

審査の結果の要旨

氏名 荒木 裕行

本論文は「版築による土塀の材料特性と地震時挙動」と題した和文論文である。

地盤材料を層状に突固める版築技術を用いて製作された土塀には、例えば法隆寺や西宮神社に現存する室町・鎌倉時代からの土塀など、歴史的な価値の高いものがある。また、現代においても、環境配慮型の建材としての地盤材料に注目した版築住宅が建設されるようになってきている。しかしながら、わが国の版築塀が過去の地震で被害を受けた事例もあり、その耐震性については未解明な点が多い。

以上の背景のもとで、本研究では、不飽和状態にある版築材料の強度変形特性と版築塀の地震時挙動を、地盤工学的な観点から明らかにすることを目的とした検討を実施している。

第一章では、研究の背景と既往の研究を整理したうえで本研究の目的を設定し、論文全体の構成について説明している。

第二章では、セメントや石灰等の改良剤を用いない伝統的な版築材料と、建設発生土の再利用を想定して石灰改良を実施した地盤材料を対象として、粒度・締固め特性などの物理的性質の計測結果と、締固め後の土粒子構造の微視的観察結果をまとめている。実際の工事例で版築材料に与えられた締固めエネルギーは 2700 kJ/m^3 程度と推定されることと、伝統的な版築材料に添加されるにがり(塩化マグネシウム)は締固め特性に影響を及ぼさないことを明らかにしている。

第三章では、室内で気中養生した供試体の一軸圧縮試験と排気三軸圧縮試験を実施した結果をまとめている。伝統的な版築材料の一軸圧縮強度と初期剛性は含水比との相関性が高く、これらの関係は養生時間の違いや繰返し載荷履歴の影響を受けないが、石灰改良した材料の場合は、養生時間の増加とともに発現するセメンテーションの影響を受けて、これらの関係が変化することを明らかにしている。また、伝統的な版築材料ににがりを添加すると、同じ含水比における強度を増加させる効果に加えて、含水比自体を増加させる効果もあるため、同様の養生条件下では、添加しない材料と同程度の強度となることを見出している。

第四章では、室内気中養生を行った供試体の一軸引張試験と割裂引張試験の結果をまとめている。石膏で不飽和供試体を固定する従来手法で一軸引張試験を実施すると、局所的に含水比が増して引張強度を著しく過小評価することを見出し、エポキシ樹脂を用いて固定する新しい手法を適用している。その結果、一軸引張試験による引張強度は、割裂引張試験結果と比較して同程度か小さな値となり、前者の試験結果が弱部である締固め層境の影響を受けていることを明らかにしている。

第五章では、蒸気圧法を用いた高サクシオン領域での保水性試験と、同じ蒸気圧法でサクシオンを制御した一軸圧縮試験の結果をまとめている。排水・吸水過程での水分特性曲線は異なり、同じサクシオンでも異なる含水比の状態が生じるが、強度特性は変わらないと見られることを見出している。一方で、本研究で用いた一軸供試体は、伝統的な版築材料の場合は制御したサクシオン値との平衡状態が得られるまでに 84~140 日程度を要し、石灰改良した材料の場合は 140 日を経過しても平衡していないことを明らかにしている。

第六章では、前述した各試験結果を総合的に分析し、せん断・引張強度と初期剛性を定式化した結果をまとめている。これらの特性は、伝統的な版築材料の場合はサクシオンの関数として定式化できるが、石灰改良した材料の場合はサクシオンの影響よりも養生時間の影響のほうが支配的であり、後者の関数として定式化できることを明らかにしている。

第七章では、本研究と同じ材料で製作した土塀模型を用いて実施した既往の振動台実験を対象に、有限要素解析を行った結果をまとめている。無補強の模型の場合、いずれの材料においても締固め層境での引張強度と粘着力を 0.2 倍に低減することにより、実験結果を妥当に再現できることを示している。また、竹筋で底部を固定した模型とジオグリッドで内部を補強した模型では、締固め層境で生じる引張破壊領域の進行をこれらの固定・補強材が抑制する効果が発揮され、耐震性が向上することを解析的に明らかにしている。

第八章では、実大規模の土塀の地震時挙動を有限要素解析で評価した結果をまとめている。本研究で定式化した伝統的な版築材料の特性を用いて、外気の相対湿度 78 %rh および 15 %rh との平衡状態を仮定した場合には、それぞれ 200 gal と 340gal 程度の入力加速度において塀下部での破壊が生じることを示している。

第九章では、本研究で得られた成果を結論としてまとめ、今後の課題を整理している。

以上をまとめると、本研究では、版築技術を用いて製作する土塀の材料特性と支配的な影響要因を、系統的な室内土質試験を実施して明らかにし、さらに、これらの特性を利用した解析的検討により、土塀の地震時挙動を評価できることを検証している。このことは地盤工学の進歩への重要な貢献である。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。