

繊維シートを用いた湿式外断熱タイル張り工法の外部影響に対する性能評価

DB16104 川端 大輝

1. はじめに

外断熱工法は躯体を外部熱の変化から守ることができ、環境配慮の観点からも今後より多くの活用が期待される。外断熱工法は、熱容量の大きいコンクリート建築物に適用することで、コンクリートの温度変化を小さくし、温度変化によっておきる結露の発生を抑制し経年劣化から保護することができる。これらの特徴から外断熱工法は、建築物の長寿命化を図ることができ、また気密性が高いことで空調設備の稼働量を減らし、建築物の省エネルギー化を図ることができるなど、環境問題の観点からもより一層の活用が期待できる。しかし、2017 年に起こったロンドン火災で問題になった耐火性、負圧がかかった際の断熱材からのタイル剥離や断熱材自体の強度など解決すべき課題はまだあるといえる。

そこで本研究では湿式外断熱タイル張り工法の開発、性能評価を行っていく。湿式外断熱タイル張り工法は既存の乾式外断熱工法の高価であり意匠性が富んでいる工法と、湿式外断熱の安価で塗装仕上げでデザインの選択肢が限られる工法の間コストであり、その両方の特性を併せ持つ本製品の開発により、安心安全な湿式外断熱タイル張り工法を開発することで外断熱工法をより広く普及することを前提に、当工法の開発を通して、外断熱工法の試験方法、強度基準を検討・定義することで、外断熱工法における各種評価基準を明確にすることである。

2. 研究概要

本湿式外断熱タイル張り工法は、張付けモルタルで躯体に接着された断熱材の上にファイバーメッシュを伏せ込んだベースコートで下地をつくり、その上からタイルを弾性接着剤で張り付ける工法で、剥落防止目的でタイルを張る前の状態でベースコートを貫通して 32mmφ ワッシャー付き M6 コンクリートビスを躯体までである間隔ごとに打ち込む仕様になっている。今回検討する断熱材は Expanded Poly-Styrene(ビーズ法ポリスチレンフォーム、EPS)、EPS-Fire-Resistance (EPS フェノール耐火フォーム、以下 EFR)の 2 種類である。本研究では、既往の研究を踏まえ、表 2、表 3 に示すビスパンチング試験、引張接着性試験、落球衝撃試験、水張り耐風圧性能試験を報告する。

表 1 使用材料と仕様

使用材料	仕様
種類	寸法 (幅 W×長 L×厚 T) (mm)
普通平板	JIS A 5371 プレキャスト無筋コンクリート製品 W300×L300×T60 (mm)
ベースコート	アクリル系樹脂モルタル (「ワット・プライスベースコート」と「普通ポルトランドセメント」を重量比 1 : 1 で混練後、微量の清水で調整)
断熱材 (EPS)	JIS A 9511 ビーズ法ポリスチレンフォーム 3 号 Expanded Poly-Styrene
断熱材 (EFR)	EPS ビーズにフェノール樹脂コーティングし形成したもの Expanded poly-styrene -Fire Resistance 40kg/m³
ファイバーメッシュ	ガラス繊維メッシュシート メッシュ間隔 3.5mm(#5)
コンクリートビス	φ6×90 (mm) + 32φ のワッシャーを用いる
弾性接着剤	変成シリコーン樹脂系弾性接着剤 2kg
タイルシート	JIS A 5209 磁器質タイル 50mm 二丁セラミックタイル W300×L300

表 2 実験要因と水準

項目	要因	水準
実験 1	ビスパンチング試験	日本建築仕上学会認定付着試験器 (1t) による各部強度の測定
	凍結融解抵抗性	あり、なし
	熱冷繰り返し	あり、なし
実験 2	引張接着性試験	日本建築仕上学会認定付着試験器 (1t) による各部強度の測定
	凍結融解抵抗性	あり、なし
	熱冷繰り返し	あり、なし
実験 3	鋼球によるタイル剥離抵抗性	あり、なし
実験 4	水張りによる耐風圧性	あり、なし

表 3 研究内容

方法	内容
凍結融解試験	気中凍結気中融解 100 サイクル
熱冷繰り返し試験	熱冷繰り返し 300 サイクル
鋼球による落球衝撃試験	鋼球(275g)でのタイルひび割れ特性
水張りによる模擬耐風圧性試験	負の風荷重を想定した断熱材強度 (N/mm2)

3.コンクリートビスの引張強度への影響

3.1 ビスパンチング試験概要

ビスパンチング試験は何らかの要因で躯体と断熱材の接着が阻害された場合に、面外荷重として卓越する風の負圧荷重により壁面が引き剥がされようとする場合にビスが抵抗してワッシャー周りにパンチングシエアが作用することになる。そこで、断熱材にベースコート/ファイバーメッシュを施工し

た試験体中央に M6 x 75 皿ボルトを貫通させた試験体を作り、このボルトを引張ることパンチング強度を調べることにした。試験体は、熱冷繰返しおよび凍結融解後の試験用に試験体を製作した。表 2 にその試験体の要因と水準と表 4 に基準値を示す。

3.2 凍結融解後の劣化性状に関する結果および考察

凍結融解は寒冷地における湿式外断熱タイル張り工法の使用を想定しており、水蒸気が凝固したときの劣化性状を確認する。図 3 に凍結融解と熱冷繰返し後の試験体のビスパンチング試験の測定結果を示す。EPS では、基準値の安全率 2 倍と比較すると 1150N < 1192N（ビス間隔 500mm）、1150N > 764N（ビス間隔 400mm）となりビス間隔 500mm では基準値を下回る結果になった。EFR では、基準値の安全率 2 倍と比較すると、1153N < 1192N（ビス間隔 500mm）、1153N > 764N（ビス間隔 400mm）となりビス間隔 500mm では基準値を下回る結果になった。今回の試験ではビス間隔 400mm の基準値においては、EPS,EFR とともに基準値を満たす結果となった。

3.3 熱冷繰返し処理後の劣化性状に関する結果および考察

日射と降雨による熱伸縮の影響を考慮し、耐久性の検討を目的とした熱冷繰返し処理後の試験体を用いた。図 3 に試験結果を示す。各断熱材の最大荷重をみると、すべての試験体で基準値を下回った。EFR でもすべての試験体で基準値を下回る結果となった。熱冷繰返し後は標準養生に比べ、EFR は 20%~30%強度が下がっており、EPS では、10%程度強度が低下している。

4.タイルへの引張接着性への影響

4.1 引張接着性試験の概要

帳壁に施工したタイルが剥落しないことを確認するため、引張接着性試験によって「使用する材料の引張強度」と「各材料間の接着力」を確認する。図 4 の各試験体の目地の切断深さによって各部材の接着力を確認する。

4.2 凍結融解後の劣化性状に関する結果および考察

図 6 に試験結果を示す。③④において EPS には劣化の影響が見られないばかりか引張強度の逆転が起こった。凍結融解処理後の方が強い値が出ていることは疑念が残る。原因として挙げられたのが、ベースコートの左官施工者の熟練度や養生期間、断熱材の製造ロットの違いであった。EFR についてはフェノールコーティングが赤黒く変色し引張強度が大きく下がっている。



図 1 ビスパンチング試験方法



図 2 熱冷繰返し方法

表 4 ビスパンチング試験の基準値

項目	内容				
設定条件	建物高さ H	基準風速 V ₀	地表粗度区分	型式	部分
	45 (m)	34 (m/s)	II	閉鎖型	コーナー
平均速度圧 q	q=0.6*ρ*V ₀ ² =0.6*1.5625*34 ² =1,084 (N/m ²)				
ピーク外圧係数	H が 45m 以下の場合、建物端部より 0.1a の範囲で -2.2				
ピーク内圧係数	閉鎖型、ピーク外圧係数が 0 未満の場合 帳壁のピーク内圧係数は 0				
ピーク風圧係数 c _p f	ピーク風力係数 C _p f=(ピーク外圧係数)-(ピーク内圧係数)より C _p f=(-2.2)-0=-2.2				
設計風圧	設計風圧力 W=q×C _p f より				
	W=1,084×(-2.2)=2,384 (N/m ²)				
基準値	ビス間隔を 500(mm)・・・一つのビスが支持する面積は 250,000(mm ²)なので、ビス引抜強度は P ₁ =596(N) 安全率 2 倍をとると P1'=1192(N)				
	ビス間隔を 400(mm)・・・一つのビスが支持する面積は 160,000(mm ²)なので、ビス引抜強度は P ₂ =382(N) 安全率 2 倍をとると P2'=764(N)				

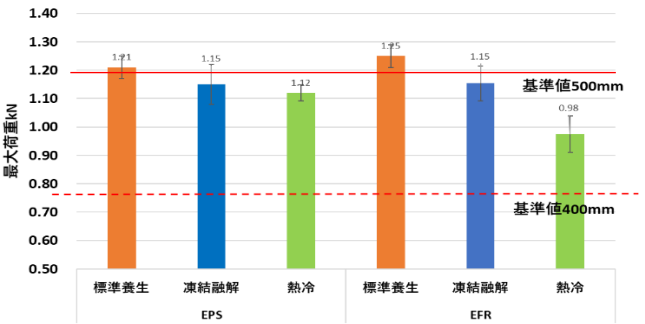


図 3 ビスパンチング試験の平均最大荷重と標準偏差

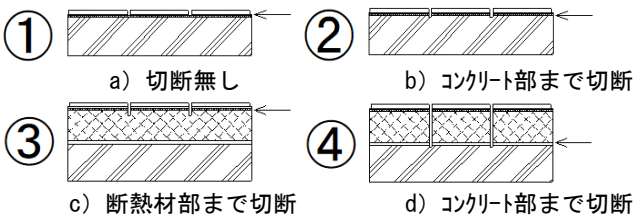


図 4 各試験体の目地の切断深さ



a)EPS の母材破断 b)EFR の母材破断

図 5 熱冷繰返し処理後の試験体の破壊性状

4.3 熱冷繰返し処理後の劣化性状に関する結果および考察

④において EPS には劣化の影響が見られないばかりか引張強度の逆転が起こった。熱冷試験体は破断箇所が断熱材の母材破断である以上、引張試験の結果に影響が小さいことが予想できる。EFR についてはフェノールコーティングが赤黒く変色し（図 5b）、引張強度が大きく下がっている。

5. タイル張り面への落球衝撃による影響

5.1 落球衝撃試験の実験概要

本試験は鋼球を自由落下させタイルの破壊性状を確認するものとする。検討する断熱材は EPS、EFR の 2 種類と断熱材なしの試験体を用意し比較する。鋼球は直径 50mm、質量 245 g のクロムメッキ ソリッド鉄球を使用する。本試験では図 7 のように落球させる。①では、断熱材なしと断熱材ありの違いがあるのかを確認するため、100mm～300mm を 3 回ずつ落球させる。

5.2 落球衝撃試験の結果と考察

試験結果は表 4 と図 8、試験後の試験体は表 4 の a)b)に示す。断熱材なしのすべての試験体で 200mm の時点でひびが確認された。また、EPS、EFR とともにほとんどが 300mm でひびが入った。このことから断熱材が外部からの衝撃に対して緩衝材として働くことが分かった。また、図 8 から EPS と EFR を比較すると、EPS は 300mm でひびが入った試験体は 1 つに対し、EFR は 300mm でひび割れがすべての試験体で確認された。よって、衝撃吸収性が良いのは EPS だと確認できた。

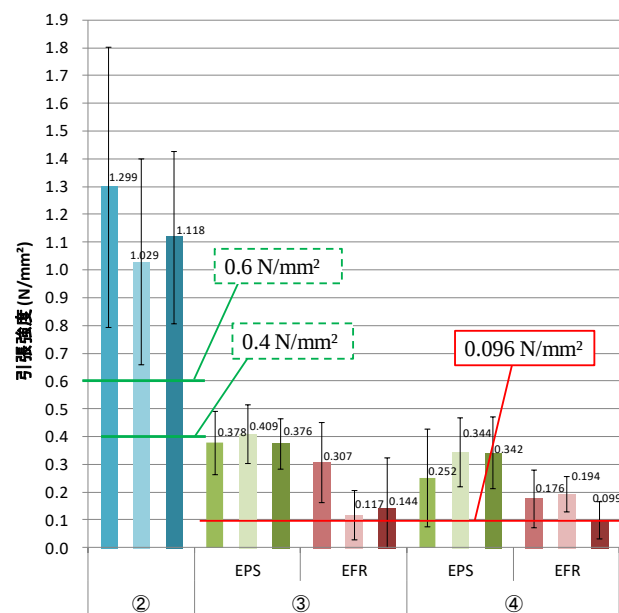


図 6 劣化性状を含めた引張接着性試験結果

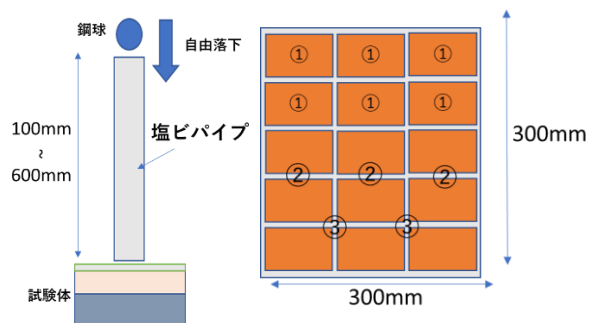
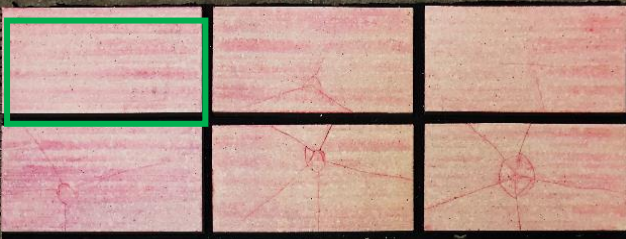


図 7 落球衝撃試験方法と落球位置

表 4 落球位置を変えた衝撃試験結果

落球方法		100 mm	200 mm	300 mm	400 mm	500 mm	600 mm
①	断熱材なし	○	×	×	×	×	×
	EPS	○	○	×	×	×	×
	EFR	○	×	×	×	×	×
②	断熱材なし	○	×	×	①：タイル中央部 ②：2タイル間目地 ③：4タイル間目地 ○：ひび割れなし ×：ひび割れあり		
	EPS	○	○	×			
	EFR	○	○	○			
③	断熱材なし	×	×	×			
	EPS	○	○	○			
	EFR	○	○	○			



a) ①落球衝撃試験後の断熱材なしの試験体



b) ①落球衝撃試験後の EPS の試験体
※緑の枠はひび割れなし

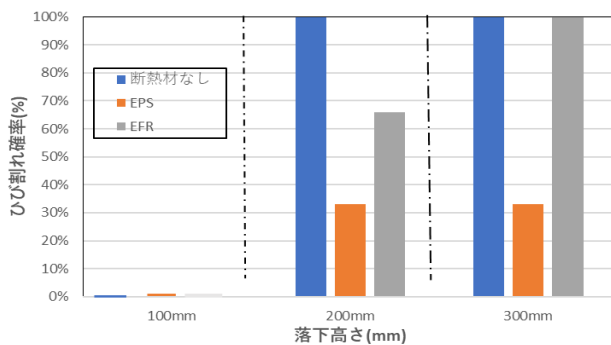


図 8 落球方法①による 1 回打撃ひび割れ発生確率

6. タイル張り面への風荷重による影響

6.1 水張りによる模擬耐風圧性試験の試験体概要

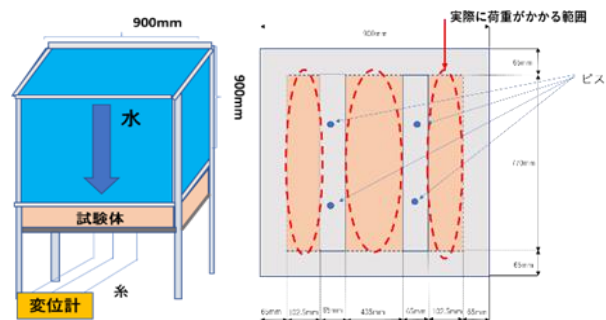
検討する断熱材は EPS,EFR の 2 種類とし、その 1 では 300 角を使用した。今回は 400×800 の断熱材を使用し、800 角の断熱材を作成した。コンクリートビスは 4 本、ビス間隔 500mm でタイルを張付け、試験体を作成する。

6.2 水張りによる模擬耐風圧性試験の試験概要

本試験では、試験体に負の風荷重を想定した等分布荷重を水張りによって加え、破壊に至るまでの耐力、また破壊性状を確認する。アルミ材と鉄骨を使用し、図 9 a)および b)のように試験機を組み立てた。断熱材のコンクリートビスをその試験機の梁部分に取り付け、防水シートを使用し水を試験機に貯めていき荷重を加える。そして、変位計設置し、試験体が破壊されるまでひずみを計測し、そのときの破壊性状を確認する。また、荷重の計測の方法は、水深から算出する。

6.3 水張りによる模擬耐風圧性試験の結果および考察

図 10 の a)b)は耐風圧性試験の変位と荷重のグラフを示す。グラフでは、徐々に試験体に荷重をかけていくと、4KN 加えた時点で破壊されることが多かった。また、今回の壊れ方は図 3d)のようにビスの頭部部分からほぼ 45 度の角度で断熱材にひびが入っており、ビス周りからコーン状破壊された。このことから、断熱材全体で受けた荷重をコンクリートビス及びワッシャー周りで負担し、パンチングシェア作用が働き、外断熱部の躯体面への付着抵抗性を有することが分かった。



a)水張り機概要

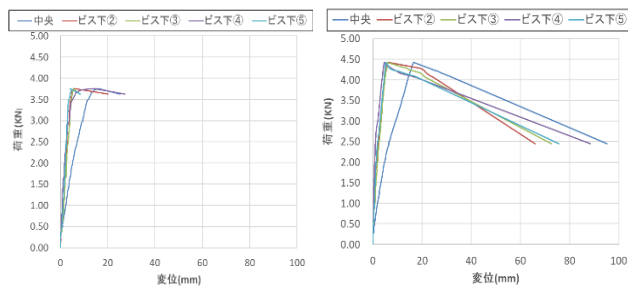
b)荷重負担範囲



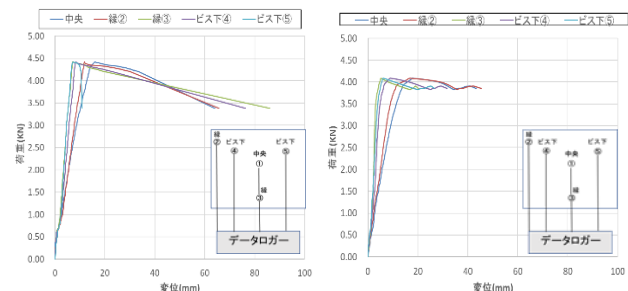
c)荷重によるひずみ測定

d)荷重によるビス引抜状況

図 9 水張りによる模擬耐風圧性試験概要



a)ビス周りひずみ A (左:EPS 右:EFR)



b)部材ひずみ B (左:EPS 右:EFR)

図 10 水張りによる模擬耐風圧性試験の荷重変形曲線

7. まとめ

- 1) ビスパンチング試験結果を基に、建物高さや敷地の周辺環境に合わせ、適切な安全率を確保してビス間隔を決定することが望まれる。
- 2) 落球衝撃試験では、断熱材なしとありを比較すると、断熱材が緩衝材として働くことが確認できた。
- 3) 耐風圧性試験では、面全体に作用する力に対してコンクリートビス及びワッシャー周りで負担し、外断熱部の躯体面への付着強度を有することが確認できた。

参考文献

- 1) 鈴木秋人、相山明大、繊維シートを用いた湿式外断熱タイル張り工法 その 1,2 2019 年度日本建築学会関東支部研究報告集
- 2) INAX DD Tile Wall System 技術資料,2002.3.4

謝辞

本研究を進めるにあたり、株式会社ツツキ、株式会社 Danto Tile、高本コーポレーション、工学院大学・私立大学研究ブランディング事業による協力を得たことを付記し謝意を表す。