

挟在物の影響を考慮した岩盤亀裂のせん断特性の実験的評価

長崎大学工学部 学生会員 ○田上まり 長崎大学大学院 フェロー会員 蔣 宇静 正会員 李 博
長崎大学大学院 正会員 大嶺 聖 正会員 杉本知史 学生会員 早川 輝

1. 背景と目的

岩盤斜面や地下空洞などの変形および安定性は岩盤亀裂のせん断強度に強く依存することが多い。岩盤亀裂のせん断挙動は、ラフネスや境界条件、挟在物など多くの要素に影響される。これまでの研究ではラフネスや境界条件による影響を考察してきたが、挟在物の影響に関する考察はほとんどされていないのが現状である。実際の岩盤亀裂では風化作用を受け、表面の鉱物が細かく砕かれ、粘土状の挟在物が含まれる場合が多い¹⁾。それをふまえて、本研究では異なる強度特性を持つ挟在物試料を亀裂面内に充填して供試体を作成し、室内一面せん断試験を行うことでそのせん断特性の違いを評価することを目的とする。

2. 挟在物の概要

a) 亀裂モデルの作製

亀裂モデルは、表-1 に示すように、石膏、砂、水、遅延剤を重量比 1:0:0.2:0.005 の割合で作製する。供試体は幅 10cm、高さ 5cm、せん断方向に 20cm の直方体である。まず下半部を作成し、これをもとに残りの上半部も同じ寸法で作製する。なお、養生条件は気中に 4 週間とする。

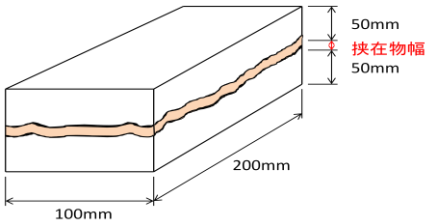


図-1 供試体のイメージ図

b) 挟在物についての検討

挟在物の強度特性と幅が亀裂のせん断特性に大きく影響すると考えられる。ここでは表-1 に示す通り 2 種類の挟在物と 3 種類の幅を用いた。挟在物の幅は 3mm、5mm、7mm とし、石膏 1 にはスーパーロック Ex を、石膏 2 には市販の工作用石膏を用いた。また、試験ケースを表-2 に示す。



図-2 供試体の写真

c) デジタル一面せん断試験の概要

本試験装置ではフィードバック機構を有する完全閉ループ方式の電気・油圧サーボシステムであり、载荷条件はコンピュータにより自動制御できる。せん断時の境界条件としては垂直応力 1MPa、せん断速度 0.5mm/min で、残留状態が考察できるようにせん断変位が 20.0mm までせん断する。

表-1 供試体のイメージ図

	挟在物 1	挟在物 2	亀裂 モデル
石膏 1	2	0	1
石膏 2	0	2	0
カオリン粘土	2	2	0
水	3	5	0.2
遅延剤	0	0	0.005
養生期間	2 週間	2 週間	4 週間
一軸圧縮強度 (MPa)	0.143	0.087	26.37

4. 結果と考察

挟在物が存在しない(以下は亀裂モデルと呼ぶ)ケースと、case1-3、case1-5、case1-7におけるせん断応力とせん断変位の関係を図-3、垂直変位とせん断変位の関係を図-4 に示す。また、各ケースにおける一面せん断試験のピークせん断強度と残留せん断強度を図-5 に示す。ここで、せん断変位が 10mm に達した時の強度を残留強度と見なした。

表-2 試験ケース

	3mm	5mm	7mm
挟在物 1	case1-3	case1-5	case1-7
挟在物 2	case2-3	case2-5	—

ピークせん断強度はいずれのケースでもせん断開始後直ちに表れており、その後なめらかに減少している。亀裂モデルおよび case1-3 についてはせん断変位 10mm～15mm でせん断応力の乱れが生じていることに対して、case1-5, case1-7 についてはなめらかな曲線となっている。これは挟在物の幅が小さい場合に、残留段階で亀裂表面の凹凸同士が直接接触し、凹凸の局所的破壊が発生することによりせん断応力の乱れを誘発したものであると考える。それに対して、挟在物の幅が大きい場合には、凹凸同士が直接接触せず挟在物層に沿ってせん断するので、せん断応力が安定している。

垂直変位の変化を比較してみると、亀裂モデルは強いダイレーションを示すことに対して、挟在物があるケースではほとんど負のダイレーションを示している。挟在物の強度は亀裂モデル本台と比べてかなり低いので、せん断開始後に挟在物が圧縮・破壊されることにより負のダイレーションが発生した。case1-3 では挟在物の幅が小さく残留段階で亀裂表面の凹凸同士が直接接触することになったので、負のダイレーションから正のダイレーションへ転じる挙動を示した。

ピークせん断応力の結果を比較すると、挟在物の幅が大きいほどピークせん断応力は小さくなっている。それは挟在物の幅が大きい場合に、岩盤自体が噛み合うことなく脆弱な挟在物に沿ってすべりが生じていたためであると考えられる。2種類の挟在物の結果を比較すると、挟在物の強度が低いほど、ピークせん断応力も低いことがわかった。また、亀裂モデルの残留強度が他と比べて小さい値となっている。それは挟在物がないためにピーク時に凹凸が破壊され、せん断面がなめらかになっているからであると考えられる。挟在物が存在するケースでは、試験後亀裂表面の凹凸がほとんど破壊されていなかったことが確認できる。

5. おわりに

本研究では亀裂内の挟在物が亀裂のせん断特性に与える影響を考察するため、異なる挟在物の強度と幅を設けた一面せん断試験を行った。挟在物がピークせん断応力やダイレーション挙動に与える影響を定量的に評価することができた。今後は様々な挟在物の種類や存在状態を考慮し、含水比や垂直応力などほかの要因による影響についても考察していく必要がある。

参考文献

1)B. Indraratna, W. Premadasa, E.T. Brown, A. Gens, A. Heitor: Shear strength of rock joints influenced by compacted infill, International Journal of Mechanics & Mining Sciences, 70, pp.296-307, 2014

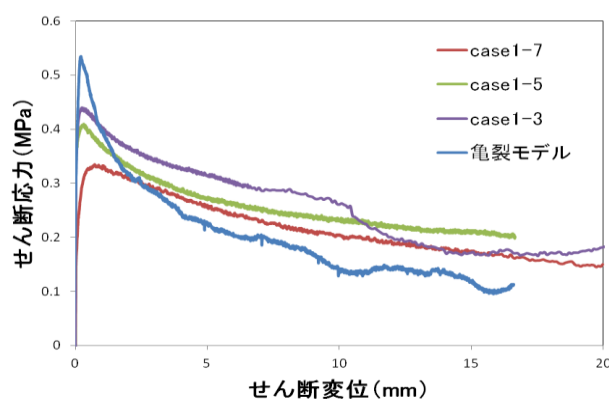


図-3 せん断応力のとせん断変位の関係

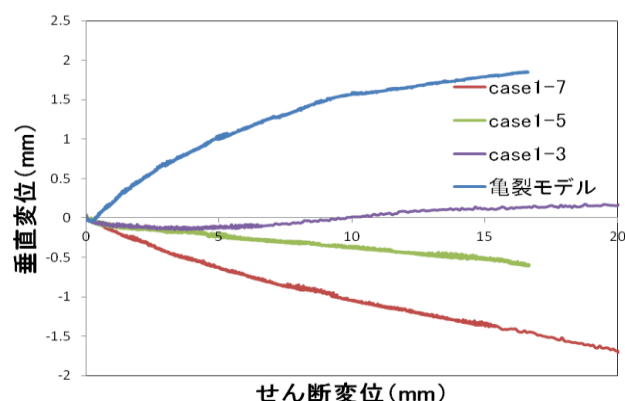


図-4 垂直変位とせん断変位の関係

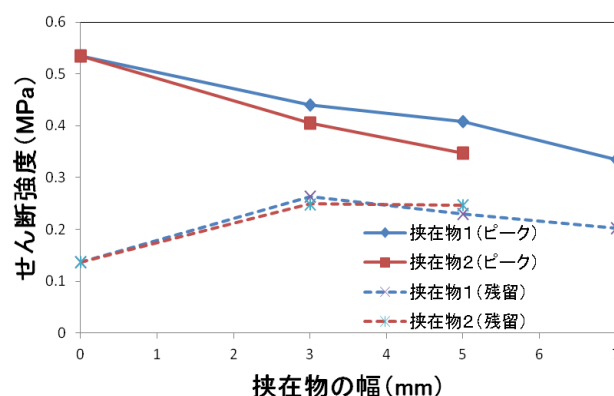


図-5 挟在物の幅とせん断強度との関係