

12. 中新統の岩盤地すべりにおけるすべり面の構造と評価事例

Structure and the determination case of the slip surface in bedrock landslide of Miocene Series

○片山 直樹

(株式会社日本海技術コンサルタンツ)

1. はじめに

現在停止中と考えられる中新統堆積岩の岩盤地すべりにおいて、ボーリングコアで確認されたすべり面（せん断帯）の構造的特徴を紹介する。また、これらのせん断帯では粘土の挟在が認められたため、粉末 X 線回折分析により粘土鉱物の同定を行い、同定された鉱物について母岩と粘土での相対含有量の比較結果を示す。さらに、すべり面判定に際し比較的簡便に行える試験方法である pH および EC 測定をボーリングコアに対して実施し、それに加えて針貫入試験値や層理面傾斜角の変化も利用し、総合的にすべり面判定を行った結果について述べる。

2. 対象地すべりの概要

対象とした地すべりは、島根半島中央部の日本海に面した北向き斜面に位置する。周辺の基盤地質は新第三系の古浦層が分布し成相寺層がこれを不整合に覆う¹⁾。また、これらを貫く塩基性—中性貫入岩が点在する。古浦層は非海成層であり、当該地では主に砂岩泥質岩の互層として分布するが、一部で安山岩火山角礫岩や酸性凝灰岩を挟む。成相寺層は、黒色泥岩およびそれと指交する流紋岩質火山岩類からなる海成層で、当該地では山頂部付近に流紋岩溶岩ないし火砕岩として分布する。

当該地区の地すべりブロックは大きく4つに分けられ、本文で示す調査対象ブロックは、当該

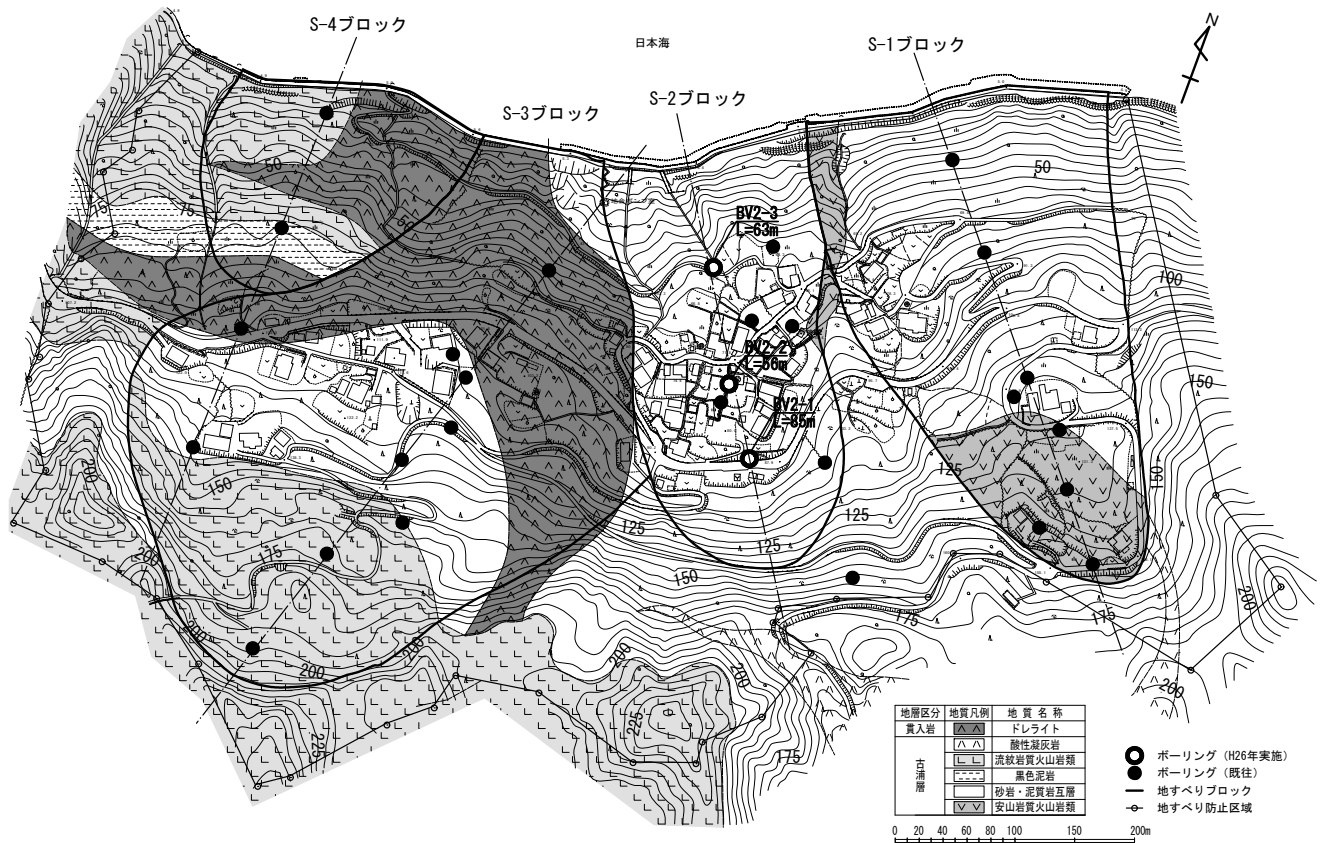


図-1 地すべり防止区域全体平面図

地区で最も落ち込んだ地形を含む範囲の S-2 ブロックである。S-2 ブロックの平面規模は斜長 L360m×幅 W160m 程度であり、移動層厚は最大 50m 程度と想定される。

S-2 ブロックの地質構成は、地表から最大 25m 程度までを旧地すべり移動層と

思われる崩積土が被覆し、その下位に古浦層の砂岩・泥質岩互層が分布する。地すべりブロックの左側部付近にはドレライトが岩脈状に貫入し、この地質境界がブロック側部の規制要因と推察される。また、右側部については安山岩質火砕岩層が西に向かい急激に落ち込む状況が確認できており、付近に N-S 方向の断層が存在する可能性がある。

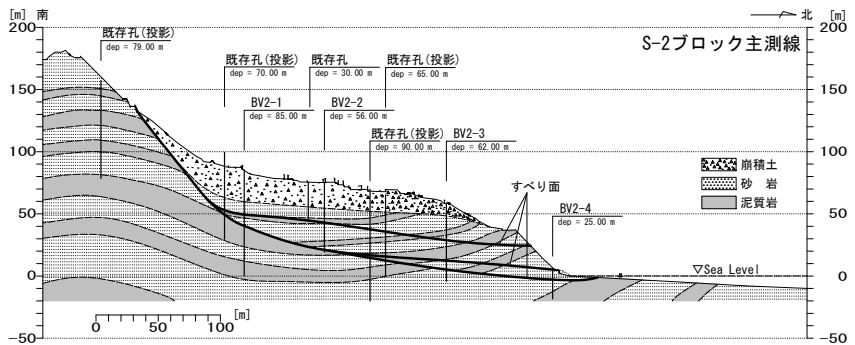


図-2 S-2 ブロック主測線断面図
(※表-3 総合評価の“◎”および“○”のすべり面を表示している)

3. すべり面の構造的特徴

3.1 せん断帯の確認

H26 年度に実施した計 3 孔のボーリング (BV2-1, BV2-2, BV2-3) において、古浦層の砂岩あるいは泥質岩に、せん断の影響を受けたと考えられる構造 (せん断帯) のコアが認められた。せん断帯の構造は地すべりの影響である可能性が高いため詳細な観察を行った。その結果から抽出したせん断確認深度を表-1 にまとめる。

併せて、せん断帯における①粘土の有無、②鏡肌面の有無、③含有礫の円磨度、④異種地質の礫取り込みの有無についても表-1 に示す。これらは、地すべりのすべり面粘土にみられる特徴である。とくに③含有礫の円磨度については、岩盤のせん断過程において、大変位が生じた箇所では岩片の細片化～円礫化が生じるものと考えられることからせん断の履歴有無の参考となる²⁾。礫の円磨度は、該当層全体的に平均と考えられる円磨度を円磨度印象図³⁾に当てはめ評価した。

3.2 せん断帯の構造

ボーリングコアに認められたせん断帯の構造は、大きく分けて (1) 異種地質の礫・岩片が混じる粘土、(2) 泥質岩の礫混じり粘土であった。これらの代表的な性状は次のとおりである。

(1) 異種地質の礫・岩片が混じる粘土

ボーリングコアの外観は、淡緑色の泥質岩や黒色頁岩、緑灰色の砂岩の礫・岩片が不規則に混在し、これらの間を砂質粘土が充填する層相として観察された (写真-1~2)。礫や岩片の大きさ、粒度分布にも規則性は認められない。全体的な傾向として、大きい岩片は角礫として取り込まれるが、小径の礫ほど丸みを帯び円磨度が高い。このようなせん断帯が厚い箇所では 6m 程度確認された。

表-1 せん断帯確認深度一覧

孔番	No.	せん断帯確認深度 (GL-m)	地質	土質	せん断帯の評価項目			
					①粘土	②鏡肌面	③礫の円磨度	④異種地質の礫
BV2-1	①	28.6~28.9	泥質岩	礫混じり粘土	○	—	0.3	—
	②	35.5~36.0	泥質岩	礫混じり粘土	○	○	0.7	—
	③	44.9 付近	泥質岩	礫混じり粘土	○	○	0.6	—
	④	54.8~54.9	泥質岩	礫混じり粘土	○	—	0.5	—
	⑤	59.6~59.9	泥質岩	礫混じり粘土	○	—	0.2	—
	⑥	60.1~60.7	泥質岩	礫質粘土	○	○	0.2	—
	⑦	61.4 付近	泥質岩	礫質粘土	○	—	0.2	—
S-2	①	32.35 付近	泥質岩	礫混じり粘土	○	○	0.5	—
	②	44.0~54.25	泥質岩~砂岩	礫混じり粘土	○	—	0.4	○
BV2-3	①	20.8~28.9	泥質岩~砂岩	礫混じり粘土	○	—	0.5	○
	②	41.4~45.3	泥質岩	礫混じり粘土	○	○	0.5	○
	③	47.4~52.7	泥質岩~砂岩	礫混じり粘土	○	○	0.4	○



写真-1 BV2-2:44.05~44.15m 区間のコア状況

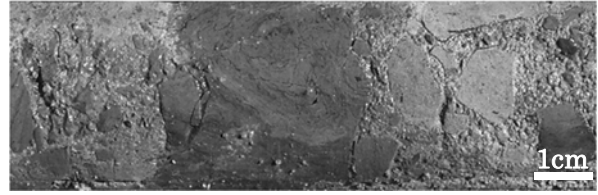


写真-2 BV2-3:24.4~24.5m 区間のコア状況

(2) 泥質岩の礫混じり粘土

泥質岩の一部が細片化～粘土化し、細礫から中礫までの泥質岩が含まれる層相である。粘土の層厚は2cmから最大で60cmであった。粘土化部分から漸移する上下の泥質岩には割れ目が多く発達しており、せん断の影響を受けたダメージゾーンである可能性が指摘される。粘土に含まれる礫は、全体的に円磨度が0.4~0.7と高く、前述した(1)異種地質の礫・岩片を混じる粘土と同様、礫径が小さいほど円磨度が高い傾向が認められた。一部の粘土には鏡肌面が認められたが、擦痕は明瞭ではない(写真-3~5)。

また、一部では粘土化の程度が低く泥質岩が破碎している様相のコアも観察された(写真-6)。碎片化した礫の回転や移動が確認でき、せん断に伴ったものと考えられるが、粘土化の程度は弱く、せん断変位量としては少ない箇所であると推察される。

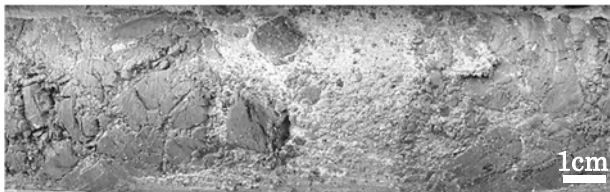


写真-3 BV2-1:44.85~45.0m 区間のコア状況



写真-4 BV2-1:44.9m 付近の拡大

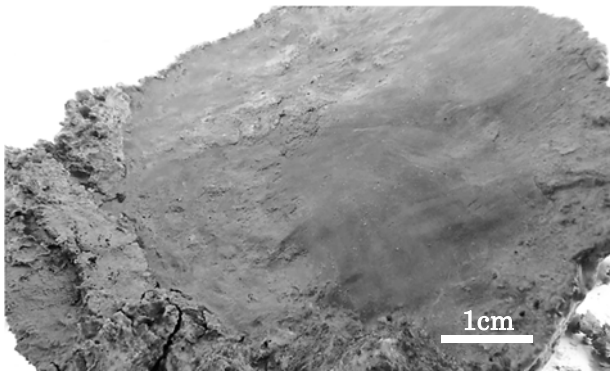


写真-5 BV2-1:44.9m 付近の鏡肌面

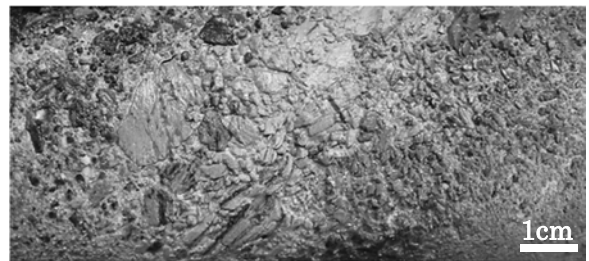


写真-6 BV2-1:28.6~28.7m 区間のコア状況

4. 粘土鉱物の同定と相対含有量の比較

4.1 せん断帯における粘土鉱物の濃集の可能性

眞弓(2004)によると、残留強度へ向うせん断面の形成過程では、構成粒子の再配列(定向配列)に加え、せん断面の細粒分含有率が增大することを確認しており、スメクタイトを含む場合、せん断面にスメクタイトが濃集し被覆層が形成される可能性が示されている⁴⁾。このことから、せん断過程を経た粘土の場合、その母岩と比して含まれる粘土鉱物の含有量が增大する傾向にあるものと解釈できる。それとは異なり、岩盤の風化過程により生じた粘土であった場合には、風化や変質により粘土鉱物が生成されない限りにおいては、粘土鉱物の含有量は母岩と同程度であ

ると考えられる。よって、当該地すべりのボーリングコアに認められたせん断帯の粘土と母岩に対してX線回折分析を行い、粘土鉱物の同定および両者の粘土鉱物の相対含有量を比較した。

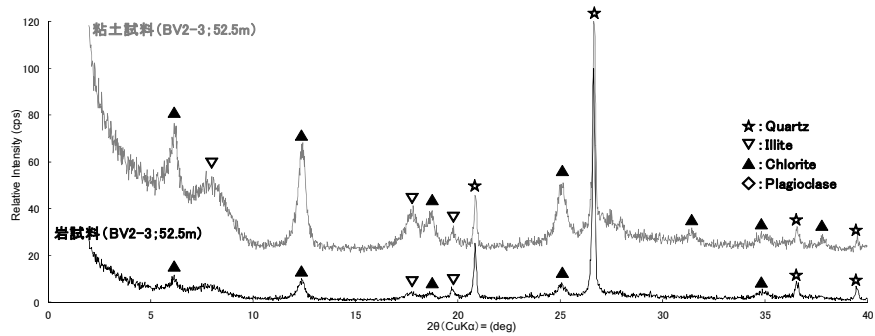


図-3 X線回折図の一例(試料=BV2-3; 52.5m 付近の粘土および母岩)

4.2 X線回折分析の方法

ボーリングコア観察からせん断帯と評価した箇所の粘土とその母岩(含まれる岩片)について粉末X線回折分析を実施した。

ボーリングコアから採取した粘土または岩石試料を常温25°Cで乾燥後、メノウ乳鉢で丁寧にすりつぶして粉末試料を調整した。粉末試料をスライドガラス上に適量分取し、精製水を滴下し攪拌してから数時間静置し定方位試料を作成した。一部の定方位試料については、エチレングリコールを噴霧して測定し、スメクタイトの有無を確認したが、いずれの試料においてもスメクタイトの存在は確認できなかった。粘土鉱物の相対含有量は、いずれの試料でも顕著なピークを示した石英(3.34Å)を指標鉱物とし、その回折線強度を基準に比較して判定を行った。

4.3 粘土鉱物の同定と量比判定の結果

表-1に示したせん断帯において、それぞれで粘土と母岩のX線回折分析を行った結果、粘土鉱物としてはいずれも緑泥石(Ch1)が卓越して含まれていることが認められた(図-3)。

粘土鉱物の量比判定は、石英3.34Åの回折ピークを100cpsとした相対強度を用いた。着目する回折ピークは緑泥石に特徴的なピーク(14Å, 7Å, 4.7Å)とし、粘土と母岩の相対強度を比較することで粘土鉱物の含有量の増大の有無を推定した。すなわち、粘土側の回折ピークが高ければ、母岩よりも粘土側に緑泥石が多く含まれているものと判断され、せん断過程を経て粘土鉱物が濃集した可能性が考えられる。なお、緑泥石は常温常圧下では生成されず通常の風化過程では含有量は増加しない⁵⁾。このため、緑泥石含有量の増加は、せん断過程における構成粒子再配列に伴った粘土鉱物の濃集によるものである可能性があるものと判断できる。

各せん断帯における緑泥石の量比判定結果を表-2に示す。一部のサンプルを除き、全体的に粘土側に緑泥石に特有の回折ピーク強度が高い結果が得られた。このような結果を示

表-2 X線回折分析結果

孔番	No.	せん断帯 確認深度 (GL-m)	使用したサンプルの状態		緑泥石に特有のピーク 相対強度 (cps) ※1			比較 結果 ※2
			種別	備考	14Å	7Å	4.7Å	
BV2-1	1	28.6~28.9	粘土		21	62	46	↑
			母岩		12	29	30	
	2	35.5~36.0	粘土	鏡肌面粘土	27	75	67	↑
			母岩		16	39	31	
	3	44.9 付近	粘土	鏡肌面粘土	22	54	56	↑
			母岩		6	19	17	
	4	54.8~54.9	粘土		8	23	18	↓
母岩				11	33	25		
5	59.6~59.9	粘土		27	73	51	↑	
		母岩		12	35	23		
6	60.1~60.7	粘土	鏡肌面粘土	17	61	41	↑	
		母岩		4	18	14		
7	61.4 付近	粘土		20	58	44	↑	
		母岩		7	24	20		
BV2-2	1	32.35 付近	粘土	褐色粘土	9	16	36	↑
			母岩		3	10	13	
2	44.0~54.25 (54.2m 付近)	粘土	白色粘土	6	17	17	-	
		母岩		7	17	16		
BV2-3	1	20.8~28.9 (23.2m 付近)	粘土		12	20	50	↑
			母岩		12	21	34	
	2	41.4~45.3 (43.8m 付近)	粘土	鏡肌面粘土	18	47	50	↑
母岩				0	8	10		
3	47.4~52.7 (52.5m 付近)	粘土	鏡肌面粘土	18	48	55	↑	
			母岩		4	9	12	

※1 石英3.34Åのピークを100cpsとした場合の相対強度

※2 ↑: 粘土側のCh1ピークが高い, ↓: 母岩側のCh1ピークが高い, -: 変化なし

した粘土については、緑泥石の含有量が増加しているものと判断され、せん断の影響を受けた可能性が指摘される。

5. 補足調査結果

5.1 pH・EC測定 (図-4)

コアの状態と pH 測定結果から、当該箇所における古浦層の砂岩泥質岩は新鮮部で pH10 程度をとるものと考えられ、これを基準として各孔での pH 測定結果を評価した。なお、EC については一意の傾向性が認められなかったが、参考として図-4 に比較的高い値を示した深度をプロットする。

いずれの孔においても表層部に分布する崩積土は、pH7~9 程度とやや酸性側に傾いた値となり、表層部ほど酸化の度合いが強い傾向が認められた。一方、その下位に分布する古浦層の砂岩泥質岩互層では、孔毎に異なる傾向が認められた。

BV2-1 の古浦層は全体的に pH9~10 程度と酸化の影響をあまり受けていない状況と推察される。GL-68m~82m 付近は pH8~9 とやや酸性側となるが、当該区間はボーリングコアで方解石脈が卓越して認められる箇所該当しており、熱水変質の影響によるものと考えられる。

BV2-2 では上位から GL-50m 付近まで pH8 前後とやや酸化の影響を受けていると判断され、それ以深は pH9.5 程度と明瞭な変化を認める。ボーリングコアの状態でも GL-50.9m 以浅が褐色を帯びており、目視観察結果と調和する。

BV2-3 は上位から GL-33m 付近までは pH7~8 程度と酸化傾向にある。それ以深は GL-51m 付近までの間で pH9.5 程度に向かい徐々にアルカリ性側に傾く特徴がみられる。ボーリングコアでは GL-52.5m までせん断帯が観察されており、その結果が pH にも表れていると評価される。ただし、GL-33m 付近で pH が上昇トレンドに移行するが、その変化点についてはコアの外観上大きな変化は認められず、pH 測定により酸化の影響をより被った範囲を抽出できたものと考えられる。

BV2-1 の古浦層は全体的に pH9~10 程度と酸化の影響をあまり受けていない状況と推察される。GL-68m~82m 付近は pH8~9 とやや酸性側となるが、当該区間はボーリングコアで方解石脈が卓越して認められる箇所該当しており、熱水変質の影響によるものと考えられる。

5.2 針貫入試験 (図-5)

針貫入試験結果は一軸圧縮強度に換算⁶⁾して評価を行った。泥質岩は全体的にコアが脆く、風化により粘土化する部分も散見されたが、対照的に砂岩は状態が良好で硬質な部分が多く認められた。このため、地質の違いによるコントラストが大きく一律の評価が困難であったことから、泥質岩の試験結果は除外し、砂岩の試験結果(換算一軸圧縮強度の平均値)を風化範囲判断のための指標とした。その結果、各孔深部側の砂岩層に強度が低い傾向が認められ、BV2-1 では GL-25.4~28.6m, 45.9~48.8m, 61.7~64.45m の各区間、BV2-2 では GL-32.6~45.8m 区間、BV2-3 では GL-30.6~41.2m, 48.7~50.65m の各区

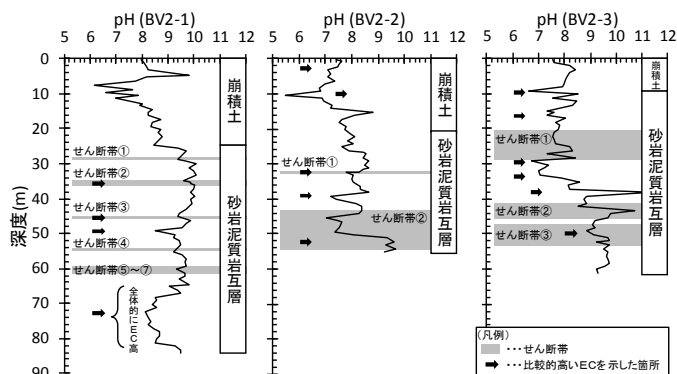


図-4 pH・EC測定結果総括図

針貫入試験結果は一軸圧縮強度に換算⁶⁾して評価を行った。泥質岩は全体的にコアが脆く、風化により粘土化する部分も散見されたが、対照的に砂岩は状態が良好で硬質な部分が多く認められた。このため、地質の違いによるコントラストが大きく一律の評価が困難であったことから、泥質岩の試験結果は除外し、砂岩の試験結果(換算一軸圧縮強度の平均値)を風化範囲判断のための指標とした。その結果、各孔深部側の砂岩層に強度が低い傾向が認められ、BV2-1 では GL-25.4~28.6m, 45.9~48.8m, 61.7~64.45m の各区間、BV2-2 では GL-32.6~45.8m 区間、BV2-3 では GL-30.6~41.2m, 48.7~50.65m の各区

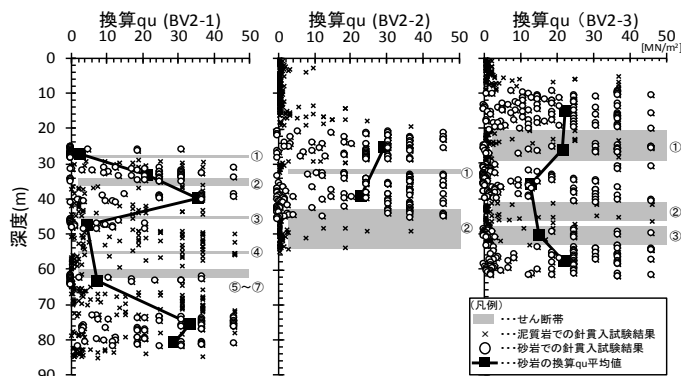


図-5 針貫入試験結果総括図

間における砂岩層に相対的な強度低下を認めることができた。強度が上位から漸減する傾向にはないことから、風化の影響ではなく地すべりのせん断に伴うダメージゾーンである可能性が指摘される。

5.3 層理面傾斜角 (図-6)

ボーリングコアにみられる層理面の最大傾斜角を計測し、その変化の傾向から地すべりの影響範囲を把握することを試みた。

各ボーリングコアで確認されたせん断帯の最下位のものより深部のコアは、地すべりの影響を受けていないものと考えられる。その最大傾斜角の平均値は BV2-1 で 41° (GL-61.4m~85m 間の平均値; 母数 n=68), BV2-3 で 44° (GL-52.7m~62m 間の平均値; 母数 n=11) であった。

一方、最下位のせん断帯より上位の層理面最大傾斜角は平均で BV2-1 は 35° (GL-25.4m~61.4m 間の平均値; 母数 n=40), BV2-3 は 32° (GL-9.4m~52.7m 間の平均値; n=59) となり、いずれもせん断帯以深の最大傾斜角より小さい傾向が認められた。

これらの結果から、各孔ともせん断帯のいずれかで滑動が生じ、層理面の傾斜角が変化した可能性を示している可能性がある。なお、BV2-2 については、層理面が全体的に不明瞭でありせん断帯より下位のデータを得ることができなかつたため評価対象外とした。

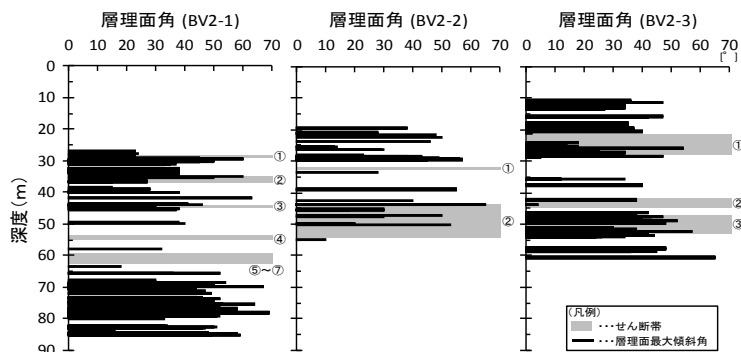


図-6 層理面傾斜角計測結果総括図

6. すべり面の評価

以上の結果を表-3 に総括する。各評価項目および補足調査結果に多く該当したせん断帯が、より活動的なすべり面を含む可能性が高いものと考えられる。なお、評価項目③礫の円磨度と④異種地質の礫の混入有無については、せん断の影響を被ったものである可能性が高いため、総合評価に際し重きを置いている。今回の評価結果の正しさが示されるのは、ある程度地すべりの変位が生じることを待つこととなるが、客観的に活動的なすべり面であることを検討するための一つのアプローチと考える。

表-3 すべり面調査結果総括表

孔番	No.	せん断帯確認深度 (GL-m)	せん断帯の評価項目				補足調査結果				総合評価 ※1
			①粘土	②鏡肌面	③礫の円磨度	④異種地質の礫	XRD	pH EC	針貫入試験	層理面傾斜角	
BV2-1	①	28.6~28.9	○	-	0.3	-	○		○		
	②	35.5~36.0	○	○	0.7	-	○		△		○
	③	44.9 付近	○	○	0.6	-	○		○		◎
	④	54.8~54.9	○	-	0.5	-	-		○	○	
	⑤	59.6~59.9	○	-	0.2	-	○		○		
	⑥	60.1~60.7	○	○	0.2	-	○		○		
	⑦	61.4 付近	○	-	0.2	-	○		○		
BV2-2	①	32.35 付近	○	○	0.5	-	○	○			○
	②	44.0~54.25	○	-	0.4	○	-	○	△		◎
BV2-3	①	20.8~28.9	○	-	0.5	○	○	○			○
	②	41.4~45.3	○	○	0.5	○	○	○	○	○	◎
	③	47.4~52.7	○	○	0.4	○	○	○	○		○

※1 総合評価：◎…活動的なすべり面を含む可能性が最も高い、○…次点

参考文献

- 1) 鹿野和彦・中野俊 (1986) : 恵曇地域の地質, 地質調査所, 地域地質研究報告, pp. 2-17.
- 2) (独)土木研究所他 (2013) : すべり層のサンプリングと認定方法に関する研究共同研究報告書, 6-8p.
- 3) Krambein, W.C. (1941) : Measurement and geologic significance of shape and roundness of sedimentary particles, Jour. Sed. Petrol., 11, pp. 64-72.
- 4) 眞弓孝之 (2004) : すべり面せん断試験機の開発とその適用によるすべり面せん断抵抗角の評価, 学位論文, pp. 103-107.
- 5) 吉村尚久 (2001) : 粘土鉱物と変質作用, 地学団体研究会, 地学双書 32, pp. 156-172.
- 6) 岡田滋, 泉谷泰志, 飯塚友之助, 堀内澄夫 (1985) : 針貫入試験による軟弱な地山強度の推定, 地盤工学会, 土と基礎, pp. 35-38.