

## 発破掘削による重要建築物の振動・低周波音対策

西日本高速道路（株） 正会員 ○前田 佳克 畔津 伸彦  
戸田建設（株） 正会員 三上 英明 生島 直輝

### 1. はじめに

山岳トンネル工事において、発破に伴う振動や騒音が近隣住民に影響を与えることは多くあり、発破に伴う住環境への影響を低減することが求められる。発破で発生する可聴音は防音扉で低減が可能である。一方、低周波音は距離減衰が小さく対策が難しい。従来これらの影響を低減するために、段発電気雷管（以下「DS 雷管」）を用いた分割発破や電子雷管を用いた制御発破が行われてきた。しかし、従来の制御発破は秒時間隔が固定されており、発生する周波数帯を変化させるためには新たに製造する必要があり時間を要した。また、秒時間隔を刻みすぎると1発破に要する時間が長くなり振動は小さくとも人間の体感上かえって不安を募らせる結果となることが多い。そこで1ms（1000分の1秒）刻みで最大800段まで任意の秒時間隔を現場で設定できる高精度電子雷管（eDev II、以下「高性能電子雷管」）を用いた制御発破工法を適用し、特定の周波数帯の低周波音を効果的に低減させた事例について報告する。

### 2. 近接重要建築物の状況

新名神高速道路宇治田原トンネルは東側坑口部から約400mの位置に最小土被り11mの小土被り区間がある。（図-1）地上には建築年1650年の『京都府暫定登録文化財に登録中の寺院』が存在しており発破に伴う影響が懸念された。寺院本堂は石場立てと呼ばれる石の上に柱が乗っている構造であり、石と柱は固定されていない「積み上げ構造」と言われる建築様式で建てられている。地震の際は各階が互いに揺れて振動を吸収する柔構造となっている。トンネルと寺院の位置関係を図-2に示す。

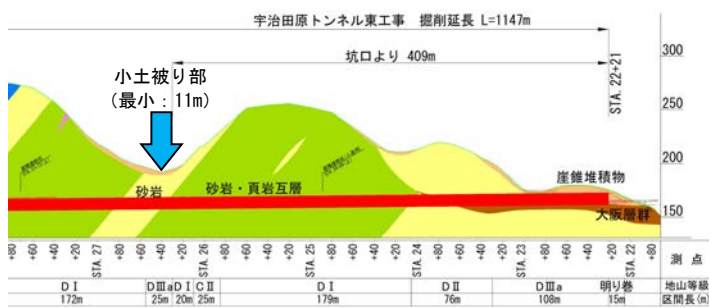


図-1 小土被り部位置図

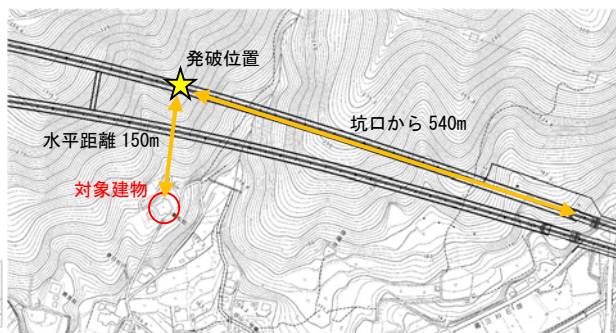


図-2 発破位置と寺院の位置関係図

### 3. 電気雷管による試験発破

寺院から水平距離約150mの位置で従来のDS雷管を用いた試験施工を実施した。発破影響の測定は、①寺院本堂と②鐘堂付近の2箇所で実施した（図-3）。指定地域対象範囲外であり基準は無いことから、騒音、振動は65dB、低周波音は90dBを管理値と定めた（図-4）。DS雷管では、騒音および振動で管理目標値を超過、低周波音は満足したが、寺院へのヒアリングによると建物が揺れると回答があった。

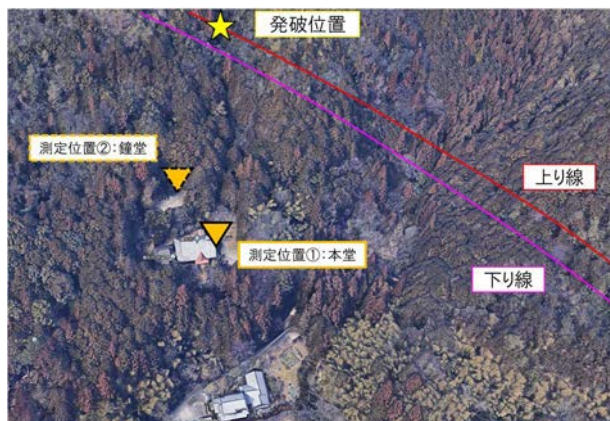


図-3 発破影響測定位置

キーワード トンネル, 小土被り, 重要建築物, 低周波音, 制御発破

連絡先 〒607-8034 京都府京都市山科区四ノ宮泓 37 西日本高速道路（株）新名神京都事務所 TEL075-595-4933

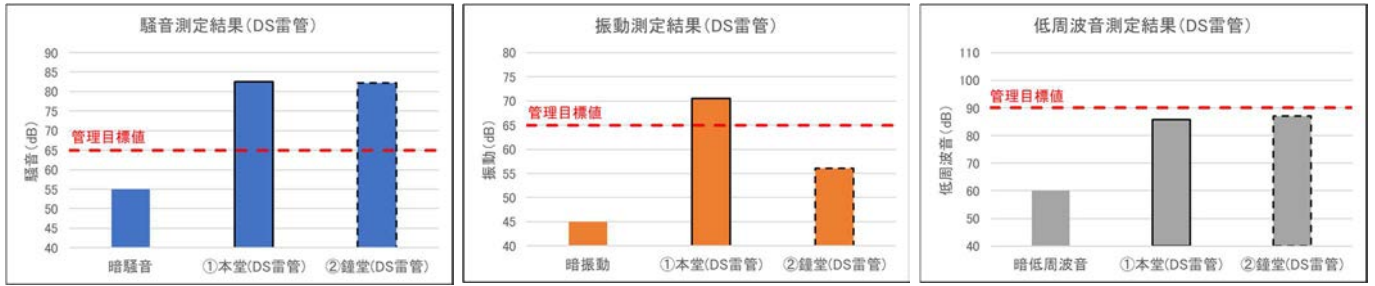


図-4 DS 雷管による試験発破測定結果

そこで、より詳細な調査を要すると考えたため、オクターブ分析 (図-6) を実施した。結果として本堂壁 1.5m 離れでの超低周波音が、4Hz 付近で増幅が見られた。「低周波音の知覚と低周波音による建具応答の領域区分 (環境省参照値, 図-7)」によると、建具ががたつく音圧レベルに達していることが分かった。壁に 1.5m まで近づいて測定すると増幅していることから共振現象と考えられた。このことから建物の固有振動数は 4Hz 付近であることが分かった。

#### 4. 高精度電子雷管を用いた施工

DS 雷管の結果を受けて、低周波音の卓越周波数を建物が揺れない領域へコントロールすべく、高性能電子雷管を用いた発破を実施した。1ms 刻みで任意の設定できる秒時間隔は、DS 雷管での試験発破結果を考慮して、4Hz の倍数とならない 7ms, 23ms, 29ms の 3 パターン設定した。一般的に地盤振動は、周波数が高いほど距離減衰が大きいとされており、卓越周波数が高くなる秒時間隔ほど小さくするとされている。測定結果を図-5 に示す。また、低周波音をオクターブバンド分析し環境省参照値に当てはめた結果を図-6 に示す。秒時間隔が短い 7ms は振動が減衰する前に次発破が起こり相互干渉で音圧レベルが上昇する結果となった。秒時間隔が長い 29ms は本堂付近における騒音の周波数が高く可聴音となった。23ms は騒音、振動、低周波音共に管理目標値を下回った。以上の数値結果と寺院へのヒアリング結果をもとに 23ms の秒時間隔が最適であると決定した。

今後は管理基準を満たしていることから、人の感覚について確認しながら発破をクレーム無く継続させたい。また、より寺院に近い下り線側の施工を控えており、今回の結果をフィードバックし施工に反映していきたい。

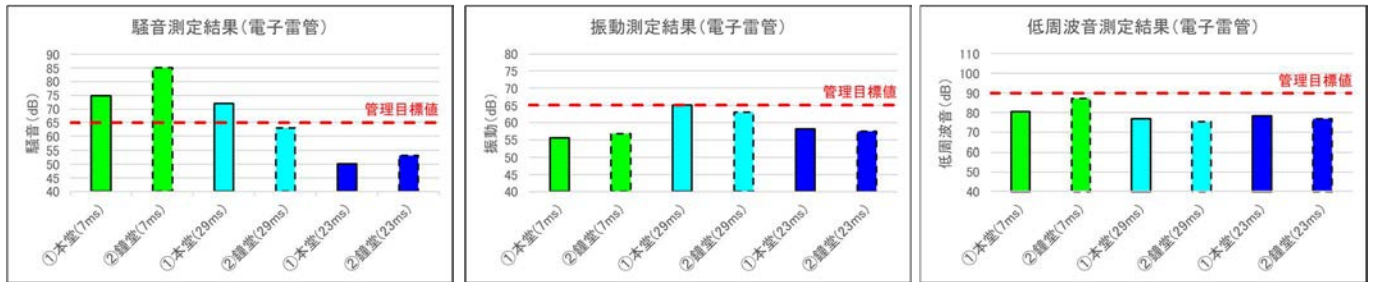


図-5 電子雷管による発破測定結果

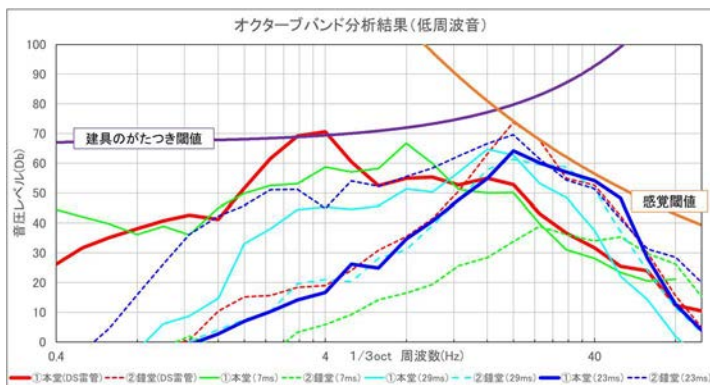


図-6 発破別周波数と音圧レベルの関係図

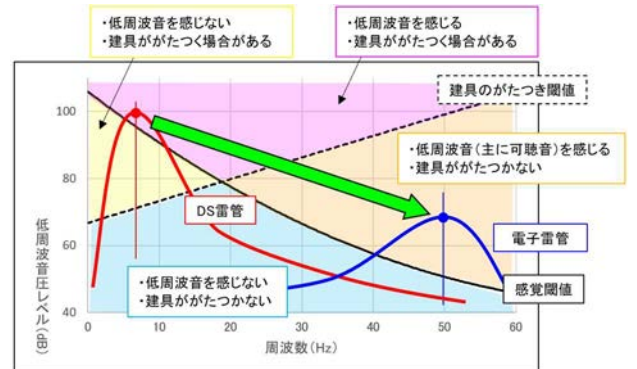


図-7 低周波音の知覚と建具応答の領域区分 (環境省参照値)