

7 地下水

7-1 薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針について

薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針

[昭和 49 年 7 月 10 日建設省官技発第 160 号]

第 1 章 総則

1-1 目的

この指針は、薬液注入工法による人の健康被害の発生と地下水等の汚染を防止するために必要な工法の選定、設計、施工及び水質の監視についての暫定的な指針を定めることを目的とする。

1-2 適用範囲

この指針は、薬液注入工法による建設工事に適用する。

ただし、工事施工中緊急事態が発生し、応急措置として行うものについては、適用しない。

1-3 用語の定義

この指針において、次に掲げる用語の意義は、それぞれ当該各号に定めるところによる。

(1) 薬液注入工法

薬液を地盤に注入し、地盤の透水性を減少させ、又は地盤の強度を増加させる工法をいう。

(2) 薬液

次に掲げる物質の一以上をその成分の一部に含有する液体をいう。

イ けい酸ナトリウム

ロ リグニン又はその誘導体

ハ ポリイソシアネート

ニ 尿素・ホルムアルデヒド初期縮合物

ホ アクリルアミド

第 2 章 薬液注入工法の選定

2-1 薬液注入工法の採用

薬液注入工法の採用は、あらかじめ 2-2 に掲げる調査を行い、地盤の改良を行う必要がある箇所について他の工法の採用の適否を検討した結果、薬液注入工法によらなければ、工事現場の保安、地下埋設物の保護、周辺の家屋その他の工作物の保全及び周辺の地下水位の低下の防止が著しく困難であると認められる場合に限るものとする。

2-2 調査

薬液注入工法の採用の決定にあたって行う調査は、次のとおりとする。

(1) 土質調査

土質調査は、次に定めるところに従って行うものとする。

イ 原則として、施工面積 1,000 平方メートルにつき 1 箇所、各箇所間の距離 100 メートルを超えない範囲でボーリングを行い、各層の資料を採取して土の透水性、強さ等に関する物理的試験及び力学的試験による調査を行わなければならない。

ロ 河川の付近、旧河床等局部的に土質の変化が予測される箇所については、イに定める基準によりも密にボーリングを行わなければならない。

ハ イ、又はロによりボーリングを行った各地点の間は、必要に応じサウンディング等によって補足調査を行い、その間の変化を把握するように努めなければならない。

ニ イからハマでにかかわらず、岩盤については、別途必要な調査を行うものとする。

(2) 地下埋設物調査

地下埋設物調査は、工事現場及びその周辺の地下埋設物の位置、規格、構造及び老朽度について、関係諸機関から資料を収集し、必要に応じつぼ掘により確認して行うものとする。

(3) 地下水位調査

地下水位調査は、工事現場及びその周辺の井戸等について、次の調査を行うものとする。

イ 井戸の位置、深さ、構造、使用目的及び使用状況

ロ 河川、湖沼、海域等の公共用水域及び飲用のための貯水池並びに養魚施設（以下「公共用水域等」という。）の位置、深さ、形状、構造、利用目的及び利用状況

2-3 使用できる薬液

薬液注入工法に使用する薬液は、当分の間水ガラス系の薬液（主剤がけい酸ナトリウムである薬液をいう。以下同じ。）で劇物又は弗素化合物を含まないものに限るものとする。

第3章 設計及び施工

3-1 設計及び施工に関する基本的事項

薬液注入工法による工事の設計及び施工については、薬液注入箇所周辺の地下水及び公共用水域等において、別表-1 の水質基準が維持されるよう、当該地域の地盤の性質、地下水の状況及び公共用水域等の状況に応じ適切なものとしなければならない。

3-2 現場注入試験

薬液注入工事の施工にあたっては、あらかじめ、注入計画地盤又はこれと同等の地盤において設計どおりの薬液の注入が行われるか否かについて、調査を行うものとする。

3-3 注入にあたっての措置

(1) 薬液の注入にあたっては、薬液が十分混合するように必要な措置を講じなければならない。

(2) 薬液の注入作業中は注入圧力と注入量を常時監視し、異常な変化を生じた場合は、直ちに注入を中止し、その原因を調査して、適切な措置を講じなければならない。

(3) 地下埋設物に近接して薬液の注入を行う場合においては、当該地下埋設物に沿って薬液が

流出する事態を防止するよう必要な措置を講じなければならない。

3-4 労働災害の発生の防止

薬液注入工事及び薬液注入箇所掘削工事の施工にあたっては、労働安全衛生法その他の法令の定めるところに従い、安全教育の徹底、保護具の着用励行、換気の徹底等労働災害の発生の防止に努めなければならない。

3-5 薬液の保管

薬液の保管は、薬液の流出、盗難等の事態が生じないように厳正に行わなければならない。

3-6 排出水等の処理

- (1) 注入機器の洗浄水、薬液注入箇所からの漏水等の排出水を公共用水域へ排出する場合には、その水質は、別表-2の基準に適合するものでなければならない。
- (2) (1)の排出水の排出に伴い排水施設に発生した泥土は、廃棄物の処理及び清掃に関する法律その他の法令の定めるところに従い、適切に処分しなければならない。

3-7 残土及び残材の処分方法

- (1) 薬液を注入した地盤から発生する掘削残土の処分にあたっては、地下水及び公共用水域等を汚染することのないよう必要な措置を講じなければならない。
- (2) 残材の処理にあたっては、人の健康被害が発生することのないよう措置しなければならない。

第4章 地下水等の水質の監視

4-1 地下水等の水質の監視

- (1) 事業主体は、薬液の注入による地下水及び公共用水域等の水質の汚濁を防止するため、薬液注入箇所周辺の地下水及び公共用水域等の水質の汚濁の状況を監視しなければならない。
- (2) 水質の監視は、4-2に掲げる地点で採水し、別表-1に掲げる検査項目について同表に掲げる検査方法により検査を行い、その測定値が同表に掲げる水質基準に適合しているか否かを判定することにより行うものとする。
- (3) (2)の検査は、公的機関又はこれと同等の能力及び信用を有する機関において行うものとする。

4-2 採水地点

採水地点は、次の各号に掲げるところにより選定するものとする。

- (1) 地下水については、薬液注入箇所及びその周辺の地域の地形及び地盤の状況、地下水の流向等に応じ、監視の目的を達成するため必要な箇所について選定するものとする。この場合において、注入箇所からおおむね10メートル以内に少なくとも数箇所の採水地点を設けなければならない。

なお、採水は、観測井を設けて行うものとし、状況に応じ既存の井戸を利用しても差し支えない。

- (2) 公共用水域等については、当該水域の状況に応じ、監視の目的を達成するため必要な箇所について選定するものとする。

4-3 採水回数

採水回数は、次の各号に定めるところによるものとする。

- (1) 工事着手前 1回
- (2) 工事中 毎日1回以上
- (3) 工事終了後

イ 2週間を経過するまで毎日1回以上（当該地域における地下水の状況に著しい変化がないと認められる場合で、調査回数を減じて監視の目的が十分に達成されると判断されるときは、週1回以上）

ロ 2週間経過後半年を経過するまでの間にあつては、月2回以上

4-4 監視の結果講ずべき措置

監視の結果、水質の測定値が別表-1に掲げる水質基準に適合していない場合又は、そのおそれのある場合には、直ちに工事を中止し、必要な措置をとらなければならない。

別表1 水質基準

薬液の種類		検査項目	検査方法	水質基準
水ガラス系	有機物を含まないもの	水素イオン濃度	水質基準に関する省令（昭和41年厚生省令第11号。以下「厚生省令」という。）又は日本工業規格K0102の8に定める方法	pH値8.6以下（工事直前の測定値が8.6を超えるときは、当該測定値以下）であること
	有機物を含むもの	水素イオン濃度	同上	同上
		過マンガン酸カリウム消費量	厚生省令に定める方法	10ppm以下（工事直前の測定値が10ppmを超えるときは、当該測定値以下）であること。

別表2 排水基準

薬液の種類		検査項目	検査方法	水質基準
水ガラス系	有機物を含まないもの	水素イオン濃度	日本工業規格K0102の8に定める方法	排水基準を定める省令（昭和46年総理府令第35号）に定める一般基準に適合すること。
	有機物を含むもの	水素イオン濃度	同上	同上
		生物化学的酸素要求量又は化学的酸素要求量	日本工業規格K0102の16又は13に定める方法	排水基準を定める省令に定める一般基準に適合すること。

7-2 高橋の水文学的方法について

高橋の水文学的方法は、トンネル掘削時の恒常湧水量は、周辺沢の基底流量に比例するという考えに基づいている。地質は地形を反映しており、また、地下水は地形に沿って流動すると考え、流出幅を求めるものである。以下に算出の手順を示す。

7-2-1 単位流域の設定

トンネルと交差もしくは付近にある沢・河川を対象として、沢の上流から他の大きな沢・河川との合流点までの範囲について、稜線を境界とする単位流域を設定する。単位流域の設定においては、沢と稜線の比高がトンネルの平均的な土被りに一致するように対象範囲を選定する。図 7-2-1-1 に設定のイメージを示す。また、主流路を直線のつながりと考え分割して、各直線の距離を設定する。

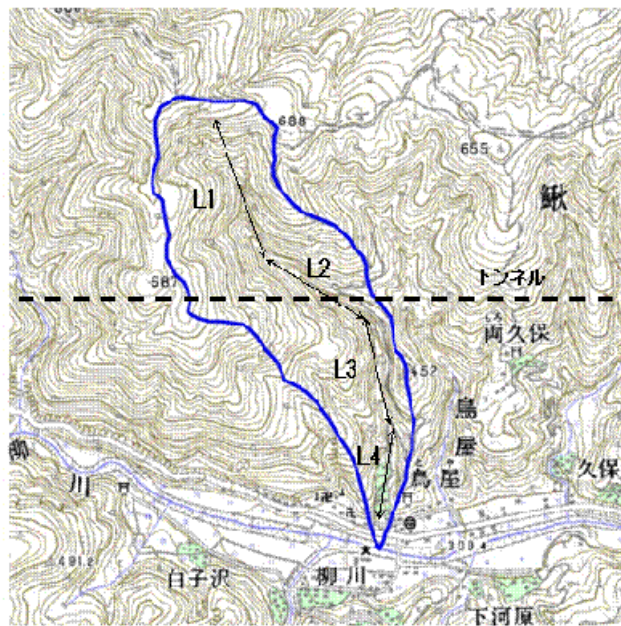


図 7-2-1-1 単位流域及び流路延長の設定イメージ

7-2-2 単位流域における平均流路幅 (R) の算出

単位流域内の面積 (A) と、図 7-2-1-1 及び式 7-2-2-1 により求めた主流路の延長 (L) から、式 7-2-2-2 に基づき、平均流路幅 (R) を算出する。

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 \quad (\text{式 7-2-2-1})$$

$$R = A/2L \quad (\text{式 7-2-2-2})$$

7-2-3 流路の平均比高 (Hm) の算出

主流路を n 間隔で分割し、各位置での左右分水界と河床との標高を求める。両者の標高から比高 (H) を算出し、式 7-2-3-1 に基づき流域全体で平均比高 (Hm) を算出する。図 7-2-3-1 に比高のイメージを示す。

$$H_m = (H_1 + H_2 + H_3 \cdot \cdot \cdot + H_n) / n \quad (\text{式 7-2-3-1})$$

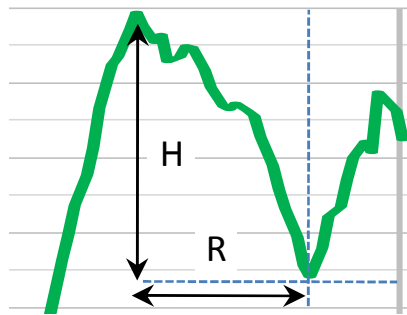


図 7-2-3-1 比高のイメージ

7-2-4 平均透水性の算出

平均透水性 (K_t) を式 7-2-4-1 に基づき算出する。

$$K_t = R^2 / (6H_m) \quad (\text{式 7-2-4-1})$$

7-2-5 H-R 曲線の作成

式 7-2-5-1 から、任意の高さ H と R の関係式を得る。

$$R = \sqrt{6HK_t} \quad (\text{式 7-2-5-1})$$

式 7-2-5-1 に基づき H に対する H - R 曲線を作成する。図 7-2-5-1 に H - R 曲線のイメージを示す。

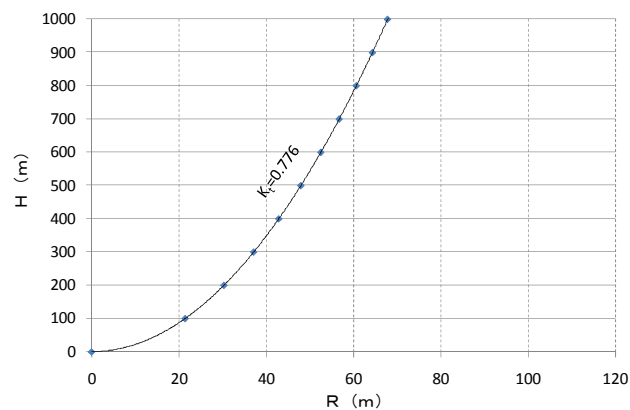


図 7-2-5-1 H-R 曲線のイメージ

7-2-6 流出範囲の算出

トンネルと直交する断面を描き、断面ごとにトンネルFLとH-R曲線の原点を重ね合わせ、曲線と地表面が交差する地点までを、トンネル方向に地下水が流出する可能性のある範囲とする。図 7-2-6-1 に算出のイメージを示す。

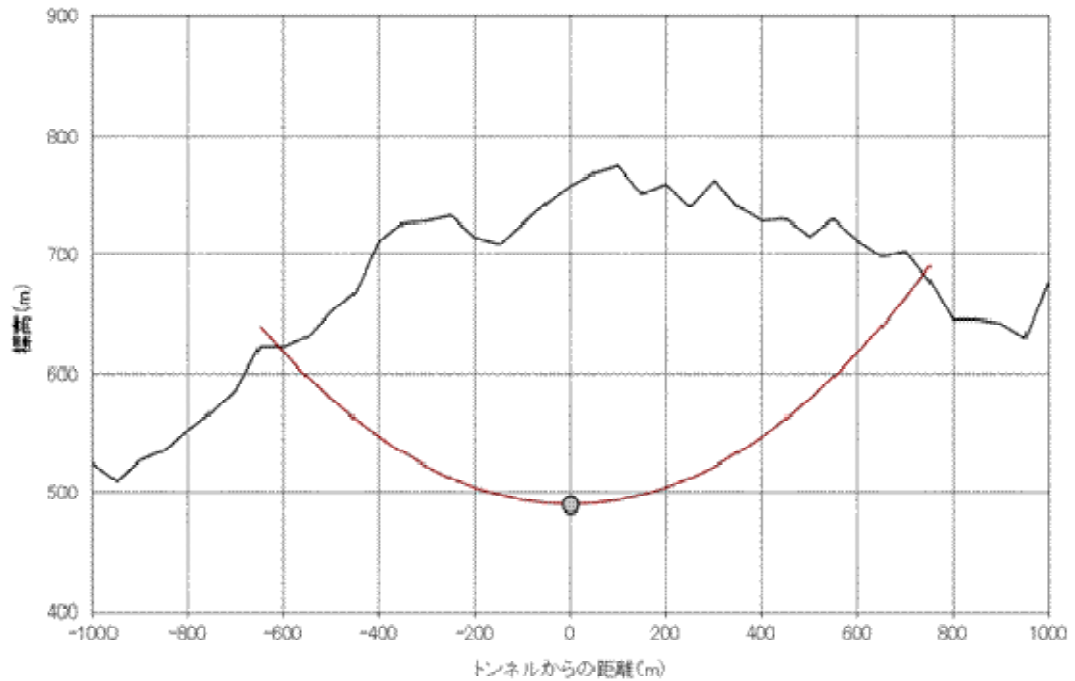


図 7-2-6-1 流出範囲算出のイメージ

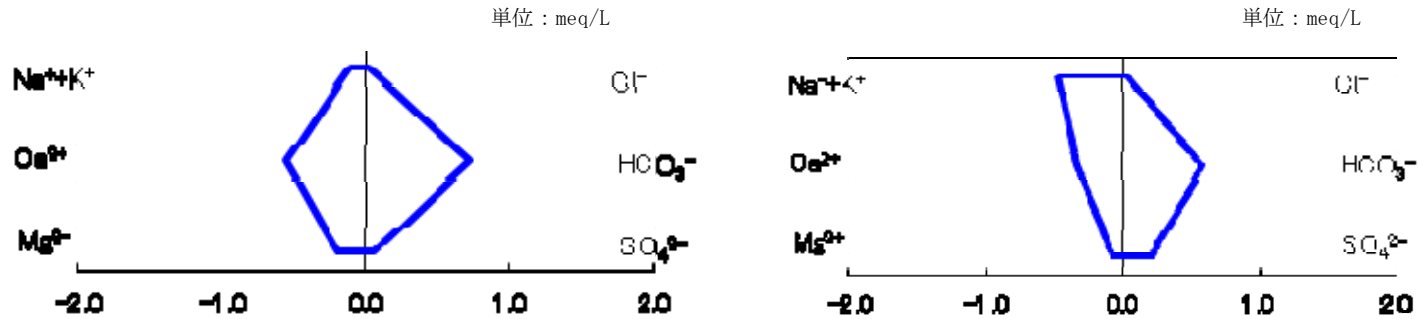
7-3 地下水の水質組成及び電気伝導度について

地下水の帯水構造について、既存の井戸及び新たに掘削した観測孔を用いた水質調査結果について下記に示す。

表 7-3-1 地下水の水質の調査結果（溶存イオン）

地点 番号	市町 村名	調査地点	調査日	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
				ナトリウムイ オン	カリウムイオン	カルシウムイ オン	マグネシウムイ オン	塩化物イオン	重炭酸イ オン	硫酸イオン
				mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
01	富士 川町	上高下簡易水道水源（湧水）	平成 25 年 6 月 12 日	2.5	0.3	11	2.3	0.7	44	2.7
02		ボーリング孔 （深度 160m）	—	11	0.1 未満	6.7	0.9	0.9	36	9.8

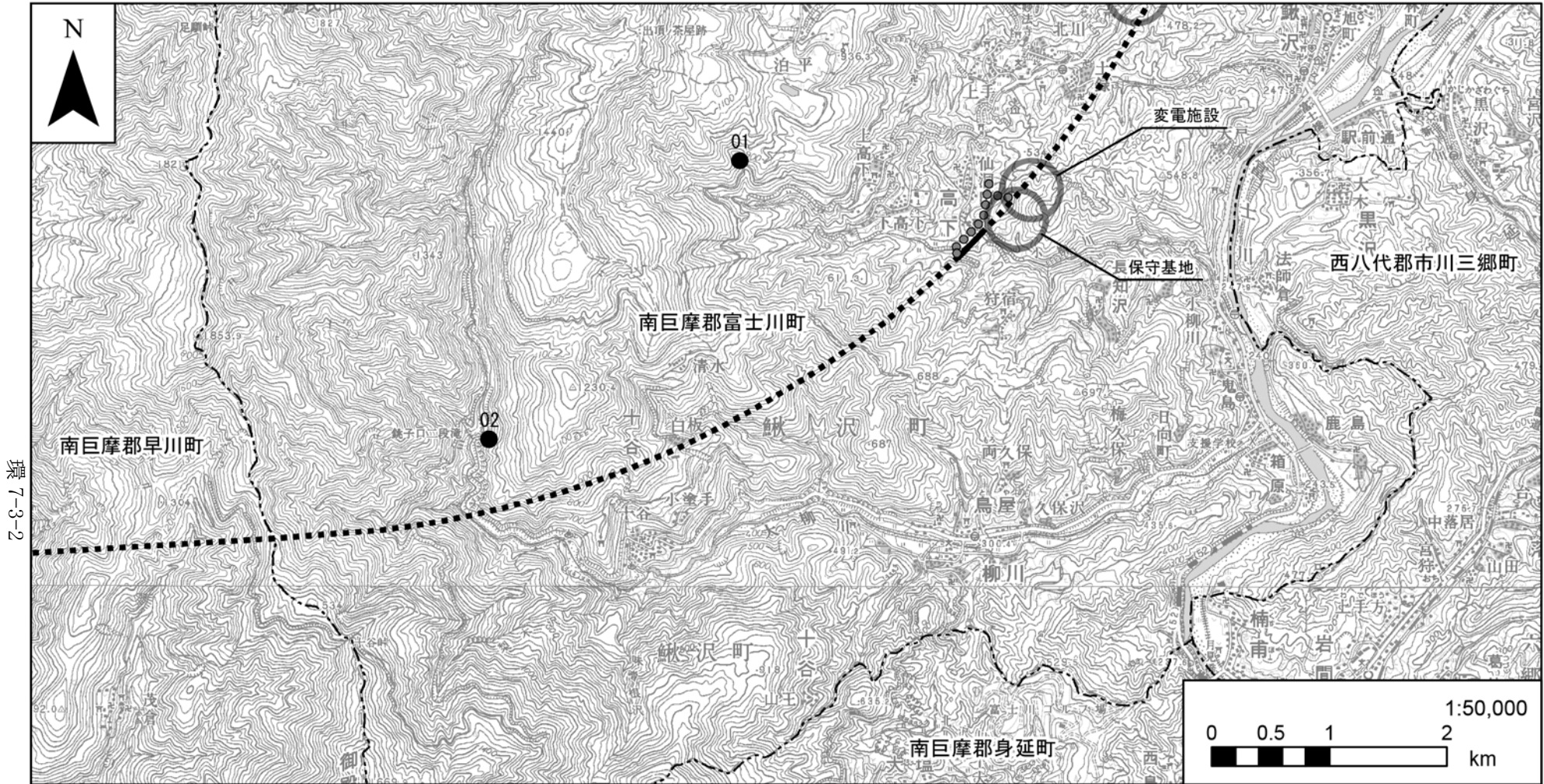
環 7-3-1



浅層の風化部に帯水する地下水
上高下簡易水道水源（湧水）

深層の新鮮部に帯水する地下水
ボーリング孔（深度 160m）

図 7-3-1 ヘキサダイアグラム（巨摩山地）



環 7-3-2

- 凡例
- 計画路線(新設区間(地上部))
 - 計画路線(既設区間(地上部))
 - ⋯⋯ 計画路線(新設区間(トンネル部))
 - ▭ 計画路線(既設区間(トンネル部))
 - 工事用道路
 - - - 都県境
 - · - · 市町村境
 - 溶存イオン調査地点

図 7-3-2 地下水の水質の調査地点図 (溶存イオン)

7-4 深層新鮮岩部の透水係数について

深層新鮮岩部の透水係数について、既存の井戸及び新たに掘削した観測孔を用いた調査結果について下記に示す。

表 7-4-1(1) ボーリング孔における透水試験結果（丹沢山地）

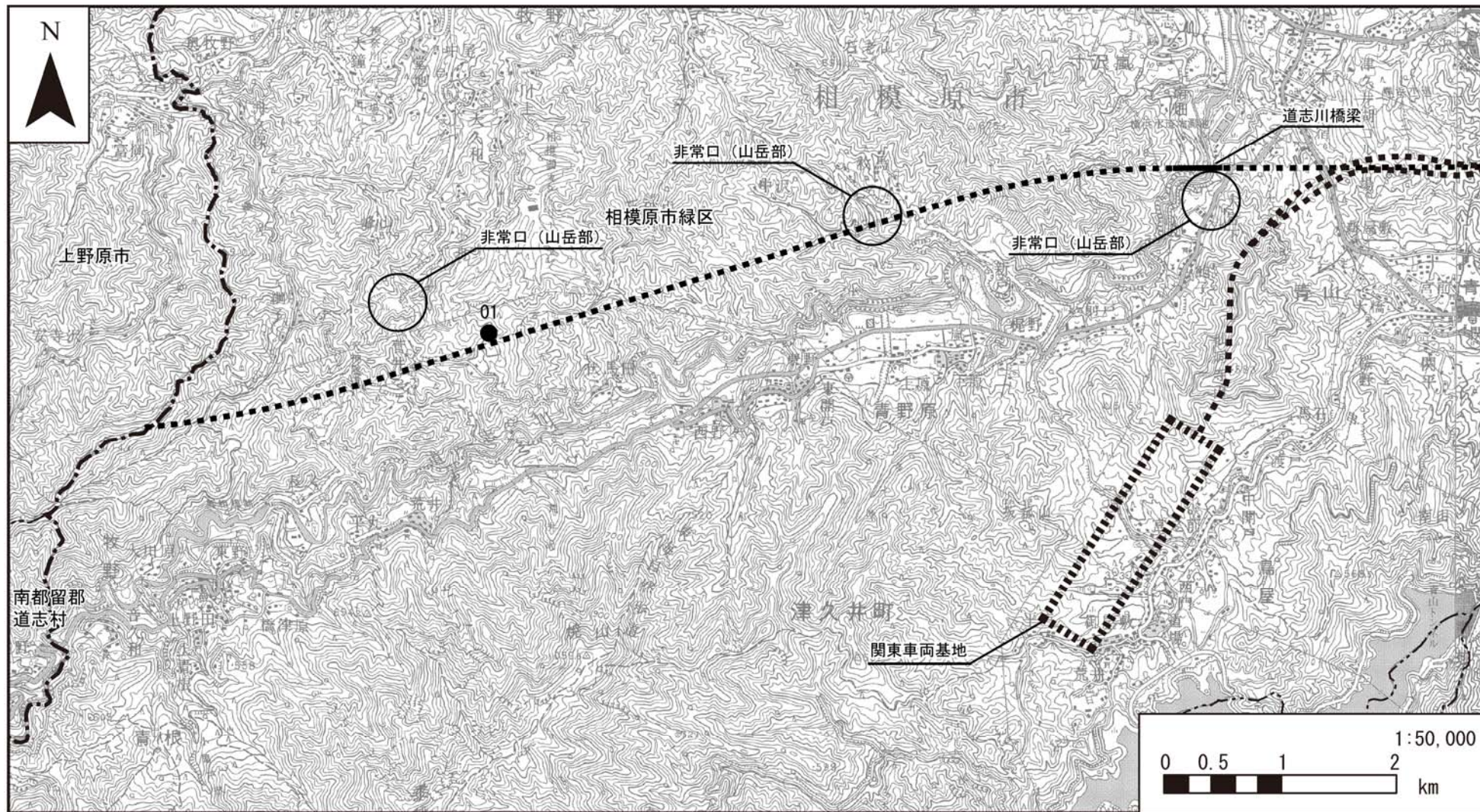
地点番号	市町村名	調査地点	深度(m)	試験方法	試験深度(m)	土質区分	透水係数(m/sec)
01	相模原市	牧野	100	湧水圧試験	83～88	火山角礫岩～凝灰角礫岩	7.79×10^{-7}

表 7-4-1(2) ボーリング孔における透水試験結果（巨摩山地）

地点番号	市町村名	調査地点	深度(m)	試験方法	試験深度(m)	土質区分	透水係数(m/sec)
02	富士川町	十谷	160	湧水圧試験	148～160	凝灰角礫岩	1.0×10^{-7}
03	早川町	茂倉	470	湧水圧試験	447.2～470	砂岩、泥岩、砂岩泥岩互層	9.2×10^{-9}

表 7-4-1(3) ボーリング孔における透水試験結果（赤石山脈）

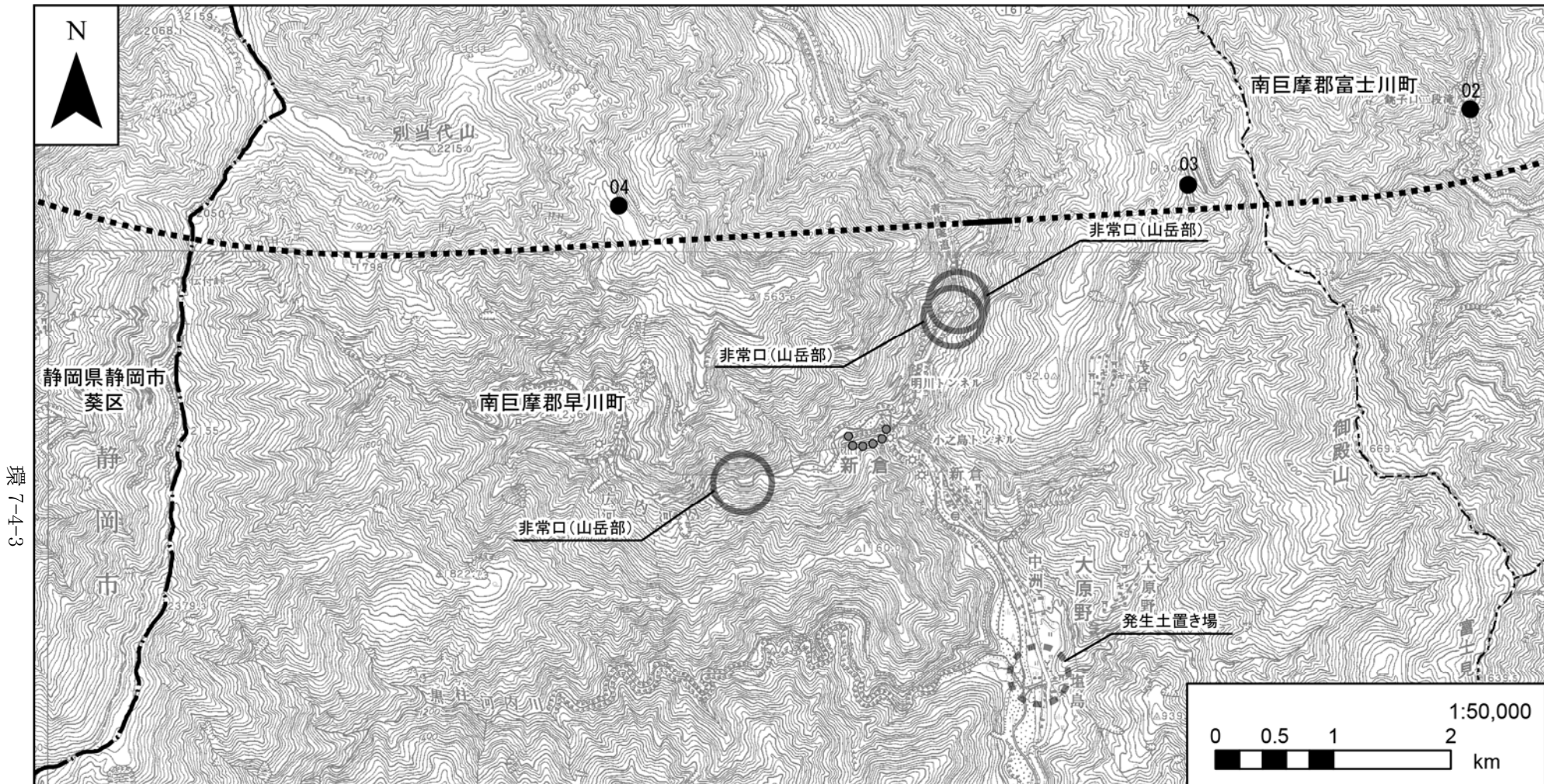
地点番号	市町村名	調査地点	深度(m)	試験方法	試験深度(m)	土質区分	透水係数(m/sec)
04	早川町	新倉	794	湧水圧試験	691.6～709.1	緑色岩	1.66×10^{-7}
				湧水圧試験	765.6～794	緑色岩、粘板岩	7.68×10^{-7}



凡例

- | | | |
|---------------------|----------|----------|
| — 計画路線(新設区間(地上部)) | --- 都県境 | ● ボーリング孔 |
| — 計画路線(既設区間(地上部)) | --- 市町村境 | |
| ⋯ 計画路線(新設区間(トンネル部)) | | |
| ▭ 計画路線(既設区間(トンネル部)) | | |
| ●●● 工事用道路 | | |

図 7-4-1(1) ボーリング孔位置図



環 7-4-3

- 凡例
- 計画路線 (新設区間(地上部))
 - 計画路線 (既設区間(地上部))
 - ⋯ 計画路線 (新設区間(トンネル部))
 - ▭ 計画路線 (既設区間(トンネル部))
 - 工事用道路
 - 都県境
 - 市町村境
 - ボーリング孔

図 7-4-1(2) ボーリング孔位置図

7-5 環境保全措置の具体的な内容

地下水の水位及び水資源の環境保全措置として記載している「適切な構造及び工法の採用」について、具体的なものとして、先進ボーリングによる地質確認、薬液注入工、防水シート、及び覆工コンクリートがある。それらの概要について下記に示す。

(1) 先進ボーリング

先進ボーリングは、トンネル前方の地質状況を事前に把握するためのものであり、過去の長大トンネルにおいて用いられており、青函トンネルでは、2,150mの水平ボーリングの実績がある。施工イメージ及び機械を図7-5-1及び図7-5-2に示す。当社においても山梨県早川町における地質調査のための作業坑や山梨リニア実験線の延伸工事において実績があり、十分な信頼性があることを確認している。

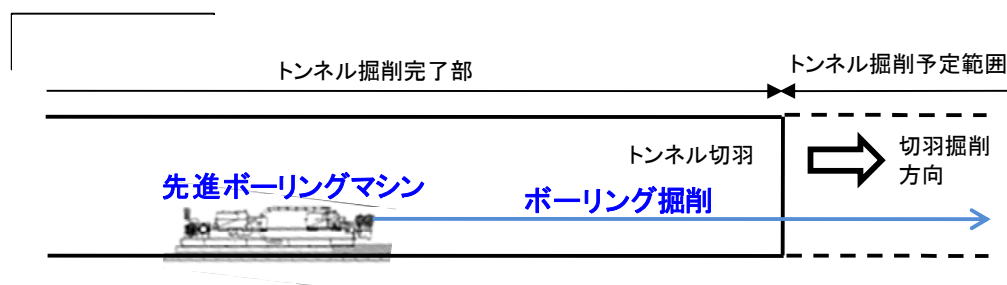


図 7-5-1 先進ボーリングマシンの施工イメージ（断面図）



図 7-5-2 先進ボーリングマシン

(2) 薬液注入工

地盤改良材として薬液を地盤中に注入し、地盤の透水性を抑えてトンネル内の湧水量を減少させる工法である。工法の施工例及びイメージを図7-5-3及び図7-5-4に示す。

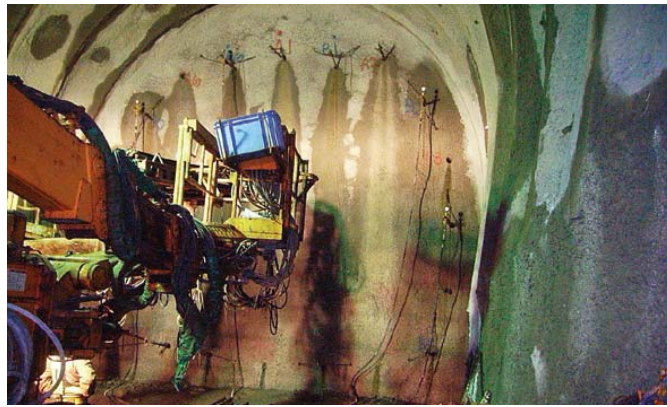
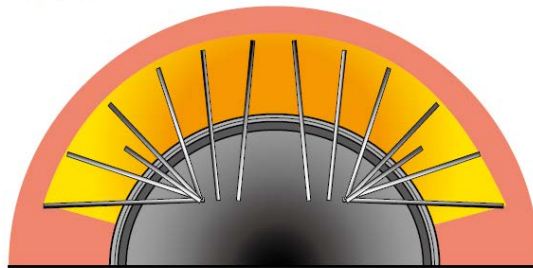


図 7-5-3 薬液注入工の施工例

(ライト工業(株)、「トンネル工事の補助工法」(2013年4月)より抜粋)

断面図



側面図

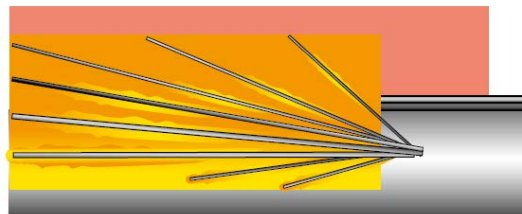


図 7-5-4 薬液注入工の施工イメージ

(ライト工業(株)、「トンネル工事の補助工法」(2013年4月)より抜粋)

(3) 防水シート

防水シートは、山岳トンネルの防水工として、品質のばらつきが少なく、信頼性の高い防水層を形成できるため多用されているものであり、吹付けコンクリート等の下地面への固定、シート自体の破損防止、シート背面にある程度の透水層を形成するために、不織布、織布等の裏面緩衝材が付いた複合積層シートが用いられることが多い。また、覆工コンクリート打込み時に考えられる機械的衝撃、フレッシュコンクリートの圧力、水圧等の力に対して十分な伸びと強さを有するとともに、コンクリート成分や湧水成分等に対する耐久性を備えた構造、材質であることが要求される。施工状況の例を図 7-5-5 に示す。



図 7-5-5 防水シートの施工例（一般国道 191 号線 萩・三隅道路）
（国土交通省 中国地方整備局 山口河川国道事務所ホームページより抜粋）

(4) 覆工コンクリート

覆工コンクリートは、下記のような役割をもつものとして施工される。施工状況の例を図 7-5-6 に示す。

供用性については、

- ① 地下水等の漏水の少ない、水密性のよい構造物にする。
- ② 供用中の点検、保守等の作業性を高める。
- ③ 水路トンネルの場合、粗度係数を向上させ通水効率を高める。
- ④ トンネル内の架線、照明、換気等の施設を保持する。

力学的特性については、

- ① 掘削後、支保工により地山の変形が収束した後、覆工を施工することが一般的であり、覆工には、基本的には荷重が作用しないものとする。したがって、地質の不均質性、支保工の品質のばらつき等の不確定要素を考慮し、構造物全体としての安全率を増加させる。
- ② 地山の変形が収束しない状態で覆工を施工する場合には、トンネルの安定に必要な拘束力を地山に与える。
- ③ 覆工を施工後、水圧、上載荷重等によって外力が発生した場合、これを支保する。
- ④ 使用開始後の外力の変化や地山や支保工材料の劣化に対し、構造物としての耐久性を向上させる。



図 7-5-6 覆エコンクリートの施工例（一般県道 常神三方線 神子トンネル）
（福井県 敦賀土木事務所 道路改良主要事業 ホームページより抜粋）

7-6 早川町内で実施した水平ボーリングについて

7-6-1 調査概要

南アルプスの南北に分布する地質の中で、巨摩層群・四万十層群（瀬戸川帯）については、これまで弾性波探査により調査データを取得しているが、南アルプス深部における連続的データを取得するために、山梨県南巨摩郡早川町大字新倉地内において、平成 20 年から平成 23 年の間に水平ボーリングを実施した。その延長は、糸魚川・静岡構造線の影響が及ぶ範囲として、巨摩層群・四万十層群（瀬戸川帯）が分布すると想定される約 3km で実施した。なお、長尺水平ボーリングの調査延長は、約 1km が可能であることから、作業坑を併進して調査延長（約 3km）の水平ボーリングが行えるようにした。なお、周辺の施工事例や文献調査の結果から、土壤汚染の恐れはないと想定されることから、これらのボーリングにおいて土壤汚染に関する調査は行っていない。

水平ボーリングの実施位置を、図 7-6-1 に示す。

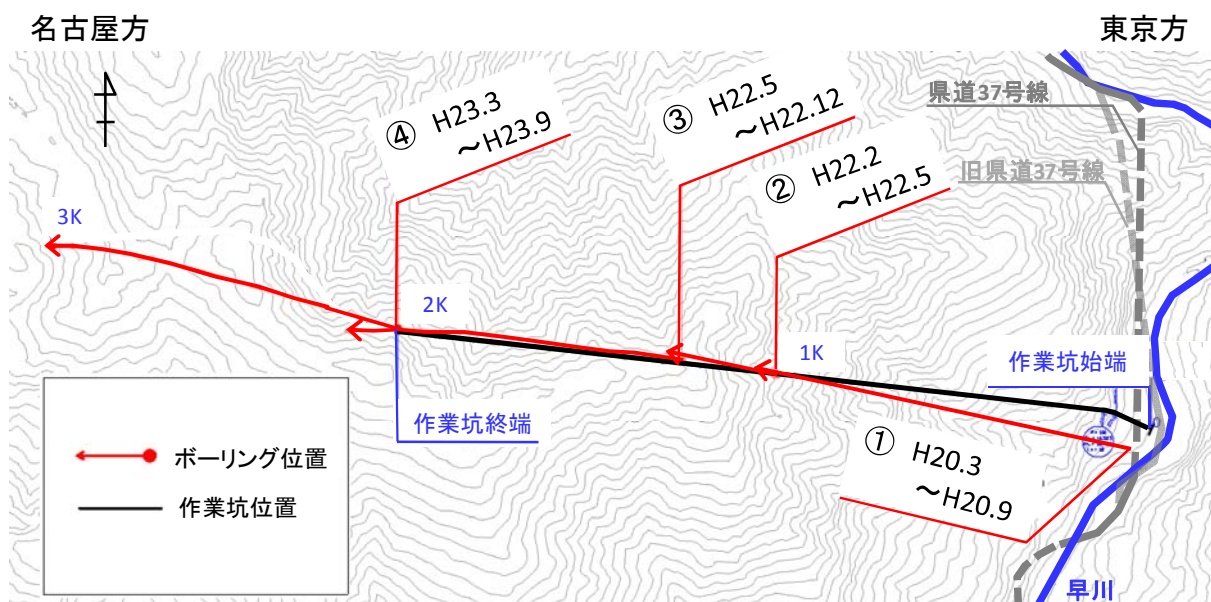


図 7-6-1 水平ボーリング実施位置

7-6-2 調査結果

水平ボーリング等の結果を下記に示す。

(1) 水平コアボーリング（①約 1,000m）

掘削延長約 900m 付近に幅約 2m 程度の断層が確認され、それ以東に火山岩・火山砕屑岩（楡形山累層の凝灰角礫岩等）、以西に中・古生層（瀬戸川帯の砂岩粘板岩互層及び粘板岩等）が分布することが確認された。この断層は糸魚川静岡構造線の断層であると考えられ、凝灰岩起源の緑灰色部と粘板岩起源の黒色～暗灰色部が混在した。なお、断層に隣接する両側は断層と平行するような破碎帯は認められず、割れ目は多いものの堅硬な岩盤であった。また、断層付近におけるボーリング坑口からの湧水量は、最大 $0.7\text{m}^3/\text{min}$ 程度であった。

(2) 水平ノンコアボーリング (②約 300m、③約 900m、④約 1,000m)

ノンコアボーリングで行ったため、掘削ずりを 5m 毎に採取し、岩種・色調・風化区分等を観察した。いずれの区間においても、中・古生層（瀬戸川帯の砂岩粘板岩互層、粘板岩及び凝灰岩等）が分布することが確認された。②においては、掘削機の操作において判別されるような規模の大きな脆弱帯は確認されず、③、④においては、一部において破碎帯と推定される箇所が確認されたが概ね堅硬な岩盤であった。また、ボーリング坑口からの湧水量については、破碎帯と推定される付近で、最大 $2.3\text{m}^3/\text{min}$ 程度であった。なお、長尺水平ボーリングにおいては、今後の工事において活用していくべく、高能率・高精度のボーリングマシンの開発及び掘削速度の変化、スライム粒子の構成、排水量の変化、トルク・推力の変化などから地山の状況について把握する方法を開発した。本把握方法については、後述する作業坑の切羽の観察結果との比較により検証を行い、信頼性を確認している。

(3) 作業坑 (約 2,000m)

水平ボーリングにおいて把握した地山の状況に基づき、併進する作業坑の掘削を行った。地質については、概ね、水平ボーリングの結果のとおり堅硬な岩盤であり、また、糸魚川静岡構造線通過後の切羽からの湧水量は、最大 $0.5\text{m}^3/\text{min}$ 程度であったが、この量については、水平ボーリング①による湧水の影響も考えられる。一方、水平ボーリングにおいて糸魚川静岡構造線等の位置を概ね把握することが出来たことから、支保パターンの変更、フォアパイリング等の補助工法及び短尺ボーリングの実施等、事前に対策を講じることにより、断層や破碎帯付近においても支障なく掘削を進めることが出来た。

今後、工事にあたっては、開発した長尺水平ボーリングマシンや地山の把握方法により、前方の地質確認を行って、掘削を進めていく。

なお、これら地質や湧水の状況などの結果については、昭和 49 年からは当時の国鉄が、また平成 2 年からは当社と日本鉄道建設公団が行った地形地質調査（調査位置図は「資料編【事業特性】 8 これまでに実施した地質調査の概要」を参照）と併せて第 8 章「8-2-3 地下水の水質及び水位」に記載した地質縦断図に反映させるとともに、地下水の水位への影響についての地質水文学的な予測にも反映している。