

HEP & JES 工法における転石対応掘削装置の開発

鈴木唯夫*1・山村康夫*2・千々岩三夫*3

概 要

HEP & JES 工法では、掘削地盤中に掘削断面に対して大きな転石（ ϕ 400～800mm 程度）が出現するケースが多く、現状は、切羽において人力によりピック、ブレーカで小割するなどして撤去・搬出している。この転石処理は、労力や時間を要するだけでなく、狭隘な空間での作業は時に危険を伴う場合があるため、転石処理を安全かつ効率的に行う方策が望まれていた。

本開発は、 ϕ 400mm 以上の転石が出現する地山を対象に、安全および効率的に転石を割岩、撤去処理できる転石対応掘削装置を開発することを目的に、平成17年度から開発を進めてきた。

転石の割岩方法は実績の多い「セリ矢方式」を採用した。掘削装置としては、油圧のハンドリングアームに装備した削孔装置（油圧削岩ドリル）と balancer で把持した小型油圧割岩機を組み合わせ、転石対応型刃口として実用性の高い装置を試設計した。

キーワード：転石対応掘削装置、玉石、割岩方法、転石処理

DEVELOPMENT OF AN EXCAVATION SYSTEM READY TO REMOVE BOULDERS
APPEARING IN THE HEP & JES METHOD

Tadao SUZUKI *1, Yasuo YAMAMURA *2, Mitsuo CHIJIWA *3

Abstract

During construction by the HEP & JES method, boulders (approximately 400 mm to 800 mm in diameter) are often encountered in the ground, which are very large in comparison with the excavating cross section. Currently, boulders are broken by manual labor using picks and breakers on the face to carry them out. This process is time and labor-consuming and possibly dangerous since the work must be done in a confined space. There has been therefore a need for a method of removing boulders in a safe and efficient manner.

This study has been conducted since fiscal 2005 in an aim to develop an excavation system that safely and efficiently breaks and removes boulders from the ground where boulders 400 mm or larger are present.

The wedge method that has been widely used was adopted for breaking boulders. An excavation system was designed by combining a drilling system mounted on a hydraulic handling arm (i.e. a hydraulic rock drill) and a small-sized hydraulic rock breaker held with a balancer. This system is very practical for cutting boulders.

Keywords: excavation system for boulders, cobbles, rock breaking method, boulder removal

*1 Construction Technology Group, Construction Technology Center, Engineering Division

*2 Manager, Construction Technology Group, Construction Technology Center, Engineering Division

*3 General Manager, Construction Technology Center, Engineering Division

HEP & JES工法における転石対応掘削装置の開発

鈴木唯夫*1・山村康夫*2・千々岩三夫*3

1. はじめに

HEP & JES工法では、掘進中に掘削断面に大きな転石（φ400～800mm程度）が出現するケースが多く、現状は、切羽において人力によりピック、ブレーカ等で小割するなどして撤去・搬出している。

この転石処理は、労力と時間を要するだけでなく、狭隘な空間での作業となり、時に危険を伴う場合があるため、転石処理を安全かつ効率的に行う方策が望まれていた。

この開発は、φ400mm以上の転石が出現する地山を対象に、安全かつ効率的に転石を割岩、撤去処理できる転石対応掘削装置を完成させることを目的に、平成17年度から開発を進めてきた。本報は、その開発の経緯について報告するものである。

2. 開発概要

平成16年に、一台で削孔機能と打撃機能を有するエレメント内小割機械を開発した。

本装置は、削孔後セリ矢を人力でセットし打撃で転石を割岩する機能であるが、切羽に近い位置での作業であるため、安全面に課題が残っていた（写真-1参照）。



写真-1 エレメント内小割機械

転石処理を切羽に近づくことなく安全に行うため、作業条件として刃口内部の狭隘な場所に適応した実用性の高い装置の検討が必要となった。開発に当たり、以下の3項目を目標とした。

①安全性

転石処理作業に対する安全性の向上を図る。

②施工性

施工効率を向上させ工期短縮を図る。

③経済性

トータルコストでコストの縮減を図る。

3. 開発計画

開発は、以下に示すステップ1～8に従って行うものとした。

①ステップ1：転石の割岩方法の選定

割岩する転石の強度、大きさの条件の設定から、礫及び転石の割岩方法を調査し、それぞれの特質、利害を明確にし、比較検討する。

②ステップ2：転石処理の詳細検討

選定した割岩方法で掘削・排土を同一装置で行うことが可能な装置を検討し、概略仕様を決定する。

③ステップ3：割岩装置の要素試験

新規掘削装置で計画する割岩装置と排土装置の要素試験を行う。

④ステップ4：新規掘削装置の設計

要素試験の結果に基づき、新規掘削装置の試設計を行う。

⑤ステップ5：新規掘削装置の製作

試設計に基づき、掘削装置を製作する。

*1 エンジニアリング本部 建設技術総合センター 研究開発部 施工技術グループ
 *2 エンジニアリング本部 建設技術総合センター 研究開発部 施工技術グループ・リーダー
 *3 エンジニアリング本部 建設技術総合センター 研究開発部長

⑥ステップ6：性能確認試験

テストヤードにおいて、模擬地盤で実際の施工と同様な転石処理を行い、施工性、安全性、周辺に与える影響について確認する。

その結果から評価検討し、必要に応じて改良を加える。

⑦ステップ7：試験施工

実際の現場において、試験施工を行い、種々のデータを収集、解析し、施工性、安全性、周辺に与える影響について確認する。

⑧ステップ8：試験施工での問題点の抽出

試験施工で明らかになった問題点、解決すべき課題等に対する対策、改造・改善を行う。

4. 開発の経過

開発計画に従い、実施した内容の経過を報告する。

①ステップ1：転石の割岩方法の選定

割岩方法の選定は、削孔+破碎方法について表-1に示す。

表-1 割岩方法の選定

巨額破砕方法	対応機械装置	標準エレメント使用	
		利点・問題点	選定評価
削孔+破碎方法	PABI法(プラスマ)	(利点) ・特づいし (問題点) ・高電圧での危険性有り、切羽に作業員立ち入り禁止 ・亀裂の範囲指定が困難、水平上向きは困難	×
	クォーターセリ矢	(利点) ・強力な牽引力を有する。 ・割岩方向が制御できる。 (問題点) ・汎用品は巨大なため、エレメントの中に入らぬ。 ・小型の特注品の製作、性能値コストでは不明。	△
	高性能滑石機(SFS)	(利点) ・強力な牽引力を有する。 ・割岩方向が制御できる。 ・人力での運搬、セトが可能な大きさ、重量。(100型迄除く) ・連続割岩が可能。(標準仕様では未達) (問題点) ・割岩ストロークが短い。岩強度が低いと効果を発揮しない。 ・φ45, φ65, φ105サイズの削孔が必要。 ・油圧ホースの検察が必要。別コ油圧ユニット、プーラーユニットが必要。(2車に搭載可能) ・機械を使用してのセト、割岩が困難。(掘削機と割岩機の外径がシビアなため) ・機械掘削に採用する場合、マシンを抜かぬと使用できない。 ・300kg/cm ² だと割れにくい。可能性がある(硬質だと割れる)	○
	発破	(利点) ・強力な破壊力を有する。 ・価格が安い。 ・油圧設備が必要ない。(雷管用電気直線のみ) (問題点) ・爆発音が大きい。また振動も大きい。上床の場合、地盤が緩く可能性がある。 ・威力の制御が困難なため、上床の場合地表へ暴発する恐れがある。 ・火薬使用のため、安全性、許可等問題が多い。 ・機械掘削に採用の場合、マシンを抜かぬと削孔できない。 ・爆風による破損の危険性が高い。ケージング周りへの固定機材は取付けられない。	×
	静式破砕	(利点) ・振動、騒音の発生が小さい。飛散、爆風等もない。 ・油圧設備、電気設備とも必要ない。 (問題点) ・破砕に時間がかかる。(薬品反応時間 一般約4~12H程度) また薬品反応のため残土が滞留する。 ・即効性(反応時間30min程度)を使用すると異出(鉄砲現象)が発生する危険がある。 ・割岩方向、亀裂範囲の指定が困難。 ・機械掘削に採用の場合、マシンを抜かぬと削孔できない。	△

各種工法を比較検討した結果、高性能割岩機による割岩方法が高評価となった。機械化施工を想定し、打撃による割岩が可能かどうかを確認するために、削孔した穴にチゼル(四角すいのクサビ)を小型バックフォアの先端に取り付け割岩試験を実施した。

また、従来方法である削孔した穴にセリ矢を打ち込む方法も併せて試験を実施した。

結果は、チゼルを用いたものは、期待したような結果は得られなかったため、以降の検討をセリ矢方式で検討する事とした。

②ステップ2：転石処理の詳細検討

割岩方法は「セリ矢方式」として、掘削・削孔・割岩を一体型にした施工機械を検討したが、装置の大きさ・コスト・機能面から現実的ではなく(図-1参照)、一体型の掘削装置の検討を断念し、開発の見直しを図った。

開発の方向の再検討を行うにあたり、転石出現が予想される地盤では、人力掘削での施工となるため、対象を人力用の刃口とした。安全性の向上に対しては、削孔と割岩を切羽に近づくことなくできる機構とし、施工性に対しては、通常時には、装置が収納されていて作業に支障しない構造とし、経済性に対しては、人力による転石処理時間を短縮できることを目標に再検討を始めた。

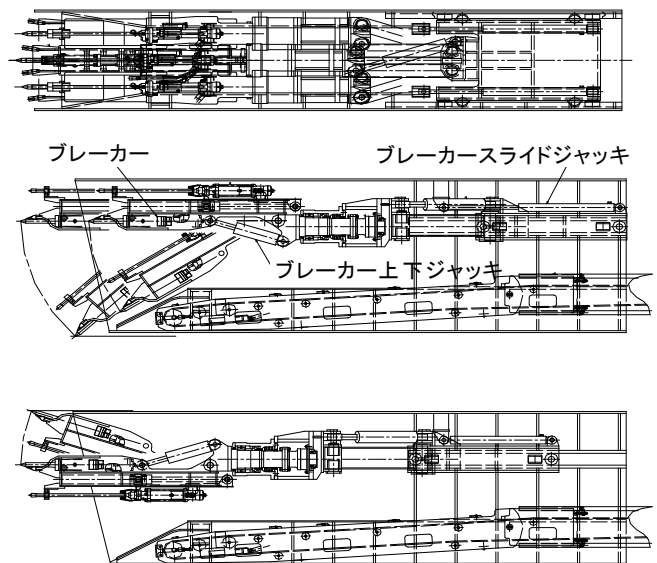


図-1 掘削・削孔・割岩一体型装置

当初は、削孔と割岩を一つの機械で行うことを検討したが、機構上複雑化するため、削孔と割岩を別々の機械で行うこととし、割岩については、人が削孔した穴にクサビをセットする従来方法を機械が行う方向に切り替え、セリ矢が一体化された装置の適用を考えた。

装置選定の調査の結果、小型の割岩機を検討することとした。以下にこの割岩機の性能確認試験について記す。

5. 小型割岩機の性能確認試験

セリ矢が一体化された小型の割岩機の能力を検証するため性能確認試験を実施した。

5.1 割岩手順

割岩の手順を図-2に示す。

① 削孔

削孔機（ジャックハンマー）にて削孔。
（削孔径φ34mm、削孔長350mm）

② 割岩

割岩方向を決めて割岩機をセットし割岩する。割岩機の仕様を表-1、名称を図-3、写真-2に割岩機のウェッジ部（セリ矢部）を示す。

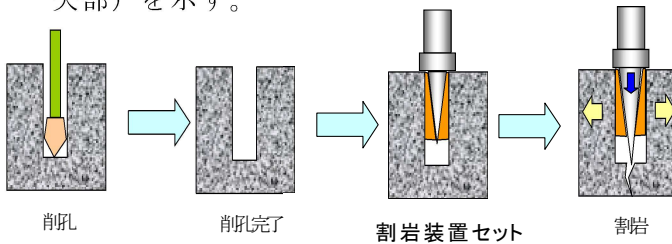


図-2 試験手順

表-1 割岩機の仕様

型式	ウェッジ			全長 (mm)	重量 (kg)	使用外径 (mm)	せん孔長 (mm)	割岩力 (ton)
	直径 (mm)	有効長 (mm)	割岩巾 (mm)					
C-15W28A200	28	200	75	970	28	30	360	400
C-15W30E200	30	200	9	970	28	32~34	360	340
C-15W32D200	32	200	12	970	28	34~36	360	250
C-15W38F200	38	200	15	970	28	40	360	200
C-15W40D300	40	300	12	1,100	30	42	460	250
K-25W40A400	40	400	125	1,380	35	420	660	640

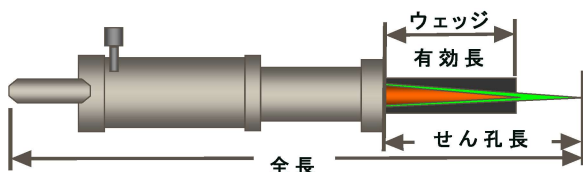


図-3 割岩機の名称



写真-2 割岩機のウェッジ部

5.2 使用機械

試験に使用した機械を表-2に、写真-3に削孔機、写真-4に割岩機を示す。

表-2 使用機械

機械名	形式	数量	備考
(削孔機)			
ジャックハンマー	TJ-15	1基	ロッド径22mm
コンプレッサー	20ps用	1台	ホース20m
(割岩機)			
破碎装置(バッカー)	C-15W32D200	1基	平戸金属製
パワーユニット	UH051EB マルゼン製	1台	200V 3.5kw



写真-3 削孔機



写真-4 割岩機

5.3 試験方法

試験方法の手順を図-4に示す。セリ矢が一体化された小型の割岩機の割岩能力を確認するために、一軸圧縮強度 90MPa～156 MPa の範囲の礫に、割岩用の孔を削孔（深さ 350 mm）し、「石の目」に関係なく、任意の方向に遠隔操作で割岩する。

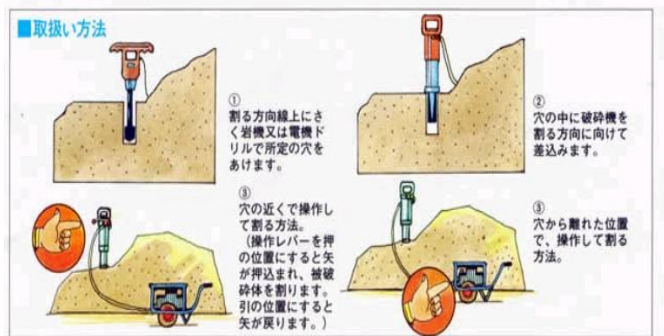


図-4 試験方法の手順

5. 4 試験結果

一軸圧縮強度 90MPa～156 MPa の範囲の礫を「石の目」に関係なく、割岩時間 4 秒前後と短時間で任意の方向に割岩できることを確認した。試験結果を表-3 に示す。

性能確認試験結果から、この割岩機と削孔機の組み合わせにより、実用性の高い転石対応掘削装置の製作は可能であると判断した。

只、割岩機本体の重量が約 30kg と人が持ち運び、削孔穴にセットするには重いため、固定方法を検討し、人力で安全・容易に移動できる検討を必要とした。写真-5 に割岩機の油圧ユニット、写真-6 に削孔状況、写真-7 に割岩状況を示す。

表-3 試験結果

	破碎対象礫寸法 (mm)	一軸圧縮強度 MPa	削孔長 (mm)	割岩時間 (sec)
1	800×600×400	90	350	3.14
2	1200×600×300	90	350	3.89
3	950×900×400	95	350	4.78
4	1000×900×800	156	350	8.90
5	600×300×300	142	300	3.36

写真-8～11 に割岩状態を示す。

【注釈】



写真-5 割岩機の油圧ユニット



写真-6 削孔状況



写真-7 割岩状況

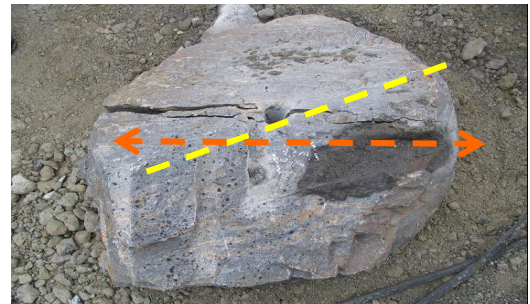


写真-8 割岩状態(強度 90MPa)

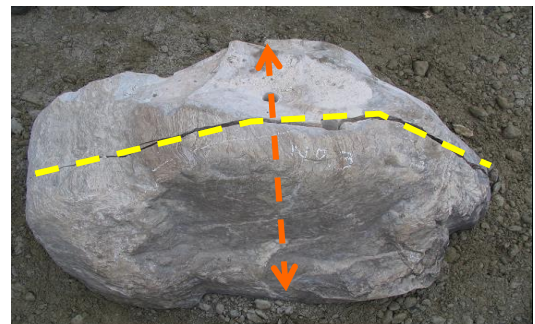


写真-9 割岩状態(強度 95MPa)

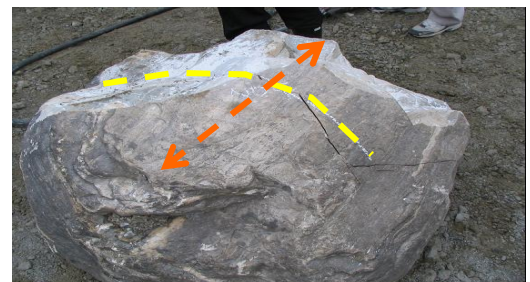


写真-10 割岩状態(強度 156MPa)



写真-11 割岩状態(強度 142MPa)

6. 転石対応型刃口の検討

小型割岩機の性能確認試験結果から、その有用性を確認し、小型割岩機と削孔機を人力用刃口に搭載する方向で検討に移った。

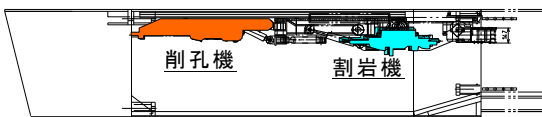
6. 1 試設計

削孔・割岩は、切羽のどの位置に転石が出現しても、対応できるように自在に動かせること、遠隔で操作できること、装置を使用しない時は、通常的人力施工に支障しないように収納できることを設計の条件とした。図-5に転石対応型刃口の試設計を示す。

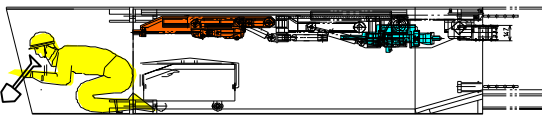
①施工性

自在に操作する事に対しては、それぞれ把持するものを提案し、削孔機は油圧スライド式アーム先端に取り付け、天井面に貼りつく様に収納する。

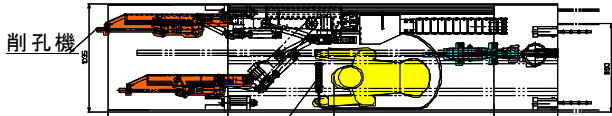
【装置を収納した状態】



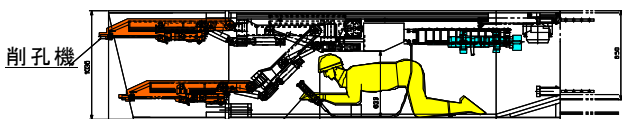
【人力施工の場合】



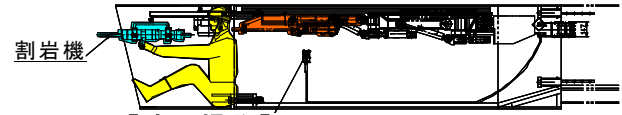
【削孔状況】



【遠隔操作】



【割岩状況】



【遠隔操作】

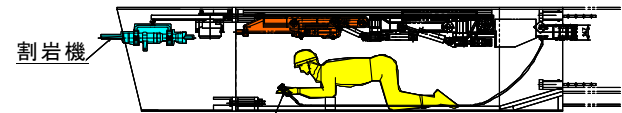


図-5 転石対応型刃口の試設計

割岩機は、把持している balanサーを天井走行レールに沿って前後に移動でき、後方に格納するものを考案した。

②安全性

安全性を向上させるために、削孔・割岩は遠隔操作とし、切羽が見える位置から手元スイッチで操作できるものを考案した。

6. 2 経済性の検討

施工速度とコストの指標となる P_{e1} (施工時間をエレメント敷設長で割った値) から実績をもとに以下の検証を行った。

人力施工の実績と同じ条件下で転石対応型刃口を用いて施工した場合を比較する。

①従来の人力施工

転石処理を伴った人力施工の実績

- ・対象土質 : 転石混り砂質土
- ・エレメント敷設長 : 11m
- ・施工日数 : 12.1日

より P_{e1} を求める。

施工時間 : 実績 12.1日 × 7h/日 = 84.7h

$$P_{e1} = 84.7h \div 11m = 7.7h/m$$

この 7.7h/m には、通常のけん引掘進と転石処理が含まれる (図-6 参照)。

これまでの転石処理を伴わない人力施工の平均的実績 P_{e2}

$$P_{e2} = 3.7h/m \text{ である。}$$

これを差し引けば、転石処理時間が求められる。

$$\begin{aligned} \text{転石処理時間} &= P_{e1} - P_{e2} \\ &= 7.7h/m - 3.7h/m \\ &= 4.0h/m \end{aligned}$$

人力施工における転石処理時間は、4.0h/m と想定される。

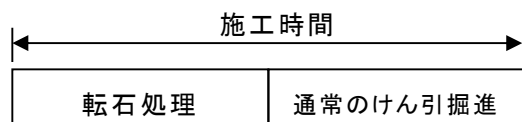


図-6 施工時間の構成

② 転石対応型刃口を用いた場合

転石処理時間を40%短縮できると想定した場合の $P e_3$ を求める。

$$\begin{aligned} \text{転石処理時間} &= 4.0 \text{ h/m} \times 0.6 \\ &= 2.4 \text{ h/m} \text{ となる。} \end{aligned}$$

これに、 $P e_2$ を加算すると $P e_3$ が求められる。

$$\begin{aligned} P e_3 &= 2.4 \text{ h/m} + 3.7 \text{ h/m} \\ &= 6.1 \text{ h/m} \end{aligned}$$

よって、転石対応型刃口を使って施工した場合は $P e_3$: 6.1h/mと算出される。

従来の人力施工と比較した場合

$$P e_3 / P e_1 = 0.79$$

となり、21%施工時間を短縮できることになる。この値を用いてコスト比較を行う。

③ コスト比較

比較条件

エレメント長 (m) × 本数 = 施工延長(m)

・ 11m × 17本 = 187m (長い場合)

・ 11m × 11本 = 110m (短い場合)

この条件で、人力施工と転石対応型刃口の $P e$ から施工日数を求め、mあたりの施工単価を試算し、コスト比較を行う。

試算結果を表-4に示す。

表-4 コスト比較

【施工延長が長い場合】

	施工延長m (エレメント本数)	$P e$ (h/m)	日数 (方)	刃口製作費 比率	m当たり 単価 (%)
人力掘削	187 (17)	7.7	220	1	100
転石対応	187 (17)	6.1	175	11	99.7

【施工延長が短い場合】

	施工延長m (エレメント本数)	$P e$ (h/m)	日数 (方)	刃口製作費 比率	m当たり 単価 (%)
人力対応	110 (10)	7.7	130	1	100
転石対応	110 (10)	6.1	115	11	110

施工延長が187m以上の時には、転石対応型刃口に優位性があるが、110m以下の時には転石対応型刃口の方が、1.1倍以上コスト高になることが想定される。

7. まとめ

試設計および経済性の検討結果から、開発目標の3項目を検証した。

① 安全性

遠隔操作で、削孔・割岩作業を行うため、安全性を確保できる。

② 施工性

油圧スライド式アームを遠隔操作で収納できるので、通常の人力施工作業に支障することなく、施工性を確保出来る。

③ 経済性

施工時間は、通常の人力施工と比較した場合21%短縮できると想定し、コスト縮減が可能である。

コスト比較から、施工延長が短い場合には、従来の人力施工に劣る結果となっているが、施工延長が増加するほど、転石対応型刃口を適用したほうが優位であるという結果を得た。

今後は、転石が出現する施工延長の長い現場に対して、今回検討・試設計した転石対応型刃口の導入が期待される。

参考文献

- 1) 鉄道ACT研究会：HEP & JES 工法標準積算資料，2001.11