

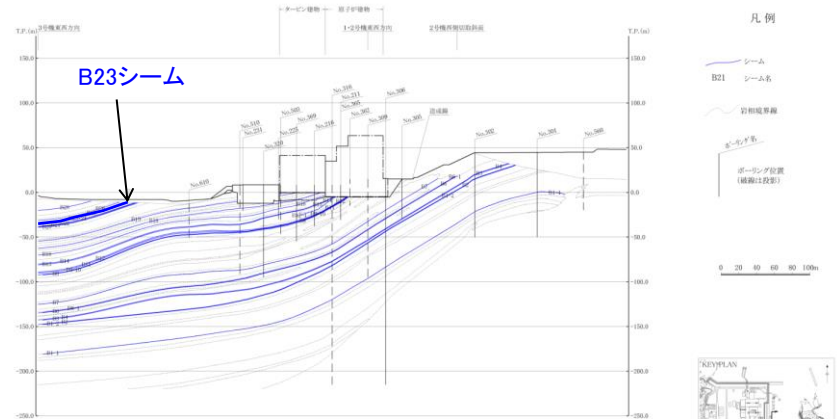
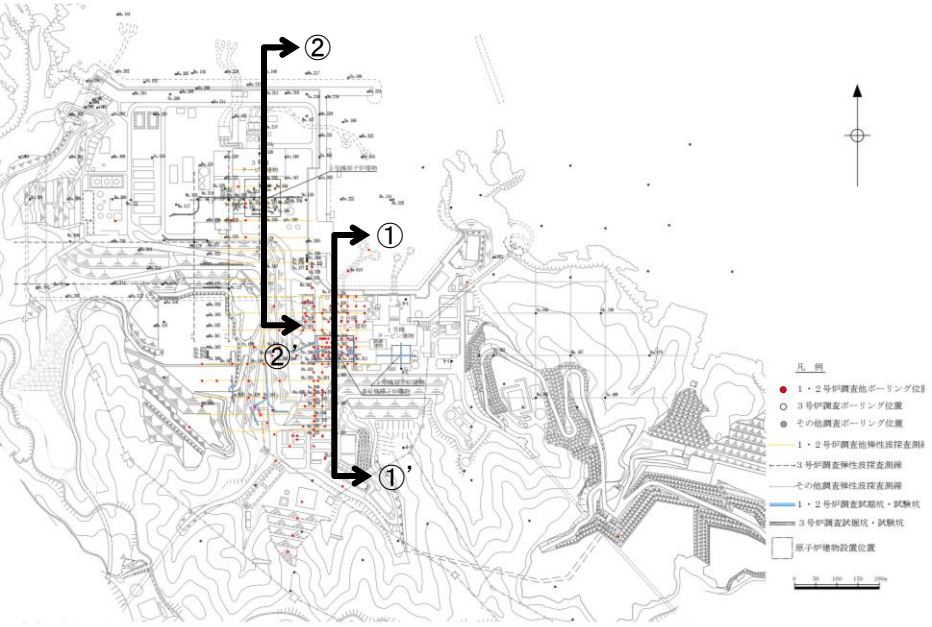
島根原子力発電所  
地盤(敷地の地形, 地質・地質構造)

---

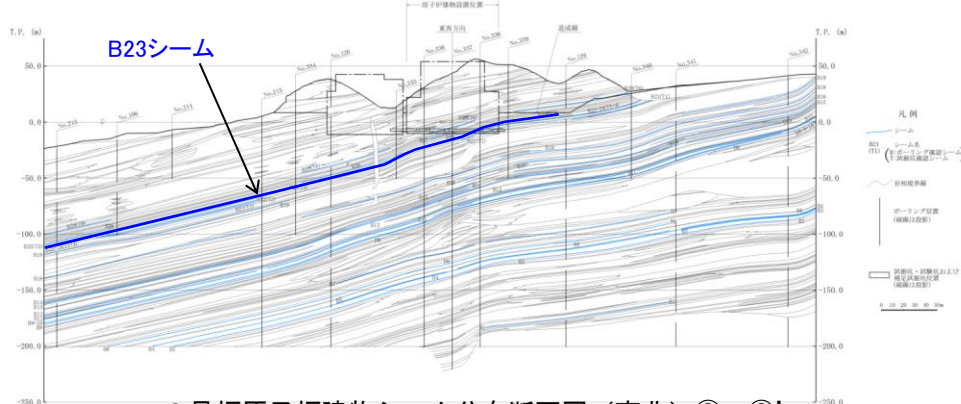
令和3年3月26日  
中国電力株式会社

# 概要(敷地の地質・地質構造)

- ・敷地において地質調査を行った結果、敷地には、連続する破碎部及び断層並びに耐震重要施設及び常設重大事故等対応施設の支持地盤を切る地滑り面は認められないが、地層の走向・傾斜と同一で連続性を有するシームとして、B1～29シームが確認された。
- ・B1～29シームのうち、最も連続性が高いB23シームを対象に、活動性評価を実施した。



2号炉原子炉建物シーム分布断面図(南北)①-①'



3号炉原子炉建物シーム分布断面図(南北)②-②'

調査数量一覧表				
調査項目	1・2号炉調査他 1968～1982年度 2006～2008年度	3号炉調査 1995～2002年度	その他調査 1995年度 2007～2008年度 2011～2015年度 2019年度	合計
弾性波探査	5,600m (24測線)	2,520m (6測線)	3,320m (9測線)	11,440m (39測線)
	8,120m (30測線)			
ボーリング調査	155孔 (延9,230m)	113孔 (延12,293m)	49孔 (延4,963m)	317孔 (延26,486m)
	268孔 (延21,523m)			
試掘坑調査	840m	930m	-	1,770m
	1,770m			

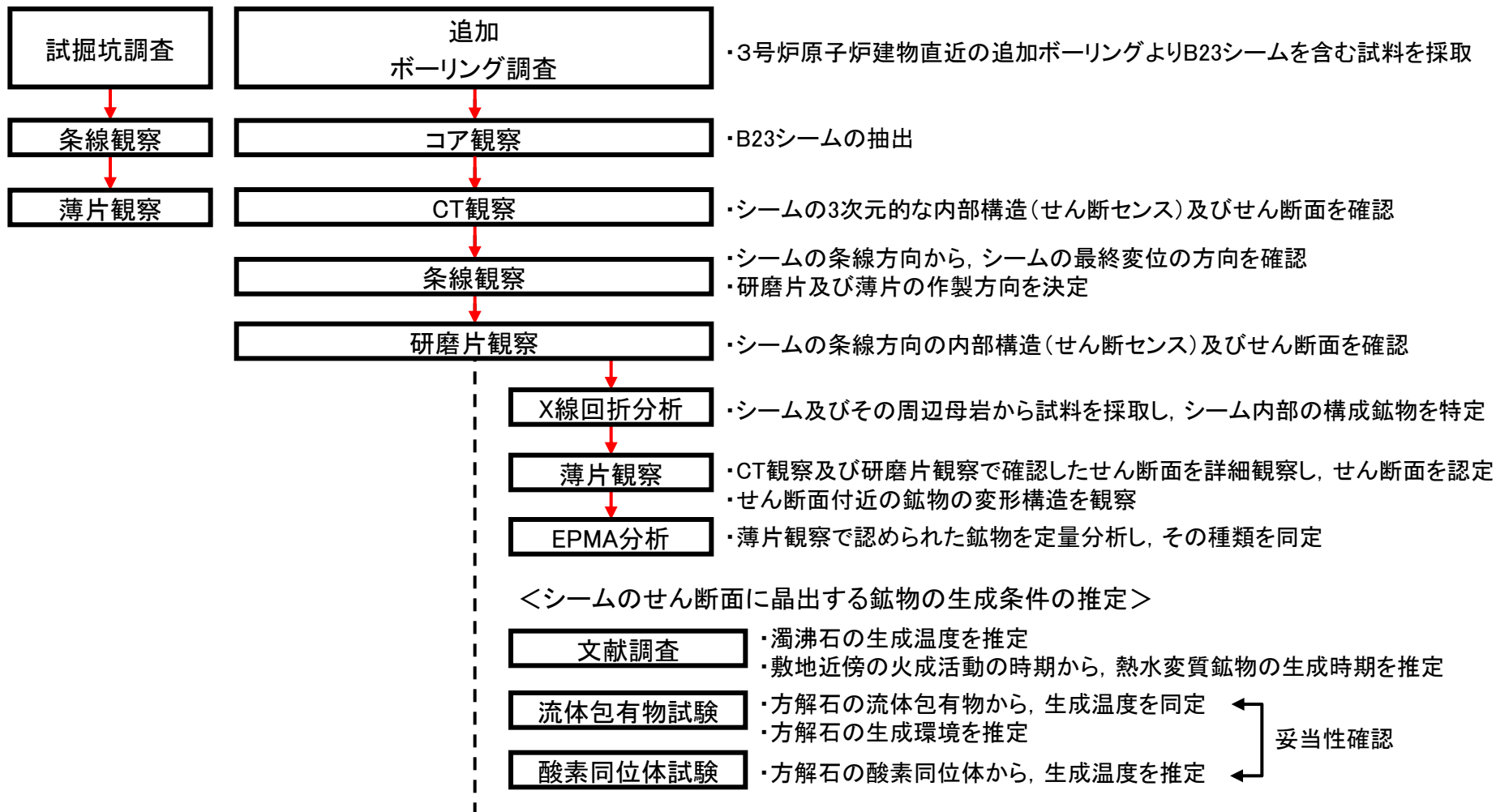
# 概要(シームの活動性評価方法)

- ・応力場及びシームの形成に関連したずれの方向による検討に加え、せん断面と鉱物脈との接触関係に着目したシームの活動性評価を行うため、追加ボーリング調査によりシーム試料を採取し、X線回折分析、薄片観察、流体包有物試験、酸素同位体試験等の追加調査を実施した。

## ○シームの活動性評価の概要

<シームの最終変位方向の確認>

<シームのせん断面に晶出する鉱物の分析>



# 概要(シームの活動性評価結果)

○薄片観察結果(追加ボーリング調査)

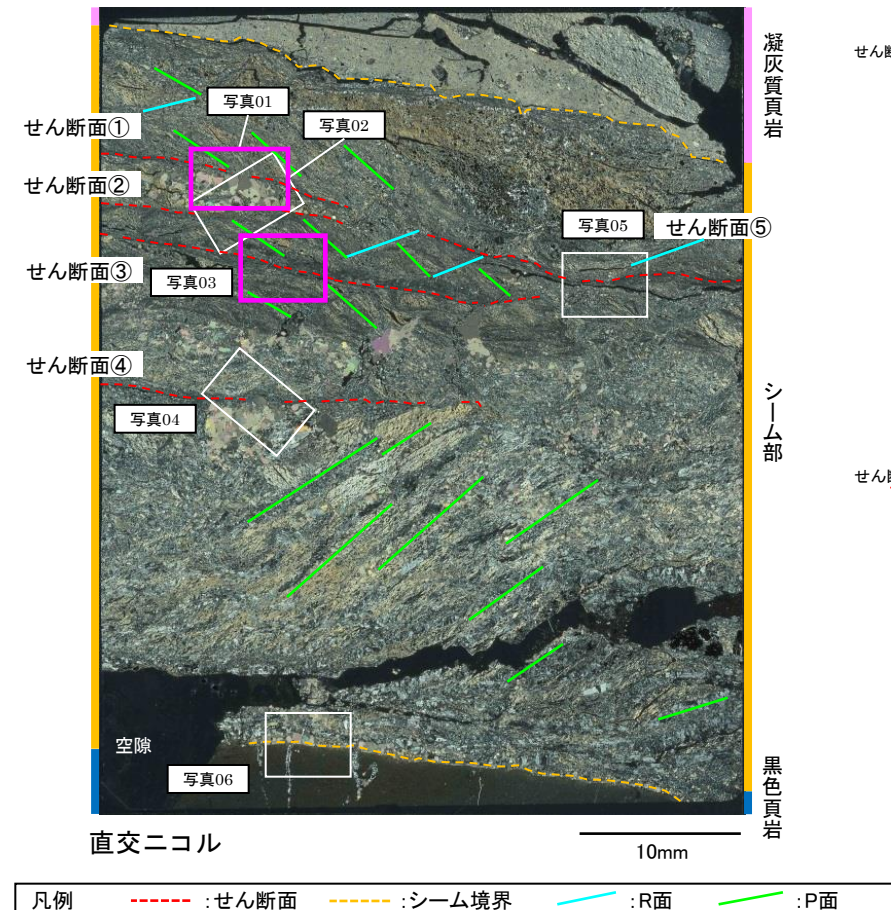


写真01

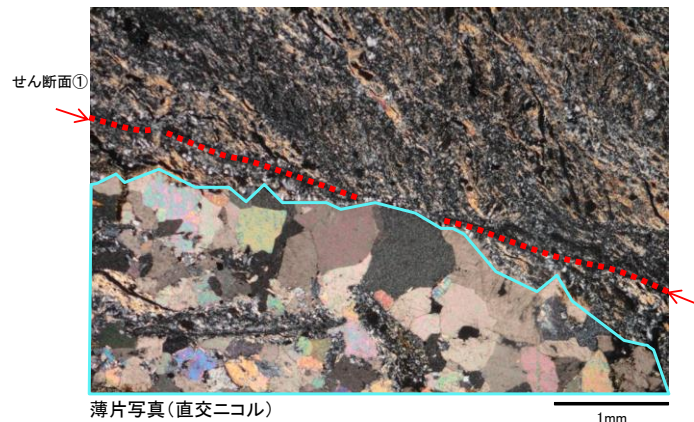
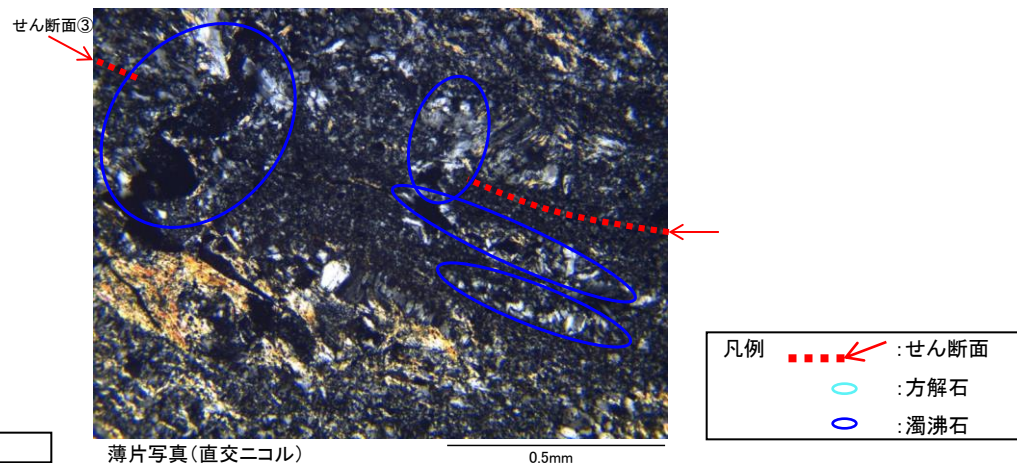


写真03



## 【シーム内のせん断面と鉱物脈との接触関係に着目したシームの活動性評価】

- ・薄片観察等の結果、シームには、せん断面を横断するように濁沸石及び方解石が晶出しており、変位・変形を受けていないことが確認される。
- ・文献調査、流体包有物試験及び酸素同位体試験の結果より、シームで確認された濁沸石及び方解石の生成温度は現在の地温と比較して高温であることから、これらの鉱物は中期中新世～後期中新世の火成活動により生成したと考えられる。
- ・以上の追加調査結果より、中期中新世～後期中新世の火成活動により生成したと考えられる熱水変質鉱物がシーム内のせん断面を横断しており、これらが変位・変形を受けていないことから、敷地に分布するシームは後期更新世以降に活動していないと考えられる。

# 申請時 (H25.12.25) からの主な変更内容

## 将来活動する可能性のある断層等の有無

申請時の評価 (H25.12.25)	申請後の検討・反映事項 (審査会合での主な議論)	最終評価	該当頁
<ul style="list-style-type: none"> <li>ボーリング調査等の地質調査の結果、敷地には、連続する破碎部及び断層は認められないが、地層の走向・傾斜と同一で連続性を有するシームが分布することを確認。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>より詳細な過褶曲の構造を確認するため、関連施設の敷地造成工事にあわせて法面整形を行い、法面観察及び法面スケッチを実施。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>過褶曲部において、深部まで続く断層は認められないことから、断層運動に起因する構造ではないことを確認した。</li> <li>シームは、粘土を含む平板状の面に沿って変位している可能性があることから、活動性評価の対象とする断層等としてシームを抽出する。</li> </ul>	9~28

## シームの活動性評価

申請時の評価 (H25.12.25)	申請後の検討・反映事項 (審査会合での主な議論)	最終評価	該当頁
<ul style="list-style-type: none"> <li>3号炉試掘坑内に露出するシームを対象に条線観察及び薄片観察を行った結果、条線の方法はいずれも南北系を示していることから、少なくとも東西圧縮応力場の下にある後期更新世以降に活動していないと考えられる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>B1~B29シームについては同様の成因で形成されたと考えられることから、最も連続性が高いと考えられるB23シームを対象に活動性評価を実施。</li> <li>3号炉付近における追加ボーリング調査により採取したB23シームを対象に薄片観察及びEPMA分析を実施し、せん断面を横断するように濁沸石及び方解石が晶出しており、変位・変形を受けていないことを確認。文献調査並びに方解石を対象とした流体包有物試験及び酸素同位体試験を実施し、濁沸石及び方解石の生成条件を評価。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>中期中新世~後期中新世の火成活動により生成したと考えられる熱水変質鉱物がシーム内のせん断面を横断しており、これらが変位・変形を受けていないことから、敷地に分布するシームは後期更新世以降に活動していないと考えられる。</li> </ul>	67~112

# 申請時 (H25.12.25) からの主な変更内容

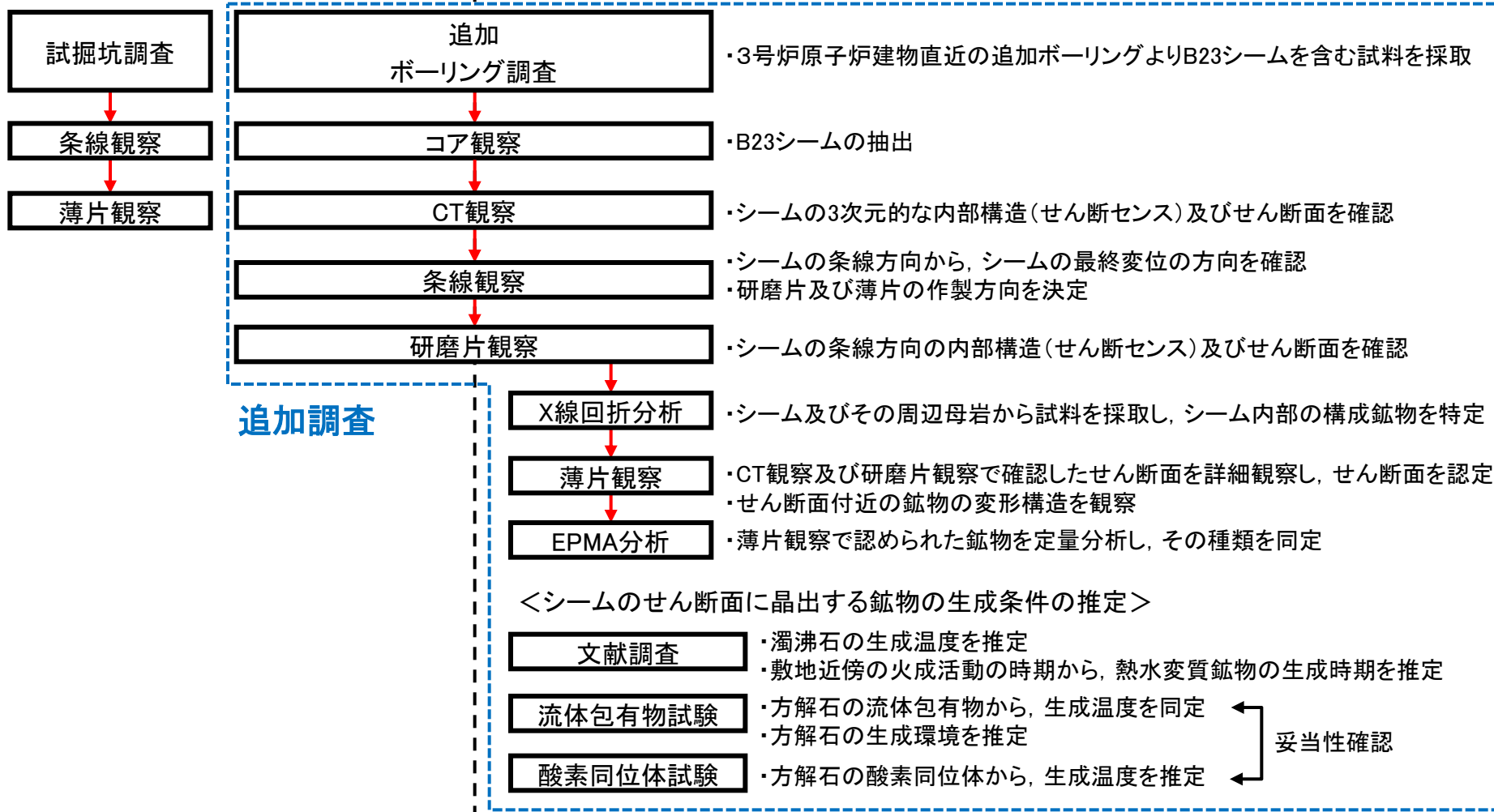
## ■シーム内のせん断面と鉱物脈との接触関係に着目したシームの活動性評価の実施

・申請時の応力状態に着目したシームの活動性評価に加えて、せん断面と鉱物脈との接触関係に着目したシームの活動性評価を行うため、敷地に分布するシームを対象にX線回折分析、薄片観察、流体包有物試験、酸素同位体試験等の追加調査を実施した。

### ○追加調査の概要

<シームの最終変位方向の確認>

<シームのせん断面に晶出する鉱物の分析>



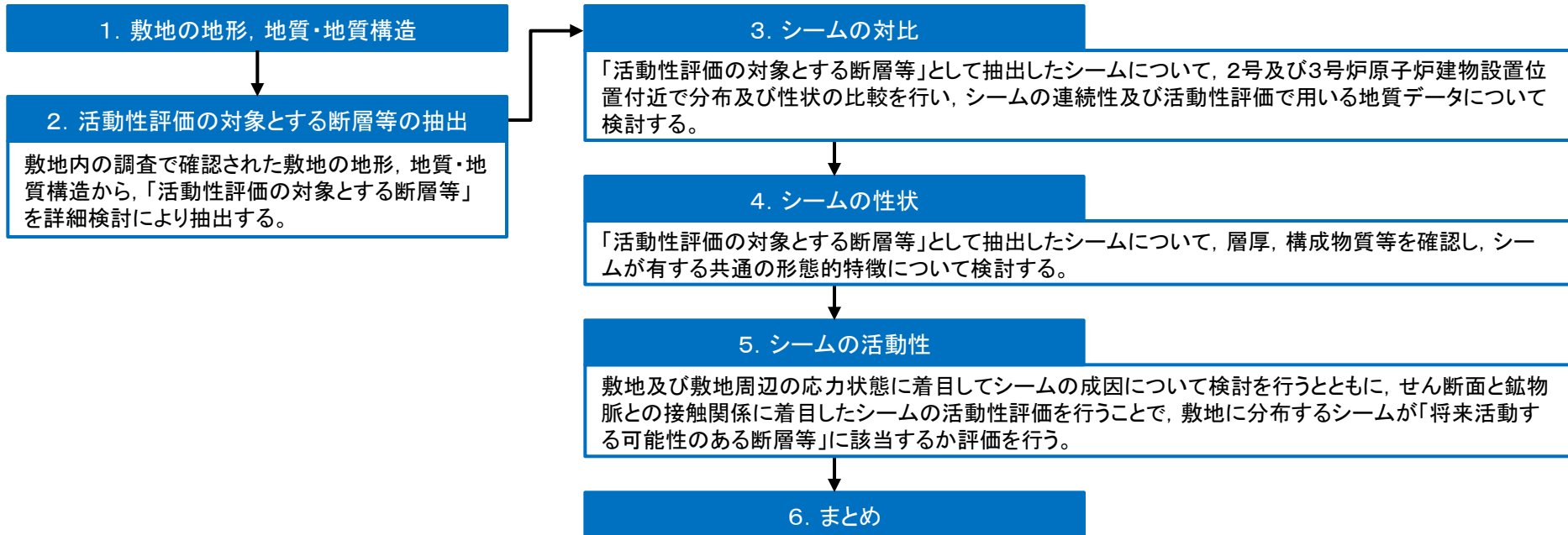
## 第318回審査会合(H28.1.15)からの変更内容

No.	第318回審査会合(H28.1.15)からの変更内容	頁
1	背斜軸北側において確認された過褶曲構造について、追加観察結果を反映した。	24, 25
2	背斜軸南側の断面図に向斜軸の位置を記載するとともに、背斜軸北側の断面図を追加した。	63
3	敷地内の地質構造発達史に条線観察、薄片観察等から得られた知見を反映した。	110
4	敷地内で認められる鉱物について、生成温度と深度の関係から生成環境を検討し、熱史等に係る総合的な評価を行った。	111
5	耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設設置位置における地質・地質構造に関する記載を追加した。	13 ・ 補足説明 4～12

# 目次及び評価の流れ

- 1. 敷地の地形, 地質・地質構造 .....P.9
- 2. 活動性評価の対象とする断層等の抽出 .....P.30
- 3. シームの対比 .....P.34
- 4. シームの性状 .....P.59
- 5. シームの活動性
  - (1)シームの活動性評価方法 .....P.68
  - (2)シームの成因
    - ①敷地及び敷地周辺の応力場 .....P.69
    - ②シームの条線方向と最新活動センス .....P.75
  - (3)シームの活動性評価
    - ①シームで認められる鉱物種とせん断面の関係 .....P.84
    - ②シームで認められる鉱物の生成条件 .....P.106
- 6. まとめ .....P.114

## ■評価の流れ





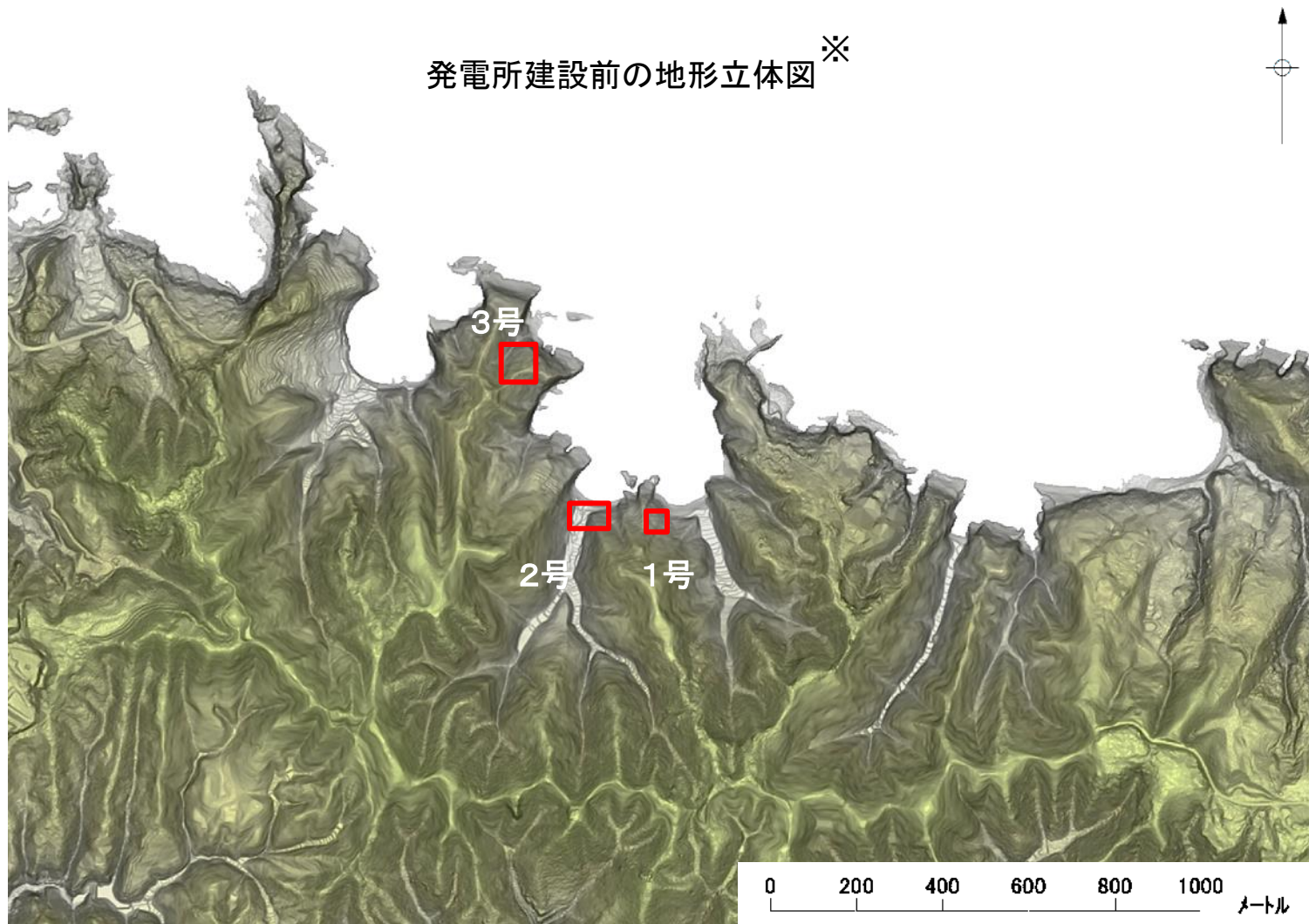
余白

# 1. 敷地の地形, 地質・地質構造

# 敷地の地形①

・変動地形学的調査の結果, 敷地には変位地形・リニアメントは認められない。

発電所建設前の地形立体図※



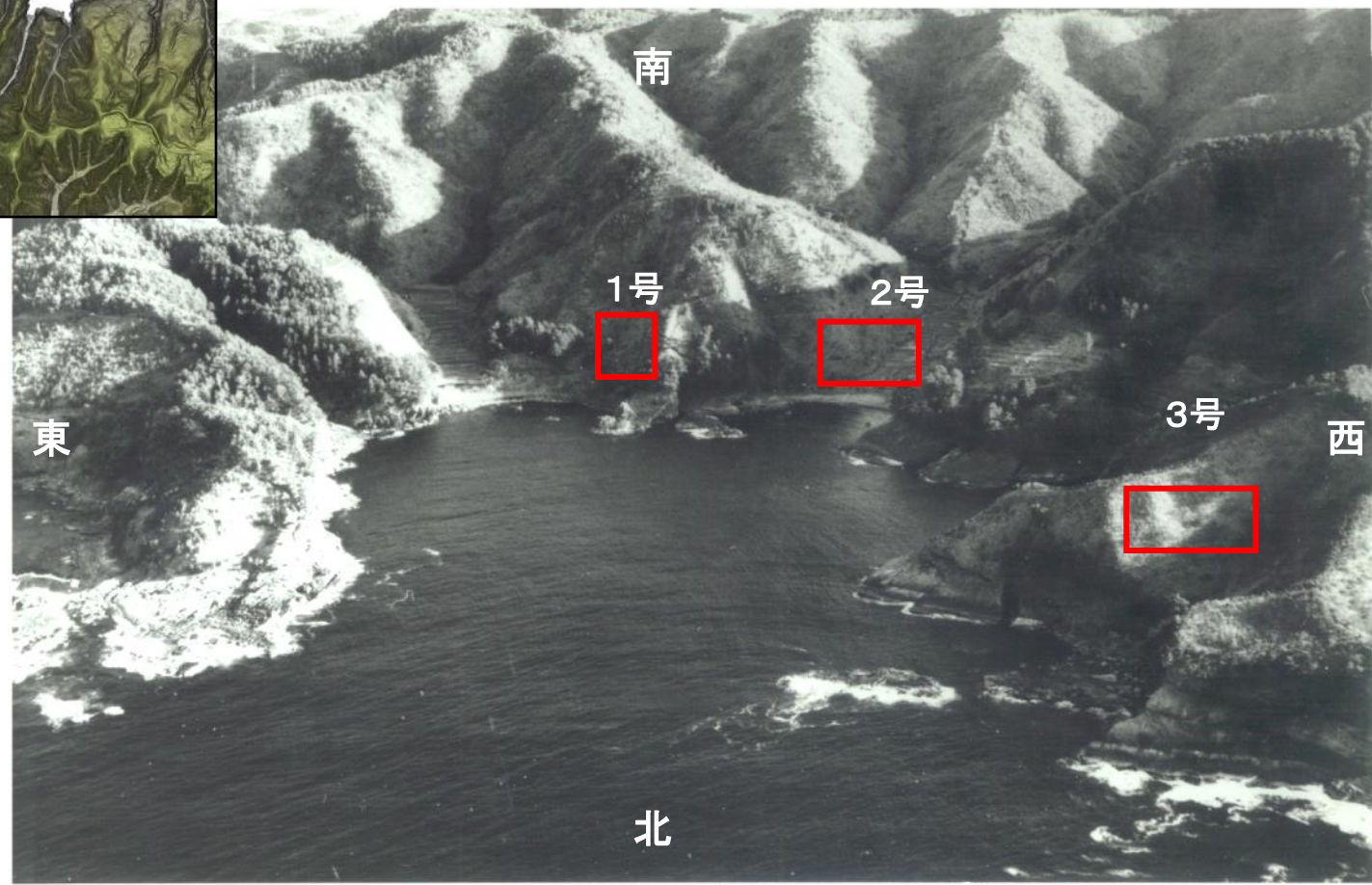
※航空レーザー測量で取得した2mメッシュのDEMデータに, 空中写真により取得した旧地形のDEMデータを合成して作成したもの

# 敷地の地形②

KEY-PLAN 撮影方向



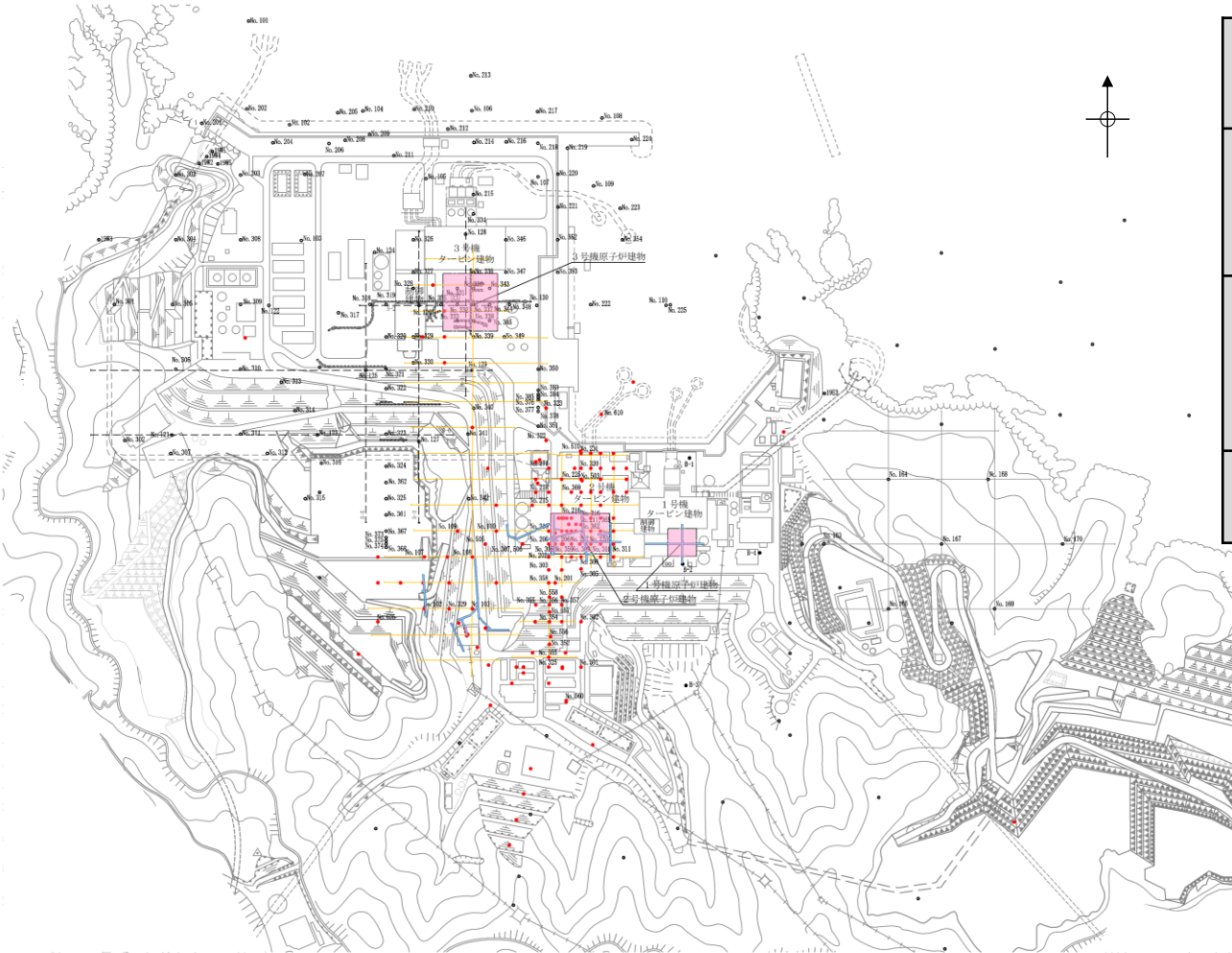
発電所建設前の写真(昭和42年撮影)



# 1. 敷地の地形, 地質・地質構造 敷地内地質調査内容

調査数量一覧表

調査項目	1・2号炉調査他 1968～1982年度 2006～2008年度	3号炉調査 1995～2002年度	その他調査 1995年度 2007～2008年度 2011～2015年度 2019年度	合計
弾性波探査	5,600m (24測線)	2,520m (6測線)	3,320m (9測線)	11,440m (39測線)
	8,120m (30測線)			
ボーリング調査	155孔 (延9,230m)	113孔 (延12,293m)	49孔 (延4,963m)	317孔 (延26,486m)
	268孔 (延21,523m)			
試験坑調査	840m	930m	—	1,770m
	1,770m			



凡例

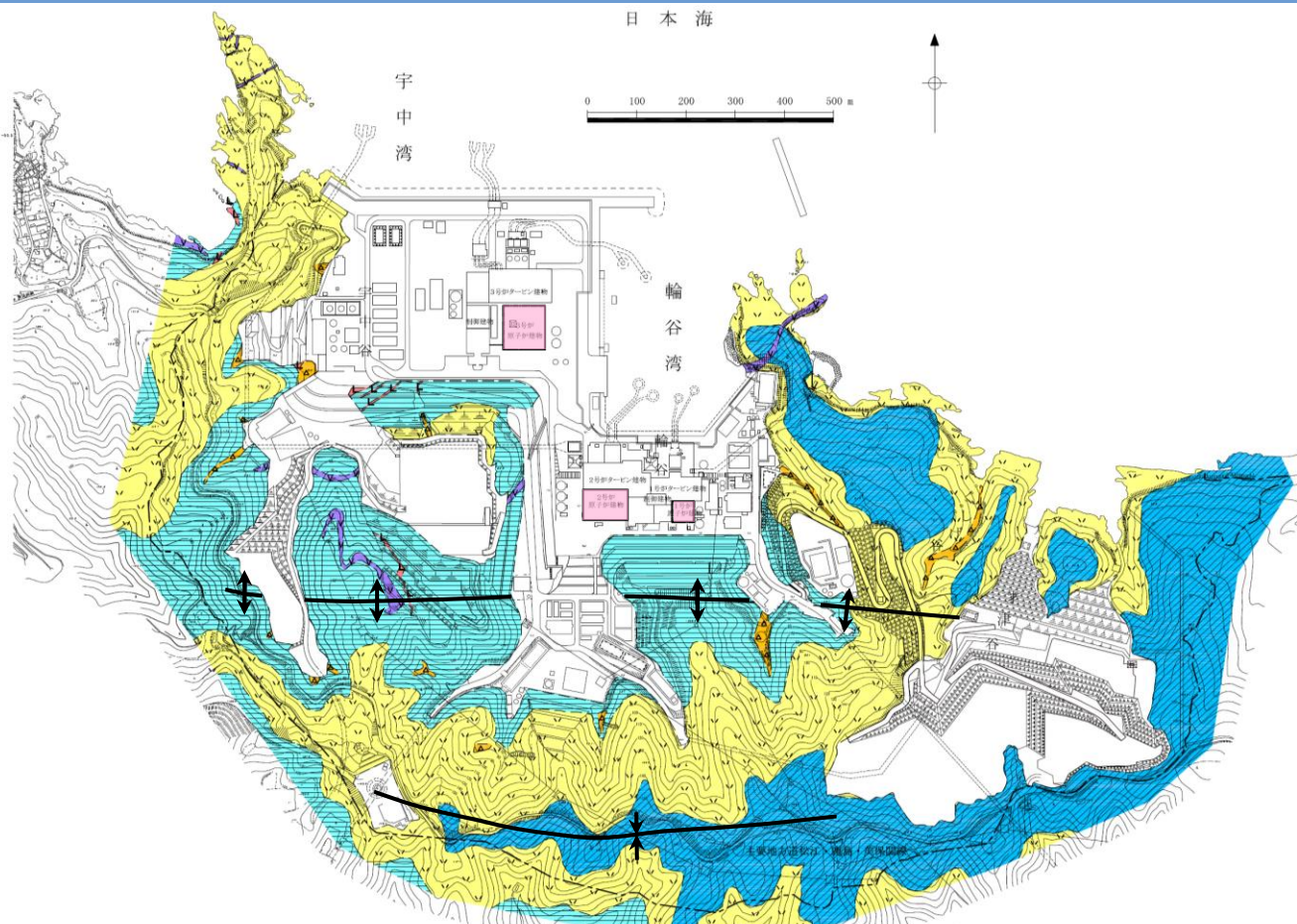
- 1・2号炉調査他ボーリング位置
- 3号炉調査ボーリング位置
- その他調査ボーリング位置
- 1・2号炉調査他弾性波探査測線
- - - 3号炉調査弾性波探査測線
- その他調査弾性波探査測線
- 1・2号炉調査試験坑・試験坑
- 3号炉調査試験坑・試験坑
- 原子炉建物設置位置



ボーリング調査他位置図

敷地の地質・地質構造を把握するため、文献調査, 変動地形学的調査, 地表地質踏査を行うとともに、地表からの弾性波探査, ボーリング調査, 試験坑調査を実施した。

# 敷地の地質平面図



敷地の地質平面図

凡例

地質時代	地層名	主要構成地質	
第四紀 完新世	被覆層	礫混り砂質土・礫混り粘性土	
	崖錐堆積物	礫混り砂質土・礫混り粘性土	▲ ▲ ▲
新第三紀 中新世	貫入岩類	安山岩	▽ ▽
		ドレライト	■ ■ ■
	成相寺層 上部頁岩部層	黒色頁岩	■ ■ ■
	成相寺層 火砕岩部層	凝灰岩・凝灰角礫岩	▽ ▽
成相寺層 下部頁岩部層	黒色頁岩・凝灰質頁岩	■ ■ ■	

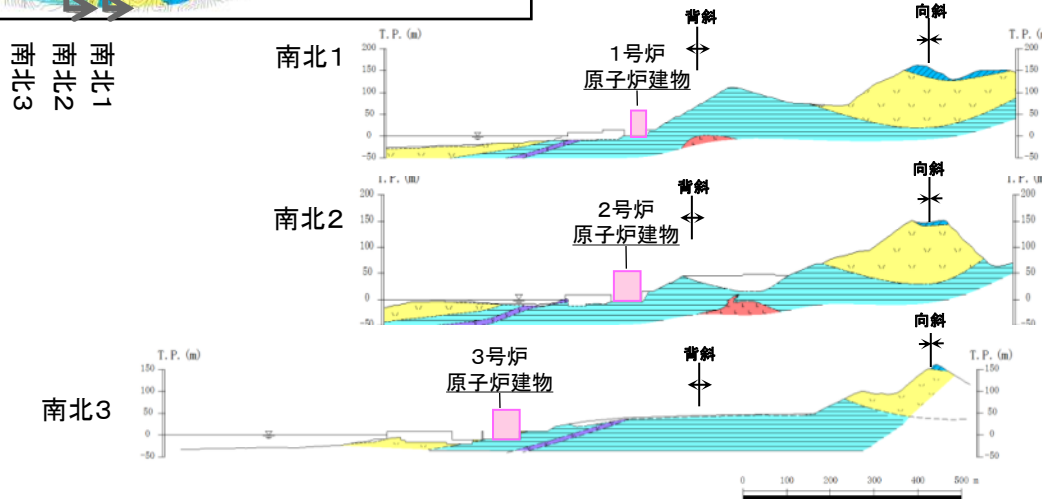
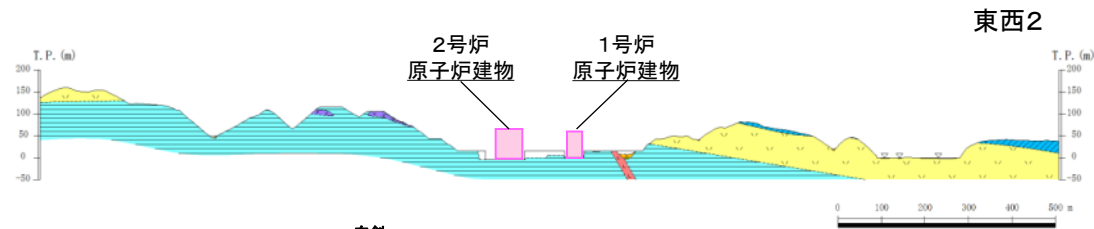
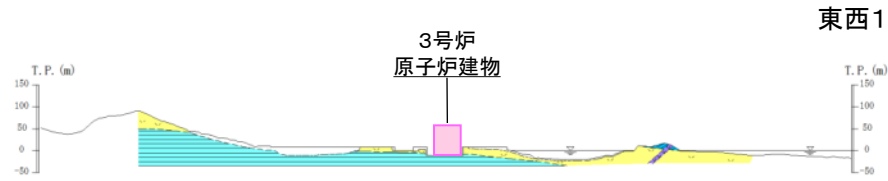
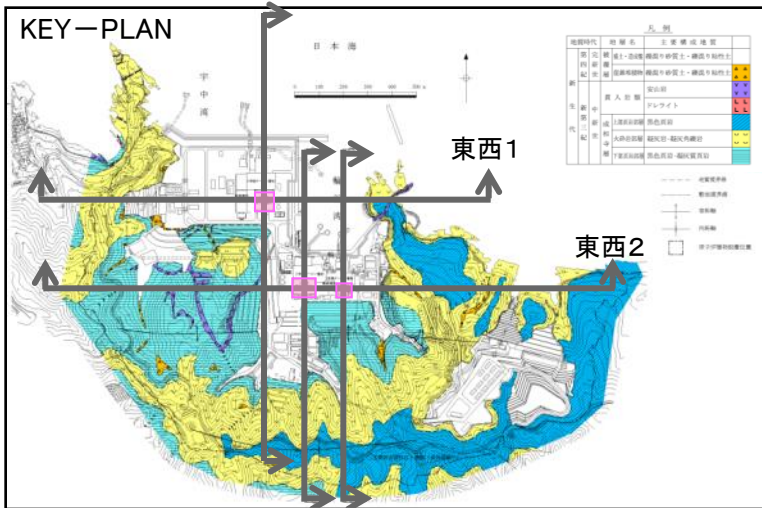
- 地質境界線
- - - 敷地境界線
- ↕ 背斜軸
- ↕ 向斜軸
- 原子炉建物設置位置

※面を境に変位が認められ、破碎を伴い、地層を切るもの。

文献調査、変動地形学的調査、地表地質踏査、地表からの弾性波探査、ボーリング調査及び試掘坑調査の結果を踏まえ、敷地の地質・地質構造を以下のとおり把握するとともに、地質平面図・断面図を作成した。(耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の設置位置・地質鉛直断面図、及び試掘坑調査結果は補足説明1章を参照)

- ・敷地の地質は、新第三紀中新世の堆積岩類から成る成相寺層と貫入岩類及びそれらを覆う第四系の崖錐堆積物等から構成される。
- ・敷地の南部には、ほぼ東西方向の軸を持つ背斜構造が認められる。
- ・背斜軸より北の一部では、過褶曲を示す構造(以下「過褶曲部」という。)が確認される。
- ・敷地には、連続する破碎部及び断層※並びに耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の支持地盤を切る地滑り面は認められない。

# 敷地の地質断面図



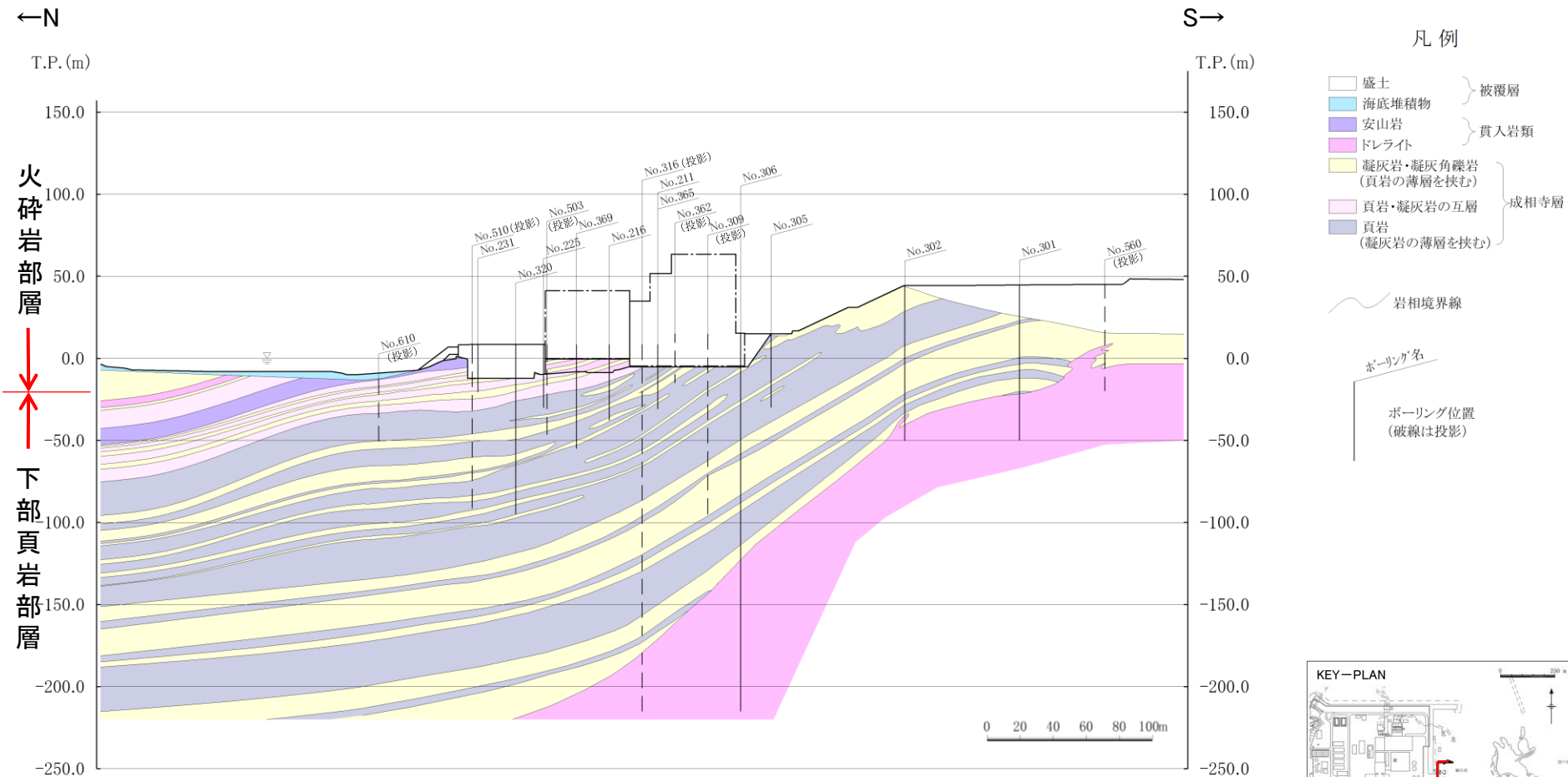
凡例			地層名	主要構成地質	
第四紀	完新世	被覆層	盛土	礫混り砂質土・礫混り粘性土	
		崖錐堆積物		礫混り砂質土・礫混り粘性土	△ △ △
中生代	中新世	貫入岩類		安山岩	V V
				ドレライト	L L L
	成相寺層	上部頁岩部層	黑色頁岩		
		火砕岩部層	凝灰岩・凝灰角礫岩		V V V
下部頁岩部層	黑色頁岩・凝灰質頁岩				

----- 地質境界線

※敷地の地質・地質構造を示すため、旧地形の断面図を示す。

- 敷地に分布する成相寺層は、下位より下部頁岩部層、火砕岩部層、上部頁岩部層の3つの部層に区分される。
- 1号、2号及び3号炉原子炉建物基礎地盤においては、主として黑色頁岩、凝灰質頁岩より成る「下部頁岩部層」が広く分布する。

# 地質鉛直断面図(2号炉原子炉建物南北断面)

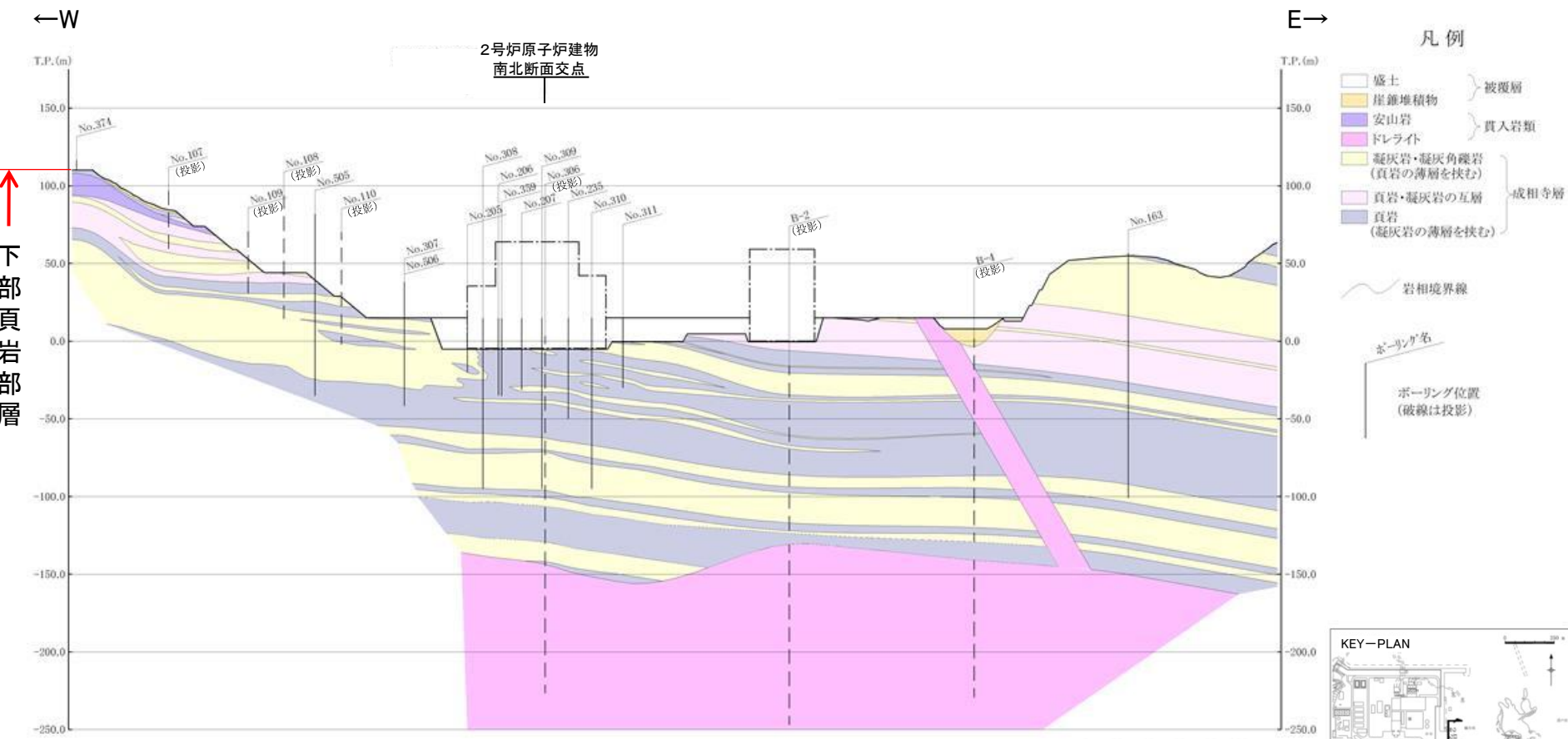


地質鉛直断面図 (2号炉原子炉建物南北断面)

- ・島根サイトには、主として下部頁岩部層, 貫入岩類が分布する。
- ・下部頁岩部層は、頁岩(黒色頁岩及び凝灰質頁岩)を主体とし、凝灰岩及び凝灰角礫岩並びにこれらの互層から構成される。
- ・成相寺層の構造は、概ね西北西-東南東の走向を示し、北へ向かって約10° ~30° 傾斜している。
- ・連続する破砕部及び断層並びに耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の支持地盤を切る地滑り面は認められない。



# 地質鉛直断面図(2号炉原子炉建物東西断面)



地質鉛直断面図 (2号炉原子炉建物東西断面)

- ・成相寺層の構造は、概ね西北西－東南東の走向を示し、東西方向の地層の傾斜は概ね水平である。
- ・連続する破砕部及び断層並びに耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の支持地盤を切る地滑り面は認められない。



# 法面写真(1号炉原子炉建物東側)



- ・成相寺層が、北へ向かって一様に傾斜する構造が認められる。
- ・連続する破砕部及び断層並びに耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の支持地盤を切る地滑り面は認められない。

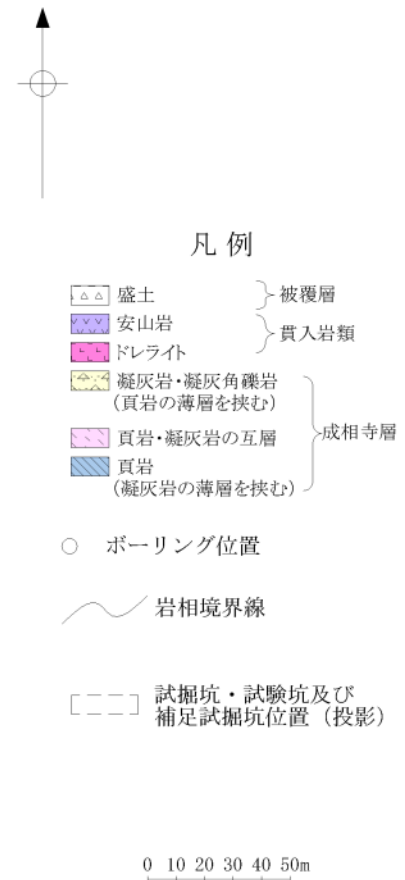
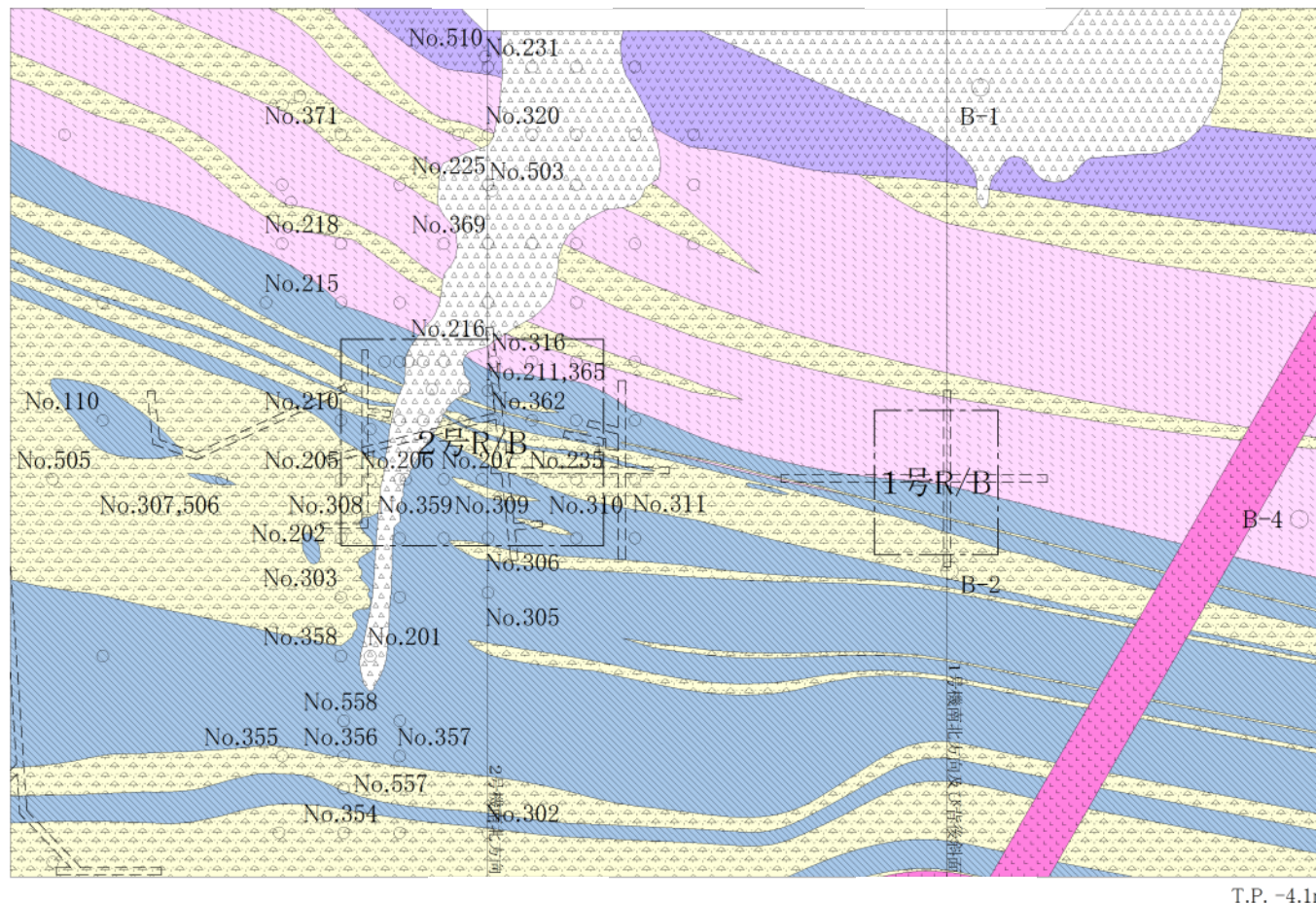
(平成25年撮影)

※法面写真撮影時の平面図を示す。



# 地質水平断面図(1・2号炉原子炉建物基礎地盤)

下部頁岩部層



・成相寺層の構造は、概ね西北西－東南東の走向を示す。  
 ・連続する破碎部及び断層並びに耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の支持地盤を切る地滑り面は認められない。

# 底面付近写真(2号炉原子炉建物基礎地盤)

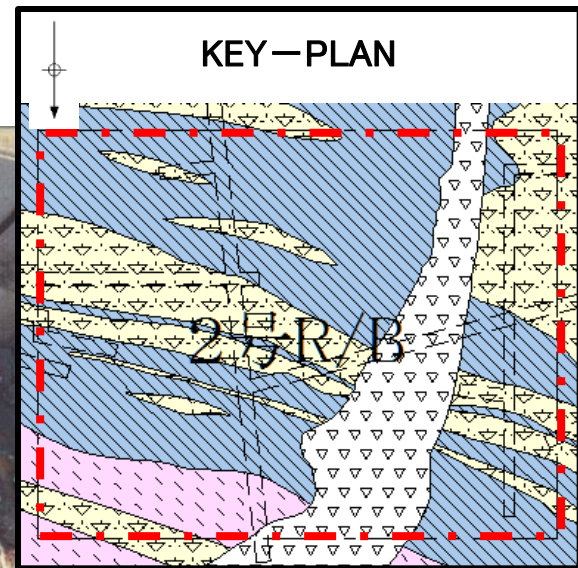
南



東

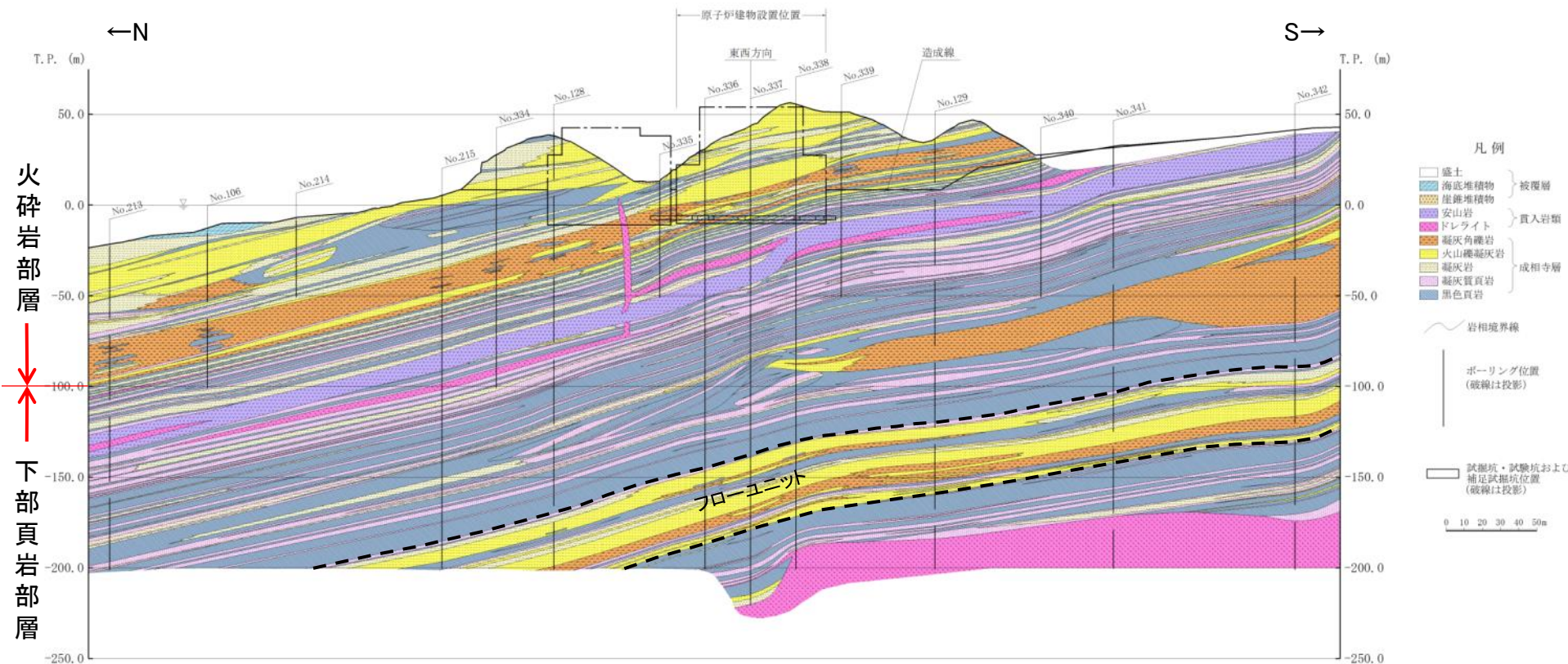
西

北

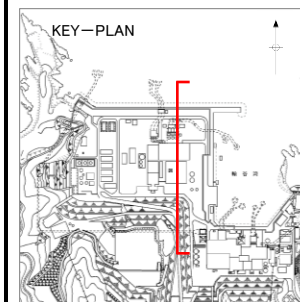


(昭和59年撮影)

# 地質鉛直断面図(3号炉原子炉建物基礎地盤)

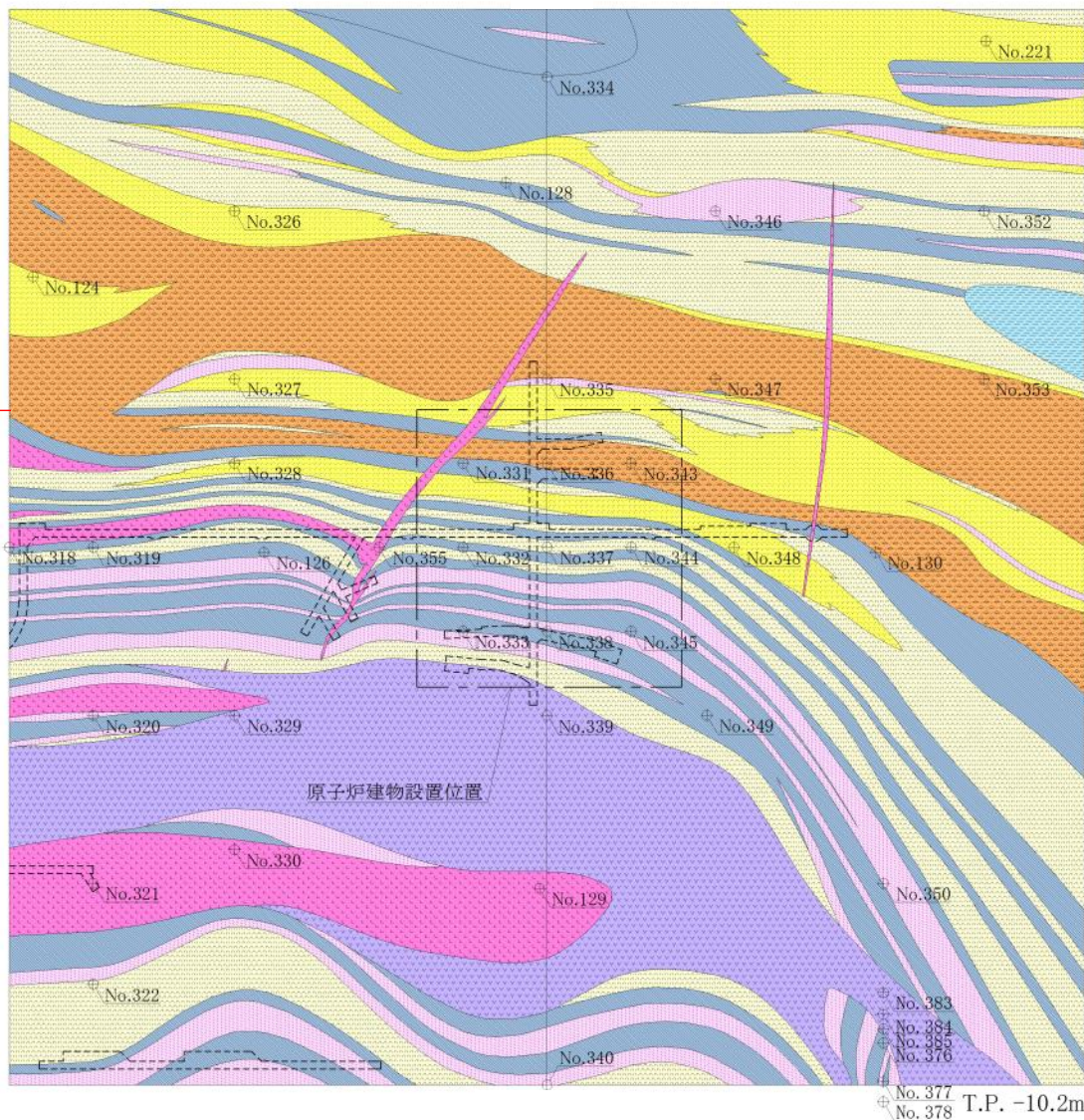


- ・3号炉原子炉建物基礎地盤には、成相寺層(下部頁岩部層、火砕岩部層)及び貫入岩類が分布する。
- ・下部頁岩部層は、頁岩(黒色頁岩及び凝灰質頁岩)を主体とし、凝灰岩、火山礫凝灰岩及び凝灰角礫岩並びにこれらの互層から構成される。
- ・火砕岩部層は、主として凝灰岩、火山礫凝灰岩及び凝灰角礫岩から構成される。
- ・成相寺層の構造は、ほぼ東西方向の走向を示し、北へ向かって約10° ~20° 緩く傾斜している。
- ・連続する破碎部及び断層並びに耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の支持地盤を切る地滑り面は認められない。



# 地質水平断面図(3号炉原子炉建物基礎地盤)

火砕岩部層  
↓  
下部頁岩部層



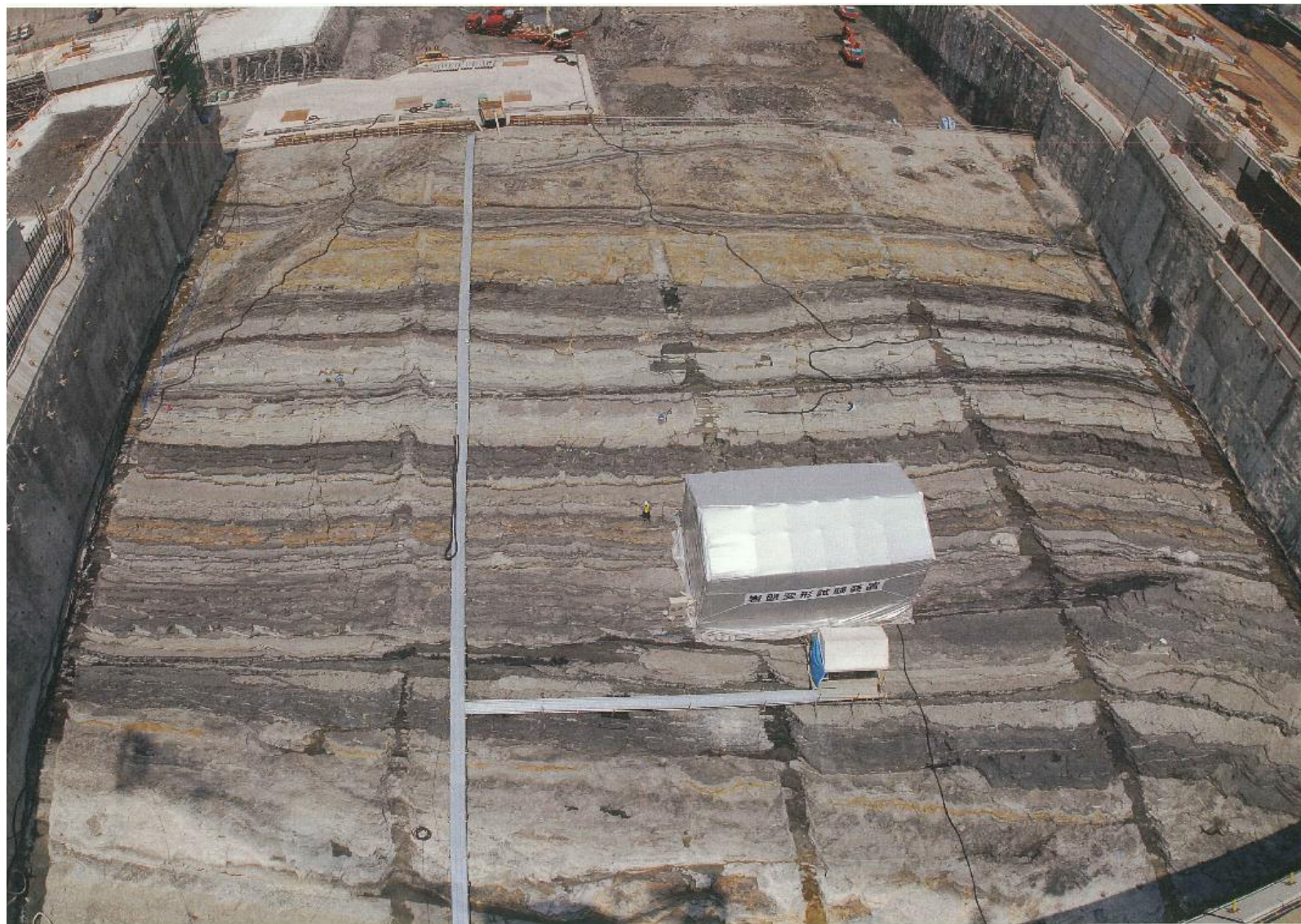
・成相寺層の構造は, 概ね東西~北西-南東の走向を示す。  
・連続する破碎部及び断層並びに耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の支持地盤を切る地滑り面は認められない。

# 底面付近写真(3号炉原子炉建物基礎地盤)

北



西



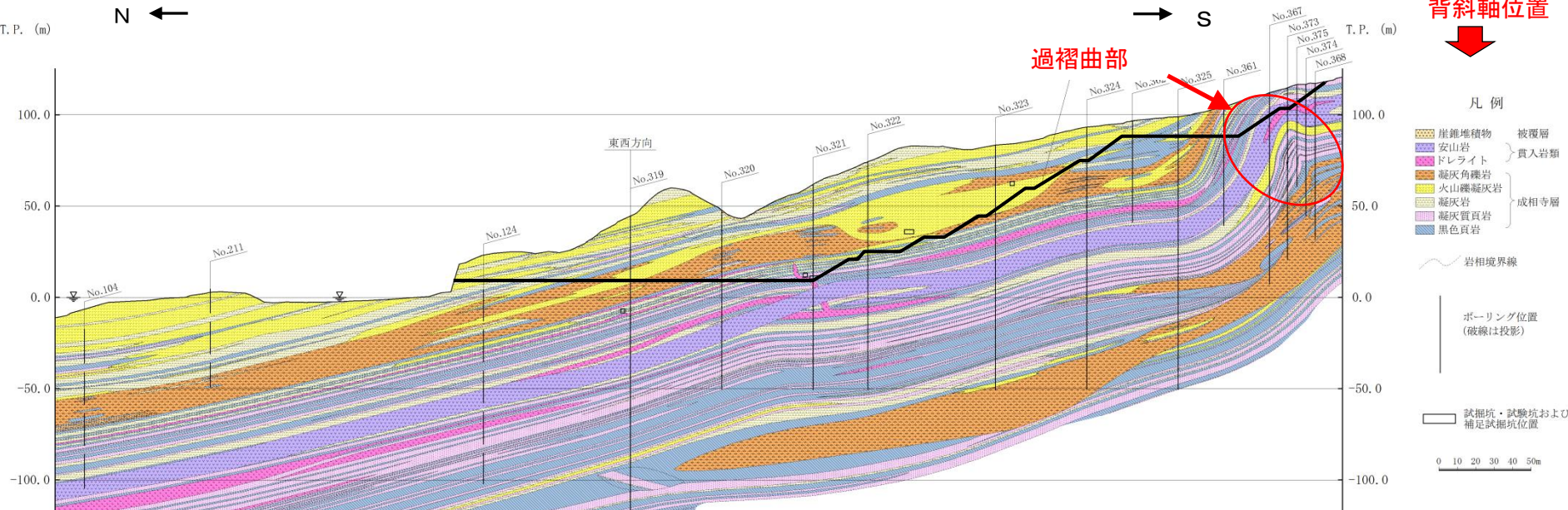
東

南

(平成19年撮影)

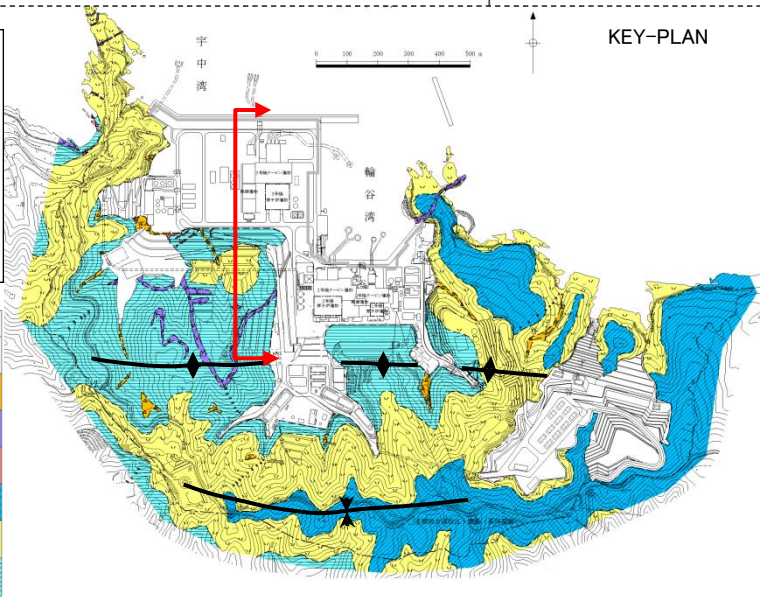
# 1. 敷地の地形, 地質・地質構造

## 背斜軸付近の地質構造



- 背斜軸位置
- 凡例
- 崖堆積物 被覆層
  - 安山岩 貫入岩類
  - ドレライト 貫入岩類
  - 凝灰角礫岩 成相寺層
  - 火山礫凝灰岩 成相寺層
  - 凝灰岩 成相寺層
  - 凝灰質頁岩 成相寺層
  - 黑色頁岩 成相寺層
- 岩相境界線
- ボーリング位置 (破線は投影)
- 試験坑・試験坑および補足試験坑位置
- 0 10 20 30 40 50m

- 凡例
- 地質境界線
  - 敷地境界線
  - 背斜軸
  - 向斜軸
  - 原子炉建物設置位置



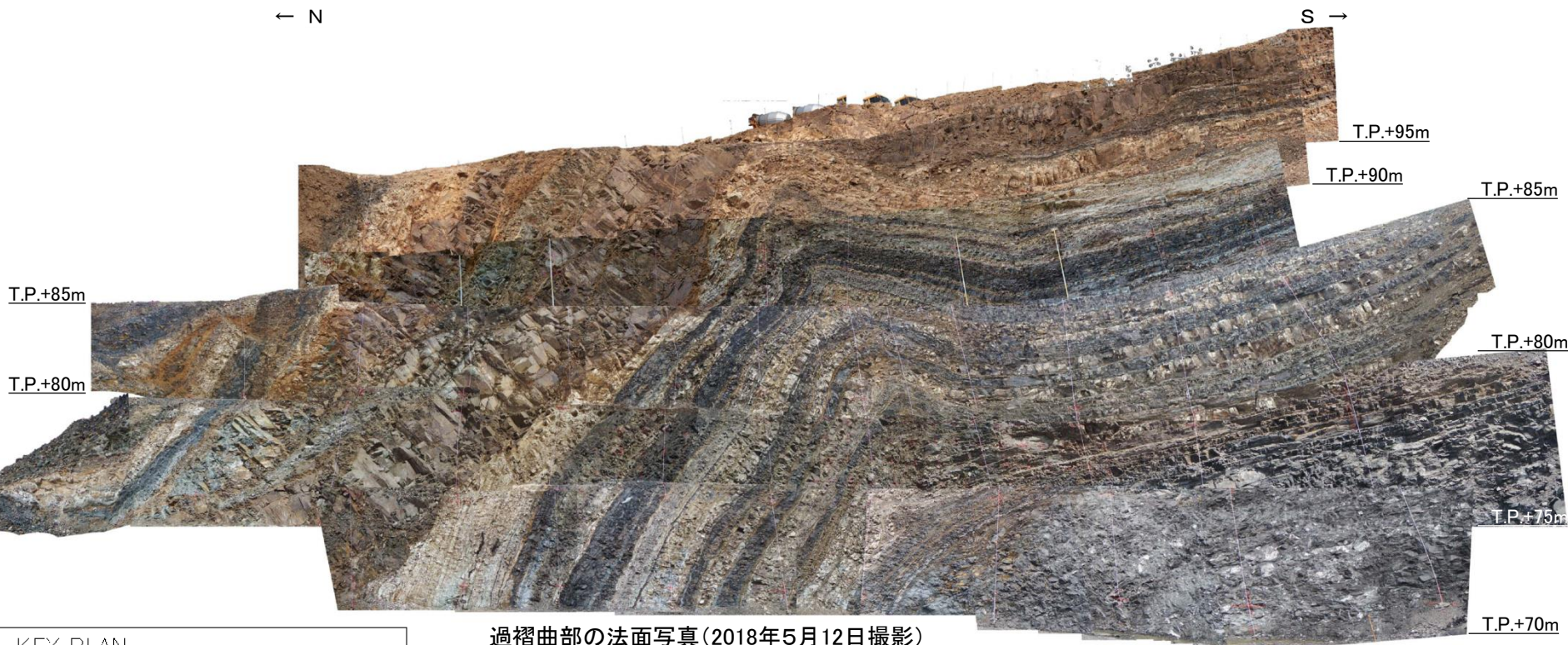
3号調査時のボーリングに基づく地質断面図(南北)  
※背斜軸付近の地質構造を示すため、旧地形の断面図及び平面図を示す。

・ボーリング調査の結果, 背斜軸の北側において, 過褶曲部が確認された。

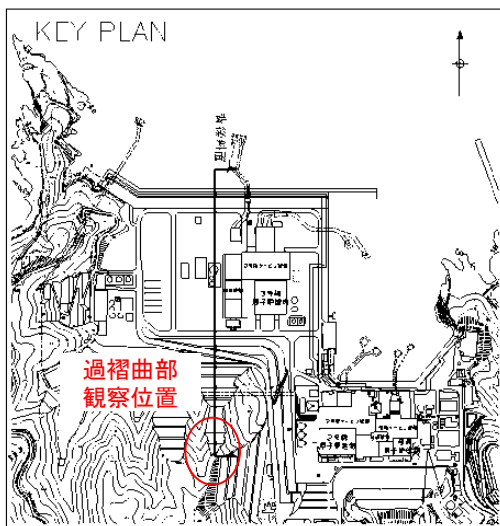
地質時代	地層名	主要構成地質	
第四紀	被覆層	盛土	礫混り砂質土・礫混り粘性土
	新第三紀	貫入岩類	安山岩
貫入岩類		ドレライト	▲ ▲ ▲ ▲
成相寺層	上部頁岩部層	黑色頁岩	▼ ▼ ▼ ▼
	火砕岩部層	凝灰岩・凝灰角礫岩	▼ ▼ ▼ ▼
	下部頁岩部層	黑色頁岩・凝灰質頁岩	▼ ▼ ▼ ▼



# 過褶曲部の地質調査結果(掘削法面写真)



過褶曲部の法面写真(2018年5月12日撮影)

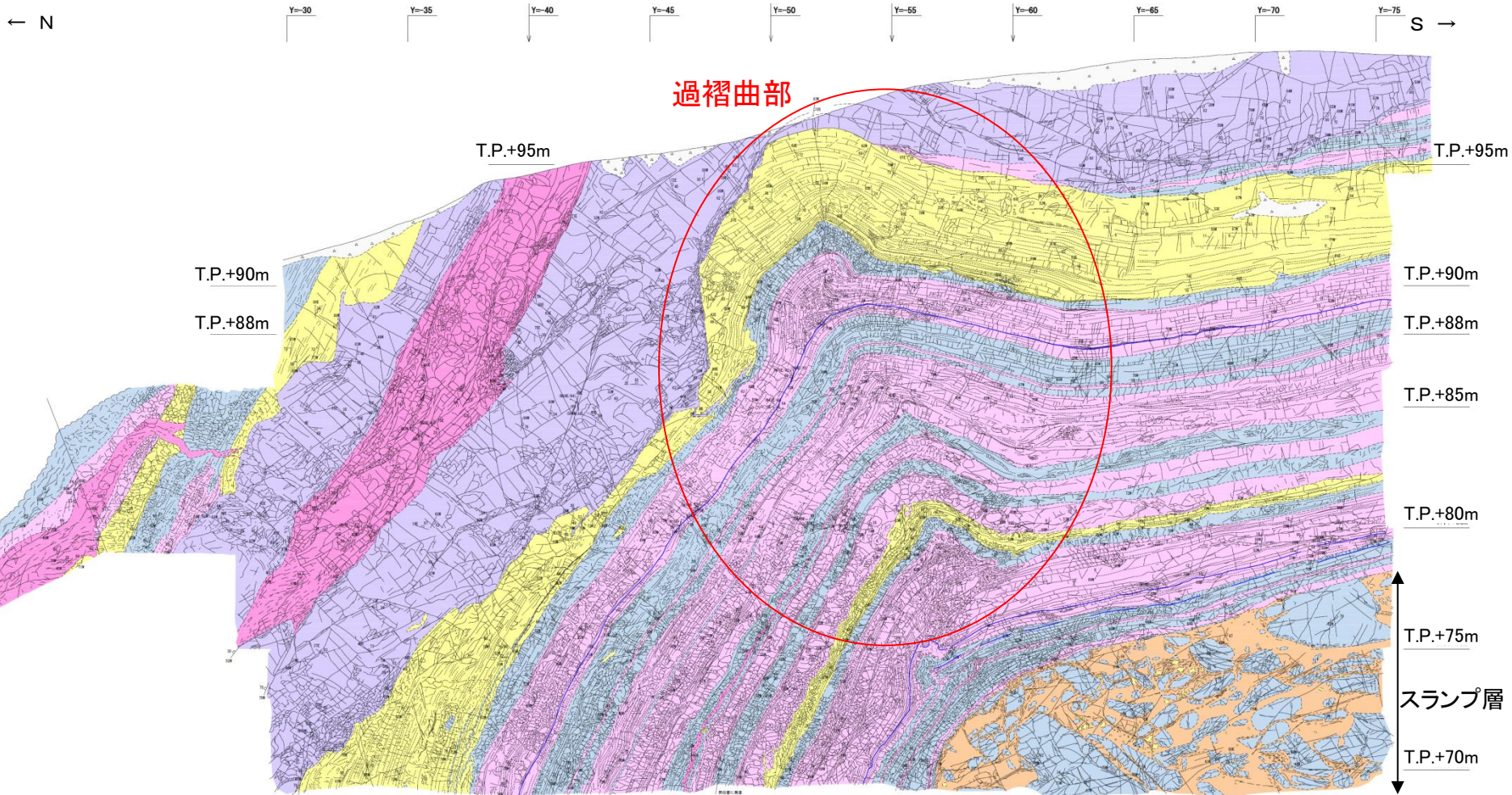


・過褶曲部の掘削法面で認められる過褶曲部の地質・地質構造は、ボーリング調査結果に基づく地質断面図と概ね整合している。

・過褶曲の下位の地層は深部ほど緩やかな傾斜を示し、深部まで続く断層は認められないことから、断層起因による構造ではないことを確認した。

※背斜軸付近の地質構造を示すため、旧地形の平面図を示す。

# 過褶曲部の地質調査結果(掘削法面スケッチ)



過褶曲部

T.P.+95m

T.P.+90m

T.P.+88m

T.P.+95m

T.P.+90m

T.P.+88m

T.P.+85m

T.P.+80m

T.P.+75m

スランプ層

T.P.+70m

凡例

	掘削ズリ		地質境界線		層理面の走向・傾斜
	安山岩		層理面		割れ目の走向・傾斜
	ドレライト		割れ目		貫入面の走向・傾斜
	凝灰角礫岩		シーム		シーム、せん断面等の走向・傾斜 (矢線方向)
	火山礫凝灰岩				
	凝灰質頁岩				
	黑色頁岩				

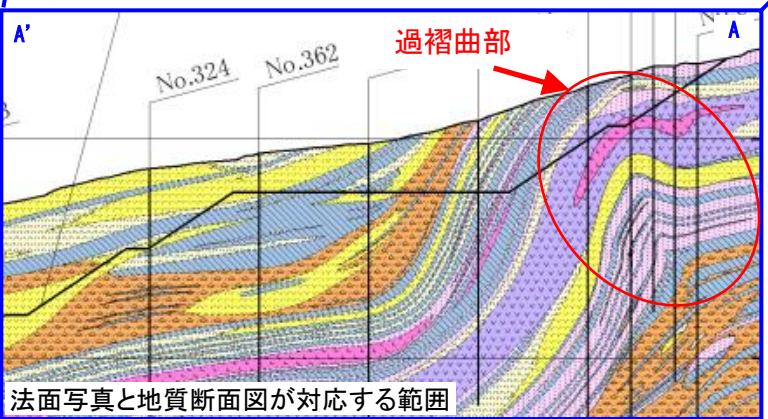
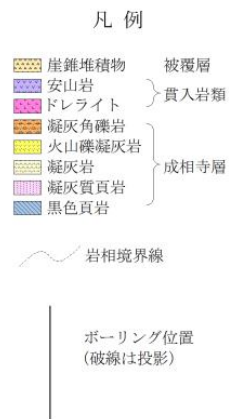
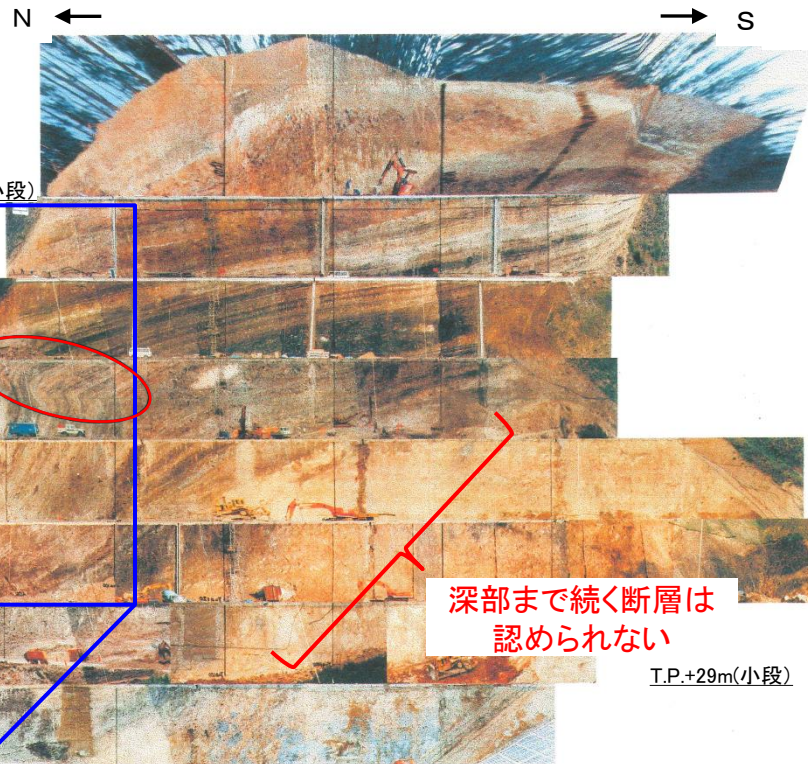
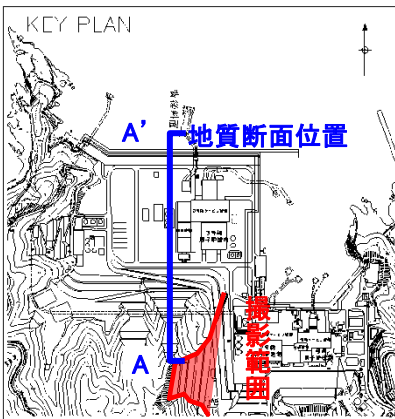
- ・深部まで続く断層は認められない。
- ・過褶曲の下位の地層は緩やかな傾斜を示す。

0 5 10m

※過褶曲部に係るその他観察結果は補足説明「4. シームの活動性  
(1)シームの成因 ②過褶曲とシームの形成過程」参照

# 過褶曲部の法面写真(2号炉建設時)

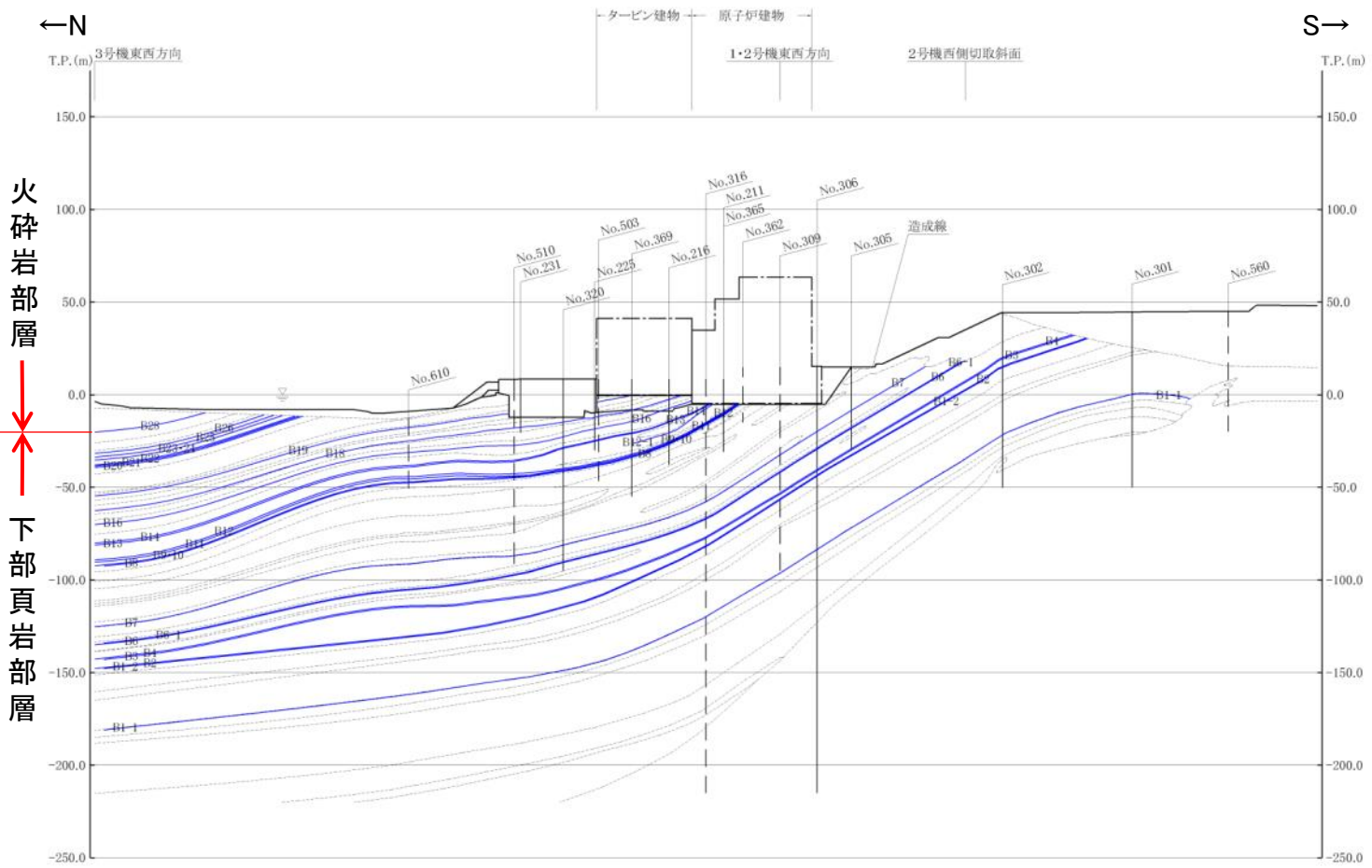
2号炉増設時に各法面毎に撮影した写真を接合した。なお、撮影時期、撮影位置等の撮影状況が法面毎に異なるため、写真に記載された座標位置が整合するように画像処理を行うとともに、地質断面図との対比のため、画像を反転した。



- ・2号炉増設に係る敷地造成時の法面写真では、ボーリング調査において確認された過褶曲と同様の構造が認められる。
- ・当該写真の法面北側付近でも、過褶曲と思われる構造が認められる。
- ・上記二つの構造の下位の地層はゆるやかな傾斜を示し、深部まで続く断層は認められないことから、断層起因による構造ではないと考えられる。
- ・上記二つの構造の褶曲の軸面は、北傾斜及び南傾斜を示すことから、これらの構造の変形の開始時期は、未固結～半固結時と考えられる。

※背斜軸付近の地質構造を示すため、旧地形の平面図及び断面図を示す。

シーム分布鉛直断面図(2号炉原子炉建物基礎地盤(南北))



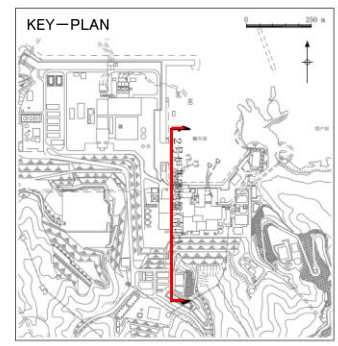
凡例

- シーム
- B21 シーム名
- 岩相境界線
- ボーリング名
- ボーリング位置 (破線は投影)



※シームは相当層準を示す。

・敷地には、地層の走向・傾斜と同一で連続性を有するシームが確認される。



## 敷地の地形, 地質・地質構造(まとめ)

文献調査, 変動地形学的調査, 地表地質踏査, 弾性波探査, ボーリング調査及び試掘坑調査の結果, 敷地の地形, 地質・地質構造は以下のとおりである。

- ・敷地には変位地形・リニアメントは認められない。
- ・敷地の地質は, 新第三紀中新世の堆積岩類から成る成相寺層と貫入岩類及びそれらを覆う第四系の崖錐堆積物等から構成される。
- ・敷地の南部には, ほぼ東西方向の軸を持つ背斜構造が認められる。
- ・敷地には, 連続する破砕部及び断層並びに耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の支持地盤を切る地滑り面は認められない。
- ・背斜軸より北の一部では過褶曲部が認められるが, 過褶曲部の下位の地層は緩やかな傾斜を示し, 深部まで続く断層は認められないことから, 断層起因による構造ではないと考えられる。
- ・敷地には, 地層の走向・傾斜と同一で連続性を有するシームが確認される。

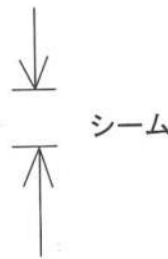


敷地には, 連続する破砕部及び断層並びに耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の支持地盤を切る地滑り面は認められないが, 地層の走向・傾斜と同一で連続性を有するシームが認められることから, シームについて詳細検討を行ったうえで, 活動性評価の対象とする断層等の抽出を行う。

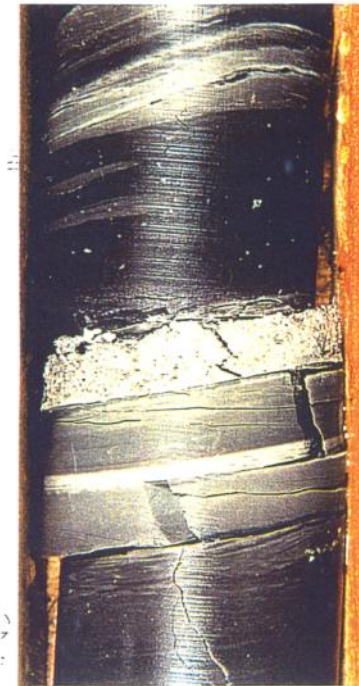
余白

## 2. 活動性評価の対象とする断層等の抽出

# シームの抽出



試掘坑(C-S坑)におけるシーム

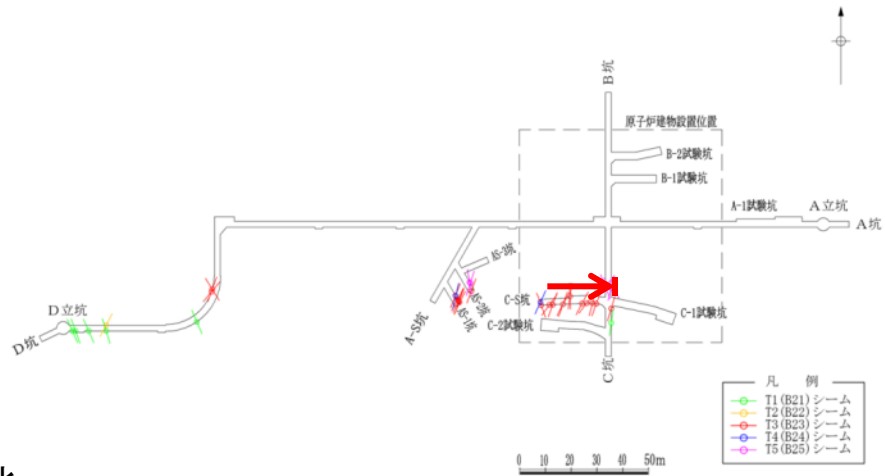


ボーリングコアにおけるシーム

・試掘坑調査及びボーリング調査の結果、敷地には粘土分を含み、平板状あるいは平面状の形態を持つ薄い粘土層(シーム)が認められる。



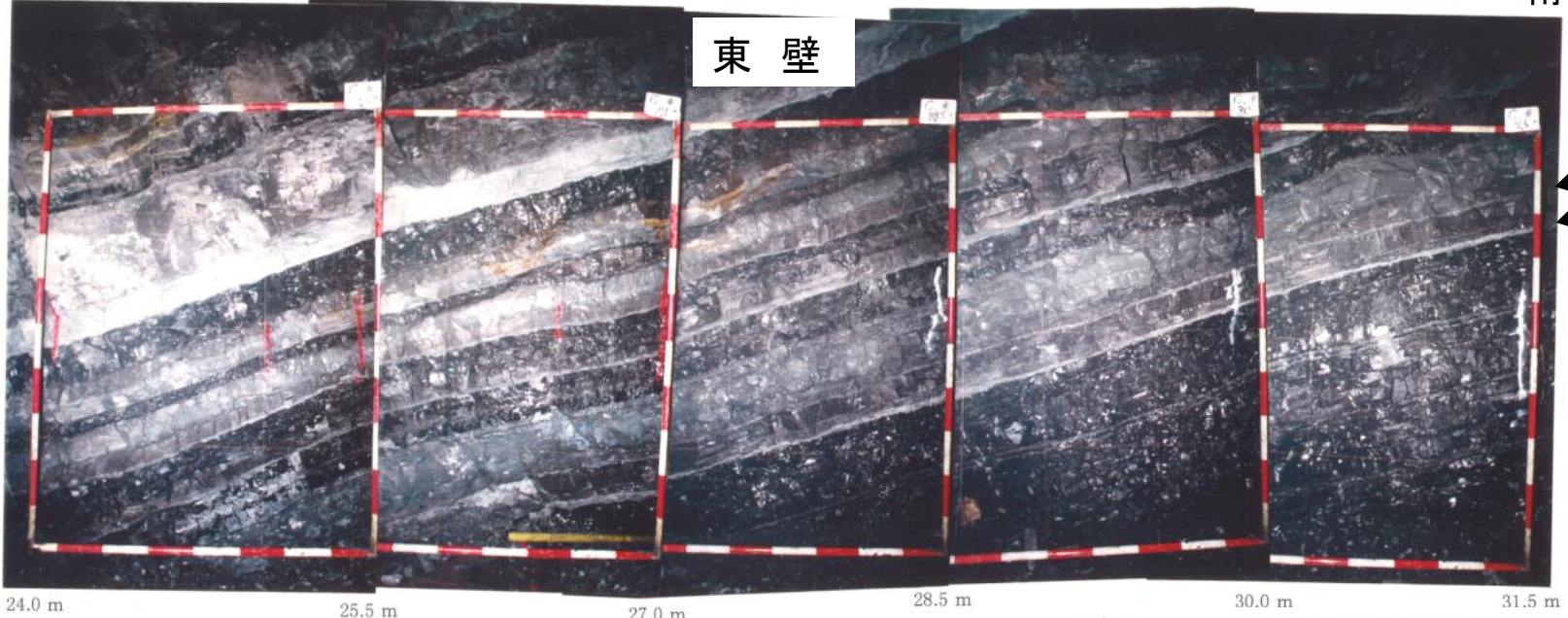
# シームの特徴



・敷地で確認されるシームの特徴として、地層を切ることなく、地層と同様の走向・傾斜で断続的に分布する。  
 上記のシームの特徴を踏まえると、粘土を含む平板状の面に沿って変位している可能性がある。

北

南



東壁

3号炉試験掘坑壁写真

坑名	側壁方向	位置
C坑	東	24.0 m ~ 31.5 m

## 活動性評価の対象とする断層等の抽出(まとめ)

シームの詳細検討結果は以下のとおりである。

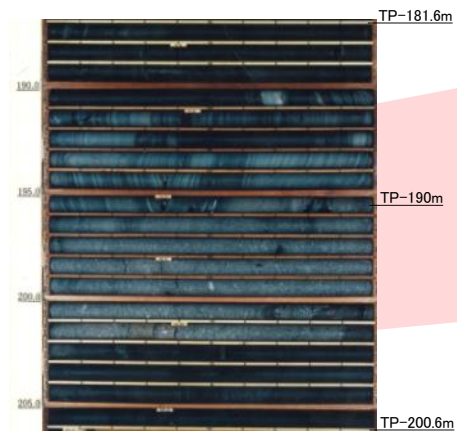
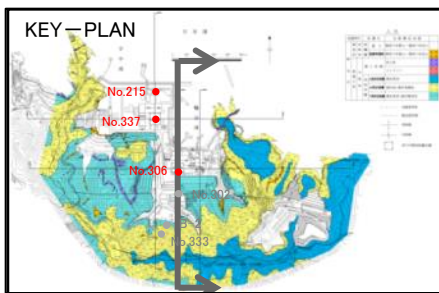
- ・ボーリング調査, 試掘坑調査等の結果, 敷地には, 粘土分を含み, 平板状あるいは平面状の形態を持つ薄い粘土層(シーム)が認められる。
- ・敷地で確認されるシームの特徴として, 地層を切ることなく, 地層と同様の走向・傾斜で断続的に分布する。
- ・シームの特徴を踏まえると, 粘土を含む平板状の面に沿って変位している可能性がある。



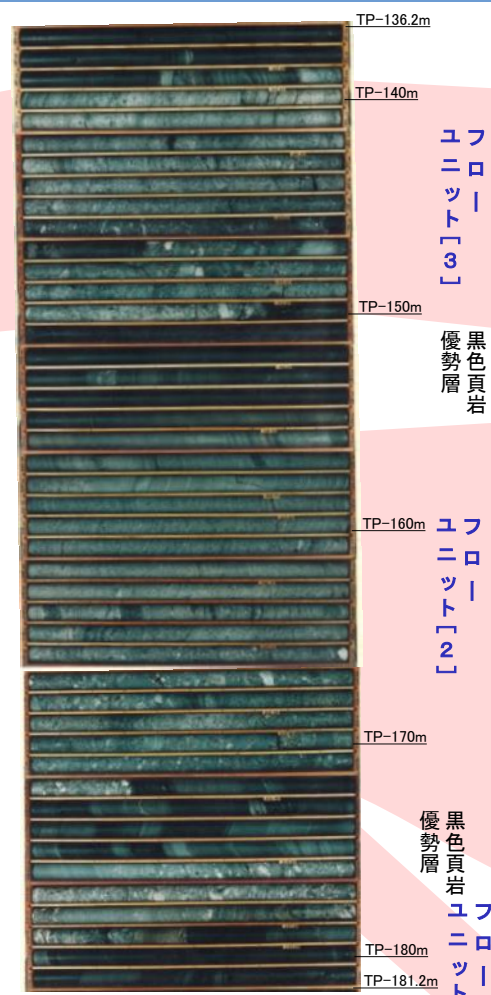
シームは, 粘土を含む平板状の面に沿って変位している可能性があることから, 活動性評価の対象とする断層等としてシームを抽出する。

### 3. シームの対比

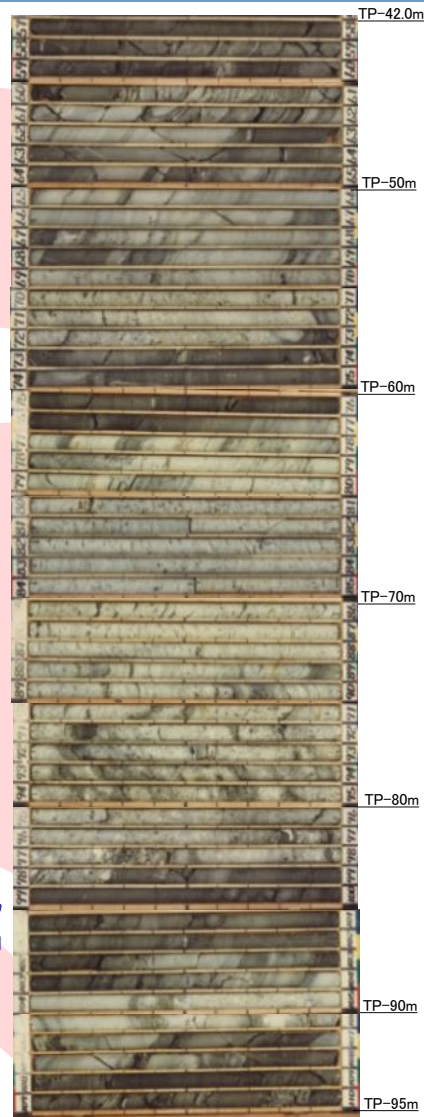
# 敷地に分布する鍵層①



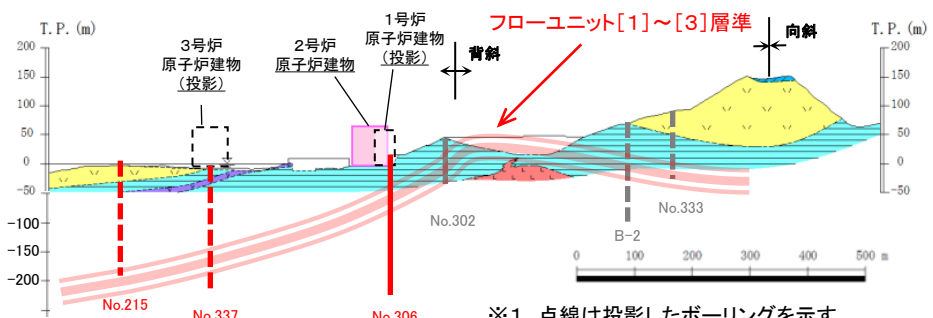
No.215コア写真



No.337コア写真



No.306コア写真

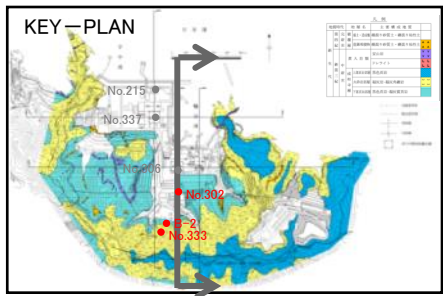


※1 点線は投影したボーリングを示す。  
 ※2 フローユニット分布検討時の旧地形の平面図及び断面図を示す。

- ・2号及び3号炉原子炉建物設置位置付近におけるボーリング調査の結果、下部頁岩部層中において、連続性が高い堆積層が確認された。
- ・当該堆積層は、凝灰角礫岩主体で黒色頁岩優勢層を挟在し、級化層理を示す等の特徴を有することから、水中火砕流により堆積したものと考えており、フローユニットと呼称している。
- ・当該フローユニットは、地層の対比がし易いため、敷地の地質構造把握において鍵層となる。

### 3. シームの対比

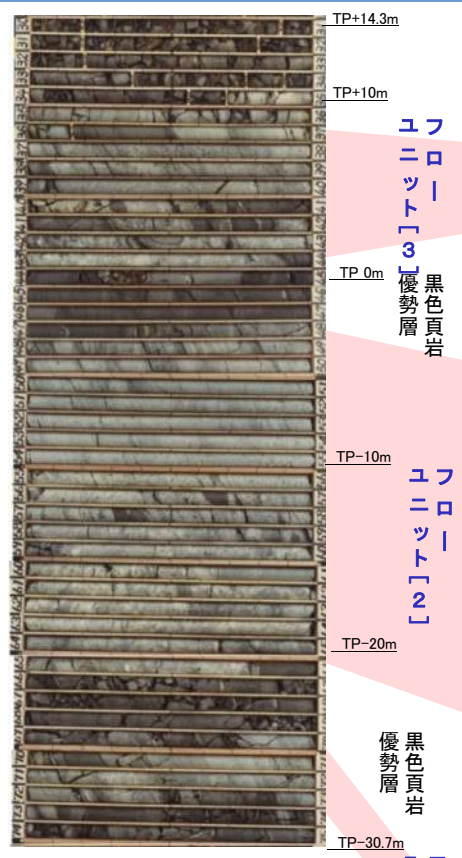
## 敷地に分布する鍵層②



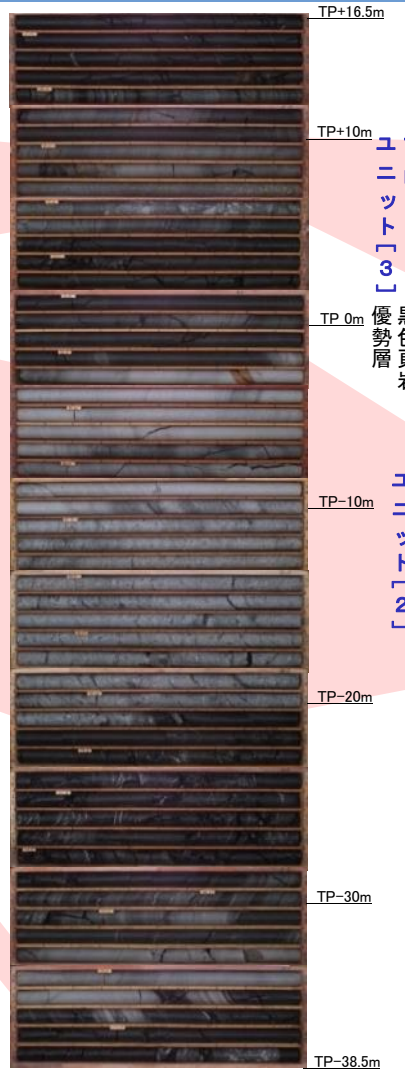
凡例

地質時代	地層名	主要構成地質
第四紀	被覆層	礫混り砂質土・礫混り粘性土
	崖線堆積物	礫混り砂質土・礫混り粘性土
新生代	貫入岩類	安山岩
		ドレライト
	成相寺層	上部頁岩部層 黑色頁岩
	成相寺層	火砕岩部層 凝灰岩・凝灰角礫岩
成相寺層	下部頁岩部層 黑色頁岩・凝灰質頁岩	

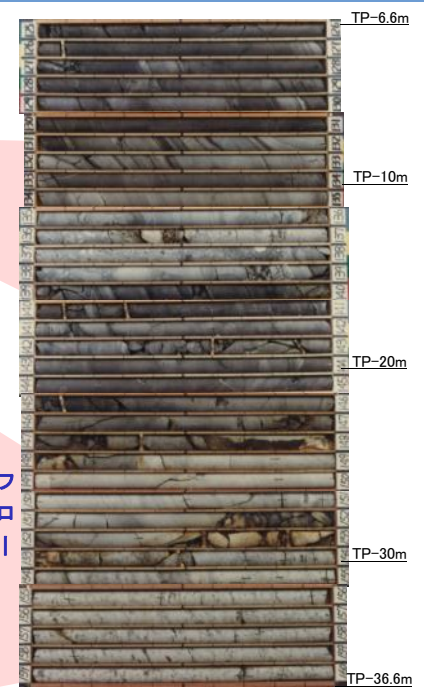
----- 地質境界線



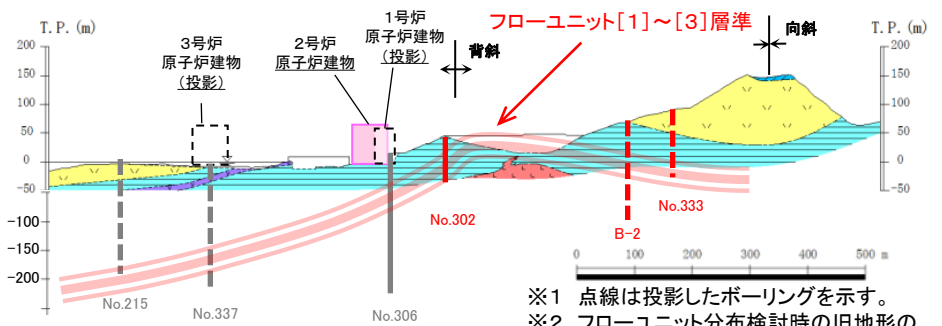
No.302コア写真



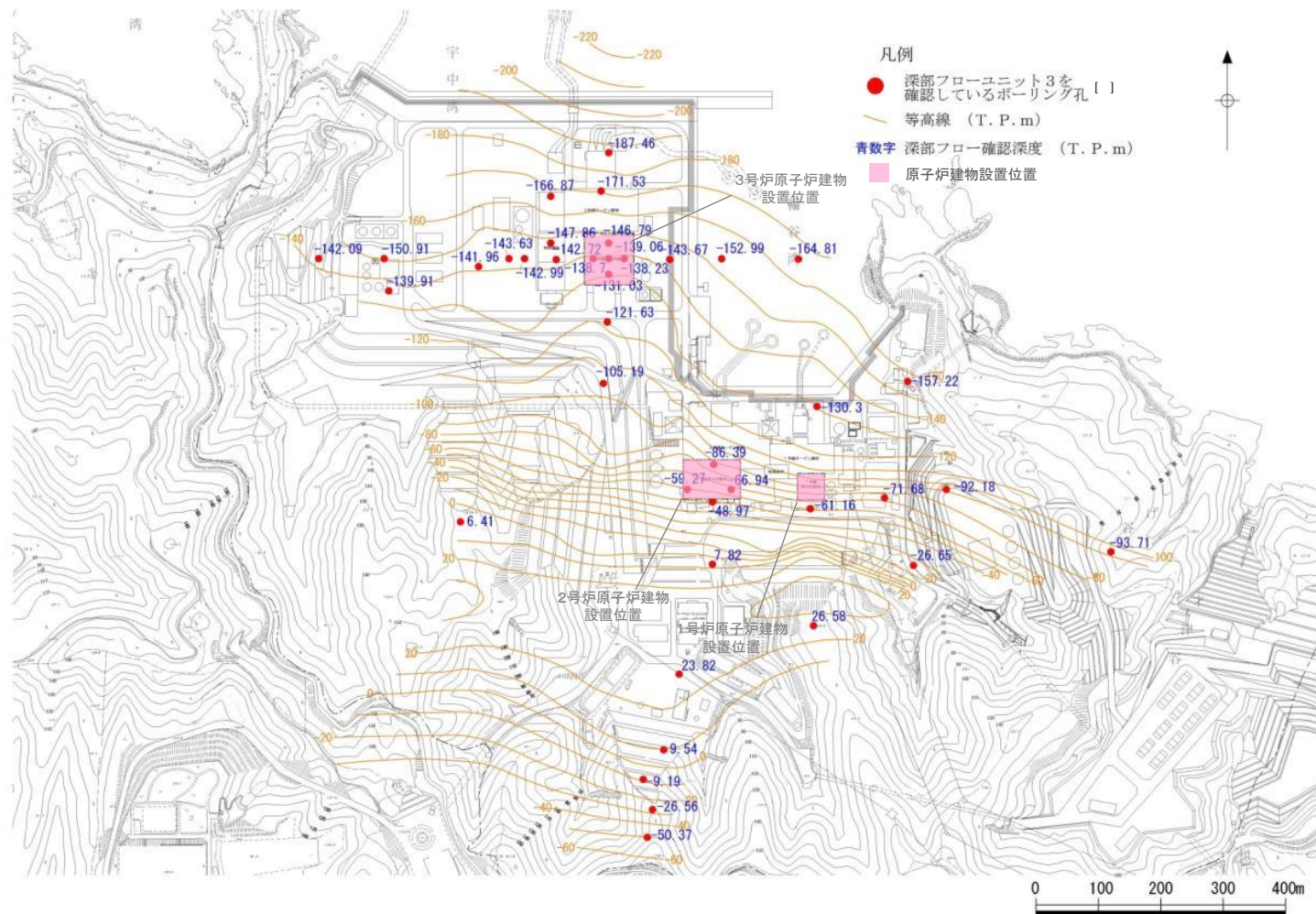
B-2コア写真



No.333コア写真



※1 点線は投影したボーリングを示す。  
 ※2 フロートユニット分布検討時の旧地形の平面図及び断面図を示す。

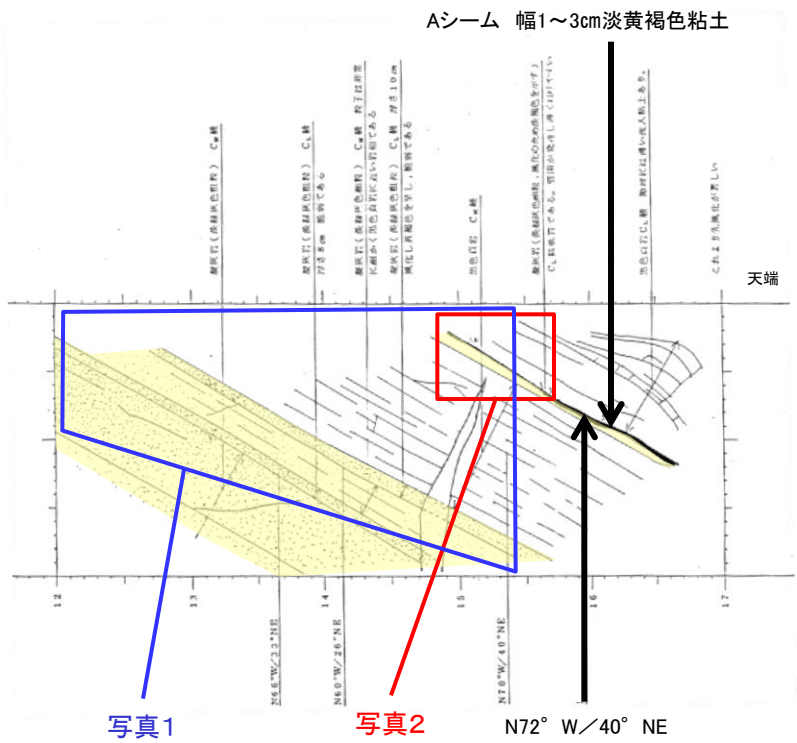


ボーリング調査によるフローユニット[3]上面の等高線図 ※フローユニット分布検討時の旧地形の平面図を示す。

- ・フローユニットの分布等に基づき敷地の地質構造を検討した結果、下部頁岩部層中の同一層準は、2号及び3号炉原子炉建物設置位置付近に連続的に分布すると考えられる。
- ・上記の検討結果に基づき、2号及び3号炉原子炉建物設置位置付近のシームについて、分布及び性状の比較を行う。

余白

# 2号炉原子炉建物基礎底面に分布するシームの性状



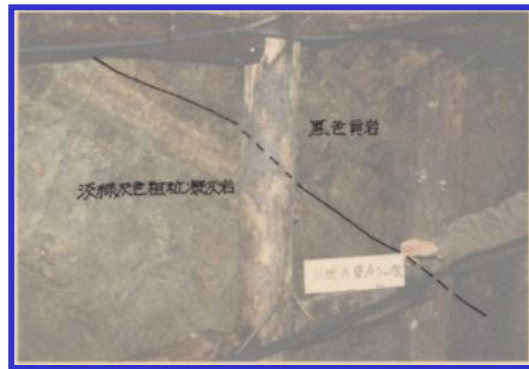
Aシーム付近のスケッチ(試掘坑H坑西壁)



写真1 淡緑灰色粗粒凝灰岩

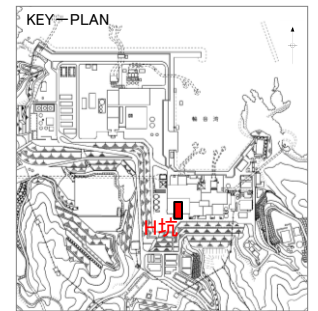


写真2 Aシーム



・2号炉原子炉建物基礎底面には、連続性を有するシーム(最大層厚約5cm程度)が分布しており、2号炉調査当時では「Aシーム」と呼称していた。

・Aシームは、淡緑灰色粗粒凝灰岩層の上位に分布する。

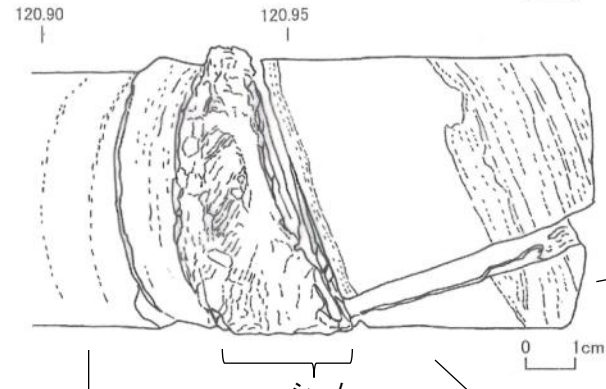




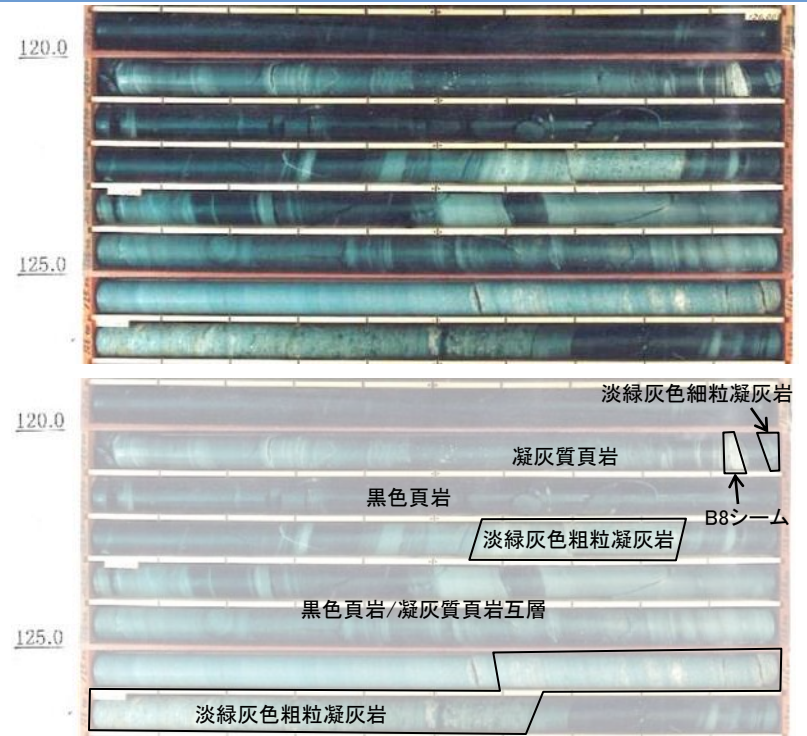
# 3号炉原子炉建物基礎地盤に分布するB8シームの性状



B8シーム近接写真



B8シームスケッチ



3号炉No.336コア写真

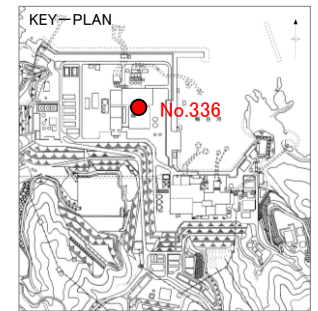
凝灰質頁岩  
ほぼ水平な葉理を有し、  
葉理に平行な割れ目が  
発達する。

シーム  
**N79E 22N**  
(孔壁画像観察による)

黒色頁岩  
高角の割れ目が見られる。  
シームより上位の連続性は不明。

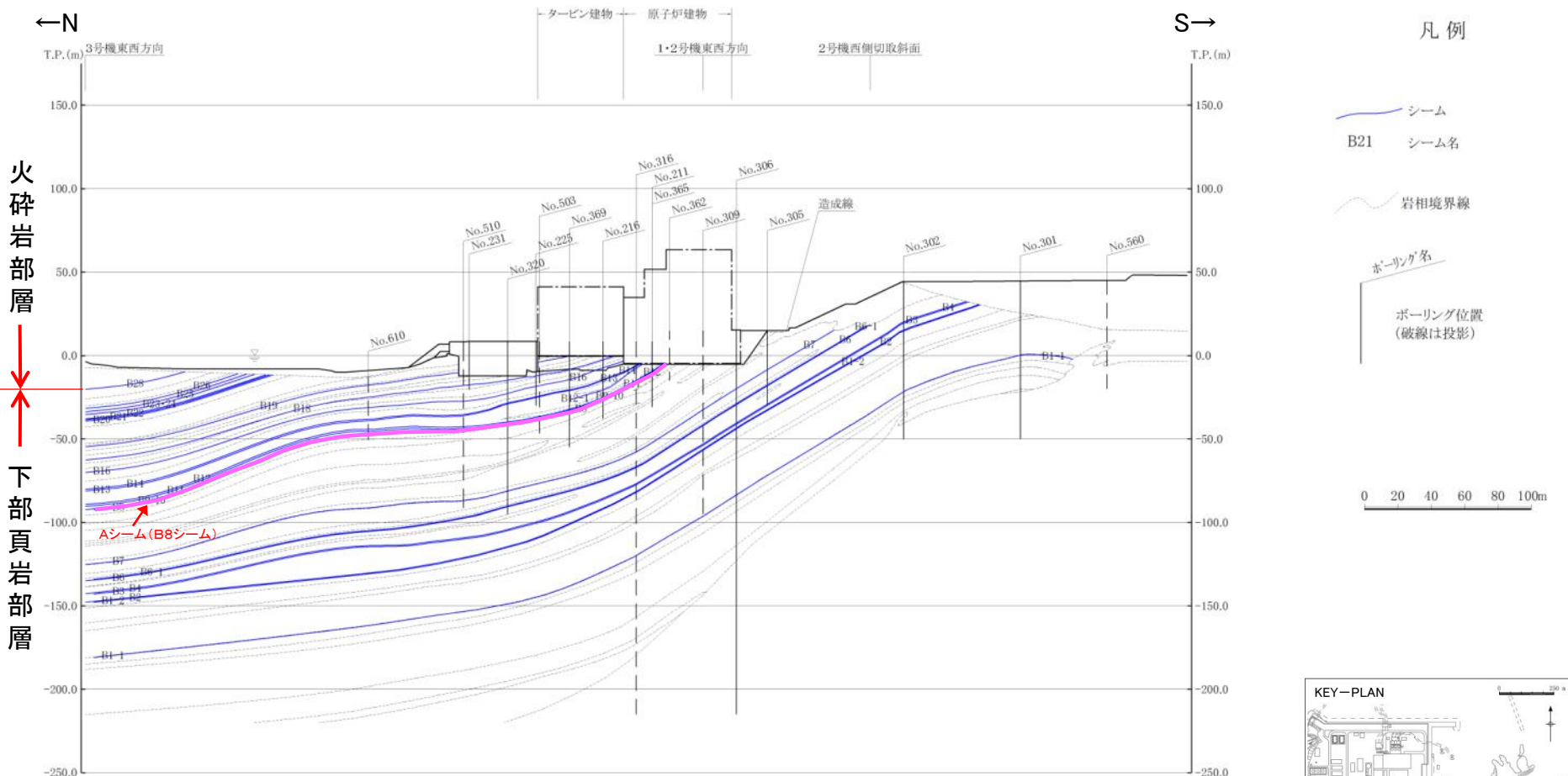
凝灰岩  
葉理の明瞭な  
細粒凝灰岩。

- ・3号炉原子炉建物基礎地盤において認められるB8シーム(最大層厚約6cm程度)は、淡緑灰色粗粒凝灰岩から成る火砕流堆積層の上位に位置すること等から、2号炉原子炉建物基礎底面で認められたAシームと同一のシームと考えられる。
- ・2号及び3号炉原子炉建物設置位置付近において、下部頁岩部層の同一層準が連続すること、及びシームが地層を切ることなく層理と調和的に分布することから、シームの活動性評価に当たり、3号炉原子炉建物設置位置付近の地質データに基づく検討を行う。



### 3. シームの対比

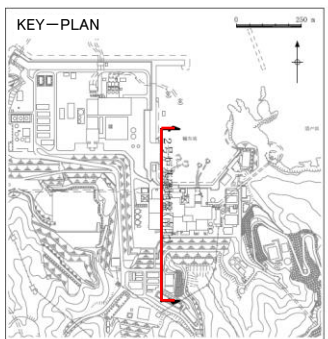
## シーム分布鉛直断面図(2号炉原子炉建物基礎地盤(南北))



火砕岩部層  
↓  
下部頁岩部層

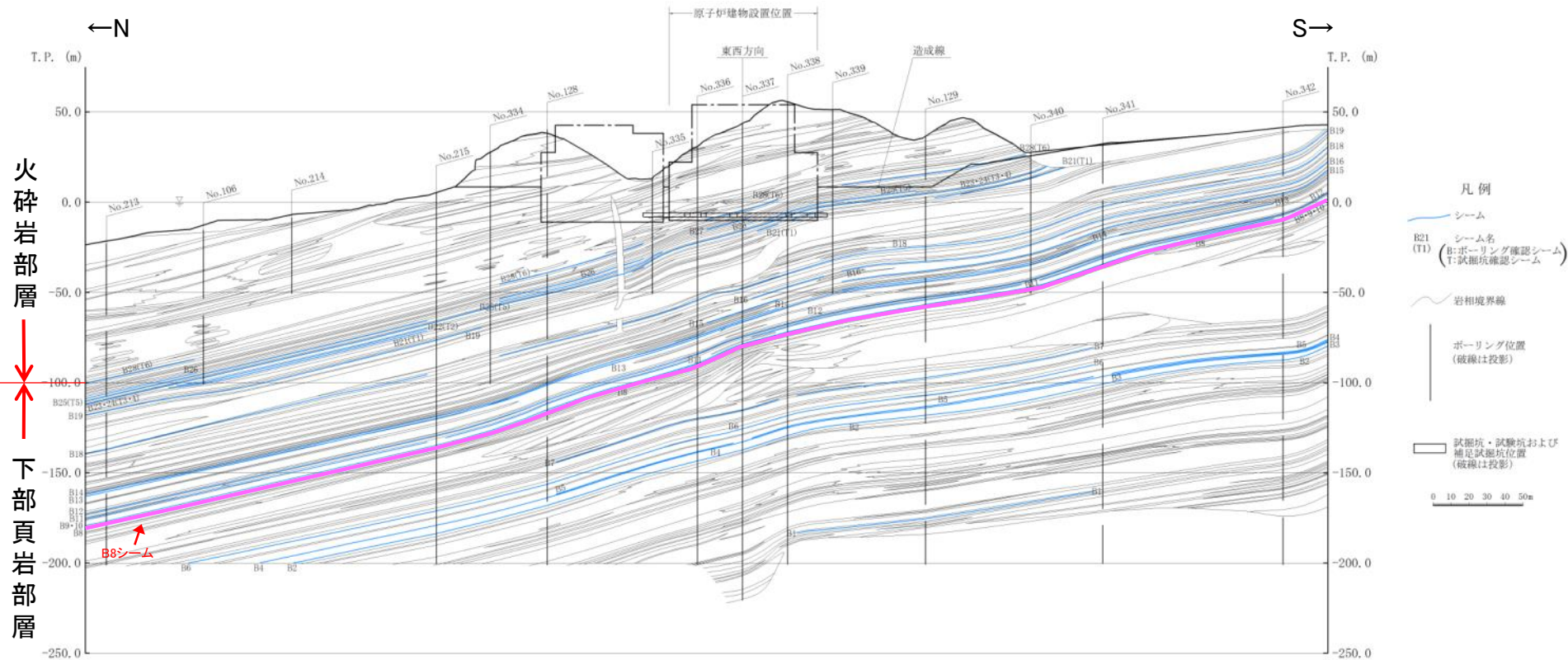
※シームは相当層準を示す。

・シームは、地層の走向・傾斜と同一で、緩やかな北傾斜を示す。

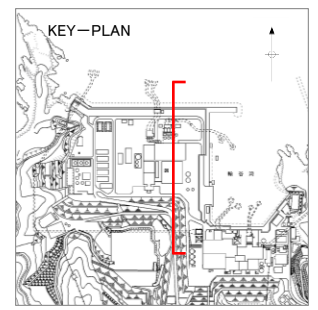


### 3. シームの対比

## シーム分布鉛直断面図(3号炉原子炉建物基礎地盤(南北))

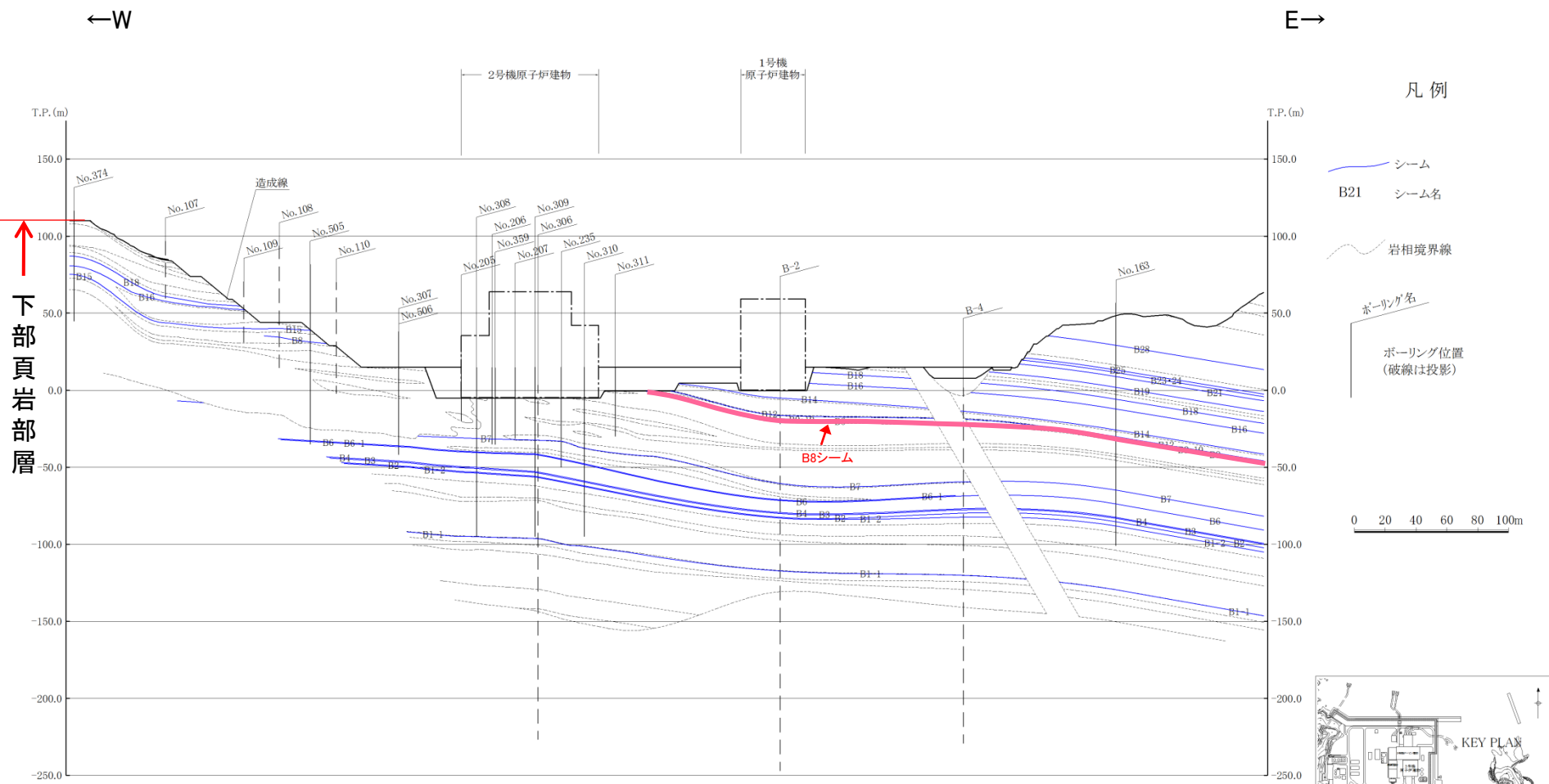


・シームは、地層の走向・傾斜と同一で、緩やかな北傾斜を示す。



### 3. シームの対比

## シーム分布鉛直断面図(2号炉原子炉建物基礎地盤(東西))

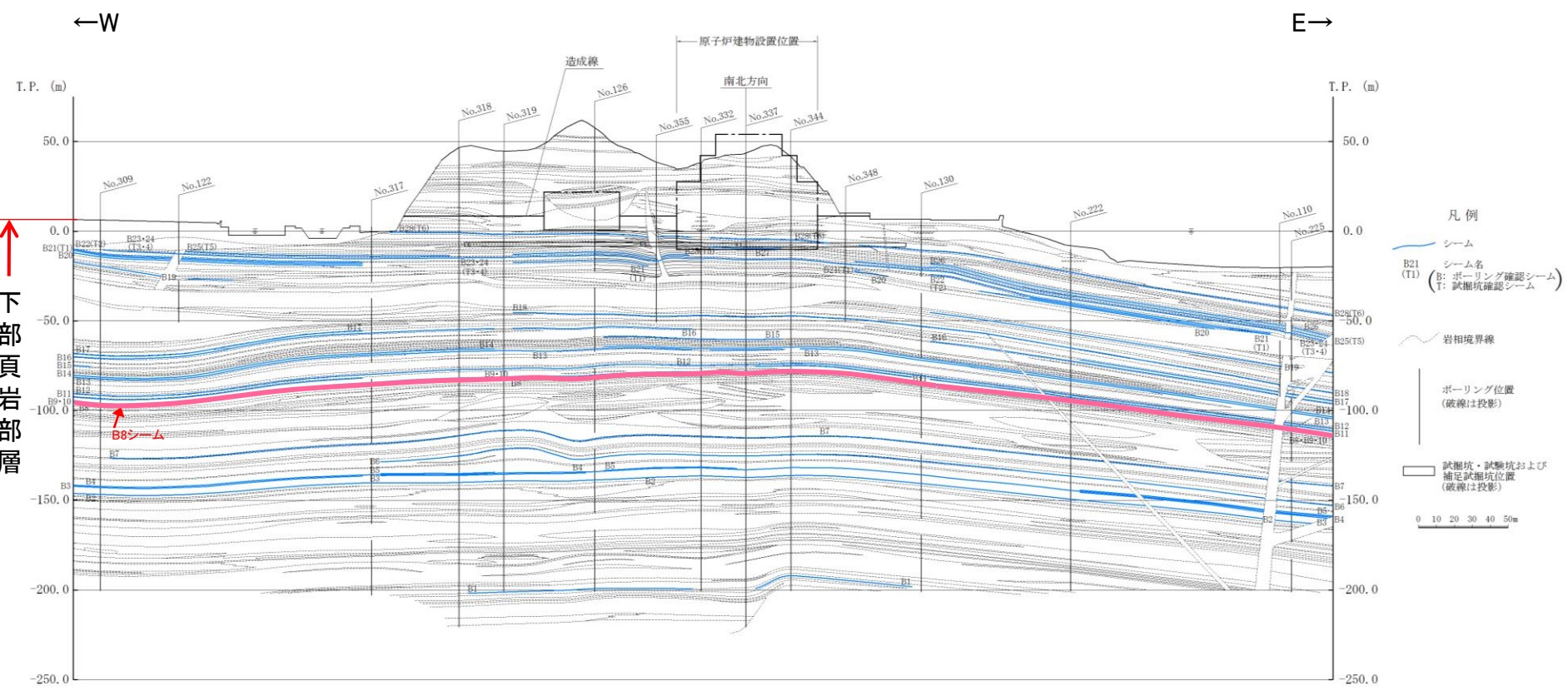


※シームは相当層準を示す。

・シームは、地層の走向・傾斜と同一で、ほぼ水平に分布する。

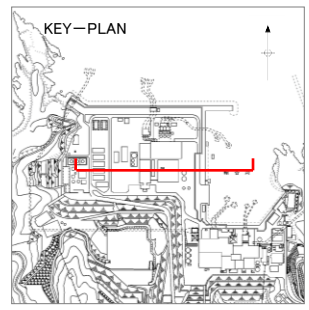
※フローユニット分布検討時の旧地形の平面図及び断面図を示す。

シーム分布鉛直断面図(3号炉原子炉建物基礎地盤(東西))

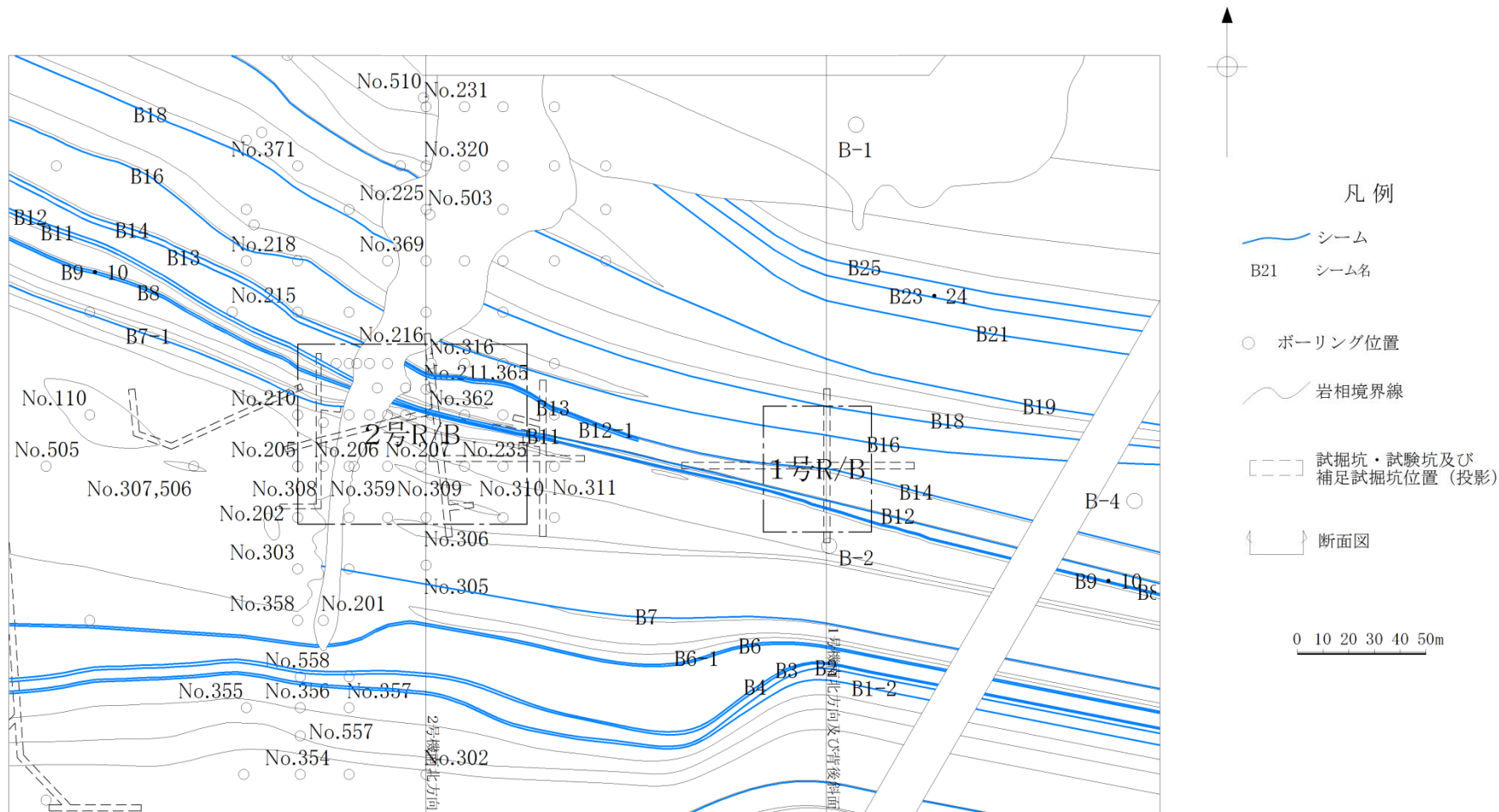


↑  
下部頁岩部層

・シームは、地層の走向・傾斜と同一で、ほぼ水平に分布する。



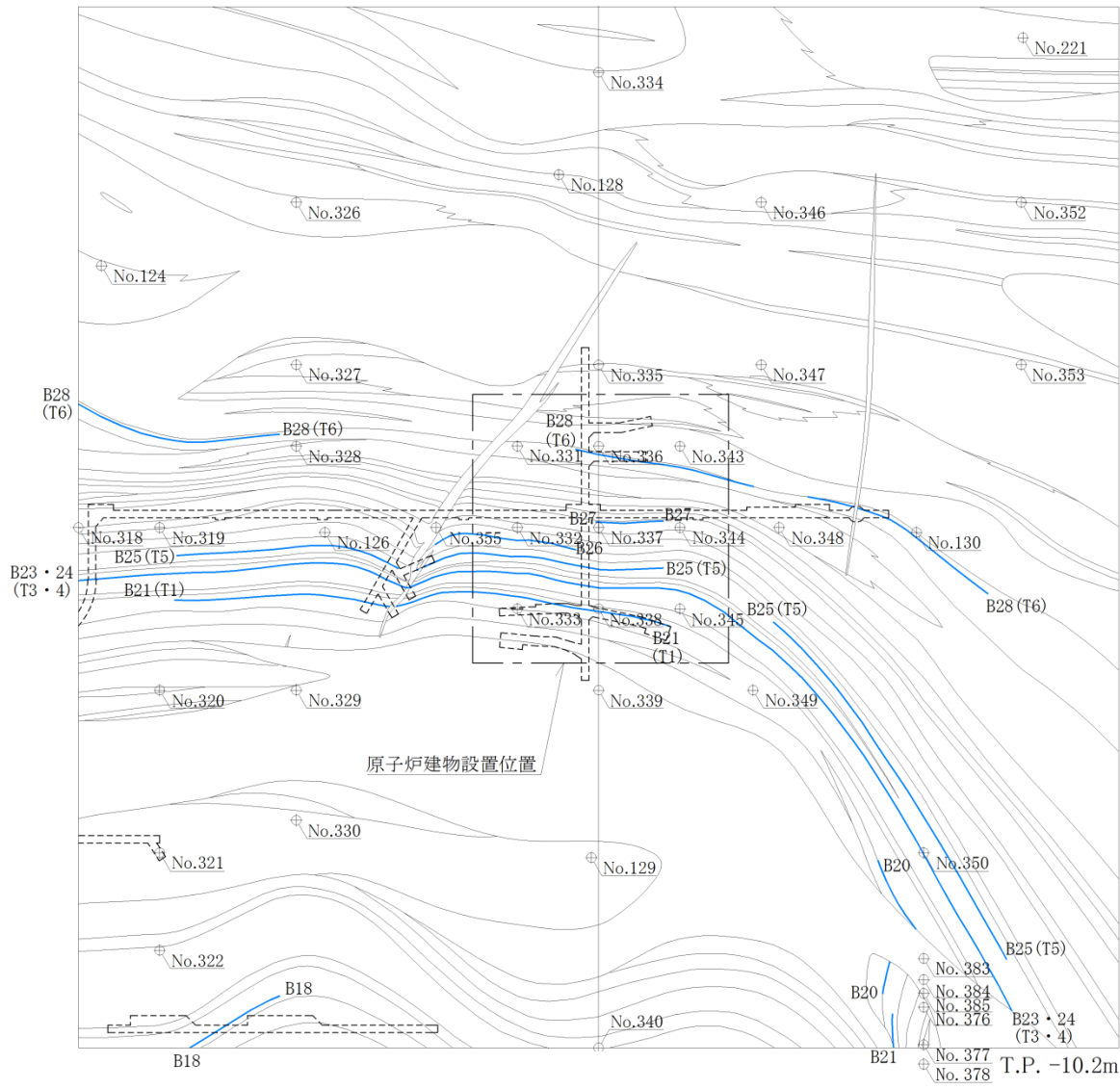
# シーム分布水平断面図(2号炉原子炉建物基礎地盤)



T.P. -4.1m

※シームは相当層準を示す。

# シーム分布水平断面図(3号炉原子炉建物基礎地盤)



- 凡例
- シーム
  - B21 シーム名  
(T1 B:(ボーリング確認シーム)  
T:\試掘坑確認シーム)
  - 岩相境界線
  - 断面図
  - ボーリング位置
  - 試掘坑・試験坑及び  
補足試掘坑位置(投影)
- 0 10 20 30 40 50m

原子炉建物設置位置

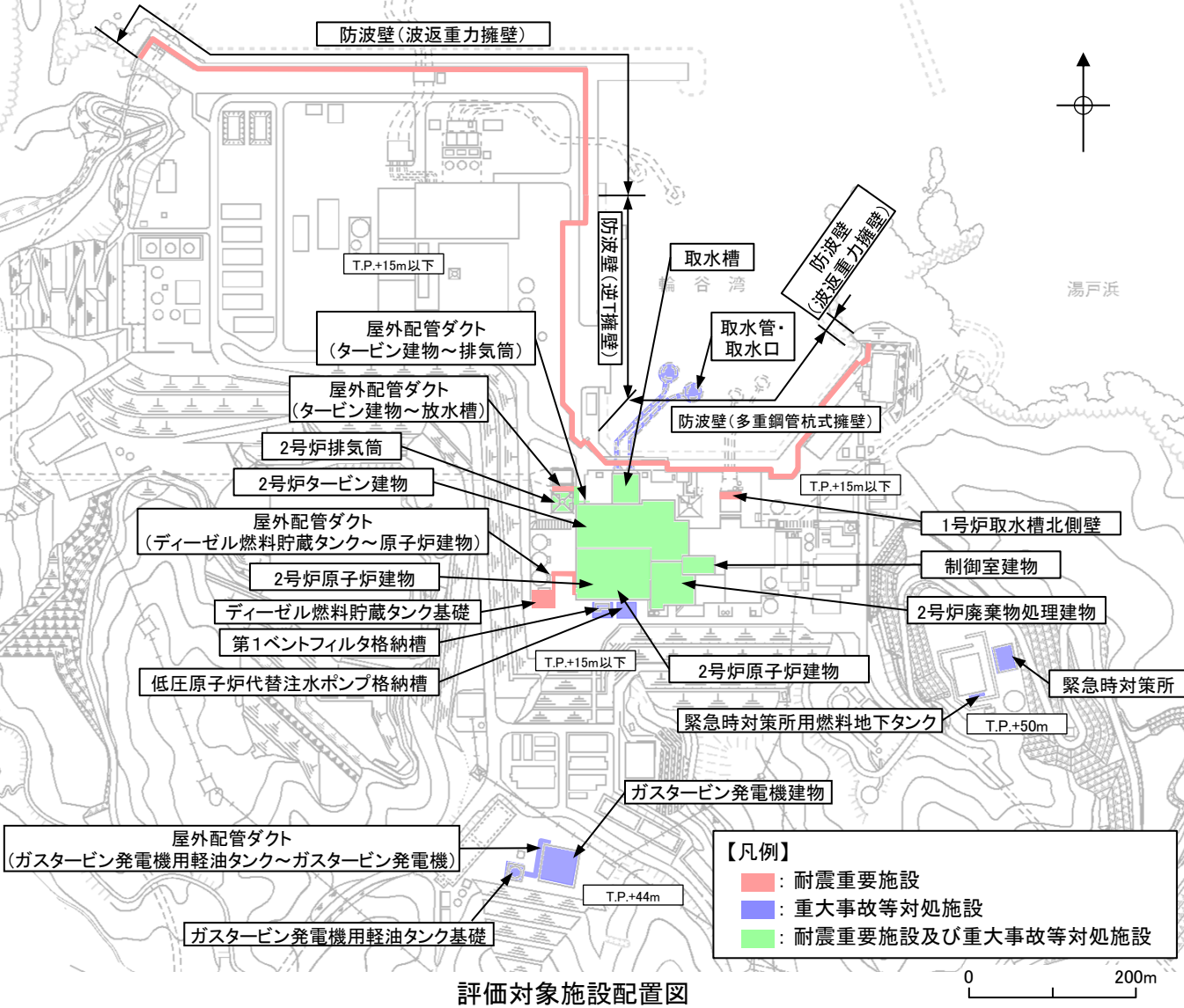
T.P. -10.2m

余白



# 耐震重要施設及び重大事故等対処施設の設置位置におけるシームの分布

・設置許可基準規則3条及び4条の対象となる「耐震重要施設」、設置許可基準規則38条及び39条の対象となる「重大事故等対処施設」直下に分布するシームを下表に示す。



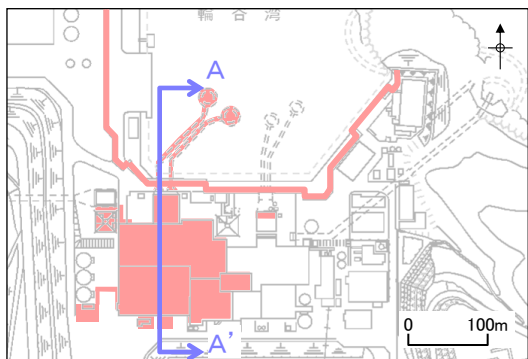
	評価対象施設	シーム
耐震重要施設及び 重大事故等対処施設	2号炉原子炉建物	B8～ B14, B16
	2号炉タービン建物	B16, B18
	2号炉廃棄物処理建物	B8～ B10, B12
	制御室建物	B14
	取水槽	B18, B19
	2号炉排気筒	B16, B18
	屋外配管ダクト(タービン建物～排気筒)	B18
耐震重要施設	屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽)	B18
	防波壁(波返重力擁壁)	—
	防波壁(逆T擁壁)	B20～B28
	防波壁(多重鋼管杭式擁壁)	B18～ B26, B28
	1号炉取水槽北側壁	—
	制御室建物	—
	2号炉廃棄物処理建物	—
重大事故等対処施設	ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	—
	取水管・取水口	B20～26
	第1ベントフィルタ格納槽	—
	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	—
	ガスタービン発電機建物	—
	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	—
	屋外配管ダクト(ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)	—
緊急時対策所	—	
緊急時対策所用燃料地下タンク	—	

評価対象施設配置図

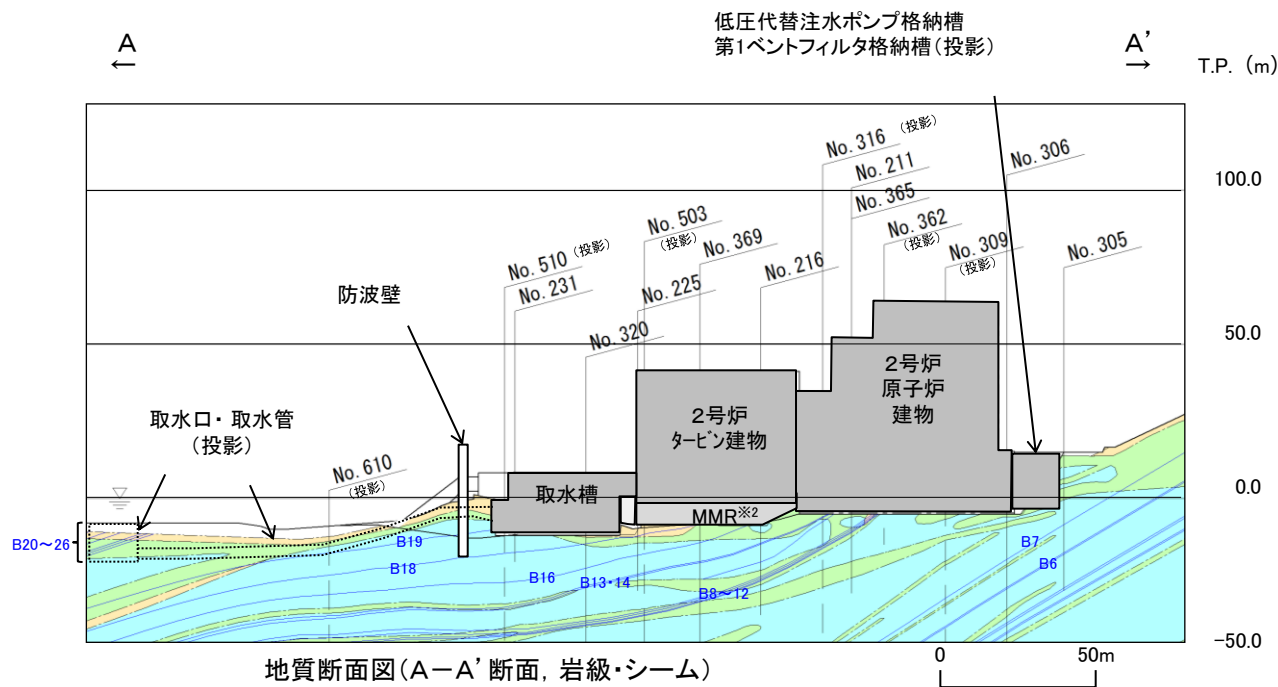
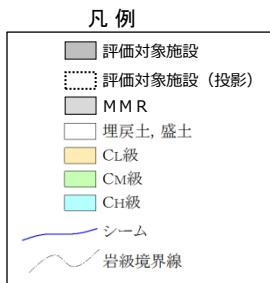
# 耐震重要施設等のシーム分布図(1/9)

・2号炉原子炉建物, 2号炉タービン建物, 取水槽等※1及び取水口のシーム分布図を示す。

※1 取水槽, 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽, 第1ベントフィルタ格納槽及び取水管を示す。



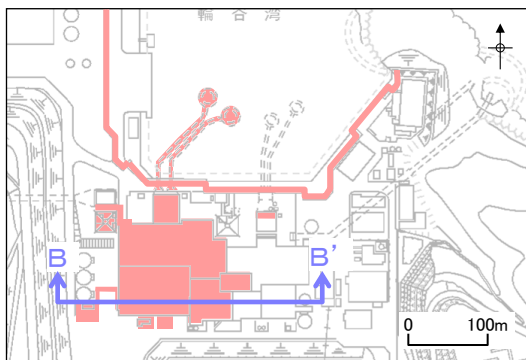
断面位置図 ■ : 評価対象施設



地質断面図(A-A' 断面, 岩級・シーム)  
※2 マンメイドロック(人工岩盤)の略称

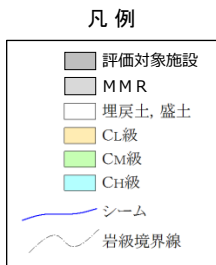
# 耐震重要施設等のシーム分布図(2/9)

・2号炉廃棄物処理建物, ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎, 屋外配管ダクト(ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)及び制御室建物のシーム分布図を示す。

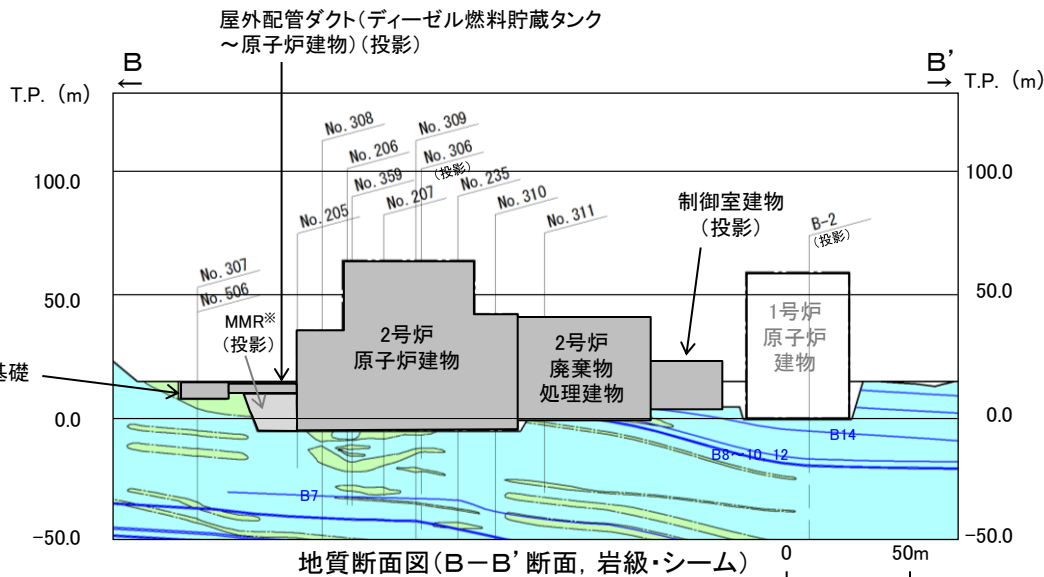


断面位置図

■ : 評価対象施設



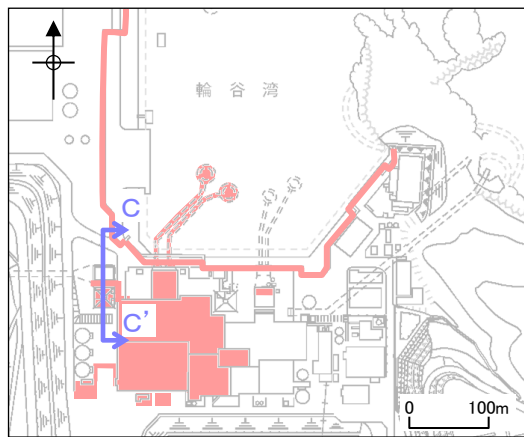
ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎



地質断面図(B-B'断面, 岩級・シーム)

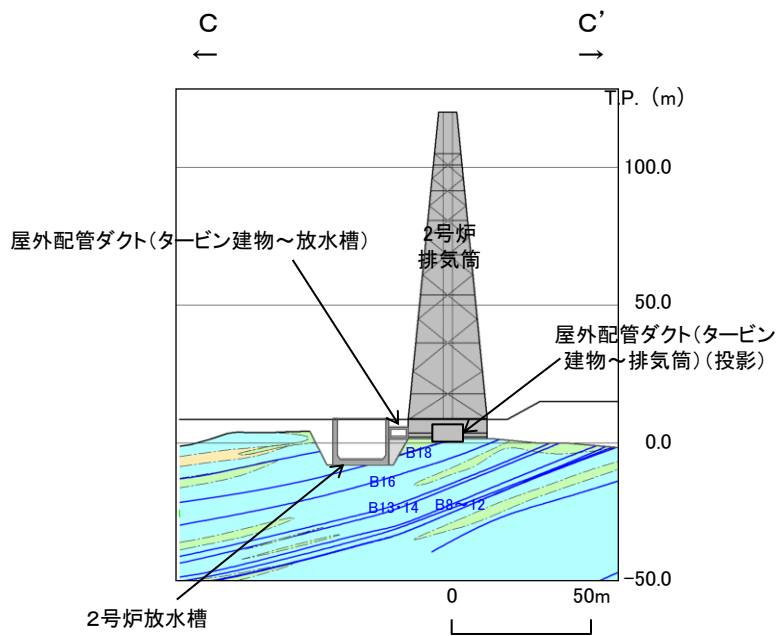
※ マンメイドロック(人工岩盤)の略称

・2号炉排気筒，屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽)及び屋外配管ダクト(タービン建物～排気筒)のシーム分布図を示す。

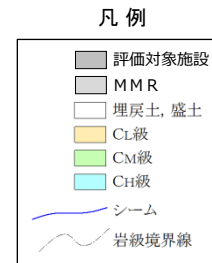


断面位置図

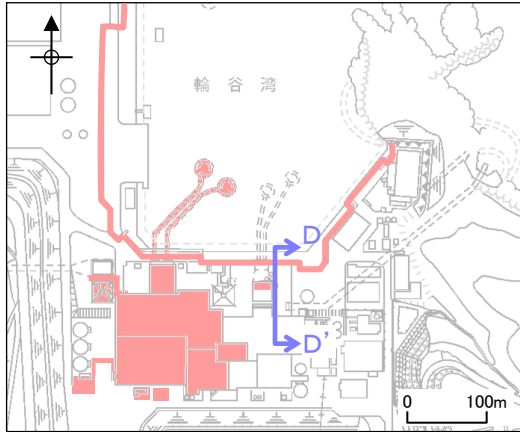
■: 評価対象施設



地質断面図(C-C'断面, 岩級・シーム)

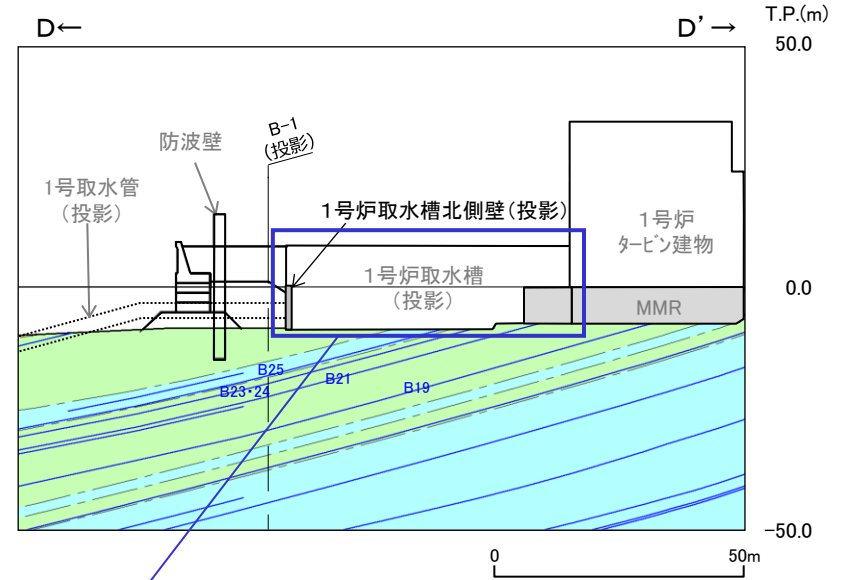
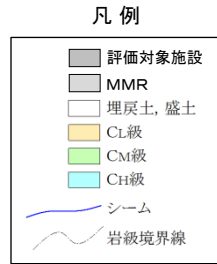


・1号炉取水槽北側壁のシーム分布図を示す。

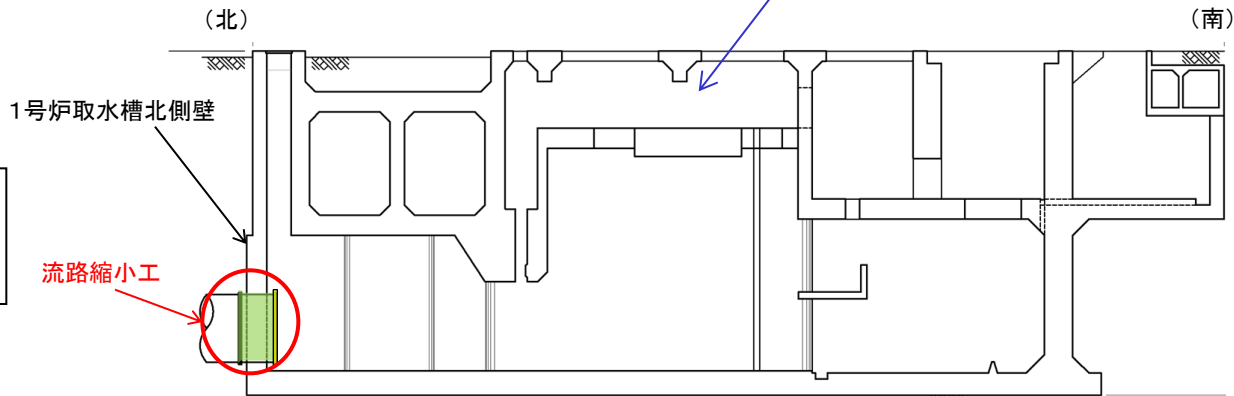


断面位置図

評価対象施設



地質断面図(D-D'断面, 岩級・シーム)



(1号取水槽断面図)

1号炉取水槽北側壁は、  
取水管及び鋼製部材から成る  
流路縮小工の間接支持構造物となる。

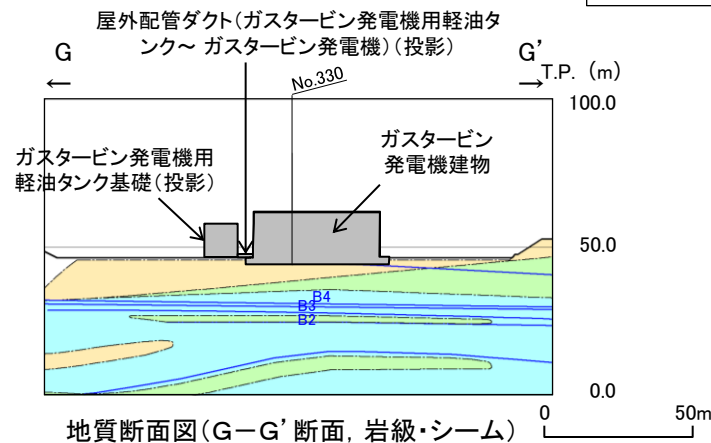
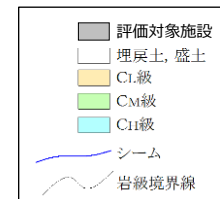
流路縮小工

・ガスタービン発電機建物, ガスタービン発電機用軽油タンク基礎及び屋外配管ダクト(ガスタービン発電機用軽油タンク~ガスタービン発電機)のシーム分布図を示す。



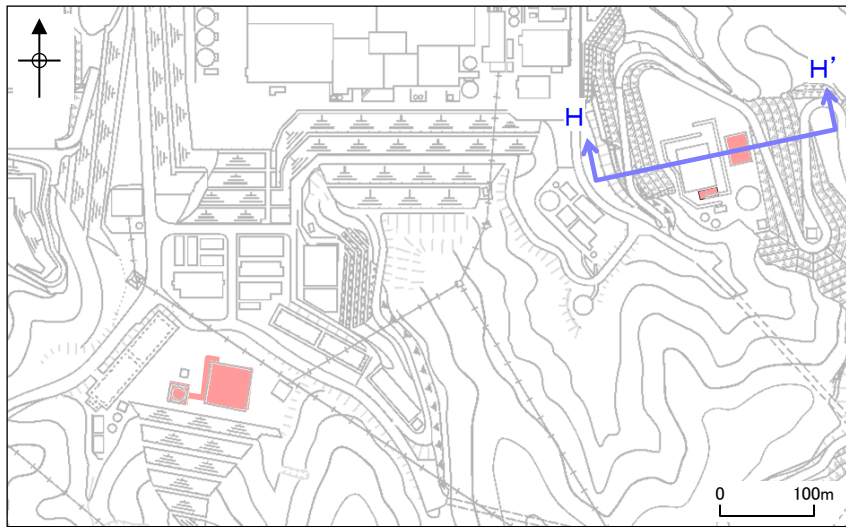
断面位置図

凡例

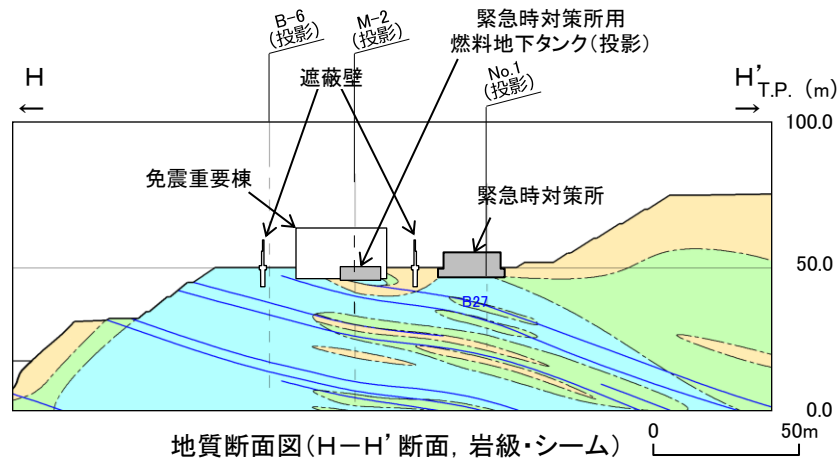
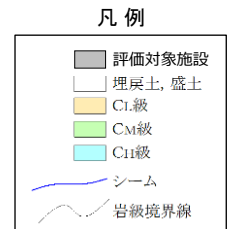


地質断面図(G-G'断面, 岩級・シーム)

・緊急時対策所用燃料地下タンク及び緊急時対策所のシーム分布図を示す。

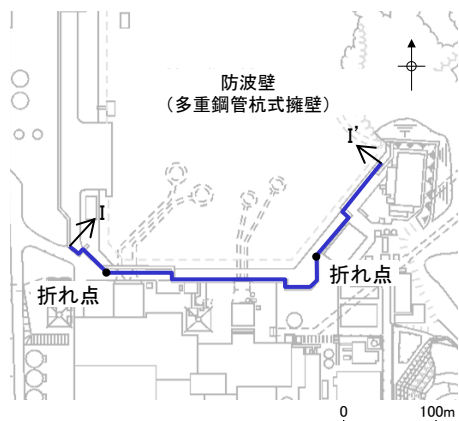


断面位置図

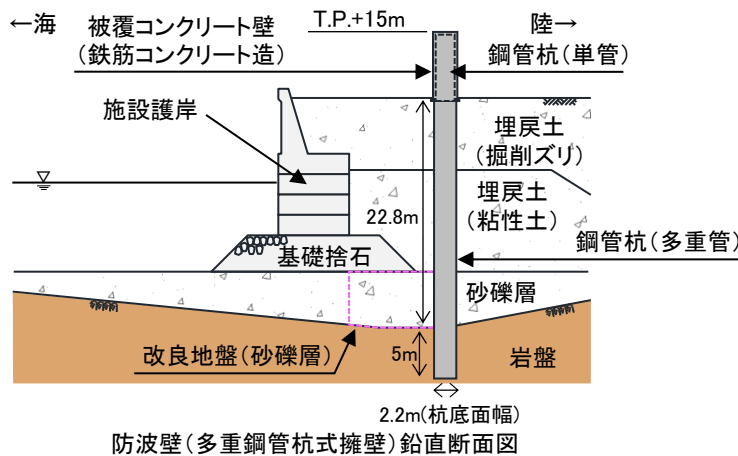


地質断面図(H-H'断面, 岩級・シーム)

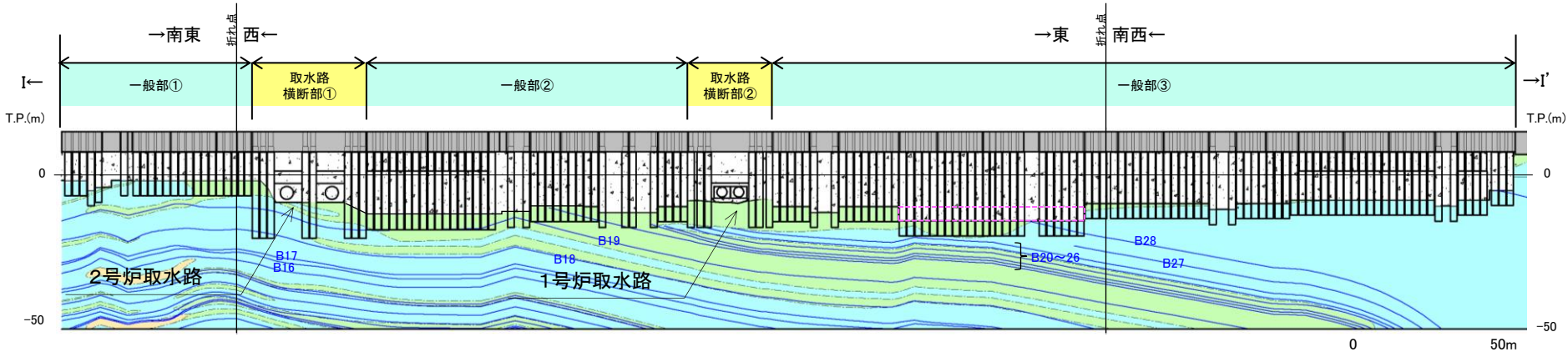
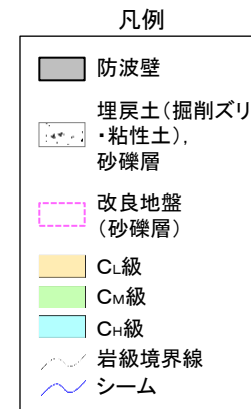
・防波壁(多重鋼管杭式擁壁)のシーム分布図を示す。



断面位置図



防波壁(多重鋼管杭式擁壁)鉛直断面図



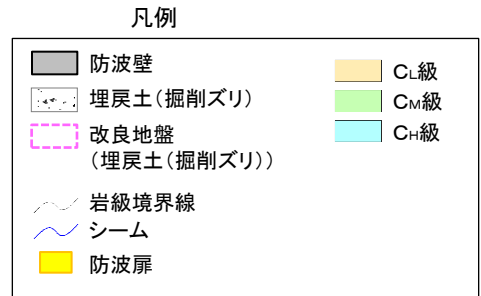
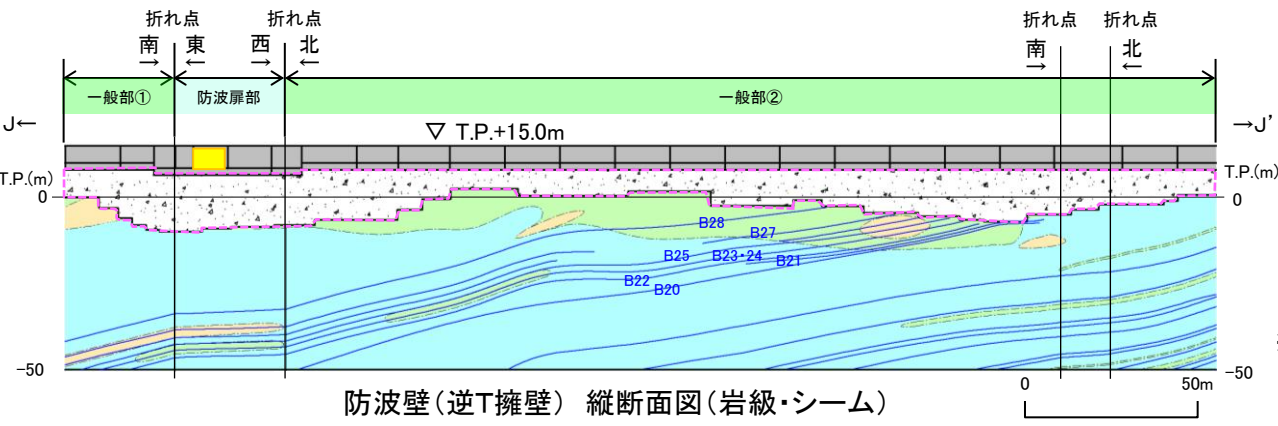
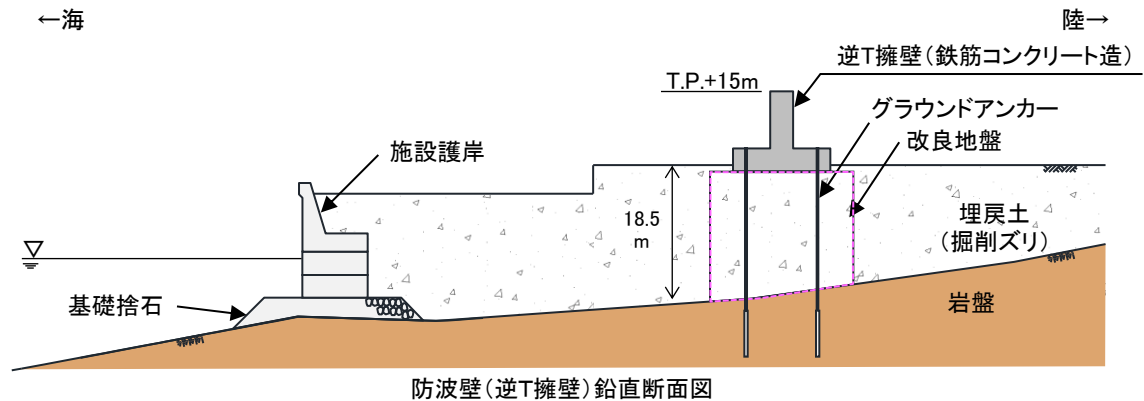
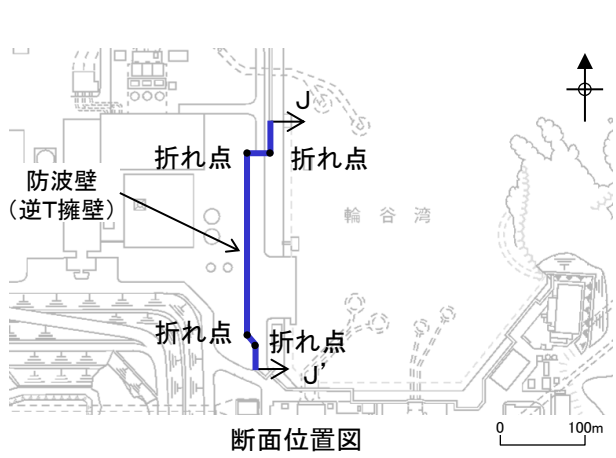
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)縦断面図(岩級・シーム)

※1 図中の杭部については、杭が位置しているが、埋戻土の形状を示すために、周辺地盤の地質状況を示している。

※2 図中の [ ] については、地盤改良を実施しているが、元の砂礫層の分布を示すために、改良前の地質状況を示している。

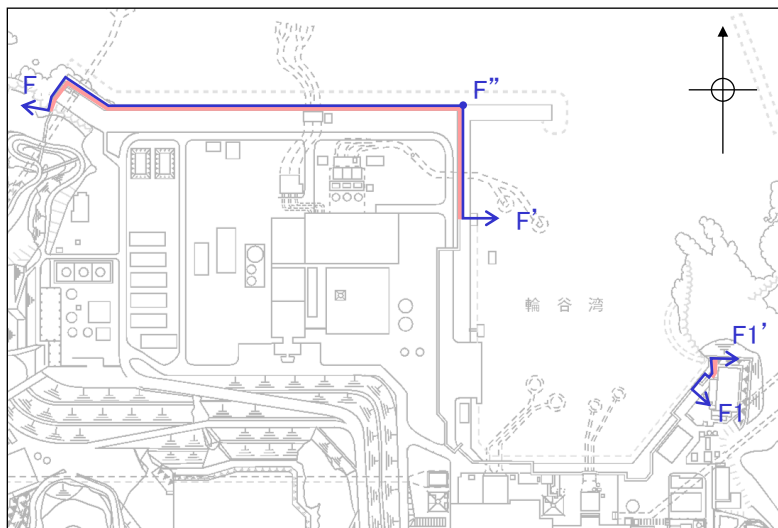


・防波壁(逆T擁壁)のシーム分布図を示す。

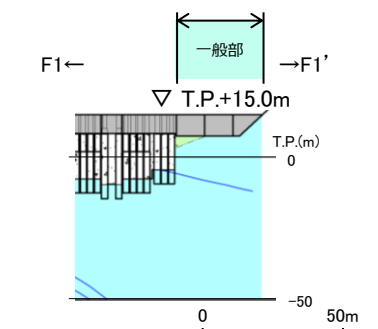
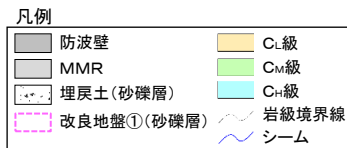


※1 図中の [改良地盤] については、地盤改良を実施しているが、元の埋戻土(掘削ズリ)の分布を示すために、改良前の地質状況を示している。

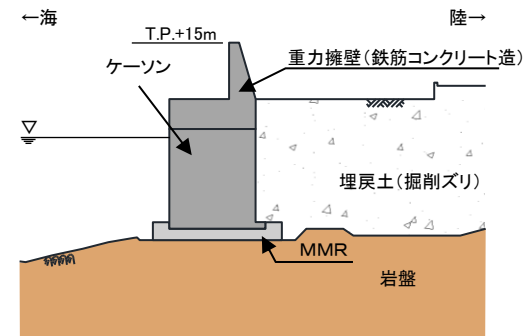
・防波壁(波返重力擁壁)のシーム分布図を示す。



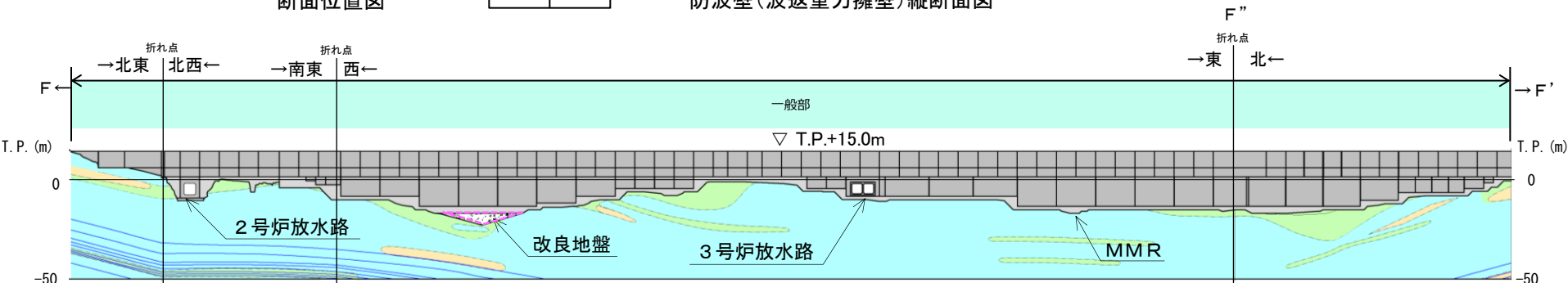
断面位置図



防波壁(波返重力擁壁)縦断面図



防波壁(波返重力擁壁(岩盤部))標準断面図



防波壁(波返重力擁壁)縦断面図

※ 図中の については、地盤改良を実施しているが、元の砂礫層の分布を示すために、改良前の地質状況を示している。

## シームの対比(まとめ)

2号及び3号炉原子炉建物設置位置付近に分布するシームの対比結果は以下のとおりである。

- ・ボーリング調査で得られたデータに基づき敷地の地質構造を検討した結果、下部頁岩部層中の同一層準は、2号及び3号炉原子炉建物設置位置付近において連続的に分布する。
- ・2号炉原子炉建物基礎底面において代表的なAシームは、3号炉原子炉建物基礎地盤でもB8シームとして確認される(どちらのシームも同一層準と考えられる淡緑灰色粗粒凝灰岩から成る火砕流堆積物層の上位に位置する)。
- ・ボーリング調査、試掘坑調査等の結果、シームは地層と同様の走向・傾斜で分布する。

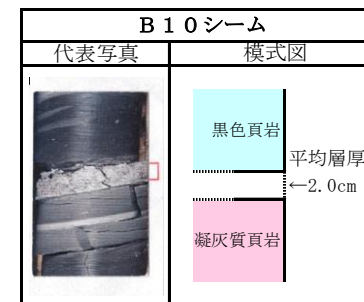
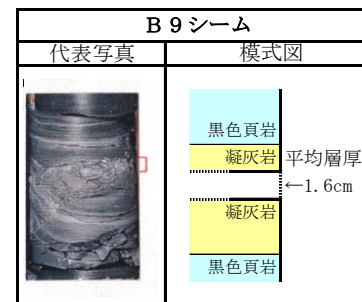
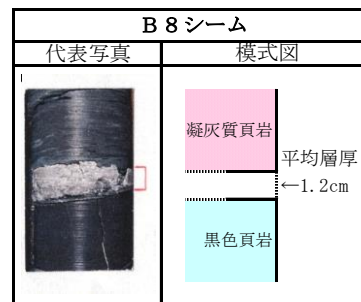
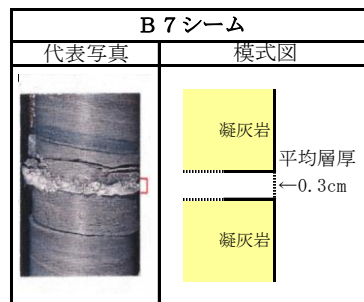
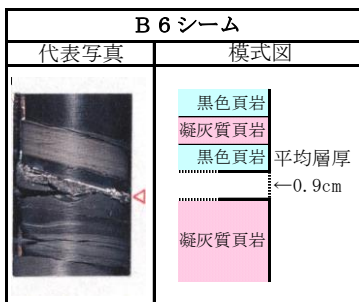
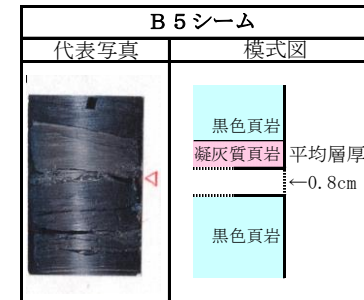
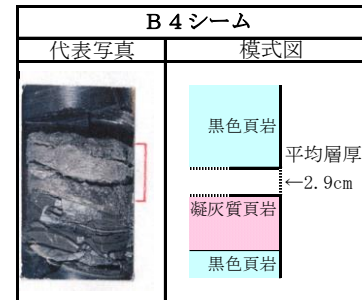
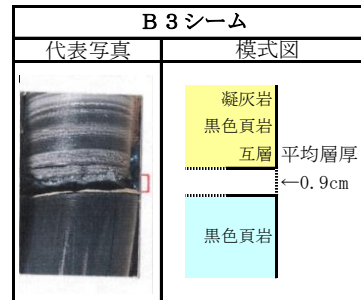
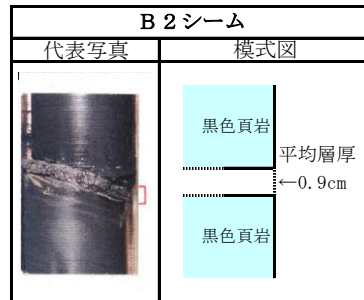
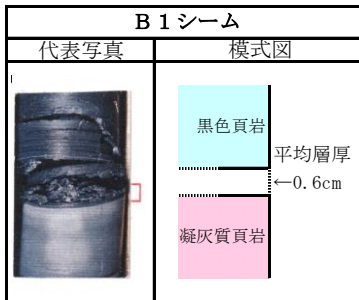


シームの活動性評価にあたっては、データの豊富な3号炉原子炉建物設置位置付近の地質データに基づく検討を行うこととする。

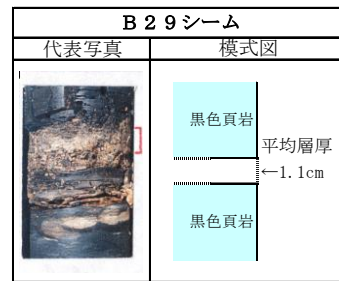
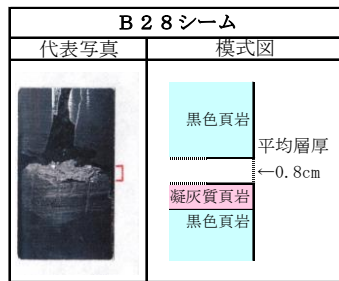
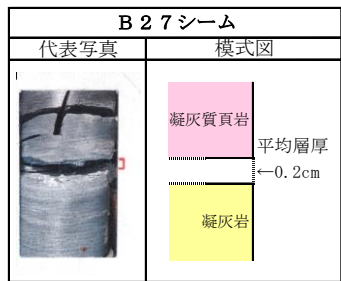
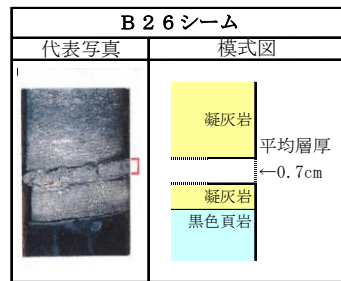
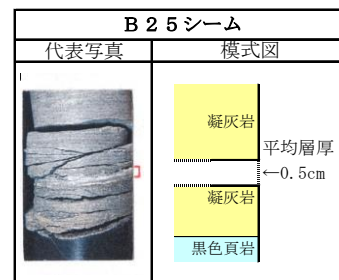
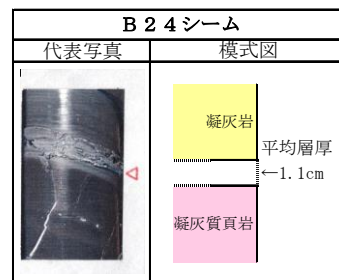
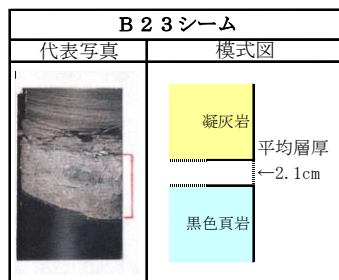
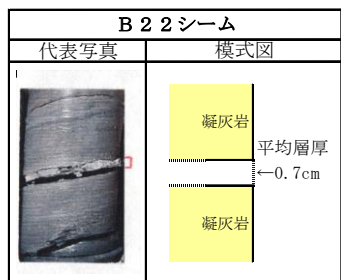
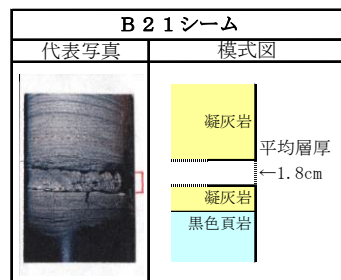
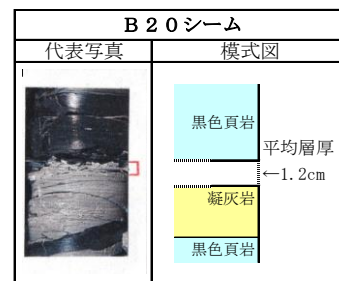
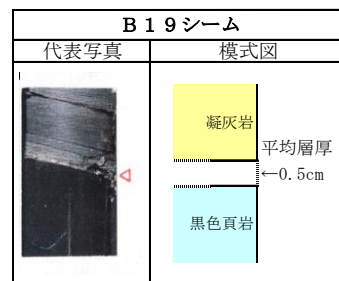
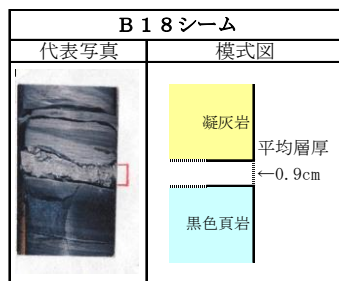
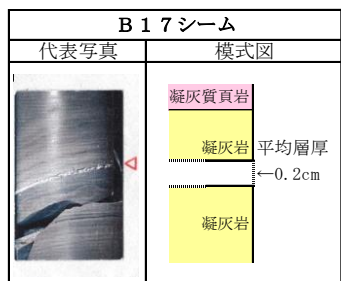
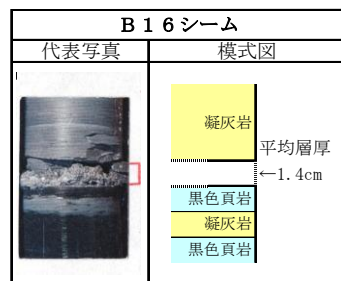
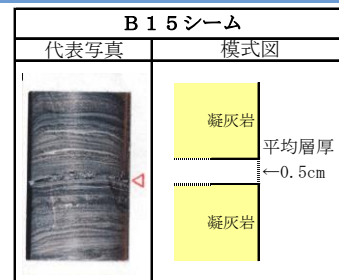
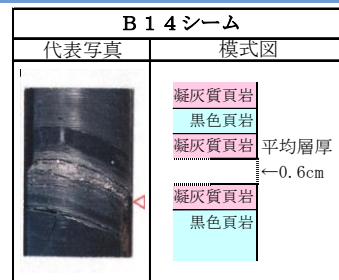
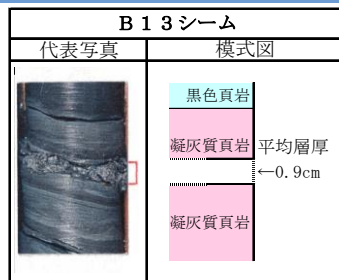
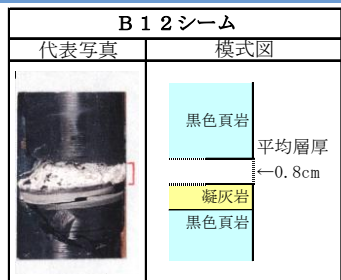
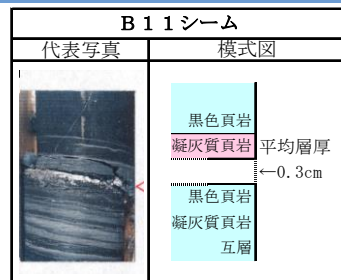
## 4. シームの性状

## シームの類似性①

- ・敷地において連続性を有するシームとして、B1～B29の計29層準が認められる。
- ・シームは、以下の共通の形態的特徴を有する。
  - ① 概ね3cm以下の層厚である。
  - ② 地層を切ることなく層理と調和的に分布する。
  - ③ 母岩との境界が明瞭である。
  - ④ 断層破碎帯に見られるような角礫化帯は認められない。
  - ⑤ 色調等から推定されるシームの原岩は概ね凝灰岩及び凝灰質頁岩から成る。



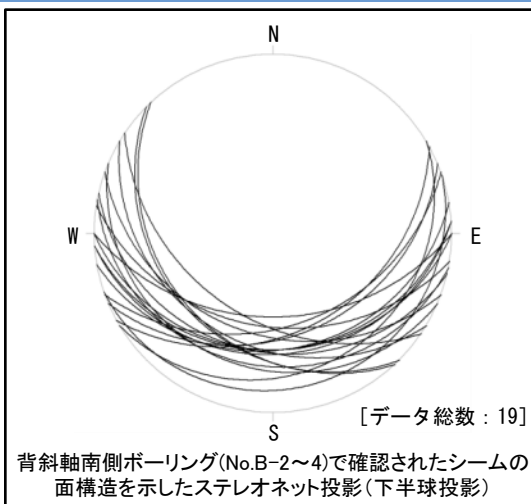
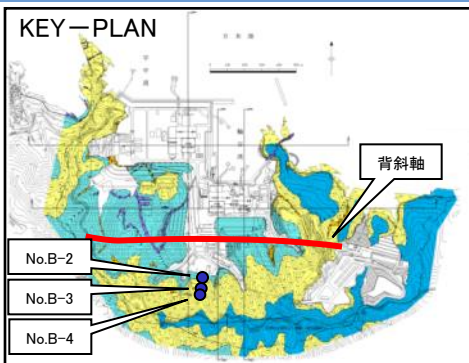
# シームの類似性②



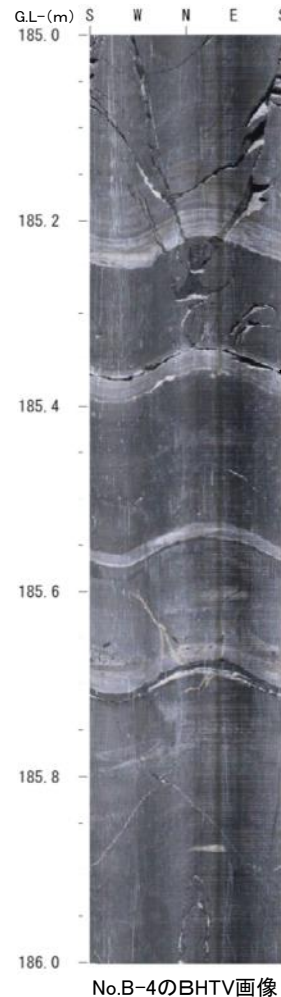
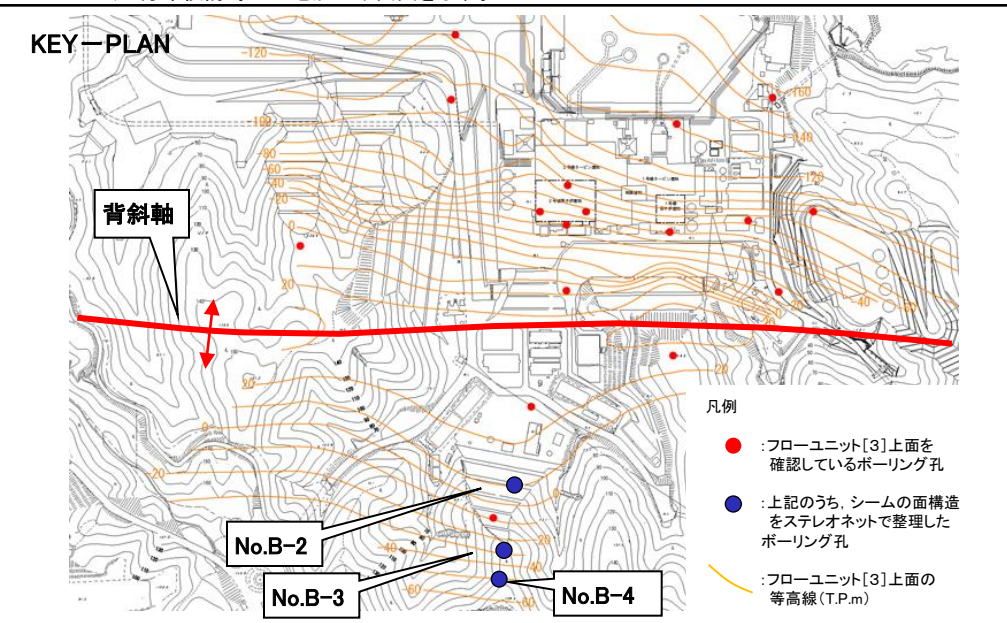
※B29シームの下位は割れ目を中心に風化の影響と思われる酸化汚染を受けている。

# 4. シームの性状

## シームの走向・傾斜(背斜軸南側)



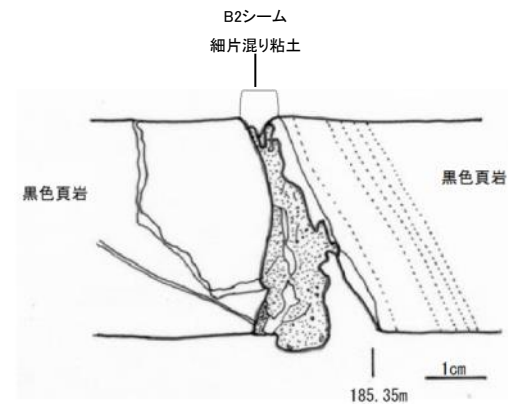
※フローユニット分布検討時の旧地形の平面図を示す。



9 1 2 3 4 5 6 7 8 (cm)

No.B-4で確認されたB2シームの接写写真

N43° W26° S

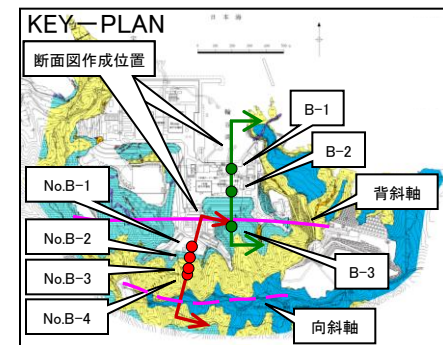
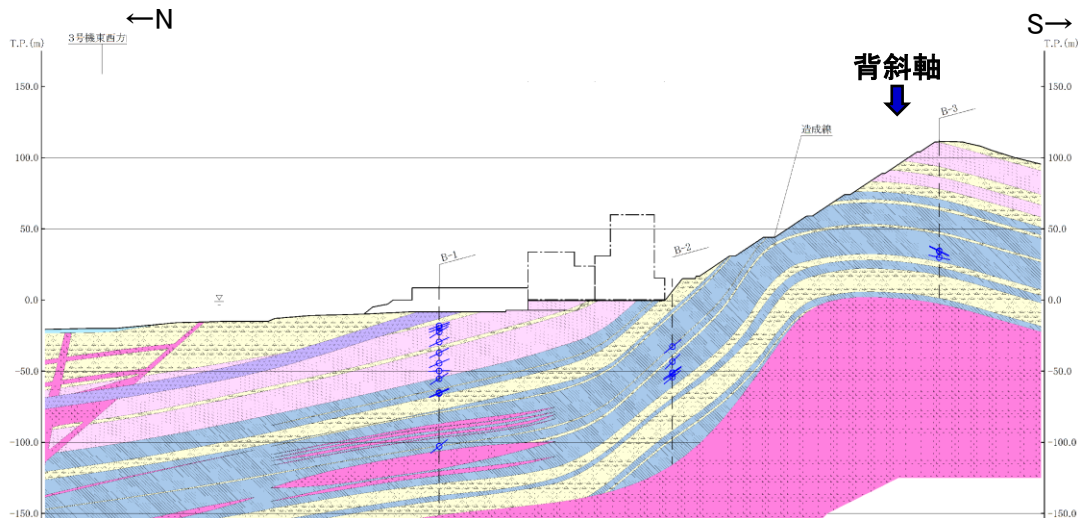


No.B-4で確認されたB2シームのスケッチ

背斜軸南側のボーリング結果の例(No.B-4)

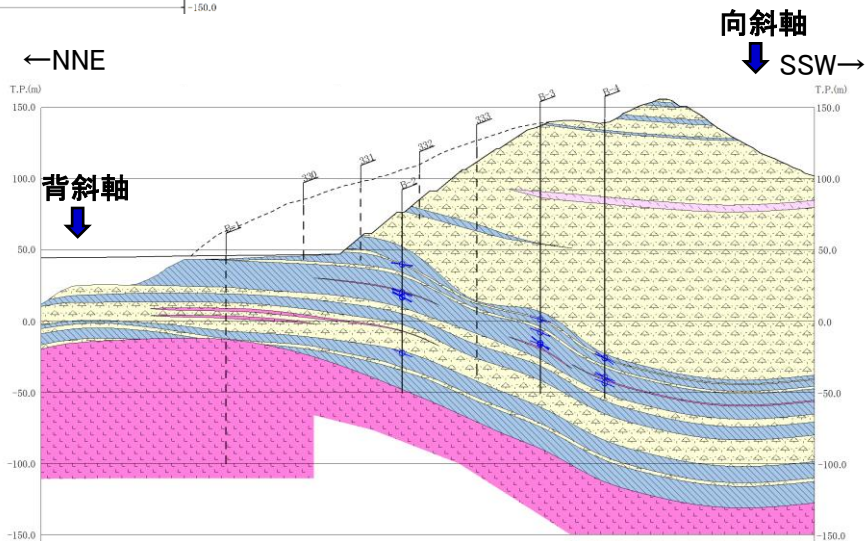
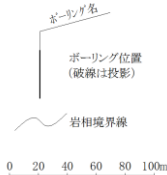
・背斜軸の南側に分布するシームは、地層の走向・傾斜と同様に、ほぼ東西走向で緩やかな南傾斜を示す。

# 背斜軸北側及び南側の地質・地質構造



※1 B-4孔より南側については、地表踏査結果をもとに作成している。

- 凡例
- 盛土 (Blank box) } 被覆層
  - ドレライト (Pink dotted box) } 貫入岩類
  - 凝灰岩・凝灰角礫岩 (Yellow dotted box) } 成相寺層 (頁岩の薄層を挟む)
  - 頁岩・凝灰岩の互層 (Pink horizontal lines box) } 成相寺層
  - 頁岩 (Blue horizontal lines box) } 成相寺層 (凝灰岩の薄層を挟む)
  - シームの位置 (Blue circle)
  - シームの傾斜方向 (Blue arrow)



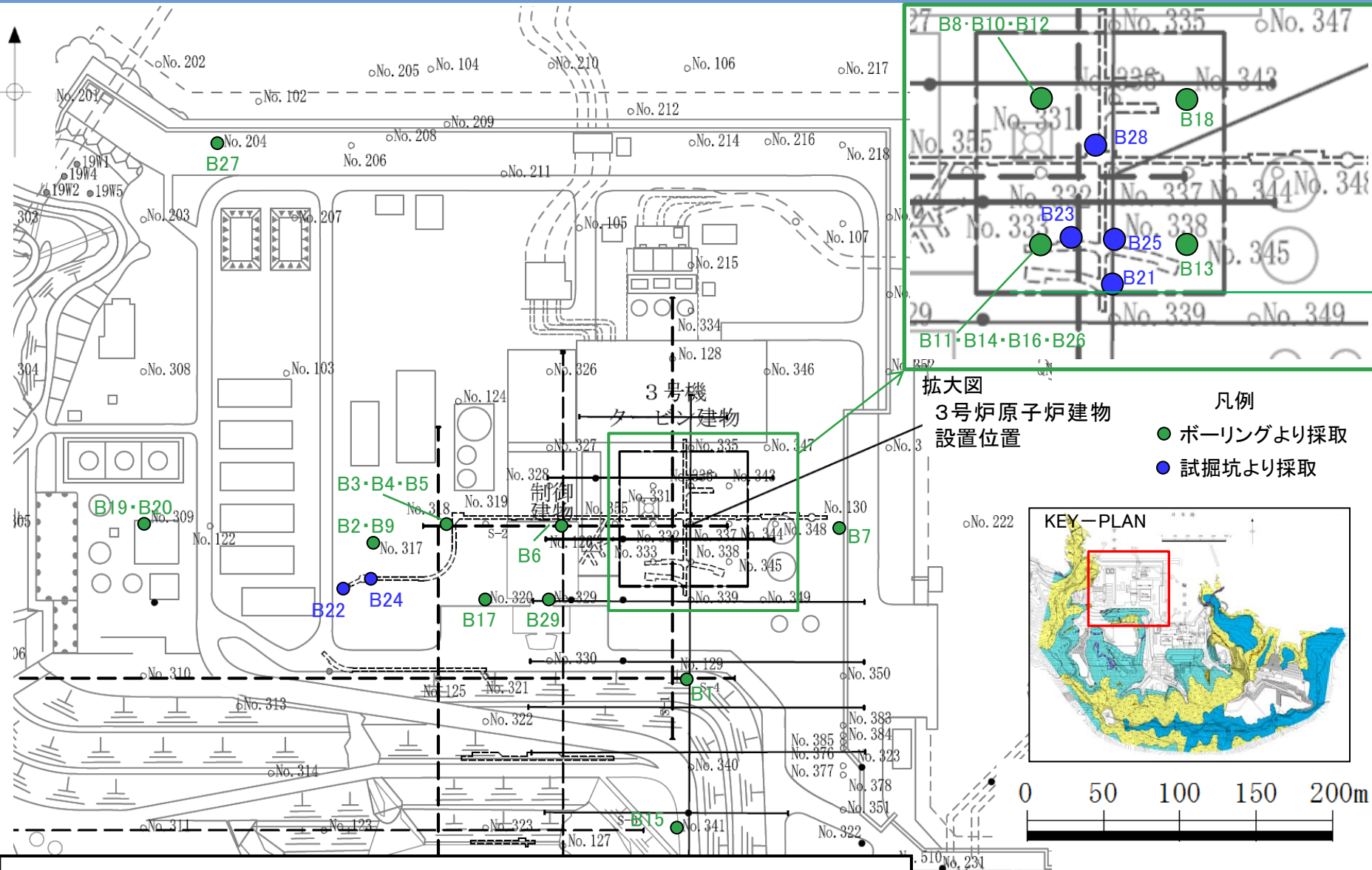
・敷地の南方には、ほぼ東西方向の軸を持つ背斜構造が認められ、さらに南側には、背斜軸とほぼ同じ方向の軸を持つ向斜構造が認められる。

・シームは背斜軸の北側及び南側のいずれにおいても、層理と調和的に分布している。



#### 4. シームの性状

### シームの構成鉱物(X線回折分析 試料採取位置)



シームのX線回折分析用試料は、試掘坑及びボーリングより採取している。

# シームの構成鉱物(X線回折分析 結果)

3号炉試掘坑及びボーリングコアのシームを用いたX線回折分析結果

シームNo.	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24	B25	B26	B27	B28	B29	
主要造岩 鉱物類	石英	○	○	○	○	◎	△	○	○	○	○	◎	○	△	△	△	◎	○	◎	○	○	+	◎	△	○	○	+	○		
	斜長石	△	+	+	△	△	+	+	△	○	+	+	+	+	+	△		○	○	○	○	○		+	○	◎	○	+	△	
	カリ長石	△											+					○				○	+				○		△	
沸石	方沸石																												+	
	斜ブテロル沸石															◎	◎			◎	+			+			○			
	スチルバイト																												△	
	ローモンタイト																	○	+	◎	○			△	△					
粘土鉱物	スメクタイト																							+				+	◎	
	イライト/スメクタイト混合層鉱物	○	◎	○	◎	◎	○	△	◎	○	◎	△	◎	○	○	○	△	+	○	△	○	◎	◎	△	△	◎	△	△		
	雲母類																							+					+	
炭酸塩	緑泥石	○	+	+		+	+	+	+	+	△	△	○	○	○	+		○	△		+	△	+		+	+	△	+		
	方解石		△	◎	+	◎	◎	◎	○	○	△	◎	+	△	○	△	◎	◎		△	+	△			◎		+	+		
硫酸塩	ドロマイト	+									○		△																	
	石膏			+	△																							+	+	
	黄鉄鉱	△	△	△	△	△	+		+	+	+	+	+	+	+	+	△		+	+	+	+	+	+	+	○	+	+		
その他	重晶石					△																								
	アナターゼ		+		+	+			+			+																		
	蛍石								○																					
クリストバル石																				+										
備考																														
																								試掘坑	試掘坑	試掘坑	試掘坑	試掘坑		試掘坑

◎:多量 ○:中量 △:少量 +:微量

※1 B23シームのX線回折分析のチャート並びにB23シーム及びその周辺母岩のX線回折分析結果は補足説明「4. シームの活動性 (2)シームの活動性評価 ①B23シームの類似性」参照

※2 別途分析したBS-1孔及びBS-2孔のコア試料を用いて実施したシーム及び周辺母岩のX線回折分析結果は本資料P.95, 96参照

・29層準全てのシームを対象としたX線回折分析の結果, いずれのシームも変質鉱物であるイライト/スメクタイト混合層鉱物及び初生鉱物である石英, 斜長石等で構成されており, 概ね同様の性状を示す。

## シームの性状(まとめ)

敷地において連続性を有するシームとして、B1～B29シームが認められる。これらは以下の共通の形態的特徴を有する。

- ・シームは、概ね3cm以下の層厚で、地層を切ることなく層理と調和的に分布する。
- ・母岩との境界が明瞭であり、断層破碎帯に見られるような角礫化帯は認められない。
- ・色調等から、シームの原岩は凝灰岩又は凝灰質頁岩と推定される。
- ・シームは、背斜軸の北側では北傾斜、南側では南傾斜を示し、褶曲構造と調和的に分布する。
- ・X線回折分析の結果、いずれのシームも概ね同様の鉱物で構成される。

## 5. シームの活動性

### (1) シームの活動性評価方法

### (2) シームの成因

① 敷地及び敷地周辺の応力場

② シームの条線方向と最新活動センス

### (3) シームの活動性評価

① シームで認められる鉱物種とせん断面の関係

② シームで認められる鉱物の生成条件

## シームの活動性評価方法

<敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド p.4>

### 2. 将来活動する可能性のある断層等の認定

#### 2.1 基本方針

(1)「将来活動する可能性のある断層等」は、後期更新世以降(約12～13万年前以降)の活動が否定できないものとする。

(2)その認定に当たって、後期更新世(約12～13万年前)の地形面又は地層が欠如する等、後期更新世以降の活動性が明確に判断できない場合には、中期更新世以降(約40万年前以降)まで遡って地形、地質・地質構造及び応力場等を総合的に検討した上で活動性を評価すること。

(3)なお、活動性の評価に当たって、設置面での確認が困難な場合には、当該断層の延長部で確認される断層等の性状等により、安全側に判断する必要がある。

<敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド p.13>

#### 4.1.2.3 地質調査

[解説]

(5)断層の活動性評価に対し、断層活動に関連した微細なずれの方向(正断層、逆断層、右横ずれ断層、左横ずれ断層など)や鉱物脈あるいは貫入岩等との接触関係を解析することが有効な場合がある。

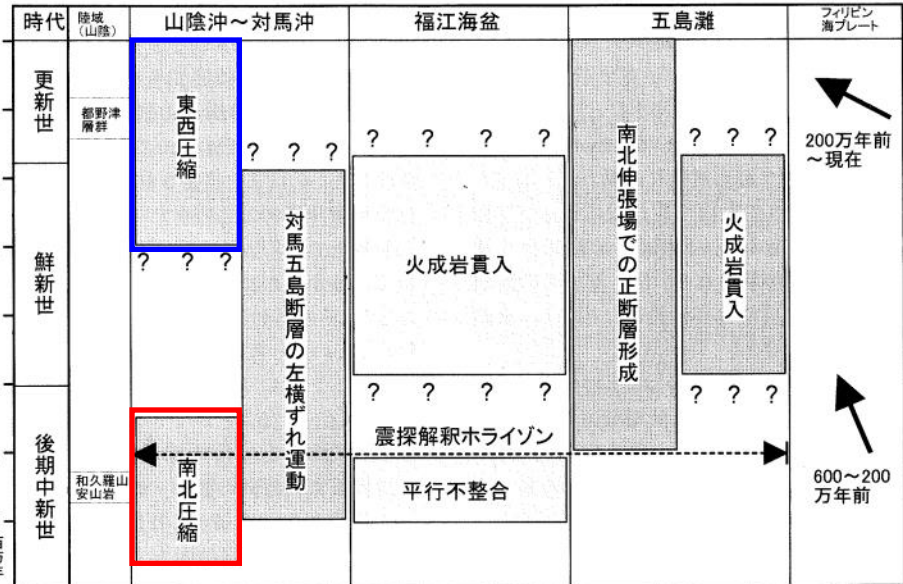
・敷地内では、後期更新世(約12～13万年前)の地形面又は地層が欠如しているため、応力場、シームの形成に関連したずれの方向及び鉱物脈との接触関係に着目し、シームの活動性を総合的に検討した。

# 山陰地域における応力場の変遷(新第三紀中新世～第四紀)

## 山陰地域における応力場の変遷(新第三紀中新世～第四紀)

### 松江地域の地質総括表

地質時代	層序	主要岩相	火成活動	堆積環境	構造運動	放射年代及び化石帯・群集	
完新世	三角州、扇状地、花塚層、砂州及び海岸砂丘堆積物及び中海岸 (<50m)	砂、泥及び礫 (泥炭を挟む)		内湾-海湖と海岸平野		汽水-海生動物化石	
	低位段丘堆積物	礫、砂及び泥		河川流域			
後期更新世	中位II段丘堆積物	泥、砂及び礫 (泥炭及び火山灰を挟む)		扇状地			
	中位I段丘堆積物	泥、礫及び砂		内湾-海湖と海岸平野		汽水-海生動物化石	
中期更新世	大根島玄武岩	アルカリ玄武岩溶岩及びスコリア	アルカリ玄武岩 火山活動	海岸平野			
	高位II段丘堆積物	礫、砂及び泥		湖と海岸平野			
	高位I段丘堆積物	礫、砂及び泥		湖と海岸平野			
	高位I段丘堆積物	礫、砂及び泥		湖と海岸平野			
前期更新世	野呂玄武岩	アルカリ玄武岩溶岩	アルカリ玄武岩 火山活動	内陸		1Ma(K-Ar)	
	和久羅山安山岩	角閃石含有安山岩溶岩	カルシウムアルカリ 安山岩火山活動	海岸平野		5-6Ma(K-Ar)	
中期中新世	松江層 (<1100m)	砂岩、シルト岩、アルカリ玄武岩-粗面安山岩溶岩・火砕岩など	アルカリ玄武岩 火山活動	内湾-海湖	E-W方向の褶曲と正断層の形成	海-汽水動物化石 植物化石 11-12Ma(K-Ar) N10-11*	
	古江層 (450-900m)	布志名層 (500m)	泥岩及びシルト岩	内湾-海湖		N9*	
	牛切層 (<300m)	大森層 (<500m)	流紋岩凝灰岩凝灰質砂岩泥質岩互層	流紋岩、砂岩、安山岩溶岩、アイサイト溶岩など		浅海	N8-9* 15Ma (FT,K-Ar)
	成相寺層 (>1200m)	久利層 (200-800m)	川合層 (0-400m)	泥岩、流紋岩溶岩、流紋岩火砕岩など		沿岸	20Ma(FT) 23-26Ma(FT) 台島型植物群 淡水-汽水生貝化石
	古浦層 (>800m) (伏在)	波多層 (<800m)	砂岩、礫岩、泥質岩、安山岩溶岩・火砕岩及び流紋岩火砕岩	火山岩堆積物、安山岩溶岩		浅海	36Ma(K-Ar) 36-53Ma(K-Ar)**
	下久野花園岩	細粒黒雲母花園岩				中国山地北縁	54Ma(K-Ar) 43-60Ma(K-Ar)** 44-63Ma(K-Ar)**
白垩紀後期	上進東成岩	鳥屋層成岩		内陸			
	八雲火山岩類 (>800m)	流紋岩 アイサイト 火砕岩(主として溶結)及び流紋岩溶岩		内陸			
時未代	上進東成岩	鳥屋層成岩		浅海			



九州西方-山陰沖海域テクトニックイベント一覧

伊藤・荒戸(1999)<sup>(2)</sup>に一部加筆

- ・鹿野ほか(1994)によると、中期～後期中新世頃まで主応力の方向は南北方向であり、この時期に、東西方向の褶曲は形成されたとしている。
- ・伊藤・荒戸(1999)によると、山陰沖海域における応力場は、後期中新世では「南北圧縮」であるが、鮮新世～更新世では「東西圧縮」であるとされている。

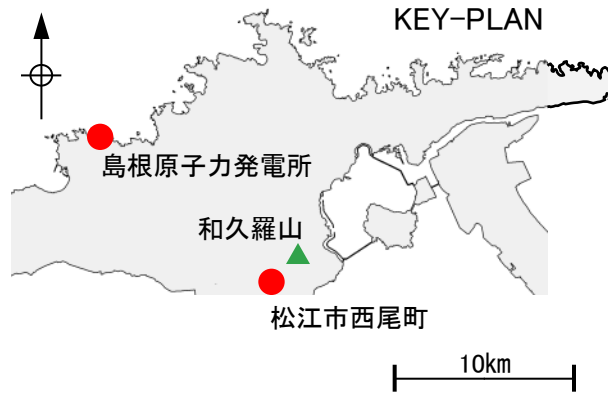
\*: Blow(1969)の浮遊性有孔虫化石帯 K-Ar: K-Ar年代 FT: フィッシュトック年代 \*\*: 対比可能な周辺地域の貫入岩体の年代を含む。

鹿野ほか(1994)<sup>(1)</sup>に一部加筆

## 5. シームの活動性 (2)シームの成因 ①敷地及び敷地周辺の応力場 山陰地域における褶曲運動の完了時期

第223回審査会合  
資料2-1 p.49 加筆・修正

70

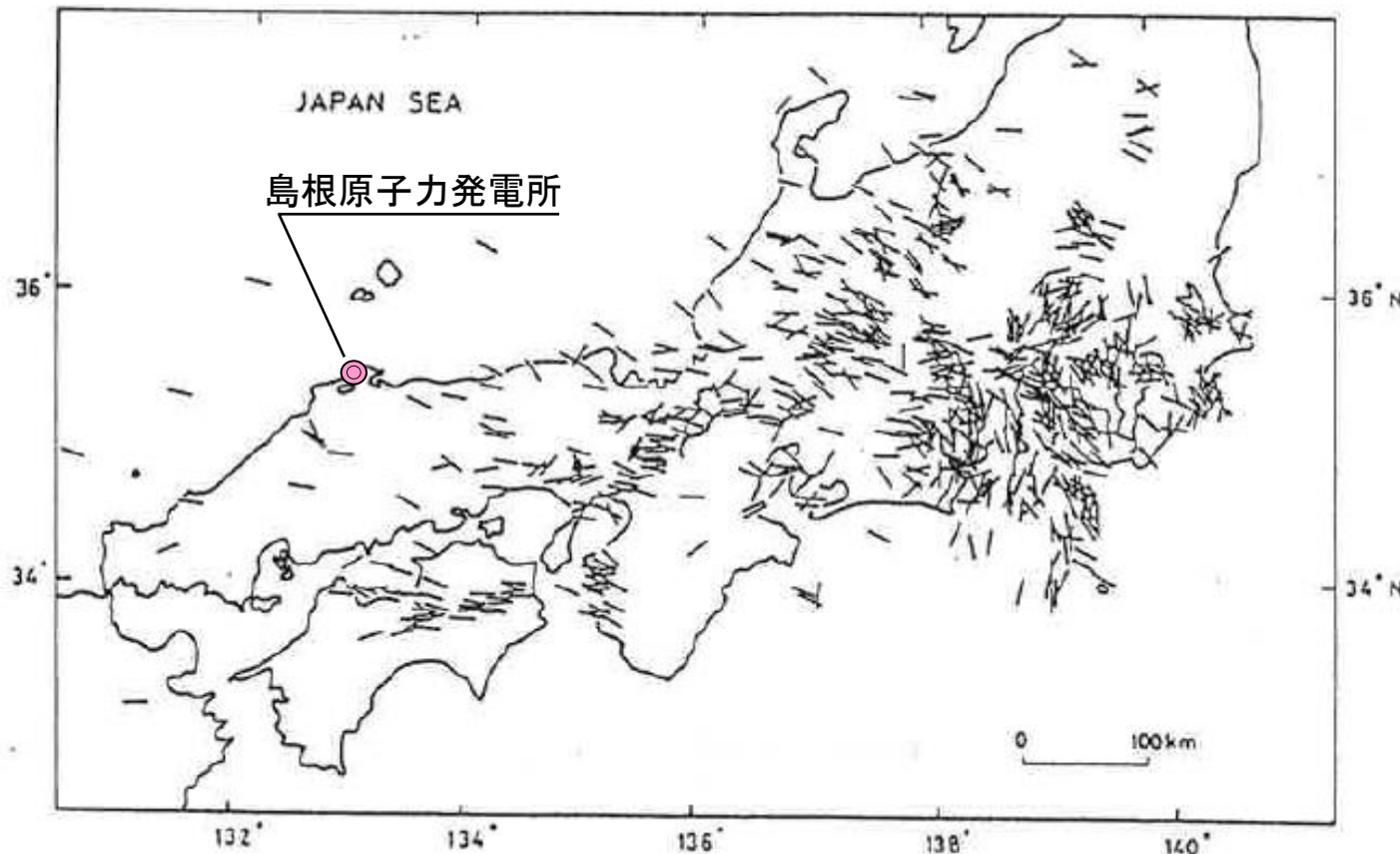


松江市西尾町東方の道路沿いの和久羅山安山岩 鹿野ほか(1994)より引用

- ・多井(1973)<sup>(3)</sup>及び鹿野ほか(1994)によると、松江市東部において大きく褶曲した松江層が和久羅山安山岩に不整合に覆われていることから、島根半島における褶曲運動の完了時期は和久羅山安山岩の貫入年代以前であるとされている。\*
- ・鹿野ほか(1994)によると、和久羅山安山岩の貫入年代は、約5～6Maとされている。\*

\*松江層を不整合に覆う和久羅山安山岩は、貫入年代の違いから、Pineda-Velasco et al. (2018)の和久羅山デイスサイト溶岩(0.7～0.9Ma)とは区別する。

# 山陰地域における現在の応力場



塚原・小林(1991) (4)より引用

最大水平圧縮応力の方位

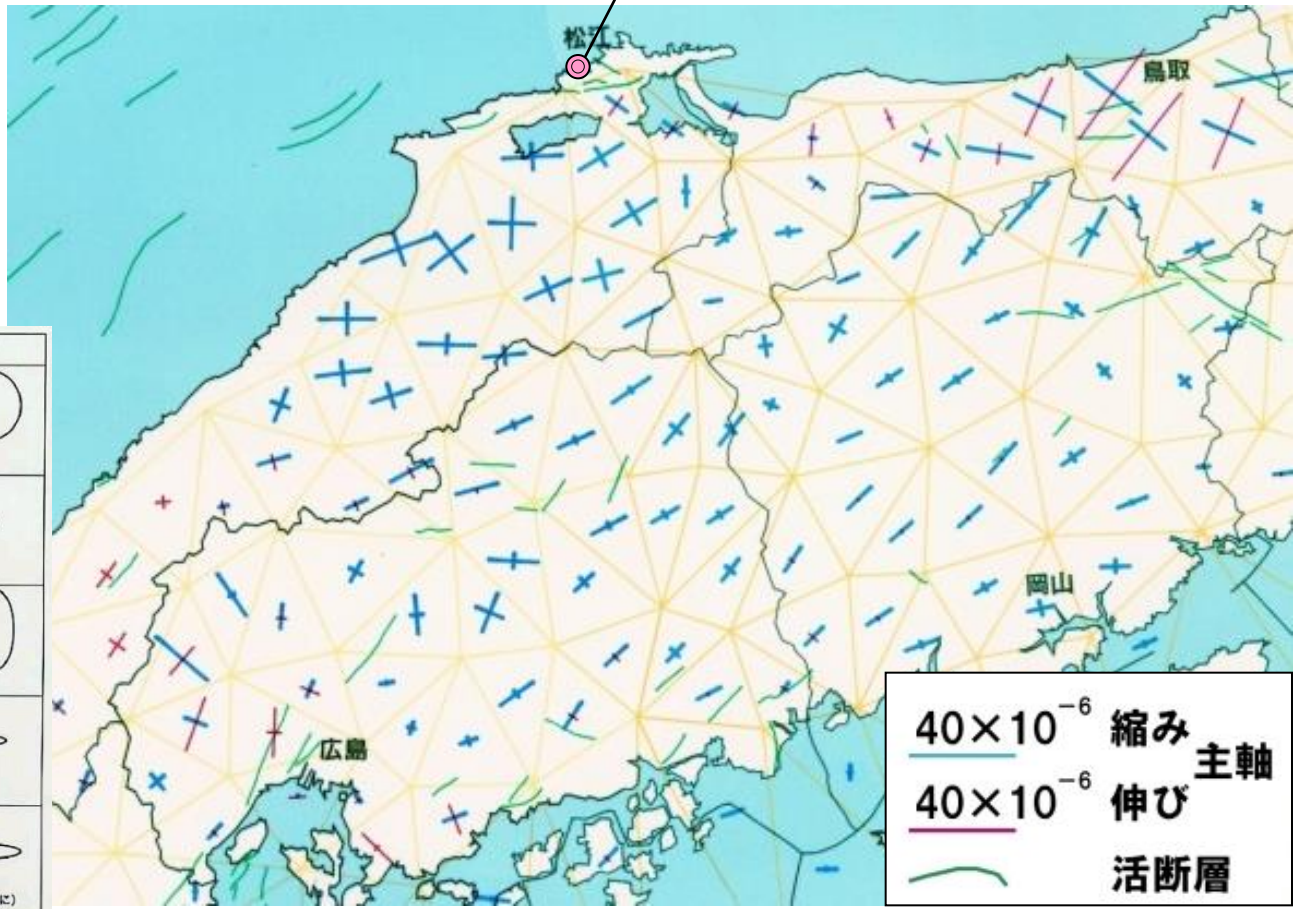
- ・塚原・小林(1991)は、震源深さ35kmより浅い地震で公表されたものを微小地震(マグニチュードは2.5~7.0)まで含めて収集して応力の方位を評価している。
- ・中国・四国地域では最大水平圧縮応力の方位はほぼ同じで西北西-東南東であり、横ずれ断層型の応力状態であるとされている。



# 山陰地域における現在の応力場(地殻変動)

中国地方の地殻歪(最近約100年間)

島根原子力発電所



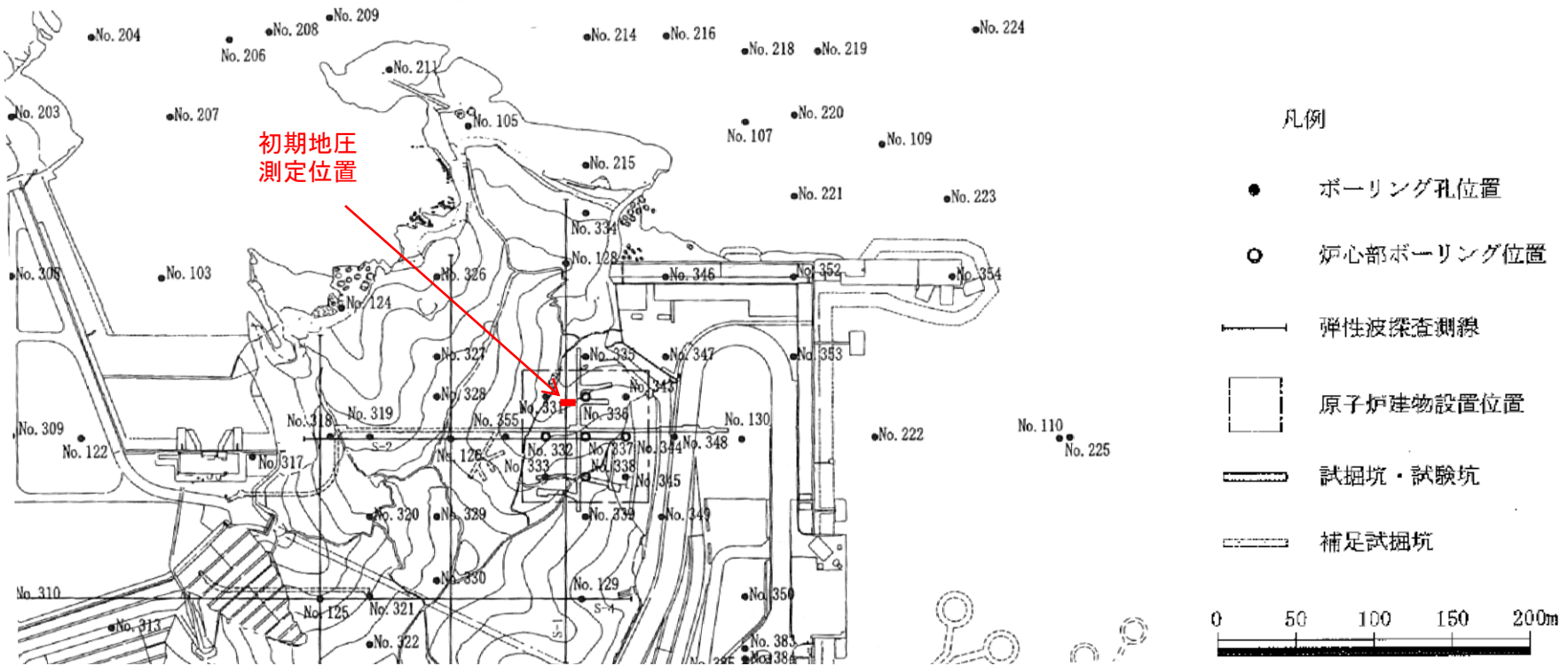
地殻の歪(歪図上の表現)		変形の様子
1)		 全体的に膨張 (円は大きな円に)
2)		 全体的に収縮 (円は小さな円に)
3)	a	 形を変えて膨張 (円は大きな楕円に)
	b	 形を変えて収縮 (円は小さな楕円に)
	c	 大きく形を変える (円はかなり扁平な楕円に)

$40 \times 10^{-6}$  縮み 主軸  
 $40 \times 10^{-6}$  伸び  
 活断層

国土地理院ホームページ(<https://www.gsi.go.jp/cais/HIZUMI-hizumi5-100.html>)より

最近約100年間(1883年~1994年)の地殻歪は、概ね東西方向の圧縮歪が卓越している。

# 初期地圧の測定(概要)

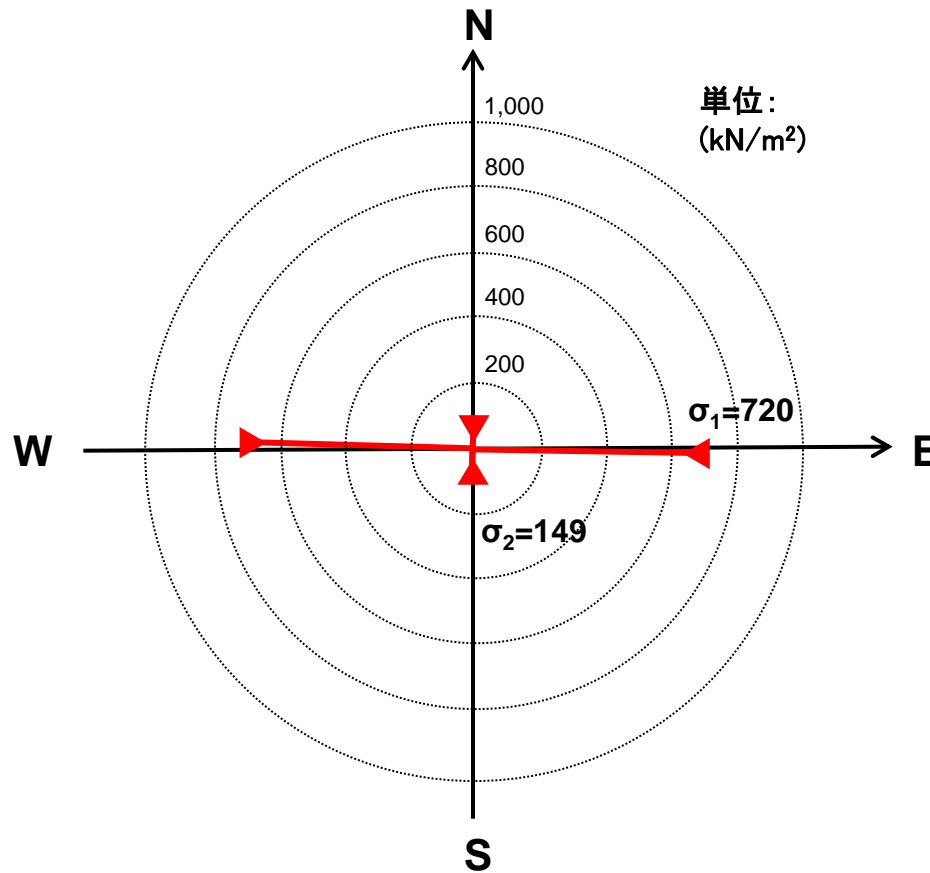


※初期地圧測定時の旧地形の平面図を示す。

※初期地圧の測定方法は補足説明「4. シームの活動性 (1)シームの成因 ①初期地圧の測定方法」参照

・敷地内の岩盤応力状態を把握するため、3号炉建設時の試掘坑壁面にボーリング孔を設け、埋設ひずみ計を設置し、初期地圧を測定した。

## 初期地圧の測定(測定結果)

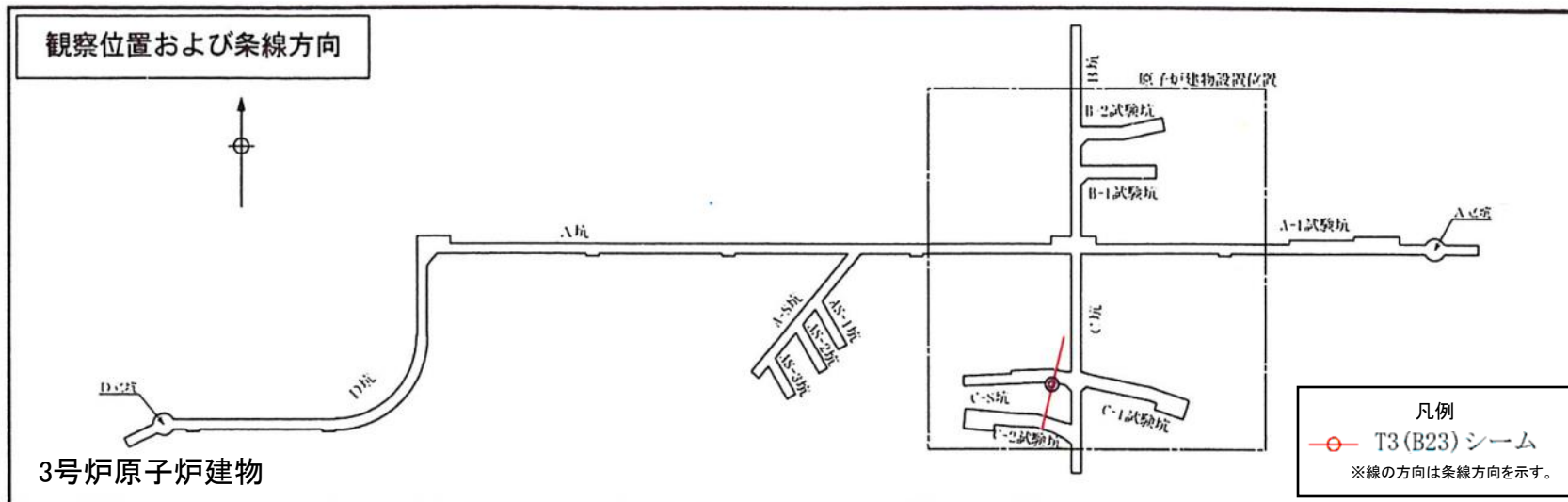


水平面主応力分布図

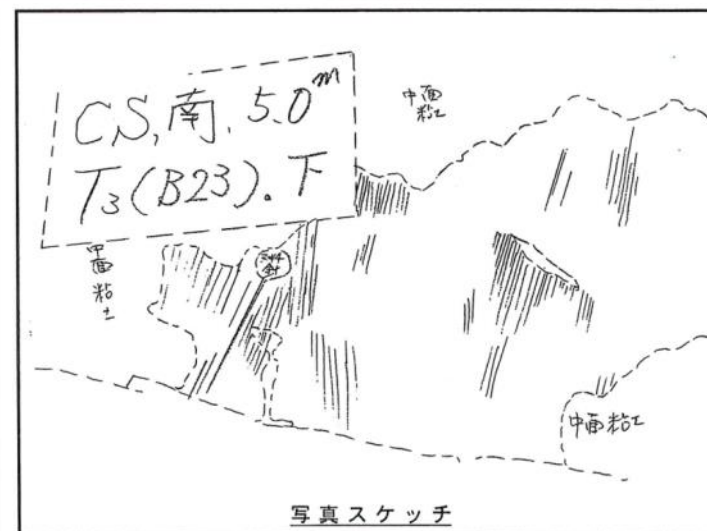
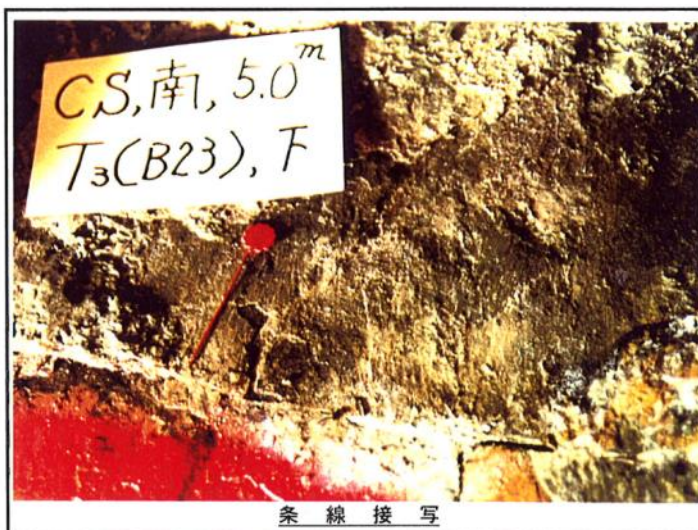
- ・東西方向の圧縮力が卓越しており、当地域周辺での広域的な地殻応力の方向と一致している。
- ・最大主応力はほぼ鉛直の方向を示し、測定した鉛直応力(902kN/m<sup>2</sup>)は地山土被り圧とほぼ同等であることから、測定結果は妥当であると考えられる。

# 試掘坑におけるシームの条線観察位置図

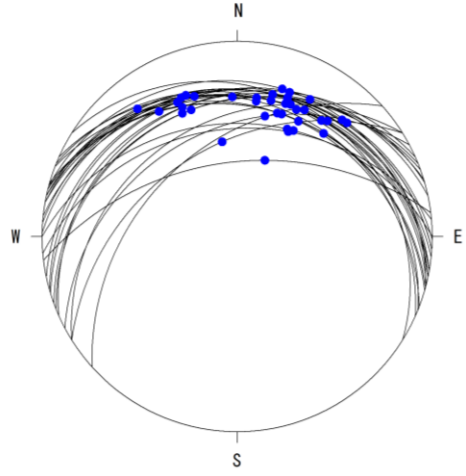
・シームの活動性を把握するために、試掘坑内に露出するシームについて、条線方向の観察を行った。



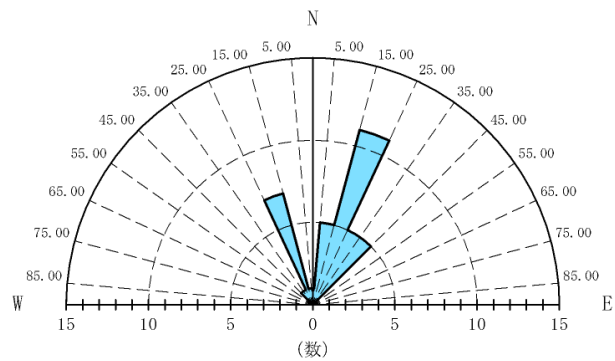
シーム No.	B23
坑名	C-S 坑
標尺	5.0m
壁方向	南壁
条線方向	N14° E



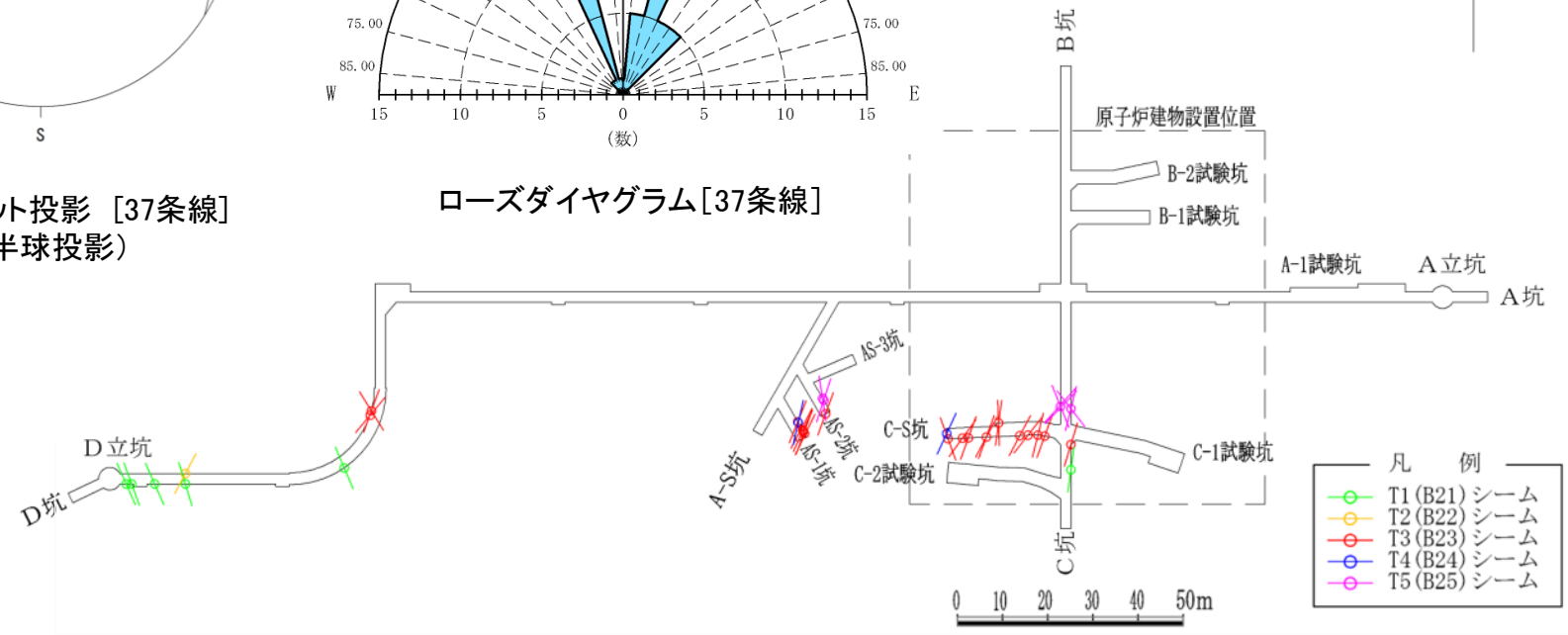
5. シームの活動性 (2)シームの成因 ②シームの条線方向と最新活動センス  
 試掘坑におけるシームの条線観察結果



ステレオネット投影 [37条線]  
 (下半球投影)



ローズダイヤグラム [37条線]



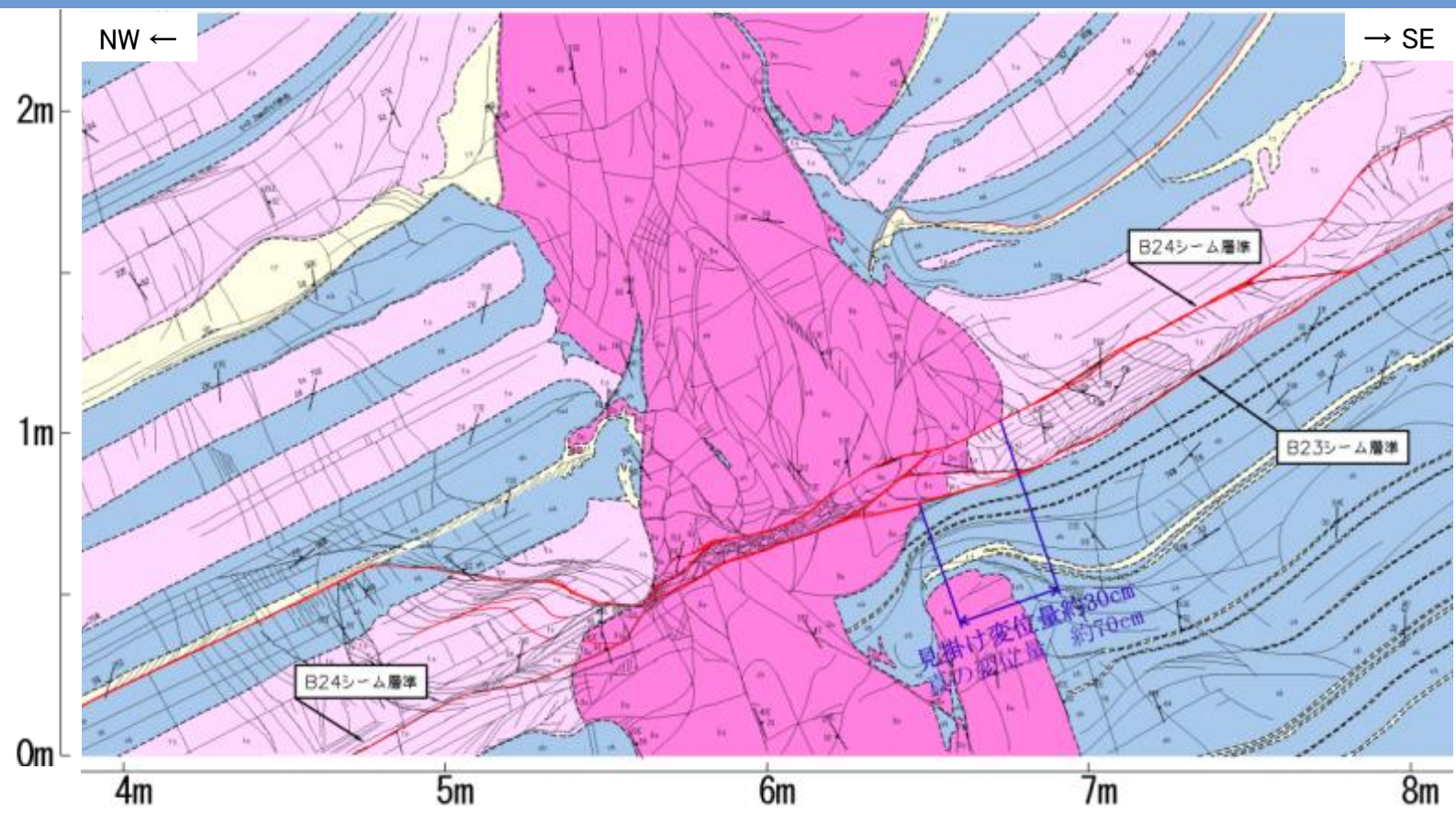
凡 例	
<span style="color: green;">○</span>	T1 (B21) シーム
<span style="color: yellow;">○</span>	T2 (B22) シーム
<span style="color: red;">○</span>	T3 (B23) シーム
<span style="color: blue;">○</span>	T4 (B24) シーム
<span style="color: purple;">○</span>	T5 (B25) シーム

・試掘坑内でのシームの条線方向調査の結果、シームの最終変位方向は、概ね南北方向であると考えられる。

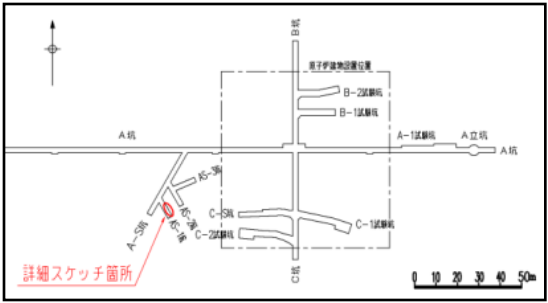
※その他の各条線観察結果は、本資料P.91, 補足説明「4. シームの活動性 (1)シームの成因 ②過褶曲とシームの形成過程」参照

# 試掘坑におけるシームと貫入岩(岩脈)との切断関係

- 凡例
- 地質境界
  - 割れ目の走向傾斜
  - 壁面となった割れ目の面の走向傾斜
  - 貫入面の走向傾斜
  - 層理面の走向傾斜
  - ☉ 湧水(湧水状)
  - 割れ目
  - 粘土を伴う不連続面
  - sh 黑色頁岩
  - ts 凝灰質頁岩
  - sf 凝灰岩
  - Do ドレライト



※ シームの想定変位量は、試掘坑壁上の見かけで最大30cm程度であり、観察位置での岩脈の貫入方向(N48° E)と条線方向(N22° E)を加味して算出した真の変位量で最大約70cmである。



- ・試掘坑内の壁面観察の結果、ドレライトの岩脈が**B23シーム及びB24シーム**によって切られており、その変位方向は重力性の変位のセンスとは異なり、上盤側が南方へずり上がる方向である。
- ・このことから、シームの変位方向は、新第三紀中新世の南北圧縮応力場における褶曲運動に調和的であると考えられる。

## 試掘坑におけるシームの薄片観察

### 薄片観察手順

#### 1. 試掘坑内地質観察

敷地に分布するシームのうち、最も連続性の高いB23シームを対象とし、シーム及びその周辺母岩を含んだ位置からブロックサンプリングを行う。

#### 2. 薄片試料作製・観察

サンプリングしたブロックより、シーム及びその周辺母岩を含めた薄片試料を作製し、以下のとおり観察する。

##### ①せん断面の認定

・他のせん断面に切られておらず、比較的連続性が高いものに絞り込む。

##### ②せん断面の観察等

・せん断面上もしくはその近傍において、シームのずれの方向及び鉱物脈とせん断面との関係を観察する。



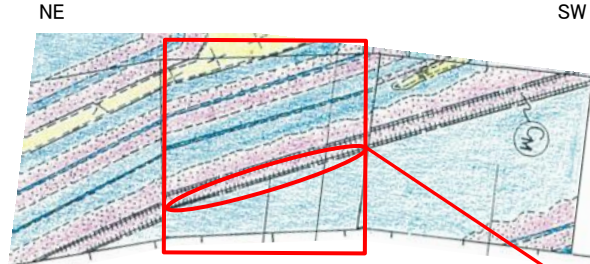
試料採取状況(例)

・島根原子力発電所3号炉の建設時に、試掘坑で確認されるシームを対象として薄片試料を作製しておりシームのずれの方向を再観察した。

# 5. シームの活動性 (2)シームの成因 ②シームの条線方向と最新活動センス 試掘坑における薄片観察(試料採取位置)

試料名: B23-DR-NE-SW

- 凡例
- : 黒色頁岩
  - : 凝灰質頁岩
  - : 凝灰岩
  - : ドレライト



D坑R部 北西壁スケッチ図

○ サンプル位置

B23シーム



試掘坑写真(平成9年撮影)

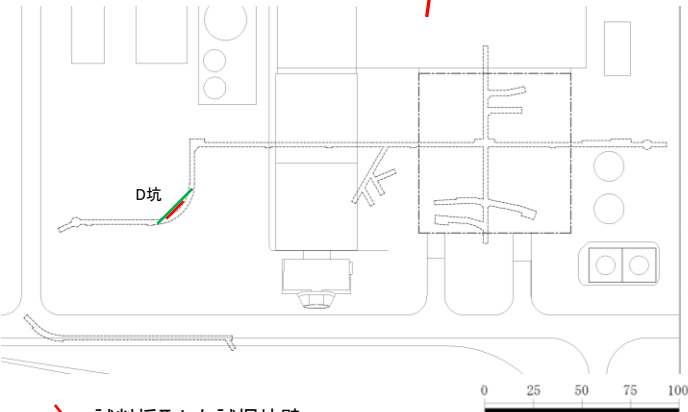
○ サンプル位置



ブロック試料写真(平成15年採取)



薄片写真(平成15年作製, 平成26年撮影)

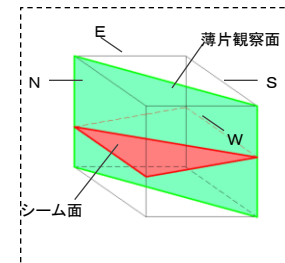


— : 試料採取した試掘坑壁

— : 薄片作成方向



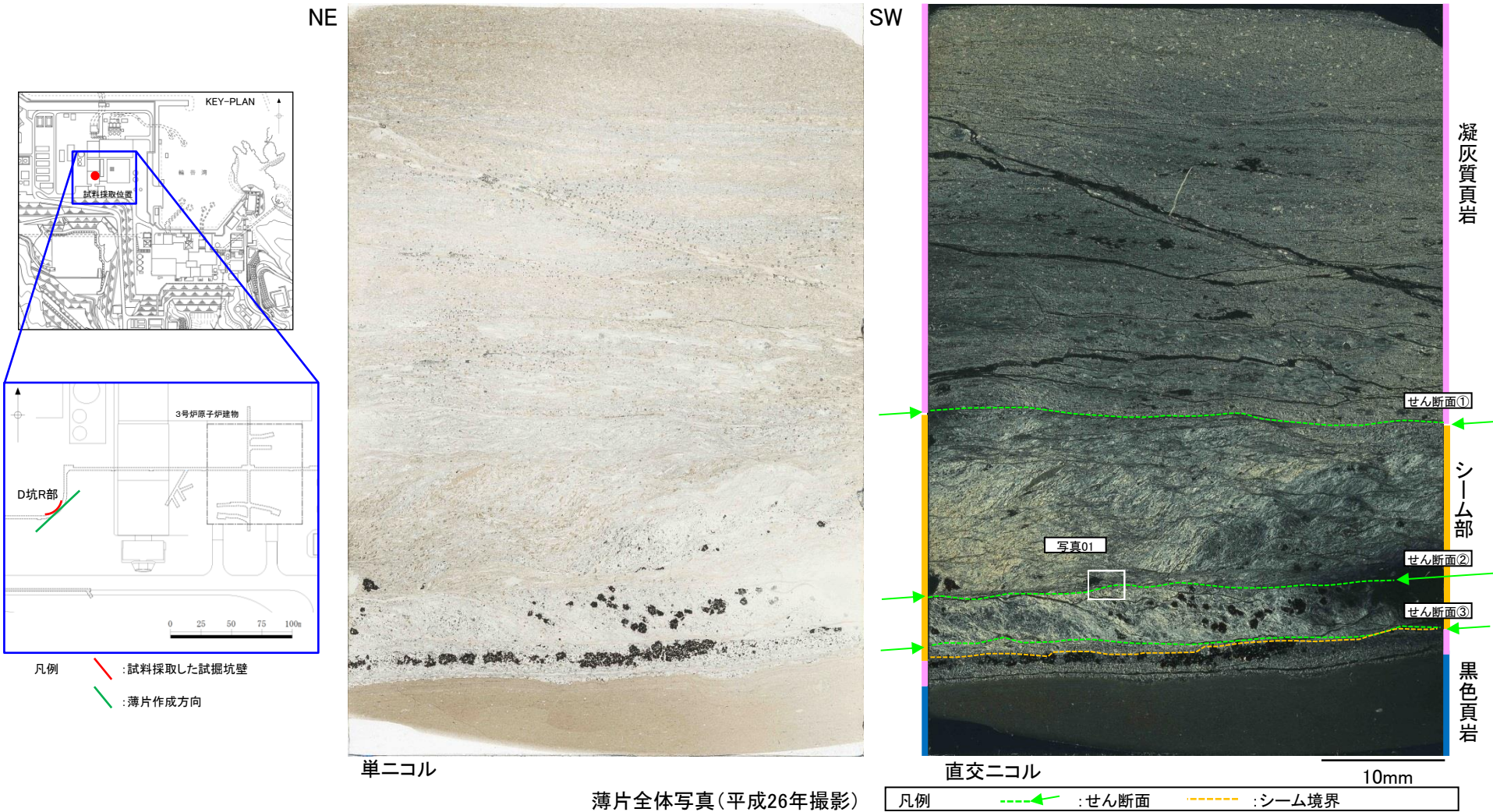
試掘坑サンプリング位置(平成15年撮影)



薄片観察概念図



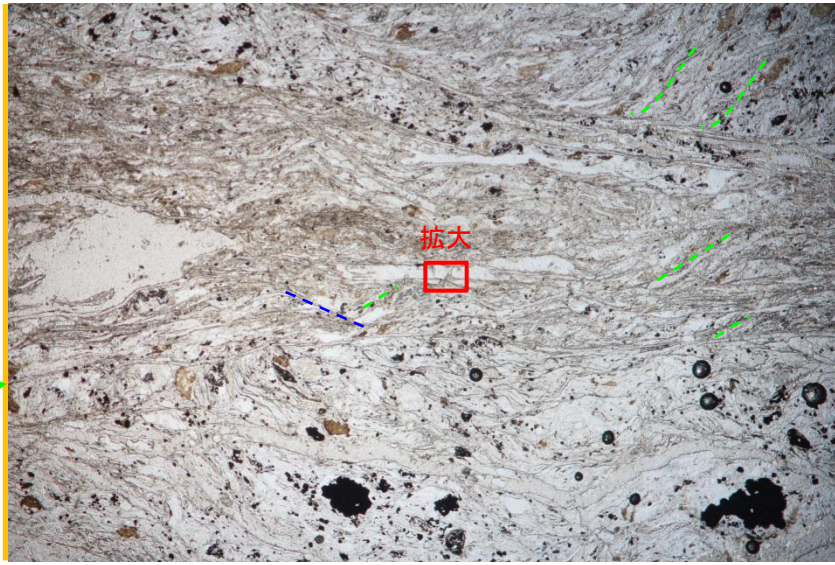
# 薄片観察結果 B23-DR-NE-SW(せん断面の認定)



- ・肉眼観察及び鏡下観察による詳細観察の結果、3条のせん断面を抽出した。
- ・複合面構造が確認されるが、いずれのせん断面も直線性・連続性に乏しい。

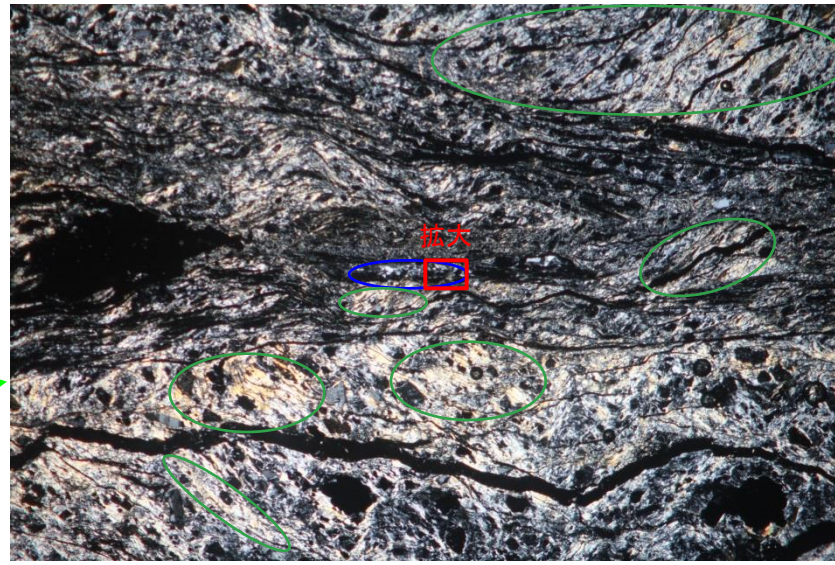
薄片観察結果 B23-DR-NE-SW(せん断面とせん断センス)

シーム部



単ニコル

1mm



直交ニコル

1mm

【写真01】

・複合面構造(P面, R面)及び薄片作製方向から, せん断面は逆断層センス(見かけ右横ずれ)であると考えられる。

※1 拡大写真は補足説明「4. シームの活動性 (2)シームの活動性評価 ②試掘坑試料のB23シームの薄片観察結果」参照

※2 複合面構造の詳細については。補足説明「4. シームの活動性 (2) シームの活動性評価 ④BS-2孔のB23シームの薄片観察結果」参照

凡例	← : せん断面	○ : 濁沸石
	○ : イライト/スメクタイト混合層鉱物	--- : P面
		--- : R面

## B23シームの薄片観察結果(せん断面とせん断センス)

試料採取箇所	対象シーム	薄片試料名	試料の条線方向	薄片の作製方向	複合面構造の有無	認められるせん断センス	最新活動センス	資料該当箇所
B23シーム	3号炉 試掘坑	B23-AS1-1-N-S	南北方向	N-S方向	無	—	—	補足説明「4. シームの活動性 (2)シームの活動性評価 ②試掘坑試料のB23シームの薄片観察結果」
		B23-DR-NE-SW	南北方向	NE-SW方向	有	逆断層センス	逆断層センス	本資料 P.80, 81 ・ 補足説明「4. シームの活動性 (2)シームの活動性評価 ②試掘坑試料のB23シームの薄片観察結果」
		B23-DR-NW-SE	南北方向	NW-SE方向	有			補足説明「4. シームの活動性 (2)シームの活動性評価 ②試掘坑試料のB23シームの薄片観察結果」
	ボーリング BS-2孔	BS2-B23	南北方向	条線方向	有	シーム上部:逆断層センス シーム下部:正断層センス	逆断層センス	本資料 P.88~105 ・ 補足説明「4. シームの活動性 (2)シームの活動性評価 ④BS-2孔のB23シームの薄片観察結果」

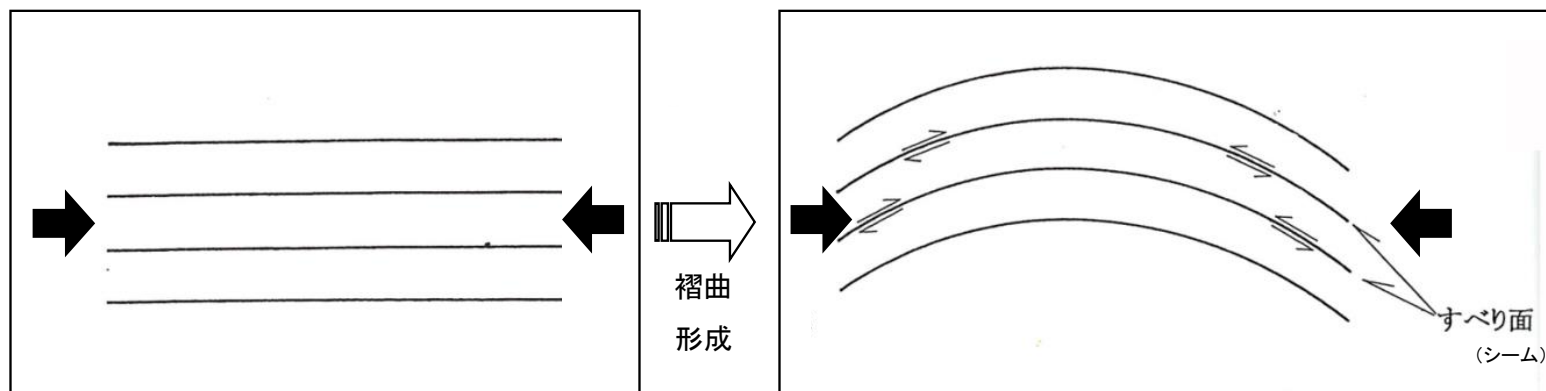
・3号炉試掘坑及びボーリングBS-2孔におけるB23シームを対象とした薄片観察の結果、ボーリングBS-2孔では、シームの複合面構造からシーム上部が逆断層センス、下部が正断層センスであることが確認されたため、B23シームには複数回の動きが記録されているが、B23シームの最新活動センスは逆断層センスであると考えられる。

## シームの成因(まとめ)

敷地及び敷地周辺の応力場並びにシームの条線方向と最新活動センスの調査結果は以下のとおりである。

- ・文献調査の結果、山陰地域における南北圧縮応力場での褶曲運動の完了時期は、新第三紀中新世末期であると考えられる。
- ・文献調査及び初期地圧測定の結果、島根原子力発電所における現在の応力場は、概ね東西圧縮であると考えられる。
- ・3号炉試掘坑における条線観察の結果、背斜軸北側におけるシームの条線方向は概ね南北方向であると考えられる。
- ・3号炉試掘坑及びボーリングBS-2孔におけるB23シームを対象とした薄片観察の結果、ボーリングBS-2孔では、シームの複合面構造からシーム上部が逆断層センス、下部が正断層センスであることが確認されたため、B23シームには複数回の動きが記録されているが、B23シームの最新活動センスは逆断層センスであると考えられる。

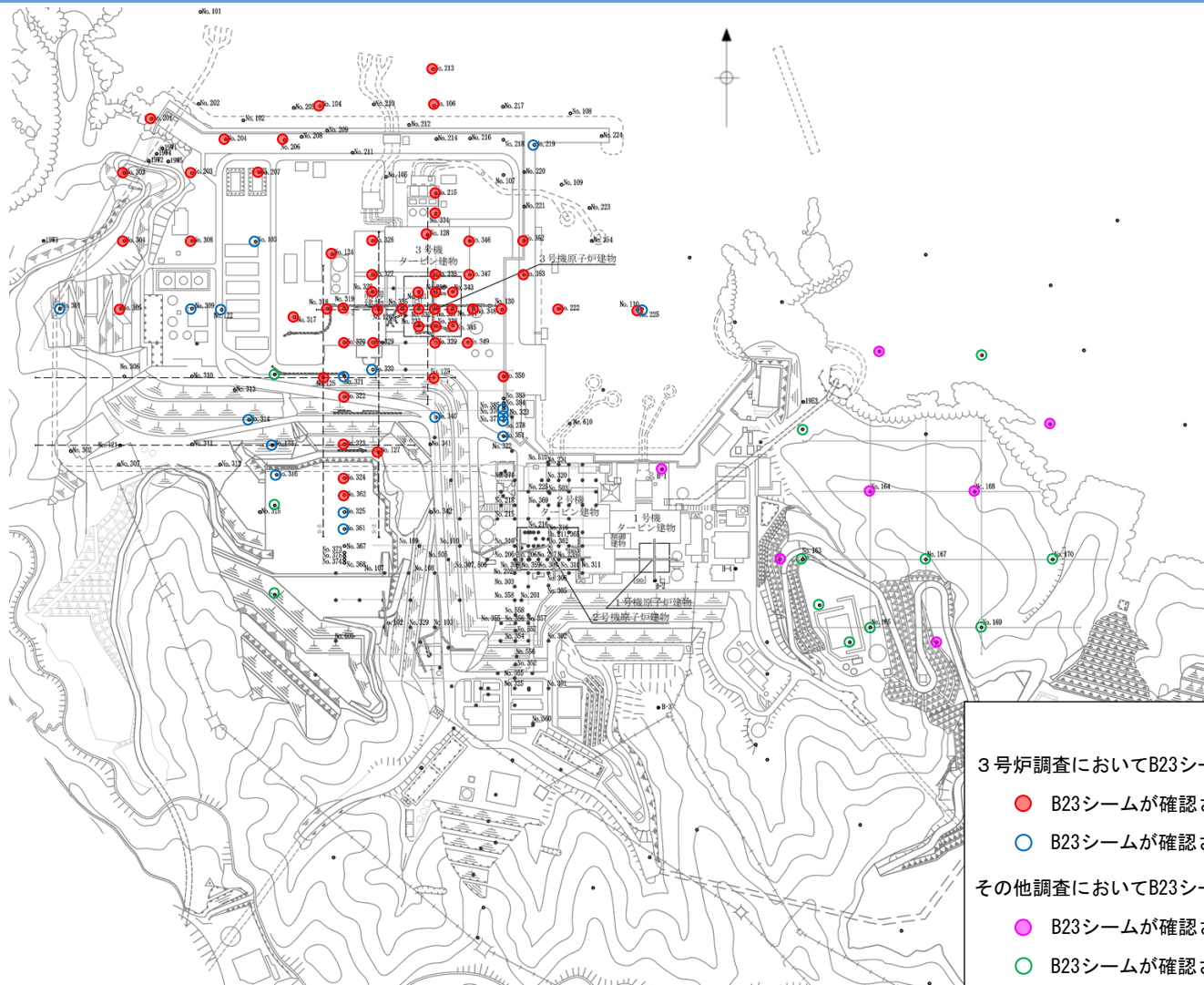
以上の調査結果から、敷地に分布するシームは、新第三紀中新世と考えられる南北圧縮応力場において、褶曲運動に伴う層面すべりにより形成され、後期更新世以降に活動していないと考えられる。



層面すべり概念図

# B23シーム確認ボーリング位置図

第318回審査会合 資料2 p.26 加筆・修正



凡 例

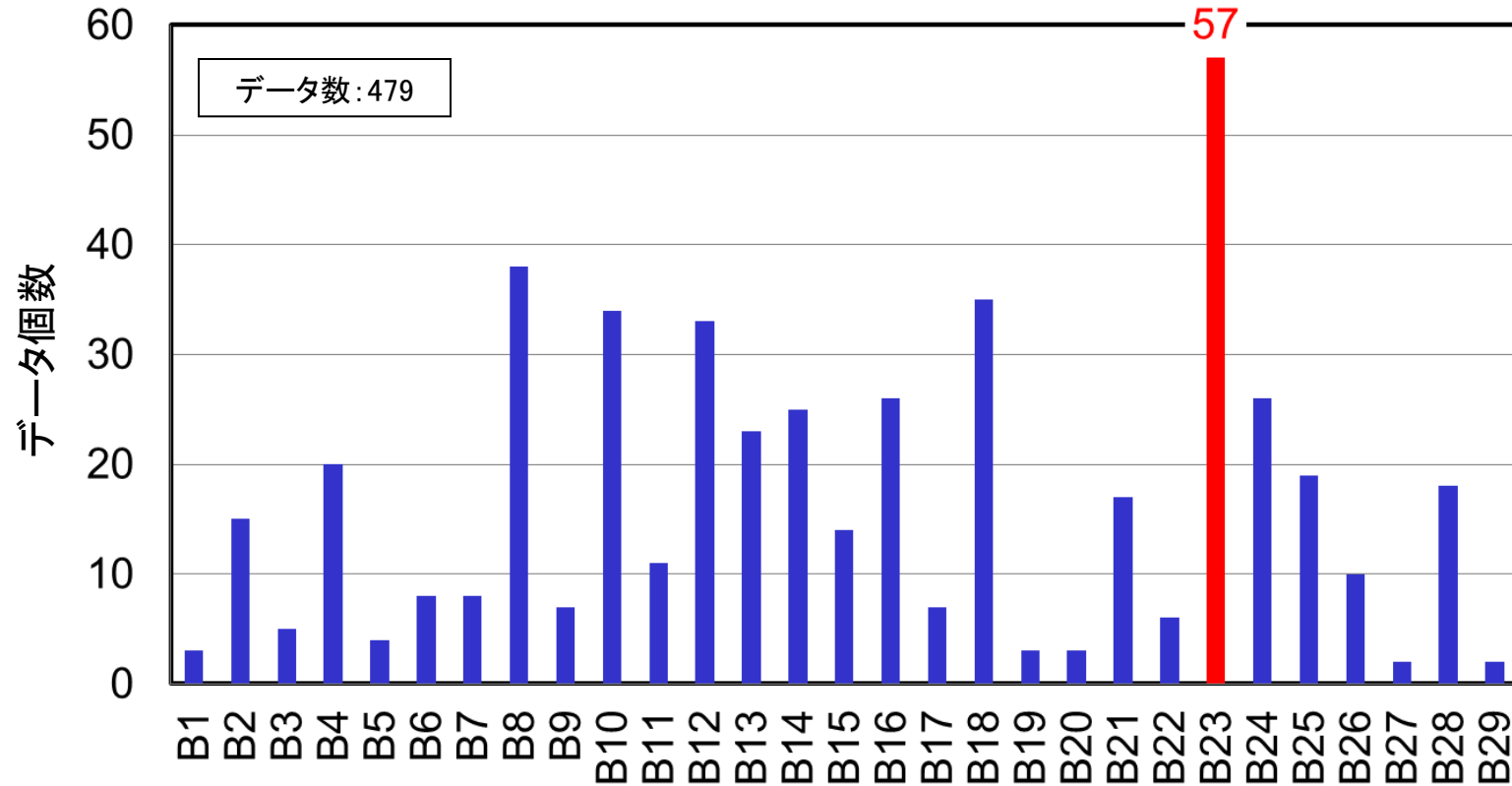
- 3号炉調査においてB23シームの相当層準まで掘削したボーリング (75本) のうち
  - B23シームが確認されたボーリング (57本)
  - B23シームが確認されなかったボーリング (18本)
- その他調査においてB23シームの相当層準まで掘削したボーリング (19本) のうち
  - B23シームが確認されたボーリング (7本)
  - B23シームが確認されなかったボーリング (12本)

ボーリング位置図

・3号炉のボーリング調査においてB23シーム相当層準まで掘削したボーリング75本のうち、B23シームは57本確認されている。  
 ・2号炉東方及び西方のボーリング調査においてB23シーム相当層準まで掘削したボーリング19本のうち、B23シームは7本確認されている。  
 以上のことから、B23シームは、出現率が高く、敷地において平面的な広がりをもって分布している。

## 既往ボーリング調査におけるシームの確認箇所数

第318回審査会合 資料2 p.27 再掲



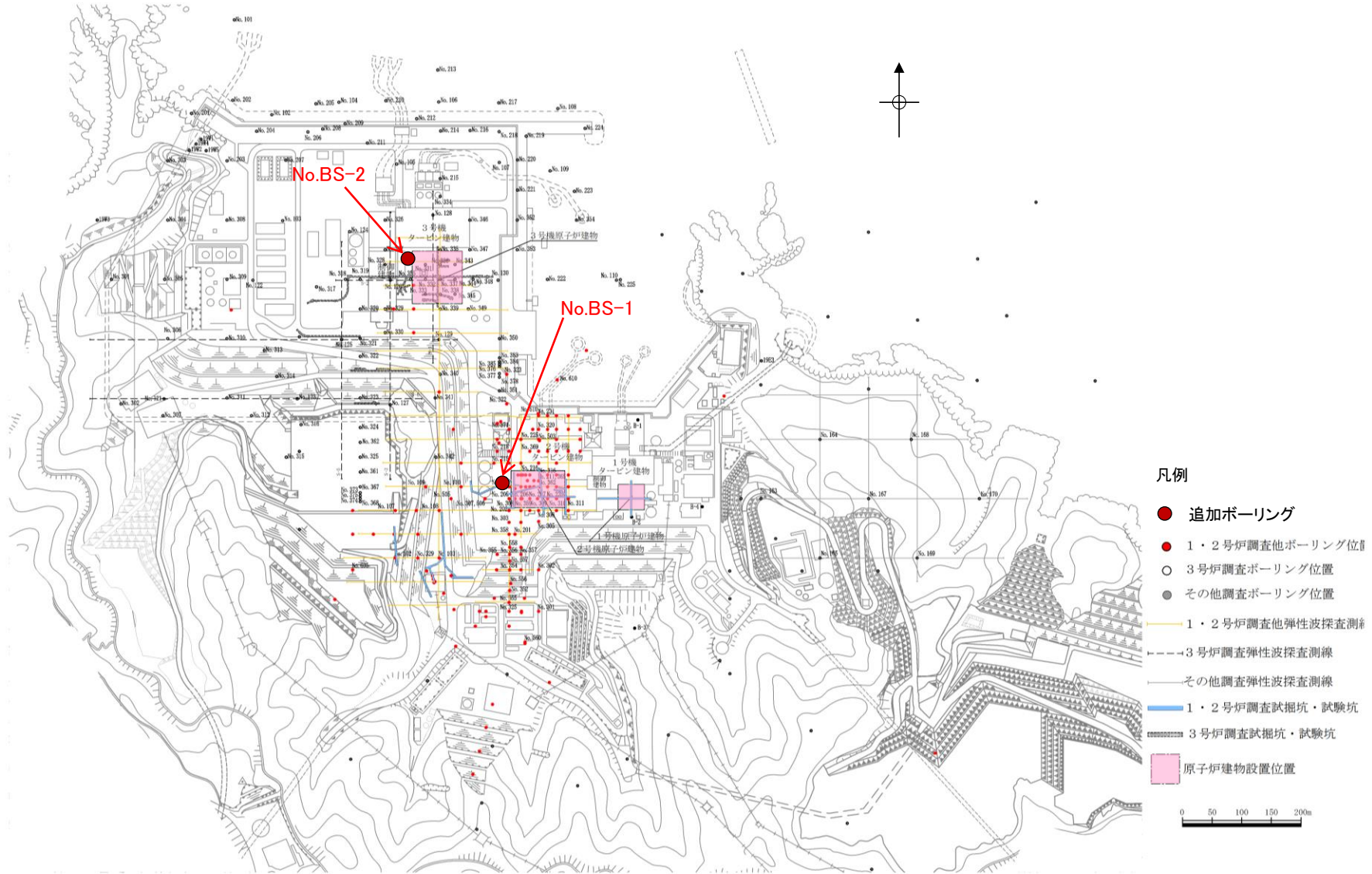
## ボーリング調査におけるシームの箇所数の整理

・3号炉のボーリング調査によるシームの確認箇所数を整理した結果、B23シームが最も多く確認されており、B1～B29シームのうち最も連続性が高いシームであると考えられる。

以上のことから、B23シームを対象にシームの活動性評価を行うこととする。

# 追加ボーリング調査 調査位置図

第318回審査会合 資料2 p.33 加筆・修正

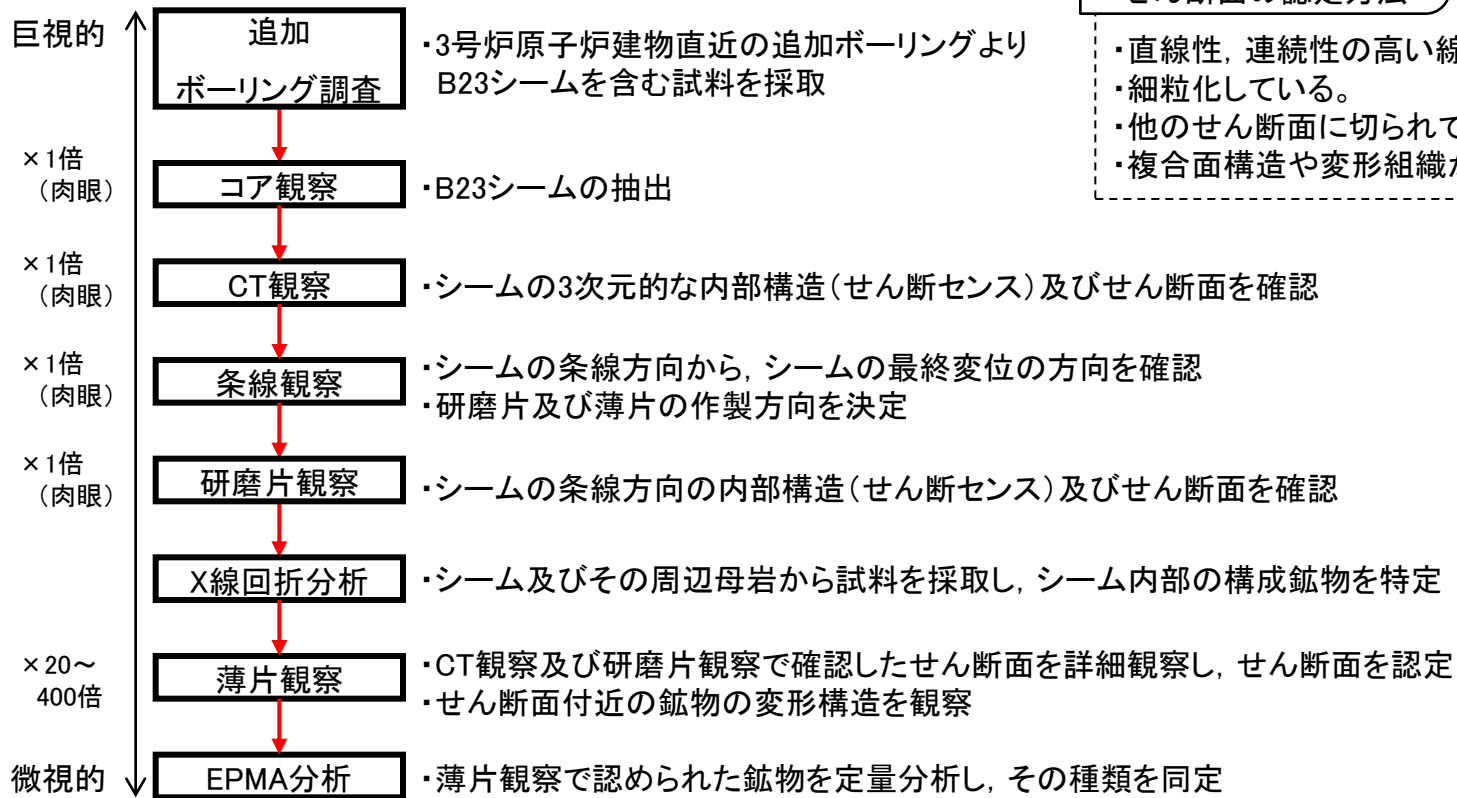


・シームを対象とした薄片観察等分析の試料を採取するため、追加ボーリング調査を実施した。  
 ・BS-1, 2からX線回折分析, BS-2から薄片観察, EPMA分析等の試料を採取した。

# シームの活動性評価のデータ拡充 分析等手順

第318回審査会合 資料2 p.34 再掲

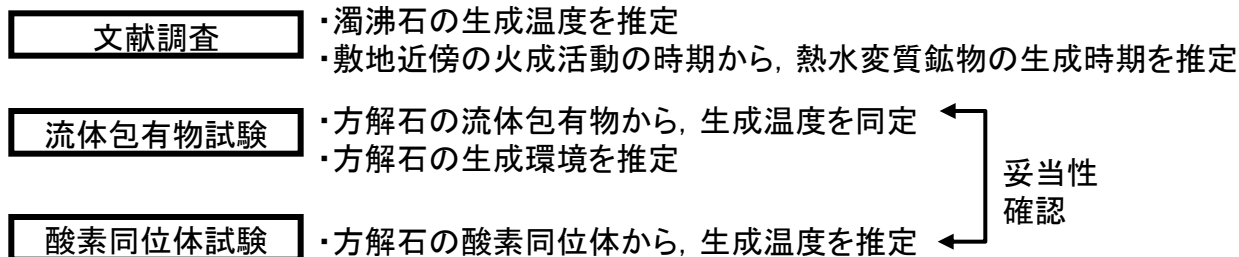
## <シームのせん断面に晶出する鉱物の分析>



### せん断面の認定方法

- ・直線性、連続性の高い線構造として認められる。
- ・細粒化している。
- ・他のせん断面に切られていない。
- ・複合面構造や変形組織が認められる。

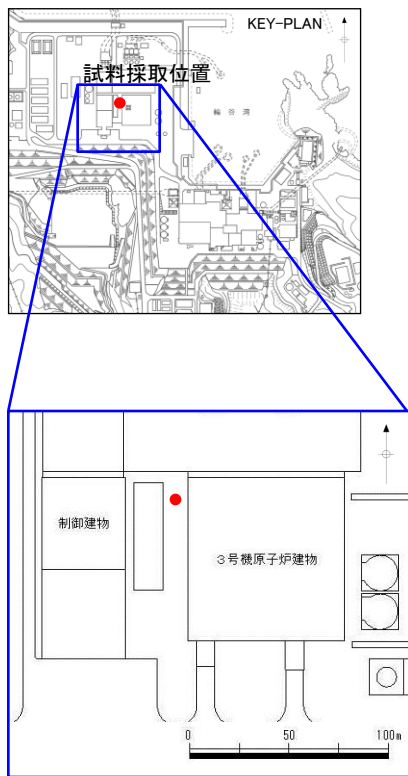
## <シームのせん断面に晶出する鉱物の生成条件の推定>



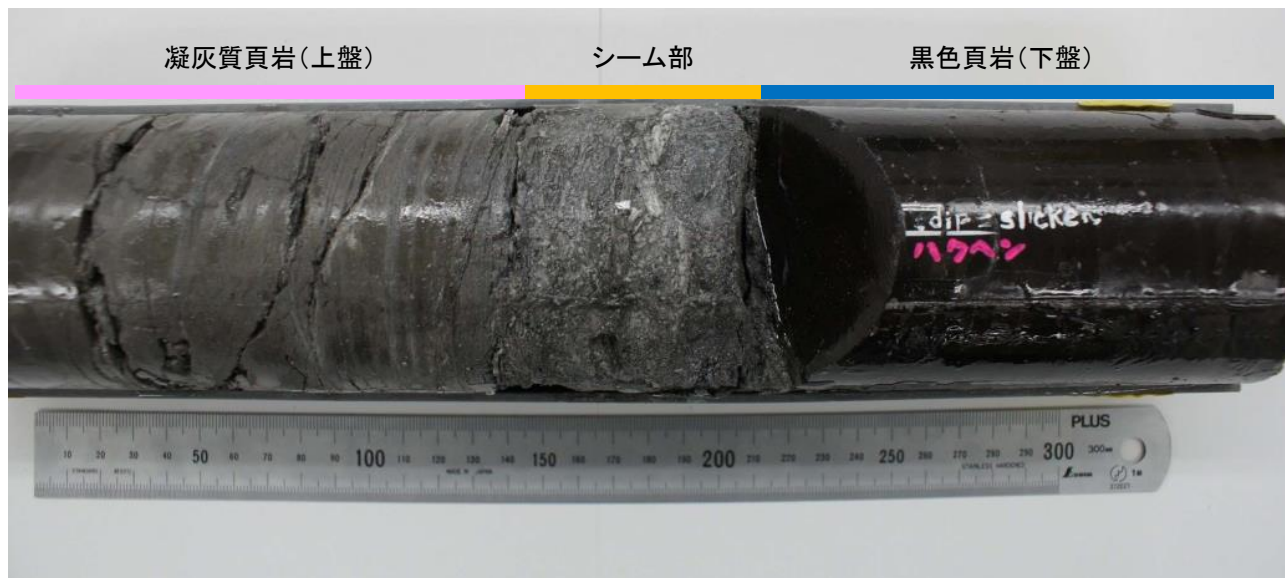


# コア観察結果 BS-2, B23シーム

第318回審査会合 資料2 p.35 加筆・修正



凡例 ●: 試料採取したボーリング孔

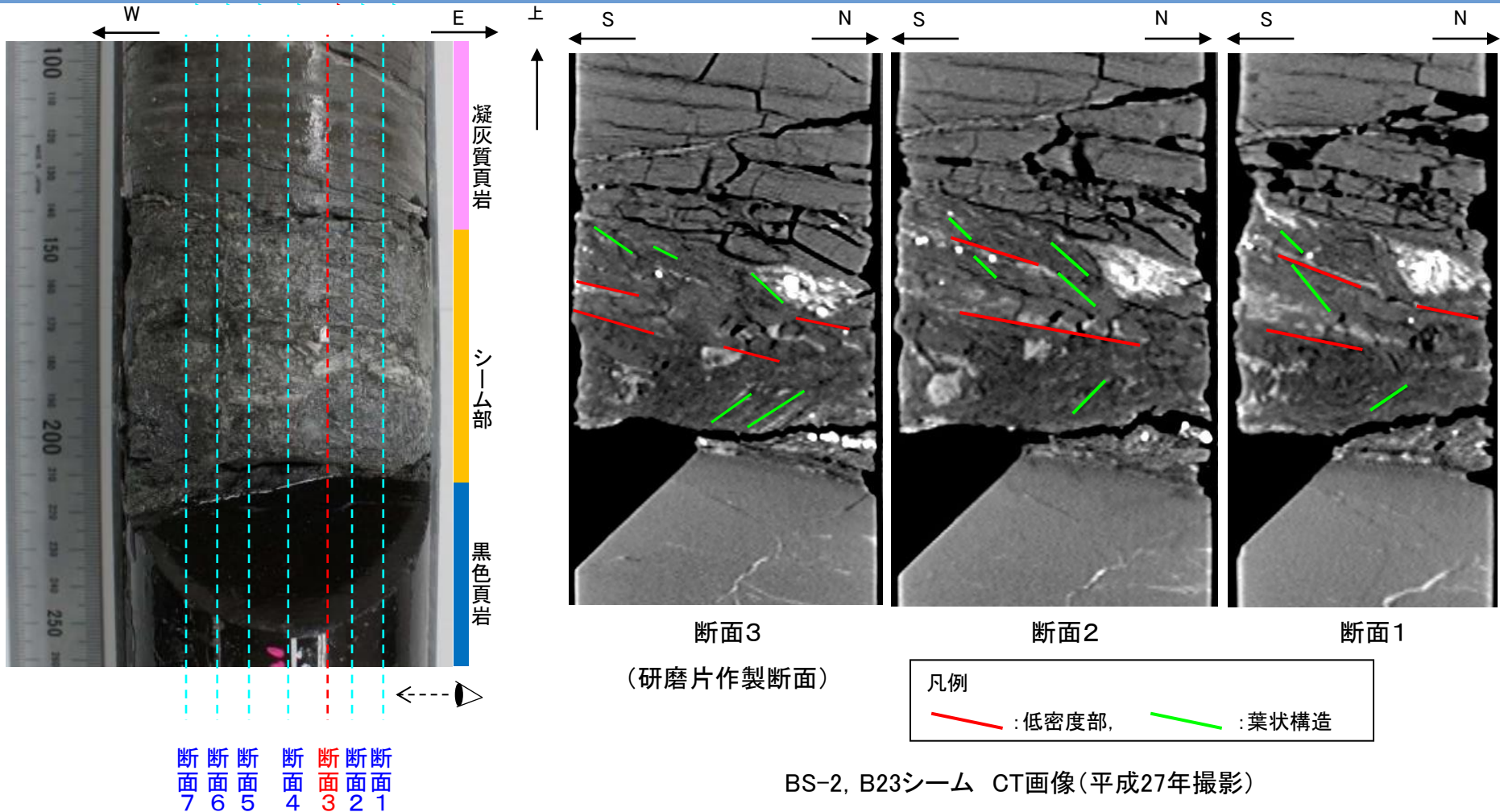


B23シーム付近 コア写真

- ・コア観察の結果, GL-29.53m付近に, 厚さ7cmで平板状の形態を有し, 層理に平行に分布するシームが認められる。
- ・当該シームは, 鍵層との対比結果等を踏まえると, B23シームと考えられる。

# CT観察結果 BS-2, B23シーム

第318回審査会合 資料2 p.37 再掲

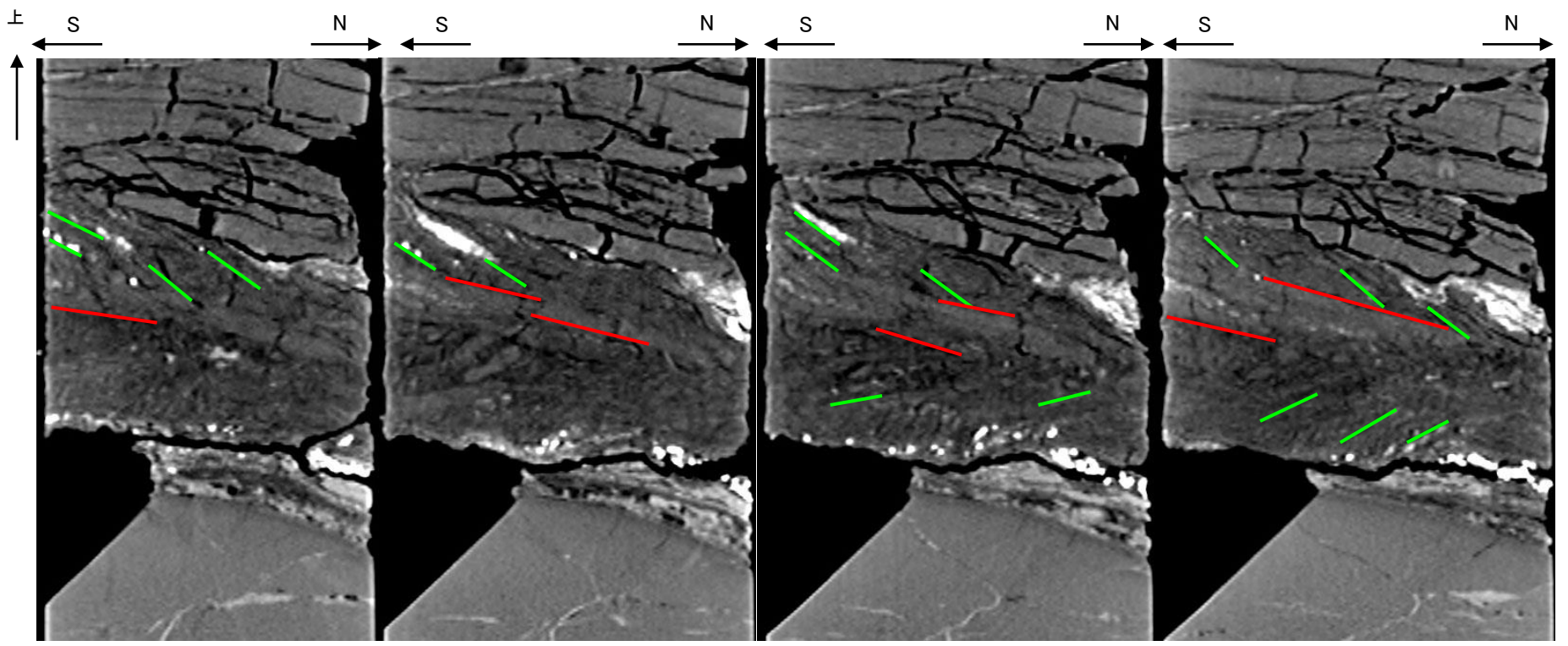


[せん断面の確認]  
 ・シーム内部には、直線性の高い低密度部及びこれと斜交する葉状の構造が複数認められるが、いずれも不明瞭であるため、研磨片観察及び薄片観察により、せん断面を認定する。

[せん断センス]  
 ・葉状の面構造が確認でき、シーム内の上部は左横ずれセンス(逆断層センス), 下部は右横ずれセンス(正断層センス)であると考えられる。

# CT観察結果 BS-2, B23シーム

第318回審査会合 資料2 p.39 再掲



断面7

断面6

断面5

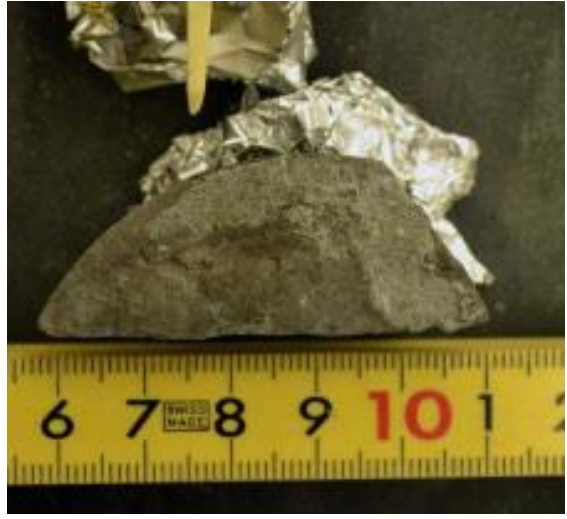
断面4

凡例  
— : 低密度部,    — : 葉状構造

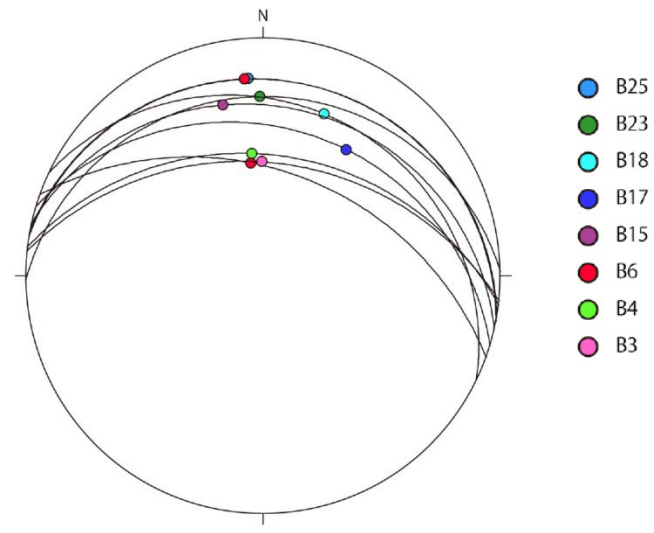
# 条線観察結果



凡例  
 ○ : 試料採取位置

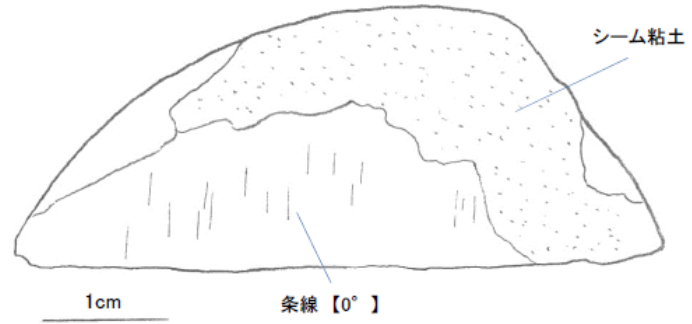


BS-2, B23シームの条線観察 写真



BS-1及びBS-2コアで確認された全てのシームの条線方向のステレオネット (下半球投影)

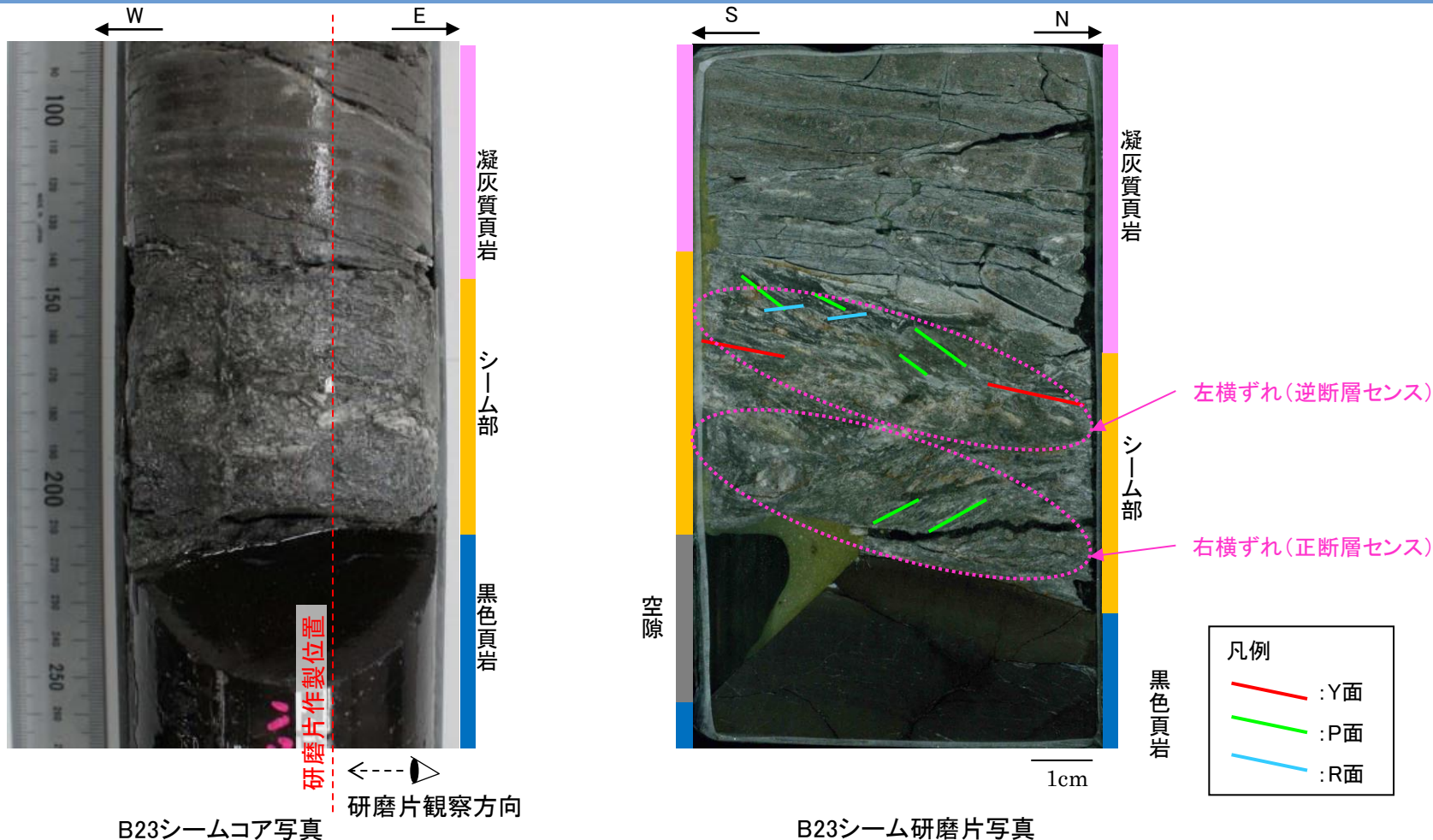
BS-2, B23シームの条線観察 試料採取位置 写真



BS-2, B23シームの条線観察 スケッチ

・B23シーム及びその他のシームの条線方向は概ね南北方向であることから、シームの最終変位方向は南北方向であると考えられる。  
 ・研磨片試料及び薄片試料の作製方向は、条線方向である南北方向とした。

# 研磨片観察結果



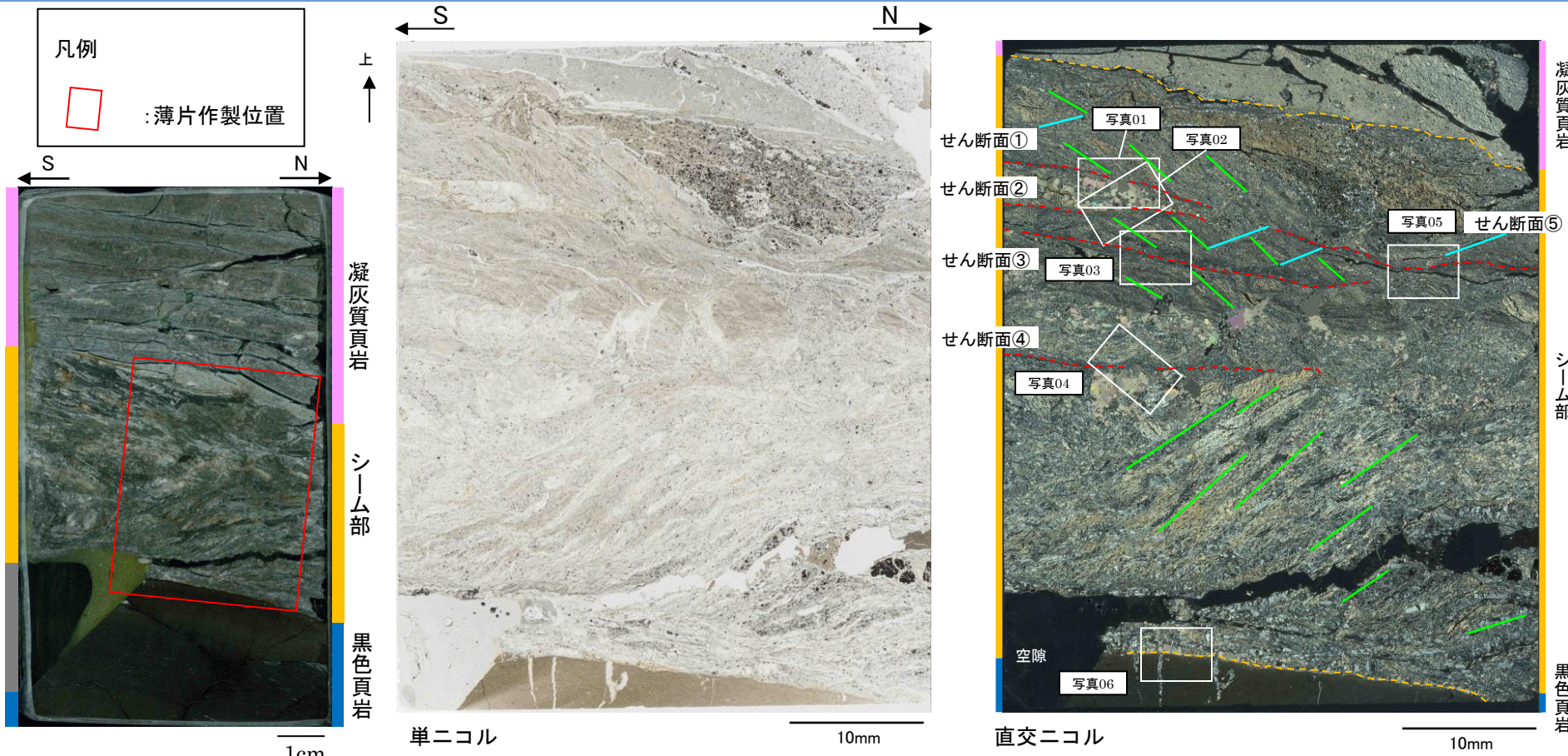
[せん断面の確認]

・シーム内部には、CT画像の低密度部に対応するせん断面 (Y面) が複数認められる。

[せん断センス]

・せん断により鉱物が配列する葉状の面構造 (P面) が確認でき、シーム内の上部に左横ずれセンス (逆断層センス), 下部に右横ずれセンス (正断層センス) が認められる。

# 研磨片観察結果



B23シーム研磨片写真

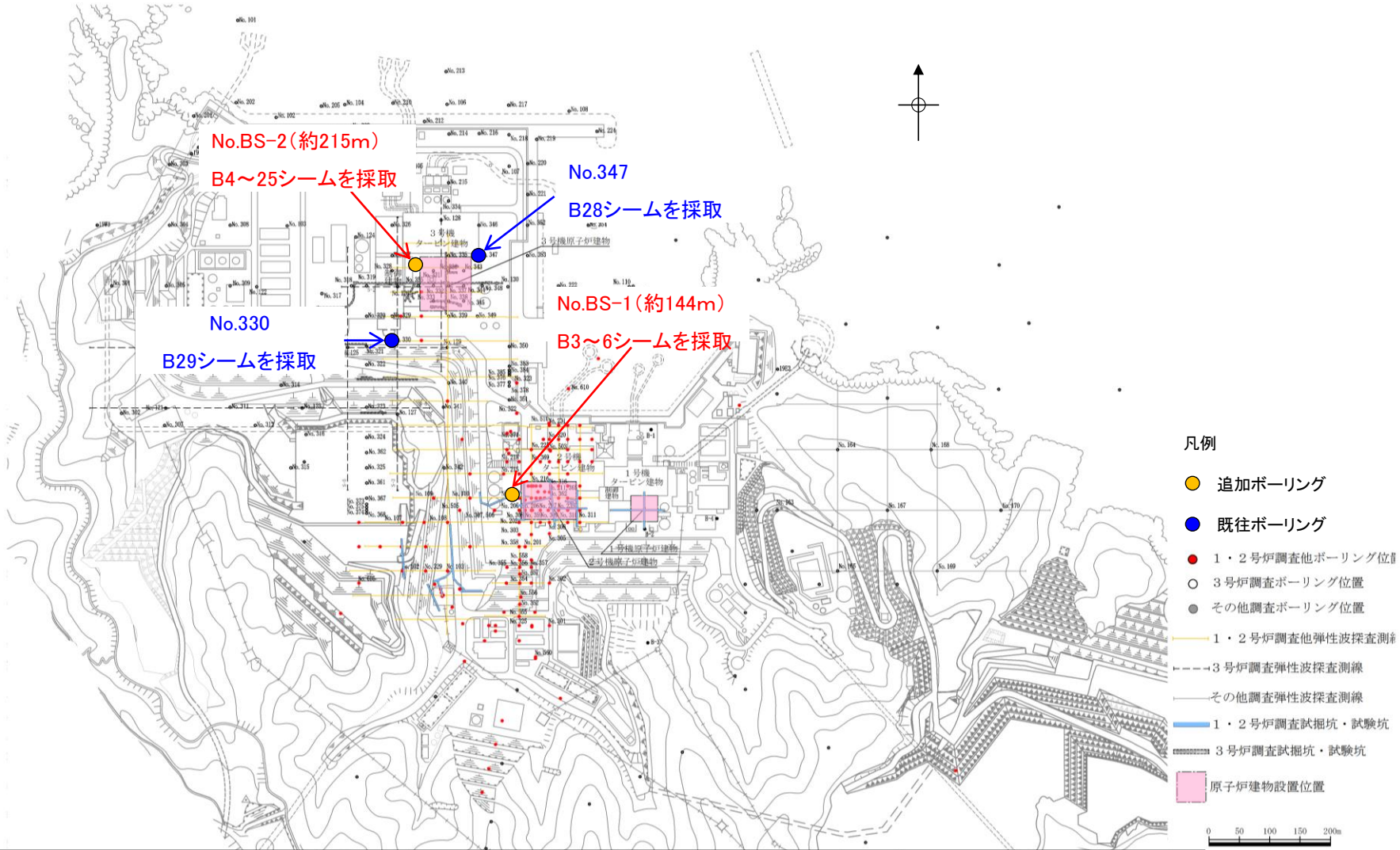
薄片全体写真(平成27年撮影)

凡例 --- : せん断面 --- : シーム境界 --- : R面 --- : P面

- ・薄片全体を横断するようなせん断面は認められないが、細粒化しているせん断面のうち、比較的直線性・連続性が高い5本のせん断面を抽出した。シームと上下母岩との境界部については、細粒化部が認められないこと、直線性が低いこと等から、せん断面から除外した。
- ・シーム内のせん断面④付近を境に上部に左横ずれセンス（逆断層センス）、下部に右横ずれセンス（正断層センス）が認められる。シーム上下母岩には、複合面構造は認められない。
- ・シーム上部にのみ細粒化したせん断面が複数分布すること、上部の左横ずれセンスが下部に分布するイライト/スメクタイト混合層鉱物を切ることから、B23シームには複数回の動きが記録されており、最新活動センスは逆断層センスであると考えられる。

# X線回折分析 試料採取位置図

第318回審査会合 資料2 p.45 加筆・修正



・データ拡充の観点から、ボーリングコアからシーム及びその周辺母岩の試料を採取し、X線回折分析を追加実施した。  
 ・試料は、原則、追加ボーリングコア(No.BS-1, No.BS-2)から採取したが、B28, B29シームについては、敷地造成によりシーム相当層準が切り取られているため、既往ボーリングコア(No.330, No.347)から採取した。

# シーム及びその周辺母岩のX線回折分析結果(定方位・不定方位)

第318回審査会合 資料2 p.47 再掲

シーム及びその周辺母岩のX線回折分析結果 定方位, 不定方位(1/2)

ボーリングNo.	BS-1								BS-2															
	シームNo.	B3	B4		B5		B6		B4		B5		B6		B8		B10		B12					
対象	シーム	B4下部母岩	シーム	上盤母岩	下部母岩	シーム	シーム	上部母岩	下部母岩	シーム	B4上部母岩	シーム	上部母岩	下部母岩	シーム	下部母岩	シーム	上部母岩	下部母岩	シーム	上部母岩	下部母岩	シーム	上部母岩
岩相	-	黒色頁岩	-	黒色頁岩	凝灰質頁岩	-	-	黒色頁岩	黒色頁岩	-	黒色頁岩	-	黒色頁岩	凝灰質頁岩	-	黒色頁岩	-	細粒凝灰岩	凝灰質頁岩	-	黒色頁岩	黒色頁岩	-	黒色頁岩
石英	◎	△	△	◎	◎	○	○	◎	△	△	◎	○	◎	○	○	◎	△	△	○	○	○	△	△	○
斜長石	△	△	-	△	-	-	-	-	△		△	△	△	-	-	△	△	△	△	-	△			-
カリ長石		-		-					△		-					△		△	△		△			
モルデン沸石																								
ステルバイト																								
ローモンタイト																								
斜ブチロル沸石																								
イライト/スメクタイト混合層鉱物	○	△	△	-	△	△	○	△	○	○		△		△	○	-	○	○	○	△	○	○	◎	△
スメクタイト	△	△	△				-			-													-	
雲母				△							△		-	-										
緑泥石	-	-	-	-	-		△	-	○	△	△	-	-		-	△	△	△	△	△	△	○	○	△
方解石	◎	◎	○	△		△	-	△		◎	△	△	○		◎	-	◎	○	○	△	△	○		△
黄鉄鉱	△	○	△	△	△	○	△		○	△	○	△	△	△	△	△		△	○	△	△		△	△
石膏	-				-		△						△							-				

◎ : 多量 ○ : 中量 △ : 少量 - : 極微量



# シーム及びその周辺母岩のX線回折分析結果(定方位・不定方位)

第318回審査会合 資料2 p.48 再掲

シーム及びその周辺母岩のX線回折分析結果 定方位, 不定方位(2/2)

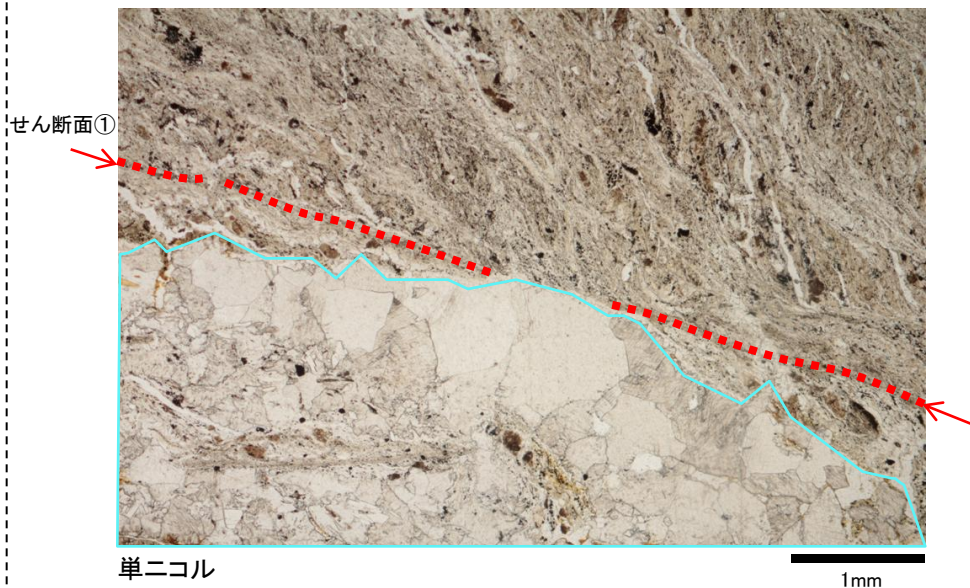
ボーリングNo.	BS-2																				No.347			No.330						
	B13		B14			B15			B17			B18				B23				B25		B28			B29					
対象	下部母岩	シーム	下部母岩	シーム	上部母岩	下部母岩	シーム	上部母岩	下部母岩	シーム	上部母岩	下部母岩	シーム	上部母岩	下部母岩	シーム(下)	シーム(上)	上部母岩	下部母岩	シーム	上部母岩	下部母岩	シーム	上部母岩	下部母岩	シーム	上部母岩	下部母岩	シーム	上部母岩
岩相	凝灰質頁岩	-	凝灰質頁岩	-	黒色頁岩	細粒凝灰岩	-	細粒凝灰岩	凝灰質頁岩	-	凝灰質頁岩	凝灰質頁岩	-	凝灰質頁岩	黒色頁岩	-	-	細粒凝灰岩	黒色頁岩	-	細粒凝灰岩	黒色頁岩	-	凝灰質頁岩	黒色頁岩	-	凝灰質頁岩	黒色頁岩	-	黒色頁岩
石英	◎	○	△	△	△	◎	△	○	○	△	○	◎	◎	◎	◎	△	△	△	◎	△	△	△	△	△	△	○	◎	○	◎	
斜長石	△				-	△	-	-	△	△	△	△	△	△							△				-	-	-	-	-	
カリ長石			-																				△	△	△	△	-	△		
モルデン沸石																														
スチルバイト							△						-						-		△									
ローモンタイト															-	○	◎				△									
斜ブチロル沸石																					○									
イライト/スメクタイト混合層鉱物	△	△	△	△	○	-	△	△	△	△	△	△	△	△	-	△	△	○	△	○	◎	△	△	△						
スメクタイト		-																							-	△	-	○	◎	△
雲母															△										△	-	-	○	△	
緑泥石	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	○	○	○	△			△	△		○	○	○	-	△					
方解石	△	◎		◎			△			◎					△	◎	○	△												
黄鉄鉱	○	△	△		△		△	△	△	△	△				△	◎	◎	△	△	△	○	△								
石膏																									○	○	△			

※ B28,29シーム及びその周辺母岩については、既往ボーリングから試料採取し、新たに分析した。 ◎：多量 ○：中量 △：少量 -：極微量

- ・いずれのシームも変質鉱物であるイライト/スメクタイト混合層鉱物及び初生鉱物である石英、斜長石等で構成されており、概ね同様の鉱物組成を示す。
- ・B23シームで認められる濁沸石(ローモンタイト)及び方解石は、周辺母岩よりシーム内部の方が相対的に多く認められること、薄片観察で脈状であること、濁沸石は局所的に認められることから、熱水変質作用により晶出したと考えられる。

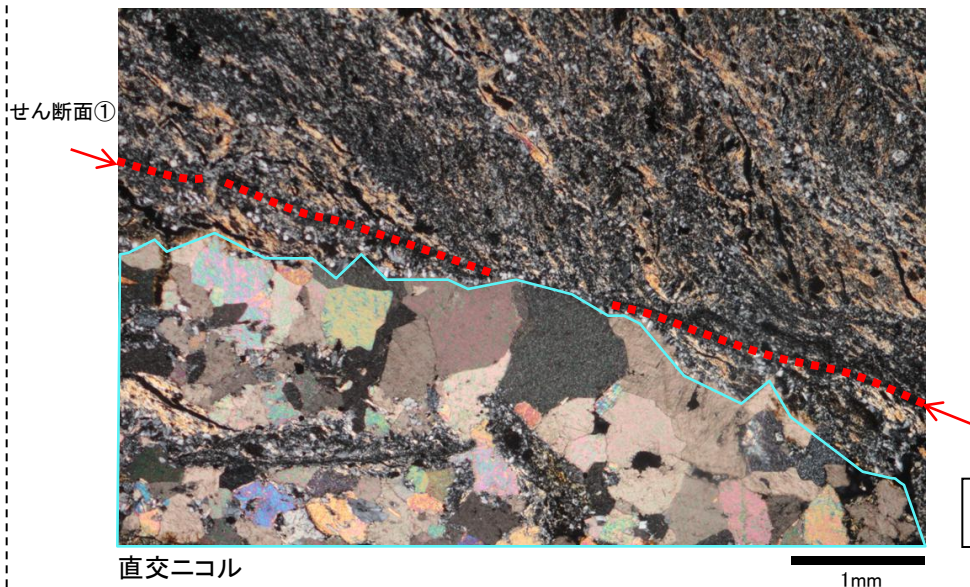
# 薄片観察結果 BS2-B23

第318回審査会合 資料2 p.53 再掲



【写真01】

- ・自形鉱物が晶出してせん断面①は途切れている。自形鉱物は変位・変形を受けていない。
- ・自形鉱物は、単ニコルで無色で劈開が顕著であり、直交ニコルで高次の干渉色を示すことから、X線回折分析結果を踏まえると、方解石であると考えられる。



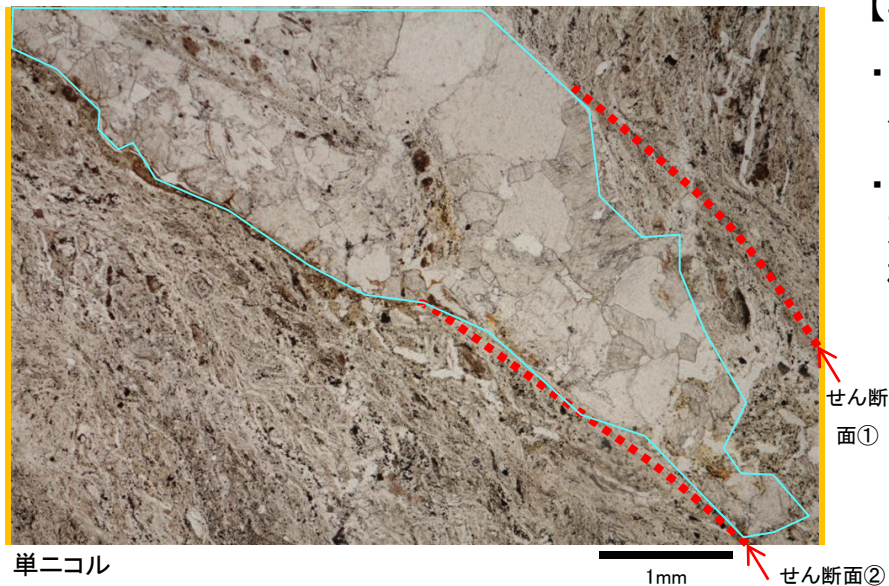
凡例  
:せん断面  
:方解石

# 薄片観察結果 BS2-B23

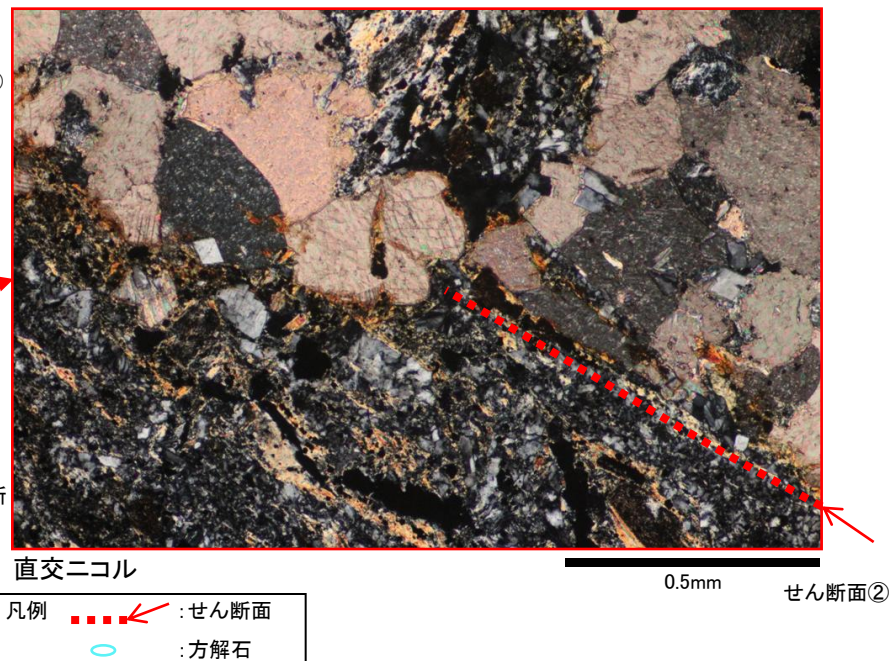
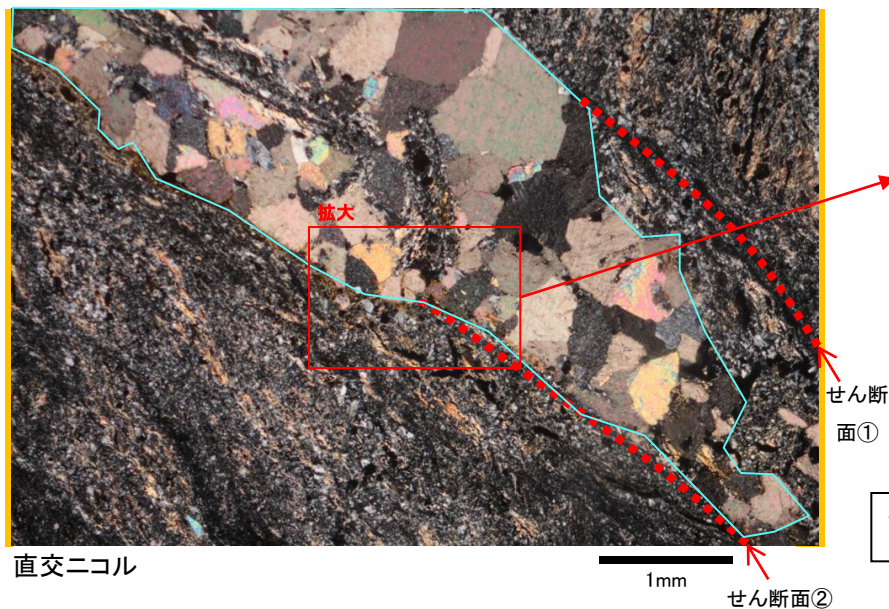
【写真02】

- ・自形鉱物が晶出してせん断面①及び②は途切れている。自形鉱物は変位・変形を受けていない。
- ・自形鉱物は、単ニコルで無色で劈開が顕著であり、直交ニコルで高次の干渉色を示すことから、X線回折分析結果を踏まえると、方解石であると考えられる。

シーム部

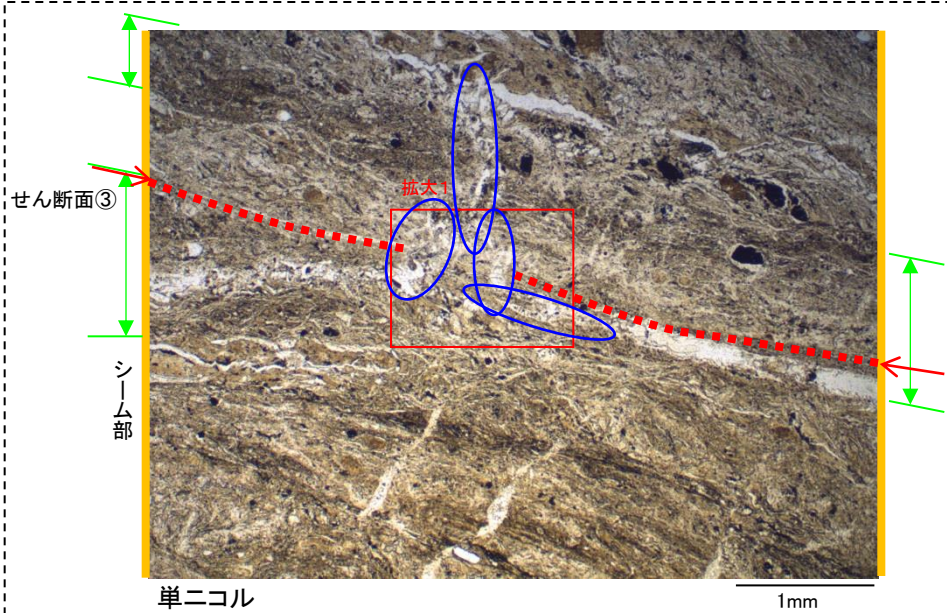


シーム部



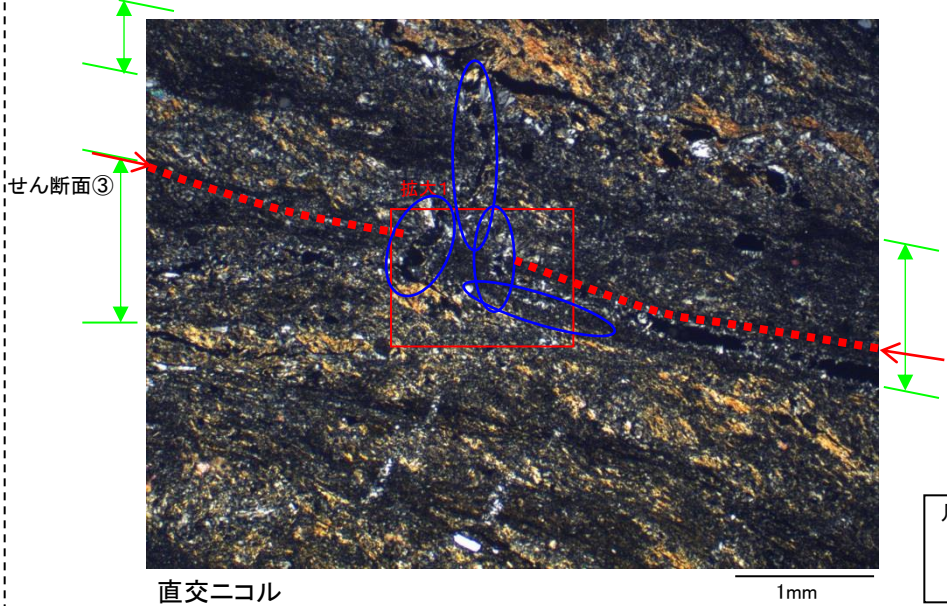
# 薄片観察結果 BS2-B23

第318回審査会合 資料2 p.57 再掲



【写真03】

・せん断面③を横断するように鉱物脈が晶出しており、変位・変形を受けていない。

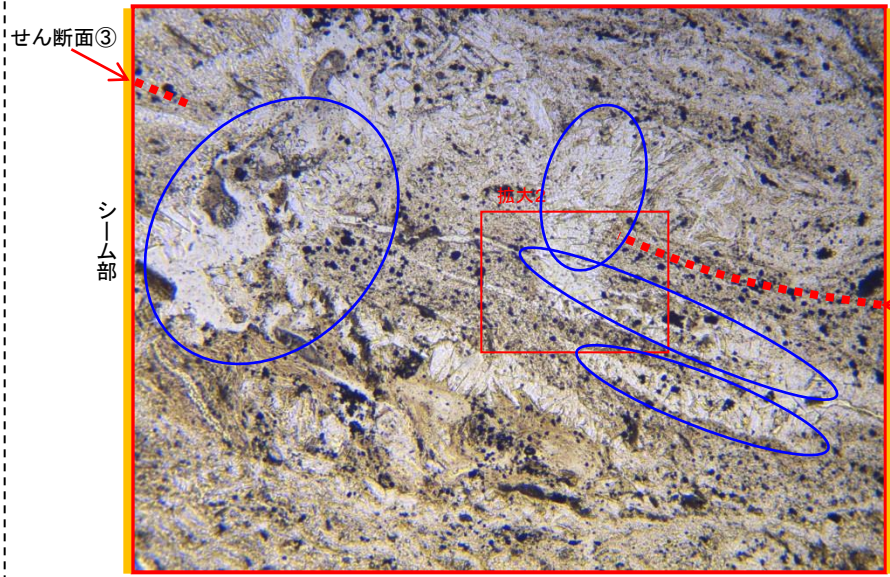


凡例		: 細粒化範囲
		: せん断面
		: 濁沸石

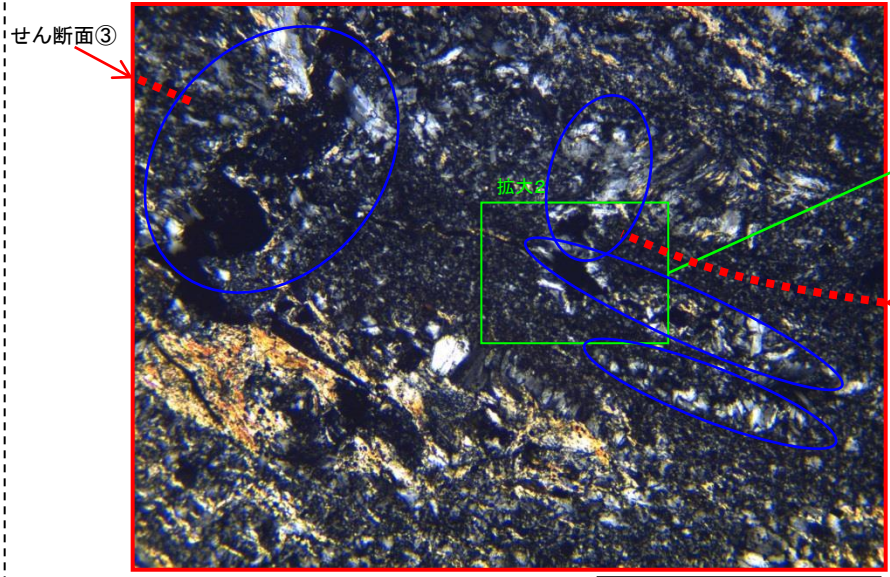
(平成27年撮影)

# 薄片観察結果 BS2-B23

第318回審査会合 資料2 p.59 再掲



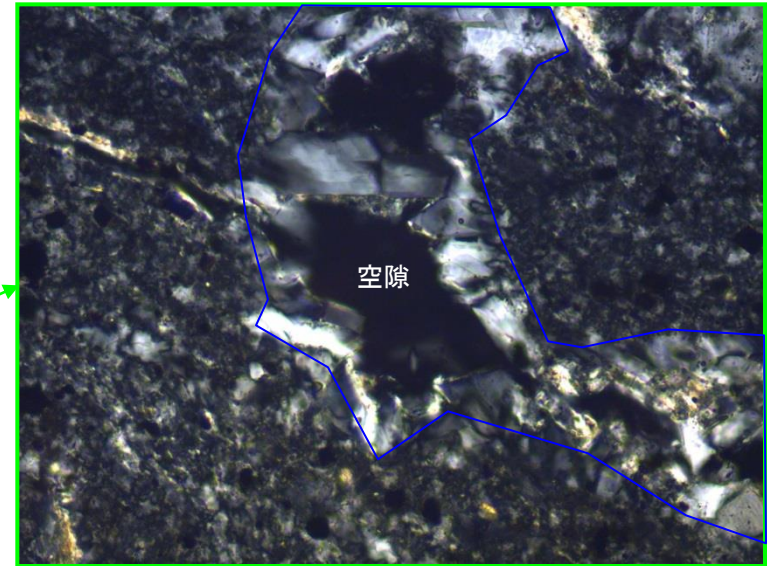
単ニコル 0.5mm



直交ニコル 0.5mm

## 【写真03 拡大1】

- ・せん断面③を横断するように晶出する鉱物脈は、単ニコルで無色、板状で劈開が顕著であり、直交ニコルで複屈折が小さく、消光角も小さいことから、X線回折分析の結果を踏まえると、濁沸石であると考えられる。
- ・濁沸石は、空隙内部に向かって晶出しており、変位・変形を受けていない。

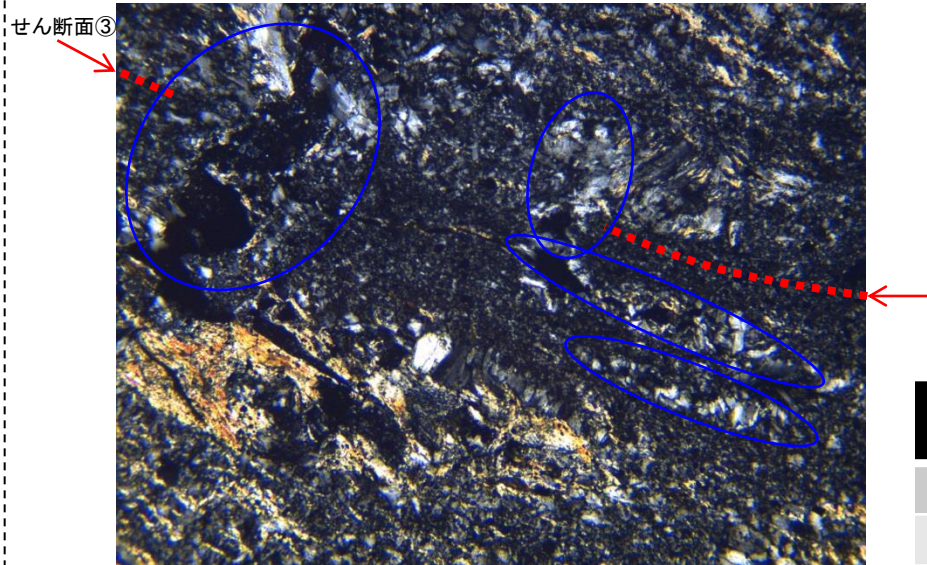


直交ニコル 0.1mm

凡例  
⋯⋯ ← :せん断面  
○ :濁沸石

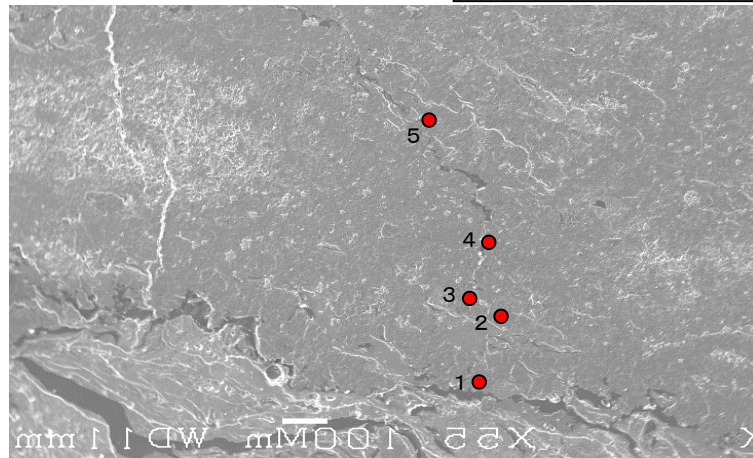
## 薄片観察結果 BS2-B23

第318回審査会合 資料2 p.61 再掲



薄片写真(直交ニコル)

0.5mm  
 凡例 ⋯⋯ : せん断面  
○ : 濁沸石



EPMA分析位置(SEM画像)

● EPMA定量ポイント 直径10μm

## 【写真03 拡大1 EPMA分析結果】

- ・沸石の種類を詳細に同定するため、EPMA分析を実施した。
- ・せん断面③を横断する鉱物脈は、既存の文献における鉱物組成を踏まえると、薄片観察での鉱物種の同定結果と同様、この鉱物は濁沸石と考えられる。

EPMA分析結果

分析位置	EPMA分析結果					Mass(%)
	1	2	3	4	5	文献値(濁沸石)
SiO <sub>2</sub>	51.607	50.917	51.967	52.550	53.136	50.70
TiO <sub>2</sub>	0.004	0.254	0.032	0.194	0.006	※1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.727	20.179	20.760	21.215	21.004	22.53
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.241	0.311	0.229	0.257	0.206	0.04
MnO	0.000	0.020	0.012	0.002	0.020	※1
MgO	0.057	0.177	0.092	0.236	0.069	—
CaO	11.558	10.598	11.287	10.927	11.188	11.54
K <sub>2</sub> O	0.287	0.567	0.506	0.706	0.481	0.30
Na <sub>2</sub> O	0.025	0.141	0.099	0.077	0.026	0.40
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.011	0.019	0.015	0.000	0.006	※1
SO <sub>3</sub>	0.000	0.045	0.051	0.082	0.040	※1
OH	15.483	16.773	14.948	13.755	13.818	14.41※2
Total	100.000	100.001	99.998	100.001	100.000	99.92

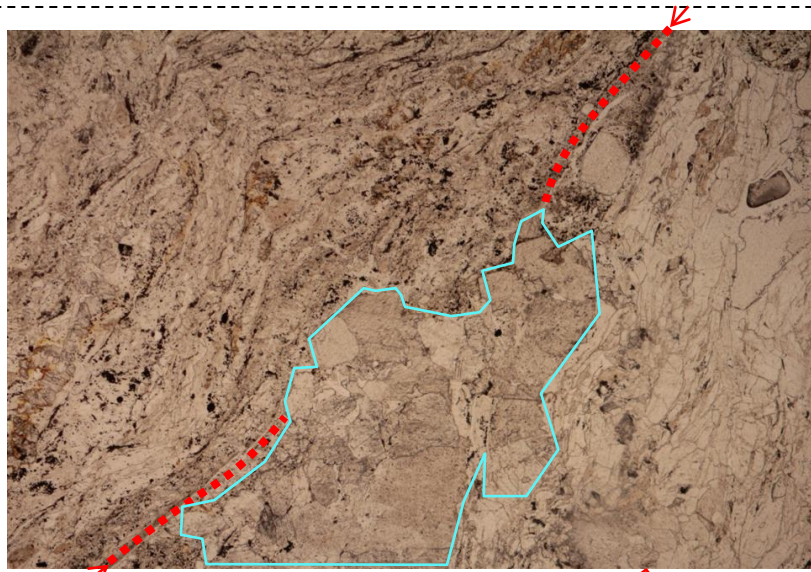
※1 文献に数値の記載なし

※2 文献におけるH<sub>2</sub>O<sup>+</sup>とH<sub>2</sub>O<sup>-</sup>の和とみなした。

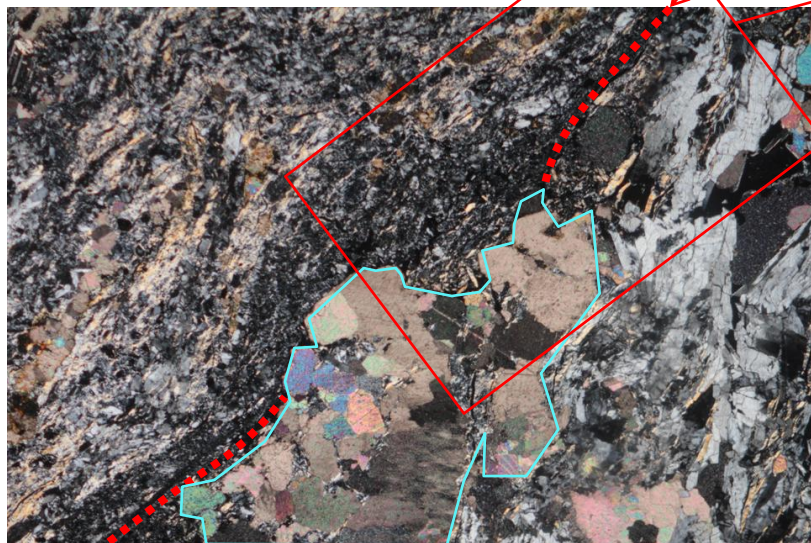
(平成27年撮影)

# 薄片観察結果 BS2-B23

第318回審査会合 資料2 p.63 再掲



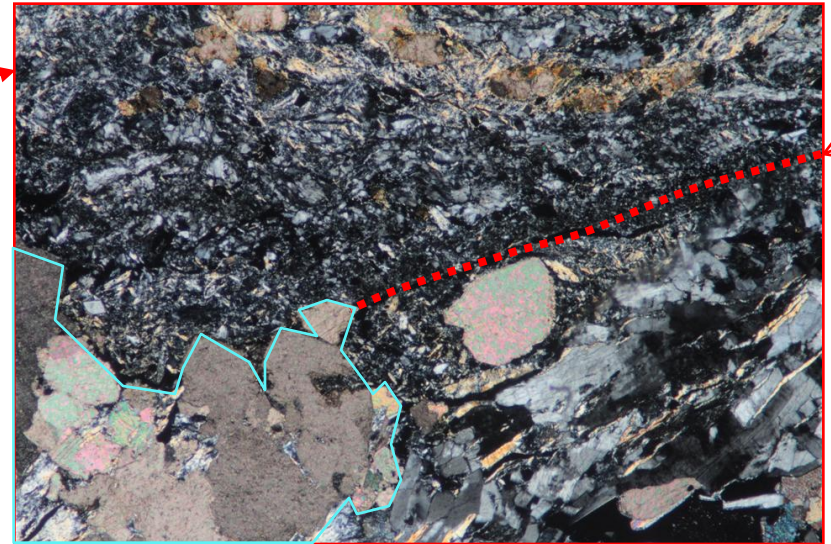
せん断面④ 単ニコル



せん断面④ 直交ニコル

## 【写真04】

- ・自形鉱物が晶出してせん断面④は途切れている。自形鉱物の変位・変形を受けていない。
- ・自形鉱物は、単ニコルで無色で劈開が顕著であり、直交ニコルで高次の干渉色を示すことから、X線回折分析結果を踏まえると、方解石であると考えられる。



直交ニコル

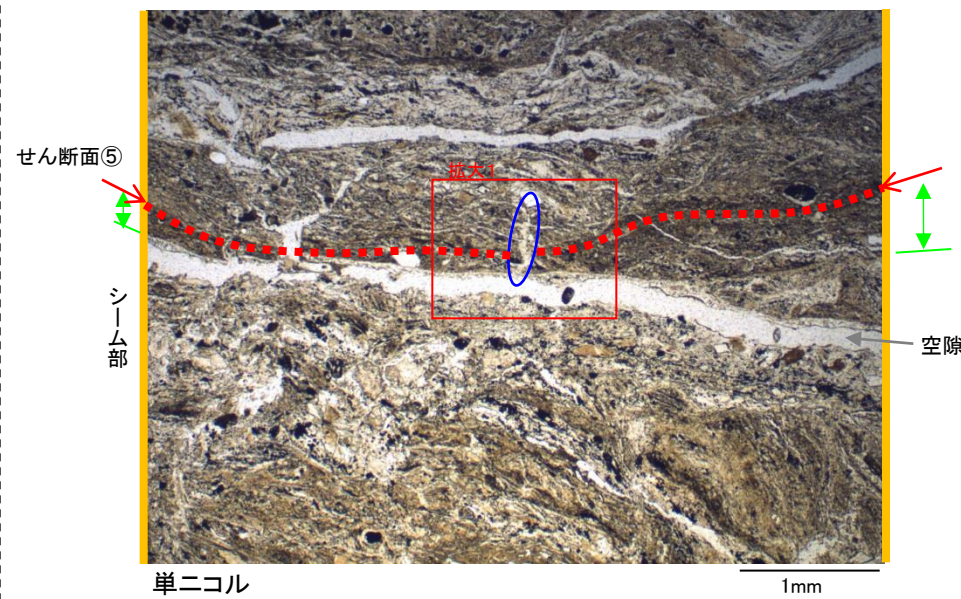
1mm

凡例  
---> :せん断面  
○ :方解石

(平成27年撮影)

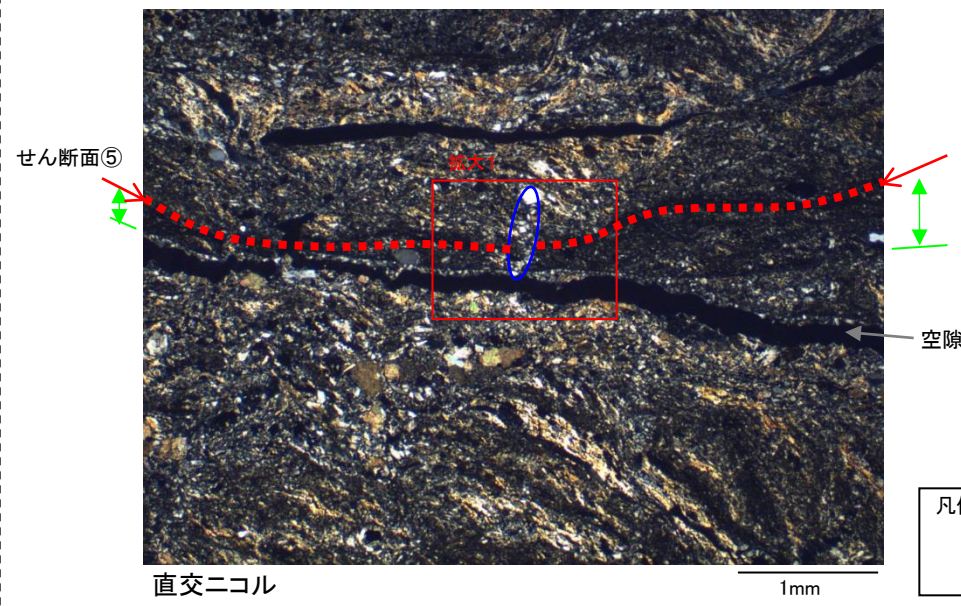
# 薄片観察結果 BS2-B23

第318回審査会合 資料2 p.65 再掲



【写真05】

・せん断面⑤を横断するように鉱物脈が晶出しており、変位・変形を受けていない。



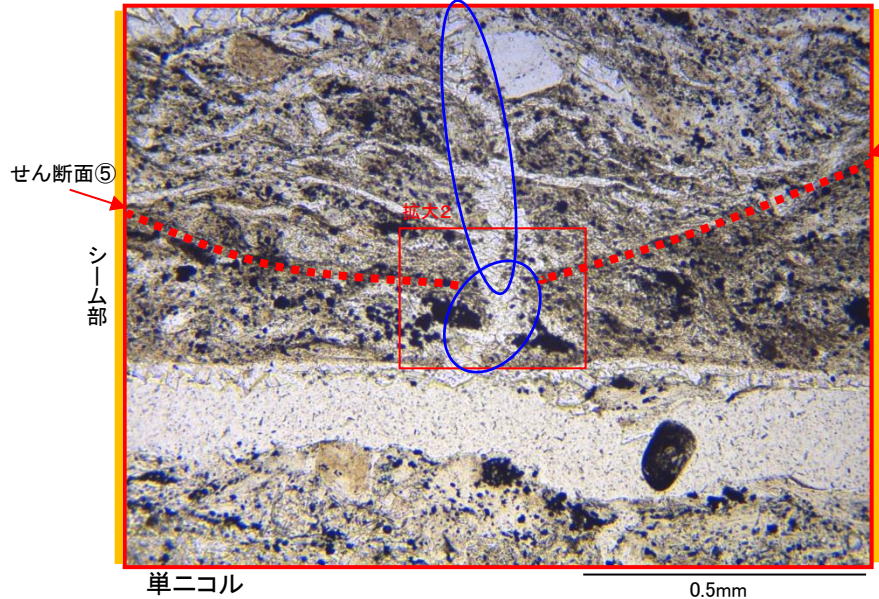
凡例		: 細粒化範囲
		: せん断面
		: 濁沸石

(平成27年撮影)



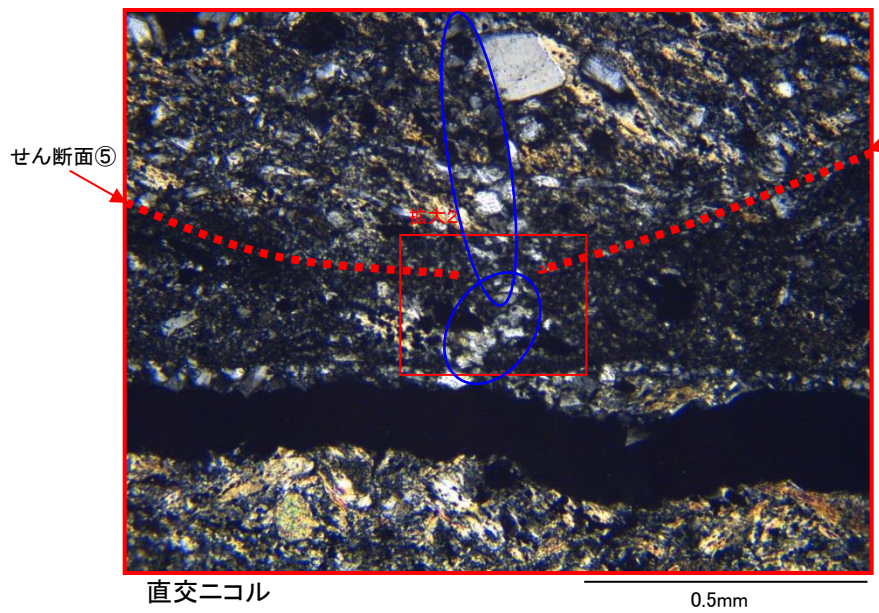
# 薄片観察結果 BS2-B23

第318回審査会合 資料2 p.67 再掲



【写真05 拡大1】

- ・せん断面⑤を横断するように晶出する鉱物脈は、単ニコルで無色、板状で劈開が顕著であり、直交ニコルで複屈折が小さく、消光角も小さいことから、X線回折分析の結果を踏まえると、濁沸石であると考えられる。
- ・濁沸石は変位・変形を受けていない。

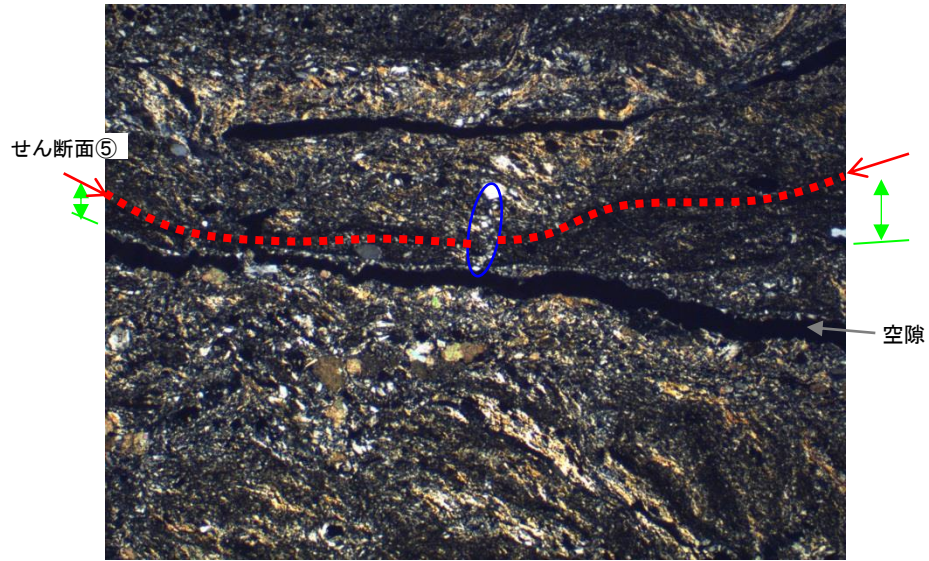


凡例  
⋯⋯ ↖ :せん断面  
○ :濁沸石

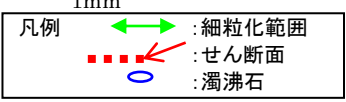
(平成27年撮影)

# EPMA分析結果 BS2-B23

第318回審査会合 資料2 p.69 再掲

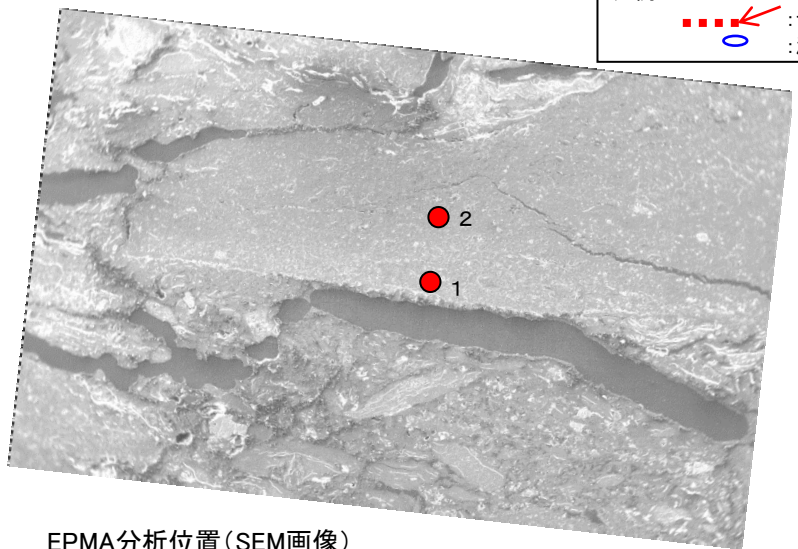


薄片写真(直交ニコル)



## 【写真05 EPMA分析結果】

- ・沸石の種類を詳細に同定するため、EPMA分析を実施した。
- ・せん断面⑤を横断する鉱物脈は、鉱物組成が既存の文献における濁沸石と整合的であったため、薄片観察での同定結果と同様、この鉱物は濁沸石と考えられる。



EPMA分析位置(SEM画像)

● EPMA定量ポイント 直径10μ m

分析位置	EPMA分析結果		Mass(%)
	1	2	文献値(濁沸石)
SiO <sub>2</sub>	50.432	49.467	50.70
TiO <sub>2</sub>	0.112	0.078	※1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.156	21.525	22.53
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.214	0.451	0.04
MnO	0.004	0.041	※1
MgO	0.070	0.762	—
CaO	10.582	8.546	11.54
K <sub>2</sub> O	0.398	1.973	0.30
Na <sub>2</sub> O	0.137	0.129	0.40
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.003	0.003	※1
SO <sub>3</sub>	0.176	0.353	※1
OH	17.715	16.672	14.41※2
Total	99.999	100.000	99.92

※1 文献に数値の記載なし

※2 文献におけるH<sub>2</sub>O<sup>+</sup>とH<sub>2</sub>O<sup>-</sup>の和とみなした。

## 文献調査結果(沸石の生成温度)

第318回審査会合 資料2 p.77 加筆・修正

沸石の生成温度一覧表

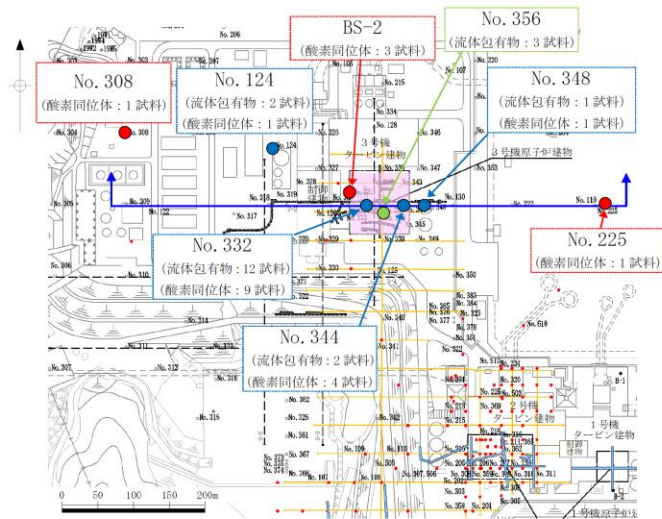
	沸石類							
	方沸石 $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	濁沸石(ローモンタイト) $\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	斜プチロル沸石 (Na,K,Ca) $_{2-3}$ $\text{Al}_3(\text{Al,Si})_2\text{Si}_{13}\text{O}_{36} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	束沸石 (Ca,Na <sub>2</sub> ,K <sub>2</sub> ) $\text{Al}_2\text{Si}_7\text{O}_{18} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	菱沸石 $\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	モルデン沸石 (Na <sub>2</sub> ,K <sub>2</sub> ,Ca) $\text{Al}_2\text{Si}_{10}\text{O}_{24} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	輝沸石 (Ca,Na <sub>2</sub> ) $\text{Al}_2\text{Si}_7\text{O}_{18} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	ワイラケ沸石 $\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
井沢(1996) <sup>(5)</sup>	—	140°C–210°C	140°C以下	140°C以下	—	80°C–140°C	—	210°C以上
歌田(1997) <sup>(6)</sup>	84°C–123°C	100°C–150°C	44°C–84°C	—	—	—	—	—
吉村(2001) <sup>(7)</sup>	120°C–220°C	200°C–260°C	—	70°C以下	70°C以下	120°C以下	100°C–200°C	250°C以上
吉村(2003) <sup>(8)</sup>	70°C以下	100°C–170°C	100°C以下	—	—	—	100°C以下	—
星ほか(1992) <sup>(9)</sup>	80°C–110°C	138°C–150°C	—	—	—	—	—	—
Iijima(1978) <sup>(10)</sup>	84°C–124°C	120°C以上	124°C以下	—	—	124°C以下	84°C–124°C	—

・文献調査の結果、濁沸石の生成温度は100°C以上とされており、現在の地温(B23シームの薄片試料を採取したT.P.約20mで約10°C)※と比較して高温であることから、B23シームに晶出する濁沸石は100°C以上の熱水により生成されたと考えられる。

※敷地内における現在の地温については、補足説明「3. シームの性状(4)B29シームでイライト/スメクタイト混合層鉱物が検出されない理由」参照

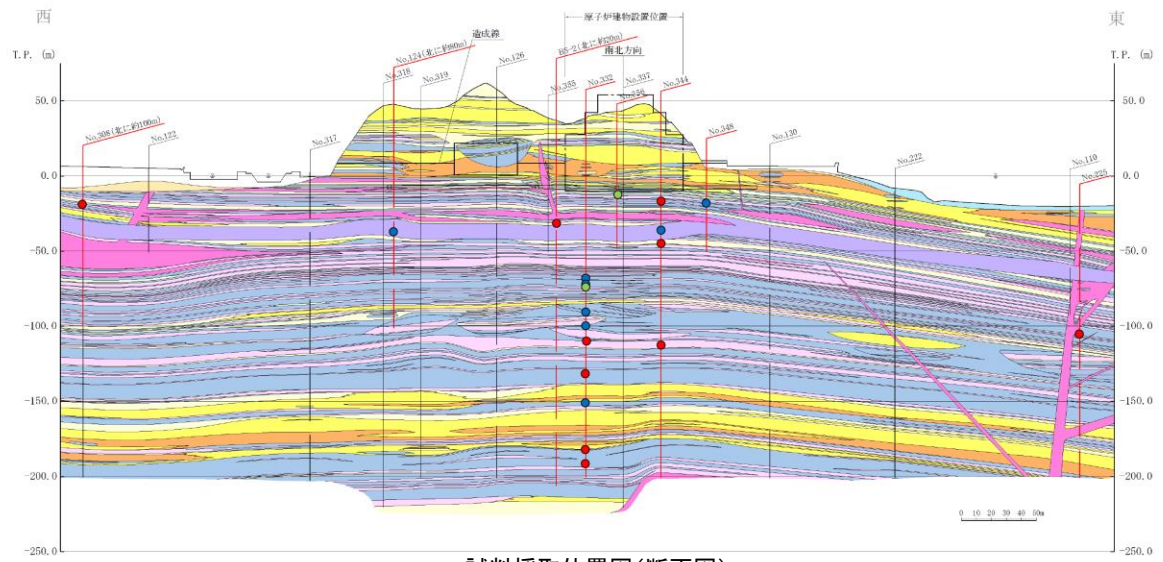
# 方解石の生成温度に関する検討

第318回審査会合 資料2 p.79 加筆・修正



試料採取位置図(平面図)

- 凡例
- 1・2号が調査他ボーリング位置
  - 3号が調査ボーリング位置
  - その他調査ボーリング位置
  - 1・2号が調査他弾性波探査測線
  - - - 3号が調査弾性波探査測線
  - その他調査弾性波探査測線
  - 1・2号が調査試験坑・試験坑
  - 3号が調査試験坑・試験坑
  - 原子炉建物設置位置
  - 流体包有物試験試料採取位置
  - 酸素同位体試験試料採取位置
  - 流体包有物・酸素同位体試験試料採取位置
  - ↑↑ 断面位置



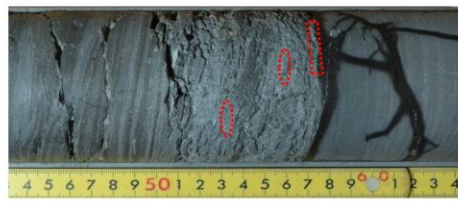
試料採取位置図(断面図)

- 凡例
- 盛土
  - 海成堆積物
  - 層状堆積物
  - 安山岩
  - 閃斜閃石
  - 凝灰角礫岩
  - 火山礫凝灰岩
  - 凝灰岩
  - 凝灰質頁岩
  - 黒色頁岩
  - 被覆層
  - 貫入岩類
  - 成相層
  - 流体包有物試験試料採取位置
  - 酸素同位体試験試料採取位置
  - 流体包有物・酸素同位体試験試料採取位置
  - ボーリング位置 (破線は投影)
  - 岩相境界線
  - 試験坑・試験坑及び補足試験坑位置 (破線は投影)



試料採取位置例 (No. 124 ボーリングコア)  
(GL-40.10~40.20m)

□ : 流体包有物試験用試料採取箇所



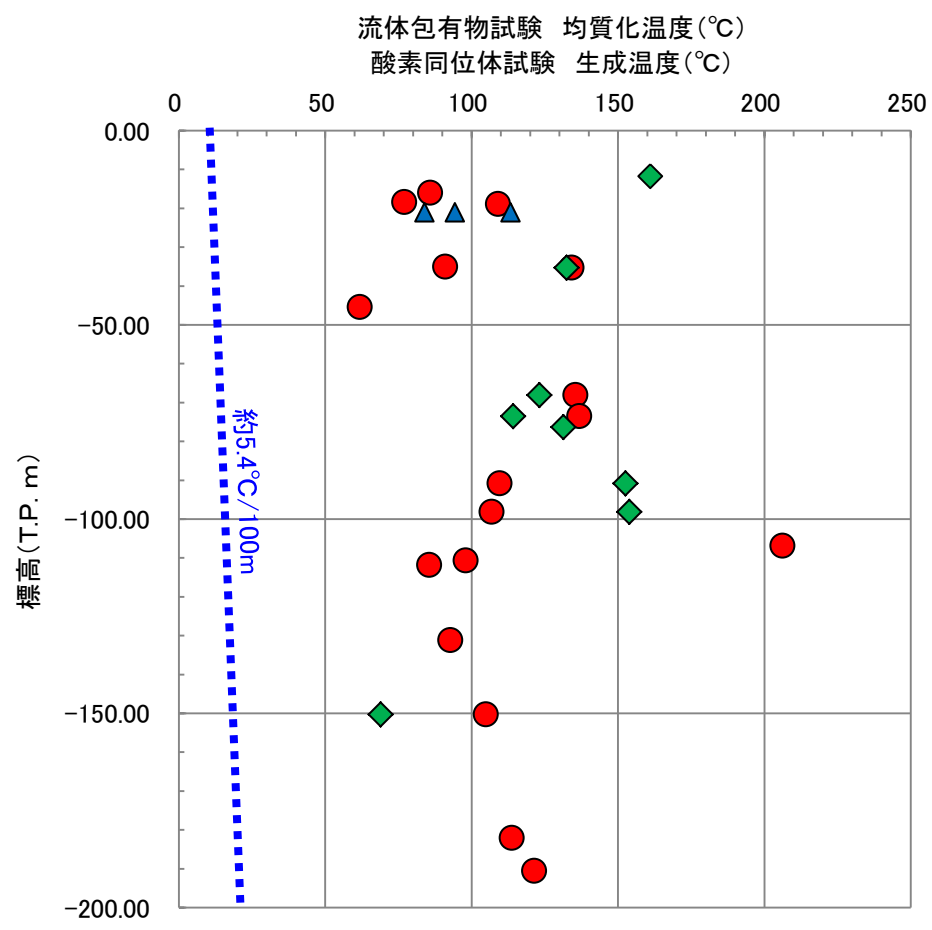
試料採取位置例 (BS-2 ボーリングコア)  
(GL-29.51~29.58m)

□ : 酸素同位体試験用試料採取箇所

・B23シームで確認された方解石の生成温度を推定するため、既往ボーリングコアのシームの周辺母岩の白色脈から試料を採取し、流体包有物試験及び酸素同位体試験を実施した。

# 5. シームの活動性 (3)シームの活動性評価 ②シームで認められる鉱物の生成条件 方解石の生成温度に関する検討(流体包有物試験及び酸素同位体試験結果)

第318回審査会合 資料2 p.81 加筆・修正



<流体包有物>  
 鉱物の結晶に流体が捕獲されたものであり、その成因により以下に分類される。

【初生流体包有物】  
 鉱物が成長中する際に、鉱物に捕獲された流体

【二次流体包有物】  
 鉱物の成長後に、何らかの原因でできた割れ目に捕獲された流体

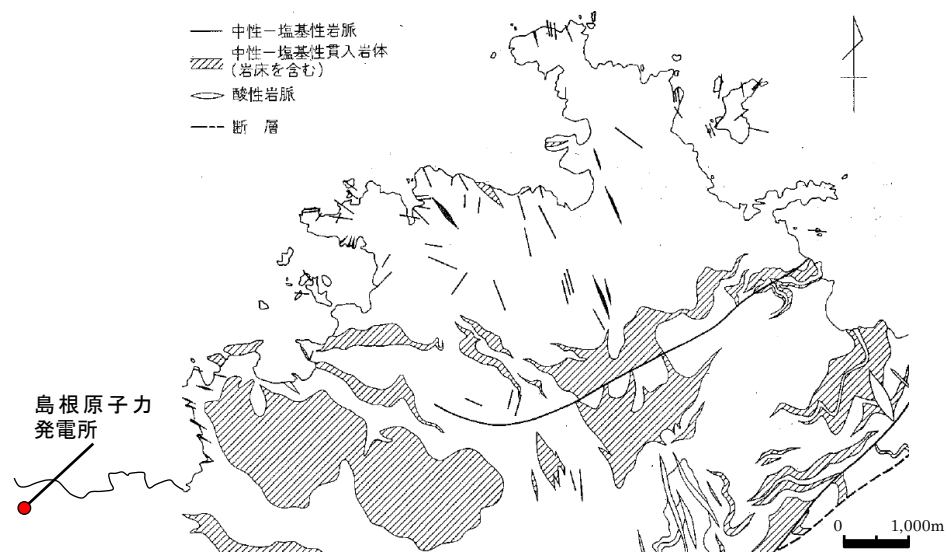
流体包有物試験及び酸素同位体試験における方解石の生成温度の測定結果

- ・流体包有物試験及び酸素同位体試験による方解石の生成温度は約60°C～約210°Cであり、現在の地温と比較して高温であることから、方解石は、火成活動が活発であった時期の変質作用により生成されたと考えられる。
- ・深度方向と生成温度に相関が認められないことから、方解石は続成変質作用ではなく、熱水変質作用により晶出したと考えられる。

# 5. シームの活動性 (3)シームの活動性評価 ②シームで認められる鉱物の生成条件 文献調査結果(変質鉱物の生成時期)

## 山陰地域における応力場の変遷(新第三紀中新世～第四紀) 松江地域の地質総括表(再掲)

地質時代	層序		主要岩相	火成活動	堆積環境	構造運動	放射年代及び化石帯・群集	
	島根半島	中央低地帯 中国山地北縁						
第四紀	完新世	三角州、扇状地、花菱層、砂州及び海岸砂丘堆積物及び沖海層(<50m)	砂、泥及び礫(泥炭を挟む)		内湾-海湖と海岸平野		汽水-海生動物化石	
	後期更新世	低位段丘堆積物	礫、砂及び泥		河川流域			
		中位II段丘堆積物	泥、砂及び礫(泥炭及び火山灰を挟む)	泥、礫及び砂		扇状地		汽水-海生動物化石
	中期更新世	中位I段丘堆積物	泥、礫及び砂	泥、礫及び砂		内湾-海湖と海岸平野		
		大根島玄武岩	アルカリ玄武岩溶岩及びスコリア		火山活動	海岸平野		
		高位II段丘堆積物	礫、砂及び泥			湖と海岸平野		
		高位I段丘堆積物	礫、砂及び泥			湖と海岸平野		
	前期更新世	野呂玄武岩	アルカリ玄武岩溶岩		火山活動	内陸	1Ma(K-Ar)	
	新第三紀	鮮新世	和久羅山安山岩	角閃石含有安山岩溶岩	カルデラアルカリ安山岩火山活動	海岸平野		5-6Ma(K-Ar)
		中中新世	松江層<1100m	砂岩、シルト岩、アルカリ玄武岩-粗面安山岩溶岩・火砕岩など	アルカリ玄武岩火山活動	内湾-海湖		海-汽水生動物化石 陸生動物化石
古江層(450-900m)			布志名層(500m)	泥岩及びシルト岩		内湾-海湖	11-12Ma(K-Ar) N10-11*	
牛切層(>300m)			大森層(<500m)	流紋岩凝灰岩凝灰質砂岩泥質岩互層	流紋岩、安山岩溶岩、アイサイト溶岩など	沿岸	N9*	
前期中新世	成相寺層(>1200m)	久利層(200-800m)	泥質岩、流紋岩溶岩、流紋岩火砕岩など	泥岩、流紋岩溶岩、流紋岩火砕岩など	沿岸	N8-9* 15Ma (FT,K-Ar)		
	古浦層(>800m)(伏在)	波多層(<800m)	砂岩、礫岩、泥質岩、安山岩溶岩・火砕岩及び流紋岩火砕岩	火山岩類堆積物、アイサイト火砕岩及び安山岩溶岩	沿岸	20Ma(FT) 23-26Ma(FT) 古鳥型植物群 淡水-汽水生貝化石		
	白亜紀後期	八雲火山岩類(>800m)	流紋岩 アイサイト火砕岩(主として溶結)及び流紋岩溶岩		内陸			
白垩紀後期	上達東成成岩	スカルン及び角閃石ホルンフェルス(砂岩、泥岩及び礫岩起源)			浅海			
	白垩紀前期	下久野花園岩	細粒黒雲母花園岩		中国山地北縁		36Ma(K-Ar) 36-53Ma(K-Ar)**	
		高部花園岩	細-中粒黒雲母花園岩				44-60Ma(K-Ar)**	
白垩紀前期	大東花園閃緑岩	中-粗粒黒雲母角閃石花園閃緑岩				44-63Ma(K-Ar)**		



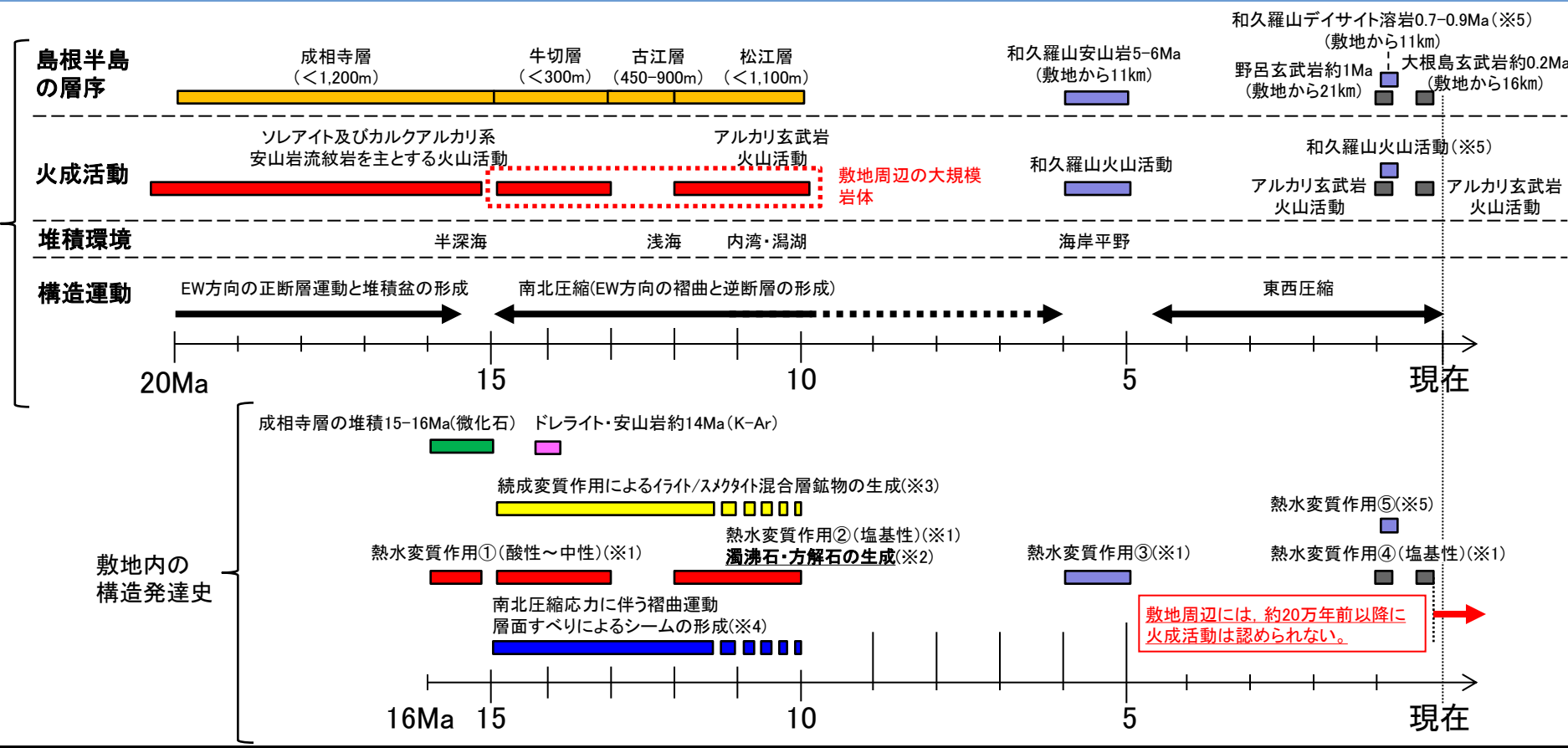
境港地域北部における貫入岩の分布(鹿野・吉田(1985)(11)より引用・加筆)

- ・敷地東方約15kmの範囲について、鹿野・吉田(1985)は、塩基性-中性の岩脈、岩床、あるいはラコリス様岩体が多数認められ、大規模岩体が母岩に熱変成を与えたとされている。
  - ・鹿野ほか(1994)によると、塩基性-中性の貫入岩の形成年代は、中期中新世～後期中新世とされている。
  - ・流体包有物試験結果から方解石を晶出した熱水は海水起源と考えられる。鹿野ほか(1994)によると、島根半島の堆積環境が海域であった年代は、漸新世～後期中新世とされている。
- 以上のことから、中期中新世～後期中新世の敷地周辺が海域に位置していた時期に塩基性-中性の火成活動が活発であり、これらの火成活動により方解石や濁沸石が生成されたと考えられる。

\*: Blow(1969)の浮遊性有孔虫化石帯 K-Ar: K-Ar年代 FT: フィッシャントラック年代 \*\* 対比可能な周辺地域の貫入岩体の年代を含む。  
鹿野ほか(1994)より引用・加筆

# 5. シームの活動性 (3)シームの活動性評価 ②シームで認められる鉱物の生成条件 敷地内の構造発達史の検討

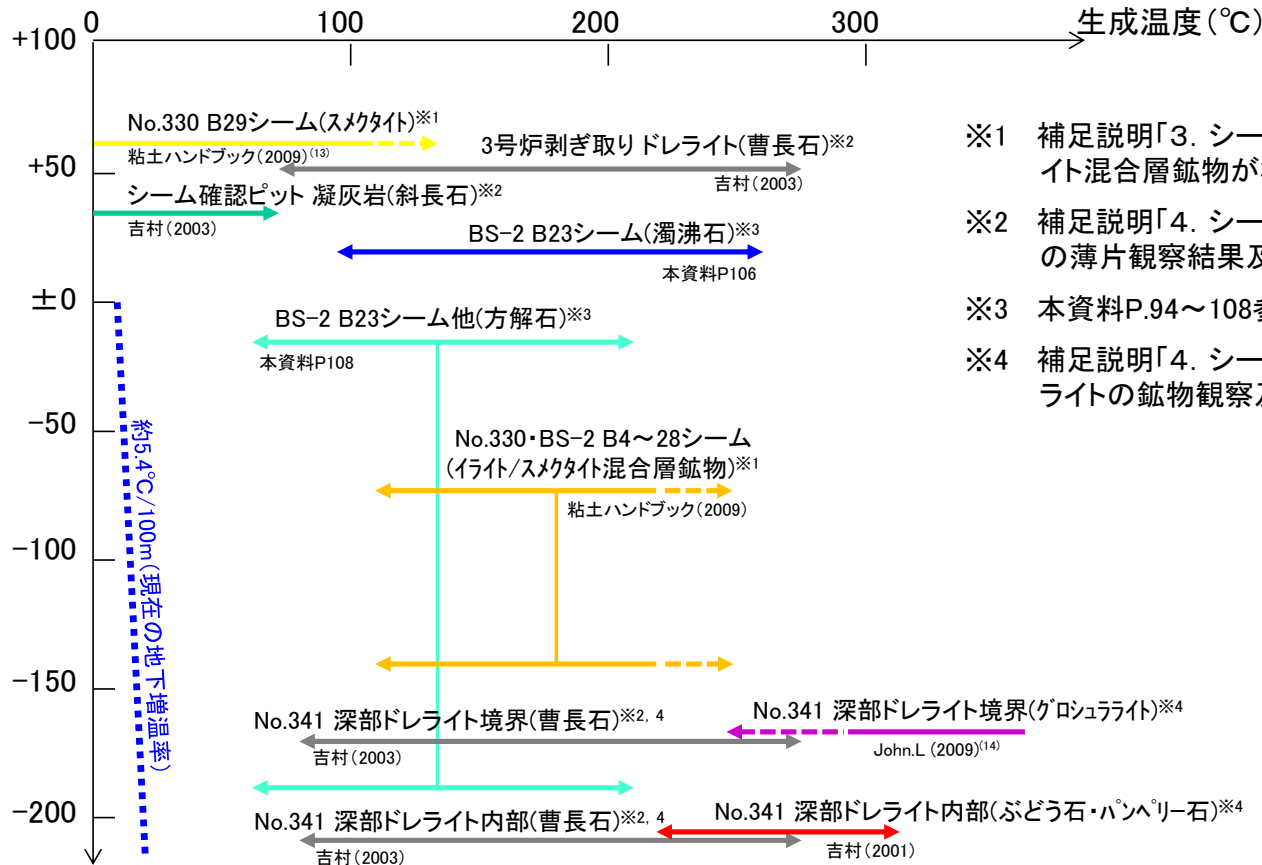
鹿野ほか (1994)



・B23シームの薄片観察結果、流体包有物試験による方解石の生成環境の検討、敷地近傍における火成活動等を踏まえると、熱水変質鉱物である濁沸石・方解石は、後期更新世以降に生成されたものではないと考えられる。

※1 鹿野ほか(1994)の火成活動の時代に基づく。  
 ※2 B23シームの薄片観察結果より、濁沸石・方解石は、せん断面を横切って晶出し、変位・変形を受けていないことから、南北圧縮応力に伴うシームの形成以降に晶出したものと考えられる。また、流体包有物試験において、方解石の生成環境が概ね海水であったこと、及び濁沸石や方解石が塩基性の変質鉱物であることから、鹿野ほか(1994)の堆積環境や火成活動を踏まえると、熱水変質作用②により生成したと考えられる。  
 ※3 続成変質作用によるイライト/スモクタイト混合層鉱物の生成温度は高温であることから、火成活動が活発であり、上載層がある程度堆積した時期に生成したと考えられる。  
 ※4 鹿野ほか(1994)の構造運動、3号炉試掘坑や追加ボーリングBS-1・2及び過褶曲露頭における条線観察の結果からシームの条線方向が概ね南北方向であること、3号炉試掘坑及び追加ボーリングBS-2の試料から作成した薄片のシーム部観察結果から最新活動センスが逆断層センスと認められること及びシーム内部の濁沸石・方解石がせん断面を横切って晶出し、変位・変形を受けていないことに基づく。  
 ※5 Pineda-Velasco et al. (2018)<sup>(12)</sup>の年代測定結果に基づく。

## (参考)敷地内で認められる鉱物の生成環境に関する検討



※1 補足説明「3. シームの性状 (4)B29シームでイライト/スメクタイト混合層鉱物が検出されない理由」参照

※2 補足説明「4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ②長石類の薄片観察結果及びEPMA分析結果」参照

※3 本資料P.94~108参照

※4 補足説明「4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ⑤深部ドレライトの鉱物観察及び分析結果と生成温度」参照

- ・試料採取深度が深くなるほど、現在の地温よりも高温で生成される鉱物が確認される傾向があることが認められる。
- ・B29シームについては、B1~B28シームと共通の形態的特徴を有するため、その他のシームと同様の成因で形成されたと考えられるが、確認されたシームの中で最も浅部に位置するため、続成変質作用によるスメクタイトのイライト化が進行しなかったと考えられる。
- ・敷地内で認められる鉱物の深度と生成温度の関係及び敷地付近における中期中新世~後期中新世の塩基性-中性貫入岩の存在から、これらの鉱物は、中期中新世~後期中新世の一連の火成活動に伴う温度構造の下で生成されたと考えられる。



## シームの活動性評価(まとめ)

## 【シームの成因(応力場及びシームの形成に関連したずれの方向に着目した活動性評価)】

- 以下の調査結果から、敷地に分布するシームは、新第三紀中新世と考えられる南北圧縮応力場において、褶曲運動に伴う層面すべりにより形成され、後期更新世以降に活動していないと考えられる。
- ・文献調査の結果、山陰地域における南北圧縮応力場での褶曲運動の完了時期は、新第三紀中新世末期であると考えられる。
  - ・文献調査及び初期地圧測定の結果、島根原子力発電所における現在の応力場は、概ね東西圧縮であると考えられる。
  - ・3号炉試掘坑における条線観察の結果、背斜軸北側におけるシームの条線方向は概ね南北方向であると考えられる。
  - ・3号炉試掘坑及びボーリングBS-2孔におけるB23シームを対象とした薄片観察の結果、ボーリングBS-2孔では、シームの複合面構造から、シーム上部が逆断層センス、下部が正断層センスであることが確認されたため、B23シームには複数回の動きが記録されているが、最新活動センスは逆断層センスであると考えられる。

## 【せん断面と鉱物脈との接触関係に着目したシームの活動性評価】

- 以下の調査結果から、中期中新世～後期中新世の火成活動により生成した熱水変質鉱物がシームのせん断面を横断しており、これらが変位・変形を受けていないことから、シームは後期更新世以降に活動していないと考えられる。
- ・ボーリング調査等の結果、B1～29シームのうち、B23シームが最も多く確認されており、敷地に分布するシームの中で最も連続性が高いシームと考えられることから、B23シームを対象にシームの活動性評価を行うこととした。
  - ・シーム内のせん断面を横断するように濁沸石及び方解石が晶出しており、変位・変形を受けていない。
  - ・濁沸石については、EPMA分析により組成を確認し、鉱物同定をしている。
  - ・シームで認められる濁沸石及び方解石は、局所的に認められること、周辺母岩よりシーム内部の方が相対的に多く認められること及び脈状の形態であることから、熱水変質作用により晶出したと考えられる。
  - ・文献調査の結果、濁沸石の生成温度は100℃以上であると考えられる。
  - ・流体包有物試験及び酸素同位体試験の結果、方解石の生成温度は約60～約210℃であり、現在の地温と比較して高温であることから、火成活動が活発であった時期の熱水変質作用により生成したと考えられる。
  - ・文献調査の結果、中期中新世～後期中新世は敷地周辺で塩基性-中性の火成活動が活発であり、これらの火成活動により方解石や濁沸石が生成されたと考えられる。



敷地に分布するシームは後期更新世以降に活動していないと考えられるため、敷地には、「将来活動する可能性のある断層等」はないと考えられる。

余白

## 6. まとめ

## 1. 敷地の地形，地質・地質構造

- 変動地形学的調査，文献調査，地表地質踏査，弾性波探査，ボーリング調査及び試掘坑調査の結果，敷地の地形，地質・地質構造は以下のとおりである。
  - ・敷地には変位地形・リニアメントは認められない。
  - ・敷地の地質は，新第三紀中新世の堆積岩類から成る成相寺層と貫入岩類及びそれらを覆う第四系の崖錐堆積物等から構成される。
  - ・敷地には，連続する破碎帯や断層並びに耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の支持地盤を切る地滑り面は認められない。
  - ・敷地の南部には，ほぼ東西方向の軸を持つ背斜構造が認められ，背斜軸より北の一部では過褶曲部が認められるが，過褶曲部の下位の地層は緩やかな傾斜を示し，深部まで続く断層は認められないことから，断層起因による構造ではないと考えられる。
  - ・敷地には，地層の走向・傾斜と同一で連続性を有するシームが確認される。

## 2. 活動性評価の対象とする断層等の抽出

- 以下の詳細検討を踏まえ，シームを対象に活動性評価を行う。
  - ・ボーリング調査，試掘坑調査等の結果，敷地には，粘土分を含み，平板状あるいは平面状の形態を持ち，この面に沿って変位している可能性がある薄層として，シームが断続的に分布する。

## 3. シームの対比

- 以下の調査結果を踏まえ，シームの活動性評価に当たっては，データの豊富な3号炉原子炉建物設置位置付近の地質データに基づく検討を行う。
  - ・ボーリング調査の結果，下部頁岩部層中の同一層準は，2号及び3号炉原子炉建物設置位置付近において連続的に分布する。
  - ・ボーリング調査，試掘坑調査等の結果，シームは地層と同様の走向・傾斜で分布する。
  - ・2号炉原子炉建物基礎底面において代表的なAシームは，3号炉原子炉建物基礎地盤でもB8シームとして確認される。

## 4. シームの性状

- 敷地において連続性を有するシームとして，B1～B29シームが認められる。これらは，以下の共通の形態的特徴を有する。
  - ・シームの厚さは，概ね3cm程度以下の層厚で，地層を切ることなく層理と調和的に分布する。
  - ・母岩との境界が明瞭であり，断層破碎帯に見られるような角礫化帯は認められない。
  - ・色調等から，シームの原岩は凝灰岩又は凝灰質頁岩と推定される。
  - ・シームは，背斜軸の北側では北傾斜，南側では南傾斜を示し，褶曲構造と調和的に分布する。
  - ・いずれのシームも概ね同様の鉱物で構成される。



## 5. シームの活動性

【シームの成因(応力場及びシームの形成に関連したずれの方向に着目した活動性評価)】

○以下の調査結果から、敷地に分布するシームは、新第三紀中新世と考えられる南北圧縮応力場において、褶曲運動に伴う層面すべりにより形成され、後期更新世以降に活動していないと考えられる。

- ・文献調査の結果、山陰地域における南北圧縮応力場での褶曲運動の完了時期は、新第三紀中新世末期であると考えられる。
- ・文献調査及び初期地圧測定の結果、島根原子力発電所における現在の応力場は、概ね東西圧縮であると考えられる。
- ・3号炉試掘坑における条線観察の結果、背斜軸北側におけるシームの条線方向は概ね南北方向であると考えられる。
- ・3号炉試掘坑及びボーリングBS-2孔におけるB23シームを対象とした薄片観察の結果、ボーリングBS-2孔では、シームの複合面構造から、シーム上部が逆断層センス、下部が正断層センスであることが確認されたため、B23シームには複数回の動きが記録されているが、最新活動センスは逆断層センスであると考えられる。

【せん断面と鉱物脈との接触関係に着目したシームの活動性評価】

○以下の調査結果から、中期中新世～後期中新世の火成活動により生成した熱水変質鉱物がシームのせん断面を横断しており、これらが変位・変形を受けていないことから、シームは後期更新世以降に活動していないと考えられる。

- ・ボーリング調査等の結果、B1～B29シームのうち、B23シームが最も多く確認されており、敷地に分布するシームの中で最も連続性が高いシームと考えられることから、B23シームを対象にシームの活動性評価を行うこととする。
- ・シーム内のせん断面を横断するように濁沸石及び方解石が晶出しており、変位・変形を受けていない。
- ・濁沸石については、EPMA分析により組成を確認し、鉱物同定をしている。
- ・シームで認められる濁沸石及び方解石は、局所的に認められること、周辺母岩よりシーム内部の方が相対的に多く認められること及び脈状の形態であることから、熱水変質作用により晶出したと考えられる。
- ・文献調査の結果、濁沸石の生成温度は100℃以上であると考えられる。
- ・流体包有物試験及び酸素同位体試験の結果、方解石の生成温度は約60℃～約210℃であり、現在の地温と比較して高温であることから、火成活動が活発であった時期の熱水変質作用により生成したと考えられる。
- ・文献調査の結果、中期中新世～後期中新世は敷地周辺で塩基性-中性の火成活動が活発であり、これらの火成活動により方解石や濁沸石が生成されたと考えられる。



## 6. まとめ

○以上のことから、敷地には、「将来活動する可能性のある断層等」はないと考えられる。

# 参考文献

- (1) 鹿野和彦・山内靖喜・高安克己・松浦浩久・豊遙秋(1994): 松江地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所
- (2) 伊藤康人・荒戸裕之(1999): 九州西方一山陰・北陸海域日本海南部における鮮新世以降の応力場変遷. 地質ニュース, 第541号, P.25-31
- (3) 多井義郎(1973): いわゆる宍道褶曲帯について, 地質学論文集, 第9号, P.137-246.
- (4) 塚原弘明・小林洋二(1991): 中西部日本の地殻応力, 地震 第2輯 第44巻
- (5) 井沢英二(1996): 資源の探査. 平朝彦ほか編, 地球の観測. 岩波講座「地球惑星科学」
- (6) 歌田実(1997): 天然におけるゼオライトおよび関連鉱物の生成条件. 粘土科学, 37, P.87-94
- (7) 吉村尚久(2001): 粘土鉱物と変質作用, 地学双書, 地学団体研究会
- (8) 吉村尚久(2003): 続成作用と粘土鉱物. 粘土科学, 42, P.167-173
- (9) 星一良・佐賀肇・箕輪英雄・稲葉允(1992): 秋田・新潟のグリーンタフの変質と貯留岩性状. 石油技術協会誌, 57, P.77-90
- (10) Iijima.A(1978): Geological occurrences of zeolite in the marine environments: In SAND, J. B. and MUMPTON, F. A. (ed) Natural Zeolites, Occurrence, Properties, Use. Pergamon Press, Oxford, P.175-198
- (11) 鹿野和彦・吉田史郎(1985): 境港地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, P.57
- (12) Pineda-Velasco.I・Kitagawa.H・Nguyen.T.-T・Kobayashi.K・Nakamura.E(2018): Production of High-Sr Andesite and Dacite Magmas by Melting of Subducting Oceanic Lithosphere at Propagating Slab Tears, Journal of Geophysical Research Solid Earth. 2018, Vol.123, No.5
- (13) 日本粘土学会編(2009): 粘土ハンドブック(第三版), 技報堂出版株式会社
- (14) John.L(2009): HYDROTHERMAL ALTERATION MINERALOGY IN GEOTHERMAL FIELDS WITH CASE EXAMPLES FROM OLKARIA DOMES GEOTHERMAL FIELD, KENYA, Short Course VI on Exploration for Geothermal Resources, P.24