

トンネル切羽の定量評価による掘削の合理化

松下 智昭^{1*}・宮嶋 保幸¹・犬塚 隆明¹・手塚 康成²

¹鹿島建設株式会社 技術研究所（〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1）

²鹿島建設株式会社 土木管理本部（〒107-8348 東京都港区赤坂6-5-11）

*E-mail: mattomoa@kajima.com

山岳トンネルでは目視観察を主体とした切羽観察によって地山状況を点数化し、その切羽評価点に基づいて選定した支保パターン毎に標準化されているパターンで施工している。一方、近年、高速掘進を目的として長孔発破が採用されることがある。この場合に安全を確保するためには、従来に比べて迅速かつ詳細に地山評価を評価し、長孔発破の可否を即時に判断することが求められる。そこで、装薬削孔時の穿孔データや切羽写真から迅速に切羽で長孔発破の可否を評価するシステムを開発した。

Key Words : drill logging, blasting, rock mass classificatuin

1. はじめに

山岳トンネルにおいて切羽の地質状況を評価することは、安全に作業し、合理的な支保パターンを選定するために最も重要である。そのため、日常管理として、1日に1度以上の頻度で切羽観察による地山評価を行うが、目視を主体とするものであり、個人差が生じてしまう。また、近年は高速掘進を目的として、2mを越える3～6m程度の長孔発破が採用されることがあるが、長孔発破を継続的に安全に行うためには、切羽状況の評価がこれまで以上に重要になり、かつ全ての切羽について迅速な判断が必要となる。しかしながら、このような判断を全ての切羽に対して行う事は現実的ではないため、判断を補助する評価方法が求められることとなる。

一方、切羽前方探査として活用されている削孔検層では、地山の硬軟を把握することができるため、発破の装薬削孔データを利用すれば切羽全面の硬軟の分布状況を把握できることが期待されていたが、従来は穿孔位置の特定が困難でデータの収集、解析に時間を要するため、実際の施工で適用することは現実的ではなかった。しかしながら、近年のコンピュータジャンボの普及に従い、削孔位置情報や穿孔情報は、容易かつ迅速に取得することができるようになっており、これらのデータを活用すれば、全切羽の硬軟分布を定量的かつ迅速に評価することが可能となった。

そこで、筆者らは装薬削孔の穿孔データの結果をリアルタイムに切羽で確認するシステムを構築するとともに、地山状況との相関について分析を行った。本論文では、

開発したシステムと穿孔速度による地山状況の評価について報告する。

2. 装薬削孔時の穿孔速度データを利用した切羽評価システムの構築

(1) 切羽評価システムフロー

システムの概要を図-1に示す。切羽の評価結果をリアルタイムに現場で確認できるようにするため、タブレットPCを利用した。装薬削孔時の穿孔データは1孔毎の穿孔位置と穿孔速度（m/分）がコンピュータジャンボに記録されるので、これらのデータUSBを介してタブレットPCに転送する。また、穿孔速度による切羽の硬軟評価に加え、タブレットPCには既開発の切羽写真を画像解析することで切羽の風化変質状況を判定するシステムを搭載し、その場で切羽の硬軟分布状況と風化変質の判定結果を確認できるシステムとした。

(2) 解析評価システムの概要

装薬削孔時の穿孔速度の分布状況を分かり易く示すため、図-2に示すような表示フォーマットを作成した。ここでは、左側に穿孔速度の分布状況を示し、右側に同切羽の写真と写真データから判定した風化変質の結果を示している。

穿孔速度は5m/分までの5段階と5m/分以上の異常値の6段階に色分けし、削孔位置に応じた穿孔速度分布と穿孔数を示した。また、左下には日常の切羽観察で切羽評

価点として評価する場合の評価区分と同じ『天端、左、右』の3つの領域ごとの穿孔速度の平均値を示し、右下には、当該切羽の穿孔速度のヒストグラムを示している。

図-2の例では、左肩に穿孔速度が速く赤色の分布が多く、右下に水色の穿孔速度の遅い分布を確認することができる。右側の切羽写真に発破後の切羽状況を黄色で追記しているように、左肩は脆弱な箇所では抜け落ちが発生し、右下には硬い岩が分布していることを確認できた。

これらの測定結果と切羽状況、坑壁の抜け落ち状況を比較しながら、穿孔速度による地山状況の評価方法について検討を行った。

なお、これらの処理は全てをタブレットPCで行うのではなく、タブレットPCではデータの収集と結果の表示を行うのみとし、場内のネットワークを通じて現場詰所に設置した専用のパソコンで解析を行っている(図-3)。このパソコンでは解析した結果を蓄積しているので、切羽のタブレットPCでは、過去の結果や推移を閲覧することが可能である。また、現場詰所のパソコンに蓄積したデータや結果は、ネットワークを通じて現場事務所や本社からもアクセスが可能のため、リアルタイムに現場の切羽状況を把握できるとともに、データの分析も迅速に行うことができる。

3. 穿孔速度による地山状況の評価

(1) 穿孔速度の平均値と地山評価点との関係

図-2に示したように、穿孔速度は切羽評価点の評価分布と同様に『天端、右、左』の領域に応じて平均値を算出している。これらの穿孔速度平均値と切羽観察による切羽評価点の相関を図-4に示す。

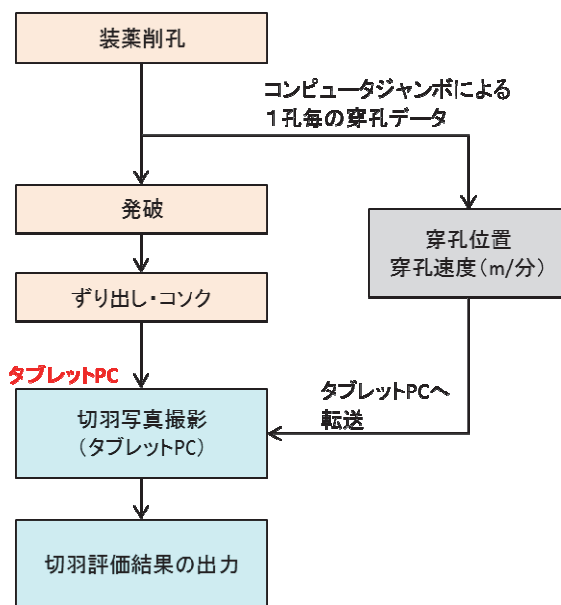


図-1 切羽評価システムフロー

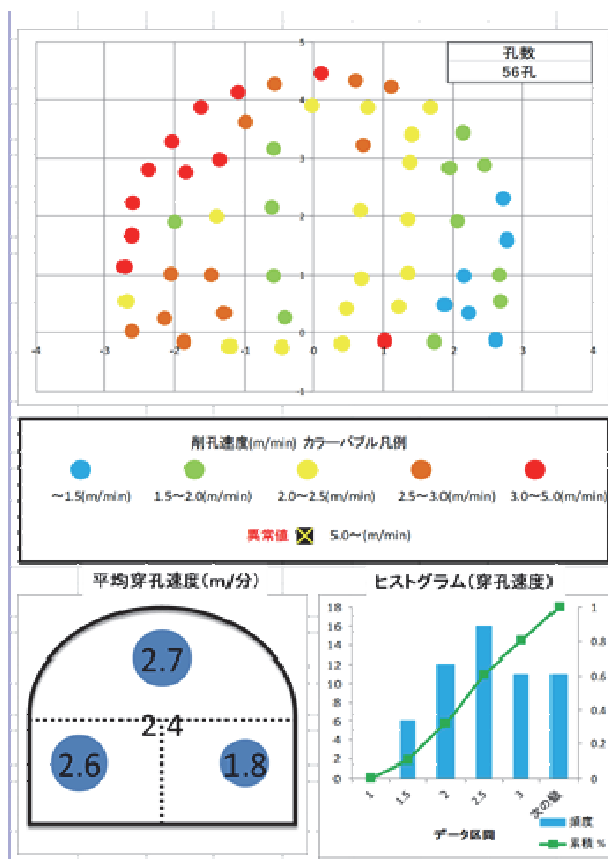


図-2 解析評価システムのアウトプット例 (右上写真の黄色のコメントは追記)

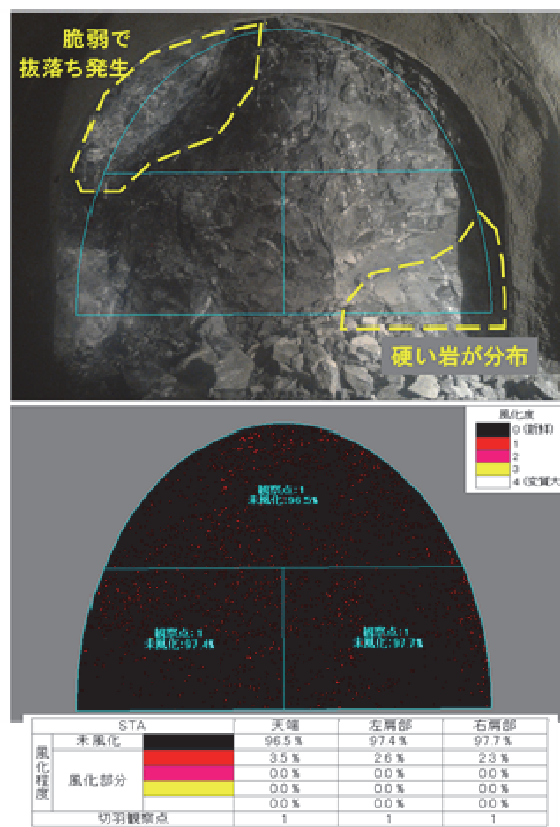


図-4から、バラツキはあるものの穿孔速度が大きくなると（速くなると）、地山評価点が小さくなる傾向を確認することができる。岩盤が軟らかい場合、穿孔速度が速くなるためであり、当然の結果ではあるが、穿孔速度により切羽を評価できる可能性を確認できた。

また、ここに穿孔速度が2m/分以上を境界として、切羽評価点が20点以下となるような箇所が多く分布しており、地山を評価する場合のしきい値となる可能性が考えられる。

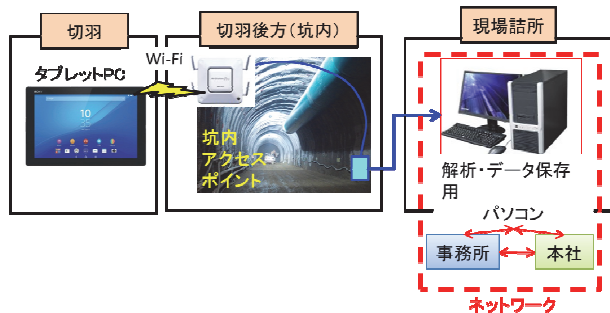


図-3 ネットワークを利用した解析評価システム

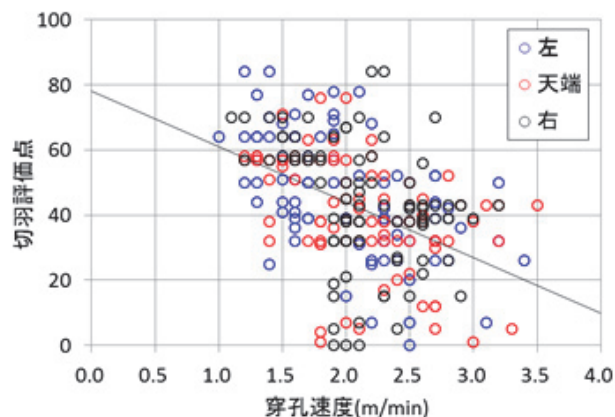


図-4 穿孔速度と切羽評価点の相関

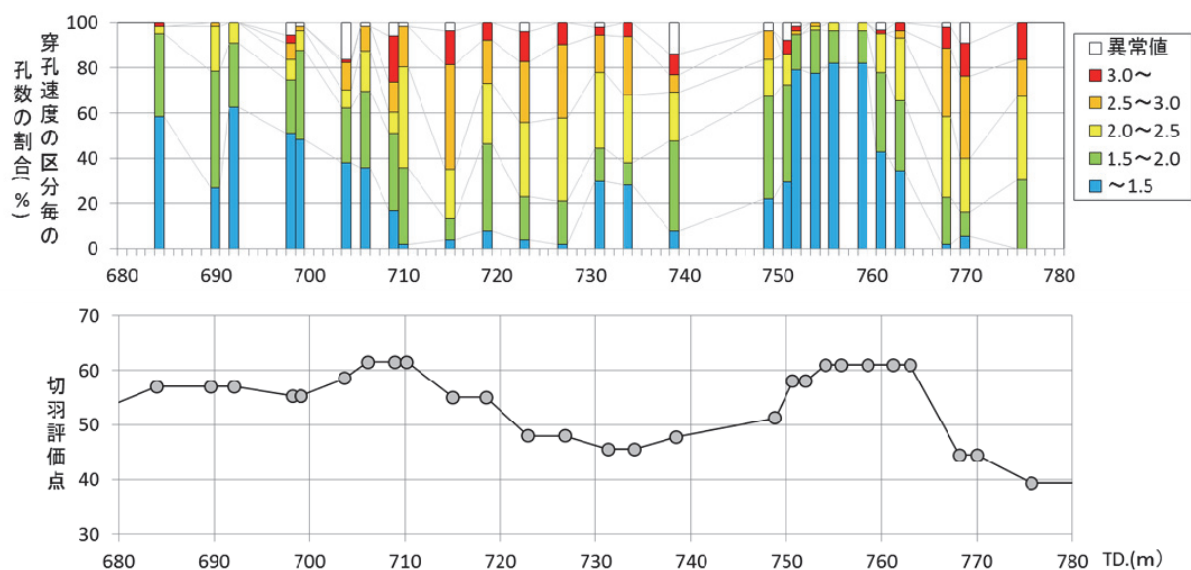


図-5 穿孔速度を6段階に区分した時の区分毎の孔数の割合と切羽評価点

(2) 穿孔速度の分布状況と地山評価点との関係

切羽に出現する地山の分布状況は、単純に穿孔速度を平均するだけでは評価することができない場合が考えられる。そこで、穿孔速度を6つの段階に区分し、一切羽で施工した穿孔全孔に対して、各段階の孔数の割合として整理した。例として、図-5の上にTD.680～780mの区間の結果を示す。これにより、一切羽の全孔数を100%として、切羽の硬軟の分布割合を穿孔速度の割合として示すことができる。すなわち、水色～緑色が穿孔速度2m/分以下の硬い岩盤の分布の割合を示しており、赤やオレンジは穿孔速度が速く、岩盤が軟らかい分布の割合を示している。また、図-5の下には切羽観察による切羽評価点を示した。なお、ここでの切羽評価点は、天端、左、右を加重平均により算出した切羽全体の評価点を示している。

切羽評価点を見るとTD.730m前後に評価点が低くなっている区間があり、TD.750m付近で評価点が高くなった後、再度、TD.765m付近から評価点は非常に低くなっている。これらの状況を穿孔速度の分布状況と比較すると、棒グラフの水色の高さ（穿孔速度が1.5m/分以下）の推移あるいは、水色～緑色の高さ（穿孔速度が2.0m/分以下）の推移と整合的であることが見られる。

そこで、穿孔速度2m/分以下の分布割合に着目することとした。図-6は、穿孔速度2m/分以下の孔数の割合と切羽評価点の関係を示したものである。すなわち、装薬削孔時の全ての穿孔孔に対して、穿孔速度が比較的遅い2m/分となるような、硬い岩盤の分布の割合を示しており、切羽に比較的硬い岩の分布が多い場合には、ここに示す割合は大きな値を示すこととなる。

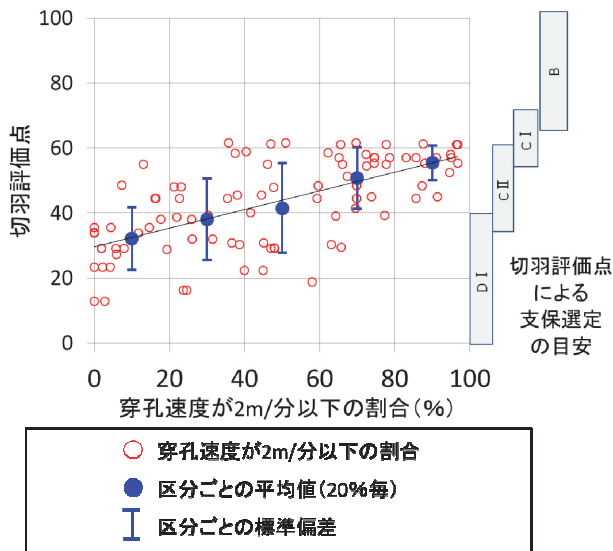


図-6 穿孔速度2m/分以下の分布と切羽評価点

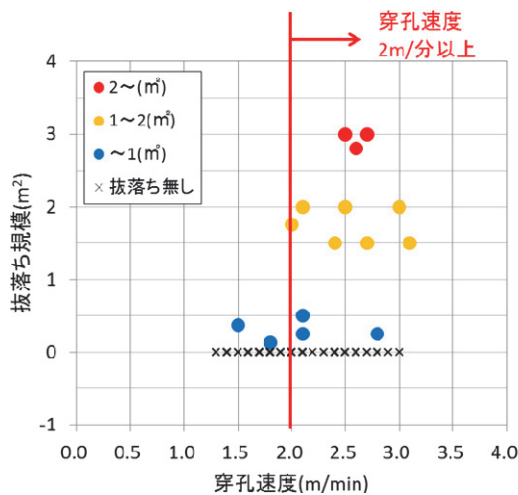


図-7 穿孔速度と素掘り面の抜け落ちの発生

また、図には20%毎に5つの区分を設定し（0～20%、20～40%、40～60%、60～80%、80～100%）、それぞれの区分毎の切羽評価点の平均値と標準偏差を示し、グラフの右側には、『切羽評価点による支保選定の目安』を示した。今回のデータは、全てCIIパターン区間のみのデータではあるが、穿孔速度が2m/分以下の分布状況と切羽評価点に相関を確認することができる。また、分布の割合が60%以上となる場合には、標準偏差も小さくなり、切羽状況が良好である可能性を高い確率で判定できるものと考えられる。

(3) 穿孔速度による坑壁の安定性の判定

長孔発破の可否を判定するためには、発破後の素掘り面の安定を予測することが重要となる。図-7に、発破後の素掘り面の抜け落ち規模と穿孔速度の関係を示した。ここで示す穿孔速度は1切羽の全孔の平均値である。抜

け落ちに

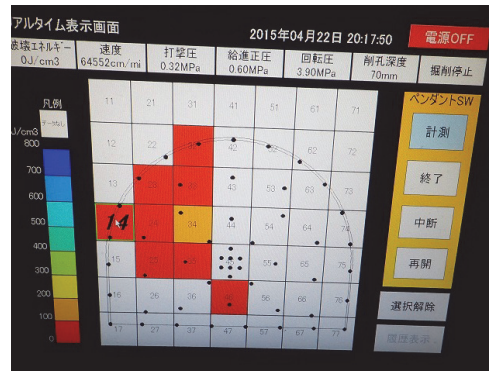


写真-1 タッチパネル式の装薬削孔測定・表示システム

は発破時の小規模なものもあるため、 1m^3 を超えるような抜け落ちに着目した場合、穿孔速度の平均値が2m/分以上の場合に発生していることが分かる。今後のデータの収集と坑壁状況の比較と分析が必要ではあるが、穿孔速度により発破後の素掘り面の安定性について予測する可能性を確認することができた。

4. 一般的なジャンボでの適用システム

これまでに報告したシステムは、コンピュータジャンボを利用することで穿孔位置や穿孔速度を容易に得ることができた。しかしながら、一般的なドリルジャンボでの適用は困難である。そこで、タッチパネル式の装薬削孔データ収集装置を開発し、試験適用を実施中である（写真-1）。これは装薬削孔時の削孔データをリアルタイムに計測するとともに削孔位置を特定するため、切羽を示したモニターにタッチすることで、タッチした場所に削孔データを記録するものである。削孔の結果は、穿孔速度や破壊エネルギー係数の大小に応じた色で表示される。モニターには $7 \times 7 = 49$ のグリッドに分かれており、一つのグリッドには複数のデータも蓄積して平均値として示すことができる。

当システムは、ドリルジャンボのオペレータ席に設置し、1孔毎に穿孔を始める前にパネルをタッチすることでデータの蓄積が開始される。今後、当システムの活用と分析を進める所存である。

5. おわりに

装薬削孔時の穿孔速度を利用した切羽評価システムを開発し、切羽評価や発破後の坑壁の安定性の評価に活用できる可能性を確認した。今後、さらにデータを収集、分析し、より精度を向上して実用化を図りたい。

参考文献

- 1) 戸邊勇人，宮嶋保幸，山本拓治，白松久茂，岩村武史，中村祐，岩熊真一：山岳トンネル切羽の風化変質判定システムの開発-切羽観察での適用例-，土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集，pp.85-86，2014.

RATIONALIZATION OF EXCAVATION BY QUANTITATIVE EVALUATION OF THE TUNNEL FACE

Tomoaki MATSUSHITA, Yasuyuki MIYAJIMA, Takaaki INUZUKA
and Yasunari TEZUKA

The mountain tunnel scored the geological conditions by face observed mainly in a visual observation , and are constructed in a pattern that has been standardized for each support-pattern that was selected on the basis of the face evaluation point . In recent years , there is the long hole blasting is employed for the purpose of fast excavation . This in order to ensure safety in the case , as compared with the prior method to evaluate quickly geological evaluation , it is required to determine whether the long hole blasting immediately. So , we have developed a system to quickly be evaluated by the face drilling data and face photos.