

山岳トンネル分野における 技術開発・工事一括発注方式への取組み

河邊 信之¹・荻山 直将²・黒台 昌弘³

¹正会員 博士（工学） ハザマ土木事業本部技術第三部（〒105-8479 東京都港区虎ノ門2-2-5）
E-mail:kawabe@hazama.co.jp

²ハザマ大阪支店土木部（〒530-0004 大阪市北区堂島浜2-2-8）

³正会員 博士（工学） ハザマ技術・環境本部技術研究第一部（〒305-0822 つくば市荻間515-1）

国土交通省四国地方整備局発注の高光トンネルは、技術開発と施工を一括して発注することにより品質と価格に優れた調達を図る「技術開発・工事一括発注方式」の試行工事であり、山岳トンネル分野では全国で初めての試みとなる。本工事では、「計測A及び出来形管理データを活用した情報化施工」に関する技術開発を求められたことから、三次元レーザースキャナを使用した出来形管理や、三次元施工履歴・品質情報管理システムによる施工データ管理の確立を図った。本文では、技術開発・工事一括発注方式への取組みを述べるとともに、山岳トンネルにおける新しい出来形管理方法について述べる。

Key Words : technical development, finished work quality, laser scanner

1. はじめに

国土交通省では、平成21年4年に技術開発と工事を一体的に調達する方式として、技術開発・工事一体型調達方式を構築¹⁾し、平成21年度に5件の試行工事が実施された。

国土交通省四国地方整備局発注の高光トンネルは、この試行工事の一つであり、山岳トンネル分野では初めての試みとなる。技術開発方式としては、技術開発の基礎となる研究開発はすでに終了しており、開発した技術の工事への適用性等の検証が比較的容易な場合に用いる技術開発・工事一括方式（A型）が採用された。図-1に技術開発・工事一括方式（A型）の概要¹⁾を示す。

本工事においては、技術開発の具体的なテーマとして、「計測 A 及び出来形管理データを活用した情報化施工」に関する技術開発が求められた。この目的としては、計測 A、出来形管理データ等の電子情報を活用して、高効率・高精度な施工・品質管理を行い、さらに得られた電子情報を今後の維持管理に活用することで、トンネル工事の生産性の向上や品質を確保することが挙げられる。

本文では、技術開発一体型への取組みを述べるとともに、本方式により確立された山岳トンネルにおける新しい出来形管理方法について述べる。

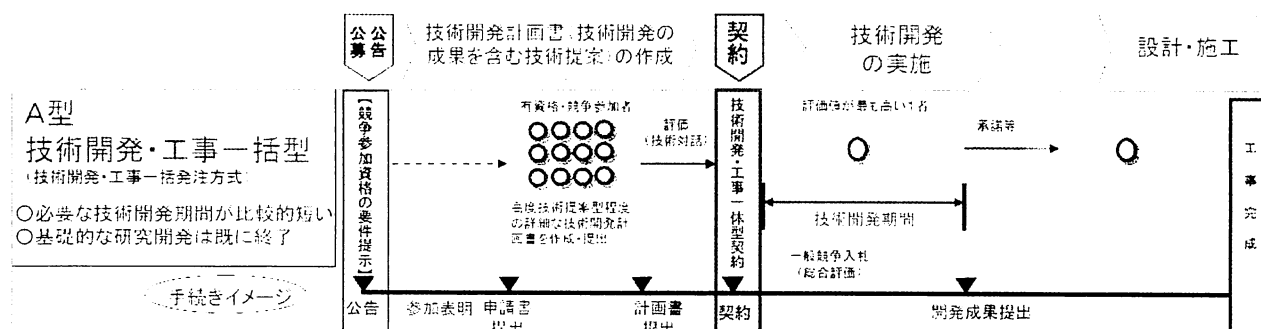


図-1 技術開発・工事一括方式（A型）の概要¹⁾

2. 高光トンネルの概要

高光トンネル工事は、四国横断自動車道宇和島北 IC ～西予宇和 IC 区間の起点部に位置する延長 270m、幅員 10.5m、内空断面積 73.1m²の道路トンネルである。地質は、中生代白亜紀の四万十層群に属する砂岩・頁岩互層が主体となっており、支保パターンの実績としては、トンネル延長の約半分 136.4m が CⅡ-b、それ以外については DⅠ-b 以下であった。また、掘削方式は発破方式を主体としている。

3. 技術開発の概要

工事入札時に「計測A及び出来形管理データを活用した情報化施工」に関する技術開発計画書の提出が求められたことから、計測A、出来形管理データ等の電子情報を施工および今後の維持管理に活用する技術として、以下に示す技術開発計画を策定した。

- 1)計測A：高精度三次元計測システムによる自動計測
- 2)出来形管理：三次元レーザースキャナによる出来形測定
- 3)電子情報を施工および今後の維持管理に活用する技術：三次元施工履歴・品質情報管理システム

図-1のスケジュールに則り、工事契約後、技術開発に着手し、トンネル掘削開始前までに現場適用可能なレベルまでの技術開発を実施している。さらに、トンネル施工時には技術開発成果を実際に現場適用し、工事終了時に技術開発の効果、適用性を検証している。

4. 三次元レーザースキャナによる出来形管理方法の開発と検証

(1) 対象とした出来形管理項目

対象とした出来形管理項目は、吹付けコンクリート工の厚さ、覆工コンクリート工の基準高、幅、高さ、コンクリート厚さ、およびインバートコンクリート工の厚さ

である。大きく分けて、施工後の仕上がり寸法を測定する管理項目と部材の厚さを測定する管理項目とに分けられる。

(2) 従来の出来形管理方法の課題

表-1³⁾に、(1)に示した出来形管理項目における従来手法による国土交通省土木工事施工管理基準に則った測定手順、測定位置を示す。従来手法では、部材の厚さを測定する項目、仕上がり寸法を測定する項目とも、人力によりスチールテープやスケール等を用いて測定している。この場合、測定された位置については、出来形を確認できるものの、それ以外の位置については出来形が設計値を満足しているか確認できない。例えば、将来的にトンネルの変状が起きた場合、その箇所において所定の部材厚さが確保されていたか、所定のトンネル断面形状が確保されていたか等を追跡することはできない。

(3) 三次元レーザースキャナによる出来形管理手法の開発

従来手法の課題をふまえ、出来形管理の測点を増加した高精度な管理手法の確立を目的に、三次元レーザースキャナによる断面測定を用いた出来形管理方法の開発を行った。三次元レーザースキャナは、水平方向と延長方向に同時に回転しながらトンネル壁面にレーザー光を照射し、反射光が機械の光源へ返ってくるまでの時間と角度から壁面の三次元座標を測定するものである。表-2に使用した三次元レーザースキャナの仕様を示す。

三次元レーザースキャナによる断面測定は、これまで吹付けコンクリート施工完了後の壁面形状を測定、そのデータに基づき凹凸度合いを把握したり、次工程で施工する覆工コンクリートの厚さが所定の設計値を確保できるかを確認する一手法として利用されてきた。したがって、今回対象とした仕上がり寸法を測定する覆工コンクリート工の基準高、幅、高さ測定については問題は少ないと考えられたが、部材の厚さを測定する出来形管理については、対応できていない。したがって、吹付けコンクリート施工前後またはコンクリート施工前後に測定したトンネル壁面形状データより、同一点付近の座標データの差分から部材厚さを算出するプログラムを開発した。図-2に三次元レーザースキャナを使用した出来形測定項目の算出方法を示す。

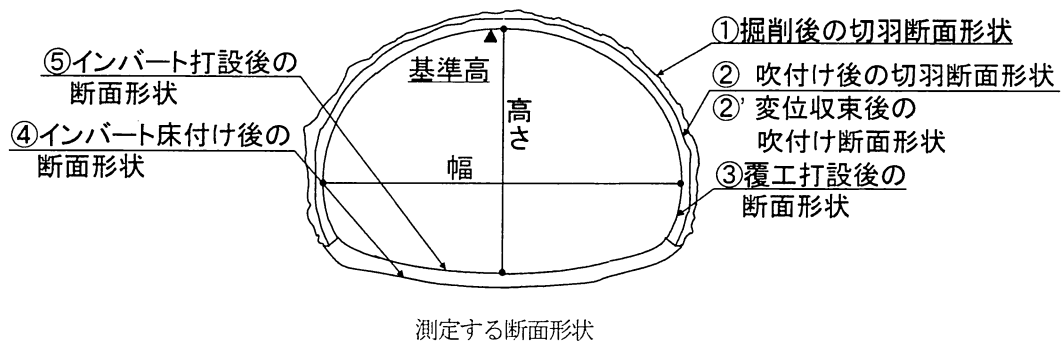
表-1 従来手法による出来形管理測定手順、測定位置

出来形測定項目		測定手順	測定位置
覆工コンクリート	厚さ	穿孔後、スケールによる計測	縦断方向:40m毎 横断方向:7箇所
	基準高	レベル測量、スチールテープによる計測	縦断方向40m毎
	幅		
インバートコンクリート	高さ	打設後、1打設長の腰部および検測孔をスケールによる計測	1打設長の腰部7箇所 検測孔:天端1箇所(40m毎) 肩部2箇所(100m毎)
	厚さ	打設後、1打設長の腰部をスケールによる計測	1打設長の腰部3箇所

参考文献³⁾に加筆修正

表-2 三次元レーザースキャナの仕様

製品名	Surphaser 25HSX
測定方式	フェーズシフト回転ミラー
レーザー波長	685 nm (赤色)
計測可能距離	器械点より 1.5m～30m
計測可能範囲	水平方向360°、鉛直方向270°
ノンプリズム測距精度	1mm (対象物正対条件による)



測定時期と出来形測定項目の算出方法

出来形測定項目		測定時期		出来形測定項目の算出
		1回目	2回目	
吹付け コンクリート	厚さ	①掘削後の切羽断面形状	②吹付け後の切羽断面形状	同一点付近における①と②の差分
	基準高	—		③(天端鉛直方向(Z)座標)
覆工 コンクリート	幅	—	③覆工打設後の断面形状	③(SL部左右座標点間距離)
	高さ	—		③(天端～インバート表面点間距離)
	厚さ	②'変位収束後の吹付け断面形状	③覆工打設後の断面形状	同一点付近における②'と③の差分
インバート コンクリート	厚さ	④インバート床付け後の断面形状	⑤インバート打設後の断面形状	同一点付近における④と⑤の差分

図-2 三次元レーザースキャナを使用した出来形測定項目の算出方法

(4) 三次元レーザースキャナによる出来形管理方法の検証

吹付けコンクリートの厚さ管理は縦断方向 10m に 1 箇所で行い、横断方向間隔 20cm 以内で壁面形状を測定した。また、覆工コンクリート、インバートコンクリートの出来形管理は縦断方向、横断方向ともに 20cm 以内で壁面形状を測定した。図-3 に覆工コンクリート完了後における三次元レーザースキャナで測定した点群データの例を示す。表-1 に示した従来手法より大幅に測点が増加し、任意の断面での詳細な出来形管理が可能である。

また、出来形管理手法として適用していくためには、測定精度の把握が重要であることから、同一断面付近で従来手法による出来形測定結果と比較した。図-4 に吹付けコンクリート厚さにおける従来手法と三次元レーザースキャナ測定の測定結果比較の一例を示す。従来手法と比較した場合、吹付けコンクリート厚さで、平均誤差 14.9mm (標準偏差 4.2mm) , 覆工コンクリート厚さで平均誤差 14.7mm (標準偏差 4.3mm) , インバート厚さで平均誤差 10.9mm (標準偏差 5.8mm) の精度であった。測定時に三次元レーザースキャナを据え付ける位置によって壁面形状を取得する位置がその都度変化し、厳密に考えると従来手法と同一点での比較が難しいことを考慮すると、今回得られた精度については、十分、管理手法として適用可能であると考えられる。

また、効率性の観点から述べると、従来手法による覆工コンクリート出来形測定が 1 回あたり 30 分であるの対して、三次元レーザースキャナによる出来形測定は

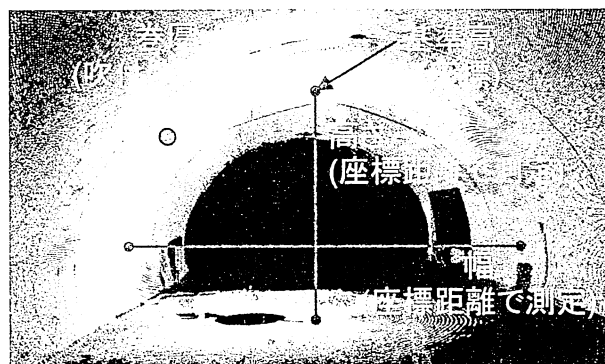


図-3 覆工コンクリート完了後における三次元レーザースキャナで測定した点群データの例

20 分程度であり、測定の効率性も向上することを確認している。

5. 三次元施工履歴・品質情報管理システムの開発と検証

計測A, 切羽観察, 出来形測定, 品質管理等, トンネル施工情報については、従来、個々の帳票により管理されてきたが、施工情報を次工程に迅速に反映すること、トンネル完成後の維持管理に有効的に活用することを目的に、施工情報を一括管理する三次元施工履歴・品質情報管理システムを開発した。図-5に三次元施工履歴・品質情報管理システムの画面例を示す。計測A, 切羽観察, 4章で示した三次元レーザースキャナデータを含む出来形管理, 品質管理等の施工情報を、トンネルの三次元モデルの各ブロック、測点などの位置情報と連動させて記

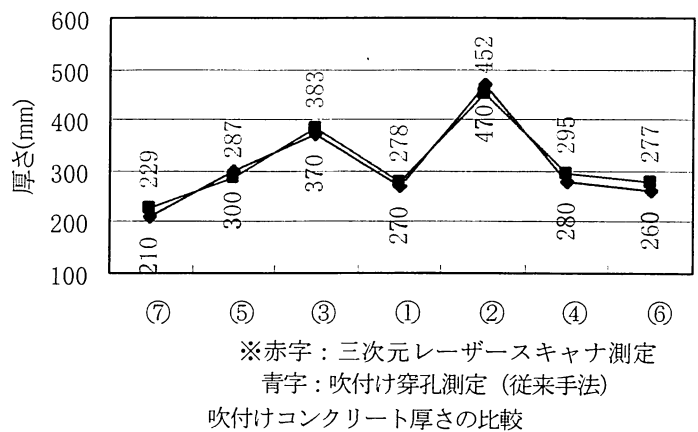
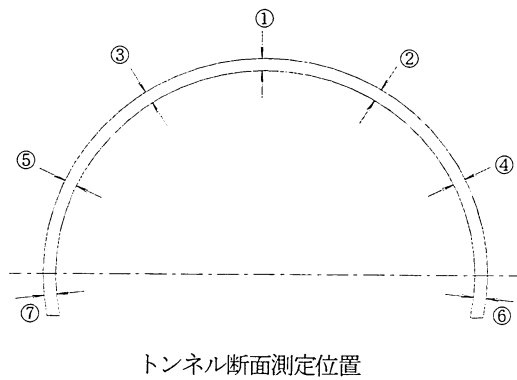


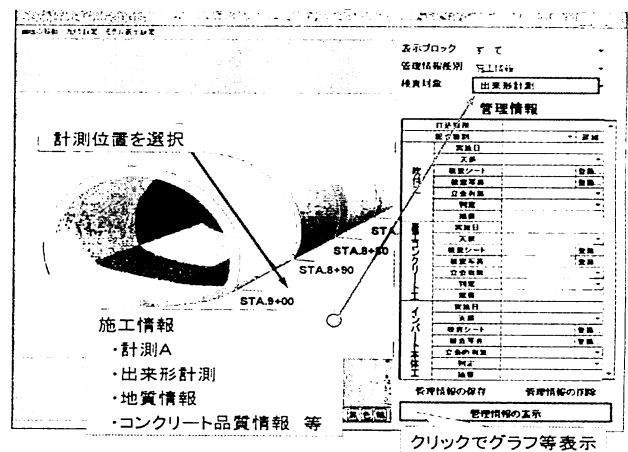
図-4 吹付けコンクリート厚さにおける従来手法と三次元レーザースキャナ測定の測定結果比較の一例

録できる。施工情報を一元管理することにより、掘削時にはトンネル安定検討への迅速なフィードバックや、品質情報の展開による不具合防止が可能となるとともに、維持管理段階におけるデータ検索の利便性向上が見込める。

6. まとめ

新しい発注方式において官民一体となった技術開発を行い、民間のみでは技術開発の対象とするのが難しかった出来形管理といった分野において、技術開発成果を挙げることができた。今回、確立した三次元レーザースキャナによる出来形管理については、従来の管理手法と比較しても同等の精度を有しているとともに、任意の断面で詳細な出来形管理が可能であることから、今後の展開が期待できる。

謝辞：技術開発・工事一括発注方式による技術開発を実施するにあたって、国土交通省四国地方整備局殿に多大なる御指導を頂きました。また、三次元レーザースキャナによる出来形管理手法の開発にあたっては、株式会社ソーキ山本智英氏を始め、多くの方に御協力を頂きました。記して感謝の意を表します。



参考文献

- 1) 国土交通省：技術開発・工事一体型調達方式ガイドライン，2009.
- 2) 増本みどり：技術開発一体型調達方式の導入，建設マネジメント技術，pp.11～15，2009.
- 3) 四国地方整備局：土木工事施工管理基準及び規格値（案），pp.1-95～1-97，2011.

APPROACH ON PROCUREMENT SYSTEM INCLUDING TECHNICAL DEVELOPMENT AND CONSTRUCTION

Nobuyuki KAWABE, Naomasa KARIYAMA and Masahiro KURODAI

This paper presents the approach on procurement system including technical development and construction in Takamitsu tunnel. This procurement system is the first attempt in Japan.

Authors apply the finished work quality using three-dimensional laser scanner and construction data management system in tunnel.