

間隙氷を含む岩質材料の力学特性に関する基礎的研究

菅原 隆之*¹ 児玉 淳一*¹ 田中恒祐*¹ 門脇 辰弥*¹

*¹北海道大学工学研究院

1. 緒言

寒冷地における岩盤の安定性評価には、未凍結状態に加え、凍結状態での岩石の変形・破壊プロセスの解明が有用であると考えられる。筆者らは¹⁾温度が低く、载荷速度が速いほど、含水状態で凍結した岩石の強度は大きいことを明らかにするとともに、その破壊プロセスを解明するために巨視的な間隙氷を有する岩質材料の破壊過程の観察を行っている³⁾。しかし、岩種の違いによる破壊過程の相違の原因については未解明である。本研究では、岩石の力学的性質が破壊過程に及ぼす影響について明らかにするために、強度の異なる岩質材料を用意し、CCDカメラによる破壊過程の観察とAEの計測を行った。

2. 岩質材料の破壊過程の観察

2.1 実験方法

表1の2種類の配合で打設したモルタルから、30mm×60mm×10mmの平板状供試体を作製した。供試体の中央には、長径8mm、短径4mmの楕円形、もしくはひし形の巨視的な間隙を入れている。表からわかるように、試料Bの一軸圧縮強度は試料Aの一軸圧縮強度の約2倍である。

表1 供試体の配合と物性値

重量比	セメント	珪砂	水	一軸圧縮強度(MPa)	ヤング率(GPa)
試料A	1	2	0.8	18.1	9.6
試料B	1	4	1.2	37.6	12.6

供試体の巨視間隙を氷で充填した後、-20℃の恒温槽の中で一軸圧縮試験を行った。そして、試験中にCCDカメラを用いて巨視間隙とその周辺の破壊過程を撮影した。また供試体の側面にAEセンサーを取り付け、AEイベントの発生数を計測した。

2.2 実験結果

2.2.1 AEの発生状況

試料Aと試料BのAE発生状況をそれぞれ図2(a)、(b)に示す。間隙の形状はどちらも楕円形である。なお、図には応力も示している。図(a)より、400s付近までは応力の増加に伴いAEの発生が直線的に増加していることがわかる。その後、強度破壊点までは緩やかに増加し、応力の低下とともに発生率は増加している。図(b)より、载荷の初期段階でAEが発生しているが、その後はほとんど発生していないことがわかる。そして、620s付近で小さい応力低下が見られると同時に急激に増加した後、強度破壊点まではほぼ一定の割合で増加している。以上より、モルタルの強度の違いにより、AEの発生状況には違いが見られることがわかった。

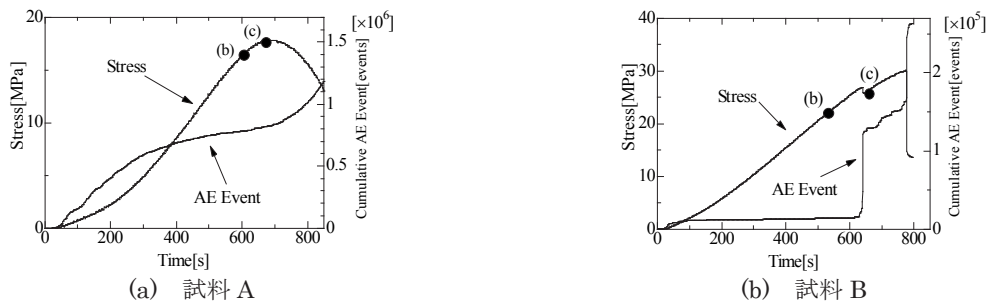


図2 AE-時間線図

2.2.2 CCDカメラによる観察

図3、4は図2に示した供試体の破壊過程を撮影した画像であり、载荷前と図2中に示した点(変化が大きく見られた前後)の様子である。図3(c)より、試料Aでは最大応力点で間隙先端付近のモルタルに载荷荷方向を向く亀裂が発生したことがわかる。また図3(a)、(b)より、载荷開始から亀裂発生までの間に、間隙氷に微小亀裂が発生していたことがわかる。そして、モルタルの亀裂発生と同時に間隙氷は全体的に白くなった。このような破壊過程は間隙の形がひし形の場合にも同様に認められた。

図4(c)より、試料Bでは応力が低下した点で間隙先端付近のモルタルに、間隙の長軸に対してほぼ垂直な亀裂が発生したことがわかる。载荷開始からこの亀裂発生までの間には、図4(a)、(b)より間隙氷の破壊は認められなかった。間隙

氷は亀裂発生と同時に全体的に白くなり破壊した。このような破壊過程は間隙の形がひし形の場合にも同様に認められた。

以上のことより、図 2(a)の 500s までに見られた AE は試料 A の間隙氷の微小破壊によるものであると考えられる。一方、試料 B では、モルタルの亀裂発生までに間隙氷は破壊しないため、図 2(b)のように応力低下点まで AE の発生がほとんど認められなかったと考えられる。

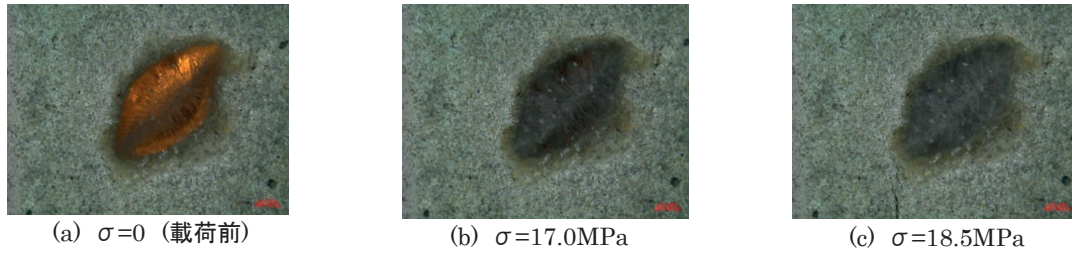


図3 試料Aの破壊過程

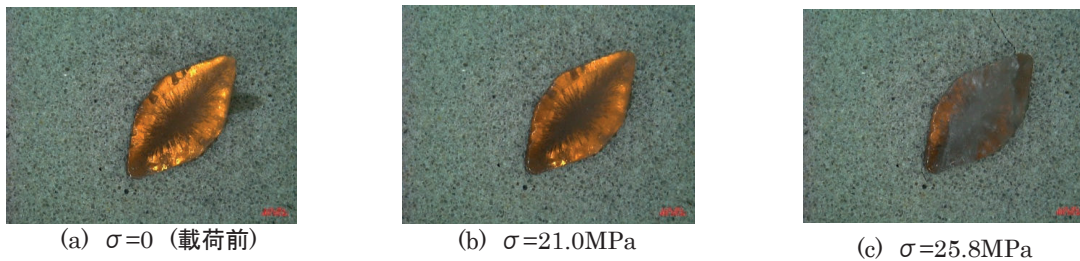


図4 試料Bの破壊過程

3 凍結した岩石の破壊過程に関する考察

図 5、図 6 は凍結状態の凝灰岩と安山岩の一軸圧縮試験時の AE-時間線図である²⁾。図 5 より、凝灰岩は低応力レベルから比較的一定の割合で AE が発生していることがわかる。一方、図 6 より、安山岩では荷重開始時に AE の発生が見られるが、その後強度破壊点の直前までは AE がほとんど発生しないことがわかる。今回のモルタルの実験結果と比較すると、試料 A と凝灰岩、試料 B と安山岩の結果が各々類似している。したがって、強度の小さい岩石では、クラックやポアから破壊が発生するまでに間隙氷の微小破壊が進行するが、強度の大きい岩石ではこれらの破壊までに間隙氷は破壊しないと考えられる。

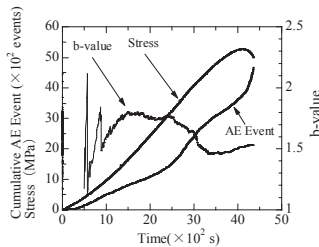


図 5 凝灰岩の AE-時間線図²⁾

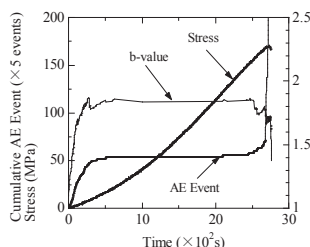


図 6 安山岩の AE-時間線図²⁾

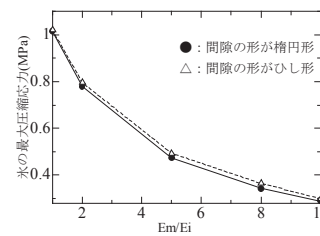


図 7 E_m の影響

図 7 は岩石やモルタルのヤング率(E_m)が間隙氷内の最大圧縮応力に与える影響について有限要素法により解析した結果である。図より、モルタルや岩石のヤング率が大きくなるほど間隙氷の最大圧縮応力が小さくなることがわかる。凝灰岩と安山岩のヤング率は、それぞれ約 10.0GPa、21.3GPa であり²⁾、後者のほうが大きい。また、表 1 より、ヤング率は試料 A より試料 B の方が大きい。したがって、試料 B と安山岩では間隙氷内の応力が小さく、間隙氷の破壊が起こりにくいと考えられる。

4. まとめ

強度の小さい試料 A では、モルタルに亀裂が発生する前に、間隙氷の微小破壊が認められ、その間、AE が発生し続けた。これに対し、強度の大きい試料 B では、モルタルに亀裂が発生するまでは間隙氷は破壊せず、AE の発生はほとんど見られなかった。これらのことより、強度の小さい岩石ではクラックやポアが破壊するまでに間隙氷の微小破壊が進行すると考えられる。