

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

学位論文題目	Finite Element (FE) Simulation of Masonry Wall Structures Considering Mechanical Properties of Various Bricks
氏 名	MUHAMMAD RIDWAN

The main component of masonry wall structures in some developing countries are traditional clay brick. The traditional clay bricks are produced locally without following any technical inspection or standard, so the quality of bricks is quite different in regions. These bricks are used for houses and simple buildings, not only in village areas but also in the urban region.

Some developing countries like Indonesia are in a high risk seismic region. Many masonry houses have been damaged by severe earthquakes and the collapsed house have caused many injuries and deaths.

The research presented in this dissertation aims to analytically investigate structural behavior of masonry walls subjected to lateral loading, which are built with bricks various modulus. The study investigated on quality of clay brick on some developing countries and examined the effect of various quality bricks on elastic behavior of masonry structures. In addition, the study performed the FE simulation to examine the load-bearing capacity of the masonry wall subjected to out-of-plane lateral load.

The present dissertation consists of 5 chapters and contents of each chapter are shown below:

Chapter 1 "Introduction" describes the research background and purposes of the study. Main contents of this thesis are shown in this chapter.

Chapter 2 "Literature review" summarizes previous investigations dealing with masonry building structures in some developing country. In particular, this chapter describes previous researches dealing with the numerical simulations of the masonry wall structures.

Chapter 3 "Proposal of formulae for equivalent elasticity of masonry wall" addresses that bricks of low elastic modulus are occasionally employed in some developing countries. The

purpose of this chapter is to quantify the equivalent elastic modulus of masonry structures made with various elasticity bricks. The study performed finite element (FE) simulations adopting the homogenization technique. The numerically estimated equivalent elastic moduli from the FE simulations were verified using previous test data. A new simplified formula for the equivalent modulus of elasticity for the masonry walls was proposed herein.

In Chapter 4 “New method for estimation of out-of-plane strength of masonry walls”, the truss theory which is rarely used to analyze a masonry wall was used and discussed. This chapter proposes the fictitious truss method (FTM) to determine the elastic behavior of masonry walls subjected to lateral loading. The study employs a two-dimensional linear static model for masonry walls. The applicability of the FTM modeling is discussed by comparing to previous results. The result confirms that the FTM is a reliable method of assessing the out-of-plane strength of masonry walls owing to its conceptual accuracy, simplicity, and computational efficiency.

In Chapter 5 “Conclusions”, the main findings and knowledge’s obtained from the numerical investigations are summarized. In addition, this chapter addresses the future research in this research field.

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

(博士後期課程博士用)

山口大学大学院理工学研究科

報告番号	理工博甲 第 741 号	氏名	Muhammad Ridwan
最終試験担当者	主 査 審 査 委 員 審 査 委 員 審 査 委 員 審 査 委 員	吉武 勇 中村 秀明 麻生 稔彦 李 柱国 Md. Azizul Moqsud	
【論文題目】			
Finite Element (FE) Simulation of Masonry Wall Structures Considering Mechanical Properties of Various Bricks (各種レンガの力学特性を考慮した組積壁構造の有限要素解析)			
【論文審査の結果及び最終試験の結果】			
<p>インドネシアのような発展途上国における家屋などの建設材料として伝統的に粘土レンガが使用されている。このようなレンガは、主に壁状組積構造として用いられている。これらのレンガは大規模な工場製造ではなく、小規模な家内制手工業で製造されていることから、その品質管理にあたり適当な規準等もなく、地域ごとに品質が大きく異なるものである。そして、このように製造されたレンガが、地方の家屋だけでなく都市部の住宅にも主要材料として使用されている。</p> <p>ここで、インドネシアのようないくつかの発展途上国は、地震のリスクが高い地域にあることに留意しなければならない。多くのレンガ製の壁状組積構造の住宅は地震によって深刻な損傷を受けており、崩壊した住宅によって多くの人命が失われることがしばしばである。</p> <p>このような背景のもと、Ridwan 氏の研究は、さまざまな弾性率のレンガを用いてつくられた壁状組積構造に着目し、そのような構造が水平荷重を受ける時の挙動を解析的に調べることを目的としている。この研究では、上記のような発展途上国で使用される粘土質レンガの品質を調べ、壁状組積構造の弾性挙動に及ぼすさまざまな品質のレンガの影響を調べている。さらにこの研究では、面外方向の水平荷重を受ける壁構造の耐荷重性能を調べるため有限要素解析を行っている。</p> <p>本論文は全5章で構成されており、各章の主な内容は以下のとおりである。</p> <p>第1章「序論」では、発展途上国における家屋等に用いる粘土レンガ壁状組積構造の現状と課題を明らかにし、この研究の動機と目的について説明するとともに、本論文の主な構成を示している。</p> <p>第2章「既往の研究」では、発展途上国のレンガを使った壁状組積構造について検討した既往の研究をまとめている。この章では、特に壁状組積構造の数値シミュレーションを行った既往の研究を中心にレビューしている。</p> <p>第3章「組積壁構造の等価弾性係数の推定式の提案」では、先ずいくつかの途上国でしばしば低い弾性係数のレンガが使用されていることを示している。この章では、さまざまな弾性係数を有するレンガでつくられた石積構造の等価弾性係数を定量化することを目的としている。この研究では、均質化法を使った有限要素 (FE) シミュレーションを実施し、既往の試験データを用いて、FE シミュレーションに基づき数値的に推定された等価弾性係数を求めている。そして組積壁構造に適用できる等価弾性係数の簡易推定式を提案している。</p>			

第4章「組積壁構造の面外水平耐力の推定法」では、これまで組積構造の解析にはほとんど使用されな
いトラス理論の適用について検討を行っている。この章では、面外方向の水平荷重を受ける組積壁状構造
の弾性挙動を定める仮想トラス法 (FTM) を提案している。この研究では、二次元疑似トラスでモデル化し
た2次元線形静的モデルを採用している。提案する FTM の適用性について、既往の結果と比較しながら
考察している。比較結果より、FTM が解析精度・簡易性および計算効率に優れ、組積壁状構造の面外強度
を評価する信頼できることを確認している。

第5章「結論」では、本研究の数値解析的検討から得られた主な知見等を要約している。さらに、この
研究分野における今後の研究課題について述べている。

公聴会には、学内外から 38 名の聴講者があつた。公聴会での主な質問は、壁状構造に対してせん断で
はなく曲げ破壊を主対象とした理由、面内せん断・面外せん断の影響、均質化モデルにおいてレンガやモ
ルタルの材料特性の考慮、FE 解析における要素数の設定根拠、提案式の精度と適用範囲、などであつた。
いずれの質問に対しても発表者から適切な回答がなされた。

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、公聴会での質疑に関する応答などから、最終試験を合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記の通りである (関連論文 : 計 2 編, 参考論文 : 計 0 編) 。

【主な関連論文】

1. Muhammad Ridwan, Isamu Yoshitake and Ayman Y. Nassif: Proposal of design formulae for equivalent elasticity of masonry structures made with bricks of low modulus, *Advances in Civil Engineering*, pp.1-11, 2017.
2. Muhammad Ridwan, Isamu Yoshitake and Ayman Y. Nassif: Two-dimensional fictitious truss method for estimation of out-of-plane strength of masonry walls, *Construction and Building Materials*, Vol.152, pp.24-38, 2017.