

北海道寿都郡寿都町
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) 北海道寿都郡寿都町文献調査報告書

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	19
4.1 情報の収集方法	19
4.2 閉じ込め機能に関する特性	22
4.2.1 地温	22
4.2.2 透水係数	23
4.2.3 動水勾配	25
4.2.4 クリープ変形量	26
4.2.5 pH	26
4.2.6 酸化還元電位 (ORP)	27
4.2.7 炭酸化学種濃度	27
4.2.8 まとめ	28
4.3 地下施設の建設可能性に関する特性	30
4.3.1 一軸圧縮強さ	30
4.3.2 地温	31
4.3.3 そのほかの安全性の懸念事象に関する特性	31
4.3.4 まとめ	34
第5章 閉じ込め機能の観点からの検討	36
5.1 熱環境	36
5.2 水理場	36
5.3 力学場	37
5.4 化学場	37
5.5 地質環境特性の長期継続性	37
5.6 まとめ	38
第6章 地下施設の建設可能性の観点からの検討	40
6.1 空洞安定性	40
6.2 坑内作業環境 (地温)	41

6.3 地下施設の収容性	41
6.4 そのほかの安全性に関する懸念事象.....	42
6.5 まとめ.....	43
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・より好ましい場所の選択.....	45
7.1 地下施設設置場所に係る検討.....	45
7.2 概要調査に向けた考え方.....	47
引用文献.....	49

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（A-A'および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（H-H'およびI-I'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（G-G'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（NS3W測線）.....	18
図 4.1-1	北海道の基盤地質に基づく地帯構造区分.....	22
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.....	23
図 4.2-2	文献調査対象地区における主要河川の位置.....	26
図 4.2-3	文献調査対象地区で測定された pH.....	27
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.....	28
図 4.3-1	文献調査対象地区およびその周辺の地形概要.....	33

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.....	19
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.....	20
表 4.1-3	文献調査段階に関連する特殊な地山条件の調査方法と調査項目.....	21
表 4.2-1	文献調査対象地区における地温勾配.....	23
表 4.2-2	岩種区分毎の透水係数.....	24
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）.....	24
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.....	25
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）.....	29
表 4.3-1	岩種区分毎の一軸圧縮強さ.....	31

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.....	32
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）.....	35
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.....	38
表 5.6-1	閉じ込め機能の観点からの検討結果.....	39
表 6.1-1	岩種区分毎の力学特性.....	40
表 6.1-2	主な検討対象となる岩種の力学特性（地下 300 m 以深）.....	41
表 6.1-3	主な検討対象の上部の岩種の力学特性（地下 300 m 以浅）.....	41
表 6.5-1	地下施設の建設可能性の観点からの検討結果.....	44
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.....	46
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.....	48

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「北海道寿都郡寿都町 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寿都町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ついても検討する。
- 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 300 m 以深の場所とする。

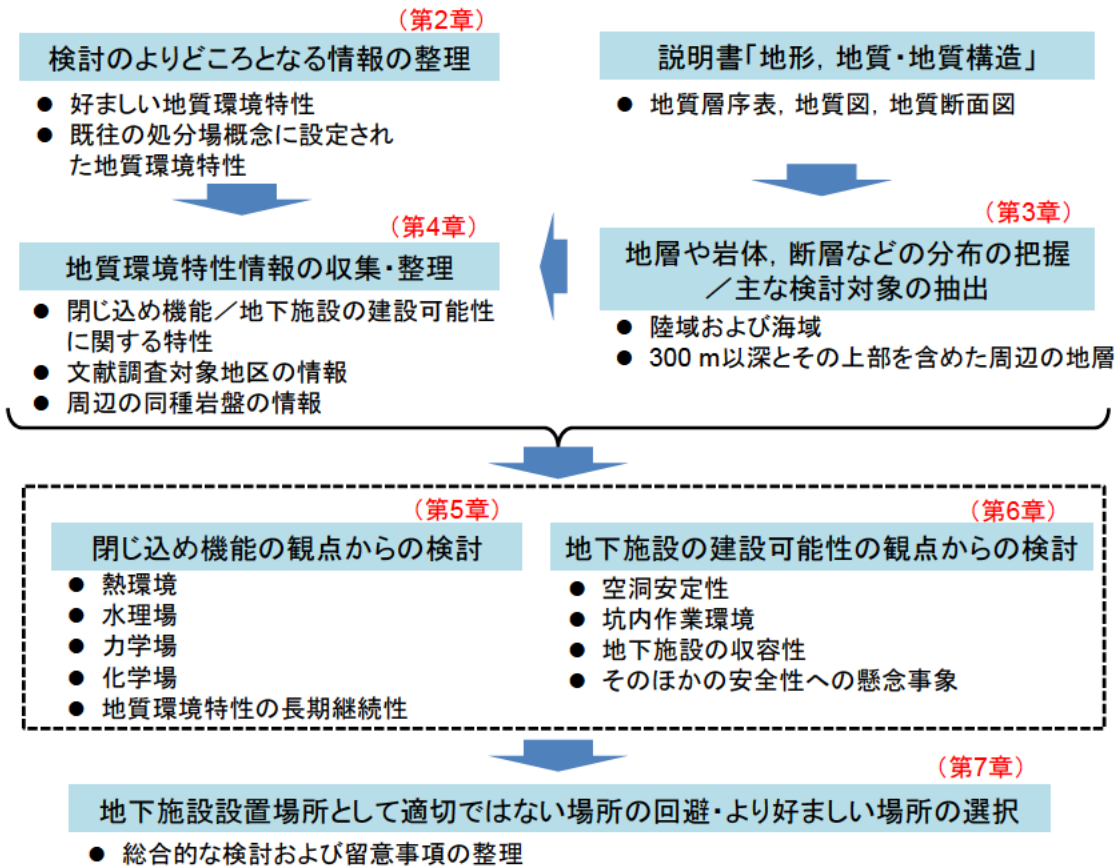


図 1.2-1 技術的観点からの検討のうち地質環境特性の実施項目と手順

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取着能の低下、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る、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主要な地質の年代や岩相などに基づき設定した。主要な地質のうち、沖積堆積物、段丘堆積物および崖錐・地すべり堆積物、瀬棚層は第四紀堆積岩類に、磯谷溶岩は第四紀火山岩類に区分した。ガロ川噴出物層、永豊層および黒松内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。磯谷層、八雲層、寿都層および大平川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VI（石英斑状デイサイト）は新第三紀中新世火山岩類に、泊川コンプレックス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寿都層、磯谷層およびガロ川噴出物層など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まれており、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	段丘堆積物および 崖錐・地すべり堆積物		
新第三紀鮮新世～ 第四紀中期更新世	瀬棚層		
新第三紀鮮新世～ 第四紀前期更新世	磯谷溶岩	第四紀	火山岩類
新第三紀鮮新世	ガロ川噴出物層	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
新第三紀後期中新世 ～ 第四紀前期更新世	黒松内層		
新第三紀後期中新世 ～鮮新世	永豊層		
新第三紀後期中新世	磯谷層	新第三紀 中新世	堆積岩類，火山岩類， ハイアロクラスタイト
	八雲層		
新第三紀後期中新世	寿都層		
新第三紀中期中新世	大平川層		
新第三紀後期中新世	貫入岩VI (石英斑状デイサイト)	新第三紀 中新世	火山岩類
中生代	泊川コンプレックス	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)	

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)

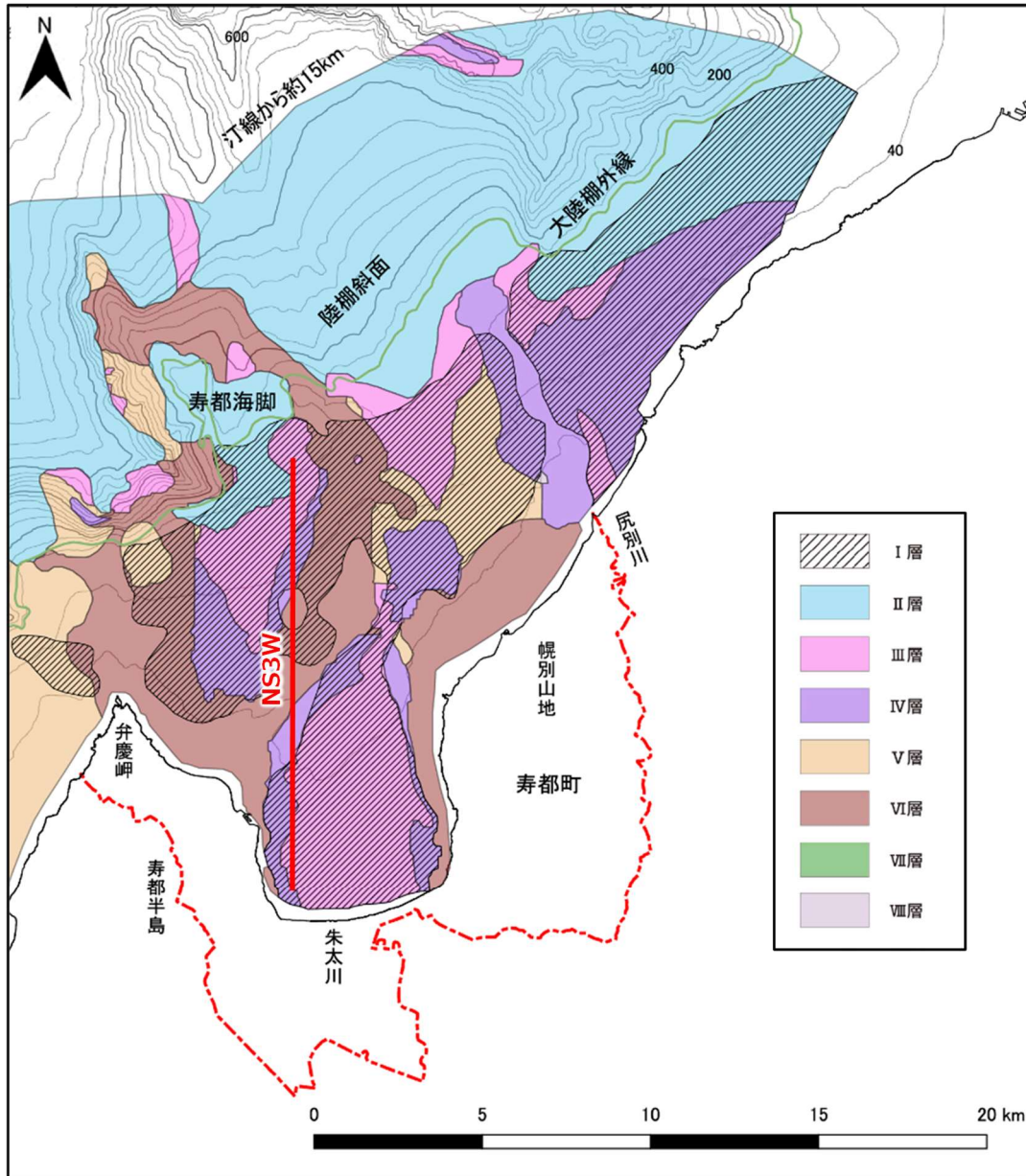


図 3.2-1 文献調査対象地区およびその周辺の海底地質図

説明書「地形、地質・地質構造」に示す寿都町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。海岸線は「国土数値情報（海岸線データ）」（国土交通省）に、寿都町行政界は「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 NS3W 測線の断面図は図 3.3-4 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 3.3-4）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。

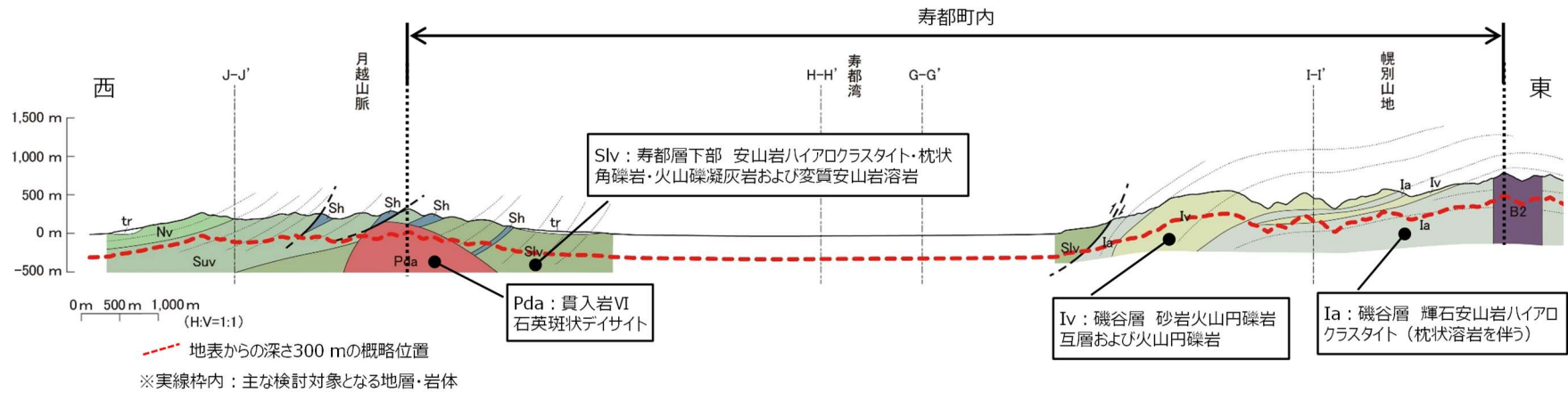
主な検討対象となる地層・岩体として、文献調査対象地区の陸域における地下 300 m 以深には磯谷層および寿都層下部が広く分布している。磯谷層は新第三紀中新世の堆積岩類およびハイアロクラスタイトに区分され、寿都層下部は新第三紀中新世ハイアロクラスタイトに区分される。

主な検討対象となる地層・岩体の上部には、主に新第三紀鮮新世火山岩類に相当するガロ川噴出物層、新第三紀鮮新世堆積岩類に相当する黒松内層および第四紀堆積岩類に相当する瀬棚層が最大数百 m の厚さで分布している。さらに、その上部地層は第四紀の段丘堆積物や沖積堆積物であり、その層厚は薄い。

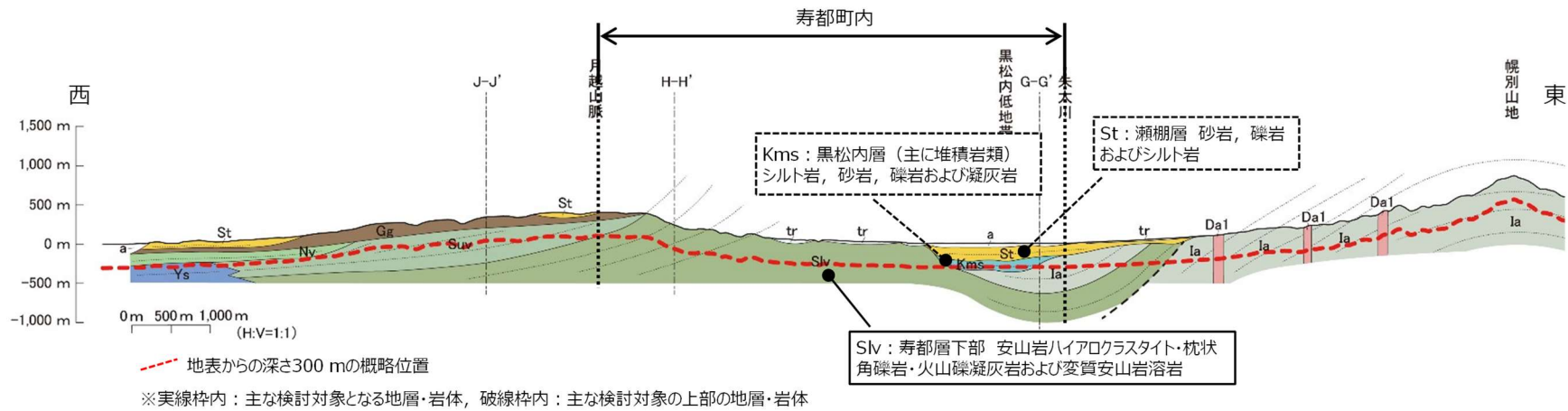
寿都湾および海域沿岸部周辺の海底下 300 m 以深には主な検討対象となる地層・岩体として、新第三紀中新世堆積岩類（または火山岩類）に相当するVI層が広く分布している。また、主な検討対象となる地層・岩体であるVI層の上部地層は主に第四紀のIV層およびIII層であり、それらの層厚は推定されている範囲で最大 150 m 程度である。

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)	磯谷層	シルト岩	Is	新第三紀中新世 堆積岩類	
			砂岩火山円礫岩互層および火山円礫岩	Iv		
			輝石安山岩ハイアロクラスタイト (枕状溶岩を伴う)	Ia	新第三紀中新世 ハイアロクラスタイト	
		寿都層下部	安山岩ハイアロクラスタイト・枕状角礫岩・火山礫凝灰岩および変質安山岩溶岩	Slv		
		貫入岩VI	石英斑状デイサイト	Pda	新第三紀中新世 火山岩類	
	主な検討対象の上部の地層・岩体 (推定)	沖積堆積物	砂, 礫, 粘土および泥炭	a	第四紀堆積岩類	
		段丘堆積物および崖錐・地すべり堆積物	砂, 礫, 粘土および泥炭	tr		
		瀬棚層	砂岩, 礫岩およびシルト岩	St		
		ガロ川噴出物層	安山岩火山円礫岩・火山角礫岩・ハイアロクラスタイト・枕状溶岩・溶岩	Gg	新第三紀鮮新世 火山岩類	
		黒松内層 (主に堆積岩類)	シルト岩, 砂岩, 礫岩および凝灰岩	Kms	新第三紀鮮新世 堆積岩類	
	海域	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)
		主な検討対象の上部の地層・岩体 (推定)	III層	泥, 砂およびその互層を主体とする半固結の堆積物	—	第四紀堆積岩類
IV層			半固結または固結した泥岩, 砂岩などを含む堆積岩	—		



(a) A-A'断面



(b) B-B'断面

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 (A-A'および B-B'断面)

説明書「地形、地質・地質構造」に示す寿都町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)。

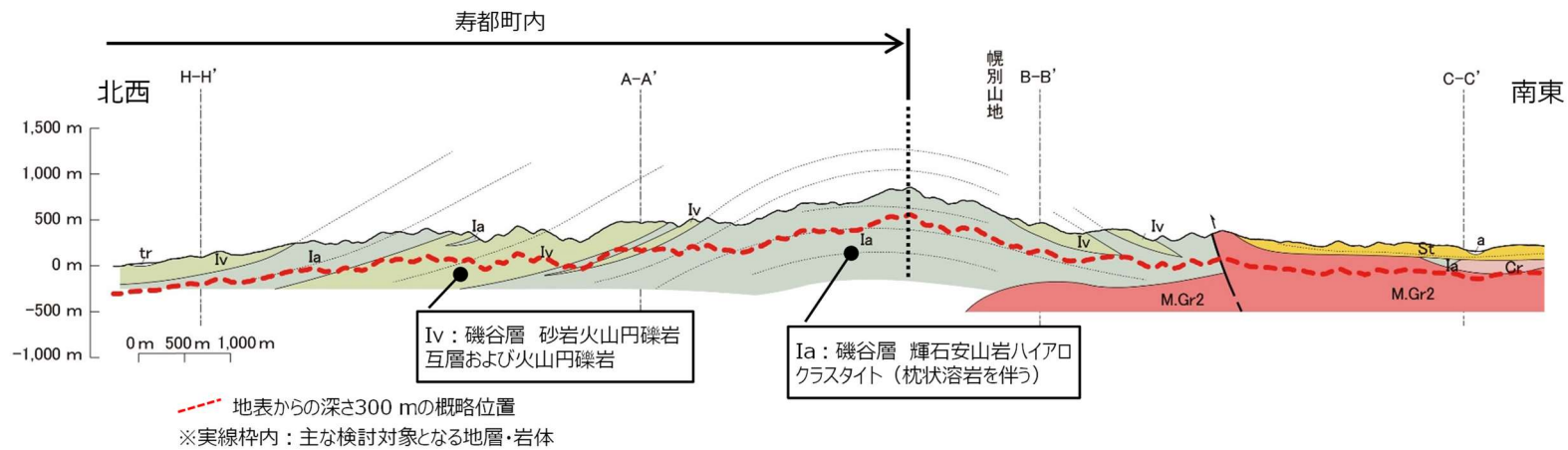
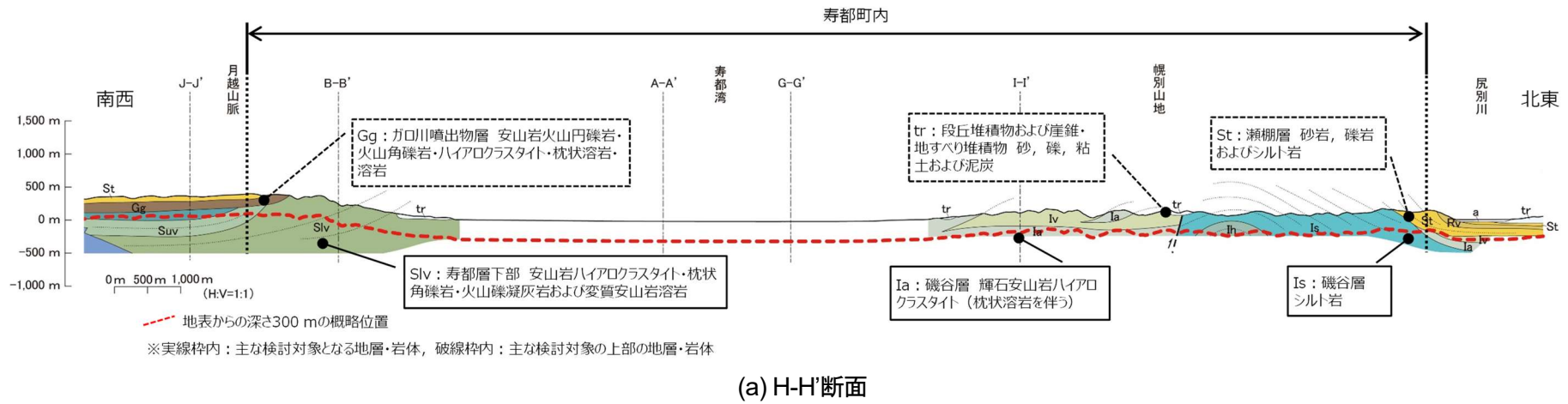


図 3.3-2 文献調査対象地区における主な検討対象およびその上部の地層・岩体の抽出 (H-H'およびI-I'断面)

説明書「地形、地質・地質構造」に示す寿都町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)。

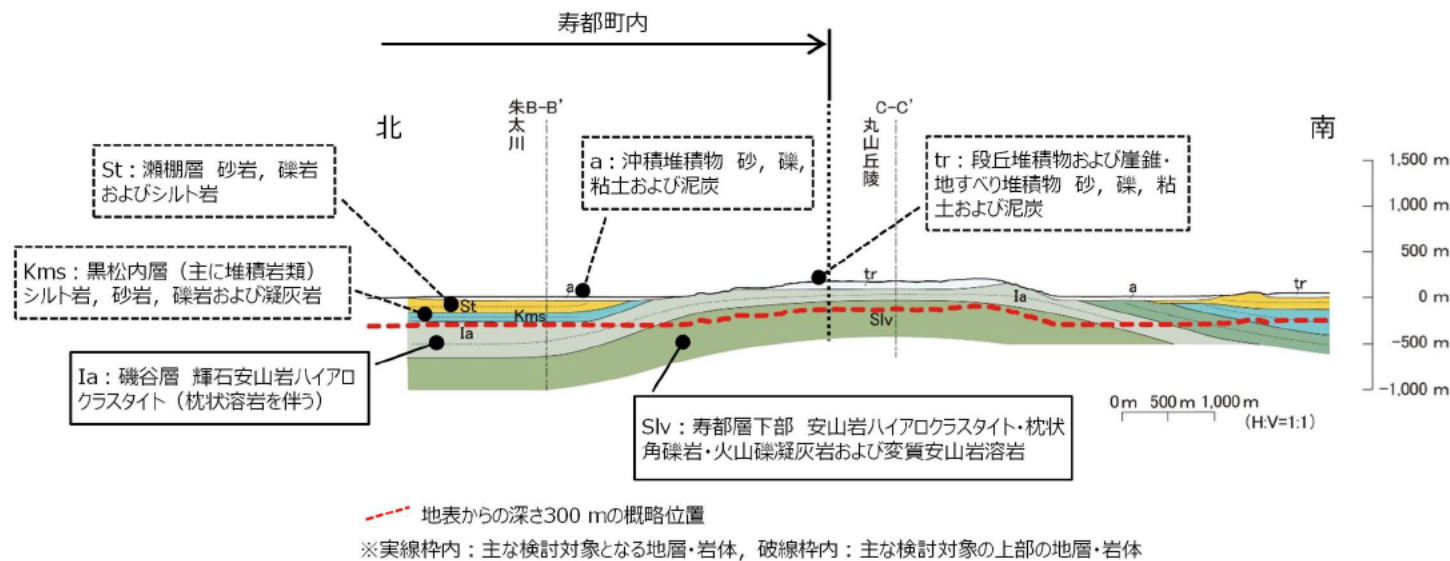


図 3.3-3 文献調査対象地区における主な検討対象およびその上部の地層・岩体の抽出 (G-G'断面)

説明書「地形、地質・地質構造」に示す寿都町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)。

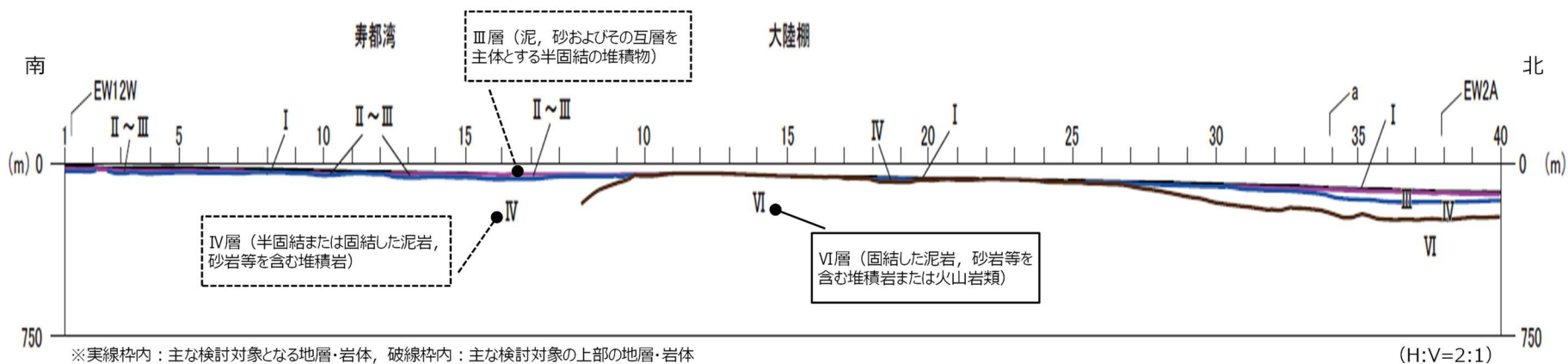


図 3.3-4 文献調査対象地区における主な検討対象およびその上部の地層・岩体の抽出 (NS3W 測線)

説明書「地形、地質・地質構造」に示す寿都町周辺海域海底地質断面図から一部抜粋および縦横比を2:1に修正し、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 (2013, 2015) 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を用いた。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を用いた。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を用いた。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を用いた。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・岩体の分布情報をを用いた。

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	—
水理場	透水係数	—	○
	動水勾配	○ (河川の標高差による推定)	—
力学場	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 文献調査段階に関連する特殊な地山条件の調査方法と調査項目

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 断層破砕帯、 褶曲じょう乱帯	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○	
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○	
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

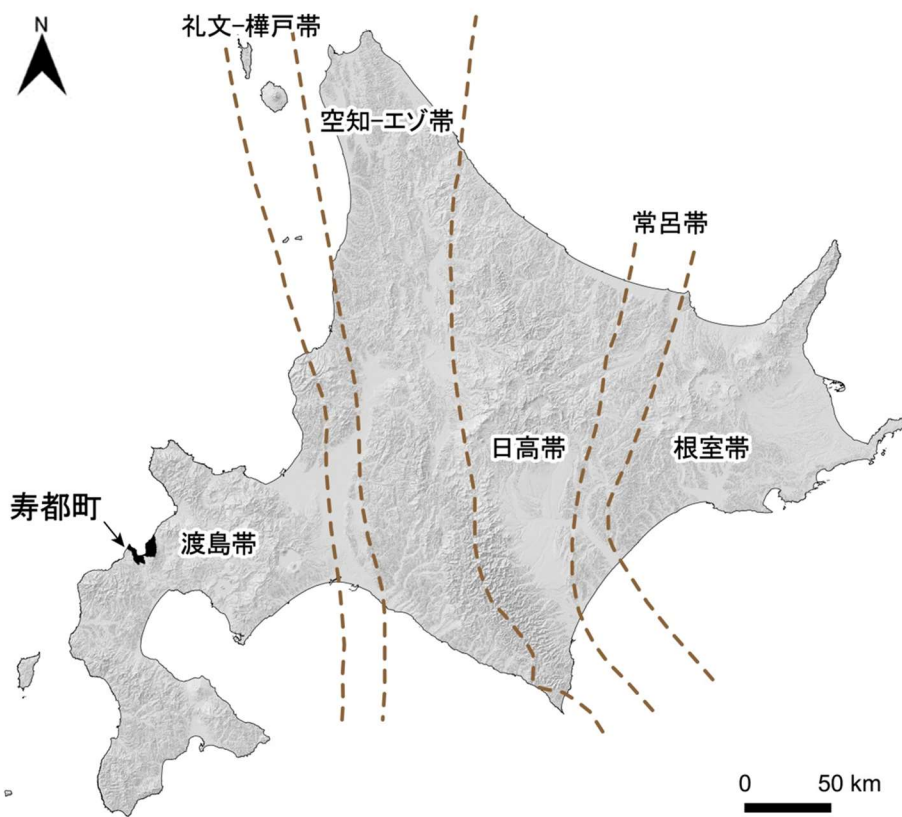


図 4.1-1 北海道の基盤地質に基づく地帯構造区分

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、寿都町行政境界は「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中央部を流れる朱太川沿いの地温分布は深度とともに直線的に増加し、深度 500m 程度で約 38℃、深度 1,000m 程度で約 62℃の地温となる。また、地温勾配は 5.1～5.2℃/100m 程度である。

収集データに基づく、文献調査対象地区の朱太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℃/100m 程度）と比較するとやや高い傾向にあるが、1,000m 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。

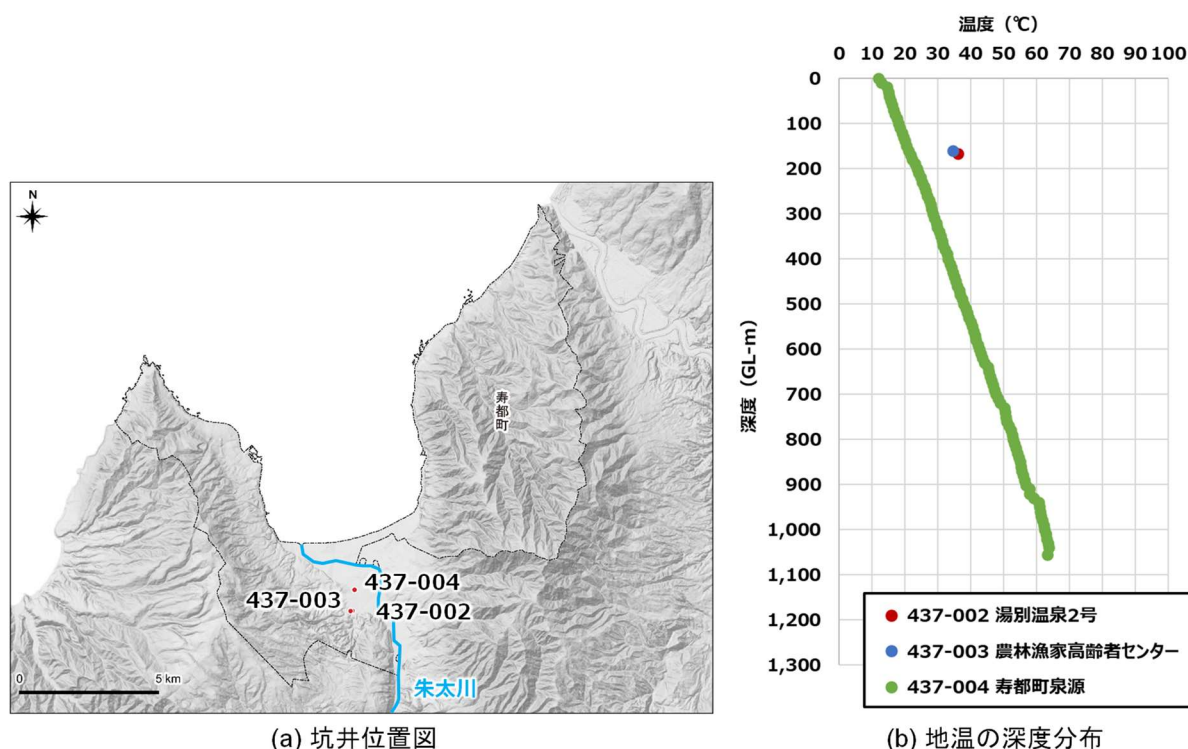


図 4.2-1 文献調査対象地区で測定された地温の深度分布

(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、寿都町行政界は「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高見ほか（2008）に基づく。(b) 坑井 437-002 および 437-003 については、高見ほか（2008）、坑井 437-004 については、坂川ほか（2004）および高見ほか（2008）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

坑井名	地温 ^{※1}	地温勾配 (°C/100 m)
437-004 寿都町泉源	深度 500 m 程度：約 38°C 深度 1,000 m 程度：約 62°C	5.1 ^{※2} , 5.2 ^{※3}

※1 坂川ほか（2004）、※2 若浜ほか（1995）、※3 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 ($1.0 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ 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			海域	
	新第三紀中新世				
岩種区分	堆積岩類	ハイアロクラスタイト	深成岩類	堆積岩類	火山岩類
透水係数 [※] (m/s) () 内はデータ数	1.2×10^{-7} (21)	— (0)	— (0)	1.2×10^{-7} (21)	1.7×10^{-7} (16)

※ 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。

推定の結果、幌別山地周辺(文献調査対象地区東部)および月越山脈周辺(文献調査対象地区西部)においては、それぞれ0.07~0.19程度および0.05~0.12程度の値が得られ、寿都低地を流れる朱太川沿い(文献調査対象地区中央部)においては、0.001程度の値が得られた。地域的な特徴として、文献調査対象地区東部の山地部における動水勾配が最も大きく、次いで西部の山地部が大きい傾向がある。朱太川が流れる平野部の動水勾配は山地部と比較して1~2オーダー程度小さい。

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東部および西部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

地域	No.	河川名 ^{※1}	標高差(m) ^{※2}	水平距離(m) ^{※2}	動水勾配
幌別山地周辺 (文献調査対象地区東部)	①	ルウベツナイ川	219	3,013	0.07
	②	大二の川	107	1,339	0.08
	③	幌別川	581	7,668	0.08
	④	福士の川	242	1,947	0.12
	⑤	五郎浜の川	304	2,115	0.14
	⑥	鐘台の川	298	1,560	0.19
	⑦	潮路川	470	2,788	0.17
月越山脈周辺 (文献調査対象地区西部)	⑧	滝ノ潤川	160	1,349	0.12
	⑨	大沢の川	106	1,343	0.08
	⑩	一三の川	106	1,382	0.08
	⑪	小川	171	2,939	0.06
	⑫	三ッ滝の川	261	4,899	0.05
朱太川沿い (文献調査対象地区中央部)	⑬	朱太川 ^{※3}	7	5,785	0.001

※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

※3 朱太川については、寿都町行政界南端から河口までの標高差と水平距離から動水勾配を算出

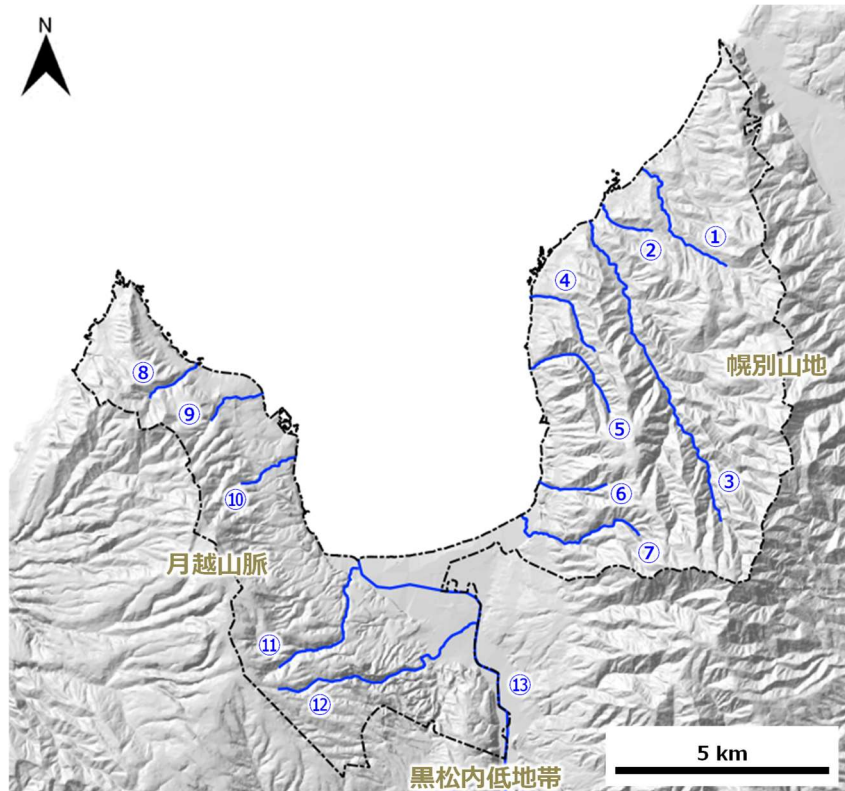


図 4.2-2 文献調査対象地区における主要河川の位置

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、寿都町行政界は「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。

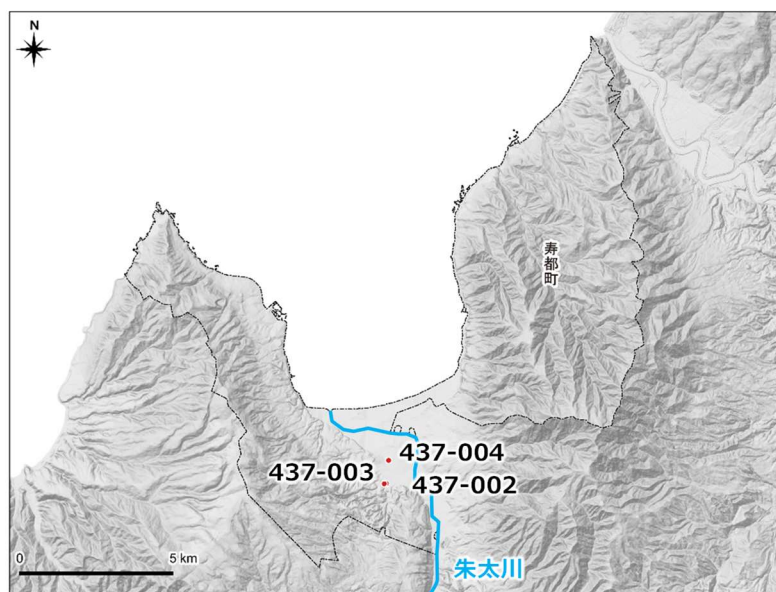
4.2.4 クリープ変形量

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、朱太川沿いにおいては pH が 7.2～9.1 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、文献調査対象地区の朱太川沿いの地下における 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。



(a) 坑井位置図

(b) pH

坑井および場所の名称	pH
437-002 湯別温泉2号	9.1 ^{※1}
437-003 農林漁家高齢者センター	8.8 ^{※1}
437-004 寿都町泉源	7.6 ^{※1}
湯別微温泉	8.3 ^{※2}
政泊冷泉	8.2 ^{※2}
弁慶岬周辺	8.0 ^{※3}
寿都温泉	7.2 ^{※4}
湯別温泉	8.8 ^{※4}

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、寿都町行政界は「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高見ほか（2008）に基づく。湯別微温泉、政泊冷泉、弁慶岬周辺、寿都温泉、湯別温泉の位置座標が不明のため、図中には表示しない。
※1 高見ほか（2008）、※2 齊藤（1962）、※3 早川・国府谷（1968）、※4 寿都温泉ゆべつのゆホームページ

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、朱太川沿いにおいては炭酸化学種濃度が 0.0002～0.0035 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、文献調査対象地区の朱太川沿いの地下における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。

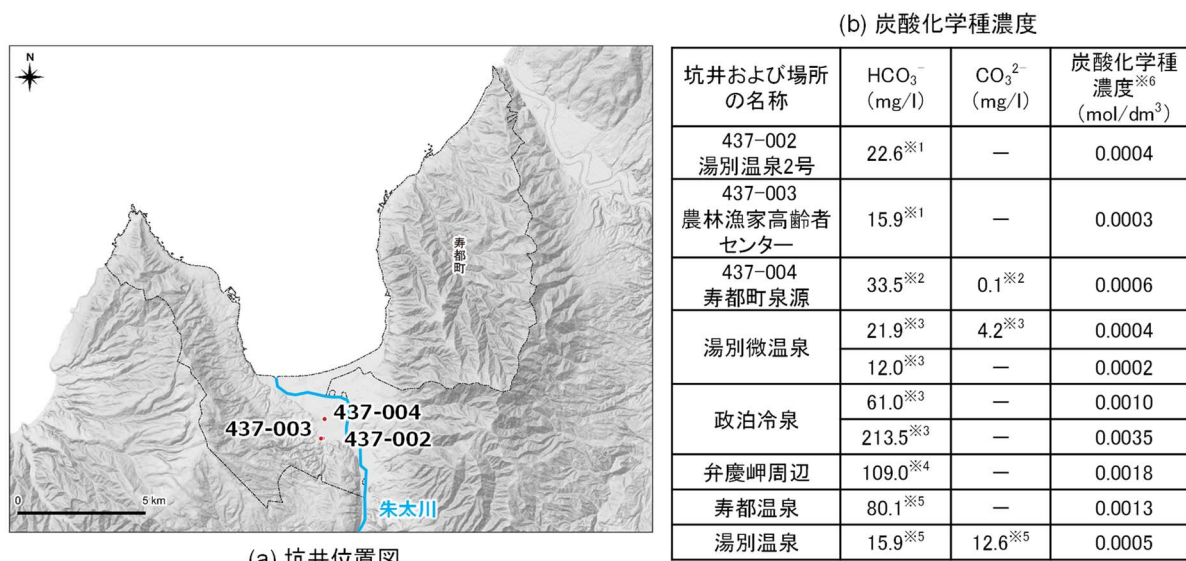


図 4.2-4 文献調査対象地区で測定された炭酸化学種濃度

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、寿都町行政界は「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高見ほか（2008）に基づく。湯別微温泉、政泊冷泉、弁慶岬周辺の位置座標が不明のため、図中には表示しない。※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 松波（1995）、※3 斉藤（1962）、※4 早川・国府谷（1968）、※5 寿都温泉ゆべつのゆホームページ、※6 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	<p>【朱太川沿い（文献調査対象地区中央部）】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 深度 500 m 程度で約 38℃，深度 1,000 m 程度で約 62℃ ・ 地温勾配：5.1～5.2℃/100m（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。
水理場	透水係数	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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。
	動水勾配	<p>【朱太川沿い（文献調査対象地区中央部）】 地表付近：0.001 程度</p> <p>【幌別山地周辺（文献調査対象地区東部）】 地表付近：0.07～0.19 程度</p> <p>【月越山脈周辺（文献調査対象地区西部）】 地表付近：0.05～0.12 程度</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 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東部および西部の動水勾配は山地相当の値（0.005～0.231（平均値 0.061））であり，かつ東部の動水勾配が大きい傾向がある。
力学場	クリープ変形量	(該当情報なし)
化学場	pH	<p>【朱太川沿い（文献調査対象地区中央部）】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ pH 7.2～9.1 程度 ・ 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	<p>【朱太川沿い（文献調査対象地区中央部）】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 0.0002～0.0035 mol/dm³ 程度 ・ 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（4.1 参照）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。

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新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新第三紀中新世の堆積岩類、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)
	ハイアロクラスタイト	— (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)
	ハイアロクラスタイト	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)	108～110 (新第三紀・先新第三紀 深成岩類)

※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) に基づくと、朱太川沿いにおいては、600 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。

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においては比較的小規模な地すべり地形が散在することが示されているとともに、将来の地すべり・崩壊の地形的兆候が月越山地および幌別山地でいくつか認められている。また、大陸棚の外縁付近を直接削剥している海底地すべりについては、岩内海底谷および茂津多海底谷の谷頭部付近のものと寿都海脚付近のものを確認することができる。

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、文献調査対象地区を構成する主な地形は寿都湾の湾頭部に広がる寿都低地とその南側に位置する丸山丘陵、寿都低地の西側と東側に位置する月越山脈と幌別山地である（図 4.3-1）。同地区の多くは比較的急峻な月越山脈と幌別山地で構成され、特に幌別山地においては南東部の市町村境界に最高標高 892 m となる幌別岳があり、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、黒松内低地帯とその周辺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、寿都町行政界は「国土数値情報（行政区画データ）」（国土交通省）に基づく。図中の三角は山頂、黒丸は標高点、数字は標高（m）を示す。

(3) 断層、褶曲

説明書「地震・活断層」においては、「断層等の基準」に該当し避ける場所は文献調査対象地区にはないものの、同地区の南方に隣接して分布する黒松内低地断層帯の一部が基準に該当し、文献調査対象地区の地下 300 m 以深に分布する可能性を指摘している。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。しかし、地質図（図 3.1-1）、地質断面図（図 3.3-1 および図 3.3-2）および説明書「地震・活断層」に示されるように、月越山脈および幌別山地にいくつかの地質断層、丸山丘陵に背斜構造、寿都低地および沿岸部に文献で示されている活断層が確認されている。これらについて、その規模や性状などの詳細は不明である。

(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広く分布する。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、瀬棚層を未固結堆積物に該当する地層として評価し、尻別川左岸の文献調査対象地区東側境界部付近における地下 300 m 以深の瀬棚層の分布は不明とされている。

(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480万年前より以前に形成された鉱床の周囲に熱水変質帯が分布することが示されており、それ以降の熱水活動を示す情報は確認されていない。一方で、文献調査対象地区の朱太川沿いには泉温が最大で50°C程度の温泉がある。さらに、玉生ほか(2001)によると、42°C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中央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、文献調査対象地区西部の月越山脈周辺の寿都鉱山および正荘鉱山が確認されているものの、いずれも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。文献調査対象地区およびその周辺地域は北海道における主要地下水区(北海道土木地質データ集作成委員会編, 2017)には該当していないものの、小原ほか編(1982)によると、黒松内低地帯周辺は被圧地下水が地域内全域総計で5,000 m³/日以上得られることが見込まれる地域として示されている。

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	一軸圧縮強さ	<ul style="list-style-type: none"> ・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（文献調査対象地区で取得されたデータはない）。 ・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	<p>【朱太川沿い（文献調査対象地区中央部）】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・深度 600 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	<ul style="list-style-type: none"> ・比較的小規模であるものの地すべり地形の存在や将来の地すべり・崩壊の地形的兆候が認められる。 ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・文献調査対象地区外に隣接する黒松内低地断層帯の一部が同地区内の地下 300 m 以深に分布する可能性が指摘されている。 ・月越山脈および幌別山地にいくつかの地質断層、丸山丘陵に背斜構造、寿都低地および沿岸部に文献で示されている活断層が確認されている。
	【文献調査相当の「資料調査」、「地形判読」が場合によって有効とされる調査項目】	
	地質分布、岩質および土質	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・未固結堆積物と考えられる瀬棚層について、尻別川左岸の文献調査対象地区東側境界部付近の地下 300 m 以深の分布は不明である。
	地熱、温泉、有害ガス	<ul style="list-style-type: none"> ・480 万年前以降の熱水活動を示す情報は確認されていない。 ・朱太川沿いには泉温が最大で 50℃程度の温泉がある。 ・文献調査対象地区の中央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	<ul style="list-style-type: none"> ・陸域にいくつかの鉱床が確認されており、西部の月越山脈周辺には鉛を含む鉱床として寿都鉱山などがある。
	【そのほかの調査項目】	
	地下水（帯水層）	<p>【黒松内低地帯周辺】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・被圧地下水が地域内全域総計で 5,000 m³/日以上得られることが見込まれる地域とする文献が確認された。
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中央部を流れる朱太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500~1,000mでは緩衝材の熱変質が懸念される100°Cを超えない。また、同地区における地温勾配の最大値(5.2°C/100m)は、日本の地下深部に広く認められる地温勾配(3~5°C/100m)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。

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、大局的には同地区の東部および西部に位置する幌別山地および月越山脈を主な涵養域とし、寿都湾や朱太川を主な流出域とする東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0.05~0.19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300m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、西部の月越山脈と比べて東部の幌別山地の動水勾配が大きい傾向にあるため、同地区においては東部の幌別山地から寿都湾や朱太川に向かう西向き地下水のほうが西部の月越山脈から寿都湾や朱太川に向かう東向きの地下水に比べて、その流れが相対的に速い可能性が考えられる。主な流出域となる朱太川が南から北に流れていることに鑑みると、朱太川周辺の地下深部においても寿都湾に向かう南から北への地下水の流れが形成されているとともに、寿都湾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タイトについては、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、幌別山地、月越山脈および寿都湾の沿岸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。

朱太川沿いの地温勾配は最大5.2°C/100mとやや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(1.9)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中央部を流れる朱太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と、同地区においては地下水中のpHは7.2~9.1程度、炭酸化学種濃度は最大0.0035 mol/dm³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/dm³)を超えるような化学的特性を有する地下水ではない。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は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を組み合わせることで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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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（朱太川沿いの情報に基づく）。 ・ 地温勾配の最大値（5.2℃/100 m）は、日本の地下深部に広く認められる地温勾配（3～5℃/100m）の範囲から大きく外れていない（朱太川沿いの情報に基づく）。
水理場	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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。 ・ 東部と西部の山地を比較すると、東部の動水勾配が大きい傾向がある。 ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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（朱太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は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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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300mおよび深度500m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300m、深度500m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)を下回る。

表 6.1-1 岩種区分毎の力学特性

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300m	深度500m
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25MPa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26kN/m³および22kN/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300m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7~10MPa程度の岩種が広く分布する。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7MPa程度、新第三紀中新世火山岩類が分布する場合は硬岩に相当する68MPa程度の一軸圧縮強さを示す。深度300~500mにおいては、これらの岩種のうち、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が地山強度比2を下回る。なお、陸域に分布する新第三紀中

新世深成岩類については、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特性（地下 300 m 以深）

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

分布域		陸域		海域	
岩種区分		第四紀 堆積岩類	新第三紀鮮新世		第四紀 堆積岩類
			火山岩類	堆積岩類	
一軸圧縮強さ ^{※1} (MPa)		11.3	26.5	0.8	11.3
地山 強度比 ^{※2}	深度 300 m	1.71	3.40	0.12	1.71

※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、文献調査対象地区中央部の朱太川沿いでは深度 600 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 以深には新第三紀中新世のハイ

アロクラスタイト、堆積岩類に相当する寿都層および磯谷層が数 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。

なお、トンネル標準示方書（土木学会, 2016）においては、初期の比較路線検討時における調査内容として、特殊な地山条件の有無に加えて設計および施工において留意すべき事項の有無が示されている。その一つに「土圧、水圧、地震」があり、地震については、「トンネルが活断層の近傍に位置する場合は、活断層の確実度や活動度、活断層に伴う断層破碎帯の分布や性状、トンネルとの位置関係を的確に把握し、必要に応じて耐震性を考慮した設計ができるよう、詳細な調査を行う」と示されている。4.3.3 (3) は断層変位による人工バリア損傷防止の観点からの検討結果であり、活断層の位置に応じて、地震動については今後調査および評価が必要である。地震動の評価に当たっては、基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド（原子力規制委員会, 2013）などが参考になると考えられる。

(1) 地すべりや斜面災害の可能性のある地山

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比較的小規模であるものの地すべり地形の存在や将来の地すべり・崩壊の地形的兆候が認められている。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、避ける場所には該当しないものの、文献調査対象地区の南方には黒松内低地断層帯が隣接して分布しており、この断層帯の一部が同地区の地下 300 m 以深に分布する可能性が考えられる。また、月越山脈および幌別山地にいくつかの地質断層、丸山丘陵に背斜構造、寿都低地および沿岸部に文献で示されている活断層についても同地区の地下 300 m 以深に分布する可能性が考えられる。これらの断層については、その破碎帯や褶曲構造の規模・性状などは把握できておらず、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」に相当するかどうかは不明である。

(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、同地区の陸域においては、未固結堆積物に該当する地層と考えられる瀬棚層が尻別川左岸の文献調査対象地区東側境界部付近の地下 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熱水鉱床があると同時に、朱太川沿いに温泉があり、中央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、文献調査対象地区西部には寿都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、文献調査対象地区中央部の黒松内低地帯周辺の地下に被圧帯水層の存在が示唆されているが、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、火山砕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」に相当するかどうかは不明である。

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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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については、より詳細に力学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)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 朱太川沿い周辺における 600 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 陸域の地下 300 m 以深に広く分布する寿都層および磯谷層（新第三紀中新世のハイアロクラスタイト、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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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：瀬棚層（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・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、地下 300 m 以深に分布する主な検討対象となる岩種とその上部の岩種の分布の違いや動水勾配の違いに着目し、朱太川が流れる中央部地域、幌別山地が位置する東部地域および月越山脈が位置する西部地域の 3 つに区分した。海域については、岩種の分布に明瞭な違いが認められないため地域区分はしない。

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朱太川沿いの地温、地下水の pH および炭酸化学種濃度のみで、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
		中央部地域 (朱太川周辺)	東部地域 (幌別山地周辺)	西部地域 (月越山脈周辺)	
地質条件	主な検討対象となる岩種	・新第三紀中新世：ハイアロクラスタイト (Slv, Ia)	・新第三紀中新世：堆積岩類 (Is, Iv), ハイアロクラスタイト (Ia)	・新第三紀中新世：ハイアロクラスタイト (Slv), 火山岩類 (Pda)	・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 (a, tr, St) ・新第三紀鮮新世：堆積岩類 (Kms)	・第四紀堆積岩類 (St)	・第四紀堆積岩類 (St) ・新第三紀鮮新世：火山岩類 (Gg)	・第四紀堆積岩類 (III層, IV層)
閉じ込め機能の観点	熱環境	<ul style="list-style-type: none"> 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。 地温勾配は、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。 			(情報なし)
	水理場	<ul style="list-style-type: none"> 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)
		<ul style="list-style-type: none"> 動水勾配：相対的に小さい 	<ul style="list-style-type: none"> 動水勾配：相対的に最も大きい 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】 	<ul style="list-style-type: none"> 動水勾配：相対的に大きい 	
	力学場	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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/dm³ 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)
地質環境特性の長期継続性	<ul style="list-style-type: none"> 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)。 			<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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なし)。 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については、より詳細に力学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)	<ul style="list-style-type: none"> 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 600 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	<ul style="list-style-type: none"> 地下 300 m 以深に広く分布する寿都層および磯谷層 (新第三紀中新世のハイアロクラスタイト、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。 			<ul style="list-style-type: none"> 海底下 300 m 以深に広く分布する 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	<ul style="list-style-type: none"> 地すべり地形、瀬棚層 (未固結堆積物)、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。 			(情報なし)

※ 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留意すべき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、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、ハイアロクラスタイトの力学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、ハイアロ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が限られていると考えられる。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)」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広範囲で把握する。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。ハイアロ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	・ 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，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）北海道寿都郡寿都町 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（2013）基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド，<https://www.nra.go.jp/data/000382458.pdf>，2023年7月27日閲覧。
- 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）。
- 早川福利，国府谷盛明（1968）寿都町弁慶岬周辺の温泉示徴，地下資源調査所報告，38，p. 90。
- 北海道電力（2013）：第18回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合（2013年9月11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）。
- 北海道土木地質データ集作成委員会編（2017）北海道地方土木地質図および同解説書，日本応用地質学会北海道支部。
- 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。
- 小原常弘，松下勝秀，寺島克之編（1982）北海道の水資源の利用と分布図 I 地下水，北海道の地質と資源 IV 北海道の水資源，60万分の1地質図，北海道立地下資源調査所。
- 石田正夫（1983）国縫地域の地質，地域地質研究報告（5万分の1図幅），札幌（4）第59号，地質調査所。
- 楮原京子，黒澤英樹，小坂英輝，三輪敦志，今泉俊文（2013）黒松内低地断層帯・熱帯原野の断層露頭，活断層研究，38，pp. 17-28。
- 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（行政区域データ），<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。

- 久保和也, 石田正夫, 成田英吉 (1983) 長万部地域の地質, 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 札幌-第 48 号, 地質調査所.
- 久保和也, 柴田 賢, 石田正夫 (1988) 西南北海道, 長万部地域の新第三紀火山岩類の K-Ar 年代, 地質学雑誌, 94, 10, pp. 789-792.
- 黒沢邦彦, 田近 淳, 八幡正弘, 山岸宏光 (1993) 5 万分の 1 地質図幅「大平山」及び説明書, 5 万分の 1 地質図, 札幌-第 47 号, 北海道立地下資源調査所.
- 松波武雄 (1995) 北海道の海岸地域に分布する高濃度塩水について, 地下資源調査所報告, 67, pp. 41-58.
- 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 孝雄, 三谷勝利 (1981) 今金町の地質, 今金町.
- 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.
- 斎藤 仁 (1962) 北海道の鉱泉資源, 地下資源調査所報告, 28, pp. 1-88.
- 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 洌, 横山英二, 斉藤尚志, 松波武雄, 内田 豊 (1976) 北海道の地熱・温泉 (A) 西南北海道中南部, 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.
- 石油技術協会 (1993) 最近の我が国の石油開発 石油技術協会創立 60 周年記念, pp. 45-48.
- 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.

- 寿都温泉ゆべつのゆ：温泉成分分析書，<http://yubetsunoyu.com/onsen/>，2023年12月5日閲覧。
- 鈴木 守，藤原哲夫，三谷勝利（1967）長万部町の地質，長万部町（北海道山越郡）。
- 鈴木 守，山岸宏光，高橋功二，庄谷幸夫（1981）5万分の1地質図幅「寿都」及び説明書，5万分の1地質図，札幌-第36号，北海道立地下資源調査所。
- 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・温泉ボーリングー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，2023年7月27日閲覧。
- 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（1984）5万分の1地質図幅「歌棄」及び説明書，5万分の1地質図，札幌-第37号，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。
- 山岸宏光，国府谷盛明，安藤重幸（1976）5万分の1地質図幅「島古丹」及び説明書，5万分の1地質図，札幌-第26号，北海道立地下資源調査所。
- 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}	—	—	—

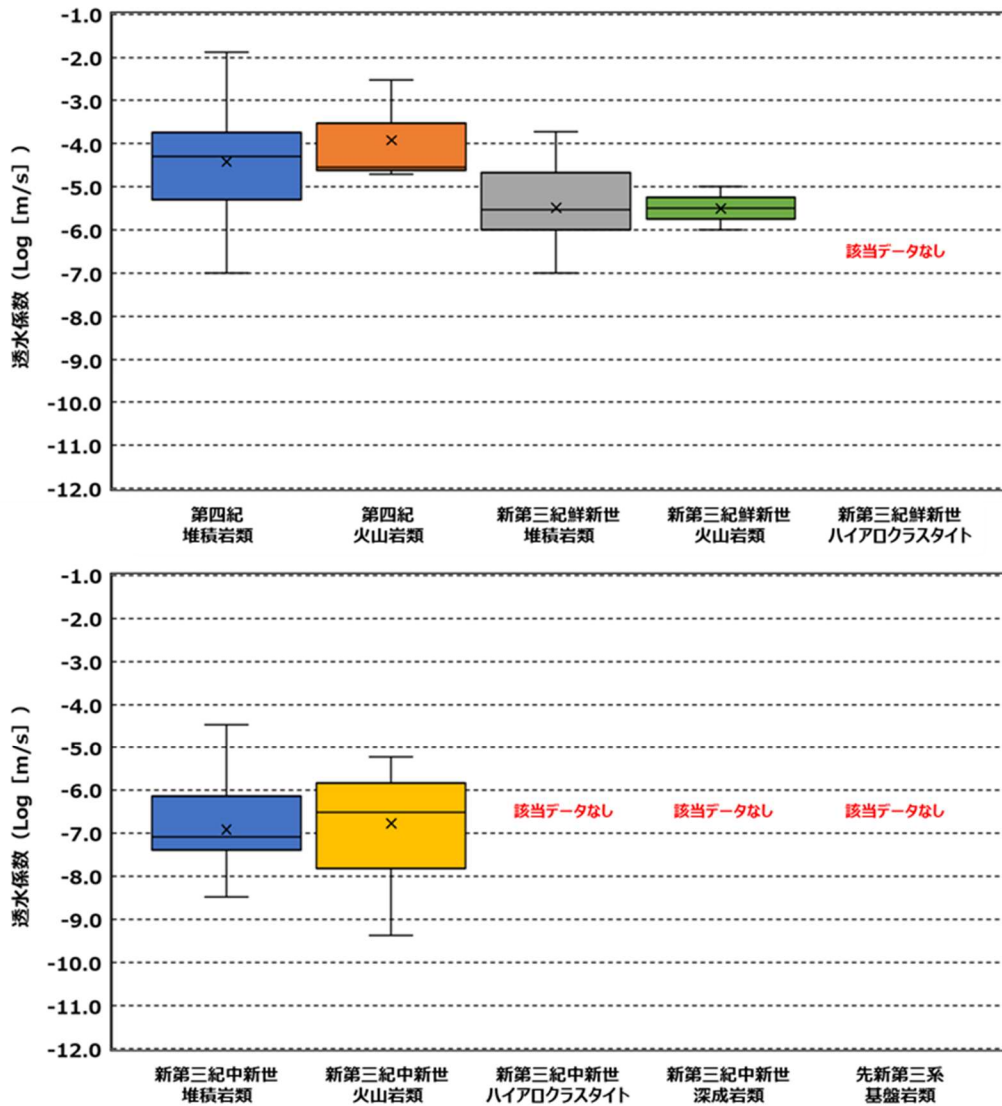


図 A-1 岩種区分毎の地質環境特性 (透水係数)

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回岩盤力学に関 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	ポ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	パイプル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-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 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。

なお、第四紀の火山岩類、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。

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。

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	—	—

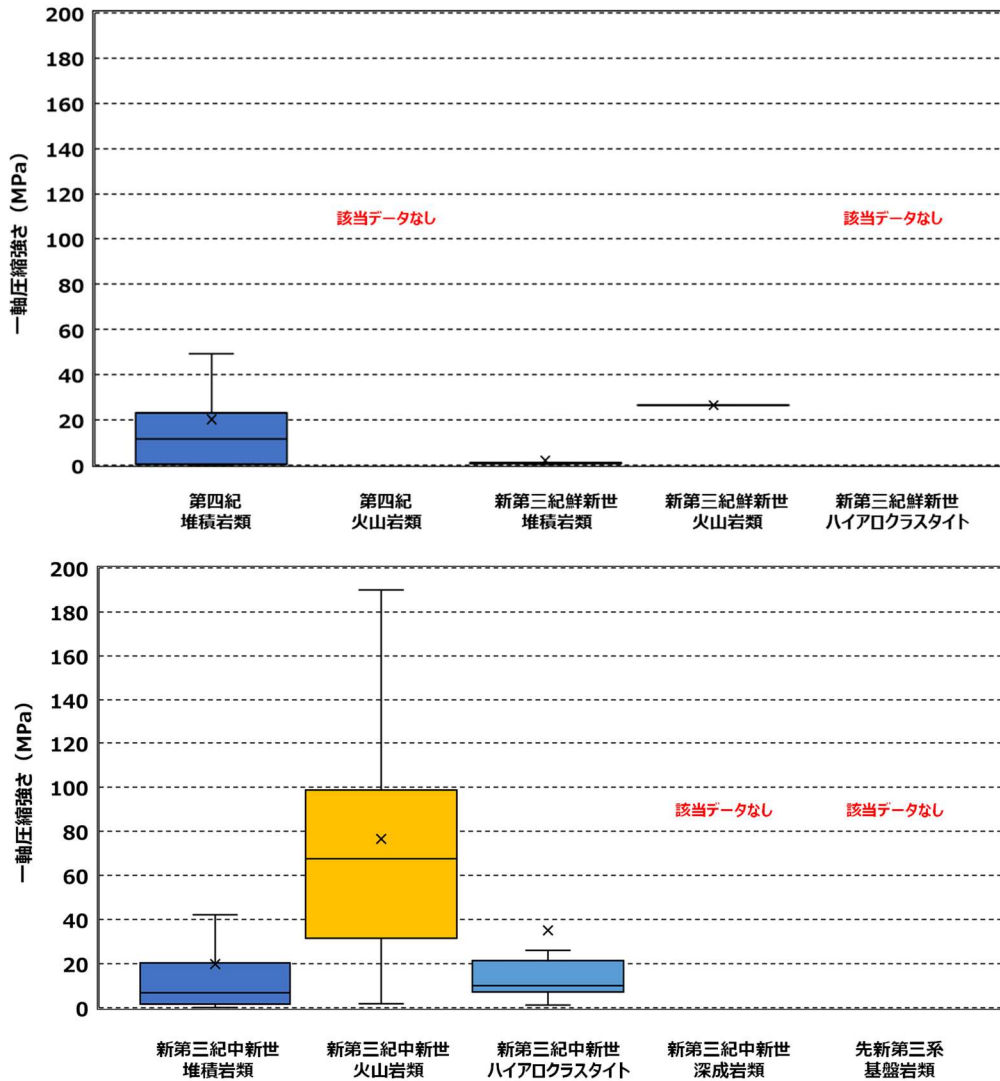


図 B-1 岩種区分毎の地質環境特性（一軸圧縮強さ）

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 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-2 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、日本海に面した寿都湾を挟んで東西にそれぞれ幌別山地と月越山脈が主稜線をほぼ南北に連なり、それらの間に広がる黒松内低地帯を朱太川が南から北に向かって流下するといった地形概況を示す。幌別山地および月越山脈は朱太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、幌別山地および月越山脈を主な涵養域とし、寿都湾や朱太川を主な流出域とした東西方向の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 に示す文献調査対象地区の陸域を東西方向に通過する I-I' 断面と、海域を東西方向に通過する II-II' 断面を対象として水理場の概念を検討した。

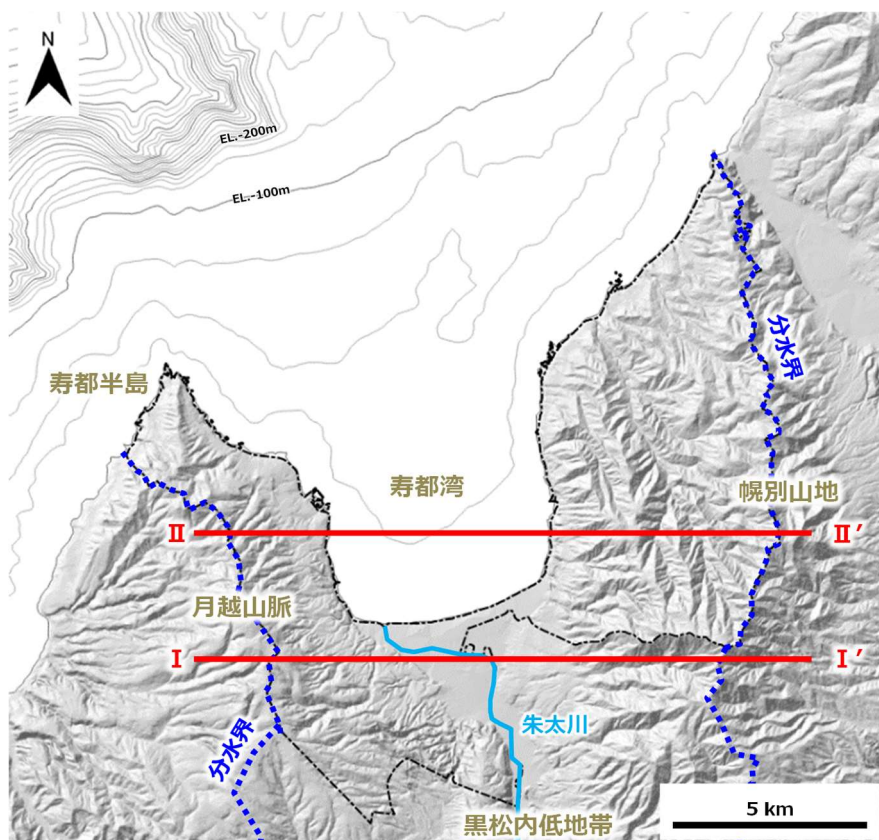


図 C-1 水理場の概念を検討する断面位置

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、寿都町行政界は「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を示す。

文献調査対象地区の陸域を通過する I-I' 断面においては、朱太川周辺の地表から深度 300 m 程度にかけて新第三紀鮮新世堆積岩類と第四紀堆積岩類が下位から上位に分布するが、それ以外の月

越山脈から幌別山地にかけての広い範囲には、新第三紀中新世ハイアロクラスタイトが広く分布する。

文献調査対象地区の陸域に広く分布する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、朱太川周辺の第四紀および新第三紀鮮新世の堆積岩類を比較すると、1オーダー程度の透水性の違いが認められる。また、I-I'断面の地形概況および黒松内低地帯を流れる朱太川の流下方向を踏まえると、地下水の流出域となる朱太川周辺の地下深部では、寿都湾に向かう南から北への地下水の流れが形成されていることが想定される。

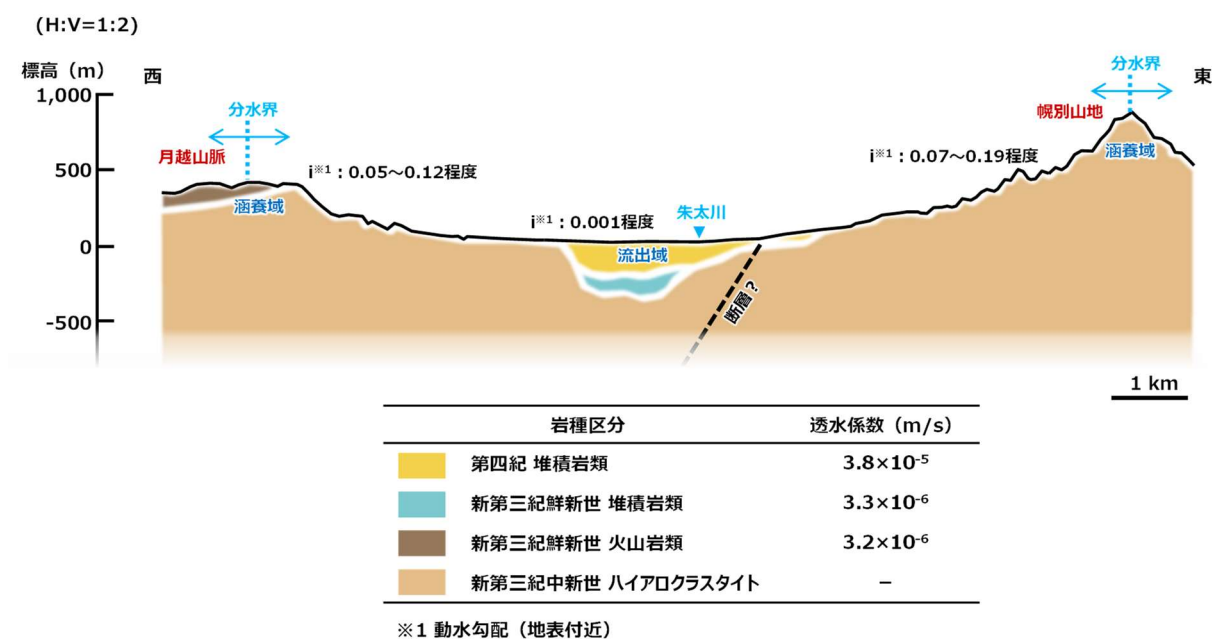
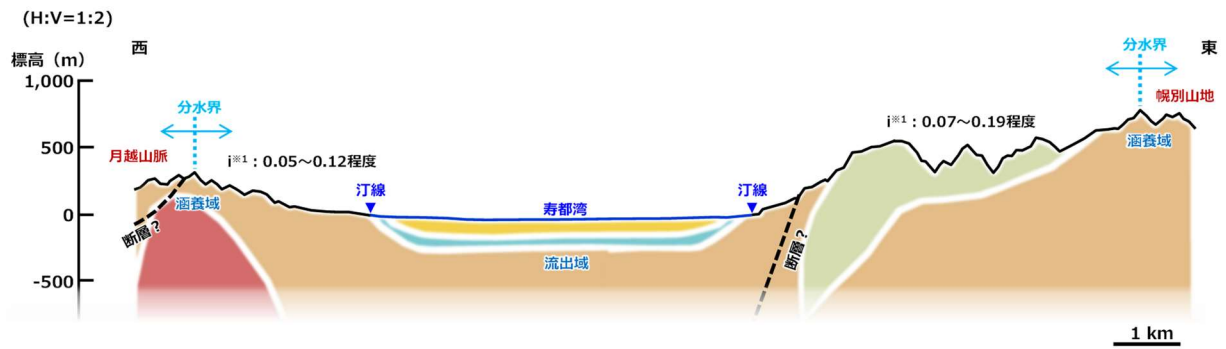


図 C-2 文献調査対象地区における水理場の概念 (I-I'断面)

岩種の分布は図 3.3-1 の地質断面図 (B-B'断面) を簡略化。

文献調査対象地区の海域を通過するII-II'断面においては、同地区西部の月越山脈周辺に新第三紀中新世ハイアロクラスタイトが分布し、東部の幌別山地周辺に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が分布する。寿都湾周辺では海底面から深度300m程度まで新第三紀鮮新世堆積岩類と第四紀堆積岩類が下位から上位に分布する。また、月越山脈や寿都湾の沿岸部には、いくつかの地質断層が分布する。

前述したとおり、文献調査対象地区の陸域に広く分布する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。また、月越山脈や寿都湾の沿岸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。寿都湾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。



岩種区分	透水係数 (m/s)
第四紀 堆積岩類	3.8×10^{-5}
新第三紀鮮新世 堆積岩類	3.3×10^{-6}
新第三紀中新世 ハイアロクラスタイト	-
新第三紀中新世 堆積岩類	1.2×10^{-7}
新第三紀中新世 深成岩類	-

※1 動水勾配 (地表付近)

図 C-3 文献調査対象地区における水理場の概念 (II-II' 断面)

陸域における岩種の分布は図 3.3-1 の地質断面図 (A-A'断面) を簡略化。海域 (寿都湾の海底下) における岩種の分布は図 3.3-3 の地質断面図 (G-G'断面) に基づき推定。

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 [$J/kg \cdot K$]， α_v は水の線膨張係数 [$/K$]， 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 1.9 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°C 国立天文台編（2020）p. 394
水の比熱	C_w	$J/kg \cdot K$	4,180	20°C 国立天文台編（2020）p. 522
水の線膨張係数	α_v	$/K$	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°C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	26	地温勾配 $5.2^\circ C/100 m$ 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°C 国立天文台編（2020）p. 398
帯水層の鉛直方向の有効熱伝導率	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。