

第1章 序 論

第1節 地芳道路の計画

一般国道440号は、愛媛県松山市を起点とし、高知県高岡郡梼原町に至る延長約97kmの路線で、四国有数の観光地で知られる四国カルストの観光道路として、また、四国西南地域と松山市や高知市を結ぶ幹線道路として重要な役割を担っている。

しかし、本路線は四国山地の急峻な山岳地帯を縫うように通過しているため、道路が狭い上に急カーブや急勾配区間が多く、安全性に問題があるほか、冬季の積雪、凍結によるたびたびの通行規制などの問題もあり、交通の信頼性確保が課題となっていた。地芳道路は、これらの通行障害を解消するとともに、走行費用の節減および交通事故の減少、関連地域との交流拡大や救急医療の改善等を図るため、県に代わり権限代行直轄事業として平成2年より国土交通省四国地方整備局中村河川国道事務所、松山河川国道事務所合同で8.9kmの「地芳道路」の整備を行ってきた。

このうち地芳トンネルは、愛媛県と高知県の県境（四国カルスト）を貫く延長L=2,990mの長大トンネルであり、中村河川国道事務所が担当した。（図1-1-1参照）

一般国道440号 地芳道路（道路規格）

- ・ 道路等級：第3種第3級
- ・ 設計速度： $V = 50 \text{ km/h}$
- ・ 標準幅員： $W = 10.0 \text{ m}$ （トンネル部 $W = 9.25 \text{ m}$ ）

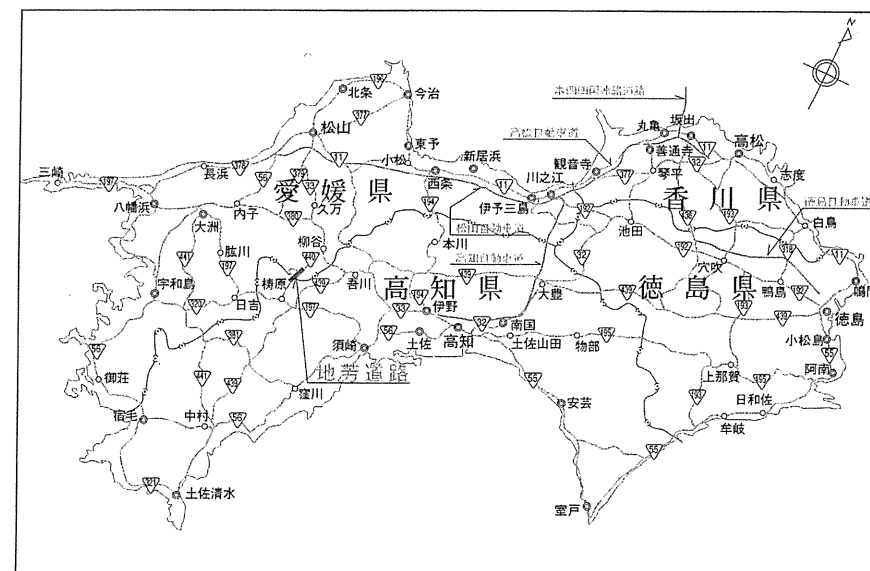


図1-1-1 地芳道路位置図

第2節 地域の状況

地芳道路周辺の市町村には、山口県の秋吉台、福岡県の平尾台と並ぶ日本3大カルストの1つである四国カルストをはじめ、スキー場、キャンプ場、温泉などの観光地が多く立地しており、季節を問わず多くの観光客が四国内外から訪れている。また、久万高原町（愛媛県）および梼原町（高知県）は、農林水産業が主体の地域で、特に林業が盛んであり、木材関連施設が多く立地しているものの、道路状況が悪く、両県の間で原木の流通はほとんどない状況である。

地芳道路供用後の効果については、以下のとおりである。

空港へのアクセス性向上

梼原町から便数・フライト先の多い松山空港へのアクセスが現状より約29分短縮され、利用する空港の選択肢の拡大と四国地域外への広域交流の促進が期待される。

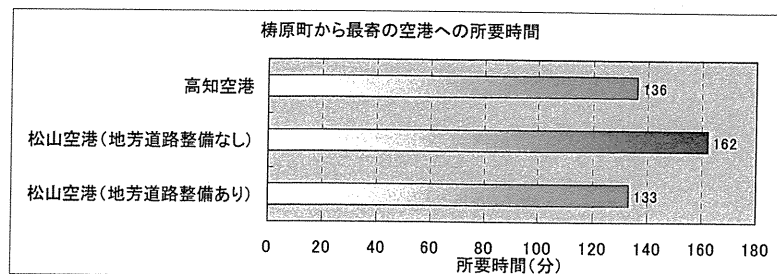


図1-2-1 梼原町から最寄の空港への所要時間

港湾へのアクセス性向上

地芳道路の整備により、地芳峠を通過する所要時間が約29分短縮され、梼原町から重要港湾のある松山港へのアクセス向上により、利用する港湾の選択肢の拡大と四国域外への広域交流の促進が期待される。

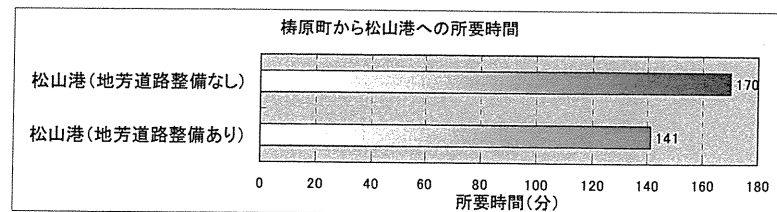


図1-2-2 梼原町から松山港への所要時間

その他の整備効果

- ・木材加工品をはじめとする農林水産品の流通の利便性向上
- ・幅員拡幅、線形改良により、大型車、救急車および夜間の走行性の向上
- ・周辺観光地や四国カルストへのアクセス性向上
- ・現道の通行規制区間の解消により、現道沿線の集落の孤立化を解消

第3節 地芳トンネルの概要

地芳トンネルは、愛媛・高知県境に接する四国カルストの直下を横断する延長2,990mの道路トンネルであり、施工は愛媛側1,387mの第1工事と高知側1,603mの第2工事に分割して施工された（図1-3-1）。それぞれの工区における工事概要を示す。

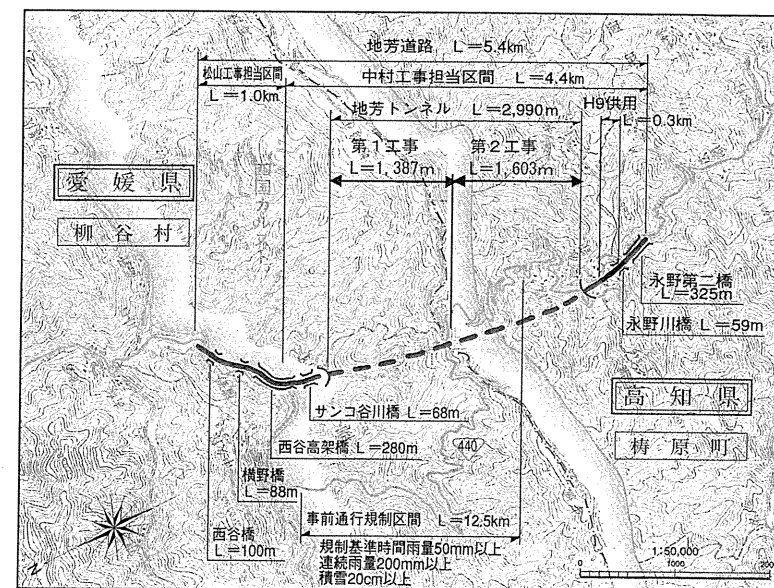


図1-3-1 地芳トンネル工事工区

1. 第1工事（愛媛県側）

坑口より700mの地点で出現した石灰岩は高水圧（2.0～2.65MPa：水深200～265m相当）で多量の地下水を含んでおり、その延長は550mにも達する大規模なもので、青函トンネル級の湧水圧を持った海底トンネルの様相を呈していた。

その影響で、毎分20tの突発湧水に見舞われた他、止水注入区間の石灰岩に挟まれた地質の脆弱な緑色片岩部で、トンネルの変形、土砂の流出を伴う2度の崩壊が生じ、本坑を一時中断し、迂回坑による計画変更を余儀なくされるなど、予想を越える難関に遭遇した。

2. 第2工事（高知県側）

地表露頭ならびにボーリング調査で確認されたF2断層の他に、F1-1・F3断層が出現し、計3度の断層に見舞われた。特にF2断層では、粘土化した非常に脆弱な蛇紋岩が出現し、切羽・天端の自立性が問題となると共に、土被りが200m～380mあることから、大きな土圧・変形が発生し、難工事となった。

第4節 地形・地質概要

1. 地形概要

地芳トンネルは、高知・愛媛県境付近、高知県高岡郡梼原町永野～愛媛県上浮穴郡久万高原町西谷に位置する。また、地芳峠は、南北1.5km、東西25kmの四国カルストのほぼ中央に位置し、付近の尾根部には非常になだらかなカルスト地形が広がる。

地芳峠から横野に至る愛媛県側では、南北方向の水系が発達し、県境付近の尾根から北方に延びるなだらかな尾根地形とその両側及び先端部の急峻な山腹地形により特徴付けられる。一方、高知県側は、南北方向と東西方向の水系が発達し、地形の開折のより進んだ急峻な地形を示す。

トンネルの最大土かぶり地は地芳峠付近で約390mである。

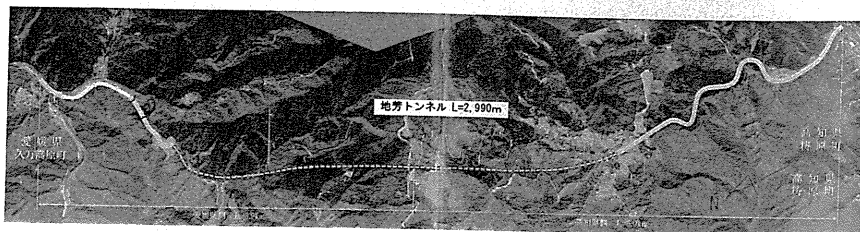


図1-4-1 計画ルート周辺地形

2. 地質概要

地芳トンネルの地質は、付加体メランジェの砂岩・粘板岩・輝緑凝灰岩・石灰岩・チャートの混在層である。付加体メランジェでは、地表露頭では硬質な砂岩やチャートが残りがやすく、良好な岩盤を多めに見る傾向があるため、粘板岩でも、露頭で観察した地山状況よりも悪くなることが予想された。

弾性波速度は硬質な砂岩に影響され、高速度層の下に低速度層は識別できないため、坑口部や一部の低速度帯を除き4.2～4.6km/secの大きな速度を示していたが、実際には砂岩・石灰岩・チャートなどの岩体はちぎれて分離し、粘板岩と混在していた。また、四国カルストを中心とする石灰岩層を掘削するため、大量突発湧水や地下空洞の出現も予想されたが、第2工事では、石灰岩層が出現せず湧水もほとんど無い状況であった。しかし、愛媛県側の第1工事では、石灰岩層が出現し、最大で20t/分の大量突発湧水が発生し、難工事となった。

また、第2工事では、地表露頭ならびにボーリング調査で確認されたF-2断層の他に、F1-1・F3断層が出現し、計3度の断層に見舞われた。特にF-2断層では、粘土化した非常に脆弱な蛇紋岩が出現し、切羽・天端の自立性が問題となると共に、土破りが200m～380mあることから、大きな土圧・変形が発生した。

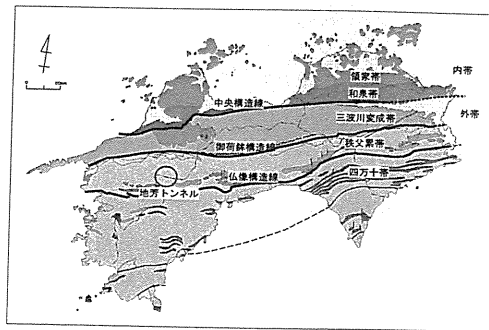


図1-4-2 四国の地質構造図

第5節 工事の経緯

1. 水文調査

地芳トンネルルート周辺には集落や諸施設（畜産公社、淡水魚センターなど）が点在している。よって、地芳トンネル工事が、これらの水源地の水環境に及ぼす影響を把握する必要があるため、データ収集を主目的として工事着工2年前の平成10年から完成後の22年度末まで、年水量・水質調査を経年的に実施した。

平成13年4月に発生したトンネル突発湧水の影響は、直後の平成13年5月初旬から西谷・横野地区で減水傾向が現れ始め、同年6月には約1.5km離れた永野東地区水源でも著しい減水が確認されるに至った。なお、その後の流量観測によりトンネル湧水の影響範囲が明瞭に拡大する傾向は認められていない。その他水質試験結果についても実施しているが、トンネル工事の影響として特に問題となる項目はなかった。

2. 地質調査

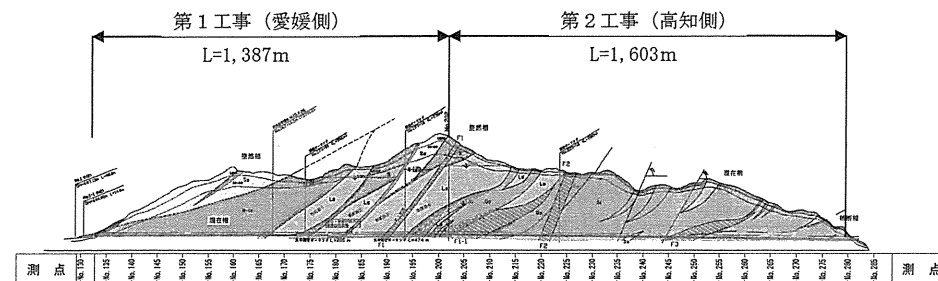


図1-5-1 地質縦断面図

2.1 第1工事（愛媛側）

愛媛県側坑口部の地質は粘板岩を主体とし尾根頂部にチャートを載せ、レンズ状に石灰岩を挟在する。層理はやや褶曲しているが概ね東西走向で北に30°～50°傾斜している。ボーリング調査から、粘板岩や緑色岩類はCL～CM級、チャートや石灰岩はCM～CH級岩盤である。

愛媛県側坑口～701mの間は、粘板岩、砂岩、緑色岩類の混在岩である。一部の粘板岩は著しく破碎され油目状態で出現したが、それ以外の区間は砂岩、緑色岩類の硬質岩が優勢であった。

愛媛県側坑口より701～1,301mの間はトンネル基面での延長が600mにおよぶ巨大な石灰岩ブロックを主体とする。計画時からトンネル基面に四国カルストを中心とする石灰岩の出現が予測されていたため、大量湧水や地下空洞調査のための前方探査を協議し、坑口から670mからは削孔検層（ドリルジャンボによる探り削孔）を行いながら掘削を進めた。その後、坑口から701.2m地点において、毎分20tに及ぶ突発湧水が発生し、地表および坑内からの調査ボーリングにより、この大量湧水の原因は四国カルストから連続する巨大な石灰岩ブロックにあり、水圧2.0～2.65MPaの高圧の地下水を多量に含有し、その範囲は坑口から700～1,300mに達する大規模なものであることが判明した。

2.2 第2工事（高知側）

愛媛県側坑口より1,301～2,262mの間は、粘板岩、砂岩、緑色岩類などの混在岩である。また、この区間には2箇所の大規模な断層破砕帯（F1-1・F2断層）が存在する。

F1-1断層は、愛媛側坑口から1,412～1,537mの約125m間に現われ、破碎質の緑色岩類を主体とし、粘板岩・砂岩を混在する脆弱化した地質状況であった。F-2断層はさらに1,717～1,792mの約75m間に現われ、大部分が著しく膨圧する性質の葉片状・粘土状蛇紋岩からなる。

愛媛県側坑口より2,262～2,412mの約150m間は施工中に確認されたF3断層であり、著しい鱗片状へき開が密に発達した粘板岩が主体で、砂岩、緑色岩類を挟在している。F3断層の岩盤は割れ目が密に発達し、その割れ目の多くは鏡肌を伴い掘削時の応力解放や振動で分離し易い状況であった。

さらに、2,412～2,880mの約470m間は粘板岩を主体とし砂岩、チャート、緑色岩類がパッチ状に混在するC等級地山である。続く2,880～2,990m（高知県側坑口）の約110m間は粘板岩を主体とし、緑色岩類が混在するD等級地山である。山腹斜面にはこれを被覆して最大層厚10m程度の崩積土が堆積する。

2. 計画・準備

2.1 工事計画

第1工事（愛媛県側）では坑口を小さなやせ尾根を開削して作る計画で、本坑の規模に比べて坑口部に出現する掘削面は比較的せまく土被り厚も薄い。また坑口敷高が尾根両側の河川敷高より低く、河川と本坑坑口との距離もかなり近い。このようなロケーション的制約から、準備工事として河川付替と押え盛土を実施している。

第2工事（高知県側）では坑口部近傍に民家が存在するため、トンネル工事に伴う騒音対策が重要課題であり、掘削工事開始前に必要な現地調査ならびに発生する騒音レベルの予測計算を行い、適切な規模の対策を実施している。

2.2 工程計画

表1-5-1 工程計画の概要

区 分	当 初 工 期		実 施 工 期		記 事
	着 手	完 了	着 手	完 了	
第 1 工事 (L=1, 388m)	平成 12 年 1 月 19 日	平成 15 年 1 月 20 日	平成 12 年 1 月 19 日	平成 22 年 4 月 30 日	・工事分割 ・設計変更 ・工期変更
	36 ヶ月		124 ヶ月		
	第 2 工事 (L=1, 602m)	平成 12 年 1 月 22 日	平成 15 年 3 月 20 日	平成 12 年 1 月 22 日	
38 ヶ月		47 ヶ月			

2.3 仮設備計画

表1-5-2 第1工事仮設備概要表

番号	設 備 名	規 格	寸 法
(1)	コンクリート製造設備 ・パッチャープラント	・強制練り 0.5 m ³ /min, 最大 22.5 m ³ /hr	17.0m×17.6m
(2)	濁水処理設備	・600 m ³ /hr	55.0m×7.5m
(3)	給気設備	・24.1 m ³ /min, 150KW×1台(坑外) ・24.1 m ³ /min, 75KW×2台(坑奥側)	6.0m×4.0m
(4)	給水設備	・水槽 10 m ³ ・多段式ターボポンプ 15 KW×1台	4.0m×4.0m
(5)	換気設備	・220KW×1台, 60KW×3台, 74KW×2台	
(6)	排水設備	・φ50～200, 9台	
(7)	工用電気設備	・受電設備 6600v	4.0m×6.0m
(8)	坑内保安設備	・構内電話・消火設備ほか	
(9)	仮設建物設備	・現場事務所・倉庫・現場休憩所・修理工場 ・火薬庫・火薬品庫・火工所・火薬類取扱所 ・試験室ほか	延べ 1,135.4 m ²
(10)	ズリ仮置設備	・ズリストックヤード	40.0m×10.0m

表1-5-3 第2工事仮設備概要表

番号	設 備 名	規 格	寸 法
(1)	コンクリート製造設備 ・パッチャープラント	・強制練り 0.5 m ³ /min, 最大 22.5 m ³ /hr	16.8m×7.5m
(2)	濁水処理設備	・150 m ³ /hr ・炭酸ガス貯蔵 13t	7.5m×12.5m
(3)	給気設備	・24.1 m ³ /min ・75KW×2台	6.0m×4.0m
(4)	給水設備	・水槽 20 m ³ ・多段式ターボポンプ	5.0m×2.0m
(5)	換気設備	・80KW×2台 ・50KW×2台	
(6)	排水設備	・水中ポンプ φ50～100, 12台	
(7)	工用電気設備	・受電設備 6600v	4.5m×8.0m
(8)	坑内保安設備	・構内電話 ・消火設備	
(9)	仮設建物設備	・現場詰所 ・倉庫 ・火薬類設備	14.4m×4.5m 5.0m×5.0m ×2箇所
(10)	ズリ仮置設備	・ズリストックヤード 300 m ³	30.0m×5.0m
(11)	防音設備	・防音扉：水充填式防音扉 ・防音壁：H 3.0m×L 127.0m, H 6.0m×L 62.0m	

3. 本体工事

3.1 第1工事

・工 期： 平成12年1月19日～平成22年4月30日
 ・トンネル延長： 1,387m (設計)・1,381.5m (実績)

工事の特色としては、施工途中で発生した石灰岩ブロックからの突発湧水である。愛媛県側工区の坑口から700m付近で毎分20tの突発湧水を伴って出現した石灰岩ブロックは、海底トンネルの代表といえる青函トンネルに匹敵する高压湧水帯で最大湧水圧力は2.65MPa（水深265mに相当する水圧）に達した。また地下水量も膨大で、2001年の突発湧水以降の湧水量の累計が6,850万tを超えているにもかかわらず地下水位の低下が見られない状況が続いている。最終的にこの石灰岩ブロックは坑口から1,340m付近まで約640m間に亘り出現し、非常に大規模なものとなった。

この高压大量湧水に対処するため止水注入工法を採用し掘削を進めていたが、坑口から796m地点の石灰岩中の地質脆弱部（緑色岩部）では、毎分6tの湧水を伴う2度の支保工及び地山の変状が発生した。さらに坑口から1,186m地点の石灰岩中の地質脆弱部（粘板岩部）では100m³に及ぶ切羽・天端の崩壊（湧水量400ℓ/分）が発生し、いずれの場合も本坑掘削を一時中断して、調査坑を掘進してこの区間を迂回することを余儀なくされるなど予想を超える難関に遭遇し、我国のトンネル工事において屈指の難工事となった。施工にあたっては⑦高压湧水に対する注入方法の改善を行う他⑧過去の同種工事による災害事例（大正5年～昭和8年施工旧丹那トンネル）の調査・研究を行い崩壊部の施工計画の立案を行った。坑内環境対策としては迂回坑を介しての坑奥側本坑掘削時の粉塵発生を抑制するため⑨超低粉塵吹付システム「クリアショット」を新たに導入したほか、周辺環境（河川の汚濁防止）対策としては最大600t/hの大容量の濁水処理設備のトラブル防止のための⑩異常時警報装置の設置、⑪停電時の非常用電源設備の設置等を行い、安全及び環境面には常に「細心の注意」を払い工事を進めた。

その結果、平成12年1月19日工事着工以来、実に10年4ヵ月という非常に長期に亘る高压湧水との戦いであったが平成22年4月30日無事竣工を迎えることが出来た。

3.2 第2工事

・工 期： 平成12年1月22日～平成15年12月20日
 ・トンネル延長： 1,603m (設計)・1,602m (実績)

工事の特色としては、発進の高知側坑口が四万十川の支流である永野川と鈴山川の合流点に位置し、坑口付近には、集落があり、工事中における河川の汚濁・振動・騒音等の環境対策には十分な配慮を行って施工した。また、周辺道路が幅員狭小で急カーブ、急勾配の区間が多いことから、通勤・通学時間帯の工事車両の通行を規制し、通学および一般車両の支障にならないようにした。

トンネル掘削にあたっては、坑口部が地すべり防止区域であり、地すべり地形を有し、土被りも小さいことから、注入式長尺先受け工法（24m）を採用し、坑門形状も竹割型から切土の発生しない面壁に変更して施工した。また、騒音対策として、防音壁・防音扉・換気設備のサイレンサー等を設置して、防音対策を行った。その他の区間では、地表露頭ならびにボーリング調査で確認されたF2断層の他に、F1-1・F3断層が出現し、計3度の断層に見舞われた。これらの断層部では、大きな土圧・変形が発生し、難工事となったが、補助工法と二重支保工を併用し突破することができた。

工事全体の施工にあたっては、自然環境の保護に配慮し、地域住民の協力を得ながら、労働災害、公衆災害の絶滅を最重点課題として工事施工に当たり、平成12年1月22日着工以来、3年11ヶ月の歳月を経て平成15年12月11日に無事故・無災害で竣工した。