

美濃帯メランジュ中のトンネル施工

桑村 育男¹・笹尾 春夫²・島 和彦²・北園 和正²

¹ 鉄建建設株式会社 エンジニアリング本部 (〒101-8366 東京都千代田区三崎町二丁目五番地5-3)

E-mail: ikuo-kuwamura@tekken.co.jp

² 正会員 鉄建建設株式会社 エンジニアリング本部 (〒101-8366 東京都千代田区三崎町二丁目5-3)

近年土木地質学の分野において、付加体地質学が浸透しはじめており、付加体をトンネル工事や橋梁基礎等、構造物の築造時の施工対象として見る機会も少なくない。また、トンネル工事においては、当初設計と施工実績との相違が大きい地質のひとつとして付加体が認識されるようになってきている。今回施工した岐阜県的美濃帯メランジュのトンネルにおいて、掘削中に支保の変状が発生した。そこで、反射弾塑性波探査による切羽前方探査を行い原因究明を図った結果、トンネル上方および下方にエネルギー変化面が確認され、泥質岩中のブロック状の混在岩が変状の原因であることがわかった。本報告ではこの事例をもとに、付加体トンネルの地質的問題点について述べる。

Key Words : accretionary prism, melange, mixed rock, cleavage, loosening, tunnel

1. はじめに

現在、日本列島はプレートの沈み込み境界に位置し、付加体が順次付け加わって形成されたと考えられているが¹⁾、それ以前の地向斜とよばれる垂直変動の考え方から付加体地質へと日本列島の地質に対する考え方は大きく変化した。トンネル工事においても付加体が認識され始めており、日本列島全体約 20% を占める付加体を、施工対象として見る機会も少なくない。トンネル工事においては、トンネル工事で工学的に最も問題となるのは、劈開を伴う混在岩の緩みである。本報告では付加体とは何か、また付加体でのトンネルの施工事例を挙げ、地質的問題点について述べる。

海洋プレートに乗って運ばれてきた遠洋ないし半遠洋の堆積層(石灰岩・チャート・珪質泥岩)、あるいは砂岩泥岩互層や砂岩層が含まれる。

付加体の特徴は、断層で境されたいくつかの地質帯からなり、それぞれの地質帯は陸側ほど古くなっている。全体の構造は陸側に傾斜していることから、構造的に下位のものほど地質時代が新しいという構造になる。これは、既往の上の地層ほど新しいという考えに反した堆積構造である。また、このことから日本列島では地質年代が南側に向かって若くなっていることがわかる。

さらに、沈み込み帯ではプレートの沈み込みに伴う応

2. 付加体とは

地球表層を覆うプレートは、太平洋や大西洋で上昇してくる玄武岩が海洋を移動して大陸に衝突して沈み込むという運動を行っている(図-1)。

その運動の中で、海洋プレートが大陸プレートの下に沈みこむ際に、海洋プレートの一部が剥ぎ取られて陸側プレートに付け加わる(付加する)ことにより形成される地質体を付加体という(図-2)。したがって、付加体には、海洋プレートや海山を構成する玄武岩類(緑色岩類)、

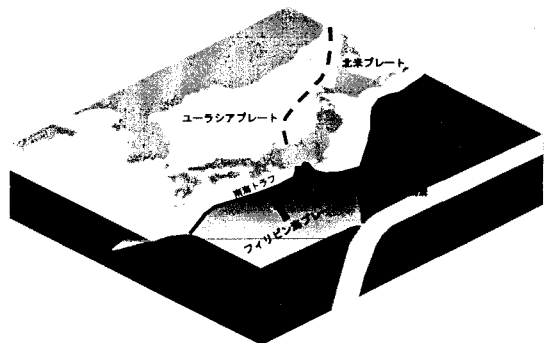


図-1 日本列島周辺のプレートの分布

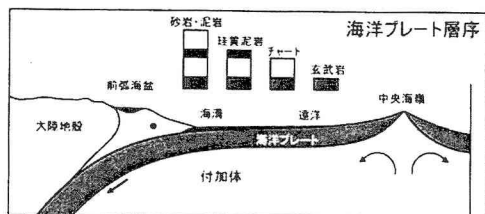


図-2 海洋プレートの沈み込みと付加過程の模式図^②

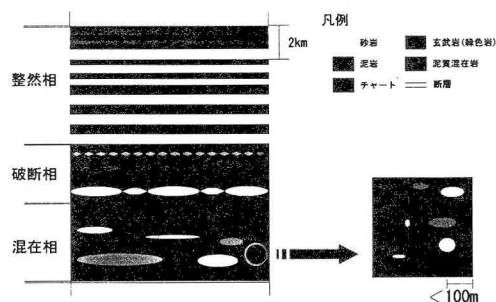


図-3 付加体の岩相^③に加重

力集中により玄武岩や遠洋性堆積物が付加体に取り込まれたり、遠洋性堆積物が海底地すべりを起こしたりといった運動が発生して地質構造が非常に複雑となっている。この結果、付加体では著しいせん断破碎作用を受け岩石の組織は破碎され、鱗片状劈開(魚の鱗状にパラパラと割れる性質)を伴う泥質岩の中に、硬質な砂岩や遠洋性堆積物であるチャートのブロック、海洋地殻である玄武岩類が取り込まれた構造を示す部分が形成される。この交じり合った岩石を混在岩と呼んでいる。

3. トンネル工事と付加体地質の問題点

付加体を構成する地層は、その岩相から大きく整然相・破断相・混在相の3つに区分される(図-3)。整然相からなる付加体は、西南日本の四万十帯に特徴的に分布する。様々な量比で互層する砂岩と泥岩(タービダイト)からなり、それらは大陸斜面で発生する乱泥流によって海溝底で形成された堆積物とみなされている。一般に整然相を主体としているが、一部に海底地すべりなどによって形成された乱雑堆積層を伴う。これらが破断相であり、地層の成層構造がある程度保たれているが、部分的に破断している。特に、前記のような砂岩泥岩互層が破断したことが多い。一方、メランジュ(混在相)は泥質岩を主体とし、その基質中に種々の年代を有する多様な種類の岩相が、顕微鏡サイズから地質図に表現可能

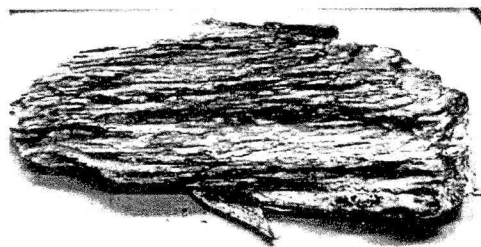


写真-1 スレート劈開の発達した黒色片岩

な数kmの大きさにわたる大小のブロックとして含まれる地質体をさし、ブロックは砂岩・緑色岩・チャート・石灰岩などである。これら各々の岩相は断層関係であり、幅狭い帯状の分布をする。

混在相の付加体が分布する地域では、岩相の側方への連続性が悪く岩相変化が激しいため、地表踏査やボーリングデータから地下の地質状況を想定したり、トンネル掘削中に前方の地質状況を把握したい場合、困難を伴う。また、物性の異なる大小様々な大きさの岩塊がせん断を受けた泥質基質中に混在することから、掘削に伴う応力解放を受け、緩みやすく、切羽崩落や斜面災害などの要因となりやすい。特に湧水がある場合や土被りが大きい場合には極端に強度が低下するのも大きな特徴である。また、劈開面の異方性のために、トンネル方向と地層の走向の関係によって挙動が異なる(写真-1)。

したがって、工事の際にこのような地質体が分布することが明らかとなった場合には、事前に十分な調査を行い対策工を考慮したうえで、注意をはらって施工する必要がある。

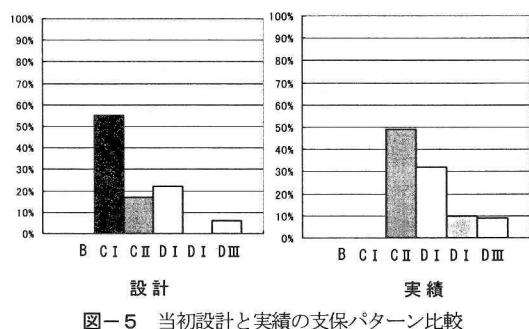
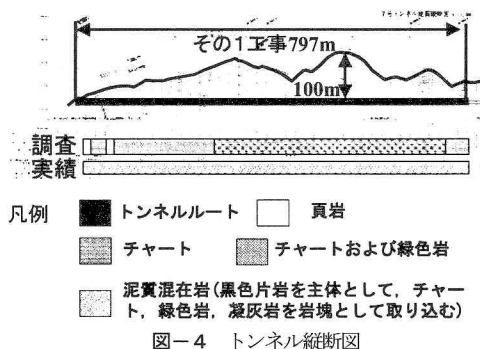
逆に、付加体においても整然相で構成される地域では、地層の連続性が基本的に良いことから、突発的な岩相変化がない限りは地質状況を把握するのは比較的容易である。

現在の設計時には、屈折法弾性波探査による弾性波速度が大きく反映されている。しかしながら、弾性波探査は土圧の加わった状態で測定されているため、トンネルを掘削した時の状態を想定するのは困難である。特に対象が泥質混在岩である場合は、劈開面が密着した状態で測定されているため、前記のような理由で劈開面が緩むことで、設計された支保パターンでは実際に施工できず、2ランク程度重い支保パターンとなることが多い。

4. 付加体トンネルの施工事例

(1) 当初設計と実績の比較

付加体地質のトンネル工事では当初設計の支保パター



ンの変更が多いことが問題となっている。ここで報告する美濃帯メランジュ中で施工したトンネルでも、当初設計と実績とで大きく異なっていた。その事例を以下に述べる。

このトンネルは、全長 $L=1459.0\text{m}$ のうち掘削 797.0m 、作業坑 $L=117.8\text{m}$ を施工したものである(図-4)。地質は中生代美濃帯の泥質混在岩が全線にわたり分布していた。既往の地質調査においては、トンネルルートにおいて予測された岩の大部分はチャートや緑色岩といった硬岩であり、弾性波速度も $4.0\sim 5.0\text{km/s}$ と高かった。しかしながら、実際には、坑口からすべて泥質混在岩(黒色片岩を主体としてチャート、緑色岩、凝灰岩を岩塊として取り込む)が分布し、設計と大きく異なるものであった。

設計と実績の比較を図-5に示す。これから読み取れることは、当初設計CIとされていた地点がCIIに、CIIがDIにといったように、1ランクないし2ランク程度重い支保に変更になっていることがわかる。

既往地質調査について、急峻な山岳地形に計画されたトンネルであり、地表踏査の実施不可能な地域が多く、そのため十分な地表踏査が行われず、弾性波探査と地表からの鉛直ボーリング3本のみの調査であった。

高い弾性波速度について、この原因は、土圧がかかった状態で測定されているため、実際には劈開の発達した泥質岩などがトンネル掘削による応力解放で緩みを生じ

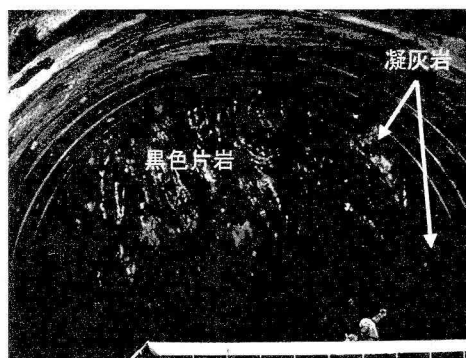


写真-2 切羽状況(黒色片岩を主体として凝灰岩を取り込む)

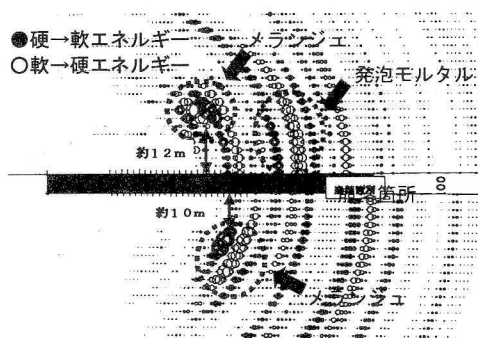


図-6 TSP 探査結果

るが、設計時にはそれが反映されていなかったものと思われる。また、ボーリング調査については、本地域のような混在相においては、基岩に取り込まれているブロックを上手く抜くということは困難であり、混在岩の存在を捉えることが出来なかったと考えられる。

既往地質調査と実績の相違については、硬岩のチャートや緑色岩の露頭を大露頭として捉えやすく、泥質岩の露頭を見逃していた可能性がある。これは、泥質岩上には植生が分布しやすく、チャート上には植生が分布しにくいために表層に露岩しやすいということもいえる。さらに結果として、不十分な地表踏査がこれら原因の拍車を掛けた結果となった。

切羽状況を写真-2に示す。基岩である黒色片岩には鱗片状劈開が発達し、劈開面から時間の経過とともに緩みを帯びていることが窺える。また、取り込まれている凝灰岩はせん断作用により破断され、引きちぎられている。

(2) 崩落とその原因

このトンネルで、到達側に近い地点において、切羽より後方約8mにおける区間の上半支保工足元および下半吹付けコンクリートに押し出しが発生し、崩落が発生した。崩落は掘削直後ではなく、しばらく時間が経過した後で

あり、後荷がかかったような状態であった。

そこで、反射法弾性波探査(TSP)による切羽前方探査を行い原因究明を図った。その探査結果を図-6に示す。

この結果から読み取れることは、トンネル上方および下方にブロック状のエネルギー変化面が確認され、これが泥質岩中に混在するチャートや緑色岩を捉えているものと考えられた。

トンネル崩落の直接的原因としては、崩落地点の天端上部に存在した非常に硬質なメラングジュ(チャート)に対して、劈開の発達した脆弱な黒色片岩がトンネル掘削に伴う応力解放で支えきれず、結果的に天端の崩落に至ったものと考えられる。なお、図中の発泡モルタルとは、崩落箇所を充填したものである。

4. まとめ

付加体トンネルにおける、施工上および地質調査における問題点について以下にまとめる。

(1) 地質調査上の問題点

- ①破断相や混在相では、岩相の側方への連続性が悪く岩相変化が激しいため、地表踏査やボーリングデータからの地質状況の把握、またトンネル掘削中の、切羽前方の地質状況の把握は困難を伴う。
- ②ブロックとして取り込まれている異地性岩体の分布を把握することは非常に困難で、詳細な地質踏査が必要となる。また調査者には付加体地質に関する豊富な知識や経験が求められる。

(2) トンネル施工上の問題点

- ①付加体形成時に強い圧力を受けるため、その影響で衝上断層などの断層破碎帯が多い。
- ②泥質混在岩では、掘削に伴う応力解放を受け緩みやすく、崩落の要因となりやすい。特に湧水がある場合や土被りが大きい場合には極端に強度が低下しやすく変位も大きくなる。
- ③劈開面による異方性のためにトンネル方向と地層の走向の関係によって挙動が異なる。
- ④整然相、破断相、混在相のうち、混在相がもっとも破断・変形が進んでおり、トンネル施工上問題となることが多い。

(3) 今後の課題

付加体は詳細な地表踏査を主とし、それに加えて地表踏査では把握が困難な地下深部の地質データとして物理探査およびボーリング調査を組み合わせれば、精度のよい付加体の想定地質図が作成可能となり、それをもとに補助工法の設計・施工を行うことで、難工事を克服できる。本報告が少しでも付加体に対する理解向上に役立てて頂ければと思う。

参考文献

- 1) 平朝彦：日本列島の誕生，1990。
- 2) ジェオフロンテ研究会 付加体地質 WG：付加体地質とトンネル施工，2004。
- 3) 中江訓：西南日本内帯ジュラ紀付加複合体の広域対比，地質学論集 55 号，pp. 73-98，2000。

TUNNELING IN MESOZOIC MINO BELT SEDIMENTARY ROCK (ACCRETIONARY MELANGE)

Ikuro KUWAMURA, Haruo SASAO, Kazuhiko SHIMA, Kazumasa KITAZONO

The accretionary geology has been recently introduced into the civil engineering geology field, exerting significant influence upon geological interpretation. The problem most critical from the engineering viewpoint in tunneling, loosening of mélangé with cleavage.

This paper gives an explanation for the mélangé that is not well known in the civil engineering field, and referring to tunneling projects in mélangé, suggests geological problems and issues of tunneling work.