

コンピュータジャンボの削孔データ一元管理及び活用

削孔データの共通形式化, データベース構築, 及び地山強度分布の推定

UNIFIED MANAGEMENT METHOD AND UTILIZATION FOR DRILLING DATA FROM A COMPUTER-CONTROLLED DRILL JUMBO

Conversion of Drilling Data to a Common Format, Database Construction, Estimation for Distribution of Ground Strength

若竹亮^{*1}, 巽義知^{*1}, 関根一郎^{*2}

Ryo WAKATAKE, Yoshitomo TATSUMI and Ichiro SEKINE

Currently, the construction industry is introducing new construction management using ICT to alleviate labor shortages and improve working conditions, and the development of automated construction technology for each construction cycle is also underway in the construction of mountain tunnels. With the introduction of computer-controlled drill jumbos in recent years, it has become possible to obtain data on drilling into the ground during blasting and rock bolt installation. Calculating the drilling energy from this drilling data makes it possible to estimate ground strength, and it is expected that this data will be used in construction automation technology such as estimating the geological features ahead of the tunnel face and blasting design. However, because the output format of this drilling data differs depending on the manufacturer, there is a problem that it is difficult to access the data and compare data from multiple sites. In addition, as BIM/CIM is becoming the norm, it is expected that the centralization of construction data into the BIM/CIM model will become essential.

In this study, from the perspective of efficiently utilizing the drilling energy that can be calculated from drilling data, we identified the differences in data output formats that exist between machinery manufacturers and established a unique common data format that can eliminate these differences. We also developed a centralized management method that makes it easy to compare, analyze, and utilize the drilling data by converting the drilling data output from each machinery manufacturer's computer-controlled drill jumbo into a common data format and accumulating it in a database using cloud services.

Furthermore, as a way to utilize drilling data, we investigated a method for visualizing ground strength by calculating the 3D distribution of drilling energy from the drilling data, and also conducted verification to attempt to reproduce the actual ground properties by comparing it with tunnel face photographs of the measurement points and examining interpolation processing methods.

Keywords: Computer Drilling Jumbo, Excavation Data, Common Format, Database, Drilling Energy, BIM/CIM

コンピュータジャンボ, 削孔データ, 共通形式, データベース, 穿孔エネルギー, BIM/CIM

1. 開発の背景

現在, 建設業界では人手不足の解消や労働環境改善の必要性から ICT 技術を活用した新しい施工管理の導入が進められている。山岳トンネルの分野においては, 近年コンピュータジャンボ (図 1) やロックボルト自動打設機 (図 2) が開発されており, 油圧センサやブームの角度センサを搭載することで, 発破時やロックボルト打設時の削孔データを記録することができるようになった。削孔データは, 打撃圧や削孔速度といった各削孔の実績データとそれらのデータに紐づく座標情報で構成されている。この削孔データから算出可能な穿孔エネルギーは単位体積あたりの地山を削孔するために削岩機が要したエネルギーであり, 地山強度情報を推定することが可能である¹⁾。地山の変化をいち早く把握し, 早急に対策を講じて切羽を安定化させることで, 切羽災害のリスクを低減できるといえる。しかしながら削孔データは各施工機械メーカーで出力形式に差異があり, 必要なデータへのアクセスや複数現場の比較が困難であることが問題と

なっていた。

そこで本研究では, 穿孔エネルギー活用の観点から削孔データの出力形式の差異について把握し, それらの差異を解消できる共通の形式を設定するとともに, クラウドサービスを利用した統一的数据ベースを構築した。



図 1 コンピュータジャンボの例

*1 戸田建設(株)技術研究所 修士 (工学)

*2 戸田建設(株)技術研究所 博士 (工学)

Technology Research Institute, TODA CORPORATION, M.Eng.

Technology Research Institute, TODA CORPORATION, Dr.Eng.



図2 ロックボルト自動打設機

また削孔データの活用として、穿孔エネルギーの3D分布モデルを作成して地山強度分布の把握を試み、実際の切羽性状との整合性について検証を行った。

2. 削孔データの共通形式化

削孔データの国際データ交換基準として IREDES (International Rock Excavation Data Exchange Standard) がある。この形式では1切羽につき1つのレポート (quality reports) と1削孔ごとのMWD (Measurement-While-Drilling) データがそれぞれXML形式で記録される。山岳トンネルの施工では1回の発破において多数の削孔を行うため、構成するファイルが煩雑となる。そのため独自のファイル形式を設定し、データ変換することで共通形式への整理を行った。

施工機械メーカーA社、B社、C社の各社のコンピュータジャンボの削孔データに関して出力形式の一例を図3に示す。削孔データの出力形式は、穿孔エネルギーの活用に必要な項目においては、(1) ファイル構成、(2) 削孔位置座標の取り方、(3) 穿孔エネルギーの出力の有無に差異がある。以下では(1)～(3)の差異の詳細と、それを受けて設定した共通形式を示す。

(1) ファイル構成

各社の削孔データは、それぞれ各削孔の位置情報等の①Indexデータと、削孔中の各種計測値等の②MWDデータの2種類のデータで構成されるが、これらのデータの出力ファイル数は各社で異なっている。①IndexデータではA社、B社が1切羽に1ファイルであるが、C社では1切羽に3ファイルとなっている。②MWDデータではA社が1切羽に1ファイルであるが、B社、C社では1回の削孔ごとに1ファイル、つまり1切羽に複数ファイルとなっている。共通形式では、データを集約して①Indexデータと②MWDデータをそれぞれ1切羽に1ファイルとなるように設定した。

(2) 削孔位置座標の取り方

各社における削孔位置情報はLocal座標系とGlobal座標系の2種類の座標系で記録されている。Local座標系は各切羽平面に水平直角な座標系であり、各切羽に1つ

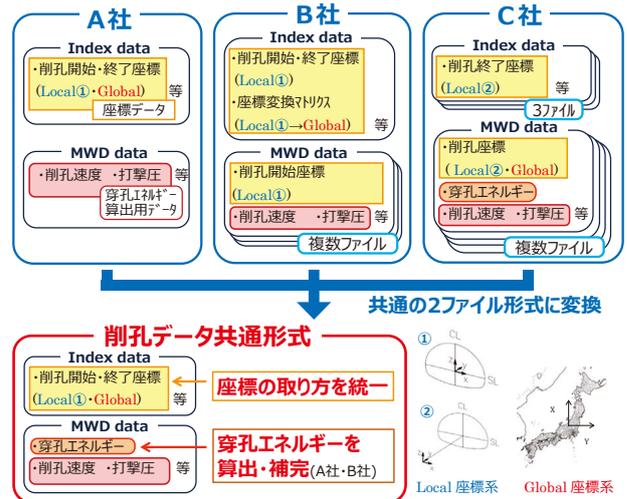


図3 メーカー各社の出力形式の一例と本研究の共通形式

設定されている。Global座標系は国土交通省が定める平面直角座標系で設定されている。Local座標系の軸の設定は各社で異なっている。A社、B社ではトンネル中心線 (CL) と、上半と下半を分ける線 (SL) の交点を原点としている。C社ではトンネル線形を直線とみなしたときの路線の起点を原点としている。また、A社、C社では座標情報はLocal座標系とGlobal座標系の両方で記録しているが、B社ではLocal座標系とともにLocal座標系からGlobal座標系への変換マトリクスを記録している。A社はIndexデータのみで座標データが記録されるが、B社、C社はIndexデータとMWDデータの双方に座標データが記録される。共通形式では、構成が単純で取り扱いやすいA社の形式に合わせ、CLとSLの交点を原点としたLocal座標系の座標と、Global座標系の座標をIndexデータに記録するように設定した。

(3) 穿孔エネルギーの出力の有無

C社ではA社、B社とは異なり、独自の手法で穿孔エネルギーを算出してMWDデータに記録している。共通形式ではA社、B社についても穿孔エネルギーを算出して補完するように設定した。この際に式(1)(2)を使用した²⁾。

$$\begin{aligned} \text{穿孔エネルギー } E_d (\text{J}/\text{m}^3) \\ = \frac{\text{打撃エネルギー } E_p (\text{J}) \times \text{打撃数 } C_p (\text{Hz}) \times \text{損失係数 } K}{\text{穿孔速度 } V_d (\text{m}/\text{s}) \times \text{孔断面積 } S (\text{m}^2)} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{打撃エネルギー } E_p (\text{J}) \\ = \text{ピストン受圧面積 } A (\text{m}^2) \times \text{ピストンストローク } L (\text{m}) \\ \times \text{打撃圧 } P_p (\text{kgf}/\text{m}^2) \times 9.80665 (\text{J}/\text{kg} \cdot \text{m}) \end{aligned} \quad (2)$$

3. クラウドサービスを活用したデータベース構築

施工機械から日々出力される削孔データは膨大な量であり、これを整理するのは多大な労力がかかる。省力

化のためにデータ収集を簡素化する仕組み作りが重要だといえる。そのため汎用的なクラウドサービスを活用して、前述の共通形式に変換したデータを整理する削孔データベースを構築した。またコンピュータジャンボから出力された削孔データを、クラウド上の削孔データベースにアップロードできるように坑内無線ネットワークとインターネットを介したネットワークを構築した(図4)。これにより、ネットワークを介してデータを登録・管理することができ、現場職員以外に本社や支店の職員もデータ管理が可能となった。

4. 穿孔エネルギー3D 分布モデルの作成

コンピュータジャンボ等の施工機械で収集した打撃圧・削孔速度等の削孔データより算出される穿孔エネルギーから地盤強度を推定する手法が知られている³⁾。削孔地点以外の箇所の穿孔エネルギーを3次元で補間処理し、発破削孔時の切羽全面における穿孔エネルギー3D分布モデルを作成することで、地山強度分布の把握を試みた。3D分布モデルの作成手順は以下の通りである(図5)。

- 1) 削孔地点の穿孔エネルギーを算出
- 2) 対象地盤を3Dメッシュで分割
- 3) 各メッシュにおける穿孔エネルギーを削孔地点のものから3次元で補間処理して算出
- 4) 穿孔エネルギー3D分布のソリッドモデルを作成
- 5) ソリッドモデルの中間ファイル(.sat)を出力
- 6) 汎用CADに中間ファイルをインポート

なお、この3D分布モデルはBIM/CIMモデルにおいて他の施工データと統合することを想定している。

5. 穿孔エネルギー分布の検証

穿孔エネルギー3D分布を作成する際の補間処理の方法は、メッシュから削孔地点までの距離に応じて重み付

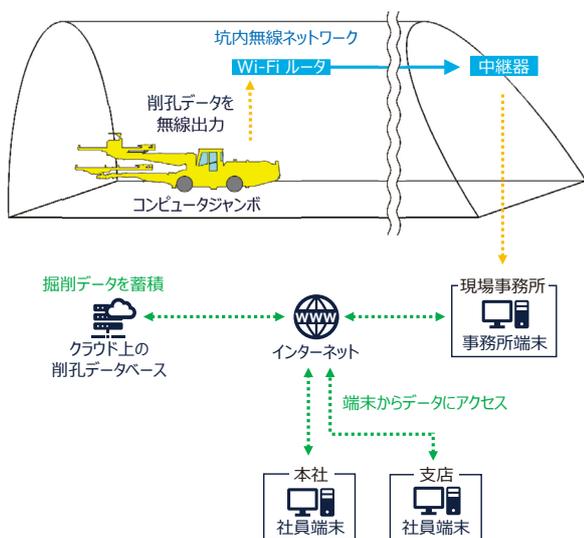
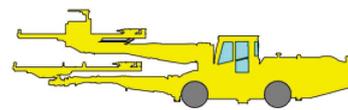


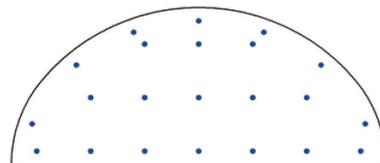
図4 削孔データ管理ネットワーク



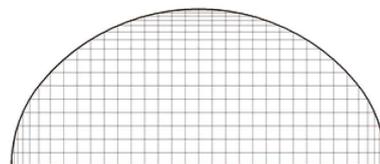
↓ 出力データ (.CSV等)

穿孔エネルギー3Dデータ 作成プログラム

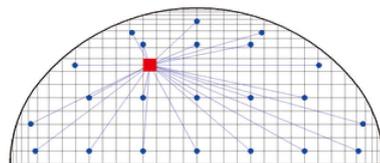
- 1) 削孔地点の穿孔エネルギーを算出



- 2) 対象地盤を3Dメッシュで分割



- 3) 各メッシュにおける穿孔エネルギーを3次元で補間処理、算出



- 4) 穿孔エネルギー3D分布のソリッドモデルを作成



- 5) ソリッドモデルの
中間ファイルを出力

汎用3D CADソフト

- 6) 中間ファイルをインポート

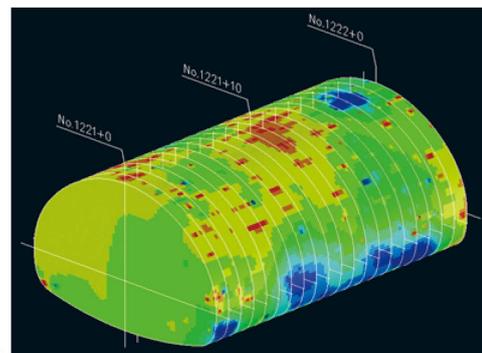


図5 穿孔エネルギー3D分布モデル

けを行う逆距離加重法 (Inverse Distance Weighting) とした。重み付け係数は (A) 削孔地点からの距離の逆数, (B) 削孔地点からの距離の逆数の2乗, (C) 削孔地点からの距離の逆数の4乗, の3パターンとした。切羽の脆弱部では地山強度は小さくなり, 地山を破碎するために必要なエネルギーである穿孔エネルギーも小さくなると考えられる。(A) ~ (C) についてそれぞれ切羽写真との比較を行い, 脆弱部が再現されるか確認した。(A) ~ (C) のときの穿孔エネルギー分布図を図6の(A) ~ (C) に示す。

図6の切羽写真では右肩部に局所的な脆弱部が存在している。(A) (B) の右肩部では周辺とほとんど変わらない値となったが, (C) の右肩部では周辺と比較して値が小さい箇所が生じた。(A) (B) で値が小さい箇所が

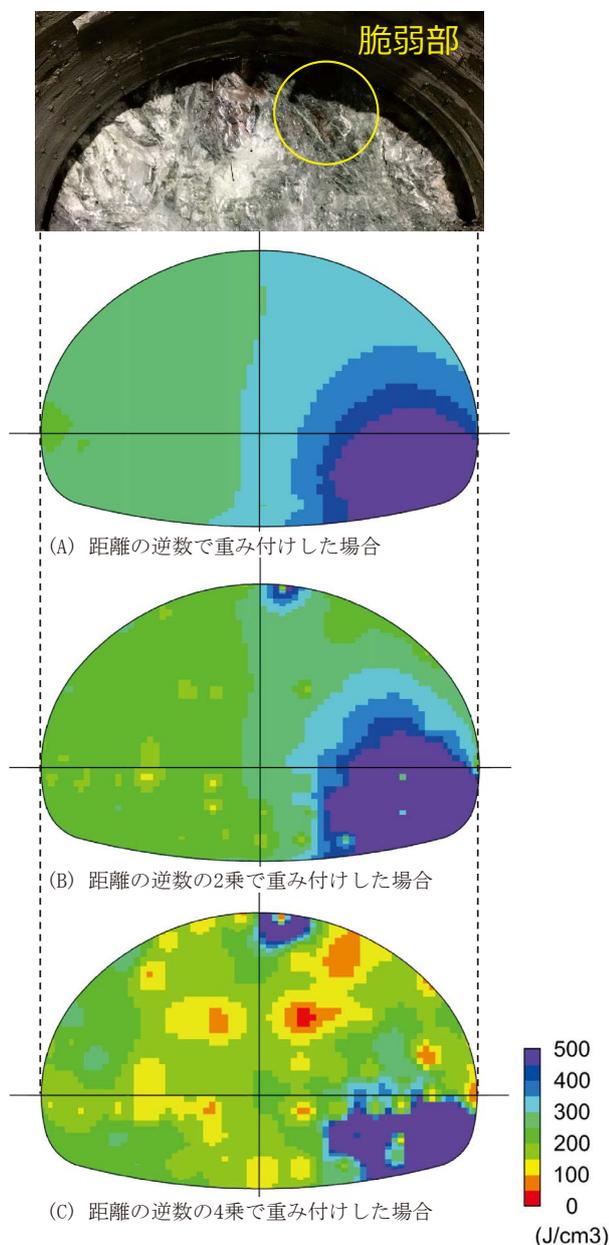


図6 穿孔エネルギー 3D 分布の検証

生じなかったのは, 脆弱部付近において, 関係性の少ない遠方にある削孔地点の値が, 重み付け係数に (C) と比較して大きく, 色濃く反映されたためと考えられる。

穿孔エネルギーが小さいほど地山強度も小さいと推定できるため, (C) の重み付け係数で作成した穿孔エネルギー3D分布は, 右肩部の脆弱部を反映しているといえる。そのため (C) の重み付け係数を用いた補間処理方法は適当であるといえる。

6. まとめ

施工機械メーカー3社のコンピュータジャンボの削孔データについて出力形式を把握し, 穿孔エネルギー活用に必要な項目に関しては, (1) ファイル構成, (2) 削孔位置座標の取り方, (3) 穿孔エネルギーの出力の有無に差異があることを確認した。それを受け, 共通の形式として (1) はデータを集約して1切羽に Index データと MWD データをそれぞれ1ファイルとなるよう設定した。(2) は CL と SL の交点を原点とした Local 座標系の座標と, Global 座標系の座標を Index データに記録するように設定した。(3) は穿孔エネルギーが出力されない2社のものについても穿孔エネルギーを算出して補完するように設定した。

またコンピュータジャンボの削孔データを上記の共通形式に変換し, 汎用的なクラウドサービスを用いてデータベースを構築した。このデータベースは収集した削孔データから算出される穿孔エネルギーを他のシステムと連携することを想定している。

削孔データの活用として, 削孔データから算出した穿孔エネルギーを用い, 発破削孔時の切羽全面における穿孔エネルギー分布モデルを作成することで, 地山強度分布の把握を試みた。同モデルにおいて, 削孔地点以外の箇所の穿孔エネルギーは3次元で補間処理した。補間処理の方法は, 用いる重み付け係数を変えた3パターンについて試し, 実際の切羽性状との整合性を検証した。その結果, 補間処理の重み付け係数を削孔地点からの距離の逆数の4乗とすることで, 切羽に存在した局所的な脆弱部を反映でき, 実際の切羽性状を反映できることを確認した。今後は他の補間処理法についても検証を行い, より再現性の高い処理方法を検討していく。

参考文献

- 1) Teale, R.: The concept of specific energy in rock drilling, Int. J.Rock, Mech.Min.Sci., Vol. 2, pp. 57-73, 1965.
- 2) 木村哲・山下雅之・西山哲: ぜい弱地山における穿孔探査法の適用, 材料, Vol.52, No.5, pp.494-499, 2003
- 3) 山下雅之・石山宏二・福井勝則・大久保誠介: さく岩機のさく孔効率和岩盤特性についての検討, 第41回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.1~6, 2012.