

HEP & JES工法におけるエレメント内転石小割り機械の開発

鈴木 唯夫*1・千々岩 三夫*2

概 要

「HEP & JES工法」において、エレメントに取り込めないような大きな転石が出現する場合がある。これまでは、狭隘作業で相当な時間を費やしピック等で破碎して、多大な労力をかけ撤去していた。この人力による対応に対して、転石を効率よく破碎し、安全に撤去する破碎装置の開発が望まれている。

当センターでは、開発した試作機による性能確認試験を、模擬エレメントと大径の玉石（1,000mm級）を用いて、より現実的な実証実験を行った。

本論文では、この性能確認試験の内容と結果について報告する。

キーワード：小割り機械，転石，割岩

DEVELOPMENT OF A CRUSHER FOR BOULDER STONES
IN THE ELEMENT OF HEP & JES METHOD

Tadao SUZUKI*1 Mitsuo CHIDIWA*2

Abstract

In the practice of “HEP & JES method”, boulder stones too large to fit in the element are sometimes encountered. Such stones have been crushed manually with a pick or the like to be removed. This labor-intensive job done in a narrow space took considerable time. As a solution for this issue, a crushing machine is being designed, which can efficiently crush and safely remove boulder stones.

At Tekken’s technology center, we tested the performance of a prototype machine that has been developed, and also made more realistic demonstration tests using simulated elements and large boulder stones (about 1,000 mm). This paper reports the details and results of these performance tests.

Keywords: crusher, boulder stone, crushed stone

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

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

HEP & JES工法におけるエレメント内転石小割り機械の開発

鈴木 唯夫*1・千々岩 三夫*2

1. はじめに

HEP & JES工法において、エレメントに取り込めないような大きな転石が出現する場合があります。これまでは、狭隘作業で相当な時間を費やしピック等で破碎して、多大な労力をかけ撤去していた。この人力による対応に対して、効率よく転石を破碎する装置を開発する事で、速く、安全な作業とすることを目的とした。開発にあたっては、JR東日本東北工事事務所との共同により提案、検討、検証を行った。

2. 小割り機械の概要

2. 1 基本構想

エレメント内小割り機械は、エレメントに取り込めないような大きな転石が出現した場合に、人力に代わり転石を砕く装置であることから、

- ①玉石の削孔、割岩の能力を有すること。
- ②搬入搬出が可能な装置であること。
- ③軽量でコンパクトな構造であること。
- ④耐久性が高く、メンテナンスが容易であること。
- ⑤狭隘な空間でのハンドリングが容易な構造であること。

などの条件を満たす必要がある。

2. 2 機器構成

エレメント内小割り機械の削岩機構には丸善工業製MHD-20Aロックドリルを使用し、日本鋳機により本体ベース（ハンドリング、走行、固定機構）の設計・製作を行い、小割り機械を構成する。

小割り機械の全体を図-1、写真-1に示す。機器構成は、本体に付随する油圧ホースと油

圧ユニットで構成される（図-2参照）。

本体に搭載されているロックドリルは、せり矢を挿入する孔の削孔機能と、せり矢をブレーカで打撃して転石を破壊する打撃機能を同一装置で行う能力を有する。

ロックドリルとパワーユニットの仕様をそれぞれ表-1、表-2に、パワーユニットを写真-2に示す。

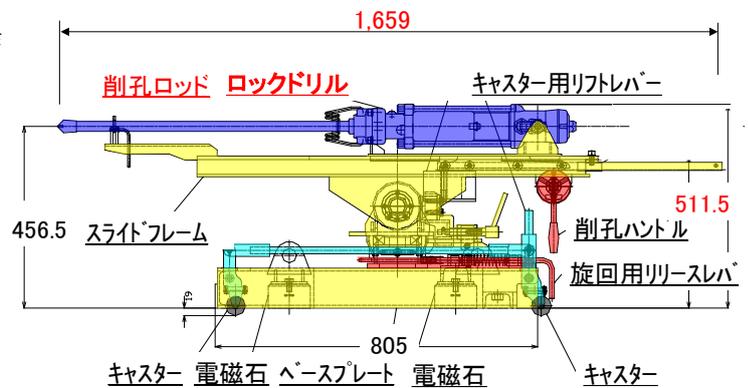


図-1 小割り機械の全体

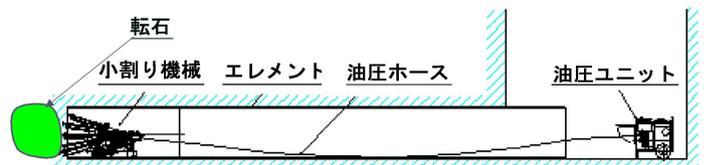


図-2 機器構成



写真-1 転石小割り機械

*1 エンジニアリング本部 技術センター 施工技術グループ

*2 エンジニアリング本部 技術センター 施工技術グループ・リーダー

2. 3 転石破碎方法

エレメント内小割機械を使用した転石破碎方法の手順を以下に示す。

- ①本装置を坑内搬入。
- ②ロックドリルに削孔ビット付きロッドを装着し、油圧ホースを取り付け後、油圧ユニットの運転開始。
- ③破碎対象物（玉石）の形状と位置関係を確認後、削孔位置を決め、装置を固定する。
- ④削孔時のドリル回転数は、用途に合わせてダイヤルで4段階に調整可能（表-3参照）。せり矢用ケーシング長145mmより、削孔深さは200mmとする。
- ⑤せり矢用ケーシングを削孔穴に挿入後、ケーシングにせり矢を軽く入れる。

表-1 ロックドリルの仕様

形 式	MHD-20A
寸法・質量	626mm×412mm, 20kg(単体)
作動圧力	8.8~11.8N/mm ² (90~120kgf/cm ²)
打 撃 数	900~1,500bpm
回 転 数	0~400rpm(4 段切換え)
所要油量	20~25 リットル/min

表-2 パワーユニットの仕様

形 式	U-100S 最大出力 7.5kW/3600rpm
寸法・質量	1,040mm×804mm×760mm(160kg)
定格圧力	14.0N/mm ² (140kgf/cm ²)
定格油量	25 リットル/min
燃料タンク	10 リットル(消費量 3 リットル/h)
燃 料	無鉛ガソリン



写真-2 パワーユニット

- ⑥削孔ビット付きロッド先端に打撃用アダプタを装着する。
- ⑦ロックドリルの回転数を0にセットする。
- ⑧せり矢を打撃し、割岩する。
- ⑨割岩後、せり矢を撤去する。

ドリル回転数と打撃数の関係を図-3に、破碎要領を図-4に、ドリル回転数切替えダイヤルを写真-3に示す。

表-3 ドリル回転数と打撃数

番号	用途と岩強度(MN/m ²)	回転数 (rpm)	打撃数 (bpm)
0	打撃用	0	1,500
1	硬岩削孔用176(1,800kg/cm ²)	150	1,350
2	中岩削孔用127(1,300kg/cm ²)	250	1,100
3	軟岩削孔用 78(800kg/cm ²)	400	900

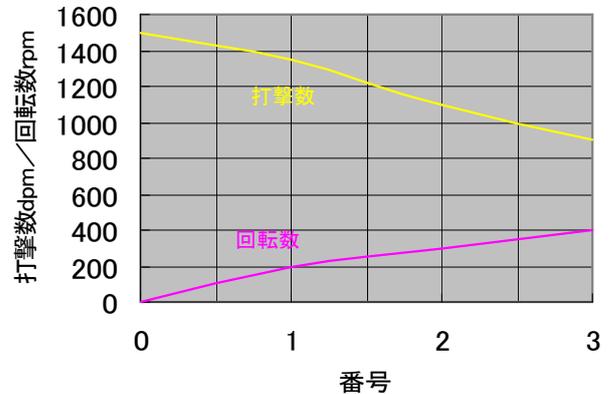


図-3 ドリル回転数と打撃数

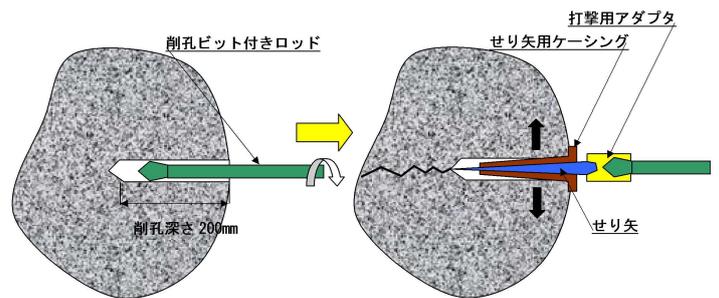


図-4 破碎要領



写真-3 ドリル回転数切替えダイヤル

3. 性能確認試験

3.1 試験概要

試験は、装置の基本性能を確認するための予備試験と実用性を確認するための性能確認試験に区分した。

(1) 予備試験 (単体試験)

予備試験は、破碎確認試験 (1 ケース) と削孔角度確認試験 (3 ケース) とした。

(2) 性能確認試験 (総合試験)

性能確認試験は、3 ケースとした。
試験のフローを図-5 に示す。

3.2 予備試験 (単体試験)

(1) 試験目的

装置の基本性能を確認することを目的とした。

(2) 試験方法

当センターヤード内の地上にて、装置を固定し、破碎対象物を前面に置き破碎した。破碎対象物は、玉石 1 体とコンクリート塊 3 体とした。

(3) 試験内容

初めに破碎確認試験として、玉石の割岩状況、サイクル、時間等を確認した。

破碎確認試験概要を図-6 に示す。

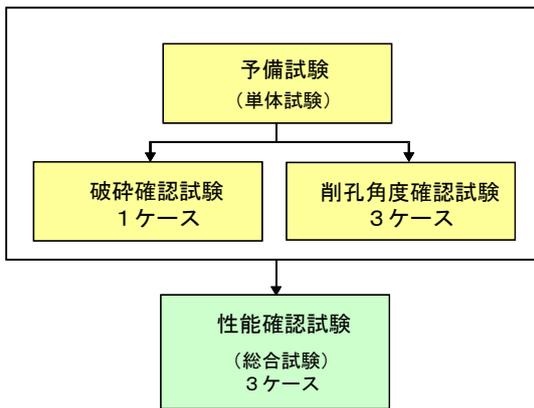


図-5 試験フロー

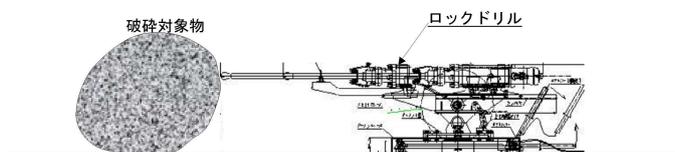


図-6 破碎確認試験概要

次に削孔角度確認試験として、破碎対象物に対する削孔角度を変化させ、破碎時のノミのくいつき状態、滑り具合から、削孔角度の施工可能角度を確認した。

(4) 破碎確認試験結果

地上での中型玉石の小割りは短時間で容易にでき、また、せり矢の向きで任意の方向に割岩できる事を確認できた。結果を表-4 に示す。

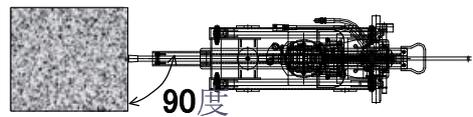
表-4 破碎確認試験結果

確認項目	内容	単位	計測値
削孔能力	削孔長	mm	190
	時間	Sec	40
割岩能力	作動圧	N/mm ²	18
	時間	Sec	2~3
破碎対象物	硬度	MN/m ²	174
	玉石径	mm	470mm × 540mm × 310mm

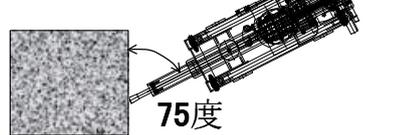
(5) 削孔角度確認試験結果

コンクリート塊 (寸法 600 mm 角, 一軸圧縮強度 42 MN/m²) を破碎対象物として、削孔角度を 90 度, 70 度, 45 度の 3 ケースで削孔し、削孔可能な限界角度を模索した (図-7 参照)。結果は、削孔角度を 90 度, 70 度においてビットの滑りも無く削孔することができた。削孔角度 45 度では、多少ビットの滑りはあったが、削孔は可能であった。

削孔角度90度



削孔角度75度



削孔角度45度

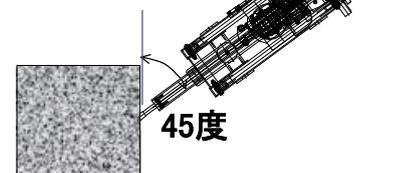


図-7 削孔角度確認試験

3.3 性能確認試験（総合試験）

(1) 試験目的

HEP & JES 工法において掘削断面内に大径の礫が出現した場合に、その狭隘な空間で、今回開発した小割り機械で削孔・割岩が可能であることを確認した。

(2) 試験方法

性能確認試験は、実際の施工を模擬しエレメント状の角形管の先端に玉石を配置し、装置の持ち込み搬入から削孔、割岩を行い撤去・搬出までの作業状況と所要時間を確認した。

- ①削孔能力：玉石を削孔し状況を確認。
- ②割岩能力：割岩状況の確認。
- ③破碎対象物：玉石の大きさ、強度確認。
- ④施工性：機能性、ハンドリングの良否。
- ⑤耐久性：ビット摩耗状況等の確認。

(3) 試験内容

玉石の出現位置を中央、上、下の3ケースと想定し、各々のケースで小割り作業を実施した。

図-8 に性能確認試験概要を、写真-4 に性能確認試験設備を示す。

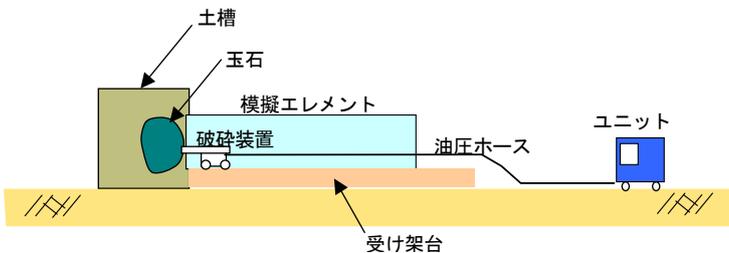


図-8 性能確認試験概要

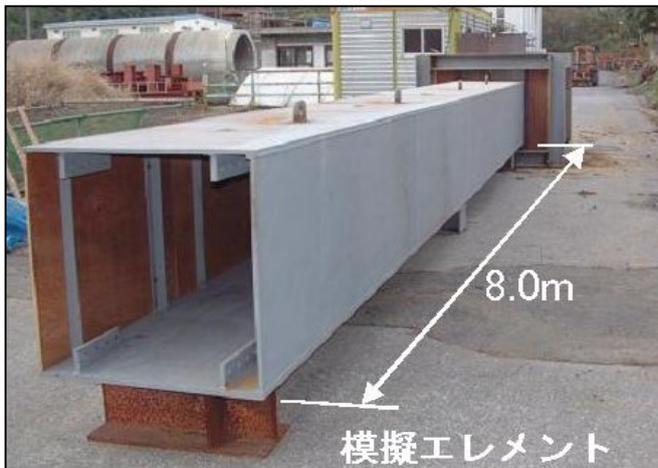


写真-4 性能確認試験設備

(4) 性能確認試験結果

①全断面に礫が出現した場合

装置の搬入から削孔6箇所・割岩を行い7個に小割りし、装置撤去までの所要時間は約30分であった。破碎状況は、石の目に沿って背面まで亀裂が貫通していた。

試験結果を表-5、割岩状況を写真-5、破碎状況を写真-6に示す。

表-5 試験結果

確認項目	内容	単位	計測値
削孔能力	削孔数	個	6
	削孔長	mm/個	180~200
	時間	Sec/個	40~60
割岩能力	作動圧	N/mm ²	18
	時間	Sec	1~3
破碎対象物	硬度	MN/m ²	214
	玉石径	mm	1200mm × 1300mm × 760mm



写真-5 割岩状況



写真-6 破碎状況

②下部に礫が出現した場合

破碎対象物の礫は高さ900mm×幅1,080mm×奥行720mmで、一軸圧縮強度：142MN/m²の玉石を使用した。

模擬エレメント内における装置の搬入から削孔・割岩、装置搬出までの所要時間は約46分であった。エレメントに対する装置の削孔ロッド角度の最大は、水平方向(θ1')で75度、鉛直方向下向き(θ2')70度でセット可能であることが確認できた(表-6参照)。

削孔角度の表示は、破碎対象物に対するロッド角度とエレメントに対するロッド角度を水平方向と鉛直方向に分けて図-9、図-10に示す。

・水平方向

破碎対象物に対するロッド角度：θ1

エレメントに対するロッド角度：θ1'

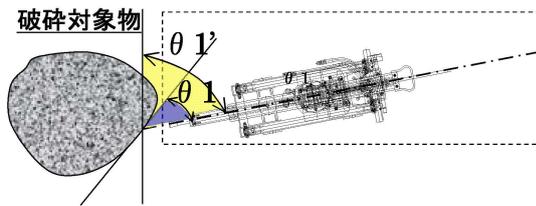


図-9 水平方向の削孔角度表示

・鉛直方向

破碎対象物に対するロッド角度：θ2

エレメントに対するロッド角度：θ2'

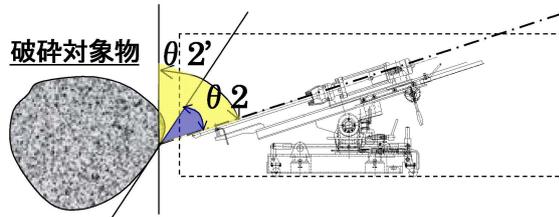


図-10 鉛直方向の削孔角度表示

表-6 試験結果

削孔番号	削孔角度(度)				削孔長 mm	削孔時間 min
	破碎対象物に対するロッド角度(度)		エレメントに対するロッド角度(度)			
	水平θ1	鉛直θ2	水平θ1'	鉛直θ2'		
1 右下隅角部	90	85	80.5	70	190	2
2 左下隅角部	80	75	84	66	150	1.5
3 右上側	85	80	82.8	80	160	1.5
4 左上側	85	90	89	80	180	2
5 中央	85	80	89	75	160	1.5

削孔長150~190mmで削孔後、礫の割岩状況は切羽から300mm程度の位置で石の目の方向と想定される縦面方向に割れた。割岩状況を写真-7、破碎状況を写真-8に示す。

③上部に礫が出現した場合

破碎対象物の礫は、高さ950mm×幅1,100mm×奥行600mmで一軸圧縮強度：142MN/m²の玉石を使用した。

模擬エレメント内における装置の搬入から削孔・割岩、装置搬出までの所要時間は約49分であった。試験結果を表-7に示す。



写真-7 割岩状況



写真-8 破碎状況

表-7 試験結果

削孔番号	削孔角度(度)				削孔長 mm	削孔時間 min
	破碎対象物に対するロッド角度(度)		エレメントに対するロッド角度(度)			
	水平θ1	鉛直θ2	水平θ1'	鉛直θ2'		
1 右下隅角部	75	58	88.5	72	200	2.5
2 左下隅角部	75	65	87.7	72	200	2
3 右上側	80	80	86.9	86	250	1.5
4 左上側	80	75	86.9	82	260	1.5
5 中央	85	75	82.4	77	300	2

破碎状況は、②のケースと同様に最初の石の目まで亀裂が貫通し、小割り状態となっていた割岩状況を写真-9、破碎状況を写真-10に示す。

(5) 騒音測定結果

離隔距離6m、12m位置での削孔作業時と割岩作業時の騒音を測定した。エレメント側壁が開放状態と密閉状態で測定した結果を表-8、表-9に示す。測定ポイントを図-11に示す。

表-8 騒音測定結果（側壁開放時）

工種	発生源(装置)	離隔距離(6m)	離隔距離(12m)
削孔作業		90dB	82dB
割岩作業		90dB	80dB
パワーユニット	83dB	76dB	66dB

表-9 騒音測定結果（側壁密閉時）

工種	発生源(エレメント出口)	離隔距離(6m)	離隔距離(12m)
削孔作業	94~98dB	83dB	71dB
割岩作業	94~96dB	83dB	74dB
パワーユニット	79dB	72dB	64dB

削孔時の装置から発生する騒音は、エレメント側壁密閉状態の時、離隔距離6m以上になれば83dB以下となり、特定建設作業の基準値85dBより低い数値であった。

騒音測定状況を写真-11、12に示す。

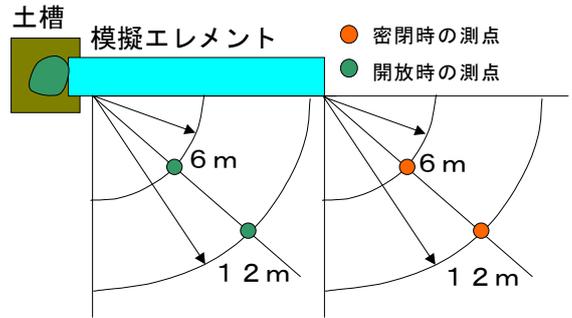


図-11 騒音測定ポイント



写真-9 割岩状況



写真-11 騒音測定状況



写真-10 破碎状況



写真-12 騒音測定離隔距離6m

性能確認試験結果のまとめを、表-10に示す。

表-10 性能確認試験結果のまとめ

確認項目		工種	時間(分)
削孔長200mmの場合			
1	削孔能力	段取り	5
		削孔	1.5
		セリ矢、アダプタセット	2
		割岩	数秒
		計	8.5
		削孔角度：破碎対象物に対するロッド角度	45度まで可能
2	割岩能力	玉石の強度：一軸圧縮強度	214MN/m ²
3	適用範囲	玉石の出現位置	全位置対応可能
4	施工性	削孔角度：エレメントに対するロッド角度	
		水平方向：左右	70度
		鉛直方向：上方向	70度
		鉛直方向：下方向	66度
		隅角部	削孔可能
5	耐久性	ビットの摩耗度：延べ削孔長3.0m当たり	0.61wt%/3m
6	作業環境	騒音：側壁密閉状態で測定	71dB/12m地点
		換気	送排気要

4. 考察

性能確認試験において確認項目とした事項について考察し、実機に向けた改良検討を行った。

4.1 削孔能力

段取りから割岩までの所要時間は、平均段取り時間5分、1孔あたりの平均削孔深さ200mmで平均削孔時間1.5分、平均せり矢取付・アダプタセット時間2分、割岩時間数秒の計8.5分/孔の実績を得た。

破碎対象物に対する削孔角度は45度まで可能であることを確認した。

削孔角度45度以下の場合については、削孔面をピックなどで砕くなどの前処理を行うことで対応可能であると考えられる。

これらの結果から、実施工において出現する転石に対して十分な削孔能力を有していると判断する。

4.2 割岩能力

割岩方向は、せり矢用ケーシングの向きで任意の方向に亀裂を入れることは可能であることを確認した。

亀裂の状態は、石の目の状態で左右されるが、石を撤去できる大きさに小割りできることが確

認された。地山に拘束され自由面が少ない状態でも破碎できたことから割岩能力は十分であると判断する。

石の割れ方は、削孔位置(方向)に対して石の目が縦の場合、割岩面が切羽面と平行に近い場合、最初の縦目の位置で割岩され奥に割れていない礫が残ってしまうために、削孔・割岩作業を繰り返し行う必要がある。

次に石の目が、削孔位置(方向)に対して横の場合、割岩面が石の奥まで到達するために、一回の削孔・割岩作業で玉石を破碎することができる。石の割れ方を図-12に示す。

4.3 適用範囲

今回の試験で使用した最大級の玉石は、大きさ：1,200mm×1,330mm×760mm、一軸圧縮強度：214MN/m²のものであったが、その破碎対象物を削孔・割岩できる事を確認した。出現位置については、上部・前面・下部に出現した場合でも、対応可能であることを確認した。これらのことから実施工での転石小割り作業のほとんどに適用可能であると判断する。

本試験に用いた破碎対象物の寸法と強度の一覧を表-11に示す。

表-11 破碎対象物の寸法と強度一覧

破碎対象物	寸法(mm)			反発係数				一軸圧縮強度 MN/m ²	
	高さ	幅	奥行	1回目	2回目	3回目	平均		
コンクリート塊	600	600	600	40	40	40	40	42	
玉石(小)	No.1	470	540	310	69	70	64	68	174
玉石(大)	No.1	1,200	1,330	760	70	73	74	72	214
	No.2	950	1,110	600	61	64	67	64	142
	No.3	900	1,080	720	64	62	66	64	142

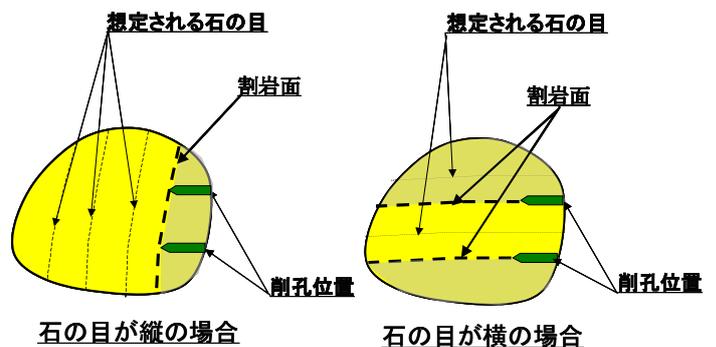


図-12 石の割れ方

4. 4 施工性

施工性の1つである削孔角度について $\square 850$ mmのエレメント内より、この装置を用いて水平方向で70度、鉛直方向に対しては上方向に70度、下方向に66度までの対応が可能であり、隅角部においても削孔は可能であることを確認した。

エレメント内に持ち込む機動性については、本体質量が1.18 KN程度であるが、車輪走行のため、作業員1人で約20~40 Nの力で容易に搬送は可能である。

また、本体を自在に動かすことができ、端に寄せることで通り抜けるスペースの確保ができるため、せり矢取付・アダプタセットの施工性が良好である。

これらのことから、角度調整と固定の操作位置を改良するだけで、実用化に向けた施工性の向上が図れると判断する。

4. 5 耐久性

耐久性については、ビットの磨耗状況から検証した。ビットの磨耗量は、延べ削孔長3 mで0.61 wt%であった。

磨耗によるビットの交換時期は、実際には岩の物性（強度、含有成分、粒子サイズ等）や機械の条件、作業者の手腕に大きく影響されると考えられる。使用ビット径 $\phi 32$ mmにおける各岩区分の削孔ビット交換時期の目安を表-12に示す。

今回のデータを目安に必要量をストックすることで遅滞のない施工が可能である。装置本体については、メンテインターバルを考慮して、実績上交換が必要となってくる部品をストックすることにより、対応可能であると考えられる。

表-12 削孔ビット交換時期の目安

岩区分	一軸圧縮強度 (MN/m ²)	累計削孔長 (m)
軟岩	78	200~400m
中硬岩	78~176	150~250m
硬岩	176以上	80~200m

4. 6 作業環境

$\square 850$ mmのエレメント内での作業のため、削孔時の粉塵対策が必要であるが、送風と換気の設定で対応可能である。

騒音については、実施工では主な音の発生源は地中となるため、今回の試験より更に騒音は低減すると予想される。

パワーユニットの騒音は、12 m離隔をとれば71 dB以下となり大きな問題にならないと考えられる。

以上をとりまとめて、問題点と改良方法を表-13に示す。

表-13 問題点と改良方法

確認項目	問題点	改良方法
1 削孔能力	問題なし	
2 割岩能力	問題なし	
3 適用範囲	問題なし	
4 施工性	削孔時フレームの振れ	アングル枠を装置前方に設置し、フレームの振れ防止用と削孔角度固定用として使用
	削孔角度のハンドルの操作位置が暑い	ハンドルを延長し操作位置を手元へ移動
	旋回の固定がチェーン構造のため振れが大きい	固定方法をチェーン構造からギヤ構造に変更
	削孔ハンドルは盛替え時、外す構造	取付けた状態で使えるラジェットタイプにする
	削孔粉による着磁力の低下	削孔粉の除去用に装置前方にスカートを設置
	固定方法の不具合により、装置本体の固定ボルトが緩み油漏れ	装置本体の固定方法をベルト止めにする事で対処する
5 耐久性	問題なし	
6 作業環境	問題なし	

注) 網掛け部については、能力や性能上今回の試作した小割り機械で満足している或いは、今回の試験中に改良したことで問題が解決している項目である。実機に向けた改良検討は、網掛けしていない項目について行う。

4. 7 実機に向けた改良検討

今後の実用化を図るために、表-13の問題点と改良方法から施工性の項目について検討した。

(1) 架台ブーム上下角の固定

ブーム上下角は支点到組み込んだギヤ構造で製作したが、操作ハンドルの位置が奥まっていたり操作性が悪く、ロックが確実にできなかった。

この問題を解決するためにロックハンドルを延長し、操作性の向上を図る必要がある。

(2) 架台ブーム旋回角の固定

ブーム旋回角は支点到組み込んだピンギヤとチェーン構造で製作したが、構造上ガタが大きく、確実なロックができなかった。この問題を解決するために上下角度ロックと同じ機構とし、確実なロックと操作性の向上を図る必要がある。

(3) フィードハンドル取り扱い

手持ち、垂直打撃用のロックドリルを水平架台(ドリフター)に搭載し、ラック&ピニオンによる手動フィードで削孔した。削孔自体は特に問題は無く、スムーズに削孔できた。ただし、フィードハンドルの盛替えが不便なので、操作性を向上させるために、連続作業に適したラケットハンドル式に変更する必要がある。

(4) 装置固定の改善

エレメント底面に削孔時発生する粉塵や元々の土砂があると着磁力は大幅に低下する。よって、架台前面に底面清掃用スカートゴムを装備し、移動と同時に底面を清掃することで着磁力の低下防止を図る必要がある。

5. まとめ

今回の共同開発において試作した小割り装置は、切羽に出現した大きな転石をエレメント内の狭隘な作業空間の中で容易に小割りできる施工性と能力を有していることを確認した。

実用化の可能性は大きく、試験結果から得られた実機に向けた改良検討によって実用機として確立され则认为。