

10.3 変状弱面等の変位方向と第四紀の応力場との関係(1/13)

ps-1弱面, pd系弱面等の走向・傾斜及び条線データを用いた
多重逆解法による応力場の推定

[本編資料3.3.3(3)iii)に関する基礎データ]

- ps-1弱面(Ts-7,8トレンチ及びTs-6法面)及び地表付近のシームS-10※(Ts-3,10トレンチ及びTs-13法面)の走向・傾斜と条線との関係及び多重逆解法による応力場の解析結果(P.10-9~P.10-11)
- pd系弱面(Ts-8トレンチ及びTs-6法面)の走向・傾斜と条線との関係及び多重逆解法による応力場の解析結果(P.10-13~P.10-21)

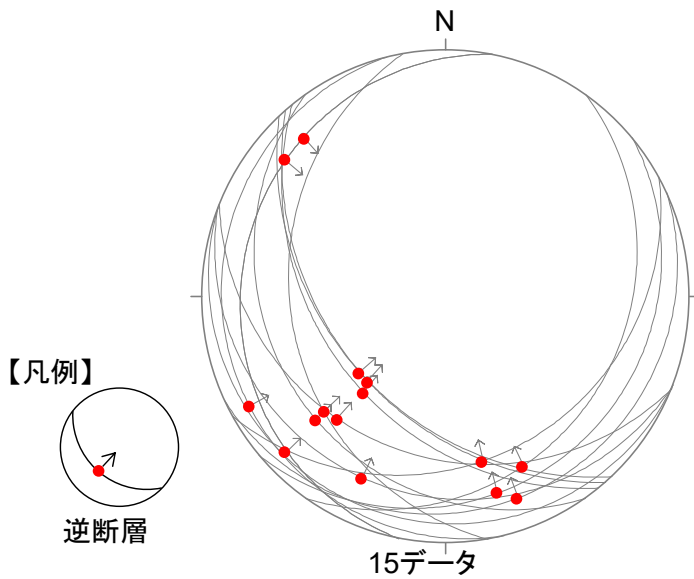
※: ps-1弱面の検討にあたっては, 敷地全体での地表付近のシームの変位方向と第四紀の応力場との関係を把握するため, 地表付近のシームS-10も含めて検討する。



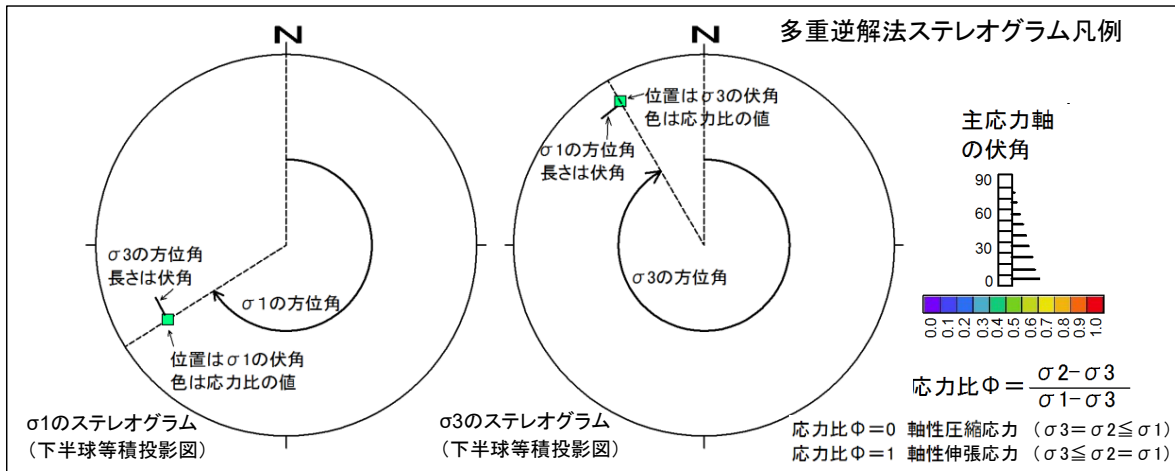
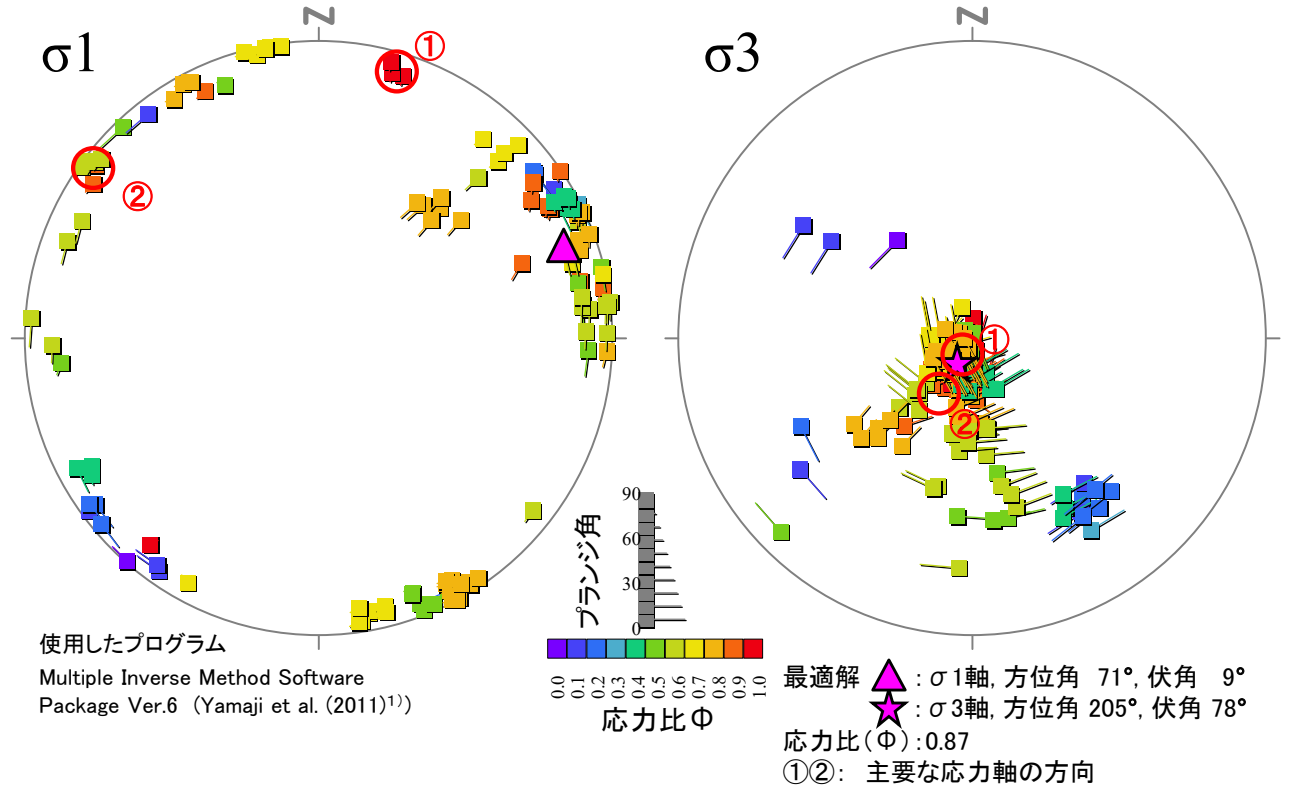
10.3 変状弱面等の変位方向と第四紀の応力場との関係(2/13)

ps-1弱面及び地表付近のシームS-10(1/3):

多重逆解法による応力場の推定(Ts-3,7,8,10トレンチ, Ts-6,13法面)



ps-1弱面及び地表付近のシームS-10の走向・傾斜と条線方向



多重逆解法による σ_1 及び σ_3 の主応力軸方向

- ps-1弱面及び地表付近のシームS-10の走向・傾斜及び条線データ計15個を用いて、多重逆解法(Yamaji et al. (2011)¹⁾)により変位形成時の応力場について検討した。
- 変位形成時の最大主応力軸 σ_1 はおおむね水平で、最適解、①、②等、複数の方向が認められ、最小主応力軸 σ_3 は鉛直~60°程度南傾斜のものが認められた。
- ps-1弱面及び地表付近のシームS-10の変位方向は様々であり、P.10-10に示すように、最適解、①及び②の応力場に対する各データにはミスフィット角が大きいものも含まれる。



10.3 変状弱面等の変位方向と第四紀の応力場との関係(3/13)

ps-1弱面及び地表付近のシームS-10(2/3):

多重逆解法によるミスフィット角の解析結果(Ts-3,7,8,10トレンチ, Ts-6,13法面)

データ No.	トレンチ・法面	関連シーム名	ps-1弱面及び地表付近のシームS-10(°)		条線(°)		変位センス	ミスフィット角(°)				
			方位角	傾斜角	方位角	伏角		ps-1弱面及び地表付近のシームS-10の応力場の解析結果(P.10-9参照)			小菅ほか(2012) ¹⁴⁾ (P.10-11参照)	
								最適解 σ1:71/9 σ3:205/78 φ=0.87	① σ1:16/7 σ3:205/83 φ=1.00	② σ1:307/3 σ3:211/65 φ=0.60	東北地方太平洋沖地震前B-4* ¹ σ1:295.0/14.8 σ3:49.1/57.1 (R=0.90) φ=0.10	東北地方太平洋沖地震後A-3* ² σ1:248.6/6.4 σ3:127.2/77.8 (R=0.50) φ=0.50
1	Ts-3	S-10	201	12	205	12	逆	3	2	5	99	36
2	Ts-10N	S-10	231	36	221	36	逆	5	4	7	63	6
3	Ts-10N	S-10	260	25	227	21	逆	13	19	19	79	10
4	Ts-10S	S-10	202	24	222	23	逆	12	18	24	114	24
5	Ts-10S	S-10	235	18	227	18	逆	1	1	4	130	12
6	Ts-13	S-10	227	40	223	40	逆	2	0	3	49	5
7	Ts-13	S-10	229	40	229	40	逆	2	4	1	51	1
8	Ts-6	S-11	151	22	167	21	逆	6	3	1	60	40
9	Ts-7	S-11	125	18	155	16	逆	2	9	9	45	50
10	Ts-7	S-11	140	12	165	11	逆	11	2	11	57	51
11	Ts-7	S-11	155	8	160	8	逆	30	18	26	53	39
12	Ts-8	S-11	281	10	318	8	逆	78	66	81	132	119
13	Ts-8	S-11	281	10	310	9	逆	70	58	73	140	111
14	Ts-8	S-11	256	5	241	5	逆	19	15	23	139	99
15	Ts-8	S-11	201	5	226	5	逆	18	23	23	121	91

主応力軸方向の凡例
方位角(°)/伏角(°)

■ ミスフィット角20° 以上

*1: σ1軸が水平・WNW-ESE方向でσ3軸が高角の逆断層型

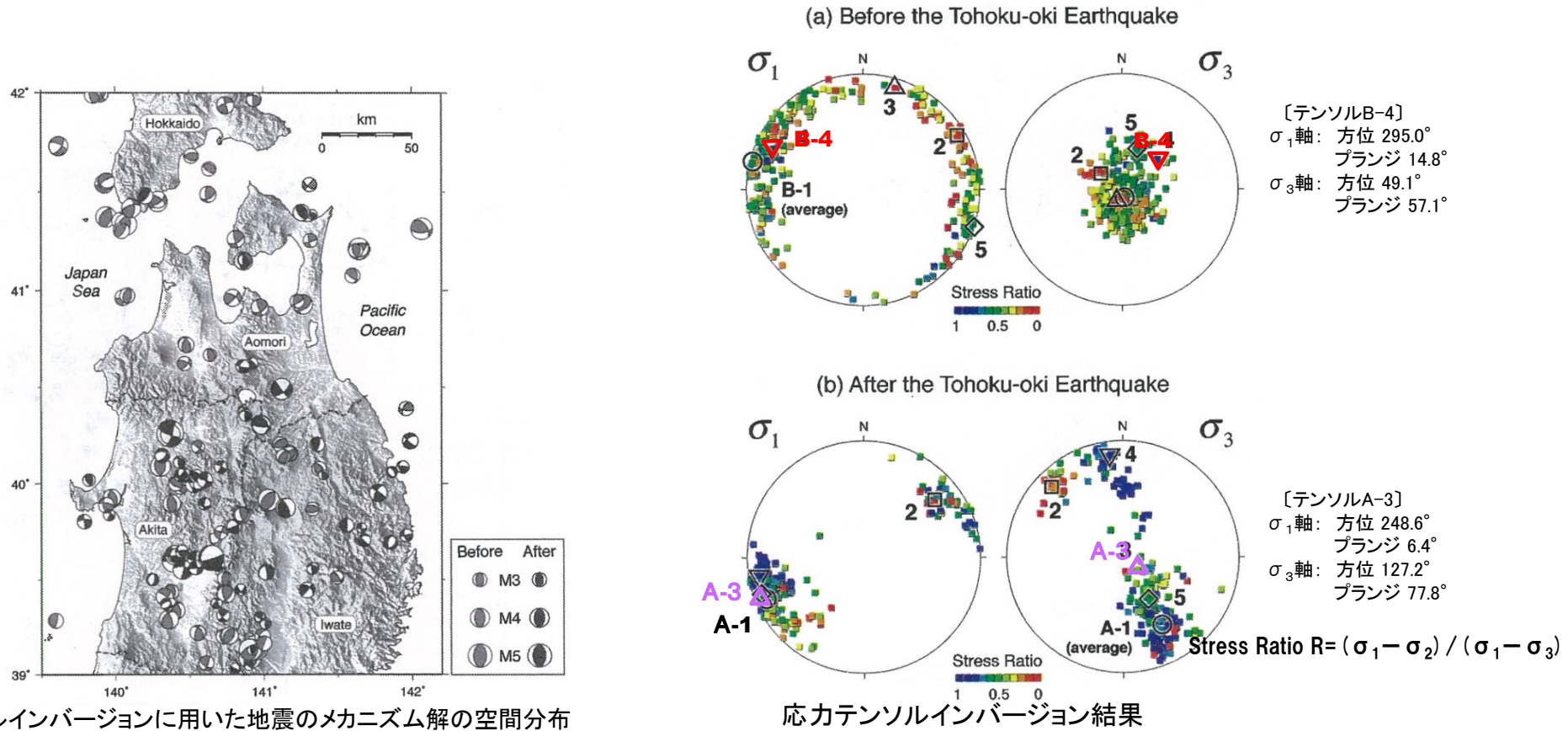
*2: σ1軸が水平・WSW-ESE方向でσ3軸がほぼ鉛直の逆断層型

- 多重逆解法によるps-1弱面及び地表付近のシームS-10の応力場の解析結果(最適解, ①・②の応力軸, P.10-9参照)及び小菅ほか(2012)¹⁴⁾(P.10-11参照)に示された東北地方太平洋沖地震前後の下北半島付近の応力状態(B-4及びA-3)について, ps-1弱面及び地表付近のシームS-10の変位方向とのミスフィット角を求めた。
- ps-1弱面及び地表付近のシームS-10の変位方向は, 最適解, ①及び②の応力場に対してミスフィット角の大きいものも含まれるため, 一定の応力場では説明できないものと考えられ, 第四紀の東西圧縮応力場には整合しない。
- 小菅ほか(2012)¹⁴⁾が示した下北半島付近の応力状態(B-4及びA-3)に対しては, ps-1弱面及び地表付近のシームS-10の変位方向はミスフィット角が大きいものが多く, 第四紀の東西圧縮応力場には整合しない。
- 以上のことから, ps-1弱面及び地表付近のシームS-10の変位は第四紀の広域応力場で生じた構造的なものではないと判断される。



ps-1弱面及び地表付近のシームS-10 (3/3):

東北地方太平洋沖地震前後の応力場の変化(小菅ほか(2012)¹⁴⁾ 一部加筆修正)



- 小菅ほか(2012)¹⁴⁾に示された東北地方太平洋沖地震前後での下北半島付近の応力場の特徴は、以下の①②③のとおりとされている。
 - ①東北地方太平洋沖地震前後の東北地方北部の応力場は空間的に不均一である。
 - ②地震前の応力テンソルインバージョン結果では、 σ_1 軸が水平でWNW-ESE方向で σ_3 軸が高角の逆断層型の右上図の▽B-4が、津軽海峡周辺のデータを良く説明できる。
 - ③地震後の応力テンソルインバージョン結果では、 σ_1 軸が水平でWSW-ENE方向で σ_3 軸がほぼ鉛直の逆断層型の右下図の△A-3が、下北半島付近のデータを良く説明できる。
- 応力テンソルインバージョン結果のB-4とA-3の主応力軸はほぼ同様であることから、地震の前後で下北半島周辺の応力場に大きな変化はなく、おおむね東西圧縮応力場であると判断される。

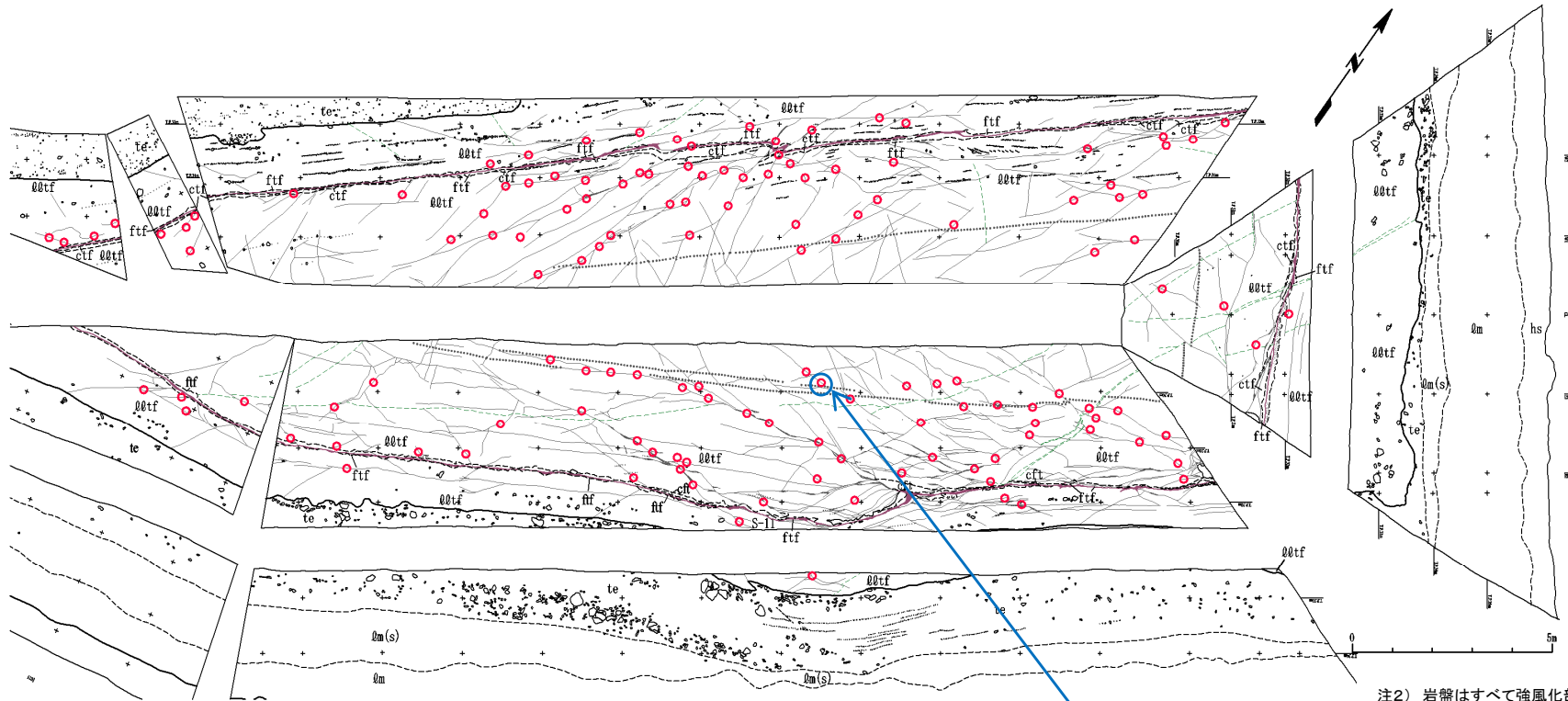
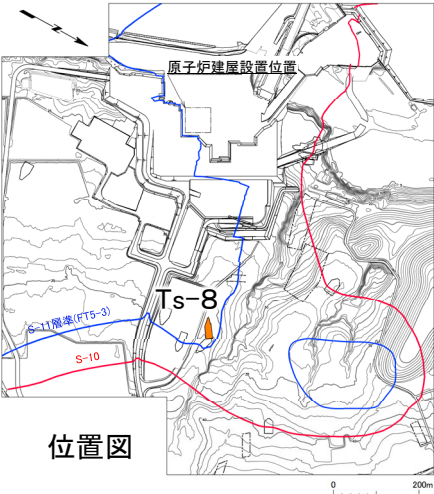
(余白)

10.3 変状弱面等の変位方向と第四紀の応力場との関係(5/13)

第804回審査会合
資料1-1 P.4-82 一部修正



pd系弱面(1/9):pd系弱面の計測位置(Ts-8トレンチ)

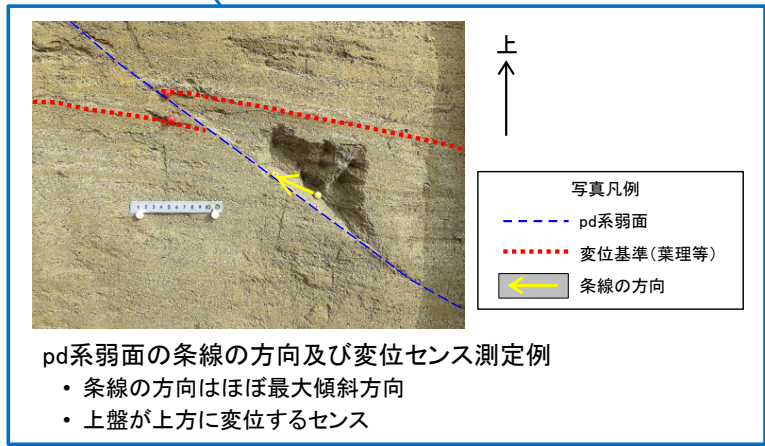


注1) シームS-11層準(FT5-3*)の位置は各トレンチ・法面での調査結果に基づく。
*:シームS-11を挟む細粒凝灰岩の鍵層名。

注2) 岩盤はすべて強風化部。

凡例

第四系	hs	腐植土	易国間層	Qctf	淡灰色火山礫凝灰岩	地層境界	○	礫	(条線計測箇所)
	Qm	ローム層		ctf	粗粒凝灰岩	地質境界	○	葉理	○
	Qm(s)	ローム層(シルト質)		ftf	細粒凝灰岩	筋状構造	○	変位を伴う不連続面及び節理	○
	te	M ₁ 面段丘堆積物				シーム	○	段丘堆積物中の不連続面	○



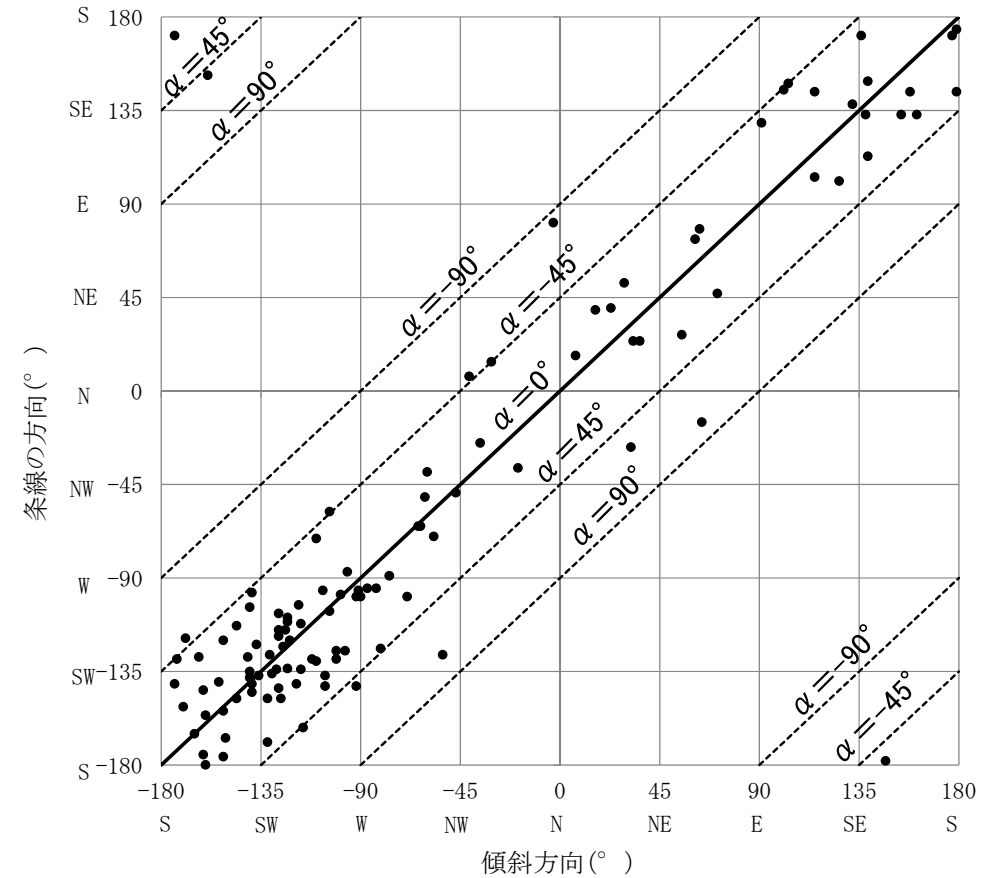
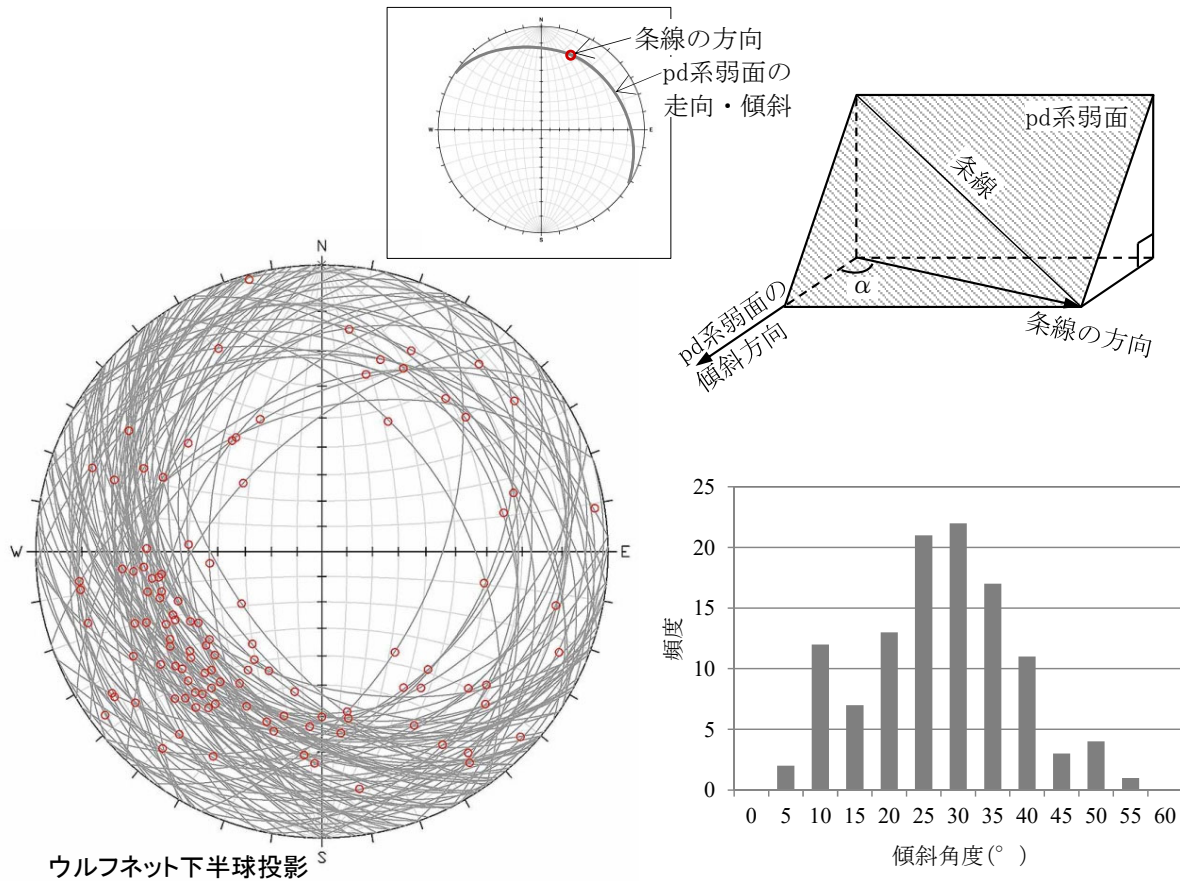
- Ts-8トレンチにおいて、pd系弱面の走向・傾斜，条線及び変位センスを測定した。
- 条線の方法はほぼ最大傾斜方向で，上盤が上方に変位するセンスを示す。

pd系弱面の条線の方法及び変位センス測定例

- 条線の方法はほぼ最大傾斜方向
- 上盤が上方に変位するセンス



pd系弱面(2/9):pd系弱面と条線の関係(Ts-8トレンチ)



① pd系弱面と条線のウルフネット投影図

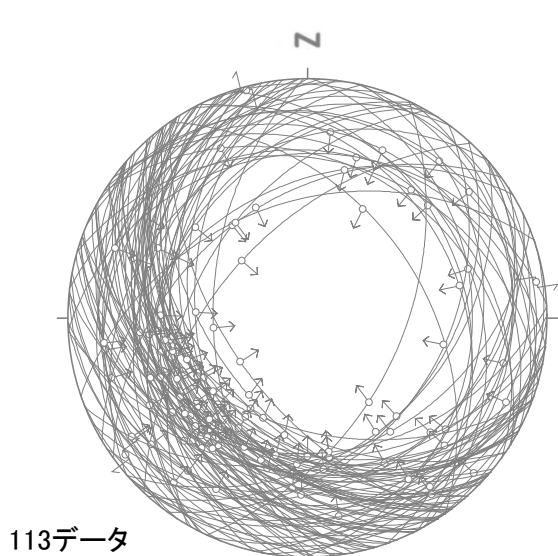
② pd系弱面の傾斜角度の分布

③ pd系弱面の傾斜方向と条線の間との関係

- pd系弱面は、 $20^\circ \sim 40^\circ$ 程度の傾斜で走向は様々(①, ②)であるが、条線はほぼ最大傾斜方向を示す(①, ③)。
- 上盤の変位方向は上方に変位するセンスを示し、一定の方向を示さない(①)。
- 第四紀の応力場を示唆する東西方向の条線が卓越する傾向は認められない(①)。
- 以上のことから、pd系弱面の変位は第四紀の広域応力場で生じた構造的なものではないと判断される。

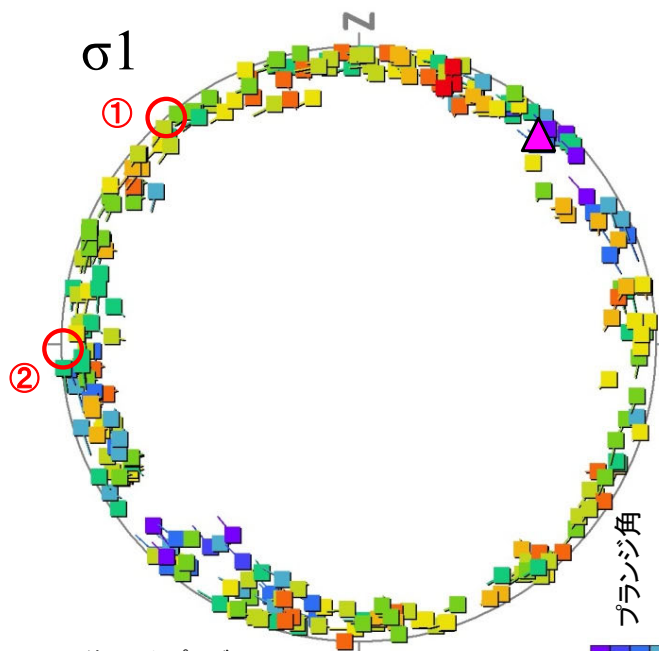
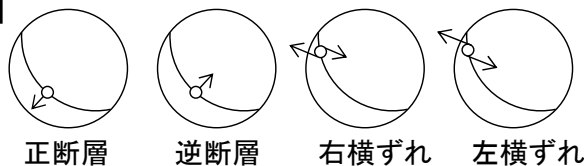


pd系弱面(3/9): 多重逆解法による応力場の推定(Ts-8トレンチ)



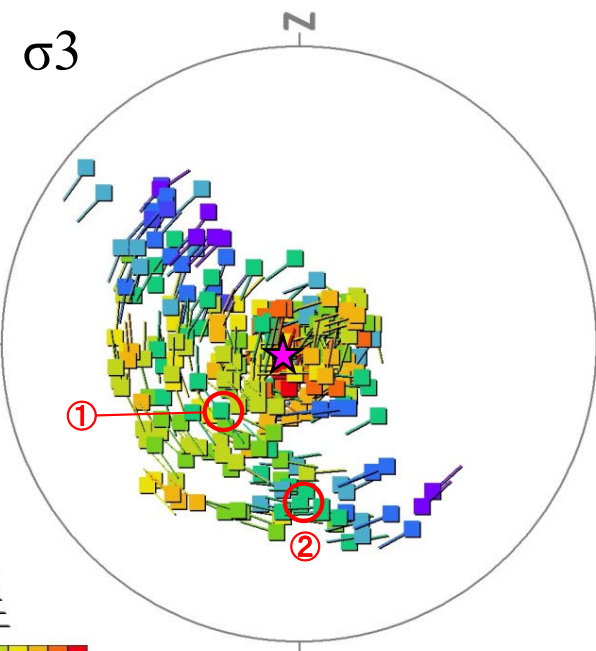
pd系弱面の走向・傾斜と条線方向

【凡例】



使用したプログラム
Multiple Inverse Method Software
Package Ver.6 (Yamaji et al. (2011)¹⁾)

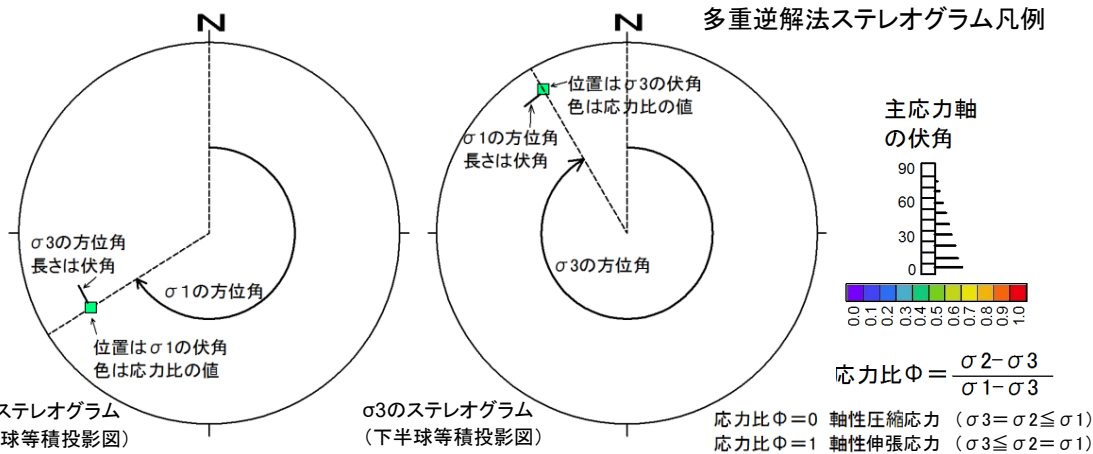
多重逆解法によるσ1及びσ3の主応力軸方向



最適解 ▲: σ1軸, 方位角 40.5°, 伏角 6.5°
★: σ3軸, 方位角 232°, 伏角 83°
応力比(Φ): 0.89

①②: 主要な応力軸の方向

多重逆解法ステレオグラム凡例



- Ts-8トレンチのpd系弱面の走向・傾斜及び条線データ計113個を用いて、多重逆解法(Yamaji et al.(2011)¹⁾)によりpd系弱面の変位形成時の応力場について検討した。
- 最大主応力軸σ1はおおむね水平でばらつきが大きく、最小主応力軸σ3は鉛直及び高角西～南傾斜のものが認められた。
- P.10-16に示すように、最適解、①及び②の応力場に対する各データのミスフィット角は20°を超えるものも多く、pd系弱面の変位は一定の応力場では説明できないものと考えられる。
- 以上のことから、pd系弱面の変位は第四紀の広域応力場で生じた構造的なものではないと判断される。

10.3 変状弱面等の変位方向と第四紀の応力場との関係(8/13)

第804回審査会合
資料1-2 P.110 一部修正



pd系弱面(4/9): 多重逆解法によるミスフィット角の解析結果(Ts-8トレンチ)

計測 No.	pd系弱面(°)		条線(°)		変位 センス	応力場に対するミスフィット角(°)			計測 No.	pd系弱面(°)		条線(°)		変位 センス	応力場に対するミスフィット角(°)		
	方位角	傾斜角	方位角	傾斜角		最適解	①	②		方位角	傾斜角	方位角	傾斜角		最適解	①	②
E01	55	39	27	36	逆	21	55	78	W09	243	25	226	24	逆	11	24	10
E02	250	19	289	15	逆	45	33	57	W10	273	20	265	20	逆	6	10	31
E03	208	31	240	27	逆	23	46	1	W11	187	14	231	10	逆	27	37	43
E04	259	8	235	7	逆	9	12	27	W12	224	31	223	31	逆	2	6	19
E05	256	19	302	13	逆	54	40	69	W13	242	27	257	26	逆	18	4	15
E06	277	26	265	26	逆	2	19	26	W14	243	23	248	23	逆	10	2	12
E07	195	24	195	24	逆	10	10	12	W15	33	15	24	15	逆	3	117	120
E08	115	10	103	10	逆	55	82	45	W16	221	24	215	24	逆	8	0	15
E09	214	36	247	31	逆	24	49	6	W17	232	35	226	35	逆	3	8	22
E10	299	28	309	28	逆	24	13	65	W18	214	42	212	42	逆	5	29	48
E11	91	21	129	17	逆	24	34	3	W19	63	25	78	24	逆	12	80	43
E12	324	37	335	36	逆	19	29	82	W20	186	30	171	29	逆	25	1	25
E13	307	12	233	3	右横ずれ	46	43	17	W21	254	36	218	30	逆	23	56	25
E14	253	23	264	23	逆	18	1	27	W22	200	41	204	41	逆	5	35	50
E15	233	10	253	9	逆	21	20	44	W23	234	35	212	33	逆	16	25	34
E16	7	20	17	20	逆	23	80	148	W24	199	23	216	22	逆	6	25	4
E17	329	33	14	25	逆	51	66	122	W25	29	10	52	9	逆	53	156	107
E18	64	3	345	1	右横ずれ	123	119	176	W26	233	47	217	46	逆	9	23	44
E19	250	26	230	25	逆	11	30	8	W27	235	53	237	53	逆	5	31	38
E20	300	39	321	37	逆	29	14	68	W28	228	39	212	38	逆	12	8	40
E21	220	18	225	18	逆	2	7	6	W29	233	35	242	35	逆	9	3	9
E22	256	29	254	29	逆	6	18	11	W30	199	20	185	19	逆	23	8	20
E23	71	23	47	21	逆	26	111	73	W31	219	38	232	37	逆	8	29	24
E25	248	30	231	29	逆	9	30	11	W32Ave	237	28	226	24	逆	8	17	14
E26	221	27	219	27	逆	4	6	16	W33	101	9	145	6	逆	5	47	3
E27	16	23	39	21	逆	31	95	105	W34	206	25	220	24	逆	6	25	3
E28	270	30	261	30	逆	3	23	19	W35Ave	268	28	261	28	逆	5	20	20
E29Ave	241	21	219	20	逆	16	25	12	W36	303	9	290	9	逆	20	23	81
E30	220	23	222	23	逆	1	7	6	W37	221	12	263	9	逆	38	40	54
E31	229	30	233	30	逆	4	5	10	W38	177	31	171	31	逆	18	4	1
E32	233	32	245	31	逆	12	6	2	W39	223	27	238	26	逆	12	19	1
E34	220	35	256	30	逆	29	45	3	W40	158	30	144	29	逆	28	17	13
E35	254	23	223	20	逆	21	38	12	W41	201	30	152	21	逆	53	27	70
E36	297	27	295	27	逆	13	2	54	W42	179	10	144	8	逆	58	53	35
E37	200	32	180	30	逆	25	3	46	W43	296	21	295	21	逆	17	8	60
E38	279	9	236	7	逆	20	23	24	W44	190	13	208	12	逆	2	11	19
E39	291	10	261	9	逆	3	5	47	W45	139	32	149	32	逆	6	11	31
E40	269	47	264	47	逆	7	40	14	W46	208	29	184	27	逆	27	5	44
E41	115	47	144	43	逆	14	16	38	W47	208	28	206	28	逆	8	13	23
E42	319	20	7	14	逆	66	74	136	W48	179	25	174	25	逆	19	0	4
E43	36	20	24	20	逆	5	102	107	W49	228	43	191	37	逆	28	23	62
E44	191	24	241	16	逆	36	56	38	W50	244	35	198	26	逆	35	59	45
E45	32	24	333	13	逆	51	33	151	W51	154	21	133	20	逆	40	36	11
E46	341	38	323	37	逆	7	20	74	W52	209	30	193	29	逆	19	3	39
E47	259	38	231	35	逆	14	50	13	W53	147	20	182	17	逆	12	11	39
E48	268	18	218	12	逆	35	50	12	W54	139	7	113	6	逆	74	83	49
E49	313	50	311	50	逆	8	4	57	W55	138	14	133	14	逆	34	44	14
E50	136	12	171	10	逆	1	10	20	W56	132	32	138	32	逆	9	21	22
E51	186	8	219	7	逆	10	14	36	W57	61	20	73	20	逆	9	111	54
W01	238	37	240	37	逆	5	12	12	W58	103	18	148	13	逆	24	20	17
W02	283	28	271	27	逆	3	17	30	W59	236	28	245	28	逆	11	2	3
W03	23	9	40	9	逆	59	143	124	N01	237	35	251	34	逆	15	1	1
W04	261	31	262	31	逆	10	18	17	N02	197	29	232	24	逆	23	48	10
W05	263	23	235	21	逆	15	35	1	N04	264	40	273	40	逆	16	22	21
W06	237	20	249	20	逆	14	9	19	N03	126	32	101	30	逆	35	52	10
W07	357	21	81	2	左横ずれ	98	143	105	E33Ave	230	31	224	29	逆	5	6	19
W08	161	3	133	3	逆	80	82	43									

最適解の応力場
σ1軸: 方位角 40.5°, 伏角 6.5°
σ3軸: 方位角 232°, 伏角 83°
応力比(Φ): 0.89

①の応力場
σ1軸: 方位角 320°, 伏角 0°
σ3軸: 方位角 230°, 伏角 62°
応力比(Φ): 0.40

②の応力場
σ1軸: 方位角 270°, 伏角 0°
σ3軸: 方位角 180°, 伏角 47°
応力比(Φ): 0.40

ミスフィット角20° 以上

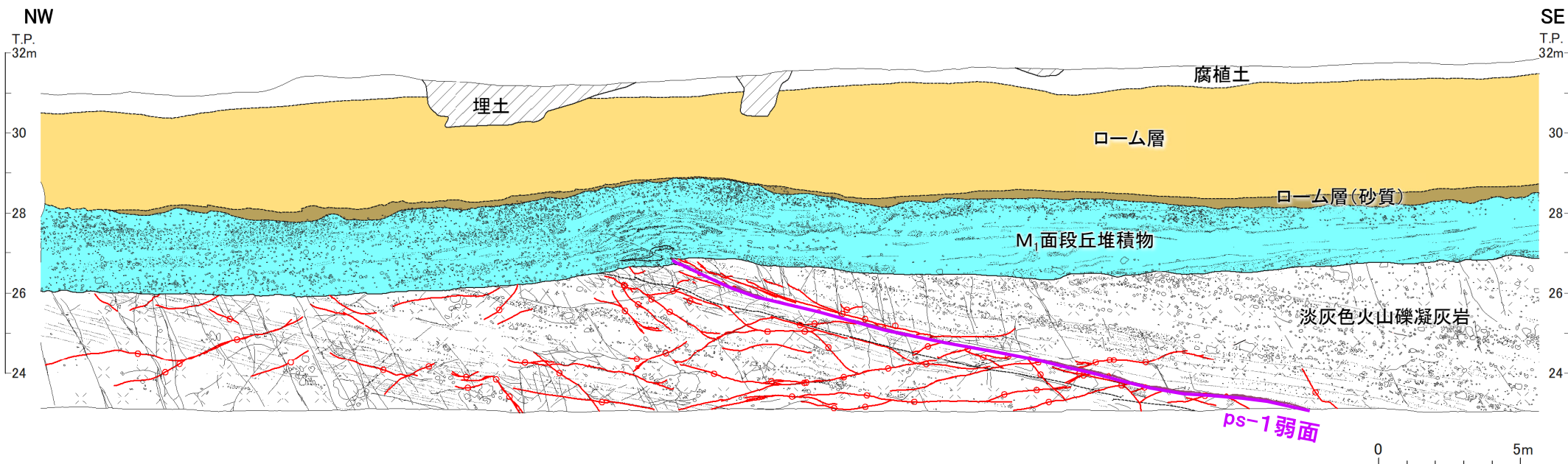
どの応力場に対してもミスフィット角の大きなデータが多く、pd系弱面の変位は一定の応力場によるものではないと考えられる。

10.3 変状弱面等の変位方向と第四紀の応力場との関係(9/13)

第804回審査会合
資料1-1 P.4-84 一部修正



pd系弱面(5/9):計測位置(Ts-6法面)



- Ts-6法面において、pd系弱面の走向・傾斜及び条線を測定した。
- 条線の方法はほぼ最大傾斜方向で、上盤が上方に変位するセンスを示す(本編資料P.3-125参照)。

凡例

第四紀 埋土 (ps) 腐植土 (hs) ローム層 (lm) ローム層(砂質) (lm(sd)) M ₁ 面段丘堆積物 (te)	新第三紀 中新世 易形層 上層 淡灰色火山礫凝灰岩 粗粒凝灰岩	地層境界	ps-1弱面
		地質境界	pd系弱面
		変位を伴う不連続面及び節理	礫
		段丘堆積物中の不連続面	葉理

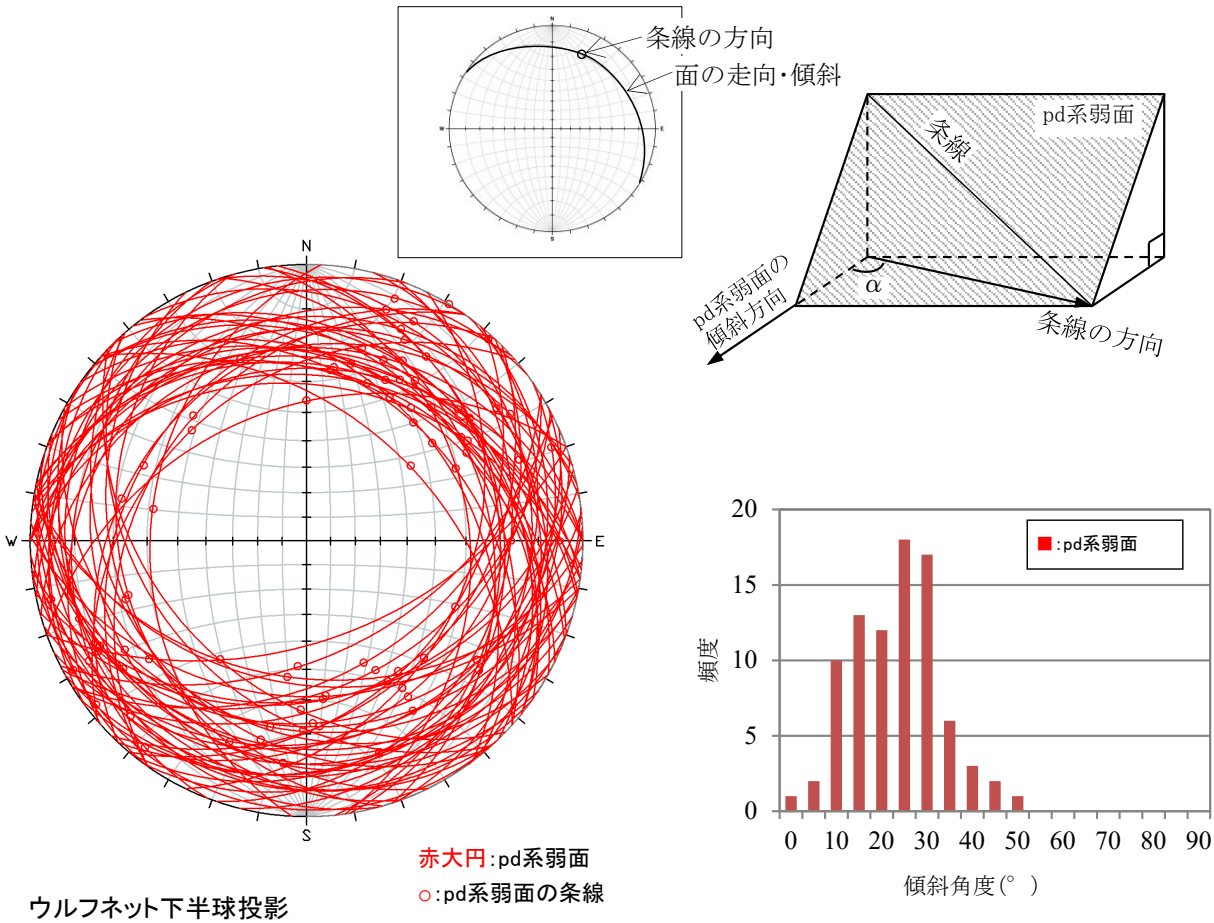
○ 走向・傾斜と条線を計測したpd系弱面

10.3 変状弱面等の変位方向と第四紀の応力場との関係(10/13)



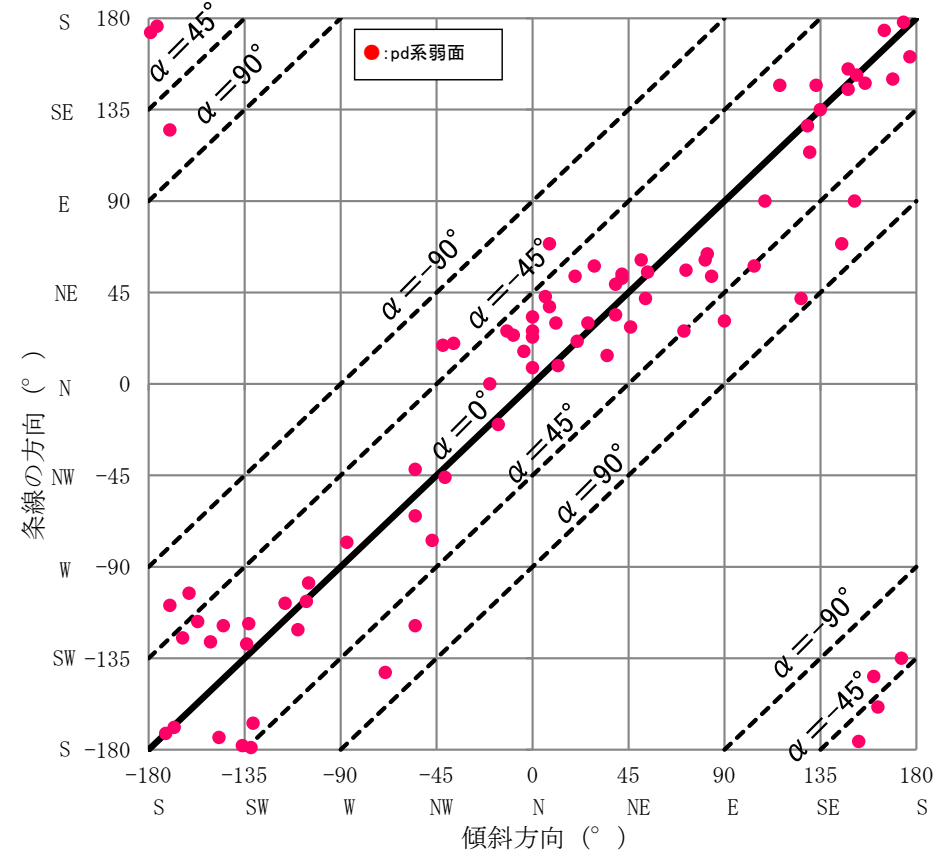
pd系弱面(6/9): 走向・傾斜と条線との関係(Ts-6法面)

第804回審査会合
資料1-1 P.4-85 一部修正



① pd系弱面と条線のウルフネット投影図

② pd系弱面の傾斜角度の分布



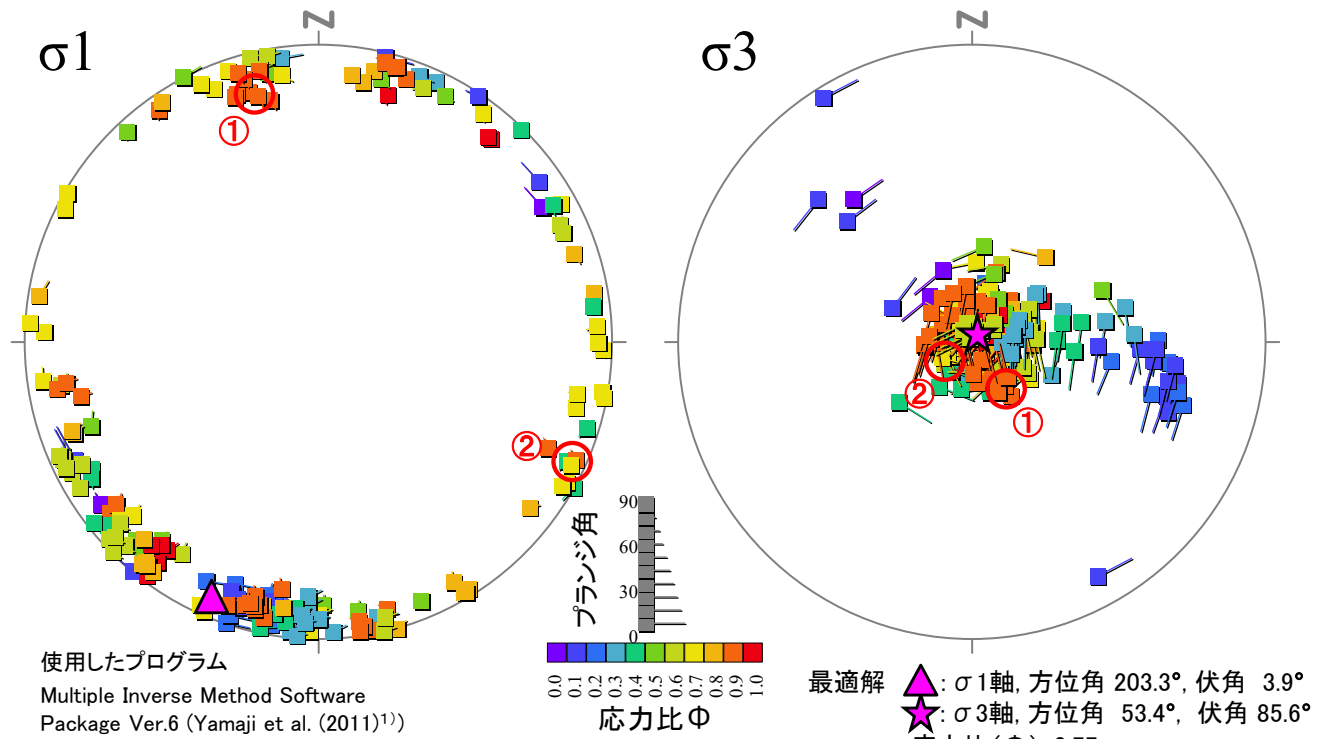
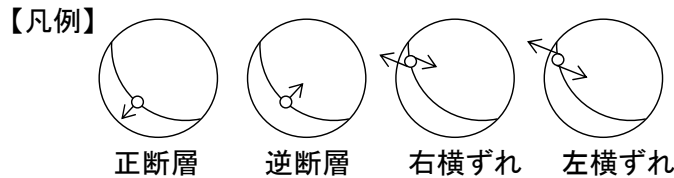
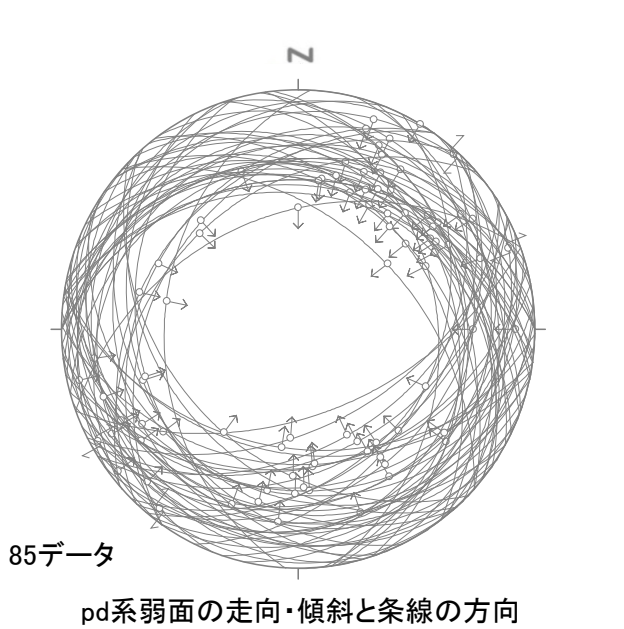
③ pd系弱面の傾斜方向と条線の方向との関係

- pd系弱面は、 $10^\circ \sim 35^\circ$ 程度の傾斜で走向は様々(①, ②)であるが、条線はほぼ最大傾斜方向を示す(①, ③)。
- 上盤の変位方向は上方に変位するセンスを示し、一定の方向を示さない(①)。
- 第四紀の最大主応力軸の方向である東西に条線が卓越する傾向は認められない(①)。
- 以上のことから、Ts-8トレンチ(P.10-14参照)と同様に、pd系弱面の変位は広域応力場で生じた構造的なものではないと判断される。

10.3 変状弱面等の変位方向と第四紀の応力場との関係(11/13)

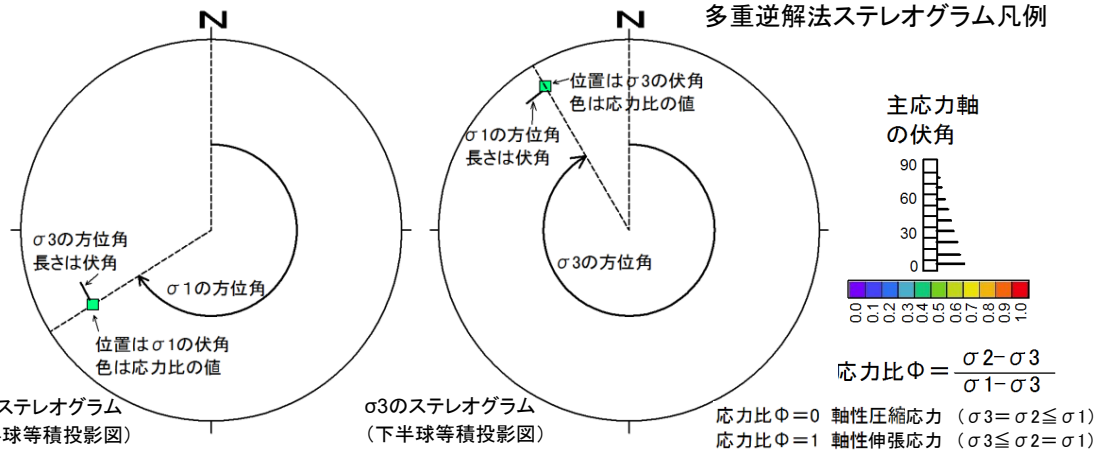


pd系弱面(7/9): 多重逆解法による応力場の推定(Ts-6法面)



多重逆解法によるσ1及びσ3の主応力軸方向

多重逆解法ステレオグラム凡例



- Ts-6法面のpd系弱面の走向・傾斜及び条線データ計85個を用いて、多重逆解法(Yamaji et al.(2011)¹⁾)によりpd系弱面の変位形成時の応力場について検討した。
- 最大主応力軸σ1はおおむね水平でばらつきが大きく、最小主応力軸σ3は鉛直及び高角東南東傾斜のものが認められた。
- P.10-20に示すように、最適解、①及び②の応力場に対する各データのスミット角は20°を超えるものも多く、pd系弱面の変位は一定の応力場では説明できないものと考えられる。
- 以上のことから、pd系弱面の変位は広域応力場で生じた構造的なものではないと判断される。



10.3 変状弱面等の変位方向と第四紀の応力場との関係(12/13)

pd系弱面(8/9): 多重逆解法によるミスフィット角の解析結果(Ts-6法面)

計測 No.	pd系弱面 (°)		条線 (°)		変位 センス	応力場に対するミスフィット角 (°)			
	方位角	傾斜角	方位角	傾斜角		最適解	①		②
							①	②	②
33	90	0	31	0	逆	16	117	142	
54	226	2	232	2	逆	180	78	15	
51	305	5	241	2	右横ずれ	119	85	29	
86	199	6	257	3	逆	98	97	26	
29	215	7	241	6	逆	49	76	3	
78	323	7	20	4	逆	18	130	100	
118	255	8	262	8	逆	12	88	5	
31	227	9	242	9	逆	25	70	1	
35	173	9	225	6	逆	75	68	17	
25	54	10	55	10	逆	8	62	67	
93	291	10	218	3	右横ずれ	105	38	56	
39	126	10	42	1	右横ずれ	61	99	130	
65	71	10	26	7	逆	32	96	107	
114	151	11	90	5	逆	42	59	95	
37	104	12	58	8	逆	26	73	88	
14	177	12	161	12	逆	2	2	42	
47	145	12	69	3	右横ずれ	58	78	108	
71	351	12	24	10	逆	13	81	82	
60	203	13	243	10	逆	50	73	18	
48	213	13	186	12	逆	17	13	45	
69	318	14	19	7	逆	34	170	89	
52	129	14	127	14	逆	14	14	32	
64	250	15	239	15	逆	10	47	18	
110	196	15	235	12	逆	47	65	18	
43	348	15	26	12	逆	18	51	79	
91	360	15	33	13	逆	18	47	79	
57	190	16	251	8	逆	68	83	41	
75	156	18	148	18	逆	0	4	25	
108	162	18	201	14	逆	45	44	20	
22	109	18	90	17	逆	3	40	43	
76	39	18	49	18	逆	11	42	32	
82	46	18	28	17	逆	13	66	6	
87	356	19	16	18	逆	5	36	58	
67	81	19	61	18	逆	6	53	43	
72	84	20	53	17	逆	16	61	53	
77	344	20	340	20	逆	21	46	31	
92	360	20	23	19	逆	9	29	60	
61	39	20	34	20	逆	3	52	13	
53	192	21	191	21	逆	4	21	16	
109	209	21	233	19	逆	29	53	7	
26	229	21	193	17	逆	28	5	48	
44	244	21	252	21	逆	12	52	3	
88	8	21	69	11	逆	49	11	96	

計測 No.	pd系弱面 (°)		条線 (°)		変位 センス	応力場に対するミスフィット角 (°)			
	方位角	傾斜角	方位角	傾斜角		最適解	①		②
							①	②	②
41	184	22	176	22	逆	3	10	21	
59	20	22	53	19	逆	26	14	63	
119	254	22	253	22	逆	2	45	8	
46	174	23	178	23	逆	7	16	8	
3	51	23	61	23	逆	15	30	7	
12	72	23	56	22	逆	3	48	33	
16	133	23	147	22	逆	21	4	2	
90	11	23	30	22	逆	9	25	52	
4	313	24	283	21	逆	46	8	8	
45	305	24	295	24	逆	26	21	7	
68	29	24	58	21	逆	25	14	49	
73	35	24	14	23	逆	19	59	3	
19	12	25	9	25	逆	10	40	29	
11	360	26	26	24	逆	12	8	56	
80	360	26	8	26	逆	5	25	40	
2	21	27	21	27	逆	4	35	25	
6	135	28	135	28	逆	5	8	10	
30	305	28	318	27	逆	4	32	26	
84	26	28	30	28	逆	1	30	24	
85	6	28	43	23	逆	24	3	64	
36	116	29	147	25	逆	37	12	14	
55	82	29	64	28	逆	3	42	33	
8	42	30	52	30	逆	12	23	12	
42	228	30	181	21	逆	37	12	57	
56	53	30	42	30	逆	2	40	16	
97	130	30	114	29	逆	9	24	24	
115	165	30	174	30	逆	8	14	2	
40	148	30	145	30	逆	1	4	9	
50	169	30	150	29	逆	16	8	23	
102	319	30	314	30	逆	22	1	16	
117	273	31	282	31	逆	6	41	6	
23	8	31	38	27	逆	18	1	54	
34	181	31	173	31	逆	6	7	14	
63	152	34	152	34	逆	1	0	4	
116	224	34	182	27	逆	30	8	51	
98	190	35	125	16	逆	60	44	68	
5	188	37	188	37	逆	0	16	6	
79	148	38	155	38	逆	4	3	3	
95	340	38	0	36	逆	0	7	42	
58	42	41	54	40	逆	14	14	9	
28	153	45	184	41	逆	19	23	24	
27	160	50	216	34	逆	38	46	48	

最適解の応力場

σ1軸: 方位角 203.3°, 伏角 3.9°
 σ3軸: 方位角 53.4°, 伏角 85.6°
 応力比(Φ): 0.77

①の応力場

σ1軸: 方位角 345.0°, 伏角 15.1°
 σ3軸: 方位角 146.1°, 伏角 74.1°
 応力比(Φ): 0.90

②の応力場

σ1軸: 方位角 115.8°, 伏角 5.3°
 σ3軸: 方位角 239.0°, 伏角 80.5°
 応力比(Φ): 0.70

ミスフィット角20° 以上

どの応力場に対してもミスフィット角の大きなデータが多く、pd系弱面の変位は一定の応力場によるものではないと考えられる。

10.3 変状弱面等の変位方向と第四紀の応力場との関係(13/13)

pd系弱面(9/9):まとめ

- pd系弱面の走向は様々であるが条線はほぼ最大傾斜方向を示し、上盤が上方に変位するセンスであり、一定の方向を示さない。
- 第四紀の応力場を示唆する東西方向の条線が卓越する傾向は認められない。
- 多重逆解法によると、変位は一定の応力場で生じた構造的なものではない。

(余白)



変状の形成要因*に関する検討

〔本編資料『コメントS2-139「変状の形成要因」の回答』(P.3-1-2～P.3-1-11)
及び本編資料3.3.3(3)に関する基礎データ及び補足説明〕

変状の形成要因については、地質観察等のデータから、強風化部が既存の弱面を利用して上方に変位、つまり変状弱面により変位が生じ、その結果として変状が形成されたものである(本編資料3.3.3(1)参照)ことから、以下の手順で検討する。

11.1 風化に伴う岩盤の膨張に関する検討

- 風化に伴う岩盤の膨張に関する文献に基づく、風化に伴う鉱物、岩石組織等の変化に関する検討 (P.11-3～P.11-19)
- 風化に伴う岩盤の膨張率に関する文献に基づく、強風化部の膨張率と変状の観察結果及び模型実験結果との整合性の検討 (P.11-20～P.11-36)

11.2 ノンテクトニック断層との類似性に関する検討

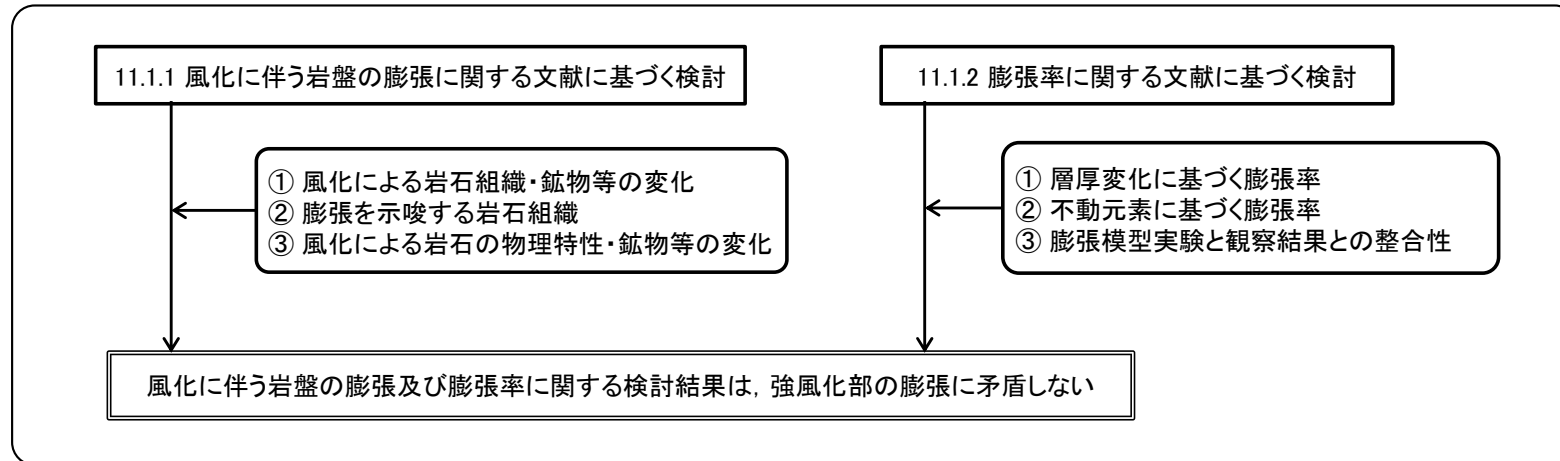
- 文献に示されたノンテクトニック断層との類似性に基づく、変状弱面等の形成要因に関する検討 (P.11-38～P.11-59)

*: 変状の形成要因: 変状が形成された過程を地質観察等に基づく解釈により定性的に示すもの。

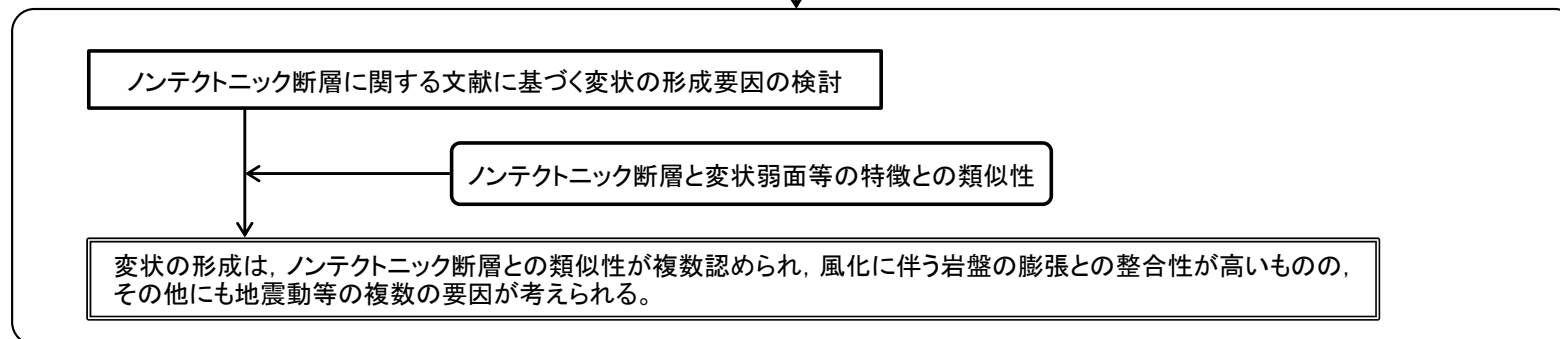
11. 変状の形成要因に関する検討(2/2)

変状の形成要因に関する検討の流れ

11.1 風化に伴う岩盤の膨張に関する検討



11.2 ノンテクトニック断層との類似性に関する検討



変状の形成要因のまとめ

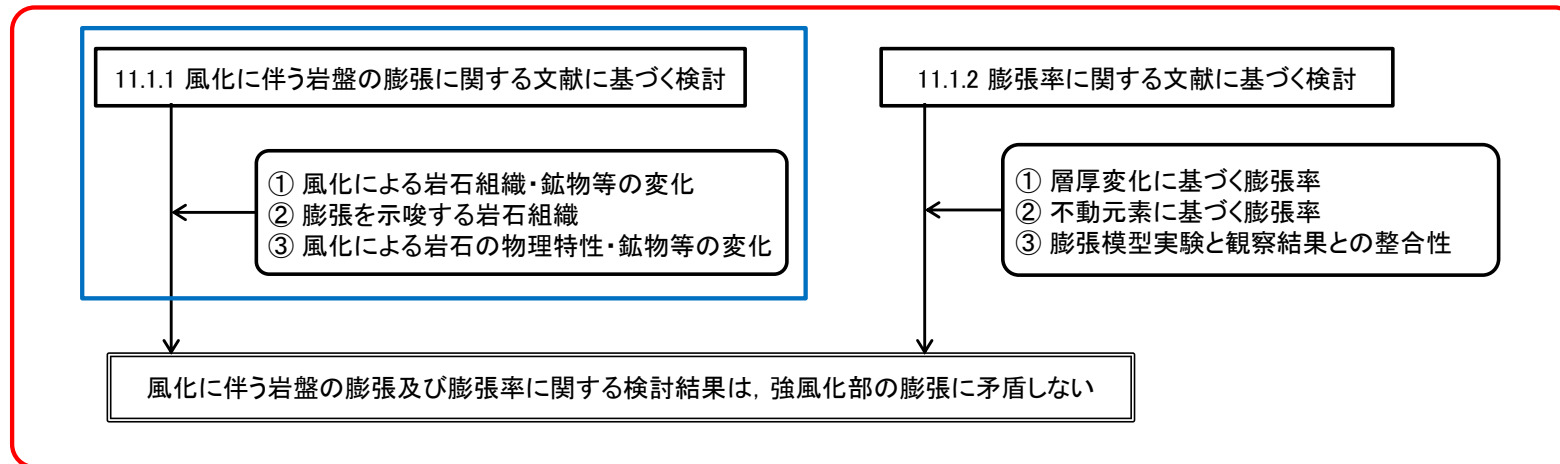
- 変状の形成要因はノンテクトニックな複数の要因(風化に伴う岩盤の膨張, 地震動等)が挙げられ, 一つには特定できないと判断される。
- 強風化部の形成に伴う岩盤の膨張は分析・観察結果と矛盾しないが, 地震動等の影響も否定できない。
- これら複数の要因は, 少なくとも変状弱面等が非構造的のものと判断されること(本編資料P.3-162参照)と矛盾しない。

11.1 風化に伴う岩盤の膨張に関する検討

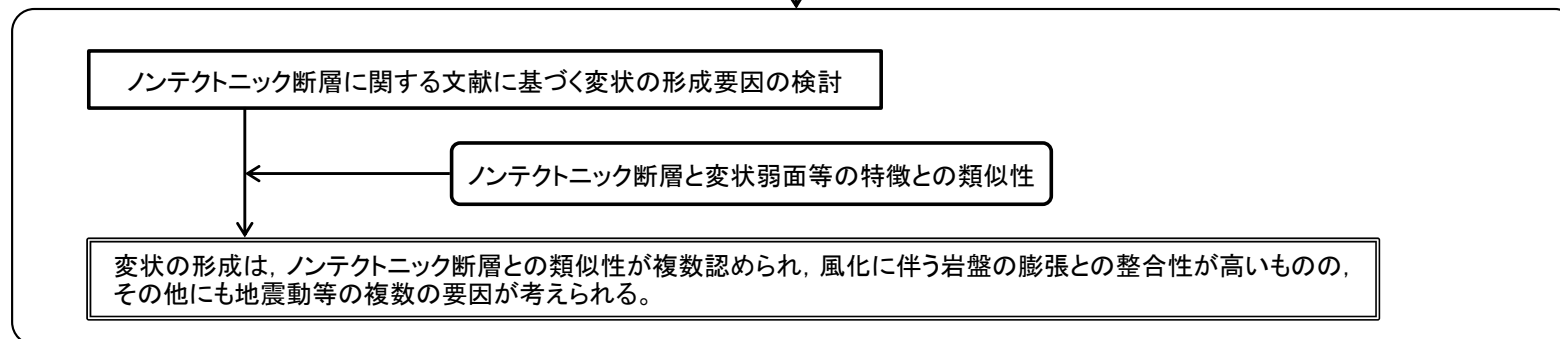
11.1.1 風化に伴う岩盤の膨張に関する文献に基づく検討(1/17)

検討の流れ

11.1 風化に伴う岩盤の膨張に関する検討



11.2 ノンテクトニック断層との類似性に関する検討



変状の形成要因のまとめ

- 変状の形成要因はノンテクトニックな複数の要因(風化に伴う岩盤の膨張, 地震動等)が挙げられ, 一つには特定できないと判断される。
- 強風化部の形成に伴う岩盤の膨張は分析・観察結果と矛盾しないが, 地震動等の影響も否定できない。
- これら複数の要因は, 少なくとも変状弱面等が非構造的なものだと判断されること(本編資料P.3-162参照)と矛盾しない。

11.1.1 風化に伴う岩盤の膨張に関する文献に基づく検討(2/17)

文献の記述と大間地点のデータに基づく検討結果

第804回審査会合
資料1-1 P.4-94 一部修正

検討項目	風化に伴う岩盤の膨張に関する文献の記述	大間地点のデータに基づく膨張の要因の検討結果	参照頁
(a)風化に伴うスメクタイトの形成	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤の風化に伴うスメクタイトの形成について記載した文献は多い(例えば千木良(1988)¹⁵⁾, 前田ほか(2014)¹⁶⁾等)。鳥居ほか(2006)¹⁷⁾及び米田ほか(1999)¹⁸⁾は, 始新世~中新世の凝灰岩中の火山ガラスの風化によってスメクタイトが形成された可能性が高いとしており, 湯佐ほか(1991)¹⁹⁾は880~2800年前のスコリアの火山ガラスの風化により形成されたスメクタイトについて報告している。 岩盤の風化によって形成された膨張性土壌は, スメクタイトの吸水膨張により膨張するとする研究は多い(Chabrilat and Goetz(1999)²⁰⁾, Jones and Jefferson (2012)²¹⁾, Azam et al. (2013)²²⁾など)。 	<ul style="list-style-type: none"> 文献の記載と同様に大間地点の岩石でも風化によって主に火山ガラスからスメクタイトが形成され, 新鮮部より強風化部ではスメクタイトの量が増加している。 強風化部の膨張は風化によって形成されたスメクタイトの吸水膨張によるものと推定される。 	P.11-5, 11-13, 11-14
(b)風化に伴う岩石組織の破壊	<ul style="list-style-type: none"> Fityus and Smith (2004)²³⁾は泥岩を母岩とする膨張性の風化残留土について研究し, 膨張の素因となるスメクタイトのほぼ全ては母岩に元々含まれていたもので, 新たに形成されたものはほとんど無いことを示し, 膨張は岩石組織及び岩石の固結度の物理的な破壊によるものとした。 	<ul style="list-style-type: none"> 岩石薄片の観察結果によると, 弱風化部から強風化部に風化が進む間に軽石の骨格がバラバラに分断され, 岩石組織が破壊されており, 文献と同様に岩石組織の破壊が岩盤の膨張を生じるきっかけとなっている可能性が考えられる。 	P.11-5, 11-16
(c)岩石組織の破壊と吸水膨張との関係	<ul style="list-style-type: none"> Fityus and Smith (2004)²³⁾は, 上記(b)の岩石組織及び岩石の固結度の物理的な破壊による膨張について検討するため, 岩石を粉碎した実験を行い, その結果からもこの様な膨張の要因が支持されるとした。 	<ul style="list-style-type: none"> 大間地点の岩石を粉碎した吸水膨張試験の結果, 風化に伴う岩盤の膨張は, 弱風化部から強風化部への風化の進行による岩石組織の破壊に伴う応力解放及びスメクタイトの吸水膨張によるものと考えられる。 	P.11-17, 11-18

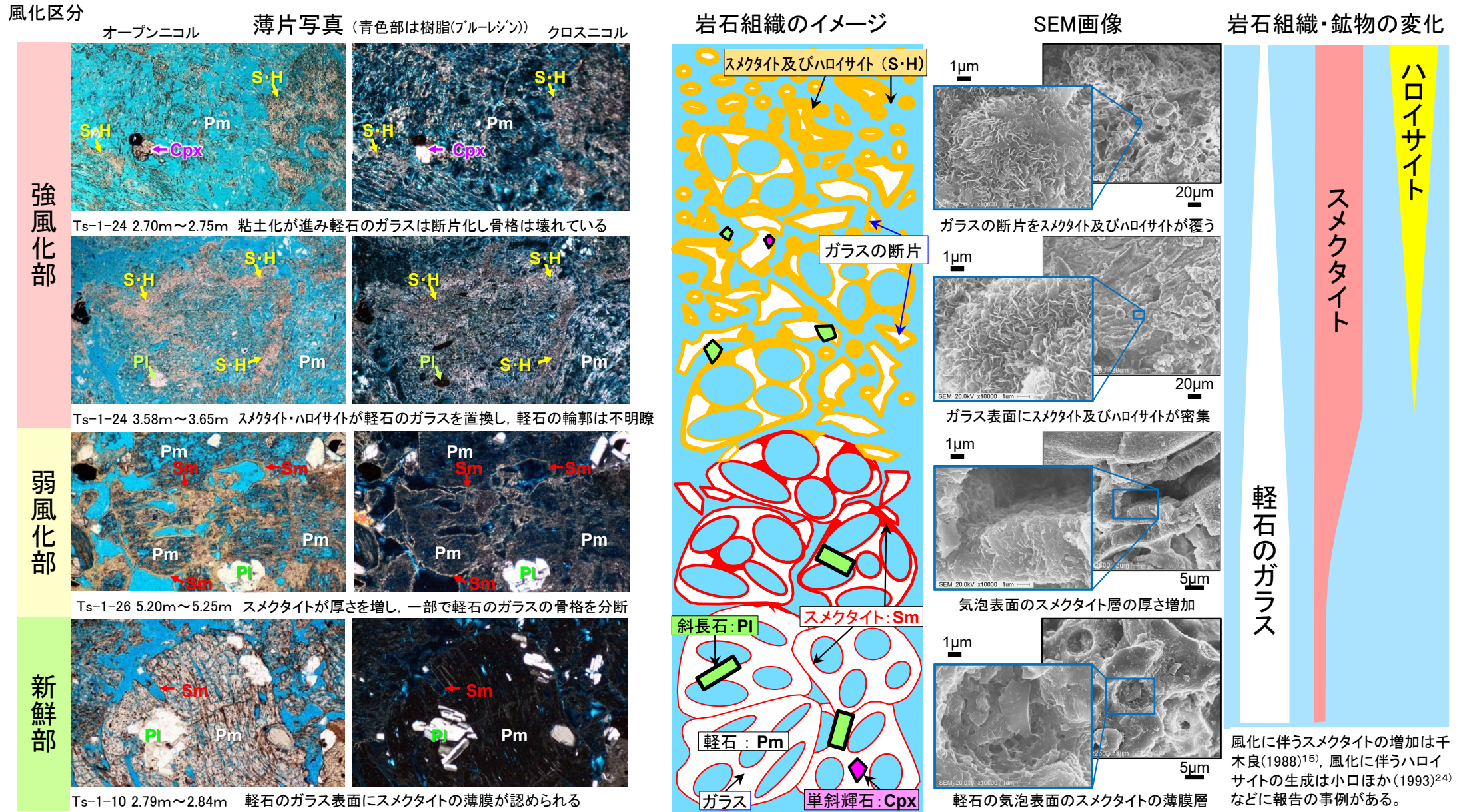
風化に伴う岩盤の膨張に関する文献の記述と大間地点のデータに基づき, 岩盤の膨張の要因について検討した。

- 大間地点の風化に伴う岩盤の膨張は, 風化によって形成されたスメクタイトの吸水膨張及び風化による岩石組織の破壊に伴う応力解放によるものと考えられる。



11.1.1 風化に伴う岩盤の膨張に関する文献に基づく検討(3/17)

①風化による岩石組織・鉱物等の変化〔薄片・SEM観察〕



淡灰色火山礫凝灰岩は主に多孔質な軽石から成り、新鮮部から強風化部にかけて、軽石を構成するガラスの変質が進み、スメクタイトが増加する。弱風化部では軽石のガラスの骨格は保持されているが、強風化部ではガラスの変質が進行し骨格は壊れている。

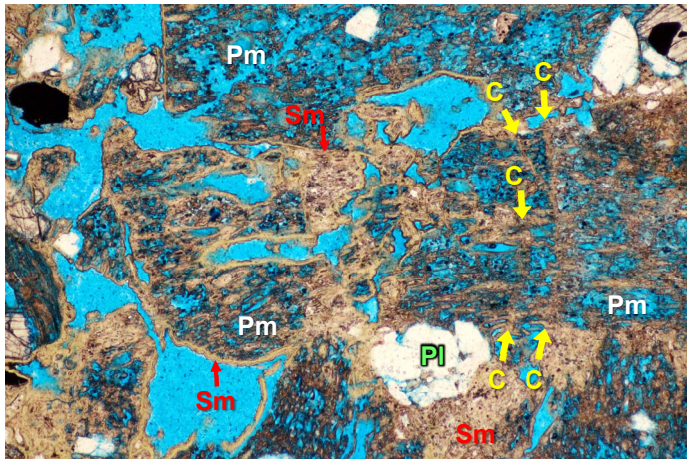
注) 薄片写真の詳細は第615会審査会合資料2-2, P.6-114~P.6-127参照。

11.1.1 風化に伴う岩盤の膨張に関する文献に基づく検討(4/17)

②膨張を示唆する岩石組織(1/6):薄片観察の方針

第615回審査会合
資料2-2 P.6-91一部修正

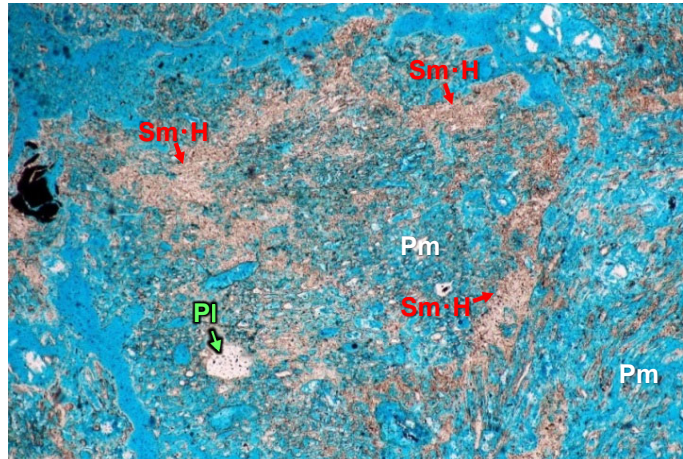
淡灰色火山礫凝灰岩に見られる岩石組織の例(青色部は樹脂(ブルーレジン))



オープンニコル

0 0.5mm

写真1 弱風化部 Ts-1-26 5.20m~5.25m No.26B



オープンニコル

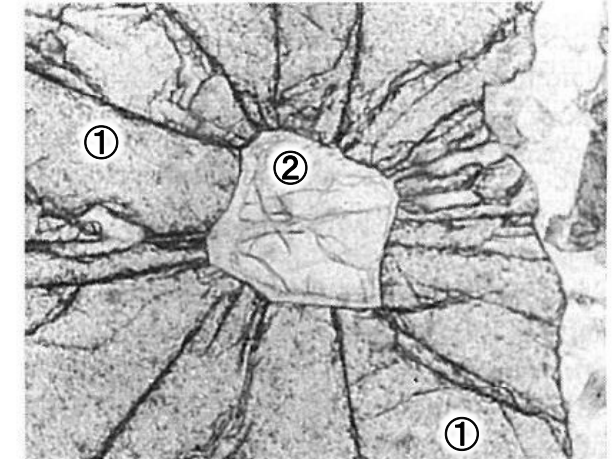
0 0.5mm

写真2 強風化部 Ts-1-24 3.58m~3.65m No.42A

軽石(Pm)及び不規則な割れ目(C)の表面で火山ガラスや斜長石(Pl)が溶解し、スメクタイト(Sm)が生成している。

軽石(Pm)の全体的な粒子形状は保持されているが、割れ目は不明瞭になり、火山ガラスは大部分がスメクタイト・ハロイサイト(Sm·H)に風化変質し、岩石の骨格は分断されている。

膨張によって形成された放射状の割れ目の例
(Wang et al.(1993)²⁵)に加筆)



オープンニコル

0 0.1mm

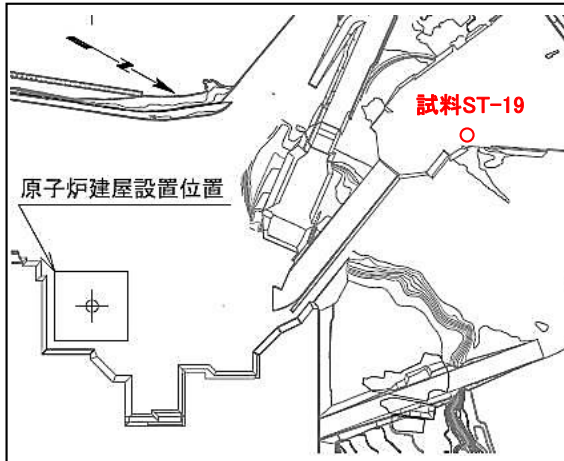
写真3 エクロジャイト中のザクロ石に見られる放射状の割れ目

均質で硬質なザクロ石(①)の内部に閉じ込められていたコーサイト-石英包有物(②)が膨張した結果、ザクロ石中に②を中心とした放射状の割れ目が形成されている。

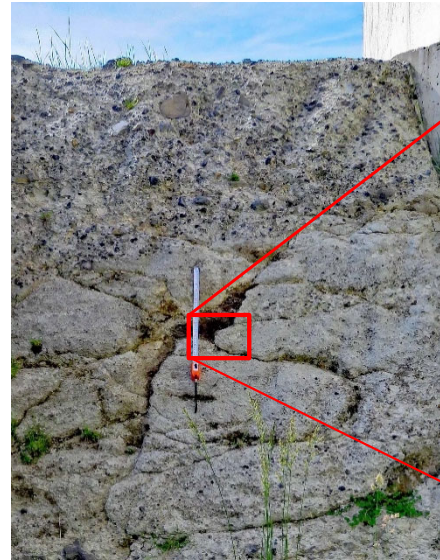
- 変状が認められる易国間層の淡灰色火山礫凝灰岩は、主に多孔質な軽石から成る空隙の多い岩石で、弱風化部(写真1)では軽石の火山ガラスに不規則な割れ目(C)が認められ、風化により火山ガラスの表面及び割れ目沿いにスメクタイトが生成しており、強風化部(写真2)では割れ目は不明瞭になり、火山ガラスは大部分がスメクタイト・ハロイサイトに風化変質している。
- 風化に伴う岩石の膨張は、主に弱風化部が強風化部に変化する際に生じると考えられるが(P.11-18参照)、膨張を示唆する岩石組織は、その後の風化の進行によって強風化部では不明瞭になっていると考えられることから、弱風化部を薄片観察の対象とする。
- 風化は軽石を構成する火山ガラス等の表面から進行し、鉱物内部の包有物に膨張が生じた事例とは異なるため、写真3のような放射状の割れ目が風化によるスメクタイトの生成に伴って形成されることは考え難いものの、軽石中の鉱物とその周囲の火山ガラスの割れ目の分布・性状に注目し、薄片観察により、写真3に示すような膨張を示唆する岩石組織の有無について検討を行う。

11.1.1 風化に伴う岩盤の膨張に関する文献に基づく検討(5/17)

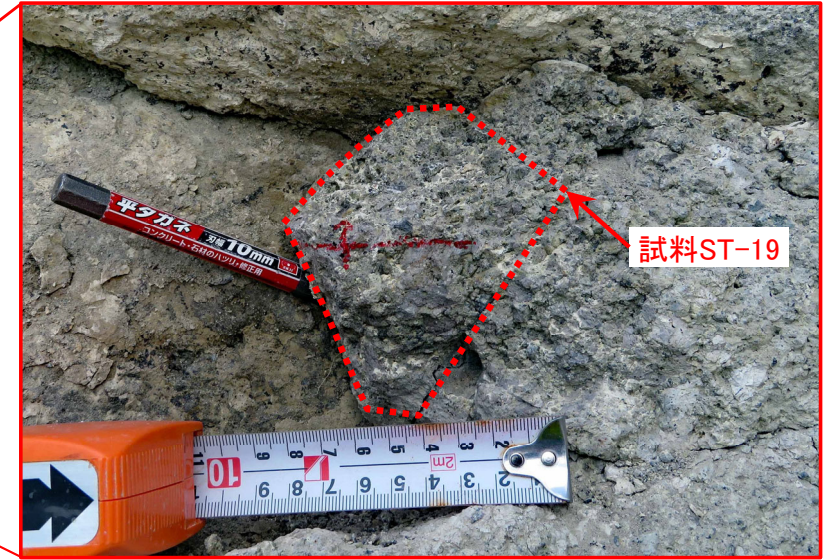
②膨張を示唆する岩石組織(2/6):薄片観察試料(ST-19)



試料採取位置図 0 100m



試料採取位置写真



試料採取箇所写真



0 2cm

試料ST-19を樹脂で固化し、鉛直方向に切断して薄片A(ST-19-V)を作製。

薄片A(ST-19-V)作製断面写真



0 2cm

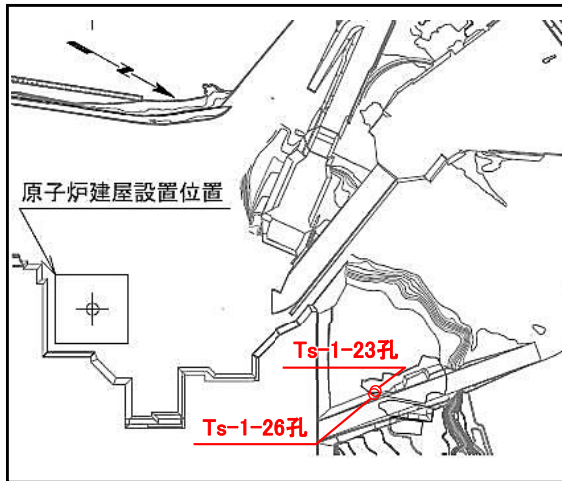
試料ST-19を樹脂で固化し、水平方向に切断して薄片B(ST-19-H)を作製。

薄片B(ST-19-H)作製断面写真

膨張を示唆する岩石組織について検討するため、淡灰色火山礫凝灰岩の割れ目付近の弱風化部から試料(ST-19)を採取し、鉛直方向の切断面から薄片Aを、水平方向の切断面から薄片Bを作製した。

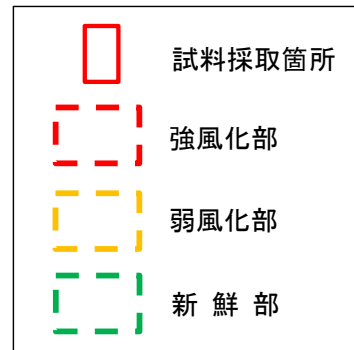
11.1.1 風化に伴う岩盤の膨張に関する文献に基づく検討(6/17)

②膨張を示唆する岩石組織(3/6):薄片観察試料(Ts-1-23孔及びTs-1-26孔)

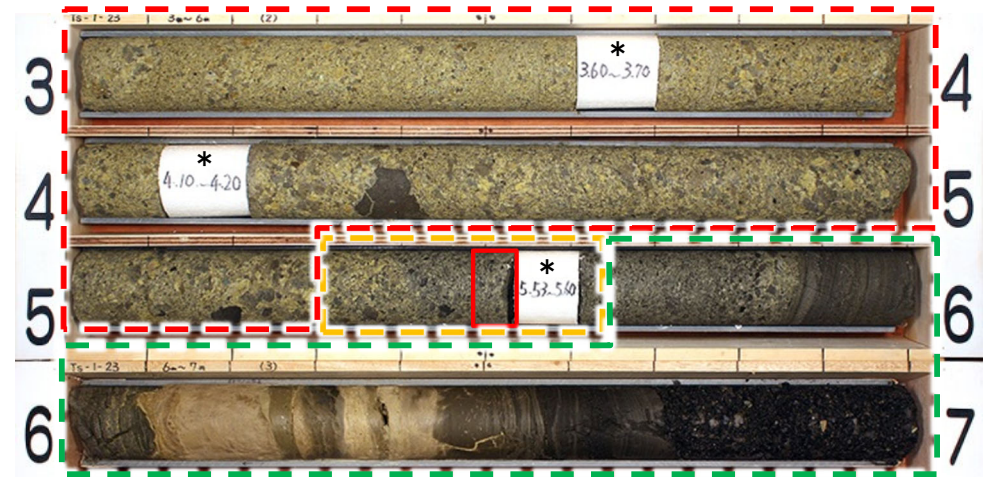


試料採取位置図 0 100m

凡例

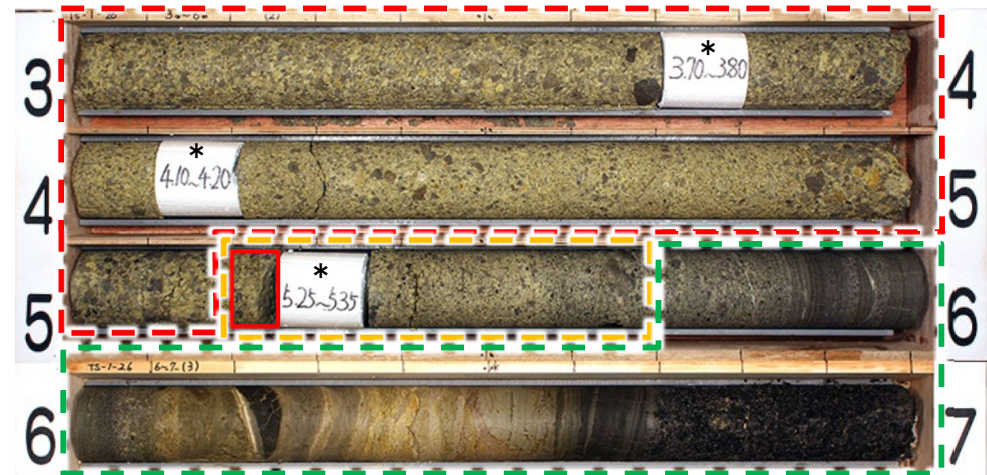


Ts-1-23孔(3m~7m区間)



薄片C試料採取深度写真(深度5.48m-5.53m)

Ts-1-26孔(3m~7m区間)



薄片D試料採取深度写真(深度5.20m-5.25m)

膨張を示唆する岩石組織について検討するため、淡灰色火山礫凝灰岩の弱風化部の試料を採取し、Ts-1-23孔から薄片Cを、Ts-1-26孔から薄片Dを作製した。

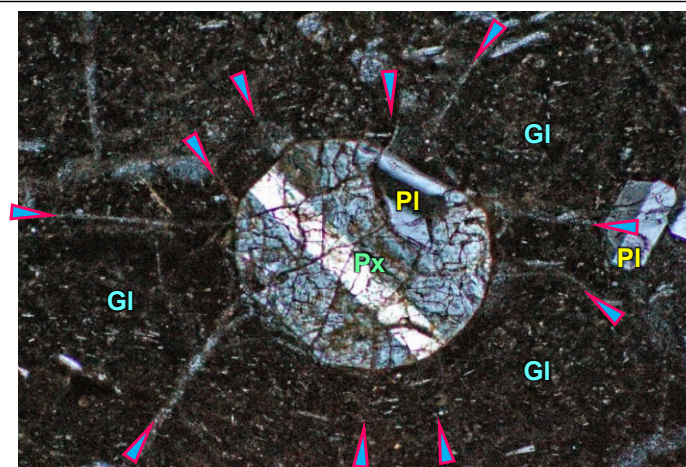
* : 試験・分析用資料採取区間

11.1.1 風化に伴う岩盤の膨張に関する文献に基づく検討(7/17)

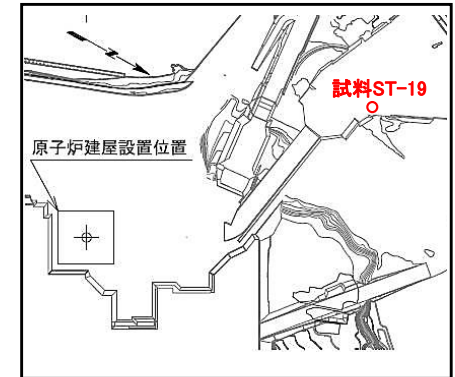
②膨張を示唆する岩石組織(4/6):輝石の斑晶とその周囲の火山ガラス:薄片A及びB

薄片A
(ST-19-V)

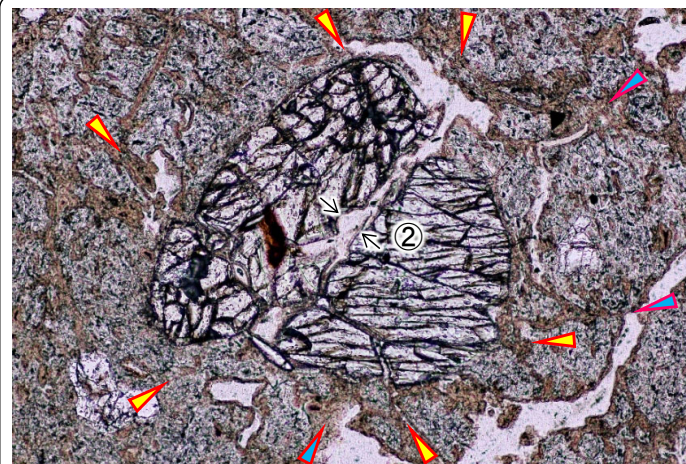
オープンニコル



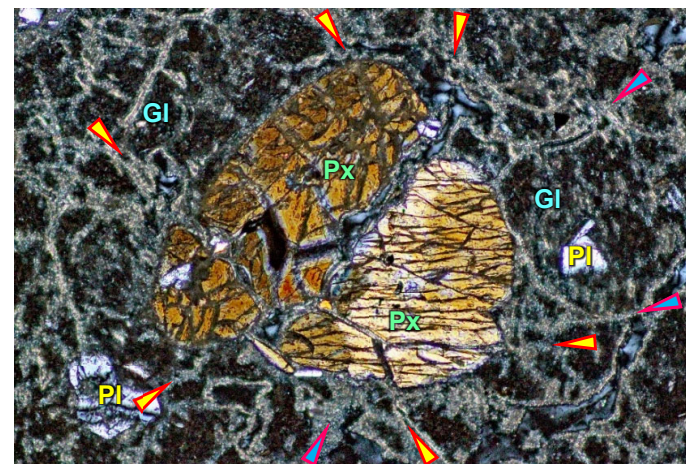
クロスニコル 0 0.2mm



試料採取位置図 0 100m

薄片B
(ST-19-H)

オープンニコル



クロスニコル 0 0.5mm

凡例	
Px	輝石
Pl	斜長石
Gl	火山ガラス
◀▶	スメクタイトを伴う 火山ガラスの割れ目
▶▶	スメクタイトを伴う 火山ガラスから輝石 の中に連続する割れ目

注) Delvigne (1998)²⁶⁾は風化に伴って鉱物に割れ目が形成されることによって体積膨張が生じるとしている。

淡灰色火山礫凝灰岩の弱風化部の試料(ST-19)から薄片A及び薄片Bの2枚を作製し、薄片Bでは薄片Aよりやや風化の進んだ箇所での膨張を示唆する岩石組織の観察を行った。

- 薄片Aでは、淡灰色火山礫凝灰岩を構成する軽石中の輝石の斑晶にスメクタイトを伴わない割れ目が認められる。輝石の周囲の火山ガラスには輝石を中心とした放射状の割れ目が形成されており、割れ目にはスメクタイトが生成している(最大幅①は約0.008mm以下)。この岩石組織はP.11-6の岩石組織(写真3)に類似し、スメクタイトの生成に伴って形成されたものではないが、割れ目の形成による膨張を示唆する可能性がある。
- 薄片Bでは、輝石の周囲の火山ガラスに風化によるスメクタイトを伴う網目状の割れ目が形成されており、それらの一部は火山ガラスから輝石の中に連続し、輝石の内部にもスメクタイトが生成している。スメクタイトを伴う割れ目②の最大幅は約0.05mmで、薄片A①に比べて大きく、スメクタイトを伴う割れ目の形成による膨張を示唆する可能性がある。

以上のことから、薄片観察ではこれらの割れ目が風化前からあったものか、風化により形成され幅が拡大したものかの判別はできないが、これらの岩石組織は、風化に伴う割れ目及びスメクタイトの生成による膨張を示唆する可能性がある。

11.1.1 風化に伴う岩盤の膨張に関する文献に基づく検討(8/17)

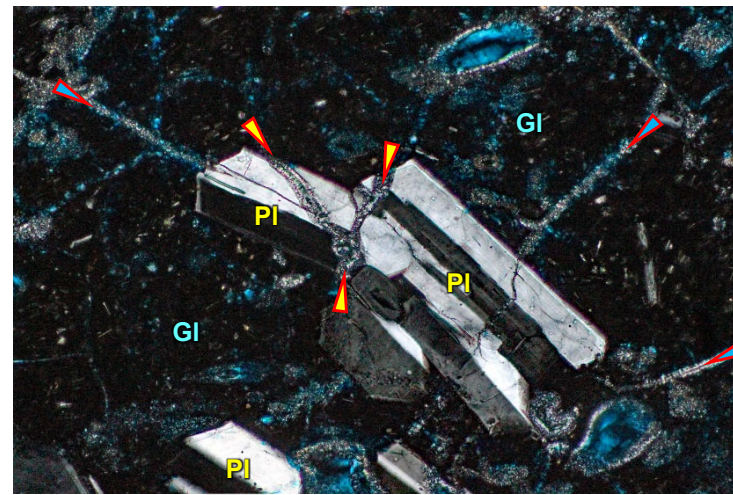
②膨張を示唆する岩石組織(5/6) : 斜長石の斑晶とその周囲の火山ガラス : 薄片C及びD



薄片C

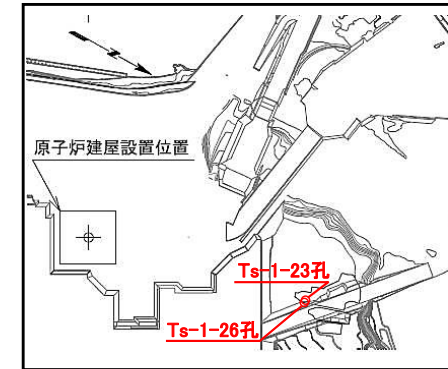
(Ts-1-23孔,
深度5.48-5.53m)

オープンニコル

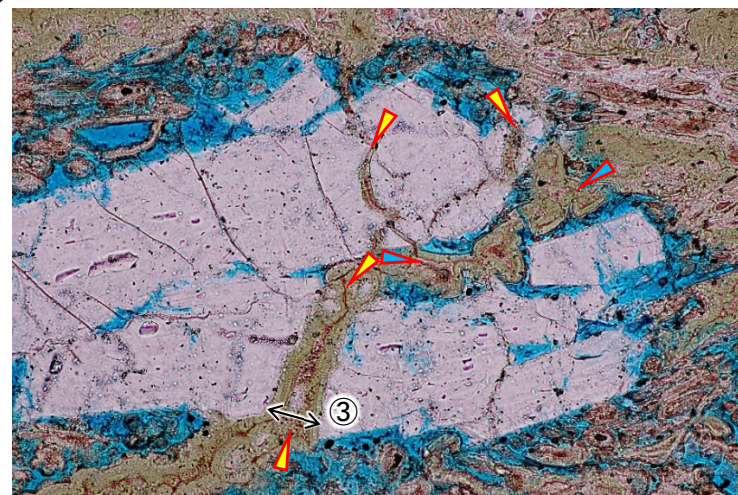


クロスニコル

0 0.2mm



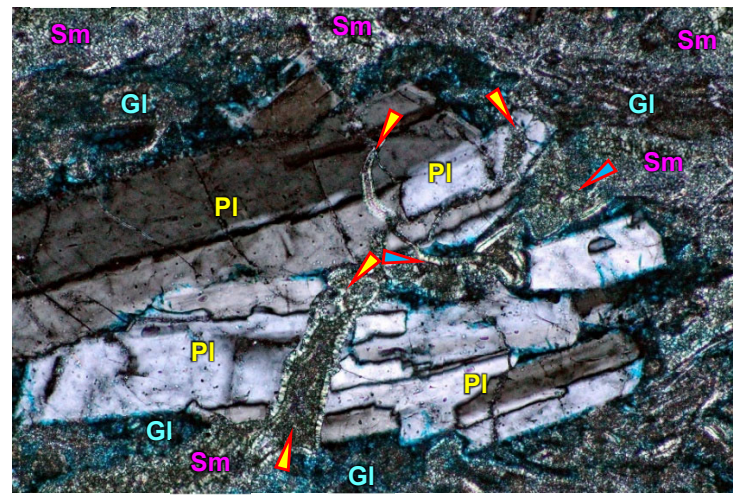
試料採取位置図 0 100m



薄片D

(Ts-1-26孔,
深度5.20-5.25m)

オープンニコル



クロスニコル

0 0.2mm

凡例	
PI	斜長石
GI	火山ガラス
Sm	スメクタイト
	スメクタイトを伴う 火山ガラスの割れ目
	スメクタイトを伴う 斜長石の割れ目

注) 青色部は樹脂(ブルーレジン)。

淡灰色火山礫凝灰岩の弱風化部の2孔のコア試料から薄片C及びやや風化の進んだ薄片Dの2枚を作製し、膨張を示唆する岩石組織の薄片観察を行った。

- 薄片Cでは、僅かに風化した軽石の中に斜長石の斑晶があり、斜長石及びその周囲の火山ガラスには風化によるスメクタイトを伴う割れ目(①:最大幅約0.01mm)が形成されている。*印で示した割れ目では斜長石の斑晶の外形にズレ(②)が認められ、スメクタイトを伴う割れ目の幅の拡大による膨張を示唆する可能性がある。
 - 薄片Dでは、斜長石の斑晶の風化によるスメクタイトを伴う割れ目(③)の最大幅は約0.04mm(薄片C①の約4倍)で、スメクタイトを伴う割れ目の幅の拡大による膨張を示唆する可能性がある。
- 以上のことから、薄片観察ではこれらの割れ目が風化前からあったものか、風化により形成され幅が拡大したものかの判別はできないが、これらの岩石組織は、風化に伴う割れ目及びスメクタイトの生成による膨張を示唆する可能性がある。

11.1.1 風化に伴う岩盤の膨張に関する文献に基づく検討(9/17)

②膨張を示唆する岩石組織(6/6):まとめ

淡灰色火山礫凝灰岩の弱風化部の薄片観察の結果、以下のような風化に伴う膨張を示唆する可能性がある岩石組織が認められた。

【輝石の斑晶とその周囲の火山ガラスの割れ目】

- 軽石中の輝石の斑晶に割れ目が認められ、周囲の火山ガラスには輝石を中心とした放射状の割れ目*が形成されている(*:Wang et al.(1993)²⁵⁾に示された放射状の割れ目の形状と類似)。
- やや風化の進んだ薄片では、火山ガラスに風化によるスメクタイトを伴う網目状の割れ目が認められ、割れ目の幅は風化の少ない部分に比べて大きく、一部は輝石の斑晶の中に連続している。

【斜長石の斑晶とその周囲の火山ガラスの割れ目】

- 軽石中の斜長石の斑晶及びその周囲の火山ガラスに風化によるスメクタイトを伴う割れ目が形成されている。
- やや風化の進んだ薄片では、スメクタイトを伴う割れ目の幅が大きく、一部の割れ目では斜長石の結晶の外形にズレが認められる。

以上のことから、薄片観察ではこれらの割れ目が風化前からあったものか、風化により形成され幅が拡大したものかの判別はできないが、これらの岩石組織は、風化に伴う割れ目及びスメクタイトの生成による膨張を示唆する可能性がある。

11.1.1 風化に伴う岩盤の膨張に関する文献に基づく検討(10/17)

③風化による岩石の物理特性・鉱物等の変化(1/7): 試料採取位置(Ts-1トレンチ付近)

第804回審査会合
資料1-2 P.111 一部修正

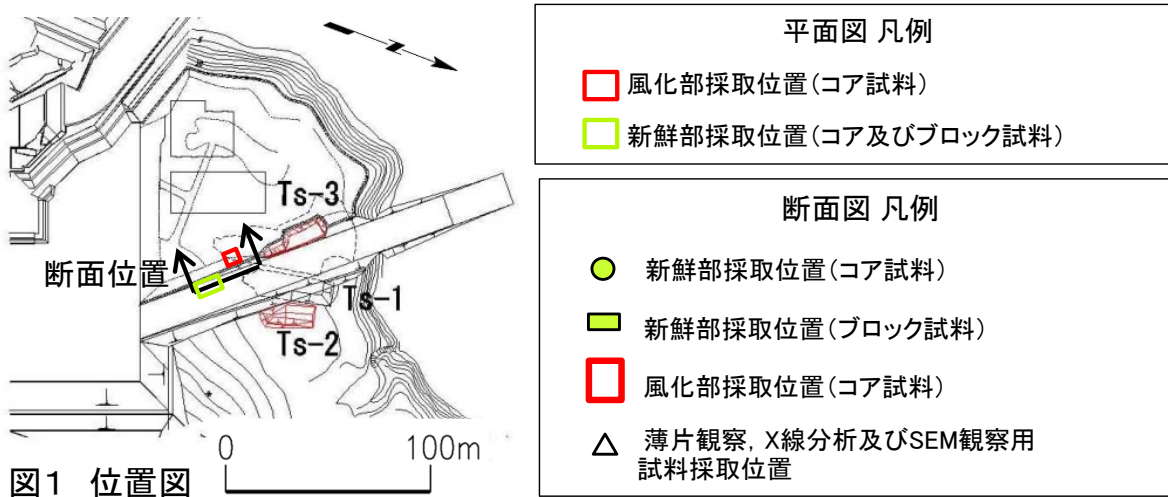


図1 位置図

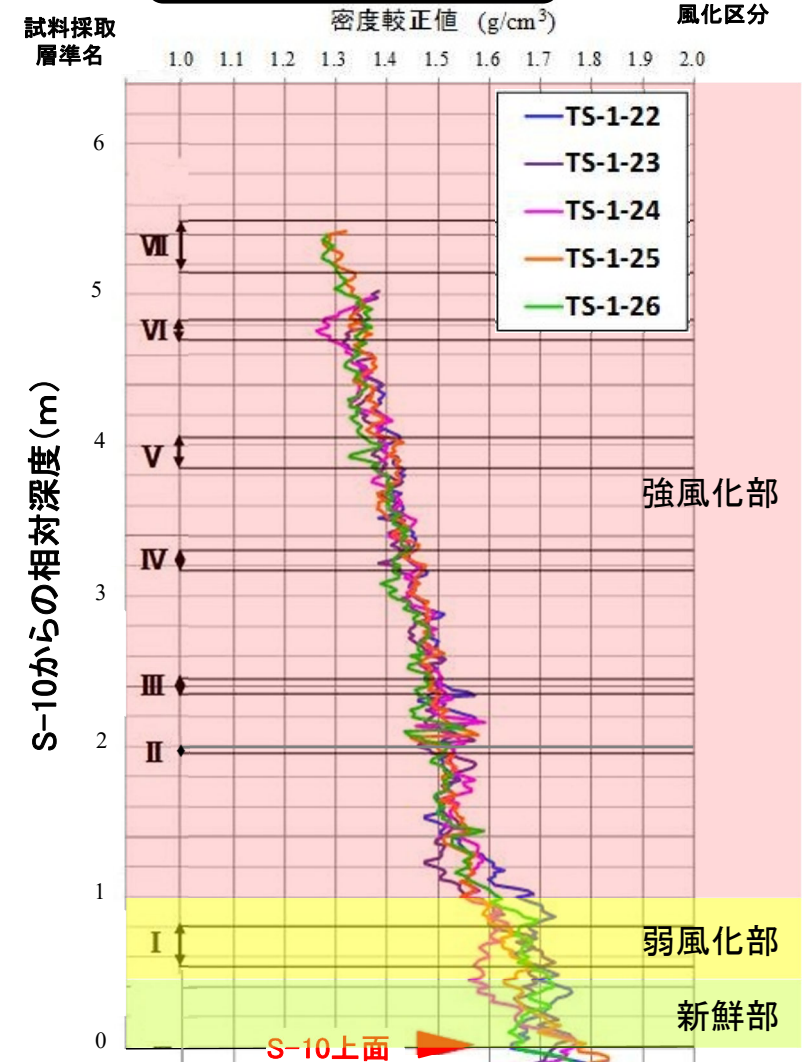


図3 密度検層結果

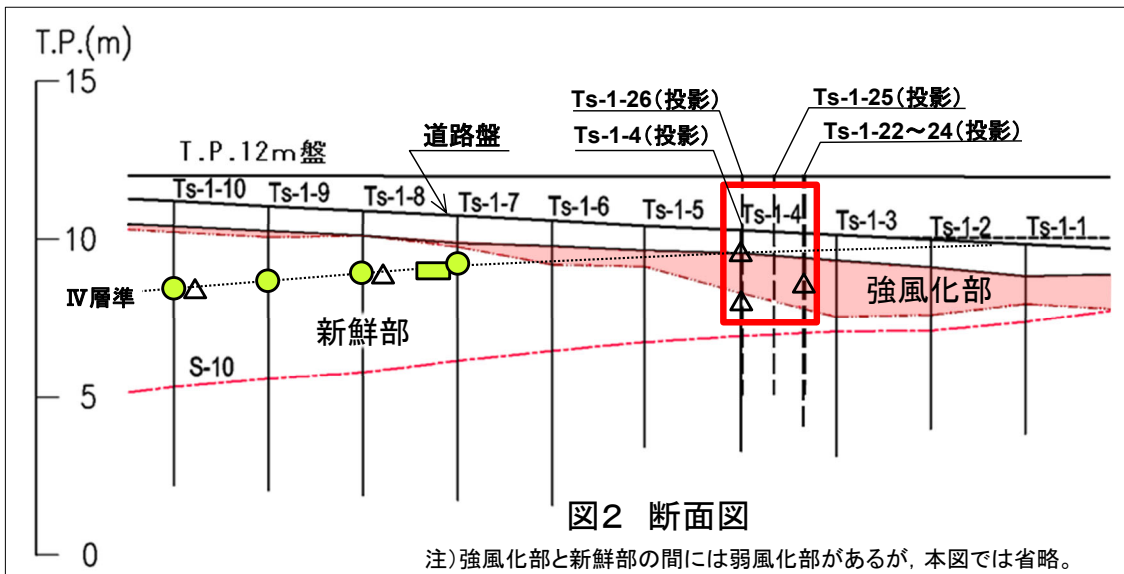


図2 断面図

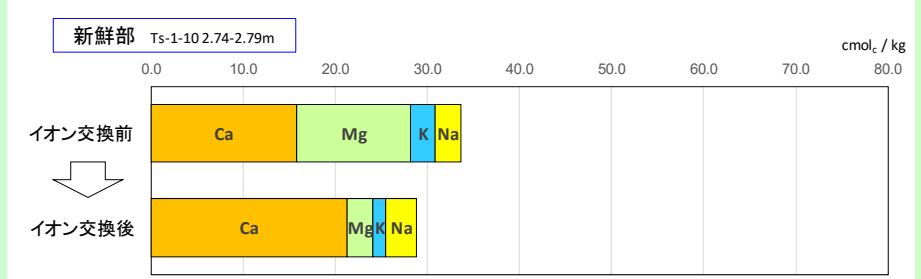
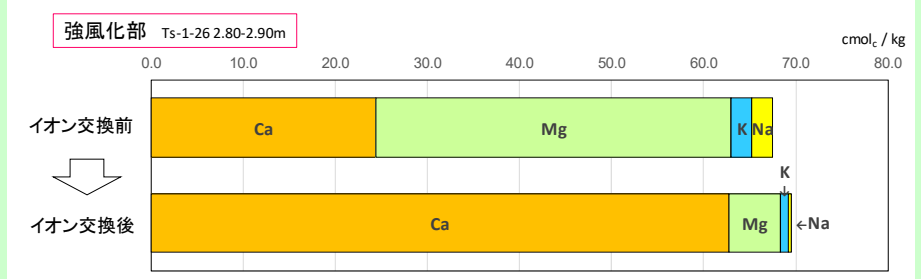
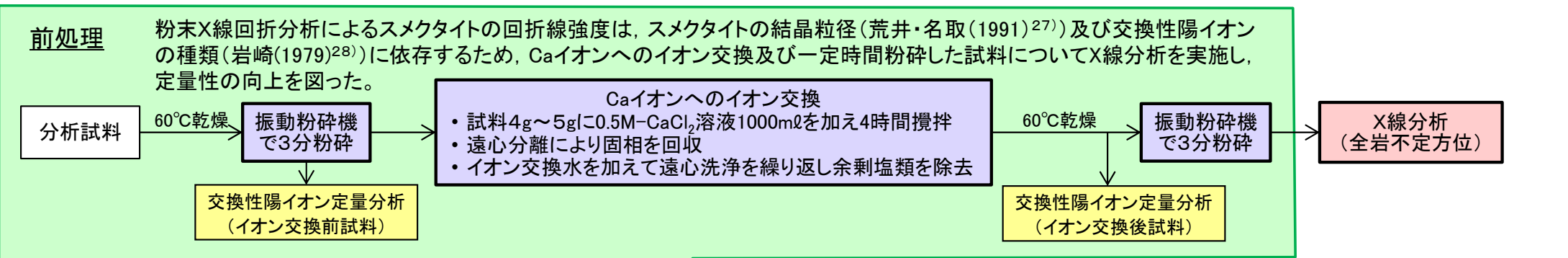
注)強風化部と新鮮部の間には弱風化部があるが、本図では省略。

- 風化に伴う岩盤の膨張に関する検討のため、変状が認められたTs-1トレンチ付近から、シームS-10上盤の淡灰色火山礫凝灰岩の新鮮部(9試料)、弱風化部(5試料)及び強風化部(28試料)を採取した(図1, 2)。
- 風化部については、シームS-10上面を基点として下位から風化程度に応じてI~VIIの層準(I層準:弱風化部, II~VII層準:強風化部)を設定してコア試料を採取した(図3)。新鮮部の試料はIV層準を代表としてコア試料及びブロック試料を採取した(図2)。

11.1.1 風化に伴う岩盤の膨張に関する文献に基づく検討(11/17)

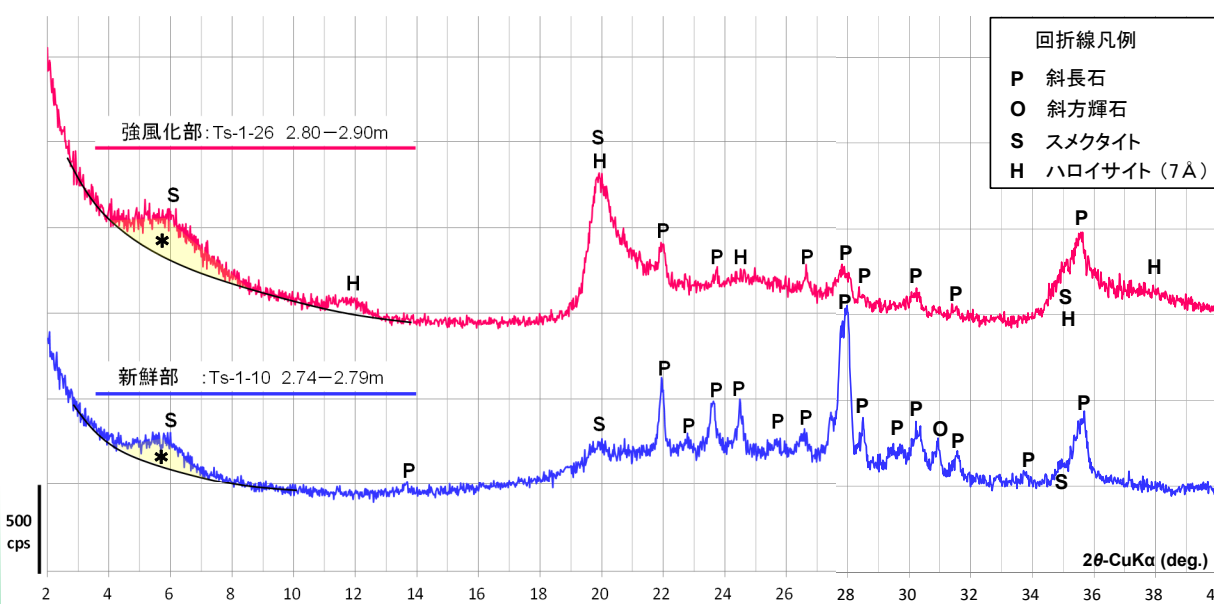


③風化による岩石の物理特性・鉱物等の変化(2/7): X線分析(不定方位)



Caイオンへのイオン交換の確認
(交換性陽イオン定量分析結果)

セミクロショーレンベルガー法:
1N-酢酸アンモニウム溶液による置換後、
原子吸光光度計で陽イオンを定量



X線回折チャート(イオン交換・一定時間粉碎後)

注) 各風化区分のX線回折チャートはP.11-14参照。

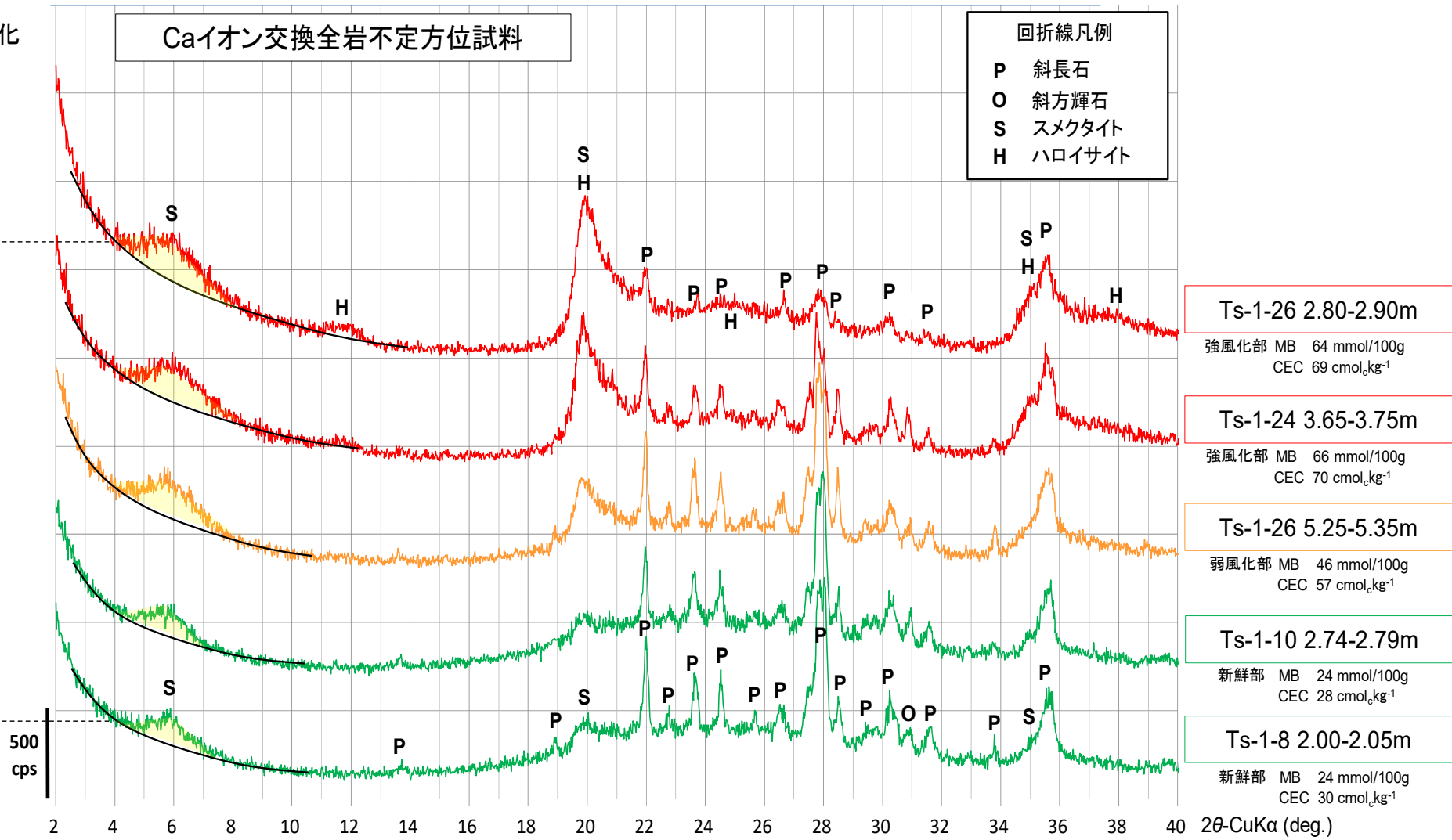
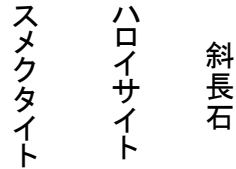
- ・淡灰色火山礫凝灰岩を対象に、スメクタイトの定量性向上の前処理(Caイオンへのイオン交換及び一定時間粉碎)を行い、X線分析を実施した。
- ・新鮮部ではスメクタイトと斜長石が、強風化部ではスメクタイト、ハロイサイト、斜長石(回折線強度は新鮮部より大幅に低下)が検出される。
- ・強風化部のスメクタイトの回折線強度(ピーク面積*)は、新鮮部の2倍程度となっている。風化に伴うスメクタイトの結晶度の低下により、X線分析による新鮮部と強風化部でのスメクタイト含有量の定量的な比較は困難であるが、この結果は、薄片及びSEMによる観察結果(P.11-5参照)と整合的で、新鮮部から強風化部にかけてスメクタイトが増加しているものと考えられる。



11.1.1 風化に伴う岩盤の膨張に関する文献に基づく検討(12/17)

③風化による岩石の物理特性・鉱物等の変化(3/7):X線回折チャート(Ts-1トレンチ付近)

風化による鉱物の変化



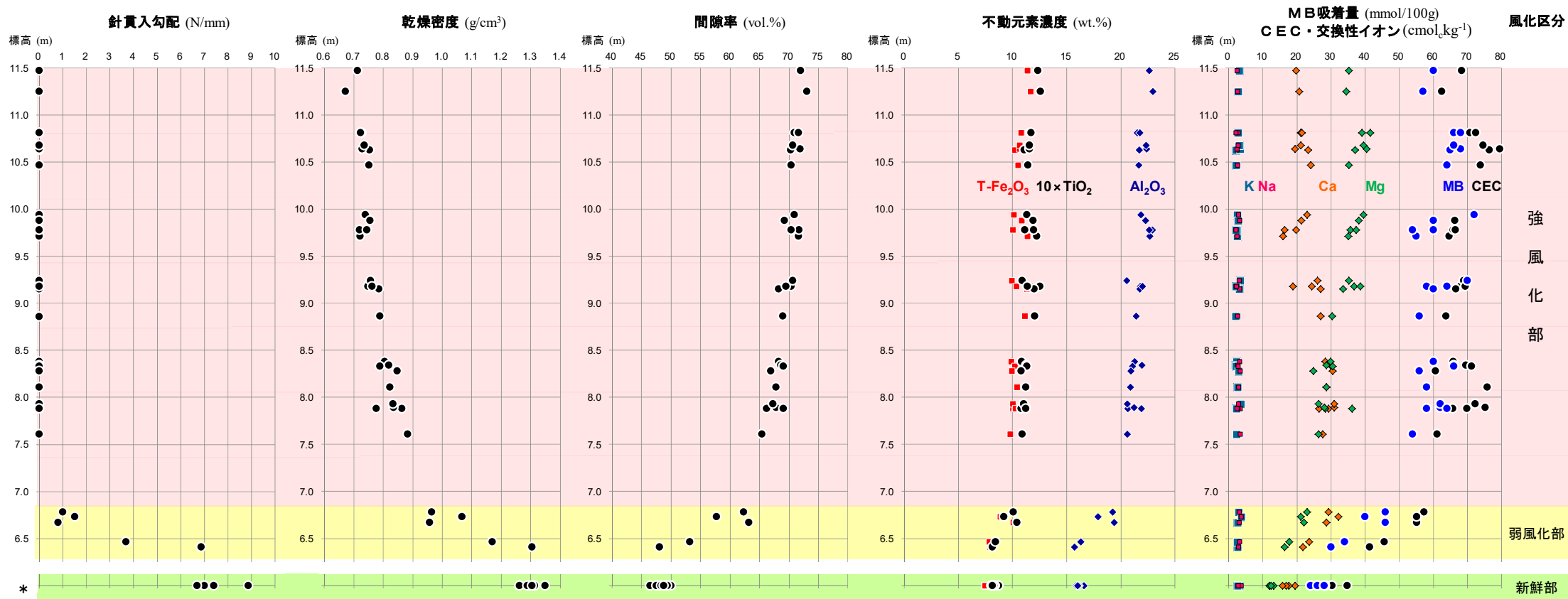
- スメクタイトの底面反射の強度は、新鮮部から強風化部にかけて増加する。
- ハロイサイトの底面反射は強風化部で出現し、その強度は浅部に向かって増加する。
- 斜長石の回折線の強度は風化に伴って低下し、溶解傾向にある。

11.1.1 風化に伴う岩盤の膨張に関する文献に基づく検討(13/17)

第804回審査会合
資料1-2 P.113 再掲

③風化による岩石の物理特性・鉱物等の変化(4/7):

針貫入勾配, 乾燥密度, 間隙率, MB, CEC(Ts-1トレンチ付近)



*: 新鮮部試料の採取位置・標高はP.11-12の断面図参照。

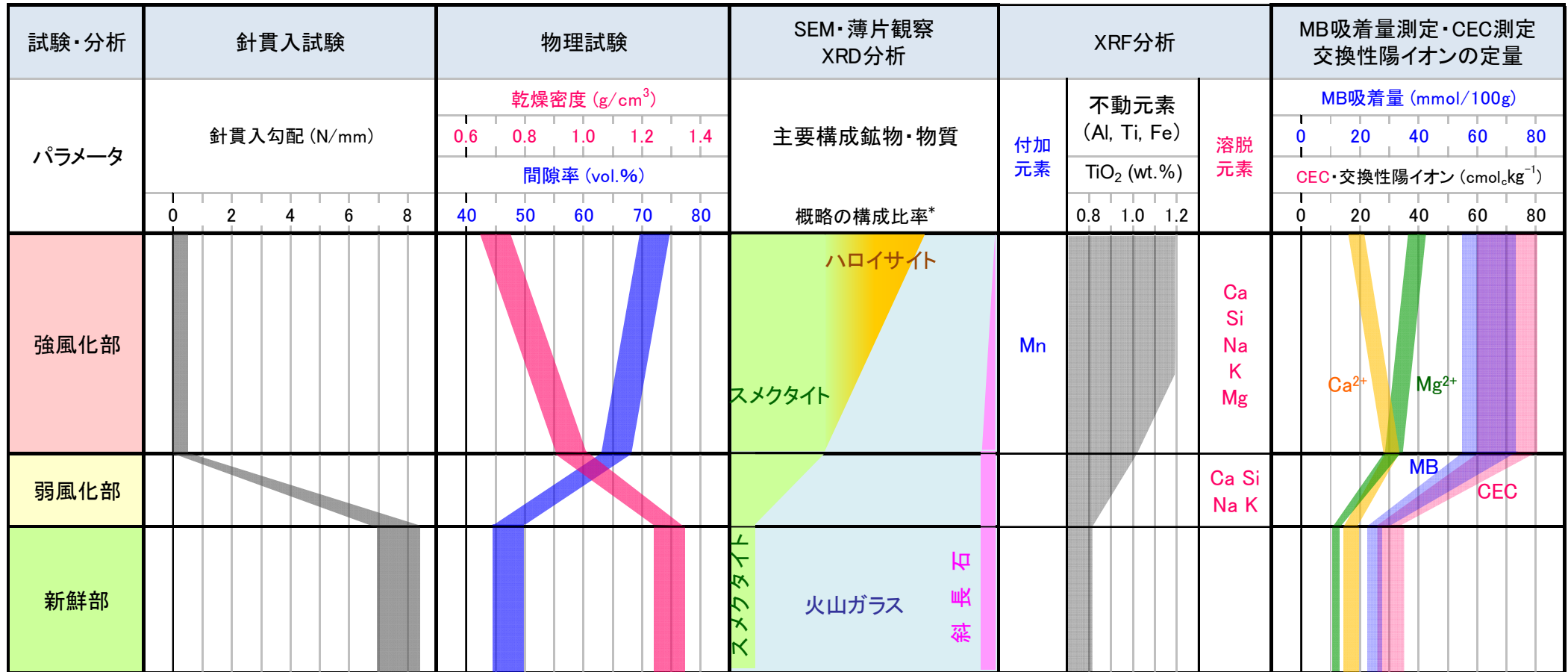
注) 全岩化学分析結果はP.11-28, 密度試験はP.11-29参照。

- 針貫入勾配は新鮮部から強風化部下部にかけて低下し, 強風化部でほぼ0 N/mmとなり, 岩石はほとんど強度を失っている。
- 新鮮部から強風化部上部にかけて, 乾燥密度は減少し, 間隙率は増加する。
- 不動元素濃度は, 新鮮部から強風化部下部にかけて増加するが, 強風化部中での変化は少ない。
- MB(メチレンブルー)吸着量及びCEC(陽イオン交換容量)は, 新鮮部から強風化部下部にかけて増加するが, 強風化部中では変化しない。スメクタイトの交換性陽イオンは, Ca型からMg型へ変化する。



11.1.1 風化に伴う岩盤の膨張に関する文献に基づく検討(14/17)

③風化による岩石の物理特性・鉱物等の変化(5/7):試験・分析結果のまとめ(概念図)



注) 試験・分析結果の詳細はP.11-12, 11-14, 11-15, P.11-25~P.11-29参照。

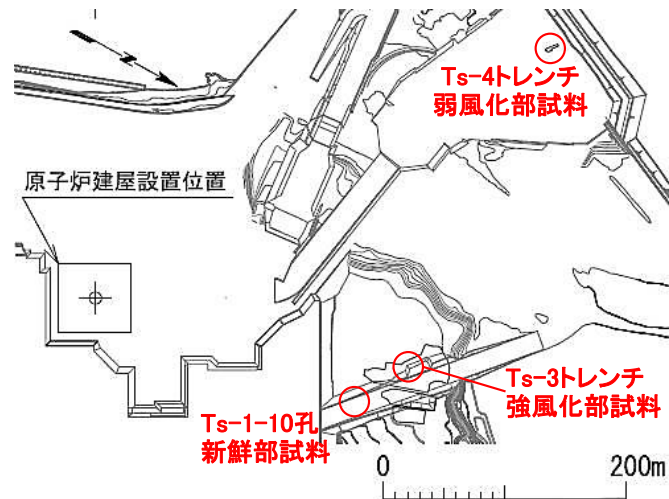
* スメクタイトとハロイサイトの構成比率は、MB吸着量・CECが主にスメクタイトに依存することから推定。

- 弱風化部では、XRDによるスメクタイトの回折線強度・MB吸着量・CECが増加し、ガラスのスメクタイトへの変質が進みスメクタイトが増加する。ガラスの一部は溶解してCa・Si・Na・Kが溶脱し、乾燥密度が低下し、間隙率は増大するが、軽石のガラスの骨格は保持されている。
- 強風化部ではXRDのハロイサイトの回折線強度が増加し、ハロイサイトの構造水によって強熱減量(LOI)が増加する。Caの溶脱が顕著となり、斜長石はほぼ溶解する。乾燥密度の低下と間隙率の増大が進行し、軽石のガラスの溶解も進行し、骨格は壊れ岩石はほとんど強度を失っている。

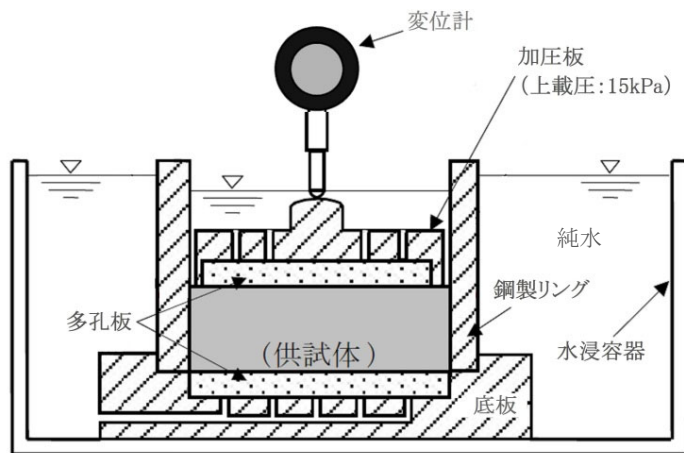


11.1.1 風化に伴う岩盤の膨張に関する文献に基づく検討(15/17)

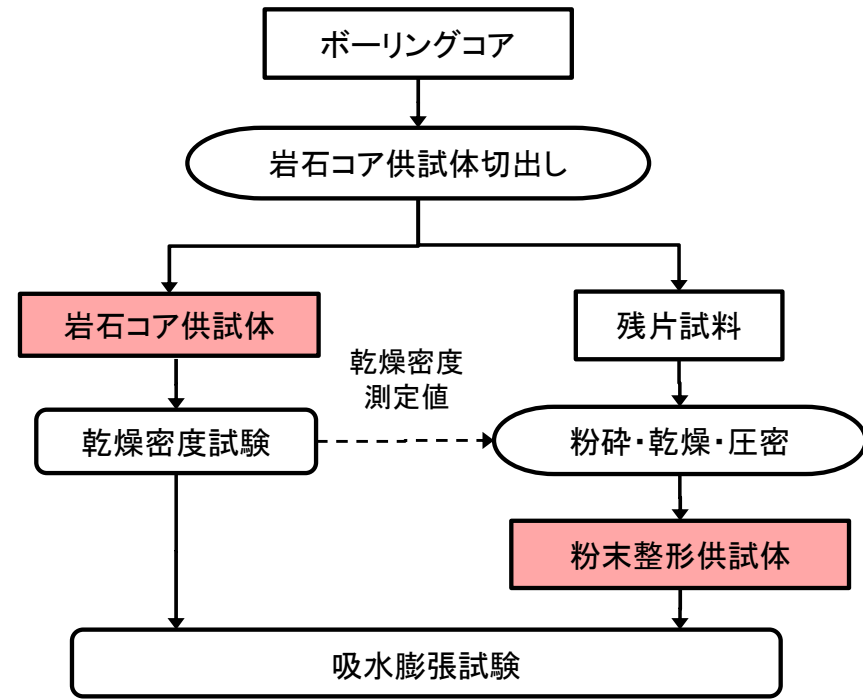
③風化による岩石の物理特性・鉱物等の変化(6/7)：吸水膨張試験(1/2)：試験方法



試料採取位置図



吸水膨張試験装置



- ・乾燥は60°Cで24時間
- ・粉砕は100メッシュ(0.149mm)以下とした

供試体作成～試験実施フロー

淡灰色火山礫凝灰岩の新鮮部、弱風化部及び強風化部の吸水膨張特性の違いを把握するため、岩石コア供試体及び粉末整形供試体(岩石コアを粉末にした後に岩石コア供試体と同程度の乾燥密度に締固めた供試体)の吸水膨張試験を実施した。

11.1.1 風化に伴う岩盤の膨張に関する文献に基づく検討(16/17)

③風化による岩石の物理特性・鉱物等の変化(7/7)：吸水膨張試験(2/2)：試験結果

吸水膨張試験結果

風化性状	岩石薄片・SEM観察・X線分析結果		試料採取位置	供試体	乾燥密度 g/cm ³	吸水膨張率* %	吸水膨張率 の変化
	軽石のガラス	スメクタイト					
強風化部		骨格は壊れている	風化によりスメクタイトが増加している	Ts-3トレンチ	岩石コア	0.87	③ ほぼ変化なし
					粉末整形	0.86	
弱風化部		骨格は保持されている	続成作用で形成されたスメクタイトが含まれている	Ts-4トレンチ	岩石コア	1.25	② 顕著に増加
					粉末整形	1.22	
新鮮部		骨格は保持されている	続成作用で形成されたスメクタイトが含まれている	Ts-1-10孔 深度3.25~3.63m	岩石コア	1.23	① 増加
					粉末整形	1.22	

* 吸水膨張率は変位量がほぼ安定した吸水開始7日後の値。

- 新鮮部及び弱風化部の岩石コア供試体は吸水膨張をほとんど生じないが、粉末整形供試体は吸水膨張を生じ、粉砕の有無による明瞭な差が認められる(①, ②)。一方、強風化部の供試体ではこのような差は認められない(③)。
- 風化による膨張率の違いは、岩石薄片、SEM観察及びX線分析の結果と合わせて以下のように説明され、淡灰色火山礫凝灰岩の強風化部の形成時に膨張が生じたことを示唆する。

【新鮮部・弱風化部】

岩石コア供試体ではガラスから成る岩石の骨格が強固で吸水膨張は生じないが、粉砕により骨格が壊されたため応力が解放され吸水膨張が生じたものと考えられる。

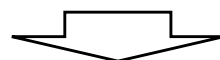
【強風化部】

風化により岩石の骨格が壊されて膨張が生じた後であるため、粉砕しても吸水膨張率は変化しないものと考えられる。

11.1.1 風化に伴う岩盤の膨張に関する文献に基づく検討(17/17)

風化に伴う岩盤の膨張に関するまとめ

- 風化に伴う岩盤の膨張に関する文献に基づく検討の結果, 強風化部の膨張は, 風化に伴って形成されたスメクタイトの吸水膨張及び岩石組織の破壊に伴う応力解放によるものである可能性がある。
- 大間地点の風化による岩石組織, 鉱物, 物理特性の変化等は, 淡灰色火山礫凝灰岩の強風化部の形成時に膨張が生じたことを示唆する。

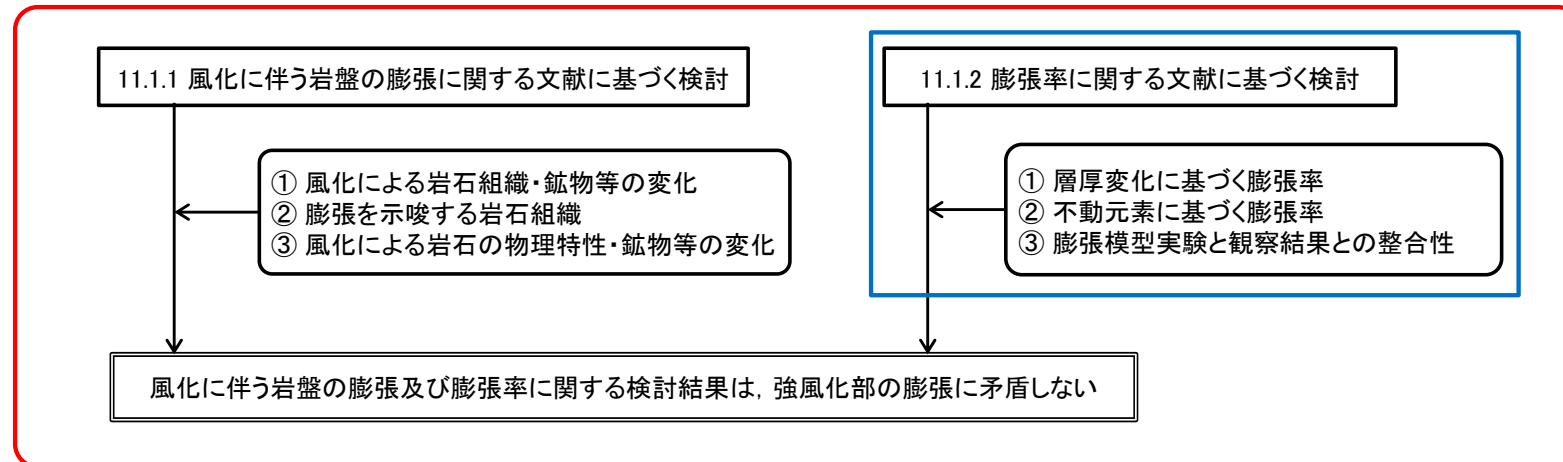


風化に伴う岩盤の膨張に関する検討結果は, 強風化部の膨張に矛盾しない。

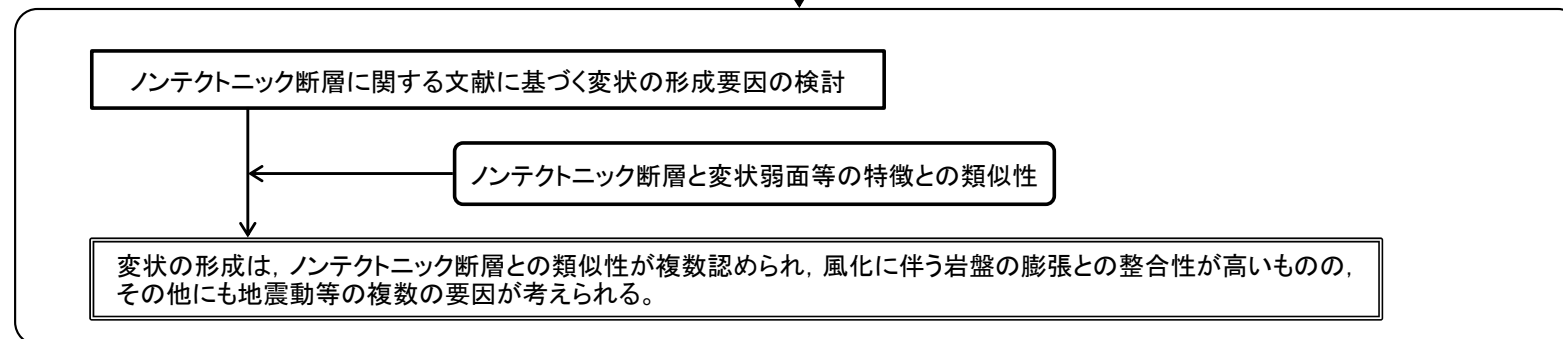
11.1.2 膨張率に関する文献に基づく検討(1/17)

検討の流れ

11.1 風化に伴う岩盤の膨張に関する検討



11.2 ノンテクトニック断層との類似性に関する検討



変状の形成要因のまとめ

- 変状の形成要因はノンテクトニックな複数の要因(風化に伴う岩盤の膨張, 地震動等)が挙げられ, 一つには特定できないと判断される。
- 強風化部の形成に伴う岩盤の膨張は分析・観察結果と矛盾しないが, 地震動等の影響も否定できない。
- これら複数の要因は, 少なくとも変状弱面等が非構造的のものと判断されること(本編資料P.3-162参照)と矛盾しない。

11.1.2 膨張率に関する文献に基づく検討(2/17)

文献の記述と大間地点のデータに基づく検討結果

膨張率の評価手法	風化に伴う岩盤の膨張率に関する文献の記述	大間地点のデータに基づく膨張率の検討結果	参照頁
観察に基づく評価	<ul style="list-style-type: none"> 風化に伴う岩盤の膨張率を直接的に測定した研究例は少ない。Folk and Patton (1982)²⁹⁾は、花崗岩に貫入したペグマタイト脈の変形から、風化に伴って花崗岩の体積が50%膨張することを示した。 膨張性土壌については、13年間にわたり鉛直変位量の変動を測定した研究(Driscoll and Chown (2001)³⁰⁾)があり、地表面で最大4cm程度、地中深度2mで数mm程度の降水量の変動に応じた季節変動が認められ、地中深度3mでほぼ変動は認められなくなる。 	<ul style="list-style-type: none"> 強風化部の厚さと地層の層厚の関係から求めた風化に伴う岩盤の鉛直方向の膨張率は約12%となった。 文献に示されたデータから含水比の変動に伴う鉛直方向の膨張率の変動を求めると、地表面で約1%(0.04m/3m)となり、上記の大間地点の膨張率(約12%)に比べて1オーダー小さく、含水比の変動による膨張への影響は小さいものと考えられる。 	P.11-22
不動元素に基づく評価	<ul style="list-style-type: none"> チタン等は、風化に伴う元素の移動がほとんど生じない不動元素とする文献は多く、不動元素の化学分析結果に基づいて、風化に伴う岩盤の膨張率を求めた研究例は千木良・中田(2013)³¹⁾に示されている。 チタンは、酸性環境及び有機物の多い還元環境では不動ではないとする研究(Cornu et al. (1999)³²⁾, Du et al. (2012)³³⁾などもある。 	<ul style="list-style-type: none"> 大間地点の岩盤は、風化の際には厚さ1m以上の段丘堆積物によって覆われており、Cornuらが指摘する酸性環境、還元環境等のチタンが移動し易い風化環境にはなかったものと考えられる。 チタン等を不動元素として求めた鉛直方向の膨張率は約11%(Ts-1トレンチ)及び約14%(Ts-6法面)となった。 	P.11-23～ P.11-32
異なる手法、観察事実等の整合性		<ul style="list-style-type: none"> 上記のように異なる手法で求めた鉛直方向の膨張率は約11%～約14%で、ほぼ同じ値となった。 このような膨張率の値はトレンチで観察された変位量と整合的であることが確認された。 膨張模型実験の結果は、トレンチで観察された段丘堆積物中の不連続面の分布と整合的であった。 	P.11-22, 11-30, 11-31, P.11-33～ P.11-36

風化に伴う岩盤の膨張率に関する文献の記述と大間地点のデータに基づいて岩盤の膨張率について検討した。

- 大間地点の風化に伴う岩盤の膨張率を層厚変化及び不動元素に基づいて求めた結果、鉛直方向の膨張率は約11%～約14%でほぼ同じ値となった。
- これらの値は、トレンチで確認された変位量の観察結果及び模型実験の結果とも整合的であることが確認された。
- 以上のことから、大間地点の変状は風化に伴う岩盤の膨張による説明と矛盾しない。

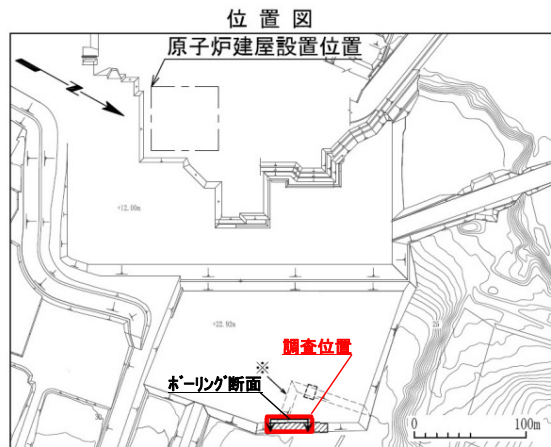
11.1.2 膨張率に関する文献に基づく検討(3/17)

コメントNo.S2-137

第804回審査会合
資料1-1 P.4- 102 再掲

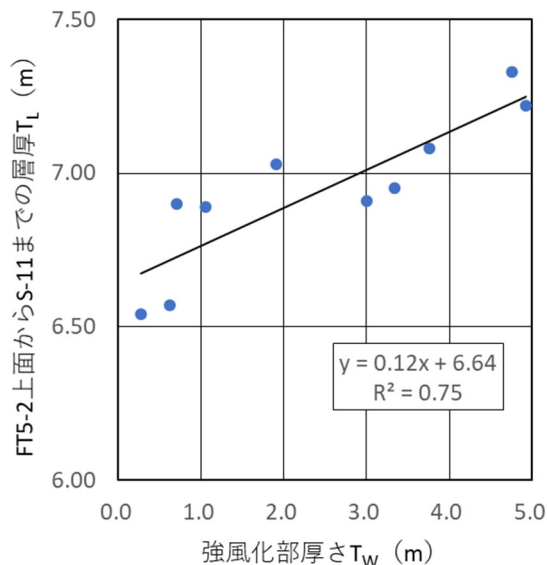


①層厚変化に基づく膨張率:Ts-6法面(強風化部)

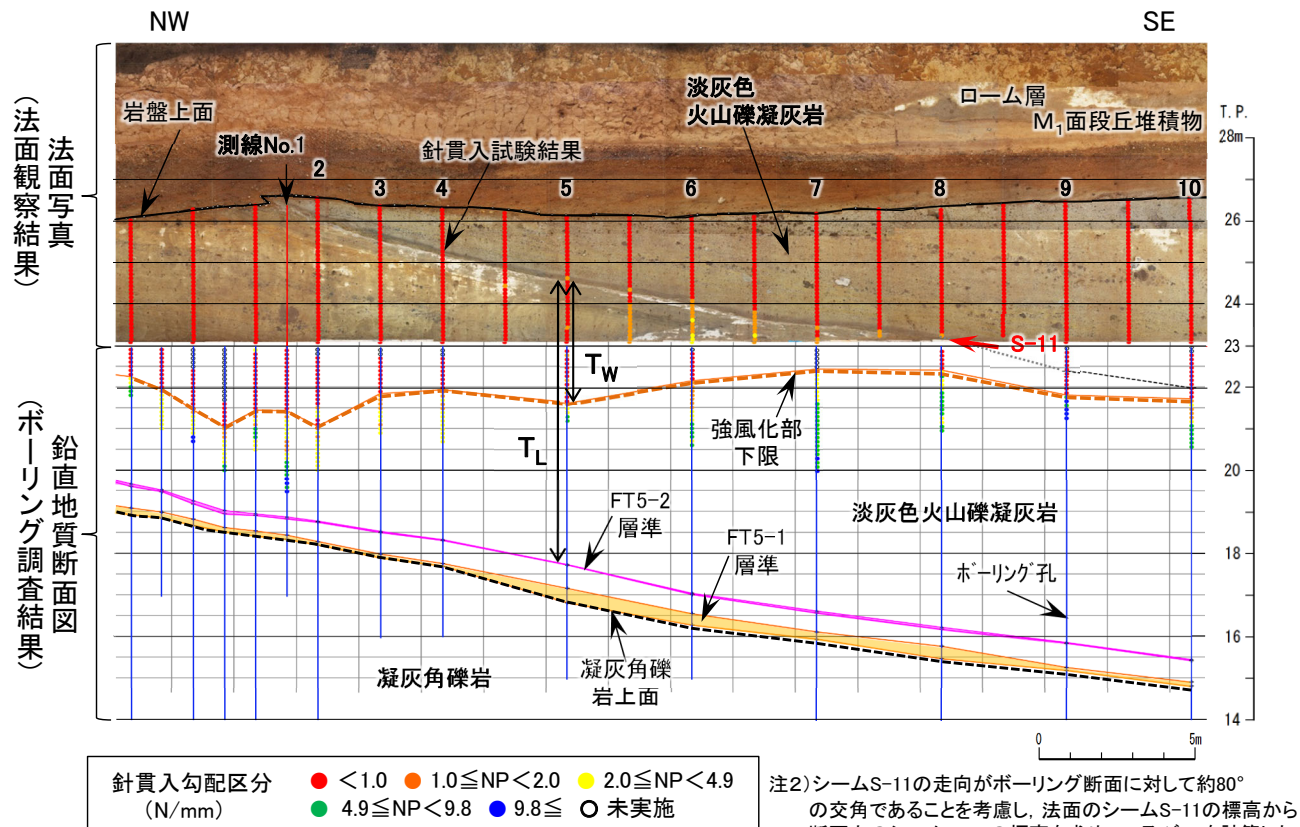


注1)ボーリング断面は法面に平行で末端部の約3m南西側に位置する。

測線NO.	強風化部層厚 T_W (m)	FT5-2上面 ~ S-11層厚 T_L (m)
1	4.76	7.33
2	4.93	7.22
3	3.76	7.08
4	3.34	6.95
5	3.00	6.91
6	1.91	7.03
7	1.06	6.89
8	0.71	6.90
9	0.62	6.57
10	0.27	6.54



強風化部の厚さ(T_W)と地層の厚さ(T_L)の関係



Ts-6法面の強風化部の厚さ(T_W)と地層の厚さ(T_L)

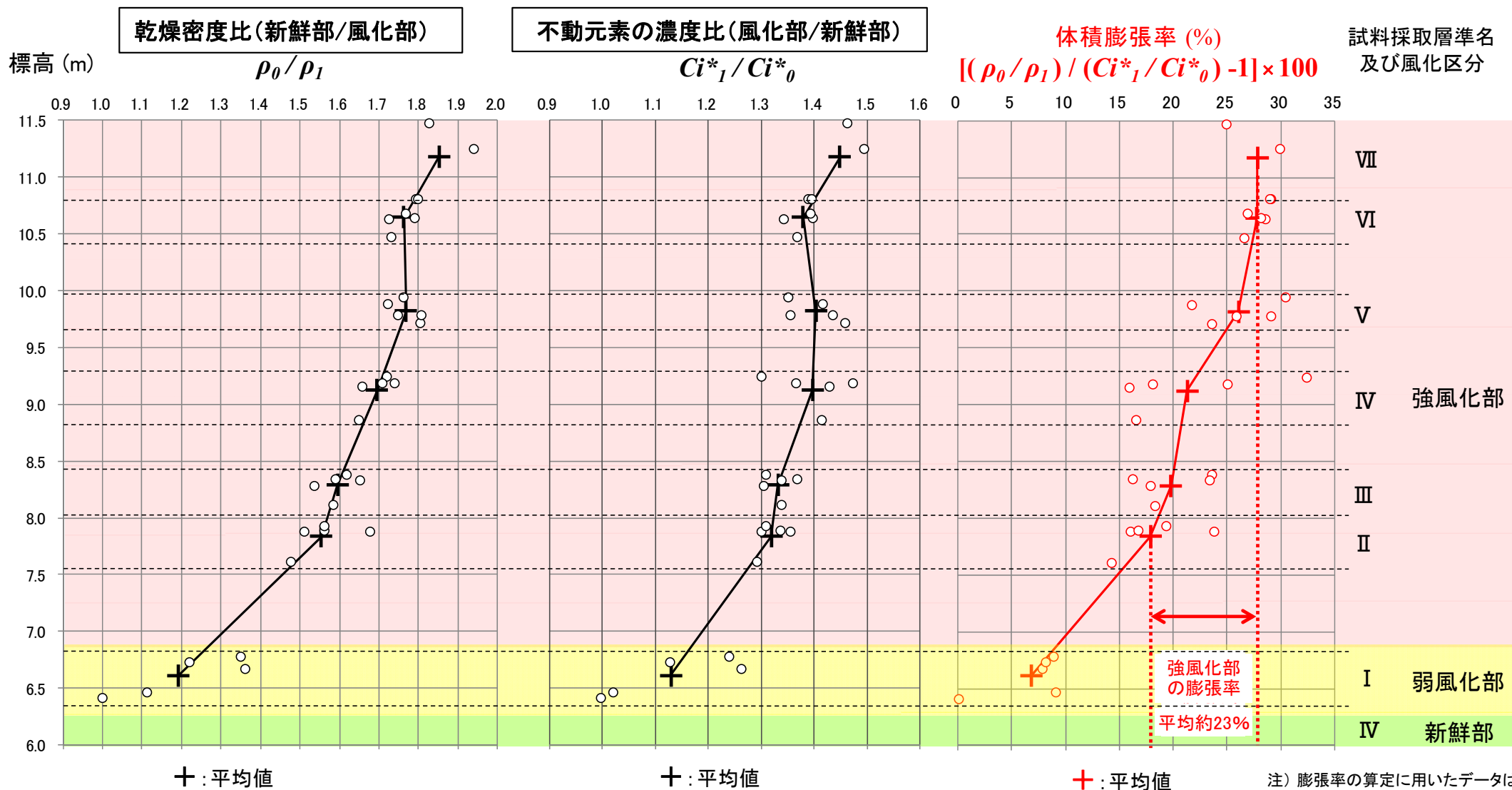
Ts-6法面及びボーリングのデータに基づいて、シームS-11下盤の強風化部の厚さ(T_W)とFT5-2層準からシームS-11までの淡灰色火山礫凝灰岩の厚さ(T_L)の関係を調べた。

- T_W と T_L には正の相関が認められ、近似直線の勾配約12%は強風化部の鉛直方向の膨張率を示す。



11.1.2 膨張率に関する文献に基づく検討(4/17)

②不動元素に基づく体積膨張率(1/10):体積膨張率の算定結果[Ts-1トレンチ]



- 乾燥密度比 (ρ_0/ρ_1) と不動元素 Ti, Al, Feの濃度比 (Ci^*_1/Ci^*_0) の平均値から体積膨張率を算定した。
- 深部から浅部への風化の進行に伴い体積膨張率は増大する。
- 強風化部の体積膨張率は平均約23% (約18%~約28%)を示す。

注) 膨張率の算定に用いたデータは P.11-12, 11-28, 11-29参照。



11.1.2 膨張率に関する文献に基づく検討(5/17)

②不動元素に基づく体積膨張率(2/10):体積膨張率の算定方法

風化前後の不動元素 Ci^* の総量は等しいため次式が成り立つ。

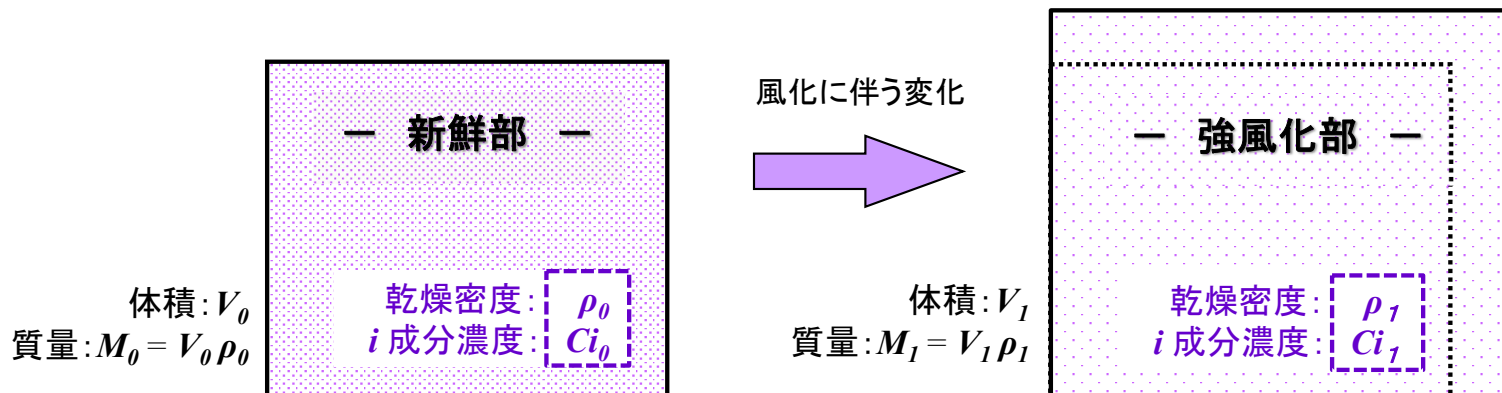
$$V_0 \rho_0 Ci^*_0 = V_1 \rho_1 Ci^*_1 \dots\dots\dots \textcircled{1} \ast$$

※: Grant (1986)³⁴⁾の考え方に基づく

したがって体積膨張率は次式から求まる。

$$V_1/V_0 \times 100 = \frac{\rho_0 Ci^*_0}{\rho_1 Ci^*_1} \times 100 = \frac{\rho_0}{\rho_1} \times \frac{Ci^*_0}{Ci^*_1} \times 100 \dots\dots \textcircled{2}$$

乾燥密度比 不動元素の濃度比

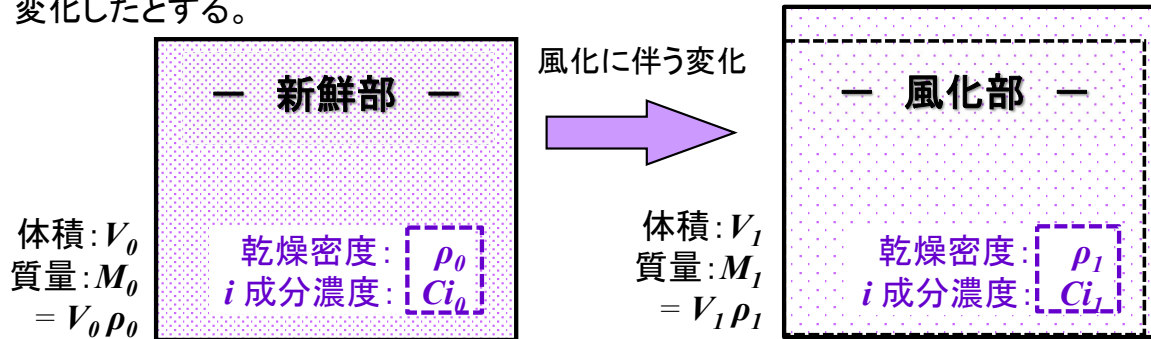


新鮮部から強風化部への風化に伴う体積膨張率は、両者の乾燥密度比と不動元素の濃度比を用いて、②式により算定される。

11.1.2 膨張率に関する文献に基づく検討(6/17)

②不動元素に基づく体積膨張率(3/10): 風化の進行と不動元素の濃度

風化に伴って岩石の体積, 乾燥密度, 化学成分の濃度が下図に示すように変化したとする。



風化前後の付加や溶脱の生じていない不動元素 i^* の総量は等しいため, 次式が成り立つ (Grant (1986)³⁴⁾)。

$$M_0 Ci_0^* = M_1 Ci_1^*$$

2種の不動元素 a, b が存在する場合には,

$$M_0 Ca_0^* = M_1 Ca_1^*$$

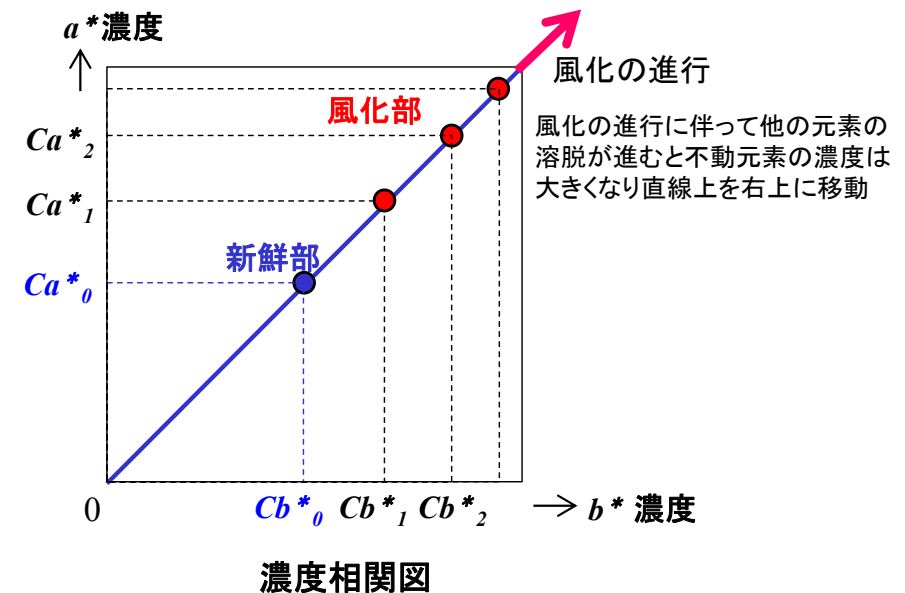
$$M_0 Cb_0^* = M_1 Cb_1^*$$

したがって,

$$\frac{Ca_1^*}{Ca_0^*} = \frac{Cb_1^*}{Cb_0^*} \left(= \frac{M_0}{M_1} \right) \quad \dots\dots ①$$

$$①式を变形すると \quad Ca_1^* = \frac{Ca_0^*}{Cb_0^*} \cdot Cb_1^* \quad \dots\dots ②$$

横軸に b^* の濃度, 縦軸に a^* の濃度をとって2元素間の濃度相関図を作成すると, 右図に示すように, 不動元素の風化部のプロットは新鮮部のプロットと原点を通る直線上に分布する。



- 新鮮部及び風化部の濃度分析値に基づいて2元素間の濃度相関図を作成する。
- 2元素とも不動元素の場合には, 風化の進行に伴って新鮮部における濃度比を保ったまま濃度が増大し, 相関図は原点を通る直線上の分布となる。

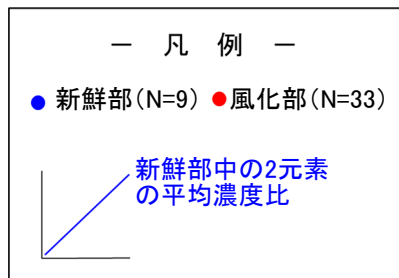


11.1.2 膨張率に関する文献に基づく検討(7/17)

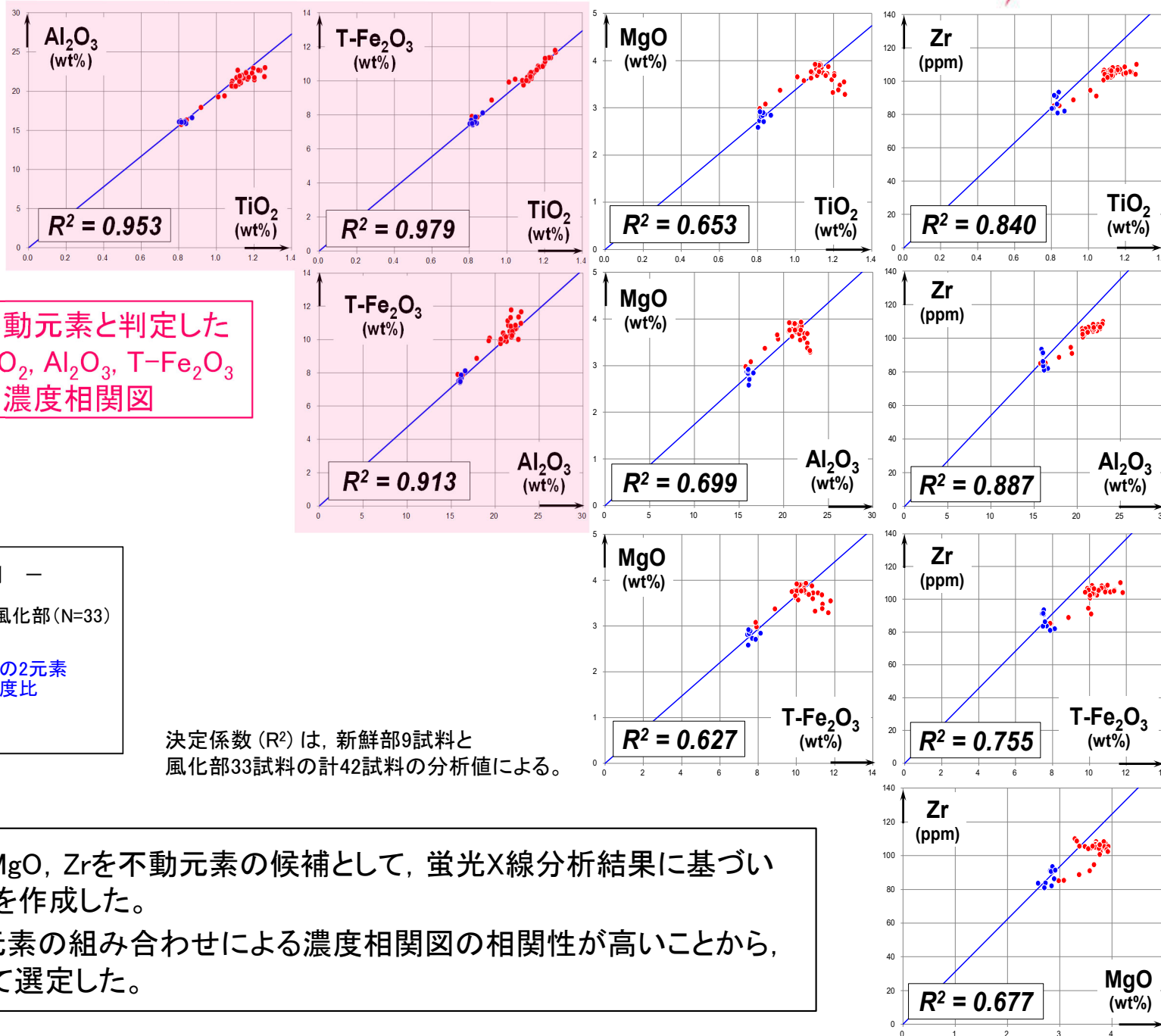
②不動元素に基づく体積膨張率(4/10): 不動元素の選定 (Ts-1トレンチ付近)

注) 全岩化学分析結果はP.11-28参照。

不動元素と判定した
TiO₂, Al₂O₃, T-Fe₂O₃
の濃度相関図



決定係数 (R²) は、新鮮部9試料と風化部33試料の計42試料の分析値による。



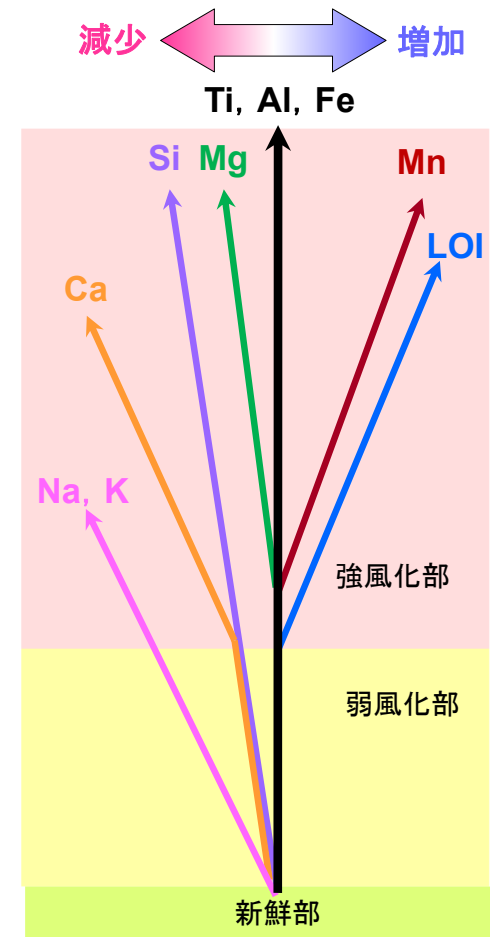
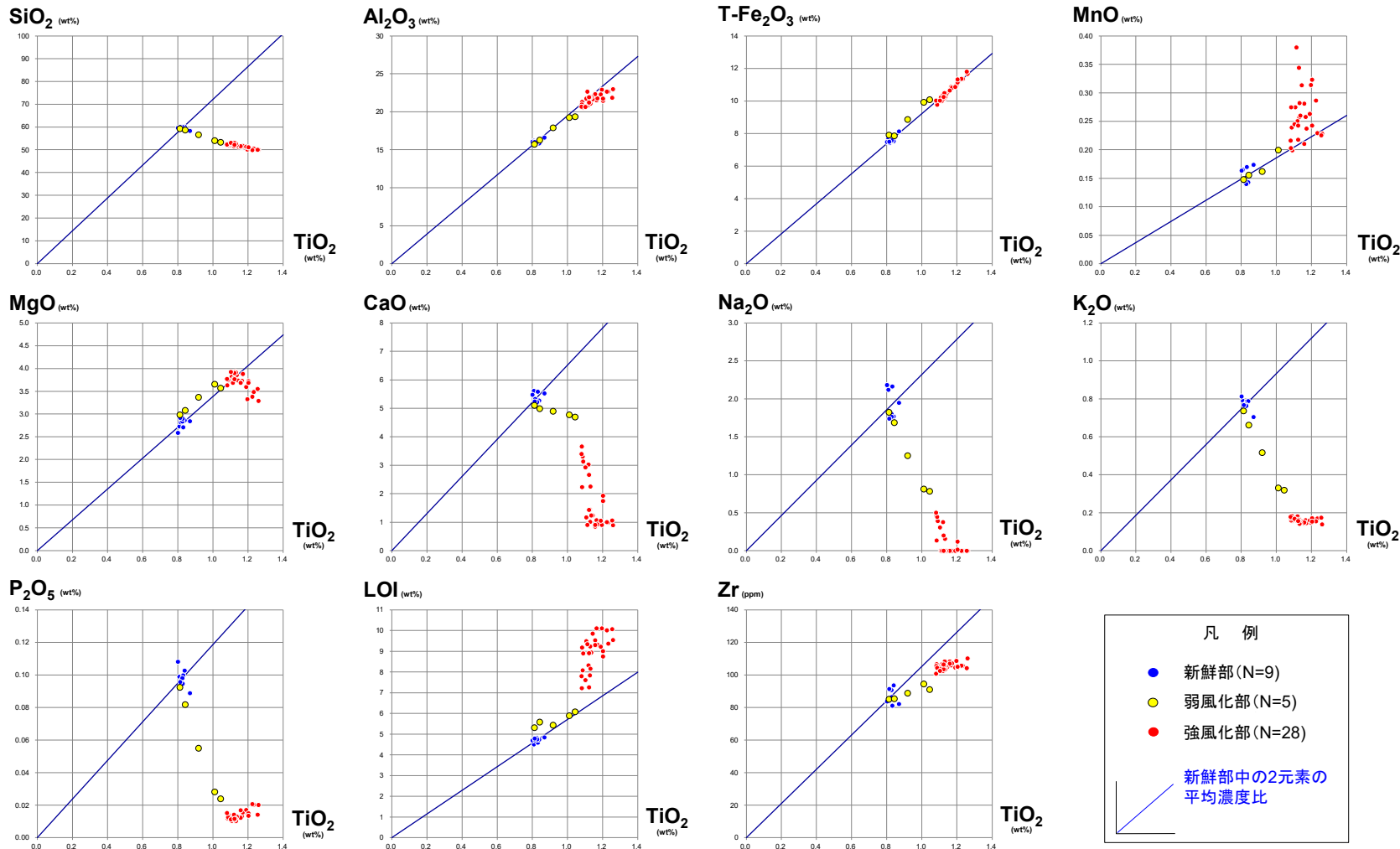
- TiO₂, Al₂O₃, T-Fe₂O₃, MgO, Zrを不動元素の候補として、蛍光X線分析結果に基づいて2元素間の濃度相関図を作成した。
- TiO₂, Al₂O₃, T-Fe₂O₃の3元素の組み合わせによる濃度相関図の相関性が高いことから、Ti, Al, Feを不動元素として選定した。



11.1.2 膨張率に関する文献に基づく検討(8/17)

②不動元素に基づく体積膨張率(5/10): 風化による化学組成の変化(Ts-1トレンチ付近)

注) 全岩化学分析結果はP.11-28参照。



風化に伴うTi, Al, Feの濃度変化に対する他の元素の相対的濃度変化

- 不動元素(Ti)に対する濃度相関図を作成して風化による岩石の化学組成の変化について整理した。
- 弱風化部では、新鮮部に対してMg, Mn, LOI(強熱減量)の増減がほとんどなく、SiとCa, NaとKがそれぞれほぼ同じ比率で減少する。
- 強風化部では、弱風化部と同様の元素の減少に加えてMgの減少も発生し、特にCaは減少が加速する。一方、Mn及びLOIは増加が認められる。



11.1.2 膨張率に関する文献に基づく検討(9/17)

②不動元素に基づく体積膨張率(6/10):全岩化学分析結果一覧表(Ts-1トレンチ付近)

風化区分	試料深度・標高							XRF分析結果一覧表 (LO加えた重量合計を100%として標準化) ND: 定量限界以下													XRF分析結果一覧表 (標準化前) ND: 定量限界以下														
	ボーリング孔名/ ブロック試料名	採取深度	層準	平均	孔口	試料	層準別	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Zr	total	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Zr	total		
				深度	標高	標高	平均標高																											wt%	wt%
強風化部	Ts-1-22	1.20	-	1.30	VII	1.25	12.06	10.81	11.18	51.12	1.17	21.50	10.86	0.26	3.72	1.07	ND	0.16	0.01	10.11	106	100.00	54.34	1.24	22.86	11.55	0.27	3.96	1.14	ND	0.17	0.01	10.74	113	106.30
	Ts-1-25	0.57	-	0.65		0.61	12.08	11.47		50.51	1.23	22.63	11.36	0.23	3.48	0.99	ND	0.17	0.02	9.36	105	100.00	53.45	1.30	23.95	12.02	0.24	3.68	1.05	ND	0.18	0.02	9.91	112	105.82
	Ts-1-26	0.75	-	0.81		0.78	12.03	11.25		49.98	1.26	22.98	11.67	0.23	3.29	0.89	ND	0.14	0.02	9.54	110	100.00	52.98	1.34	24.35	12.37	0.24	3.48	0.94	ND	0.15	0.02	10.11	117	106.00
	Ts-1-22	1.55	-	1.63	VI	1.59	12.06	10.47	10.65	51.40	1.14	21.66	10.49	0.31	3.73	1.24	ND	0.15	0.01	9.84	105	100.00	54.15	1.21	22.82	11.05	0.33	3.93	1.30	ND	0.16	0.01	10.37	111	105.35
	Ts-1-23	1.35	-	1.45		1.40	12.03	10.63		52.02	1.11	21.73	10.21	0.27	3.82	1.17	ND	0.16	0.01	9.49	105	100.00	54.86	1.17	22.92	10.77	0.29	4.03	1.23	ND	0.17	0.01	10.01	111	105.46
	Ts-1-24	1.35	-	1.45		1.40	12.04	10.64		51.33	1.16	22.40	10.66	0.21	3.70	0.85	ND	0.14	0.01	9.52	108	100.00	53.77	1.21	23.47	11.17	0.22	3.87	0.89	ND	0.15	0.01	9.97	113	104.75
	Ts-1-25	1.22	-	1.32	V	1.27	12.08	10.81	9.82	51.72	1.17	21.77	10.81	0.24	3.88	0.92	ND	0.15	0.02	9.31	107	100.00	54.47	1.23	22.93	11.39	0.25	4.08	0.97	ND	0.15	0.02	9.81	113	105.32
	Ts-1-26	1.30	-	1.40		1.35	12.03	10.68		51.53	1.16	22.32	10.64	0.28	3.69	0.90	ND	0.15	0.02	9.30	107	100.00	54.40	1.22	23.56	11.23	0.30	3.89	0.95	ND	0.16	0.02	9.82	113	105.56
	Ts-1-22	2.30	-	2.40		2.35	12.06	9.71		49.89	1.22	22.66	11.36	0.29	3.38	1.00	ND	0.16	0.02	10.01	106	100.00	53.09	1.30	24.12	12.09	0.30	3.59	1.07	ND	0.17	0.02	10.66	112	106.43
	Ts-1-23	2.20	-	2.30	IV	2.25	12.03	9.78	9.82	50.09	1.20	22.92	10.97	0.31	3.33	0.90	ND	0.15	0.01	10.10	109	100.00	53.17	1.27	24.33	11.64	0.33	3.53	0.96	ND	0.16	0.02	10.73	115	106.15
	Ts-1-24	2.05	-	2.15		2.10	12.04	9.94		52.35	1.13	21.84	10.14	0.26	3.84	1.01	ND	0.16	0.01	9.23	108	100.00	54.92	1.19	22.91	10.64	0.27	4.03	1.06	ND	0.17	0.01	9.69	114	104.91
	Ts-1-25	2.15	-	2.25		2.20	12.08	9.88		51.34	1.19	22.29	10.86	0.26	3.59	1.06	ND	0.16	0.02	9.22	104	100.00	54.19	1.26	23.53	11.46	0.28	3.79	1.11	ND	0.17	0.02	9.73	110	105.55
	Ts-1-26	2.20	-	2.30	2.25	12.03	9.78	51.72	1.11	22.65	10.01	0.38	3.69	0.91	ND	0.16	0.01	9.34	107	100.00	54.46	1.17	23.85	10.54	0.40	3.88	0.96	ND	0.17	0.01	9.84	112	105.30		
	Ts-1-22	3.15	-	3.25	III	3.20	12.06	8.86	9.12	50.93	1.20	21.44	11.13	0.32	3.72	1.93	0.12	0.17	0.01	9.01	104	100.00	53.72	1.27	22.61	11.74	0.34	3.92	2.04	0.13	0.18	0.02	9.50	110	105.48
	Ts-1-23	2.80	-	2.90		2.85	12.03	9.18		50.03	1.26	21.83	11.79	0.23	3.55	1.06	ND	0.17	0.01	10.06	104	100.00	52.81	1.33	23.05	12.45	0.24	3.74	1.12	ND	0.18	0.01	10.63	110	105.57
	Ts-1-24	2.75	-	2.85		2.80	12.04	9.24		51.86	1.09	20.57	9.94	0.20	3.74	3.13	0.39	0.16	0.01	8.90	106	100.00	54.61	1.15	21.67	10.47	0.21	3.94	3.30	0.41	0.17	0.01	9.37	112	105.31
	Ts-1-25	2.88	-	2.98	II	2.93	12.08	9.15	8.29	51.13	1.20	21.74	11.33	0.24	3.68	1.74	0.01	0.15	0.01	8.75	105	100.00	53.41	1.26	22.71	11.83	0.25	3.85	1.82	0.01	0.16	0.01	9.14	110	104.46
	Ts-1-26	2.80	-	2.90		2.85	12.03	9.18		52.03	1.14	22.00	10.38	0.26	3.85	1.24	ND	0.15	0.01	8.93	105	100.00	54.63	1.19	23.11	10.90	0.27	4.05	1.30	ND	0.15	0.01	9.38	111	105.00
	Ts-1-22	3.90	-	4.00		3.95	12.06	8.11		51.64	1.12	20.90	10.40	0.25	3.78	3.02	0.37	0.18	0.01	8.31	102	100.00	53.88	1.17	21.81	10.85	0.26	3.94	3.15	0.39	0.19	0.01	8.67	107	104.35
	Ts-1-23	3.60	-	3.70	I	3.65	12.03	8.38	7.84	51.98	1.08	21.28	9.89	0.27	3.76	2.24	0.13	0.16	0.01	9.18	107	100.00	54.34	1.13	22.25	10.35	0.29	3.93	2.34	0.14	0.17	0.01	9.59	111	104.55
Ts-1-24	3.65	-	3.75	3.70		12.04	8.34	52.73		1.13	21.94	10.49	0.34	3.93	1.44	ND	0.14	0.01	7.83	105	100.00	54.74	1.17	22.77	10.89	0.36	4.08	1.49	ND	0.15	0.01	8.13	109	103.80	
Ts-1-25	3.70	-	3.80	3.75		12.08	8.33	52.64		1.13	21.08	10.23	0.28	3.91	2.25	0.16	0.14	0.01	8.16	103	100.00	54.79	1.18	21.94	10.65	0.29	4.07	2.35	0.16	0.15	0.01	8.49	108	104.09	
Ts-1-26	3.70	-	3.80	3.75	12.03	8.28	52.65	1.08	20.96	9.95	0.20	3.63	3.66	0.46	0.17	0.01	7.21	106	100.00	54.41	1.12	21.66	10.28	0.21	3.75	3.78	0.48	0.18	0.02	7.45	109	103.34			
Ts-1-22	4.40	-	4.50	I	4.45	12.06	7.61	6.61	52.52	1.09	20.61	9.76	0.24	3.75	3.31	0.45	0.18	0.01	8.08	104	100.00	55.03	1.14	21.60	10.23	0.25	3.93	3.46	0.47	0.19	0.01	8.46	109	104.79	
Ts-1-23	4.10	-	4.20		4.15	12.03	7.88		52.37	1.08	20.66	10.02	0.22	3.77	3.39	0.50	0.18	0.02	7.79	101	100.00	54.45	1.12	21.48	10.42	0.22	3.92	3.53	0.52	0.19	0.02	8.10	105	103.99	
Ts-1-24	4.10	-	4.20		4.15	12.04	7.89		53.05	1.12	21.23	10.17	0.22	3.90	2.66	0.20	0.16	0.01	7.26	104	100.00	54.84	1.16	21.95	10.51	0.22	4.03	2.75	0.21	0.17	0.01	7.51	107	103.37	
Ts-1-25	4.10	-	4.20	4.15	12.08	7.93	53.05	1.10	20.63	10.02	0.25	3.92	2.93	0.31	0.17	0.01	7.61	102	100.00	55.12	1.15	21.43	10.41	0.25	4.07	3.04	0.32	0.17	0.01	7.91	106	103.90			
Ts-1-26	4.10	-	4.20	4.15	12.03	7.88	52.19	1.12	21.92	10.25	0.24	3.76	1.43	ND	0.16	0.01	8.90	106	100.00	54.96	1.18	23.08	10.79	0.26	3.96	1.51	ND	0.17	0.01	9.38	112	105.31			
弱風化部	Ts-1-22	5.60	-	5.70	I	5.65	12.06	6.41	6.61	59.32	0.81	15.74	7.91	0.15	2.98	5.11	1.82	0.74	0.09	5.31	85	100.00	60.33	0.83	16.01	8.04	0.15	3.03	5.20	1.85	0.75	0.09	5.40	87	101.69
	Ts-1-23	5.53	-	5.60		5.57	12.03	6.47		58.72	0.84	16.31	7.87	0.16	3.08	4.99	1.69	0.66	0.08	5.58	85	100.00	59.98	0.86	16.66	8.04	0.16	3.15	5.10	1.73	0.68	0.08	5.70	87	102.14
	Ts-1-24	5.32	-	5.42		5.37	12.04	6.67		53.31	1.04	19.38	10.09	0.69	3.57	4.70	0.78	0.32	0.02	6.09	91	100.00	54.17	1.06	19.70	10.25	0.70	3.63	4.77	0.80	0.32	0.02	6.18	93	101.62
	Ts-1-25	5.25	-	5.35		5.30	12.08	6.78		54.08	1.01	19.27	9.93	0.20	3.66	4.77	0.81	0.33	0.03	5.90	95	100.00	54.98	1.03	19.59	10.10	0.20	3.72	4.85	0.83	0.34	0.03	6.00	96	101.67
	Ts-1-26	5.25	-	5.35		5.30	12.03	6.73		56.61	0.																								



11.1.2 膨張率に関する文献に基づく検討(10/17)

②不動元素に基づく体積膨張率(7/10):体積膨張率算定結果一覧表(Ts-1トレンチ付近)

風化区分	試料深度・標高							密度試験関連データ					XRF分析関連データ							体積膨張率算定値								
	ボリック孔名/ ブロック試料名	採取深度	層準	平均深度	孔口標高	試料標高	層準別平均標高	湿潤密度 ρt	含水比 w	乾燥密度 ρd(=ρ1)	試料別乾燥密度比	層準別乾燥密度平均	層準別乾燥密度比	TiO2 濃度 C1a	TiO2 試料別濃度比	Fe2O3 濃度 C1b	Fe2O3 試料別濃度比	Al2O3 濃度 C1c	Al2O3 試料別濃度比	試料別不動元素濃度比 3元素平均	層準別不動元素濃度比 3元素平均	試料別 ((ρ0/ρ1) ÷ (C1/C0)-1) × 100 (%)	層準別 ((ρ0/ρ1) ÷ (C1/C0)-1) × 100 (%)	II-VII 層準 強風化部 平均 (%)				
				m	m	m	m	g/cm³	%	g/cm³	ρ0/ρ1	g/cm³	ρ0/ρ1	wt%	C1a/C0a	wt%	C1b/C0b	wt%	C1c/C0c	C1/C0*	C1/C0*							
強風化部	Ts-1-22	1.20	-	1.30	VII	1.25	12.06	10.81	11.18	1.374	89.1	0.727	1.793	0.704	1.851	1.17	1.41	10.86	1.42	21.50	1.34	1.39	1.45	29.1	28.0	23.3		
	Ts-1-25	0.57	-	0.65		0.61	12.08	11.47		1.341	87.9	0.714	1.826			1.23	1.49	11.36	1.49	22.63	1.41	1.46		25.0				
	Ts-1-26	0.75	-	0.81		0.78	12.03	11.25		1.326	97.4	0.672	1.940			1.26	1.52	11.67	1.53	22.98	1.43	1.49		29.9				
	Ts-1-22	1.55	-	1.63	VI	1.59	12.06	10.47	10.65	1.410	87.4	0.753	1.732	0.739	1.763	1.14	1.38	10.49	1.37	21.66	1.35	1.37	1.38	26.6	27.8			
	Ts-1-23	1.35	-	1.45		1.40	12.03	10.63		1.415	87.5	0.755	1.727			1.11	1.34	10.21	1.34	21.73	1.35	1.34		28.6				
	Ts-1-24	1.35	-	1.45		1.40	12.04	10.64		1.364	87.3	0.728	1.789			1.16	1.40	10.66	1.40	22.40	1.39	1.40		28.1				
	Ts-1-25	1.22	-	1.32	V	1.27	12.08	10.81	9.82	1.372	89.4	0.724	1.799	0.737	1.769	1.17	1.42	10.81	1.42	21.77	1.35	1.40	1.40	29.0	26.2			
	Ts-1-26	1.30	-	1.40		1.35	12.03	10.68		1.353	83.6	0.737	1.769			1.16	1.40	10.64	1.39	22.32	1.39	1.39		26.9				
	Ts-1-22	2.30	-	2.40		2.35	12.06	9.71		1.296	79.4	0.722	1.804			1.22	1.48	11.36	1.49	22.66	1.41	1.46		23.6				
	Ts-1-23	2.20	-	2.30	IV	2.25	12.03	9.78	9.12	1.351	87.4	0.721	1.808	0.769	1.695	1.20	1.45	10.97	1.44	22.92	1.42	1.44	1.40	25.9	21.6			
	Ts-1-24	2.05	-	2.15		2.10	12.04	9.94		1.378	86.4	0.739	1.763			1.13	1.37	10.14	1.33	21.84	1.36	1.35		30.5				
	Ts-1-25	2.15	-	2.25		2.20	12.08	9.88		1.400	85.1	0.756	1.723			1.19	1.44	10.86	1.42	22.29	1.38	1.42		21.7				
	Ts-1-26	2.20	-	2.30	III	2.25	12.03	9.78	8.29	1.376	84.7	0.745	1.749	0.817	1.595	1.11	1.35	10.01	1.31	22.65	1.41	1.36	1.33	29.1	19.9			
	Ts-1-22	3.15	-	3.25		3.20	12.06	8.86		1.455	84.2	0.790	1.650			1.20	1.46	11.13	1.46	21.44	1.33	1.41		16.6				
	Ts-1-23	2.80	-	2.90		2.85	12.03	9.18		1.385	84.9	0.749	1.739			1.26	1.52	11.79	1.54	21.83	1.36	1.47		18.1				
	Ts-1-24	2.75	-	2.85	II	2.80	12.04	9.24	7.84	1.423	88.0	0.757	1.721	0.838	1.554	1.09	1.32	9.94	1.30	20.57	1.28	1.30	1.32	32.4	18.1			
	Ts-1-25	2.88	-	2.98		2.93	12.08	9.15		1.420	80.6	0.786	1.657			1.20	1.45	11.33	1.48	21.74	1.35	1.43		15.9				
	Ts-1-26	2.80	-	2.90		2.85	12.03	9.18		1.409	84.8	0.763	1.709			1.14	1.37	10.38	1.36	22.00	1.37	1.37		25.0				
	Ts-1-22	3.90	-	4.00	I	3.95	12.06	8.11	6.61	1.478	79.6	0.823	1.584	1.093	1.192	1.12	1.36	10.40	1.36	20.90	1.30	1.34	1.13	18.3	6.8			
	Ts-1-23	3.60	-	3.70		3.65	12.03	8.38		1.450	80.2	0.805	1.619			1.08	1.31	9.89	1.30	21.28	1.32	1.31		23.6				
	Ts-1-24	3.65	-	3.75		3.70	12.04	8.34		1.485	81.1	0.820	1.589			1.13	1.36	10.49	1.37	21.94	1.36	1.37		16.3				
	Ts-1-25	3.70	-	3.80	I	3.75	12.08	8.33	7.84	1.453	84.3	0.789	1.652	0.838	1.554	1.13	1.37	10.23	1.34	21.08	1.31	1.34	1.32	23.4	18.1			
	Ts-1-26	3.70	-	3.80		3.75	12.03	8.28		1.526	80.1	0.847	1.538			1.08	1.31	9.95	1.30	20.96	1.30	1.30		17.9				
	Ts-1-22	4.40	-	4.50		4.45	12.06	7.61		1.552	75.8	0.883	1.476			1.09	1.32	9.76	1.28	20.61	1.28	1.29		14.3				
Ts-1-23	4.10	-	4.20	I	4.15	12.03	7.88	6.61	1.524	76.6	0.863	1.510	1.093	1.192	1.08	1.31	10.02	1.31	20.66	1.28	1.30	1.13	16.1	6.8				
Ts-1-24	4.10	-	4.20		4.15	12.04	7.89		1.511	80.9	0.835	1.560			1.12	1.36	10.17	1.33	21.23	1.32	1.34		16.8					
Ts-1-25	4.10	-	4.20		4.15	12.08	7.93		1.514	81.6	0.834	1.563			1.10	1.33	10.02	1.31	20.63	1.28	1.31		19.4					
Ts-1-26	4.10	-	4.20	4.15	12.03	7.88	1.420	82.8	0.777	1.677	1.12	1.36	10.25	1.34	21.92	1.36	1.35	23.8										
Ts-1-22	5.60	-	5.70	IV	5.65	12.06	6.41	8.8~9.0 m付近	1.782	36.7	1.304	0.999	1.093	1.192	0.81	0.98	7.91	1.04	15.74	0.98	1.00	1.13	0.1	6.8				
Ts-1-23	5.53	-	5.60		5.57	12.03	6.47		1.696	44.9	1.170	1.114			0.84	1.02	7.87	1.03	16.31	1.01	1.02		9.1					
Ts-1-24	5.32	-	5.42		5.37	12.04	6.67		1.594	66.5	0.957	1.361			1.04	1.26	10.09	1.32	19.38	1.20	1.26		7.8					
Ts-1-25	5.25	-	5.35		5.30	12.08	6.78		1.603	66.1	0.965	1.350			1.01	1.22	9.93	1.30	19.27	1.20	1.24		8.9					
Ts-1-26	5.25	-	5.35		5.30	12.03	6.73		1.660	55.4	1.068	1.220			0.92	1.11	8.87	1.16	17.90	1.11	1.13		8.2					
新鮮部	Ts-1-7	1.10	-	1.20	IV	1.15	10.74	9.59	—	1.668	32.1	1.263	1.093	1.192	0.87	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16.59	—		
	Ts-1-8	2.00	-	2.05		2.03	10.89	8.87		1.743	29.2	1.349			0.81										0.81		7.69	16.18
	Ts-1-9	2.30	-	2.40		2.35	11.04	8.69		1.651	25.9	1.311			0.83										0.83		7.87	16.15
	Ts-1-10	2.74	-	2.79		2.77	11.20	8.44		1.689	28.9	1.310			0.80										0.80		7.48	16.07
	B01	(トレンチTs-1から採取されたブロック試料)	—	—		—	—	—		1.712	31.9	1.298			0.82										0.82		7.43	16.02
	B02				1.725				31.4	1.313	0.84	0.84	7.52	15.86														
	B03				1.696				31.4	1.291	0.83	0.83	7.53	16.00														
	B04				1.692				31.3	1.289	0.83	0.83	7.58	16.01														
	B07				1.715				31.4	1.305	0.81	0.81	7.49	16.03														
	新鮮部乾燥密度平均 (ρ0)										1.303	新鮮部不動元素濃度平均										0.83	C0a	7.63	C0b	16.10	C0c	

*: C0=(C0a+C0b+C0c)/3

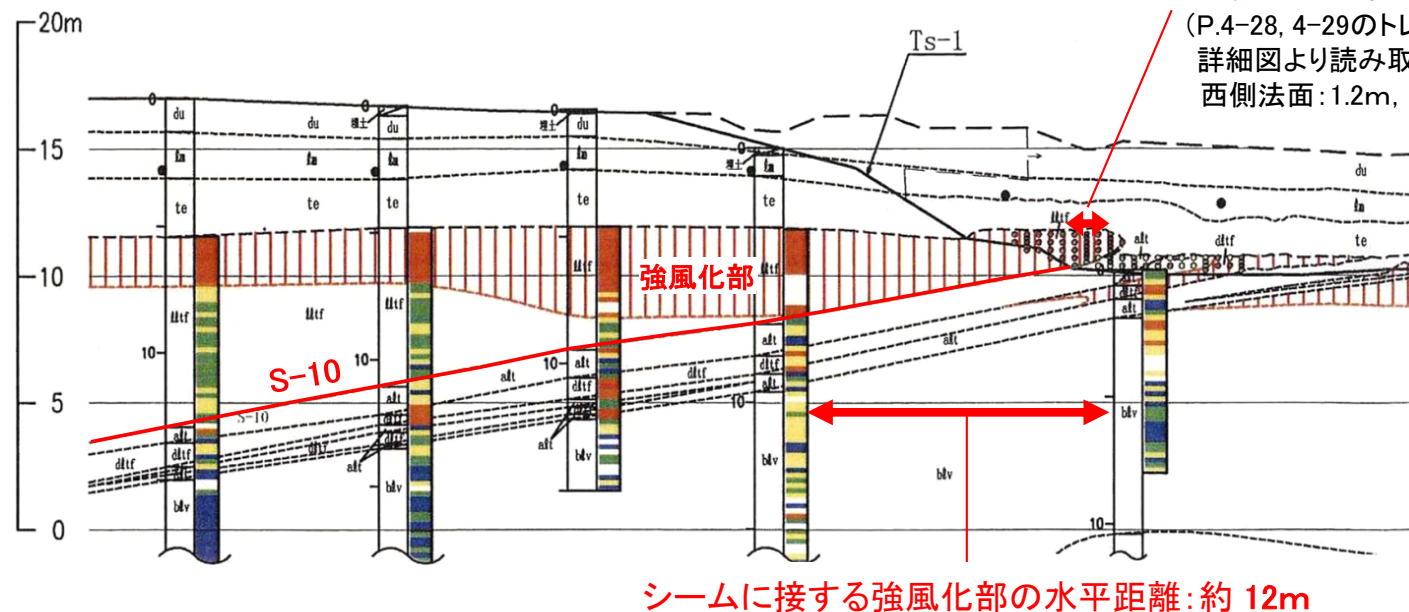
体積膨張率は強風化部で平均約23%(約18%~約28%),弱風化部で約7%を示す。

11.1.2 膨張率に関する文献に基づく検討(11/17)

②不動元素に基づく体積膨張率(8/10):

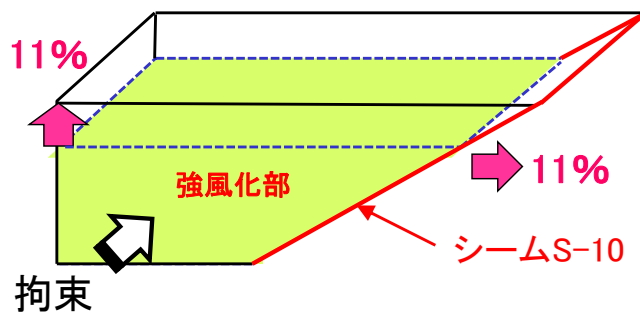
強風化部の体積膨張率と変位量の評価(Ts-1トレンチ)

(a) Ts-1トレンチ付近の観察結果に基づく水平方向膨張率



水平方向膨張率
= 水平変位量 / [(シームに接する強風化部の水平距離) - (水平変位量)]
= 1.0 / (12 - 1.0) ≒ 0.09 ⇒ 約9%

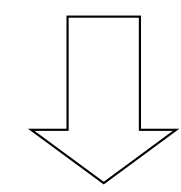
(b) 不動元素に基づく体積膨張率から求めた水平・鉛直方向膨張率



水平・鉛直方向膨張率算定条件:
・強風化部は等方的に水平・鉛直方向へ膨張
・シームの走向方向は拘束
・体積膨張率: 平均23% (P.11-23参照)

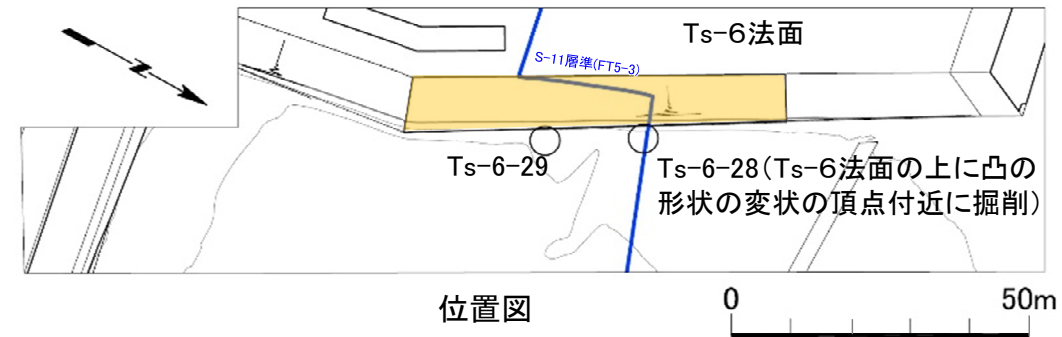
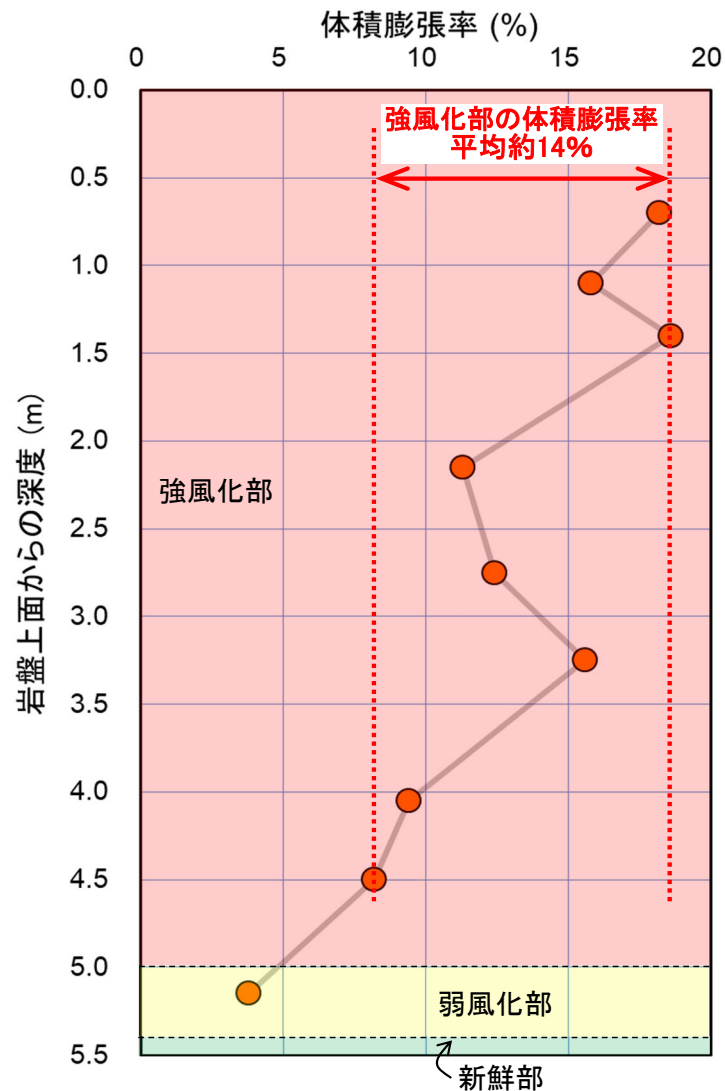
水平・鉛直方向膨張率
= (1 + 0.23)^{1/2} - 1 ≒ 0.11 ⇒ 約11%

(a)の観察結果と(b)の分析結果に基づく強風化部の水平方向膨張率は、共に10%前後で整合的である。



11.1.2 膨張率に関する文献に基づく検討(12/17)

②不動元素に基づく体積膨張率(9/10):体積膨張率の算定結果(Ts-6法面)



- Ts-6法面で上に凸の形状の変状を生じた淡灰色火山礫凝灰岩について、Ts-6-28孔及びTs-6-29孔のシームS-11より下位のコア試料を用いて、乾燥密度比(ρ_d/ρ_r)と不動元素 Ti及びFeの濃度比(Ci^*_1/Ci^*_0)の平均値から体積膨張率を算定した。
- 深部から浅部への風化の進行に伴い体積膨張率は増加傾向を示す。
- 強風化部の体積膨張率の平均値は約14%(約8%~約19%)で、上に凸の形状の変状は側方が拘束された状態で形成されているため、体積膨張率はほぼ鉛直方向の膨張率に等しいものと考えられる。
- これらの結果から、低角の変位を伴う不連続面を利用して上に凸の変形を生じる変状も、シームを利用して段差を生じる変状と同様に、淡灰色火山礫凝灰岩の強風化部の形成に伴う膨張によって形成されたものと考えても矛盾しない。

注) 体積膨張率の算定に用いたデータはP.11-32参照。

深度と体積膨張率との関係(Ts-6法面)

11.1.2 膨張率に関する文献に基づく検討(13/17)

②不動元素に基づく体積膨張率(10/10):体積膨張率算定結果(Ts-6法面)

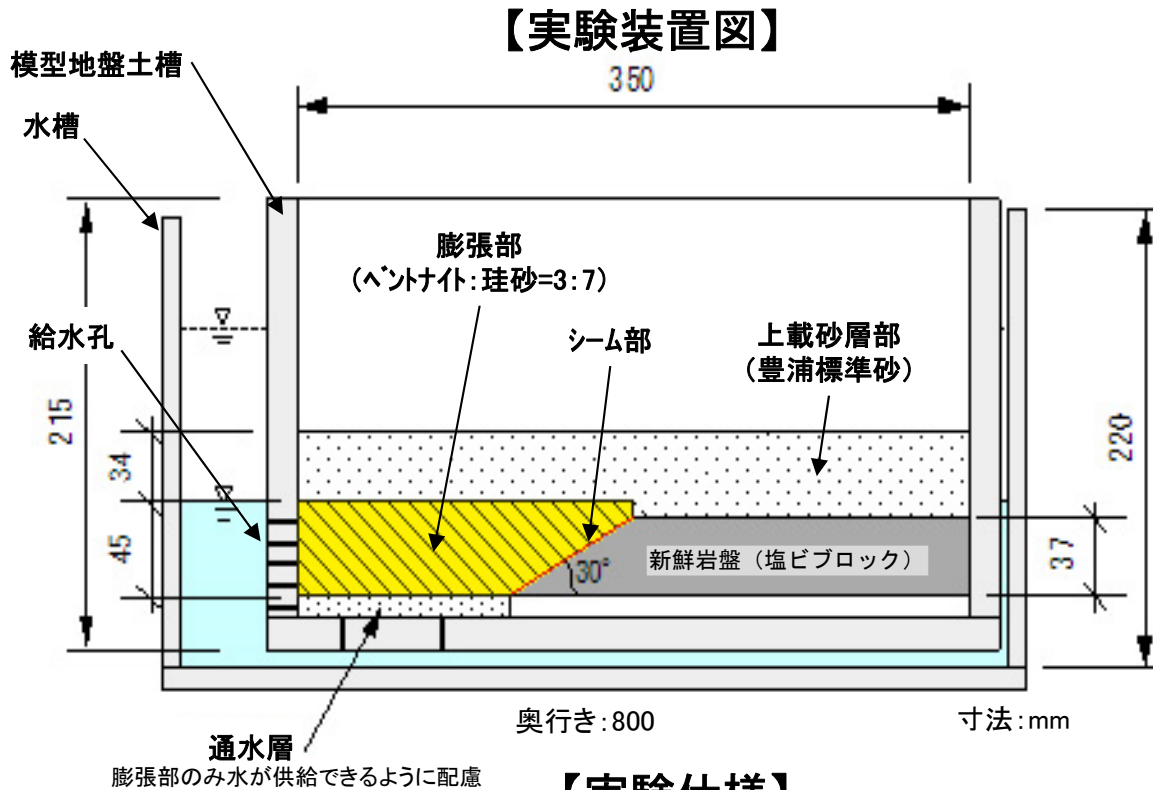
風化区分	試料						密度試験結果				XRF分析値 C ₁		不動元素濃度比 C ₁ /C ₀			体積膨張率 (wt%)
	ホーリング孔名	採取深度(m)		岩盤上面深度 (m)	岩盤上面からの深度 (m)	湿潤密度 ρ_{t_1} (g/cm ³)	含水比 w(%)	乾燥密度 ρ_{d_1} (g/cm ³)	乾燥密度比 ρ_{d_0} / ρ_{d_1}	TiO ₂ 濃度 (wt%)	Fe ₂ O ₃ 濃度 (wt%)	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Ti-Fe 平均値		
強風化部	Ts-6-28	4.75	-	4.85	4.10	0.70	1.290	89.2	0.682	1.855	1.36	12.72	1.56	1.58	1.57	18.2
		5.15	-	5.25	4.10	1.10	1.254	83.5	0.683	1.852	1.37	13.15	1.57	1.63	1.60	15.8
		5.45	-	5.55	4.10	1.40	1.290	93.5	0.667	1.897	1.41	12.73	1.62	1.58	1.60	18.6
		6.20	-	6.30	4.10	2.15	1.338	103.7	0.657	1.925	1.52	13.79	1.75	1.71	1.73	11.3
		6.80	-	6.90	4.10	2.75	1.352	100.6	0.674	1.877	1.44	13.45	1.66	1.67	1.67	12.4
		7.30	-	7.40	4.10	3.25	1.411	106.2	0.684	1.849	1.39	12.88	1.60	1.60	1.60	15.6
		8.10	-	8.20	4.10	4.05	1.461	103.4	0.718	1.762	1.40	13.00	1.61	1.61	1.61	9.4
		8.55	-	8.65	4.10	4.50	1.464	100.4	0.731	1.731	1.38	12.85	1.59	1.60	1.60	8.2
弱風化部		9.20	-	9.30	4.10	5.15	1.548	79.1	0.864	1.464	1.23	11.32	1.41	1.41	1.41	3.8
新鮮部	Ts-6-29	9.70	-	9.80	4.10	5.65	1.752	42.5	1.229	—	0.89	8.33	—	—	—	—
		10.45	-	10.55	4.10	6.40	1.742	34.7	1.293	—	0.86	8.08	—	—	—	—
		8.55	-	8.65	5.00	3.60	1.693	33.2	1.271	—	0.85	7.91	—	—	—	—
		9.20	-	9.30	5.00	4.25	1.682	32.6	1.268	—	0.86	7.86	—	—	—	—
新鮮部平均値 ρ_{d_0}, C_0									1.265	—	0.87	8.05	強風化部平均値			13.7
													弱風化部の値			3.8

- Ts-6-28孔(新鮮部～強風化部)及びTs-6-29孔(新鮮部)のシームS-11より下位のコア試料を用いて、乾燥密度比(ρ_{d_0} / ρ_{d_1})と不動元素 Ti, Feの濃度比(C_{i^*1} / C_{i^*0})の平均値から体積膨張率を算定した。
- Alは溶脱傾向が認められたため、体積膨張率の算定には用いなかった。
- 体積膨張率は強風化部で平均約14%(約8%～約19%)、弱風化部で約4%を示す。

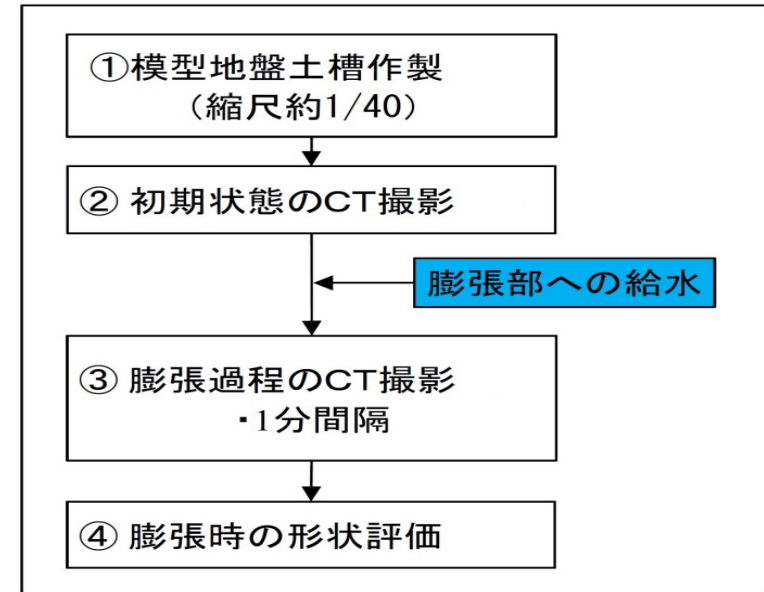


11.1.2 膨張率に関する文献に基づく検討(14/17)

③膨張模型実験と観察結果との整合性(1/3): 強風化部の膨張模型実験の実験方法



【実施手順】



- Ts-1トレンチの変状を再現する目的で、縮尺1/40^{*}の地盤模型を作成し、膨張模型実験を行った。
- シーム上盤の強風化部をベントナイト+珪砂で作成し、吸水膨張により模擬(材料物性・発生応力等の相似則は考慮していない)。
- 給水前と給水後5分まで1分ごとにCT画像を撮影し、上載砂層の変状の形状を定性的に評価した。

対象トレンチ	トレンチにおける地質性状			模型地盤		
	層準・地質	傾斜角	風化区分	構成物	傾斜角	
Ts-1	M ₃ 面段丘堆積物	段丘堆積物(砂礫層)	-	-	上載砂層(乾燥状態の豊浦標準砂)	-
	易国間層	上部層(上盤側) ^{*1}	-	強風化	膨張部(ベントナイト+珪砂) ^{*3}	-
		S-10	25° ~ 27°	-	シーム部(OHPシート2枚重ね)	30°
		下部層(下盤側) ^{*2}	-	新鮮~弱風化	新鮮岩盤(塩ビブロック)	-

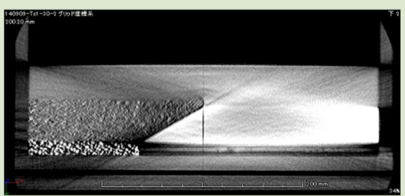
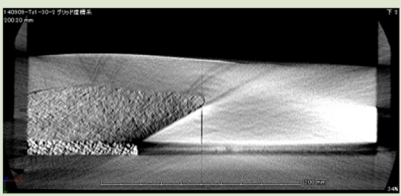
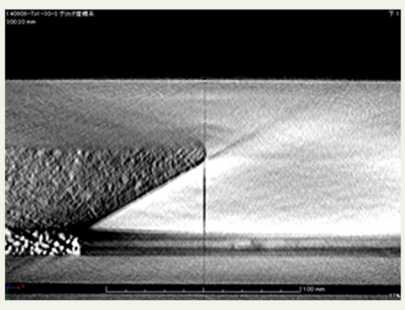
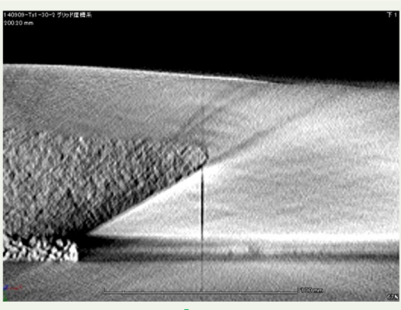
*1: 淡灰色火山礫凝灰岩
*2: 粗粒・細粒凝灰岩互層と暗灰色火山礫凝灰岩
*3: クニゲルGX

※: 医療用X線CTIによる撮影が可能な大きさ。

11.1.2 膨張率に関する文献に基づく検討(15/17)



③膨張模型実験と観察結果との整合性(2/3):強風化部の膨張模型実験の実験結果

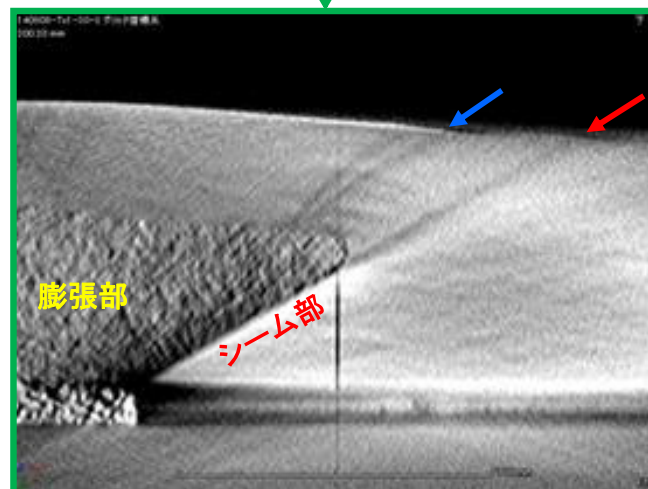
CT画像によるせん断面発生状況(土槽中央断面)

	初期乾燥状態 (吸水前)	体積膨張率約22% (3分後)
全体		
拡大		



実験状況



 :せん断面が上載砂層(豊浦標準砂)の上面に到達した位置

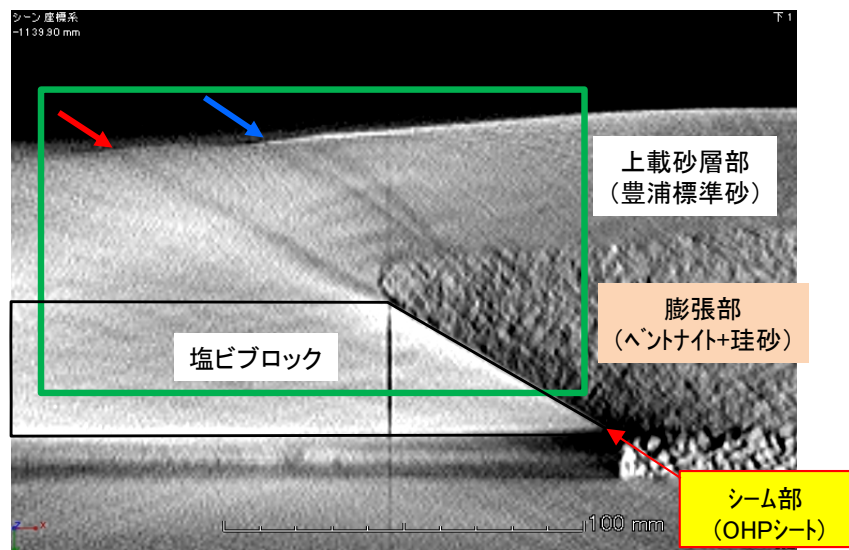


給水開始から3分後の体積膨張率約22%のCT画像

シーム部の延長上(赤矢印)及び膨張部の先端から上方(青矢印)の上載砂層部中にせん断面が発生することを確認した。

11.1.2 膨張率に関する文献に基づく検討(16/17)

③膨張模型実験と観察結果との整合性(3/3):実験の結果とTs-1トレンチの変状との対比

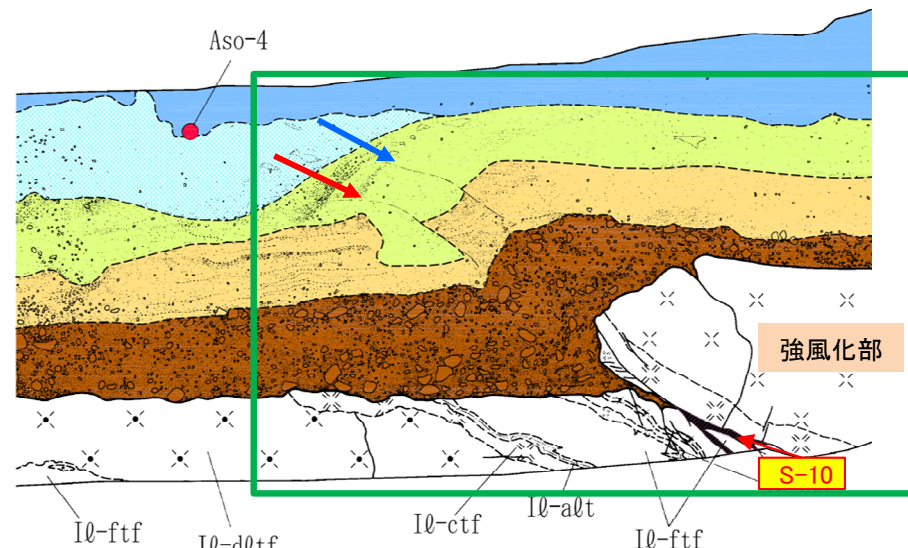


CT画像(前頁の画像を左右反転)

【体積膨張率約22%:給水開始から3分後】

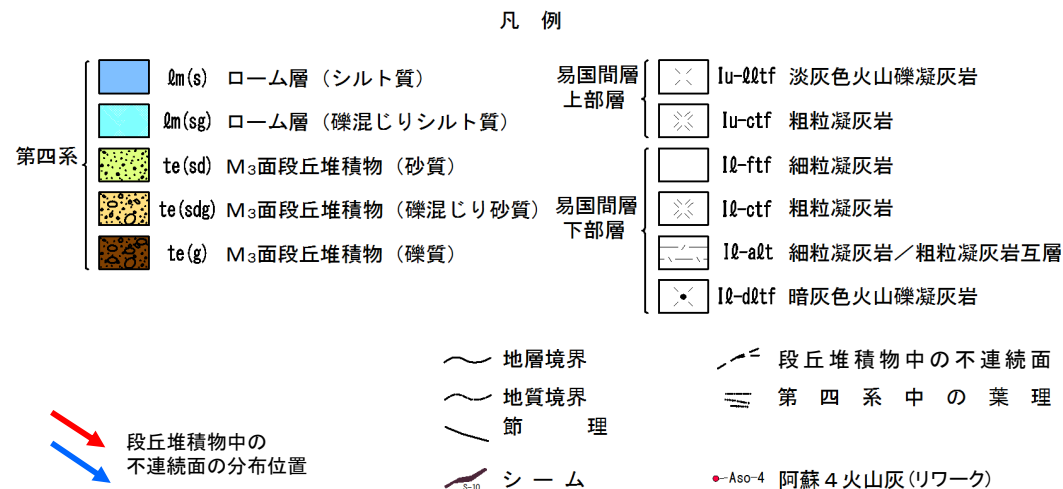
せん断面の発生位置

Ts-1トレンチで推定される体積膨張率平均約23% (P.11-23参照)と同程度の体積膨張率約22%で生じた上載砂層部のせん断面の発生位置は、Ts-1トレンチ東側法面の段丘堆積物中の不連続面の分布位置と整合的である。



注:スケール、標高等の詳細はP.4-28参照

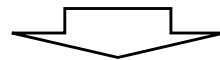
Ts-1トレンチ東側法面詳細図



11.1.2 膨張率に関する文献に基づく検討(17/17)

膨張率に関する文献に基づく検討のまとめ

- 膨張率に関する文献に基づく検討の結果、層厚変化及び不動元素から求めた鉛直方向の膨張率はほぼ同じ値となり、変位量の観察結果と整合的であることが確認された。
- 段丘堆積物中の不連続面の分布は、同程度の体積膨張率における模型実験結果と整合的であることが確認された。



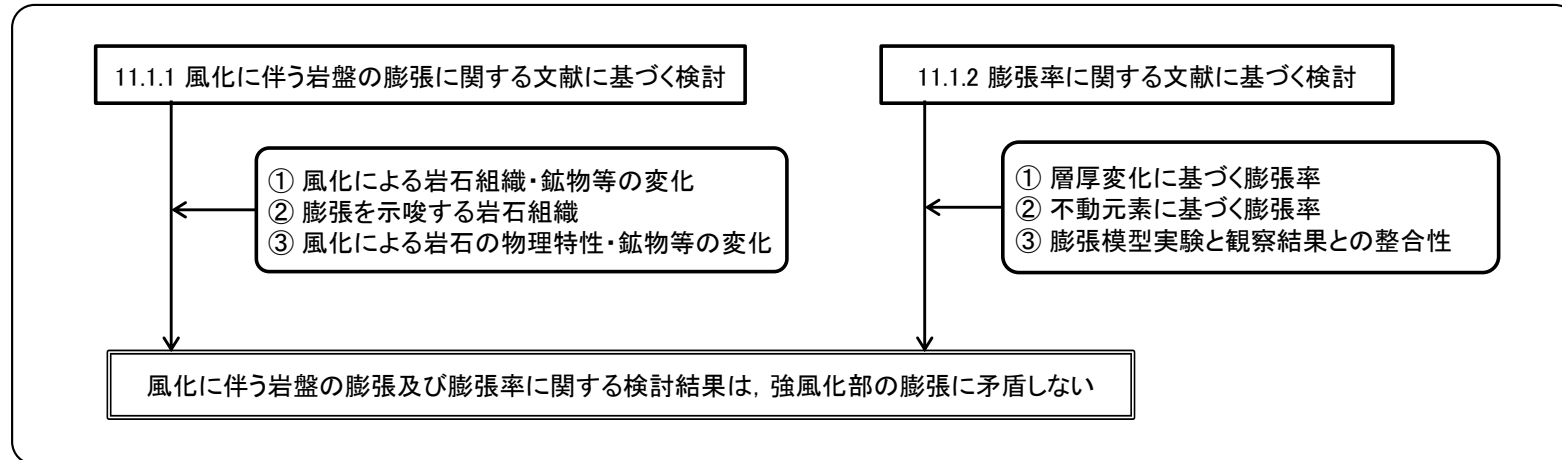
風化に伴う岩盤の膨張及び膨張率に関する検討結果は、強風化部の膨張に矛盾しない。膨張率等は観察結果及び模型実験結果と整合的。

(余白)

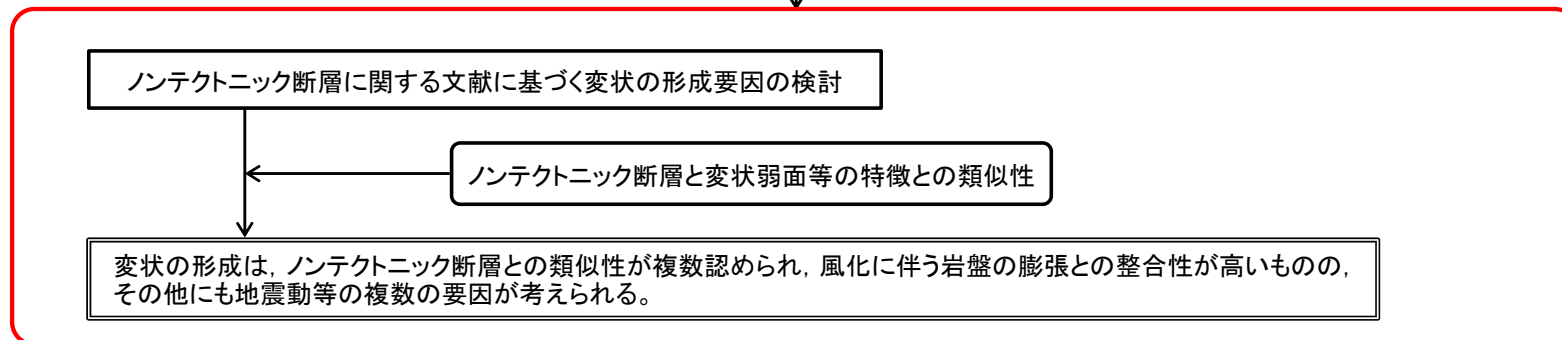
11.2 ノンテクトニック断層との類似性に関する検討(1/22)

検討の流れ

11.1 風化に伴う岩盤の膨張に関する検討



11.2 ノンテクトニック断層との類似性に関する検討



変状の形成要因のまとめ

- 変状の形成要因はノンテクトニックな複数の要因(風化に伴う岩盤の膨張, 地震動等)が挙げられ, 一つには特定できないと判断される。
- 強風化部の形成に伴う岩盤の膨張は分析・観察結果と矛盾しないが, 地震動等の影響も否定できない。
- これら複数の要因は, 少なくとも変状弱面等が非構造的なもの(本編資料P.3-162参照)と矛盾しない。

11.2 ノンテクトニック断層との類似性に関する検討(2/22)

ノンテクトニック断層に関する文献に基づく変状の形成要因の検討(1/2)

ノンテクトニック断層の形成要因*		ノンテクトニック断層の特徴*	大間地点の変状弱面等の特徴 (○類似点, ×相違点)		形成要因の適合性
重力	地すべり	<ul style="list-style-type: none"> ・地すべり地形を示すことが多い ・頭部で正断層, 末端部で逆断層, 側部で雁行亀裂 ・すべり面下盤に比べて上盤の顕著な破碎 ・開口割れ目の発達 	×	<ul style="list-style-type: none"> ・(1) 変状弱面等の周辺に地すべり地形は認められない(P.11-41, 11-42参照) ・(2) 変状弱面等に正断層型の変位センスは認められない(P.11-43, 11-44, 11-46参照) ・(3) 変状弱面等の上盤に顕著な破碎は認められない(P.11-43, 11-44参照) ・(4) 変状弱面等の上盤に開口割れ目は認められない(P.11-43, 11-44参照) 	なし
	多重山稜 ・線状凹地	<ul style="list-style-type: none"> ・尾根付近に尾根にほぼ平行に分布 ・正断層が多い 	×	<ul style="list-style-type: none"> ・(5) 変状弱面等の周辺に顕著な尾根は認められない(P.11-41, 11-42参照) ・(2) 変状弱面等に正断層型の変位センスは認められない(P.11-43, 11-44, 11-46参照) 	なし
	バレーバルジング	<ul style="list-style-type: none"> ・応力解放に伴って形成され, 谷地形に分布が限定される 	×	<ul style="list-style-type: none"> ・(6) 変状弱面等の周辺に顕著な谷地形は認められない(P.11-41, 11-42参照) 	なし
	堆積物の圧密	<ul style="list-style-type: none"> ・岩盤の凹凸に対応した沈下 ・正断層の形成 ・軟質な第四紀堆積物中のみ断層が形成される 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・(7) 変状は岩盤の上面の段差あるいは上に凸の変形が認められる箇所に分布する(P.11-43, 11-44, 11-46参照) ・(2) 段丘堆積物中の不連続面に正断層型の変位センスは認められない(P.11-43, 11-44, 11-46参照) ・(8) 段丘堆積物中の不連続面は岩盤の変状弱面等に連続する(P.11-43, 11-44, 11-46参照) 	低
	堆積時のスランピング	<ul style="list-style-type: none"> ・特定の層内に分布が限定される ・地層の顕著な塑性変形を伴う 	×	<ul style="list-style-type: none"> ・(7) 変状は特定の層内ではなく, 岩盤の上面の段差あるいは上に凸の変形が認められる箇所に分布する(P.11-43, 11-44, 11-46参照) ・(9) 段丘堆積物にスランピングを示唆するような顕著な塑性変形は認められない(P.11-43, 11-44, 11-46参照) 	なし
火山活動	カルデラ	<ul style="list-style-type: none"> ・カルデラ縁部に沿う正断層の形成 	×	<ul style="list-style-type: none"> ・(10) 敷地近傍に後期更新世以降に活動した火山は認められない(P.11-47参照) 	なし
	マグマの貫入	<ul style="list-style-type: none"> ・マグマの貫入圧力による正断層・逆断層の形成 			
	火山体の荷重沈下	<ul style="list-style-type: none"> ・環状または弧状の正断層の形成 			
地震動	<ul style="list-style-type: none"> ・深度5m程度までで消滅することが多い ・深部に向かって次第に低角度化することが多い ・開口割れ目を伴う高角度の正断層が多い ・地震動に伴う斜面変動で断層面の走向が斜面方向に規制されることが多い 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・(11) 変状弱面等は数m程度の深度で消滅する(P.11-48~P.11-50参照) ・(12) pd系弱面は深部で低角度化することが多い(P.11-51参照) ・(2) 変状弱面等の傾斜は低角で, 正断層型の変位センスは認められない(P.11-43, 11-44, 11-46参照) ・(13) 変状弱面等はほぼ平坦な地形のところに分布し, 斜面の傾斜方向とは無関係(P.11-42参照) ・(14) Ts-6法面及びTs-8トレンチの様々な走向のpd系弱面の分布は地震動では説明困難(P.11-53, 11-54参照) 	中	

* : ノンテクトニック断層研究会(2015)³⁵⁾に基づいて作成

変状弱面等の変位方向と第四紀の応力場との関係等から, 変状はノンテクトニックな要因で形成されたものと考えられることから, 文献に示されたノンテクトニック断層の形成要因とその特徴を整理し, 大間地点の変状弱面等の特徴との類似性について検討した。

・変状弱面等の特徴は, 「地震動」等によるノンテクトニック断層の特徴と類似点が認められる。

11.2 ノンテクトニック断層との類似性に関する検討(3/22)

ノンテクトニック断層に関する文献に基づく変状の形成要因の検討(2/2)

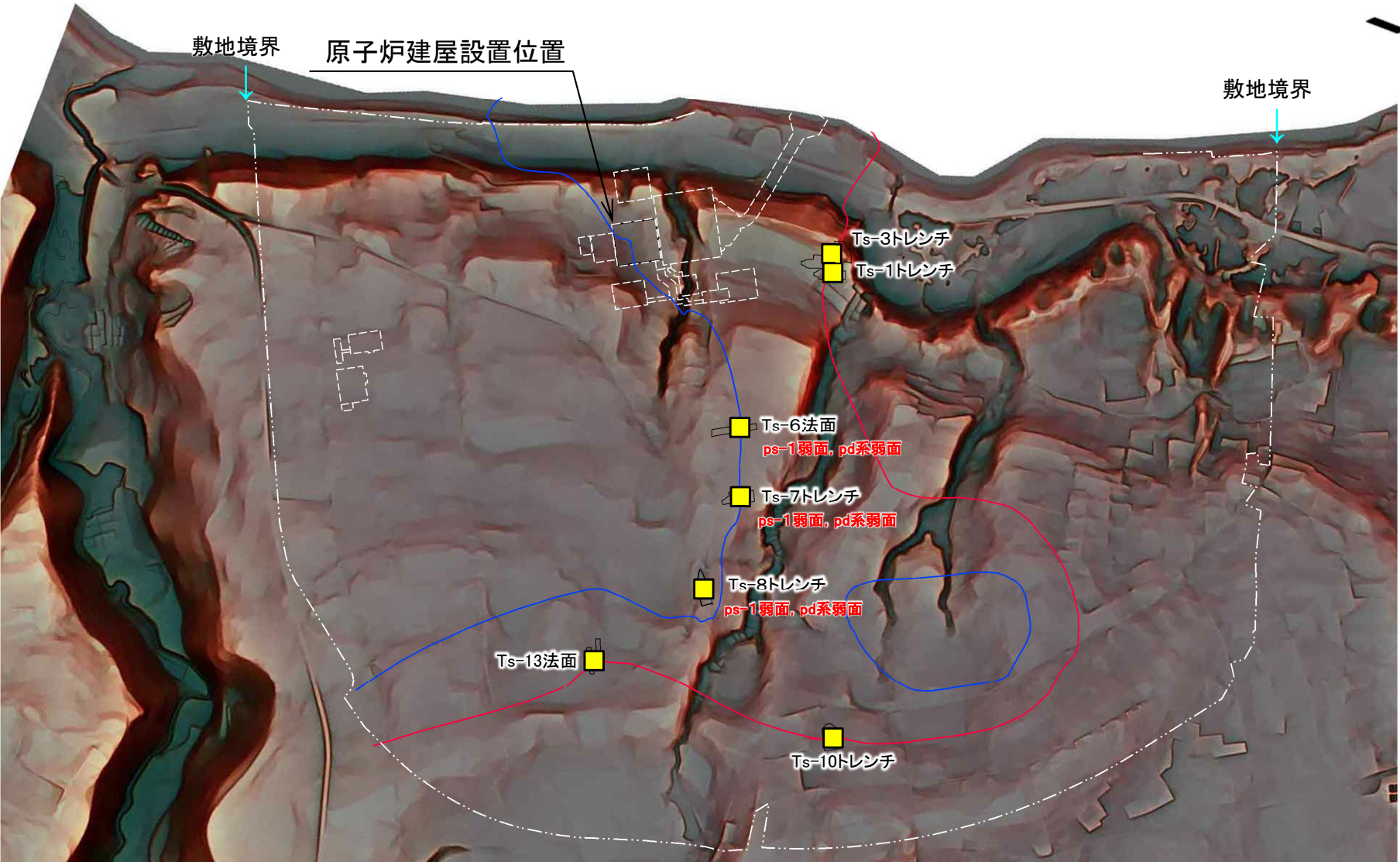
ノンテクトニック断層の形成要因		ノンテクトニック断層の特徴	大間地点の変状弱面等の特徴 (○類似点, ×相違点)		形成要因の適合性
岩盤の風化に伴う膨張	岩盤の風化・劣化による体積変化 ノンテクトニック断層研究会(2015) ³⁵⁾	・鉱物の風化変質, 割れ目形成・開口等による体積増加に伴って形成される ・断層は下方・側方に連続せず, 変位量が変化する	○ ○ ○ ○	・(15) 変状弱面等は強風化部に分布し, 変位量は強風化部の厚さと関連(P.11-55参照) ・(16) 変状弱面等の分布は局所的で側方に連続しない(P.11-52参照) ・(17) 変状弱面等は下方に連続しない(P.11-48~P.11-50参照) ・(18) Ts-6法面及びTs-8トレンチの様々な走向のpd系弱面の分布は岩盤の膨張を示唆する(P.11-53, 11-54参照)	高
	岩盤の風化(土壌化)に伴う膨張で形成されたノンテクトニックなせん断構造 Hanson et al.(1999) ³⁶⁾	①せん断構造は膨張性の土壌(岩盤の風化部)に分布が限定される	○	・(19) せん断構造が認められる変状弱面等は岩盤の強風化部の一部に分布が限定される(P.11-48~P.11-50参照)	高
		②せん断構造は未風化の堆積物や岩盤までは連続しない	○	・(20) 変状弱面等は新鮮部の岩盤までは連続しない(P.11-48~P.11-50参照)	高
		③せん断構造は一般的に広い範囲に分布し, 幅の狭いゾーンに分布が限定されることはない	× ○	・(21) 変状弱面等はシーム付近に分布が限定される(P.11-43~P.11-45, 11-49参照) ・(22) 変状弱面等はシーム付近のすべての部分に連続的に分布することはない(P.11-52参照)	中
		④せん断構造は基盤岩の断層上に集中して分布することはない	× ○ ○	・(21) 変状弱面等はシーム付近に分布が限定される(P.11-43~P.11-45, 11-49参照) ・(23) pd系弱面はシーム付近のすべての部分に連続的には分布せず, 一部ではシームを変位させている(P.11-48, 11-49参照) ・(24) 変状弱面等はcf断層系沿いには分布しない(P.11-56, 11-57参照)	中
		⑤近接して分布するせん断構造に様々なせん断方向のものがみられる	○	・(25) Ts-6法面及びTs-8トレンチにおいて近接して分布するpd系弱面は様々なせん断方向を示す(P.11-53, 11-54参照)	高
		⑥せん断構造を側方に追跡すると一定のせん断方向を示さない	○	・(26) ps-1弱面は側方に追跡するとせん断方向が一定ではなく, 90°程度異なったせん断方向を示す(P.11-58参照)	高

ノンテクトニック断層の形成要因のうち岩盤の風化に伴う膨張に関しては, ノンテクトニック断層研究会(2015)³⁵⁾及び米国原子力規制委員会のNUREG/CR-5503(Hanson et al.(1999)³⁶⁾)の記載に基づいて特徴の類似性について検討した。

・大間地点の変状弱面等の特徴は, 文献に記載された岩盤の風化に伴う膨張の特徴と類似点が多く, 変状の形成要因は岩盤の風化に伴う膨張との整合性が高い。



大間地点の変状弱面等の特徴(1/18): 赤色立体地図(1mDEMデータ)



凡例

- シームS-11層準(Ft5-3)*1が第四系基底面等に現れる位置
- シームS-10が第四系基底面等に現れる位置
- 耐震重要施設*2及び常設重大事故等対処施設*3
- トレンチ・法面
- 変状が認められる箇所

*1: シームS-11を挟む細粒凝灰岩の鍵層名。
 *2: 設置許可基準規則第三条の対象となる耐震重要施設(間接支持構造物を含む)。
 *3: 設置許可基準規則第三十八条の対象となる常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設(特定重大事故等対処施設を除く)。

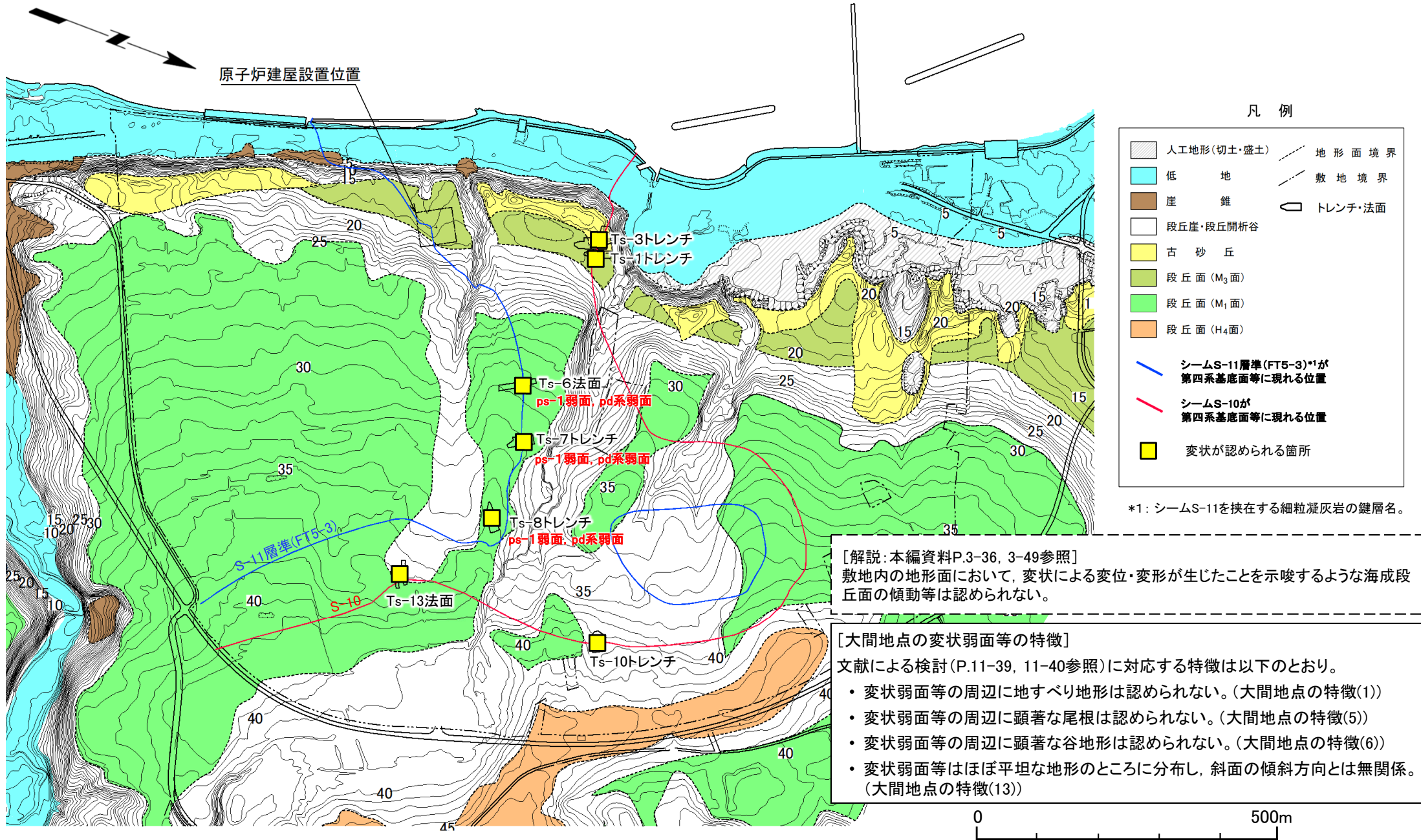
[解説: 本編資料P.3-35, 補足説明資料P.8-2参照]
 空中写真(昭和50年国土地理院撮影)から取得した1mDEMデータに基づいて赤色立体地図を作成し、工事着手前の原地形を詳細に再判読した。敷地内には断層地形の可能性がある地形、地すべり地形、活褶曲を示唆する海成段丘面の傾動等は認められない。変状による変位・変形が生じたことを示唆するような地形の高まりは判読されない。

[大間地点の変状弱面等の特徴]
 文献による検討(P.11-39, 11-40参照)に対応する特徴は以下のとおり。
 ・変状弱面等の周辺に地すべり地形は認められない。(大間地点の特徴(1))
 ・変状弱面等の周辺に顕著な尾根は認められない。(大間地点の特徴(5))
 ・変状弱面等の周辺に顕著な谷地形は認められない。(大間地点の特徴(6))





大間地点の変状弱面等の特徴(2/18):地形面区分図



凡例

	人工地形(切土・盛土)		地形面境界
	低地		敷地境界
	崖 錐		トレンチ・法面
	段丘崖・段丘開析谷		
	古砂丘		
	段丘面(M ₃ 面)		
	段丘面(M ₁ 面)		
	段丘面(H ₄ 面)		
	シームS-11層準(FT5-3)*1が第四系基底面等に現れる位置		
	シームS-10が第四系基底面等に現れる位置		
	変状が認められる箇所		

*1: シームS-11を挟在する細粒凝灰岩の鍵層名。

[解説:本編資料P.3-36, 3-49参照]
敷地内の地形面において、変状による変位・変形が生じたことを示唆するような海成段丘面の傾動等は認められない。

[大間地点の変状弱面等の特徴]
文献による検討(P.11-39, 11-40参照)に対応する特徴は以下のとおり。

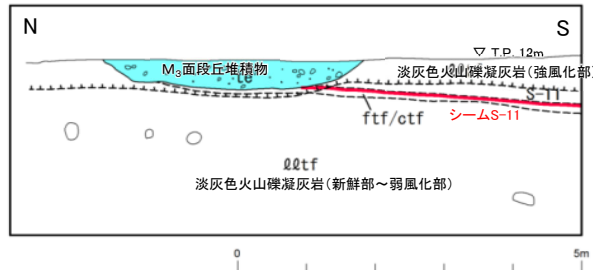
- 変状弱面等の周辺に地すべり地形は認められない。(大間地点の特徴(1))
- 変状弱面等の周辺に顕著な尾根は認められない。(大間地点の特徴(5))
- 変状弱面等の周辺に顕著な谷地形は認められない。(大間地点の特徴(6))
- 変状弱面等はほぼ平坦な地形のところに分布し、斜面の傾斜方向とは無関係。(大間地点の特徴(13))

11.2 ノンテクトニック断層との類似性に関する検討(6/22)

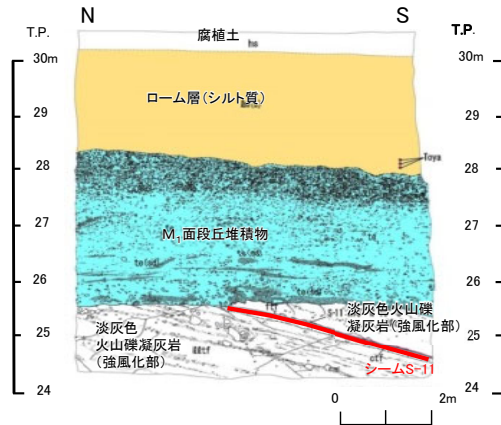
第804回審査会合
資料1-1 P.4-8 一部修正



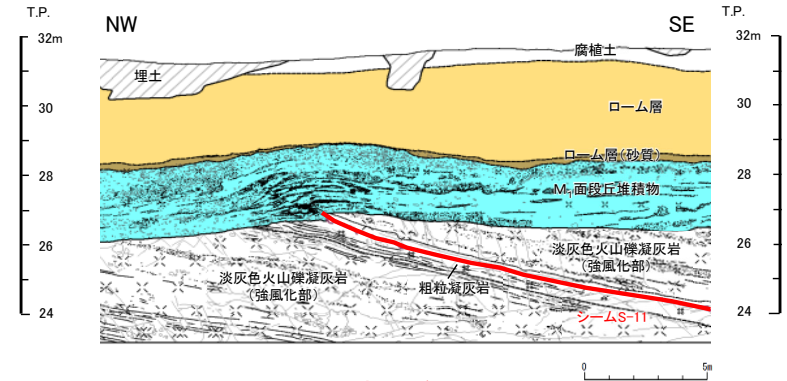
大間地点の変状弱面等の特徴(3/18):地質スケッチ(シームS-11付近)



No.3法面: 変状が認められない
(P.4-3参照)



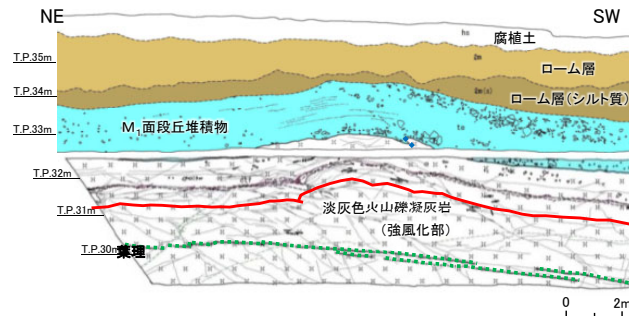
Ts-5法面: 変状が認められない
(P.4-6参照)



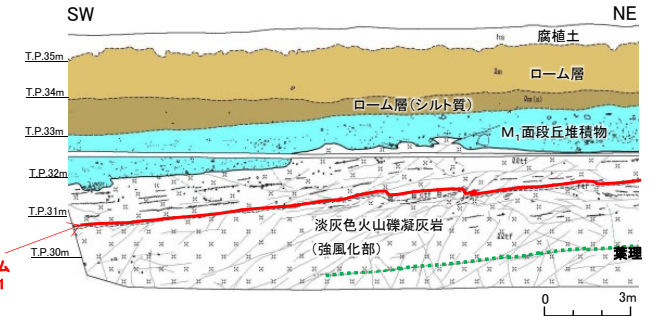
Ts-6法面: 変状が認められる
(見掛けの鉛直変位量約35cm[段丘堆積物中の層理面の段差]及び約75cm[段丘堆積物の上に凸の形状])
(P.4-7参照)



Ts-7トレンチ東側法面: 変状が認められる
(見掛けの鉛直変位量約30cm[段丘堆積物中の層理面の段差])
(P.4-20参照)



Ts-8トレンチ南側法面: 変状が認められる
(見掛けの鉛直変位量約85cm[段丘堆積物の上に凸の形状])
(P.4-23参照)



Ts-8トレンチ北側法面: 変状が認められる
(見掛けの鉛直変位量約50cm[段丘堆積物の上に凸の形状])
(P.4-24, 6-14参照)

[解説: 本編資料P.3-44参照]

シームS-11付近の詳細地質観察の結果、変状が認められる箇所及び変状が認められない箇所がある。変状が認められる箇所(Ts-6法面, Ts-7, 8トレンチ)では、段丘堆積物中の層理面が段差及び上に凸の変形を示し、シームS-11の上盤は上方に変位するセンスを示す。変状が認められる箇所には、シームS-11に変状弱面であるps-1弱面が、低角の変位を伴う不連続面にpd系弱面が分布する。

[大間地点の変状弱面等の特徴]

文献による検討(P.11-39, 11-40参照)に対応する特徴は以下のとおり。

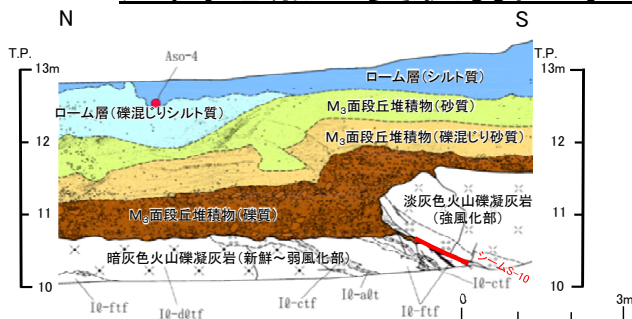
- 正断層型の変位センスは認められない。(大間地点の特徴(2))
- シーム・不連続面上盤に顕著な破碎は認められない。(大間地点の特徴(3))
- シーム・不連続面上盤に開口割れ目は認められない。(大間地点の特徴(4))
- 変状は岩盤の上面の段差あるいは上に凸の変形が認められる箇所に分布する。(大間地点の特徴(7))
- 段丘堆積物中の不連続面は岩盤の変状弱面等に連続する。(大間地点の特徴(8))
- 段丘堆積物にスランピングを示唆するような顕著な塑性変形は認められない。(大間地点の特徴(9))
- 変状弱面等はシーム付近に分布が限定される。(大間地点の特徴(21))

11.2 ノンテクトニック断層との類似性に関する検討(7/22)

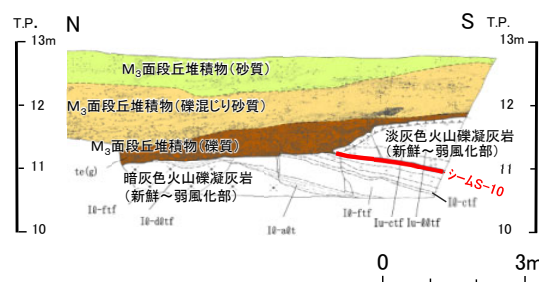
第804回審査会合
資料1-1 P.4-7 一部修正



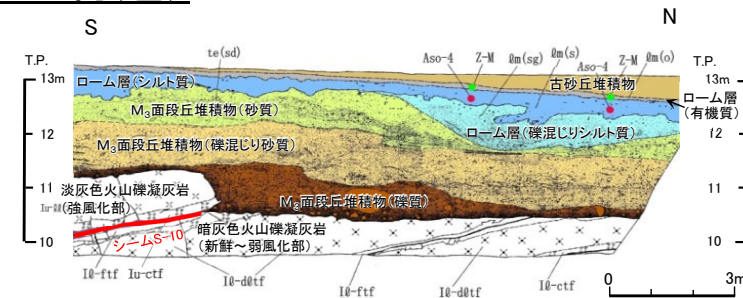
大間地点の変状弱面等の特徴(4/18):地質スケッチ(シームS-10付近)



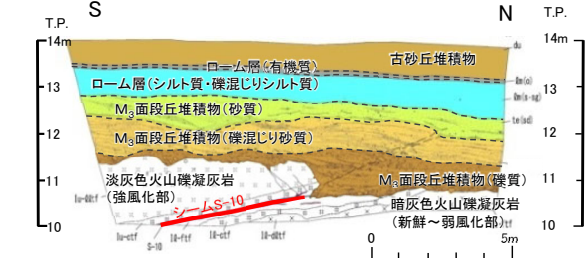
Ts-1トレンチ東側法面: 変状が認められる
(見掛けの鉛直変位量約35cm
〔岩盤の段差及び段丘堆積物中の層理面の段差〕)
(P.4-28, P.4-58~P.4-67参照)



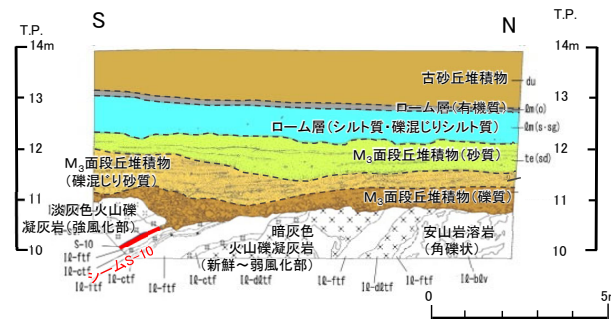
Ts-2トレンチ東側法面: 変状が認められない
(P.4-33参照)



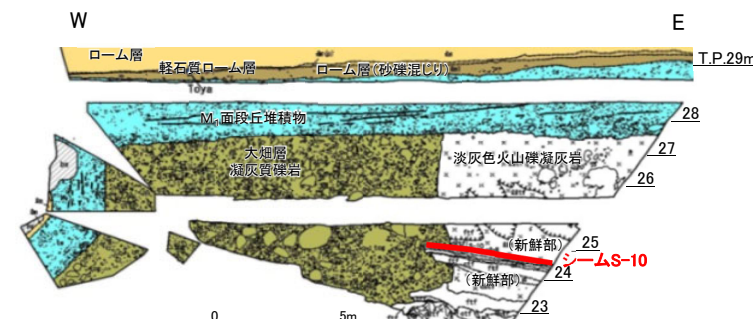
Ts-3トレンチ西側法面: 変状が認められる
(見掛けの鉛直変位量約25cm〔段丘堆積物中の層理面の段差〕)
(P.4-35参照)



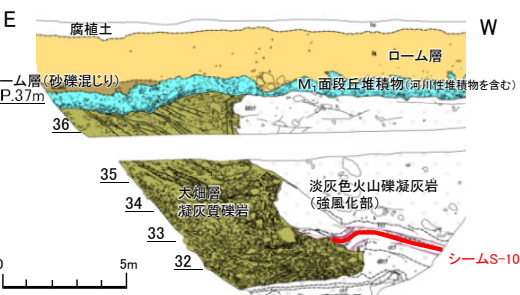
Ts-3トレンチ8m西側法面: 変状が認められる
(見掛けの鉛直変位量約14cm〔段丘堆積物中の層理面の段差〕)
(P.4-40参照)



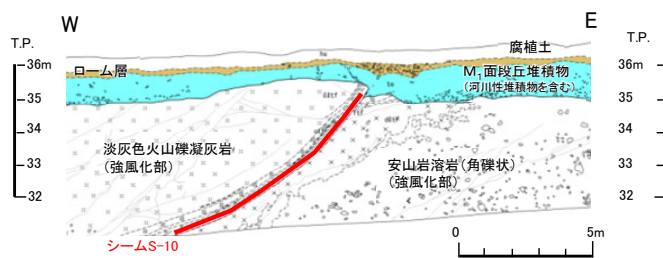
Ts-3トレンチ17m西側法面: 変状が認められる
(見掛けの鉛直変位量約9cm〔段丘堆積物中の層理面の段差〕)
(P.4-41参照)



Ts-11トレンチ北側法面: 変状が認められない
(P.4-44参照)



Ts-10トレンチ南側法面: 変状が認められる
(見掛けの鉛直変位量約65cm*
〔段丘堆積物上面の層理面の段差〕)
(P.4-46参照)



Ts-13法面北側法面: 変状が認められる
(見掛けの鉛直変位量約30cm*
〔段丘堆積物上面の層理面の段差〕)
(P.4-48参照)

*: M1面段丘堆積物は削剝を受けていると考えられるため参考値とする。

〔解説: 本編資料P.3-45参照〕
シームS-10付近の詳細地質観察の結果、変状が認められる箇所及び変状が認められない箇所がある。変状が認められる箇所(Ts-1, 3, 10トレンチ, Ts-13法面等)では、段丘堆積物中の層理面が段差を示し、シームS-10の上盤は上方に変位するセンスを示す。

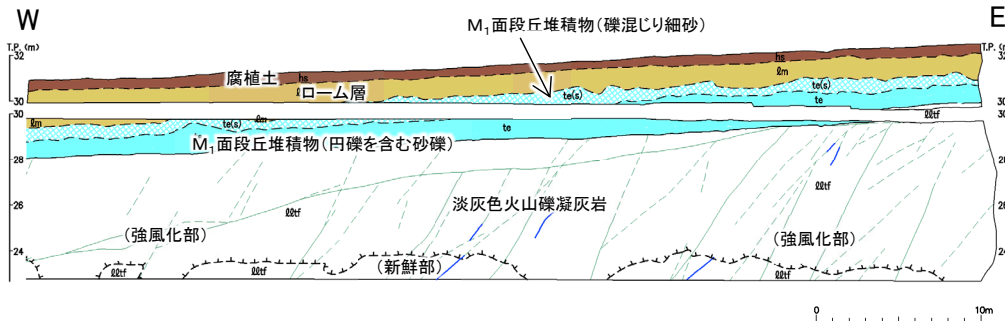
- 〔大間地点の変状弱面等の特徴〕
文献による検討(P.11-39, 11-40参照)に対応する特徴は以下のとおり。
- 正断層型の変位センスは認められない。(大間地点の特徴(2))
 - シーム・不連続面上盤に顕著な破碎は認められない。(大間地点の特徴(3))
 - シーム・不連続面上盤に開口割れ目は認められない。(大間地点の特徴(4))
 - 変状は岩盤の上面の段差あるいは上に凸の変形が認められる箇所に分布する。(大間地点の特徴(7))
 - 段丘堆積物中の不連続面は岩盤の変状弱面等に連続する。(大間地点の特徴(8))
 - 段丘堆積物にスランピングを示唆するような顕著な塑性変形は認められない。(大間地点の特徴(9))
 - 変状弱面等はシーム付近に分布が限定される。(大間地点の特徴(21))

11.2 ノンテクトニック断層との類似性に関する検討(8/22)

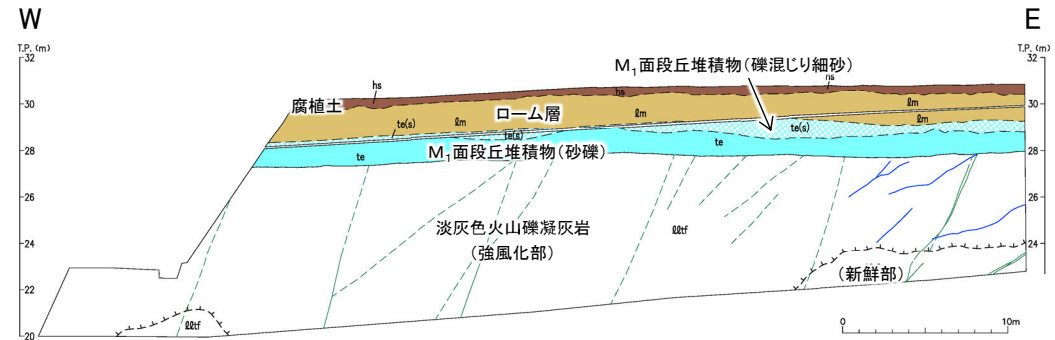
第804回審査会合
資料1-1 P.4-9 一部修正



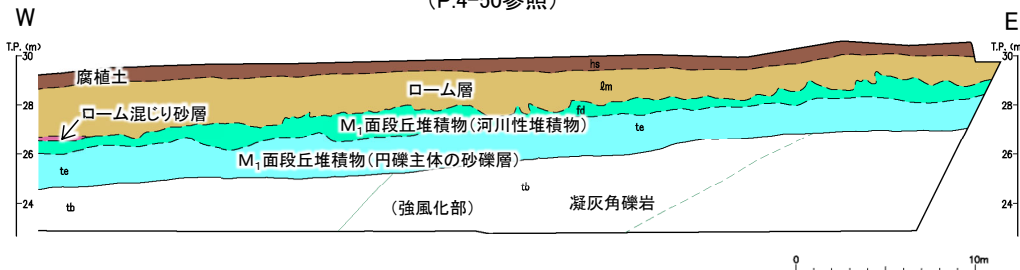
大間地点の変状弱面等の特徴(5/18):地質スケッチ(シームS-10, S-11付近以外)



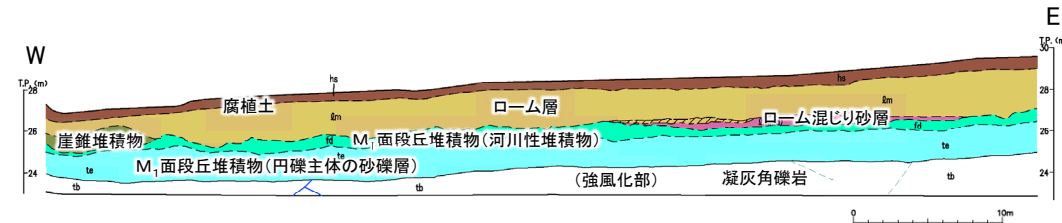
法面①: 変状が認められない
(P.4-50参照)



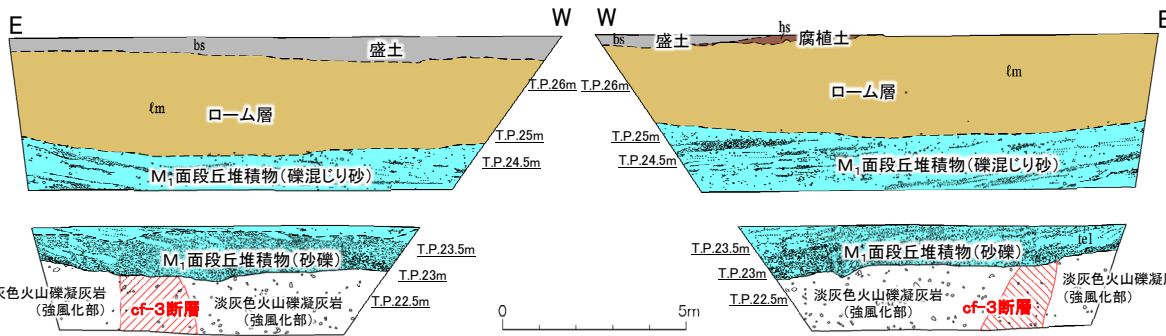
法面②: 変状が認められない
(P.4-51参照)



法面③: 変状が認められない
(P.4-52参照)



法面④: 変状が認められない
(P.4-53参照)



Tf-4トレンチ南側法面: 変状が認められない
(P.4-55参照)

Tf-4トレンチ北側法面: 変状が認められない
(P.4-56参照)

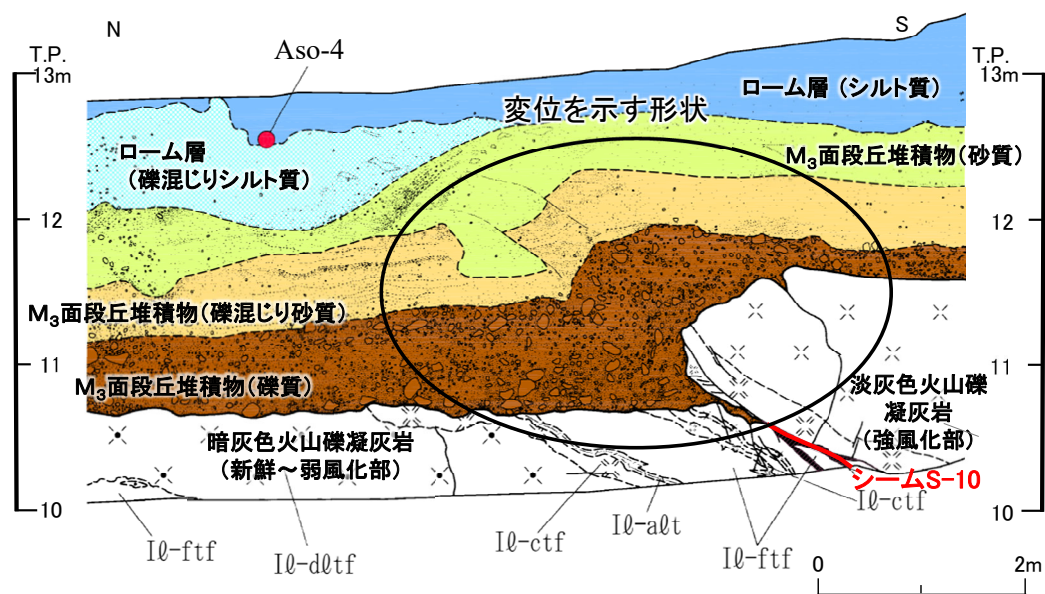
[解説: 本編資料P.3-46参照]
シームS-10, S-11付近以外での詳細地質観察の結果, 変状, 変状弱面等は認められない。

[大間地点の変状弱面等の特徴]
文献による検討(P.11-39, 11-40参照)に対応する特徴は以下のとおり。
・ 変状弱面等はシーム付近に分布が限定される。(大間地点の特徴(21))

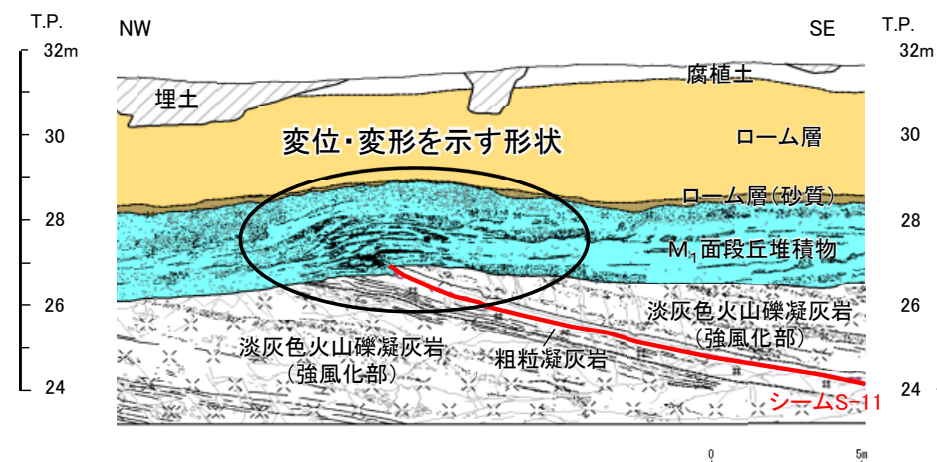
11.2 ノンテクトニック断層との類似性に関する検討(9/22)



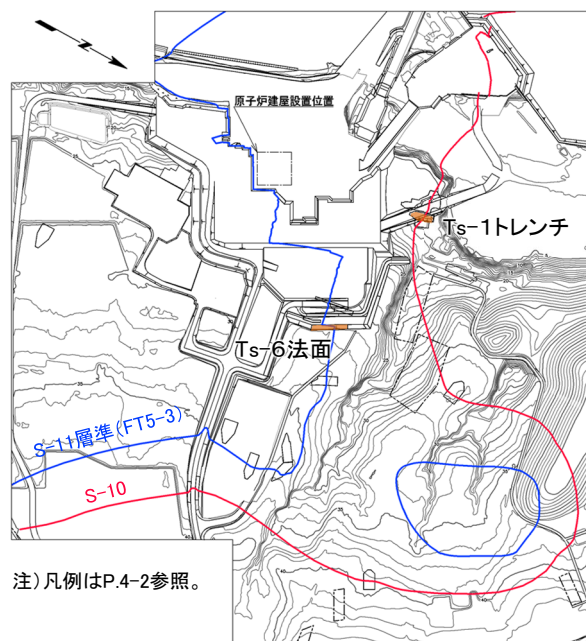
大間地点の変状弱面等の特徴(6/18): 段丘堆積物中の変状の特徴(Ts-1トレンチ及びTs-6法面)



Ts-1トレンチ東側法面スケッチ



Ts-6法面スケッチ



注) 凡例はP.4-2参照。

位置図

[解説: 本編資料P.3-31参照]

Ts-1トレンチ東側法面では、M₃面段丘堆積物及びその直下の岩盤に変位を示す形状が認められ、一部で段丘堆積物中に変形を示す形状も認められる。Ts-6法面では、M₁面段丘堆積物及びその直下の岩盤に変位・変形を示す形状が認められる。

[大間地点の変状弱面等の特徴]

文献による検討(P.11-39, 11-40参照)に対応する特徴は以下のとおり。

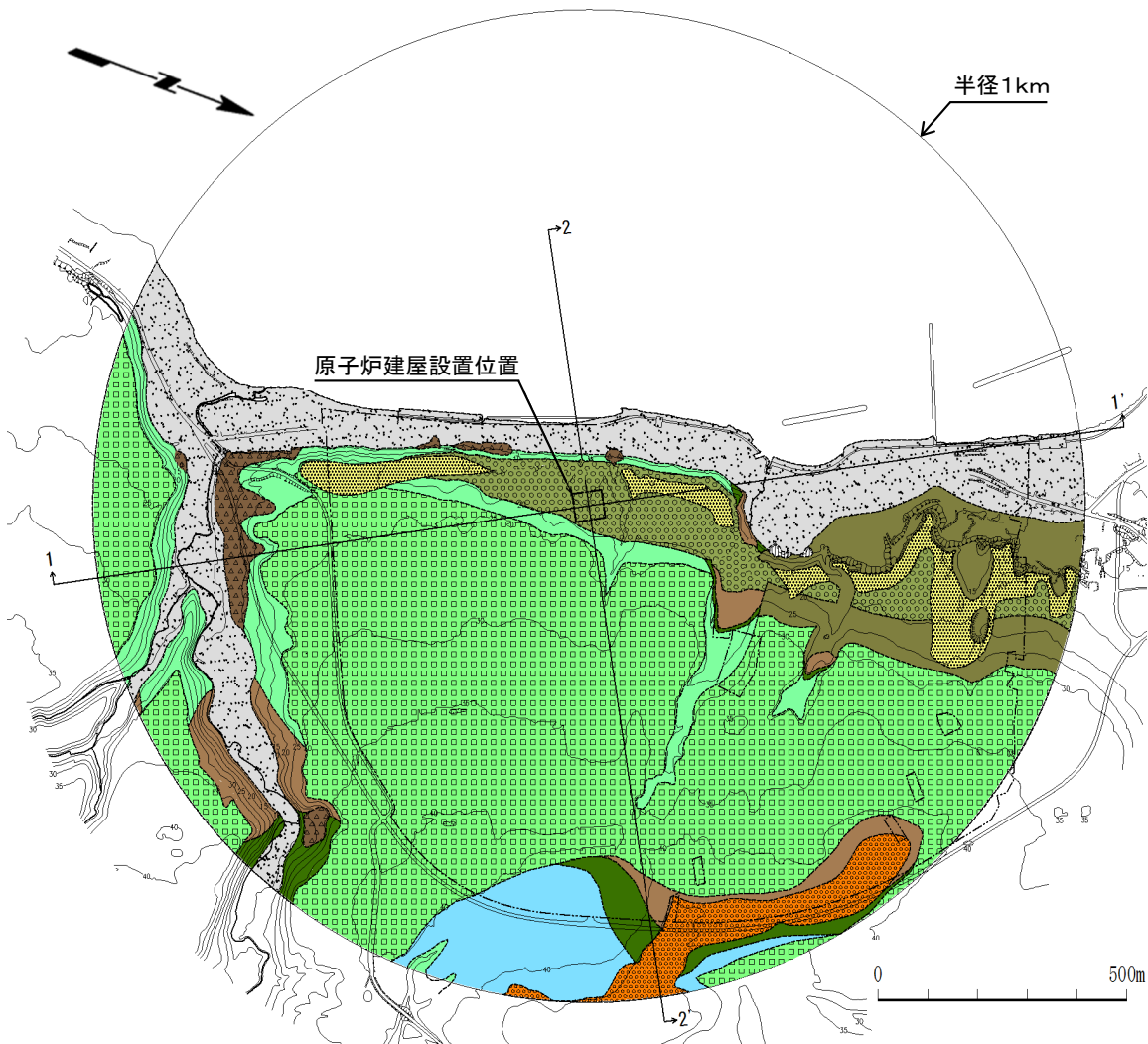
- 段丘堆積物中の不連続面に正断層型の変位センスは認められない。(大間地点の特徴(2))
- 段丘堆積物中の変状は、岩盤上面の段差あるいは上に凸の変形が認められる箇所には分布する。(大間地点の特徴(7))
- 段丘堆積物中の不連続面は岩盤の変状弱面等に連続する。(大間地点の特徴(8))
- 段丘堆積物中にスランピングを示唆するような顕著な塑性変形は認められない。(大間地点の特徴(9))

11.2 ノンテクトニック断層との類似性に関する検討(10/22)

第906回審査会合
資料1-1-1 P.1-7 一部修正

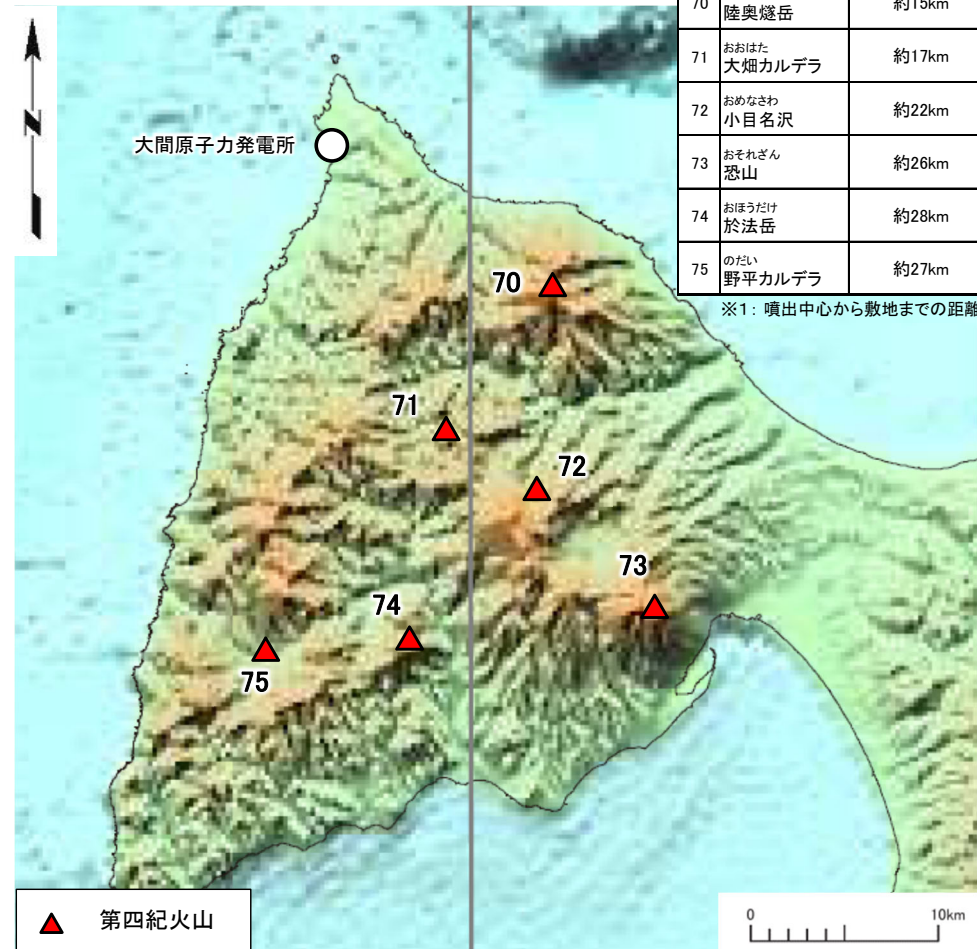


大間地点の変状弱面等の特徴(7/18):敷地の地質及び敷地周辺の火山



敷地の地質図

注1) 本地質図は、地表付近のローム層等を除いて表現している。
注2) 凡例及び地質断面図については、本編資料P.1-22、1-23参照。



下北半島西部における第四紀火山分布図

下北半島における第四紀火山

No.	名称	敷地からの距離※1
70	むつひうちだけ 陸奥燧岳	約15km
71	おおはた 大畑カルデラ	約17km
72	おめなさわ 小目名沢	約22km
73	おそれざん 恐山	約26km
74	おほうだけ 於法岳	約28km
75	のだい 野平カルデラ	約27km

※1: 噴出中心から敷地までの距離。

[解説: 本編資料P.1-22, 第906回審査会合資料1-2-2, P.参考2-11参照]

敷地の地質は、新第三紀中新世の大間層及び易国間層、鮮新世の大畑層並びにそれらを覆う第四系から構成され、第四紀火山は敷地に存在しない。敷地に最も近い第四紀火山は約15km離れた陸奥燧岳であり、敷地の近傍には第四紀火山は存在しない。

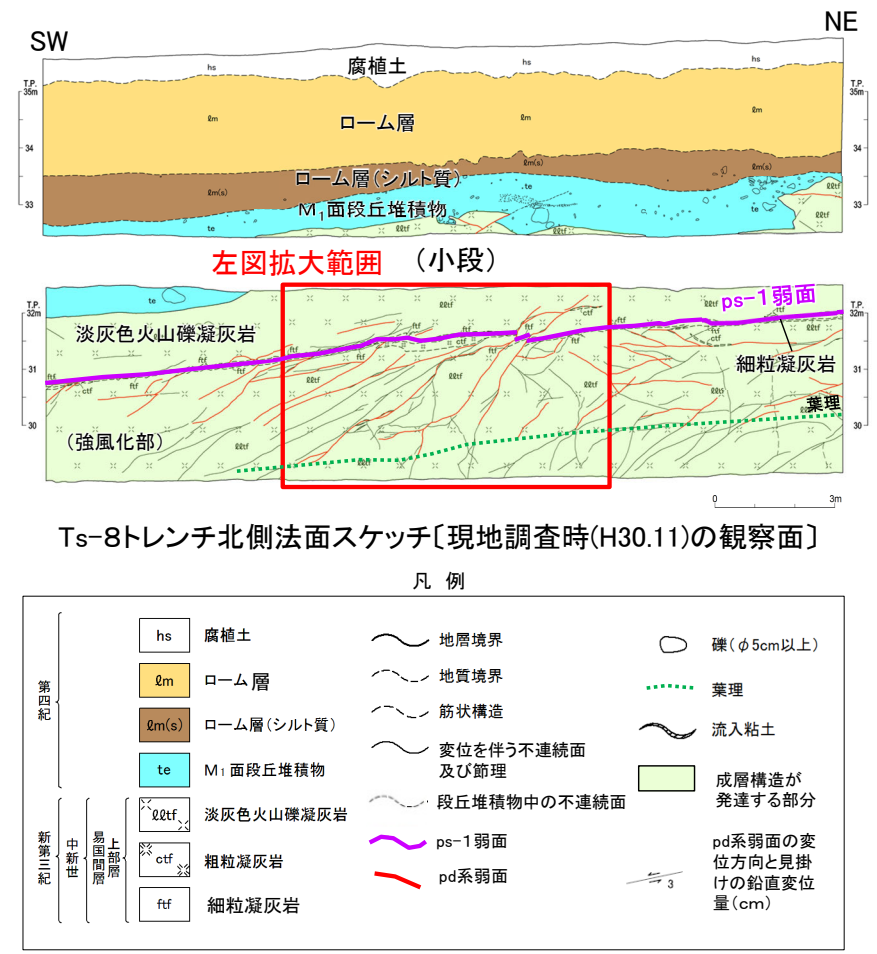
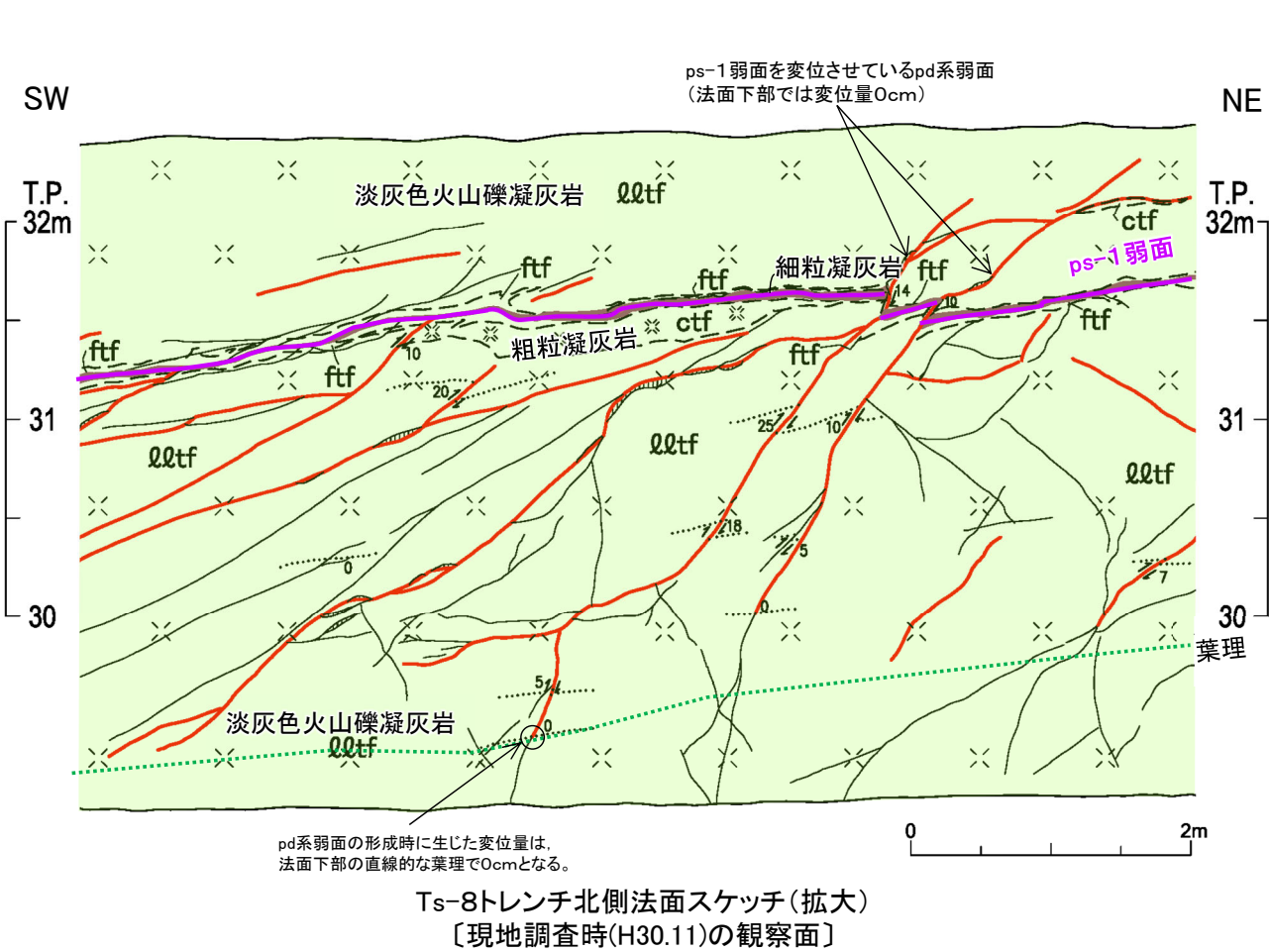
[大間地点の変状弱面等の特徴]

文献による検討(P.11-39, 11-40参照)に対応する特徴は以下のとおり。

- 敷地近傍に後期更新世以降に活動した火山は認められない。(大間地点の特徴(10))

11.2 ノンテクトニック断層との類似性に関する検討(11/22)

大間地点の変状弱面等の特徴(8/18):pd系弱面の分布範囲(Ts-8トレンチ)



[解説:本編資料P.3-140参照]
pd系弱面の下端の分布について、Ts-8トレンチ北側法面でのpd系弱面と葉理との関係及び変位量の分布により検討する。pd系弱面は、上部では一部でps-1弱面(シームS-11)を変位させているものの、変位量は下部に向かって小さくなり、法面下部では0cmとなる。また、pd系弱面の変位・変形は、法面下部の直線的な葉理には及んでおらず、法面下部では消滅する。したがって、pd系弱面は成層構造が発達する部分の下限までは分布していない。なお、岩盤は強風化している。

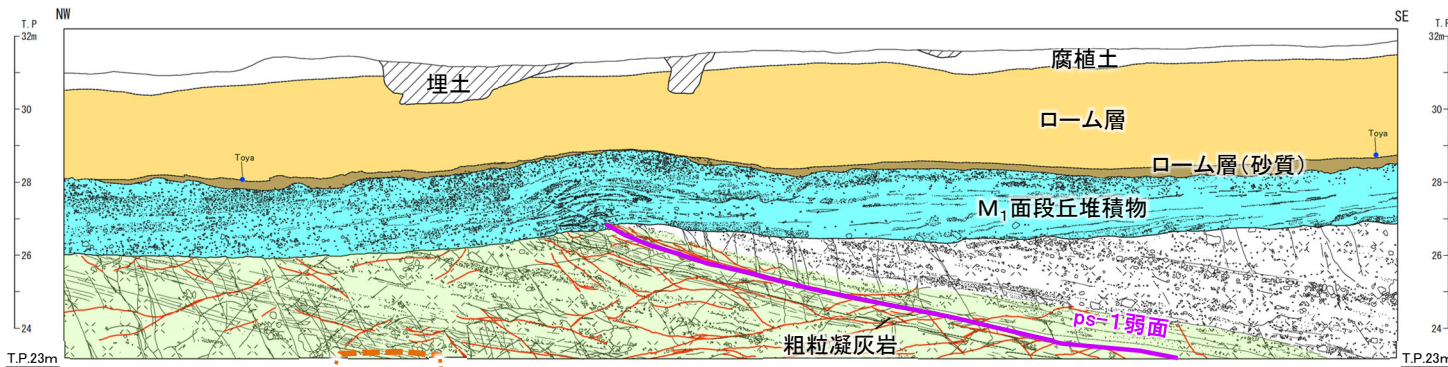
- [大間地点の変状弱面等の特徴]
- 文献による検討(P.11-39, 11-40参照)に対応する特徴は以下のとおり。
- 変状弱面等は数m程度の深度で消滅する。(大間地点の特徴(11))
 - 変状弱面等は下方に連続しない。(大間地点の特徴(17))
 - せん断構造が認められる変状弱面等は岩盤の強風化部の一部に分布が限定される。(大間地点の特徴(19))
 - 変状弱面等は新鮮部の岩盤までは連続しない。(大間地点の特徴(20))
 - pd系弱面はシーム付近のすべての部分に連続的には分布せず、一部ではシームを変位させている。(大間地点の特徴(23))

11.2 ノンテクトニック断層との類似性に関する検討(12/22)

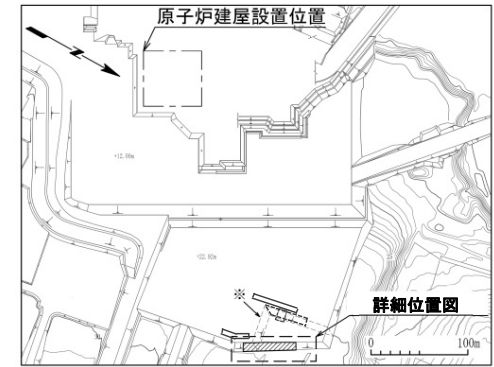
第804回審査会合
資料1-1 P.4-56一部修正



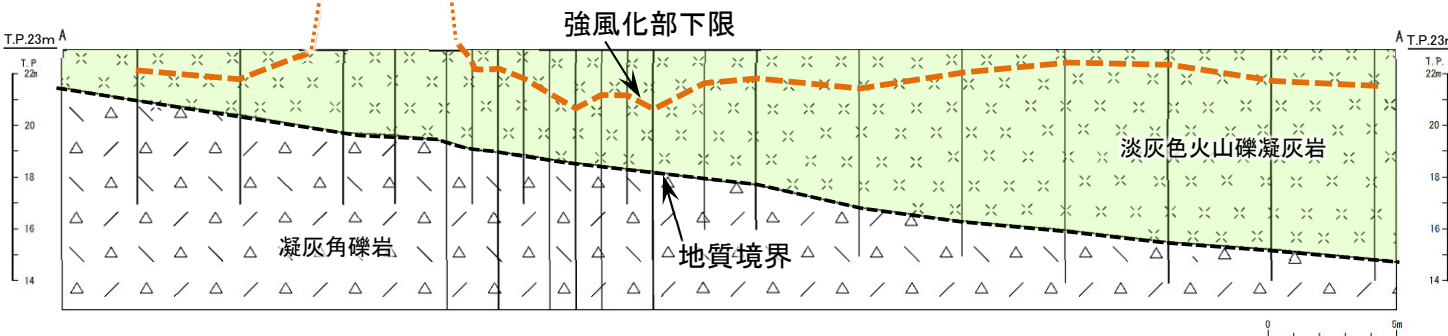
大間地点の変状弱面等の特徴(9/18):pd系弱面の分布範囲(Ts-6法面)



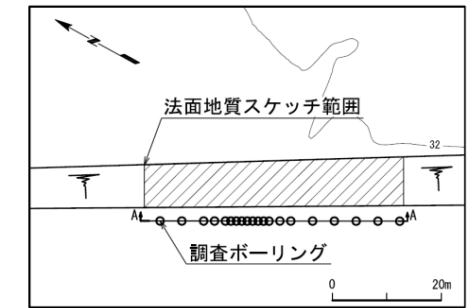
Ts-6法面地質スケッチ



※破線部は旧法面である。位置図



鉛直地質断面図



詳細位置図

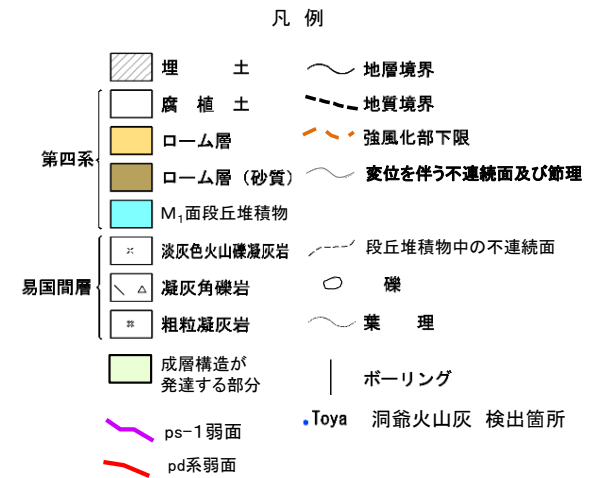
注1) 法面写真及び針貫入試験結果については、P.4-10参照。

注2) 地質スケッチは、第646回審査会合以降追加取得した調査データを含む。

[解説: 本編資料P.3-141参照]
pd系弱面の下端の分布について、Ts-6法面の下側で実施したボーリング調査に基づく鉛直地質断面図では、地質境界が直線的に分布し変位・変形が認められないため、pd系弱面は成層構造が発達する部分の下限まで分布していない。なお、岩盤は鉛直地質断面図での成層構造が発達する部分の途中まで強風化している。

[大間地点の変状弱面等の特徴]
文献による検討(P.11-39, 11-40参照)に対応する特徴は以下のとおり。

- 変状弱面等は数m程度の深度で消滅する。(大間地点の特徴(11))
- 変状弱面等は下方に連続しない。(大間地点の特徴(17))
- せん断構造が認められる変状弱面等は岩盤の強風化部の一部に分布が限定される。(大間地点の特徴(19))
- 変状弱面等は新鮮部の岩盤までは連続しない。(大間地点の特徴(20))
- 変状弱面等はシーム付近に分布が限定される。(大間地点の特徴(21))
- pd系弱面はシーム付近のすべての部分に連続的には分布せず、一部ではシームを変位させている。(大間地点の特徴(23))

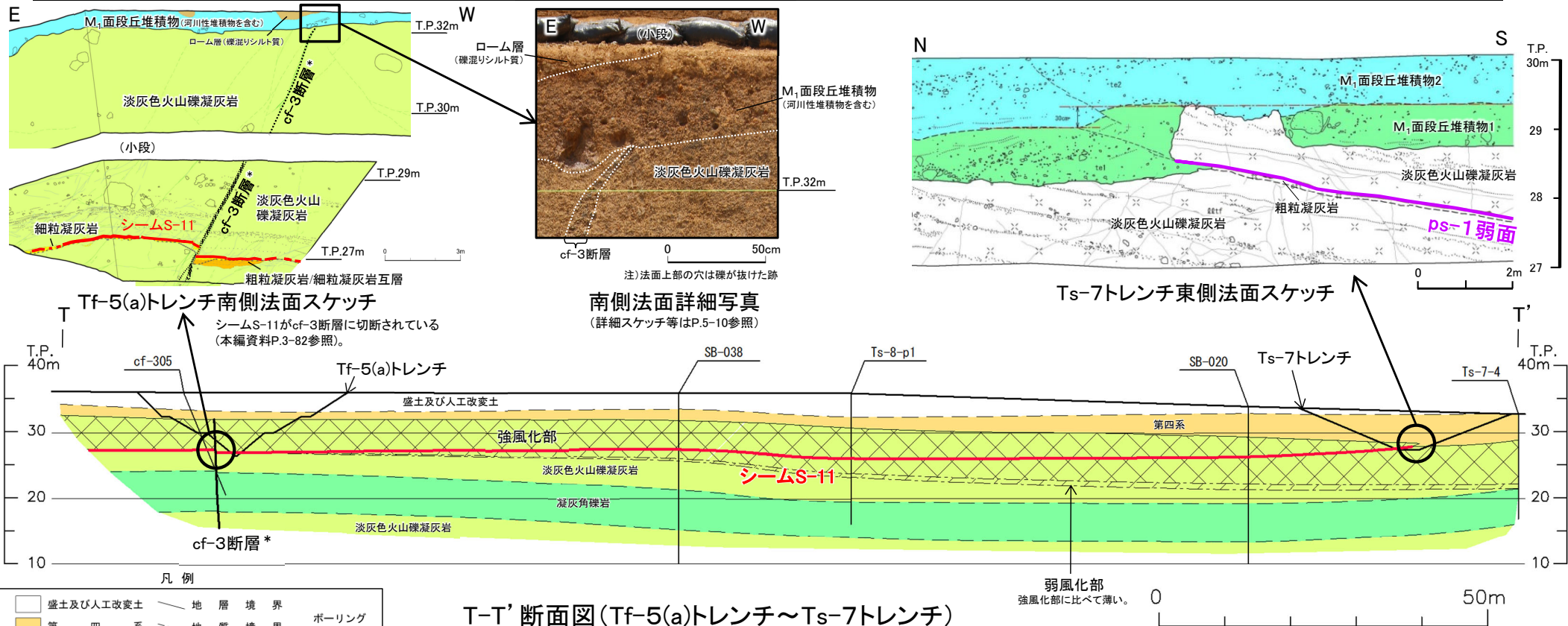


11.2 ノンテクトニック断層との類似性に関する検討(13/22)

第804回審査会合
資料1-1 P.4-48 一部修正

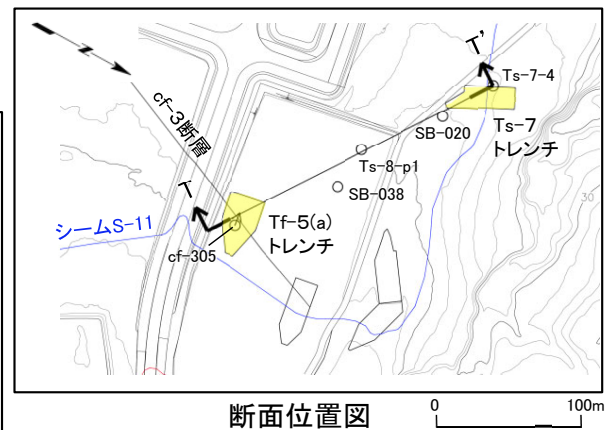


大間地点の変状弱面等の特徴(10/18): ps-1弱面下端の分布(Ts-7トレンチ~Tf-5(a)トレンチ)



[解説:本編資料P.3-149参照]
ps-1弱面の下端の分布について、Ts-7トレンチ及びTf-5(a)トレンチの詳細地質観察結果に基づいて検討する。Ts-7トレンチでは、ps-1弱面は地表付近のシームS-11付近の強風化部に分布する。Tf-5(a)トレンチでは、シームS-11付近の弱風化部がシームに接しており、シームS-11はcf-3断層*に切られ、それ以降シームに変位はないことから、ps-1弱面は分布しないと判断される。したがって、ps-1弱面の分布は、地表付近の強風化部中のシームS-11の一部の範囲で認められ、弱風化部及び新鮮部中のシームS-11では認められない。

- [大間地点の変状弱面等の特徴]
- 文献による検討(P.11-39, 11-40参照)に対応する特徴は以下のとおり。
- 変状弱面等は数m程度の深度で消滅する。(大間地点の特徴(11))
 - 変状弱面等は下方に連続しない。(大間地点の特徴(17))
 - せん断構造が認められる変状弱面等は岩盤の強風化部の一部に分布が限定される。(大間地点の特徴(19))
 - 変状弱面等は新鮮部の岩盤までは連続しない。(大間地点の特徴(20))

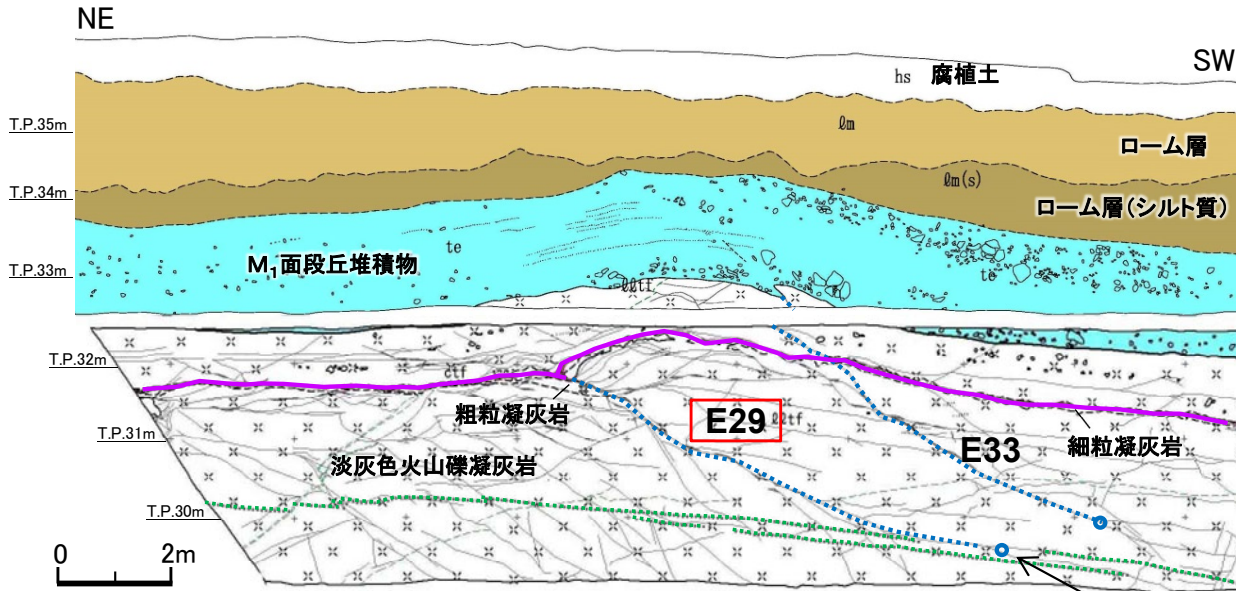


11.2 ノンテクトニック断層との類似性に関する検討(14/22)

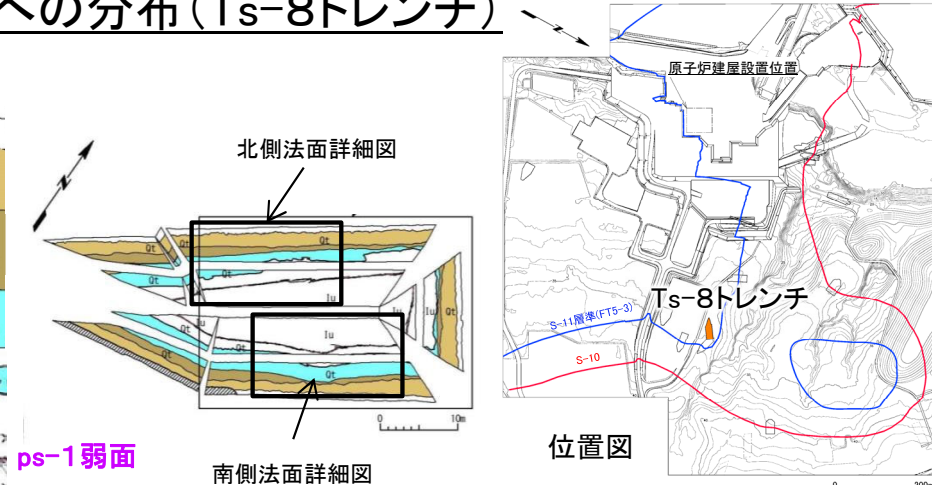
第804回審査会合
資料1-1 P.4-61一部修正



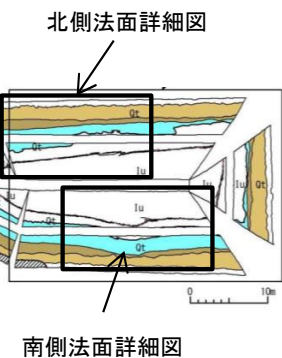
大間地点の変状弱面等の特徴(11/18):pd系弱面の下方への分布(Ts-8トレンチ)



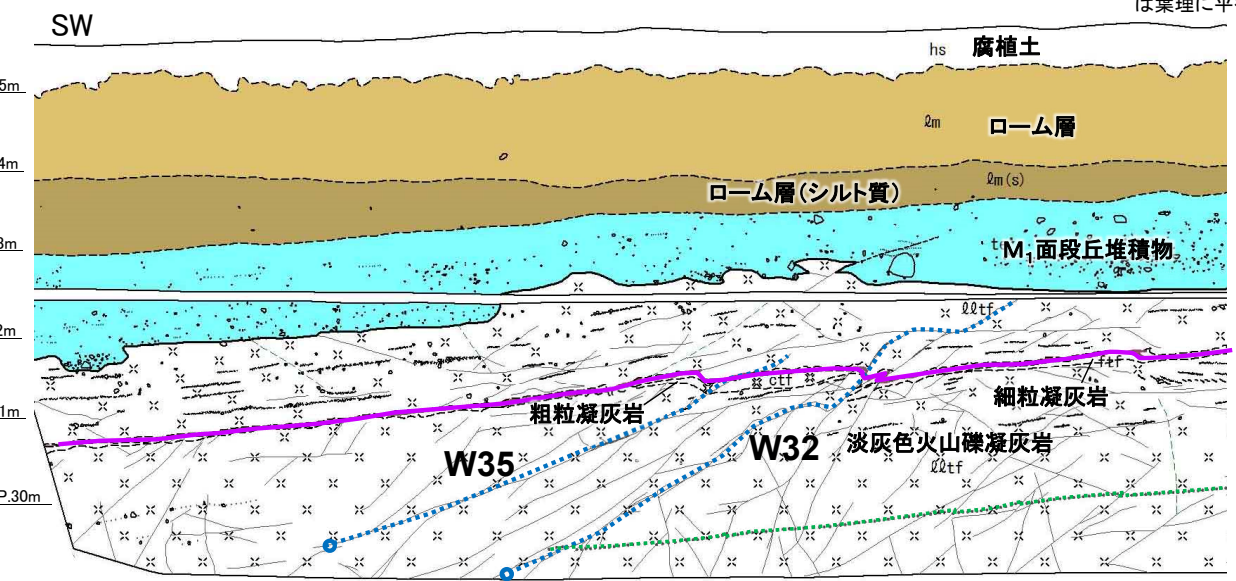
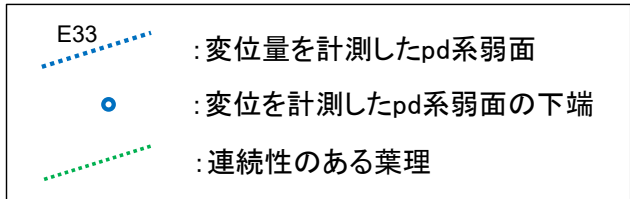
南側法面詳細図



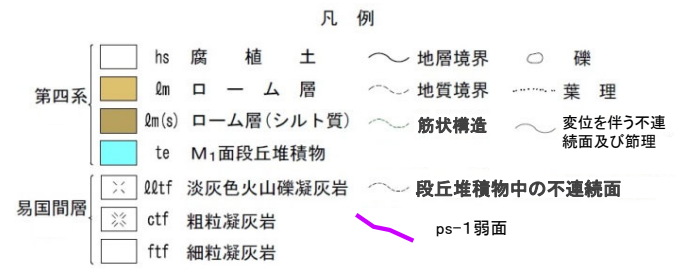
位置図



南側法面詳細図



北側法面詳細図



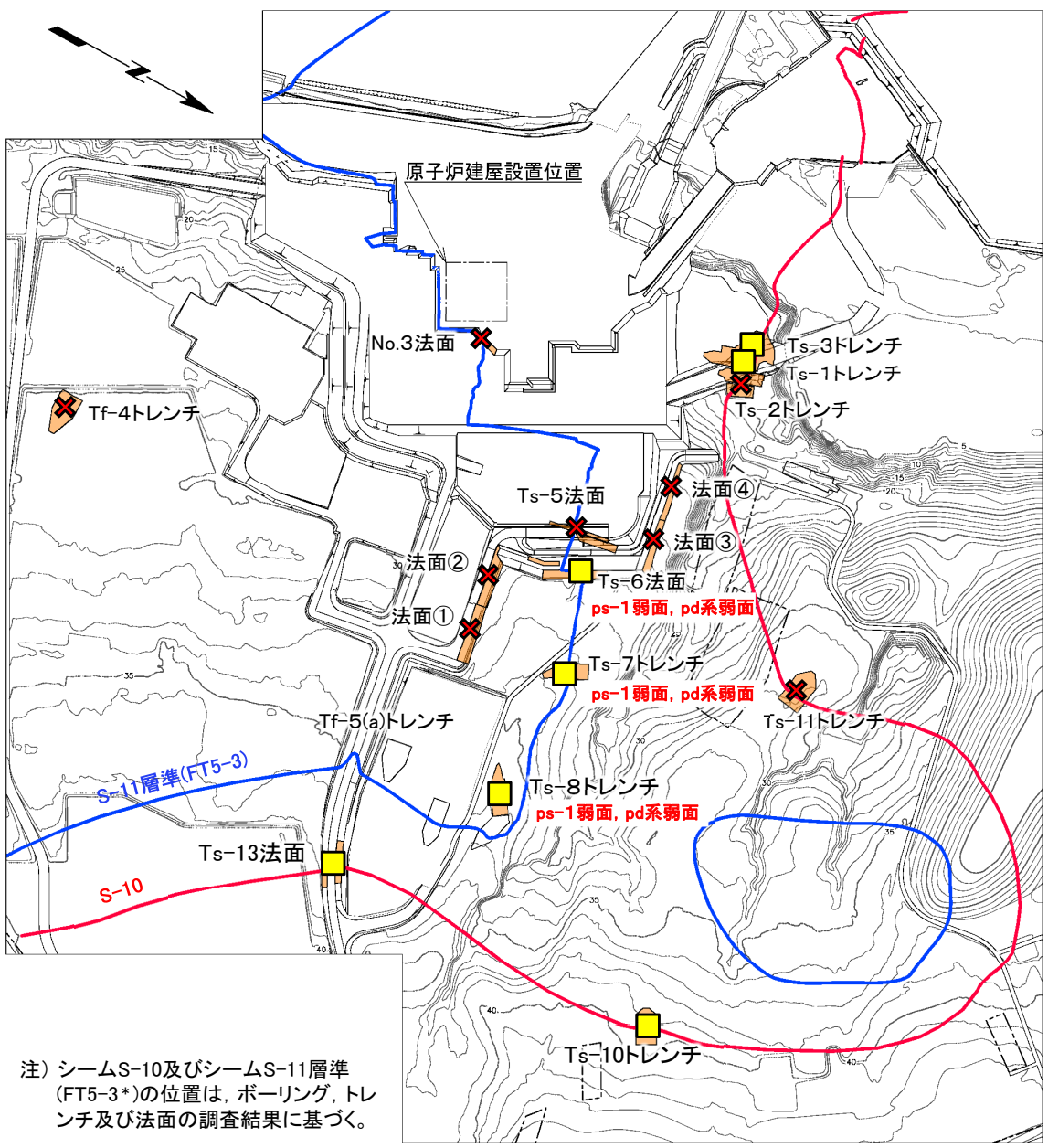
[解説:P.8-11参照]
pd系弱面の下方への分布について、Ts-8トレンチでは、上に凸の形状付近にある連続性の大きいpd系弱面(E29, E33, W32, W35)の下位に位置する葉理は直線的で、上に凸の形状の变形は認められない。特に、変位量最大のpd系弱面(E29, P.8-12参照)の下端は葉理に平行になり消滅している。

[大間地点の変状弱面等の特徴]
文献による検討(P.11-39, 11-40参照)に対応する特徴は以下のとおり。
・ pd系弱面は深部で低角度化することが多い。(大間地点の特徴(12))



11.2 ノンテクトニック断層との類似性に関する検討(15/22)

大間地点の変状弱面等の特徴(12/18): 変状弱面等の分布



注) シームS-10及びシームS-11層準(FT5-3*)の位置は、ボーリング、トレンチ及び法面の調査結果に基づく。

変状弱面等の分布確認位置

凡 例

- Ts-7 トレンチ・法面
- 敷地境界
- シームS-10が第四系基底面、掘削面等に現れる位置
- シームS-11層準(FT5-3*)が第四系基底面、掘削面等に現れる位置
*: シームS-11を挟在する細粒凝灰岩の鍵層名。
- 変状の詳細地質観察箇所

変状の詳細地質観察結果

- 変状が認められる
- 変状が認められない

変状弱面等の分布

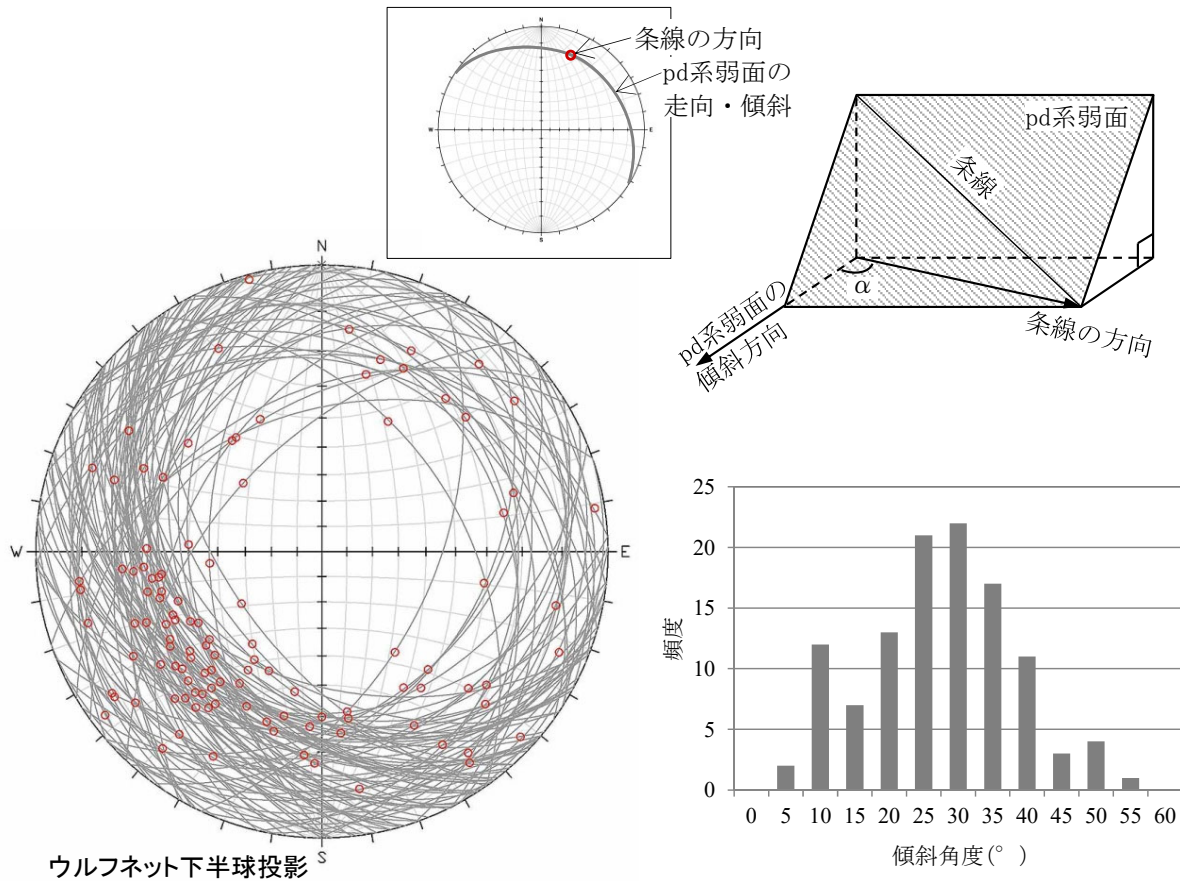
- ps-1弱面: シームS-11の一部に分布[Ts-6~8に分布]
- pd系弱面: シームS-11付近の一部に分布[Ts-6~8に分布]

[解説:P.8-2参照]
変状弱面であるps-1弱面は地表付近のシームS-11の一部に分布する。pd系弱面は主としてps-1弱面下盤の成層構造が発達する部分に分布する。変状弱面等は分布する箇所と分布しない箇所が近接して認められる。

[大間地点の変状弱面等の特徴]
文献による検討(P.11-39, 11-40参照)に対応する特徴は以下のとおり。
 • 変状弱面等の分布は局所的で側方に連続しない。(大間地点の特徴(16))
 • 変状弱面等はシーム付近のすべての部分に連続的に分布することはない。(大間地点の特徴(22))

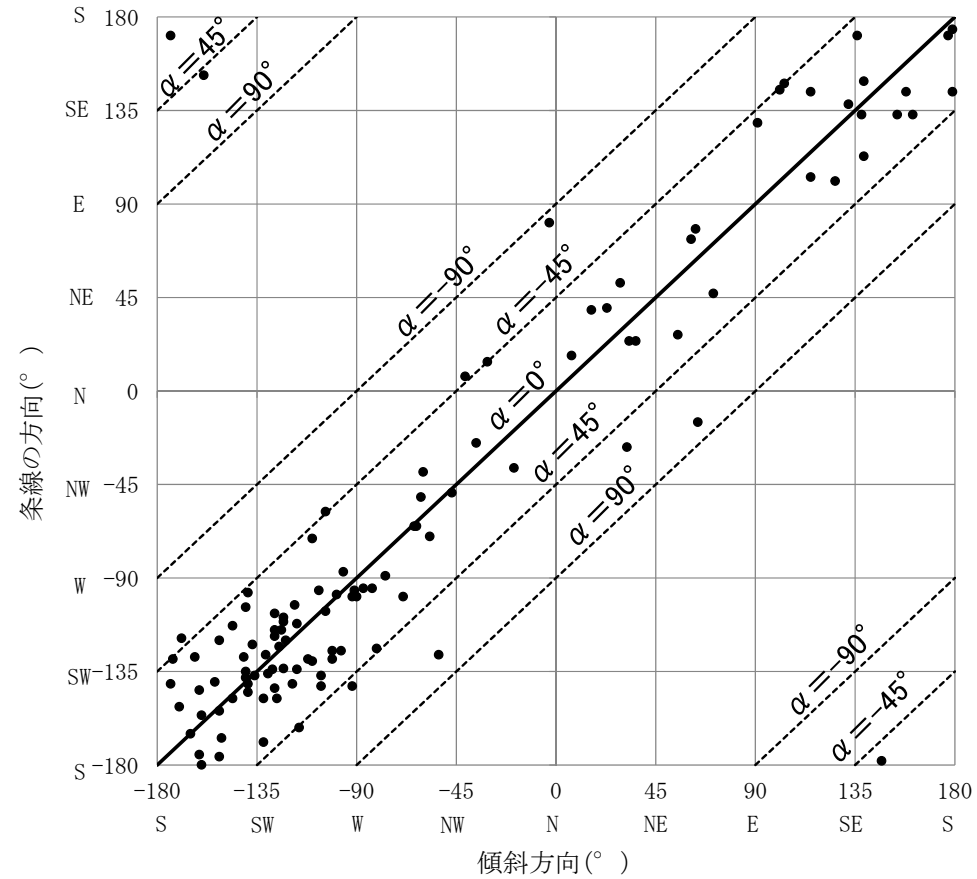
11.2 ノンテクトニック断層との類似性に関する検討(16/22)

大間地点の変状弱面等の特徴(13/18):pd系弱面と条線の関係(Ts-8トレンチ)



① pd系弱面と条線のウルフネット投影図

② pd系弱面の傾斜角度の分布



③ pd系弱面の傾斜方向と条線方向との関係

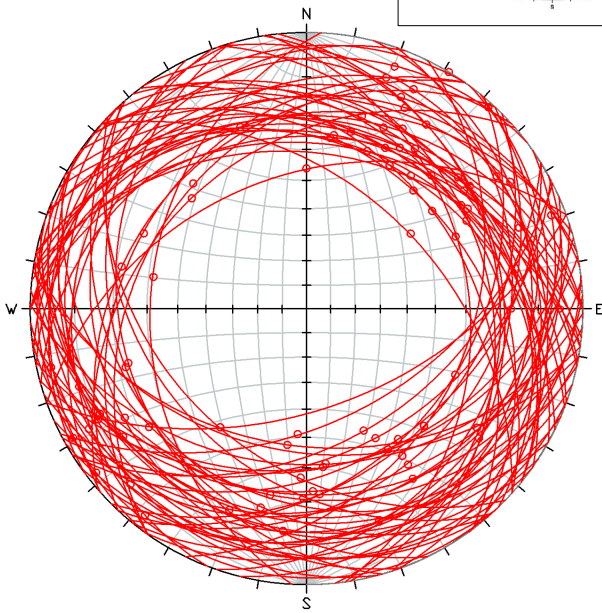
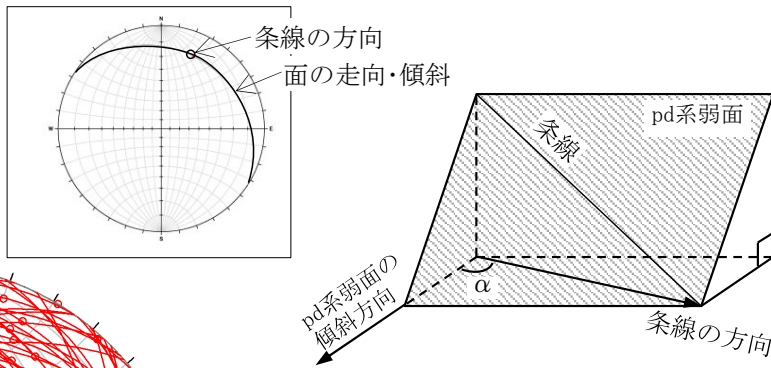
[解説:P.10-14参照]
Ts-8トレンチにおけるpd系弱面は、20° ~40° 程度の傾斜で走向は様々(①, ②)であるが、条線はほぼ最大傾斜方向を示す(①, ③)。上盤の変位方向は上方に変位するセンスを示し、一定の方向を示さない(①)。第四紀の応力場を示唆する東西方向の条線が卓越する傾向は認められない(①)。以上のことから、pd系弱面の変位は第四紀の広域応力場で生じた構造的なものではないと判断される。

[大間地点の変状弱面等の特徴]
文献による検討(P.11-39, 11-40参照)に対応する特徴は以下のとおり。

- Ts-6法面及びTs-8トレンチの様々な走向のpd系弱面の分布は地震動では説明困難。(大間地点の特徴(14))
- Ts-6法面及びTs-8トレンチの様々な走向のpd系弱面の分布は岩盤の膨張を示唆する。(大間地点の特徴(18))
- Ts-6法面及びTs-8トレンチにおいて近接して分布するpd系弱面は様々なせん断方向を示す。(大間地点の特徴(25))

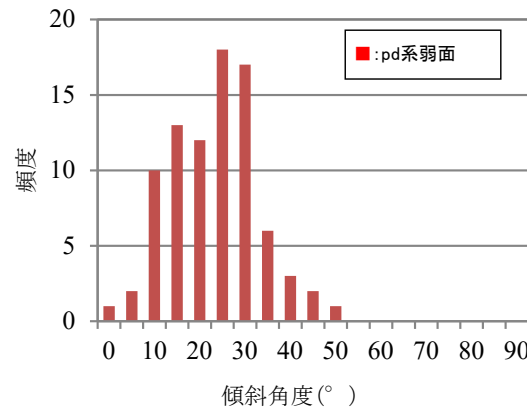


大間地点の変状弱面等の特徴(14/18):pd系弱面と条線の関係(Ts-6法面)

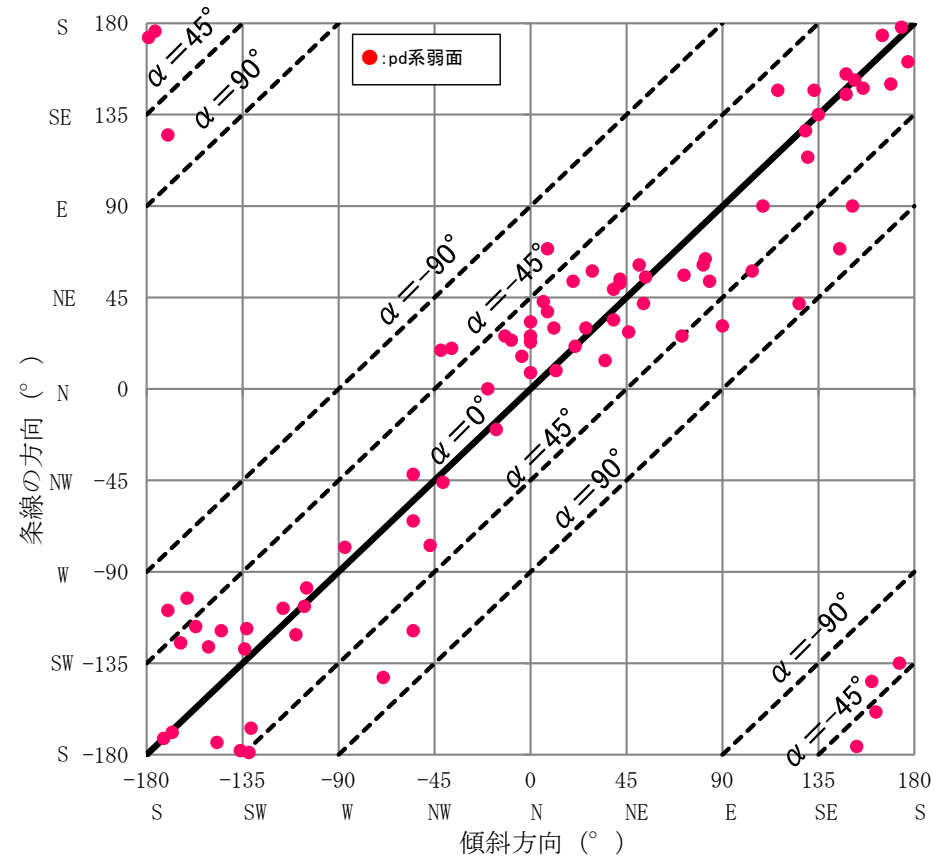


赤大円:pd系弱面
○:pd系弱面の条線

ウルフネット下半球投影



② pd系弱面の傾斜角度の分布



③ pd系弱面の傾斜方向と条線の方向との関係

[解説:P.10-18参照]

Ts-6法面におけるpd系弱面は、10°～35°程度の傾斜で走向は様々(①、②)であるが、条線はほぼ最大傾斜方向を示す(①、③)。上盤の変位方向は上方に変位するセンスを示し、一定の方向を示さない(①)。第四紀の最大主応力軸の方向である東西に条線が卓越する傾向は認められない(①)。以上のことから、Ts-8トレンチ(P.10-14参照)と同様に、pd系弱面の変位は広域応力場で生じた構造的なものではないと判断される。

[大間地点の変状弱面等の特徴]

文献による検討(P.11-39, 11-40参照)に対応する特徴は以下のとおり。

- Ts-6法面及びTs-8トレンチの様々な走向のpd系弱面の分布は地震動では説明困難。(大間地点の特徴(14))
- Ts-6法面及びTs-8トレンチの様々な走向のpd系弱面の分布は岩盤の膨張を示唆する。(大間地点の特徴(18))
- Ts-6法面及びTs-8トレンチにおいて近接して分布するpd系弱面は様々なせん断方向を示す。(大間地点の特徴(25))

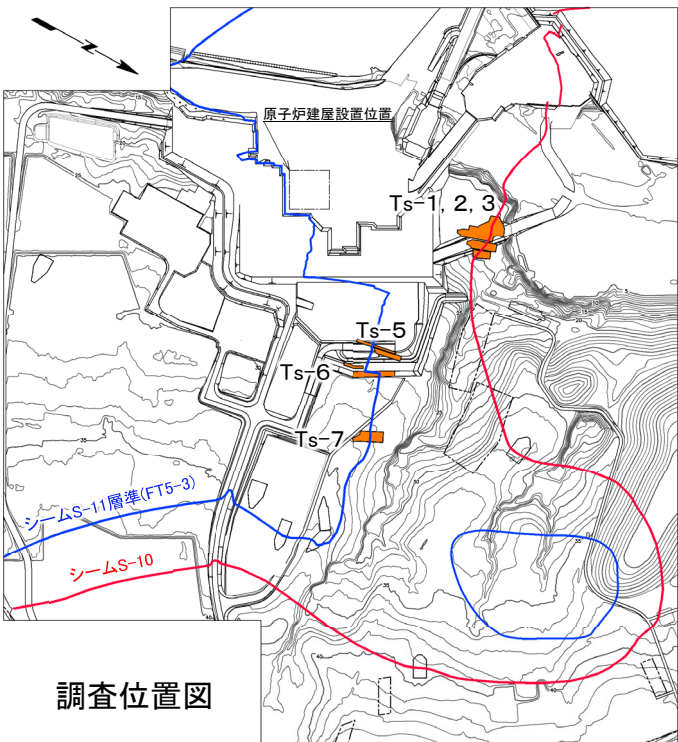
11.2 ノンテクトニック断層との類似性に関する検討(18/22)

第804回審査会合
資料1-1 P.4-113 一部修正

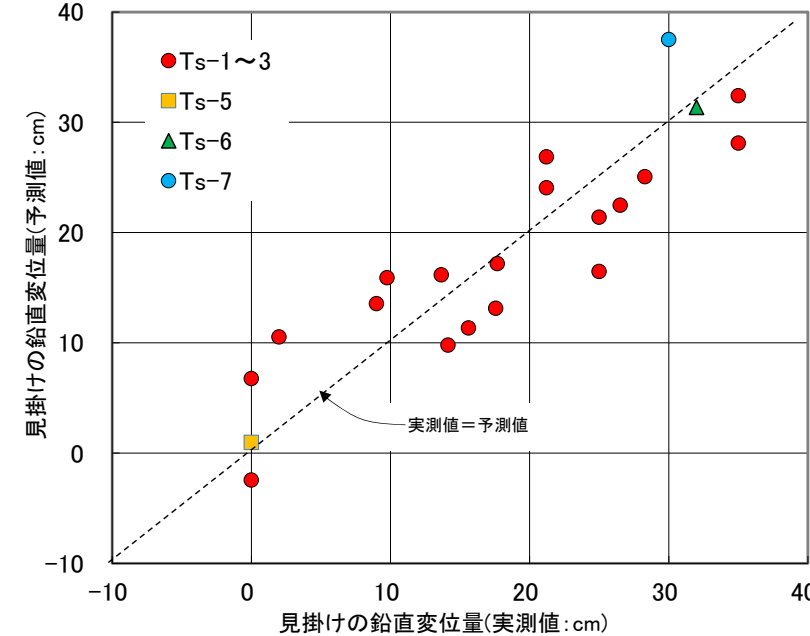
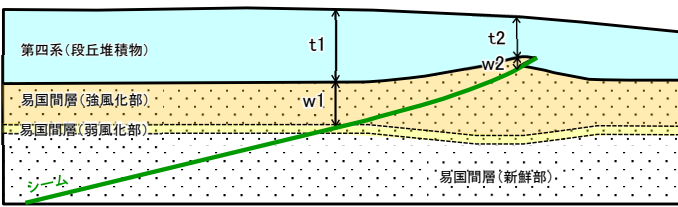


大間地点の変状弱面等の特徴(15/18): 変位置と強風化部の厚さととの関係

Ts-1~3, 5~7 鉛直変位置, 強風化部・段丘堆積物の厚さ一覧表



注) シームS-11層準(FT5-3*)の位置は各トレンチ・法面での調査結果に基づく。
*: シームS-11を挟む細粒凝灰岩の鍵層名。



Ts-1~3, 5~7のデータによる重回帰式での鉛直変位置の実測値と予測値の相関性

$$\text{変位置(予測値)} = 0.099 * W - 0.307 * T + 52.8$$

決定係数 $R^2 = 0.81$

W: 強風化部の平均厚さ(cm)
T: 段丘堆積物の平均厚さ(cm)

強風化部の平均厚さ $W = (w1 + w2) / 2$
 段丘堆積物の平均厚さ $T = (t1 + t2) / 2$
 w1は、シームと強風化部下限が交差する位置での強風化部の厚さ。
 w2は、シームが第四系基底面に現れる位置での強風化部の厚さ。
 t1及びt2は、w1及びw2の直上での厚さ。

No.	見掛けの鉛直変位置(実測値)(cm)	強風化部平均厚さ(W:cm)	段丘堆積物平均厚さ(T:cm)	備考
1	0.0	0	150	Ts-2 E
2	0.0	0	180	Ts-2 W
3	35.0	213	135	Ts-1 E
4	35.0	200	145	Ts-1 W
5	25.0	160	170	Ts-3 E
6	25.0	140	148	Ts-3 W
7	26.5	120	138	Ts-3 追掘 ①
8	28.3	115	128	" ②
9	21.2	110	120	" ③
10	21.2	105	128	" ④
11	17.7	98	148	" ⑤
12	14.1	93	170	" ⑥
13	15.6	85	163	" ⑦
14	17.6	88	158	" ⑧
15	13.7	95	150	" ⑨
16	9.8	100	153	" ⑩
17	2.0	100	170	" ⑪
18	9.0	115	165	" ⑫
19	0	242	247	Ts-5
20	32	366	188	Ts-6
21	30	360	166	Ts-7 E

No.1~No.18のデータについてはP.9-28, 9-29参照。

[解説:P.9-27参照]
 Ts-1~3, 7トレンチ及びTs-5, 6法面のデータに基づいてシームの上盤の強風化部と段丘堆積物の厚さを説明変数, シームの延長上の変状の見掛けの鉛直変位置を被説明変数とする重回帰分析を行った。変状の鉛直変位置の実測値と予測値との間に高い相関性(決定係数 $R^2=0.81$)が認められ, 変状の変位は, 強風化部が厚く, かつ段丘堆積物の薄いところで形成されたと考えられる。

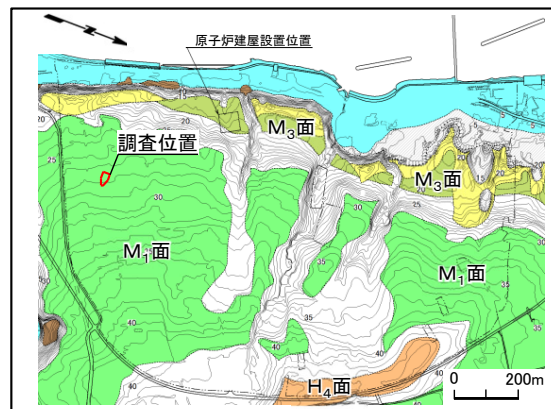
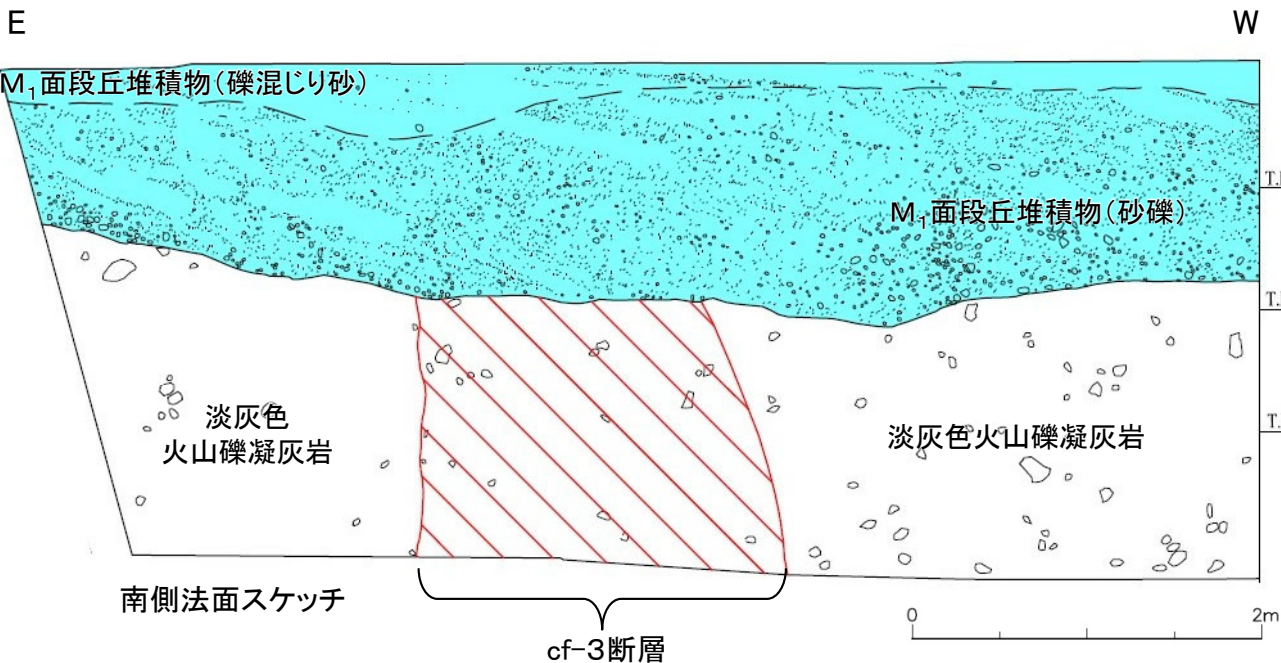
[大間地点の変状弱面等の特徴]
 文献による検討(P.11-39, 11-40参照)に対応する特徴は以下のとおり。
 ・ 変状弱面等は強風化部に分布し, 変位置は強風化部の厚さと関連する。(大間地点の特徴(15))

11.2 ノンテクトニック断層との類似性に関する検討(19/22)

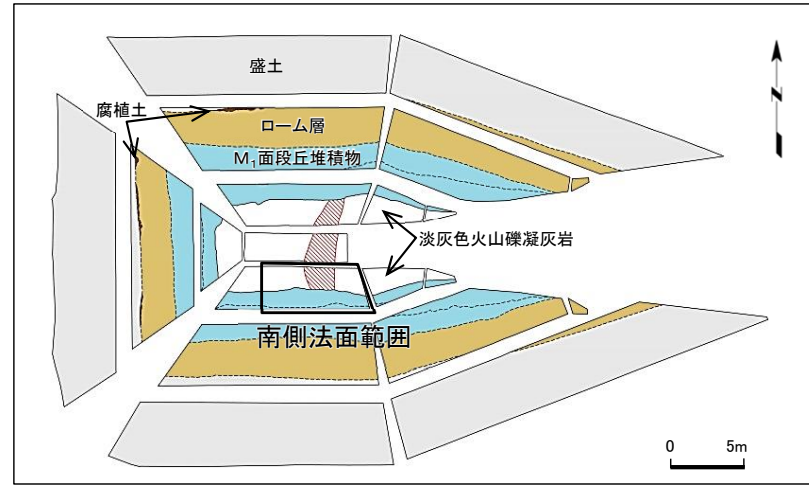
第804回審査会合
資料1-1 P.2-28 一部修正



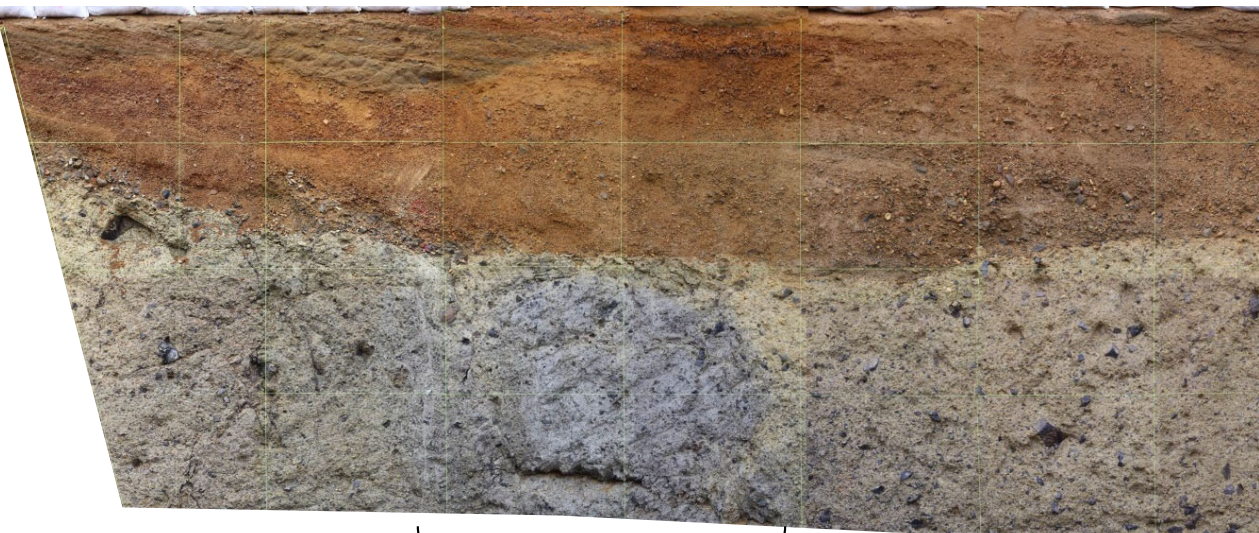
大間地点の変状弱面等の特徴(16/18): cf断層系付近の変状弱面等の分布(Tf-4トレンチ南側法面)



位置図



Tf-4トレンチ展開図



南側法面写真

cf-3断層

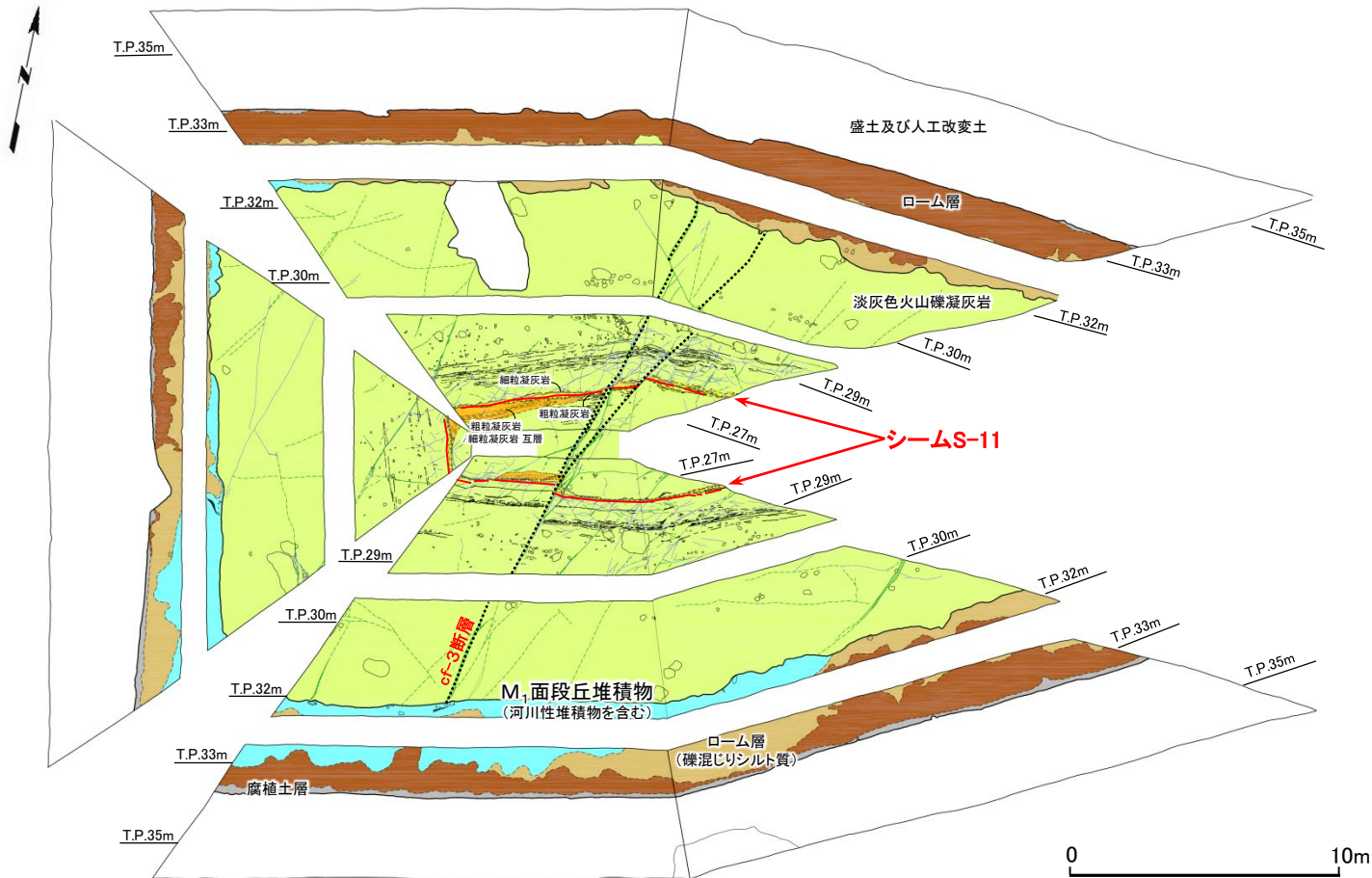
[解説:P.4-55参照]
Tf-4トレンチ南側法面では変状, 変状弱面等は認められない。地質観察の結果, 岩盤は全体に褐色を呈し著しく軟質な強風化部から成る。

[大間地点の変状弱面等の特徴]
文献による検討(P.11-39, 11-40参照)に対応する特徴は以下のとおり。
・変状弱面等はcf断層系沿いには分布しない。(大間地点の特徴(24))

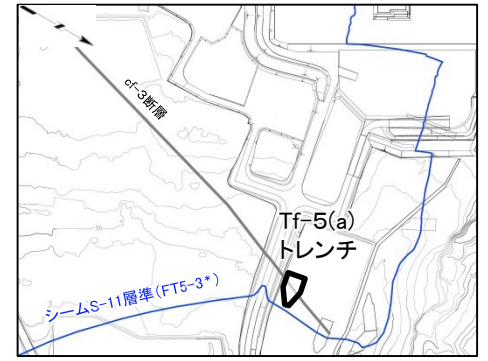
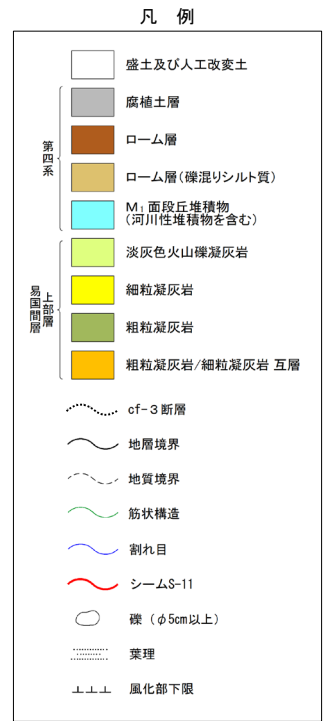
注) 低角傾斜の変位を伴う不連続面は認められない。



大間地点の変状弱面等の特徴(17/18): cf断層系付近の変状弱面等の分布(Tf-5(a)トレンチ)



トレンチ展開スケッチ



位置図

[解説:P.5-8参照]
Tf-5(a)トレンチでは、cf-3断層*が深部のシームS-11を切って分布し、その上端は強風化部でM₁面段丘堆積物に覆われている(P.5-9, 5-10参照)。

[大間地点の変状弱面等の特徴]
文献による検討(P.11-39, 11-40参照)に対応する特徴は以下のとおり。
・変状弱面等はcf断層系沿いには分布しない。(大間地点の特徴(24))

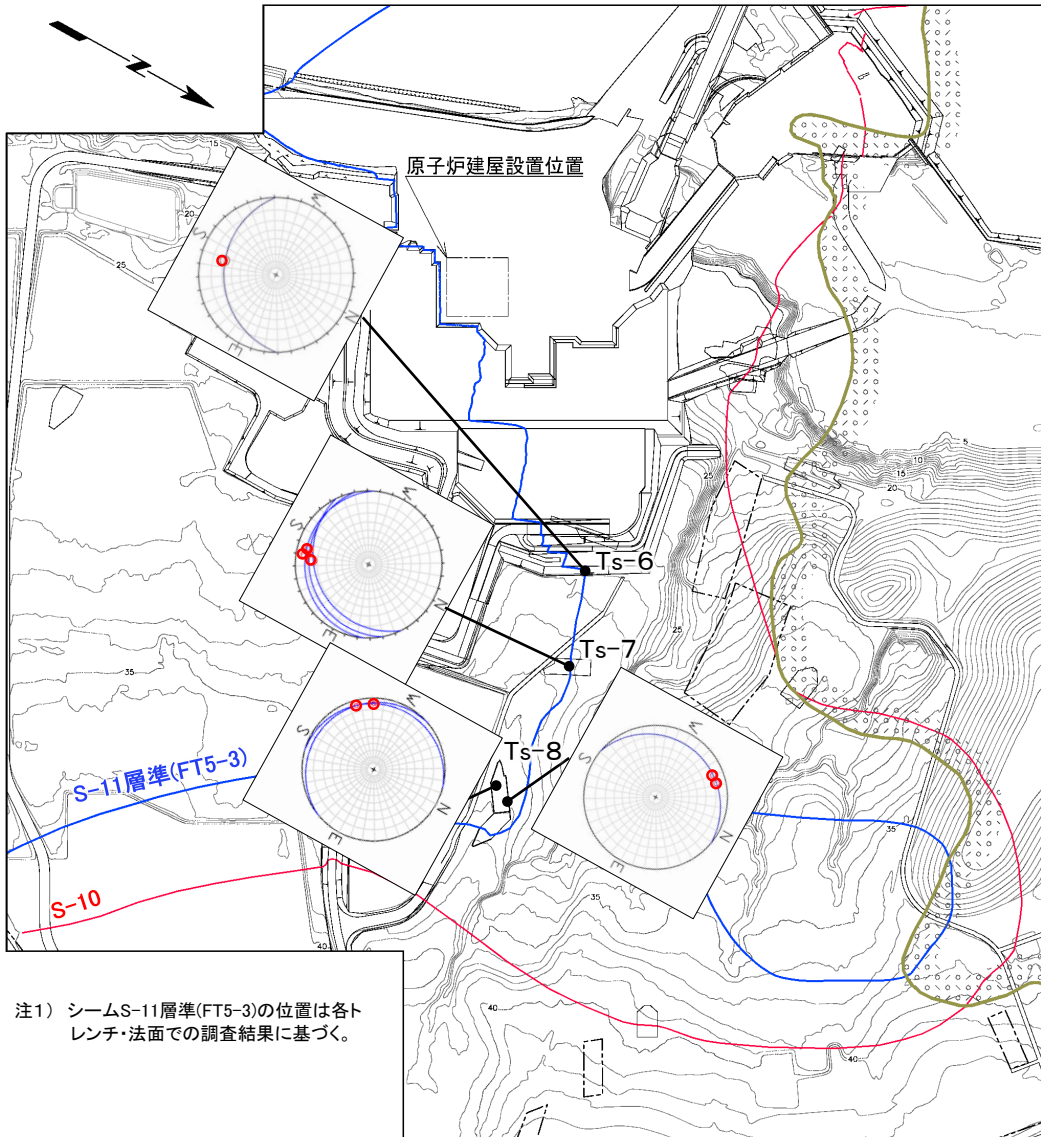
※: M₁面段丘堆積物に変位・変形なく後期更新世以降の活動なし。

*: シームS-11を挟在する細粒凝灰岩の鍵層名。



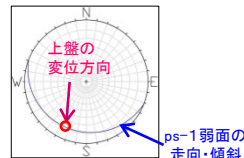
大間地点の変状弱面等の特徴(18/18):ps-1弱面の方向性及び上盤の変位方向の関係

凡例



注1) シームS-11層準(FT5-3)の位置は各トレンチ・法面での調査結果に基づく。

凡例(ウルフネット)



ps-1弱面の走向・傾斜
及び上盤の変位方向

〔各トレンチ・法面での測定位置については、P.4-8, 4-20, 8-10参照〕

- Ts-8 トレンチ・調査法面
- 敷地境界
- シームS-11層準(FT5-3)が第四系基底面、掘削面等に現れる位置 (図の①参照、トレンチ及び掘削面以外は推定)
- シームS-10が第四系基底面、掘削面等に現れる位置 (図の①参照、トレンチ及び掘削面以外は推定)
- 大畑層分布境界(図の②参照)

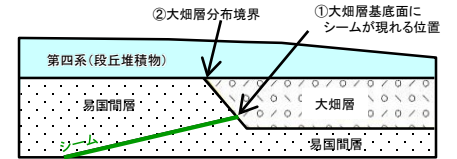


図 シーム及び大畑層の関係

*: シームS-11層準(FT5-3)には、シームS-11の認められない部分もある。なお、FT5-3はシームS-11を挟むする細粒凝灰岩の鍵層名である。

〔解説: 本編資料P.3-159参照〕

ps-1弱面の走向は様々であるが、上盤の変位方向はそれらの走向にほぼ直交し上方に変位するセンスであり、敷地全体でみると一定の方向を示さない。

〔大間地点の変状弱面等の特徴〕

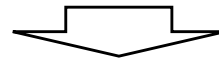
文献による検討(P.11-39, 11-40参照)に対応する特徴は以下のとおり。

- ps-1弱面は側方に追跡するとせん断方向が一定ではなく、90°程度異なったせん断方向を示す。(大間地点の特徴(26))

注2) ps-1弱面及び地表付近のシームS-10の走向・傾斜及び条線データを用いた多重逆解法による応力場の推定は、P.10-9~P.10-11参照。

ノンテクトニック断層との類似性に関する検討のまとめ

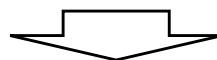
- 変状弱面等の特徴は、ノンテクトニック断層研究会(2015)³⁵⁾に示された形成要因の中で「地震動」等によるノンテクトニック断層の特徴と類似点が認められる。
- 変状弱面等の特徴は、ノンテクトニック断層研究会(2015)³⁵⁾及び米国原子力規制委員会のNUREG/CR-5503 (Hanson et al.(1999)³⁶⁾)に示された岩盤の風化に伴う膨張の特徴と類似点が多く、変状の形成要因は岩盤の風化に伴う膨張との整合性が高い。



変状の形成は、ノンテクトニック断層との類似性が複数認められ、風化に伴う岩盤の膨張との整合性が高いものの、その他にも地震動等の複数の要因が考えられる。

変状の形成要因のまとめ

- 変状の形成要因は、風化に伴う岩盤の膨張、地震動等の複数の要因により形成されたノンテクトニックな構造と考えられ、一つには特定できないと判断される。
- 強風化部の膨張は、風化に伴って形成されたスメクタイトの吸水膨張及び岩石組織の破壊に伴う応力解放によるものである可能性がある。
- 風化に伴う地層の層厚変化及び不動元素の分析結果に基づいて求めた膨張率は、観察結果と矛盾しない。



- 変状の形成要因は、ノンテクトニックな複数の要因(風化に伴う岩盤の膨張、地震動等)が挙げられ、一つには特定できないと判断される。
- 強風化部の形成に伴う岩盤の膨張は分析・観察結果と矛盾しないが、地震動等の影響も否定できない。
- これら複数の要因は、少なくとも変状弱面等が非構造的のものと判断されること(本編資料P.3-162参照)と矛盾しない。

(余白)

12. ps-2弱面の分布評価範囲に関する検討(1/7)

ps-2弱面の分布評価範囲に関する検討

〔本編資料3.3.3(4)に関する補足説明〕

- ps-2弱面の分布評価範囲と重要な安全機能を有する施設との位置関係を示す。

12. ps-2弱面の分布評価範囲に関する検討(2/7)

ps-2弱面の分布評価範囲の考え方(1/4): 検討方針

本編資料P.3-104に示す評価方針に基づくと、ps-2弱面は評価対象としての変状弱面として扱うことにならないが、ここでは、変状弱面(ps-1弱面)の分布評価範囲の考え方(本編資料P.3-165参照)と同様に、以下の考え方に基づき、「ps-2弱面の分布評価範囲」を検討する。

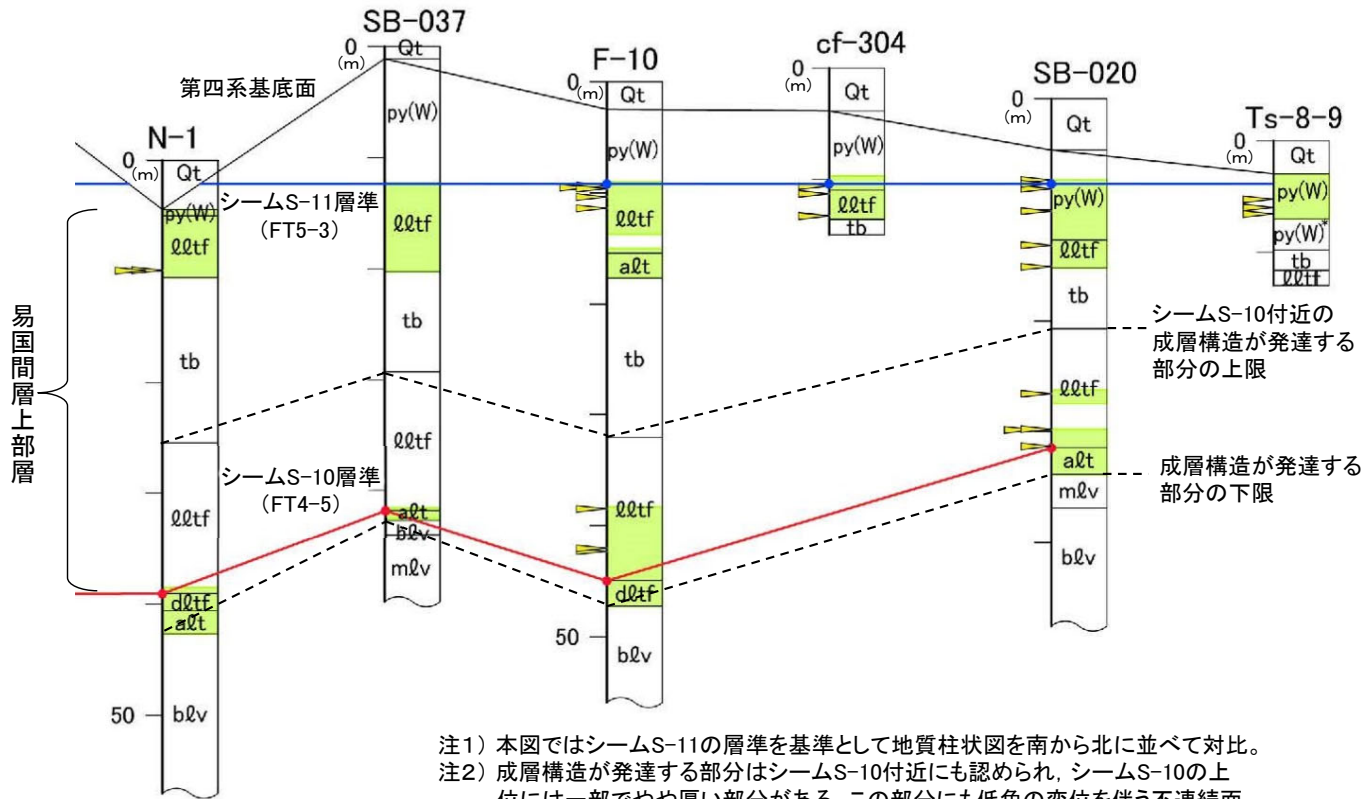
- シームS-10中で第四系に変位が確認される箇所付近に分布し、変状の形成に関与したと考えられる部分を「ps-2弱面」とする。
- シームS-10の上盤側には、成層構造が発達する部分が認められ、低角の変位を伴う不連続面が分布する。成層構造が発達する部分は、淡灰色火山礫凝灰岩中に分布し、その上位の凝灰角礫岩中には分布しないことから(P.12-3参照)、成層構造が発達する部分の分布範囲の上限を保守的に凝灰角礫岩下面までとし、ps-1弱面と同様に、その風化部をps-2弱面の分布評価範囲とする。
- シームS-10の下盤側には、成層構造が発達する部分が認められるが、低角の変位を伴う不連続面がほとんど認められないこと(P.12-3参照)並びに重要な安全機能を有する施設の基礎地盤にシームS-10及びその下盤も分布しないことが明らかであるため(P.12-4, 12-5参照)、ps-2弱面の分布評価範囲として表示しないこととする。

12. ps-2弱面の分布評価範囲に関する検討(3/7)

ps-2弱面の分布評価範囲の考え方(2/4): シームS-10付近の成層構造が発達する部分

凡例

Qt	第四系(腐植土, ローム, 段丘堆積物), 埋土	
py(W)	火山碎屑岩(風化部) (淡灰色火山礫凝灰岩(風化部), py(W)*: 凝灰角礫岩(風化部))	
lltf	淡灰色火山礫凝灰岩	
alt	細粒凝灰岩, 淡灰色火山礫凝灰岩, 粗粒凝灰岩	低角の変位を伴う 不連続面
tb	凝灰角礫岩	成層構造が 発達する部分
alt	細粒凝灰岩, 粗粒凝灰岩, 暗灰色火山礫凝灰岩	
dltf	暗灰色火山礫凝灰岩	第四系基底面
blv	安山岩溶岩(角礫状)	シームS-11層準(FT5-3) (青丸はシームS-11)
mlv	安山岩溶岩(塊状)	シームS-10層準(FT4-5) (赤丸はシームS-10)



注1) 本図ではシームS-11の層準を基準として地質柱状図を南から北に並べて対比。
 注2) 成層構造が発達する部分はシームS-10付近にも認められ、シームS-10の上位には一部でやや厚い部分がある。この部分にも低角の変位を伴う不連続面が認められる。なお、成層構造が発達する部分は、シームS-11では主に下位に分布し、シームS-10では上位に分布する。このような違いは、成層構造が発達する部分が堆積するような火山活動の比較的静穏な時期がシームS-11では堆積前、シームS-10では堆積後にあったためと考えられる。
 注3) 他のボーリングコア観察結果は、P.7-2~P.7-5参照。

シームS-10の上盤側及び下盤側の成層構造が発達する部分の分布範囲は、以下のとおりである。

- シームS-10の上盤側には、成層構造が発達する部分が認められ、低角の変位を伴う不連続面が分布する。成層構造が発達する部分は、淡灰色火山礫凝灰岩(lltf)中に分布し、その上位の凝灰角礫岩(tb)中には分布しないことから、成層構造が発達する部分の分布範囲の上限を保守的に凝灰角礫岩下面までとする。
- シームS-10の下盤側には、成層構造が発達する部分が認められるが、低角の変位を伴う不連続面の分布がほとんど認められない。成層構造が発達する部分は、暗灰色火山礫凝灰岩(dltf)等に分布し、下位の安山岩溶岩(blv, mlv)には分布しないことから、成層構造が発達する部分の分布範囲の下限は安山岩溶岩上面である。

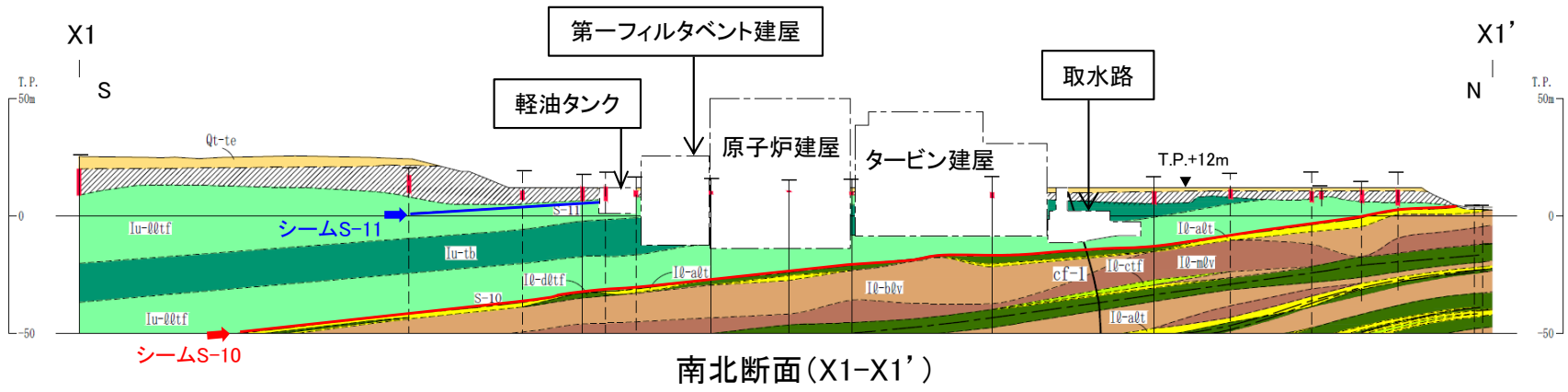
低角の変位を伴う不連続面の分布とシーム及び成層構造が発達する部分との関係

12. ps-2弱面の分布評価範囲に関する検討(4/7)

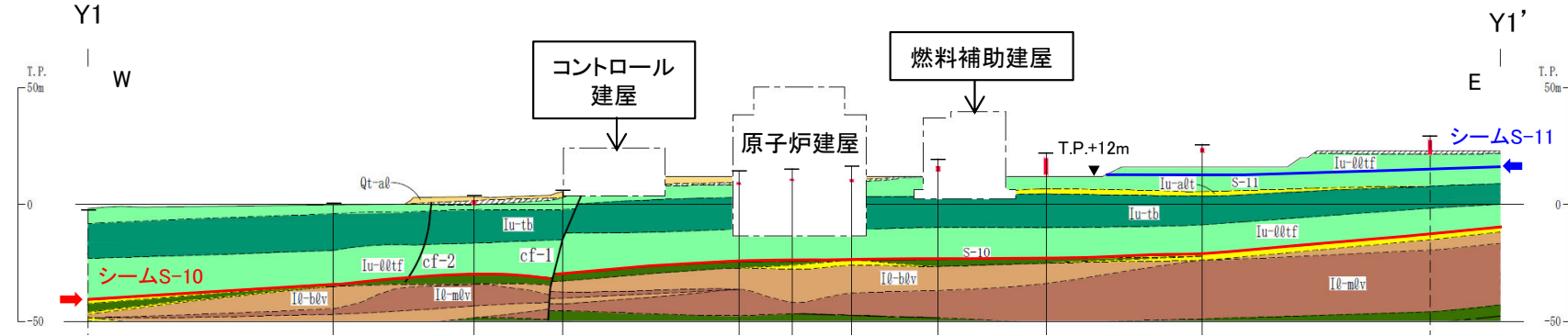


ps-2弱面の分布評価範囲の考え方(3/4):

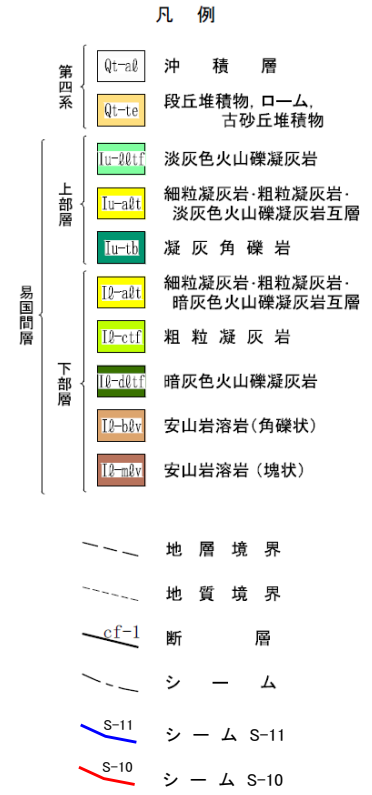
原子炉建屋付近のシームS-10の分布(X1-X1', Y1-Y1')



南北断面(X1-X1')

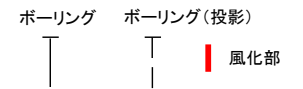


東西断面(Y1-Y1')

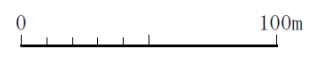


注1) ボーリングは工事着手前の原地形で掘削。
注2) 重要な安全機能を有する施設の埋戻し部については、MMR等で埋戻す予定。
注3) 断面位置は本編資料P.1-35参照。

風化部(主に強風化部から成る)



シームS-10下盤側では成層構造が発達する部分が分布するが(P.12-3参照), X1-X1' 断面及びY1-Y1' 断面に示すとおり, シームS-10及びその下盤は原子炉建屋付近の重要な安全機能を有する施設の基礎地盤に分布しない。



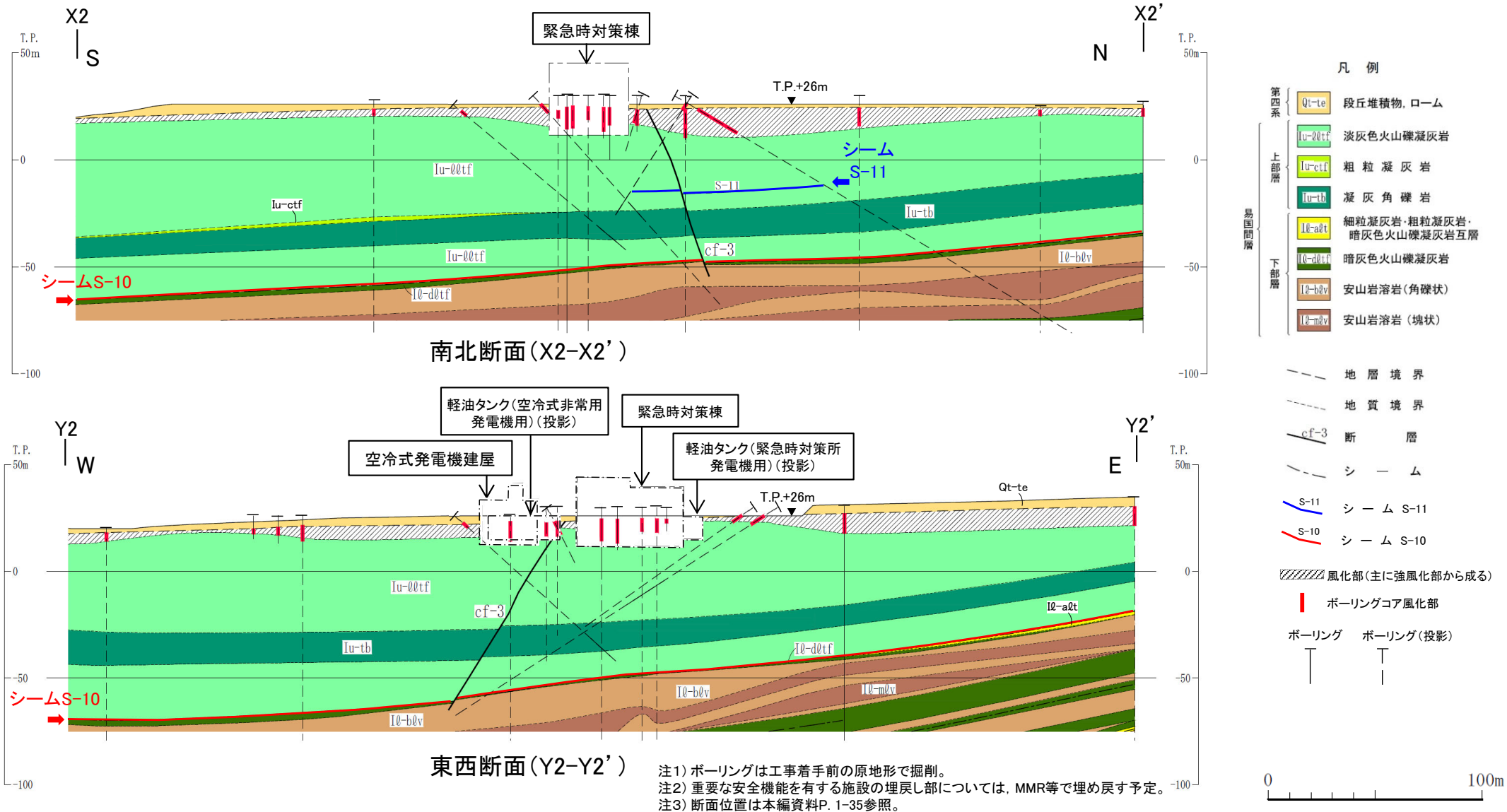
12. ps-2弱面の分布評価範囲に関する検討(5/7)

第906回審査会合
資料1-1-1 P.1-23 一部修正



ps-2弱面の分布評価範囲の考え方(4/4):

緊急時対策棟付近のシームS-10の分布(X2-X2', Y2-Y2')



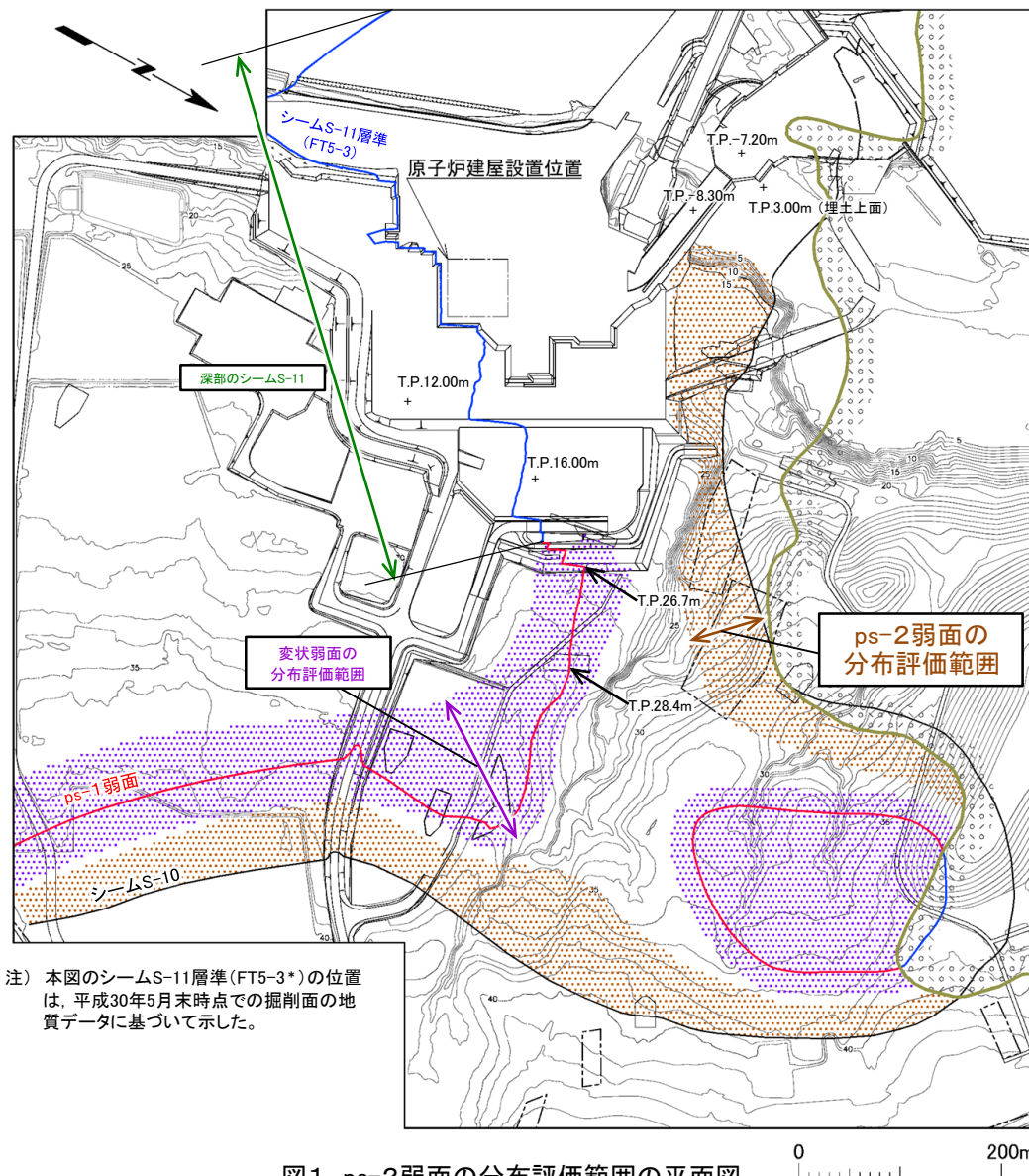
注1) ボーリングは工事着手前の原地形で掘削。
 注2) 重要な安全機能を有する施設の埋戻し部については、MMR等で埋め戻す予定。
 注3) 断面位置は本編資料P. 1-35参照。

シームS-10下盤側では成層構造が発達する部分が分布するが(P.12-3参照), X2-X2' 断面及びY2-Y2' 断面に示すとおり, シームS-10及びその下盤は緊急時対策棟付近の重要な安全機能を有する施設の基礎地盤に分布しない。

12. ps-2弱面の分布評価範囲に関する検討(6/7)



ps-2弱面の分布評価範囲(1/2)



注) 本図のシームS-11層準(FT5-3*)の位置は、平成30年5月末時点での掘削面の地質データに基づいて示した。

凡 例

	トレンチ・法面
	敷地境界
	シームS-11層準(FT5-3*)が第四系基底面、掘削面等に現れる位置
	変状弱面の分布評価範囲
	ps-1弱面が第四系基底面、掘削面等に現れる位置
	ps-2弱面の分布評価範囲
	シームS-10が第四系基底面、掘削面等に現れる位置
	大畑層分布境界

*: シームS-11を挟む細粒凝灰岩の鍵層名。

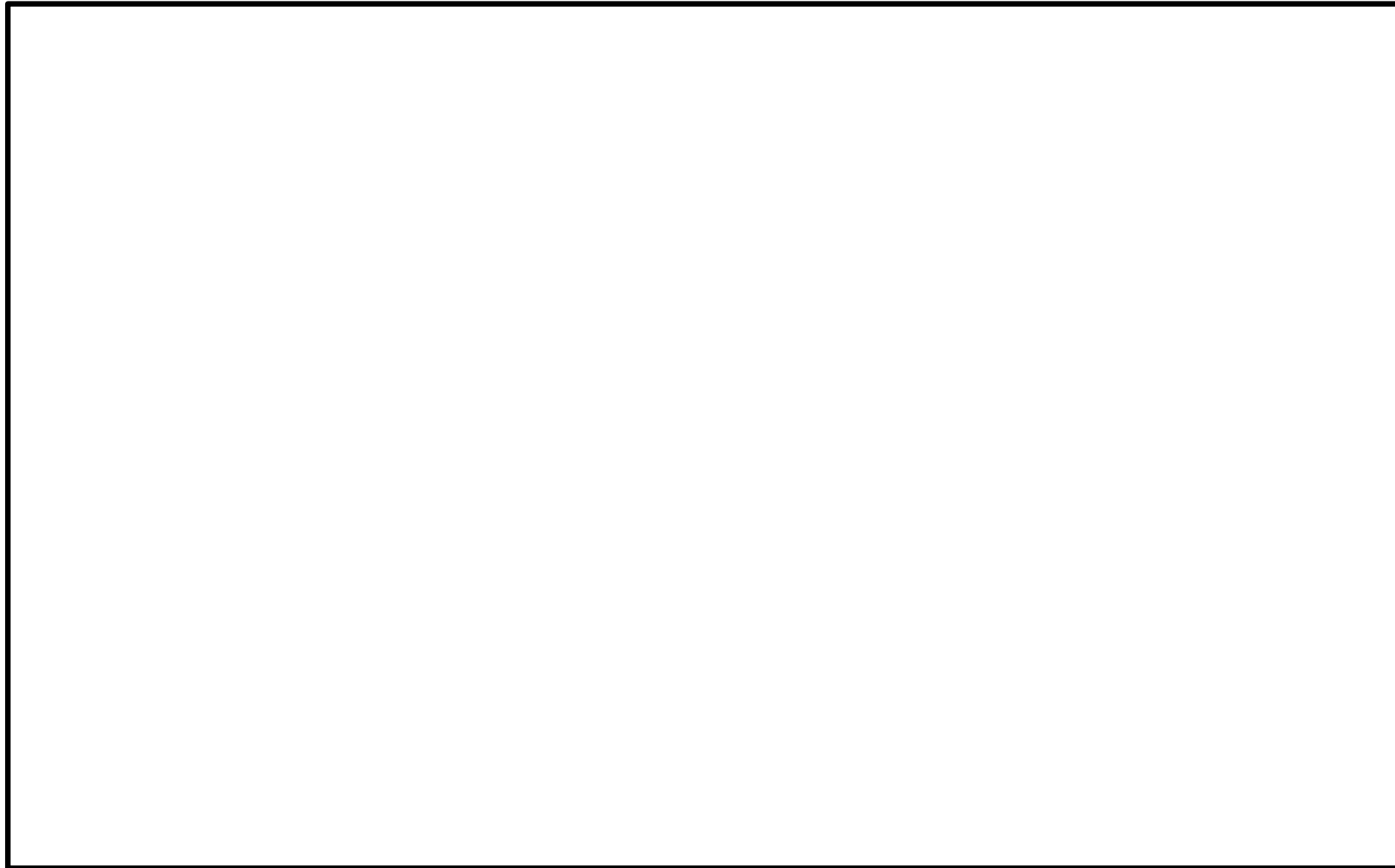
シームS-10の分布範囲に基づき、敷地におけるps-2弱面の分布評価範囲を示す。

図1 ps-2弱面の分布評価範囲の平面図

12. ps-2弱面の分布評価範囲に関する検討(7/7)



ps-2弱面の分布評価範囲(2/2): 重要な安全機能を有する施設とps-2弱面の分布評価範囲との位置関係



凡 例

- 耐震重要施設 *1
- 常設重大事故等対処施設 *2
- シームS-11層準 (FT5-3) シームS-11層準 (FT5-3*)が第四系基底面、掘削面等に現れる位置
- S-10 シームS-10が第四系基底面、掘削面等に現れる位置
- 断層 (確認部) (cf断層系, sF断層系及びdF断層系)
- 断層 (大畑層による伏在部) (sF-2断層系及びdF断層系)
- 断層端部があると考えられる区間 (cf断層系及びdF断層系)
- 断層 (海底地形による推定部) (sF-1断層)
- ps-1弱面が第四系基底面、掘削面等に現れる位置
- 変状弱面の分布評価範囲
- ps-2弱面の分布評価範囲

- *1: 設置許可基準規則第三条の対象となる耐震重要施設 (間接支持構造物を含む)。
- *2: 設置許可基準規則第三十八条の対象となる常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設 (特定重大事故等対処施設を除く)。
- *3: シームS-11を挟在する細粒凝灰岩の鍵層名。
- *4: 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」の第三条の「耐震重要施設」及び第三十八条の「重大事故等対処施設」をいう。

※: 大畑層が不整合で易国間層を覆うため、易国間層の風化部が分布しない範囲(P.12-6参照)。



ps-2弱面の分布評価範囲は、重要な安全機能を有する施設 *4の基礎地盤に位置しないことから、重要な安全機能を有する施設の基礎地盤にはps-2弱面は分布しない。

注1) 断層の分布はT.P.-14mにおける位置。
 注2) 本図のシームS-11層準 (FT5-3*)の位置は、平成30年5月末時点の掘削面の地質データに基づいて示した。なお、今後掘削する計画の軽油タンク、第一フィルタベント建屋及び燃料補助建屋の部分については、構造物側面に沿って鉛直に掘削するものとして表示した。
 注3) 海域のdF断層系の断層については、個別の断層名を区別せずに扱うが、識別する必要がある場合を踏まえ、dF-m1～dF-m4断層として記載する。

以示す箇所は、商業機密あるいは防護上の観点から公開不可としているもので、白抜きとしてあります。

参考文献(1/2)



1. Yamaji, A., Sato, K. and Otsubo, M. (2011): Multiple Inverse Method Software Package (ver.6), <http://www.kueps.kyoto-u.ac.jp/~web-bs/tsg/software/mim/>
2. 貝塚爽平・太田陽子・小疇尚・小池一之・野上道男・町田洋・米倉伸之(1985): 写真と図でみる地形学, 東京大学出版社, p.250
3. 高橋健一(1975): 日南海岸青島の「波状岩」の形成機構, 地理学評論, 48, pp.43-62
4. Burg, J. P. (2017): Structural Geology and Tectonics, 4. Thrust Systems, pp.317-318
5. Bui, T. D. (2004): Neural Network Analysis of Sparse Datasets - An Application to the Fracture System in Folds of the Lisburne Formation, Northeastern Alaska, Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, p.9
6. 永田秀尚(2018): ノンテクトニック地質構造の研究: 研究事例と展望, 地質学雑誌, Vol.124, No.11, pp.904-905.
7. Noe, D. C. and Dodson, M. D. (1999): Heaving bedrock hazards associated with expansive, steeply dipping bedrock, Douglas county, Colorado (Vol. 42). Colorado Geological Survey, Dept. of Natural Resources. p.13
8. 栗山健弘・吉田英一・山本博文・勝田長貴(2006): 河岸段丘礫の表面風化にみる酸化フロントの形成とその移動速度, 地質学雑誌, 第112巻, 第2号, pp.136-152
9. 濱田崇臣(2012): 段丘の対比・編年の信頼性向上のための風化指標の検討(その2) - 段丘礫の風化状態の把握と対比指標の適用条件の提示 - . 電力中央研究所報告, N12007, 24p.
10. Colman, S.M. and Pierce, K.L.(1981): Weathering rinds on andesitic and basaltic stones as a Quaternary age indicator, Western United States: U.S. Geological Survey Professional Paper 1210, 56p.
11. Arai, T., Yusa, Y., Sasaki, N., Tunoda, N. and Takano, H. (1988): Natural analogue study of volcanic glass-A case study of basaltic glass in pyroclastic fall deposits of Fuji volcano, Japan. Mat. Res. Soc. Symp. Proc., 127, pp.73-80
12. Friedman, I. and Smith, R. L. (1960): A new method using obsidian-Part I, The development of the method, American Antiquity, 25, pp.476-522
13. Katsui, Y. and Kondo, Y. (1965): Dating of stone implements by using hydration layer of obsidian, Jap. J. Geol. Geogr., 36, pp.45-60
14. 小菅正裕・渡邊和俊・橋本一勲・葛西宏生(2012): 2011年東北地方太平洋沖地震後の東北地方北部での誘発地震活動, 地震, 第2輯, 第65巻, 第1号, pp.69-83
15. 千木良雅弘(1988): 泥岩の化学的風化 - 新潟県更新統灰爪層の例 -, 地質学雑誌, Vol.94, pp.419-431
16. 前田寛之・河野勝宣・小竹純平・安藤勸(2014): 続成帯硬質頁岩を基岩とする受け盤型地すべりにおける風化帯の重要性, 日本地すべり学会誌, Vol.51, No.1, pp.13-20
17. 鳥居起志・北川隆司・地下まゆみ(2006): 神戸層群豊岡凝灰岩部層中に生成しているスメクタイトの鉱物学的特徴, 粘土科学, Vol.45, No.4, pp.238-249
18. 米田哲朗・大河原正文・渡辺隆(1999): 北海道積丹半島豊浜トンネル付近の水冷火砕岩に産するスメクタイト, 粘土科学, Vol.39, No.2, pp.53-64.
19. 湯佐泰久・新井隆・亀井玄人・高野仁(1991): 廃棄物ガラスの長期浸出挙動に関するナチュラルアナログ研究, 日本原子力学会誌, Vol.33, No.9, pp.890-905
20. Chabrilat, S. and Goetz, A. F. (1999): The search for swelling clays along the Colorado Front Range: the role of AVIRIS resolution in detection, In 1999 Proceedings from the Airborne Earth Science Workshop, JPL Publication, <http://makalu.jpl.nasa>.
21. Jones, L. D. and Jefferson, I. (2012): Expansive soils, Institute of Civil Engineers Publishing, London, pp. 413-441
22. Azam, S., Ito, M., and Chowdhury, R. (2013): Engineering properties of an expansive soil, In Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris, pp.199-202
23. Fityus, S. G. and Smith, D. W. (2004): The development of a residual soil profile from a mudstone in a temperate climate, Engineering Geology, Vol.74, pp.39-56
24. 小口千明・八田珠郎・松倉公憲(1993): 火山岩の風化プロセス - 従来の研究とその問題点 -, 筑波大学水理実験センター報告, No.18, pp.5-17

25. Wang, Q., Ishiwatari, A., Zhao, Z., Cong, B., Hirajima, T., Enami, M. and Zhai, M. (1993): Coesite-bearing granulite retrograded from eclogite in Weihai, eastern China. *European Journal of Mineralogy*, Vol.5, No.1, pp.141-152
26. Delvigne, J.E.(1998): Atlas of Micromorphology of Mineral Alteration and Weathering, The Canadian Mineralogist Special Publication 3, pp.153-155
27. 荒井融・名取二郎(1991):粉末X線回折法による骨材中の有害鉱物の定量化について -ローモンタイトおよびスメクタイト-, 応用地質, vol.32, No.5, pp.221-231
28. 岩崎敬(1979):モンモリロナイトのX線底面反射と層間陽イオンの関係 -特にCaおよびNaの分布について-, 鉱物学雑誌, vol.14, pp.78-89
29. Folk, R. L. and Patton, E. B. (1982):Buttressed expansion of granite and development of grus in central Texas. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, Vol.26, No.1, pp.17-32
30. Driscoll, R. M. C. and Chown, R. (2001):Shrinking and swelling of clays. In *Problematic soils symposium*, pp. 53-66
31. 千木良雅弘・中田英二(2013):様々な岩石の風化に伴う体積膨張とその地質学的意義, 日本地質学会学術大会講演要旨 2013, p.297
32. Cornu, S., Lucas, Y., Lebon, E., Ambrosi, J. P., Luizão, F., Rouiller, J., Bonnay, M. and Neal, C. (1999). Evidence of titanium mobility in soil profiles, Manaus, central Amazonia. *Geoderma*, 91(3-4), pp.281-295
33. Du, X., Rate, A. W. and Gee, M. M. (2012): Redistribution and mobilization of titanium, zirconium and thorium in an intensely weathered lateritic profile in Western Australia. *Chemical Geology*, 330, pp.101-115
34. Grant, J.A.(1986):The Isocon diagram - A simple solution to Gresen's equation for metasomatic alteration. *Economic Geology* 81, pp.1976-1982
35. ノンテクトニック断層研究会編(2015):ノンテクトニック断層-識別方法と事例-, 近未来社, 248p.
36. Hanson, K. L., Kelson, K. I., Angell, M. A. and Lettis, W. R. (1999): Techniques for Identifying Faults and Determining Their Origins, U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG/CR-5503, p.2-100