

## 山岳トンネル覆工自動施工システムによる負担軽減効果の定量的評価

清水建設株式会社 地下空間統括部 正会員○唐 志遠 北川 士朗 荒井 匠  
福田 毅 垣見 康介

## 1. はじめに

近年、建設業全体で労働人口の減少に伴い、一人一人の生産性向上や作業の省力化が喫緊の課題となっている。そこでトンネル工事における打設作業において、中流動コンクリートの使用による打込み・締固め作業を自動化可能な「山岳トンネル覆工自動施工システム」を導入した。「山岳トンネル覆工自動施工システム」は、吹上げ方式を採用、マンピュレータ方式配管切替えの PC 制御による自動打込みが特徴である<sup>1)</sup>。

表 1 に、新旧打設方法の主な作業方法の比較を示す。従来の打設方法は、スランプが中流動コンクリートより低い普通コンクリートを使用しているため、締固めや配管切替え等の作業は全て人力で実施され、打設の結果も目視で確認する必要がある。また、写真 1 に示すように、打設作業は狭隘な作業空間で進めるため、必要な作業員は 5~6 人となる。一方、写真 2 に示す自動化施工方法は、コンクリートの打込み、締固め、打止めに至る一連の打設作業の進捗を自動制御することができ、本来作業員が行う作業を省力化できる。そのためコンクリートの打設作業は 2~3 人で可能であり、大幅に省人化できるとともに省力化が見込まれる。

本報告では、作業員の負担軽減効果(省力化)を定量的に評価するため、従来の人力による覆工を打設する A 現場と、自動施工システムを用いた B 現場の両現場の作業員を対象に、打設中にスマートウォッチを装着してもらい作業員のバイタルデータを計測した。このデータをもとに、作業負担の程度を定量化し、覆工自動施工システムによる負担軽減効果を評価した。

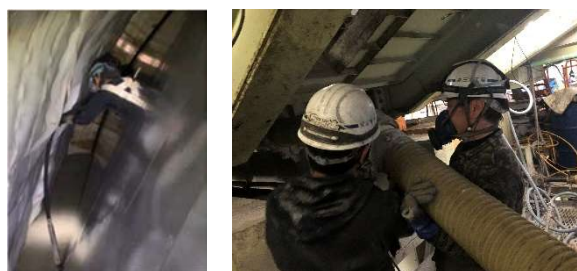
## 2. 負担軽減効果の定量化

スマートウォッチは、日々の運動管理や健康管理に役立つとして一般に普及している。本報告で採用したスマートウォッチを写真 3 に示す。このスマートウォッチは、作業の妨げにならないように軽量化され、施工中の様々な作業下でも確実にデータ取得できるよう防水性と稼働時間に留意したものを採用している。

A 現場においては 5 名、B 現場においては 3 名の覆工作業員に 2 週間着用してもらい、覆工打設中のカロリー消費量、心拍数、平均血中酸素等のバイタルデータを計測した。カロリー消費量は、打設中の代謝量を反映し、心拍数と平均血中酸素はそれぞれストレスレベルと身体への負荷を示している。これらのデータに基づき、作業員一人当たりの作業負荷を定量化した。

表 1 新旧打設方法の作業方法の比較

| 作業           | 従来施工     | 覆工自動化施工   |
|--------------|----------|-----------|
| ①締固め         | 人力       | 自動        |
| ②打込み(配管切り替え) | 人力       | 自動        |
| ③施工状況の確認     | 目視確認     | モニターで確認   |
| ④使用コンクリート    | 普通コンクリート | 中流動コンクリート |
| ⑤スランプ(cm)    | 15       | 21        |
| ⑥スランプフロー(cm) | —        | 35~50     |



[棒パイプによる締固め]

[配管切替え]

写真 1 従来の覆工コンクリート打設

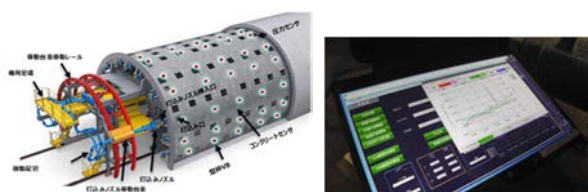


写真 2 山岳トンネル覆工自動施工システム



写真 3 採用したスマートウォッチ

キーワード：技術開発、スマートウォッチ、バイタルデータ、覆工自動打設、定量化

連絡先：〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16-1 清水建設株式会社 地下空間統括部 TEL 03-3561-3891

### 3. 計測結果

#### (1) 消費カロリー

図 1 に示すように、全 6 回分の打設時に検証を行った。A 現場の平均消費カロリーは 160～210kcal 程度に対し、B 現場におけるコンクリート打設中の平均消費カロリーは 120～160kcal 程度であることがわかった。これは「覆工自動施工システム」の導入により、覆工コンクリートの打設中の消費カロリーを平均 30% 程度低減できたことを示している。また、覆工コンクリートの打設中の一日の消費カロリーを図 2 に示す。打設準備の 1 時間 30 分における累積消費カロリーでは、両方には大差が見られなかったが、打設が進むにつれ、従来施工の方は急増の傾向を示し、打設開始 2 時間 30 分後の累積カロリーは自動施工の 2 倍程度になった。一方、自動施工の方は、終了までの累積消費カロリーは緩やかに増加していることが確認された。その理由としては、従来施工が自動施工と比べて、配管切替え作業やセントル内移動が労働負荷と考えられるからであり、自動施工による作業の省力化が確認できた。

#### (2) 心拍数

図 3 に示すとおり、運動強度の指標である最大心拍数と最小心拍数はともに従来施工の方が高いことが確認された。また、従来施工時の最小心拍数は 83bpm であり、安静時の一般平均心拍数の 60～80bpm を上回っているため、従来施工の打設作業中の作業員は高い負担がかかっていると考えられる。一方、自動施工の方は 70bpm であり、一般平均心拍数と大差がないため、作業負担が低いといえる。

#### (3) 平均血中酸素濃度

図 3 に示すとおり、平均血中酸素濃度は従来施工の方が低いことから、従来施工は自動施工と比べて打設中低酸素状態が長く続いていることが分かった。すなわち、従来施工の方が過度な作業や疲労が蓄積している中で作業が継続して行われているといえる。

### 4. まとめ

本報告では、スマートウォッチによるバイタルデータを測定し、従来施工と自動施工における覆工コンクリート打設中の作業員の消費カロリー、心拍数と平均血中酸素を比較した。その結果、従来施工より自動施工の方が打設中の作業員一人一人の作業の省力化と作業負担の軽減効果を定量的に明らかにすることができた。

今後は技術導入効果を示す一つの指標とし、ロックボルト、吹付けコンクリートの無人化、省力化技術でもバイタルデータを計測し、作業員の負担軽減効果を定量的に示すデータとして活用していく。

### 参考文献

- 1) 信永 博文 山中 慎也 木村 厚之：中流動覆工コンクリートを ICT 活用で自動施工，トンネルと地下，第 5 1 巻 3 号，pp.53-63,2020.3

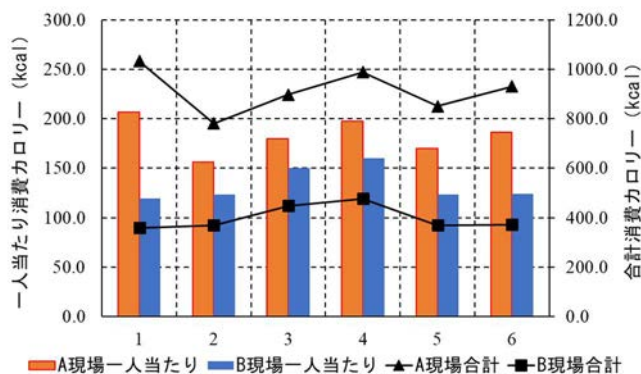


図 1 打設中の消費カロリー比較

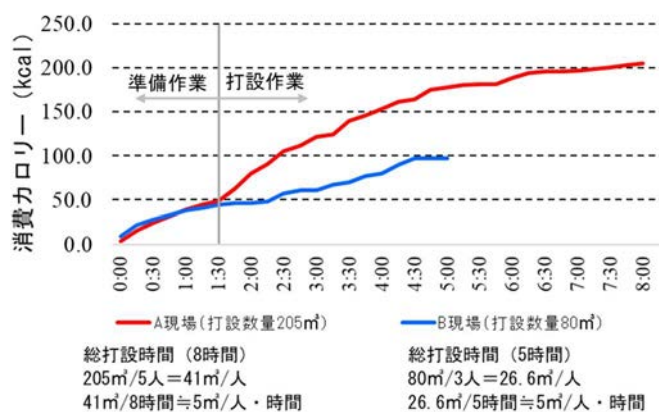


図 2 一日の消費カロリーの推移

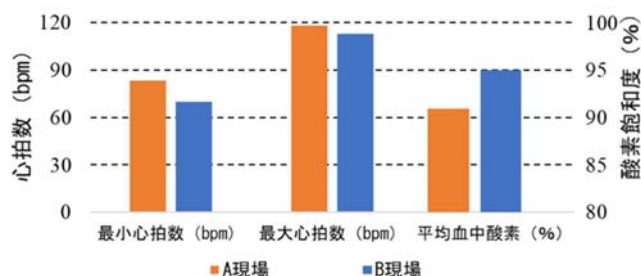


図 3 打設中のバイタルデータ