

第二東名高速道路トンネル掘削工法と支保構造に関する一考察

One consideration about the tunnel excavating method and support structure of New Tomei Expressway

八木 弘¹⁾・関 茂和²⁾

Hiroshi YAGI, Shigekazu SEKI

For long tunnel construction in the New Tomei Expressway Project, TBM (Tunnel Boring Machine) has been utilized for excavating pilot tunnel before excavating whole section. It is planned to be applied for nine tunnels (47 km in length). As of March 2002, 30 km of pilot tunnel excavation by TBM and 9 km of whole sectional excavation has been completed. In this paper, mid-term evaluation for the TBM pilot tunneling method as well as tunnel support system with high strength material based on the result of the construction work completed so far.

Key Word: tunnel, TBM

1. はじめに

第二東名高速道路建設に際し、長大トンネルの施工はTBMを用いた導坑先進拡幅掘削工法を多く採用している。日本道路公団（以下「JH」という）静岡建設局では、9トンネル（全延長：47km）においてTBM導坑先進拡幅掘削工法を採用しており、平成14年3月末現在の施工延長はTBM掘削が約30km、拡幅掘削が約9kmである。本論では、現在までに施工されたTBM導坑先進拡幅掘削工法と高強度部材を用いた支保構造に関する中間評価を行うものである。

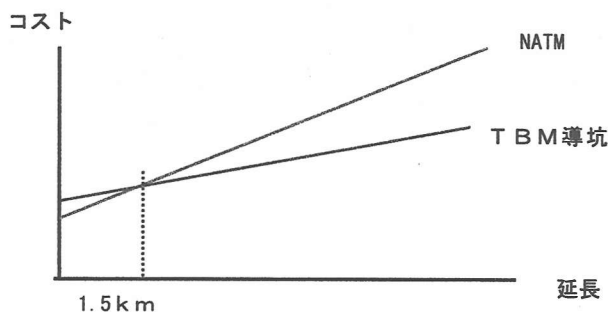
2. TBMの施工

(1) TBMの採用

JHにおいてTBMを使用した導坑先進拡幅掘削工法を採用するにあたり、経済的メリットを享受する工事規模はトンネル計画延長が概ね1.5km程度以上と考えている。従って、これらのトンネルを対象として、地質条件（断層破碎帯等不良地山の規模の把握）、坑口部の立地条件（TBM本体の搬入路確保・仮設備配置計画・工事用電力の確保等）を考慮の上、本工法を採用するものとしている。TBM導坑には表-1の効果が考えられる。

表-1 主なTBM導坑効果一覧

効果項目	効果内容
地質確認効果	・ TBM掘削により地山状況の確認（亀裂、膨張性、固結度、湧水等）の確認が可能
切羽安定効果	・ 導坑があることによる切羽安定効果 ・ 地山湧水の水抜きによる切羽安定の確保が可能 ・ 地山不良箇所を事前補強（ケーブルボルト、摩擦接着型ボルト、薬液注入等）を行うことにより切羽安定の確保が可能
施工効率の向上	・ 1掘進長の増と支保の軽減 ・ 芯抜き効果（薬量、削孔数の減）などによる発破効率の向上 ・ 地質確認が可能となり、拡幅時の支保設計や補助工法の適切な種類や規模の選定が可能
その他	・ 導坑からの効率的な計測が可能 ・ 拡幅掘削が片押しの場合導坑を利用した効率的な換気方式の採用が可能



図－１ TBM導坑の有無による施工コスト概念図

(2) TBMの施工状況

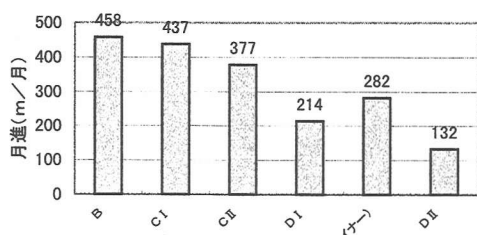
現在、TBMによる導坑施工は、9トンネルのうち7トンネルが完成または施工中である。各トンネルにおける地質は様々な状況であり、TBMの掘進速度も一様ではない。従って、TBM掘進能力の評価を行なうにあたり、各支保パターンごとの平均月進を算出した。結果については表－2及び図－2に示すとおりである。これは、平成14年3月末時点における各地質区分ごとの掘削延長を掘削開始から完了までの施工月数で割って平均を算出したものである。当初JHが想定していた平均月進は200～360m/月程度であるが、ほぼ同様の結果が得られたと評価している。

表－2 TBMによる掘進実績

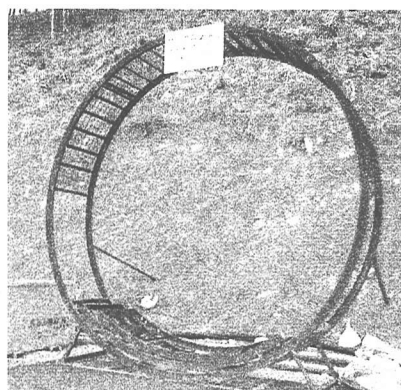
(m/月)：各月進は施工した延長の平均

トンネル名	支保パターン						平均
	B	C I	C II	D I	D I (簡易ライナー)	D II	
Aトンネル	0	503	491	354	341	169	371
Bトンネル	0	400	210	82	0	110	200
Cトンネル	0	0	0	369	267	83	239
Dトンネル	0	405	322	120	239	168	250
Eトンネル	0	0	312	115	0	0	213
Fトンネル	458	441	551	249	0	0	424
平均	458	437	377	214	282	132	

※前胴後胴締付による掘進不能時のTBM周辺部の切上げ期間は含まず



図－2 地質区分別平均月進(H14.3末現在)：切上げを除く



写真－1 簡易ライナー

TBM掘進速度は地山が脆弱になるに従い低下する傾向にあり、矢板等を多く使用したD Iパターンでは平均

月進が214m/月となっている。DⅠ地山の中でも崩落性地山においては、さらに掘進が困難と考えられたが、鋼製の簡易ライナー（メッシュ＋鋼製リング支保工：写真－1）を採用することによって、安全かつ確実な施工が可能となり月進282m/月を達成している。また、DⅠ地質より脆弱なDⅡ地質においては132m/月と掘進能力の低下が著しく、このような地質では剛性の高い鋼製ライナーを採用することにより、170m/月程度の掘進を確保しているトンネルもある。TBMの採用にあたっては、不良地山に対する効果的な補助工法の採用が掘進効率の向上における大きな課題となっている。

（３）TBM施工時のトラブルと対応策について

①トラブルの内容

TBMは、その本来の性能を発揮すれば、工事の省力化及び合理化、安全性の向上に寄与するものである。しかしながら、現在までの多くのトンネル工事において、地層地質等の要因により、多くのトラブルが発生している状況にある。トラブルの主な原因となったものは

- A. 地山の崩壊及び崩壊によるもの
- B. TBMのグリッパに接する箇所が不良地山であったため反力不足を生じ、盛り替え不能になったもの
- C. 不良地山によるTBMの前胴、後胴の締め付けによるものが挙げられる。

②トラブルに関する対応

施工時のトラブルに対して、下記の方法による応急的措置にて対応している。

表－３ トラブル対応状況

トラブルの内容	対応状況	必要な装備
地山の崩壊・崩落	・前方地山調査 ・簡易ライナーの採用 ・先受け工の実施 ・崩落箇所の充填	・穿孔機械の設置 ・簡易ライナー組立用エクスターの改良
グリッパ 地山反力不足	・当て板、吹付けコンクリートによる反力確保 ・シールドジャッキによる補助推進	・シールドジャッキの増設 ・鋼製ライナーの採用
前胴後胴締め付けによる掘進不能	・掘削径の拡大 ・TBM周辺部の切抜	

（４）掘進確保に向けた提案

TBM自体の性能である「連続掘削による高速掘進が可能で、トンネル工事の省力化及び合理化、安全性に富む」という特徴を活かすためには、不良地山箇所でもトラブルを未然に防止することが重要である。このためには、これまでの知見をもとに「TBMの装備」及び「TBM型式の選定方法」、「不良地山箇所における支保構造の選定」、「事前調査方法」など掘進確保に向けた提案を行う。

①TBMの装備

一般的な地山におけるTBMに関して、トラブルを未然に防止、また最小限に抑制し、掘進確保のための必要装備について、以下に述べる。

- ・ 事前地質調査、長尺鋼管フォアパイリングなどの先受け工の施工を可能とする穿孔機械（ボーリングマシン）の搭載
- ・ 補助推進力の確保を目的とし、オープンタイプではインバート部ジャッキ、シールドタイプでは全周シールドジャッキの搭載
- ・ 崩落土砂の迅速な排土処理を目的とした、バケット等の排土処理装置の搭載

②TBM型式

一般的な工事契約においては、事前の土質地質調査結果に基づき、契約図書にTBMの型式である「オープンタイプ」と「シールドタイプ」の仕様を明記している。TBMの型式については大別して２種類が有り、その特徴については表－４に示すとおりである。基本的には地質の良好なトンネルではオープンタイプ、比較的地質の

よくないトンネルではシールドタイプを使用するのが一般的である。

表－４ TBMの型式ごとの特徴

	オープンタイプ	シールドタイプ
機械的特徴	①ルーフが装備されていることから、天端部からの剥落が防止できる ②切羽に最も近い位置での地山の手当てが可能 ③掘進と支保作業を同時に行える ④方向制御がよい	①全長に渡りシェルで覆われていることから、地山の崩落を防護できる ②地山の手当ては機体後方でしかできない ③全長に渡ってシェルを有することから、地山に拘束される可能性が大きい ④方向制御が難しい

TBMは全地質に対応できる万能型とは考えられていないため、タイプの選定にあたっては、基本的に掘削対象の主たる地質（掘削延長の8割程度）を目安に決定している。本来TBMは切羽が自立する地山を掘削することを想定して設計製作しており、切羽が自立しない、むしろ崩壊するような不良地山箇所においては、掘進自体困難になる。よって、多くのトラブルの原因となっている不良地山掘進における施工方法も考慮した型式の選定が重要になると考えられる。

③不良地山箇所での支保構造

現在のTBM設計の標準的な支保構造について、表－５に示す。

表－５ JHの標準支保パターン

	1掘進長 (m)	支保構造		摘要
		吹付け	リング支保工	
B-T	1.5	—	—	
CⅠ-T	1.5	20mm, 120°	—	
CⅡ-T	1.5	20mm, 180°	H-100×100	
DⅠ-T	1.0	30mm, 180°	H-100×100	

前述のトラブル原因として、「地山の崩壊・崩落」が主となっていることから、各トンネル工事においては各地山にあわせた支保構造を工夫している。特に、亀裂の極めて卓越した地山にあつては、地山の崩落により吹付けコンクリートの施工が困難な場合、簡易ライナーを採用しており、さらに脆弱な地質の場合はより剛性の高い鋼製ライナーを採用している。

静岡建設局管内でもこのような亀裂の卓越した地山での簡易ライナー等による対応箇所がD地質箇所のうち55%を占めたことから、標準的な支保パターンとして採用する事例が多くなっている。

表－６ D地質における支保パターン比率 (%)

DⅠ相当地質		DⅡ相当地質	
標準	簡易ライナー	鋼製ライナー	注入・その他
34.4	55.1	8.5	2.0

④事前調査について

TBM施工が本坑掘削時の事前の地質調査等を目的のひとつとしているところではあるが、TBMの施工自体において前述の各種トラブルが発生している中、前方の地山の確認調査が、連続掘削及び高速施工を行う上で重要な要素となる。このためTBMに必要な装備として、前記①を提案しており、地山性状に応じてボーリング調査や物理検層法等を使い分けることが望ましいと思われる。

3. 拡幅掘削について

(1) 施工状況及び支保構造

① 施工状況

現在、TBM施工が完了し、拡幅掘削工事の施工に着手しているのは4トンネルであり、まだ十分な施工実績を有しているとはいえない状況にある。しかしながら、現段階においてはTBM導坑による地質確認効果、切羽安定効果、施工効率の向上などの当初期待した効果が確認されている。さらに本坑拡幅における機械編成については、大断面トンネルの空間を生かした合理的な編成となっており、順調な掘削サイクルが確保されている。

② 支保構造

第二東名高速道路の大断面トンネルにおいては、各支保構造の材料低減と施工サイクルの短縮を目的とし、表-7に示すとおり従来の2車線トンネルと比較して、支保部材の高強度、高耐力化を図っている。現在までの施工の結果、標準支保パターンにおいて、切羽観察および計測工の結果からトンネルは安定していると判断されており、概ね妥当な支保構造と評価される。

表-7 2車線と第二東名の支保構造の対比

		2車線	第二東名
吹付けコンクリート		18N/mm ²	36N/mm ²
ロックボルト		耐力 170kN を基本	耐力 290kN を基本
鋼アーチ支保工	名称	NH-200×200	HH-154×154
鋼材仕様	降伏点 (N/mm ²)	≥245	≥440
	引張強さ (N/mm ²)	400~510	≥590

(2) TBM導坑の活用

TBM導坑の効果については表-1に示したとおりであるが、ここでは切羽安定効果と施工効率の向上に関する施工例について紹介する。

① 事前補強について

拡幅掘削にあたっては、TBM掘進によって得られたデータにより、切羽崩落が予想される個所が特定される。このような個所では導坑内からケーブルボルトなどによる事前補強を行なうことにより切羽安定を図っている。事前補強区間については、TBM導坑内からの坑壁画像や切羽観察、弾性波探査、計測結果、TBM導坑施工時の機械データなどを総合的に判断して決定している。事前補強は、拡幅掘削後に6m程度のケーブルが地山に残るよう長さ8mのケーブルボルトを7本打設している。

② 支保工の削減について

事前補強を行った区間において、切羽安定効果を地山変位やケーブルボルト軸力測定などの計測により確認したところ、事前補強を行っていない区間に比べて切羽の安定性向上が確認されたことから、支保工の削減の可能性について検討を行った。しかしながら、事前補強で施工したケーブルボルトのままでは吹付けコンクリートの支持効果が期待できないことから、図-4に示すようにベアリングプレートを固定できる

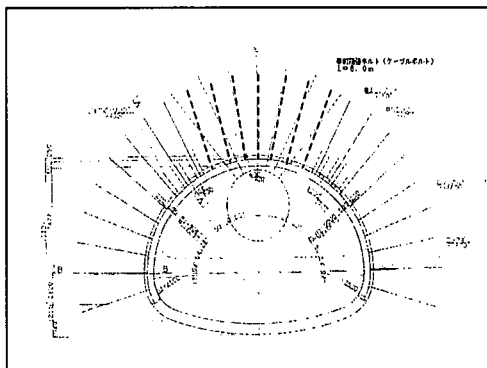


図-3 ケーブルボルト施工図

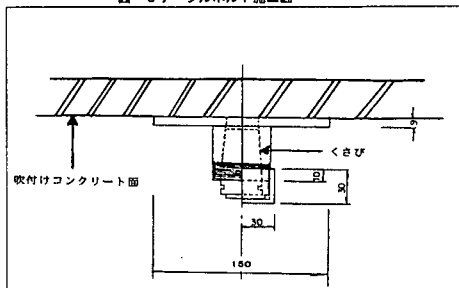


図-4 定着部

定着器具を開発した。これによりケーブルボルトの効果を維持することが可能となり、7本の天端部ロックボルト削減に成功した。

③支保工の増強について

TBM導坑の施工状況および地質確認の結果により、拡幅掘削時の支保工や補助工法の適切な選定が可能となっている。特に工場製作品である鋼アーチ支保工はサイズアップやウイングリブ加工などの急な変更は困難である。従って事前に地山情報が得られることにより、適切な支保工の検討・手配が可能となり、大断面トンネルの施工効率向上には大きなメリットとなる。

金谷トンネルにおいては、事前に得られたデータを基にD地山の標準パターンより、鋼アーチ支保工や覆工、補助工法を増強した支保パターンを採用した結果、縫い返しなどの大きな手戻りもなく施工が進んでいる。

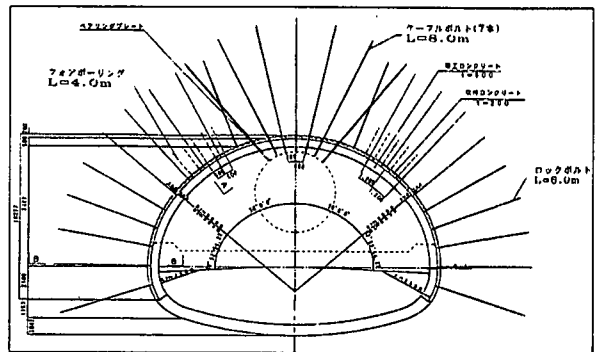


図-5 事前補強によるロックボルト削減例

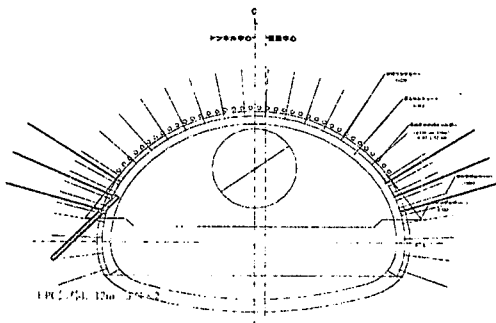


図-6 不良地山での支保パターン (金谷トンネル)

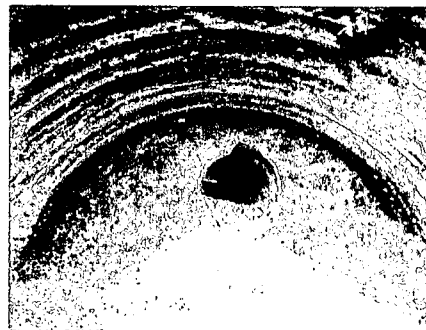


写真-2 不良地山での先進導坑の変形状況

4. おわりに

本論では、これまでの施工実績を基としたTBM導坑先進拡幅掘削工法と、新たに開発した支保材料を使用した支保構造に関する中間的な評価について述べた。現在までのところ、TBM導坑や高強度支保工は当初期待した効果を発揮している。第二東名高速道路のトンネル施工技術は、今後の大断面トンネルの安全性、効率性、経済性の向上に大きく寄与するものと期待できることから、調査を継続して新たな施工データを加え、さらに検討を行っていきたいと考えている。

以上

1) 正会員 日本道路公団 静岡建設局 建設部 建設第一課

2) 日本道路公団 静岡建設局 建設部 建設第一課