



3.5 周氷河作用の影響に関する検討

周氷河作用の影響に関する検討について.....	P.2
凍結融解作用の影響に関する検討について.....	P.24

検討概要 (1/3)

○開削調査箇所(北側)に認められる河成の堆積物(Tf2ユニット)及び開削調査箇所(南側)に認められる斜面堆積物(Ts3ユニット)について、小野・斉藤(2019)「活断層研究51号」が指摘している周氷河作用の影響を受けたものか否か検討を実施した。

【文献による敷地の周氷河作用の影響に関する指摘の趣旨】

(活断層研究 51号 2019「北海道西部, 岩内平野の地形発達史-泊原発の敷地内断層と関連して-」)

- 小野・斉藤(2019)では、F-1断層開削調査箇所において認められる堆積物の一部について、周氷河作用の影響を受けたものであると指摘している(文献の詳細についてはP4参照)。
- 当該文献では、敷地及びその周辺に分布する段丘面間の斜面での当社トレンチ調査における火山灰分析の結果、Toya, Spfa-1等が表土直下で混在している状況が認められることから、これらの堆積物は周氷河作用による擾乱を受けたものと推定している。
- さらに、F-1断層開削調査箇所が上述のトレンチ調査箇所と類似する地形に位置していることを以って、既往評価において当社がHm2段丘堆積物としていた地層及びその上位の火山灰質シルト層を含む層厚6m程度の地層(当該文献では「D層」と呼称、次頁図参照)についても、同様に周氷河作用による擾乱を受けた周氷河性斜面堆積物であると断定している。
- また、十勝平野の事例を引用し、Spfa-1が周氷河作用による擾乱を受けた時期がMIS2であることから、D層を含む敷地の周氷河性斜面堆積物の形成時期もMIS2であるとしている。

【検討方針】

- 当該文献ではF-1断層開削調査箇所に周氷河性斜面堆積物が分布すると指摘しているものの、F-1断層開削調査箇所は敷地の改変に伴い消失している状況である。
- 今回の周氷河作用の影響に関する検討においては、F-1断層開削調査箇所付近に位置する開削調査箇所(北側)及び開削調査箇所(南側)のうち、それぞれF-1断層の活動性評価の上載地層となる河成の堆積物(Tf2ユニット)及び斜面堆積物(Ts3ユニット)を対象に以下の手順で実施する。
 - ①周氷河作用に関する文献レビューにより、周氷河作用の影響を受けた堆積物の特徴を確認するための観点について検討する。
 - ②Tf2ユニット及びTs3ユニットについて、①で検討した観点から周氷河作用の影響が認められるか否かの確認を行う。

(次頁へ続く)

F-1断層開削調査箇所付近の地層区分については、検討の結果(3.1章参照)、**ケース1**、**ケース2**及び**ケース3**の3ケースが考えられるが、本章では**ケース1**の場合について記載している。

検討概要 (2/3)

(前頁からの続き)

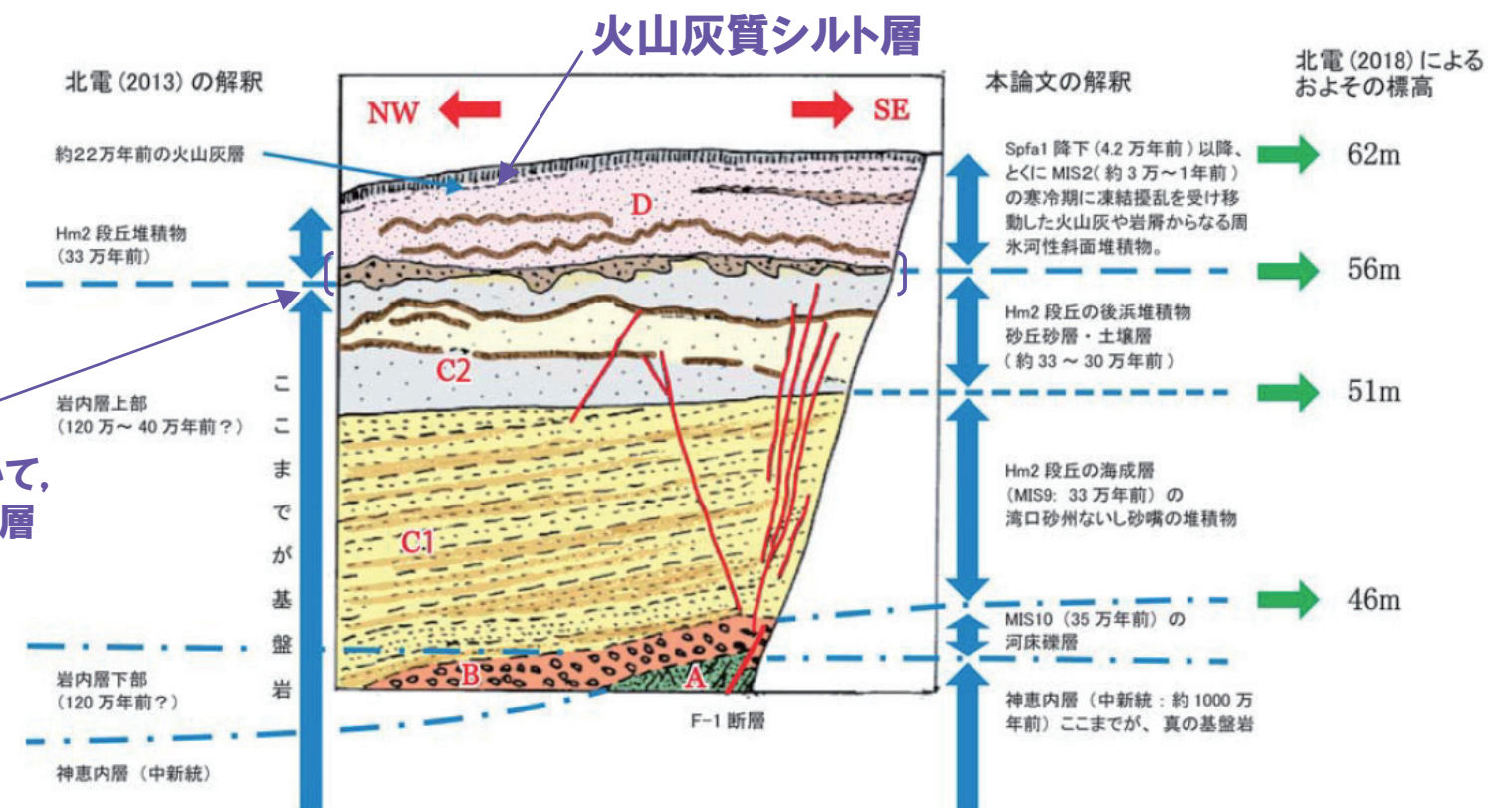
【検討及び確認結果】

- ①文献レビューを踏まえた、周氷河作用の影響を示唆する状況を確認するための観点は、以下のとおり。
- ・層相の観点 : 堆積物が周氷河作用に伴うインボリューション、ソリフラクション等の影響を受けた場合、その堆積構造は擾乱されると考えられることから、周氷河作用を示唆する擾乱の有無について確認する
 - ・堆積時期の観点: 検討対象となる堆積物の堆積時期(氷期かどうか)について確認する
 - ・活動層厚の観点: 敷地の位置する北海道における周氷河作用の影響を受ける深度は、地表から概ね2~3m程度となるものと考えられることから、検討対象となる堆積物の深度について確認する
- ②地質調査の結果、いずれの観点においてもTf2ユニット及びTs3ユニットに周氷河作用の影響を示唆する状況は認められない。



- 開削調査箇所(北側)に認められるTf2ユニット及び開削調査箇所(南側)に認められるTs3ユニットは、周氷河作用の影響を受けていないと判断される。
- このため、Tf2ユニット及びTs3ユニットはF-1断層の活動性評価を行うことのできる上載地層と判断される。

既往評価(H30.5.11審査会合)において、当社が、Hm2段丘堆積物としていた地層

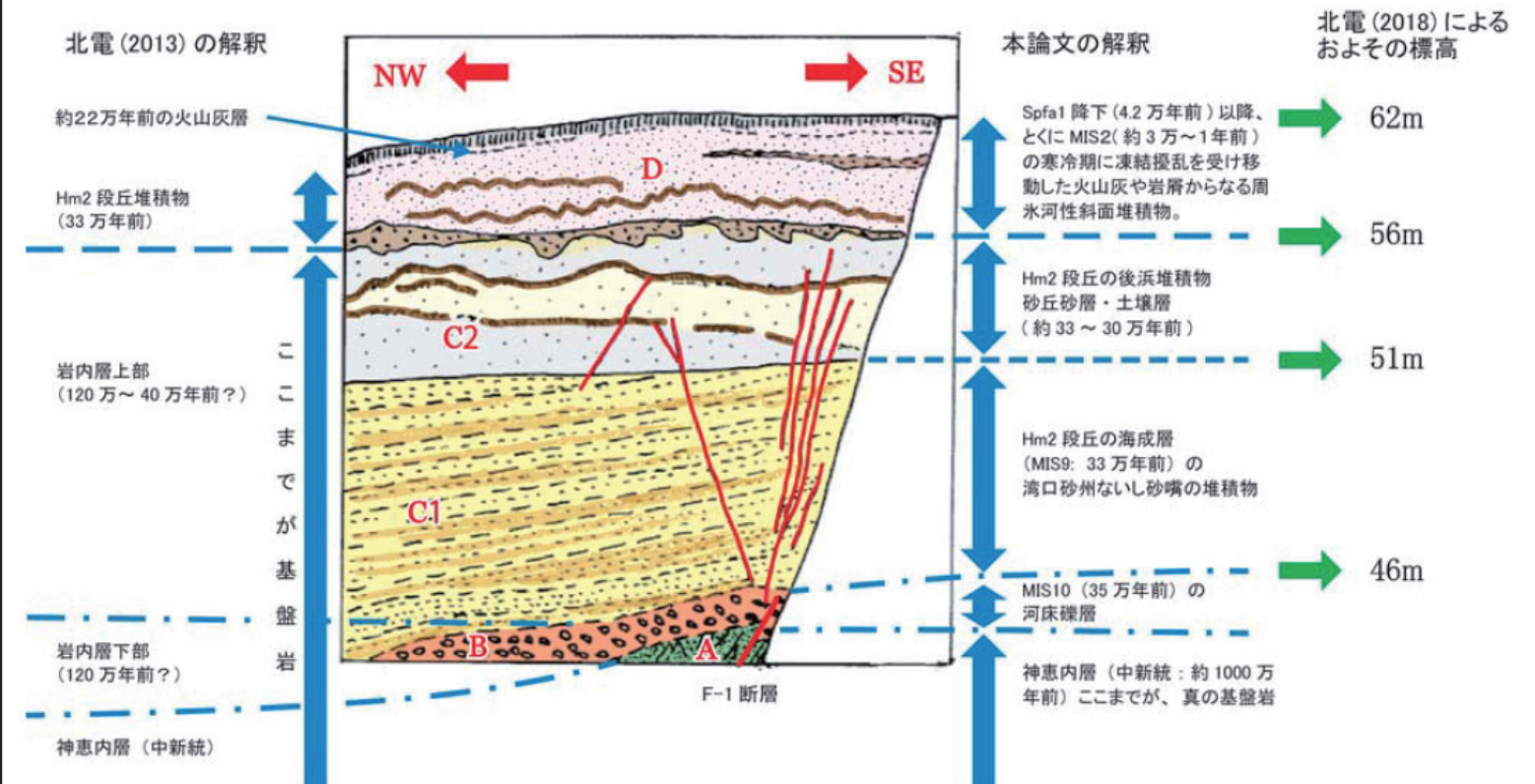


第16図 泊原発敷地内(第3図、第4図、A地点)の掘削断面の写真(北海道電力、2013)のスケッチと本論文の解釈。スケッチのもとになった写真には歪があるため、実際の標高を右端に示す(本文参照)

F-1断層開削調査箇所における当社写真から作成したスケッチ
小野・斉藤(2019)に加筆(紫字が当社による加筆)

検討概要 (3/3)

- 小野・斉藤 (2019) では、敷地において認められる堆積物が受ける周氷河作用について、以下のように述べている。
- ・Hm3面は標高40～50mにあり、Hm2面との境界をなす段丘崖は、周氷河作用を受け、標高約60m付近から50m付近までゆるやかに下る斜面となっている
 - ・北海道電力による掘削断面の写真をトレースし、北海道電力の解釈とそれに対する筆者らの解釈を入れたものを示す (右図参照)
 - ・北海道電力による敷地内とその周辺 (右図の掘削断面の近傍でHm1面からHm2面に移行する斜面、及びHm2面からHm3面に移行する斜面:掘削断面もこのような斜面に相当する) で数か所のトレンチ調査を行った結果、重要な結果が得られた
 - ・すなわちそれらの斜面において、ニセコ起源と思われる約22万年前の火山灰層や、Toya及びSpfa-1が、いずれも純層ではなく火山灰粒子として、しかも本来の層位を大きく乱されたかたちで斜面堆積物中に散在していることが明らかになった
 - ・この事実により、D層が周氷河性斜面堆積物であること、かつ斜面堆積物の移動期は、少なくともSpfa-1の降下後であることが確実に became
 - ・十勝平野においては、Spfa-1が強い凍結擾乱を受けてインボリューションを形成したり、本来の層位を大きく乱されたのは、最終氷期で最も寒冷・乾燥したMIS2であったことが明らかにされている
 - ・MIS2の北海道は全域が不連続的永久凍土帯になっていたと考えられており、局所的に夏でも凍土が残り、表層は過飽和状態になって周氷河性ソリフラクションが活発に生じたと考えられている



第16図 泊原発敷地内 (第3図, 第4図, ①地点) の掘削断面の写真 (北海道電力, 2013) のスケッチと本論文の解釈。スケッチのもとになった写真には歪があるため、実際の標高を右端に示す (本文参照)

F-1断層開削調査箇所における当社写真から作成したスケッチ
小野・斉藤 (2019)

周氷河作用に関する文献レビューまとめ

【鈴木(2000)】

- 敷地の位置する積丹半島を含む北海道の大部分は、最終氷期には周氷河地域に属していることから、それ以前の氷期(例えばMIS6)においても、概ね同様な環境が推定される。
- 斜面表層の非固結物質は、氷期には攪乱されながら移動する(ソリフラクション)ものと考えられる。

【宮田(1988)】

- インボリューションのような上下移動が生じる周氷河作用においては、上下位層の相互貫入が生じており、どちらの層においても擾乱が認められるものと考えられる。
- インボリューションの形成要因として、上位層の密度が大きい場合に、凍結時に吸い上げられた間隙水が融解時に飽和し、地盤の強度が低下することが考えられる。

【松岡(1992)】

- 裸地において堆積物が凍結融解作用の影響を受ける深度は、最大2m程度と考えられる。

【三浦・平川(1995)】

- 最終氷期の北海道北部及び東部における活動層厚は、層厚の大きい不連続的永久凍土帯南限付近としても概ね2~3m程度となるものと考えられる。

※文献レビューの詳細については3.6章P142~P145参照。



- 文献レビューを踏まえた、周氷河作用の影響を示唆する状況を確認するための観点は、以下のとおり。
 - ・層相の観点 : 堆積物が周氷河作用に伴うインボリューション、ソリフラクション等の影響を受けた場合、その堆積構造は擾乱されることが考えられることから、周氷河作用を示唆する擾乱の有無について確認する
 - ・堆積時期の観点: 検討対象となる堆積物の堆積時期(氷期かどうか)について確認する
 - ・活動層厚の観点: 敷地の位置する北海道における周氷河作用の影響を受ける深度は、地表から概ね2~3m程度となるものと考えられることから、検討対象となる堆積物の深度について確認する

開削調査箇所（北側）まとめ（1/2）

○開削調査箇所（北側）に認められる河成の堆積物（Tf2ユニット）について、層相の観点並びに堆積時期及び活動層厚の観点から、周氷河作用の影響を示唆する状況の有無を確認した。

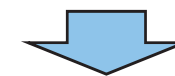
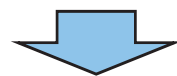
【層相の観点（P8～P13参照）】

- Tf2ユニット及びTf2ユニット基底面付近のM1ユニットは、堆積時の堆積構造に乱れは認められないことから、Tf2ユニットに周氷河作用の影響を示唆する擾乱は認められない。
- M1ユニットとTf2ユニットの境界が楔状を呈する箇所は、宮田（1988）のレビューを踏まえ、M1ユニットに平行葉理が認められ、堆積時の堆積構造に乱れは認められないことから、周氷河作用に伴うインボリューションではない。

【堆積時期及び活動層厚の観点（P14～P15参照）】

- 本調査箇所西部及び中央部に認められるTf2ユニットは、一連の海水準上昇に伴い堆積したMIS9以前の海成層に挟在することから、氷期の堆積物ではない。
- このうち中央部※に認められるTf2ユニットは、MIS9直後の河成の堆積物（Tf4ユニット）堆積以降の氷期においては、地表から3～8m程度以上の深度に位置し、周氷河作用の影響を受ける概ね2～3m程度に位置していない（次頁参照）。
- なお、Tf4ユニットにおける火山灰分析の結果（3.6章P146～147参照）、最終氷期の周氷河作用による擾乱を受けたことを示唆する状況は認められない。
- Tf4ユニットは、分布標高及び層相からF-1断層開削調査箇所においても分布するものと判断される（3.1章P8参照、既往評価において、当社が、Hm2段丘堆積物としていた地層）。

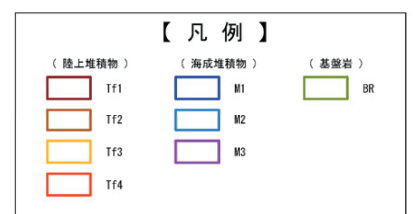
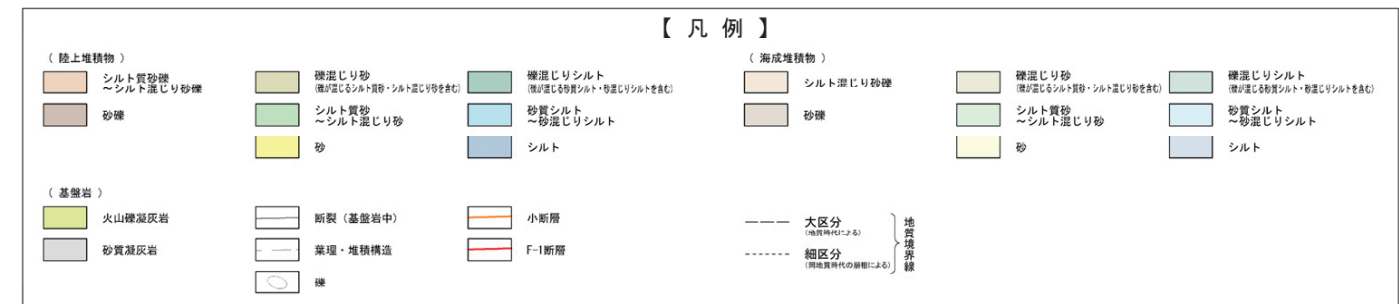
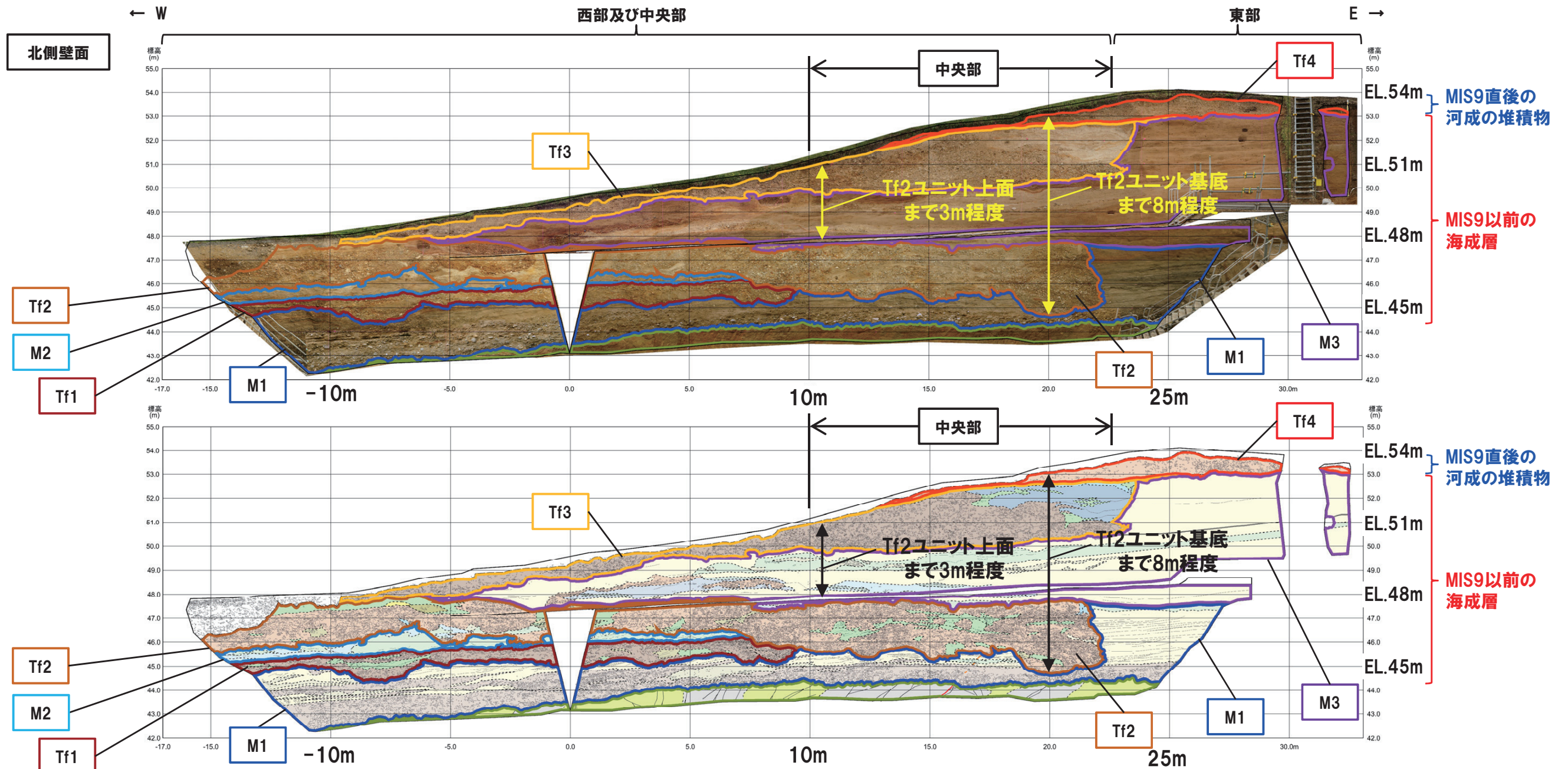
※次頁に示す西部及び中央部の範囲のうち、中央部は距離呈約10mより東側の範囲。
中央部においては、Tf2ユニット下位のM1ユニットにF-1断層に関連する小断層が認められる。



○開削調査箇所（北側）に認められる河成の堆積物（Tf2ユニット）は、周氷河作用の影響を受けていないと判断される。

周氷河作用の影響に関する検討について

開削調査箇所(北側)まとめ(2/2)



開削調査箇所(北側)北側壁面 写真及びスケッチ

開削調査箇所（北側）-層相の観点（1/6）-

○開削調査箇所（北側）に認められる河成の堆積物（Tf2ユニット）について、層相の観点から、周氷河作用の影響が認められるか否か確認するため、本調査箇所に認められるTf2ユニット基底面付近のM1ユニット及びTf2ユニット中の堆積構造について、露頭の再観察を行った（各範囲の位置は次頁図参照）。

【範囲A（詳細はP10参照）】

- ・M1ユニットは、Tf2ユニットと同程度の標高に平行葉理が発達し、乱れは認められない
- ・Tf2ユニットの基底面付近のM1ユニットにおいて、堆積構造に乱れは認められない
- ・Tf2ユニットには、堆積時に下位のM1ユニットを侵食して取り込んだものと考えられる砂のブロックが点在し、一部のブロックにおいては葉理が認められる

【範囲B（詳細はP11参照）】

- ・Tf2ユニット中の比較的細粒な層相を呈する箇所に、平行葉理が認められる

【範囲C（詳細はP12参照）】

- ・Tf2ユニットには、堆積時に下位のM1ユニットを侵食して取り込んだものと考えられる砂のブロックが点在し、一部のブロックにおいては葉理が認められる

【範囲D（詳細はP13参照）】

- ・M1ユニットとTf2ユニットの境界が楔状を呈する箇所において、M1ユニットに平行葉理が認められ、乱れは認められない

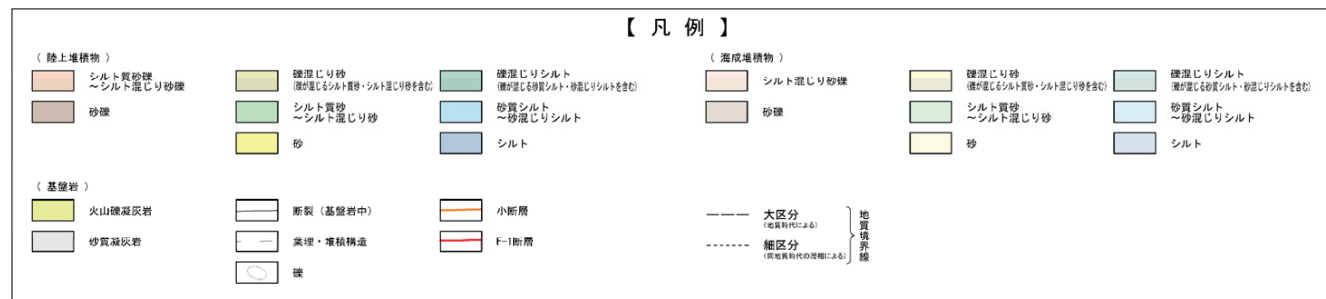
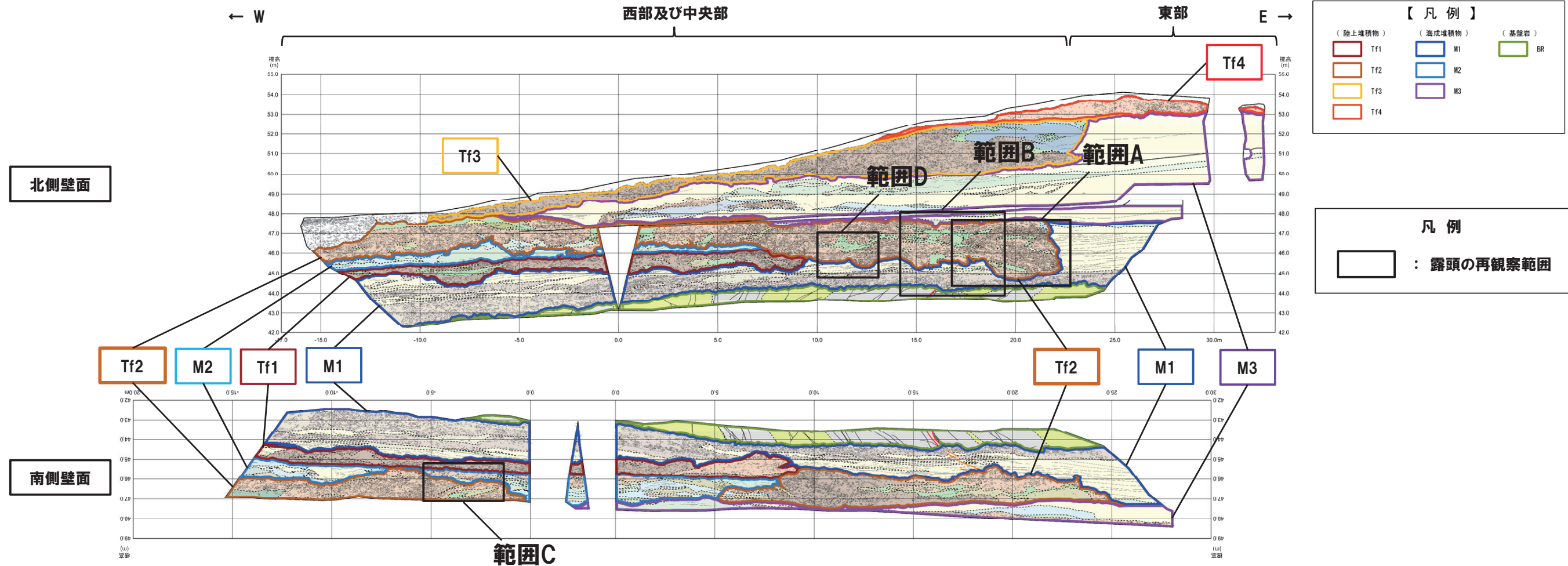


（周氷河作用の影響）

- Tf2ユニット及びTf2ユニット基底面付近のM1ユニットは、堆積時の堆積構造に乱れは認められないことから、Tf2ユニットに周氷河作用の影響を示唆する擾乱は認められない。
- M1ユニットとTf2ユニットの境界が楔状を呈する箇所は、宮田（1988）のレビューを踏まえると、M1ユニットに平行葉理が認められ、堆積時の堆積構造に乱れは認められないことから、周氷河作用に伴うインボリューションではない。

周氷河作用の影響に関する検討について

開削調査箇所(北側) - 層相の観点(2/6) -



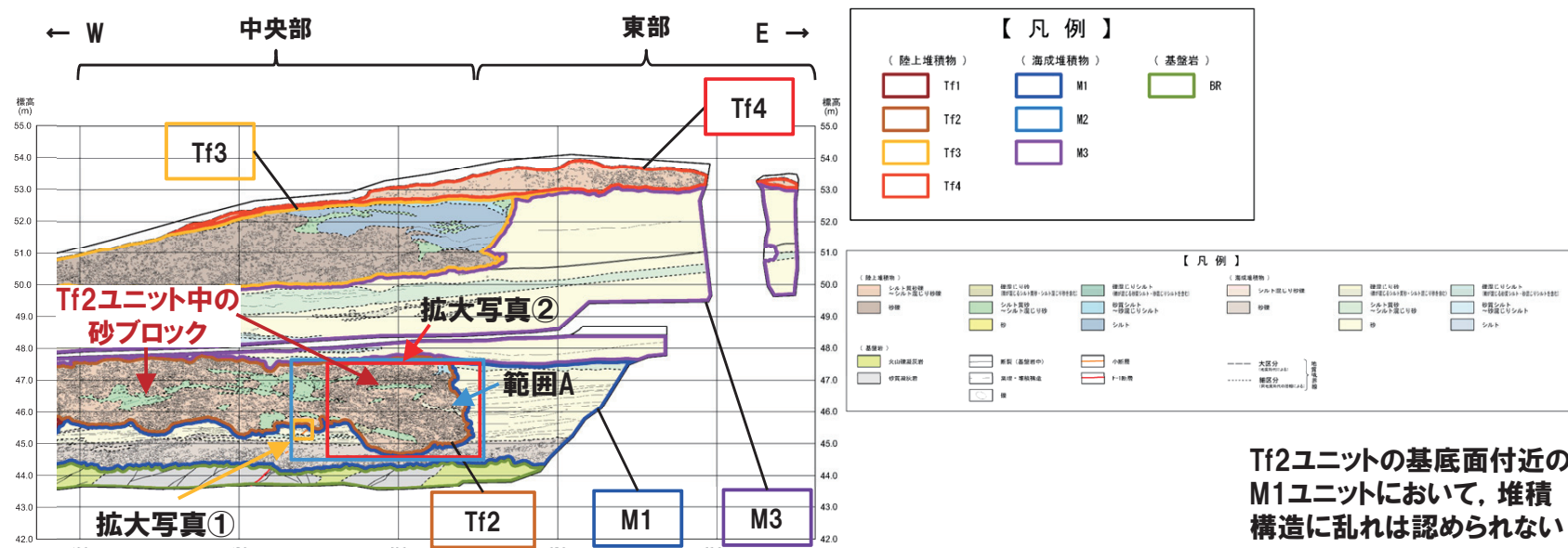
北側壁面及び南側壁面のユニットの分布標高

	北側壁面	南側壁面
Tf4	約51.5～54m	-
Tf3	約47.5～53m	-
M3	約47.5～53m	約47m～
Tf2	約44.5～48m	約45.5m～
M2	約45～47m	約45～47.5m
Tf1	約44.5～46m	約44.5～46m
M1	約42～47.5m	約42.5～47m

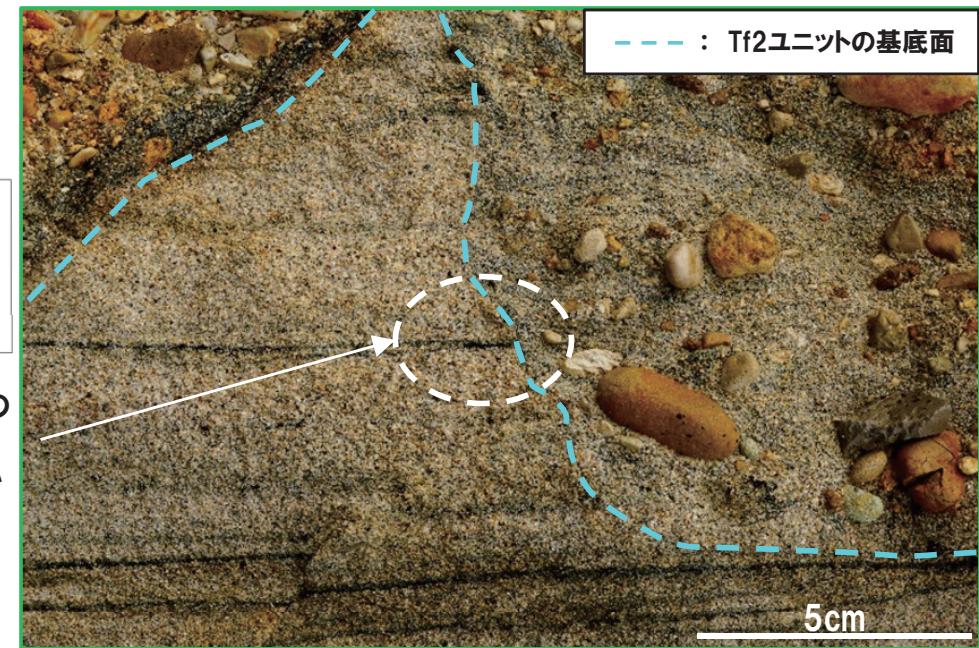
開削調査箇所(北側) 展開図

周氷河作用の影響に関する検討について

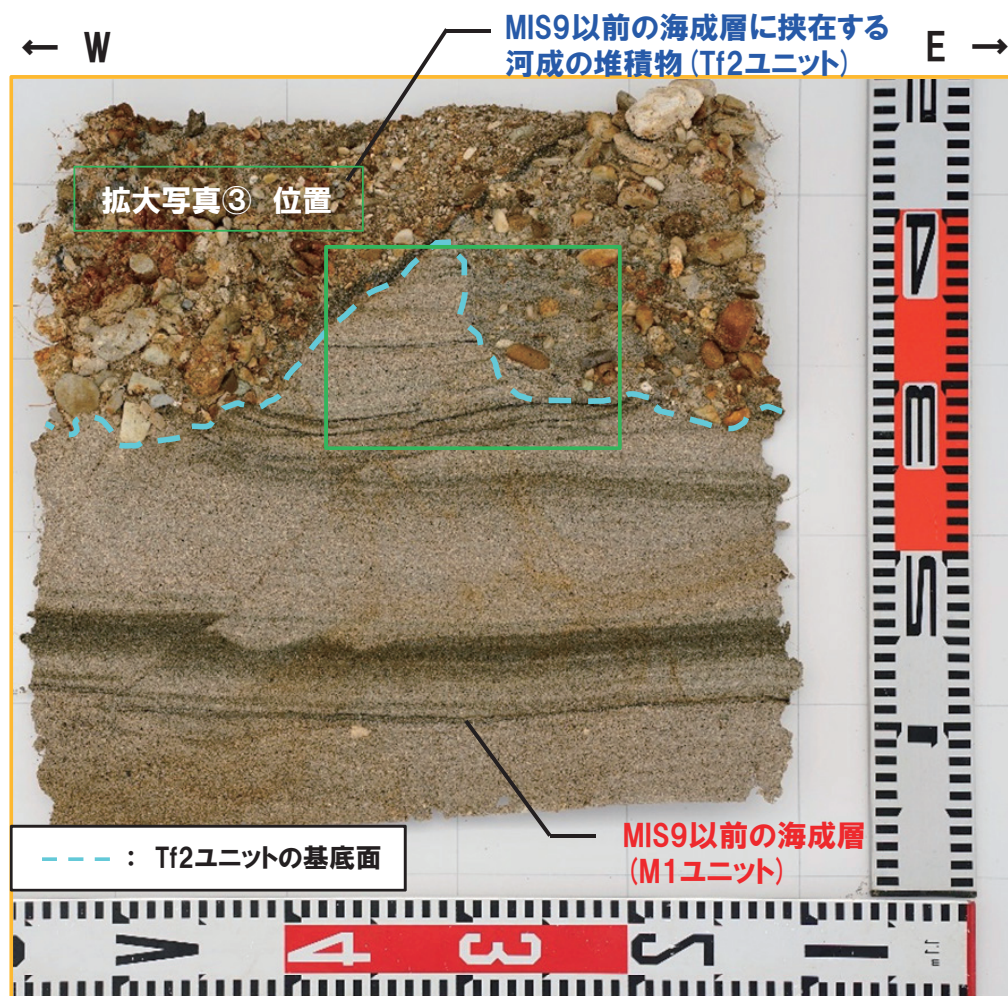
開削調査箇所(北側) - 層相の観点 範囲A (3/6) -



開削調査箇所(北側) 北側壁面スケッチ

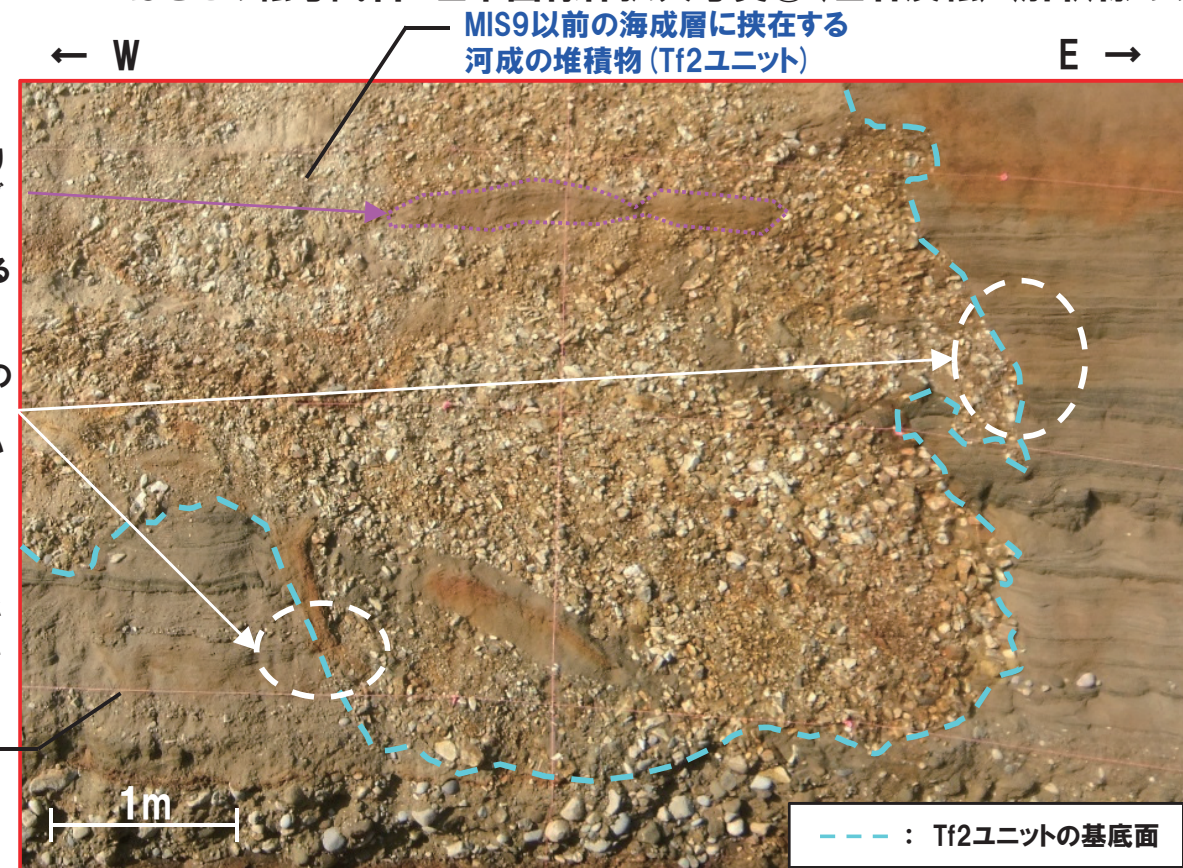


Tf2ユニットの基底面付近のM1ユニットにおいて、堆積構造に乱れは認められない



拡大写真① (北側壁面距離呈17m付近, はぎとり転写試料 (左右反転) (解釈線あり))

はぎとり転写試料 左下図緑枠拡大写真③ (左右反転) (解釈線あり)



拡大写真② (北側壁面距離呈20m付近 (解釈線あり))

Tf2ユニットには、堆積時に下位のM1ユニットを侵食して取り込んだものと考えられる砂のブロックが点在し、一部のブロックにおいては葉理が認められる

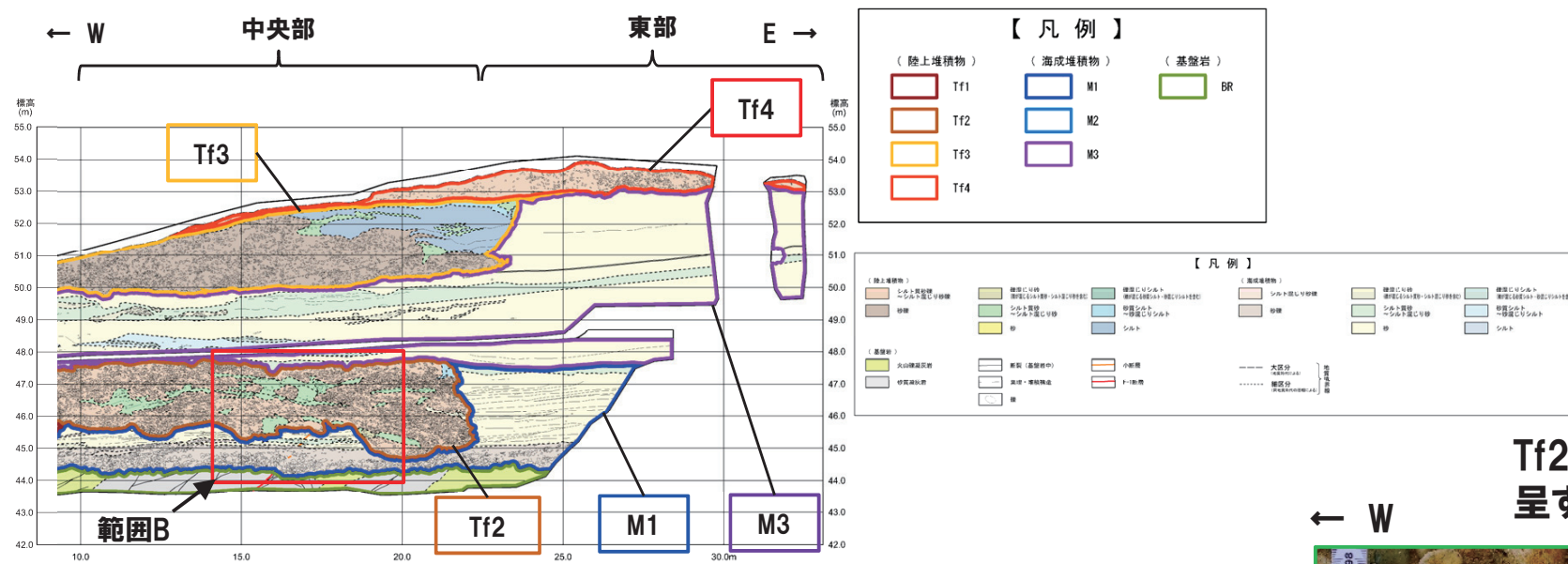
Tf2ユニットの基底面付近のM1ユニットにおいて、堆積構造に乱れは認められない

M1ユニットは、Tf2ユニットと同程度の標高に平行葉理が発達し、乱れは認められない

MIS9以前の海成層 (M1ユニット)

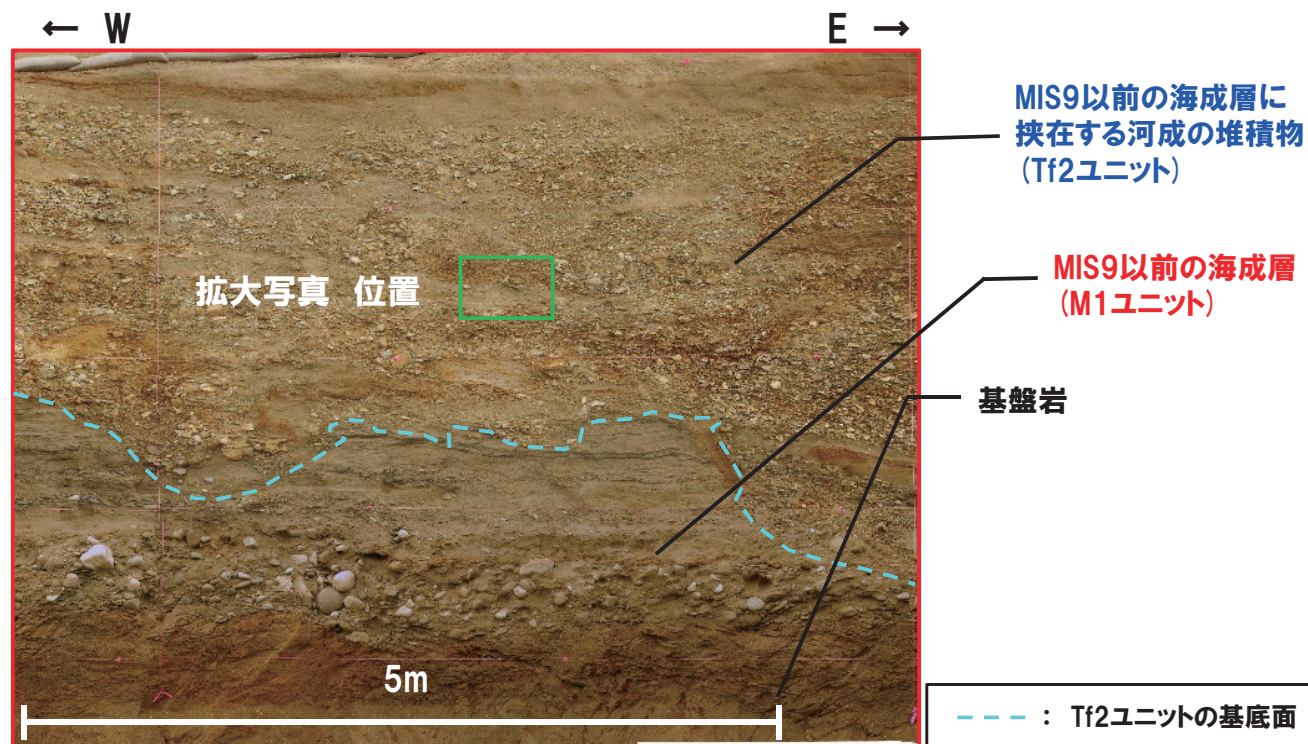
周氷河作用の影響に関する検討について

開削調査箇所(北側) - 層相の観点 範囲B (4/6) -



開削調査箇所(北側) 北側壁面スケッチ

Tf2ユニット中の比較的細粒な層相を呈する箇所に、平行葉理が認められる



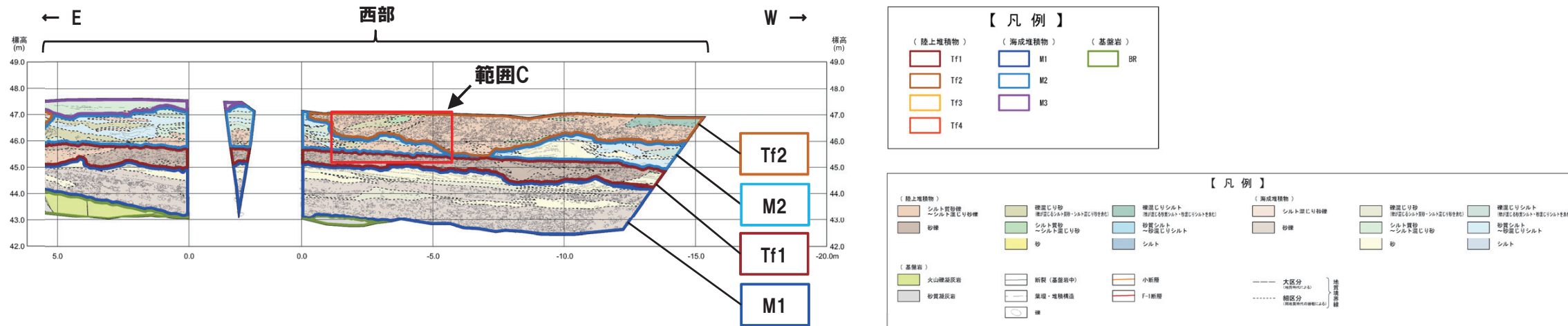
範囲B写真(北側壁面距離呈17m付近(解釈線あり))

範囲B写真は、R1.11.7審査会合において提示したはぎとり転写試料作成前の写真を案内図として用いている。



左図拡大写真(解釈線あり)
(奥行き方向掘削後断面)

開削調査箇所(北側) - 層相の観点 範囲C (5/6) -

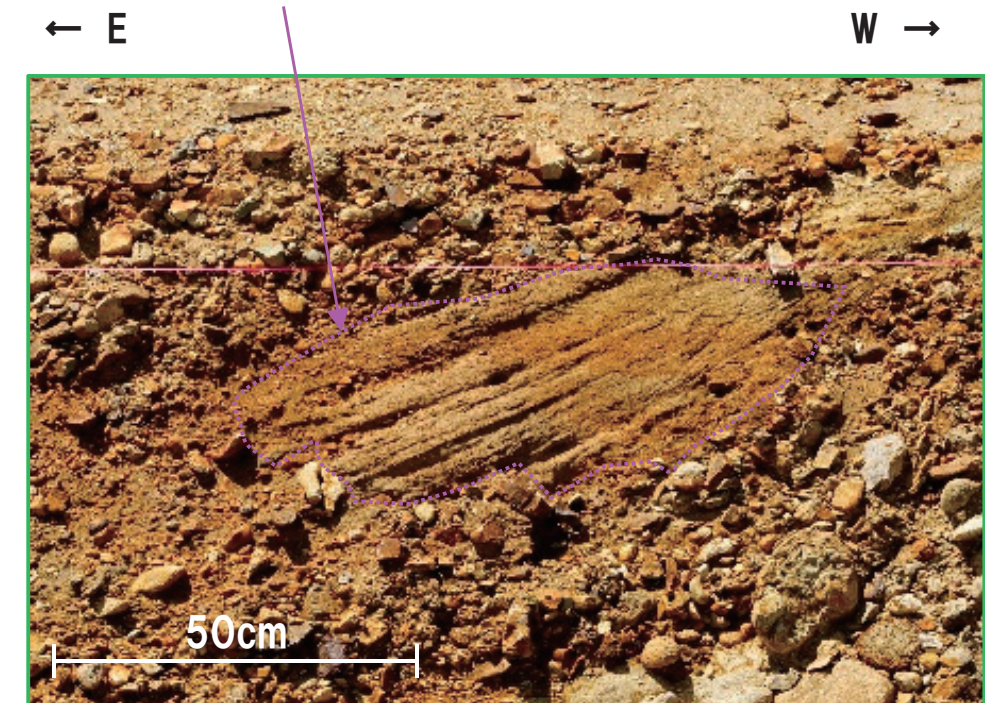


開削調査箇所(北側) 南側壁面スケッチ



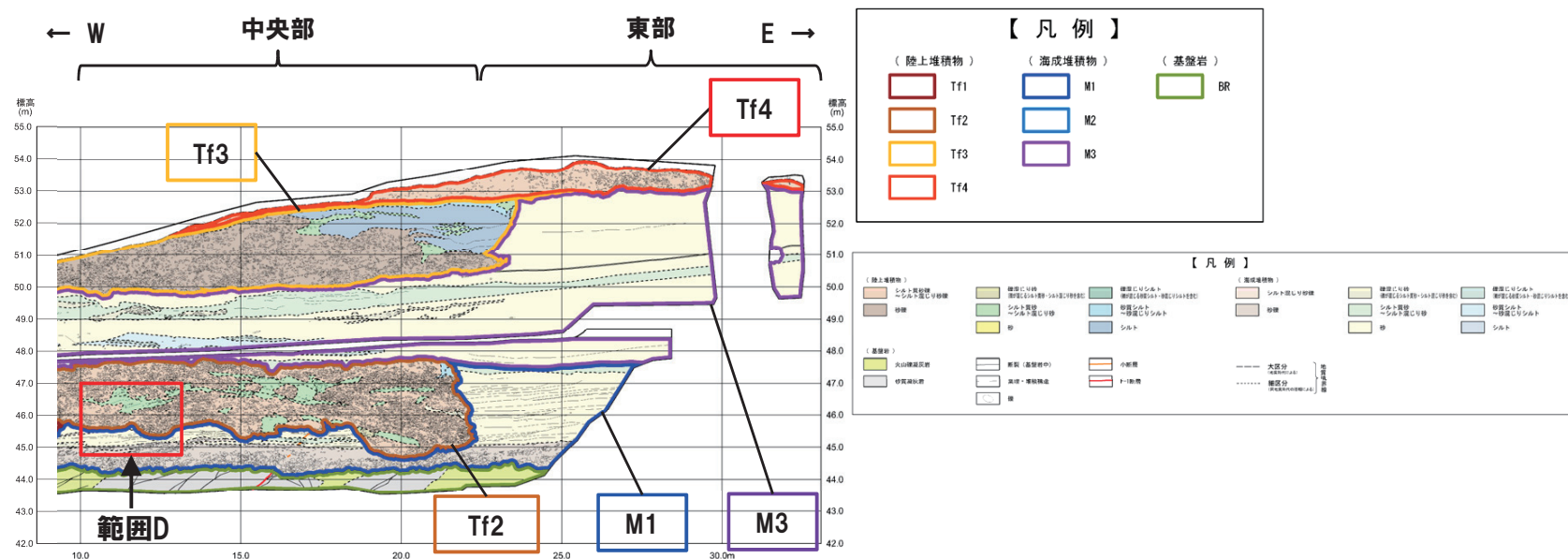
範囲C写真(南側壁面距離呈-4m付近(解釈線あり))

Tf2ユニットには、堆積時に下位のM1ユニットを侵食して取り込んだものと考えられる砂のブロックが点在し、一部のブロックにおいては葉理が認められる

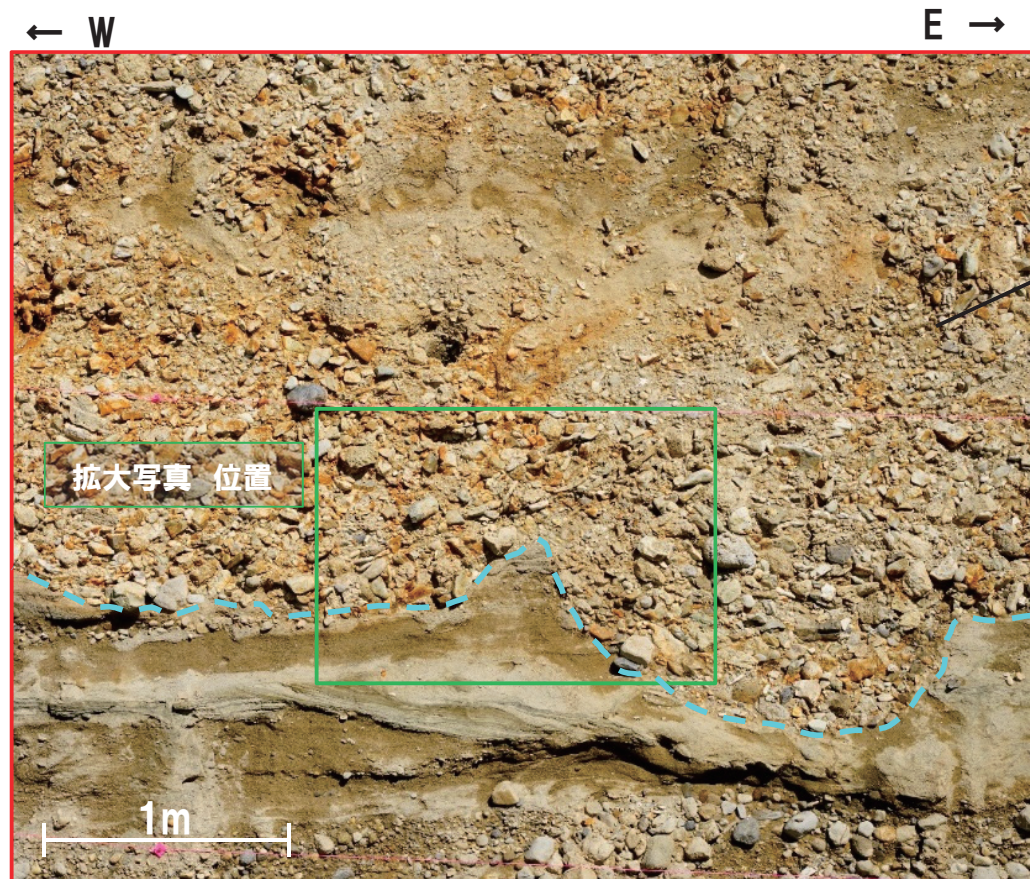


左図拡大写真(解釈線あり)

開削調査箇所(北側) - 層相の観点 範囲D (6/6) -



開削調査箇所(北側) 北側壁面スケッチ

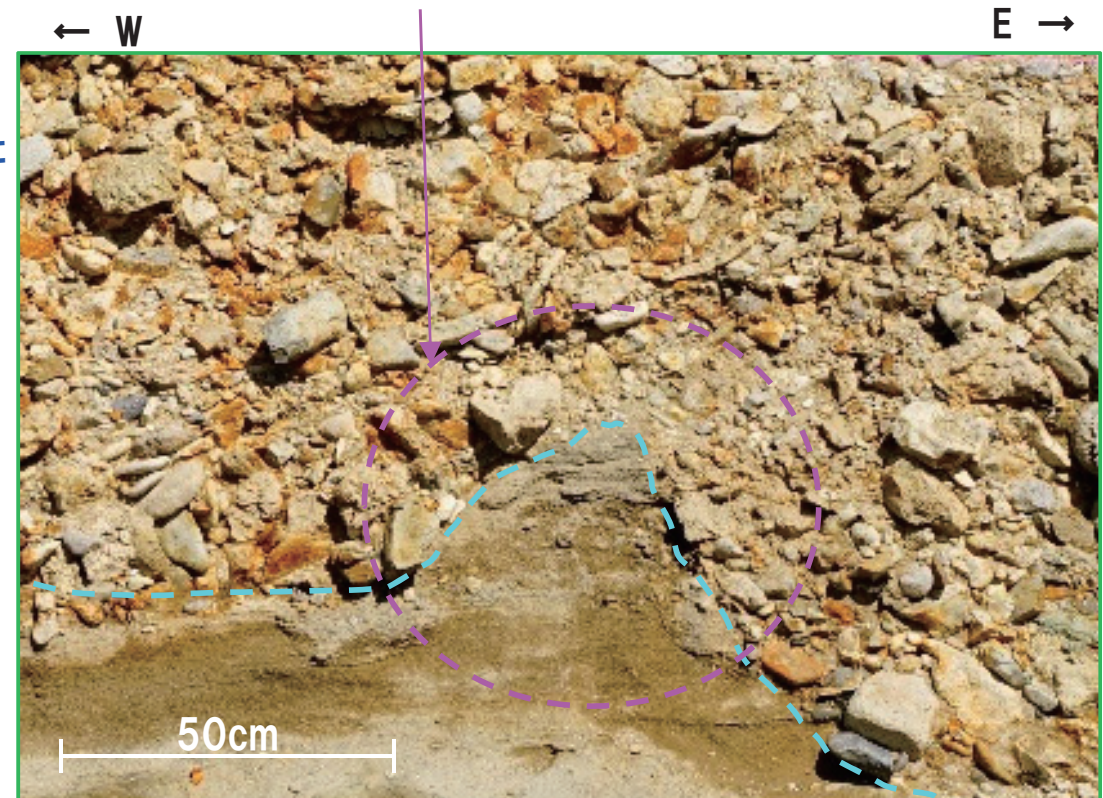


MIS9以前の海成層に挟む河成の堆積物 (Tf2ユニット)

--- : Tf2ユニットの基底面

範囲D写真(北側壁面距離呈12m付近(解釈線あり))

M1ユニットとTf2ユニットの境界が楔状を呈する箇所において、M1ユニットに平行葉理が認められ、乱れは認められない



左図拡大写真(解釈線あり)

開削調査箇所（北側）-堆積時期及び活動層厚の観点（1/2）-

- 開削調査箇所（北側）に認められる河成の堆積物（Tf2ユニット）について、堆積時期及び活動層厚の観点から、周氷河作用の影響を示唆する状況の有無について確認するため、地質調査結果を整理した。
 - ・本調査箇所東部においては、基盤岩の上位に、MIS9以前の海成層（M1ユニット及びM3ユニット）及びMIS9直後の河成の堆積物（Tf4ユニット）が認められる
 - ・本調査箇所東部に認められるM1ユニットとM3ユニットの境界付近には、明瞭な侵食面及び氷期の海退に伴う陸化を示唆する土壌化層が認められない
 - ・本調査箇所の上位の地層は、改変により消失しており、現地形は距離呈-10m付近においては標高48m程度、距離呈25m付近においては標高54m程度である（次頁図参照）
 - ・本調査箇所最上位のMIS9直後の河成の堆積物における火山灰分析の結果（3.6章P146～P147参照）、Toya（約115ka）及びSpfa-1（約40ka）は認められない



- 本調査箇所東部において、M1ユニットとM3ユニットの境界付近に、明瞭な侵食面及び氷期の海退に伴う陸化を示唆する土壌化層が認められないことから、MIS9以前の海成層は、一連の海水準上昇に伴う堆積物である。
- 距離呈10mより東側（中央部及び東部）において、現状で認められる上位の地層（Tf3ユニット及びTf4ユニット）の上面は標高51m程度以上であることから、MIS9直後の河成の堆積物（Tf4ユニット）堆積以降の氷期において、中央部に認められるTf2ユニットは地表から3～8m程度以上の深度に位置していたと考えられる。
- 西部に認められるTf2ユニットは、現地形において地表から3m未満の深度に位置しているものの、堆積時の堆積構造に乱れは認められない（P12参照）。
- Tf4ユニットにおける火山灰分析の結果、Toya及びSpfa-1が認められないことから、最終氷期の周氷河作用による擾乱を受けたことを示唆する状況は認められない。

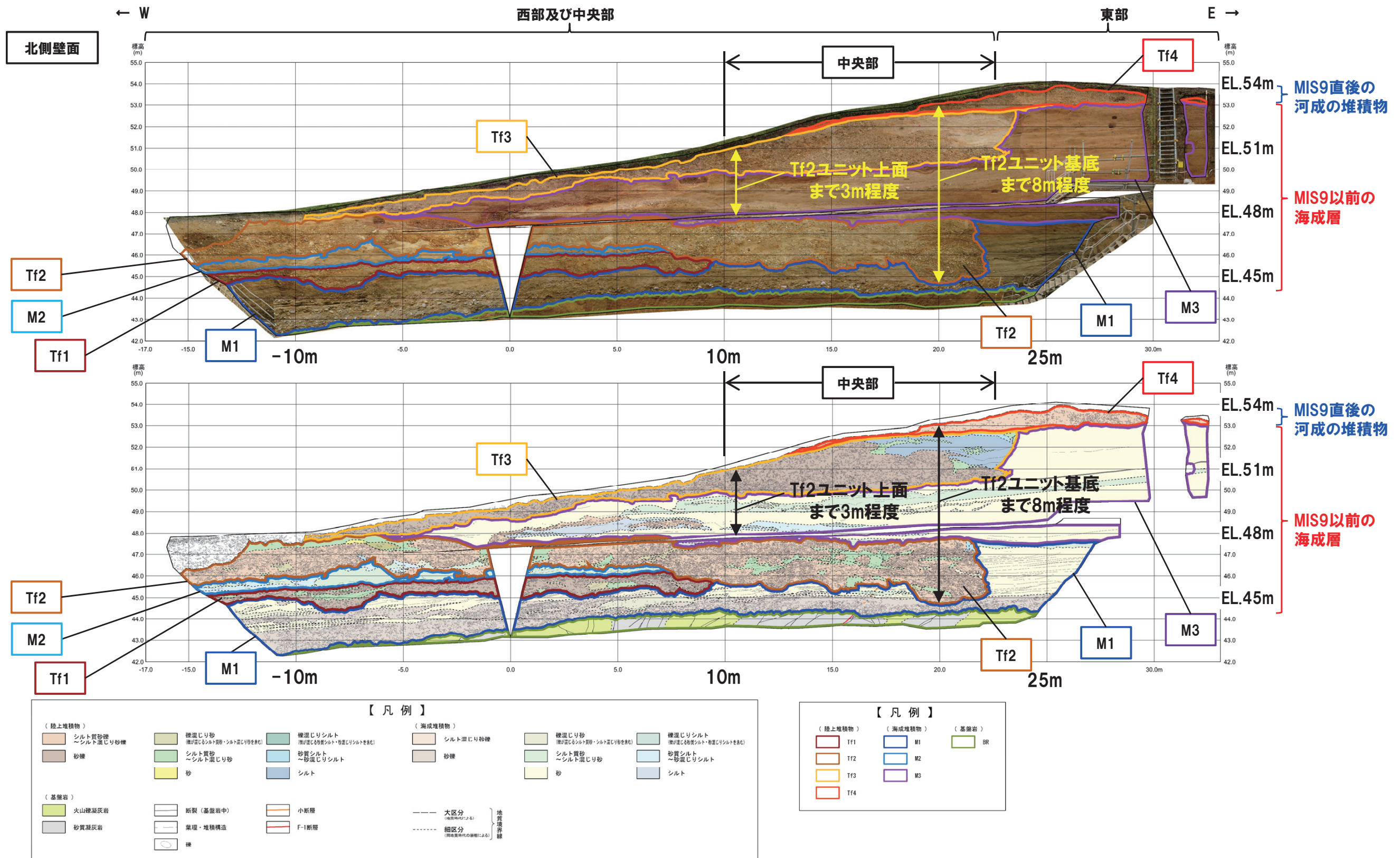


（周氷河作用の影響）

- 本調査箇所西部及び中央部に認められるTf2ユニットは、一連の海水準上昇に伴い堆積したMIS9以前の海成層に挟在することから、氷期の堆積物ではない。
- このうち中央部に認められるTf2ユニットは、MIS9直後の河成の堆積物（Tf4ユニット）堆積以降の氷期においては、地表から3～8m程度以上の深度に位置し、周氷河作用の影響を受ける概ね2～3m程度に位置していない。
- なお、Tf4ユニットにおける火山灰分析の結果、最終氷期の周氷河作用による擾乱を受けたことを示唆する状況は認められない。
- Tf4ユニットは、分布標高及び層相からF-1断層開削調査箇所においても分布するものと判断される（3.1章P8参照、既往評価において、当社が、Hm2段丘堆積物としていた地層）。

周氷河作用の影響に関する検討について

開削調査箇所(北側) - 堆積時期及び活動層厚の観点(2/2) -



開削調査箇所(北側) 北側壁面 写真及びスケッチ

開削調査箇所（南側）まとめ（1/2）

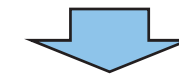
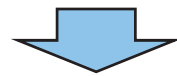
○開削調査箇所（南側）に認められる斜面堆積物（Ts3ユニット）について、層相の観点並びに堆積時期及び活動層厚の観点から、周氷河作用の影響を示唆する状況の有無について確認を行った。

【層相の観点（P18～P19参照）】

○Ts3ユニット及びTs3ユニット基底面付近のM1ユニットは、堆積時の堆積構造に乱れは認められないことから、Ts3ユニットに周氷河作用の影響を示唆する擾乱は認められない。

【堆積時期及び活動層厚の観点（P20～P23参照）】

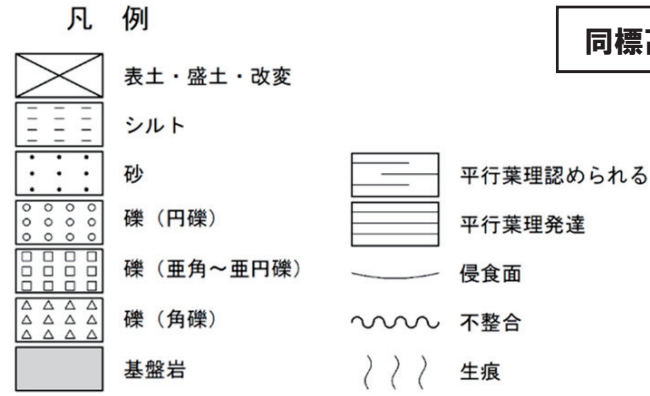
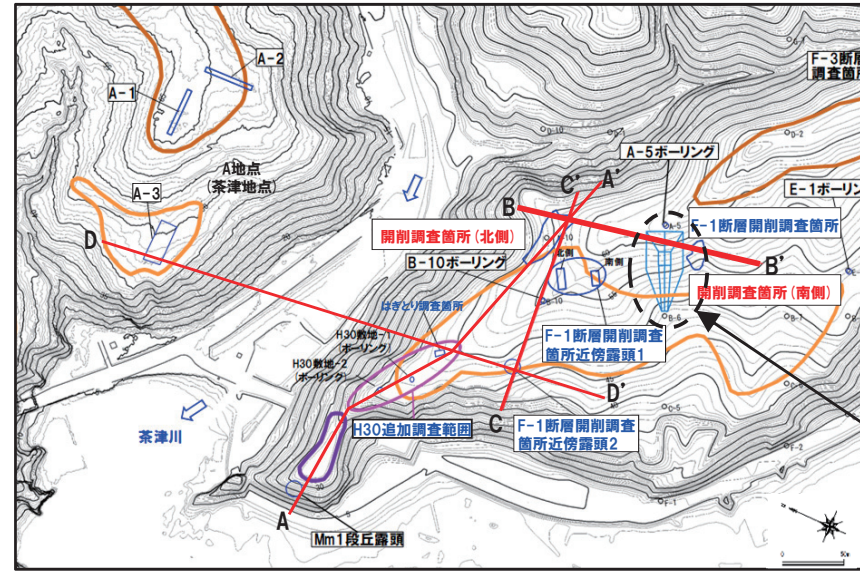
- Ts3ユニットは、一連の海水準上昇に伴い堆積したMIS9以前の海成層に挟在することから、氷期の堆積物ではない。
- Ts3ユニットの上位には、改変前においてMIS9以前の海成層及びその上位にTf4ユニットが標高56m程度まで分布していたものと推定されることから、MIS9直後の河成の堆積物（Tf4ユニット）堆積以降の氷期においては、Ts3ユニットは地表から5m程度の深度に位置し、周氷河作用の影響を受ける概ね深度2～3m程度に位置していないものと推定される。
- Ts3ユニットにおける火山灰分析の結果（3.6章P88～P95参照）、Toya及びSpfa-1が認められないことから、最終氷期の周氷河作用による擾乱を受けたことを示唆する状況は認められない。



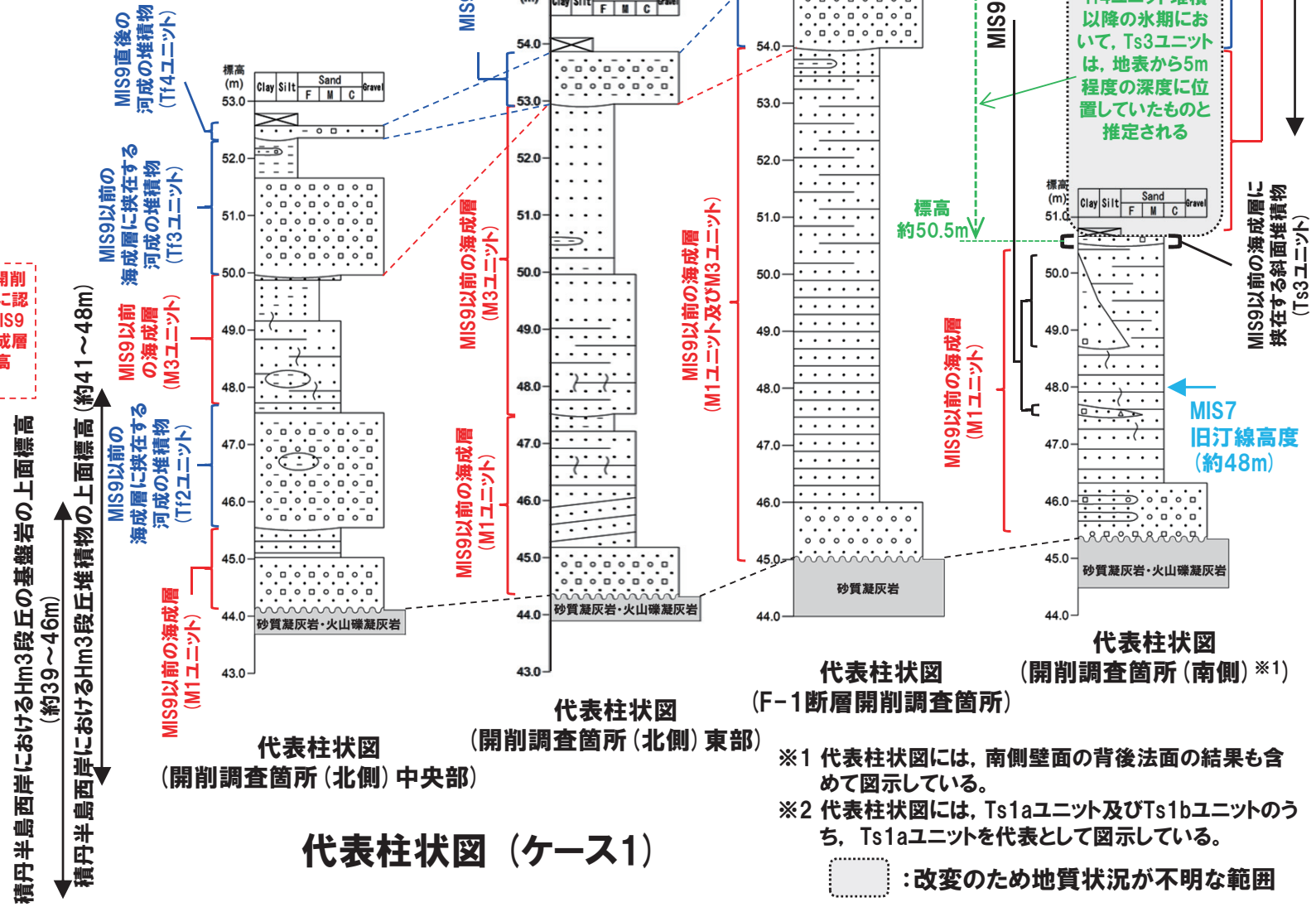
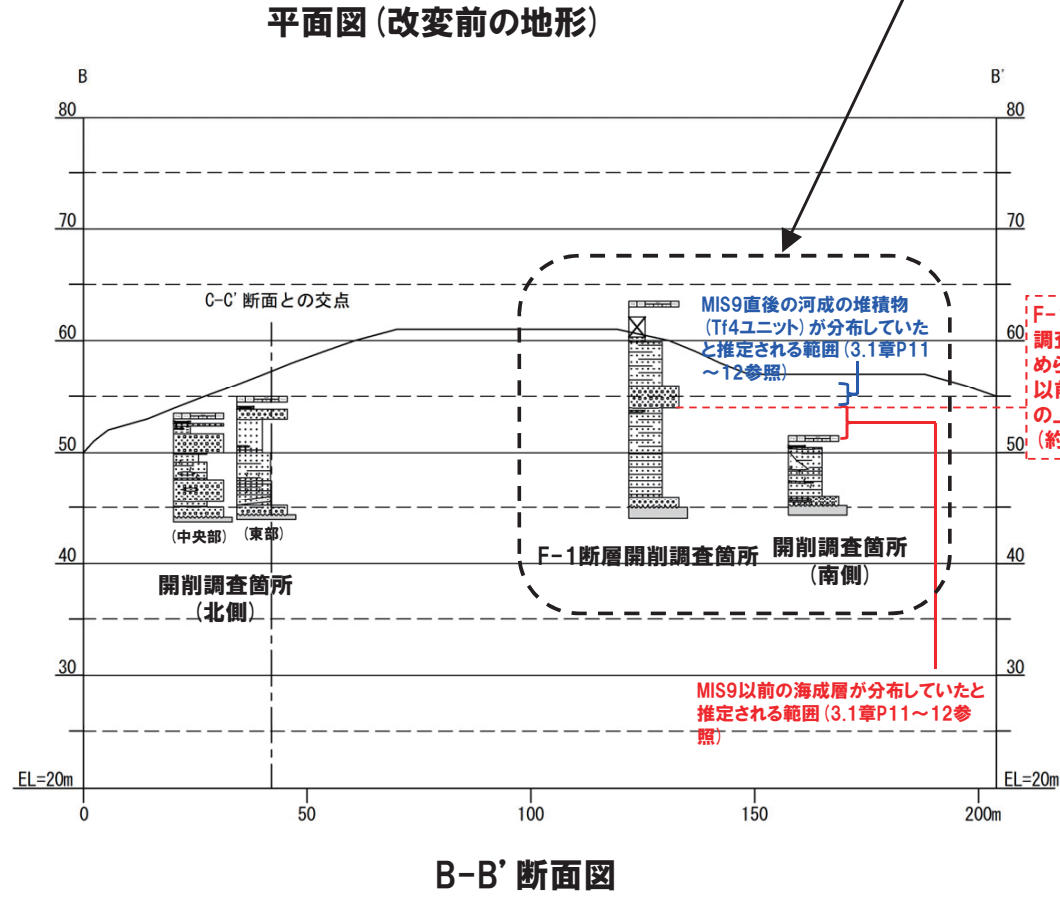
○開削調査箇所（南側）に認められる斜面堆積物（Ts3ユニット）は、周氷河作用の影響を受けていないと判断される。

周氷河作用の影響に関する検討について

開削調査箇所(南側)まとめ(2/2)



F-1断層開削調査箇所と開削調査箇所(南側)は、同一地形(Hm2段丘面とHm3段丘面間の緩斜面)上に位置する(3.1章P11参照)



※1 代表柱状図には、南側壁面の背後法面の結果も含めて図示している。
 ※2 代表柱状図には、Ts1aユニット及びTs1bユニットのうち、Ts1aユニットを代表として図示している。
 □ : 改変のため地質状況が不明な範囲

開削調査箇所（南側）-層相の観点（1/2）-

- 開削調査箇所（南側）に認められる斜面堆積物（Ts3ユニット）について、層相の観点から、周氷河作用の影響が認められるか否か確認するため、Ts3ユニット及びTs3ユニット基底面付近のM1ユニットについて、露頭の再観察を行った。
- ・Ts3ユニット基底面付近のM1ユニットは、葉理が認められ、乱れが認められない（詳細はP19の範囲①）
 - ・M1ユニットとTs3ユニットの境界は、明瞭な侵食面が認められる（詳細はP19の範囲②）

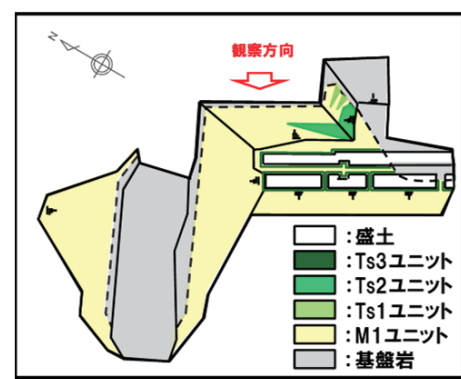


（周氷河作用の影響）

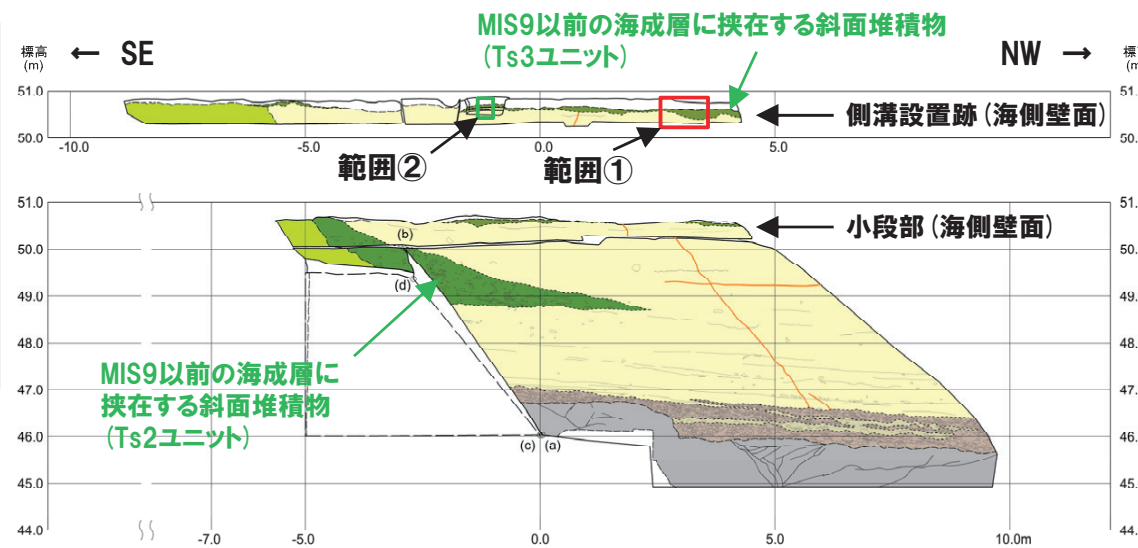
- Ts3ユニット及びTs3ユニット基底面付近のM1ユニットは、堆積時の堆積構造に乱れは認められないことから、Ts3ユニットに周氷河作用の影響を示唆する擾乱は認められない。

周氷河作用の影響に関する検討について

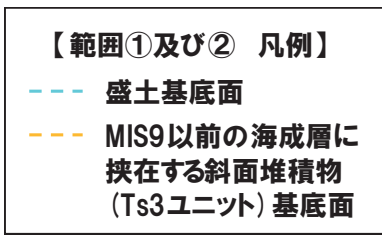
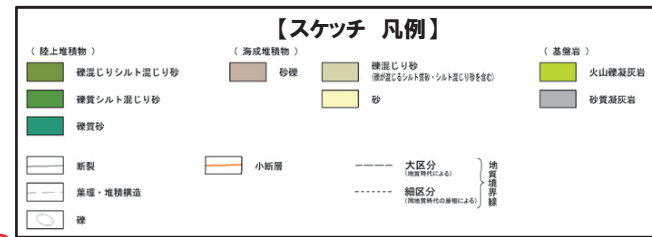
開削調査箇所(南側) - 層相の観点 (2/2) -



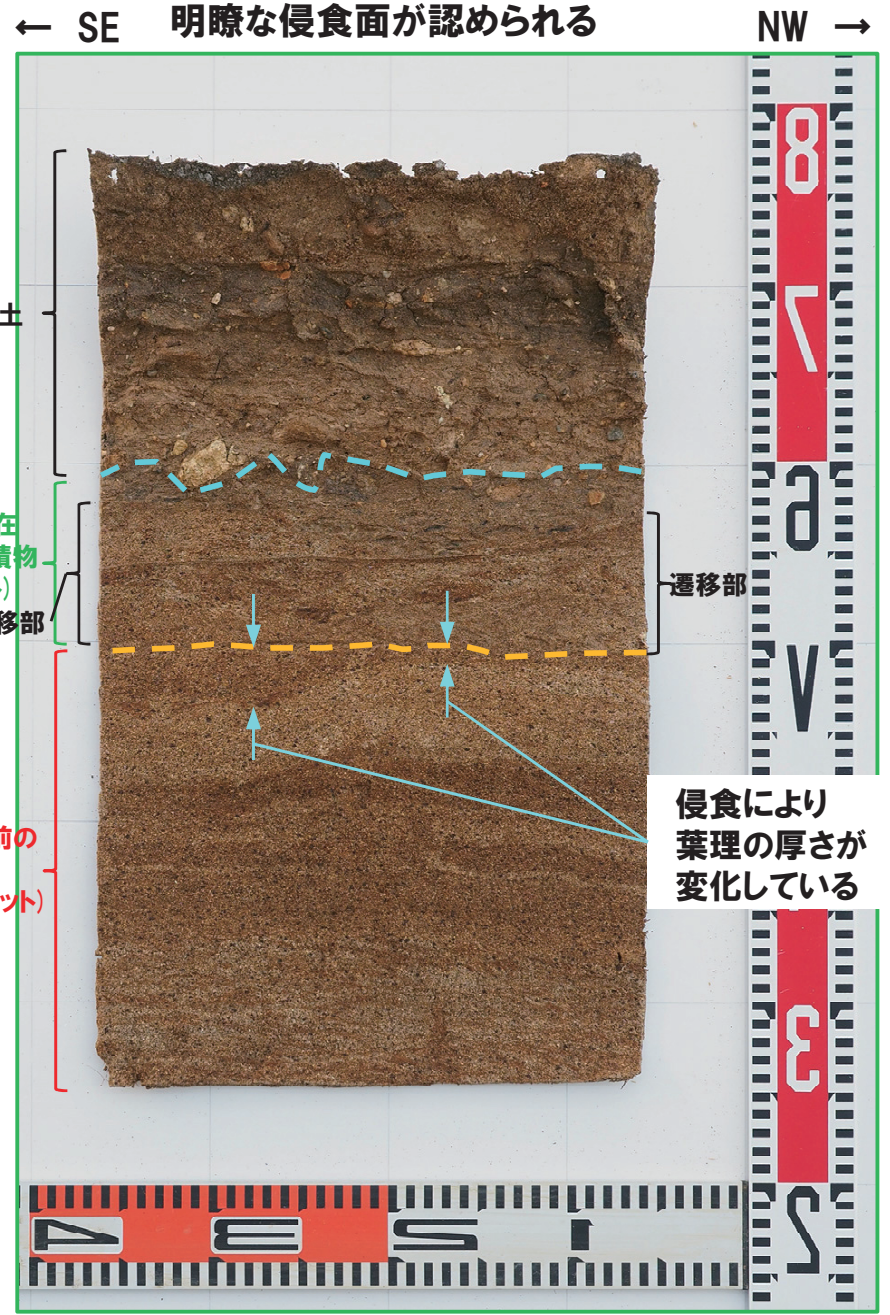
開削調査箇所(南側)平面模式図



開削調査箇所(南側)南側壁面の背後法面 壁面スケッチ

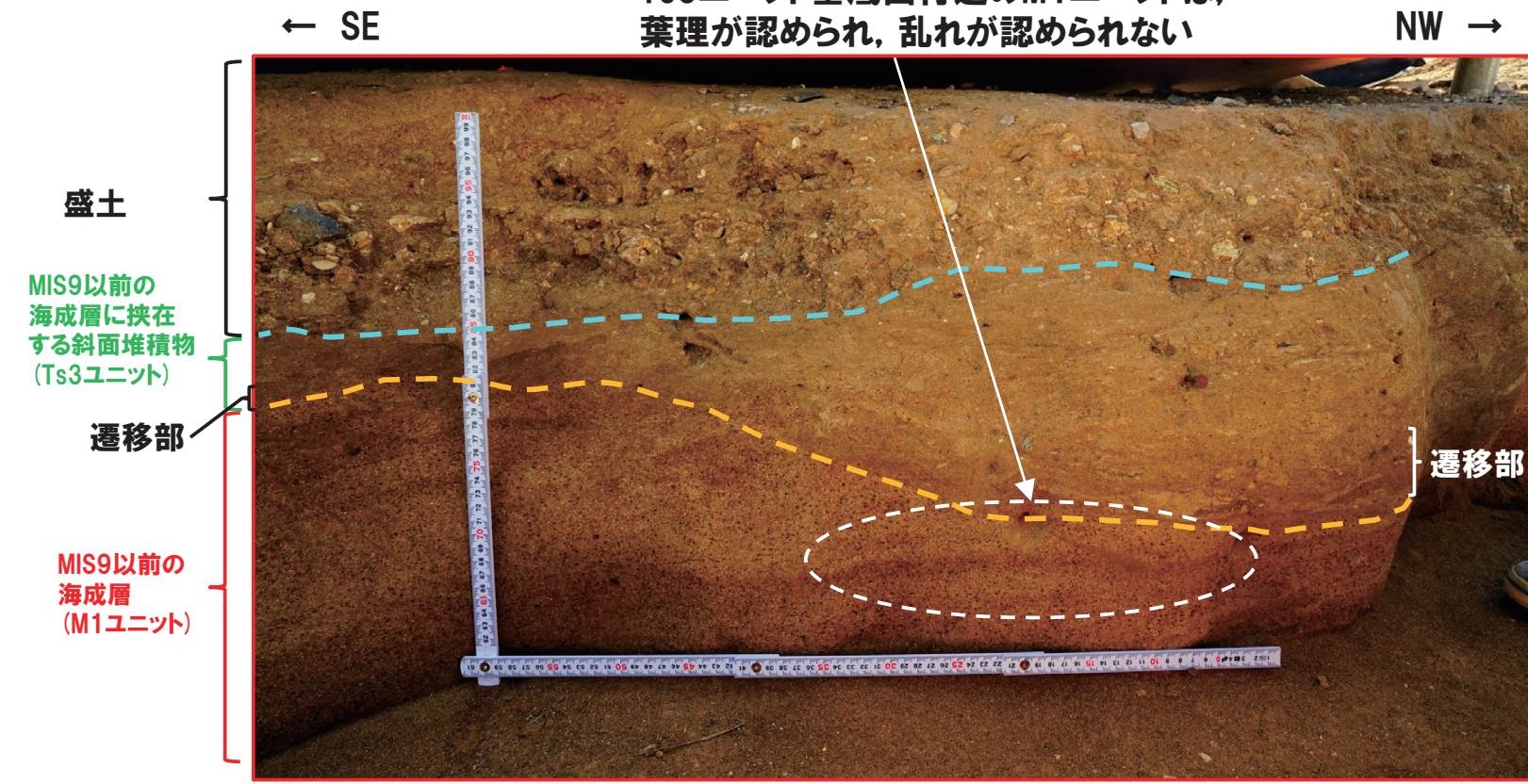


M1ユニットとTs3ユニットの境界は、明瞭な侵食面が認められる



範囲②拡大写真 (はぎとり転写試料 写真 (左右反転) (解釈線あり))

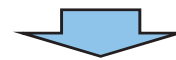
Ts3ユニット基底面付近のM1ユニットは、葉理が認められ、乱れが認められない



範囲①拡大写真 (側溝設置跡 海側壁面 (北側) (解釈線あり))

開削調査箇所（南側）-堆積時期及び活動層厚の観点（1/4）-

- 開削調査箇所（南側）に認められる斜面堆積物（Ts3ユニット）について、堆積時期及び活動層厚の観点から、周氷河作用の影響を示唆する状況の有無について確認するため、地層区分の検討結果及び火山灰分析結果を整理した。
 - 本調査箇所においては、以下の理由から、F-1断層開削調査箇所同様、標高54m程度までM1ユニット及びM3ユニットが分布し、その上位にTf4ユニットが分布していたものと推定される
 - ・F-1断層開削調査箇所と本調査箇所は近接し、同一地形（Hm2段丘面とHm3段丘面間の緩斜面）上に位置する（次頁参照）
 - ・F-1断層開削調査箇所と本調査箇所の背後には旧海食崖が分布し、同一堆積場である（P22参照）
 - ・F-1断層開削調査箇所には、M1ユニット及びM3ユニットが標高約54mまで認められ、その上位にTf4ユニットが認められる（次頁参照）
 - 上記推定に加え、Ts3ユニットは、分布標高（約50.5m）及び各種観察・分析（層相確認、薄片観察、礫種・礫の形状及び火山灰分析）の結果（3.2章参照）、下位の斜面堆積物と同様な性状を有していることを踏まえると、MIS9以前の海成層に挟在する斜面堆積物に区分される
 - MIS9以前の海成層は、開削調査箇所（北側）東部の状況（P14～P15参照）から、一連の海水準上昇に伴う堆積物である
 - なお、本調査箇所付近の改変前の原地形は、約5～15m程度改変により消失している（P23参照）
 - Ts3ユニットにおける火山灰分析の結果（3.6章P88～P95参照）、Toya（約115ka）及びSpfa-1（約40ka）は認められない。



- MIS9以前の海成層は、一連の海水準上昇に伴う堆積物である。
- 本調査箇所は、F-1断層開削調査箇所と同一地形上に位置し、同一堆積場であることから、改変前はF-1断層開削調査箇所と同様に、Tf4ユニットが標高56m程度まで分布していたものと推定される。
- したがって、MIS9直後の河成の堆積物（Tf4ユニット）堆積以降の氷期において、Ts3ユニットは、地表から5m程度の深度に位置していたものと推定される。

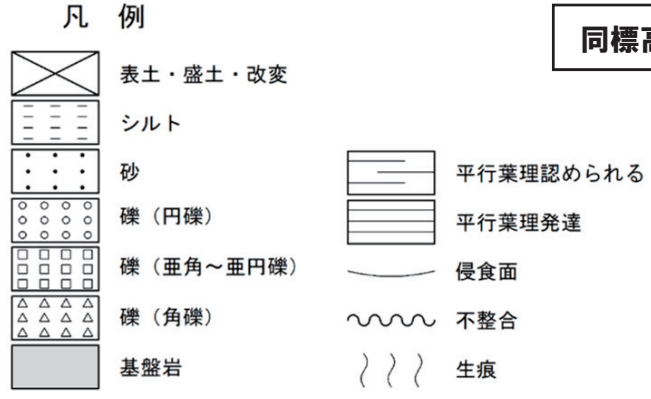
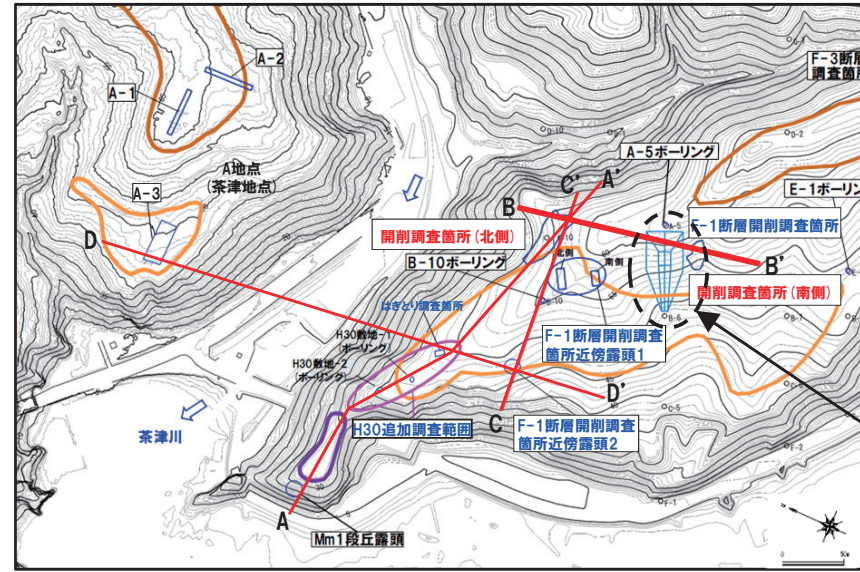


（周氷河作用の影響）

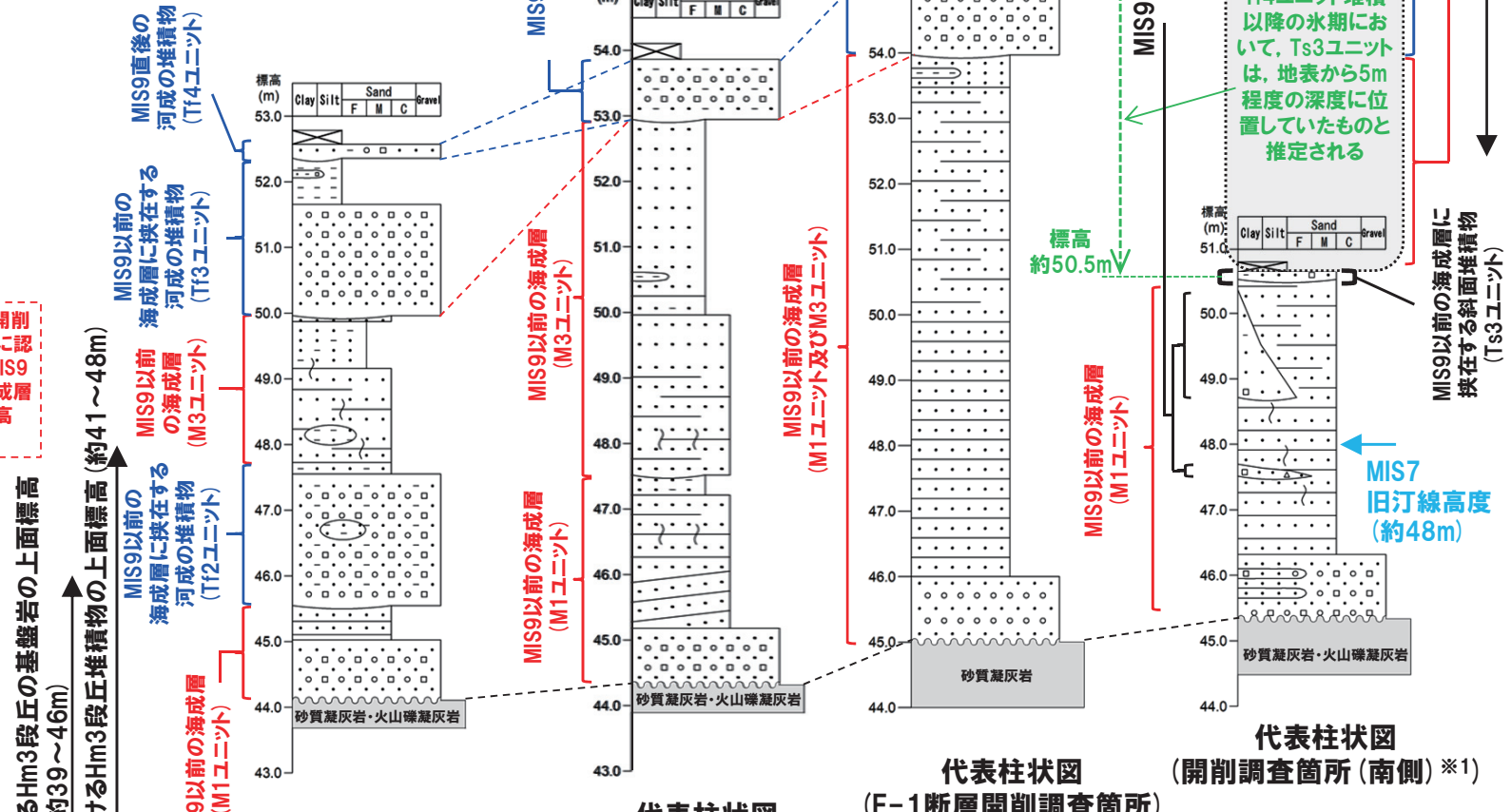
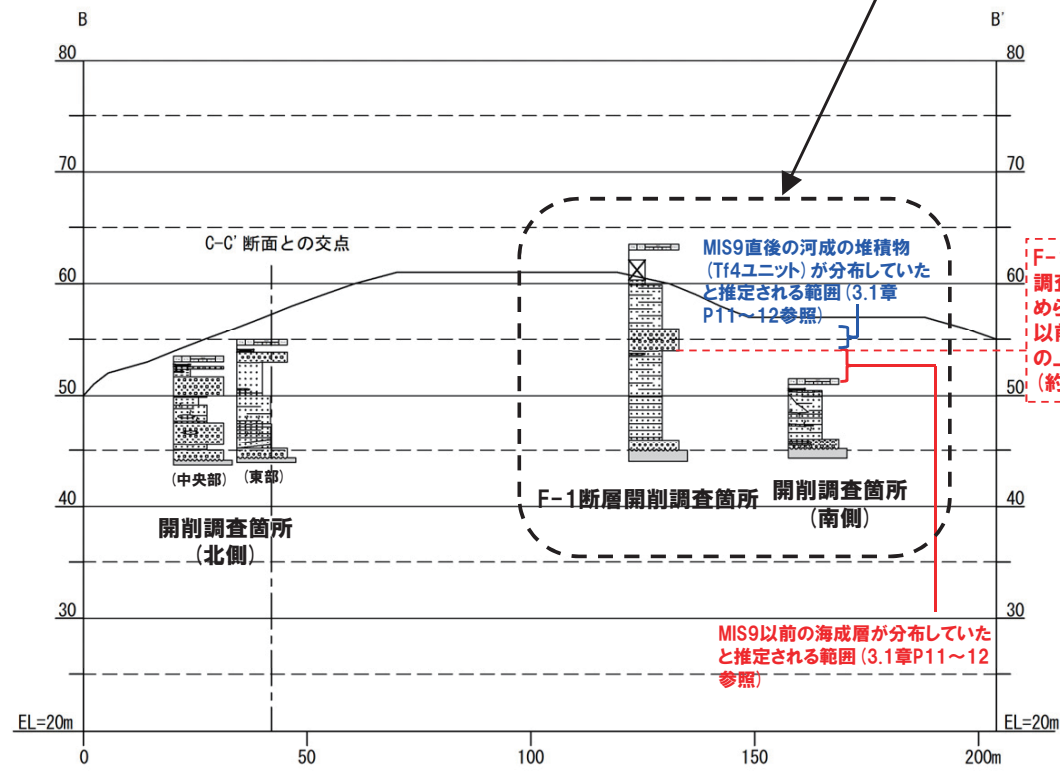
- Ts3ユニットは、一連の海水準上昇に伴い堆積したMIS9以前の海成層に挟在することから、氷期の堆積物ではない。
- Ts3ユニットの上位には、改変前においてMIS9以前の海成層及びその上位にTf4ユニットが標高56m程度まで分布していたものと推定されることから、MIS9直後の河成の堆積物（Tf4ユニット）堆積以降の氷期においては、Ts3ユニットは地表から5m程度の深度に位置し、周氷河作用の影響を受ける概ね深度2～3m程度に位置していないものと推定される。
- Ts3ユニットにおける火山灰分析の結果、Toya及びSpfa-1が認められないことから、最終氷期の周氷河作用による擾乱を受けたことを示唆する状況は認められない。

周氷河作用の影響に関する検討について

開削調査箇所(南側) - 堆積時期及び活動層厚の観点(2/4) -



F-1断層開削調査箇所と開削調査箇所(南側)は、同一地形(Hm2段丘面とHm3段丘面間の緩斜面)上に位置する(3.1章P11参照)



各種観察・分析の結果, Ts3ユニットとTs1ユニット及びTs2ユニットが同様な性状を有していることを確認(3.2章参照)

MIS9以前の海成層が分布していたと推定される範囲(3.1章P11~12参照)

MIS9直後の河成の堆積物(Tf4ユニット)が分布していたと推定される範囲(3.1章P11~12参照)

MIS9直後の河成の堆積物(Tf4ユニット)が分布していたと推定される範囲(3.1章P11~12参照)

MIS9以前の海成層に挟む斜面上の堆積物(Ts3ユニット)

MIS9以前の海成層に挟む斜面上の堆積物(Ts3ユニット)

Tf4ユニット堆積以降の水期において, Ts3ユニットは, 地表から5m程度の深度に位置していたものと推定される

MIS9以前の海成層に挟む斜面上の堆積物(Ts3ユニット)

MIS7旧汀線高度(約48m)

MIS9以前の海成層に挟む斜面上の堆積物(Ts3ユニット)

MIS9以前の海成層(M1ユニット)

MIS9以前の海成層(M3ユニット)

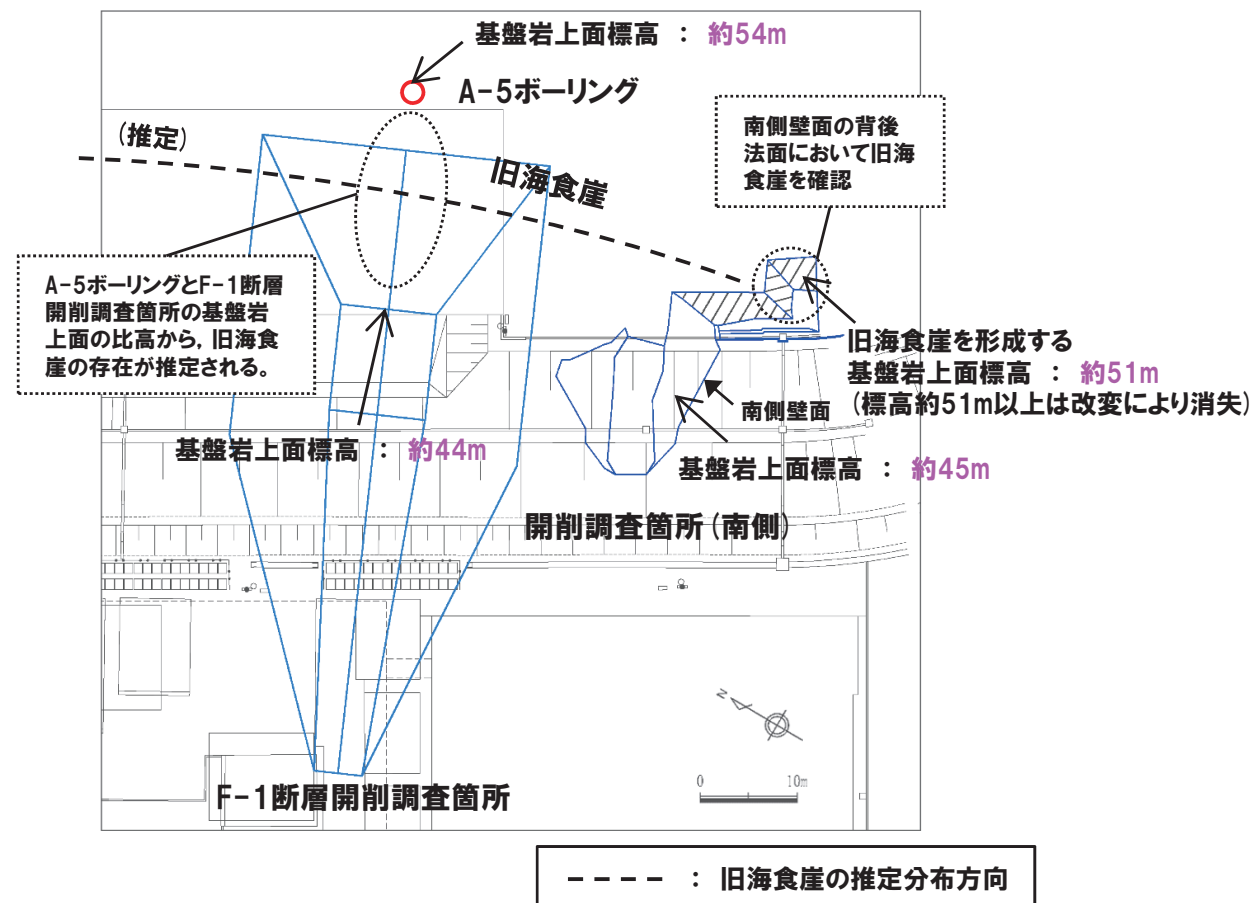
MIS9以前の海成層(M1ユニット及びM3ユニット)

*1 代表柱状図には, 南側壁面の背後法面の結果も含めて図示している。
 *2 代表柱状図には, Ts1aユニット及びTs1bユニットのうち, Ts1aユニットを代表として図示している。

□: 改変のため地質状況が不明な範囲

周氷河作用の影響に関する検討について

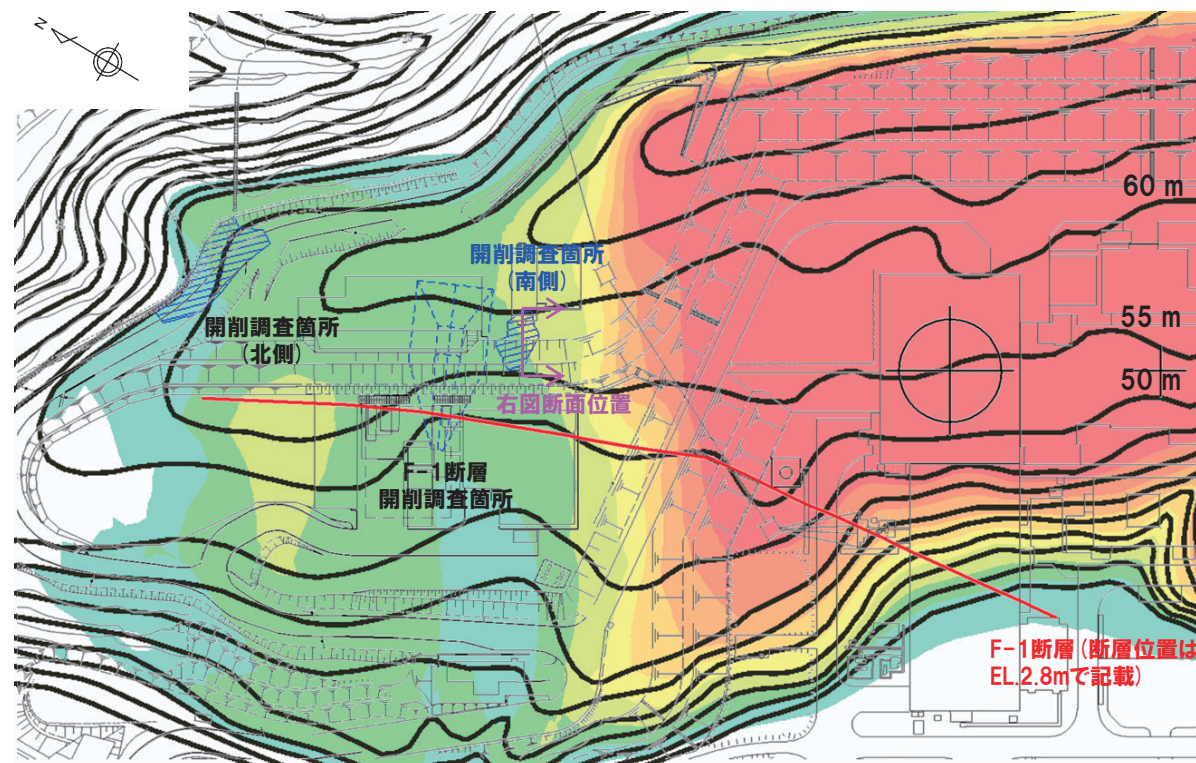
③開削調査箇所(南側) - 堆積時期及び活動層厚の観点(3/4) -



旧海食崖 イメージ図

周氷河作用の影響に関する検討について

開削調査箇所(南側) - 堆積時期及び活動層厚の観点(4/4) -



0 100m

(凡例)

- : 原地形※1の等高線 5m間隔
- : 原地形と現地形※2の標高差

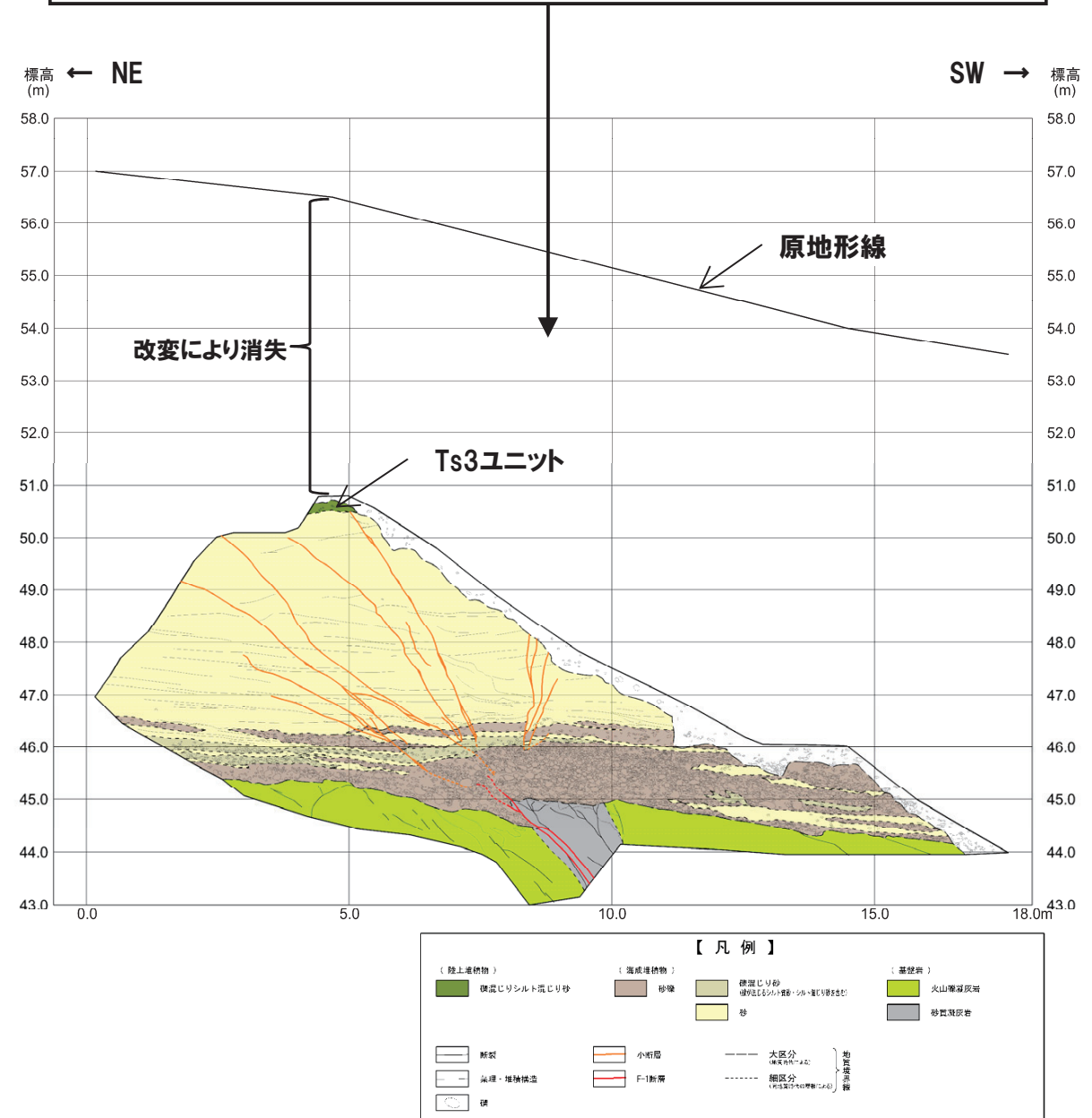
※1 当社航空測量により作成
 ※2 「国土交通省 基盤地図情報(数値標高モデル) 10mメッシュ H28年度」を使用

開削調査箇所(南側) 付近の標高差

標高差	色スキーム
35 m以上	赤
30~35 m	赤橙
25~30 m	オレンジ
20~25 m	黄
15~20 m	黄緑
10~15 m	緑
5~10 m	青緑
0~5 m	青
0 m以下	白

原地形と現地形の差分図

開削調査箇所(南側) 南側壁面付近の原地形は標高約54~57m 付近であり、約5~10m程度変化により消失している。



【凡例】

(陸上堆積物)	(海成堆積物)	(基盤岩)
礫層	砂層	火山噴出物
砂	砂質泥岩	砂岩
断層	小断層	大断層
開削調査箇所	F-1断層	相区分

開削調査箇所(南側) 南側壁面 変化状況

検討概要 (1/2)

新規 (R2/8/7審査会合以降)

- 開削調査箇所(南側)に認められるTs3ユニットは、周氷河作用の影響を受けていないと判断されるものの、Ts3ユニットは、1, 2号炉建設時における敷地造成により地表付近に位置する状況となった。
- このため、1, 2号炉建設時の敷地造成以降における凍結融解作用の影響について検討した。
- 【寒冷地における凍結融解作用について】
- 貝塚ほか編(2019)によれば、凍結融解時に未固結の表層堆積物に働いてそれを変形、変位させる作用には以下のようなものがあるとされている。
 - ・凍上:凍結進行時に下の未凍結部分から毛管現象で水を吸い上げ、氷を析出して地面を押し上げる現象
 - ・凍結割れ目:地温低下による凍土の収縮に伴い、凍土中に割れ目が形成される現象。
 - ・氷楔:永久凍土帯で凍結割れ目を満たした水が凍ってできる楔形の氷。氷楔の成長に伴い周辺部分の変形が生じる。
- 三浦・平川(1995)によれば、一般に凍結割れ目の形成が起こる月平均の気温条件はおよそ -20°C 以下であるとされている。
- 【検討方針】
- アメダスによれば、泊発電所に比較的近く積丹半島西岸に位置する神恵内(S56(1981)年~H22(2010))における年平均気温は 8.9°C 、最寒月(1月)平均気温は -2.5°C であり、一般に凍結割れ目が形成されるとされている月平均気温の -20°C を大きく上回っていることから、泊発電所付近では凍結割れ目は形成されないと考えられる。
- 積丹半島西岸は永久凍土帯に位置しないことから、泊発電所付近では氷楔は生じないと考えられる。
- したがって、凍結融解作用の影響に関する検討においては、凍結融解作用のうち、凍上について文献レビューを実施し、Ts3ユニットが凍上の発生する状況にあるか検討を行う。

↓

(次頁へ続く)



積丹半島周辺のアメダス地点 位置図

検討概要 (2/2)

新規 (R2/8/7 審査会合以降)

(前頁からの続き)



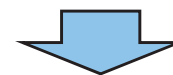
【検討結果】

○文献レビューの結果は以下のとおり(詳細はP26～P28参照)。

- ・凍上は、**気温低下による地盤中の凍結進行時に、下位の未凍土側からの水分移動若しくは地下水面から供給された水分が凍結すること**でアイスレンズを形成し、これに伴い、地盤の体積が増加し、地表面が隆起する現象である。
- ・**地盤が細粒分で構成されているものほど、凍上に寄与する水分を多く含むが、砂又は礫主体の地盤は、凍上に寄与する水分をほとんど含まないこと及び水分を供給する毛管作用が生じにくいことから、凍上は起こらないものと考えられる。**
- ・地盤の凍結深さは、北海道の各市町村において経験的に安全側に決められており、泊発電所が位置する泊村では、約60cmとされているが、自然積雪状態下においては断熱効果により抑制される。
- ・凍上発生の直接的な因子は**温度、水分、土質**の3要素であり、どれか1つでも欠けると凍上は発生しない。

○文献レビューを踏まえた検討結果は以下のとおり。

- ・泊村の凍結深さは、安全側ではあるものの約60cmとされていること及び神恵内(1981～2010)における最寒月(1月)平均気温は-2.5℃であり、氷点下を下回ることから(P24参照)、泊発電所付近においても地盤凍結が生じる可能性があるが、Ts3ユニットが認められる開削調査箇所(南側)付近は冬季には自然積雪状態となることから、凍結深さが抑制されていると考えられる(P29参照)。
 - ・Ts3ユニット下位のM1ユニットは、淘汰の良い砂層であり(P31参照)凍上に寄与する水分をほとんど含まないこと及び毛管作用が生じにくいことから、Ts3ユニットに供給される水分は少ないと考えられる。
 - ・Ts3ユニットは、礫混じりシルト混じり砂層であり(P31参照)凍上に寄与する水分をほとんど含まないことから、凍上は起こらないものと考えられる。
- これらのことから、凍上に必要な3要素が全て揃っていないため、Ts3ユニットは凍上の発生する状況ではない。
- 加えて、前述のとおり露頭観察の結果、Ts3ユニット及びTs3ユニット基底面付近のM1ユニットには、堆積時の堆積構造に乱れは認められない(P19参照)。



- 開削調査箇所(南側)に認められるTs3ユニットは、1, 2号炉建設時の敷地造成以降における凍結融解作用により変形・変位が生じる凍上等の影響を受けていないと判断される。

凍結融解作用に関する文献レビューまとめ

新規 (R2/8/7 審査会合以降)

○凍結融解作用のうち、地面を押し上げる凍上について文献レビューを実施した。

【土木学会編(2011)(P27参照)】

○凍上は、気温低下による地盤中の凍結進行時に、下位の未凍土側からの水分移動若しくは地下水面から供給された水分が凍結することでアイスレンズを形成し、これに伴い、地盤の体積が増加することで地表面が隆起する現象である。

○地盤が細粒分で構成されているものほど、凍上に寄与する水分を多く含む。

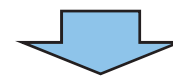
○凍上発生の直接的な因子は温度、水分、土質の3要素であり、どれか1つでも欠けると凍上は発生しない。

【土質工学会編(1994)(P28参照)】

○地盤の凍結深さは、北海道の各市町村において経験的に安全側に決められており、泊発電所が位置する泊村においては、約60cmとされている。

○凍結深さは、自然積雪状態下においては断熱効果により抑制される。

○砂や礫で構成される地盤は、水分を供給する毛管作用が生じにくく(毛管上昇高さが小さく)、凍上は起こらない。



○凍上は、気温低下による地盤中の凍結進行時に、下位の未凍土側からの水分移動若しくは地下水面から供給された水分が凍結することでアイスレンズを形成し、これに伴い、地盤の体積が増加し、地表面が隆起する現象である。

○地盤が細粒分で構成されているものほど、凍上に寄与する水分を多く含むが、砂又は礫主体の地盤は、凍上に寄与する水分をほとんど含まないこと及び水分を供給する毛管作用が生じにくいことから、凍上は起こらないものと考えられる。

○地盤の凍結深さは、北海道の各市町村において経験的に安全側に決められており、泊発電所が位置する泊村においては、約60cmとされているが、自然積雪状態下においては断熱効果により抑制される。

○凍上発生の直接的な因子は温度、水分、土質の3要素であり、どれか1つでも欠けると凍上は発生しない。

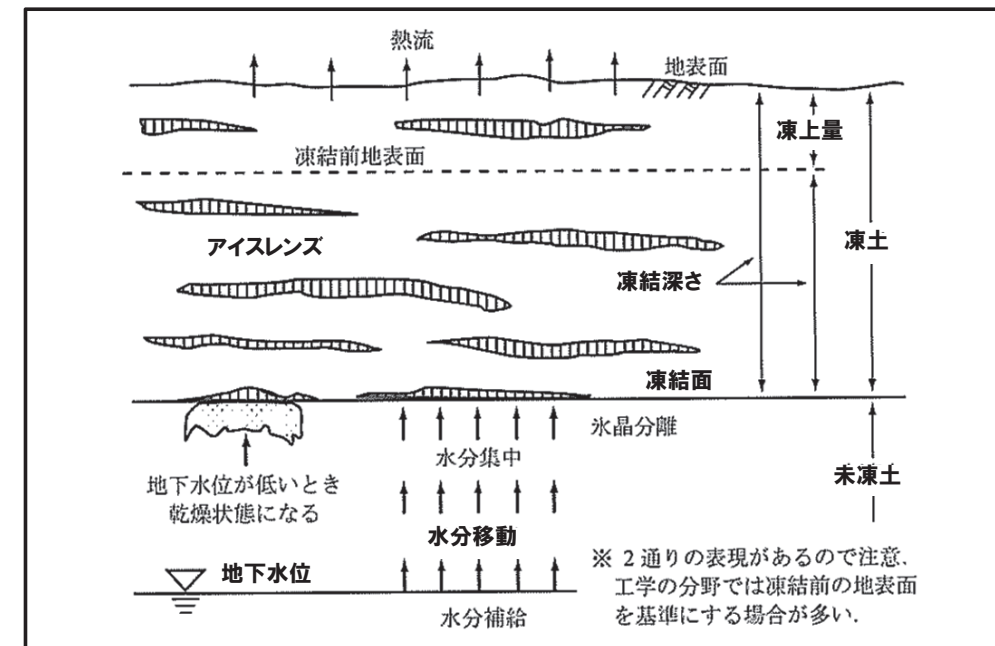
文献レビュー(土木学会編, 2011)

新規(R2/8/7審査会合以降)

- 土木学会編(2011)のうち、凍上に関する内容についてレビューを実施した。
 - ・気温の低下によって地盤が凍結して、地盤中に凍結面が形成された状況下では、未凍土側から水分が凍結面に向かって移動していく。凍結面に集まった水分が凍結するときに土粒子骨格から分離して、それを押し広げる形で氷の層を成長させる。このように氷の層を形成(析出)する現象は氷晶分離と呼ばれ、そこで形成される氷の層がアイスレンズと呼ばれる。このように移動した水分の氷晶分離によるアイスレンズの形成が凍上発生の機構である。
 - ・凍上は地下水面から毛管作用によって水分供給が行なわれる開式凍上と未凍土内の限られた範囲での水分移動によって発生する閉式凍上に分けられ、閉式凍上では凍上量は小さい。
 - ・土粒子の比表面積が大きなものほど吸着力も大きく、不凍水を多く保有するため、粒径の小さなものほど不凍水量が多い。
 - ・不凍水を有するのはシルト以下の粒径の土である。
 - ・凍上の発生の直接的な因子は①温度、②水分、③土質の3要素である。これら3つの要素が全て揃うことによって発生する。また、3つの要素の中でどれか1つでも欠けると凍上発生はゼロになる。



- 凍上は、気温低下による地盤中の凍結進行時に、下位の未凍土側からの水分移動若しくは地下水面から供給された水分が凍結することでアイスレンズを形成し、これに伴い、地盤の体積が増加することで地表面が隆起する現象である。
- 地盤が細粒分で構成されているものほど、凍上に寄与する水分を多く含む。
- 凍上発生の直接的な因子は温度、水分、土質の3要素であり、どれか1つでも欠けると凍上は発生しない。



土木学会編(2011)

文献レビュー (土質工学会編, 1994)

新規 (R2/8/7 審査会合以降)

- 土質工学会編 (1994) のうち、凍上に関する内容についてレビューを実施した。
 - ・凍結融解作用には、凍結による凍上や融解時の支持力低下等が挙げられる。凍上とは土中にレンズ状の氷層が形成されることにより地表面が隆起する現象であり、融解時の支持力低下は地表面の氷層が融解し、その付近の土層が飽和状態となることにより生じる。
 - ・北海道では各市町村の条例や指導で定められた値が設計用の凍結深さとして使われていて、泊村では60cmである。それらの値は理論的に導かれたのではなく、各市町村で凍上被害を生じない基礎の根入れ深さから経験的に決められたものである。したがって大部分の地域では安全側の値になっていると思われる。
 - ・自然積雪状態の地盤では、凍結深さが積雪の断熱効果で抑制される。
 - ・未凍土側を凍結面まで移動する水は、土粒子間の毛管を通過して行くわけで、移動する距離は、ほぼその土中における水の毛管上昇高に等しい (下表参照)。
 - ・粒径が0.1mm以上の砂では凍上は起こらない。0.05~0.1mmの粒を含む土から凍上が起こり始め、0.005~0.002mmが最も凍上性が強い。これよりも小さくなると土粒子間隙が狭くなり、凍結面への水分補給が難しくなる。

表-3.6 土質による凍上性の判定法

凍上性	土質	塑性図 I_p, ω_L	毛管上昇高さ (m)	液性指数	細粒比 R_f
無	GW, GP, SW, SP	$I_p < 1$	<1	≤ 0	<2.5
小	CH	$I_p > 7; \omega_L > 35$	1.0~1.5	<0.25	2.5~5
中	CL (A線以上) OH, MH (A線以下)	$I_p \geq 7; \omega_L = 35 \sim 50$ $I_p \geq 7; \omega_L > 50$	1.5~2.0	0.25~0.50	5~10
大	CL (A線以上) ML (A線以下) OL (A線以下)	$I_p \geq 7; \omega_L < 35$ $I_p \leq 4; \omega_L < 50$ $I_p \geq 7; \omega_L = 35 \sim 50$	>2.0	>0.5	>1.0

記号	土質
GW	粒度が良い礫
GP	粒度が悪い礫
SW	粒度が良い砂
SP	粒度が悪い砂
CH	粘土
CL	粘質土 (砂分が目立つ粘性土)
OH	有機質粘土
OL	有機質粘質土
MH	シルト (高液性限界)
ML	シルト (低液性限界)

土質工学会編 (1994) に加筆



- 地盤の凍結深さは、北海道の各市町村において経験的に安全側に決められており、泊発電所が位置する泊村においては、約60cmとされている。
- 凍結深さは、自然積雪状態下においては断熱効果により抑制される。
- 砂や礫で構成される地盤は、水分を供給する毛管作用が生じにくく (毛管上昇高さが小さく)、凍上は起こらない。

開削調査箇所(南側)付近の積雪状況

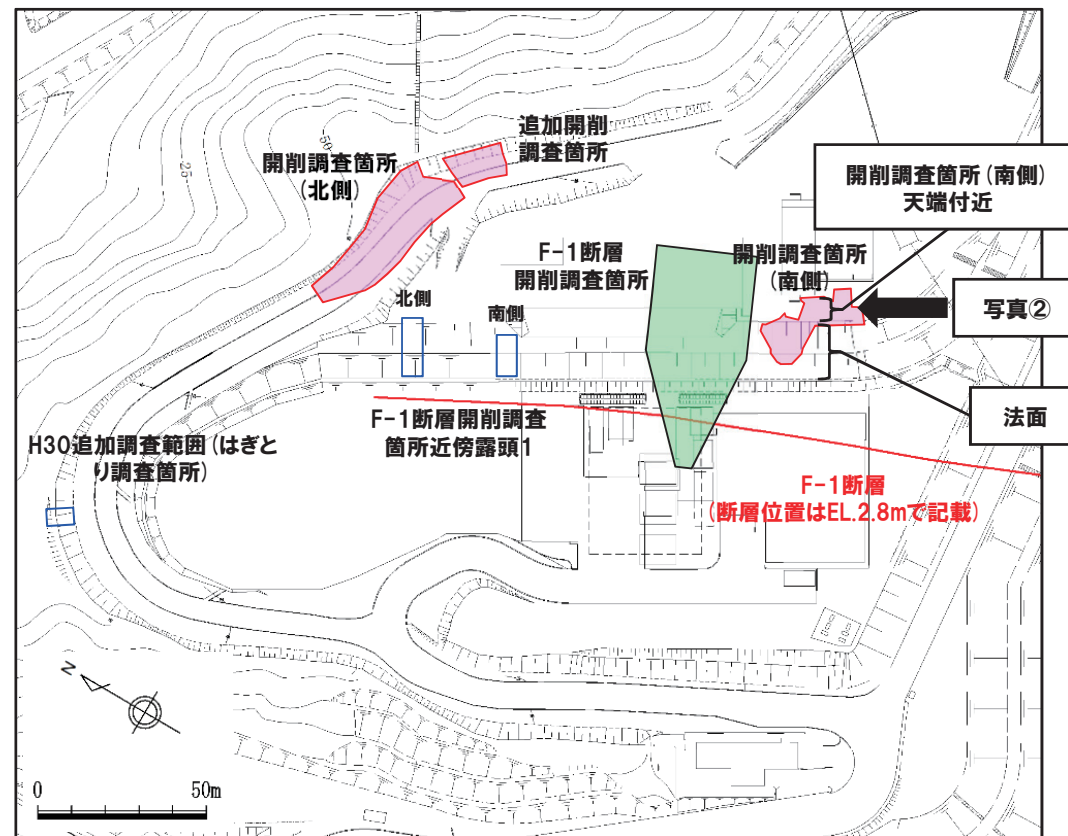
新規(R2/8/7審査会合以降)

○開削調査箇所(南側)付近の積雪状況について確認を行なった。

- ・開削調査箇所(南側)付近は写真①に示すように冬季には積雪状態となっている(P30に敷地の積雪データを示す)。
- ・写真②に示すように開削調査箇所(南側)天端付近は法肩に位置していることから、人や車両の通行が無く除雪もされない箇所であり、自然積雪状態となっているため、積雪の断熱効果により凍結深さが抑制されていると考えられる。



写真① 開削調査箇所(南側)付近空撮写真(H27年1月撮影)



開削調査箇所(南側)位置図

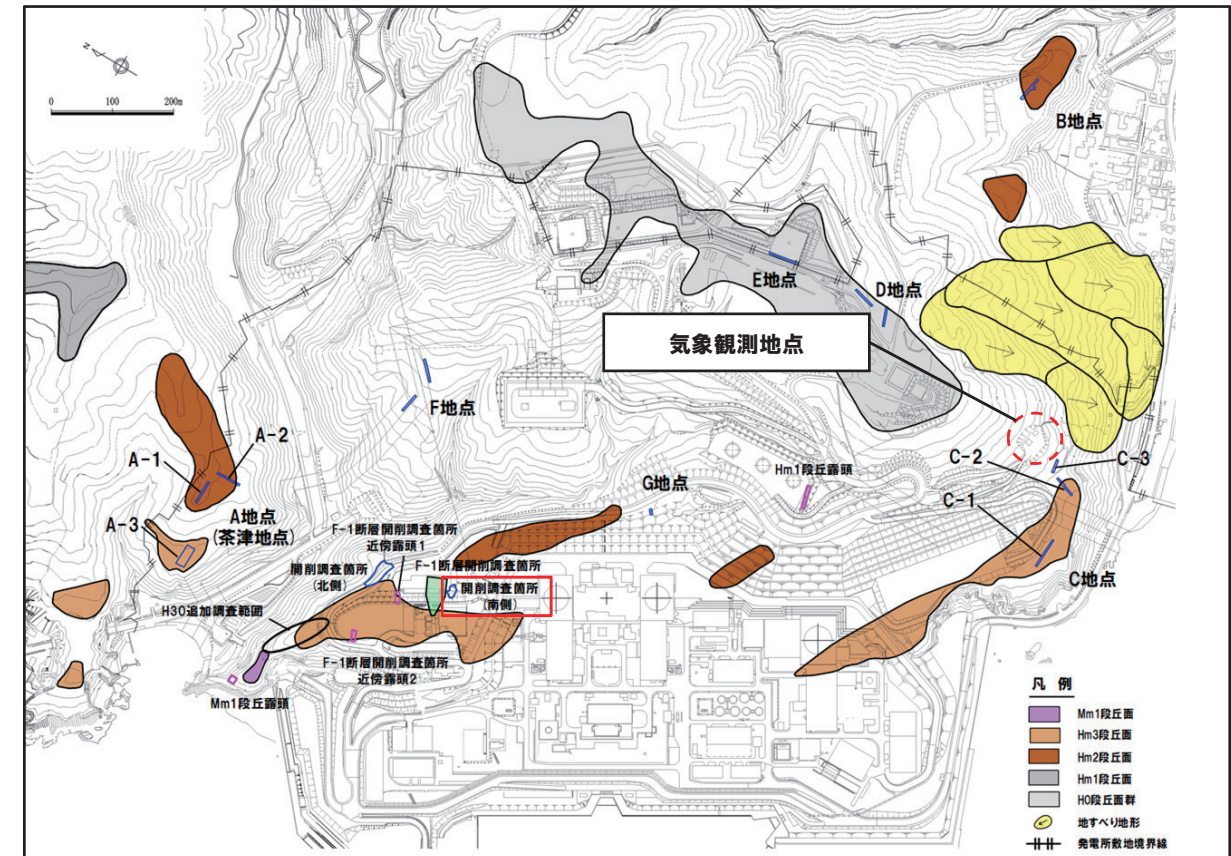
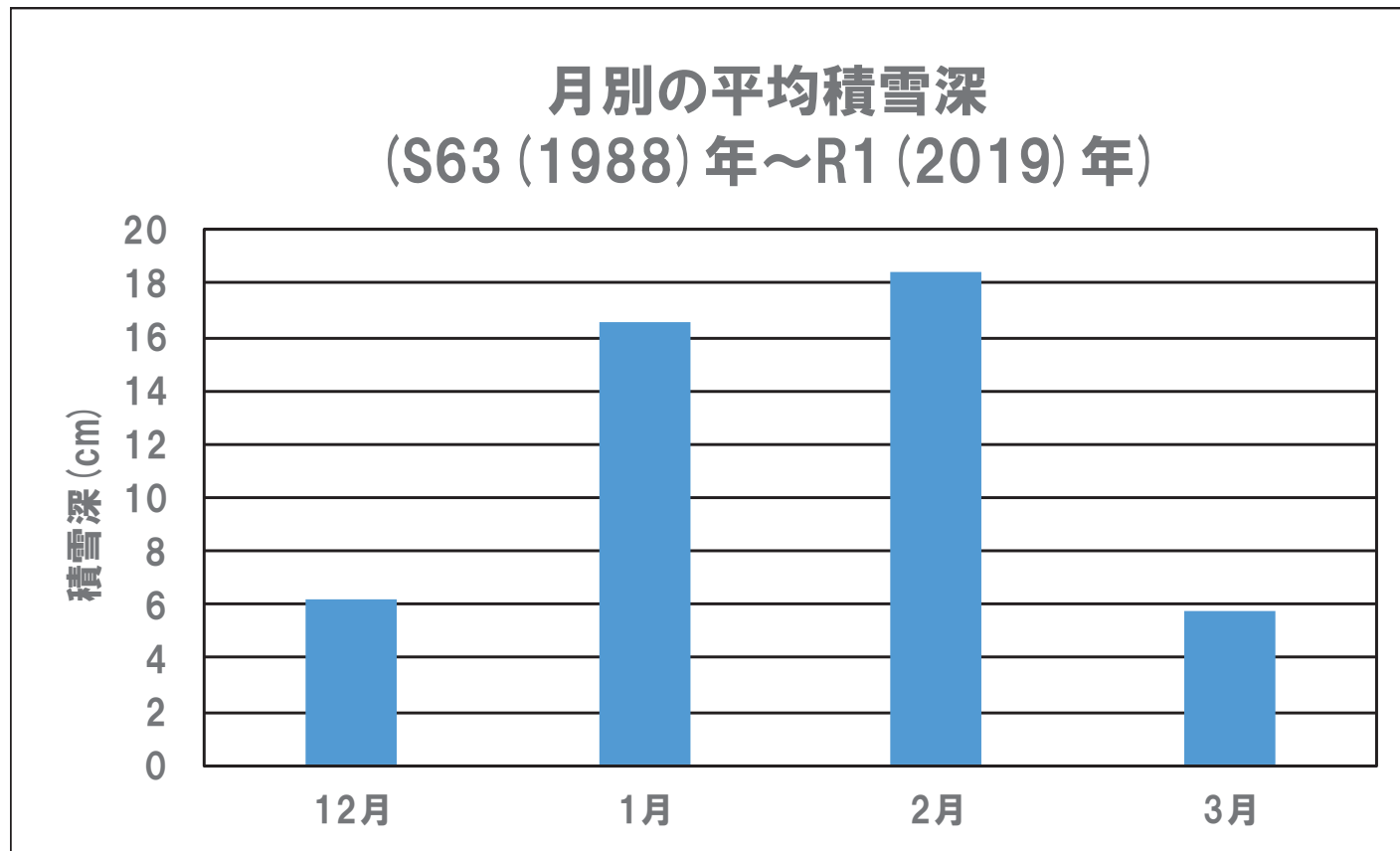


写真② 開削調査箇所(南側)付近法肩状況(H25年3月撮影)

敷地の積雪深

新規 (R2/8/7審査会合以降)

- 敷地の気象観測地点における月別の平均積雪深 (S63 (1988) 年～R1 (2019) 年) を以下に示す
- 最寒月 (1月) の平均積雪深は約16cmとなる。

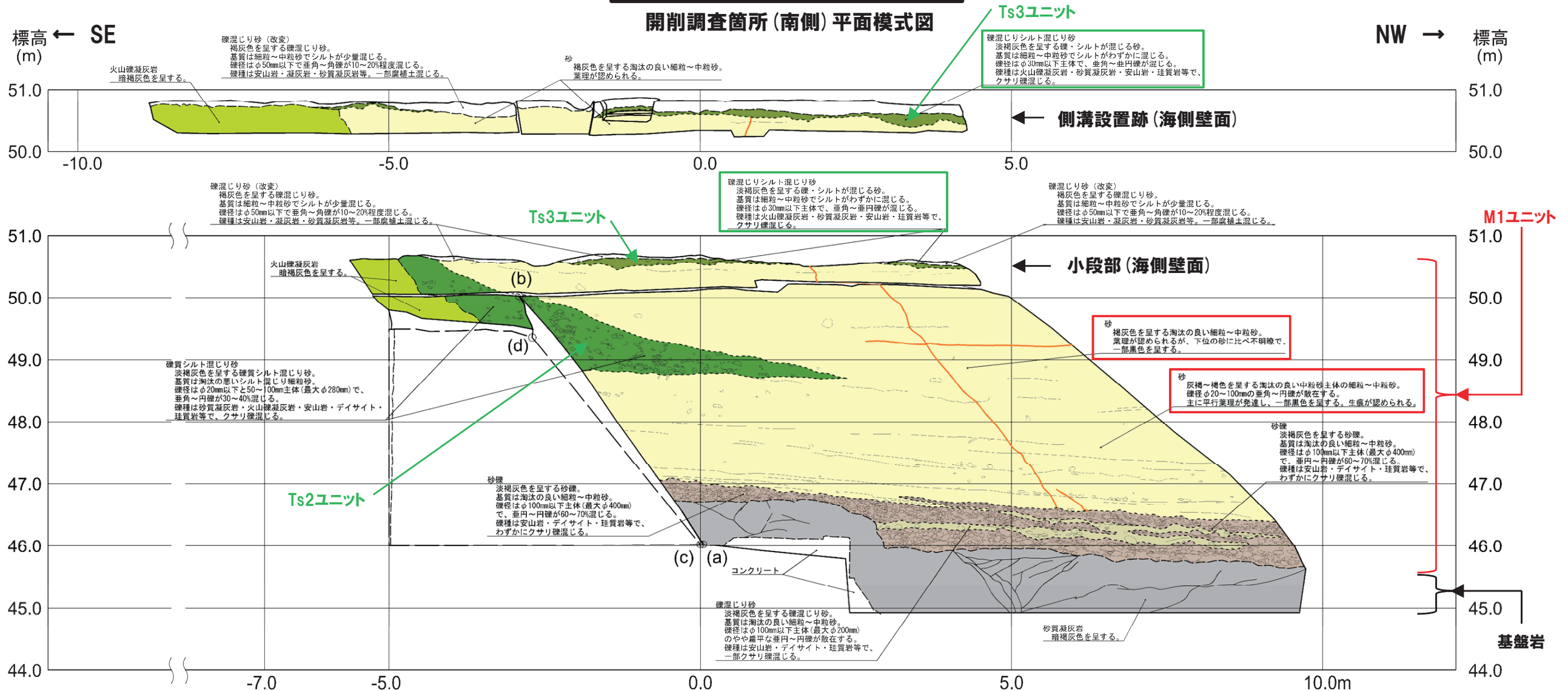
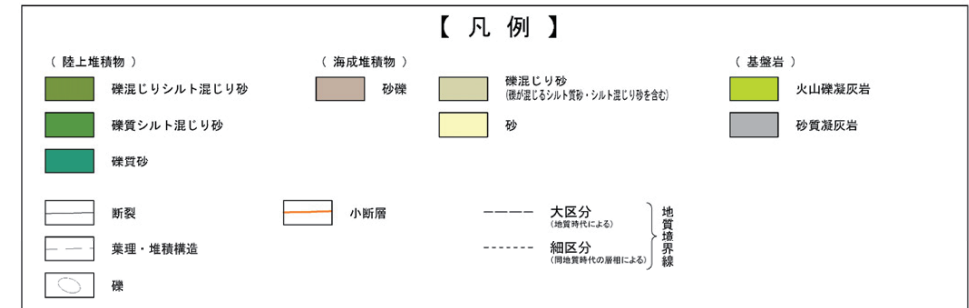
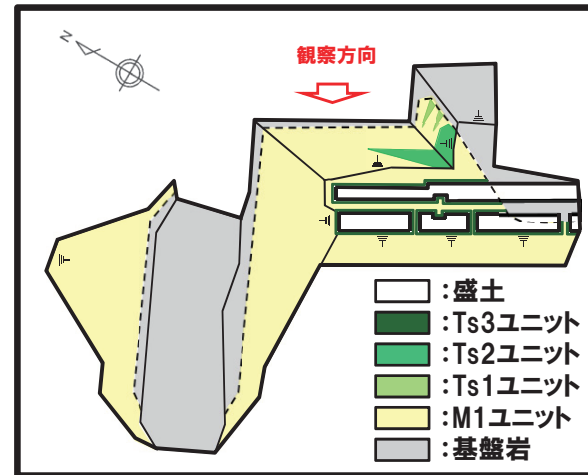


気象観測地点 位置図

凍結融解作用の影響に関する検討について

開削調査箇所(南側) 南側壁面の背後法面 壁面スケッチ

新規 (R2/8/7審査会合以降)



開削調査箇所(南側) 南側壁面の背後法面 壁面スケッチ