

土被り 4m の小土被り部における 大断面トンネル掘削について

加藤 慧¹・加藤 公章²

¹正会員 佐藤工業株式会社 東北支店 土木部 (〒980-0014 仙台市青葉区本町 1-10-3)
E-mail: kei.kato@satokogyo.co.jp

²正会員 佐藤工業株式会社 東北支店 土木部 (〒980-0014 仙台市青葉区本町 1-10-3)
E-mail: Kimiaki.Kato@satokogyo.co.jp

本工事は、三陸沿岸道路整備事業の一環として岩手県田野畑村と普代村境に位置する尾肝要・普代道路(8km)のうち、萩牛トンネル L=961m を建設するものである。

東日本大震災復興道路として同一の設計基準のもと計画された路線の一部であり、標準部においてはほぼ同等のトンネル内空断面積を持つ。

このうち本報分は、土被り約 4m の小土被り部における大断面掘削の施工実績、補助工法の選定について記述する。

Key Words: large-scale tunnel, shallow earth covering, small-diameter long forepiling, long face-bolt

1. はじめに

本工事は、三陸沿岸道路整備事業の一環として岩手県田野畑村と普代村境に位置する尾肝要・普代道路(8km)のうち、萩牛トンネル L=961m を建設するものである。

当現場の特徴として、覆工の仕上がり断面積は 87.6m² となり、大断面に分類される。

また、坑口から 300m 地点において土被り 1.5D (約 21.0m) 未満の小土被り区間となる延長 100m を掘削した(図-1)。そのうち中央付近の 36m は地山の弾性波速度が 0.7km/sec~0.9km/sec の DIIIa パターンが存在する。当該区間では最小土被りが 4.3m と極めて小さく、地表面には表流水が確認できる猿居沢が横断する(写真-1)。

本報文は、土被り約 4.3m における大断面掘削の施工実績、補助工法の選定について記述する。

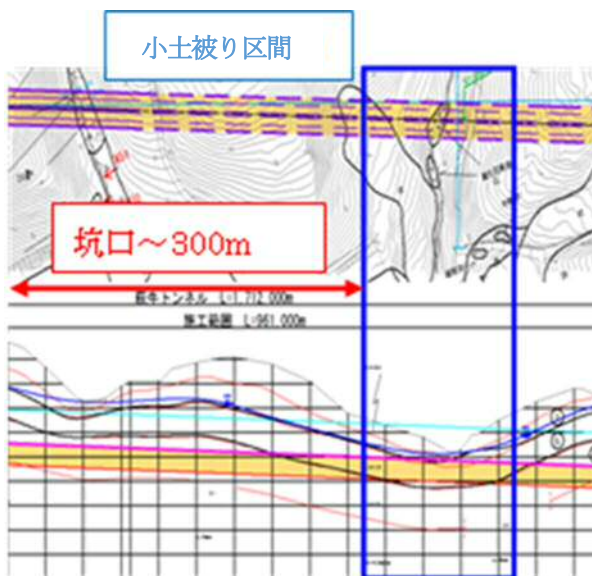


図-1 小土被り部直上部



写真-1 小土被り部直上部

2. 地質概要

近傍における既往ボーリング調査において、トンネル直上部に亀裂の発達した強風化岩が確認された。このことから、掘削により亀裂が開口し、多量の沢水や地下水を引き込むことにより、天端崩落や地表部に影響を及ぼす可能性が懸念された(図-2)。

また、現地にて事前に3Dレーザースキャナによる三次元地表形状測定を実施した。結果、沢部におけるトンネルの最小土被りは4.27mであり、当初設計縦断面図と符号することを確認した(図-3)。

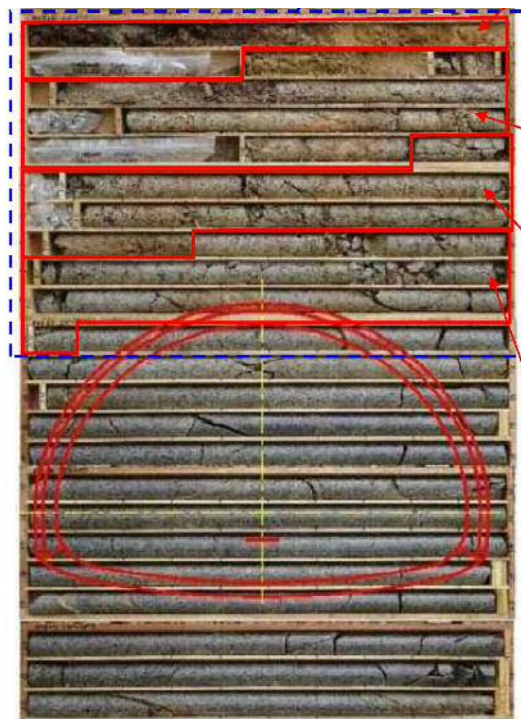


図 3.2.1. 低土被り区間の

図-2 既往ボーリング調査結果

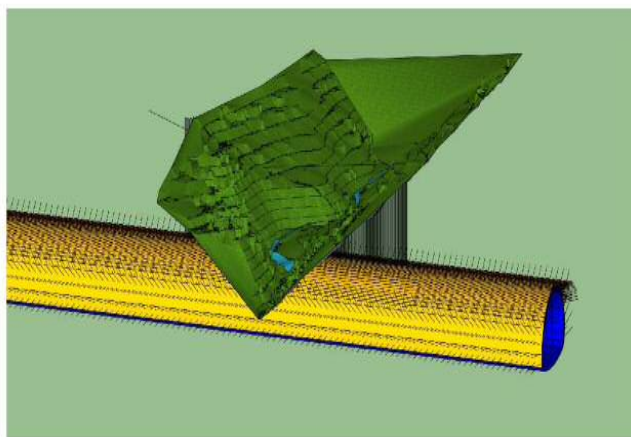


図-3 3Dレーザースキャナによる3次元計測

3. 施工方法の検討、選定

当初設計では、掘削途中における表流水のトンネル内への流入を防止するため、地表部には布製型枠による護岸工、またトンネル補助工法では注入式フォアポーリングが計画されていた。

(1) 小土被り部護岸工

小土被り区間はグラウンドアーチの形成が困難であり、トンネルに出現する地質および地形条件の影響を強く受ける。加えて、トンネル上部の強風化岩の影響と思われる沢水の伏流現象も確認されているため、地表面の変形に伴う布製型枠の変形が懸念された(写真-2)。

再検討を行い、掘削途中においては布製型枠を仮設暗渠管で代用し、トンネル通過後、本設構造物としてU字溝を設置して沢水を処理する計画とした(写真-3)。



写真-2 布製型枠施工例



写真-3 仮設暗渠管による沢水切り回し

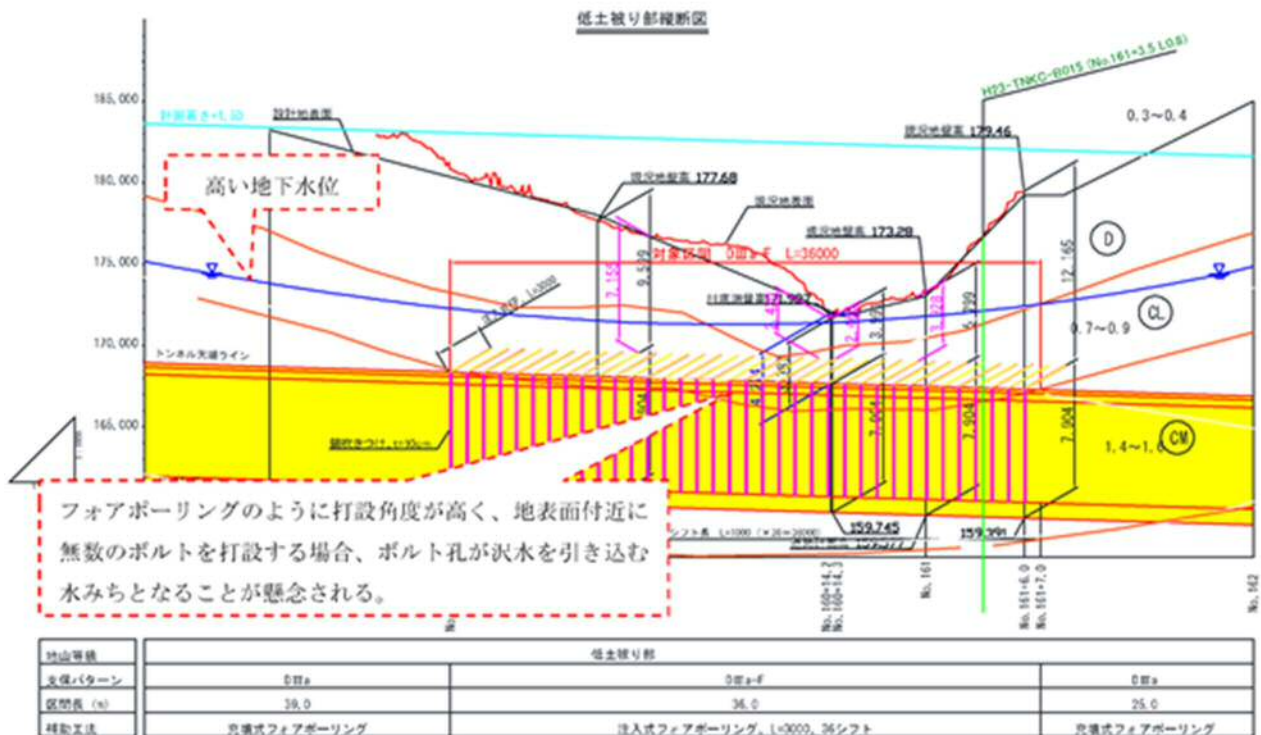


図4 小土被り部縦断面図

(2)小土被り部補助工法

当初設計の注入式フォアポーリングは、打設角度が高いためボルト先端と河床部直下の離隔が 2.5m しかないこと、さらに地表面付近に多数のボルトを打設することになり、河床部ではボルト孔が沢水を引き込む水みちとなる可能性があると考えた。改良範囲も部分的なものであり、切羽の自立確保が困難であることは容易に想像された(図-4)

対策工の詳細検討は「道路トンネル観察・計測指針平成 21 年 2 月 社団法人 日本道路協会」の補助工法選定フローに基づいて実施した。選定フローを図-5 に示す。

検討を行ったところ、①「天端崩落及び先行変位抑制を目的とした長尺での先行補強」、②「剛性の高い鋼管での荷重負担および接着性の高い注入材による緩み部の改良」が必要と判断できる。また、最小土被りが 4.3m となる沢直下区間は、鋼管長を短くすることで、鋼管先端と地表面の離隔を確保し、水みちとなり得る D 級岩盤（強風化花崗岩）への干渉を抑制することが期待できる。

また、地表面を地上型レーザースキャナーにて 3 次元計測を行い、トンネル設計モデルと重ねることで補助工法の妥当性を確認し、長尺先受けでの先行補強と剛性の高い鋼管での荷重負担を目的とした注入式長尺先受工（AGF）を採用した。ただし対象区間は土被りが小さいことから、大きな荷重は作用しないと考えら

れ、剛性の高い鋼管はそれほど必要としないことから、施工性に優れている小口径の鋼管を選定した。また削孔長を短くし、先受けの先端を低く抑えることで、水みちの形成を抑制し沢部直下へ干渉するリスクを低減した。

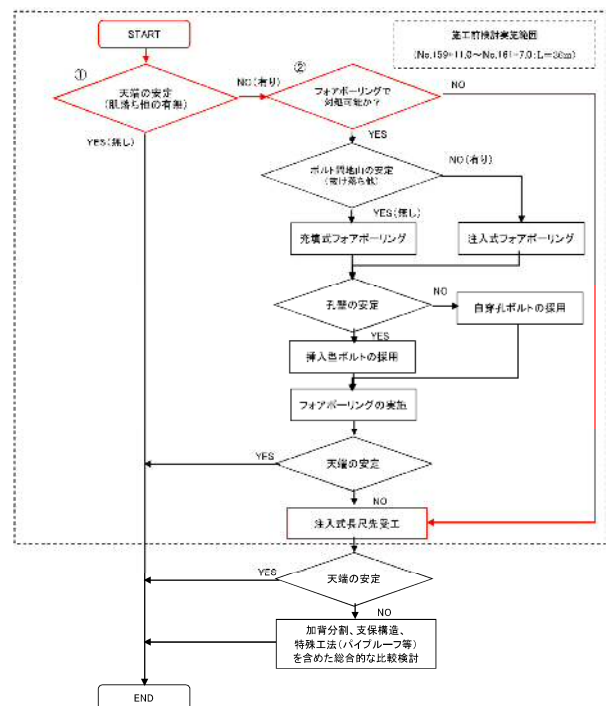


図5 補助工法選定フロー

以上より、6m/シフト×6 シフトの計 36m を採用した(表-1)。

また注入材はシリカレジンを採用し、鏡吹付けを併用することとした。本パターンでは 4 シフト目に最小土被り地点を迎える計画となる。

さらに、最小土被り地点は施工直前に実施したボーリング調査で破碎帯であることが確認されており、前述した地質調査の結果より劣悪となるケースが想定された。AGF 工法での安全な地山掘削が困難となるケースに備え、鏡ボルトとドリルジャンボによる地質調査を常に併用できる計画とした。

4. 施工実績

表-1 に注入実績表を示す。

(1) 注入量の検討

3 シフト目にて以下の理由から注入量の検討を行った。

- 土被りが小さいため地表部への薬液のリークが懸念される。ベースとなる設計注入量を高くし、注入圧力をかけずに必要箇所に均一に注入を行いたい。
- 天端崩落による地表面陥没の発生を防ぐため、鋼管先端からの抜け落ち防止を図りたい。

注入実績に基づき、設計注入量においても注入圧が上がらないため、設計注入量の増量検討を行った(表-1)。

3 シフト目の注入実績は 126% となり、設計注入量 10.8kg/m に対し、13.6kg/m (126%) となる。改良径で計算すると、500mm 程度に相当する(図-6)。

また、最も土被りの小さい 4 シフト目においては、沢水が増え亀裂の状態も悪化することが想定されたため、湧水増加に伴う鋼管間からの抜け落ちの発生が懸念された。3 シフトの注入実績に基づき改良径を 500mm にし、改良ラップを設けることで、鋼管間からの抜け落ち対策及び亀裂充填による沢水の引き込み防止を図ることとした。

図-7 に、注入量の計算を示す。

最小土被り区間における注入量増量は、地表部からの薬液の流出リスクが増すことになる。しかしながらより有効な注入を行うための選択とし、薬液注入中は地表面の常時監視を併行した。

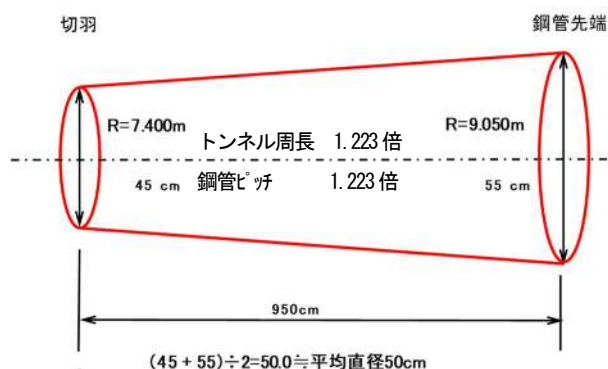


図-6 改良径検討図

表-1 小土被り部注入実績

シフト	補助工法	設計		実績		実績 - 設計
		注入量 (kg/本)	注入量 (kg/シフト)	注入量 (kg/本)	注入率 (%)	
1シフト	長尺先受けボルト (AGF)	103	3,399.0	112.8	3,723.3	110%
2シフト	長尺先受けボルト (AGF)	103	3,399.0	125.7	4,147.2	122%
3シフト	長尺先受けボルト (AGF)	103	3,399.0	129.5	4,273.9	126%
4シフト	長尺先受けボルト (AGF)	124	4,092.0	166.9	5,508.7	135%
5シフト	長尺先受けボルト (AGF)	124	4,092.0	177.2	5,848.2	143%
鏡1シフト	鏡ボルト (AGF)	89	1,424.0	89.1	1,425.1	100%
6シフト	長尺先受けボルト (AGF)	103	3,399.0	115.9	3,825.5	113%
			23,204.0		28,751.9	121%
						5548kg

◎改良径 600mm の注入量

削孔径	B	92.0mm	間隙率	a	35%
鋼管外径	D	76.3mm	充填率	α	95%
鋼管内径	d	65.9mm	ウレタン率	U	50%
インサート管径	C	0.0mm	ロス率	β	5%
地山改良径	a	500.0mm	比重	ρ	1.315
地山改良長	L	9.5m	発泡倍率	F	4倍

◎注入量算出

$$\text{地山改良体積} : V1 = (a^2 - B^2) \times \pi / 4 \times L = 1802.2\ell$$

$$\text{鋼管外容積} : V2 = (B^2 - D^2) \times \pi / 4 \times L = 19.7\ell$$

$$\text{鋼管内容積} : V3 = (d^2 - C^2) \times \pi / 4 \times L = 32.4\ell$$

$$\text{地山内注入量} : Q1 = V1 \times (a \times \alpha \times U) \times (1 + \beta) \times \rho \times 1/F = 105.8\text{kg/本}$$

$$\text{鋼管外注入量} : Q2 = V2 \times (1 + \beta) \times \rho \times 1/F = 6.8\text{kg/本}$$

$$\text{鋼管内注入量} : Q3 = V3 \times (1 + \beta) \times \rho \times 1/F = 11.2\text{kg/本}$$

$$\text{注入量} : Q = Q1 + Q2 + Q3 = 124\text{kg/本}$$

変更後

図-7 注入量の計算

(2)長尺鏡ボルトによる地山強化

最小土被り地点において、切羽が部分崩壊しトンネル掘削作業が困難となった。切羽は流れ目の板状節理であり、開口部分に湧水が確認された(写真-4)。

切羽面は自立しておらず、多目の流れ目で開口亀裂が非常に発達(50mm 程度)している。また、トンネル天端付近には強風化した花崗岩が差目状に残る(図-8)。

大目の岩塊についても潜在的な亀裂が発達し、バックホウで掘削可能なほどまで岩強度が低下していることが確認された。

これを受け、大きな岩塊を定着力の大きい鋼管ボルトにより縫い付ける長尺鏡ボルト工法(削孔長 $L=12.5\text{m}$)を選定し採用した(図-9、図-10)。

また注入材については、湧水がある場合でも逸走の可能性が低いシリカレジンを選定した。鏡ボルトの仕様を表-2 に示す。



写真-4 崩落時切羽状況

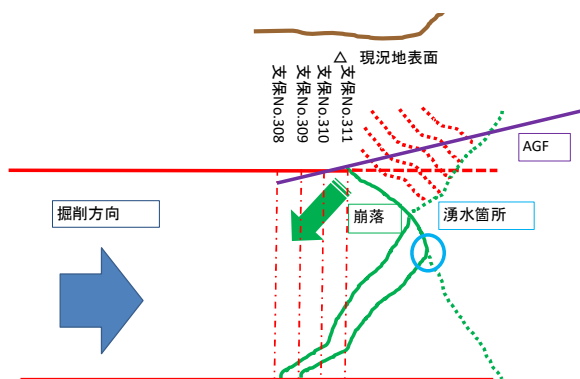


図-8 崩落時切羽縦断面図

毎分 1000以上の湧水が切羽から確認されていたため、鏡ボルトとは別に、 $L=12.5\text{m}$ の水抜き孔を削孔することとした。その際、ドリルジャンボによる前方探査を実施し、土被り増加に伴う地山の強度確認を行うものとした(写真-5, 6)。

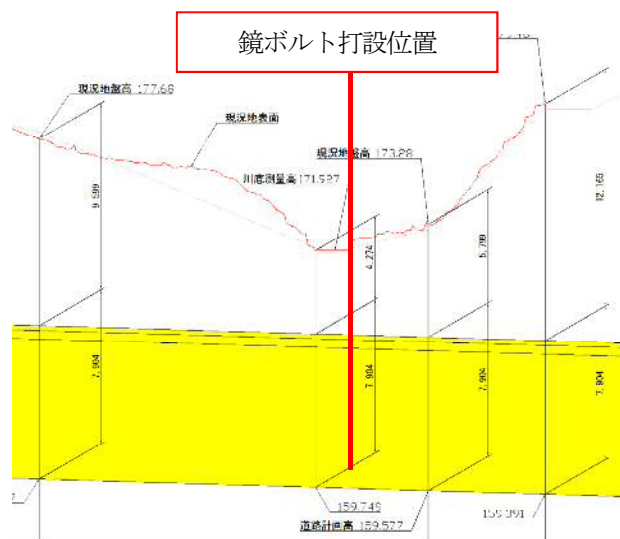


図-9 鏡ボルト打設箇所縦断面図

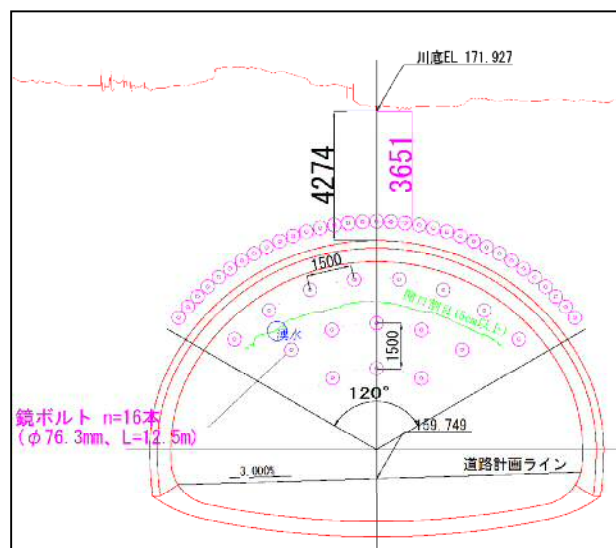


図-10 鏡ボルト断面図

表-2 鏡ボルト仕様表

項目	規格	数量
シフト数		1シフト
打設範囲		120度
鋼管長	φ 76.3	12.86m
打設長(改良長)		12.50m
打設間隔		1500mm
注入材	シリカレジン	
注入量	7.12kg/m	89kg/本
打設本数		16本/シフト



写真-5 水抜き孔削孔状況



写真-6 ドリルジャンボによる前方探査記録

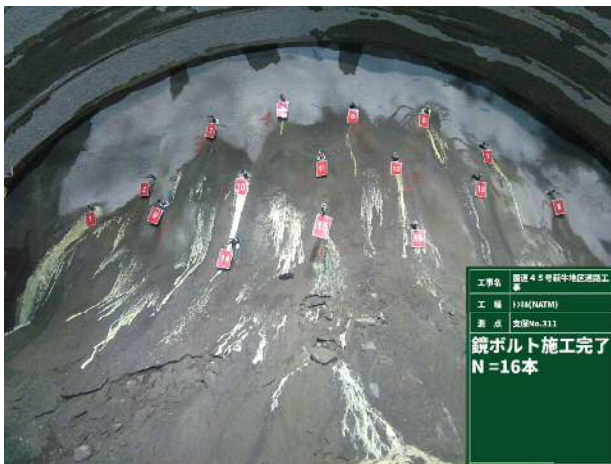


写真-7 鏡ボルト施工完了

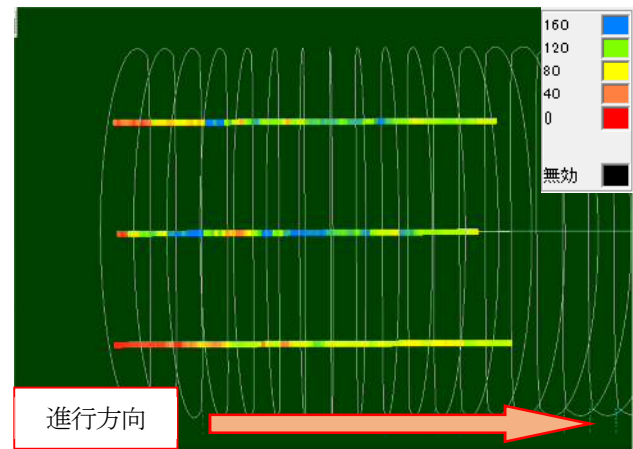


図-11 前方探査結果

5. まとめ

以上の対策工を実施し、鏡ボルト計 16 本の打設を行った(写真-7)。

前方探査結果を以下に示す(図-8)。

図-8 から鏡ボルト打設位置より 3m 程度前方からは、土被りの増加に伴う地山の安定が想定された。また、鏡ボルト打設時に行った前方探査記録より 3~4m 前方からは地山は硬質になる傾向にあることが確認され、実際掘削を進めると比較的健全な岩質の傾向が確認され、無事小土被り区間の施工を完了することができた。

最小土被りが 4.3m の大断面掘削において、トンネル上部の亀裂を注入材で確実に固結させ、崩壊性の強い鏡面を鏡ボルトで一体化させることにより、天端崩落はなく安全に掘削することができた。また、鋼管長を短くすることで表流水の流入を防止できた。

(2019. 8. 9 受付)

LARGE-SCALE TUNNEL EXCAVATION IN A SHALLOW EARTH COVERING PART OF 4M EARTH COVERING.

Kei KATO, Kimiaki KATO and Takayuki TANIKAWA

As part of the Sanriku Coastal Road Improvement Project, this construction will construct a cochlea tunnel, L=961m, on the tail liver and the Fuyo road (8km) located at the border of Tanohata village and Fuyo village in Iwate prefecture.

It is a part of the route planned under the same design standards as the reconstruction road after the Great East Japan Earthquake, and has almost the same tunnel cross-sectional area in the standard part.

Of this, this report describes the construction results of large-section excavation in the low earth covering part of approximately 4m and the selection of the auxiliary method.