# 繊維シートを用いた湿式外断熱タイル張り工法の開発と安全・劣化性状に対する性能評価

DB15173　鈴木秋人

## 1. はじめに

既存の乾式外断熱タイル張りと湿式外断熱の塗装仕上げの中間コストであり、両方の特性を併せ持つ本製品の開発により、より手軽に断熱性とデザイン性に富んだ外断熱工法を建築物に導入できるようになると考える[1)2)3)4)]。外断熱工法は、熱をため込みやす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経年劣化から建築物を保護することができる。また事務所ビルやマンションといった大勢の人が長時間利用するような建築物では、外部からの熱を遮断することで室内の温度変化を小さくし、快適な室内環境を提供することができる。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、後世により良い建築ストックを残していくことができると同時に、空調設備の稼働量を減らすことで、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。また都市部で問題となっているヒートアイランド現象は、日射による建築物の外壁への蓄熱により起こるため、高層ビルへ外断熱工法を適用することでその発生を大きく低減できる。このように一建築物の室内環境から、都市環境の諸問題に至るまで、外断熱工法を適用させることで一つの解決策を講じることができるのではないかと考える。

## 2. 研究概要

本研究の目的は、既存の乾式外断熱タイル張り工法と湿式外断熱工法の中間コストで両方の特性を併せ持つ、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、外断熱工法のより広い普及に寄与することを前提に、当工法の開発を通して、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。

本試験で行うビスパンチング引抜強度試験およびタイル接着性試験では外部からの風荷重から算出した基準値を設定している[2)]。現在までに風荷重でタイルが落下した事例は挙げられないが、風荷重に対する抵抗性が保証されているのはあくまで躯体にタイルをモルタルおよび接着剤で張り付けたものに限られる。本工法においては、弾性接着剤により断熱材にタイルを張り付けているため、必ずしもこれまでの事例を引き合いに出して、同様にタイルが剥落しないとは言い切れないものであると考える。

従って、本研究では直接的要因の前段階として、最低限担保する必要のある風荷重を元にした基準値を設定し、当工法の各部位における抵抗性を実験・検討していく。

**表 1　使用材料と内容**

| 使用材料 | 内容 |
|---|---|
| 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<br>W300×L300×T60（mm） |
| セメント | JIS R 5210 普通ポルトランドセメント |
| 断熱材(EPS)<br>Expanded Poly-Styrene | JIS A 9511 ビーズ法ポリスチレンフォーム<br>W300×L300×T10（mm） |
| 断熱材(EFR)<br>Expanded Poly-Styrene<br>-Fire Resistance | JIS A 9511 EPS にフェノール樹脂を含侵させたもの<br>W300×L300×T10（mm） |
| 断熱材(XPS)<br>Extruded Poly-Styrene | JIS A 9511 押出法ポリスチレンフォーム<br>W300×L300×T10（mm） |
| タイルシート | JIS A 5209　陶磁器質タイル<br>45 角 2 丁セラミックタイル W300×L300 |
| タイル用接着剤 | 変成シリコーン樹脂系弾性接着剤 |
| コンクリートビス | ステンレス製　φ6×90（mm） |
| ファイバーメッシュ | ガラス繊維メッシュシート<br>メッシュ間隔 5mm(#5)，メッシュ間隔 15mm(#15) |

**表 2　要因と水準**

| 項目 | 要因 | 水準 |
|---|---|---|
| 研究 1<br>研究 2 | 断熱材種類 | ビーズ法ポリスチレンフォーム<br>押出法ポリスチレンフォーム<br>EPS フェノール耐火被膜フォーム |
| | ベースコート厚(mm) | 2.0~4.0 |
| | ファイバーメッシュ | ガラス繊維メッシュシート#5, #15 |
| | 接着剤種類 | 弾性接着剤(EB)<br>ポリマーセメントモルタル(PCM) |
| | 凍結融解抵抗性 | あり、なし |
| 研究 3 | 変位追従性 | たわみ許容値 1/300(変位 1mm) |
| | タイル剥離、損傷 | あり、なし |

**表 3　使用材料と内容**

| 項目 | | 実験内容 | 方法 |
|---|---|---|---|
| 研究 1 | 実験 1 | ビスパンチング試験<br>（ベースコート厚） | 付着試験による各部強度(kN)の測定 |
| | 実験 2 | 凍結融解試験 | 気中凍結気中融解 300 サイクル後試験体のビス引張強度(kN)の測定 |
| | 実験 3 | ビスパンチング試験<br>（メッシュ目間隔） | 付着試験による各部強度(kN)の測定 |
| 研究 2 | 実験 1 | 引張接着性試験<br>（タイル接着剤種類） | 付着試験による各部強度(kN)の測定 |
| | 実験 2 | 凍結融解試験 | 気中凍結気中融解 300 サイクル後試験体のビス引張強度の測定 |
| | 実験 3 | 引張接着性試験<br>（メッシュ目間隔） | 付着試験による各部強度(kN)の測定 |
| 研究 3 | 実験 1 | 変位追従性試験<br>（曲げせん断梁試験） | アムスラー式圧縮試験機(200t)による各部強度(kN)の測定 |

備考）付着試験は日本仕上学会認定付着試験器(1t)を使用

**表 4　実験 1、実験 2 の基準値**

| 実験 | 項目 | 内容 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 実験 1<br>実験 2 | 設定条件 | 建物<br>高さ H | 基準<br>風速 Vo | 地表<br>粗度区分 | 型式 | 部分 |
| | | 45(m) | 34(m/s) | Ⅱ | 閉鎖型 | 隅角部 |
| | 平均<br>速度圧 q | $q=0.6\times E\times Vo^2=1.084(N/m^2)$ | | | | |
| | ピーク<br>外圧係数 | H が 45m 以下の場合、建物端部では(−2.2) | | | | |
| | ピーク<br>内圧係数 | 閉鎖型、ピーク外圧係数が 0 未満の場合<br>帳壁のピーク内圧係数は 0 | | | | |
| | ピーク風<br>力係数 $C^f$ | ピーク風力係数 $C^f$=（ピーク外圧係数）−（ピーク内圧係数）より、$C^f=(-2.2)-0=(-2.2)$ | | | | |
| | 設計風圧<br>力 | 設計風圧力 $W=q\times C^f$ より<br>$W=1,084\times(-2.2)=(-2,384)(N/m^2)$ | | | | |
| 実験 1 | 基準値 | ビス間隔を 500(mm)と設定すると、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)<br>ビス間隔を 400(mm)と設定すると、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) | | | | |
| 実験 2 | 基準値 | 引張強度基準値 $P_3=2,384(N/m^2)\fallingdotseq 0.0024(N/mm^2)$<br>計測値を安全率 40 倍(計測値を 1/40)して評価<br>タイル直張りの試験体は、JIS A 5557(外装タイル張り有機系接着剤)、標準養生の基準値 0.6(N/mm2)を採用<br>こちらは計測値を安全率 3 倍(計測値を 1/3)として評価 | | | | |

## 3. ビス引抜試験によるビス強度の測定

### 3. 1　ビス引抜試験の評価の概要

本工法では、風荷重による負圧に対して、コンクリートビス、ベースコートモルタル層、ファイバーメッシュ、断熱材が抵抗力を担保すると想定される。よってまずファイバーメッシュを伏せ込むベースコートモルタルの厚みや、ファイバーメッシュの目粗さ等の各使用材料の仕様をビス引抜試験を通して決定し、引抜強度が基準値を上回るか確認する。標準状態での強度が確認できたのちに、寒冷地での使用を想定して凍結融解試験を行い、温度変化の厳しい環境下で本工法を使用した場合の影響を確認する。

### 3. 2　ベースコートモルタル層のビス引抜強度の結果

図 2 にベースコート厚 2mm と 4mm での各断熱材のビス引抜強度の測定結果を示す。引抜強度は EPS(4mm)でビス間隔 500mm の基準値 596(N/mm²)を下回ったが、ビス間隔 400mm の基準値 382(N/mm²)ではすべての断熱材、すべての厚さで基準値を上回ることが確認された。

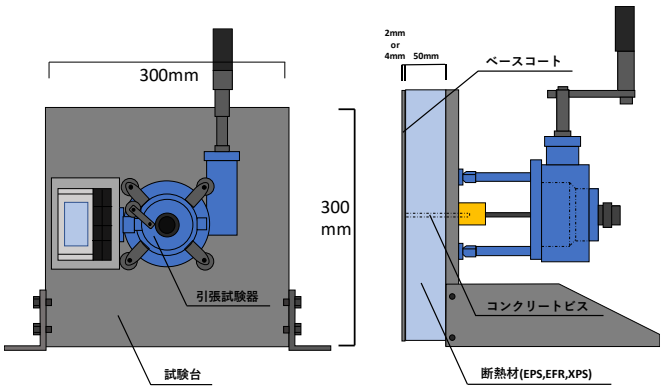
各断熱材のベースコート厚 2mm と 4mm で引抜強度にあまり差が生じていないことから、ビス引抜強度ではベースコートモルタルの厚さは大きな影響を与えないことが確認できる。一方でベースコートが厚くなるほど断熱材の破断までの延性に影響を与えることがわかった。

### 3. 3　凍結融解におけるビス引抜強度の変化と結果

図 3 に凍結融解後のタイル張り試験体およびベースコート試験体のビス引抜強度の測定結果を示す。EPS,EFR は凍結融解後では重量が増加し、標準養生に比べビス引抜強度が 7～8 割程度に減少することが確認された。また各断熱材でタイル張り試験体の方がベースコート試験体より低い強度となることがわかった。これは押出法である XPS は内部に水分が溜まらず、ビース法である EPS と EFR ではビース界面に水分が溜まったことが原因であると考えられる。またタイルを施工したことで断熱材内部の水分が排出されづらくなったことも強度に影響していると考えられる。

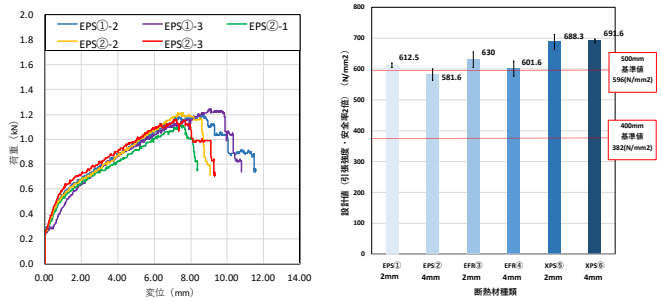
### 3. 4　#5 メッシュと#15 メッシュの強度比較の結果

図 4 に#5 メッシュと#15 メッシュのビス引抜強度の測定結果を示す。EFR では#5,#15 ともにビス間隔 500mm、ビス間隔 400mm の両方で基準値を上回ったが、EPS#5 ではビス間隔 500mm の基準値を下回った。これはビスを打ち込んだ際にワッシャーがファイバーメッシュを断ち切ってしまったことが原因であると考えられる。メッシュに着目すると、EPS,EFR ともに#15 メッシュの方がより大きい値を示したが、その分変位が 1～2mm ほど大きくなってしまうことがわかった。



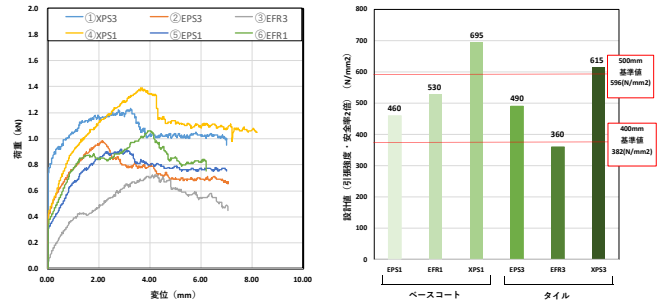

a) 引張試験（正面）　　b) 引張試験（側面）

図 1 ビス引抜試験概要図



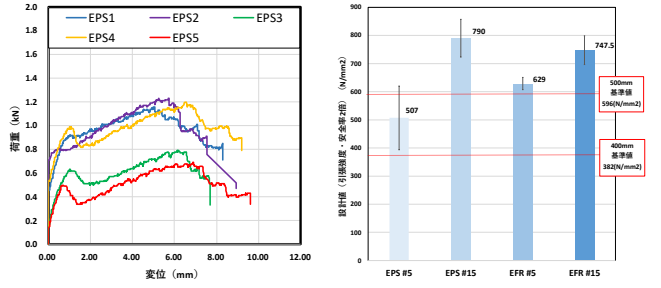

a) 荷重−変形曲線　　b) 引抜強度

図 2　ビス引抜強度試験結果（ベースコート厚 2mm, 4mm 比較）




a) 荷重−変形曲線　　b) 引抜強度

図 3　ビス引抜強度試験結果（気中凍結気中融解後）




a) 荷重−変形曲線　　b) 引抜強度

図 4　ビス引抜強度試験結果（メッシュ種類の比較）

## 4. 引張接着性試験によるタイル接着強度の測定

### 4. 1　ビスパンチング試験の評価の概要

湿式外断熱タイル張り工法の開発にあたり、風荷重による負圧作用時の断熱材ユニット、特に仕上材であるタイルの強度を確保するために引抜接着性強度を確認する。これまでの建築物において風荷重でタイルが落下した事例は挙げられないが、当工法では断熱材を躯体に固定した上に更にタイルを張り付けており、接着剤には弾性接着剤を使用しているため、必ずしも通常のタイル張りの基準が適用できないと考える。従って、本研究においては直接的な剥落要因の試験の前段階として、最低基準である風荷重に対する抵抗力があるのかを検討・実験していく。

### 4. 2　接着剤種類による強度比較試験の結果

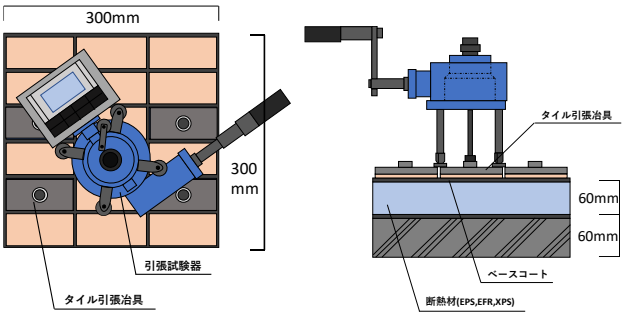
図 7 に接着剤種類による強度比較試験の測定結果を示す。EPS,EFR,XPS すべての断熱材で PCM、弾性接着剤ともにタイル引張強度が所定の基準値を満たすことが確認できた。しかし同時に EFR のフェノール耐火被膜のコーティングの不均一性による強度のばらつきや、XPS の界面破断率の高さが浮き彫りとなる形になった。

### 4. 3　凍結融解による引張接着性の変化と結果

図 8 に凍結融解後の試験体の引張接着性試験の測定結果を示す。凍結融解により断熱材の強度が標準養生に比べ 8 割程度に低下することや EFR のフェノール樹脂コーティングに凍害による劣化性状が生じることがわかった。これらの特徴はビーズ法である EPS, EFR にみられ、押出法である XPS にはみられなかった。これはビスパンチング試験同様、養生に使用したアルミテープによって内部に凝結した水分が溜まったために起こったと推察される。

### 4. 4　#5,#15 メッシュの引張接着性試験の結果

図 9 に#5 メッシュと#15 メッシュの引張接着性試験の測定結果を示す。すべての試験体で基準値を満たすことが確認できた。また#5 メッシュと#15 メッシュとの間で引張強度に大きな差が出ないことが確認できた。しかし、#15 メッシュでは、太い網目が使用されているため、目が詰まることで接着剤との付着率が下がり、本来持っているメッシュの強度を発揮できないことがあることがわかった。




a) 引張試験器（上面）　　b) 引張試験器（側面）

図 6 タイル引張接着性試験概要図

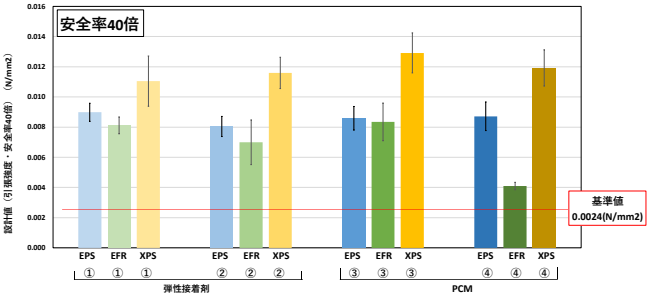



図 7 平均引張接着強度（接着剤 EB, PCM 比較）

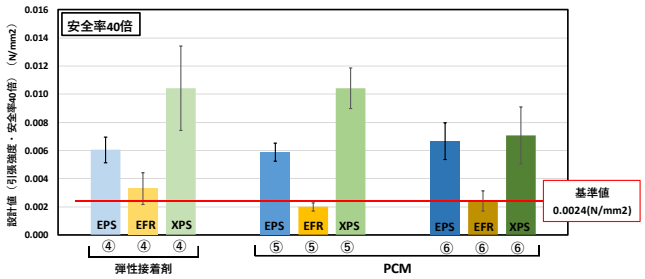



図 8 平均引張接着強度（気中凍結気中融解後）

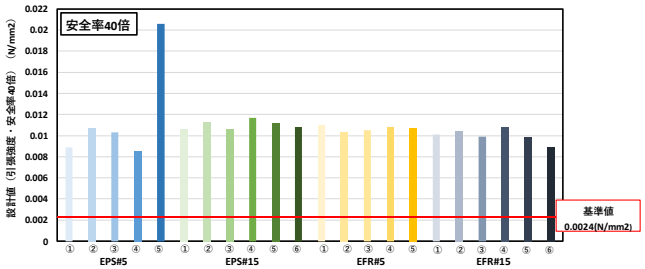
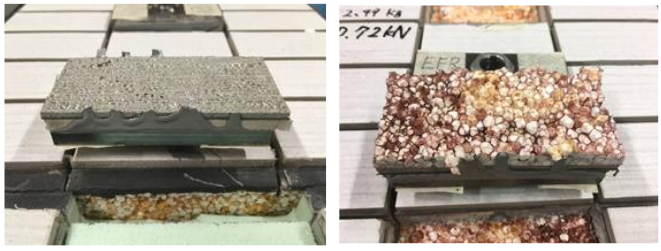
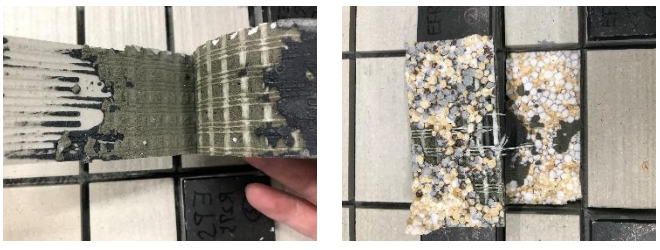



図 9 平均引張接着強度（メッシュ種類の比較）



a) XPS の破断面　　b) EFR の破断面

図 5 凍結融解時の XPS と EFR の破断面



a) 弾性接着剤面での剥離　　b) モルタル界面での剥離

図 10 #15 メッシュの付着性の低下

## 5. 曲げせん断梁試験による変位追従性の評価

### 5. 1 曲げせん断梁試験の評価の概要

外断熱ユニットの躯体変形に対する追従性を確認するため、曲げせん断梁による変位追従性試験を行う。当工法は表 6-1 のようにベースコート層のファイバーメッシュの上から打ち込んだコンクリートビスとポリマーセメントモルタルによって、外断熱ユニットをコンクリート躯体に固定している。この時、躯体側に変形が生じた際に、タイル側に同様の変形力が伝達しないことが望ましい。よって本章では、変位計とひずみゲージを用いて、躯体のたわみとタイル貼付け部たわみの比較、躯体表面とタイル表面のひずみの比較から、外断熱ユニットの変位追従性を確認していく。また梁部材のたわみ許容値である 1/300（本試験ではたわみが 1mm の時点）で断熱材およびタイルに損傷が生じないこと、躯体損傷時にタイル剥離を起こさないことを条件とする。以上のことを確認するためにアムスラー式圧縮試験機を用いて、梁試験体の曲げせん断試験を行う。

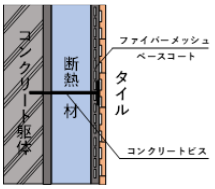
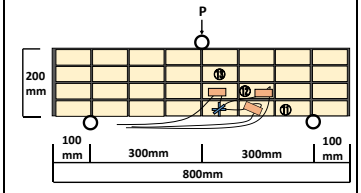
### 5. 2 曲げせん断梁試験の結果と考察

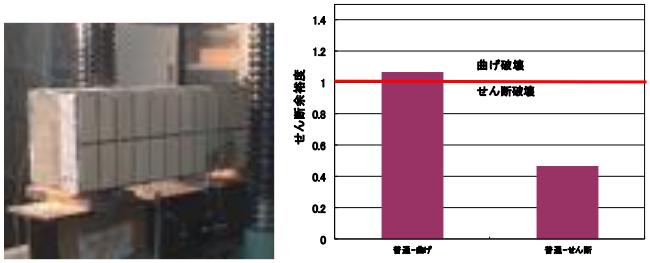
EPS タイル縦張り、EPS タイル横張り、EFR タイル縦張り、EFR タイル横張りの 4 種類の試験体で試験をおこなったところ、躯体の変形に対して十分に断熱材が追従することが確認できた。一方で、タイル表面に伝達される変形力は躯体表面に比較して、1/6～1/8 程度に低減されることがわかった。これは断熱材によって変形力が吸収されたためではないかと推察される。また躯体損傷後のタイルの接着について確認したところ、躯体に直接固定されている断熱材には損傷がみられたものの、タイル表面には剥離などの大きな損傷はみられなかった。これらのことから湿式外断熱タイル張り工法が躯体の変形力に対して一定の抵抗力を有し、躯体の損傷時でもタイルを保護することが確認できた。

## 6. まとめ

1) ビスパンチング試験では標準養生の試験体はビス間隔 400mm で基準値を上回ることがわかった。
2) タイル引張接着では EPS, EFR は母材破壊を起こすが、XPS は界面破断を生じることが分かった。
3) #5 メッシュと#15 メッシュでは外断熱の強度に大きな影響を与えず、むしろメッシュの太さによる付着性の低下が強度に影響を与えることがわかった。
4) 気中凍結融解によりビーズ法の断熱材 (EPS, EFR) が強度低下し、特に EFR では凍害劣化が確認された。
5) 変位追従性試験では、たわみ量から躯体破断時まで断熱材が変形に追随し、剥離しないことがわかった。また躯体が大きく損傷した場合であってもタイルの剥離、浮きが生じないことが確認できた。

表 5 曲げせん断梁の概要

| | 湿式外断熱タイル張り工法 | | | 曲げせん断梁試験体 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| モックアップ |  | | |  | | | |
| No | 断熱材 | 接着剤 | タイル | 養生 | せん断スパン比 | 主筋 D10 間隔 (mm) | あばら筋 φ4.0 間隔 (mm) |
| 1 | EPS | 弾性接着剤 | 縦張り | 標準養生 | 1.5 | 150, 50 | 75 |
| 2 | | | 横張り | | | 150, 50 | 75 |
| 3 | EFR | | 縦張り | | | 150, 50 | 75 |
| 4 | | | 横張り | | | 150, 50 | 75 |




a) 曲げせん断梁　　b) せん断余裕度の算定

図 11 曲げせん断梁の試験概要

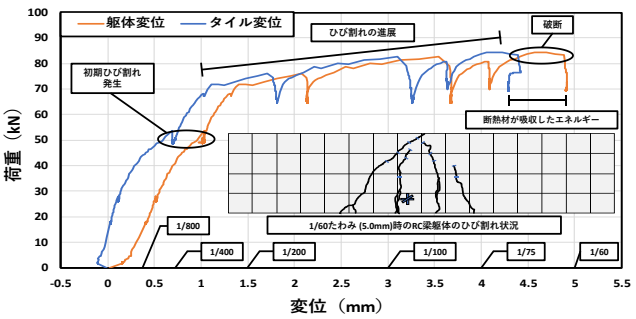



図 12 梁試験体の変形性状と躯体ひび割れの状況

## 参考文献


1) INAX DD Tile Wall System 技術資料,2002,3,4
2) 建設省,有機系接着剤を利用した外装タイル・石張りシステムの開発,建設省官民連帯共同研究報告書,1997
3) 国土交通省大臣官房官庁営繕部監修建設工事管理指針,2016
4) 都田聖悟、山崎尚志ら,炭酸カルシウム系発砲板を使用した外断熱工法に関する研究,日本建築学会大会学術講演梗概集,2016


## 謝辞


本研究を進めるにあたり、株式会社ツヅキ、株式会社 Danto Tile、高本コーポレーションの各位のご助力を賜った。本研究の一部は平成 30 年度工学院大学・私立大学研究ブランディング事業（H28～H32）による。