# 周辺水環境を考慮したトンネルの設計施工
## －九州新幹線，筑紫トンネル－

吉野美喜男[1]・竹之越修久[1]

[1]非会員　（独）鉄道・運輸機構　鉄道建設本部　九州新幹線建設局　工事第二課
（〒812-8622 福岡県福岡市博多区祇園町2番1号）

延長12.115kmの筑紫トンネルは，福岡県那珂川町と佐賀県鳥栖市を結ぶ九州新幹線最長の山岳トンネルである．本トンネルは，福岡都市圏の水源地を貫くため，水資源等の周辺環境を可能な限り維持しながら，経済的かつ合理的なトンネルを設計・施工する必要がある．本稿では，水源地からの被圧地下水の影響を考慮した筑紫トンネルの設計施工について報告する．

**キーワード：山岳トンネル，環境，ルート選定，施工**

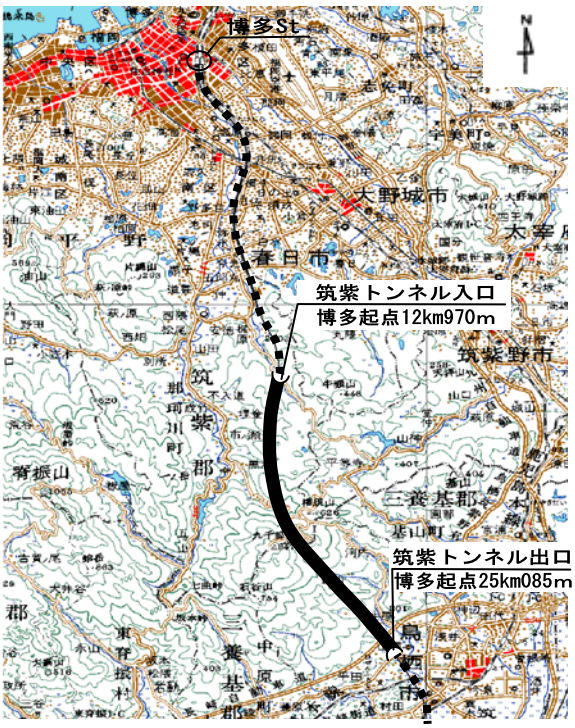


**図-1**　トンネル付近ルート図

## 1．はじめに

福岡市から鹿児島市を結ぶ九州新幹線鹿児島ルート（延長256.8km）は，新八代～鹿児島中央間（延長127.6km）が平成16年3月13日に先行開業し，博多～新八代間（延長121.1km）は，平成22年度末完成に向け建設中である．

このうち，筑紫トンネルは福岡県那珂川町と佐賀県鳥栖市を結ぶ延長12.115kmの九州新幹線最長となる山岳トンネルである．本トンネルは，福岡県と佐賀県にまたがる背振山系の東端に位置し，福岡都市圏の水がめにもなっている背振山周辺の地下を貫くこととなる（**図-1**）．このことから，水資源などの周辺環境を可能な限り維持しながら，経済的かつ合理的なトンネルを設計・施工する必要がある．しかし，事前の調査で被圧地下水が貯留すると推定され，切羽の自立性を図るためには先進ボーリング等による水抜き対策は不可欠であった．

そこで，花崗岩地山を対象とする広範な電気探査や水文調査のほか，トンネル施工時の坑内湧水量，地下水位低下量およびその影響範囲の事前予測を行った．

本トンネルは，平成19年11月に全線の掘削が完了し，覆工コンクリート等の土木工事は完了している．本稿では，周辺の水環境を考慮した本線ルート選定および設計・施工実績について報告する．

## 2．地質及び水文調査

### (1) 全体地質概要

筑紫トンネルの地質は，中生代白亜紀に形成された基盤岩である三つの花崗岩類を主体としている．これらは北から南へ早良型花崗岩，糸島型花崗閃緑岩，深江型花崗岩に区分され，それを覆う新生代第四紀の段丘堆積物

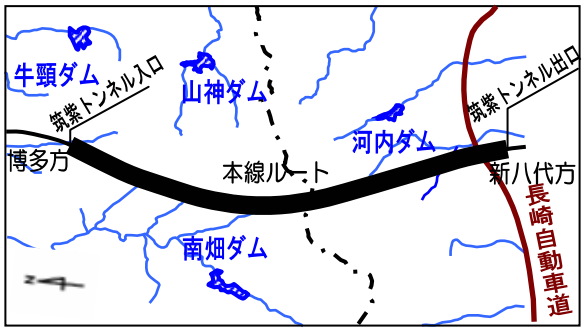


**図-2** 筑紫トンネル周辺図

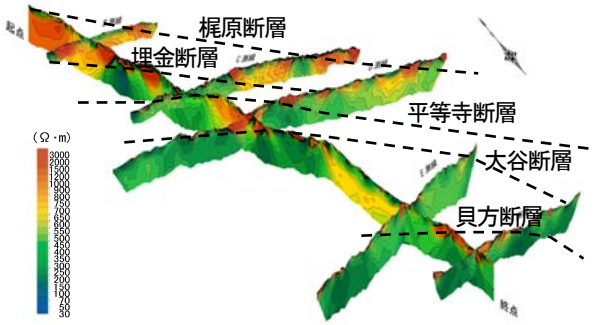


**図-3** 高密度電気探査解析図

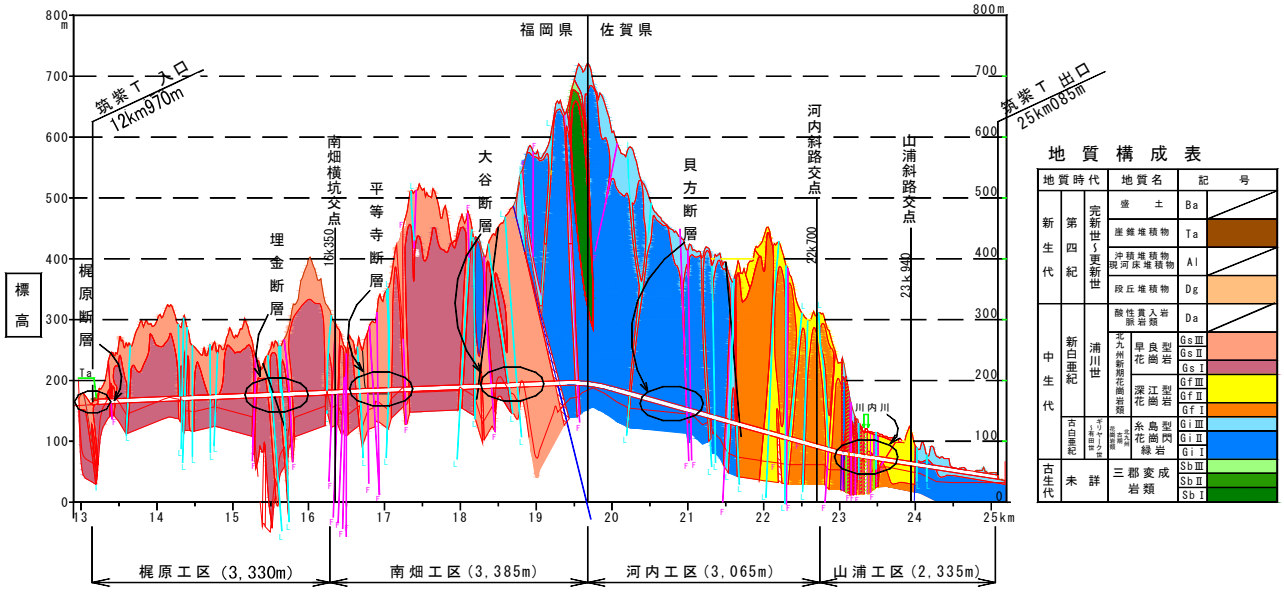


**図-4** 筑紫トンネル地質縦断図

および崖錐堆積物で構成される．花崗岩自体の強度は高いものの，花崗岩類と脈状岩（アプライト，ペグマタイト）との接触部などでは，亀裂および水みちを形成することが考えられた．とくに形成年代の異なる花崗岩類の境界では，熱水変質による劣化が極度に進行していることも想定された．

一方，本線ルート周辺には，福岡都市圏および佐賀県東部に生活・農業用水を供給する4か所のダムがあり（**図-2**），また，地表面に自噴水が確認されている場所もあることから，岩盤中に豊富な被圧地下水を貯水していると考えられ，トンネル掘削に影響を及ぼすことが懸念された．

### (2) 広範囲にわたる地質・水文調査

本トンネルにおいては，旧国鉄により昭和49年からボーリングによる地質調査や本線ルート選定調査をはじめ，観測井戸での地下水位測定，河川流量測定など各種調査が断続的に実施されてきた．

#### a) 地質調査

地質調査は，弾性波探査や地表踏査が実施されており，この結果，幅100～200m程度の5断層（梶原，埋金，平等寺，大谷，貝方）が本線を横断することが確認された．

その後，トンネル施工に先立ち，鉄道・運輸機構（旧鉄道公団）により，さらに詳細かつ広範囲な地質調査を実施した．この調査の一つがトンネルを横断する7側線とトンネル縦断方向1側線の2次元高密度電気探査であり，探査深度最大500m以上，総側線延長35kmに達している．断層破砕帯の平面的な広がり方が，場合によっては本線ルート周辺にある近隣ダムまで達していることが懸念されたため，調査はダムまでの東西約5km×南北約10kmの範囲とした（**図-3**）．また，埋金，平等寺，大谷，貝方の各断層部に，地表からの長尺斜め地質ボーリングや本線と交差する河内川下部では，孔芯制御ボーリング（L=500m）を実施した．

これら調査の結果，横断方向の電気探査から，トンネルから周辺4か所のダムへ直接つながる地質の劣化部は確認されなかった．また，縦断方向の電気探査および地表からの長尺斜め地質ボーリングから，4か所（埋金，平等寺，大谷，貝方）の断層破砕帯の性状を把握した．

以上，調査結果とトンネル施工実績を踏まえ，整理した筑紫トンネルの地質縦断を**図-4** に示す．

**表-1** 本線と各ダムの平面離隔

| | 牛頸ダム | 山神ダム | 南畑ダム | 河内ダム |
|---|---|---|---|---|
| 曲線 | 約2,600m | 約3,400m | 約1,800m | 約1,700m |
| 直線 | 約2,400m | 約2,000m | 約3,600m | 約700m |

### b) 水文調査

水文調査については，個人井戸，河川およびルート周辺に設置した観測井戸ならびに4か所のダムに流入する河川やダム周辺に設置した観測井戸等，全体で227か所（河川流量85か所，井戸水位138か所，雨量4か所）の測定，ダム貯水量の確認や観測井戸，個人井戸に対する水質調査を実施した．これらの調査を基に，地表への影響やダムへの影響等を確認しながら，トンネルの施工を進めてきた．

その結果，井戸水位測定，河川流量測定より，トンネル直上付近で変化が見られるものの，4か所のダム付近での変化は認められなかった．

また，平等寺断層付近では，地表面に湧水が確認されていることから，トリチウム分析やイオン分析を行い，断層と地下水の繋がりについて確認している．分析の結果，平等寺断層における本線付近の地下水は，湧水と異なることが確認された．

## 3．周辺環境を考慮したルート選定と水収支シミュレーション

### (1) ルート選定

本トンネルルートの平面線形は，起点方にR=6,000m，終点方にR=9,000mの曲線区間を採用したS字形をしている．これは，平面的に曲線を用いることで，各ダムやダムへ流入する河川への影響範囲から極力離れたルートを選定したためである．**表-1** に採用した今回の曲線ルートと，直線ルートにした場合のダムとの平面的な離隔について比較した．

比較した結果，直線ルートは，河内ダムに最も接近し，ダムに流入する河川付近の直下を通過するため，影響が懸念される．また，山神ダムについても平面的な離隔はあるものの，流入河川の直下を通過することとなる．

一方，縦断線形では，新幹線の最急勾配である3.5%を採用した．これは，本線標高をできるだけ高く設定し，トンネル区間の土かぶりを極力小さくすることで，地下水への影響範囲を可能な限り小さくするよう計画した．

### (2) 水収支シミュレーション

本トンネルでは，平成14年度，15年度に，トンネル施工時および施工後のトンネル湧水量の変動と，それに伴って生じる周辺地区の水利用，水環境に与える影響の程度，止水対策案の効果を解析・評価するため，詳細な気象条件・地表条件・地盤条件などを用いた水収支解析モデルの構築を行い，事前影響予測を実施した．また，トンネル施工完了後には，掘削実績や掘削期間に蓄積した水文調査などを用いてモデルの改良を行い，再予測を実施し精度を向上させた．

**表-2** 事前解析モデルの概要

| 大項目 | 小項目 | 解析方針 |
|---|---|---|
| モデルの基本設定 | 解析領域 | 南北15km，東西15km，鉛直方向-200～1100m |
| | ブロックサイズ<br>ブロック数 | 三次元ブロック（50m×50m×25m）<br>300×300×52=4,680,000 |
| | 計算単位時間 | 1日 |
| モデルの構成 | 地形地盤モデル | ・地表水および地下水の流動の場（入れもの）である地形起伏と地下地質構造を三次元ブロックの集合体として構成した． |
| | 水循環モデル | ・モデルの構成<br>①流出・浸透 ： 2段直列タンクモデル<br>②地表水流動 ： 平面連結タンクモデル<br>③地下水流動 ： 平面2次元流動モデル（差分法）<br>（地下水位が地表面より高くなったブロックでは，上回った水量を地表タンクに加えた）<br>・大気-地表・土壌-地下水-地表水の間を循環する水の挙動を表現した．<br>・鉛直方向流動と水平方向流動を組み合わせて水収支を算出した．<br>・地表水および土壌水（地表面より1m程度）はブロックごとに2段直列タンクモデルを設け，降水，蒸発散，地表流出，地下浸透の各成分の計算を行った． |
| | トンネル掘削モデル | ・トンネル掘削状況（切羽位置，掘削速度，トンネル形状，覆工など）をモデル化し，トンネル掘削による影響を予測した． |
| モデルの条件設定 | 降水量 | ・3ヶ所のダム観測所の降水量データを用いて，ブロックごとに最も近い観測所のデータを用いた．<br>・観測値は高度補正を行って用いた．高度補正はダム観測所とアメダスデータから補正率を求めて行った．<br>・気温が2℃以下では降雨は積雪深に換算し，0℃を上回ると気温に応じて積雪から溶け出した融雪水として降水に加えた． |
| | 蒸発散量 | ・ソーンスウェイト法により可能蒸発散量を算出し，季節変化，地表被覆による補正を行った．また，森林地域は，遮断降雨を考慮した蒸発散量とした．気温は高度補正を行った． |
| | 地盤標高 | ・数値地図50mメッシュ標高データを使用した．<br>・河川位置に相当するグリッドは河川の下流側が低くなるように設定． |
| | 地表被覆 | ・土地利用と傾斜区分を組み合わせて9種類に区分した．<br>・土地利用は国土数値情報の土地利用区分を用い，トンネルルート付近は空中写真判読により区分した． |
| モデルの条件設定 | 地盤区分 | ・地質構成と断層破砕帯を考慮して，透水係数の実測値などに基づいて11種類に区分し，区分ごとに透水係数と有効間隙率を与えた．<br>・地質縦断図等を参考に表層より強風化帯，弱風化帯，新鮮岩に区分した．<br>・崖錐，沖積堆積物，段丘堆積物は未固結層として扱った． |
| モデルの検証計算 | 地盤モデル（透水係数） | ・最も常識的な値を与えた場合（地盤モデルA）と，透水係数がやや高い場合（地盤モデルB）の2種類の地盤モデルを作成した． |
| | 検証期間 | 平成4年（1992）～平成13年（2001）の10年間とした． |
| | 検証データ | 検証地点の流量及び地下水位データと計算による流量及び地下水位が近似するようにタンクモデルのパラメータ及び地盤の透水係数，有効間隙率を調整した．透水係数は実測値の範囲内の値を用いた．<br>・地下水位：地下水位観測孔での観測水位，および既往ボーリング孔測定水位を用いた．<br>・河川流量：観測条件を考慮して，主要流域に1箇所程度の代表観測点の河川流量を用いた．<br>・坑口湧水量：河内斜坑と山浦斜坑での坑口湧水量を用いた． |
| 予測解析 | 予測ケース | ①トンネルなし<br>②トンネルあり<br>③トンネルあり（透水係数が10-5cm/sec以上の区間を注入） |
| | 予測期間 | 予測期間は15年間とした．気象データは検証期間中で平水年とみなせる平成4年（1992）のデータを15年間繰り返して与えた． |

### a) 事前影響予測結果

事前の解析モデルでは，断層破砕帯の透水係数を絞り込むことが可能なデータはなく，検証段階で許容できる値が比較的広めであったため，断層破砕帯の透水係数を変化させて設定している．事前影響解析モデルの概要を**表-2** に，設定した透水係数を**表-3** に示す．これらを基に影響解析を行った．

**表-3** 透水係数の設定

| No | 地質区分 | 風化区分 | 透水係数 (cm/sec) | | | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 実測値 | Aモデル | Bモデル | |
| 1 | 未固結層 | | $10^{-2}$～$10^{-4}$ | $1\times10^{-2}$ | $1\times10^{-2}$ | 崖錐・河床・段丘堆積物 |
| 2 | 花崗岩類 | 強風化帯 | $10^{-2}$～$10^{-5}$ | $1\times10^{-3}$ | $1\times10^{-3}$ | 早良型花崗岩 |
| 3 | | 弱風化帯 | $10^{-3}$～$10^{-6}$ | $1\times10^{-4}$ | $1\times10^{-4}$ | 深江型花崗岩 |
| 4 | | 新鮮岩 | $10^{-4}$～$10^{-7}$ | $5\times10^{-6}$ | $5\times10^{-6}$ | 糸島型花崗閃緑岩 |
| 5 | 断層破砕帯 | | $10^{-2}$～$10^{-5}$ | **$1\times10^{-4}$** | **$1\times10^{-3}$** | 梶原，埋金，平等寺，大谷，貝方 |
| 6 | 断層 | 強風化帯 | | $1\times10^{-2}$ | $1\times10^{-2}$ | |
| 7 | | 弱風化帯 | | $1.5\times10^{-3}$ | $1.5\times10^{-3}$ | |
| 8 | | 新鮮岩 | | $5\times10^{-5}$ | $5\times10^{-5}$ | |
| 9 | リニアメント | 強風化帯 | | $4\times10^{-3}$ | $4\times10^{-3}$ | |
| 10 | | 弱風化帯 | | $4\times10^{-4}$ | $4\times10^{-4}$ | |
| 11 | | 新鮮岩 | | $2\times10^{-5}$ | $2\times10^{-5}$ | |

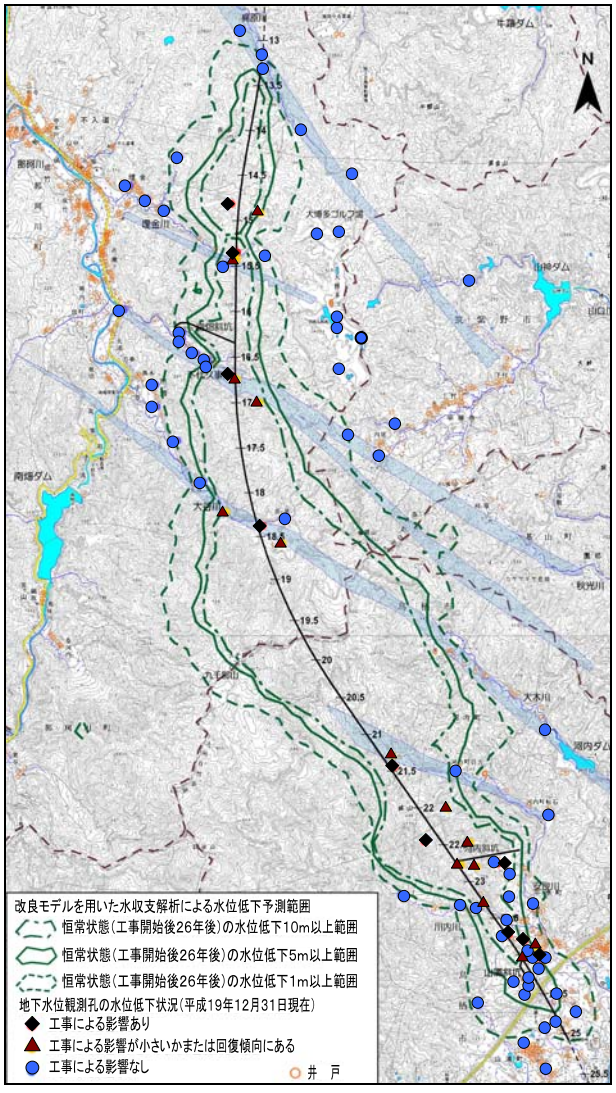


**図-5** 改良モデル解析時水位低下予測範囲と実績の比較

その結果，トンネル湧水については，断層破砕帯を通過する際に集中的な湧水が発生し，その後，緩やかに湧水量は減少し，恒常湧水量に漸近していく．恒常湧水量はAモデルとBモデルで若干異なるが，11～13m³/min 程度で安定状態に達する結果となった（**表-4**）．

**表-4** 事前解析によるモデル別トンネル湧水量

(m³/min)

| モデル | | 梶原工区 | 南畑工区 | 河内工区 | 山浦工区 | 合計 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 集中湧水量 | 2.07 | 6.75 | 9.49 | 1.81 | 16.42 |
| | 恒常湧水量 | 1.50 | 4.69 | 4.13 | 1.23 | 11.54 |
| B | 集中湧水量 | 3.41 | 15.91 | 30.52 | 1.80 | 39.86 |
| | 恒常湧水量 | 1.59 | 5.54 | 4.33 | 1.23 | 12.69 |

**表-5** 事前解析による地下水位低下域の面積

(km²)

| モデル | 地下水位低下量 1m以上 | 地下水位低下量 5m以上 |
|---|---|---|
| A | 29.9 | 20.3 |
| B | 35.9 | 23.8 |

**表-6** 事前解析予測と改良モデル解析予測の恒常湧水量比較

(m³/min)

| 気象条件 | モデル | 梶原工区 | 南畑工区 | 河内工区 | 山浦工区 | 合計 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 平水年 | 事前解析(H14年)恒常湧水量 | 1.59 | 5.54 | 4.33 | 1.23 | 12.69 |
| | 改良後解析(H20年)恒常湧水量 | 1.82 | 4.91 | 6.50 | 1.98 | 15.21 |
| 渇水年 | 事前解析(H16年)恒常湧水量 | 0.97 | 4.43 | 3.45 | 0.92 | 9.77 |
| | 改良後解析(H20年)恒常湧水量 | 1.44 | 3.60 | 4.35 | 1.51 | 10.90 |

**表-7** 改良モデルによる地下水位低下域の面積

(km²)

| 気象条件 | モデル | 地下水位低下量 1m以上 | 地下水位低下量 5m以上 |
|---|---|---|---|
| 平水年 | 低下範囲面積 | 19.4 | 12.6 |
| 渇水年 | | 23.3 | 15.3 |

**表-8** 改良モデルによる河川流量減少域の面積
(減少率30%以上)

(km²)

| モデル | 平水年ケース | 渇水年ケース |
|---|---|---|
| | 河川流量減少範囲 | 河川流量減少範囲 |
| 減少範囲面積 | 0.74 | 0.82 |

地下水位低下の影響は，トンネル縦断面図上では，Aモデル，Bモデルのいずれのモデルでも，尾根部で 100～200m近い水位低下が予測された（**表-5**）．

**b) トンネル施工後のモデル改良と影響予測結果**

トンネル施工後の影響予測では，事前解析で使用したモデルに実績の施工工程と気象条件を反映した解析を行い，計算値と実際の水文調査やトンネル湧水量などの実測値を比較することにより，モデル条件設定の改良点を明らかにし，モデルの改良を行った．また，気象条件により影響の程度が変化すると考えられることから，渇水年が継続した場合と平水年が継続した場合の 2 ケースのもとで，トンネル恒常湧水量，トンネル周辺の地下水位低下，河川流量減少に伴う生活，農業用水への影響を予測した．結果については，**表-6**，7，8 に示す．

事前解析予測と改良モデルによる予測の恒常湧水量を比較すると，事前解析予測値に対して改良モデル解析予

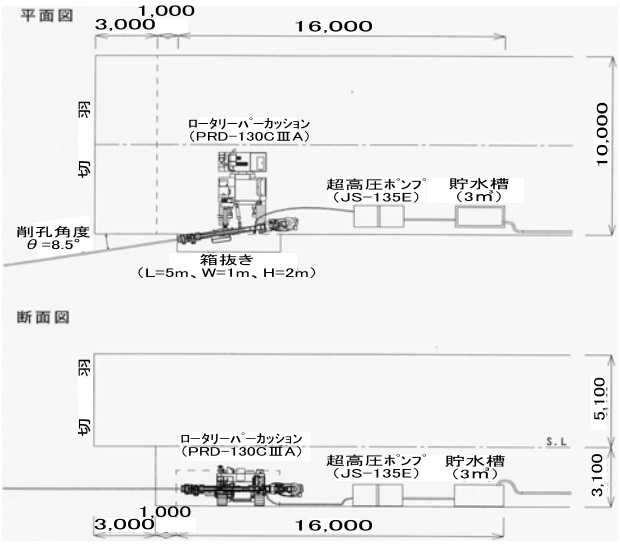


**図-6** 先進ボーリング施工図

測値が上回っている．これは，事前解析時の井戸水位および河川流量が水文調査実測値にくらべ誤差が生じたため，透水係数等の修正を行ったことが原因である．現在のトンネル湧水量は，14.5t/分程度となっていることから概ね妥当な計算結果と考えられる．また，改良モデルによる地下水位低下の影響範囲については，水文調査実績に概ね一致した結果となった（**図-5**）．

## ４．トンネルの施工実績

本トンネルは，福岡県方2工区と佐賀県方2工区の計4工区に分割し掘削を行った．施工方法はＮＡＴＭで，小土かぶり区間を除き，主として補助ベンチ付き全断面工法を採用した．

各工区では，突発的な出水に伴う切羽崩壊や急激な地質変化による支保工の破壊等を事前に防ぐとともに，切羽周辺の水位を低下させ切羽の安定性を確保するため，坑内より全区間で先進ボーリング（L=100～120m/本）を施工し，切羽前方の水抜きおよび地質状況，帯水状況の確認をした．（**図-6**）

なお地表部では，先進ボーリングや切羽接近に伴う井戸等への影響を把握するため，水文調査を強化し，観測井戸を利用して生活用水に影響が出た場合は応急給水対策に転用できるよう必要に応じて迅速に対策を実施する体制や河川流量の減少に伴い農業用水に影響が出た場合は、河口及び横坑からのポンプ給水等の計画を事前に整え，トンネルの施工を行った．

### (1) 梶原工区の施工実績

#### a) 工区・地質概要

梶原工区は，本坑3,150mの区間で，土かぶりは約100～200mである．

**写真-1** 埋金断層部切羽状況写真（梶原工区15k362m付近）

地質は，早良型花崗岩からなり，新鮮部では堅固（最大約170MPa）であるが，部分的に脆弱な地質が出現しマサ状となっている．また，工区全体をとおしての岩質は，大半は亀裂が発達した層ではあるが，比較的堅固であった．

#### b) 地質脆弱部の施工

掘削工法は，基本的に補助ベンチ付き全断面工法を主としたが，擾乱帯（14k800m～14k870m付近）や埋金断層部（15k250m～15k650m付近）においては，上半先進ショートベンチカット工法を採用した．これら脆弱層では，注入式長尺鏡ボルト工などによる切羽安定対策を行うとともに，摩擦定着式ロックボルトにより側壁部の大きな初期変位を抑制した（**写真-1**）．

また，水抜きを目的とした先進ボーリング（ロータリーパーカッションドリル使用，L=約100m/本）と短尺さぐり削孔（ジャンボ使用）を併用した坑内からの切羽前方地質調査を行った．これらの調査結果は，適切な施工方法を事前選定するうえで，きわめて有効な資料となった．

#### c) 梶原工区におけるトンネル湧水と渇水応急対策

梶原工区のトンネル湧水量は，工区全体で最大約3t/分の湧水が確認されたが，現在は約2t/分程度となっている．

本工区は，大きな出水も無く完了したが，本線周辺の観測井戸および本線と河川との交差付近に位置する個人井戸では，枯渇に近い影響を与えていると判断された．しかし，当該地域には応急給水対策に転用できる適当な観測井戸がないことから，各家庭にタンクを設置し，飲料水給水運搬を行った．河川流量についても，トンネル直上の沢水減少による影響があるため，河川の流量減少に伴い農業用水の応急対策として河口付近より耕作地の上流までパイプ配管を行い，ポンプ揚水により必要水量を確保した．

### (2) 南畑工区の施工実績

#### a) 工区・地質概要

南畑工区は，作業坑（横坑）741mと本坑3,385mからなり，本坑土かぶりは，約100m～500mと比較的大きい．地質は，工区起点方に早良型花崗岩，終点方に糸島型花崗閃緑岩が分布する．また，事前地質調査から平等寺断層と大谷断層が確認されている．これら二つの断層は，幅100mを超える破砕帯であり，東西方向でトンネルと交差し，この二つの断層帯に付随して数多くの派生断層が確認された．

#### b) 大谷断層と岩質境の施工

大谷断層部（18k650m～19k050m付近）は，土かぶりが300mを超え，かつ非常に脆弱な破砕帯であることから，大きな地圧が発生した．とくに18k660m付近では，マサ化し膨張性粘土鉱物を含有した地山が出現し，内空変位の初期変位速度は205mm/日を記録した．これは，集中的な湧水を伴った切羽右前方からの片押しによる変位と考えられたことから，切羽および右側壁付近に長尺鏡ボルト工を施工し，地山の補強を行った．同時に鋼製支保工の剛性向上（H-125→H-150）や高強度吹付けコンクリート（σ28=36N/mm2，t=250mm）の採用，インバートストラット（H-150）による早期下半仮閉合を行っている．その後も地質脆弱部は継続し，最終的には鋼製支保工(H-200)，高強度吹付けコンクリート（t=300mm），インバートストラット（H-200）を採用することで，大きな内空変位を抑制することを図った．

また，19k200m付近から早良型花崗岩から糸島型花崗閃緑岩に遷移し始め，熱水変質による地質脆弱部が頻出した．早良型花崗岩主体の区間では，灰白色の粘性土を挟み，その部分で内空変位の増加がみられた．糸島型花崗閃緑岩主体の区間では，亀裂に沿って湧水が増加する傾向がみられ，最終的な岩質境界となった19k390m付近では，早良型花崗岩の脆弱化したマサ土主体の切羽が出現し，大きな片押し変形（最大内空変位380.5mm，最大天端沈下量117.5mm）を受け鏡面も不安定な状況となった（**写真-2**）．このため，大谷断層と同様に鏡面および側壁付近に長尺鏡ボルト工を施工し地山の補強を行うとともに，鋼製支保工H-200とH-150を組み合わせて建て込み，高強度吹付けコンクリート（t=450mm），インバートストラット（H-200）を施工し収束を確認した（**図-7**）．

#### c) 南畑工区におけるトンネル湧水と渇水応急対策

南畑工区のトンネル湧水量は，早良型花崗岩から糸島型花崗閃緑岩に遷移し始めた区間で湧水が増え，工区全体で最大約8t/分まで増加したが，現在は4t/分まで減少している．

本工区では，平等寺断層での大きな出水は確認されなかったが，平等寺断層付近に設置した観測井戸の水位は

**写真-2** 切羽状況写真（南畑工区19k390m付近）

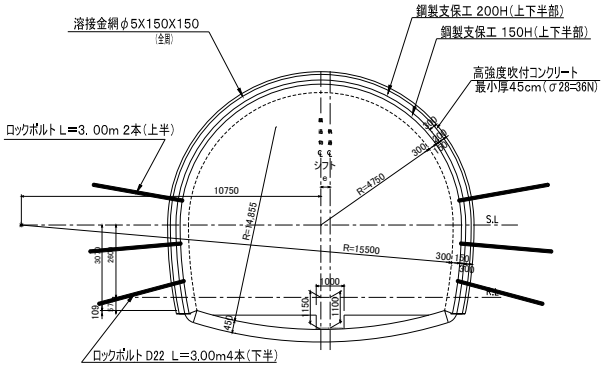


**図-7** 支保パターン図（19k390m付近）

低下し，枯渇はしていないものの個人の浅井戸への影響が確認された．また，大谷断層付近では，湧水が約100m間で2t/分増加し，地上部では一部で沢水の枯渇または減水が確認された．トンネル直上の数件の家屋が沢水による生活者であったため，迅速な応急対策が必要となった．

これらのことから，観測井戸を利用した飲料用水の応急対策を実施した．また，沢水減少に伴う農業用水の応急対策として，河口付近より耕作地の上流付近までのパイプ配管によるポンプ揚水や貯水槽等を設置して給水車による水運搬で必要水量を確保している．

しかし，本工区に近接している南畑ダムおよび山神ダムについては，ダムへ流入する河川流量およびダム貯水量を確認した結果，影響していないことを確認した．

### (3) 河内工区の施工実績

#### a) 工区・地質概要

河内工区は，作業坑（斜路，下り勾配8.5%）738mと本坑3,065mからなり，本坑土かぶりは，約200～500mと比較的大きい．地質は，おおむね糸島型花崗閃緑岩と深江型花崗岩からなり，岩塊自体は比較的硬いが，亀裂からの湧水が多くみられるため，県境付近の大土かぶり区間では，高被圧地下水による突発湧水が懸念された．また，

**写真-3**　中尺ボーリングからの湧水状況
（河内工区21k965m付近）

事前の地質調査で貝方断層が確認されている．

**b）大量湧水帯と貝方断層の施工**

本工区では，3区間の高被圧・多量湧水帯が確認され，もっとも高被圧・多量の湧水が発生した区間では，約130mの湧水区間の中で10t/分の湧水量を記録しており，中尺ボーリング（水圧式ダウンザホールハンマ使用，L=100m程度）を5本，短尺ボーリング（L=20m程度）を20本程度施工するに至った．（**写真-3**）．

貝方断層は，土かぶり約300mの20k700m付近で遭遇した．断層幅は約15m程度であったが，本坑に対して約30°の角度で交差したため，本坑延長約50m間でトンネル内空への大きな押し出しが最大約350mm生じ，一部吹付けコンクリートにクラックが発生した．これは，前後の地山が比較的堅固な岩盤である間に，粘土化した脆弱層が挟まれる状態で存在したため，掘削による応力解放によって断層区間の地山が塑性変形したことや，粘土化した地質に膨潤性の粘土鉱物（スメクタイト）が含まれていたこと，比較的高い土圧や被圧地下水の存在が原因と考えられる．

変位状況は，水平方向の変位が卓越し，初期変位速度が約100mm/日と大きいため，鋼製支保工（H-200）や摩擦定着ボルト（L=6.0m）をパターンボルトとして採用し，さらに増しボルト（L=6.0m），仮インバートによる早期閉合などにより対応した．また，部分的に本インバート施工後も数箇月間に渡り，変位速度が1.0mm/月を越える区間があったため，長期的な覆工コンクリートの耐荷能力向上とひび割れ抑制のため，ＲＣ構造とした．

**c）河内工区におけるトンネル湧水と渇水応急対策**

河内工区は，筑紫トンネル4工区の中でもっとも湧水が多く，工区の総湧水量は施工中には最大18t/分を超えたが，現在は 6t/分前後まで減少している．

観測井戸の水位測定から，地下水への影響はトンネルルート周辺に限定されるが，河川への影響は沢水の減少により河川下流の農業用水に支障を与える懸念が出てきたが，施工中は斜路より揚水した濁水処理水の放流により河川流量が増大して耕作に支障を与えなかった．しかし，施工完了後は河川流量の減水に伴う農業への応急対策として斜路より揚水し，河川流量の減少相当分を河川に放流している．

また，河内工区にもっとも近い河内ダムへの影響は認められず，大きな渇水被害には至っていないものと考えている．

**(4) 山浦工区の施工実績**

**a）工区・地質概要**

山浦工区は，作業坑（斜路，下り勾配10%）252mと本坑2,335mおよび一部明かり区間45mからなる．地形はなだらかな扇状地形で，本坑の約45%が小土かぶり（土かぶり0～30m程度）区間となっている．地質は，おおむね花崗岩が風化したマサ土であり，また，トンネル直上には，長崎自動車道，市道，河川および送電線鉄塔など，重要構造物が多数存在している．

**b）小土かぶり区間における切羽安定対策の施工**

本工区は，事前に行ったボーリング結果から，小土かぶり区間は全体的に地下水位が高いことが確認されている．また，前述のとおりトンネル直上には種々の重要構造物が存在することから，トンネルを安定して施工し各構造物への影響を抑制するため，トンネル切羽近傍の水位を低下させ，切羽の自立を確保することが重要な要素となった（**図-8**）．

このため，長崎自動車道付近から筑紫トンネル出口までの約800m全区間で，水平水抜きボーリングとウェルポイントを融合させた強制水抜き工を採用した．これは，切羽前方やや下向きの水平ボーリングを実施し，真空ポンプにより揚水するもので，事前に試験施工での水位低下効果の確認後，本格導入した（**図-9**）．また，施工中は本線付近に設置した観測井戸により地下水低下状況を確認しながら掘削を進めた．この結果，顕著な地下水低下効果が見られ，おおむね下半盤付近までドライな状態で掘削を行うことが可能となった．この他に，土かぶり10m以下の区間については，地表からの地山改良工を切羽到達前に実施した．また，必要に応じて長尺鋼管先受け工等の補助工法も採用した．

**c）山浦工区におけるトンネル湧水と渇水応急対策**

山浦工区のトンネル湧水量は，強制水抜き工などの施工により工区全体で最大3t/分程度まで増加したが，現在は2t/分程度となっている．

本線周辺家屋は井戸水を利用していることから，トンネル掘削による井戸水位低下の影響があり，観測井戸を利用した応急給水対策を迅速に実施した．農業用水については沢水の減少により河川流量が減水したが，施工中

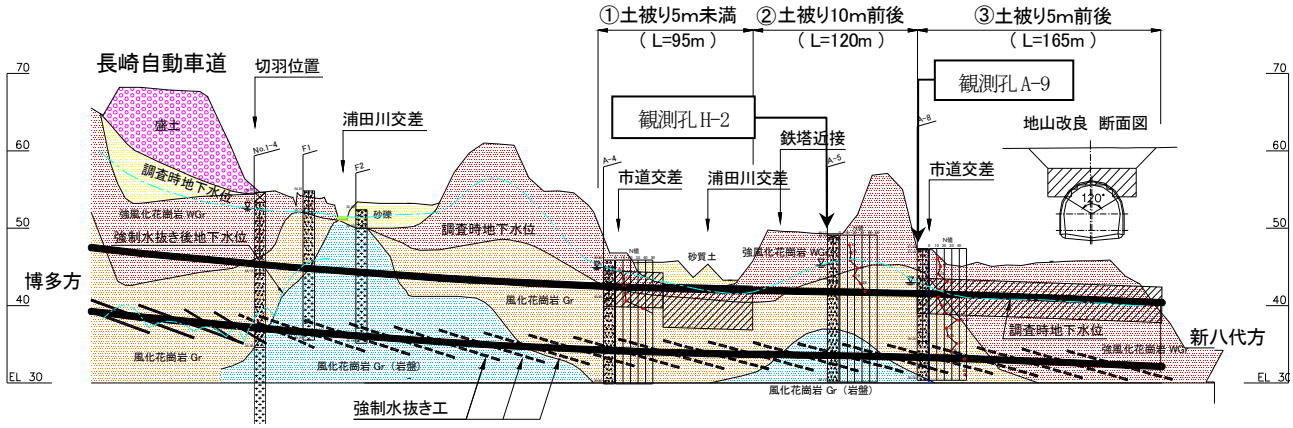


**図-8**　山浦工区小土かぶり区間地質縦断図

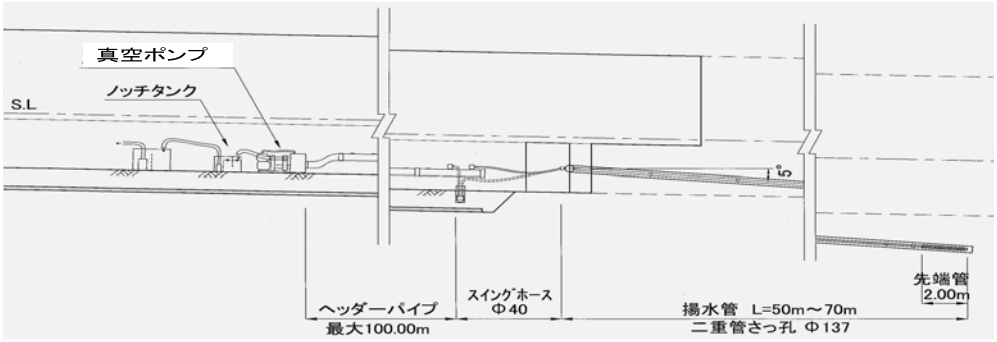


**図-9**　強制水抜き工設備配置図

は斜路より揚水していた濁水処理水の放流により，農業用水には支障は与えなかった．しかし，施工完了後は河川流量の減水に伴う農業応急対策として斜路より揚水を行い対応している．

## ５．おわりに

筑紫トンネルは，工事着手以来5年10ヶ月の歳月を費やし，平成19年11月に全貫通した．周辺水環境を考慮したルート選定と施工上は切羽の自立のための湧水対策など相反する状況のなか，地質状況，トンネル周辺環境条件など，それぞれ特徴を要する4工区であったが，各々の状況に促した補助工法などを適切に採用することにより，大きな事故に遭遇することなく無事掘削を完了することができた．また，当初懸案されていた渇水問題に関しては，適切な路線線形を採用することで，影響範囲を最小限にすることができた．しかし，トンネル直上付近では個人井戸や河川等への影響は避けることができなかったため，事前の影響予測の段階から計画していた飲料用水，農業用水の応急対策を実施中である．現在は，現地状況に即した恒久対策に向けて関係者と協議中であり，適切な対応を早急に行っていく予定である．