

木造軸組構法住宅の内部構造と耐震性能の推定

住宅プランの生成アルゴリズムと壁量計算量の圧縮方法

Estimation Method for Wooden Frame Structure and Seismic Performance to Wooden Frame Residential House

Algorithm to generate floor plan and compress the amount of The Wall Volume Regulation calculations

○平川 秀樹*1, 植松 武是*2

Hideki Hirakawa*1 and Takeyoshi Uematsu*2

*1 アーキインネクスト 博士(工学)

ArchiInnext LLC, Dr.Eng

*2 北海学園大学工学部建築学科 教授 博士(工学)

Professor, Department of Architecture and Building Engineering, Faculty of Engineering, Hokkai-Gakuen University, Dr.Eng

キーワード：既存住宅；木造軸組工法；内部構造；耐震性能；推定方法

Keywords: Existing house; wooden frame; structure; seismic performance; estimation method.

1. はじめに

平成 25 年の住宅・土地統計調査¹⁾によると、空き家の数は昭和 38 年の 52 万戸から一貫して増え続け、平成 25 年には 820 万戸（空き家率 13.5%）に達している。とくに、一戸建ての空き家は、平成 20 年からの 5 年間で 50 万戸も増加しており、この間に増加した空き家の 8 割近くを占めていることから、今後、それらは全国各地で急増することが予想される。建物が空き家のまま放置される状況は、傷みが進むなどして結果的に建設廃棄物の増加につながるほか、防災や治安の面からも好ましいとは言えない。また、修繕費や固定資産税等、所有者の経済的負担の面からも、なるべく早期に有効利用されることが望ましい。

既存住宅取引戸数²⁾は、平成 5 年頃から 16 万戸前後で推移し、一戸建ての空き家が急増した平成 20 年以後も増加する傾向は表れていない。この要因の一つとして、消費者が既存住宅の質を把握しづらいことから、その購入に不安や懸念を抱いており、結果として既存住宅取引戸数の増加に結びついていないことが指摘されている³⁾。この問題に対応するため、「建物状況調査（インスペクション）」や「安心R住宅」等の普及が進められており、そこでは、建築基準法における確認済証等の書類をもって耐震性の確認することとされている³⁾。しかし、そのような書類がない場合は耐震診断等が必要になり、さらに、図面がない場合には、その復元のために、現地調査等、相応の費用や時間を要することになる。

本研究は、図面や現地調査等の書類に比べ遙かに入手が容易な住宅の外観写真や衛星画像などを用いて、間取りや間仕切壁の配置等、その住宅の内部構造を推定し、図面の復元や現地調査に至る前の段階において、耐震性能や省エネ性能等を概略的に把握することを目指したものである。

本報では、単純な矩形の木造軸組工法戸建て住宅をモデルとして、耐震性能を求めるために必要となる間取りや耐力壁の配置等、住宅プランの生成アルゴリズムと、その生成されたプランについて建築基準法の壁量計算を適用するときの計算量圧縮の方法等について報告する。

2. 住宅モデル

Figure 1.に住宅モデルの概要を示す。木造軸組工法の総 2 階プランである。1,820mm 角のセルをモジュールとした東西 5 セル (9,100mm) × 南北 3 セル (5,460mm) のとした。延床面積は 99.37m² で、戸建て住宅としてはコンパクトなプランとなる。屋根形状は無落雪屋根とし、建物高さ (TL) はパラペット天端までの 6,850mm、各階天井高さは 2,400mm、階間 (1CL~2FL) は 600mm とした。

3. 間取りの生成アルゴリズム

3.1. 非居室用途セルの配置

間取りの生成は、玄関、便所、浴室、洗面の非居室用途セルを、1 階の C1 セルから順に配置して列挙することを基本とした。ただし、室内への日照に配慮して、端部セル

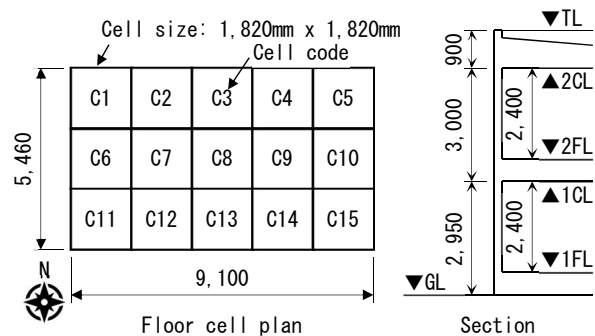


Figure 1. Floor plan & section of model house

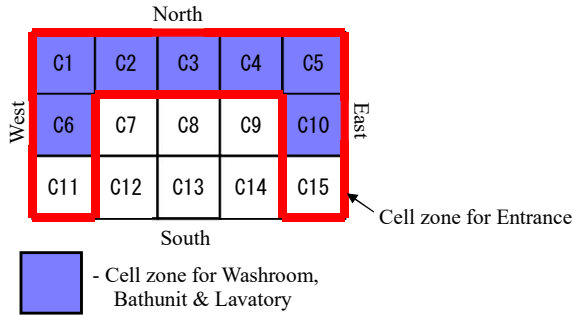


Figure 2. Rules of entrance, washroom, bathunit & lavatory cell mapping in 1st floor of the model house

Algorithm 1. E, W, B, L cell mapping algorithm under the rules
 for each 玄関セル $E \in \{C1 \sim C6, C10, C11, C15\}$ do
 for each 便所セル $W \in \{C1 \sim C6, C10(E \text{ は除く})\}$ do
 for each 浴室セル $B \in \{C1 \sim C6, C10(E, W \text{ は除く})\}$ do
 洗面セル $L \leftarrow \{\text{浴室セルに隣接するセル}\}$
 if $L \in \{E, W\}$ then
 L から $\{E, W\}$ セルを除く
 if $L \notin \{C1 \sim C6, C10\}$ then
 L から $\{C1 \sim C6, C10\}$ に含まれないセルを除く

の玄関を除き、南側セルには非居室用途セルを配置しないルールとした。また、玄関は、外皮側のセルである必要があり、他の非居室用途セルも換気用の窓を設けることを前提として、外皮側のセルに配置するルールとした。Figure 2.に非居室用途セルの配置ルールを示す。便所、浴室、洗面の各セルの配置範囲は、南側を除いた東西および北側の外皮セルである計7セルの範囲で、浴室と洗面セルが隣接するように配置されるルールとなる。玄関セルの配置範囲は、さらに南側の東西角セル (C11 及び C15) を加えた計9セルの範囲に配置されるルールとなる。

Table 1.に、非居室用途セルの配置例と玄関セルの位置毎の間取り数を、Algorithm 1.に、そのアルゴリズムの疑似コードを示す。間取り数は、「間取りとして成立する (浴室と洗面セルの関係が成立する) ものの数/全間取り数 (同関係が成立しないものも含む)」の形式で示した。アルゴリズムの基本は、玄関範囲の9セル、便所範囲の7セル、浴室範囲の7セルの、それぞれのループをネストした格好になるが、洗面セルの配置条件が単純ではないことから、単純な順列の列挙とはならない。

3.2. 間仕切壁と階段セルの配置

各用途セルから、隣接するセルへの接続数の制限をTable 2.に示す。玄関セルから居室セル、および便所セルから居室セルへの接続数は1とした。浴室へ接続するセルは洗面セルのみとしたので、その接続数は1、洗面セルから居室セルへの接続数は1としたので、洗面セルへ接続するセル数の制限は2となる。非居室セルと隣接するセル間には、接続する面を除いて間仕切壁を設置する設定とした。なお、居室セル間には間仕切壁を設けないので、隣接するセルとの接続数は1~4のいずれかとなる。

Table 1. Example of 1st floor plan by mapping E, W, B, L cells under the rules and frequencies of floor plans for each Entrance cell location

Entrance	Example floor plans	Frequencies of floor plans
Entrance:C1		23 / 42
Entrance:C2	"	26 / 42
Entrance:C3	"	26 / 42
Entrance:C4	"	26 / 42
Entrance:C5	"	23 / 42
Entrance:C6		28 / 42
Entrance:C10	"	28 / 42
Entrance:C11		40 / 49
Entrance:C15	"	40 / 49
Summary of frequencies:		260 / 392

E Entrance cell W Washroom cell
 B Bathunit cell L Lavatory cell
 Room space

Frequencies of floor plan: Possible numbers of floor plan / All numbers of floor plan (including impossible floor plan)

Table 2. Number of edge constraints of the cell access from neighbor cells

Usage of cell	Number of edge constraints
Entrance	1 (Except the access from outside)
Washroom	1 (Only access from Room space cell)
Bathunit	1 (Only access from Lavatory cell)
Lavatory	2 (Must access to Bathunit cell from Room space cell)
Stair	1 (Walls installed at other 3 directions)
Room space	1~4

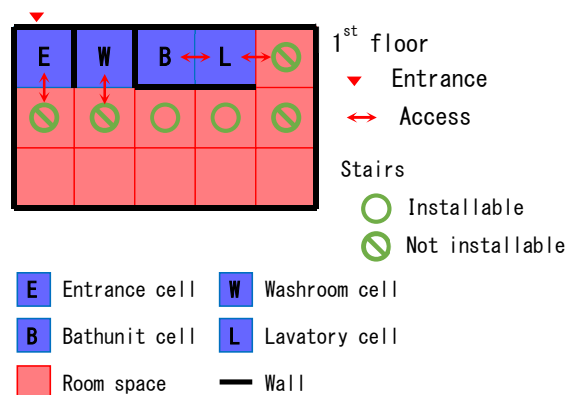


Figure 3. Example of stair cell mapping: Installable or Not installable

階段室は、居室セル側の1方向から昇降する格好で、昇降側を除いた3方は間仕切壁とする設定とした。従って、

階段セルへ接続するセル数は1となる。また、日照に配慮して南側セルには配置しない設定としたので、1階の階段セルは、非居室用途セルを除いたC1~C10セル内のいずれかに、2階の階段セルは1階と同位置のセルに配置されるルールとなる。このとき、Figure 3.に示すように、階段の位置によっては、接続できないセルが生じるので、そのような階段の配置は除外した。

Algorithm 2.に、間仕切壁と階段セルの配置アルゴリズムの疑似コードを示す。各セル間の接続はグラフを用いて表し、階段セル配置の可否は、そのセルから他の全てのセルへの経路が存在するか否かで判断している。経路の探索には、PythonのライブラリであるGraphillion^{4,5)}を用いた。アルゴリズムは、基本的に階段セルの配置範囲のループに階

Algorithm 2. Interior walls & Stair cell mapping algorithm

```

GraphSet ← Table 1.の制限を満足する5×3のグラフセット
for each Graph ∈ GraphSet do
  R ← {居室セルから南側セルを除いたセル}
  for each 階段セル S ∈ R do
    for each 階段の昇降方向セル D ∈ {北, 東, 南, 西} do
      if S から D 方向への辺(S,D) ∈ Graph then
        G ← Graph から、間仕切壁方向への辺を除いたグラフ
        If G において、S から全てのセル(C1~C15)への
           経路が存在する then
           階段セル S の内、昇降方向 D の階段は設置可
  
```

Table 3. Example of wall & floor plan for 1st floor by mapping E, W, B, L, S cells under the rules and frequencies of floor plans for each Entrance cell location

Entrance:C1	
	Frequencies of floor plans: 698 / 1810
Entrance:C2	" : 550 / 1640
Entrance:C3	" : 812 / 2956
Entrance:C4	" : 550 / 1640
Entrance:C5	" : 698 / 1810
Entrance:C6	
	Frequencies of floor plans: 830 / 2160
Entrance:C10	" : 830 / 2160
Entrance:C11	
	Frequencies of floor plans: 2406 / 5733
Entrance:C15	" : 2406 / 5733
Summary of frequencies: 9780 / 25642	

■ Entrance cell ■ Washroom cell
■ Bathunit cell ■ Lavatory cell
■ Room space ■ Stair cell
 Wall

Frequencies of floor plan: Possible numbers of floor plan / All numbers of floor plan (including impossible floor plan)

段昇降方向のループをネストした格好であり、昇降方向毎に間取りの可否を判断している。Table 3.に、間取り及び間仕切壁の配置例と、玄関セルの位置毎の間取り数を示す。間取り数は、「各セルから他の全てのセルへの経路が存在するものの数/全間取り数(同経路が存在しないものも含む)」の形式で示した。

4. 耐力壁等の配置アルゴリズム

一般的に、耐力壁の長さは910mm (1P) であるので、1セルの外壁には2Pの壁を配置することになる。外壁に配置する耐力壁等の仕様をTable 4.に、同じく間仕切壁についてTable 5.に示す。表中の壁量(Wall volume: 単位 cm)は2P長さ当たりの値である。各仕様の壁倍率(Wall magnification value)は建築基準法に準じた。これらの仕様を各壁に配置した仕様配置パターン(順列)毎に、建築基準法の壁量計算に基づいて可否の判断を行う繰り返し計算がアルゴリズムの基本となるが、例えば、Table 4.の16仕様を、南面外壁5面に配置する仕様配置パターン数は

Table 4. Specifications of bearing wall or non-bearing wall for perimeter walls

Wall code	BB	BP	BH	BW
Wall volume	364	409.5	591.5	182
Wall code	PB	PP	PH	PW
Wall volume	409.5	455	637	227.5
Wall code	HB	HP	HH	HW
Wall volume	591.5	637	819	409.5
Wall code	WB	WP	WH	WW
Wall volume	182	227.5	409.5	0

Note B: Brace (2.0), P: Panel (2.5), H: Brace & Panel (4.5),
 W: Non-bearing wall include window (0.0),
 The values in (): wall magnification value,
 Wall volume(cm): wall length(cm) × wall magnification value

Table 5. Specifications of bearing wall or non-bearing wall for interior walls

Wall code	BB	BX	BW
Wall volume	364	546	182
Wall code	XB	XX	XW
Wall volume	546	728	364
Wall code	WB	WX	WW
Wall volume	182	364	0

Note B: Brace (2.0), X: Crossed Brace (4.0),
 W: Non-bearing wall include opening (0.0),
 The values in (): wall magnification value,
 Wall volume(cm): wall length(cm) × wall magnification value

Table 6. Wall volume groups of wall specifications from Table 4.

Wall volume group (cm)	Wall code	Wall volume group (cm)	Wall code
364	BB	364	BB, XW, WX
409.5	BP, PB, HW, WH	546	BX, XB
591.5	BH, HB	182	BW, WB
182	BW, WB	728	XX
455	PP	0	WW
637	PH, HP		
227.5	PW, WP		
819	HH		
0	WW		

1,048,576 通りにもなり、他の方位や間仕切壁との組み合わせも考えるとその数は膨大なものとなる。そこで、各仕様の壁量によってそれらをグループ分けし、その壁量グループを各壁に配置する壁量配置パターン（順列）を用いて壁量計算をすることで計算量を圧縮した。Table 6.に壁量グループによる壁仕様のグループ分けを示す。Table 4.においては16仕様を9グループに、Table 5.においては9仕様を5グループにまとめられるので、例えば、先述の1,048,576通りは59,049通りにまで圧縮され、計算量を大幅に削減することができる。

1階X軸方向の壁量計算を行うアルゴリズムの疑似コードをAlgorithm 3.に示す。Table 6.の壁量グループをX軸方向の各壁に配置した壁量配置パターンにおいて、それら壁量の合計がX軸方向の存在壁量となるので、

存在壁量 \geq 建築基準法により求められる必要壁量となる順列を抽出することがアルゴリズムの基本となる。なお、玄関セルの外壁には2Pに渡って玄関ドア（開口部）があるものとして外壁仕様をWWに限定し、その他の非居室用途セルには換気用の窓があるので、2Pの内1PはWに限定する設定とした。

玄関セルをC1とした698通りの間取りについて求めた、仕様配置パターン数と、建築基準法の壁量規定及び四分割法規定を満足する仕様配置パターン数をTable 7.に示す。仕様配置パターン数は、Algorithm 3におけるsumから、それを構成するsumN、sumS、sumIの各要素であるwallN等 \rightarrow wallN等の各要素である各壁量グループ \rightarrow 壁量グループの各要素である各壁仕様というように、計算手順を遡るような流れで仕様配置パターン数を数えた。例えば、X軸方向においては、間取りとして成立する全仕様配置パターン数は672兆を超えたが、それらを壁量規定で絞り込んだ後においても、ほとんどの仕様配置パターンで壁量規定を満足し、さらに四分割法規定で絞り込んだ後においても、99.8%の仕様配置パターンは基準法が求める耐震性を満足した。

5. まとめ

木造軸組工法の総2階戸建て住宅をモデルとした住宅プランの生成アルゴリズムと、その生成されたプランについて建築基準法の壁量計算を適用するときの計算量圧縮の方法等について示した。今後、2階部分の検討も含めたより柔軟な階段プランの生成、接合部の仕様や採光に必要な窓面積などによる計算量の圧縮方法について検討する予定である。

[参考文献]

- 1) 総務省統計局：平成25年住宅・土地統計調査結果、<https://www.stat.go.jp/data/jyutaku/2013/gaiyou.html>, 2019.9.12 閲覧
- 2) 国土交通省：宅地建物取引業法の改正について、

Algorithm 3. Wall specification mapping algorithm for X direction of 1st floor

```

Graph ← ある間取りの壁を表すグラフ
entrance ← 玄関ドアの設置された外壁の辺
washroom ← 便所外壁の辺
bathunit ← 浴室外壁の辺
lavatory ← 洗面外壁の辺

for each edge ∈ {Graphの各壁を表す辺} do
  if edge ∈ 北側外壁 then
    wallN ← {北側外壁へ配置するTable 6.の壁量グループ
              (9グループ)の組み合わせ 59,049通り}
    if entrance ∈ 北側外壁 then
      wallNから、entranceの壁量が0のパターンを除き削除
    if washroom, bathunit, lavatory ∈ 北側外壁 then
      wallNから、washroom, bathunit, lavatoryの壁量が
      182cm, 227.5cm, 409.5cmのパターンを除き削除
  if edge ∈ 南側外壁 then
    wallS ← {南側外壁へ配置するTable 6.の壁量グループ
              (9グループ)の組み合わせ 59,049通り}
    if entrance ∈ 南側外壁 then
      wallSから、entranceの壁量が0のパターンを除き削除
  if edge ∈ X軸方向の間仕切壁 then
    wallI ← {間仕切壁へ配置するTable 6.の壁量グループ
              (5グループ)の組み合わせ}

sumN ← {wallN各順列における北側外壁壁量の合計}
sumS ← {wallS各順列における南側外壁壁量の合計}
sumI ← {wallI各順列における間仕切壁壁量の合計}
for each N ∈ {sumNの各要素} do
  for each S ∈ {sumSの各要素} do
    for each I ∈ {sumIの各要素} do
      1階X軸方向の存在壁量 sum ← N + S + I
      if sum > 1階X軸方向の必要壁量 then
        sumは、建築基準法が求める壁量を満足する
  
```

Table 7. Frequencies of wall specification mapping pattern by each qualification in the case of entrance cell at the C1

Direction	Qualifications	Frequencies
X-axis	All	672,645,479,542,740
	Wall Volume	672,642,066,861,539
	Quadrant Method	671,299,117,981,789
Y-axis	All	153,767,838,780
	Wall Volume	142,409,968,561
	Quadrant Method	140,892,098,846

Note All: All permutations with Table 2 & Table 3 specs for each X-axis wall in each floor plan
 Wall Volume: After qualification by the Wall Volume Regulation in the Law
 Quadrant Method: After qualification by the Quadrant Method Regulation in the Law
 The Wall Volume Regulation: 建築基準法の壁量規定
 The Quadrant Method Regulation: 建築基準法の四分割法規定

https://www.mlit.go.jp/totikensangyo/const/sosei_const_tk3_000132.html, 2019.9.12 閲覧

- 3) 国土交通省：既存住宅状況調査方法基準の解説, 2017.2.3
- 4) Takeru Inoue, Hiroaki Iwashita, Jun Kawahara, and Shin-ichi Minato: "Graphillion: Software Library Designed for Very Large Sets of Labeled Graphs," International Journal on Software Tools for Technology Transfer, Springer, vol.18, issue 1, pp.57-66, February 2016.
- 5) Atsushi Takizawa, Yushi Miyata, and Naoki Katoh, "Enumeration of Floor Plans Based on a Zero-Suppressed Binary Decision Diagram," International Journal of Architectural Computing, vol.13, no.1, pp.25-44, March 2015.