

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せん断試験装置の開発と試験結果―

東北電力（株） 正会員 ○伊藤 悟郎，大村 英昭，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，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。筆者らは既報¹⁾において，亀裂性岩盤を対象に実施した通常のロックせん断試験を数値解析により模擬し，「引張強度と引張応力下のせん断強度」を適切に評価しなければ原位置試験結果を再現できないことを確認している。

本研究では，引張応力下の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 C₁ 級砂岩に対し原位置試験を実施し，適用性を確認したことから報告するものである。

2. 原位置せん断試験装置

従来のせん断試験では，試験体に回転モーメントが作用するのを防ぐために，せん断荷重は想定せん断面（水平面）に対し 15～20° 上方より载荷する。この方法ではせん断荷重の载荷に伴い垂直荷重も増加するため，低垂直応力下におけるせん断強度を求めることはできない。そこで，野崎ら²⁾他はせん断荷重を水平に载荷し，カウンター荷重を試験体反対側から作用させて，回転モーメントを相殺している。

本研究では，試験箇所選定上の自由度確保及び作業性の向上を目的として，せん断荷重と同じ側に引き型のカウンター荷重を設け，反力ブロックを片側のみとし，かつ，引張垂直荷重を载荷可能な原位置せん断試験装置（図1）を開発した。その他，下記の特徴がある。

- ・ 試験体の大きさは，既往のロックせん断試験を踏襲し，一辺 30cm の立方体とした。
- ・ 試験体に箱型の鋼製型枠を被せ，隙間にモルタルを流し込み，一体化した。
- ・ 試験体に 4 本のアンカー（L = 250 mm）を打設し，引張垂直荷重载荷時の安定性を向上させると同時に鋼製型枠内部における破壊を予防した。
- ・ せん断荷重用シリンダーは 2 連式とし，それらの作用点を底辺とする正三角形の頂点にカウンター荷重用シリンダーを配して，荷重の安定化を図った。
- ・ 引張垂直応力は，鋼製フレームを介して地盤を反力として，エアシリンダーで载荷した。なお，圧縮垂直応力载荷時は，重機の死荷重を反力とした。
- ・ せん断荷重及びカウンター荷重は，それぞれ別個の手動油圧ポンプで荷重制御した。

3. 対象岩盤

対象とした岩盤は既報¹⁾と同じ C₁ 級砂岩である。中生界ジュラ系上部の粗粒～中粒の石英および長石の粒子から

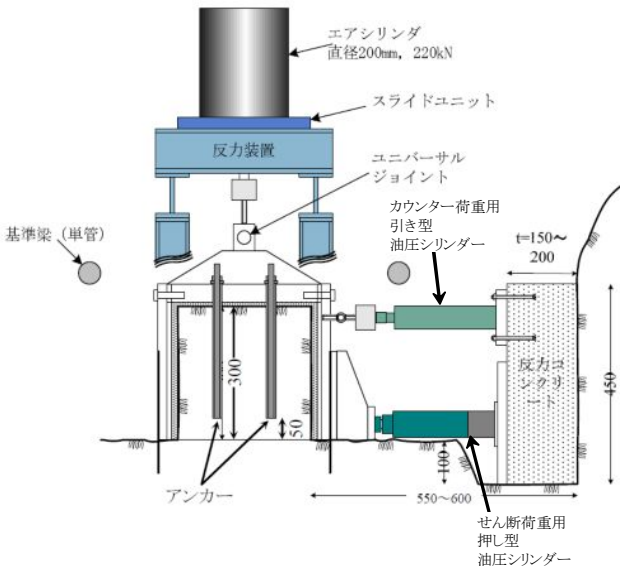


図1 原位置せん断試験装置

表1 対象岩盤の物性値

単位体積重量, γ_t	24.1 kN/m ³
一軸圧縮強度, q_u	4230 kN/m ²
一軸引張強度, q_t	220 kN/m ²
圧裂引張強度, σ_t	348 kN/m ²
C ₁ 級砂岩強度, τ_p	468 + $\sigma \tan 44.1^\circ$

キーワード 亀裂性岩盤，原位置試験，せん断強度

連絡先 〒980-8550 仙台市青葉区本町1丁目7-1 TEL022-799-6103 土木建築部（火力原子力土木）

なるアルコース質砂岩であり、風化を受けて黄灰色～黄白色を呈する。地質構造運動の影響により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。岩盤の物性値及び、 C_1 級砂岩の強度は表 1 の通りである。

4. 試験結果

荷重は、まず所定の垂直応力を載荷し、安定を確認したうえでせん断荷重を載荷した。本研究では、圧縮垂直応力 1 ケース、引張垂直応力 2 ケースの計 3 ケース実施した。せん断試験結果を図 2 に示す。なお、 C_1 級砂岩に対する既往のせん断試験（摩擦抵抗試験）結果も合わせて示している。また、せん断応力-せん断変位関係を図 3 に、試験後のせん断面スケッチを図 4 に示す。

試験 1 は垂直応力 120 kN/m^2 におけるせん断試験であるが、既往試験から設定した破壊基準に整合的な結果となっている。

引張応力下のせん断試験（試験 2、試験 3）は共に引張応力約 30 kN/m^2 における試験である。図 4 によると試験 2 のせん断面は、せん断荷重により破壊された基質部が大半を占めており、亀裂面は試験体奥側に一部分布するのみである。一方、試験 3 のせん断面には、亀裂面が 17% 分布している。

引張応力下のせん断強度は、両試験ではほぼ同程度の値となった。ただし、試験 2 については、試験体奥側に試験体乗り上がったと思われる亀裂が分布しており、試験体に回転が作用したことが原因となり、亀裂面積が少ない割りにせん断強度が小さくなった可能性が考えられる。

変形挙動は、試験 2 は圧縮応力下のせん断である試験 1 とほぼ同様の変形を示している。一方、試験 3 はせん断面に分布する亀裂に起因して小さな変形勾配を示していると思われる。

5. まとめ

亀裂性岩盤を対象に、引張応力下におけるせん断強度の測定を目的とした原位置試験装置を開発し、適用性を確認した。試験数は少ないものの、引張応力下においてもせん断強度が存在することが確認できた。今後、単純引張試験結果³⁾などを総合して、引張応力下のせん断挙動について検討を進める予定である。

本研究を進めるにあたり、東北大学京谷教授、風間教授および鹿島建設（株）の皆様にご助言を頂いたことに感謝致します。

参考文献

- 1)伊藤ら(2010):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 65 回年次学術講演会, pp.399-400.
- 2)野崎ら(2003):引張を含む低垂直応力下での原位置岩盤せん断試験法の考案,電力中央研究所報告, U03009.
- 3)大村ら(2011):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

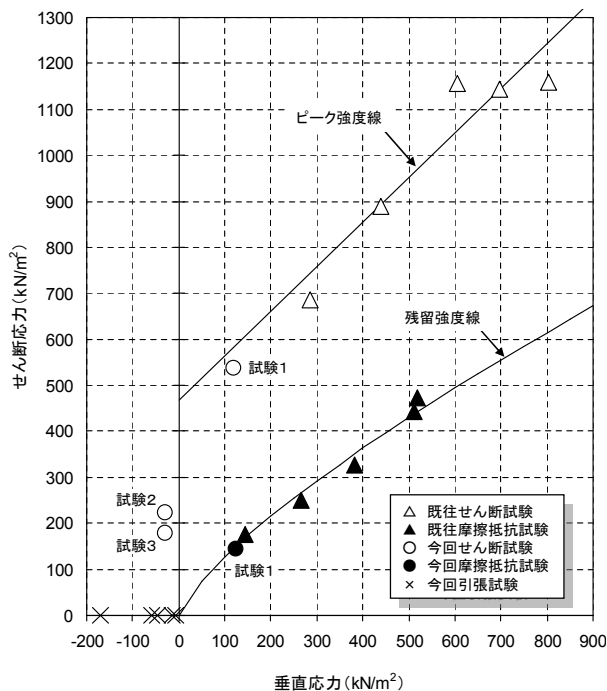


図2 垂直応力-せん断強度関係

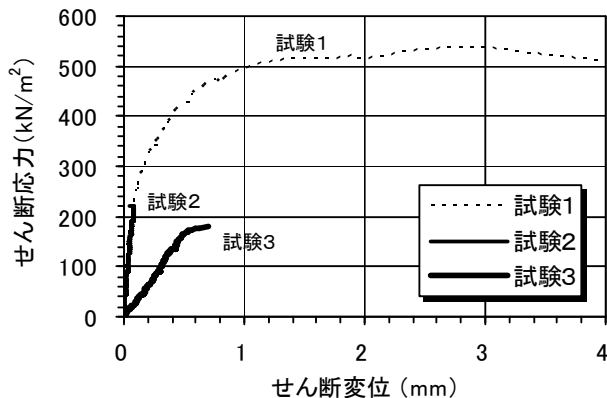


図3 せん断応力-せん断変位関係

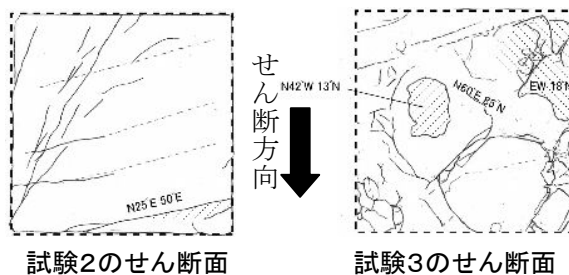


図4 せん断面スケッチ

(斜線部は既存の亀裂面を表す。)