

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 23 日現在

機関番号：27101

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13872

研究課題名（和文）ロジスティック回帰に基づくコンクリートの外観の定量的検討とその展開

研究課題名（英文）Quantitative Examination of Appearance of Cement Concrete Based on Logistic Regression and the Development

研究代表者

陶山 裕樹（Suyama, Hiroki）

北九州市立大学・国際環境工学部・准教授

研究者番号：20507876

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,900,000円

研究成果の概要（和文）：打放しコンクリートに生じる不具合事象として表面気泡、ひび割れおよびコールドジョイントを検討対象とした。アンケート調査および統計解析を通じて、不具合事象が生じたコンクリートの外観上の評価に与える影響因子を整理し、不具合事象の外観上の許容値を提案した。小型供試体に生じた不具合事象を観察した場合、50%の被験者が気になる表面気泡面積比およびひび割れ幅が、女性において0.30%/0.17mm、男性において0.53%/0.19mmであること等が推定された。実建築物に生じた不具合事象を観察した場合、10%の被験者が補修を必要とするひび割れ幅が0.31mmであること等が推定された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

打放しコンクリートに生じる不具合事象の外観に関する既往の知見は、ひび割れを除き、現場の経験則を根拠としたものが殆どであり、その多くが定性的な表現にとどまる。外観上許容される不具合事象の限界値は、殆ど提案されていない。経済的かつ効率的にコンクリート工事を実施するための課題として、統計的根拠に基づいたコンクリートの外観上の許容値を示すことが必要といえる。コンクリートのみならず、建築材料の外観が消費者の心理に与える影響を検討した研究報告は限定的である。本研究の調査・分析手法は、木系仕上げや漆喰仕上げなどの他の仕上げ工法の外観評価にも応用できると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, I investigated bug holes, cracks and cold joint as typical defect of bare concrete. Using an evaluation survey and statistical analysis I identified factors affecting people's evaluations of the appearance of concrete based on defects and thereby attempted to determine management standards for appearance.

When evaluators observed defects on concrete specimens, the bug hole area ratio and the crack width for which half evaluators responded with "I'm bothered by the defect on the surface" was found to be 0.30%/0.17 mm for women and 0.53%/0.19 mm for women. When evaluators observed defects on concrete buildings, the crack width for which 10% evaluators responded with "Repair is necessary" was found to be 0.31 mm.

研究分野：建築材料・施工

キーワード：コンクリート 印象評価 不具合 表面気泡 ひび割れ コールドジョイント アンケート調査 ロジスティック回帰分析

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

打放しコンクリートには、構造材料として強度、耐久性および施工性が求められる一方、仕上げ材料として外観の良さが求められる。コンクリートの外観については、「白い方が好まれる」、「表面気泡、砂すじ、コールドジョイントおよびひび割れといった不具合事象は嫌厭される」などと説明される。しかしながら、コンクリートの外観に関する既往の知見は、ひび割れを除き、現場の経験則を根拠としたものが殆どであり、その多くが定性的な表現にとどまっている。したがって、打放しコンクリートの外観に関する具体的な管理基準値（たとえば、外観上許容される不具合事象の限界値など）は提案されていない。現状として、管理基準がないにも関わらず、施工者はコンクリートの外観を管理しなければならないという難題を突きつけられている。経済的かつ効率的にコンクリート工事を実施するために、統計的根拠に基づいたコンクリートの外観上の管理基準値を示すことが必要である。

本研究の分析に用いるロジスティック回帰とは、ベルヌーイ分布に従う変数の統計的回帰モデルである。目的変数が原則的に2値データでなければならないといった制約があるものの、説明変数が正規分布であること求められる点や、回帰係数の代わりに得られるオッズ比の解釈が容易な点などの利点が多く、公衆衛生やマーケティングの分野で広く利用されている分析手法である。研究開発当初、ロジスティック回帰を建築材料およびコンクリート工学の分野に適用した研究論文は、国内外を問わず申請者の研究室の他から発表されていなかった。

2. 研究の目的

本論文では、打放しコンクリートの代表的な不具合事象として表面気泡、ひび割れおよびコールドジョイントを主たる検討対象とし、アンケート調査および統計解析を通じて、不具合事象が生じたコンクリートの外観上の評価に与える影響因子を明らかにしたうえで、不具合事象の外観上の許容値を導出することを試みた。

3. 研究の方法

コンクリートの供試体 (450 x 450 mm) に生じた不具合事象を検討対象としたアンケート調査を実施した。打込み方法によって表面気泡を調整した供試体、曲げ応力によってひび割れを導入した供試体、打重ね時間間隔を最大3時間設けてコールドジョイントを発生させた供試体の3種類をそれぞれ10体ずつ作成し、アンケート調査の評価対象とした。アンケート調査の実施地は北九州市本城公園、北九州市響灘緑地および北九州市立大学ひびきのキャンパス内とした。被験者は、各不具合事象の評価ごとに、当日に実施地で募集に応じた200名とした。被験者に並べられた10体の供試体を観察してもらいながら、アンケートに対する被験者の回答を得た。被験者に対する供試体の見せ方を Fig. 1 に示す。被験者には、観察面の中心から200 mmの範囲内のみを見せた。なお、被験者の視点から観察面までの距離は、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 mの5水準から、観察者が最も評価しやすい位置を選んでもらった。

また、実建築物の打放しコンクリート部分に生じた不具合事象を検討対象としたアンケート調査も実施した (Photo 1)。観察対象とした実建築物は、2000年11月竣工の北九州市立大学ひびきのキャンパス事務棟、同大学特殊実験棟および北九州学術研究都市体育館とした。打放しコンクリート仕上げの壁および柱から、40箇所を観察面に抽出した。ひとつの観察面は、700 mm x 700 mm の枠で囲まれた範囲内とし、観察面の中心の高さは基本的に約1.5 mとした。被験者 (25名) は観察対象とした建物の利用者から募集した。なお、被験者と観察面との距離は指定せず、被験者から問い合わせがあれば「好みの位置で観察してください」とだけ返事した。

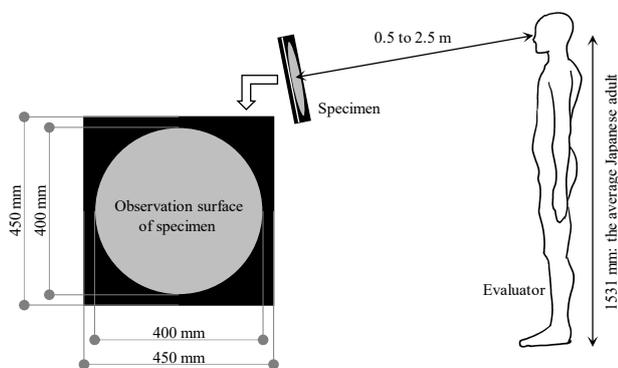


Fig. 1 Position of evaluators relative to specimens



Photo 1 Questionnaire survey for defects on concrete buildings

4. 研究成果

(1) 表面気泡の感性評価

表面気泡を生じさせた供試体を評価対象としたアンケート調査 (N=2000) において、被験者が供試体の「表面の気泡が気にならない」と回答した場合を0、「気になる」と回答した場合を1とし、2値化した被験者の回答を目的変数とした二項ロジスティック回帰分析を実施した。説明変数には、表面気泡面積比 (観察面の全面積に対する表面気泡の面積の比)、気温、相対湿度、観察面の照度、被験者の性別、年齢、視点と観察面との距離および視力を投じた。尤度比・変数増加方による分析結果を Table 1 に示す。得られたオッズ比から、表面気泡面積比および被験者の性別が、表面気泡の評価に著しい影響を与えた因子といえる。被験者が「表面の気泡が気になる」と回答する確率は、表面気泡面積比が1%増加すると17.7倍に増加することが推定される。また、男性の同確率は女性の0.525倍であることが推定され、男性の方が表面気泡に対して楽観的な評価をする傾向が認められた。50%の被験者が「表面の気泡が気になる」と回答する表面気泡面積比を推定した結果、その値は女性において0.30%、男性において0.53%であった。これらの値を、本研究では外観上の許容値のひとつとして提案する。同様の分析の結果 (Table 2, 3)、50%の被験者が「美観上、許容できない」と回答する表面気泡面積比は、被験者が女性の場合0.44%、男性の場合0.69%であること、50%の被験者が「構造上、不安を感じる」と回答する表面気泡面積比は、被験者が女性の場合0.85%、男性の場合1.22%であることが推定された。

(2) ひび割れの感性評価

ひび割れを導入した供試体を評価対象としたアンケート調査 (N=2000) の結果を用い、二項ロジスティック回帰分析を実施した結果を Table 4~6 に示す。得られたオッズ比から、被験者が「ひび割れが気になる」/「美観上、許容できない」/「構造上、不安を感じる」と回答する確率は、ひび割れ幅が0.1 mm増加すると7.09倍/4.28倍/4.24倍に増加することが推定される。また、2つの質問において表面気泡と同様に男性の方が女性よりひび割れに対して楽観的な評価をする傾向に加え、全ての質問において視点と観察面との距離がひび割れの評価に影響することが認められた。一方、表面気泡面積比が最終的な回帰式から除外されたことから、ひび割れの評価に与える表面気泡の影響は認められなかった。50%の被験者が「ひび割れが気になる」、「美観上、許容できない」および「構造上、不安を感じる」と回答するひび割れ幅の許容値を推定した結果を Table 7 に示す。

(3) コールドジョイントの感性評価

コールドジョイントを発生させた供試体を評価対象としたアンケート調査 (N=2000) において、被験者が気になる箇所として指摘した事象の割合を Fig. 2 に示す。コールドジョイントによる打重ね線が気になる箇所として指摘された頻度は比較的少なく、特に表面気泡と比較した場合、全ての供試体において小さい値を示した。なお、コールドジョイントの評価に用いた供試体における最大の表面気泡面積比は0.28%であった。コールドジョイントによる打重ね線は、打重ね時間間隔を最大3時間としても、他の不具合事象と比較し

Table 1 Results of logistic regression analysis / Bug holes 1

Objective variable: "I'm not bothered by the air bubbles on the surface" = 0, "I'm bothered" = 1					
Explanatory variable	Regression coefficient	p	Odds ratio	95% lower	95% upper
Bug hole area ratio, %	2.871	<.001	17.650	12.362	25.200
Gender, female=0, male=1	-0.644	<.001	0.525	0.427	0.646
Relative humidity, %	-0.023	.012	0.977	0.959	0.995
Illuminance, klx	0.154	.002	1.167	1.056	1.289
Constant	0.034				

p in χ^2 test < .001, Percentage correct = 71.9

Table 2 Results of logistic regression analysis / Bug holes 2

Objective variable: "acceptable from an aesthetic standpoint" = 0, "not acceptable" = 1					
Explanatory variable	Regression coefficient	p	Odds ratio	95% lower	95% upper
Bug hole area ratio, %	2.331	<.001	10.289	7.815	13.547
Gender, female=0, male=1	-0.597	<.001	0.551	0.451	0.672
Temperature, degree C	0.073	<.001	1.076	1.034	1.120
Constant	-2.473				

p in χ^2 test < .001, Percentage correct = 70.4

Table 3 Results of logistic regression analysis / Bug holes 3

Objective variable: "not worrying from a structural standpoint" = 0, "worrying" = 1					
Explanatory variable	Regression coefficient	p	Odds ratio	95% lower	95% upper
Bug hole area ratio, %	1.976	<.001	7.216	5.809	8.963
Gender, female=0, male=1	-0.741	<.001	0.477	0.385	0.591
Evaluator age, years	0.006	.029	1.006	1.001	1.011
Relative humidity, %	-0.070	<.001	0.933	0.915	0.951
Illuminance, klx	0.340	<.001	1.404	1.262	1.563
Constant	0.999				

p in χ^2 test < .001, Percentage correct = 73.5

Table 4 Results of logistic regression analysis / Crack 1

Objective variable: "I'm not bothered by the crack on the surface" = 0, "I'm bothered" = 1					
Explanatory variable	Regression coefficient	p	Odds ratio	95% lower	95% upper
Crack width, 0.1 mm	1.959	<.001	7.093	5.784	8.698
Gender, female=0, male=1	-0.358	.001	0.699	0.568	0.859
Distance, m	-0.314	.001	0.730	0.606	0.880
Constant	-2.761				

p in χ^2 test < .001, Percentage correct = 73.2

Table 5 Results of logistic regression analysis / Crack 2

Objective variable: "acceptable from an aesthetic standpoint" = 0, "not acceptable" = 1					
Explanatory variable	Regression coefficient	p	Odds ratio	95% lower	95% upper
Crack width, 0.1 mm	1.455	<.001	4.285	3.642	5.041
Temperature, degree C	-0.159	.005	0.853	0.763	0.954
Relative humidity, %	-0.046	.001	0.955	0.929	0.981
Distance, m	-0.296	.001	0.744	0.621	0.891
Constant	1.864				

p in χ^2 test < .001, Percentage correct = 70.7

Table 6 Results of logistic regression analysis / Crack 3

Objective variable: "not worrying from a structural standpoint" = 0, "worrying" = 1					
Explanatory variable	Regression coefficient	p	Odds ratio	95% lower	95% upper
Crack width, 0.1 mm	1.445	<.001	4.242	3.613	4.980
Gender, female=0, male=1	-0.296	.004	0.744	0.608	0.910
Evaluator age, years	0.008	.002	1.008	1.003	1.014
Visual acuity	0.323	.010	1.381	1.080	1.766
Distance, m	-0.453	<.001	0.636	0.529	0.764
Constant	-2.830				

p in χ^2 test < .001, Percentage correct = 70.7

Table 7 Acceptable limits for the crack on the concrete; unite: mm

Crack width for which 50% evaluators responded...	Distance, m				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
with "I'm bothered"	0.16	0.17	0.17	0.18	0.19
with "unacceptable from an aesthetic standpoint"	0.18	0.19	0.20	0.21	0.22
with "worrying from a structural standpoint"	0.17	0.19	0.20	0.22	0.24

て外観上注目され難いといえる。

調査結果を用いて二項ロジスティック回帰分析を実施した結果、コールドジョイントの評価に対して、供試体観察面で測定した明度L*の差および被験者の性別が顕著なオッズ比を示した。明度L*の差が大きいほど打重ね線に対する被験者の回答が悲観的になった一方、表面気泡およびひび割れに対する評価とは逆に、男性の方が女性より打重ね線の外観に対しても悲観的な回答をする傾向が認められた。

(4) 実建築物に生じた不具合事象の感性評価

実建築物の打放しコンクリート仕上げの壁および柱に生じた不具合事象を評価対象としたアンケート調査 (N=1000) の結果を分析した。被験者が気になった不具合事象を目的変数とした二項ロジスティック回帰分析の結果、50%の被験者が表面気泡を気にするときの表面気泡面積比は0.59%超、ひび割れを気にするときのひび割れ幅は0.26mmと推定された。これらの許容値は、供試体を実評価対象とした調査で得られた値よりも大きい。単に実建築物に生じた不具合事象に対する評価が、供試体に生じたものより楽観的になることが示唆されるものの、被験者に対する質問方法が異なっていたこと、被験者にとって見慣れた建物に生じた不具合事象であったことが楽観的な評価に繋がった可能性が排除できない。

実建築物の補修の判断に対する、表面気泡、ひび割れおよび色ムラ・汚れが気になるか否の作用を共分散構造分析で検討した。得られたモデルを Fig. 3 に示す。ひび割れおよび色ムラ・汚れの評価から補修の判断に有意なパスが認められた。更に標準化パス係数の大きさから、ひび割れの評価の方が、色ムラ・汚れより補修の要否の判断に対する影響が大きいことが示唆される。一方、表面気泡の評価から補修の判断への有意なパスは認められなかった。表面気泡は気になったとしても補修する必要がない不具合事象、若しくは補修できない不具合事象という認識が一般的なようである。

補修の要否の判断を目的変数とした二項ロジスティック回帰分析 (強制投入法) の結果を Table 8 に示す。分析結果から、10%の被験者が「補修を必要」と回答するひび割れ幅の許容値は、色ムラ・汚れが少ないコンクリート (明度 L*の標準偏差 =0.63) において0.31mmであること、明度 L*の標準偏差の許容値は、ひび割れの無いコンクリートにおいて3.65超であることが推定された。

(5) その他の研究成果

①表面の状態量がコンクリートの印象に与える影響

コンクリートの表面で測定した表面気泡面積比 (対数)、明度 L*、色度 b*および明度 L*の標準偏差 (色ムラ) が、コンクリートの印象に与える影響を検討した。アンケート調査 (N=1800) の結果を用い、共分散構造分析によるパス解析を行った。探索的モデル特定化の結果、Fig. 4 (BICが最小のモデルを採用した; 係数はすべて標準化推定値であり、0.1%水準で有意であった) が得られた。同図の比較的大きい係数のパスから、コンクリートの美観は表面の白さ (明度 L*の大きさ) によって高められ、表面の気泡および黄ばみ (色度 b*の大きさ) によって損なわれることが分かる。一方、重厚感も表面の白さおよび美観によって損なわれることが分かる。また、コンクリート表面の各変数から馴染みへのパスの係数が比較的小さかったことから、馴染みは万人に共通する絶対的な評価ではなく、各個人が持つ基準的なコンクリートのイメージからのズレを示した相対的な評価と考えられる。

②色味の変化がコンクリートの嗜好的選択に与える影響

近年の環境マインドの高まりにより、施主や設計者が副産物をリサイクルした環境負荷の小さいコンクリートを優位に選択することが考えられる。一方、副産物を混合することでコンクリートの色味が変化し、選択され難くなることも考えられる。そこで、N=500のアンケート調査の結果を分析し、副産物をリサイクルしたコンクリートの色味の変化が許容される限界について検討した。分析結果を Table 9 に示す。コンクリートの選択に対して、色度 a*および b*の差が有意 (p<.001) な説明変数であった。一方、明度 L*の差は p>.05 となり、最終的な回帰式の

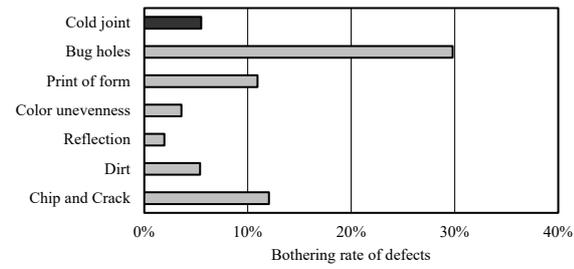


Fig.2 Bothering rate of defects

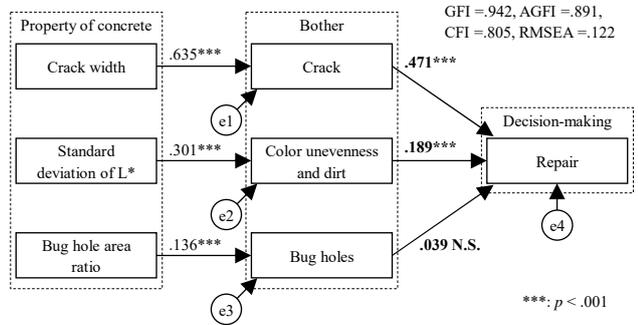


Fig.3 A model of decision-making for repair

Table 8 Results of logistic regression analysis / Defects on building

Objective variable: "repair is unnecessary" = 0, "repair is necessary" = 1

Explanatory variable	Regression coefficient	p	Odds ratio	95% lower	95% upper
Crack width, 0.1 mm	0.995	<.001	2.704	2.200	3.324
Standard deviation of L*	0.937	<.001	2.552	1.906	3.418
Constant	-5.857				

p in χ^2 test < .001, Percentage correct = 85.4

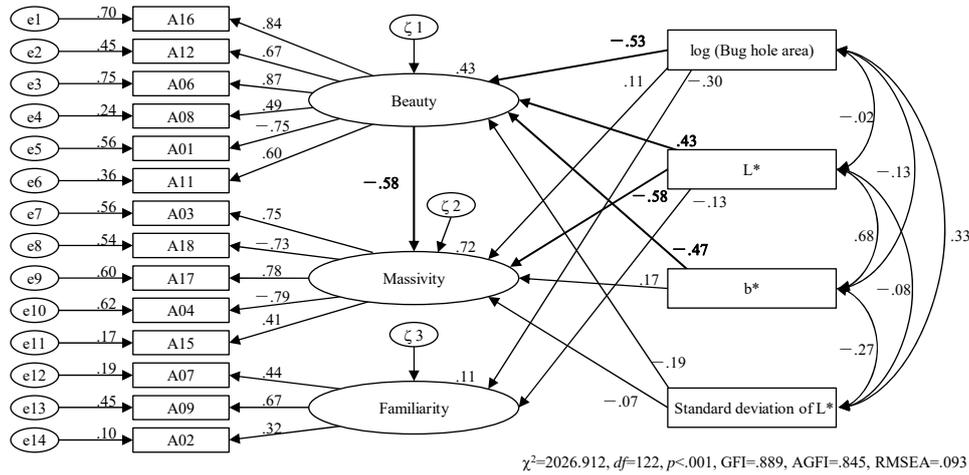


Fig.4 Impression formation model of fair-faced concrete

変数から除外された。これは、副産物をリサイクルすることでコンクリート表面の明度 L^* が減少しても（黒くなくても）、被験者の選択が殆ど変化しなかったことを意味する。得られたオッズ比から、表面の色度 a^* および b^* が同じ条件では、被験者は、.784 の確率で副産物をリサイクルしたコンクリートを選択することが推定される。そのうえで、副産物をリサイクルしたコンクリートの色度 a^* （赤み）が 1 増加するたびに同コンクリートが選択される確率が 0.819 倍に減少し、色度 b^* （黄ばみ）が 1 増加するたびに同コンクリートが選択される確率が 0.823 倍に減少することが推定される。この結果は、副産物をリサイクルしたコンクリートが選ばれる確率が、色度 a^* の差が 2.25 に達した時点で一般的なコンクリートが選ばれる確率と逆転し、色度 b^* の差が 2.30 に達した時点で逆転する、と言い換えられる。

Table 9 Results of logistic regression analysis / Color change and Environmental mindset

Explanatory variable	Regression coefficient	p	Odds ratio	Objective variable:	
				an evaluator chose ordinary concrete = 0,	an evaluator chose the concrete with recycled by-products = 1
Difference in a^*	-0.200	<.001	0.819	0.765	0.877
Difference in b^*	-0.195	<.001	0.823	0.767	0.883
Constant	-0.243				

③木材の感性評価

研究領域をコンクリートから建築材料に拡大し、建築造作材として利用される木材を対象とした感性評価について検討を行った。21 種類の木材を試験体とし、100 名の被験者に対してアンケート調査を実施した。調査結果から木材に対する印象として、重厚感、親和性、美観、落ち着き（単独）および温かさ（単独）の 5 因子を抽出した。さらに、木材の物性－印象－用途選択の作用において以下の傾向が確認された。

- ・男性は軽快な木材に落ち着きを感じ、女性は美しい木材に落ち着きを感じる。また、男性の方が女性より、親しみのある木材に落ち着きを感じる傾向が強い。
- ・若年群（35 歳未満）の方が高齢群（35 歳以上）より、軽快な木材と親しみのある木材に対して落ち着きを感じる傾向が強い。
- ・全般的に木材が黒いほど重く丈夫に感じ、白いほど親しみを感じる。
- ・木材が赤いほど、全般的に重厚感が減少する。さらに、女性は落ち着きを低く感じ（興奮を覚え）、男性は親和性および美観を高く感じ、若年群は落ち着きを低く、温かさを高く感じる。
- ・木材が黄色いほど、高年群は美観を低く感じる。
- ・木材の密度が大きいほど、全般的に重厚感が増加し、親和性、美観および温かさが減少する。このときの温かさの減少は、密度の増加に伴う熱伝導率の増加が原因と考えられる。
- ・木目が複雑なほど、全般的に重厚感が増加し、親和性および美観が減少する。さらに、男性は落ち着きを低く感じる。
- ・木目がはっきりするほど、若年群は重厚感を高く感じ、高年群は美観と温かさを高く感じる。
- ・仕上げ材として木材を選択する際には、美観が最も重要な基準となり、美しい木材が選ばれる。
- ・寝室の仕上げには暗い木材が求められ（この傾向は女性および若年群で強い）、建具には単に丈夫な木材が求められる。
- ・男性が床および天井に用いる木材に、高年群が壁およびリビングに用いる木材に落ち着きを求める。
- ・木造住宅のマーケティングにおいて木材の親しみや温もりが頻りに強調されているにも関わらず、親和性および温かさの印象は、どの用途選択に対しても優位に作用しなかった。これらの印象は、数ある建材の中から木系材料を選択する段階では重要になるが、具体的な樹種などを選択する段階で役割を果たさないことが考察される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 三谷洋介, 陶山裕樹, 高巢幸二, 小山田英弘
2. 発表標題 コンクリートに生じるコールドジョイントが心象に与える影響の評価
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究報告
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Suyama Hiroki, Takasu Koji, and Koyamada Hidehiro
2. 発表標題 Impression evaluation to bug holes on concrete surface and a proposal for the management standards
3. 学会等名 ConMat'20 6th International Conference on Construction Materials (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三谷洋介, 陶山裕樹, 高巢幸二, 小山田英弘
2. 発表標題 打放しコンクリートに生じる表面気泡の外観上の許容値に関する検討
3. 学会等名 2018年度第58回日本建築学会九州支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三谷洋介, 陶山裕樹, 高巢幸二, 小山田英弘
2. 発表標題 表面気泡が生じたコンクリートの外観に関するロジスティック回帰を用いた検討
3. 学会等名 2019年度日本建築学会大会（北陸）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yosuke Mitani, Koji Takasu, Hidehiro Koyamada and Hiroki Suyama
2. 発表標題 Consideration on Appearance Limitations of Fly Ash Blended within Concrete
3. 学会等名 5th International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies (SCMT5) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Daiki Nakayama, Koji Takasu, Hiroki Suyama and Hidehiro Koyamada
2. 発表標題 Impression Evaluation of Concrete Surface using Byproducts
3. 学会等名 The Fourth Australasia and South-East Asia Structural Engineering and Construction Conference (ASEA SEC 4) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関