

氏 名	NGUYEN HOANG GIANG		
博士の専攻分野の名称	博士（学術）		
学位記号番号	博理工甲第 805 号		
学位授与年月日	平成 22 年 9 月 17 日		
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
学位論文題目	Seismic Stability of Damaged Geogrid Reinforced Soil Wall (被災したジオグリッド補強土壁の耐震性)		
論文審査委員	委員長	教授	桑野 二郎
	委員	教授	渡邊 邦夫
	委員	准教授	齊藤 正人
	委員	准教授	鈴木 輝一

論文の内容の要旨

The reinforced soil technique is a construction method that has been applied for thousands of years and it has used different types of soil reinforcing materials. Recently, geogrid reinforcement method has been widely adopted in many constructions all over the world thank to many of its advantages. However, geogrid reinforced soil walls are often used without considerable repair or reconstruction after simple inspection, at times even after strong earthquakes if serious damage is not visible. To ensure proper repair or reconstruction, it is necessary to evaluate the damage of GRSW. The pullout resistance was used to evaluate factor of safety and failure plane of the damaged GRSW. In order to assess the effect of history of earthquake on the GRSW, both experimental and theoretical studies were made and cross-checked. Centrifuge shaking table and centrifuge tilting table tests on the GRSW model in 50G were carried out to estimate the damaged GRSW.

After the introduction about the GRSW in current designs of construction as well as literature review in Chapter 1 and chapter 2, in the Chapter 3, study on the pullout tests is carried out on different types of model geogrids (Circle geogrid, square geogrid and plate) and soils (Toyoura sand and Kasama-Masado) with considering the UR (unloading-reloading) process effects on the pullout resistance and the soil-geogrid interaction. The advanced visual imaging technique, Particle Image Velocimetry, and the spatial discretization scheme in finite element method are used for analyses. The results indicated the pullout resistance at peak or residual parts reduces after the geogrids in GRSW are subjected to the UR process. Thus, in future events such as earthquake and heavy rain the GRSW may not reach the designed safety factor. Pseudo static method is generally used for evaluating the seismic stability of GRSW. Chapter 4 describes the study on the failure behavior of the GRSW subjected to horizontal pseudo static loading. Especially, the effect of pullout characteristics of geogrid, which are discussed in chapter 3, are focused on because it is quite likely that they are most important properties to affect the stability of the GRSW.

The two-wedge method is appropriate to evaluate the stability of GRSW since it shows a good agreement with the experiment results. Considering the effect of unloading-reloading process on the pullout resistance in the Chapter 3, it is possible to evaluate the factor of safety for GRSW at peak, at peak in reloading after the unloading-reloading and at

the residual parts. It clearly shows that the unloading-reloading reduces the factor of safety of GRSW against the next event such as earthquake or heavy rain. When subjected to a big earthquake, the GRSW may show some deformation and the pullout resistance of geogrids in GRSW may reach residual values. Using the two-wedge method, the safety of GRSW at peak and residual stages are compared and it is found that when a GRSW is subjected to a big event and shows deformation, the factor of safety of damaged GRSW does not reach to the designed factor of safety which is calculated using peak value of pullout resistance. The predicted factor of safety and sliding surfaces in Chapter 4 are compared with the experimental results of GRSW model subjected to dynamic and static loadings in Chapter 5. To evaluate the seismic effects on GRSW, dynamic horizontal loading and pseudo static horizontal loading are applied to the model GRSW and failure behaviors are observed in detail by the centrifuge shaking table tests and centrifuge tilting table tests.

There were two test series: Shaking – tilting table test series to investigate the damaged GRSW before peak value and Tilting - Tiling table test series to investigate the residual value of pullout resistance on the stability of damaged GRSW. Tests were conducted at a centrifugal acceleration of 50G. The experimental and predicted results showed a good agreement in two-wedge type failure. Chapter 6 introduces the implementation of this research in practical use. The proposed procedure to evaluate the damaged GRSW is initiated. Based on this method, the simple procedure is to be carried out right after the earthquake to evaluate the stability of damaged GRSW and the repair possibility can be outlined in order to prepare for the next big events such as earthquake or heavy rainfalls.

Chapter 7 includes a summary of the dissertation and its findings.

論文の審査結果の要旨

本論文は、被災したジオグリッド補強土壁の耐震性に関し、被災状況を模擬したジオグリッドの引抜き特性を調べるとともに、遠心模型実験を実施し、種々の検討を行った。補強土工法は数千年もの間、色々なタイプの補強材を用いて行われてきた土構造物の建設方法である。近年では、ジオグリッドを用いた補強土工法が、安定性・施工性など様々な利点を有することから、大変幅広く用いられるようになってきた。しかしながら、強い地震に見舞われた際でも、もし外見上著しい損傷を受けていない場合は、特に補修などを行わず使用されることが多い。適切に補修や再構築を行うためには、ジオグリッド補強土壁の損傷の程度を適切に評価する事が必要となる。ジオグリッド補強土壁の安定性の評価にはジオグリッドの引抜き抵抗が用いられるが、被災後においてもどの程度の引抜き抵抗が存在するかは重要である。地震履歴の影響を調べるために、本研究では実験的検討と理論的な検討を行っている。最後に、遠心振動台実験と遠心傾斜台実験を実施し、被災したジオグリッド補強土壁の耐震性について本研究で得られた成果を適用してその安定性を検討し、比較・検証を行っている。

本論文は、研究成果を7章に分けて記述している。

第1章では、ジオグリッド補強土壁工法に関しその基本概念と現状を紹介し、近年の大地震による被災事例を紹介して、本研究の背景と必要性を述べている。さらに本論文の構成を概観している。

第2章では、ジオグリッドの引抜き試験、ジオグリッド補強土壁、震度法など、本研究と密接に関連する分野に関する既往の研究を紹介している。

第3章では、形状の異なる模型ジオグリッド（円形開口、矩形開口、板状）を用い2種類の土中（豊浦砂、まさ土）で実施した、除荷・再載荷過程を含む引抜き試験について、引抜き抵抗や土とジオグリッドの相互作用について検討を行っている。PIV (Particle Image Velovimetry) という画像処理方法を用い模型地盤内の変位分布を計測し、さらにその変位分布から地盤内のひずみ分布を求めることで、ジオグリッドとその周辺地盤の相互作用について検討を行っている。引抜き試験結果から、除荷・再載荷過程を経ると、ピークあるいは残留時の引抜き抵抗が低下することが示された。従って、一度被災したジオグリッド補強土壁は、今後の地震や豪雨などに対し、建設時の当初設計で想定しただけの引抜き抵抗が発揮されず、十分な安全率を有しない可能性があることが指摘されている。

第4章では、震度法を用いた補強土壁の安定性の検討について述べている。特に第3章で述べられたジオグリッドの引抜き特性が、ここでは考慮されている。これまでの実績からジオグリッド補強土壁の安定性を評価する際に適用性が高いと考えられる Two-Wedge 法が用いられている。第3章で述べられた除荷・再載荷後のピーク時や残留時など各載荷段階における補強土壁の安定性が評価された。その結果、地震などによりある程度の損傷を受けた補強土壁は、地震や豪雨などの将来の大きな外的作用に対し安全率が低下することが述べられている。即ち、大きな地震動を受け補強土壁がある程度の変形を生じると、補強土壁内のジオグリッドは残留状態に達することがある。地震外力などは一時的な作用であるため、仮に残留強度状態まで低下していたとしてもその後は自重のみを支えれば良く安定性を保てる場合がある。しかし、将来の大きな外的作用に対しては、建設時に想定されたような健全な状態でのピーク強度は期待できなくなる。こういった被災に伴う安定性の低下を、実験結果を用いた Two-Wedge 法解析結果から解明している。

第5章では、これまでに得られた安全率やすべり線の位置などを、遠心振動台実験と遠心傾斜台実験を通して検証している。即ち、4章までに用いられてきたジオグリッドと土を用い、実際に補強土壁模型を作製し、振動台を用いた動的応力作用の検討、傾斜台を用いた設計法を模擬した準静的水平荷重作用の検討を、50Gの遠心場で行うことで、実スケール 7.5 m 相当の補強土壁の安定性を検討している。その結果、本研究

で得られた、被災を想定したジオグリッドの引抜き特性、地盤材料強度、安定解析手法を適切に用いることで、被災後のジオグリッド補強土壁の将来の外的作用に対する安全率や破壊形態を適切に評価できることが検証されている。

第6章では、本研究成果の実務における適用について、その可能性と問題点について述べている。

第7章では、本研究により得られた結論を述べている。

本研究では、被災した補強土壁に残されている耐震性という、実務上は非常に重要でありながらこれまで検討されていなかった課題について、ジオグリッドの引抜き試験について新たな試験方法を提案し実施することで被災後のジオグリッドの引抜き抵抗を適切に評価できることを示し、さらに遠心模型実験を実施し、解析法と併せてその妥当性を検証している。その点で、研究の独創性、新規性、発展性が大きい。また、結論に至る種々の検討における厳密性も高く評価される。それらの点を総合的に判断して、博士の学位論文として合格と判定した。