

小土かぶり部における市街地道路直下の 山岳トンネルの施工

熊原 拓希¹・桑山 祐二²・森田 泰智³

¹正会員 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 九州新幹線建設局 長崎鉄道建設所

(〒852-8003 長崎県長崎市旭町 13-5)

E-mail: kumahara.hir-st25@jrnt.go.jp

²非会員 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 九州新幹線建設局 長崎鉄道建設所

(〒852-8003 長崎県長崎市旭町 13-5)

E-mail: kuwayama.yuj-2zh7@jrnt.go.jp

³正会員 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 九州新幹線建設局 長崎鉄道建設所

(〒852-8003 長崎県長崎市旭町 13-5)

E-mail: morita.yas-ye27@jrnt.go.jp

九州新幹線(西九州ルート), 諫早トンネルは, 諫早駅より長崎方に約 500m の市街地に位置する延長 230m の山岳トンネルである。対象地山は, 硬質な礫を含む凝灰角礫岩層を主体とし, 国道 207 号と土かぶり約 3.5m で交差している。国道 207 号は, 25,000 台/日と交通量の多い幹線道路である。また, 上下水道, 電力, 通信の埋設管が多数敷設されており, 地表面沈下による社会的影響の大きさが当初より懸念されていた。このため, トンネル掘削が道路交通および埋設管に与える影響を少なくするために, 山岳トンネル工法の補助工法として, 道路面の沈下抑制とともに埋設管の機能保全を目的としてパイプルーフ工法を採用した。本稿では, 交通量の多い幹線道路直下での小土かぶり, かつ硬質な礫が混入する施工条件下における施工計画, 計測管理, 施工実績について報告する。

Key Words: mountain tunneling method, pipe-roof protection, shallow overburden, monitoring measurements

1. はじめに

九州新幹線西九州ルートは, 武雄温泉・長崎間(工事延長約 67km)の工事実施計画が 2012(平成 24)年 6 月に認可され, 整備を進めている。九州新幹線(西九州), 諫早トンネルは, 諫早駅より長崎方に約 500m の市街地に位置する延長 230m の山岳トンネルである。対象の地山は硬質な礫を含む凝灰角礫岩層を主体とし, 国道 207 号と土かぶり約 3.5m で交差している(図-1, 2)。

トンネルと交差する国道 207 号は, 25,000 台/日と交通量の多い幹線道路である。また, 上下水道, 電力, 通信の埋設管が多数敷設されており, 地表面沈下による社会的影響の大きさが当初より懸念されていた。このため, トンネル掘削が道路交通および埋設管に与える影響を最小限とするため, 山岳トンネル工法の補助工法として, 道路面の沈下抑制とともに, 埋設管の機能保全を目的としてパイプルーフ工法を採用した。

本稿では, 幹線道路直下での小土かぶり, かつ硬質な礫が混入する施工条件下における施工計画の検討, 施工

管理, 地表面の計測管理, 施工実績について報告する。

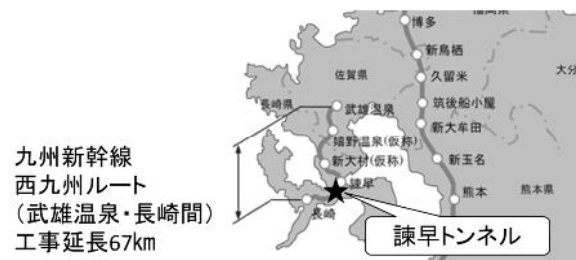


図-1 トンネル位置図

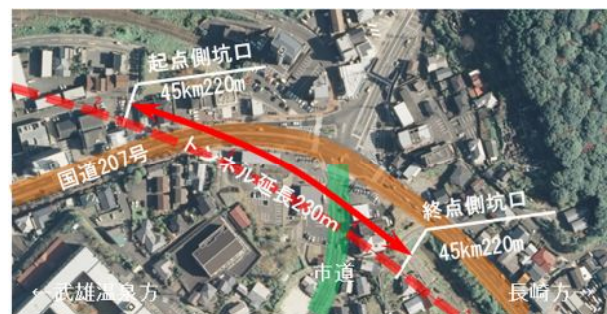


図-2 工事平面図

2. 地質概要

当該地形は、北西方の御館山(標高 99.9m)と南東方の上山(標高 122.4m)が山頂をなす、なだらかな丘陵地からなり、これら2つの山にはさまれた標高 12~30m 程度の谷間を通過する。地質状況は、N 値 50 程度の新第三紀更新世の経ヶ岳火砕岩類の風化凝灰角礫岩 (Tb) を主体とし、その下に古第三紀の諫早層群の砂岩頁岩互層 (Tsh) が基盤岩として分布している(図-3、図-4)。凝灰角礫岩は、固結の度合によって、Tb1~Tb3 層に分類される。Tb2、Tb3 層は 10cm~100cm 程度の安山岩を含み、その含有率は 40~50%前後であり、混入する礫は非常に硬質(一軸圧縮強度 130N/mm²)である(図-5)。

3. パイプルーフの施工上の課題

(1) 継手部の廃止

当初設計では、掘進精度の確保とパイプルーフ間からの土砂などの抜け落ち防止のため、パイプルーフ同士を連結する継手が付属する計画であった(図-6)。しかし、対象とする凝灰角礫岩層には硬質な礫が混入しており、推進時に硬質な礫が支障し、継手部を残した状態では、必要推進能力を有する反力設備の設置が困難な状況であったため、継手部を廃止することにした。しかし、継手部の有する土砂流入防止および鋼管同士の固定の代替策を検討する必要があった。

a) 継手の代替案の検討

推進工事において、鋼管を推進させるために余掘りが必要となるが、掘削範囲が大きいほど、地山の緩み範囲が大きくなるとともに、余掘り部の塑性変形による地表面沈下が懸念される。このため、過去の同質地山でのパイプルーフの施工実績も参考にし、余掘り掘削量をパイプルーフの半径+20mm とし、推進完了後の鋼管同士の隙間を最小限とした。また、パイプルーフ鋼管間の土砂の抜け落ち防止対策のため、鋼管の隙間部を密実な改良体とする必要があることから、各パイプルーフの裏込め材がラップするように施工するとともに、裏込め材の充填不足の懸念に対応して、パイプルーフ内部からの補足注入を実施した(図-7)。補足注入孔は進行方向に対し 2m おきに配置し、隣接管と配置間隔を千鳥配置とすることで、1m 間隔で充填を行った。

b) パイプルーフの線形精度管理

継手は、鋼管掘進において後行管を推進時のガイドの役割を果たすため、継手の廃止に伴い、鋼管推進時の精度確保が必要となる。推進機には上下左右方向に 1.5 度の方向修正が可能な機構を採用した。併せて、レーザートランシットと自動測量による推進精度を管理、監視で

きるシステムを構築した。常時レーザートランシットから照射される光を目安に推進し、10cm 推進するごとに、トランシットにて推進機先端の座標確認を行った。また、パイプルーフ 1 本ごとに 3 次元座標をもたせることにより、リアルタイムで中心の偏心量を確認した(図-8)。

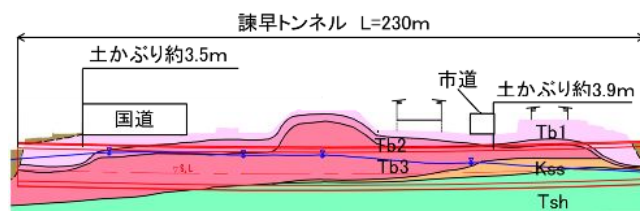


図-3 国道部トンネル断面図

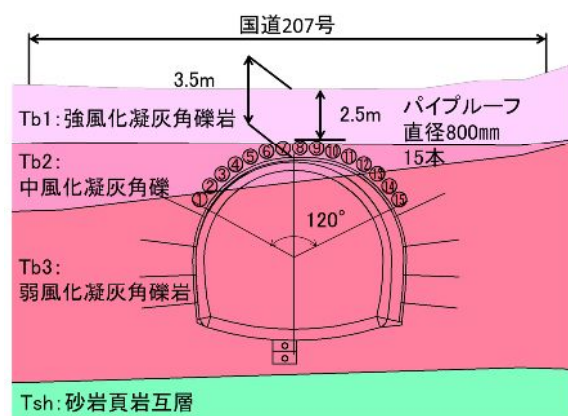


図-4 国道部トンネル断面図

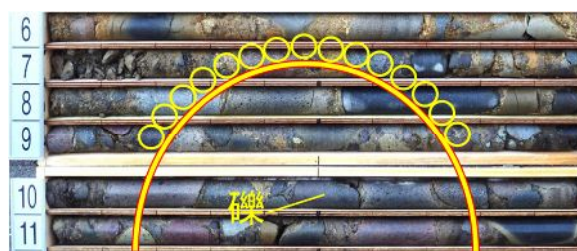


図-5 ボーリングコア



図-6 鋼管継手形状

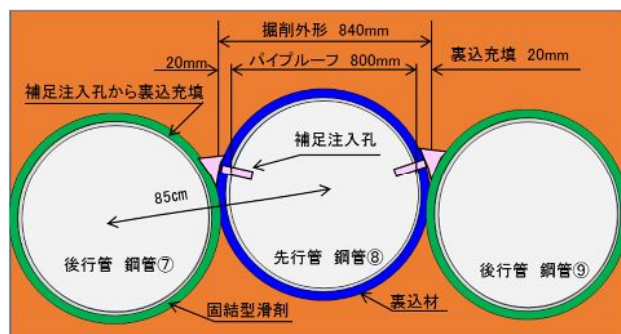


図-7 裏込ラップ工法

(2) 地表面沈下量の抑制に向けた検討

a) 近接構造物の管理基準値の設定

パイプルーフおよびトンネル掘削に先立ち、各管理基準値の設定は、過去のトンネルとの近接工事の管理値を参考¹⁾として各管理者と協議の上で決定した(表-1)。管理基準値について、管理体制を3段階で設定した。限界管理値を3次管理値とし、1次管理値は管理基準値の60%で注意態体制を取り、2次管理値は管理基準値の80%で要注意体制を取ることとし、段階ごとの施工管理を強化した。とくに下水道管は、自然流下を前提とした設計であったため、勾配に関する管理がもっとも厳しく、限界管理値と20mmに設定した。

b) 固結型滑材の採用

道路面に近接している天頂部の鋼管5本については、鋼管推進直後の直後の余掘り部の沈下低減を図るため、固結型滑材(二液混合型)を採用した。混合後概ね30~60秒でゲル化するため、推進完了までの間、余掘り部を保持し沈下抑制することが期待できるものである。

c) 掘削土砂取込量の一元管理

掘削土砂の過剰な取込は、周辺地山の緩みを増大させ、地表面沈下および埋設物に影響を与える要因となる。掘削中の推進力、トルク、推進速度、送排泥密度を一元管理するシステムを採用することにより、掘削土砂取込量を確実に管理することとした。

4. トンネルの掘削工法の検討

パイプルーフ施工後、トンネル掘削時における沈下を抑制する施工方法を検討した。ショートベンチカット工法により施工した場合、トンネルの最終構造となるインバートの設置まで2.5か月程度の期間を要するため、泥濘化が顕著な当該地山では支持力不足に伴う沈下が生じることが懸念された。このため、切羽から1D(D:掘削幅)以内で、インバート吹付けと鋼製ストラットによる仮インバートを掘削工程の中で実施し、全断面を早期に閉合するマイクロベンチカット工法を採用した(図-9)。

トンネル掘削においては、道路面と埋設管の計測管理、路面監視、トンネル坑内のA計測に加えて、トンネル天頂部の鋼管内部へのエアモルタル充填前に設置したひずみ計により、鋼管応力の計測を実施した。鋼管応力の測定により、A計測では確認できないトンネル掘削による先行変位を把握するとともに、鋼管の曲げ耐力と比較することで、埋設管、地表面およびトンネル掘削の安全性を確認した。また、上半断面を占める凝灰角礫岩層(Tb2)は、礫が密集していたが凝灰角礫岩層は軟弱であり、ブレーカーの打撃を加えずに掘削できる程度の強度しかなかった。クラウン部はパイプルーフで補強され

ているため、上方からの抜け落ちには安全であるが、進行方向への過掘りが懸念されたため、上半部分を上下方向に2分割し、その都度鏡吹きを実施して掘削を進めた。

5. 道路面、埋設管の計測管理

自動車通行に影響を与えず、道路の安全を監視するためにトータルステーションによる道路面の自動計測監視を実施した。計測頻度は1時間に1回とし、範囲はトンネルのスプリングライン(SL)から45度を影響範囲と設定し、5m間隔でメッシュを切った交点を計測点とした。併せて、計測間隔の合間や測定点の設置されていない箇所での地表面の陥没や泥水噴出などの異常を遅滞なく発見し対応するため、道路上に監視員を24時間配置し、路面監視も行った。交通に支障するため、車道上には計測プリズムを設置できないことから、ノンプリズム計測を適用した(図-10)。1次管理値を超えた場合には、受注者の携帯電話端末に警報メールが自動的に発信するシステムとした。また、埋設管には沈下棒を取り付け、1日1回の頻度で沈下量の測定を行った(図-11)。

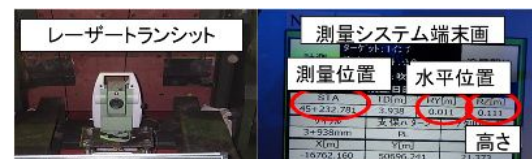


図-8 推進精度管理システム

表-1 管理基準値と管理体制

	ガス	水道	下水道	NTT	道路
通常体制	・地表面沈下 常時計測 1回/時間 ・沈下棒計測 1回/日				
レベルⅠ(60%)	24mm	24mm	12mm	20mm	20mm
注意体制	・ジャッキ速度、推力の見直し ・掘削土量計測強化(1m毎の設計値と比較) ・測定回数を1回/日⇒2回/日				
レベルⅡ(80%)	32mm	32mm	16mm	27mm	27mm
要注意体制	・滑材注入圧による沈下量回復 ・掘削土量計測強化(0.5m毎の設計値と比較) ・測定回数を2回/日⇒掘進時常時				
レベルⅢ(100%)	40mm	40mm	20mm	34mm	34mm
嚴重注意体制	・掘進停止にて強化対策の検討				

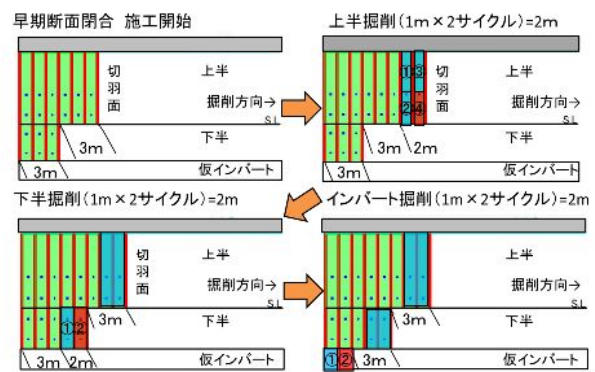


図-9 マイクロベンチカット工法概要

6. 施工結果

(1) パイプルーフの施工結果

パイプルーフ掘進にあたり、硬質な礫の混入が多いTb2層に掘進機が進んだ地点から、礫との接触により、刃口が上下左右に激しく振られる箇所があった。その場合は、推進力を極限まで低下させ、礫を切削しながら進むことにより、推進精度を確保することができた。また、掘進機位置の偏心量をmm単位で把握可能な精度管理システムの採用により、偏心の挙動を早期発見し、即座に方向修正ジャッキで修正することで、推進精度20mmを確保することができた（表-2、図-12）。

補足注入孔からの裏込材の圧入については、過剰圧力により埋設管や地表面を隆起させないため、初期注入圧+0.3MPaの圧力管理で改良を実施した結果、地山の空隙率から算出した設計注入量に対して270%の実注入量となり、鋼管間および周辺地山の改良が確実に実施された。

パイプルーフ施工完了時の地表面沈下量は、FEM解析では約6mmと予測されていたが、施工後の道路面の最大沈下量は約4mm、埋設管の最大沈下量は約2mmで完了することができた。継手のあるパイプルーフでは、1本の鋼管の両側の施工が完了した後、裏込材を充填するが、今回、1本施工する毎に裏込材を充填し、余掘り部の沈下を最小限に抑えることができたと考える。

(2) トンネル掘削の施工結果

トンネル掘削完了時の地表面沈下量は、FEM解析では、トンネル掘削完了時に約12mmと予測されていた。これに対し、仮インバート設置後速やかに天端沈下量が収束する傾向がみられ、マイクロベンチカットによる掘削断面の早期閉合の効果が確認できた。また、施工後の道路面の最大沈下量は約4mm（累積約8mm）、埋設管の最大沈下量は約4mm（累積約6mm）であり、道路および埋設管管理者との協議により設定した管理基準値に対しても、1次管理値以内で収めることができた。

7. おわりに

補助工法としてパイプルーフを採用するトンネルは、地上部への沈下を抑える必要のある小土かぶり区間が一般的であり、対象とする地山は表土や土砂であることが多い。今回対象とした地山は、10cm～100cm程度の多様な岩質の礫を含む地質条件への採用であった。継手部の廃止による形状の変更により、当該地山においても円滑にパイプルーフを施工を実施することができ、かつ裏込材を各鋼管施工完了後に充填可能としたことが沈下抑制に効果的であったと考える。トンネル掘削においては、マイクロベンチカット工法による早期断面閉合により、速や

かな変位収束を確認し、地表面沈下抑制を確実に行うことができたと考える（図-13）。

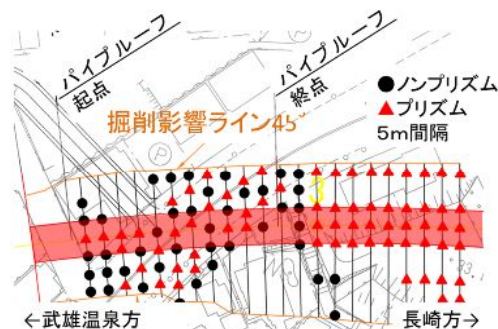


図-10 路面計測計画

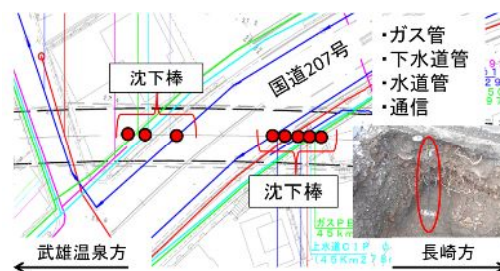


図-11 埋設管計測計画

表-2 パイプルーフ施工結果

鋼管番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮
上下偏心 mm	下 17	上 11	上 15	下 16	下 18	下 16	下 12	上 17	上 18	上 18	上 16	下 12	下 16	上 15	下 11
左右偏心 mm	右 15	右 18	右 15	左 11	右 9	右 8	左 6	右 10	左 10	右 13	右 16	左 14	右 14	左 11	左 7

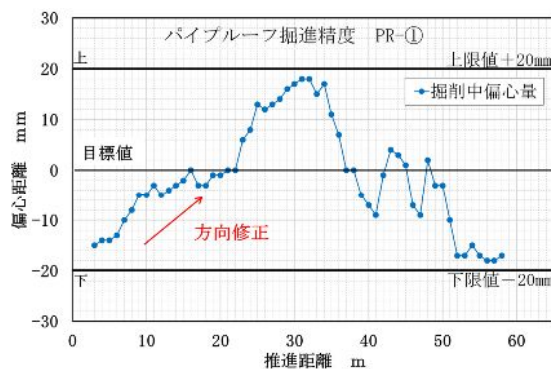


図-12 パイプルーフ出来形管理

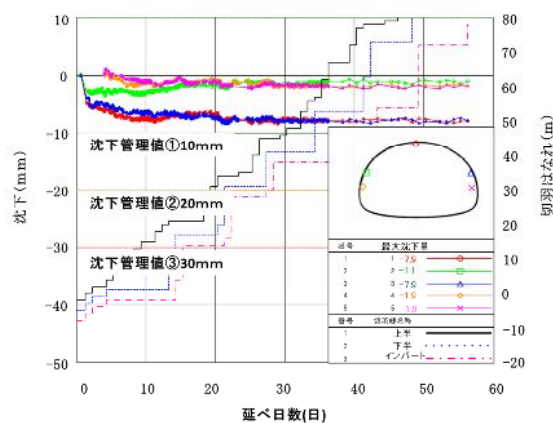


図-13 トンネル沈下計測

謝辞：施工にあたり，多くの課題に対して貴重なご意見とご指導を賜っている「九州新幹線（西九州）トンネルの設計・施工に関する検討委員会」の委員各位に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 土木学会：実務者のための山岳トンネルにおける地表面沈下の予測評価と合理的対策工法の選定，2012.

(2019. 8. 9 受付)

CONSTRUCTION OF A MOUNTAIN TUNNEL RUNNING THROUGH A SHALLOW OVERBURDEN JUST BELOW ROAD IN URBAN AREA

Hiroki KUMAHARA, Yuji KUWAYAMA and Yasutomo MORITA

The Isahaya Tunnel is a 230m-long mountain tunnel located in an urban area approximately 500m from Isahaya Station in the direction of Nagasaki. This tunnel intersects with National Route 207 at a depth of approximately 3.5m. As it would have been difficult to build a detour or close to traffic on the national route due to its high volume of traffic, the conventional tunneling method was adopted. However, as there would be effects on society due to ground surface settlement, the pipe roof method was also adopted as an auxiliary method.

This report contains information on investigation for the construction plan, the construction management plan, ground surface measurement management and construction results under conditions of shallow tunnel construction as well as tunneling ground high in hard gravel directly underneath a main road with a high volume of traffic.