

III-148 異方性岩のせん断試験法に関する研究

関西大学工学部 正会員 谷口敬一郎

関西大学工学部 正会員 楠見 晴重

関西大学大学院 学生員○寺岡 克己

関西大学大学院 学生員 松井智志成

1. まえがき

岩盤内には断層、節理、層理、片理などの不連続面が存在し、これらは岩盤の変形あるいは強度特性に大きな影響を与えている。通常、岩石のせん断強度特性を調べる場合には、同質の供試体を数個用意することが必要とされるが、不連続面を有する岩石に関しては、同質な供試体の採取は非常に困難であり、できる限り数少ない供試体によって多くのデータを得ることが望まれる。

本研究は、片理面の著しく発達した石墨片岩供試体を用いて、最大せん断強度時には多段階一面せん断試験（以下、多段階試験とする）を行い、残留せん断強度時には連続破壊一面せん断試験（以下、CFS試験とする）を行い、1個の供試体で最大せん断強度、残留せん断強度各々に関する破壊包絡線を得る方法について検討を行った。

2. 供試体

本実験に用いた石墨片岩は、奈良県吉野郡において採取したもので一定方向に卓越した顕著な片理構造を有している。表-1はその物理特性を示したものであり、異方性係数はP波で1.54、S波で1.68である。実験に際しては片理面を不連続面と考え、図-1に示すようにせん断面と不連続面とが平行になるように供試体を整形した。供試体寸法は直径30(mm)長さ50(mm)の円柱形である。

表-1 石墨片岩の物理特性

	P波速度 (km/sec)	S波速度 (km/sec)	密度 (g/cm ³)	有効間隙率 (%)
片理面に平行	5.40	2.88	2.71	1.68
片理面に垂直	3.51	1.71		

3. 実験方法

図-2(a)は本実験により得られるせん断応力-せん断変位図を模式的に示したものであり、図-2(b)は図-2(a)に対応する応力経路図である。多段階試験は、まず所定の垂直応力 P_1 下においてせん断を行い

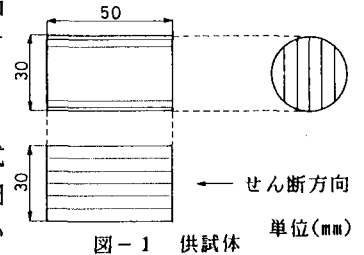


図-1 供試体

破壊直前点Aに達する。次に、A点において垂直応力を P_1 から P_2 に増加させ、せん断を続行し、垂直応力 P_2 における破壊直前点Bに達する。この操作を数回繰り返すことにより各垂直応力下における最大せん断強度を求める。CFS試験は所定の垂直応力 P_3 下において残留せん断強度点Dに達した後、垂直応力を P_3 から P_1 まで連続的に減少させ、その垂直応力の減少過程においてせん断応力を測定する。このようにして図-2(b)の応力経路deが得られ、これが残留せん断強度に関する破壊包絡線となる。なお、多段階試験において作用させた垂直応力は10~60(kgf/cm²)の間で3~4段階とし、CFS試験においては60~10(kgf/cm²)とした。また、従来から行われている一般的な定圧一面せん断試験（以下、Conventional試験とする）も合わせて行い、本試験法の結果との比較検討を行った。Conventional試験において作用させた垂直応力は10~60(kgf/cm²)の間で8段階とし、せん断変位速度はすべての実験において0.02(mm/min)とした。

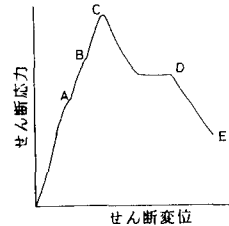


図-2(a)せん断応力-せん断変位図

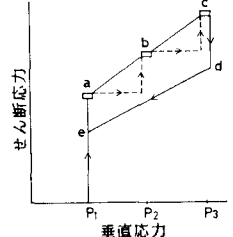


図-2(b)応力経路図

図-3(a)はConventional試験により得られたせん断応力 τ -せん断変位 u 図であり、図-3(b)は図-

4. 実験結果および考察

図-3(a)はConventional試験により得られたせん断応力 τ -せん断変位 u 図であり、図-3(b)は図-

3(a)に伴う垂直変位 v —せん断変位 u 図である。図-3(a)に示した τ — u 曲線より、石墨片岩供試体は比較的高い垂直応力下においても非常にぜい性的な変形挙動を示しており、そのため多段階試験を行う場合、各垂直応力下における最大せん断強度点を試験中に判断することは非常に困難である。また、図-3(b)に示した v — u 曲線におけるダイレタンシーが開始する点は、図-3(a)の τ — u 曲線における最大せん断強度点の直前点に対応していると思われる。図-4はConventional試験より求めたダイレタンシー開始点におけるせん断応力 τ_d を最大せん断強度 τ_p に対する応力レベルとして表したものであり、この図より各垂直応力下において τ_d/τ_p はほぼ90%以上の値を示している。ダイレタンシー開始点に関しては、AEを用いた研究によっても破壊との密接な関係が指摘されており、このことから供試体の破壊に関連した重要な指標になり得ると考えられる。そこで多段階試験を行う場合、各垂直応力下におけるダイレタンシー開始点のせん断応力 τ_d を最大せん断強度と考え実験を行った。図-5は本試験法による実験の結果をせん断応力 τ —垂直応力 σ_n 図に表わしたものであり、Conventional試験の結果も合わせて示している。この図から最大せん断強度に関して、多段階試験の結果は個々の供試体により多少のばらつきは見られるものの、Conventional試験の結果とほぼ一致しており、石墨片岩に関しては τ_d を用いた多段階試験によって、かなり精度良く破壊包絡線を求めることが可能である。残留せん断強度に関しても、CFS試験の結果は個々の供試体によるばらつきは見られるものの、Conventional試験の結果と良く一致しており、残留せん断強度に関するCFS試験の有効性が確認された。

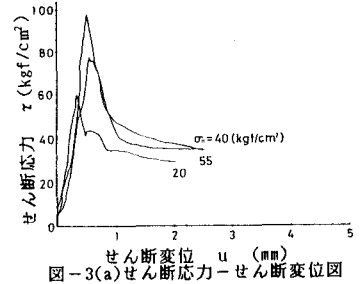


図-3(a)せん断応力—せん断変位図

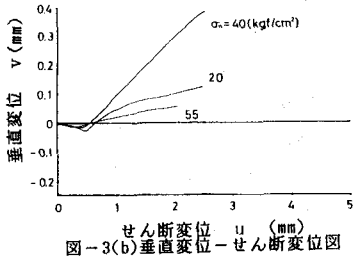


図-3(b)垂直変位—せん断変位図

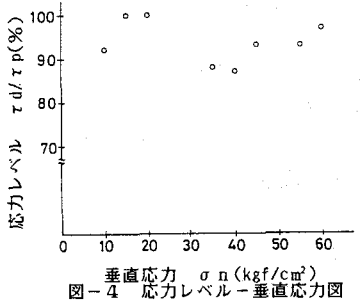


図-4 応力レベル—垂直応力図

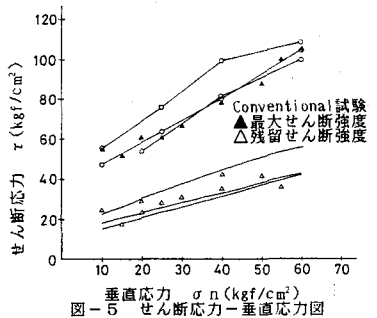


図-5 せん断応力—垂直応力図

5. まとめ

種々の垂直応力下において岩石のせん断試験を行った場合、垂直応力の増加により破断面上に微粉砕が生ずることは良く知られており、そのため多段階試験あるいはCFS試験により、同一形態の不連続面を持つ供試体を異なる垂直応力で試験したものと全く同じ結果を得ることは困難とされている。しかし、異方性岩に関しては同質な供試体を得ること自体が困難であり、そのため実験結果のばらつきも大きくなりがちである。今回の実験において、本試験法により得られた結果とConventional試験により得られた結果との間には明確な相違は見られず、これらのことから異方性岩のせん断強度特性を調べる場合、本試験法を用いれば、通常の試験法では数多くの試料を必要とするのに対して、わずか1個の供試体により有効な強度特性が得られるものと考えられる。

6. 参考文献

- 1) A.Tisa, K.Kovari: Continuous failure state direct shear test, Rock Mechanics and Rock Engineering 17, pp.83-95, 1984.
- 2) 石田 毅, 金川 忠, 佐々木俊二, 浦沢義彦: AEによる岩盤空洞安定性監視に関する基礎的実験, 土木学会論文集, No.376/III-6, pp.141-150, 1986.