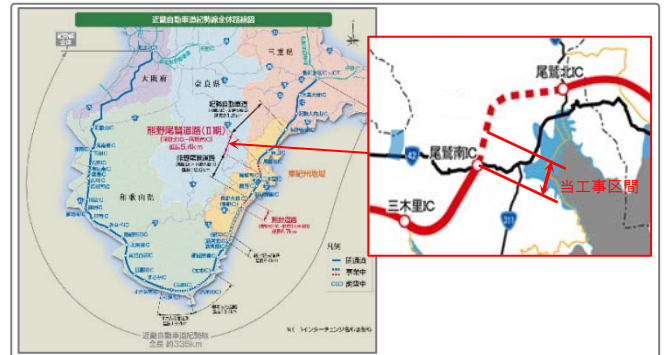


覆工コンクリートの機械化・自動化による省人化技術の開発と実施工への導入

前田建設工業(株)	正会員	○松澤	郷至
前田建設工業(株)	正会員		下 満
前田建設工業(株)	正会員	林	敦史
前田建設工業(株)	正会員	金橋	直央都

1. はじめに

国道 42 号熊野尾鷲道路（Ⅱ期）は、南海トラフ巨大地震時における広域的防災に資する道路ネットワークの強化を目的に計画された尾鷲北 IC～尾鷲南 IC 間（延長 5.4km）を連絡する一般国道の自動車専用道路であり、本工事はその路線のうち、最も南側に位置する尾鷲第 4 トンネル（2,471.0m）のうち新宮側より 1,009.6m を施工する工事である。（図－1 参照）



図－1 位置図

2. 技術開発の経緯

山岳トンネルの覆工作業においては、各トンネル形状ごとに製作した自走式型枠台車（スライドセントル）を使用して、コンクリートを打設する方法が一般的である。スライドセントルを所定の位置に設置する際は、下記の図－2 に記載する手順で実施するが、いずれの作業においてもスライドセントル内部の狭隘な作業スペースでおこなう苦渋作業となっている。くわえて、近年発生している担い手不足の影響もあり、作業者の高齢化・少人数化が著しい。このため、山岳トンネルの覆工作業において、その施工進捗や施工精度の確保が困難となる場面が頻発しているのが現状である。本稿は、これらの問題を解決することを目的として、当該作業における機械化・省人化を図る技術を開発し、国内初となる現場への導入事例を報告するものである。

3. 現状の作業方法

覆工コンクリートにおける一連の作業方法について、以下の図－2 に記載する。



図－2 覆工一連作業の概要

キーワード 山岳トンネル，覆工自動化，機械化，省人化，ICT

連絡先 〒460-0008 愛知県名古屋市中区栄 5-25-25 MKD 名古屋ビル 前田建設工業株式会社中部支店 TEL03-3355-3559

4. 覆工コンクリート作業における機械化・省人化

前章に記載した覆工コンクリートの一連作業は、スライドセントルのセット作業、コンクリートの打設作業、スライドセントルの脱型作業の3つに大別される。コンクリートの打設作業における機械化・省人化については、ある程度の開発が進んでおり、各種設備の導入によりある程度の機械化・省人化を実現できる状態である。このことから、スライドセントルのセット作業に着目し、この作業における機械化・自動化による省人化の開発に着手することとした。

5. セントル自動セットシステムの開発

スライドセントルのセット作業における機械化・自動化による省人化を進めるに際して、以下の設備・装置をスライドセントルに搭載し、各装置が連動した一連システムとしての開発を図った。



写真-1 使用したセントルの全景

1) コンピュータ制御によるセントル自動セット装置

- ・ セントル自動セット装置は、自走装置、高さ調整装置、横断位置および全幅調整装置の構成となる。
- ・ 自動追尾型トータルステーションにより、現況のセントル位置を測定する。
- ・ スライドセントルをセットすべき各設計位置と測定した実測位置との差分値をセントルに設置した制御盤へ無線で自動転送される。
- ・ 転送された差分値に基づいて設計の設置位置、高さ、全幅となるよう、セントルの各パーツを自動的に移動および稼働させる。
- ・ スライドセントルの各パーツの移動および稼働については、すべてコンピューター制御の油圧ジャッキによる自動操作とした。
- ・ 上記システムの概要を以下の図-3に示す。

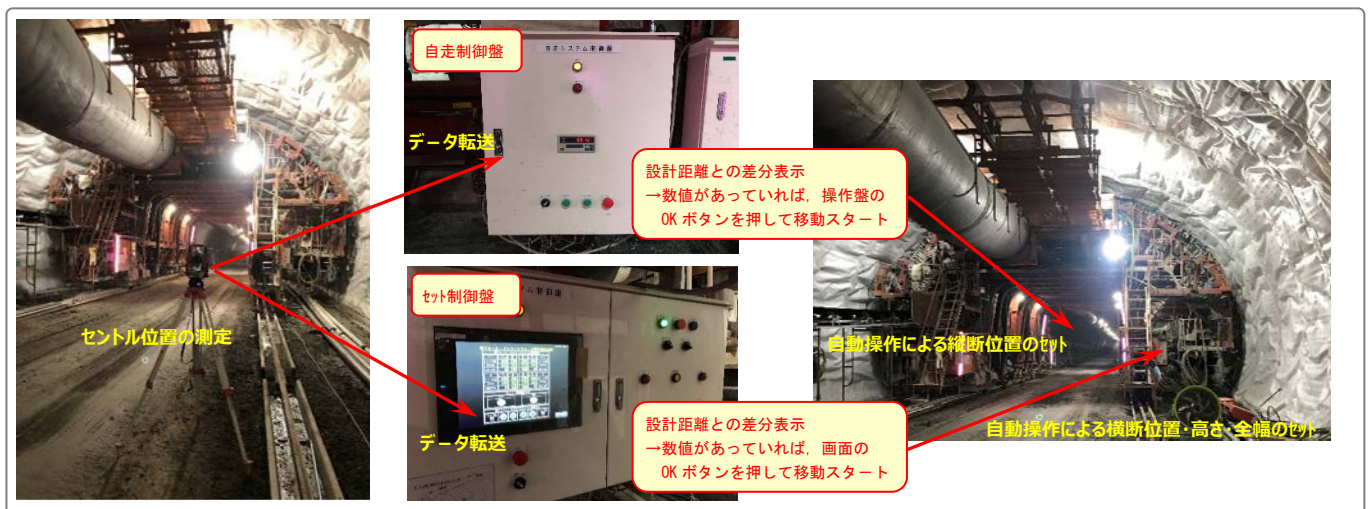


図-3 セントル自動セットの概要

2) 覆工施工継ぎ目の浮き・剥落防止システム

スライドセントルの自動移動・稼働時における既設コンクリートとの接触を防止するため覆工施工継ぎ目の浮き・剥落防止システムを搭載した。これは、スライドセントルのラップ部分が既設コンクリートと接触して所定圧力以上になった時点で、自動セットが自動停止機能を有するシステムである。



写真-2 浮き・剥落防止システム

3) 油圧機械式鋼製棲板（自動スライド方式）

従来、木製矢板を使用していた棲型枠にレバー操作のみで自動的にスライドする油圧機械式の鋼製棲型枠を導入した。また、鋼製棲板と地山との隙間部分の閉塞には、エアーチューブを使用した。（図－4 参照）



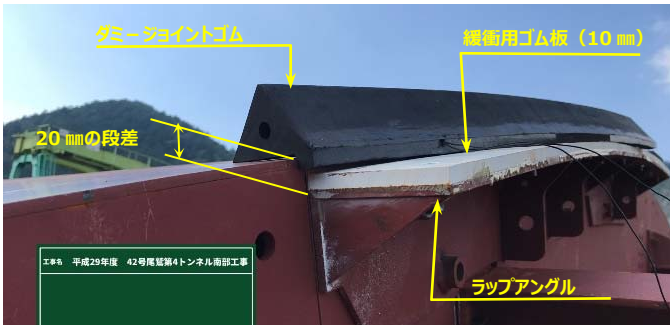
図－4 油圧機械式鋼製棲板の概要

6. 実施工への導入と効果検証

セントル自動セットシステムにおいては、尾鷲第4トンネル南部工事（国土交通省 中部地方整備局発注）の施工に導入し、その導入効果の検証を図った。

1) 同現場における使用方法

- ・覆工工事の全延長（L=1,100m）に渡り使用した。
- ・坑内仮設備との兼ね合いもあり、脱型後における次スパンへの移動については、ペンダントスイッチの手動操作による移動を行った。型枠ケレン・清掃後の1 m程度の移動については、自動操作による移動を実施した。
- ・ラップ側のセットについては、既設コンクリートとの万が一の接触を懸念し、設計よりも5 cm程度手前までを自動セットとし、残り寸法のセットにおいては、目視確認しながらペンダントスイッチの手動操作によるセットを行った。
- ・圧力センサーにくわえて、ラップアングルの加工半径を20 mm小さくするとともに、ラップアングル上に緩衝の役割を果たす10 mm厚さのゴム板を設置した。これらの設置により、既設コンクリートにラップアングルが接触しない形状としたノンラップアングル構造とすることで、セントルセット時における既設コンクリートの損傷対策を3重のものとした。



写真－3 ノンラップアングル構造

- ・初めての導入であるため、自動セットの精度検証を目的として、従来の施工時に行うセット測量（セントル位置合わせの寸法測定作業）を自動セット後の確認作業として全ブロックにおいて実施した（打設ブロックのセンター点設置、セット高さのレベル視準、スチールテープによる全幅測定：表－1 参照）。

表－1 誤差測定の確認表の抜粋

日付	BL	左右	高さ	BSダボ		簡易検測値		備考
				1	2	R	L	
3/5	74BL	-	-	DB.7	DB.8	1202	1190	セット時の実測値より、簡易計測値：R=1200,L=1185
3/6	75BL	4	-6	DB.7	DB.8	1205	1185	
3/9	76BL	11	3	DB.7	DB.8	1205	1185	カーブ調整
3/11	77BL	1	5	DB.7	DB.8	1207	1180	
3/13	78BL	2	2	DB.7	DB.8	1205	1185	
3/17	79BL	9	2	DB.10	DB.11	1202	1186	
3/19	80BL	8	1	DB.10	DB.11	1200	1186	
3/20	81BL	7	2	DB.10	DB.11	1198	1185	
3/23	82BL	5	-3	DB.10	DB.11	1190	1185	
3/25	83BL	13	1	DB.10	DB.11	1200	1185	カーブ調整
3/27	84BL	4	0	DB.10	DB.11	1202	1185	
3/31	85BL	-9	-4	DB.10	DB.11	1203	1186	

2) システム導入による効果

- ・セントルセット～棲板設置の作業時間において、120分の短縮を達成することができた。
- ・セントルセットの作業人員は、セントル移動・稼働時において接触や異常の確認を行う2名と測定行為を行う元請け職員1名で実施が可能となった（従来は4～6名＋元請け職員1名で実施）。棲板設置においても、1～2名での実施が可能となった。
- ・セントルセット時のジャッキ操作や棲板の加工や設置作業などの狭隘箇所での苦渋作業から解放され、施工性・安全性ともに大きな向上を実現することができた。
- ・セット測定の精度については、下げ振りなどを使用して位置合わせを行っていた従来のセット測量と比較して大きな誤差が発生することは無く、むしろ精度の向上が見受けられた。

3) 今後に向けた改善点

- ・セット位置確認作業の簡略化：当現場では、従来の施工時に行うセット測量（セントル位置合わせの寸法測定作業）を自動セット後の確認作業として全ブロックにおいて実施したが、セット完了後に予め設置した基準測量にレーザー照射をして確認するなどの確認作業の簡略を図りたい。
- ・各種自動移動・稼働時における安全性の向上：各種自動操作による移動・稼働時においては、確認している作業員とセントルとの接触などの災害が懸念される。当現場においては、押しボタン式の緊急停止装置を設置したが、これを標準装備とした対応を図りたい。
- ・自動走行時における仮設備への対応：当現場においては、坑内に設置している仮設備（送排水管や電気幹線、および風管など）への干渉や接触を防止するため、脱型後における次スパンへの移動を手動操作により行ったが、センサーの搭載などの対応により自動操作範囲の拡大を図りたい。
- ・更なる機械化・省人化（１）：今回の取り組みにくわえて、セントルセット～コンクリート打設～脱型作業の全般にわたる機械化・自動化による省人化を進める必要がある。
- ・更なる機械化・省人化（２）：上記の一例として、セット完了後における巻厚測定や打設時におけるコンクリート残量の測定作業の機械化・自動化等の対応や、打設時の締固め作業や配管切替作業における機械化・自動化等の対応により更なる省人化を図りたい。

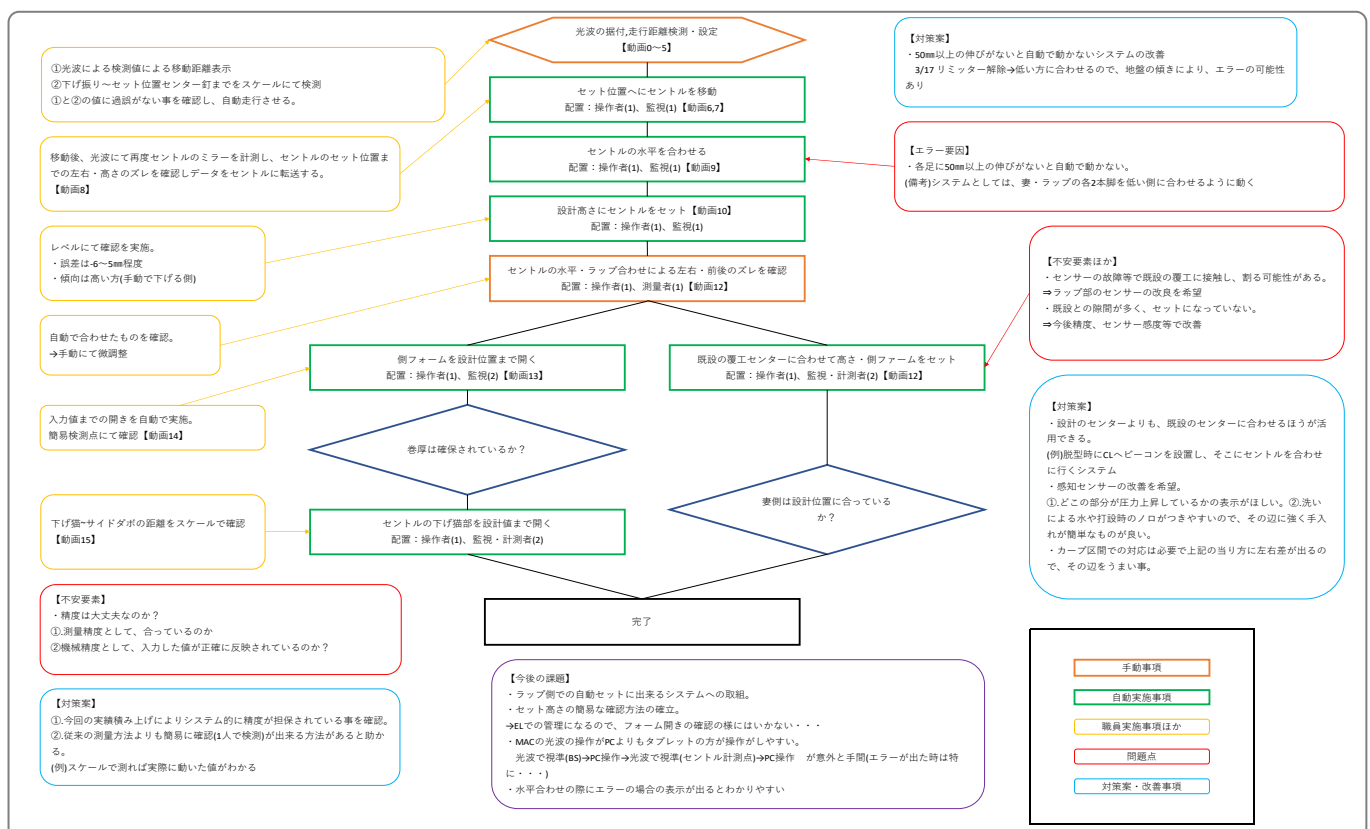


図-5 当現場でのセントル自動セット導入に際して作成した実施・検証の手順概要

7. コンクリートの養生管理における機械化・自動化

従来、覆工コンクリートの施工においては、一般的なRC躯体工事(表-2に示す圧縮強度の発現時期を基づき脱型する構造物)などと比べて、打設後非常に早い時期に脱型(打設の翌日に脱型:一般的な脱型時の発現強度 1.5N/mm²程度)を行う。そのため、気温・湿度などの環境条件の影響を極力低減し、コンクリートの若材齢時における強度を確実に発現させるとともに、現地状況に応じた覆工コンクリート本体の強度を推定し、適切に脱型時期を判断することが重要となる。そこで、セントル自動セットの開発・導入にくわえて、覆工コンクリートの養生管理における機械化・自動化にも着目し、この作業における省人化の開発に着手することとした。

表-2 脱型時のコンクリート圧縮強度※1

部材面の種類	例	コンクリートの圧縮強度(N/mm ²)
厚い部材の鉛直または鉛直に近い面、傾いた上面、小さいアーチの外側面	フチングの側面	3.5
薄い部材の鉛直または鉛直に近い面、45°より急な傾きの下面、小さいアーチの内面	柱、壁、梁の側面	5.0
橋、建物等のスラブ及び梁、45°より緩い傾きの下面	スラブ、梁の底面、アーチの内面	14.0

8. 覆工コンクリートの内部温度測定システムの開発と導入

覆工コンクリート内部温度を容易にリアルタイムで計測してコンクリート強度の推定を行う『覆工コンクリートの内部温度測定システム』を開発し、当現場の施工に導入した。

1) 内部温度システムの概要

- ・巻き厚検測ピンの先端に熱電対センサーを設置し、全ブロックに渡り計測ピンを設置した。
- ・設置された巻き厚検測ピン(先端に設置された熱電対センサー)により、打設後～脱型時の覆工コンクリートの正確な内部温度をリアルタイムに計測した。
- ・計測された内部温度より現状における推定発現強度を算出し、セントルに設置したモニターに表示した。
- ・上記の内部温度や推定発現強度をクラウド上に集約し、モバイル携帯端末を利用して時間や場所を選ぶことなく、データの共有管理を行うことを可能にした。
- ・上記に記載した概要を以下の図-6に示す。

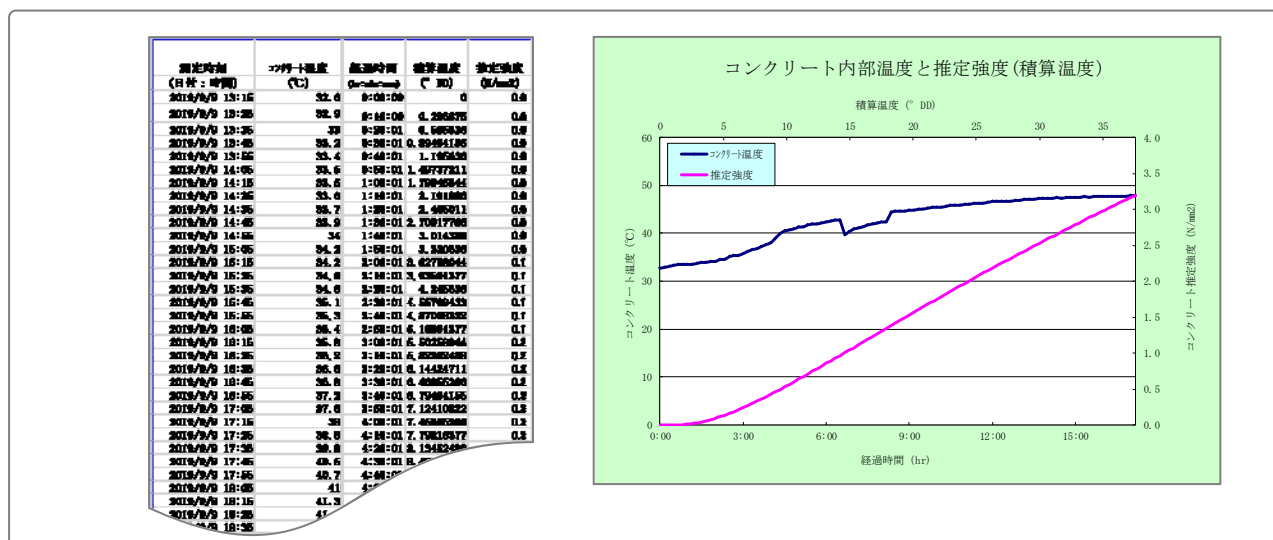


図-6 覆工コンクリートの内部温度測定システムの概要

2) システム導入による効果

- ・従来、内部温度の計測に際しては、コンクリート内に熱電対センサーを埋設・配線するなどの手間がかかるとともに、定期的にデータロガーと接続し、測定値のアウトプットを行う必要があった。これに対して、センサーの設置手間やアウトプット作業も削減できる。また、コンクリートの表面温度だけでなく、内部温度を正確に計測できる。

- ・場所や時間を選ぶことなく、測定値と推定発現強度を確認することができることで、脱型タイミングの確かつ迅速な判断・指示を行うことができた。
- ・当現場においては、同システムに併せてセントル加温養生システムを用いて、脱型時に必要となる強度の発現確保を図った。前述の内部温度測定システムにより、強度の発現状況を的確に確認しながらの脱型を実現した。管理値は、骨組構造解析により算出した脱型必要強度 ($N=1.2N/mm^2$) の倍以上となる $3.0 N/mm^2$ (打設完了後 16～18 時間) とし、全ブロックで管理値以上の強度を発現していることを確認し、脱型作業に反映させた。(図－7 参照)



図－7 覆工コンクリートの内部温度測定結果の一例

9. トンネル技術の機械化・省人化

当現場では、本稿で紹介した覆工の機械化・自動化による省人化だけでなく、掘削・支保においても全自動コンピュータジャンボの導入を始めとした様々な機械化・自動化による省人化への取り組みを行った。作業者の苦渋作業の低減や省人化・省力化にとどまらず、私達元請け職員の省力化や生産性向上を実現することができた。これらの種々の取り組みが弊社のトンネル技術だけでなく、国内のトンネル技術の向上にわずかながら貢献でき、未来のトンネル工事における大幅な省人化、しいては無人化の一歩となれていれば幸いである。

10. おわりに

本稿で紹介した各技術の開発・導入に際して、岐阜工業株式会社（岐阜県瑞穂市、宗像国義社長）とマック株式会社（千葉県市川市、宮原宏史社長）、テクノプロ（兵庫県神戸市、佐土原大輔社長）の方々に多大な尽力を頂いたおかげで本技術の確立に至った。これら頂いた多大な尽力に対して、深い感謝の意を表す。

[参考資料]

- ※1 コンクリート標準仕様書 P.155 型枠を取り外して良い時期のコンクリート圧縮強度の参考値