

16. 周辺環境および猛禽類に配慮したトンネル工事施工

株式会社フジタ 東京支店
 国土交通省 長野国道事務所
 株式会社フジタ 東京支店

○三浦 孝
 梶原 竹生
 須貝 美代治

1. はじめに

本工事は、比高差100mの急峻な崖に近接する山岳トンネルであり、この急崖斜面には猛禽類が生息している。終点側坑口から約130m付近には民家があり、また、猛禽類営巣地とトンネルとの位置関係は最小離隔距離が約110mと近接しており、トンネル掘削時期が、猛禽類の繁殖時期（求愛期～抱卵期～巣内育雛期～巣外育雛期）と重なることが施工上の課題となった。

この課題に対し、環境保全等を目的として組織された上田坂城バイパストンネル工法検討委員会（以下、委員会）において、トンネル工事が周辺環境や猛禽類等に与える様々な影響を検討した。

本報告では、トンネル工事に伴う騒音、振動、色彩、自然環境の変化、飛翔阻害等に対する対策を行い、監視・観測体制を確立し効果の確認を実施しながらトンネル工事施工をした事例について述べる。

2. 環境への配慮に関する検討事項

委員会において、トンネル工事が周辺環境や猛禽類等へ及ぼす影響を最小限に抑えるよう要請を受けた。これにより、以下の事項について設計、施工の検討を行った。図-1 に掘削工程と繁殖時期、表-1 に影響要因を示す。

2-1 周辺環境について

トンネル掘削を始める終点側坑口付近に民家があるため、騒音、振動の低減対策を検討した。また、建物の色彩についても周辺環境と調和するように検討をした。

2-2 猛禽類について

トンネル終点側坑口付近には軟弱な粘性土が分布しており、当初設計では、トンネル掘削前に、トンネル上部から垂直方向の地盤改良工（DJM工法）を計画していた。

しかし、この工法を施工するには、トンネル上部に機械高さ30m以上の大型機械（粉体噴射攪拌機）の設置が不可欠であり、その施工ヤードのために400m²程度の平場が必要であった。

そのために、トンネル坑口部には大規模な伐採や切土法面が発生するので、自然環境の変化を低減するため切土法面を可能な限り縮小させ、猛禽類の飛翔阻害の原因となる大型機械を使用しない地盤改良工について検討した。また猛禽類の営巣地とトンネルとの離隔が110mと近接しているため、騒音、振動、についても検討し、色彩についても猛禽類を刺激しない配色を検討した。

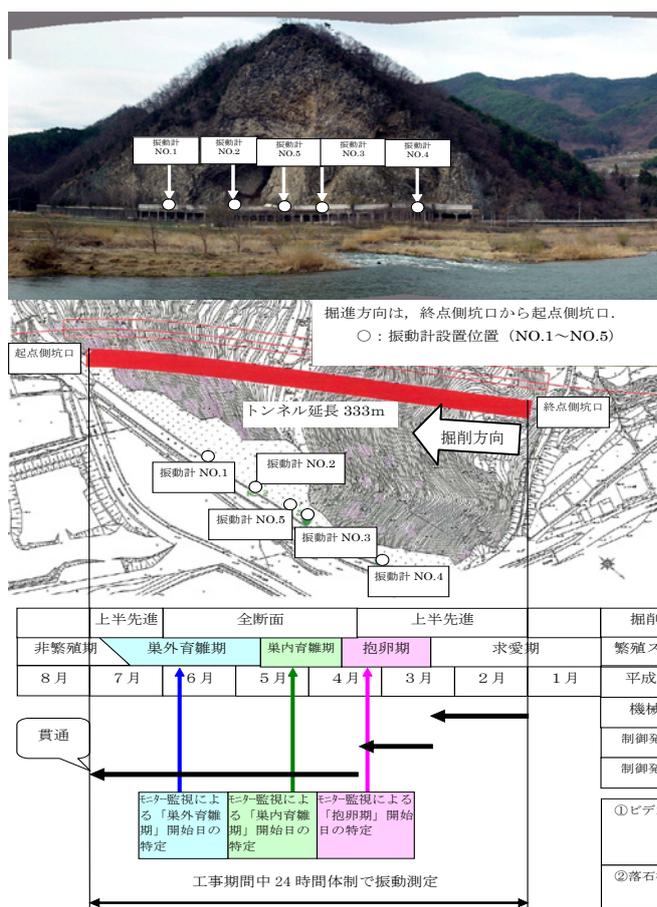


図-1 掘削工程と繁殖時期

表-1 影響要因

| 配慮項目 | 影響要因 |
|------|---------|
| 周辺環境 | 騒音 |
| | 振動 |
| | 色彩 |
| 猛禽類 | 自然環境の変化 |
| | 騒音 |
| | 振動 |
| | 飛翔阻害 |
| | 色彩 |

3. 対策と施工方法

トンネル工事施工における周辺環境および猛禽類への配慮の対策を検討した。また、各対策の効果の確認をするため監視・観測体制を確立した。表-2 に検討した対策内容を示す。

表-2 検討した対策内容

| 影響要因 | 検討した対策内容 |
|---------|-------------------|
| 騒音 | 防音ハウス等の設置 |
| 振動 | 掘削方式の検討 |
| 色彩 | 周辺環境と調和する建物の色彩の検討 |
| 自然環境の変化 | 切土法面積を最小化 |
| 飛翔阻害 | 機械高さの低い機種・工法選定 |



写真-1 坑外防音設備

3-1 影響要因に対する対策

(1) 騒音の低減

トンネル掘削に伴う主な騒音としては、建設機械の稼働による騒音、掘削ズリの仮置場へのダンプアップによる騒音、ズリの二次運搬時の積み込みによる騒音、そして発破による騒音がある。

近くには民家があり、これらの騒音を低減させるため、騒音コンタ図を作成して、騒音影響範囲を民家において騒音基準値（55db）以下になるように、坑口前およびズリ置場には防音ハウス、坑内にはコンクリート充填式の防音扉、さらに敷地境界に高さ9mの防音壁を設置し、騒音の低減対策を行った。

図-2 に騒音コンタ図、写真-1 に坑外防音設備、写真-2 に坑内防音設備を示す。



写真-2 坑内防音設備

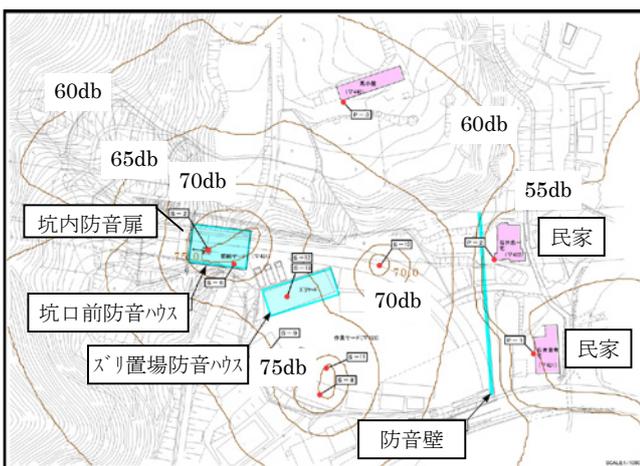


図-2 騒音コンタ図

(2) 振動の低減

掘削開始時の崖錐堆積物区間は、可能な限り機械掘削で行い発破を使用しないこととした。

それ以降のひん岩区間（地山弾性波速度3.0km/s）は、MS・DS電気雷管を使用し、制御発破A（最大25段）とした。さらに硬質なひん岩区間（地山弾性波速度4.5km/s）は、上半先進工法から全断面工法に変わり火薬の使用量が増加し、猛禽類営巣地に近づくので、より振動を低減可能な非電気式起爆システムを使用して制御発破B（最大150段）とした。

制御発破Bは、図-3に示すように秒時差の違う雷管と秒時差の違うコネクタの組み合わせにより25ms間隔で最大150段の段発破が可能となる。

これにより、一孔一段での発破ができ、各段当たりの爆薬量を減らすことができるため制御発破Aより振動低減効果は大きい。

表-3に制御発破概要と振動予測値の比較、図-3に非電気式起爆システム概要図、写真-3に結線状況を示す。

表-3 制御発破概要と振動予測値の比較

| 名称 | 掘削方式 | 施工概要 | 営巣地での予測値 | |
|-------|------------------------|--------------|----------|------|
| | | | 振動値 | 騒音値 |
| 制御発破A | 上半先進工法 (MS・DS 電気雷管) | 30回/4秒程度の起爆 | 79mkine | 51dB |
| 制御発破B | 全断面工法 (非電気式起爆システム) | 130回/4秒程度の起爆 | 46mkine | 44dB |

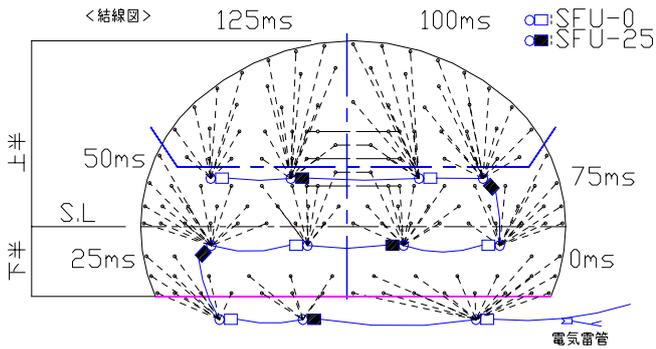


図-3 非電気式起爆システム概要図

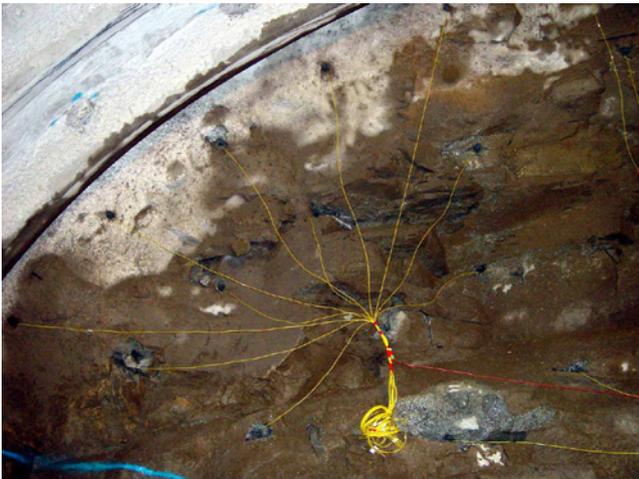


写真-3 結線状況

(3) 色彩の調和

防音設備等の建物は、色彩を考慮し全体をグリーンネットで覆い、周辺の環境に調和させ、周辺住民や猛禽類から見て、違和感の無いよう配慮した。

(4) 自然環境の変化の低減

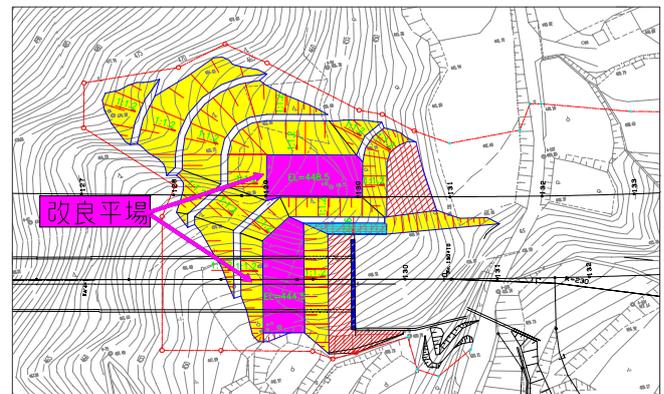
切土法面を縮小させる方法として、種々の比較検討を行った結果、以下の対策を行った。

- 1) トンネル上部からの垂直方向の地盤改良を、トンネル正面からの水平方向の地盤改良に変更し、改良機のための改良平場をなくすことにより、切土法面を縮小した。
- 2) トンネル坑口位置を当初設計位置より 13m 延長することにより、トンネルの地山に対する高低差を小さくし、全体的な切土法面を縮小した。

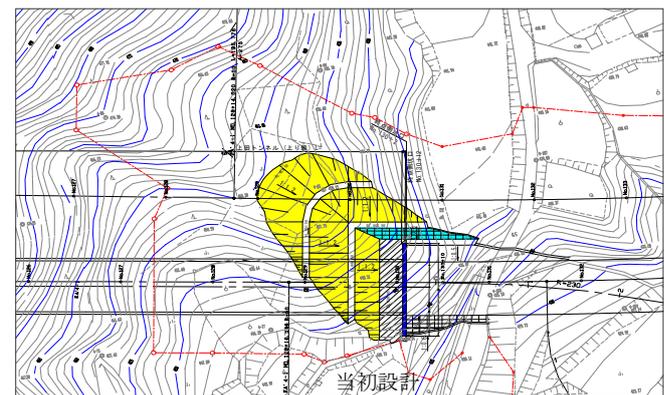
これらの対策を行うことにより、猛禽類の生息環境への影響を最小限にした。

また、緑地帯を保存し、周辺環境に対する環境負荷も低減した。

図-4 に終点側坑口平面図を示す。



当初設計



変更後

図-4 終点側坑口平面図

(5) 飛翔阻害の低減

法面の縮小に伴い、トンネル上部からの地盤改良工が無くなるため、トンネル正面からの水平方向の地盤改良工（補助工法：脚部補強対策、切羽・天端安定対策）の検討が必要となった。

1) 脚部補強対策

坑口部の地質はN値が5~10と低いものの、粘着力が100kN/mm²以上と高い粘性土のため、水平高圧噴射工法による脚部補強対策工が必要となった。ここで、山岳トンネルではあまり実績がないが、地下鉄工事等では多数実績があり施工性の良い全方位高圧噴射工法(MJS工法)を採用した。また、脚部に作用する荷重から、改良体は直径2mの下側のみの半円とし、上半脚部補強用として、左右各2つ、下半脚部補強用として左右各1つの施工を行った。

2) 切羽・天端安定対策

坑口掘削開始時の切羽安定対策工として、注入式長尺鏡補強工(FIT工法)、天端安定対策工には注入式フォアポーリング(PUIF工法)を採用した。注入材は土質に合わせてシリカレジンを使用した。

図-5に補助工法断面図、図-6に補助工法縦断面図、写真-4に脚部補強対策工施工状況、写真-5に注入式長尺鏡補強工施工状況を示す。



写真-4 脚部補強対策工施工状況



写真-5 注入式長尺鏡補強工施工状況

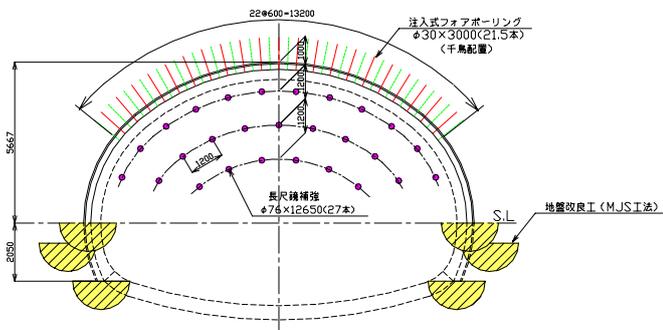


図-5 補助工法断面図

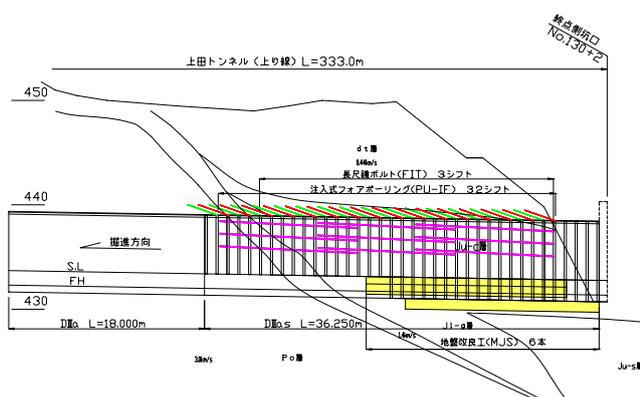


図-6 補助工法縦断面図

3-2 監視・観測体制の確立

各対策の効果の確認をするために監視・観測体制の充実を図った。

近接民家については、工事開始前、工事中について騒音・振動測定による監視を実施した。

猛禽類については、トンネル掘削時の営巣状況を監視するため、以下の体制により慎重な施工を行った。

- 1) ビデオカメラによる、営巣地の撮影および事務所のPCでのモニタリング。
- 2) 落石検知システムを使用した、落石の有無および発破振動値を事務所PCでのモニタリング。
- 3) 発破開始時、発破方式変更時のトンネル工法検討委員会および工事関係者による現地立会いによる観察。

なお、猛禽類に対する発破振動の明確な規制値がないため、発破作業の都度ビデオカメラによるモニタリングを行い、異常の有無を確認して記録をした。また、落石検知システムで振動値を確認

して常に振動予測値と対比を行いながら施工を行った。図-7 に監視・観測体制、写真-6 にモニタリングシステムを示す。

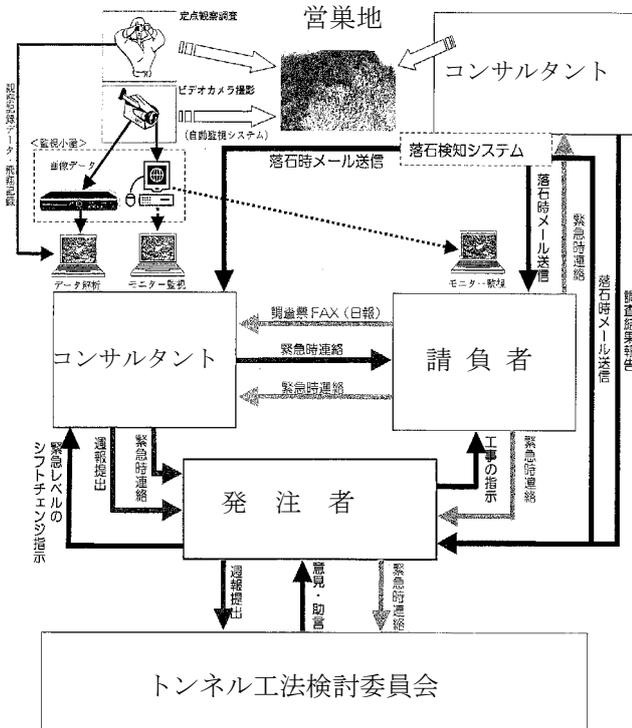


図-7 監視・観測体制

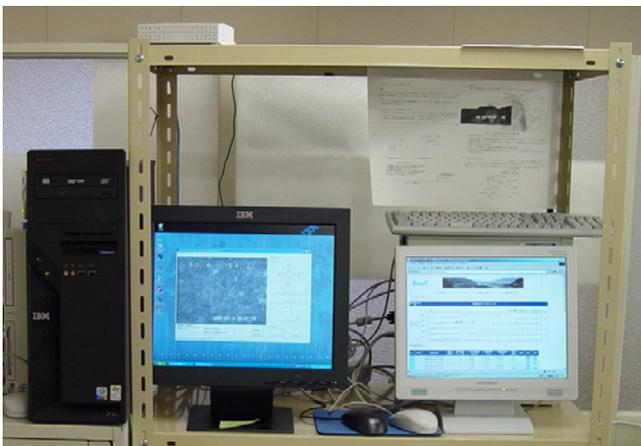


写真-6 モニタリングシステム

4. 施工結果

(1) 騒音について

騒音に関しては、坑口前とズリ仮置場へ防音ハウス、坑内にはコンクリート充填式の防音扉、さらに敷地境界には防音壁を設置し、民家付近の騒音測定の結果、騒音基準値内（55 dB）であることを確認した。また、猛禽類に対しては、ビデオカメラで常時監視を行い異常な行動のないことを確認した。

(2) 振動について

振動に関しては、民家付近の振動測定の結果、騒音基準値内（65 dB）であることを確認した。また、猛禽類に対しては、以下のような結果であった。表-4 に制御発破 B による営巣地近傍の振動測定結果と再結果の一例、図-8 に、繁殖記録と発破掘削の関係を示す。

図表より、制御発破 A 区間の最大振動値は、一部 100mkine を超えるが平均的には 50~60mkine 程度であり予測値 79mkine 以下となった。しかし、表-4 より制御発破 B の実施初期段階において予測値 46mkine を満足できない状況となったことから、この実測値における発破条件を用いて再度振動予測を実施した。その結果、表-4 に併記したように制御発破 A で上半先進工法とすると最大振動速度は 160mkine と非常に大きくなると予測されたため、今後の対策として当初予測値を超過しても振動抑制効果の高い制御発破 B の全断面工法で掘進することが有効であると考え採用した。

当初は制御発破 A, B の段階的な採用によって営巣地近傍における振動を極力抑制する計画であったが、当初予測よりその抑制効果は低かったといえる。その要因としては、想定より地山が硬質であり振動伝播特性が高かったからであると考えられる。なお、当然ながらこのような岩質であったため通常発破や制御発破 A のみで掘削した場合、さらに大きな振動が発生し猛禽類に影響を与える結果となった可能性も否定できない。よって、より振動抑制効果の高い制御発破 B を用いて全断面工法で掘進することにより、振動低減効果があったものと考えられる。

表-4 制御発破 B による営巣地近傍の振動測定結果と再結果の一例

| 切羽位置 | 対策工（掘削工法） | 薬量(kg) [kg/m ³] | 雷管段数 (段) | 測定振動速度の 最大値*(mkine) |
|---------------------------|--------------------|--------------------------------|-------------|------------------------|
| ①No.126+5.0 (支保 No.77) | 制御発破 A（上半先進） | 30 [0.52] | 24 | 58 |
| ②No.126+3.8 (支保 No.78) | 制御発破 B（補助ベンチ付き全断面） | 51 [0.51] | 109 | 90 |
| ②の条件での 再予測結果 | 制御発破 A | 51 [0.51] | 24 | 160 |

※振動計 No.3 位置での計測結果

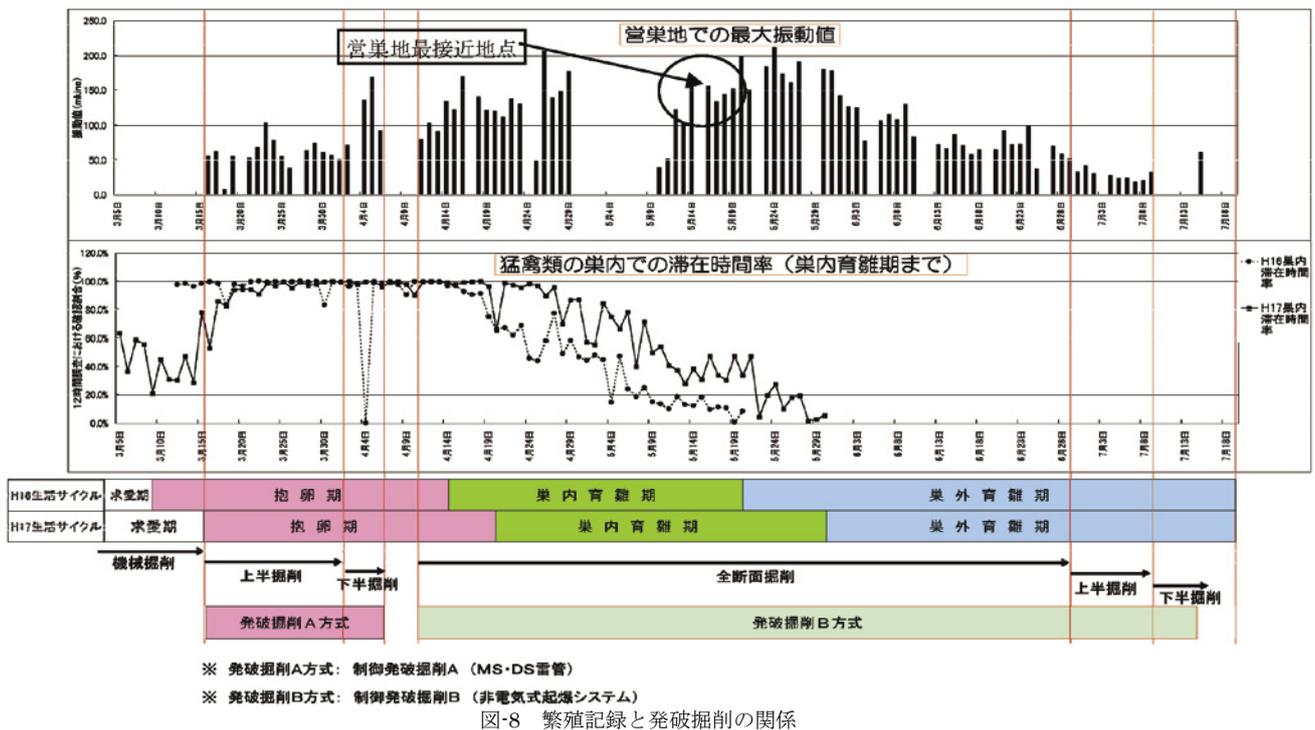


図-8 繁殖記録と発破掘削の関係

(3) 色彩について

色彩に関しては、近隣民家より好評を頂いた。猛禽類は営巣状況、飛翔状況から異常は見られなかった。

(4) 自然環境の変化について

法面の縮小については、トンネル坑口位置を13m延伸し、地盤改良工の変更を行うことにより、法面の面積を当初設計1977m²から871m² (44%)に縮小した。

また、切土量についても当初設計18,780m³から6,150m³ (33%)に縮小できた。この対策により、自然環境の変化を最小限にした。

(5) 飛翔阻害について

地盤改良工については、トンネル上部から垂直方向の地盤改良工 (DJM工法) では、大型機械を使用することから、水平方向の地盤改良に変更することにより、猛禽類の飛翔阻害に配慮した。例年の飛翔内容と対比しても、影響があったとは認められなかった。

(6) 監視・観測体制の確立

図-8より、制御発破A区間においてビデオカメラの観察からは100mkineを超えた振動であっても猛禽類に異常な行動は見られなかった。

制御発破B区間において営巣地に最接近する前後で最大振動速度150mkineを超過する場合も見られたが、特に猛禽類に異常な行動が見られなかった。

なお、猛禽類の巣内での滞在時間率に関しては、工事が行われていなかった前年 (H16) と比べ、抱卵期、巣内育雛期の時期が若干遅れているが、グラフの傾きが同様のため、発破掘削とは関係のない生活サイクルに変化したものと思われ、掘削期間中に猛禽類は例年通り営巣し、雛も無事巣立ったことを確認した。

猛禽類の営巣地は千曲川左岸の急崖で常に風が強く、上田市街からも近い。よって、猛禽類が瞬間的な発破振動の影響を受けなかった要因としては周辺の自然および社会環境等へ順応している結果と考えることもできる。

5. まとめ

本報告は、周辺環境や猛禽類に配慮したトンネル工事の環境対策について述べた。

騒音、振動、色彩、自然環境の変化、飛翔阻害等に対する施工方法の対策を実施するとともに、施工者、発注者、委員会、コンサルタントによる検討・連携を深め、監視・観測体制を確立し、これらの対策の効果の確認を行った結果、周辺環境および猛禽類に配慮したトンネル工事施工が可能となった。

最後に、このトンネル工事を進めるにあたり、ご指導ご協力をいただいた委員会の中村浩志委員長 (信州大学 教育学部教授) をはじめ、関係各位に謝意を表するとともに、この報告が今後の類似工事の参考になれば幸いである。