

都市既存建物の外壁一次診断を踏まえたタイル仕上の劣化診断と維持保全リスク評価

材料施工、部位別材料、仕上げ、性能評価
外壁タイル 機械インピーダンス 付着力

石井 佳樹*1
田村 雅紀*2

1. はじめに

現在では、建築構造物の寿命を3倍にするという日本建築学会の地球環境憲章における声明から、建築構造物の長寿命化の動きがより一層強まり、目的や機能といった健全性評価に見方が強まった。木造住宅はもちろん、鉄筋コンクリート造などの公共用施設など、長期供用が活発である。一方、建築のストックが増大しており、古い建物への使用者による耐用年数の低下傾向もある。しかし、現在では建築物の診断・評価方法¹⁾が確立されておらず、個々の建築構造物の専門技術者による維持管理が容易でなく、使用者の傾向診断・調査の仕組みが必要である。そこで、本研究では建築物の劣化部分の早期発見、予防保全のための建物診断の課題を具体化し、新たな診断方法の提案、精密騒音計、機械インピーダンスの実測データを採取し、外壁診断への提案、それに伴うリスクを踏まえたマネジメント²⁾³⁾を行う。図1に本研究の流れを示す。

2. 研究概要

2.1 既存建物の外壁診断の実態調査(研究1)

2.1.1 建物外壁診断方法

外壁診断はカメラ、双眼鏡、スケール、クラックスケール、ルーベなどを使用し、ひび割れ、剥離などの目視調査を行う。テストハンマーでの打診法や赤外線サーモグラフィの調査もある。打診法ではタイルを叩いた際の音の違いにより浮き部の診断をする。赤外線サーモグラフィでは周囲との温度の違いにより浮き部の診断をする方法である。¹⁾

2.1.2 既存外壁診断における課題

目視は対象者を限らず調査することができるのだが、判断が人の裁量に委ねられることや外見のみでの評価が課題である。

表4 リスク算定の仮定工事金額(研究3)

工程	金額(円)	条件	詳細
遣り方	290	建築面積1㎡あたり	材料、大工、普通作業員など
墨出し	550	延面積1㎡あたり	大工、普通作業員、他
養生	290	延面積1㎡あたり	普通作業員、他
整理整頓	1130	延面積1㎡あたり	軽作業員、他
枠組み本足場	2710	掛面積1㎡あたり	仮設資材賃料、鷹工、他
養生シート張り	670	掛面積1㎡あたり	養生シート、修理費、鷹工、他
仮設材運搬	21600	100㎡あたり往復	4t積み(手すり先行方式)
トラック運転	26700	1日あたり	運転手、燃料、機械損料、他
タイル張り	12000	1㎡あたり	-
合計	66940		-

表5 研究項目と方法

研究名	研究概要	実験項目	方法/内容
研究1	1)既存建物での外壁診断の実践 2)既存外壁診断方法の課題具体化	-	2013年4月～5月、既存建物での外壁調査調査、診断の実施(10件) 既存外壁診断方法の評価を行い、現在の既存外壁診断方法の課題を明確化
研究2	1)実構造物の外壁タイル評価実験(築29年)(2.1) 2)壁模擬試験体評価実験(2.2)	機械インピーダンス測定	外壁タイルの機械インピーダンス値の測定(HLD) 記号:HLD
		騒音測定	外壁タイルの機械インピーダンス測定する際の騒音レベルの測定(dB) 記号:S
		付着力試験	外壁タイルの付着力(N/mm)を測定 ⁶⁾ 記号:Fa
研究3	外壁診断によるリスクマネジメント	-	研究2のデータを参考にリスク損失を算出し、リスク=f(t)故障率×R(t)影響度の方程式で外壁診断におけるリスクマネジメントを行う。

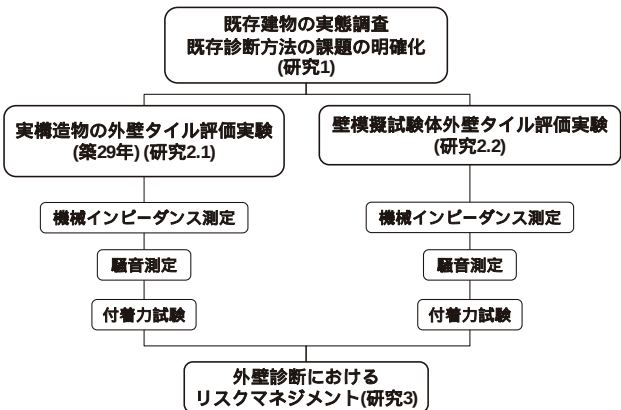


図1 研究の流れ

表1 使用材料(研究2.2)

項目	記号	種類
セメント	C	普通ポルトランドセメント(密度:3.16g/cm ³)
細骨材	S	大井川産(密度:2.58 g/cm ³)
粗骨材	G	青梅産(密度:2.64 g/cm ³ 、実績率:62%)
タイル張付け材	PC	タイル張付け用プレミックスモルタル
タイル	T	50角モザイクタイル

表2 実験要因と水準

	要因	水準
研究2.1	方位	東・西・南・北
	雨影響	有・無
	建物構成位置	内外部
研究2.2	水・セメント比W/C(%)	20(一定)
	付着率(%)	100, 80, 60, 40 完全付着=100% 記号:A
	タイル種類	50角モザイクタイル(一定)
	タイル張り工法	改良圧着張り(一定)
研究3	リスク要因	階数の違いによる点検補修
関連写真		

表3 壁模擬試験体のコンクリート計画調合(研究2.2)

調合 1000(L)								
W/C(%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位量(kg)					
			水量	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤	助剤
55	18	4.5	180	329	771	982	0.81	0.98

*1 工学院大学工学部建築学科4年

*2 工学院大学工学部建築学科 准教授 博士(工学)

打診法は信頼性の高い目視、接触が可能なデメリットがあるが、熟練度で浮き部の判断が異なる。赤外線サーモグラフィはカメラ撮影なので作業性が高いなどのメリットがあるが、結果の信頼性が低い、熱画像解析に高度な技術が必要という課題もあるのだ。以上のことを踏まえ技術者でなくても簡易に調査ができ、且つ現在の定性評価から定量評価も交えた、半定量評価できる診断方法の検討が必要であると考えられる。

2.2 研究2における研究概要

表1に研究2.2の使用材料を示す。表2に研究の要因と水準を示す。表3に研究2.2の調査を示す。表5に実験項目と方法を示す。表6に実験使用機器を示す。機械インピーダンスは打撃力波形を最大値に至る前半と後半でタイルがハンマーを押し戻す時間に着目したものである。打撃力の前半部分はハンマーがコンクリートに力を作用させている時間であり、この間ではタイル表面の劣化部、内部の浮きの影響を受ける可能性が考えられる。これに対し、後半部分はタイルが弾性変形エネルギーを放出してハンマーを押し戻す時間であるためタイルの弾性的特性を反映したものになると考えられる。硬さ HLD は、インパクトボディーの反発速度 V を打撃速度 V_0 で割り 1000 倍した値である。 $HLD = V/V_0 \times 1000$ の式で示す。タングステンカーバイトやダイヤモンドを取り付けたインパクトボディーをスプリングの力により試料表面へ打撃する。インパクトボディーが試料を打撃すると、表面に変形が生じ運動エネルギーの損失が起きる。インパクト装置のシグナルコイルは、インパクトボディーの打撃・反発速度を瞬時に計測し、打撃によるエネルギー損失を計算したものである。

2.3 実構造物の外壁タイル評価実験(研究2.1)

2.3.1 実構造物の外壁タイルの機械インピーダンス測定

図2に方角や部位による影響を確認するため各面での HLD 値の測定を東西南北面、内部それぞれ 500mm 角～1000mm 角で行った結果を示す。各面に数値のバラつきが見られたが、方角や部位による大きな影響はないと考えられる。図3に打診法で浮きタイル確認後、浮きタイル、健全タイルの左上、右上、左下、右下、真ん中を各5回ずつ計測した結果を示す。健全タイルの HLD 平均値は 923、最大値 957、最小値 804、という数値がでた。浮きタイルは HLD 平均値 594、最大値 841、最小値 234 という数値がでた。健全タイルは各タイルの数値が一定で測定箇所が異なっても数値がほぼ一定となっているのに対し、浮きタイルは数値に各タイルの数値にばらつきがみられた。

表6 実験使用機器

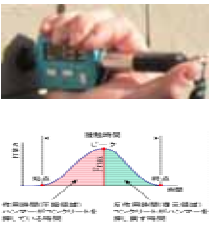
機械インピーダンス	騒音計	引張試験機
		

表7 4号館外壁劣化状況のHLD値マッピング図(研究2.1)

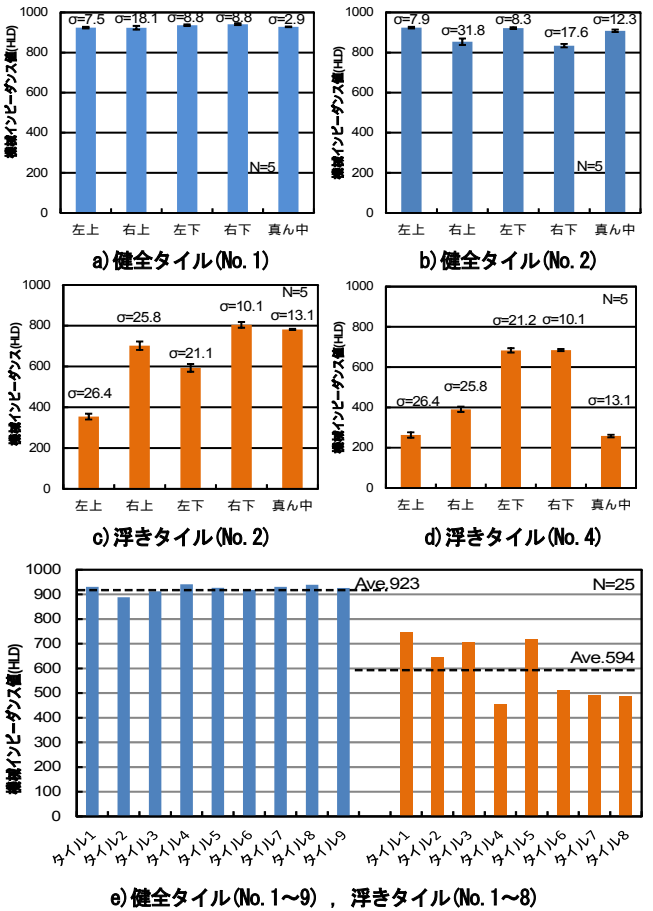
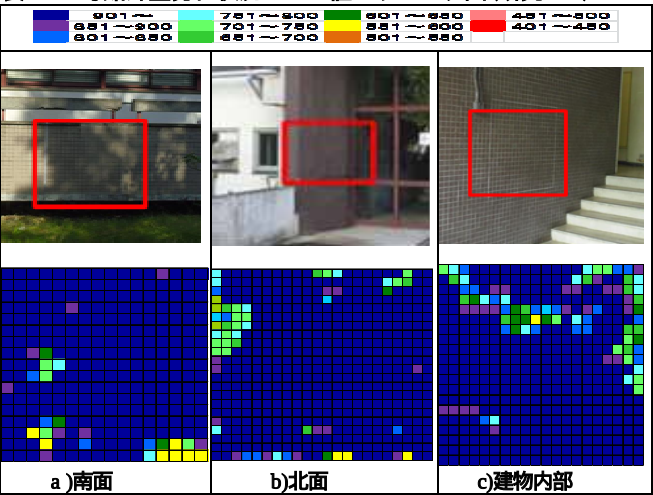


図2 実構造物の外壁タイルのHLD値比較(研究2.1)

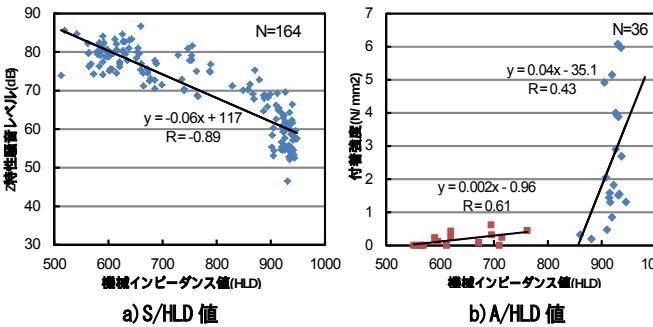
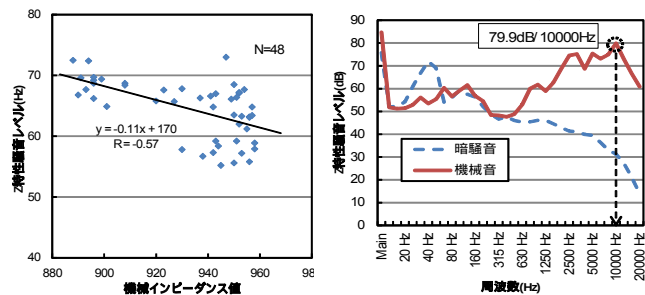


図3 実構造物の外壁タイルの騒音レベル、HLD値、付着強度の関係

2.3.2 実建造物の外壁タイルの騒音測定・付着力試験

図4に騒音レベルとHLD値の関係、付着強度とHLD値の関係を示す。騒音レベルはHLD値が小さいほど大きい傾向にある結果がみられた。付着強度はHLD値と大きな関係は騒音と比べ大きな関係はみられないが、HLD値の900前後を境に付着強度に大きな差があるように考えられる。HLD数値が900以下では付着強度が基準に達しないものが多いが、900以上はその数値に左右されず付着強度が基準に達した。しかし、基準に達した中でも付着強度の数値が大きく差があることがわかった。



a) S/HLD 値

b) S/周波数

図4 壁模擬試験体騒音レベル、HLD 値、周波数の関係

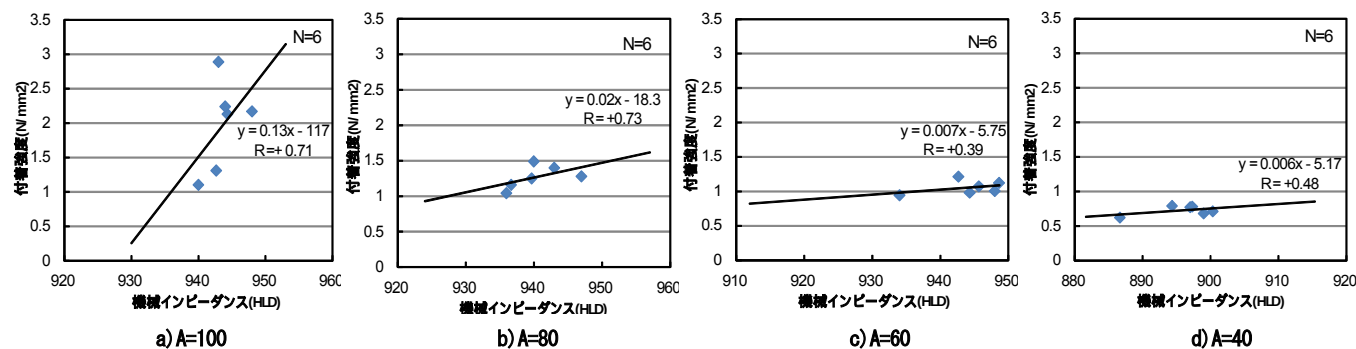


図5 壁模擬試験体の付着強度/HLD 値の関係（養生7日）

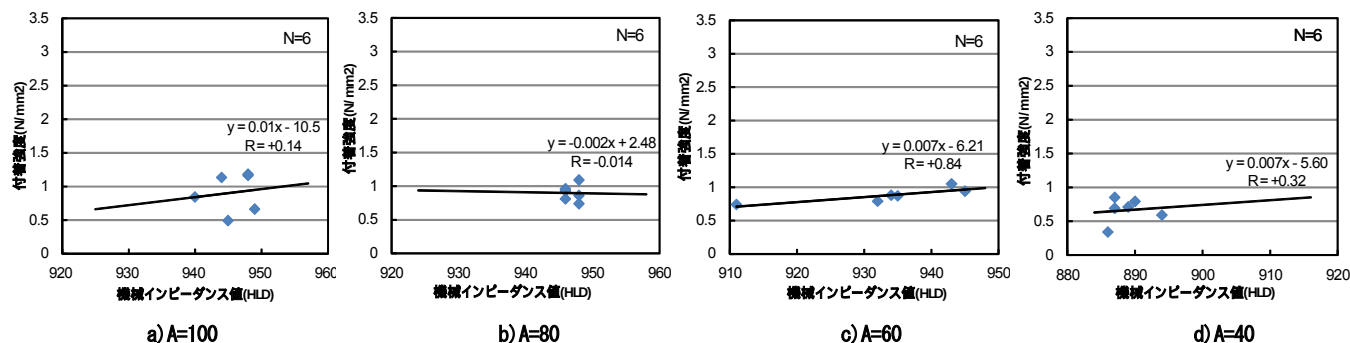


図6 壁模擬試験体の付着強度/HLD 値の関係（養生28日）

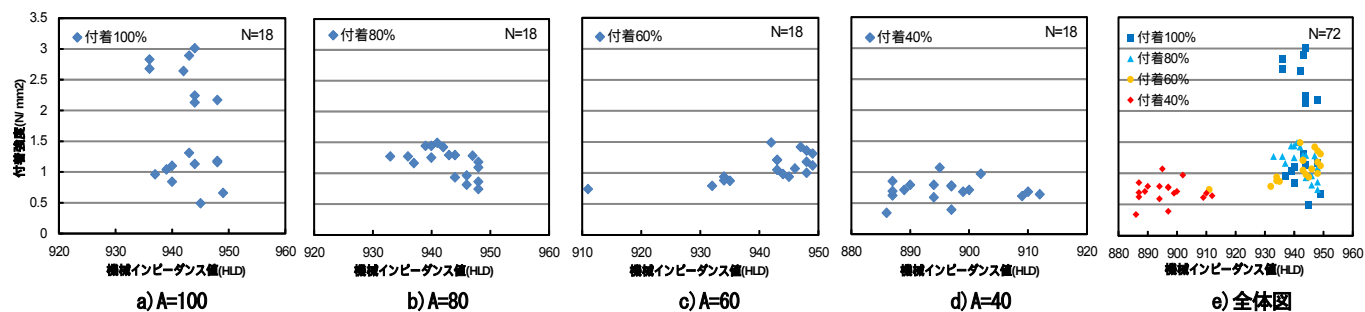


図7 壁模擬試験体の付着強度/HLD 値の関係（3, 7, 28日）

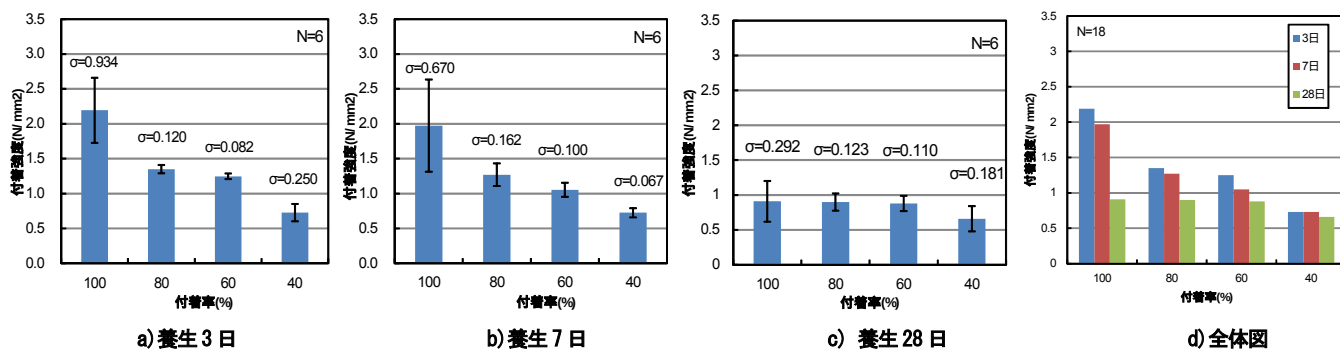


図8 壁模擬試験体の付着強度

2.4 壁模擬試験体実験(研究2.2)

2.4.1 壁模擬試験体の騒音測定

図4に騒音レベルとHLD値の関係、暗騒音と測定音の騒音レベルと周波数の関係を示す。研究(2.1.2)と同様に騒音レベルはHLD値が小さいほど大きい傾向にある結果がみられた。騒音レベルは暗騒音と比較し周波数の低いところでは差は見られなかったが、ある周波数を境に暗騒音との騒音レベルの差がはっきりと見られた。

2.4.2 壁模擬試験体の付着力試験

図5、図6、図7に養生3日、7日、28日の付着強度/HLD値の関係を示し、図8に養生日毎の付着強度を示す。HLD値はSfa=100%、80%、60%については差はみられなかったが、40%についてはHLD値が少し低い結果が見られた。付着強度はSfa=100%、80%、60%については養生日数が経つに連れて強度が下がったが、40%については変化は見られなかった。これは乾燥収縮によるものだと考えられる。付着率に付着強度とHLD値は比例せず、大きな関係性はみられなかったが、線形近似曲線を引くことで、傾向を確認し評価できるようにした。

2.5 外壁診断におけるリスクマネジメント(研究3)

2.5.1 リスクマネジメントの概要

技能改善による目標領域のシフトに伴い、「点検費用」、「診断能力」、「対策時に見込む安全率」が点検レベルに応じて変化する。つまり、現状に踏まえて、点検レベルを改善する対応とは、「高精度の点検機器を使用し、点検費用が高価になるが、診断者の能力は高する必要はなくなり、結果、点検精度に対する信頼性は維持される」と解釈でき、逆に点検レベルを低下させる対応とは、「汎用的な点検器具を使用し、点検費用も抑えられるが、部分的な判断となるため、診断者の能力は高くある必要があるが、容易に改善出できる問題ではない。同時に、評価値のばらつきが大きくなるため、信頼性が低下する」と解釈ができる。このように、点検頻度と点検精度の位置づけにより、起こりうる状態の違いが相違する。この傾向を広義の品質への枠組みとして導入し、建築構造物の健全性評価に資する技術情報として有効活用する必要がある。³⁾

2.5.2 リスクの算出方法

外壁診断に関するリスク評価を示す。リスクは、安全の対概念で、危害の発生確率（故障率）と危害程度（影響度）で置き換えられる。評価式は、リスク=故障率×影響度で計算する。²⁾今回は影響度を診断+補修の経済損失リスクとする。図9に外壁診断リスクマネジメント連成フロー図を示す。第1象限にリスク（円）、第2象限に騒音レベルとHLD値の関係図、第3象限に付着強度とHLD値の関係図、第4象限に付着強度と付着率の関係図を示す。マネジメントの工事金額は表⁴⁾⁵⁾に示し、今回は付着率100%、80%、60%、40%のものを発生確率をそれぞれ0%、20%、40%、60%に設定する。研究2の騒音測定、機械インピーダンス測定、付着力試験のデータをもと建物外壁1次診断を含めたタイル仕上の劣化診断と維持保全リスク評価の提案を行っ

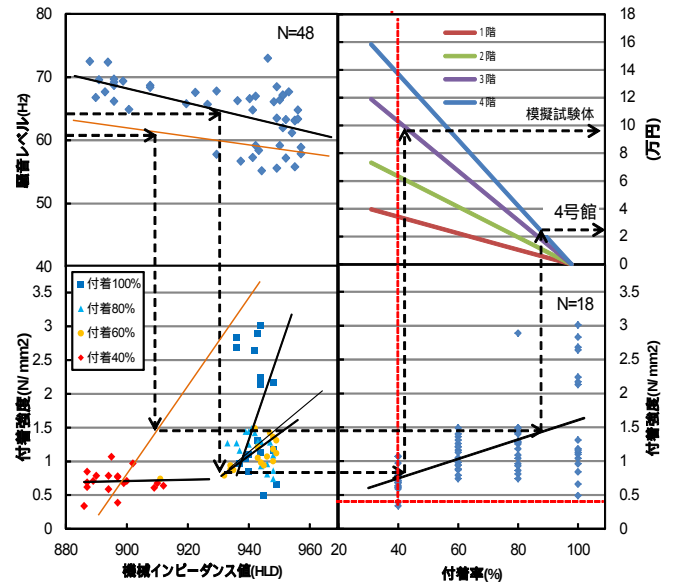


図9 外壁診断リスクマネジメント連成フロー図

た。結果、1階と4階では診断と補修の経済損失リスクがことなり、リスクの違いが生じることがわかった。

3. まとめ

本研究より以下の知見が得られた。

- 1) 既存郵政外壁診断の実施により、一次診断の評価方法の時間や頻度が確認できた
- 2) 騒音レベル測定、機械インピーダンス測定では、外壁タイルのばらつきが確認でき、付着強度への関係付ができた
- 3) 模擬試験体で一次診断データからの付着強度と付着率がわかった
- 4) 建物の一次診断を定量化することで、外壁診断+補修の経済損失のリスク評価ができた
- 5) 付着強度と機械インピーダンスの関係を向上することで精度の高い実験結果になると考えられる

参考文献

- 1) コンクリート構造物の目視試験方法、NDIS 2012 年
- 2) JISハンドブック、リスクマネジメント、JIS A 8051 2007 年
- 3) 微破壊試験を活用したコンクリート構造物の健全性診断手法調査研究委員会、JCI、2012
- 4) 建築工事の積算、経済調査会積算研究会、2012 年
- 5) 建築実務、建築知識、2011 年
- 6) タイル手帳、全国タイル業協会、2005 年

謝辞

本研究実施にあたり、株式会社環境リサーチ、工学院大学キャンパス施設課関係各位より多くの助力を賜り感謝致します。なお本研究の一部は、工学院大学UDM研究、H25年度科研費(若手A:23680681 田村雅紀)による。