

トンネル外周装薬孔の削孔差し角が余掘り低減に及ぼす効果の検討

(株) 奥村組 正会員 ○塚本 耕治 正会員 浜田 元

1. 目的

山岳トンネル工事において、発破掘削時の余掘りを低減することは、施工の効率性や経済性を向上するうえで重要である。そのためには、地山状況に応じて装薬孔の配置（孔数や孔間隔）や削孔の差し角を適切に調整する必要がある。ここでは、余掘りに影響する外周孔を対象に余掘りを低減する差し角の計算方法についてコンピュータジャンボの削孔位置データと 3D スキャナーによる掘削面の点群データを用いて検討を行った。

2. 余掘りを低減する削孔差し角の計算方法

コンピュータジャンボでは、図-1 に示すとおり、搭載した各種センサーを用いて削孔位置や差し角などの削孔位置データを計測するほか、削岩機の油圧や削孔速度などの削孔データから地山状態の評価指標である削孔エネルギーの 3 次元分布を求めることができる。また、発破掘削後には、3D スキャナーにより計測した切羽掘削面の点群データを用いて出来形を管理する場合がある。トンネル現場で計測した削孔位置データや掘削面の点群データを用いて図-2 に示す計算フローにより余掘りを低減する削孔差し角の計算方法を検討した。以下に計算フローの概要について述べる。

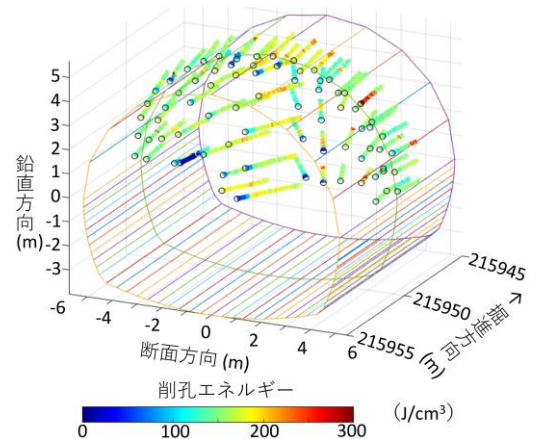


図-1 削孔エネルギーの3次元分布

①外周削孔面の作成

トンネル上半部における装薬孔の削孔位置の横断面座標をもとに図-3 のように外周と内側の削孔に分け、外周削孔のうち削孔開始位置の横断面水平方向の座標が最大となる削孔を起点（削孔 No.1）、最小となる削孔を終点（削孔 No.22）として番号付けをする。図-4 のように削孔長を1辺の長さとする四角形の面を作成し、外周削孔面を作成する。

②外周削孔面の分割による計算対象領域設定

各孔の発破による影響を削孔間の中間までと考え、外周削孔面を図-5 のように削孔間（例えば、削孔 No.1 と削孔 No.2）の midpoint で分割する。分割した四角形の頂点を通る面に垂直な線で構成される六面体を計算対象領域に設定する。

③計算対象領域内にある掘削面の点群抽出

計算対象領域内にある掘削面の点群（赤点）を抽出する。

④外周削孔面と掘削面の距離および掘削体積を計算

図-5 に示すとおり、掘削面の点群の各点から外周削孔面へ垂線を引いて交点距離を計算する。外周削孔面と掘削面の領域を四面体に分割することにより体積（掘削体積）を求める。

⑤掘削計画断面の 3D モデルに点群生成

掘削計画断面の 2 次元座標をもとに掘削進行方向に 1 掘進長分の幅を持った掘削計画断面の 3D モデルを作成し、図-6 のように掘削計画断面上に 1~2cm 間隔の点群（緑点）を発生させる。

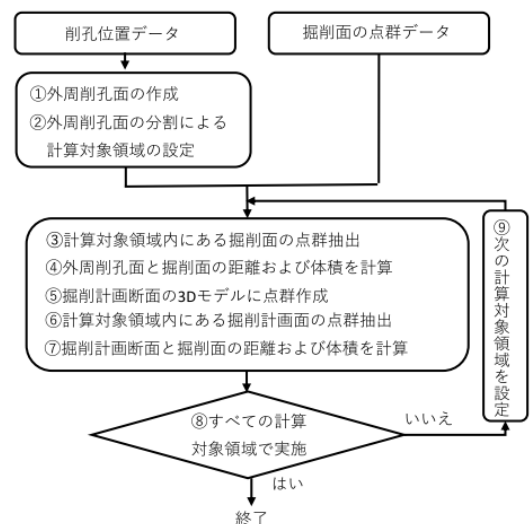


図-2 余掘り低減する削孔差し角の計算フロー

キーワード コンピュータジャンボ, 余掘り低減, 3D スキャナー, 点群, 差し角

連絡先 〒300-2612 茨城県つくば市大砂 387 (株) 奥村組 技術本部 技術研究所 TEL 029-865-1521

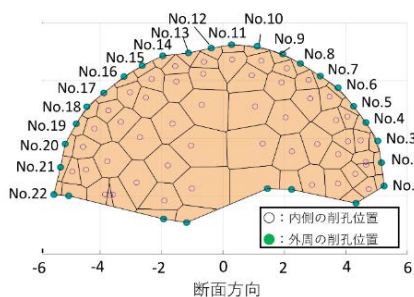


図-3 切羽面外周削孔位置の自動検出

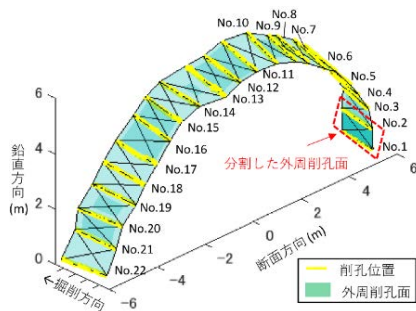


図-4 切羽面外周の削孔位置から外周削孔面を作成

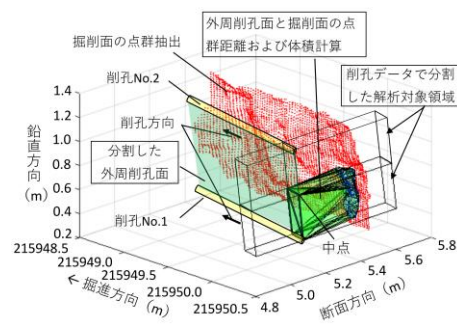


図-5 分割した外周削孔面と掘削面点群間の距離と体積計算

⑥計算対象領域内にある掘削計画面の点群抽出

②で設定した計算対象領域を用いて領域内にある掘削計画面の点群（図-6 のピンク点）を抽出する。

⑦掘削計画面と掘削面の距離および体積を計算

図-7 のように③で抽出した掘削面の点群と⑥で抽出した掘削計画面の点群を用いて余掘り量（掘削計画面と掘削面間の距離と体積）を計算する。2つの計算対象領域（削孔 No1 と削孔 No22 は1つ）から作る各孔の対象範囲内（図-7 の分割面で挟まれた範囲）にある掘削計画面と掘削面の距離が最小（赤の線）となる最小余掘り距離(d)を求める。この最小余掘り距離を任意の値に設定し、外周削孔面と掘削面の距離は変わらないように最小余掘り距離の変化に応じて削孔開始位置を中心に掘削面の点群と削孔位置を回転させる。回転後の削孔位置から削孔の差し角、掘削面の点群と掘削計画面の点群から余掘り量を求める。なお、最小余掘り距離が設定した値より小さい場合は、各削孔の対象範囲内の掘削面の点群および削孔の差し角を変更しないとした。

⑧⑨外周のすべての計算対象領域で実施

計算対象領域を変更して外周のすべての削孔（No.1～削孔 No.22）について③～⑦の計算処理を行う。

3. 計算結果

トンネル掘削面の点群データから求めた余掘り量（実績値）と施工誤差を考慮して最小余掘り距離 d を 5cm として計算した余掘り量の比較を図-8 に示す。差し角を変更した場合（図-8(b)）は変更前（図-8(a)）と比較して両肩部付近が寒色に変化して、余掘りが低減していることがわかる。上半外周部の余掘り量は全体の 15%に相当する 0.85m^3 が減少する結果になった。

4. まとめ

削孔の位置データと掘削面の点群データから求めた最小余掘り距離を用いて、削孔差し角を適切に設定することで余掘り低減に寄与することがわかった。今後、余掘りを低減する差し角の計算方法をトンネル現場に適用し、余掘り低減の効果を確認したいと考えている。

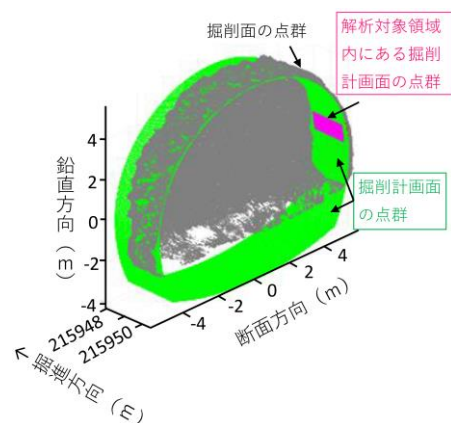


図-6 掘削計画面と掘削面の点群

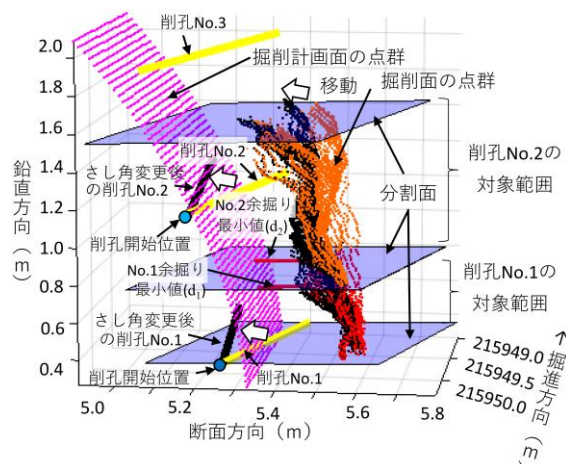
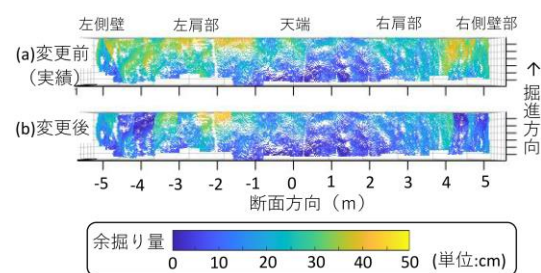


図-7 最小余掘り距離(d)による削孔の差し角変更

図-8 余掘り量の実績と削孔の差し角変更による計算余掘り量の比較（ $d=5\text{cm}$:平面図）