打放しコンクリートに生じた表面気泡、ひび割れ、コールドジョイントおよび
汚れの外観が許容される限界に関する検討A CONSIDERATION ON ACCEPTABLE LIMITS OF APPEARANCE OF
BUG-HOLES, CRACKS, COLD JOINTS AND STAINING ON EXPOSED CONCRETE陶山 裕樹^{*1}, 高巢 幸二^{*2}, 小山田 英弘^{*2}

Hiroki SUYAMA, Koji TAKASU and Hidehiro KOYAMADA

We conducted questionnaire surveys on evaluation of surface defects in concrete specimens and reinforced concrete buildings. The questionnaire responses were statistically analyzed to identify and calculate the odds ratios of factors influencing defect evaluations. Based on these results, we investigated (1) the acceptable limits of bug-hole area ratio, crack width, and standard deviation of lightness—defined as the level at which half of evaluators are expected to accept—and (2) the psychological acceptability of the appearance of cracks with different widths and, particularly, a crack width of 3 mm.

Keywords : *exposed concrete, appearance, bug-holes, crack width, cold joint, logistic regression analysis*

打放しコンクリート, 外観, 表面気泡, ひび割れ幅, コールドジョイント, ロジスティック回帰分析

1. はじめに

打放しコンクリートには、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 (appearance) の良さが求められる。コンクリートの外観は、一般的に「白い方が好まれる」、「表面気泡、砂すじ、打重ね線およびひび割れといった不具合は嫌厭される」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、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。したがって、コンクリートの外観に関する定量的な管理基準 (たとえば、心理的に許容される外観の限界など) は、ひび割れ幅を除き、殆ど規定されていない。効率的かつ経済的に打放しコンクリートを施工するための課題として、統計的根拠に基づいた外観の管理基準の目安を示すことが必要といえる。

コンクリート工学系の学術誌において、コンクリートの外観を検討対象とした研究論文が、限定的ながらも報告されている。たとえば、岡島ら¹⁾は、コンクリート素地仕上げに対する感覚的評価をクラスター分析によって3つに分類した。劉ら²⁾は、着色材料を用いた打放しコンクリートの外観に対するイメージと表面の特性値との関係を、因子分析および重回帰分析によって検討した。著者ら³⁾は、共分散構造分析を通じて表面の特性値からコンクリート外観に対する印象が構築されるモデルを提案した。これらの先行研究は、コンクリートの外観の管理基準を検討したものではない。

施工中に生じるコンクリートの不具合のうち、表面気泡は、型枠

バイブレータの加振によって減少することが広く知られている⁴⁾。コールドジョイントに関しては、過度なものを防止するための基準が明確にされている。たとえば日本建築学会⁵⁾は、打重ね時間間隔の限度の一般的な目安を、外気温が25℃未満の場合150分 (25℃以上の場合120分) とする見解を示している。しかしながら、表面気泡およびコールドジョイントの外観が許容される限界については、必ずしも明らかにされていない。

外観の限界が唯一定量的に示されているコンクリートの不具合は、ひび割れである。Haldane⁶⁾は、小型コンクリート板に導入されたひび割れを評価するアンケート調査を実施し、0.25 mmを超えるひび割れ幅が著しい不満を引き起こす可能性が高いことを指摘した。fib⁷⁾は、Campbell-Allenの調査結果⁸⁾を採用し、ひび割れ幅を0.3 mmに制限することで許容される外観を実現できるとしている。Eurocode 2⁹⁾は、一般的に外観上許容できるひび割れ幅の限界を0.4 mmとしている。これらの限界値の根拠資料は、アンケート調査の単なる集計結果や単回帰分析などの比較的簡便な統計分析の結果を示すにとどまる。また、ひび割れ幅の限界に作用する因子として、評価者の職業、観察距離および建物用途の影響が報告されているものの、他の因子の影響に議論の余地が残る。

本論文では、打放しコンクリートの代表的な不具合である表面気泡、ひび割れ、コールドジョイントおよび汚れの外観を主たる検討対象とした。供試体および実建築物に生じた不具合を評価するアン

^{*1} 北九州市立大学国際環境工学部建築デザイン学科
准教授・博士 (工学)

^{*2} 北九州市立大学国際環境工学部建築デザイン学科
教授・博士 (工学)

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Environmental Engineering, The Univ. of Kitakyushu, Dr.Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Environmental Engineering, The Univ. of Kitakyushu, Dr.Eng.

ケート調査を実施した。調査結果を主に二項ロジスティック回帰分析^{注1)}し、不具合の外観の評価に影響する因子の抽出・定量化を通じ、不具合の外観が許容される限界について検討した。

2. 表面気泡の感性評価

2.1 調査概要

本章ではコンクリート供試体に生じた表面気泡を評価対象とし、アンケート調査および調査結果の分析を実施した。アンケート調査に用いた10体の供試体（記号：BH01~10）の外観をPhoto 1に示す。コンクリートに使用した主な材料は、普通ポルドランドセメント（密度 3.16 g/cm³）、海砂（表乾密度 2.58 g/cm³、粗粒率 2.55）および碎石（表乾密度 2.70 g/cm³、実積率 58.9%、最大寸法 20 mm）である。調合は、水セメント比 0.50、単位水量 175 kg/m³、単位粗骨材かさ容積 0.59 m³/m³の1水準とした。コンクリート型枠用塗装合板で作成した型枠内にコンクリートを打込み、幅 450 mm x 高さ 450 mm x 厚さ 30 mm の寸法に供試体を成形した。表面気泡の程度を調整するため、打込み時に木槌による打撃回数を0~360回、もしくは型枠パイププレートによる加振時間を0~20秒の範囲で変動させた。打込み後、7日間型枠から外さずに約20℃の恒温環境下で封かん養生した後、21日間以上気中養生したうえで、表面の明度が安定したことを目視で確認してから供試体をアンケート調査に使用した。

アンケート調査の直前に供試体の観察面を撮影し、得られた画像

を用いて表面気泡を定量化した。撮影は暗室内で、Fig. 1の通り、2個のスポットライト^{注2)}（ビーム角度 30°、ビーム光束 2000 lm、色温度 3100 K）の光を観察面に対して平行に当てることで表面気泡の影を作りながら行った。使用したデジタルカメラのホワイトバランスは 3600K、ISO 感度は 800、シャッタースピードは 1/125 秒、F 値は 4 に設定した。得られた画像を白黒の2段階調化^{注3)}したときの明度の境界は、10名の被験者（21~24歳、男女比 5:5）が「実物の表面気泡のみを黒に変換している」と選択した中央値を採用した。2段階調化した画像における観察面の全面積に対する黒の面積（≒表面気泡の面積）の比を、本論文では表面気泡面積比（Bug hole area ratio）と定義する。得られた表面気泡面積比をTable 1に示す。なお、同表には供試体毎の表面気泡の最大径、並びに観察面の37点で測定された明度 L*および色度 a*、b*の平均を付記している^{注4)}。

表面気泡に関するアンケート調査では、1列に並べた供試体を被験者に観察してもらいながら、「表面の気泡が、気になる一気にならない」、「美観上、許容できない一許容できる」および「構造上、不安を感じる一不安を感じない」の3つの質問に対して2段階評価で回答してもらった。10体の供試体は、観察面に天空光のみが入射するように北に向け、10°に傾け^{注5)}、横一列に並べられた。供試体の並び順は無作為に決定し、調査期間中に複数回の並び替えを行った。被験者に対する供試体の見せ方をFig. 2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。被験者の視点から観察面までの距離（観察距離）は、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 mの5水準

Photo 1 Appearance of bug-holes on specimens; lower photos were converted to two-tone images

Fig. 1 Position of specimens to measure bug-hole area ratio

Fig. 2 Position of specimens and evaluators

Table 1 Characteristics of specimens and results on bug-holes survey

No.	BH01	BH02	BH03	BH04	BH05	BH06	BH07	BH08	BH09	BH10	(Ave.)
Bug-hole area ratio	0.609%	0.537%	0.845%	0.040%	0.335%	0.335%	0.412%	0.451%	1.451%	1.823%	(0.684%)
Maximum width of bug-holes, mm	6.80	12.00	15.10	7.05	12.00	9.10	11.75	10.15	17.80	15.75	(11.75)
L*(Average)	71.17	69.49	71.25	71.25	71.16	68.53	72.43	69.71	71.74	70.92	(70.76)
a*(Average)	-0.38	-0.41	-0.44	-0.42	-0.31	-0.37	-0.17	-0.45	-0.24	-0.21	(-0.34)
b*(Average)	3.38	3.31	3.16	3.03	4.17	3.22	4.40	3.16	3.79	4.42	(3.60)
"I'm bothered by the air bubbles on the surface"	54.0%	55.5%	92.0%	10.0%	54.0%	43.5%	57.0%	58.0%	92.5%	93.0%	(61.0%)
"aesthetically unacceptable"	41.0%	41.0%	85.5%	12.5%	40.5%	35.0%	51.0%	50.5%	87.5%	88.5%	(53.3%)
"worrying from a structural standpoint"	21.0%	30.0%	66.5%	6.5%	21.5%	18.0%	24.0%	29.0%	68.0%	73.5%	(35.8%)

Bold: minimum or maximum

から、評価しやすい位置を被験者を選んでもらった^{注9)}。アンケート調査の状況を Photo 2 に示す。

アンケート調査の期間は 2018 年 10 月 16 日～11 月 11 日、場所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、当日に実施場所で募集に応じた 200 名である。7～90 歳の日本の人口分布に合わせて男女別に人数をそれぞれ 10 等分し、男女別の各世代に約 10 人ずつ割り当てるよう被験者を抽出した。被験者の属性、被験者が申告した視力、観察距離、調査時の気温、相対湿度および供試体観察面の照度の分布を Table 2 に示す。

2.2 調査結果

10 体の供試体に対して「表面の気泡が気になる」、「美観上、許容できない」および「構造上、不安を感じる」と回答した被験者の割合は、Table 1 に示した通りである。表面気泡面積比が大きい供試体ほど、被験者は表面気泡を気にし、美観的に許容できなくなり、構造的に不安を感じ易くなる傾向が確認された。なお、別途調査時に行ったヒアリングでは、表面気泡の総面積が比較的小さくても、表面気泡の数が多い供試体（たとえば BH03）を美観的に許容できないという被験者のコメントが散見された。

2.3 分析および考察

アンケート調査の結果を用いて二項ロジスティック回帰分析を実施した^{注7)}。被験者の回答を目的変数とし、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 とした。説明変数には、表面気泡面積比、被験者の年齢、性別、視力、観察距離、気温、相対湿度および観察面の照度を投じた。尤度比・変数増加法による分析結果を Table 3 に示す。モデル χ^2 検定の結果は $p < .001$ で有意であり、表面気泡面積比、被験者の性別、相対湿度および観察面の照度が有意 ($p < .05$) な説明変数であった。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、表面気泡の評価に比較的大きい影響を与えた因子と考察される。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 18 倍に増加することが推定された。また、男性の方が表面気泡に対して寛大な評価をする傾向が認められ、男性が表面気泡を気にする確率は女性の 0.53 倍になることが推定された。なお、Table 3 に記載されていない説明変数は、有意確率 ($p = .05$) を上回ったため最終的な回帰式から除外された変数である。これらは、被験者の回答への影響が認められなかった因子といえる。

得られた偏回帰係数を用いて、被験者の 50%が「表面の気泡が気にならない」と回答する表面気泡面積比の限界を推定すると、その値は女性において 0.30%、男性において 0.53%となる^{注8)}。本論文では、これらをコンクリートの外観の限界のひとつとして提案する。

目的変数を「美観上、許容できる」と回答した場合を 0、「許容できない」と回答した場合を 1 とした分析結果を Table 4 に示す。被験者の 50%が「美観上、許容できる」と回答する表面気泡面積比の限界は、被験者が女性の場合 0.44%、男性の場合 0.69%と推定される。同様に、目的変数を「構造上、不安を感じない」と回答した場合を 0、「不安を感じる」と回答した場合を 1 とした分析結果を Table 5 に示す。被験者の 50%が「構造上、不安を感じない」と回答する表面気泡面積比の限界は、被験者が女性の場合 0.85%、男性の場合 1.22%、と推定される。

Photo 2 Questionnaire survey of bug-holes on specimens

Table 2 Evaluators (N =200) and surrounding on bug-holes survey

	Min.	25%	Med.	75%	Max.	(Ave.)
Evaluator age, years	7	31	48	69	87	(48.4)
Evaluator gender	Female (102); Male (98)					
Evaluator visual acuity	0.1	0.8	1.0	1.2	2.0	(1.04)
Distance chosen by evaluator	0.5 m (3); 1.0 m (22); 1.5 m (40); 2.0 m (125); 2.5 m (10)					
Temperature, degree C	15.6	17.6	19.9	21.8	24.6	(19.8)
Relative humidity	39%	48%	54.5%	57%	60%	(52.3%)
Illuminance, lx	430	1127	1267.5	3005	4275	(2074)

Table 3 Result 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 4 Result of logistic regression analysis / bug-holes (2)

Objective variable: “aesthetically acceptable” = 0, “unacceptable” = 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 5 Result 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

3. ひび割れの感性評価

3.1 調査概要

本章では、コンクリート供試体の表面に生じたひび割れを評価対象とした。アンケート調査には、10 体の供試体（記号：Cr01～10、Photo 3^{注9)}）を用いた^{注10)}。コンクリートの使用材料および調査は前章と同じとした。供試体の寸法は、幅 450 mm x 高さ 450 mm x 厚さ 60 mm とした。供試体の中央付近にひび割れを生じさせるため、観察面裏の型枠に半円断面（直径 20 mm）のゴムを接着して観察面裏の中央を凹ませた。また、ひび割れ導入後に供試体が完全に割れないよう、直径 6 mm の丸鋼を鉛直方向に 3 本配筋した。打込みに際しては、表面気泡の発生を抑制するため、木槌で叩きながら打ち込むなどの対策を施した。打込み後の供試体の養生方法は、前章と同じとした。観察面のひび割れは、材齢 28 日の供試体に曲げ荷重をかけることで導入した。

Photo 3 Appearance of cracks on specimens; cracks were traced with red lines

Table 6 Characteristics of specimens and results on crack survey

No.	Cr01	Cr02	Cr03	Cr04	Cr05	Cr06	Cr07	Cr08	Cr09	Cr10	(Ave.)
Crack width, mm	0.145	0.225	0.097	0.175	0.190	0.115	0.270	0.170	0.365	0.123	(0.188)
Bug-hole area ratio	0.357%	0.459%	0.039%	0.056%	0.063%	0.399%	0.087%	0.102%	1.181%	1.238%	(0.398%)
L*(Average)	67.71	68.24	65.61	65.41	66.15	67.60	65.93	66.44	67.95	66.90	(66.79)
a*(Average)	-0.37	-0.42	-0.68	-0.65	-0.66	-0.51	-0.69	-0.63	-0.47	-0.47	(-0.37)
b*(Average)	4.57	4.20	3.57	3.66	3.52	4.00	3.39	3.51	3.93	4.16	(4.57)
"I'm bothered by the crack"	41.5%	77.5%	12.0%	51.0%	67.5%	20.0%	88.5%	39.5%	91.5%	28.0%	(51.7%)
"aesthetically unacceptable"	38.5%	64.5%	9.0%	39.5%	55.5%	20.0%	80.5%	30.0%	84.0%	32.5%	(45.4%)
"worrying from a structural standpoint"	33.5%	57.0%	10.0%	43.0%	53.0%	19.5%	75.5%	31.0%	85.0%	26.5%	(43.4%)

Bold: minimum or maximum

アンケート調査の直前に、各供試体の観察面に生じた最大のひび割れ幅を、10名の測定者（22～24歳、男女比5:5）に市販のクラックスケールを用いて測ってもらった。このとき、透明樹脂製およびステンレス製の2種類のクラックスケールを、それぞれ5名ずつに無作為に割り当てた。10名が測定したひび割れ幅の平均を、他の特性値と併せてTable 6に示す。

ひび割れに関するアンケート調査では、被験者（200名）に供試体を観察してもらいながら、「ひび割れが、気になる一気にならない」、「美観上、許容できないー許容できる」および「構造上、不安を感じるー不安を感じない」の3つの質問に対して2段階評価で回答してもらった。被験者に対する供試体の展示方法などは前章の調査と同じとした。アンケート調査の期間は2019年1月19、20日、場所は北九州市響灘緑地とした。被験者の属性および調査時の気象情報の分布をTable 7に示す。

3.2 調査結果、分析および考察

アンケート調査の結果は、Table 6に示した通りである。ひび割れ幅が大きいほど、「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」の回答割合が増加した。

アンケート調査の結果を用いて二項ロジスティック回帰分析を実施した。被験者の回答を目的変数とし、供試体の「ひび割れが気になる」と回答した場合を0、「気になる」と回答した場合を1とした。説明変数には、ひび割れ幅、表面気泡面積比、被験者の年齢、性別、視力、観察距離、気温、相対湿度および観察面の照度を投じた。尤度比・変数増加法による分析結果をTable 8に示す。モデル χ^2 検定の結果は $p < .001$ で有意であり、ひび割れ幅、被験者の性別および観察距離が有意（ $p < .05$ ）な説明変数であった。得られたオッズ比から、被験者が「ひび割れが気になる」と回答する確率は、ひび割れ幅が0.1 mm増加すると7.1倍に増加することが推定された。また、観察距離が1 m増加すると、同確率が0.73倍に減少することが推定された。表面気泡の評価と同様に、男性の方が女性よりひび割れに対しても寛大な評価をする傾向が認められた。一方、表面気泡面積比が最終的な帰式から除外されたことから、供試体に生じた表面気泡が、ひび割れの評価に与える影響は認められなかったといえる。

同様に、目的関数を「美観上、許容できる」と回答した場合を0、「許容できない」と回答した場合を1とした分析結果をTable 9、「構造上、不安を感じない」と回答した場合を0、「不安を感じる」と回答した場合を1とした分析結果をTable 10に示す。得られた

Table 7 Evaluators ($N=200$) and surrounding on crack survey

	Min.	25%	Med.	75%	Max.	(Ave.)
Evaluator age, years	7	31	44.5	62	85	(45.3)
Evaluator gender	Female (104); Male (96)					
Evaluator visual acuity	0.0	0.7	1.0	1.3	2.0	(1.02)
Distance chosen by evaluator	0.5 m (17);	1.0 m (55);	1.5 m (24);	2.0 m (98);	2.5 m (6)	
Temperature, degree C	9.0	10.0	11.0	15.1	16.9	(12.1)
Relative humidity	35%	40%	51%	61%	62%	(51.2%)
Illuminance, lx	914	1022	1155	1365	1723	(1204)

Table 8 Result of logistic regression analysis / crack (1)

Objective variable: "I'm not bothered by the crack" = 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
Viewing 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 9 Result of logistic regression analysis / crack (2)

Objective variable: "aesthetically acceptable" = 0, "unacceptable" = 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
Viewing 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 10 Result 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
Viewing 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 11 Limits defined by acceptable appearance; unit: mm

Crack width for which 50% of evaluators responded...	Viewing distance, m				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
"I'm not bothered"	0.16	0.17	0.17	0.18	0.19
"aesthetically acceptable"	0.18	0.19	0.20	0.21	0.22
"not worrying from a structural standpoint"	0.17	0.19	0.20	0.22	0.24

偏回帰係数を用いて、被験者の50%が「ひび割れが気になる」、「美観上、許容できる」および「構造上、不安を感じない」と回答するひび割れ幅の限界は、Table 11の通り推定される^{注1)}。また、日本建築学会¹¹⁾が一般環境下において劣化抵抗性を確保するための許容値（屋外）として定めた0.3 mmのひび割れ幅を、被験者の92%が気にし、82%が美観的に許容できず、80%が構造的に不安を感じることを推定される（被験者の選択した観察距離が、調査時の平均である1.6 mの場合）。

Photo 4 Appearance of cold joint on specimens; photos were adjusted to clarify cold joints

Table 12 Characteristics of specimens and results on cold joint survey

No.	CJ01	CJ02	CJ03	CJ04	CJ05	CJ06	CJ07	CJ08	CJ09	CJ10	(Ave.)
Placing joint time interval, hours	2.0	3.0	0	1.0	1.0	2.0	1.5	1.5	2.0	2.0	
Water cement ratio	0.65	0.50	0.50	0.40	0.50	0.40	0.65	0.50	0.50	0.50	
Difference in lightness ΔL_1	1.55	1.77	1.00	1.47	1.29	1.45	2.51	1.34	1.13	2.57	(1.61)
Difference in lightness ΔL_2	1.24	0.93	0.13	0.51	1.00	1.29	3.62	1.58	1.13	3.84	(1.53)
Difference in lightness ΔL_3	3.41	3.31	2.55	4.68	3.55	4.55	7.05	3.85	3.27	7.96	(4.42)
Difference in lightness ΔL_4	2.59	2.94	0.62	5.32	1.40	0.86	5.17	1.55	2.07	4.59	(2.71)
Bug-hole area ratio	0.208%	0.282%	0.119%	0.164%	0.120%	0.119%	0.252%	0.122%	0.121%	0.210%	(0.172%)
L*(Average)	70.26	71.55	70.41	66.25	69.61	69.30	68.93	69.35	70.01	67.61	(69.33)
a*(Average)	-0.35	-0.36	-0.30	-0.27	-0.32	-0.19	-0.32	-0.25	-0.36	-0.36	(-0.31)
b*(Average)	4.19	4.12	5.03	5.01	4.65	5.09	4.60	4.58	4.47	4.85	(4.66)
"I'm bothered by ..."											
cold joint	1.0%	0.0%	0.5%	4.0%	1.5%	2.5%	10.5%	2.0%	13.0%	20.0%	(5.5%)
bug-holes	50.0%	58.0%	12.0%	26.5%	19.0%	3.5%	39.5%	18.0%	27.0%	44.5%	(29.8%)
print of form	14.0%	0.5%	17.5%	24.0%	10.0%	16.0%	16.5%	6.0%	4.0%	1.0%	(11.0%)
motting, excluding cold joint	9.0%	0.5%	2.0%	3.5%	1.5%	0.0%	7.5%	5.0%	1.5%	5.5%	(3.6%)
reflection	6.0%	0.5%	4.0%	4.0%	1.5%	0.5%	1.5%	1.0%	0.5%	0.0%	(2.0%)
staining	3.5%	1.0%	5.5%	8.5%	6.0%	1.0%	9.0%	5.0%	4.5%	10.0%	(5.4%)
chip or crack	31.0%	10.5%	5.5%	14.0%	7.0%	18.0%	19.5%	5.5%	4.0%	5.5%	(12.1%)
"The cold joint is aesthetically unacceptable"	1.0%	0.0%	0.0%	3.7%	0.5%	1.0%	7.3%	0.5%	6.9%	12.6%	(3.4%)
"I'm worried about the cold joint from a structural standpoint"	0.0%	0.0%	0.0%	1.6%	0.5%	0.5%	3.7%	0.5%	3.2%	6.8%	(1.7%)

Bold: minimum or maximum

4. コールドジョイントの感性評価

4.1 調査概要

本章では、コンクリート供試体の表面に生じたコールドジョイントを評価対象とした。アンケート調査には、10体の供試体（記号：CJ01~10、Photo 4^{註9)}）を用いた。コンクリートの主な使用材料は、普通ポルランドセメント（密度 3.14 g/cm³）、海砂（表乾密度 2.57 g/cm³、粗粒率 2.30）および砕石（表乾密度 2.74 g/cm³、実積率 59.7%、最大寸法 20 mm）である。コンクリートの調合は、水セメント比 0.65、0.50、0.40 の 3 水準とした。供試体の寸法は、幅 450 mm x 高さ 450 mm x 厚さ 30 mm とした。供試体にコールドジョイントを発生させるため、およそ半分の高さで、0~3 時間の打重ね時間間隔を設けてコンクリートを打ち重ねた。打込み後の供試体の養生方法は、前章までと同じとした。

コールドジョイントの外観を定量化するため、各供試体の観察面で明度 L^* を測定した^{註4)}。1 回の測定範囲を直径 3 mm の円内に絞り、1 供試体あたり Fig. 3 に示す 80 箇所を測定を繰り返した。このうち 50 箇所の A 位置では、目視で確認された打重ね線を基準に上下 2 方向に 10 mm 間隔で 10 箇所の測定を、75 mm 間隔で 5 列繰り返した。30 箇所の B 位置では、打重ね線の位置、打ち重ね線から上下に約 50 mm 離れた位置でそれぞれ 10 回測定した。本論文では、以下に示す 4 つの明度 L^* の差 ΔL_1 , ΔL_2 , ΔL_3 , ΔL_4 を、コールドジョイントの外観を定量化する変数の案とした^{註12)}。

ΔL_1 : A 位置 50 箇所測定された 50 値の標準偏差。

ΔL_2 : A 位置で測定された打重ね線近傍（④~⑦）の 20 値、打重ね線上部（①~③）の 15 値、および打重ね線下部（⑧~⑩）の 15 値でそれぞれ導出した平均（3 値）の最大最小の差。

ΔL_3 : A 位置で測定された各列 10 値の最大最小の差（5 値）の平均。

ΔL_4 : B 位置で測定された打重ね線の 10 値、上側の 10 値、下側の 10 値でそれぞれ導出した平均（3 値）の最大最小の差。

各供試体の明度 L^* の差 ΔL_1 , ΔL_2 , ΔL_3 , ΔL_4 を、観察面で測定された他の特性値と併せて Table 12 に示す。

Fig. 3 Positions measuring lightness values L^* to quantify cold joint

Fig. 4 Flowchart of questions on cold joint survey

コールドジョイントに関するアンケート調査では、試験者の質問や説明が、被験者の意識を打重ね線に誘導しないよう配慮した。質問の手順を Fig. 4 に示す。被験者（200 名）に供試体を観察してもらいながら、最初に「気になる箇所があるか」を質問した。気になる箇所があると回答された場合、更に「何が気になるか」を質問した。気になる箇所がコールドジョイントと試験者が判断した場合のみ、コールドジョイントについて「美観上、許容できない—許容できる」および「構造上、不安を感じる—不安を感じない」の質問に 2 段階評価で回答してもらった。被験者に対する供試体の見せ方などは、前章までの調査と同じとした。アンケート調査の期間は 2019 年 11 月 9 日~16 日、場所は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。被験者の属性および調査時の気象情報の分布を Table 13 に示す。前章までの調査と比較して被験者が

供試体を近い距離で観察しており、本章の供試体の不具合を認知し難かった様子がうかがえた。

4.2 調査結果

被験者が気になる箇所として指摘した事象の割合は、Table 12 に示した通りである。コールドジョイントが気になる箇所として指摘された割合は、平均で 5.5%と比較的小さかった。特に表面気泡が指摘された割合と比較した場合、全ての供試体において小さい値を示した。コールドジョイントは、打重ね時間間隔を最大 3 時間としても、他の不具合と比較して注目され難いと考察される。

4.3 分析および考察

被験者の回答と、明度 L^* の差 ΔL_1 , ΔL_2 , ΔL_3 , ΔL_4 との関係を単回帰分析して得られた相関係数を Table 14 に示す。分析では「コールドジョイントが気になる」、「美観上、許容できない」および「構造上、不安を感じる」を正とした。全ての組み合わせで正の相関関係が認められ、 ΔL_2 および ΔL_3 の相関係数が比較的高かった。本論文の範囲内において、コールドジョイントの外観を評価する変数には ΔL_2 もしくは ΔL_3 を用いることが適切と考察される。

アンケート調査の結果を用いて二項ロジスティック回帰分析を実施した。被験者の回答を目的変数とし、説明変数には明度 L^* の差 ΔL_3 、被験者の年齢、性別、視力、観察距離、気温、相対湿度および観察面の照度を投じた。尤度比・変数増加法による分析結果を Table 15~17 に示す。モデル χ^2 検定の結果は、全て $p < .001$ で有意であった。有意 ($p < .05$) な説明変数のうち、明度 L^* の差 ΔL_3 および被験者の性別が顕著なオッズ比を示した。オッズ比は、供試体の明度 L^* の差 ΔL_3 が大きいほどコールドジョイントに対する評価が厳しかった傾向を示す一方、表面気泡およびひび割れに対する評価と逆に、女性の方が男性よりコールドジョイントを寛大に評価する傾向を示した。この原因として、女性の方が表面気泡などの比較的目的立つ不具合に強く意識を向けた結果、打重ね線の見落としやコールドジョイントの過小評価を引き起こしたことが推察される。

なお、本章の調査結果を用いて推定された被験者の 50% が表面気泡を気にしない表面気泡面積比の限界は 0.25% であった^{注 13)}。この値は、第 2 章で推定された値（女性 0.30%/男性 0.53%）より小さい。本章の供試体の表面気泡に対する評価は、第 2 章の調査より厳しかったといえる。両章の供試体において最大の表面気泡面積比が 6.5 倍と大きく異なっていたため、同時に評価した他の供試体がアンカリング（anchoring and adjustment heuristic）¹²⁾ を引き起こしたことが示唆される。

Table 13 Evaluators ($N=200$) and surrounding on cold joint survey

	Min.	25%	Med.	75%	Max.	(Ave.)
Evaluator age, years	8	28	47.5	65	90	(47.1)
Evaluator gender	Female (102); Male (98)					
Evaluator visual acuity	0.03	0.8	1.0	1.2	2.0	(1.00)
Distance chosen by evaluator	0.5 m (70); 1.0 m (115); 1.5 m (7); 2.0 m (6); 2.5 m (2)					
Temperature, degree C	17.5	18.5	19.3	20.3	23.9	(19.5)
Relative humidity	32%	48%	49%	53%	61%	(49.4%)
Illuminance, lx	2300	3960	7350	8250	11700	(6222)

Table 14 Pearson's correlation coefficient / cold joint

	ΔL_1	ΔL_2	ΔL_3	ΔL_4
"I'm bothered by the cold joint"	.174***	.213***	.212***	.146***
"aesthetically unacceptable"	.155***	.175***	.182***	.143***
"worrying from a structural standpoint"	.117***	.133***	.138***	.100***

***: $p < .001$

Table 15 Result of logistic regression analysis / cold joint (1)

Objective variable: "I'm not bothered by cold joint on the surface" = 0, "I'm bothered" = 1					
Explanatory variable	Regression coefficient	p	Odds ratio	95% lower	95% upper
Difference in lightness ΔL_3	0.459	<.001	1.582	1.428	1.753
Gender, female=0; male=1	0.719	.001	2.052	1.355	3.108
Evaluator age, years	0.011	.030	1.011	1.001	1.022
Illuminance, klx	0.120	.003	1.128	1.040	1.222
Constant	-6.953				

p in χ^2 test < .001

Table 16 Result of logistic regression analysis / cold joint (2)

Objective variable: "aesthetically acceptable" = 0, "unacceptable" = 1					
Explanatory variable	Regression coefficient	p	Odds ratio	95% lower	95% upper
Difference in lightness ΔL_3	0.493	<.001	1.637	1.434	1.868
Gender, female=0; male=1	0.956	.001	2.602	1.498	4.520
Constant	-6.519				

p in χ^2 test < .001

Table 17 Result of logistic regression analysis / cold joint (3)

Objective variable: "not worrying from a structural standpoint" = 0, "worrying" = 1					
Explanatory variable	Regression coefficient	p	Odds ratio	95% lower	95% upper
Difference in lightness ΔL_3	0.519	<.001	1.680	1.393	2.027
Gender, female=0; male=1	1.548	.001	4.702	1.915	11.542
Constant	-7.863				

p in χ^2 test < .001

5. 実建築物に生じた不具合の感性評価

5.1 調査概要

実建築物のコンクリートには、施工時の不具合に加えて経年に伴う汚れなどが同時に発生する。本章では、実建築物の打放しコンクリート部分に生じた複数の不具合を評価対象とした。アンケート調査で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である。打放しコンクリート仕上の壁および柱から、40 箇所 (DB01~40) の観察面を抽出した。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

Photo 5 Appearance of observation surface on buildings

Table 18 Characteristics of observation surface on building and results

No.	DB01	DB02	DB03	DB04	DB05	DB06	DB07	DB08	DB09	DB10	DB11	DB12	DB13	DB14	DB15	DB16	DB17	DB18	DB19	DB20
Direction	S	S	S	S	E	E	E	E	E	E	N	E	E	W	N	N	N	E	E	E
Bug-hole area ratio	0.375%	0.333%	0.187%	0.411%	0.342%	0.444%	0.556%	1.303%	0.151%	0.540%	0.395%	0.148%	0.152%	0.099%	0.284%	0.338%	0.166%	0.136%	0.744%	0.485%
Crack width, mm	0.338	0.380	0.439	0.283	0.290	0	0.200	0.060	0.410	0.104	0.211	0	0.135	0	0.367	0.270	0.356	0.250	0.335	0
Chip on crack	v	v			v		v		v	v									v	
Black stains in crack															v		v			
Average of L*	75.47	75.48	75.02	74.80	71.84	75.44	75.47	71.87	73.20	74.61	72.77	74.42	73.68	64.92	68.40	69.98	69.31	70.46	69.29	70.15
Average of a*	-0.01	-0.50	-0.17	-0.20	0.37	-0.30	-0.29	-0.52	0.52	0.62	-0.12	-0.17	0.21	0.02	0.01	0.01	0.26	-0.30	-0.21	-0.33
Average of b*	6.10	3.82	3.97	3.84	5.73	3.74	3.84	3.26	5.64	6.24	3.84	4.64	5.43	4.38	4.59	4.63	5.64	4.23	4.05	4.00
Standard deviation of L*	3.65	1.04	1.07	1.08	1.29	1.34	1.27	1.41	1.55	1.30	1.70	0.99	1.32	1.68	2.12	1.60	1.96	1.80	2.30	1.53
Standard deviation of a*	0.37	0.09	0.15	0.13	0.15	0.16	0.15	0.13	0.19	0.18	0.13	0.11	0.12	0.18	0.30	0.21	0.21	0.12	0.13	0.14
Standard deviation of b*	1.97	0.43	0.47	0.46	0.69	0.54	0.51	0.68	0.66	0.61	0.55	0.85	0.46	0.64	1.22	0.75	0.96	0.54	0.61	0.89
"I'm bothered by ..."																				
crack	96%	44%	96%	40%	72%	0%	76%	4%	84%	8%	4%	24%	16%	0%	92%	52%	88%	56%	68%	0%
bug-holes	8%	4%	0%	0%	4%	0%	4%	32%	0%	32%	0%	0%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
mottling or staining	72%	8%	8%	8%	48%	16%	32%	24%	16%	12%	64%	12%	36%	48%	52%	56%	44%	20%	88%	60%
"Repair is necessary"	84%	0%	28%	0%	16%	0%	12%	4%	12%	0%	4%	4%	4%	0%	64%	8%	48%	0%	56%	0%

No.	DB21	DB22	DB23	DB24	DB25	DB26	DB27	DB28	DB29	DB30	DB31	DB32	DB33	DB34	DB35	DB36	DB37	DB38	DB39	DB40	(Ave.)
Direction	E	E	W	E	W	E	N	E	E	E	E	E	W	W	W	W	N	E	E	S	
Bug-hole area ratio	0.521%	0.338%	0.558%	0.226%	0.270%	0.456%	0.448%	0.216%	0.443%	0.223%	0.229%	0.288%	0.236%	0.361%	0.349%	0.657%	0.539%	0.361%	0.217%	0.138%	(0.367%)
Crack width, mm	0	0	0.269	0.300	0.183	0.355	0.092	0.093	0.195	0.300	0.235	0.256	0.365	0.110	0.285	0.255	0	0	0	0.356	(0.202)
Chip on crack			v			v										v					
Black stains in crack						v							v								
Average of L*	69.62	67.94	77.30	74.02	74.15	71.09	74.99	74.12	73.23	73.42	72.95	72.29	74.43	73.83	72.16	71.67	71.41	73.70	74.22	66.82	(72.50)
Average of a*	-0.16	-0.38	0.20	0.39	-0.10	-0.18	-0.34	0.45	0.68	0.71	0.76	0.06	0.34	0.28	0.29	0.43	0.07	-0.80	-0.80	-0.23	(0.01)
Average of b*	4.52	3.61	5.97	5.33	5.82	3.56	7.37	6.07	6.31	6.31	6.77	5.59	6.11	5.63	5.76	6.54	4.77	3.01	3.48	4.53	(4.97)
Standard deviation of L*	1.71	1.85	1.57	1.39	1.45	0.63	2.49	2.05	1.49	1.45	1.84	1.60	1.73	1.62	2.78	1.41	1.49	1.47	1.38	2.43	(1.65)
Standard deviation of a*	0.18	0.13	0.19	0.11	0.10	0.14	0.25	0.18	0.18	0.17	0.22	0.24	0.31	0.27	0.36	0.29	0.08	0.11	0.09	0.31	(0.18)
Standard deviation of b*	0.79	0.58	0.78	0.43	0.59	0.46	1.28	0.61	0.60	0.47	0.64	1.06	0.90	0.78	1.09	0.99	0.44	0.52	0.52	0.84	(0.72)
"I'm bothered by ..."																					
crack	8%	4%	64%	32%	12%	92%	0%	0%	0%	44%	16%	92%	92%	0%	92%	84%	4%	0%	4%	88%	(41%)
bug-holes	8%	0%	24%	12%	12%	8%	12%	0%	20%	0%	0%	0%	16%	12%	4%	20%	36%	0%	12%	0%	(7%)
mottling or staining	48%	36%	32%	20%	16%	4%	88%	56%	40%	52%	36%	72%	40%	40%	40%	28%	48%	12%	8%	48%	(37%)
"Repair is necessary"	0%	0%	12%	0%	0%	72%	8%	0%	0%	4%	0%	76%	40%	0%	32%	12%	12%	0%	0%	40%	(16%)

Bold: minimum or maximum

さは基本的に約 1.5 m とした。40 のうち 5 箇所の観察面は、直射日光が当たる南向きとした。観察面の一部を Photo 5 に、各観察面で測定された特性値を Table 18 に示す。観察面の DB01 および DB19 には、ひび割れを伴う明瞭な打重ね線が生じていた。

実建築物を対象としたアンケート調査では、被験者 (25 名) に 40 箇所の観察面を順番に観察してもらった。ひとつの観察面につき「ひび割れ」、「色むら」、「汚れ」および「その他」から気になる事象 (複数可) があれば指摘してもらった^{注 14)}。「その他」が指摘された場合、具体的に何が気になったのかを都度ヒアリングした。その後、観察面に対して「補修の必要がある－必要がない」の質問に対して 2 段階評価で回答してもらった。

アンケート調査の期間は 2020 年 1 月 13 日～17 日とした。調査時の天候は晴れもしくは曇りであった。被験者 (25 名) の属性およびアンケート実施時の気象情報の分布を Table 19 に示す。被験者は観察対象とした建物の利用者から募集した。観察距離は被験者に指定せず、被験者から問われれば「好みの位置で観察してください」とだけ返答した。

5.2 調査結果、分析および考察

気になる事象として指摘された不具合を目的変数、観察面の特性値、被験者属性および気象情報を説明変数とした重回帰分析の結果を Table 20 に示す。得られた標準偏回帰係数 β から、被験者に気になる事象として表面気泡を指摘させる最大の因子が表面気泡面積比、ひび割れを指摘させる最大の因子がひび割れ幅、色むらもしくは汚れを指摘させる最大の因子が明度 L^* の標準偏差であると考察される。次に、目的変数に対して最も大きい標準偏回帰係数 β を示した因子のみを説明変数として投入した二項ロジスティック回帰分析を実施した。分析結果を Table 21～23 に示す。全ての分析結果においてモデル χ^2 検定の結果は $p < .001$ で有意であった。得られた偏回帰係

Table 19 Evaluator ($N=25$) and surrounding / buildings

	Min.	25%	Med.	75%	Max.	(Ave.)
Evaluator age, years	20	24	40	57	68	(40.4)
Evaluator gender	Female (12); Male (13)					
Evaluator visual acuity	0.6	0.8	1.0	1.2	2.0	(1.08)
Temperature, degree C	9.1	9.3	9.4	9.5	11.6	(9.5)
Relative humidity	45%	47%	56%	59%	65%	(54.2%)
Illuminance, lx	61	1760	3210	6510	59900	(5264)

Table 20 Standardized partial regression coefficient β

Explanatory variable	Objective variable: "not bothersome" = 0, "bothersome" = 1			
	Bug-holes	Crack	Mottling or Staining	
Bug-hole area ratio	.238***	.104**	.085*	
Crack width, without=0; with=1	-.070	.547***	-.002	
Chip on crack, without=0; with=1	.012	.067*	-.033	
Black stains in crack	.001	.026	-.011	
Average of L^*	.025	-.043	-.123**	
Average of a^*	-.022	.004	.049	
Average of b^*	.195**	-.164**	.099	
Standard deviation of L^*	-.061	-.111*	.278***	
Standard deviation of a^*	.020	.140**	-.203**	
Standard deviation of b^*	-.049	.204***	.129	
Gender, female=0; male=1	.088**	-.030	.142***	
Evaluator age	.002	-.062	.019	
Visual acuity	.101**	-.064*	-.013	
Temperature	-.104***	.011	-.126***	
Relative humidity	-.233***	.100**	-.070	
Illuminance	.008	.013	-.033	
R^2	.137	.488	.149	

*: $p < .05$, **: $p < .01$, ***: $p < .001$

Table 21 Result of logistic regression analysis / buildings (1)

Objective variable: "I'm not bothered by bug-holes" = 0, "I'm bothered" = 1					
Explanatory variable	Regression coefficient	p	Odds ratio	95% lower	95% upper
Bug-hole area ratio, %	2.606	<.001	13.546	6.089	30.137
Constant	-3.686				

 p in χ^2 test < .001

Table 22 Result of logistic regression analysis / buildings (2)

Objective variable: "I'm not bothered by crack" = 0, "I'm bothered" = 1					
Explanatory variable	Regression coefficient	p	Odds ratio	95% lower	95% upper
Crack width, 0.1 mm	1.434	<.001	4.195	3.508	5.017
Constant	-3.661				

 p in χ^2 test < .001, Percentage correct = 80.2

数から、被験者の 50%が不具合を気にしないときの表面気泡面積比の限界は 1.30%超、ひび割れ幅の限界は 0.26 mm、明度 L*の標準偏差の限界は 2.1 と推定される。また、0.3 mm のひび割れ幅¹⁾を被験者の 65%が気にすることが推定される。これらの限界は、供試体を評価対象とした調査で得られたもの（第 2, 3 章）より寛大である。実建築物に生じた不具合に対する評価が、供試体に生じたものより単に寛大であ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対象に生じた不具合であったことが寛大な評価に繋がった可能性も考えられる。

気になる事象として指摘された不具合同士の相関を Table 24 に示す。表面気泡、ひび割れおよび色むら・汚れの指摘の間に相関関係は認められなかった。3 つの不具合に対する被験者の指摘はほぼ独立していた。そのうえで、実建築物のコンクリートに生じた表面気泡、ひび割れおよび色むら・汚れが気になるかが、補修の要否の判断に与える影響を共分散構造分析によって検討した。「補修の必要がある」を正、「必要がない」を負とし、得られた補修の要否の判断モデルを Fig. 5 に示す。ひび割れおよび色むら・汚れの評価から補修の判断への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、色むら・汚れより補修の判断に与え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の必要がない、もしくは補修できない不具合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を実施した。前述の分析結果から、説明変数にはひび割れ幅および明度 L*の標準偏差のみを投入した。分析結果を Table 25 に示す。モデル χ^2 検定の結果は $p < .001$ で有意であり、ひび割れ幅および明度 L*の標準偏差は共に有意 ($p < .05$) な説明変数であった。得られた偏回帰係数から、被験者の 50%が「補修の必要がない」と回答するひび割れ幅の限界は、色むら・汚れが少ないコンクリート（明度 L*の標準偏差 =0.6：今回の観察面の最小）において 0.44 mm を超え、0.3 mm のひび割れ幅¹⁾に対して被験者の 9%が補修を求める（91%が補修を求めない）ことが推定される。一方、ひび割れが無い場合、明度 L*の標準偏差が 3.7（今回の観察面の最大）のコンクリートに対して、被験者の 8%が補修を求める（92%が補修を求めない）ことが推定される。

6. まとめ

本論文では、コンクリート供試体および鉄筋コンクリート建物に生じた不具合の外観を評価するアンケート調査を実施し、調査結果を主に二項ロジスティック回帰で分析した。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) コンクリート供試体に生じた表面気泡の感性評価に対し、表面気泡面積比および被験者の性別が比較的強く影響することが認められた。被験者の 50%が供試体の表面気泡を気にしない表面気泡面積比の限界は、女性の場合 0.30%、男性の場合 0.53%と推定された。同様に、被験者の 50%が表面気泡を美観的に許容できる／構造的に不安を感じない表面気泡面積比の限界は、被験者が女性の場合 0.44%/0.85%、男性の場合 0.69%/1.22%と推定された。
- 2) コンクリート供試体に導入されたひび割れの感性評価に対し、ひ

Table 23 Result of logistic regression analysis / buildings (3)

Objective variable: "I'm not bothered by mottling or staining" = 0, "I'm bothered" = 1					
Explanatory variable	Regression coefficient	p	Odds ratio	95% lower	95% upper
Standard deviation of L*	1.288	<.001	3.625	2.708	4.852
Constant	-2.666				

p in χ^2 test < .001, Percentage correct = 67.2

Table 24 Pearson's correlation coefficient / buildings

	Bug-holes	Crack	Mottling or Staining
Bug-holes	1		
Crack		1	
Mottling or Staining			1

Three coefficients are not significant.

Fig.5 A model of decision-making for repair of defects

Table 25 Result of logistic regression analysis / buildings (4)

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

び割れ幅および観察距離が比較的強く影響することが認められた。供試体が 1.6 m 離れた位置から観察されたとき、0.3 mm のひび割れ幅を被験者の 92%が気にし、82%が美観的に許容できず、80%が構造的に不安を感じることが推定された。

- 3) 供試体に生じたコールドジョイントの外観は、打重ね時間間隔を最大 3 時間としても、他の不具合と比較して注目され難かった。観察面で測定された明度 L*の差が大きいほどコールドジョイントの外観に対する被験者の回答が厳しかった。一方、表面気泡およびひび割れの評価と逆に、女性より男性の方がコールドジョイントの外観に厳しい評価をする傾向が認められた。
- 4) 実建築物のコンクリートに生じた不具合を観察した場合、被験者の 50%が表面気泡を気にしない表面気泡面積比の限界は 1.30%超、色むらもしくは汚れを気にしない明度 L*の標準偏差の限界は 2.1 と推定された。また、実建築物のコンクリートに生じた 0.3 mm のひび割れ幅に対し、被験者の 65%が気にするものの、91%が補修を求めないこと（色むら・汚れが少ない場合）が推定された。実建築物に生じた不具合に対する感性評価は、供試体に生じたものより総じて寛大であった。
- 5) 以上の外観の限界を検討したアンケート調査において、同時に評価した別の観察面の不具合によるアンカリングや、被験者に対する質問方法の影響、被験者にとって見慣れた対象に生じた不具合であったことの影響が評価に作用した可能性が考察された。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 18K13872 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) Okajima, T., Kawabe, S., Mizoguchi, Y. and Kuno, M.: Visual assessment of surface finishing concrete, *Cement Research and Technology*, Vol.5, No.2, pp.95-102, 1994.7 (in Japanese)
岡島達雄, 河辺伸二, 溝口雄一, 久野雅士: コンクリート素地仕上げの視覚心理学的評価, *コンクリート工学論文集*, 第 5 巻, 第 2 号, pp.95-102, 1994.7
- 2) Liu, L., Masuda, Y., Konishi, T. and Sakaki, T.: Sensibility evaluation to colored architectural concrete using color sand and pigments, *Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ)*, Vol.73, No.630, pp.1233-1238, 2008.8 (in Japanese)
劉靈芝, 樹田桂寛, 小西敏正, 榊智也: 着色細骨材および顔料を用いた打放しコンクリートの色彩に対する感性評価に関する研究, *日本建築学会構造系論文集*, 第 73 巻, 第 630 号, pp.1233-1238, 2008.8
- 3) Nakayama, D., Takasu, K., Suyama, H. and Koyamada, H.: Impression evaluation of concrete surface using byproducts, *The Fourth Australasia and South-East Asia Structural Engineering and Construction Conference (ASEA SEC 4)*, Brisbane, Australia, MAT-20-1~6, 2018.12
- 4) American Concrete Institute (ACI): ACI 309.1R-08 Report on Behavior of Fresh Concrete During Vibration, 2008.8
- 5) Architectural Institute of Japan (AIJ): JASS 5 Reinforced Concrete Work, 2018.7 (in Japanese)
日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事, 2018.7
- 6) Haldane, D.: The importance of cracking in reinforced concrete members, *Performance of Building Structures, Proceedings of the International Conference held at Glasgow University*, pp.99-109, 1976
- 7) Fédération internationale du béton (fib): Structural Concrete Textbook on behaviour, design and performance, Second edition Volume3 “Design of durable concrete structures”, Bulletin No.53, 2009.12
- 8) Campbell-Allen, D.: The reduction of cracking concrete, *University of Sydney and Cement and Concrete Association of Australia*, 1979.5
- 9) European Committee for Standardization (CEN): Eurocode 2 “Design of concrete structures”, 2004.12
- 10) Hall, E.T.: *The Hidden Dimension*, the United States, Anchor, 1966
- 11) AIJ: Recommendations for Practice of Crack Control in Reinforced Concrete Buildings (Design and Construction), 2006.2 (in Japanese)
日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針 (案)・同解説, 2006.2
- 12) Tversky, A. and Kahneman, D.: Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases, *Science*, Vol.185, Issue4157, pp.1124-1131, 1974.9

注

- 注 1) ロジスティック回帰 (David Cox 1958) とは、Bernoulli 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ない点や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。ロジスティック回帰では、目的変数の確率 P と説明変数 $x_1, x_2, \dots$ との間に、偏回帰係数 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots$ を用いた次式の関係を想定する。

$$P = \frac{1}{1 + \exp(-(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots))}$$

- 注 2) ビーム角度を優先して光源を選定した。
- 注 3) 画像の 2 段調化およびピクセル数のカウントには Adobe Photoshop CC 2018 を用いた。
- 注 4) 明度 L^* および色度 a^*, b^* (JIS Z 8729/CIE1976 $L^*a^*b^*$ 色空間に準拠) の測定には MINOLTA 社製 CM-700d を用い、正反射除去 (SCE) の値を採用した。
- 注 5) 供試体を傾けて展示した理由は、強風による転倒防止を目的とした安全のためである。観察し易さに配慮して 10° の俯角を採用した。
- 注 6) Hall の研究¹⁰⁾に基づいて水平視角 12° の領域を明瞭な視覚とした場合、1.5 m の距離で被験者は明瞭な視覚の領域に供試体の観察面のほぼ全てを丁度収めることになる。
- 注 7) 本論文では、二項ロジスティック回帰分析をはじめとする全ての統計

分析に IBM SPSS Statistics 26 および Amos 26 を用いた。

- 注 8) 推定にあたり、表面気泡面積比および被験者の性別を除く有意な説明変数には調査時の平均を代入した。
- 注 9) Fig. 1 の条件で撮影した写真を加工した。
- 注 10) 40 体の供試体を作成した後、同じような見た目のひび割れが生じた供試体や、ひび割れを除く不具合が著しい供試体を割愛し、アンケート調査に用いる 10 体の供試体を選抜した。
- 注 11) 推定にあたり、ひび割れ幅および観察距離を除く有意な説明変数には調査時の平均を代入した。
- 注 12) 色度 a^*, b^* については変動が小さく、目視による認知も困難だったため、変動が大きい明度 L^* のみを用いて評価した。
- 注 13) 説明変数に表面気泡面積比のみを投入して推定した。
- 注 14) その他を除く 3 項目は、事前に 5 名の被験者で予備実験を行った際に指摘が多かった上位 3 項目である。

A CONSIDERATION ON ACCEPTABLE LIMITS OF APPEARANCE OF BUG-HOLES, CRACKS, COLD JOINTS AND STAINING ON EXPOSED CONCRETE

Hiroki SUYAMA^{*1}, Koji TAKASU^{*2} and Hidehiro KOYAMADA^{*2}

^{*1} Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Environmental Engineering, The Univ. of Kitakyushu, Dr.Eng.

^{*2} Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Environmental Engineering, The Univ. of Kitakyushu, Dr.Eng.

Most previous studies on the appearance of concrete rely on rules of thumb developed in the field and are limited to qualitative descriptions. Accordingly, except for crack width, there are few quantitative management standards for the appearance of exposed concrete. In this study, we conducted several questionnaire surveys of different types involving the evaluation of surface defects in concrete specimens and reinforced concrete buildings. We investigated the acceptability of visual concrete defects by quantifying the influence of various factors on psychological evaluations of concrete appearance through binomial logistic regression analysis. The investigation yielded the following findings.

For concrete specimens, sensory evaluations of bug-holes were influenced by the bug-hole area ratio and gender of the evaluator. Limits of the bug-hole area ratio at which half of evaluators are expected to respond “I’m not bothered by the air bubbles on the surface” were estimated to be 0.30% for women and 0.53% for men. Similarly, limits of the bug-hole area ratio at which half of evaluators are expected to respond “the appearance is aesthetically unacceptable” and “I’m not worried from a structural standpoint” were estimated as 0.44% and 0.85% for women and 0.69% and 1.22% for men, respectively.

Sensory evaluations of cracks in concrete specimens were influenced by crack width and viewing distance. At a viewing distance of 1.6 m, a crack width of 0.3 mm, which is generally used as the threshold for determining the risk of degradation, is expected to be evaluated as bothersome by 92% of evaluators, aesthetically unacceptable by 82% of evaluators, and structurally worrisome by 80% of evaluators.

Cold joint appearance tended to be noticed less frequently by evaluators compared with other defects, even when the time interval between placements was 3 hours. Evaluators’ negative evaluations of cold joints increased as the difference in surface lightness increased. Whereas female evaluators tended to respond more negatively to bug-holes and cracks than their male counterparts, male evaluators tended to respond more negatively to cold joint appearance than their female counterparts.

For the concrete of actual buildings, the limit of the bug-hole area ratio at which half of evaluators are expected to respond “I’m not bothered by bug holes” was estimated to exceed 1.30%, and the limit of the standard deviation in lightness at which half of evaluators are expected to respond “I’m not bothered by mottling or staining” was estimated as 2.07. Furthermore, it was estimated that a crack width of 0.3 mm would be evaluated as bothersome by 65% of evaluators and as requiring repair by 9% of evaluators (and as not requiring repair by 91%). Evaluations of defects in actual buildings were more positive than evaluations of defects in specimens.

Evaluators’ responses regarding acceptable appearance may have been influenced by an anchoring and adjustment heuristic based on the defects of other surfaces that were viewed at the same time, the manner of questioning, and the familiarity of the object with defects to the evaluators.

(2021 年 8 月 3 日原稿受理, 2021 年 10 月 28 日採用決定)