

# 平面充填形と不規則性による壁面デザインの評価アルゴリズム

○小林 竜一\*<sup>1</sup> 前 稔文\*<sup>2</sup>

キーワード：平面充填 不規則性 壁面 三角形 六角形 評価アルゴリズム

## 1 はじめに

近年の情報技術の進歩は非常に著しく、デジタル環境の浸透によって建築・都市デザインに変化をもたらしたといえる。その1つとして、デザインにコンピュータアルゴリズムを用いたものが挙げられ、それによる建築・都市デザインの事例および研究が多く見られるようになった<sup>1)</sup>。

同様に、コンピュータサイエンスを用いた建築形態の創成を図り、筆者らは自然界に存在するかたちや現象に見られる特性や合理性を建築形態に取り込むことを試み、樹木の生成過程と同じシステムをもつ積層状のアーチ構造を提案することができた<sup>2)</sup>。本研究では、新たな展開として、ハニカム構造で知られている正六角形に着目した。このかたちは、自然界に存在する蜂の巣やトンボの複眼、亀の甲羅などに見られる平面充填形であるが、それぞれの環境等への適応のため、厳密にはひとつひとつ違った形状をしていると考えられる。そこで、ある決まった図形により充填された平面に不規則性を与え、より自然なかたちに近いと考えられる壁面のデザインの提案とその評価方法について示した<sup>3)</sup>。なお、壁面等の平面のデザイン例は多く示されているが<sup>4-5)</sup>、ここで示した平面形状は構造体としての強度も考慮した壁面デザインであり、不規則性による形状の評価に加えて骨組解析から強度に対する評価を考慮した壁面デザインとして提案している。本報告では、両者の評価に重みを加え、その割合による評価値の傾向を報告するとともに、不規則性による評価値の傾向について報告する。

## 2 初期形状の設定と評価方法

前章で述べたハニカム構造を構成する平面充填形の正六角形（2方向）に加え、正三角形と正六角形によるものを基本形状として扱う。これらの形状の左上を基点に、右方向にX軸、下方向にY軸として、それぞれ2:1となるようにX軸方向に7個、Y軸方向に3個の六角形を配置した。こうして設定した基本形状（図1～図3）に不規則性を与えるが、その際、充填する図形の一边の長さに対する割合としてランダム率  $R(\%)$  を設定し、壁面の四辺の形状が崩れないように節点を移動させた。

次に、形状評価について述べる。前述の通り、不規則性による形状の評価と、形状を壁面として扱った場合の骨組解析結果による評価の二つがある。まず、前者については、乱数を発生させて節点を移動させることにより基本形状

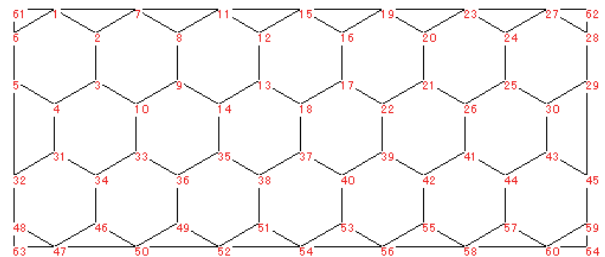


図1 六角形充填1 (形状1)

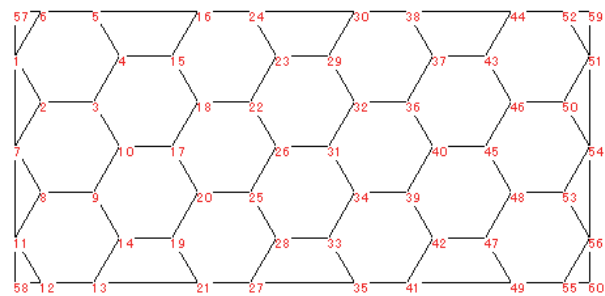


図2 六角形充填2 (形状2)

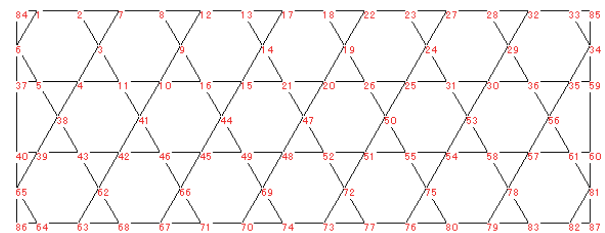


図3 三角形-六角形充填 (形状3)

に不規則性を与えている。この初期形状の不規則性の評価  $R1$  を次式のように定義した。

$$R1 = r \cdot (\sum R_{ij} / nm) / R_{\max} \quad (1)$$

ここで、 $R_{ij}$  は乱数による  $j$  行  $i$  列目の節点の変位量、 $nm$  は全節点数、 $R_{\max}$  は乱数による移動量の理論上の最大値でランダム率  $R$  により決まる。つまり、評価  $R1$  は節点の可能移動量に対する全節点の平均変位量に評価の重み  $r$  を乗じたものである。

一方、骨組解析による形状評価では、基本形状の骨組解析における最大の節点変位量  $D_{\text{base}}$  を基準値として用いる。同様に不規則性をもつ形状の骨組解析を行い、骨組解析に対する評価  $D1$  を次式のように定義した。

$$D1 = d \cdot (D_{\text{base}} - D) / D_{\text{base}} \quad (2)$$

ここで、 $D$  は骨組解析における最大変位量であり、評価

$D1$  は基本形状の最大節点変位量  $D_{base}$  に対する節点変位量  $D$  との差に、評価の重み  $d$  を乗じたものである。なお、骨組解析では、 $5\text{cm} \times 5\text{cm}$  の矩形断面の鋼材を用い、各節点を剛接合とした。また、下辺の各節点を固定支持とし、上辺の各節点に  $10\text{kN}$  の鉛直荷重を作用させた。

得られた不規則性に対する評価  $R1$  と骨組解析による評価  $D1$  を用い、形状モデルの評価値  $E$  を次式により求める。

$$E = R1 + D1 \quad (3)$$

なお、評価の重み  $r$  および  $d$  については、両者の割合の和が  $100\%$  となるよう設定する。こうして得られた形状は、評価値  $E$  が高いほど不規則性を持ちながらも、かたちとして成立する強度を満たす形状、つまり壁面デザインとしての評価が高いものとして位置づける。

以上の操作を繰り返し行い、評価値  $E$  の値が高い  $5$  つの形状、ならびに評価が最も低い形状をフォーム上に描き (図4)、各データを格納する機能を加えるプログラムを作成し、この一連の処理の流れを図5に示す。

### 3 形状の評価

#### 3.1 形状生成および評価の諸設定

三つの基本形状から得られた、不規則性のある平面充填形状を評価するが、その際、各事項について値を表1のように設定した。ランダム率  $R$  については、基本形状から逸

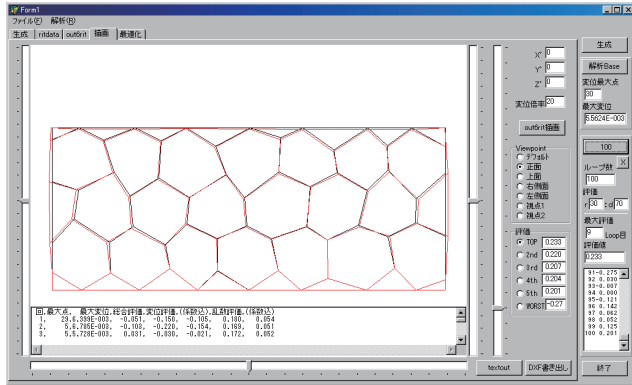


図4 不規則性を与えた形状の生成

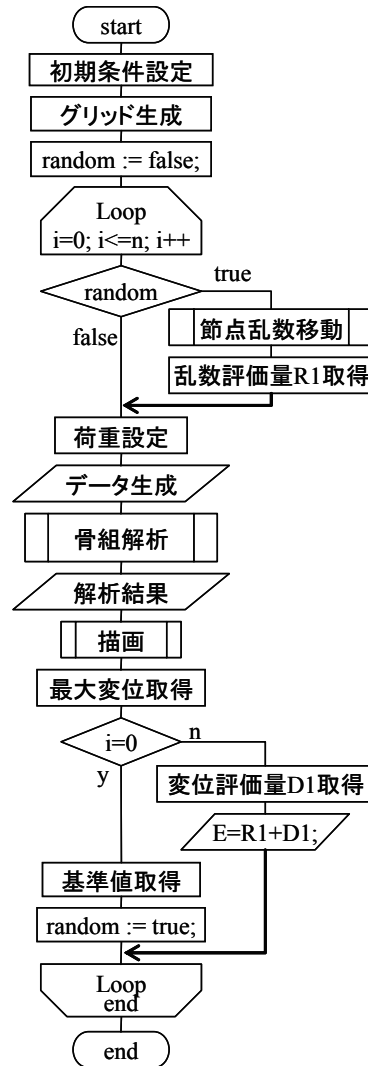


図5 形状生成および評価アルゴリズムのフロー

表1 形状生成および評価アルゴリズムの諸設定

設定事項	設定値
ランダム率 $R$	10%, 15%, 20%, 25%, 30%
評価の比率 $r : d$	30%:70%, 40%:60%, 50%:50%
実行回数	1000

表2 各形状モデルの評価値

形状モデル	r:d = 30:70					r:d = 40:60					r:d = 50:50					
	10%	15%	20%	25%	30%	10%	15%	20%	25%	30%	10%	15%	20%	25%	30%	
形状1	最高値	0.168	0.246	0.282	0.391	0.410	0.164	0.217	0.305	0.291	0.356	0.151	0.195	0.275	0.383	0.302
	最低値	-0.255	-0.335	-0.534	-0.638	-1.089	-0.181	-0.311	-0.434	-0.567	-0.727	-0.154	-0.243	-0.288	-0.384	-0.436
	平均値	-0.004	-0.015	-0.022	-0.053	-0.080	0.016	0.011	0.008	-0.012	-0.033	0.035	0.036	0.040	0.034	0.012
	標準偏差	0.063	0.089	0.121	0.159	0.178	0.052	0.079	0.104	0.129	0.151	0.048	0.069	0.088	0.108	0.128
形状2	最高値	0.160	0.271	0.305	0.353	0.355	0.146	0.225	0.273	0.280	0.310	0.145	0.228	0.299	0.283	0.296
	最低値	-0.115	-0.228	-0.329	-0.825	-0.914	-0.083	-0.186	-0.321	-0.410	-0.538	-0.040	-0.132	-0.168	-0.314	-0.454
	平均値	0.027	0.034	0.021	-0.014	-0.075	0.042	0.050	0.039	0.020	-0.016	0.057	0.070	0.068	0.056	0.020
	標準偏差	0.045	0.070	0.098	0.140	0.174	0.039	0.061	0.087	0.116	0.145	0.034	0.051	0.070	0.092	0.125
形状3	最高値	0.200	0.240	0.214	0.235	0.179	0.159	0.209	0.225	0.169	0.163	0.226	0.224	0.264	0.212	0.098
	最低値	-0.673	-1.355	-2.707	-3.626	-8.183	-0.179	-1.340	-2.005	-3.244	-3.715	-0.413	-0.981	-1.573	-2.223	-3.445
	平均値	-0.115	-0.238	-0.538	-0.864	-1.375	0.017	-0.196	-0.404	-0.703	-1.066	-0.042	-0.133	-0.311	-0.566	-0.883
	標準偏差	0.135	0.216	0.371	0.533	0.801	0.054	0.198	0.313	0.478	0.630	0.099	0.167	0.259	0.383	0.571

脱しない程度に不規則性を視認できるものになるよう、値を5%ごとに10%から30%までとした。また、 $R1$  および  $D1$  の評価式(1)および(2)における評価の重み  $r$  と  $d$  については、上述の通り、両者の割合の和が100%となるように30%:70%、40%:60%、50%:50%と設定した。なお、本稿で扱う形状は構造体としての壁面形状を想定していることから、その割合については骨組解析による評価が高くなるように設定している。以上のように、各形状モデルについて設定値を組み合わせ、それぞれ1000回実行した。

生成および評価した各形状モデルの評価値  $E$  の最高値および最小値、平均値、ならびに標準偏差を表2に示すが、これを用いて設定値による評価の傾向について次に示す。

### 3.2 各形状モデルの評価 $E$ の推移

まず、各形状モデルの評価  $E$  の最高値について述べる。上述の表2および図6から図8にその値と推移を示す。形状1および2のモデルでは、ランダム率  $R$  の増加と共に評価  $E$  の値が0.150付近から  $R25\%$  で0.280~0.391と増加しているが、25%以降になると多くのものは評価値があまり増加せず、中には値が減少するモデルも見られた。一方、形状3のモデルでは、評価  $E$  の値がランダム率  $R$  の増加に関係なく、ほとんどのものは評価値  $E$  が0.200程度となっているが、 $r:d=50\%:50\%$  のモデルではランダム率  $R$  が20%

以降で評価値  $E$  が急激に落ち込んでいる。

また、評価値  $E$  には評価の重み  $r$  と  $d$  の割合による顕著な違いは見られなかったが、全体的な傾向としては両者の割合が30%:70%と骨組解析による変位量の評価  $D1$  に重みがあるほうが評価値  $E$  は高くなった。評価の最低値についても、 $r:d=30\%:70\%$  の形状の方が他の割合のものよりも低くなっており、評価値  $E$  の値は乱数による不規則性の評価  $R1$  よりも骨組解析による変位量の評価  $D1$  に影響を受けていると思われる。

さらに、各形状における総合評価  $E$  と乱数による不規則性の評価  $R1$  および骨組解析による評価  $D1$  との関係について述べる。図9から図11に、各形状の  $r:d=30\%:70\%$  でのそれぞれの評価値を示すが、いずれの形状においても、乱数による不規則性の評価  $R1$  はランダム率  $R$  の増加に伴い緩やかに値が増加する傾向にある。一方、骨組解析による変位量の評価  $D1$  はランダム率  $R$  の増加と共に大きく変化しており、その推移は形状の評価値  $E$  と類似している。このことについて、各モデルの評価値  $E$  と、それぞれの評価  $R1$  ならびに評価  $D1$  との相関を調べてみると、いずれの形状モデルにおいても評価値  $E$  と骨組解析による変位量の評価  $D1$  との相関は非常に強く、単相関係数は0.993以上の値が得られた。評価値  $E$  と乱数による不規則性の評価  $R1$  には強い相関は見られず、同係数は-0.173から0.125

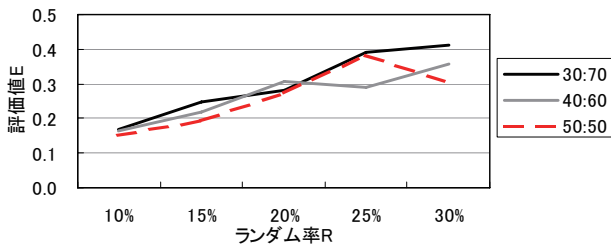


図6 形状1の評価値  $E$  の推移

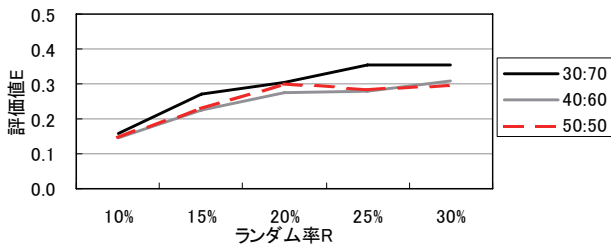


図7 形状2の評価値  $E$  の推移

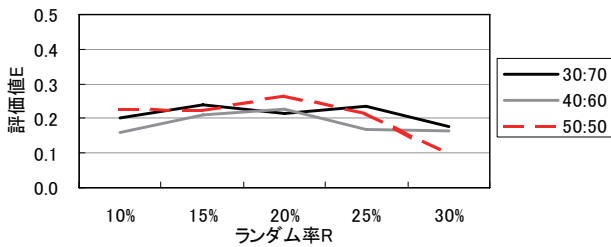


図8 形状3の評価値  $E$  の推移

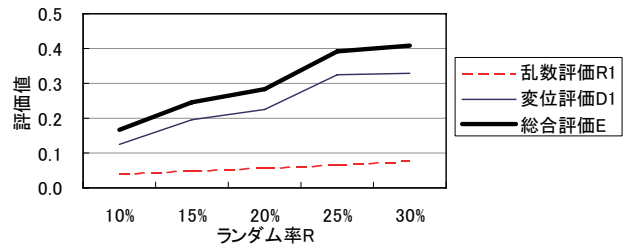


図9 形状1の各評価の推移と関係 ( $r:d = 30\%:70\%$ )

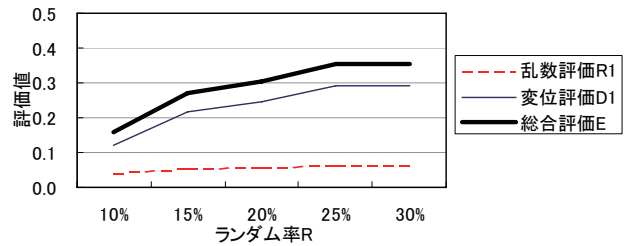


図10 形状2の各評価の推移と関係 ( $r:d = 30\%:70\%$ )

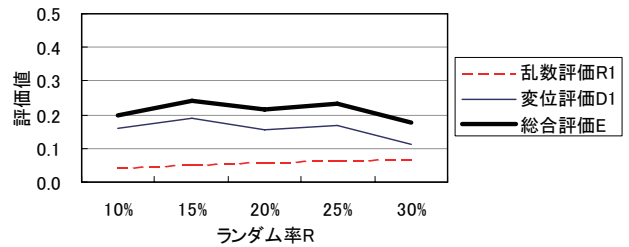


図11 形状3の各評価の推移と関係 ( $r:d = 30\%:70\%$ )

までの値が得られ、負の相関が見られるものもあった。このことから、構造体としての強度が高いほど壁面デザインとしての評価が高くなると推察できる。

### 3.3 評価値 $E$ の特性

次に、乱数発生による不規則性に伴う評価の特性について述べる。いずれの形状モデルにおいても負の評価を得る形状が生成されていることが表 2 から分かる。形状モデルごとに評価  $E$  の最低値を見てみると、基本形状 1 および 2 に比べて基本形状 3 のモデルは全体的に値が低く、評価の重みが  $r:d=30\%:70\%$  のモデルでは -8.183 となっている。また、骨組解析による変位量の評価  $D1$  に重みを増すにつれて評価の最低値は低くなり、ランダム率  $R$  についても同様に、値の増加と共に最低値は下がる傾向が見られた。

各形状の平均値に着目すると、形状 1 および 2 では正の値が得られるモデルが多くある一方で、形状 3 については全て負の値が得られている。各形状の  $r:d=30\%:70\%$  のモデルを例に、評価値  $E$  の確率分布を図 12 から図 14 に示すが、いずれの図においても、ランダム率  $R$  の増加と共に分

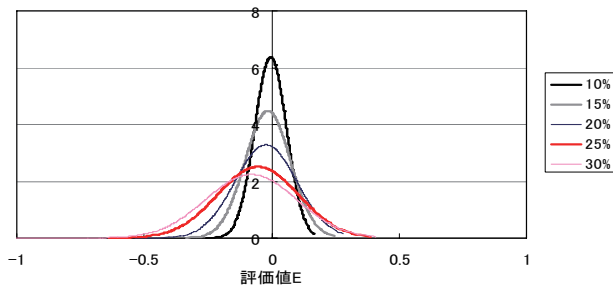


図 12 形状 1 の評価値  $E$  の分布 ( $r:d = 30\%:70\%$ )

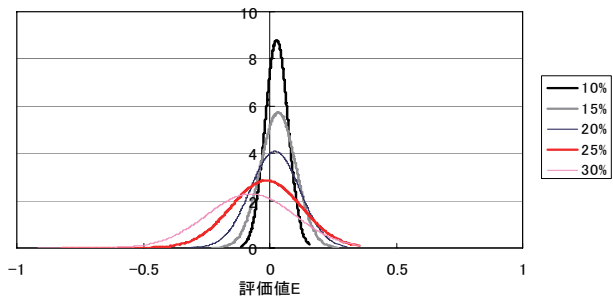


図 13 形状 2 の評価値  $E$  の分布 ( $r:d = 30\%:70\%$ )

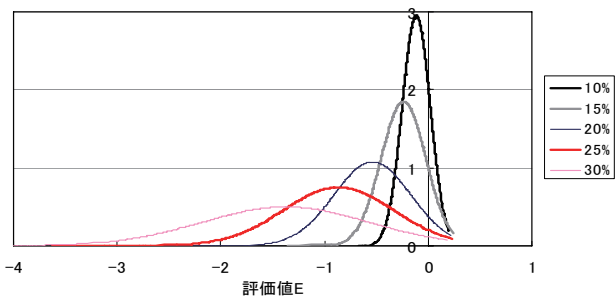


図 14 形状 3 の評価値  $E$  の分布 ( $r:d = 30\%:70\%$ )

布曲線は平らになり、評価値  $E$  は幅広い値をとる傾向が見られ、曲線の頂点の位置における評価値  $E$  も下がる傾向が見られた。その推移は形状 3 においては顕著であり、特に曲線の頂点の位置での評価値  $E$  が著しく下がっている (図 14)。これらの図から、形状 1 および 2 のモデルではランダム率  $R$  の増加に伴い評価  $E$  の最高値も高くなりえるが、形状 3 では最高値に伸びがなく、むしろより低い最低値を取りえることが見てとれる。なお、表 2 において、形状 1 および 2 については平均値が -0.080 から 0.020 で、標準偏差が 0.045 から 0.178 であり、形状 3 は平均値が -0.115 から -1.375 で、標準偏差が 0.135 から 0.801 であることから、各形状の評価値  $E$  の分布性状が各図と一致していることが確認できる。

### 4 まとめ

本稿は、自然界に存在するハニカム構造などの平面充填形に不規則性を与え、より自然なかたちに近い壁面デザインの評価についてまとめたものである。その評価値  $E$  は、基本形状に対する不規則性の評価  $R1$  と、それを壁面として骨組解析した場合の変位量に対する評価  $D1$  で構成されている。各形状に対する評価は、骨組解析による評価  $D1$  との相関が強く、骨組解析による評価の重み  $d$  が強いほど評価の高い形状が得られることが分かった。その一方で、評価値のバラつきは大きくなる傾向も見られた。

また、ランダム率  $R$  については、低すぎると評価値の高い形状モデルの生成はあまり期待できず、30%にまでなると評価もそれほど上がらなかった。このことから、不規則的な形状ながらも構造体としての強度を持つ壁面デザインの生成には、ランダム率  $R$  の設定は 15~25%程度が適していると考えられる。

今後の課題として、本稿で扱った六角形を基本とした形状以外のものの検討や、応力度レベルでの構造体としての検討などが挙げられる。

#### [参考文献]

- 1) 日本建築学会編:アルゴリズムック・デザイン, 鹿島出版会, 2009年
- 2) 朝山秀一, 前稔文:フラクタル幾何学に基づく積層アーチの自動形状生成とその応用に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第557号, pp. 181-188, 2002年7月
- 3) 前稔文, 小林竜一:平面充填形に不規則性を用いた壁面デザイン, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp. 87-88, 2012.
- 4) ダブルネガティブス・アーキテクチャー:アルゴリズムック・ウォール, 2007年
- 5) 池田靖史/IKDS:慶應義塾大学SFC本館検収所, 2007年

\*1 フリーランス 修士(工学)

\*2 大分工業高等専門学校 都市・環境工学科 准教授 博士(工学)