

12. 領家変成岩を対象とした岩盤不連続面の静的物性に関する検討

Static properties of discontinuity in rock mass for Ryoke metamorphic rocks

坪田裕至 岩苔和広 小西克文
(中国電力株式会社)

1. はじめに

岩盤は、大小様々なスケールの不連続面と岩石（インタクトロック）で構成される。不連続面は、岩盤内における力学的な弱面であるため、岩盤の挙動には不連続面の幾何学特性（方向性・間隔・傾斜等）および力学特性が重要な影響を及ぼすことが知られている。

このため、岩盤の不連続面を考慮した解析に用いる目的で、様々な岩種を対象に不連続面の物性値（強度・変形特性）が整理されているが、まだ十分データが蓄積されていない状況である。

そこで、本研究では、変成岩中の割れ目を対象としたせん断試験を行い、割れ目の静的物性値を把握し、変成岩の割れ目性状が物性値に与える影響について検討した。

2. 割れ目概要

今回対象とした変成岩は、山口県南東部に分布する領家変成岩のうち縞状片麻岩（珪質）である。本岩は付加体堆積物を原岩とする高温低圧型の変成岩であり、厚さ数 mm～数 cm の優白質部と厚さ数 mm の優黒質部が概ね規則的な縞状構造を呈し、その境界は、片理面となっている。

本岩の割れ目のシュミットネットを図 - 1 に示す。これによると、片理面沿い割れ目および南北系高角度割れ目の 2 系統が卓越しており、片理面沿いの割れ目面には、写真 - 1 に示すような線状構造が認められる。

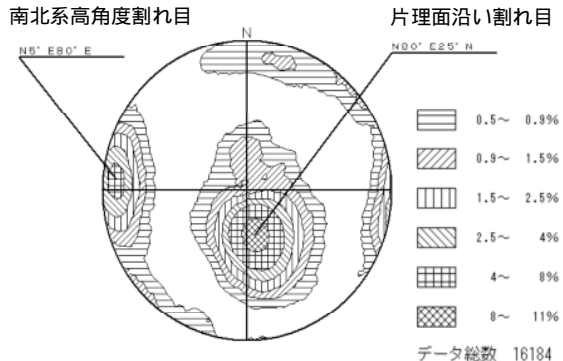


図 - 1 割れ目のシュミットネット(南半球投影)

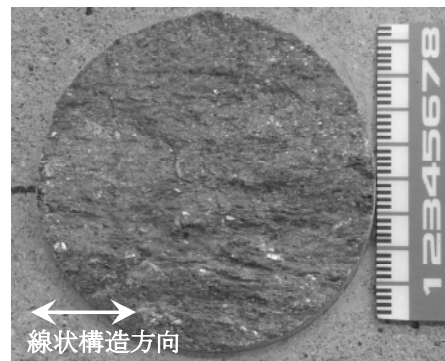


写真 - 1 片理面沿い割れ目

3. 試験方法

静的せん断試験の概要を図 - 2 に示す。静的せん断試験については、地盤工学会基準「岩盤不連続面の一面せん断試験方法（JGS 2541-2008）」¹⁾に準拠し、所定の垂直応力の下でせん断応力を一方向に一定速度で载荷して割れ目をせん断破壊させ、ピークせん断強度を求めた。

なお、試験結果を整理する上での参考とするため、試験供試体毎に、割れ目面のせん断方向の JRC（ジョイント粗さ係数：0～20 の数値で示され、数値が大きいほど凹凸が大きい）

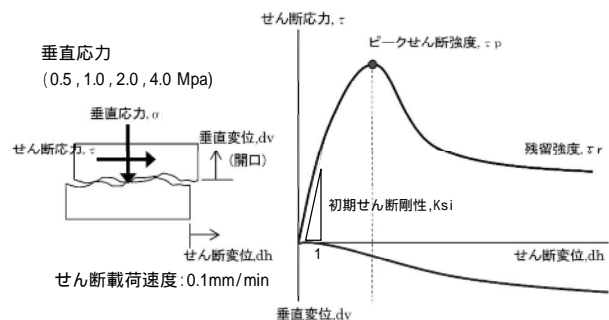


図 - 2 静的せん断試験概要

およびエコーチップ試験による割れ目面の硬度を測定した。

本研究で実施した試験ケースを表 - 1 に示す。いずれの試験ケースも所定の 4 垂直応力に対して各 3 供試体 (計 12 供試体) により試験を行った。表 1 に示すとおり、せん断方向の JRC はいずれの試験ケースにおいても明瞭な差はないものの、エコーチップ硬度は南北系高角度割れ目の方が片理面沿い割れ目より大きい。これは片理面沿いの割れ目面には風化した雲母が多く分布しているのに対し、南北系高角度の割れ目面は大部分が硬質な石英からなるためと考えられる。

この試験ケースにより割れ目面の線状構造および割れ目系の違いがせん断強度に及ぼす影響について検討した。

表 - 1 試験ケース

試験ケース	供試体サイズ	割れ目系	せん断方向	せん断方向の JRC (12 供試体の平均値)	エコーチップ硬度 (12 供試体の平均値)
	D50mm	片理面沿い	線状構造直交方向	6	280
		片理面沿い	線状構造方向	5	320
	D90mm	片理面沿い	線状構造方向	7	340
		南北系高角度		7	560

4. 試験結果

(1) 割れ目せん断方向の違いによる影響

片理面沿いに認められる線状構造が割れ目のせん断強度に与える影響を確認するため、異なるせん断方向によるせん断強度の比較を図 - 3 に示す。

これによると、両者に明瞭な差はなく、線状構造が割れ目のせん断強度へ与える影響はほとんどないと考えられる。この結果はせん断方向の JRC およびエコーチップ硬度が同程度であることと整合的である。

(2) 割れ目系の違いによる影響

異なる割れ目系が割れ目のせん断強度に与える影響を確認するため、片理面沿い割れ目と南北系高角度割れ目によるせん断強度の比較を図 - 4 に示す。

これによると、南北系高角度割れ目の方が片理面沿い割れ目より全体的にせん断強度が大きくなっている。これは、表 1 のエコーチップ硬度に示されるとおり、南北系高角度割れ目の方が片理面沿い割れ目より割れ目面が硬く、割れ目の噛み合わせ部がせん断されにくいことによると考えられる。

5. まとめ

本研究は、これまで試験実施例が少ない変成岩中の割れ目を対象としたせん断試験を行い、静的物性値を取得した。その結果、同一岩種であっても、地質的に成因の異なる割れ目の静的物性値は異なることも確認出来た。今後は、割れ目の動的物性についても把握していく予定である。

参考文献

1) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，「岩盤不連続面の一面せん断試験方法 (JGS 2541-2008)」，pp.912-944，2009。

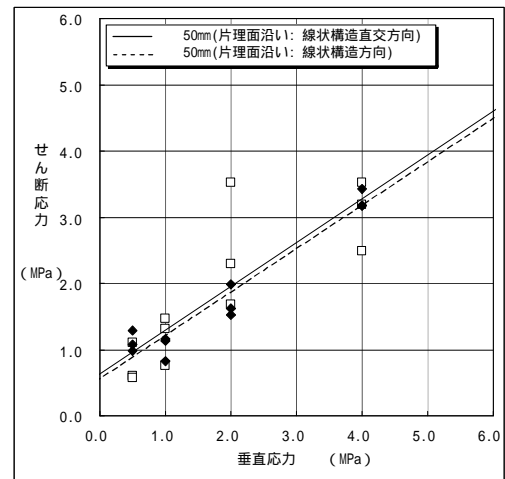


図 - 3 せん断方向の違いによる影響

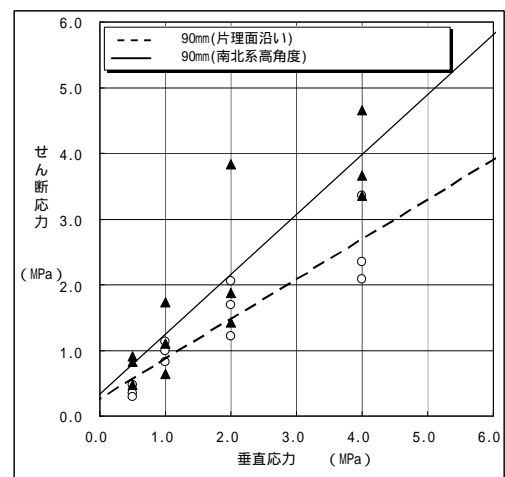


図 - 4 割れ目系の違いによる影響

13. 岩盤不連続面の3次元分布を考慮した解析的検討による

原位置岩盤の平板載荷試験の評価

Evaluation of In-Situ Plate Loading Test by Analytical Studies Considering Three-Dimensional Distribution of Discontinuity of Rock Mass

岩荅和広¹ 坪田裕至¹ 國西達也¹ 岩田直樹²
(¹中国電力(株), ²中電技術コンサルタント(株))

1. はじめに

岩盤上に設置する大型構造物の設計にあたっては、岩盤の変形特性に影響を及ぼす割れ目の物性を考慮した地盤の安定性評価が重要となる。これを反映し、最近の研究では、割れ目の変形特性の拘束圧依存性や非線形性を考慮できる複合降伏モデルの地盤応答解析への適用性検討が行われているが、実際の岩石・岩盤物性を用いて複合降伏モデルの妥当性を検討した事例は少ない。このため、本研究では、実際の岩盤の割れ目性状・物性を用いて三次元複合降伏モデル¹⁾により岩盤変形試験をシミュレートし、実測値と比較することにより同モデルの適用性を検証した。

2. 解析方法

(1) 対象岩盤の概要

今回試験対象とした岩盤は、山口県南東部に分布する領家変成岩のうち縞状片麻岩（珪質）である。本岩は付加体堆積物を原岩とする高温低圧型の変成岩であり、厚さ数mm～数cmの優白質部と厚さ数mmの優黒質部が概ね規則的な縞状構造を呈し、その境界は、片理面となっている。また、岩級区分は、電研式岩盤分類のC_M級に分類される。

平板載荷試験を行った試掘坑壁およびボーリング孔のBTV（ポアホールテレビ）による割れ目調査により整理した割れ目のシュミットネットを図-1に示す。

これによると、片理面沿い割れ目、南北系高角度割れ目、東西系高角度割れ目の3系統が卓越していることが分かる。このため、これら3系統の割れ目を対象に各割れ目の走向・傾斜および間隔を整理し、解析に反映した。

(2) 解析モデルおよび解析手法

本解析で用いる複合降伏モデル（The Multiple Yield Model, MYM）は、有限要素法による等価連続体解析の一種であり、割れ目の強度・変形特性および割れ目間隔、並びに、母岩の強度・変形特性を個別に評価・モデル化できる。

解析モデルは、図-2に示すように岩盤表面に直径60cmの載荷盤を再現し、平板載荷試験による影響範囲を包絡するような6.0m×6.0m×3.0mの岩盤をモデル化した。また、境界条件は側方を鉛直口

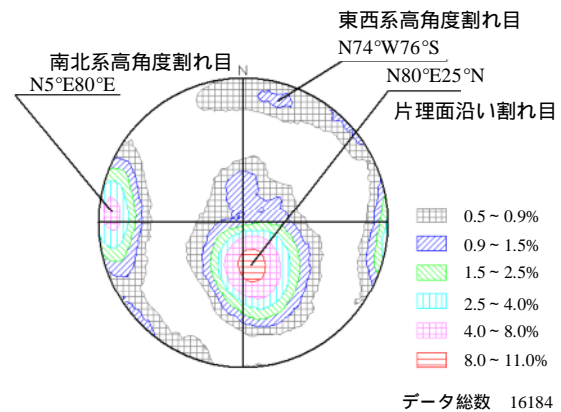


図-1 割れ目のシュミットネット（南半球投影）

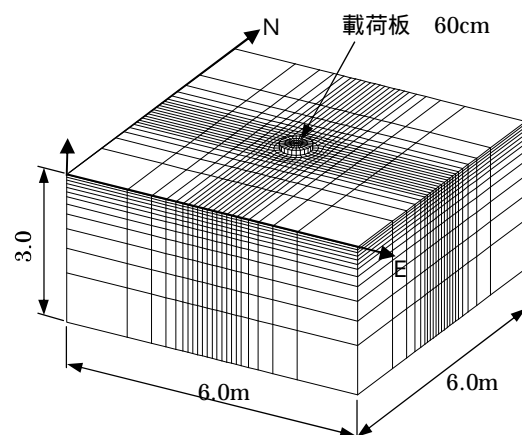


図-2 解析モデル

ーラー，底面を固定とした。

解析は，自重計算により岩盤の初期応力状態を設定した後，試験荷重として上載荷重を3MPaまで0.02MPa刻みで作用させて試験面の鉛直変形量を求めた。

(3) 解析用岩盤物性値

解析用物性値を表-1に示す。母岩の物性値は50mmのボーリングコアによる一軸圧縮試験から，また割れ目の物性値は90mmのボーリングコアによる割れ目のせん断試験および垂直剛性試験から算出した。

割れ目の物性値は，割れ目のスケールに依存するいわゆる「寸法効果」が顕著である。従って解析用物性値については，上記試験結果にコアの割れ目面積と岩盤の割れ目面積の関係から寸法効果による物性低下を考慮して設定した。

表-1 解析用物性値

載荷板の弾性係数	200GPa	割れ目の初期垂直剛性 K_{ni}	0.4GPa/m
載荷板のポアソン比	0.3	割れ目の初期せん断剛性 K_{si}	2GPa/m
載荷直径	0.6m	割れ目のせん断強度 σ_j, C	$31.2^\circ, 0.266\text{MPa}$
上載荷重	3.0MPa	割れ目の最大閉合量 V_m	0.7mm
母岩の弾性係数	24.83GPa	割れ目の走向傾斜と間隔 S	片理面沿い割れ目：N80°E25°N，0.19m 南北系高角度割れ目：N74°W76°S，1.97m 東西系高角度割れ目：N5°E80°E，0.64m
母岩のポアソン比	0.21	割れ目のせん断剛性の係数	$n_j=1.0, R_f=0.8$
母岩の単位体積重量	26kN/m ³		

3. 解析結果

平板載荷試験における試験面中心を通る断面内(東西方向)の載荷荷重に応じた鉛直変形量分布について，解析結果と試験結果を比較した結果を図-3に示す。

これによれば，解析結果は試験結果の全体的な傾向である，変形量は試験面に近いほど大きい，変形量は載荷応力が大きいほど大きい，等について概ね再現しており，試験面直下の最大変形量についても，解析結果は試験結果と概ね整合している。

以上の結果から，割れ目の特性を反映した複合降伏モデルは，岩盤試験における岩盤変形の全体的な傾向を良く再現しており，実際の岩盤挙動をシミュレート可能であると考えられる。ただし，試験面から離れた箇所での変形再現性に課題があり，今後はこれについてはさらなる検討が必要である。

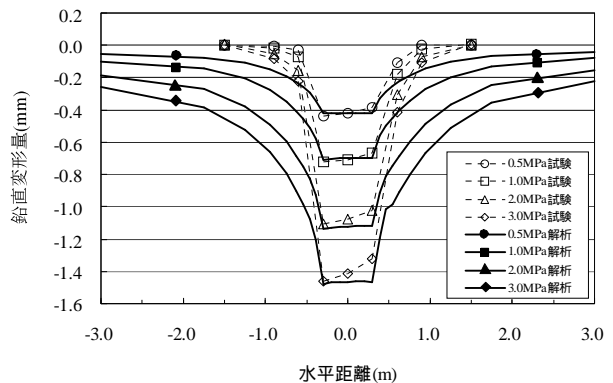


図-3 解析結果と試験結果の比較

4. まとめ

本研究では，岩盤不連続面の分布と変形特性を考慮できる複合降伏モデルを用いて，割れ目の試験により得られた物性値を基に平板載荷試験の再現解析を行った。その結果，岩盤の割れ目性状を反映した複合降伏モデルは，平板載荷試験における岩盤変形を概ね再現可能であり，地盤の安定性評価に有効な手法であると考えられる。

5. 文献

1)岩田 直樹，石川昌義，佐々木 猛，吉中 龍之進：平板載荷試験における岩盤不連続面の3次元分布を考慮した解析的検討，第41回岩盤力学に関するシンポジウム講演集，pp. 258-263，2012。