

学 位 論 文 要 旨

(Summary of the Doctoral Dissertation)

学位論文題目
(Dissertation Title)

盛土における鉄筋挿入工の補強効果と周面摩擦抵抗値の評価に関する研究

氏 名(Name)

川波 敏博

【要旨】

「適切な施工管理のもとで造られた盛土は時間の経過とともに締固め強度が増加し将来的には地山と同等になる」と言われていた時代があった。しかし、造成から30~40年が経過した既設盛土や被災盛土でN値を求めると、粘性土系材料の盛土で $N=0\sim 2$ と極端に低いものや、砂質土系材料による盛土では $N=10$ 未満と締まりの緩いものが多い。また、頻繁に発生している強震度の地震や集中豪雨によって盛土が被災する可能性が高くなっている。このような現況を踏まえた盛土の予防保全対策や被災盛土の復旧対策として、鉄筋挿入工が採用され始めている。採用に当たっては、切土指針に従って設計・施工を行っているのが現状であるが、切土と盛土では土質状態は大きく異なるため、鉄筋の打設条件や周面摩擦抵抗値の考え方等、課題となる項目は多い。

本研究は、「盛土で鉄筋挿入工の打設効果が得られるのか」、「盛土での周面摩擦抵抗値はどれくらいを見込めるのか」、「切土指針を盛土に利用できるのか」というテーマを設定し、室内での模型実験や盛土地盤での引抜き実験、さらに、実験から得られた成果と実施工との比較評価を行った。これにより、盛土に適用する鉄筋挿入工の規模算出において、切土指針を利用する不安要素の解決に取り組んだものである。

以下、本研究の概要を各章別に示す。

【第1章 序論】

本章では、盛土に鉄筋挿入工を適用することの背景や課題について、近年の地震や降雨の現状の整理、予防保全対策として採用されている高速道路盛土の現状、対策工設計を行う上で利用している切土補強土工指針についてまとめた。また、本研究の流れを明確にするために、論文の構成と概要を示した。

【第2章 被災盛土復旧で得られた鉄筋挿入工の補強効果】

本章は、被災した盛土のり面の応急復旧に鉄筋挿入工を適用し、その後、記録的な豪雨を経験したことで補強効果が確認できた事例を示し、切土指針の盛土への適用性を評価・検討するものである。

切土指針に従って算出した鉄筋挿入工は、含水量が多く緩い砂質土からなる盛土においても十分な効果を発揮することがわかり、切土指針を盛土に利用できることや盛土における設計方法の妥当性が確認できた。また、鉄筋1本が受け持つ補強範囲として1.5mは期待できること有力な情報を得た。

【第3章 模型盛土における補強材打設条件の違いによる補強効果の検証】

本章は、盛土に適した鉄筋規模（鉄筋長，配置間隔，打設角度）の算出を課題として、室内に盛土条件を反映した模型土槽を作製し、これに水平慣性力や水平地震動を与えることで盛土のり面にすべり崩壊を発生させ、そこに打設した補強材による補強効果の把握を行ったものである。

本実験で、補強材の打設角度はのり面に対して垂直が最も補強効果が高いことや、すべり面深度以上の補強材長さが必要なこと、補強材密度は0.4本/m²以上が必要であることがわかった。また、PIV画像解析や一面せん断試験においても補強効果が確認できたことを示した。

【第4章 盛土地盤における鉄筋挿入工の周面摩擦抵抗値の評価】

本章は、切土指針に示された周面摩擦抵抗値の盛土への利用の評価を課題として、盛土地盤に試験体を作製して引抜き試験や定着体の掘起し観察を行い、各種地盤強度との比較評価を行ったものである。

本実験を通して、N値と周面摩擦抵抗値（ τ 値）との関係式を求めることができ、盛土においても鉄筋挿入工の効果が得られることを示した。

【第5章 実施工で得られたN値・ τ 値による実験値（関係式）の検証】

本章は、実施工において実施されている引抜き試験で得られた τ 値と、第4章の引抜き実験から得たN値と τ 値の関係式とを比較することで、関係式の信頼性と実務での採用可否についての検証を行ったものである。

実施工で得られた周面摩擦抵抗値は、実験で得た関係式と同様の傾向を示していることや、切土指針にある推定 τ 値を上回っていることから、鉄筋挿入工の盛土での適用が可能であることを示した。

【第6章 結論】

本章では、本研究で得られた成果を要約して総括し、盛土で鉄筋挿入工を採用する場合の設計上の注意点や施工上の留意点、及び今後の展望について示した。

(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	川波 敏博
審査委員	主査：中田 幸男
	副査：進士 正人
	副査：鈴木 素之
	副査：吉本 憲正
	副査：森 啓年
論文題目	盛土における鉄筋挿入工の補強効果と周面摩擦抵抗値の評価に関する研究

【論文審査の結果及び最終試験の結果】

造成後30～40年経過した盛土の調査結果から明らかになった安定性低下の事案、豪雨や地震による盛土崩壊事例の増加などから、予防保全対策や被災時復旧対策として、鉄筋挿入工が採用され始めている。この設計は、切土指針に準じて行われているが、盛土における鉄筋の打設条件や周面摩擦抵抗値の考え方等、検討が必要となる課題は多い。そこで、盛土における鉄筋挿入工の打設効果の把握、周面摩擦抵抗値の確認、切土指針の適用性を明らかにすることを目的に、室内での模型実験や盛土地盤での引抜き実験が行われた。

学位論文の内容は以下の通りである。

第1章では、盛土に鉄筋挿入工を適用することの背景や課題について、近年の地震や降雨の現状の整理、予防保全対策として採用されている高速道路盛土の現状、対策工設計を行う上で利用している切土補強土工指針についてまとめた。また、本研究の流れを明確にするために、論文の構成と概要を示した。

第2章では、被災した盛土のり面の応急復旧に鉄筋挿入工を適用し、その後、記録的な豪雨を経験したことで補強効果が確認できた事例を示し、切土指針の盛土への適用性を評価した。切土指針に従って設計された鉄筋挿入工は、含水量が多く緩い砂質土からなる盛土においても十分な効果を発揮することがわかり、切土指針を盛土に利用できることや盛土における設計方法の妥当性が確認できた。また、鉄筋1本が受け持つ補強範囲として1.5mは期待できることの有効な情報を得た。

第3章では、盛土に適した鉄筋規模（鉄筋長、配置間隔、打設角度）を課題として、室内小型模型盛土に対し、水平慣性力や水平地震動を与えることで、すべり崩壊実験を行った。その上で模型盛土に挿入した補強材による補強効果を把握した。その結果、補強材の打設角度はのり面に対して垂直が最も補強効果が高いことや、効果を発揮するには打設本数だけで

(様式9号)

はなく、ある一定以上の補強材長さが必要なこと、補強材密度は0.4本/m²以上が必要であることがわかった。また、PIV画像解析や一面せん断試験において、盛土内部における補強効果を詳細に分析した。

第4章では、切土指針に示された地盤の周面摩擦抵抗値の盛土への利用の評価を課題として、盛土地盤に試験体を作製して引抜き試験や定着体の掘起し観察を行い、各種地盤強度との比較を行った。この結果に基づいて、N値と周面摩擦抵抗値(τ 値)との関係式を求め、盛土における鉄筋挿入による効果を定量的に現すとともに、実用的に適用できる関係式とした。

第5章では、実施工において実施されている引抜き試験で得られた τ 値と、第4章の引抜き実験から得たN値と τ 値の関係式とを比較することで、関係式の信頼性と実務での適用性について検証を行った。実施工で得られた周面摩擦抵抗値は、実験で得た関係式と同様の傾向を示していることや、切土指針にある推定 τ 値を上回っていることから、鉄筋挿入工の盛土での適用の可能性を示した。

第6章では、本研究で得られた成果を要約して総括し、盛土で鉄筋挿入工を採用する場合の設計上の注意点や施工上の留意点、及び今後の展望について示した。

公聴会は、対面での聴講36名、オンラインでの聴講147名の参加があった。公聴会における主な質問内容は、小型模型実験におけるのり面崩壊時の進行過程や、鉄筋挿入時における砂礫質盛土での拡径の制御、豪雨時の水位計測位置と計測結果との関係、N値と推定 τ 値の関係を示す近似線の考え方、密度管理された盛土の経年劣化の状況、鉄筋挿入による補強効果を盛土地盤の内部摩擦角の増加する考え方、などについてであった。いずれも、発表者からの確かな回答がなされた。

以上より本研究は独創性、信頼性、有効性、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下記のとおりである。(関連論文 計3編)

- 1) 川波敏博, 下野宗彦, 村上豊和, 中田幸男: 水平慣性力を受ける模型盛土に対する補強材打設効果の検証, 地盤と建設, Vol. 36, No. 1, pp. 79-87, 2018.
- 2) 川波敏博, 西條健吾, 竹本将, 中田幸男: 鉄筋挿入工の盛土のり面への適用事例, 地盤工学ジャーナル, Vol. 15, No. 3, pp. 665-674, 2020.
- 3) 川波敏博, 下野宗彦, 竹本将, 中田幸男: 盛土地盤における鉄筋挿入工の周面摩擦抵抗値の評価, 地盤工学ジャーナル, Vol. 16, No. 1, 2021. (掲載決定)