




論文審査の結果の要旨

報告番号	博(工)甲第 114 号	氏名	張元超
学位審査委員	主査 蔣宇静 副査 大嶺聖 副査 杉本知史	  	
<p>論文審査の結果の要旨</p> <p>張元超氏は、2019年4月に長崎大学大学院工学研究科博士後期課程に入学し、現在に至っている。同氏は、工学研究科博士後期課程に入学以降、当該課程の所定の単位を修得するとともに、岩盤内不連続面の分布と連結性によるせん断強度の変化に関する研究を行い、その成果を主論文「Shear Failure and Anchoring Behavior of Discontinuous Fracture Structures in Rock Masses (岩盤内不連続面のせん断破壊と補強挙動に関する研究)」として完成させ、参考論文を付して、2021年12月に博士(工学)の学位を申請した。長崎大学大学院工学研究科教授会は、2021年12月15日の教授会において論文内容等を検討し、本論文を受理して差し支えないものと認め、上記の審査委員を選定した。委員は主査を中心に論文内容について慎重に審議し、公開論文発表会を実施するとともに、最終試験を行い、論文審査および最終試験の結果を2022年2月16日の工学研究科教授会に、本書面をもって報告することとした。</p> <p>学位論文の適合性を審査したところ、学位論文の印刷公表論文4編(うち審査付き論文4編)、印刷公表予定論文1編(うち審査付き論文1編)が学位論文を構成していることが認められ、適合ありと判断した。なお、参考論文には、学位論文の基礎となる論文3編(うち審査付き論文3編)も含まれる。</p> <p>複雑な地質体である岩盤は、長年月にわたって地殻変動や風化作用を受けてきたので、節理やき裂などの不連続面が数多く存在し、そのせん断強度が岩盤斜面や岩盤内地下構造物の安定性を大きく支配する。一方、不連続面が複雑なき裂構造を有し、そのサイズや方向性、粘土充填などによる連結部の分布によって、岩盤の力学的挙動は明らかな異方性を呈することになる。そこで、本研究は、岩盤不連続面内の連結部による2種類の不連続なき裂構造(断続的なき裂構造と雁行状のき裂構造)が岩盤のせん断強度と岩盤内構造物の安定性に与える影響を詳細に解明するとともに、新型ロックボルトによる補強効果を考察し、安全率の計算法の提案および岩盤構造物の合理的補強設計への提言を行うことを目的としている。</p> <p>まずは、不連続なき裂構造を模擬するために、室内試験用供試体の作成法を検討し、2種類の不連続なき裂構造を有するせん断用試験体を、独創的に設計した型枠によって作成することを可能にした。作成した模擬供試体を用い、浅所地層を想定する垂直荷重一定(CNL)条件における一面せ</p>			

せん断試験を実施して、断続的なき裂構造を包含した供試体のせん断挙動に対する不連続面の構造パラメータ（き裂内の連結性、き裂同士のオーバーラップと間隔）の影響を詳細に考察したが、せん断破壊モードは、き裂の構造パラメータや垂直応力と密接に関係していることを明らかにした。破壊メカニズムを考察するために、PFCを用いた数値シミュレーションを実施したところ、マクロ的せん断破壊は、主にミクロ的引張り裂または混合引張り-せん断き裂により引き起こされることが分かり、CNL条件では、断続的なき裂のせん断強度とダイレーションが岩盤不連続面内の連結性に影響されるが、オーバーラップの影響がほとんどないことも判明した。また、せん断試験におけるアコースティックエミッション（AE）の発生イベントの計測を同時に行い、アクティブなAEヒットとエネルギーが主にき裂進展ステージにおいて生じる特徴を見出した。

次に、雁行状き裂の影響を解明するために、CNL条件および（深部地層を想定する）垂直剛性一定（CNS）条件における、雁行状き裂分布を有する供試体の一面せん断試験を実施し、き裂構造の代表的パラメータ（傾斜角と連結性）が、せん断強度とダイレーション、せん断破壊モード、AE発生イベントに及ぼす影響を詳しく検討した。その結果、雁行状き裂のせん断過程はき裂進展ステージ(Stage 1)とすべりステージ(Stage 2)に分けることができ、特にStage 1におけるせん断強度が複数のピーク値を有することが初めて解明され、せん断強度とダイレーションが顕著な異方性を示すことを明らかにした。本研究で提案した5タイプのせん断破壊モードは、せん断過程において明瞭に観察され、それらがき裂先端のクラッキングと貫通モードによって決定されることを示した。なお、せん断過程におけるAEエネルギーの変化に関しては、Stage 1において、特に第1ピーク付近において顕著に放出されるものの、Stage 2に移るにつれ顕著でなくなることも判明した。特にCNS条件では、鋸歯面に沿っての上昇またはブロックの回転によるダイレーションの発生により、垂直応力とせん断強度が大きくなるので、両者の関係を表す関係式を示し、雁行状き裂を有する岩盤斜面の安全率の計算モデルを提案した。得られた知見は、雁行状の断層による地すべりや活断層の活動による地質災害の発生可能性の検討において適用できると考えられる。

最後に、2種類の不連続なき裂構造を有する岩盤の補強設計について実験的に検討した。実験の結果が示すように、全面接着型ロックボルトは不連続面のせん断強度を大幅に向上させることができる一方、端部固定式アンカーはせん断変位の抑制において優れた性能を発揮することが分かった。不連続面内の連結性が低くなると、ロックボルト破断時のせん断変位が徐々に小さくなる。AEイベントの計測では、全面接着型ロックボルトがき裂のせん断破壊の規模を大幅に減少させる一方、放出されたエネルギーが大である特徴も確認できた。さらに、剛的ロックボルトとエネルギー吸収型ロックボルトの補強効果の比較によれば、それぞれの補強効果がロックボルトの材質やき裂の傾斜角に密接に関係しており、変形係数を用いれば各々の変形能力の評価が可能となるので、き裂性岩盤の補強設計のために理論的根拠を提供することになる。

以上のように本論文は、岩盤内不連続面のせん断挙動とロックボルトによる補強効果の評価に関して、新規性と独創性があり、高い学術的価値を有するものと評価できる。

学位審査委員会は、張元超氏の研究が岩盤内不連続面のせん断挙動評価と補強対策検討において極めて有益な成果を得るとともに、岩盤工学の進歩発展に貢献するところが大きく、博士(工学)の学位に値するものとして合格と判定した。