

Ⅲ-A 408

岩盤の原位置せん断試験における終局破壊時の応力

岡山大学環境理工学部 正会員 西山 竜朗
近畿大学農学部 正会員 長谷川 高士

1. 目的

ダムサイトにおける岩盤のせん断強度は、もっぱらブロックせん断試験¹⁾により評価されている。ブロックせん断試験とは、岩盤上に打設したコンクリートブロックを介して油圧ジャッキで載荷し、ブロック直下の岩盤をせん断する試験である。終局せん断面は、ブロック打設面直下の岩盤中に、打設面に沿って形成される。破壊に関して得られる測定値は、終局せん断面全体に対して平均した、破壊時の垂直応力 σ およびせん断応力 τ である。検討対象の岩盤に対して複数回実施し、通常は得られた測定値を Coulomb の破壊基準に従って捉える。その様子を図1に示す。

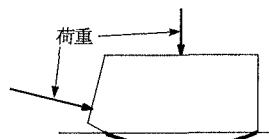
しかし、ブロックせん断試験における破壊の機構は解明されておらず、終局破壊時における岩盤中の応力を表す Mohr 円は明らかでない。そこで、ブロックせん断試験において起こっている可能性の高い、部分的な破壊を考慮するとともに、弱面を含む場合の岩の破壊基準をもとにして、終局破壊に到るまでの岩盤中の応力を検討した。

2. 弱面を含む岩のせん断強度

岩が弱面を含む場合、作用する応力が岩の破壊基準に到る前に弱面の応力が弱面の摩擦強度に到達すると、弱面に沿ったすべりを生じる²⁾。図2を用いて考えると、弱面の摩擦強度を越えている弧 QR が表す角度の範囲内に弱面が存在するとき、弱面に沿ったすべりを生じる。図中の点 D は弱面の応力を表し、 β は弱面と最大主応力面のなす角を表す。

3. 試験の終局破壊

岩盤中の終局せん断面となる部分の応力を弾性理論から求めると、部分全体に対する応力分布は均等とならない³⁾。このとき終局せん断面を形成する破壊は応力が集中する箇所から徐々に進行するはずであり、岩盤の破壊基準⁴⁾を考慮すると、初期



亀裂の発生に伴い太線部のせん断強度は次第に低下して弱面となり、やがて終局せん断面となる。左図の波線矢印は太線部のせん断強度の変化を示す。

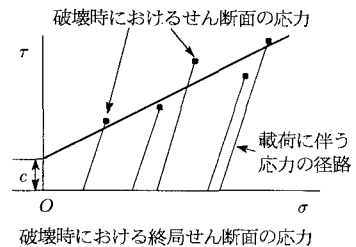
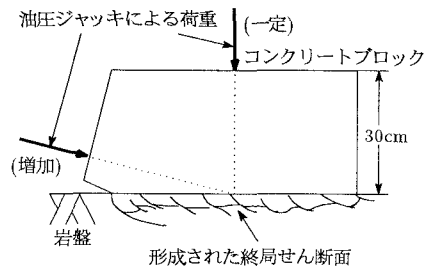


図1: ブロックせん断試験の概要

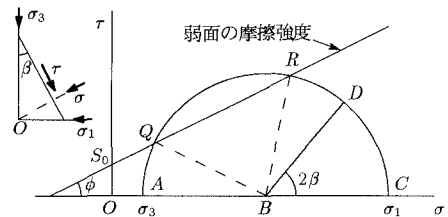


図2: 弱面の摩擦強度

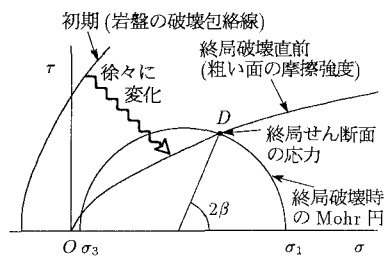


図3: せん断面の形成と終局破壊

キーワード：岩盤、破壊基準、不連続面、ブロックせん断試験

連絡先：〒700-8530 岡山市津島中2-1-1, Tel: 086-251-8362, Fax: 086-251-8361

徐々に発生することによって徐々に終局せん断面が形成された旨が記されている⁵⁾。ブロックせん断試験における破壊も同様の形態で起こっている可能性が高く、載荷過程において亀裂が多数発生することによって終局せん断面となる部分に弱面を形成し、この弱面がすべることにより終局破壊に到ると考えられる。このような破壊が起こっているならば、試験実施点付近に破壊現象に大きな影響を与える不連続面が存在しない場合には、ブロックせん断試験で測定している破壊時のせん断面の応力は、岩の粗い面の摩擦強度⁶⁾に相当する⁷⁾。終局破壊時の Mohr 円は図3のようになるが、弱面でない面の応力は弱面のせん断強度を越えている可能性も高く、そのような場合は試験結果が表す破壊基準線が Mohr の包絡線とならないことに注意すべきである。

4. 不連続面を含む岩盤のせん断強度

複数の測定値をもとに σ - τ 関係を検討するとき、明らかに他の測定値からばらついたものを得ることがしばしばあるが、このような試験結果は、試験実施点付近に不連続面が存在することにより、不連続面の摩擦強度に大きく影響を受けていると考えられる。最も大きく影響を受ける状況としては図4のような不連続面の存在が考えられ、終局破壊までに生じる intact 破壊は載荷面直下の部分のみとなる。載荷面直下の部分は引張力が集中しやすく、載荷過程初期に破壊されると考えられるから、試験結果はほぼ不連続面の摩擦強度に一致すると言える。

粘土を挟む場合のように不連続面がなめらかな場合は、その摩擦強度を Coulomb の摩擦則に従って捉える。砕けた岩が噛み合っている場合のように粗い不連続面を考える場合には、その摩擦強度として岩が噛み合っている粗い面の摩擦強度⁶⁾を適用する。なお、粗い不連続面を考えた場合には、ブロックせん断試験における摩擦面の垂直応力は非常に大きいことから、試験測定値は不連続面を含まない場合にはほぼ一致すると考えられる。

5. 結論

ブロックせん断試験において3節および4節のような破壊が起こっているならば、実際に妥当な試験結果として取り扱われている測定値は次のようになっていると考えられる。

- 試験実施点付近に不連続面が存在しない場合、載荷過程で発生する多数の亀裂により弱面が形成され、その弱面のせん断強度が終局破壊時の応力となる。
- 試験実施点付近になめらかな不連続面が存在し、その不連続面の摩擦強度が終局破壊時の応力となる。
- 試験実施点付近に粗い不連続面が存在し、その不連続面の摩擦強度が終局破壊時の応力となる。

実際の測定値がこれらのようなものであれば、ブロックせん断試験では原位置岩盤に関する Mohr の包絡線を得ていない可能性が高い。したがって、原位置岩盤の材料特性を正確に捉えるためには、一軸圧縮試験結果等、破壊に関する他の情報を併用した検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 原位置岩盤の変形およびせん断試験の指針, 土木学会, 17-31 (1983)
- 2) Jaeger, J. C. & Cook, N. G. W.: *Fundamentals of Rock Mechanics*, 65-68, Methuen & Co. Ltd (1969).
- 3) 長谷川高士: “接触圧による地盤内弾性応力,” 土木学会論文集, **140**, 1-12 (1967).
- 4) Hoek, E.: “Strength of jointed rock masses,” *Géotechnique*, **33**, No.3, 187-223 (1983).
- 5) Kaneko, Y., Conner, J. J., Triantafyllou, T. C. & Leung, C. K.: “Fracture Mechanics Approach for Failure of Concrete Shear Key. I: Theory,” *ASCE J. Engng. Mech.*, **119**, 681-700 (1993).
- 6) Barton, N.: “The Shear Strength of Rock and Rock Joints,” *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, **13**, 255-279 (1976).
- 7) 西山竜朗・長谷川高士: “岩盤の原位置試験における破壊の進行,” 平成10年度農業土木学会大会講演会講演要旨集 (1998).

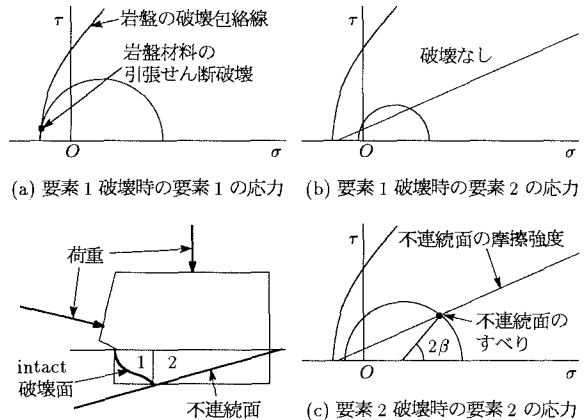


図4: 不連続面を含む岩盤の破壊状況