

コンピュータジャンボと電子雷管を用いた情報化施工による最適制御発破

鹿島建設(株) 正会員 ○岩野圭太 土岐浩之 佐々木栄治 橋本 基
菊池 亮 手塚康成 犬塚隆明

1. はじめに

発破掘削は他工法と比べ経済的な掘削工法であるが、振動や騒音といった環境負荷が大きいいため、民家が近い環境下での適用は制限を受ける場合が多い。しかし近年、コンピュータジャンボ（以降、C/J）や高精度電子雷管などの穿孔・発破技術の適用が進んでいる¹⁾。ここでは発破掘削を進めているトンネル現場において、C/Jや電子雷管、最新振動計測システムの活用等により得られたデータを用い、発破パターンや薬量等を都度見直しする情報化施工を進めた結果、環境負荷の低減を図りつつも、最適な発破を継続した事例を報告する。

2. 制御発破による情報化施工の概要

情報化施工による制御発破を実施したのは国道45号白井地区道路工事である。表-1に現場諸元を示す。トンネル掘削は片押し施工であるため、発破による環境負荷の低減を図りつつも、工程短縮が急務であった。図-1に本現場で実施した制御発破の情報化施工サイクルの概念図を示す。振動や騒音に対する制御発破を行うトンネル現場では従来から発破→振動計測を繰り返し、発破条件の見直しを行ってきたが、本現場では、更に穿孔・起爆の発破条件の精度と振動計測の即時性を向上させ、デジタルデータに基づく次回発破へのフィードバック（=情報化施工）を可能とした。

表-1 現場諸元

工事名	国道45号白井地区道路工事
工事場所	岩手県下閉伊郡普代村～野田村
トンネル延長	2058m
内空断面積	93m ²
掘削工法	発破工法

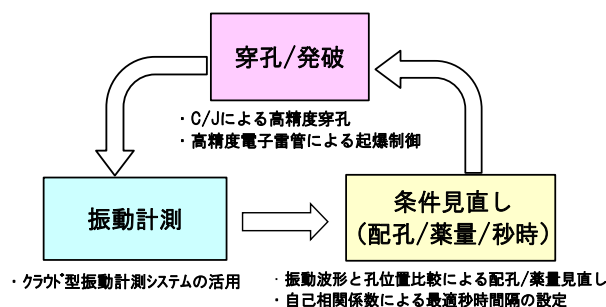


図-1 制御発破の情報化施工サイクル

3. 情報化施工の各要素の詳細

(1) 穿孔/発破

穿孔はC/JとしてXE4C（Atlas社製）を採用したため、高精度の穿孔が可能のほか、穿孔位置情報が記録されるため、発破後の条件見直しに活用できる。また起爆は当初、DS/MS電気雷管を採用したが、更なる斉発薬量を図るため、1孔1斉発が可能な高精度電子雷管eDevII（Orica社製）を採用した。

(2) 振動計測

発破振動計測はクラウド型振動計測システムNCVIB(Nitro Consult社製)を採用した。本システムは、携帯電話回線を使った地理GISと連動型の発破振動の遠隔測定分析システムである。

バッテリー駆動の計測器はオートトリガで自動計測され、自動的にWEBクラウドサーバへ転送されるため、現場担当者が都度計測器を回収する必要はなく、専門家が現場に常駐せずとも振動データを把握することができる(図-2)。

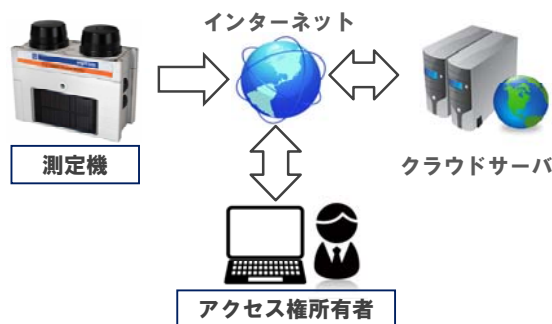


図-2 クラウド型振動計測システム

(3) 条件の見直し

(1)、(2)で得られたデータに基づき、都度発破条件の見直しを行った。発破パターンの見直しは、図-3に示すように発破直後にNCVIBにて収録した振動波形とC/Jによる穿孔位置および電子雷管の起爆順序を比較す

キーワード 発破振動、情報化施工、コンピュータジャンボ、電子雷管、自己相関係数

連絡先 〒107-8348 東京都港区赤坂 6-5-1 鹿島建設(株)土木管理本部 TEL03-5544-2409

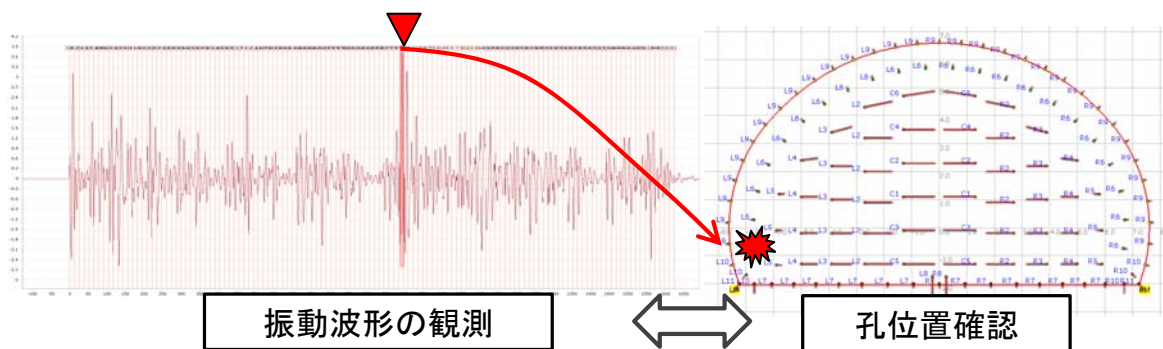


図-3 振動波形と穿孔位置の比較による孔配置/薬量の見直し

ることで、“荷が重たい”孔位置を特定し、孔数や抵抗線の変更や、芯抜孔や踏前孔、一般孔など発破部位ごとの孔薬量の変更を行った。図-4には、今回の制御発破の対象区間およびその周辺の計測点(M3,M5,M6)の振動速度および各発破の孔数・装薬量の変遷を示す。制御発破の情報化施工を進めた結果、振動速度の計測の増加を受け、雷管をDS→MS/DS併用による段数増加、MS/DS併用→電子雷管による1孔1斉発へと変更した。電子雷管に変更直後、M3の振動速度が増加しているのは、総薬量の増加に起因している。電子雷管の場合、既往研究²⁾でも示されている振動継続時間の短縮による人の振動体感の低減効果を加味したものであり、継続した民家への振動体感ヒアリングを考慮しながら、最短期間で当該区間を通過するための最適な進行長や薬量などの発破条件を模索した結果である。

4. 最適な起爆秒時差の検討

その後、TD1440付近では、斉発薬量を限界(0.4kg/孔)まで低減してもM5の振動速度の増加がみられたため、最適な起爆秒時差の検討を行った。図-4のように初めの4孔の秒時差を250msと長くすることで単発発破の波形を取得し、その単発波形の自己相関係数を求めた。自己相関係数とはある信号とそれ自身の相互相関であり、自己相関が最小となる秒時差が波形の重ね合わせが最も打ち消しあう最適な起爆秒時差となる。図-5の結果から、それまでの起爆秒時差7msから13msに変更した結果、振動速度が30%減少させることを確認できた。

5. まとめ

以上の最新技術の導入による制御発破の情報化施工を進めた結果、本トンネルでは、制御発破区間にもかかわらず月進122mと通常区間と遜色ない掘削進捗で突破することができ、工程短縮に大いに寄与することができた。

参考文献

- 1) 岩野圭太, 高精度電子雷管を用いた住宅地直下における環境負荷低減発破, 第24回トンネル工学研究発表会, I-35 (2014)
- 2) 新・公害防止の技術と法規 2010 騒音・振動編, p181 (2010)

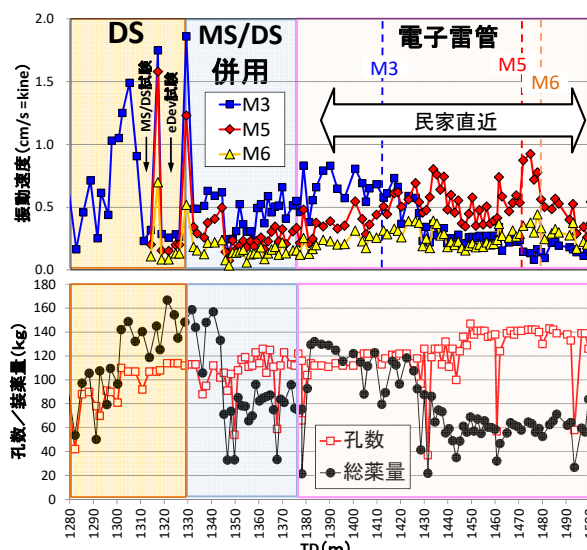
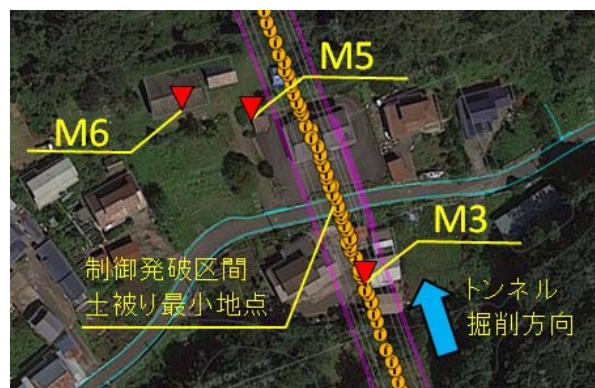


図-4 制御発破区間の振動と発破条件の変遷

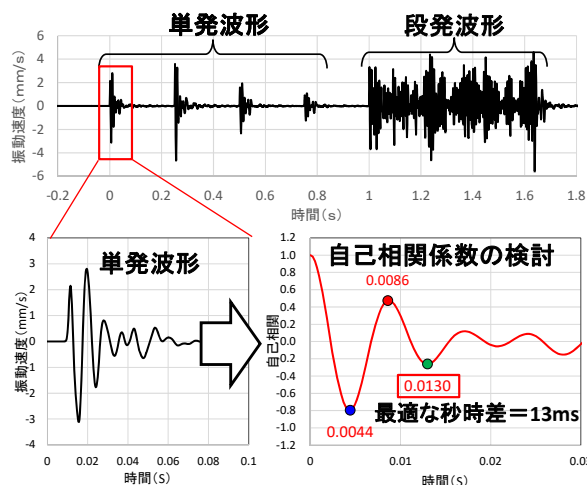


図-5 自己相関による最適秒時差の検討