

土被りの薄い河川横断下のトンネルにおける 設計・施工について

DESIGN AND CONSTRUCTION OF NATM TUNNEL CROSSING THIN COVER BELOW THE RIVERBED

鈴木雅行^{*}・大俣敏文^{**}・北御門利男^{***}・白石秀徳^{***}

Masayuki SUZUKI, Toshibumi OHMATA, Toshio KITAMIKADO, Hidenori SHIRAISI

The Construction of the Third Shibisan Tunnel of Kyusyu Shinkansen line applied the NATM method to excavate tunnel three meters below the riverbed of the IKAWA river. The preconstruction investigation proved that the ground was categorized as alternation of strata on sandstone and shale which consisted primarily of sand rock of Shimanto group through the underground section, while it consisted of fracture zone which contained multiple cracks through the section below the riverbed. It was a major challenge of this project to construct a 105 meter section of the tunnel through the ground which contained fracture zone and with only three-meter-thick cover below the riverbed. To overcome this challenge, we designed the tunnel linings as a water-tight structure, and applied Grouted forepilling system (AGF method : L=12.5m, @5 cycles) as a supporting method to stabilize the tunnel face during the excavation stage.

This paper will introduce the methods used in the design of this tunnelling, the excavation methods of the tunnel below the riverbed, and the effects of the supporting method on the stabilization the tunnel face.

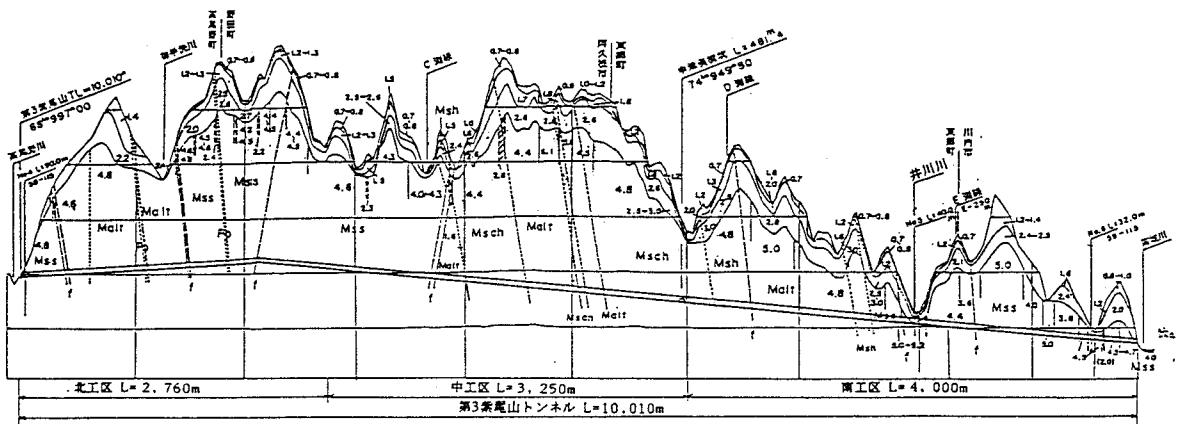
1. まえがき

第三紫尾山トンネル南工事は、九州新幹線鹿児島ルート¹⁾の紫尾山トンネル(10,010m)の内、4,000mを施工するものである。本工事において、2,000mの地点で土被りの非常に薄い河川を横断する区間があり、この河川は県道新設工事のために旧河川を切り替えたもので、現況河川からの土被りは5.3m、また、旧河川からの土被りは2.9mであり、旧河川の上部には盛土(高さ約15m)が施工されている。本地点の地山は四万十層群の砂岩主体の砂岩頁岩互層であり、特に河川部は多亀裂の破碎帯であることが確認された。河川部を横断するにあたり、補助工法として注入式鋼管フォアパイルリング(AGF)を施工し、二次覆工はウォータータイトトンネルとして施工した。ここでは、河川横断部の施工状況と計測結果、および二次覆工をウォータータイトトンネルとして施工した区間について述べるものである。



図-1 位置図

- * 正会員 工修(株)間組土木本部トンネル統括部
- ** 正会員 (株)間組九州支店第3紫尾山トンネル作業所
- *** 正会員 日本鉄道建設公団九州新幹線建設局川内鉄道建設所

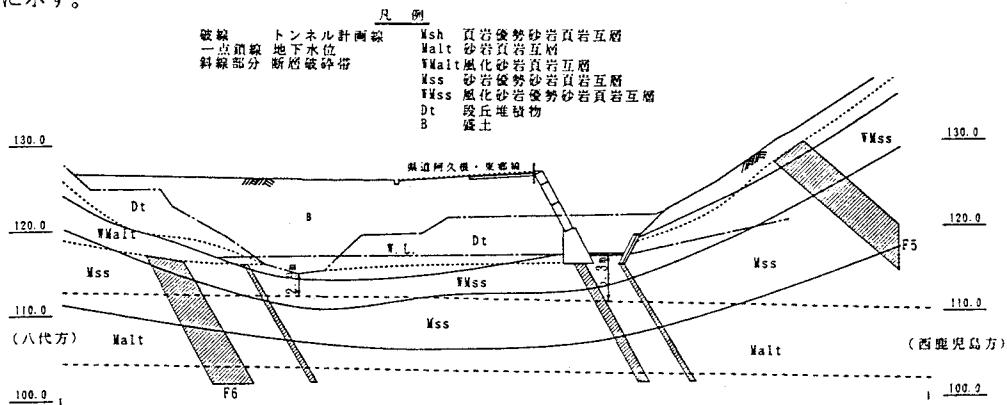


図－２ 第三紫尾山トンネル地質縦断面図

2. 地形・地質概要

第三紫尾山トンネル南工区は、鹿児島県川内市と薩摩郡東郷町に位置し、紫尾山山系に属する山岳地形で本工区の最大土被り高さは300～400mである。稜線の方角は北北西から南南東であり、トンネル中間部に横座付近を源流とする井川川が流下し、田海川へ合流している。この井川川直下を第三紫尾山トンネルが通過することとなった。この河川部分は旧河川を切り替え新河川としているため、河川延長が約100mにも及ぶ延長となる。その土被りは、新河川直下で5.3m、旧河川直下で2.9mと非常に土被りが薄く、また、旧河川上部には約15mの盛土があり、また新河川部には河川構造物が存在する状況であった。

地質は四万十層群の砂岩・頁岩互層であり、当区間の地質は過度の褶曲を受け、砂岩部は多亀裂性であり、頁岩は変質し、破碎粘土を脈状に挟在した層が主体であった。また、当区間の地質には断層破碎帯も存在する地層状況であった。第三紫尾山トンネル工事の地質縦断面図を図－2に、河川横断面部の地質縦断面図を図－3に示す。



図－３ 河川横断面部地質縦断面図

3. トンネル掘削のための補助工法の設計

河川横断面部のトンネル掘削の補助工法に関して現地の地質状況およびトンネル断面形状から、効果、施工性、経済性、工期の面から比較検討し、注入式長尺鋼管フォアパイリング工法（以下AGF工法と称す）が適切な補助工法であると判断された。そこで、河川横断面部を地表の構造物、地山条件および土被りの状況により、表－1に示す区間に分けてAGFの設計を行った。AGF工法の設計に当たってはパイプルーフの設計¹⁾を参考に実施した。AGF鋼管の設計にあたっては、図－4に示すモデルで設計した。また、この設計結果に基づき、図－5に示す支保パターンを設定した。

表-1 AGF鋼管設計算定表

タイプ	A	B	C
土被り・地山・地表の状況	土被り4.5m 砂岩、破碎帯 河川直下 井桁擁壁がある	土被り14.0m 盛土部11.1m 砂岩層 2.9m	土被り14~20m 砂岩部分5m以上
設計荷重	土荷重4.5m+井桁擁壁の地盤反力 15.56tf/m ²	Terzaghiの理論荷重の50% 11.79tf/m ²	地山の緩み高さ3m 8.07tf/m ²
鋼支保工 サイズ・ピッチ	H-150 @ 0.75m	H-150 @ 1.00m	H-150 @ 1.00m
解析結果	鋼管間隔 @ 0.35m 鋼管が 1.531m Mmax 1.606tf・m σ max 2288kgf/cm ²	鋼管間隔 @ 0.35m 鋼管が 1.781m Mmax 1.636tf・m σ max 2330kgf/cm ²	鋼管間隔 @ 0.50m 鋼管が 1.781m Mmax 1.600tf・m σ max 2279kgf/cm ²
摘要	鋼管諸元：外径φ114.3mm、t=8.6mm、断面係数Z=70.2cm ³ 鋼管許容応力度：σ=2400kgf/cm ²		

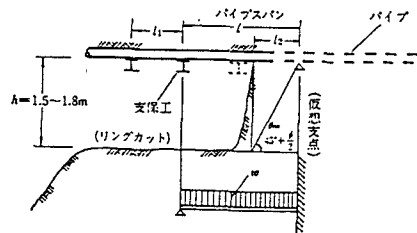


図-4 鋼管解析モデル図

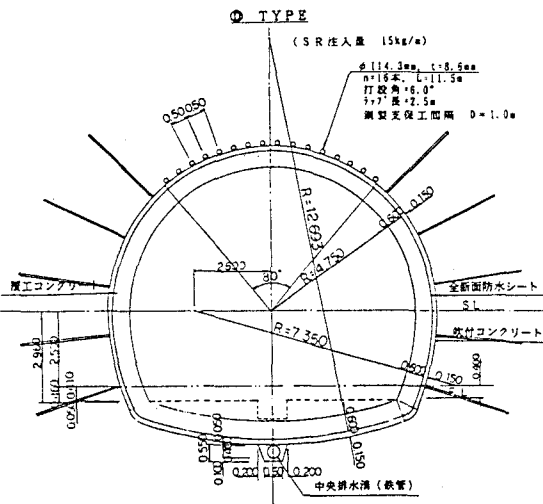
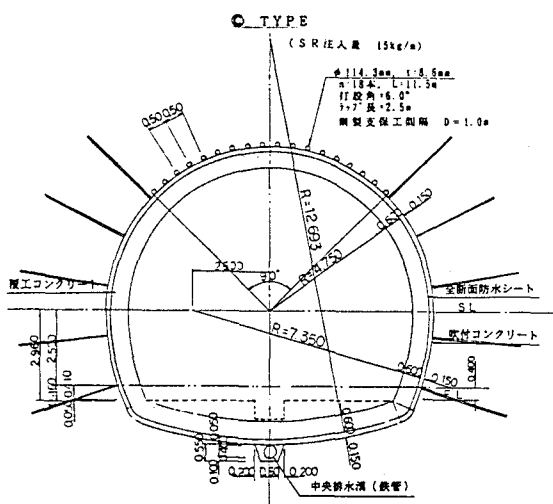
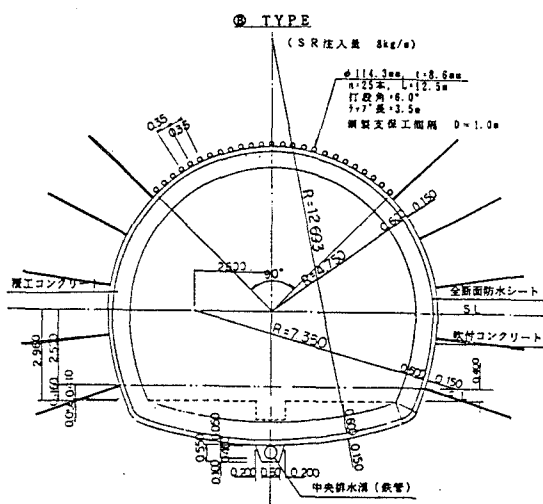
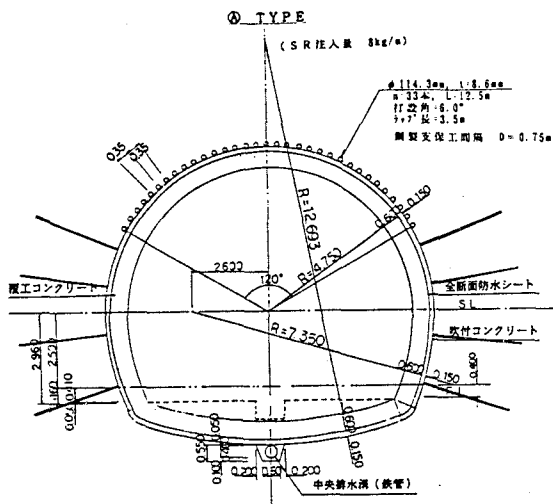


図-5 河川横断下の区間の設計支保パターン

4. 河川横断下の沈下量の推定

河川横断下の施工にあたり、河川構造物として井桁擁壁があるため、沈下量の予測を行い安定性の評価を行うこととした。沈下量の算定に関しては表－2 に解析条件を、図－6 に解析フローを示す。

表－2 沈下量算定のための解析条件

設計荷重		15.66×0.75=11.745tf/m
支保工	単体重量	2.35tf/m3
	部材厚	15cm
	弾性係数	1.60×105kgf/cm2
地山のバネ値		鉛直方向：2.17×104、 水平方向：1.63×104

横断面の解析結果を図－7 に示す。沈下量は17.6 mmとなり、支保工のバネ値を（1）式で算定した。

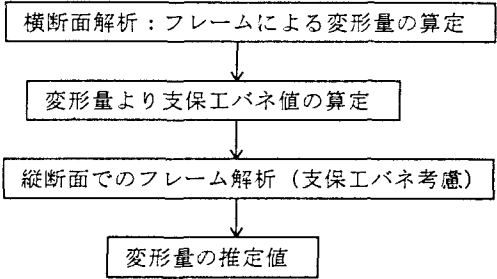
$$\kappa = (\rho / \delta) \cdot A \tag{1}$$

ここで、 κ ：バネ値 (tf/m)
 ρ ：荷重 (tf/m²) = 11.745
 δ ：変位量 (m) = 0.0176
 A ：作用面積 (m) = 0.35×0.75

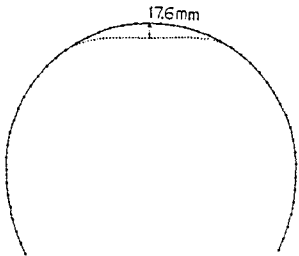
(1)式より $\kappa = 1.8 \times 10^3 \text{tf/m}$ となる。

次に、AGF鋼管と支保工による縦断方向の解析モデルを図－8 に、解析結果を図－9 に示す。

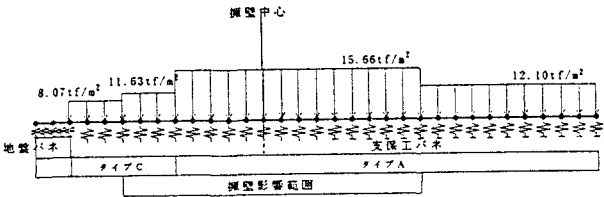
解析結果より、トンネル天端部で30.4mm沈下することが想定される。



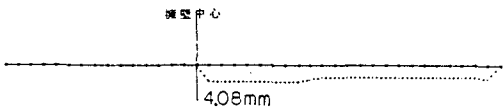
図－6 河川横断下沈下量の解析フロー



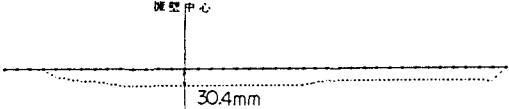
図－7 横断面解析結果（変位図）



図－8 縦断面解析モデル



a) 施工時の変位量



b) 切羽通過後の変位量

図－9 縦断方向解析結果

5. 河川横断下の施工状況と計測結果

図－10に河川横断下のAGF工法の施工および支保パターンの採用状況と、トンネル天端沈下および地表面沈下の発生状況を示す。これによると、地表面沈下は15～35mmの沈下、河川下で28mmの沈下と想定した沈下程度で施工することができた。また、このときの河川上部の井桁擁壁にも変状を発生させることなく施工を完了することができた。

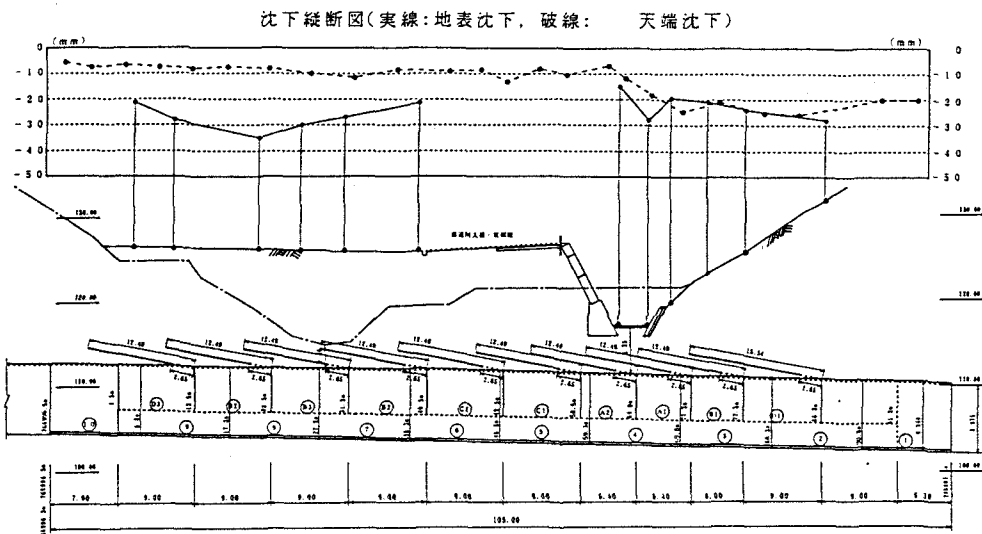


図-10 河川横断下の施工状況と計測結果

6. 河川横断下の二次覆工のウォータタイトトンネルの設計

河川横断下のトンネルについては土被りが薄く、地山状況も多亀裂な砂岩や破碎帯を有した頁岩であり、通常のトンネルの施工では完成後も坑内に河川水を流入させることになる。そこで、河川横断下105m区間をウォータタイトトンネルとすることとした。設計にあたっては、土荷重は一次支保で支持するものとし、二次覆工には①自重+外水圧、②自重+外水圧+スラブ軌道重量+列車荷重の2ケースの荷重を載荷して、二次元フレーム解析により二次覆工をモデル化し、両者の荷重に満足する構造とした。このときの外水圧は調査ボーリング結果より、トンネル天端から6.990m上部までの高さとした。なお、二次覆工の巻厚はアーチ、インバートとも55cm、覆工コンクリートの設計基準強度は210kgf/cm²のものをを用いた。解析結果による二次覆工の構造を図-11に示す。

7. あとがき

第三紫尾山トンネル南工事において、井川川河川横断に関してAGF工法の設計および施工を行い、当初想定程度の変位量に抑止することができたため、上部の河川構造物に影響を及ぼすことなく施工を完了することができた。今後、同様のフォアパイリングの施工はますます拡大すると考えられるため、本施工が事例として参考になれば幸いである。また、二次覆工をウォータタイト構造にしたことに関して、その有効性は今後施工完了後に長期の観察・計測によりその効果があきらかになると考えられるため、今後も注目していきたいと考えている。

最後に、本計画、施工にあたり、日本鉄道建設公団九州新幹線建設局川内建設所 前木下哲郎所長、ハザマ・戸田・三井・植村共同企業体、斎野義治所長、加藤僚一副所長、吉井英昭氏、生野嘉明氏、中藤英樹氏には心より感謝の意を表します。

8. 参考文献

- 1) 斎藤重治：トンネルにおけるパイプルーフ工法・地盤、理工図書

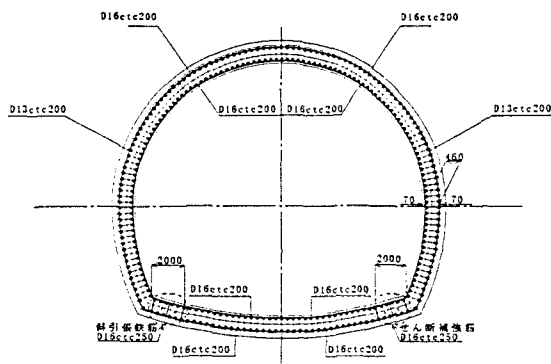


図-11 二次覆工コンクリートの構造
(ウォータタイトトンネル)