

高速道路直下のトンネル坑口部補助工法 (パイプルーフ施工) について

The Report on the Pipe-roofing Method, the Supplementaly
Construction at the Tunnel Portal right under the Expressway

吉田良勝¹・林雄一郎²・田澤次雄³・山田伸夫¹・坂本欽司¹

Yoshikatsu YOSHIDA, Yuichiro HAYASHI, Tsuguo TAZAWA, Nobuo YAMADA, Kinji SAKAMOTO

¹正会員 国土交通省 磐城国道事務所 (〒970-8026 いわき市平字五色町8-1)

E-mail: yoshida-y82ac@thr.mlit.go.jp

²正会員 国土交通省 磐城国道事務所 (〒970-8026 いわき市平字五色町8-1)

³国土交通省 磐城国道事務所 (〒970-8026 いわき市平字五色町8-1)

¹株式会社 竹中土木 東北支店 合戸作業所 (〒980-0803 仙台市青葉区国分町3-4-33)

The tunnel work, on National Highway Route 49 in Iwaki City, Fukushima Pref., is progressing as a part of the Kita-Yoshima Project for prevention of disasters. The end-side portal of the tunnel is located right under the Ban-etsu Expressway, and the allowable settlement of the the expressway is 30mm. In addition, we forecasted in the phase of planning that the quality of soil there had been changed by weathering.

In this report, we try to reevaluate the stability at the tunnel portal using Pipe-roofing method, which had been proposed as the supplementaly one, as we have obtained practical data on the nature and behavior of soil throughout the tunnel work. We also introduce the actual conditions of construction administration

Key Words : observational construction system, back analysis, pipe-roofing method,

1. はじめに

一般国道49号は、いわき市を起点として南東北と北陸地方を結ぶ産業・経済・文化の交流を支える広域的な主要幹線道路である。この路線のうち、いわき市三和町好間町北好間から三和町合戸の全区間(L=6.4km)は、豪雨等の異常気象時に地滑りや落石の危険があることから事前通行規制区間(連続雨量150mm以上全面通行止め)に指定されている。

こうした状況を解消し、地域住民や道路利用者の安全を守り道路の信頼性を確保するため「北好間防災」事業(L=2.0km)に平成11年度着手した。

本事業の一環である合戸トンネル(仮称)は、延長1385mで、本トンネル終点側坑口部は、供用中の東北横断自動車道いわき新潟線(磐越自動車道)と交差する構造となる。交差位置は終点側坑口から約55mの地点で、交差角44度、土被りは9~11m(0.68D~0.83D)である。本区間の掘削にあたっては、補助工法としてパイプルーフ工法を採用し平成16年9月に掘削を終了した。

本報告では、補助工法として計画設計段階で提案されたパイプルーフ工法の安定性について施工段階で得られた地山条件を加味した上で再評価、検討するとともに本工法の施工管理の実際を紹介する。

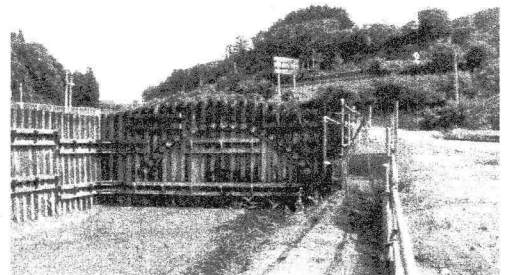


写真-1 パイプルーフ工の施工状況

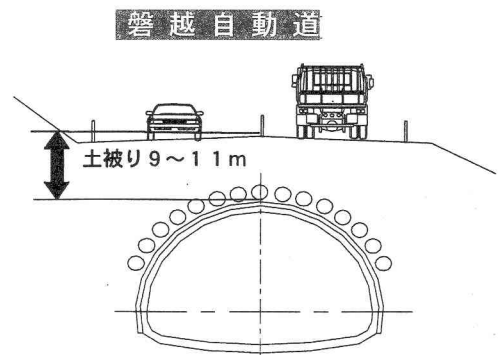


図-1 磐越自動車道との位置関係

2. 地形地質

2-1 地形概要

終点側坑口部は、牧場と高速道路の建設によって山腹斜面が切り取られた地形（写真-2）となっている。

2-2 地質概要

終点側の坑口部付近にあたる谷部が第四紀断層の「赤井断層」に沿った断層破碎帯とされており、坑口部は断層破碎帯とその経時変化による沖積層が堆積している。

本トンネル施工箇所である磐越自動車道直下は、地質調査結果より熱変質帯が分布している箇所と報告されており、その性状は風化進行が著しく、変質・風化により土砂化した層が、複数帯状に存在する。

この土砂化した層は、トンネルと $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ の交差角をもって交差する位置にある。

本トンネルの掘削対象地山の主となる部分は、C L級岩盤と想定されるが、上記した変質・風化により土砂化したDL～DM層がトンネル断面を貫通した状態で複数存在することが予測されていた。また

天端上方も、この土砂化したDL～DM層が大部分を占める。この位置の新鮮な母岩は、起点側と同様に花崗岩閃緑である。このことから変質・風化した土砂も「マサ土」と同じ性状を有すると考えられる。風化の進行は、断層、節理等の亀裂の状態、母岩の鉱物組成、粒度組織等により差が生ずることから、同一深度でも地山の硬軟、安定状態が局部的に変化する事が予測されていた。（図-2）



写真-2 トンネル終点側坑口部付近

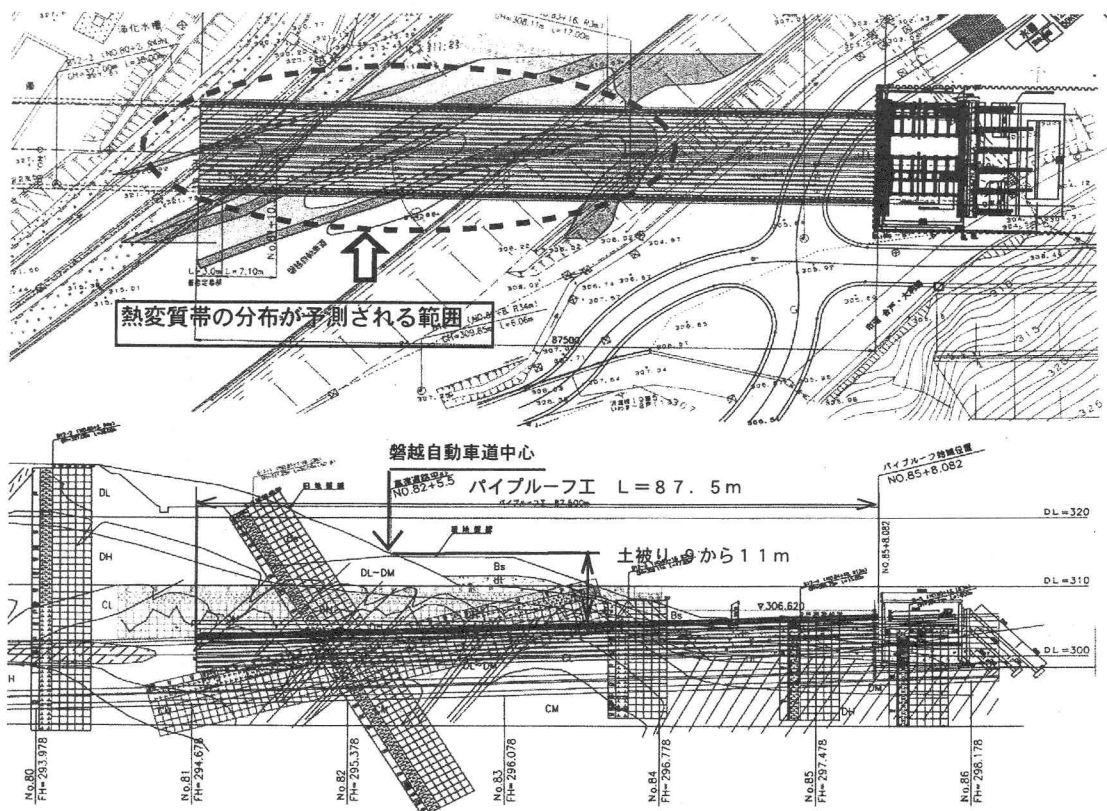


図-2 終点側坑口部地質分布図

3. 施工データ調査解析

3-1 起点側施工データーを活用した逆解析

本トンネル起点側は発破掘削工法によるNATMで掘削を開始した。起点側坑口付近は、特殊土として位置づけられるN=10～20の脆弱な「マサ土」がトンネル切羽から地表部にかけて分布している。さらに、掘削を開始した時点で、地下水の湧出が生じ、トンネル掘削安定の確保が困難となり、施工に注意を要する区間であった。

実測された内空変位データーによると、限界変位量の50%以上を示し、特に坑口付けからNo.18+10m付近までは、直上に東北電力の既設導水路トンネルが存在していることもあり、測定データが限界変位量に近き、AGF工による長尺先受け効果のほかに、仮インバート工を設置し早期閉合によるトンネル安定対策工法を複数必要とした。総合的には、当該区間に設置した長尺鋼管先受け工（AGF工）が有効に機能したと判定される。

終点側の坑口部付近では、重要構造物である「磐越自動車道」との交差を計画しており、計画段階における「合戸トンネル施工検討委員会」で2次元FEM解析による安全性評価が実施されているが、特殊土と分類される「マサ土」は、今後、合戸トンネルの施工を進めるにしたがい、終点側で再度出現する地質であるため起点側の観測データを基に、2次元FEM逆解析を実施し、特殊土である「マサ土」の物性値を再評価した¹⁾。この結果から当初設計時に採用した地盤の変形係数と、今回の逆解析で得られた地盤の変形係数を表-1に示す。

表-1 逆解析で得られた地盤の変形係数 (MN/m²)

地 層	設計計画時値	逆解析値
DL 層	9.80	26.46
DM 層	49.00	35.28
Dt 層	0.98	9.80

* 側圧係数 $K_0 = 0.99$

坑口付近における地盤物性値を用いて、終点側「磐越自動車道」との交差安全性について、再度FEM解析を実施し、終点側の補助工法として計画しているパイプラーフ工の再評価を実施した。

3-2 終点側順解析による再評価

逆解析より得られた地盤物性値を用いて、本トンネル掘削施工時における「磐越自動車道」の安定解析（2次元FEM順解析－許容路面沈下量30mm以内）を実施した解析検討断面は、計画設計段階の2

次元FEM解析で最大変位量を示した、高速道路中心断面（No.82+5.5）を選定し検討した（表-2）。本検討におけるパイプラーフの配置として、2種類を検討し、得られた知見は表-3に示すとおりである。

表-2 解析検討断面

測 点	No.82+5.5m
土 被 り	9m～11m
地 質	・トンネル天端～上方=DH層 ～DL層・Bs層 ・トンネル切羽面=CL層・DH層に熱水変質帯（DL層）が鉛直に貫入
支保パターン	DⅢa-P
吹付コンクリート	250mm
ロックボルト	D25, L=4m, 6本
鋼製支保工	H-200
覆工コンクリート	350mm
補助工法	パイプラーフ工 φ508mm

解析断面

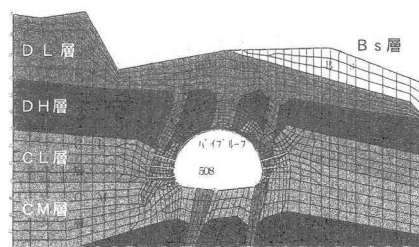


表-3 2次元FEM順解析結果

case-1	φ 508mm, t=12.7mm, パイプラーフ 21 本@ 800mm び ヱ ヅ 改良範囲 130° の仕様
結果	最終ステップで29.1mmの地表沈下となり高速道路の許容沈下量（30mm）を満足する。
case-2	φ 508mm, t=12.7mm, パイプラーフ 19 本@ 800mm び ヱ ヅ 改良範囲 120° の仕様
結果	最終ステップで31.6mmの地表沈下を示し高速道路の許容沈下量（30mm）を満足しない。

4・終点側パイプルーフ施工

2次元順解析結果により、当初設計（φ 508mm ,t=12.7mm,23 本@ 800mmピッチ、143° 改良範囲）を見直した仕様で施工を実施した。

施工に先立ちパイプルーフ終端部においてボーリング調査を実施、到達部の地盤状況を確認した²⁾。

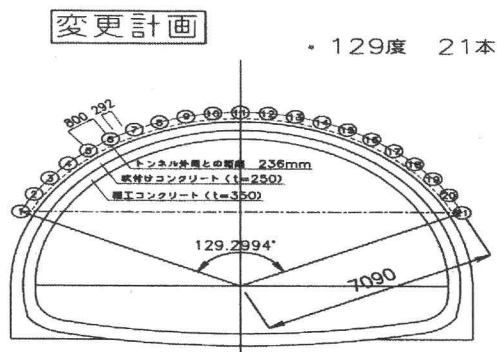


図-3 パイプルーフ施工断面変更計画

- * 合戸トンネル パイプルーフ配置
- * 21本@800mmピッチ (改良範囲 約 129°)
- * 推進角度 -3.5°勾配
- * 1本当たり 鋼管 STK400 φ508mm、
t=12.7mm、L=87.5m、
(14×@6000=84000+3500、)

4-1 パイプルーフ工の施工

本トンネルで用いられたパイプルーフ工法は、推進長が長い（L=87.5m）、高い施工精度が要求され、また、周辺地山は複雑な地層であるため、地盤の変化に対応する必要があった。これらの条件から、オーガ式掘削鋼管推進工法を採用した。

この工法は、鋼管内に設置したオーガビットにより地山を掘削しながら鋼管を非回転圧入方式で施工するものである（写真-3、写真-4）。

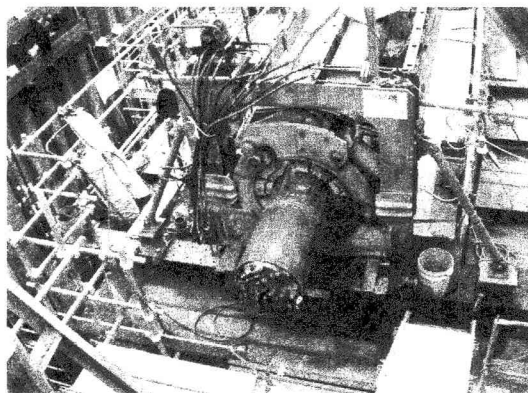


写真-3 先端オーガビット

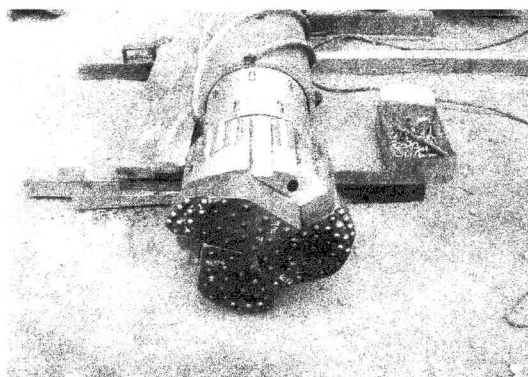


写真-4 硬質地盤掘削用エアハンマー

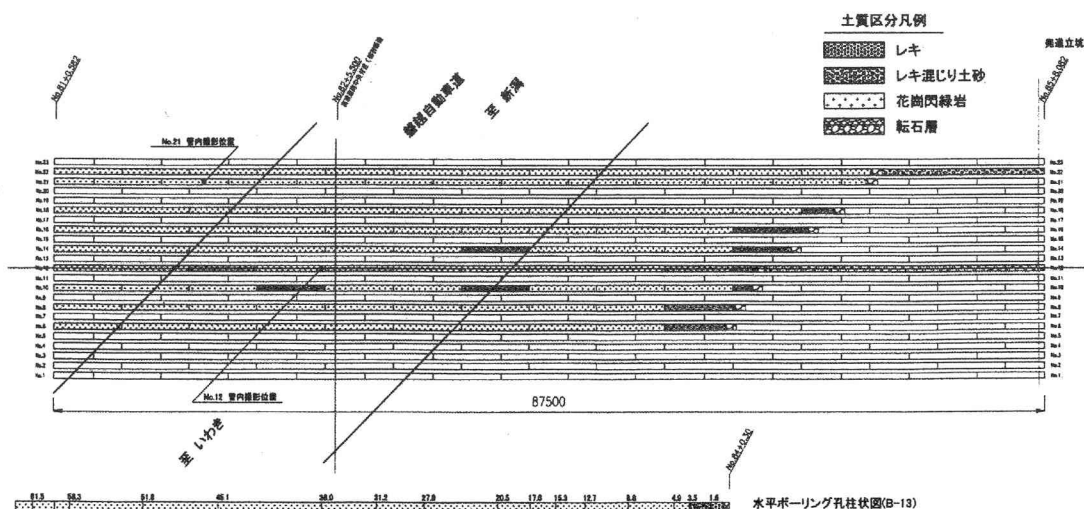


図-4 終点パイプルーフ工試験施工 (岩質実績)

4-2 試験施工結果（図-4、写真-6）

パイプルーフの施工に際し、先進孔として、①既往調査ボーリングデータと実際の土質データの照査（土質サンプルの採取）、②地山状態と推進力の推移（変化）の把握、③パイプルーフ掘進時の地山挙動の把握、④安定した地山に入るまでの区間におけるガイド管（サヤ管）の必要性の有無等、本施工における施工データを得るため、No.12（トンネル天端）、No.22（改良端部）の2孔において実施した。

また、トンネル天端付近に存在すると推定される熱変質帯（断層破碎帯）の分布状態を把握する目的で、その前後の孔において茶褐色を呈した削孔スライムを採取し解析断面付近で分布を確認した。

（1）地山状態と推進力の推移について

最大推進力は、No.12孔で70 t f、No.22孔で55 t fと、計画推進力（最大157 t f）に比べ最大約37～47％であり、現在使用している推進機TH-200（最大推力220 t f）で施工可能であることが確認された。

（2）推進精度及び周辺地山への影響

No.12、No.22 2孔での試験施工の結果、現在の推進機械（TH-200）で、施工勾配を（ $i = 3.2\%$ ）で推進す

れば、ガイド管無しで推進精度を確保することが可能であることが確認された。掘進時の周辺地盤への影響は、測定誤差（0～3mm）程度であった。

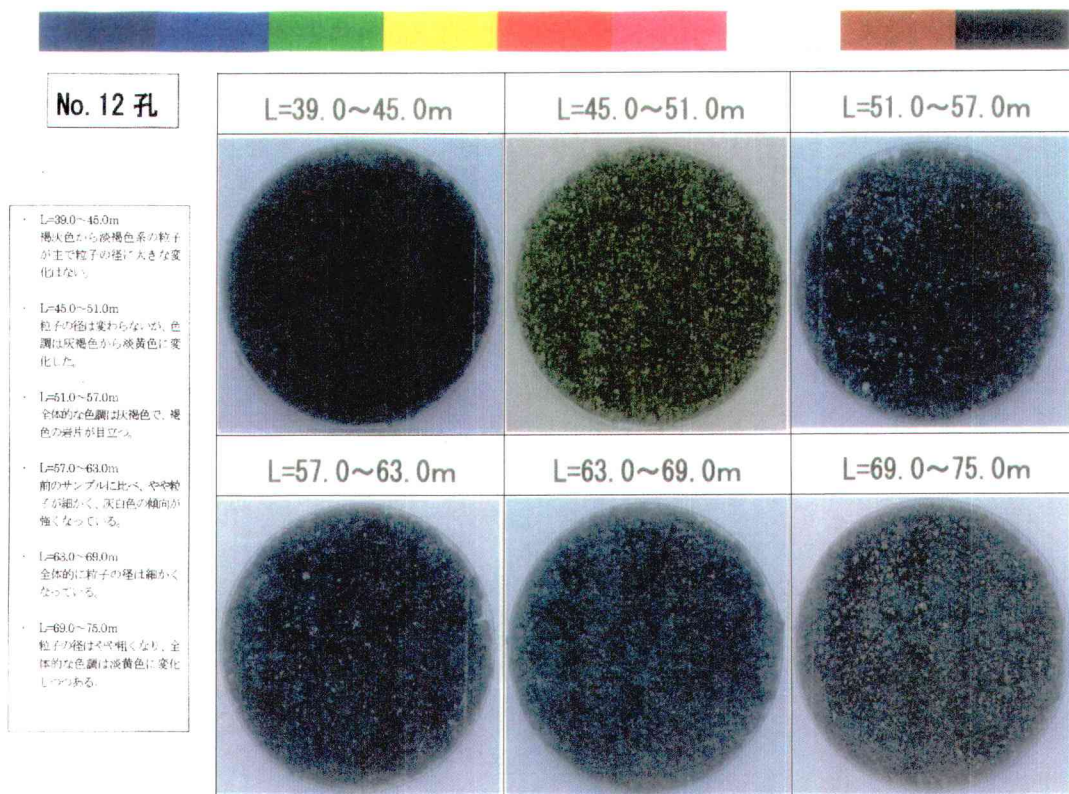
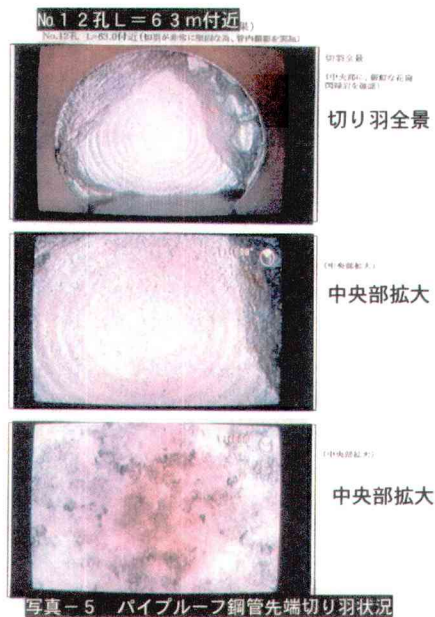


写真-6 終点側パイプルーフ試験施工における採取土質サンプル写真

5-2 地表面沈下計測方法

3次元自動追尾光波測距装置により、路面の変状をセミオート方式により自動計測した³⁾。

計測点は、トンネル影響範囲を考慮し、道路走行方向間隔5m、横断方向は横断構成主要位置（中央分離帯、路肩部、擁壁部等）とし格子状に87箇所設置した、図-7、図-8、縦断方向5測線(A~E)。

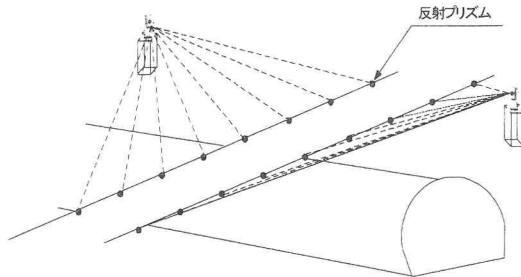


図-7

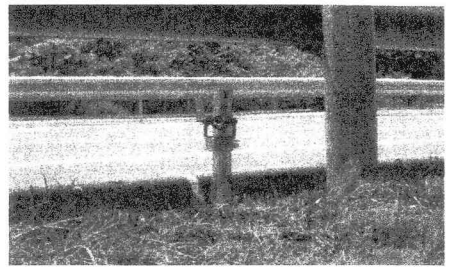


写真-8 地表面沈下観測ターゲット

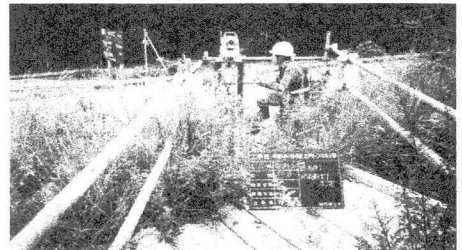


写真-9 地表面沈下観測状況

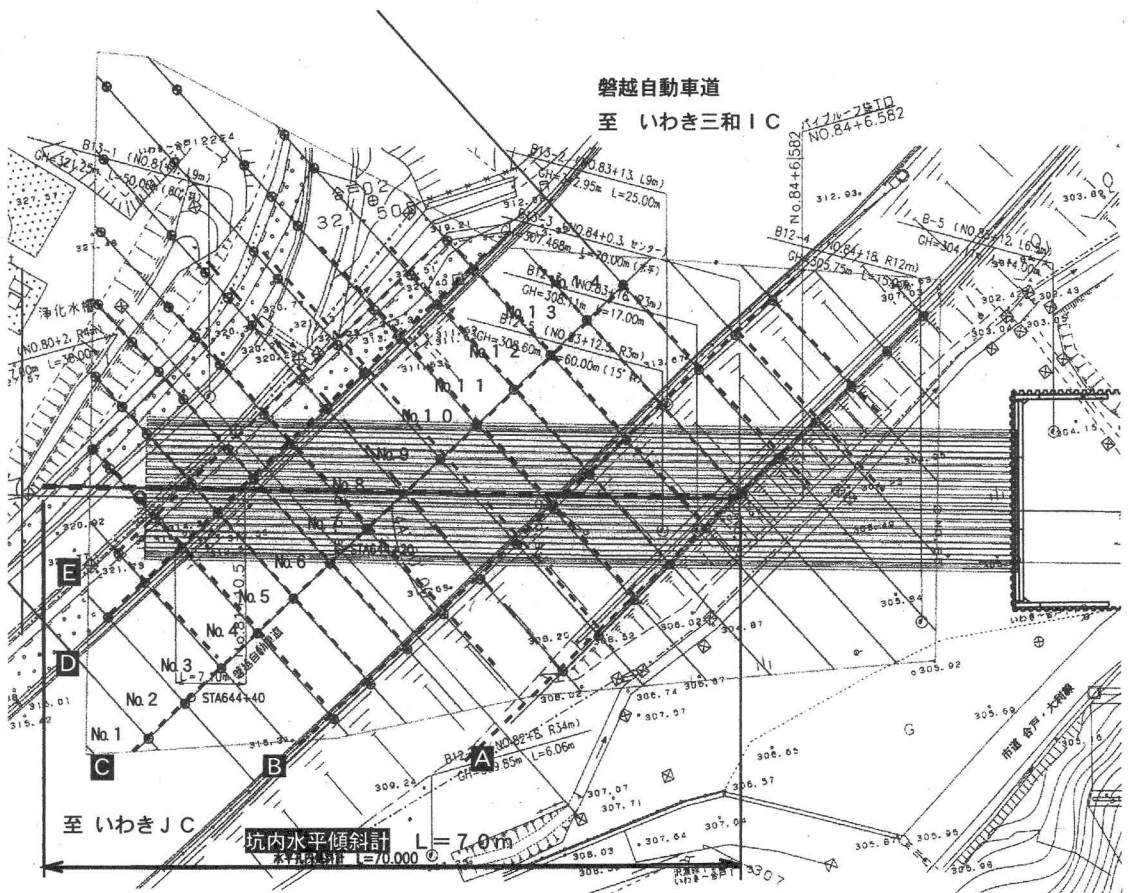


図-8 地表面沈下測定範囲及び坑内水平傾斜経観測範囲

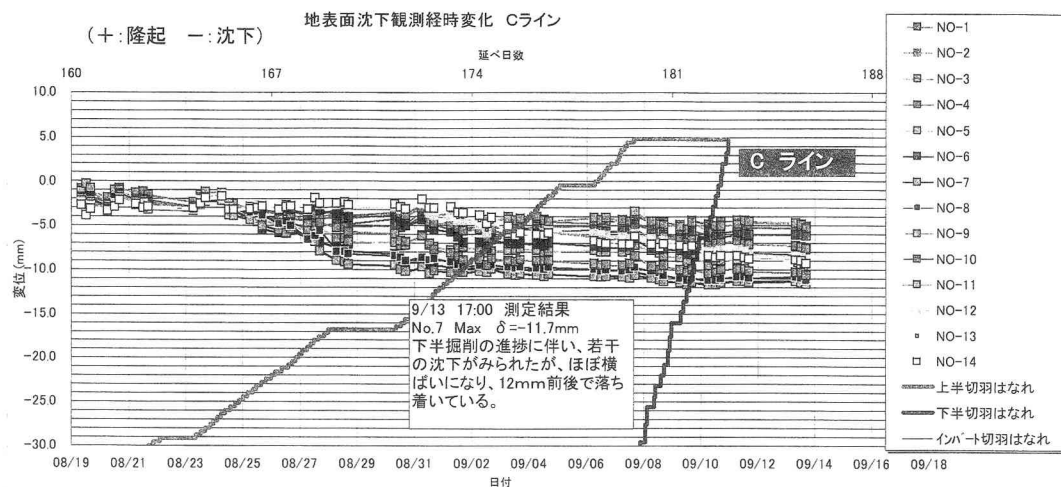


図-9 地表面沈下観測結果

5-3 孔内水平傾斜計による測定結果

1) 磐越自動車道路路面

L=20.0 ~ 50.0 付近、下り線路肩付近において最大変位-15mmを観測したが、大きな変動はなく収束した。

2) 磐越自動車道盛土法面部

L=0.0 ~ 20.0 付近において、最も土被りの薄い箇所(口元部)で最大変位-17mmを観測したが、その後変位は、地表面沈下とほぼ同調し収束した。

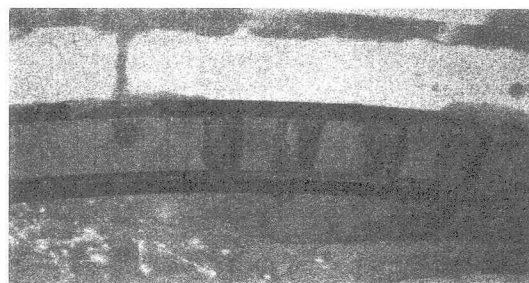


写真-10 パイプルーフ先端到達状況

5-4 地表面沈下観測結果

トンネル掘削の進捗と共に沈下が観測され、高速道路法面部(A No.11:-9.5mm)下り車線路肩付近(B No.11:-11.4mm)、高速道路中央分離帯部(C No.7:-11.7mm)、上り線側擁壁法尻部(D No.5:-10.3mm)、上り線側擁壁天端部(E No.3:-9.4mm)で、最大約-12mm程度(管理レベルⅡ)の沈下が観測されたが、掘削終了とともに収束が確認された。

6 パイプルーフ先端部到達状況

施工時においてパイプルーフ(鋼管φ508mm)とトンネル外周との余裕距離(236mm)を見込んで施工を実施した。一部に余裕距離内に到達した管が存在したが、トンネル掘削支保工上部にパイプルーフ先端部が無事到達していることが確認できた。(写真-10)

7 まとめ

本トンネル工事は、非常に厳しい施工条件であったが、事前に問題点を抽出し、その対策を的確に講じたため、磐越自動車道への影響を最小限に抑えることができた。今後、より合理的な情報化施工を実施するために多くの知見が集約される事が望まれ、本報告が同種工事の一助になれば幸いである。

謝辞：本トンネル工事を施工するにあたり、各方面からの有益なるご助言ご指導及び、ご協力を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 地山変位計測結果の逆解析に基づくパイプルーフ工法、施工時の情報化施工、土木学会論文集, No.714 / VI-56, pp.239-244, 2002.9
- 2) 齋藤重治：トンネルにおけるパイプルーフ工法・地盤、理工図書, 1982
- 3) 高速道路直下の極薄土かぶりを掘進管理で克服、つくばエクスプレス常磐道トンネル、トンネルと地下、第35巻1号, pp.239-244,