

中生代美濃帯堆積岩(付加体メランジュ)中のトンネル施工

桑村 育男*1・笹尾 春夫*1

概 要

近年、土木地質学の分野で付加体地質学が取り入れられ、地質解釈等に大きな影響を及ぼしており、トンネル工事においても付加体が認識され始めている。トンネル工事で工学的に最も問題となるのは、劈開を伴うメランジュ(混在岩)の緩みである。

本報告では、土木の分野ではあまり馴染みのない付加体について解説するとともに、付加体トンネルの施工事例を挙げ、地質的問題点や施工時における問題点を示唆する。

キーワード：付加体，メランジュ(混在岩)，劈開，緩み

Tunneling in Mesozoic Mino belt sedimentary rock (accretionary *mélange*)

Ikuro KUWAMURA*1 Haruo SASAO*1

Abstract

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 *mélange* with cleavage.

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

Keywords: accretionary, *mélange*, cleavage, loosening

*1 Design Group(#3), Civil Engineering Technology Department, Engineering Division

中生代美濃帯堆積岩(付加体メランジュ)中のトンネル施工

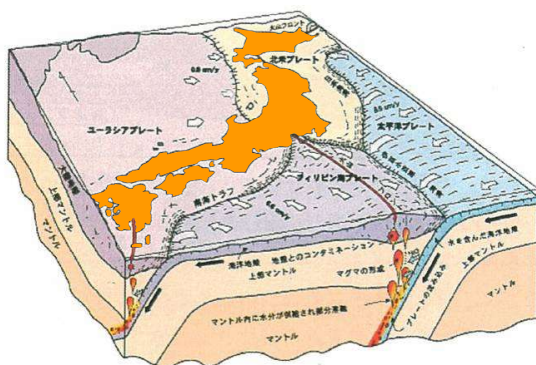
桑村 育男*1・笹尾 春夫*1

1. はじめに

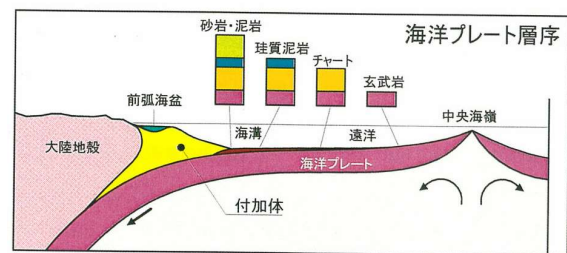
現在、日本列島はプレートの沈み込み境界に位置し、付加体が順次付け加わって形成されたと考えられているが¹⁾、それ以前の地向斜とよばれる垂直変動の考え方から付加体地質へと日本列島の地質に対する考え方は大きく変化した。近年、土木地質学の分野においてもこの考え方が浸透しはじめており、日本列島全体約20%を占める付加体を、構造物の築造時の施工対象として見る機会も少なくない。また、トンネル工事においては、事前設計と施工実績との相違が大きい地質のひとつとして付加体が認識されるようになってきている。本報告では土木技術者にとって聞き慣れない付加体とは何か、また付加体でのトンネルの施工事例を挙げ、問題点について解説する。

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)。

図-1 日本列島周辺のプレートの分布²⁾

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緑色岩類(玄武岩類)、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。

図-2 海洋プレートの沈み込みと付加過程の模式図³⁾

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、

*1 エンジニアリング本部 土木技術部 設計第三グループ

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(魚の鱗状にバラバラと割れる性質)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メランジュ(混在岩)と呼んでいる(写真-1)。



写真-1 静岡県本川根町四万十帯メランジュ
ユ ★鹿島建設稲葉氏提供

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)。

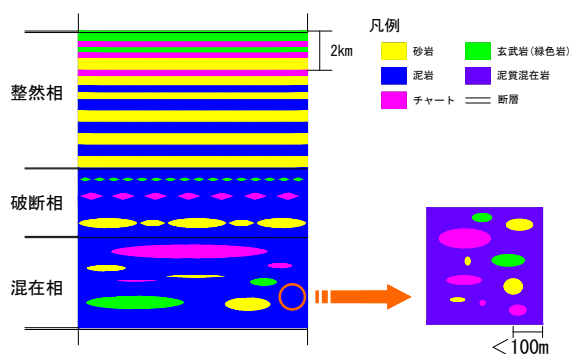


図-3 付加体の岩相⁴⁾に加筆

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ものが多い。

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-2)。



写真-2 スレート劈開の発達した黒色片岩

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、

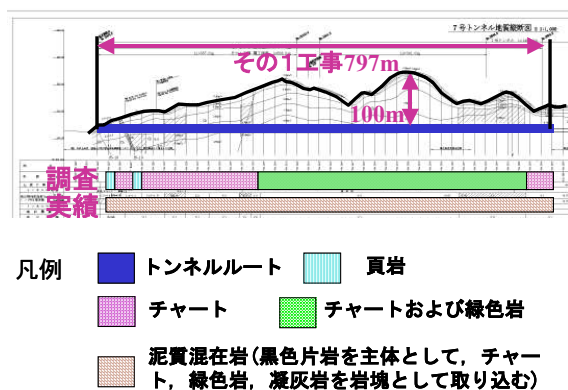
注意をはらって施工する必要がある。

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はよいことから、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

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。当社が施工した岐阜県のあるトンネルでも当初設計と実績とで大きく異なっていた。その事例を以下に挙げる。



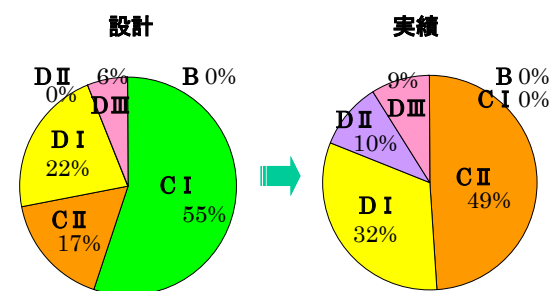
図－4 トンネル縦断面図

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。

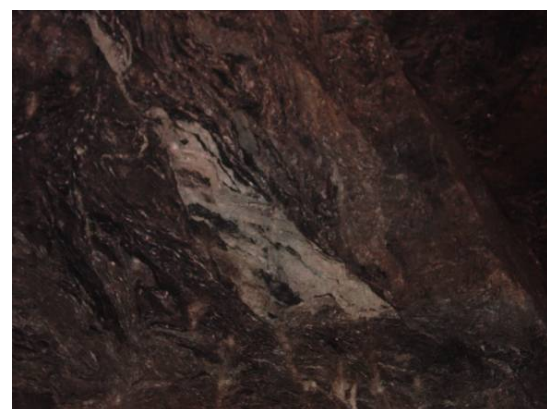
既往の地質調査においては、弾性波速度も $4.0\sim 5.0\text{m/s}$ と高く、トンネルルートにおいて

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 C I とされていた地点が C II に、C II が C I 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。



図－5 当初設計と実績の支保パターン比較



写真－3 切羽状況

上：黒色片岩を主体として凝灰岩を取り込む
下：せん断変形を受け、破断した凝灰岩

切羽状況を写真-3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。

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、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。

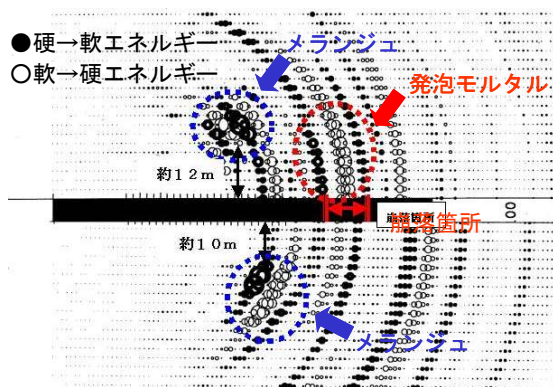


図-6 TSP 探査結果

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。

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。



写真-4 河原や山地で観られるチャート(左)、石灰岩(右)の露頭状況★鹿島建設稲葉氏提供

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、泥質岩の存在を捉えることが出来なかったと考えられる。

5. 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) 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。

(2) 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。

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。本報告が少しでも工事関係者の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) 全国地質調査業協会連合会ホームページ
- 3) 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.
- 4) 中江訓：ジュラ紀付加複合体の広域対比，地質学論集第 55 号，2000.