

[別紙 2]

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 雷 鳴

本研究は、岩石の強度破壊点以降（ピーク強度を越えた後）の特性解明を目指すものである。ここで、確認しておきたいことは、クリープ試験結果と強度試験における載荷速度依存性との間に密接な関係が認められることが実験的に確かめられていることである。よって、強度試験における載荷速度依存性を把握しておけば、長期にわたるクリープ変形をある程度の精度をもって見積もることができる。しかしながら、以上では簡単のために単に載荷速度依存性と称してきたが、これを詳しくいえば、これまでの研究でわかっているのは、ピーク強度の載荷速度依存性であり、それ以外の部分での載荷速度依存性については知られているところが少ない。例えば、ピーク強度を越えた、強度破壊点以降の領域における挙動については信頼すべきデータが決定的に不足している。一方、岩盤内構造物周辺の緩み領域は、多くの場合に、強度破壊点以降の領域に達していると考えられるので、まさに重要な部分の物性に関する情報が不足しているといえる。

第 2 章では、圧縮応力下での載荷速度依存性を実験的に検討した。その際には、これまでの試験方法を改良した新しい試験（組合せ試験）を提案し、強度破壊点以降における載荷速度依存性に関するデータの蓄積を心がけた。試験から得られた結果を整理したところ、2つの異なる載荷速度での応力-歪曲線は、除荷曲線の傾きにそって一方を移動させると重なり、そのときの応力の変化率は、ピーク強度のそれとほぼ等しくなることがわかった。

第 3 章では、圧裂引張応力下での載荷速度依存性について論じた。圧縮応力下では多くの研究があるが、圧裂引張応力下での載荷速度依存性を調べた研究は少なく、そのピーク強度の載荷速度依存性についてすら十分にわかっていない。本研究では、ピーク強度の載荷速度依存性に加えて、強度破壊点以降の載荷速度依存性についても論じた。一軸圧縮試験や一軸引張試験での応力-歪曲線に比べ、圧裂引張試験でのピーク荷重付近の荷重-変位曲線は尖っているため、圧裂引張強度の載荷速度依存性を求めにくいこと、逆に圧裂引張試験の残留強度は大きく、歪の増加による応力の変化も小さいため、強度破壊点以降での切換試験による載荷速度依存性の検討は容易であることがわかった。

第 4 章では、強度回復特性について論ずるとともに、強度回復した岩石の載荷速度依存性について実験的に調べた。本研究の最大の成果は、強度回復した試験片の載荷速度依存性の程度（ $n$  の値）が元の岩石試料と大差がないことを示した点であろう。強度回復した岩石片の  $n$  が極端に小さいと、長期間にわたる粘性的な変形が進みやすいので、長期間にわたって使用される岩盤内構造物では強度回復の意義がほとんどなくなるが、今回の結果を

見る限りではその可能性は少ないといえる。今回得られた結果は、今後、緩み領域の強度回復特性および時間依存性を考慮した数値シミュレーションを実施する際に、重要な知見になるといえる。

第5章では、強度回復に伴う浸透係数の変化を実験的に調べた。岩盤内空洞の長期挙動の評価に際しては、強度の回復とともに浸透係数の回復（減少）も重要である。もとの岩石、強度回復途中の岩石、強度回復後の岩石について浸透係数を実験的に求めた。もとの岩石の圧縮試験を行い、破片の集合体となった岩石の浸透係数は予想通りに大きく、これは周辺岩盤が激しく痛んだ場合に大量の湧水が岩盤構造物内に流れ込んでくる場合に相当している。その後、破片を鋼製のリングに入れたままで上方から押し棒でわずかに荷重を加えた後に浸透係数を測定したが、荷重はわずかであり強度回復もほとんどしていないにもかかわらず、浸透係数は大幅に減少することがわかった。その後も押し棒に加える荷重を増していくと浸透係数は緩やかにではあるが順次減少していくことがわかった。

第6章では、強度回復特性を構成方程式で表すための基礎的な検討を試みた。コンプライアンス可変型構成方程式を採用して、半定量的な議論をおこない、強度回復過程の定式化の基礎を築いた。コンプライアンス可変型構成方程式は、ある意味で実用性の高さを重視して提案されたものであり、パラメータは3つしかない。一つは現象の進行速度を決める  $a$ 、次は現象の応力依存性を決める  $n$ 、最後の  $m$  は現象が緩やかに生じるかそれとも加速的に生じるかを定める  $m$  である。この構成方程式は、これまでに実証されたように、破壊を表現できる特徴を持っている。さらに、今回の検討の結果、コンプライアンスが減少（剛性が増大）していくことも表現できることがわかった。本論文では、この構成方程式を用いて、強度回復試験を説明することを試みた。その結果によれば、少なくとも定性的には、強度の回復を表現できることが判明した。今後の検討が必要なことはいうまでもないが、構成方程式による強度回復の表現に対して第一歩を踏み出すことができたといえる。

第7章では、本研究の結論を述べている。各章で得られた知見を総合し、本研究の成果、将来への展望、今後の課題についてまとめている。

本研究において得られた結果は、岩盤内構造物の長期安定性評価には欠かせないものといえる。特に、掘削の際に破壊した坑壁付近の岩石が、適当な支保を施された場合には次第に強度が回復し、それともなって浸透係数が低下していくことを示したことは高く評価してよいであろう。さらに、強度回復中の岩石の載荷速度依存性（時間依存性）に関する一定の知見を得たことは特筆に値する。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。