

猛禽類に配慮したトンネル掘削発破の制御とモニタリング

(株)フジタ 東京支店 正会員 三浦 孝
 国土交通省 長野国道事務所 梶原 竹生
 (株)フジタ 東京支店 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、この急崖斜面には絶滅危惧種 類である猛禽類が生息している。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、発破を用いた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）と重なることが設計・施工上の課題となった。この課題に対し、猛禽類の保護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、トンネル工事が猛禽類に与える様々な影響を検討した。本報告では、猛禽類への発破振動の影響を考慮して、トンネル発破掘削に伴う振動の低減対策とモニタリングを実施した事例について述べる。

2. 発破振動対策の検討

発破振動対策として、2-1 制御発破、2-2 監視体制の検討を行った。図 - 1 に掘削工程と発破振動対策実施時期を示す。

2-1 制御発破

委員会では、猛禽類が振動に非常に敏感であるため、発破振動を極力低減させる対策として制御発破工法が検討された。表 - 1 に、制御発破における営巣地における振動予測値を示す。この予測値は、表 - 2 に示すように、震度 1 以下の微小な振動に相当する。

表 - 1 制御発破の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	51d B
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	44d B

表 - 2 振動速度と震度の関係¹⁾

人体に感じない (震度 0)	(震度 1)	(震度 2)	(震度 3)	(震度 4)	(震度 5)
感知できない	感知できるが苦情は少ない	顕著な苦情が生ずる	顕著な苦情が多い	構造物に注意	一般建築物等に被害の可能性
0.01	0.1	1.0	10.0	50.0	

最大速度振幅 (cm/s) = (kine)

以上から、現場における具体的な発破振動対策として、以下の掘削方法を委員会に提案し採用された。掘削開始時の崖堆積物区間は、可能な限り機械掘削で行い発破を使用しない。それ以降のひん岩区間（地山弾性波速度 3.0km/s）は、MS・DS 電気雷管を使用する制御発破 A とする。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（i-det）を使用する制御発破 B を行う。

制御発破 B は、図 - 2 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 間隔での段発破が可能となる。また、制御発破 B は 1 発破当りの使用薬量が同じ場合、段数を増やすことにより 1 段当りの斉発量（1 段当り薬量）を減らすことができるため、振動低減効果は制御発破 A を用いた場合より高いと想定される。

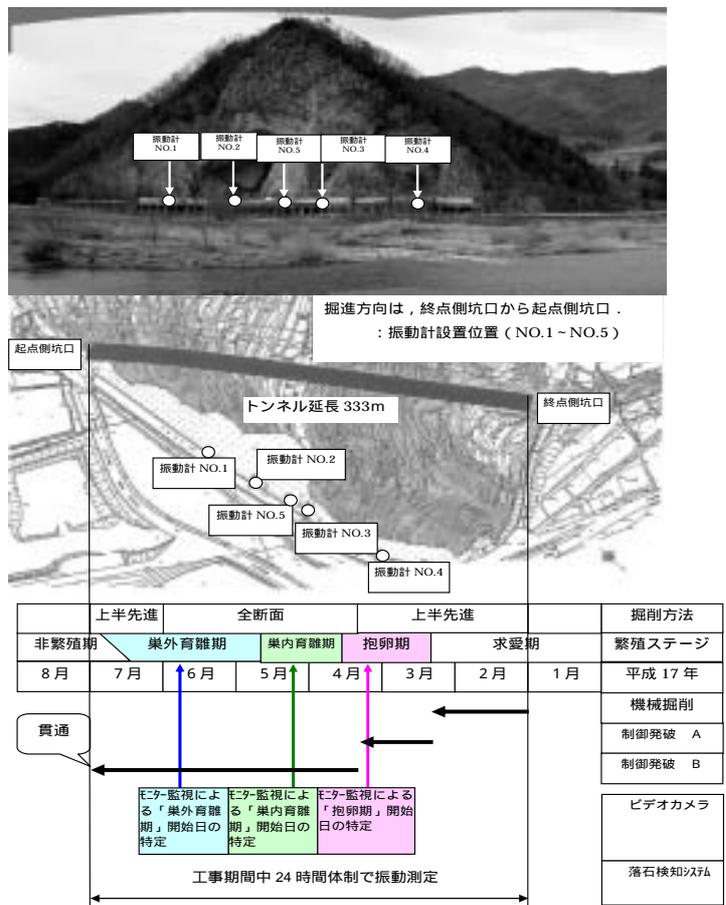


図 - 1 掘削工程と発破振動対策実施時期

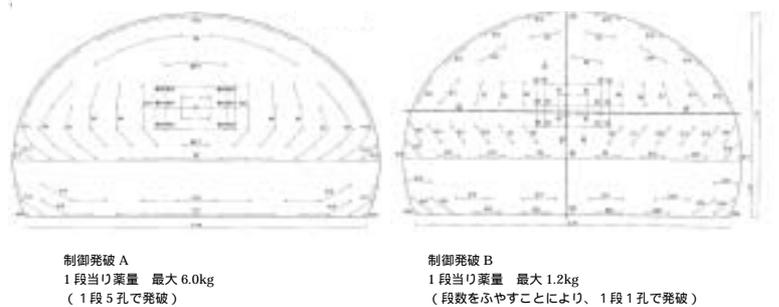


図 - 2 制御発破概要図

2-2 監視体制

図-3に示すように、猛禽類の繁殖時期には営巣地の猛禽類の行動をビデオカメラによって撮影し、インターネット経由で事務所のパソコンで常時モニタリングした。さらに落石検知システムを設置し、営巣地近傍の急崖地で発生する落石の有無および発破振動値をリアルタイムに把握した。なお、ビデオカメラによる猛禽類の行動モニタリングでは、猛禽類の異常行動の有無を確認しながら施工を行うこととした。

3. 施工結果

表-3に制御発破A,Bにおける振動測定結果と再予測結果の一例を示す。表-3では制御発破Aから制御発破Bに切り替わる前後の計測値を示している。図-4に、トンネル全線において計測された最大振動速度(営巣地近傍[振動計No.3]と切羽近傍)を時系列で示す。

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。一方、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

れなかった。表-3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-3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考えられるため、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られ採用した。なお、発破時にはビデオカメラによる猛禽類の行動モニタリングと落石検知システムの監視をさらに強化し、監視・連絡体制の整備を計った。図-4より、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いと同時に、落石が急増する現象も発生しなかった。

一方、図-4より切羽近傍と営巣地近傍における振動値の変化傾向は概ね一致し、切羽での最大振動値が大きいほど営巣地での振動値も大きくなる傾向を示す。また、切羽が営巣地に近づくほど振動値が大きくなる傾向を示している。よって、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搬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。なお、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。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。

4. まとめ

本報告は、絶滅危惧種の猛禽類の生息地のごく近傍におけるトンネル工事の発破振動対策工とモニタリングについて述べた。その結果、監視体制を強化しながら、施工者、発注者、委員会、コンサルタントとの連絡体制を密に行い、猛禽類への影響も出さずにトンネル掘削を終えることができた。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。

参考文献 1) (社)日本騒音制御工学会低周波音分科会編：発破による音と振動，山海堂，1996。

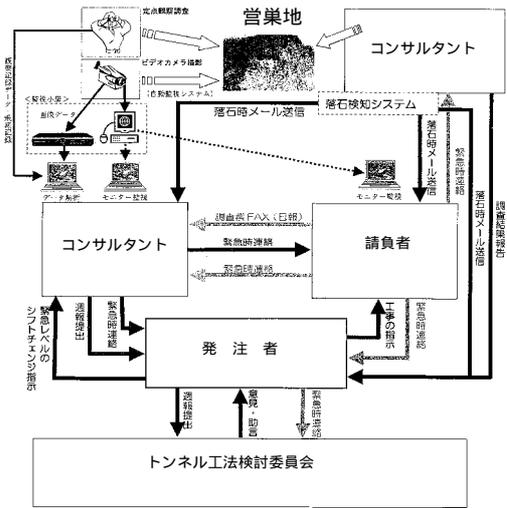


図-3 モニタリング監視・連絡体制図

表-3 制御発破,Bによる営巣地近傍の振動測定結果と再予測結果の一例

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)
No.126+5.0 (支保No.77)	制御発破A(上半先進)	30 [0.52]	24	58
No.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
の条件での 再予測結果	制御発破A(上半先進)	51 [0.51]	24	160

振動計No.3位置での計測結果

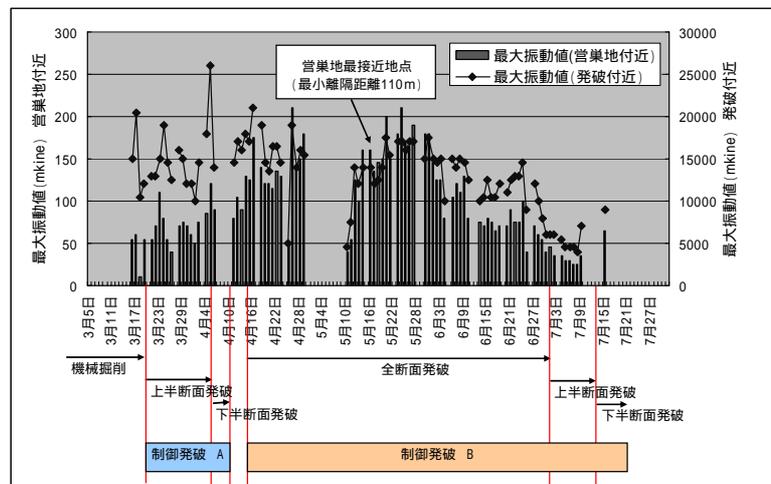


図-4 トンネル全線において計測された最大振動速度