

超高層ビルのタイル施工部材における打診検査時反発波の周波数特性・エネルギーと劣化性状の相関評価

DB-14079 乙幡 祐平

1.はじめに

タイルの外壁は、意匠性・耐候性・躯体保護の効果が期待されているが、浮き・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。

しかし、現況の劣化診断方法である打診法はタイル壁面を叩き、音の高低から浮き部分を耳で聞き分け判定する方法であるため、検査員の判定精度にばらつきがある。打診法の診断精度について実験した既往の研究によると、剥離範囲を健全部と判定してしまう誤診率が検査員によっては、最大で約40%に及ぶという結果がある¹⁾。

この現状に加え、工学院大学新宿校舎で行われた打診による浮き状況調査では、先付け工法の手で浮きがあることが確認されても、浮きが生じている位置がタイル側なのか、躯体側側なのか不明な異音のするタイルが約 6000 枚検出された²⁾³⁾。

そこで本研究では、打診音と浮き状況の相関を求めることで、この不明点の解明を目指す。

2.研究概要

図 1 に研究の流れを示す。表 1 に実験項目と方法、表 2・3 にそれぞれ実験要因と水準、使用材料を示す。

本研究では、擬似浮き部を有するタイル試験体を剥離位置別に作製、各種試験を実施し、浮き状況と打診音の相関を評価する。また、超高層の実建造物を対象に、浮き・剥離等の劣化及び補修状況調査とドローンの画像撮影による壁面損傷状況の調査を行う。

表 1 実験項目と方法

項目			方法
研究 1	文献調査		外装診断手法に関する論文、書籍
			タイル仕上げに関する論文、書籍
			ドローンに関する論文、書籍
研究 2	新宿校舎外壁タイル調査	文献調査	外壁調査・工事報告書等
		ヒアリング調査	大学施設部、外装工事会社にヒアリング
		ドローン調査	中層棟南側壁面を可視画像・赤外線画像等で撮影
		打診音調査	打診棒で外壁を叩き、その音を打音チェッカー(PDC-100)で計測
研究 3	擬似浮き試験体の作製・実験	試験体作製	発泡スチロールを擬似浮きに見立て、試験体を作製
		加速度測定試験	水平に固定した試験体に一定の高さから鉄球を自然落下させ、衝突後のコンクリートの縦方向の振動変位、加速度をデジタル振動計で測定
		打診音試験	水平に固定した試験体に一定の高さから鉄球を自然落下させ、打音チェッカー(PDC-100)にて周波数を測定
		赤外線サーモグラフィ試験	赤外線サーモグラフィ法のパッシブ法により、熱画像を解析し、表面温度測定
		付着強度試験	テクノテスターにて、引張試験を行い、付着強度を測定
		衝撃弾性波試験	パンピーノにて、弾性衝撃波試験を行い、HLD 値を計測
研究 4	周波数特性分析		研究 3 の測定値を使用
研究 5	劣化傾向分析		研究 4 で定量化したデータを基に、新宿校舎外壁の劣化診断を試みる

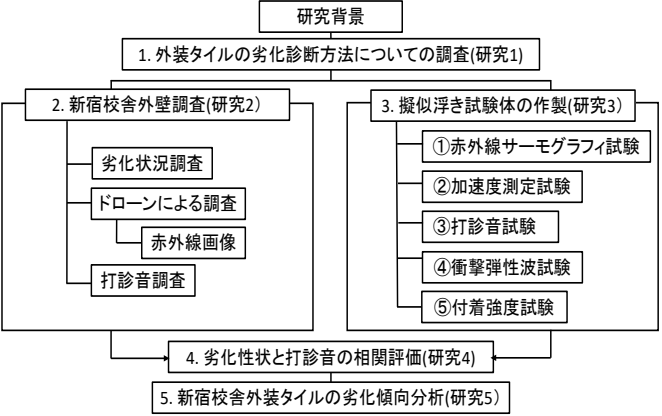


図 1 研究の流れ

表 2 実験要因と水準

項目	実験要因	水準				
研究 1	文献調査	論文、書籍、HP				
	研究 2 新宿校舎外壁 タイル調査	対象建築物	工学院大学新宿校舎、築 31 年、地上 29 階、SRC 造			
文献調査		外壁調査報告書(平成 24 年)、外壁工事報告書(平成 29 年)				
ヒアリング調査		外装工事会社、大学施設部				
ドローン調査		飛行機材	Mavic、Matrice100、Matrice600			
打診棒		17.5φ、19φ、24φ				
研究 3 作製・実験 擬似浮き試験体の	試験体作製	打診音調査	回数	3 回、5 回、10 回		
		浮き型	単位	周波数(Hz)、音圧レベル(dB)		
			寸法	乾式外装タイル	50 角モザイク、50 角 2 丁掛	
				コンクリー平板	450×600×55(mm)	
				発泡スチロール	10%、30%、50%	
	(S)正方形 (R)円形	10%	(A)貫通	2 mm、3 mm、4 mm、5 mm、6 mm		
		30%	(B)左官下	1 mm、2 mm、3 mm、4 mm、5 mm		
			(C)タイル下	1 mm、2 mm、3 mm、4 mm、5 mm		
		50%	(D)モルタル	1 mm		
	(N)浮きなし	2 mm、4 mm、6 mm、8 mm				
	加速度試験	回数	1 回、2 回、3 回			
		単位	加速度(m/s ²)、変位(mm)、衝撃力(N/mm ²)、振動レベル(dB)			
	打診音試験	鉄球径	10 mm、20 mm、25 mm、31.75 mm			
		回数	1 回、2 回、3 回			
	赤外線サーモ グラフィ試験	単位	周波数(Hz)、音圧レベル(dB)			
		単位	温度(℃)			
		衝撃弾性波 試験	回数	1 回、2 回、3 回		
単位		HLD				
付着強度 試験		単位	付着強度(N/mm ²)			
研究 4	周波数特性分析	対象	試験体(研究 3)			
		単位	周波数(Hz)、音圧レベル(dB)			
研究 5	劣化傾向分析	対象	工学院大学新宿校舎、築 31 年、地上 29 階、SRC 造			
		単位	周波数(Hz)、音圧レベル(dB)			

表 3 使用材料(研究 2、研究 3)

分類	項目	記号	内容
研究 2	仕上材	磁器質タイル	— 45 二丁掛け
	仕上げ工法	PC 板打ち込み	—
		現場張り	—
	シーリング材	変成シリコン系	—
研究 3	飛行機材	ドローン	Mavic、Matrice100、Matrice600
	仕上材	磁器質タイル	t 50 角モザイク、50 角 2 丁掛
	下地材	ポリマーセメントモルタル	m w/c = 28%
	構造材	普通コンクリート	c JIS A 5371 平板
	擬似浮き材	発泡スチロール	eps JIS A 9511
	張付け剤	弾性接着剤	p1 変成シリコン樹脂(70%)
		ポリマーセメントモルタル	p2 w/c = 28%
	治具	—	— 45 mm×45 mm

3.工学院大学新宿校舎のタイル外壁劣化状況調査

3.1 外装補修状況の調査

超高層建築である、工学院大学新宿校舎(図 4)を対象にタイル壁面の浮き状況調査を実施した。仕上げ工法は、主に PC 版打ち込み工法で、低層部分と一部に現場張り工法が採用されている。図 2、3 に平成 17 年度、平成 24 年度、平成 29 年度における、三度の外壁浮き状況の調査結果を示す 2)3)4)。結果を見ると、躯体コンクリート側の浮きとタイル側の浮きが、東西南北各方位による違いが表れることが確認できた。

3.2 ドローンによる壁面損傷調査(平成 29 年 9 月 8 日実施)

外壁タイルの損傷状況をドローンから確認する実証実験が工学院大学新宿校舎で行われた。今回の調査は、中層棟南側壁面(図 5)にて実施され、赤外線カメラや高解像度カメラ等、各種カメラによる外壁撮影が行われた。ドローンから撮影した赤外線画像や可視画像と、外壁補修工事の際に取得された外壁の損傷状況データ(図 6)を照合し、浮き状況の分析を今後進めていく。赤外線サーモグラフィ法 6)は画像撮影時の障害物回避や規定測定角度(45 度以内)等の実施条件があるため、高層ビルの外壁調査への利用が不可能となる場合があるが、ドローンに機器を搭載し、空中から撮影することで、その点をカバーできる。また、ドローンを用いた新たな点検手法の確立は、大規模災害発生後の迅速な壁面状況の把握にも繋がる。結果の詳細は、現在分析中である。



図 4 ドローン調査関連写真

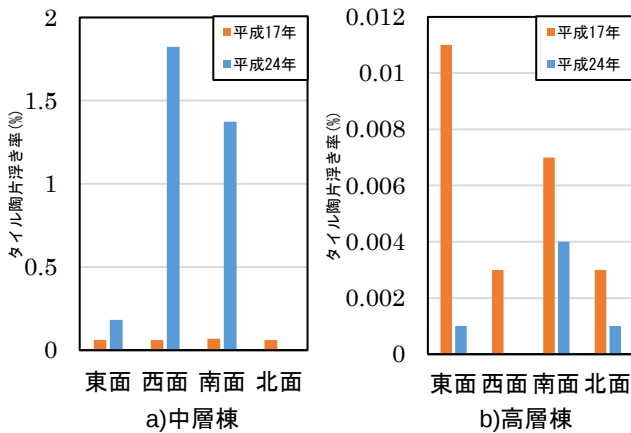


図 2 新宿校舎、PC 板先付け工法、タイル陶片浮き率

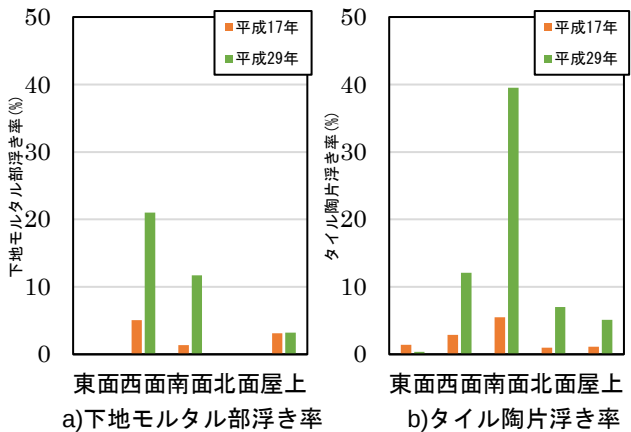


図 3 新宿校舎中層棟、現場張り工法、各種浮き率

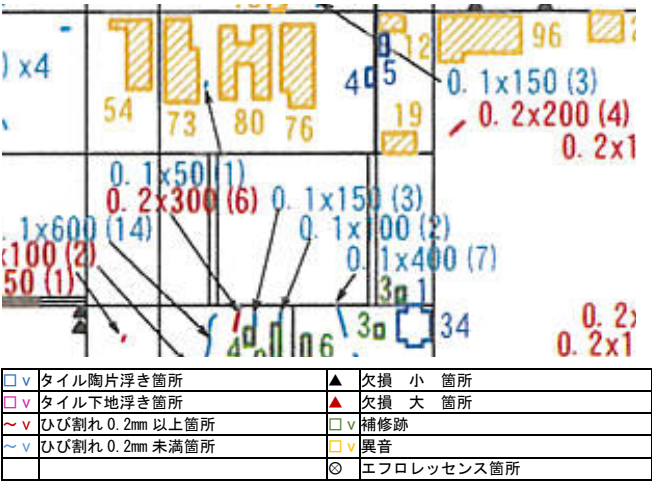


図 6 外壁損傷データ(中層棟南側壁面一部)

4. 擬似浮き部を有するタイル試験体の作製および各種試験

4.1 試験体の作製

タイルの浮き劣化状況を模した試験体を作製する(図 7-a)。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埋込むことで擬似浮きを再現する。タイルは 50 角と 50 角二丁を使用し、一つの浮きパターンごとに 3 個ずつ作製する。

4.2 試験体の仕様

試験体の仕様とその一例を、表 4 に示す。試験体の種類は、擬似浮きの位置別に 4 系統(図 8)と、浮きなし型の計 5 系統とする。試験体の識別記号は、貫通浮きを A、下地モルタル部浮きを B、タイル陶片浮きを C、モルタル内部浮きを D、浮きなしを N とする。それぞれのパターンごとに、貼付けモルタル厚さ、浮き材形状等を組合せ、試験体を作製する。

4.3 衝撃弾性波法による強度測定試験結果

タイル中心部の強度測定結果を図 9 に、測定機器写真を図 7-b に示す。測定結果を浮き材の平面積割合別に見ると、10%、30%、50%と浮き面積が増加するにつれ、硬さ値(HLD)の減少傾向が見られた。下地モルタル部浮き、タイル陶片浮きにおいてはそれに加え、どちらも浮き材の厚み Y_B 、 Y_C (図 8 参照)が増すにつれ、硬さ値が減少する傾向があることが分かった。モルタル内部浮き試験体では、躯体コンクリート側からの浮き材高さ位置 Y_D (図 8-D 参照)がタイル面に近づく程、硬さ値が低くなる傾向が見られた。10%浮き試験体では ABCD どの系統においても、基準となる健全な試験体の硬さ値と同様な測定結果となった。衝撃弾性波法では、浮き部分の厚さ・面積が大きいほど、欠損の状態を評価することができた。



a)試験体写真



b)小型反発硬度測定器



c)打音チェッカー(PDC-100)



d)試験風景

図 7 非破壊・微破壊試験関連写真

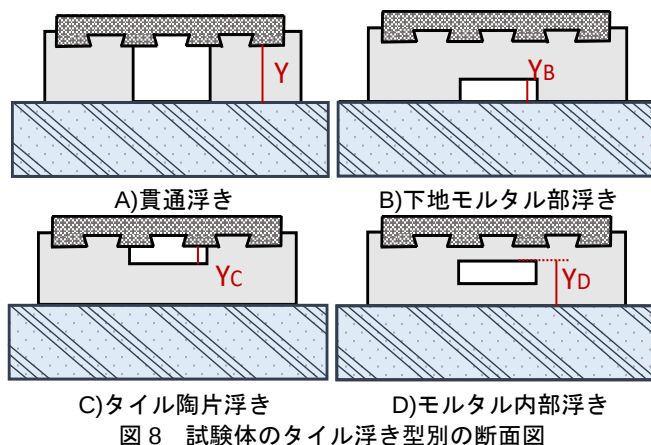
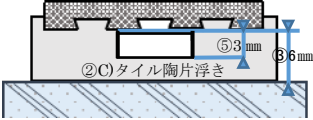


図 8 試験体のタイル浮き型別の断面図

表 4 試験体の仕様とその一例

①	②	③	④	⑤
浮き材形状	浮きパターン	モルタル厚さ(mm)	浮き材面積(%)	浮き材厚さ(mm)
(S)四角形	(A)貫通浮き	2(mm)	10%	1(mm)
(R)円形	(B)下地モルタル部浮き	3(mm)	30%	2(mm)
		4(mm)	50%	3(mm)
	(C)タイル陶片浮き	5(mm)		4(mm)
	(D)モルタル内部浮き	6(mm)		5(mm)
				6(mm)
例) SC6303 ①②③④⑤				①(S)四角形 ④30% タイル面積に対して30%

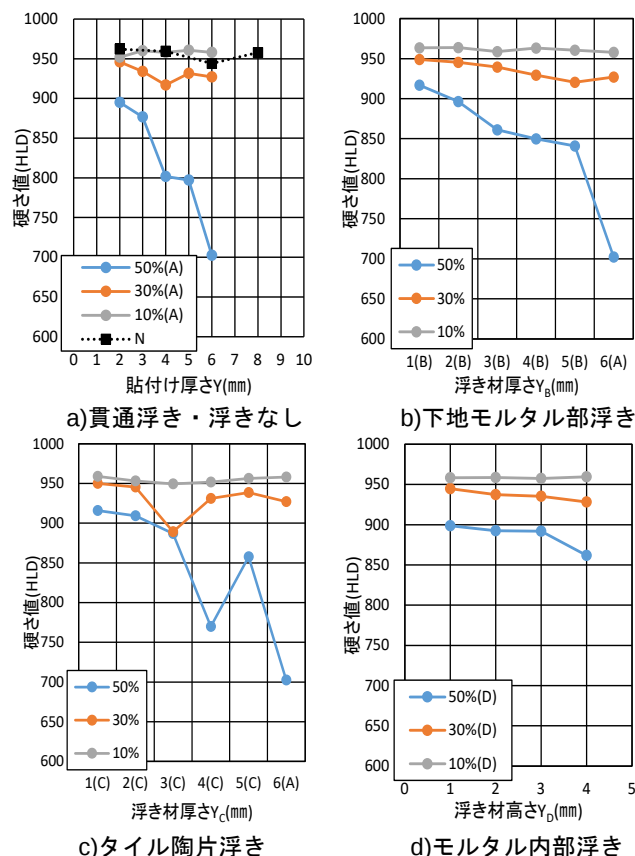


図 9 小型反発硬度測定器による硬さ値(HLD)測定結果

4.4 鉄球落下による衝突音測定試験

4.4.1 試験方法

水平に固定した試験体に鉄球を自然落下させ、その衝突音を測定する。測定機器は打音チェッカー(PDC-100)を用いる(図 7-c)。鉄球径は、10 mm、20 mm、25 mm、31.75 mm の四種類、落下高さは 1、3、5 cm とする。

4.4.2 試験結果

球径 25 mm の鉄球を 1、3、5 cm から落下させた試験結果の一例を図 10 に示す。横軸は周波数レンジ(kHz)、縦軸は音圧レンジ(PWR)を表している。この結果よりタイルの反射音は、タイル面に加えたエネルギーと反発界面の状態により決まることがわかった。

次に、作製条件が同じ 3 つの試験体の周波数測定値のエネルギーが第一第二ピークとなる周波数の平均値と標準偏差をグラフにしたものを図 11 に示す。結果を見ると、浮きの無い健全な試験体と浮きの在る試験体との間に明確な差は見られなかった。

5.まとめ

本研究より以下の知見が得られた

- 1) 打診検査は、調査員により判定精度にばらつきがあり、浮きの存在自体は確認できても、剥離位置の判定が困難なタイルが一定数存在することが事前調査により分かった。
- 2) ドローンで外壁の状況を確認した。撮影画像や外壁損傷データ等から、高層ビル外壁の損傷判断手法を検討する。結果の詳細は、打診検査結果と合わせて現在分析中である。
- 3) 衝撃弾性波試験では、浮き部分の厚さ・面積が大きいほど、欠損の状態を評価できた。
- 4) タイルの反射音は、タイル面に加えたエネルギーと反発界面の状態により決まることが確認できた。周波数測定結果をエネルギーのピークから比較したが、試験体の系統ごとに明確な差は、見られなかった。

参考文献

- 1) 添田智美、藤沼智洋「外装タイル剥離診断装置の開発に関する基礎研究」フジタ技術研究報告第 51 号 2015 年
- 2) 日本ビソー株式会社「学校法人工学院大学 新宿校舎 外壁シーリング更新他工事施工計画書」2017 年 2 月
- 3) 日本ビソー株式会社「工学院大学新宿校舎外壁シーリング更新他工事 第 1 回～3 回 進捗報告会資料」
- 4) 清水建設株式会社「工学院大学中層棟・高層棟(大学棟) 外壁調査報告書」平成 24 年 2 月
- 5) 日本非破壊検査協会「NDIS コンクリート構造物の弾性波による試験方法—第 3 部：打音法」
- 6) 日本非破壊検査協会「NDIS 赤外線サーモグラフィ法による建築・土木構造物表層部の返上評価のための試験方法
- 7) 小野芳樹「タイル付きコンクリート外壁の資源環境負荷低減に資する解体事前処理方法」2016 年度卒業論文

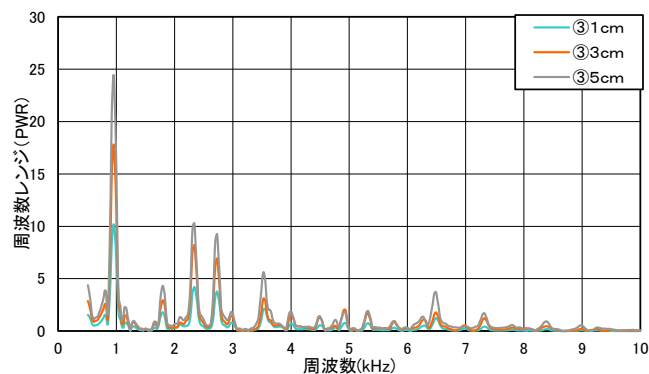
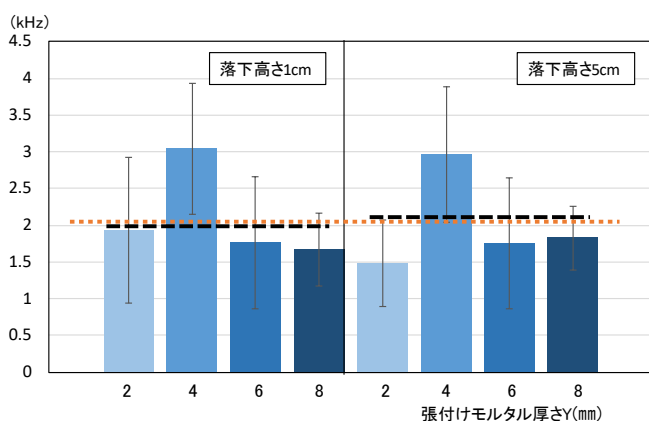
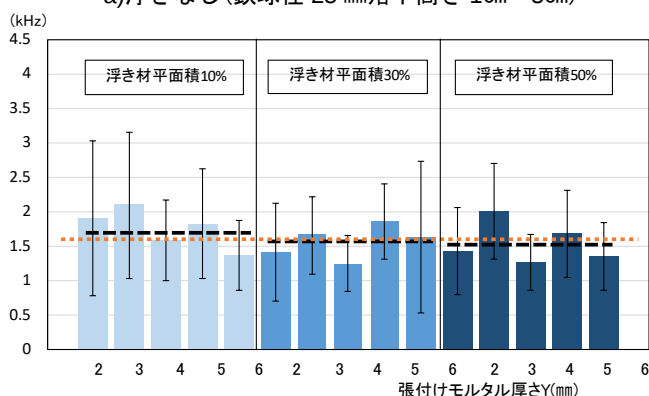


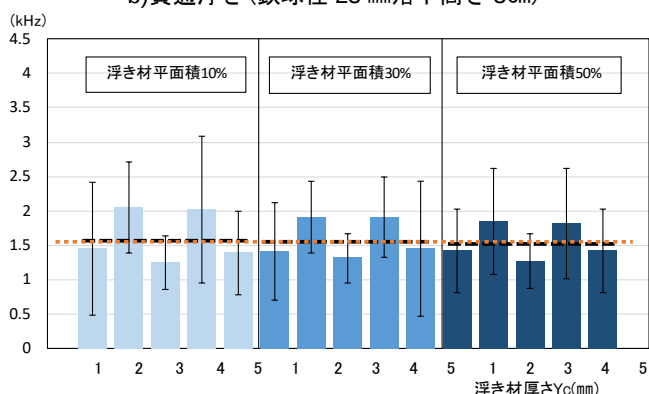
図 10 鉄球衝突音測定結果(試験体 SA6-10-6 ③)



a) 浮きなし(鉄球径 25 mm 落下高さ 1cm・5cm)



b) 貫通浮き(鉄球径 25 mm 落下高さ 5cm)



c) タイル陶片浮き(鉄球径 25 mm 落下高さ 5cm)

図 11 鉄球衝突音の第一第二ピーク周波数平均値

謝辞

本研究は H29 年度私大研究ブランディング事業、H29 年度 ISDC プログラムの一部であり、工学院大学施設課関係各位、チーム新宿、株式会社ポート電子、株式会社フジタ、に助力を賜り感謝致します。