

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2)

平成27年 7月10日
東北電力株式会社

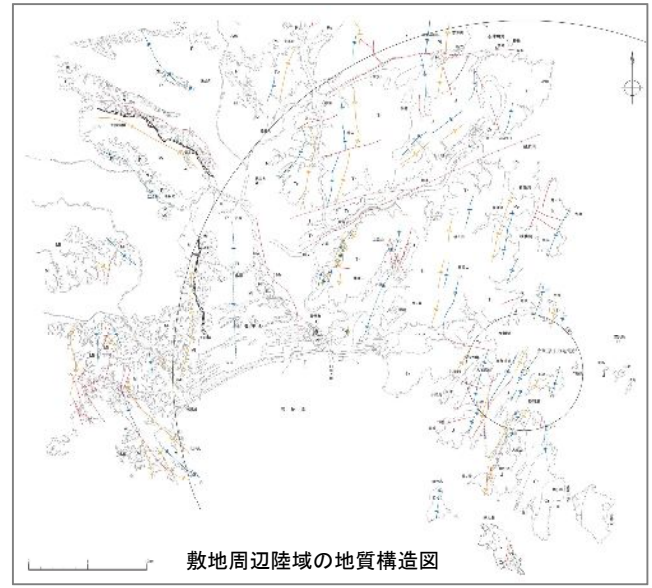
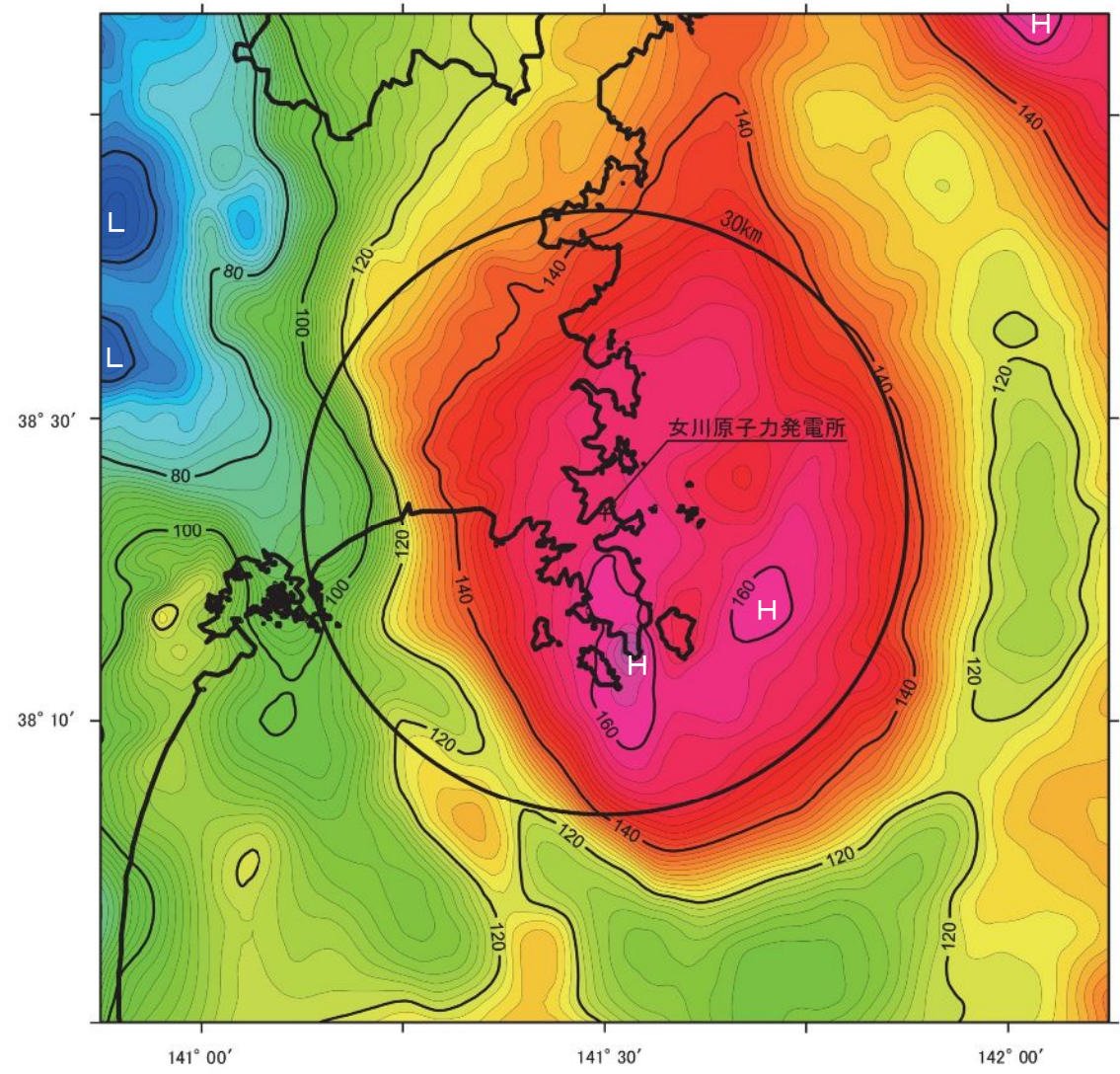
目次

1. 重力異常図における高重力域内のやや重力値の低い領域の方向性と地質構造	2
2. 敷地の変動地形の詳細検討結果	6
3. 褶曲構造を考慮した地質断面図の作成について	18
4. 断層破碎部の組織観察に基づく活動性の検討（既往分析結果）	30
5. 敷地内破碎帯と同系統・同性状の断層と上載地層の関係	40
6. 断層内物質中の石英粒子の変形微細構造を用いた古応力場解析	50
7. 2011年東北地方太平洋沖地震の発生に伴う敷地内断層の活動誘発の可能性検討	64
参考文献	75

1. 重力異常図における 高重力域内のやや重力値の低い領域の 方向性と地質構造

1.1 重力異常図【ブーゲー異常】

➢ 高重力領域と低重力領域の境界は、比較的急勾配をなし、概ねNNW-SSE方向に連なる。

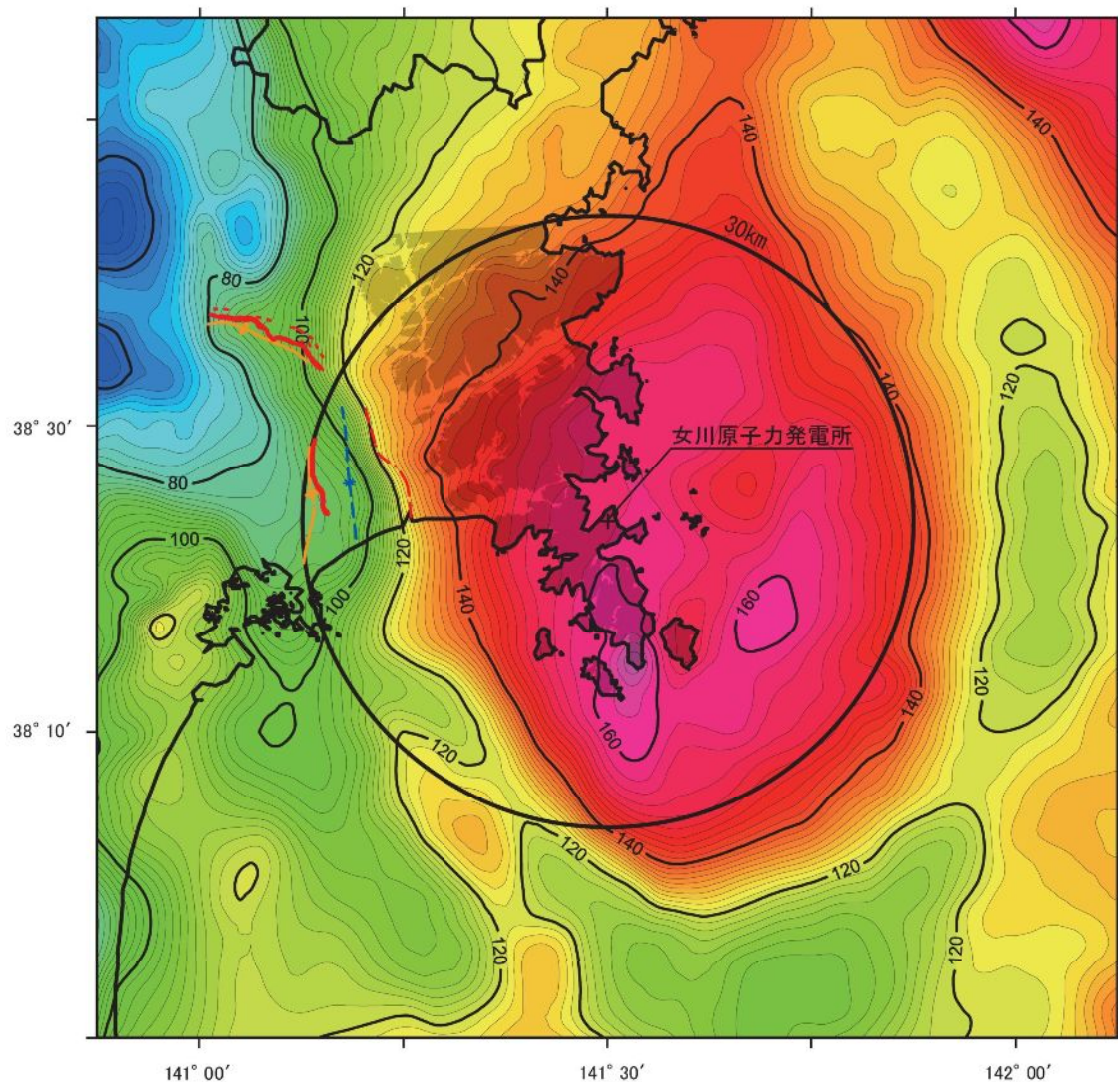


敷地周辺陸域の地質構造図



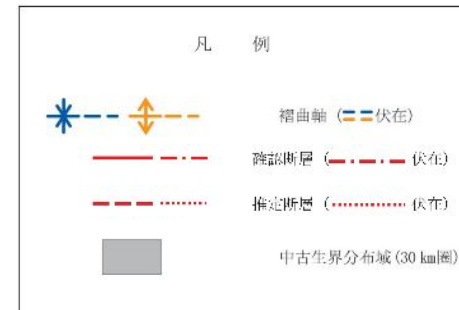
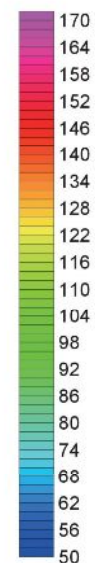
- 産業技術総合研究所(2013)のデータを使用
- ブーゲー密度は2.67g/cm³と仮定
- ブーゲー異常値のコンター間隔は2mGal

1.2 重力異常図(ブーゲー異常)と地質構造



- ▶ 高重力異常の分布域は、概ね中・古生界分布域に対応している。
- ▶ 須江断層の推定位置は、高重力異常の分布域と低重力異常の分布域の境界付近の急勾配部に概ね対応している。
- ▶ 加護坊山-簗岳山断層の位置は、高重力異常の分布域が尾根状に西側へ張り出す位置付近に概ね対応している。
- ▶ 石巻平野の海岸線沿いの沿岸海域には、高重力異常の分布域が尾根状に西側に張り出すパターンが認められる。

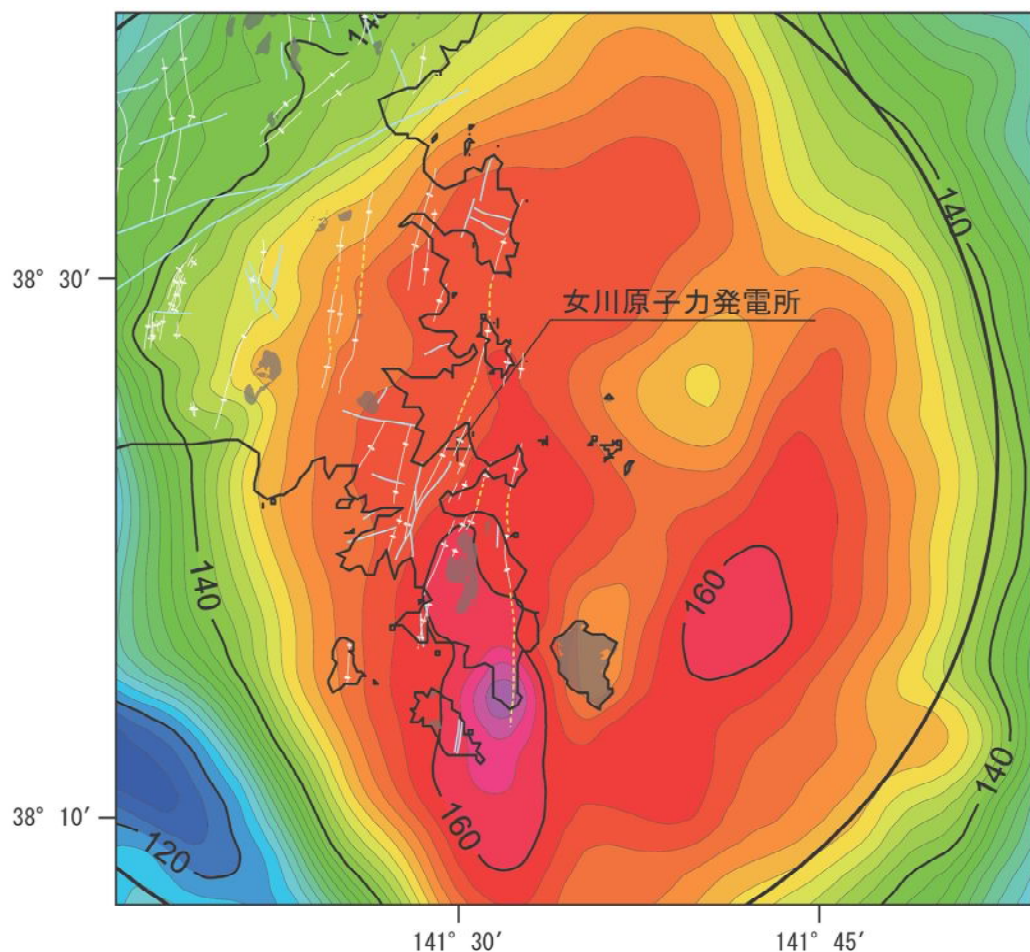
重力
(mGal)



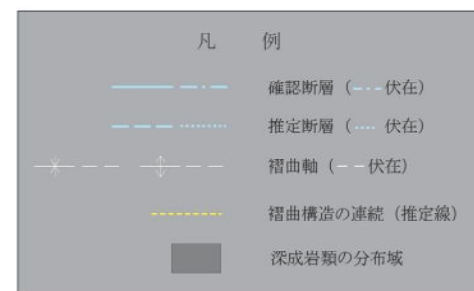
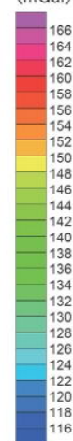
- 産業技術総合研究所(2013)のデータを使用
- ブーゲー密度は $2.67\text{g}/\text{cm}^3$ と仮定
- ブーゲー異常値のコンター間隔は2mGal

1.3 高重力域内のやや重力値の低い領域の方向性と地質構造

- ▶ 重力値の着色表示を変えて、高重力域の内部の構造に着目。
- ✓ 敷地の東方海域に、NNE-SSW~NE-SW方向のやや重力値の低い領域が存在する。
- ✓ 上記のやや重力値の低い領域は、金華山及び足島の花崗岩分布域と対応している可能性が高い。
- ✓ なお、上記重力異常コンターのパターンは、陸域の褶曲構造の延長方向と比較的調和的な傾向を示すものの、高まり全体として中・古生界分布域に対応していることから、本ブーゲー異常データは、大局的な中・古生界の構造把握に適した精度の資料と考えられる。



重力
(mGal)



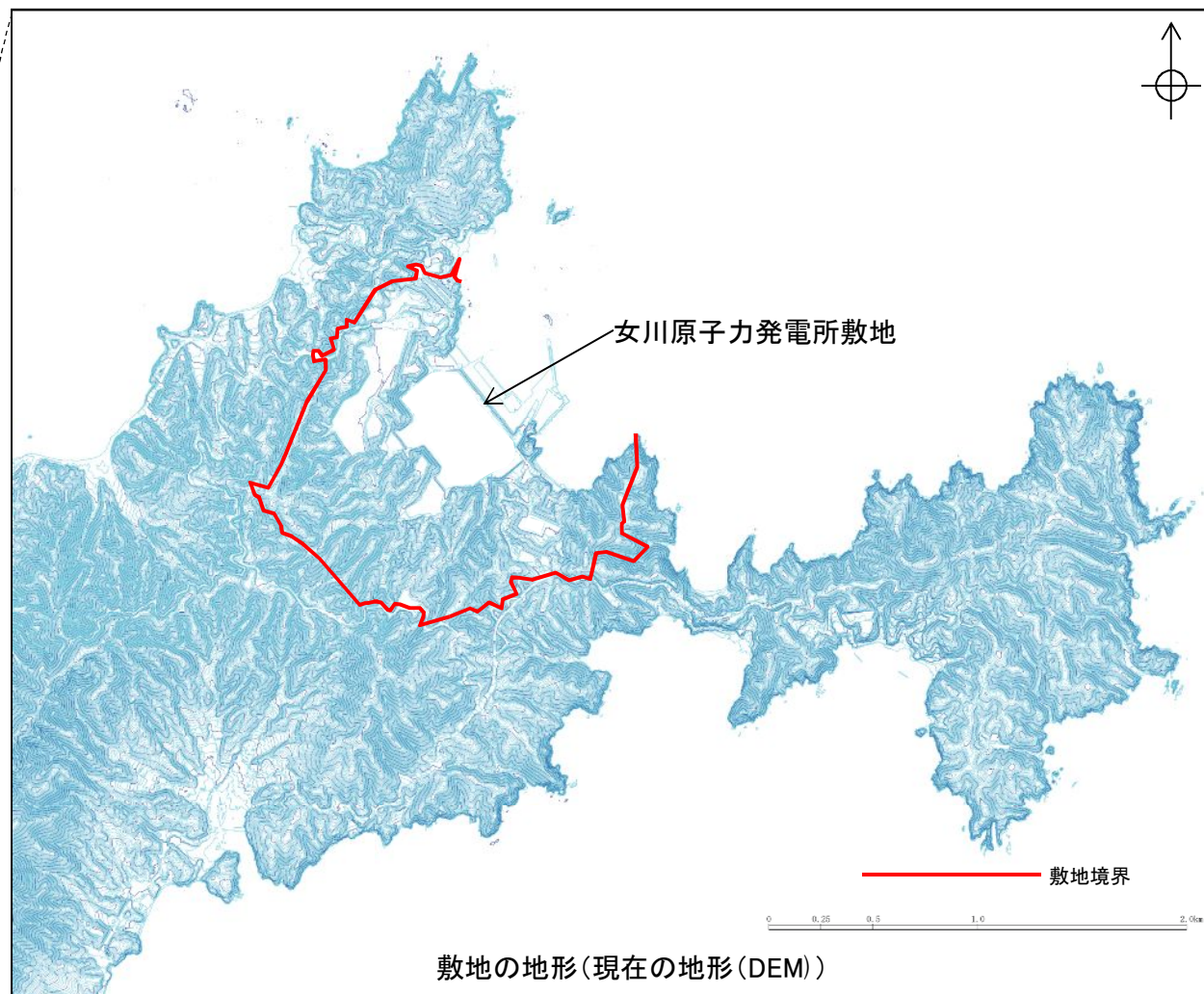
- ・産業技術総合研究所(2013)のデータを使用
- ・ブーゲー密度は2.67 g/cm³と仮定
- ・ブーゲー異常値のコンター間隔は2 mGal

2. 敷地の変動地形の詳細検討結果

2. 1 敷地の変動地形【DEM地形図】

【空中写真判読結果】

- 空中写真判読の結果によると、敷地には、新しい時代の活動を示唆するリニアメントは認められない。
- 敷地には、地すべり地形の存在は認められない。

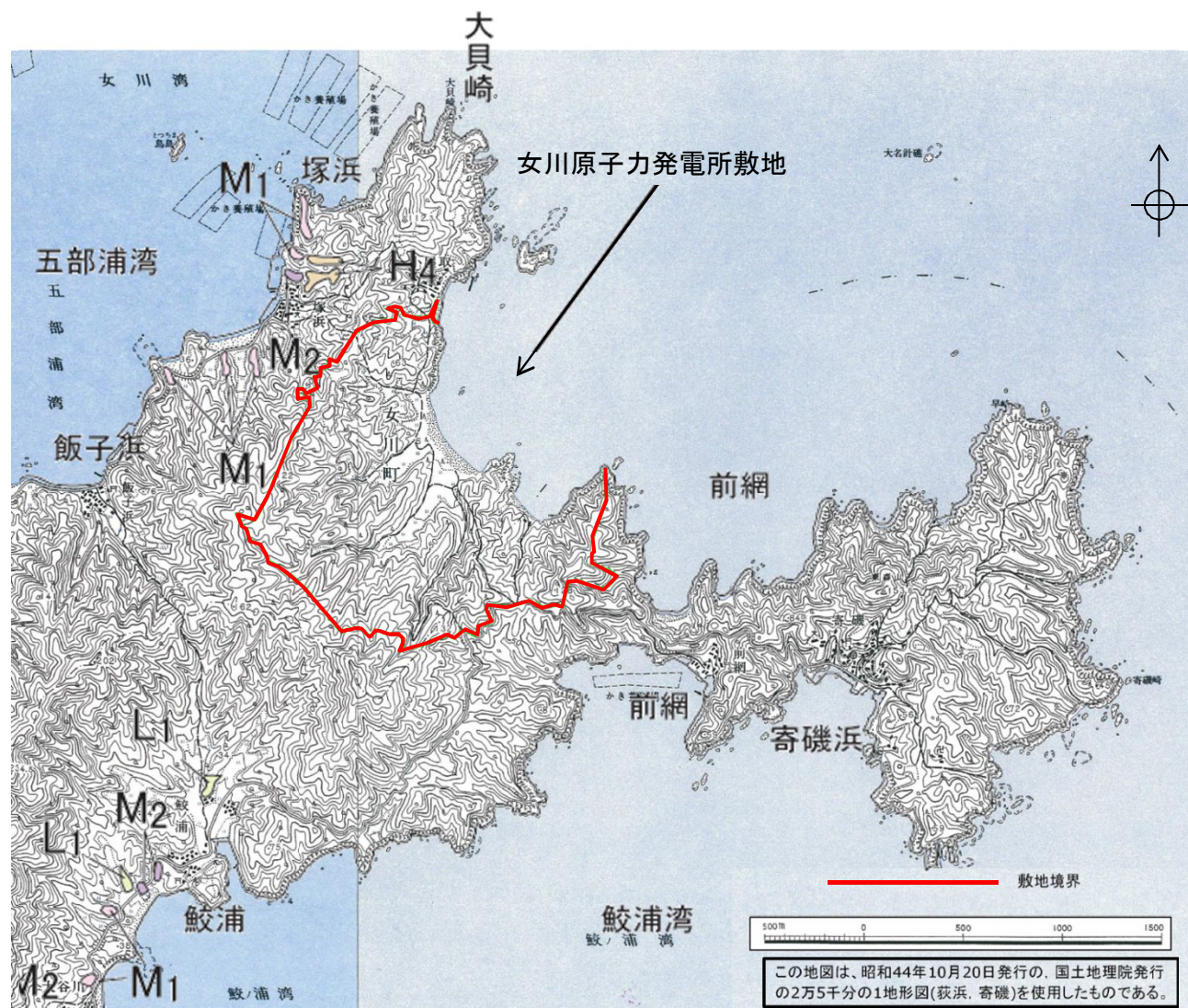


※本頁の図に関しては、TN(真北)が図面上側方向になる配置にて表示

2. 1 敷地の変動地形【原地形】

【空中写真判読結果】

- 空中写真判読の結果によると、敷地には、新しい時代の活動を示唆するリニアメントは認められない。
- 敷地には、地すべり地形の存在は認められない。

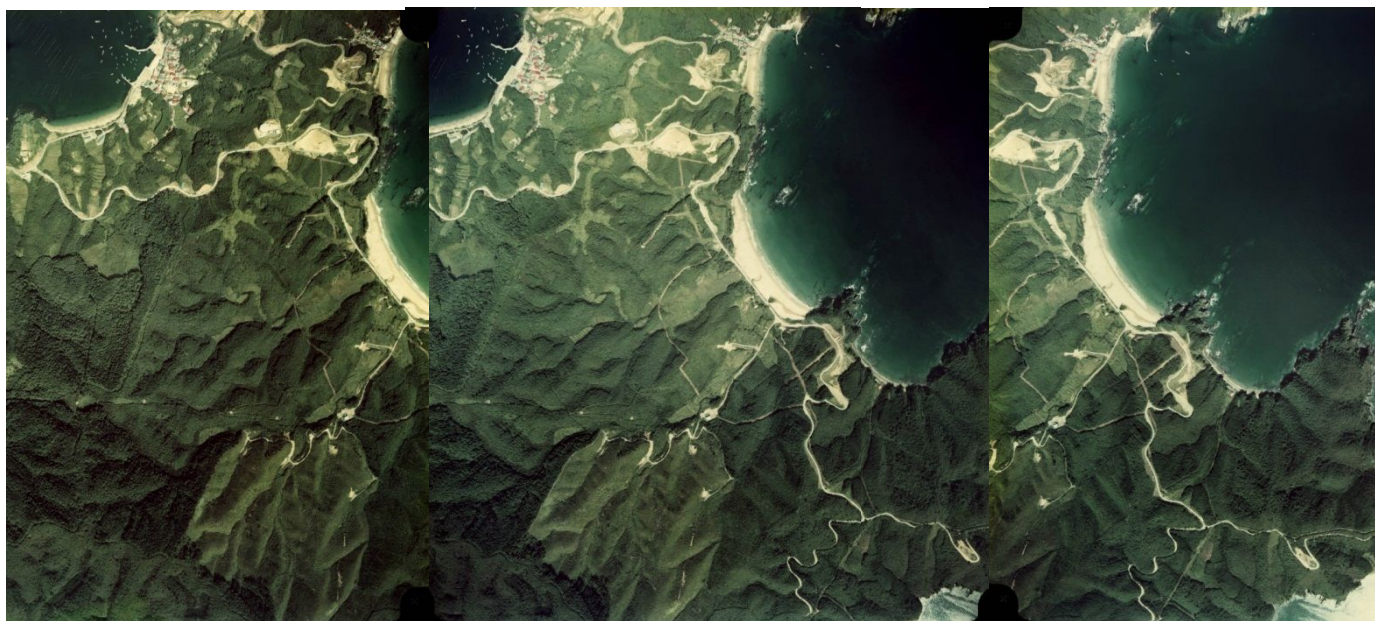


※本頁の図に関しては、TN(真北)が図面上側方向になる配置にて表示

敷地の地形(原地形)及び空中写真判読結果

2. 1 敷地の変動地形【空中写真判読】

- 空中写真判読の結果によると、敷地には、新しい時代の活動を示唆するリニアメントは認められない。



発電所建設前の空中写真(1975年撮影)
(CTO-75-26 C28 17~19)

出典: 国土画像情報(カラー空中写真)
国土交通省

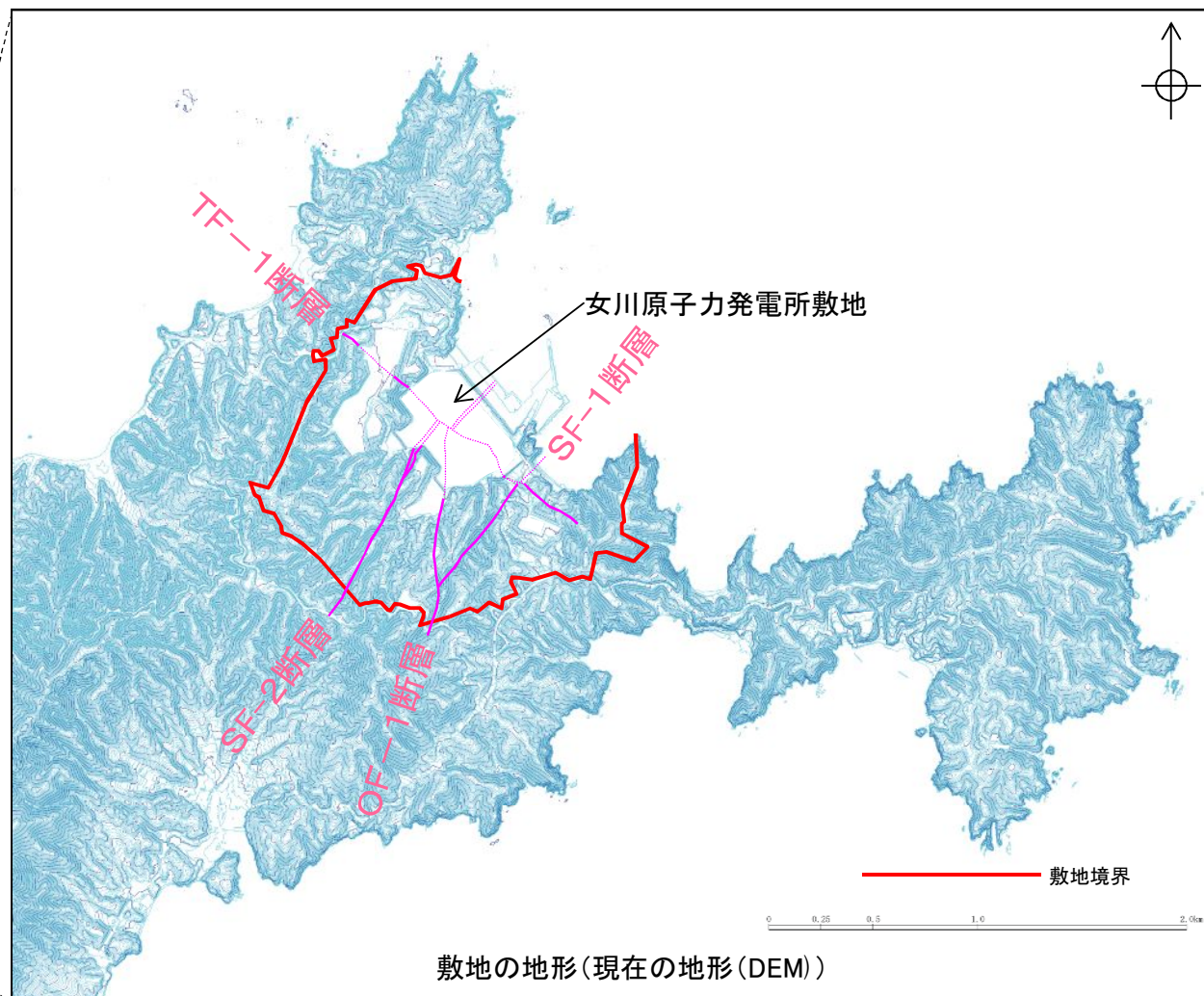
2. 1 敷地の変動地形【DEM地形図・敷地内主要断層位置】

【空中写真判読結果】

- 空中写真判読の結果によると、敷地には、新しい時代の活動を示唆するリニアメントは認められない。
- 敷地には、地すべり地形の存在は認められない。



敷地周辺の地形

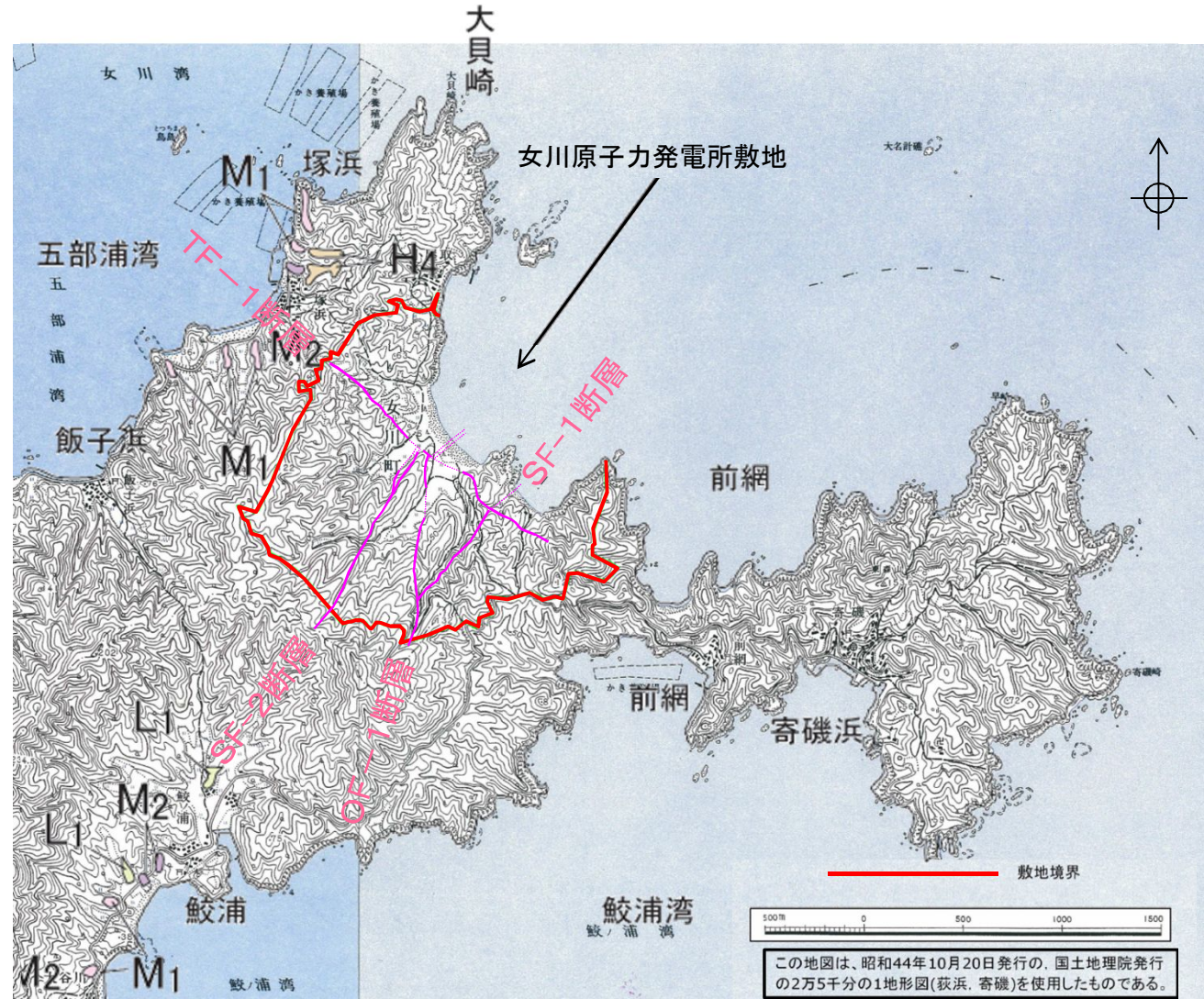


※本頁の図に関しては、TN(真北)が図面上側方向になる配置にて表示

2. 1 敷地の変動地形【原地形・敷地内主要断層位置】

【空中写真判読結果】

- 空中写真判読の結果によると、敷地には、新しい時代の活動を示唆するリニアメントは認められない。
- 敷地には、地すべり地形の存在は認められない。

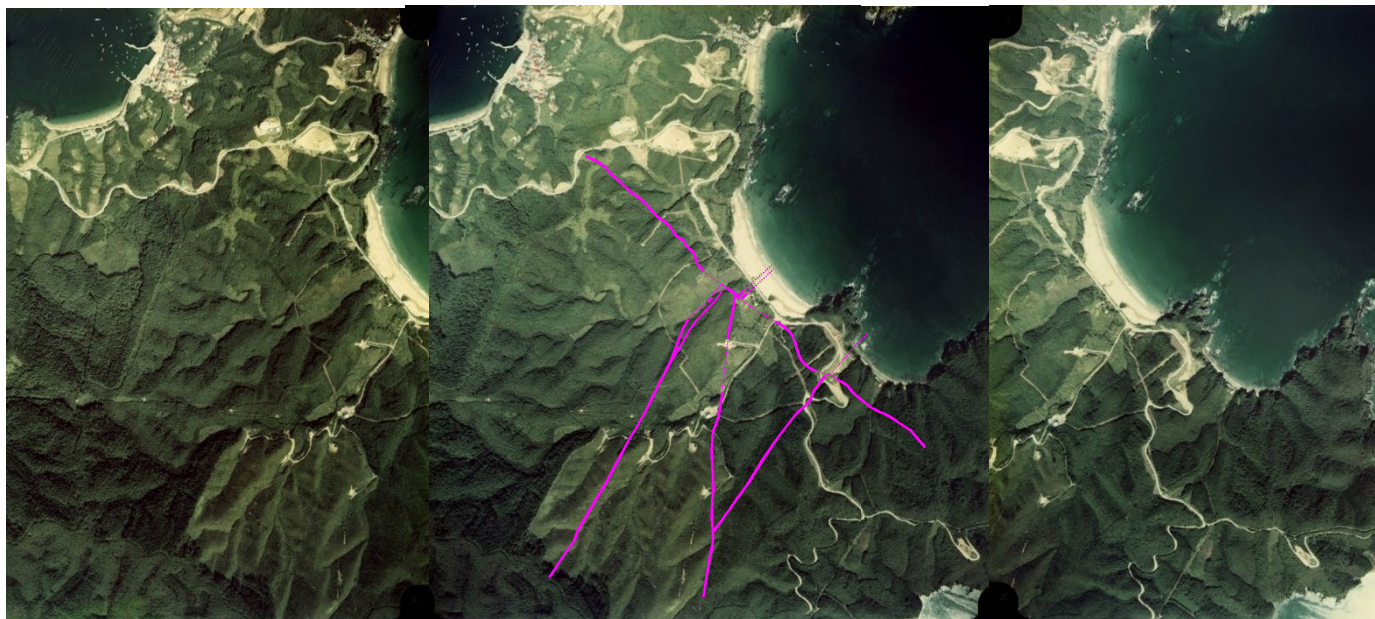


※本頁の図に関しては、TN(真北)が図面上側方向になる配置にて表示

敷地の地形(原地形)及び空中写真判読結果

2. 1 敷地の変動地形【空中写真判読・敷地内主要断層位置】

- 空中写真判読の結果によると、敷地には、新しい時代の活動を示唆するリニアメントは認められない。

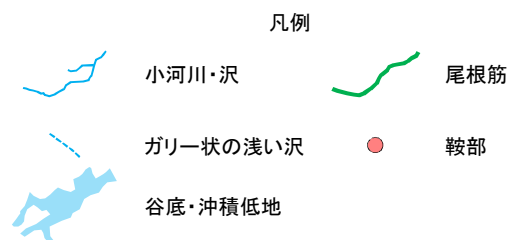
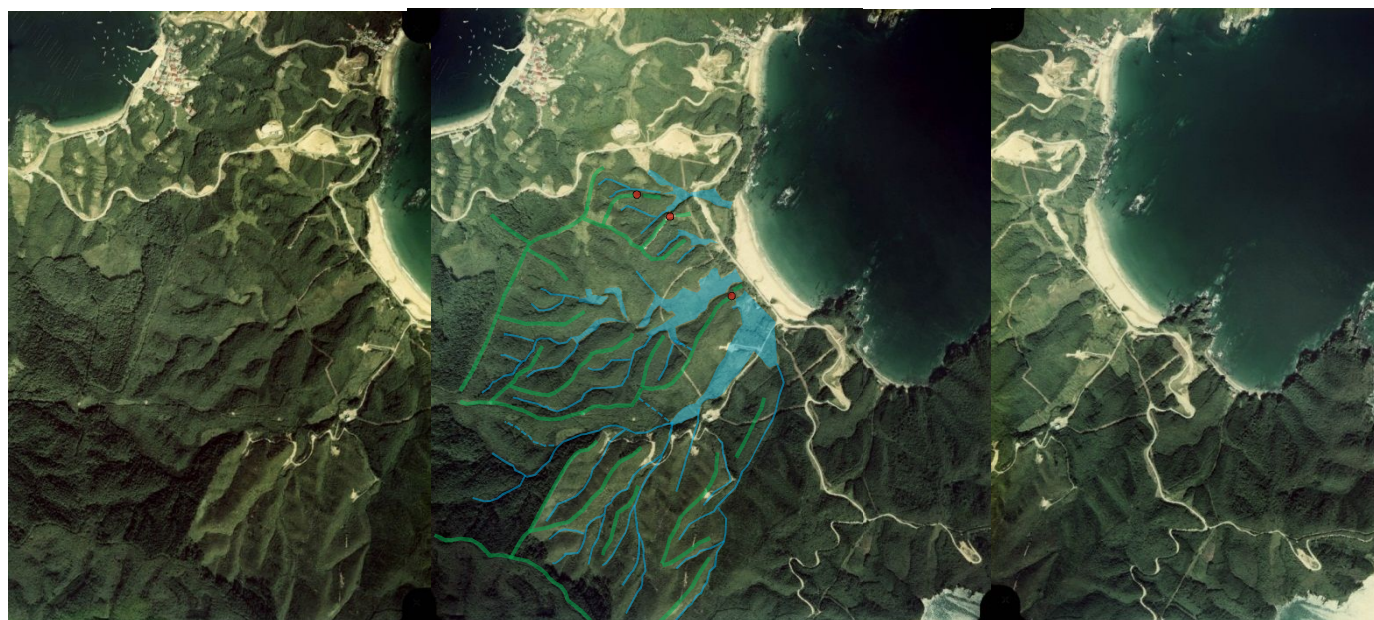


発電所建設前の空中写真(1975年撮影)
(CTO-75-26 C28 17~19)

出典: 国土画像情報(カラー空中写真)
国土交通省

2.2 空中写真による詳細判読結果【原地形】

- 空中写真判読の結果によると、敷地には、新しい時代の活動を示唆するリニアメントは認められない。



発電所建設前の空中写真(1975年撮影)
(CTO-75-26 C28 17~19)

に東北電力が加筆

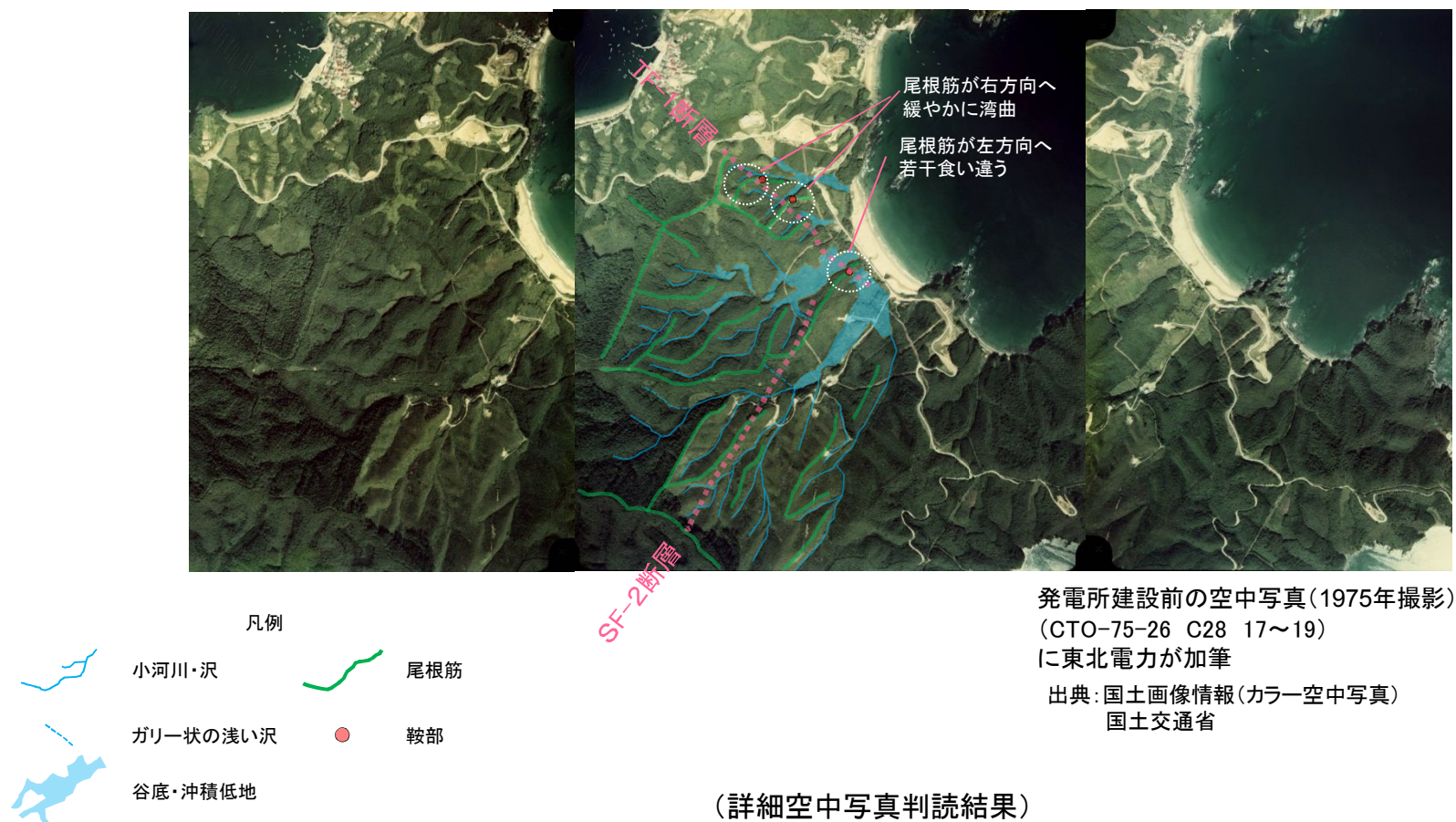
出典:国土画像情報(カラー空中写真)
国土交通省

(詳細空中写真判読結果)

※本頁の図に関しては、TN(真北)が図面上側方向になる配置にて表示

2.2 空中写真による詳細判読結果【TF-1断層沿い(原地形)】

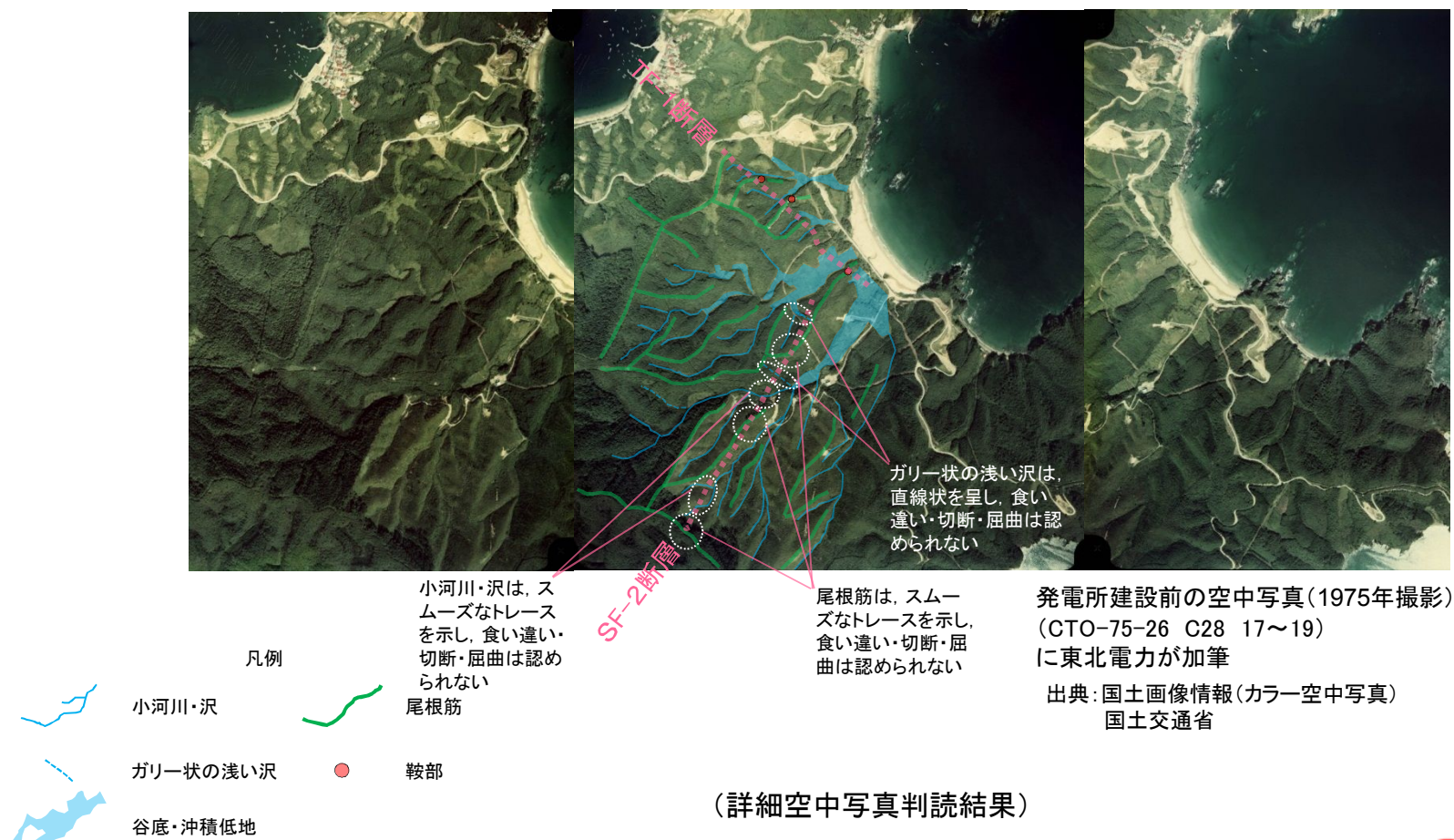
- 空中写真判読の結果によると、敷地には、新しい時代の活動を示唆するリニアメントは認められない。
- TF-1断層沿いの周辺には、一部に尾根筋のわずかな食い違い、湾曲が認められるものの、南東部と北西部でずれの方向が異なり、系統的な変位が認められないことから、横ずれに伴い形成された地形とは考えがたい。
- SF-2断層沿いに分布する尾根筋・小河川・沢・ガリー状の浅い沢等の地形には、食い違い・切断・屈曲は認められない。



※本頁の図に関しては、TN(真北)が図面上側方向になる配置にて表示

2.2 空中写真による詳細判読結果【SF-2断層沿い(原地形)】

- 空中写真判読の結果によると、敷地には、新しい時代の活動を示唆するリニアメントは認められない。
- ✓ TF-1断層沿いの周辺には、一部に尾根筋のわずかな食い違い、湾曲が認められるものの、南東部と北西部でずれの方向が異なり、系統的な変位が認められないことから、横ずれに伴い形成された地形とは考えがたい。
- ✓ SF-2断層沿いに分布する尾根筋・小河川・沢・ガリー状の浅い沢等の地形には、食い違い・切断・屈曲は認められない。

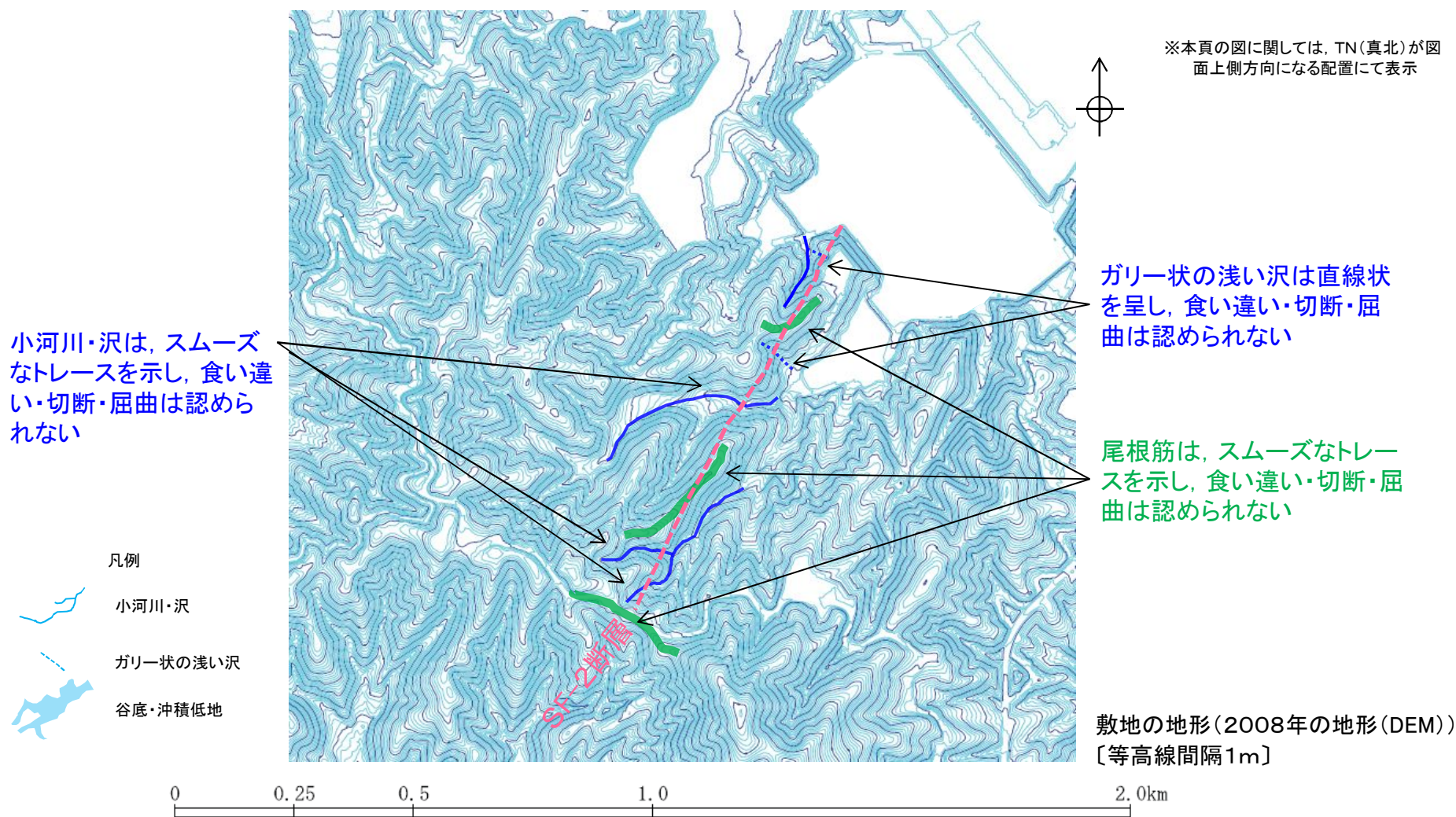


※本頁の図に関しては、TN(真北)が図面上側方向になる配置にて表示

2.2 空中写真による詳細判読結果

【SF-2断層沿いの周辺地形(DEM地形図と詳細判読結果)】

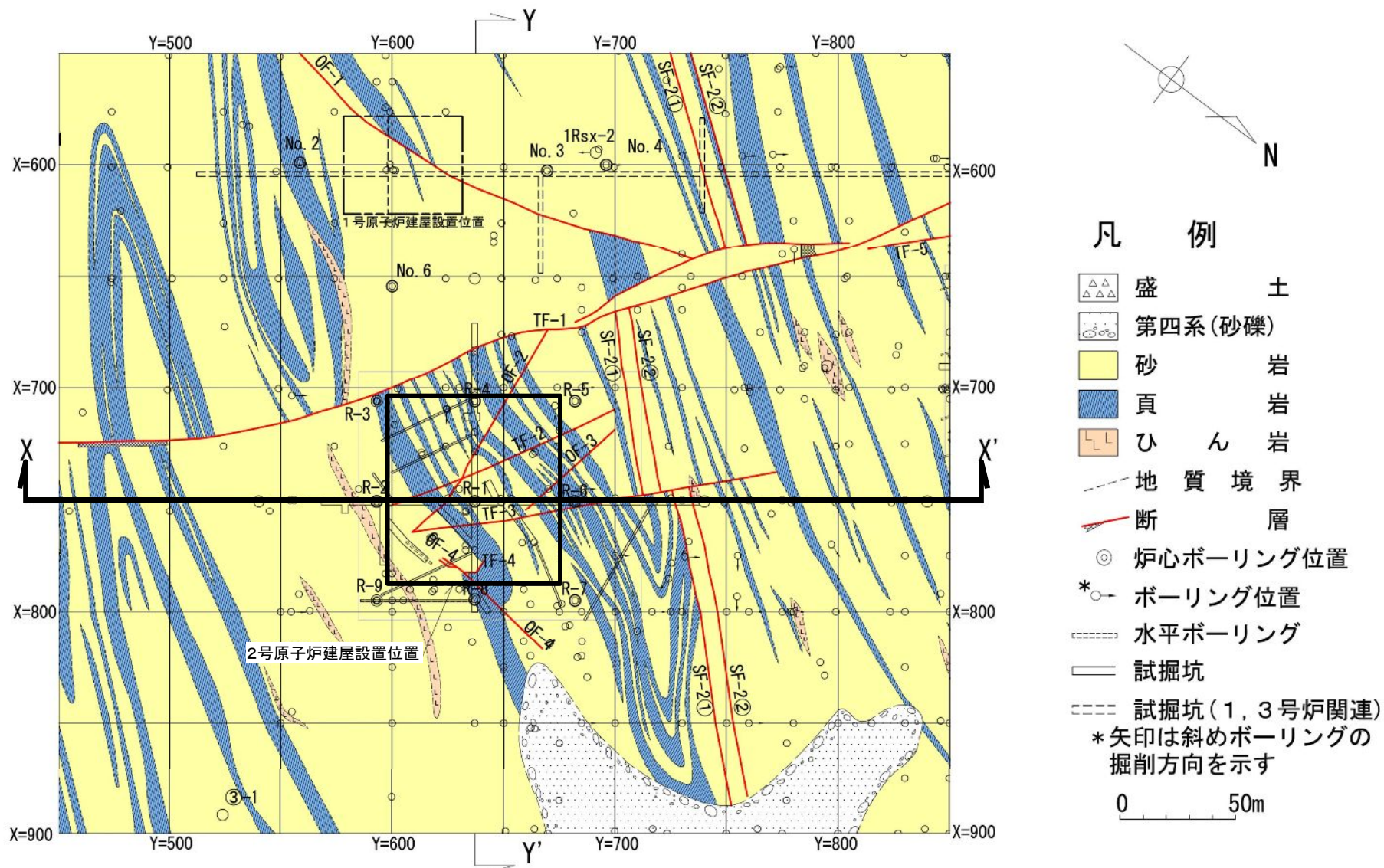
- ▶ 空中写真判読の結果によると、敷地には、新しい時代の活動を示唆するリニアメントは認められない。
- ✓ TF-1断層沿いの周辺には、一部に尾根筋のわずかな食い違い、湾曲が認められるものの、南東部と北西部でずれの方向が異なり、系統的な変位が認められないことから、横ずれに伴い形成された地形とは考えがたい。
- ✓ SF-2断層沿いに分布する尾根筋・小河川・沢・ガリー状の浅い沢等の地形には、食い違い・切断・屈曲は認められない。



(余白)

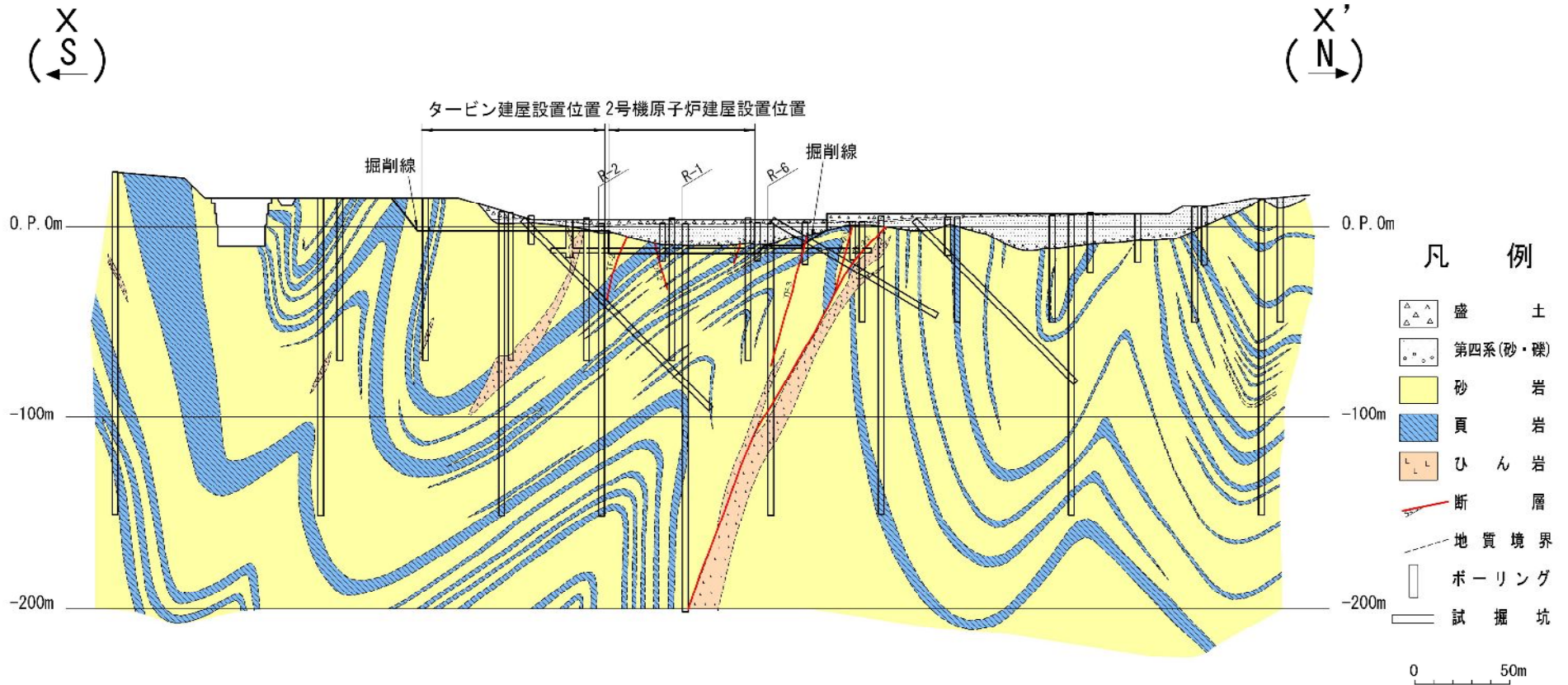
3. 褶曲構造を考慮した地質断面図の作成について

3. 1 2号炉付近の地質・地質構造 【地質水平断面図】



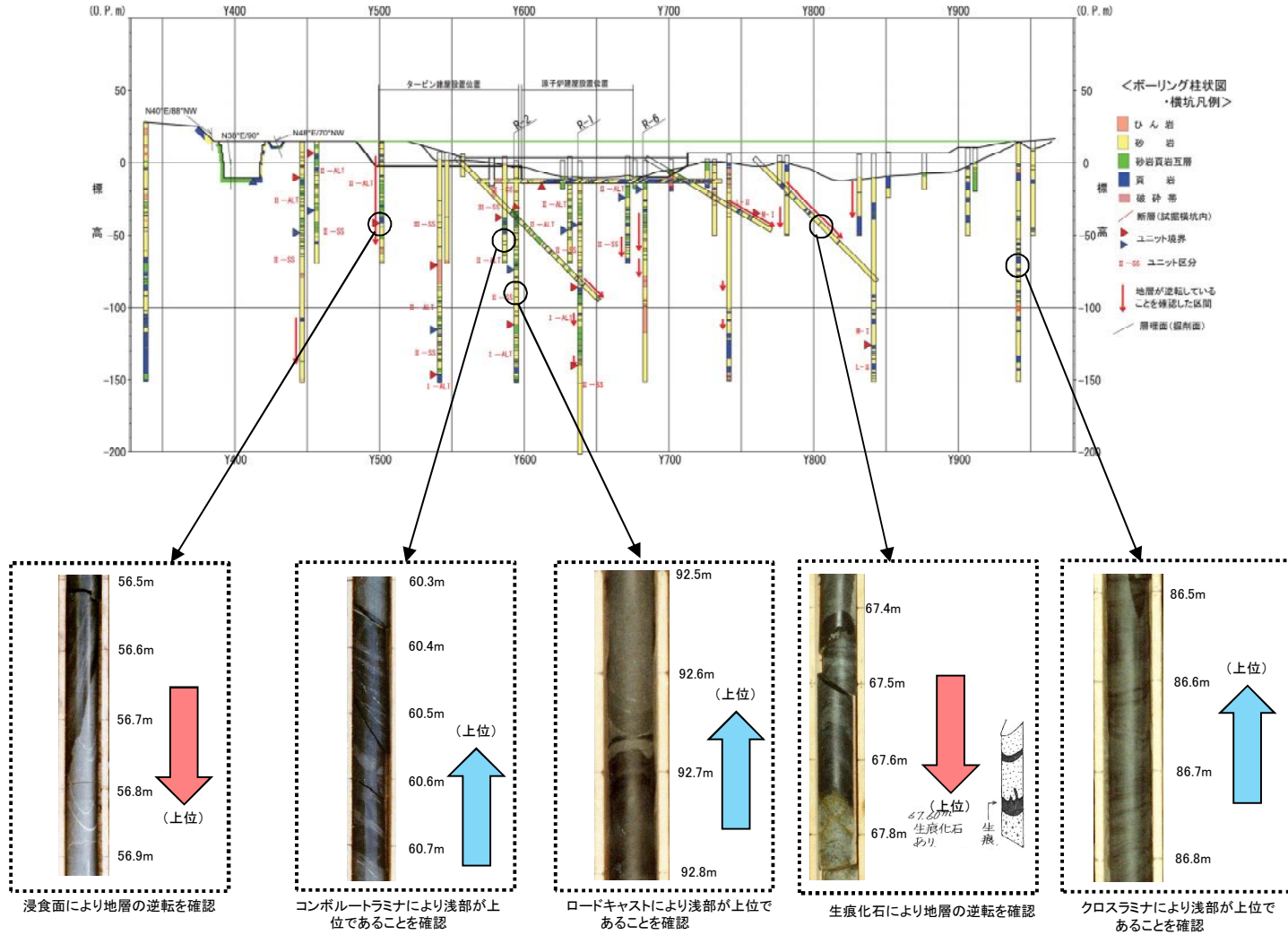
2号原子炉建屋設置位置周辺の地質水平断面図(O.P.約-14 m)

3. 1 2号炉付近の地質・地質構造 【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')

3. 2 地質鉛直断面図(X-X')の作成に関わる地質情報



3.3 敷地の褶曲構造の形態と位置【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

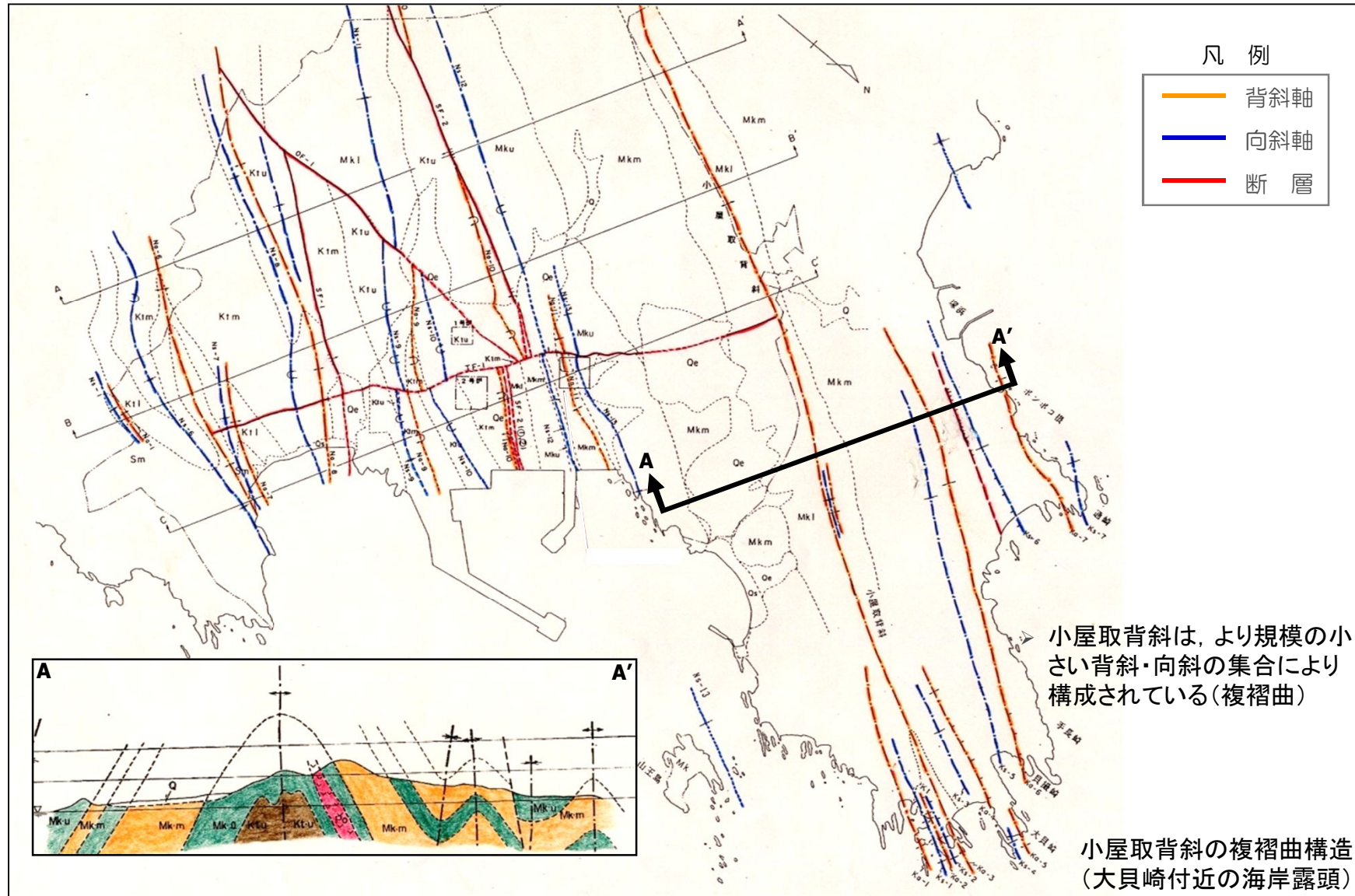
	敷地境界
	地質境界
	断層 ○破線は伏在を表す ○げばは落ちの方向 ○矢印は面の傾斜方向
	褶曲軸 背斜軸 向斜軸 ○破線は伏在を表す
	褶曲軸 背斜軸 向斜軸 ○破線は伏在を表す
	褶曲軸 背斜軸 向斜軸 ○破線は伏在を表す
断面図位置	

※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。

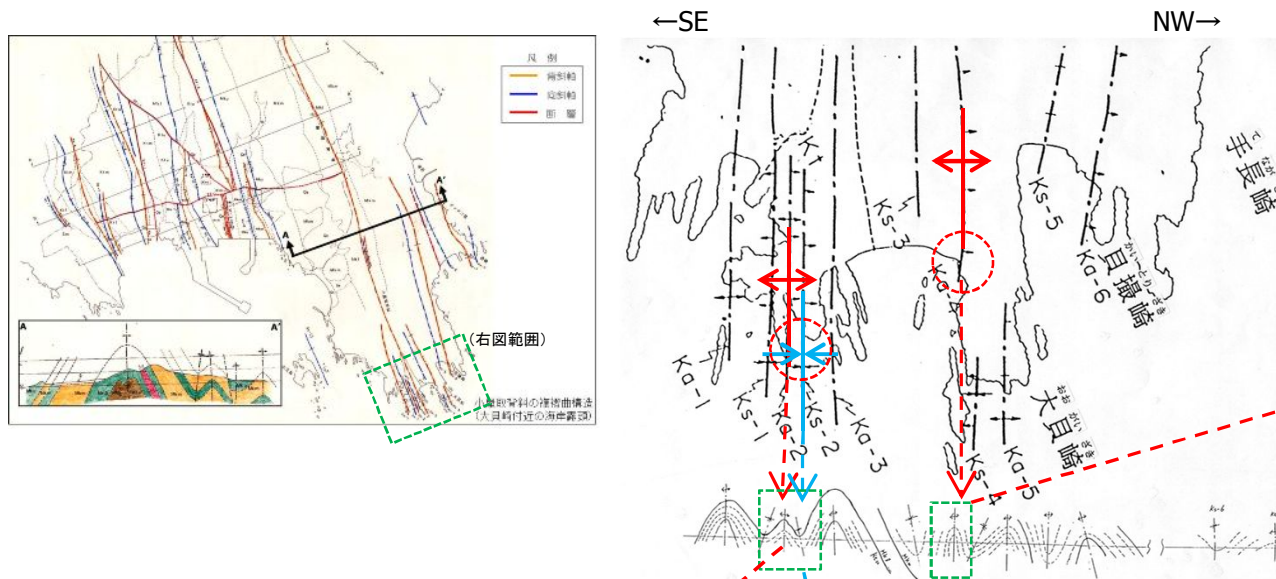


敷地の地質構造図

3. 3 敷地の褶曲構造の形態と位置【小屋取背斜の複褶曲構造①】



3.3 敷地の褶曲構造の形態と位置【小屋取背斜の複褶曲構造②】

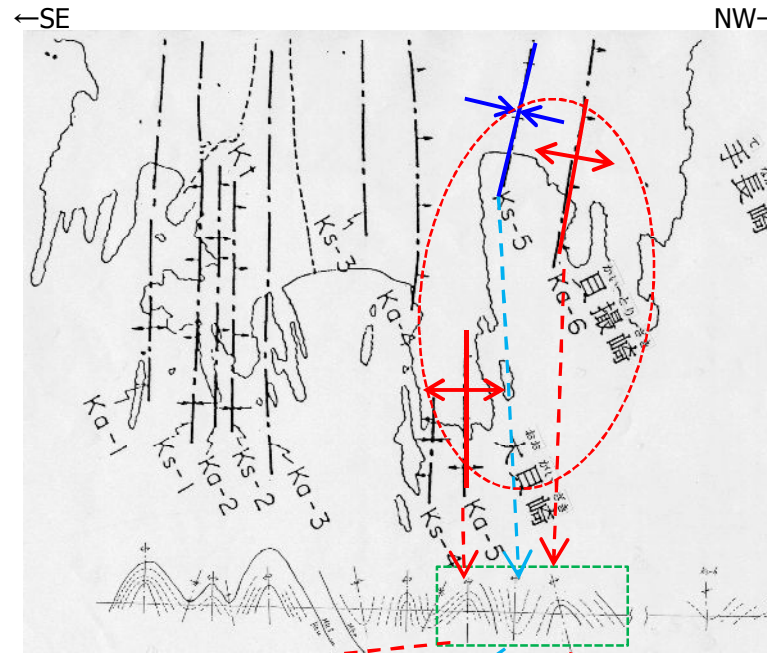
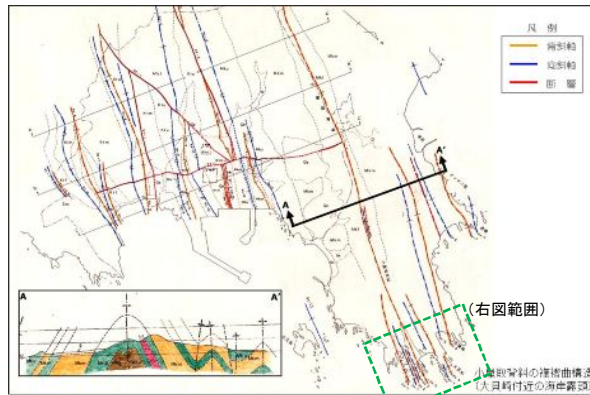


大貝崎の褶曲 1
(1981年(昭和56年)撮影)

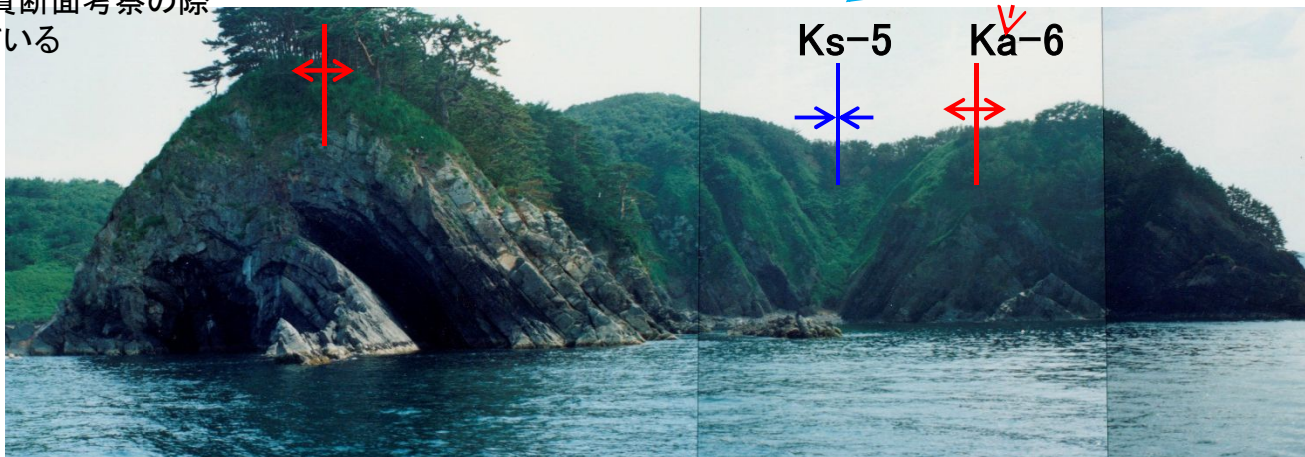


- 小屋取背斜は、より規模の小さい背斜・向斜の集合により構成されている(複褶曲)
- フレキシユラルスリップと押しつぶしによる褶曲
- ⇒ 褶曲構造の形態、波長など、敷地内の地質断面考察の際に参考にしてている

3. 3 敷地の褶曲構造の形態と位置【小屋取背斜の褶曲構造③】

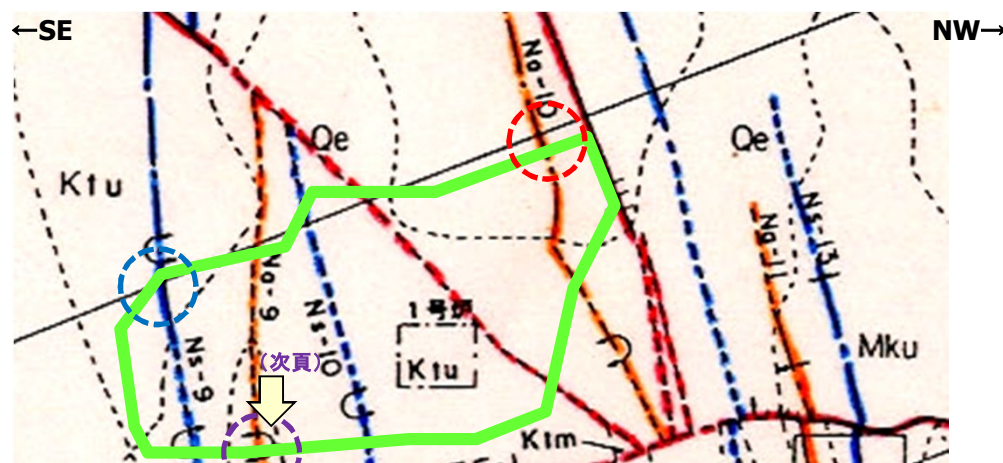


- ▶ 小屋取背斜は、より規模の小さい背斜・向斜の集合により構成されている(複褶曲)
- ▶ フレキシユラルスリップと押しつぶしによる褶曲
- ⇒ 褶曲構造の形態, 波長など, 敷地内の地質断面考察の際に参考になっている



大貝崎の褶曲 2
(1981年(昭和56年)撮影)

3.3 敷地の褶曲構造の形態と位置【1号掘削時の露頭写真①】



- 鳴浜向斜は、より規模の小さい背斜・向斜の集合により構成されている(複褶曲)
- 主要褶曲構造・褶曲時の位置及び形態を確認
- ⇒ 褶曲構造の位置, 形態, 波長など, 2号炉付近の地質断面考察の際に参考にしている



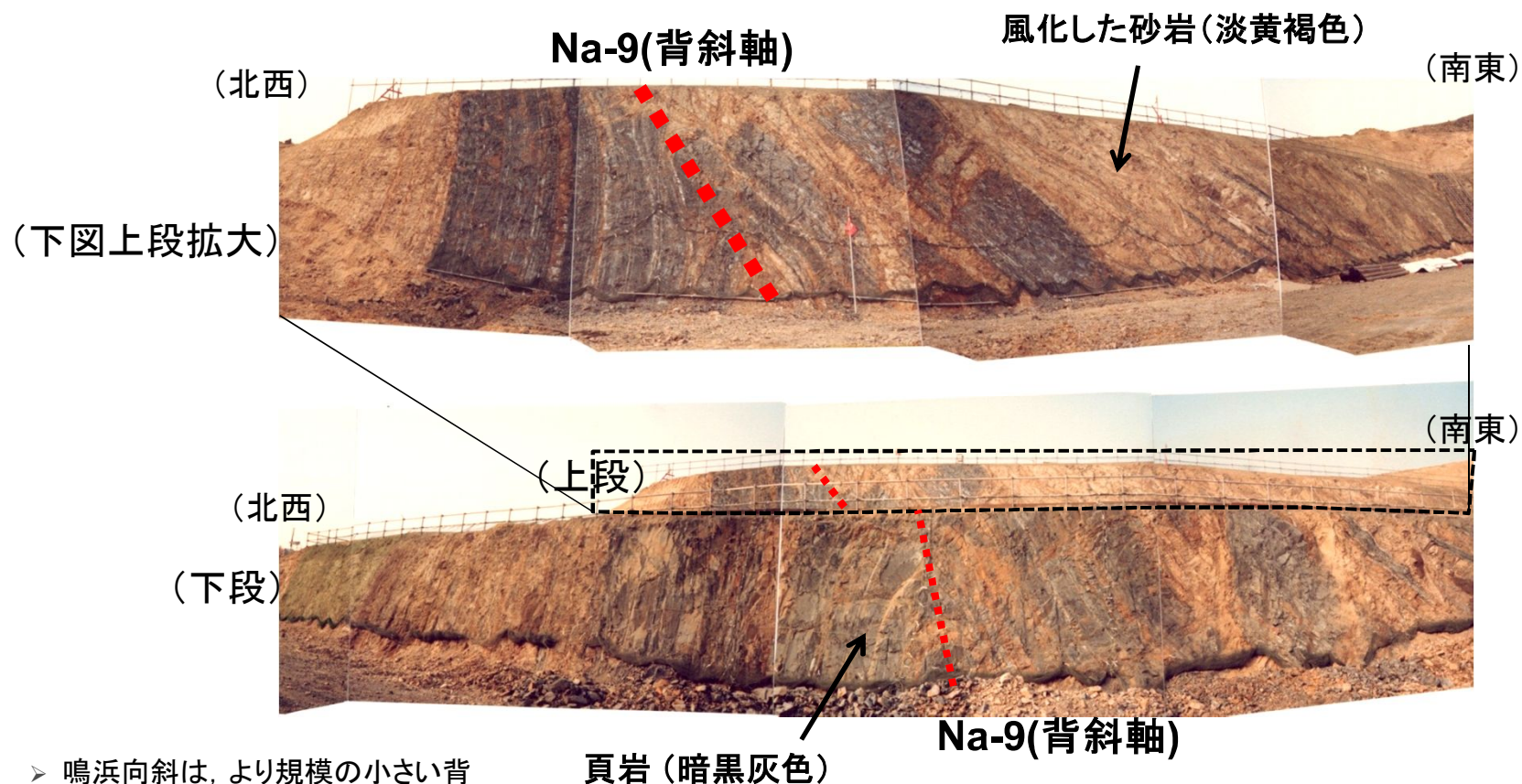
(南東)



(北西)

敷地内の褶曲構造(1号炉掘削時の基盤岩)(1980年(昭和55年)撮影)

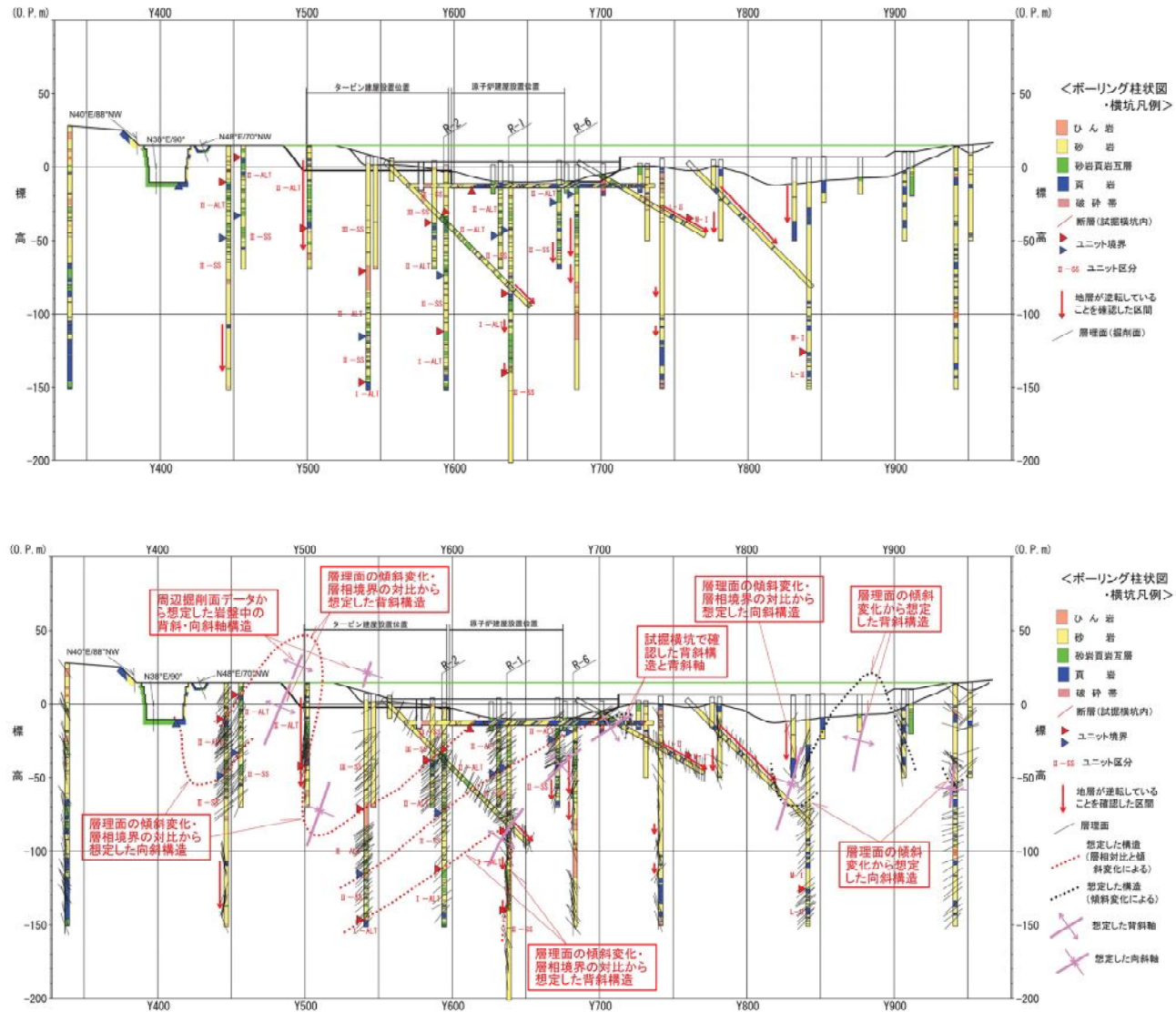
3.3 敷地の褶曲構造の形態と位置【1号掘削時の露頭写真②】



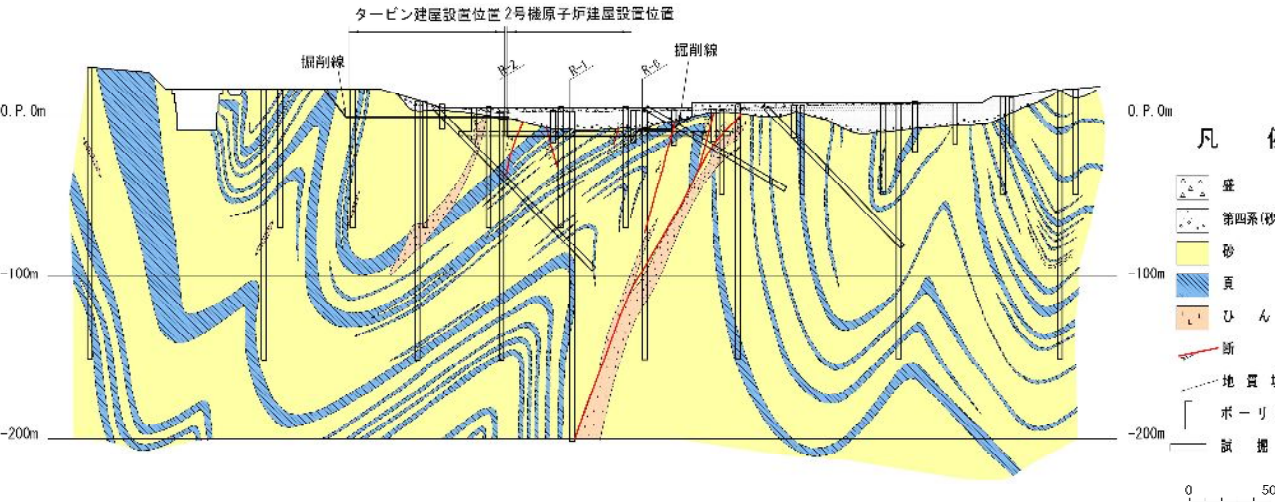
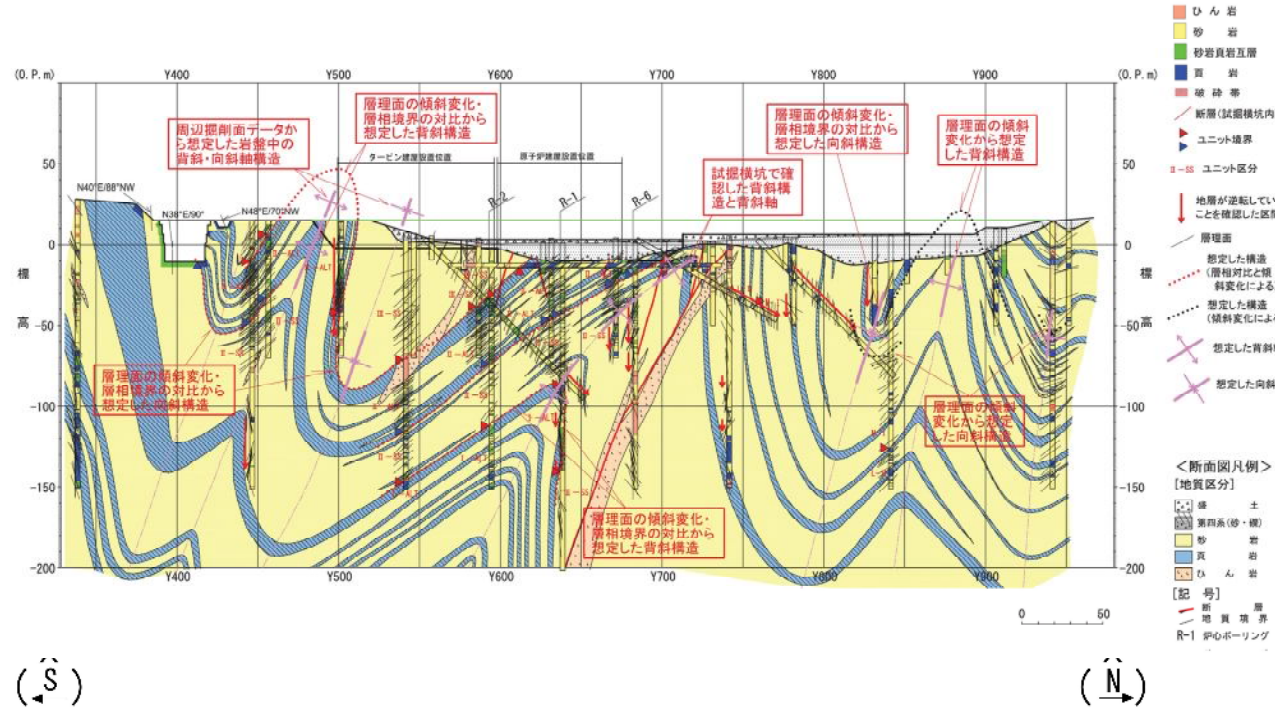
- 鳴浜向斜は、より規模の小さい背斜・向斜の集合により構成されている(複褶曲)
 - 主要褶曲構造・褶曲時の位置及び形態を確認
- ⇒ 褶曲構造の位置、形態、波長など、2号炉付近の地質断面考察の際に参考にしている

敷地内の褶曲構造(1号炉掘削時法面)(1980年(昭和55年)撮影)

3.4 地質鉛直断面図(X-X')の作成に関わる地質情報(1)



3.4 地質鉛直断面図(X-X')の作成に関わる地質情報(2)

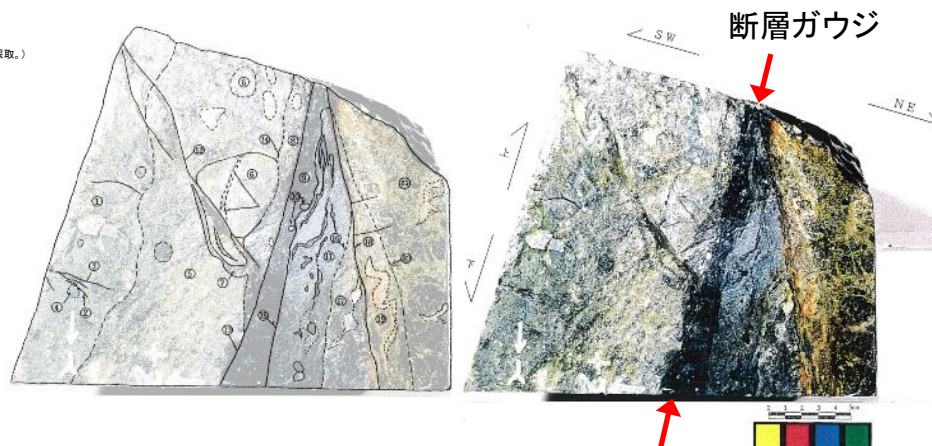
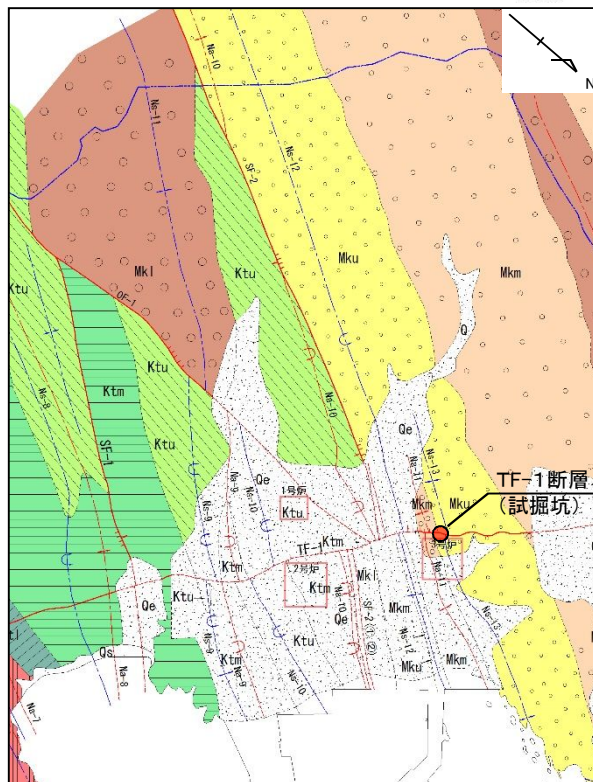


4. 断層破碎部の組織観察に基づく活動性の検討 (既往分析結果)

4.1 断層破碎部のブロック観察【TF-1断層】

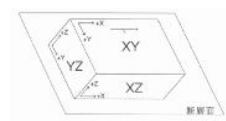


FL	例
Qe	礫土
Qs	海浜砂
Q	沖積層
Mku	軟の浜砂岩部層(上部)
Mkm	同上(中部)
Mkl	同上(下部)
Ktu	珪砂岩質岩部層(上部)
Ktm	同上(中部)
Ktl	同上(下部)
Su	侍浜岩部層



- ① 垂円礫状物質混じりの細粒物質が固結したもの。白色鉱物細脈あり。また、不規則な割れ目に黑色物質が充填する。
- ② 白色鉱物脈。
- ③ 黑色物質充填。
- ④ 礫状物質。
- ⑤ 砂混じり細片状部。①が破碎されたものと考えられ、①に晶出した石英細脈が破碎され、碎屑されている。
- ⑥ 礫状物質。
- ⑦ ⑧が流動変形し、充填しているものと考えられる。
- ⑧ 細礫混じり砂状部。
- ⑨ 細礫、粘土混じり砂状部。黑色を呈する。一部に流動変形見られる。
- ⑩ 細礫状物質を含む。
- ⑪ 細礫混じり砂状部。流動変形構造発達し、微褶曲構造見られる。また、一部の細礫のまわりを、細粒物質がとり囲むように分布している。
- ⑫ 節理。
- ⑬ 断層面。明瞭で連続する。
- ⑭ 境界不明瞭。
- ⑮ 断層面。波曲する。
- ⑯ 境界不明瞭。
- ⑰ 細片混じり砂状部。含まれる石英脈が流動変形し、プーディング状を呈している。
- ⑱ 断層⑮の面に切られる。
- ⑲ 砂状部。流動変形構造見られる。
- ⑳ 境界不明瞭。
- ㉑ 健岩部(TF-1の下盤)。細かい節理分布し、石英脈晶出する。

TF-1断層ブロック(YZ面)

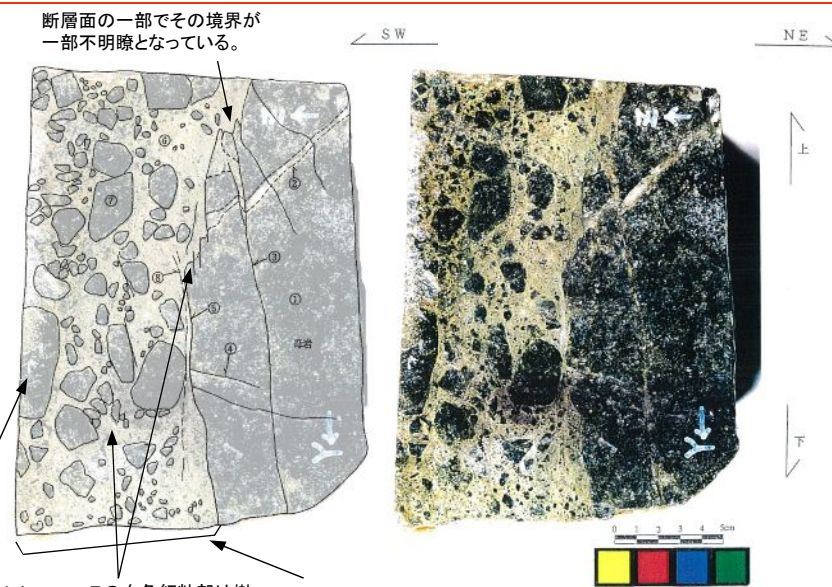
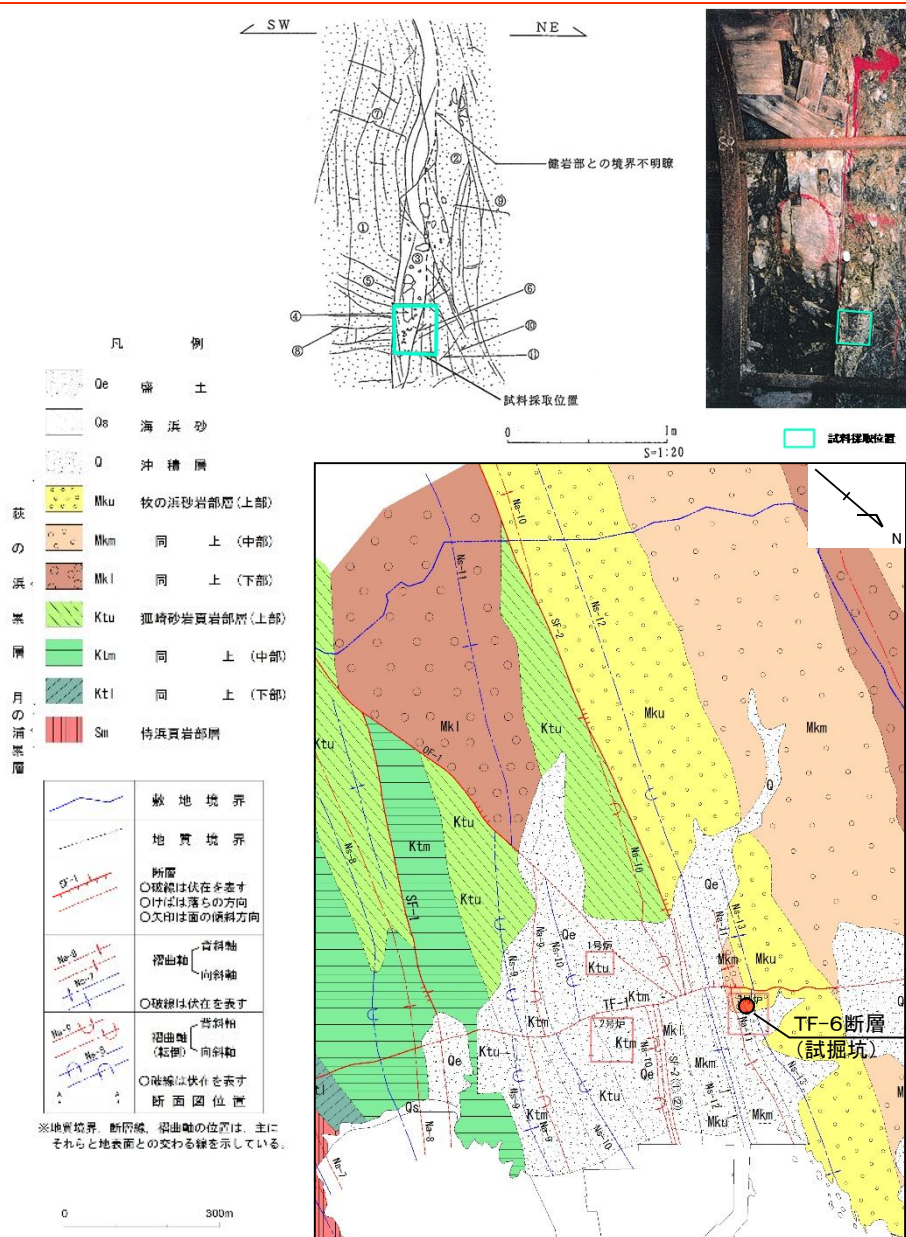


➤ TF-1断層は、高封圧下で断層運動のせん断力による破碎で形成された断層であると考えられる。

- ✓ TF-1断層は、露頭において、鏡肌・条線の見られる明瞭な断層面及び断層ガウジが存在し、断層変位に伴う引きずりが認められる。
- ✓ TF-1断層は、3号炉試掘坑付近で破碎幅約100cm、変位量が数10mの正断層で、南西に傾斜している。明瞭な断層ガウジが見られ、断層面には鏡肌及び条線が見られる。
- ✓ ブロックでは、明瞭なガウジが見られ、その周辺にはせん断により形成されたと考えられる流動変形が見られる。

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

4.1 断層破碎部のブロック観察【TF-6断層①】

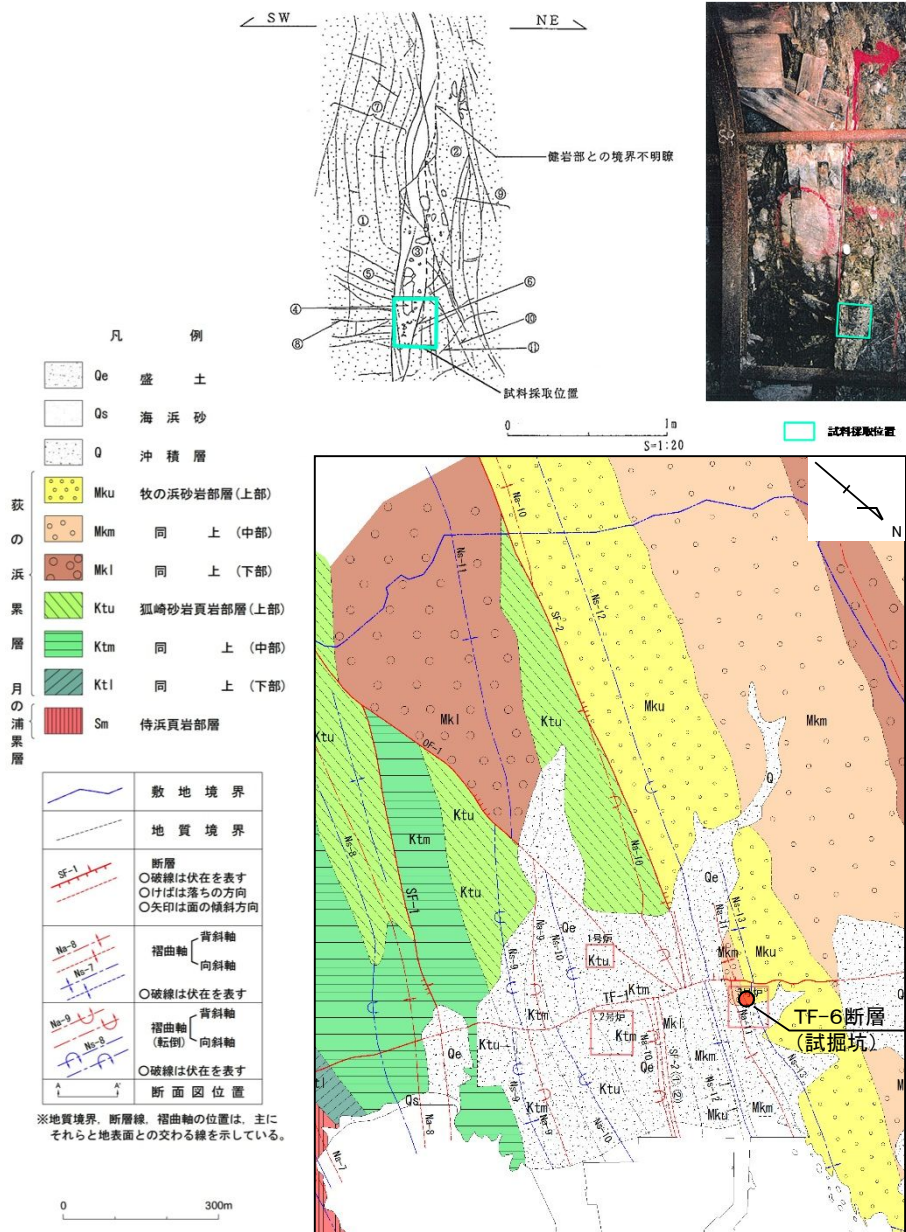


- ① 下盤。塊状粗粒砂岩。硬質。
 - ② 石英脈。
 - ③ 小断層。石英脈を変位させている。
 - ④ 節理。
 - ⑤ 断層面(TF-6の下盤)。屈曲するが、ほぼ明瞭な面をもつ。
 - ⑥ 母岩が細粒化し、白色化している。種々の径の母岩起源の礫が多量に含まれている。
 - ⑦ 母岩起源の礫。白色化細粒部との境界は明瞭である。径が2cm以上の礫には長径が断層面の方向に配列する様な傾向が見られる。
 - ⑧ 微細なひび割れが見られる。
- TF-6断層ブロック(YZ面)

➤ TF-6断層は、熱水による水圧破碎で形成された断層であると考えられる。

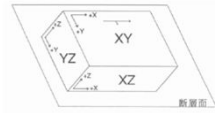
- ✓ TF-1断層は、3号炉試掘坑付近で破碎幅約20cm、変位量の小さい正断層で、南西に傾斜している。断層面に鏡肌が見られるが、明瞭な断層ガウジが見られず、破碎部と母岩の境界が一部で不明瞭となっている。
- ✓ ブロックでは、破碎部は、母岩組織の残存する礫状物質を含む白色細粒部よりなり、礫状部と白色細粒部のコントラストは明瞭である。
- ✓ 母岩と白色細粒部は明確に分かれているが、断層面の一部で境界が不明瞭となっている。
- ✓ 白色細粒部は樹枝状に分布しており、一部母岩を剥離させるような構造が見られる。
- ✓ 破碎部中には、顕著な面構造は見られない。

4.1 断層破碎部のブロック観察【TF-6断層②】



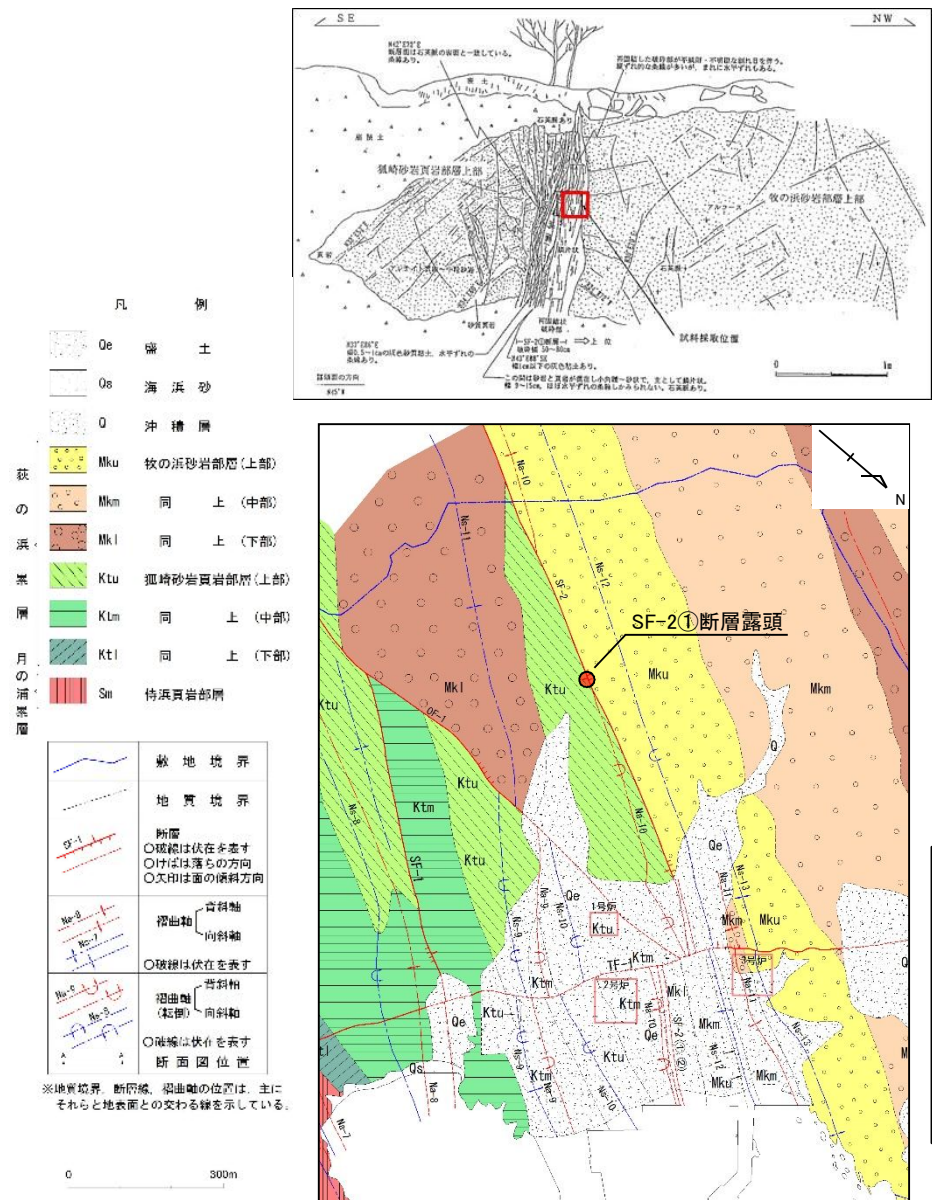
比較的原岩組織が残存し、ジグソーパズル状～モザイク状を呈する。

TF-6断層ブロック(XY面)



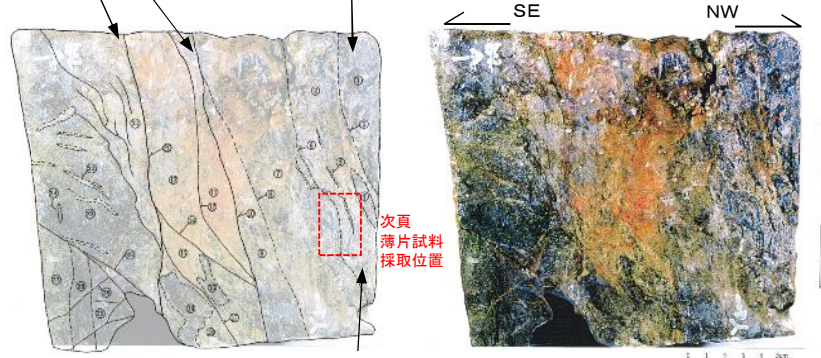
- TF-6断層は、熱水による水圧破碎で形成された断層であると考えられる。
- ✓ TF-6断層は、3号炉試掘坑付近で破碎幅約20cm、変位量の小さい正断層で、南西に傾斜している。断層面に鏡肌が見られるが、明瞭な断層ガウジが見られず、破碎部と母岩の境界が一部で不明瞭となっている。
- ✓ ブロックでは、破碎部は、母岩組織の残存する礫状物質を含む白色細粒部よりなり、礫状部と白色細粒部のコントラストは明瞭である。
- ✓ 母岩と白色細粒部は明確に分かれているが、断層面の一部で境界が不明瞭となっている。
- ✓ 白色細粒部は樹枝状に分布しており、一部母岩を剥離させるような構造が見られる。
- ✓ 破碎部中には、顕著な面構造は見られない。

4.1 断層破碎部のブロック観察【SF-2①断層】



断層面と調和的な面構造が多数認められることから、断層運動に伴うせん断による破碎と考えられる。

母岩の組織が残存する箇所の一部に、割れ目によって樹枝状の脈が見られることから、一部水圧破碎の影響があると考えられる。



流動構造の痕跡が見られ一部の礫が扁平化している。断層運動と調和的な傾向を示すことから、断層運動に伴うせん断により形成されたと考えられる。

- ① 所々に石英脈が晶出するが母岩組織残存する。
- ② 構成粒子の一部が細粒化しており、流動構造が発達する。
- ③ 黒色物質が扁平となっている。
- ④ 母岩組織一部残存。石英脈晶出。
- ⑤ 境界不明瞭。
- ⑥ 境界不明瞭。
- ⑦ 母岩組織残存する。石英脈多数晶出する。
- ⑧ 境界不明瞭。
- ⑨ 扁平な礫状に破碎されている。石英脈晶出。
- ⑩ 小断層面。
- ⑪ 粘土・砂混じり細片状部。
- ⑫ 小断層面。
- ⑬ 粘土・砂混じり細片状部。
- ⑭ 小断層面。
- ⑮ 砂混じり細片状部。
- ⑯ 母岩組織一部残存。石英脈晶出。
- ⑰ 小断層面。
- ⑱ 砂混じり細片状部。
- ⑲ 母岩組織一部残存する。石英脈晶出。
- ⑳ 小断層面。
- ㉑ 流動構造。粒子の細粒化見られる。
- ㉒ 母岩組織残存する。
- ㉓ 石英脈晶出。
- ㉔ 頁岩礫含む。
- ㉕ 小断層。
- ㉖ 節理。
- ㉗ 母岩組織残存する。
- ㉘ 流動構造見られる。
- ㉙ 母岩組織残存する。

SF-2①断層ブロック(YZ面)

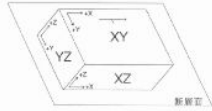
➤ SF-2①断層は、断層運動のせん断力による破碎で形成された断層であるが、一部に熱水による水圧破碎の影響を受けていると考えられる。

✓ SF-2①断層は、層位的に大きな変位量が認められている断層であり、露頭において明瞭な断層ガウジが断層中に見られることから、断層運動のせん断力による破碎で形成された断層である。

✓ ブロックでは、断層面と調和的な面構造が多数認められ、またせん断により形成されたと考えられる流動構造の痕跡が見られ、一部の礫が扁平化している。

✓ 一方で、断層破碎部に石英脈が晶出していること、母岩の組織が残存する箇所の一部に割れ目によって樹枝状の脈が見られることから、熱水による水圧破碎の影響を受けている可能性がある。

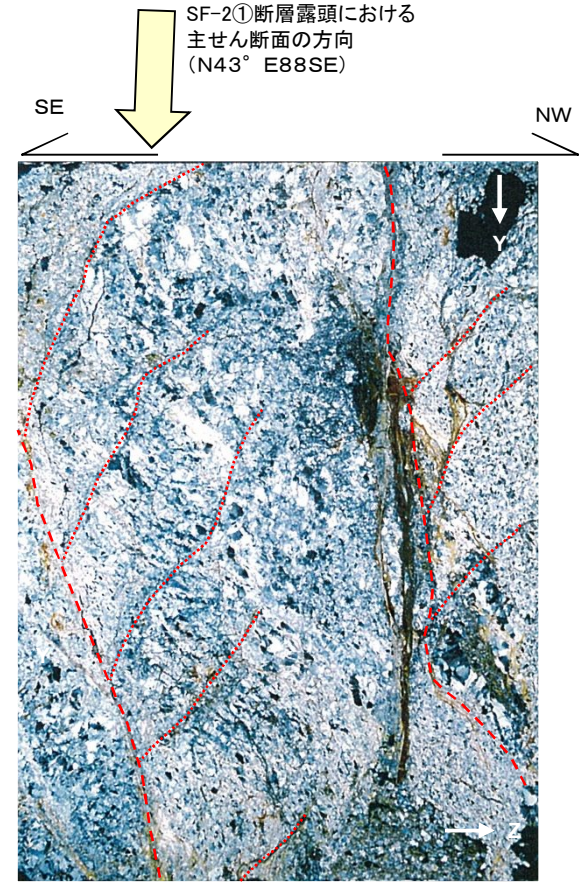
4. 1 断層破碎部のブロック観察【SF-2①断層(薄片観察)】



薄片試料作成位置 (YZ面) 薄片作成位置



オープンニコル



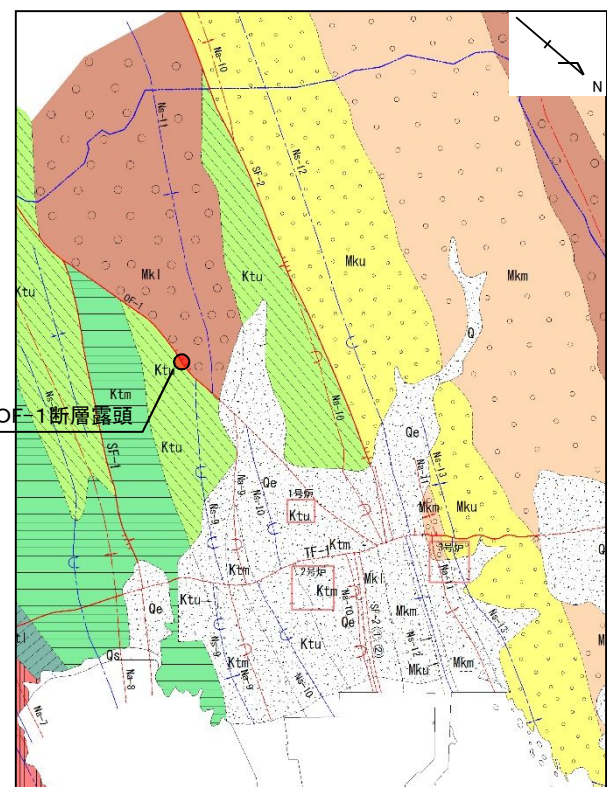
クロスニコル
 - - - 断層面に調和的な主要なせん断面
 せん断の動きを逆なでするようなすべり面
 薄片顕微鏡写真

➤ SF-2①断層は、断層運動のせん断力による破碎で形成された断層であると考えられる。
 ✓ 顕微鏡下では、断層面に調和的な主要なせん断面に斜行し、せん断の動きを逆なでするような配列をしているすべり面が観察された。

4.1 断層破碎部のブロック観察【OF-1断層】



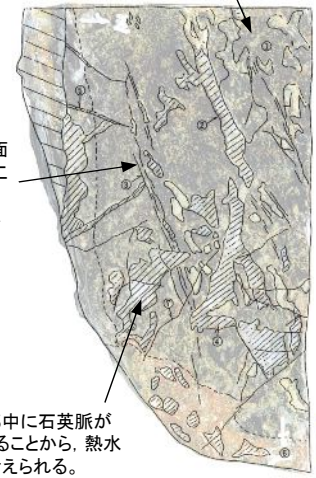
FL	例
Qe	礫土
Qs	海浜砂
Q	沖積層
Mku	枚の浜砂岩部層(上部)
Mkm	同上(中部)
Mkl	同上(下部)
Ktu	斑崎砂岩頁岩部層(上部)
Klm	同上(中部)
Ktl	同上(下部)
Su	侍浜頁岩部層



	地形境界
	地質境界
	断層 ○破線は伏在を示す ○けはは落ちの方向 ○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 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。

礫状部と見られていたところは風化による変色及び酸化鉄による着色であり、割れ目は認められない。

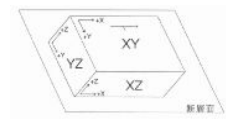


一部不明瞭ながらも断層面に調和的な面構造を持つことから、断層運動に伴うせん断による破碎と考えられる。

断層破碎部中に石英脈が晶出していることから、熱水の影響が考えられる。

- ①頁岩。ほぼ新鮮状態の黒色を呈する部分、暗灰色の部分、脱色して黄灰色を呈する部分が見られる。頁岩が角礫状に分布しているところでは、ネットワーク状に赤褐色に着色している部分で、角礫状にはなっていない。石英脈が充填する。
- ②石英脈。割れ目を充填し晶出したものと考えられる。
- ③断層面とやや斜交して、一部に流動構造やマイクロクラックが見られる。
- ④石英脈。不定形に晶出。
- ⑤不定形に晶出した石英脈を切る石英脈が見られる。
- ⑥酸化鉄により、赤褐色に変色。
- ⑦収縮割れ目様の亀裂が見られ、酸化鉄が充填。

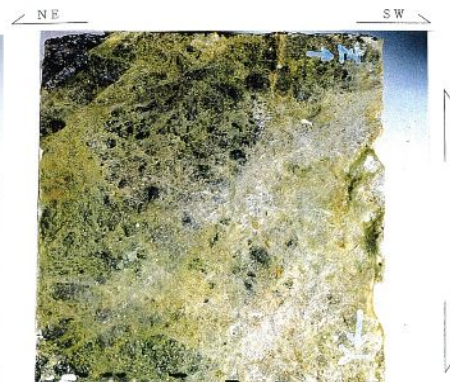
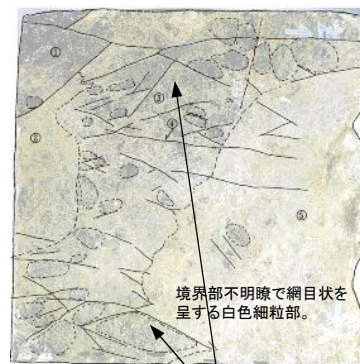
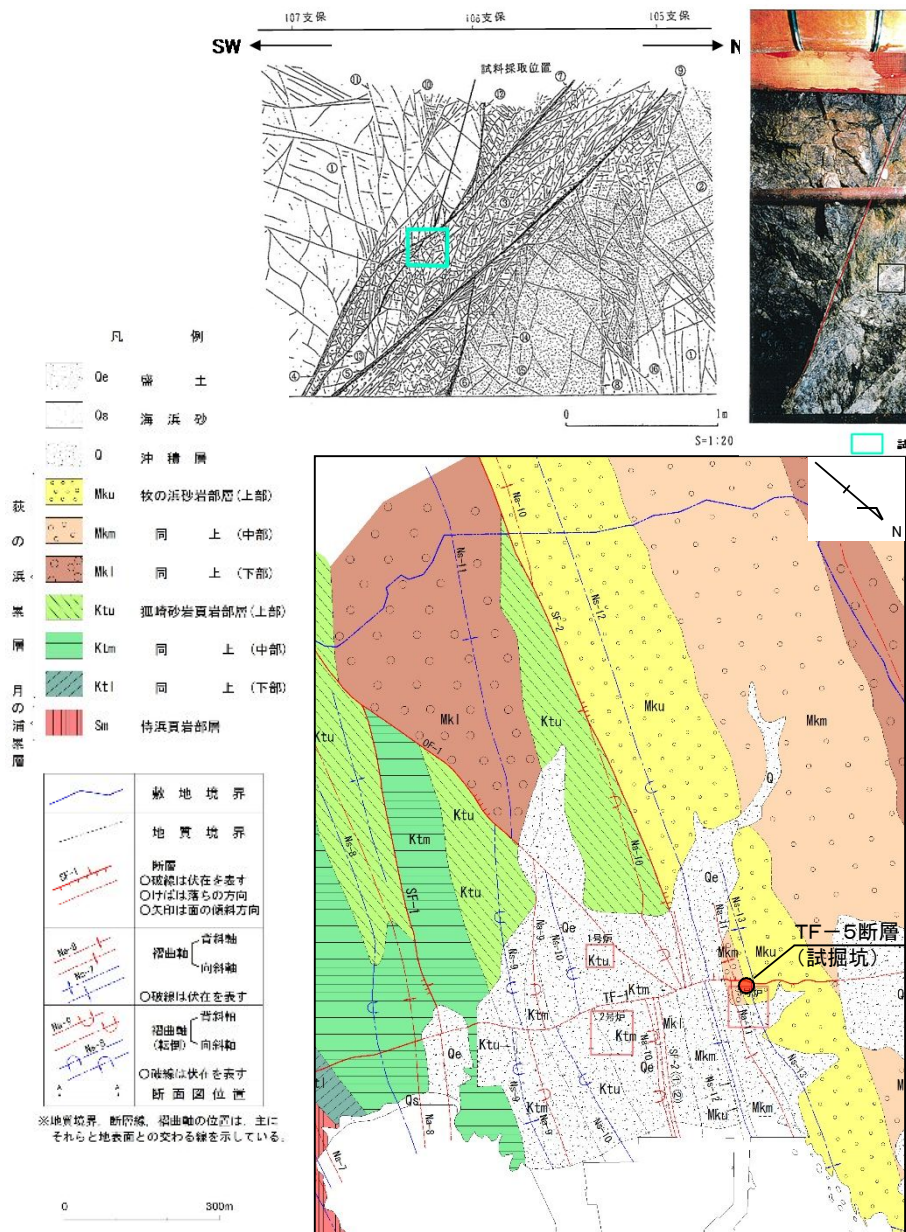
OF-1断層ブロック(YZ面)



OF-1断層は、断層運動のせん断力による破碎で形成された断層であるが、一部に熱水の影響を受けていると考えられる。

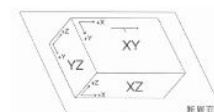
- ✓ OF-1断層は、層位的に大きな変位量が認められている断層であり、露頭において明瞭な断層ガウジが断層の上盤及び下盤の境界付近に見られることから、断層運動のせん断力による破碎で形成された断層である。
- ✓ ブロックでは、風化による変色や酸化鉄による着色が顕著で、一部不明瞭ながらも断層面に調和的な面構造がみられる。
- ✓ 一方で、断層破碎部中に石英脈が晶出していることから、水圧破碎の影響を受けている可能性がある。

4. 1 断層破碎部のブロック観察【TF-5断層】



白色細粒物質の充填した、周辺との境界不明瞭な分岐する面状構造が見られることから、水圧破碎の影響があると考えられる。

- ①母岩組織残存する。
- ②破碎され細粒化し、白色化している。
- ③2つの方向を持つ割れ目が分布する。割れ目には細粒白色化物質が充填する。全体的にしもふり状角礫状化している。所々に礫状の未破碎部残存する。
- ④割れ目に母岩起源の細粒化・白色化した物質が充填する。
- ⑤著しく破碎し、細粒化・白色化している。



➤ TF-5断層は、断層運動のせん断力による破碎で形成された断層であるが、一部に熱水による水圧破碎の影響を受けていると考えられる。

- ✓ TF-5断層は、層位的に変位量が認められている断層であり、試掘坑内において明瞭な断層ガウジが断層の上盤及び下盤の境界付近に見られることから、断層運動のせん断力による破碎で形成された断層である。
- ✓ 一方で、断層破碎部の上盤と下盤の破碎部中に境界不明瞭で網目状を呈する白色細粒部が見られ、ブロックにおいても、白色細粒物質の充填した、周辺との境界が不明瞭な分岐する構造が見られることから、熱水による水圧破碎の影響を受けているものと考えられる。

4.2 まとめ

断層内物質の解析のまとめ

- 既往の断層破碎部のブロック観察(平成7年実施)の結果によれば、敷地内の断層破碎部には、高封圧下における断層運動のせん断力による破碎で形成された変形構造と熱水の水圧破碎によって形成された変形構造が認められる。

(余白)

5. 敷地内破砕帯と同系統・同性状の断層と 上載地層の関係

東北電力(株)女川原子力発電所2号機の申請内容に係る主要な論点
(第73回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合(平成26年1
月28日)資料2)

4. 敷地外において、敷地内破砕帯と同系統・同性状の
断層を対象とし、上載地層により活動年代を評価でき
るか検討すること。

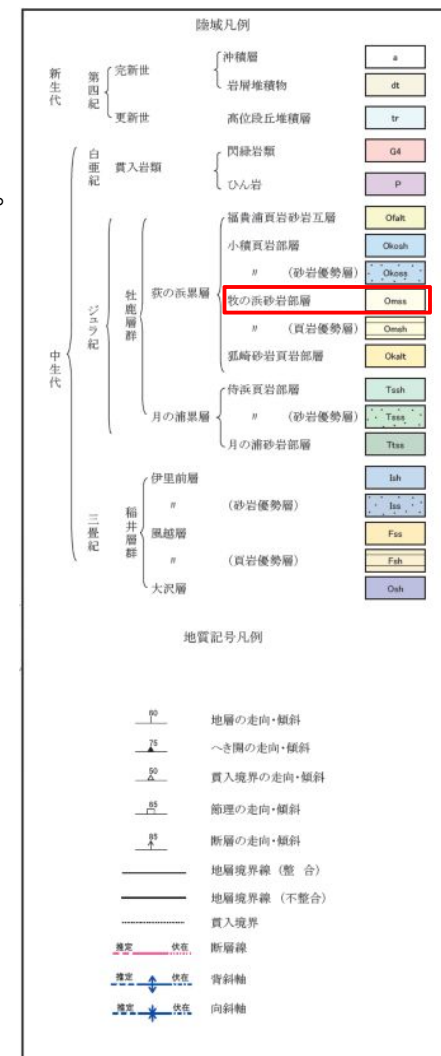
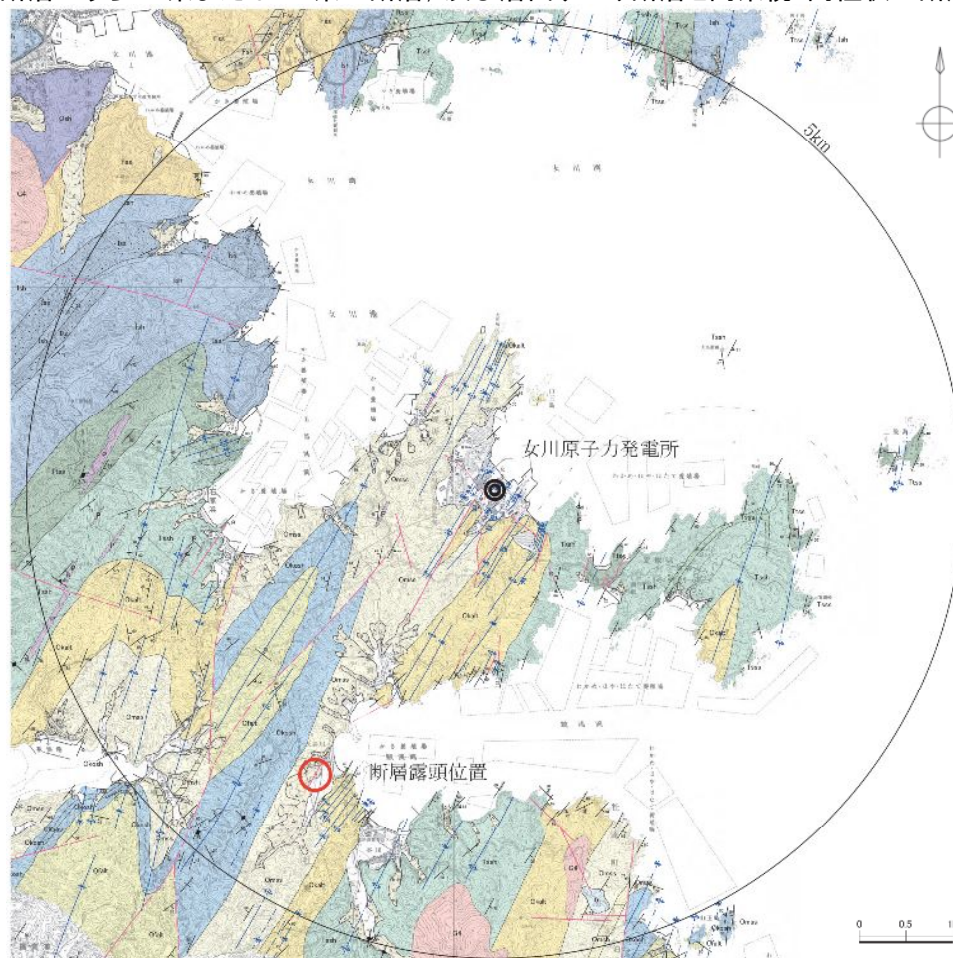
5. 1 調査位置【露頭確認箇所】の地質

東北電力(株)女川原子力発電所2号機の申請内容に係る主要な論点
(第73回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合(平成26年1月28日)資料2)

4. 敷地外において、敷地内破碎帯と同系統・同性状の断層を対象とし、上載地層により活動年代を評価できるか検討すること。

- 調査の結果、敷地の南西方の大谷川付近にて、礫層が断層を覆う露頭が確認された。
- 確認された断層露頭周辺は、敷地内と同一の地層が連続し、地質構造も連続している。
 - 確認された断層は、敷地内断層のうちSF系またはOF系の断層、及び層面すべり断層と同系統・同性状の断層。
 - この断層は、M₂面段丘※を構成する礫層に変位を与えていない状況を確認した。

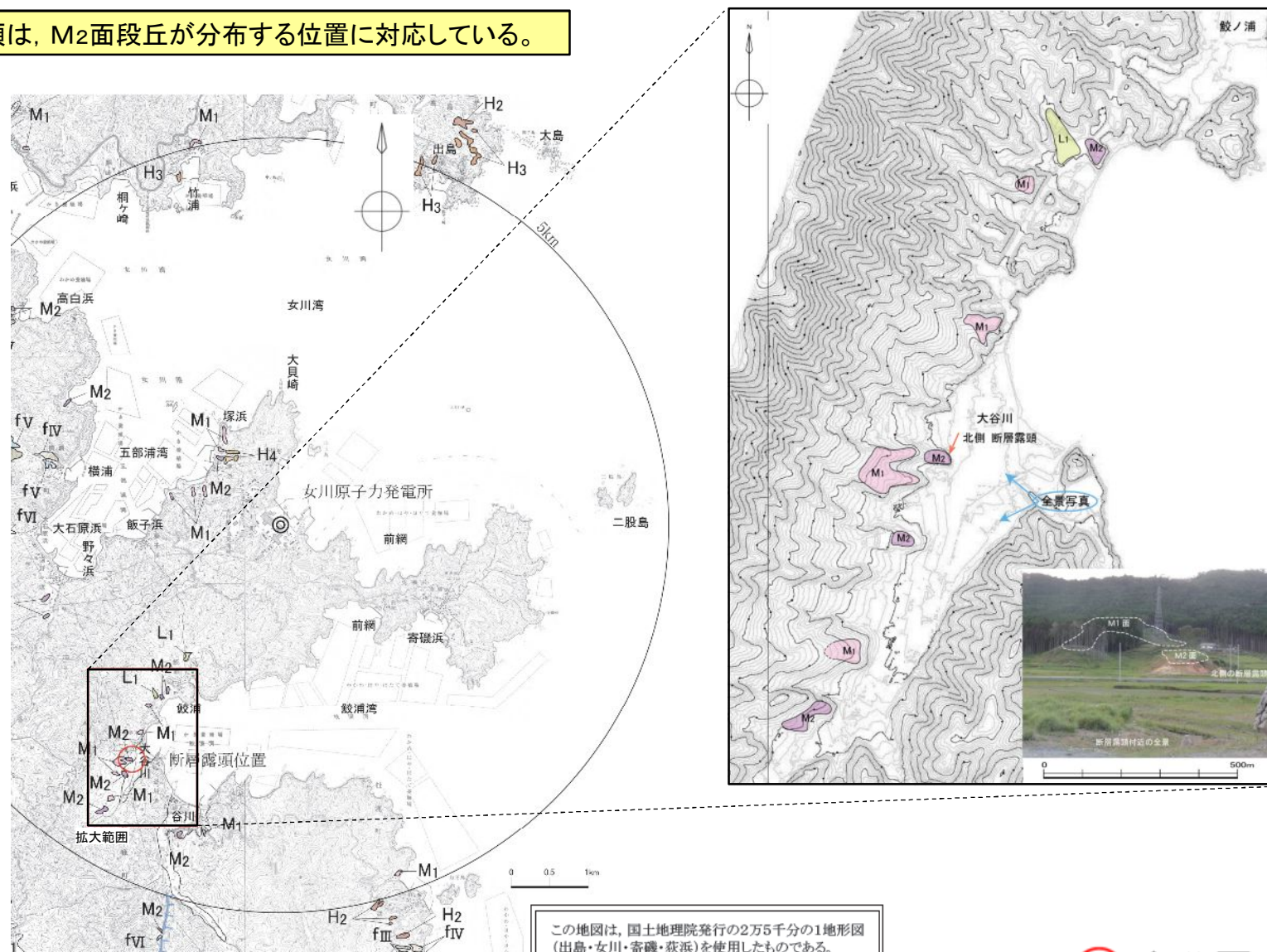
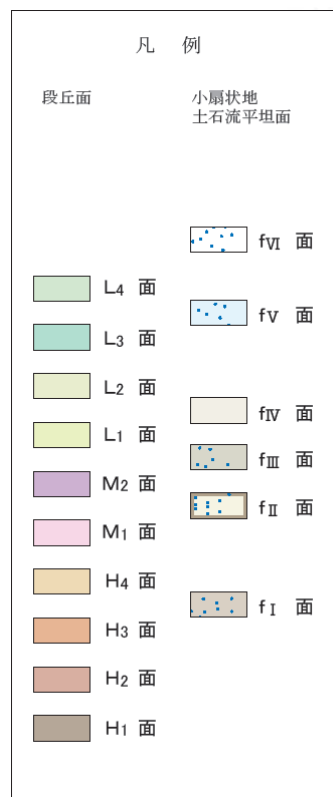
※ M₂面段丘については、文献との対応状況等からMIS5に相当すると考えている。



この地図は、国土地理院発行の2万5千分の1地形図(国島・女川・喜瀬・萩浜)を使用したものである。

5.1 調査位置【露頭確認箇所の地形】

調査を行った露頭は、M2面段丘が分布する位置に対応している。



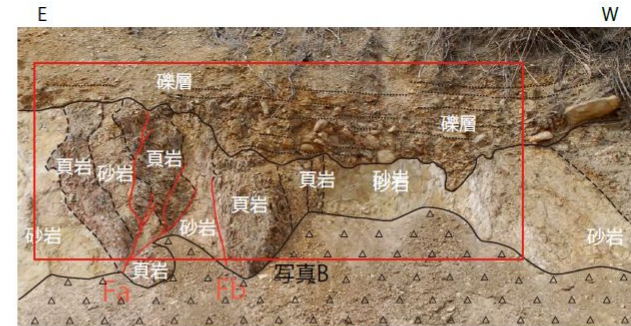
5.2 断層露頭調査結果1【2013.3】

敷地内のSF系ないしOF系の断層及び層面すべり断層と同様の性質の断層は、M₂面段丘を構成する礫層に変位を与えていない状況を確認した。



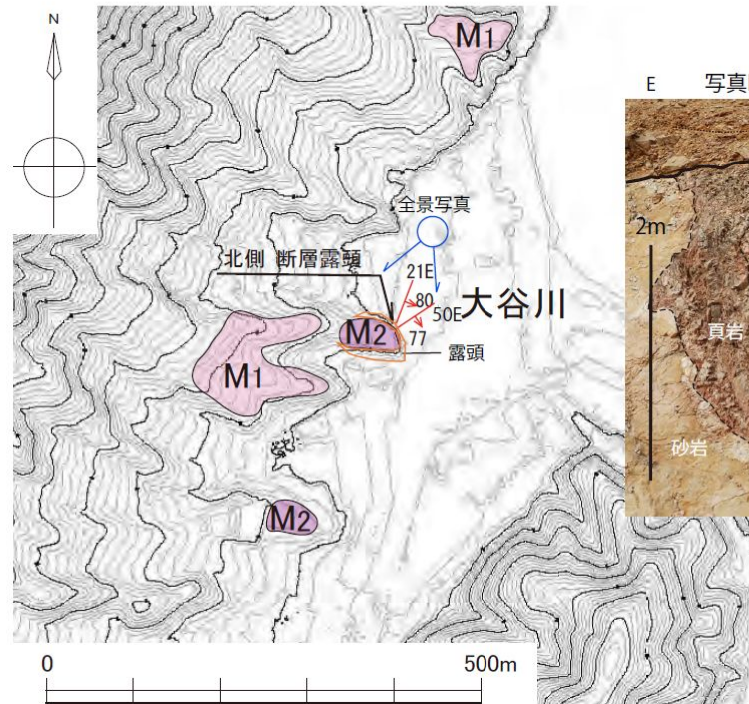
北側斜面全景

- M₂面台地の残丘に、ジュラ系とこれを覆う礫層が認められる。
- ジュラ系中に2条の断層が認められる。

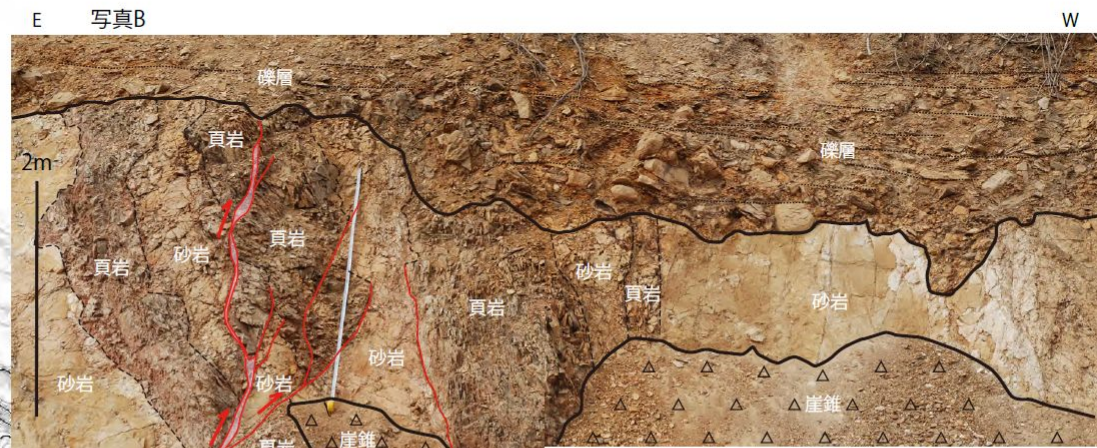


写真A

- ジュラ系は、敷地内と同様に牡鹿層群荻の浜累層（牧の浜砂岩部層）の砂岩及び頁岩である。
- 地層の走向傾斜はN20 ~ 40° E 60 ~ 80° W



北側露頭の断層状況



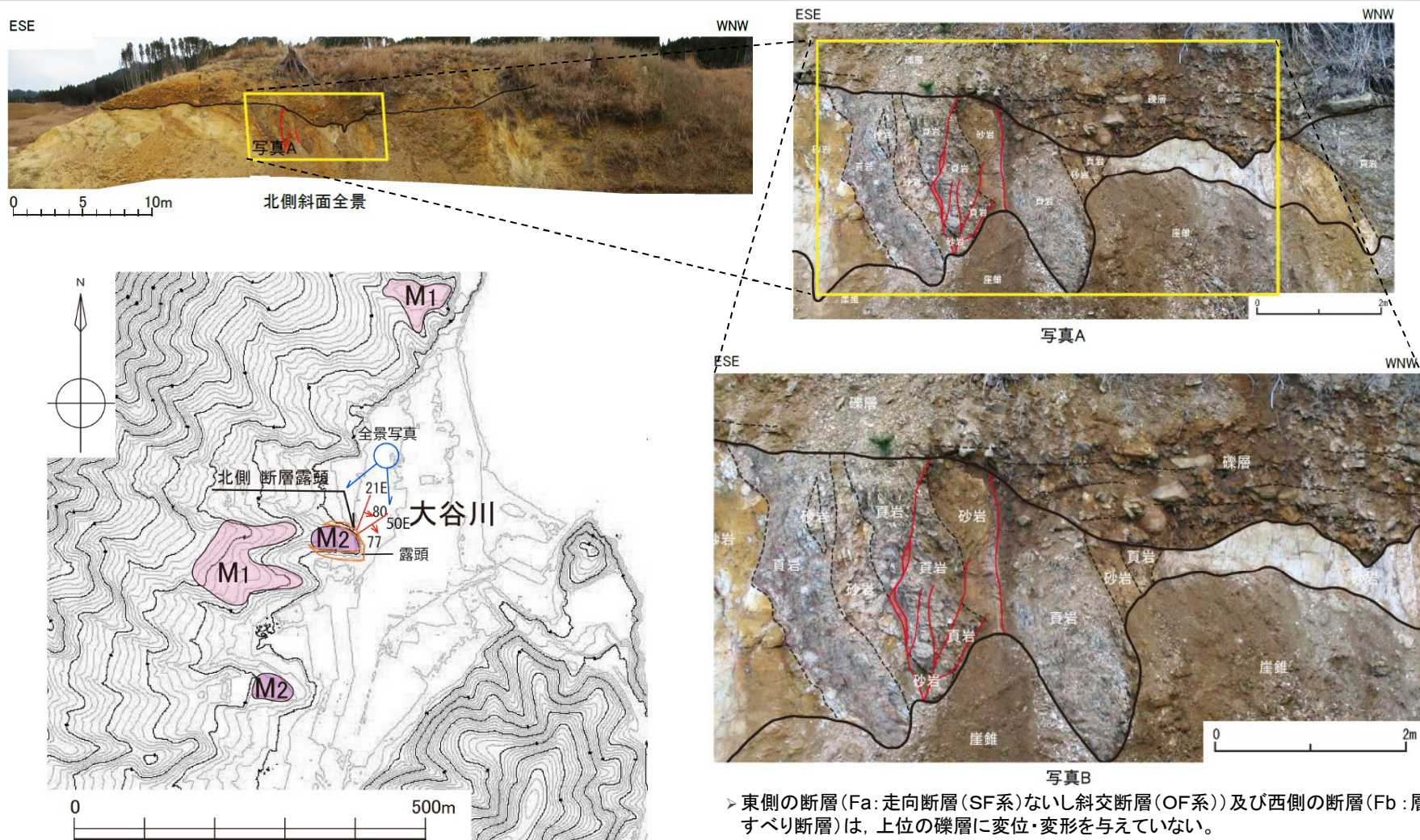
Fa

Fb

- 東側の断層 (Fa): 砂岩・頁岩互層を切る分岐する逆断層
 - ・ 走向断層 (SF系) ないし斜交断層 (OF系) と考えられる。
 - ・ 破碎幅1~5mm, 風化軟質化しているが、断層粘土等は認められない。
 - ・ 断層上端はM₂面段丘を構成する礫層に覆われ、不整合面に変位は与えていない。
- 西側の断層 (Fb): 砂岩層と頁岩層の境界に存在する断層
 - ・ 層面すべり断層と考えられる。
 - ・ 破碎幅5~8mm, 鏡肌が認められる。

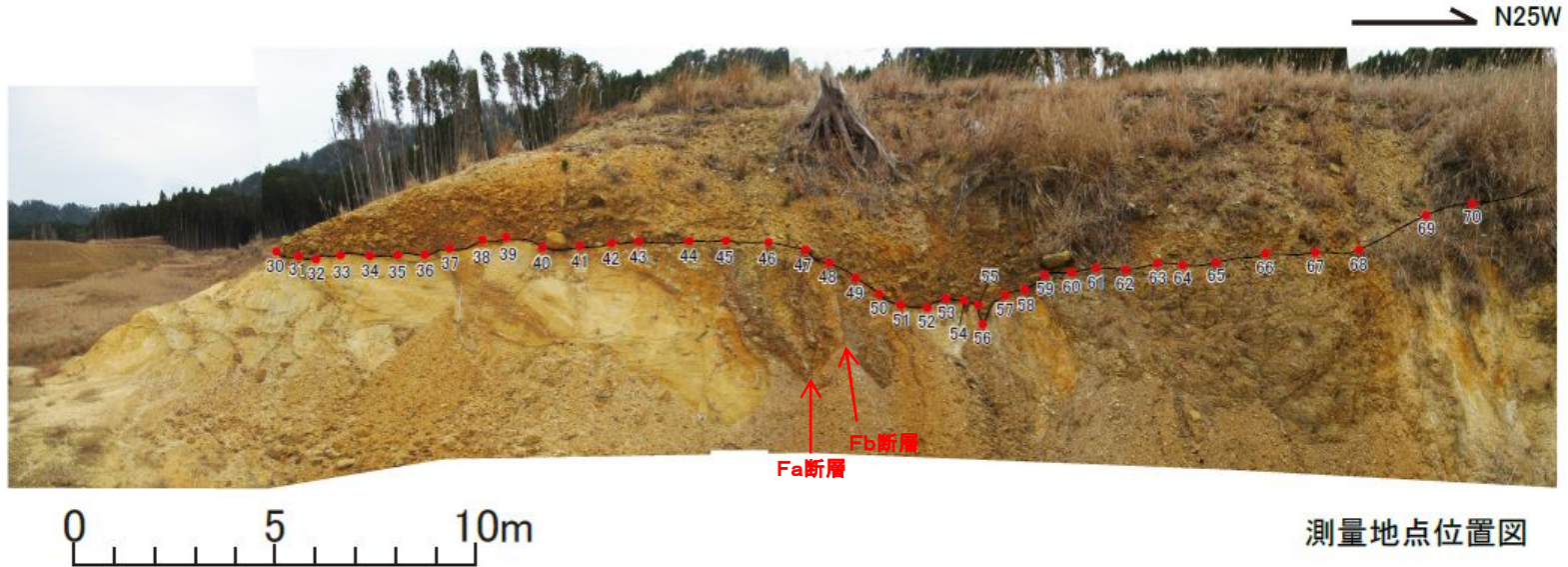
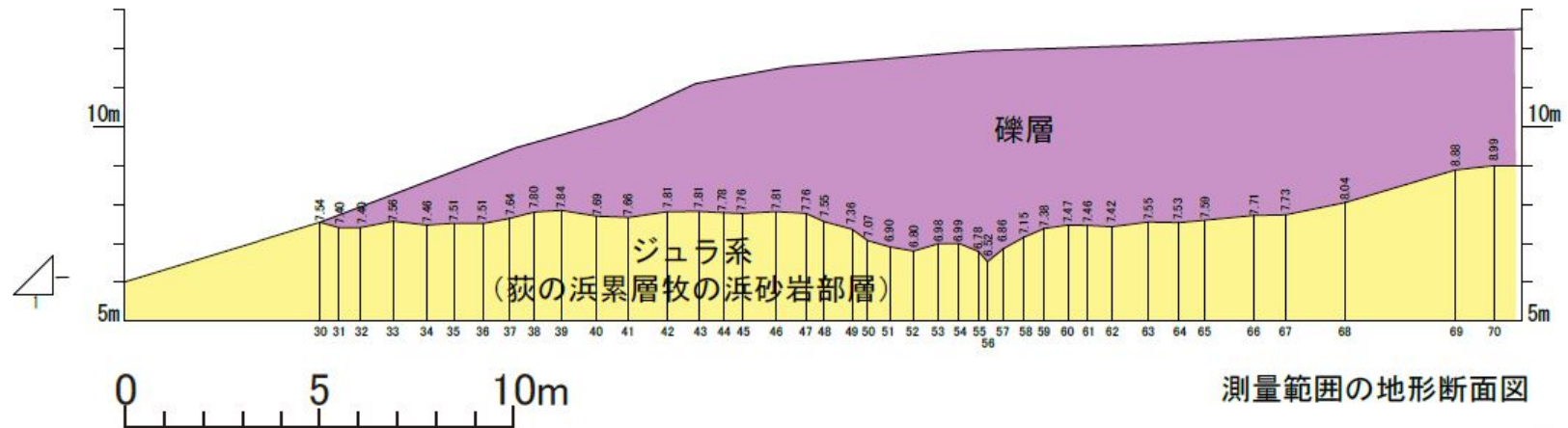
5.2 断層露頭調査結果2【2014.12】

▶ 特に断層近傍の礫層基底面の凹凸に着目し、露頭状況が変化したことから現況にて、断層付近の上載地層との関係について詳細観察を行なった。
⇒改めて、敷地内のSF系ないしOF系の断層及び層面すべり断層と同様の性質の断層は、M2面段丘を構成する礫層に変位を与えていない状況を確認した。



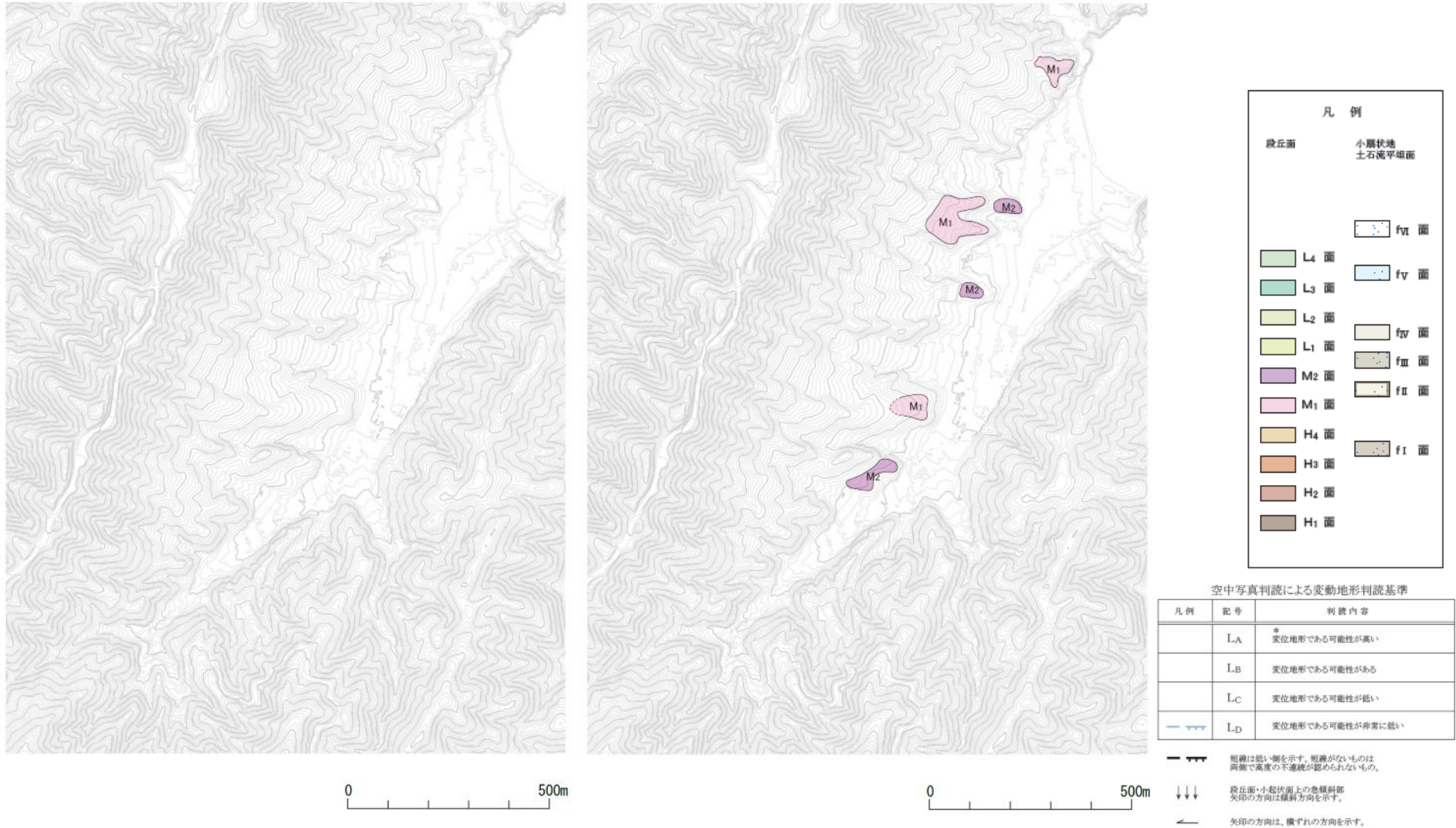
▶ 東側の断層(Fa: 走向断層(SF系)ないし斜交断層(OF系))及び西側の断層(Fb: 層面すべり断層)は、上位の礫層に変位・変形を与えていない。
⇒ 断層の北西側に見られる礫層基底面の凹部は侵食による削りこみの形状を示す。

5.2 断層露頭調査結果3【2014.12測量結果】



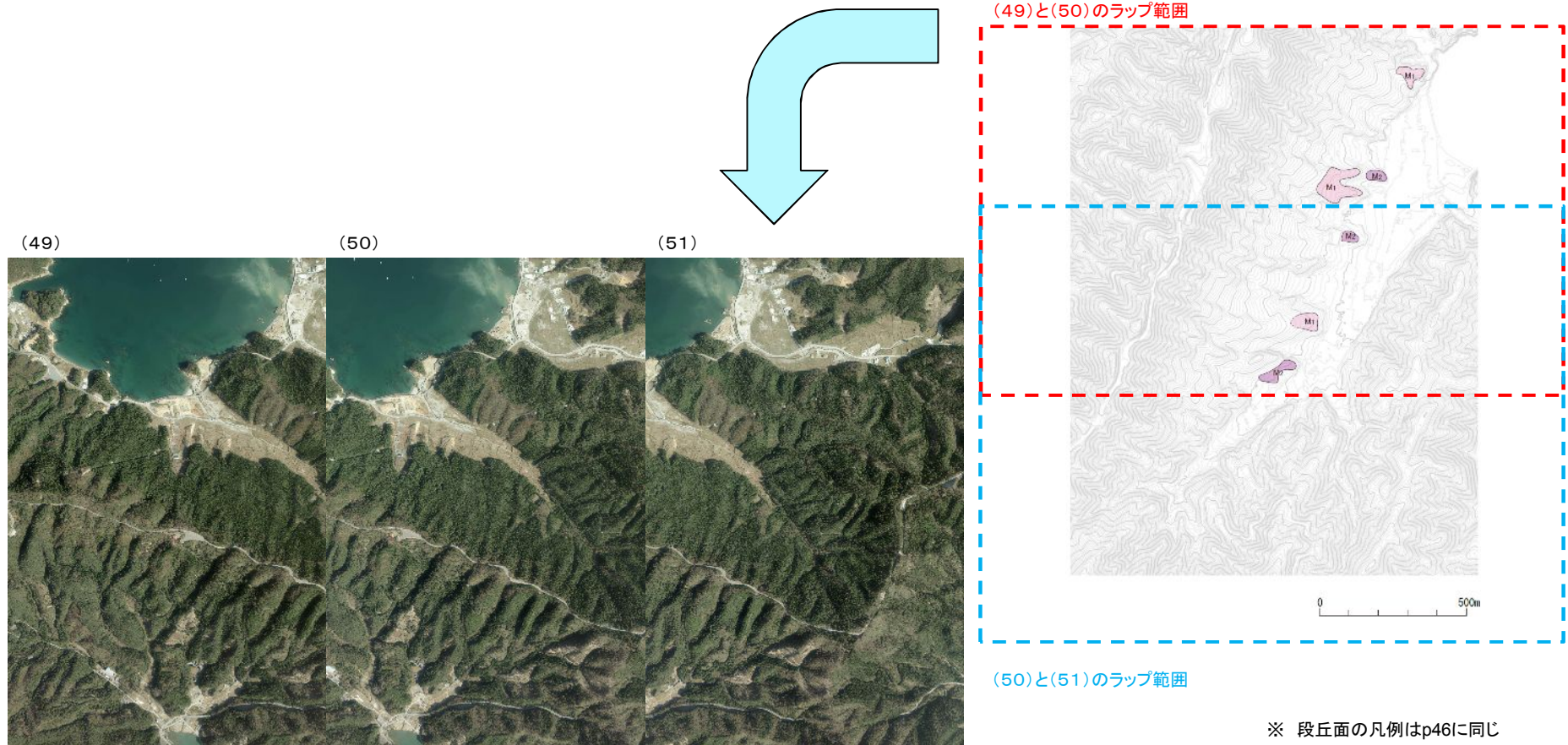
- ▶断層 (Fa断層及びFb断層) を挟んで、両側の礫層基底面標高は、測量の結果、ともに約7.5m程度であることから、断層による変位は認められない。
- ▶断層の北西側に見られる、礫層基底面の低下は、侵食による削りこみと考えられる。

5.3 大谷川露頭周辺の地形①【空中写真判読結果】



- 大谷川露頭周辺には、M₁面及びM₂面の段丘面が認められる。
- リニアメントは認められない。

5.3 大谷川露頭周辺の地形②【空中写真】

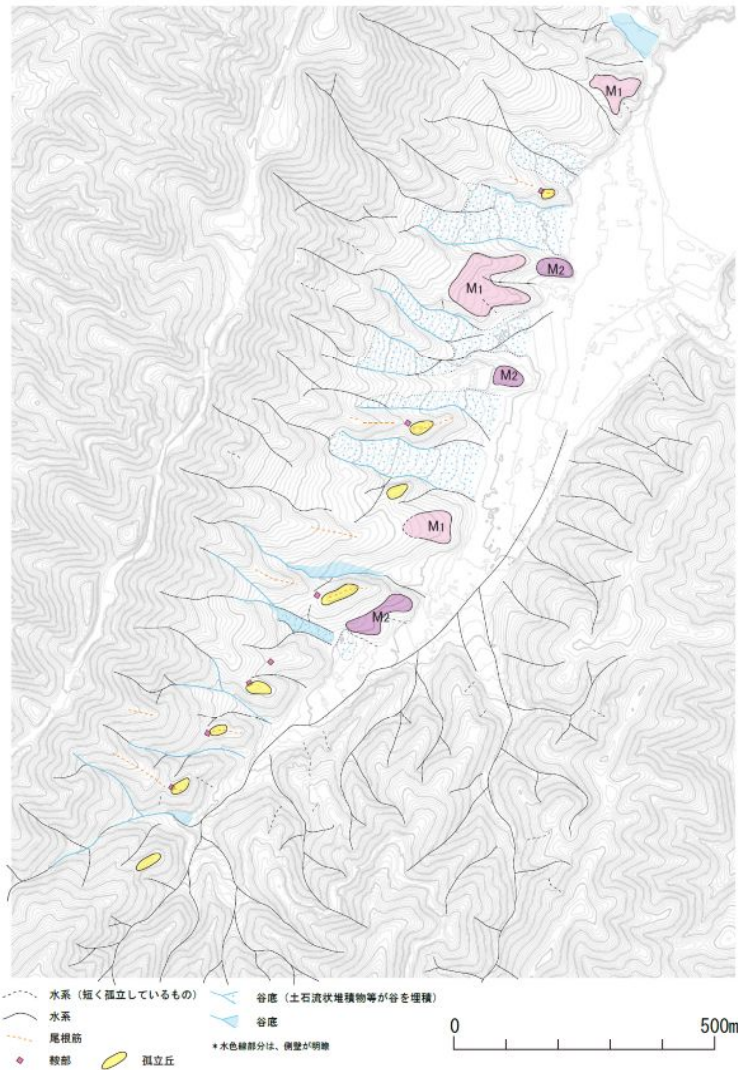


大谷川露頭周辺の空中写真(2013年撮影)
(CTO201310-75-26 C33 49~51)

出典:国土画像情報(カラー空中写真)
国土交通省

※ 空中写真は左側が北

5.3 大谷川露頭周辺の地形③【詳細地形判読結果(まとめ)】



※ 段丘面の凡例はp46に同じ

- ▶大谷川露頭周辺には、M₁面及びM₂面の段丘面が認められる。
 - ▶1次河川(SSWからNNE方向へ流下)の支流として、2次河川(WNWからESE方向へ流下)が発達。
 - ▶2次河川の下流域において、並走する尾根地形に鞍部が認められ、鞍部はNNE-SSW方向に概ね同一線上に配列している。
 - ▶尾根地形の鞍部の下流側に孤立丘が複数箇所で見られる。
 - ▶尾根筋や孤立丘の長軸方向は、尾根の発達方向(WNW-ESE方向)より屈曲した方向(NE-SW方向からE-W方向)に伸びているように見える箇所がある。
 - ▶1次河川上流側における、2次河川の水系の一部に、尾根地形の屈曲に調和的な屈曲状の形態が認められる。
 - ▶一方で、1次河川中流域～下流域付近における、2次河川の水系及び幅の広い谷地形の多くは直線的である。
 - ▶ほぼ同一線上の鞍部の配列の北部において、鞍部の連続方向を横切るように分布するM₁面には高度差および屈曲を示唆するような形態は認められない。
- ⇒以上のことから、尾根及び水系の屈曲を示唆する地形が一部に認められるものの、それらの区間は短く、同一線上に屈曲が認められない水系及び幅の広い谷地形が分布すること等から、系統的な横ずれ断層の活動による変動地形とは考えられない。
- ⇒リニアメントは認められないと判断。

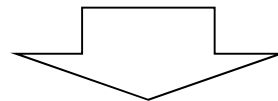
5. 4 まとめ

1. 敷地外において、敷地内破碎帯と同系統・同性状の断層を対象とした調査を実施した結果、敷地の南西方の大谷川にて、礫層が断層を覆う露頭が確認された。
 - ・調査を行った露頭は、M₂面段丘が分布する位置に対応している。
 - ・確認された断層露頭周辺は、敷地内と同一の地層が連続し、地質構造も連続している。
 - ・確認された断層は敷地内断層のうち、SF系またはOF系の断層、及び層面すべり断層と同系統・同性状の断層である。
 - ・この断層は、M₂面段丘※を構成する礫層に変位を与えていない状況を確認した。

※ M₂面段丘については、文献との対応状況等からMIS5に相当すると考えている。
2. 特に断層近傍の礫層基底面の凹凸に着目し、露頭状況が変化したことから現況にて、断層付近の上載地層との関係について詳細観察を行なった結果、改めて、断層はM₂面段丘を構成する礫層に変位を与えていない状況を確認した。
 - ・断層(Fa断層(走向断層(SF系)ないし斜交断層(OF系))及び(Fb断層(層面すべり断層))は、上位の礫層に変位・変形を与えていない。
 - ・断層の北西側に見られる礫層基底面の凹部は侵食による削りこみの形状を示す。
 - ・断層及び近傍の礫層基底面凹部を挟んで、両側の礫層基底面標高は、測量の結果、ともに約7.5m程度であることから、断層による変位は認められない。

⇒ 断層の北西側に見られる礫層基底面の低下は、侵食による削りこみと考えられる。
3. 変動地形学的な調査の結果、リニアメントは認められない。
 - ・尾根地形の末端部の一部に鞍部及び孤立丘が認められ、鞍部はNNE—SSW方向に概ね同一線上に配列し、孤立丘の尾根の延びの方向は、尾根筋より屈曲した方向に延びているように見える箇所がある。
 - ・一部に、尾根地形の屈曲と調和的な屈曲状の形態の沢地形が認められる。
 - ・一方、沢地形及び幅の広い谷地形には、直線的で屈曲が認められない箇所がある。
 - ・鞍部の連続方向を横切るように分布するM₁面には高度差および屈曲を示唆するような形態は認められない。

⇒ 尾根筋及び沢地形の屈曲を示唆する地形が一部に認められるものの、それらの区間は短く、同一線上にて直線的な沢地形及び幅の広い谷地形が認められること等から、系統的な横ずれ断層に活動による地形とは考えられない。



以上のことから、

敷地内の断層のうち、走向断層または斜交断層と同系統・同性状の断層が、M₂面段丘を構成する礫層に変位を与えていない状況を確認した。

6. 断層内物質中の石英粒子の変形微細構造 を用いた古応力場解析

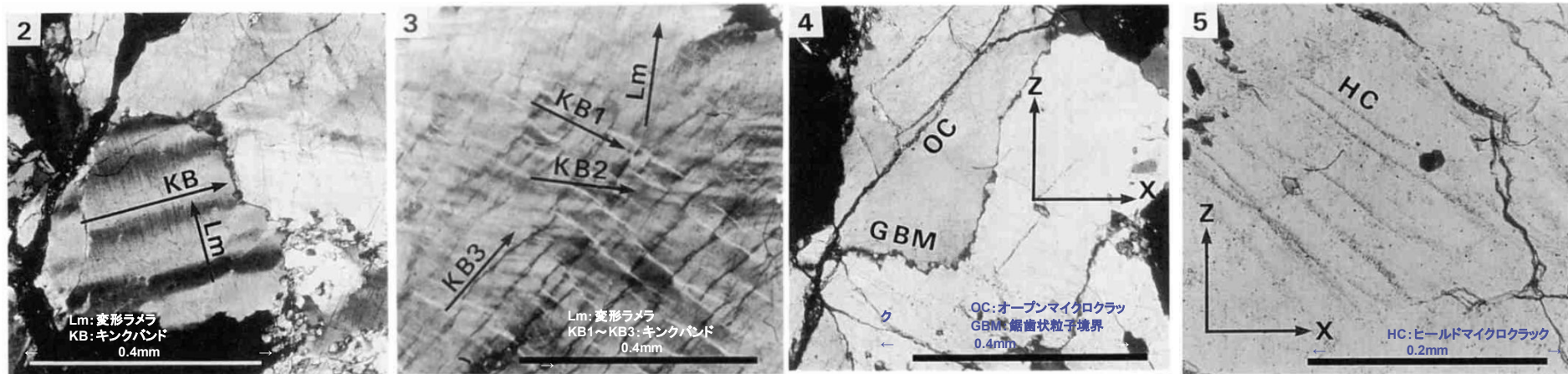
東北電力(株)女川原子力発電所2号機の申請内容に係る主要な論点
(第73回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合(平成26年
1月28日)資料2)

5. 敷地内破碎帯の断層内物質中の石英粒子の変形
微細構造を用いた古応力場解析の仮定条件やプロ
セスを示すこと。

6.1 石英粒子の変形微細構造

< 断層内物質中の石英粒子の変形微細構造を用いた古応力場解析 >

- 石英粒子中には、塑性変形を示すキンクバンドや変形ラメラ微細構造のほかに、水圧破碎によって形成されたと考えられるヒールドおよびオープンマイクロクラックが無数に発達する。



竹下ほか(1996)に一部加筆

- 石英の塑性変形を引き起こした温度の上昇や水圧破碎をもたらした間隙流体圧の増加は、断層破碎帯の形成が高温流体の浸透を伴っていたことを明確に示す。

東北電力(株)女川原子力発電所2号機の申請内容に係る主要な論点
(第73回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合(平成26年1月28日)資料2)

5. 敷地内破碎帯の断層内物質中の石英粒子の変形微細構造を用いた古応力場解析の仮定条件やプロセスを示すこと。

6.2 断層破碎部の試料採取【採取方法】

○ 断層破碎部の試料採取

- 破碎部の微細構造を定方位で解析するため、ダイヤモンドカッターを用いて10～30cmのブロックを採取した。
 - ・SF-2断層, OF-1断層, TF-1断層, TF-5断層, TF-6断層 を対象とした。
- 採取したブロックは、断層面に平行な面(XY面)、断層面に垂直で走向を含む面(XZ面)、断層面に垂直で傾斜方向を含む面(YZ面)に沿って切断し整形した。

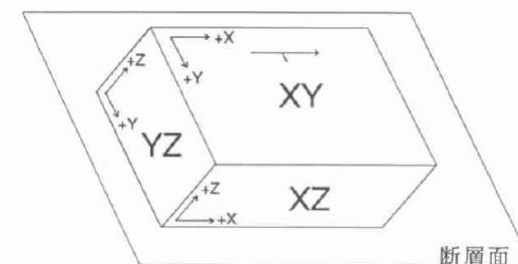


ダイヤモンドカッターを用いた定方位試料採取状況



採取された破碎岩試料ブロックと試料の整形・研磨

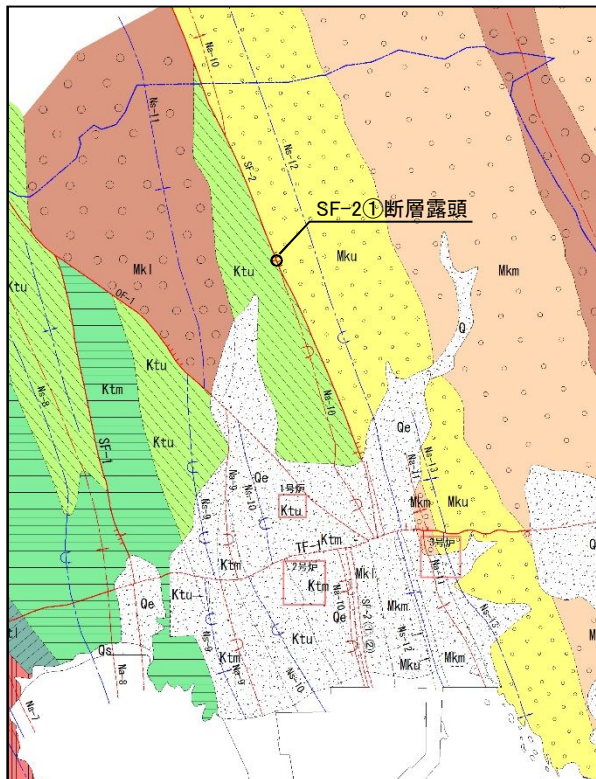
竹下ほか(1996)



定方位試料の方位の付け方

- X: 断層面の走向方向(Nに近い走向を+X),
- Y: 断層面の傾斜方向(下に向かう傾斜を+Y),
- Z: 断層面の法線方向(上に向かう方向を+Z)

6. 2 断層破碎部の試料採取【SF-2①断層(試料採取位置(地表露頭))】



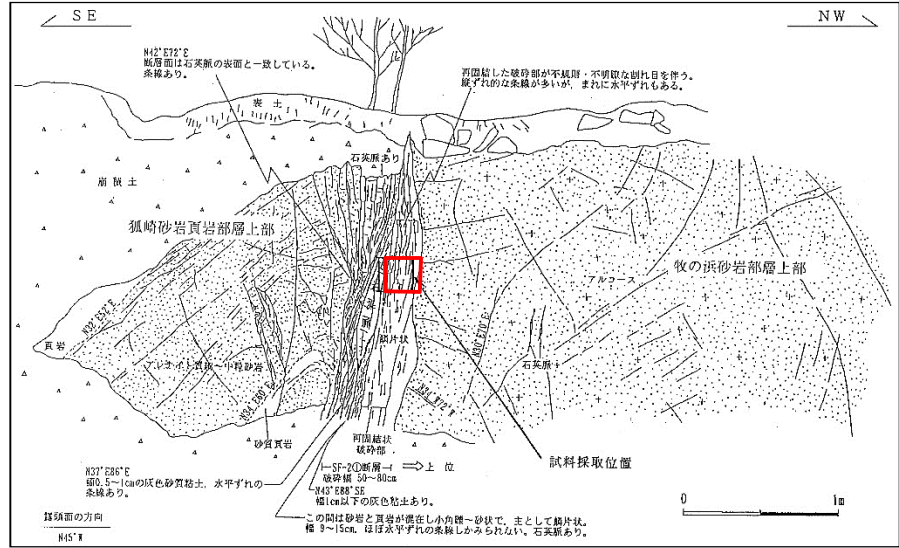
SF-2①断層の露頭位置

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
	背斜軸
	向斜軸
	○破線は伏在を表す

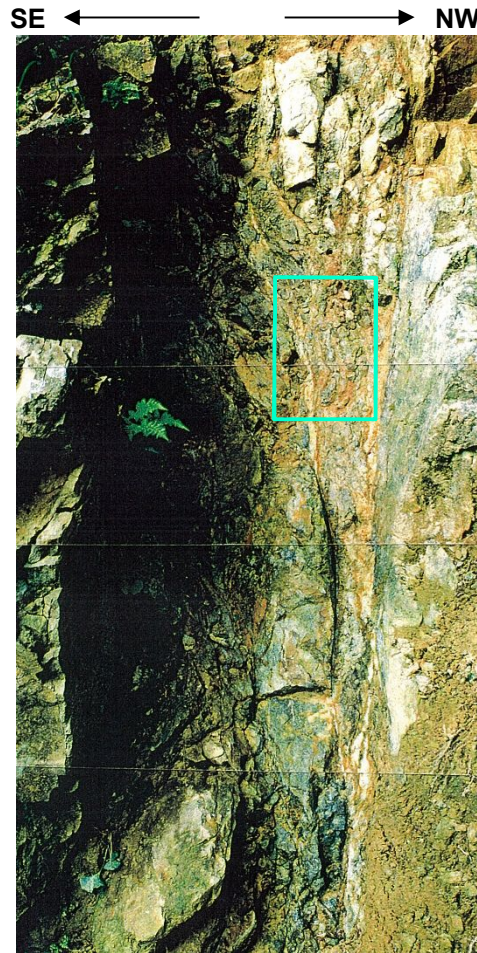
※地質境界、断層線、褶曲軸の位置は、主にそれらと地表面との交わる線を示している。



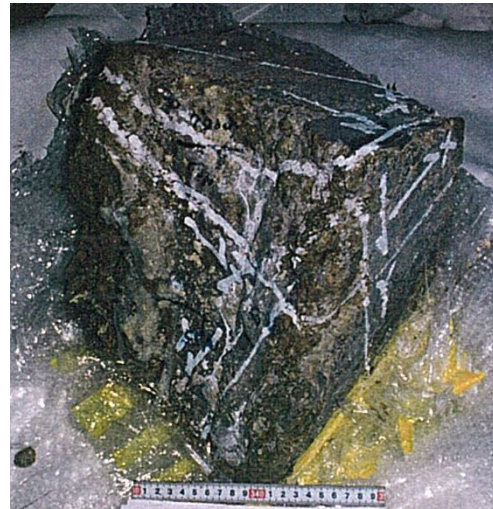
SF-2①断層ブロック試料採取位置

SF-2①断層の露頭状況と試料採取位置

6. 2 断層破碎部の試料採取【SF-2①断層(地表露頭とブロック試料採取)】



SF-2①断層露頭近景と試料採取位置



採取試料全景とカッティング方向のマーキング

試料採取位置



試料正面(壁面に一致)



試料右壁面(破碎岩)



試料左壁面(破碎岩)



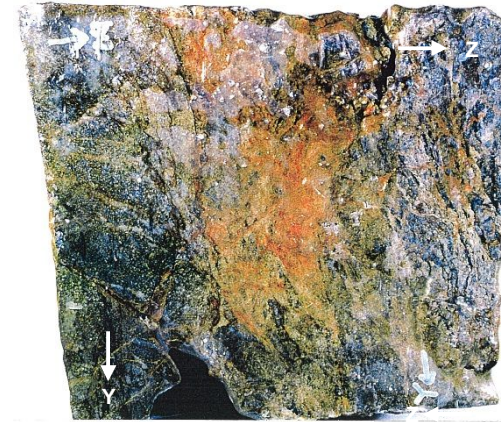
試料背面

6. 2 断層破碎部の試料採取【SF-2①断層試料(ブロック整形・薄片作成箇所)】

三面カット後の試料
(観察用)
※下試料とは裏表反転
の関係

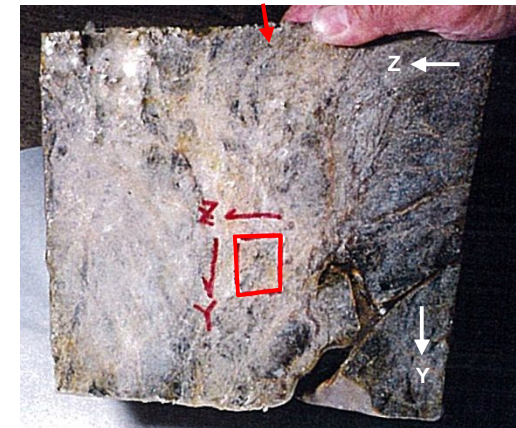
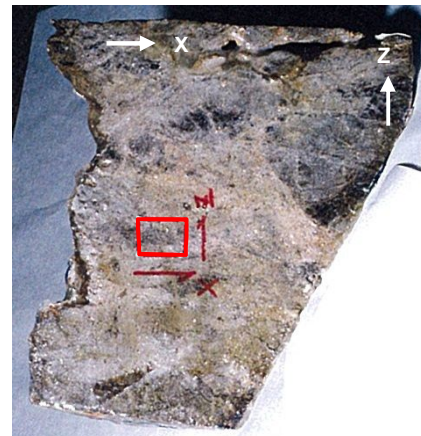
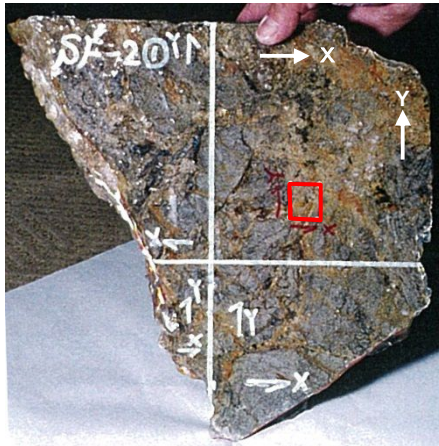


平滑面から外れている部分



上
下

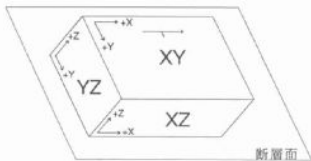
三面カット用試料
切り出し後の残試料
(薄片試料採取用)



断層面に平行な面(XY面)
(試料によって断層面からの
距離は異なる)

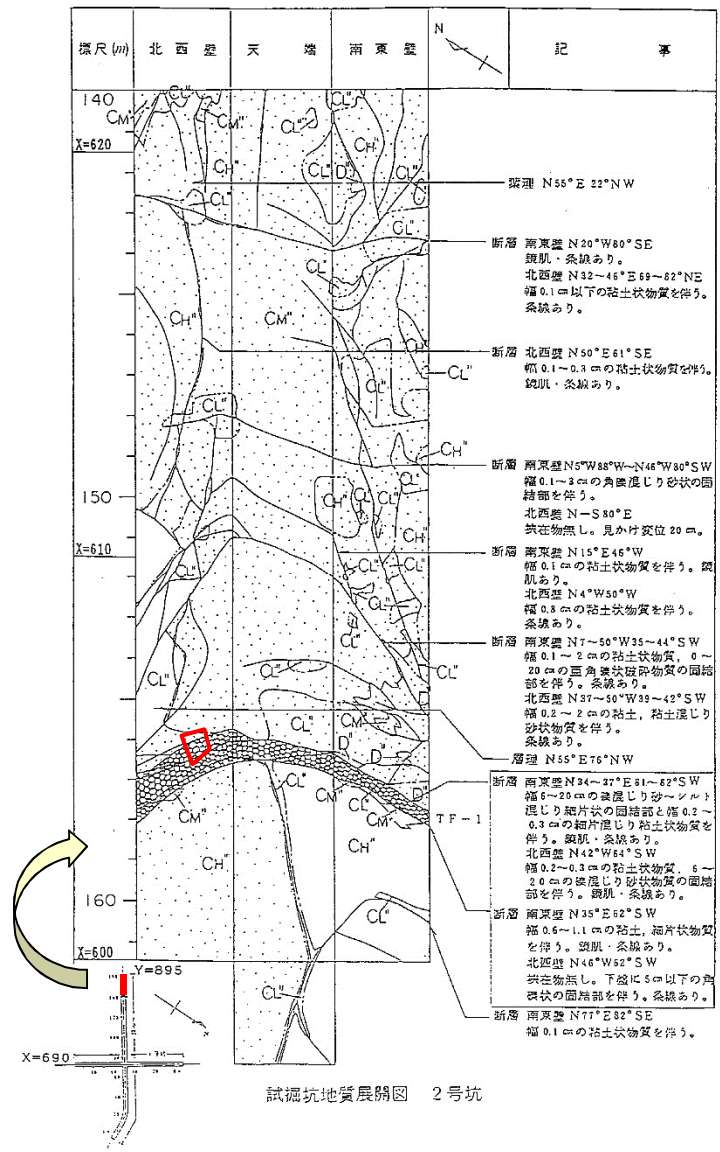
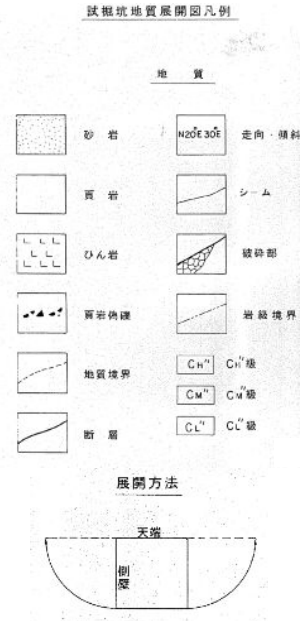
破碎帯を断層面に平行な面で切断(XZ面)
(水平変位成分に伴う変形の観察に適する)

破碎帯を断層面に直交する面で切断(YZ面)
(鉛直変位成分に伴う変形の観察に適する)



薄片作成位置

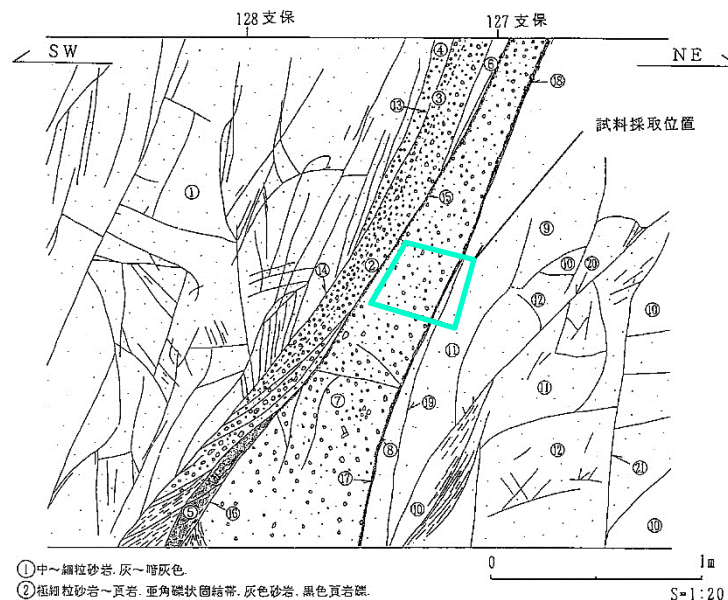
6.2 断層破碎部の試料採取【TF-1断層(試料採取位置(試掘坑展開図))】



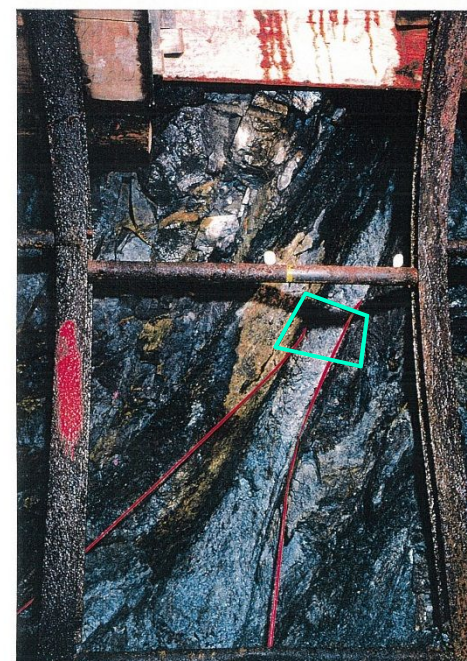
TF-1断層ブロック試料採取位置

6. 2 断層破碎部の試料採取

【TF-1断層(試掘坑TF-1断層露頭とブロック試料採取)】



- ① 中～細粒砂岩、灰～暗灰色。
 ② 極細粒砂岩～頁岩、亜角礫状固結帯、灰色砂岩、黒色頁岩礫。
 ③ 極細粒砂岩～頁岩、亜角礫状固結帯、φ平均1cm、最大3cm黒色角礫、暗色粘土～砂状基質。
 ④ 細粒砂岩及び亜角礫状固結帯、灰色細粒砂岩礫、平均φ0.5～1cm、最大2cm、灰色砂状基質。
 ⑤ 白色～灰色粘土～砂状部、(断層ガウジ)
 ⑥ 鱗片～細片状頁岩、稜肌有り。
 ⑦ 細粒砂岩、亜角礫状固結帯、暗灰色礫φ平均0.5～1cm、最大4cm、灰色粘土～砂状基質、上部の基質は軟質でビック中打で掘り起こせる。下部は硬質でビック強打でようやく割れる。
 ⑧ 頁岩、黒～暗灰色粘土化、砂粒子わずかに含む。
 ⑨ 灰色細粒砂岩、固結度良好潜在キレツ多く、ビックの軽～中打にてキレツ面より分離し易い(φ2～3cm大のアロック状)、キレツ面には不規則方向の条線発達、稜肌有り。
 ⑩ 頁岩。
 ⑪ 細粒砂岩。
 ⑫ 粗粒砂岩。
 ⑬ FN33F585F、上盤割幅2cm黒色固結状部(頁岩)、条線右10°、面凹凸。
 ⑭ FN54F625F、稜肌有り、条線右15°、面平滑。
 ⑮ FN4F02F、上盤割幅0.5～2cm大の亜角礫固結状部、幅2cm硬質灰色、面凹凸。(断層ガウジ)
 ⑯ FN36F695F。
 ⑰ FN55F705F、上盤割幅より幅0.3～0.4cm黒色粘土、幅3～4cm明灰色砂～細片混り粘土、幅0.2～0.8cm黒色粘土、稜肌有り、面平滑(断層ガウジ)
 ⑱ FN42F645F、幅0.2～0.3cm暗灰色粘土、稜肌有り、条線右75°、面平滑。(断層ガウジ)
 ⑲ FN65F785。
 ⑳ FN15F50F(N?)、最大幅0.7～0.8cm黒色～灰色粘土挟在、稜肌有り、極めて平滑、幅0.1cm以下の黒色粘土付着、天端に向い傾斜まっくなり、60°まとなる。
 ㉑ FN7E32E、幅0.1～0.3cm灰黄色砂混り粘土、稜肌有り(N?)、上方㉒付近で止まる、底盤付近湧水0.1ℓ/min以下。



試料採取位置



試料正面(壁面に一致)



試料右壁面(下盤側の非破碎岩)



試料左壁面(破碎岩)



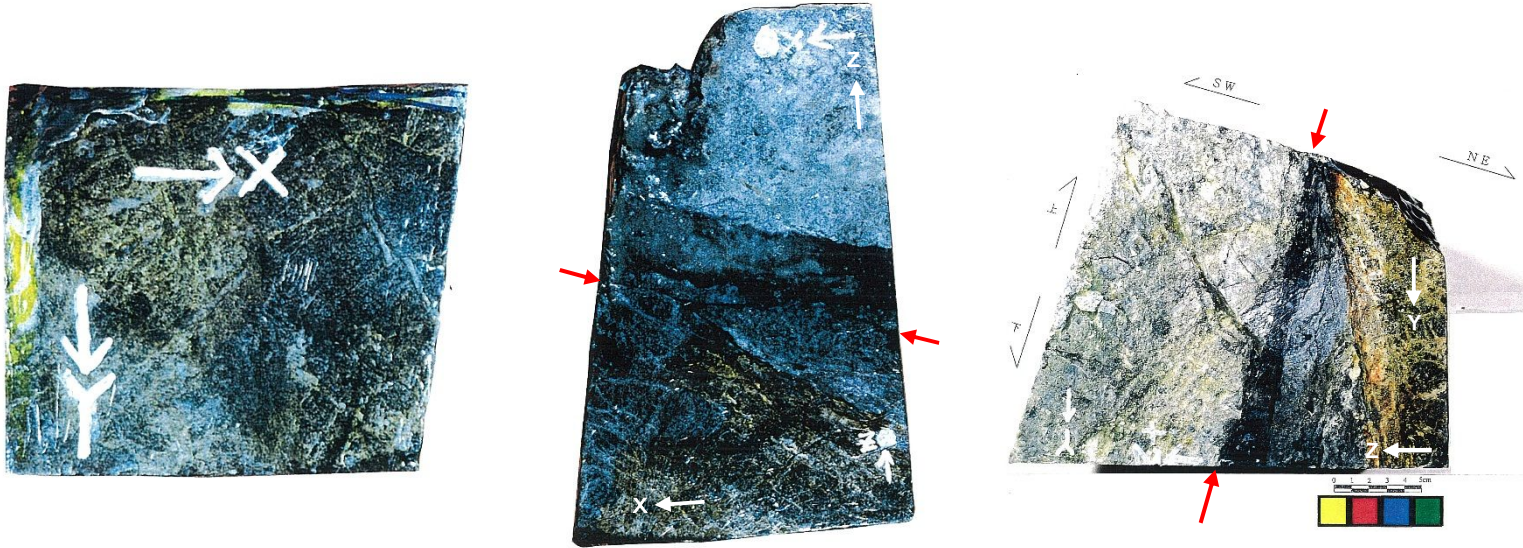
試料背面

3号炉試掘坑2号坑の北西壁におけるTF-1断層と試料採取位置

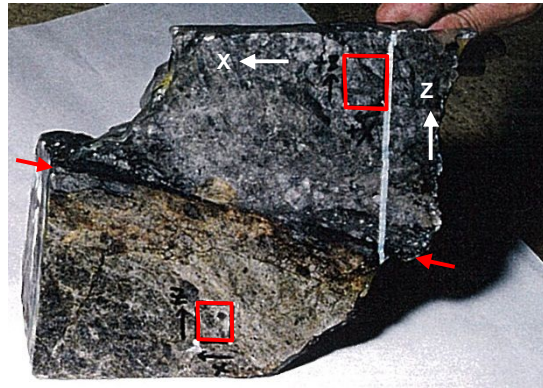
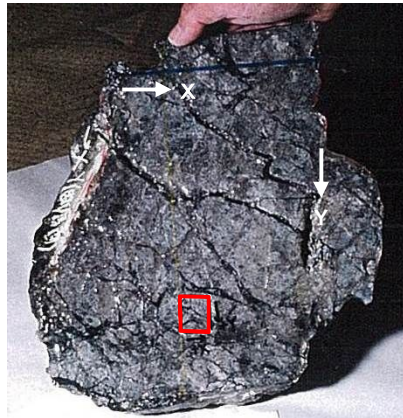
6.2 断層破碎部の試料採取

【TF-1断層試料(ブロック整形・薄片作成箇所)】

三面カット後の試料
(観察用)
※下試料とは裏表反転
の関係



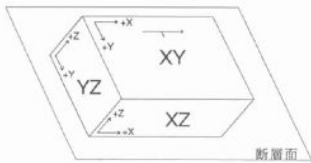
三面カット用試料
切り出し後の残試料
(薄片試料採取用)



断層面に平行な面(XY面)
(試料によって断層面からの
距離は異なる)

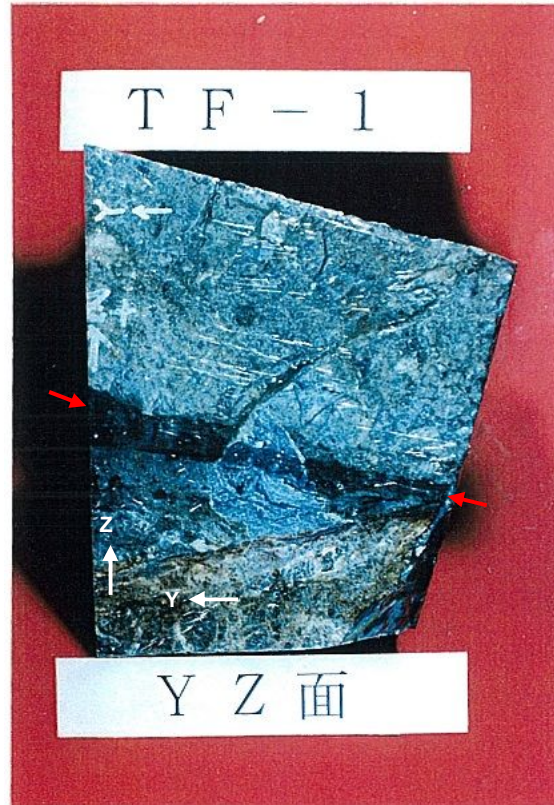
破碎帯を断層面に平行な面で切断(XZ面)
(水平変位成分に伴う変形の観察に適する)

破碎帯を断層面に直交する面で切断(YZ面)
(鉛直変位成分に伴う変形の観察に適する)



薄片作成位置

6.2 断層破碎部の試料採取【TF-1断層試料(ブロック・薄片作成箇所)】




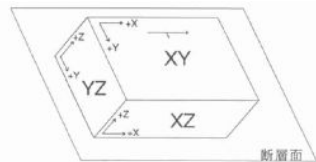
三面カット後の試料
(観察用)
※右試料とは裏表反転
の関係



三面カット用試料
切り出し後の残試料
(薄片試料採取用)

YZ面における追加薄片作成位置
(断層面沿いの破碎組織観察用)

 薄片作成位置



6.3 変形微細構造による古応力場解析方法 【変形ラメラ, マイクロクラックを用いた手法】

○ 変形微細構造による古応力場解析方法

➤ 3つの直交する薄片それぞれにおいて, ユニバーサルステージを用いて偏光顕微鏡下で測定

- ・変形石英粒子中の変形ラメラの極とラメラを持つ粒子のC軸の方向
- ・ヒールドマイクロクラック及びオープンクラックの極の方向

➤ 方位データはそれぞれの座標系で単位ベクトル化され, 直交3面薄片の方位データを合成

- ・断層面に垂直かつ傾斜方向を含む面は, 古応力場と断層面の関係を視覚化しやすいことから, YZ面を投影面とした

➤ 変形ラメラを用いた古応力場解析

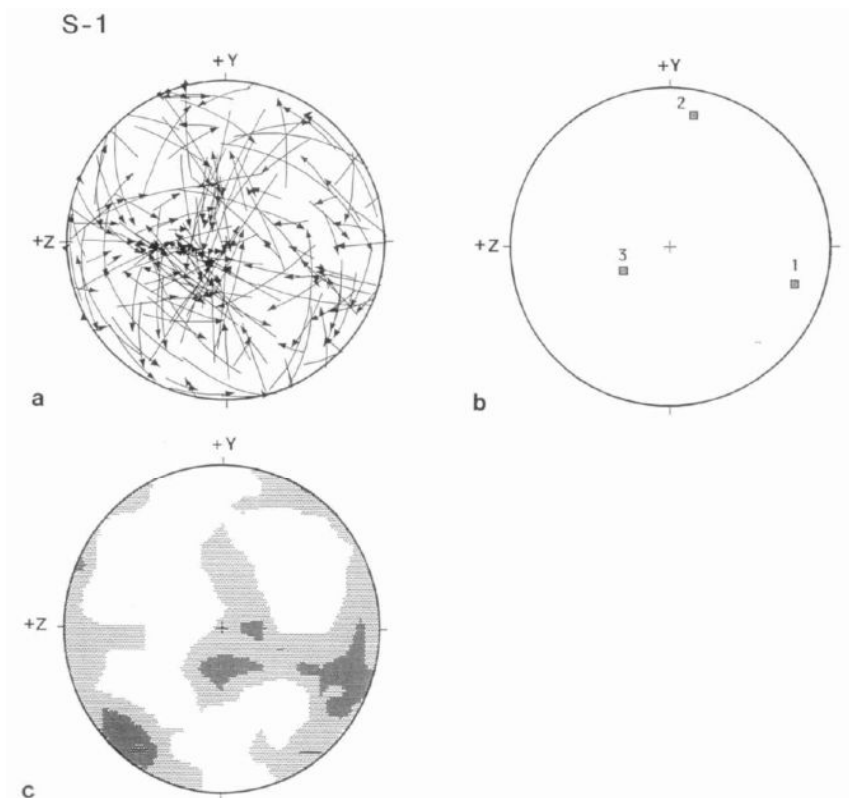
- ・変形ラメラは結晶内すべりの化石とみなされてきたもの
- ・subbasalラメラの場合, ラメラ極とラメラを持つ粒子のc軸を結ぶ部分大円が, basal(0001)すべりに伴う格子回転を示すと考えられている
 - 部分大円のラメラ極側の延長に σ_3 軸, c軸側の延長上に σ_1 軸が位置することになる
 - ⇒ ラメラを持つ多数の粒子のラメラ軸とc軸を測定し, 部分大円のラメラ軸側に矢印を描いてステレオネットに投影すると, 矢印の発散する方向が σ_1 , 矢印の収束する方向が σ_3 となる

➤ ヒールドマイクロクラック及びオープンマイクロクラック極の方位

- ・熱水の水圧破碎に伴う間隙流体圧の高まりによって, 引張割れ目として形成されたもの
- ・間隙流体圧が増加した時に, σ_3 軸の方向で応力が最初に圧縮から引張に変化する
 - マイクロクラックは基本的に最小主応力(σ_3)軸に垂直に形成されることが期待される

6.4 解析結果【SF-2断層】

○ (例1) SF-2断層の解析結果



第9図 S-1試料における変形石英中の微細構造要素方位の等面積投影。投影面はYZ面であり、南北垂直の面が断層面に相当する。a. ラメラ極（矢印の先端）とc軸（矢印の起点）を結ぶ部分大門、 $N=171$ 。b. 矢印法により推定される古主応力軸。1, 2および3は、 σ_1 , σ_2 および σ_3 の軸の方位をそれぞれ示す。c. マイクロクラック極の方位分布、 $N=148$ 。第9図のみヒールドおよびオープンマイクロクラック極の方位分布が、一緒にプロットされている。第10～13図では、ヒールドおよびオープンマイクロクラック極の方位分布は、cおよびd図にそれぞれ示される。cおよびd図における方位密度分布のコンターはKambコンターであり、コンター間隔は 2σ である。

竹下ほか(1996)

➤ ラメラ極の軸とc軸

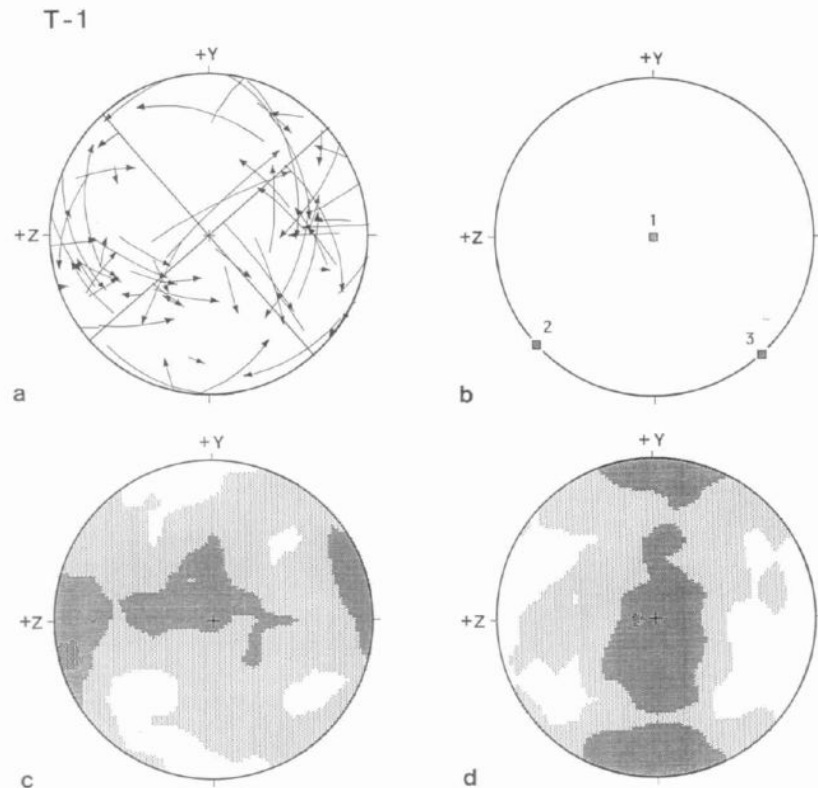
- ・矢印はX軸に近い方向に収束し、やや不明瞭ながらZ軸付近から発散
- X軸: σ_3 軸, Y軸: σ_2 軸, Z軸: σ_1 軸

➤ ヒールドマイクロクラック及びオープンマイクロクラック極の軸

- ・かなりばらついているが、矢印法から推定された σ_3 軸と σ_1 軸に集中域
- （ σ_3 軸以外にも、 σ_1 軸や σ_2 軸にも集中域が存在する場合がある）

6.4 解析結果【TF-1断層】

○（例2）TF-1断層の解析結果



第11図 T-1試料における変形石英中の微細構造要素方位の等面積投影。図の説明は第9図を見よ。a. N=63. c. N=123. d. N=59.

竹下ほか(1996)

➤ ラメラ極の軸とc軸

- ・矢印は, +YからX軸を中心にして反時計廻りに45°回転した位置に収束していく
→ 上記位置が σ_3 軸
- ・ただし, 他試料のように σ_3 軸に集中する傾向は認められない
- ・ σ_3 -X大円を描くと, この大円の両側で矢印の分布が対称的
→ σ_3 -X大円は, σ_3 - σ_1 大円か σ_3 - σ_2 大円
⇒ やや不明瞭ながら, ラメラ極はX方向から発散しているの
X方向付近に σ_1 軸が位置すると推定される

➤ ヒールドマイクロクラック及びオープンマイクロクラック極の軸

- ・ヒールドマイクロクラックの極の方位分布は, 矢印法から推定される σ_1 - σ_2 大円に沿う分布で特徴づけられる(σ_1 と σ_2 軸付近に極の集中域)
- ・オープンマイクロクラックの極の方位分布は, XY大円に沿う
- ・ヒールドマイクロクラックとオープンマイクロクラックの極が似通っている場合には, 冷却過程で破砕帯内の応力場が大きく変化しなかったことを示すのに対し, 両者が異なる場合には, 冷却過程で応力が変化した可能性を示す

6.5 解析結果と古応力場の考察

- 断層内物質中の石英粒子の変形微細構造を用いた古応力場解析の結果,
 - ✓ 石英粒子中には, 塑性変形を示すキンクバンドや変形ラメラ微細構造, ヒールドおよびオープンマイクロクラックが発達している。
 - ✓ これらを用いた古応力場解析の結果, NW-SE圧縮, NE-SW伸張の傾向が認められる。

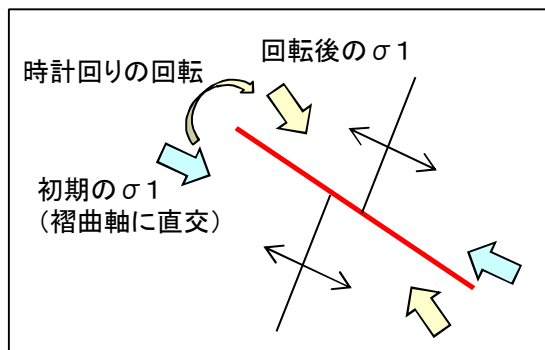
例)

- SF-2断層 : σ_1 軸 N67° W水平*, σ_2 軸 N24° E80° S, σ_3 軸 N24° E10° N
- TF-1断層 : σ_1 軸 N39° W水平*, σ_2 軸 N51° E70° NE, σ_3 軸 N51° E20° SW

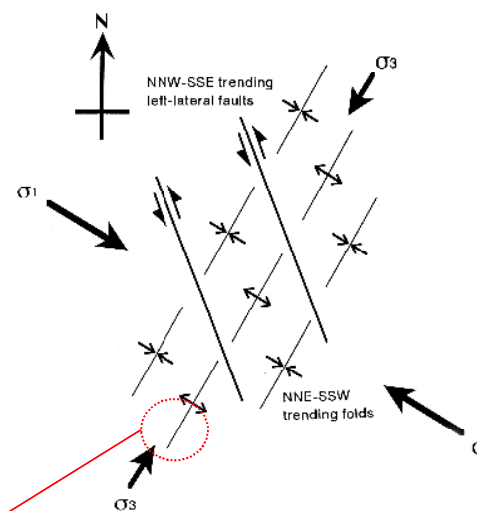
- この古応力場は, 南部北上帯で, NNE-SSW方向の褶曲構造およびNNW-SSE方向の横ずれ断層を形成した“大規模な地殻変動期”の古応力場と調和的。

→ 断層は, “大規模な地殻変動期”に形成され, その後の応力による顕著な影響は受けていないと考えられる。

* ただし, 敷地内のTF-1断層については, スレートへき開の斜交を形成した主圧縮軸の時計回りの回転(石井, 1985)の影響を被った可能性が考えられる。



白亜紀大島造山期のテクトニクスと古応力場

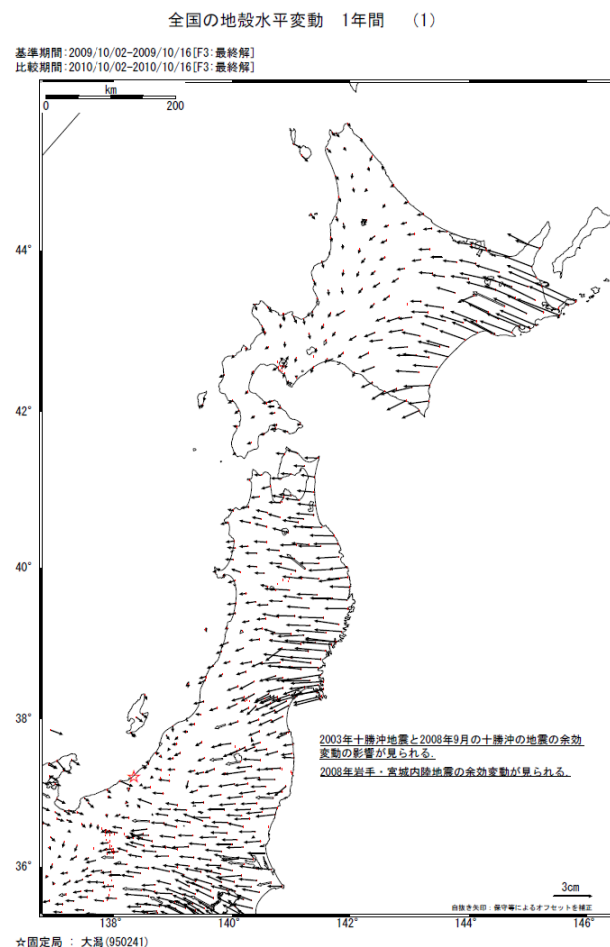


第14図 東部北上帯における白亜紀テクトニクスと古応力場。

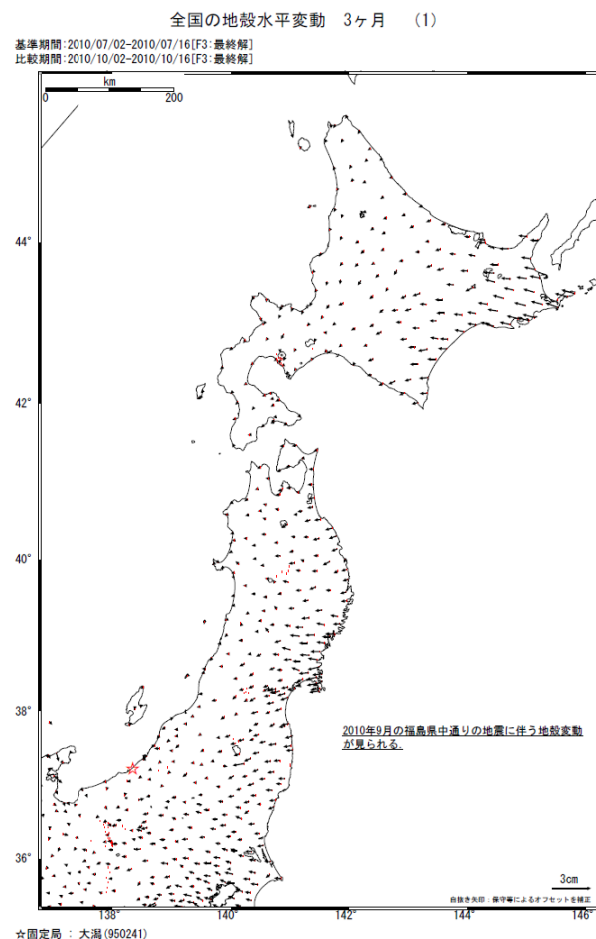
竹下ほか(1996)に一部加筆

7. 2011年東北地方太平洋沖地震の発生に伴う 敷地内断層の活動誘発の可能性検討

7.1 東北日本の地殻変動【地震前の地殻変動(水平方向)】



第1図 GPS連続観測から求めた2009年10月～2010年10月間の水平変動
Fig. 1 Annual horizontal displacement velocities at permanent GPS sites during 2009/10-2010/10.
(☆, Reference station is Ohgata)



第4図 GPS連続観測から求めた2010年7月～2010年10月間の水平変動
Fig. 4 Horizontal displacements at GPS sites during 2010/7-2010/10.
(☆, Reference station is Ohgata)

- 2011年東北地方太平洋沖地震の前には、大局的には1ヶ月当たり数mmオーダーの西向き水平地殻変動が認められていた。

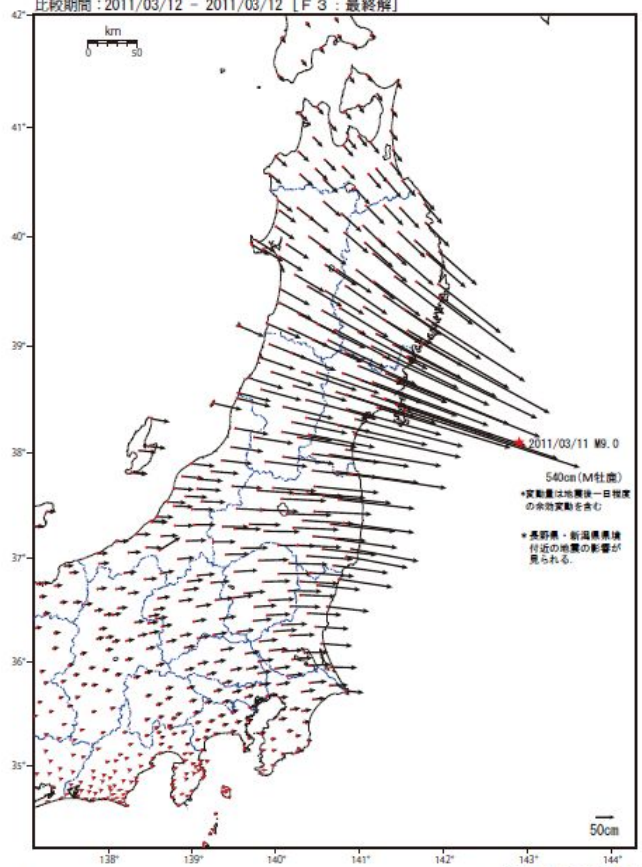
地震予知連絡会会報 第85巻(2011年2月)より引用

7.1 東北日本の地殻変動【地震時の地殻変動(水平方向・上下方向)】

東北地方太平洋沖地震(3月11日, M9.0)に伴う地殻変動(水平)

広域で地殻変動が観測されている。

基準期間: 2011/03/10 - 2011/03/10 [F3: 最終解]
比較期間: 2011/03/12 - 2011/03/12 [F3: 最終解]



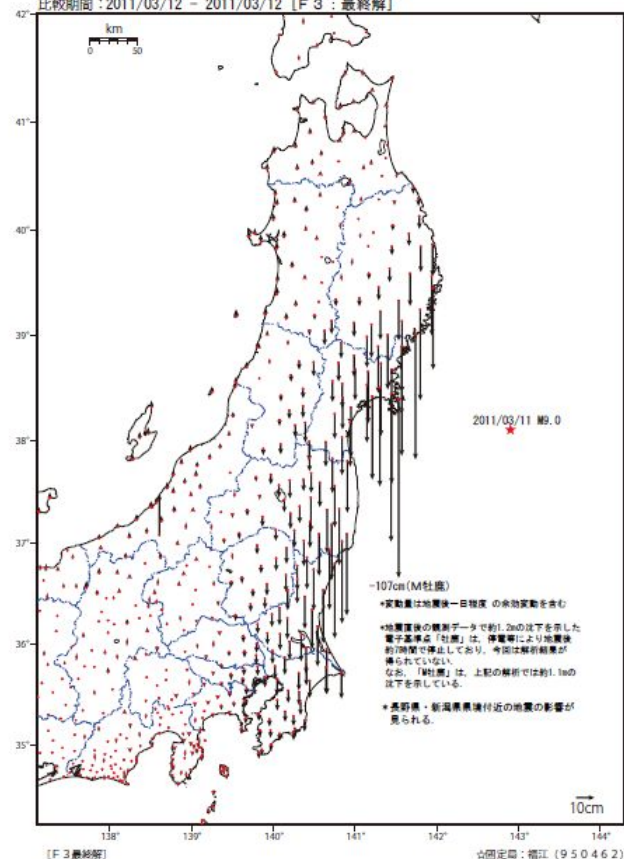
[F3最終解]

第17図 2011年東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動(水平)
Fig. 17 Crustal deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake on March 11, 2011 (horizontal).

東北地方太平洋沖地震(3月11日, M9.0)に伴う地殻変動(上下)

岩手県から茨城県にかけて、太平洋沿岸で沈降が見られる。

基準期間: 2011/03/10 - 2011/03/10 [F3: 最終解]
比較期間: 2011/03/12 - 2011/03/12 [F3: 最終解]

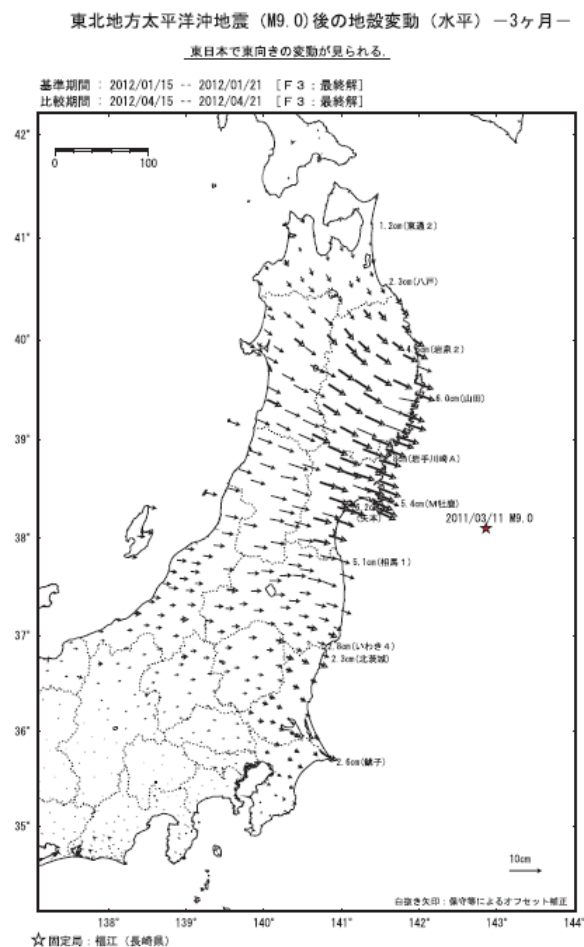


[F3最終解]

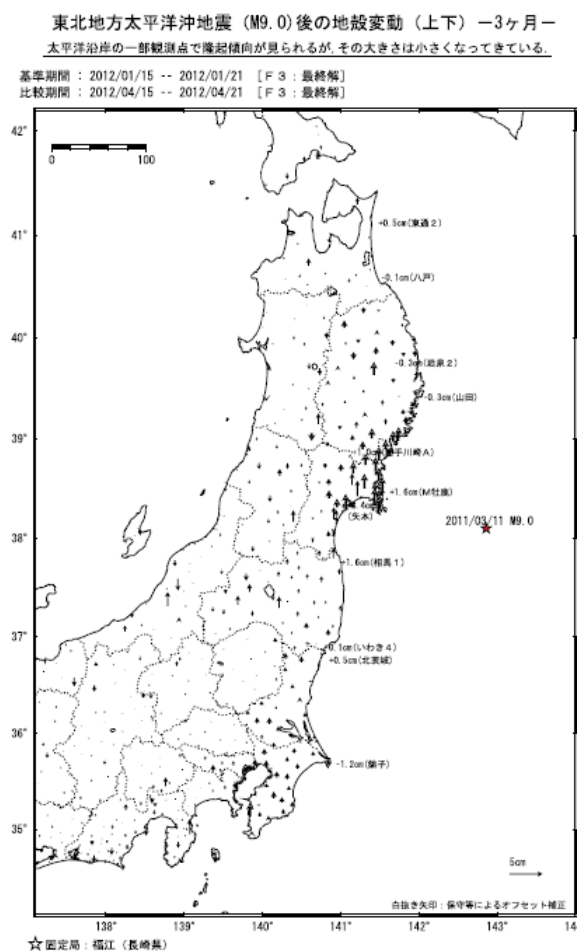
第18図 2011年東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動(上下)
Fig. 18 Crustal deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake on March 11, 2011 (vertical).

- 2011年東北地方太平洋沖地震の際に、敷地を含む牡鹿半島付近は、5m程度東南東方向へ大きく移動し、1m程度沈降した。

7.1 東北日本の地殻変動 【地震後の地殻変動①(地震1年後3ヶ月の水平方向・上下方向)】



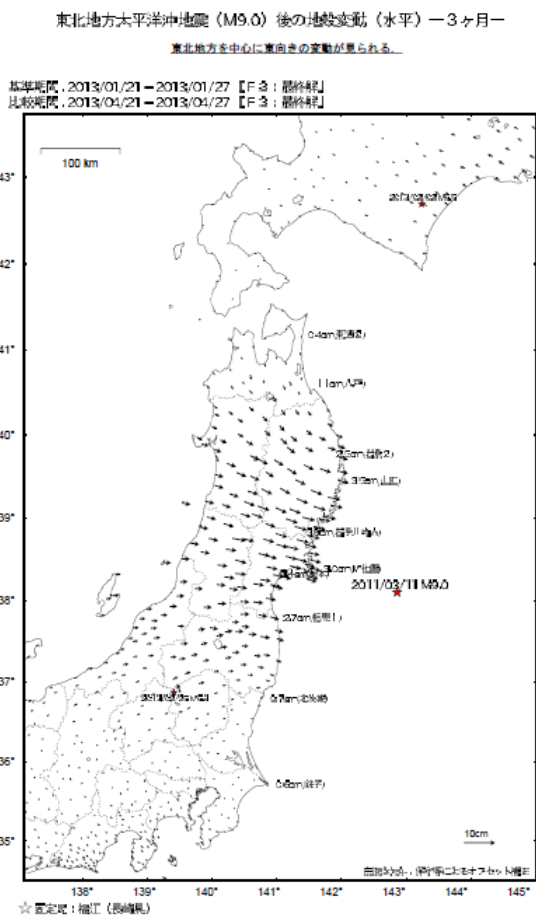
第 36 図 2011 年東北地方太平洋沖地震後の 3 ヶ月の地殻変動(水平)
Fig. 36 Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake for three months (horizontal).



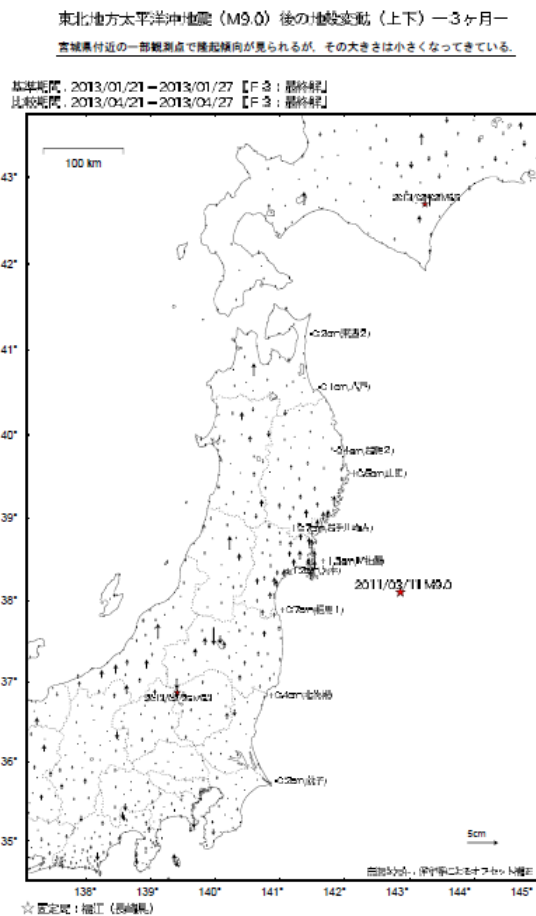
第 38 図 2011 年東北地方太平洋沖地震後の 3 ヶ月の地殻変動(上下)
Fig. 38 Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake for three months (vertical).

➤ 2011年東北地方太平洋沖地震後は、余効変動が継続している。

7.1 東北日本の地殻変動 【地震後の地殻変動②(地震2年後3ヶ月の水平方向・上下方向)】



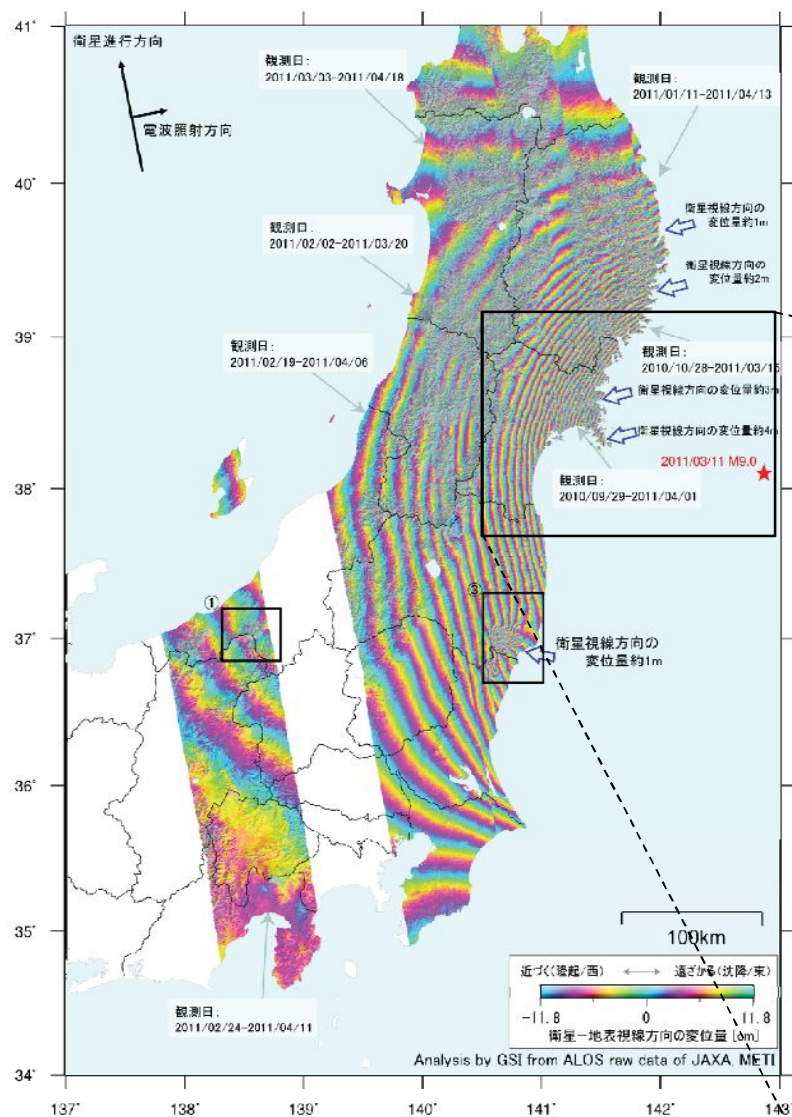
第5図 2011年東北地方太平洋沖地震後の3ヶ月の地殻変動 (水平)
Fig. 5 Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake for three months (horizontal).



第6図 2011年東北地方太平洋沖地震後の3ヶ月の地殻変動 (上下)
Fig. 6 Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake for three months (vertical).

- 2011年東北地方太平洋沖地震後は、余効変動が継続している。

7.1 東北日本の地殻変動 【合成開口レーダー(SAR)に基づく地震前後の地殻変動】



▶ 2011年東北地方太平洋沖地震に伴い、東北地方において顕著な地殻変動が認められたが、山中ほか(2011)によれば、陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)に搭載されたLバンド合成開口レーダー(PALSAR)の観測データ等から耐震設計上考慮する活断層の評価には影響がないことを確認している。

- ・3月12日に長野県北部で発生した地震(M6.7)(①)、福島県で3月19日に発生した地震(M6.1)、及び4月11日に発生した地震(M7.0)(③)付近では、東北地方太平洋沖地震による局所的な影響がみられる。
- ・女川原子力発電所付近には上記のような変化は認められない。

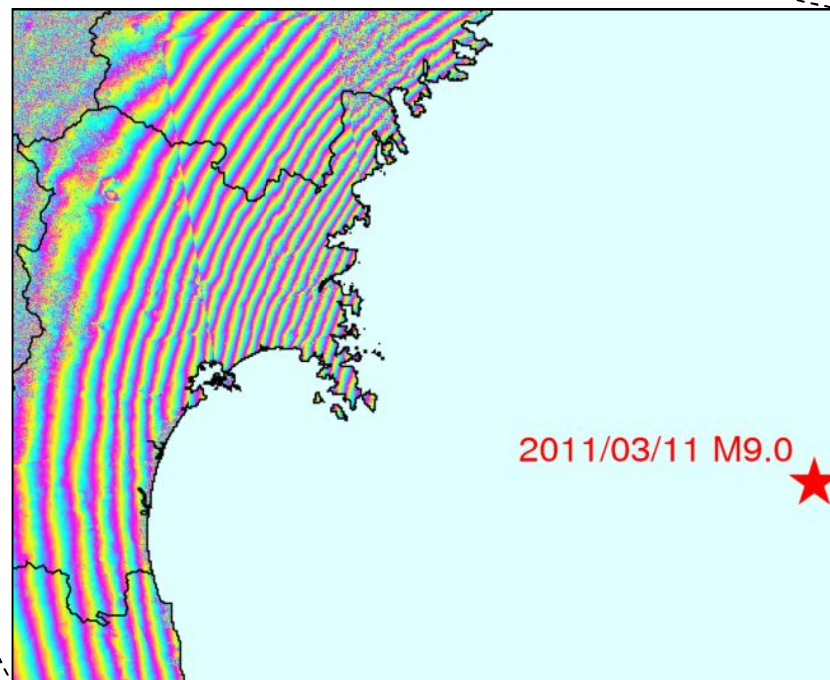


図-2 北行軌道による SAR 干渉解析画像図

オフナディア角：34.3°、軌道情報：高精度軌道情報使用

★は東北地方太平洋沖地震の震央を示す。黒枠①および③はそれぞれ図-5、図-7の位置を示す。

合成開口レーダー(SAR)と電子基準点(GPS連続観測点)の融合解析による地殻変動

7.2 敷地内のGPS測量結果に基づく地震前後の地殻変動

➤ 2011年東北地方太平洋沖地震に伴い、敷地地盤は約1m沈降しているが、GPS測量結果によれば、No. 1, No. 2, No. 3の3基準点間に顕著な沈降量の差は認められない。

⇒敷地内の断層が動いたとは考えられない。

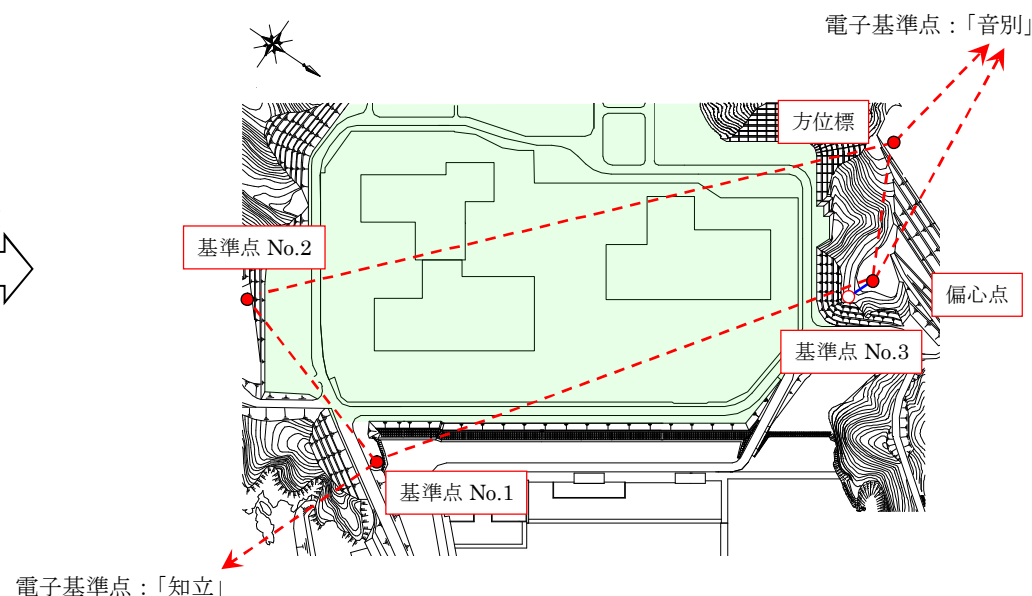
凡例

- ▲ 電子基準点
- GPS 観測点
- - 基線 (解析で使用する基線)
- 測線 (トランシット測量)

基準点	地震前 (A)	地震後 (B)	地殻変動量 (A-B)
No.1	O.P. +14.780m (T.P. +14.040m)	O.P. +13.648m (T.P. +12.908m)	-1.132m
No.2	O.P. +29.688m (T.P. +28.948m)	O.P. +28.563m (T.P. +27.823m)	-1.125m
No.3	O.P. +38.404m (T.P. +37.664m)	O.P. +37.303m (T.P. +36.563m)	-1.101m



拡大
→

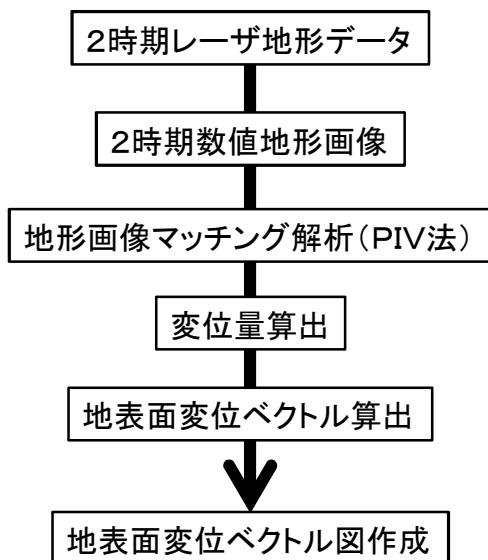


7.3 地震前後のDEM地形図の比較に基づく敷地付近の地殻変動の検討【手法①】

東北地方太平洋沖地震前後において、敷地内断層による不等沈下等が発生しているかどうかを確認するためのデータを提示すること。

レーザーDEMを用いた地形画像マッチング手法(3D-GIV解析)により敷地周辺の面的な地表面変動解析を行い、断層等の周辺での差別的な変動がないか確認する。
⇒2時期の数値地形画像※から、地表面の平均的な水平移動方向と変動量の面的な計測を実施

数値地形画像マッチングの流れ



	計測時期	DEMグリッドサイズ
地震前	2008年7月13日～9月28日	1m
地震後	2011年3月24日～4月5日	1m

- ・解析範囲 敷地を中心とした5km×5km
- ・解析の小領域 64m四方
- ✓ 領域の東西および南北方向に各50%をオーバーラップさせ、32m間隔で変動量を算出
- ・画像マッチング結果から、相関係数の高い領域の変動量を抽出描画

※数値地形画像: 3次元の空間座標値から演算できる地形量を可視化した計測可能な画像

7.3 地震前後のDEM地形図の比較に基づく敷地付近の地殻変動の検討【手法②】

解析結果の全体変動量から、地殻変動による全体的な変動傾向(平均変動量)を取り除き、局所変動量を求める。

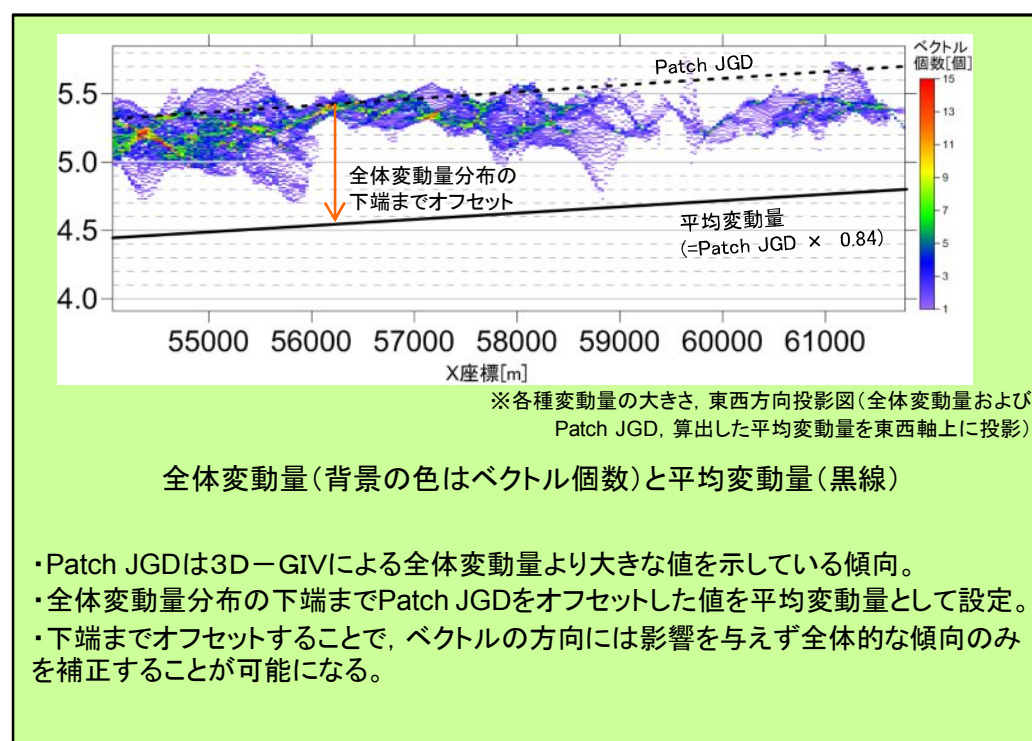
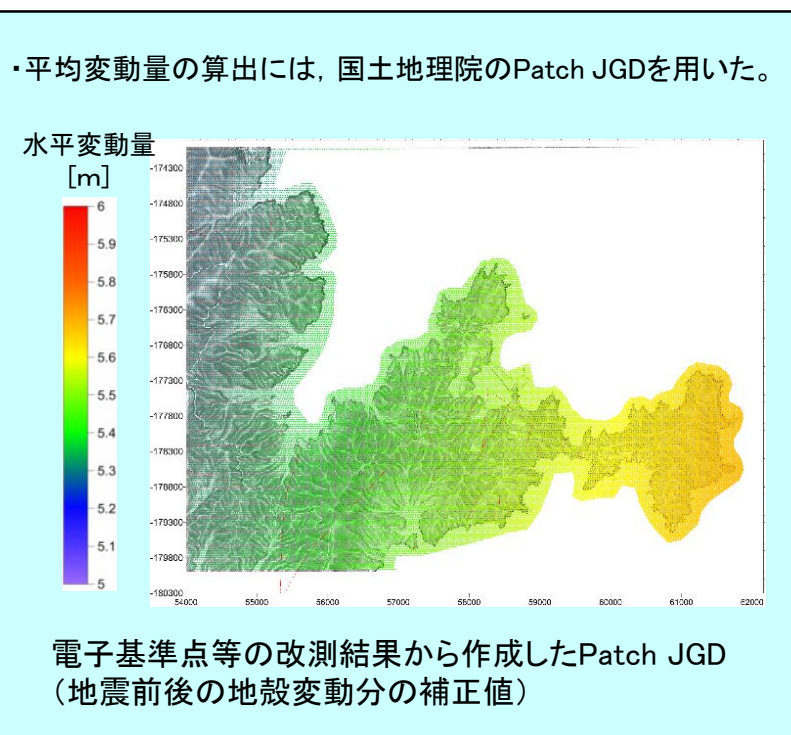
全体変動量
(3D-GIV
解析結果)

—

平均変動量
(Patch JGD
より算出)

=

局所変動量

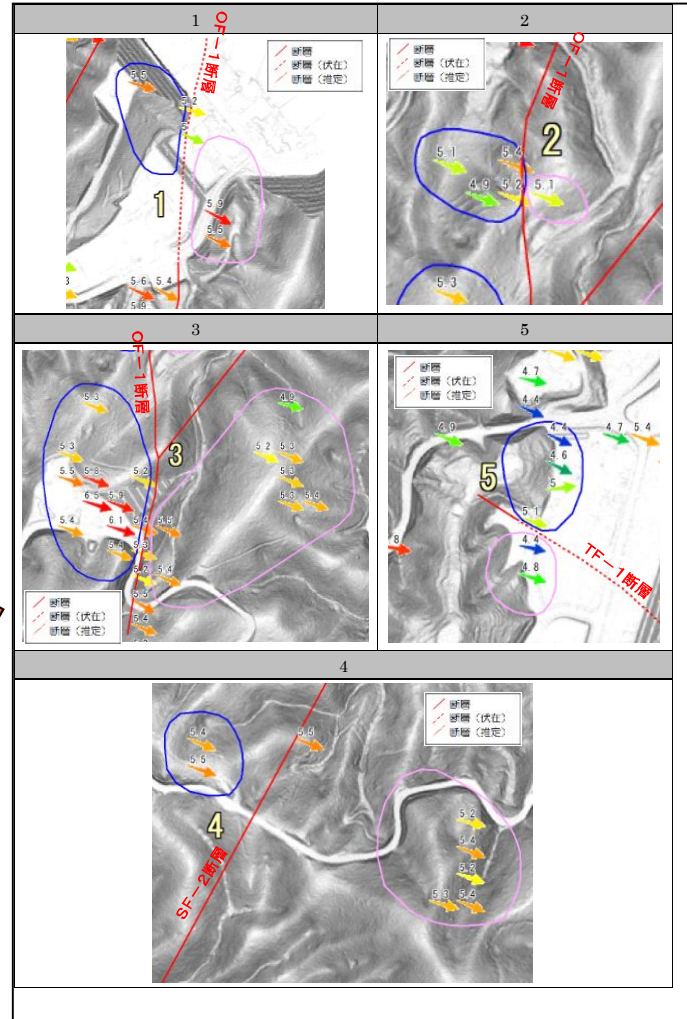
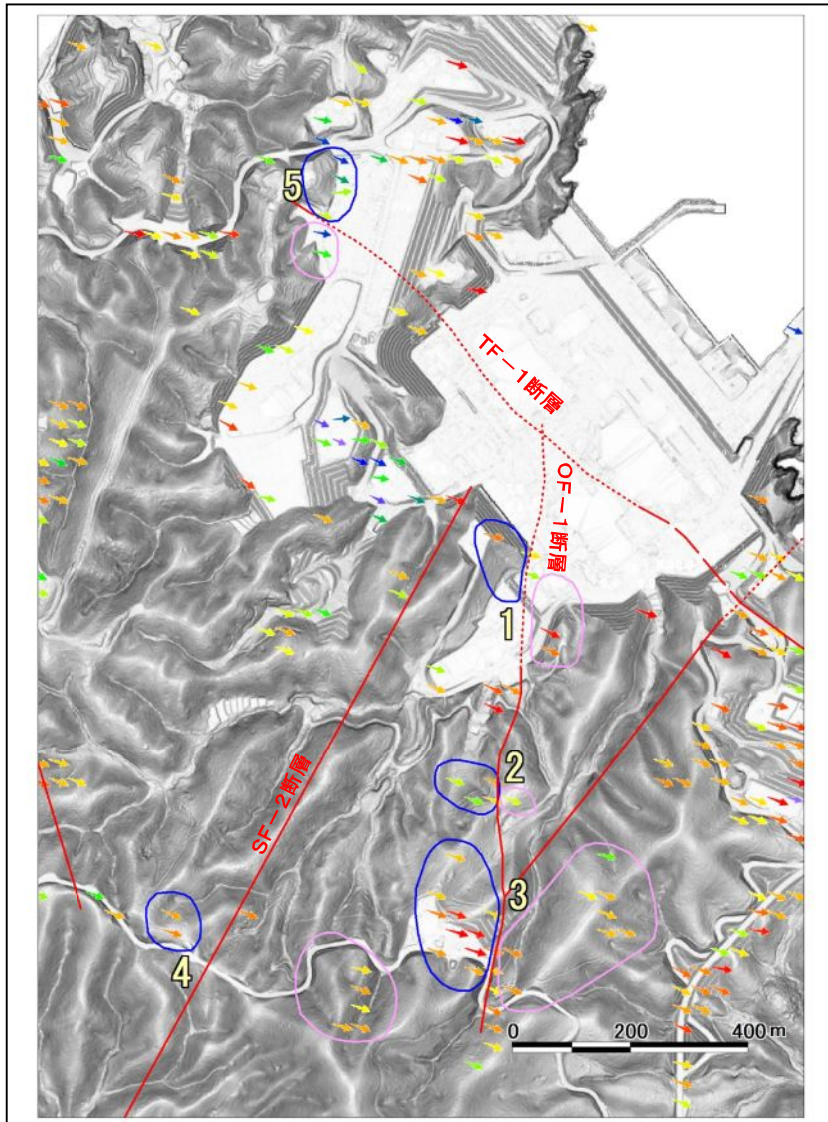


※本页以降の図に関しては、TN(真北)が図面上側方向になる配置にて表示

7.3 地震前後のDEM地形図の比較に基づく敷地付近の地殻変動の検討【解析結果①】

敷地周辺の断層境界における変動量を検討した。

・比較検討対象 断層境界の両側にまとまったベクトル出力のある箇所



※本解析結果は、宮城県「宮城県沿岸部航空計測データ」に関する資料を使用したものである。

参考文献

1. 産業技術総合研究所地質調査総合センター(2013):日本重力CD-ROM
2. 竹下徹・鳥越祐司・橋本修一・江藤淳宏・坂上麻子・大友淳一・田上雅彦・西川治・円藤洋之(1996):石英の変形微細構造に基づく南部北上帯ジュラ系砂岩起源断層破碎岩内の古応力場解析, テクトニクスと変成作用(原郁夫先生退官記念論文集), p261-279
3. 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, vol91, no5, p309-321
4. 山中雅之・野口優子・鈴木啓・宮原伐折羅・石原操・小林知勝・飛田幹男(2011):衛星合成開口レーダーを用いた平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動の検出, 国土地理院時報2011, No.122,p47-54