

# 工事報告書

## 付替県道入部中原停車場線五ヶ山トンネル工事

那珂支部 五ヶ山ダム建設事務所 小宮 浩

本報告書は、福岡県筑紫郡那珂川町五ヶ山地内において計画された五ヶ山トンネル工事についての調査・設計・施工に至るまでの概要を記述したものである。内容は、主に当初設計から実施施工への変更点及び施工中に発生した問題点とその対応などについて記述したものである。

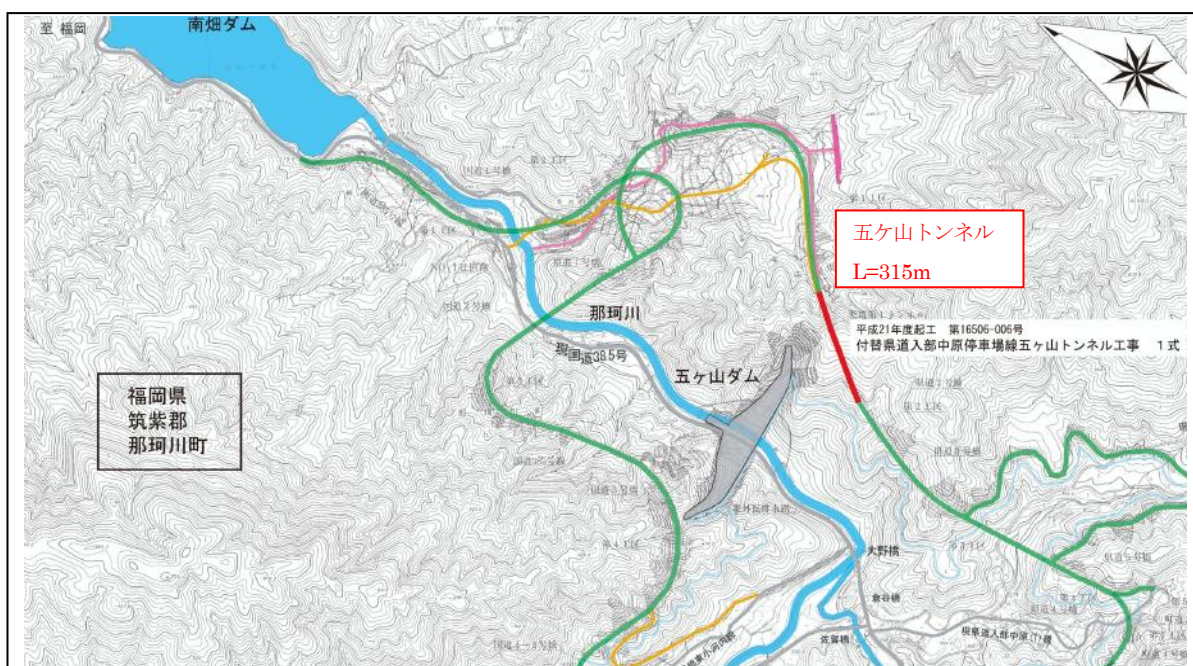


図-1 五ヶ山トンネル位置図

### 1. はじめに

本トンネルは、福岡県西部を流れる那珂川上流部における五ヶ山ダム建設事業の一環であり、ダム建設に伴う付替県道のダムサイトに近接した部分に計画されている。

本稿においては、トンネル工事計画の調査・設計から施工に至るまでの全体概要について報告する。

図-1 に五ヶ山トンネル位置図（五ヶ山ダム計画平面図）を示す。

写真-1 に起点側坑門（平成 23 年 12 月 1 日現在）を示す。



写真-1 起点側坑門



表-1 トンネル施工概要

工 事 件 名		付替県道入部中原停車場線 五ヶ山トンネル工事	トンネル標準断面図
工 事 場 所		福岡県筑紫郡那珂川町五ヶ山地内	
発 注 者		福岡県 五ヶ山ダム建設事務所	
施 工 時 期		平成 22 年 3 月～平成 23 年 12 月	
請 負 者	地質調査	応用地質(株) (株)カミナガ (株)ダイエイコンサルタント 昭和地下工業(株)	DIIIa
	設 計	(株)応用地質	
	施 工	間・松山特定建設工事共同企業体	DI-b
ト ン ネ ル 諸 元	地山岩種	花崗岩（風化・強風化）	
	トンネル延長	315m	
	内空断面積	3 芯円(上半単芯円形状) 43.7 m <sup>2</sup>	
	トンネル工法	NATM	
	掘削方式	発破掘削	
	補助工法 (当初設計)	注入式フォアポーリング (DIIIa) 充填式フォアポーリング (DIIIa-d)	

### 3.地質調査概要

ここでは、事前に実施された設計業務資料 Ⅲに基づき、想定された地盤状況と地形的な特徴を述べる。

#### 3.1 全体概要

##### 3.1.1 地形概要

本トンネル計画路線は、ダムサイトの取付き尾根部を貫通する路線として設定されているが（図-1・図-2 参照）、起点側坑口は、路線の両側を小沢に挟まれた細尾根の中心に計画されており、終点側坑口は、路線が北西-南東方向に計画されているのに対し、ほぼ南北方向に深く切れ込む沢に挟まれた細尾根の末端部に計画されており、尾根の中心とトンネル計画路線がやや斜交した形となっている。また終点側坑口に近いトンネル延長の約 1/3 の位置（No.66～No.67 付近）で、切れ込みの深い沢と交差している。終点側坑口付近においては、坑口部付近を頭部として、崩壊地形が認められ、トンネルの土被りが極めて薄い区間をなしている。

##### 3.1.2 地質概要

本トンネルは、ほぼ全線が花崗岩であり、坑口付近の低土被り部では深層風化が認められマサ土化している。トンネル経路の随所に小規模断層が多く分布しており、地下水を伴うため、自立性が低く、集中湧水が予想される。また、全体に分布している花崗岩の弾性波速度は、最大 3.5km/s 程度であり、一般的な花崗岩の速度(4.0～6.0km/s)に比べ低いものとなっている。このことから、岩質は硬質であるものの、風化変質により亀裂が発達した箇所が発現する可能性があり、一部はマサ土化している懸念がある。

## 4.当初設計

### 4.1 支保工区分の設定

支保構造設定の根拠を起点側坑口部 (No.55+10) から終点側 (No.71+5) に向かって、以下に順次示す。

図-3 五ヶ山トンネル計画縦断面図 (地質縦断面図) 参照。

#### (1)DⅢa (起点側No.55+10～No.57)

本トンネル起点側坑口付近に分布する、地質はやや風化を受けた花崗岩である。坑口より土被りが 1.5D 確保できる位置において、トンネルの地山等級は DⅡ であり、軟岩が掘削対象であるので、土被り 1.5D(14.25m)まで坑口範囲 (DⅢa) と設定する。

#### (2)DⅠ-b(No.57～No.61+5)

地山は、起点側については礫状～岩片状を呈しており、終点側へ向かって岩片状ないし硬質なブロック状を呈する。高角度の粘土化した厚さ数cm～数 10 cm程度の変質帯が出現する (高角度流れ盤と受け盤のものが混在)。変質帯には CⅡ程度の硬質な岩盤が分布すると推定される。亀裂沿いに地下水の染み出しは少なく、変質帯部分で湧水の量がやや多くなると推定される。切羽の自立性は、起点側については発達する亀裂からの湧水により、やや悪いことが予想されるが、終点側に向かい改善に向かう。また変質帯や亀裂に沿った切羽の崩壊や、局所的に分布する硬質な岩塊の崩落・抜け落ちが懸念される。

#### (3)CⅡ-b(No.61+5～No.63+5)

地山は硬質ブロック状となり、亀裂間隔は 10～20 cm程度となる。亀裂面はしばしば褐色化し、粘土を介在する場合もある。高角度の粘土化した厚さ数 10 cm程度の変質帯が出現する。亀裂沿いに地下水の染み出しは少なく、変質帯では湧水の量がやや多くなると予想される。切羽の自立性は良質であると推定されるが、切羽や天端からブロック状の岩塊の抜け落ちが懸念される。

#### (4)DⅠ-b(No.63+5～No.65+10)

地山は礫状～岩片状を呈し、部分的にマサ化 (土砂状) する。高角度の粘土化した厚さ 1m程度の変質帯がしばしば出現する。地下水の染み出しが全体に見られ、変質帯部分では湧水の量が多くなると推定される。

#### (5)DⅡ(No.63+10～No.67)

地山は礫状～岩片ないしマサ化 (土砂状) する。  
高角度の粘土化した厚さ 1m程度の変質帯がしばしば出現する (中～高角度流れ盤)。  
地下水の染み出しが全体に見られ、変質帯部分では湧水の量が多くなると推定される。

#### (6)DⅠ(No.67～No.68+15)

地山は礫状～岩片を呈し、部分的にマサ化 (土砂状) する。  
高角度の粘土化した厚さ 10 cm程度の変質帯が出現する。(高角度流れ盤～流れ盤)。  
亀裂沿いに地下水の染み出しが見られ、変質帯部分では湧水の量が多くなると推定される。

#### (7)DⅡ(No.68+15～No.70)

地山は礫状～岩片ないしマサ化 (土砂状) する。  
高角度の粘土化した厚さ 10 cm～4m程度の変質帯がしばしば出現する (高角度流れ盤)。  
切羽全体の地山からの地下水の染み出しは少ないが、変質帯部分では湧水の量が多くなると推定される。

#### (1)DⅢa-d (No.70～No.71+5.0)

地山は礫状～岩片ないしマサ化 (土砂状) する。  
高角度の粘土化した厚さ 10 cm～4m程度の変質帯がしばしば出現する (高角度流れ盤)。  
切羽全体の地山からの地下水の染み出しは少ないが、変質帯部分では湧水の量が多くなると推定される。  
トンネルの地山等級は DⅡ であり、軟岩が掘削対象であるので、土被り 1.5D(14.25m)以降の坑口範囲 (DⅢa-d) と設定する。

## 5. 施工結果

### 5.1 支保パターンにおける当初設計と実施施工との比較

表-2 に当初設計と実施施工の比較を示す。掘削方法・掘削工法等について変更はない。支保パターンについては、トンネル中央部及び終点部に想定されていた変質帯が、局部的にしか発現しなかったため DII パターンの箇所は DI-b に変更した。また、CII-b 区間においては若干の延長があった。トンネル全体においては、地質および支保パターンについては概ね想定内であったといえる。

表-2 当初設計と実施施工の比較表

		当初設計	実施施工
地山岩種		花崗岩（風化・強風化）	左記に同じ
掘削方法		発破掘削	左記に同じ
掘削工法		補助ベンチ付全断面工法 上半先進ベンチカット工法	左記に同じ
補助工法		注入式フォアポーリング 充填式フォアポーリング	注入式フォアポーリング 充填式フォアポーリング（導坑） 長尺鋼管先受け工 鏡補強工（鏡ボルト）
計測工		A 計測、地表面沈下計測	A 計測、地表面沈下計測、GPS 計測
支保 工区 分	CII-b (%)	40.0m ( 12.7 %)	44.0m ( 14.0 %)
	DI-b (%)	165.0m ( 52.6 %)	216.0m ( 68.9 %)
	DII (%)	55.0m ( 17.5 %)	0.0m ( 0.0 %)
	DIIIa (%)	49.4m ( 15.7 %)	53.8m ( 17.1 %)
	DIIIa-d (%)	4.4m ( 1.5 %)	0.0m ( 0.0 %)
	合計(坑門部除く)	313.8m ( 100.0 %)	313.8m ( 100.0 %)

### 5.2 補助工法における当初設計と実施施工の比較

#### 5.2.1 近接構造物沈下対策

起点側坑口部の設計時点では、天端安定化対策として注入式フォアポーリング（シリカレジンを注入、L=3m）を計画していた。しかし、坑口付けの掘削をしたところ土質が強風化花崗岩（マサ土）であり、トンネル左側に位置する砂防堰堤上部法枠（写真-2・図-4 参照）が沈下による影響を受ける可能性があるため、トンネル掘削開始前に施工業者の提案により FEM 解析を行ったところ、影響を受けることが判明した。



写真-2 起点側坑口付近着工前

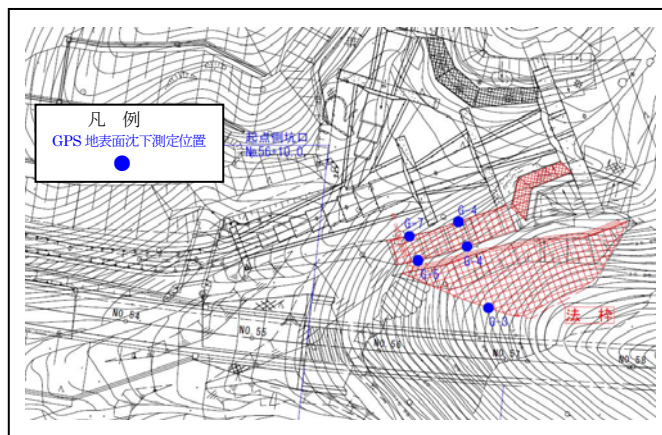


図-4 起点側坑口付近詳細平面図

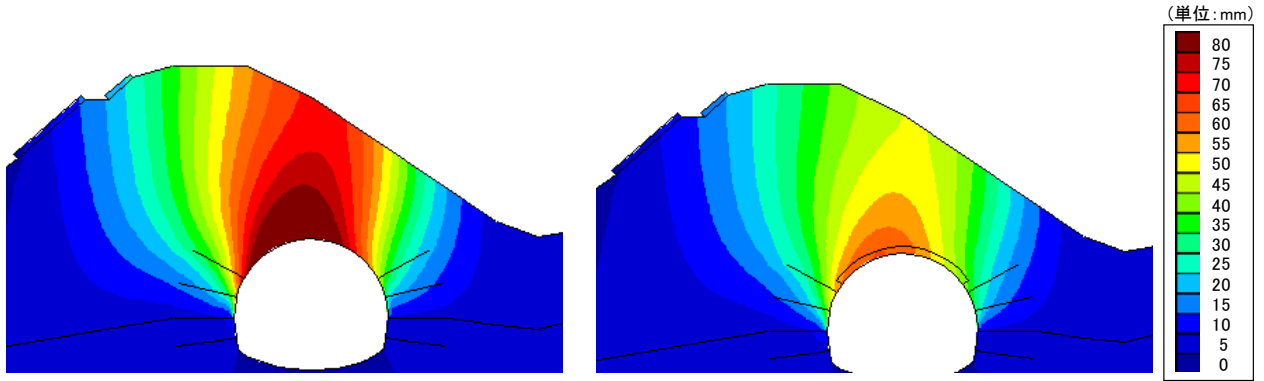


図-5 FEM解析結果（注入式フォアポーリング）

図-6 FEM解析結果（長尺鋼管先受け工）

対策として、トンネル掘削時の天端安定化を図りつつ地表面沈下を抑制する目的で注入式フォアポーリングに替えて、より剛性が高い長尺鋼管先受け工（以下 AGF）にて施工した。AGF のシリカレジン注入量は当初設計のフォアポーリング注入量から注入率を算定して決定した。AGF は端末管を切断撤去する無拡幅式であるが、第 1 シフトに関しては支保工の外側から打設することで撤去部を設けなかった。AGF の仕様を表-3、断面図を図-7、側面図を図-8 に示す。

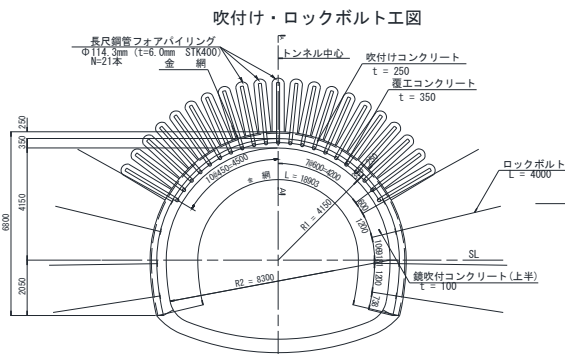


図-7 AGF 工断面図

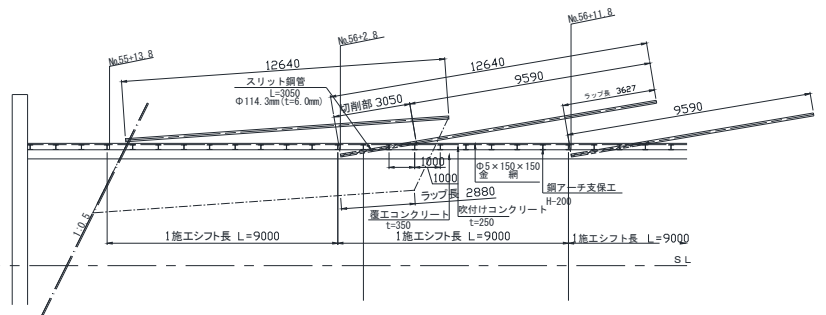


図-8 AGF 工側面図 3 シフト

表-3 AGF 数量表

測点	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
No55+13.8	L=12640	Φ114.3mm t=6.0mm (STK400)	本	21	シカング注入
No56+2.8	L=12640	Φ114.3mm t=6.0mm (STK400)	本	21	シカング注入
No56+11.8	L=9590	Φ114.3mm t=6.0mm (STK400)	本	21	シカング注入
合計				63本	

AGF 打設後、トンネル掘削時における切羽天端の状態は安定しており、シリカレジン改良体も確認された。また、近接構造物である法枠に関しても、G-3～G-7（図-4 参照）の 5 箇所にて地表面沈下測定を行ったが、最大で-4.3 mm（G-7）の沈下に留まり、トンネル掘削に起因する亀裂等の不具合発生も見られなかった。表-4 にて測定結果を示す。

表-4 起点側最終沈下量一覧表

測点	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7
最終沈下量 (mm)	-2.8	-0.6	-0.2	-3.9	-4.3

### 5.2.2 切羽鏡面の崩落防止対策

トンネル掘削作業時、No.64+5 付近（D I -b）において切羽鏡面の崩落があった（写真-3・4 参照）。崩落は薄粘土が介在する小さな亀裂に沿って発生しており、湧水は滲水程度であった。崩落原因として、トンネル横断方向でほぼ直角に近い角度で存在する亀裂と亀裂（切羽の背面）に介在する粘土が原因で境目から崩落したと考えられた。掘削作業を続けるにあたり、同様の切羽状況が今後も継続すると想定されたため、切羽鏡面の崩落防止対策の検討を実施した。



写真-3 崩落状況



写真-4 崩落状況 (近景)

対策として、各鏡補強工において、経済性・施工性等を比較検討し、鏡吹付コンクリート (t=5cm) +短尺鏡補強ボルト (L=4.0m) を補助工法として採用し、対策を行った。施工の概略としては、鏡吹付コンクリートで鏡面の小崩落・緩みの拡大を防止したうえで、小口径の短尺鏡止めボルトを鏡面に打設することにより岩塊自体を切羽に縫い付けて切羽の崩落を防止する。また、打設する短尺鏡止めボルトはトンネル掘削時に切断・撤去する必要があるためグラスファイバー製のボルト (GRP ボルト) を使用した。(写真-9・10 参照)

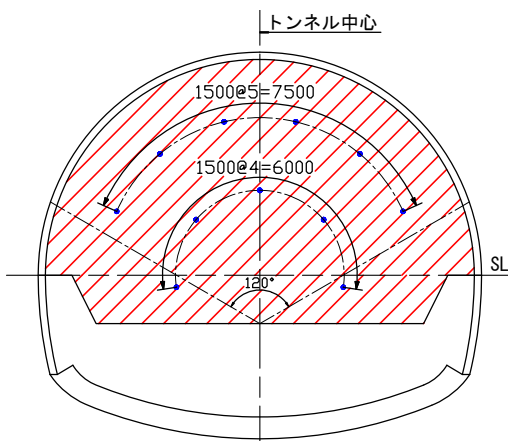


図-9 鏡補強断面図

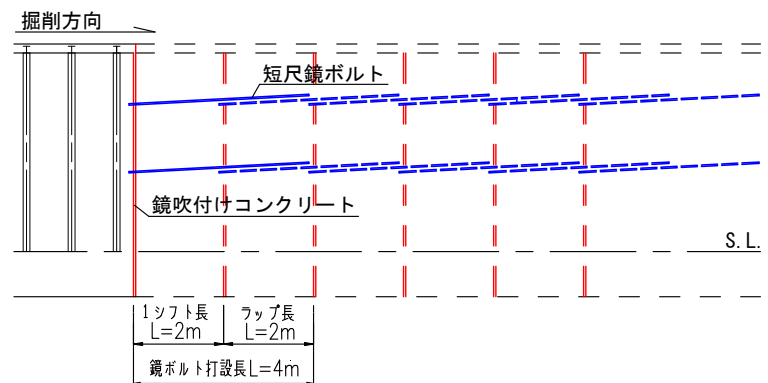


図-10 鏡補強側面図

鏡補強対策を実施することで、以降の同様な切羽区間において大きな崩落もなく施工を終えることができた。

## 6. おわりに

山岳トンネルは、事前調査に基づく設計と実際の施工が大幅に異なることが多い。しかし、施工の進捗に伴い、適時に「五ヶ山トンネル検討委員会」を開催し、当初設計を踏まえて、現場の状況に適合した工法を検討・協議し、安全を確保した中で実施施工を行うことができた。

他工事でも言えることだと思うが、トンネル工事は地山の深部を掘削するため、様々な調査（地質調査・弾性波試験）を実施し、その成果を基に設計を行う必要がある。しかし、実際に現場施工を行うと調査では一部分の情報しか得られていないため、掘削した切羽の状況と相違するものがみられ、支保工区分の変更や補助工法の追加変更に係る判断を決定していくことが大変だった。

今回、トンネル工事を担当したが、県土整備事務所でもトンネルを計画されている箇所が少ない中、当事務所にて貴重な経験を積むことができたと思う。

※五ヶ山ダム建設事務所 工務課