意匠性と強度の両立を目標としたSMC（ソイル･ミクスト･コンクリート）壁体の評価ならびに配合強度に関する研究

A study on the evaluation and the intensity of Soil Mixed Concrete consistent with artistic texture

平尾和洋[1]・井上真澄[2]・山本直彦[3]・早崎伸一[4]・児島孝之[5]

Kazuhiro Hirao, Masumi Inoue, Naohiko Yamamoto, Shinichi Hayasaki, Takayuki Kojima

[1]立命館大学准教授　理工学部建築都市デザイン学科（〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1）

Associate Professor, Ritsumeikan University, Dept. of Architecture and Urban Design

[2]立命館大学助教　理工学部建築都市デザイン学科（〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1）

Lecturer, Ritsumeikan University, Dept. of Architecture and Urban Design

[3]奈良女子大学准教授　生活環境学部住環境学科（〒630-8263 奈良市北魚屋西町）

Associate Professor, Nara Women's University, Dept. of Residential Environment and Design

[4]一級建築士･パートナー　VIDZ/ヴィズ建築設計事務所（〒600-8441 京都市下京区四条町349）

Partner, VIDZ Architects & Associates

[5]立命館大学教授　理工学部建築都市デザイン学科（〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1）

Professor, Ritsumeikan University, Dept. of Architecture and Urban Design

This paper is the report on the verification of the character of "SMC"; Soil Mixed Concrete, in which several parts of gravel + sand are replaced by soil, based on the ready mixed concrete. 81 varieties × 9 samples are examined by 1) the compression intensity test, 2) the texture evaluation by resemblance to the walls of temples and shrines in traditional area of Kyoto, using the "frequency-power spectral line" designation, and 3) the human impressive evaluation using SD method. As the result, the intensity and the artistic character of the texture were inconsistent with each other in general. Nevertheless a few well-balanced samples indicated the mixing data of SMC.

Key Words: *Soil Mixed Concrete, compression intensity, texture, frequency-power spectral line, SD method*

１．はじめに

京都における町並みや文化財の将来的な防災を考える場合、既存の都市的コンテクストを維持したまま文化財周辺の防災力を向上させることが必要である。この際、既存の町並みに調和した伝統的意匠性と、大規模災害に耐えうる耐久性能（防火力・耐震力）を両立した構造物の実現が求められる。このためには防火性能に優れたコンクリート系意匠壁材料を開発し、さらに建築物規模の耐震基準を満足する性能を担保するための技術的方策を探ることが必要となる。また既存の都市的コンテクストに配慮した壁体材料のテクスチュアを定量的に評価する必要もある。

本研究では、コンクリートをベースに現場で採取できる土を混和材料として用いた意匠壁体「ソイル･ミクスド･コンクリート」(以下「SMC」と呼称)の開発を目的とするものである。研究の第一段階として SMC 供試体サンプルを作成し一軸圧縮破壊試験により強度を確認すると共に、京都の伝統的地区の直立壁面の特徴を把握し、それと近しい素材感･テクスチュアを有する壁体かどうかの検証を行う。

具体的な研究の手順として、一定配合で作成した供試体 81 サンプルの圧縮強度実験のデータを元に、1)

「強度評価」：①SMC の配合要因と保証圧縮強度との関係の考察、②一定条件で平均圧縮強度を予測するための回帰式の検討をまず行い、次に 2)「意匠評価」：①テクスチュアの写真画像から導かれるパワースペクトル曲線を用いた供試体サンプルの順位付け、②写真画像を用いた SD 法・因子分析による順位付けを行う。その上で「強度評価」と「意匠評価」の結果を総合・比較し、SMC の特性ならびに開発の可能性について知見の総括を行いたい。

土を用いたコンクリートの強度に関する既往研究には川村[1)]加藤[2)]らの研究がある。本研究は技術面で現場土をコンクリートの細骨材と置換する方法を採用している上、東山伝統地区の素材調査結果をふまえ供試体に対する意匠面での評価を併せて行い SMC の特性を捉えている。さらに意匠性の評価において周波数−パワースペクトル曲線を用いた画像分析（３章後述）を展開しており、本報の独自性もここにあると考える。

２．強度評価

（１）SMC 躯体に必要な強度条件の設定

SMC のように特殊な建築材料を構造上主要な部分に用いた建築物を法的に定義する場合、構造関係の次の規定：①建築材料の品質に関する規定=建築基準法(以下「法」)第 37 条+建設省告示(以下「建告」)第 1446 号、②構造方法に関する仕様規定=法第 20 条+建築基準法施行令(以下「令」)第 3 章第 1 節〜第 7 節の２、③構造計算に関する規定=法第 20 条+令第 3 章第 8 節、が適用される。本研究では、技術認証指定機関である(財)日本建築総合試験所へのヒアリングを踏まえ、①については SMC を新材料ではなく「指定建築材料」であるコンクリート材料として定義し、技術基準のみ「指定機関による技術認証→大臣認定→告示化」により定める、②については規定の構造方法(壁式鉄筋コンクリート造)として技術基準に適合させる、③についてはコンクリート造として既存規定を適用する、以上を前提とした。またコンクリートの材料強度は令 74 条+建告第 1102 号で 4 週圧縮強度 12N/mm^2 以上(かつ設計基準強度×7/10 以上)と定められていることから、圧縮強度 12N/mm^2 を目標値とした。またコンクリートの圧縮強度のばらつきに対しては、JASS ５の考え方を踏まえ認証機関と協議の上、「保証圧縮強度(品質基準強度)＝平均圧縮強度－３×標準偏差」と設定した[*注1)]。

（２）圧縮強度実験

a) 81 供試体の作製

強度実験のための供試体作製は、意匠評価（３章後述）用のデジタル写真が必要であることから通常のコアを用いず、内寸 500×400×200 のパネコート製型枠を用いてコンクリート打設を行い、圧縮強度測定用のコアは養生・表乾＋写真撮影の後、供試体から抜き出す手順をとった。

表１に供試体作製時の実験要因と使用材料を示す[*注2)]。４要因の組み合わせから供試体サンプル数は 81 である(∵供試体は No.1〜81 とナンバリングした)。各サンプル打設は３層に分けて行い、締め固めは各層とも体積変化がなくなるまで施した。翌日脱型の後、14 日間散水養生を行い、その後、表乾状態を待ってデジタル画像撮影（∵対面距離 50cm、撮影は 11:00-13:00 の晴天時、撮影面に対して平行に日光が当たるように配置）を行った。圧縮強度試験は 28 日強度・一軸圧縮試験により、１供試体から９本のコア（Φ＝100 ㎜、h＝200 ㎜）を採取し加圧面の研磨後、最大荷重の測定を行った（図１）。

b) 強度計測結果

上記の実験により 81 供試体毎にそれぞれ９つの

表１　実験要因と使用材料

実験要因	
土置換率	現場土と細骨材の割合 S:So=1:3, 1:1, 3:1 ⇒土置換率 So/S+So=75, 50, 25%
単位水量	振動台コンシステンシー試験によるVC値25±5秒を満たす単位水量から−10, ±0, +10kg/cm^3
細骨材率	S+So/a=30, 40, 50%（a=S+So+G）
締固め方法	たたき棒、バイブレータ、突き棒

使用材料		
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	野洲産川砂（密度:2.61g/cm^3, FM:2.67, 5㎜以上:なし 単位容積質量:1.65kg/l, 吸水率:1.76%）
粗骨材	G	高槻産硬質砂岩砕石（密度:2.69g/cm^3, FM:6.88, 5㎜以上:4.4%, 単位容積質量:1.61kg/l, 吸水率:0.80% 最大骨材寸法:20㎜）
現場土	So	京都府相楽郡精華町の建設現場において発生した残土（密度:2.54g/cm^3 ）

図１　１供試体から得られるコア抜きサンプル

圧縮強度データが得られ、そこから平均圧縮強度と保証圧縮強度が求められた。なお供試体 No.81 のみコア抜きが不可能であり強度測定できなかった。80 供試体×９コア全体の平均圧縮強度=17.3N/mm^2、保証圧縮強度=9.2N/mm^2 である。強度評価のできた供試体 80 サンプル中、保証圧縮強度が 12N/mm^2 を上回ったのは 32 サンプル（全体の 40%）であった。

表２に４つの実験要因と平均圧縮強度、保証圧縮強度の関係を示した。要因別に見た場合、平均して保証圧縮強度 12 N/mm^2 を満たすのは単位水量+10 の時のみである。各要因の最も保証強度の高い組合せは①土置換率 75%、②単位水量+10、③細骨材率 30 または 40%、④締固め方法バイブレータであり、①〜③の条件を全て満たす配合の供試体の保証圧縮強度を見ると（表３）、供試体 No.07-09、13-15（以下「強度優良供試体」と呼称）の全てで締固め方法に関わらず 15 N/mm^2 以上を満たしていた。

表２　要因別の圧縮強度

実験要因		平均圧縮強度	保証圧縮強度
土置換率 So/S+So	75%	17.8	10.4
	50%	17.4	7.9
	25%	16.6	9.0
単位水量	-10	13.9	4.9
	±0	17.2	9.9
	+10	20.6	12.6
細骨材率 S+So/a	30%	19.0	10.3
	40%	20.0	11.6
	50%	12.9	5.5
締固め方法	たたき棒	16.7	9.7
	突き棒	16.6	6.7
	バイブレータ	18.8	11.2

（強度単位：N/mm^2）

表３　土置換率 75%, 単位水量+10, 細骨材率 30・40%の供試体の圧縮強度

供試体番号	締固め方法	C	So	S	G	単位水量 W		細骨材率 (S+So)/a	土置換率 So/(S+So)	平均圧縮強度 (N/mm^2)	変動係数 CV(%)	標準偏差	保証圧縮強度 (N/mm^2)
07	たたき棒	280	378	129	1246	210	+10	30	0.75	22.1	9.53	2.11	15.8
08	突き棒									26.1	7.48	1.95	20.2
09	バイブレータ									27.1	3.37	0.86	24.4
13	たたき棒	293	493	169	1044	220	+10	40	0.74	22.8	10.05	2.29	15.9
14	突き棒									23.0	11.22	2.58	15.3
15	バイブレータ									22.6	11.24	2.54	15.0

C, So, S, G, W単位：kg/m^3　　　■：変動係数8%以下、保証圧縮強度12N/mm^{2}以上

以上より強度面では「①土置換率 75%、②単位水量+10、③細骨材率 30 または 40%」の３配合条件を満足することが望ましいと判断した（意匠評価との関係については３・４章で後述）。

c）圧縮強度の予測式

次に目的変数を平均圧縮強度、説明変数を①セメント（C）、現場土（So）、川砂（S）、粗骨材（G）の重量、②細骨材率（S+So/a）、土置換率（So/S+So）、単位水量の２種類にとり、21 パターンの重回帰分析を行い、SMC の圧縮強度予測式の作成を試みた。実験要因を省いて決定係数の比較を行った結果の一部を表４に示す。最も決定係数が高かったのは、実験要因のうち締固め方法をバイブレータのみとした 27 供試体をベースに、細骨材率 50%を除く 18 供試体について上記①の説明変数を用いたものであり、決定係数 0.500、重相関係数 0.707 であった[*注3)]。なお表５に示す判定により決定係数は有意であり、説明変数の内訳では川砂の標準偏回帰係数が 62.8 と最も高かった。以下に重回帰式を示す。

$$強度(N/mm^2) = 8.08 \times C + 2.81 \times So + 2.82 \times S + 2.70 \times G - 7.03 \times 10^3$$

C:セメント(g)　So:現場土(g)　S:川砂(g)　G:粗骨材(g)

表４　決定係数と重相関係数

	選抜方法	供試体数	決定係数	重相関係数
―	全バイブレータ	27	0.2138	0.4624
1	変動係数8%以下のみ	8	0.2524	0.5024
2	保証圧縮強度12N/mm^2	16	0.0390	0.1974
3	単位水量-10を除く	18	0.2964	0.5444
4	細骨材率50%を除く	18	0.5004	0.7074
5	単-10, 細50%を除く	12	0.2239	0.4732

表５　重相関分析の判定

	C	So	S	G	平均圧縮強度
C	1	0.9000	−0.8570	−0.6139	−0.0997
So	0.9000	1	−0.7984	−0.7218	−0.2422
S	−0.8570	−0.7984	1	0.1988	0.3627
G	−0.6139	−0.7218	0.1988	1	−0.1436
平均圧縮強度	−0.0997	−0.2422	0.3627	−0.1436	1

説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数
C	8.0753	37.7289
So	2.8086	49.1376
S	2.8211	62.7834
G	2.6992	46.0043
定数項	-7026.5677	

変動	偏差平方和	自由度	不偏分散	分散比	P値	判定
全体変動	877.195114	17				
回帰による変動	438.942599	4	109.7356	3.2551	0.0467	○
回帰からの残差変動	438.252515	13	33.7117			

３．意匠評価

（１）京都東山地区の外壁テクスチュアとの類似性（物理量）

a)社寺仏閣の直立壁面のテクスチュアと色彩調査

供試体81サンプルの意匠評価については、京都東山地区の社寺仏閣の直立壁面のデジタル写真画像（以下「テクスチュア画像」と略）に基づく物性的類似性、すなわち東山地区の伝統的壁面テクスチュアとどれだけ似ているか？という観点と、２節で述べる被験者の印象評価（心理量）の２つの手順で行った。前者に関わる東山地区の調査概要・条件とテクスチュア画像例を図２、３に示した。当該地区の調査で得られた直立壁面サンプル数は274である。

サンプル数	土壁	木材壁	モルタル壁	漆喰壁	石壁	コンクリート壁	その他	合計
01	5	17	22	15	5	2	0	69
02	3	19	13	29	7	0	0	71
03	18	10	7	9	1	0	1	46
04	16	23	15	27	6	1	0	88
合計	45	69	57	80	19	3	1	274

テクスチュア画像の撮影・加工条件
①高さ170cm、対象物からの距離50cm離れた地点より撮影
②撮影器具FUJIFILM Fine Pix 40i
③画像を512×512pixelサイズ，グレースケールに変換

調査対象サンプルの選定条件（全てを満足する壁面）
①街路沿いの寺社仏閣の直立壁面　②交差点・街路中央から見て面積量の最も多い直立壁面
③光が均質に当たっている直立壁面

調査エリア（調査日時2003. 11. 27-12. 19, 13:00-15:00の晴れ時のみ）
01：東大路以西・三条～丸太町付近　02：南禅寺・永観堂・聖護院周辺　03：祇園・建仁寺周辺
04：円山公園・知恩院・高台寺・石塀小路二年坂・三年坂・清水寺周辺

色彩調査法：JIS標準色票（JIS Z8721準拠，光沢版）を用いた視感測色

図２　東山地区の色彩・テクスチュア調査概要・条件

図３　土壁のテクスチュア画像例

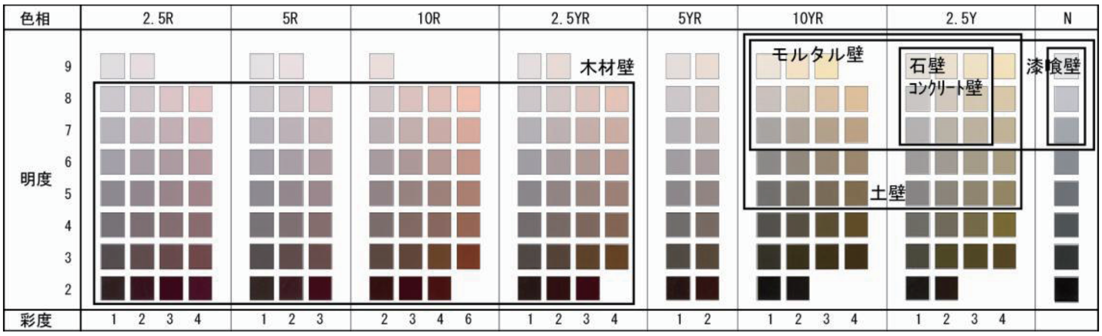


図４　東山地区・社寺仏閣の直立壁面のカラーチャート

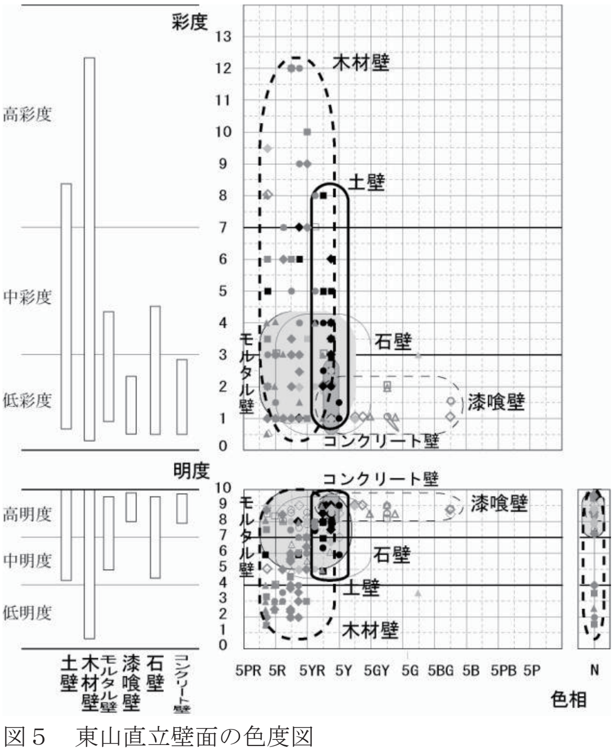


図５　東山直立壁面の色度図

この際、テクスチュア調査と並行して廃陶器微粉末ｺﾝｸﾘｰﾄ開発[5]をはじめとする意匠壁体開発用のデータ蓄積を目的に、JIS標準色票を用いた視感測色による色彩調査も併せて行った。なお測色は気候や日照条件が等しい時間に行っている。

色彩調査結果を図４、５に素材別カラーチャートと色度図分布で示した。これを見ると①土壁は９割以上が色相2.5Yであり低～中彩度まで分布している、②木材壁は弁柄を混入しているため色相はR系に集中しており、経年変化の影響から明度・彩度とも広範囲に分布している、③モルタル壁は色相10YR、2.5Y、Nの中・高彩度に、漆喰壁は色相Nの低彩度・高明度に、石壁・コンクリート壁は色相2.5Yの低彩度に偏っている、以上の地域色傾向を得ることができた[6]。

b)目標とするスペクトル曲線の範囲設定と判定パラメータ

色彩とは別に、供試体の「肌理」に注目したテクス

チュア画像に基づく物性的類似性の判定には、二次元高速フーリエ変換ソフト「TDFFT」を用いて画像データを周波数–パワースペクトル曲線(以下「スペクトル曲線」と略)に変換したデータを採用した。スペクトル曲線とはテクスチュア画像の粒子の大きさや濃淡を周波数とパワースペクトルの対数値としてグラフ化したもので、各テクスチュア画像の肌理を43個の点からなる波形として表示するものである[7)]。

まず意匠面での目標となる波形を導くために、東山調査から得られた274サンプルのうち土壁45サンプルのスペクトル曲線に注目し、グラフのLOG P、LOG fをそれぞれ5等分したメッシュを作成し、そのマスを通過する曲線の本数を数値に置き換えた（但し1つの曲線が小刻みな振幅によって同じマスを複数回通過する場合は全て1カウントとしている）。更にそこからまとまりのある領域を確定するため、閾値を3とし、2値画像と見立て収縮・膨張処理を行いノイズ除去の上、目標範囲を定めた(図6)。

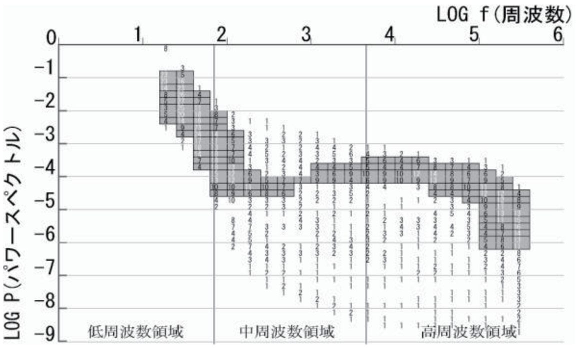


図6　土壁から得られた目標範囲

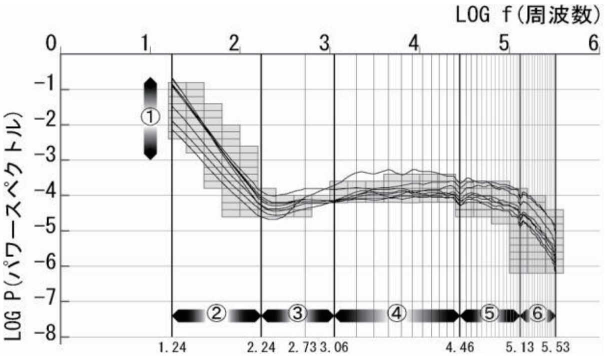


図7　土壁12スペクトル曲線と始点･傾きの6パラメータ

表6　目標数値範囲とグループ毎の該当状況

目標範囲	①始点	②傾き	③傾き	④傾き	⑤傾き	⑥傾き
最小値	−2.12	−3.89	−0.61	−0.21	−1.07	−3.39
最大値	−0.68	−2.49	1.10	0.33	−0.14	−2.49

ランク	グループ	①始点	②傾き	③傾き	④傾き	⑤傾き	⑥傾き	該当数
A	G08	−1.83	−1.53	−0.09	−0.21	−0.87	−2.88	5
A	G01	−2.70	−1.22	0.54	−0.10	−0.91	−3.27	4
A	G02	−2.11	−1.65	0.15	−0.08	−0.28	−2.47	4
A	G18	−1.53	−1.31	−0.30	−0.56	−0.87	−2.56	4
B	G03	−0.93	−1.78	−0.23	−1.12	−1.34	−2.89	3
B	G06	−1.79	−1.40	0.06	−0.48	−1.13	−3.05	3
B	G07	−1.56	−2.00	0.61	−0.56	−1.26	−3.21	3
B	G09	−1.50	−0.74	−0.37	−1.28	−1.41	−2.97	3
B	G10	−2.07	−0.22	−0.43	−1.06	−1.34	−2.68	3
B	G11	−1.47	−1.01	−0.37	−0.96	−1.18	−2.72	3
B	G12	−0.84	−2.34	−0.06	−0.82	−1.09	−2.66	3
B	G15	−1.64	−1.15	0.41	−1.20	−1.30	−2.91	3
C	G04	−2.60	0.23	0.01	−1.20	−1.44	−2.86	2
C	G05	−2.31	−0.81	0.20	−0.57	−1.25	−2.95	2
C	G13	−2.34	−0.33	0.32	−1.11	−1.38	−2.92	2
C	G14	−0.55	−2.29	−0.88	−0.83	−0.96	−2.36	2
C	G16	−2.22	−0.56	0.22	−0.88	−1.21	−2.81	2
C	G17	−2.96	−0.19	0.84	−0.99	−1.51	−3.30	2
C	G19	−0.80	−2.19	−0.69	−0.59	−0.69	−2.14	2
C	G20	−1.38	−0.87	−0.84	−0.87	−1.11	−2.64	2

ランク　（網掛け）：目標範囲への該当

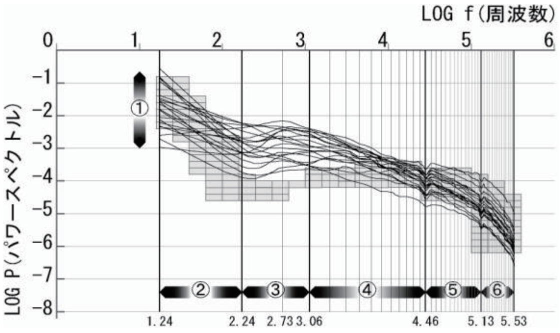


図8　20グループのSMC供試体のスペクトル曲線

次に目標範囲に対するSMC81供試体のテクスチュア画像のマッチングについて、本研究では波形のもつ始点・傾きのパラメータに注目して判定した。具体的には画像の特徴を表す周波数領域で曲線を区切り、各区間の傾きにより評価する方法を用いている[*注4)]。区間については、土壁45サンプルのうち、スペクトル曲線が目標範囲内にある12サンプルの曲線波形(以下「選抜土壁曲線」、図7）をもとに、LOG F=3.06、4.46、5.13の各値に加え、LOG F=1.24〜3.06では低周波領域での画像ムラを把握するためにLOG F=2.24で区分した。なおこのケースではLOG F=5.13〜が最も細かなテクスチュアに相当する。以上5区間の傾きに始点値を加え、総計6パラメータを採用した。

c)スペクトル曲線の始点･傾きによる意匠評価

表6上部に選抜土壁曲線から導かれた各パラメータの最小値と最大値を示した。SMCの全81供試体のスペクトル曲線については波形の類似性より20グループに類型化[*注5)]し(G01〜20とナンバリング)、各グループ内の43個のパワースペクトル値の平均を取り、その値に最も近しいスペクトル曲線をもつ供試体を代表サンプルと定義した。図8に20グループの代表サンプルのスペクトル曲線を示した。またグループ毎に代表スペクトル曲線の6パラメータ値が目標範囲にどれだけ該当しているかを確認し、該当数に基づき20グループの意匠性をA〜Cの3ランク

に順位付けした（表６下部）。２章で触れた強度優良供試体はG18(No.13･14)がＡランク、G19(No.7･8･9)とG20(No.15)がＣランクであった。

（２）ＳＤ法による意匠評価（心理量）

次に被験者の感覚（心理量）による意匠評価を目的として、20グループの代表サンプルのテクスチュア画像を用いたSD法を行った。

a）ＳＤ法と因子分析

SD 法の被験者は立命館大学理工学部デザイン系 B1～M2 の学生 30 名である。彼らに各グループの代表供試体のテクスチュア画像を提示して 30 形容詞対×7 段階評価を行ってもらった。そのデータを用いて因子分析（バリマックス法）を行い、２つの因子軸で累積寄与率 90.64%を得た。第１軸の寄与率の高い形容詞対は「上品な−下品な」「心地よい - 心地悪い」「美しい−醜い」であり「情緒性因子」と解釈した。第２軸寄与率の高い形容詞対

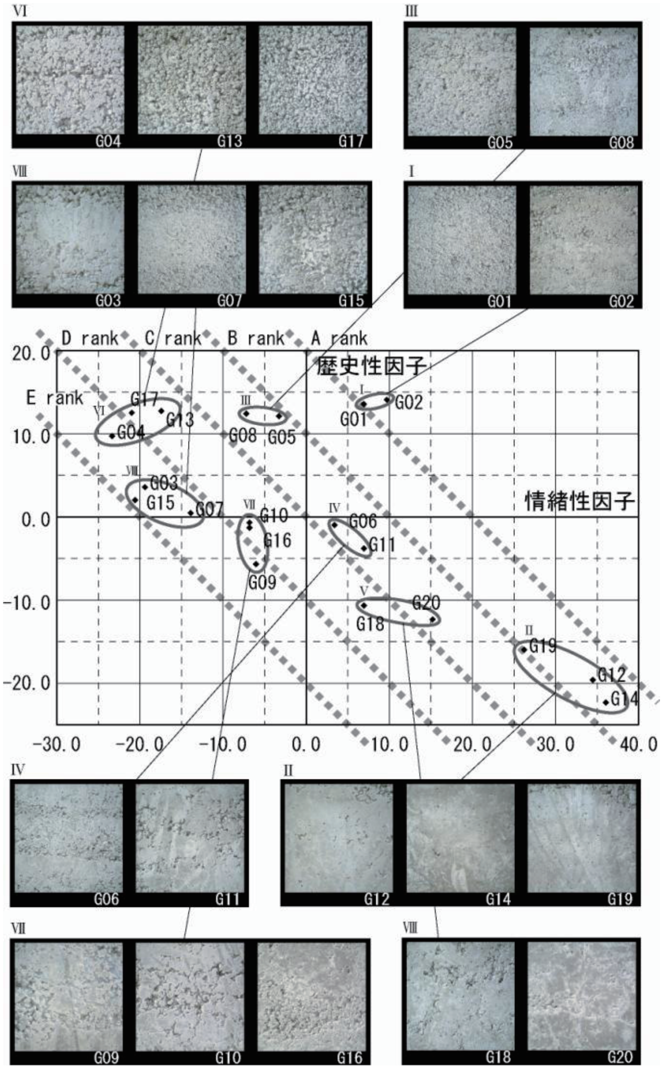


図９　因子得点プロット

表７　スペクトル曲線の始点･傾きデータの形容詞対･因子得点への重相関

形容詞対	決定係数	重相関係数
ツルツルした-ざらざらした	0.75	0.86
洋風な-和風な	0.80	0.89
荒い-細かな	0.76	0.87
冷たい-暖かい	0.78	0.88
落ち着きのない-落ち着きのある	0.75	0.86
丈夫な-もろい	0.73	0.85
醜い-美しい	0.67	0.82
粗雑な-繊細な	0.75	0.87
質の悪い-質の良い	0.72	0.85
つぶつぶでない-つぶつぶな	0.75	0.87
風情のない-風情のある	0.75	0.86
下品な-上品な	0.71	0.84
特殊的な-普遍的な	0.65	0.81
騒々しい-静かな	0.75	0.86
京都らしくない-京都らしい	0.68	0.82
疎な-密な	0.68	0.83
哀愁のない-哀愁のある	0.79	0.89
ごみごみした-すっきりした	0.74	0.86
軟らかい-硬い	0.75	0.87
潤った-乾燥した	0.53	0.73
心地悪い-心地よい	0.64	0.80
不潔な-清潔な	0.71	0.85
現代風な-古風な	0.77	0.88
不快な-快い	0.64	0.80
目立った-目立たない	0.84	0.91
派手な-素朴な	0.72	0.85
近代的な-伝統的な	0.76	0.87
不連続な-連続的な	0.62	0.79
貧しい-豊かな	0.61	0.78
ばらばらな-均一な	0.70	0.84
因子得点	**決定係数**	**重相関係数**
情緒性因子	0.73	0.85
歴史性因子	0.75	0.87
合計因子	0.77	0.88

は「京都らしい - 京都らしくない」「和風な - 洋風な」「伝統的な - 近代的な」であり「歴史性因子」と解釈した。これらを踏まえ各グループの２軸プロットとそれに基づく順位付けを図９に示す。因子得点の２軸合計を見ると、G01 と G02 が最も高かった。強度優良供試体は G18(No.13･14)がＤランク、G19(No.7･8･9)と G20(No.15)がＣランクであった。

b）因子得点に対する始点･傾きデータの説明度

次に、SD 法の形容詞対得点ならびに因子得点を目的変数とし、始点･傾きの数値を説明変数とした重回帰分析を行った。決定係数と重相関係数を見ると（表７）、形容詞対･因子得点共に「良い」のレベルにあり、特に「洋風な－和風な」「目立った－目立たない」では決定係数が「非常に良い」のレベルであった[*注３)]。以上より、スペクトル曲線を用いた意匠評価の方法については、始点･傾きによる物理量の定量化が心理量との相関でもっとも妥当であることが確認できた。

表８　SMC 供試体の総合比較（写真左の数字は供試体サンプルのナンバー）

グループ	サンプル	平均圧縮強度(N/mm²)	保証圧縮強度 (N/mm²)	保証圧縮強度 12以上	意匠評価 東山壁面(物理量)	意匠評価 因子得点(心理量)	意匠評価 共に満足するもの
G01	75	6.2	2.04		A	A	■
	81	−	−				
G02	79	10.7	4.35		A	A	■
	80	7.5	5.14				
G03	40	21.4	14.00	■	B	E	
	42	19.0	12.69	■			
	63	23.6	11.30	□			
G04	2	15.2	5.15	□	C	E	
	18	10.3	−2.95				
	19	9.2	1.92				
	25	6.5	3.70				
	36	5.9	−1.27				
G05	49	7.9	2.77		C	C	
	56	12.9	8.65	□			
	58	13.0	6.26	□			
	59	17.2	8.14	□			
	61	16.0	11.16	□			
	68	22.4	18.54	■			
	70	9.3	3.04				
	73	11.6	7.24				
G06	35	21.5	9.05	□	B	C	□
	52	12.8	−3.09	□			
	77	20.7	11.56	□			
G07	72	25.3	18.25	■	B	E	
G08	64	15.5	8.75	□	A	C	□
	65	14.8	5.01	□			
	71	14.0	8.57	□			
	74	10.6	3.24				
	76	14.4	7.57	□			
G09	24	4.5	−0.15		B	E	
	31	21.9	13.02	■			
	33	19.5	10.49	□			
G10	3	3.9	−0.30		B	D	
	16	22.2	12.13	■			
	20	13.4	7.32	□			
	22	21.2	14.76	■			
	26	8.8	2.69				
G11	4	21.0	16.19	■	B	C	□
	5	24.1	13.33	■			
	6	26.6	23.31	■			
	10	22.5	17.19	■			
	12	27.6	22.29	■			
	17	15.7	6.22	□			
	23	12.8	−4.50	□			
	28	21.8	12.33	■			
	30	19.7	15.65	■			
	38	16.9	7.26	□			
	41	15.4	−2.01	□			
	44	14.3	−4.50	□			
	45	23.9	17.29	■			
	46	21.9	15.09	■			
	47	13.2	7.57	□			
	48	24.4	18.19	■			
	51	3.8	−2.70				
	62	16.6	8.50	□			
	78	26.0	18.68	■			
G12	39	20.7	12.67	■	B	B	□
	54	21.7	17.77	■			
G13	1	16.3	8.53	□	C	D	
	27	4.2	−1.72				
G14	37	18.5	9.93	□	C	B	□
	29	25.3	19.26	■			
G15	43	20.3	14.78	■	B	E	
	57	22.1	−5.02	□			
G16	21	25.9	20.09	■	C	D	
	34	18.6	10.29	□			
	50	8.4	−11.05				
	53	7.7	−2.55				
G17	55	7.5	3.87		C	D	
G18	11	23.0	18.07	■	A	D	
	13	22.8	16.33	■			
	14	23.0	15.72	■			
G19	7	22.1	16.17	■	C	B	□
	8	26.1	20.56	■			
	9	27.1	24.53	■			
	32	25.7	11.35	□			
	60	24.5	13.35	■			
	66	25.1	19.99	■			
	67	23.3	17.96	■			
	69	28.6	23.93	■			
G20	15	22.6	15.40	■	C	C	

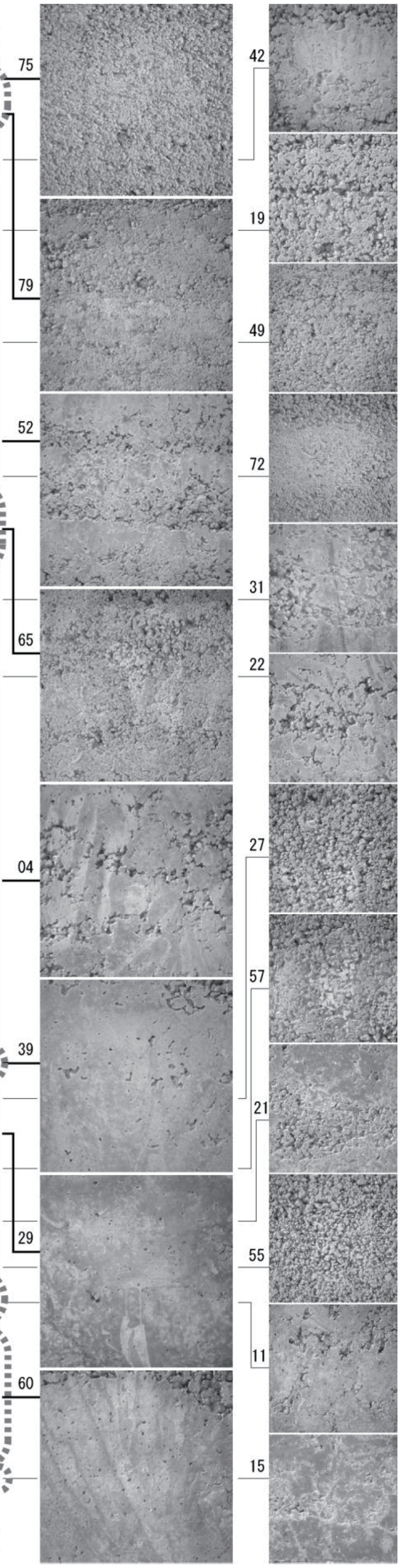
保証圧縮強度

■：保証圧縮強度12N/mm² 以上

□：平均圧縮強度12N/mm² 以上

意匠評価

	東山・類似性	因子得点
■	A B C	A B C D E
□	A B C	A B C D E



４．ＳＭＣの特性

２・３章で得られた強度評価と意匠評価に関する知見を統合した結果を表８に示した。G01、G02 は最も意匠評価に優れるが、保証圧縮強度が満足ではない。一方、G12、G19、G20 等は安定した保証強度を有する反面、意匠面で東山壁面との類似性に乏しく、画像を見ても従来のコンクリートのもつテクスチャーと特筆すべき差が見られない。SMC の特性として、概ね意匠評価の高いサンプルは強度発露が十分ではなく、逆に一定の保証強度を持つものは一般コンクリートの素材感と近しくなり、両者の境界は微妙な配合要因の変化によって導かれていることがわかる。

２章で扱った強度優良供試体については、No.13 と 14 が G18 に属しており、東山壁面との類似性もＡランク、かつ保証強度は安定して 15N/mm^2 以上ある。以上から強度と意匠性を両立する SMC として、本研究では「土置換率 75%、単位水量+10、細骨材率 40%、締固め方法=たたき棒・突き棒」が、施工性に検討の余地があるものの、設定条件を満たす SMC と位置づけられる。また意匠性を重視して G01 や 02、08 等の SMC を用いる場合、保証圧縮強度５ N/mm^2 程度で構造設計をする可能性もあるが、これには強度の安定発露や法的制限など今後にも課題を残している*注6）。

５．まとめ

本報では圧縮強度実験と、東山壁面調査に基づくテクスチュアのスペクトル曲線による評価、SD 法･因子分析などを通して SMC の特性について考察を加えた。本報で明らかになった点は以下のとおりである。
①保証圧縮強度の確保のためには配合要因として「①土置換率 75%、②単位水量+10、③細骨材率 30 または40%」が 1 つの目安となる。配合要因による圧縮強度への重回帰分析では、細骨材率 50%を除いた組み合わせの決定係数が 0.50 と最も高く、この場合、説明変数としては川砂が最も寄与率が高かった。
②テクスチャーによる SMC 意匠評価では、SD 法の形容詞対得点･因子軸得点と、スペクトル曲線の始点･傾きデータは良く重相関していることが明らかとなった。
③強度評価と意匠評価を統合すると、SMC では概ね意匠評価の高いサンプルは強度発露が十分ではなく、逆に一定の保証強度を持つものは普通コンクリートのテクスチュア感と近しくなり、その境界は微妙な配合要因の変化によって導かれている。意匠性を重視した配合による SMC を用いる場合、保証圧縮強度５ N/mm^2 程度で構造設計をする可能性も残されている。

注釈

１） 文献３)pp.199-206：建築学会の圧縮に対するばらつきの考え方は「調合強度=0.85×(品質基準強度+予想平均気温による補正値)+３×標準偏差」である。0.85 は不良品を踏まえた係数であるが、本研究では研究の第一段階としてより厳しくかつ簡易な条件とするために係数と補正値を省いて計算式を定めた。
２） 実験要因については、供試体表面の意匠性に与える影響を概ね把握するために予備実験を踏まえ策定した。具体的には設計基準強度を $18N/mm^2$ に仮設定し W/C=0.87と固定した後、単位水量の調節を行い土壁的なテクスチュアが得られたところで、更に細骨材率を調整し、ここで示す実験要因を導いている。
３） 文献４)：決定係数/重相関係数では「非常に良い=0.8以上/0.9以上」「良い=0.5以上/0.7以上」とされる。
４）その他に①43個の点が目標フロー範囲に含まれる数、②曲線が目標フローのマスを通過する回数、③43個の点のうち目標フロー範囲内に存在しないLOG P値の誤差、④曲線と目標フロー範囲に囲まれた面積差、以上４つの方法で順位付けを検討したが、それぞれ順位付けは一定しないため、本研究では採用しなかった。
５）81供試体の画像を類型化した理由には、①スペクトル曲線の波形がほとんど同じサンプルが一定数見られることに加え、②SD法において30形容詞対×７段階評価における被験者への負担軽減がある。
６） 強度評価実験において供試体内部の空隙によりコア抜きの不可能なサンプルが１例(No.81)あったことから、同一配合でも締固め方法などによっては強度発露しない可能性を現時点で否定することはできない。安全性をふまえると保証強度をどの程度にするかは、更なる検証実験を繰り返す必要があろう。

参考文献

１）川村政史･笠井芳夫：粘性土および砂の見掛けの表乾状態に基づき配合したソイルセメントコンクリートの強度･密度に関する実験研究，コンクリート工学論文集第８巻第１号， pp.215-224，1997
２） 加藤誠ほか：高強度ソイルセメントに関する研究･その１，第 36 回地盤工学研究発表会， pp.745-746， 2001
３） 日本建築学会：建築工事標準仕様書 JASS ５鉄筋コンクリート工事，丸善，2003
４） 菅民郎：多変量統計分析，現代数学社，1996
５）井上真澄･平尾和洋･児島孝之：廃陶器微粉末を用いたコンクリートの力学的特性および色彩評価，コンクリート工学年次論文集 Vol.28，No.1，p.1601-1606，2006
６）川崎敏弘･加藤光彦･平尾和洋･山本直彦：京都東山山麓伝統的地区における地域色と直立壁面材料の視覚的テクスチャーの定量化，日本建築学会近畿支部研究報告集第 44 号計画系，pp.461-464，2004
７） 北垣亮馬･兼松学･野口貴文･友澤史紀：2 次元フーリエ変換による外装材の汚れの定量的評価に関する基礎的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集 Vol.A-1，pp.321-322，2000
８）井上真澄･平尾和洋･高木宣章･児島孝之：土を混和したセメントモルタルの強度発現性に関する研究，コンクリート工学年次論文集 Vol.27， No.1，pp.433-438，2005
９） 上田崇博･川崎敏弘･平尾和洋･山本直彦･井上真澄：京都における防火と耐震性を両立する歴史的都市建築意匠材料の開発とその意匠性の定量的評価に関する研究，日本建築学会近畿支部研究報告集第 45 号計画系，pp.265-268，2005