

# 外壁タイル剥離診断における機械学習評価に向けた標準化仕上げ材料の打診時反発音の周波数特性分析

## FREQUENCY ANALYSIS OF REFLECTED SOUND IN STANDARDIZED MATERIAL BOARDS FOR MACHINE LEARNING EVALUATION OF PEELING OUTER WALL TILES

乙幡祐平  
Yuhei Oppata

Wall tiles have been currently used a lot for the outer walls of high-rise buildings in Japan, but have the problem of falling off. Therefore, we measured the reflected sound of the tiles and analyzed the frequency characteristics to evaluate the peeling. The test specimens used are standardized areas, thicknesses and densities of various materials. We were able to accumulate data for machine learning evaluation.

**Keywords :** Outer Wall Tile, Peeling Deterioration, Sounding Test, Frequency, Impact Response Value, Adhesion Strength  
外壁タイル, 浮き剥離劣化, 打診検査, 周波数特性, 弾性波速度比, 付着強度

### 1. はじめに

タイルは意匠性や耐候性、躯体保護性などが期待されているが、浮きや剥離の問題があるため定期的な診断が義務付けられている<sup>1)</sup>。しかし現況の劣化診断方法である打診法はタイル壁面音を耳で聞き分け判定するため検査員により判定精度にばらつきがある<sup>2)</sup>。そこで本研究では打診音の周波数特性とタイル剥離劣化性状の相関性評価を目的に、実建造物における打診音測定調査と各種浮き剥離劣化を想定した試験体を作製し非破壊・微破壊・破壊による実験を行った<sup>3)4)</sup>。また、機械学習モデル作製に向けた取組み<sup>5)6)</sup>の一環として、ベースとなる周波数特性データを収集した<sup>3)4)</sup>。材質・浮きの有無・面積広さ・厚み・目地拘束度等、仕上げ材料の各パラメータを標準化した試験体を用いて周波数特性分析を行い、非破壊による剥離診断に向けた基礎的知見を得ることを目的とする。

### 2. 研究概要

図1に研究の流れ、表1に試験項目と方法・対象、表2に各試験体の使用材料、表3に研究対象建物の概要を示す。研究1では実建造物における健全部と剥離部の打診音測定・調査、研究2では疑似浮き部を有する試験体を用いて周波数測定試験、衝撃弾性波試験、付着強度試験を行った。研究3では、タイル—モルタル(張付けモルタル+下地モルタル)—コンクリートの3層を各層ごとに分割した一層試験体(研究3-1)、タイルとモルタルを張り合わせた二層試験体(研究3-2)、タイルをモルタルでコンクリートに張付けた三層試験体(研究3-3)の周波数特性を段階的に分析した。

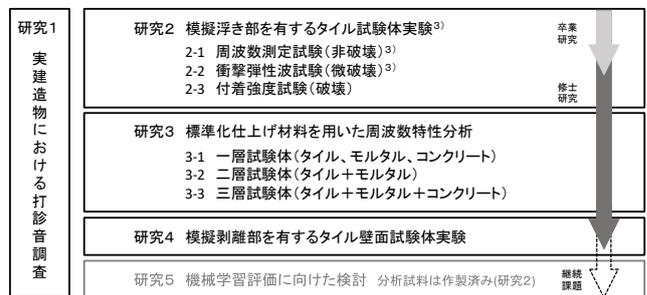


図1 研究の流れ

表1 試験項目と方法・対象 (研究1~4)

| 研究  | 試験項目    | 方法・対象  |
|-----|---------|--|
| 調査  | 文献調査    | 書籍、既往研究  |
| 研究1 | 周波数測定試験 | 対象建築物 工学院大学新宿校舎(表3)  |
|     |         | 単位 周波数 (Hz)、音圧レベル<br>測定回数 測定点を各5回ずつ測定                        |
| 研究2 | 衝撃弾性波試験 | 単位 弾性波速度比 (HLD値)<br>試験体数 試験体種類別に各3個ずつ作製<br>測定回数 測定点を各5回ずつ測定  |
|     | 付着強度試験  | 単位 付着強度 (N/mm)<br>試験体数 試験体種類別に各3個ずつ作製                        |
| 研究3 | 周波数測定試験 | 単位 周波数 (Hz)、音圧レベル<br>試験体数 試験体種類別に各3個ずつ作製<br>測定回数 測定点を各5回ずつ測定 |
|     |         | 備考) 研究4, 5は一部データ取得済み   |

表2 各試験体の使用材料 (研究2、3)

| 研究  | 項目       | 内容            | 水準                             |
|-----|----------|---------------|--------------------------------|
| 研究2 | 仕上材      | 外装用タイル        | JIS A 5209, 50角モザイク            |
|     | 張付材      | ポリマーセメントモルタル  | w/c = 28%                      |
|     | 構造材      | 普通コンクリート      | JIS A 5371 平板、寸法 600×450×55 mm |
|     | 擬似浮き材    | 押出法ポリスチレンフォーム | JIS A 9511                     |
|     | タイル引張用治具 | フローアタッチメント    | 寸法 45×45 mm                    |
| 研究3 | 仕上材      | 外装用タイル        | JIS A 5209                     |
|     |          | 内装用タイル        | JIS A 5209                     |
|     |          | MDF板          | JIS A 5905                     |
|     | 張付材      | ポリマーセメントモルタル  | w/c = 30%                      |
|     | 構造材      | 普通コンクリート      | w/c = 45%, 65%                 |

表3 工学院大学新宿校舎の概要 (研究1)

| 研究  | 項目         | 内容                                     | 写真          |       |     |
|-----|------------|--|-------------|-------|-----|
| 研究1 | 建物         | 工学院大学新宿校舎                              |             |       |     |
|     | 竣工         | 1989年                                  |             |       |     |
|     | 所在地        | 東京都新宿区西新宿1丁目24番2号                      |             |       |     |
|     | 階数         | 地上階29階、地下階6階                           |             |       |     |
|     | 仕上げ材       | 磁器質タイル (45mm×95mm)                     |             |       |     |
|     | 仕上げ工法      | 先付け工法 (PC版、オムニア板)<br>現場張り工法 (改良圧着張り工法) |             |       |     |
|     | 構造形式       | SRC造                                   |             |       |     |
|     | 外壁の補修・更新工事 | 平成17年、24年、29年                          |             |       |     |
|     | 測定場所(研究1)  | 一階南側入口部                                | 工学院大学新宿校舎外観 | タイル壁面 | 測定器 |

### 3. 擬似浮き部を有するタイル試験体による各種試験

#### 3.1 試験体の概要

図2に試験体種別の断面図、表4に試験体の仕様、写真1に試験体写真を示す。試験体は2017年度に作製したものをを用いる。

タイルの浮き劣化を模した試験体を作製するにあたり、発泡スチロールをタイル壁面内の空隙に見立てタイル張付け時にモルタル内部に発泡スチロールを埋込むことで擬似的な浮きを再現した。

試験体種類は擬似浮き部の位置別に4系統と、浮きなし型の計5系統を作製した。試験体識別記号は貫通浮き試験体をA、下地モルタル部浮き試験体をB、タイル陶片浮き試験体をC、モルタル内部浮き試験体をD、浮き部分の無い健全な試験体をNとする。それぞれ貼付けモルタル厚さ、浮き材面積率等を組合せた。

#### 3.2 衝撃弾性波試験結果

図3に小型反発硬度測定器による弾性波速度比(HLD値)の測定結果を示す。試験体タイルの中心部を各3回ずつ測定しその平均値をまとめたグラフである。衝撃弾性波法では浮き部分の厚さ・面積が大きいほど欠損量とHLD値低下量との相関が評価できた<sup>3)</sup>。

#### 3.3 引張破壊による付着強度の算出結果

図4に引張破壊試験による付着強度の算出結果を示す。付着強度は引張破壊時に測定した最大荷重を試験体タイル面積(45mm×45mm)で除算算出する。試験結果を見ると、(A)貫通浮き試験体ではモルタル内部の空隙平面積率の高低に関わらず、タイル裏側から躯体まで空隙が生じている場合、健全な試験体に比べ付着強度が低下することが確認できた。それに対し、(B)下地モルタル部浮き・(C)タイル陶片浮き試験体においては、浮き部の面積割合が10%と小さい場合、付着強度の発現性へ及ぼす影響は小さいという結果を得られた。また、(D)モルタル内部浮き試験体では付着強度の低下率が小さく、空隙平面積率が同じ試験体では、モルタル内部の空隙高さ位置の変化が付着強度へ及ぼす影響は小さいことが確認できた。

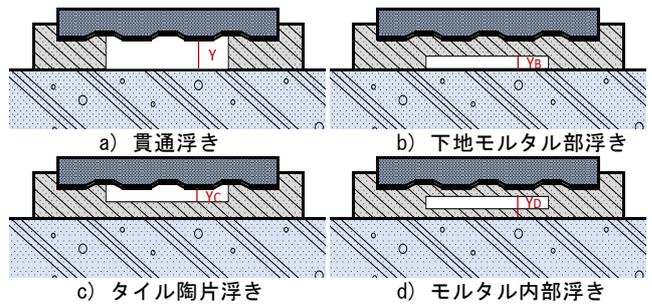


図2 各種浮き状態を模擬した試験体断面図(研究3)

表4 試験体の仕様(研究3)

| 浮き型種類名      | (N)浮きなし | (A)貫通浮き | (B)下地モルタル部浮き  | (C)タイル陶片浮き | (D)モルタル内部浮き |
|-------------|---------|---------|---------------|------------|-------------|
| 浮き部形状       |         | (S)正方形  |               |            |             |
| 厚さ(■)モルタル   | 2       | ○       | ○             |            |             |
|             | 3       | ○       | ○             |            |             |
|             | 4       | ○       | ○             |            |             |
|             | 5       | ○       | ○             |            |             |
|             | 6       | ○       | ○             | ○          | ○           |
|             | 8       | ○       | ○             | ○          | ○           |
| 擬似浮き部面積(%)※ | 0%      |         | 10%, 30%, 50% |            |             |
| 厚さ(■)擬似浮き   | 1       |         |               |            | ○           |
|             | 2       | ○       | ○             | ○          | ○           |
|             | 3       | ○       | ○             | ○          | ○           |
|             | 4       | ○       | ○             | ○          | ○           |
|             | 5       | ○       | ○             | ○          | ○           |
|             | 6       | ○       | ○             | ○          | ○           |

※タイル面積に対する割合



写真1 試験体(研究3)



写真2 弾性波速度比測定

写真3 引張破断試験

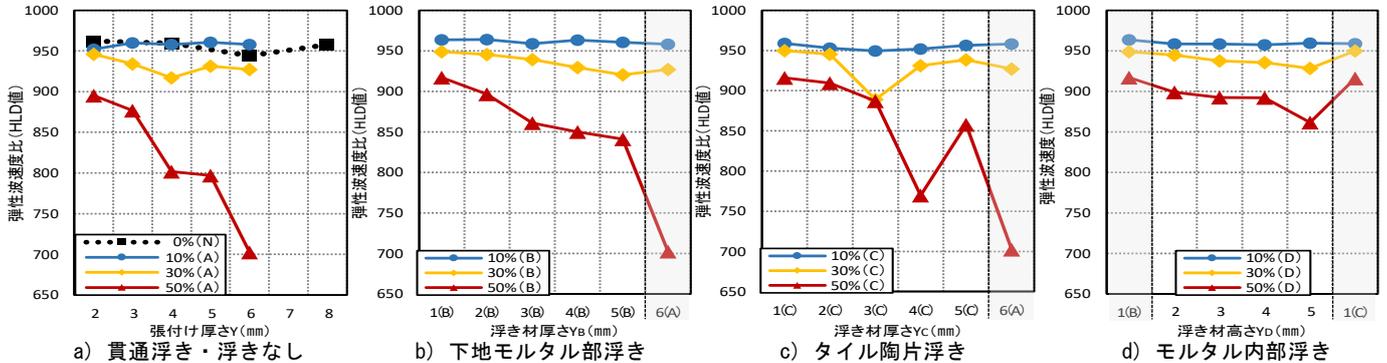


図3 各種浮き状態・浮き厚さにおける弾性波速度比との関係

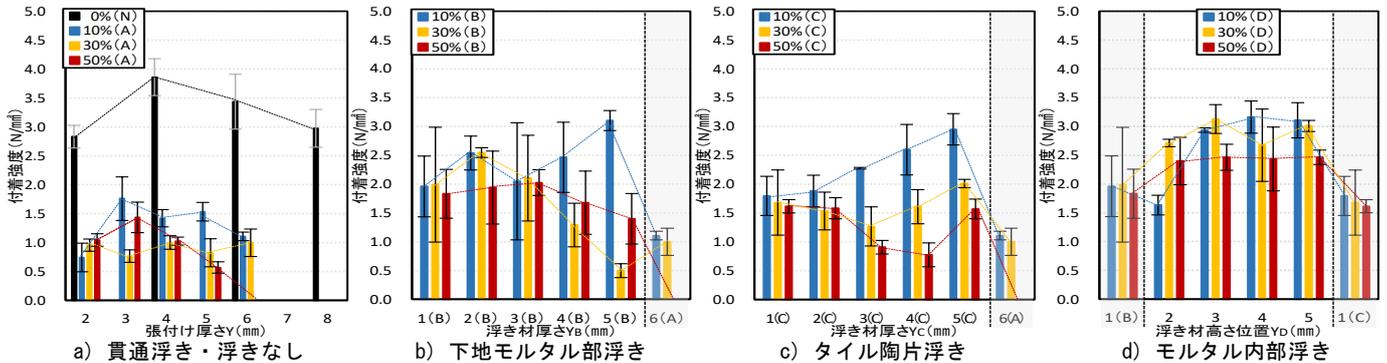


図4 各種浮き状態・浮き厚さにおける付着強度との関係

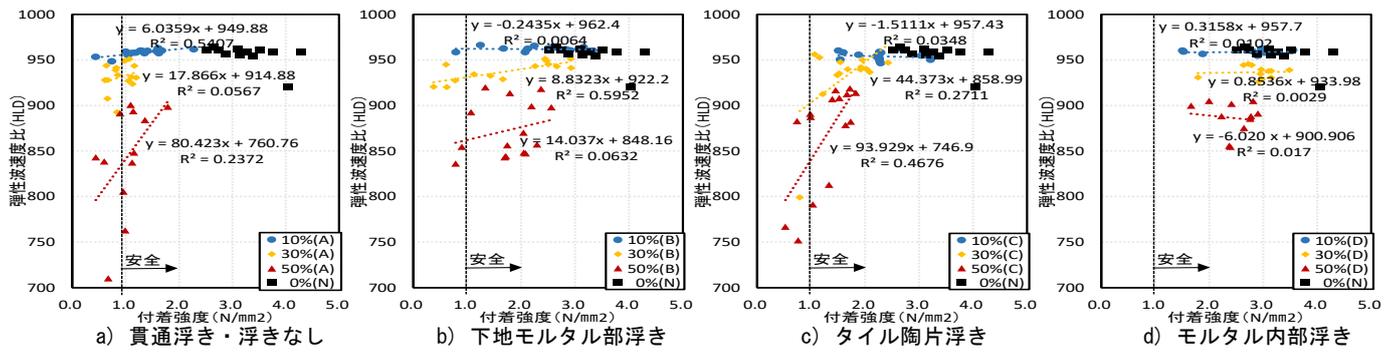


図5 各種浮き状態・浮き面積における弾性波速度比と付着強度の関係

### 3.4 弾性波速度比と付着強度の関係

図5に各種浮き状態・浮き面積における弾性波速度比と付着強度の関係を示す。横軸は付着強度(N/mm<sup>2</sup>)、縦軸は弾性波速度比(HLD)である。陶磁器質タイルの接着力安全性判定基準は0.4N/mm<sup>2</sup>であるが、本試験結果には安全マージンを加え二倍強の1N/mm<sup>2</sup>に安全基準を線引きした。タイル裏の広範囲の浮きは、モルタルによるタイル拘束度を低下させるため、衝撃を加えるとタイル全体が大きい振幅で反射振動を起こしHLD値が低下する。また、付着強度の低下も合わせて想定されるため、貫通浮きやタイル陶片浮きの低強度域においてはHLD値から付着強度の推定が可能であると考えられる。

### 3.5 破断面の状況

図6に破断面ごとの色分けの凡例、図7に引張破壊試験後のタイル裏面、表5～表9に各試験体の破断面状況色分け図を示す。引張試験による破壊面は材同士の界面で剥がれる界面破壊より各材内部で割れる凝集破壊である方が、良好な接着状態であると評価できる。

貫通浮きでは、タイル界面(黄)やコンクリート界面(青)での破壊率が高い。モルタルの厚みによるタイル界面破壊(黄)の減少は、モルタル厚さの増加によりタイル裏足へ潜り込む量が増加したことが理由として考えられる。下地モルタル部浮きでは、タイル裏側全体が接着されているため、タイル界面(黄)での破壊は起こりにくいが、下地モルタルの施工状態によりコンクリート界面(青)での破壊が容易に起こりうると推定される。タイル陶片浮きでは、タイル裏の空隙が広範囲に及ぶ場合、モルタル厚さの増加による裏足への潜り込みにも限界があり、タイル界面(黄)での破壊率が高いと考えられる。モルタル内部浮きでは他の剥離部に比べ凝集破壊が多く現れた。HLD値でも検知し難いことから、モルタル内部の空隙はより危険である界面剥離(黄・青)に対しては大きく影響しない可能性が考えられる。

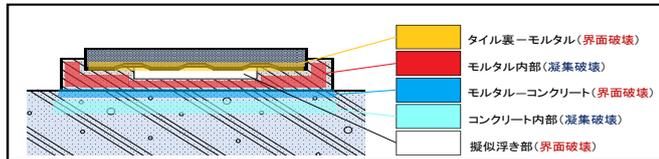
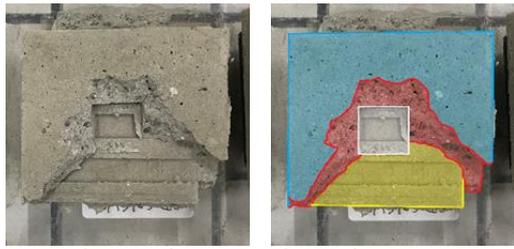


図6 破断面ごとの色分けの凡例



a) 試験体タイル裏面 b) 破断面ごとによる色分け

図7 引張破壊試験後のタイル裏面

表5 浮きなし試験体のタイル側破断面状況色分け図

| 試験体<br>N   | 張付け厚さ Y(mm) (図2を参照) |      |      |      |
|------------|---------------------|------|------|------|
|            | 2 mm                | 4 mm | 6 mm | 8 mm |
| 浮き面積<br>0% |                     |      |      |      |

表6 貫通浮き試験体のタイル側破断面状況色分け図

| 試験体<br>A                  | 張付け厚さ Y(mm) (図2を参照) |      |      |      |      |
|---------------------------|---------------------|------|------|------|------|
|                           | 2 mm                | 3 mm | 4 mm | 5 mm | 6 mm |
| 浮き面積<br>10%<br>30%<br>50% |                     |      |      |      |      |
|                           |                     |      |      |      |      |
|                           |                     |      |      |      |      |

表7 下地モルタル部浮き試験体のタイル側破断面状況色分け図

| 試験体<br>B                  | 浮き材厚さ Y <sub>0</sub> (mm) (図2を参照) |      |      |      |      |
|---------------------------|-----------------------------------|------|------|------|------|
|                           | 1 mm                              | 2 mm | 3 mm | 4 mm | 5 mm |
| 浮き面積<br>10%<br>30%<br>50% |                                   |      |      |      |      |
|                           |                                   |      |      |      |      |
|                           |                                   |      |      |      |      |

表8 タイル陶片浮き試験体のタイル側破断面状況色分け図

| 試験体<br>C                  | 浮き材厚さ Y <sub>0</sub> (mm) (図2を参照) |      |      |      |      |
|---------------------------|-----------------------------------|------|------|------|------|
|                           | 1 mm                              | 2 mm | 3 mm | 4 mm | 5 mm |
| 浮き面積<br>10%<br>30%<br>50% |                                   |      |      |      |      |
|                           |                                   |      |      |      |      |
|                           |                                   |      |      |      |      |

表9 モルタル内部浮き試験体のタイル側破断面状況色分け図

| 試験体<br>D                  | 浮き材高さ位置 Y <sub>0</sub> (mm) (図2を参照) |      |      |      |  |
|---------------------------|-------------------------------------|------|------|------|--|
|                           | 2 mm                                | 3 mm | 4 mm | 5 mm |  |
| 浮き面積<br>10%<br>30%<br>50% |                                     |      |      |      |  |
|                           |                                     |      |      |      |  |
|                           |                                     |      |      |      |  |

#### 4. 機械学習評価に向けた標準化仕上げ材料を用いた打診音測定試験

##### 4.1 試験体の作製 (研究 3-1、3-2)

表 11 と表 12 に試験体仕様、写真 5 に試験体写真、図 8 に試験体作製フローを示す。前章で示した HLD 値、剥離傾向から、仕上げの剥離にはその振動を拘束する要素の影響があると考えた。

本章ではまず初めに、研究 3-1 でタイル、モルタル、コンクリート、各仕上げ材料単体の試験体(一層試験体)を用いて、厚さや面積、密度による周波数特性をそれぞれ分析する。その結果を踏まえ研究 3-2 ではタイル側面、裏面へのモルタル付着量条件を変えた二層試験体を作製、タイル自身の振動への拘束度の影響を評価する。試験体の個体差を考慮し同一条件の試験体を各 3 個ずつ用意した。



写真 4 試験体 (研究 3)

##### 4.2 使用機器と測定環境

表 10 に試験方法を示す。本研究では打診音測定機器として、コンクリートの浮き・剥離診断機器「打音チェッカ PDC-100」を使用した。測定結果は時間波形と FFT 解析の結果が表示される。FFT 解析グラフの横軸の周波数の範囲は 0.53 kHz から 10 kHz、目盛間隔はその範囲を 390 分割したものである。縦軸は音圧レベルを表す。

測定環境は、机上に振動吸収用としてタイルカーベットを 2 枚重ね敷きその中心部に試験体を設置・測定を行った。今回の測定では試験体からマイクへの距離を 100 mm で一定とした。

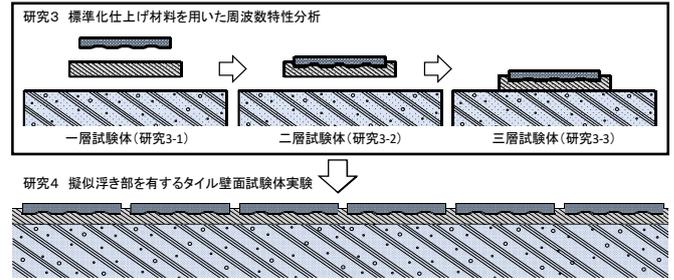


図 8 試験体作製フロー (研究 3、4)

##### 4.3 試験方法と測定点

試験方法は打診棒を手で持ち叩くことで測定した。打撃強さは量子化誤差を抑制するために、音量ゲージが 60%~80% の範囲で測定された音を収集対象とした。測定点は表 10 の図中に示す①中心・②横・③角の 3 点を測定点に設定、外装用タイルは、裏足の凹凸の影響を考慮し測定点を 4 点とした。測定回数は各点 5 回とした。

##### 4.4 50 角外装用タイルの周波数特性

図 9 に 50 角外装用タイルの周波数測定結果を示す。表 10 に示した測定点 4 点での打診音測定結果である。測定点ごとに周波数特性に変化がみられることから、叩く位置により、拘束が無い場合、材の密度によっては発生する波の固有振動数が変わる可能性があることが分かる。そこで次項以降は叩く位置を真ん中で一定とした。

##### 4.5 各種仕上げ材料の周波数特性

図 10 に各種仕上げ材料の周波数測定結果を示す。前項で示した 50 角外装用タイルにおける中心点での測定結果と比べ、周波数のピークが大きく現れた。これは外装タイルに比べ材料が柔らかく、均質で密度が小さいため、材の変形やひずみが生じやすく、明瞭な特定の周波数での振動が生じた結果であると考えられる。

次に厚さ別にみると、3 ミリ前後の薄い試験体では周波数が分散

表 10 試験方法 (研究 4)

1 使用機器

左写真：コンクリートの浮き・剥離診断機器の「打音チェッカ PDC-100」  
右図：付属アプリケーションのパソコン上での測定結果表示画面

2 測定環境

測定状況図。左図は上から見た平面図、右図は横から見た断面図。机の上にタイルカーベットを 2 枚重ね敷き、その上に試験体を設置・測定する。

3 測定点

測定点は①~③の 3 点、外装用タイルは裏足の影響を考慮し②の測定部を 2 ヶ所とし、4 点で測定を行う。各点で 5 回ずつ測定、平均値を算出する。

表 11 試験体仕様 (研究 3-1)

| 試験体材料種類 | 厚さ: $t_1$ (mm) | 面積: $S_1$ (mm <sup>2</sup> ) |
|---------|----------------|------------------------------|
| タイル     | 外装用タイル         | 45×45                        |
|         |                | 95×95                        |
|         | 内装用タイル         | 97.5×97.5                    |
|         | MDF 板          | 45×45                        |
|         |                | 95×95                        |
|         | セメント板          | 100×100                      |
| モルタル    | ポリマーセメントモルタル   | 80×80                        |
|         |                | 100×100                      |
|         | 普通コンクリート       | 100×100                      |
|         |                | 100×100                      |

表 12 拘束強さを变化させた標準化試験体仕様 (研究 3-2)

| モルタルの張付け状態 (断面図) | ①モルタル面積: $S_2$ (mm <sup>2</sup> ) | ②タイル下からのモルタル厚さ: $t_2$ (mm) | ③空隙率: $v$ (%) | ④目地高さ: $h$ (mm) |
|------------------|-----------------------------------|----------------------------|---------------|-----------------|
| 外装用タイル           | 55mm×55mm                         | 3mm                        | 健全            | なし              |
| 内装用タイル           | 80mm×80mm                         | 6mm                        | 10%           | 小               |
| 押出成形セメント板        | 100mm×100mm                       | 9mm                        | 30%           | 中               |
| MDF 板            | 100mm×100mm                       | 12mm                       | 50%           | 大               |

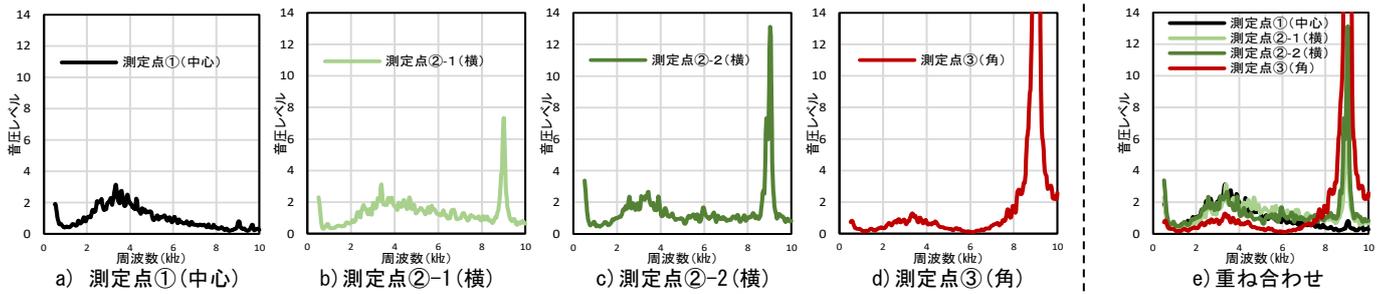


図9 50角外装用タイルの周波数測定結果

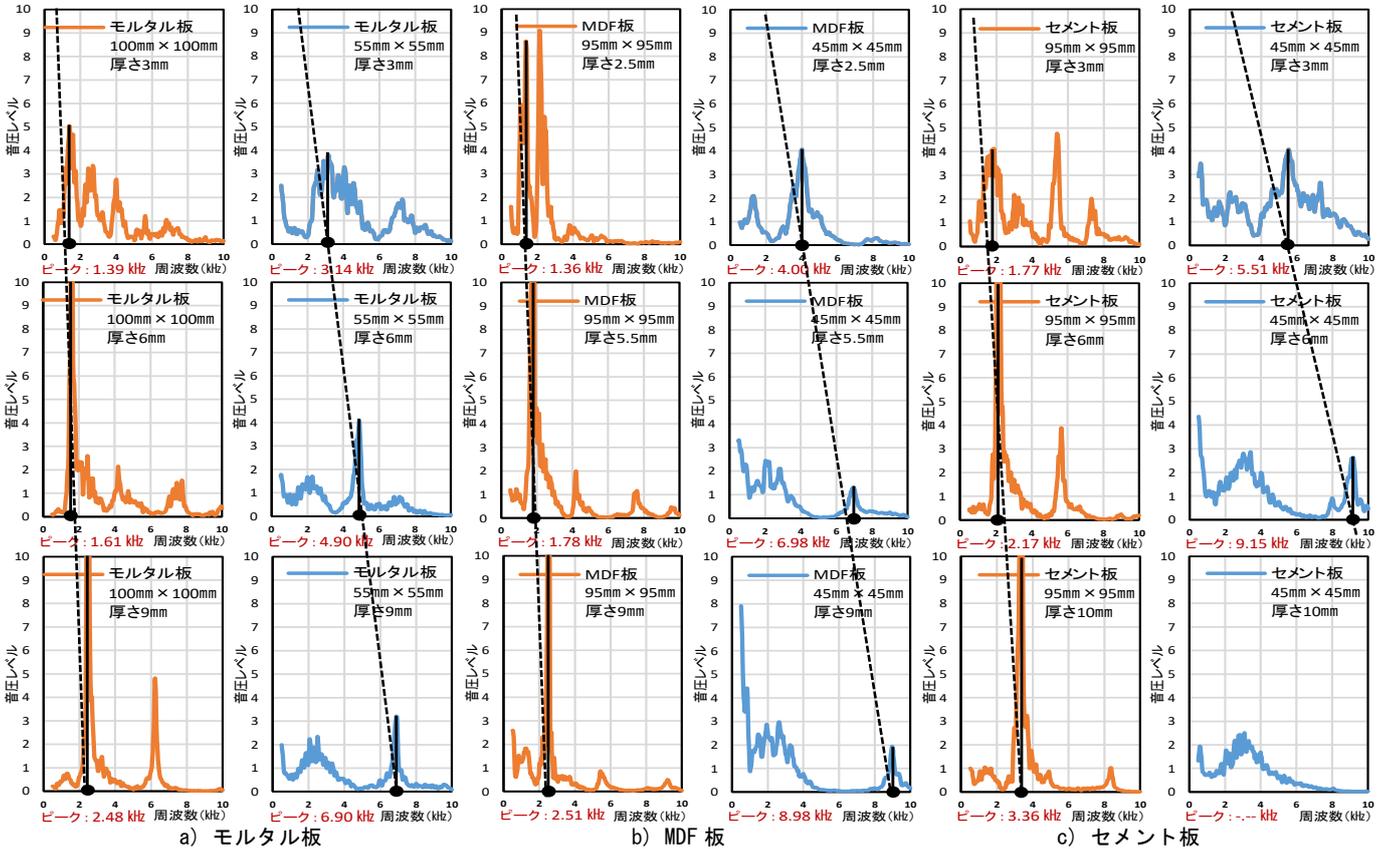


図10 各種仕上げ材料の周波数測定結果

しているが、厚みの増加に伴い周波数のピークが明瞭化し、そのピークが高い値に変位する傾向がみられる。これは厚みの増加により、材自身の打点方向への変形やひずみが生じにくくなり、細かな振幅の振動を生じる結果であると考えられる。

また、面積別にみると50角タイル相当の試験体ではいずれの材種においても高周波数域にピークが現れ、100角タイル相当の試験体ではそれらに比べ、低い周波数域にピークが現れている。これは、いずれの材種においても材の面積の増加により打点方向への変形やひずみが生じやすく、大きな振動を生じる結果であると考えられる。

#### 4.6 各種材料のアスペクト比とピーク周波数の関係

図11にアスペクト比とピーク周波数の関係を示す。横軸に示すアスペクト比は、各種材料の最大辺長さを厚みで除した値である。縦軸に示すピーク周波数は、図10の各グラフ左下に赤字で記した数値である。累乗近似式を見るとモルタル板では相関係数  $R^2=0.8$ 、MDF板では  $R^2=0.75$ 、セメント板では  $R^2=0.61$  であり、材料種類ごとに相関係数の数値に開きがあるものの、いずれも高い相関がみられる。これにより、ピーク周波数から、既知の表面長さを確認することで、表面からの浮き部分までの厚さの推定可能性が考えられる。

#### 4.7 各種材料の面積アスペクト比とピーク周波数の関係

図12に面積アスペクト比とピーク周波数の関係を示す。横軸に示す面積アスペクト比は、各種材料の面積  $[S_1]$  を厚み  $[t_1]$  で除した値である。縦軸は図11と同値のピーク周波数である。グラフを見るといずれの累乗近似式も相関係数  $R^2$  値が0.9以上であり、アスペクト比よりも相関性が高くなるのが分かる。この近似式により、ピーク周波数から、浮きが想定される表面積を確認することで、表面からの浮き部分までの厚さが推定できる可能性と、逆にタイル浮きが確認された場合の浮き面積率の推定可能性がある。

#### 4.8 タイルの目地高さによる拘束度とピーク周波数の関係

図13にタイルの目地による拘束度とピーク周波数の関係を示す。試験体は50角の外装用タイルにモルタルを張合わせた二層試験体である。表12に示すモルタル張付け状態のうち①モルタル面積  $[S_2]$ 、②タイル下からのモルタル厚さ  $[t_1]$ 、③目地高さ  $[h]$  を組合せ作製したものである。縦軸がピーク周波数、横軸が面積アスペクト比である。ここで用いる面積アスペクト比  $(面積[S_2]/厚さ[t_1+t_2]/100)$  算出に用いた数値は、面積はタイルと張合わせたモルタル部の面積  $[S_2]$ 、厚さはタイルの厚さ  $[t_1]$  とタイル裏からのモルタル厚さ  $[t_2]$  を合算

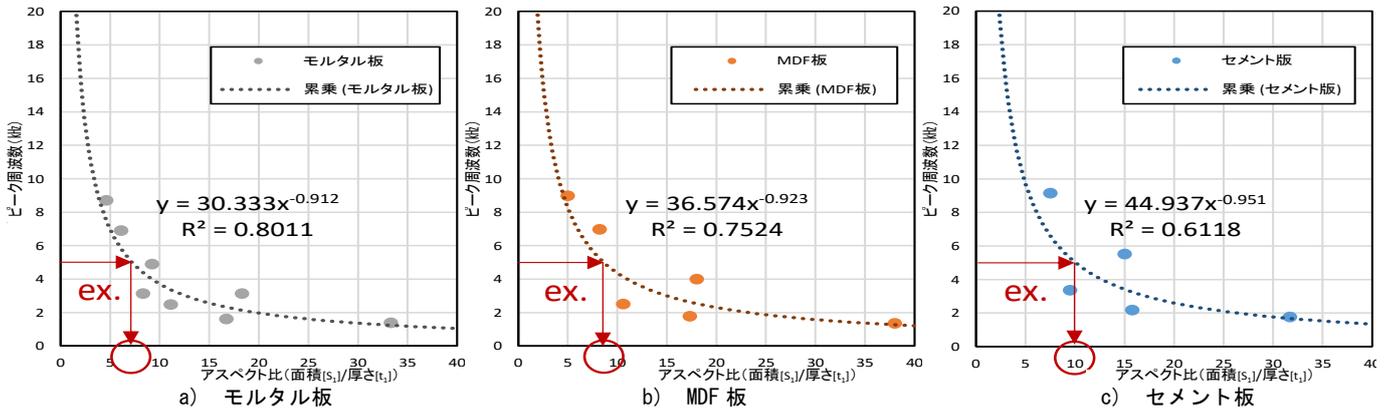


図 11 各種材料のアスペクト比とピーク周波数の関係

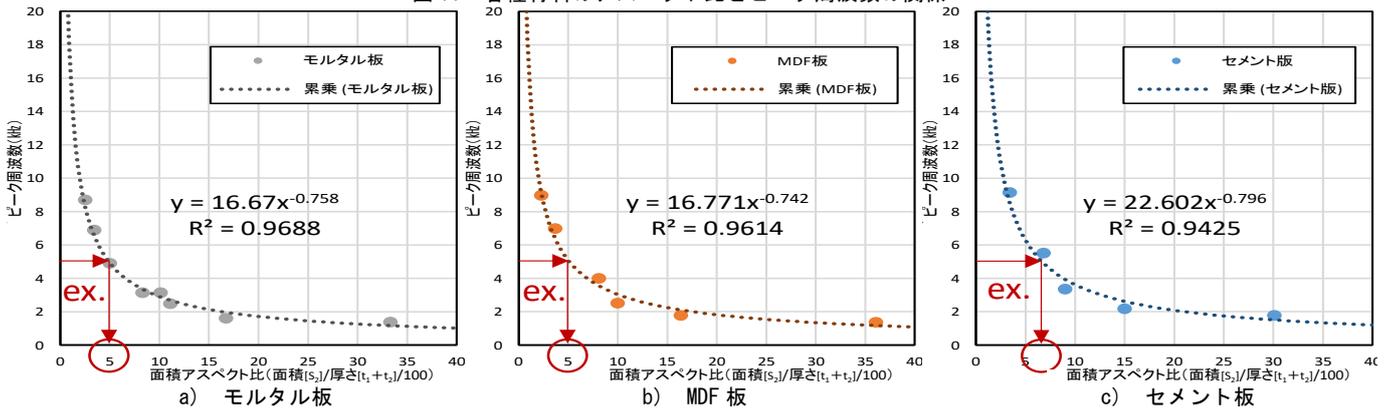


図 12 各種材料の面積アスペクト比とピーク周波数の関係

した値を用いた。グラフを見ると、タイル下に張合わされたモルタル寸法が同じ場合でも、目地高さが高くなりタイル拘束度が大きくなるほど、ピーク周波数も上昇する傾向がある。いずれの累乗近似式の  $R^2$  値も 0.9 以上であるため、タイルとモルタル異なる材を張合わせた条件下であっても、面積アスペクト比の有用性が確認できた。これにより同一ピーク周波数の場合、目地高さが高い場合の方が、面積アスペクト比が増大することが分かるため、同一付着力での付着面積の増大率としての目地高さによる剥離・剥落抑制効果としてその程度を定量的に推定できることに繋がると考える。

## 5. 機械学習評価に向けた今後の展望

本研究の試験体実験により、材質・浮き・面積・厚み・目地高さなど、一様な基準でラベル付け可能な汎用性の高い周波数特性データを収集できた。機械学習モデルの正解データの一部となるものであり、すでに測定済み<sup>3)4)</sup>の不正解データを含むランダムデータの双方を収集・蓄積することで、将来的に新たな剥離診断・判定プログラムが実現することが期待される。

## 6. まとめ

本研究により以下の知見が得られた。

- 1) タイル裏の広範囲の浮きは、モルタルによるタイル拘束度を低下させるため、衝撃を加えるとタイル全体が大きい振幅で反射振動を起し HLD 値が低下する。また、付着強度の低下も合わせて想定されるため、貫通浮きやタイル陶片浮きの低強度域においては HLD 値から付着強度の推定が可能であると考えられる。
- 2) 周波数ピークと面積アスペクト比の高い相関性が確認できた。浮きが想定される表面積を確認することで、表面からの浮き部分ま

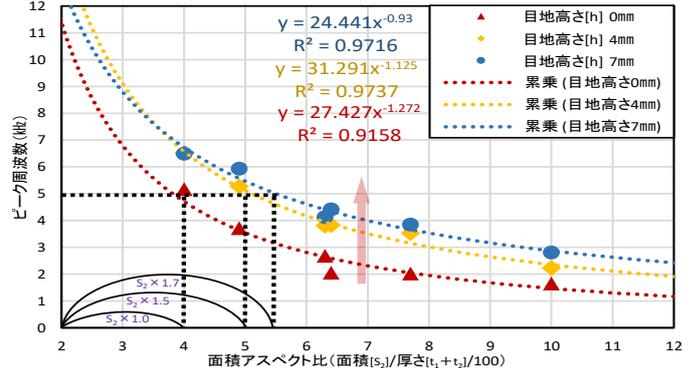


図 13 タイルの目地高さによる拘束度とピーク周波数の関係

での厚さが推定できる可能性と、逆にタイル浮きが確認された場合、浮き面積率を推定できる可能性を得られた。

- 3) タイル目地高さによりタイル自身の振動への拘束度が大きくなるとピーク周波数が増加する傾向がみられた。同一ピーク周波数の場合、目地高さが高い場合の方が面積アスペクト比が増大することから、同一付着力での付着面積の増大率としての目地高さによる剥離・剥落抑制効果としてその程度を定量的に推定できることに繋がると考える。

## 参考文献

- 1) 日本建築士学会：超高層マンション大規模修繕に関する考え方 技術の現状と展望、テツアード出版、2017.3
- 2) 添田智美、三上貴正：打撃応答音第一波振幅値を利用したタイル剥離診断装置の設計・試作および装置の有効性に関する基礎的検討、日本建築学会構造系論文集 Vol. 83 No. 752, 2018. 10
- 3) 乙幡祐平、田村雅紀：築 31 年を経過した超高層ビルタイル外壁の打診調査と弾性波速度比による剥離危険度評価、2018 年度日本建築学会学術講演梗概集、CD-ROM, 2018. 9
- 4) 乙幡祐平、田村雅紀：各種の剥離状態を模擬したタイル張り試験体の弾性波速度比と付着強度の関係、2019 年度日本建築士学会研究発表論文集
- 5) 岡谷貴之：機械学習プロフェッショナルシリーズ 深層学習、講談社、2015. 4
- 6) 伊本貴士：ビジネスの構築から最新技術までを網羅 AI の教科書、日経 BP, 2019. 6

## 謝辞

本研究は H29-30 年度私大研究ブランディング事業および株式会社エフピーエス・ミヤマ、非破壊検査機器との共同研究の一部であり、株式会社ポート電子に助力を賜り感謝いたします。また、本研究を進めるにあたり、指導を賜りました工科大学コンピュータ科学科小林良太郎教授、スマートマシン株式会社の福田安志氏に感謝申し上げます。