

東北新幹線岩手トンネルの 膨張性地山における支保パターン

Support Pattern for Swelling Ground at Iwate Tunnel on the Tohoku Shinkansen

角田 至啓 * ・ 佐藤 重知 **

Yoshihiro TUNODA and Shigetomo SATO

Work to expedite construction of a difficult section of Iwate Tunnel on the Tohoku Shinkansen was performed during fiscal years 1989 through 1991.

The geology in the vicinity of Nakazato, where this work was performed, consisted of Neocene tuff which was weak and swelling.

In this paper the condition of swelling and measurement data obtained during construction are analysed, and the support pattern for use in the swelling ground of the Nakazato section is described.

Keywords : mountain tunnel, NATM, swelling ground, measurement, wing rib support

1. はじめに

東北新幹線盛岡・青森間は、平成3年8月運輸大臣より工事実施計画が認可され、現在岩手トンネル及び三戸トンネルの工事を進めているところである。

本格着工に先立ち、整備新幹線難工事推進事業(難工事)として、東北新幹線では地質が軟弱かつ膨張性が顕著で断層も想定される岩手トンネル中里付近を選定し、平成元年7月より工事を開始し、平成3年3月に本坑265mの掘削を完了した。

施工時は膨圧による大きな変位が問題となった

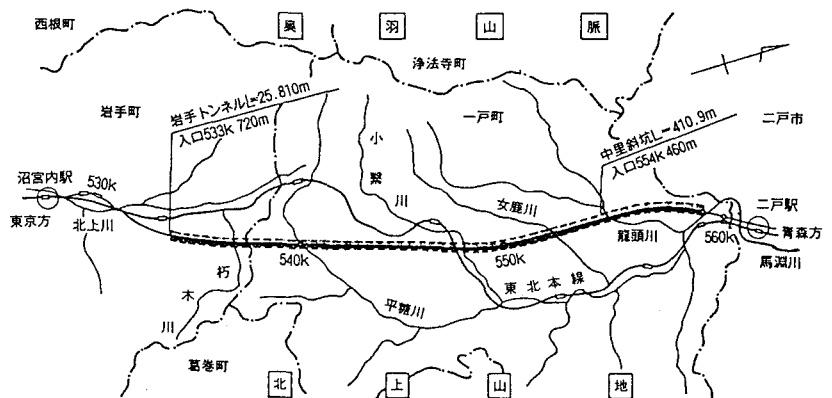


図-1 位置平面図

* 正会員 日本鉄道建設公団盛岡支社 計画工事部長

** 正会員 日本鉄道建設公団盛岡支社 一戸鉄道建設所長

ため、その対策として各種の補助工法のほか、一次支保のグレードを順次変更し掘削を行い、本格着工時の設計施工資料を得ることができた。

本報告は、難工事の施工により得られた各種のデータを整理分析し各々の相関や設計支保パターンについて報告するものである（図－１）。

2. 地形地質概要

岩手トンネルは、岩手県岩手郡岩手町尾呂部地区を入り口とし二戸郡一戸町鳥越地区に至る延長 25km810mの長大山岳トンネルである。

地質は大きく三区間に区分され、トンネル入り口より約17km間は古生層の粘板岩(Psl)が基層を形成しているほか花崗閃緑岩(Gd)、ホルンフェルス、チャートなどで形成され、今回施工区間を含む中間部約5km間は新第三紀の凝灰岩(Ytf)を主とし、出口側約4km間は古生層の粘板岩(Psl)が分布しトンネル出口付近では厚い崖錐層となっている。

今回施工した中里付近は土被りが80m～140mで、地質構成は表層部が新第三紀門ノ沢層の砂岩(Kss)に覆われ、その下にシルト岩、泥岩(Ksl)が薄層で分布し、さらにその下層は新第三紀四ッ役層の凝灰岩(Ytf)となっている（図－２）。

3. 施 工

3・1 施工方法

本坑の掘削断面積は上半部44m²～49m²、下半部40m²～41m²で、機械掘削によるショートベンチカット工法（NATM）で施工した。

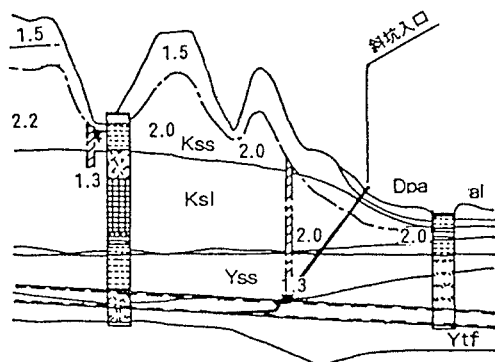
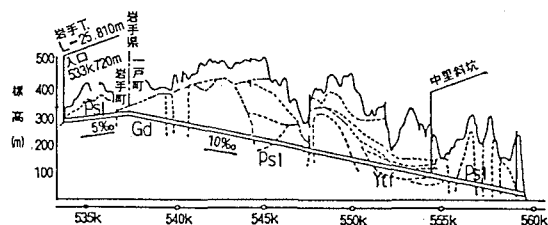
3・2 地質状況および湧水状況

本坑の地質は全体的に凝灰岩（シルト質、砂質、軽石混じり、角礫混じり）及び泥岩で、厚さ10cm～1m程度の薄い互層となっており、地山試料試験の結果では、一軸圧縮強度が20～60kgf/cm²と脆弱で、自然含水比も30～50%と高い値を示している。また陽イオン置換容量（CEC）の値も78～99meq/100gと高い値を示している。

施工時、数カ所の断層付近は破碎されて亀裂が多く、一部粘土化している部分も見受けられ切羽が自立しない状況であった。なお、湧水量は25ℓ/分と比較的少なく、切羽に水が付くような状況は見られず滴水程度であった。

3・3 支保パターン

支保パターンは12種類であるが、鋼製支保工のサイズでは5種類に大別され、掘削は当初P-1で施工したが、掘削後切羽の進行及び時間の経過とともに内空変位が急激に増大し、切羽からの距離3Dで230



図－２ 地質縦断面図

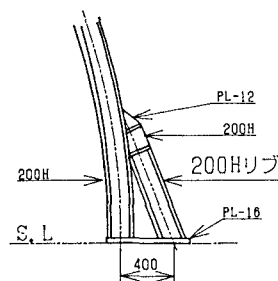
mmにも達し収束せず、これは強大な膨圧に対する一次支保材の耐力不足と考え、早期に大きな一次支保を与えて変位を拘束し地山の塑性化領域の拡大を防ぐことを目的にパターンを順次変更し施工した（表－１）。

表－１ 支保パターン

	パターン	鋼製支保工	吹付コンクリート	ロックボルト
当初設計	P－１	125H- ϕ 1.0m（上半のみ）	最小厚 20cm	ϕ = 3m-12本
	P－２	150H- ϕ 1.0m（上下半）	最小厚 20cm	ϕ = 4m-20本
実施設計	P－３	200H- ϕ 1.0m（上下半）	最小厚 25cm	ϕ = 4m-20本
	P－４	150H- ϕ 1.0m（上下半、リブ型）	最小厚 25cm	ϕ = 4m-20本
	P－５	200H- ϕ 1.0m（上下半、リブ型）	最小厚 25cm	ϕ = 4m-26本

P－１～P－４では切羽からの距離 3 D の変位量は、その支保耐力を増加させたことにより 230mm～130mmと少なくなったものの変位は収束せず、最終的には P－５を採用し掘削を行ったところ 3 D の変位量は 70mmと小さくなり変位も収束の傾向を示した。

これは、P－５で上半支保工脚部をウィングリブ型としたことにより側方からの押し出しに抵抗し、ひいては一次支保材に作用する荷重の均等化が図られたことを示している（図－３）。



図－３ ウィングリブ 詳細図

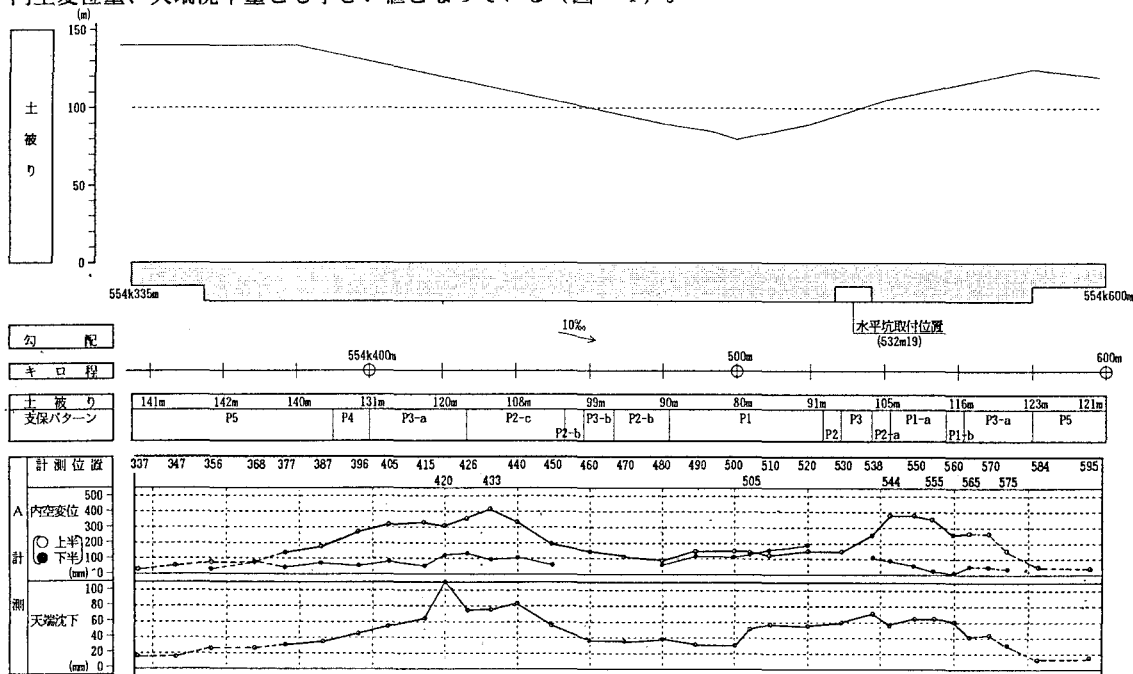
4. 計 測

4・1 A計測

内空変位量は上半部で 100～400mm程度で最大変位量は 411mm、下半部は最大 200mm程度で、天端沈下量は最大 100mm程度となっている。

このなかで P－１～P－４で施工した区間のうち土被りが 100m以上では内空変位量が 200～400mmと大きく、土被りが 100m未満では内空変位量が 200mm以下となっている。

P－５では切羽からの離れが小さくかつ下半が未施工ということもあるが、他のパターンに比べ全体的に内空変位量、天端沈下量とも小さい値となっている（図－４）。



図－４ 内空変位量と天端沈下量

掘削ステージごとの変位状況は、上半掘削時切羽からの距離3 D程度まで急激に変位し、以降クリープ的な変位が緩やかに続き収束せず、下半及びインバート掘削時に変位はさらに累加され、インバートコンクリートの打設により収束に向かった。なお、変位の発生状況は切羽の進行に非常に敏感に反応して発生した。

変位量の比率は、全変位量に対し上半掘削時60%、下半、インバート掘削時40%程度であり、また、3 Dでの変位量は上半掘削時変位量の70%程度となっている(図-5)。

支保パターン別変位量はP-5が最も小さく、以下P-4～P-1と順に変位量は大きくなっており、支保耐力の大小によって3 Dまでは変位量に明確な差が認められるが、最終的にはP-1～P-4は同程度の変位量となりP-5とは明確に区分される(図-6)。

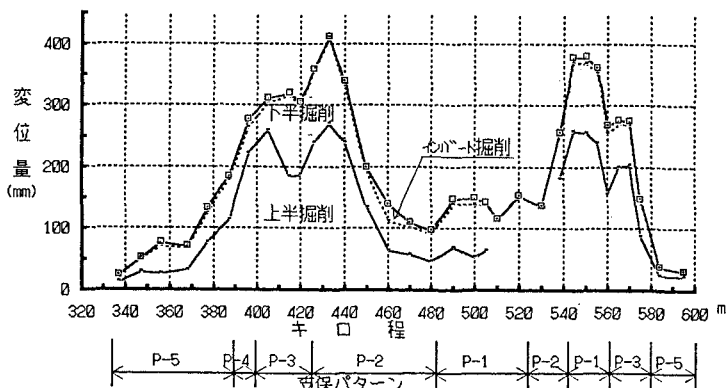


図-5 掘削ステージごとの変位状況

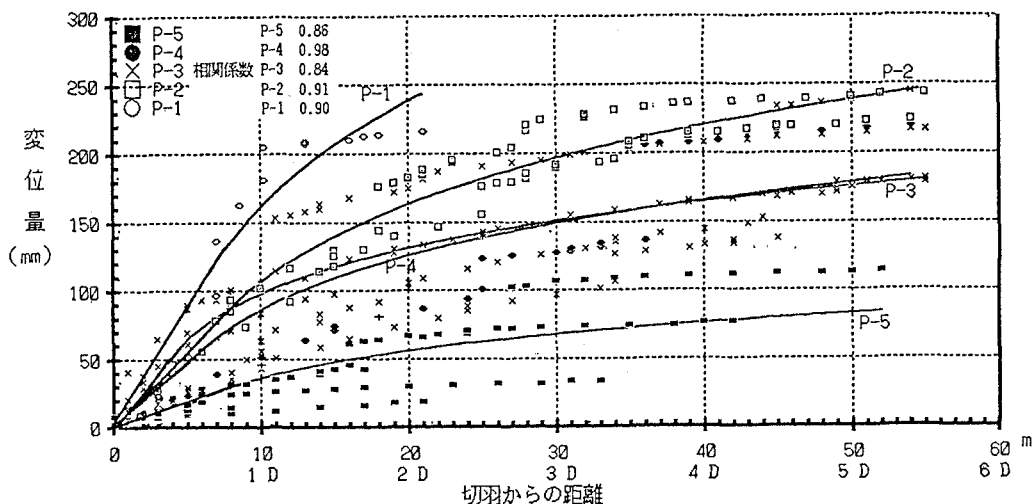


図-6 支保パターン別変位量の分析

土被りと内空変位量の関係は相関図に示すとおり良く対応している。また、上半切羽での日最大変位量と最終変位量の関係、ならびに1 D、2 D及び3 D時点の変位量と最終変位量の関係もそれぞれよい相関を示しており、従来からある日最大変位量及び1 D経過後の変位量での最終変位予測を可能にしており、重要な管理指針として今後活用できる(図-7, 8, 9)。

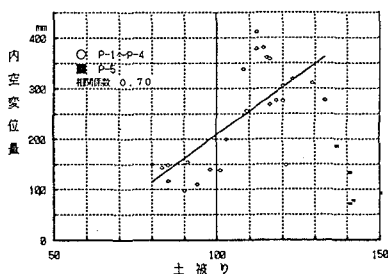


図-7 土被りと内空変位量の相関

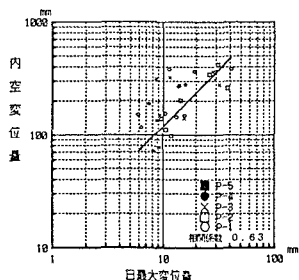


図-8 日最大変位量と最終変位量の相関

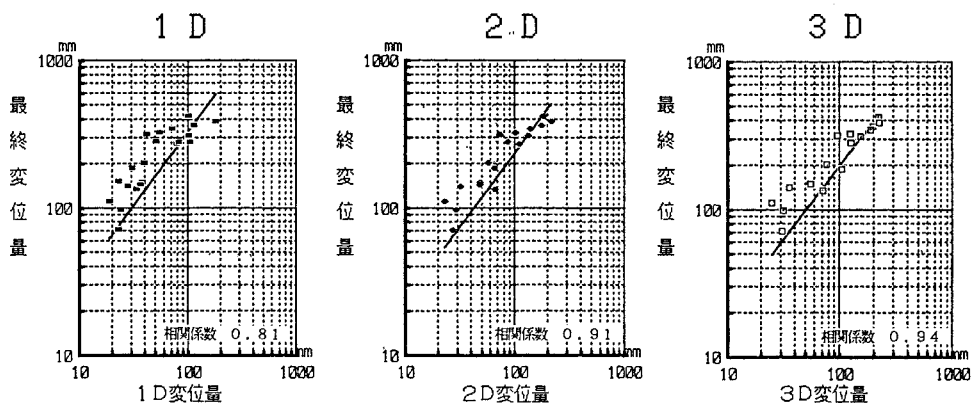


図-9 1D, 2D, 3D時点の変位量と最終変位量の相関

4・2 B計測

B計測は中里付近の地質性状を代表すると想定される554km405mをメインの計測位置として実施した。

地中変位は本線左側SL上部からの押し出しが卓越しており、これは上半掘削時に内空変位量の左右の比率が9:1以上と極端に偏っていたこととも合致している(以下 図-10)。

ロックボルト軸力は、いずれも壁面より2~3mの範囲で最大となっており、天端部分を除いてロックボルトの許容耐力(12t)を超えている箇所が多い。

なお、ロックボルトの破断及び座金の変形は全体の約20%程度発生している。

鋼製支保工軸力は天端に集中しており側方向荷重が卓越していることを示している。

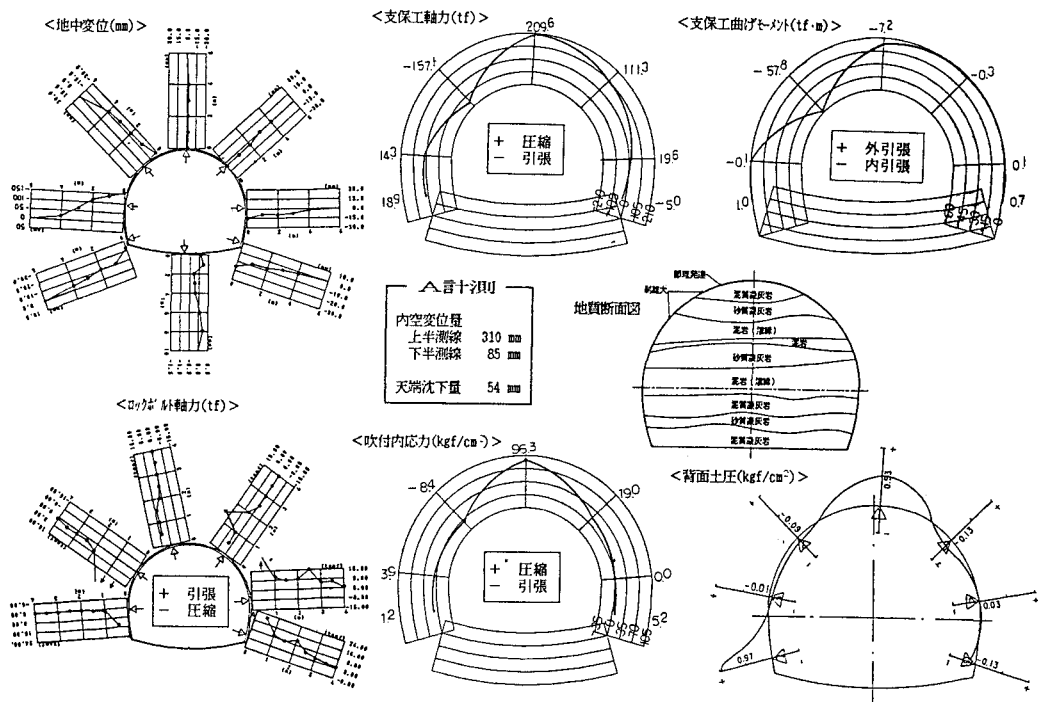


図-10 B計測結果一覧

吹付コンクリート応力は、鋼製支保工軸力と同様に天端に最大圧縮応力が発生しているほか、左肩部は引張応力が発生しこの付近では吹付コンクリートにクラックが発生している。

背面土圧は（－）となっている箇所が多いが、これは変形が大きく吹付コンクリートにもクラックが発生しゆるんだ状態となっているためと想定される。

4・3 計測結果の特徴

今回の施工では内空変位置及び天端沈下量とも全体的に大きく、変位の発生状況は上半掘削、下半掘削、インバート掘削と切羽の進行に非常に敏感に反応し、さらに緩やかなクリープ的な変位が長期的に続きインバートコンクリート打設後収束に向かった。

また、側方向荷重が卓越しており特に左側からの押し出しが強く、このため左肩部の鋼製支保工軸力、吹付コンクリート応力とも引張となっているほか、鋼製支保工の曲げモーメント発生状況は、左肩部を中心とした引張り状態となっていることから、押し出しにより座屈変形していることが推測される。

5. まとめ

5・1 支保パターン

鋼製支保工はリブによる内空変位置の抑制効果について実証されたが、応力的に非常に大きな値を示しており降伏状態に至っていると考えられ、当該地質では200H支保工が最低のラインと想定される。

吹付コンクリートは部分的に引張応力が作用し、多くの箇所ではクラックが発生し変状している。

ロックボルトは、軸力分布及び地山の緩み領域の評価結果から判断して、現状の4mの長さでほぼ満足されるものの、ロックボルトの破断や座金の変形が数多く見受けられた。

5・2 補助工法

当該地質は掘削後の時間経過とともに切羽面が剥落する特徴があり、切羽付近での作業の安全性と切羽の安定確保のため、鏡吹付（厚5cm）及び鏡ボルト（FRP22mm－4m）の施工が有効であった。

5・3 今後の対応

今回の施工結果では、変位置は土被りと支保パターンごとの支保耐力に応じて発生しており、土被り140m程度という条件下ではP-5パターン（鋼製支保工200Hリブ付）で施工可能であった。

しかし掘削時の変位をある程度以下に抑えないとトンネルの安定性に問題があることから、今後の地質状況あるいは土被り厚によっては、支保工の建込み間隔を密にするほか、吹付コンクリートの吹付厚、強度、材料及びロックボルトの材質等について検討する必要がある。

6. おわりに

岩手トンネル難工事では、軟弱で膨張性の新第三紀四ッ役層の地質性状、地山挙動等について貴重な資料を得ることができ、これらを踏まえ現在本工事を進めている。

現時点では土被りが70m程度のため、内空変位置も70～100mm程度と小さく、工事も順調に進んでいるが、今後は土被りの大きな区間や湧水により地山条件が悪くなる区間もかなりあることから、さらに綿密な管理を実施し、地山条件の変化に適切に対応し施工を進めたい。