

11. 遠隔操縦ロボット「ロボQ」による坑内チッピング施工

○ (株)フジタ 三村 洋一
(株)フジタ 本多 茂

1. はじめに

ダム仮排水路トンネル閉塞工において、止水機能を担うプラグゾーンでは、閉塞するコンクリートの付着を確実にする目的で、仮排水路トンネルの覆工コンクリート表面全周にチッピング作業を行う。チッピング作業は人力作業が通常である。機械施工の場合はコンクリートハツリ機等を重機に装着して施工する。このチッピング作業は、騒音・粉塵等が激しい劣悪な環境であり、重機オペレータは、トンネル天端施工時、不自然な姿勢での作業が強いられる。

今回、このチッピング作業におけるオペレータの作業環境の向上、苦渋作業からの開放等を目的に、遠隔操縦ロボット（以下：ロボQ）を導入し、3箇所から

の映像を基にトンネル坑外のコントロールルームよりバックホウ（0.28m³級）とコンクリートハツリ機の遠隔操縦を行った。

本報告では、国土交通省中国地方整備局発注の灰塚ダム仮排水路トンネルで行ったロボQによるチッピング作業の施工結果について報告をする。

2. 施工システム

チッピング作業を行うのは、仮排水路トンネルの吐口から約160m入った33m区間である。施工配置図を図-1に示す。

チッピング作業施工設備一覧を表-1に示す。

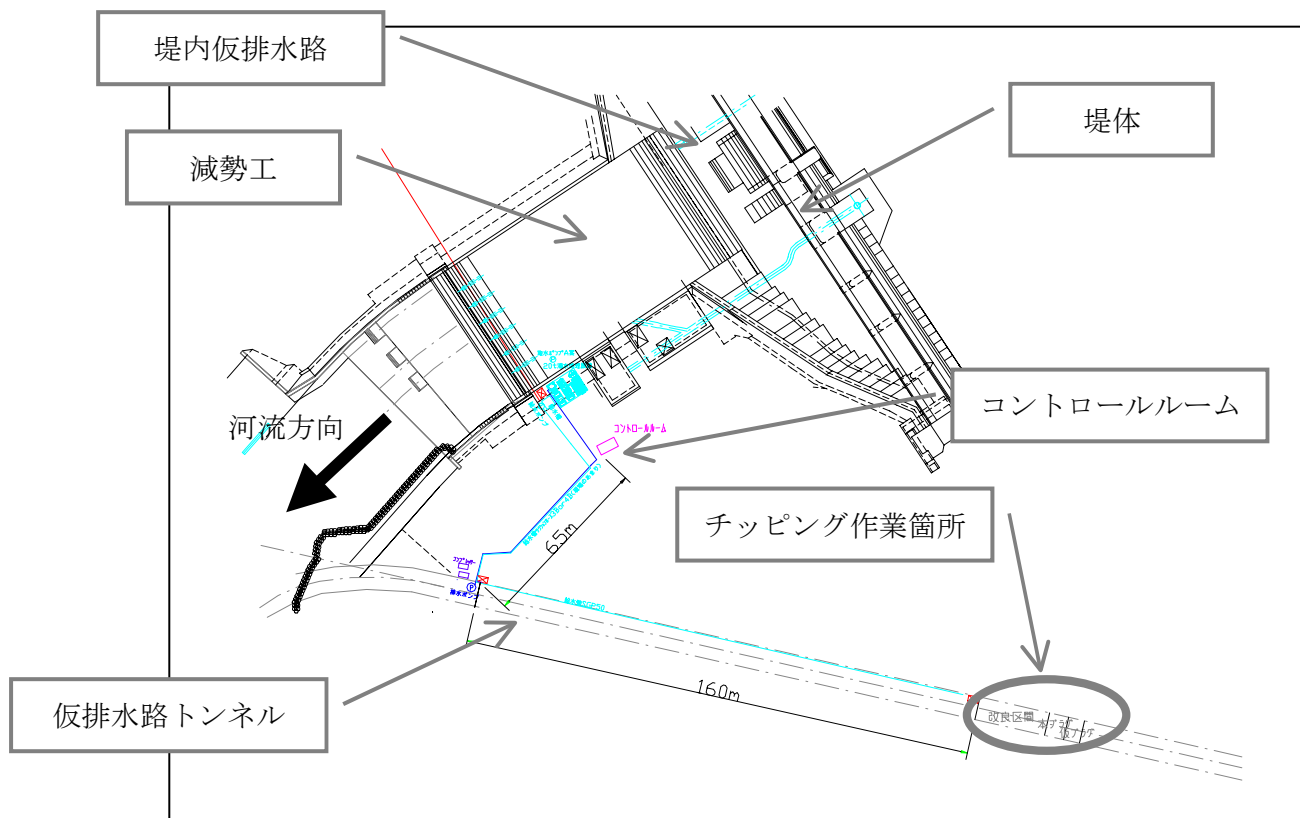


図-1 施工配置図

表-1 施工設備一覧

	使用機材	型式・仕様	数量(単位)	適用
チッピング設備	コンクリートハツリ機	11m ² /h	1 (台)	
	上記取付油圧ショベル	0.28m ³ 級	1 (台)	
	コンプレッサ	11m ³ /min	1 (台)	
	配管	2B	200 (m)	
遠隔操縦設備	ロボQ		1 (台)	
	遠隔操作電磁弁盤	新規製作	1 (台)	スライキハシマ操作用
	コントロールルーム	1.5K × 4K	1 (棟)	
映像支援設備	カメラ(ズーム付き)	10倍ズーム	3 (台)	
	カメラ雲台	水平350°、上20°、下70°	3 (台)	
	カメラコントローラ	首振り、ズーム、フォーカス調整	3 (セット)	
	ロボQ映像受信盤		1 (台)	
	モニタ	20インチ(切替付き)	3 (台)	
	カメラコントローラ		3 (セット)	
	同軸ケーブル		1200 (m)	4系統分
照明設備	水銀灯	200V500W	4 (灯)	
	作業灯	100V300W	3 (灯)	
その他	給水ポンプ	水中φ80mm、18mH	1 (台)	
	給水槽	鋼製 5m ³	1 (台)	
	排水ポンプ	水中φ50mm、20mH	2 (台)	
	換気ファン	300m ³ /min、400mmAq、15kW×2	1 (台)	
	風管	防炎ビニルφ600mm	180 (m)	



写真-1 コンクリートハツリ機



写真-2 ロボQ取付状況

(1) コンクリートハツリ機

チッピング作業機械として、コンクリートハツリ機を取付けた。写真-1に示すようなφ70 (mm)のビットが6個ついた機械で、空圧による打撃力でチッピングを行う。今回は、油圧ショベル(0.28m³級)に取付けた。オペレータ搭乗運転の場合は、運転席に装備したフットペダル式のエア一弁を操作して作動・停止させる。

(2) 遠隔操作システム構成

図-2 にトンネル坑内の遠隔操作システム配置を示す。以下に各設備の概要を示す。

① ロボQ

ロボQとは、汎用油圧ショベル運転席に取付け

て遠隔操縦機械にすることができる装置である(国土交通省九州技術事務所と共同開発)。取付けた状況を写真-2に示す。

ロボQは、エアーシリンダで駆動する装置であり、今回は、コンクリートハツリ機用に供給しているエアーを分岐して用いた。

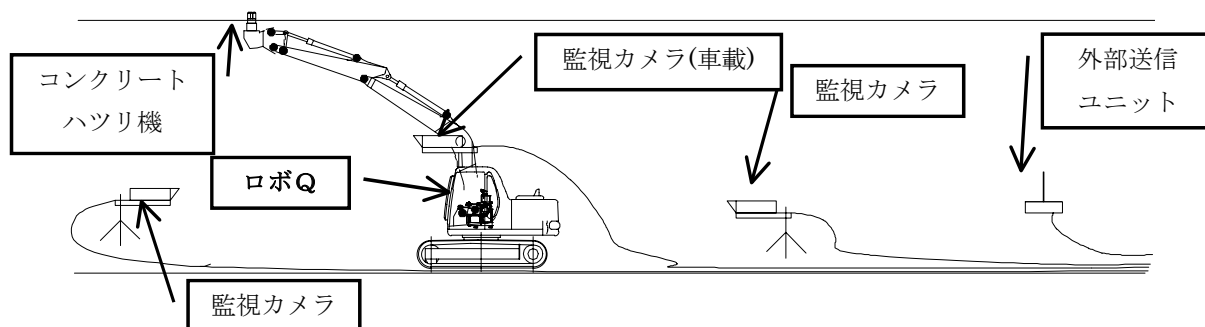


図-2 トンネル坑内遠隔操作システム配置図

② 外部送信ユニット

ロボQの操作は、写真—3 に示す遠隔操縦リモコンで行う。このリモコンは、特定小電力無線を使用しているため、通常、見通しの利く 150m位の距離でしか使用できない。しかし、今回は、トンネル坑外からの運転となるため、外部送信ユニットを取付けて、見通しの利かない 200m 以上離れた位置から操作できるように改造した。



写真—3 遠隔操縦リモコン

③ コンクリートハツリ機制御

コンクリートハツリ機の運転は、通常フットペダル式エア弁を使用するが、遠隔操縦を可能にするために、バックホウにコンクリートハツリ機遠隔操作盤（電磁弁内蔵）を取付けた。また、ロボQ側にも、リレー回路を追加し、リモコンの予備スイッチを利用して、電磁弁のON/OFFできるようにハードの改造を行うとともにロボQのソフトも改造した。

(3) 映像支援システム構成

見通しの利かないところからの遠隔操縦では、映像による支援が不可欠である。このため、モニタリング用に監視カメラ等を設備した。

① カメラ

バックホウ運転席上部に雲台付カメラを搭載した。施工状況の全景確認やハツリ機刃先確認用に雲台付固定カメラを2台配置した（写真—4、5 参照）。これら3台のカメラ操作は、有線でコントロールルームより行った。また、ロボQに装備されているカメラ映像は、SS無線で坑内映像無線盤まで中継し、そこから有線でコントロールルームまで配線し操作



写真—4 重機搭載カメラ



写真—5 固定カメラ

した。

② モニタ

コントロールルームには、20 インチのモニタを3台配置した。通常は、雲台付カメラの映像を映し出した。ロボQカメラは、レバーの作動状況を確認する場合に切替えて使用した。

③ 照明設備

施工場所の照明設備として、水銀灯4灯と作業灯3灯を設置した。作業灯1台は、重機に搭載した。照明に当て具合で影などにより、施工面の確認が難しくなったので、適宜調整した。

3. 施工結果

(1) 施工数量

ロボQによるチップング作業の施工数量を表—2

表—2 施工数量

		搭 乗 運 転		ロ ボ Q 近 傍 運 転	ロ ボ Q 遠 隔 運 転
		(底 盤)	(側 壁)	(底 盤)	(側 壁)
施 工 数 量	m ²	86.7	80.5	38.7	72.6
時 間 当 た り 平 均 施 工 面 積	m ² /h	3.61	5.75	2.58	3.77

に示す。施工は、オペレータ搭乗運転、バックハウ近傍でのリモコン運転およびコントロールルームでの遠隔運転を行った。

(2) 施工状況

① 搭乗運転（有人）

バックハウに搭乗し、通常の運転を行った。時間当たり施工面積は、底盤部が $3.61 \text{ (m}^2\text{/h)}$ で $86.7 \text{ (m}^2\text{)}$ を施工した。側壁部が $5.75 \text{ (m}^2\text{/h)}$ で $80.5 \text{ (m}^2\text{)}$ 施工した。底盤部およびその他に含まれる天井部は、施工面のアールがきつくコンクリートハツリ機刃先を壁面に平行に当てるのが難しくビット全てが壁面に当たらず、施工スピードが落ちた。また、運転席の反対側や天井部を施工する場合は、直接目視することが困難であることから施工スピードが落ちた。トンネル天端部を施工する時は、運転席シートを倒しての運転になり、非常に作業がやりにくく疲れる姿勢での運転となった。



写真—6 ロボQ近傍運転



写真—7 型枠際の施工

た。

② ロボQ近傍運転

ロボQを取付けた後、遠隔操縦のリモコン操作に習熟するために底盤部の施工および側壁部の施工（写真—6 参照）を近傍で行った。当初は、運転操作の感覚に慣れず、施工スピードも上がらなかったが、徐々に施工スピードが上がっていった。

この際、写真—7 に示すように型枠等障害物がある場合には、近傍で直接目視しながら施工した。この場合は、精度もよく、微妙な操作が必要な箇所の施工に適していることが判明した。時間当たり施工面積は、平均 $2.55 \text{ (m}^2\text{/h)}$ で $46.0 \text{ (m}^2\text{)}$ 施工した。

③ ロボQ遠隔運転

オペレータが遠隔操縦のリモコン操作に慣れた後、操作場所を施工場所から約 200m 離れたコントロールルームからの遠隔操縦を行った（写真—8 参照）。坑内の遠隔運転状況を写真—9 に示す。

チッピング作業時は、車載カメラを中心に使用



写真—8 コントロールルームから遠隔運転



写真—9 ロボQ遠隔運転



写真-10 車載カメラ映像



写真-11 前方カメラ映像

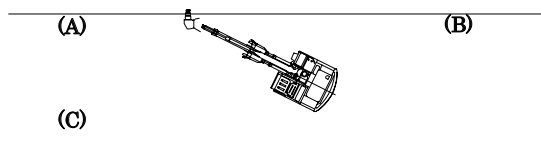


図-3 カメラ配置図

した（写真-10 参照）。カメラの配置状況を図-3に示す。壁との当たり確認用に、当初は、(A)と(B)にカメラを配置したが、壁との当たり状況は確認できても、壁との接触点の位置情報が分からないので、前方のカメラ(A)を(C)の位置に移動した。このカメラにて、車載カメラにて確認できない遠近感を確認できるようになった（写真-11 参照）。

重機の走行時は、図-3 の前方および後方の固定カメラの全景映像および車載カメラの前方確認映像を使用して走行した。1 日のハツリ作業の範囲は限られており、走行範囲も限られているため、事前に機材の配置を工夫して、作業効率の向上に努めた。後退時は、エア供給用のエアホースなどの引っ張り作業をするため、テレビカメラの映像を見ながら、人の補助による遠隔操縦を行った。当初の(A)と(B)のようなカメラの配置状況によ

っては、重機の陰になる部分ができるため、走行時のカメラ配置には留意した。

時間当たり施工面積は、平均 $3.77 \text{ (m}^2/\text{h)}$ で $72.6 \text{ (m}^2)$ 施工した。

(3) 施工精度

① 搭乗運転（有人）

出来形の凹凸度は、 10 (mm) 程度であった。

② ロボQ近傍運転

出来形の凹凸度は、 $10 \sim 25 \text{ (mm)}$ 程度であった。リモコンのレバー操作に習熟していなかったため、搭乗運転より少し凹凸が大きくなった。

③ ロボQ遠隔運転

出来形の凹凸度は、 $10 \sim 35 \text{ (mm)}$ 程度であった。遠隔操作は、オペレータが打撃音や振動によるチッピング感覚が把握できないため、近傍での運転より凹凸が大きくなった。

当初は、カメラ映像によるチッピング面の確認ができなかったため、施工し残しがあった、カメラ配置を変えた後は、殆ど施工し残しはなくなった。

(4) 作業環境

① 粉塵

少量の水をコンクリートハツリ機刃先より噴射しながら施工すれば、粉塵の発生はかなり抑制できた。視界的には、良好に感じられるが、微細の浮遊粉塵が運転席のガラスおよびロボQに付着した。運転席のガラスに付着した粉塵のため、運転席からの視界は悪くなった。搭乗運転時には、防塵マスクの着用が必要であった。

この点、坑外コントロールルームでの遠隔運転では、粉塵などの全くない環境で、運転操作可能であった。

② 騒音

コンクリートハツリ機の騒音は、重機近傍では、 110 (dB) あった。トンネル内で、音はほとんど減衰せず、機械より 150m 離れた坑口でも 95 (dB) あった。

このため、坑内では、コンクリートハツリ機で打撃中は、会話することは不可能であった。

坑外コントロールルームは、騒音がほとんどな

しの騒音レベルが 60 (dB) 以下であった。非常に静かな環境で、運転可能であった。

③ 温度

今回の施工は、冬場 0℃近くの気温下の施工であり、近傍でのロボQ運転は、オペレータにとって厳しい条件であった。搭乗運転では、重機運転席のエアコンがきくため外気の影響はほとんど無かった。また、コントロールルームでの遠隔運転でも、快適な操作環境であった。

4. 今後の課題

搭乗運転の場合とロボQによる運転の場合の比較を表-3に示す。

(1) コンクリートハツリ機による施工

トンネル断面は丸く、コンクリートハツリ機先端をブーム型の壁面に垂直に当てるのが難しく、搭乗の運転でも所定の施工量（チッピング深さ 30 mm、11 m³/h、機械カタログスペック）を確保できていなかった。断面にコンクリートハツリ機を簡単に垂直に当れる機構や離れ確認に工夫が必要となる。

(2) チッピング深さ

チッピング深さは、設計で 25 mmであったが、目視運転でも、チッピング深さの把握が難しかった。また、施工面の出来型の確認も難しかった。

振動が激しいため、センサの取付けは難しいが、確認治具などの取付けが考えられる。

(3) カメラ配置

カメラの配置は、施工面に合わせて移動が必要であった。もう少し、カメラ設備に移動が容易なような工夫が必要であった。

(4) 音声情報

ロボQは、作業場所の音声情報を伝送することも可能であるが、この場合、コントロールルームまでケーブルを 1 本追加敷設しなければならない。このため、今回は、音声情報を追加なしでの施工であった。このため、コントロールルームのオペレータは、チッピング状況音が確認できなかった。映像によるハツリ機刃先の動きで確認したが、空打ちが多くなった。

5. まとめ

ロボQによる遠隔操縦は、有人搭乗運転に比べ、施工スピードの点で落ちるが、良好な環境下で作業を行うという目的は達成できた。また、近傍運転による刃先を直接目視しながら油圧ショベルを運転操作ができるという新たな使用方法も提示できた。

表-3 搭乗運転とロボQによる運転比較表

	搭 乗 運 転	ロ ボ Q 近 傍 運 転	ロ ボ Q 遠 隔 運 転
利 点	・慣れたレバー操作で運転できる ・トラブルは機械的トラブルに限られる ・施工スピードが早い	・直接目視しながら運転できる ・バックホウ周りを確認しながら走行できる ・障害物近傍の施工に適している	・高環境下での作業となる（クリーンなルームでの作業） ・刃先を拡大確認できる
欠 点	・悪環境下での作業となる（騒音・振動・粉塵等） ・刃先を直接目視できないことがある ・無理な姿勢での運転となることがある	・悪環境下での作業となる（騒音・振動・粉塵等） ・慣れるまでに時間がかかる	・カメラ配置などが必要になる ・機械周りのトラブルの対応に改良がいる ・施工スピードは有人より落ちる