

ALC ブロック外壁の繊維補強による変形抵抗性の確保に関する研究

DB14341 横田 将吾

1. はじめに

大きな背景として、外壁材料の ALC (Autoclaved Lightweight Aerated Concrete) は軽量かつ均質であり、セルフビルドにも適している為世界中で普及した。一方で現在、日本や東南アジア諸国において地震などの自然災害による ALC 材料の被害がある。東南アジア地域では、人口増加によりインフラ投資が進み、大量に住宅の普及が行われている。住宅に使用される建材の中でも ALC は生産合理性が高く、主要な建材となっている。また、大地震なども世界的に発生しており、災害による組積造住宅の倒壊が際立っている。この現状を踏まえ、海外においても、積み重ねるのみで無く、予防保全の観点から耐震性を備える必要がある。

日本では、ALC パネルの取付け工法としてロッキング工法が利用されているが、2002 年以前に施工された建物は縦壁挿入筋工法などが採用されていた。この工法は目地部に縦筋を入れ、モルタルを充填させパネル間を固定する工法である。その為、変形追随性が乏しく剥落などが懸念される。そして今もなお日本の各地で利用されており、大掛かりな補修工事も出来ず、点在している¹⁾。よって、ALC 外壁材に対し、外側から簡易的に剥落、倒壊を防ぐ補強方法が必要である。本研究では、三軸型ポリプロピレンメッシュシート (PP: Polypropylene Sheet) をポリマーセメントモルタルを用いて目地部に部分被着させる、ALC ブロック壁の新たな補強方法を研究する。

2. 研究概要

2.1 インドネシアにおける ALC ブロック造住宅の施工計画調査

表 1 に、ALC 組積造住居の施工計画地である、ロンボク島 (インドネシア東部) についてヒアリング調査した結果を記載した。インドネシアの人々は安くて信頼性の高いコンクリート構造物を好む傾向がある。理由として、鋼構造物は鉄の材料費が高額である上に防錆処理などにおける定期的なメンテナンスによる不安があることが第一に挙げられる²⁾。この事からも、鉄筋による高価な補強方法より、PP メッシュシートを用いた補強方法の優位性があると思われる。

2.2 インドネシアの SNI 規格による ALC の基準

インドネシアには SNI (Standar Nasional Indonesia) という、日本の JIS のような国家規格がある。ALC ブロック材も SNI 規格で定められており、SNI 03-2156-1991 に、記載がある。品質要件には、サイズと許容誤差、重量、含有量、膨張、圧縮強度、曲げ強度、そして保温が含まれている。

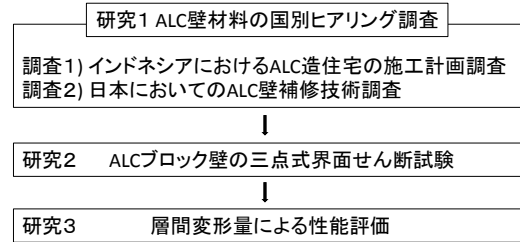


図 1 研究の流れ

表 1 ALC ブロック利用に関するロンボク島ヒアリング調査

項目		内容		
ヒアリング調査日		2017年5月~9月		
①ALCブロック (長さL×厚さT×幅W) (写真1)	製造の プロセス	①主産地	スラバヤ(インドネシア本島東部)	
		②採掘方法	重機	
	規格	600×200×W	600×400×W	600×1000×W
		W=75+25n(n=0-5)	W=(n=0-5)	W=(n=2-5)
	単価	600×200×100size=75円/個 輸送費37円/個		
運搬方法	主産地→船→トラック→人力			
②生活水準, 住居	対象	富裕層	中層	貧困層
	収入	30万円以上	15万円以下	4.7万円以下
	家賃	5.5万円以上	2.3万円以下	8千円以下
③施工プロセス	戸建て	個人のコンストラクターにて職人を雇い施工		
④現地写真(インドネシア現地調査)				
				
a) スラバヤ ALC ブロック工場		b) ロンボク島住居		

表 2 使用材料と内容

使用材料	内容	
種類	寸法 (厚 T × 幅 W × 長 L)	
	(mm)	
母材用 ALC パネル (mm)	100(T) × 600(W) × 3000(L) × 10 枚	
母材用 ALC ブロック (mm)	100(W) × 200(T) × 600(L) × 144 個	
圧縮試験用 ALC コア (mm) ³⁾	圧縮強度	3.34 N/mm ²
	寸法	100 × 100 × 100 × 3 個
下地用現場調合モルタル (M)	圧縮強度	9.74 (現地調合) N/mm ²
	質量比	セメント : 砂 : 水 = 1 : 3.5 : 0.7
下地用、再乳化研粉末樹脂ポリマーセメント	ポルトランドセメント (C)	W/C = 70% で一定
	ポリマーセメント (P)	W/P = 28% で一定
補強用三軸型ポリプロピレン (PP) メッシュシート	坪量	36 (g/m ²)
	引張強度	短手 230 N 長手 110 N (N/50mm)
	ピッチ	5mm 間隔
吸水調整剤 (HF)	HF : 水 = 1 : 4	

3. PP シート補強をした ALC 壁面の補強効果測定実験

3.1 実験計画

3.1.1 PP シートによる ALC 壁面の補強方法

ALC ブロック壁面の目地部に PP メッシュシートをポリマーセメントモルタルで部分被着させ補強する。補強方法を表 3 に示す。既存の部材に対して大きな変形や仕様の変更が発生することなく施工出来るので、対象建築物の持つ基礎力学的な要素を保持しながら性能付加が出来る。加えて補修工事は簡易的に行うことが出来る為、補修個所の多い建造物も容易に補修出来る利点がある。本研究では 100 mm のシートを用いる。表 3④の界面補強は既存建築には利用せず、新築組積住宅における補強方法として提案する。それぞれの補強方法で①のモルタルのみの施工と比較し補強効果を評価する。

3.1.2 試験体の分類

表 3 に明記があるように、本研究では、試験体の種類を A=水平耐力試験体、B=鉛直耐力試験体と定める。また、左官用接着セメント種類は P=ポリマーセメント、M=普通ポルトランドセメントとする。PP シート被着幅を(100mm)、PP シート被着方式を(N, S,B)で表記する。[AP100S]と表記する。

3.1.3 PP シート補強の評価方法

写真 1 のように壁面の一部分を取り出し、アムスラー型圧縮試験機で外力を与え、三点式界面せん断試験(下部端 2 点を支点とし、上部中心 1 点に外力を加える)によりせん断抵抗力を評価する。評価方法として、外力を与えた際の左右のブロックの変位、せん断ひずみ量の差よりせん断変位量 $[(左変位-左ひずみ)-(右変位-右ひずみ)]$ を測定し、その程度の違いより、PP シートの効果を測定する。表 4 に曲げ強度式とせん断ひずみ式を記載する⁴⁾。



a) 補強用 PP メッシュシート



b) PP シート被着時の試験体



c) A タイプ壁面補強試験体



d) B タイプ試験体

写真 1 ALC 組積試験体の作成写真及び実験風景

表 3 実験水準と要因

項目	要因	水準
研究 1	文献調査・ヒアリング先	ALC 材料メーカー・勤務者・海外住宅事業担当者
研究 2 ALC ブロック壁の 三点式界面せん断試験	ALC ブロック試験体種類	水平耐力試験体 (A) 鉛直耐力試験体 (B)
	ビニロン貼付幅 (mm)	100
	ビニロン貼付方式	無し (N) 片面 (S) 両面 (B)
	左官用接着セメント種類	A 普通ポルトランドセメント、 ポリマーセメントモルタル B 普通ポルトランドセメント
	水P (%)	28%
	左官モルタル質量比 (セメント:砂)	1.0:3.5 で一定
研究 3 層間変形量による評価	試験体養生期間	2 週間 で一定
	層間変形角 (せん断変位部材高さ) %	1/200, 1/500,

表 4 実験項目と方法

項目			方法
研究 1	調査	日本	ALC 外壁の 既存補修方法
		東南 アジア 諸国	ALC 材利用方法 施工計画地 生活水準
研究 2	ALC ブロック壁 三点式界面 せん断試験	試験体材作製	
		試験体作製	
	強度 評価	圧縮強度(N/mm ²)	ALC パネルから規定寸法の ALC ブロックを ALC・ 鉄筋鋼及び電動丸鋸を用いて切り出す 2 つの ALC ブロックをモルタルで圧着し、目地部に PP シートを被着させる 圧縮強度鋼筋により、毎秒 0.6±0.4N/mm ² の 速度範囲で荷重する。 $F_b=3PL/(2bt^2)$ の式により評価する P:圧縮荷重 b:試験体の幅 L:支点間距離 t:厚さ
		曲げ強度(N/mm ²)	
		変位 (mm)	変位系を各ブロック 1 箇所ずつ設け、測定する。
		ひずみ(μ)	試験体平面中心に、ひずみゲージを 各ブロックに付着させ、測定する。
研究 3	層間変形量による評価		最大荷重時のせん断変位から 層間変形角を求め評価する

表 5 曲げせん断試験の試験方法

曲げせん断評価式 (N/mm ²) = $F_b=3PL/(2bt^2)$	
	毎秒 0.6±0.4N/mm² の速度 ①荷重点 ②変位計 ③ひずみゲージ P:圧縮荷重 (N) B:試験体の幅 (mm) L:支点間距離 (mm) T:試験体の厚さ (mm)

表 6 ALC 組積壁の補強方法

補強方法	① 補強無し (N)	② B タイプ壁面補強
	③ A タイプ壁面補強	④ 界面補強
②と④は片面張り と両面張りを検討する		
寸法	1 ブロック	600×200×100 mm
	PP シート	幅 100 mm
シートによる抵抗外力	①無し	②水平、面外力 ③鉛直、面外力 ④鉛直、水平力

3.2 実験結果

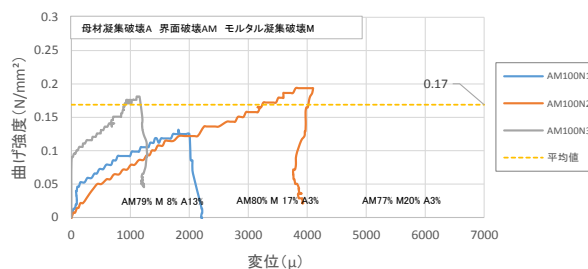
3.2.1 現場調合モルタルのフロー試験

JIS R 5201 に基づきモルタルフロー試験を行った⁵⁾。1 回目の測定は 223.5 mm、2 回目の測定は 220.2 mm のフロー値を計測した。ALC 材料にはセメントと砂の容積比が 1:3.5 程度の貧調合の現場調合普通モルタルが使用されることがあり、また、インドネシアの郊外地域での施工において職人は砂の比率を多くとる事が当たり前であり、本実験でもセメント砂比を 1:3.5 とし、水セメント比を 70% にすることで施工効率を保った。

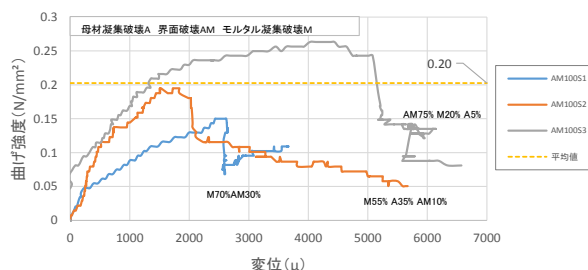
3.2.2 ALC 組積試験体の三点式界面せん断試験結果 (A タイプ)

図 1 から図 4 に試験結果である曲げ強度変位曲線を示す。AM100N, AM100S 試験体は、貧調合の現場調合モルタルを使用した。現場調合モルタルは強度、及び付着力が弱い為、破壊モードとしては、ALC に損壊が及ぶ母材凝集破壊ではなく、モルタル凝集破壊、界面破壊が見られた。構造体の破壊モードとしては母材凝集破壊>モルタル凝集破壊>界面破壊の順で安全である。補強無しの AM100N は界面破壊率が平均 78% であったが、片面補強の AM100S は界面破壊率が 38% と低下しており、代わりにモルタル凝集破壊の値が増加している。この結果から、ポリプロピレンシートによる補強により、界面破壊から、モルタル凝集破壊に性能が向上したと考察出来る。また、最大強度に達した後の曲げ強度変位曲線を比較すると、補強無し試験体は著しく耐力が低下し 0 になるのに対して、補強あり試験体は、PP シートが抵抗するので一定の耐力を保持していることが確認でき、最大強度も上昇している。ポリマーセメントモルタルにおいてはモルタル強度が高く、ほぼすべての試験体で界面破壊であった。

AP100N, AP100S, AP100B の試験体はポリマーセメントモルタルを使用した。図 3 のグラフにおいて、最大強度後のグラフ変化は現場調合モルタルを用いた試験体と同様の変化が見られ、片面補強と、両面補強は一定の耐力を保持したまま抵抗を続ける。最大耐力も補強がしてあるほど大きくなっている。図 5 に層間変形角に対する残存曲げ強度を示した。日本の構造規定上、施行令 82 条の 2 で地震時の層間変形角は 1/200 以下となる性能を計算で確認する事を規定している。層間変形角が 1/500 のグラフでは残存曲げ強度に変化は見られないが、1/200 と変形が大きくなると、補強無し<片面補強<両面補強の順で残存曲げ強度が大きくなっている。AP100N は 1/500 で最大強度に達しているので、層間変形角 1/200 では極端に強度が低下している。一方で片面補強の AP100S と両面補強の AP100B は 1/200 の層間変形角でも残存耐力を残している。組積造は復元力や抵抗力に欠けている為、一度損壊したら、急速に倒壊し、大きな変形に耐えることが出来ない構造である。しかし、この実験結果から、地震などの外力により組積造住宅に大きな変形(1/200)が生じた場合にも耐力が維持出来ていることが証明できた。図 6.7 に断面破壊率を示す。現場調合モルタル仕様は低強度の為、モルタル自身の破壊が起こりやすくシートの補強効果が表れにくい。今後はモルタル性能も考慮する必要がある。

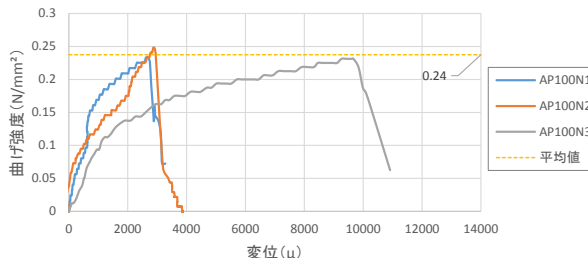


a) 補強無し (AM100N1, 2, 3)

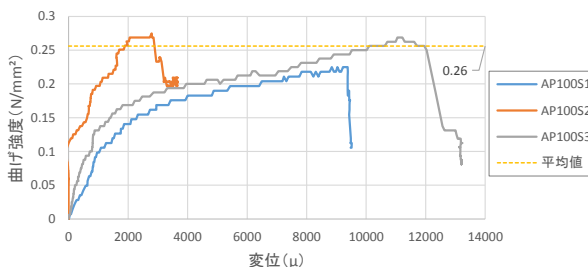


b) 片面補強 (AM100S1, 2, 3)

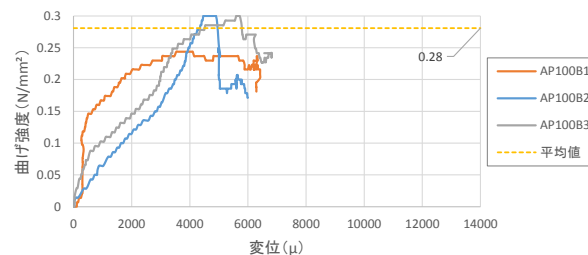
図2 現場調合モルタル-曲げ変位曲線 (A タイプ)



a) 補強無し (AP100N1, 2, 3)



b) 片面補強 (AP100S1, 2, 3)



c) 両面補強 (AP100B1, 2, 3)

図3 ポリマーセメントモルタル-曲げ変位曲線

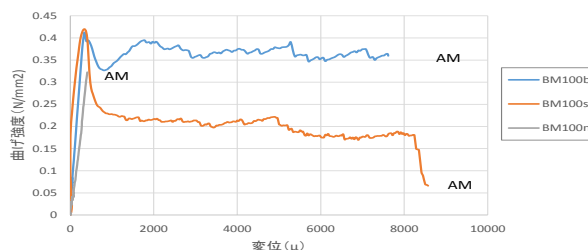


図4 現場調合モルタル-曲げ変位曲線 (B タイプ)

3.2.3 ALC 組積試験体の三点式界面せん断試験結果 (Bタイプ)

図4にBタイプの実験データを示し、BM100b, s. nの現場調査用モルタルで施工した。Bタイプの実験もPPシート両面張り・片面張り・補強無しの場合より大きい残存耐力を示した。

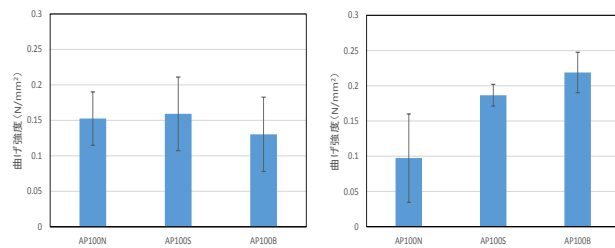
Bタイプは目地部に曲げ応力による負荷がかかっているため最大耐力が低下した。この影響もあり、界面破壊後の残存耐力の数値が最大荷重に近い値で抵抗した。このことから、強度が低い組積造壁面ほど、PPシートによる補強効果が見込まれると推察できる。片面補強試験体についても最大強度の55%の残存耐力を維持した。また、図6.7には断面破壊率を示し比較した。補強なし (BM100n) は42%の母材凝集破壊率であったが、片面補強 (BM100s) は52%の破壊率を示し、性能の向上が見られた。また、片面補強の試験体断面においては、PPシートによる補強が施されている面側に母材凝集破壊が多く、見られ、このことからPPシート補強が有効であり、性能が向上していることが分かる。実壁面は曲げによる母材破壊が起りにくい為、Bタイプにおいては一番起りやすい界面破壊した試験体のみをまとめ、母材破壊したものは取り除いた。

4. まとめ

- 2016年5月に実施した企業合同ヒアリング調査により、本研究のPPシート補強が現地の生活水準に適した補修工法であることが、現地の施工技術レベルや収入などから分かった。また、ALC材料の利用価値も確認できた。
- 現場調査用モルタルを用いた水平耐力試験体 (Aタイプ) の実験において、補強無しは最大荷重到達後脆性的な破壊で耐力が0になっている。一方で片面補強は最大荷重後、PPシートが抵抗しているため一定の耐力を保持している事が確認できる。補強効果により最大平均耐力も13.5KNから16.2KNまで上昇し、破壊後の平均残存耐力も0KNから約8KN (最大荷重の49.3%) を保持している。
- ポリマーセメントモルタルを用いた水平耐力試験体 (Aタイプ) の実験。PPシートが抵抗し、片面補強は平均で 0.15N/mm^2 、両面補強は平均 0.2N/mm^2 の残存曲げ強度を有している。また最大耐力も同様に向上している。各層間変形時の残存強度評価は、補強無しは1/500で最大強度を示したが片面補強と両面補強は1/200時に最大曲げ強度を示した。この実験結果から、組積造住宅に大きな変形が生じた場合にも耐力が維持出来ていることが証明できた。

参考文献

- ALC協会 東北地方太平洋沖地震におけるALC外壁パネルの地震被害調査報告 建築防災 2012.4
- 日本コンクリート工学会 コンクリート工学 Vol.55 No.5 2017.5
- JIS A 5416 : 軽量気泡コンクリートパネル・ALCの圧縮強度 1997
- JIS A 1106 : 中央点荷重法によるコンクリートの曲げ強度試験方法 1999
- JIS A 1150 : コンクリートのスランプフロー試験方法 2001



a) 層間変形角 (1/500)

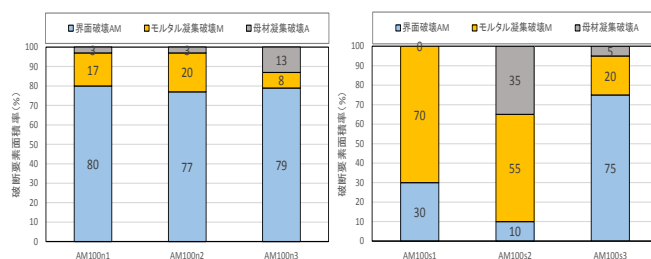
b) 層間変形角 (1/200)

図5 ポリマーモルタル試験体・変形時の残存曲げ強度 (AP100)



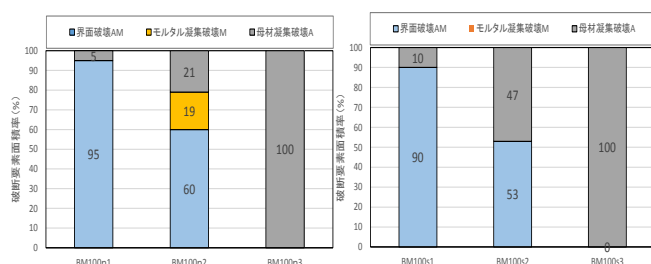
a) モード分類 b) モルタル破壊 c) 界面破壊 d) 母材破壊

図6 現場調査用モルタル・試験体破壊後断面による破壊モード



a) AM100N 水平耐力 補強無

b) AM100S 水平耐力 片面補強



c) BM100N 鉛直耐力 補強無

d) BM100S 鉛直耐力 片面補強

図7 現場調査用モルタル A, B タイプ破壊モード比率

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及び2007年度のイノベーションジャパン出展研究の一部であり、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との議論、調査等で多大な助力を賜った。