

北海道古宇郡神恵内村
文献調査報告書

技術的観点からの検討のうち
地質環境特性に関する説明書

2024 年 11 月

原子力発電環境整備機構

2024 年 11 月 発行 原子力発電環境整備機構

本資料を利用する際は出典を記載してください。出典の記載方法は以下のとおりです。編集・加工等して利用する際には、以下の出典表記とは別に編集・加工等を行ったことを記載してください。

(出典の記載例)

原子力発電環境整備機構（2024）北海道古宇郡神恵内村文献調査報告書

また、第三者（原子力発電環境整備機構以外のものをいいます。以下同じ。）の著作物が含まれる場合（例えば、原子力発電環境整備機構が第三者の図表等を用いて転載・編集・加工等している図表等）には、別途、第三者からの許諾が必要になることがあります。利用者の責任において、第三者が権利を有している部分を確認し、当該第三者から利用の許諾を得てください。

上記は、著作権法上認められている引用などの利用について、制限するものではありません。

目 次

第1章 調査、検討の考え方	1
1.1 検討の進め方	1
1.2 実施項目と手順	2
第2章 検討のよりどころとなる情報の整理	4
2.1 好ましい地質環境特性	4
2.1.1 閉じ込め機能の観点からの好ましい地質環境特性	4
2.1.2 地下施設の建設可能性の観点からの好ましい地質環境特性	5
2.2 既往の処分場概念に設定された地質環境特性	6
第3章 文献調査対象地区における地層・岩体の分布の把握	8
3.1 陸域	8
3.2 海域	11
3.3 主な検討対象となる地層・岩体の抽出	13
第4章 地質環境特性に関する情報の収集・整理	21
4.1 情報の収集方法	21
4.2 閉じ込め機能に関する特性	24
4.2.1 地温	24
4.2.2 透水係数	26
4.2.3 動水勾配	28
4.2.4 クリープ変形量	29
4.2.5 pH	29
4.2.6 酸化還元電位（ORP）	30
4.2.7 炭酸化学種濃度	30
4.2.8 まとめ	31
4.3 地下施設の建設可能性に関する特性	33
4.3.1 一軸圧縮強さ	33
4.3.2 地温	34
4.3.3 そのほかの安全性の懸念事象に関する特性	34
4.3.4 まとめ	37
第5章 閉じ込め機能の観点からの検討	39
5.1 熱環境	39
5.2 水理場	39
5.3 力学場	40
5.4 化学場	40
5.5 地質環境特性の長期継続性	40
5.6 まとめ	41
第6章 地下施設の建設可能性の観点からの検討	43
6.1 空洞安定性	43
6.2 坑内作業環境（地温）	45

6.3 地下施設の収容性	45
6.4 そのほかの安全性に関する懸念事象.....	45
6.5 まとめ.....	46
第7章 地下施設設置場所として適切ではない場所の回避やより好ましい場所の選択.....	48
7.1 地下施設設置場所に係る検討.....	48
7.2 概要調査に向けた考え方.....	50
引用文献.....	52

図目次

図 1.2-1	技術的観点からの検討のうち地質環境特性の実施項目と手順.....	3
図 3.1-1	文献調査対象地区およびその周辺の地質図.....	10
図 3.2-1	文献調査対象地区およびその周辺の海底地質図.....	12
図 3.3-1	文献調査対象地区における主な検討対象およびその上部の地層・岩体の抽出（B-B'断面）.....	15
図 3.3-2	文献調査対象地区における主な検討対象およびその上部の地層・岩体の抽出（C-C'断面）.....	16
図 3.3-3	文献調査対象地区における主な検討対象およびその上部の地層・岩体の抽出（D-D'断面）.....	17
図 3.3-4	文献調査対象地区における主な検討対象およびその上部の地層・岩体の抽出（E-E'断面）.....	18
図 3.3-5	文献調査対象地区における主な検討対象およびその上部の地層・岩体の抽出（F-F'断面）.....	19
図 3.3-6	文献調査対象地区における主な検討対象およびその上部の地層・岩体の抽出（e 測線および g 測線）.....	20
図 4.1-1	北海道の基盤地質に基づく地帯構造区分.....	24
図 4.2-1	文献調査対象地区で測定された地温の深度分布.....	25
図 4.2-2	文献調査対象地区における主要河川的位置.....	29
図 4.2-3	文献調査対象地区で測定された pH.....	30
図 4.2-4	文献調査対象地区で測定された炭酸化学種濃度.....	31
図 4.3-1	文献調査対象地区およびその周辺の地形概要.....	36

表目次

表 2.1-1	好ましい地質環境特性と日本の地下深部に広く認められる特性.....	4
表 2.1-2	閉じ込め機能の観点から設定した地質環境特性項目とその目安.....	5
表 2.1-3	地下施設の建設可能性の観点からの地質環境特性項目と目安.....	6
表 2.2-1	地層処分に係る検討において重要となる地質環境の特性値.....	6
表 2.2-2	各検討対象母岩に設定された地下水の温度や水質条件の代表値の一部.....	7
表 3.1-1	主要な地層・岩体の抽出とその岩種区分（陸域）.....	9
表 3.2-1	主要な地層・岩体の抽出とその岩種区分（海域）.....	11
表 3.3-1	文献調査対象地区に分布する主な地層・岩体とその岩種.....	14
表 4.1-1	閉じ込め機能に関する地質環境特性の整理に用いた情報.....	21
表 4.1-2	地下施設の建設可能性に関する地質環境特性の整理に用いた情報.....	22
表 4.1-3	そのほかの安全性に関する懸念事象に関する検討項目の抽出.....	23
表 4.2-1	文献調査対象地区における地温勾配.....	26
表 4.2-2	岩種区分毎の透水係数.....	27

表 4.2-3	主な検討対象となる岩種の透水係数（地下 300 m 以深）	27
表 4.2-4	文献調査対象地区における地表付近の動水勾配.....	28
表 4.2-5	文献調査対象地区における地質環境特性（閉じ込め機能の観点）	32
表 4.3-1	岩種区分毎の一軸圧縮強さ	34
表 4.3-2	文献調査対象地区の周辺地域におけるトンネルの岩盤崩落の概要.....	35
表 4.3-3	文献調査対象地区における地質環境特性（地下施設の建設可能性の観点）	38
表 5.5-1	海水準変動による地質環境特性の長期変化の可能性	41
表 5.6-1	閉じ込め機能の観点からの検討結果.....	42
表 6.1-1	岩種区分毎の力学的特性.....	43
表 6.1-2	主な検討対象となる岩種の力学的特性（地下 300 m 以深）	44
表 6.1-3	主な検討対象の上部の岩種の力学的特性（地下 300 m 以浅）	44
表 6.5-1	地下施設の建設可能性の観点からの検討結果.....	47
表 7.1-1	技術的観点からの地下施設設置場所に係る検討結果	49
表 7.2-1	概要調査以降の調査を実施する場合に留意すべき事項	51

添付資料

- 添付資料 A 岩種区分毎の地質環境特性（透水係数）
- 添付資料 B 岩種区分毎の地質環境特性（一軸圧縮強さ）
- 添付資料 C 水理場の概念
- 添付資料 D 熱対流が地下水流動に及ぼす影響

第1章 調査、検討の考え方

1.1 検討の進め方

文献調査開始に当たっては、原子力発電環境整備機構（以下、NUMO という。）が2020年に公表した「北海道古宇郡神恵内村 文献調査計画書」（以下、文献調査計画書という。）に従って調査を進めた。その間、経済産業省資源エネルギー庁の「文献調査段階の評価の考え方」（2023）（以下、「文献調査段階の評価の考え方」という。）が策定されており、当該地域の文献調査の情報に基づく概要調査地区候補選定のための技術的観点からの検討のうち地質環境特性については、これらに沿って文献調査対象地区である神恵内村における地層や岩体、断層などの分布といった地下の状況および地質環境特性に関する情報の収集・整理を行った。さらに、それらの情報と好ましいと考えられる地質環境特性（総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 地層処分技術WG（以下、地層処分技術WG という。）、2014；地層処分技術WG, 2017）や既往の処分場概念¹の設定環境（NUMO, 2021）との比較を通じて、技術的な観点から文献調査対象地区における地下施設設置場所について検討した。

「文献調査段階の評価の考え方」に示された技術的観点からの検討の考え方は、以下のとおり。

- ① 最終処分法に定められた要件への適合性の確認と同様に、技術的観点からの検討についても、地下の地質環境を対象として概要調査地区の候補を選定するために実施する。
- ② 最終処分法に定められた要件への適合性以外の技術的な観点から、最終処分を行おうとする地層（地下施設設置場所）として適切ではない場所の回避やより好ましい場所の選択について検討する。
- ③ 技術的な観点は、地層の著しい変動等の回避の次に重要となり、概要調査や精密調査においても調査事項とされている、放射性物質の閉じ込め機能に関して検討する。その上で、掘削や施設収容性等の観点からの地下施設の建設可能性に関しても検討する。
- ④ このような観点から、地層や岩体、断層等の分布といった地下の状況、地層処分への適性の観点からの地質環境特性を取りまとめ、地下施設設置場所としてのおおよその適性を把握する。検討の目的から、最終処分を行おうとする地層だけでなく上部を含めた周辺の地層も評価の対象とし、閉じ込め機能に関する特性についてはその継続期間も考慮する。
- ⑤ 既往の文献・データでは、地層や岩体、断層等の分布といった地下の状況については一定程度把握することが可能であるが、地層処分への適性の観点からの地質環境特性については文献調査対象地区の情報は限られていることから、周辺や同様の岩種について得られている特性を用いて推定する。
- ⑥ その上で、「科学的特性マップ」の策定時の考え方のうち「好ましい地質環境特性」や、これまでに設計や安全評価が実施されているモデルの地質環境特性と比較する。

¹ 閉鎖後長期安全性、閉鎖前安全性、工学的成立性、モニタリング、回収可能性、環境影響、社会経済的側面など、処分場に持たせようとする性質と能力（設計因子）を考慮し、評価を行う対象となる処分施設とその立地点におけるサイト環境条件に適合するように設計した処分場の仕様例を「処分場概念」とよぶ。

1.2 実施項目と手順

本調査においては、最終処分法で定められた要件に対応した項目および地熱資源の観点からの避ける場所に係る評価結果は考慮せず、文献調査対象地区全体を対象として調査、検討した。図 1.2-1 に技術的観点からの検討のうち地質環境特性で実施する項目とその手順を示す。

第2章では、1.1 に示した技術的観点からの検討のよりどころとなる情報として、最終処分を行おうとする地層²（以下、地下施設設置場所という。）として好ましい地質環境特性および既往の処分場概念に設定された地質環境特性について整理した。

第3章では、技術的観点からの検討のうち地形、地質・地質構造に関する説明書（以下、説明書「地形、地質・地質構造」という。）で作成した地質層序表、地質図および地質断面図を用いて、文献調査対象地区の陸域および海域における地層や岩体、断層などの分布を把握するとともに、主な検討対象として地下 300 m 以深に分布する地層・岩体およびその上部を含めた周辺の地層を抽出した。

第4章では、第2章および第3章の結果を踏まえて、閉じ込め機能および地下施設の建設可能性に関する検討項目を設定したうえで関連する地質環境特性の情報を収集し、第2章で整理した検討のよりどころとなる情報との比較を行いつつ、収集した情報を整理した。情報の収集に当たっては、まず文献調査対象地区における地質環境特性の情報を収集した。検討に有益な情報が得られなかった場合は、NUMO（2021）において全国を対象として収集した学術論文や関係研究機関の報告書、データベースなどから、文献調査対象地区の関連情報として同地区が位置し地史が似通っている地域の情報などを抽出して活用した。

第5章および第6章では、収集・整理した地質環境特性の情報に基づき、閉じ込め機能および地下施設の建設可能性のそれぞれの観点から設定した項目について検討した。閉じ込め機能の観点からは熱環境、水理場、力学場、化学場およびそれら地質環境特性の長期継続性に着目した。建設可能性の観点からは地下坑道周辺岩盤の安定性（以下、空洞安定性という。）、地下坑道内の作業環境（以下、坑内作業環境という。）、地下施設の収容性およびそのほかの安全性への懸念事象に着目した。

最後に、第7章で閉じ込め機能および地下施設の建設可能性の観点からの検討結果を用いて、文献調査対象地区における地下施設設置場所として適切ではない場所の回避や、より好ましい場所の選択について総合的に検討した。また、第7章では、第4章で収集・整理した地質環境特性の情報、第5章および第6章で実施した検討結果に基づき、閉じ込め機能および地下施設の建設可能性の観点から留意すべき事項、概要調査以降の調査を実施する場合において、現地調査における地質環境特性データ取得の観点から留意すべき事項について整理した。

² 本調査では地下 300m 以深の場所とする。

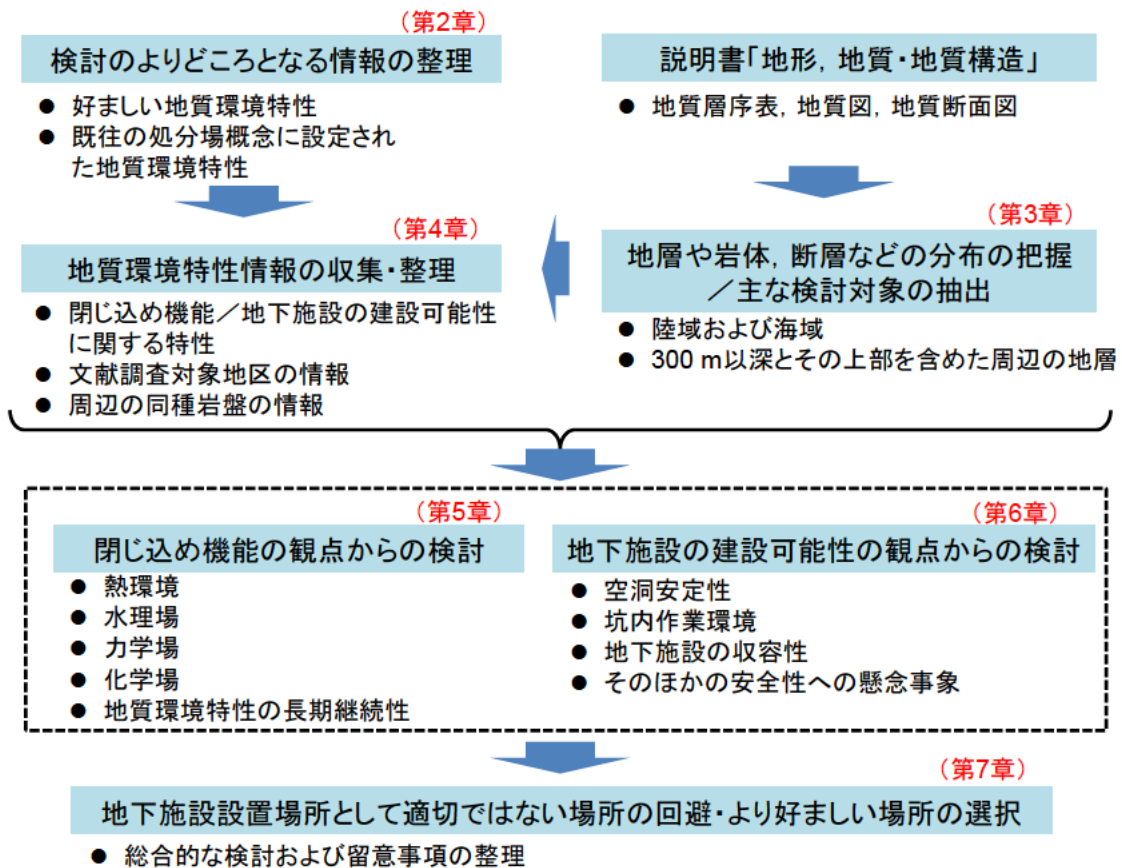


図 1.2-1 技術的観点からの検討のうち地質環境特性の実施項目と手順

第2章 検討のよりどころとなる情報の整理

2.1 好ましい地質環境特性

2.1.1 閉じ込め機能の観点からの好ましい地質環境特性

閉じ込め機能の観点からの好ましい地質環境特性については、以下に示すように熱環境、水理場、力学場、化学場ごとに示されており、それぞれについて日本の地下深部に広く認められる特性は表 2.1-1 のように整理されている（地層処分技術 WG，2014；地層処分技術 WG，2017）。

- ・ 熱環境については、人工バリアのうち、ガラス固化体やオーバーパックとは異なり、高い耐熱性を有していない緩衝材の熱変質による閉じ込め機能の一部喪失が生じにくい条件として、「地温が低いこと」が好ましい地質環境特性とされている。
- ・ 水理場については、地下深部の地下水の流速が緩慢である場合、放射性物質の移行時間が長くなることによる放射能の減衰が見込めることから、岩盤の低い透水性と小さい動水勾配をもって「地下水流動が緩慢であること」が好ましい地質環境特性とされている。
- ・ 力学場については、地下深部における地下水の水圧や緩衝材の圧密変形に伴う反力などの外力、岩盤中の断層変位やクリープ変形によるオーバーパックの安全性を考慮して、「岩盤の変形が小さいこと」が好ましい地質環境特性とされている。
- ・ 化学場については、ガラス固化体の溶解速度の増加やオーバーパックの耐食性の低下、緩衝材および天然バリアの収着能の低下が生じにくい条件として、「地下水の水素イオン指数 (pH) が高 pH あるいは低 pH ではないこと」、「地下水が酸化性雰囲気ではないこと」および「地下水の炭酸化学種濃度が高くないこと」が好ましい地質環境特性とされている。

表 2.1-1 好ましい地質環境特性と日本の地下深部に広く認められる特性

地層処分技術 WG（2014）に基づき作成

好ましい地質環境特性		日本の地下深部に広く認められる特性
熱環境	・ 地温が低いこと。	・ 火山地域などの高温異常域を除けば、地温勾配は概ね 3～5°C/100 m 程度
水理場	・ 地下水流動が緩慢であること。	・ 地下深部の動水勾配は 0.001～0.01 オーダー ・ 地下深部の透水係数は 10^{-12} ～ 10^{-6} m/s オーダー ・ 動水勾配および透水係数は深度とともに減少
力学場	・ 岩盤の変形が小さいこと。	・ 地下深部の岩盤の長期的なクリープ変形量は設計で対応可能な範囲内
化学場	・ 地下水の水素イオン指数 (pH) が高 pH あるいは低 pH ではないこと。	・ 地下深部の地下水は pH6～9 程度
	・ 地下水が酸化性雰囲気ではないこと。	・ 地下深部の地下水は還元性雰囲気が維持
	・ 地下水の炭酸化学種濃度※が高くないこと。	・ 地下深部の地下水の炭酸化学種濃度は最大 0.1 mol/dm ³ 程度

※ 炭酸化学種濃度：溶液中に溶存している無機炭素（炭酸塩、炭酸水素塩、炭酸、二酸化炭素）の合計の濃度

地層処分技術 WG (2017) においては、熱環境、水理場、力学場、化学場ごとに閉じ込め性能が大幅に向上するような明確な基準を設定することは難しいとしているものの、熱環境および化学場については、地下施設設置場所として好ましい可能性がある範囲となる目安が定量的に示されている(表 2.1-2)。

表 2.1-2 閉じ込め機能の観点から設定した地質環境特性項目とその目安
地層処分技術 WG (2017) に基づき作成

好ましい地質環境特性		地質環境特性 項目	地下施設設置場所として好ましい 可能性がある範囲となる目安
熱環境	・地温が低いこと。	地温	・100℃未満(ベントナイトのイライト化による閉じ込め機能の一部喪失が生じにくいとされる目安)
水理場	・地下水流動が緩慢であること。	透水係数 動水勾配	—
力学場	・岩盤の変形が小さいこと。	クリープ変形量	—
化学場	・地下水の水素イオン指数(pH)が高 pH あるいは低 pH ではないこと。	pH	・地下水が高 pH あるいは低 pH ではない(中性付近である)場合、閉じ込め機能の一部喪失につながるガラス固化体の溶解速度の増加、緩衝材および天然バリアの収着能の低下、オーバーパックの腐食が生じにくい。 ・低 pH の下限値として 4.8 以上(実質的な酸性領域ではないと判断できる目安) ・高 pH の上限値として 12 程度以下(オーバーパックの腐食による閉じ込め機能の一部喪失が生じにくいとされる目安)
	・地下水が酸化性雰囲気ではないこと。	酸化還元電位(ORP)	・負の値(一部の放射性物質の溶解度が高くない、還元性の雰囲気であると判断できる目安)
	・地下水の炭酸化学種濃度※が高くはないこと。	炭酸化学種濃度	・0.5 mol/dm ³ 未満(オーバーパックの腐食による閉じ込め機能の一部喪失が生じにくいとされる目安)

※ 炭酸化学種濃度：溶液中に溶存している無機炭素(炭酸塩、炭酸水素塩、炭酸、二酸化炭素)の合計の濃度

2.1.2 地下施設の建設可能性の観点からの好ましい地質環境特性

地層処分技術 WG (2017) においては、地下施設の建設・操業時の安全性を確保するうえでの懸念事象として、未固結堆積物、地熱・温泉、膨張性地山、山はね、泥火山、湧水、有害ガスおよび

地震が挙げられている。これらについては、安全裕度が大きく向上するという観点からの好ましい範囲の設定は難しいとされているものの、未固結堆積物および地熱・温泉については、それぞれ空洞安定性および坑内作業環境に関して、地下施設設置場所として好ましい可能性がある範囲となる目安が定量的に示されている（表 2.1-3）。

表 2.1-3 地下施設の建設可能性の観点からの地質環境特性項目と目安

地層処分技術 WG（2017）に基づき作成

好ましい地質環境特性		地質環境特性項目	地下施設設置場所として好ましい可能性がある範囲となる目安
未固結堆積物	・空洞安定性が確保できること。	地山強度比（一軸圧縮強さ※）	・2 以上（支保工がなくとも比較的高い空洞安定性が確保できる目安）
地熱・温泉	・坑内作業環境として、処分深度で地温が 45℃以下を確保できること。	地温	・45℃以下（大規模な冷房設備の導入を行わない坑道換気によって、法令（労働安全衛生規則）で定められる温度（37℃）以下に維持できる目安）

※ 一軸圧縮強さ：地山強度比の算出に用いるため、地質環境特性項目として設定

2.2 既往の処分場概念に設定された地質環境特性

本調査で収集・整理した地質環境特性と比較するために既往の処分場概念の設定環境として、NUMO（2021）に示された日本の代表的な岩種の地質環境特性を抽出した。

NUMO（2021）では、サイト選定のために実施する地質環境調査、評価のそれぞれの項目を踏まえて、処分場の工学的成立性（建設可能性や容易性など）および閉鎖後長期の安全性（地下水流動や核種移行・遅延など）に係る検討において重要となる地質環境の特性値（透水係数、有効間隙率、熱伝導率および一軸圧縮強さ）が整理されている（表 2.2-1）。また、日本の地下深部で認められる地下水の塩分濃度の高低を考慮しつつ、検討対象母岩毎に地下水の温度や水質の代表値が設定されている（表 2.2-2）。

表 2.2-1 地層処分に係る検討において重要となる地質環境の特性値

NUMO（2021）を編集

時代	新第三紀	先新第三紀	新第三紀・先新第三紀	新第三紀・先新第三紀	
岩種	堆積岩類	堆積岩類	火山岩類	深成岩類	変成岩類
透水係数の代表値※1 [m/s]	2.9×10^{-7}	4.7×10^{-7}	2.1×10^{-7}	5.5×10^{-8}	4.3×10^{-8}
有効間隙率の代表値※2 [%]	25～27	3.5～6.8	5.4～7.9	0.8～1.5	1.2～6.8
熱伝導率の代表値※2 [W/m K]	1.6～1.8	1.4～1.5	2.4～2.5	2.8～2.9	3.3
一軸圧縮強さの代表値※2 [MPa]	9～28	74～90	92～106	108～110	55～66

※1 代表値として対数平均値を示す。

※2 代表値として平均値と中央値を閾値とした幅を示す（特性値のばらつきの幅や偏りなどを考慮）。

表 2.2-2 各検討対象母岩に設定された地下水の温度や水質条件の代表値の一部

NUMO（2021）を編集

検討対象母岩		深成岩類		新第三紀堆積岩類		先新第三紀堆積岩類	
地下水		低 Cl濃度	高 Cl濃度	低 Cl濃度	高 Cl濃度	低 Cl濃度	高 Cl濃度
温度	[°C]	45	45	30	30	45	45
pH	[-]	8.16	7.56	8.38	6.54	8.15	6.33
Eh	[mV]	-301	-259	-282	-168	-289	-171

第3章 文献調査対象地区における地層・岩体の分布の把握

3.1 陸域

説明書「地形、地質・地質構造」で作成した地質図（図 3.1-1）を用いて、文献調査対象地区およびその周辺の陸域に分布する主要な地層・岩体を抽出したうえで、NUMO（2021）に示された日本の代表的な岩種を参考にしつつ、地質環境特性を整理する際の岩種に区分した（表 3.1-1）。

岩種の区分は、文献調査対象地区およびその周辺の陸域に分布する地質の年代や岩相などの情報に基づき設定した。主要な地質のうち、沖積堆積物および崖錐・地すべり堆積物は第四紀堆積岩類に、積丹岳安山岩は第四紀火山岩類に区分した。余別層は新第三紀鮮新世の堆積岩類および火山岩類に区分した。豊浜層、古宇川層および古平層は新第三紀中新世の堆積岩類および火山岩類に区分した。貫入岩（石英斑状花崗岩）は新第三紀中新世深成岩類に区分した。茅沼層、珊内層および貫入岩（花崗閃緑岩）は先新第三系基盤岩類に区分した。

また、説明書「地形、地質・地質構造」の検討結果に基づくと、文献調査対象地区およびその周辺の特徴的な地層として余別層、豊浜層、古宇川層および古平層にハイアロクラスタイト（水冷破砕岩）が分布する。ハイアロクラスタイトについては、NUMO（2021）において新第三紀・先新第三紀の火山岩類に含められており、特に区分されていないが、ここでは文献調査対象地区およびその周辺地域に広く分布し、以下のような特徴があることから、新第三紀鮮新世および中新世の火山岩類とは区別して情報を整理した。

- ・ 山岸（1994）では、「ハイアロクラスタイトは溶岩や岩脈の水冷収縮破壊による火砕岩の一種」と定義されている。また、山岸（1994）における水中火山のモデルでは、水中溶岩、フィーダー岩脈、ハイアロクラスタイトが混在する海山の断面が図示されており、海底火山噴出物およびそれに伴う二次堆積物であるハイアロクラスタイトの地質環境特性の変化が水平および鉛直方向共に大きいことが想定される。
- ・ 米田ほか（2002）では、地表付近ではあるものの、文献調査対象地区に比較的近い積丹半島に分布する火砕岩類やハイアロクラスタイトについて、工学的な分類上不均質軟岩に相当する岩盤であり、礫の粒径や礫と基質部との構成割合が非常に不規則で変化に富み岩相変化が著しいことや、火砕岩の角礫部分は概ね緻密な火山岩片であるが基質部分は比較的脆弱で時として多孔質であることが特徴として挙げられている。

なお、収集した文献情報に示された地層・岩体がハイアロクラスタイトに該当するかの判断は、上記の理由により難しいことから、文献情報において「ハイアロクラスタイト」もしくは「水冷破砕岩」の表記があり、ハイアロクラスタイトに相当すると類推できるもののみをハイアロクラスタイトに区分した。

表 3.1-1 主要な地層・岩体の抽出とその岩種区分（陸域）

文献調査対象地区およびその周辺の 陸域に分布する主要な地層・岩体		岩種区分	
第四紀完新世	沖積堆積物	第四紀	堆積岩類
第四紀中期～ 後期更新世	崖錐・地すべり堆積物		
第四紀前期更新世	積丹岳安山岩	第四紀	火山岩類
新第三紀後期中新世 ～鮮新世	余別層	新第三紀 鮮新世	堆積岩類，火山岩類， ハイドロクラスタイト
新第三紀後期中新世	豊浜層	新第三紀 中新世	堆積岩類，火山岩類， ハイドロクラスタイト
新第三紀中期中新世 (概ね)	古宇川層		
新第三紀前期～ 中期中新世	古平層		
新第三紀中期～ 後期中新世	貫入岩 (石英斑状花崗岩)	新第三紀 中新世	深成岩類
古第三紀漸新世～ 新第三紀前期中新世	茅沼層	先新第三系基盤岩類 (古第三紀，中生代，古生代の火山岩類， 深成岩類，変成岩類，付加コンプレックスや 堆積岩類)	
中生代	珊瑚層		
	貫入岩（花崗閃緑岩）		

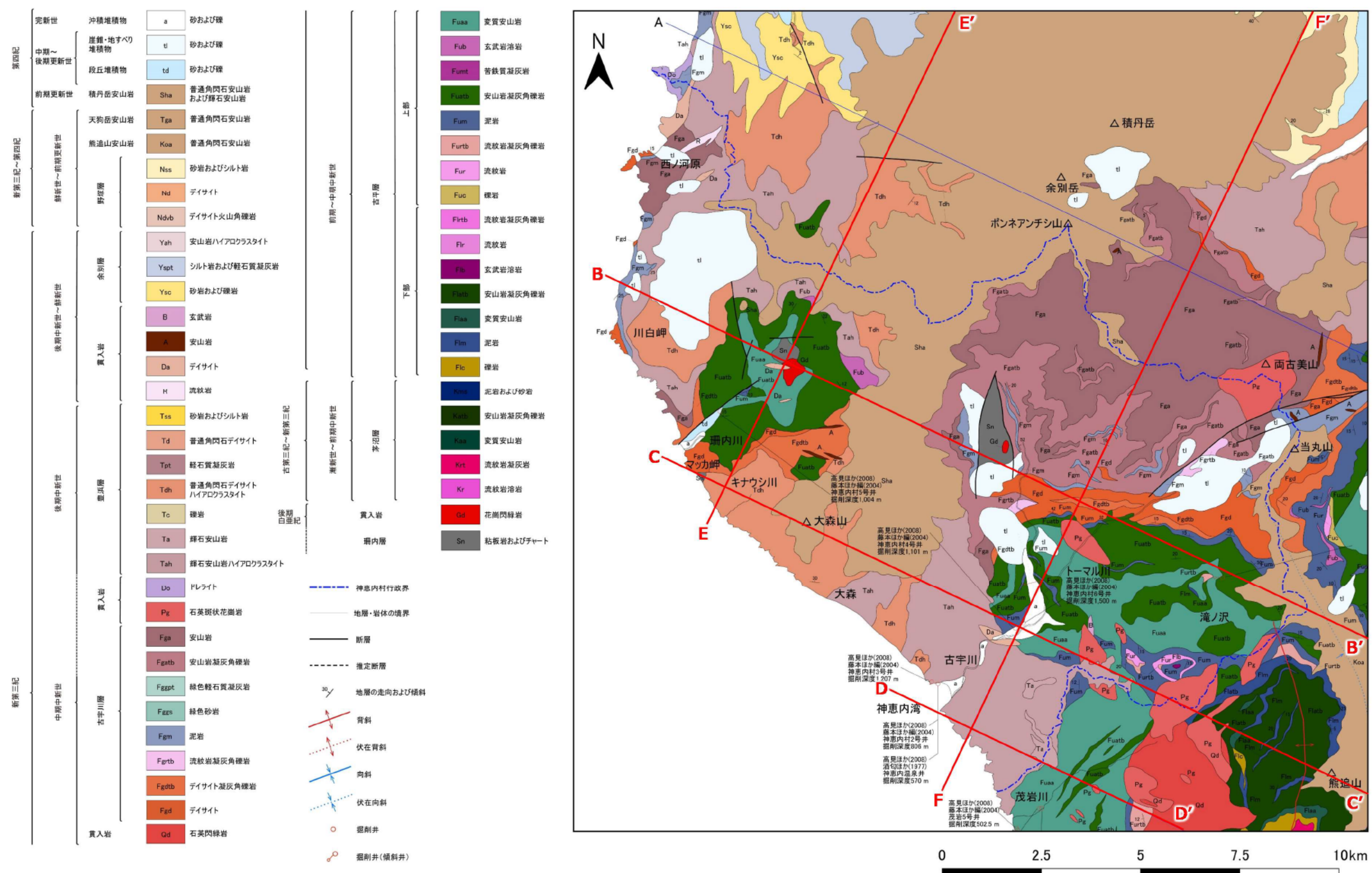


図 3.1-1 文献調査対象地区およびその周辺の地質図

説明書「地形、地質・地質構造」に示す神恵内村および周辺地域陸域地質図から一部抜粋し編集。地質図は通商産業省資源エネルギー庁（1985，1988，1989），高見ほか（2008），藤本ほか編（2004）および酒匂ほか（1977）を参照し，編集して作成。神恵内村行政界は「国土数値情報（行政区域データ）」（国土交通省）に基づく。図中に示した B-B'位置，C-C'位置，D-D'位置，E-E'位置および F-F'位置の断面図は図 3.3-1～図 3.3-5 に示す。

3.2 海域

説明書「地形、地質・地質構造」で作成した海底地質図（図 3.2-1）を用いて、文献調査対象地区およびその周辺の海域に分布する主要な地層・岩体を抽出したうえで、NUMO（2021）に示された日本の代表的な岩種を参考にしつつ、地質環境特性を整理する際の岩種に区分した（表 3.2-1）。

岩種の区分は、文献調査対象地区およびその周辺の海域に分布する地質の年代や岩相などの情報に基づき設定した。V層およびVI層については、堆積岩類と火山岩類を区分するための情報がないため、堆積岩類または火山岩類が分布すると仮定した。

表 3.2-1 主要な地層・岩体の抽出とその岩種区分（海域）

文献調査対象地区およびその周辺の海域に 分布する主要な地層・岩体		岩種区分	
第四紀完新世	I層：泥および砂を主体とする未固結の堆積物	第四紀	堆積岩類
第四紀後期更新世	II層：泥、砂およびその互層を主体とする未固結または半固結の堆積物		
第四紀前期～ 中期更新世	III層：泥、砂およびその互層を主体とする半固結の堆積物		
第四紀前期更新世以降	IV層：半固結または固結した泥岩、砂岩などを含む堆積岩		
新第三紀鮮新世～ 第四紀前期更新世	V層：半固結または固結した泥岩、砂岩などを含む堆積岩または火山岩類	新第三紀 鮮新世	堆積岩類 (または火山岩類)
古第三紀始新世～ 新第三紀後期中新世	VI層：固結した泥岩、砂岩などを含む堆積岩または火山岩類	新第三紀 中新世	堆積岩類 (または火山岩類)
古第三紀始新世と それ以前	VII層：硬質な泥岩・砂岩などを含む堆積岩または火成岩類	先新第三系基盤岩類 (古第三紀、中生代、古生代の火山岩類、 深成岩類、変成岩類、付加コンプレックスや 堆積岩類)	

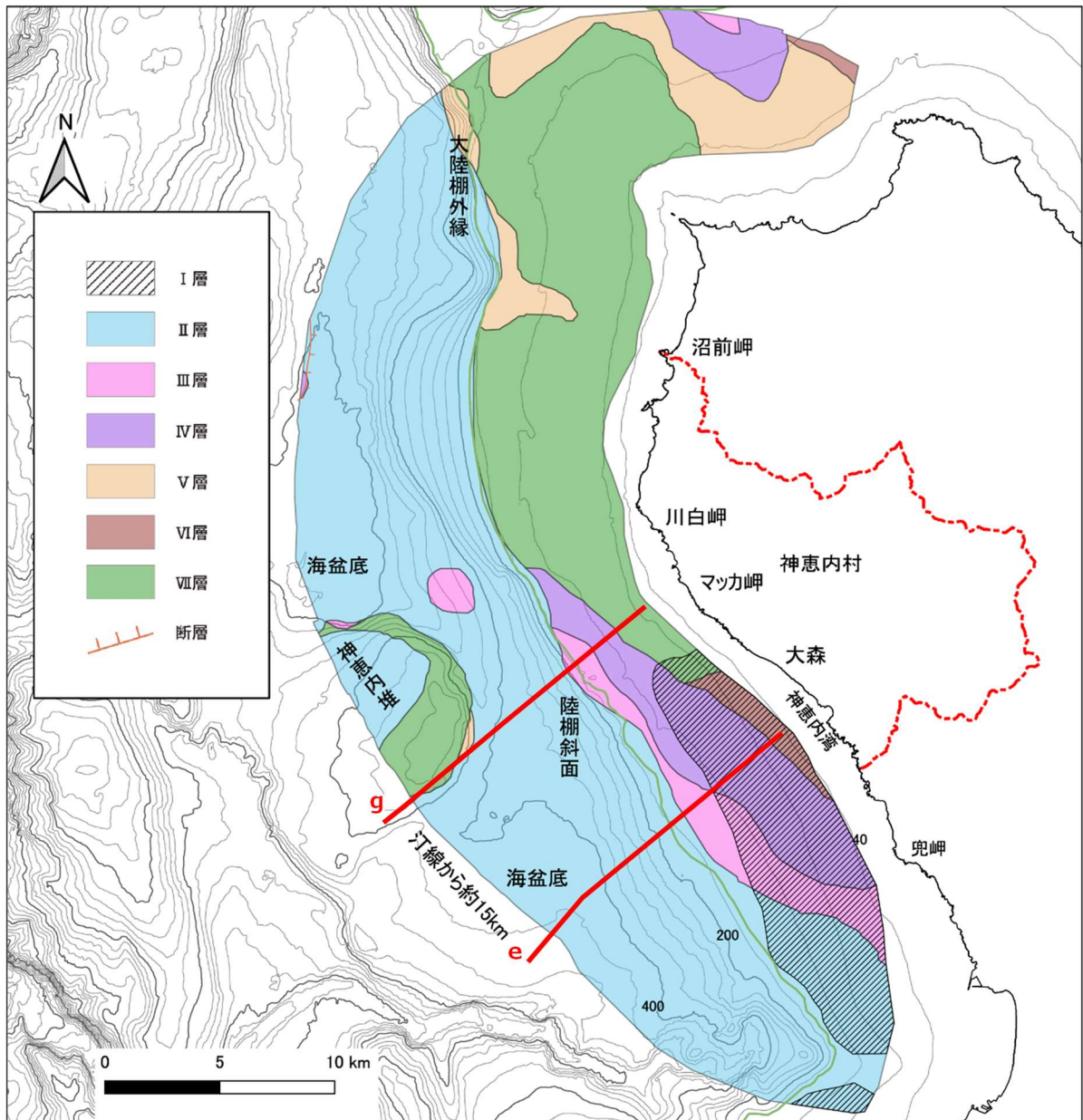


図 3.2-1 文献調査対象地区およびその周辺の海底地質図

説明書「地形、地質・地質構造」に示す神恵内村周辺海域海底地質図から一部抜粋し編集。地質図は北海道電力（2015）を参照して作成。断層は北海道電力（2015）において「後期更新世以降の活動を考慮する断層及び褶曲」とされている。海岸線は「国土数値情報（海岸線データ）」（国土交通省）に、神恵内村行政界は「国土数値情報（行政区域データ）」（国土交通省）に基づく。海域の等深線は日本水路協会発行 M7000 シリーズに基づき作成（（一財）日本水路協会承認 第 2021006 号）。図中に示した e 測線および g 測線の断面図は図 3.3-6 に示す。

3.3 主な検討対象となる地層・岩体の抽出

説明書「地形、地質・地質構造」で作成した地質断面図（図 3.3-1～図 3.3-6）を用いて、地層処分の対象深度となる地下 300 m 以深において想定する地下施設の規模を踏まえ、数 km²程度以上の広がりをもって分布すると考えられる地層・岩体を主な検討対象として抽出した。また、地下施設の建設可能性の観点からの空洞安定性について検討するために、深度に関わらずそれらの上部に分布する地層・岩体を抽出した。表 3.3-1 には抽出した地層・岩体を一覧として整理するとともに、表 3.1-1 および表 3.2-1 に示す岩種区分に対応させた。

主な検討対象となる地層・岩体として、文献調査対象地区の陸域における地下 300 m 以深には先新第三系基盤岩類に相当する珊瑚層と、その上部に古平層や古宇川層が広く分布しており、沿岸部の一部には豊浜層が分布する。古平層および古宇川層は新第三紀中新世の火山岩類および堆積岩類に区分され、豊浜層は新第三紀中新世ハイアロクラスタイトに区分される。また、貫入岩として、先新第三系基盤岩類に相当する花崗閃緑岩や新第三紀中新世深成岩類に相当する石英斑状花崗岩が分布する。

主な検討対象となる地層・岩体の上部には、主に新第三紀中新世のハイアロクラスタイトに相当する豊浜層や第四紀火山岩類に相当する積丹岳安山岩が最大数百 m の厚さで分布している。さらに、その上部地層は第四紀堆積岩類の崖錐・地すべり堆積物であり、その層厚は薄い。

海域沿岸部周辺の海底下 300 m 以深には主な検討対象となる地層・岩体として、先新第三系基盤岩類および新第三紀中新世堆積岩類（または火山岩類）に相当するⅦ層およびⅥ層が広く分布している。また、主な検討対象となる地層・岩体であるⅦ層およびⅥ層の上部には主に新第三紀鮮新世堆積岩類（または火山岩類）のⅤ層および第四紀堆積岩類のⅣ層が分布しており、それらの層厚は大陸棚において最大数百 m である。

表 3.3-1 文献調査対象地区に分布する主な地層・岩体とその岩種

地域	深度	地層・岩体名		記号	岩種区分
陸域	地下 300 m 以深に広く分布し、主な検討対象となる地層・岩体（推定）	豊浜層	輝石安山岩ハイアロクラスタイト	Tah	新第三紀中新世ハイアロクラスタイト
		古宇川層	安山岩凝灰角礫岩	Fgatb	新第三紀中新世堆積岩類
			デイサイト	Fgd	新第三紀中新世火山岩類
			安山岩	Fga	
		古平層上部	泥岩	Fum	新第三紀中新世堆積岩類
			変質安山岩	Fuaa	新第三紀中新世火山岩類
			安山岩凝灰角礫岩	Fuatb	新第三紀中新世堆積岩類
			流紋岩凝灰角礫岩	Furtb	
		古平層下部	安山岩凝灰角礫岩	Flatb	
		貫入岩	石英斑状花崗岩	Pg	新第三紀中新世深成岩類
		珊瑚層	粘板岩およびチャート	Sn	先新第三系基盤岩類
		貫入岩	花崗閃緑岩	Gd	
海域	主な検討対象の上部の地層・岩体（推定）	崖錐・地すべり堆積物	砂および礫	tl	第四紀堆積岩類
		積丹岳安山岩	普通角閃石安山岩および輝石安山岩	Sha	第四紀火山岩類
		豊浜層	普通角閃石デイサイトハイアロクラスタイト	Tdh	新第三紀中新世ハイアロクラスタイト
	海底下 300 m 以深に広く分布し、主な検討対象となる地層・岩体（推定）	VI層	固結した泥岩、砂岩などを含む堆積岩または火山岩類	—	新第三紀中新世堆積岩類（または火山岩類）
		VII層	硬質な泥岩・砂岩などを含む堆積岩または火成岩類	—	先新第三系基盤岩類
		IV層	半固結または固結した泥岩、砂岩などを含む堆積岩	—	第四紀堆積岩類
		V層	半固結または固結した泥岩、砂岩などを含む堆積岩	—	新第三紀鮮新世堆積岩類（または火山岩類）

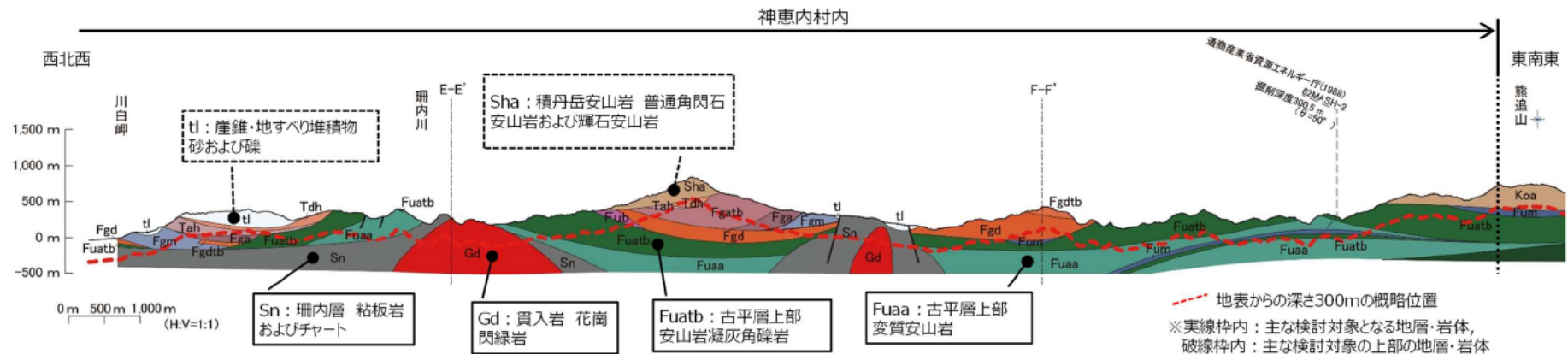


図 3.3-1 文献調査対象地区における主な検討対象およびその上部の地層・岩体の抽出 (B-B'断面)

- ② 説明書「地形、地質・地質構造」に示す神恵内村および周辺地域陸域推定地質断面図(図 3.1-1 およびボーリングデータなどに基づき NUMO が推定)から一部抜粋、編集し、地質の凡例および注釈を加筆。断面位置は図 3.1-1 を参照。陸域地形は国土地理院数値標高データに基づき作成(測量法に基づく国土地理院長承認(使用) R 5JHs 154)。海域地形は日本水路協会発行 M7000 シリーズに基づき作成((一財)日本水路協会承認 第 2021006 号)。ボーリングデータは通商産業省資源エネルギー庁(1988)、高見ほか(2008)、藤本ほか編(2004)および酒匂ほか(1977)を参照し、編集して作成。

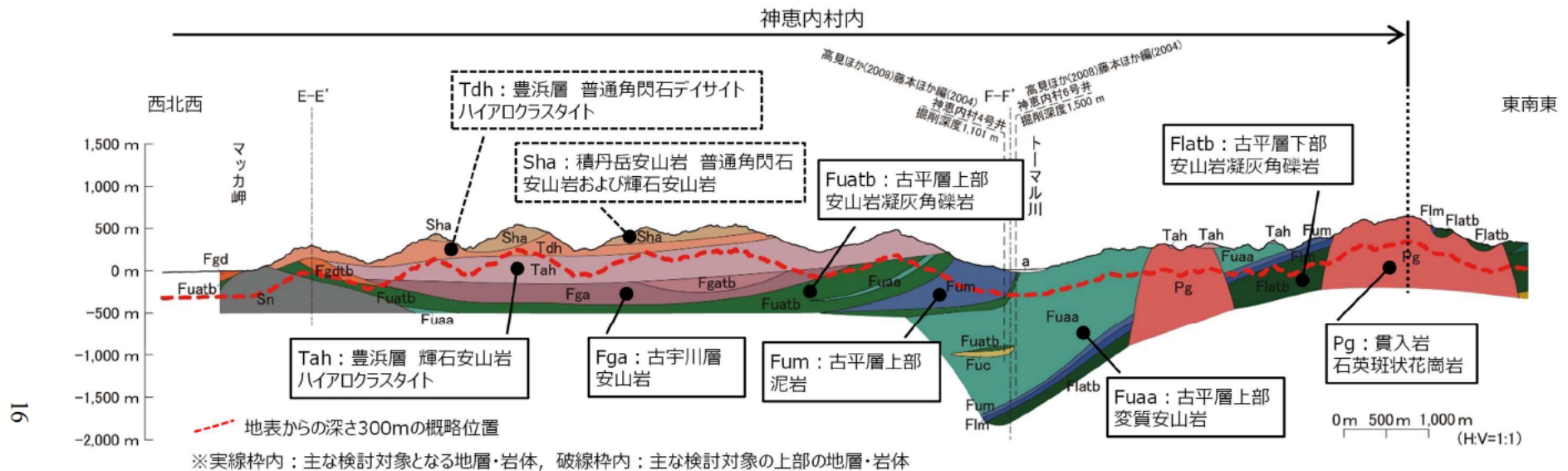


図 3.3-2 文献調査対象地区における主な検討対象およびその上部の地層・岩体の抽出 (C-C'断面)

説明書「地形、地質・地質構造」に示す神恵内村および周辺地域陸域推定地質断面図(図 3.1-1 およびボーリングデータなどに基づき NUMO が推定)から一部抜粋、編集し、地質の凡例および注釈を加筆。断面位置は図 3.1-1 を参照。陸域地形は国土地理院数値標高データに基づき作成(測量法に基づく国土地理院長承認(使用) R 5JHs 154)。海域地形は日本水路協会発行 M7000 シリーズに基づき作成((一財)日本水路協会承認 第 2021006 号)。ボーリングデータは通商産業省資源エネルギー庁(1988)、高見ほか(2008)、藤本ほか編(2004)および酒匂ほか(1977)を参照し、編集して作成。

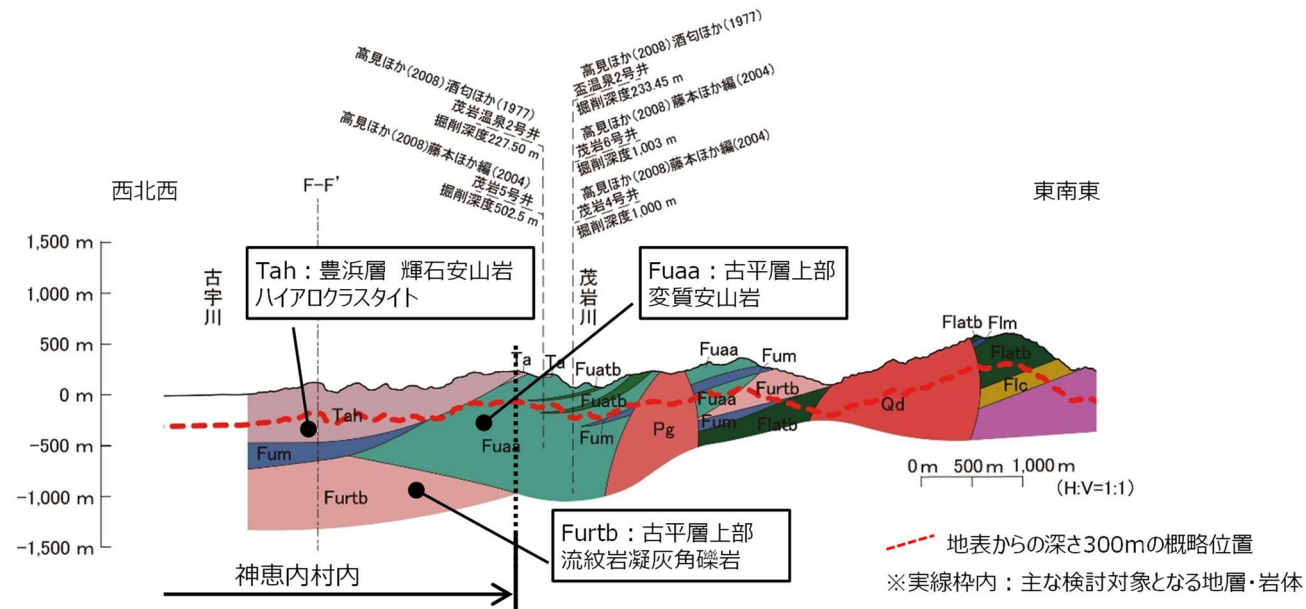


図 3.3-3 文献調査対象地区における主な検討対象およびその上部の地層・岩体の抽出 (D-D'断面)

説明書「地形、地質・地質構造」に示す神恵内村および周辺地域陸域推定地質断面図（図 3.1-1 およびボーリングデータなどに基づき NUMO が推定）から一部抜粋，編集し，地質の凡例および注釈を加筆。断面位置は図 3.1-1 を参照。陸域地形は国土地理院数値標高データに基づき作成（測量法に基づく国土地理院長承認（使用）R 5JHs 154）。海域地形は日本水路協会発行 M7000 シリーズに基づき作成（（一財）日本水路協会承認 第 2021006 号）。ボーリングデータは通商産業省資源エネルギー庁（1988），高見ほか（2008），藤本ほか編（2004）および酒匂ほか（1977）を参照し，編集して作成。

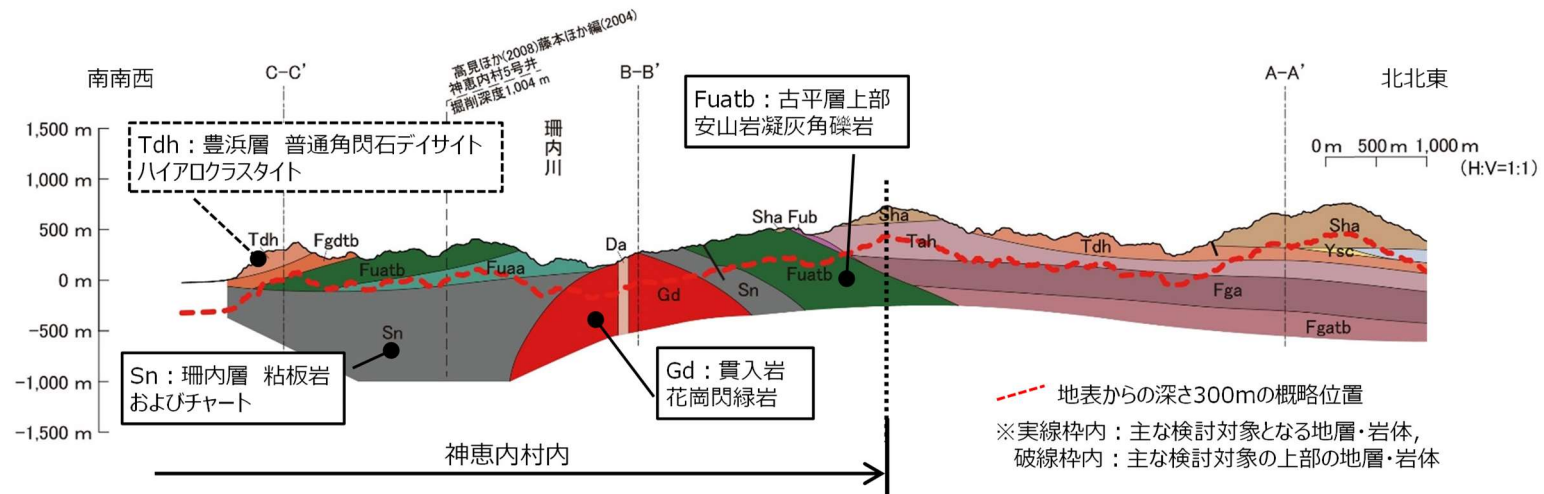


図 3.3-4 文献調査対象地区における主な検討対象およびその上部の地層・岩体の抽出 (E-E'断面)

説明書「地形、地質・地質構造」に示す神恵内村および周辺地域陸域推定地質断面図(図 3.1-1 およびボーリングデータなどに基づき NUMO が推定)から一部抜粋、編集し、地質の凡例および注釈を加筆。断面位置は図 3.1-1 を参照。陸域地形は国土地理院数値標高データに基づき作成(測量法に基づく国土地理院長承認(使用) R 5JHs 154)。海域地形は日本水路協会発行 M7000 シリーズに基づき作成((一財)日本水路協会承認 第 2021006 号)。ボーリングデータは通商産業省資源エネルギー庁(1988)、高見ほか(2008)、藤本ほか編(2004)および酒匂ほか(1977)を参照し、編集して作成。

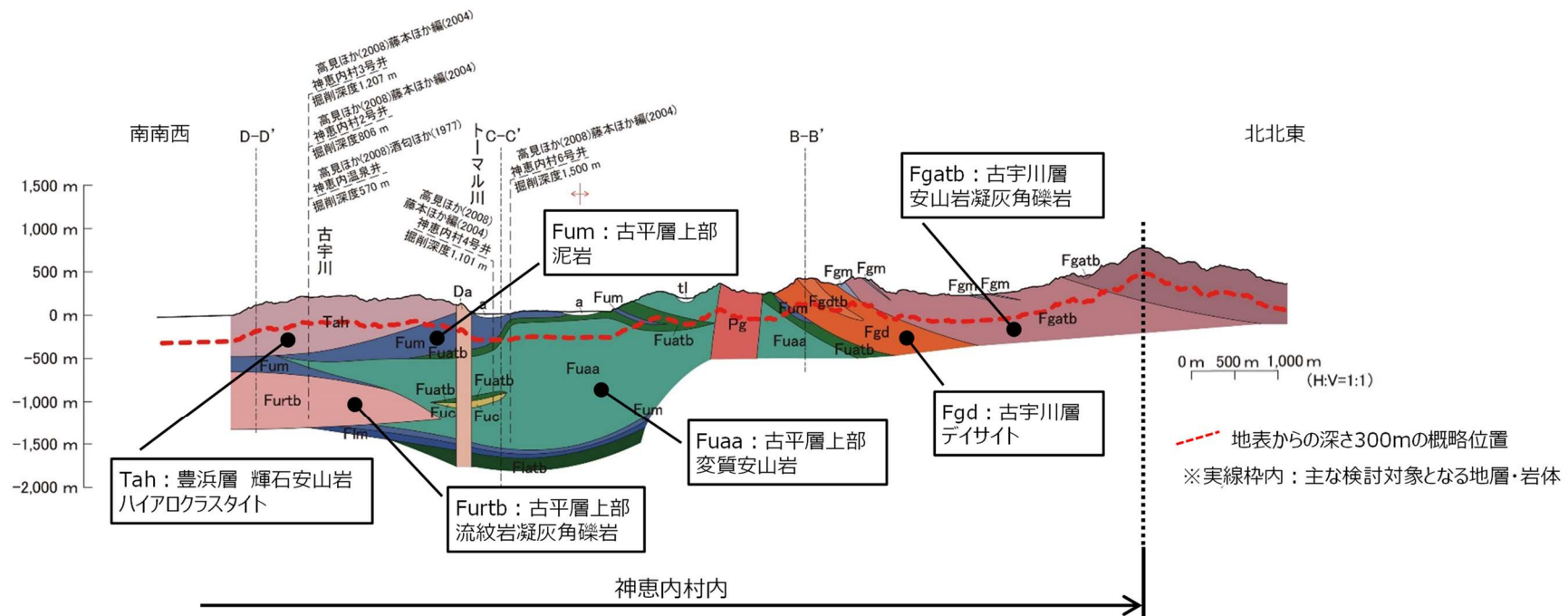
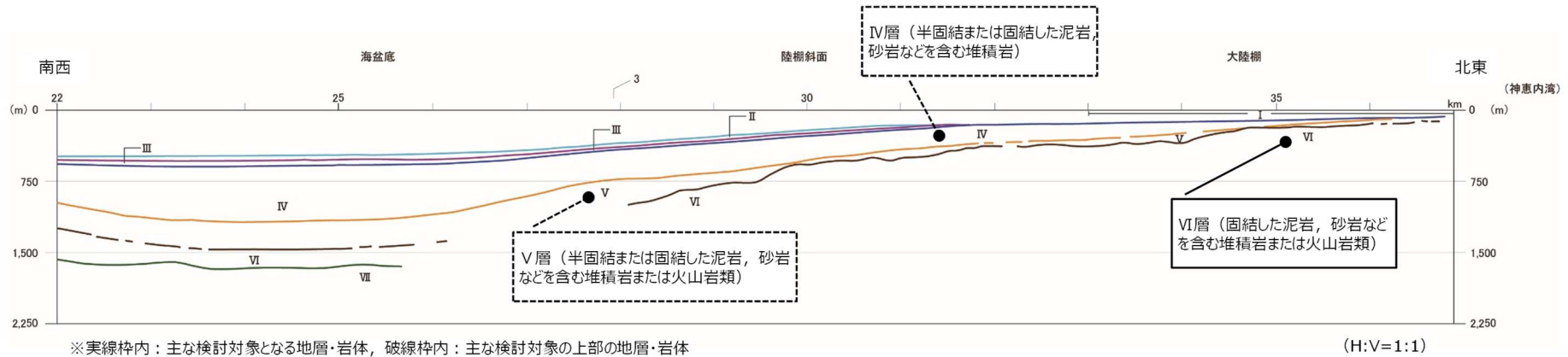
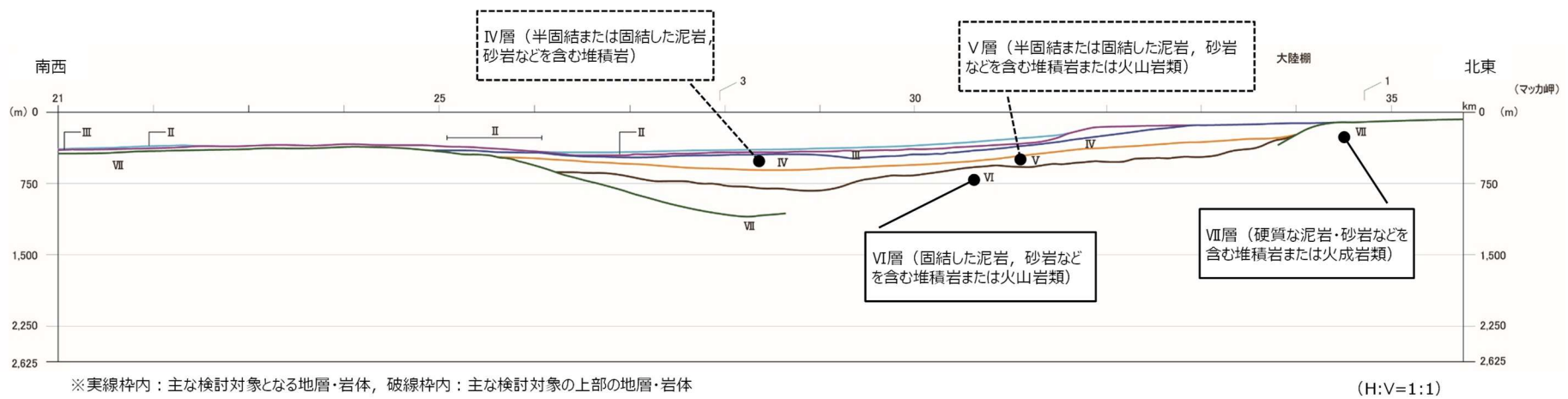


図 3.3-5 文献調査対象地区における主な検討対象およびその上部の地層・岩体の抽出 (F-F'断面)

説明書「地形、地質・地質構造」に示す神恵内村および周辺地域陸域推定地質断面図（図 3.1-1 およびボーリングデータなどに基づき NUMO が推定）から一部抜粋，編集し，地質の凡例および注釈を加筆。断面位置は図 3.1-1 を参照。陸域地形は国土地理院数値標高データに基づき作成（測量法に基づく国土地理院長承認（使用）R 5JHs 154）。海域地形は日本水路協会発行 M7000 シリーズに基づき作成（（一財）日本水路協会承認 第 2021006 号）。ボーリングデータは通商産業省資源エネルギー庁（1988），高見ほか（2008），藤本ほか編（2004）および酒匂ほか（1977）を参照し，編集して作成。



(a) e 測線



(b) g 測線

図 3.3-6 文献調査対象地区における主な検討対象およびその上部の地層・岩体の抽出（e 測線および g 測線）

説明書「地形、地質・地質構造」に示す神恵内村周辺海域海底地質断面図から一部抜粋，編集し，地質の凡例および注釈を加筆。断面位置は図 3.2-1 を参照。地質断面図は北海道電力（2015，2017）を参照して作成。

第4章 地質環境特性に関する情報の収集・整理

4.1 情報の収集方法

表 4.1-1 および表 4.1-2 に、閉じ込め機能および地下施設の建設可能性に関する地質環境特性を整理するために用いた情報を示す。

表 2.1-2 に示した閉じ込め機能に関する地質環境特性のうち、地温、pH および炭酸化学種濃度の3項目については、文献調査対象地区の情報を利用した。動水勾配については、直接的な情報が得られなかったため、文献調査対象地区を流れる河川の標高差から地表付近の動水勾配を推定した。透水係数については、文献調査対象地区で情報が得られなかったため、同地区を含む周辺の同種岩盤の情報を利用した。また、クリープ変形量および酸化還元電位（以下、ORP という。）の2項目については、文献調査対象地区および周辺の同種岩盤ともに情報が得られなかった。

表 2.1-3 に示した地下施設の建設可能性に関する地質環境特性のうち、地山強度比を算出するために必要となる一軸圧縮強さについては、文献調査対象地区で一部の岩種のデータが取得できたものの、それ以外の岩種については情報が得られなかったため、同地区を含む周辺の同種岩盤の情報も利用した。地温は閉じ込め機能の観点と同様に、文献調査対象地区の情報を利用した。また、地下施設の収容性の検討には、3.3 で抽出した文献調査対象地区における主な検討対象となる地層・岩体の分布情報を利用した。

そのほかの安全性に関する懸念事象については、個別地域における調査方法などを把握するために「科学的特性マップ」策定の際にも参照されたトンネル標準示方書（土木学会，2016）の特殊な地山条件（表 4.1-3）を参照し、文献調査に相当する調査方法である「資料調査」および「地形判読」が、有効もしくは場合によって有効とされる「地すべり，崩壊地形」，「土被り」および「断層，褶曲」などを中心に検討項目を設定した。それらの検討項目については、表 4.1-2 に示す各説明書の検討結果を活用するとともに関連する情報を収集した。

日本地質学会編（2010）によると、文献調査対象地区およびその周辺地域は中生代の付加体を基盤とし、地表付近には新第三紀から第四紀の火山岩類および堆積岩類が広く分布しており、北海道の基盤地質に基づく地帯構造区分では、同地域は「渡島帯」に位置する（図 4.1-1）。そこで、文献調査対象地区が位置し地史が似通っている「渡島帯」の分布範囲で取得された情報を周辺の同種岩盤の情報とした。

表 4.1-1 閉じ込め機能に関する地質環境特性の整理に用いた情報

閉じ込め機能に関する地質環境特性		文献調査対象地区の情報	周辺の同種岩盤の情報
熱環境	地温	○ 噴火に関する説明書（以下，説明書「噴火」という。）を活用	—
	透水係数	—	○
水理場	動水勾配	○ (河川の標高差による推定)	—
	クリープ変形量	—	—
化学場	pH	○ 説明書「噴火」の結果を活用	—
	ORP	—	—
	炭酸化学種濃度	○	—

表 4.1-2 地下施設の建設可能性に関する地質環境特性の整理に用いた情報

地下施設の建設可能性に関する地質環境特性		文献調査対象地区の情報	周辺の同種岩盤の情報
空洞安定性	地山強度比 (一軸圧縮強さ)	○	○
坑内作業環境	地温	○ 説明書「噴火」の結果を活用	—
地下施設の収容性	地層・岩体の分布	3.3「主な検討対象となる地層・岩体の抽出」の検討結果を活用	
そのほかの安全性に関する懸念事象	【文献調査相当の「資料調査」,「地形判読」が有効とされる調査項目】		
	地すべり, 崩壊地形	○ 地震・活断層に関する説明書(以下, 説明書「地震・活断層」という。), 隆起・侵食に関する説明書(以下, 説明書「隆起・侵食」という。)の結果を活用	○
	土被り	○ 説明書「地形, 地質・地質構造」の結果を活用	—
	断層, 褶曲	○ 説明書「地形, 地質・地質構造」, 説明書「地震・活断層」の結果を活用	—
	【文献調査相当の「資料調査」,「地形判読」が場合によっては有効とされる調査項目】		
	地質分布, 岩質および土質	○ 説明書「地形, 地質・地質構造」, 第四紀の未固結堆積物に関する説明書(以下, 説明書「第四紀の未固結堆積物」という。)の結果を活用	—
	地熱, 温泉, 有害ガス	○ 説明書「噴火」の結果を活用	—
	地下資源	○ 鉱物資源・地熱資源に関する説明書(以下, 説明書「鉱物資源・地熱資源」という。)の結果を活用	—
	【そのほかの調査項目】		
	地下水(帯水層)	—	○
	力学的性質	(空洞安定性で検討)	

表 4.1-3 そのほかの安全性に関する懸念事象に関する検討項目の抽出

トンネル標準示方書（土木学会，2016）を編集

調査項目		調査方法※1		特殊な地山条件※2						
		資料調査	地形判読 (空中写真、地形図など)	地すべりや斜面災害の可能性がある地山	褶曲じょう乱帯、断層破砕帯	未固結地山	膨張性地山	山はねが予想される地山	高い地熱、温泉、有害ガス、地下資源などがある地山	高圧、多量の湧水がある地山
地形	地すべり，崩壊地形	○	○	○	○		○			
	偏土圧が作用する地形	△	△	○			○			
	土被り	○		○		○	○	○	△	
地質構造	地質分布	△	△	○	○	○	○		○	○
	断層，褶曲	△	○		○		○		○	○
岩質および土質	岩質，土質名	△		○	○	○	○	○	○	○
	岩相	△	△		○		○	○	○	○
	割れ目など分離面		△		○		○	○	○	○
	風化，変質			○	○		○		△	△
	固結度			○	○	○	○			○
地下水	1 帯水層，2 地下水位， 3 透水係数，4 地下水流動			2,4○	すべて○	すべて○			1,2,4○	すべて○
物理的性質	1 弾性波速度，2 物理特性			1,2○	すべて○	2○	すべて○	すべて○	1△,2○	1○
力学的性質	1 圧縮強さなどの強度特性， 2 変形係数などの変形特性			1○	すべて○	すべて○	すべて○	1○	すべて△	
鉱物化学的性質	1 粘土鉱物，2 スレーキング特性， 3 吸水，膨張率			1○	すべて○		すべて○		1,3△	
そのほか	地熱	△							○	
	温泉	△			△				○	
	有害ガス	△			△		△		○	
	地下資源	△							△	

※1 調査方法について，○：有効，△：場合によって有効

※2 特殊な地山条件について，○：把握すべき，△：場合によって把握すべき

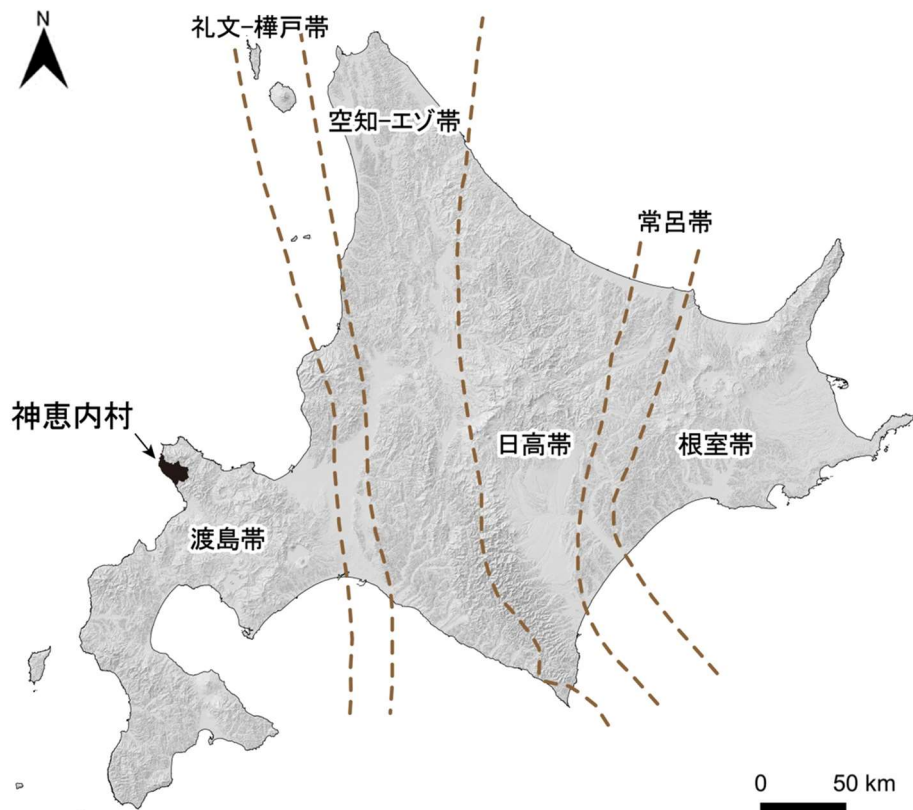


図 4.1-1 北海道の基盤地質に基づく地帯構造区分

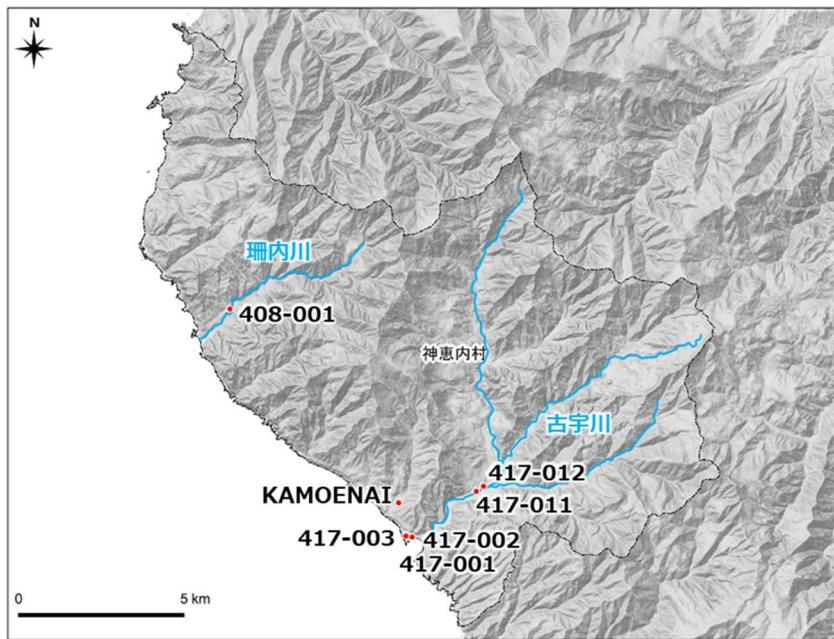
基図は地理院タイルの陰影起伏図に基づき作成。地帯構造境界は日本地質学会編（2010）に基づき作成。海岸線は「国土数値情報（海岸線データ）」（国土交通省）に、神恵内村行政境界は「国土数値情報（行政区域データ）」（国土交通省）に基づく。

4.2 閉じ込め機能に関する特性

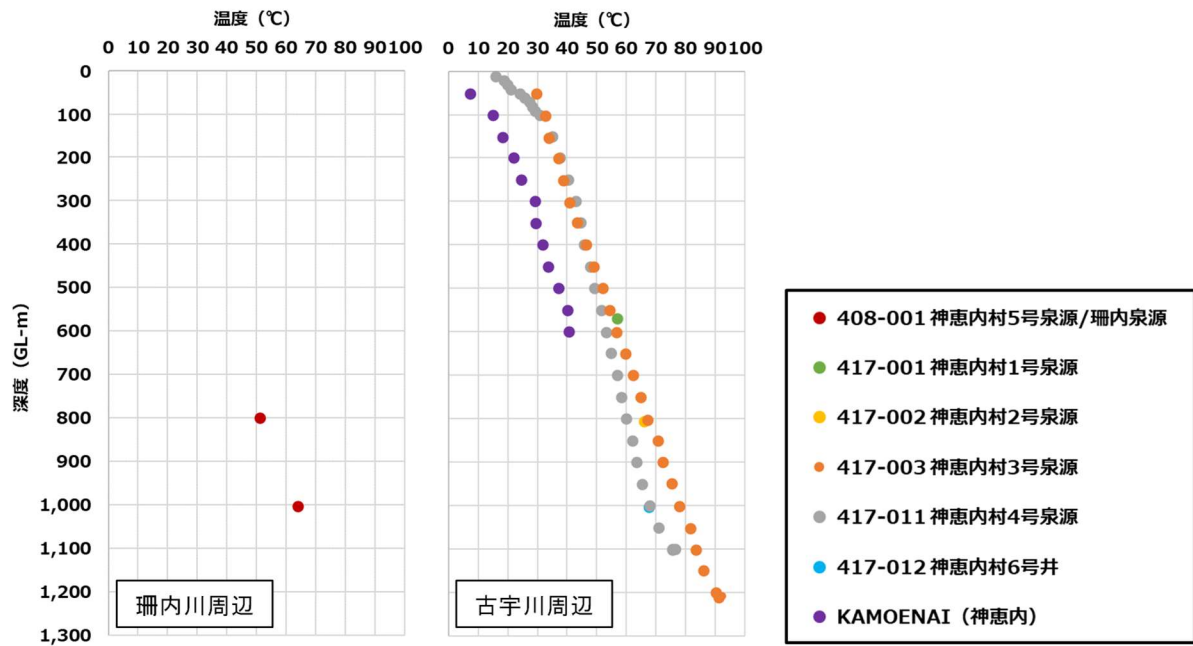
4.2.1 地温

説明書「噴火」で収集した情報に基づき、文献調査対象地区で測定された地温の深度分布および地温勾配を再整理した（図 4.2-1 および表 4.2-1）。文献調査対象地区の北部を流れる珊内川沿いでは測定値が2点のみであるため、地温の分布傾向は確認できないが、深度 800 m 程度で約 51℃、深度 1,000 m 程度で約 64℃の地温となる。また、地温勾配は 5.1～5.4℃/100 m 程度である。文献調査対象地区の南部を流れる古宇川沿いの地温分布は、深度 50 m 付近で最大 30℃程度とやや高く、深くなるとともに概ね直線的に増加し、深度 500 m 程度で最大 52℃、深度 1,000 m 程度で最大 78℃の地温を示す。また、地温勾配は 5.8～8.6℃/100 m 程度である。

収集データに基づく、文献調査対象地区の珊内川沿いおよび古宇川沿いにおける地温勾配は、表 2.1-1 に示した日本の地下深部に広く認められる値（3～5℃/100 m 程度）と比較すると高い傾向にあるが、1,000 m 以浅では、表 2.1-2 に示した好ましい可能性がある範囲となる目安（100℃未満）を超える数値は測定されていない。また、文献調査対象地区においては北部に比べて南部の地温が高い傾向にある。



(a) 坑井位置図



(b) 地温の深度分布

図 4.2-1 文献調査対象地区で測定された地温の深度分布

(a) 基図は地理院タイルの陰影起伏図および傾斜量図に基づき作成。海岸線は「国土数値情報（海岸線データ）」（国土交通省）に、神恵内村行政界は「国土数値情報（行政区画データ）」（国土交通省）に基づく。河川流路は地理院地図（電子国土 Web）に基づき作成。図中に数字で示す坑井のコード番号は坂川ほか（2004）、高見ほか（2008）に基づく。(b) 坑井 408-001 については若浜ほか（1995）および高見ほか（2008）、坑井 417-001、417-002 および 417-012 については高見ほか（2008）、坑井 417-003 および 417-011 については坂川ほか（2004）および高見ほか（2008）、KAMOENAI については坂川ほか（2004）の地温データに基づく。

表 4.2-1 文献調査対象地区における地温勾配

地域	坑井名	地温	地温勾配 (°C/100 m)
珊瑚内川 周辺	408-001 神恵内村 5 号泉源/ 珊瑚内泉源	深度 800 m 程度：約 51°C ^{※1} 深度 1,000 m 程度：約 64°C ^{※2}	5.1 ^{※1} , 5.4 ^{※4}
古宇川 周辺	417-001 神恵内村 1 号泉源	深度 570 m 程度：約 57°C ^{※2}	8.2 ^{※1} , 8.6 ^{※4}
	417-002 神恵内村 2 号泉源	深度 800 m 程度：約 66°C ^{※2}	7.0 ^{※1} , 7.2 ^{※4}
	417-003 神恵内村 3 号泉源	深度 500 m 程度：約 52°C ^{※3} 深度 1,000 m 程度：約 78°C ^{※3}	6.8 ^{※1} , 7.0 ^{※4}
	417-011 神恵内村 4 号泉源	深度 500 m 程度：約 49°C ^{※3} 深度 1,000 m 程度：約 68°C ^{※3}	6.1 ^{※1}
	417-012 神恵内村 6 号井	深度 1,000 m 程度：約 68°C ^{※2}	—
	KAMOENAI (神恵内)	深度 600 m 程度：約 41°C ^{※3}	5.8 ^{※4}

※1 若浜ほか (1995), ※2 高見ほか (2008), ※3 坂川ほか (2004), ※4 田中ほか (2019)

4.2.2 透水係数

「渡島帯」の分布範囲 (4.1 参照) で取得された透水係数のデータを収集し、表 3.1-1 に示す岩種区分に応じて整理するとともに、表 2.2-1 に示した NUMO (2021) で適用された物性値 (以下、「比較値」という。) と比較した (表 4.2-2)。巻末の添付資料 A に透水係数の整理結果の詳細および透水係数のデータ抽出に用いた文献を添付する。

データ収集に当たっては、岩盤の巨視的な透水係数を把握するために原位置で実施された透水試験や揚水試験結果などを対象とした。収集した透水係数のデータの多くは、その取得深度についての情報は不明であり、取得深度の記載があるものでも最大百数十 m 程度の深さであることや、文献の記載内容から比較的浅部で取得されたことが類推できるため、地層処分の対象深度となる地下 300 m 以深の物性値とは異なる可能性があることに留意が必要である。

「比較値」に対して、文献調査対象地区およびその周辺に分布する新第三紀鮮新世の堆積岩類および火山岩類の透水係数は 1 オーダー程度高い傾向にある。また、新第三紀中新世の堆積岩類および火山岩類の透水係数は同程度である。

また、表 4.2-3 に文献調査対象地区の地下 300 m 以深に分布する主な検討対象となる岩種の透水係数を整理した。これらのうち、文献調査対象地区の陸域に分布する新第三紀中新世のハイアロクラスタイトおよび深成岩類、ならびに陸域と海域に分布する先新第三系基盤岩類については、透水係数のデータがなく透水性の推定ができない。そのほかの岩種については、陸域および海域を含めて「比較値」と同程度の透水係数 (1×10^{-7} m/s 程度) であり、水理学的には有意な違いは認められない。

表 4.2-2 岩種区分毎の透水係数

岩種区分		透水係数 (m/s)	
		代表値 ^{※1} () 内はデータ数	「比較値」 ^{※2}
第四紀	堆積岩類	3.8×10^{-5} (71)	—
	火山岩類	1.2×10^{-4} (3)	—
新第三紀 鮮新世	堆積岩類	3.3×10^{-6} (21)	2.9×10^{-7} (新第三紀堆積岩類)
	火山岩類	3.2×10^{-6} (2)	2.1×10^{-7} (新第三紀・先新第三紀 火山岩類)
	ハイアロクラスタイト	— (0)	
新第三紀 中新世	堆積岩類	1.2×10^{-7} (21)	2.9×10^{-7} (新第三紀堆積岩類)
	火山岩類	1.7×10^{-7} (16)	2.1×10^{-7} (新第三紀・先新第三紀 火山岩類)
	ハイアロクラスタイト	— (0)	
	深成岩類	— (0)	5.5×10^{-8} (新第三紀・先新第三紀 深成岩類)
先新第三系基盤岩類 (古第三紀, 中生代, 古生代の火山岩類, 深成岩類, 変成岩類, 付加コンプレックスや堆積岩類)		— (0)	

※1 代表値として対数平均値を示す

※2 「比較値」: NUMO (2021) で適用された物性値

表 4.2-3 主な検討対象となる岩種の透水係数 (地下 300 m 以深)

分布域	陸域				
岩種区分	新第三紀中新世				先新第三系 基盤岩類
	ハイアロ クラスタイト	火山岩類	堆積岩類	深成岩類	
透水係数 [※] (m/s) () 内はデータ数	— (0)	1.7×10^{-7} (16)	1.2×10^{-7} (21)	— (0)	— (0)

分布域	海域		
岩種区分	新第三紀中新世		先新第三系 基盤岩類
	堆積岩類	火山岩類	
透水係数 ^{※1} (m/s) () 内はデータ数	1.2×10^{-7} (21)	1.7×10^{-7} (16)	— (0)

※ 代表値として対数平均値を示す。

4.2.3 動水勾配

動水勾配については直接的な情報が得られなかったため、文献調査対象地区を流れる主要な河川の上流端と河口位置の標高差を水平距離で除したものを地表付近の動水勾配と仮定して推定した（表 4.2-4）。水平距離は河川上流端から河口までの直線距離として、概括的な動水勾配を算出した。なお、流域面積が広い古宇川については、支川ごとに推定した。

推定の結果、文献調査対象地区の陸域における地表付近の動水勾配として、0.04～0.28 程度の値が得られた。地域的な特徴として、南部を流れる古宇川沿いの動水勾配（0.04～0.06）は、ほかの河川と比べて相対的に小さい傾向がある。

表 2.1-1 に示した動水勾配（0.001～0.01 オーダー）は地下深部を対象としたものであり、上記の地表付近の動水勾配とは直接比較することはできない。一方、既存文献（核燃料サイクル開発機構，1999）で整理された地表付近の動水勾配を参照すると、文献調査対象地区の動水勾配は山地相当の値（0.005～0.231（平均値 0.061））と推定される。

表 4.2-4 文献調査対象地区における地表付近の動水勾配

No.	河川名 ^{※1}	標高差(m) ^{※2}	水平距離(m) ^{※2}	動水勾配
①	オブカルイシ川	468	1,646	0.28
②	ノット川	396	2,206	0.18
③	オネナイ川	298	2,598	0.11
④	珊内川	474	5,708	0.08
⑤	キナウシ川	357	2,554	0.14
⑥	大森川	407	2,018	0.20
⑦	二ノ目川	584	3,969	0.15
⑧-1	古宇川（大川）	605	11,020	0.05
⑧-2	古宇川（トーマル川）	626	10,274	0.06
⑧-3	古宇川（小川）	301	8,297	0.04

※1 地理院地図（電子国土 Web）に名称が記載されている河川（図 4.2-2）を抽出

※2 地理院地図（電子国土 Web）で読み取れる河川上流端と河口までの距離

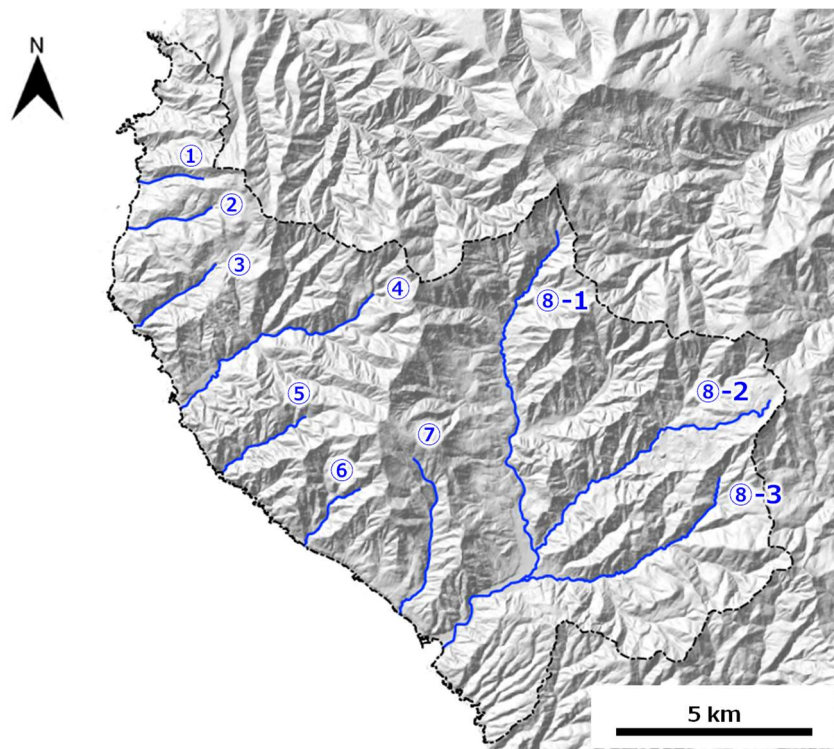


図 4.2-2 文献調査対象地区における主要河川の位置

基図は地理院タイルの陰影起伏図および傾斜量図に基づき作成。海岸線は「国土数値情報（海岸線データ）」（国土交通省）に、神恵内村行政界は「国土数値情報（行政区域データ）」（国土交通省）に基づく。河川流路は地理院地図（電子国土 Web）に基づき作成。図中の番号は表 4.2-4 の河川 No.を示す。

4.2.4 クリープ変形量

情報収集の結果、文献調査対象地区に関連するクリープ変形量のデータは確認されなかった。

4.2.5 pH

説明書「噴火」で収集した情報に基づき、文献調査対象地区で測定された pH を再整理した（図 4.2-3）。なお、pH が測定された深度は不明であった。これらの測定データから、文献調査対象地区の北部を流れる珊内川沿いでは pH が 6.7 程度の地下水が分布しており、南部を流れる古宇川沿いでは pH が 6.8～9.6 程度の地下水が分布していると推定される。

収集データに基づく、文献調査対象地区においては北部に比べて南部のほうが地下水中の pH がやや高い可能性がある。また、測定された pH は表 2.1-1 に示した日本の地下深部に広く認められる値（6～9 程度）と同程度であり、表 2.1-2 に示した好ましい可能性がある範囲となる目安（4.8～12 程度）を超える数値は測定されていない。

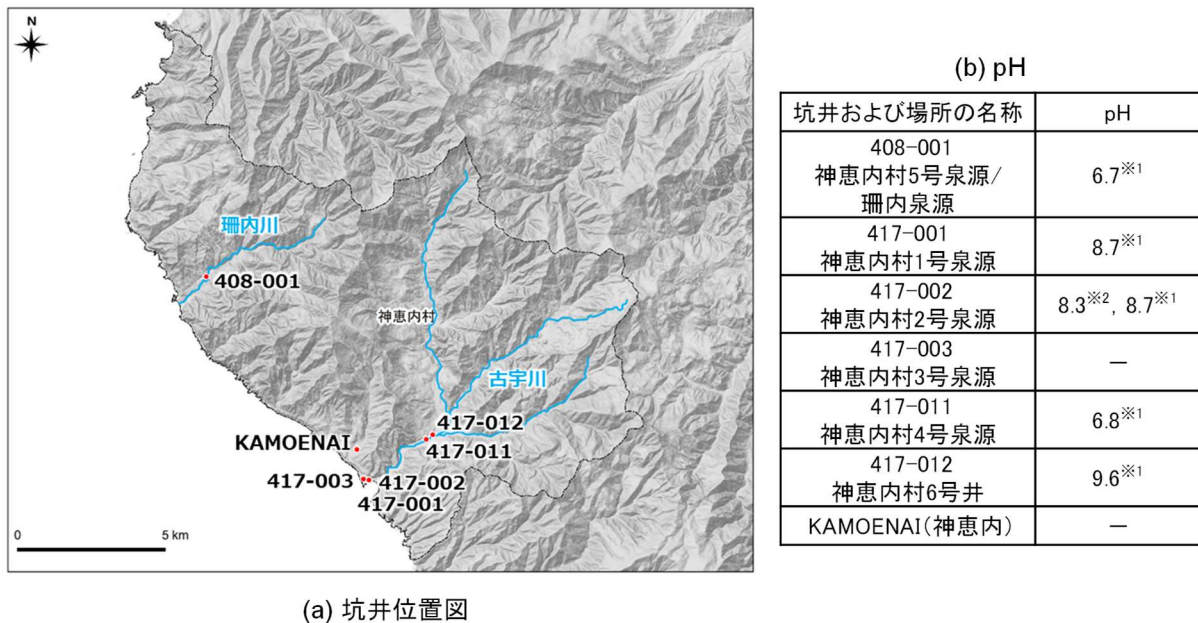


図 4.2-3 文献調査対象地区で測定された pH

基図は地理院タイルの陰影起伏図および傾斜量図に基づき作成。海岸線は「国土数値情報（海岸線データ）」（国土交通省）に、神恵内村行政界は「国土数値情報（行政区域データ）」（国土交通省）に基づく。河川流路は地理院地図（電子国土 Web）に基づき作成。図中に数字で示す坑井のコード番号は坂川ほか（2004）、高見ほか（2008）に基づく。※1 高見ほか（2008）、※2 産業技術総合研究所地質調査総合センター「地熱情報データベース」

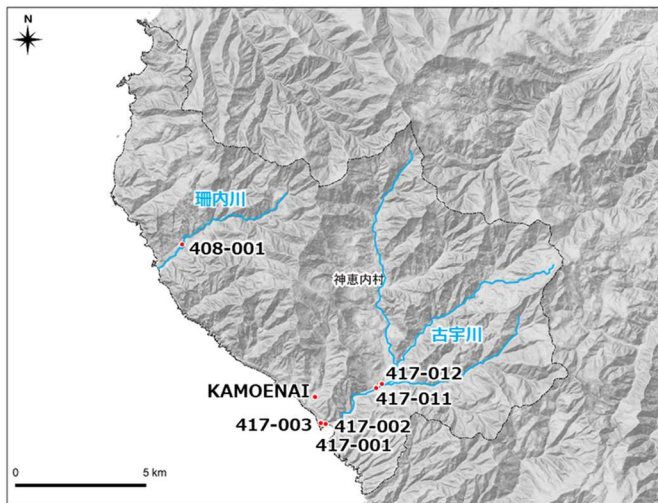
4.2.6 酸化還元電位（ORP）

情報収集の結果、文献調査対象地区に関連する ORP のデータは確認されなかった。

4.2.7 炭酸化学種濃度

図 4.2-4 に文献調査対象地区で測定された炭酸化学種濃度を示す。炭酸化学種濃度は炭酸水素イオンと炭酸イオンの値をモル質量換算で変換して算出した。なお、炭酸化学種濃度が測定された深度は不明であった。これらの測定データから、文献調査対象地区の北部を流れる珊内川沿いでは炭酸化学種濃度が 0.02 mol/dm³ 程度の地下水が分布しており、南部を流れる古宇川沿いでは炭酸化学種濃度が 0.0014～0.068 mol/dm³ 程度の地下水が分布していると推定される。

収集データに基づくと、文献調査対象地区においては北部に比べて南部のほうが地下水中の炭酸化学種濃度が高い可能性がある。また、測定された炭酸化学種濃度は表 2.1-1 に示した日本の地下深部に広く認められる値（最大 0.1 mol/dm³ 程度）と比べて低く、表 2.1-2 に示した好ましい可能性がある範囲となる目安（0.5 mol/dm³ 未満）を超える数値は測定されていない。



(a) 坑井位置図

(b) 炭酸化学種濃度

坑井および場所 の名称	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	CO ₃ ²⁻ (mg/l)	炭酸化学種 濃度※4 (mol/dm ³)
408-001 神恵内村5号泉源/ 珊内泉源	1,243※1	—	0.0204
417-001 神恵内村1号泉源	—	—	—
417-002 神恵内村2号泉源	85.4※1 165.9※2	— 7.8※2	0.0014 0.0028
417-003 神恵内村3号泉源	—	—	—
417-011 神恵内村4号泉源	4,146※3	2.0※3	0.0680
417-012 神恵内村6号井	—	—	—
KAMOENAI (神恵内)	—	—	—

図 4.2-4 文献調査対象地区で測定された炭酸化学種濃度

基図は地理院タイルの陰影起伏図および傾斜量図に基づき作成。海岸線は「国土数値情報（海岸線データ）」（国土交通省）に、神恵内村行政界は「国土数値情報（行政区画データ）」（国土交通省）に基づく。河川流路は地理院地図（電子国土 Web）に基づき作成。図中に数字で示す坑井のコード番号は坂川ほか（2004）、高見ほか（2008）に基づく。※1 産業技術総合研究所地質調査総合センター「地熱情報データベース」、※2 藤本ほか（1979）、※3 鈴木ほか（1995）、※4 炭酸化学種濃度：測定された炭酸水素イオン（HCO₃⁻）および炭酸イオン（CO₃²⁻）の値をモル質量換算（6.1×10⁴ mg/mol（換算値は地層処分技術 WG（2017）を参考に設定））で変換。

4.2.8 まとめ

4.2.1～4.2.7 で収集・整理した閉じ込め機能の観点からの地質環境特性の情報を表 4.2-5 に整理した。

表 4.2-5 文献調査対象地区における地質環境特性（閉じ込め機能の観点）

項目		地質環境特性の収集・整理結果
熱環境	地温	【珊内川沿い（文献調査対象地区北部）】 ・ 深度 800 m 程度で約 51℃，深度 1,000 m 程度で約 64℃ ・ 地温勾配：5.1～5.4℃/100 m（日本の地下深部に広く認められる値と比較すると，やや高い傾向） ・ 1,000 m 以浅では好ましい可能性がある範囲となる目安（100℃未満）を超える地温は確認されていない。 【古宇川沿い（文献調査対象地区南部）】 ・ 深度 500 m 程度で最大 52℃，深度 1,000 m 程度で最大 78℃ ・ 地温勾配：5.8～8.6℃/100 m（日本の地下深部に広く認められる値と比較すると，高い傾向） ・ 北部に比べて南部のほうが，地温が高い傾向にある。 ・ 1,000 m 以浅では好ましい可能性がある範囲となる目安（100℃未満）を超える地温は確認されていない。
	透水係数	・ 収集した透水係数のデータは比較的浅部で取得されたことが類推できるため，各岩種の代表値は地層処分の対象深度となる地下 300 m 以深の物性値とは異なる可能性がある（文献調査対象地区で取得されたデータはない）。 ・ 文献調査対象地区の陸域に分布する新第三紀中新世のハイアロクラスタイトおよび深成岩類，ならびに陸域と海域に分布する先新第三系基盤岩類の透水係数のデータがなく，その透水性は不明である。 ・ そのほかの岩種については，陸域および海域を含めて「比較値」※と同程度の透水係数（1.0×10^{-7} m/s 程度）であり，水理学的には有意な違いは認められない。
水理場	動水勾配	・ 地表付近：0.04～0.28 程度 ・ ほかの河川と比較して，南部を流れる古宇川沿いの動水勾配（0.04～0.06）が小さい。 ・ 既存文献（核燃料サイクル開発機構，1999）で整理された地表付近の動水勾配を参照すると，文献調査対象地区の動水勾配は山地相当の値（0.005～0.231（平均値 0.061））である。
	クリープ変形量	（該当情報なし）
化学場	pH	【珊内川沿い（文献調査対象地区北部）】 pH 6.7 程度 【古宇川沿い（文献調査対象地区南部）】 pH 6.8～9.6 程度 ・ 北部に比べて南部のほうが，地下水中の pH が高い傾向にある。 ・ 日本の地下深部に広く認められる値と整合しており，好ましい可能性がある範囲となる目安（4.8～12 程度）を超える pH は確認されていない。
	ORP	（該当情報なし）
	炭酸化学種濃度	【珊内川沿い（文献調査対象地区北部）】 0.02 mol/dm³ 程度 【古宇川沿い（文献調査対象地区南部）】 0.0014～0.068 mol/dm³ 程度 ・ 北部に比べて南部のほうが，地下水中の炭酸化学種濃度が高い傾向にある。 ・ 日本の地下深部に広く認められる値と整合しており，好ましい可能性がある範囲となる目安（0.5 mol/dm³）を超える炭酸化学種濃度は確認されていない。

※ 「比較値」：NUMO（2021）で適用された物性値

4.3 地下施設の建設可能性に関する特性

4.3.1 一軸圧縮強さ

文献調査対象地区に分布する岩種の地山強度比を算出するために、「渡島帯」の分布範囲で取得された一軸圧縮強さのデータを収集し、表 3.1-1 に示す岩種区分に応じて整理するとともに、「比較値」との比較を行った（表 4.3-1）。巻末の添付資料 B に一軸圧縮強さのデータ整理結果の詳細およびデータを抽出した文献のリストを添付する。

収集した一軸圧縮強さのデータの多くは、その供試体の取得深度についての情報は不明であり、取得深度の記載があるものでも最大数十 m 程度の深さであることや、文献の記載内容から比較的浅部で取得されたことが類推できるため、地層処分の対象深度となる地下 300 m 以深の物性値とは異なる可能性があることに留意が必要である。

また、新第三紀中新世の堆積岩類およびハイアロクラスタイトについては、文献調査対象地区のデータを収集したが、堆積岩類についてはデータ数が 2 点のみであったため不確実性が高いと判断し、周辺で取得されたデータも考慮して代表値を算出した。ハイアロクラスタイトについては、データのばらつきが大きいいため地域的な不均質性をより幅広く考慮することとして、周辺で取得されたデータも考慮して代表値を算出した。

岩種区分のうち、第四紀、新第三紀鮮新世および中新世の堆積岩類と第三紀中新世ハイアロクラスタイトが、岩盤分類基準化委員会（2004）による軟岩（一軸圧縮強さ：25 MPa 未満）に区分され、それ以外の火山岩類は硬岩（一軸圧縮強さ：25 MPa 以上）に区分される。また、新第三紀鮮新世および中新世の堆積岩類、火山岩類ともに、その岩盤強度は「比較値」より低い傾向にある。

文献調査対象地区周辺の特徴的な岩種であるハイアロクラスタイトに着目すると、新第三紀鮮新世ハイアロクラスタイトについては、一軸圧縮強さのデータが得られず、その岩盤強度は推定できない。新第三紀中新世ハイアロクラスタイトについては 61 点のデータが得られている（添付資料 B 参照）。一軸圧縮強さの中央値と平均値の幅（10～35 MPa）を「比較値」と比較すると、新第三紀堆積岩類（9～28 MPa）に相当し、地質学的な分類である新第三紀・先新第三紀火山岩類の代表値（92～106 MPa）とは異なる。また、一軸圧縮強さのばらつきの指標として中央値と平均値の幅を中央値で割ったものを、同じ地質年代の堆積岩類、火山岩類および「比較値」である新第三紀・先新第三紀火山岩類と比較すると、新第三紀中新世ハイアロクラスタイトは 2.51 $(= (35.1 \text{ MPa} - 10.0 \text{ MPa}) / 10 \text{ MPa})$ であり、堆積岩類の 1.91 $(= (19.8 \text{ MPa} - 6.8 \text{ MPa}) / 6.8 \text{ MPa})$ 、火山岩類の 0.13 $(= (76.5 \text{ MPa} - 67.5 \text{ MPa}) / 67.5 \text{ MPa})$ 、「比較値」の新第三紀・先新第三紀火山岩類の 0.15 $(= (106 \text{ MPa} - 92 \text{ MPa}) / 92 \text{ MPa})$ より大きい。これらのことから、3.1 で前述したとおり新第三紀中新世ハイアロクラスタイトの一軸圧縮強さは、その不均質性が高いことが示唆される。

表 4.3-1 岩種区分毎の一軸圧縮強さ

岩種区分		一軸圧縮強さ (MPa)	
		代表値 ^{※1} () 内はデータ数	「比較値」 ^{※2}
第四紀	堆積岩類	11.3 (48)	—
	火山岩類	— (0)	—
新第三紀 鮮新世	堆積岩類	0.8 (13)	9～28 (新第三紀堆積岩類)
	火山岩類	26.5 (6)	92～106 (新第三紀・先新第三紀 火山岩類)
	ハいろクラスタイト	— (0)	
新第三紀 中新世	堆積岩類	6.8 (86)	9～28 (新第三紀堆積岩類)
	火山岩類	67.5 (69)	92～106 (新第三紀・先新第三紀 火山岩類)
	ハいろクラスタイト	10.0 (61)	
	深成岩類	— (0)	108～110 (新第三紀・先新第三紀 深成岩類)
先新第三系基盤岩類 (古第三紀, 中生代, 古生代の火山岩類, 深成岩類, 変成岩類, 付加コンプレックスや堆積岩類)		— (0)	

※1 代表値として中央値を示す。

※2 「比較値」: NUMO (2021) で適用された物性値 (平均値と中央値を閾値とした幅を示す (特性値のばらつきの幅や偏りなどを考慮。))

4.3.2 地温

4.2.1 で整理した文献調査対象地区における地温データ (図 4.2-1 および表 4.2-1) に基づくと、文献調査対象地区の北部を流れる珊内川沿いにおいては、700 m 程度以深で表 2.1-3 に示した坑内作業環境の観点からの好ましい可能性がある範囲となる目安 (45℃以下) を超える地温となる。また、南部を流れる古宇川沿いでは 400 m 程度以深で、その目安を超える地温となる。

4.3.3 そのほかの安全性の懸念事象に関する特性

そのほかの安全性に関する懸念事象については、表 4.1-2 に示す検討項目ごとに検討結果を整理した。

(1) 地すべり, 崩壊地形

地すべり, 崩壊地形に関しては、説明書「地震・活断層」および説明書「隆起・侵食」において調査されており、文献調査対象地区の陸域は大規模な地すべりが多く、また崩壊規模 100 m³ 以上の岩盤崩壊が複数地点認められている。また、海底地すべりについては、大陸棚の外縁付近を直接削剥している積丹半島北西岸の神威岬と沼前岬の前面海域において確認されている。

文献調査対象地区の周辺地域における地すべりや崩落に関する情報として、トンネルの岩盤崩落が報告されている（表 4.3-2；北海道日本海沿岸における大規模岩盤崩落検討委員会，2000）。これらの岩盤崩落の誘因は背面地下水圧の増加など主に地表付近の現象とされている。

表 4.3-2 文献調査対象地区の周辺地域におけるトンネルの岩盤崩落の概要
北海道日本海沿岸における大規模岩盤崩落検討委員会（2000）を編集

発生日	場所	規模	地質	誘因
1996/2/10	国道 229 号 豊浜トンネル	・ 高さ（トンネル天端から）50 m，崩落幅 70 m， 岩盤の厚さ 13 m，体積 11,000 m ³	・ 新第三紀中新世尾根内 累層の安山岩質および デイサイト質火砕岩 ・ 新第三紀中新世の海底 火山活動によって形成 された火砕岩からなる。	・ 背面地下水圧 の増加あるいは含水比の増 加に伴う岩盤 強度低下
1997/8/25	国道 229 号 第 2 白糸 トンネル	・ 高さ 130 m，最大幅 70 m，最大厚さ約 20 m，体 積 42,000 m ³	・ 新第三紀安山岩質火砕 岩（軽石凝灰岩，砂岩， 礫岩，二次堆積物を含 む） ・ 新第三紀オコツナイ層 で主に水冷破碎岩から なる。	・ 8/3～14 の集中 豪雨
1997/8/28		・ 高さ 80 m，最大幅 30 m， 最大厚さ約 20 m，体積 14,000 m ³		—

（2）土被り

説明書「地形、地質・地質構造」に示されるとおり，文献調査対象地区の地形を大まかに見ると，海に面した積丹山地の山体斜面（海面からの比高 450～1,000 m 程度の斜面）と積丹山地に西側から大きく食い込むように発達した古宇川流域から構成されており，同地区の多くは比較的急峻な山地である（図 4.3-1）。古宇川流域の分水界となる積丹山地には，最高標高が 1,000 m 程度となる屏風山やポンネアンチシ山があり，その周辺には標高 600 m 程度以上の山地部が広がっていることから，沿岸部で深度 300 m の深さを確保したうえで水平に地下施設（約 4～12 km² の占有面積（NUMO，2021））を配置した場合，その地下施設の土被りは 1,000 m 程度に及ぶ可能性がある。

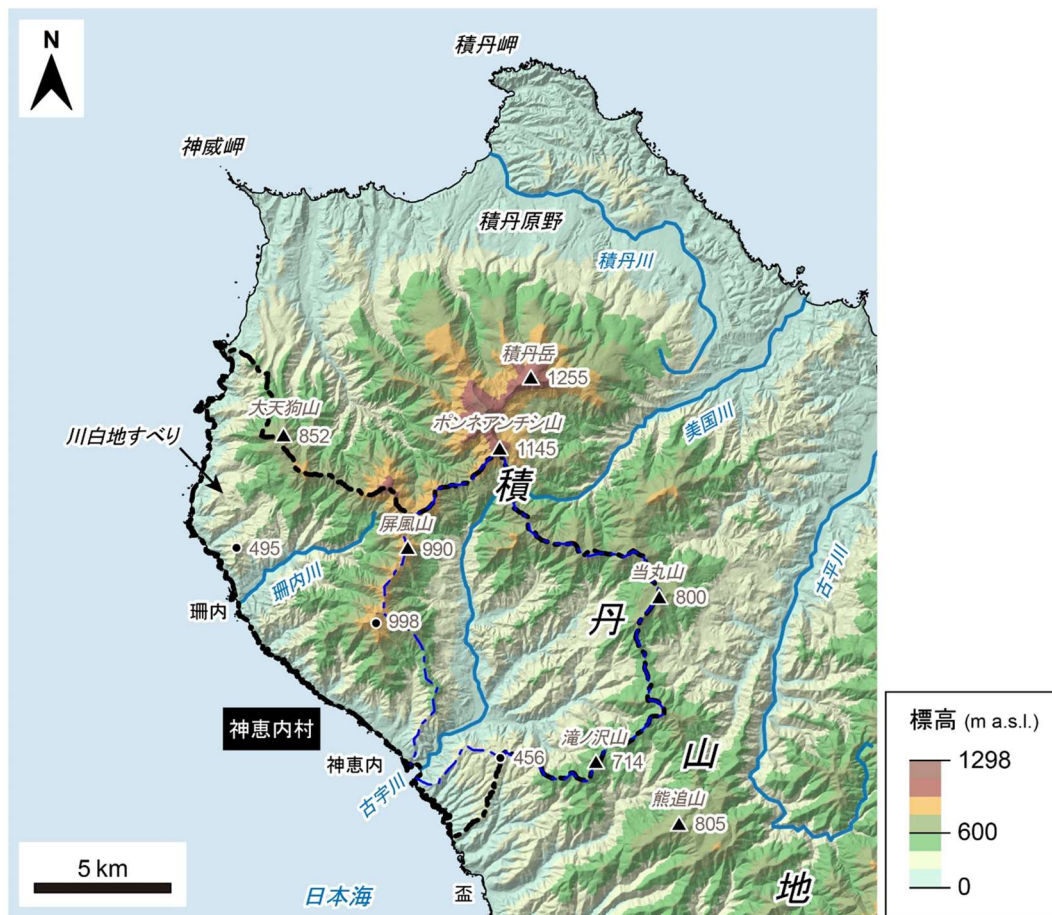


図 4.3-1 文献調査対象地区およびその周辺の地形概要

説明書「地形、地質・地質構造」に示す北海道南西部、積丹半島（積丹山地）の地形概要図から一部抜粋し編集。地形概要図の基図は地理院タイルの陰影起伏図に基づく。高度段彩は国土地理院数値標高データに基づき作成。海岸線は「国土数値情報（海岸線データ）」（国土交通省）に、神恵内村行政界は「国土数値情報（行政区域データ）」（国土交通省）に基づく。図中の青の一点鎖線は古宇川の流域界、三角は山頂、黒丸は標高点、数字は標高（m）を示す。

（3）断層、褶曲

説明書「地形、地質・地質構造」および説明書「地震・活断層」の調査によると、文献調査対象地区においては、断層および褶曲構造について特に留意すべき場所は確認されていない。また、その規模や性状などの詳細は不明であるが、地質図（図 3.1-1）や地質断面図（図 3.3-1 および図 3.3-4）に示されるように、文献調査対象地区の陸域においては、いくつかの地質断層が分布することが考えられる。

（4）地質分布、岩質および土質

文献調査対象地区の陸域には、4.3.3（1）で示したトンネルの岩盤崩落が発生した場所の地質と同様のハイアロクラスタイトを含む火砕岩類が分布する。一方、文献調査対象地区の周辺地域においては、これらの地質を対象とした国道トンネルや北海道新幹線のトンネル工事における設計・施工実績もある（岡崎ほか，2008；中谷ほか，2019）。

また、説明書「第四紀の未固結堆積物」においては、神恵内湾西方の大陸棚外縁付近における海底下 300 m 程度の位置に第四紀の未固結堆積物の分布が認められる情報があるとされている。

(5) 地熱、温泉、有害ガス

説明書「噴火」においては、文献調査対象地区およびその周辺の地熱・熱水活動として、熱水変質帯や泉温などが調査されている。文献調査対象地区では、北部に新第三紀鮮新世以降の熱水活動を示す熱水鉱床が分布しており、南部には新第三紀中新世の熱水活動を示す熱水鉱床が分布している。また、文献調査対象地区の北部を流れる瑠内川沿いには泉温が最大で 60℃程度の温泉がある。さらに、玉生ほか（2001）によると、42℃以上の地熱流体が得られている地域であることから、文献調査対象地区の南部は第四紀火山に関連しない地熱資源賦存地域に区分されている。

また、文献調査対象地区における有害ガスに関する情報は得られなかった。

(6) 地下資源

表 4.1-3 には示されていないが、トンネル標準示方書（土木学会，2016）では、掘削土などに含まれる場合に環境保全の観点からの対応が必要となる「重金属など」に関して金属鉱床などへの留意が示されており、土壤環境基準（環境庁，1991）に定めがあるカドミウム、六価クロム、水銀、セレン、鉛、ヒ素、フッ素およびホウ素が対象とされている。

説明書「鉱物資源・地熱資源」によると、文献調査対象地区にはいくつかの鉱床が確認されている。重金属については上記のうち、鉛を含む鉱床として、文献調査対象地区の南部を流れる古宇川支流の神恵内鉱山が確認されているものの、現在は稼働していない。

(7) 地下水（帯水層）

透水係数や地下水流動に係る動水勾配については、4.2 での閉じ込め機能に関する特性の検討結果を適用することとし、ここでは帯水層に着目して情報を収集したが、文献調査対象地区およびその周辺地域には大規模な被圧帯水層などの存在は確認されなかった。

4.3.4 まとめ

4.3.1～4.3.3 で収集・整理した地下施設の建設可能性の観点からの地質環境特性の情報を表 4.3-3 に整理した。

表 4.3-3 文献調査対象地区における地質環境特性（地下施設の建設可能性の観点）

検討項目		地質環境特性の収集・整理結果
空洞 安定性	地山強度比 (一軸圧縮強さ)	・収集した一軸圧縮強さのデータは比較的浅部で取得されたことが類推できるため、各岩種の代表値は地層処分の対象深度となる地下 300 m 以深の物性値とは異なる可能性がある（新第三紀中新世の堆積岩類およびハイアロクラスタイトについては、文献調査対象地区で取得されたデータあり）。 ・第四紀、新第三紀鮮新世および中新世の堆積岩類と新第三紀中新世ハイアロクラスタイトは軟岩（一軸圧縮強さ：25 MPa 未満）に区分される。 ・上記以外の火山岩類は硬岩（一軸圧縮強さ：25 MPa 以上）に区分される。 ・文献調査対象地区に分布する新第三紀鮮新世および中新世の堆積岩類、火山岩類ともに、その岩盤強度は「比較値」※より低い傾向にある。 ・ハイアロクラスタイトの一軸圧縮強さは不均質性が高いことが示唆され、地質学的な分類から想定される物性値とは異なる。
坑内作業 環境	地温	【珊内川沿い（文献調査対象地区北部）】 ・深度 700 m 程度で好ましい可能性がある範囲となる目安（45℃以下）を超える地温となる。 【古宇川沿い（文献調査対象地区南部）】 ・深度 400 m 程度で好ましい可能性がある範囲となる目安（45℃以下）を超える地温となる。
地下施設の 収容性	地層・岩体の 分布	(3.3「主な検討対象となる地層・岩体の抽出」の検討結果を参照)
そのほか の安全性 に関する 懸念事象	【文献調査相当の「資料調査」、「地形判読」が有効とされる調査項目】	
	地すべり、 崩壊地形	・陸域では大規模な地すべりが多く、崩壊規模 100 m³ 以上の岩盤崩壊が複数地点ある。 ・文献調査対象地区の周辺地域においては、背面地下水圧の増加などの地表付近の現象が誘因となるトンネルの岩盤崩落の報告がある。
	土被り	・文献調査対象地区の多くは比較的急峻な山地で構成されていることから、地下施設の配置によっては、その土被りが 1,000 m 程度に及ぶ可能性がある。
	断層、褶曲	・特に留意すべき場所は確認されていない。 ・いくつかの地質断層が文献調査対象地区の陸域に分布する。
	【文献調査相当の「資料調査」、「地形判読」が場合によっては有効とされる調査項目】	
	地質分布、 岩質および土質	・文献調査対象地区の陸域には、「地すべり、崩壊地形」で記載したトンネルの岩盤崩落が発生した場所の地質と同様のハイアロクラスタイトを含む火砕岩類が広く分布する。 ・神恵内湾西方の大陸棚外縁付近における海底下 300 m 程度の位置に第四紀の未固結堆積物の分布が認められる情報がある。
	地熱、温泉、 有害ガス	・北部に新第三紀鮮新世以降の熱水活動を示す熱水鉱床が分布し、南部には新第三紀中新世の熱水活動を示す熱水鉱床が分布する。 ・珊内川沿いには泉温が最大で 60℃程度の温泉がある。 ・文献調査対象地区の南部地域は第四紀火山に関連しない地熱資源賦存地域とされている。
	地下資源	・陸域にいくつかの鉱床が確認されており、古宇川の支流には鉛を含む鉱床として神恵内鉱山がある。
	【そのほかの調査項目】	
	地下水（帯水層）	・大規模な被圧帯水層などは確認されていない。
	力学的性質	(空洞安定性で検討)

※ 「比較値」：NUMO（2021）で適用された物性値

第5章 閉じ込め機能の観点からの検討

第4章の結果に基づき、閉じ込め機能に関連する事項として、文献調査対象地区の熱環境、水理場、力学場、化学場およびそれら地質環境特性の長期継続性について検討した。

5.1 熱環境

文献調査対象地区における熱環境については、地温の特徴を整理した。文献調査対象地区の北部を流れる珊内川および南部を流れる古宇川沿いのみではあるものの、4.2.1 で整理した地温データに基づくと、同地区においてはNUMO (2021) で地下施設設置深度として設定された深度 500~1,000 m では緩衝材の熱変質が懸念される 100°Cを超えない。同地区では南部のほうが北部に比べて相対的に地温が高い傾向にあり、北部における地温勾配の最大値 (5.4°C/100 m) は、日本の地下深部に広く認められる地温勾配 (3~5°C/100 m) の範囲と比較するとやや高い傾向にあるものの、大きくは外れていない。一方で、南部における地温勾配の最大値 (8.6°C/100 m) は、日本の地下深部に広く認められる地温勾配 (3~5°C/100 m) の範囲から外れており、深い場所では留意が必要と考えられる。

5.2 水理場

文献調査対象地区における水理場については、地下水流動の駆動力である動水勾配に影響を与える地形および地質・地質構造の分布を概略的に示したうえで、4.2.2 および 4.2.3 で整理した透水係数および動水勾配に基づき、その特徴を整理した。それらの結果に基づく水理場の概念の詳細は巻末の添付資料 C に示す。

文献調査対象地区の深さ数百~千 m 程度を流れる地下水は、大局的には積丹半島中央部にある珊内岳や両古美山周辺の尾根部を主な涵養域とし、日本海沿岸部を主な流出域とした北東-南西方向の流動系を形成すると考えられる。その地下水流動系の地表付近の動水勾配は 0.04~0.28 程度であり、日本の山地に相当する (表 4.2-5)。地層処分技術 WG (2014) に示されているように、地下深部の動水勾配は地表付近に比べて緩やかになることから、地層処分の対象深度となる地下 300 m 以深においてはこれらの値よりも小さくなると考えられる。さらに、地層処分技術 WG (2017) に示されているように、沿岸部は動水勾配が小さく地下水の流れが緩慢であることが期待される。しかし、文献調査対象地区においては、地表付近の動水勾配が山地相当の値を示していることから、沿岸部としては地下深部における地下水の流れは比較的速い可能性がある。また、ほかの河川と比較して南部を流れる古宇川沿いの動水勾配が小さい傾向にあるため、同地区においては北部よりも南部のほうが相対的に地下水の流れが遅い可能性が考えられる。主な流出域となる積丹半島沿岸の海底下には、相対的に動水勾配が小さい領域が形成されていることが想定される。

文献調査対象地区に分布する岩種の水理特性に関する情報がほとんど得られていないため、それらの岩種の水理学的な違いは把握できない。特に同地区に広く分布する新第三紀中新世ハイアロクラスタイトおよび先新第三系基盤岩類については、同地区内および周辺の同種岩盤ともに透水係数のデータが取得されていない。また、山地部に分布すると考えられる地質断層については、幾何特性や水理特性に関する情報が取得されていない。

南部を流れる古宇川沿いの地温勾配は最大 8.6°C/100 m と高い傾向にあるため、地下深部の地下水流動場への熱対流の影響について検討した。一般に、地形が平坦な場合においては、地形に起因した上下方向の強制対流が存在する場合と比較して熱対流が発生しやすい。そこで、地下水の科学

研究会（1996）を参考に被圧帯水層中の自然対流を想定し、熱対流が地下深部の地下水流動場に及ぼす影響について検討した。その結果、文献調査対象地区で取得された情報に基づき算出したレイリー数（3.1）は限界値（39.5）よりも小さいことが確認され、熱対流が地下水の流動場に及ぼす影響はほとんどないと考えられる。レイリー数の算出条件などは巻末の添付資料 D に示す。

上記のことから、文献調査対象地区における地下水流動場の特徴として、沿岸部としては比較的大きな動水勾配が挙げられ、その地下深部においても速い地下水の流れを引き起こす要因となり得るため留意が必要である。また、文献調査対象地区に分布する岩種の水理特性を検討するための十分なデータが得られておらず、特に同地区に広く分布する新第三紀中新世ハイアロクラスタイトおよび先新第三系基盤岩類についてはデータがない。これらのデータについては、現地調査で取得する必要がある。

5.3 力学場

4.2.4 に示したとおり、文献調査対象地区の岩種および周辺の同種岩盤ともにクリープ変形量のデータが取得されていないため、力学場としての岩盤の変形挙動については検討ができない。表 2.1-1 に示すように、日本の地下深部に広く認められる特性として地下深部の岩盤の長期的なクリープ変形量は設計で対応可能な範囲とされているが、現地調査でその特性を確認する必要がある。4.3.1 で示したとおり、特に文献調査対象地区に広く分布するハイアロクラスタイトに関しては、一軸圧縮強さの不均質性が高いことが示唆されるとともに、地質学的な分類から想定されるものとは異なっているため、現地調査でその特性を確認することが必要である。

5.4 化学場

文献調査対象地区の北部を流れる珊内川および南部を流れる古宇川沿いのみではあるものの、4.2.5 および 4.2.7 で整理したデータに基づく、同地区においては地下水中の pH は 6.7～9.6 程度、炭酸化学種濃度は最大 0.068 mol/dm^3 程度であり、ガラス固化体の溶解速度の増加やオーバーパックの耐食性の低下、緩衝材および天然バリアの収着能の低下が懸念される目安（好ましい可能性がある範囲となる目安として pH : 4.8～12 程度、炭酸化学種濃度 : 0.5 mol/dm^3 ）を超えるような化学的特性を有する地下水ではない。地域的な特徴として、北部に比べて南部の pH や炭酸化学種濃度が高い傾向があると考えられる。ただし、pH および炭酸化学種濃度ともに、その測定深度が不明である。また、炭酸化学種濃度は炭酸水素イオンと炭酸イオンの測定値を換算したものであり、比較的簡易に測定が可能な pH に対して、その値の確度は低い可能性がある。

4.2.6 に示したとおり、文献調査対象地区においては ORP のデータが取得されていない。表 2.1-1 に示すように、日本の地下深部に広く認められる特性として地下水は還元性雰囲気維持されていると考えられるが、現地調査でその特性を確認する必要がある。

5.5 地質環境特性の長期継続性

変動帯に位置する日本においては、長期的な自然現象が地質環境特性に及ぼす影響を評価する必要がある。自然現象のうち、火山・火成活動、地震・断層活動および速度の著しく速い隆起・侵食については、それぞれ説明書「噴火」、説明書「地震・活断層」および説明書「隆起・侵食」で検討し避けることとしているため、本調査においては考慮しない。一方で、隆起・侵食は上記より速度が遅くても、その影響は累積的かつ広域に及ぶことから、汎世界的な気候変動とともに本調査で考

慮することとした。

説明書「隆起・侵食」において推定された過去 10 万年程度の概括的な隆起・侵食量は数十 m 程度、気候変動に伴う海水準変動は 130 m 程度であることから、沿岸部に位置する文献調査対象地区においては、変動量が大きい海水準変動が地質環境特性に及ぼす影響が大きいと考え、海水準変動による地質環境特性の長期変化の可能性について整理した。

海水準変動については、過去数十万年以上にわたり、地球規模での約 10 万年の周期の氷期－間氷期サイクルが確認されている（Spratt and Lisiecki, 2016）。また、Okuno et al. (2014)により最終氷期最盛期（2.1 万年前）と完新世の高海面期（約 6,000 年前）における日本列島周辺の海水準が示されており、最終氷期最盛期における文献調査対象地区の大陸棚付近の海水準は標高-130 m 程度と読み取れる。これらの情報を参考に現在から将来 10 万年程度の期間を想定すると、氷期には気温の低下とともに海退し、約 8 万年後に海面は標高-130 m 程度まで低下する。その後、間氷期の気温の上昇とともに海進し、約 9.5 万年後に海面は現在と同様に標高 0 m 程度まで上昇する。

上記の海水準変動によって特に変化が大きいと考えられる水理場や化学場の長期変化の可能性について整理した（表 5.5-1）。海域（汀線付近～沖合）においては、汀線付近に形成される塩分・淡水混合域の位置が海水準変動に伴って移動するため、氷期－間氷期サイクルで化学場が塩水域と淡水域に変化する可能性がある。また、間氷期には海底下にあり拡散場と推定される水理場が、氷期には汀線が沖合に移動し陸地となるため移流場に変化する可能性がある。陸域（汀線付近～内陸）においては、淡水域および移流場は変わらないものの、地形勾配が陸域よりも海域（大陸棚）のほうが小さいことを考慮すると、地下水流動系全体の大局的な動水勾配は間氷期に比べて氷期のほうが小さくなる可能性が考えられる。ただし、地質環境特性の長期変化が閉じ込め機能に及ぼす影響については、今後の調査段階でさまざまな地質環境特性と組み合わせて総合的に評価することが必要である。

表 5.5-1 海水準変動による地質環境特性の長期変化の可能性

地質環境特性	海域（汀線付近～沖合）		陸域（汀線付近～内陸）	
	間氷期 （海面標高 0 m）	氷期 （海面標高-130 m）	間氷期 （海面標高 0 m）	氷期 （海面標高-130 m）
化学場	塩水域	淡水域	淡水域	淡水域
水理場	拡散場	移流場	移流場 （動水勾配：大）	移流場 （動水勾配：小）

5.6 まとめ

表 5.6-1 に、閉じ込め機能の観点からの検討結果を取りまとめる。

表 5.6-1 閉じ込め機能の観点からの検討結果

地質環境特性	検討結果
熱環境	・ 深度 500～1,000 m における地温は緩衝材の熱変質が懸念される 100℃を超えない（珊内川および古宇川沿いの情報に基づく）。 ・ 文献調査対象地区では南部のほうが北部に比べて相対的に地温が高い傾向にある。 ・ 北部における地温勾配の最大値（5.4℃/100 m）は、日本の地下深部に広く認められる地温勾配（3～5℃/100 m）の範囲から大きく外れていない（珊内川沿いの情報に基づく）。 ・ 南部における地温勾配の最大値（8.6℃/100 m）は、日本の地下深部に広く認められる地温勾配（3～5℃/100 m）の範囲から外れており、深い場所では留意が必要である（古宇川沿いの情報に基づく）。
水理場	・ 沿岸部としては動水勾配が比較的大きく、地下深部においても速い地下水の流れを引き起こす要因となり得ることから留意が必要である。 ・ 北部に比べて南部の動水勾配が小さい傾向にある。 ・ 岩種の水理特性を検討するためのデータが十分に得られていない。 ・ 特に文献調査対象地区に広く分布する新第三紀中新世のハイアロクラスタイトおよび先新第三系基盤岩類についてはデータがないことから、これらのデータを現地調査で取得することが必要である。
力学場	・ 岩種の変形挙動を検討するためのデータが取得されていない。 ・ 日本の地下深部に広く認められる特性として、地下深部の岩盤の長期的なクリープ変形量は設計で対応可能な範囲とされているが、現地調査でその特性を確認することが必要である。 ・ 特にハイアロクラスタイトについては、一軸圧縮強さの不均質性が高いことが示唆されるとともに、地質学的な分類から想定されるものとは異なっているため、現地調査でその特性を確認することが必要である。
化学場	・ ガラス固化体の溶解速度の増加やオーバーパックの耐食性の低下、緩衝材および天然バリアの収着能の低下が懸念されるような化学的特性を有する地下水ではない（珊内川および古宇川沿いの情報に基づく）。 ・ pH および炭酸化学種濃度の測定深度が不明であるとともに、pH と比較すると炭酸化学種濃度データの確度が低い可能性がある。 ・ ORP についてはデータが取得されていない。 ・ 日本の地下深部に広く認められる特性として、地下水は還元性雰囲気が維持されていると考えられるが、現地調査でその特性を確認することが必要である。
地質環境特性の 長期継続性	・ 海域（汀線付近～沖合）：氷期～間氷期サイクルで化学場が塩水域と淡水域に、水理場が拡散場と移流場に変化する可能性がある。 ・ 陸域（汀線付近～内陸）：氷期～間氷期サイクルで淡水域および移流場は変わらないが、地下水流動系の大局的な動水勾配は間氷期に比べて氷期のほうが小さくなる可能性がある。

第6章 地下施設の建設可能性の観点からの検討

第4章の結果に基づき、地下施設の建設可能性に関連する事項として、空洞安定性、坑内作業環境、地下施設の収容性およびそのほかの安全性に関する懸念事象に着目して検討した。

6.1 空洞安定性

4.3.1 で整理した一軸圧縮強さのデータに基づき、地層処分の対象深度のうち深度 300 m および深度 500 m を目安として、岩種区分ごとの地山強度比を算出した（表 6.1-1）。その結果、深度 300 m、深度 500 m とともに第四紀、新第三紀鮮新世および新第三紀中新世の堆積岩類、新第三紀中新世ハイアロクラスタイトの地山強度比が、表 2.1-3 に示した好ましい可能性がある範囲となる目安（地山強度比 2 以上）を下回る。

表 6.1-1 岩種区分毎の力学的特性

岩種区分		一軸圧縮強さ※1 (MPa)	地山強度比※2 (2 未満をグレー色の網掛けで示す。)	
			深度 300 m	深度 500 m
第四紀	堆積岩類	11.3	1.71	1.03
	火山岩類	—	—	—
新第三紀 鮮新世	堆積岩類	0.8	0.12	0.07
	火山岩類	26.5	3.40	2.04
	ハイアロクラスタイト	—	—	—
新第三紀 中新世	堆積岩類	6.8	1.03	0.62
	火山岩類	67.5	8.65	5.19
	ハイアロクラスタイト	10.0	1.52	0.91
	深成岩類	—	—	—
先新第三系基盤岩類 (古第三紀、中生代、古生代の火山岩類、 深成岩類、変成岩類、付加コンプレックスや 堆積岩類)		—	—	—

※1 代表値として中央値を示す。

※2 一軸圧縮強さが 25 MPa 以上の岩種を硬岩、それ未満の岩種を軟岩と設定したうえで、NUMO（2021）に基づきそれぞれの単位体積重量を 26 kN/m³ および 22 kN/m³ と仮定して算出

表 6.1-1 で算出した地山強度比を表 3.3-1 に示した文献調査対象地区の陸域・海域に分布する主な岩種ごとに、これらの主たる分布深度に合わせて整理した（表 6.1-2 および表 6.1-3）。陸域の地下 300 m 以深においては、岩盤分類基準化委員会（2004）に従うと軟岩に相当する一軸圧縮強さ 7～10 MPa 程度の岩種と、硬岩に相当する一軸圧縮強さ 68 MPa 程度の岩種が分布する。海域においては、新第三紀中新世堆積岩類が分布する場合は軟岩に相当する 7 MPa 程度、新第三紀中新世の火山岩類が分布する場合は硬岩に相当する 68 MPa 程度の一軸圧縮強さを示す。深度 300～500 m においては、これらの岩種のうち、新第三紀中新世のハイアロクラスタイトおよび堆積岩類が地山強度比 2 を下回る。なお、新第三紀中新世深成岩類および先新第三系基盤岩類については、一軸圧縮強

さのデータが得られていないため、その地山強度比は不明である。

また、主な検討対象の上部の岩種のうち、軟岩に相当する第四紀および新第三紀鮮新世の堆積岩類、新第三紀中新世ハイアロクラスタイトが深度 300 m で地山強度比 2 を下回る。

上記のように、地山強度比が 2 を下回ることが想定される岩種については、より詳細に力学的特性を検討するためのデータの取得や支保工の設置などを考慮した空洞安定性の検討が必要と考えられる。

表 6.1-2 主な検討対象となる岩種の力学的特性（地下 300 m 以深）

分布域		陸域				
岩種区分		新第三紀中新世				先新第三系 基盤岩類
		ハイアロ クラスタイト	火山岩類	堆積岩類	深成岩類	
一軸圧縮強さ※1 (MPa)		10.0	67.5	6.8	—	—
地山 強度比※2	深度 300 m	1.52	8.65	1.03	—	—
	深度 500 m	0.91	5.19	0.62	—	—

分布域		海域		
岩種区分		新第三紀中新世		先新第三系 基盤岩類
		堆積岩類	火山岩類	
一軸圧縮強さ※1 (MPa)		6.8	67.5	—
地山 強度比※2	深度 300 m	1.03	8.65	—
	深度 500 m	0.62	5.19	—

※1 代表値として中央値を示す。

※2 地山強度比 2 未満をグレー色の網掛けで示す。

表 6.1-3 主な検討対象の上部の岩種の力学的特性（地下 300 m 以浅）

分布域		陸域			海域		
岩種区分		第四紀		新第三紀 中新世	第四紀	新第三紀鮮新世	
		堆積岩類	火山岩類	ハイアロ クラスタイト	堆積岩類	堆積岩類	火山岩類
一軸圧縮強さ※1 (MPa)		11.3	—	10.0	11.3	0.8	26.5
地山 強度比※2	深度 300 m	1.71	—	1.52	1.71	0.12	3.40

※1 代表値として中央値を示す。

※2 地山強度比 2 未満をグレー色の網掛けで示す。

6.2 坑内作業環境（地温）

4.3.2 に示したとおり、文献調査対象地区は地温が高い傾向にある地域であり、相対的に地温が低い北部では深度 700 m より深い場所で、相対的に地温が高い南部では深度 400 m より深い場所で、地温が 45℃を超えることが想定され、坑内を法令（労働安全衛生規則）で定められる温度（37℃）以下に維持するためには大規模な冷房設備などの対策が必要となる。

6.3 地下施設の収容性

3.3 に示すとおり、文献調査対象地区における陸域の地下 300 m 以深には先新第三系基盤岩類に相当する珎内層や新第三紀中新世の火山岩類、ハイアロクラスタイトおよび堆積岩類に相当する豊浜層、古宇川層および古平層が数 km² 程度以上の広がりをもって分布する。また、海域の海底下 300 m 以深には先新第三系基盤岩類に相当するⅦ層、新第三紀中新世の堆積岩類（または火山岩類）に相当するⅥ層が数 km² 程度以上の広がりをもって分布する。これらの地層・岩体を母岩とすることで、約 4～12 km² の占有面積（NUMO, 2021）と想定される地下施設の収容が可能と考えられる。

6.4 そのほかの安全性に関する懸念事象

4.3.3 で整理したそのほかの安全性の懸念事象に関する特性に基づき、トンネル標準示方書（土木学会, 2016）に示された特殊な地山条件について検討したが、以下に示すように、文献調査対象地区では関連する特性が一部みられるものの、必ずしも特殊な地山条件に相当する特性は確認されなかった。

（1）地すべりや斜面災害の可能性がある地山

4.3.3 (1) に示したとおり、文献調査対象地区の地表付近では大規模な地すべりが多い。最終処分を行おうとする地下 300 m 以深まで及ぶと考えられる規模ではないものの、崩壊規模 100 m³ 以上の岩盤崩壊が複数確認されている。また、同地区の周辺地域でトンネルの岩盤崩落が報告されているため、トンネル標準示方書（土木学会, 2016）に示されるとおり、地表付近での地下施設の建設においては地すべりや斜面崩壊について留意が必要である。

（2）断層破碎帯、褶曲じょう乱帯

4.3.3 (3) に示したとおり、文献調査対象地区においては特に留意すべき断層および褶曲は確認されておらず、トンネル標準示方書（土木学会, 2016）に示された「幅の広い破碎帯を伴った断層」に相当するものはない。

（3）未固結・膨張性地山、山はねが予想される地山

4.3.3 (2) に示したとおり、文献調査対象地区は標高の高い山地が多く、地下施設の土被りが 1,000 m 程度に及ぶ可能性がある。その場合は、土被りだけに着目すると、トンネル標準示方書（土木学会, 2016）に示された山はねの発生事例にみられる大きな土被りに相当する。

4.3.3 (4) に示したとおり、文献調査対象地区の陸域には地表付近の岩盤崩落が懸念されるハイアロクラスタイトを含む火砕岩類が広く分布する。また、同地区の海域においては、第四紀の未固結堆積物が神恵内湾西方の大陸棚外縁付近における海底下 300 m 以深に分布する可能性がある。これらについては、トンネル標準示方書（土木学会, 2016）に示された未固結地山や膨張性地山に相当

するかどうかは不明である。

(4) 高い地熱、温泉、有害ガス、地下資源などがある地山

4.3.3 (5) に示したとおり、文献調査対象地区にはいくつかの熱水鉱床があるとともに、同地区の北部には温泉があり、南部は地熱資源賦存地域とされているが、トンネル標準示方書（土木学会，2016）に示された「熱水変質帯，破碎帯，貫入岩および石油，石炭の胚胎層のような地山」に相当するかどうかは不明である。

4.3.3 (6) に示したとおり、文献調査対象地区南部には神恵内鉱山などの鉱床があるため、坑道掘削時に掘削土に含まれる鉛などの重金属に留意する必要がある。

(5) 高圧、多量の湧水がある地山

4.3.3 (7) に示したとおり、文献調査対象地区においては特に留意すべき大規模な被圧帯水層ではなく、トンネル標準示方書（土木学会，2016）に示された高圧で多量の湧水が突然生じることがある「断層粘土でしゃ断された地下水，火山碎屑物等の未固結層に含まれる多量の地下水，節理や亀裂等に含まれた裂か水（開口した割れ目に賦存する地下水），石灰石や溶岩等の空洞に含まれる洞窟水等」に相当するものはない。

6.5 まとめ

表 6.5-1 に地下施設の建設可能性の観点からの検討結果を取りまとめる。

表 6.5-1 地下施設の建設可能性の観点からの検討結果

検討項目	検討結果
空洞安定性	・ 空洞安定性を検討するためのデータが十分に得られていない。 ・ 主な検討対象となる岩種のうち、地山強度比が2を下回ることが想定される新第三紀中新世の堆積岩類およびハイアロクラスタイトについては、より詳細に力学的特性を検討するためのデータの取得や支保工の設置などを考慮した空洞安定性の検討が必要である。 ・ 主な検討対象上部の岩種のうち、地山強度比が2を下回ることが想定される第四紀および新第三紀鮮新世の堆積岩類、新第三紀中新世ハイアロクラスタイトについては、より詳細に力学的特性を検討するためのデータの取得や支保工の設置などを考慮した空洞安定性の検討が必要である。
坑内作業環境 (地温)	・ 相対的に地温が低い北部において、700 m 程度以深で地下施設を建設する場合には、高い地温による坑内の気温上昇を防ぐための対策が必要である。 ・ 相対的に地温が高い南部において、400 m 程度以深で地下施設を建設する場合には、高い地温による坑内の気温上昇を防ぐための対策が必要である。
地下施設の 収容性	・ 陸域の地下 300 m 以深に広く分布する珊内層（先新第三系基盤岩類に相当）、豊浜層、古宇川層および古平層（新第三紀中新世の火山岩類、ハイアロクラスタイトおよび堆積岩類に相当）を母岩とすることで地下施設の収容は可能である。 ・ 海域の海底下 300 m 以深に広く分布するⅦ層（先新第三系基盤岩類に相当）、Ⅵ層（新第三紀中新世堆積岩類（または火山岩類）に相当）を母岩とすることで地下施設の収容は可能である。
そのほかの安全性 に関する懸念事象	・ 以下のような関連する特性が一部みられるものの、必ずしもトンネル標準示方書（土木学会、2016）に示された特殊な地山条件に相当する特性は確認されなかった。 ・ 地すべりや斜面災害の可能性のある地山に関連する特性：地すべり地形 ・ 未固結地山に関連する特性：第四紀の未固結堆積物 ・ 山はねが予想される地山に関連する特性：大きな土被り ・ 地下資源などがある地山に関連する特性：鉛などの重金属

第7章 地下施設設置場所として適切ではない場所の回避やより好ましい場所の選択

7.1 地下施設設置場所に係る検討

文献調査対象地区における地下施設設置場所に係る検討として、同地区の主な検討対象となる岩種の分布や地質環境特性の違いといった地域的な特徴に基づき、閉じ込め機能および地下施設の建設可能性の観点からの検討結果を整理した（表 7.1-1）。陸域については、地温および動水勾配の違いに着目し、珊内川が流れる北部地域と古宇川が流れる南部地域に区分した。海域については、海底下 300 m 以深に分布する主な検討対象となる岩種の違いに着目し、先新第三系基盤岩類が分布する北部地域と、それが分布しない南部地域に区分した。

この検討結果から、概要調査地区選定段階（文献調査の段階）では文献調査対象地区の陸域および海域ともに地下施設設置場所として適切ではない場所となり得る情報はない。同地区内で取得された情報は、珊内川と古宇川沿いにおける地温、地下水の pH、炭酸化学種濃度および一部の岩種の一軸圧縮強さのみで、地下深部の地質環境特性に関する情報がほとんど得られていない。また、周辺の同種岩盤の情報も限られたものであり、地下施設設置場所としてより好ましい場所を選択するための検討には至らなかった。

表 7.1-1 技術的観点からの地下施設設置場所に係る検討結果

		陸域		海域	
		北部地域（珊内川周辺）	南部地域（古宇川周辺）	北部地域	南部地域
地質条件	主な検討対象となる岩種	・新第三紀中新世：堆積岩類（Fuatb）、ハイアロクラスタイト（Tah）、火山岩類（Fga） ・先新第三系基盤岩類（Sn, Gd）	・新第三紀中新世：堆積岩類（Furtb, Flatb, Fuatb）、ハイアロクラスタイト（Tah）、火山岩類（Fuaa）	・新第三紀中新世：堆積岩類・火山岩類（Ⅵ層） ・先新第三系基盤岩類（Ⅶ層）	・新第三紀中新世：堆積岩類・火山岩類（Ⅵ層）
	主な検討対象の上部の岩種	・第四紀：堆積岩類（tl）、火山岩類（Sha） ・新第三紀中新世：ハイアロクラスタイト（Tdh）	（特に分布なし）	・第四紀堆積岩類（Ⅳ層） ・新第三紀鮮新世：堆積岩類・火山岩類（Ⅴ層）	
閉じ込め機能の観点	熱環境	・1,000 m 以浅では、地下施設設置場所として好ましい可能性がある範囲（閉じ込め機能の観点からの目安：100℃未満）を超える地温は測定されていない。	・地温勾配：相対的に高く、日本の地下深部に広く認められる範囲（3～5℃/100 m）から外れており、深い場所では留意が必要である。【閉じ込め機能の観点から留意すべき事項】	（情報なし）	
		・地温勾配：相対的に低く、日本の地下深部に広く認められる範囲（3～5℃/100 m）から大きく外れていない。			
	水理場	・岩種の水理特性を検討するために必要な透水係数のデータが十分に得られていない（文献調査対象地区で取得されたデータなし）。 ・特に文献調査対象地区に広く分布する新第三紀中新世ハイアロクラスタイトおよび先新第三系基盤岩類についてはデータがないことから、これらのデータを現地調査で取得することが必要である。【地質環境特性データ取得の観点から留意すべき事項として考慮】		（情報なし）	
		・沿岸部としては動水勾配が比較的大きく、地下深部においても速い地下水の流れを引き起こす要因となり得ることから留意が必要である。【閉じ込め機能の観点から留意すべき事項】			
		・動水勾配：相対的に大きい。	・動水勾配：相対的に小さい。		
	力学場	・文献調査対象地区および周辺の同種岩盤ともに取得されたクリープ変形量のデータなし。 ・日本の地下深部に広く認められる特性として、地下深部の岩盤の長期的なクリープ変形量は設計で対応可能な範囲とされているが、現地調査でその特性を確認することが必要である。 ・特にハイアロクラスタイトについては、一軸圧縮強さの不均質性が高いことが示唆されるとともに、地質学的な分類から想定されるものとは異なっているため、現地調査でその特性を確認することが必要である。【地質環境特性データ取得の観点から留意すべき事項として考慮】			
	化学場	・測定深度は不明であるが、地下施設設置場所として好ましい可能性がある範囲（pH の目安：4.8～12 程度、炭酸化学種濃度の目安：0.5 mol/dm ³ 未満）を超える pH および炭酸化学種濃度は測定されていない。 ・pH と比較すると炭酸化学種濃度データの確度が低い。 ・ORP については、データが取得されていない。 ・日本の地下深部に広く認められる特性として、地下水は還元性雰囲気が維持されていると考えられるが、現地調査でその特性を確認することが必要である。		（情報なし）	
		・pH および炭酸化学種濃度：相対的に低い。	・pH および炭酸化学種濃度：相対的に高い。		
	地質環境特性の長期継続性	・海水準変動によって動水勾配が変化する（淡水域・移流場は継続）。		・海水準変動によって化学場が塩水域と淡水域、水理場が拡散場と移流場に変化する可能性がある。	
地下施設の建設可能性の観点	空洞安定性	・空洞安定性を検討するために必要な一軸圧縮強さのデータが十分に得られていない（文献調査対象地区で取得されたデータあり）。 ・主な検討対象となる岩種のうち、地山強度比が 2 を下回ることが想定される新第三紀中新世の堆積岩類およびハイアロクラスタイトについては、より詳細に力学的特性を検討するためのデータの取得【地質環境特性データ取得の観点から留意すべき事項として考慮】や支保工の設置などを考慮した空洞安定性の検討が必要である。 ・主な検討対象上部の岩種のうち、地山強度比が 2 を下回ることが想定される第四紀および新第三紀鮮新世の堆積岩類、ならびに新第三紀中新世ハイアロクラスタイトについては、より詳細に力学的特性を検討するためのデータの取得【地質環境特性データ取得の観点から留意すべき事項として考慮】や支保工の設置などを考慮した空洞安定性の検討が必要である。			
	坑内作業環境（地温）	・地下施設設置場所として好ましい可能性がある範囲（地下施設の建設可能性の観点からの目安：45℃未満）を超える 700 m 程度以深で地下施設を建設する場合には、高い地温による坑内の気温上昇を防ぐための対策が必要である。【地下施設の建設可能性の観点から留意すべき事項】	・地下施設設置場所として好ましい可能性がある範囲（地下施設の建設可能性の観点からの目安：45℃未満）を超える 400 m 程度以深で地下施設を建設する場合には、高い地温による坑内の気温上昇を防ぐための対策が必要である。【地下施設の建設可能性の観点から留意すべき事項】	（情報なし）	
	地下施設の収容性	・地下 300 m 以深に広く分布する珊内層（先新第三系基盤岩類に相当）、豊浜層、古宇川層および古平層（新第三紀中新世の火山岩類、ハイアロクラスタイトおよび堆積岩類に相当）を母岩とすることで地下施設の収容は可能である。			
	その他の安全性に関する懸念事象	・地すべり地形、大きな土被りおよび鉛などの重金属といった関連する特性が一部みられるものの、必ずしもトンネル標準示方書（土木学会、2016）に示された特殊な地山条件に相当する特性は確認されなかった。		・未固結地山に関連する特性（第四紀の未固結堆積物）が一部みられるものの、必ずしもトンネル標準示方書（土木学会、2016）に示された特殊な地山条件に相当する特性は確認されなかった。	

※ 閉じ込め機能および地下施設の建設可能性の観点から留意すべき事項として抽出した項目を赤字、現地調査における地質環境特性データ取得の観点から留意すべき事項として考慮した項目を青字で表示

7.2 概要調査に向けた考え方

表 7.1-1 に示す検討結果からは、文献調査対象地区における地下深部の地質環境特性の情報が少ないながらも、いくつかの検討項目について表 2.1-2 および表 2.1-3 に示した「好ましい地質環境特性」から外れる傾向が推察されたため、それらを閉じ込め機能および地下施設の建設可能性の観点からの留意事項として抽出した（表 7.2-1）。閉じ込め機能の観点からは、熱環境として「深い場所での高い地温」と、水理場として地下深部の速い地下水の流れを引き起こす要因となり得る「地形から推定される比較的大きい動水勾配」が留意すべき事項として挙げられる。地下施設の建設可能性の観点からは地温勾配が高い傾向にあることから、「坑内作業環境の維持対策における深い場所での高い地温」が留意すべき事項として挙げられる。

また、閉じ込め機能と地下施設の建設可能性の観点とは別に、概要調査以降の現地調査を実施する場合において、現地調査における地質環境特性データ取得の観点から留意すべき事項を抽出した（表 7.2-1）。4.3.1 で述べたとおり、ハイレオクラスタイトの力学的特性は高い不均質性を有することが示唆されるとともに、地質学的な分類（新第三紀・先新第三紀火山岩類）から想定される物性値とは異なる。さらに、ハイレオクラスタイトに関しては4.2.2 に示したとおり、透水係数のデータが得られていないことから既往データに限られているといえる。これらのことから、「岩相変化が著しく、高い不均質性を有することが想定されるハイレオクラスタイトを含む海底火山噴出物など（各岩相の分布と特性の把握）」が、現地調査における地質環境特性データ取得の観点から留意すべき事項として挙げられる。

概要調査には、調査事項として「岩石の種類及び性状」および「破碎帯又は地下水の水流があるときはその概要」、評価事項として「坑道の掘削への支障」および「活断層、破碎帯、地下水の水流による地下施設への悪影響」の要件があり、上述した技術的観点からの検討の地質環境特性に関する留意事項は、この中でも扱っていく。「坑道の掘削への支障」および「活断層、破碎帯、地下水の水流による地下施設への悪影響」がないように、「最終処分を行おうとする地層及びその周辺の地層」（以下、対象地層等という。）を選ぶことから、個別の地層や岩体を対象地層等からの距離などに応じて詳細度を変えて調査・評価を行うことを検討する。調査・評価の結果として、「坑道の掘削への支障」や「活断層、破碎帯、地下水の水流による地下施設への悪影響」は、対象地層等から除外する。

文献調査では、文献調査対象地区における熱環境、水理場、力学場および化学場を検討するための地質環境特性データがほとんど取得されていない。そのため、概要調査においては、説明書「地形、地質・地質構造」にて取りまとめた地表地質図、推定地質断面図などを踏まえて、最初に物理探査により地下の物性（岩盤の硬さを示す地震波が伝わる速さなど）分布の概要を比較的大範囲で把握する。次に、着目する対象地層等においてボーリング調査を実施し、岩相の分布を直接確認するとともに、ボーリング孔を用いた原位置試験および岩石試料を用いた室内試験により、岩盤の硬さや透水性などを詳しく調べるといった段階的かつ効果的な調査を行い、空洞安定性や施工性などの地下施設の建設可能性、地下水流動などの閉じ込め機能の評価を行う。ハイレオクラスタイトなどの不均質性については、ボーリング調査で確認した岩相分布に応じてデータを取得するなどして、適切に対応する。

調査・評価手法をまとめたものとして、原子力規制委員会（2021）、産業技術総合研究所深部地質環境研究センター編（2007）、産業技術総合研究所深部地質環境研究コア編（2012）、トンネル標準示方書（土木学会、2016）、既往の事例として瑞浪超深地層研究所、幌延深地層研究センターにおけ

る調査・研究成果，一般の大深度のトンネル建設事例などを参照する。

表 7.2-1 概要調査以降の調査を実施する場合に留意すべき事項

	留意すべき事項
閉じ込め機能の観点	・ 深い場所での高い地温 ・ 地形から推定される比較的大きい動水勾配
地下施設の建設可能性の観点	・ 坑内作業環境の維持対策における深い場所での高い地温
現地調査における地質環境特性 データ取得の観点	・ 岩相変化が著しく，高い不均質性を有することが想定される ハイアロクラスタイトを含む海底火山噴出物など(各岩相の分布と特性の把握)

引用文献

- 地下水の科学研究会（1996）地下水の科学Ⅲ—地下水と地質—，土木工学社。
- 土木学会（2016）トンネル標準示方書〔共通編〕・同解説／〔山岳工法編〕・同解説。
- 藤本和徳，竹林 勇，鈴木豊重（1979）神恵内村温泉試すい調査報告，地下資源調査所報告，51，pp. 63-72.
- 藤本和徳，高橋徹哉，鈴木隆広編（2004）北海道市町村の地熱・温泉ボーリングデータ集，北海道立地質研究所。
- 岩盤分類基準化委員会（2004）新規制定地盤工学会基準・同解説 岩盤の工学的分類方法（JGS3811 - 2004），地盤工学会。
- 原子力発電環境整備機構（NUMO）（2020）北海道古宇郡神恵内村 文献調査計画書。
- 原子力発電環境整備機構（NUMO）（2021）包括的技術報告：わが国における安全な地層処分の実現—適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築—，NUMO-TR-20-01.
- 原子力規制委員会（2021）第二種廃棄物埋設の廃棄物埋設地に関する審査ガイド（最終改正：令和4年4月20日）。
- 北海道電力（2015）泊発電所の発電用原子炉設置変更許可申請書（3号発電用原子炉施設の変更）。
- 北海道電力（2017）：第491回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合（2017年7月28日開催）。
- 北海道日本海沿岸における大規模岩盤崩落検討委員会（2000）北海道日本海沿岸における大規模岩盤崩落検討委員会報告書。
- 核燃料サイクル開発機構（1999）わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ—分冊1 わが国の地質環境，JNC TN1400 99-021，p. III-28.
- 環境庁（1991）土壌の汚染に係る環境基準について，<https://www.env.go.jp/kijun/dojou.html>，2023年10月26日閲覧。
- 経済産業省資源エネルギー庁（2023）文献調査段階の評価の考え方。
- 国土地理院：地理院地図（電子国土Web），<https://maps.gsi.go.jp/>，2023年8月8日閲覧。
- 国土地理院：地理院タイル，<https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>，2023年8月21日閲覧。
- 国土交通省：国土数値情報（行政区画データ），<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>，2023年8月18日閲覧。
- 国土交通省：国土数値情報（海岸線データ），<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>，2023年8月18日閲覧。
- 中谷真英，梅田克史，鈴木晴美，諏訪 至（2019）山岳トンネルの斜坑・本坑交差部における設計・施工について，西松建設技報，42.
- 日本地質学会編（2010）日本地方地質誌1（北海道地方），朝倉書店。
- 日本水路協会（2008）海底地形デジタルデータ（M7009 Ver.2.0 北海道西部）CD-ROM版。
- 岡崎健治，伊東佳彦，馬場道隆（2008）トンネル地山の岩種に応じた地山分類指標に関する検討—北海道の国道トンネルにおける施工計測データの分析事例—，平成19年度技術研究発表会，寒地土木研究所。

- Okuno, J., Nakada, M., Ishii, M., Miura, H. (2014) Vertical tectonic crustal movements along the Japanese coastlines inferred from late Quaternary and recent relative sea-level changes, *Quaternary Science Reviews*, 91, pp. 42–61.
- 坂川幸洋, 梅田浩司, 鈴木元孝, 梶原竜哉, 内田洋平 (2004) 日本の坑井温度プロファイルデータベース, 地震 第2輯, 57, 1, pp. 63–67.
- 酒匂純俊, 和気 徹, 早川福利, 二間瀬 洸, 横山英二, 松波武雄, 斉藤尚志, 内田 豊 (1977) 北海道の地熱・温泉 (B) 西南北海道北部, 地下資源調査所調査研究報告, 4.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター: 地熱情報データベース (GRES-DB), <https://gbank.gsj.jp/gres-db/>, 2023 年 7 月 27 日閲覧.
- 産業技術総合研究所深部地質環境研究センター編 (2007) 概要調査の調査・評価項目に関する技術資料—長期変動と地質環境の科学的知見と調査の進め方—, 地質調査総合センター研究資料集, 459.
- 産業技術総合研究所深部地質環境研究コア編 (2012) 概要調査の調査・評価項目に関する技術資料—立地要件への適合性とその根拠となる調査結果の妥当性—, 地質調査総合センター研究資料集, 560.
- 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 地層処分技術 WG (2014) 最新の科学的知見に基づく地層処分技術の再評価—地質環境特性および地質環境の長期安定性について—.
- 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 地層処分技術 WG (2017) 地層処分に関する地域の科学的な特性の提示に係る要件・基準の検討結果 (地層処分技術 WG とりまとめ) .
- Spratt, R.M., and Lisiecki, L.E. (2016) A Late Pleistocene sea level stack, *Climate of the Past*, 12, pp. 1079–1092.
- 鈴木豊重, 川森博史, 高橋徹哉, 大津 直, 鈴木隆広, 藤本和徳編 (1995) 北海道市町村の地熱・温泉ボーリング—地域エネルギー開発利用施設整備事業— (昭和 55 年度～平成 5 年度), 北海道立地下資源調査所.
- 高見雅三, 鈴木隆広, 高橋徹哉, 柴田智郎, 小澤 聡, 藤本和徳, 秋田藤夫 (2008) 北海道地熱・温泉ボーリング井データ集および索引図 (統合版), 北海道立地質研究所.
- 玉生志郎, 松波武雄, 金原啓司, 川村政和, 駒澤正夫, 高橋正明, 阪口圭一 (2001) 50 万分の 1 札幌地熱資源図及び同説明書, 特殊地質図, 31-4, 地質調査所.
- 田中明子, 濱元栄起, 山野 誠, 後藤秀作 (2019) 日本列島及びその周辺域の熱データベース, https://www.gsj.jp/Map/JP/docs/jm100_doc/jm_geothermal-db.html, 2022 年 5 月 11 日閲覧.
- 通商産業省資源エネルギー庁 (1985) 昭和 59 年度 広域調査報告書 積丹地域.
- 通商産業省資源エネルギー庁 (1988) 昭和 62 年度 広域地質構造調査報告書 積丹地域.
- 通商産業省資源エネルギー庁 (1989) 昭和 63 年度 広域地質構造調査報告書 積丹地域.
- 若浜 洋, 秋田藤夫, 松波武雄 (1995) 北海道地温勾配図及び説明書, 60 万分の 1 地質図, 北海道立地下資源調査所.
- 山岸宏光 (1994) 水中火山岩 アトラスと用語解説, 北海道大学出版会.
- 米田哲朗, 林 謙二, ダカール・ゴネス, 柏谷公希, 金子勝比古 (2002) 北海道積丹半島における火砕岩の特性と岩盤崩壊の要因について, *Landslides -Journal of the Japan Landslide Society*, 39, 1, pp. 14–21.

添付資料 A 岩種区分毎の地質環境特性（透水係数）

表 A-1 および図 A-1 に岩種区分ごとに整理した透水係数を示す。また、透水係数のデータ抽出に用いた文献を表 A-2 に示す。データ整理に当たっては、各岩種の地質環境特性の代表値のみではなく、ばらつきを確認することとして、収集した数値データの統計処理を行い、平均値、最小値、最大値、四分位数（25%値、50%値（中央値）、75%値）を算出した。図 A-1 は数値データの統計処理結果を箱ひげ図としてプロットしたものである。

なお、新第三紀鮮新世および中新世のハイアロクラスタイト、新第三紀中新世深成岩類、先新第三系基盤岩類に該当するデータは収集できなかった。

透水係数の整理結果の概要を以下に示す。

- ・ 第四紀堆積岩類の透水係数は対数平均値が 3.8×10^{-5} m/s 程度、中央値が 5.0×10^{-5} m/s 程度であり、25%値から 75%値のばらつきは 1～2 オーダー程度である。
- ・ 第四紀火山岩類の透水係数は収集データ数が 3 点であるため代表値やばらつきとしての不確実性は高いが、対数平均値が 1.2×10^{-4} m/s 程度、中央値が 2.9×10^{-5} m/s 程度であり、25%値から 75%値のばらつきは 1 オーダー程度である。
- ・ 新第三紀鮮新世堆積岩類の透水係数は対数平均値が 3.3×10^{-6} m/s 程度、中央値が 3.0×10^{-6} m/s 程度であり、25%値から 75%値のばらつきは 1 オーダー程度である。
- ・ 新第三紀鮮新世火山岩類の透水係数は収集データ数が 2 点のみであるため代表値やばらつきとしての不確実性は高いが、対数平均値と中央値がともに 3.2×10^{-6} m/s 程度であり、25%値から 75%値のばらつきは 1 オーダー以下である。
- ・ 新第三紀中新世堆積岩類の透水係数は対数平均値が 1.2×10^{-7} m/s 程度、中央値が 8.2×10^{-8} m/s 程度であり、25%値から 75%値のばらつきは 1 オーダー程度である。
- ・ 新第三紀中新世火山岩類の透水係数は対数平均値が 1.7×10^{-7} m/s 程度、中央値が 3.0×10^{-7} m/s 程度であり、25%値から 75%値のばらつきは 2 オーダー程度である。

表 A-1 岩種区分毎の地質環境特性（透水係数）

（単位：m/s）

岩種区分	第四紀 堆積岩類	第四紀 火山岩類	新第三紀鮮新世		
			堆積岩類	火山岩類	ハイアロ クラスタイト
データ数（件）	71	3	21	2	該当データなし
対数平均値	3.8×10^{-5}	1.2×10^{-4}	3.3×10^{-6}	3.2×10^{-6}	—
最小値	1.0×10^{-7}	2.0×10^{-5}	1.0×10^{-9}	1.0×10^{-6}	—
第1四分位数 (25%値)	5.1×10^{-6}	2.4×10^{-5}	1.0×10^{-6}	1.8×10^{-6}	—
中央値 (50%値)	5.0×10^{-5}	2.9×10^{-5}	3.0×10^{-6}	3.2×10^{-6}	—
第3四分位数 (75%値)	1.8×10^{-4}	2.9×10^{-4}	2.1×10^{-5}	5.6×10^{-6}	—
最大値	1.0×10^{-1}	3.0×10^{-3}	1.9×10^{-4}	1.0×10^{-5}	—

岩種区分	新第三紀中新世				先新第三系 基盤岩類
	堆積岩類	火山岩類	ハイアロ クラスタイト	深成岩類	
データ数（件）	21	16	該当データ なし	該当データ なし	該当データ なし
対数平均値	1.2×10^{-7}	1.7×10^{-7}	—	—	—
最小値	3.2×10^{-9}	4.2×10^{-10}	—	—	—
第1四分位数 (25%値)	4.0×10^{-8}	1.5×10^{-8}	—	—	—
中央値 (50%値)	8.2×10^{-8}	3.0×10^{-7}	—	—	—
第3四分位数 (75%値)	7.0×10^{-7}	1.4×10^{-6}	—	—	—
最大値	3.4×10^{-5}	5.7×10^{-6}	—	—	—

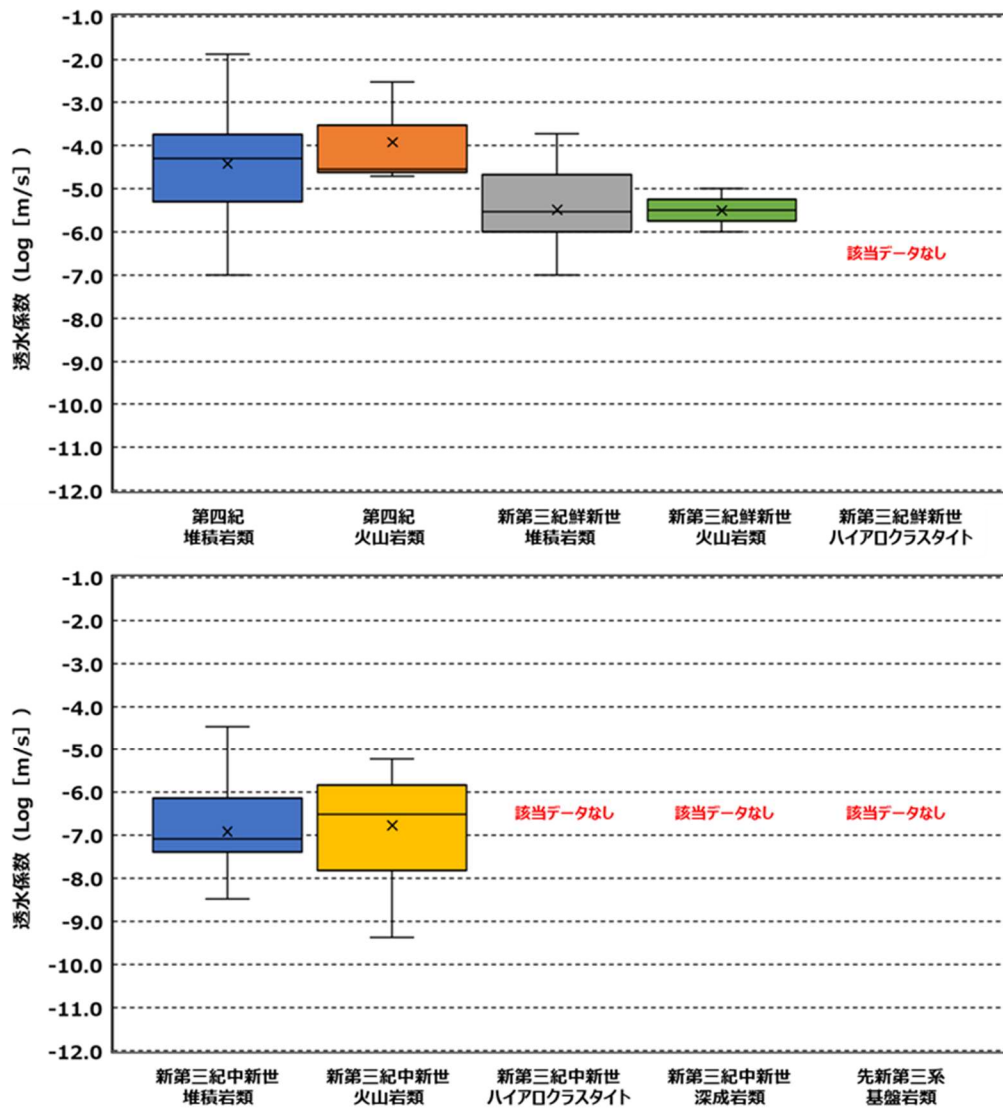


図 A-1 岩種区分毎の地質環境特性（透水係数）

数値データの統計処理結果を箱ひげ図で表示。箱の上下端は第 3 四分位（75%値）および第 1 四分位（25%値）、箱内のバーは 50%値（中央値）を示す。ひげの上下端は最大値（75%値+1.5×四分位範囲（25%値から 75%値の範囲）より小さい値の最大の値）および最小値（25%値-1.5×四分位範囲（25%値から 75%値の範囲）より大きい値の最小の値）、図中の×印は対数平均値を示す。外れ値（データの中で極端にほかの値から離れている値）は表示しない。

表 A-2 透水係数のデータ抽出に用いた文献

No.	著者	発表年	文献タイトル	掲載雑誌など
1	赤井公昭, 辻本有一, 佐久間彰三, 半澤武志	1984	支笏火山灰層における鋼管杭の支持力 機構	土と基礎, 32, 3, pp. 41– 46
2	秋山忠禧, 村上 昇	1971	札幌市の地下鉄における話題と問題点	トンネルと地下, 2, 2, pp. 145–157
3	秋山忠禧	1981	札幌市地下鉄東豊線の計画	トンネルと地下, 12, 5, pp. 365–370
4	秋山忠禧, 若原嗣男	1983	札幌市地下鉄3号線建設計画の概要	土木施工, 24, 1, pp. 29– 37
5	秋山忠禧, 風間国男, 藤田啓志	1986	札幌市地下鉄初のシールド工事—2～3 号連絡線工区—	トンネルと地下, 17, 3, pp. 205–213
6	深見浩司	1993	上磯町三ツ石地区地下水調査報告	地下資源調査所調査研 究報告, 65, pp. 139–140
7	林 要一, 中川 進, 本田裕夫, 白石文雄	1984	札幌地下鉄でのCBモルタル充填式土止 め壁	基礎工, 12, 4, pp. 57– 64
8	林 要一, 藤田啓志, 高橋 章	1990	玉石混じり砂礫層で泥土圧シールドと NATMを計画—延伸工事—	トンネルと地下, 21, 8, pp. 603–610
9	広沢経夫	1982	地熱開発調査の地域レポート[16]豊羽定 山溪地域	地熱エネルギー, 7, 3, pp. 16–38
10	池田光良, 瀧 正博	2007	北海道トキサタマップ湿原の保全対策 工	土と基礎, 55, 8, pp. 24– 27
11	木村充宏, 中田隆文, 宮浦征宏, 横浜勝司	2011	火山灰質地盤の原位置透水係数の細粒 分含有率依存性	土木学会第66回年次学 術講演会講演概要集, III, pp. 397–398
12	工藤伸司	1984	架道橋新設に伴う被圧水対策—千歳線 島松架道橋—	鉄道土木, 26, 1, pp. 29– 33
13	松本徳久, 山口嘉一, 田原則雄	1991	ダム基礎軟岩のパイピング抵抗性	第23回岩盤力学に關す るシンポジウム講演論 文集, pp. 247–251
14	弥勒院輝明, 佐藤靖 郎, 大鶴徳雄	1990	ピリカ発電所放水路トンネルの設計・施 工について	電力土木, 224, pp. 48– 58
15	宮浦征宏, 中田隆文, 木村充宏, 横浜勝司	2010	細粒分含有量を考慮した火山灰地盤の 透水係数の合理的判定手法	土木学会第65回年次学 術講演会講演概要集, III, pp. 257–258
16	持田 豊	1978	青函トンネルにおける注入	土と基礎, 26, 8, pp. 35– 45
17	森 繁	1985	双葉ダム(アスファルトコンクリート遮 水壁)の設計と施工	月刊ダム日本, 492, pp. 39–55
18	長沢大雄, 林 輝夫	1979	凝灰岩基礎上のロックフィルダム建設< 漁川ダム・特に基礎調査について>	月刊ダム日本, 412, pp. 11–48
19	西口重男, 池内憲造, 鳥山忠次, 飯塚友之助	1989	ボアホールスキャナー	基礎工, 17, 10, pp. 78– 82
20	野坂隆一, 石原 勝, 佐藤謙二, 田口史雄	1989	白鳥大橋の主塔基礎に利用した地中連 続壁	基礎工, 17, 1, pp. 56– 61
21	小原常弘	1992	地質系統と水理定数・水質—北海道の畑 作振興深層地下水調査から—	地下資源調査所調査研 究報告, 21
22	佐藤宣男, 鈴木忠浩, 唐牛義夫, 川辺正道	1981	札幌市下水道 地下推進工事における水 平薬液注入—国鉄函館本線横断部分—	土木施工, 22, 9, pp. 11– 20
23	高波 要, 岩佐正己, 山本年男, 澤木 實	1977	江別市公共下水道第3工区雨水幹線シ ールド工事	土木施工, 18, 9, pp. 11– 16
24	山添誠隆, 三田地利之	2007	真空圧密工法を適用した泥炭地盤の有 限変形弾塑性FEM解析	土木学会論文集C, 63, 4, pp. 1113–1131
25	吉岡利春, 木元福造, 石戸谷俊二	1986	パイプラーフ工法による線路下横断の 施工例	基礎工, 14, 2, pp. 102– 108

添付資料 B 岩種区分毎の地質環境特性（一軸圧縮強さ）

表 B-1 および図 B-1 に岩種区分ごとに整理した一軸圧縮強さを示す。また、一軸圧縮強さのデータ抽出に用いた文献を表 B-3 に示す。データ整理に当たっては、各岩種の地質環境特性の代表値のみではなく、ばらつきを確認することとして収集した数値データの統計処理を行い、平均値、最小値、最大値、四分位数（25%値、50%値（中央値）、75%値）を算出した。図 B-1 は数値データの統計処理結果を箱ひげ図としてプロットしたものである。

新第三紀中新世の堆積岩類およびハイアロクラスタイトについては、文献調査対象地区のデータを収集することができた。なお、第四紀火山岩類、新第三紀鮮新世ハイアロクラスタイト、新第三紀中新世深成岩類および先第三系基盤岩類に該当するデータは収集できなかった。

一軸圧縮強さの整理結果の概要を以下に示す。

- ・ 第四紀堆積岩類の一軸圧縮強さは平均値が 20.1 MPa 程度、中央値が 11.3 MPa 程度であり、25%値から 75%値のばらつきは 20 MPa 程度である。
- ・ 新第三紀鮮新世堆積岩類の一軸圧縮強さは平均値が 2.1 MPa 程度、中央値が 0.8 MPa 程度であり、25%値から 75%値のばらつきは 0.5 MPa 程度である。
- ・ 新第三紀鮮新世火山岩類の一軸圧縮強さは収集データ 6 点の試験結果が同一であるため、ばらつきは不明であるが、その代表値は 26.5 MPa 程度である。
- ・ 新第三紀中新世堆積岩類の一軸圧縮強さは平均値が 19.8 MPa 程度、中央値が 6.8 MPa 程度であり、25%値から 75%値のばらつきは 20 MPa 程度である。
- ・ 新第三紀中新世火山岩類の一軸圧縮強さは平均値が 76.5 MPa 程度、中央値が 67.5 MPa 程度であり、25%値から 75%値のばらつきは 70 MPa 程度である。
- ・ 新第三紀中新世ハイアロクラスタイトの一軸圧縮強さは平均値が 35.1 MPa、中央値が 10.0 MPa 程度であり、25%値から 75%値のばらつきは 15 MPa 程度である。

また、表 B-2 に示す文献調査対象地区で取得された一軸圧縮強さのデータと同地区周辺の同種岩盤のデータとの比較を行った（図 B-2 および図 B-3）。

- ・ 文献調査対象地区で取得された新第三紀中新世堆積岩類の一軸圧縮強さは平均値および中央値ともに 1.4 MPa 程度、25%値から 75%値のばらつきは 1 MPa 程度であり、同地区周辺で取得された一軸圧縮強さ（平均値：20.3 MPa 程度、中央値：7.4 MPa 程度）に比べて低い傾向にある。文献調査対象地区で取得されたデータ数は 2 点のみであり、代表的な値としての不確実性が高いと判断し、周辺で取得されたデータも含めたすべてのデータで算出した値（表 B-1）を検討に用いることとした。
- ・ 文献調査対象地区で取得された新第三紀中新世ハイアロクラスタイトの一軸圧縮強さは、平均値が 62.1 MPa 程度、中央値が 19.2 MPa 程度、25%値から 75%値のばらつきは 100 MPa 程度であり、同地区周辺で取得された一軸圧縮強さ（平均値：9.0 MPa 程度、中央値：7.4 MPa 程度）に比べて高い傾向にある。文献調査対象地区で取得されたデータのばらつきが大きいことから、ハイアロクラスタイトが地域的な不均質性を有している可能性が考えられるため、その不均質性をより幅広く考慮することとして周辺で取得されたデータも含めたすべてのデータで算出した値（表 B-1）を検討に用いることとした。

表 B-1 岩種区分毎の地質環境特性（一軸圧縮強さ）

（単位：MPa）

岩種区分	第四紀 堆積岩類	第四紀 火山岩類	新第三紀鮮新世		
			堆積岩類	火山岩類	ハイアロ クラスタイト
データ数（件）	48	該当データなし	13	6	該当データなし
平均値	20.1	—	2.1	26.5	—
最小値	0.02	—	0.4	26.5	—
第1四分位数 (25%値)	0.2	—	0.5	26.5	—
中央値 (50%値)	11.3	—	0.8	26.5	—
第3四分位数 (75%値)	23.0	—	1.0	26.5	—
最大値	147.1	—	9.4	26.5	—

岩種区分	新第三紀中新世				先新第三系 基盤岩類
	堆積岩類	火山岩類	ハイアロ クラスタイト	深成岩類	
データ数（件）	86	69	61	該当データなし	該当データなし
平均値	19.8	76.5	35.1	—	—
最小値	0.1	1.8	1.2	—	—
第1四分位数 (25%値)	1.6	31.5	7.2	—	—
中央値 (50%値)	6.8	67.5	10.0	—	—
第3四分位数 (75%値)	20.3	98.7	21.4	—	—
最大値	167.7	233.4	191.2	—	—

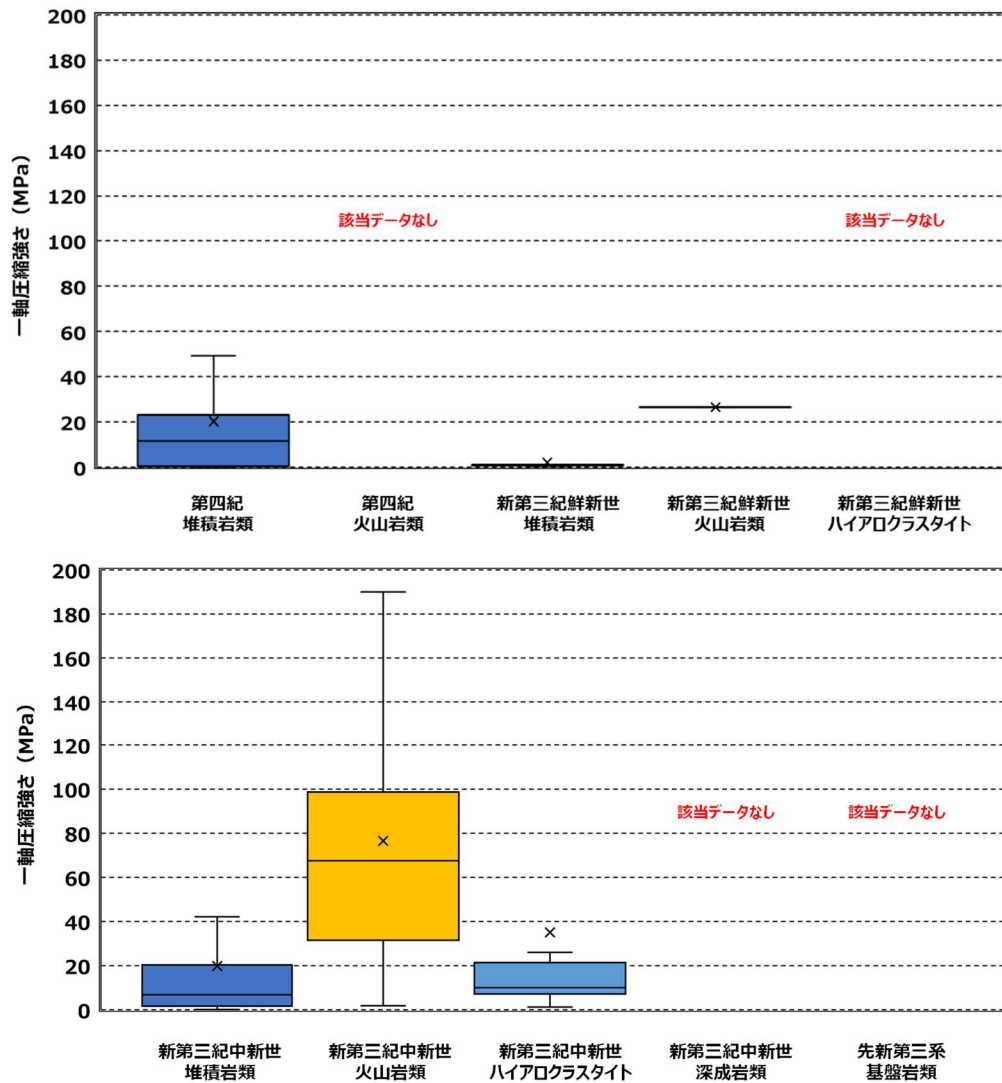


図 B-1 岩種区分毎の地質環境特性（一軸圧縮強さ）

数値データの統計処理結果を箱ひげ図で表示。箱の上下端は第3四分位（75%値）および第1四分位（25%値）、箱内のバーは50%値（中央値）を示す。ひげの上下端は最大値（75%値+1.5×四分位範囲（25%値から75%値の範囲）より小さい値の最大の値）および最小値（25%値-1.5×四分位範囲（25%値から75%値の範囲）より大きい値の最小の値）、図中の×印は平均値を示す。外れ値（データの中で極端にほかの値から離れている値）は表示しない。

表 B-2 文献調査対象地区で取得された一軸圧縮強さのデータの概要

岩種区分	取得場所	地層名	出典
新第三紀中新世堆積岩類	神恵内村大字柵内地区（一般国道 229 号沿い）	尾根内層（豊浜層に相当）	日下部祐基，倉橋稔幸（2016）：凍結融解による劣化を考慮した岩盤斜面の安定性評価に関する考察，第 44 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集，pp. 13-17.
新第三紀中新世ハイアロクラスタイト	神恵内村キナウシ（一般国道 229 号沿い）	キナウシ水冷破砕岩	藤井義明，宮下尚志，石島洋二，川北 稔（2002）：北海道の急崖を構成する岩石の力学的特性，地盤工学会論文報告集，42，3，pp. 129-136.
	神恵内村大字赤石村字大森ウエンチクナイトンネル（一般国道 229 号沿い）	尾根内層（豊浜層に相当）	佐々木隆，豊田義明，今野秀一（2004）：一般国道 229 号ウエンチクナイトンネルにおける高性能機械掘削について，寒地土木研究所平成 15 年度技術研究発表会，pp. 1-8.

（単位：MPa）

岩種区分	新第三紀中新世堆積岩類	
	文献調査対象地区内データ	同地区周辺データ
データ数（件）	2	84
平均値	1.4	20.3
最小値	0.2	0.1
第 1 四分位数（25%値）	0.8	1.6
中央値（50%値）	1.4	7.4
第 3 四分位数（75%値）	2.0	20.6
最大値	2.7	167.7

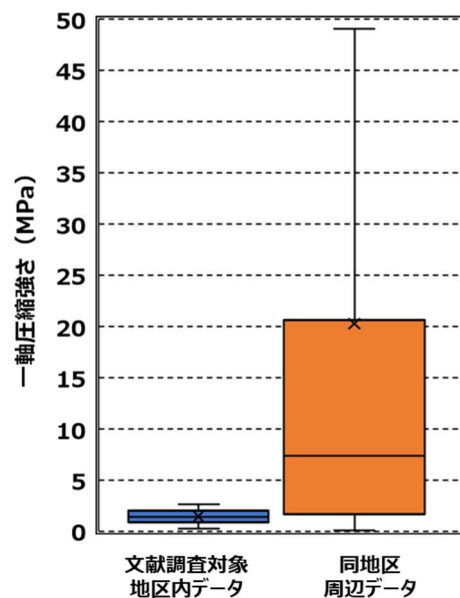


図 B-2 文献調査対象地区データと同種岩盤データの比較（新第三紀中新世堆積岩類）

右図：数値データの統計処理結果を箱ひげ図で表示。箱の上下端は第 3 四分位（75%値）および第 1 四分位（25%値），箱内のバーは 50%値（中央値）を示す。ひげの上下端は最大値（75%値+1.5×四分位範囲（25%値から 75%値の範囲）より小さい値の最大の値）および最小値（25%値-1.5×四分位範囲（25%値から 75%値の範囲）より大きい値の最小の値），図中の×印は平均値を示す。外れ値（データの中で極端にほかの値から離れている値）は表示しない。

(単位：MPa)

岩種区分	新第三紀中新世 ハイアロクラスタイト	
	文献調査対象 地区内データ	同地区 周辺データ
データ数 (件)	30	31
平均値	62.1	9.0
最小値	6.0	1.2
第1四分位数 (25%値)	10.0	5.1
中央値 (50%値)	19.2	7.4
第3四分位数 (75%値)	110.3	9.7
最大値	191.2	53.1

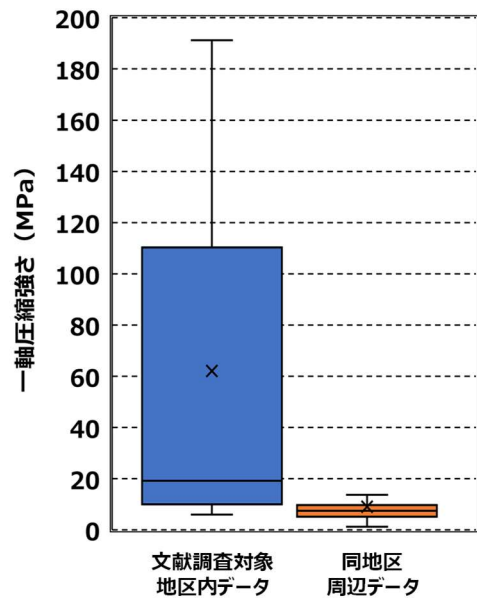


図 B-3 文献調査対象地区データと同種岩盤データの比較（新第三紀中新世ハイアロクラスタイト）

右図：数値データの統計処理結果を箱ひげ図で表示。箱の上下端は第3四分位(75%値)および第1四分位(25%値)、箱内のバーは50%値(中央値)を示す。ひげの上下端は最大値(75%値+1.5×四分位範囲(25%値から75%値の範囲)より小さい値の最大の値)および最小値(25%値-1.5×四分位範囲(25%値から75%値の範囲)より大きい値の最小の値)、図中の×印は平均値を示す。外れ値(データの中で極端にほかの値から離れている値)は表示しない。

表 B-3 一軸圧縮強さのデータ抽出に用いた文献 (1/2)

No.	著者	発表年	文献タイトル	掲載雑誌など
1	秋山忠禧	1981	札幌市地下鉄東豊線の計画	トンネルと地下, 12, 5, pp. 365-370
2	秋山忠禧, 若原嗣男	1983	札幌市地下鉄 3 号線建設計画の概要	土木施工, 24, 1, pp. 29-37
3	藤井義明, 宮下尚志, 石島洋二, 川北 稔	2002	北海道の急崖を構成する岩石の力学的特性	地盤工学会論文報告集, 42, 3, pp. 129-136
4	藤井義明, 上原洋次郎	2006	封圧下で一方向に伸び変形を受ける岩石の変形・破壊挙動に関する研究	資源と素材, 122, 6・7, pp. 330-337
5	古田卓也, 奥寺健彦, 稲葉洋介	2007	泊発電所 3 号機建設工事における放水路トンネルの施工実績	電力土木, 327, pp. 54-58
6	花見浩二, 大友 勲, 谷藤和三	1982	知内発電所海底取水トンネルの設計・施工について	電力土木, 178, pp. 8-20
7	北海道電力	1982	泊発電所 (1, 2 号炉) の原子炉設置許可申請書	—
8	北條紘次	1981	漁川ダムの基礎処理について	大ダム, 98, pp. 1-15
9	伊東佳彦, 日下部祐基, 日外勝仁, 坂本多朗	2008	工学的特性からみた北海道日本海沿岸火砕岩類の崩壊特性の検討	平成 20 年度研究発表会講演論文集, pp. 123-124
10	伊東佳彦, 日下部祐基, 坂本多朗	2009	積雪寒冷地における岩盤路床の評価について	平成 21 年度研究発表会講演論文集, pp. 121-122
11	伊東佳彦, 日下部祐基, 岡崎健治	2013	一軸圧縮強度と間隙率分布に基づく北海道各地の岩石の劣化過程に関する考察	日本応用地質学会平成 25 年度研究発表会講演論文集, pp. 111-112
12	児玉淳一, 後藤龍彦, 藤井義明	2009	凍結状態にある登別溶結凝灰岩の強度と破壊プロセスに与える温度と載荷速度の影響	Journal of MMIJ, 125, 9, pp. 472-480
13	日下部祐基, 伊東佳彦	2014	凍結融解による岩石の物性変化	土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集, III, pp. 497-498
14	日下部祐基, 倉橋稔幸	2016	凍結融解による劣化を考慮した岩盤斜面の安定性評価に関する考察	第 44 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp. 13-17
15	松本徳久, 池田 隆	1984	フィルダム基礎の軟岩の変形特性	土木技術資料, 26, 5, pp. 249-254
16	三井善孝, 児玉淳一, 原 翔平, 菅原隆之, 福田大祐, 藤井義明	2013	凍結した支笏溶結凝灰岩の力学的挙動の時間依存性	Journal of MMIJ, 129, 7, pp. 433-439
17	長沢大雄, 林 輝夫	1979	凝灰岩基礎上のロックフィルダム建設<漁川ダム・特に基礎調査について>	月刊ダム日本, 412, pp. 11-48
18	中村 大, 後藤隆司, 鈴木輝之, 伊藤陽司, 山下 聡	2008	岩石の凍上に関する基礎的研究—岩石の内部構造, 物性値の比較を基にした凍上メカニズムの解明—	Journal of MMIJ, 124, 4_5, pp. 231-239
19	日本鉱業会岩石試験データシート作成・利用研究委員会	1982	岩石試験データシート作成・利用研究の現況	日本鉱業会誌, 98, pp. 149-179
20	西口重男, 池内憲造, 鳥山忠次, 飯塚友之助	1989	ボアホールスキャナー	基礎工, 17, 10, pp. 78-82

表 B-3 一軸圧縮強さのデータ抽出に用いた文献 (2/2)

No.	著者	発表年	文献タイトル	掲載雑誌など
21	岡崎健治, 伊東佳彦, 丹羽廣海, 村山秀幸, 笹谷勝輝, 大日向昭 彦, 倉橋稔幸	2016	供用トンネルにおける時間依存性を 有する変状と診断技術の研究	応用地質, 56, 6, pp. 308– 315
22	佐野 彰, 三田地利之, 大森壮一郎	1991	堆積軟岩のせん断強度特性	土木学会第 46 回年次学 術講演会講演概要集, III, pp. 502–503
23	佐々木 隆, 豊田義 明, 今野秀一	2004	一般国道 229 号ウエンチクナイトン ネルにおける高性能機械掘削につい て	寒地土木研究所平成 15 年度技術研究発表会, pp. 1–8
24	佐々木 隆, 中澤 俊, 石黒 聡, 宇治川 徳夫	2013	熱変質を受けた自破碎溶岩によるトン ネル変状部の施工	土木学会第 68 回年次学 術講演会講演概要集, VI, pp. 785–786
25	佐藤能章, 宮林秀次, 小関宗雄	1983	津軽海峡線トンネル群の計画と施工 (1) ー北海道方取付部ー	トンネルと地下, 14, 6, pp. 514–520
26	杉井 勲	1981	駒ヶ岳ダムにおける浸透流の解析につ いて	月刊ダム日本, 436, pp. 1– 27
27	地盤工学会	2009	原位置岩盤試験データベース (2008 年度版)	—
28	高木清晴, 秋田勝次	1985	青函トンネルの施工 (17) ー火災対策 設備の設計と施工ー	トンネルと地下, 16, 4, pp. 291–298
29	武田宣孝, 西村哲治, 山上順民	2012	地下空洞掘削における情報化施工へ の穿孔検層の適用性	電力土木, 359, pp. 9–16
30	豊浜トンネル崩落事故 調査委員会	1996	豊浜トンネル崩落事故調査報告書	—
31	若松幹男, 近藤 務	1989	2. 北海道の土質 3. 北海道の火山灰 質土	土と基礎, 37, 9, pp. 24– 29
32	若公雅敏, 山崎貴之, 長谷部敏, 小沼宏嗣	2012	小土かぶり 3 区間を地表または坑内 からの対策工と計測管理で掘るー北 海道新幹線万太郎トンネルー	トンネルと地下, 43, 11, pp. 7–12
33	安田 匡, 加藤孝幸, 山岸宏光	2009	洞窟遺跡の保存のための岩石学・地盤 工学的観点からの考察ー北海道余市 町国指定史跡フゴッペ洞窟の場合ー	平成 21 年度研究発表会 講演論文集, pp. 201–202
34	横山 章	1979	海底トンネルの掘削	土木学会誌 64 1, pp. 91– 98
35	吉田不二夫, 下河内 稔	1981	青函トンネルの施工 (11) ー海底中央 部ー	トンネルと地下, 12, 1, pp. 7–13
36	吉川大三, 前田憲一	1988	青函トンネル海底中央部における固 結度の低い砂質岩層の地質調査	土と基礎, 36, 7, pp. 29– 36

添付資料 C 水理場の概念

文献調査対象地区においては、積丹半島の脊梁である余別岳などの山地が周囲を囲み、主要な河川である珊内川および古宇川が海岸線まで続く比較的急峻な地形を東から西に向かって流下するといった地形概況を示す。珊内岳や両古美山が珊内川および古宇川の分水界となっていることから、文献調査対象地区の深さ数百～千 m 程度を流れる地下水については、珊内岳や両古美山周辺の尾根部を主な涵養域とし、積丹半島沖の日本海を主な流出域とした北東方向から南西方向に向かう流動系が形成されていると考えられる。

上記および説明書「地形、地質・地質構造」で作成した地質断面図の断面位置（図 3.1-1）を踏まえて、図 C-1 に示す古宇川流域および珊内川流域を北北東－南南西方向に通過する I-I' 断面と II-II' 断面を対象として水理場の概念を検討した。

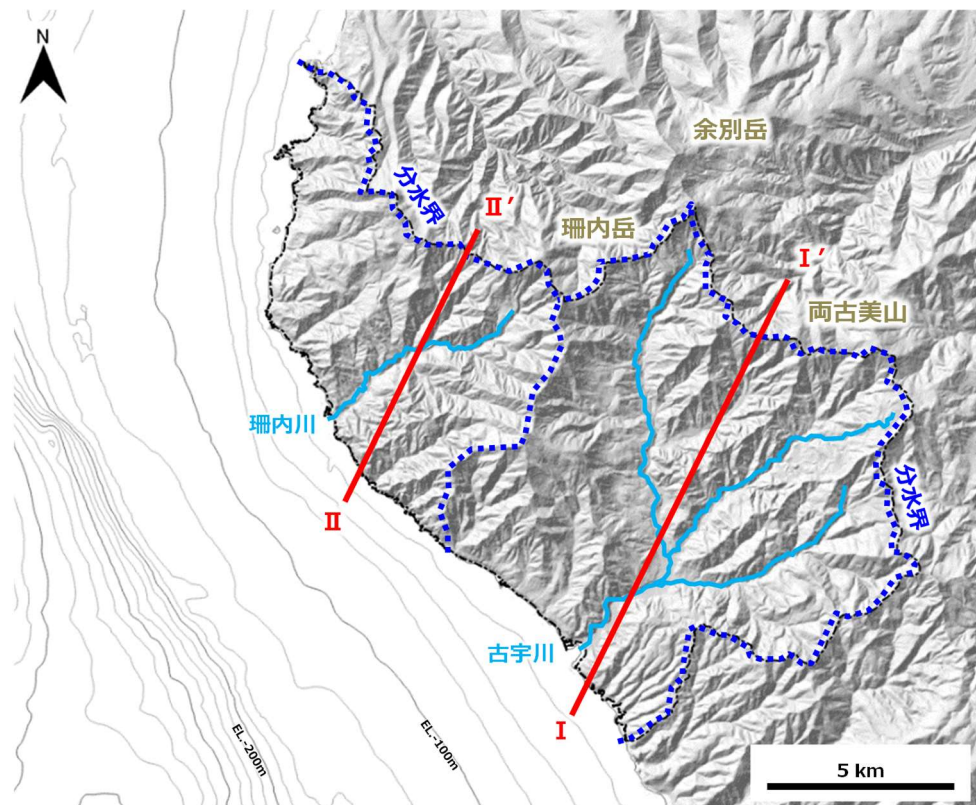


図 C-1 水理場の概念を検討する断面位置

基図は地理院タイルの陰影起伏図および傾斜量図に基づき作成。海岸線は「国土数値情報（海岸線データ）」（国土交通省）に、神恵内村行政界は「国土数値情報（行政区域データ）」（国土交通省）に基づく。河川流路は地理院地図（電子国土 Web）に基づき作成。海域の等深線は日本水路協会発行 M7000 シリーズに基づき作成（（一財）日本水路協会承認 第 2021006 号）。

図 C-2 および図 C-3 に、それぞれ I-I' 断面および II-II' 断面における水理場の概念図を示す。古宇川流域を通過する I-I' 断面においては、両古美山周辺に新第三紀中新世堆積岩類が分布し、日本海側に新第三紀中新世ハイアロクラスタイトが分布する。その間の山地部には新第三紀中新世火山岩類が分布する。地形分布からは両古美山から涵養した地下水が地下深部に浸透しつつ西向き

に流れ、日本海に流出する大局的な地下水流動系が想定される。また、文献調査対象地区の山地も地下水の涵養域になり得るとともに、山地地形を流れる古宇川が比較的浅い深度を流れる一部の地下水の流出域となっていると考えられる。

文献調査対象地区の陸域に分布する岩種のうち、新第三紀中新世ハイアロクラスタイトについては水理特性が得られていないが、新第三紀中新世の火山岩類および堆積岩類の両者には水理学的に有意な違いは認められない。主な流出域である日本海の沿岸部周辺には、陸域側の淡水域と海域側の塩水域の間に淡水と海水の密度差や濃度差によって塩分・淡水混合域が形成されており、降雨が地下深部に浸透した地下水は海水と比較して密度が小さいため、塩分・淡水混合域に沿うような形で上昇し汀線付近に流出すると考えられる。

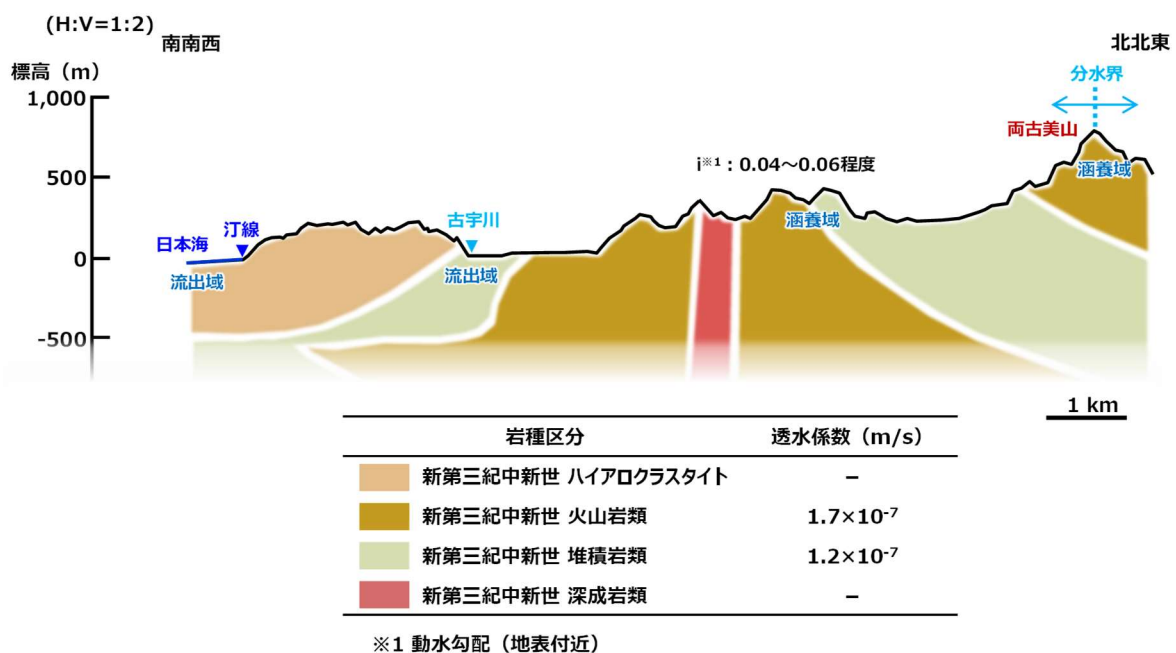


図 C-2 文献調査対象地区における水理場の概念図 (I-I'断面)

岩種の分布は図 3.3-5 の地質断面図 (F-F'断面) を簡略化。

珊内川流域を通過する II-II'断面においては、珊内岳周辺および日本海側に新第三紀中新世の堆積岩類とハイアロクラスタイトが広く分布し、珊内岳周辺ではその上位に第四紀火山岩類が分布する。文献調査対象地区の山地部には新第三紀中新世の堆積岩類および火山岩類が分布しており、それらの下位には基盤岩として先新第三系基盤岩類が広く分布する。また、珊内岳周辺の山地部には地質断層が分布する。地形分布からは珊内岳から涵養した地下水が地下深部に浸透しつつ西側の日本海に流出する大局的な地下水流動系が想定される。また、山地地形を流れる珊内川が比較的浅い深度を流れる一部の地下水の流出域となっていると考えられる。

文献調査対象地区の陸域に広く分布する先新第三系基盤岩類や新第三紀中新世ハイアロクラスタイトについては水理特性が得られていないため、地下水流動系全体の透水性の違いは不明であるが、地下水の涵養域となる珊内岳周辺に分布する第四紀火山岩類は、ほかの岩種に比べて3オーダー程度の透水性の違いが認められる。また、山地部に分布する地質断層については幾何特性や水理特性

に関する情報が取得されていないため、それらの特性によっては地下水流動系に影響を及ぼす可能性が考えられる。主な流出域である日本海の沿岸部周辺には、I-I'断面と同様に塩分・淡水混合域が形成されており、その塩分・淡水混合域に沿うような形で地下深部の地下水が上昇し、汀線付近に流出すると考えられる。

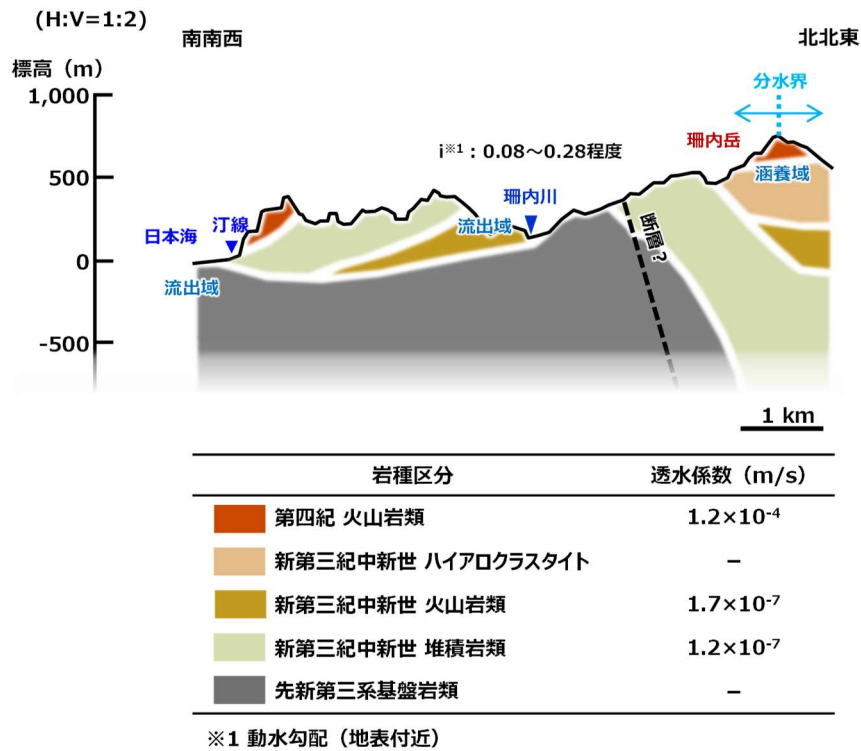


図 C-3 文献調査対象地区における水理場の概念図 (II-II'断面)
岩種の分布は図 3.3-4 の地質断面図 (E-E'断面) を簡略化。

添付資料 D 熱対流が地下水流動に及ぼす影響

被圧帯水層中における自然対流の発生の有無は、対象地域の地熱情報および岩種の熱物性値を用いて、式(1)により算出したレイリー数 Ra が限界値 $39.5 (4\pi^2)$ よりも大きいかな否かで判定する。なお、岩盤は多孔質媒体の水平地層で、上端および下端境界は不透水かつ等温固定の条件を想定したものである（地下水の科学研究会，1996）。

$$Ra = \frac{g\rho_w C_w \alpha_v k_v L \Delta T}{\nu K_v} \quad (1)$$

ここに、 g は重力加速度 [m/s^2]， ρ_w は水の密度 [kg/m^3]， C_w は水の比熱 [$\text{J/kg} \cdot \text{K}$]， α_v は水の線膨張係数 [$1/\text{K}$]， k_v は鉛直方向の固有透過度 [m^2]， L は岩盤厚さ [m]， ΔT は温度差 [K]， ν は水の動粘性係数 [m^2/s]， K_v は帯水層の鉛直方向の熱伝導率 [J/m/s/K] を表す。

表 D-1 に示したパラメータを用いて、式(1)に基づき算出したレイリー数は3.1であり、限界値39.5よりも1桁以上小さいことから、熱対流が地下水流動に及ぼす影響はほとんどないと考えられる。

表 D-1 パラメーター一覧

パラメータ	記号	単位	適用値	備考
重力加速度	g	m/s^2	9.81	
水の密度	ρ_w	kg/m^3	998.2	20℃ 国立天文台編（2020）p. 394
水の比熱	C_w	$\text{J/kg} \cdot \text{K}$	4,180	20℃ 国立天文台編（2020）p. 522
水の線膨張係数	α_v	$1/\text{K}$	2.1×10^{-4}	国立天文台編（2020）p. 428
鉛直方向の 固有透過度	k_v	m^2	1.7×10^{-14}	20℃における透水係数 K (m/s)と固有透過度 k_v (m^2)の関係を $K=10^7 \times k_v$ として算出 岩盤の透水係数 $K: 1.7 \times 10^{-7}$ （新第三紀中新世火山岩類を適用）
岩盤厚さ	L	m	500	地下施設までの深度
温度差	ΔT	K	43	地温勾配 $8.6^\circ\text{C}/100\text{m}$ と岩盤厚さから算出
水の動粘性係数	ν	m^2/s	1.0034×10^{-6}	20℃ 国立天文台編（2020）p. 398
帯水層の鉛直方向 の熱伝導率	K_v	J/m/s/K	1.0	臨海部や河川沿いの平地の値（阪田ほか，2017）を適用

【引用文献】

地下水の科学研究会（1996）地下水の科学Ⅲ－地下水と地質－，土木工学社。

国立天文台編（2020）理科年表 2021，丸善出版。

阪田義隆，葛 隆生，長野克則（2017）全国地盤物性データベースを用いた地中熱利用ヒートポンプ暖房システムの導入効果分析，土木学会論文集 G（環境），73，5，pp. I_89- I_98。