建築外装構成要素の幾何学特性がパターン知覚の印象評価に与える影響

—外装材のランバス状パターンに関する検討—

EFFECT OF GEOMETRIC PROPERTIES OF BUILDING FACADE ELEMENTS
ON IMPRESSIVE EVALUATION

—Rhombic pattern of building facade—

細谷基之*, 橘高義典**, 田村雅紀***

Motoyuki HOSOYA, Yoshinori KITSUTAKA and Masaki TAMURA

In this paper, the effect of geometric properties of building facade elements on the visual evaluation was investigated. By the data of observation on the actual state of recent building facades which were designed by worldwide famous architects, the rhombic pattern was selected in this study as an important elements affecting the building impression. The factors influencing the visual evaluation of rhombic patterns such as dimension and rhombic pattern edge angle of element were analyzed by performing the sensory test using the simulated specimen. As the results of the sensory tests, the rhombic patterns which has medium edge angle and medium dimension of element tends to obtain relatively good evaluation.

Keywords : external materials, texture, sensory test, impressive evaluation, rhombic pattern

外装材、テクスチャ、官能検査、印象評価、ランバス状パターン

1. 研究の背景と目的

現在、建築外装のデザインは、コンピュータによる構造解析ならびに施工技術の向上などにより、従来のように構造形式や内部空間による制約を受けずに、比較的自由に構成できるようになった¹⁾。つまり建築外観の見せ方の価値が高まり、外装が「表層」という1つのデザイン領域として確立される傾向にあるためと考えられる。さらには、外装の構成要素に構造を負担する性質を与えた上で、その外装により構造形式や内部空間が決定されるような事例も見られる。一方で、既存の学校建築を対象に、躯体柱間に鉄骨ブレースを挿入して耐震補強をする事例²⁾が増えており、外装の印象に影響を与える可能性も考えられる。このような状況においては、建築外装の印象が重要視される可能性があり、外装の構成要素を設計する際に、形状、モジュールの寸法を決定するための新たな手がかり・評価データなどが必要となってくる。

建築外装におけるテクスチャを扱った研究は2つに分けられる。1つは素材の表面性状としてテクスチャを捉えたもの³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾、もう1つは外装を構成する要素の形状とその配列による幾何学的印象として捉えたもの⁸⁾である。後者に関するパターン知覚の研究には、心理学分野のものが多数あるが、建築外装を幾何学パターンとしてとらえた研究事例は少ない。

本研究では、建築外装の構成要素の幾何学的な性質が印象評価に

与える影響を検討する。その目的は、建築外装の構成要素であるパネルの形・大きさに注目したパターンとしての外装の見え方を官能検査により定量的に把握するとともに、繰り返される要素によって構成された建築外装が、どのように知覚され、印象を与えるかを予測するための基礎的な知見を得ることにある。

研究方法は、外装パターンについて分析を行い、それを類型化する。続いて研究対象としてランバスパターンを設定し、官能検査のための事前調査として実際の建築事例の調査を通してランバス状パターンの構成手法を調べる。そして、官能検査により印象評価を行い、建築外装構成要素の幾何学特性がパターン知覚の印象評価に与える影響を検証する。

図1 モデル化プロセス

図2 パターン分類図

* 首都大学東京大学院工学研究科建築学専攻 修士課程
** 首都大学東京大学院工学研究科建築学専攻 教授・工博
*** 首都大学東京大学院工学研究科建築学専攻 助手・博士(工学)

Graduate Student, Dept. of Archi., Graduate School of Eng. Tokyo Metro. Univ.
Prof., Dept. of Archi. Graduate School of Eng. Tokyo Metro. Univ., Dr. Eng.
Research Assoc., Dept. of Archi. Graduate School of Eng. Tokyo Metro. Univ., Dr. Eng.

2. 外装パターンの幾何学特性の分析

2.1 外装パターンの分類

実際の建築外装は様々な材料で構成され、それらは様々な形状のパネル・部材に加工され建築の外壁として割付けられている。本研究では、この外装パターンの構成要素の幾何学特性を調べるため、図1のように、外装パターンを線図パターンへ変換した上で、このパターンを図2のように大きく8グループ（フラット、縦ルーバー、横ルーバー、直交グリッド、縦ズレ、横ズレ、ランパス、ランダム）に分類をした。なお、図2の分類は「表層」を扱う代表的な建築家の作品⁹⁾などを参照した。

2.2 各種外装パターンの特徴

建築外装を単純なパターンに置き換えると、建築の構造や内部構成の規則性が表れているものと、建築を包むものとして内部に対して自由に構成されたものに分けられ¹⁰⁾、それらは、縦ルーバー、横ルーバー、直交グリッド、縦ズレ、横ズレのグループとランパス、ランダムグループで構成されると考えられる。前者は建築の柱、梁、壁、スラブなどの垂直水平材を構成要素とするパターンであり、建築のイメージを想起させる一般的な外装パターンといえる。後者は、垂直水平の要素がなく、建築内部の構成とは乖離している自由な形、大きさの要素によって構成された表層としての外装パターンとして位置づけられる。

2.3 ランパス状パターンの事例抽出

以上の考察から、本研究では、表層として特徴的な外装として認められるランパス状パターン¹⁰⁾を取り上げる。

ランパス状パターンの幾何学特性と印象の関係を調べるために、ランパス状外装を採用している建築事例を抽出・分析し、表層としてのランパス状外装構成の決定要因や幾何学特性を明らかにする。以下の①、②、③、④に、事例抽出のための条件を示す。

- ①斜交材を使用したランパス状外装により構成されている。
- ②外装が建築の構造や内部構成から影響を受けずに、デザインされた表層であること。
- ③西暦1999～2005年に計画もしくは竣工した現代建築。
- ④外装の使用材料は限定しない。

2.4 ランパス状外装の事例分析

表1に、上記①～④のランパス状外装抽出条件より抽出した10件の事例を示す。これらの事例における外装構成手法の分析結果より、ランパスグリッドの構成要素である等辺四角形の「大きさ」、「形状」を決定する要因には様々な手法があることが確認された。

事例(d, f, j)では、ランパス状外装が複雑で不定形な形態を覆っており、コンピュータによる構造解析の結果、応力が集中する部分を補うようにパターンの密度を変化させる、材の径を太くするなどの

表1 事例分析

建築年	建築規模	外装構成法
建築用途	仕上げ材料	
a	1999 地下2階 地上14階 延床面積9396.80㎡ オフィス	外部に露出した竹で編んだ籠のようなランパスグリッドのチューブ構造により、室内を無柱空間にし、また建物全体を地下1階レベルから約12.5m持ち上げることににより足下に開放感を得ている。
b	2002 地上2階 高さ10mのタワー 展望台	不規則な形のために紙粘土でつくられた模型をベースにデジタルイメージをつくり、さらに高さ2mの模型をつくりディテールをデザインした。構造は72本の60mm角の長いルーバーを、現場で曲げ600以上のジョイントで接合されている。
c	2002 4.2m×16.5m×16.5m カフェ	網状にフラットバーを交差させることで互いが互いの座屈を抑えるというヒエラルキーのないシステムによって横補剛効果を得ている。各部材は12mm, 20mm, 25mm, 35mm, 50mmの5種類の厚さが与えられ、構造強度によってそれぞれの板厚は最小に抑えられている。
d	2003 地下2階 地上7階 延床面積2860.36㎡ ショップ	ファサード、構造、空間は表層のランパスグリッドという同一のシステムにシェイクンされており、結晶のように尖った形態を覆っている。幾何学的なランパスグリッドはプラグから幅3.2m、高さ2.0mという寸法が提示されていた。縦シャフトと外殻格子とで鉛直荷重を50%ずつ支持し、水平力はこの外殻格子がすべて負担している。
e	2004 地上49階 総面積46450㎡ オフィス	吹き抜けを1階あたり5' ねじることによって、構造体とファサード部材によるランパスグリッドが形成されている。外壁沿いのランパスグリッドのスチール構造は、その幾何学的構成によって、軽量でかつ本格的に強度を上げることができた。
f	2004 地下1階、地上10階 総床面積38300㎡ 図書館	プラットフォームが水平に互いにずれてできる形態をランパスグリッドが「網」をかけるようにして1つにつなぎ止めている。構造を支えるためにプラットフォーム間の重力と水平力を建物端部に逃がし、ねじれ抵抗が働かせるている。ランパスグリッドの密度は日射や構造などから割り出されている。
g	2004 地下1階、地上7階 主なスパン 12m×25m ショップ	表参道に並ぶケヤキを模した樹状のシルエットは外装でもあり、構造でもある。自立する自然物である木の形状もある構造的な合理性を持っているため、この木の形状を複製し重ね合わせることで、一見不規則だが構造を担うことができるような外装パターンを形成することができる。
h	2004 18.48m×22.48m×8.866m 交流施設	構造は木とスチールの混構造である。外壁沿いに軽量鉄骨の細い柱を1m間隔で立て、壁内側の杉の斜交材で支えている。屋根は、軽量鉄骨を2mグリッドで並べ、その下に杉材によるランパスグリッドの梁を組んでいる。45° 振ることによって上弦材と下弦材が対一の関係でなくなり、面全体で支え合う架構にできるため、22mスパンの無柱空間を実現した。
i	2006 (予定) 長径310m 短径260m 10万人収容 競技場	一次部材と二次部材からなる構造体はそのままの建築のファサードとなっており、互いに支え合う無数の斜め部材はランダムなランパスグリッドを形成しているが、一定の規則によって配置されている。24本のメイントラスの間を縦横に走る二次部材は外装材や排水管の支持とメイントラスの座屈止めとして働いている。
j	計画中止 建物高さ 231m 延床面積 405000㎡ オフィス	不規則なランパスグリッドのチューブ構造とコア、柱で鉛直荷重を支える。水平荷重はチューブ構造で負担し、それらの力の流れが不規則なランパスパターンとして表層に表れている。

表2 事例の要素寸法

	一辺の長さ [mm] $x=x'$	頂点の角度 [°] $\theta+\theta'=2\pi$	要素の寸法 [h×w mm]
a	7896	60°	13700×7860
d	1886.8	116°	2000×3200
e	1983.4	78°	3080×約2500
h	1414.2	90°	2000×2000

図3 事例の要素寸法概要

写真1 ランパス状外装の事例

配慮から構成に変化を生み出している。

事例(f)では、ランバスグリッドの全面に、ガラスパネルがはめられており、室内の熱収支に関わるエネルギー効率を配慮し、最適な日射量が透過するように、要素の形状を調整している。

事例(b)では、発注者側に建築外観の表現に明確なイメージがあるため、要素の大きさ、形状が細かく設定されている。

事例(c, g, i)では、パターンをランダムなものに構成し、従来の建築の外観や印象を与える表層のデザイン性が重視され、規則性のあるパターンや、自然における有機的なパターンの組み合わせによって全体が構成されている。

事例(a)は、高層建築の特徴を活かし、大きなスケールでランバス状外装を構成し、かつ大空間フレームによりボリュームを浮かす構造を担い、足下に開放感を与えている。

事例(e)は、逆に外壁沿いの巨大なランバス状の構造体を外装の内側に配置しており、外装は構造体を作るランバスパターンをさらに小割りにしたガラスパネルで覆ってスケール感を抑えている。

全体的に、ランバス状外装の事例には、ランバスグリッドをなす外装の斜交材が、鉛直シャフトやスラブなどの垂直水平材と接続することで相互扶助効果を確保するという共通性が見られ、構造的にも有効となる外装パターンといえる。

以上より、ランバス状外装の構成要素である等辺四角形の形状の決定要因は、構造、日射の透過度、発注者の要求など様々な要因で構成されるが、表2および図3に示す1/200の事例の要素の寸法概要を見ると、大きさは、事例aを除く3事例は一边の長さは1000〜2000mmの要素によるパターンであり、構造的要因などによって特別な寸法が設定されない限り、一定範囲内の大きさが選択されていることがわかる。また、要素の形状については縦長な形の方が構造的安定性が得られることで、外装パターンに採用されやすい傾向があるが、 $\theta = 90^\circ$ 以下の極端に縦につぶれた要素のパターンになると採用されにくくなる傾向がある。

3. 実験方法

3.1 概要

ランバス状パターンの外装のテクスチャ知覚の印象評価に影響する要因を把握するために、等辺四角形の大きさと形状の異なる試料を用いて、印象評価で重要と思われる評価項目について官能検査を行った。

試料は表3に示す、一边の長さaを4種類、頂点角度 θ を11種類に設定し、これらを組み合わせによる44種類の試料を作成した。なお試料は、ランバス状外装の形状的特性と外装パターンの事例分析における構成手法による典型的な幾何学特性を考慮して作成したものである。なお、目地面積と試料全体の面積の比率を一定とするため、効果的な外装パターンを採用していると評価された事例dの外装を線図パターンへ変換し、目地面積比率を算定して、目地面積を試料全体の面積に対して25%になるように設定し、建築外装として認識するために等辺四角形は二重線とした。さらに、この検査では実際の建築外装を想定しているため、身長170cmの人物の点景を大きさの基準として試料の画像に添えた。この点景はあらかじめ、人の点景の書き込みにより、実際の大きさを想定できるかという試料のスケール感に関する事前調査を、数名の被験者に実施したところ、人の点景により、建築外装のスケールをイメージすることができるとの回

答を得た結果、本手法を採用した。以上のように作成した寸法108×152.74mm(1/50)の画像を高画質カラーレーザープリンターで光沢印画紙に出力し、官能検査の試料として使用した。図5にランバス状外装の試料サンプルを1/400で示す。官能検査は建築学を専攻する大学生、大学院生27人(男16人、女11人)を対象とした。なお、被験者の年齢や専門知識の有無が評価に影響を及ぼすと考えられるが、本研究では限られた年齢層、一知識層を対象とし、一定範囲の印象評価の傾向を導きだすことを目的とした検討を行った。また検査時、提示する試料は建築外装を想定し、これを線図パターンへ単純化したものであるという説明を文章で示し、外装材のパターンとして評価してもらうようにした。評価項目は、近年の建築デザイン専門誌における建築外装の評価に見られる代表的な形容詞から抽出した表4に示す5項目とし、評価項目の説明について表4に示した。それらを5段階の判断範疇で評価してもらい、その結果を尺度構成理論により定量化した。

4. 結果および考察

検査の結果を、要素の大きさ・形状別に解析し、要素の物理的変数と評価項目、および評価項目間の相関を検討した。

4.1 物理的変数と各評価項目の関係

物理的変数として、要素の大きさを決定する等辺四角形の一辺の長さ a と、要素の形状を決定する頂点角度 θ を設定する。心理的変数としては、表4に示す5つの評価項目を設定し、以下では、これらの相関について検討した。

4.1.1 要素の形状

図6(a)~(e)に頂点角度と各評価項目との関係を示す。頂点角度と

表3 ランバス状外装に関する物理的諸係数

変数	要素の大きさ (4種類)	等辺四角形の辺の長さ $a=b$ $a=250\text{mm}/500\text{mm}/1000\text{mm}/2000\text{mm}$ (size1/size2/size3/size4)
	要素の形状 (11種類)	頂点の角度 θ $\theta=15^\circ/30^\circ/45^\circ/60^\circ/75^\circ/90^\circ/105^\circ/120^\circ/135^\circ/150^\circ/165^\circ$
定数	要素間の距離	目地面積 試料全体の面積に対して25%とした。
	試料全体の大きさ	108×152.74mm(5400×7636.75mm)
	縮尺	1/50

図4 要素の決定則

図5 ランバス状外装の試料サンプル 1/400

表4 官能検査の評価項目

評価項目	「複雑性」	「集合度」	「好感度」	「新規性」	「方向性」
判断範疇	複雑な やや複雑な どちらでもない やや単純な 単純な	図形に見える やや図形に見える どちらでもない あまり図形に見えない 図形には見えない	好ましい やや好ましい どちらでもない やや好ましくない 好ましくない	新規性がある やや新規性がある どちらでもない あまり新規性がない 新規性がない	垂直性がある やや垂直性がある どちらでもない やや水平性がある 水平性がある
内容	パターンに対する一般的な評価	ここでは要素1つ1つが独立図形として見えるか、それらが曖昧になり平面として見えるかを評価する項目とする。	建築外装として好ましいパターンかの評価。	ここでは建築外装として新規性があるか、ないかを評価する項目とする。	頂点の角度に対する印象の変化。

図6 要素の形状と各評価項目との関係

図7 要素の大きさで各評価項目との関係

図8 各評価項目間の関係

は等辺四角形の特定位置の頂点の角度で要素の形状だけでなく、全体の配列を規定する項目である。正方形を45°傾けた等辺四角形のパターンが最も単純に感じられており、逆に縦横に細長い要素のパターンは複雑で新規性があると評価されていることがわかった。また集合度と好感度については頂点角度が90°前後では要素が独立した図形として知覚され、かつ好ましいと評価されている。角度と方向性では、等辺四角形の頂点角度が減少し、要素の形状が縦長になると、試料の面全体の視覚的印象であるパターンとしての方向性の

評価値は減少に転じている。これは、図5の試料30-2のように頂点角度が鋭角になると、隣接する要素同士の視覚的な相互干渉が起き、要素よりも大きなクラスター（要素の集合）が知覚の単位として見えるという現象¹⁴⁾によって説明することができる。

4.1.2 要素の大きさ

図7(a)～(e)では要素の大きさと各評価項目との関係を示す。

複雑性は要素の大きさが小さくなるほど一様に増加している。集合度では要素が小さなものは独立した図形として知覚されにくく、

size2、size3、size4の辺りで最大値を示し、size1では全体的に集合度の評価値が減少し、一つ一つの要素に対する視覚的認識が曖昧になる。これはsize1のように、人のスケールに比べて小さな外装パターンでは、1つの要素よりもそれを含むより大きなクラスターとして知覚されるようになることを示している。好感度はsize3で最大値を示すが、size3は一辺の長さが1000mmの等辺四角形のパターンであり、人のスケールに近い図形としても知覚されやすく、好ましさに重要な影響を及ぼしていると考えられる。新規性では全体的に評価が高い。これは、ランバス状パターン自体が建築の外装材として実際に目新しく、また従来の建築のもつ印象とは全く違ったものになるために高い評価が得られたと考えられる。方向性では、頂点角度が $\theta = 15^\circ$ 、 165° あたりでの大きさによる評価値の変動が大きく、小さな要素のパターンになると、要素が集合することで見えてくるパターンとしての方向性が知覚されるようになる。

4.2 各評価項目間の関係

5つの評価項目は複雑性、集合度、方向性などのパターンの幾何学特性を問う項目と、好感度、新規性など建築外装に対する個人的な嗜好量や既成概念を問う項目の2つのグループに分けられる¹⁵⁾。このうち個人的な感覚を示す好感度と新規性について他の評価項目との相関を検討する。

4.2.1 好感度

図8(a)-(d)に好感度と各評価項目との関係を示す。集合度と好感度の関係は相関が強く、図形が独立して知覚されると好ましいと評価されるという傾向が見られる。外装材としてパターンの要素はある程度の大きさを持ち、独立した図形として知覚される方が好まれることが確認できた。複雑性は新規性と同じような傾向があり、複雑性と新規性の相関が強いことがわかる。より単純と感じられるパターンが好感度において高い評価を得ている。つまり、角度が 90° 付近でsize3、4である要素のパターンは単純に感じられ、好まれる傾向があることを示している。また方向性と好感度のグラフを見ると原点を中心として円を描くように評価値が与えられており、角度によって方向性と好感度の評価値の関係が変化するような周期性があると思われる。

4.2.2 新規性

新規性と各評価項目との関係を図8(e)-(g)に示す。新規性と好感度では新規性がないと感じられるパターンが好まれる傾向があり、建築の用途や目的にもよるが外装として目新しいものが必ずしも好まれるわけではないことが確認された。複雑性は新規性との相関が強く、より複雑なパターンは目新しいという評価をうけることがわかった。また集合度と新規性との関係では、要素が独立した図形として知覚されるものは、やや目新しいという傾向が見られる。また要素が扁平な形状の場合、小さな寸法の場合など、独立図形としては知覚されないものは、新規性は全くないという傾向が見られた。方向性は新規性との相関は弱い、全体的に垂直性が感じられる外装パターンの方が水平性があると感じられるものより新規性の評価がやや高い。

4.3 事例分析と実験結果との関係

以上の実験結果について、2章で述べた事例分析結果と照らし合わせてみると、外装構成要素である等辺四角形は、実際には、構造や日射の透過度、顧客の要求など様々な決定要因で形状と大きさが決

定されるが、その大きさは実験で評価の高かったsize3に近い寸法であり、その形状は構造的に安定しているという理由から、縦長の形状の要素が採用されやすいと考えられる。このように、外装構成要素の形状や大きさは様々な要因で決められており、印象評価の観点のみから幾何学形状が規定されることはないが、結果的に、比較的印象評価の高い外装パターンが実際の外装の事例にも採用されていることが確認された。

5. まとめ

本研究から以下に示すことが明らかとなった。

- (1) 要素の等辺四角形の一辺が1000mmで単純な $\theta = 90^\circ$ の外装パターンで好感度の評価値は最大を示しており、本官能検査の範囲内で、ある一定の最適な大きさ、形が示された。
- (2) ランバス状パターンの外装構成要素が独立図形として知覚される場合は、好ましいと評価される傾向がある。
- (3) ランバス状パターンの外装構成要素が縦長形状の場合は水平性、横長形状の場合は垂直性が、試料面全体のパターンの視覚的印象として評価される傾向がある。
- (4) ランバス状パターンの外装が目新しいと感じられる場合は、外装材として好ましいという評価にはつながらない。
- (5) ランバス状外装の事例分析では、様々な要因で外装構成要素の形状や大きさは決められているが、結果的に比較的印象評価の高い外装パターンが採用されている。

参考文献

- 1) 梶橋修：構築されるマテリアリティ，建築文化 No. 662, pp. 94-95, 2002. 12
- 2) 中埜良昭，藤井賢志，楠浩一，久松嘉那子，岡田恒男：鉄筋コンクリート造学校建築の耐震補強に関する事例分析（その1 全体の概要），日本建築学会大会学術講演梗概集，C-2分冊，p. 30-31, 1999年
- 3) 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，1994. 7
- 4) 土屋潤，橋高義典，田村雅紀：建築石材仕上げの視覚的評価の及ぼす表面性状の影響に関する研究 その2 砂岩の表面性状が視覚的評価に及ぼす影響，日本建築学会構造系論文集，第584号，pp. 37-41, 2004. 10
- 5) 松山祐子，橋高義典，田村雅紀：景観材料のエイジング評価に及ぼす色彩特性の影響に関する研究 その2 レンガ風仕上げモザイクパターンがエイジング評価に及ぼす影響，日本建築学会構造系論文集，第586号，pp. 23-27, 2004. 12
- 6) 北村薫子，磯田憲生：内装材のテクスチャーが視環境評価に及ぼす影響 第5報 質感評価に基づいた建築仕上げ材の分類，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 435-436, 1999. 9
- 7) 稲本淳平，吉沢望，平手小太郎：テクスチャーの違いが室内の印象評価に与える影響 テクスチャーのパターンと色彩の分離，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.437-438, 1999. 9
- 8) 大野隆造，小室清隆，茶谷正洋：テクスチャーの視覚に関する研究 第5報 テクスチャーの知覚領域，日本建築学会計画系論文報告集，第395号，pp. 31-37, 1989. 1
- 9) a+u, 2002年2月臨時増刊 H&deM ヘルツォーグ・アンド・ド・ムロン 1978-2002, 2002. 2
- 10) 南泰裕：ランバス・グリッド，建築文化 No. 669, p. 116, 2004. 2
- 11) 新建築 2002年3月号別冊 大江匡 リキッド・スペース，pp. 140-145, 2002
- 12) 日経アーキテクチャー，pp. 48-58, 2004. 10. 4
- 13) 新建築，2004年11月号 pp. 108-115, 2004. 11
- 14) Kurt Koffka (著)，鈴木正弥 (訳)：ゲシュタルト心理学の原理，1998. 10
- 15) 大山 正他：新編 感覚・知覚 心理学 ハンドブック，pp. 946-965, 1994. 2

(2005年6月10日原稿受理，2005年12月2日採用決定)