

トンネル覆工作業の効率化による サイクル工程短縮

横山 泰之¹、鴻野 宏志²

¹広島県 東部建設事務所 工務第二課 (〒720-8511広島県福山市三吉町1-1-1)

²近畿地方整備局 企画部 技術管理課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

十津川温泉北トンネルは、奈良県十津川村の1,432mのトンネルである。本トンネルの工事では、セントル2基を用いて66時間のコンクリート養生時間の確保を行い品質を向上させただけでなく、吹付面平滑カッター等を用いてセントルセットのサイクル工程の短縮を行い工事現場の4週6閉所を実現した。本論文はトンネル覆工作業の効率化によるサイクル工程の短縮を行ったことが、トンネルの品質と作業員の働き方に与えた影響について報告するものである。

キーワード 山岳トンネル, セントル2基, 働き方改革, 施工効率化

1. はじめに

国道168号五條新宮道路は奈良県五條市から和歌山県新宮市を結ぶ延長130kmの地域高規格道路である。図1に示すように、紀伊半島内陸部を南北に縦貫する幹線道路として、防災・人と物の流れの活発化・地域の活性化のために必要不可欠な道路であり、国と県で整備を行っている。

そのうち、十津川道路は奈良県吉野郡十津川村大字平谷から十津川村大字小原を結ぶ全長6.0kmの区間であり、崩土・落石による通行止めの解消、災害時の安定した交通の確保において重要な役割を担っている。



図-1. 十津川道路位置図

その十津川道路のうち、十津川村大字折立から大字小原

の4.3kmの区間については平成23年9月に開通している。十津川温泉北トンネルは残区間1.7kmのうちの1,432mのトンネルでNATM工法によって施工されており、平成31年3月に工事が完了した(図-2)。



図-2. 十津川温泉北トンネル位置図

高い品質のトンネルを作るためには、十分なコンクリートの養生時間を確保しひび割れなどを抑制する必要がある。しかし、覆工コンクリートは標準案では2日に1回コンクリート打設を行い、打設後18時間で脱型するため、若材齢時での脱型はコンクリート強度が低いので自重による変形を生じやすくひび割れの潜在的な原因となりやすい(図-3)。そのため、品質の向上のためには可能な限り養生時間を長く取る工夫が必要である。

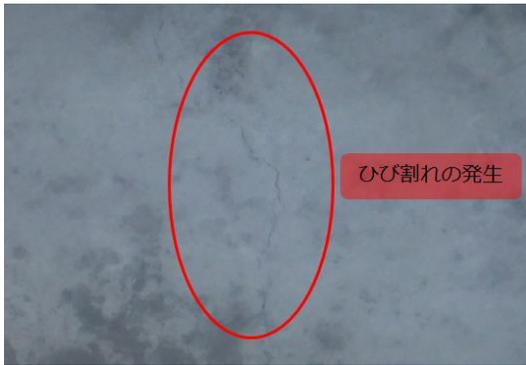


図-3. 若材齢時での脱型によるひび割れ

しかし、今日トンネル工事も含む建設業の労働時間は他業種に比べて極めて長く、完全週休2日制の普及状況も極めて悪い(図-4)。建設業における働き方改革は喫緊の課題である。特にトンネル工事については、週3回のコンクリート打設を行う場合、そのサイクル工程から週休1日が避けられない(図-5)。その場合4週4閉所で他の職種に比べて厳しい労働環境となってしまうことから、厚生労働省が推進している働き方改革の浸透が薄い職種の1つとなっている。

現在日本では急速な少子高齢化が進んでおり、今後更なる生産年齢人口の減少に直面すると考えられる。そのため、今後長年に渡って土木の現場の担い手を確保し、インフラの維持をしていくためには、働き手の意欲や能力を存分に発揮できる環境を作ることが極めて重要になる。

完全週休2日制の普及状況(28年)

区分	週休2日	
		完全週休2日
全産業(※1)	88.6	49.0
建設業(※1)	83.7	27.4
製造業(※1)	90.6	49.3
(参考)建設業(※2)	24.5	8.9

(厚生労働省HPより(2018))

図-4. 各産業の月平均総実労働時間と週休2日の普及状況(厚生労働省HPより)



図-5. 標準的なトンネル工事の施工サイクル

今回、十津川温泉北トンネルにおいて覆工作業の効率化を行うことでサイクル工程の短縮を行ったことが、トンネルの品質と作業員の働き方に与えた影響について報告する。

2. 十津川温泉北トンネルの工事概要

(1) 十津川温泉北トンネルの諸元

十津川温泉北トンネルは2車線の道路トンネルであり、トンネル延長は1,432mで一般部の内空断面積は54m²である。掘削は起点側から片押しで行った。地質は中生代白亜紀の含礫頁岩で、最大土被りは329mであった。支保パターンを図-6に示す。

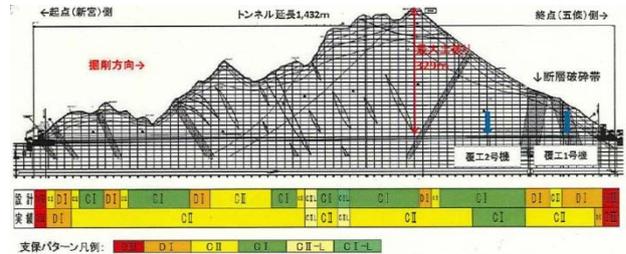


図-6. 十津川温泉北トンネルの支保パターン

(2) セントル2基を用いた覆工方法

本工事では2基のセントルを用いて覆工作業を行った。セントルを2基用いることで、通常材齢18時間での脱型を材齢66時間(18時間+48時間)まで脱型せずに養生することができ、コンクリートの品質を向上させることが可能となる。従来の山岳トンネルの覆工コンクリートは標準的に2日に1回の打設サイクルであり、2日間のうちコンクリートの養生期間は18時間程度と短く、強度発現が低いうちに脱型するため、脱型時の自重による変形やひび割れの潜在的な要因となっていた。

本工事では、トンネル内にセントル2基を配置し、掘進方向に向かってそれぞれ覆工を行った。セントルの1号機と2号機でそれぞれ覆工を進め、セントル2号機がセントル1号機の覆工済みの部分に追いつく前に、セントル1号機をあらかじめ更に先まで移動させ覆工を再開した。その後、セントル2号機が1号機の覆工済みの部分に追いついたら、セントル1号機が先に覆工していた部分に移動させ、再度覆工を開始した。この工程を繰り返すことで覆工を行った(図-7.1, 図7.2)。

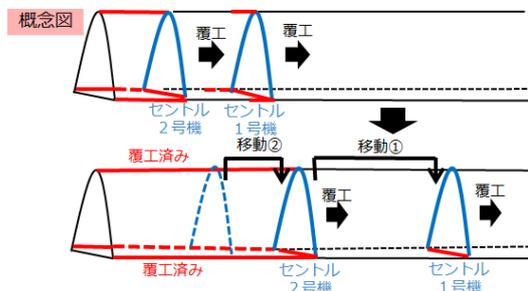


図-7.1. セントル2基を用いた覆工の流れ

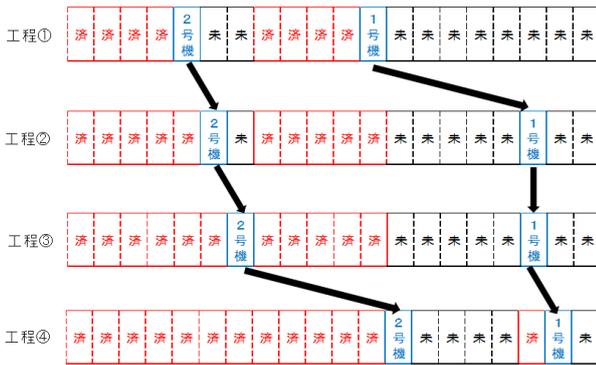


図-7.2. セントル2基を用いた覆工の流れ

本工法を行うことで66時間の養生時間を確保できるため、通常の18時間養生の場合と比較してコンクリートの圧縮強度を約4倍まで高めることができる(図-8)。

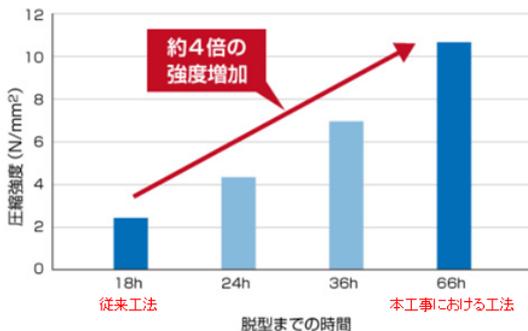


図-8. 養生期間延長によるコンクリート圧縮強度 (鹿島建設HPより抜粋・加筆)

本工事では途中やむなくセントル1基での打設を行った区間があったが、セントル1基で打設を行った区間の1mm未満のひび割れは1打設ブロックあたり1.3箇所であったのに対し、セントル2基での打設を行った区間では1打設ブロックあたり0.15箇所であり、ひび割れ箇所は1/10程度にまで減少し大幅な品質の向上が見られた(表-1)。

表-1. セントル数とひび割れ箇所数

セントル数(打設ブロック)	ひび割れ箇所数(箇所)	1BL当たり平均ひび割れ箇所数(箇所)
1基(13BL~22BL) 養生時間18時間	13	1.3
2基(1~12, 23~141BL) 養生時間66時間	20	0.15

しかし、本工法は品質向上を目的とした工法でありセントル2基を用いても週休は通常工法と同じく1日のみである(図-9)。そこで本工事ではセントルセットの時間を短縮することでサイクル工程の短縮を行った。その方法を次項に示す。

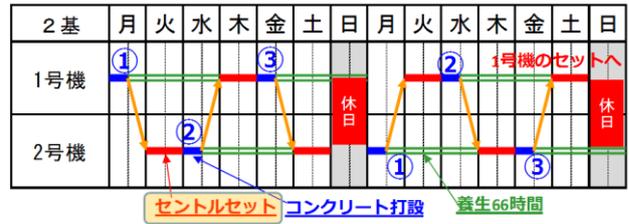


図-9. セントル2基を用いた場合の通常の施工サイクル

3. サイクル工程短縮方法

(1) 吹付面平滑カッターによる覆工背面平滑化

通常、支保工間の吹付には凹凸ができる。吹付に凹凸ができると覆工厚のばらつきによる妻型枠の調整や再加工の必要が生じるため、作業時間の増大につながる。本工事では、トンネル延長の80%以上を占めるC II区間に合わせて吹付面平滑カッターを作成し、支保工間の凹凸をそぎ落として平滑化した(図-10)。これにより、覆工巻厚が均一になり、妻型枠の調整や再加工の時間が大幅に軽減されただけでなく、防水シート設置の作業時間も短縮することができた。



図-10. 吹付面平滑カッターと吹付面

(2) 作業員配置の効率化

サイクル改善前は1号機のコンクリート打設・2号機のセントルセットはそれぞれ覆工班5人全員で作業し、完了後全員で移動して次の作業に着手していた。しかし、コンクリートが天端近くまで到達すると5人の作業員は人員過多となるため、5人中2人はその時点で2号機のセントルセットに着手するようにした。その結果、1日間で1号機のコンクリート打設を行いつつ、2号機の妻型枠組立までを完了できるようになり、1日あたりの作業時間短縮にも繋がった。



図-11. 改善前後のサイクルタイム比較表（コンクリート打設～妻型枠組立）

4. サイクル工程短縮結果

まず、吹付面平滑カッター・作業員配置の効率化などの取り組みにより、セントルセットのサイクルタイムの短縮を行うことができた（図-12）。改善前は11時間拘束で10時間労働が必要であったが、この改善により9時間拘束の8時間労働とすることができ、拘束時間の縮減につなげることができた。

また、施工全体のサイクルタイムは図-13のようになり、改善前はコンクリート打設を1週間で3回しか行うことができなかったが、この改善により1週間に4回のコンクリート打設が可能となった。これにより、4週6閉所が可能となり、作業員の労働環境を改善することができた。

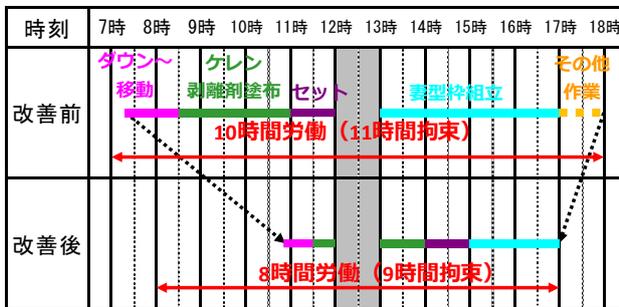


図-12. 改善前後のセントルセットのサイクルタイムの比較

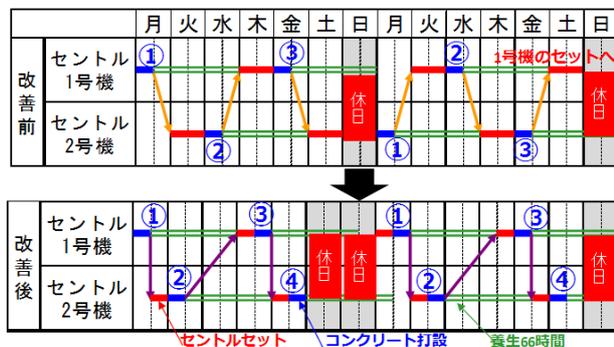


図-13. 改善前後のサイクルタイム比較表

5. 更なるサイクル工程の短縮に向けて

今後覆工コンクリートの品質を確保しつつ、週休2日制の実現に取り組んでいくためには、サイクル工程を更に短縮していく取り組みが必要である。

今回、標準の養生時間である18時間に2日分（48時間）を加えることで66時間の養生時間を確保した。将来的に更なる工程の短縮を行うため、養生時間を62時間にする案を提案する。

コンクリートの打設時間を66時間とした場合、図-14に示すように経過4日目の午前中に養生の待ち時間が生じてしまう。そこで養生時間を62時間とすることで朝8時からの脱型開始・セントルの再セットができ、4日目の午後からコンクリートの打設が可能となる。

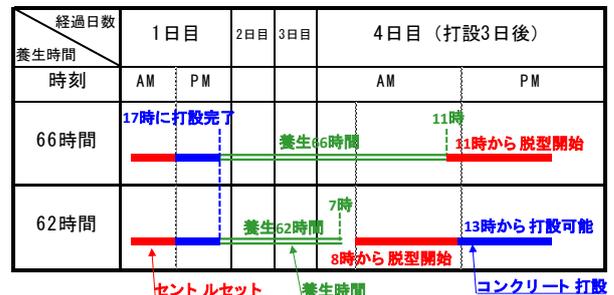


図-14. 66時間養生と62時間養生の打設サイクル比較

品質についても、図-8に示すように62時間の養生期間を確保すれば従来工法の18時間養生の場合と比較すれば高い圧縮強度となり、相対的に良い品質が確保されることが想定される。

66時間養生とした場合と62時間養生とした場合のサイクル工程の比較表を図-15に示す。養生時間を62時間とすることで4回目のコンクリート打設を金曜日の午後に行うことができるようになり、土曜日午前中を休みとすることが可能となり、4週8休を実現でき、更なる働き方改革の実現が可能となる。

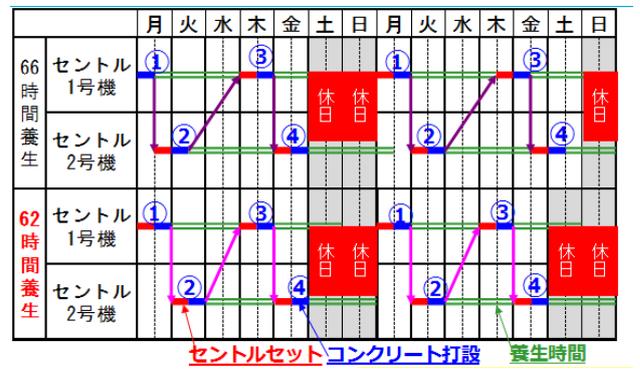


図-15. 66時間養生と62時間養生の場合のサイクルタイムの比較

6. まとめ

十津川温泉北トンネル工事において、セントル2基を用い、セントルセットの効率化を行うことで、標準の工期の中でトンネル品質の大幅に向上させただけでなく、4週6閉所を実現することができた。今後、養生時間を62時間とすることで高い品質を維持したまま4週8閉所も実現可能である。しかしながら、6日間働いて多くの賃金を得たい技術者もいる一方で、週休2日を確保シワ

ークライフバランスを大切にしながら働きたいという若手技術者もいる。

少子高齢化に伴う生産年齢人口の減少や働き方のニーズの多様化が進む今日、建設業界においても多様な働き方を選択できる社会を実現し、働く人一人ひとりが意欲的に働ける環境を整えていくことが、今後の建設業界の人手不足解消に繋がると考えられる。本報告がトンネル工事及び建設業界の働き方を考える上での一助となれば幸いである。