

斜面崩壊に関わる未固化期変形帯について

DEFORMATION ZONE IN UNCONSOLIDATED PERIOD RELATED TO LANDSLIDE

吉村 辰朗¹・福田 直三²
Tatsuro YOSHIMURA and Naoto FUKUDA

¹復建調査設計株式会社 九州支社（〒812-0011 福岡市博多区博多駅東3-12-24）

E-mail: t-yoshimura@fukken.co.jp

²復建調査設計株式会社 九州支社（〒812-0011 福岡市博多区博多駅東3-12-24）

E-mail: fukuda@fukken.co.jp

Key Words: landslide, gamma-ray survey, deformation zone

1. はじめに

斜面崩壊の頭部付近では、断層に付随する湧水が見られる場合がある。その場所は、線上に並ぶ鞍部の延長上に位置している場合が多い。鞍部は断層地形の一つとされ、断層によって岩盤が破碎し、水みちが形成されることによって風化が進行し、浸食されやすくなった場所である。尾根でγ線探査を実施した場合、鞍部においてγ線強度異常値が検出されやすい。その場所でボーリング調査を行うと、予想された破碎帯が見られないときがある。これは、未固結層が岩石となる前に変形し、せん断帶が癒着しているものと考えられる。これを本論文では、未固化期変形帯と称する。

今回は、第三紀堆積岩と花崗岩での地質調査事例を基に、斜面崩壊に関わる未固化期変形帯の地質的特性について考察した。

2. 測定方法と破碎幅の検出方法

測定方法はトータルカウント法で、γ線強度をシンチレーションサーベイメータ TCS-151(アロカ社製)を用いて測定した。γ線強度の単位は1cm線量当量率(Sv/h)で、測定誤差は3%以下である。測線は推定される断層伸長方向にほぼ直交するように設定し、尾根において測定した。測点間隔は3mで、γ線

強度異常値が出現した地点では10cm間隔で測定しγ線強度異常値区間を詳細に求めた。この測定法で異常値区間境界点(α点)を求め、測線より50cm～1mシフトさせて同様に境界点(β点)を10cmオーダーで求め、α点とβ点を結んだ方向を破碎帯の走向とした。走向に直交するするγ線強度異常値区間を破碎幅と定義した(図-1)。

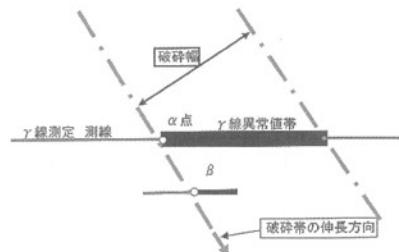


図-1 γ線測定で検出した破碎幅

3. 粘土の破壊実験におけるγ線強度変化

未固結層が破壊した場合のγ線強度変化を調べるために、粘土の圧縮試験を行った。供試体は、不搅乱試料(粘土、密度2.66g/cm³)で、直径7.4cm、高さ15cmである。測定は供試体上面の中心と四方で行い、破壊前と破壊後の測定値を比較した。供試体の破壊状況は、上面に開口亀裂が生じた場合(開口型)とせん断面が明瞭な場合(せん断型)が認められた(写真-1)。

NO. 2

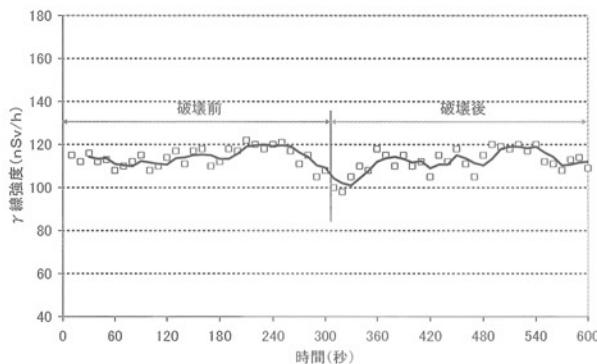


NO. 3



写真-1 供試体の破壊状況

上面に開口亀裂が生じた場合（開口型、NO.2）の破壊前後の中心における γ 線強度変化を図-2に示した。開口型では破壊後の γ 線強度の変化は認められない。

図-2 破壊前後の γ 線強度変化（開口型、NO. 2）

せん断面が明瞭な場合（せん断型、NO.3）の破壊前後の中心における γ 線強度変化を図-3に示した。せん断型では、破壊後に高 γ 線強度へ不連続的に変化した。表-1に破壊前後の γ 線強度を示す。

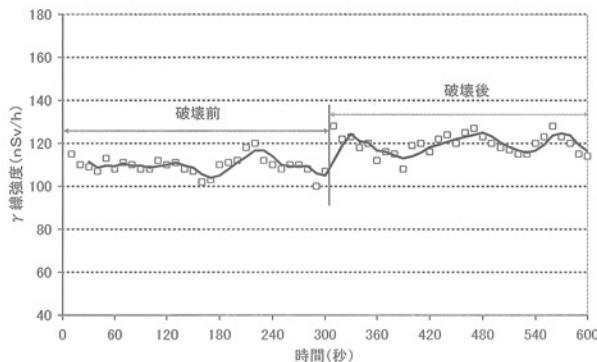
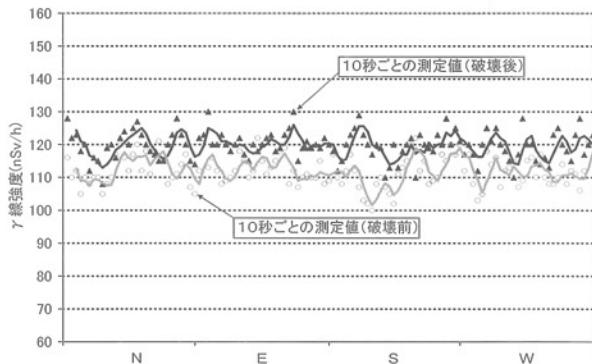
図-3 破壊前後の γ 線強度変化（せん断型、NO. 3）

図-4にせん断型（NO.3）の破壊前後の四方の γ 線強度を示した。四方でも破壊後に高 γ 線強度へ不連続的に変化し、破壊後の異常値の識別は容易である。

表-1 破壊前後の γ 線強度変化（粘土）

	開口型(NO. 2)	せん断型(NO. 3)
破壊前	114.1(4.3)	109.6(4.0)
破壊後	112.1(5.7)	117.6(7.6)

単位：nSv/h ()：標準偏差

図-4 破壊前後の γ 線強度変化（せん断型、NO. 3）

4. 第三紀頁岩における未固化期変形帯

トンネル計画区間には、新第三紀中新世前期～中期の堆積岩類である対州層群が分布し、頁岩と砂岩と頁岩の互層からなる。対馬全域を支配する地質構造は、NE-SW 方向の軸をもつ複背斜・複向斜で特徴づけられる。この地質構造により、調査地の走向も NS～NE と変化が著しい。調査手法としては、弾性波探査および水平ボーリングを実施した（図-5）。

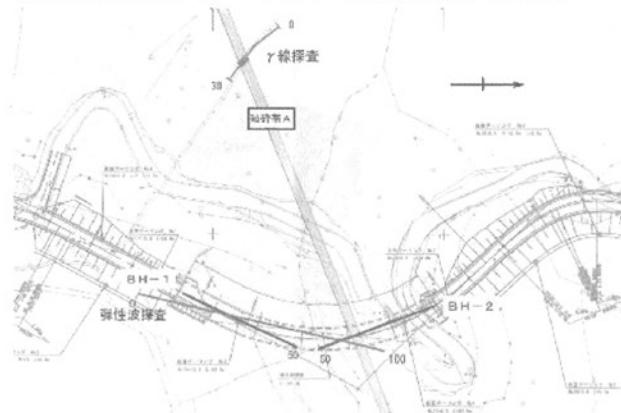


図-5 調査位置平面図

尾根付近ではENE方向のリニアメントが認められたため、 γ 線探査を実施した。ENE-WSW 方向のリニアメント付近に A 測線（測線長：30m）を設け、測点間隔は 3m とした。 γ 線測定結果を図-6に示す。頁岩の平均値は $10.85 (\times 10^{-2} \mu \text{Sv}/\text{h})$ で、破碎帶と推定される区間は相対的に高い γ 線強度である。破碎帶の方向は N68° E で、破碎幅は 3.9m である。

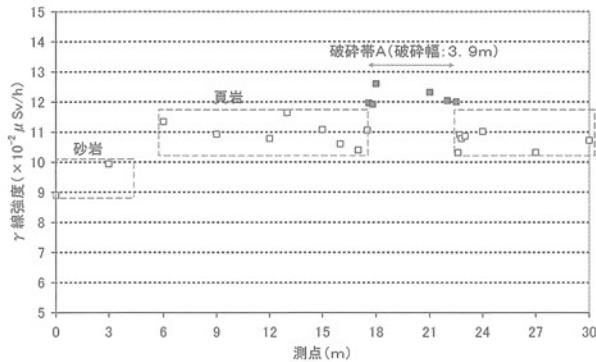


図-6 尾根における γ 線測定結果（対馬市上県町）

トンネル計画路線方向に弾性波探査を実施した。弾性波探査結果を図-7に示す。弾性波探査結果では、尾根から終点側にかけて3km/s以上の層の落ち込みが認められる。その境界は、 γ 線探査で検出した破碎帯とほぼ一致する。この破碎帯の性状を把握する目的で水平ボーリングBH-2を実施した。掘削中は逸水し、破碎帯付近の34~35mではジャーミングが発生したが、採取されたコアはRQD. 70~100%の棒状コアであった（写真-2）。

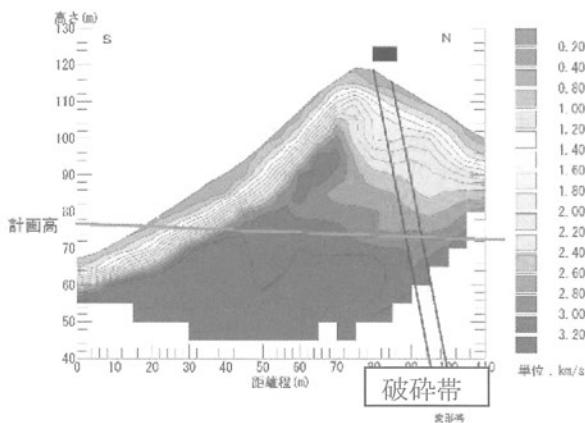


図-7 弹性波探査結果（トンネル縦断方向）



写真-2 ジャーミングが発生した区間のコア（BH-2）

両坑口で実施した水平ボーリングのコアを用いて岩石試験を実施した。図-8にトンネル路線区間の岩石試験結果を示す。弾性波速度（P波）は3.5km/s前後であるが、尾根を境に終点側（BH-2）の一軸圧縮強は起点側（BH-1）の一軸圧縮強度より5倍～9倍となる。この原因としては、岩相の違い（終点側では砂分が多く含まれている）が考えられる。

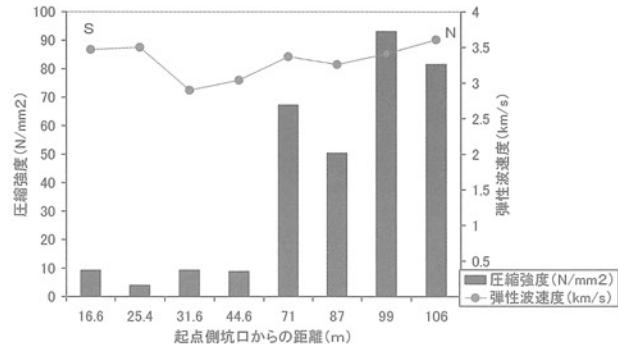


図-8 トンネル路線区間の岩石試験結果

ボーリングBH-1の調査時に孔口からの湧水は確認されなかった。ボーリングBH-2の調査時にはほとんど逸水する状態であったが、撤去前に孔口から3L/分の湧水が確認された。弾性波探査結果では、尾根から終点側にかけて3km/s以上の層の落ち込みが認められ、尾根付近を境に岩相の違いが確認された。その境界は、 γ 線探査で検出した破碎帯とほぼ一致することから、地質構造的な不連続が推定される。ボーリングコアの形態から、この不連続部は頁岩が固結する前に生じた変形帶と考えられる。

5. 花崗岩分布域の崩壊事例

2009年7月26日に、大野城市乙金付近の法面において、幅約60m長さ約100mにわたって崩壊が生じた。この法面付近では2003年の豪雨時に小規模な崩壊が生じていた。乙金山に分布する地質は花崗岩で、崩壊地の東方にNNE-SSW方向の断層が記載されている¹⁾。崩壊地付近にもNNE-SSW方向のリニアメントが認められたため、崩壊地から約700m南側の尾根において γ 線探査を行なった。NNE-SSW方向のリニアメント付近にB測線（測線長：60m）を設け、測点間隔は2mとした（図-9）。 γ 線測定結果を図-10に示す。花崗岩の平均値は9.3~9.2（ $\times 10^{-2} \mu\text{Sv}/\text{h}$ ）で、破碎帯の平均値は8.50（ $\times 10^{-2} \mu\text{Sv}/\text{h}$ ）となり、相対的に低い γ 線強度である。破碎帯の方向はN17°Eで、破碎幅は22.2mである。この調査から、法面崩壊に破碎帯が影響したことが推察される。 γ 線異常区間の露岩部での観察では、強風化のマサと

同様な形態で、通常記載されている断層破碎帯の形態（断層角礫、断層ガウジ）とは異なる（写真-3）。



図-9 調査位置図

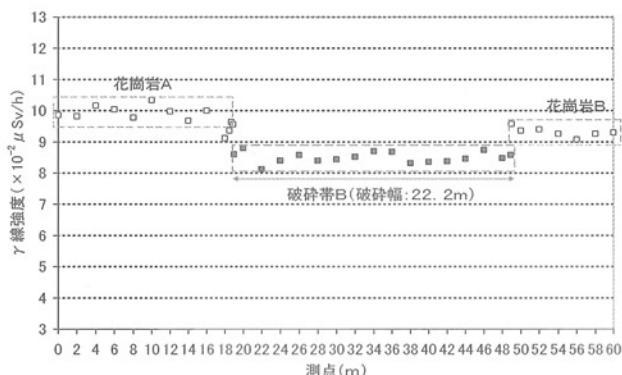


図-10 γ 線測定結果（大野城市乙金）

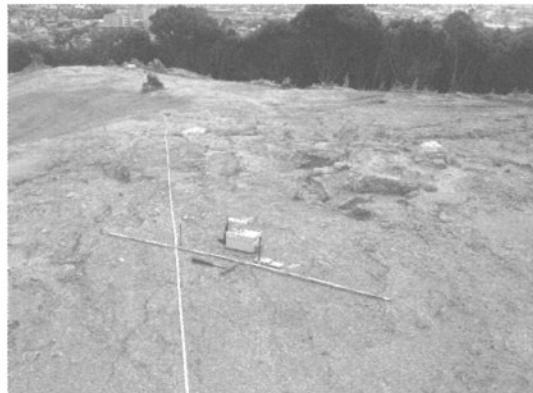


写真-3 γ 線異常箇所の露頭（マサと同様の形態）

6. 考察

粘土の圧縮試験による破壊実験において、開口型では破壊後の γ 線強度の変化は認められない。せん断型では、破壊後に高 γ 線強度へ不連続的に変化している。この結果は、未固結層においても γ 線を測定することで、地層のせん断箇所が検出できることを示している。

第三紀の頁岩では、弾性波探査と岩石試験によっ

て γ 線異常箇所である変形帯で岩相が変わっていることは判るが、目視による形態観察（色調、硬さ、亀裂等）での識別は困難である。未固結状態で変形したとされる堆積物中の断層には、せん断帯が見られないものがあり“面なし断層”と呼ばれている²⁾。同様に、未固結層（粘土）が岩石（頁岩）となる前に変形し、せん断帯が形態的に識別しがたい地質的異常帯を、本論文では未固化期変形帯と称する。堆積岩の未固化期変形帯の時間経過における硬度変化を模式的に図-11に示す。

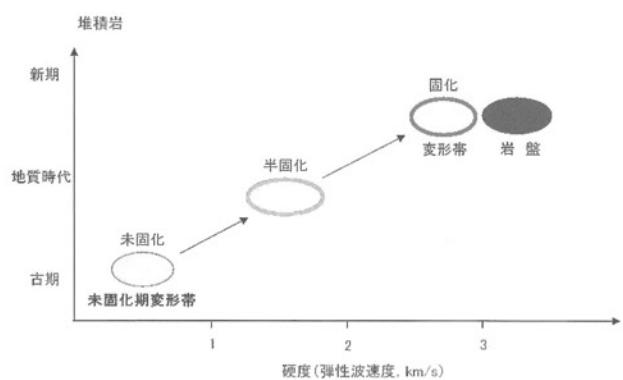


図-11 変形帯の岩石化における硬度変化（堆積岩）

花崗岩での γ 線異常箇所の形態はマサと同様で、局所的な深層風化帯と判断されやすい。堆積岩の未固化期変形帯の形態から花崗岩の γ 線異常帯を類推すると、花崗岩が固化していない深い地殻変動の痕跡を γ 線は検知していると推定される。

以上の未固化期変形帯の特徴を下記にまとめた。

- 1) 風化帯の落ち込みが見られる（局所的な深層風化帯の形成）。
- 2) 断層地形（鞍部）を形成する。
- 3) 深部では、形態的に健全な岩盤と同様に見える。
- 4) 水みちを形成しやすい。

上記の特徴は、斜面崩壊、深層崩壊、トンネルの突発性崩壊や異常出水の原因となる可能性が高く、地質調査をする上で重要なポイントとなると思われる。今まで認識されていなかった未固化期変形帯を含めた地質的弱線を検出する手法としては、簡便かつ詳細に分布を検出できる γ 線探査が考えられる。

参考文献

- 1) 福岡地盤図作成グループ：福岡地盤図（南部編），（社）福岡県地質調査業協会，132，1992。
- 2) 井尻正二・藤田至則・陶山国男：面なし断層（Planeless Fault），地球科学，No. 24，12-19，1955。