

ガイダンスシステムを搭載した自由断面掘削機の採用による生産性と安全性の向上

株式会社大林組 正会員 ○西口 幹人
株式会社大林組 正会員 神本 祐一

1. はじめに

山岳トンネルの掘削は一定区間毎の測量により出来形を確認し、掘削自体はオペレーターの感覚に頼りながら行うため、その精度の大部分はオペレーターの習熟度に依存している。掘削精度の低下は、過剰な余掘りによるずり処理量および後続工事数量の増加、底盤の不陸による施工性・安全性の低下や断面不足による斫り作業が発生し、工事進捗や安全性に大きな影響を及ぼす。そのため熟練工の確保が難しい環境下では、オペレーターの技量に依らず一定の精度を保てる仕組みが求められる。また、現状では切羽付近での重大災害を防ぐ決定的な対策がないため、切羽への接近機会を極力少なくする工夫が必要である。

本工事では、工期が短いことに加え、カリフォルニア州の生活環境（物価高、環境規制等）、さらに新型コロナウイルスの蔓延もあり、熟練技能者を他州から集めることが難しい状況にあった。地元のトンネル工事未経験の作業員がトンネル掘削班の主体であるため、進捗を落とさず安全に施工を進める対策が求められた。そこで、本工事では自由断面掘削機にガイダンスシステムを搭載させ、オペレーターがカッターヘッドの位置と設計掘削断面をモニターで確認しながら掘削を行えるシステムを導入した。また、モニター情報を職員のスマートフォンに共有させ、遠隔で掘削状況を把握できるようにした。

2. 工事概要

工事概要、全体平面図を表 - 1、図 - 1 にそれぞれ示す。ニューウェルクリークダム取水設備取替工事は、既存の利水ダム（アースフィルダム、1961年築造、堤高 68m、貯水量約 1000 万 m³）に新たな取水設備を構築するものである。

アメリカの利水ダムの多くは 1900 年代後半に作られたアースフィルダムであり、堤体に埋設された取水設備の老朽化が問題となっている。さらに西海岸地域では都市部の増加する水需要に対応すべく、本工事のように取水システム全体を新築する工事が増加している。

本工事では新設取水路となるトンネルをダム堤体を迂回して掘削し、ダム湖内に構築する 3 基の取水立坑と湖底地下で接続した後、トンネル内に取水鋼管（径 1.2m）を設置する。鋼管設置後にトンネル坑内はグラウトで埋め戻し、トンネル坑口にて取水構造物から鋼管を延長し、浄水場へと繋がる既設管と接続する。トンネル掘削には Antraquip 社の自由断面掘削機 AQM150 を使用した。

表 - 1 工事概要

項目	内容			
工事名称	ニューウェルクリークダム取水設備取替工事			
発注者	サンタクルーズ市			
施工場所	米国カリフォルニア州ベンロモンド			
工事内容	上水道トンネル、上水道立坑			
主要工種	湖底浚渫工、立坑構築工、山岳トンネル			
トンネル 諸元	延長	451m	最小土被り	約 12m
	勾配	0.75%	最小曲率半径	約 142m
	掘削断面	馬蹄形（高さ約 3.6m×幅約 3.6m）		
	仕上り断面	鋼管（径約 1.2m）仕上げ		
	地質	シルト岩、一軸圧縮強度：3 - 62MPa RQD：80 - 100		



図 - 1 工事平面図

キーワード ガイダンスシステム，自由断面掘削，生産性向上，安全性向上，海外工事

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2 丁目 15-2 品川インターシティ B 棟 (株)大林組土木本部海外プロジェクト部 TEL03-5769-1254

3. システム概要

本システム（TUnIS）はシールドマシンのガイダンスシステムを提供する VMT 社（独）により開発されたもので、自由断面掘削機の運転席モニターに、カッターヘッド先端位置のキロ程、当該キロ程における設計掘削断面、設計掘削断面からカッターヘッドの相対的位置（離隔）を表示させるシステムである。

基本構造は従来の追尾システムと同じく、機体に搭載した光波プリズムを後方から光波測距器にて随時自動計測を行い、さらに機体に取り付けた傾斜計およびスイベルとアームに設置したワイヤセンサーにより機体に対するカッターヘッド先端の角度を測定し、それによりカッターヘッド位置の座標を計算する。計算されたカッターヘッドの座標に対して、予め入力したトンネル線形からカッターヘッド座標点における設計掘削断面が計算され、表示されるものである。

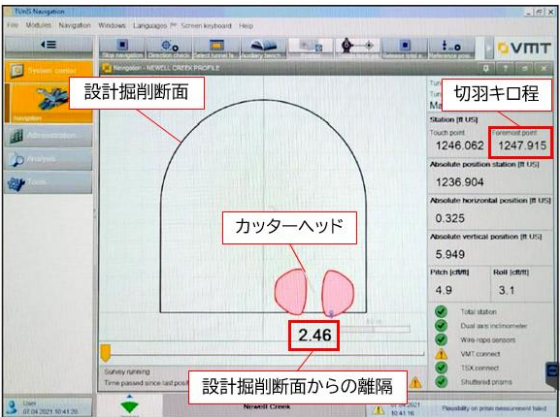


図 - 2 ガイダンスシステムモニター画面

4. システム適用結果

(1) 安全性の向上

オペレーターはモニターを基に進捗を把握できるため管理は従来と比較して明瞭かつ簡便であり、目視やテープメジャー等で出来形を確認するといった、支保工未設置区間への接近行為を無くすことができた。

(2) 歩掛りの確保

掘削開始前に熟練工（トンネル工事経験 10 年以上）を確保することができたものの、工事後半からは未経験者（トンネル工事経験 0 年）による掘削が必要となった。図 - 3 はトンネル全線における掘削速度（時間当り掘削量）の記録である。本工事では平均掘削速度は熟練者（11.1m³/時間）と初心者（10.9m³/時間）でほぼ同等であったことから、オペレーターの習熟度に依存せずに掘削が進められたことが分かる。また、初心者の習熟に要する時間は短く、容易に掘削機の操作を習得できたと言える。

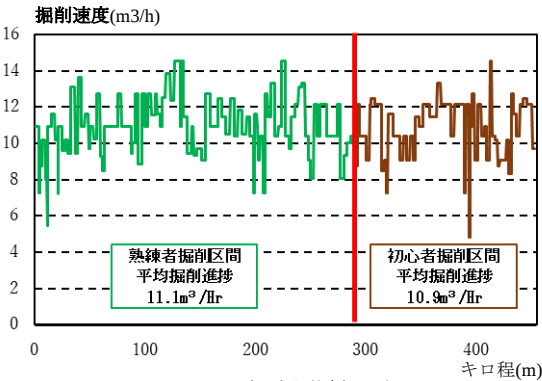


図 - 3 掘削進捗記録

表 - 2 過去同種工事との掘削精度の比較

項目	本工事	オースティン
使用機械	自由断面掘削機 (Antraquip 社 AQM150)	
掘削断面	馬蹄形 高さ約 3.6m×幅約 3.6m	馬蹄形 高さ約 3.3m×幅約 2.7m
地質	シルト岩	石灰岩
平均余掘厚	27 mm	150 mm

(3) 掘削精度の確保

本工事の平均余掘厚は 27 mmであった。この値は、2010 年当社施工の同種工事（米国テキサス州オースティン市）の 150mm と比較して著しく高精度となっている。

(4) 施工数量およびコストの削減

見積り時に想定した余掘厚（150 mm）に比べ、掘削工で 12%、吹付け工で 6%、底盤コンクリート工および埋戻しグラウト工で 16%削減した。これは本システム導入の総費用約 20 万米ドルに十分見合う数量であり、費用面でも適用効果が得られた。

5. まとめおよび今後の展開

本システムの導入により、オペレーターの熟練度に依ることなく進捗を確保することができ、かつ施工性、掘削精度、安全性が向上した。これは熟練工の確保が難しい海外工事において有効な実績であると考えられる。また、今後熟練工減少が避けられない国内の工事においても本工事の実績が生かされれば幸いである。