

学位論文要旨

(Summary of the Doctoral Dissertation)

学位論文題目

(Dissertation Title)

鋼製帯状補強土壁用小型引抜き試験機の開発および摩擦特性評価の研究

(Development of a Small Pull-out Test Apparatus for Steel Strips-reinforced Soil Wall and Research on Evaluation of Friction Characteristics)

氏名(Name)

佐原 邦朋

鋼製帯状補強材を用いる補強土壁工法は補強材と盛土材料の摩擦力を構造原理としているため、その摩擦特性の把握が重要である。しかし、現状は盛土材料の使用可否を細粒分含有率で判断する間接的な方法が用いられているため、現場ごとに異なる盛土材料の摩擦特性は評価されていない。すなわち、細粒分含有率の規定値を満足する材料は使用可能であるが、規定値からわずかでも外れると使用できないことになり、使用される盛土材料の適用範囲が狭められてきた面がある。この方法が用いられた理由の一つとして、補強材と盛土材料の摩擦特性を直接的に確認する容易な方法が無かったことがあげられる。現行の方法は、材料規定と安全側の判断基準によって一定の品質を保つことを可能とするものであり、補強土壁工法の信頼性を確保するために導入当初から活用されてきた。しかし、この方法によると一定範囲の材料は全て同一の評価となるために、実際には盛土材料がどの程度の摩擦特性を有しているかの判断はなされず、盛土材料の良否によって異なる構造物の性能を評価できていなかった。

一方、近年では構造物の重要度に応じた性能を確保するために、構造物の性能を評価する設計が求められてきている。さらに、自然由来の良質な盛土材料の不足や環境面への配慮、建設コストの低減のために建設発生土や再生土質材料の有効利用もまた重要な課題になっている。そのような背景から、細粒分含有率で判断する間接的な判定方法以外に、使用する盛土材料の摩擦特性を直接的かつ個別に評価・判定できる方法が求められている。そこで、現場に持ち込んで、その場で盛土材料の摩擦特性の評価に使用可能な小型の簡易型引抜き試験機(以下、小型試験機と略記)を開発し、その試験方法ならびに摩擦特性を評価・検討した。また、現場引抜き試験との比較によって、得られる結果の妥当性を検証した。本論文では、開発した小型試験機の土槽サイズ、締固めエネルギー、引抜き速度などの影響を調査し、試験方法の妥当性を検証した。さらに、現場ごとに違う盛土材料の摩擦特性を施工前に評価することで、要求される品質を確保する活用方法を提案した。

本研究で得られた成果は以下の通りである。

- 1) 小型試験機はサイズの影響に対して、適切な補強材幅と試験方法によって現場で使用する盛土材料の摩擦特性評価に活用できることが分かった。
- 2) 小型試験機の試験体を作製する標準エネルギーを設定することで、土質に応じた締固め度と引抜き特性が得られることが分かった。これにより、土質の違いによる摩擦特性の評価と迅速な仕様可否の判断が可能となる。
- 3) 引抜き速度と見かけの摩擦係数との相関はみられなかった。これにより、引抜き速度をこれまでの室内引抜き試験速度(1mm/min)よりも速い4.5mm/minで行うことで効率的な試験が可能となる。
- 4) 小型試験機において計測される摩擦係数の上限値、引抜きを止めた後の残留値および除荷による残

(和文 2,000 字程度 / 英文 800 語程度)

(about 800 words)

様式7号（第12条，第31条関係）

（様式7号）（Format No.7）日本語版

留値を定義し，引抜きを止めた後の残留値と上載荷重を除荷して得られる残留値との相関があることが分かった．これにより，1回の試験で複数の摩擦係数を得ることができる．

- 5) 小型試験機は小型サイズのため，最大粒径を9.5mm以下に調整する必要があるが，現場引抜き試験の結果との相関を調べることで，最大粒径の違いによる補正は必要ない傾向がみられた．
- 6) 細粒分の基準によってB材料と評価されても，小型試験機を用いて摩擦特性を直接評価すればA材料に再評価される土試料があった．このように，摩擦力を直接計測・評価することで，細粒分含有率による評価とは違った判定がなされうる．
- 7) これまでの細粒分含有率による盛土材使用可否の判定フローに対し，小型試験機による摩擦特性試験を行うことによって可能となる判定フローの提案を示した．

以上

(様式 9 号)

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏 名	佐原 邦朋
審 査 委 員	主 査：鈴木 素之 教授
	副 査：進士 正人 教授
	副 査：中田 幸男 教授
	副 査：吉本 憲正 准教授
	副 査：森 啓年 准教授
論 文 題 目	鋼製帯状補強土壁用小型引抜き試験機の開発および摩擦特性評価の研究 (Development of a Small Pull-out Test Apparatus for Steel Strips-reinforced Soil Wall and Research on Evaluation of Friction Characteristics)
【論文審査の結果及び最終試験の結果】 鋼製帯状補強材を用いる補強土壁工法は補強材と盛土材の間の摩擦力を構造原理としているため、内部摩擦角の高い地盤材料が盛土材に使用される。しかし、現状では盛土材の使用可否は細粒分含有率で判定する間接的な方法が採用されており、地盤材料の摩擦特性を直接的かつ個別に評価する方法は採用されていない。このことは、たとえ内部摩擦角が高い地盤材料であっても、その細粒分含有率が規定値より僅かでも高いと盛土材に使用できないことになり、盛土材の適用範囲が狭められてきた面がある。近年、自然由来の良質な砂礫の不足、環境面への配慮や建設コストの縮減のために建設発生土等の有効利用が重要な課題になっている。そのような背景から、使用する盛土材の摩擦特性を直接的かつ個別に評価・判定する方法が求められている。 そこで、申請者は建設現場に持ち込んで、その場で盛土材の摩擦特性の評価に使用できる小型の簡易な土中引抜き試験機（以下、小型試験機と略記）を考案し、試験方法を確立するために異なる複数の試料土を用いて引抜き挙動、摩擦特性および試験条件の影響度合いを解明した。また、現場引抜き試験との比較によって、得られる結果の妥当性を検証した。さらに、小型試験機のような摩擦特性試験を導入した盛土材の新しい選定フローを提示した。本学位論文では、これらの成果を以下の 7 章にまとめている。 第 1 章では、本研究の背景と目的、本論文の構成を述べている。 第 2 章では、鋼製帯状補強土壁に使用する盛土材の選定および評価の現状と課題を整理し、本研究の新規性および有用性を示している。 第 3 章では、小型試験機の原理・構造、試験システムの構成、試験方法、手順および結果の整理法を述べている。 第 4 章では、小型試験機による物理的性質が異なる試料土の引抜き挙動、摩擦特性および試験条件の影響度合いが示された。また、引抜き試験で計測される摩擦係数の上限値、引抜きを停止	

した時点の残留値とそれに引き続く上載荷重の減少過程における残留値をそれぞれ定義し、両残留値に相関があることを示した。この他、小型試験機は既設引抜き試験機と比較して小さな土槽サイズであるため、試料土の粒度の影響も明らかにした。さらに、標準的な締固めエネルギーで造成した供試体の締固め度に応じた摩擦特性を評価することで、盛土材の使用可否の判定が可能となることを示した。

第 5 章では、現場引抜き試験結果との比較により小型試験機の結果の妥当性を検証するとともに、礫などの大粒径を含む試料土に対する試験の適用限界を明らかにした。また、2016 年熊本地震で被災した補強土壁の安定性調査に活用した事例を示した。

第 6 章では、小型試験機を導入した摩擦特性評価によって使用可能と再判定される盛土材を例示するとともに、盛土材の使用可否を判定する新しい設計フローを示した。

第 7 章では、各章の結論をとりまとめ、本研究の総括を行った。また、今後の課題を提起した。

公聴会における主な質問事項は、1) 小型試験機の活用が想定される状況、2) 引抜き停止後に摩擦係数が低下するメカニズム、3) 除荷過程の摩擦特性カーブの評価、4) 熊本地震での被災壁の盛土材の現場締固め度、5) 補強材周辺における異方応力状態の影響、6) 補強材の腐食による長期的耐久性などに関するものであり、いずれの質問に対しても申請者からの確かつ十分な答弁がなされた。

以上より、本研究は独創性、信頼性、新規性、実用性ともに優れ、博士（工学）の論文に十分値するものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する応答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は以下の通りである（関連論文：計 3 編）。

- 1) 佐原邦朋, 鈴木素之: 現場使用を想定した小型簡易引抜き試験機の開発および特性評価, 地盤と建設, Vol.35, No.1, pp.17-26, 2017.
- 2) Sahara, K., Suetsugu, D., Fukuda, N., Yoshimura, T., Sato, H. and Hirae, F. : The effect of fracture zones on a failed reinforced soil wall induced by severe ground motions during the 2016 Kumamoto Earthquake, Proc. of the 16th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Taipei, Taiwan, P2-006, 2019.
- 3) 佐原邦朋, 鈴木素之, 藤田義成: 現場使用を想定した鋼製帯状補強土壁用小型引抜き試験機による摩擦特性評価, 土木学会論文集 C (地圏工学), Vol.76, No.1, pp.12-25, 2020.