

学 位 論 文 題 名

Cast-in-place wall system with ordinary and recycled rubble mortar for low-cost housing construction in Indonesia, a study in the view of construction management

(リサイクル材料を用いた低コスト住宅のための  
現場打ち壁工法のマネジメント手法に関する研究)

学位論文内容の要旨

Learned from several earthquake occurrences in five recent years; Aceh earthquake and tsunami in 2004, Nias earthquake in May 2005, Yogyakarta earthquake in 2006, Bengkulu earthquake in 2007 and the last relatively big earthquake in Padang in 2009; safe and proper strength dwelling are urgently needed in Indonesia. The huge losses and casualties were majority caused by the collapsed or damages houses, however in most cases improper-strength walls were often blamed as the reason of the collapses or damages. House as one of the people basic needs should be properly constructed. Moreover, along with the increase of the population number, the need of houses also rises. However, people low-income and lack of construction knowledge have caused much diversity to the housing constructions; cost often became the first consideration before the strength. Hence, low-cost housing with proper strength is crucially necessary. This research presents cast-in-place wall (CIP) as an alternative solution for housing problem in Indonesia. Its main aim is to analyse the cost-effectiveness, strength-comparison and benefit cost ratio of the CIP compared to two conventional systems: brick wall and mortar-block wall. Some literatures related to housing construction were reviewed. Next, two pilot projects were established; the first one is related to house reconstruction program of the Yogyakarta earthquake aftermath and the second one constituted the improvement. Concerning the reconstruction program, a combination between partially cast-in-place walls using fix-size formwork (Old-CIP) with recycled mortar of crushed rubble as the wall material was carried out. To distinguish the cost-effectiveness of the rubble recycling system, the relationship between the cost, duration and production of the crusher machine operated in the project was found out. Three methods of rubble handling related to reconstruction schemes; new bricks and re-bricks system (Scheme-I), re-bricks and re-mortar blocks system (Scheme-II), and re-bricks and cast-in-place re-mortar wall system (Scheme-III); were then analysed, compared and discussed. Further, the effect of Old-CIP system combined with ordinary mortar utilization toward the cost was also calculated. A construction of simple healthy house recommended by Indonesia Ministry of Public Work was taken as the simulation. The consequences of applying this system at different total wall area toward its total cost and man power are

analysed and compared to the conventional systems. Although the result has shown that the implementation of Old-CIP combined with either recycled or ordinary mortar has proposed lower cost and manpower compared to brick wall plus plaster (BBP) and mortar-block plus plaster (MBP), however unsmooth joint extension, due to partial moulding, has become its drawback. For that reason, the second pilot project was then established as attempt for improvement. A new cast-in-place mortar wall using adjustable-size formwork was conducted. Comparison on how this technique different from the Old-CIP system, is described. To distinguish its cost feasibility compared to the conventional systems commonly applied, cost analysis for different resources prices and wages in three cities is taken into a simulation. In addition, result of a laboratory test examining the strength of a wall constructed using this system; first crack causing load and maximum working load resistance; is also compared. Next, to identify the cost effectiveness, benefit-cost ratio (BCR) is calculated. The result shows that New-CIP has successfully brought improvement for the CIP system. It does not only promise lower cost and higher BCR value compared to conventional systems, but it is also more environment friendly. Different from conventional systems which require plaster work, New-CIP does not need plaster work as it produce wall surface the same quality as plaster. Eliminating plaster work affect the reduction of material use while abolishing brick use for wall construction can also preserve the environment particularly to the rice field. However, the need to change housing construction practices may become its obstacles for wide implementation.

# 学位論文審査の要旨

主 査	准教授	高 野 伸 栄
副 査	教 授	大 沼 博 志
副 査	教 授	中 辻 隆
副 査	准教授	長谷川 拓 哉

## 学 位 論 文 題 名

### Cast-in-place wall system with ordinary and recycled rubble mortar for low-cost housing construction in Indonesia, a study in the view of construction management

(リサイクル材料を用いた低コスト住宅のための  
現場打ち壁工法のマネジメント手法に関する研究)

インドネシアにおいては 2004 年以降、大地震が頻発しており、多くの死傷者が発生するとともに社会基盤施設及び住宅などに甚大な被害が生じている。これに対し、倒壊家屋の瓦礫の除去に続き、社会基盤施設、住宅等の復旧が進められているが、住宅建設については在来工法が採用され、強度・品質の不安とともに、在来工法の主要部材である煉瓦作成過程における田畑の荒廃等地域環境への悪影響など多くの問題が指摘されている。

本論文の目的はインドネシアにおける住宅再建のための資源リサイクル型、低コスト、高品質の新工法を考案し、その有効性を実証することにある。

本論文は 6 章から構成されている。1 章は序論であり、研究の背景・目的、論文の構成などからなる。2 章はインドネシアにおける地震被害、住宅建設の在来工法、瓦礫材の強度等の既存研究のレビューが行われるとともに、新工法のパイロットプロジェクト、データ収集、強度試験等の研究方法について記述されている。3 章においては本研究において提案されるリサイクル材料を用いた現場打ち壁工法 (Cast-in-Place Wall System) の基本コンセプトとともに、その工法の詳細が述べられ、インドネシア・ジョグジャカルタ地方において実際に建設されたパイロットプロジェクトについて考察がなされている。また、倒壊家屋等の瓦礫をリサイクル活用し、モルタル材料とする農業機械を改良した破碎機の開発経緯及びその作業人工数、燃費等の特性値について、示されている。また、瓦礫リサイクル材の他材料との費用及び作成期間の比較がなされ、その優位性が示されている。さらに、新工法の比較対象となる新材を用いた煉瓦工法 (スキーム I) 及びリサイクル材を用いた煉瓦、コンクリートブロック工法 (スキーム II)、リサイクルを用いた現場壁打ち工法 (スキーム III) が提示され、その諸特性が論述されている。4 章においては現場打ち壁工法の費用及び作業人工数に関し、壁面積との関連において、各工法の優位性が分析され、ケーススタディを対象として煉瓦壁工法、表面仕上げ煉瓦壁工法、コンクリートブロック壁工法、表面仕上げコンクリートブ

ロック壁工法、及び現場打ち壁工法の材料費及び労賃の詳細な比較分析が実施され、本論文で提案するリサイクル材を用いた現場打ち壁工法の優位性が示されている。5章においては現場打ち壁工法をさらに改良した新工法について述べられている。これは現場打ち壁工法の空間設計の制約を解消し、製作型枠の再利用を可能とするものである。この改良された現場打ち壁工法と通常の現場打ち壁工法の費用及び作業人工数について、インドネシア・ジャカルタ、ジョグジャカルタ、セマランの3都市をケーススタディとして、比較を行い、さらに強度に係わる比較分析を行うことにより、その優劣の検証が行われている。6章は本論文の結論をまとめたものである。

得られた結論は以下のように要約される。

本論文においては、大規模地震被害を被った地域における住宅建設工法として、現場打ち壁工法が提案される。本工法は地震被害により、倒壊した住宅等の瓦礫を破砕機により粉碎したモルタルを用いて、建設されるもので、瓦礫の再利用を可能とし、その処理費用を削減しつつ、煉瓦作成過程における田畑の荒廃等地域環境への悪影響などの諸問題を解決するものである。つぎに本工法について、パイロットプロジェクトにより、実際に建設を行った上で、この結果を踏まえ、費用及び作業人工数について、在来煉瓦壁工法、コンクリートブロック工法等と、詳細に比較検証を行い、本工法の優位性が実証されている。さらに、本現場打ち壁工法の空間設計の制約を解消するとともに、製作型枠の再利用を可能とする改良工法が提案され、本工法について費用及び作業人工数について、インドネシア・ジャカルタ、ジョグジャカルタ、セマランの3都市をケーススタディとして、実証的な比較分析を行うとともに、強度に係わる分析を行い、その優位性の検証を行っている。

以上、これを要するに、著者は大規模地震被害を被った地域における住宅建設について、在来工法の問題を解決し、費用、強度の面でも優れた現場打ち壁工法の新手法を提案するとともに、実証的な分析により、その優位性を示したものであり、建設工学、建設マネジメント工学の分野において貢献するところ大なるものがある。よって、著者は北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。