

# トンネル貫通時の近隣施設に対する 騒音振動対策について

木村 拓史<sup>1</sup>・村松 富士登<sup>2</sup>・神谷 篤<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 戸田建設㈱名古屋支店 土木工事事務室 2 室 (〒461-0001 名古屋市東区泉1-22-22)  
E-mail:takushi.kimura@toda.co.jp

<sup>2</sup>戸田建設㈱名古屋支店 土木工事事務室 2 室 (〒461-0001 名古屋市東区泉1-22-22)  
E-mail:fujito.muramatsu@toda.co.jp

<sup>3</sup>戸田建設㈱九州支店 土木工事事務室 (〒810-8502 福岡市中央区白金2-13-12)  
E-mail:atsushi.kamiya@toda.co.jp

県道静岡焼津線は、平成25年10月の台風による豪雨にて海岸線を通る道路の一部が崩落し、通行止めを余儀なくされていた。静岡県浜当目トンネル工事は、この被災箇所及び脆弱区間を迂回するために、片側1車線、延長905mの道路トンネルを建設する災害復旧工事である。トンネル終点側坑口付近には、2軒の観光ホテルやその付帯施設、擁壁等の構造物が存在し、更にこのホテルの立体駐車場の直下17mをトンネルが通過する線形となっていた。そのため、トンネル発破掘削並びに貫通掘削による騒音振動により、ホテルの営業や各構造物に影響を及ぼさないことが課題であった。本稿ではこの課題に対し、発注者、本社、支店、現場が連携し、ホテルに対して協議を積み重ねながら施工を進め、課題解決へ至った結果について報告する。

**Key Words :** Vibration countermeasures, controlled blasting, electronic delay blasting cap, EDD

## 1. はじめに

県道静岡焼津線（県道416号）は、平成25年10月の台風26号に伴う豪雨によって浜当目地区内で大規模な地滑りが発生し、道路が約50mにわたって1.5mほど沈下、その後の降雨で道路の一部が完全に崩落した。その後も地滑りによる変状が継続し、一定量の降雨後などに地山の滑動が確認されており、道路崩落部を含む県道が約1.2kmにわたり全面通行止めとなった。（図-1、写真-1参照）

同線の大崩地区ではこの地名が示す通り、これまでも台風などの災害による道路の沈下や法面の崩落が発生し、複数回にわたって長期間の通行止めとなっていた。そのたびに道路管理者は毎年数億円をかけて復旧工事や維持管理工事を行ってきた。同線を焼津市街地への唯一の生活道路としている元小浜地区の住民は、静岡市を迂回して焼津市に行くなど通行止めのたびに不便を強いられており、焼津市も小中学生の通学には毎日タクシーでの送迎を行うなどの支援策を続けていた。

今回の被災箇所以外にも今後被災する恐れのある脆弱な斜面が存在するために、被災箇所および脆弱斜面を迂回するトンネルを建設することとなった。



図-1 位置図



写真-1 現道崩落状況

## 2. 工事概要

工事名称：静岡焼津線浜当目トンネル（略称）

工事場所：静岡県焼津市浜当目地内

発注者：静岡県島田土木事務所

工期：平成27年3月12日～平成29年3月17日

工事内容：施工延長 L=1,050m

トンネル工（NATM）L=905m、W=6.5m（車道幅員）

掘削断面 A=56.0m<sup>2</sup>（標準部）74.9m<sup>2</sup>（拡幅部）

掘削土量 V=55,200m<sup>3</sup>

インバートL=404m 覆工コンクリートV=6,920m<sup>3</sup>

非常駐車帯 2ヶ所 坑門工 2ヶ所（図-2参照）

## 3. 地質概要

浜当目トンネルの位置する大崩海岸周辺は、地質構造上、西南日本外帯とフォッサマグナとの交差会合部に位置する。当該地域には、新第三紀の高草山層群、大崩累層が広く露出する地域であり、その構成岩石種は主に水中から陸上に堆積したアルカリ玄武岩、粗面安山岩からなる。

トンネル周辺に分布する地層は、新第三紀の高草山層群大崩累層に属する凝灰角礫岩、枕状溶岩（主に玄武岩）、塊状溶岩（主に玄武岩）、貫入岩（玄武岩～安山岩～粗面岩）であり、その上を第四紀完新世の崖錐堆積物が覆う。（図-3参照）

起点側の坑口付近には硬質の塊状溶岩（玄武岩質）が分布している。硬質で緻密であるが、弾性波速度の低下が見受けられ、亀裂が多く、亀裂への粘土流入など、開口した亀裂も認められる。終点側坑口付近にも同様に硬質の塊状溶岩が分布し、強度は150MN/m<sup>2</sup>を超えるものが出現する。トンネル中間部には主に枕状溶岩および凝灰角礫岩が分布しており、破碎の影響を受けた劣化帯と硬質層が繰り返し出現する部分や、硬質の玄武岩～安山岩の貫入岩も認められる。

## 4. 施工上の課題

終点側坑口付近には、2軒の観光ホテルやその付帯施設である高さ30mの立体駐車場、結婚式場、ボックスカルバート、各種擁壁、昭和9年に建造した既設の道路トンネルなど、多くの構造物が存在している。更にこの立体駐車場と擁壁の直下を新設トンネルが通過する線形となっていた。

このことから、ホテルへの影響が大きいと思われる発破掘削時の振動および騒音、並びにブレーカを使用した貫通掘削時の騒音を抑制し、ホテルの運営に支障をきたさないようにすることが当現場での最大の課題であった。

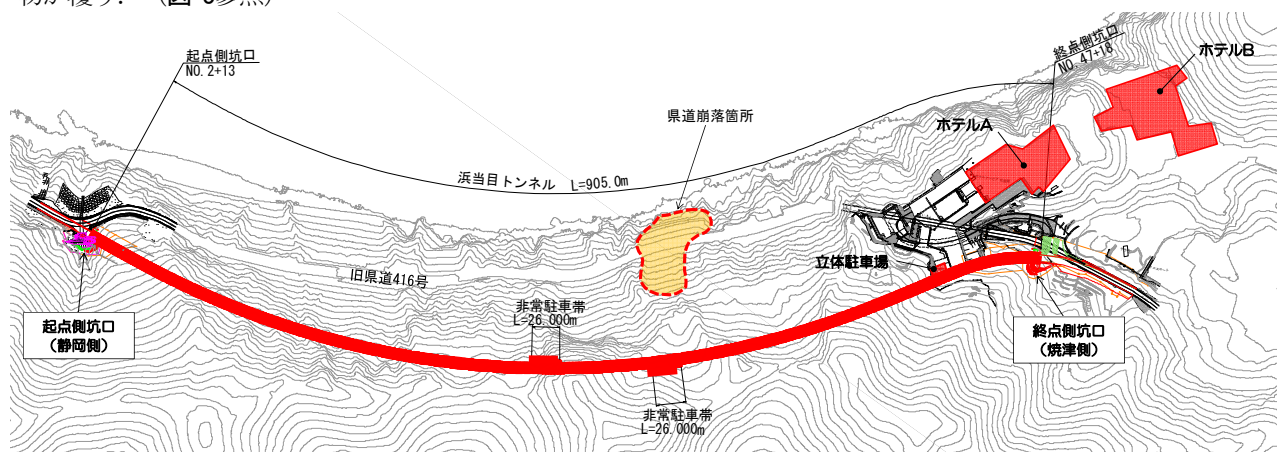


図-2 全体平面図

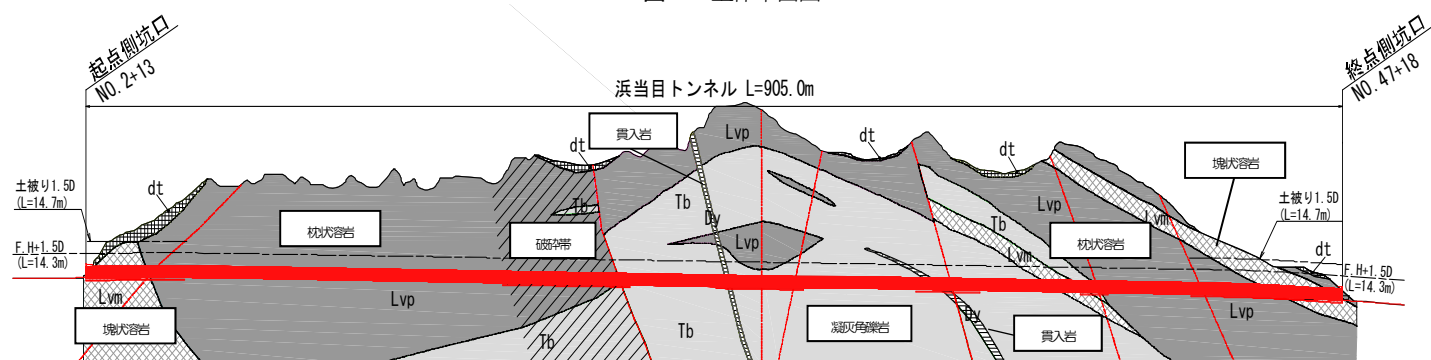


図-3 地質縦断面図

## 5. 立体駐車場に対する発破振動対策

### (1) 発破振動管理値の設定

発破振動による対人および対構造物の管理値は「火薬学会発破専門部会による発破振動の規制の提言」を採用した。（表-1 参照）当該立体駐車場は、明確な数値上の強度は不明であり、駐車場内部に機械設備を有し過度な振動は機械に悪影響を与えるという見解を勘案し、振動目標値を 1.0 cm/s、振動管理値を 2.5 cm/s と決定した。

（表-2 参照）

### (2) 発破振動の影響予測

トンネルの線形上に立体駐車場が立地しており、発破掘削により振動の影響が発生するかを検討した。発破に伴う振動影響予測には地盤振動伝搬推定式を用い、本件では式(1)に示す日本化薬（株）の推定式を用いて検討を行った。

$$V = K \times W^{3/4} \times D^{-2} \quad D = \sqrt{\frac{K \times W^{3/4}}{V}} \quad (1)$$

ここに V：振動速度 (cm/s)

K：定数 (K値)

W：斉発薬量 (kg)

D：影響範囲 (m)

トンネル掘削時の発破振動は、芯抜き時の斉発薬量が最大となる。これは、自由面が切羽のみの 1 つであるため、発破エネルギーが岩盤に伝達しやすく、払いに比べて薬量を少なくしても振動速度が大きくなるためである。

検討の結果、ホテル立体駐車場に対し、対構造物の目標値  $V=1.0$  cm/s を満足できない結果となり、発破振動抑制対策を実施する必要がある。（図-4 参照）

表-1 発破振動の管理値（提言値）<sup>1)</sup>

| 対 象           | 周波数       | 振動(周波数)   |         |        |
|---------------|-----------|-----------|---------|--------|
|               |           | 10Hz未満    | 10～50Hz | 50Hz以上 |
| 人<br>(dB)     | 昼間        | 79 暗振動+30 |         |        |
|               | 夜間        | 64 暗振動+20 |         |        |
| 構造物<br>(cm/s) | 強度の明確な構造物 | 1.25      | 2.5     | 5.0    |
|               | 一般構造物(民家) | 0.50      | 1.0     | 2.0    |
|               | 重要な構造物    | 0.25      | 0.5     | 1.0    |

表-2 立体駐車場に対する振動管理値

|       | 振動速度     |
|-------|----------|
| 振動目標値 | 1.0 cm/s |
| 振動管理値 | 2.5 cm/s |

### (3) 発破振動抑制対策

本トンネルでは発破振動抑制対策として、導入が容易である「斉発薬量を低減させる方法」について検討し、制御発破を採用することとした。表-3 に制御発破時の諸元を示す。ここで、K 値については芯抜き発破（450～900）の平均値 675 にて検討し、実際の発破時に K 値を測定して決定することとした。

### (4) 電子遅延式電気雷管（EDD雷管）の使用

制御発破に用いる雷管には、起爆時の秒時精度が高く確実に振動を抑制することのできる、電子遅延式電気雷管（EDD雷管）を使用することとした。

EDD雷管は、遅延手段に IC を応用した電気タイマーを用い、極めて高い秒時精度を可能とした高性能電気雷管であり、設定された起爆秒時に対して、±1ms 以内の秒時精度を持っている。また、EDD雷管は一般に使用される DS 雷管や MS 雷管と同じ電気雷管の一種であり、許可申請や取扱い方法などの管理面での容易さもあり、他の遅延式雷管に比べて優位である。しかし買値で通常の雷管の 10 倍と高価なため、原価的に厳しい面もある。また、業界での流通量が全体的に少なく、注文から納入までの期間が 2～3 ヶ月必要である上に返品ができず、余剰分は廃棄費用も必要となる。

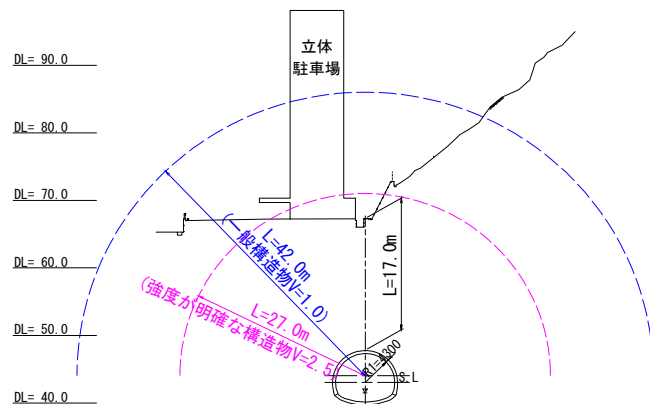


図-4 発破振動影響範囲図

表-3 対策検討後の影響範囲比較 (CII-b)

|          | 単位                    | 通常発破 | 制御発破 |
|----------|-----------------------|------|------|
| 設計掘削断面積  | m <sup>2</sup>        | 52.2 |      |
| 掘進長      | m/1発破                 | 1.2  |      |
| K値       | -                     | 675  |      |
| 火薬使用量    | kg/1発破                | 48   | 48   |
| 1段あたりの孔数 | 孔                     | 6    | 1    |
| 斉発薬量(W)  | kg/孔                  | 3.6  | 0.6  |
| 影響範囲     | 構造物(強度が明確): V=2.5cm/s | 27   | 14   |
|          | 構造物(一般): V=1.0cm/s    | 42   | 21   |
|          | 構造物(重要): V=0.5cm/s    | 59   | 30   |

EDD雷管は数ヶ月前から地山の状況を想定して発注するため、今回の様に地山の性状が極端に変化する場合、EDD雷管の種類と使用数量が大きく変わるので、過不足の無いような雷管の注文管理、在庫管理を行うことが非常に難しい。発破毎に枝番までの使用数量を確認し、次サイクルの発破計画を地山の状態と雷管の全体数量とを対比させながら決めることにより、計画通りの数量に収めることができた。

## (5) 制御発破時の管理方法

### a) 目標値と管理値

発破振動の目標値および管理値は、表-2 に示した通りだが、これを超過した場合の対策フローを図-5 に示す。目標値 1.0 cm/s の超過が継続する場合、1 段（1 孔）あたりの斉発薬量を抑制することが必要である。しかし、現在 0.6 kg/孔のところを 0.4 kg/孔や 0.2 kg/孔と順次減らしていくことで理論上振動は制御できるが、硬い地山では芯が抜けない恐れがあり、薬量を極端に減らしていくのは現実的ではない。そこで、目標値を超過した場合は、1 発破あたりの掘進長を短縮して斉発薬量を抑制することとした。

### b) 計測管理

ホテルへの発破振動および騒音の影響を確認するために、各所に計測管理用の機器を設置し、発破毎に計測値を把握してホテルへの影響を確認しながら掘削を進めた。（表-4、図-6 参照）

立体駐車場やホテルの客室には、振動速度計、騒音計を設置し、発破の揺れを検知すると自動で測定し、インターネット回線を経由して 6km 離れた現場事務所までデータを送信するシステムを構築した。（図-7 参照）

表-4 対象物の計測管理一覧

|                   | 計測項目     | 計測方法         | 計測頻度 |
|-------------------|----------|--------------|------|
| 立体駐車場             | 振動       | 振動速度計        | 毎発破  |
| ホテル客室             | 振動<br>騒音 | 振動速度計<br>騒音計 | 毎発破  |
| 各構造物<br>(立体駐車場含む) | 変位       | トータルステーション   | 1回/日 |

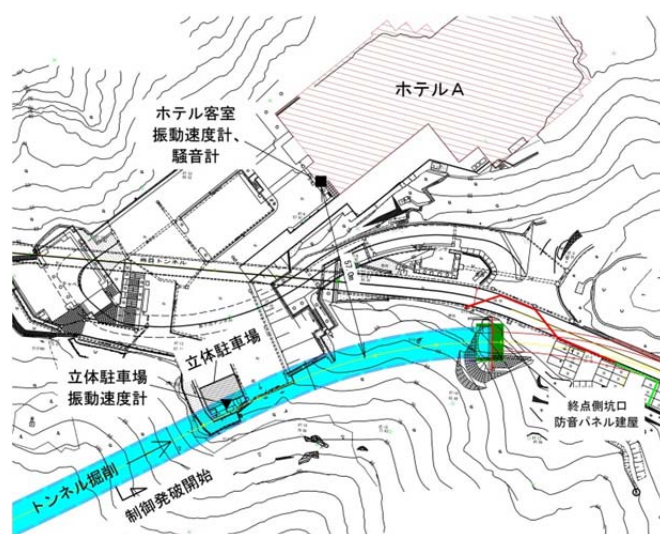


図-6 計測管理平面図

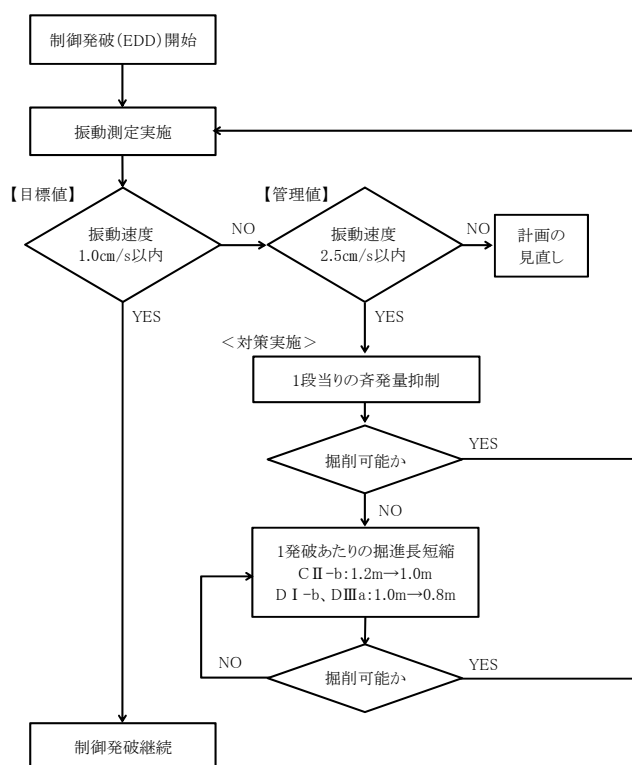


図-5 振動管理値超過時の対策フロー図

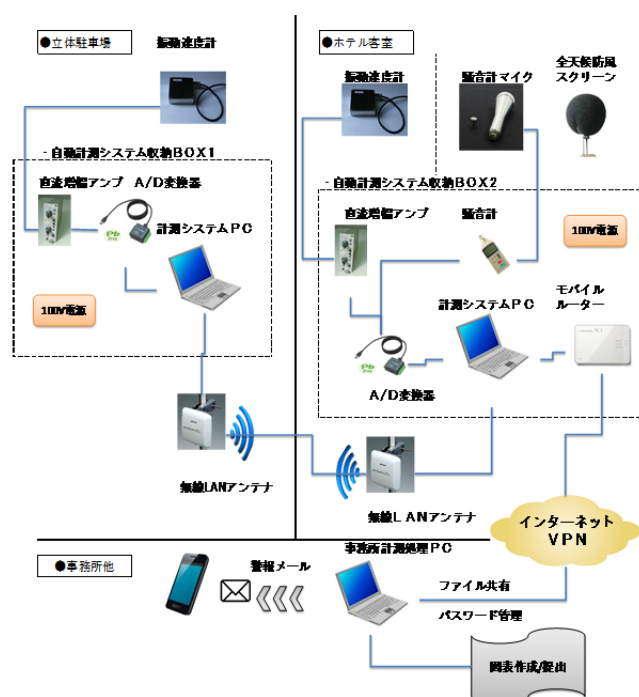


図-7 振動騒音計測システム概要図

## (6) 発破振動測定結果

### a) EDD雷管の効果確認

立体駐車場直下より約60m手前から振動速度の計測を開始した。計測開始直後は振動速度計の数値は少なかったが、立体駐車場に近づくに従って徐々に数値が上昇し、47.2m手前（TD770.2m）では、芯抜き（瞬発）での最大振動速度が0.81cm/sと、目標値の1.0cm/sに近づいた。（図-8参照）そのため、翌朝からEDD雷管に切り替えて発破した結果が、図-9である。総薬量や離隔距離に大きな差はないが、EDDによる制御発破により、芯抜き発破時における振動速度の低減効果が大きいことがわかる。

### b) 発破振動速度の測定結果

EDD雷管に切り替え後、切羽と立体駐車場との離隔距離が縮むにつれ、振動速度の最大値も目標である1.0 cm/s に近づいてきた。しかし、稀に目標値を超過した時もあったが、管理値の2.5 cm/s は大きく下回り、ほぼ目標値以内で立体駐車場直下を通過することができた。

（図-10 参照）

| 2016/4/11 20:38:33 立体駐車場 |           |           |     |                |
|--------------------------|-----------|-----------|-----|----------------|
| 進行長<br>TD・m              | 離隔距離<br>m | 総薬量<br>kg | K値  | 最大振動速度<br>cm/s |
| 770.2                    | 52.4      | 79.2      | 469 | 0.81           |

振動速度Z 上下方向

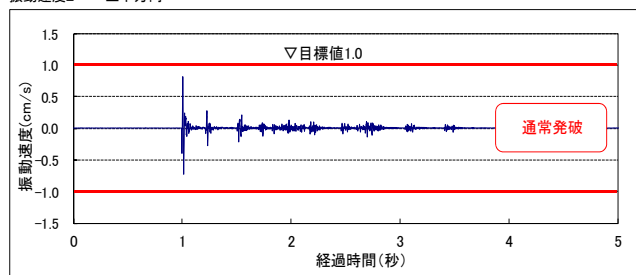


図-8 通常発破での振動速度（TD770.2m）

| 2016/4/12 9:34:49 立体駐車場 |           |           |     |                |
|-------------------------|-----------|-----------|-----|----------------|
| 進行長<br>TD・m             | 離隔距離<br>m | 総薬量<br>kg | K値  | 最大振動速度<br>cm/s |
| 773.8                   | 49.3      | 76.2      | 419 | 0.15           |

振動速度Z 上下方向

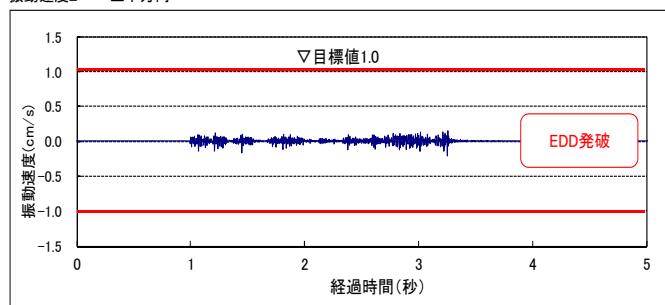


図-9 EDD 発破での振動速度（TD773.8m）

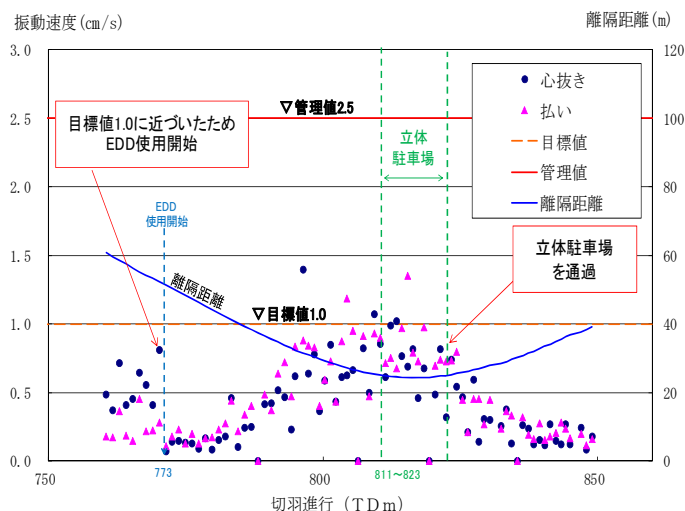


図-10 立体駐車場における発破振動速度推移図

## 6. トンネル貫通時の騒音低減対策

### (1) 施工方法の検討

トンネル貫通部は軟岩および硬岩の出現が予想され、大型ブレイカによる掘削となり、騒音の環境基準値は満足するものの、ホテルに影響のある騒音の発生が想定された。事前の坑口部法面掘削施工時には軟岩が出現し、大型ブレイカにて岩掘削を行ったが、その時はホテルとの協議の末、ブレイカによる騒音作業時間を極端に制限したため、施工は可能であったが多大な時間を要することになった。また、今回の貫通時の施工ではトンネル掘削サイクルの連続施工が必須であり、時間制限による施工によって解決することができなかったため、別途、防音対策を実施する必要があった。

トンネル坑口部の騒音に対しては、

- ① トンネル貫通掘削時のブレイカ騒音
- ② 貫通後インバート掘削時のブレイカ騒音

の2点に重点をおいて、坑口部からの騒音を低減する対策を検討した。

### (2) 騒音低減対策の実施とその効果

坑口部の騒音低減対策には、比較検討の結果、

- ① 設置から撤去までの期間が短いこと
- ② 対策にかかるコストを最小限に抑えること
- ③ ホテル客から作業を見えなくすること

を考慮し、最も容易で費用対効果の大きい「防音パネル建屋」を設置することとした。これは建物の解体工事等で使用されるビティ足場に防音パネルを設置した防音設備を応用したものである。外壁の防音パネルは容易であったが、屋根部分はスパンが長い為、屋根の防音パネルをどうやって設置するかが問題であった。そこで上部

にトラス部材を使用し、前面のビティ足場と背面のコンクリート法枠でトラス部材を支持することにより、屋根部分にまで防音パネルを設置することが可能となり、坑口全体を囲うことができた。（写真-2 参照）

この方法により、大型ブレーカ掘削により発生する騒音を 15dB 低減することが可能となり、ホテルへの影響を最小限にすることができた。



写真-2 坑口部防音パネル建屋

## 7. おわりに

今回の施工においては、ホテルからの苦情もなく無事トンネル掘削を完了できた。今回記述したホテルへの振動騒音におけるハード面での対策以外に、毎週ホテルとの打ち合わせ、発破の都度ホテルへの連絡や立体駐車場の車両誘導の実施、宿泊や昼食、慰労会でのホテル利用などのソフト面の対策も合わせて実施し、常にホテル側とコミュニケーションをとりながら施工を行った結果が今回の成功に大きく影響したと考える。騒音振動の問題は、ただ規制値をクリアすればいいという問題ではなく、相手方の担当者や関係者と日頃から信頼関係を築くことが重要であると実感した。

今後の同種工事において、今回の施工報告が参考になれば幸いである。

### 参考文献

- 1) 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，P29，P36，2005.12

(2017.8.11 受付)

## COUNTERMEASURES AGAINST NOISE AND VIBRATIONS AFFECTING NEIGHBORING FACILITIES DURING TUNNEL BREAKTHROUGH

Takushi KIMURA, Fujito MURAMATSU and Atsushi KAMIYA

The Shizuoka Prefecture Hamatome Tunnel project is a disaster restoration construction project. In the area near the portal at the end of the tunnel, there are structures such as two tourist hotels. Furthermore, the tunnel has been designed to pass directly underneath one of the hotels' multilevel car parks at a depth of 17 m. Therefore, the issue was how to prevent the business of the hotels or the various structures themselves from being affected by the noise and vibration of the tunnel blasting and drilling, and the breakthrough drilling. In this paper, we report on the process of how the issue was solved and the construction was progressed through continued engagement with the hotels.