

長大トンネルにおける急速施工

RAPID CONSTRUCTION OF LARGE AND LONG LENGTH TUNNEL

木村 宏*・湯山 和利*・西村 清亮**・岡田 喬**・片桐 朗**

Koh KIMURA, Kazutosi YUYAMA, Seisuke NISHIMURA, Takasi OKADA and Akira KATAGIRI

Togura section in Gorigamine Tunnel, which is now under construction for Hokuriku Shinkansen, is double track tunnel and its length is about 6km. Rapid construction system is required in the site because the section should be completed within 3 years. This paper reports the outline of the tunnel construction, especially improved machine equipments planning for rapid construction and probing ahead which would enable rapid construction.

Keywords: rapid construction, full face construction method by road haulage, machine equipment for rapid construction, longitudinal ventilation system, probing ahead of construction ground

1. はじめに

北陸新幹線五里ヶ峯トンネルは、高崎・長野間では最北端に位置し、総延長約15.2kmの新幹線複線型トンネルで、全体を4工区に分けて建設が進められている。この内、戸倉工区は立地条件より延長5,270m、横坑620mを含めると約6kmの片押しトンネル施工となり、全体工期の関係から本格的な急速施工の実現が必要となった。本文では、このトンネル施工の計画から施工実績の中で、主として急速施工実現の鍵となった前方地質把握の面から施工の実態について報告する。

2. 地形・地質概要

戸倉工区の地質は、新第三紀中新世中期の黒色頁岩・凝灰岩で構成され弾性波速度4.0~5.2km/sec、一軸圧縮強度600~2,300kgf/cm²と熱水変質による珪化作用を受け、新第三紀層としてはきわめて硬質で良好な岩盤が続くと予想された。こうした地質条件と新幹線の完成期限にもとづく全体工程の関係より、急速施工を施工計画の最重点項目とした。このため、従来の1.5~2倍程度の掘削月進150m以上の確保を実現するために有効な施工方法として、大型機械を駆使できる全断面掘削工法（タイヤ方式）を採用し施工設備体制を

* 日本鉄道建設公団 北陸新幹線建設局

** (株) 熊谷組 ☆ 正会員

検討した。

3. 機械設備計画

横坑620m（約32m²）を用いて片押し約6kmのトンネル掘削を3年という短期間で達成するには、システムとしての急速施工の実現が必要となる。トンネルの施工では切羽一点に作業が集中し、掘削・ずり処理・支保等の各作業が完全にシリーズで進められるため、掘進に対して全作業がクリティカルとなり、ロスタイムはすべて集積される。このような状況の中で施工設備機械に課せられる条件として、

- ① 各作業に対して機能的に十分な能力を持ちかつ発揮できる。
 - ② 個々の機械によるトラブルがサイクルに極力影響しないような機能面での補完体制がとられている。
- があげられる。最近では複数作業を同一機械で対応する多機能型機械が普及してきているが、本工事では各々の機械のトラブルがサイクルに与える影響を最小限に抑えることを主眼として、個々の作業の機能を十分に生かせる作業別の単機能型機械によるシステムの構築を考えた。これは、各々の機械設備の点検整備時間を他の作業中にとれること、また機械のトラブルに対しての影響が単一作業のみに留まり、かつ機械トラブルが発生した場合には普及している単機能型の代替機の投入で済むという稼働率に対しての有利さがある。

個々の機械の選定に当たっての基本条件として、本坑5km以上という長距離の施工に耐えうる耐久性、並びに故障時の交換部品調達の容易さがあるが、その中で急速施工を実施する上で安全性及び作業環境等を考慮して絞り込みをおこなった結果、次のような単機能型の大型機械設備によるシステムの採用となった。

- ・ 削 孔 : 6ブームガントリージャンボ (写真-1) - 150kg級削岩機(HD150)×6台
- ・ ずり積込 : 電動式ローディングショベル(3m³積) - ブロイトX43ED
- ・ ずり運搬 : 25t積ダンプトラック(自旋回可能) - ボルボA25B 4×4
- ・ 吹 付 : 2ブーム吹付システム(マテスSF-2) - (A L285+A L306)×2セット
- ・ 覆工型枠 : ロングスパンセントル(L=18m) (写真-2) - クラック防止装置装着

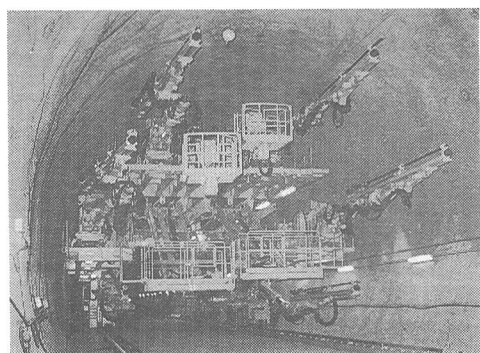


写真-1 6ブームガントリージャンボ

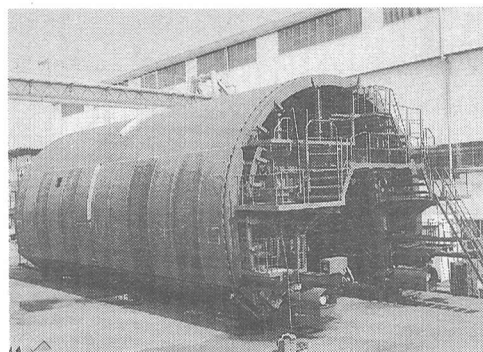


写真-2 ロングスパンセントル(L=18m)

また、このような大型機械を主体とする急速施工システムにより横坑を含めて片押し約6kmとなる本トンネルを施工するには、風管を主体とする従来の換気方式では換気量が不十分となるため、図-1に示す施工中のトンネルとしては全く新しい試みである縦流式換気システムを採用した。これは、トンネル覆工断面（約63m²）のアーチ部に隔壁を設けて上下二段に分割し、上段を排気坑道（約11m²）として本坑途中に設けた換気立坑（φ1,500×2本）とつないで汚れた空気を排出するものである。これにより、通気断面を大きくすることにより圧力損失を減らし換気ファンの能力を有効に活用することができる。

4. 施工実績

平成4年6月末より本坑掘削を開始し、同年10月に大型急速施工設備を導入し本格的な急速施工に取り組んで以来、2年半を経て平成7年3月に5,270mの掘削が完了し無事貫通することができた。施工期間の月別進行を図-2に示す。当初実施工においては、1日で10m(2.5m×4サイクル)を目標進行としていたが、途中数々の大量出水・破砕帯に悩まされ平均日進7.3m、3.8サイクル/日の稼働にとどまった。地山等級ⅣNにおいては9.8m/日と目標の10m近い数字を上げることができた。しかし、表-1のように施工前の硬質で安定した岩盤が連続するという地質想定は、実際に掘削してみると非常に湧水が多く変化に富んだ地質であり、ⅣNの延長が4,950m(94%)→3,572m(68%)と当初の想定より著しく減っており、大型機械導入後の実績が166m/月と計画進行を上回ったものの、機械本来の設備能力からすると満足する値とはいえない。しかし、異常出水による切羽の停止、不良地質区間の増加等の悪条件の中での計画進行の確保は、導入した急速施工システムが与えられた地質状況の中で最大限にその能力を発揮した結果であり、大きなトラブルもなく片押し5,000mを越える掘削を完了させることができた。特に、切羽からの湧水が少なくなり比較的安定した地質に恵まれた平成6年9月・10月の2ヶ月間では501mの掘削を行い、このうち10月は横坑を含めて坑口より5,000mの地点であったが281m掘削し、日平均10.4mの記録を達成した。また、こうした急速施工の実現には、水抜きを兼ねた先進の水平ボーリングによる切羽の前方地質把握が大いに役立った。

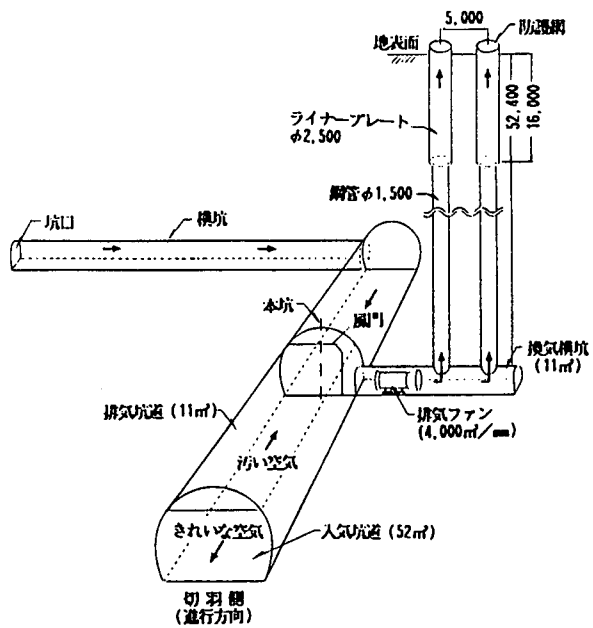
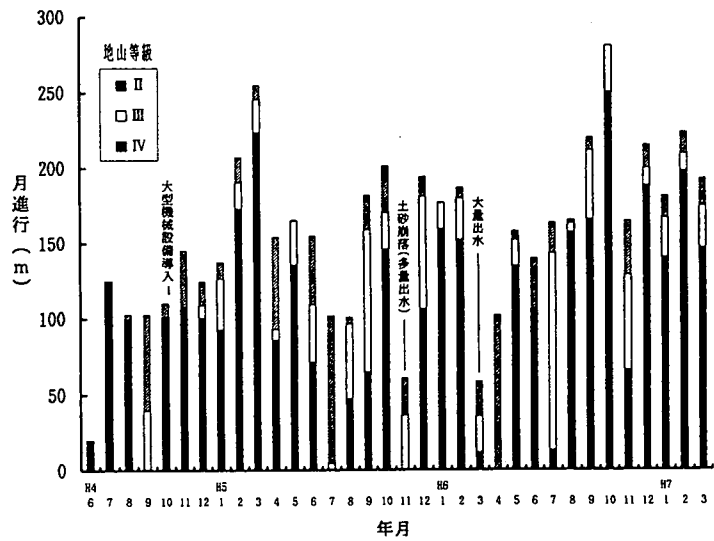


図-1 縦流換気システム概要図

表-1 地山等級別延長

地山等級	当初設計	実績
ⅣN	4,950m(93.9%)	3,572m(67.8%)
ⅢN	0m(0.0%)	930m(17.6%)
ⅡN	0m(0.0%)	768m(14.6%)
ⅠN	0m(0.0%)	0m(0.0%)
計	5,270m	5,270m

図-2 月別掘削進行(地山等級区分)



5. 切羽前方地質の把握

大型機械を導入して約1年、平成5年3月には月進255mの進行を上げたものの、不良地質区間が増加し思うような進行が出せずに頭を悩ませていた平成5年10月末、100m³以上の土砂崩落を伴う多量の出水に見舞われた。この出水対策として切羽を停止し水抜きボーリングを実施して以来、切羽からの出水は続き、この3月の貫通まで1年半で総延長3,200mを越える先進水平ボーリングを実施することになった。通常、水平ボーリングの場合には、信頼性は高いがトンネル掘削作業を一時止めなければならないことや、費用が高いこと等により必要に応じて実施するにとどまっている。しかし当現場においては、

- ① ローターパーカッションドリル(RPD-130C)を用いた、アウタービットφ135mm・インナービットφ80mmのノンコアボーリングを実施することにより、通常の施工サイクルとなる切羽休止日の日曜日の昼夜2方で、ほぼトンネル掘削1週間分となる60mの削孔が可能で、掘削作業の中断とならなかったこと。
- ② 当トンネルの被圧水の噴出を伴う多量の湧水を含んだ地質に非常に有効であり、事前に前方地山の水位・水圧を低下させ、作業員の安全及び切羽の安定をはかり安全性の向上に効果が多大であったこと。
- ③ 前方地質の破碎帯の分布状況・性状等が把握できるため、過剰な支保を用いることなく最低の補助工法で掘削でき、工事費の低減になったこと。また、このように支保の軽減がはかれたため、結果的に工期の短縮となったこと。

等の有効性により継続して実施した。この支保の軽減効果については、今回は特に急速施工の実施という使命もあり、多分に無理をして掘削していった部分もあるが、前方地質が把握できていたから可能だったことであり、鋼製支保工が必要かと思われるような切羽状態においても、すぐ先に硬質な地山があることを確認しているため、吹付支保のみのパターンで進行していくことができた等、掘進速度を増し急速施工に大いに役立った。

特に、同一機械の同一オペレーターによる削孔作業を実施したことにより、削孔速度・スライム状況・観察記録のデータを基にかなり正確な地質図を作成することができ、それにより想定パターンを決定し、支保の準備をすることで時間・工費の損失を最小限に抑えることができた。また、掘進時には、1サイクル毎に天端・左右踏前付近に3mのさぐり削孔を行い、前方地質の確認をサイクルとして組み込み、線としてのデータとなるボーリング結果を補い、1発破進行長が長くなることにより崩落部が拡大しやすくなる長孔発破の弊害を抑えた。

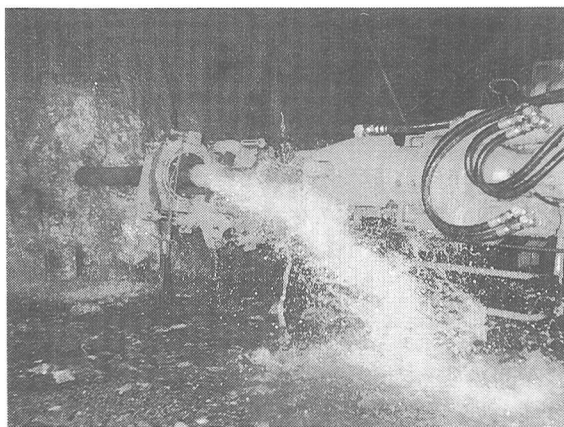


写真-3 ボーリング出水状況

6. 施工方法

急速施工を実現するためには、1発破進行長を長くする方法もあるが、当現場ではサイクルタイムを短縮し切羽の稼働時間を長くし、1日あたりのサイクル数を増やす方法を採用した。1回の発破の後、吹付コンクリートによる支保までの時間を通常4時間以内に完了させ、全断面の長孔発破による緩みの拡大を防ぐよう4サイクル/日を基本とした。IV_Nの地質においては進行長2.5mを標準とし、削孔時に孔荒れし装薬に手間取る地山では2.0mに短縮、孔荒れのない良好な地山では2.7mに延ばす等、地質と時間に合わせて最大限

の仕事量を見きわめ、きめ細かに進行長を変更した。これによって作業員は、2サイクル/方のノルマが課せられ、同時に各方の仕事・仕上がり責任を負うことになり、急速施工による品質の低下を防ぐ意味もある。

また、片押し6kmの長距離施工となると、ずり処理時のダンプトラックの運行が急速施工のキーポイントとなるが、最終的には11台投入した25tダンプトラックの適正配置計画（人員配置計画）、坑内路盤の仮舗装の実施、日々の路盤の維持管理、待避箇所を含めた坑内運行ルールの徹底等をはかったことにより、貫通時点までずり出し時のサイクルタイムは増加することなく、スムーズな運行が実現できた。これには縦流換気システムの導入で、切羽が進行しても隔壁先端部から切羽までの汚れた空気部分の延長は変わらず、坑口側の入気部分の視界距離が確保された良好な環境部分の延長が長くなることによって、ダンプトラックの走行速度が確保できたことも大きな要因となっている。また、方向転換補助輪付の坑内専用大型ダンプトラックを採用したため、ダンプトラックはターンテーブルを使用することなくガントリーと切羽の間の通常断面部で自力旋回が可能となり、狭長な空間となるガントリーの門型の下を常に前向き運転することができ、施工性・安全性が向上した。

掘削の急速施工に対応できるよう導入したロングスパンセントルは、1打設長18mと長くなるために懸念されるクラックに対して、新開発した油圧脱着式強制目地装置をセントル中間に取り付けて目地を形成させ、そこにクラックを集中させる方式を採用した。当初は、打設時のコンクリートの流動による目地材のねじれ等で、引き抜きの際手間取ったりしたが、打設後の時間および打設コンクリートの硬化状態を確認し管理することにより、施工状況も良好となり十分その効果を発揮した。

工事の作業時間においては当現場は工期短縮が至上命題として与えられたため、現在の労働時間短縮の流れとは逆行するが、当初よりいかに切羽を長時間動かすかが課題となったため、通常の切羽配置人員より人数を増員し、交代にて休憩する変則2交代制を採用することでカバーした。日曜日は各方の交代日となるため切羽休止日としたが（前述の先進ボーリング作業のため、工事途中からはボーリングを実施）、機械の点検整備・後方路盤の維持管理等を実施し、切羽を止めても坑内測量・路盤の仮舗装の施工もあり、完全に現場休止となるのは年間で年末年始、5月連休、盆の3回の各数日程度しかとれなかったが、全員で急速施工の実現に向けて取り組んだ。

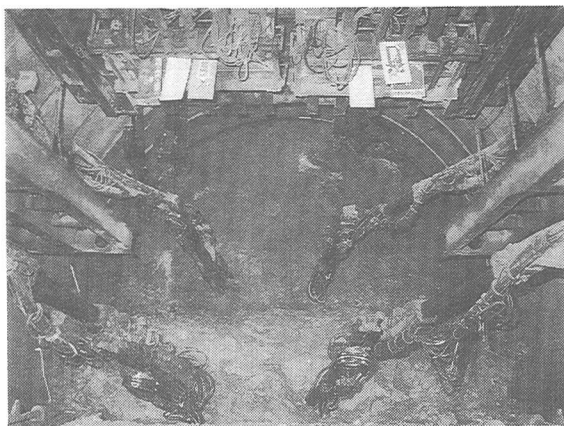


写真-4 6ブームによる削孔状況



写真-5 天井隔壁設置状況

7. おわりに

こうして長大トンネルにおける急速施工に取り組んできて、現在は軌道工事への引き渡しも迫り、路盤コンクリートの施工を最後の追い込みで行っているところである。今回導入した急速施工用機械設備は相互にその効果を高めシステムとしての機能を発揮し、当初課せられた工期短縮の命題を、このシステムの運用により無事達成することができた。今回の成功は与えられた地質条件と採用した設備機械・システムがうまく適合した結果ともいえ、今後も同じ方法が成功するとは限らない。しかし、今後ともトンネル施工の合理化をめざして、より安全で効率的なトンネル工事が実現できるよう努力したいと考えている。

最後に厳しい条件の下、急速施工の実現に惜しめない努力をしていただいた協力会社の皆様および関係各位に、心より感謝する次第である。

8. 参考文献

- 1) 石田善洋・木村 宏・平澤泰作・湯山和利：高速施工のための合理化技術－北陸新幹線五里ヶ峯トンネル－，土木施工，36巻10号(1995.9)，pp.41～47
- 2) 河合 尚・西村清亮・片桐 朗：大型機械を駆使した長大トンネルの急速施工，第34回施工体験発表会（トンネル技術協会）テキスト，pp.13～18，1994.12
- 3) 市川益士・三浦一之・河合 尚・岡田 喬：北陸新幹線五里ヶ峯トンネル(戸倉工区)工事，建設の機械化，'93.9，pp.17～22
- 4) 田原鑑二・市川益士・三浦一之：大型機械を駆使した長大トンネルの急速施工，トンネルと地下，24巻8号(276号)，pp.7～12，1993.8
- 5) 湯山和利・河合 尚・西村清亮・片桐 朗：切羽前方地質予知を活用したトンネルの急速施工，土木学会第50回年次学術講演会講演概要集，VI-106，pp.212～213，1995.9
- 6) 市川益士・河合 尚・西村清亮・片桐 朗：長大トンネルにおける急速施工について，土木学会第49回年次学術講演会講演概要集，VI-59，pp.118～119，1994.9
- 7) 三浦一之・加藤建二・河合 尚・岡田 喬：長大トンネルにおける新換気方式，土木学会第49回年次学術講演会講演概要集，VI-69，pp.138～139，1994.9