性を有していると考える。そこで、測定結果である速度を用いて基準距離 30 m の速度 V を算定して比較することとした。さらに、得られた基準距離 30 m の速度を振動レベルに式 (2) から換算した。

速度および振動レベルに関する比較結果を表-8 に示す。表-8 より、補助芯抜きおよび多段発破とした試験施工 A および試験施工 B は、DS 雷管 9 段で実施した標準案に比べ、最大速度を 50%~60% に、振動レベルを 4~6 dB 低減できることがわかった。また、1 孔 1 段とした EDD 雷管（試験施工 C）は、標準案に比べ最大速度を 40% に、振動レベルを 8 dB 低減できることがわかった。

§ 5. 音圧測定結果

各試験施工の 1 回目を 1/3 オクターブバンド分析し、単発暴露レベルとして評価した。低周波音圧レベルを図-7 に、騒音レベルを図-8 に示す。

図-7 に示す低周波音圧レベルに関する比較結果から、20 Hz 以下の超低周波音レベルで試験施工 C（EDD 雷管）が DS 雷管を用いた他の試験施工に比べて大きく低減している。しかし、他の周波数ではほとんど変化しないことがわかる。試験施工 C（EDD 雷管）は、超低周波音レベルが低減した影響で、他の試験施工に比べ低周波音圧レベルが約 5 dB 低減したと考えられる。

図-8 に示す騒音レベルでは、200 Hz~2000 Hz 付近で雷管種毎の相違が大きいですが、卓越している周波数帯での騒音レベルがほぼ等しいため、単発騒音暴露レベルとしては、ほぼ同一となった。

本試験施工では、総薬量を統一することはできなかったがほぼ同一である。また、距離についても、切羽から抗口までの距離が 406 m~413 m であり、抗口から測定点までの距離が同一であることから、無視できると考えられる。このため、単に雷管種毎の低周波音圧レベル並びに騒音レベルを比較した結果を表-9 に示す。

表-9 より、試験施工 A および試験施工 B については、標準案とほとんど変化しないことが、また、試験施工 C（EDD 雷管）は、低周波音圧レベルを 5 dB 低減するものの、騒音レベルはほとんど変化しないことがわかった。

§ 6. まとめ

試験施工において、補助心抜きと多段発破に関する制御発破の振動低減効果を定量的に把握した。また、EDD 雷管の騒音低減効果についても把握した。さらに、すべての試験施工で行った発破パターンの施工では、DS 雷

表-8 最大速度および振動レベルに関する比較結果

| 試験施工区分 | S-4測定結果 | | 基準距離(30m)での最大速度(kine) | 最大速度低減効果(%) | 基準距離(30m)での振動レベル(dB) | 振動レベルの低減値(dB) |
|------------------|---------|------------|-----------------------|-------------|----------------------|---------------|
| | 距離(m) | 最大速度(kine) | | | | |
| 標準 (DS雷管) | 距離 | 41.1 | 1.06 | 100% | 82.9 | - |
| | 1回目 | 0.529 | | | | |
| | 2回目 | 0.512 | | | | |
| 試験発破A (MS+DS雷管) | 距離 | 37.8 | 0.60 | 61% | 77.9 | 4.4 |
| | 1回目 | 0.357 | | | | |
| | 2回目 | 0.403 | | | | |
| 試験発破B (EDD+DS雷管) | 距離 | 34.8 | 0.48 | 52% | 76.0 | 5.7 |
| | 1回目 | 0.344 | | | | |
| | 2回目 | 0.441 | | | | |
| 試験発破C (EDD雷管) | 距離 | 31.7 | 0.34 | 40% | 73.0 | 8.1 |
| | 1回目 | 0.301 | | | | |
| | 2回目 | 0.425 | | | | |

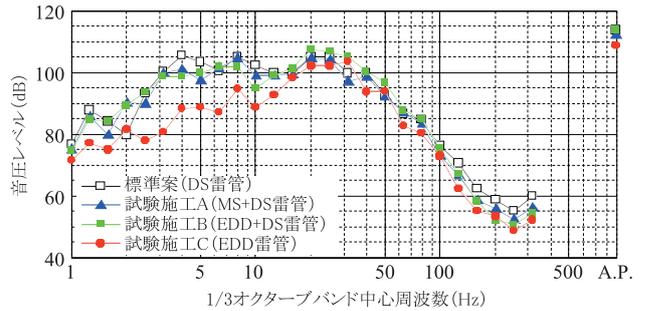


図-7 低周波音圧レベル（単発暴露レベル）の比較

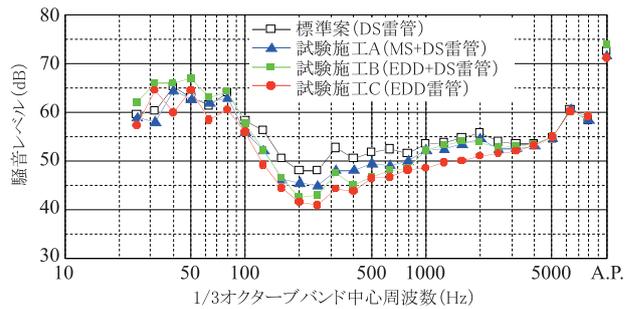


図-8 騒音レベル（単発騒音暴露レベル）の比較

表-9 低周波音圧レベル・騒音レベルの比較結果

| 試験施工区分 | 総薬量 (kg) | 低周波音 | | 騒音 | |
|------------------|----------|---------------|----------|------------|----------|
| | | 低周波音圧レベル (dB) | 平均値 (dB) | 騒音レベル (dB) | 平均値 (dB) |
| 標準 (DS雷管) | 1回目 | 69.8 | 113.7 | 114.2 | 72.4 |
| | 2回目 | 70.2 | 114.6 | | 73.6 |
| 試験発破A (MS+DS雷管) | 1回目 | 71.0 | 112.2 | 112.2 | 71.5 |
| | 2回目 | 67.4 | 112.1 | | 73.5 |
| 試験発破B (EDD+DS雷管) | 1回目 | 71.4 | 113.6 | 113.0 | 73.8 |
| | 2回目 | 70.6 | 112.3 | | 74.4 |
| 試験発破C (EDD雷管) | 1回目 | 71.0 | 108.7 | 108.8 | 71.1 |
| | 2回目 | 66.4 | 108.9 | | 71.2 |

管での施工と比較して、作業時間はほぼ同一であり、特殊な重機並びに許可申請も必要としないことを確認した。

参考文献

- (社)日本音響学会：建設工事騒音の予測モデル ASJ CN-Model2007, pp.48, 平成 20 年 7 月 24 日。
- ジオフロンテ研究会：現場技術者のための制御発破工法の実際, pp.165, 1996.11.29.