

## 山岳トンネル施工における削孔データ一元管理手法の開発

戸田建設（株） 正会員 ○若竹 亮  
 戸田建設（株） 正会員 関根一郎  
 戸田建設（株） 正会員 巽 義知

### 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。山岳トンネルにおいては、コンピュータジャンボ（図-1）やロックボルト自動打設機から得られる発破やロックボルト打設時の削孔データが活用されている。削孔データより得られる穿孔エネルギーから地山強度情報を推定することが可能であり、例えば発破削孔時の切羽全面における穿孔エネルギーを空間的に補間処理することで地山強度の 3D 分布を把握することができる（図-2）。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した。

### 2. 削孔データの共通形式化

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ついて、出力形式の一例を図-3 に示す。出力形式には上記の通り差異があり、穿孔エネルギーの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。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。



図-1 コンピュータジャンボ

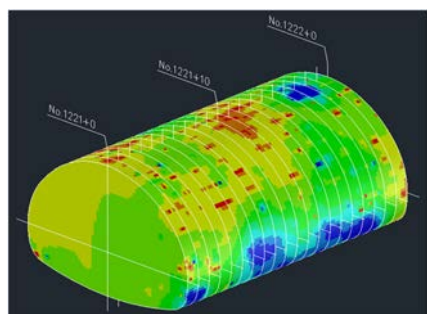


図-2 地山強度の 3D 分布

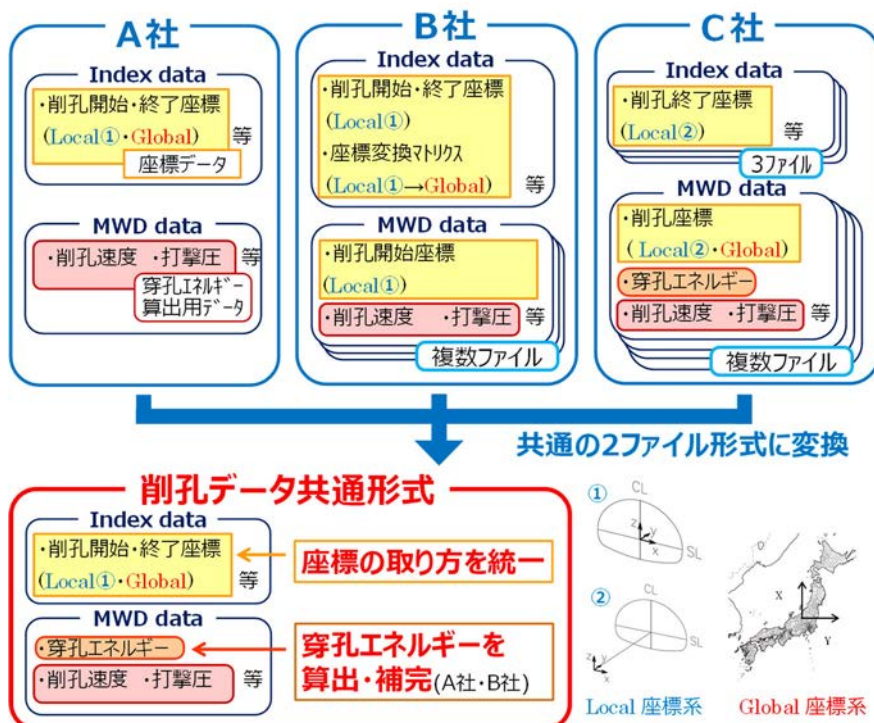


図-3 メーカー各社の出力形式の一例と本研究の共通形式

キーワード 削孔データ, 共通データ形式, コンピュータジャンボ

連絡先 〒104-0032 東京都中央区八丁堀二丁目9番1号 RBM 東八重洲ビル6階  
 戸田建設(株) 技術研究所 TEL03-3535-2641

### (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 1 切羽に①Index データと②MWD データそれぞれ 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 つ設定されている。Global 座標系は国土交通省が定める測地系上の座標で設定されている。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 (図-3 中の Local 座標系①)。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 (図-3 中の Local 座標系②)。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 データにのみ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。この際以下の式を使用した<sup>2)</sup>。

$$\begin{aligned} \text{穿孔エネルギー } E_d(\text{J/cm}^3) &= \frac{\text{打撃エネルギー } E_p(\text{J}) \times \text{打撃数 } C_p(\text{bpm}) \times \text{損失係数 } K}{\text{穿孔速度 } V_d(\text{cm/min}) \times \text{孔断面積 } S(\text{cm}^2)} \\ \text{打撃エネルギー } E_p(\text{J}) &= \text{ピストン受圧面積 } A(\text{cm}^2) \times \text{ピストンストローク } L(\text{m}) \\ &\quad \times \text{打撃圧 } P_p(\text{kgf/cm}^2) \times 9.80665(\text{J/kg} \cdot \text{m}) \end{aligned}$$

## 3. 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確認し、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把握した。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 2 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。

今後は共通形式化した削孔データを活用して、発破設計や BIM/CIM モデルへの統合、他のシステムとの連携によるリアルタイム施工管理等を行うことで、施工の合理化や自動化を進めていく。

### 参考文献

- 1) 若竹亮, 関根一郎, 三上英明, 生島直輝: 山岳トンネル施工における削孔データ形式の共通化、及び地山強度分布推定法の検証, 土木学会第 77 回年次学術講演会, VI-810, 2022.9
- 2) Teale, R. : The concept of specific energy in rock drilling, Int. J.Rock, Mech.Min.Sci., Vol. 2, pp. 57~73, 1965.