

新豊浜トンネル分岐部の施工

CONSTRUCTION OF THE JUNCTIONS OF SHIN-TOYOHAMA TUNNEL

生出信二¹⁾・佐々木博一¹⁾・鷹田雅宏²⁾・盛 春雄³⁾・仲井幹雄⁴⁾

Shinji OIDE, Hirokazu SASAKI, Masahiro TAKADA, Haruo MORI and Mikio NAKAI

Shin-Toyohama Tunnel will become a long single tunnel by connecting existing Toyohama Tunnel with its adjacent Setakamui Tunnel by a bypass tunnel. At each junction of the new and old tunnels, two-lane tunnels merge at a small angle, resulting in a large cross section with a low oblateness. Traffic on the existing tunnels will not be restricted during the construction work. To conduct the tunneling work under such difficult conditions each junction area was divided into four blocks based on the sectional shape, and the processes of tunnel face division and excavation were design for each block to minimize rock-mass loosening.

Key Words: tunnel junction, large cross section, flat tunnel

1. はじめに

新豊浜トンネルは、岩盤崩落事故により被災した一般国道229号豊浜トンネルの本復旧として、崩落箇所とその周辺の急崖斜面を迂回するよう計画された全長2,228m(内新規掘削延長1,242m)の道路トンネルで

ある。本工事は、豊浜トンネルとそれに続くセタカムイトンネルとをバイパストンネルで結び一本のトンネルにするものである(図-1)。工事の最大の特徴は、既設トンネルから新設トンネルへと繋がる分岐個所の施工にある。この部分では、2本のトンネルが小さい角度(15°)で交わるため、トンネルが超偏平大断面となる(掘削断面積174m²、掘削幅23m、偏平率41%)。しかも、当路線は地域住民の生活道路であり、迂回路も存在しないため、常時一般車両の通行を確保しなければならない。

本稿は、このような厳しい条件で安全かつ迅速に2つの分岐部の施工を行うために採用した掘削工法と掘削に伴う周辺地山の力学的挙動について報告を行うものである。

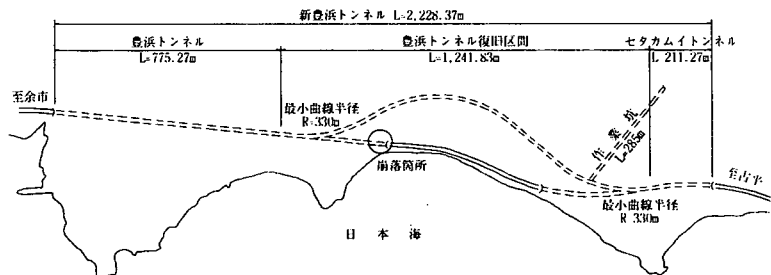


図-1 全体平面図

1) 北海道開発局 小樽開発建設部 小樽道路事務所 第二工事課

2) 正会員 北海道開発コンサルタント(株) 交通施設部

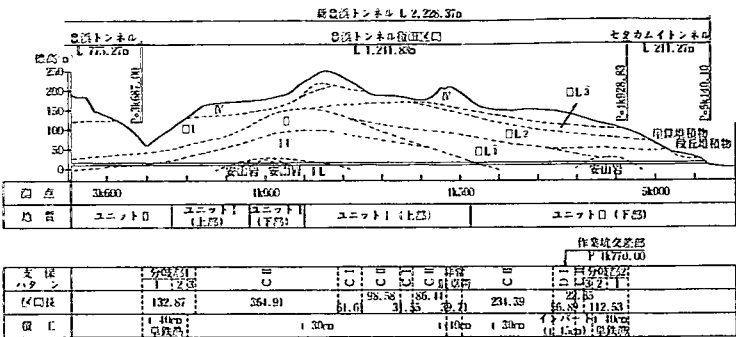
3) 前田・草別特定建設工事共同企業体

4) 正会員 前田建設工業(株) 土木本部 土木設計部

2. 地質概要

地質は、新第三紀中新世の尾根内層が分布する（図－２）。尾根内層は主に安山岩溶岩および同質の火砕岩類で構成され、堆積状況と岩層より４つのユニットに区分される（表－１）。

セタカムイ側分岐部の地質は、ユニットⅢ（下部）が広く分布しているが、再ボーリング調査により安山岩溶岩がドーム状に分布していることが確認された。火砕角礫岩と安山岩溶岩の境界には厚さ 10m 程度で安山岩溶岩が自破砕状を呈している。豊浜側分岐部における地質は、ユニットⅠ（上部）が広く分布している。先進ボーリング調査においても概ね当初設計時の岩質と変わらないことが確認された。なお、いずれのボーリング調査においても湧水は確認されていない。



図－２ 地質縦断図

表－１ 地質層序

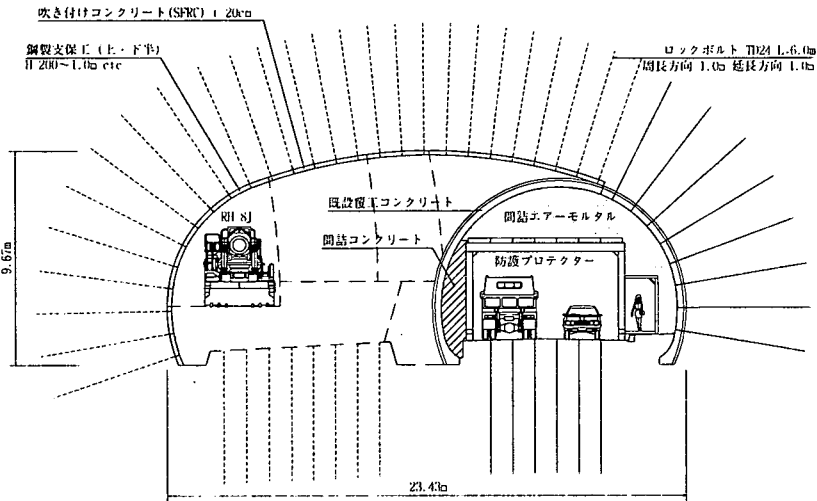
地質時代	地 質 名	記 号	地 質
新 第 三 紀	ユニットⅣ	Ⅳ	含角礫成層火砕岩
		a n	安山岩溶岩
	ユニットⅢ	Ⅲ U	含角礫成層火砕岩
		Ⅲ L③	含角礫成層火砕岩
		Ⅲ L②	含角礫火砕岩～火砕角礫岩
		a n	安山岩溶岩
		Ⅲ L①	含角礫火砕岩～成層火砕岩
		a n	安山岩溶岩
	ユニットⅡ	Ⅱ	含角礫成層火砕岩
		f d	粗粒火砕岩、不淘汰火砕角礫岩を伴う
	ユニットⅠ	Ⅰ U	含角礫成層火砕岩
		Ⅰ L	粗粒火砕岩

3. 施工計画概要

本トンネルのような超扁平大断面の支保パターンは定められていない。そこで、基本的には建設省が提唱する大断面支保に準拠するものとし、FEM解析により NATM を適用した支保構造の設計を行なった（図－３）。

掘削は、機械掘削方式を採用し、周辺岩盤および既設トンネルに

悪影響を及ぼさないようにする。施工にあたっては、セタカムイトンネル終点側に設けた作業坑から掘削を行ない、両分岐部へ向かって施工を進めることにより工期の短縮を図る。また、既設トンネルには２車線および歩道を防護するプロテクターを設置し、施工は既設トンネルの覆工背面から行なうこととした。



図－３ 分岐部大断面支保パターン

4. 分岐部の施工

分岐部におけるトンネル断面は、掘削断面積が 109～174m²、掘削幅が 16～23m、偏平率が 57～41%と極めて大きくかつ偏平な形状となる。そのため、地山の保有耐力や力学的な安定性が失われやすい状態となることが予想された。施工面から考えれば、既設トンネル背面の掘削をできるだけ先行した方が、既設トンネルの拡幅掘削を行う際、十分な作業空間を確保できるという点で有利であるが、その反面、大きく掘削しすぎると力学的な安定性を損なう恐れがある。そこで、分岐部全体を断面形状から 4 つのブロックに分け、各ブロック単位ごとに掘削および一次支保を完成させ、計測により地山の安定が確認された後、次のブロックの施工に移ることとした。また、機械掘削の最小施工範囲を基本とした加背割りで大断面を分割し、各ブロックごとに周辺地山の緩みを最小限に抑える加背割りと掘削順序を定めた(図-4)。なお、既設トンネルにも十分な補強を行ない、トンネル接合時における地山の力学的安定性を失わないよう努めた。

分岐部Ⅱブロックの加背割り④～⑥は、通常断面と同様、切羽面を進行方向に掘削すれば良いが、既設トンネルに向かって切り上げを開始する段階(加背割り⑦)では、トンネル横断方向への掘削を行わなければならない。しかし、既設ト

ンネルには防護プロテクターが設置されているので、作業空間は非常に狭いものとなる。この狭い作業空間の中で、いかに安全、確実かつ迅速に掘削を行うかが問題となった。

そこで、加背割り⑦においては、加背割りを横断方向にさらに 4 分割し、掘削時の解放応力を小さくするよう努めた(図-5)。ロックボルトには、施工能率の向上およびの品質確保を図るため、自穿孔ロックボルト(定着材:無発砲シリカレジン)を採用した。また、短尺ボルトを中心とした補強を行なうことにより鋼製支保工を軽量なものに変更し、迅速に施工が行えるようにした。

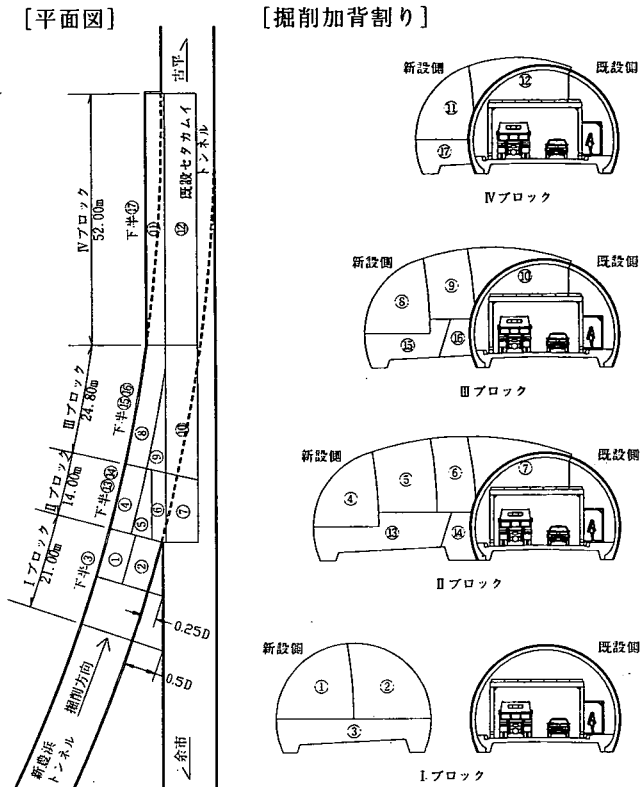


図-4 分岐部施工ブロックと加背割り

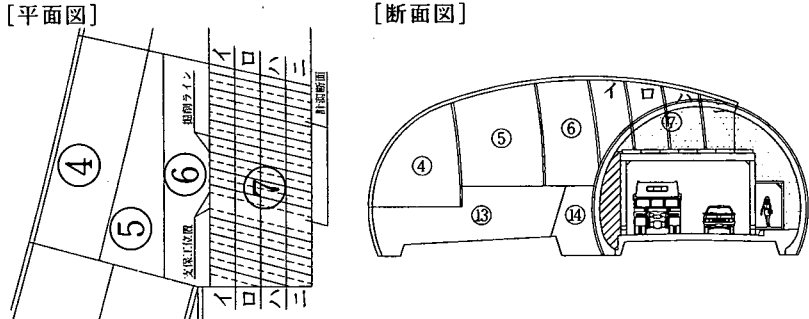


図-5 加背割り⑦掘削方法

計測項目は、天端沈下および内空変位の観測に加え、周辺地山の力学的挙動、支保部材の効果および掘削による既設トンネルへの影響をリアルタイムで捉えるため、計器観測を実施した。特に、分岐部ではトンネル断面が偏平かつ大断面になることから、天端沈下とその沈下に伴う緩み領域の拡大が発生すると予想された。そこで、このような周辺地山の力学的挙動を把握するために計測機器の種類・仕様を選定し配置を行った(図-6)。

いずれの分岐部においても変位傾向は、当初予想されていた通り天端沈下が主であり、水平方向の変位は微小なものであった。最終的な天端沈下量は、セタカムイ側では約5.0mm、豊浜側では約4.0mmとなった(表-2)。天端沈下量が標準部の計

測結果とはほぼ同程度の値となっていることを考えると、超偏平大断面のトンネル形状にもかかわらず、極めて少ない変位量であるといえる。豊浜側ではさらに変位量は少なくなったが、これは当初想定していたよりも地山の状態が良かったことにも起因するが、事前にセタカムイ側での施工を経験したことにより、作業が円滑に進み、精度の良い施工が迅速に行なえたことも反映していると思われる。

Ⅱブロックにおける加背割りごとの天端沈下傾向を見ると、いずれの分岐部においても加背割り⑤および⑥の掘削によって2.0～3.0mm程度変位するが、加背割り⑦の掘削では変位量は少なく、1.0mm程度の変位にとどまった(図-7)。これは、既設トンネルより遠い部分(加背割り④)から掘削することにより、既設トンネルとの間に残ったピラー状の中央地山部分に集中していた応力が、その部分を掘削することにより解放されて変位を生じたものと考えられる。その後応力が再配分され新たな地山アーチを形成したことにより加背割り⑦掘削時の変位が小さくなったものと思われる。加えて、加背割り⑦において細かく分割して掘削を行ったことおよび迅速な施工方法を採用したことも効果的であったと考えられる。なお、Ⅲブロックの切羽が約20m進行した時点で、変位はほぼ収束した。

〔計器配置図〕

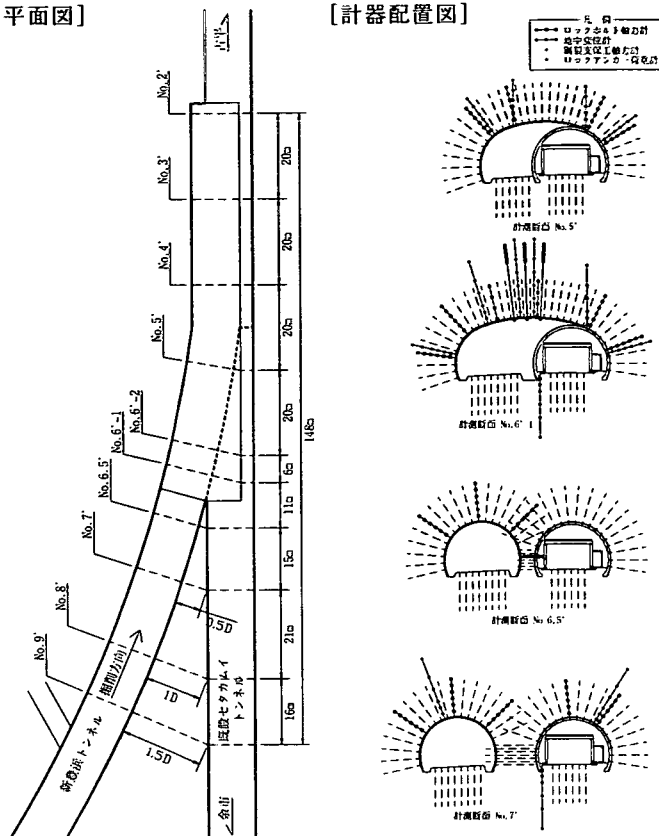


圖-6 分岐部計測断面

表-2 天端沈下計測結果と予測値の比較

	セタカムイ側	豊浜側
地山弾性係数	14,000kgf/cm ²	15,000kgf/cm ²
計測結果最大天端沈下量	約 5.0mm	約 4.0mm
事前解析予測天端沈下量 [※]	19.92mm	26.21mm

※計測位置における相対変位

ⅢブロックおよびⅣブロックに進むにつれて、天端沈下量も小さくなる傾向が認められた。これはトンネル断面が小さくなることによるものと思われる。Ⅱブロックと同様、切羽が約20m 進行した時点で変位は収束した。

(2) 計器観測結果

ロックボルト軸力および地中変位も、天端沈下と同様、セタカムイ側の方が豊浜側よりも大きな値を示した。最終的なロックボルト軸力の最大値は、セタカムイ側で 10.94tf、豊浜側で 3.54tf となった。特にセタカムイ側では、側壁部よりも天端部で大きな軸力をしており、天端部においてはロックボルトが効果的な支保部材であったことを表している(図-8)。豊浜側では発生した軸力も小さく、有意な差は認められなかったが、天端部における鋼アーチ支保工の軸力も微小なものであり、むしろ引張り傾向を示す個所もあった。よって、側圧は小さなものであり、やはりロックボルトが効果的な支保部材であったと考えられる。

セタカムイ側においては、ロックボルト軸力は深度 4.0m 未満で大きな値を示しており、地中変位の傾向とあわせてみても、緩み領域は 4.0m 未満であったと考えられる(図-9)。豊浜側では、ロックボルト軸力、地中変位とも比較的小さな値しか示しておらず明確な判定は困難であるが、ロックボルト軸力の最

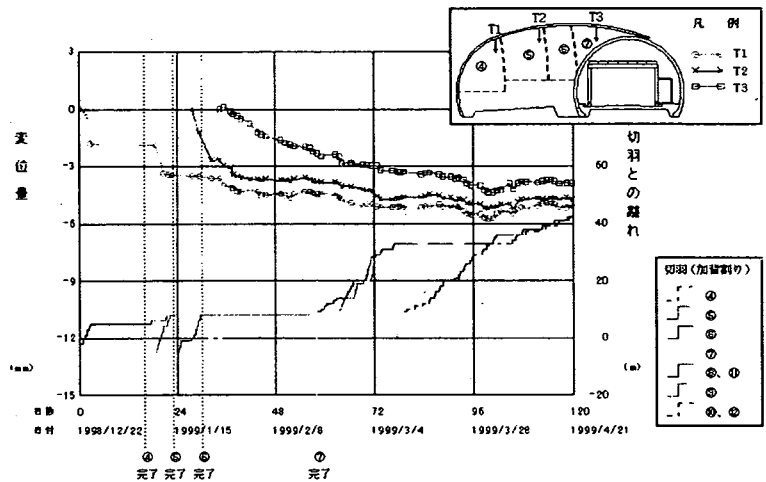


図-7 セタカムイ側分岐部大断面天端沈下量経日変化

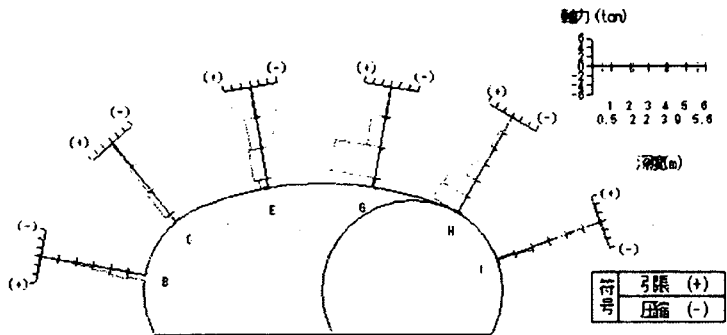


図-8 セタカムイ側分岐部大断面ロックボルト軸力分布

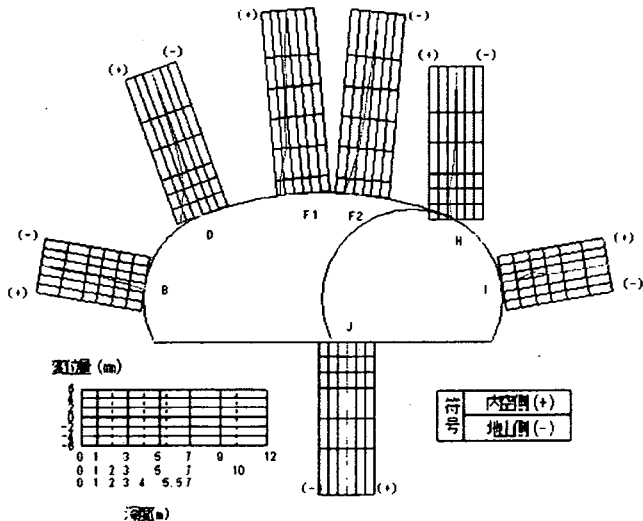


図-9 セタカムイ側分岐部大断面地中変位分布

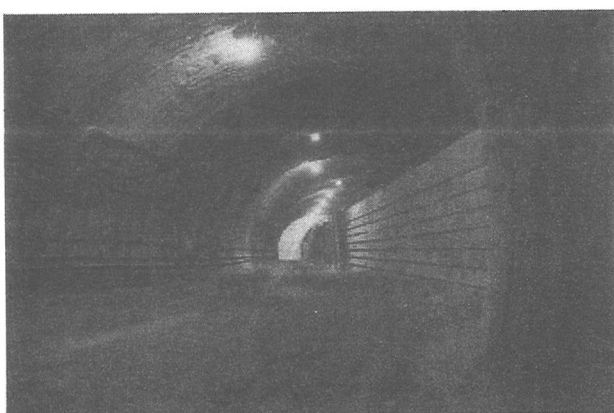
大値が深度 2.0m 付近に多いことから、緩み領域はセタカムイ側よりも小さかったと考えられる。当初 F E M 解析により緩み領域は 5.0m 未満と予測した。計測結果による判断はこれより若干小さいものの、ロックボルト長 (6.0m) は妥当なものであったと考える。

I ブロックにおいてピラー部 (新旧トンネル間に残る地山部分) に設置した計測機器からは、事前に補強を行った効果もあり、微少な値しか得られず応力集中傾向は確認できなかった。しかし、II ブロック掘削段階において、加背割り⑤および⑥掘削時に大きな変位を示していることから、ピラー部には応力が集中する傾向にあったと思われる。

既設トンネルに設置した計測機器は、覆工解体時において僅かに変化を示したが、いずれも最も浅い深度で発生しており、深部にはほとんど影響がなかった。また、下向きに設置した地中変位計からも盤ぶくれ等の挙動は認められなかった。事前に補強を行なった効果もあり、既設トンネルへの影響はほとんどなかったということができる。

6. おわりに

分岐部の施工にあたり最も注意した点は、いかに周辺地山を緩ませず、保有耐力を維持した NATM として成り立たせるかであった。本トンネルのような角度の小さい合流形状と超偏平断面の事例は、他にあまり類のないトンネル形状であり、不明確な要素も多い。その上、間違っても一般車両の通行に支障をきたすようなことがあってはならない。このような極めて厳しい条件の下、事前に入念な検討を行ない、状況に合わせて計画を見直して施工を進めていった結果、平成 12 年 1 月、地山の安定性を損なうことなく無事に両分岐部の掘削を終えることが



写真－1 セタカムイ側分岐部掘削完了状況

できた (写真－1)。特に、分岐部においては天端沈下が最大で 5.0mm 程度であり、超偏平大断面のトンネル形状から推測しても極めて少ない変位量である。これは、加背割り⑦において縦断ならびに横断方向に細かく分割して掘削したことで鋼製支保工を軽量化して迅速な施工を行なったことが功を奏したものである。

その結果、本トンネルのような超偏平大断面のトンネルであっても、分割施工および事前補強を行なうことにより、N A T M 理論を適用して掘削できることが確認されたと考える。

本工事は既設トンネルを供用しながら拡幅するという、施工例の少ない工事である。今後、小断面トンネルの拡幅や坑口部において地山崩壊の危険性があるトンネルのリニューアルといった工事が増大するものと予想される。本工事の経験がそのような工事の参考になれば幸いである。

最後に、本工事にあたって御指導いただいた今田徹・東京都立大学教授をはじめ関係各位の皆様へ深く感謝するとともに、関係各機関ならびに地元関係者の方々の一層の御指導と御鞭撻をお願いいたします。