

超大断面トンネルの分割発破 による効率化施工について

森 安弘¹・葛城 敏英²・山本 茂夫³・衣笠 晃司⁴・佐藤 大輔⁵・飯塚 建⁶

¹佐藤工業 (株) (〒103-8639 東京都中央区日本橋本町4-12-19)
E-mail:Yasuhiro.Mori@satokogyo.co.jp

²佐藤工業 (株) (〒103-8639 東京都中央区日本橋本町4-12-19)
E-mail:Katsuragi@satokogyo.co.jp

³佐藤工業 (株) (〒103-8639 東京都中央区日本橋本町4-12-19)
E-mail:shigeo.yamamoto@satokogyo.co.jp

⁴佐藤工業 (株) (〒103-8639 東京都中央区日本橋本町4-12-19)
E-mail:Kinugasa@satokogyo.co.jp

⁵佐藤工業 (株) (〒103-8639 東京都中央区日本橋本町4-12-19)
E-mail:D.Sato@satokogyo.co.jp

⁶佐藤工業 (株) (〒103-8639 東京都中央区日本橋本町4-12-19)
E-mail:ken.iizuka@satokogyo.co.jp

(仮称) 国道45号 気仙沼第2号トンネル(延長 $L=1,167\text{m}$)の入口部 197.7m は, トンネル内に合流車線を有する三車線断面であり, 内空幅 19.7m から 14.1m に3段階で断面が変化する. この区間の坑口から 54.8m 間は, 掘削断面が 234m^2 となる日本有数の超大断面トンネルである. 超大断面部の掘削工法は, ショートベンチカット工法による発破掘削方式で計画し, 最大断面であるDⅢa-L1パターンの施工を, 上半→下半→インバートの順に各々発破を行い掘削を進めていたが, 断面が大きく各作業に相当な時間を費やした. そこで, 二番目に大きな断面であるDⅢa-L2パターンから拡幅断面終点までの 142m 間において, 施工方法の効率化を図った. 本稿では, 超大断面区間の施工方法について報告する.

Key Words : sinking blasting, large section tunnel, efficiency construction,

1. はじめに

(仮称) 気仙沼第2号トンネルは, 自動車専用道路である三陸沿岸道路の気仙沼～唐桑南間延 9km の終点側に位置する延長 $1,167\text{m}$ のトンネルである.

本トンネル東側坑口 197.7m の上り方向(仙台方向)は, トンネル内で車線が合流することから内空幅 19.7m から 14.1m に3段階で断面が変化し, 坑口から 54.8m 間は掘削断面が 234m^2 (内空断面 189m^2)で, 内空縦横比(扁平率)「 0.52 」である日本有数の扁平超大断面トンネルである(図-1, 図-2).

拡幅区間 197.7m の施工が工期に大きく影響することから, 施工の効率化が必要となった. 本稿では, 施工の効率化を図るために行った超大断面における分割発破について報告する.

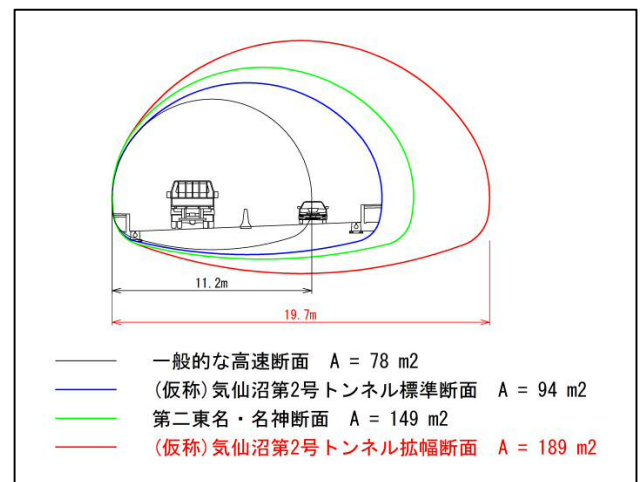


図-1 トンネル断面の比較図

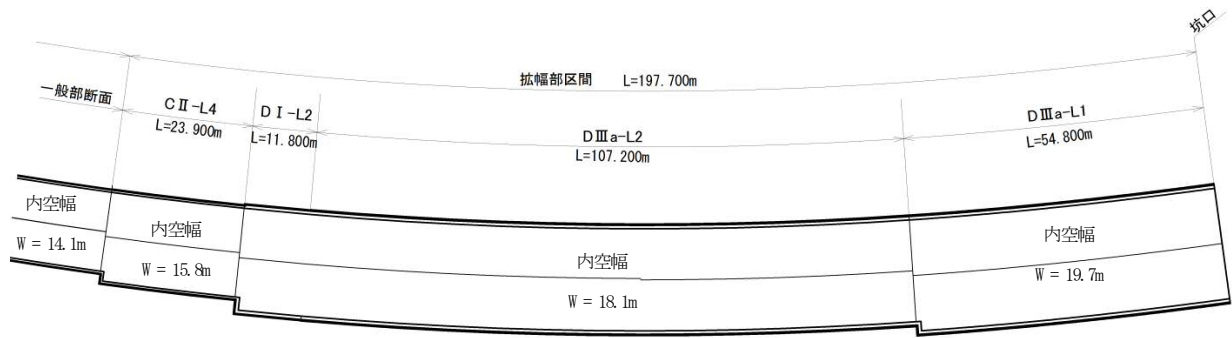


図-2 拡張部区間平面図

2. 地形および地質概要

(1) 地形概要

本トンネル付近の地形は、気仙沼湾の東岸にあたり、周辺にはほぼ南北性の切込んだ湾が北から大船渡湾、広田湾、気仙沼湾等が存在し、これらは代表的なリアス式海岸を呈する。

気仙沼湾東岸には標高300m程度の低起伏の山地が南北方向に伸びている。標高40～90m付近には、ほぼ現在の汀線に並行するように数段の段丘面の発達が見られ、この段丘面に挟りこむように東西方向の水系が発達している。

(2) 地質概要

本トンネル付近の地質は、南部北上帯の古生界～中世界の分布域である。古生界としてはペルム系（二畳系）の坂本沢層群・叶倉層群の砂岩・粘板岩・石灰岩と登米層群の礫岩・粘板岩が分布し、中世界としては三畳系の稲井層群の粘板岩・砂岩とジュラ系の唐桑層群・鹿折層群の礫岩・砂岩・粘板岩および白亜系の大島層の砂岩・粘板岩・新月層の安山岩等が分布する。

地質構造は、北北西－南南東性の大規模な日詰－気仙沼構造線が存在し、これに派生した数条の断層および直行する断層が数多く存在するため、複雑な地質分布を呈している。

地質縦断図を図-3に示す。道路計画高さ付近には、CH～CM級（ $V_p=3.2\text{km/s}$ 以上）の岩盤が分布する。CH～CM級の岩盤は硬質であるが、部分的に亀裂が多く、角礫状を呈する箇所が見られ、一部の亀裂では亀裂に沿って脆弱化した部分が認められる。

3. 施工上の問題点

大断面部の掘削工法は、ショートベンチカット工法による発破掘削方式を採用した。特に最大断面であるDIII a-L1パターンの施工は、上半→下半→インバートの順に

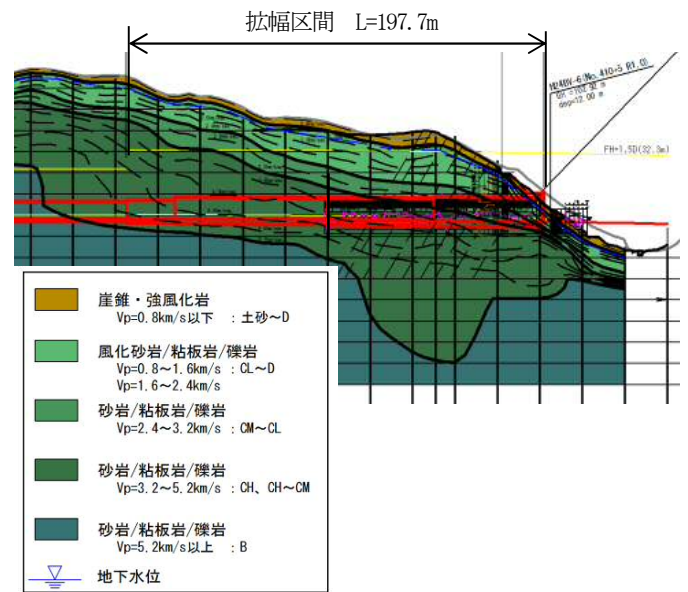


図-3 地質縦断図

各々発破を進めてきたが、断面が大きく各作業に相当な時間を費やし、拡張区間197.7mの施工が工期に大きく影響することから、施工の効率化が必要となった。そこで、工程短縮のために各作業工程を見直すことより、二番目に大きな断面であるDIII a-L2パターンから拡張区間終点までの142m間において、施工方法の効率化を図った。

4. 施工方法の効率化

インバートを含めた上下半同時併進工法は、下半高が3mを越え、さらにインバートも掘削高が約2.5mになるため、下半盤および上半盤へのスロープ作成が生じ、施工効率が低下し、安全性も問題となる（図-4）。そこで作業効率を向上させるため、上半盤から鉛直方向に下半およびインバート部の発破を行った（以下盤打ち発破という）。

5. 盤打ち発破の概要

盤打ち発破は明り工事で行うベンチ発破の応用で、多段発破を行い、発破で破碎された岩砕は積み込み除去せず、次の発破を実施する発破方法である。

施工機械に油圧式クローラドリルを用いた盤打ち発破は、上半掘削作業に影響を与えない土曜日の夜勤～日曜日の夜勤（3方）に行った。また側壁近くは、先行発破による地山の緩みを防止する目的と、クローラドリルのブームがアーチ肩部に当たってしまう理由で、掘削線から4m程度の離隔を取った。標準穿孔パターンおよび盤打ち発破の穿孔配置縦断・平面図を図-5、図-6に示す。

発破はDS電気雷管と親ダイに1孔当り含水爆薬（200g）、増ダイにANFO爆薬を使用した。1発破（1方）あたりの火薬量は、含水爆薬6.0kg、ANFO爆薬250kgを使用し、DS電気雷管は1段～10段までとし、段当り3孔とした。穿孔のマーキング等の準備作業から片付けまでの所要時間とクローラドリルの性能から、1発破（1方）あたりの延穿孔長が180m程度になるように穿孔パターンを計画した。

ANFO爆薬は水に反応して溶解してしまう特性から、水を使用した穿孔の採用は回避した。ANFO爆薬を使用する場合、従来では水に変え圧縮空気によりくり粉の排出を

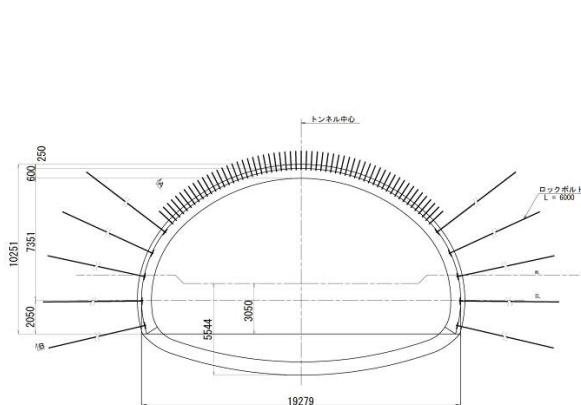


図-4 DIIIa-L1 パターン断面図

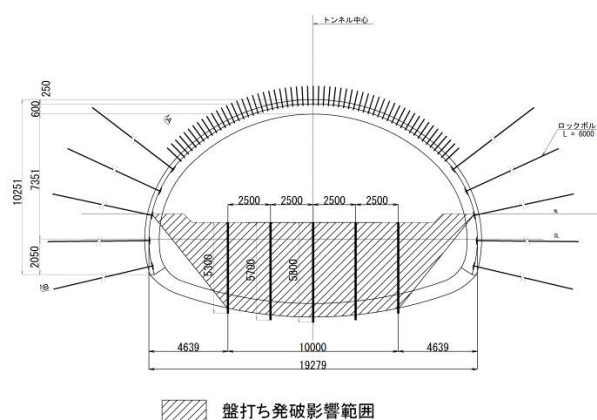


図-5 標準穿孔パターンおよび発破影響範囲図

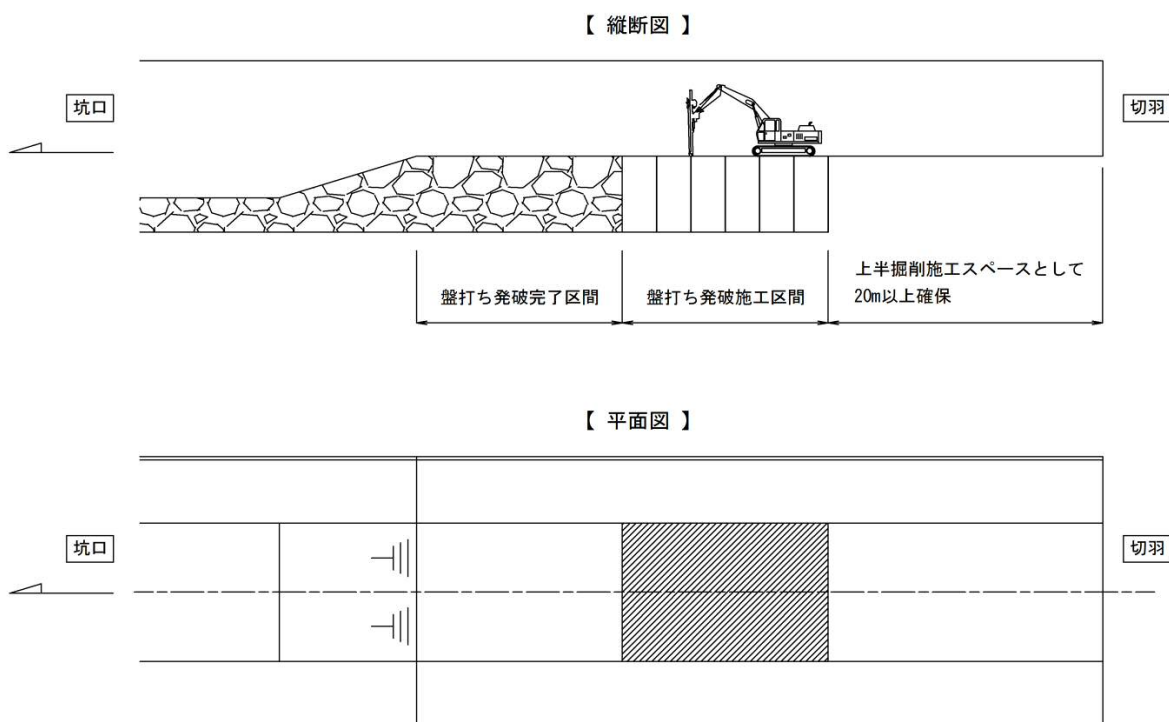


図-6 盤打ち発破穿孔配置縦断・平面図

行う。この場合、坑内にくり粉が拡散してしまい、坑内環境が悪化する。しかし、今回使用した油圧クローラードリルは、先端に集塵機が搭載されており、集塵機によりくり粉の排出を行うため、従来方法に比べて、坑内環境が改善される（写真-1）。実際に穿孔すると、坑内に湧水が滲み出し滞留した。そこで湧水のポンプアップを行い、ANFO爆薬はビニールチューブで養生して用いた。火薬の装填図を図-7に、盤打ち発破穿孔配置および電気雷管配置図を図-8に示す。

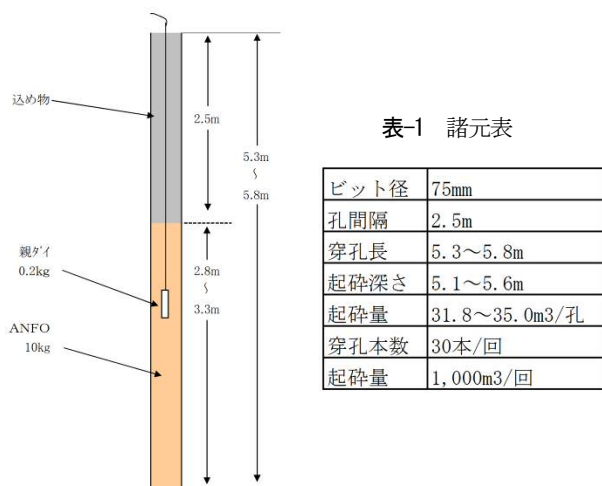


図-7 火薬装填図

ANFO爆薬は後ガスが悪いので、アンモニアガス発生抑制タイプを使用し坑内環境改善に努めた。盤打ち発破を含めた施工サイクルを図-9に示す。

盤打ち発破の先行に当り、上半脚部に影響を与えない配置としたが、発破により路盤に緩みが生じ、変位が発生することが懸念された。そのため、盤打ち発破の施工前後に変位計測を行い、挙動を確認しながら施工した。



写真-1 油圧クローラードリルによる穿孔状況

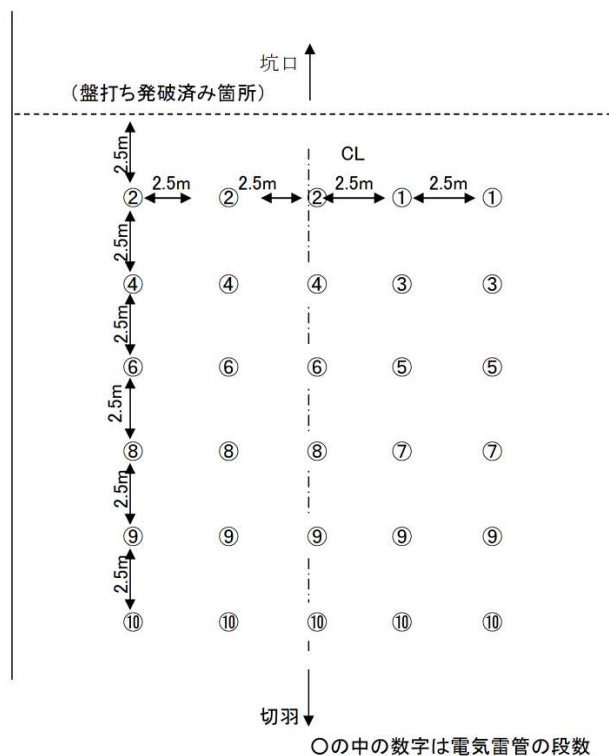


図-8 盤打ち発破穿孔配置および電気雷管配置図

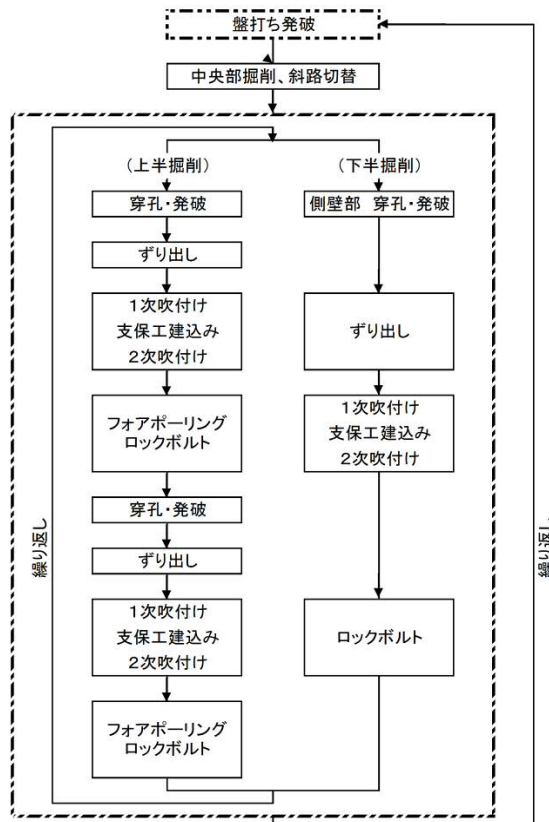


図-9 施工サイクル



写真-2 盤打ち発破後の坑内状況

また、通常下半掘削の発破は、ベンチ面からの飛石に注意を払うが、盤打ち発破では、ベンチ上面から上方への飛石は無く、1m程度盛り上がる状態となった(写真-2)。飛石が無いことは、安全面としても利点の1つであった。

6. 盤打ち発破による効果

盤打ち発破前では、1回の下半掘削で穿孔から発破までの所要時間は約1時間であった。しかし盤打ち発破を施工したことで、ジャンボによる穿孔作業が減少し、所要時間が25分になり、1サイクル当り約0.6時間短縮となった。結果、拡張断面終点までの142m間で約43時間短縮した。【下半の進行長2(m/回)、延長142(m)÷2(m/回)=71(回)、71(回)×0.6(時間/回)≒43時間】

さらに、上半盤からインバート部までの発破を行ったことで、インバート掘削での発破作業が不要となった。盤打ち発破前では、18.5mの発破作業に10時間を費やしていた。これを今回施工延長142mに割り当てると、142m間で77時間短縮となり、合計約5日の工期短縮となった。

火薬消費量は、盤打ち発破に変更したことで、当初の火薬消費計画より約1,100kg多くなったが、穿孔数の減少とANFO爆薬の使用により、火薬費が約50万円縮減できた。また、新たにもう1台クローラドリルを搬入し盤打ち発破を行ったことで、機械費に約400万円追加費用を要したが、約5日の工期短縮により、約900万円のコスト縮減となった。

7. 課題と展望

今後、本トンネルのような超大断面の施工は、上半の施工と同時に下半の施工をいかに効率的に行うことが大きな課題となる。今回、盤打ち発破を用いたことで工期短縮とコスト縮減の成果が得られた。しかし、坑口付近の超大断面施工には周辺地山の安定のため、早期断面閉合が望ましいが、地形・地質条件に適した効率化施工の適用性について参考となれば幸いである。

謝辞：本工事の実施にあたり、貴重なご意見とご指導を賜った発注者の東北地方整備局の皆様、ならびにご協力頂いた関係各位に心から感謝の意を表する次第である。

(2017.8.11 受付)

EFFICIENCY CONSTRUCTION USING SINKING BLASTING FOR THE BOTTOM SECTION OF THE LARGE SECTION TUNNEL

Yasuhiro MORI, Toshihide KATSURAGI, Shigeo YAMAMOTO,
Koji KINUGASA, Daisuke SATO and Ken IIZUKA

Route 45 Kesennuma No.2 Tunnel (L=1,167m) is designed to have vehicle confluence for ramp at the distance of 197.7m from tunnel entrance. At the portion, tunnel internal width varies from 19.6m to 14.1m in three stages. The tunnel excavation requires 234m² in area for 54.8m length from the tunnel entrance, which is one of the Japan largest section. The excavation method was blasting by the short bench cut for the large section. For the construction of DIII a-L1 pattern which is the largest section for the tunnel, blasting method was carried out in sequence of upper half → lower half → invert. However, considerable time was consumed due to the large section. Hence more efficiency construction was required to reduce excavation time. Construction method was reviewed and the revised method was adopted to the rest of the section of 142m length for DIII a-L2 pattern, which is the second largest. In this paper, the construction method adopted to the large section is reported.