

## トンネル内遮煙壁に対する近接トンネル発破振動による影響検討

|                 |         |     |        |
|-----------------|---------|-----|--------|
| 中国地方整備局         | 広島国道事務所 | 正会員 | 溝田 亨   |
| 中国地方整備局         | 広島国道事務所 | 正会員 | 島田 知和  |
| 中電技術コンサルタント株式会社 |         | 正会員 | ○石田 滋樹 |
| 中電技術コンサルタント株式会社 |         | 非会員 | 定成 司   |

## 1. はじめに

一般国道 185 号の呉市本通りから阿賀地区を結ぶ通称「呉越峠」区間では、慢性的な交通渋滞と交通事故多発が問題となっていた。この問題を解決するために、延長 1.7km の休山トンネルを主体とした延長 2.6km の 4 車線のバイパス計画が進められており、平成 14 年 3 月に自転車歩行者道が設置される I 期線(上り線)トンネルを 2 車線対面通行で暫定供用している。しかし、実績交通量が 2 車線の計画容量を大幅に超え、両坑口交差点で生じた渋滞がともにトンネル内に及び、排気ガスによる悪臭や目の刺激などの苦情が歩行者から多く寄せられた。これに対し、トンネル内環境の緊急改善対策として平成 17 年 9 月に I 期線トンネル内に歩車道を分離するガラス製の遮煙壁(図-1)を設置し、現在、交通容量を確保するための II 期線トンネル(下り線)の事業着手を検討している。上下線のトンネル離隔は、中央付近が 30m 程度で両坑口部がめがね形式であるため、全般に近接トンネルである。また、住宅地近傍の両坑口付近を除いて発破掘削で計画されている。本報文では、II 期線トンネル施工時の発破掘削による I 期線トンネル内の遮煙壁に対する振動影響検討概要を報告する。

## 2. 遮煙壁の振動特性の調査

遮煙壁が設置されたトンネルは全国で 3 例だけであり、発破振動影響検討の前例がなく、施工計画にあたっては、的確な振動管理目標値の設定が必要となる。一般的な振動許容値としては、健全なトンネル覆工に対する  $4 \text{ cm/s}^2$ <sup>1)</sup>や、一般的な建築構造物に対する  $0.5 \sim 2.0 \text{ cm/s}^2$ <sup>2)</sup>などが挙げられるが、本遮煙壁は壁高が 7m にもおよぶ柔壁面構造であることから、共振などの振動特性の違いが想定されるため、安易な数値の流用は適切ではない。そこで、本検討では、破壊実験でガラスが破損しない振動速度を確認のうえ、発破振動に対する管理目標

値を設定する。さらに、覆工コンクリートおよび遮煙壁、ガラスに伝達される振動速度を推定するために、実際の遮煙壁の振動特性を現場にて測定した。

## (1)管理目標値の設定

ガラスが破損しない許容振動速度を測定するために、本トンネルで実際に使われているガラスを用いた実験装置(写真-1)に示すによって破壊実験を行った。加速度計を設置したガラスに対し、インパクトハンマーの加振力を徐々に大きくしていき、破壊しなかった最大振動速度  $7.6 \text{ cm/s}$  を管理目標値として設定する。

## (2)振動特性の抽出

遮煙壁は、2m 間隔の支柱に  $1\text{m(H)} \times 2\text{m(W)}$  のガラスを 3 枚、その他部分に鋼板を組み合わせた高さ 7m のガラスサッシである。その振動特性を分析するため、加速度センサーを支柱 2 本の下から 1m 間隔に 4 箇所、ガラスに 2 箇所×3 枚の計 14 箇所設置し、交通振動の常時微動およびインパクトハンマー加振に対する応答加速度を測定(写真-2)し、モード解析により、遮煙壁構造体の固有振動数と応答加速度を分析した(図-2)。



図-1 遮煙壁設置状況



写真-1 ガラス破壊実験状況



写真-2 遮煙壁振動調査状況

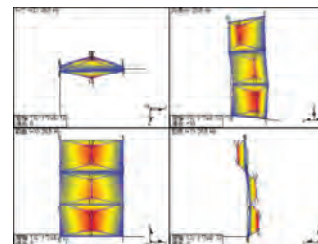


図-2 モード解析結果(抜粋)

キーワード 遮煙壁, 発破振動, モード解析, 周波数応答解析, FEM 解析

連絡先 〒734-8510 広島市南区出汐 2 丁目 3-30 中電技術コンサルタント株式会社 TEL 082-255-5501

常時微動計測データより、ガラスの周波数応答が最も高くなる位置は最下段中央であることを確認した。

### 3. ガラス遮煙壁への発破振動影響検討

#### (1)解析条件

遮煙壁 1 ユニット(奥行き 2m)の 3 次元 FEM モデル(図-3)で、モード解析および周波数応答解析を実施した。解析に用いた定数を表-1 に示す。岩盤のヤング率  $E$  は弾性波速度  $V$  より算出した( $E = \gamma V^2$ ,  $V = 4.8 \times 10^3 \text{ m/s}$ )。

表-1 解析パラメータ

| 材料                       | $E$ (kN/m <sup>2</sup> ) | ポアソン比 | 密度 $\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> ) |
|--------------------------|--------------------------|-------|----------------------------------|
| 覆工コンクリート                 | $2.0 \times 10^7$        | 0.30  | 2,300                            |
| 岩盤( $C_H$ )              | $6.0 \times 10^7$        | 0.25  | 2,600                            |
| 鋼板および支柱                  | $2.0 \times 10^8$        | 0.30  | 7,900                            |
| 網入ガラス( $t=10\text{mm}$ ) | $7.0 \times 10^7$        | 0.23  | 2,500                            |

#### (2)入力発破振動値の設定

発破爆源の振動速度値は明らかになっていないため、本検討ではまず(1)式<sup>3)</sup>を基本として、爆源から最近距離の覆工背面位置(図-3 中①)の振動速度を予測し、当該箇所における解析結果の振動速度の OA(Over All: 解析対象周波数帯域合成)値が等しくなるようトライアル計算を実施し、爆源位置での加振力を 11,000N に設定した。解析周波数帯域は 1~400Hz、モード数は約 180、解析ステップは約 800 である。

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

ここに、 $m: 3/4$ ,  $n: 2$ ,  $K: K$  値(=470: 試験発破結果より),  $W$ : 段当たり火薬量(=6kg, CI 芯抜),  $D$ : 爆源からの距離(=32m)より,  $V$ : 振動速度(=1.8cm/s)となる。

なお、振動速度の OA 値は(2)式により算出した。

$$V = \sqrt{\sum_i V_i^2} \quad (2)$$

ここに、 $V_i$ : 各周波数における振動速度(cm/s)

#### (3)発破振動による周波数応答解析結果

まず、遮煙壁のモデル妥当性検証のため、1 次モードの周波数を対比した。現場実測の 6Hz に対し、解析モデルでは 5.9Hz であり、再現性は充分と判断できる。解析対象位置は、加振力検証位置(図-3 中①)、遮煙壁支柱基部(同②)、最下段ガラス中央(同③)とする。

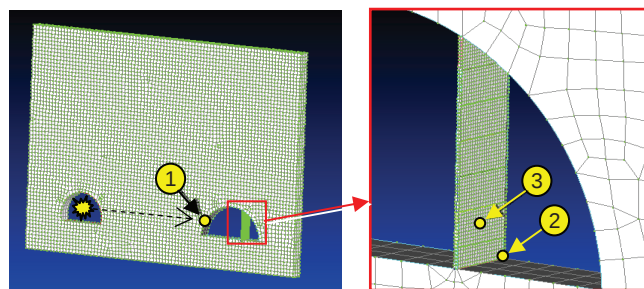


図-3 FEM解析モデル

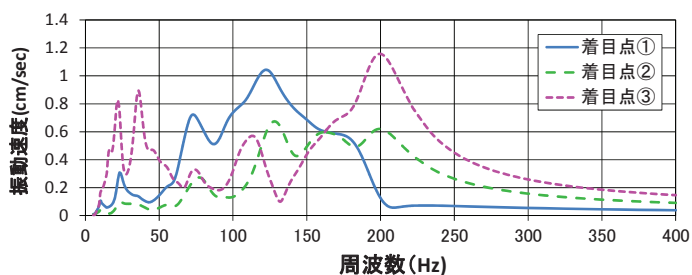


図-4 各着目点の振動速度スペクトル

各周波数応答スペクトルを図-4 に示す。振動速度(OA 値)は遮煙壁基部で 0.69 cm/s, ガラス中央部では振動モードによる増幅で 1.61 cm/s となる。これは、管理目標値の 7.6 cm/s に対して 4 倍以上の安全率を有しているため、発破振動による遮煙壁ガラスは破損しないと判断できる。

### 4. まとめ

- (1) 遮断壁のうち、最大周波数応答が発生する位置は最下段ガラス中央部分である。
- (2) 遮煙壁支柱基部に生じる振動は振動モードによってガラス中央で 2.3 倍の振動速度に増幅される。
- (3) ガラスの破壊に対する許容振動速度は 7.6cm/s 以上である。
- (4) 近接発破の芯抜き位置との離隔が 30m 程度あれば、CI の通常発破に対してガラス製遮煙壁の破壊安全率は 4 以上となり、破損しない予測結果となる。

### 参考文献

- 1) (財)鉄道総合技術研究所：既設トンネル近接施工対策マニュアル,1996
- 2) (社)火薬学会発破専門部会：発破振動・騒音・低周波音の規制値に関する提言(数値の提案),EXPLOSION, vol.4,No.3,pp.159-161,1994
- 3) 日本化薬株式会社：発破振動対策について,日本化薬(株)技術資料