

2. 多段階ブロックせん断試験におけるせん断強度の判定方法について

Judgment Method of Shear Strength for In-situ Multistage Direct Block Shear Test

坪田裕至¹ 家島大輔¹ 山口浩司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

ダム基礎や原子力発電所の地盤の安定解析等に用いる基礎岩盤の強度については、原位置ブロックせん断試験により求められることが多い。ブロックせん断試験においては、少なくとも3個以上の試験体を異なる拘束圧下で破壊した結果から強度定数を求めるのが一般的であるが、本稿では、1個の試験体に対して複数の異なる垂直応力を載荷して岩盤のせん断強度を求める「多段階ブロックせん断試験」の適用性について検討したので報告する。

2. 多段階ブロックせん断試験の適用

今回の対象地点である上関原子力発電所建設予定地の地質は「領家帯」に属し、主として白亜系の領家変成岩および領家花崗岩から成る。このうち、領家変成岩は、主に縞状片麻岩(泥質)及び縞状片麻岩(珪質)に区分され、領家花崗岩は、優黒質花崗岩と優白質花崗岩に区分される。

また、当サイトでは、岩盤性状を工学的に分類評価する岩盤分類を行っており、岩盤の「割れ目間隔」、「割れ目状態」、「岩石・岩盤の硬さ」の3つの分類要素を組み合わせたマトリックスに基づき、上位よりKH級、KM級、KL級、KD級の4つの岩級を設定している。

原子炉設置位置付近においては、主に縞状片麻岩(珪質)KM級が広く分布しており、これらについては4個の試験体による一般的なブロックせん断試験により岩盤物性を把握しているが、KL級については分布が狭小であり、通常の試験法では実施が困難であったことから、分布が狭小でも実施可能な多段階ブロックせん断試験を適用した。

多段階ブロックせん断試験は、試験体を破壊させずに複数の垂直応力でのせん断応力から岩盤のせん断強度を求める試験であることから、破壊直前の載荷終了点の判定が大変重要である。

この載荷終了点の判定方法については、地盤学会等によれば種々の手法があるが、今回は、先行実施した同一岩種の異なる岩級(縞状片麻岩(珪質)KM級)でのブロックせん断試験結果を参考に、適用例の少ない「応力-変位曲線の中で生じる変曲点に着目した判定方法」を用いることとした。

(1) 載荷終了点の設定

縞状片麻岩(珪質)KM級を対象に一般的なブロックせん断試験を実施した結果(応力-変位曲線)を図-1に示す。

破壊に至るまでの過程において、応力と変位の関係は、当初線形的に推移していくが、ある点から非線形的に変化し、最終的に破壊点に達する。ここで、線形関係から外れ始める点を変曲点とすると、異なる垂直応力で4つの試験結果のいずれにおいても変曲点が認められ、変曲点と破壊点とのせん断応力比(変曲点せん断応力/破壊点せん断応力)は概ね0.9となり、垂直応力の大小によらず、ほぼ同程度となった。また、他の岩種(優黒質花崗岩KM級、KL級)においても同様にせん断応力比を調べたところ、平均で概ね0.95となり、やはり垂直応力の大小によらず、ほぼ同程度であった。

これは、いずれの垂直応力下でも変曲点せん断応力から破壊点せん断応力を算定できることを意味しており、多段階ブロックせん断試験における載荷終了点の指標として変曲点が適用可能であることを示している。そこで、同岩種で行う縞状片麻岩(珪質)KL級を対

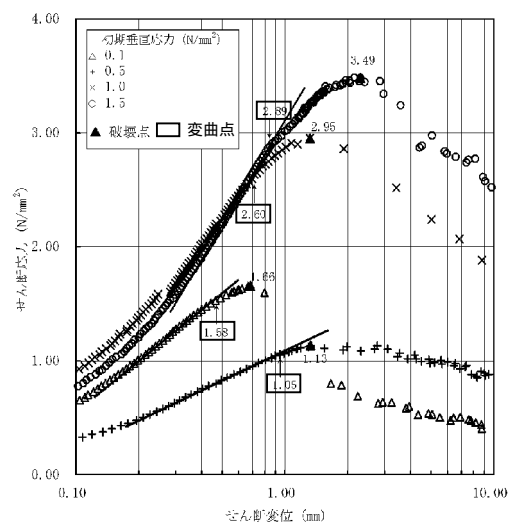


図-1 応力-変位曲線(珪質KM級)

象とした多段階ブロックせん断試験の载荷終了点の判定において、変曲点せん断応力を使用した。

(2)多段階ブロックせん断試験結果

図 - 2 に縞状片麻岩(珪質)KL 級を対象に実施した多段階ブロックせん断試験の結果を示す。実施にあたっては、応力と変位の関係を現地でリアルタイムにグラフ表示させ、変曲点を確認した時点で各段階の载荷終了を決定した。その結果、最終的な载荷段階に至るまで、途中で試験体が破壊されることなく、4 つの異なる初期垂直応力での試験結果を得ることができた。

また、最終的な载荷段階において、破壊点まで測定した結果、破壊点と変曲点でのせん断応力比は、前述した縞状片麻岩(珪質)KM 級と概ね同等の 0.88 となった。

(3)せん断強度の評価

多段階ブロックせん断試験に基づくせん断強度の妥当性について考察するため、一般的なブロックせん断試験を行った縞状片麻岩(珪質)KM 級について、破壊点と変曲点の双方で評価した強度定数 c 、 τ について比較した。(図 - 3 参照)

これによると、変曲点に基づくせん断強度では破壊点に基づく場合と比較して、 c (岩盤の粘着力)で 1.1 倍程度、 τ (岩盤のせん断抵抗角)で 0.9 倍程度となった。なお、変曲点に基づく c が破壊点に基づくそれを上回ることにより、低応力下ではせん断強度の逆転が生じるが、その差及び範囲はわずかであり、全体的には変曲点に基づくせん断強度の方がやや小さいものの、概ね同等な値となっていると判断される。

また、優黒質花崗岩(KM, KL 級)についてもせん断強度を比較したところ、変曲点せん断強度と破壊点せん断強度とがほぼ同程度となっており、仮に多段階ブロックせん断試験を実施したとしても、一般的なブロックせん断試験とほぼ同等の物性が得られる可能性を示唆している。(図 - 4, 5 参照)

3.まとめ

以上のことから、多段階ブロックせん断試験において、応力 - 変位曲線における「変曲点」は、せん断応力载荷終了点として適用可能であり、変曲点に基づくせん断強度は破壊点に基づくせん断強度とほぼ同等の値を示すことがわかった。また、せん断応力比(変曲点せん断応力/破壊点せん断応力)の値は、岩級(KM 級, KL 級)間による差異はほとんど認められなかった。

今後データを更に蓄積することにより、一般的なブロックせん断試験に代えて、多段階ブロックせん断試験を適用することによって、限られた試験数量でも著しく精度を落とすことなく、岩盤物性を把握できる可能性がある。

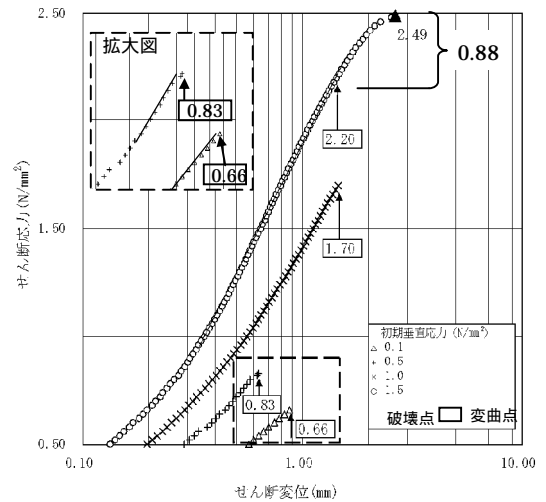


図 - 2 応力 - 変位曲線(珪質 KL 級)

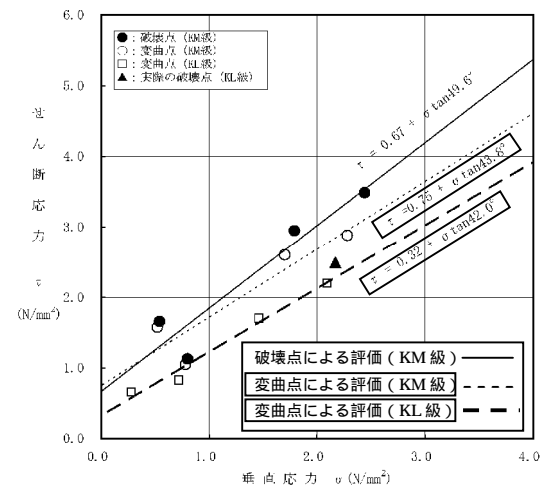


図 - 3 せん断強度結果(珪質)

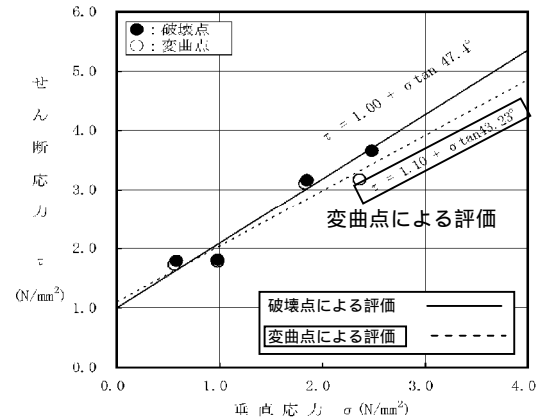


図 - 4 せん断強度結果(花崗岩 KM 級)

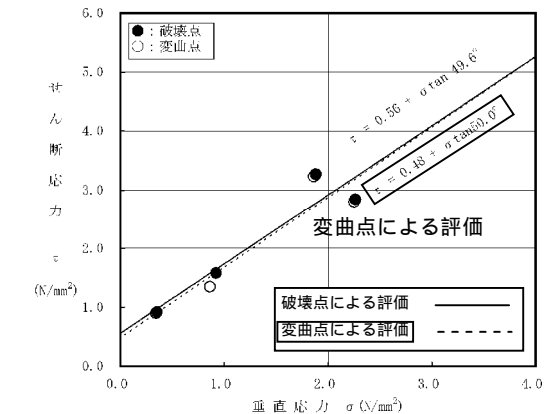


図 - 5 せん断強度結果(花崗岩 KL 級)