

穿孔サポートシステムによるクローラドリル操作の簡素化 操作サポート付きクローラドリル HCR1000/1200-D/ED VI ADVANCE

近 藤 和 彦・板 東 翼・田 島 良 一

岩盤を破碎及び掘削する現場で使用される油圧クローラドリルは、作動油圧の自動制御や、キャビンから遠隔にてドリリングロッドを継足し及び回収できるが、多くのバルブやシリンダ、モータで構成され、操作の習熟に時間を要する課題があった。労働者減少が予測される中、国土交通省は i-Construction として最先端技術の活用による生産性の向上を求めている。ドリリング／オペレーション・サポートシステムは、初心者でも熟練者のような穿孔作業を簡単に行えるようにした。HCR1000/1200-D/ED VI ADVANCE は、岩盤の破碎や、インフラの建設に必要な建設資材を将来にわたって供給し続ける為に開発された。

キーワード：生産性向上、人材確保、自動化、人工骨材

1. はじめに

油圧クローラドリル HCR1000/1200 シリーズ（以下、本開発機）（図—1）は、岩盤を破碎・爆砕する建設工事や、人工骨材を生産する鉱山・採石場で使用される。直径 64 mm ～ 102 mm、深さ 18 m ～ 22 m の孔を岩盤に穿孔できる（表—1）。油圧化とコンピュータ制御により、岩盤の状態に対応した穿孔用ドリフタの油圧制御や、穿孔長に応じてドリリングロッドを継足し及び回収をロッドチェンジャによりキャビン内から行えるようになった。一方、作動する油圧シリンダやモータなどのアクチュエータや、調整されるバルブの数が多くなり、操作が複雑になった。重機運転の初心者は、操作レバーの少ないバックホウの操作担当になることが多く、穿孔作業後の装薬・発破・破碎作業も含めて、経験豊富なベテラン作業者がクローラドリルを任されることが多かった。

人口減少により労働人口は減少し続けている。これまで穿孔作業を担ってきたベテラン作業者也高齢化している。今後は、経験の浅い若年層や女性及び外国人労働者も担えるようにしなければならない。本開発機は、クローラドリルの操作をベテランオペレータだけでなく、より多様な作業者が対応できるよう支援することで、インフラ建設用材料の供給を将来にわたり継続することに役立てる。



図—1 本開発機

表—1 本開発機の主な仕様

機種 (ROPS／FOPS 仕様)		HCR1000	HCR1200	
		-D	-D	-ED
		VI(シックス)ADVANCE		
質量 [t]		11.49	13.11 [*]	13.68 [*]
エンジン出力 [kW]		168/2,200		
エア	吐出量 [m ³ /min]	6.1	7.8	
	吐出圧 [MPa]	1.03		
ダストコレクタ風量 [m ³ /min]		20	26	
ブーム伸縮長 [mm]		－	－	900
ドリフタ型式		HD818	HD822	
ドリリング ビットサイズ [mm]		64 ～ 89	64 ～ 102	
ドリリング ロッド	サイズ	T38 (T45)	T45 (T38, T51)	
	長さ [m]	3.05/3.66	3.66	
	格納本数	5	5 (4 [*])	

※ T51 ロッド仕様

2. これまでの自動化の取組

1976年に国産初の油圧クローラドリルを発売以来、繰り粉排出用エアコンプレッサや、エアコン付きオペレーションキャビン、集塵用ダストコレクタの搭載など穿孔性能と操縦性を向上する技術が提供されてきた。

1997年には、全自動クローラドリルを発売した。これは、穿孔位置に機体をセットしてボタンを押せば、設定された穿孔プログラムに従い、穿孔作業を全て行える画期的なドリルであった。穿孔中に岩盤の状態が変わった場合、最適なサブルーチンプログラムを自動選択して、初心者でも穿孔作業が行える。また、90年代の好景気時代に、業務量に対して労働者が不足したことから、切羽に並べた2台を1人のオペレータで操作するワンマン・ツードリル作業にも対応させた(図-2)。

この全自動クローラドリルで培った穿孔プログラム技術や遠隔操作装置、センシング機器は、今回の本開発機や、全自動山岳トンネル用ドリルジャンボに生かされている。

一方、稼働前に作業現場の岩質に合わせて専門技術者による十分な穿孔調整が必要である課題があった。採掘山によって岩盤は異なるうえ、同じ切羽でも地層は変化に富んでおり、全ての地層に適合させるプログラム作成は簡単ではなかった。センサを増やしてフィードバック制御を行ったが、そのセンサが測定エラーを起こすこともあった。そして自動化の為に多くのデバイスを装備した為に価格が標準機よりも高くなり、中小規模の採石場にはハードルが高くなった。2000年代になると、骨材需要が一段落して、1マン2ドリルの必要性が薄れた。また基本性能の優れた新型機が発売され、全自動クローラドリルは生産を終了した。また、無人運転に関する法整備も十分ではなかった。



図-2 全自動クローラドリル(左側)と1マン2ドリル作業

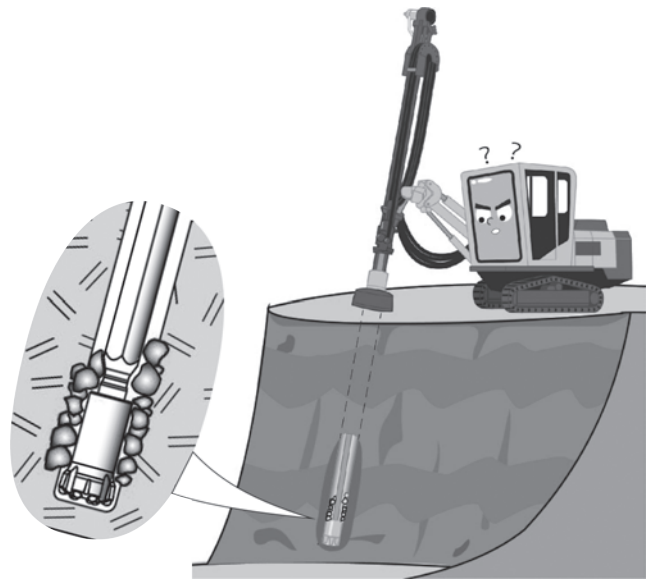


図-3 地中での穿孔

3. 穿孔操作の問題

岩盤の中へ穿孔中、オペレータからはドリリングビットは見えない為、運転席の計器類や打撃音や振動、孔口から噴き出す繰り粉(破碎された岩石粉)を見て、穿孔状況を推測しなければならない(図-3)。

穿孔状況が良くないまま作業を続けると、ドリリングロッドが抜けなくなってしまう(ジャミング現象)。定刻になり、ロッドを放棄して、機体を退避させて発破した場合、岩盤に残ったロッドは発破の威力で曲がってしまい、使い物にならなくなる。その為、クローラドリルの運転はベテラン作業者に任されることが多かった。

4. 穿孔自動化の問題

穿孔中に地層が変わった場合、ドリフタの前進推力(フィード前進圧力)を低減させたり、前進停止または後退させなければならない。それは、ロッドの回転抵抗の変化や、繰り粉の吹き出し具合から判断するが、現場や状況に応じて対応を変えなければならない。硬岩帯での穿孔プログラムのままで、破碎帯のある現場で作動させても、ほとんど進まないであろう。予め、穿孔プログラムを対応させておかねばならないが、変化に富む日本の地層に完全に対応させるのは容易ではない。

5. ドリリング・サポートシステム

「ドリリング・サポート」システムでは、回路上の

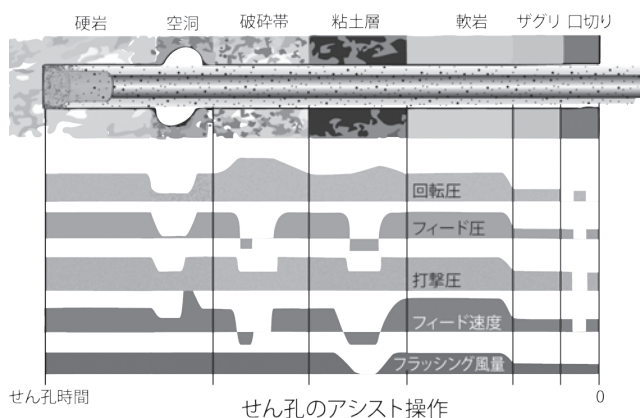


図-4 穿孔調整と操作の自動化

センサを用いて穿孔状況をモニタリングし、複雑な操作をプログラミングさせておいて、熟練オペレータと同等の穿孔を行う（図-4）。一方、オペレータの判断で割り込み操作を行うことにより、複雑で変化に富む岩盤に対して対応できる。

精密な電気センサ類は、粉塵と振動が多く損傷リスクの高いブーム先端側ではなく、主に機体本体側に配置し、操作をアシストする分だけに限定した。

（1）口切りとザグリ

真っ直ぐな孔を速く穿孔するには、最初の口切りとザグリが肝心である。本開発機では、ドリフタの打撃、回転、フィード、エアフラッシングが巧みに作動するようにプログラミングしており、オペレータは、フィード操作用レバーを倒すだけで、ロッドを曲げず、口元を広げずに口切り・ザグリできる。

（2）本穿孔

硬い岩盤に入ったら、高打撃力と強エアブローに切り替えて、穿孔速度を高める。岩盤の強さに応じて穿孔圧力を調整する場合は、オペレータがメータや練り粉の吹き上がり具合、打撃音や振動および隣接孔の穿孔を考慮して、フィード前進圧力を任意で調整する。適度に調圧されていれば、リズムカルな打撃音でスムーズに穿孔できるであろう。

（3）熟練型アンチジャミングシステム

穿孔中、練り粉の排出が十分に行われないと、ビットが孔中で埋まってしまい回転できなくなり、更に抜けなくなってしまう（ジャミング現象）。練り粉の排出や、回転圧計の針の振れなどから、熟練者であれば気づいて巧みに調圧したり、停止および後退させる。

本開発機は、アンチジャミング（以下、A/J）システムを搭載しており、規定値よりもビット回転圧が上

昇したり、エアブロー風量が低下すると、自動的にフィードバックしてジャミングを回避させる。規定値を下回ると、反転して、再び穿孔の為に前進する。

ただ、A/Jシステムが作動しても、後退と前進を繰り返すだけでは作業がはかどらない。本開発機では、規定値を超えた場合、直ちに後退するのでなく、熟練者のように、フィードを停止して練り粉を十分に排出させながら穿孔を継続できる。

（4）フィード圧力と打撃圧制御

岩盤中の空隙や、破碎帯に当たったとき、フィード前進圧が減少し、着岩していない状態で強打撃すると、ロッドのねじ部が緩んで、摩擦によりねじ部を傷めてしまう。

本機は、フィード前進圧が閾値を下回った場合、打撃圧力を本穿孔圧力からザグリ圧力へ低減させて、ツールへの負担を軽減する。

（5）フィード速度制御

穿孔中、空隙に入ると、穿孔速度は急上昇するが、空隙の壁に斜めに高速で当たりながら再穿孔することがあり、ロッドが曲がってしまう恐れがある。穿孔速度が急上昇や、練り粉の排出の低下は、よく見ていれば気づくが、熟練していないと難しい。本開発機は、空隙進入を検知し、速度を規定値に制限して、孔曲がりを抑制する。

6. オペレーション・サポートシステム

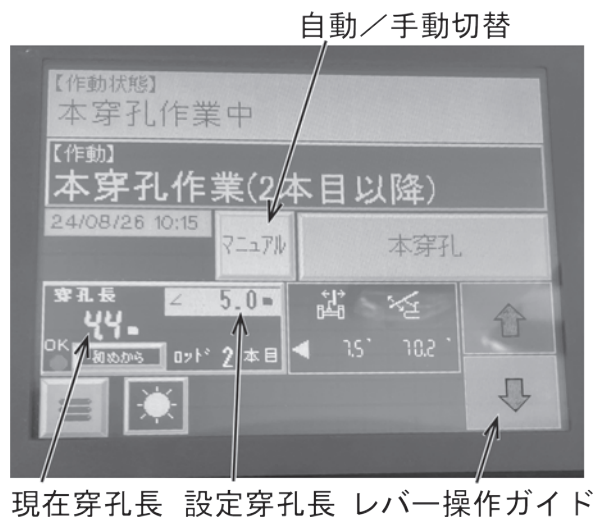
4 m 以上穿孔する場合、ロッドの継足しや回収、孔掃除など純穿孔以外の作業の割合が大きくなる。また、それらを行うロッドチェンジャなどの装置は油圧シリンダやモータなど作動アクチュエータが多いので操作の回数も多く、慣れていないオペレータを混乱させてしまう。

従来機では、制御システムと多数のセンサを搭載して、操作手順を複数のシーケンスにまとめて、操作回数を削減したが、それでも複数のレバーとボタンを操作する必要があった。

「オペレーション・サポート」システムでは、穿孔長を指定した後、右コンソールのフィードレバーの前後進操作のみで口切り作業からロッド回収作業まで穿孔を可能にした。

（1）画面上で操作ガイド

表示画面の右下の矢印は、次のフィードレバー操作



図一五 操作モニタ

方向を示す。初心者の操作ミスを低減でき、基本的な操作を可能にする（図一五）。

ダストコレクタは手動操作により、穿孔中に水脈に当たり、孔口から水が噴出した場合、フィルタを濡らさないように、直ちに吸込みを OFF に切り替える必要がある。

(2) 自由な穿孔長を設定

図一五の表示画面の「指定穿孔長」にタッチして穿孔長を入力すれば、穿孔長不足や、余掘りを防止できる。穿孔長の目安になるロッドの長さにとられず、自由に穿孔長を設定できる。

(3) 操作回数を 70% 削減





例えば、ロッドの継足し工程では、ドリフタの打撃、回転、フィード前後進、エアブローなど操作する装置が多い。ドリフタの逆回転操作や、スリーブをクランプする操作も必要である。操作が増えるとミスも起こり易くなる。ねじ緩め工程中、誤ってドリフタで正回転（ねじ締め）してしまうと、工程の最初からやり直さなければならない。

ロッド継足し工程での、従来方式とオペレーション・サポートシステムによる方式の操作内容を比較した（表一2）。操作手順数を従来方式の 30 回から約 1/4 の 8 回に削減できた。

(4) オペレータによる任意操作

「オペレーション・サポート」システム作動中、任意で手動操作を追加して、多様な岩盤に対応できる。例えば、本穿孔後または孔掃除後、孔底から残留残り粉が吹き上がる場合、設定された待ち時間以内に

表一2 継足し工程の操作（従来方式との比較）

従来の操作		継足し工程	OPSの操作	
1	ドリフタ早送り後進		孔 掃 除	1.フィード レバー後進
2	ドリフタ停止			2.フィード レバー前進
3	ドリフタ早送り前進			
4	ドリフタ停止			
5	ドリフタ前進		無 回 転 打 撃	3.フィード レバー前進
6	前進停止			
7	ドリフタ打撃			
8	ドリフタ逆回転			
9	逆回転停止			
10	打撃停止			
11	フィード後進		ね じ 緩 め	4.フィード レバー後進
12	後進停止			
13	スリーブクランプ(前)開			5.フィード レバー前進
14	ドリフタ前進			
15	前進停止			6.フィード レバー後進
16	エアブロー停止			
17	ドリフタ後進			
18	ドリフタ逆回転			
19	逆回転停止			
20	後進停止			
21	ドリフタ早送り後進			
22	後進停止			
23	継足しロッドをセット		ね じ 込 み	7.フィード レバー前進
24	ドリフタ正回転			
25	ドリフタ早送り前進			
26	前進			
27	前進停止			8.フィード レバー後進
28	正回転停止			
29	継足し用アーム退避			
30	スリーブクランプ(前)閉			

フィードレバーを後進側に入れば、孔掃除を追加できる。

待ち時間の長さは任意に設定できて、画面上の横長バーで経過と残りを確認できる。この判断の為の待機時間は、操作の習熟に応じて短縮設定でき、個人別の習熟度が反映される。

7. 評価

「ドリリング／オペレーション・サポート」システムにより、以下の結果を確認できた。

- ・穿孔時の操作回数を 70% 削減できた。
- ・ジャミングが発生しそうな岩盤でも、自動的に回避する操作を行い、従来は熟練者でないと難しかったジャミング回避を、初心者でも可能にした。

- ・孔曲がりさせず真っ直ぐに穿孔できるよう自動的にサポートを行い、画面上で次の操作を指示するので、初心者にも多い拙速なミスを抑制できた。
- 一方、以下のような評価も頂いた。
- ・ベテランオペの方が速いし、それで足りている。
- ・緊急事態（断層や水脈）では手動操作が必要。
- ・全自動機よりも退化している。

本開発機は、無人作業はできないが、オペレータの操作のサポートをして作業効率と作業環境を向上させる。初心者は、サポートシステムにより初心者特有のミスを抑制しつつ操作に慣れて行けば、経験値を上げながら、労働意欲が向上し、工程全体を担える人材に成長するであろう。雇用者は、現状のオペレータで十分だとしても、10年後の状況は違うであろう。将来の為に、新規就労者とその育成は不可欠である。

深さ18mの岩層を予想し全て対応するのは容易ではなく、機械の価格も増加するであろう。建機の自動化では、コストも考慮しながら、自動化機械と人の仕事の分担を決める必要がある¹⁾。高額な無人機による安全で効率的な現場は1つの目標であるが、ドリリング／オペレーション・サポートシステムは、少子高齢化が進み、経済的にも成熟期に入った日本で、活力にある作業環境と、将来にわたる建設資材の安定供給を保つモデルの1つである。

8. おわりに

本開発機により、穿孔作業におけるオペレータの操作をサポートすることができた。穿孔された孔は、装薬して発破することにより骨材生産に利用される。そ

の穿孔データは、従来はベテラン担当者が担っていた安全で効率的な発破にも活用できるであろう。山岳トンネル工事では、穿孔データから発破パターンを自動的に作成する研究も進んでいる²⁾。今後も、実際の作業、施工現場で、ユーザーに役立つ製品、サービスを生み出して行きたい。

最後に、今回の施工実施および撮影にご協力頂いた(株)昭和石材工業所の皆様に感謝申し上げます。

J C M A

《参考文献》

- 1) 油田真一, 建設機械の自動運転の難しさ, 建設機械施工 886号 p.4, 2023.12
- 2) 井出康夫, 山岳トンネル工事における最適発破自動設計施工システムを開発, 建設機械施工 891号 p.45-49, 2024.05

【筆者紹介】

近藤 和彦（こんどう かずひこ）
古河ロックドリル(株)
高崎吉井工場 搭載機設計一課
課長



板東 翼（ばんどう つばさ）
古河ロックドリル(株)
高崎吉井工場 搭載機設計一課



田島 良一（たじま りょういち）
古河ロックドリル(株)
営業本部 営業企画部
技師長

