

笹路川低土被り部の施工法について

Ground reinforcement for a underriver tunnel

建部 俊典¹⁾・林崎 信男²⁾・鍛冶 茂仁³⁾・小前 守⁴⁾・川野 広道⁵⁾

Toshinori TATEBE, Nobuo HAYASHIZAKI, Sighito KAJI, Mamoru KOMAE, Hiromichi KAWANO

Suzuka Tunnel is 3,923 m of extension, an excavating section product.

It is the one which excavates the very big section tunnel of about 190 m² by the TBM advanced NATM width excavating method of construction.

This Tunnel is passing under Sosoro river in 14m of riverbeds ; the ground around the river were reinforced in multi phasa of excavation.

Key Words: The mountain tunnel, The machine excavating method, The crossing under a river

1. はじめに

第二名神高速道路鈴鹿トンネルは鈴鹿山脈の南端に位置し、山脈を東西に貫く延長3,923mの長大トンネルである。大断面トンネルかつ長大トンネルである本工事では、TBM導坑先進掘削工法が採用されている。滋賀県側の笹路川低土被り部では最少土被り14mで河川の下を150mにわたって通過するため、トンネルの安定性と掘削時における笹路川からの河川水の引き込みが懸念された。そこでTBM導坑掘削時、本坑掘削時に種々の対策を実施した。本論文では、その区間の施工法について述べる。

図-1に笹路川低土被り部の平面図、写真-1に模型写真を示す。

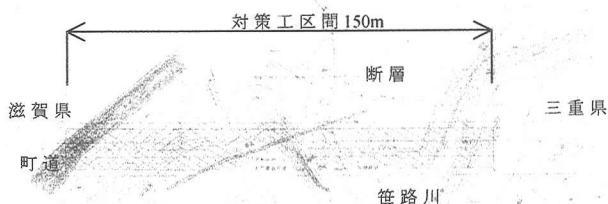


図-1 笹路川低土被り部平面図

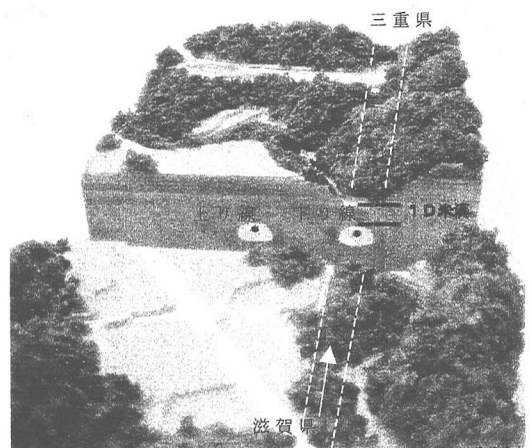


写真-1 笹路川低土被り部模型

1) (現) 日本道路公団 関西支社 彦根管理事務所 2) 日本道路公団 中部支社 亀山工事事務所
3), 4), 5) 鹿島・東急・不動産建設共同企業体

2. 工事概要

(1) 工事概要

工 事 名 : 第二名神高速道路鈴鹿トンネル下り線工事、
下り線（その2）工事

発 注 者 : 日本道路公団 中部支社

施 工 者 : 鹿島・東急・不動建設共同企業体

工事場所 : 三重県亀山市安坂山町^{あさかやま}～滋賀県甲賀郡土山町

工 期 : 1998(H.10). 3.24～2003(H.15). 9.12

工事内容 : 下り線本坑 : 3,923 m 掘削断面積 190m²

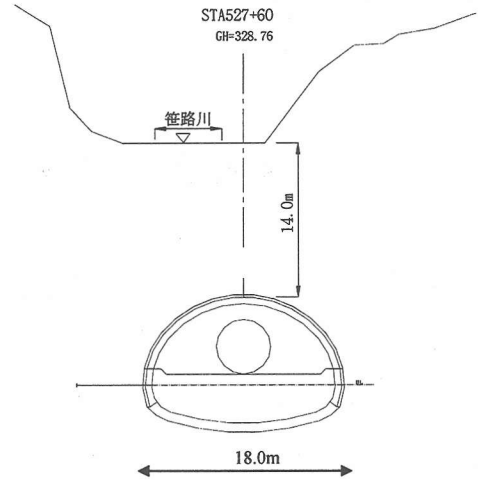
TBM 導坑 : 3,646m 掘削断面積 20m²

亀山側拡幅掘削 : 2,130 m (爆破掘削工法)

土山側拡幅掘削 : 1,793 m (機械掘削工法)

避難連絡坑 : 5ヵ所

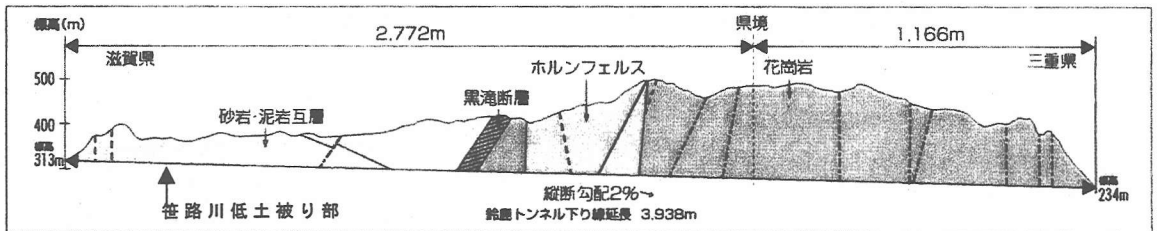
坑門工両側 : 1式



図－2 笹路川低土被り部断面図

(2) 地形および地質概要

トンネル中央部に存在する黒滝断層と称される活断層を境として東西で大きく地質が異なる。滋賀県側は堆積岩で、砂岩・泥岩の互層主体である。砂岩の一軸圧縮強度は 20N/mm² 程度、泥岩の一軸圧縮強度は 10N/mm² 以下と軟質である。また、途中、最少土被り 14m で河川の下を150mにわたって通過する笹路川低土被り部（図－2 参照）は、鮎川層群黒川累層上の砂岩の分布域であり、砂岩は新鮮、硬質であるものの、厚さ 0.3～8mの風化・侵食に対する耐久性に乏しく乾湿の繰返しによる脆弱化の著しい泥岩層を介在する（図－3 参照）。



図－3 地質縦断図

3. 基本計画

本トンネルの掘削順序は、TBM導坑を先行して掘削した後、東西各側より拡幅掘削を行うTBM導坑先進拡幅掘削工法となっている。拡幅掘削はNATM上半先進ベンチカット工法により施工している。掘削方式については滋賀県側からは機械掘削を採用している。

滋賀県側の笹路川低土被り部において、地盤の透水性の把握を主目的とした調査ボーリングでは、ルジオン試験結果より泥岩の亀裂や泥岩に沿った砂岩の亀裂部に高透水性ゾーンが分布することが明らかになった。これは、TBMや拡幅掘削時において、掘削による亀裂の開口が岩盤の透水性を広い範囲にわたり大きくすることを意味しており、施工前に止水、湧水等に対する対策が不可欠であると考え、TBM導坑施工前、本坑拡幅掘削前、および拡幅掘削中の3段階に分けて対策を立案した（表－1 参照）。

表－1 対策一覧表

対策時点	位 置	目 的 内 容
TBM導坑 施工前	地上	地山補強 薬液注入
本坑拡幅 掘削前	TBM 導坑内	地山補強 FRPボルト
拡幅掘削中	拡幅掘削 切羽	切羽安定 鏡ボルト

4. 対策工

(1) TBM導坑施工前の対策工（地上からの薬液注入工）

(a) 調査・解析

TBM導坑の河川底通過に先立って、河川付近での調査ボーリングを5箇所行った。ボーリングにより得られた地質調査結果をもとに、構造解析による岩盤の安定性検討と浸透流解析による地下水流の河川からの吸い込みとトンネルへの湧水をシミュレーションにより求めた。浸透流解析の結果（図-4参照）より300ℓ/min以上の笹路川からの引込みは河川枯渇のおそれがあると推定した。検討の結果、次のような対策を立案した。

- ① 亀裂性岩盤への薬液注入を行う。
- ② 注入材料は、超微粒子セメントとする。

図-5に注入箇所平面図、図-6に代表的注入断面図を示す。

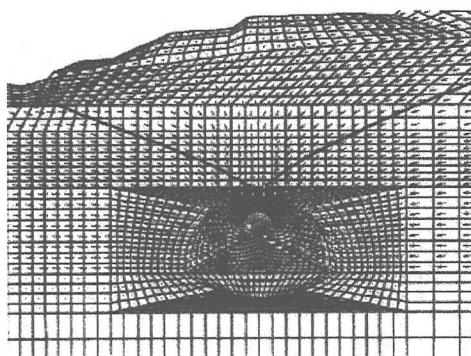


図-4 浸透流解析結果

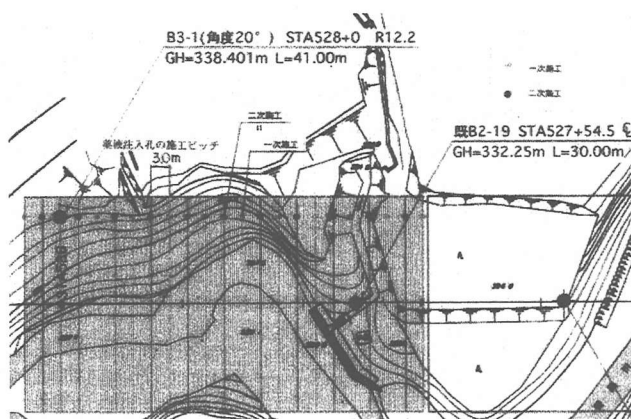


図-5 注入箇所平面図

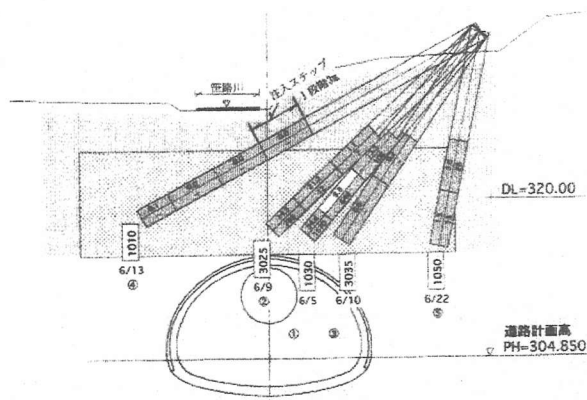


図-6 代表的な注入断面図

(b) 注入計画

薬注範囲は、地質調査の不確実性に対処し、かつ施工性（注入ステップが1段階3m）を確保するため地質調査による推定透水ゾーンの3m外側までとした。

薬液注入孔の施工ピッチは、原則として3mピッチとするが、高透水性ゾーンの局所的な改良が目的であるので、最初は6mピッチでの施工とし、最初の施工によりゾーンが特定され、更に注入が必要とされた場合は3mピッチの2次施工を実施することとした。同一配合を規定量注入しても注入量が減少傾向になれば順次濃度を濃くするよう配合を切り替えた（表-2参照）。また、岩盤亀裂への充填を主目的とし、割裂注入は行わず3～5 kg/cm²の圧力で注入を行うこととした。なお、注入材料が河川へ漏液しないよう監視員を配置し周囲の環境への配慮を行った。

表-2 注入薬液の標準配合

配合 (C:W)	超微粒子 セメント (kg)	混和剤 (kg)	水(kg)	普通セメ ント(kg)	練上げ量 (ℓ)
1:6	31.1	0.6	187		200
1:4	46.1	0.9	184		200
1:2	85.6	1.7	171		200
1:1.5	109.0	2.2	163		200
1:1	149.7	3.0	149		200
1:0.8			143	179	200
比重：超微粒子セメント 2.98 普通セメント 3.15					

(c) 注入結果

今回の注入では注入対象が、不連続面などの不均質なものであるため、注入結果を評価することは困難である。そのため、2次注入の際に各ステージにおいて、注入前にルジオン試験を実施して、1次注入のチェックを実施した。結果としてルジオン値の減少が確認されたことから、開口していた亀裂には超微粒子セメントがくまなく注入されたものと判断した。また、施工中において河川への漏液は最小限に食い止めることができた。

(2) 本坑拡幅時における対策工の検討その1 (TBM坑内からの事前補強)

(a) 調査・解析

笹路川低土被り部の拡幅断面における当初設計はDⅢの支保パターンとなっていたが、TBM掘削後における周辺地盤の評価より以下に示す項目がわかった。

① TBM施工による概ね1D(4～5m)程度の緩み域の発生

② 不連続面のブロックによる不安定区間の存在

③ トンネルと交差する幅1～2m程度の断層の存在
これらの結果より拡幅掘削時には、特に天端の安定対策を主目的とした対策工を施す必要があり、以下の項目に着目した対策工の検討が必要であると判断した。

① 不連続面のブロックによる不安定区間では、特にゆるみ域が発生、拡大しやすく、事前止水注入工の改良効果が消失する可能性があり、拡幅前に十分な天端周辺の地盤強化が必要

② 拡幅時にTBM導坑周囲のゆるみ域が拡大し、切羽の不安定化が想定される。そのため、拡幅時の切羽と特に天端周辺地盤の強化が必要

③ 川底に向けた放射状のパターンボルトの施工は、水みちを誘発する可能性があり、パターンボルトの施工に替わる補助工法が必要

これらの検討結果から、拡幅掘削に先立ってTBM導坑内から河川下の地盤を補強し(①、②)、さらに拡幅掘削時は、鏡面、天端、および支保工脚部の安定を重視する施工法を採用した。

(b) 補強計画

図-7にTBM坑内からの地盤補強工概要図を示す。補強ボルトは延長方向に1.5m間隔(5本/断面)で行い、FRP中空ボルトL=3.0mを使用し2本継ぎとした。注入材は、ロックボルト充填用モルタルを使用し、注入はFRP中空ボルトの中空部分を通して行い、口元にパッカーを使用した(図-8参照)。注入の確認はFRP中空ボルトにあらかじめ取り付け付けたエア抜き用のナイロンチューブ(L=6.0m)よりリターンを確認することにより行った。写真-2に削孔状況、写真-3に注入状況をそれぞれ示す。また、対策工施工中の湧水に備え、止水注入の準備(発泡ウレタン注入)も合わせて行った。

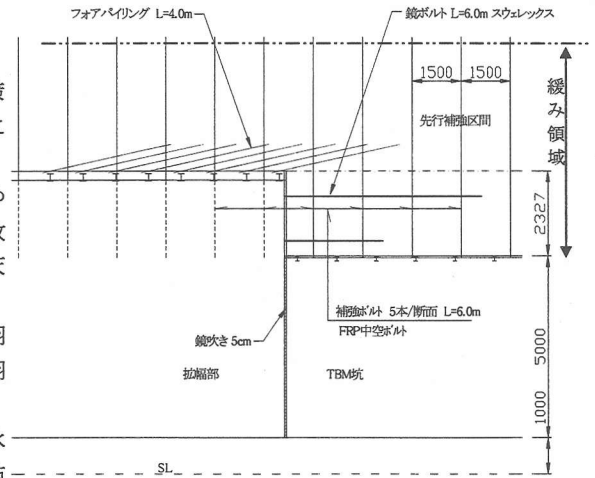


図-7 TBM坑内からの対策工概要図

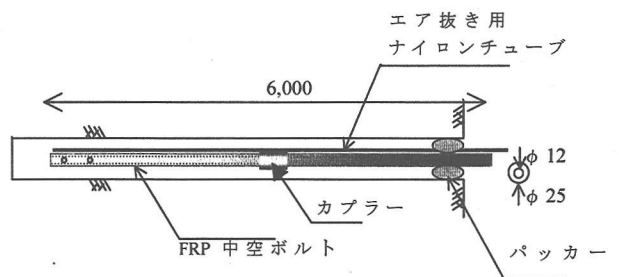


図-8 補強ボルト注入略図

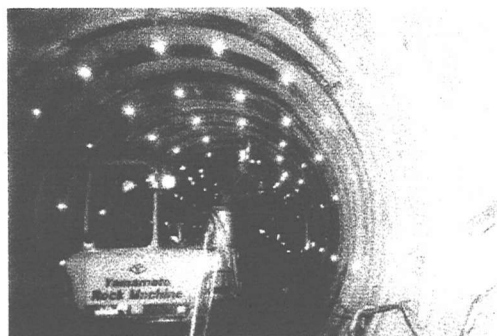


写真-2 削孔状況

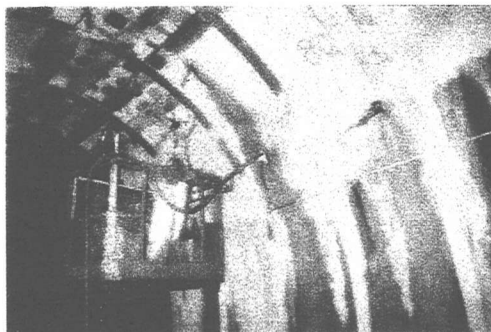


写真-3 注入状況

(c) 補強結果

今回のような地山補強では、通常は注入材として湧水に対する適応性を有するウレタン系のシリカレジンが使用されるが、

- ① 拡幅掘削時において、ウレタンを含むズリ等の処分に問題がある。
- ② 河川とトンネル上部の高低差が約14mであり、注入圧力を河川水頭(1.4kgf/cm²)より小さく設定しなければならず、圧力管理が困難で、圧力が低い場合は全く入らず、高い場合は河川に漏液する

といった問題が考えられた。

また、セメント系注入材はTBM通過前に実施した地表面からの注入工より注入圧が高圧になることがわかっていたため、今回はロックボルト充填用モルタルを注入材として使用することとした。

なお、平均注入率は113%であり、実施注入圧は6~7kgf/cm²であった。

(3) 本坑掘削時における対策工の検討その2 (拡幅掘削時における対策工)

(a) 計測工

表-3に計測管理一覧表、表-4に管理基準値を示す。管理基準値は、非線形弾性解析を基に算出した。

表-4 管理基準値(mm)

表-3 計測管理

計測項目	位置	計測頻度	備考
TBM内 先行計測	切羽より30m程度先のTBM坑内	1日1回	内空変位 天端沈下
地表面沈下	地表面に設置した 観測点6ヶ所	1日1回	
計測工A	掘削時の切羽 1断面/10m	1日1回	内空変位 天端沈下

計測項目	計測位置	管理 レベル I	管理 レベル II	管理 レベル III
先行計測	TBM坑内	—	10	—
地表面沈下	センター 左 15m	7	9	10
	センター センター 右 15m	—	10	24
		8	11	13
天端沈下	本坑 拡幅部	15	25	31
内空変位		30	50	62

管理レベルI 通常の計測管理体制
管理レベルII 計測頻度の増加、目視観察強化
管理レベルIII 目視観察強化と要因の分析

(b) 切羽安定対策工

図-8に拡幅掘削時における対策工の施工フロー、図-9に実施支保パターン、表-5に拡幅掘削時の対策工一覧表を示す。

(1) 鏡面の安定対策 (鏡吹付け、鏡ボルト)

拡幅断面掘削時において鏡面の安定を図るために、掘削後直ちに鏡吹付けコンクリートを施工した。鏡吹付けコンクリートは毎切羽ごと5cmの厚さで行った。また、切羽面の岩盤補強として長さ6mのボルトを断面(80m²)当たり20本施工した。施工は3mの進行差をつけて千鳥状に打設した。なお、鏡ボルトには中空製摩擦型ボルトを採用し

た。本施工において、鏡ボルトとしてモルタル定着タイプを使用すると、モルタル硬化前に次の掘削が始まる恐れがあったので、掘削後直ちに強度が発現する中空製摩擦型ボルトを千鳥で打設した。中空製摩擦型ボルトは、ブームヘッダーような機械掘削に対しても刃先を損傷せずに簡単に切断することができた。

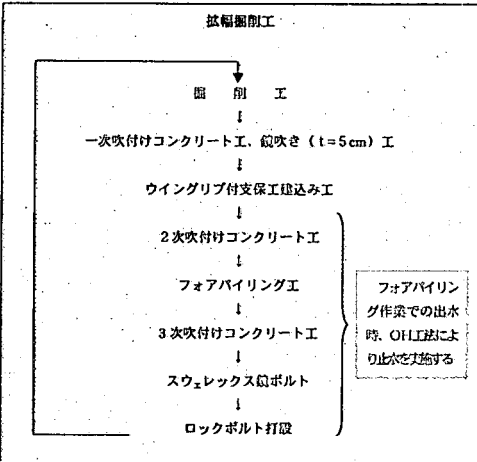


図 - 8 対策工の施工フロー

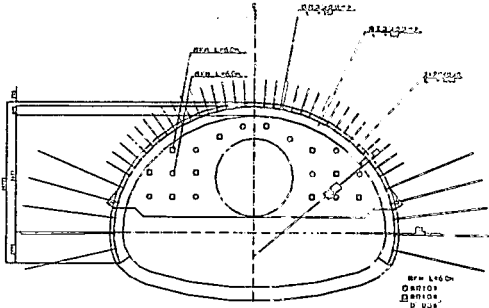


図 - 9 拡幅掘削時の実施支保パターン

(2) 天端部の安定対策（フォアパイリング）

充填式フォアパイリング工として L=4.0m の縫地ボルト（110KN）を使用し、定着材はドライモルタルを使用した。

(3) 脚部の安定対策

対策工区間（150m）はDⅢの支保パターンとなっていたが、支保工脚部の地耐力不足による支保の沈下を防止するため、脚部の設置面積を拡大し荷重を分散する方法を採用することとし、ウイングリップ付き支保工を使用した。

表 - 5 拡幅掘削時の対策工一覧表

対策工	目的	内容
鏡面の安定	切羽の自立性を保つ	鏡吹付けコンクリート鏡ボルト
天端の安定	天端の崩壊を防ぐ	フォアパイリング
脚部の安定	脚部の沈下を抑える	ウイングリップ付き支保工

5. むすび

本坑掘進に伴う笹路川交差部での地表面沈下測定、および坑内のA計測を実施し、いずれにおいても最終的に10mm以内の変位に収めることができた。

また、手前の生活道路にも影響なく施工することができた。対策区間におけるTBM坑内の湧水量についても10ℓ/min程度と大きな変動もなく地山は止水されていた。

このように、地質条件があまり良くない河川下を大断面トンネルが通過する過去に例のない工事であったが大断面トンネルの河川下横断は成功したと思われる。

今後も難しい条件での山岳トンネル施工が増えると思われるが、それに伴い補助工法は必要不可欠なものとなってきている。予想される現象に対して、適確で安全かつ経済的な補助工法の選定方法、合理的設計、施工方法を確立していきたい。