

長崎自動車道と低土かぶりで交差する 含水未固結地山におけるNATMの施工

— 九州新幹線 筑紫トンネル (山浦工区) —

Construction of NATM tunnel crossing Nagasaki Expressway with thin overburden in
water bearing uncemented ground

・ Kyushu Shinkansen, Chikushi Tunnel, Yamaura Section ・

永利将太郎¹・佐々木幸一²・武内繁一³・坂田和幸⁴・鈴木雅行⁵
Shotaro Nagatoshi, Koichi Sasaki, Shigekazu Takeuchi, Kazuyuki Sakata and
Masayuki Suzuki

¹正会員 鉄道・運輸機構 鉄道建設本部 九州新幹線建設局 鳥栖鉄道建設所 主任
(〒841-0026 佐賀県鳥栖市本鳥栖町字土320-20)

E-mail: sho.nagatoshi@jrtt.go.jp

²正会員 鉄道・運輸機構 鉄道建設本部 九州新幹線建設局 工事第一課 課長
(〒841-0026 福岡県福岡市博多区祇園町2-1)

³正会員 鉄道・運輸機構 鉄道建設本部 九州新幹線建設局 鳥栖鉄道建設所 所長
(〒841-0026 佐賀県鳥栖市本鳥栖町字土320-20)

⁴正会員 間・大本・梅林・深町 九幹鹿、筑紫T (山浦) 他 特定建設工事共同企業体
(〒841-0084 佐賀県鳥栖市山浦町字三本谷 29999-10)

⁵正会員 ハザマ 土木事業本部 技術第二課 (〒105-8479 東京都港区虎ノ門2-2-5)

Chikushi Tunnel of Kyushu Shinkansen is 11.9km long and the longest tunnel in Kyushu Shinkansen, and is under construction in divided four sections. Yamaura Section which is located in the end of Chikushi Tunnel crosses Nagasaki Expressway with thin overburden of 20m cover. Around the crossing point, groundwater level is high, and the ground is composed of decomposed granite and backfill. Therefore, the difficulty in construction was assumed from the first.

In this report, countermeasures in tunnel excavation, measuring managements and results of the construction around crossing point with Nagasaki Expressway are presented.

Key Words : Mountain tunnel (NATM), Countermeasure to ground surface settlement, Ground water lowering

1. はじめに

九州新幹線筑紫トンネルは、福岡県那珂川町から背振山系を貫き佐賀県鳥栖市に至る九州新幹線では最長となる延長約 11.9km の複線トンネルで、現在 4 工区に分割して施工を進めている。(図-1)。

そのうち、もっとも終点方に位置する山浦工区は、長崎自動車道(以下、「長崎道」という)と土かぶり約 20m で交差する。長

崎道交差部付近は自然地下水位も高く、未固結のマサ土および盛土で構成されるなど当初より困難な施工が想定された。

長崎道は交通量も多く、トンネル掘削により支障が生じた場合には社会的にも多大な影響を及ぼすことが懸念されることから、NATMの施工に際して確実な切羽の安定を図るとともに、厳しい道路面の沈下抑制が求められた。

今回は、長崎道交差部付近で実施した各種対策

工の内容と効果、トンネル施工に伴って実施した各種計測管理および施工結果について報告する。

2. 長崎道交差部の概要

筑紫トンネルは長崎道本線とおおむね直交するが、その手前で山浦パーキングエリア（以下、「PA」という）と隣接している。そのため、長崎道本線直下の施工に先立ちPA隣接部およびPA進入路下を掘削することとなり、その影響範囲はトンネル延長で180mに及ぶ（図-2）。

交差部で事前に4本の調査ボーリングを実施し、地形、地質の状況を確認した。

長崎道交差部付近の土かぶりは約20mであるが、上部約10mは盛土で構成されており、本来の地山厚としては10m程度である。盛土は周辺で発生した切土のマサ土が使われており、その下に数mの砂礫層、トンネル直上はN値の低いマサ化した強風化花崗岩で、トンネル断面付近は比較的N値の高いマサ化した風化花崗岩となっている。また、背振山系の豊富な地下水を背景に周辺の地下水位は高く、地表から数mの位置にある。

3. 事前の影響解析と計測管理

(1) 事前の影響解析

トンネル掘削による道路面の沈下量を予測し、地表面沈下抑制対策等について検討を行ったうえで道路管理者と協議することを目的として二次元FEM解析を実施した。解析に用いる地山物性値は、調査ボーリングの結果を使用し、補助工法としての長尺先受鋼管注入工（以下、「AGF」という）の剛性を考慮し、掘削工法はミニベンチ工法を想定した解析ステップとした。その結果、最終地表面沈下量として23mmが得られた。

(2) 計測管理

FEM解析結果を参考に道路管理者との協議の結果、長崎道交差部での地表面沈下量に関する管理値を設定した（表-1）。

地表面の計測は、長崎道本線とPA進入路の路肩および中央分離帯に測定用ターゲット

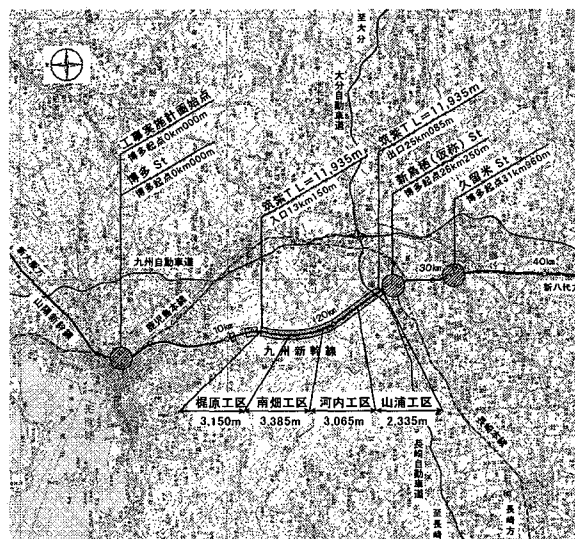


図-1 筑紫トンネル位置図

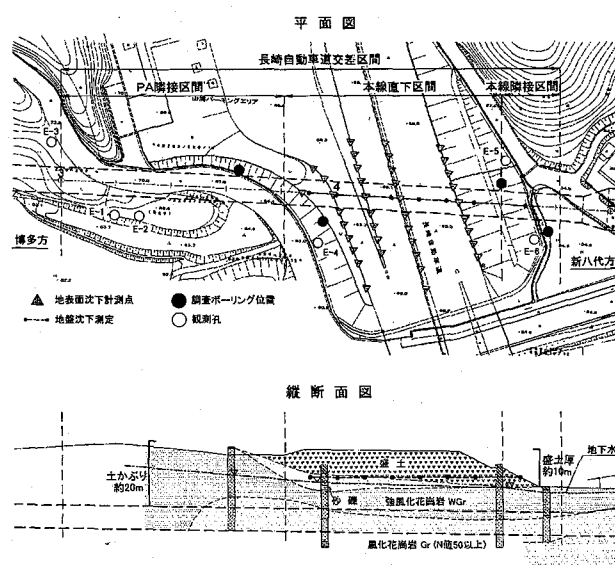


図-2 長崎自動車道交差概要図

表-1 地表面沈下の管理基準値と管理体制

管理基準値			管理体制
1次管理値	10mm	2次管理値 $\times 1/2$	注意体制 計測頻度強化 現場点検強化 作業員への注意強化
2次管理値	20mm	FEM解析値 より決定	要注意体制 計測体制強化 追加対策工の検討・協議 必要により実施
3次管理値	30mm	2次管理値 $\times 1.5$	厳重注意体制 施工の中断 原因の検討 対策工の検討・協議 対策工の実施

ットを設置し、三次元測定器による自動計測を行った。測定結果はリアルタイムにJV事務所のモニターに表示させ、必要に応じ24時間監視を行える体制とした。

また、早期に地中の動きを把握し、地表面沈下管理の一助とすることを目的として、トンネル天端と地表面のほぼ中間部に水平ボーリングを行い圧力式沈下計にて地中の沈下を測定することとした。

さらに、坑内B計測を実施し、支保部材の応力状況の把握と設計の妥当性を確認するとともにその後の追加対策等の検討のための資料を得ることとした。

図-2に地表面沈下計測のターゲットの位置および地中沈下測定位置を示す。

(3) 緊急時の対応について

長崎道交差区間のトンネル掘削において道路面に万一段差や陥没などが発生した場合、走行車両に有害な影響を発生させることがもっとも懸念された。そのため、道路管理者および警察との協議の結果、そのような事態が発生したときに迅速に通行車両に異常を知らせ車両の停止を図ることを目的として、交差部の約350m手前に上下線それぞれ仮設の電光掲示板を設置した(写真-1)。遠隔操作により電源を入れることができる設備とし、異常発生時には迅速に対応できる体制とした。

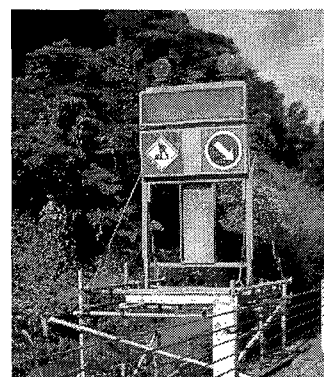


写真-1 仮設電光板

4. 掘削方法と沈下抑制対策の検討

(1) 地下水位低下対策工の検討

前述のように長崎道交差部の地質はマサ土化した強風化～風化花崗岩であることと、さらに地下水位が高いことから、切羽の安定を図り突発的な切羽の崩落等による地上への影響を避けるために、事前に地下水位を低下させることがもっとも重要であった。

トンネルにおける一般的な地下水位低下対策としては、以下の3つの方法が考えられるが、当トンネルにおける施工実績および検討結果から、それぞれを単独で用いるのは不十分であると考えられた(表-2)。このような状況で、事前に確実に地下水位を低下させる方法として、水平水抜きボー

リングとウェルポイントを融合させた方法(以下、「強制水抜き工」という)を計画した。

強制水抜き工は図-3に示すように、下半土平に設けたボーリング座より二重管による前方やや下向きの水平ボーリングを実施し、その中に揚水管を挿入後、真空ポンププラントにより先端から揚水するものである。

この方法は、九州新幹線麦生田トンネルのシラス層における実績を参考としたものであるが、長崎道本線直下の対策として採用するため、より慎重な施工を行う必要があることから、当トンネルのマサ土層における効果については、地上に複数の観測孔を設置し、地下水位低下の状況を確認しながら施工を進めることとした。

表-2 一般的な地下水位低下対策

	一般的な地下水位低下対策	問題点
①	水平水抜きボーリング	実績より、切羽到達時に上半天端付近まで低下させるのが限界
②	ディープウェル	近隣で実施した揚水試験結果では、地下水位低下範囲が狭い ディープウェルを長崎道敷地内の設置が困難
③	ウェルポイント	切羽近傍のみの対応となるため、ミベング工法による早期閉合という施工サイクルでは地下水位低下の遅れが懸念される

さらに、不良な地質のもとで沈下の影響を管理値内に抑制するために地表面沈下量を20mm以内で管理することとした。

長崎道交差部手前の土かぶり20～30mの範囲における一般施工区間での掘削に伴う地表面沈下量の実績は、おおむね30mm～40mmとなっており、これを20mm以下に抑えるためには、各段階における沈下要因に対してそれぞれ対策工を実施することが必要と考えられた。対策の内容は表-3のとおりである。

(2) 沈下抑制対策の検討

以上を踏まえて設定した基本対策パターンを図-4に示す。本線直下区間については、PA隣接区間より鋼製支保工のサイズアップおよびAGF施工範囲の拡大により確実な沈下抑制を図ることとした。

掘削はベンチ長5～7mのミニベンチ工法とし、6mごとに仮インバートによる早期閉合を実施するサイクルを採用した(図-5)。

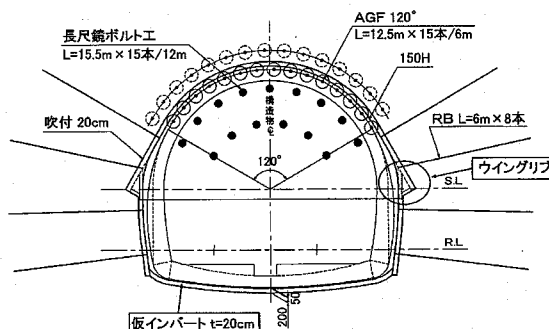
表-3 各施工段階での沈下抑制対策

	各施工段階での地表面沈下抑制内容	対策工
①	切羽到達前の先行沈下対策	AGF (L=12.5m) 長尺鋼ボルト (L=15m)
②	上半脚部沈下対策	ウイングリブ付鋼製支保工
③	内空変位抑制対策	長尺鋼ボルト (L=6m) H-200 鋼製支保工 (本線直下区間)
④	早期閉合による変位・沈下抑制対策	ミニベンチ工法+下半仮インバート

表-4 追加対策工の実施基準

計測項目	切羽到達時	仮インバート施工時
地表面沈下量	10mm	15mm
坑内A	天端沈下	20mm
計測	内空変位	35mm

PA隣接区間および本線隣接区間
※ cto 1.0m



本線直下区間
※ cto 1.0m

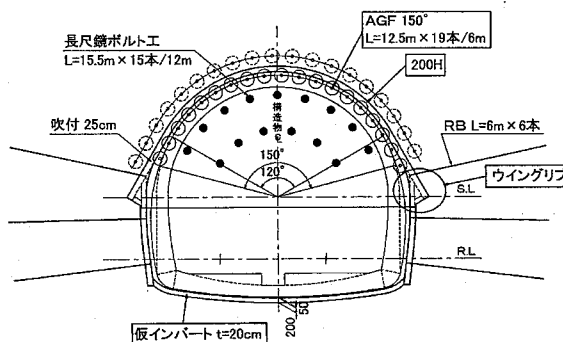


図-4 基本対策パターン図

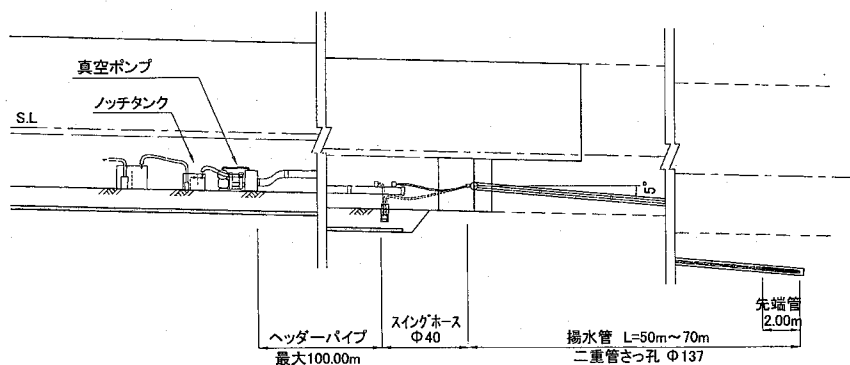


図-3 切羽前方の強制水抜き工計画図

5. 施工結果

(1) 強制水抜き工の施工状況と効果

強制水抜き工の施工時期や1回当りの施工延長は、観測孔による地下水位観測結果により判断しながら施工を進めたが、おおむね掘削が30m程度進むごとに延長50m～70mの水抜き工を左右に設置した。

代表的な強制水抜き工の施工に伴う観測孔の地下水位低下状況を図-6に示す。観測結果は顕著な地下水位低下効果を示している。切羽到達前に確実な地下水位低下が図られており、切羽は常に乾いた状態で施工することが可能となった。

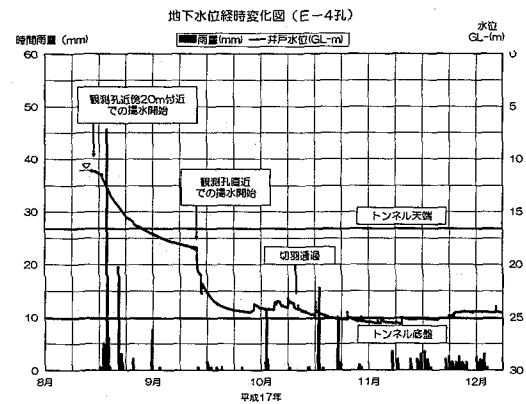


図-6 観測孔の水位低下状況

(2) P A 隣接区間の施工状況

沈下抑制対策については、P A 隣接区間より本線直下に向かって、沈下の状況に応じ、順次対策工を追加した。図-7に実施した対策工の内容と地表面沈下グラフとを対比して示した。これによれば、対策工を順次追加するごとに地表面沈下量が小さくなる様子が伺える。

また、坑内B計測として実施した鋼製支保工の応力測定結果を図-8に示す。下半部の軸力負担が少なく大部分を上半部で受け持っている。これはウィングリブによる支持効果が高く、沈下抑制に寄与していることを示していると考えられることから、本線直下区間でも引き続き採用することとした。

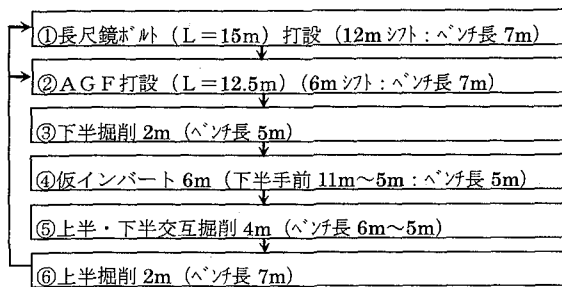


図-5 施工フロー

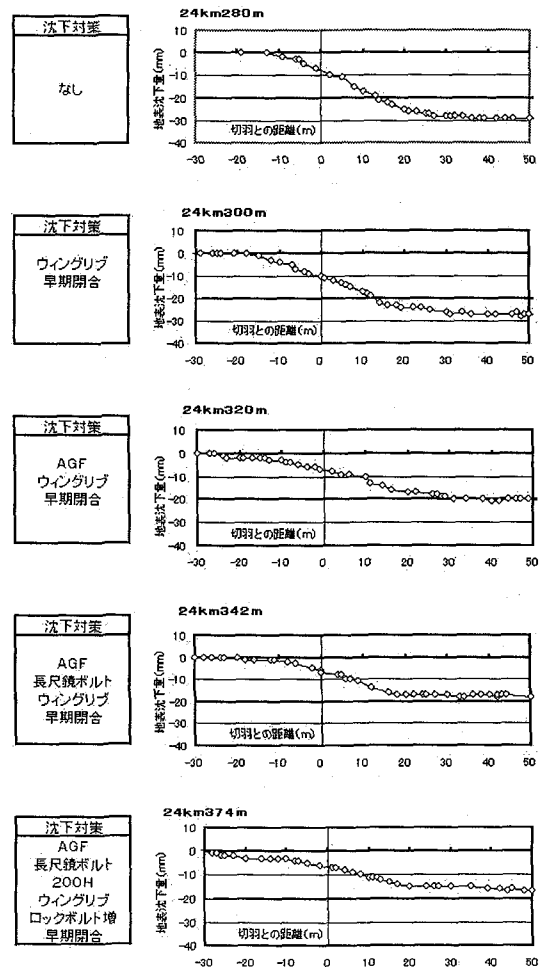


図-7 沈下対策ごとの地表面沈下推移

(3) 本線直下区間の施工状況

P A 隣接区間の計測結果の実績を分析し、地表面沈下量 20mm 以内に抑制するために沈下・変位量について、切羽到達時および仮インバート施工時の管理値を設定し（表-4），追加対策工の実施基準とした。

図-9 に本線直下区間の地表面沈下自動計測結果を示す。本線直下に近づくにつれ切羽の地質状態も不良となったことから、地表面沈下量および内空変位が増加傾向を示した。次第に計測値が追加対策工の実施基準値にせまり最終的に 20mm を超えることが懸念されたため、本線車道直下の延長約 30m 間については、図-10 に示す追加対策工を実施した。その結果、いずれの測点においても目標とした 20mm 以内の地表面沈下量に抑え、交差部の施工を終了することができた。

6. おわりに

交通量の多い長崎道の直下を、約 20m の低土かぶりで盛土を含むマサ土状の強風化層でかつ地下水位が高いという施工が困難な条件の中で、支障をきたすことなく厳しい地表面沈下管理値をクリアして掘削を完了することができた。

今回採用した強制水抜き工による地下水位低下対策は当トンネルの地質条件に適していたため、非常に高い効果を得ており、長崎道交差部以降の低土かぶり区間も継続して施工している。

また、地表面沈下抑制対策については、事前解析とそれに基づく対策工の選定、施工および計測に基づくフィードバックが適切に実施できたものと考えている。

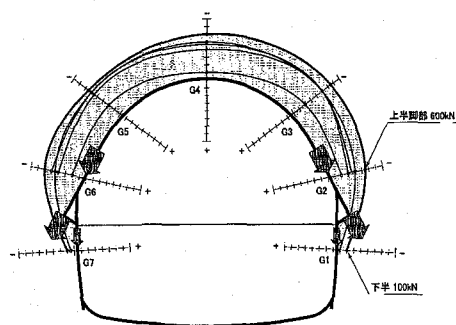


図-8 鋼製支保工軸力分布図

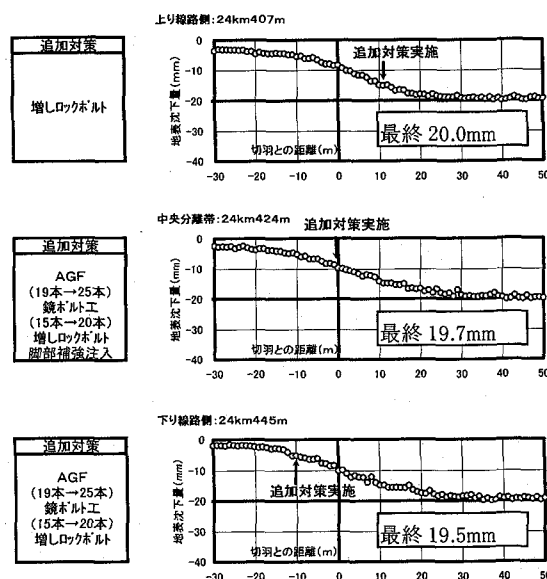


図-9 本線直下の地表面沈下グラフ

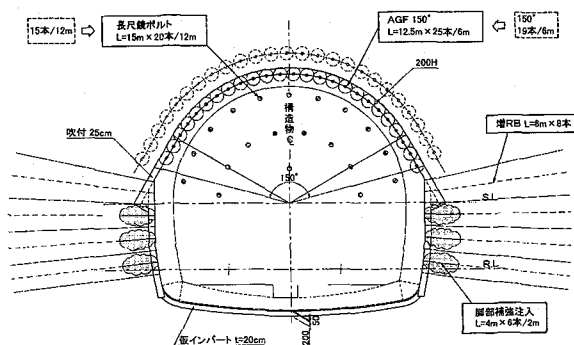


図-10 追加対策工