

復興道路工事における新技術への取り組み

— 爆薬の遠隔装填システムと 中流動コンクリートの適用 —

堂藤 和雄* 野々村 嘉映* 古谷 聡* 星 太一* 千葉 崇* 長岡 雄太*

釜石山田道路工事は、東日本大震災における復興道路の整備を効率的に推進させるために、複数の工種・構造物を一括して施工する発注ロットの大型化を図ったものであり、4つのトンネルとコンクリート橋、補強土壁工からなる全工区延長約2.8kmの工事である。

本稿では、爆薬の遠隔装填システム採用による切羽安全性の向上および工程の確保、トンネル覆工コンクリートに後添加型中流動コンクリートの適用による品質向上について報告する。

キーワード：山岳トンネル、爆薬の遠隔装填、中流動コンクリート

1. はじめに

三陸沿岸道路のうち釜石山田道路は、釜石市甲子町第13地割（仮称）釜石JCTから下閉伊郡山田町船越（山田南IC）を結ぶ延長23.0kmの自動車専用道路である（Fig.1参照）。そのうち釜石両石IC～釜石北IC間の4.6km区間は、先行開通区間として東日本大震災発生の6日前に開通している。平成23年3月11日に発生した東日本大震災では、大津波により鶴住居小学校、釜石東中学校が被災し、児童・生徒ら約600人は津波から逃れるために開通後まもない高台にある釜石山田道路に逃れ全員が助かった。このことから子供たちの命を救った道路は別名「命の道」とも呼ばれている。そのため、一日も早い完成・開通の期待が寄せられている道路である。

本稿では、本工事が早期完成をめざす復興道路工事であることから、工期の厳守は勿論のこと、品質・安全の向上を目的として当社開発の爆薬の遠隔装填システムの採用、トンネル覆工に後添加型中流動コンクリートを適用した結果を報告する。

2. 工事概要

2.1 工事概要

本工事は、東日本大震災における復興道路の整備を効率的に推進させるために、複数の工種・構造物を一括して施工する発注ロットの大型化（大ロット工事）を図ったものであり、4つのトンネルとコンクリート橋、補強土壁工からなる全工区延長約2.8kmの工事である。

工事名：国道45号 釜石山田道路工事

発注者：国土交通省 東北地方整備局

施工者：熊谷組・オリエンタル白石特定建設工事共同企業体

施工場所：岩手県釜石市大字釜石第9地割～

釜石市両石町第4地割 地内

工期：平成24年3月15日～平成27年3月13日

工事内容：

トンネル工：八雲第1トンネル L=635m、八雲第2トンネル L=839m、八雲第3トンネル L=149m、水海トンネル L=445m

掘削断面積 約75～80m²

掘削方式 発破掘削（タイヤ方式）

道路改良：大規模盛土および補強土壁工（テールアルメ工法）

コンクリート橋上部工：水海高架橋（L=184m）

2.2 地形概要

工事箇所は、急峻な山地が海岸に迫っている地域であり、海岸線は非常に多くの入り江が深く切り込まれたりアス式海岸を形成している。本トンネルは標高約55m～87mの高さに計画され、それぞれ次のような特徴がある。

八雲第1トンネル：八雲砂防ダム（岩手県）上流を通過（水平距離・土被りとも約20m）、起点側坑口に民家が近接（離隔距離約50m）

八雲第2トンネル：県道水海大渡線直下を通過（土被り約4m）、JR釜石線釜石トンネル上方約40mを通過、約2mの低土被り部

八雲第3トンネル：偏圧地形

水海トンネル：小土かぶり部（土被り約1m）

* 東北支店 釜石山田道路作業所

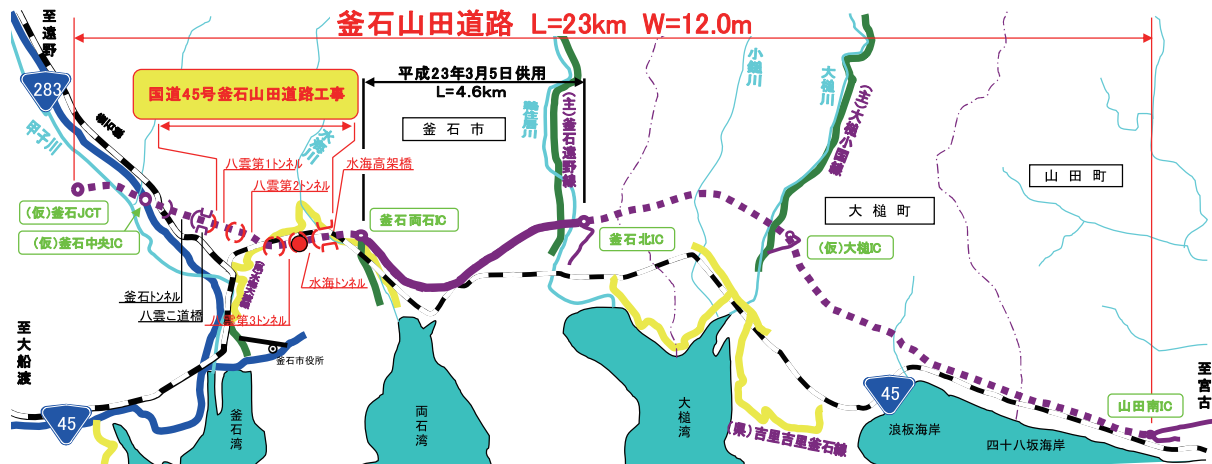


Fig. 1 位置図

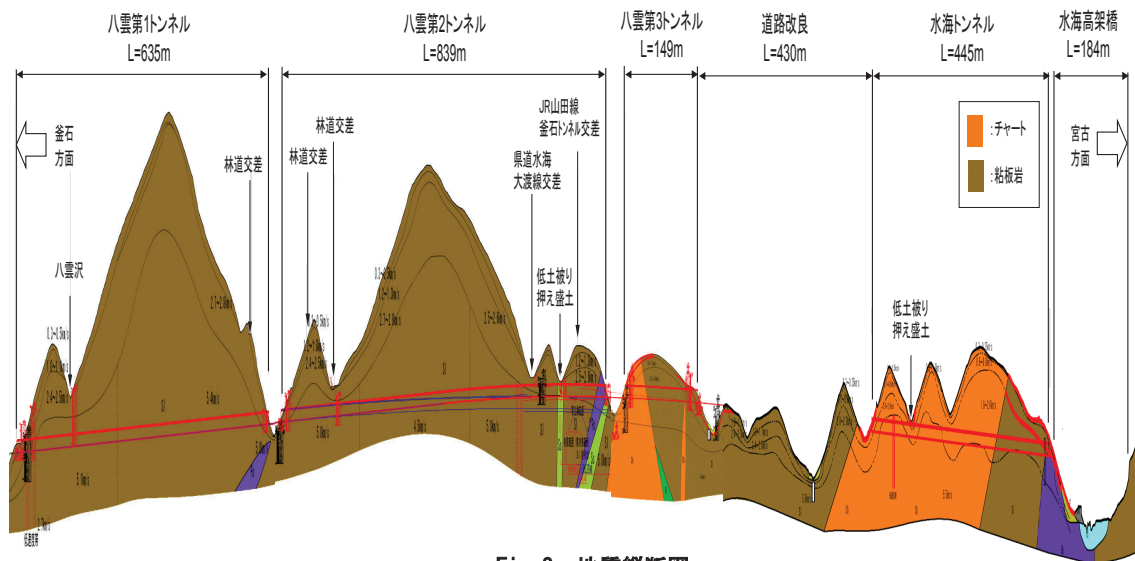


Fig. 2 地質縦断面図

2.3 地質概要

Fig.2の地質縦断面図に示すように、本トンネルの掘削対象となる北部北上帯釜石層は、中生代ジュラ紀の泥質混在岩で構成されている。この混在岩の泥質基質中に岩塊としてチャート・破屑岩類・玄武岩および石灰岩が含まれている。なお、泥質岩部分は面構造の発達が顕著であることから粘板岩と判別している。この粘板岩中に白亜紀のヒン岩および班レイ岩脈が貫入している。地層の傾斜は60～70度であり、高角な面構造が顕著に発達し、面構造に沿って剥離しやすい特徴を有している。

事前調査では一部に低速度帯が確認されたが、施工中に大きな断層や破砕帯に遭遇することなく、掘削時の湧水も少なかった。主体地山である粘板岩・チャートの一軸圧縮強度は共に40～80MPa程度であった。

3. 爆薬の遠隔装填システム

3.1 開発の経緯

山岳トンネル工事における災害の多くは切羽付近で発生している。特に発破方式における爆薬の装填作業では

切羽に接近した作業を強いられることから、鏡面肌落ちなどの切羽崩落による重大災害につながる事例が多い。

また、装填作業はすべての孔に爆薬およびタンピング材を挿入し、込め棒で突いて装填する単純作業の繰り返しであり、作業環境や姿勢なども厳しい状況での作業となるため、かなり苦渋性の高い作業といえる。

熊谷組では、これらの危険性の回避のため、装填作業を出来るだけ切羽から離れて行うこと、作業姿勢の改善、装填の機械化および全自動化を目的に、爆薬の遠隔装填システムの開発・実用化を行ってきた¹⁾。平成8年より開発を始め、試験施工を繰り返し行った上で、平成13年より現場にて本格稼働させている。

3.2 システム概要

爆薬の遠隔装填システムはFig.3, 4に示すとおり、台車に搭載した遠隔装填装置および装填ホース・装填パイプ・手元リモコンスイッチからなっている。遠隔装填装置(Photo.1参照)は爆薬供給・タンピング材供給・装填機の各装置とこれらを制御するコンピュータで構成されている。

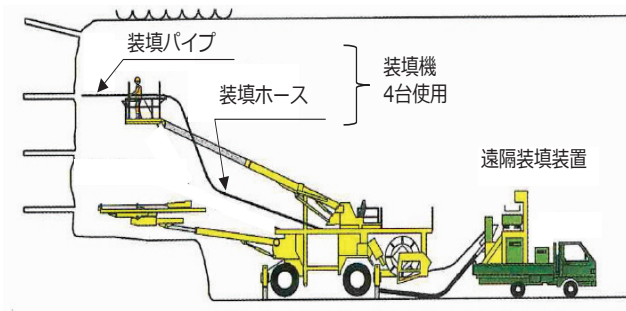


Fig. 3 爆薬の遠隔装填システム全体図



Photo. 1 爆薬の遠隔装填装置

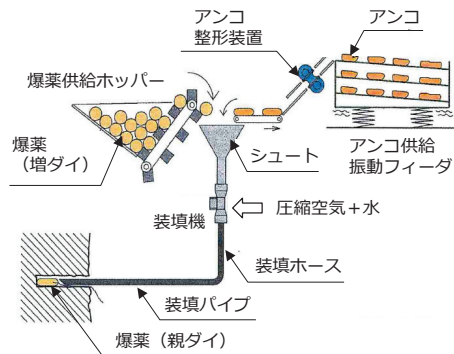


Fig. 4 爆薬の遠隔装填装置の構成図

装填手順は、まず親ダイを装填パイプの先端に取り付け、発破孔の孔尻へエア圧送する。次に、増ダイは手元の操作ボタンで所定の数量を設定し、増しダイ発射指令ボタンを押すと、設定数の増ダイが連続的に孔内を圧送・装填される。すべての増ダイの装填が確認されると、次にタンピング材装填指令で、所定数の連続整形されたタンピング材が同じ装填装置を通して圧送される。

以上のように、親ダイをパイプ先端にセットし、孔内に挿入後は手元のボタン操作のみで、増ダイ・タンピング材が後方の台車よりホースを経由して全自動で圧送・装填が可能である。なお、装填作業途中で装填パイプに増ダイやタンピング材を逐次挿入し装填する必要はない。



Photo. 2 人力による装填作業



Photo. 3 遠隔装填による爆薬装填

3.3 本工事への導入経緯

前述のとおり、本トンネルの地質は面構造の発達した剥離しやすい粘板岩を主体としていることから、施工計画当初より安全重点項目として切羽での肌落ち災害防止が検討された。そこで、切羽に最も接近し長時間の人力作業となる爆薬の装填作業において、鏡面との離隔を1.5m以上確保した装填作業の安全性向上に加え、切羽張りつき時間の短縮や装填作業の効率化、苦渋作業の軽減を図る目的で爆薬の遠隔装填システムを導入した。

同システムは1台の装填機から2本の装填パイプ(L=3.0m)により装填作業が行える構成となっている。爆薬遠隔装填システムを導入したこれまでの施工実績では1切羽に対し1台の遠隔装填機を導入し、穿孔後2本の装填パイプを使用して爆薬の装填作業を行っていた。しかし、今回は早期完成をめざす復興道路の施工であることから作業の安全性向上に加え、安定した掘削進行を

確保することを目的に1切羽に2台の遠隔装填機を導入し、4本の装填パイプを使用して爆薬を装填する計画とした。本工事では、当初より4本のトンネルについて2切羽同時に施工を行う計画であったため、2切羽×2台の計4台の遠隔装填機を導入して施工した。

3.4 安全性の向上

従来的人力による装填作業では、Photo.2に示すとおり作業員は切羽に長時間密着した状態で、爆薬とタンピング材を挿入し込め棒で突くという作業となる。

一方、爆薬の遠隔装填システムによる装填作業は、Photo.3から明らかなように、切羽から1.5m程度離れたところから、比較的楽な姿勢で装填作業を行える。作業員からは「初めは人力による装填作業の方が作業性が良いと思っていたが、機械の特性を理解し、使い慣れてい

くにしたいが、切羽作業の安全向上はもとより、楽な体勢で装填作業が行えることから肉体的疲労も軽減され、結果的に掘削サイクルが向上できた。「次の工事でも使用したい」などのコメントがあり、苦渋作業の解消のメリットが高く評価され、トンネル全線で装填システムの積極的な使用に繋がったと考える。

これにより、装填作業の安全性が現実的に向上しただけでなく、切羽作業に対する安全意識の高揚にも繋がり、切羽災害ゼロで掘削を完了できたものとする。

3.5 発破効率の向上

従来、爆薬・タンピング材の装填は、Fig.5に示すように、爆薬数を同時に孔内に挿入後、込め棒で押しつけて装填させる場合が多く、込め棒に当たった爆薬のみが押しつぶされるため、均一な装填がされにくい。しかし、爆薬遠隔装填システムによる爆薬とタンピング材の装填は、一定のスピードで孔内にエア圧送され、個々に押しつぶされるため、密装填状態となる。

模擬火薬と模擬孔を使用した装填実験では、Photo.4に示すように、爆薬およびタンピング材の装填長が30～40%程度短くなり、孔奥に集中した密装填となっていることがわかる。この結果、爆力が強かつ安定するため、破碎威力が大きくなり、薬量の低減につながるものとする。

3.6 装填作業の効率化

3.6.1 調査対象区間

装填作業時間の調査は、八雲第1トンネルの支保パターンC II-b (1掘進長1.2m, 掘削設計断面積(上半)51m²)で実施し、計18断面のデータを分析した。

また、比較対象として、地質条件や掘削断面積がほぼ同等の条件で、従来の人力作業による装填を行った別工事のAトンネルにおいても調査を実施した。Aトンネルも同様に、C II-bパターン (1掘進長1.2m, 掘削設計断面積(全断面)61m²)で調査を行い、20断面のデータを分析した。

3.6.2 装填作業時間の調査結果

爆薬の遠隔装填システムを使用した機械装填と人力装填の装填作業時間の比較を Fig.6 に示す。なお、両者の比較は、1孔当りの平均薬量と装填時間により行った。

この結果より、1孔当りの薬量にかかわらず、遠隔装填システムを用いた機械装填では、装填時間は概ね15秒/孔で完了していることがわかる。

また、Table1より人力装填と比較すると、機械装填では1孔当りの平均薬量が多いにもかかわらず、1孔当りの平均装填時間は人力装填26.5秒/孔に対し、機械装填14.7秒/孔と12秒ほど早く、約45%の装填時間の短縮となった。

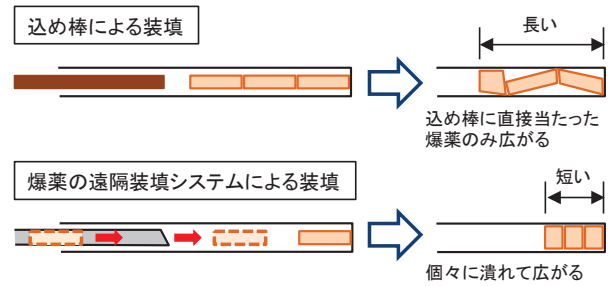


Fig. 5 装填状況の模式図



Photo. 4 模擬の爆薬による遠隔装填システムによる密装填状況

Table1 機械装填と人力装填の1孔当りの装填時間の比較

爆薬の装填方法	トンネル名称	地質区分	支保区分	掘進長(m)	設計断面積(m ²)	調査数(断面)	1孔当り平均薬量(kg/孔)	1孔当り装填時間(秒/孔)
機械装填	八雲第1トンネル	粘板岩	CII-b 上半	1.2	51	18	0.72	14.7
人力装填	Aトンネル	砂岩・泥岩 五層	CII-b 全断面	1.2	61	20	0.62	26.5

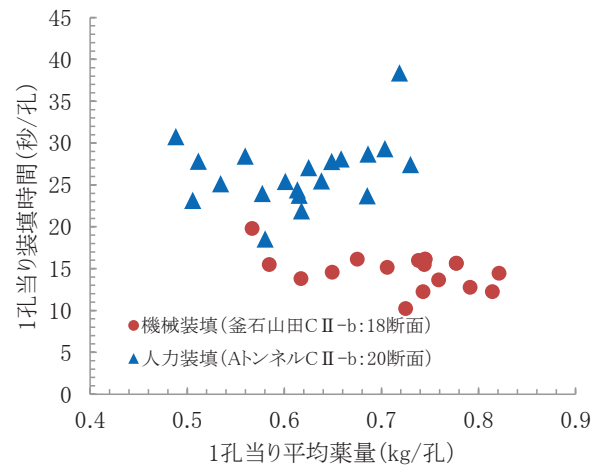


Fig. 6 機械装填と人力装填の装填時間の分布

これは、人力装填では爆薬およびタンピング材を挿入し込め棒で突いて装填する作業の繰り返しに対し、遠隔装填システムでは、手元のリモコンボタンの操作のみで爆薬とタンピング材が迅速かつ簡単に装填できるためと考える。

4. 後添加型の中流動コンクリート

4.1 適用の背景

一般的に山岳トンネルの覆工コンクリートは、狭小空間での作業となり、締固め不足や筒先の移動が充分に行いにくいことから、締固め不足によるコンクリートの密実性の低下、充填不足による背面空洞の発生などが懸念されている²⁾。

その対策として材料面では、流動性や充填性、材料分離抵抗性の高い中流動コンクリートが開発され適用されている。ここで言う中流動コンクリートは、従来のスランプ15~18cmの覆工コンクリートとスランプフロー65cm程度の高流動コンクリートの中間的な性状を有するスランプフロー35~50cm程度のコンクリートである。

また近年では、従来の石灰石微粉末などを用いた粉体系ではなく、増粘成分を配合した高性能AE減水剤を用いた増粘系中流動コンクリートが開発され適用されつつある。

しかしながら、添加する粉体もしくは液体の混和材料の調達、またそれらを貯蔵するための設備（サイロ）の増設が必要となり、一部地域では市中生コン工場での製造が困難であることが課題になっている。

加えて、東日本大震災からの復旧・復興工事が本格化し、生コン工場への設備や時間などの負荷がなく中流動コンクリートを製造できる方法が望まれている。

4.2 適用位置

本工事のうち八雲第2トンネルの県道交差部の低土被り箇所（Fig.2 参照）では、覆工コンクリート厚40cmでかつ複鉄筋構造（Fig.7 参照）であることから、当該区間（覆工 No. 61~63BL, 10.5m/BL×3BL=31.5m）に中流動コンクリートを適用することとした。

4.3 後添加型中流動コンクリートの製造方法

中流動コンクリートの製造は、従来の生コン工場での製造ではなく、現場で生コン車に直接投入・攪拌・製造できる点が特徴の後添加型の液体増粘剤を適用した。これより、生コン工場への設備増設の必要なく製造が可能である。

後添加専用開発した液体増粘剤「ADVA-PLUS」の主成分と物性を Table2 に示す。

本方法では、現場に搬入されたアジテータ車で、スランプフロー15cm程度の通常の覆工コンクリートに液体増粘剤を打設直前に現場で添加し、約90秒攪拌することで、スランプフロー40cm程度の中流動コンクリートを製造できる。

4.4 コンクリート配合

コンクリート配合を決定するため試験練りを行い、基準試験を実施した。基準はNEXCOトンネル施工管理要領

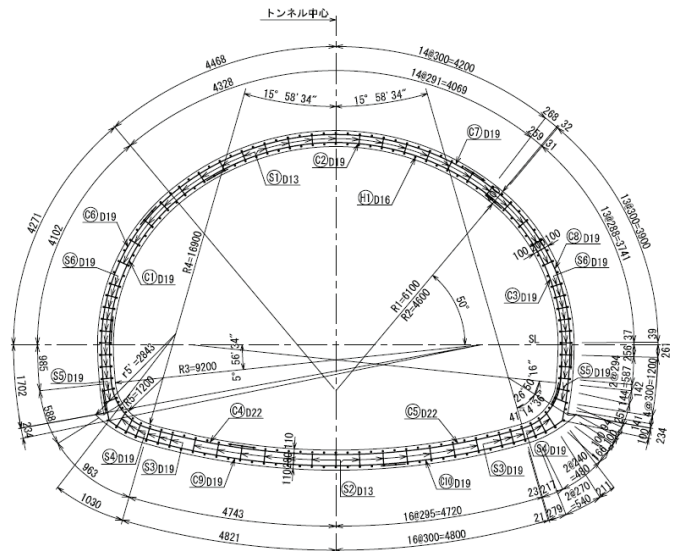


Fig.7 補強鉄筋図

Table2 液体増粘剤「ADVA-PLUS」の主成分と物性

主成分	特殊増粘剤とポリカルボン酸系化合物
外観	褐色液体
全アルカリ量	0.00 %
塩化物イオン量	0.01 %

Table3 中流動覆工コンクリートの配合決定のための試験基準

スランプ	スランプフロー	空気量	加振変形試験	U形充填性高さ(障害無し)
21±1.5 cm	35~50 cm	4.5±1.5 %	10秒加振後のスランプフローの広がり 10±3cm	280mm 以上

Table4 配合表 (30-15-20BB)

W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
		W	C	E	S	G	AD
47.5	52.4	162	321	20	957	877	3.07

(中流動覆工コンクリート編)³⁾を参考とした。主な基準を Table3 に示す。なお、スランプの許容差は、NEXCO 基準では±2.5cmであるが、今回は国交省の基準のスランプ21cmの許容差である±1.5cmとした。

試験練りにより決定したコンクリート配合を Table4 に示す。

後添加する液体増粘剤の添加量は、セメント量の0.60%である。また、これらにひび割れ防止の観点から膨張材を添加している。

4.5 試験結果

適用した各ブロックの連続5台のスランプフローの測定結果を Fig.8 に示す。事前の試験結果と同様に、スラン

ブフロー値は、いずれも規格値以内であり、またバラツキは小さく、現場で添加・攪拌し製造する中流動コンクリートにおいても、生コン工場で製造する中流動コンクリートと同様に安定した品質を確保できるものといえる。

次に、コンクリートの圧縮強度試験の結果を Fig.9 に示す。設計基準強度 $30\text{N}/\text{mm}^2$ に対し、いずれも十分満足できる結果となっている。

中流動コンクリートの試験結果や添加状況などの施工状況の様子を Photo.5 に示す。

中流動コンクリートの採用により、複鉄筋構造の覆工コンクリートにおいても、優れた材料分離抵抗性と適切な流動性が確保され、確実な充填が行えた。

また、現場に搬入した後、中流動コンクリートの製造ができるため、スランプロスが発生せず、品質の良いコンクリートの打設が可能となった。

今後もコンクリートの透気試験などを実施し、品質確認を継続していく予定である。

5. おわりに

本工事では、復興道路工事における新技術への取り組みとして、切羽災害ゼロおよび安定した掘削工程の確保を目的に爆薬の遠隔装填システムを採用し、トンネル覆工コンクリートの品質向上を目的に中流動コンクリートの適用を行った。

当社開発の爆薬の遠隔装填システムは、トンネル全線にわたって、1切羽につき2台の遠隔装填機を導入し、4本の装填パイプを使用して爆薬の装填作業を行った。

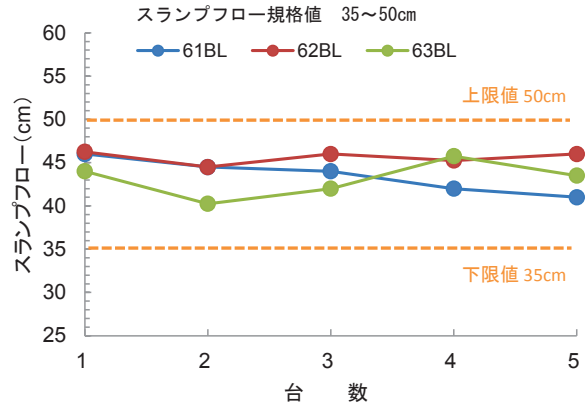


Fig. 8 スランプフロー測定結果 (連続5台)

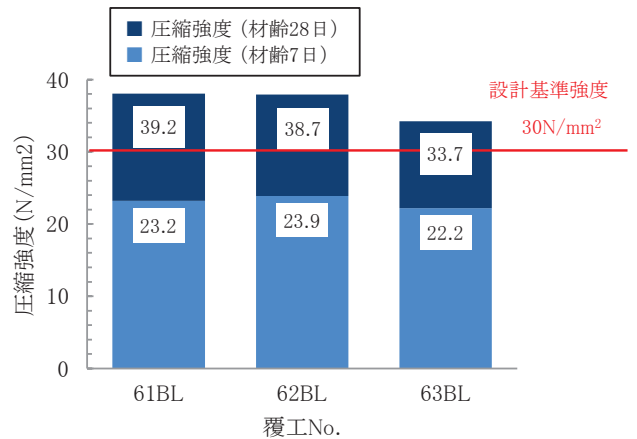


Fig. 9 コンクリートの圧縮強度試験結果

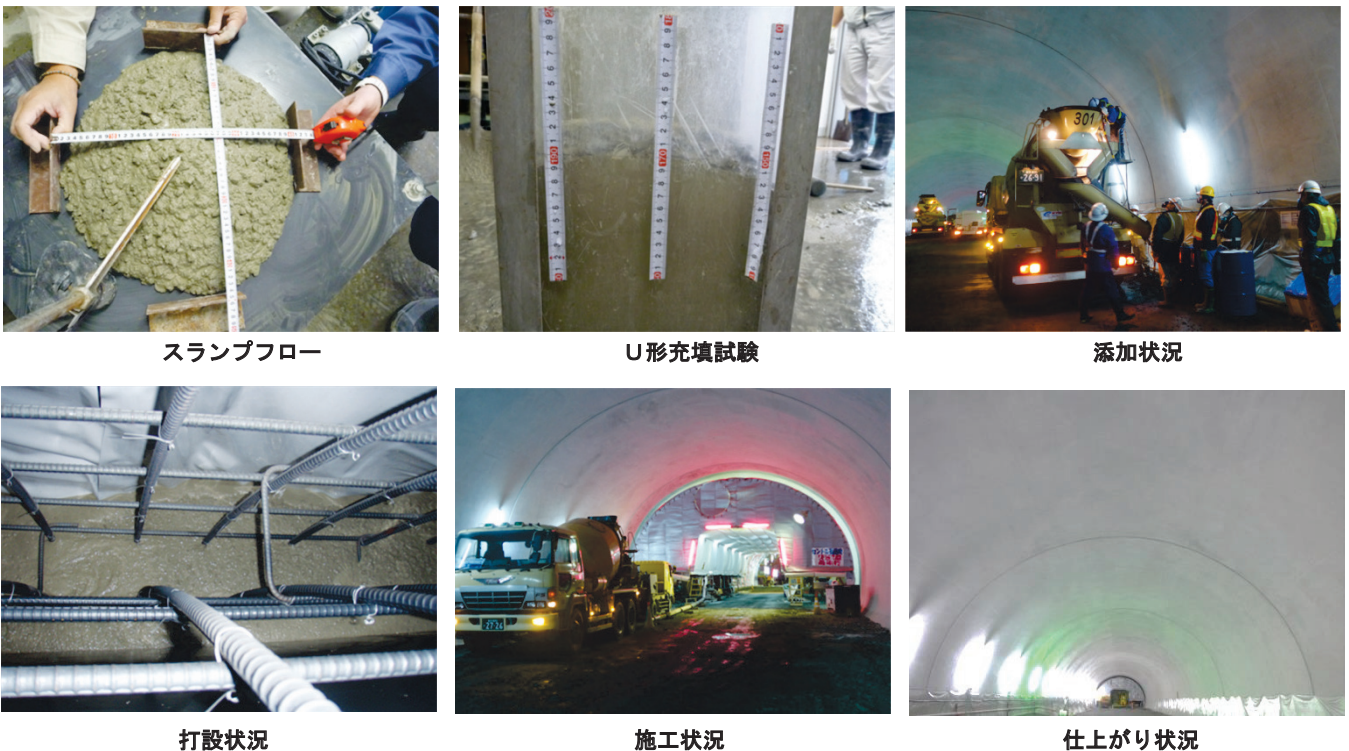


Photo. 5 中流動コンクリートの施工状況

その結果、従来の人力作業に比べ、装填作業時の作業員の安全性が向上、苦渋作業からの軽減をただけでなく、装填作業時間の短縮が図れ、作業員の切羽への張り付き時間も低減することができ、安定した掘削進行を確保することができた。

今後も爆薬の遠隔装填システムの使用を継続し、山岳トンネルの発破工法の施工機械として標準化していく所存である。

また、現場にて製造する後添加型中流動覆工コンクリートを県道交差部の低土被り箇所の複鉄筋構造区間に適用した。

その結果、生コン工場の設備増設や時間的な負荷なく、流動性や材料分離抵抗性の高い安定した中流動コンクリートの製造をすることができた。

今後も他の山岳トンネル工事にも適用し、更なる覆工コンクリート品質の向上を図っていく方針である。

最後に、これらの新技術への取り組みは、早期完成を目指す復興道路工事への一助となれたものとする。

参考文献

- 1) 岡本哲也・岡田喬・広瀬俊文・畔高伸一：山岳トンネル発破掘削における爆薬装填作業の安全性向上と効率化，土木学会第57回年次学術講演会講演概要集，VI-191，平成14年9月
- 2) (株) 高速道路総合技術研究所：NEXCO 中流動覆工コンクリート技術のまとめ，平成23年12月
- 3) 東・中・西日本高速道路(株)：トンネル施工管理要領，中流動覆工コンクリート編，平成24年7月

Execution for new technology at road re-establishment project — Adoption of remote installation system for explosive compound, and middle fluidity concrete —

Kazuo DOTO, Yoshiteru NONOMURA, Satoshi FURUYA, Taichi HOSHI, Takashi CHIBA and Yuta NAGAOKA

Abstract

Kamaishi Yamada Road Lining Tunnel Project (2.8km) consist of four lining tunnels, RC bridge and reinforced earth, which are comprehensively constructed in a variety of work items and structures in order to efficiently re-establishment road network after devastating disaster in the Great East Japan Earthquake. This reports improvement of the tunnel face stability and securing of the work process by adopting remote installation system of explosive compound, and moreover quality improvement of the tunnel lining by applying middle fluidity concrete with 2nd dosed viscous agent.

Key words: Mountain tunnel, Remote installation of explosive compound, Middle fluidity concrete
