

東北新幹線岩手トンネルの

膨張性地山における計測と施工

THE FIELD MEASUREMENT AND EXECUTION OF THE IWATE TUNNEL ON THE TOHOKU SHINKANSEN IN A
STRONGLY SWELLING GROUND.

佐藤重知*・伊藤与喜男**・一條 勝***

Shigetomo SATO, Yokio ITO and Masaru ICHIJO

The geological condition of the Ichinohe contract section in Iwate Tunnel is affected by tuff containing montmorillonite which has strong swelling tendency and a generally low degree of solidity making this the most geologically difficult contract section.

This paper will report on the various construction measures which were performed in all stages of tunnel construction from excavation to lining in swelling ground with convergence exceeding 800mm.

Keywords: strongly swelling ground, steel support with wing ribs, NATM General Jumbo
steel fiber reinforced concrete

1. はじめに

東北新幹線盛岡・青森間延長約 190kmは、中間部の沼宮内・八戸間の約60kmが標準軌新幹線、前後の盛岡・沼宮内間及び八戸・青森間の約 130kmは在来線を活用する新幹線鉄道直通線として平成3年8月に工事実施計画が運輸大臣から認可された。沼宮内・八戸間のうち85%にあたる約51kmはトンネルが占め、なかでも岩手トンネルは延長25.8kmに及ぶ長大山岳トンネルで、完成すると陸上の鉄道トンネルとしては世界最長となる。

このなかで一戸工区の地質は新第三紀の凝灰岩で、モンモリロナイトを含み膨張性を呈するため、整備新幹線難工事推進事業の一環として、平成元年より2年間にわ

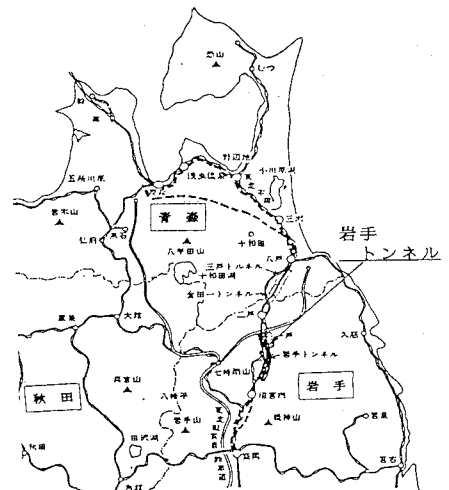


図-1 位置図

* 正会員 日本鉄道建設公団盛岡支社 一戸鉄道建設所長

** 日本鉄道建設公団盛岡支社 設計係長

*** 正会員 鹿島建設株式会社 岩手トンネル鹿島・五洋・伊藤組土建JV工事事務所 工事課長

たり調査工事を実施した。この調査工事では最大 400mmの内空変位を経験している。平成3年11月、本工事に着手したが、700m掘削した地点で800mmを超える膨張性地質帯に遭遇した。本報告は、この地質で実施した、掘削から覆工までの対策とその効果及び得られた知見について述べるものである。

2. 一戸工区の地質概要

一戸工区の延長は3,540mで、地質は四ツ役層を主体としており、東京方約2.8kmは、凝灰岩及び砂質凝灰岩で、モンモリロナイトを含む膨張性地質で、青森方約0.8kmは、凝灰角礫岩及び安山岩質凝灰岩である。この地質の境界付近は断層破砕帯と想定されている。岩の一軸圧縮強度は、20～200kgf/cm²で、湧水量は比較的少なく、全体で400ℓ/min程度となっている。また、土被りは40～190mである。

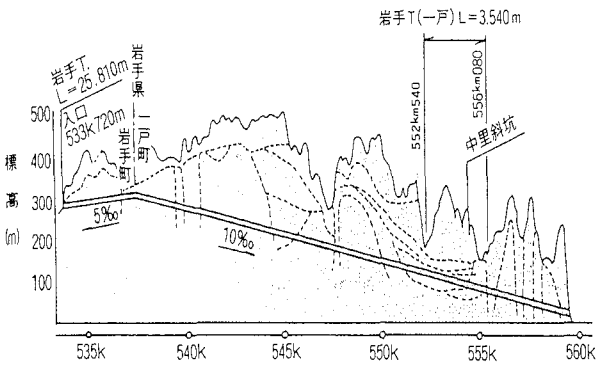


図-2 トンネル縦断面図

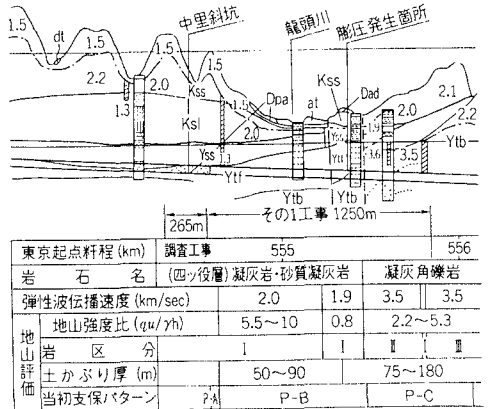


図-3 地質縦断面図

3. 当初支保パターンと施工要領

当初支保パターンは、地質状況に対応して表-1に示す3種類とした。掘削はブームヘッド8Jによる機械掘削とし、ベンチ長55m程度の上・下半併進で施工し、インバート閉合時の切羽との離れは60～70mで計画した。実施工も、掘削開始(554k600m)から約650m(555k250m付近)までは、この掘削方法で行った。

表-1 支保パターン

	支保パターン	支保間隔	鋼 製 支 保 工	吹付けコンクリート厚	ロックボルト	変 形 余 裕 量	掘削断面積
当初	P-A	1.0 m	200 Hリブ (上下半)	最少厚25cm	ℓ=4.0m 26 本	上半20cm 下半12cm	8.9 m ²
	P-B	1.0 m	150 H (上下半)	最少厚20cm	ℓ=4.0m 20 本	上半10cm 下半6cm	8.5 m ²
	P-C	1.0 m	125 H (上半)	最少厚20cm	ℓ=3.0m 12 本	上半0cm 下半0cm	8.3 m ²
変更	P-A2	0.75m	200 Hリブ (上下半)	最少厚30cm	ℓ=4.0m 26 本	上半30cm 下半18cm	9.1 m ²

4. 膨圧発生の経緯

4・1 変位の状況(図-4参照)

平成3年11月の掘削開始から650m間の変位量は、最大150mm程度で調査工事で経験した範囲で推移したが、675m(555k275m)付近から急に内空変位も大きくなり、700m(555k300m)付近では日最大変位量が150mmを超え、最終的には、内空変位量860mmに達する膨圧区間に遭遇した。切羽の変位量の増大に伴い、既掘削区間の変位も収束傾向を示さず、また切羽に水がつき自立しない場所も出てきたことから、切羽を止め、抜本的な施工法の検討を行うため切羽前方の水平ボーリングを行った。

勾配 距離 計測位置															
土かぶり	60.8	69.8	70.1	70.4	70.7	70.2	69.7	68.9	67.7	66.4	65.8	65.5	65.9		
一軸圧縮強度 単位体積重量	22.5tf/m ² 1.705tf/m ³	0.22	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20		
支保パターン 当初	P-B														
保施工	P-B	P-B	※ 上段は継ぎ返し前 下段は継ぎ返し後			P-A	P-A2		P-A2		P-A2		P-A2		

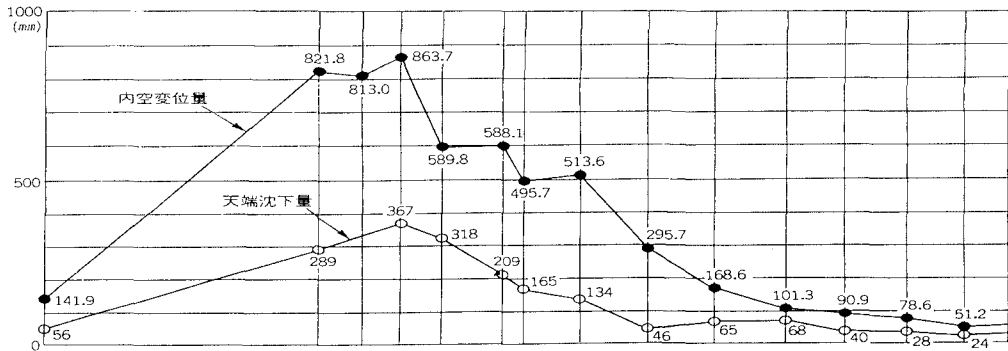


図-4 変位発生図

4・2 施工法の検討結果

水平ボーリングの結果、膨圧区間は 100m 程度続くことが判明し、岩石試験では、一軸圧縮強度 2.2kgf/cm²、膨張率30%と膨潤、膨張性に対して非常に高い値を示した。以上のことから施工法を検討の結果、この圧区間の掘削は支保パターンのランクアップ及び種々の補強工の採用により行うこととした。

- ① 支保パターンを P-B から P-A に変更したが、変位が収まらず日最大変位量も大きく、P-A 2 に変更（表-1 参照）。
- ② 変位抑制と上半盤の盤膨れ対策として、吹付コンクリートによる上半盤の仮閉合の実施、しかし時間経過とともに、盤膨れにより破壊するため、鋼製ストラットを追加（図-5 参照）。
- ③ 下半の盤膨れ対策として、インバート鉄筋コンクリートの採用と鋼製ストラットの追加。
- ④ 切羽の安定とゆるみ防止対策として、鏡面に対する吹付コンクリートとファイバーボルトの施工。
- ⑤ ベンチ長の短縮と早期閉合、下半とインバートの同時施工（図-6 参照）。

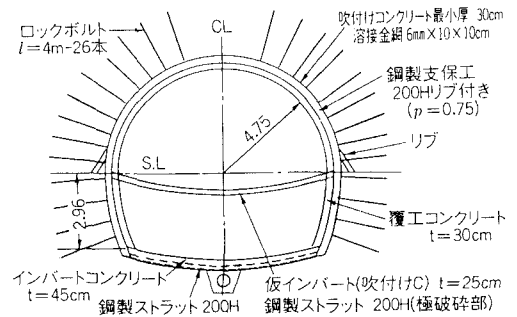


図-5 支保パターンと補強工

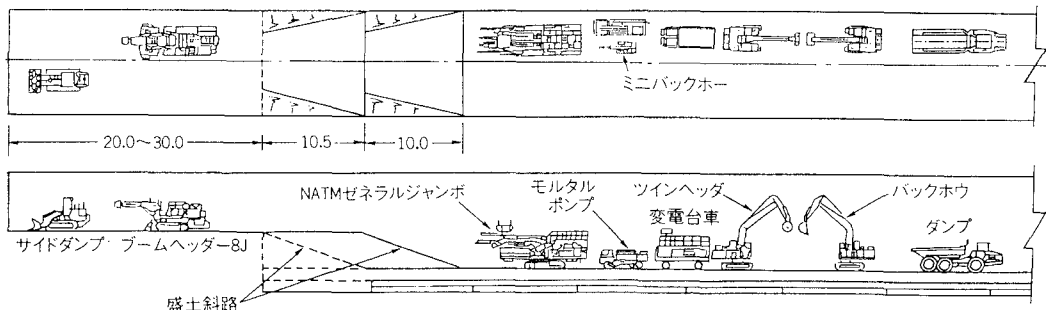


図-6 膨圧区間の施工要領図

5. 岩石試験結果

今回の膨圧区間の試験結果は、図-7
のダイヤグラムに示すとおりである。

全体的に岩石の強度がなく、地山強度
比も小さい値を示す。また、岩盤自体が
高い吸水膨張性を示し、自然含水比も59
%と高く、時間経過とともに切羽が剥落
する原因となっている。

6. 計測結果

6・1 測線別内空変位の経時変化（図
-8 参照）

① 555k314m

変位の勾配は非常に急で、しかも
切羽を止めても変位が継続的に発生
する。これは、支保力が絶対的に不
足しているためと考えられるが、上
半仮インバートは、変位抑制に効果
がある。またこの区間は、縫い返し
を行っているが、縫い返し後インバ
ートコンクリートを打設すること
により収束傾向に向かう。

② 555k342.5m

支保パターンは、P-A2で比較
的変位量は小さい。しかし、仮イン
バートが破壊すると変位は発生する。
この区間も、全体的には250mmの変
位量で変形余裕量30cmをとっている
が、押し出しが大きく、SL付近で
は400mmを超える変位となり、縫い
返しを実施した。

③ 555k364.25m

555k342.5mでは、上半仮インバ
ート（吹付コンクリート）が破壊し、
変位が継続して発生するため、仮イン
バートに鋼製ストラットを追加し
た。この結果、変位量も小さくなり、
この膨張性地質に対しては、有効な
支保パターンであった。

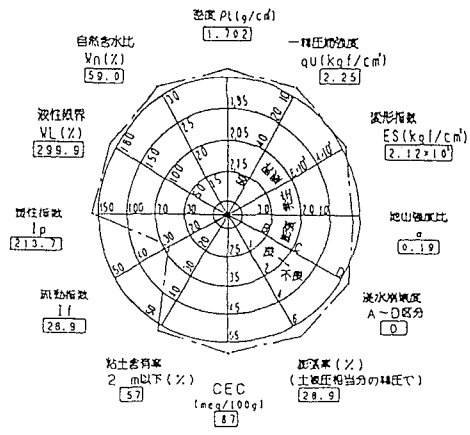


図-7 ダイヤグラム

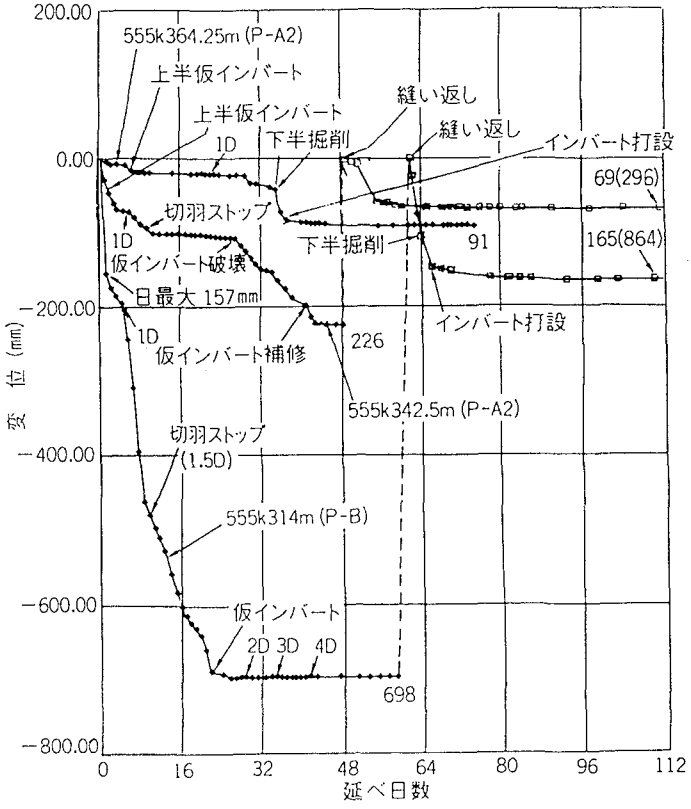


図-8 各測線経時変化図

表-2 3測線の状況

位 置	支 保 パターン	上 半 壁 の 補 強	閉合までの ベンチ長	備 考
555k 314m	P-B	無	55m	縫い返し
555k 342.5m	P-A2	吹付+仮閉合	30m	
555k 346.25m	P-A2	吹付+ストラット+仮閉合	25m	

④ 3 測線の対比と施工法

555k314mは膨圧が大きく支保パターンの確認、縫い返し等の影響があるため、閉合するまでかなりの時間を要した。555k342.25m及び364.25mの施工では、ベンチ長を20～30mで施工し、早期閉合を図ることにより変位抑制に効果があった（表－2参照）。

6・2 日最大変位量と最終変位量

日最大変位量と最終変位量については、図－9に示すとおりであり、調査工事で実施した推定線の中に収束する。

6・3 1 D変位量と最終変位量

1 D変位量についても図－10に示すとおりであるが、調査工事の結果にプロットすると、ほぼ同様の傾向を示している。これについても、データの精度向上に寄与している。

日最大変位量、1 D変位量とも今回のデータを追加し、掘削管理基準の見直しを行い、その後の掘削に活用した。

6・4 変位量の発生状況

内空変位量の発生状況は左右均一ではなく、左右の比率は25%：75%と異方性である。一方、上半盤では約80cm程度の盤膨れが見られた。

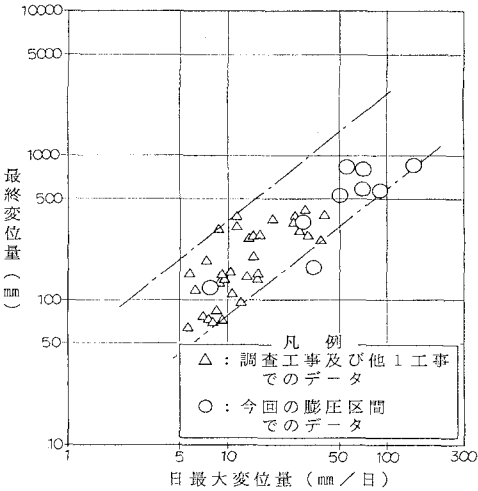
7. 膨圧区間の二次覆工

7・1 インバートコンクリート打設後の変位状況

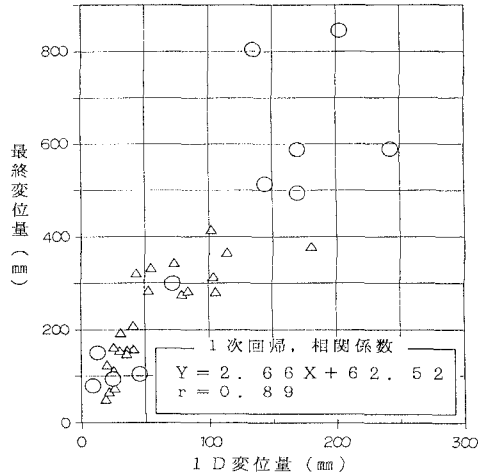
インバートコンクリート打設後の変位状況は、表－3に示すとおりである。変位はインバート打設後にも動きが見られ、インバートコンクリート打設後、約8カ月経過しても収束と判断できない区間もある。

7・2 二次荷重の推定と二次覆工仕様の検討

調査工事の段階から一次支保及び二次覆工でB計測を実施しており、A計測の結果と合わせて図－11に示す解析フローに従って、変形速度と二次荷重の関係を推定した。インバート打設後の変位量に基づき二次荷重を推定し、この膨圧区間での二次覆工の必要曲げ強度を60kgf/cm²とし、SFR Cの配合を設計した。



図－9 日最大変位量－最終変位量



図－10 1 D変位量－最終変位量

表－3 インバート打設後の変位量

位 置	変 位 量	増加量	計測日数	変位速度
555k 305m	14.0	0.2	242	0.06
310m	19.8	0.4	242	0.08
314m	19.6	0.2	242	0.08
319m	17.0	0.4	235	0.07
326m	38.4	1.8	235	0.16
329m	20.3	1.6	230	0.09
335m	15.1	0.5	221	0.07
342.5m	10.0	0.3	219	0.05
平均＝0.66/8 ＝0.082mm/day				

7・3 SFRCの配合

曲げ強度 60kgf/cm^2 を満足すべき配合を決定するため、鋼繊維長、混入量、水セメント比を因子とし、8ケースについて実験計画に基づき試験練りを実施した。その結果、鋼繊維長及び混入量の2因子が有意となった。これらの結果から、必要曲げ強度を満足し、しかも経済的な配合を選定した。

7・4 SFRCの施工

① 強度について

SFRCの強度は4週強度で圧縮応力が平均 356kgf/cm^2 、曲げ強度で平均 84.3kgf/cm^2 の値を示しており、設計基準曲げ強度を十分に満たしている。

② 応力について

覆工に作用する応力測定の結果は、図-12に示すとおりで、特に下半右側に曲げ応力が作用している。これは変位の発生状況と同様で、また応力を解析すると 3.6tf/m^2 で、二次荷重の推定結果 3.4tf/m^2 と、ほぼ一致した。今後の二次覆工仕様選定上、この推定式を十分活用できる。

③ その後の二次覆工

SFRC打設後約10カ月経過したが、観察調査を行っている。現在、クラック等の変状は発生していないが、今後も追跡調査を行う。

8. おわりに

① 膨張性地質においては、地山特性、変位特性を的確に把握し、初期変位を速やかに計測し、早期に支保力を評価することが大切で、迅速な対応が必要である。

② 一次支保のみでは変位が収束せず、二次覆工に荷重が作用するため、SFRCを採用した。一般的には、一次支保に適切な支保力を導入し、覆工に荷重を作用させないことが構造の安全上重要と考えられるが、クリープ的な変位の大きい膨張性地質においては、一次支保だけでなく、二次覆工にも荷重を分担させるような支保構造の検討も進めていきたい。

③ 膨張性地質において、一つの試みとして二次覆工前の変位速度から二次荷重を推定した。その結果から、二次覆工の仕様を検討した。膨張性地質における二次覆工を検討する上で、一つの参考になると考える。

④ 今後土被りが190mに達する地点を通過するため、かなりの変位の発生が予想され、今までの経験をふまえて、さらに計測管理を充実し、工事を進めていきたい。

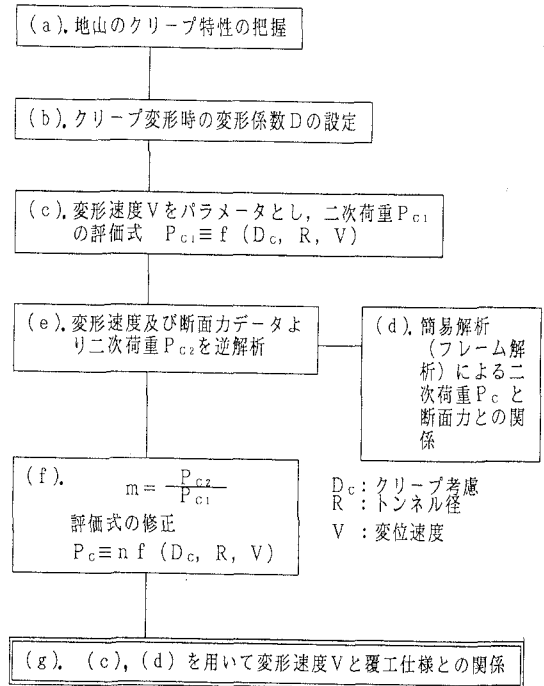


図-11 解析フロー（変位速度・二次荷重の関係）

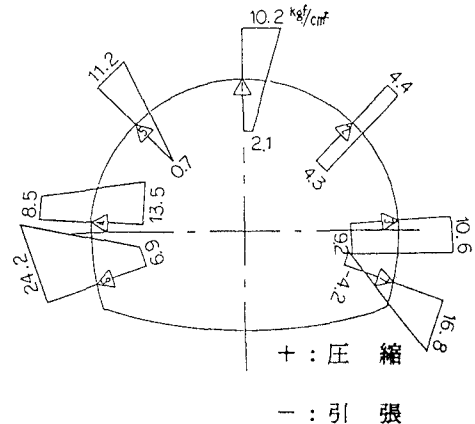


図-12 計測結果（覆工内応力）