

東南アジア地域のレンガ造住居壁面の繊維補強シート面材による変形抵抗性の改善

DB14237 長崎翼

1. はじめに

現在、東南アジア諸国を初めとする開発途上国では工学的知識の十分でない地域職人や住民自身が建設を行うこともあり、工学的関与が少ないことからノンエンジニアと呼ばれる建築物が多く存在する¹⁾。これらはコンクリートブロック、日干しレンガ、赤レンガ等を用いた構造壁が主である。これらは鉄筋を挿入しない、地域で入手できる安価な材料を用いるため強度が十分ではない等の問題点が要因となり外力に対する抵抗が小さい。地震の度に甚大な被害を被っている開発途上国の中でも人的被害の大部分は建物の倒壊によるものであり、特にノンエンジニア建築による被害が大きい。地震被害軽減に向けてノンエンジニア建築に対しての実践的な耐震工法の研究開発は喫緊の課題である。

これらを踏まえ、本研究では東南アジア諸国の平均的な住宅構造壁の安全性を高める為、三軸型ポリプロピレンメッシュシート(以下、PPシート)を壁面の仕上げモルタルの下に左官モルタルを用いて付着させ、地震発生時のブロックの飛び出しや倒壊の危険性を低減させる工法の開発を行う。

2. 研究概要

2.1 インドネシアのレンガ造住居の現状調査

図1、表1より、今回対象とするインドネシアを含む東南アジア諸国は人口増加に伴い住宅の需要が高まっている点、経済成長に伴いインフラ整備進んでいる点が要因となり年々セメント生産量が上昇しており、今後も成長を続けると予想される²⁾。インドネシアは2015年時点で日本よりセメント生産量が多くなった。また、貧困～中層の一般住居の平均価格は250万前後である。建築基準法の水準が日本と比べ非常に低く、補修費用が高額になると需要がなくなる。そのため低コスト化が求められ、費用対効果の大きい補修工法としなければならない。

インドネシアにおける国家標準は Standard National Indonesia (SNI) で定められており、レンガは SNI 15-0554 1989 にレンガの品質と試験方法、SNI 15-0686 1989 にレンガの詳細が記載されている。品質要項にはサイズと許容誤差、重量、含有率、膨張率、圧縮強度、曲げ強度、吸水率等の記載がある。

2.2 インドネシア住宅のヒアリング調査

表1、図1にインドネシアヒアリング調査内容を示す³⁾。日本と比べ収入が低く、それに比例して住宅の価格も248万と低い。組積造壁は軽量コンクリートブロック、ALC、レンガ等で施工が行われる。しかし、鉄筋の挿入がない、又は縦筋のみが挿入されていたとしても丸鋼、異形棒鋼等の種類と太さが統一されていないという調査結果が出た。総評してモルタルで目地を施工しているのみで強度・耐力を上げる工夫は少なく、左官仕上げにより表面上は住宅としての様相を呈しているが、内部は粗雑な施工をしていることが分かった。これらの規格を踏まえ、現地における補修方法では低コスト且つ施工が容易であることが求められる。

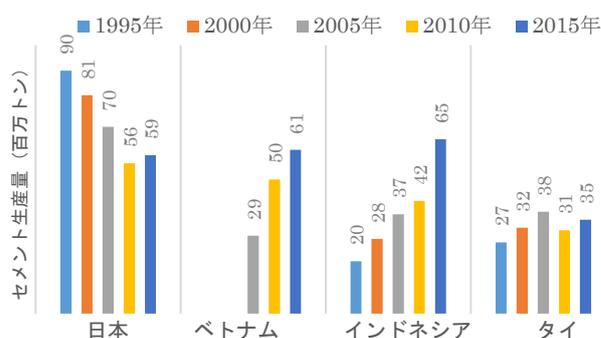


図1 各国のセメント生産量の推移

表1 インドネシア ロンボク島 ヒアリング調査 (2017.6)

項目	内容		
対象住宅	富裕層	中層	貧困層
家賃/月	5.5万以上	2.3万以下	8千以下
収入/月	30万以上	15万以下	4.7万以下
鉄筋の有無	縦筋のみ、無		
積み方	馬目地		
仕上げ	モルタル左官		
使用材料	レンガ、コンクリートブロック等		
項目	内容		
価格	248万円		
住所	lombok timur pancor		
部屋	2DK (風呂なし)		
構造	レンガ積組造 (鉄筋・柱なし)		
現地写真 (インドネシア)			
a) ロンボク島住居		b) ロンボク島住居 基礎	

3 レンガ組積造試験体の曲げせん断試験の実験概要

3.1 使用材料及び実験要因と水準

表 2 に本実験の使用材料を示す。対象住宅ではポリマーセメントモルタルが目地部分に用いられている。又、目地施工において主流である普通ポルトランドセメントの二種を用いて目地部分及び仕上げ部分の施工を行う。

表 3 に実験要因と水準を示す。養生期間は 14 日一定とし、乾燥を防ぐよう養生を行った。モルタル調合は現地の調合を再現するために砂の比率を多めに設定した。貼り方においては強度向上が確認され、費用対効果が高い貼り方を検討するため、なし・片面・両面に PP シートを施工する。

表 4 に試験体概要を示す。これら一種類につき三つの試験体を作成し、データの平均を評価する。

3.2 目地モルタルのモルタルフロー試験

表 3 より、インドネシア現地のモルタル練りはセメントに対して砂の配合が多いため、本実験ではセメントと砂の容積比を 1 : 3.5 とした。176mm, 179mm とフロー値を計測した⁴⁾。

3.3 レンガ組積造試験体の 3 点式界面せん断試験方法

表 6 より本実験では 3 点式界面せん断試験を行う⁵⁾。

表 6-e) より PP シートをレンガ積組試験体界面に覆うよう表面に左官モルタルにて面付着させる。図 3 より、下側両端二箇所を支え、左レンガ右上をアムスラー型試験機により圧縮し、左側変位・ひずみ、右側変位・ひずみを計測し、せん断変位を求める。又、表 6 より界面破断・モルタル凝集破断・母材凝集破断等の破壊種類を分け、評価を行う。

表 2 使用材料

種類	記号	内容
普通レンガ	R	JIS R 1250、寸法(210, 100, 60mm)
補強繊維	PP	三軸型ポリプロピレンシート(pp シート)
セメント	c	普通ポルトランドセメント (JIS R 5210)
	p	ポリマーセメント (再乳化形粉末樹脂 JIS A 1176)
砂	S	大井川 陸砂(密度 2.68g/cm ³ 、吸水率 1.3%)
水	W	水道水

表 3 実験要因と水準

要因	水準	
モルタル調合	c(現場調合モルタル)	水 : セメント : 砂 = 0.7 : 1.0 : 3.5
	p(ポリマーセメントモルタル)	水 : セメント : 砂 = 0.5 : 1.0 : 2.0
砂の粒度	1.2mm 以下	
ビニロンシート幅	水平方向	60mm
	垂直方向	105mm
養生期間	14 日一定	
養生温度	20℃一定	
ビニロンシート張り方法	なし、片面、両面	
目地厚さ	10mm 一定	
表面仕上げ厚さ	3mm 一定	

表 4 レンガ組積試験体の概要

荷重方向	目地	PP シート貼り方	張り幅	記号
水平方向 (H)	c	なし(0)	-	Hc0
		片面(1)	60	Hc1
		両面(2)	60	Hc2
	p	なし(0)	-	Hp0
		片面(1)	60	Hp1
		両面(2)	60	Hp2
垂直方向 (V)	c	なし(0)	-	Vc0
		片面(1)	105	Vc1
		両面(2)	105	Vc2
	p	なし(0)	-	Vp0
		片面(1)	105	Vp1
		両面(2)	105	Vp2

表 5 試験項目及び試験方法

試験項目	試験方法
力学特性	3 点式界面せん断試験
強度評価	曲げ強度 (JIZ Z 8401)
力学特性	破壊モード(界面、モルタル、母材凝集)
	界面破断率

表 6 曲げせん断試験の試験方法と補強繊維

曲げせん断評価式 (N/mm²) = $Fb = 3PL / (2bt^2)$
P: 圧縮荷重 (N) L: 支点間距離 (mm) b: 試験体の幅 (mm)
t: 試験体の厚さ (mm)

a) Hc0 試験体写真

b) H 試験体 (水平) の概要図

c) V 試験体 (垂直)

d) Vc0 試験体

e) ポリプロピレンシート

f) H・V 試験体の概要図

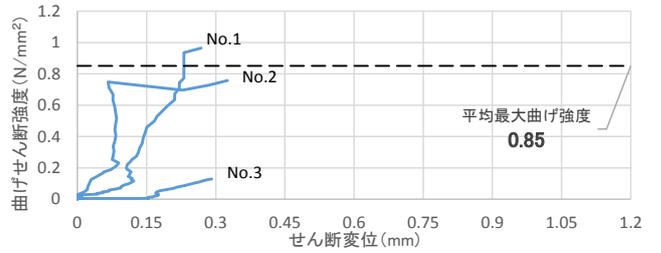
3.4 レンガ組積造の3点式曲げせん断試験の実験結果

3.4.1 Hp 試験体3点式曲げせん断試験結果

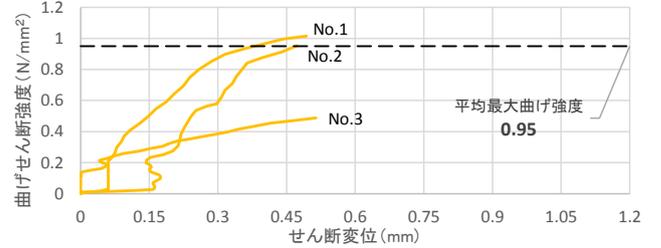
図3にHp各試験体の3点式曲げせん断試験の界面破断・母材凝集破壊時までの結果を示す。Hp0では曲げ強度と比較しせん断変位が小さく、目地部分に変形に対する耐力がない。Hp1では破壊時のせん断変位量が大きくなっていることから耐力が生まれ、補強効果が出ている。Hp2では大幅に破壊時のせん断変位が大きくなった。

図4にHc試験体の3点式曲げせん断試験の界面破断・母材凝集破壊時までの結果を示す。Hc0・Hc1・Hc2のせん断変位、曲げ強度共に上昇しており、現地を再現した砂割合が高いモルタルを用いても一定の補修効果が見られる。

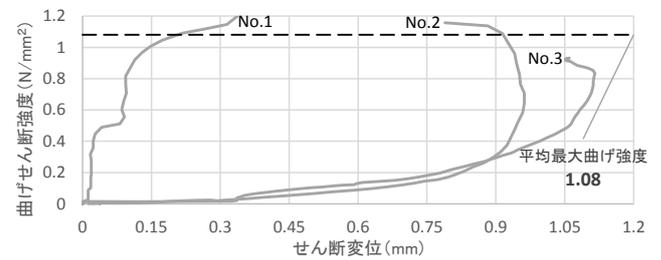
図2にVc試験体の曲げせん断試験の破断後までの結果を示す。Vc0では抵抗なく即座に界面破断が生じたが、PPシート補強することにより曲げ強度が向上し、さらに破断後もPPシートのみで一定の耐力を保っている。PPシートのみ強度は片面貼りで0.3N/mm²、両面貼りで0.45N/mm²となった。両面貼りは破断時の変位の上昇が少ない。



a) Hp0 (水平-ホ^レリマ-セメントモルタル)

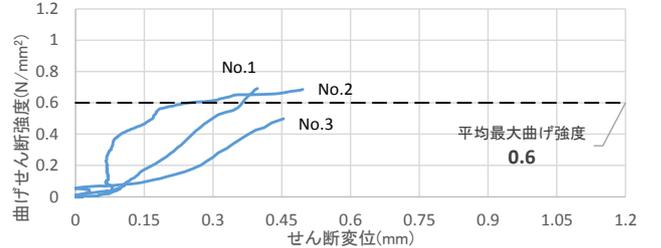


b) Hp1 (水平-ホ^レリマ-セメントモルタル)

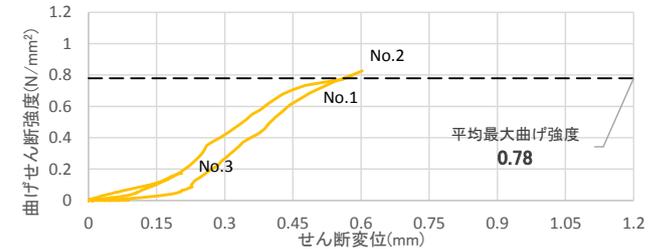


c) Hp2 (水平-ホ^レリマ-セメントモルタル)

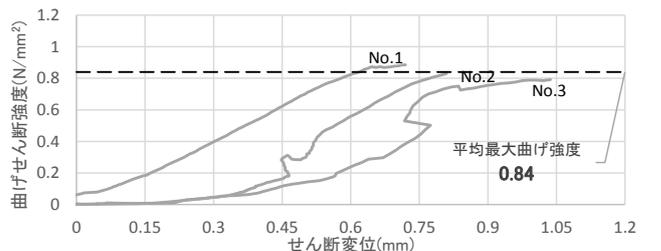
図3 曲げせん断強度-変位関係 (水平荷重 Hp シリーズ)



a) Hc0 (水平-現地調合モルタル)

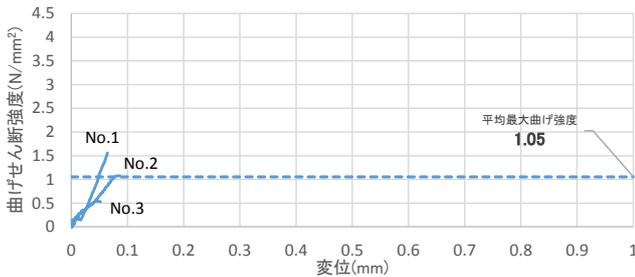


b) Hc1 (水平-現地調合モルタル)

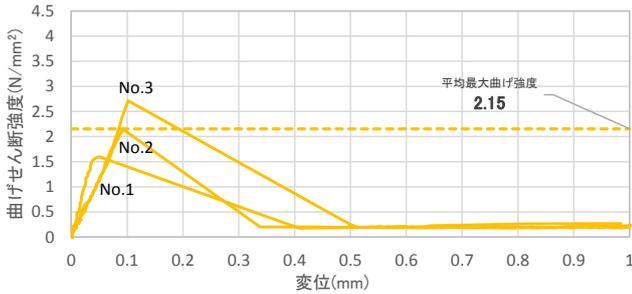


c) Hc2 (水平-現地調合モルタル)

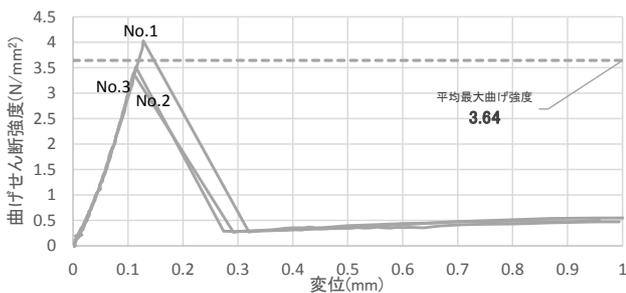
図4 曲げせん断強度-変位関係 (水平荷重 Hc シリーズ)



a) Vc0 (鉛直-現地調合モルタル)



c) Vc1 (鉛直-現地調合モルタル)



b) Vc2 (鉛直-現地調合モルタル)

図2 曲げせん断強度-変位関係 (鉛直荷重 Vc シリーズ)

3.4.2 Hp-Hc 組積試験体のせん断層間変位

図5に破壊時の最大せん断変位量の平均を示す。破壊時の最大せん断変位から求めるレンガ長さ210mmに対する変形率は、Hp0は1/714、Hp1は1/435、Hp2は1/289と、PPシート施工により性能が向上している結果が顕著に現れた。尚、Hp1s(3)、Hp2s(2)については荷重をかけ即座に界面破断が生じたため、施工上の初期不良と判断し平均値から除外した。

3.4.3 Vc 組積試験体の破断後残存強度割合

図6にVc試験体の最大荷重後の残存エネルギー割合を示す。ppシートで面補強をすることにより、界面破断後も一定の強度を保ち、完全破断を防いでいる。片面施工では完全破断までに要するエネルギーの33%を界面破断後のシートのみで補っている。両面施工では41%となった。

3.4.4 Hp, Hc, Vc 組積試験体の破壊モード分析

図7に破壊モード率を示す。Hp0試験体では界面破断率100%だが、Hp1では48%モルタル凝集破壊、Hp2では100%母材凝集破壊が生じ、ppシートにより界面に加わる外力を分散させている。結果、表層補修の方法により破壊モードを変えることができた。母材破壊、目地モルタル凝集破壊、界面破断となるにつれ脆性的な破壊となるが、本工法による補修により界面破断から母材破壊へとむかうように補修効果が発揮された。Vc組積試験では全て界面破断となり、現場モルタルよりの方が強度があるため、Vp試験体においても全て界面破断となった。

4. まとめ

- 1) 企業合同ヒアリング調査により、組積造住居に補修が必要な点、小規模・安価に行うことができる本工法の有効性を確認した。
- 2) PPシート補修により100%の界面破断から48%のモルタル凝集破壊、100%の母材破壊に向かうように補修効果が発揮された。
- 3) 本工法による補修により40%曲げ強度が向上し、破断時の最大層間変位が0.4mm上昇し良好な変形抵抗を持ち得ることを示した。残存強度についても片面平均26%から両面は44%と向上した。

参考文献

- 1) グローバルな視点:海外で活躍する人・展開する技術 コンクリート工学, 2017.5
- 2) USGS「Mineral Commodity Summaries(鉱物商品概要)」, 2017
- 3) 株式会社アーネストワン ロンボク島ヒアリング調査, 2017.6
- 4) JIS A 1150 :コンクリートのスランプフロー試験方法, 2001
- 5) JIS A 1106 :中央点載荷法によるコンクリートの曲げ強度, 1996

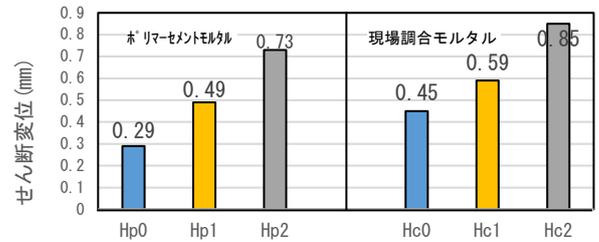


図5 最大層間変形能力 (Hp-Hc シリーズ)

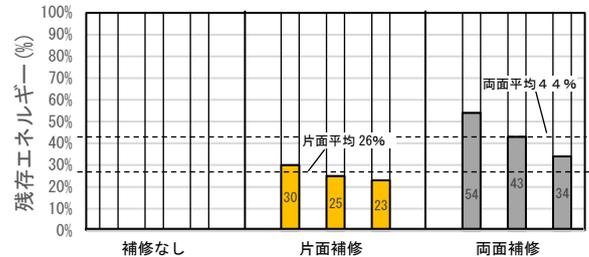


図6 最大荷重後の残存エネルギー割合 (Vc シリーズ)

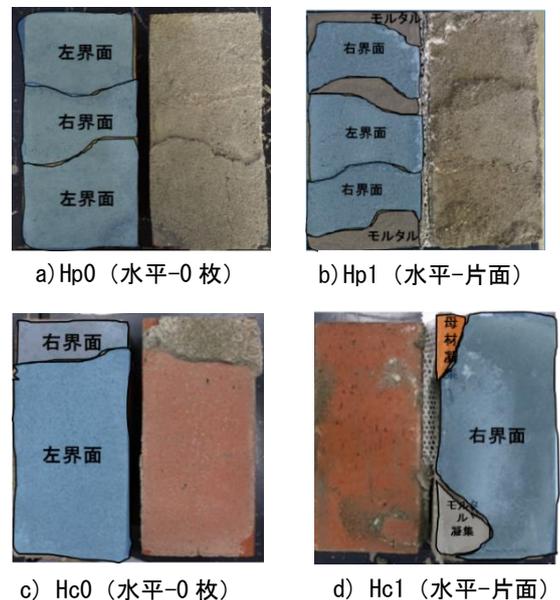


写真3 各組積試験体の破断要素面積分析

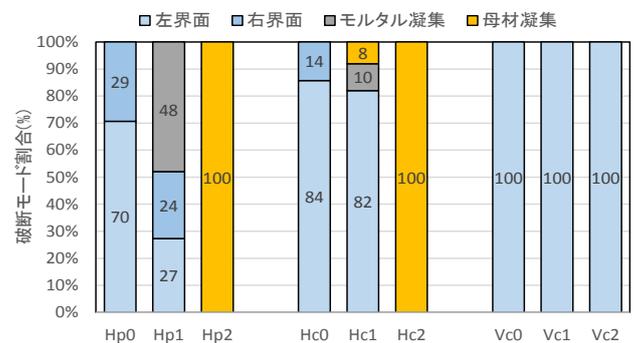


図7 Hp, Hc, Vc 組積試験体の破断モード分析

謝辞

本研究は、平成29年度工学院大学私大研究ブランディング事業および2017年イノベーションジャパンに出展研究であり、実施にあたり株式会社アーネストワン、セーレン株式会社関係各位の調査、議論等で多大な助力を賜った。