

日本初の全自動コンピュータージャンボによる施工 Construction by Full Auto Computer Jumbo First Introduced in Japan

岡村 貴彦* 河原 博*
Takahiko Okamura Hiroshi Kawahara

要 約

トンネル掘削における余掘りの低減は、ずり搬出時間の短縮、覆工コンクリートの低減、ならびに工事原価の縮減に大きく寄与するものである。このテーマに挑むべく、日本初となる全自動コンピュータージャンボ（Atlas Copco L3C-2B）の採用を吾妻峡トンネル（旧名称：吾妻トンネル）において試みた。全自動コンピュータージャンボは、予めジャンボ内のコンピューターに発破パターン（削孔長・削孔角度・削孔順序）とトンネル線形（X, Y, Z）を入力しておくこと、あとは切羽付近のジャンボの位置設定のみでコンピューター制御による高い精度の削削を行うことができるものである。

本稿では、全自動コンピュータージャンボの施工、ならびに今後の展望について報告する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 全自動コンピュータージャンボによる施工
- § 4. 今後の展望

§ 1. はじめに

吾妻峡トンネルは、八ツ場ダム建設事業の一環として新設される県道林吾妻線の内、八ツ場ダム建設予定地の吾妻川右岸に位置する1,768mの道路トンネルである。

今後八ツ場ダムの建設に伴い代替用地へ移り住む地権者や地域住民の道路として、また観光に訪れた人達のアクセス道路として利用が予定されている。

この吾妻トンネルにおいて、日本初の全自動コンピュータージャンボを採用した理由は次の3点であった。

- (1)本初採用ということで広く社内外に技術力をアピールすることができる。
- (2)事前ボーリング調査や弾性波探査から、トンネルの地山区分の8割以上がBパターンで占められている。
- (3)香港・タイラムトンネルの実績を踏まえ、コンピューター制御による高精度の掘削を行なうことによって余掘りの低減を図ることができる。

本稿では、全自動コンピュータージャンボの施工と今後の展望について報告する。

§ 2. 工事概要

2-1 工事概要

- (1)工 事 名：吾妻トンネル新設工事
- (2)発 注 者：国土交通省・関東地方整備局
- (3)施 工 者：西松・森本特定建設工事共同企業体
- (4)施 工 場 所：群馬県吾妻郡吾妻町大字三島～
長野原町大字川原湯地内
- (5)工 期：平成11年12月4日～平成15年10月27日
- (6)工 事 内 容：

①工事規模

- a. 延 長：トンネル延長 1,768m
- b. 断面積：掘削断面積（設計断面）B 73.040m²～
DⅢ 90.986m²，非常駐車帯 94.476m²
- c. 幅 員：6.0m（車道），+2.0m（歩道），
+0.75m（監査歩廊）

②施工方法

- a. 支保方式：NATM
- b. 掘削工法：補助ベンチ付全断面工法…B～CⅡ
上半先進ベンチカット工法…DⅠ～DⅢ
- c. 掘削方式：発破掘削
- d. 運搬方式：タイヤ方式

主要機械一覧表を表-1に示す。

2-2 地形・地質概要

(1) 地形概要

吾妻峡トンネルは、群馬県と長野県の分水嶺をなす三国山脈南部の鳥居峠付近に源を発する吾妻川の中流域に

*関東（支）吾妻トンネル（出）

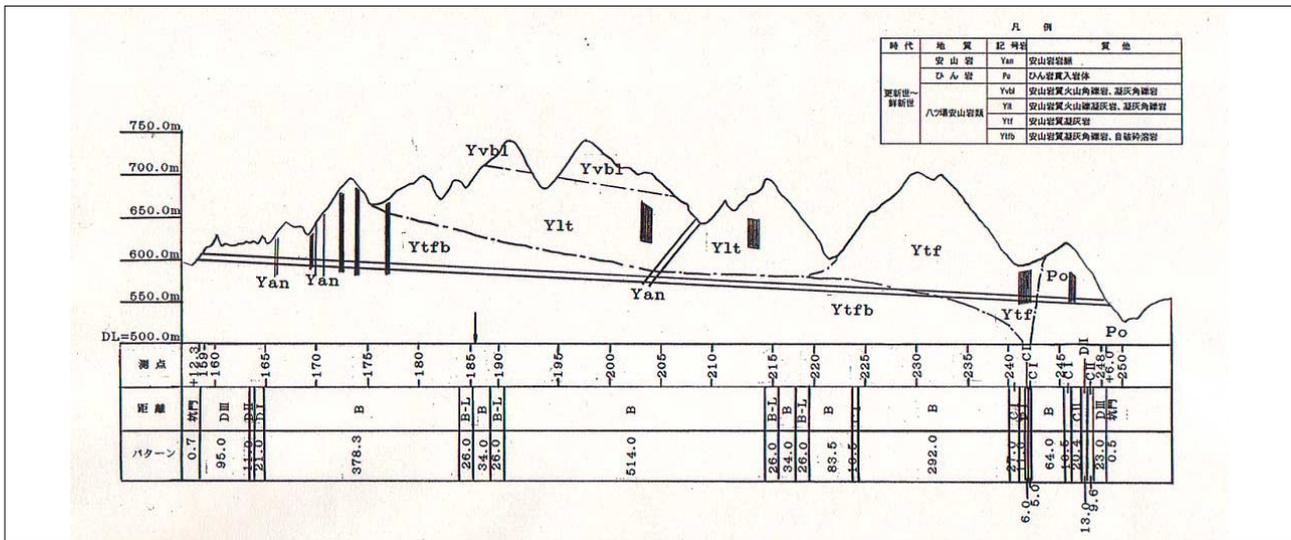


図-1 地質縦断面図

表-1 主要機械一覧表

施工区分	機種	規格	型式	数量
削孔・R.B.	ドリルジャンボ	ホイール型 油圧式3ブーム ドリフト重量180kg超級	L3C-2B	1
ずり出し	トラクタショベル	サイドダンプ式 ホイール型 3.1m ³	966G	1
	ダンプトラック	ディーゼル 30t積み	GHD285TN	4
こそく	大型ブレイカ	油圧式1,300kg級	HB-20G	1
		ベアスマシン 油圧式 クローラー型0.7m ³ クラス	320B	1
吹付け	コンクリート吹付け機	湿式ホイール型 吐出力6~21m ³ /h コンプレッサー搭載型 15m ³ /min	AL-285, AL306	1
支保工建込み	ドリルジャンボ	ホイール型 油圧式2ブーム	H-135	1
	トラッククレーン	クレーン装置付4t積 2.9t吊	FRR32JB	1



写真-1 全自動コンピュータージャンボの削孔状況

位置している。吾妻川は、利根川の主要河川であり、幹線流路延長76.2km、流域面積1,365.9km²を有する。上流域には浅間山（標高2,568m）、四阿山（標高2,340m）、白根山（標高2,170m）、白妙山（標高2,140m）などの山々が連なり、新規の火山噴出物を刻みながら流下する。

吾妻峡トンネルの近くには急崖、絶壁を連ねた景勝地として名高い吾妻渓谷があり、紅葉シーズンを中心に多くの観光客でにぎわっている。

(2) 地質概要

トンネル周辺の地質は、新第三紀鮮新世～第四紀更新世の溶岩・火砕岩および同時期に活動した貫入岩が複雑に分布しており、主にひん岩貫入岩・安山岩質凝灰岩・凝灰角礫岩・自破砕溶岩からなる。

吾妻峡トンネルの地質の大きな特徴は、トンネル全長の85%をBパターン（全断面掘削、1発破進行長2m）が占める安定した地山であり、全体的には一軸圧縮強度が50MPa、弾性波速度が3.6~4.3km/s程度の中硬岩～硬岩地山である（図-1）。

§ 3. 全自動コンピュータージャンボによる施工

3-1 全自動コンピュータージャンボの概要

このジャンボ（写真-1）の特徴としては、次の事項が挙げられる。

- (1) ジャンボに搭載されているコンピューターにトンネル線形、断面および発破パターン等の必要なデータを入力することにより、全自動削孔を行なうことができる。
- (2) 削孔したデータは自動的にPCカードに記録され、削孔データと発破後の断面を照らし合わせることで次の掘削にフィードバックできる（図-3）。

全自動コンピュータージャンボの概要を表-2に示す。

3-2 自動削孔までの流れ

自動削孔までの手順を以下に示す。

(1) データ作成

次にあげるデータを作成し、ジャンボのコンピューターに入力する。

- ① トンネルの線形座標（トンネルセンターのX, Y, Z

表-2 全自動コンピュータージャンボの概要

機械形式	L3C-2B	
形状寸法	長さ	15.68m
	幅	3.9m (アウトリガー張出し時)
	上昇式キャブ	3.66m + 1.1m
性能	削岩機	COP 1838
	電気送出力	237kW
	電圧	690V
	水ポンプ	300ℓ/min
キャビン	室内の低騒音レベル化 (120dB→80dB) 昇降による広い視界の確保 エアコンによる快適な作業空間 ディスプレイによる削孔状況の確認 (図-2)	

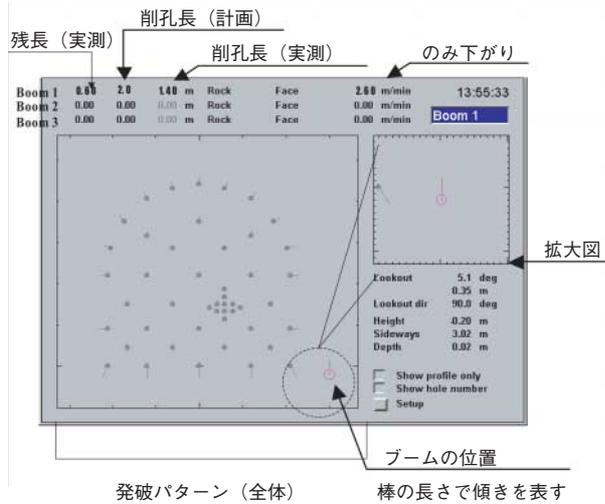


図-2 コンピューターのディスプレイ

座標)

当現場では、1mピッチで座標を作成した。

②発破パターン

進行長と心抜き方法を決定後、試験発破を行ない、発破の効き具合 (発破後の焼結状況、削孔間の抵抗線間隔状況、孔尻残状況、断面測定による余掘り状況等) を現場で確かめながら、せん孔間隔や周辺孔の差し角度を決定する。発破パターン作成後、ブームに各孔を割り振り、ブーム同士がぶつからないように削孔順序を定める。

(2) 座標入力

現場では予め測量用のレーザーを設置 (1箇所) しておき、そのレーザーの通過する任意の2箇所 X, Y, Z座標をジャンボのコンピューターに入力する。ここまが事前に行っておく作業である。

(3) ガイドセルのセット

ジャンボを切羽にセットした後、ガイドセルにターゲットを2枚セットし、レーザーに合わせる。(図-4:A)

(4) 仮想切羽の入力

既知の距離程から仮想切羽 (図-4:B) の位置をスチールテープで追出し (図-4:C)、その距離程をジャンボのコンピューターに入力する (ここに仮想切羽とは、

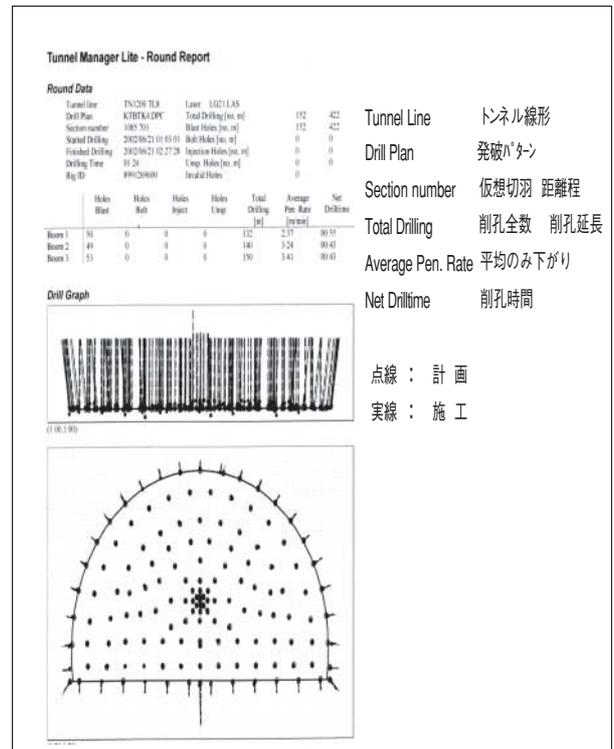


図-3 削孔データ

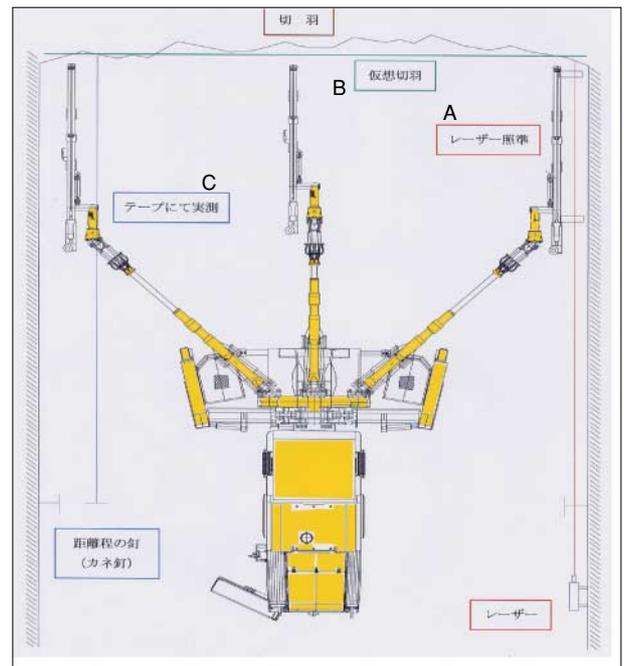


図-4 切羽でのセット状況

コンピューターに入力した距離程での二次平面切羽であり、実際の凹凸のある切羽と区別してこのように呼んでいる)。これでジャンボのセットは完了で、この後ボタン一つで削孔を開始する。

通常作業において現場で行うのは(3)、(4)であり、ジャンボセット後から自動削孔スタートまでの所要時間は、概ね3分である。尚、サイクルタイムの上では自動削孔と手動削孔の削孔速度の違いはなかった。これは、自動

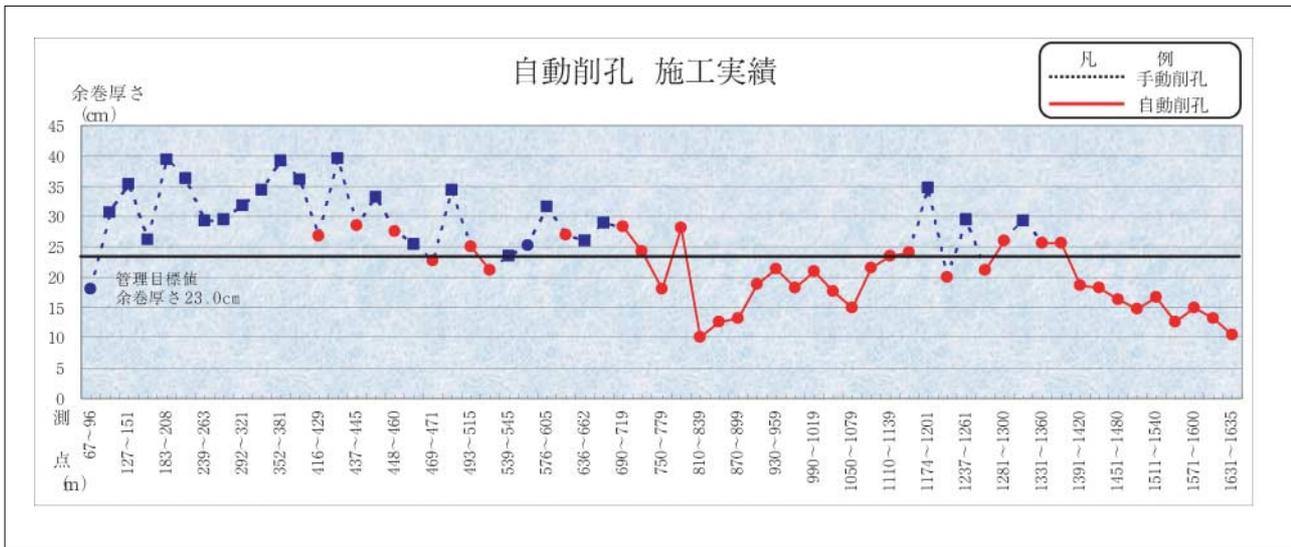


図-5 自動削孔施工実績

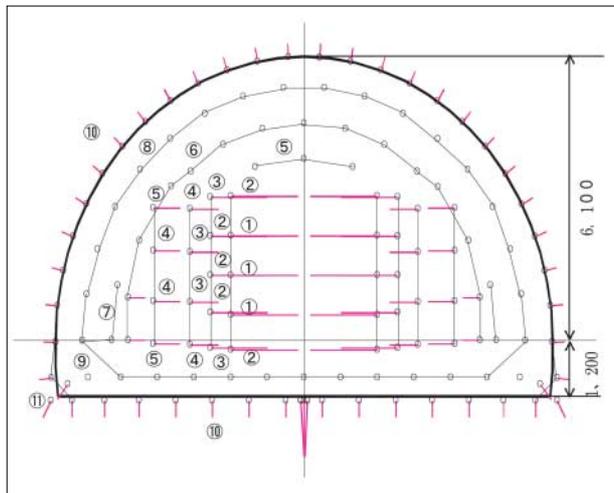


図-6 標準的な発破パターン (Bパターン)

では次の場所へ移動するための時間が手動より掛かること、ならびに手動では次の削孔口にセットする時間が自動より掛かることが挙げられる。切羽でのジャンボのセット状況を図-4に示す。

3-3 全自動削孔による施工実績

自動削孔開始当初は発破パターンや差し角等の調整に手間取り、自動削孔の試験施工と手動削孔を繰り返した。余掘り管理に大きく影響する周辺孔の削孔口は、当初管理目標値（余巻厚さ 23.0cm）を基準に施工をしたが、予想以上に余掘りが大きくなってしまった。

本坑が直線部に入り、岩質や岩盤の走向・傾斜が安定してきたことや試験施工の結果から、基本となる発破パターンを確定したことにより、坑口より700mほど入ったところから自動削孔に切り替えた。標準的な発破パターン(図-6)では、差し角度6°(2.3m削孔で215mmの開き)とした。

その結果、手動削孔と自動削孔の違いは余巻厚さに

表-3 支保パターン別余巻厚さ

	余巻厚さ (cm)	
	手動削孔	自動削孔
Bパターン	31.9	20.5
C Iパターン	33.2	-
C IIパターン	17.1	-
D Iパターン	12.7	-

はっきりと表れた。すなわち、図-5に示すように自動削孔では、余巻厚さの管理目標値以下で施工することができ、表-3に示すように手動削孔時に比べ36%ほど余掘りを低減することができた。

全自動削孔は坑口から690m~1390mの区間においては、管理目標値(23.0cm)以下を基準に施工を進めていたが、1390mから先の245mはBパターンの地山でどれくらいまで当りを出さずに掘削出来るかに挑戦した。その結果、最小余巻き厚さ10cmを目標とした掘削で初めて当たりが発生した。したがって、実際には12cm程度までならコンピュータージャンプで制御しながら掘削が可能であることが分かった。

3-4 施工へのフィードバック

掘削後の余掘り量は、日常のサイクルに断面測定(プロファイラー4000, スーパーナトム, 1.0mピッチで測定)を組み込んだ管理を実施した。手順は次の通りである。前日の夜勤と当日掘削した箇所を測定し、直ちにデータを出力する。その後、フローチャート(図-7)に沿って施工検討を行ない、修正箇所があれば発破パターンを修正し、現場にフィードバックする。また、翌日の協力業者との朝礼時には、打ち出したデータの閲覧と修正箇所の連絡を行ない周知徹底を図る。

ただし、Bパターン地山では、節理や走向・傾斜が大きく影響し、余掘りや当たりを生じてしまう。山によっては、余裕を持った(前述の12cmがそうである)掘削

と細かい測定が必要である。また、当現場では実施しなかったが、周辺孔に電子雷管を使用すれば、より余掘りを低減できると考えられる。

3-5 評価

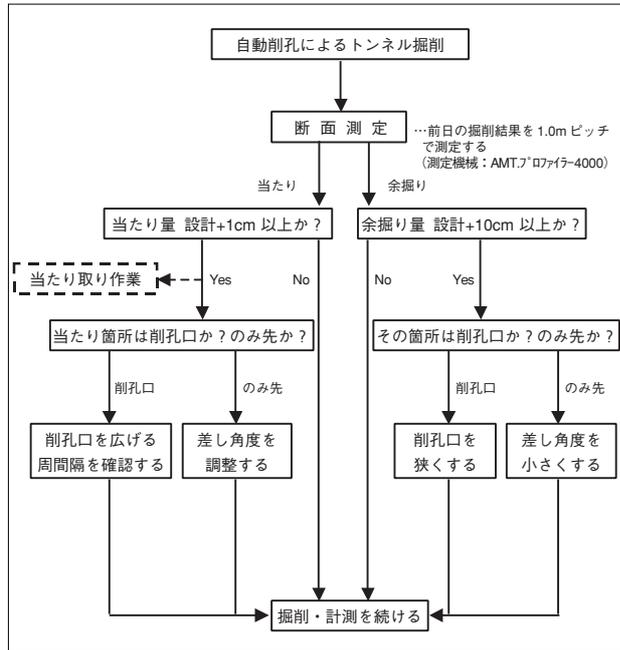


図-7 発破パターン調整のフローチャート

全自動コンピュータジャンボの欠点の一つは、支保工の建込みを必要とする場合には、別途に機械を準備しなければならないことである。したがって、本工事における実績から次のような結論が得られた。すなわち、掘削延長が1,000m以上あるトンネルで支保工が不要な地山区分(CI以上)が全体の60%以上あれば、全自動コンピュータジャンボは経済的に有利と考えられる。とくに、長孔発破のように削孔精度を必要とする掘削には非常に適している。優れた掘削技量を持った坑夫が年々減少していく中、この全自動コンピュータジャンボは将来有望である。また経済性や環境においても広くアピールすることが可能である。本工事での施工実績を踏まえて、現時点での全自動コンピュータジャンボの長所と短所を表-4に示す。

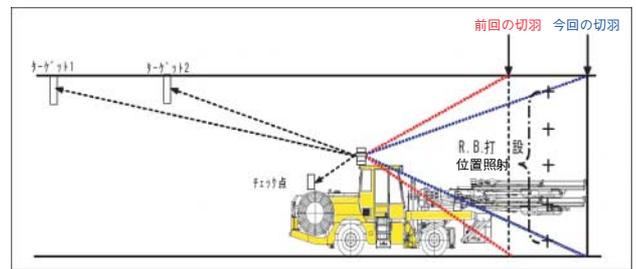


図-8 トータルステーション起動概念図

表-4 全自動コンピュータジャンボの長所と短所

長所	①余掘りを抑えることができ、経済性・環境面に優れる。
	②容易に発破パターンを管理できる。
	③コンピューターによる削孔精度の向上が図れる。
	*余掘りの低減が図れる。
	*長孔発破時 芯抜き周辺の孔間隔の狭い箇所でも正確に削孔できる。
	*孔尻を揃えることができるので、削孔長と爆薬量の低減が図れ、すかし掘りにならないため安全である。
	*爆薬量の低減は、地山の緩み領域拡大抑制につながる。
	④切羽へのマーキングが不要のため、切羽に近づく時間が短くて安全である。
	⑤孔数、段数、装薬量が決まっているため、残火薬が少ない。
短所	⑥全自動削孔時は運転手1名でも削孔作業が可能である。
	⑦削孔データが保存される。
	⑧ジャンボ内の操作パネルにブームの位置が表示されるため、切羽を見ることなく削孔できる。
	⑨キャビンが昇降し、視界が広くとれる。また、キャビンは騒音が少なく、エアコンによる空調設備付きのため最良の環境が得られる。
	①ロックボルトの自動削孔は現状ではできない。
	②孔荒れになりビットが詰まった場合、自動削孔は一時停止する。
	③支保工の建て込みができない。
	*ブームに重量物を載せると削孔精度が低下する。
	*別途、支保工建て込み用ジャンボ、エレクター台車、もしくは建て込み用の別ブームの取付けが必要である。
その他	④ジャンボの位置決め用レーザーを精度よく取付けなければならない。
	*後方既知点を測定することにより、ジャンボの位置を自動で確認できるシステムを搭載すれば改善される。
	⑤脆弱部分があっても、発破パターンを直ぐに変更できない。
	⑥発破パターン、装薬量を技術的に管理する必要がある。
	⑦自動削孔と手動削孔では削孔時間に大きな差はない。
⑧機械費が高い。	

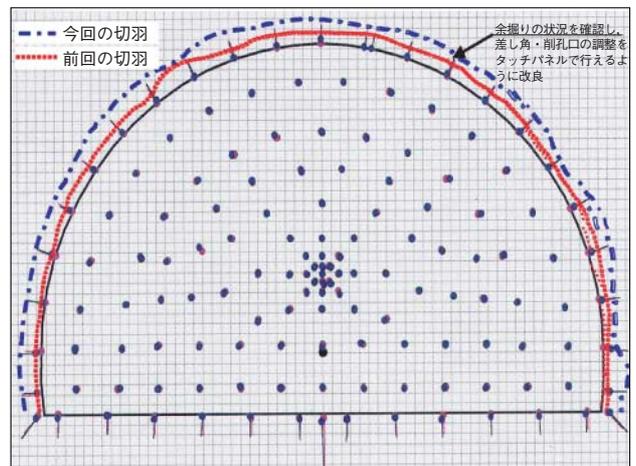


図-9 ディスプレイ予想図

表-5 トータルステーションの改良

自動後方交会機能	ターゲット2点よりトータルステーションの位置を認識させ、チェック点でジャンボの方向を認識する。
自動水平補正機能	2~3°の勾配を補正する。
可視光線照射機能	ロックボルトの打設位置を照射する。
断面測定機能	断面は、ロックボルト挿入作業時にノンプリズムで計測する。
操作方法	1. ジャンボ内のディスプレイで直接操作する。
	2. PDAを使って、無線LANで遠隔操作する。
その他	断面測定結果を削孔データに取り込み、ジャンボのディスプレイで表示して、発破パターンの変更を生かす。

§ 4. 今後の展望

ジャンボ位置の自動認識(図-8)と発破パターン変更の簡素化(図-9)およびロックボルトの打設位置(図-8)については、今後ジャンボにトータルステーションを搭載し、ジャンボの位置が自動で認識できるようになれば、管理面で大きなメリットとなる。設置するトータルステーションは、表-5に示すような機能が使えるものに改良することが望ましい。また、支保工の建込みの課題については、機械の更なる改良を期待するものである。

吾妻峡トンネルでの全自動コンピュータージャンボは、その特性を十分に生かし成果をあげることが出来た。しかし、その成果は掘削延長の85%がBパターンの山であったからであり、このジャンボがどの現場においても同じような結果を導き出せるものではない。今後、当現場において挙げた課題点を改良することによって、全自動コンピュータージャンボの汎用性が広がるものと確信している。

最後に、全自動コンピュータージャンボの施工にあたり、多大なご指導を賜った関係各位に深く感謝する次第である。