

7. 破碎帯地すべりのすべり面判定技術に関する検討

—四国三波川帯・御荷鉾帯地すべりを例に—

A feasibility study on research techniques for slip surface

—Shear zone landslide in Sanbagawa and Mikabu belt, central Shikoku—

○木下博久，山根健二，大前勝稔，木下行治

(復建調査設計株式会社)

1. はじめに

四国は東西走向の構造線が多く発達し、これら構造線沿いは日本有数の地すべり多発地帯となっている。中でも、四国中央部の三波川帯や御荷鉾帯は、いわゆる“破碎帯地すべり”が多い地域とされる。破碎帯地すべりの特徴についてはこれまで、小出(1955)¹⁾をはじめ、斉藤・長谷川(1984)²⁾や高橋・鹿島(1990)³⁾、横山・柏木(1996)⁴⁾などによって、地形地質構造、運動様式、構造地質学的な検討がなされている。一方で、破碎帯地すべりと呼ばれる地域において、地すべりの素因となる破碎帯を確認した例は少なく、両者の直接的な関連については十分な解明がなされていないのが現状である。特に、三波川帯や御荷鉾帯では片理面やスレート劈開、褶曲軸部に沿った割れ目の形成や、付加体特有の複雑な地質構造により、岩盤中に多くの脆弱部、弱面が存在している。このため、地すべり調査の第一段階である地表踏査やボーリング調査の段階においてすべり面を識別することが難しく、ボーリング調査の掘り止め深度や孔内観測機器の設置深度の判断を誤る場合もある。このような中、脇坂ほか(2012)⁵⁾は、ボーリングコアからのすべり面の認定方法として、断層起源の破碎岩(断層角礫、断層ガウジ等)と地すべり移動体の破碎岩の特徴に着目し、ボーリングコアの破碎構造や破碎度を指標とした方法を提案している。

これら既往調査研究を参考に、本稿では、孔内傾斜計観測等の動態観測結果からすべり面の位置が確認されている地すべりブロックについて、ボーリングコア等を精査し、すべり面とそれ以外の破碎部における地質学的特徴を比較することにより、ボーリング調査段階におけるすべり面の判定方法について検討した。

2. 検討対象地すべりの概要

検討対象地すべりは、御荷鉾帯のNブロック及び三波川帯に位置するSブロックである(図-1)。各ブロックの概要を表-1に、概略断面図及びボーリング調査位置を図-2に示す。

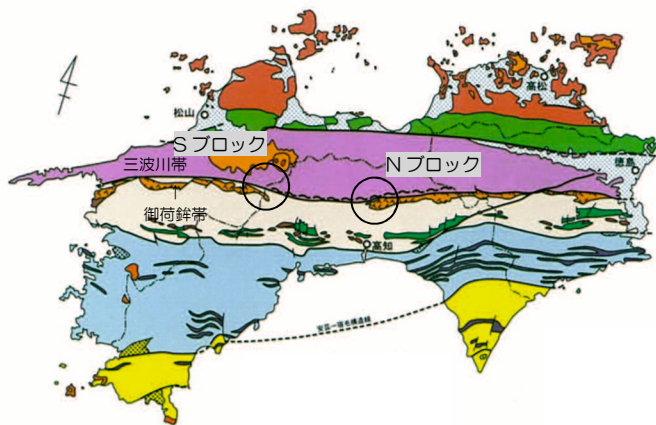


表-1 地すべりブロックの概要

主な特徴	Nブロック	Sブロック
分布地質	御荷鉾緑色岩類(緑色岩、枕状溶岩・ハイアロクラスタイト等の混在岩)	三波川変成岩類(泥質片岩主体、塩基性片岩、珪質片岩)
地すべり規模	L=180m, W=80m	L=300m, W=230m
すべり面深度	GL-14~41m	GL-86m
変動量	2~5mm/年	1~3mm/年
検討対象ボーリングNo.	BN24-1, BN24-2	BS25-1

図-1 検討対象地すべり位置 (基図は四国山地砂防事務所 HP より引用)

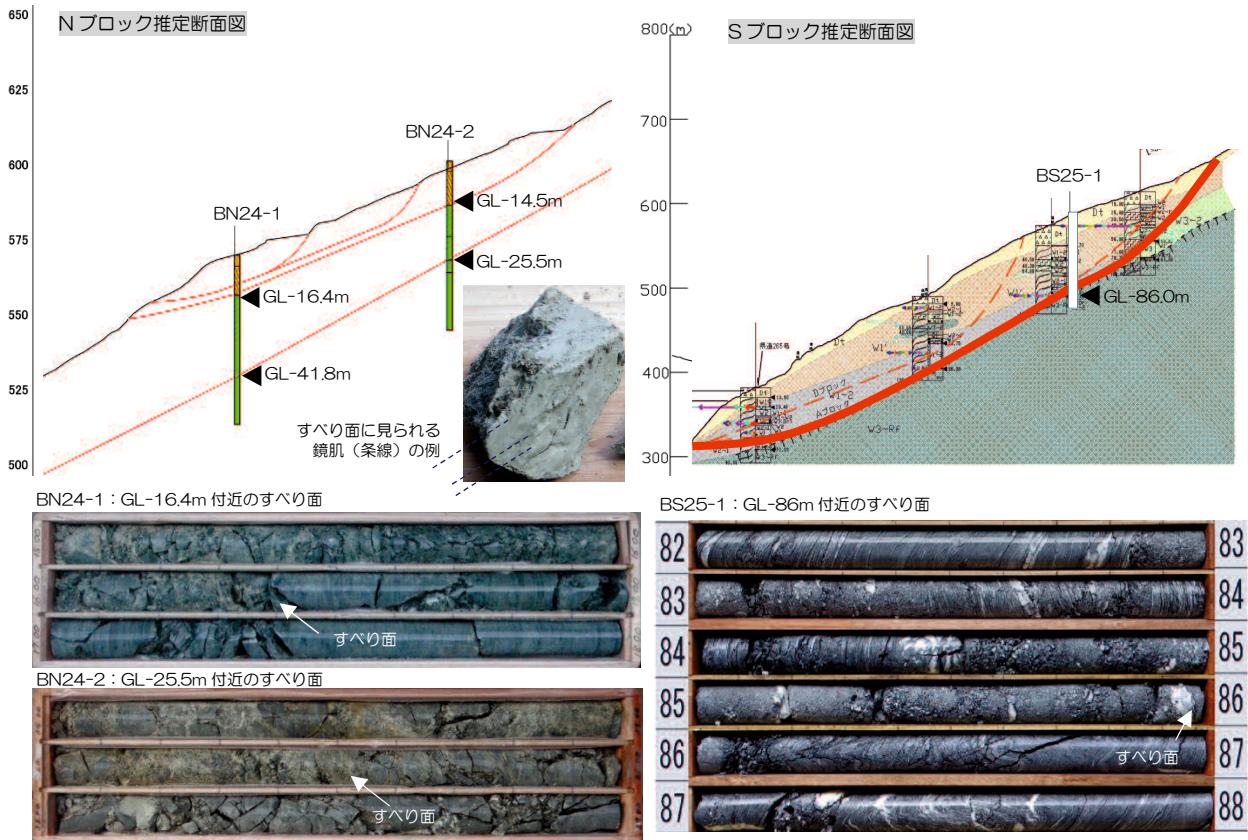


図-2 各地すべりブロックの概略図及びボーリング調査位置 (◀すべり面)

3. ボーリングコアの観察, 分析方法

3.1 ボーリングコア観察

すべり面付近の岩の破碎程度を評価するため、コアの割れ目、潜在亀裂、挟在物等の構造をスケッチ (トレース) し、前述の脇坂ほか (2012) の分類基準を参考に、破碎度区分を行った (図-3)。

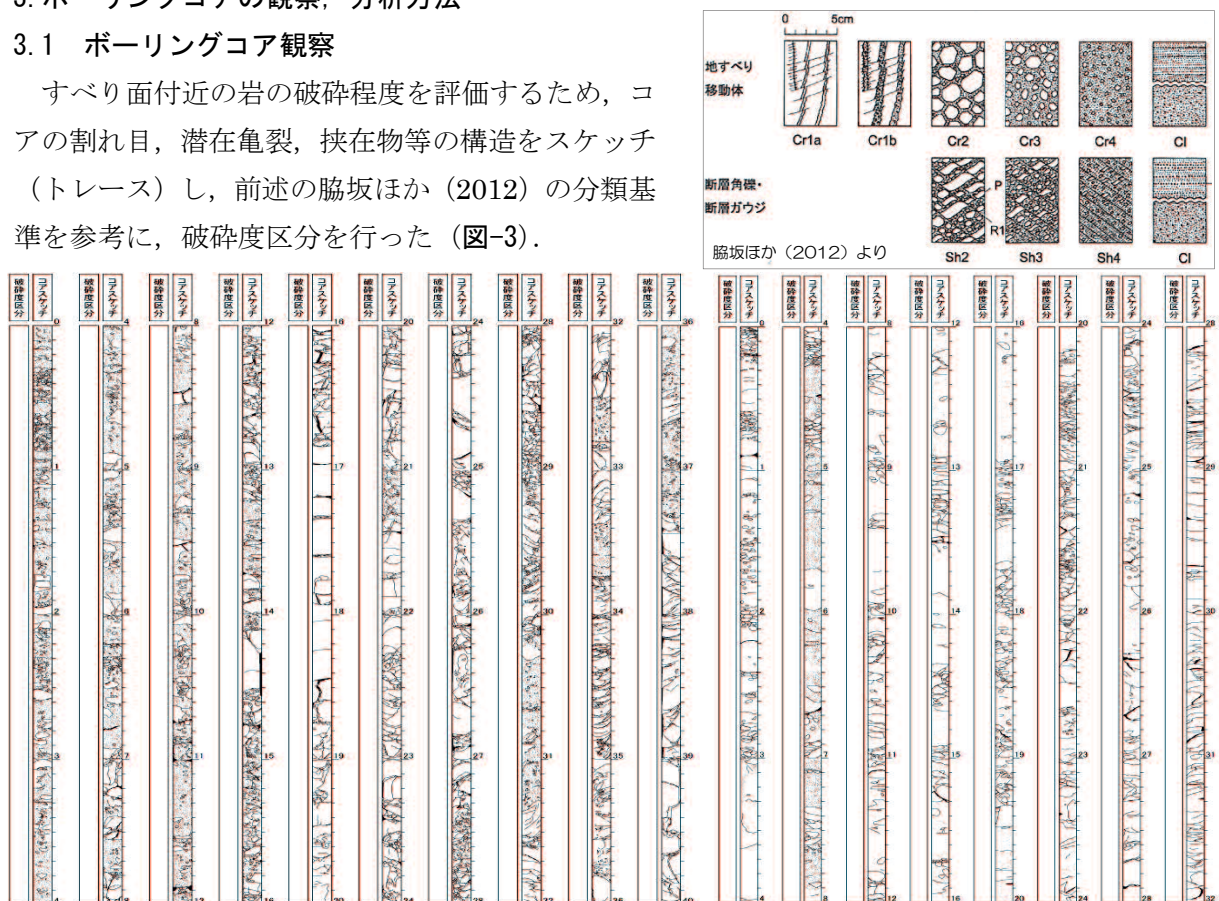


図-3 ボーリングコアの亀裂面や破碎部のスケッチ例

3.2 ボーリングコア分析

(1) 細粒分の検鏡観察

ボーリングコア破碎部分に狭在する細粒分，地すべり粘土に含まれる鉱物（岩片）をふるいで洗い出し，実体顕微鏡による観察を行った．ふるいは1.00mm，500 μ m，250 μ mの3種類のメッシュサイズを用い，250 μ mに残った鉱物を観察した．ここでは，基盤岩の風化で生じた粘土や割れ目への流入粘土等と比べて，すべり面に含まれる鉱物はその磨耗度が高いという仮説のもと，鉱物粒子の球形度・円磨度を計測した．計測は，検鏡写真をパソコンに取り込み，画面上の鉱物の形状をトレースし，Rittenhouse (1943)，Krumbein (1941) の印象図を基準に，鉱物の角や丸みをあわせながら合致させ，簡便的に数値化した（図-4）．計測数は各層準について30個とし，球形度，円磨度の平均値を算出した．

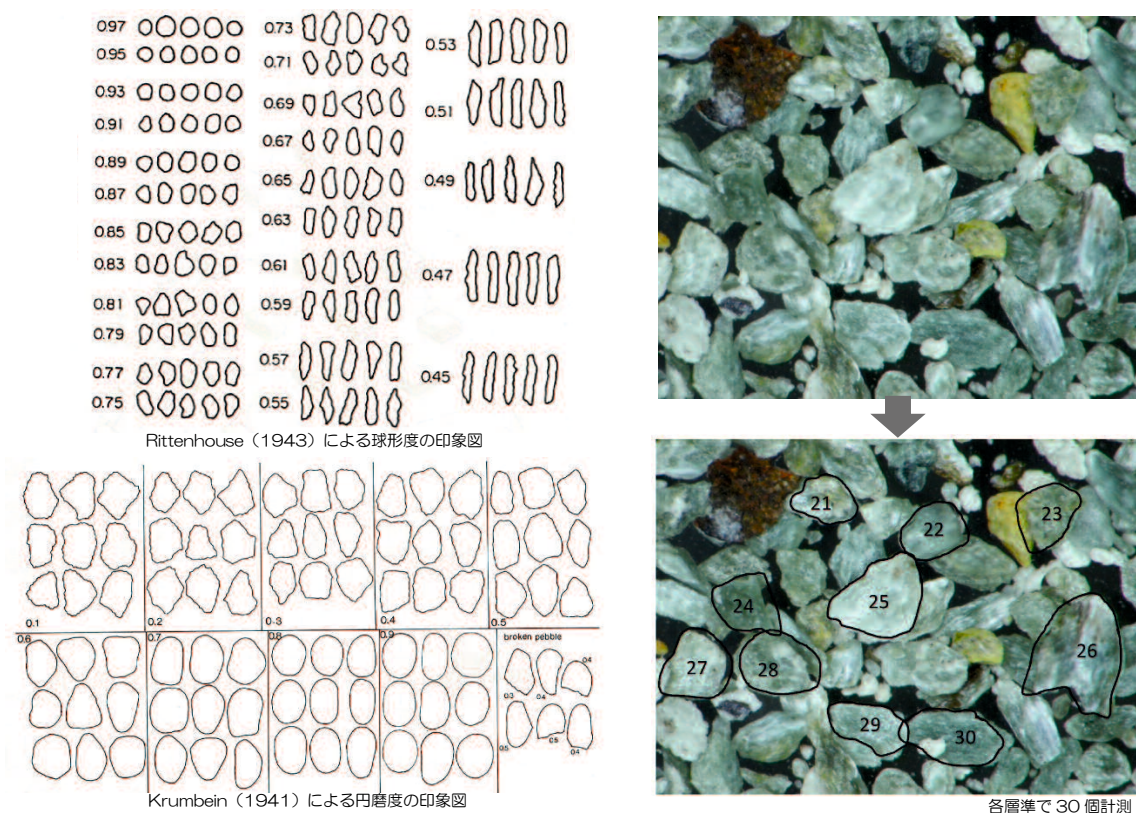


図-4 球形度・円磨度の印象図と検鏡写真トレースの例

(2) ボーリングコアの γ 線及び帯磁率測定

断層や破碎帯，地すべり面などにおいては，岩石が細片化していることから，地表面や露頭スケールで γ 線強度が高くなる傾向にあることが知られている．また，地質，岩質（磁性鉱物の有無）によっては， γ 線強度と帯磁率との間で良い相関があるとされ，地すべり調査において，ボーリングコアの帯磁率変化からすべり面を判定した報告例もある（吉村，2005⁶）など．今回対象とした地すべりブロックのうち，Nブロックは玄武岩質岩体を含む緑色岩類であることから，磁性鉱物を多少含有していると考えた．これら研究事例を参考に，すべり面の破碎部では，他の部分と比べて γ 線強度や帯磁率変化に差異があるとの仮説のもと，シンチレーションカウンターを用いたコアの γ 線測定，及び携帯式帯磁率計による帯磁率測定を実施した．測定は，5cm間隔で連続的に行った．また，帯磁率変化に対する孔内ねじれ測定のジャイロ変化との比較も試みた．

4. 観察・分析結果

4.1 破砕度区分

コアの破砕度について、すべり面を含む脆弱部付近の区分結果を表-2 に抜粋する。BN24-1, BN24-2 コア (N ブロック/御荷鉾緑色岩類) で見られるすべり面付近の破砕岩の形態は、Cr2 (無構造な角礫岩, 基質の量は 30%未満で礫支持, 角礫の中央粒径は 15mm 以上) タイプに近い (図-5)。また, BS25-1 コア (S ブロック/三波川変成岩類) のすべり面は、Cr4 タイプ (無構造な角礫岩, 基質の量は 60%以上で基質支持, 角礫の中央粒径は 2~5mm) の形態である。一方, すべり面付近以外の脆弱部の岩相も、Cr2~Cr3 (無構造な角礫岩, 基質の量は 30~60%, 角礫の中央粒径は 5~15mm) タイプが多く, すべり面付近の破砕形態と区別するのは難しい。ただし, 一部の脆弱部では, 断層角礫に特徴的な R1 面及び P 面に近い面構造が認められる (図-6)。

表-2 ボーリングコアの破砕度区分 (主要な脆弱部を抜粋)

BN24-1 (緑色岩)		BN24-2 (緑色岩)		BS25-1 (泥質片岩)	
深度 (m)	破砕度	深度 (m)	破砕度	深度 (m)	破砕度
10.15-10.90	Cr3	9.00-9.80	Cr4	21.50-22.50	Cr2
12.80-13.65	Cr2	14.00-15.00	Cr2	30.25-30.90	Cr1b
14.80-16.50	Cr2	16.20-17.00	Cr1b	43.00-43.50	Sh2
29.35-30.80	Cr2	18.10-19.40	Cr1b	52.25-53.00	Cr1a
31.70-33.10	Sh3	23.00-23.50	Cr3	63.00-63.35	Cr4
40.20-42.00	Cr3	25.00-25.60	Cr3	77.50-78.00	Cr2
49.50-50.70	Cr1b	28.00-29.00	Sh4	85.00-86.00	Cr4
53.30-53.80	Cr2	33.00-33.80	Cr2	100.30-100.50	Cr1b
55.00-55.75	Cr1b	46.80-47.60	Cr4	108.00-108.35	Cr2

(■ : すべり面を挟む層準)

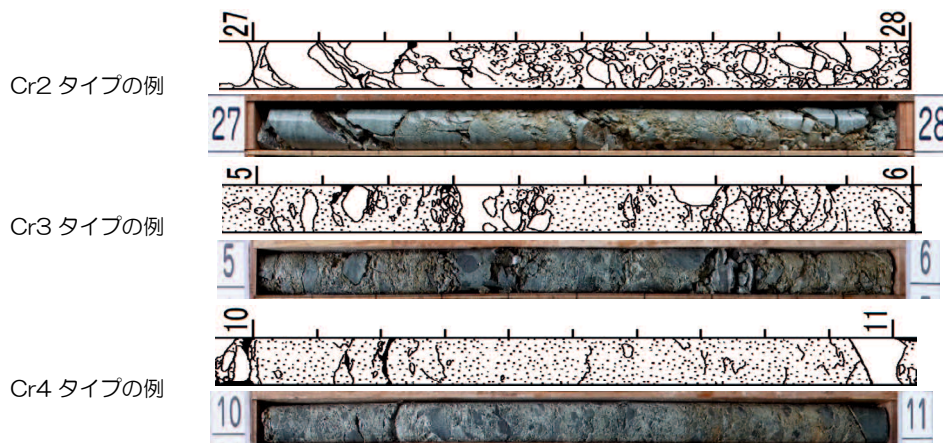


図-5 ボーリングコアの破砕度区分の例 (御荷鉾帯/緑色岩)

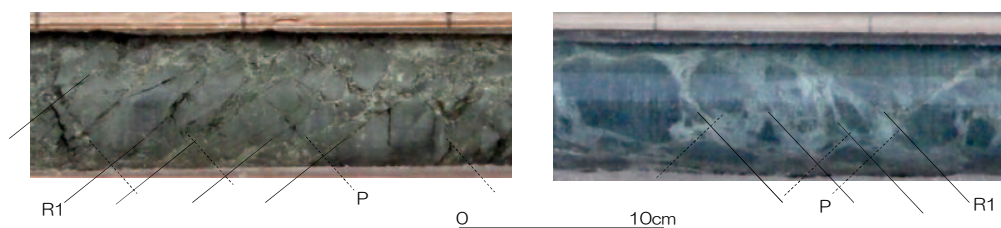


図-6 断層岩起源の破砕部と判定した例 (左: Sh2, 右: Sh3)

4.2 鉱物の球形度・円磨度

すべり面を含む、ボーリングコア破砕部（細粒挟在物）に含まれる鉱物岩片の球形度、円磨度の計測結果を表-3、図-7に示す。球形度は、BN24-2及びBS25-1において、すべり面層準に含まれる岩片が高い（より丸みを帯びている）傾向が認められた。BN24-1では、全体にバラつきが見られた。円磨度はBN24-1、BN24-2において、すべり面層準で高い（より角がとれている）。一方、BS25-1では、円磨度は全体に変化が少なく、すべり面層準で顕著な差は認められなかった。

表-3 鉱物岩片の球形度及び円磨度の平均値 (■：すべり面層準)

BN24-1 (緑色岩)			BN24-2 (緑色岩)			BS25-1 (泥質片岩)		
深度(m)	球形度	円磨度	深度(m)	球形度	円磨度	深度(m)	球形度	円磨度
10.33	0.818	0.503	9.65	0.747	0.380	40.20	0.773	0.423
12.35	0.809	0.513	13.75	0.767	0.400	43.70	0.605	0.485
13.45	0.763	0.493	14.50	0.725	0.387	48.35	0.760	0.388
15.54	0.777	0.507	20.36	0.696	0.390	56.40	0.696	0.428
16.40	0.795	0.493	23.75	0.721	0.393	61.35	0.735	0.466
29.46	0.808	0.457	25.25	0.740	0.367	68.30	0.632	0.428
31.90	0.823	0.520	25.45	0.725	0.387	70.66	0.776	0.435
32.40	0.789	0.480	25.50	0.743	0.343	86.00	0.665	0.462
41.80	0.801	0.503	29.43	0.803	0.377	87.65	0.803	0.402
47.68	0.767	0.483	34.70	0.771	0.365	90.55	0.810	0.396

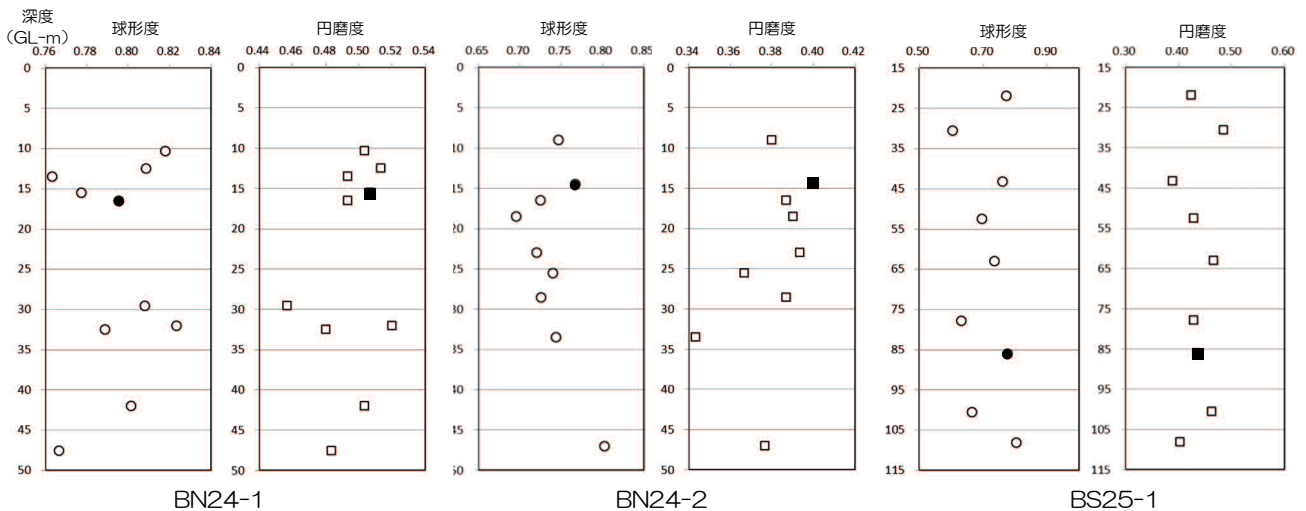


図-7 鉱物岩片の球形度及び円磨度の分布図 (●■：すべり面層準)

4.3 ボーリングコアのγ線強度と帯磁率変化

BN25-1、BS25-1 コアのγ線強度変化とねじれ測定結果との対比を図-8に示す。なお、帯磁率測定については、コアの帯磁率が大気中のバックグラウンド値と差が無かったため、微小な変化の測定は不可能であった。γ線強度の変化を見ると、コアの破砕部（細粒分挟在部）でピークがあるものの、他の健岩部の強度変化との区別は難しい。また、すべり面層準のγ線強度に、他の脆弱部と比べて顕著な差は認められない。ただ、全体的に見て、脆弱部ではγ線強度が高くなる傾向にある。ねじれ測定結果と比較すると、BV24-1 コアの一部で、γ線強度のピーク部分で、ジャイロの大きな変化が認められる。この区間に顕著な破砕部は存在しないことから、地山の原岩鉱物（組織）自体のγ線強度、磁性強度の特徴を示していると考えられる。

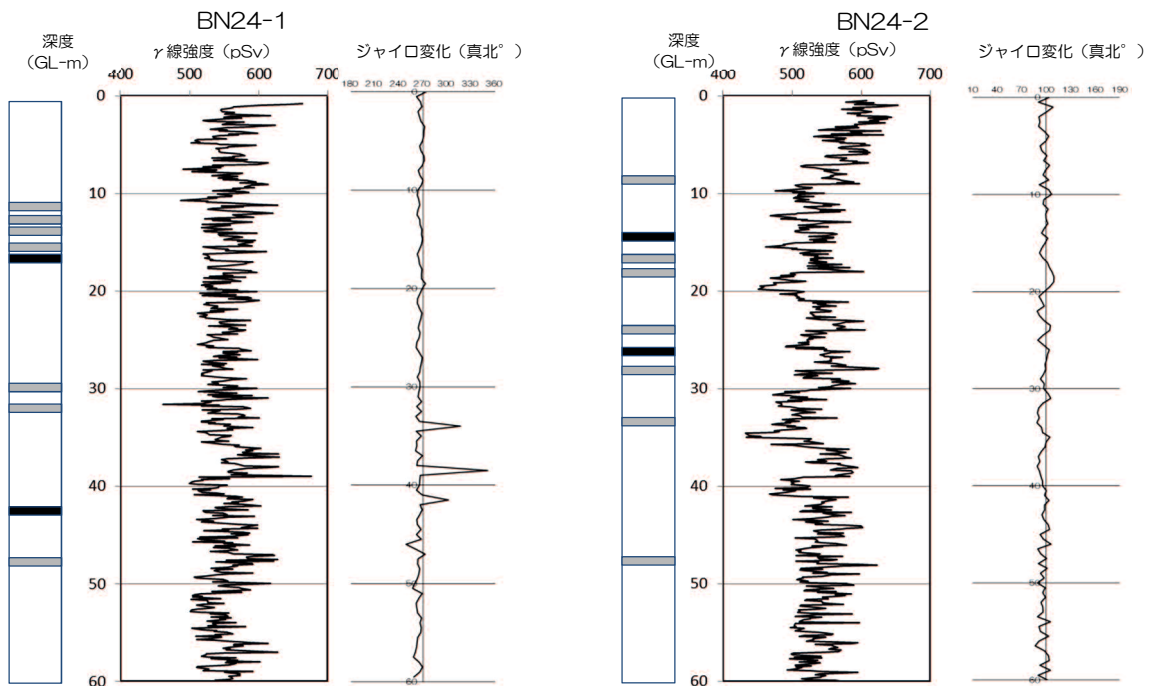


図-8 コアの γ 線強度変化と孔内ねじれ測定器のジャイロ変化 (■: すべり面層準, ■: その他破砕部)

5. まとめ

御荷鉢帯、三波川帯地すべりを対象に、ボーリングコアの破砕度区分、含まれる鉱物岩片の球形度・円磨度の計測、コアの γ 線測定及び帯磁率測定から、すべり面判定への適用を検討した。

- ・破砕度区分の結果、御荷鉢緑色岩体の地すべりブロックで見られるすべり面付近の破砕度はCr2～3タイプ、三波川変成岩体（泥質片岩）はCr4タイプに近い。これは、やや脆弱で剥離性の強い泥質片岩において、すべり面付近の破砕～土砂化がより顕著に進むことが考えられる。
- ・また、一部では断層角礫に特徴的なR1面やP面を有するタイプも区分できたことから、破砕度からすべり面の層準をある程度まで絞り込むことは可能である。
- ・破砕部に含まれる鉱物岩片の形状でみると、すべり面の鉱物はそれ以外のものと比べて、球形度・円磨度とも高い（より丸みを帯びて角がとれている）傾向が認められた。
- ・コアの γ 線強度・帯磁率は、すべり面とそれ以外で顕著な差は認められなかった。これは、測定対象スケール（ ϕ 86mm コア）に起因する、バックグラウンドの影響などが考えられる。

以上の結果から、ボーリングコアからすべり面を判定する方法として、特に破砕度区分による方法と、挟在する岩片の形状観察が有効な手法になり得るといえる。

引用文献

- 1)小出博（1995）：日本の地回りーその予知と対策一，東洋新聞社，東京，259p.
- 2)斉藤実・長谷川修一（1984）：四国の地質と災害特性，土と基礎，第32巻，第10号，107-116p.
- 3)高橋治郎・鹿島愛彦（1990）：三波川帯及び御荷鉢帯の地すべり，土質工学会発表論文集，13-17p.
- 4)横山俊治・柏木健司（1996）：安部川支流関の沢流域の瀬戸川層群に発達する斜面の傾動構造の運動像，応用地質，第37巻，第2号，20-32p.
- 5)脇坂安彦・上妻睦男・綿谷博之・豊口佳之（2012）：地すべり移動体を特徴づける破砕岩一四万十帯の地すべりを例として一，応用地質，第52巻，第6号，231-247p.
- 6)吉村辰朗・間野道子（2005）：ボーリングコアの γ 線強度・帯磁率測定によるすべり面検出，日本地すべり学会誌，第42巻，第3号，12-18p.