

## 繰返し荷重を受けるコンクリートと岩石との接触面のせん断強度の実験的評価

長崎大学大学院工学研究科 学生会員 ○王 智 フェロー会員 蔣 宇静  
長崎大学大学院工学研究科 正会員 大嶺 聖 正会員 杉本 知史

### 1. はじめに

土木分野では、放射性廃棄物の地層処分やコンクリートダム基礎、トンネル覆工など、コンクリートと地山との接触面が数多く存在する。実は、地山岩盤とコンクリートとの接触面は、二つの異なる材料間の境界面にもなり、一般に潜在的に脆弱な部分とみなされている。地震荷重などによる繰返し荷重を受ける条件下では、地山岩盤は境界面に沿って周期的にせん断を受けるので、境界面のせん断強度がさらに弱くなると考えられる。また、高レベル放射性廃棄物の地層処分やエネルギーの地下貯留においては、高温環境に遭遇することがある。このような高温は、コンクリート構造物の材料特性を劣化させ、コンクリートの強度を大幅に低下させるので、構造物の安全性の低下により、事故を引き起こす可能性がある。

本研究では、特に高温処理を施したコンクリート供試体と岩石との接触面の力学的強度の変化を調べるために、一面せん断試験装置を用いて実験を行い、せん断過程における繰返し回数と温度の影響を基礎的に考察する。また、AE イベントの計測も併せて実施し、せん断過程におけるミクロ的変化の考察も行う。

### 2. 供試体の作成

コンクリート-岩石の接触面を作るために、本研究では実際の岩石材料（砂岩）とコンクリート構造物の設計基準強度に準拠したコンクリート材料を用いて供試体を作製する（図-1）。コンクリートの圧縮強度は 36MPa で、砂岩の圧縮強度は 80MPa である。

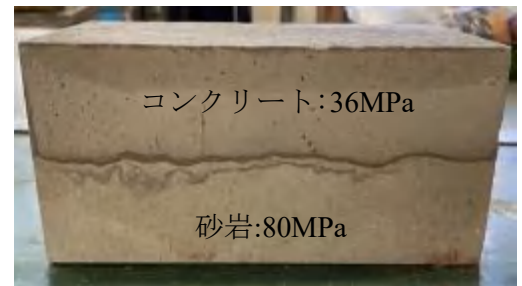


図-1 供試体の作成

### 3. 一面せん断試験

3.1 実験ケース 過去のコンクリート-岩石の接触面に関する研究では、主に垂直応力一定(CNL)の境界条件を検討している。しかし、せん断過程では、接触面が周囲の地山によって拘束され、接触面に作用する垂直応力はせん断によるダイレーションの増加につれて増加するので、従来の CNL 条件は適用できなくなり、垂直剛性一定(CNS)条件を満たす必要がある。ここでは、まず、CNL と CNS が接触面のせん断挙動に与える影響を考察する。次に表-1 の条件のもと、温度が接触面のせん断挙動に与える影響についても解明する。

表-1 実験ケース

CNL(Constant Normal Loading) 垂直応力一定	垂直応力：1MPa	温度設定： 25°C、100°C、200°C、300°C、400°C、500°C、600°C
CNS(Constant Normal Stiffness) 垂直剛性一定 初期垂直応力1MPa	垂直剛性：3GPa/m	

3.2 実験方法 一面せん断試験は、本研究室が開発したサーバー制御型一面せん断試験装置を用いて実施した。最大垂直荷重と最大せん断荷重はいずれも 200kN である。せん断試験の手順としては、まず供試体の上端に 0.5MPa/min の載荷速度で垂直荷重を加え続け、所定の垂直応力レベルに達したら実験ケースにおけるせん断を行う。なお、最大せん断変位は 10mm、せん断変位速度は 1.0mm/min、繰返しせん断回数は 5 回とする。

### 4. 実験結果と考察

図-2 は実験結果を示す。1 回目の初期せん断では、せん断変位の増加に伴い、せん断応力がピークに達した後、供試体のコンクリート-岩石の接触面が破壊され、せん断応力が大幅に低下した。事前の処理温度が 200°C 以上の場合は、接触面の破壊によるせん断応力の低下が現れなくなった。そして、せん断変位が大きくなると、ダイレーションが大きくなるため、残留段階におけるせん断応力がますます大きくなる。

繰返しのせん断回数が増えるにつれて、せん断応力-せん断変位曲線は下にシフトする。これは、せん断が進むにつれてコンクリート-岩石の接触面の表面凹凸部が破壊され、接触面のせん断強度が徐々に低下する

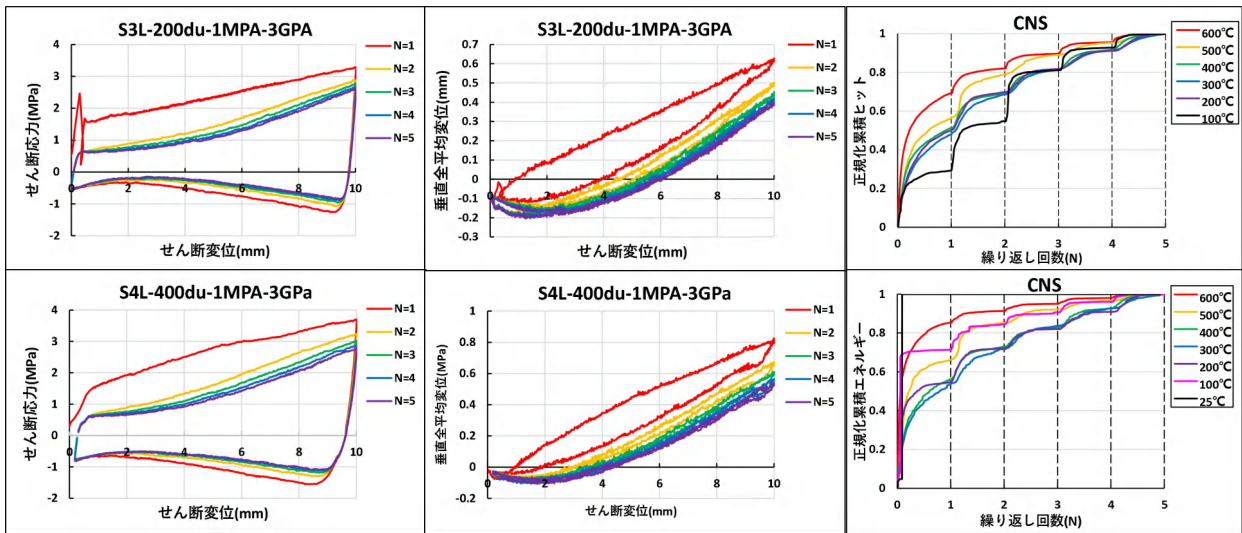


図-2 実験結果(せん断挙動)の一部

図-3 実験結果(AE 特徴)の一部

ためである。また、減少幅が小さくなり、せん断破壊に対する接触面の抵抗力がほぼ一定に近づく。

せん断過程において、せん断変位によるダイレーションの変化特徴は図-3のように、処理温度 200°C以下の場合、せん断が始まると、コンクリートは弾性変形を起こし、ダイレーションを生じる。節理面の破壊に伴い、ダイレーションは減少する。200°C以上の場合には接触面の破壊によるダイレーションがなくなる。せん断方向に沿って、せん断初期にダイレーションがマイナスになり、せん断収縮を示す。これは接触面の初期開口幅が圧縮されて閉じると考えられる。せん断変位の増加に伴い、凸部に沿い接触面上りせん断膨張によるダイレーションが起こる。垂直変位は正に変化し、ますます大きくなる傾向が見られる。

ここでは、CNL と CNS 条件下でのコンクリート-岩石の接触面のせん断破壊状況の 2 値化画像を図-4 に示す。破壊面積は、接触面の面積に対する白いダメージ部の割合を計算したものである。図-5 から、温度に関係なく、CNS 条件下が CNL 条件下よりも破壊面積が大きいことがわかる。さらに、温度が上がると破壊面積が大きくなることも明らかである。なお、500°C以上の場合、延性破壊が発生するために破壊面積が小さくなる。延性破壊は、粉状的破壊が主であり、破壊面積が小さくなる。一方、脆性破壊は主にブロック的破壊である。破壊時に大量の破片が生じ、大きな破壊面を形成する。

せん断試験終了時のコンクリート-岩石の接触面の破壊特徴は前述したとおりであるが、各せん断サイクルにおける進展的破壊状況の把握まではできていない。そこで、AE システムを使って、AE-ヒットと AE-エネルギーの記録により、各せん断サイクルにおけるせん断損傷の度合いを把握することにした。温度が高いほど、せん断破壊が発生したときにより大量のエネルギーが放出されるので、内部損傷程度が大きくなり、AE のヒット率が高くなる。図-3 から見られるように、1 回目の AE ヒット率が一番高く、サイクル 3 回目以降減少し続けた。また、200°C以下の場合、1 回目でエネルギーがほぼ放出された。

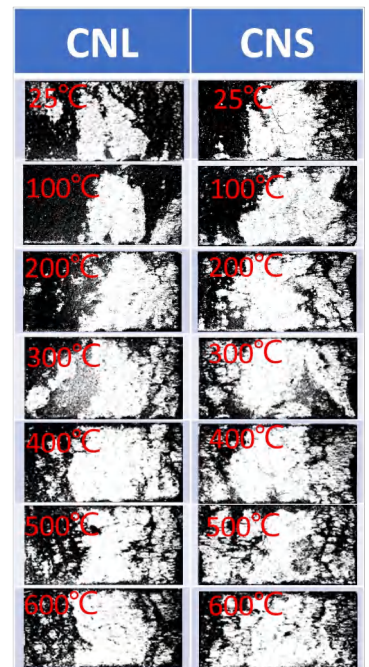


図-4 せん断破壊状況

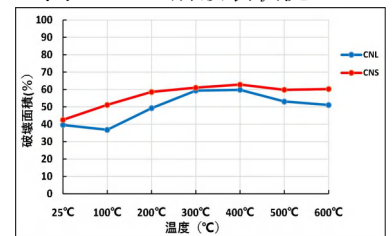


図-5 接触面の破壊面積

5. まとめ

本研究ではせん断過程における繰り返し回数と温度の影響を実験的に明らかにした。実験結果として、高温におけるコンクリートの材料性能が劣化するので、コンクリート-岩石の接触面のせん断強度に対し大きく影響すること、繰り返しせん断では 1 回目において主な破壊が発生し、3 回目以降は損傷程度が減少することがわかった。今後は、異なる岩種における一面せん断試験も実施し、さらなる比較と考察を行っていく。

参考文献：溝上建， 蔣宇静， 祐徳泰郎：高性能不連続面せん断試験装置の開発，第 31 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.92-96，2001.