

震災廃棄木材を含む木質バイオマス系無機有機混合外装材の品質評価と環境影響

材料施工,モルタル・コンクリートの物性
未利用木材,セメント,複合体

大岩優美¹

田村雅紀²

1.はじめに

昭和20年代頃から植林してきた木々は多くが利用可能な樹齢に達しているが、現在の日本は材木の7割以上を輸入に依存しているため、森林荒廃が目立ち未利用の間伐材が増加している¹⁾。環境を保全し森林資源を循環させるため、未利用木材をバイオマスとして加工し使用可能な建材としたり発電用チップとして活用する必要がある。後者の場合固定化された炭素が燃焼時に排出するため、バイオマスを製品原材料とした低圧縮型木片コンクリートに注目した。これは骨材に木材を使用した無機有機混合コンクリートで、固定化されたCO₂を排出せず建材にでき、構造用材料として外装使用できる等、多くのメリットがある。しかし、海外の耐火基準は満たしているが、日本の法律で定められた圧縮強度を満たしておらず耐火試験が実施できないため、日本で構造用材料としての使用は容易ではないが、圧縮強度20N/mm²以上を一部の水準で達成し、構造材料として使用を可能にする第一歩となっている²⁾。

建築材料を分類すると、構造材、仕上材、下地材及び機能材の4種類に分けられる³⁾。本研究では構造体としての使用と共に機能性を含んだ仕上材としての利用拡大に向け、表1の使用材料により製造した無機有機混合外装材（以下MYボードとする）としての評価を進め、CO₂固定化に貢献できる建材を目指す(図1)。表2に必要な試験の抜粋とJIS規定を表3に比較試験体の種類を示す。試験体の作製にあたって、外装材として使用されているボード類のJISとの比較検討をふまえ⁴⁾、研究1、2でMYボードの性能評価を行い、研究3で環境影響に対する評価を行う。

2.研究概要

2.1 無機有機混合外装材の耐久性評価（研究1）

2.1.1 吸水乾燥試験による基礎物性評価

図2に吸水乾燥試験の流れを示す。吸水乾燥による木チップの劣化を評価するため、繰り返しの吸水乾燥を行う。ステップ1では約20の部屋で水道水に6時間含水させ、1時間おきの質量を計測した。その後、丸1日以上含水させ、その状態を完全吸水状態とする。ステップ2では60の乾燥機で強制乾燥さ

せ、1時間おきに質量を測り完全乾燥状態時に色差を計測した。同様の試験を繰り返し行い、ステップ3、ステップ4とする。

図3に吸水・乾燥試験による各試験体の施工時からステップ4までの密度変化を示す。密度は式1)によって求める。吸水乾燥を繰り返すことで密度が下がり、その変化量はチップが大きいほど大きくなった。

$$\text{密度}(\text{kg/m}^3) = \frac{MO}{V} \quad \text{— 1)}$$

ここに、V:試験体体積(m³)、MO:試験体質量(g)

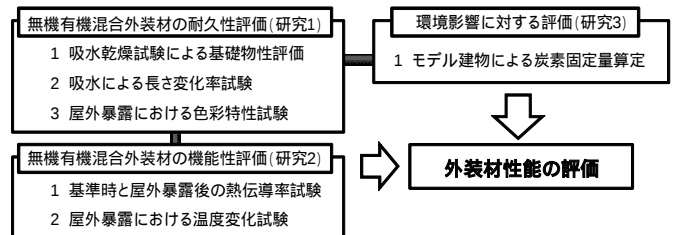


図1 研究の流れ

表1 使用材料

項目	記号	種類	平均最大寸法 (mm)
木チップ C	C-RS	リサイクル材 (小)	- (微粉末)
	C-RM	リサイクル材 (中)	11.7
	C-RL	リサイクル材 (大)	39.3
	C-KS	カラ松材 (小)	(3mmメッシュを通過)
	C-AS	赤松材 (小)	(3mmメッシュを通過)
セメント	N	普通ポルトランドセメント (密度: 3.16g/cm ³)	
AE 減水剤	Ad	リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体	
増粘剤	M	メチルヒドロキシエチル化した水溶性MCE系混和剤	
チップサイズの 基準	小	パーティクルボード表面材サイズ	
	中	パーティクルボードコア材サイズ	
	大	解体木材を一次破砕工程でできるサイズ	

C-RS (微粉末) C-RM (11.7mm) C-RL (39.3mm)

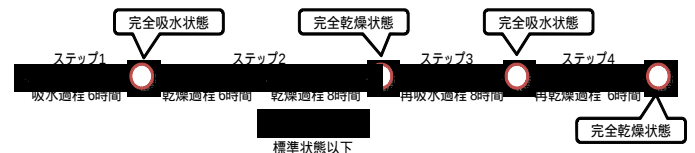


図2 吸水・乾燥試験の流れ

表2 各種ボード類の要求性能試験項目(一部)とJIS規定

材料	圧縮強度 (N/mm ²)	密度 (kg/m ³)	曲げ破壊荷重 (N)	曲げ強さ (N/mm ²)	含水率 (%)	吸水率 (%)	透水性	吸水による 長さ変化率(%)
窯業系サイディング (JIS A 5422)	—	—	12mm: 690以上, 15mm: 785以上, 18, 21, 25mm: 885以上	—	—	—	減衰高さ 10mm 以下	—
押し出し成型外装板 (JIS A 5441)	—	—	—	17.6 以上	8 以下	18 以下	—	0.07 以下
ALCパネル (JIS A 5416)	3.0 以上	450 を超え 550 未満	—	50mm: 780N 以上 37, 35: 200N 以上	—	—	—	—
せっこうボード GB-R (JIS A 6901)	—	—	長さ 9.5mm: 360 以上, 12.5mm: 500 以上, 15.0: 650 以上 幅 9.5mm: 140 以上, 12.5mm: 180 以上, 15.0mm: 220 以上	—	3 以下	—	—	—
繊維強化セメント板 (JIS A 5430)	—	—	—	18.0 以上	—	28% 以下	裏面に水滴が生じては ならない	0.25 以下

*1 工学院大学工学部建築学科 4 年

*2 工学院大学建築学部建築学科 准教授 博士 (工学)

図4に比較試験体の体積表面積比を図5に空隙率を図6に吸水・乾燥試験による含水率の変化を示す。体積表面積比、空隙率含水率は式2)3)4)によって求める。チップが大きくなるほど体積が小さくなり、空隙が大きくなる。赤松材のほう空隙率が大きくなったが、コンクリートの硬化不良を起こすと言われているカラマツ材の結果に大差はなかった。

$$\text{体積表面積比 (cm)} = \frac{V}{S} \quad \text{— 2)}$$

$$\text{空隙率 (\%)} = \left(\frac{V_2 - V_1}{V_2} \right) \times 100 \quad \text{— 3)}$$

$$\text{含水率 (\%)} = \left(\frac{m_1 - m_0}{m_0} \right) \times 100 \quad \text{— 4)}$$

ここに、V:試験体実体積 (cm³)、S:試験体かさ表面積 (cm²)
V1:試験体実体積 (cm³)、V2:試験体かさ体積 (cm³)
m0:試験体乾燥時の質量 (g)、m1:試験体採取時の質量 (g)

MY ボードの含水率の変化が CON に近く大きな変化が見られないこと、木チップを混合させることで体積の大きな変化が起こらないことから、ボード自体の大きな変形の可能性は低いと考えられる。しかし、RL に吸水後の乾燥による木チップのみの収縮でモルタルとの間に微小な隙間ができた。

2.1.2 吸水による長さ変化率試験

図7に吸水による長さ変化率を示す。8種類の比較試験体から長さ変化率の試験体(100×150×50mm)を採取し、試験体の標線間隔が約100mmになるように標点を刻む。乾燥器に入れ、その温度を60±3 に保ち24時間経過した後取り出してコンタクトゲージにより長さを測定し、それを基準長さ(L₁)とする。次に48時間の水中浸せき後、水中から取り出して再び標線間の長さ(L₂)を測定し、長さ変化率 L を式5)によって求める。

$$L = \left(\frac{L_2 - L_1}{L_1} \right) \times 100 \quad \text{— 5)}$$

ここに、L:吸水による長さ変化率 (%)
L₁, L₂:乾燥時、吸水時の標線間長さ (mm)

繊維強化セメント板のJIS規格である0.25%以下を若干上回る結果となったが、CONの性質を多く付加した材となった。

2.1.3 屋外暴露における色彩特性試験

図8に屋外暴露試験における色彩特性を示す。試験台に8種類の試験体を3体ずつ並べ、外装使用想定のため太陽光や降雨での劣化調査を1カ月ごとに色差、質量、温度変化測定を行った。暴露台は雨溜まりを防ぐため30°の勾配をつけた。

木は紫外線の吸収によりリグニンの分解、それに伴う色素の溶脱が起き、黒色化し明度が下がる⁵⁾。屋外暴露によるL*

値ではWSとRLは明度が低下した。これは材の劣化を表し、木チップが大きくなるほど木の影響を大きく受けたと考える。

abクロマC*_{ab}は、色座標a*, b*を用いて式6)によってL*a*b*表色系における二つの物体色のabクロマの差、彩度変化率は式7)8)によって求める⁶⁾。

$$C^*_{ab} = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \quad \text{— 6)}$$

$$C^*_{ab} = C^*_{ab,S} - C^*_{ab,R} \quad \text{— 7)}$$

$$\text{彩度変化率 (\%)} = (C^*_{ab,S} / C^*_{ab,R}) \times 100 \quad \text{— 8)}$$

ここに、C*_{ab}:彩度の変化量

表3 比較試験体の種類

記号	名称	厚さ [mm]	表面積 [cm ²]	体積 [cm ³]	V/S比 [cm]	密度 [kg/L]
RS	リサイクルチップ 小	35.68	340.71	345.4	1.01	1.34
RM	リサイクルチップ 中	36.09	346.07	330.1	0.95	1.33
RL	リサイクルチップ 大	35.63	355.81	331.3	0.93	1.56
AS	赤松チップ 小	36.19	349.69	344.8	0.99	1.36
KS	カラ松チップ 小	35.75	347.00	345.8	1.00	1.51
Dur	低圧縮型木片コンクリート	48.00	394.73	267.2	0.68	1.13
CON	コンクリート	35.75	351.25	344.1	0.98	2.32
WS	杉	36.85	349.90	350.3	1.00	0.46

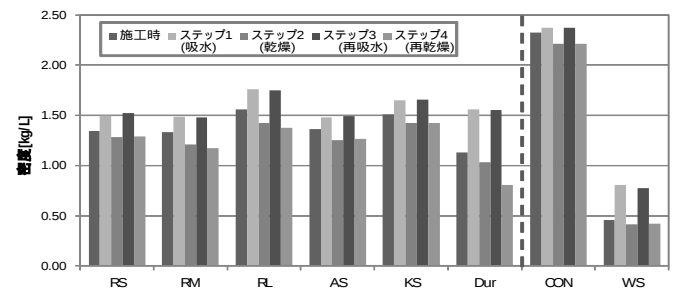
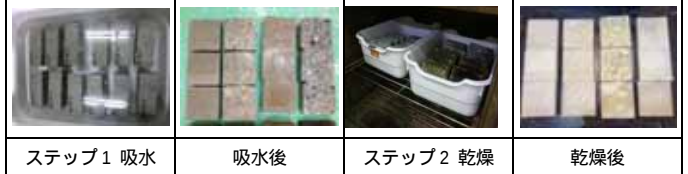


図3 吸水・乾燥試験による密度変化

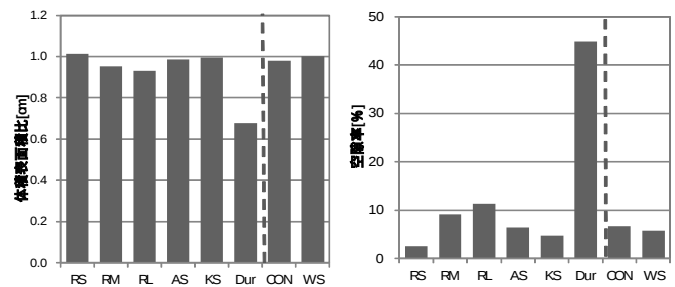


図4 比較試験体の体積表面積比 図5 比較試験体の空隙率

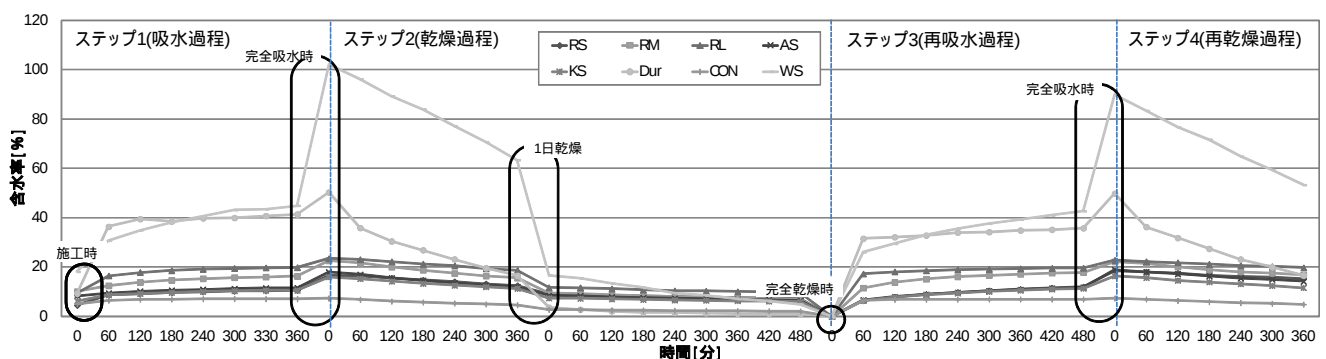


図6 吸水・乾燥試験による含水率の変化

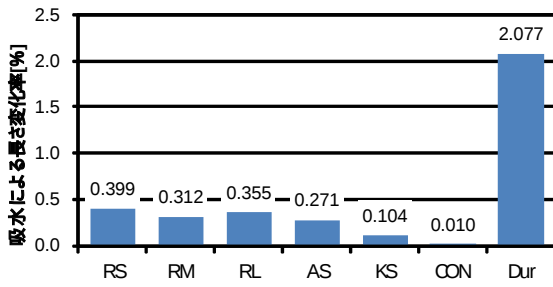


図7 吸水による長さ変化率(%)

図 8-e, g に初期値から暴露後の C^*ab 値の変化率(%)及び C^*ab 値の変化量を示す。 C^*ab 値の変化量において値が大きいほど色の変化が大きく、屋外使用による色の变化を示す。図 7-d より、 b^* 値低下をふまえ、色落ちの度合いと考える。

$L^*a^*b^*$ 表色系による色差は、式 9)によって求める。

$$E^*ab = \left[(L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2 \right]^{1/2} - 9$$

ここに、 E^*ab : 色差の変化量

2.2 無機有機混合外装材の機能性評価（研究2）

2.2.1 基準時と屋外暴露後の熱伝導率試験

図 9 に基準時と屋外暴露後の熱伝導率を示す。熱伝導率は迅速熱伝導率計を用いボックス式プローブ法で測定した。測定範囲は $0.023 \sim 12 \text{ W/mK}$ で、熱伝導率測定原理は式 10)である。

MY ボードの熱伝導率は CON の約 31%に抑制でき、木材の木質化により機能性の向上がみられた。

$$\lambda = \left(\frac{q \cdot \ln(t_2/t_1)}{4\pi(T_2 - T_1)} \right) - 10$$

ここに、 λ : 試料の熱伝導率(W/mk)、 t_1, t_2 : 測定時刻(sec)

q : ヒーターの単位時間、単位長さ当たりの発熱量(W/m)

T_1, T_2 : 時刻 t_1, t_2 での温度(K)

2.2.2 屋外暴露における温度変化試験

図 12 に各試験体の温度変化を示す。太陽光に近い白熱灯を試験体より 30 cmの高さから 60 分照射し、表面温度と裏面温度を各 3 点測定する。温度上昇一定時に、全国的平均雨量である 3mm/分を流下し、温度上昇傾向をみる。

基準となる CON は WS と比べ熱伝導率が高いため、表面温度の上昇に伴い裏面温度も上昇した。CON に比べ MY ボードは温度低減効果がみられ、雨や日射により熱伝導率にも影響を与えるが、あまり大きくないため機能性を保持できるといえる。

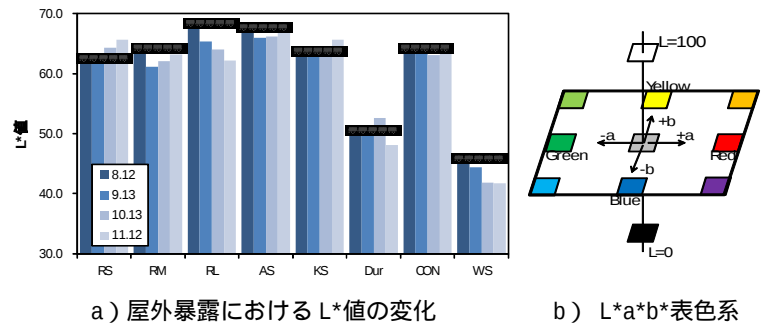
図 13 に各試験体の温度低減率を示す。

$$\text{温度低減率}(\%) = \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1} \right) \times 100 \quad \text{—9)}$$

ここに、 T_1 : 温度上昇が一定時の温度(), T_2 : 散水時の温度()

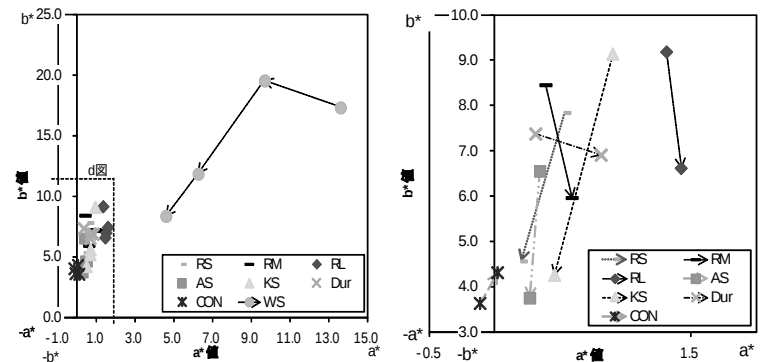
2.3 環境影響に対する評価（研究3）

モデル建物を想定し、MY ボードの木チップ含有量による炭素固定量の算定をする⁷⁾。表 4 に環境評価方法について示し、モデル建物は日本建築学会標準住宅モデルを使用する。



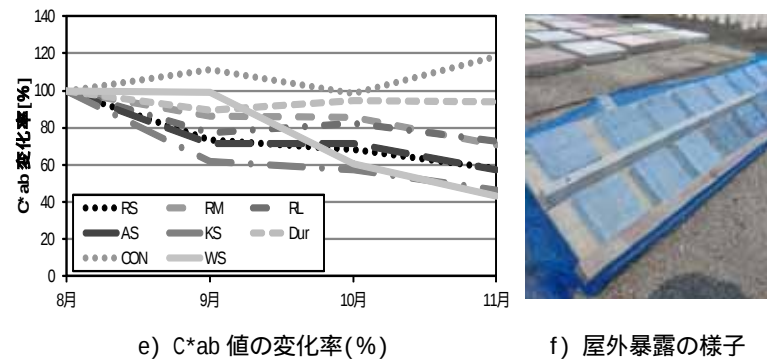
a) 屋外暴露における L^* 値の変化

b) $L^*a^*b^*$ 表色系



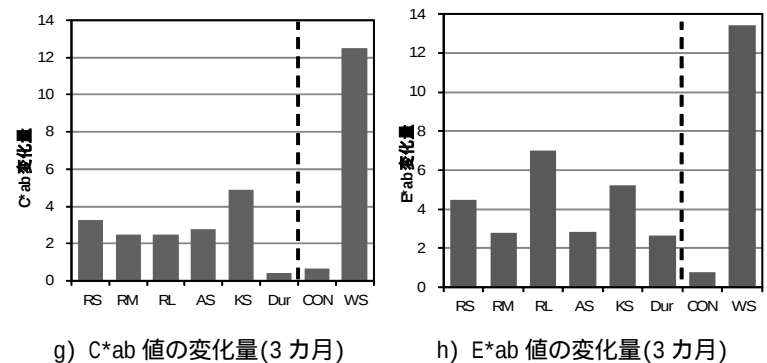
c) 屋外暴露による a^*b^* 値の変化

d) c) 拡大図



e) C^*ab 値の変化率(%)

f) 屋外暴露の様子



g) C^*ab 値の変化量(3 カ月)

h) E^*ab 値の変化量(3 カ月)

図8 屋外暴露試験における色彩特性試験

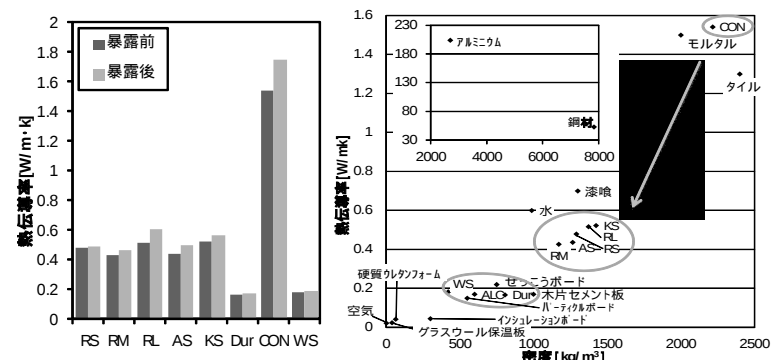


図9 屋外暴露前後の熱伝導率 図10 MY ボードを含む建築材料の密度と熱伝導率

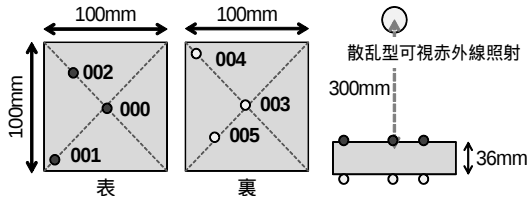


図 11 熱電対測定点

木造、S 造、RC 造の構造方法に対して、一般的建材と MY ボードの CO₂ 排出量の比較を行った。未利用木材を建材として使用せず発電用チップとして使用した場合、セルロース(C₆H₁₂O₆)に含まれる炭素分が全て CO₂ として排出されるため、その分を建材に固定したと考え、単位二酸化炭素排出量から木チップ使用による炭素固定量をマイナスして求める。

図 14 に CO₂ 排出量を示す。MY ボードはセメント量増加で強度向上を図ったため使用方法により CO₂ 排出量が上がるが、建物に対するボードの割合では大きな差は見られなかった。

3. まとめ

本研究により以下の知見が得られた。

- 1) 木チップの使用によりコンクリートに比べ屋外使用による色落ちが多くみられたが、熱伝導率の低下及び温度低減効果を発揮した。
- 2) 大サイズの木チップで吸水による長さ変化率や色差の変化量が上昇したため、使用するチップが大きいほど耐久性に影響を与えると考える。
- 3) 劣化による機能性低下の割合は木チップが大きいほど大きくなったため、機能性の向上はチップの使用量によって決まると考える。
- 3) 無機有機混合材はセメント量増加での強度向上のため CO₂ 排出量が上がるが、工法や必要性能の違いで木チップの割合を検討することにより CO₂ 排出量を抑えることができると考える。

参考文献

- 1) 林野庁, 平成 24 年度森林・林業白書, 2012 年
- 2) 荒川, 田村: 未利用木材を有効利用した低圧縮型木片コンクリートの基礎物性評価, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2013. 3
- 3) ベーシック建築材料, 彰国社, 2010 年
- 4) JIS ハンドブック, 建築, 材料, JIS A 5422, JIS A 5441, JIS A 5416, JIS A 6901, JIS A 5430, 2005 年
- 5) 直井ら他 3 人: 屋外暴露-改質こけら葺き材の初期劣化性状の評価, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2013. 3
- 6) JIS ハンドブック, 色彩, JIS Z 8729, JIS Z 8730, 2005 年
- 7) 日本建築学会, 地球環境委員会, 一般建築用 LCA ツール, 2006 年

謝辞

本研究の実施にあたり、住友林業ホームテック荒川氏、木チップの提供や加工、ヒアリング調査等で東京ボード工業、セキスイボード、デュリソルジャパン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・PJ 研究、H25 年度科研費(若手 A:23680681 田村雅紀)による。

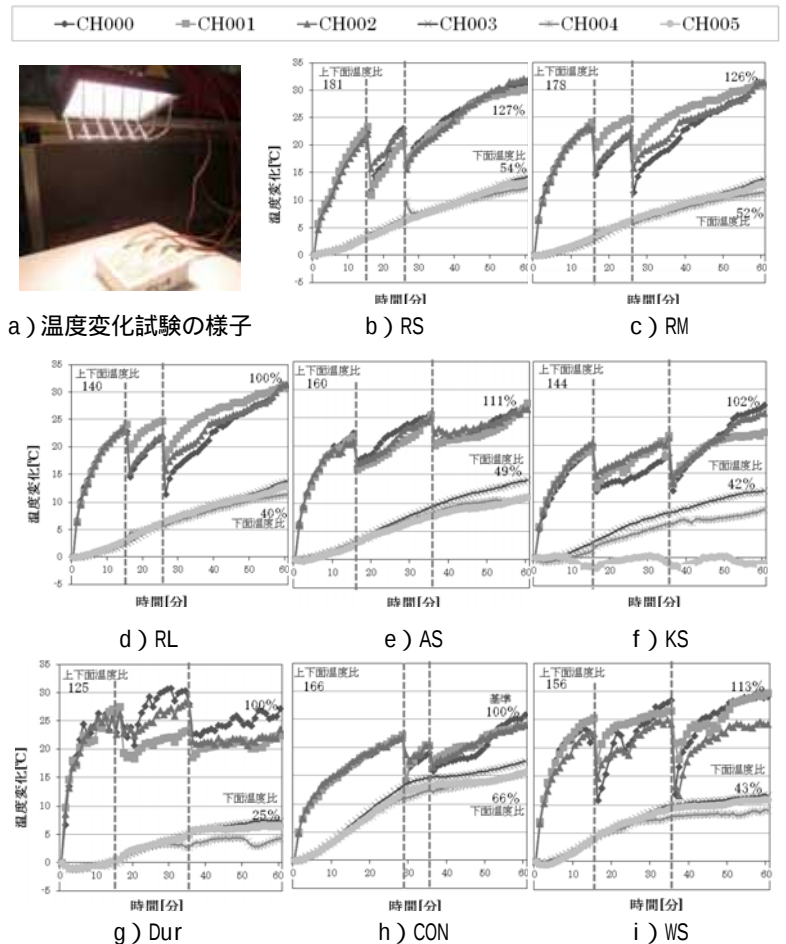


図 12 屋外暴露試験体の温度変化試験

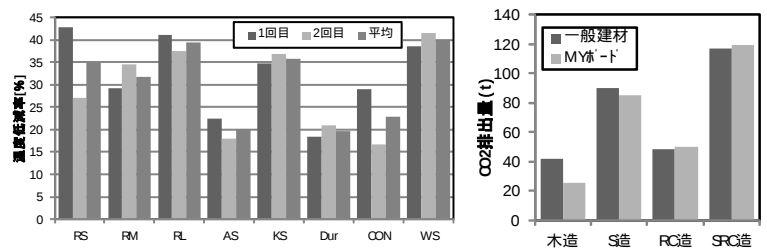


図 13 散水による温度低減率

図 14 各種建物の製造時 CO₂ 排出量比較

表 4 環境評価方法の概要

概要	日本建築学会標準住宅モデル 地上 2 階建て延床面積 125.88m ² (1,2 階とも 62.94m ²) 木造、鉄骨造、鉄筋コンクリート造の 3 構造それぞれを想定				
	1 階平面図 断面図				
環境影響度	構造体	外壁	製造時 CO ₂ 排出量(t-CO ₂)	二酸化炭素排出量(t-CO ₂)	厚さ (mm)
				一般の建材	
	木造	木造	24.2	サイディング モルタル	24.9 41.6
	S 造	押出成形板	80.6		25.7
	RC 造	PCa 型枠	46.6		84.9 50.2
					60 30

都市の長期供用建物から多点採取した小径コアによる外部環境の品質影響評価

材料施工、長期供用建物、外部影響
微破壊試験、非破壊試験、小径コア

保田直哉*¹
田村雅紀*²

1. はじめに

高度経済成長期に建設された多くの建築物が寿命を迎え始めている。現在、公共工事の多くはスクラップ&ビルドの工事から、ストック&メンテナンス¹⁾²⁾（補修・改修）の工事へと移行傾向にある。それに伴い、建築物の診断の件数も増加しており、対象建築物を使用しながら試験を行うことが求められる。しかし、大きな機械の搬入・使用、音や振動の問題も多くある。また、人間の目視による診断は細かな評価項目を設けていても、試験者の経験、知識によって結果が変わることが考えられる。そこで、今後期待されている周囲への影響を抑え、機械的に評価ができる微破壊試験・非破壊試験³⁾⁴⁾を用いて既存建築物を対象に各実験を行った。さらに、建築物の劣化は経年のみではないと考えられる。使用状態や環境状態において、劣化の進行が早まる可能性もある。既存建築物がどのような状態であるかを調査し、知ることで、各面において効率的な工事ができると考えられる。ISO 21930 の改正予定の中では、建築製品の使用環境別に材の耐用年数を仮定すること含まれていることから推測される。

図1に研究の全体図を示す。本研究では研究1において微破壊試験で得た結果と環境因子による影響の関係、研究2において研究1で得た結果と非破壊試験の結果の関係を評価した。（図1）

2. 研究概要

2.1 小径コアによる圧縮強度の測定（研究1）

2.1.1 実験概要

表1に実験の項目と方法、研究の流れ、表2に実験の要因と水準、表3に研究対象建築物の概要と環境因子を示す。Step.1は2階のみとし、衝撃衝撃波法により機械インピーダンスを測定する。コアの採取は各階層、東西南北の壁、各面の両端部と中央部の3箇所と1階柱を9箇所とし、全51箇所で行った。1箇所あたり約6本以上を目安にし、計360本採取した。Step.4では圧縮試験と同時にひずみの測定も行った。

対象建築物は1996年に圧縮強度、中性化深さ、不同沈下の診断調査が行われた。その結果も示す。

また、コアを採取した箇所の外部環境因子による影響の可能性を検討する。内部環境は竣工時に受ける影響、外部環境は経年で受ける影響とする。

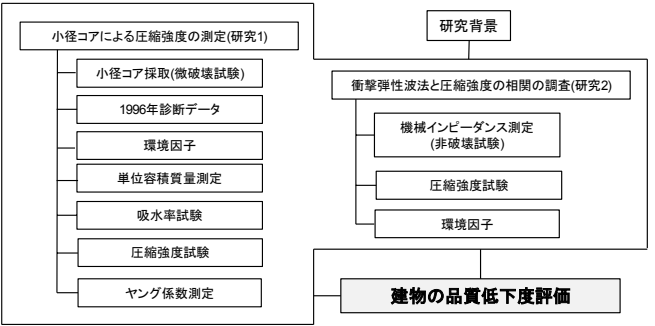


図1 研究の全体図

表1 実験項目と方法

	実験項目	方法
研究1	小径コア採取方法	JIS A 1107
	小径コア単位容積質量	JIS A 1109
	小径コア吸水率	JIS A 1109
	小径コア圧縮強度	JIS A 1107 参照
	ヤング係数	JIS A 1149 参照
研究2	機械インピーダンス試験	JIS A 1155 参照 衝撃弾性波法
	圧縮強度	JIS A 1107

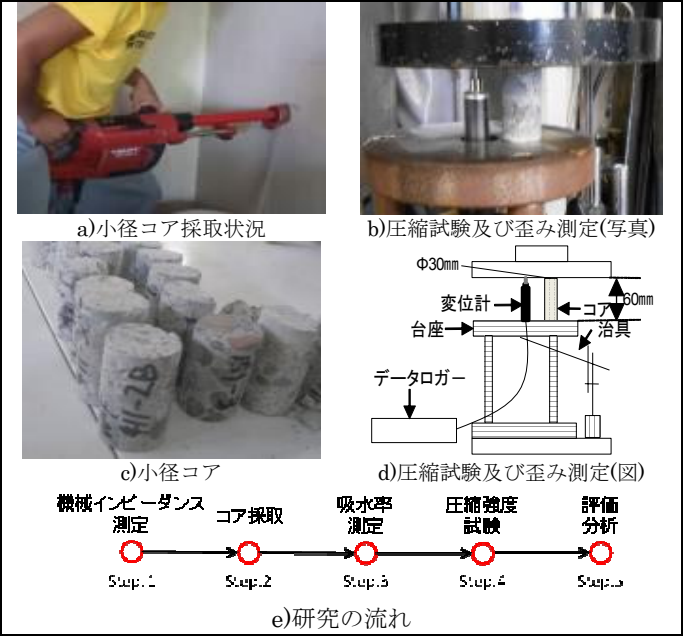


表2 実験の要因と水準

	要因	水準
研究1	小径コア寸法(試験体寸法)	φ 30 mm(φ 30 mm×60 mm)
	養生条件	水中、48 時間
	階数条件	1 階、2 階、3 階、4 階
	方位条件	東西南北
	環境影響の分類条件	環境因子による
研究2	対象箇所	2 階、東西南北、中央・両端

*1 工学院大学工学部建築学科 4 年 *2 工学院大学建築学部建築学科 准教授 博士（工学）

2.1.2 小径コアの基本物性

図2に単位容積質量、図3に吸水率を示す。コア採取直後に、質量と体積（水を張ったシリンダーにコアを入れ、目盛の増加分）を測定し、水中養生（20±2度）を48時間行い、再度質量を測定した。式は1)2)による。

単位容積質量(kg/L) = $\frac{m1}{V}$ —1)

吸水率(%) = $\frac{m2-m1}{m1}$ —2)

ここに、m1:水中養生前質量(kg)、m2:水中養生後質量(kg)、V:体積(L)

単位容積質量は全体平均が2.29kg/Lであり、各階数・方位ともばらつきが小さく、ともに標準偏差も小さかった。また吸水率は全体平均が2.41%であり、同様に各階数・方位ともばらつきが小さく、ともに標準偏差も小さかった。単位容積質量と吸水率に相関はなかったが、両結果から50年前と現在のコンクリートはほぼ同じと考えられる。

2.1.3 小径コアの圧縮強度

採取したコアを湿式コンクリートカッターで直径の2倍高さに切断し端面を手研磨で整え、試験体を作製した。本研究から得た結果は本来の数値よりも小さく出たことが推測されたため、過去診断調査と同箇所より採取したものと比較し、補正係数を定めた。補正式は式3)による。過去診断のコアは階段室から採取された。

Fc2(N/mm²)=Fc1×1.64 —3)

ここに、

Fc1:本研究の圧縮強度

Fc2:補正後の圧縮強度

補正係数：過去診断平均(Fc:25.0)/本研究平均(Fc:15.2)=1.64

図4に階数別圧縮強度、図5に方位別圧縮強度を示す。1階が最も小さく、4階から2階へ徐々に小さくなった。方位別ではほぼ差は見られなかった。過去診断は1階から4階へ徐々に小さくなっており、本研究とは異なった。ゆえに、試験体の採取箇所により結果が変わってしまうことが分かる。しかし、建築物を運用しながらのコアの採取では場所が限られてしまうことが考えられるため、問題となることが考えられる。

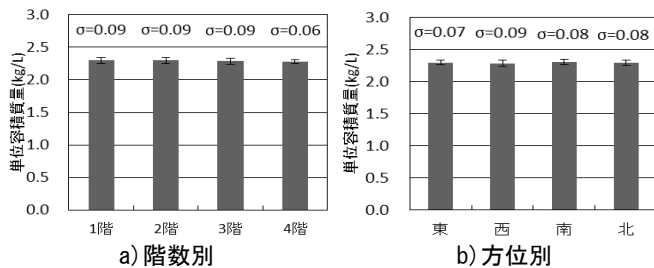


図2 階数・方位別の単位容積質量

表3 研究対象建築物の概要と環境因子

建築物名称	工学院大学八王子校舎 1 号館		
所在地	東京都八王子市中野町 2665-1		
用途	学校施設		
竣工	昭和 38 年(1963 年)		
構造形式	鉄筋コンクリート造ラーメン構造		
階数	地下 1 階、地上 4 階		
規模	延床面積:5040 m ² 、建築面積:1008 m ²		
設計基準強度	180kgf/cm ² (17.6N/mm ²)		
1996 年調査	採取コア本数: 15 本(B1~4F)		
	平均圧縮強度: 255.4kgf/cm ² (σ =64.2)		
	平均中性化深さ 打放: 32~36 mm		
	ペンキ・モルタル仕上げ: 0~21 mm		
対象建築物の環境因子			
	項目	影響	分類
内部環境	建築部位別	施工	柱、壁、工区等
外部環境	Water Effect	雨影響	雨除け(庇等)の有無
	Thermal Effect	日射影響	温度、日射
	樹木	影響軽減	樹木の有無



a)東(開口部少, 樹木)



b)西(開口部少, 煙突)



c)南(日射影響, 樹木)



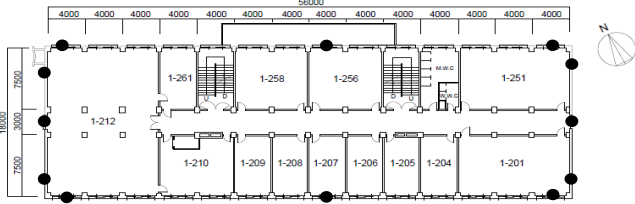
d)北(開口部多)



e)北庇(雨影響)



d)南庇(雨影響)



e)2 階平面図(●: 採取箇所)

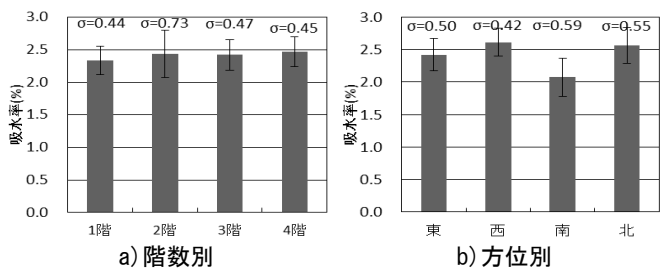


図3 階数・方位別の吸水率

2.1.4 小径コアのヤング係数

図6に階数別・方位別のヤング係数、図7にRC構造計算規準式⁵⁾とヤング係数分布(全コア)、図8にRC構造計算規準式とヤング係数分布(各階数・方位)、図9にヤング係数分布の相関係数を示す。ヤング係数は全体的に高い数値が出た。12000を越えるものもあった。3階が若干高くなった。RC構造基準式に合わせたものは圧縮強度の補正前では上に分布していたが補正後はほぼ上下に分布するようになった。R-2乗式より3階、4階が低いのは1階、2階と比較し暴露面が多く、南北が低いのは構造的に長手であるためと考えられる。対象建築物の施工当時のコンクリート打設技術から1フロア3工区程度であったと仮定すると長手方向にばらつきが大きくなることが考えられる。

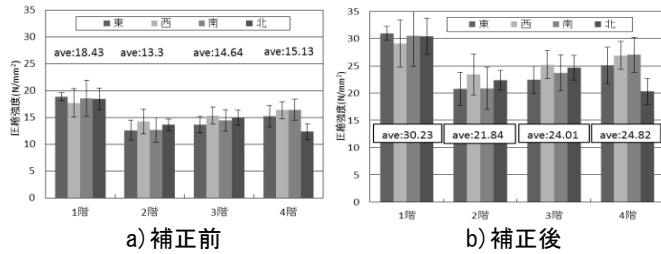


図4 階数別の圧縮強度(4方位)

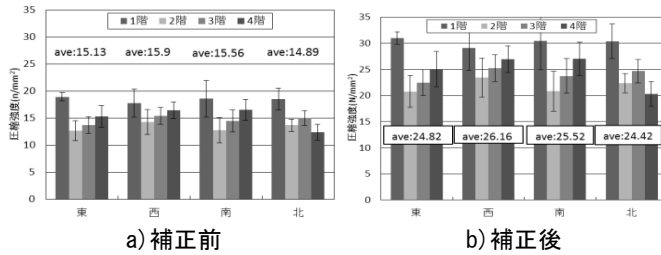


図5 方位別の圧縮強度(4階数)

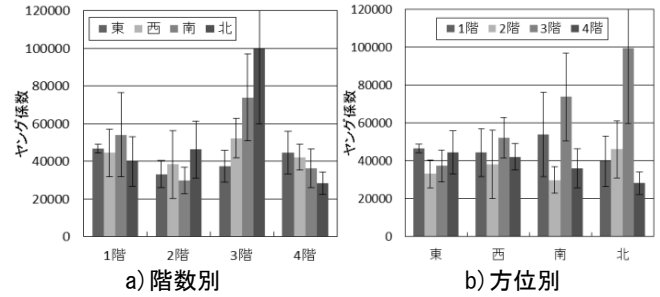


図6 階数・方位別のヤング係数

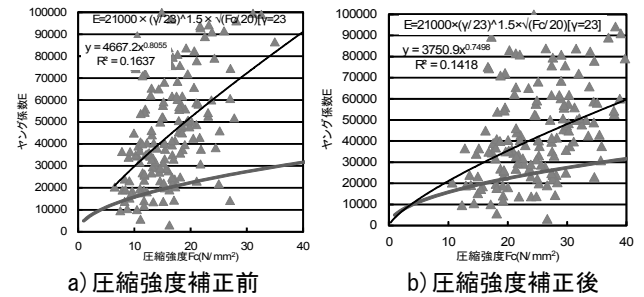


図7 RC構造計算規準式とヤング係数分布(全コア)

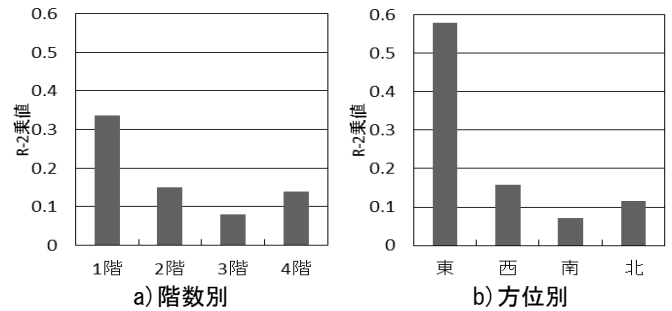


図9 階数・方位別のヤング係数分布の相関係数

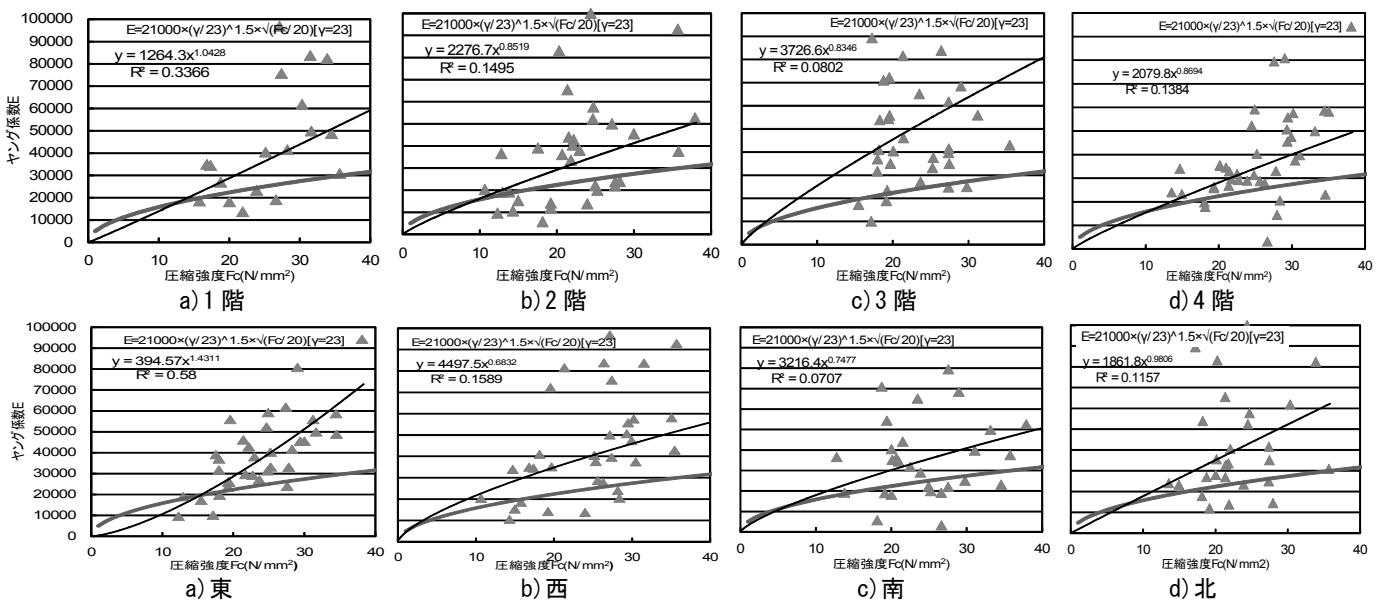


図8 各階数・方位のRC構造計算規準式とヤング係数分布(各階数・方位)

2.1.5 環境因子による影響

表4に方位別の環境因子、図10に環境因子別の圧縮強度を示す。圧縮強度の結果から外部環境因子による大きな影響はないと考えられる。内部環境因子における部材別の圧縮強度では柱の方が高くなった。壁は開口部付のものも含むため柱と比べ、充填が甘くなることが考えられる。底有無では底有の方が高かったことから、外部環境の影響がコンクリートに与える影響もあると考えられる。また、中性化深さでは影響があるとする。本研究では外部足場等が設置できず行えなかったが、内部から採取したコアの中性化深さはモルタル層で止まっていた。

2.2 衝撃弾性波法と圧縮強度の相関（研究2）

2.2.1 実験概要

2階の東西南北、各方位3箇所、全12箇所を対象に衝撃弾性波法で機械インピーダンス（以下、HLD）を測定し圧縮強度と相関⁶⁾⁷⁾をみた。方法はJIS A 1155を参考にした。HLD式は式4)による。

機械インピーダンス(HLD) = $\frac{V}{V_0} \times 1000$ —4)

ここに、インパクトボディーの反発速度:V
インパクトボディーの打撃速度:V₀

2.2.2 機械インピーダンスと圧縮強度

図11にHLDと物性数値を示す。HLDと単位容積質量は相関が見られる。HLDが高い箇所は圧縮強度も高い傾向がある。ゆえに、お互いに相関関係があると考えられる。しかし、ばらつきが多いためHLDのみでの圧縮強度の推定は現段階では不十分であると考えられる。

3. まとめ

本研究より以下の知見が得られた。

- 1) 築50年のRC造の長期供用建物を評価するために、1996年の耐震診断では12本採取で評価をしたが、今回は小径コアで多点の360本により、建物の品質状態を分析した。
- 2) 小径コア(φ30mm)でも圧縮強度評価は可能であるが補正定数が必要となるため、元データ（直径が粗骨材の最大寸法の3倍以上のもの）を得る必要がある。
- 3) 小径コアの圧縮強度は多点採取により施工品質や方位、階数、底有無による外部環境の品質影響の評価ができ、環境因子の影響をとらえるには複数のデータが必要である。
- 4) 機械インピーダンス法を例とした非破壊試験により圧縮強度の相関が見られたが、ばらつきが大きく、外部環境因子の影響を含めた評価には微破壊試験と比べ、更なるデータの蓄積が必要である。

表4 方位別の環境因子

方位	内部環境	外部環境
東面	開口部少	庇無，樹木
西面	開口部少	庇無，樹木
南面	開口部多、 1階柱多	日射強，庇一部有，樹木
北面	開口部多、1階柱多	日射弱，庇一部有

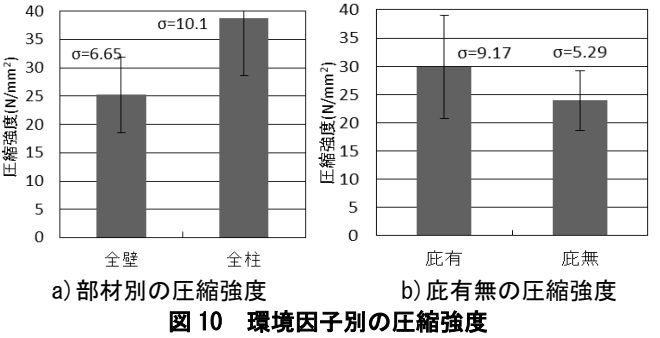


図10 環境因子別の圧縮強度

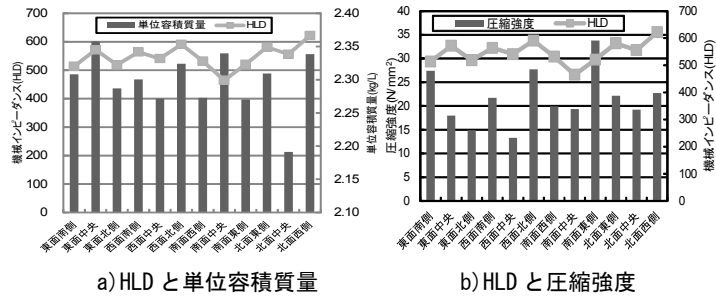


図11 HLDと物性数値

参考文献

- 1) 鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説 1997. 1
- 2) 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建築物の品質管理および維持管理のための試験方法 2007. 3
- 3) 日本コンクリート工学会: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委員会 報告書 2012. 6
- 4) 建築技術:第三者が検証可能なRC構造体の品質・性能評価方法, pp92-177 2008. 8
- 5) 日本建築学会:鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 1991. 4
- 6) 久保元樹, 久保元他:コンクリート強度の推定—インピーダンス法とリバウンド法—土木学会第66回年次学術講演会, 2009. 9
- 7) 岩野聡史:衝撃弾性波法によるコンクリート強度評価の現状と課題, JSNDI 平成20年度春期大会講演会梗概集, (社)日本非破壊検査協会, 2008年8月

謝辞

本研究の実施にあたり、工学院大学施設課担当各位、日本ヒルティ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。

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。

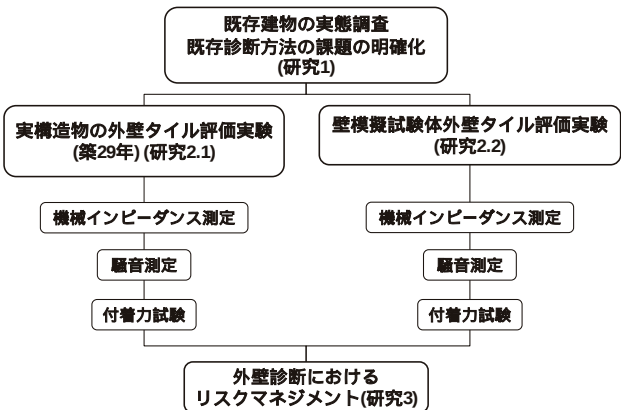


図1 研究の流れ

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

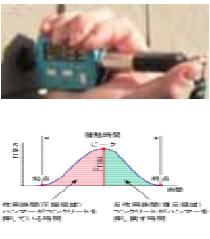
機械インピーダンス	騒音計	引張試験機
		

表7 4号館外壁劣化状況のHLD値マッピング図(研究2.1)

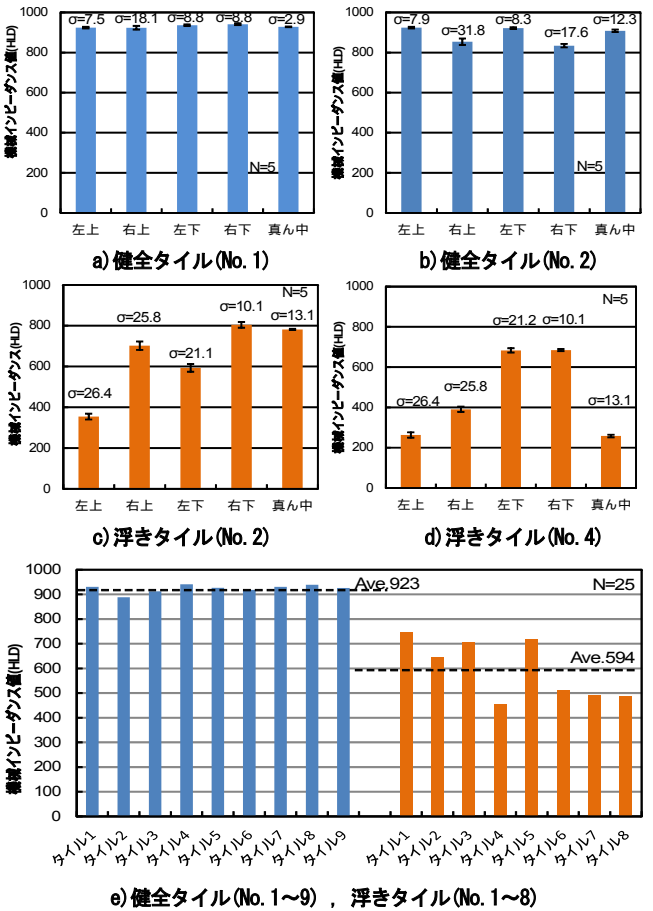
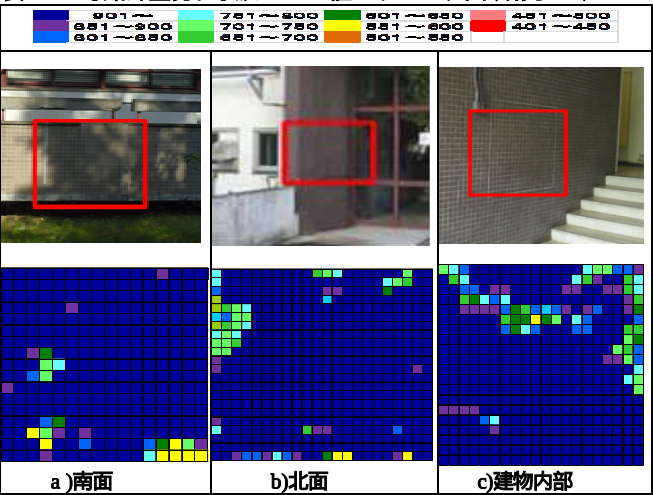


図2 実構造物の外壁タイルのHLD値比較(研究2.1)

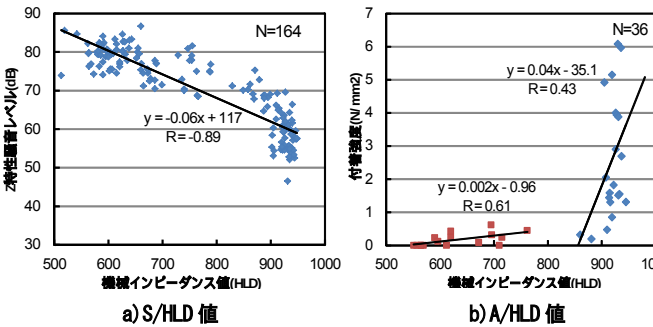
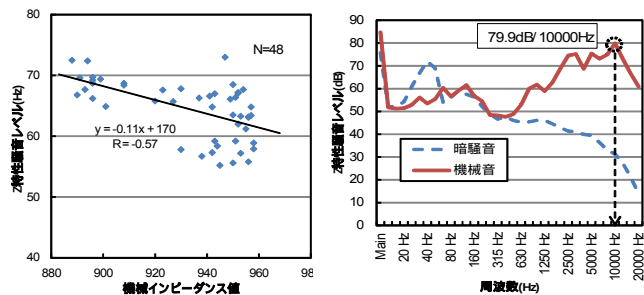


図3 実構造物の外壁タイルの騒音レベル、HLD値、付着強度の関係

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

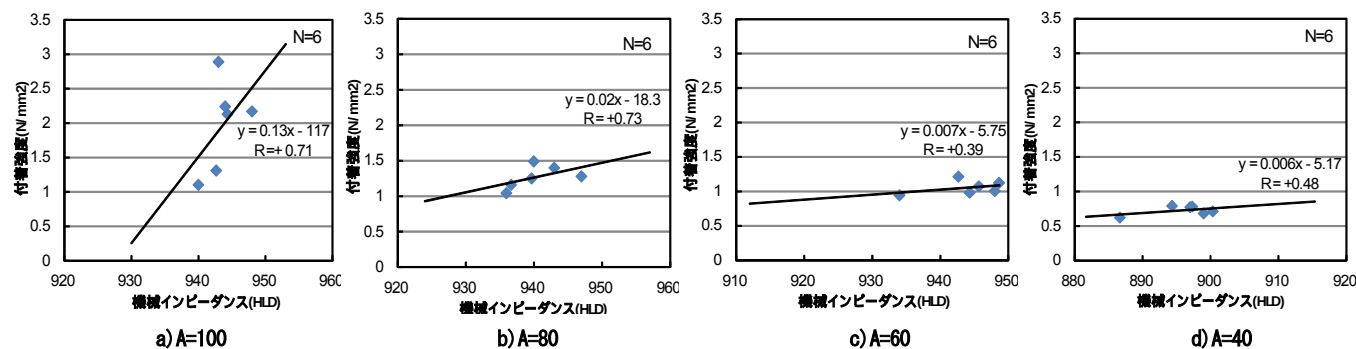


図5 壁模擬試験体の付着強度/HLD 値の関係（養生7日）

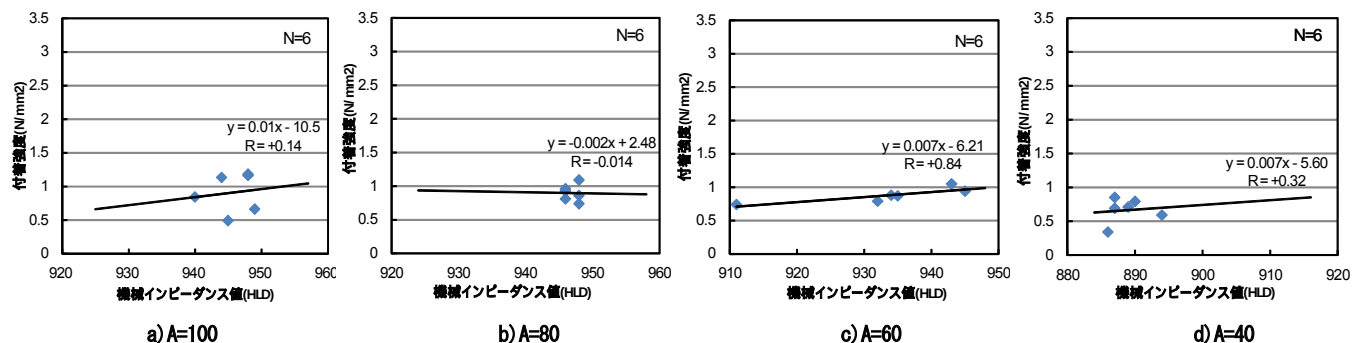


図6 壁模擬試験体の付着強度/HLD 値の関係（養生28日）

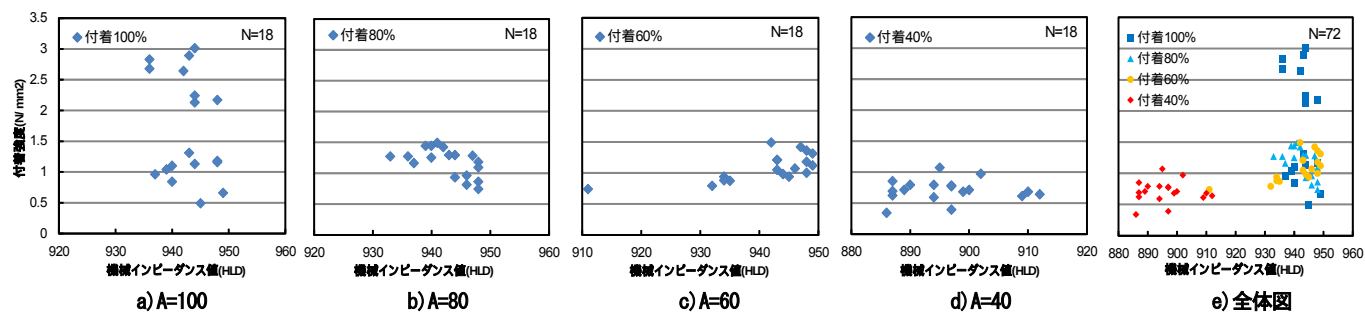


図7 壁模擬試験体の付着強度/HLD 値の関係（3, 7, 28日）

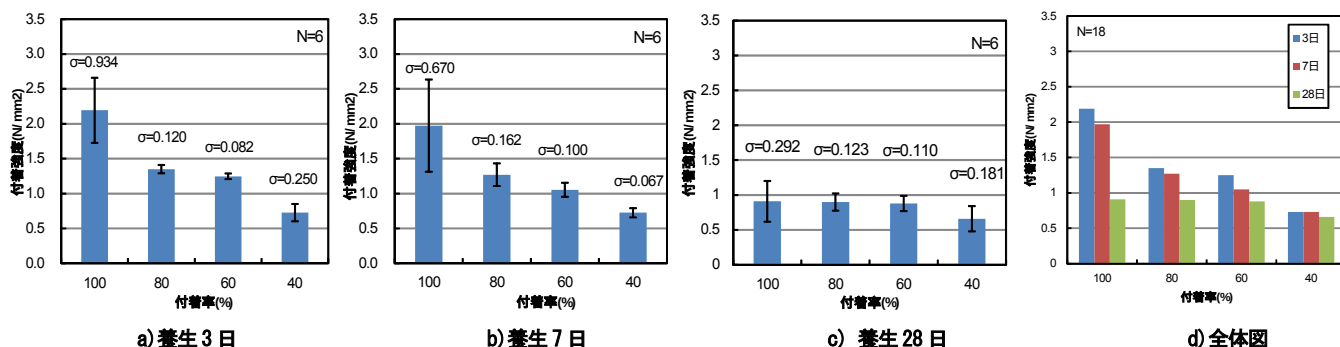


図8 壁模擬試験体の付着強度

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

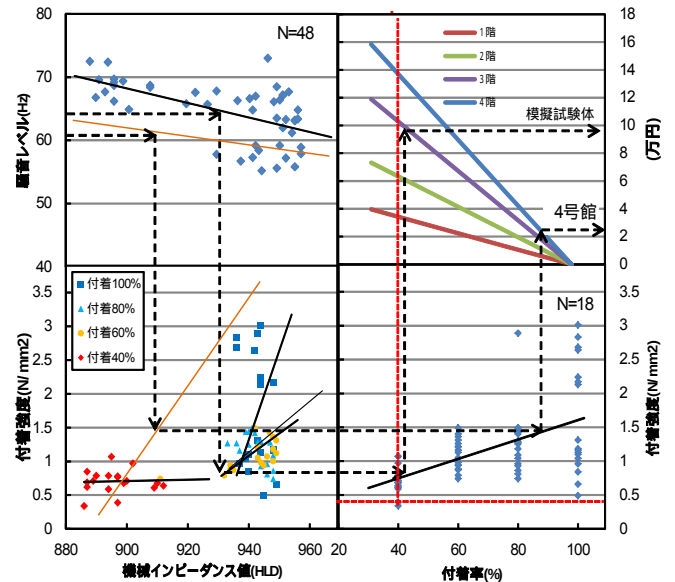


図9 外壁診断リスクマネジメント連成フロー図

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。

都市建築物における外壁タイル仕上げの施工時環境を踏まえた剥離剥落要因の検討

材料施工，都市建築物，外壁タイル
施工時環境，剥離剥落

小野幸彌^{*1} 田村雅紀^{*2}

1. はじめに

現在、日本では高度成長期に建築された建物が経年により一般外壁仕上材劣化を起し剥離剥落として確認されている。中でもタイル仕上材は広く建物の外壁材として剥離剥落による事故が最も多く報告されており、剥離剥落原因要因として施工方法や施工使用時環境などの工法による問題、下地表面処理である目荒しの問題や施工時間、天候などの外部因子要因、又は施工技術者の練熟度によるヒューマンエラーが大きく関係しているが、施工における要因とモルタル付着力の関係性は不確定事項が多く関係性が明確になっていない。本研究では研究1に剥離剥落調査を行う。図1に研究の流れを示し表1に研究における要因と水準を示す。研究1ではタイル外壁材の剥離剥落基準類調査を行い、事故調査報告書を収集し、事故に関する原因究明結果を調査する。研究2では研究1を基に実際に発生した都内タイル外壁仕上材剥離剥落調査を行い、施工時代背景等の残留資料等から剥離剥落原因を様々な方向から解析し原因究明を行う。研究3においては施工・使用時環境を考慮した躯体目荒し法及びモルタル下地試験にて躯体製作を行い、各種規程目荒し、各施工方法にてタイル施工を行う。これらの研究3の結果と研究2の結果を合せ予防保全維持管理の視点提案に活用してゆく。

2.1 タイル外壁仕上材の剥離防止基準類調査（研究1）

図2のa)に日本建築仕上学会によるタイル建物仕上材診断調査⁶⁾を行った結果を示す。診断結果数から考察すると商業施設が最も多く、次いで学校、公共施設、集合住宅の分譲・賃貸が多くなっている。主に物件数が多い他に外壁仕上にタイル張りが多用されている事が上げられ、図2のb)とc)にタイル張り施工に関する施工方法と事故件数について示す。鍍塗りが最も多い結果となっており、鍍塗りは一般的で最も左官職人が行いやすく施工件数も多いが、熟練度によるヒューマンエラーが最も出やすいものとする事が出来る。図4に診断方法を示す。目視と打診による診断が最も多く最も適切で普及していると考えられる。図2で行った調査の結果を踏まえて考察すると商業施設や公共施設は施工面積が大きい為吹付け等による施工が多いと考えられるが、集合住宅などは鍍塗等による施工が多い為、剥離等の件数が増えていると考えられる事が出来る。

表3 モルタル下地試験（研究3）

項目	試験名	内容
モルタル下地試験	引張試験 (t)	3日, 7日, 28日 強度
	加力後引張試験 (f)	12時間後加力(水平, 最大6Galを4回) 3日, 7日, 28日 強度
	荷重引張試験 (1)	28日 強度
		100, 200, 400, 800 (μ) 縦ひずみ時

(備考) Fd1-25t F:平滑面 d:ドライ 1:荒さ1 25:砂率1:2.5 t:引張試験

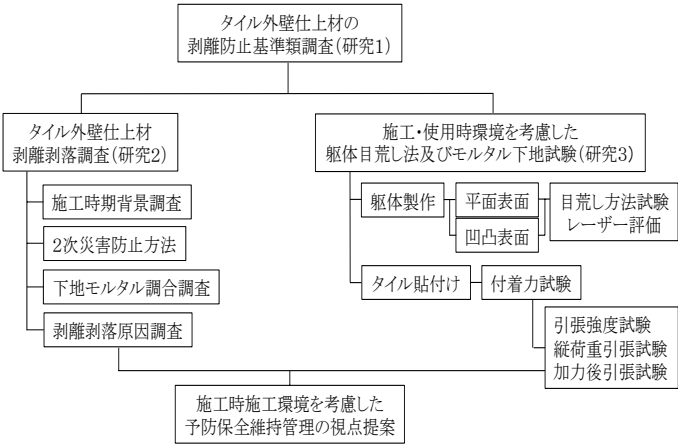


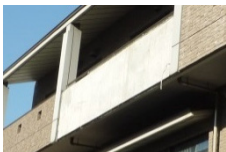
図1 研究の流れ

表1 調査・実験の要因と水準（研究1 研究2 研究3）

項目	要因	水準
研究1	基準類調査	JASS15 左官工事
		1989年, 1998年, 2007年
		改訂内容
		目荒しの有無
研究2	タイル剥離剥落調査	JASS19 タイル工事
		1991年, 2005年, 2012年
		改訂内容
		表面不陸調整有無
研究3	躯体製作方法	躯体種類
		平滑面(F), 凹凸面(M)
	躯体目荒し方法	躯体数
		38躯体 (平面36, 凹凸2)
		躯体表面状態
		ドライ(d), ウェット(w)
		目荒し荒さ
		平(1), 中(2), 粗(3)
		切り込み幅
		1.1mm 格子状, 一定
		切り込み深さ
		平(1)0mm, 中(2)0.2mm, 粗(3)1.2mm
		目荒し方法
		無し, ディスクグラインダー, 一定
	タイル施工方法	モザイクタイル50×50(mm), 一定
		塗り厚
		下地5mm タイル裏4mm
モルタル調合	モルタル調合	叩き
		15回 一定
		砂
		1.2mm以下, (絶乾に5%の水を付与)
モルタル下地試験	試験方法	水湿し
		ドライ 0(g), ウェット 60(g)
		モルタル調合比
		1:2.5, 1:3.5 (セメント:砂)
モルタル下地試験	試験方法	引張試験 (t)
		加力後引張試験 (f)
		縦荷重引張試験 (1)

表2 タイル仕上材剥離剥落事故調査（研究2）

調査結果	内容
建物諸元	東京都内マンション 1994年竣工 (a) 剥離剥落部
剥離剥落日	平成24年10月 (b) 剥離剥落物
施工工事仕様書	左官
	施工調合比
	セメント砂比 1:2.0 混和剤 メトロース
	目荒し方法
	原則2回塗り 計5~7mm
タイル	施工計画
	高圧水洗 不陸調整 ±2mm以下
	タイル種類
	特注割り肌風 75角 2丁
貼付け	貼付け時間
	20分以内
貼付け	貼付け方法
	圧着張り



a) 剥離剥落部



b) 剥離剥落物

*1 工学院大学工学部建築学科4年 *2 工学院大学建築学部建築学科 准教授 博士（工学）

2.2 タイル仕上材剥離剥落調査 (研究2)

2.2.1 剥離剥落の原因究明

表2に剥離剥落に関しての途中調査結果を示す。調査対象建物は東京都内の建物であり、平成9年に竣工し平成24年10月7日に剥離剥落した。タイル仕上材剥離剥落部は3階南側バルコニー手摺部、サイズは約6m×1.5m (9 m²)、左官下地 (20~30mm)、タイル (20~25mm) となっている。調査対象建物のタイル仕上材剥離剥落は施工後15年以上経たず状況で生じた問題で、躯体コンクリートをはじめ、建物を構成する基本要素 (構造体、下地材、仕上材、機能材) においては各部位において更新の時期にあたる事も考えられる。タイル仕上材剥離剥落の原因究明の途中調査結果を6分割にて示す。

1. 使用材料の観点では適用部位や用途別に、各種建設資材の使用材料や施工時期等の違いが生じる事は一般的にありえるが、外壁タイル、左官材料 (セメント、細骨材) に関しては同一製造メーカー¹⁾ を使用しており、材料の違いによるタイルの付着力への影響は生じにくいと判断される。

2. 工事区分の観点では、左官工事、タイル工事共に工事仕様に基づいて同一施工品質を確保出来る施工業者により実施されたと判断されるのが適切で、剥離剥落したバルコニー手摺部以外の箇所¹⁾ でも多数の浮きが確認されている箇所や全く浮きが確認されていない箇所もある事から工事区分に適用の有無による問題ではない。

3. 施工方法の観点では当時の施工写真から左官材の施工時に、吹付け工法と鍍仕上工法の適用が確認¹⁾ された為、施工時期・施工時間・モルタル調合のヒアリング等が必要であるが、調査を通して吹き付け工事及び左官工程の施工手順検証を試みたが、工事仕様書の保管期間超過及び施工技術者の退職などにより確認が困難で、タイルの付着に大きく関係するビブラート工法の施工時間も検証できなかった。

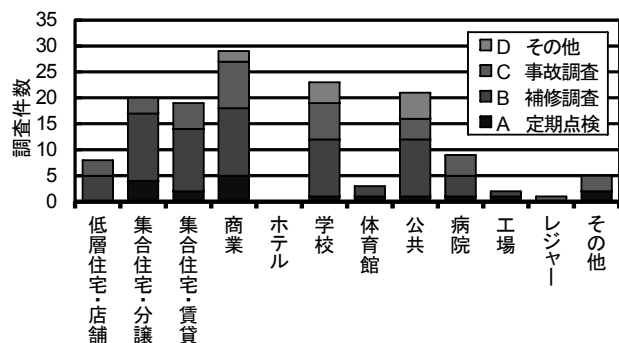
4. 施工環境の観点では、タイル施工が夏期に行われた¹⁾ 事から水分蒸発が顕著であり、厳しい条件下における目粗しおよび水湿しの前処理の方法とその実施程度の影響が想定されているが、実部材の条件を加味した実験的検討が今後必要と考えられる。

5. 現況の躯体コンクリート強度の観点から見ると、コンクリートの設計基準強度 $F_{c24} (N/mm^2)$ ¹⁾ である場合、構造体強度補正值、気温補正值、標準偏差などを考慮し算定される設計基準強度と同程度となり、下地コンクリートとして表層の材料組成に影響を与えるような材料劣化を生じている可能性は低い。

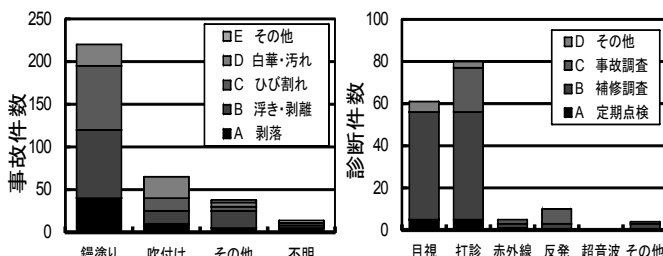
6. 現況の外壁仕上材の浮き・剥離程度観点では、「打診」調査から打診結果¹⁾ において建物ごと、部位ごとに剥離箇所の空間的ばらつきが局所化している大きな特徴が観察された。打診より判明した剥離部分の状況を目視にて確認し、浮きが明確に確認できる箇所は、所定の補修方法を適用し、二次的な災害が生じないようにする配慮を徹底した。

2.2.2 タイル外壁仕上材の剥離剥落物調査

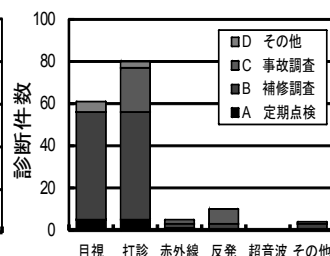
研究2において都内で実際に発生したタイル仕上材剥離剥落においての剥離剥落物解析調査方法を示す。表2の写真a)のタイルモルタル下地剥離剥落が発生した原因追求の為に、表2の写真B)



a) 建物種類別診断調査



b) 施工方法と事故件数



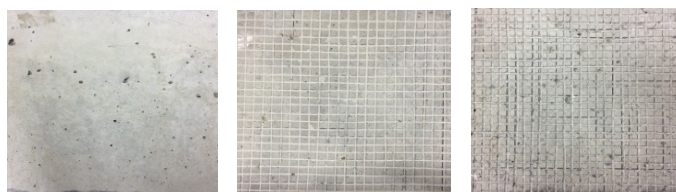
c) 診断方法

図2 タイル建物仕上材診断調査⁶⁾

表4 コンクリート躯体計画調合及びモルタル調合

項目	W/C (%)	水 (kg/m ³)	セメント (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)
コンクリート	55	180	327	773	982
調合種類	W/C (%)	水 (g)	セメント (g)	砂 (g)	調整剤 (g)
モルタル 1:2.5	55	220	400	1000	0.36
モルタル 1:3.5	55	165	300	1050	0.27

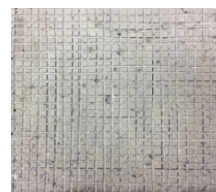
備考：調整剤はメチルセルローズを使用



a) 平 (1), 深さ 0



b) 中 (2), 深さ 0.2mm



c) 粗 (3), 深さ 1.2mm

図3 目荒し程度 (間隔は 1.1cm)



a) タイル裏モルタル



b) 張付け施工後



c) モルタル切削後



a) 引張試験機



b) 加力試験機



c) 荷重引張試験作業

図4 タイル施工状況と各種引張試験

の剥離剥落物をタイルと下地モルタル部分を界面で分断し、加熱実験前に重量を測定した後に300度加熱機で24時間加熱を行い再度重量を測定し、再度加熱機にて600度加熱機24時間加熱を行い再度重量測定を行い、塩酸にて砂抽出実験を行う。加熱を行う事により、左官用モルタル製作時に混入された水分（自由水、結合水）が温度変化により蒸発する為、重量変化が発生し混入水分を推測する事が出来る。これらの実験で得られたデータを基に研究2の実際に発生した剥離剥落に加味し、剥離剥落の原因究明に活用する。

2.3 施工時環境を考慮した目荒し及びモルタル下地試験（研究3）

2.3.1 コンクリート躯体製作方法

表4にコンクリート躯体調査^{4) 5)}について示す。表1の研究3にてコンクリート躯体数や表面処理等の詳細を示す。コンクリート躯体は300×300×100（mm）の型枠にて製作を行い、片側ウレタン塗装合板面のコンクリート躯体を38躯体を製作し、MCR工法を模し衝撃緩衝材を使用した凹凸面を持つコンクリート躯体を2躯体製作する。

2.3.2 コンクリート躯体目荒し方法

表1の研究3にコンクリート躯体表面の目荒し施工方法を示し、図3に目荒し程度を示す。目荒し前条件としてコンクリート躯体表面状態が、型枠を外した状態で、異物を取り除き清掃した状態である必要がある。目荒しは1.1cm間隔にて格子状に目荒しを行う。またヒューマンエラー防止の為目荒しは一度にコンクリート躯体の目荒しを行い、コンクリート躯体目荒し深さの安定化を図る。

2.3.3 タイル貼付け方法

図4にタイル施工方法を示し、表1の研究3に左官用砂使用条件を示し、表4にモルタル調合²⁾を示す。モルタル調合は各種の施工状況において、危険側と安全側の測定を行うため2種類とする。表1の研究3のタイル貼付け方法を基として施工する。施工においては技術者練度における差を最小限にすべく、同一人物による施工を行う。また、一躯体あたりに使用する左官用モルタルは同一条件とする為、規程量を各モルタル調合量とする。

2.3.4 躯体目荒し法及びモルタル下地試験

図4にタイル施工状況と各種引張試験方法を示す。各実験として1. 引張強度試験、改良圧着張り³⁾にて施工したタイルに、引張強度試験用アタッチメントを取り付け強度試験を行う。2. 荷重引張試験、改良圧着張りにて施工した外装仕上げ面に対して、ひずみゲージにて0, 100, 200, 400, 800（μ）のひずみが出るように荷重を上部から圧縮強度試験機にて加力をし、タイル荷重引張試験を行う。3. 加力後引張試験、改良圧着張りにて施工したタイルに対して、躯体背面から一定の加力を加えた後に引張強度試験用アタッチメントを取り付けて引張試験を行う。

2.3.5 モルタル付着力強度試験結果

表1内にて躯体番号及び躯体詳細を示し、図6～図12にモルタル下地試験によって得られた結果を示す。図6, 図8は試験方法と砂率をパラメータとした砂率を変更した引張試験を行い、図7, 図9は図6, 図8の引張試験時に剥離が発生した箇所を示す。

躯体ひずみ	躯体応力
100（μ）時	→ 3 ～ 4（N/mm ² ）
200（μ）時	→ 5 ～ 7（N/mm ² ）
400（μ）時	→ 11.6 ～ 14.3（N/mm ² ）
800（μ）時	→ 24.3 ～ 27.6（N/mm ² ）
備考) 線膨張率（10×10 ⁻⁶ /℃）の時 10～80℃の受熱変形と同様	

a) 加力試験時における衝撃波形（加力数4回）
 b) 荷重試験時ひずみデータ

図5 加力時・荷重計測時データ

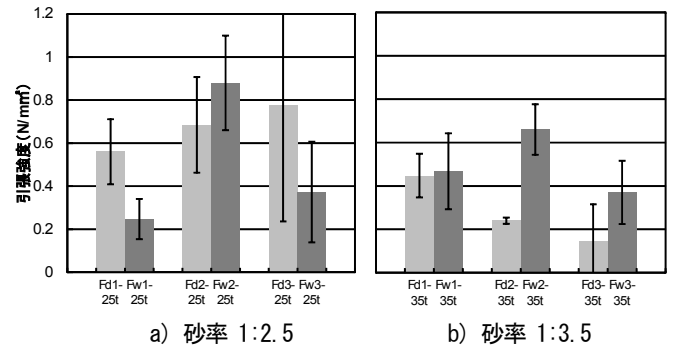


図6 水湿し、砂率、目荒しを考慮した引張試験（平(1), 中(2), 粗(3)）(28d)

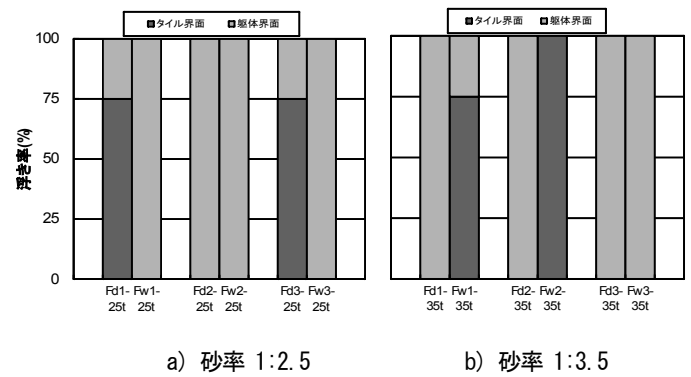


図7 水湿し、砂率、目荒しを考慮した引張試験時の剥離界面（平(1), 中(2), 粗(3)）

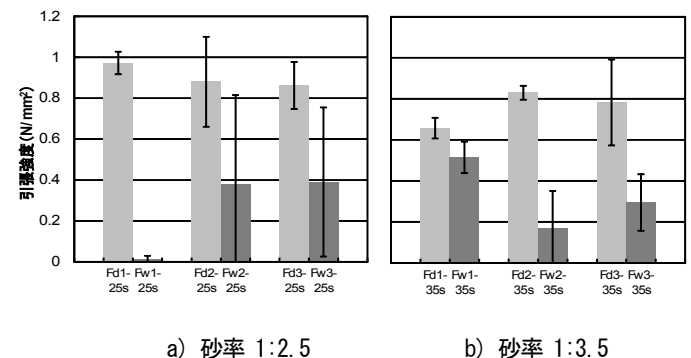


図8 水湿し、砂率、目荒しを考慮した加力後引張試験（平(1), 中(2), 粗(3)）(28d)

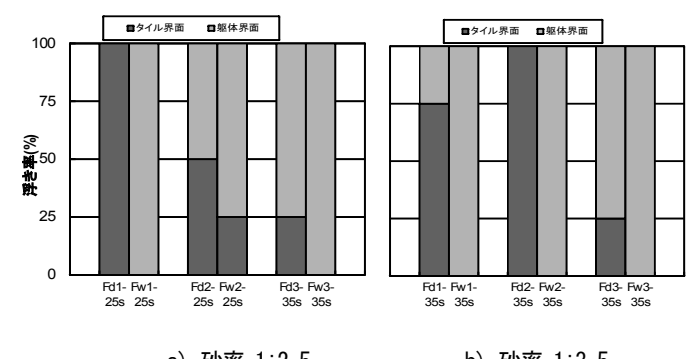


図9 水湿し、砂率、目荒しを考慮した加力後引張試験時の剥離界面（平(1), 中(2), 粗(3)）

図10は砂率が1:2.5時の目荒し程度の違いによる加力前、加力後引張試験を示し、図11は砂率1:3.5時の目荒し程度の違いによる加力前加力後引張試験結果を示す。図12に0, 100, 200, 400, 800 (μ) の荷重を加えた目荒し程度の違いによる荷重引張試験を示す。モルタル下地試験の結果考察として、図6 a)と図6 b)は砂率が異なるが結果として図6 a)の方が強度が出ている。これは図6 a)の方が砂率、1:2.5となっておりモルタルペーストが強い為だと考えられる。これは砂率1:3.5や目荒しが粗の場合など、モルタルが硬いものや目荒しの深さが深くなると施工技術が高くなる為、高い施工品質が要求される事になる。また目荒しと水湿しの関係について、目荒しにて目荒し前と比べると目荒し後は実面積にて増加しているが、過度の水湿しを行うと目荒し深部に水がたまり付着力が落ちる可能性が出てくる。図8～図11は加力が行われているが、これはモルタル状態を危険側に設定した物もあったため、安全性を求め12時間後に加力を行ったが、この時点ではまだモルタルに可塑性があった為、地震を想定した衝撃が可塑性のあるモルタルに幅広く吸収されて、剥離が生じず硬化後は圧密の影響で強度が上がった。しかしながらタイル重量によっては落下する危険性がある。この結果より施工後12時間程度、可塑性が認められる間までは地震力が加わっても強度低下は発生しないものと考えられる。図12はタイル施工行い28日が経過した後に、コンクリート躯体に対して荷重を加え0, 100, 200, 400, 800 (μ) のひずみを加えた結果であるが、砂率が1:3.5に比べ1:2.5の方が荷重毎に対して脆性的な強度低下を見せている。砂率1:3.5の方は微細なひずみにより強度の維持が来ている。これはモルタルの砂率が大きく関係しており、荷重が加わった際のモルタルペースト性が大きく関係していると言える。

3. まとめ

本研究より以下の知見が得られた。

- 1) 調査建物において剥離剥落原因は施工時環境が影響する事が分かり、剥離剥落防止に繋がる予防保全型の施工管理は重要である。
- 2) 躯体面への水湿しは張付けモルタル調合により水分が多いと効果が低下する為、水湿しが必要な施工時環境に把握が必要である。
- 3) 躯体面への目荒しは1mmを超える深さがある場合、モルタル調合により施工技術の影響が生じる可能性があり水湿しの余剰水が残留する可能性も考えられ付着強度に影響する。
- 4) モルタルの砂率は施工性を重視して決められるが、砂率が低い場合水湿しによる界面付着強度の低下や、

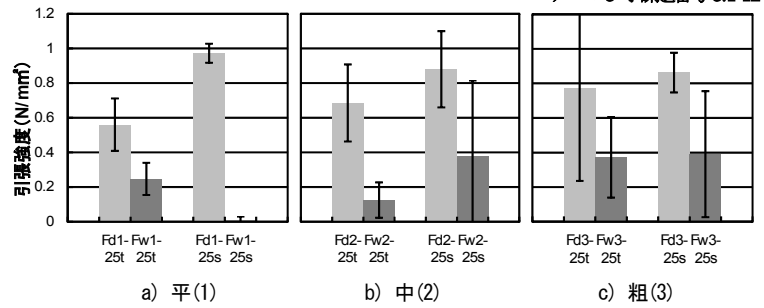


図10 目荒し程度の違いによる加力前、加力後引張試験 (砂率1:2.5)

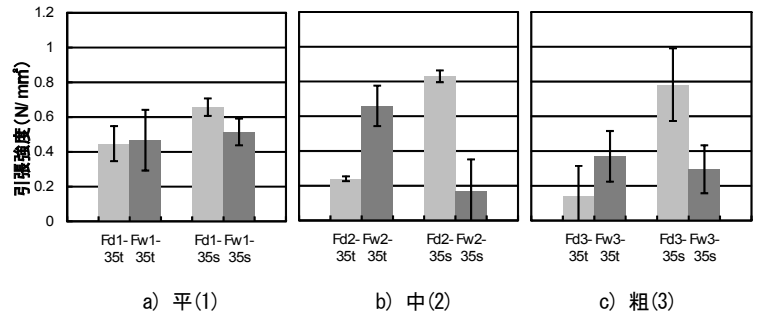


図11 目荒し程度の違いによる加力前、加力後引張試験 (砂率1:3.5)

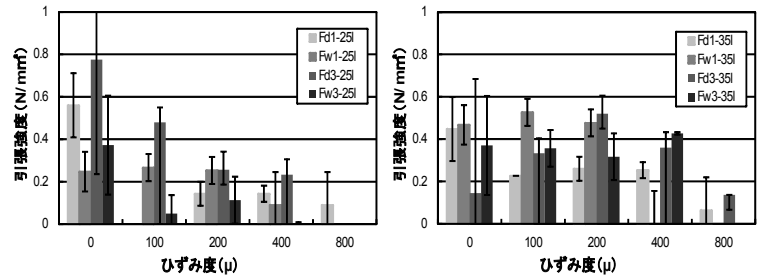


図12 目荒し程度の違いによる荷重引張試験 (平(1), 粗(3))

砂率が多い場合は荷重時のひずみの分散によりひび割れの局所化が妨げられ剥離防止に繋がる。

- 5) 施工時のタイルモルタルが可塑性がある段階で、衝撃力を受けた場合、タイル重量によってはひずみが分散しひび割れの局所化が妨げられ、強度低下が生じない場合がある。
- 6) 施工時の躯体が重量物や収縮の影響で800 (μ) に近づくひずみを生じた場合、付着力が低下し剥離しやすくなる。
- 7) 砂率が低くなると荷重に対して脆性的な強度低下を示し、逆に砂率が高くなると微細なひずみにより脆性的な破壊が回避された。
- 8) タイル施工を行う施工者は極端な施工を行う事は考えにくいですが、モルタル調合においてはモルタル粘度と水湿しの目安が必要である。

参考文献

- 1) 2013年度 JKK 東京古石場文化センター報告書,2013年
- 2) 建築工事標準仕様書・同解説 JASS15 左官工事 日本建築学会,2007
- 3) 建築工事標準仕様書・同解説 JASS19 陶器質タイル張り工事, 日本建築学会,2005年
- 4) JIS ハンドブック,建築I,材料,2005年
- 5) JIS ハンドブック,建築II,試験・設備,2005年
- 6) 日本建築仕上学会, 外壁剥落防止対策研究委員会報告,「外壁仕上剥落防止対策の現状」1991年

謝辞

本研究の実施にあたり、東京都住宅供給公社 JKK 東京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年度科学研究費(若手A:23680681 田村雅紀)による。

災害時に使用可能な多種混合セメントによる都市建築ストックのレジリエンス対策

材料施工、レジリエンス、多種混合セメント
コンクリート工事、品質保証

伊藤顕紀^{*1}
田村雅紀^{*2}

1. はじめに

日本では地震や津波などの自然災害での被害を軽減し、被災地のよりはやく復興が求められる。日本は過去の統計から大きな自然災害は10年間に約3～4回ほど発生している。近年では東日本大震災により、より人々の自然災害への関心が高まっている。日本政府は大きな自然災害が発生するたびに様々な政策をしているが、我々一般人、民間企業が自然災害発生時のことを予測し、対策を練り、準備をしておかなければ被害の軽減を望むのは難しい。また、被害が出た際の回復力、復元力を強化するため我々1人1人が真剣に考え、周りの人々との協力が必要不可欠となる。また、東日本大震災の復興の際、セメント業界では中庸熟ポルトランドセメントが不足するといった問題が発生した。このような問題が発生した理由は、通常時中庸熟ポルトランドセメントの使用頻度が低く、被災した工場のみで製造されていたためである。このような事態を今後防ぐ1つの方法としてセメントの多種混合調合である。現在JIS規格にあるセメントを混合し、JIS規格にあるセメントの代替にすることである。図1で本研究の流れを示し、表1で研究内容を示す。また、表2,3,4で実験要因と水準・使用材料・試験内容を示す。

2. 研究概要

2.1 自然災害に対するレジリエンスの調査（研究1）

表5で政府のレジリエンス・建設業のレジリエンスの取り組みを示す。調査の結果から政府・建設業共に災害時に備え平常時のエネルギーの削減、災害時のBCP対策を考慮していく必要があるという結果を得た。政府は、災害時に備え、「ナショナル・レジリエンスに向けた政策、ナショナル・レジリエンスに対する国民の適切な理解を深めるため、積極的に広報活動を行っている。また、建設業では、各企業が耐震や防災性に高い関心を示しており、安全・安心な物件をクライアントに販売しやすい傾向が見受けられ、建設業の技術の向上、品

2.2 セメント需給調査（研究1）

表4 試験内容（研究2）

試験種類	内容
圧縮試験	JIS R 5201(40mm×40mm×40mm 角柱)
曲げ試験	JIS R 5201(40mm×40mm×160mm 角柱)
凝結試験	JIS R 5201 ビカー針装置により測定
安定性試験	JIS R 5201 パッド法によりひび割れ・膨張を確認
簡易断熱温度上昇試験	JCI 簡易断熱温度上昇試験参照 簡易断熱温度上昇試験装置より7日間測定

表1 研究内容

研究名	概要	研究の種類	内容
研究1	自然災害に対するレジリエンス調査 セメント需給調査	政府・建設業のレジリエンス調査(2.1) セメント生産量の調査(2.2.1) 2013年6月29日国内セメントメーカーヒアリング調査(表6)	・日本という国単位でのレジリエンス的な取り組み、目標調査 ・建設業界のレジリエンス的な取り組み、今後の展望調査 ・日本経済の流れとセメント生産量の流れを比較 ・セメント種類別生産量過去10年分 ・セメント生産から出荷経路、価格、保存に関する項目別ヒアリング調査
研究2	セメント成分調整・モルタル試験	ポルトランドセメント成分調査・計画調合(2.3) JIS規格試験(2.5)	・セメント種類別クリンカ主要化合物含有率調査、混合調合 ・圧縮強度試験、曲げ強度試験、安定性試験、凝結試験、簡易断熱温度上昇試験

質の向上が見込める結果を得た。

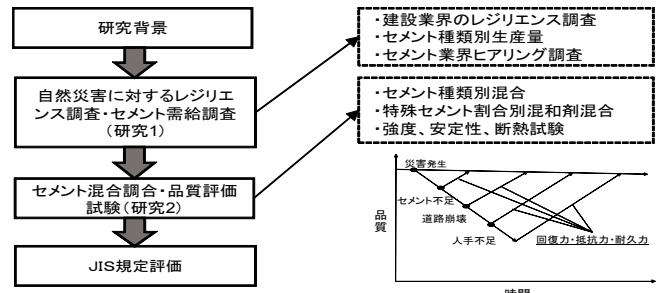


表2 実験要因と水準（研究2）

要因	水準
水セメント比(%)	50
セメント種類	普通Pc(N)、中庸熟Pc(M)、低熟(L)、超早強Pc(UHL)
材齢	3日、7日、28日
養生方法	封かん養生・水中養生

表3 使用材料

記号	材料	内容
W	水	水道水
S	細骨材	大井川産、粗粒率:2.77、実積率:66.8%、密度:2.59(g/cm ³)、吸水率:1.83%
N	普通Pc	3.15(g/cm ³)
L	低熟Pc	3.22(g/cm ³)
M	中庸熟Pc	3.21(g/cm ³)
UHL	超早強Pc	3.01(g/cm ³)
NL ₈₀₂₀	普通Pc+低熟Pc(80%:20%)	3.16(g/cm ³)
NL ₈₅₁₅	普通Pc+低熟Pc(85%:15%)	3.22(g/cm ³)
NUHL ₅₀₅₀	普通Pc+UHL(50%:50%)	3.08(g/cm ³)
NUHL ₈₀₂₀	普通Pc+UHL(80%:20%)	3.12(g/cm ³)

備考)Pc：ポルトランドセメント

図1 研究の流れ

表5 政府・建設業のレジリエンス的な取り組み

政府	資材	従来の事業・施策の枠組みでは十分な対応が困難であると思われる低頻度大規模災害によるリスクを前提に、国民生活、国民経済への影響が大きいと考えられる分野を対象として、現在の政府の取組、地域の現状における脆弱性を評価。
	政策	国民生活・経済に関する必要不可欠な機能を維持するという観点から重要な関係機関における組織・人材・運営面での課題を調査。
	政策	2013年5月末までに「国土の強靱化(ナショナル・レジリエンス(防災・減災)に向けた当面の対応)」を取りまとめる。また、短期的・長期的な発想で取り組むべき方策について明示。
	資金	物2の「当面の対応」は、各府省においてレジリエンスに関する施策・事業を検討する上で基本となるものであり、対応が必要となる施策・事業については、平成26年度予算編成過程等を通じて具体化するし、その際に既存の社会資本の有効活用や効率的な維持管理等によるトータルコストの削減、民間資金の積極的な活用を実施。
	人	国土の強靱化(防災・減災)に関する国民の適切な理解を深めるため、積極的な広報活動を行う。
建設業	施策	メンテナンス部分で新しい技術の集約や情報交換をしていかなければいけない。日本という国単位でもレジリエンスは重要。
	資材	震災復興や防災・減災対策の公共事業を始めとする大規模な補正予算案の編成が進んでいる。執行に際して、迅速な施工に万全を期さなければならない。全国的な防災・減災対策、インフラの維持管理・更新など真に必要な社会資本整備に貢献。
	エコ	企業の事業継続と生活の継続のために、災害に対して安全安心な施設、エネルギーの自立確保等のBCP対策、平常時には省エネルギーとCO ₂ 削減、電力需給逼迫時における確実な節電「ECO対策」が必要。
	傾向	2012年東京23区オフィスニーズに関する調査の結果、新規賃借を予定する企業が23%と4年連続で2割割の水準を維持。賃借予定面積の拡大を望む企業も54%と2003年の調査開始以来最大となり、オフィス移転に向けて前向きな結果となった。新規賃借理由では、「耐震性の優れたビル」が「賃料の安いビル」を抜いてトップに浮上。BCPニーズに適した耐震性の高いビルを選ぶ傾向あり。

*1 工学院大学工学部建築学科4年

*2 工学院大学建築学部建築学科 准教授 博士（工学）

2.2.1 セメント生産量調査

図2 a)で過去50年分の全種類セメント生産量の動向⁶⁾、b), c)で近年の種類別セメント生産量を示す。2011年度のセメント国内需要（輸入を含む）は、42,650千t、前年比102.5%となり、6年ぶりに前年度を上回った。セメント輸出は、10,006千t、前年比100.4%となり、10,000千t台を回復した。2011年度は、57,579千t、前年比102.7%である。セメントの国内需要はバブル経済終盤の1990年度に86,286

千tとなりピークを記録し、その後は長期にわたり縮小傾向が続いている。2011年度の国内需要は反転したとはいえ、ピーク時から半減のレベルである。種類別生産量では、Nが全セメント生産量の70%以上を占めている。Nは全セメントの中で最も汎用性が高く、一般的な建築、土木工事に使用されるからである。しかし、用途によっては、様々な特性のセメントが必要となるが、特殊なセメントほど生産できる工場は限られ、それに比例し生産量も減少するという結果を得た。

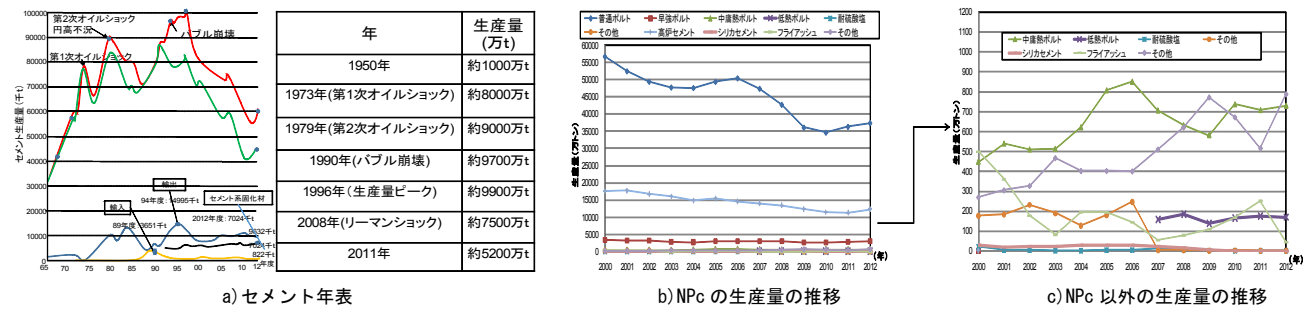


図2 全セメント生産量の推移

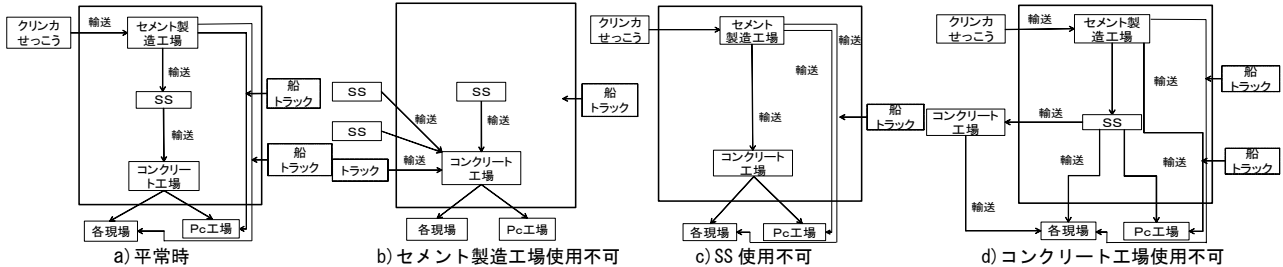


図3 災害時を想定したセメント流通システム

表6 セメント生産から出荷経路及び貯蔵方法に関するヒアリング調査

質問項目		平常時結果	災害時結果
セメントの運搬	セメント生産工場からSSまで運搬するのは主にどんな手段を用いているか。また、災害時の運搬手段	海路や陸路で主に運搬している。SSは、首都圏や地方都市の近くにある。そして、SSは24時間セメントの搬入、搬出が可能	基本的に平常時と変わらない。
	セメント製造工場→SS→生コン工場までの運搬時の期間	最短2、3日で生コン工場に届く。	災害の被害の度合いによるが、出来る限り早急に運搬する。
	必ずしも、セメント生産工場→SS→生コンクリート工場の経路で、現場やPC工場、工業製品工場にセメントが搬出されるのか	もしセメント生産工場からPC工場や工業製品工場が近く、セメントの状態がよいのなら、セメント生産工場から直接PC工場などに搬出される可能性あり。	災害時は、SSに保管してあるセメントを早急にコンクリート工場などに搬出。
	セメント運搬の際、1度にどれくらいの数量まで可能か	バラから何十トン単位まで運搬可。運搬費用をセメントの値段に組み入れることはできない。そのためSSという機関が設けられている。	基本的に平常時と変わらない。
保存・貯蔵	SSへのセメントの搬入や搬出はどのように手段であるか。	SSのセメント貯蔵タンクの上からセメントを搬入し、タンクの下からセメントを搬出する	基本的に平常時と変わらない。
	SSでのセメントの保存方法、また保存期間	SSではセメントを外気に触れないよう保存している。(千トン～1万トン) 保存期間の取決めはないが、最長約6ヶ月。	基本的に平常時と変わらない。
	ジェットセメントは十分量貯蔵しているか。また、真空保存は可能であるか。	UHLは災害時しか使用されないため貯蔵していない。UHLは特殊なセメントのため、製造可能な工場に限られている。真空保存は難しい。	基本的には平常時と変わらないが、特殊セメントの生産が減っているため、長期間の保存方法を考える必要がなければならない。
	生コン工場でも品質検査は行っているか。	生コン工場では社内規格で品質検査をしている。セメントに限らず骨材や混合剤の品質検査も行っている。SSは、保管所のため品質検査は行われていない。	基本的に平常時と変わらないが、災害時は特殊セメントを使用するので、特殊セメントの品質検査を行っている。
製造	セメントの種類別で製造場所を変えているのか。また、東日本大震災でコンクリート工場が使用不可になったが、今後コンクリート工場が使用不可になった際のBCP対策は作成しているのか	普通ポルトランドセメントと高炉セメントの打ち継ぎはありえる。	コンクリート工場に限らず、セメント生産工場・SSが使用不可になる場合の対策も必要。
	なぜセメント製造工場がゴミを受け入れているのか	ゴミを原料にしてセメントの原料のクリンカを焼却しているため。	—
	近年、セメントの生産は少しずつ増加してきているが、それはこれからも継続していけると思うか。また、災害時、中庸熟ポルトランドセメントが不足した原因	東日本大震災の復興事業でセメントの生産量は一時的に増加しているが、復興事業が一段落した際、生産量の増加の継続は何かきっかけを作らないと難しい。	特殊なセメントを主に地の工場で製造していたため。改善案として他工場でも中庸熟ポルトランドセメントを製造可能。
	セメントの値段は各会社はほぼ同一価格であるか	組合に入っている会社は、同一価格。注) 地区などの組合によって値段が異なる組合に入っていない会社は価格が変動する	組合に加入している会社は同一価格だが、非加入の会社は、値段が高くなる可能性が高い。(理由: 災害時運搬が困難になるため)
価格	SSは全国に何ヶ所くらいあるのか	全国20～30ヶ所。首都圏には、2、3ヶ所	—
	セメント製造工場→SS→生コン工場の流通経路で生コン会社がSSからいくらかでセメントを購入するのか。また、どのくらいの数量から購入可能であるか。	都道府県ごとにセメントの値段が異なる。(都道府県ごとの工組、協組で基準の値段が決定する) また、組合に入っていない工場もあるため一定の値段のものはない。数量はどのくらいからでも購入可能。	—
	セメント業界のレジリエンスとは	SSにセメントを長期間保存できるようにする。セメント生産工場にも出来る限りセメントを貯蔵する。災害などの緊急時の際にメーカーを超えて支援しあう。	セメント生産工場にも出来る限りセメントを貯蔵する。
	異なる種類のセメントを混合した場合、品質保証はされるのか	混合したセメント、コンクリートの物性を確認する必要性あり。メーカーや生コン工場でも品質保証ができない可能性大。	混合するセメントの物性評価をする。混合させるセメントの割合を一定にすることにより、品質を一定のものとする。
生コン工場	NとLを混合することによって災害時以外にどのようなことに利用される可能性があるか。	混合することによって供給面以外にどのようなメリットがあるか明確示す必要あり。	NとLを混合することにより、災害時Mが生産不可になった場合に対応でき、Nより品質がよいものができる。
	混合セメントを製造することにより会社の利益につながるか。	混合セメントを製造するための設備投資や手間がかかる上、高価な特殊セメントを使用するので利益が減少。	コストの高いLやアライメントの混合する割合を最大限抑える。また、近年では、多少費用がかかっても安全を第1に考える傾向がある。

2.2.2 セメント生産から出荷経路に関するヒアリング調査

表6に2013年6月29日に某セメント会社にセメントを生産し現場に供給するまでの流通状態や東日本大震災での対応や改善点、また生コンクリート製造会社へのヒアリング結果を示す。図3に緊急時を想定したセメント流通システムを示し、各機関が災害により使用不可になった際の流通システム（セメント生産工場とSSそしてコンクリート工場がグループ会社ということが前提）をヒアリング調査から作成した。

2.3 セメント成分調整（研究2）

表7にPcの種類別特徴を示す。混合するセメントの特性、成分を文献⁽²⁾を元に調査した結果、セメントの特性を左右するのは、C₃S、C₂S、C₃A、C₄AFであり、本研究ではこれらの主要化合物成分調整により混合Pcを製造する。図5にPcクリンカ成分比較表を示す。既往の研究を踏まえ、クリンカ成分の一般値を元に、NPcとLPcを80%：20%の割合で混合し、中庸熟Pcの主要化合物の含有量に近づいた。また、コスト面を考慮しNPcとLPcを85%：15%の割合での混合も行い、NPcとUHLを混合することによりUHLの硬化時間の調整が可能かということも同時に行う。よって今回は、NPcとLPcを混合し、混合中庸熟Pcを製造すると同時にUHLの硬化時間をNPcを混合することで調整可能か実証する。

表7 ポルトランドセメントの種類別特徴

セメント種類	特徴
普通 ポルトランド セメント	コンクリート工事用として広く使用されているセメントであり、「万能セメント」とでも呼ぶセメント。典型的な鉱物組成としてC ₃ S（51%）、C ₂ S（25%）、C ₃ A（9%）、C ₄ AF（9%）、CaSO ₄ （4%）が例示され、ブレン比表面積は3300cm ² /g前後。
早強 ポルトランド セメント	普通ポルトランドセメントの材令3日圧縮強さを1日で発揮する早強型のセメントである。C ₃ S含有率を65%付近まで高め、ブレン比表面積4000～4600cm ² /gに微粉砕して、初期強度を高めている。
超早強 ポルトランド セメント	普通ポルトランドセメントの材令7日圧縮強さを1日で発揮。水和反応が急速に進み発熱速度が大きいので、寒中コンクリートに適するが、一般のコンクリート工事では温度ひび割れに注意する必要がある。C ₃ S含有率を約70%に高め、ブレン比表面積約6000cm ² /gに微粉砕したもの。
中庸熟 ポルトランド セメント	初期水和過程の発熱速度を小さくするため、水和反応速度と反応熱が大きいC ₃ A含有率と水和反応速度が大きいC ₃ S含有率を低くし、C ₃ A（4%）C ₃ S（45%）前後としたセメントである。強度発現速度は小さいが、1年以上の長期強度は他のポルトランドセメントを上回る。綿密な硬化体組織が得られる。化学抵抗性が強いなどの特性を持つ。
低熟ポルト ランドセメント	中庸熟ポルトランドセメントより水和熱が低いセメント。C ₂ Sの含有率が40%以上の規定がある。

表8 ポルトランドセメントの品質

品質	種類	普通ポルトランドセメント JIS R5210 JIS規格値	低熟ポルトランドセメント JIS R5210 JIS規格値	中庸熟ポルトランドセメント JIS R5210 JIS規格値
密度(g/cm ³)		—	—	—
比例面積(cm ² /g)		2500以上	2500以上	2500以上
安定性	始発 h:min	60min以上	60min以上	60min以上
	終結 h:min	10h以下	10h以下	10h以下
	パット法	良	良	良
圧縮強さ (N/mm ²)	1d	—	—	—
	3d	—	7.5以上	10.0以上
	7d	7.5以上	15.0以上	20.0以上
	28d	22.5以上	32.5以上	40.0以上
	91d	42.5以上	—	—
水和熱 (J/g)	7d	250以下	290以下	—
	28d	290以下	340以下	—
化学成分 (%)	MgO	5.0以下	5.0以下	5.0以下
	SO ₃	3.5以下	3.0以下	3.0以下
	強熱減量	3.0以下	3.0以下	3.0以下
	全アルカリ	0.75以下	0.75以下	0.75以下
	Cl ⁻	0.02以下	0.02以下	0.02以下
鉱物組成 (%)	C ₃ S	—	50以下	—
	C ₂ S	40以上	—	—
	C ₃ A	6以下	8以下	4以下

2.4 セメント JIS R 5201 に対する規準評価

2.4.1 セメント規格調査

NPcとLPcを8：2の割合で混合中庸熟Pcを製造するにあたり、表8に明記する条件を満たすことを前提に試験を実施する。

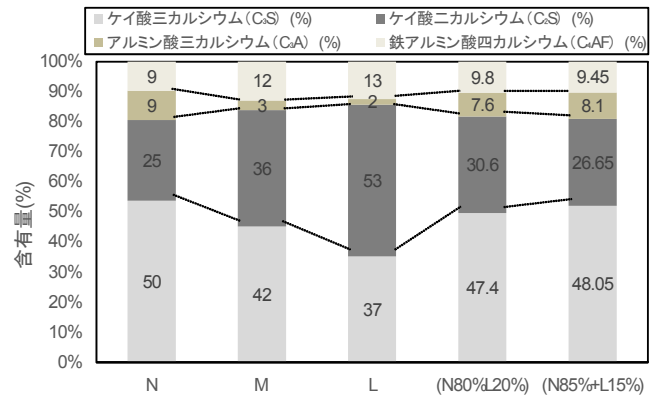
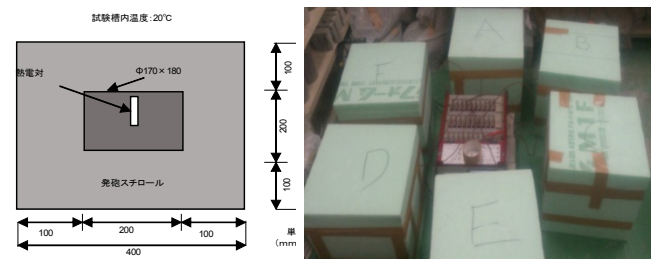
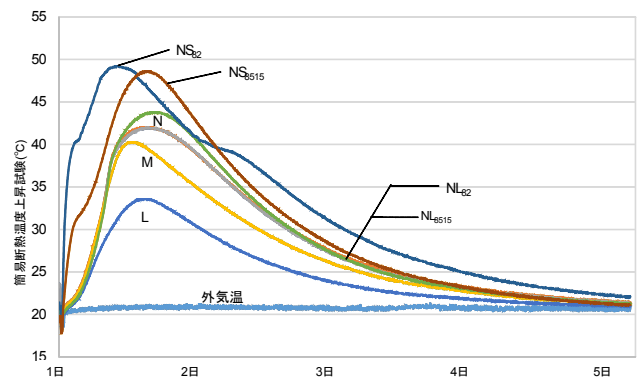


図4 ポルトランドセメント(Pc)クリンカ成分比較表



a) 簡易断熱温度上昇試験機 b) 簡易断熱温度上昇試験の様子



c) 簡易断熱温度上昇試験の結果
 図5 簡易断熱温度上昇試験

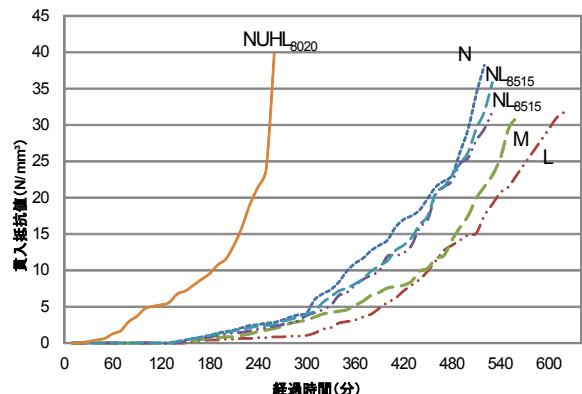


図6 凝結試験

2.4.2 JIS 規格水準多種混合セメント^(3,4)

セメントを混合するにあたり、JIS 規格水準で実用性を図るため、法律的にセメントの多種混合が可能か調査した。JIS A 5308 ではセメントは JISR5210、JISR5211、JISR5212、JISR5213 JISR5214 のいずれかに適合するセメントを用いる。と定めているので、セメントを混合しても上記のいずれかに適合すれば法律的にもセメント合成は可能である。

2.5 JIS 規格における試験方法及び試験結果(研究2)

2.5.1 凝結試験の概要

多種混合したセメント凝結時間を測定し、硬化時間がどれだけ MPc に近づくか検証した。凝結試験の試験体容器寸法は 75mm×85mm×40mm に JIS 規格に沿って練ったセメントペーストを流し入れビガー針装置で10分間隔でそれぞれ測定した。

2.5.2 凝結試験結果

図6に凝結試験結果を示す。混合中用熱 Pc の硬化時間は、NPc に硬化時間が近づくことが図6によって判断できる。

2.5.3 安定性試験

セメント 200g に水を適量入れ練り混ぜ、セメントペーストを作り、セメントペーストを 130 mm² のガラス板上にとり、へらで軽く撫でて直径約 100 mm の円形とし、中心の厚さが約 15 mm で周辺に向かって薄くなるように作製し、その後湿気箱に入れ、24 時間放置する。24 時間湿気養生したパッドを煮沸容器内の水中に沈め、徐々に加熱して 90 分間沸騰させ、自然に冷却した後、膨張性のひび割れ又は、反りの有無を確認。安定性試験の結果すべての種類のセメント「良」という結果を得た。この結果により、セメントを混合してもひび割れや、反りなどの異常変化が発生しないことがわかる。

2.5.4 簡易断熱温度上昇試験

水セメント比 50% のモルタルを φ170×180 の円形の型枠に流し入れ、厚さ 100mm の断熱材を 400mm×400mm ボックスにし、その中に円形の型枠ごとに入れ、20℃の室温の部屋で7日間データロガーの熱伝対で5分間隔で計測する⁽¹⁾。図7で計測結果を示す。この結果により、混合中用熱 Pc は混合している割合が N が L に比べ約4倍多いのでその影響により M より発熱したと考えられる。

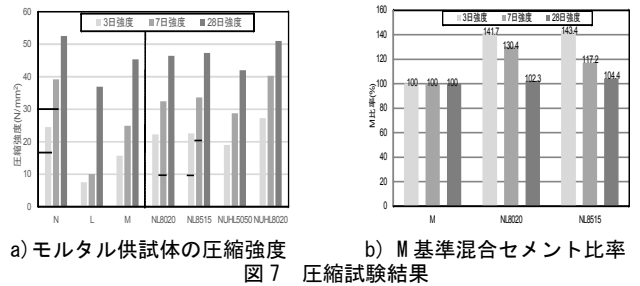
2.5.5 JIS 規定による圧縮試験

図7のa)に圧縮試験の結果を示す。圧縮試験は、試験室内温度 20℃に保たれた試験室で行い、セメント 450g、標準砂 1350g、水 225g のモルタルを内部寸法長さ 160mm、幅 40mm、深さ 40.1mm の3つの角柱供試体が同時に成形できる成形用型に流し込み、24 時間湿気箱に貯蔵し、24 時間後脱型し、水温 20℃に保たれた水中に水中貯蔵する。そして 3 日、7 日、28 日ごとに圧縮試験を行う。また、M を基準とし比較した結果を図7のb)に示す。この結果から混合中用熱ポルトランドセメントは N の影響を大きく受け、3 日、7 日強度は M よりも強

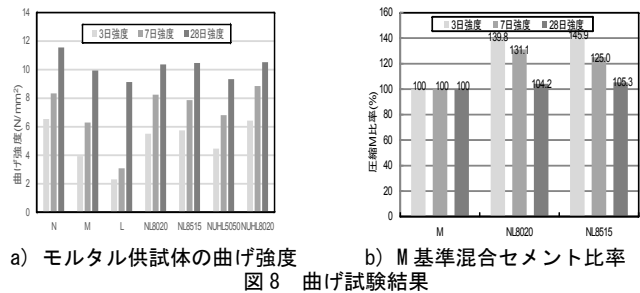
度が大きい、28 日強度ではほぼ同じ値になった。

2.5.6 JIS 規定による曲げ試験

図8のa)に曲げ試験の結果を示す。曲げ試験は圧縮試験を行う試験体と同一物で行う。また、M を基準とし比較した結果を図8のb)に示す。この結果から圧縮試験と同様の傾向であった。



a) モルタル供試体の圧縮強度 b) M 基準混合セメント比率
図7 圧縮試験結果



a) モルタル供試体の曲げ強度 b) M 基準混合セメント比率
図8 曲げ試験結果

3. まとめ

本研究により以下の知見が得られた。

- 1) ヒアリングにより、平常時は JIS の基準に従うが、災害時は、メーカーが、品質保証を満たす方法が具体化されれば、多種混合セメントレジリエンスでの対策の余地がある。
- 2) 凝結試験は、N と L の 8:2 混合では、始発は、大きな差はないが、終結時に、M に近づく傾向が見られた。
- 3) セメント強度は、N と L の 8:2 混合セメントは M の特性に近づく結果となる。
- 4) 簡易断熱温度上昇において、NL 8:2 混合セメントは、N と同程度の熱量であった。
- 5) すべての物性評価試験から、複数の N と L の混合セメントは M の JIS 規格を満たすことが確認された。

参考文献

- 1) 鉄筋コンクリート造建築物の品質管理及び維持管理のための試験方法 日本建築学会 2007. 3
- 2) エンサイクロペディア セメント協会 2003, 3
- 3) JIS ハンドブック 建築 I, 材料 2005,
- 4) JIS ハンドブック 建築 II 試験・設備 2005
- 5) セメント協会 公式 HP 2014,

謝辞

本研究の実施にあたり、株式会社太平洋セメント、株式会社櫛形生コン、セメント協会の関係各位より多くの助力を賜り感謝いたします。なお本研究の一部は工学院大学 UDM 研究、H25 年度科学研究費（若手 A:23680681 田村雅紀）による

応急仮設住宅における人とペットが共棲する住環境に関する音響特性評価

材料施工，応急仮設住宅，ペット
内装材料 遮音・吸音特性

浅見 樹里^{*1} 田村 雅紀^{*2}
金巻とも子^{*3} 鹿野 正顕^{*4}
長谷川成志^{*5}

1. はじめに

近年人とペットの共棲においてペット居住可マンションの増加に伴い、ペットの室内飼育が増加している。

ペットと屋内で共棲することが増加している中、集合住宅の騒音における判例件数¹⁾は重量床衝撃音と同列でペットの鳴き声が45件中6件と最も多くなっている。住居にはペットの鳴き声を防ぐとともに、ペットが過度のストレスを感じる音を防ぐ必要がある。

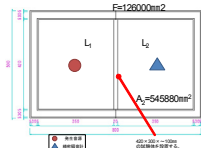
平成25年6月に、環境省から「災害時におけるペットの救護対策ガイドライン」²⁾が制定された。これにより、飼い主の救護支援、放浪動物による人への危害防止や生活環境保全対策としてもペット救護は必要になる。対象は愛玩動物及び伴侶動物とし、従事者の安全確保を前提にペットの同行非難を行う。避難後には、避難所・仮設住宅におけるペット管理は飼い主の責任となるので、災害時の避難所・仮設住宅等の住環境品質保証も必要となってくる。

以上をふまえ本研究では、研究1として住宅内外において発生する音を調査、研究2では、一昨年に発生した東日本大震災にて建設された、仮設住宅の状況調査を行う。研究3では住宅を構成する建築材料の音響特性評価をし、音源と建築材料の特性を音圧レベルと周波数において研究する。そして研究2、3のデータより建築材料の防音性能の考察を行う。

表1 使用材料(研究1,2,3)

	種類
下地材	せっこうボード(9mm)
仕上材	ベニヤボード
機能材	ポリエステル製カーテン(遮音)・ナイロン製ラグ(遮音)

表2 実験要因と水準(研究1, 2, 3)

実験要因		水準
研究1	人	テレビ, 電気掃除機, 冷蔵庫, 洗濯機, インターホン, 換気扇, 給排水音, ドア開閉音, 足音
	ペット	鳴き声, 吠え声
	外部発生	室外機, 車, バス, トラック, 飛行機, ヘリコプター, 雨, 雷
研究2	実験面積	4.5 畳 (31.59 m ²)
	音源	ペットシステム(シェパード(Ps)、ダックスフンド(Pd)) 人システム(靴音(Hk))
	音源発生形態	壁向き(1)、窓向き(2)、外部発生(3)
	測定位置	同室(a)、幕裏(b)、壁裏(c)、一重窓の窓外(d)、二重窓の窓外(e)
	記号	Ps1a, Ps1b, Ps1c, Ps1d, Ps1e, Ps2a, Ps2e, Pd1a, Pd1b, Pd1c, Pd1d, Pd1e, Pd2a, Pd2e, Pd3f, Pd3g, Pd3h, Hk3f, Hk3g, Hk3h
研究3	仕上構法	遮音カーテン、遮音ラグ、石膏ボード
	寸法	幅 800 mm×奥行 580 mm×高さ 360 mm
	厚さ	15 mm
縮小簡易モデル構想図		
 		
備考)透過は、 $R=L_1-L_2+10\log_{10}F-20\log_{10}(r/r_0)-14$ 又は $R=L_1-L_2-10\log_{10}(A_2/F)$ で評価。 外壁の透過損失(図20)		

2 住居内外で発生する音の調査(研究1)

2.1 発生音の調査及び測定方法

表1に使用材料、表2に実験要因と水準を示す。人とペットが共棲するにあたって、発生する音には様々なものがある。ペット共棲における発生音を大きく3つに分類し、人システム・ペットシステム・外部発生音とする。これらの音を測定し、音圧レベル、周波数を分析する。測定方法は、測定機器として精密騒音計を用いて騒音測定を行った。JIS-Z-8731より地上1.2～1.5mの高さにて、屋外では地面以外の反射物から3.5m、建物周辺では対象とする建物の外壁面から1～2m、建物内部では壁その他の反射面から1m以上離れた位置で測定した。測定は、対象とする音と測定点における暗騒音の2つを記録する。

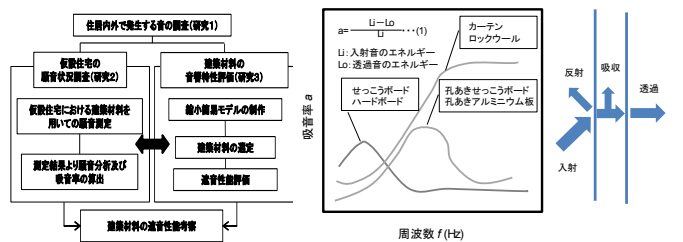
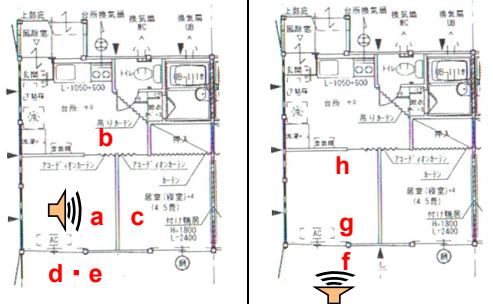


図1 研究の流れ

図2 吸音特性による材料と透過断面図

表3 実地調査(研究2,3)

項目	内容
調査日程	2013年10月23・24日
調査箇所	南相馬市千倉応急仮設住宅(タイプ1)
調査内容	気温・湿度・騒音(dB)・放射線・住宅劣化度
聞き取り調査	震災3年目における人生活状況、ストレスの度合いを把握
遮音性能測定	人の声と犬の吠え音を音源として測定。音源の発生向きの変化も必要。測定より内外装下地と仕上でストレス軽減の機能向上を目的とし、仮設住宅を想定したプレハブ住宅での内外装の改善を図る。
使用機器	 精密騒音計 NL-52 20Hz～20000Hz 測定可能  スピーカーPM0.3 出力：15W+15W (RMS)
測定箇所	 a) Pシステム：室内音源(同室a・幕裏b・壁裏c・一重窓d・二重窓e) b) P・Hシステム：室外音源(室外f・窓隙g・壁隙h)

^{*1} 工学院大学建築学科4年 ^{*2} 工学院大学 准教授 ^{*3} かねまき・こくぼ空間工房／工学院大学客員研究員 ^{*4} アニマルライフソリューションズ

2.2 発生音の騒音分析

図3に人システムの騒音分析の一部を示す。a)では630Hzが突出して騒音レベルが高くなっている。b)は、低周波数域で騒音レベルが高い。c)では、63Hzで騒音レベルが減少するが、付近の周波数で高い値を示している。

図4にペットシステムの騒音分析の一部を示す。騒音分析は犬種ごとに測定を行った。a)はグラフよりあまり大きくないことがわかる。b)は同じ小型犬のa)よりも吠え声の騒音レベルが高くなっている。c)は全体として低い値を示す。図5に外部発生音の騒音分析の一部を示す。外部騒音の多くには騒音レベルが高いものが多い。a)において、低周波域で高いが、高音域は騒音としては低い値にある。b)も低周波域で高い値を示し、63Hzにおいて騒音レベルが急に増加する。c)は目立ったピークはなく平均的な値を示す。

3. 仮設住宅の騒音状況調査（研究2）

3.1 仮設住宅騒音調査概要・方法

表2に実験要因と水準、表3に実地調査の内容を示す。2013年10月23・24日、福島県南相馬市鹿島区の仮設住宅へ赴き調査を行った。調査内容は、仮設住宅内外での騒音調査、選定した建築材料を設置しての防音性能調査、飼い主の生活状況、ペットの様子調査等を行う。仮設住宅の室内・室外を利用して精密騒音計を用いて、ペットシステムは室内から音源を発生し同室a・幕裏b・壁裏c・一重窓d・二重窓eの5点で測定、人システムおよびペットシステムにおけるダックスフンドの吠え声は室外から音源を発生し室外f・窓際g・壁際hの3点で測定した。

3.2 仮設住宅騒音測定の結果

図6にシェパードの吠え声に対する各材料の騒音分析を示す。a)ではどの材料も大きな差はなく、b)は低周波域で減衰している。c)は高周波を吸収し騒音レベルが低下した。図7にダックスフンドの吠え声に対する各材料の騒音分析を示す。a)はシェパードの吠え声同様大きな減衰は見られないが、b)は低周波域で騒音レベルが減衰した。c)は高周波域で騒音レベルが減衰したが、

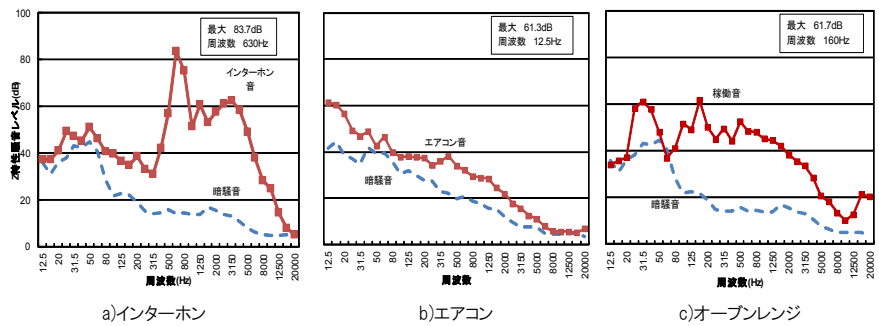


図3 人システムの騒音分析

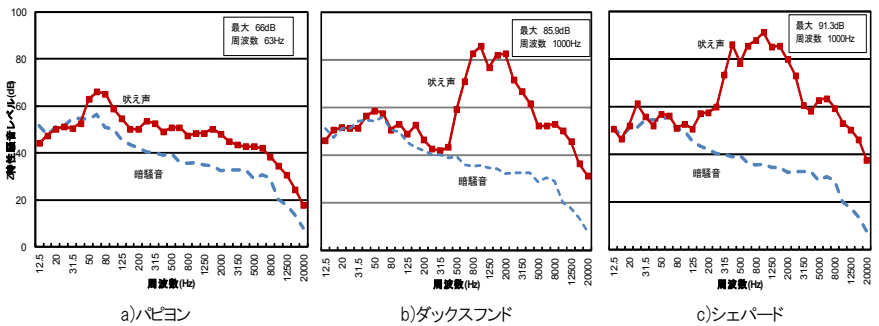


図4 ペットシステムの騒音分析

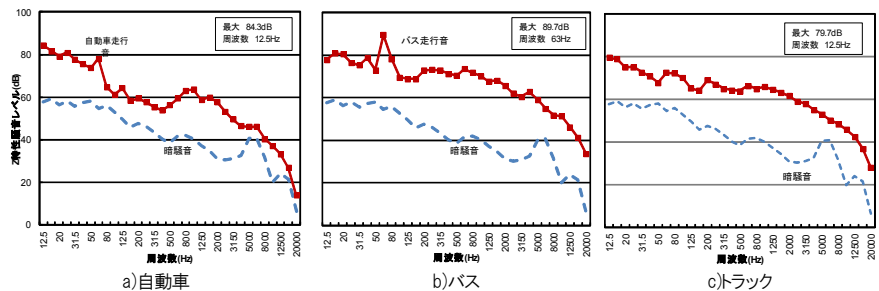


図5 外部発生音の騒音分析

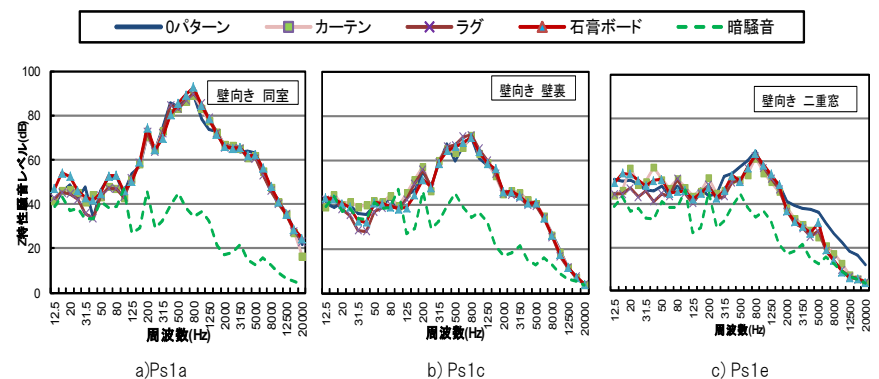


図6 シェパードの吠え声(室内)に対する各材料の騒音分析

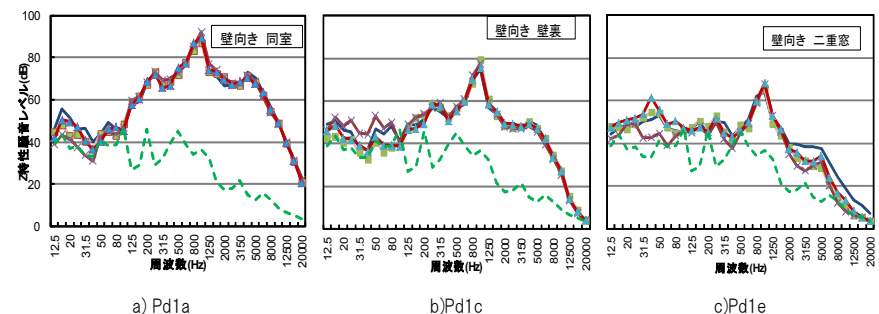


図7 ダックスフンドの吠え声(室内)に対する各材料の騒音分析

5000Hzでは減衰が少なくなっている。図9は靴音に対する各材料の騒音分析を示す。外部から音源を発生された状態では、a)及びb)での減衰は見られないが、c)において3150Hzから6300Hzの範囲で石膏ボード設置した場合に騒音レベルが減衰している。

また、各音源の騒音分析をもとに各材料の吸音率を確認した。吸音率は、(1)で算出した。図10シェパードの吠え声に対する各材料の吸音率を示す。a)は吸音率は小さく、b)ではラグ、石膏ボードにおいて主に低周波域で吸音された。c)ではどの材料も低周波、高周波域で大きく吸音された。図11ダックスフンドの室内からの吠え声に対する各材料の吸音率を示す。a)は低周波域で吸音され、b)では高周波域においてラグの吸音がみられ、c)は高周波域でどの材料も大きく吸音する。図12にダックスフンドの室外からの吠え声に対する各材料の騒音分析を示す。a)30Hzから100Hzにおいてラグが多少吸音し、b)及びc)ではカーテンが大きく吸音している。図13は靴音に対する各材料の吸音率を示す。a)では吸音がみられないが、b)では3150Hzから6300Hzの範囲でカーテンが吸音し、c)は、3000Hzを除く高周波域でカーテン、ラグが吸音した。

算出した吸音率より、シェパードの吠え声に関して、壁を介しては高音域の低下が求められるため多孔質材料の使用が必要となる。ダックスフンドの吠え声に関して、壁を介しては中音域の低下がより求められるため、孔あき板材料の使用が必要となる。靴音に関して、中音域及び低音域を吸音する材料の使用が必要である。

4. 簡易縮小モデルを用いた建築材料の音響特性評価(研究3)

4.1 音響特性評価実験概要

建築材料の遮音性能等がある程度確認するため、縮小簡易モデルを製作し実験を行う。縮小簡易モデル作成のための事前実験として、箱型による音漏れの程度を確認する。実験対象には、断熱材を含む箱型を使用する。

実験概要としては、箱内部に音源を設置し、箱を開閉した状態を、箱上部と側

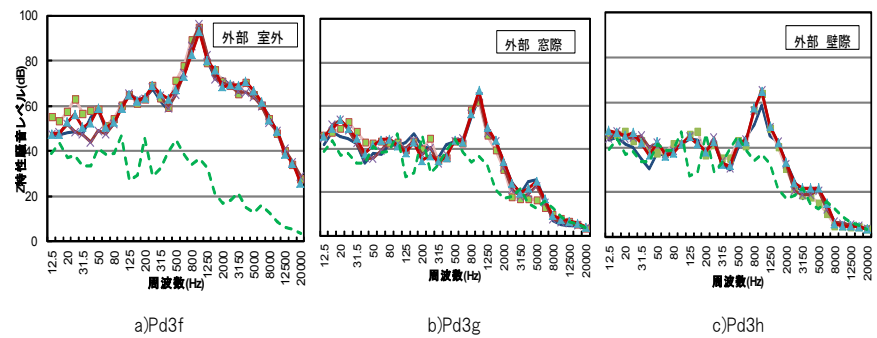


図8 ダックスフンドの吠え声(室外)に対する各材料の騒音分析

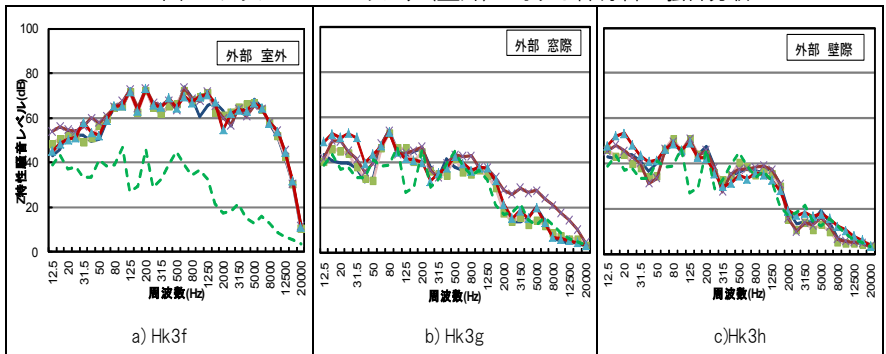


図9 靴音(室外)に対する各材料の騒音分析

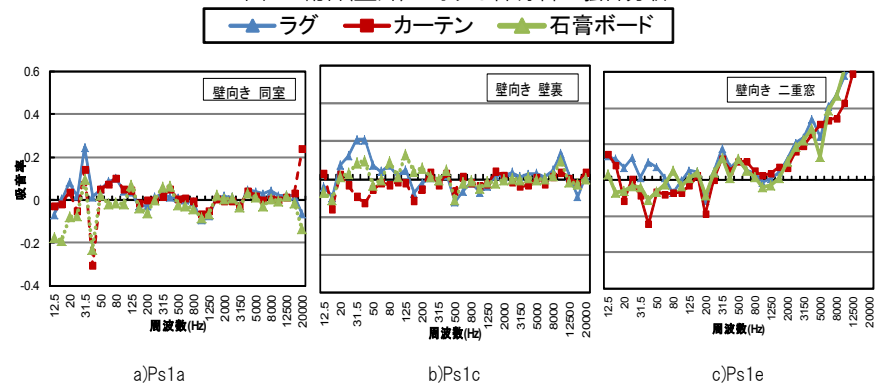


図10 シェパードの吠え声(室内)に対する各材料の吸音率

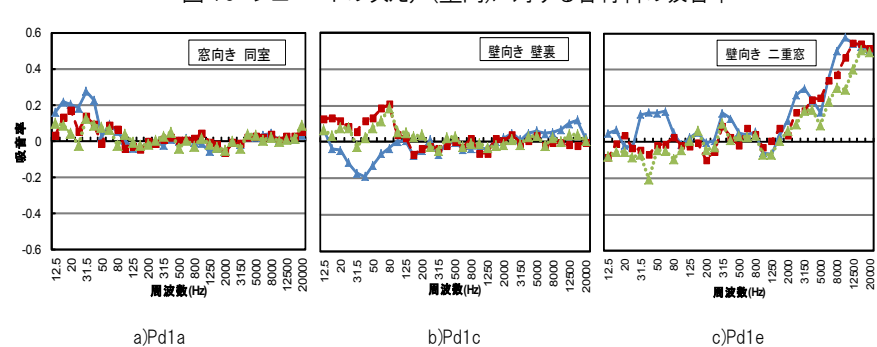


図11 ダックスフンドの吠え声(室内)に対する各材料の吸音率

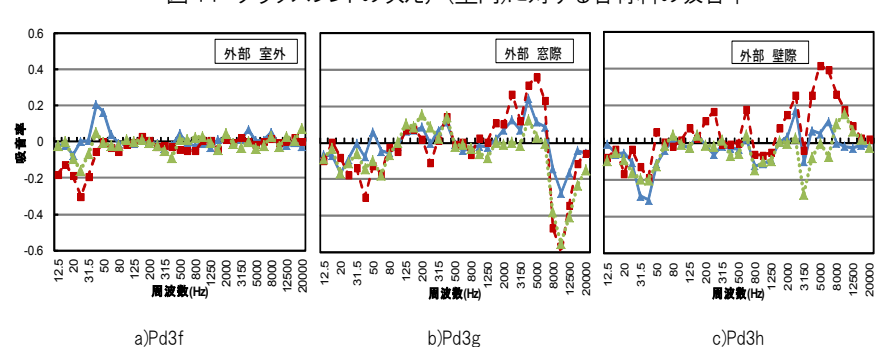


図12 ダックスフンドの吠え声(室外)に対する各材料の吸音率

部において精密騒音計を用いて測定する。図14に箱上部及び側部において測定した騒音レベルを示す。結果として、中高周波数域では、騒音レベルが半減している。また、密閉していない状態の測定点における、騒音レベルの差異はほぼ無くなっている。よって、断熱材を含む箱の遮音性は示される。

前述の実験をもとに、より大きな寸法のプラスチック製の箱を用意し、試験体を設置した上での測定を行う。表1に縮小簡易モデルの性能を示す。外壁の構造としてプラスチックに、断熱材として使用される発泡スチロール等を内包する多層構造とする。実験概要としては、簡易モデルの片方の箱に音源を、もう一方に精密騒音計を設置し、試験体の透過損失、遮音性能を簡易的に評価する。

4.2 音響特性評価実験の騒音分析

図15に音源をシェパードとした簡易縮小モデルにおける騒音測定を示す。a)は低周波域ピークで減少し、b)中周波数で少ない。c)は全体的に大きく減少し、d)は500、800Hzで少ない。

3. まとめ

本研究より以下の知見が得られた。

1) 人システムは音源の種類が様々だが、比較的中高周波域で高く、ペットシステムは中周波域で高レベルを示した。外部発生音は高周波域の騒音レベルは低く、低音域は高いレベルを示す。

2) 騒音レベル分析結果として、シェパードは対外では高音域で減衰し、ダックスフンドは対外で高音域が減衰した。靴音は0パターンとの大きな差が見られない。吸音率分析結果として、シェパードでは高周波域でよく吸音され、低周波域にて少し吸音し、ダックスフンドでは、どの地点も高周波域でよく吸音されていた。靴音では、高周波域である程度の吸音がみられる。

3) 簡易縮小モデル実験にて、カーテン及びラグにおける騒音レベルの減少、特にピーク周波数で減少させることができた。

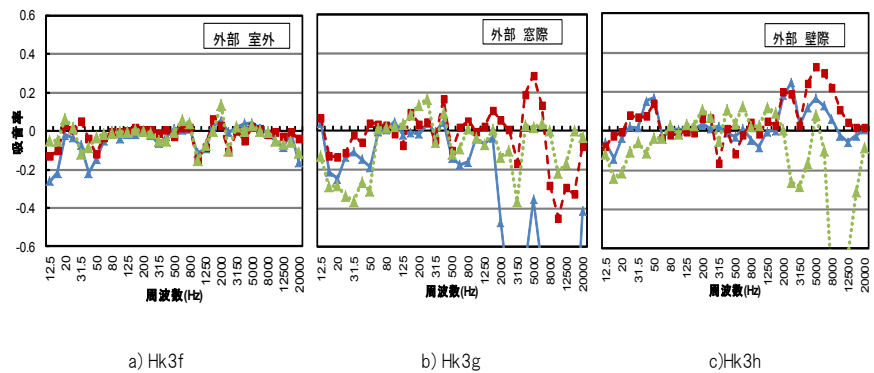


図13 靴音(室外)に対する各材料の吸音率

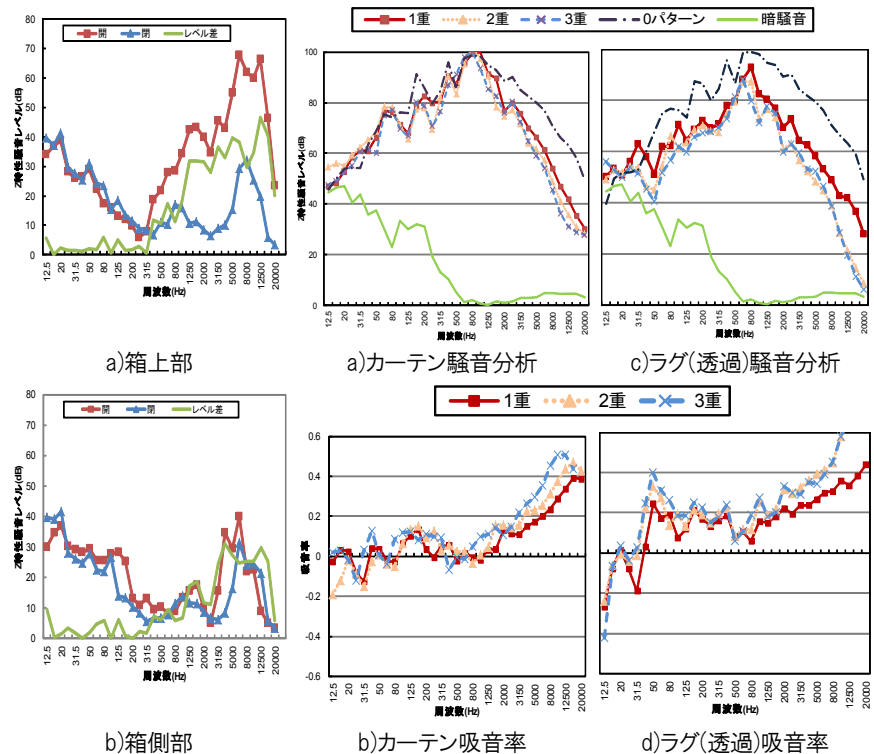


図14 ポリプロピレン製箱の騒音測定 (音源:電話ベル)

図15 簡易縮小モデルにおける騒音測定 (音源:シェパード)

研究1, 2, 3により、避難所や仮設住宅における狭小な空間で、音の影響を減少するための技術的な対策について検討することができた。

参考文献

- 1) 高橋,井上,関口: 騒音源別に見た裁判事例の分析,学術講演梗概集環境工学 I, pp.183~186,2009
- 2) 環境省, 災害時におけるペットの救護対策ガイドライン,2013
- 3) 創樹社, 公共住宅建設工事共通仕様書, 2002

謝辞

本研究実施にあたりかねまき・こくぼ工房の金巻様、株式会社アニマルライフ・ソリューションズ鹿野様、長谷川様、NP0 法人アナイスの平井様、元麻布大学の谷口様、工学院大学岡様、石橋様、南相馬市鹿島区役所産業建設課仮設住宅係様に多大な助力をいただき、また工学院大学UDM研究、H25年度科研費(若手A:23680681 田村雅紀)、公益社団法人日本愛玩動物協会の家庭動物の適正飼養管理に関する調査研究助成による援助を受けた。

都市建築ライフサイクルの各種工事における環境騒音の周波数特性と改善手法

材料施工, 維持保全, 環境配慮
工事機械 建築騒音 周波数特性

坂上志帆*1

田村雅紀*2

1. はじめに

建築活動の行為には活性化と工事音によるリスク予防が挙げられ、音にはうるさい音と気になる音がある。具体例を挙げると車がある。車の走行音がうるさいということで走行音が静かな車が開発されたが、車が近くを走行していることに気付かなかったという事例があり、国土交通省は車両接近通報装置を取り付けることを義務化した。施工現場も同じでこれと似ていると考えられる。

そこで、建築作業行為で現場内の音を下げることがある。環境省の騒音に係る苦情件数¹⁾（平成23年度）は15,944件であり、内訳を見ると建築作業が5,206件（32.7%）であった。建設作業の比率は年々増加している。これは、特定建設作業は一過性の騒音のため工場騒音に比べて騒音規制値が高く設定されていることが要因のひとつである。また、住宅密集地等でも建設重機が使われるようになったことも要因である。

人間の可聴領域は20～20000Hzであると言われ、人の体の各部位には共鳴周波数²⁾というものがあり、人間の耳は4000Hzである。これは人間にとって最も感度が良い周波数であり、高くても低くても感度が低下するとされている。これ等ラウドネス曲線からも言える。

図1に研究概要図を示す。本研究では研究1で実施工物件における工事機器の音の伝わり方、また周波数特性について調べる。研究2では工事を新築、解体、改修の3種別に分類しそれぞれの音の特性を質量則、距離、位相の入射位置の観点から実験を行う。

2. 研究概要

2.1 使用材料と研究方法

2.1.1 実施工物件における機器音の測定方法(研究1)

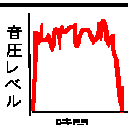
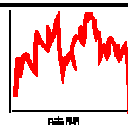
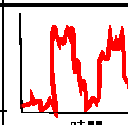
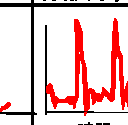
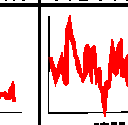
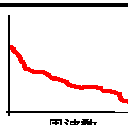
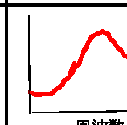
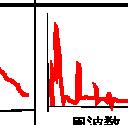
表1に騒音の種類³⁾を示し、表2に使用機器を示し、表3に測定箇所、時間及び条件を、図2に作業及び測定位置を示す。時間と周波数に区分し測定結果の評価を工学院大学八王子キャンパス1号館で実験を行う。

実験方法は、実建築物の壁にコアドリルを用いて穿孔を行い、コンクリートブレイカーを用いてはつり作業を行った。その時に発生した音を騒音計で測定し、本研究では式1)によるLAeq(等価騒音レベル)で評価を行う。

$$LAeq = 10 \log_{10} \left\{ (1/N) \sum_{i=1}^N 10^{0.1 LAeq_i} \right\} \dots \dots 1)$$

ここで、LAeq:等価騒音レベルの平均値(dB), N:騒音計の総数
LAeqi:i番目の騒音計の等価騒音レベルの測定値(dB)

表1 騒音の種類

種類	定常騒音	時間変動				周波数変動		
		変動騒音	間欠騒音	非定常騒音		広帯域騒音	狭帯域騒音	離散純音
				分離衝撃騒音	準定常衝撃騒音			
レベル変動パターン								
説明	レベル変化が少なくほぼ一定の騒音	レベルが不規則かつ継続的に、かなりの範囲にわたって変化	間欠時に発生し、1回の継続時間が数秒以上の騒音	個々に分類できる衝撃騒音	レベルがほぼ一定で極めて短い間隔で連続的に発生する衝撃騒音	音圧が比較的大きな周波数範囲に分布するスペクトルを持つ騒音	音圧が比較的小さい周波数範囲に集中するスペクトルを持つかつ離散的な音を含まない騒音	周期的な音圧変動を持ち周波数的にはラインスペクトルを持つ騒音

*1 工学院大学工学部建築学科 4 年

*2 工学院大学建築学部建築学科 准教授 博士（工学）

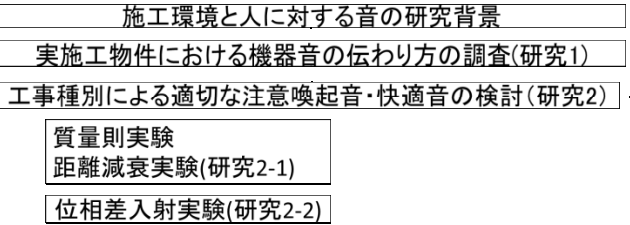


図1 研究概要図

表2 使用機器

工事種別		記号	機械	状態
研究 1		D	コアドリル	湿式で回転しながら衝撃
		B	コンクリートブレーカー	RC 造の壁を粉じんを出しながら破砕
研究 2	新築 …	Na	ハンドブレーカー	コンクリートブロックを破砕
		Nb	ノコギリ	添木を手ノコで切断
		Nc	トンカチ	添木を釘で打ちつける
		Nd	ポンプ車	スクイズ式による圧送
		Ne	生コン車	ドラム部分は回転
	解体 …	Da	鉄骨切断機	鉄筋を機械で切断
		Db	木材切断機	杉材を機械で切断
	改修 …	Ra	ハンドブレーカー	コンクリートブロックを破砕
		Rb	コンクリートドリル	ドリルの打撃により破砕
		Rc	足場仮設	居ながら工事における足場設置

表3 実験要因と水準

要因		水準
研究1	測定機械	コアドリル(D)、コンクリートブレイカー(B)
	測定箇所	作業室(w)、上室(u)、左室(l)、正面室(f)、暗騒音(A)
	測定位置	室中央
	測定室環境	窓・扉の閉鎖
	測定時間	30 秒間
研究2	工事種別	新築(N)、解体(D)、改修(R)
	測定機械	ハンドブレイカー(Na)、(Ra)、ノコギリ(Nb)、トンカチ(Nc)、ポンプ車(Nd)、生コン車(Ne)、鉄骨切断機(Da)、木材切断機(Db)、コンクリートドリル(Rb)、足場仮設(Rc)
	測定位置(N:新築)	距離減衰 1m, 2m, 5m, 10m
	遮音材料(D:解体, R:改修)	1m(n)、石膏ボード1枚(g1)、2枚(g2)、合板1枚(l1)、2枚(l2)、遮音カーテン(c)、スタイロフォーム(s)
	位相差入射位置	1λ、1.5λ、2λ(λ:波長)

2.1.2 工事種別における騒音の改善手法(研究2)

(1) 新築工事における距離減衰実験

表2～4に使用機器、実験要因と水準、試験項目を示す。測定機器はハンドブレイカー、ノコギリ、トンカチ、ポンプ車、生コン車の5種類である。それぞれ音源から1m、2m、5m、10m離れた位置から30秒間ずつ測定を行い距離により音圧レベルがどの程度減衰するか調べた。

(2) 解体及び改修工事における質量則実験

測定機器は鉄骨切断機、木材切断機、ハンドブレイカー、コンクリートドリル、足場仮設の5種類である。写真b)のように表3に示した材料を扉にはめ込み、室内からスピーカーで音を流し扉の外から測定を行った。本研究では式2)による質量則の考えを利用する。

$$TL_d = 20 \log(f \times M) - 42.5 (dB) \quad \dots \dots 2)$$

ここで、 TL_d :等価損失(dB), f :周波数(Hz), M :構造体密度(kg/m^2)

(3) 全工事種別における位相差入射実験

上記の2実験から得た1m地点でのピーク帯を本実験では逆位相により音圧レベルを低減させる実験を行った。2つのスピーカーから同時に同じ機器の音を出し、それぞれの周波数によって決められた位置で測定を行った。表5に本実験で使用する波長を示す。1 λ は強い逆位相、1.5 λ は同位相、2 λ は減衰のある逆位相でありこの入射により、騒音環境を積極改善する。実験により1mや2mのピーク帯の騒音レベルに対し騒音が改善されているか評価を行う。その結果から1 λ , 1.5 λ で打ち消し、2 λ で増幅されているか確認する。各機器における周波数の決め方は機器から1m離れた時のピーク帯とする。測定位置の求め方はまず波長を式3)から求め、そこから腹と節の位置を求め測定位置を決定した。

$$v = f \times \lambda \quad \dots \dots 3)$$

ここで、 v :音速(340m/s), f :周波数(Hz), λ :波長(m)

2.2 実施工物件における機器音の透過の評価(研究1)

図3にコアドリル及びコンクリートブレイカーの騒音レベルの比較値と周波数特性の結果を示す。

測定結果より、作業室以外ではピークの周波数が低周波数なので聞こえにくいことがわかった。一般的な騒音の目安を参考にすると作業室では騒々しい街頭、上室・左室では静かな街頭、正面室では平均的な事務所内の騒音レベルと言える。またコンクリートブレイカーの低周波数では騒音レベルの差はほとんどなかったが高周波数になるにつれて作業位置が離れている部屋ほど低い値となった。

2.3 工事種別による騒音の改善手法(研究2)

2.3.1 新築工事における距離減衰評価

図4に試験結果を示す。1m及び2mでは音圧レベルの差はほとんど見られなかったが5m離れたと最大で15dB以上減衰した。10m離れるとトンカチのように暗騒音とさほど変わらぬ機器があった。しかしポンプ車のように距離が離れてもほとんど減衰しないものもあった。

2.3.2 解体及び改修工事における質量則評価

図5～図7に試験結果を示す。遮音カーテン及びスタイロフォームは減衰率が低い結果となった。これは、他に比べ厚みがなく密度が小さいため効果が小さかったと思われる。石膏ボード及び合板も同じことが言え、両方とも1枚に比べ2枚重ね合わせたほうがより音圧レベルが低い結果となり、吸音率は高かった。

2.3.3 全工事種別における位相差入射評価

図8に試験結果を示す。音によっては低周波数と高周波数でよく落ちる機器があることがわかった。しかし特定の周波数の音圧レベルを下げることはできたがそれ以外のところではもとの音よりも音圧レベルが上がってしまった。

表4 実験項目と方法

実験項目	方法
研究1	騒音レベル測定
	建設省告示1536号よりチゼルをコンクリートに強く押し付けた状態で30秒間以上測定
	周波数特性
	JIS Z 8731で評価
研究2	距離減衰実験
	音源から1m, 2m, 5m, 10mの位置で測定
	質量則実験
	表3で示した材料を扉にはめ込み測定
	位相差入射実験
	2つのスピーカーから同時に音を出し、打ち消される位置、増幅される位置で測定

表5 騒音の改善手法と詳細 (●:測定値)

(1) 距離減衰評価		(2) 質量則実験
(3) 位相差入射実験		
1 λ (逆位相)	1.5 λ (同位相)	2 λ (逆位相)
a) 距離減衰実験	b) 質量則実験	c) 位相差入射実験



図2 作業・測定位置平面図(工学院大学1号館)

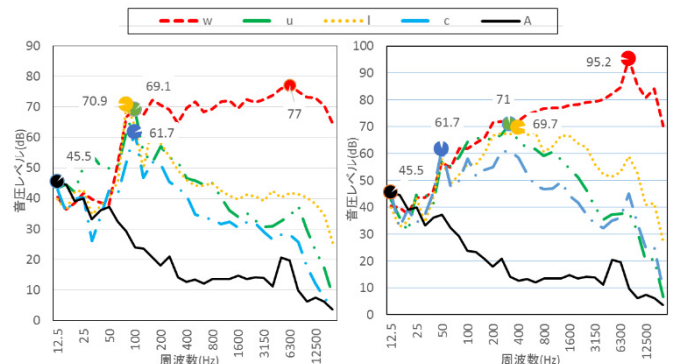


図3 騒音レベルと周波数特性

図4に距離減衰実験の騒音レベルと周波数特性を示す。a)では、全ての距離で同じピーク帯となり、10m地点では14.0dBの減衰であった。b)では、距離が遠くなるほど低周波数でピーク帯となった。5m, 10mでは特徴的なピークは見られず広帯域騒音に区別される。c)では、315Hz以下と8000Hz以上では暗騒音とそれほど変わらない結果となった。d)では、全ての距離で同じピーク帯となり、100Hzまでは暗騒音と変わらない音圧レベルであった。e)では、ポンプ車と周波数特性は似ているが生コン車のほうがより距離により大きく減衰していた。

図5に質量則実験の騒音レベルと周波数特性を示す。a)では、周波数が高くなるにつれて大きな減衰となった。b)では、ピーク帯である4000Hzで比較を行うと最低でも15dBの

減衰が確認できた。c)では、全体的に大きな減衰となった。d)では、低周波数では増幅してしまったが高周波数では減衰が確認できた。e)では、全体的に周波数特性は似たものとなったが周波数が高くなるにつれて材料を使用すると大きな減衰が見られた。

図6に質量則実験の各材料の吸音材を示す。a, b)では、200Hzを境に吸音率は高くなっていて、石膏ボードが他材料に比べ多少ではあるが大きな吸音率であった。c)では、カーテンの吸音率は他に比べ低かったが他の機器と比較すると高い吸音率であった。d)では、低周波数では吸音率はマイナスとなってしまうが人が聞き取りやすい周波数では20~40%の吸音率であった。e)では、周波数が高くなるにつれて2枚重ねあわせた方が大きな吸音率となった。

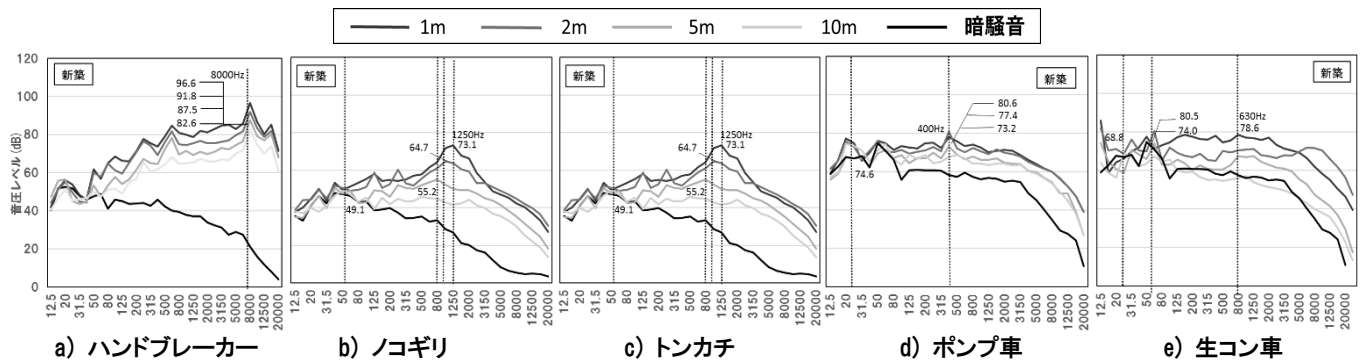


図4 距離減衰実験(騒音レベルと周波数特性)

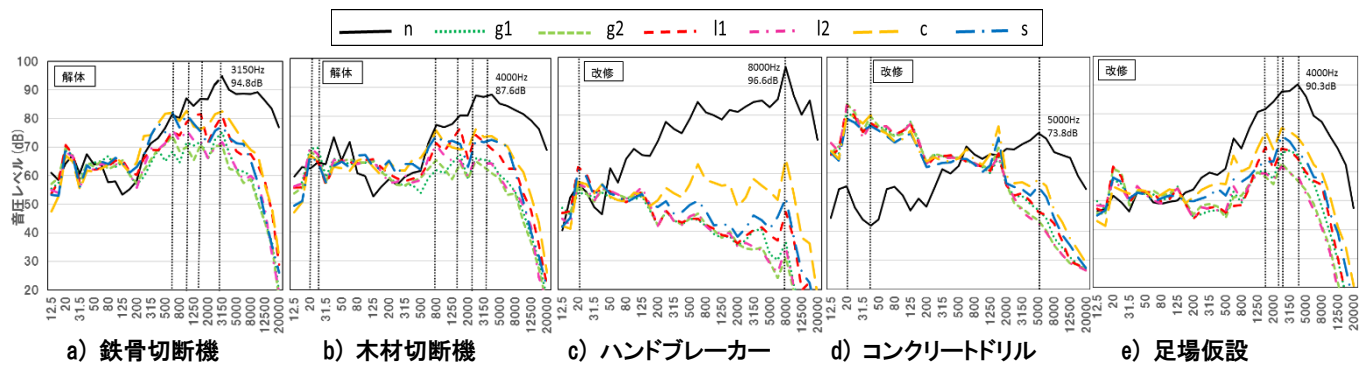


図5 質量則実験(騒音レベルと周波数特性)

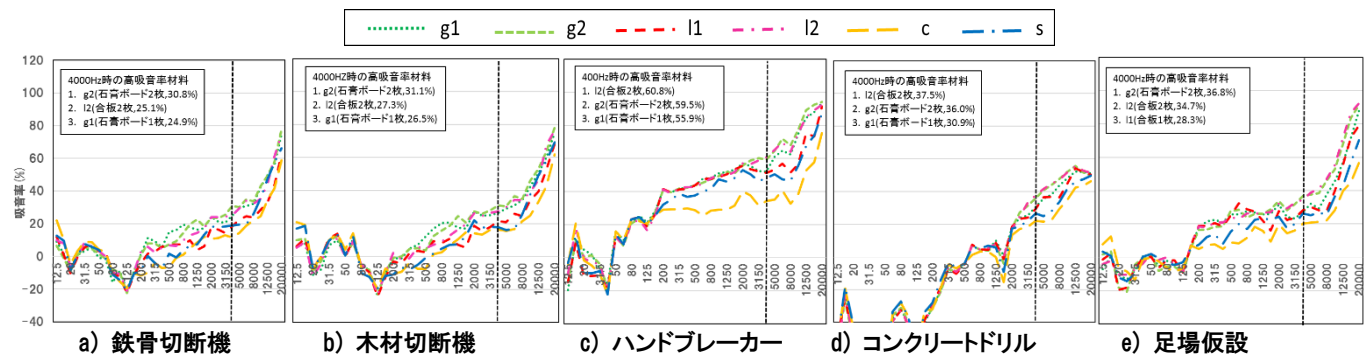


図6 質量則実験(各材料の吸音率)

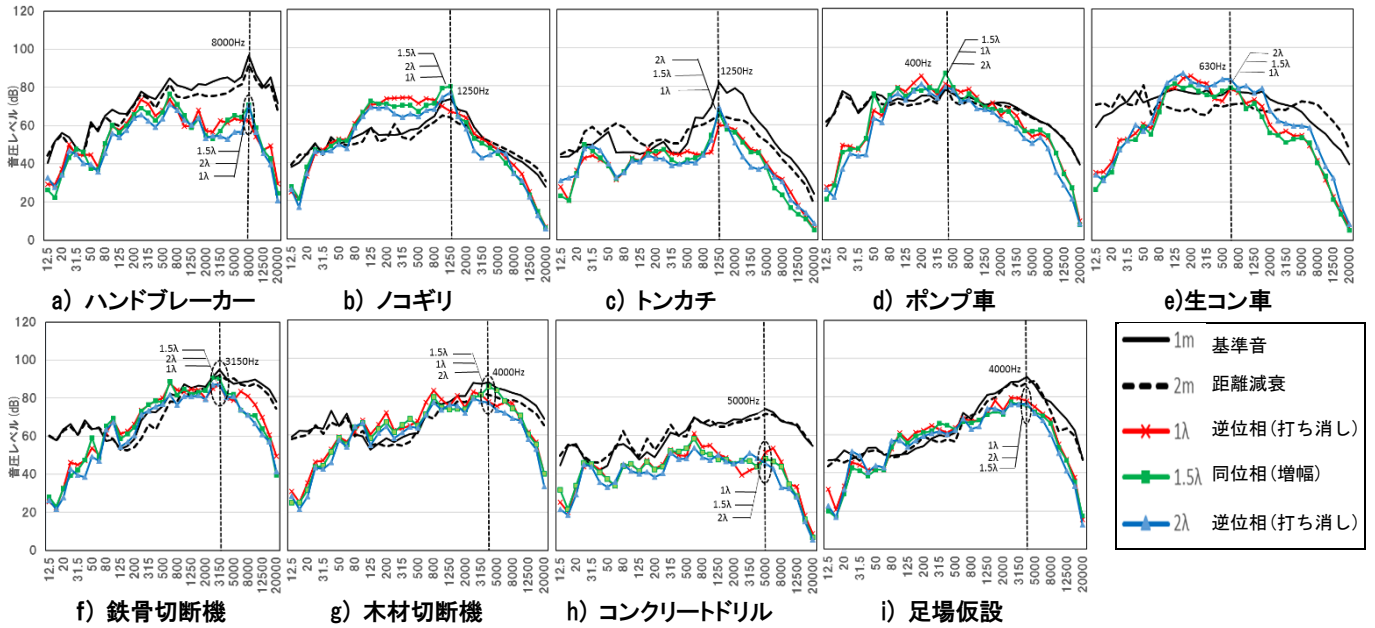
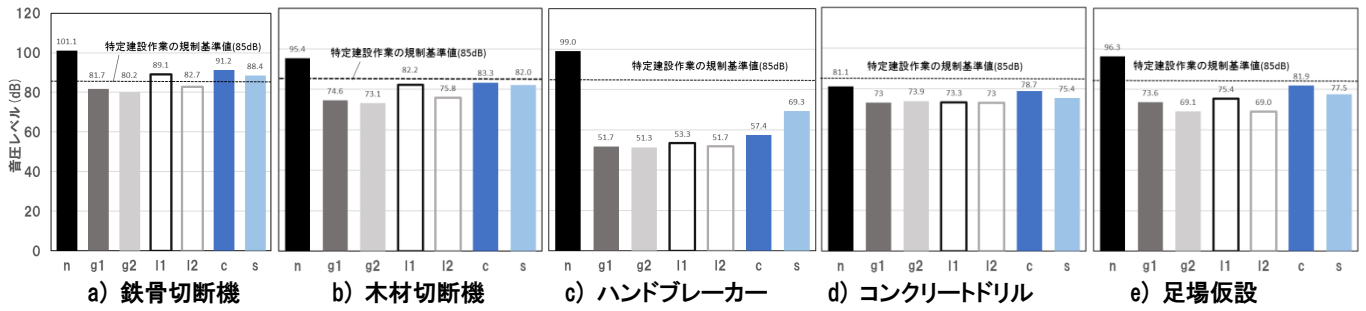


図7に質量則実験のMainでの騒音レベルを示す。a)では、何も無い時と比較すると書く材料とも減衰したが合板1枚、カーテン及びスタイロフォームは特定建設作業の規制基準値を上回ってしまった。B, c, e)では、何も無いときの機器音は基準値を超えていたが各材料を使用したことで基準値を下回ることができた。d)では、何も無いときも基準値を下回っていたが全体的に見ると大きな低減はなかった。

図8に位相差入射実験を示す。なお、ここでは改善手法が実現できれば、2m離れなくても音圧レベルを下げる事が可能になる。a, h)では、全体的に逆位相を行ったものが2mでの測定時より低い音圧レベルとなった。b, d)では、目的の周波数を見ると低減効果は見られなかった。c)では、2m離れるほどの減衰効果はなかったが基準音よりは減衰することができた。e, f, i)では、若干ではあるが目的の周波数を低減することができた。g)では、1.5λは増幅で2mを超えたが逆位相での打ち消しは2mよりも減衰することができた。

3 まとめ

本研究の結果、以下の知見が得られた。

- 1) 研究1より、作業室からの部屋の距離やスラブ厚、壁厚により減衰かつピーク帯が変化することがわかった。

- 2) 研究2の距離減衰実験より、ピーク帯が同じものよりも距離によって違うピーク帯を持っている機器の方が大きく減衰している結果となった。
- 3) 研究2の質量則実験より、どの機器も高周波数の吸音率は高く特に材料を2枚重ねるとより大きく吸収することがわかった。
- 4) 研究2の位相差入射実験より、目的とした周波数では音圧を下げることに成功したが、それ以外の周波数で騒音レベルが上がってしまったものもあった。

参考文献

- 1) 環境省、平成23年度騒音規制法施工状況調査、2012
- 2) トマトィスディベロップメント社、骨伝導聴力に関する研究、技術資料、2000
- 3) 小野測器、騒音の種類、技術レポート、2013
- 4) 日本建築学会編：建築設計資料集成1 環境、丸善、1978

謝辞

本研究の実施にあたり、東急技研・本学客員研究員古川氏、東急建設株式会社幸区役所庁舎作業工事担当各位に多くの協力を頂いた。なお、本研究の一部は、工学院大学UDM研究、H25年度科研費(A:23680681 田村雅紀)による。

災害時住環境における多像化壁紙の視覚距離による認識度の改善度

材料施工、災害時、内装材料、壁紙、印象評価

筒井貴弘*1 田村雅紀*2 大原千佳子*3

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災は今までの防災の考え方では対応が追いつかないという現実を知らしめられた。したがって、我が国は国家の存亡に直結する数々の危機を乗り越えられる「強靱性（レジリエンス）」身につけねばならない。それによって初めて日本に安寧と成長が得られることができる。なぜなら、あらゆる危機に対応できる国家のみが21世紀の危機の時代においては成長ができるからである。レジリエンスは、「最悪の事態」から出発して既存の枠組みにこだわらず、これからどのように回復、復興するのかという観点で、国づくりを発想し直すことである。以上より、本研究では既往研究¹⁾より多像化壁紙を用いた官能検査を災害時での想定で行い、レジリエンスの観点から壁紙の性能を評価する。災害時を想定した官能検査を行うことで平常時の壁紙の機能との性能の差を把握でき、材料作成の際に災害時に著しく性能が落ちる箇所を強化する事が出来る。本研究では、平常時の性能を割り出すため使用する多像化壁紙を実測定（研究1）にて官能検査を行う。多像化壁紙は観察する距離によって見え方が変わる壁紙のため、観察距離を変化させ官能検査を行う（研究2）。そして平常時における性能を割り出した後に、光源を災害時に想定した照度に変え（研究3）官能検査を行い平常時との性能を比べる事によって災害時を想定した官能検査を行う（図1）。

2. 研究概要

使用材料及び実験条件

表1に使用材料、表2に実験要因と水準を示す。今回の実験では照度、観察距離を変更することによって被験者の観察環境を変化させている。使用材料のL-hrは光の反射量の多い壁紙、L-lrは反射量の少ない壁紙、Mはピッチのある壁紙で多像化させた際にモアレが発生する壁紙である。表2における研究1の水準（観察距離：3600mm, 800Lx）を基準とし、研究2、研究3において条件を変えることによって負荷等を与え、アンケート用紙で官能検査を行う。表1で多像化壁紙の概要を示す。多像化壁紙はイメージ原図の山に、パターン原図として横ラインの各ピッチを組み合わせたもの多像化壁紙として作成した。図2では実験室の概要を示す。暗幕で覆われた実験室で外部からの因子を遮断した状態で試験を行う。今回は被験者数15人のアンケート結果を平均したものを算出する。

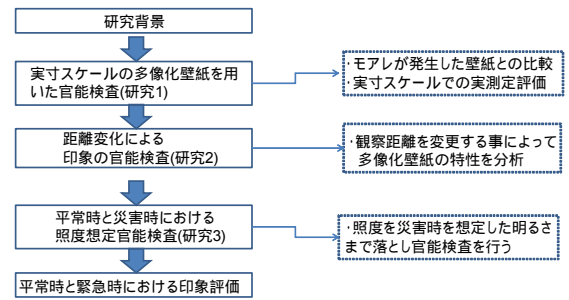
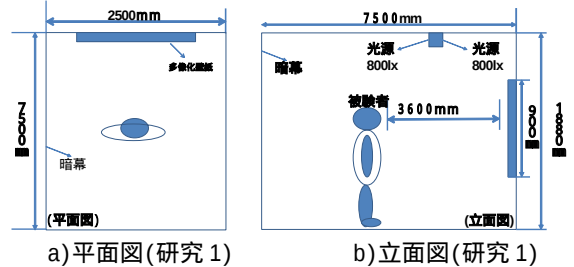


図1 研究の流れ



a) 平面図(研究1) b) 立面図(研究1)
c) 解像度と距離の関係(研究2) d) 反射光量測定方法(研究3)

図2 実験室概要

表1 使用材料

材料	記号	サイズ	構成物質
微発泡 PET シート	L-hr	1200mm × 900mm	紙シート
壁紙用裏打紙	L-lr	1200mm × 900mm	紙シート
モアレ壁紙	M	1200mm × 900mm	塩ビ壁紙

多像化壁紙（イメージ原図＋パターン原図）

山(横)0.25 (line/cm)	山(横)0.50 (line/cm)	山(横)1.00 (line/cm)	山(横)2.00 (line/cm)	山(横)4.00 (line/cm)	山(横)8.00 (line/cm)

表2 実験要因と水準

項目	要因	水準	使用壁紙	使用解像度
研究1 実寸スケールの 多像化壁紙を用いた 官能検査	観察距離	試験体から 3600mm	M L-hr	0.25 0.5 1.00 2.00 4.00 8.00
	照度	800(Lx)		
研究2 距離変化による 印象の官能検査	観察距離	試験体から 1800mm 7200mm	L-hr	1.00 2.00 4.00
	照度	800(Lx)		
研究3 平常時と災害時に おける 照度想定官能検査	観察距離	試験体から 3600mm	L-hr L-lr	0.25 0.5 1.00 2.00 4.00 2.00
	使用照度	800(Lx), 50(Lx)		
	照度変化	800Lx → 50Lx → 800Lx → 800Lx → 50Lx		
	使用壁紙	L-hr → L-hr → (無し) → L-lr → L-lr		
	目の状態	明順応 → 暗順応 → 明順応(3分休憩) → 明順応 → 暗順応		
	使用壁紙 反射光量	材料 記号 表面反射光量		
		微発泡 PET シート L-hr 636(Lx)		
		壁紙用裏打紙 L-lr 445(Lx)		

*1 工学院大学建築学科4年

*2 工学院大学建築学部准教授

*3 大日本印刷株式会社

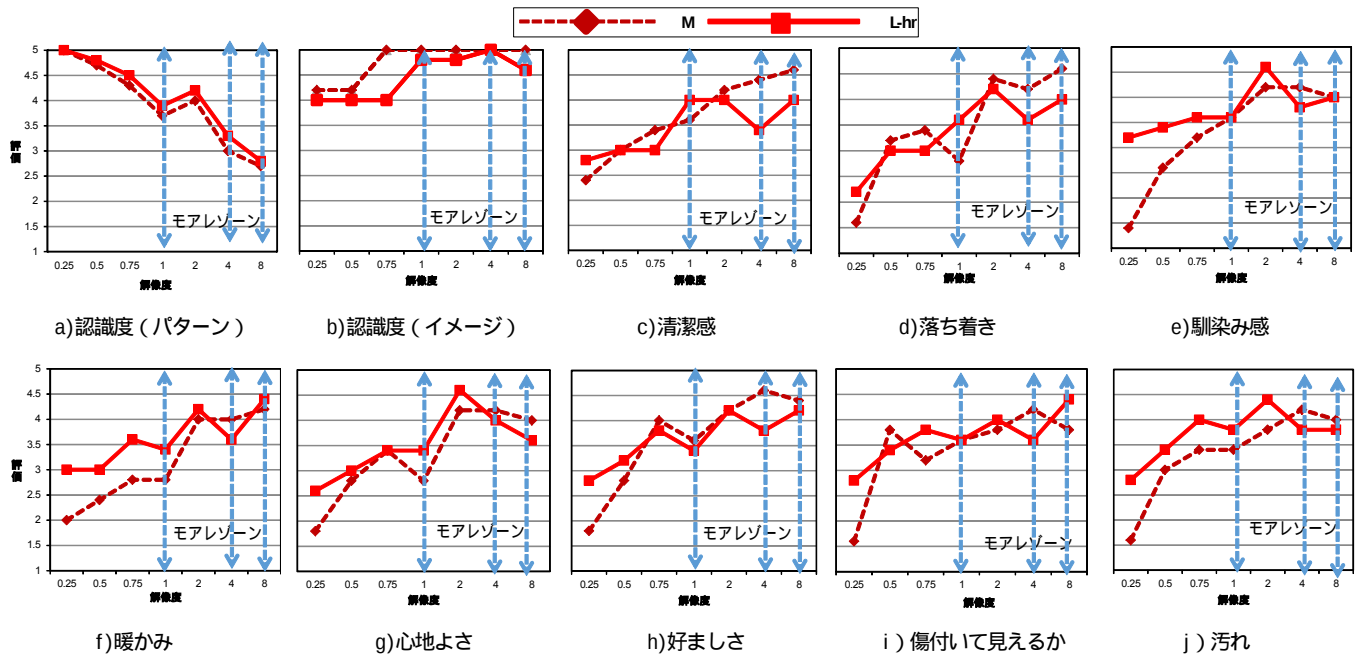


図3 実寸スケールの多像化壁紙を用いた官能検査

3. 実寸スケールの多像化壁紙を用いた官能検査(実験1)

L-hr(微発泡 PET シート)とM(モアレ壁紙)を用いて官能評価を行う。今回の試験ではピッチのある塩ビ壁紙Mを使用する。塩ビ壁紙には0.5Line/cmのピッチが存在し、このピッチが多像化壁紙のパターン原図のピッチと干渉することによって干渉縞(モアレ)を引き起こす。塩ビ壁紙のような世界で多くの生産量を占める壁紙ではモアレによる印象評価への影響を検証する必要がある²⁾。よって本実験ではモアレの発生した多像化壁紙M(モアレ壁紙)とモアレの発生しないL-hr(高反射壁紙)を比べる事によってモアレによる印象評価の影響を分析するとともに実寸スケールでの試験体を使用する事によって既往研究では行われなかった実寸スケールでの実測定評価も同時に行う。実験環境は照度800Lxの暗幕で囲われた暗室で行い、被験者数は15人とする。観察距離は既往研究との比較を行うので観察距離を比によって既往研究から観察距離を等倍し3600mmでの観察を行う。さらに今回の実験では多像化壁紙をパターンとして認識できるか、イメージとして認識できるかについても既往研究と同じく官能検査を行った。この検査を実寸スケールで行うことによって実測定での試験結果が得られ、より壁紙の性能の評価する際の指標となる。

実験の結果は図3に示す。まずMについてモアレが発生している解像度1,4,8のモアレゾーンにて、特に解像度1の落ち着き、好ましさ、心地よさにおいて著しく評価が下がる事が分かった。これにより多像化壁紙を使用する際にピッチのある壁紙を使用し、モアレが発生してしまうと印象評価において性能が著しく低下してしまうことが分かる。L-hr壁紙についてこちらの壁紙にはモアレ

レは発生していないが解像度2付近の結果に落差が見られる。解像度2において評価が高い値を示しそれ以外は軒並みの結果は解像度2に劣るパターンがあった。これは観察者が解像度の条件と距離の条件が一致し、適性距離にて観察したために起こる多像化壁紙の特性を表している。この結果により多像化壁紙には適正距離にて観察することによって官能検査の結果が高い値を示す傾向にあることが分かった。

4. 観察距離を変更により変わる印象の官能検査

4.1 解像度と距離の関係

本実験では多像化壁紙は距離によって見え方が違うという特性から印象評価にも影響を及ぼすのではないかという想定から、比によって同じように見える解像度と距離を割り出し官能検査を行うことで印象評価への影響を実証した。図2にその解像度と距離の関係を示す。今回想定するのは既往研究³⁾でもっとも評価が高かった解像度2での想定である。既往研究で用いた試験体は本研究の1/6のサイズ、観察距離も1/6なので比によって解像度2を再現すると3600mmの位置で観察する事によって既往研究と同じ条件での実測定評価が可能になった。3.6mを基準に2倍の距離と1/2の距離(7.2m,1.8m)にて解像度1、解像度4の試験体で試験を行う。照度は実験1と同じく800Lxとし、被験者は実験1の被験者と同じ15人とする。

4.2 観察距離変化により変わる印象の官能検査(実験2)

図4に実験結果を示す。全ての結果において7.2m(解像度1)の結果が一番低い評価となった。これは観察距離と関係があると思われる。暗室のような外部因子が影響し

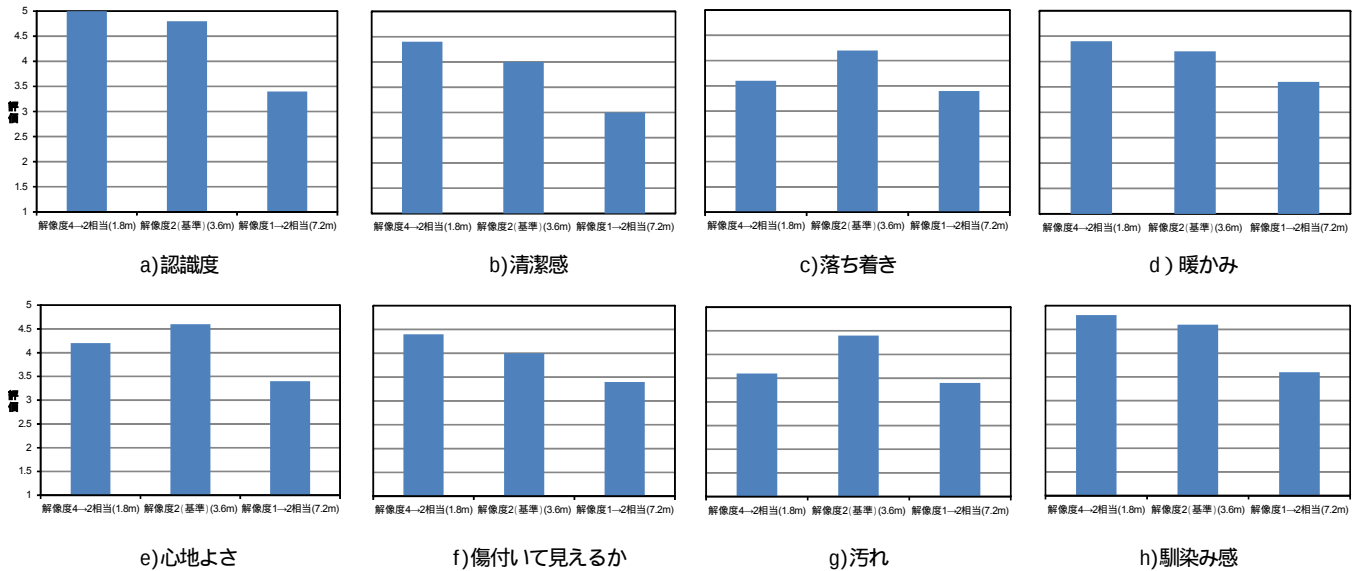


図4 観察距離変化によって影響する印象の多像化壁紙を用いた官能検査

ない空間であっても観察者と試験体の間に距離があると視覚から入る情報量が多くなり認識度の低下につながると考えられる。認識度が下がる事によって他の試験項目にも影響が及びすべての結果が低い値を示したと考えられる。このことから認識度は印象評価において重要な要素である事が分かった。次に1.8m（解像度4）と3.6m（解像度2）について、認識度に大きな差もなく認識度も高い値を示している。7.2mのような距離による情報量の過多によって認識度が低下する影響はないとすると、各項目において評価の値に差が見られる。特に落ち着き、心地よさ、などの印象に関する項目において差が見られた。さらに汚れの評価項目においても差が見られたことから物理的な評価指標においても観察距離によって評価が変化している。同じ見え方の解像度設定であっても距離によって感じる印象が変化することが分かった。同じ見え方でも距離によって印象が変わるということは材料選定の際に材料を使用する空間の想定を行い、要求性能ごとに適切な解像度で施工することによって観察者の印象評価を高められる可能性を見出す事が出来た。

5 平常時と災害時における照度想定官能検査（実験3）

5.1 平常時と災害時における照度想定官能検査目的

実験3では光源の照度変更、壁紙の反射率が違う試験体高反射壁紙、低反射壁紙(L-hr, L-lr)を使用し通常時と緊急時を想定した環境を作成し官能評価を行う。災害時の環境の作成については5.2 明順応・暗順応を考慮した実験水準で述べるが、今回の実験では照度を災害時レベルまで低下させた環境における官能検査を行い、災害時と通常時との性能比較を行う。そして高反射壁紙に多像化壁紙を印刷し、認識度を高めることによって印象評価を高められるかを検証する。観察距離については基準

の3.6mとし、照度は表2に示した通りとする。図2では反射光の測定方法、表2では使用する壁紙の表面反射光量を示す。光源の光を取り込まないよう壁紙の反射光のみを測定した。その結果が表2であり、今回は反射光量が一番多かった壁紙を高反射壁紙（L-hr）一番低かった壁紙を低反射壁紙（L-lr）とした。今回の実験ではレジリエンス性能を持つ壁紙が非常時においてどれだけの性能を発揮するか、そして通常の壁紙との性能と比べどれだけの性能差が出るかという実験であるため、一番反射光量の多いL-hrと一番反射光量低いL-lrにて比較を行う。被験者数は15人で行う。

5.2 明順応・暗順応を考慮した実験水準

人間の目は突然暗所に晒されるとその暗さに慣れるまでに時間が掛かる。一般に暗順応という働きが人間の目の桿体で作用する。暗順応は30分程度の時間が掛かり、逆に明るさに慣れる明順応は3分で完了する。今回の実験は災害時を想定した照度変更実験なので、最初に通常時の照度（800Lx）での官能検査を行いその明るさに慣れたまま暗所（50Lx）での官能検査を行うことによって、突然光源が奪われる災害時を想定でき目が慣れていない状態で壁紙を観察することで、災害時を想定した壁紙に対する印象評価及び認識度がどのように変化するかを測定した。表2にその実験スケジュールを示す。最初に高反射の壁紙での通常時実験から光源を災害時想定まで低下させた暗順応状態での災害時実験を行った後に、暗所に眼が晒されて暗順応してしまっている状態を通常の光源（800Lx）下に晒して3分間のレストタイムを挟み、明るさに再び慣れさせ明順応させる。最後に低反射の壁紙を用い通常時の照度(800Lx)での官能検査を行い再び明るさに慣れている状態の目のまま暗所(50Lx)での官能検査を行う。この実験スケジュールで同じ動作を全ての

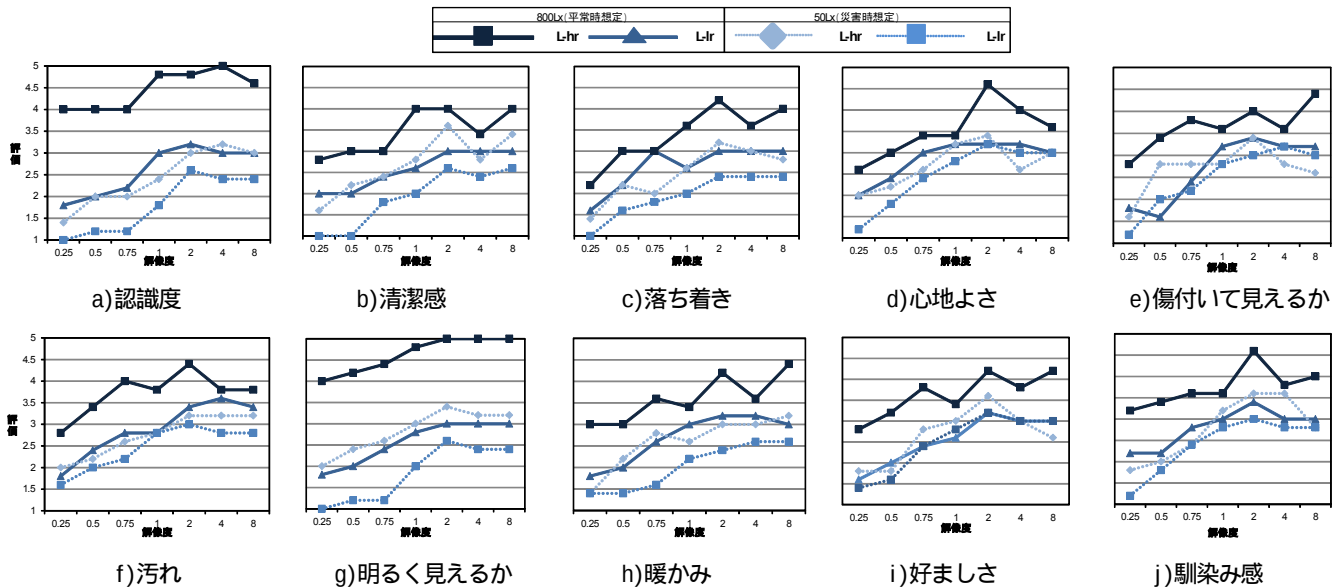


図5 災害時照度を想定した際の多像化壁紙を用いた官能検査

解像度で行うことにより通常時と災害時の想定での壁紙の認識度及び印象評価の比較を行うことが出来、災害時においてどのような性能が壁紙に求められるのかを算出することが出来る。

5.3 照度変更試験結果

図5に実験結果を示す。光源 800Lx 時での高反射壁紙、低反射壁紙(L-hr、L-lr)では認識度の評価に2~4ポイントの差が現れた。壁紙の反射量が高ければ高いほどテクスチャーの認識度が高まり、低ければテクスチャーの認識度が下がることが分かる。そして今回も 3600mmにおいては適正距離での観察なので官能検査の結果がどちらも高い値を示している。次に光源 50Lx 時での高反射壁紙、低反射壁紙(L-hr、L-lr)の試験結果では、特に高反射壁紙(L-hr)において光源 800Lx 時における低反射壁紙(L-lr)の認識度を上回る場合の解像度が存在する。つまり、高反射する多像化壁紙を災害時を想定した照度環境で使用しても通常時の照度での壁紙の認識度を上回る結果が得られたという一例が得られた。この結果により反射率を上げる事によって認識度を高める事が出来るという結果が得られた。さらに官能検査の全ての評価指標においての通常時想定の結果を上回る官能検査の結果を示した。この結果から、災害時想定内での壁紙観察であっても印象評価において通常時の結果を上回る結果を出すことが出来本実験の目的を果たす事が出来た。これにより反射率を高めた多像化壁紙を使用し、認識度を高めた多像化壁紙は災害時想定であっても性能を維持することができるのでレジリエンス能力を内包した建材作成の可能性を示したと言える。

6. まとめ

1) 実寸スケールの印象評価では、特定の模様幅でモアレ

による認識度低下が生じ、印象評価に影響を与えた。

- 2) 実寸スケールによる実測定評価により多像化壁紙には解像度ごとの適性観察距離が存在する事が分かった。
- 3) 観察距離変化による印象評価では、認識を高める上での解像度ごとの適性距離があり、さらに観察距離ごとに印象評価の違いが見られた。
- 4) 災害時想定の影響評価では、表面反射量の高い壁紙を用いることで認識度を高められた。さらに観察距離と解像度の組み合わせにより、平常時よりも認識度を高められる可能性を見出せた。
- 5) 災害時を想定した視覚距離により多像化する壁紙の認識度の改善により、レジリエンス能力を内包した建材作成を可能性を見出せ、レジリエンスの力を高められる可能性を示した。

参考文献

- 1) 君島新一，田村雅紀，大原千佳子，視覚距離により多像化する壁紙のパターン知覚が印象評価に与える影響，日本建築仕上学会 25(148)，pp.43，2013-05
- 2) 田村雅紀，箕山敏彦，建築内装用塩化ビニル壁紙のテクスチャーと色彩特性が印象評価に与える影響，日本建築仕上学会研究発表論文集，pp.183～186，2010.4
- 3) 君島新一，田村雅紀，大原千佳子，新素材壁紙のテクスチャーに関する自然素材の表現性評価，日本建築学会技術報告集(40)，pp.853～857，2012.10

謝辞

本研究は(株)大日本印刷，俣野剛史氏との共同研究であり，貴重な助言を受けた。また工学院大学 UDM 研究，H25 年度科研費(若手 A:23680681 田村雅紀)により研究補助を受けた。

伝統的木造建築における改質こけら葺き屋根の初期劣化要因と安定化状態の評価

材料施工、伝統的木造建築、改質こけら葺き屋根

色彩特性、屋根勾配

矢野裕倫*1 田村雅紀*2
後藤治*3 山本博一*4

1. はじめに

日本の伝統的屋根葺き構法はコストや耐久性の問題から年々減少傾向にありこれら保護する必要がある。その理由として文化的価値があり観光資源として期待されており保全保護するニーズがあり、現在でも専門家により保全方法について議論されている。こけら葺きを保護していく上で大きな問題となるのが維持費であり、葺き替えのたびにコストが必要なため大きな負担である。そこでこけら葺きの保護方法の一つとして挙げられる改質処理が有効である^{1)~3)}。改質処理を行う事により耐久性の向上をする事が出来れば葺き替えのサイクル長期化に繋がり結果コストの削減にもなる。本研究ではこけら葺きの初期劣化性状を調査し劣化の原因を検証し、実験項目の色、ひび割れの観点から2010年～2013年までの劣化低減速度を踏まえ環境要因がこけら材の劣化に影響を与えるのかを検証する。また塗料による改質処理の効果を検証し、改質処理により長期使用を実現する可能性を検討する。

研究2では既存の研究の研究結果を踏まえた上で角度・表面保護塗料の観点から違いを検討する。

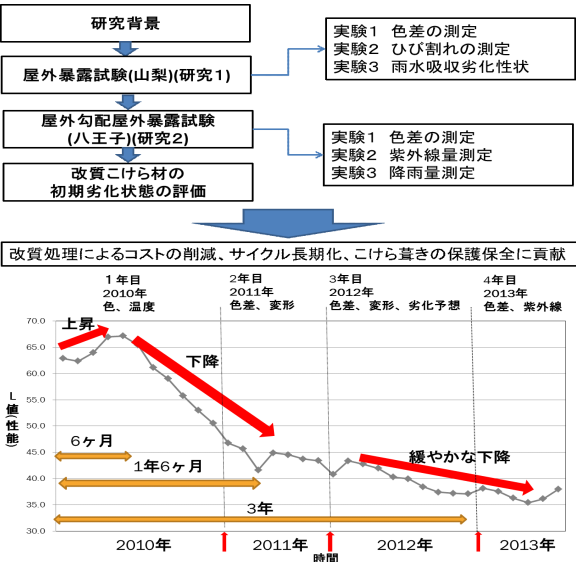


図1 本研究の流れと既存研究による初期劣化状況

表1 使用材料

項目	内容							
記号	A6	A8	N10	N8	M5	M0	Sk	Sc
種類	秋田 人杉	秋田 人杉	秋田 大杉	秋田 大杉	宮崎 人杉	宮崎 人杉	京都 さくら	秩父 さくら
樹齢年	46年	88年	109年	88年	35年	80年	—	—
平均厚(mm)	3.4	3.6	3.3	3.4	3.6	3.5	2.7	2.5
密度(g/cm ³)	0.35	0.29	0.33	0.53	0.31	0.33	0.36	0.31
年輪数(個)	23.2	17.8	56.5	35.4	20.2	34.0	11.5	15.4

表2 実験項目と内容

	測定項目	内容	測定時写真		
研究1 (山梨)	紫外線強度	屋根面+日射垂直面. 線強度測定			
	表面温度	赤外線放射温度計より表面温度測定			
	表面退色度	色差計を用い、JIS Z8730 表面色 XYZ 三刺激値より評価 L*a*b*値による			
	内部湿度	内、外湿度を12回/24時間自動評価			
研究2 (八王子)	色差測定	各角度(0, 15, 30, 45, 60, 90) 色差計により現在までの変化			
	紫外線測定	各角度(0, 15, 30, 45, 60, 90) 紫外線測定器を用い UVC(mw/cm ²) 量を測定する			
	降雨量測定	一週間ごとに雨量を測定			

表3 こけら葺き改質処理条件

	No	種類	色	回数	効果
研究1 (山梨)	1	高撥水シリコン系	クリア	2	シロキサン結合基を有する無機シリコン溶液による撥水対策
	2	高耐久アクリルシリコン系	白	2	含有シリコンによる結合エネルギー増大化による紫外線吸収防
	3	無・有機ステイン系	黒	クリア/黒	黒色化による近赤外線吸収影響の検証
	4	無・有機ステイン系	白	クリア/白	白色化による近赤外線反射影響の検証
	5	柿渋液	茶	4	柿渋液塗布による防腐対策
	6	木酢液	茶	4	木酢液塗布による防腐対策
	7	なし(銅版水切り)	なし	0	銅版水切りの挿入による熱伝導影響に伴う蓄熱影響検証
	8	なし	なし	0	研究1の基準試験体
	9	フッ素樹脂系遮熱塗料	黒	3~4	近赤外線高反射による遮熱特性の改善、紫外線劣化防止に伴う保護膜耐久化、リグニン分解防止によるセルロース組織単分子化の防止に伴う防腐抵抗性改善の検証
	10	フッ素樹脂系遮熱塗料	茶		
	11	フッ素樹脂系遮熱塗料	肌色		
研究2 (八王子)	12, 14	なし	なし	0	基本試験体(12:Sk 京都さくら 14:Sc 秩父さくら)
	13	メタルシリコン系含浸剤	白	2	難燃性の付与および組織の緻密化に伴う紫外線対策を含む高耐久化の検証
	15	特殊アクリル系補修剤	なし	2	2液性特殊アクリル系固化材による細部組織の緊密化と表面層のアクリル保護膜化の検証

*1 工学院大学4年 *2 工学院大学建築学科・准教授 *3 工学院大学建築デザイン学科・教授 *4 東京大学大学院新領域創成研究科・教授

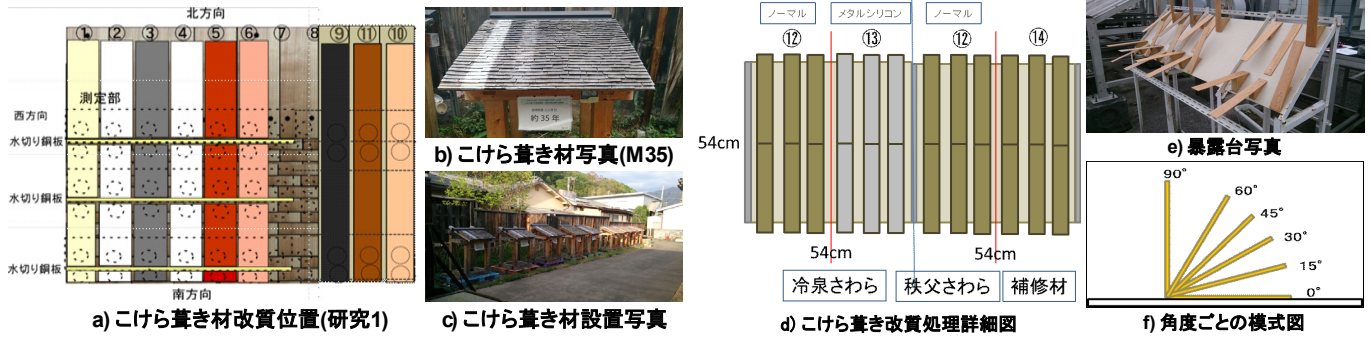


図2 こけら葺き材暴露詳細図と模式図(a, b, c, 山梨、d, e, f, 八王子)

既存の研究から確認された初期劣化はこけら板が施工直後から6ヵ月目前後に紫外線によりリグニンが破壊され色素成分が溶脱して起きると考えられる³⁾。図1はL値を時間軸上でグラフ化したものであり初期劣化を表している。L値（明度）の上昇は退色を表している。下降は黒色化を表している。木材はリグニンによって本来の色彩を保つので、リグニンが紫外線を受け破壊されると色素が溶脱しやすくなる。紫外線の吸収によりリグニンの分解それに伴う色素の溶脱が起きることが分かった。

2 研究概要

2.1 4年目のこけら葺き屋外暴露試験結果(研究1)

2.1.1 使用材料と実験概要(研究1)

表1に本実験の使用材料、材の寸法・密度、表3に試験体に施した表面塗装処理条件を示す。これは2010年から暴露している試験体であり、樹齢の異なる人工林の秋田産杉や宮崎産杉、自然林の秋田産栗、長野産さわら等、計7種類を研究1で、京都さわらと秩父さわら等を研究2で使用する。試験体の表面に塗装処理を施すことによりこけら葺きの葺き替えサイクルが長くなり表面の耐久性が向上するのかを検証するとともにどの塗装処理が効果的であるかを検証する。

2.1.2 使用材料と実験概要(研究2)

研究2では既存の研究で使用していた京都さわら・補修材を使用し、表1に本実験の使用材料を、表3に表面塗装処理条件を示し、図2 a)に暴露台の詳細図を、図2 f)に模式図を示す。表3は今回使用する試験体の種類である。試験体は既存の研究で使用された京都さわら塗装なし、アクリルシリコンを塗布したもの、保護塗料を塗布したもの、秩父さわら塗装なしの計4種類を使用し、それぞれ各角度(0°～90°)を暴露し八王子の建物屋上で測定行う。この材を塗装処理・角度の観点から観察し変化を見る。

2.1.3 実験内容と方法

表2に実験項目と方法を示す。各項目について試験体の2種類の塗装表面と2種類の無塗装表面の計4種類の表面状態を評価する。また重要文化財等のこけら葺きには、角度の変化で耐久性、色落ちの速度などに違いを検証する。図4の様にそれぞれ試験体を配置し、図2 f)のように角度をつけて暴露する。色差は色彩計を用いて各種試験体の表面の色彩を計り、紫外線は紫外線測定機でそれぞれの試験体が垂直に浴びている紫外線量を測定する。

2.2 こけら葺き材屋外勾配別暴露試験結果(研究2)

2.2.1 色差測定結果(研究2)

色差は $L^*a^*b^*$ 値より算出し、 L^* 値は明度であり材色の明るさを表し、 a^* 値および b^* 値は色度座標であり、一般に a^* 値が大きいほど赤色が強く b^* 値が大きいほど黄色が強くなる。このとき、色の濃さは彩度 C^* 値式(1)で表され、異なる部位の材色の違いは式(2)で求められる色差 ΔE^* によって表す。

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \dots \dots \dots (1)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 As :試料の値 Ar :基準の値 $\Delta A = As - Ar$

ここでの、 ΔL^* 、 Δa^* 、 Δb^* は2つの部位の $L^*a^*b^*$ 値の差であり JIS Z 8730 による

図5に角度ごと表面塗装処理ごとに $L^*a^*b^*$ 値のグラフを示し、図7に ΔE 、 C^* のグラフを示す。

各種グラフを見ると雨・紫外線の影響による色素の溶脱、表面塗料の剥離、カビや汚れの付着による変色に傾向が見られる。塗料ごとに見てみるとアクリルシリコン系は色を保っており、紫外線に対しても表面保護効果があるとも言え、他の材に比べ色落ちのグラフが緩やかである。角度ごとに見てみると、角度が緩やかなほど色落ちしていることがわかる。

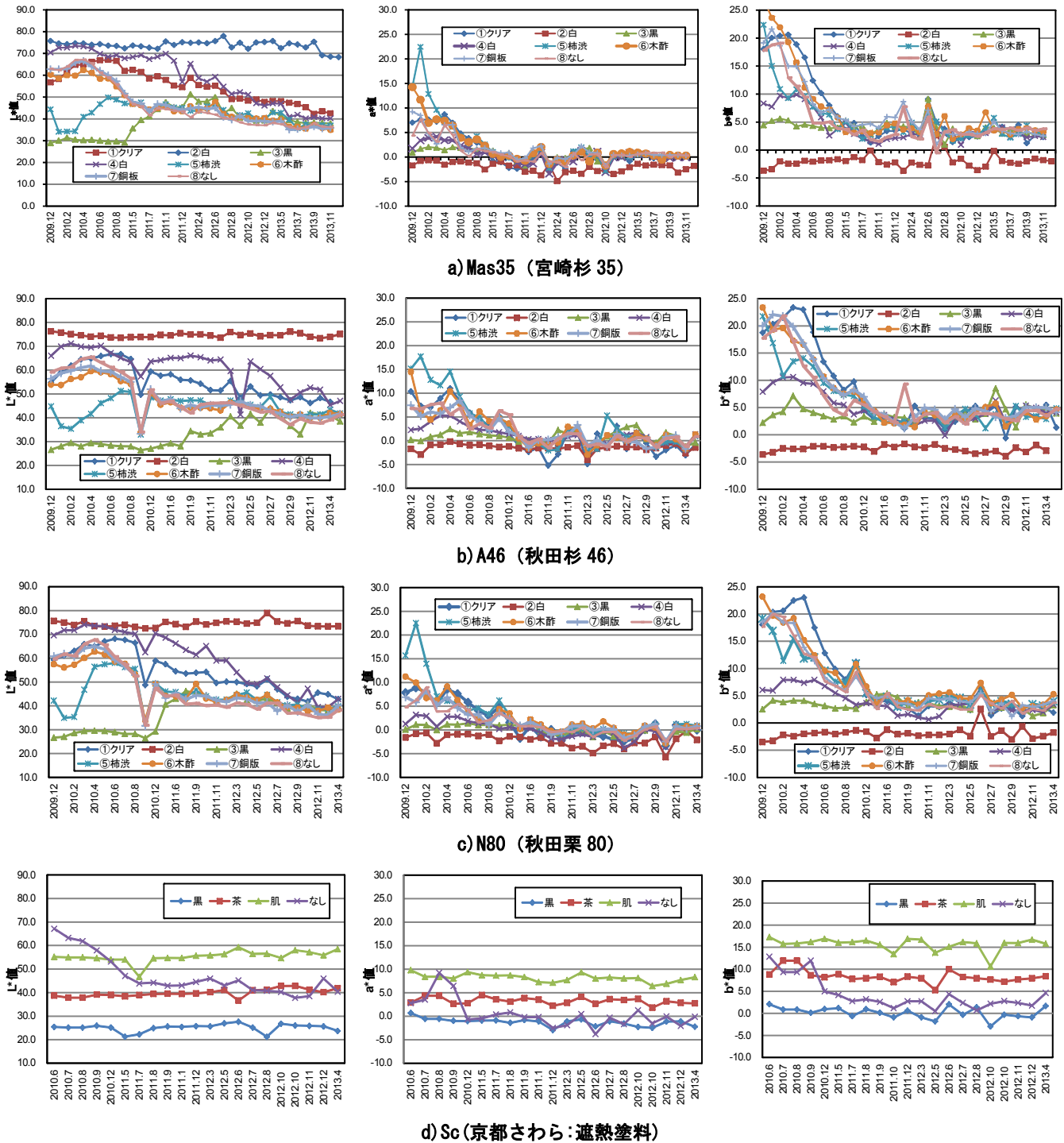


図3 改質処理ごとの時間変化に対応する色彩値の特性

2.2.2 紫外線測定結果(研究2)

図4には紫外線量差の激しかった月の紫外線量を挙げて比較し、図5のL*値(明度)のグラフと照らし合わせ紫外線量と色差の値が比例していることを示した。既存の研究から紫外線量が最も多いのは8月、少ないのは10月ということが確認されており図4から角度が急であると紫外線を多く浴びない。そのためリグニン分解が15°～30°のものより少ない結果がグラフに出ている。図6の色落ちの傾きのグラフをからも分かる通り多く紫外線を浴びると多く色落ちしている。図7の ΔE 、Cabのグラフでも15°～30°の材が色味を増していることが確認できる。

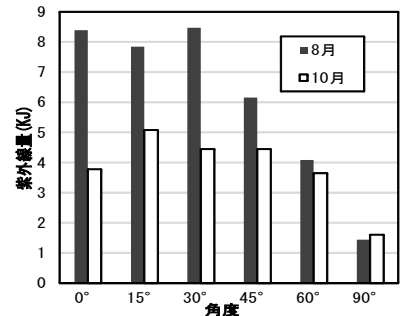
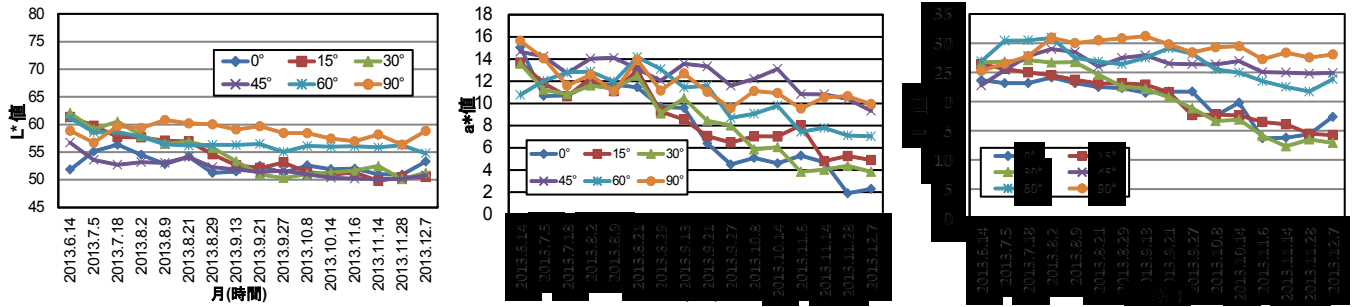
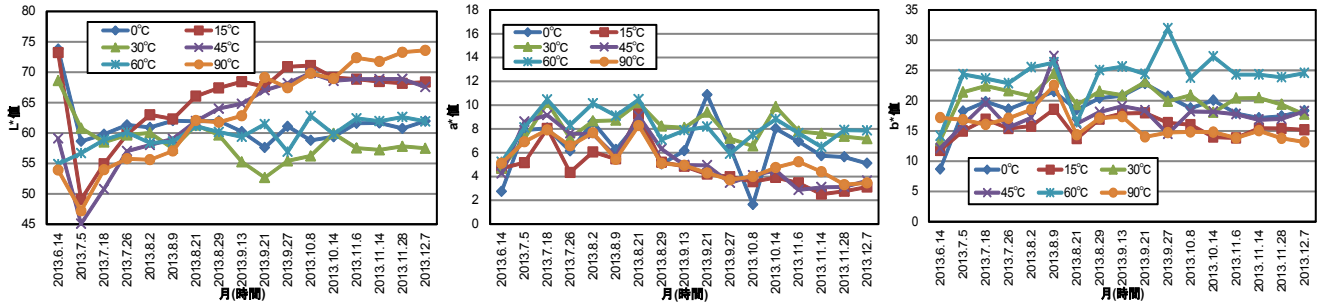


図4 角度ごとの紫外線量
 (研究2: 八王子屋外暴露場)



a) Sk(京都さわら塗装なし)



b) Sk(京都さわらメタルシリコン)

図5 角度別色彩変化のグラフ

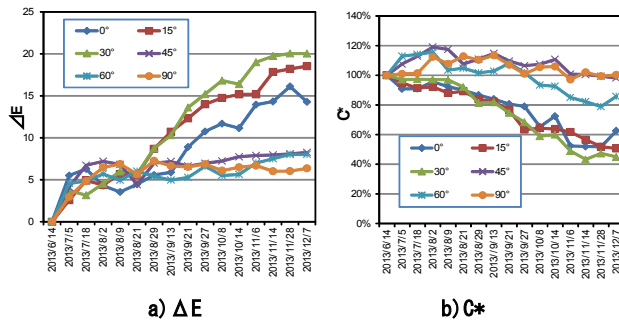


図6 角度ごとのΔE(色差)とC*(abクロマ)

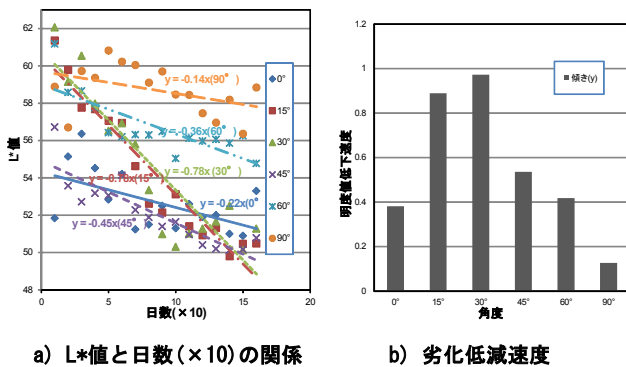


図7 角度ごとの傾きと紫外線量(研究2)

それぞれの角度・月ごとに平均を取って紫外線量としている。紫外線の強さに関する定義として、紫外線の強さは、太陽の高度・雲など大気の状態・反射など周辺の状態などで変わります。天候や時間帯などに左右されてしまい紫外線量に大きく違いが出ると示してあるため大きく値が違う部分は測定した時間帯の違いと考え、天候の違いではない

3. まとめ

本研究により以下の知見が得られた。

- 1) 研究1は既存の研究で確認された初期劣化が終わり現在は経年劣化が移行している。今後の変化を測定、観察する。
- 2) 研究2は角度・紫外線量の相関が確認され紫外線を多く浴びるほど色落ちが激しくかつ、15° 30°などの角度のものが色落ちが顕著である。

参考文献

- 1) 清永美奈子, 田村雅紀, 山本博一, 後藤治, 伝統的木造建築に用いられるこけら材の高度維持・保存技法に関する研究, pp. 123-126, 学術講演会研究発表論文集, 日本建築仕上学会, 2009
- 2) 森田泰代, 田村雅紀, 山本博一, 後藤治, 屋外暴露した改質こけら葺き材の初期劣化性状の評価, 日本建築学会関東支部2012
- 3) 直井優太, 田村雅紀, 山本博一, 後藤治, 屋外暴露した改質こけら葺き屋根の物理的変状, 日本建築学会関東支部2013

謝辞

本研究に際し熊谷産業, 石川工務所, に多くの協力を頂いた。なお、本研究は、平成25年度科研費基盤A(代表; 山本博一東京大学教授)、工学院大学 UDM・PJ 研究、H25年度科研費(A:23680681 田村雅紀)による。