

引張応力下における岩盤のせん断挙動に関する研究 — 亀裂性岩盤を対象とした原位置引張試験 —

東北電力(株) 正会員 ○大村 英昭, 伊藤 悟郎, 小林 正典

1. はじめに

亀裂性岩盤斜面の地震時安定解析においては, 安全側に評価することを考えて岩盤の引張強度を全く見込まない場合が多い。しかし, 実際には亀裂が不連続であることや亀裂のかみ合わせにより, ある程度の引張強度は存在しており, 引張応力下におけるせん断強度を適切に評価できれば, 周辺斜面を代表とする地盤の合理的な耐震安全性評価が可能となる。このような背景を踏まえ, 伊藤ら¹⁾は, 引張応力下におけるせん断強度の計測を目的とした試験装置を開発し, 亀裂性の C_L 級砂岩に対し原位置試験を実施し, 適用性を確認している。

本研究では, この試験装置の垂直引張応力載荷機構を利用して, 同じ亀裂性の C_L 級砂岩に対する原位置岩盤単純引張試験を実施した。その結果, 引張強度と破壊面に見られる亀裂との間に一定の関係性がある可能性を見出したことから報告するものである。

2. 対象岩盤

対象とした岩盤は中生界ジュラ系上部の粗粒から中粒の石英及び長石の粒子からなるアルコウス質砂岩である。風化を受けて黄灰色～黄白色を呈し, C_L 級に岩盤分類される。地質構造運動の影響を受けていることから亀裂が発達しており, 大部分の亀裂は密着し, 著しい変位は認められない。

試験のために掘削したトレンチ内で事前に行った地質観察において方位を測定できた 95 の亀裂について, シュミットネット投影図に下半球等積投影でプロットしたものを図 1 に示す。亀裂の傾斜は高角と低角の大きく 2 つに分類でき, 原位置引張強度に大きな影響を及ぼす低角(傾斜 30° 以下)の亀裂が全体の約 25%を占め, 亀裂間隔は 10~50 cm 程度である。

3. 試験装置及び試験方法

試験装置は伊藤ら¹⁾が開発した新しい原位置せん断試験装置から, せん断及びカウンター荷重用の油圧シリンダーを取り除いて使用した。図 2 に装置全体図を示す。

試験体の大きさは一辺 30cm の立方体とし, 鋼製型枠で覆う。試験体との隙間にはモルタルを流し込み, 養生後, さらに引張り荷重を確実に試験体に伝達させるため, 試験体に 4 本のアンカー ($L = 250$ mm) を打設し, 鋼製型枠に固定した。引張荷重の反力は地盤にとり, エアシリンダーで試験体と一体の鋼製枠を引き上げる。載荷速度は $10 \text{ kN/m}^2/\text{min}$ の応力制御とした。

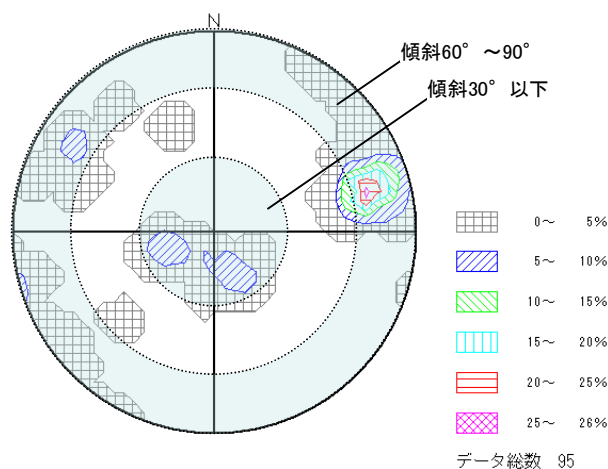


図 1 亀裂のシュミットネット投影図
(下半投影)

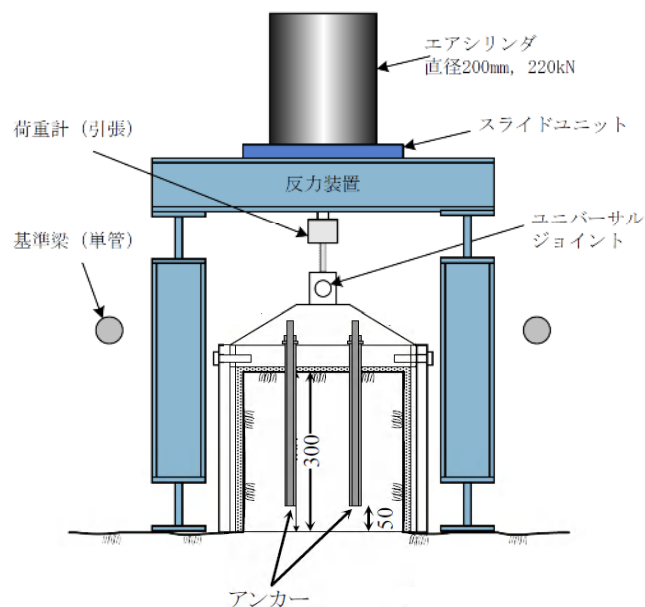


図 2 試験装置全体図

キーワード 亀裂性岩盤, 原位置試験, 引張強度, 亀裂面積

連絡先 〒980-8550 仙台市青葉区本町一丁目 7 番 1 号 東北電力(株) 土木建築部(火力原子力土木) TEL 022-799-6103

4. 試験結果

対象岩盤の室内岩石試験結果を表1に、原位置引張試験結果を表2に示す。「亀裂面積率」とは、図3に示すような破壊面全体 (0.09 m^2) に占める亀裂投影面の割合である。

亀裂面積が破壊面のほとんどを占める試験番号1では、赤褐色の粘土を挟在する低角亀裂が広範囲に見られ、破壊面の94.7%が既存の亀裂面が開口した部分である。一方、低角亀裂が少ない試験番号5では、既存の亀裂面は8.8%しかなく、大半が岩盤基質部における破壊であることが分かる。

これらの試験結果について、引張強度と亀裂面積率の関係に着目して整理を行った。図4は室内岩石試験による一軸引張強度 (220 kN/m^2) で正規化した引張強度と亀裂面積率の関係を示したものである。同図によれば、亀裂面積率の増加に伴って、引張強度が非線形的に低下する傾向が明瞭に認められる。特に亀裂面積率が10~20%程度を超えると引張強度が大幅に減少し、100%に近づくにつれて引張強度はゼロに漸近する傾向が認められ、引張強度と亀裂面積率の間には一定の相関があることを示唆しているものと考えられる。

引張強度が亀裂面積率の増加に応じて非線形的に低下する理由としては、亀裂面において破壊面が開口することにより、開口端部に応力集中が発生し、更なる開口を引き起こすことが考えられる。原位置試験において垂直荷重を一定に保持している際に、時間的遅れを伴って引張破壊した事例が確認されている。

5. 今後の課題

今回は、原位置せん断試験と同様に試験体のサイズを一辺30cmの立方体としたが、岩盤の亀裂間隔や亀裂の傾斜によっては試験精度を高めるために試験体を大きくする必要がある。その場合、エアシリンダーの容量不足が懸念されることから、試験体の引き上げや姿勢制御の方法について改良が必要になると考えている。

また、試験数や対象岩種を増やすことで、より信頼性の高い引張強度と亀裂面積率の関係を確立していくとともに、引張応力下でのせん断挙動の解明に結び付けていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 伊藤ら：引張応力下における岩盤のせん断挙動に関する研究，土木学会第66回年次学術講演会，印刷中。

表1 室内岩石試験結果一覧

単位体積重量	24.1 kN/m^3
引張強度	220 kN/m^2
圧縮強度(層理平行方向)	4.37 MN/m^2
圧縮強度(層理直交方向)	4.09 MN/m^2

表2 原位置引張試験結果一覧

試験番号	引張強度	亀裂面積率	破壊面の特徴
	kN/m^2	%	
1	6.3	94.7	低角亀裂で剥離、亀裂に粘土挟在
2	15.0	58.3	低角亀裂で剥離、亀裂に粘土挟在
3	46.3	24.6	低角亀裂で剥離、亀裂の一部に粘土挟在
4	59.4	21.8	低角亀裂で剥離、亀裂の一部に粘土挟在
5	170.3	8.8	ブロック下端の岩盤内で破壊

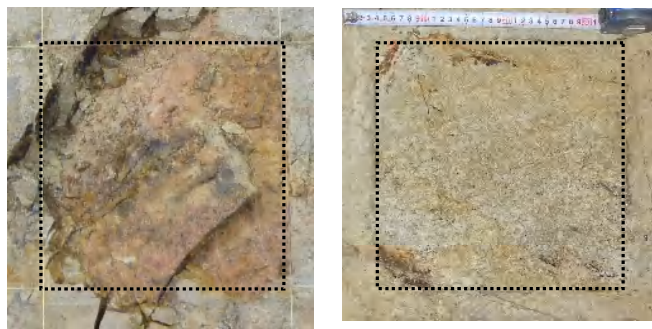


図3 引張破壊面(左:試験番号1, 右:試験番号5)

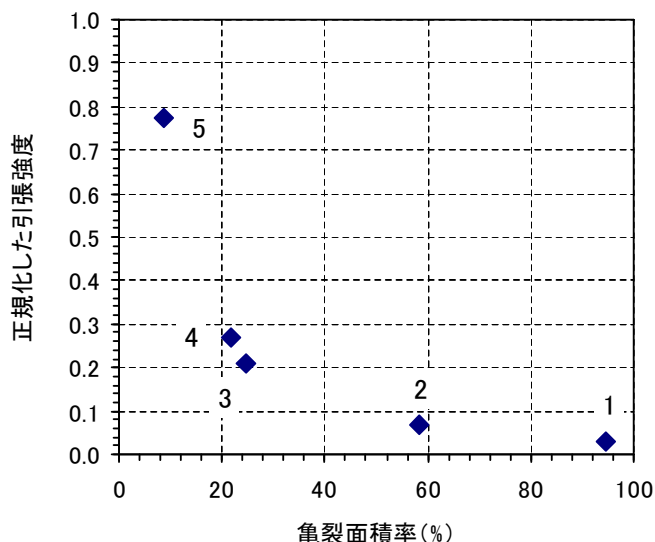


図4 引張強度—亀裂面積率関係