

## 付加体地質におけるトンネル掘削

東京土木施工管理技士会

飛鳥建設株式会社 中日本土木支社

北陸土木事業部 佐渡多田トンネル作業所

工事課長

森 脇 丈 滋<sup>○</sup>

Takeshi Moriwaki

工事課長

日 谷 昌 保

Masayasu Hidani

工事主任

地 濃 健 治

Kenji Chino

## 1. はじめに

## 工事概要

- (1) 工 事 名：主佐渡一周線離島地方道改築  
(多田トンネル) 工事
- (2) 発 注 者：新潟県佐渡地域振興局
- (3) 工事場所：新潟県佐渡市多田、菟場地内
- (4) 工 期：平成14年12月20日～  
平成22年 3 月15日

本工事は、新潟県佐渡ヶ島の南東側に位置し、海岸沿いの急峻な地形に存在する現道を回避する目的で計画された延長1,511m、内空断面積50㎡の佐渡一周線の2車線道路トンネルである。

本報告書は、トンネル掘削時に遭遇した付加体地質区間における施工実績から得られた問題点と対策および支保パターンの選定等をまとめたものである。

## 2. 現場における課題・問題点

## (1) 付加体地質について

付加体地質とは、海洋プレートの沈み込みに伴って大陸側に底付け付加された地質構造である(図-1)。

付加体では、このプレートの移動に伴い、様々なスケールで多様な岩石類が著しいせん断作用を

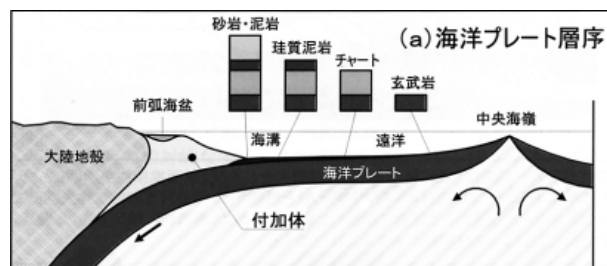


図-1 海洋プレート沈み込みと付加過程の模式図  
(ジェオフロンテ研究会：付加体とトンネル施工)

受けて片状破碎された「メランジュ」と称される特異な地質性状をもつ地質体となっている。

近年、この付加体地質において難航したトンネルの事例が幾つか挙げられているが、地質学的にも複雑であり、従来の地質調査手法では正確に地質状態を把握することができず、また、著しい褶曲・破碎作用を受けているため、切羽の自立性に乏しいといった問題点を有している場合が多い。

## (2) 事前調査結果と実績の地質状況の相違

事前調査における主な地質は、両坑口部の崖錐堆積物を除けば、トンネルの大部分の区間は弾性波速度が3.4km/secと比較的高い値を示す中・古生層の砂岩、砂岩・頁岩互層、凝灰岩(緑色岩)から構成され、その上部を新第三紀中新世の豊岡層(火山碎屑岩)が覆っており、途中4箇所断面が想定されていた。

掘削を開始してから豊岡層のTp(火山碎屑

岩) 区間は、ほぼ当初計画通りの支保パターンで掘削を行っていた。しかし、約240m付近から切羽に出現したPal (砂岩・頁岩互層) は、当初設計で地山区分D I相当と判断されていたものの、実際の地質は、鱗片状～葉片状に破碎された過褶曲構造で、鏡肌の発達した極めて剥離・崩壊しやすい地質性状をもつ付加体 (メランジュ) 地質であった。この付加体地質に遭遇した直後に、鏡面の押出しとともに大規模な崩落が発生した。

### (3) 多田トンネルの付加体地質構成

多田トンネルにおける中古生層の主な付加体地質は、概ね次の3種類の地質で構成されていた。

#### ① 砂岩・頁岩互層

当該地質は片状化した破碎頁岩であり、層状～レンズ状～岩塊状の砂岩を混在していた。頁岩は薄い板状～葉片状～鱗片状を呈し、大きなスケール～小さなスケールまで、岩片全体には鏡肌が発達している。そのため、岩片相互の粘着性がなく、容易に剥離・崩落する傾向をもっていた。わずかな湧水によってその傾向は更に促進される。砂岩・頁岩とも激しい褶曲構造作用によって、布団を折り畳んだような著しく複雑な過褶曲構造をなしている (写真-1)。

#### ② 砂岩優勢

硬質な砂岩優勢区間の支保パターンはC II-bで掘削している。部分的に茶色く風化変質認められるが、切羽は全体的に安定しCM～CH級相当であった。

#### ③ 熱水変質緑色岩

熱水変質の影響で粘土シームを挟在した割れ目が細かく発達した緑色岩が主体となる。

白色の脈状から数センチ厚の方解石を多量に含んでおり、粘土化した箇所では細かい剥離・肌落ちが連続して発生し、湧水の影響を受けやすく路盤の泥濘化が激しくなる。岩質は脆く、ハンマーで容易に割ることができる。

砂岩頁岩互層とは地質性状が異なり、大きな押出しや、崩落もなく、支保パターンは変形余裕量や大規模な補助工法を用いないD I-bパターン



写真-1 砂岩頁岩互層/過褶曲構造

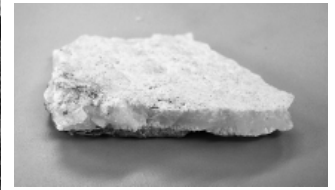


写真-2 方解石

を主体としている。

#### (4) 付加体地質対応への問題点

付加体地質 (メランジュ) の出現を受け、対応すべき課題は以下のとおりであった。

事前調査結果と実際の地質に相違があり、切羽前方地質確認を先行して確認し対応していく必要があるが、崩落性地山のため調査が困難。

内空変位の増大に対応する支保の検討。

強い鏡面の押出しと天端崩落の連続への対応。

## 3. 工夫・改善点と適用結果

### (1) 長尺水平ボーリングによる前方地質確認

事前調査と相違したメランジュの分布範囲の把握および水抜きを目的として、坑内から水平調査ボーリングを計画した。

表-1に示す機械と工法の組合せによる水平調査ボーリングを計画したが、当初3回は崩落性地山のため、ロッドに大きな締め付けが発生し、いずれも20m程度で削孔不能となった。

そこで、この連続した崩落性地山に対して確実にボーリングを可能とするため、高トルク・大口徑ボーリングマシンで順次削孔径をダウンすることができるトップドライブ二重管方式としたシールドリバース工法による長尺のオールコアボーリングによる調査を検討した。

シールドリバース工法の適用により、4段階の削孔径 (図-3)で行った第4回水平調査ボーリングでは、砂岩・頁岩互層区間のL=150mの長尺ボーリングを実施することができ、断層区間の延長と地質状況が把握された。また、この区間は僅かな湧水で容易に崩れやすい状況である事が確認され、長尺ボーリングによる水抜きが有効であ

表-1 ボーリング工法比較表

	ボーリング 機械	工 法	延長(m)
第1回 砂岩・頁岩	ローラー方式	普通工法	24.8
第2回 砂岩・頁岩	ローラーパーカッション 方式	ワイヤライン 工法	23.1
第3回 砂岩・頁岩	ローラー方式	二重管工 法	12.4
第4回 砂岩・頁岩	トップドライブ 二重管方式	シールドリバ ース工法	150.0
第5回 緑色岩	トップドライブ 二重管方式	シールドリバ ース工法	270.0

る事も確認された。

<シールドリバース工法の特徴と工法概要>

高強度のシールドパイプを使用することにより、ボーリングマシンの有する高トルクに耐え、崩落性の地山や断層破碎帯の掘削が可能となり、パイプ締め付け拘留の可能性が低くなる。

外管と内管の二重管の同時回転で掘削し、管の間から送水し、内管から排水とともにコアを排出する(図-2)。

外管をそのまま定管してケーシングパイプとし、地山の拘束が大きくなった場合でも順次削孔径をダウン変更することが可能である。

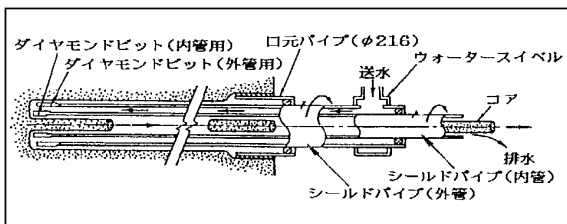


図-2 シールドリバース工法システム図

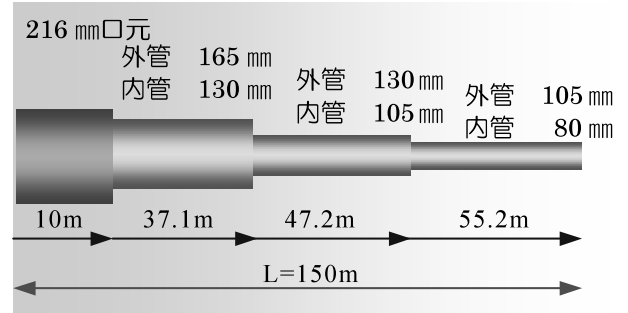


図-3 シールドリバース掘削プログラム実績



写真-3 シールドリバースボーリング状況

(2) 掘削支保パターン

付加体地質区間において適用した支保パターンのうち、最もランクの重いD II-Lpu 4 (図-4)の採用経緯と適用効果について以下に記述する。

砂岩・頁岩互層区間において、管理基準値を上回る内空変位の発生と、坑内B計測の結果から、広い範囲で地山の緩みが発生していることや、全ての支保応力が限界レベルに達していることが判明したため、ロックボルトの本数を8本から12本に増加し、長さを4.0mから6.0mとした。

ボルト材は、初期変位速度が20mm/日以上(最大61mm/日)と大きく、切羽近傍で支保の変状が発生するため、切羽面で瞬時に定着可能な鋼管膨張型ロックボルトを採用することとした。また、削孔には崩落性地山対策として泡削孔システムを採用してボルトの挿入を可能とした。

支保パターンを変更した結果、坑内A計測において、初期変位、収束値ともに約70%まで低減されたほか、支保の変状が激減した(表-2)。

緑色岩よりも砂岩・頁岩互層区間のほうが切羽

の自立性が悪く、地山の押し出しが発生することから重い支保パターンが採用される結果となった。

付加体地質への対応の結果、支保パターンは当初設計のC IIパターンが50%から5%と大幅に減少し、D IIパターンが2倍以上となった。(図-5)

### (3) 切羽安定対策

大規模崩落後の掘削においては、天端の安定対策としてシリカレンジ注入式長尺鋼管先受け工(25本/断面)および、鏡面の押し出しと切羽前方の緩み防止対策として注入式長尺鏡ボルト(17本/断面)を併用する補助工法を採用した。

併せて、通常同一断面から行う鋼管先受け工と鏡ボルトの打設を、掘削方向に6mずらした断面で行い、先受け鋼管の残長が長く前方の押し出しに対する抵抗が十分有効な状況下で、次サイクルの鏡ボルトの打設が行えるよう工夫を行った。

これにより、切羽の安定性が確保され、鏡ボルト

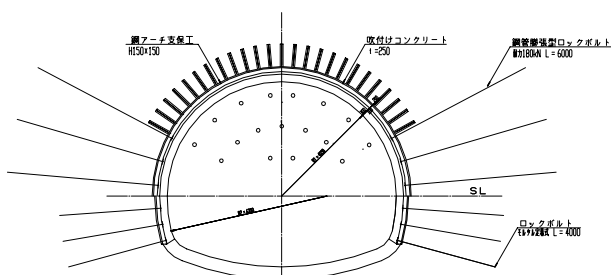


図-4 支保パターンD II-L p u 4

表-2 支保パターン変更前後計測比較表

		変更前 (mm)	変更後 (mm)	比較
天端沈下	初期変位	31-42	25	68%
	収束値	104-114	84	77%
内空変位	初期変位	37-61	32	65%
	収束値	93-127	67	61%

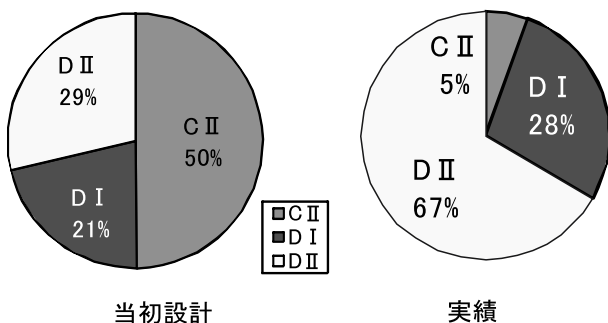


図-5 当初設計と実績支保パターン構成比率

ト打設後7m付近で発生していた鏡面の押し出しを低減することが出来た。

### (4) 施工方法の見直し

トンネルの安定性を確保するために早期のインバート構築が有効であり、坑内変位もインバート施工後に収束する傾向にあった。インバート施工は切羽から10m程度の離隔を確保して、インバート掘削時の変状対策として増ボルトや補強プレートによる対策を行った。

## 4. おわりに

本工事において実施した、付加体地質への対応により得られた知見をまとめると、以下のとおりである。

- ① 付加体地質の中でも、特に砂岩・頁岩互層状となる場合は、切羽の押し出しや支保工の変状に留意する必要がある。
- ② 付加体地質では、弾性波速度や通常の事前調査ではその地質性状を予測することは困難であり、坑内の水平ボーリングを必要とする。坑内からの水平調査ボーリングは、シールドリバー工法を用いることにより、長尺のオールコアボーリングが可能であり、また、水抜き効果も大きい。
- ③ 初期変位速度が大きく、湧水を含む場合は、切羽面で瞬時に定着可能な鋼管膨張型ロックボルトが有効であった。また、砂岩・頁岩互層と砂岩優勢区間および緑色岩区間では支保パターンで2ランクほど軽減される傾向にある。
- ④ 鏡面の押し出しと切羽前方の緩み崩壊の防止には、注入式長尺鏡ボルトが有効であった。
- ⑤ 上半断面での変位速度が大きく、早期にインバートを構築してトンネルの安定性を確保する必要がある。  
今回の成果は、同様の付加体地質におけるトンネル掘削に展開できるものと考えられる。  
付加体地質への対応にあたっては、十分な調査によりその特徴をよく把握し、品質、安全を確保可能で、経済的な計画とする事が重要である。