

III-343

クラスII岩石の三軸応力下におけるクリープ変形および破壊後挙動

三井建設(株) 正会員
北海道大学○木山 保、中田雅夫
藤井義明、石島洋二

1. はじめに

岩盤の長期安定性評価のために岩石のクリープ特性等の検討が重要である。強度破壊点以降の完全応力-軸ひずみ曲線が正の勾配を示すクラスIIの稲田花崗岩を用いて、封圧下で三軸クリープ試験を実施した。クリープ試験中、3次クリープ領域で周ひずみ速度がある設定値を超えた時点をクリープ破壊直前とみなし、定軸差応力から定周変位速度制御に切り替え、その後の完全応力-ひずみ特性を調べた。クリープ試験の前後を含むクラスII岩石の完全応力-ひずみ特性について検討し、さらに筆者らが提案している限界引張ひずみ破壊基準とクリープ周ひずみとの関係を調べた。

2. 実験方法

試験に用いた稲田花崗岩は、供試体の長軸がリフトプレーンの法線と一致するように、直径50mm、長さ100mmに整形し、湿潤状態とした。まず封圧を設定し、つぎに周変位速度を一定として軸差応力を加えた。クリープ試験では設定軸差応力を瞬時に加えるべきであるが、本試験では定周変位速度制御で実施した三軸圧縮試験の完全応力-ひずみ特性と比較するため、この載荷方法を採用した。周ひずみがある設定した値に達した時点でクリープ試験を開始し、ここから定軸差応力制御とした。クリープ試験中、周ひずみ速度をモニターし、1次クリープおよび2次クリープ領域を経て、3次クリープ領域で周ひずみ速度が再び増加し、これが軸差応力増加時の速度を超えた時点で制御を定軸差応力から定周変位速度に自動的に切り替え、クリープ試験後の完全応力-ひずみ曲線を得た。厳密に言えば、軸差応力を瞬時に加えていない点と破壊直前で制御を切り替えている点で、通常のクリープ試験とは異なる。試験概要を模式的に図1に示す。設定封圧は10MPaと20MPaとし、クリープ試験の開始点は周ひずみが-0.15から-0.35%を示した時点とした。クリープ試験は最大3日間とし、非破壊の場合は定周変位速度制御に切り替えて破壊させた。

3. クリープ試験前後を含む完全応力-ひずみ特性

三軸圧縮試験およびクリープ試験の軸差応力-軸ひずみ線図および軸差応力-周ひずみ線図を、それぞれ図2(A)および(B)に示す。ひずみは大気圧下からの変化を示しているため、いずれも圧縮側から立ち上がっている。軸差応力-軸ひずみ線図において、三軸圧縮試験の強度破壊点までとクリープ試験のクリープ開始点までの変形挙動はよい一致を示している。その後三軸圧縮試験では強度破壊点まで軸差応力が上昇し、クリープ試験では定軸差応力でクリープ軸ひずみが増加するが、三軸圧縮試験の破壊点以降の曲線とクリープ試験終了後の曲線は再び一致し、両者ともクラスII特有の正の傾きを示す部分が認められる。すなわち、定周変位速度制御による完全応力-軸ひずみ特性を基準とした場合、クリープ試験は三軸圧縮試験の完全応力-軸ひずみ曲線に交わった点で終了し、その後の完全応力-軸ひずみ曲線もこれにほぼ一致する。軸差応力-周ひずみ線図においても同様に、三軸圧縮試験とクリープ試験前後の挙動がほぼ一致する傾向が認められるが、前者に比較するとばらつきが大きい。

10MPaと20MPaの異なる封圧のもとで、軸差応力-軸ひずみ曲線はいずれもほぼ等しい勾配で強度破壊点直前まで直線的に変化するのに対し、軸差応力-周ひずみ曲線は上に凸な弧を描き、強度破壊点付近で周ひずみが顕著に増加し、封圧10MPaと20MPaの曲線は比較的低い応力状態から

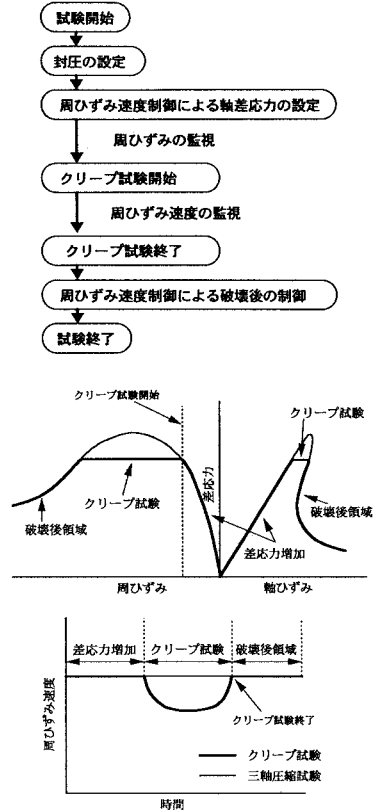


図1. 試験方法および試験概要

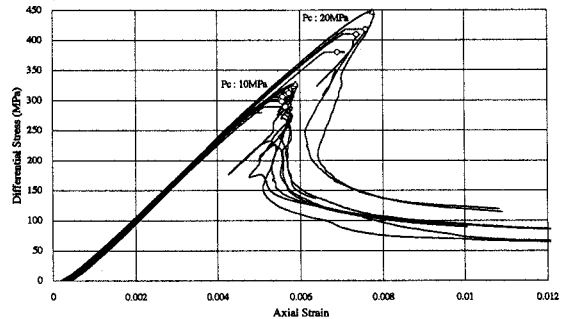


図2(A). 三軸圧縮試験およびクリープ試験の軸差応力-軸ひずみ線図

一致していない。また、クラスⅡの強度破壊点以降の軸差応力-軸ひずみ曲線が正の勾配を示し、この曲線にクリープ軸ひずみが交わった時点がクリープ試験の終了となること、一方周ひずみは強度破壊点以降も単調に増加することから、クリープ試験における軸および周ひずみを比較すると図3に示すように、周ひずみの変化量が軸ひずみよりはるかに大きい。

4. 限界引張ひずみと三軸クリープ特性

筆者らは、引張ひずみがある限界量（限界引張ひずみ）に達すると岩石が破壊するという引張ひずみ破壊基準を提案しており¹⁾、例えば三軸圧縮試験では強度破壊点の周ひずみが限界引張ひずみに相当する。そこで軸差応力が一定のクリープ試験における周ひずみ特性と限界引張ひずみの関係について検討した。もう一度図1をみると、クリープ試験における周ひずみ速度は最小値を持ち、クリープ応力を三軸圧縮強度に近づけていくと最小周ひずみ速度を示す時の周ひずみもまた、強度破壊点の周ひずみ（すなわち限界引張ひずみ）に近づいていくことが予想される。図4に封圧10MPaのクリープ周ひずみと経過時間の関係を示し、これに最小周ひずみ速度を示した点を○印で付記した。最小周ひずみ速度を示す時点の周ひずみは、クリープ開始点の周ひずみや経過時間に依らず、ほぼ-0.4から-0.5%の範囲にあることがわかる。最小周ひずみ速度を示す時点の軸ひずみおよび周ひずみを、図2(A)および(B)に○印で示した。また三軸圧縮試験の強度破壊点の軸ひずみおよび周ひずみを△印で示した。まず(A)図において、封圧が大きくなると強度破壊点の軸ひずみも最小周ひずみ速度を示す時点の軸ひずみも大きくなる。またそれぞれの封圧において、クリープ応力比の増加にともない最小周ひずみ速度を示す時点の軸ひずみは増加する。一方(B)図において、どちらの封圧でも強度破壊点の周ひずみ（限界引張ひずみ）はほぼ等しく、また最小周ひずみ速度を示す時点の周ひずみもばらつきは大きいもののクリープ応力比にかかわらず、一定の範囲内に納まっている。

図5に、クリープ開始点の周ひずみと最小周ひずみ速度を示す時点までの経過時間の関係を示す。どちらの封圧においても両者に相関が認められる。これは周（横）ひずみが岩石の損傷の指標となる可能性があることを示唆するものと考えられる。

4. おわりに

クラスⅡの稲田花崗岩を用いて三軸クリープ試験を行い、クリープ試験前後の完全応力-ひずみ線図が定周変位速度制御による三軸圧縮試験の完全応力-ひずみ線図とほぼ一致することを確認した。つぎに、クリープ試験における最小周ひずみ速度を示す時点の周ひずみと三軸圧縮試験における限界引張ひずみがほぼ一致することを明らかにした。

なお、本試験の実施に際し、北海道大学大森瑞穂君にご協力を願った。ここに謝意を表します。

（参考文献）

- 1) 藤井義明：資源と素材, 109[7], 549～550, (1993)

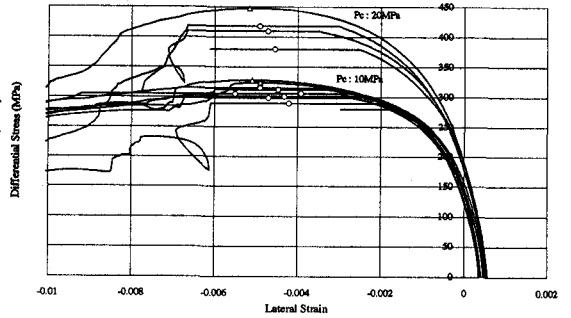


図2(B). 三軸圧縮試験およびクリープ試験の軸差応力-周ひずみ線図

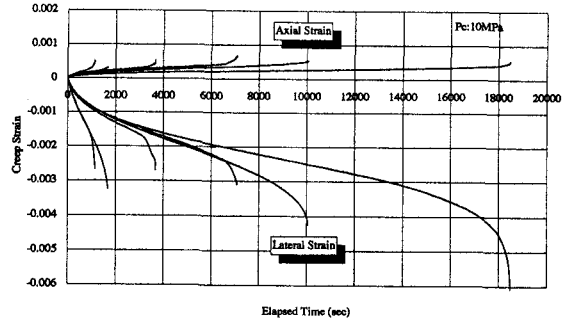


図3. クリープ試験における軸および周ひずみの経時変化

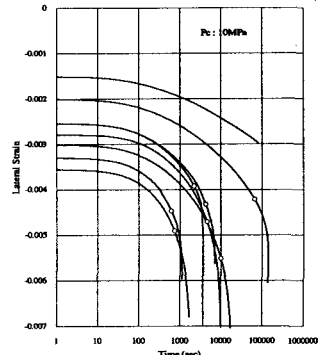


図4. クリープ周ひずみの経時変化および最小周ひずみ速度点

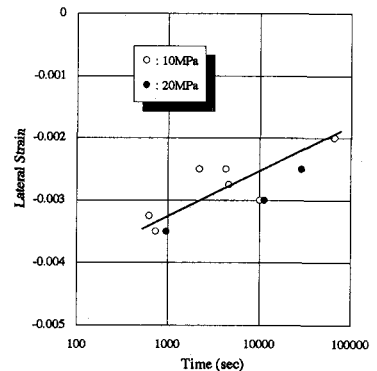


図5. クリープ開始時の周ひずみと最小周ひずみ速度を示すまでの時間点