

女川原子力発電所
敷地内の地質・地質構造及び断層評価について
(補足説明資料1)

平成27年 7月10日
東北電力株式会社

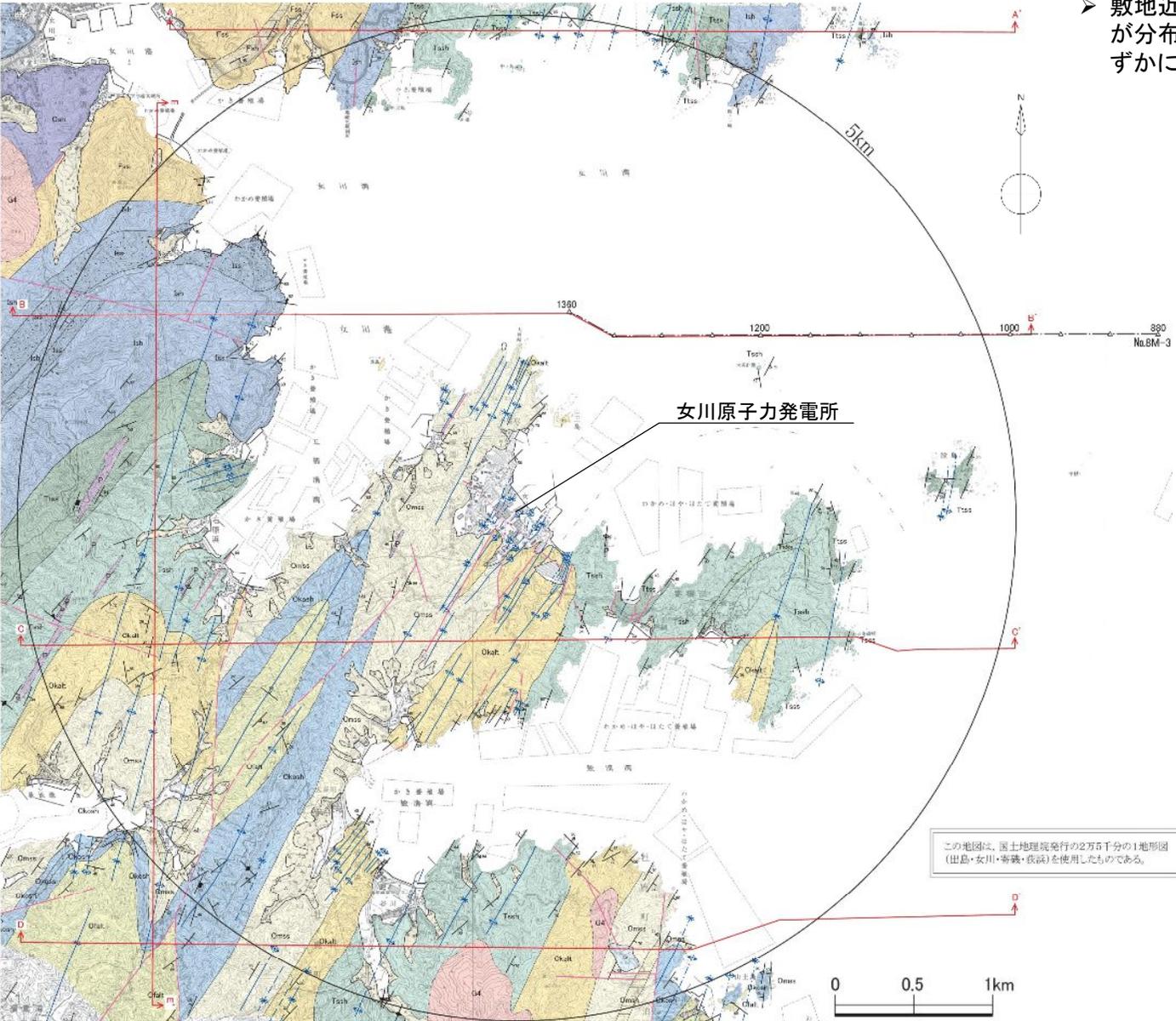
目次

1. 敷地の地質・地質構造の概要	2
2. 敷地の断層の活動性	32
3. 用語の解説	49
参考文献	51

1. 敷地の地質・地質構造の概要

敷地近傍陸域の地質図

➤ 敷地近傍の陸域には、主として中生界ジュラ系が分布し、それらを不整合に覆って第四系がわずかに分布する。



陸域凡例

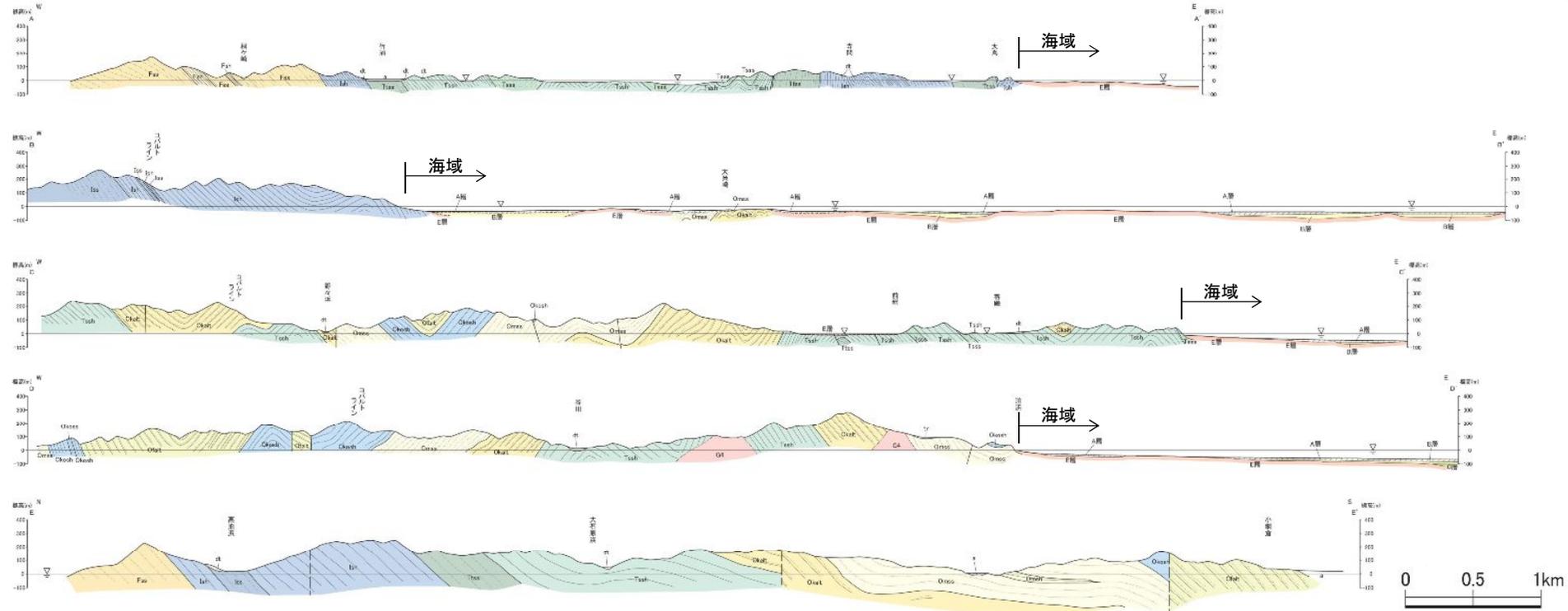
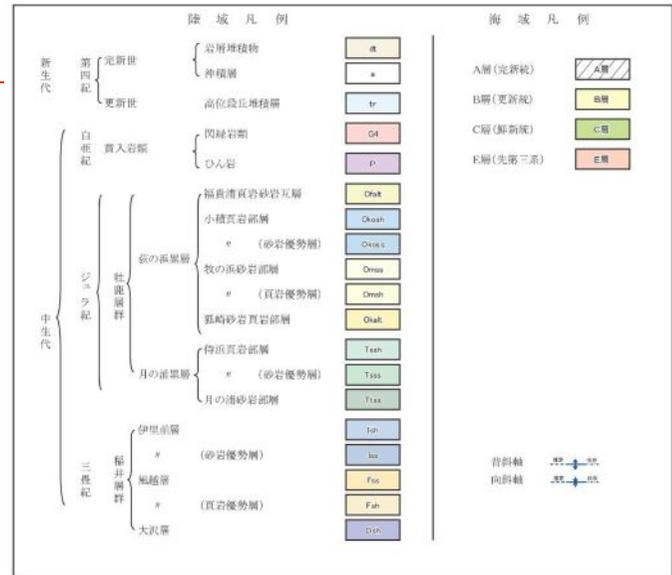
新生代	第四紀	完新世	沖積層	a	
			岩層堆積物	at	
		更新世	高位段丘堆積層	tr	
中生代	白亜紀	貫入岩類	閃綠岩類	G4	
			ひん岩	P	
		地層群	飯沼層群	福貴浦頁岩砂岩互層	Ofalt
				小積頁岩部層	Okosh
				" (砂岩優勢層)	Okosp
				萩の浜層	Omas
			月の浦層群	萩の浜砂岩部層	Omsk
				" (頁岩優勢層)	Omsk
				狐崎砂岩頁岩部層	Osh
				侍浜頁岩部層	Tash
三疊紀	伊里前層	" (砂岩優勢層)	Tss		
		阻鼓層	Tssk		
	熊野層群	" (頁岩優勢層)	Tssl		
			Tssm		
			Tssn		
		大沢層	Tssr		

地質記号凡例

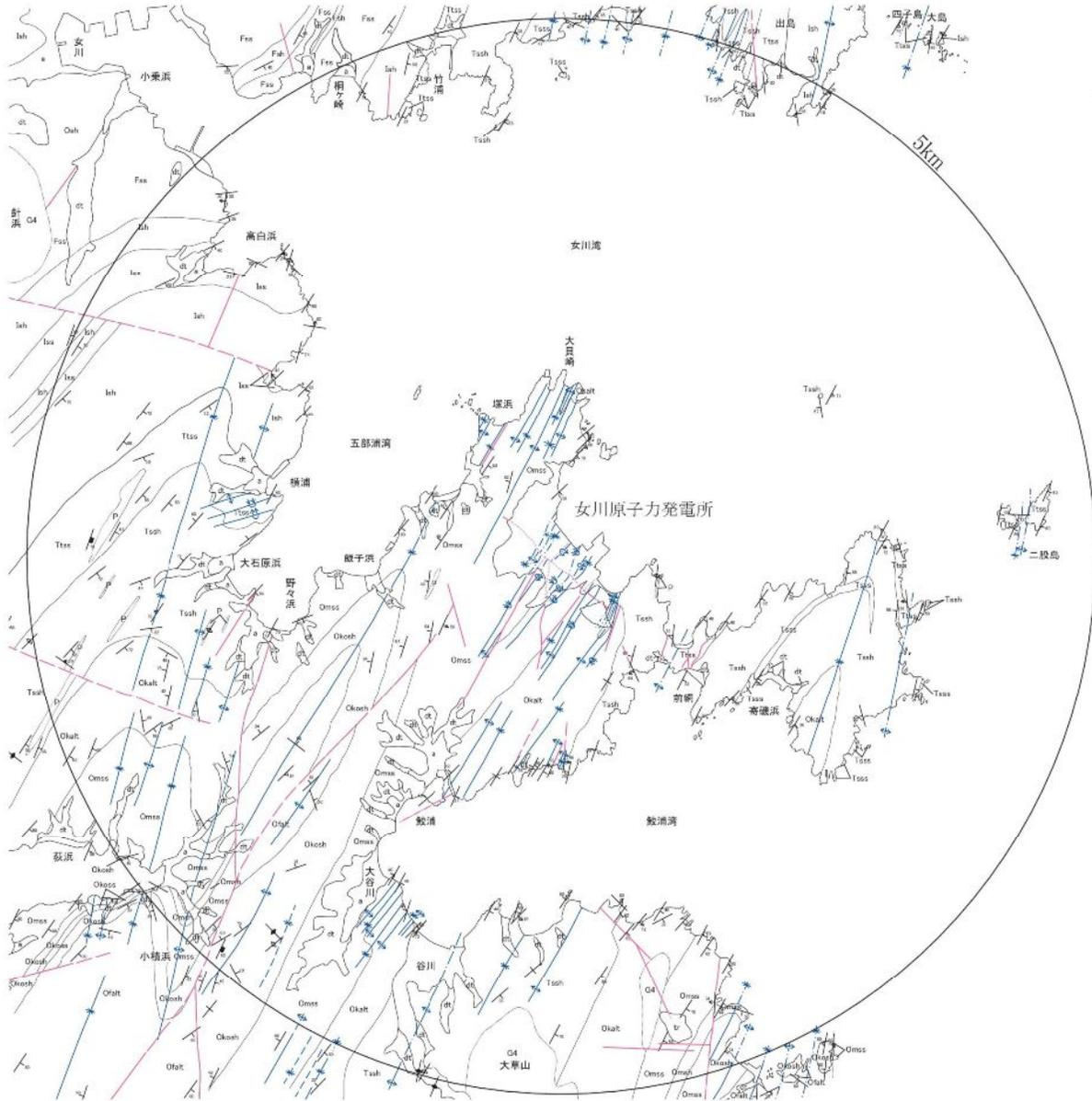
- 地質断面線
- 地層の走向・傾斜
- へき間の走向・傾斜
- 貫入境界の走向・傾斜
- 節理の走向・傾斜
- 断層の走向・傾斜
- 地層境界線 (整合)
- 地層境界線 (不整合)
- 貫入境界
- 断層線
- 背斜軸
- 向斜軸

敷地近傍陸域の地質断面図

- 敷地近傍の陸域には下位より、主として中生界ジュラ系及び新生界第四系が分布している。
 - 中生界: 下位より、三疊系の稲井層群、ジュラ系の牡鹿層群が分布している。中生界は、主として砂岩、頁岩及び砂岩・頁岩互層からなる。これらの中生界の堆積岩には、中生代白亜紀に併入した閃緑岩やひん岩の貫入岩が多く見られる。
 - 新生界第四系: 中生界を被覆する段丘堆積物、岩屑堆積物及び沖積層が分布するが、分布範囲は狭小である。
- 敷地近傍の海域の地層は、敷地周辺海域の地層と同様、音波探査記録の解析から得られた不整合関係を含む記録パターンにより分類した。敷地近傍海域には、下位よりE層、C層、B層及びA層が分布している。



敷地近傍陸域の地質構造図



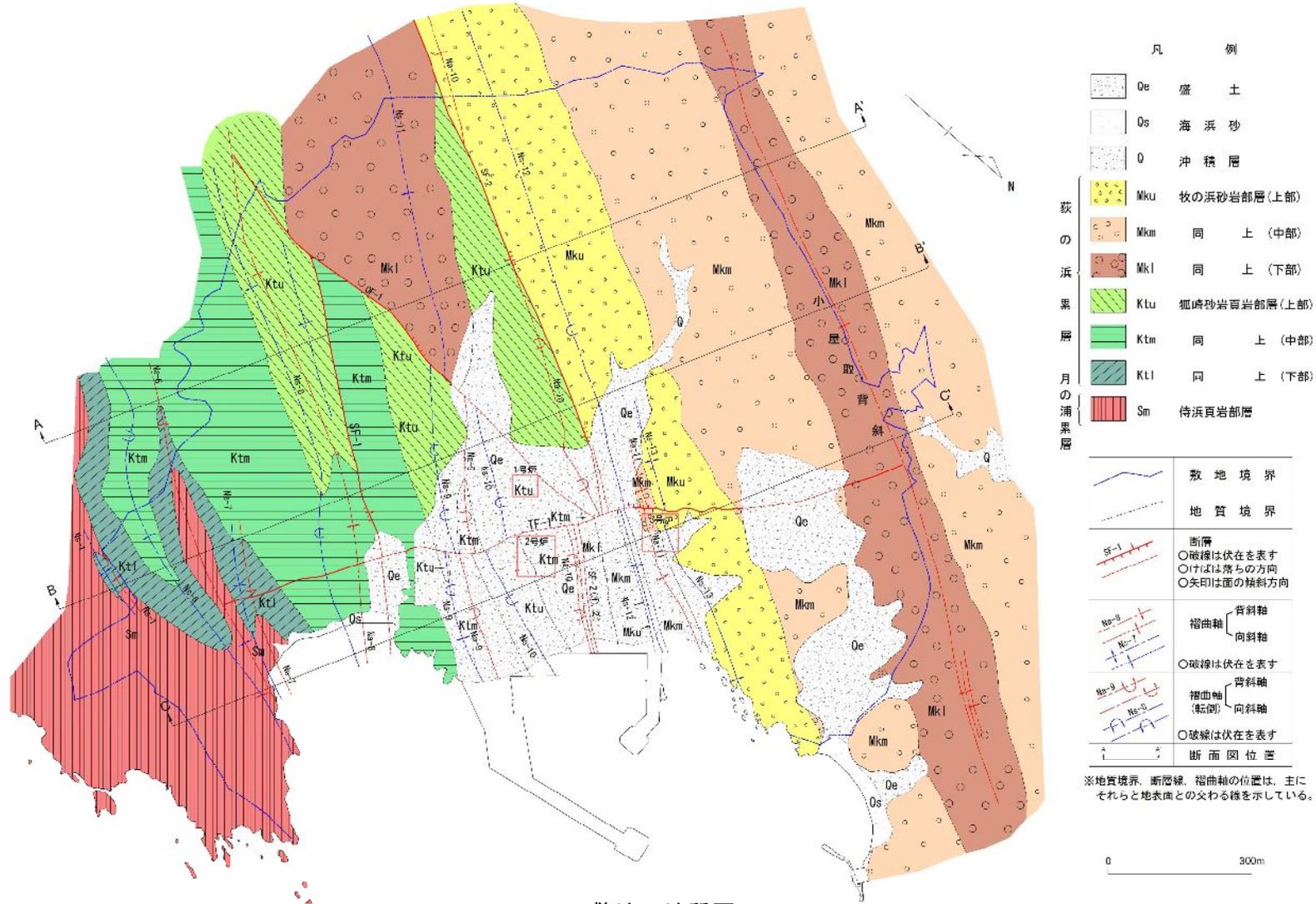
➤ 敷地周辺と同様, NNE-SSW方向の褶曲構造とこれとほぼ平行あるいは斜交する断層によって特徴づけられる。

地質凡例					
新生代	第四紀	完新世	沖積層	al	
		更新世	岩屑堆積物	at	
	白堊紀	貫入岩類	高位段丘堆積層	tr	
中生代	シムラ群	牡鹿層群	四稜岩類	O4	
			ひん岩	P	
		月の浦系層	福貴浦頁岩砂岩互層	Ofalt	
			小横頁岩部層	Okosh	
			秋の浜系層	牧の浜砂岩部層 (砂岩優勢層)	Omsc
			孤崎砂岩頁岩部層 (頁岩優勢層)	Omsa	
			待浜頁岩部層	Okalt	
			月の浦系層	Tosh	
		三疊紀	稲井層群	月の浦砂岩部層 (砂岩優勢層)	Tssc
				伊里前層	Ttsa
頁岩層	Ish				
大沢層	Iss				
		頁岩優勢層	Fas		
		頁岩優勢層	Fah		
		頁岩優勢層	Oah		

地質記号凡例	
	地層の走向・傾斜
	へき開の走向・傾斜
	貫入境界の走向・傾斜
	節理の走向・傾斜
	新層の走向・傾斜
	地層境界線 (整合)
	地層境界線 (不整合)
	貫入境界
	新層線
	背斜軸
	向斜軸

0	0.5	1km
---	-----	-----

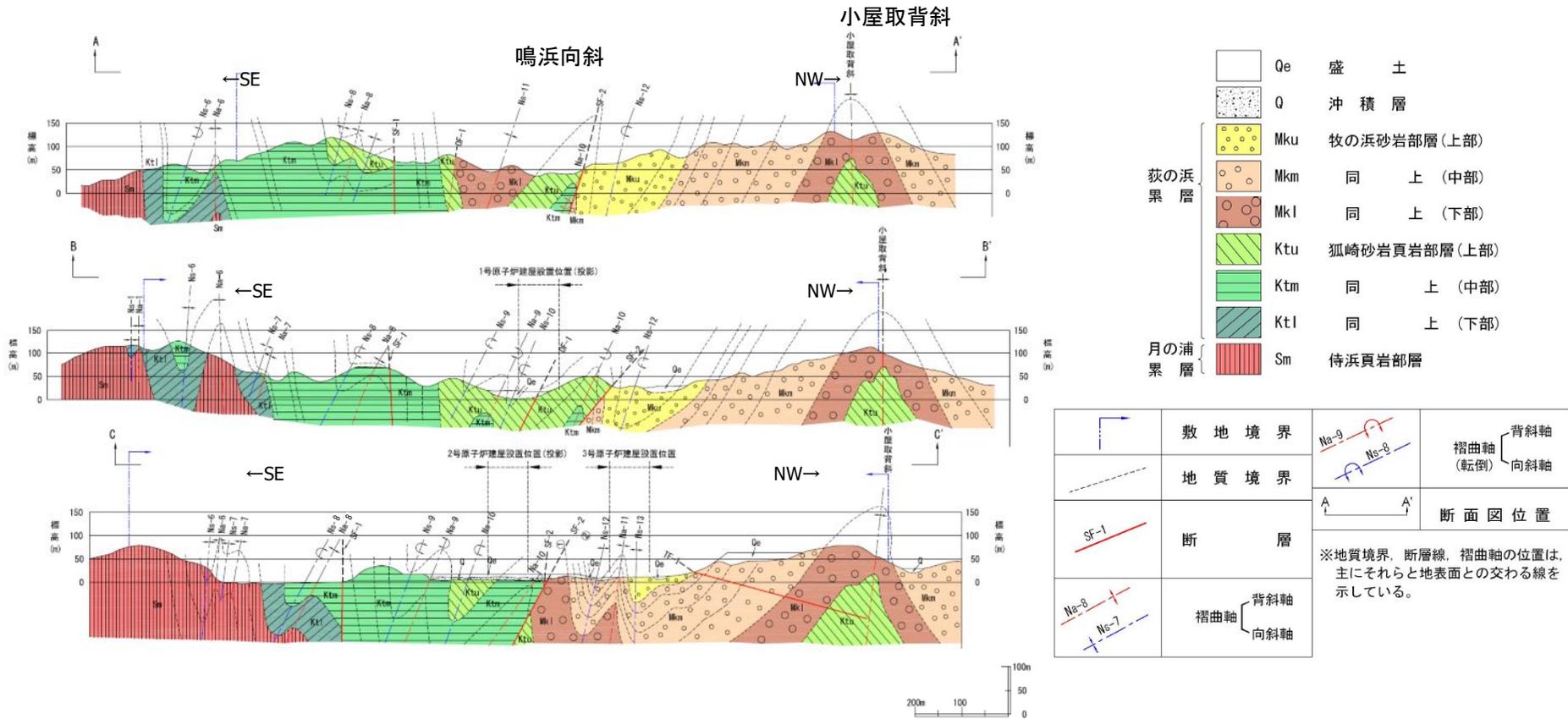
敷地の地質図



敷地の地質図

※本頁の図に関しては、PNを図面右側方向とし、海側が図面下側方向になる配置にて表示

敷地の地質断面図



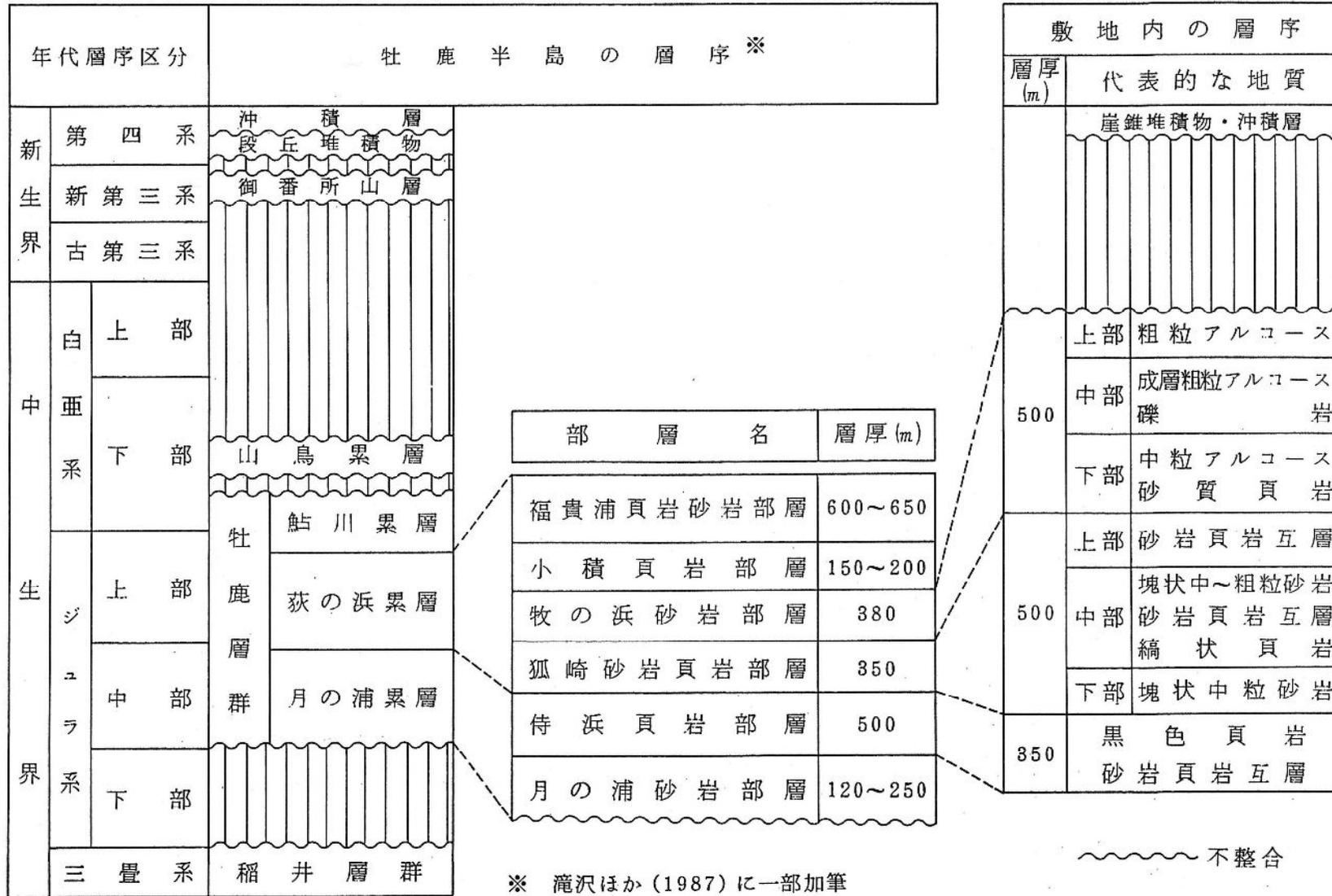
- Qe 盛 土
- Q 沖 積 層
- 萩の浜層
 - Mku 牧の浜砂岩部層(上部)
 - Mkm 同 上 (中部)
 - Mkl 同 上 (下部)
 - Ktu 狐崎砂岩頁岩部層(上部)
 - Ktm 同 上 (中部)
 - Ktl 同 上 (下部)
- 月の浦層
 - Sm 侍浜頁岩部層

	敷地境界		褶曲軸 (転倒)
	地質境界		
	断 層	断面図位置	
	褶曲軸	背斜軸 向斜軸	

※地質境界、断層線、褶曲軸の位置は、主にそれらと地表面との交わる線を示している。

敷地の地質断面図

敷地の地質層序表



※ 滝沢ほか(1987)に一部加筆

敷地の地質層序表

敷地の地質構造図



凡 例

Qe	盛 土
Qs	海 浜 砂
Q	沖 積 層
Mku	牧の浜砂岩部層(上部)
Mkm	同 上 (中部)
Mkl	同 上 (下部)
Ktu	狐崎砂岩頁岩部層(上部)
Ktm	同 上 (中部)
Ktl	同 上 (下部)
Sm	侍浜頁岩部層

萩の浜累層
月の浦累層

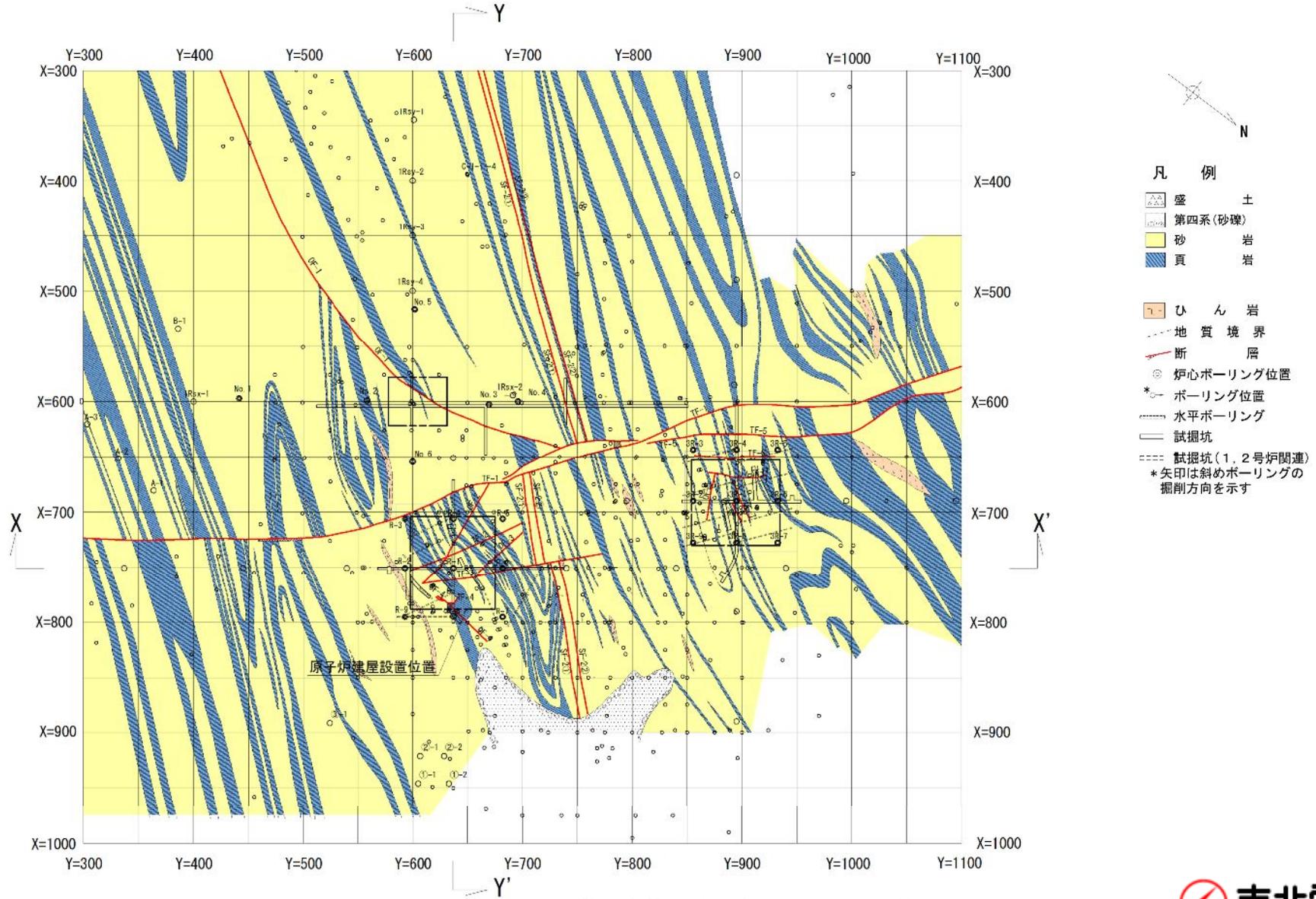
	敷地境界
	地質境界
	断層 ○破線は伏在を表す ○けばは落ちの方向 ○矢印は面の傾斜方向
	褶曲軸 背斜軸 向斜軸 ○破線は伏在を表す
	褶曲軸 (既倒) 背斜軸 向斜軸 ○破線は伏在を表す
	断面図位置

※地質境界、断層線、褶曲軸の位置は、主にそれらと地表面との交わる線を示している。

0 300m

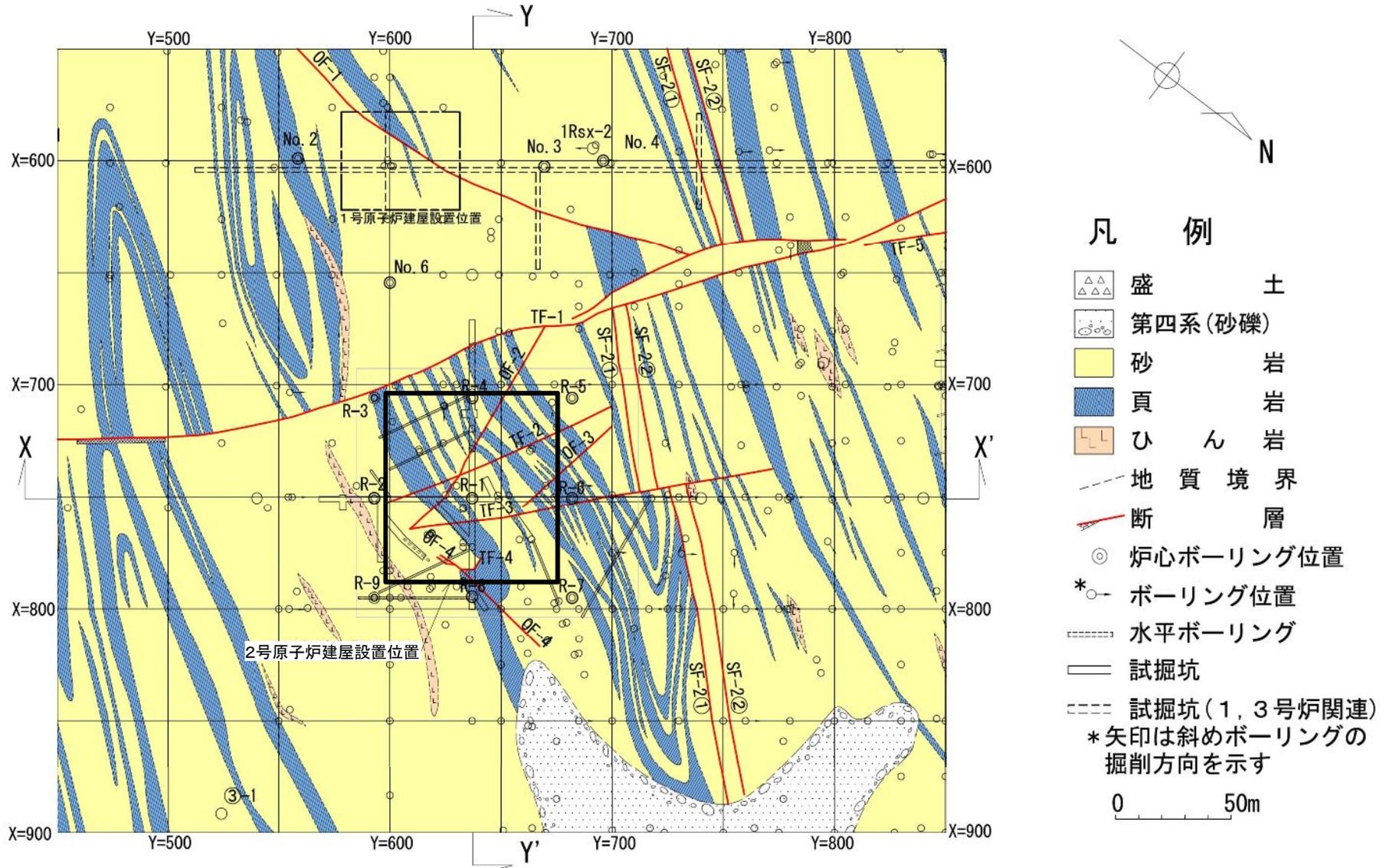
敷地の地質構造図

敷地の地質水平断面図



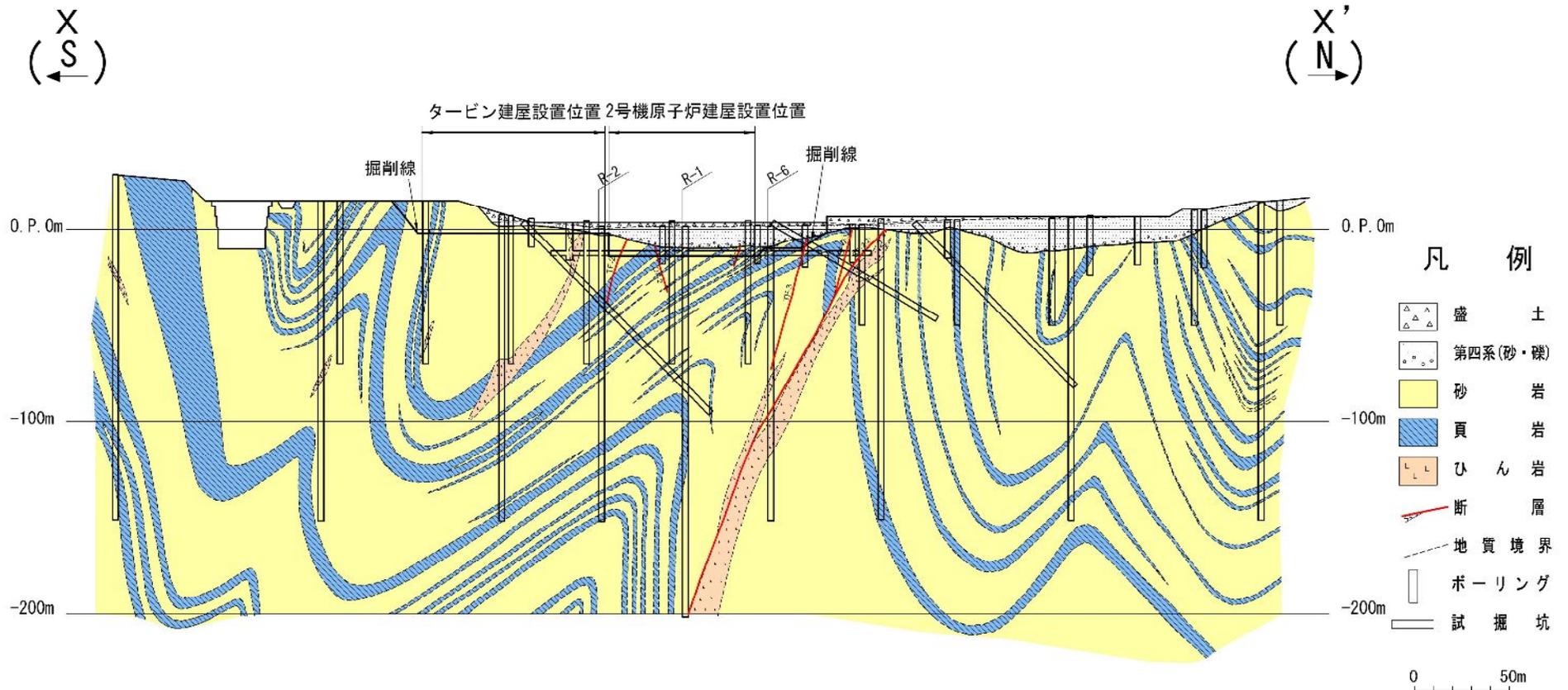
敷地全体の地質水平断面図(O.P.約-14 m)

2号炉付近の地質水平断面図



2号原子炉建屋設置位置周辺の地質水平断面図(O.P.約-14 m)

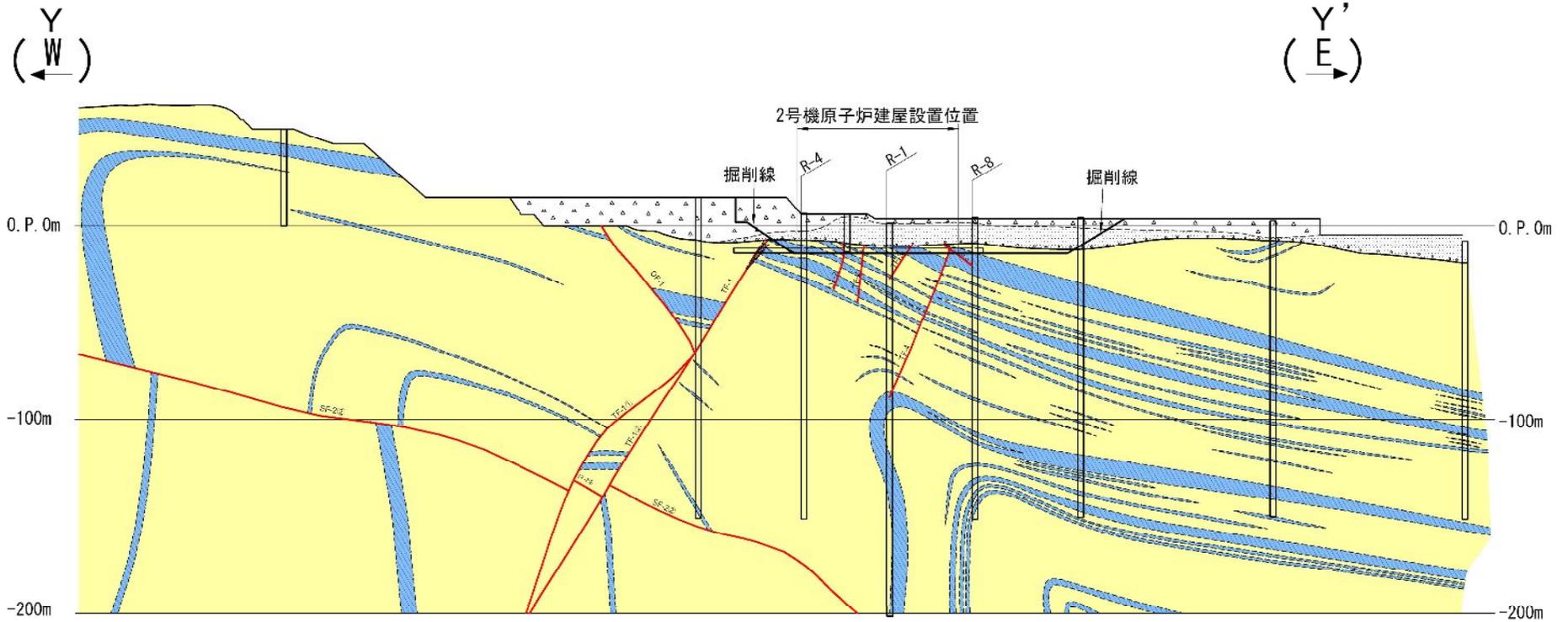
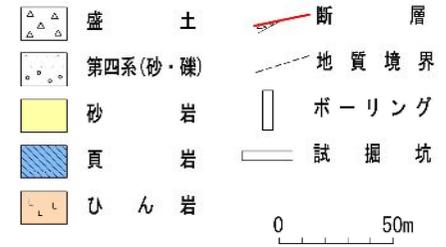
2号炉付近の地質鉛直断面図(X-X')



2号原子炉建屋設置位置周辺の地質鉛直断面図(X-X')

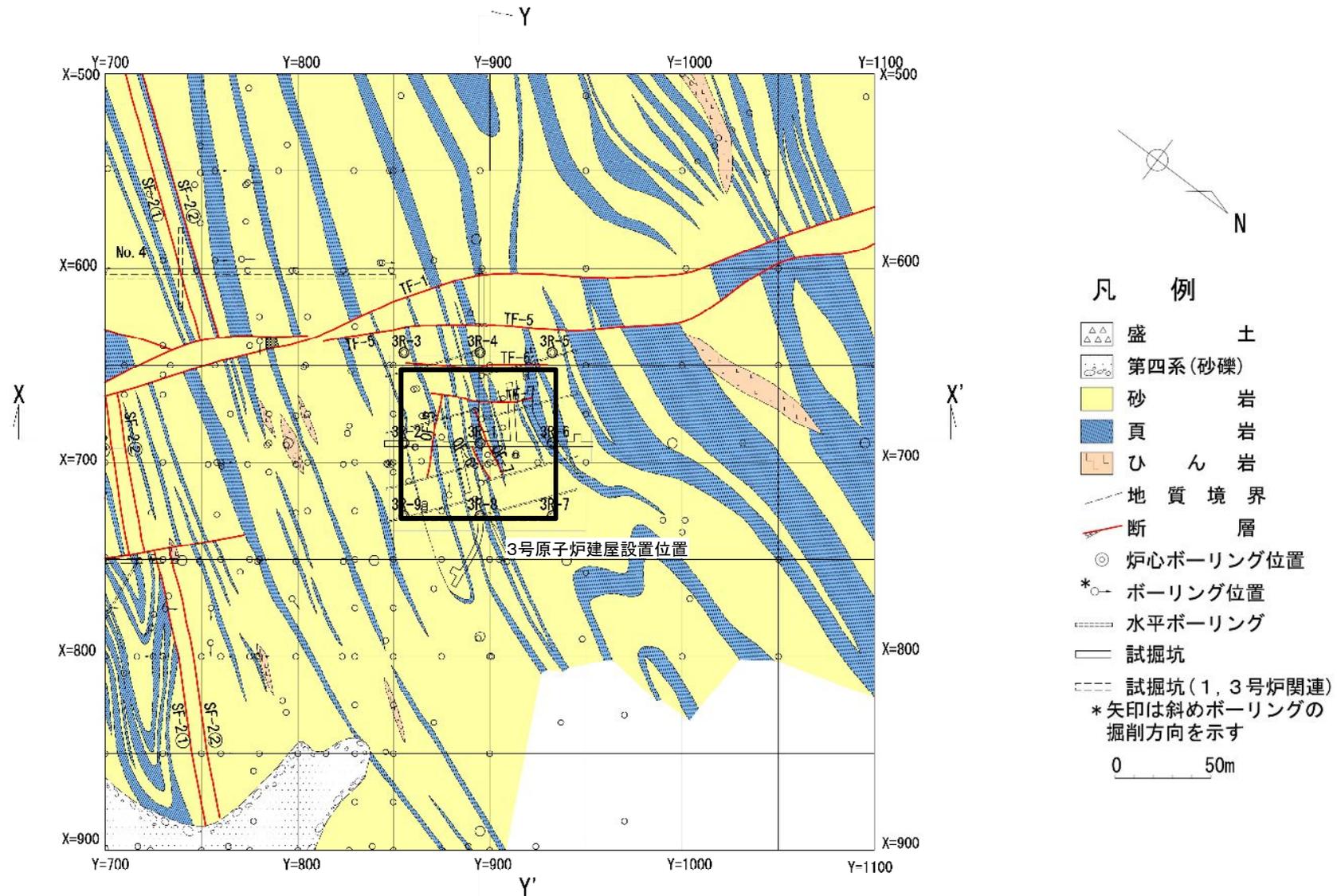
2号炉付近の地質鉛直断面図(Y-Y')

凡 例



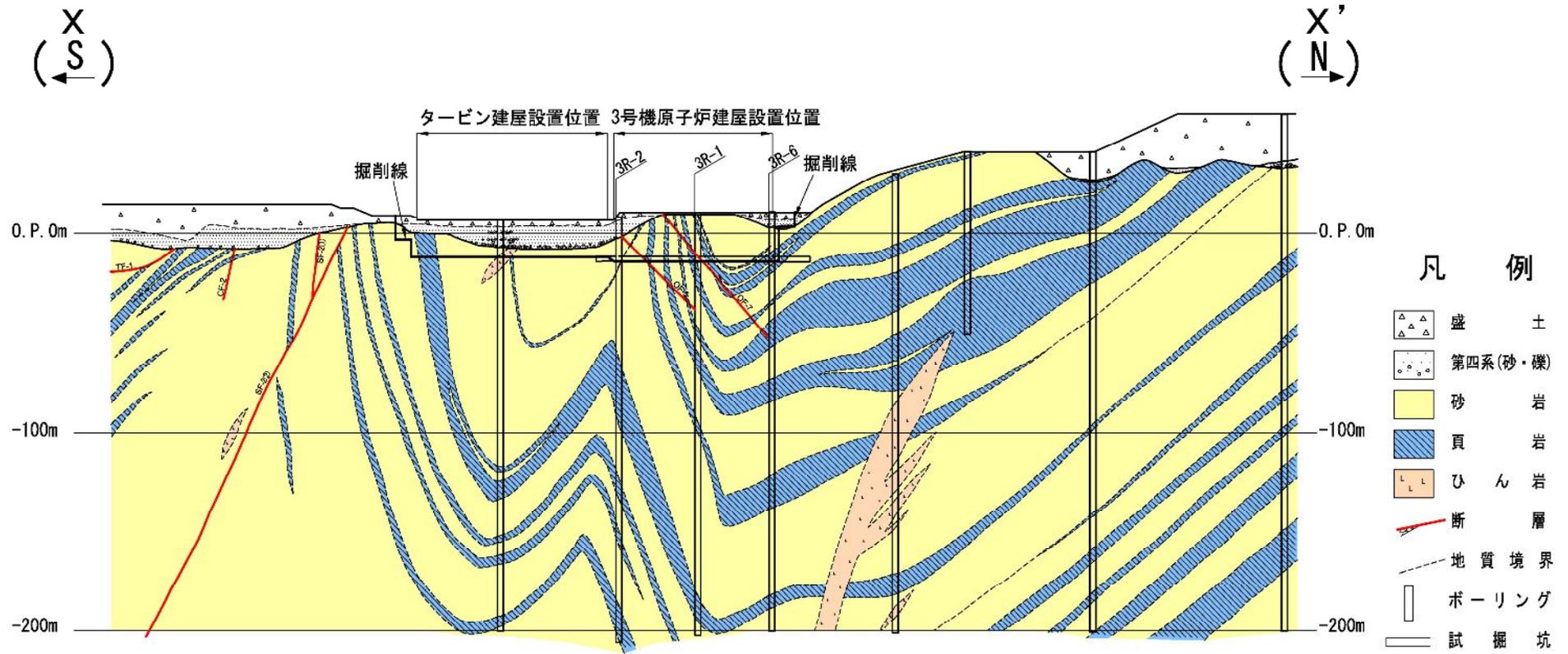
2号原子炉建屋設置位置周辺の地質鉛直断面図(Y-Y')

3号炉付近の地質水平断面図



3号原子炉建屋設置位置周辺の地質水平断面図(O.P.約-14 m)

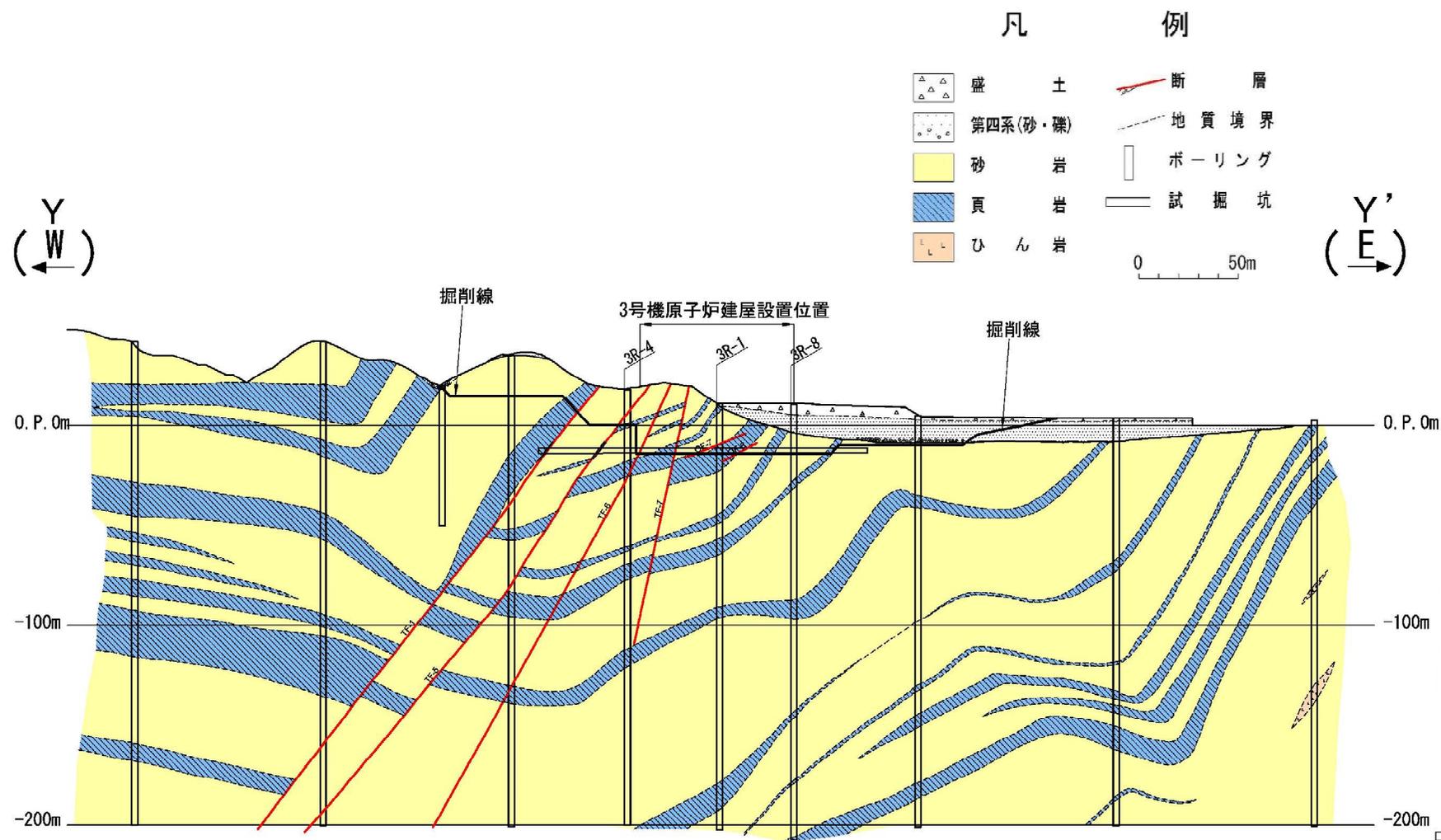
3号炉付近の地質鉛直断面図(X-X')



3号原子炉建屋設置位置周辺の地質鉛直断面図(X-X')

0 50m

3号炉付近の地質鉛直断面図(Y-Y')



3号原子炉建屋設置位置周辺の地質鉛直断面図(Y-Y')

地質構造発達史(2)【地質構造発達史の全体像】

- 敷地を含む南部北上のジュラ系においては、前期白亜紀の“大規模な地殻変動”により、火成活動を伴いながら、褶曲構造とともに断層が形成されたと考えられている。
- 宮古層群以降の地層が褶曲変形を受けていないことから、それ以降は比較的“静穏期”にあったと考えられている。

(大槻(2009), 大槻ほか(2011), 永広・越谷(2012), 蟹澤ほか編(2006)を参考に作成)

		南部北上		北部北上	イベント	備考
		敷地				
新生代	第四紀	沖積層				
	新第三紀				日本海の拡大と反時計回りの回転	南部北上ブロック内では顕著な地殻変動はみられない
	古第三紀			野田層群 火山岩類 久慈層群	“静穏期” ・ジュラ紀付加体の大陸地殻化の終了 ・堆積盆の東方(太平洋沖)への移動	
中生代	白亜紀	後期		宮古層群		“大規模な地殻変動” : 褶曲構造, 断層活動, 火成活動
		前期	ひん岩	花崗岩類 火山岩・火山砕屑岩類		
中生代	ジュラ紀	牡鹿層群 荻の浜累層	敷地 3列(東列・中列・西列)の堆積盆の形成・発達 : 浅海成~陸成堆積物	付加体の形成	海溝軸の前面側(南方)へのジャンプと火山フロントの前進	
	三畳紀	北上しつつ、堆積盆を形成	ゴンドワナ大陸からの分離・北上 : 遠洋性堆積物・石灰岩	遠洋性堆積物	南部北上がジュラ紀付加体へ衝突	
古生代			“大陸基盤”の形成	海洋地殻の形成		

地質構造発達史(3)【古生代後期～中生代三畳紀～ジュラ紀の南部北上の移動】

①ゴンドワナ大陸からの分離・北上

- ✓ 南部北上山地の中古生界の中核部となる南部北上古陸は、ゴンドワナ大陸から分離し、古生代二畳紀(ペルム紀)から中生代三畳紀, ジュラ紀にかけて北上していた。
- ✓ 南部北上古陸は、古生代二畳紀(ペルム紀)には、赤道付近に位置していたものと考えられている。
- ✓ これらの時期には、遠洋性堆積物や石灰岩が堆積したと考えられている。

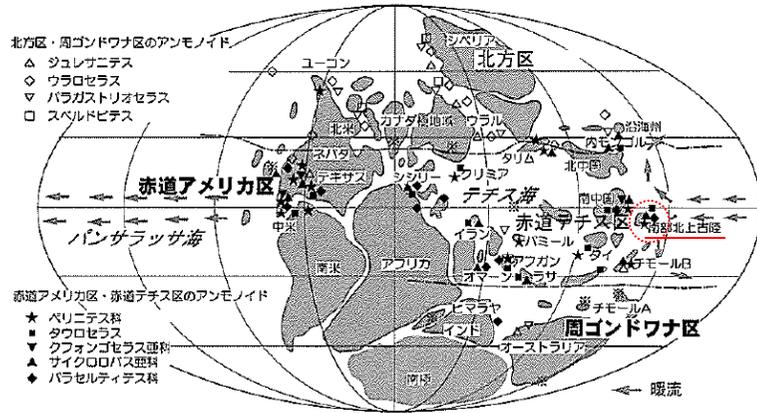


図 3.2.1 前期～中期ペルム紀のアンモナイト古生物地理と大陸配置。大陸配置は前期ペルム紀後期の位置。沿海州・内モンゴルの北方区のアンモナイトはペルム紀前期、赤道テチス区のそれは中期のもので、小大陸の南下による古地理の変化を反映している。

蟹澤ほか編(2006)に加筆

	南部北上		北部北上	イベント	備考
	敷地				
新生代	第四紀	沖積層			
	新第三紀			日本海の拡大と反時計回りの回転	南部北上ブロック内では顕著な地殻変動はみられない
	古第三紀		野田層群 火山岩類 久慈層群	"静穏期" ジュラ紀付加体の大陸地殻化の終了・堆積盆の東方(太平洋沖)への移動	
中生代	白亜紀	後期	宮古層群	"大規模な地殻変動" 褶曲構造, 断層活動, 火成活動	圧縮軸の回転 大規模な褶曲・断層帯の発達
		前期	ひん岩 花崗岩類 火山岩・火山砕屑岩類		
	ジュラ紀		付加体の形成	高滑軸の前面側(南方)へのジャンプと火山フロントの前進	南部北上がジュラ紀付加体へ衝突
			3列(東列・中列・西列)の堆積盆の形成・発達 ： 浅海成～陸成堆積物	遠洋性堆積物	
三畳紀		北上しつつ、堆積盆を形成	海洋地殻の形成		
古生代		① ゴンドワナ大陸からの分離・北上 ： 遠洋性堆積物・石灰岩 "大陸基盤"の形成			

(大槻(2009), 大槻ほか(2011), 永広・越谷(2012), 蟹澤ほか編(2006)を参考に作成)

地質構造発達史(4)【中生代三畳紀～ジュラ紀の堆積盆形成・発達】

②3列(東列・中列・西列)の堆積盆の形成・発達

- ✓ 北上を続ける南部北上古陸付近では、主として中生代三畳紀よりジュラ紀にかけて、東列、中列、西列の3列の堆積盆が形成、発達した。
- ✓ 敷地は、中列の堆積盆に対応し、ジュラ紀に牡鹿層群(左下図のJ2～J3)の砂岩、泥岩等が堆積している。

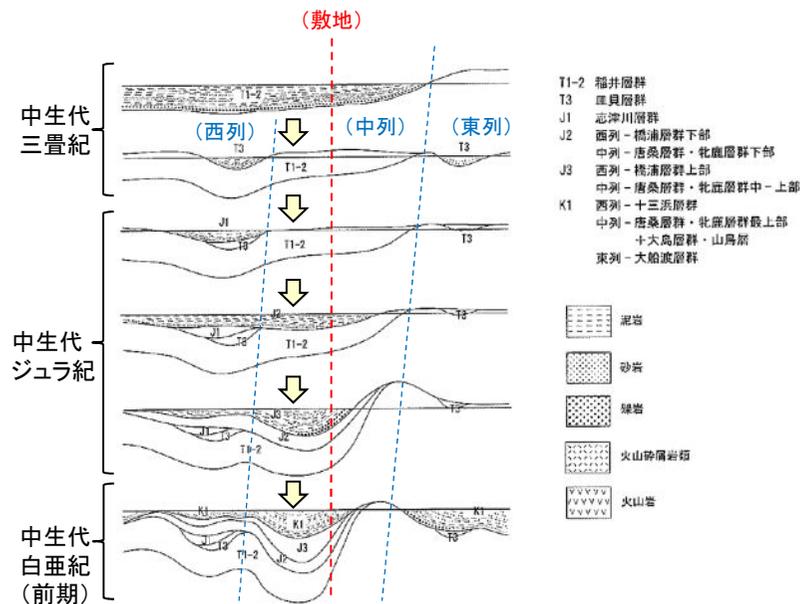


図 3.3.6 南部北上帯中生界堆積盆の変遷 (山下, 1967 を永広 1995 加筆修正)

蟹澤ほか編(2006)に加筆

	南部北上			イベント	備考
	敷地				
新生代	第四紀	沖積層			
	新第三紀			日本海の拡大と反時計回りの回転	南部北上ブロック内では顕著な地殻変動はみられない
	古第三紀			野田層群 火山岩類 久慈層群	“静穏期” ・ジュラ紀付加体の大地殻変動の終了 ・堆積盆の東方(太平洋沖)への移動
中生代	白亜紀	後期		富古層群	“大規模な地殻変動” : 褶曲構造, 断層活動, 火成活動
		前期	ひん岩	花崗岩類 火山岩・火山砕屑岩類	海溝軸の前面側(南方)へのジャンプと火山フロントの前進
	ジュラ紀	牡鹿層群 該の浜泉層	② 北上しつつ堆積盆を形成	付加体の形成	南部北上がジュラ紀付加体へ衝突
	三畳紀			遠洋性堆積物	
古生代				海洋地殻の形成	
					“大陸基盤”の形成

(大槻(2009), 大槻ほか(2011), 永広・越谷(2012), 蟹澤ほか編(2006)を参考に作成)

地質構造発達史(5)【中生代ジュラ紀の南部北上の北部北上への衝突】

③南部北上がジュラ紀付加体へ衝突

- ✓ 現在の沿海州付近の古い大陸地殻の前面海域に、イザナギプレート沈み込みに伴うジュラ紀付加体が形成されており、北部北上帯はこのジュラ紀付加体の一部として形成された。
- ✓ 北上を続けていた南部北上帯(中核となる南部北上古陸+中生代三畳紀~ジュラ紀に堆積した堆積盆)は、プレート境界付近に到達し、北部北上帯のジュラ紀付加体に衝突した。

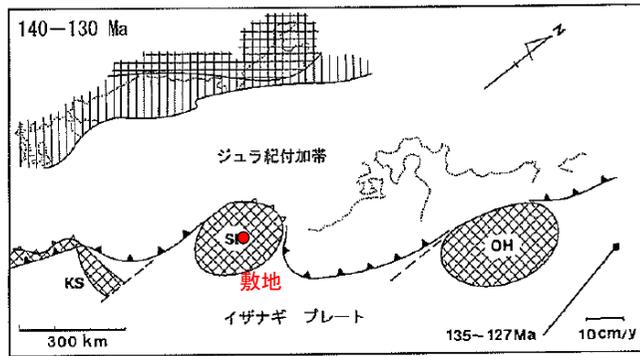
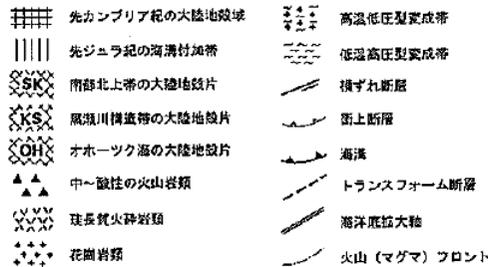


図 3.2.2 140 - 130 Ma のテクトニクス概念図。右下の矢印は沈み込みプレートの日本に対する相対運動ベクトルを表す。



蟹澤ほか編(2006)に加筆

	南部北上		北部北上	イベント	備考
	敷地	沖積層			
新生代	第四紀	沖積層			
	新第三紀			日本海の拡大と反時計回りの回転	南部北上ブロック内では顕著な地殻変動はみられない
	古第三紀		野田層群 火山岩類		“静穏期” ジュラ紀付加体の大陸地殻化の終了・堆積盆の東方(太平洋沖)への移動
中生代	白亜紀 後期		久慈層群		
	白亜紀 前期	ひん岩	宮古層群		“大規模な地殻変動” ：褶曲構造、断層活動、火成活動
	ジュラ紀	牡鹿層群 級の浜栗層 北上しつつ、堆積盆を形成	付加体の形成	付加体の形成	海溝軸の前面側(南方)へのジャンプと火山フロントの前進 南部北上がジュラ紀付加体へ衝突
中生代	三畳紀		遠洋性堆積物		
古生代			海洋地殻の形成		

(大槻(2009), 大槻ほか(2011), 永広・越谷(2012), 蟹澤ほか編(2006)を参考に作成)

地質構造発達史(6)【プレート境界海溝軸のジャンプ】

④プレート境界海溝軸の南方へのジャンプ

- ✓ 南部北上帯が北部北上帯ジュラ紀付加体に衝突後、イザナギプレート沈み込みのプレート境界海溝軸が南方へジャンプした。
- ✓ プレート境界海溝軸のジャンプに伴い、更新されたイザナギプレートの沈み込みにより火山フロントが前進し、南部北上帯から北部北上帯にかけての地域には、玄武岩から流紋岩にわたる多様な火山岩類が噴出した。
- ✓ 花崗岩類の貫入もほぼ同時代に起きたと考えられている。
- ✓ この時期に、棚倉破碎帯、双葉断層等の大規模な左横ずれ断層によるブロック化が始まったと考えられている。

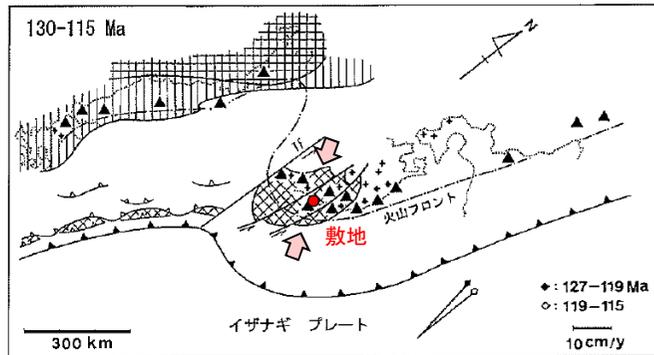
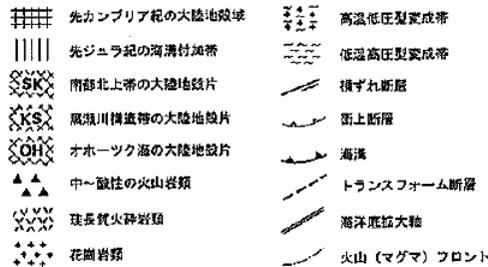


図 3.2.3 130 - 115 Ma のテクトニクス概念図。右下の矢印は沈み込みプレートの日本に対する相対運動ベクトルを表す。黒い矢印：127 - 119 Ma，白い矢印：119 - 115 Ma。



蟹澤ほか編(2006)に加筆

	南部北上		北部北上	イベント	備考	
	敷地					
新生代	第四紀	沖積層				
	新第三紀			日本海の拡大と反時計回りの回転	南部北上ブロック内では顕著な地殻変動はみられない	
	古第三紀		野田層群 火山岩類			
中生代	白亜紀	後期	久慈層群	“静穏期” ジュラ紀付加体の大陸地殻化の終了・堆積盆の東方(太平洋沖)への移動		
		前期	宮古層群			
	ジュラ紀		花崗岩類 火山岩・火山砕屑岩類	付加体の形成	“大規模な地殻変動” ：褶曲構造、断層活動、火成活動	圧縮軸の回転 大規模な横ずれ断層群の発達
			ひん岩			
三畳紀		杜鰐層群 級の英栗層	遠洋性堆積物	海溝軸の前面側(南方)へのジャンプと火山フロントの前進	南部北上がジュラ紀付加体へ衝突	
古生代		北上しつつ、堆積盆を形成	海洋性堆積物			
		3列(東列・中列・西列)の堆積盆の形成・発達 ：浅海成～陸成堆積物	遠洋性堆積物・石灰岩	“大陸基盤”の形成		

(大槻(2009), 大槻ほか(2011), 永広・越谷(2012), 蟹澤ほか編(2006)を参考に作成)

地質構造発達史(7)【前期白亜紀の大規模な地殻変動】

⑤“大規模な地殻変動”

- ✓ NW-SE方向の圧縮応力に伴い、褶曲構造が形成された。
- ✓ 褶曲構造の形成に関連した断層が形成された。
- ✓ これらの地殻変動は、前頁の火成活動と関連を持ったものであると考えられている。

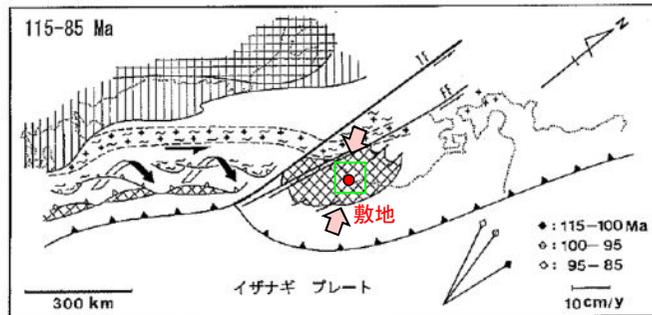
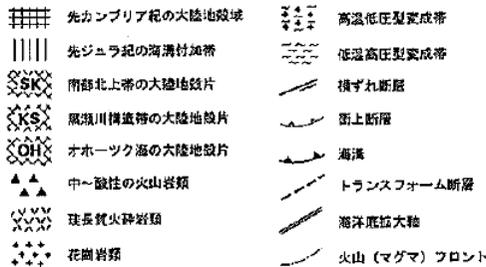


図 3.2.4 115 - 85 Ma のテクトニクス概念図。右下の矢印は沈み込みプレートの日本に対する相対運動ベクトルを表す。黒い矢印:115 - 100 Ma, 線の入った白い矢印:100 - 95 Ma, 白い矢印: 95 - 85 Ma。



蟹澤ほか編(2006)に加筆

	南部北上		北部北上	イベント	備考	
	敷地					
新生代	第四紀	沖積層				
	新第三紀			日本海の拡大と反時計回りの回転	南部北上ブロック内では顕著な地殻変動はみられない	
	古第三紀		野田層群 火山岩類			
中生代	白亜紀	後期	久慈層群	“静穏期” ジュラ紀付加体の大陸地殻化の終了・堆積盆の東方(太平洋沖)への移動		
		前期	宮古層群		“大規模な地殻変動” : 褶曲構造, 断層活動, 火成活動	圧縮軸の回転 大規模な横ずれ断層帯の発達
	ジュラ紀		花崗岩類 火山岩・火山砕屑岩類	付加体の形成	高滑軸の前面側(南方)へのジャンプと火山フロントの前進	
			牡鹿層群 秋の浜系層	3列(東列・中列・西列)の堆積盆の形成・発達 : 浅海成～陸成堆積物	南部北上がジュラ紀付加体へ衝突	
三畳紀		北上しつつ、堆積盆を形成	遠洋性堆積物			
古生代			“大陸基盤”の形成	海洋地殻の形成		

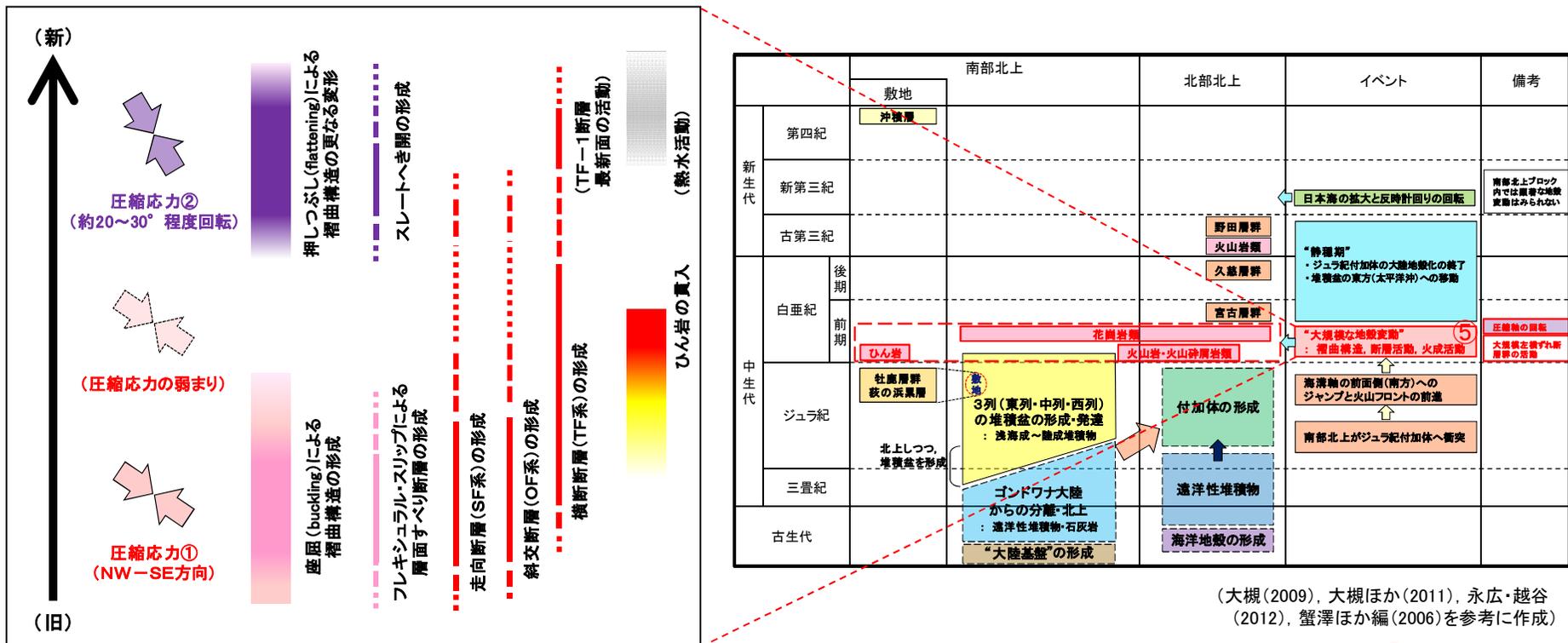
(大槻(2009), 大槻ほか(2011), 永広・越谷(2012), 蟹澤ほか編(2006)を参考に作成)

地質構造発達史(8)【前期白亜紀の地殻変動の概要】

➤ “大規模な地殻変動”の概要は、敷地周辺及び敷地の地質構造の特徴、文献情報等に基づき、以下のとおりまとめられる。

- ① 褶曲構造に直交するNW-SE方向の圧縮応力に伴い、褶曲構造が形成されたと考えられる。
 - ✓ フレキシユラル・スリップによる層面すべり断層を伴う褶曲構造が形成された。
 - ✓ 褶曲構造の形成に関連した断層が形成された。
- ② これらの地殻変動は、火成活動と関連を持ったものであると考えられている。
 - ✓ 敷地内のひん岩は、一時的に圧縮応力が弱まり、この時期に貫入した。
- ③ 約20~30° 時計回りに回転した方向の圧縮応力に伴い、褶曲構造等の更なる変形が起こったと考えられる。
 - ✓ 敷地内では顕著なスレートへき開は見られないものの、押しつぶし作用により褶曲構造が更に変形した。
 - ✓ TF-1断層破碎部の最新面の活動はこの時期と考えられる。
 - ✓ 熱水活動はこの時期まで継続していた。

⇒ 次頁以降にて、女川敷地周辺及び敷地内の地質構造との対応関係から、各地質構造の形成順序について更に詳細な考察を加える。



(大槻(2009), 大槻ほか(2011), 永広・越谷(2012), 蟹澤ほか編(2006)を参考に作成)

地質構造発達史(10)【敷地の地質構造と褶曲構造・断層の形成】

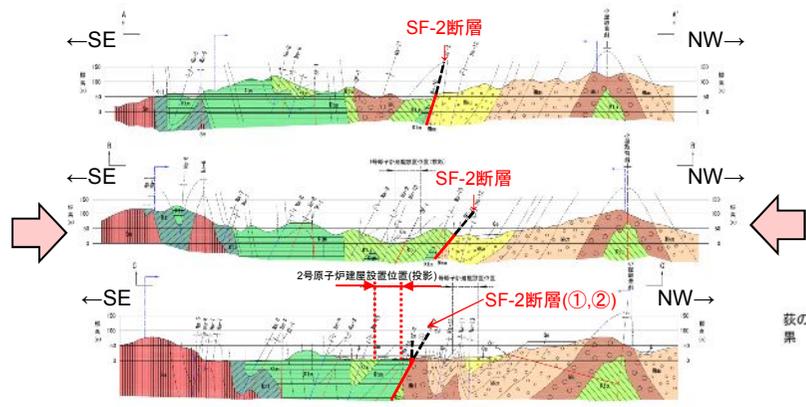
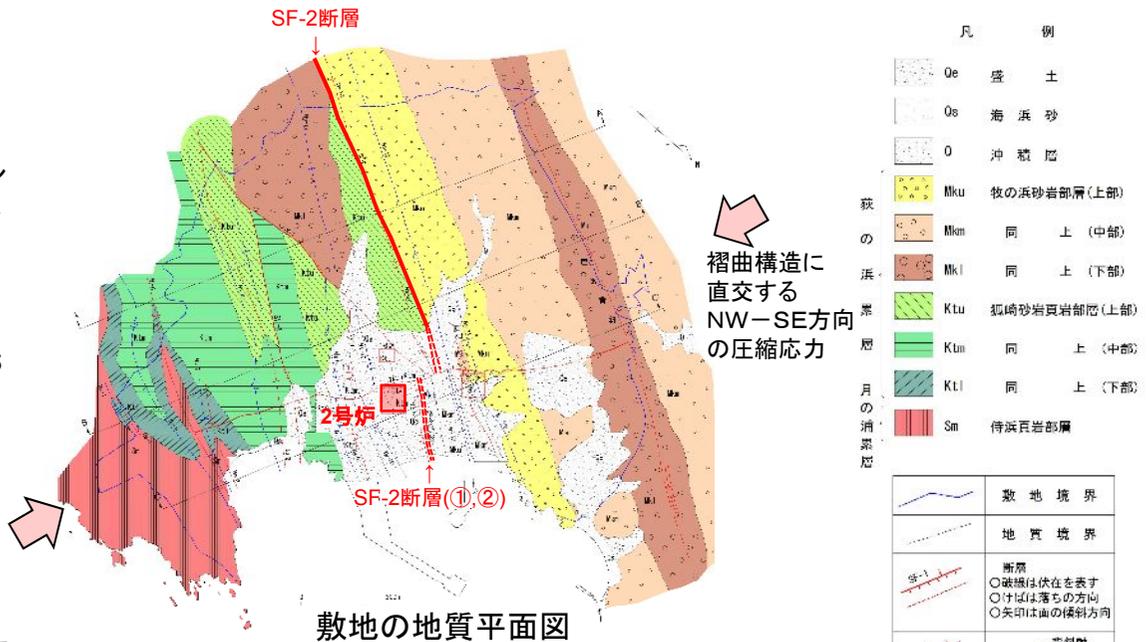
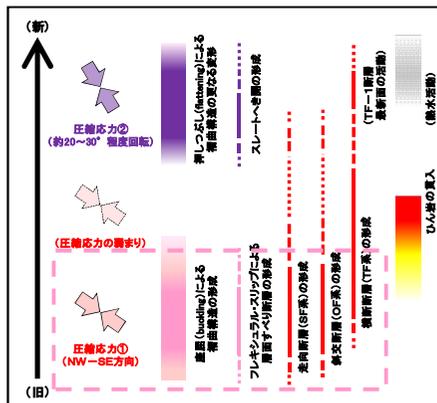
【褶曲構造の形成】

- 敷地の褶曲構造は、敷地周辺と同様、褶曲構造に直交するNW-SE方向の圧縮応力により形成されたと考えられる。
- 主に砂岩と頁岩との境界には、層理面と平行なシームが認められ、褶曲構造が形成される過程で生じた「フレキシユラル・スリップ」による層面すべり断層と考えられる。

【断層の形成】

- 敷地の断層は、敷地周辺と同様、「褶曲構造と同方向(SF系)・斜交する方向(OF系)・ほぼ直交する横断方向(TF系)の断層」とによって特徴づけられる。
- 断層は、褶曲構造を変位させている。
- 断層沿いに引きずりと考えられる変形構造が見られることから、断層は、褶曲構造の形成と同様に、延性的な条件下で形成されたと考えられる。
- 特に走向断層であるSF-2断層は、褶曲構造の翼部が過褶曲にて破断したと考えられるような性状、分布を示す。

⇒ 断層は、少なくとも褶曲構造形成開始以降に、一連の褶曲構造の形成過程で形成されたと考えられる。



凡 例	
Qe	盛 土
Qs	海 浜 砂
Q	沖 積 層
Mku	牧の浜砂岩部層(上部)
Mkm	同 上 (中部)
Mkl	同 上 (下部)
Ktu	狐崎砂岩頁岩部層(上部)
Ktm	同 上 (中部)
Ktl	同 上 (下部)
Sm	待浜頁岩部層

	敷地境界
	地質境界
	断層 ○破断は伏在を表す ○×はは落ちの方向 ○矢印は面の傾斜方向
	褶曲軸 青斜軸 向斜軸 ○破断は伏在を表す 青斜軸 褶曲軸(転倒) 向斜軸 ○破断は伏在を表す
	断面図位置

※地質境界、断層線、褶曲軸の位置は、主としてそれらと地表面との交わる線を示している。

Qe	盛 土
Q	沖 積 層
Mku	牧の浜砂岩部層(上部)
Mkm	同 上 (中部)
Mkl	同 上 (下部)
Ktu	狐崎砂岩頁岩部層(上部)
Ktm	同 上 (中部)
Ktl	同 上 (下部)
Sm	待浜頁岩部層

※本頁の図に関しては、PNを図面右側方向とし、海側が図面下側方向になる配置にて表示

地質構造発達史(11)【敷地の地質構造と断層の形成】

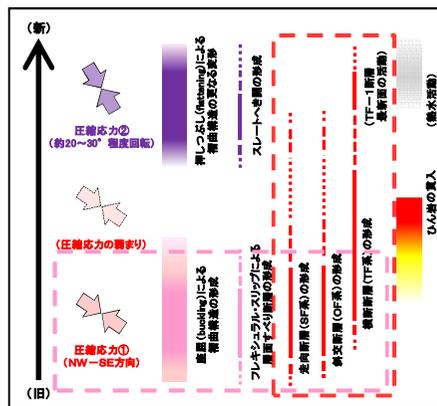
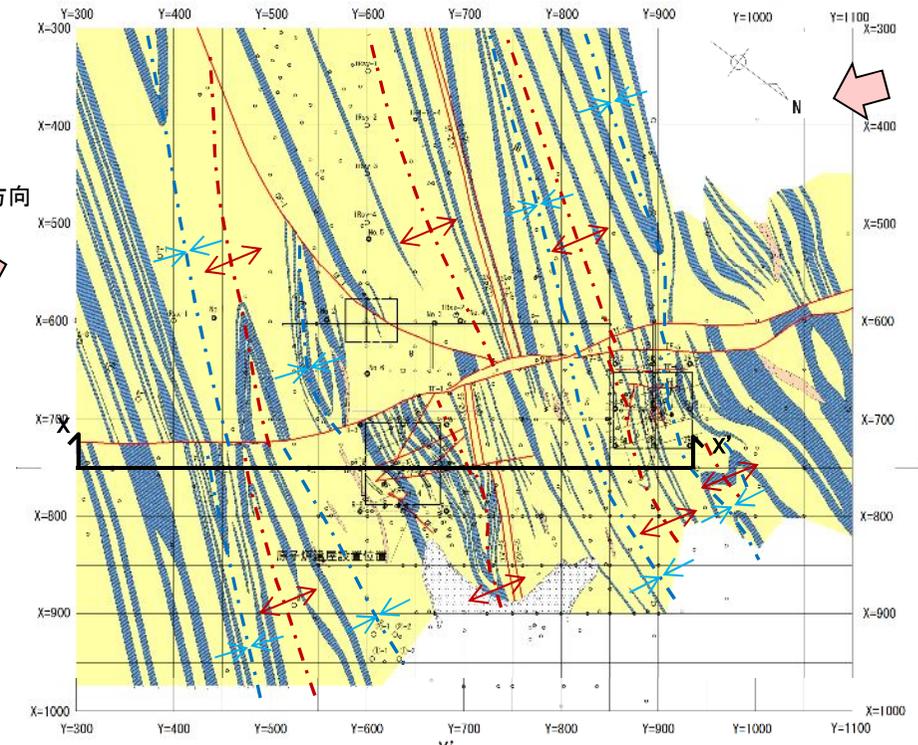
【褶曲構造の形成】

- 敷地の褶曲構造は、敷地周辺と同様、褶曲構造に直交するNW-SE方向の圧縮応力によって形成されたと考えられる。

【断層の形成】

- 敷地の断層は、敷地周辺と同様、「褶曲構造と同方向(SF系)・斜交する方向(OF系)・ほぼ直交する横断方向(TF系)の断層」とによって特徴づけられる。
- 規模の小さな断層は、互いに切り切られの関係にあるが、横断断層(TF系)は比較的他の断層を切る傾向が強く、特に敷地の中で最大規模のTF-1断層は、褶曲構造及び全ての断層を変位させている。
- ⇒ 断層は、一連の褶曲構造の形成過程で形成されたと考えられる。
- ⇒ 横断断層系は比較的遅い時期に活動したと考えられ、この中においてTF-1断層は敷地の中で最後に活動した断層と考えられる。

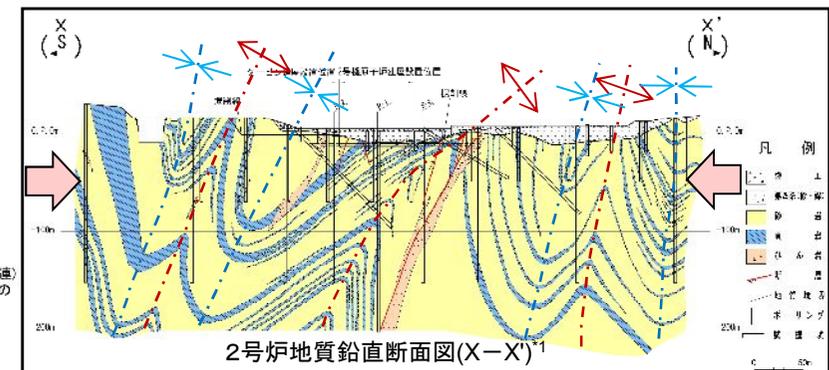
褶曲構造に直交するNW-SE方向の圧縮応力



凡例

- 盛土
- 第四系(砂礫)
- 砂岩
- 頁岩
- ひんげ岩
- 地質境界
- 断層
- 炉心ボーリング位置
- ボーリング位置
- 水平ボーリング
- 試験坑
- 試験坑(1, 2号炉間通)
- *矢印は斜めボーリングの掘削方向を示す

敷地全体の地質水平断面図(O.P.約-14 m)



2号炉地質鉛直断面図(X-X')¹

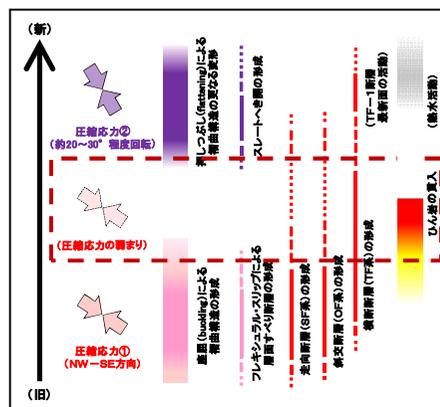
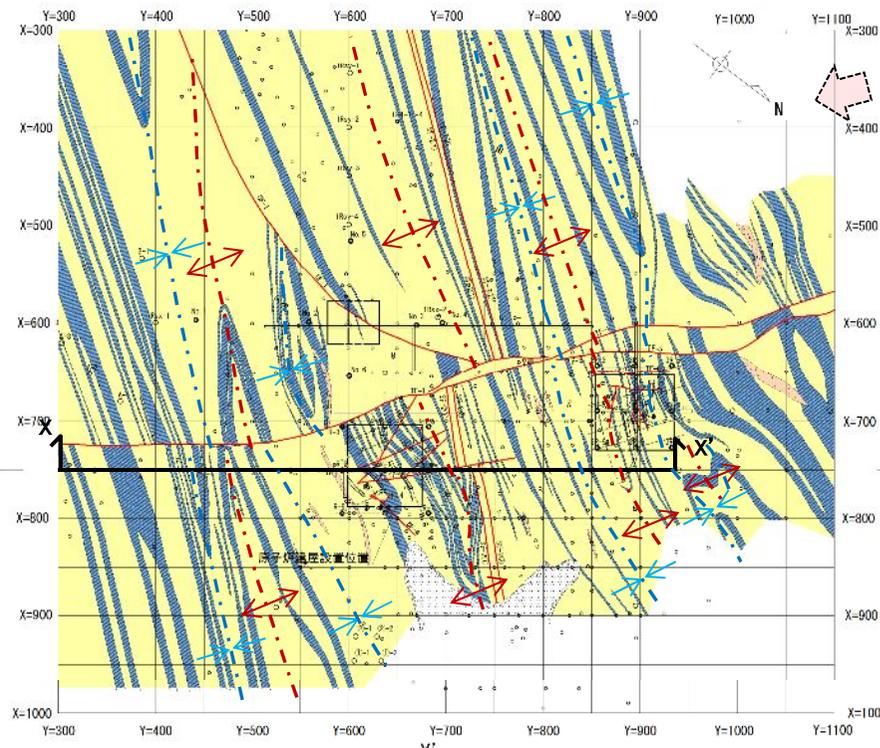
※本頁の図に関しては、PNを図面右側方向とし、海側が図面下側方向になる配置にて表示

地質構造発達史(12)【敷地の地質構造とひん岩の貫入】

【ひん岩の貫入】

- ひん岩は、褶曲構造と交差して貫入している。
⇒ ひん岩の貫入は褶曲構造形成後と考えられる。
- ひん岩の貫入方向は褶曲構造の延びの方向に調和的なものが多い。
⇒ ひん岩貫入時は、褶曲構造と直交方向の引張り応力、あるいは圧縮応力が弱まった状態であったと考えられる。
(ここでは、少なくとも褶曲構造と直交方向の引張り応力場を示す証拠がないことから、圧縮応力が弱まった状態を採用)
- ひん岩は、小規模な断層に対して、切り切れの関係にあるが、少なくともTF-1断層は確認された全ての箇所ではひん岩を切っている。
⇒ ひん岩の貫入は、TF-1断層の活動より古いものと考えられる。

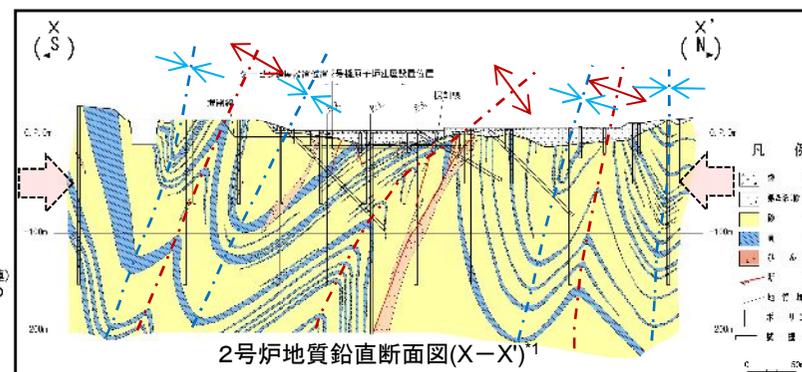
褶曲構造に直交するNW-SE方向の圧縮応力が弱まったと考えられる



凡例

- 盛土
- 第四系(砂礫)
- 岩
- 頁岩
- ひん岩
- 地質境界
- 断層
- 炉心ボーリング位置
- ボーリング位置
- 水平ボーリング
- 試験坑
- 試験坑(1, 2号炉関連)
- * 矢印は斜めボーリングの掘削方向を示す

敷地全体の地質水平断面(O.P.約-14 m)



2号炉地質鉛直断面図(X-X')¹

※本頁の図に関しては、PNを図面右側方向とし、海側が図面下側方向になる配置にて表示

地質構造発達史(13)【スレートへき開と褶曲軸方向の斜交, 応力場の変化】

【スレートへき開と褶曲軸方向の斜交】(石井(1985), 滝沢ほか(1986), 鎌田・滝沢(1991)等)

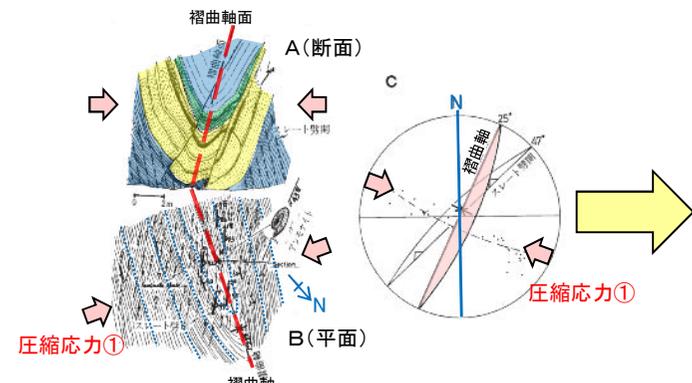
- 南部北上山地牡鹿半島の中・古生界では、褶曲軸の方向に対して、スレートへき開の方向は時計回りに約20~30°程度回転した方向に斜交している。
- スレートへき開は、褶曲構造の形成に伴って形成された層面すべり断層と同系統の方解石結晶を切っていることから、スレートへき開形成時期は、フレキシユラル・スリップによる層面すべり断層を伴う褶曲の主要形成時期よりも後である。

⇒

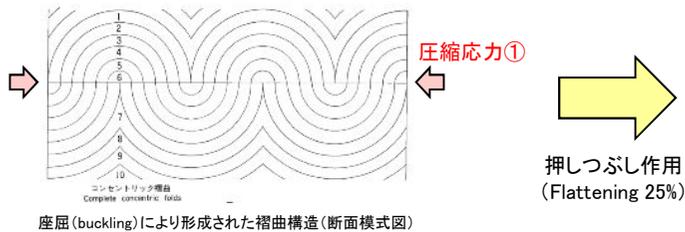
1. 牡鹿半島における褶曲・スレートへき開など地質構造は、「**座屈(buckling)**」とそれに引き続く「**押しつぶし(flattening)**」という2段階の過程によって形成された。
2. 「**第1段階: 座屈(buckling)**により褶曲構造を形成した応力場(圧縮応力①)」から、「**第2段階: 押しつぶし作用(flattening)**によりスレートへき開を形成した応力場(圧縮応力②)」へ、主圧縮軸方向が時計回りに約20~30°程度回転するような応力場の変化があった。

① 褶曲構造の形成

褶曲軸の方向(N25° E)に対して直交方向の圧縮応力(圧縮応力①)により褶曲構造が形成された。



第40図 ジュラ系における褶曲とスレート劈開との関係 (滝沢, 1986)に加筆
大規模の褶曲の発達段階: 褶曲軸とスレート劈開が斜交していることに注意。変形アンモナイトの長軸はスレート劈開に平行。各図の断面は地表を上にして、A図はその南東の走向。C図のステレオネットは北東面での投影 (T手法投影)

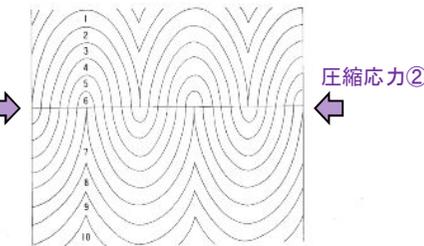
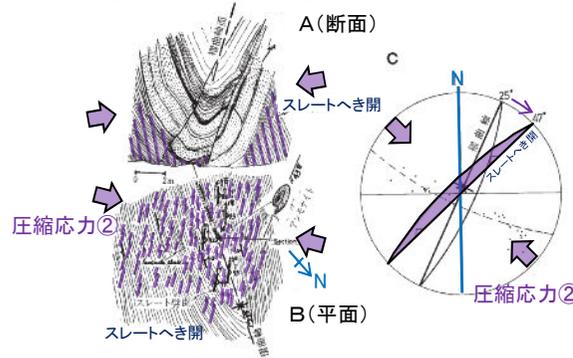


座屈(buckling)により形成された褶曲構造(断面模式図)

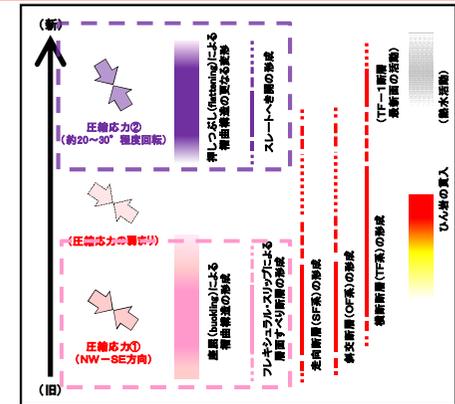
押しつぶし作用
(Flattening 25%)

② スレートへき開の形成

スレートへき開の方向(N47° E)に対して直交方向の圧縮応力(圧縮応力②)により、押しつぶし作用によって更に褶曲構造が変形するとともに、スレートへき開が形成された。



押しつぶし(flattening)により更に変形した褶曲構造(断面模式図)



スレートへき開

泥岩などの細粒の堆積岩が変形運動を受けたために生じた、極細粒物質の定向配列によって一定の方向に発達した剥離性を持った割れ目。
ペルム紀登米層(登米スレート、雄勝石)や三疊系稲井層群伊里前層(井内石)などによく見られる。登米スレートは東京駅の屋根に用いられている。へき開の発達する方向と、堆積したときの堆積面とは斜交することが多い。

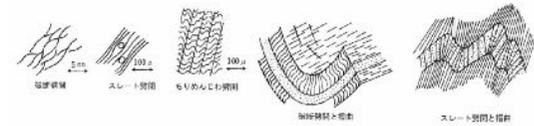


図 1.3.14 劈開の分類 (大久保・雄志, 1994)

蟹澤ほか編(2006)

第41図 牡鹿地方上部ジュラ系の小褶曲の変形過程を示す図 (滝沢・王井, 1986)に加筆

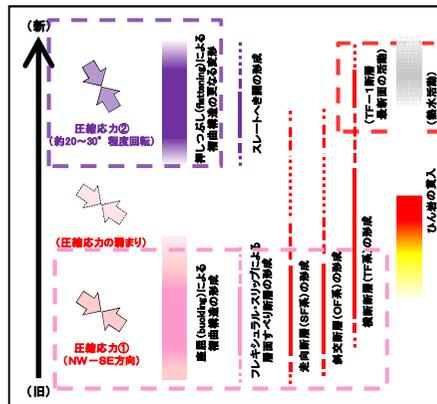
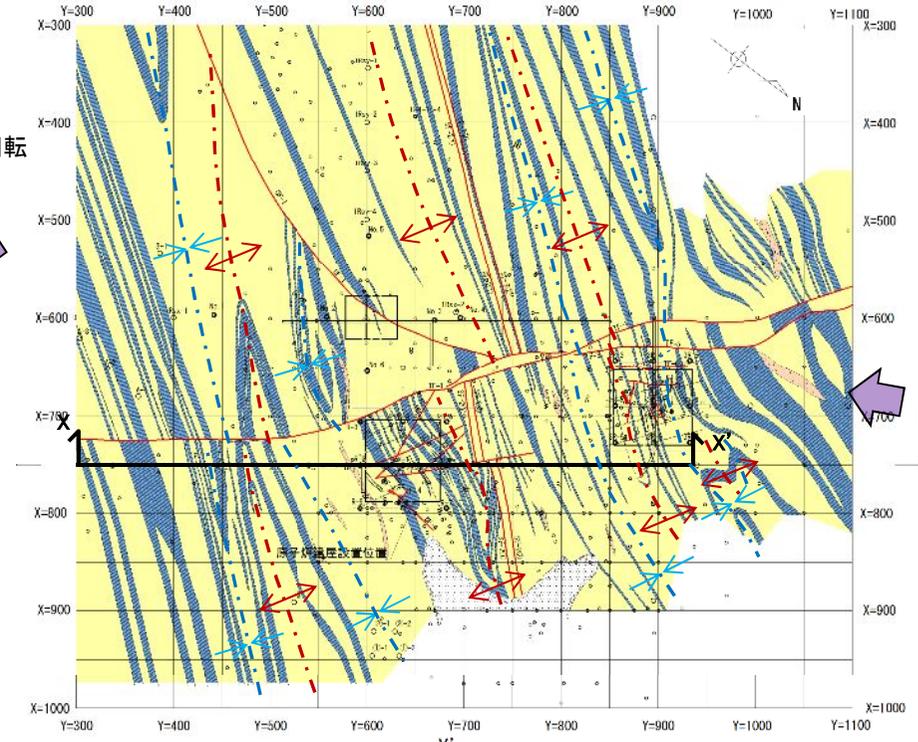
滝沢ほか(1986)に加筆

地質構造発達史(14)【TF-1断層の最新面の活動】

【TF-1断層の最新面の活動】

- 敷地内で最後に活動したと考えられるTF-1断層の破碎部の組織観察に基づく活動性検討の結果によれば、
 - ✓ TF-1断層破碎部主部には、正断層活動を示す変形組織が観察された。
 - ✓ 一方、TF-1断層破碎部最新面には、逆断層活動を示す変形組織が観察された。
 - ✓ TF-1断層破碎部最新面付近には、イライトと考えられる長柱状の粘土鉱物が晶出しているが、結晶は破壊されずに残存している。
 - TF-1断層のK-Ar年代は、周囲の母岩(約100~110Ma)やひん岩(約105~108Ma)に比べて、約95~98Maと新しい年代を示す。
- ⇒ TF-1断層は、正断層として形成されたものの、最新活動として、逆断層センスの動きがみられるが、断層破碎部の最新面付近には長柱状の粘土鉱物が晶出し、それが破壊されていないことから、少なくとも断層は前期白亜紀の熱水活動が終息した後は活動していないものと考えられる。

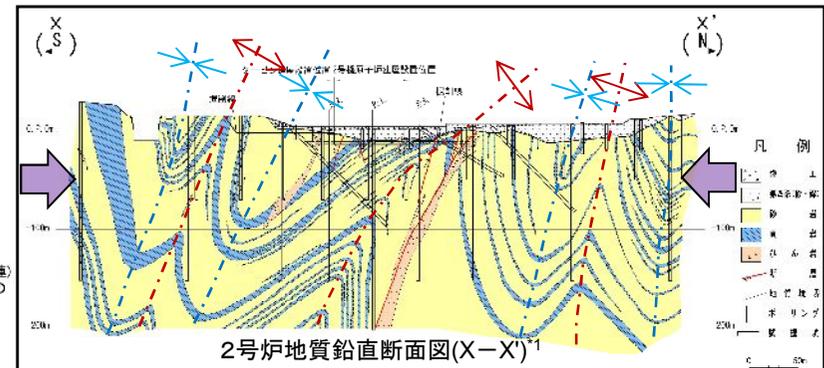
時計回りに
20~30° 回転
した方向の
圧縮応力



凡例

- 盛土
- 第四系(砂礫)
- 砂岩
- 頁岩
- ひん岩
- 地質境界
- 断層
- 炉心ボーリング位置
- ボーリング位置
- 水平ボーリング
- 試験坑
- 試験坑(1, 2号炉関連)
- * 矢印は斜めボーリングの掘削方向を示す

敷地全体の地質水平断面図(O.P.約-14 m)



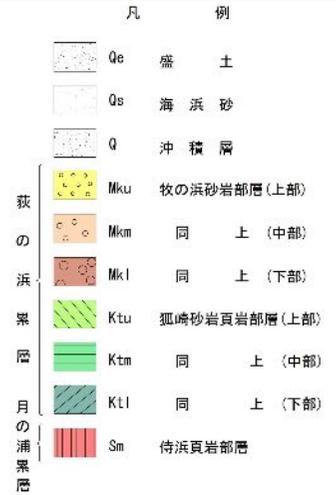
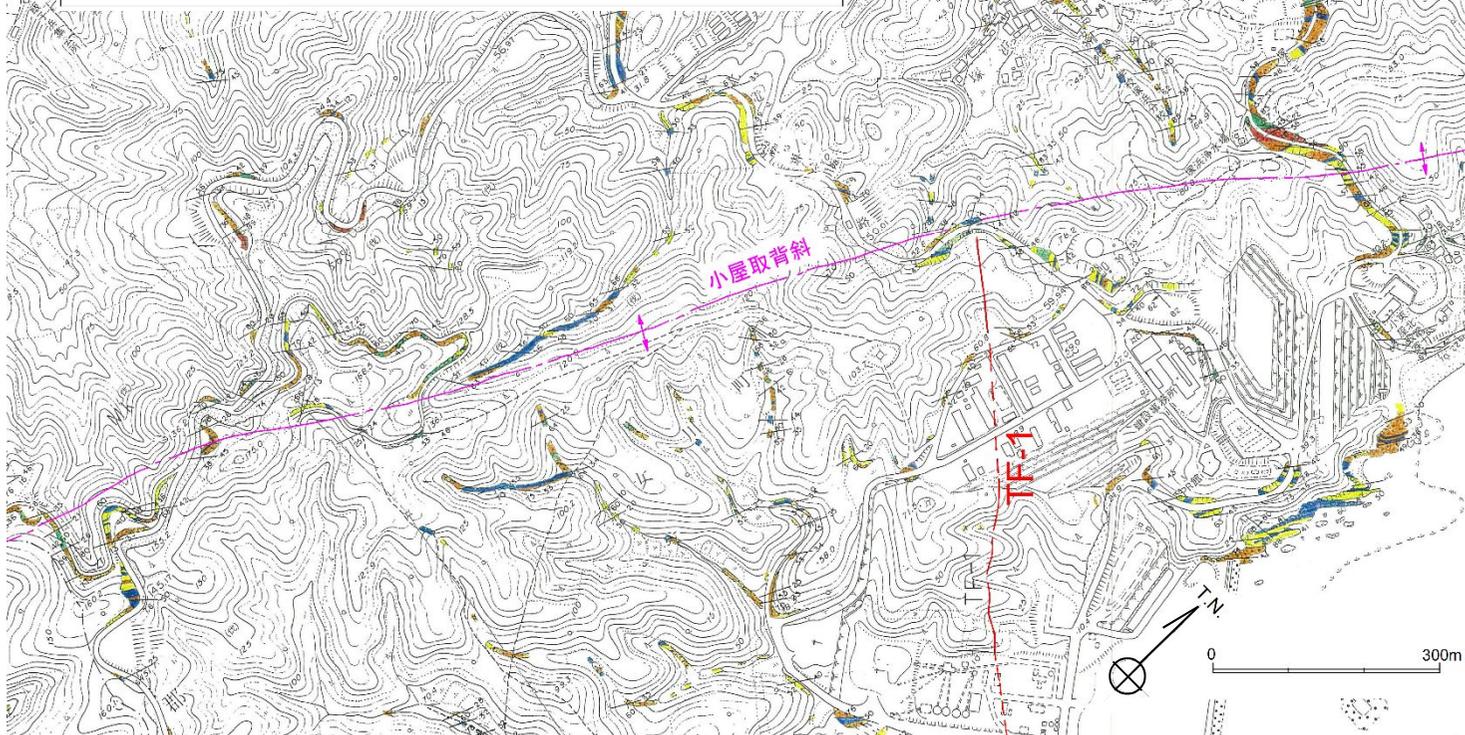
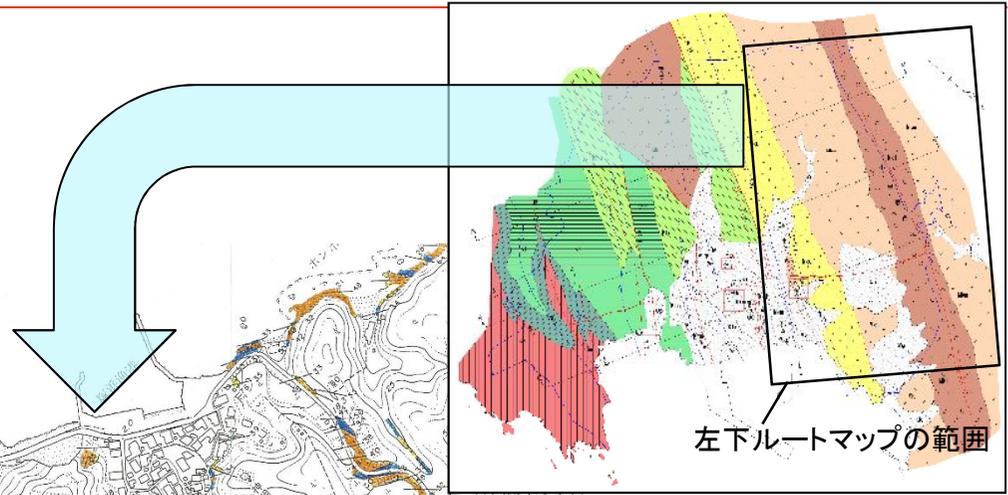
2号炉地質鉛直断面図(X-X')¹

※本頁の図に関しては、PNを図面右側方向とし、海側が図面下側方向になる配置にて表示

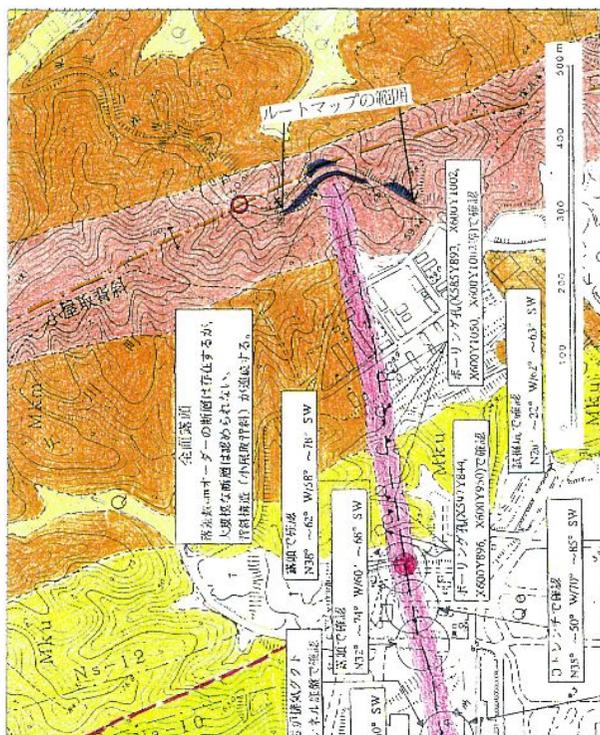
2. 敷地の断層の活動性

TF-1断層の北端部【ルートマップ(1)小屋取背斜周辺】

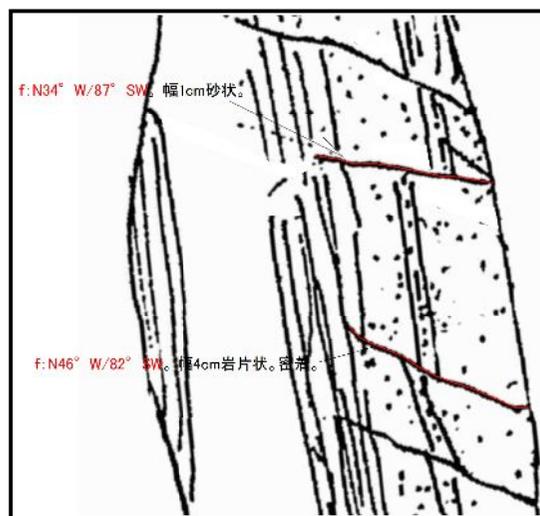
- TF-1断層の北西端は小屋取背斜を越えないものと判断している。
- 地表踏査の結果から、小屋取背斜が連続的に分布している。



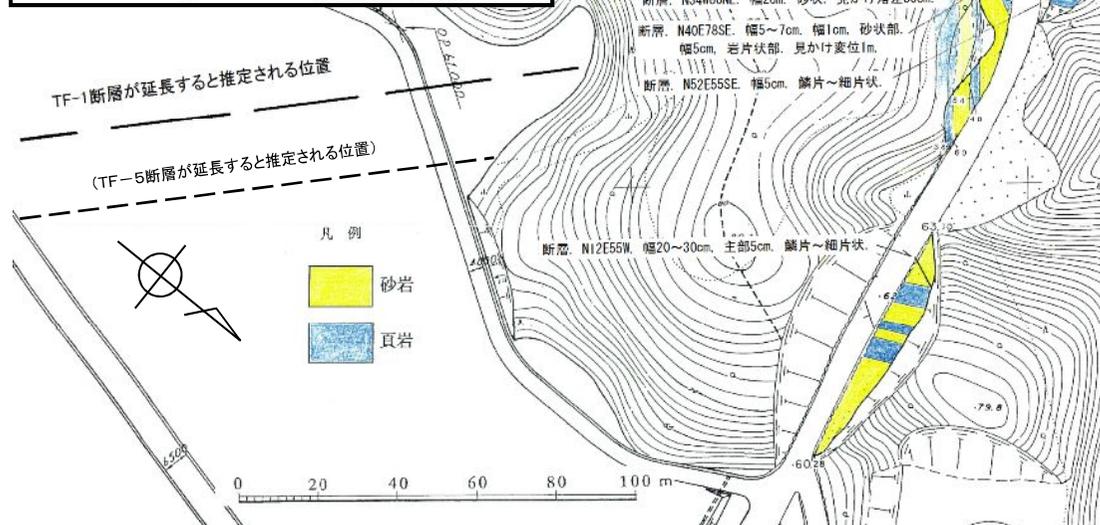
TF-1断層の北端部【ルートマップ(2)構内道路②】



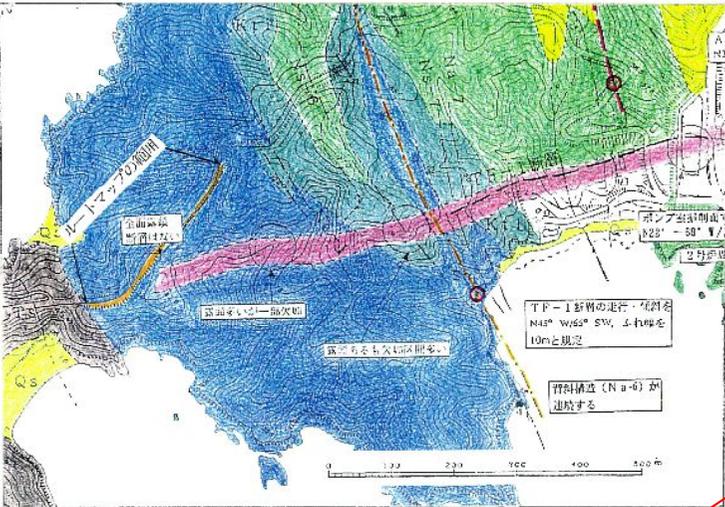
- TF-1断層の北西端は小屋取背斜を越えないものと判断している。
- 背斜軸近傍の構内道路の掘削法面には、TF-1断層が延長すると推定される位置付近に、顕著な断層は存在しないことを確認している。
- なお、TF-1断層の北東に約20～30mの離隔で概ね平行な位置に分布するTF-5断層についても、同様に小屋取背斜を越えないものと判断している。



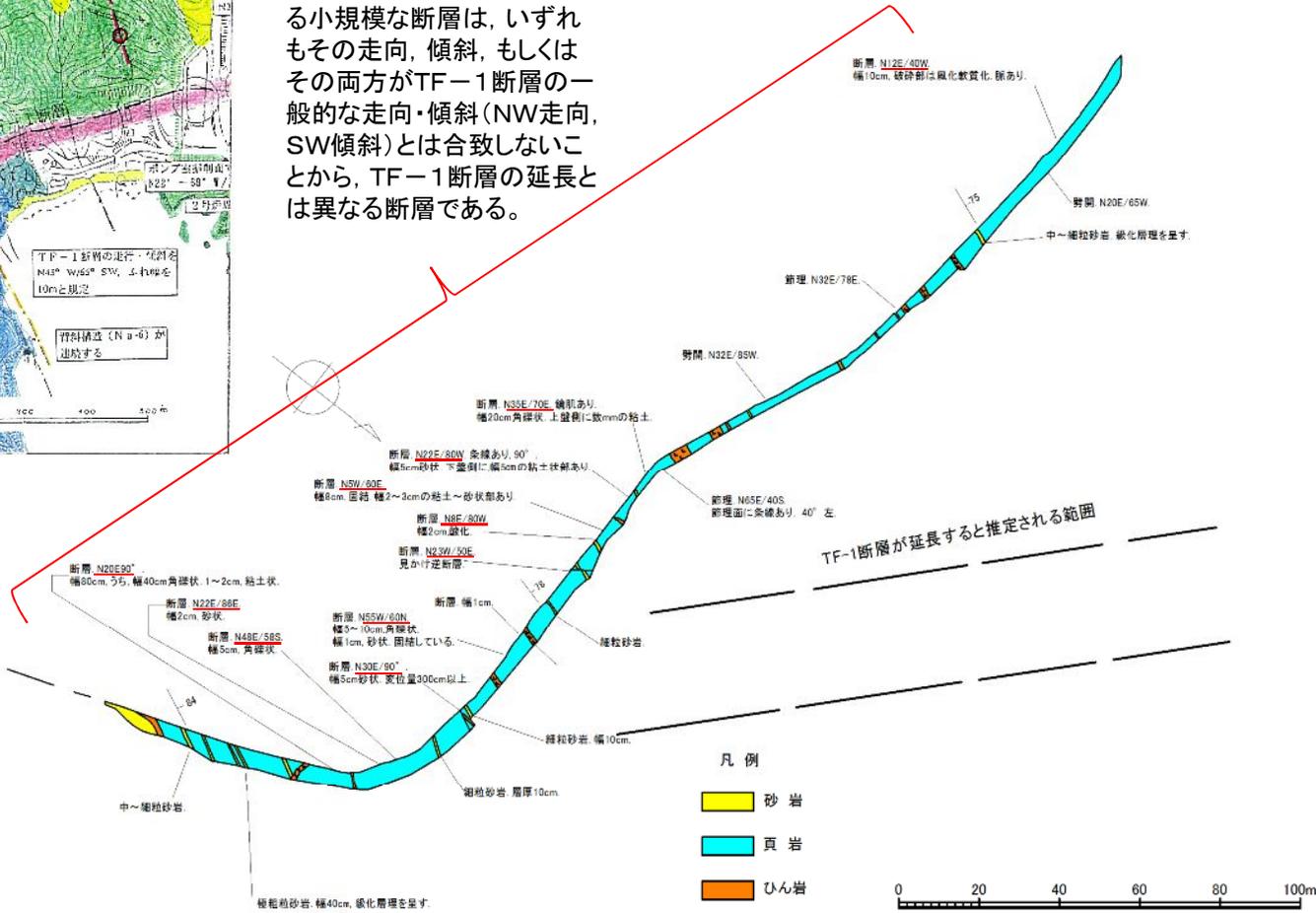
・ルートマップに記載されている小規模な断層のうち、走向・傾斜がTF-1断層の一般的な走向・傾斜(NW走向、SW傾斜)と類似の2箇所の断層は、法尻から露頭中段の頁岩層下部で消滅しており、対面の法面露頭にも連続しないことから、連続性の乏しい小規模な断層である。



TF-1断層の南端部【ルートマップ(2)発電所南方市道法面】



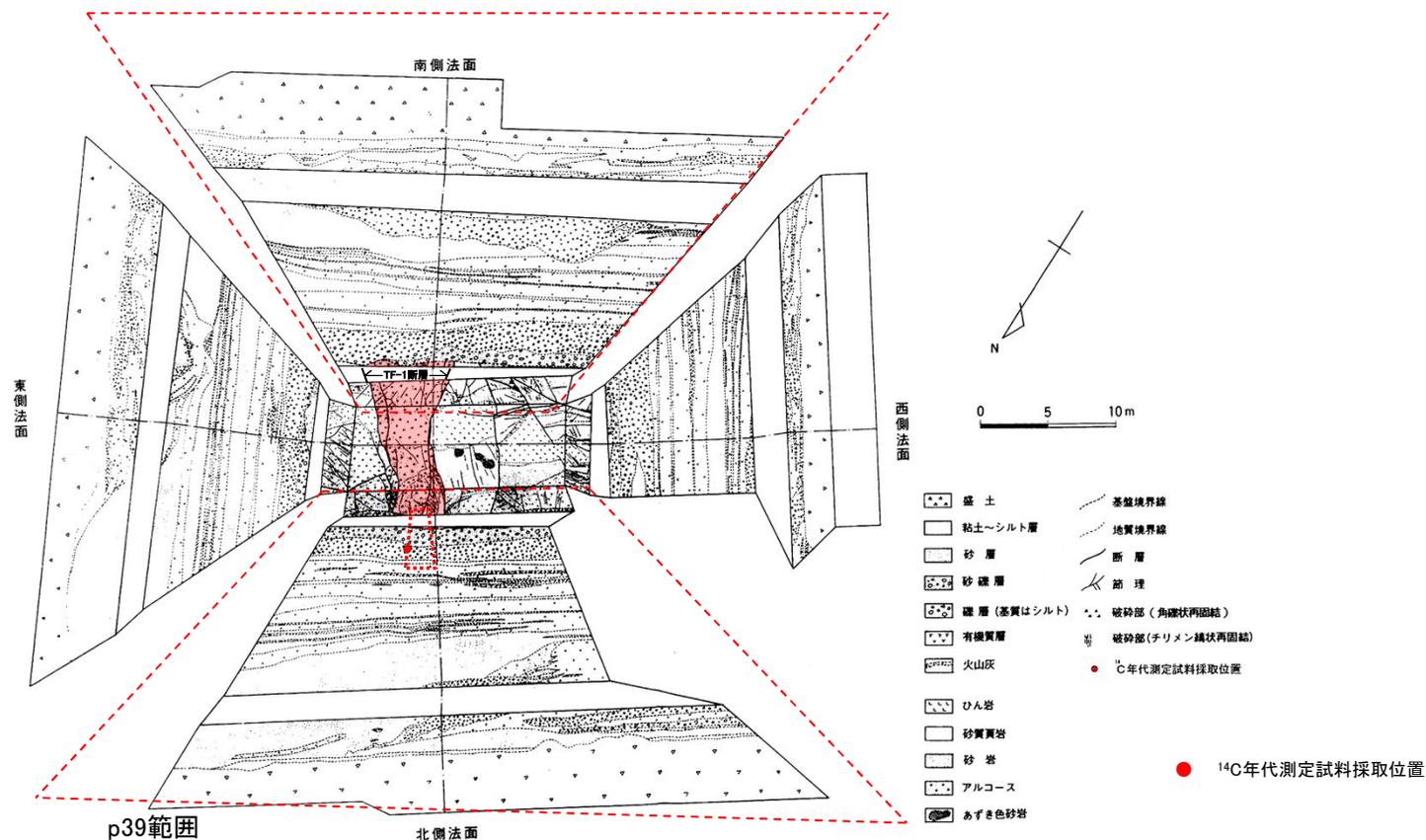
・ルートマップに記載されている小規模な断層は、いずれもその走向、傾斜、もしくはその両方がTF-1断層の一般的な走向・傾斜(NW走向、SW傾斜)とは合致しないことから、TF-1断層の延長とは異なる断層である。



- TF-1断層の北西端はNa-6背斜を越えないものと判断している。
- ✓ Na-6背斜付近の道路の掘削法面には、TF-1断層が延長すると推定される範囲付近に、顕著な断層は存在しないことを確認している。

トレンチ調査結果【展開図(全体)】

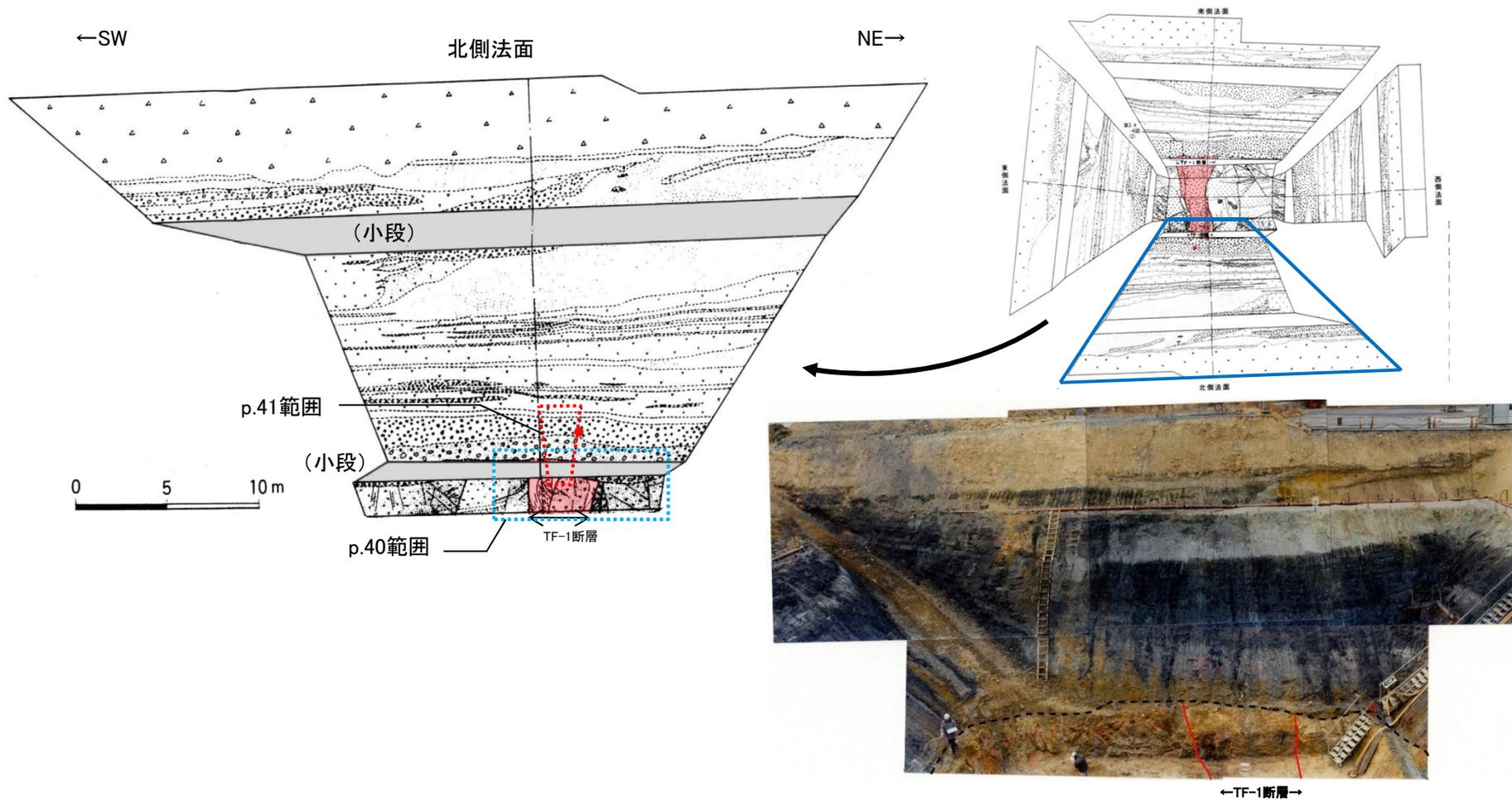
- TF-1断層を対象としたトレンチ調査結果によれば、TF-1断層を覆う沖積層には変位は認められない。
- 沖積層最下部付近に含まれる木片および有機質土の¹⁴C年代は、16,100±560Y.B.Pである。



TF-1断層調査トレンチ露頭スケッチ(全体)
トレンチ調査(TF-1断層)(昭和60年に実施)

北側法面トレンチ調査結果【全景展開図】

- TF-1断層を覆う沖積層には変位は認められない。
- 沖積層最下部付近に含まれる木片および有機質土の¹⁴C年代は、16,100±560Y.B.Pである。



● ¹⁴C年代測定試料採取位置

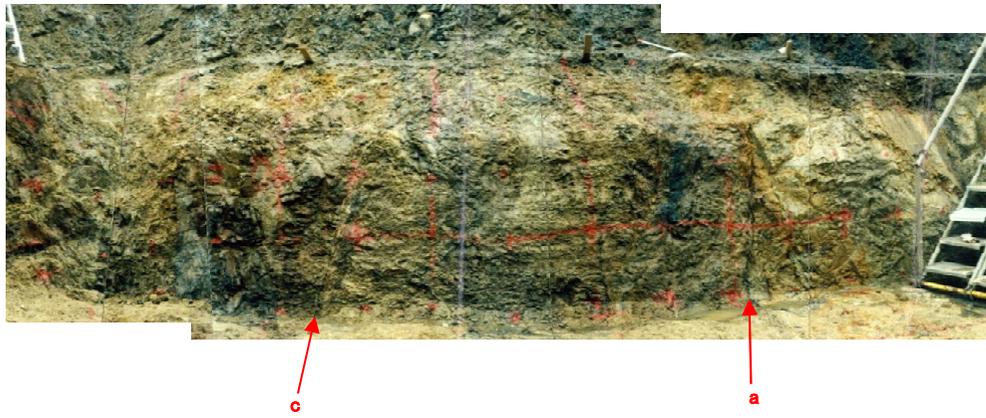
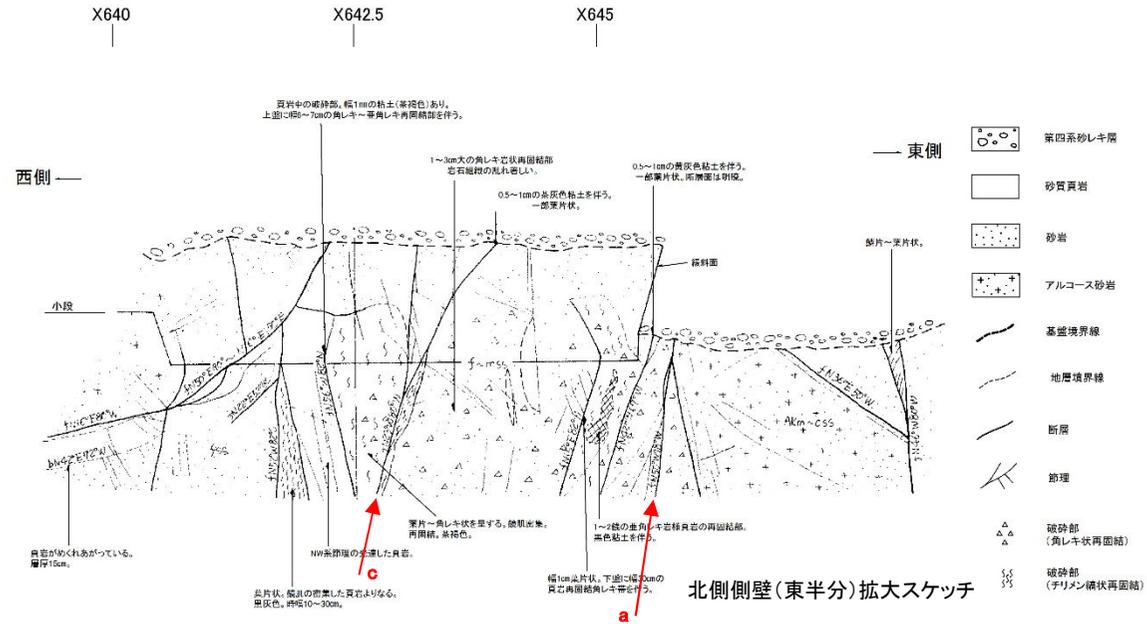
TF-1断層調査トレンチ露頭スケッチ(北側)
トレンチ調査(TF-1断層)(昭和60年に実施)

北側法面写真

--- 基盤境界線
断層



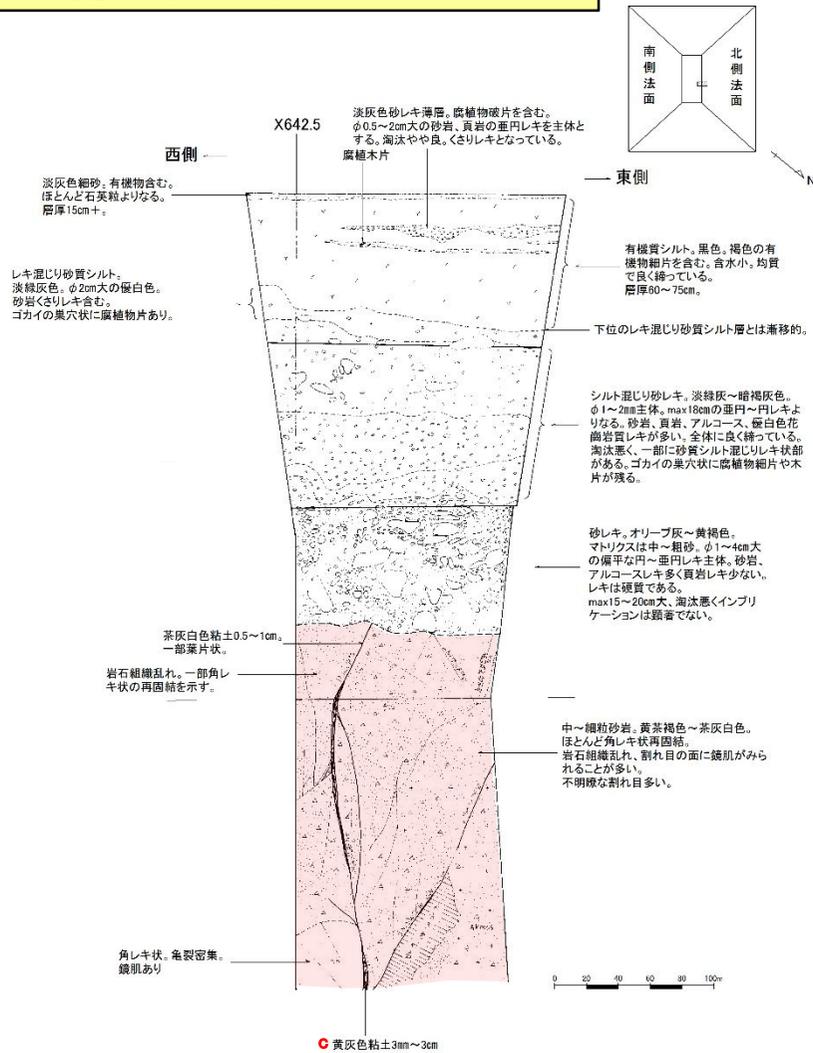
北側法面トレンチ調査結果【TF-1断層周辺拡大スケッチ】



- TF-1断層を覆う沖積層(第四系)には変位は認められない。
- ・ 沖積層基底面の凹凸は侵食によるもの。

北側法面トレンチ調査結果【追い込み掘削後の詳細観察結果】

TF-1断層を覆う沖積層には変位は認められない。



TF-1断層調査トレンチ露頭スケッチ (基盤境界付近詳細)



--- 基盤境界線

— 断層面



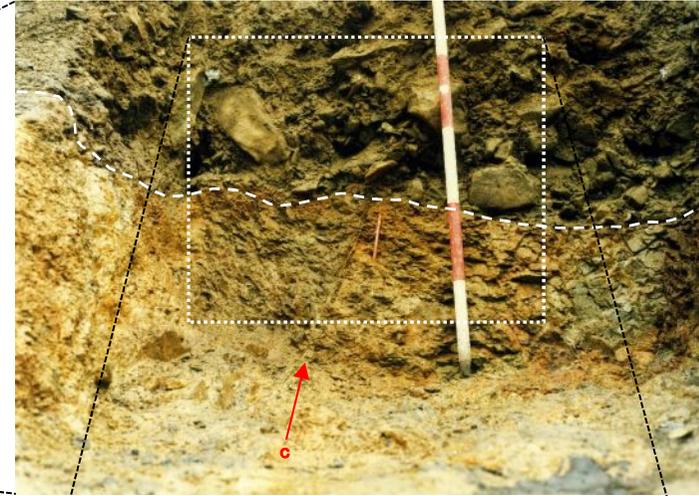
スケッチ範囲

← TF-1断層 →

北側法面トレンチ調査結果【追い込み掘削後の断層ガウジ詳細観察結果】



追い込み掘削箇所の全景



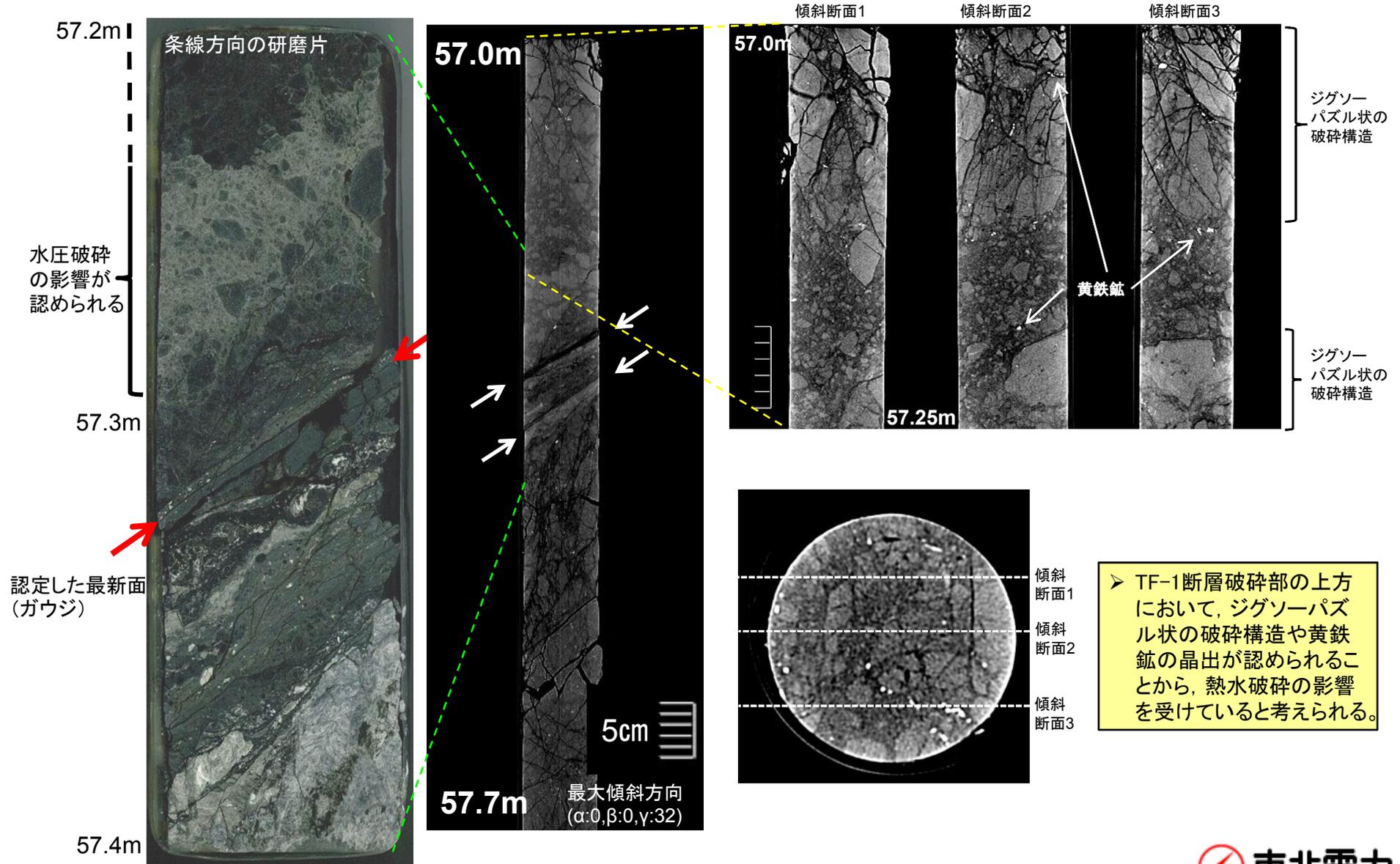
断層面を覆う第四系基底面状況(近景)
(追い込み掘削箇所)



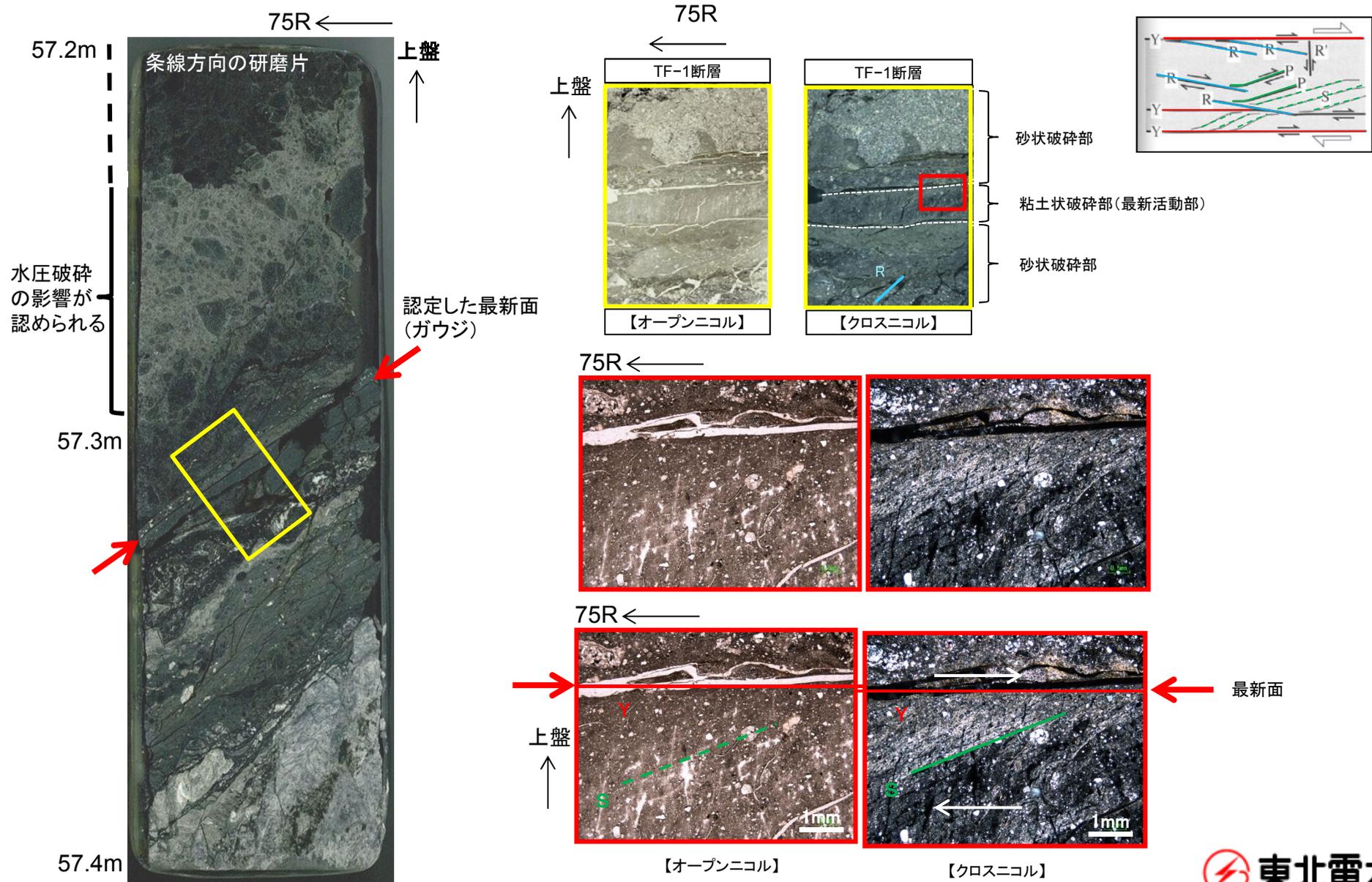
断層面を覆う第四系基底面状況(近接)
(追い込み掘削箇所)

- TF-1断層破碎帯の上盤側境界付近の顕著なせん断面cは沖積層(第四系)基底の礫層に変位・変形を与えていない。

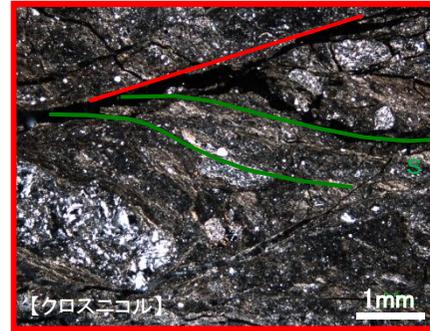
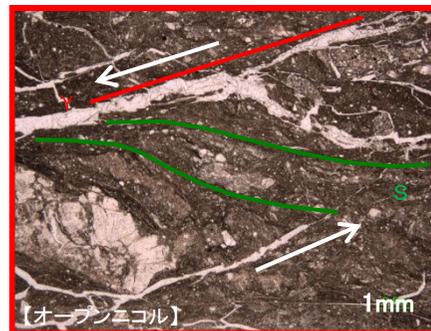
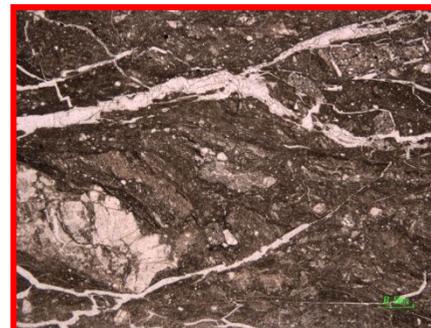
熱水破碎の影響【TF-1断層ボーリングコア】



断層破碎部の組織観察に基づく活動性の検討【運動センスの確認】

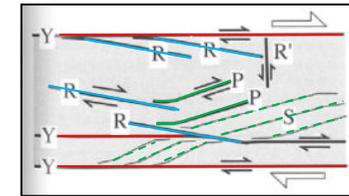
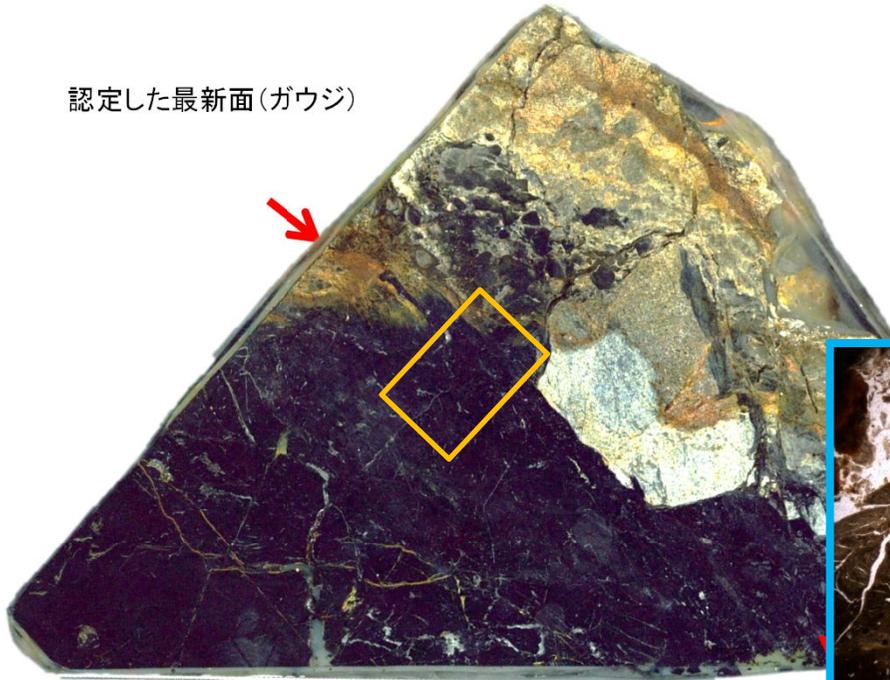


断層破碎部の組織観察に基づく活動性の検討【運動センスの確認】

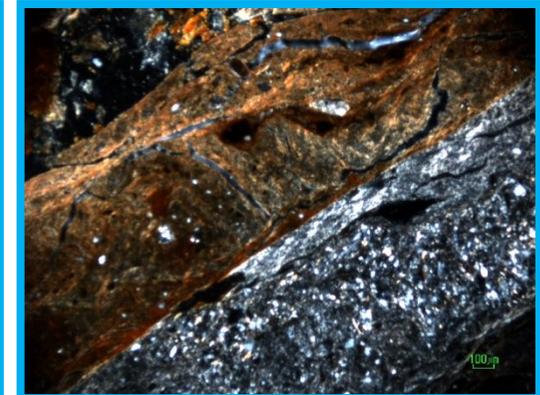
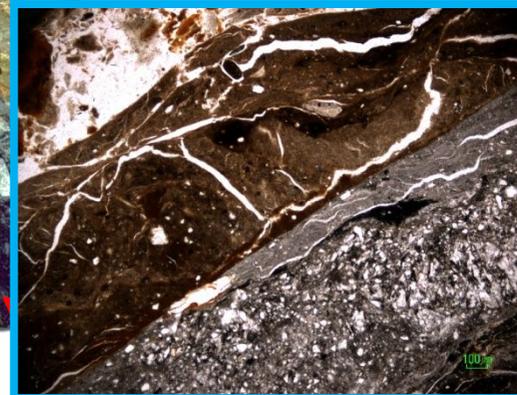


断層破碎部の組織観察に基づく活動性の検討【運動センスの確認】

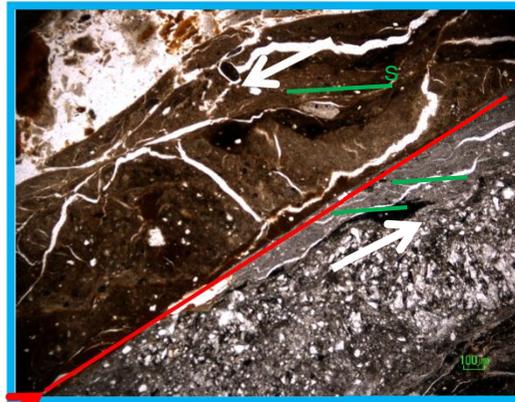
認定した最新面(ガウジ)



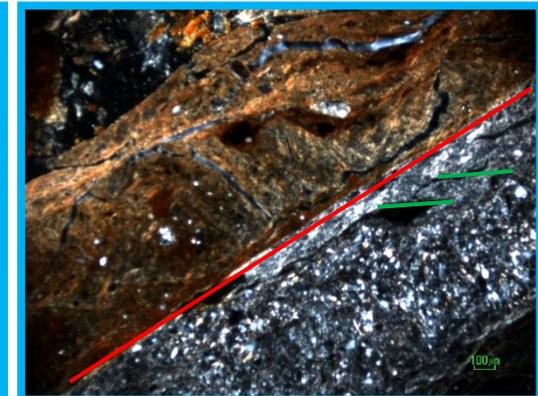
下盤(E) ←



上盤 ↑

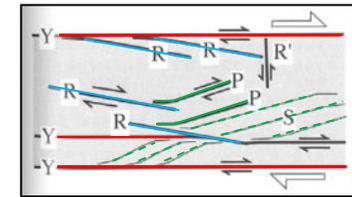
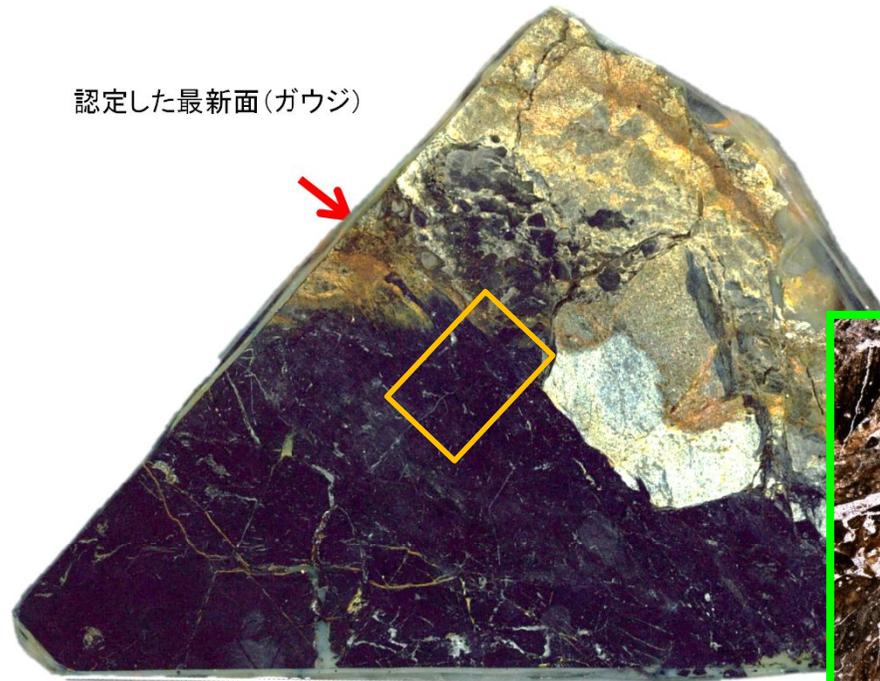


【オープンニコル】

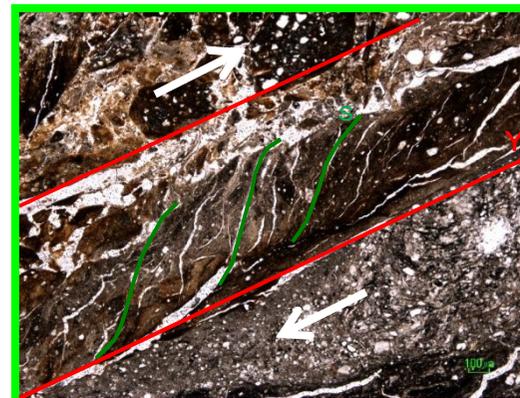
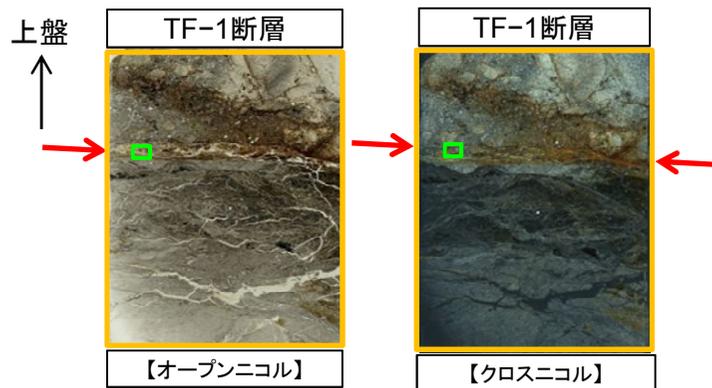
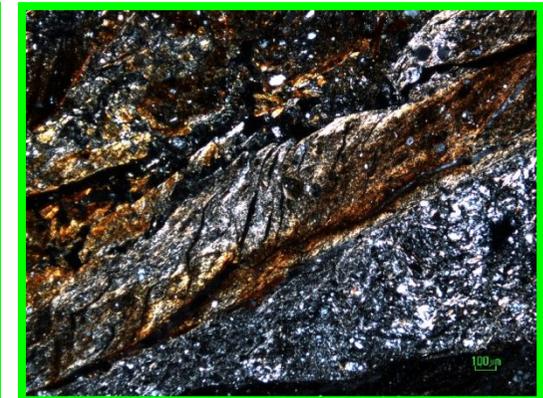
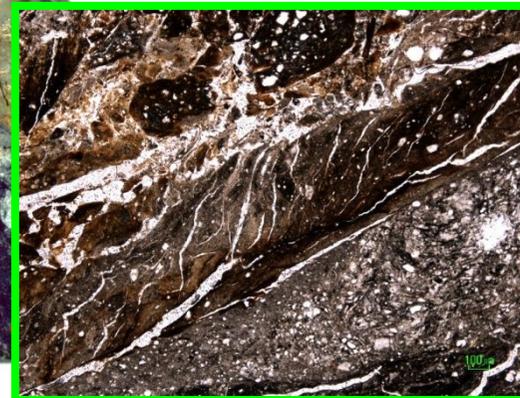


【クロスニコル】

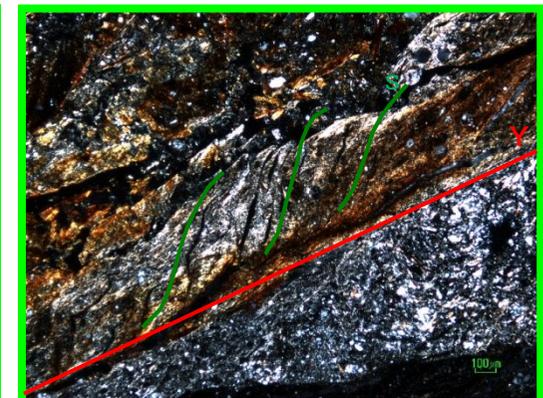
断層破碎部の組織観察に基づく活動性の検討【運動センスの確認】



下盤(E) ←

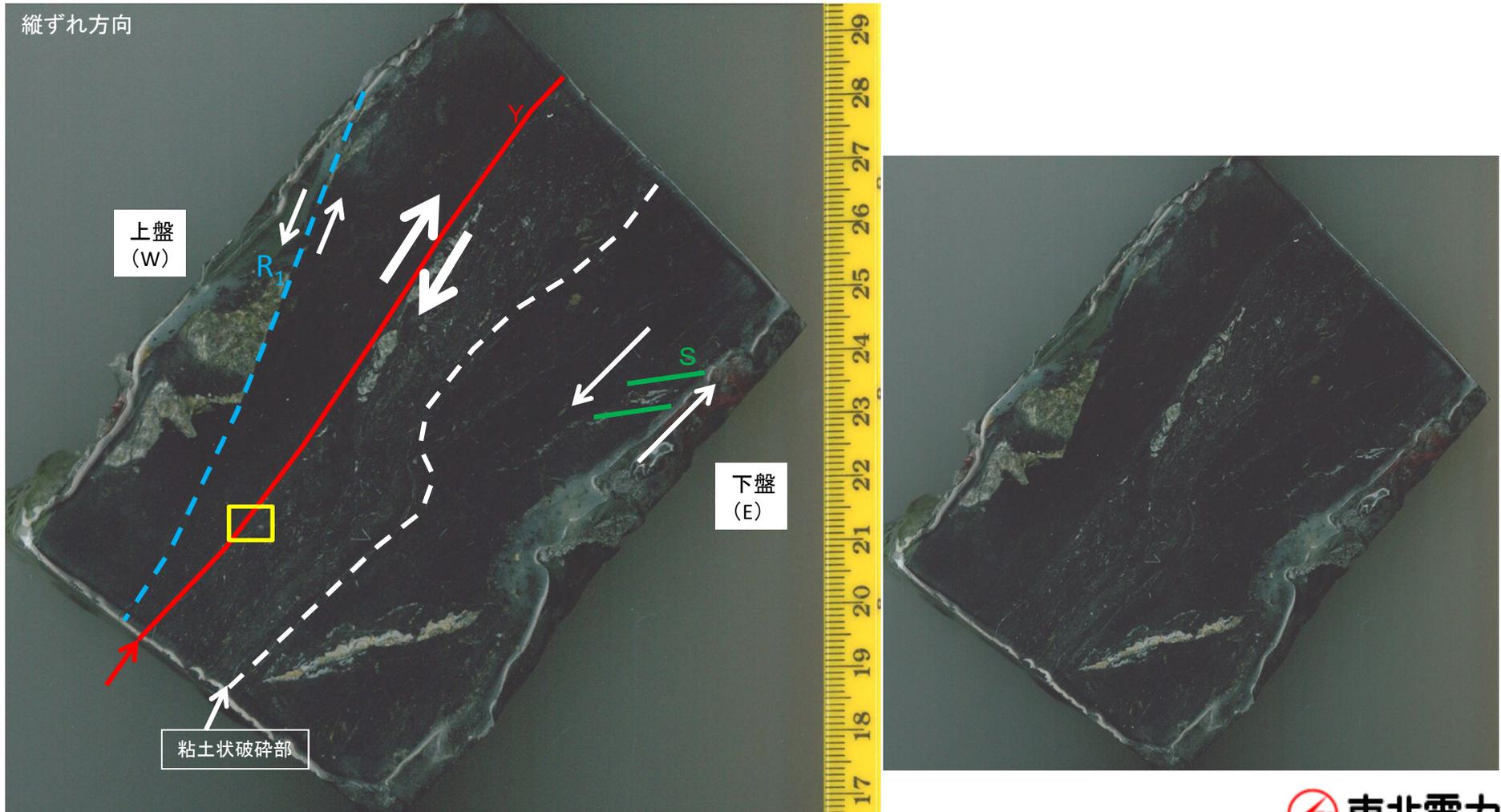


【オープンニコル】



【クロスニコル】

断層破碎部の組織観察に基づく活動性の検討【運動センスの確認】



3. 用語の解説

用語	解説
フレキシユラル・スリップ (層面すべり)	多層系の座屈褶曲では、褶曲を形成する際に隣り合う層と層の間にせん断応力が働き、層に沿ったすべり、すなわち層面すべりを伴う。特に層間にせん断に対して弱い層が挟まれている場合には、その層がすべり面、すなわち層面断層として機能している。その面上にはすべりを示す条線がきざまれ、褶曲軸面を境として、すべりのセンスは反対方向になり、いずれも逆断層成分をもつ。フレキシユラル・スリップとは、このような層面すべりを伴う褶曲作用のことである。
へき開	変形作用によって岩石に二次的に生じた細密な面状構造。
スレートへき開	極細粒鉱物の形態定向配列によるへき開。 ※スレート: 細粒堆積物が変形運動で剥離性の発達した細粒片状岩。
K-Ar法	^{40}K が ^{40}Ar に放射壊変することを利用して岩石・鉱物の年代を測定する方法。
^{14}C 年代測定 (放射性炭素年代測定)	生物遺体中の放射性炭素 ^{14}C 濃度が、生物の死後、時間とともに減少することを利用した年代測定。
イライト	2八面体型の雲母粘土鉱物。
パリゴルスカイト	Mg質の粘土鉱物。微細な繊維状の形態を示す。
キンクバンド	①結晶にみられる変形構造の一種。すべり面が局所的にシャープに折れ曲がっている変形帯状領域。すべり方向に垂直に発生する。変形領域の結晶格子は、周辺の結晶をある軸(すべり方向に垂直ですべり面内にある)に関して回転した関係にあり、また格子は湾曲している。雲母・輝石・方解石・石英その他の造岩鉱物でもしばしば観察される。 ②1組の著しいへき開構造をもつ岩石において、へき開面のシャープな屈曲によって示される帯状部分。一般に共役関係をもって高角度で交わる2組のせん断構造としての性格を示すが、キンク境界は圧縮応力の作用方向に対して 45° よりも高角度(約 60°)で配列する。
変形ラメラ	変形作用によって二次的に生じた結晶内にみられるラメラ。 ※ラメラ: 結晶粒内において、肉眼的あるいは顕微鏡的に認められる面構造。

地学団体研究会編(1996)
狩野・村田(1998)
白水(1988)

参考文献

1. 滝沢文教・久保和也・猪木幸男(1987): 寄磯地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所
2. 滝沢文教・神戸信和・久保和也・秦光男・寒川旭・片田正人(1984): 石巻地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所
3. 小貫義男・北村信・中川久夫(1981): 北上川流域地質図(二十万分之一)・説明書, 長谷地質調査事務所
4. 石井和彦(1985): 南部北上山地牡鹿半島における褶曲およびスレートへき開の形成過程, 地質学雑誌
5. 大槻憲四郎(2009): 日本列島新生代テクトニクスの概要解説, 東北地質調査業協会
6. 大槻憲四郎・永広昌之・布原啓史(2011): 宮城県の地質, 東北地質調査業協会
7. 永広昌之・越谷信(2012): 岩手県の地質, 東北地質調査業協会
8. 蟹澤聰史・大槻憲四郎・永広昌之・吉田武義・風間基樹・鹿野和彦・宝田晋治・脇田浩二・京極正昭・中山政喜・鹿摩貞男・小山利直・三浦昭(2006): 建設技術者のための東北地方の地質, 社団法人 東北建設協会
9. 滝沢文教・久保和也・猪木幸男(1986): 寄磯地域の地質, 地質調査所
10. 鎌田耕太郎・滝沢文教(1991): 大須地域の地質, 地質調査所
11. 地学団体研究会(1996): 新版地学辞典, 平凡社
12. 狩野謙一・村田明広(1998): 構造地質学, 朝倉書店
13. 白水晴雄(1988): 粘土鉱物学-粘土科学の基礎-, 朝倉書店