構成要素の連携による寄棟屋根隅木生成

－構成要素の連携による木造軸組構法住宅の架構部材生成システム その2－

HIPPED ROOF ANGLE RAFTER GENERATION BY COOPERATION OF CONSTITUENTS

－ A frame element generation system by cooperation of constituents
in timber framework construction house Part 2－水嶋克典^{*1}, 小松幸夫^{*2}

Katsunori MIZUSHIMA and Yukio KOMATSU

The purpose of this study is building the part of hipped roof angle rafter generation of the frame element generation system by cooperation of constituents in timber framework construction house. The part of hipped roof angle rafter generation is built as a multi agent system that the angle rafter modeled in the straight line cooperates with close angle rafters, repeats correction and decide the right position based on positioning rules by analyzing the positioning situation of angle rafter in hipped roofs and the information of the circumstances. In this study, the knowledge that is obtained on the building this part is reported.

Keywords : timber framework construction house, constituents, cooperation, hipped roof, angle rafter, generation system

木造軸組構法住宅, 構成要素, 連携, 寄棟屋根, 隅木, 生成システム

1. はじめに

既報¹⁾にて、木造軸組構法住宅構成部材生成システムの内部システムである架構部材生成システムの構成と基本動作部分を報告した。構成部材生成システムにおいて、住宅は、図1に示すように、構成単位(ユニット)により、構成単位(ユニット)は、構成部材(エレメント)により構成され、ユニットとエレメントを住宅の構成要素(コンスティチュエント)と定義している。架構部材生成システムにおいて生成される架構部材は、エレメントに相当する。住宅のコンスティチュエントであるユニットは、生成規則、配置規則、記録を、エレメントは、配置規則と記録を持ち、それらと周辺環境から得られる情報に基づき動作するエージェントである。ユニットは、必要な付帯ユニットとエレメントを生成するとともに、接触するユニットと連携して付帯ユニットとエレメントを修正する。エレメントは、自らの配置位置を探索し、近接するエレメントからの依頼により配置位置を修正する。架構部材生成システムは、システム操作者が仮想3次元空間に部屋ユニットと開口ユニットを配置することにより、部屋ユニットが付帯ユニットである屋根ユニットと外壁ユニットを生成、接触するユニットに修正を依頼、ユニットが自身を構成するエレメントを生成、ユニットにより生成されたエレメントが自らの配置位置を探索、近接するエレメントとの連携により配置位置を修正、住宅全体の架構部材を生成するマルチエージェントシステムである。

架構部材生成システムは、図2に示すように、住宅の代表的な屋根形状である切妻と入母屋の妻部を除いた部分に寄棟屋根の要素が

含まれることから、一般的な条件である雨水などを速やかに建物の外側に排水する他に、次の二つの条件、①棟部を除く屋根面の屋根勾配を一種類とする(単一屋根勾配)、②雨水などを完全に排水するための水平な谷を形成しない(水平谷非形成)を付加することにより、一意に形状が決定できる寄棟屋根を生成する。

架構部材生成システムにおいて、屋根ユニットが最初に生成するエレメントは、図3に示すように、架構部材を荷重伝達順に生成するエレメント生成規則により隅木となる。

架構部材生成システムでは、図4に示すように、仮想3次元空間に順次追加される部屋ユニットが、上階の部屋ユニットに接触する部分を除いた部屋ユニット上部に付帯屋根ユニットを生成する状況、接触する部屋ユニット上部の屋根ユニットに接触する付帯屋根ユニットを生成する状況が発生する。そのため、屋根ユニットが生成する隅木エレメントは、2階の壁が接触する1階の屋根部分、複数の屋根ユニットにより構成される寄棟屋根の屋根ユニット間の接触部分など全ての状況において、配置位置を決定する必要がある。

本研究では、架構部材生成システムで生じる全ての状況に対応できる寄棟屋根隅木生成部分の構築を目的とし、その構築過程で得られる知見について報告する。

寄棟屋根の隅木配置位置を決定することは、寄棟屋根の棟の位置を求め寄棟屋根形状を決定することとほぼ同意である。寄棟屋根形状の自動生成に関する既往研究として、鈴木ら²⁾による多角形領域分割を応用した寄棟屋根の自動設計に関する研究と佐藤ら³⁾による屋根の平面形状と棟の位置による寄棟・切妻屋根形状自動作成用の

*1 石川職業能力開発短期大学校 工修

*2 早稲田大学理工学術院建築学科 教授・工博

Ishikawa Polytechnic Junior College, M. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Eng., Waseda Univ., Dr. Eng.

図1 住宅の構成要素

図注：太線部分が寄棟要素

図2 切妻・入母屋屋根における寄棟要素

図3 屋根ユニットの架構部材生成順序

屋根面分割アルゴリズムに関する研究がある。これらは、ひとつの屋根領域、かつ、それを構成する辺が外壁などに接しない単純な設定、また、棟を水平面に投影、水平面における2次元の図形操作により、屋根形状を決定している。そこで、本研究では、架構部材生成システムで生じる全ての状況に対応できる寄棟屋根隅木生成部分を構築するために、2次元の平面座標情報に高さ情報を加えた3次元座標情報の使用に加え、既報¹⁾における架構部材生成システムの次の3つの概念を利用する。①木造軸組構法住宅から適切に抽出した独立性が高いユニットの知覚と動作を接触するユニットのみに制限することにより動作の単純化を図る。②ユニットから生成された架構部材は、生成元のユニットから得られる情報と架構部材別の配置規則に基づき、自らの配置位置を探索し、決定する。③設計が完全に終了した建物の架構部材は、全ての架構部材間の整合性が保たれているはずであるとの考えに基づき、ユニットが、接触するユニットとの局所的な架構部材の不整合に対して、接触するユニットと連携して修正を繰り返すことにより、建物全体の架構部材を適切に生成する。

本研究の架構部材生成システムの寄棟屋根隅木生成部分とその構築過程にて得られた知見は、住宅生産、教育訓練などの分野への応用が期待できる。

2. 設定

本研究における寄棟屋根隅木生成部分は、以下の設定を用いる。

2-1. 屋根ユニットと隅木エレメント

屋根ユニットと隅木エレメントは、表1に示す動作をするエージェントとする。また、本研究において、動作主体のユニットとエレメ

図4 架構部材生成システムにおける屋根ユニット生成例

表1 屋根ユニットと隅木エレメントの動作

エージェント種類	依頼元	動作名	動作
屋根ユニット	屋根ユニット (自ユニットを含む)	生成	0. エレメント生成規則に基づき、架構部材を生成 1. a. 生成した部材より配置完了報告受信、1a0へ b. 生成した架構部材より、配置不能報告受信、1b0へ 1a0. 同種の架構部材を生成することとし、0へ 1b0. a. 生成する架構部材種類がある場合、1b0a0へ b. 生成する架構部材種類がない場合、1b0a0へ 1b0a0. エレメント生成規則に基づき、次の架構部材種類を生成することとし、0へ 1b0b0. 架構部材生成終了
		配置位置探索	0. エレメント(隅木)配置規則に基づき配置位置探索 1. a. 終点修正が必要な隅木がある場合、1a0へ b. 終点修正が必要な隅木がない場合、1b0へ 1a0. 終点修正が必要な隅木へ修正を依頼 1a1. 依頼先隅木より、修正終了報告受信後、1の条件分岐へ 1b0. 2の条件分岐へ 2. a. 配置位置を発見した場合、2a0へ b. 配置位置を発見できなかった場合、2b0へ 2a0. 配置位置を記録し、生成元屋根ユニットに配置完了を報告 2b0. 生成元屋根ユニットに配置不能を報告
隅木エレメント	隅木エレメント	終点位置修正	0. 終点位置探索 1. a. 終点位置が変化した場合、1a0へ b. 終点位置が変化しなかった場合、2へ 1a0. a. 終点修正が必要な隅木がある場合、1a0a0へ b. 終点修正が必要な隅木がない場合、2へ 1a0a0. 終点修正が必要な隅木へ修正を依頼 1a0a1. 依頼先隅木より、修正終了報告受信後、1a0a1. 依頼先隅木エレメントに配置完了を報告 2. 依頼元隅木エレメントに配置完了を報告

表注 1. 架構部材生成システムにおいて、屋根ユニットが架構部材生成を依頼されるのは、部屋ユニットの依頼が根源
2. 屋根ユニットの生成の動作内容は、本研究に関する架構部材の生成部分のみ表現

図注：図中の構築材である桁と梁は、部屋ユニットに所属

図5 架構部材のモデル化

ントをそれぞれ、自ユニット、自エレメントとし、それ以外を他ユニット、他エレメントとする。

2-2. 構成要素のモデル化と表示

隅木生成は、仮想3次元空間で行う。座標は、3次元直交座標の(x, y, z)を用いる。XY平面を水平面、Z軸を高さ方向とする。

架構部材は、架構部材生成システムにおける取り扱いを容易にするため、図5に示すように、体積を持つ架構部材を直線状の基線としてモデル化する。その際に、交差接触する体積を持つ架構部材の基線が交差接触するように、基線の断面位置と端部位置を架構部材の種類ごとに調整する。また、基線端部に、始終点を設定し、方向性を持たせる。隅木は、下端を始点、上端を終点とする。

屋根ユニットは、図6に示すように、屋根ユニットが所属する階の基準高(例えば、1階部屋ユニット上部の屋根は、2階に所属するので2階の基準高)のXY平面(以後、基準面とする)に正射影した領域が、端点において0, 90, 180, 270度で接続する領域の外周を形

図6 屋根領域の表現と各部名称

図7 屋根領域全屋根面の表現と各部名称

成する直線により閉じた領域とする。この領域を、屋根領域、領域の外周を形成する直線を、屋根領域辺とする。また、屋根ユニットの全屋根面^{注1)}の外周を形成する直線は、図7に示すように、基準面を離れる場合もあることから、屋根領域辺とは別にZ方向の高さ情報を持つ全屋根面外周辺^{注2)}とする。屋根ユニットの屋根領域と全屋根面は、空隙部も含め、X座標値最小の内、Y座標値最小の頂点を基準点とし、屋根領域辺と全屋根面外周辺は、基準点を起点として、屋根領域と全屋根面の外周に反時計回りに配置する。その際、辺の始終点を基準点から反時計回りに、空隙部の辺は、時計回りに設定する。屋根領域辺と全屋根面外周辺は、接触状態が変化する点（同種ユニットの境界も含む）により分割し、その接触状態を図8に示すように分類する。これにより、同一角度の辺が接続する直線接続が加わり、屋根領域辺と基準面に正射影された（以後、基準面正射影とする）全屋根面外周辺は、辺の端点（始終点）に接触する辺の角度から、図9に示す端点形状を示す。更に、全屋根面外周辺は、図7の辺(4)と辺(5)のように勾配が変化する点（以後、勾配変化点とする）で分割する。

本研究において、図中の屋根領域辺、全屋根面外周辺、隅木などの略号は、線分方向を明確に示すために、始点を左側、終点を右側とした線分の上部に表示する。

2-3. 寄棟屋根

棟部を除く屋根面の屋根勾配は、単一勾配とする。

本研究の寄棟屋根は、屋根領域の設定と単一勾配から、真隅となる。棟の種類は、図10に示すように、尾根棟、谷棟、平棟とし、架構部材の種類は、それらに対応した尾根隅木、谷隅木、棟木^{注3)}とする。また、建物上部の雨水などを確実に建物外側に排水するために、図11に示すような水平な谷は、形成しない。部屋ユニットの壁に接する屋根面は、図12に示すように勾配方向が壁に平行、または、屋根面勾配上端部を壁側とし、最終的に、雨水などを他ユニットに接触しない全屋根面外周辺（非接触辺 [Fr]）の外側に排水する。

本研究では、これらの設定による寄棟屋根を真隅寄棟屋根とする。

架構部材生成システムの寄棟屋根隅木生成部分は、一般的な木造軸組構法住宅の真隅寄棟屋根に適用できる。

接触状態	接触状態種類			部屋ユニット接触 [Rm]
	非接触 [Fr]	架構部材未生成 屋根ユニット接触 [Rf]	架構部材生成済 屋根ユニット接触 [cRf]	
接触状態	接触ユニットなし	架構部材未生成 屋根ユニット	架構部材生成済 屋根ユニット	部屋ユニット

凡例 → : 屋根領域辺・全屋根面外周辺 (点線): 接触ユニット
図注: 1. 図は、対象となる辺を90・180・270度回転した状態に適用
2. 図中「」内の文字は、非接触および接触しているユニット種類を示す略号

図8 屋根領域辺と全屋根面外周辺の接触状態

端点形状	端点形状種類		
	出隅 [e]	直線 [s]	入隅 [i]
端点形状			

凡例 → : 屋根領域辺・基準面正射影全屋根面外周辺
図注: 1. 図は、対象となる端点を中心に90・180・270度回転した状態に適用
2. 図中「」内の文字は、端点形状を示す略号

図9 屋根領域辺と基準面正射影全屋根面外周辺の端点形状

図10 棟の種類とそれらに対応する架構部材の種類

水平な谷を形成する場合 水平な谷を形成しない場合
凡例 □: 屋根ユニット (屋根領域) →: 屋根領域辺・全屋根面外周辺 ■: 部屋ユニット (部屋領域)
---: 屋根領域辺 ---: 尾根隅木 (尾根隅木): 谷隅木 (谷隅木) —: 平棟 (棟木)

図11 水平な谷を形成する場合と形成しない場合

図12 部屋ユニットの壁に接する部分の屋根勾配

$$n \text{ mdh} = n \text{ mdl} \times p \quad (1)$$

$$\text{屋根勾配: } p = \frac{a}{10}$$

n : 0を含む正の実数。 a : 正の実数

図13 座標数値

2-4. 座標数値

本研究において、座標数値は、説明における表現の単純化を図るため、図13に示すように、真隅寄棟屋根が単一屋根勾配であることを利用して、水平面の単位長さを1モジュール (mdl) と定義し、図13の式(1)に示すように、真隅寄棟屋根面上の屋根勾配方向の直線を基準面に正射影し、その直線上の任意の1点とその点から直線上を屋根面の屋根勾配 $p (=a/10)$ 上り方向に距離 $n \text{ mdl}$ 移動した点に対応する屋根面の高低差を $n \text{ mdh}$ と表現する。この時、屋根勾配は、 $n \text{ mdh}/n \text{ mdl}$ となる。また、尾根棟、尾根隅木、谷棟、谷隅木の勾配

は、 $n \text{ mdh}/n \cdot \sqrt{2} \text{ mdl}$ となる（以後、この勾配を隅勾配とする）。

3. 隅木エレメント配置規則

3-1. 検討方針

架構部材生成システムにおける隅木エレメントの配置規則は、1. はじめににおいて示した3つの概念に加え、配置位置判定に用いる要素（以後、判定要素とする）を可能な限り少なくし、判定を単純化する方針で検討する。

3-2. 隅木下端（始点）に着目した真隅寄棟屋根面形状の分類

架構部材生成システムにおける真隅寄棟屋根ユニットは、雨水などを最終的に屋根ユニットの最も低い基準面高さの非接触全屋根面外周辺 [Fr] の外側に排水することから、既往研究²⁾と同様に、排水部分である屋根ユニットの最も低い部分から高い部分に向けて屋根面が形成されると考え、隅木の最も低い位置である隅木下端（始点）に着目し、部屋・屋根ユニットに接触する場合も含む屋根ユニットの隅木始点を中心とした $n \text{ mdl}$ 四方の領域（以後、単位四方領域と呼ぶ）において、架構部材生成システムで生成される全ての屋根面形状を4種類の自屋根ユニット領域形状（1/4 自領域、1/2 自領域、3/4 自領域、全自領域）別に分類したものを図14に示す。この分類から、隅木始点には、全屋根面外周辺、屋根面勾配方向、自他ユニットの既存隅木終点と棟木端部が関係していることが解る。異なる種類の自屋根ユニット領域に同一屋根面形状が存在することから、自領域以外を除いた自屋根ユニット領域の隅木始点を中心とした単位四方屋根面形状を抽出する。架構部材生成システムにおいて、棟木は、母屋の一部として隅木生成時には、生成されないため、隅木配置位置探索の判定要素として利用できないが、既存隅木は、利用できる。また、隅木配置位置探索の初期段階において、屋根面形状と屋根面勾配方向の把握が困難なため、屋根面の代わりに、全屋根面の外周を構成する全屋根面外周辺とその勾配を利用する。棟木を削除し、屋根面勾配方向の代わりに全屋根面外周辺に勾配種類を併記した全屋根面外周辺勾配と既存隅木終点に着目した隅木始点を中心とした単位四方領域真隅寄棟屋根面形状分類を図15に示す。

3-3. 隅木配置基準点探索

3-2の検討から、隅木エレメントは、最初に、最も低い隅木始点位置を探索する。本研究では、隅木エレメントの配置位置探索の対象となる隅木始点位置を隅木配置基準点とする。

a. 隅木配置基準点テーブル

隅木配置基準点の探索に利用する判定要素は、図15の全屋根面外周辺勾配と既存隅木終点に着目した隅木始点を中心とした単位四方領域真隅寄棟屋根面形状分類から、全屋根面外周辺とその勾配種類、および、既存隅木とその種類となる。それらの判定要素を利用して隅木配置基準点の探索に使用する隅木配置基準点テーブルを図16に示す。隅木配置基準点テーブルの情報のみでは、隅木終点位置を確定できないため、隅木配置基準点テーブルでは、隅木の種類と終点探索方向を示す。隅木エレメントが探索する隅木配置基準点の位置は、隅木配置基準点テーブルの判定要素から、全屋根面外周辺始点と既存隅木終点とする。隅木エレメントが探索中の隅木配置基準点を探索対象隅木配置基準点とする。隅木配置基準点の探索順序は、全屋根面外周辺の始点、既存隅木の終点の順とし、隅木配置基準点テーブルでは、それらを探索対象屋根外周辺、探索対象既存隅木として表示している。隅木配置基準点テーブルの隅木配

図14 接触ユニットを含む隅木始点を中心とした単位四方領域真隅寄棟屋根面形状分類

置基準点判定要素略号 iFrDF、iFDrF は、判定要素である全屋根面外周辺のみで、nBrD、nBDr は、判定要素である配置済み谷隅木のみで、隅木終点探索方向が決定できないため、屋根面の勾配を確認する屋根面勾配探索線を設定し、探索対象隅木配置基準点を基点とした下り屋根勾配の正否を判定する。また、隅木エレメントの探索を単純化するため、本来、iFrVF と nBrV の隅木配置基準点は、隅木が2本

図15 全屋根面外周辺勾配と既存偶木終点に着目した偶木始点を中心とした単位四方領域真隅寄棟屋根面形状分類

配置されるが、他の状態の偶木配置基準点と同様に1つの偶木エレメントの配置位置探索にて1本の偶木配置位置が確定できるように、偶木配置基準点に偶木が1本配置された状態のiFRvRとnBrVRを加え、尾根偶木が配置されていない状態と配置されている状態の2つの状態を利用して、同一の偶木配置基準点に対して、偶木を2本配置する。一方、nBVvRは、1本の偶木配置に対して、探索対象既存谷偶木が3本存在するため、その中の1本を探索対象既存谷偶木に設定する。

b. 全屋根面外周辺・屋根面勾配探索線勾配判定

偶木エレメントが偶木配置基準点テーブルを利用して偶木配置基準点を探索する際に、全屋根面外周辺の勾配種類および屋根面勾配探索線が探索対象偶木配置基準点を基点とする下り屋根勾配であることを判定する必要が生じる。真隅寄棟屋根の全屋根面外周辺の勾配種類は、それらの始点を基点とすると、水平、上り屋根勾配、下り屋根勾配の3種類となり、始点と終点の高低差により求めることができる。しかし、全ての偶木が生成されていない時点において、図17のa、bに示す様に、全屋根面外周辺の架構部材生成済屋根ユニット接触辺[cRf]にて、接触する他屋根ユニットの全屋根面外周辺の高さによる勾配変化点を知ることができるが、図17のc、dに示す様に、配置位置探索中の偶木エレメントより後で配置位置が決定される偶木の上端 (終点)、および、図17のeに示すように、棟木端部が全屋根面外周辺に接触することにより形成される勾配変化点を知ることができない。そこで、本研究では、真隅寄棟屋根の特徴を利用して、全屋根面外周辺の勾配変化点を探索し、発見された

図16 偶木配置基準点テーブル

図17 全屋根面外周辺における勾配変化点

勾配変化点により全屋根面外周辺を分割することにより、全屋根面外周辺の勾配種類を求める方法を用いる。また、屋根面勾配探索線が探索対象偶木配置基準点を基点とする下り屋根勾配であることの判定は、始点である探索対象偶木配置基準点から、偶木配置基準点テーブルの屋根面勾配探索方向線の示す方向に、下り屋根勾配で屋根面勾配探索線を延伸し、全屋根面外周辺、または、既存偶木との交差接触を確認することにより行う。それらの際に、各点の高さを求めるため、後述の真隅寄棟屋根面の任意の1点の高さを求める方

①Roof(4)(0)がAR(0)生成、AR(0)がRoof(4)(0)に全屋根面外周辺勾配判定を依頼、Roof(4)(0)がAEを生成

⑤Roof(4)(0)がノードとリンクを設定、リンクの重み設定

③Roof(4)(0)が③～⑦を全ての全屋根面外周辺始点を対象に繰り返すことにより、全ての全屋根面外周辺始終点高を確定

⑫AR(0)が配置位置決定、Roof(4)(0)がAR(1)～(2)生成、AR(1)～(2)が配置位置決定
Roof(4)(0)がAR(3)を生成、AR(3)がRoof(4)(0)に全屋根面外周辺勾配判定を依頼、Roof(4)(0)が全屋根面外周辺勾配判定

②Roof(4)(0)が全屋根面外周辺[SE]を生成

⑥Roof(4)(0)が高さが明らかなノードの探索

⑨Roof(4)(0)が勾配変化点ではないSE(8)始点にてSE(7)とSE(8)を連結、全屋根面外周辺勾配判定

⑬AR(3)が配置位置決定
Roof(4)(0)がAR(4)生成、AR(4)がRoof(4)(0)に全屋根面外周辺勾配判定依頼、Roof(4)(0)が全屋根面外周辺勾配判定

凡例 屋根領域・全屋根面外周 部屋領域・全屋根面外周 屋根ユニット 部屋ユニット SE(i) : i番目の全屋根面外周 AE(i) : i番目の屋根領域 尾根隅木 (Roof(4)(0)以外) 最低経路 勾配 (上り方向) 勾配 (水平) 勾配 (不明) 隅木配置基準点 尾根隅木延長線 谷隅木延長線 隅木勾配変化点 (想定含む)

図 18 隅木配置位置探索例

法を使用する。以下に全屋根面外周の勾配判定、および、屋根面勾配探索線が探索対象隅木配置基準点を基点とする下り屋根勾配であることを判定する手順を示す。架構部材生成システムにおいて、全屋根面外周の勾配判定は、隅木エレメントに依頼された屋根ユニットが行い、屋根面勾配探索線が探索対象隅木配置基準点を基点とする下り屋根勾配であることの判定は、隅木エレメントが行う。図 18 にこれらの勾配判定例を示す。

手順 1 : 屋根領域辺生成

図 18 の①に示すように、屋根ユニット (Roof(4)(0)) が屋根領域辺を生成する。

手順 2 : 全屋根面外周生成

図 18 の②に示すように、Roof(4)(0) が全屋根面外周を生成する。屋根ユニットは、勾配変化点である接触屋根ユニット基準面正射影全屋根面外周始点と自屋根ユニットの基準面正射影既存隅木終点にて、全ての全屋根面領域辺を分割する。この時点で、Roof(4)(0) は、隅木未生成のため、既存隅木終点による全屋根面外

周の分割はない。

手順 3 : 全屋根面外周始終点高探索

本研究では、全屋根面外周始終点の高低差からの勾配を求めるため、真隅寄棟屋根の特徴を利用した屋根面の任意の 1 点の高さを求める方法 (以後、真隅寄棟屋根面求高法とする) を使用する。

真隅寄棟屋根面求高法は、真隅寄棟屋根面を基準面に正射影した 2 次元平面上で作業する。基準面に正射影した屋根面を基準面正射影屋根領域、全屋根面外周を基準面正射影全屋根面外周とする。次に真隅寄棟屋根面求高法の理論と手順を示す。

手順 3-1 : 仮経路の設定

真隅寄棟屋根屋根面上の雨水などは、より急な勾配の下り方向に流下する。真隅寄棟屋根の勾配種類は、図 19 に示すように、勾配が急な順に、屋根勾配 (1mdh/1mdl)、尾根棟と谷棟の隅勾配 (1mdh/√2mdl)、平棟などの水平がある。また、雨水などは、平棟上において、水平より急な屋根勾配下り方向へ、尾根棟上において、隅勾配より急な屋根勾配下り方向へ流下することから、平棟上と尾根棟上を流

③Roof (4) (0) が基準面正射影求高点 (説明用) から仮経路設定

⑦Roof (4) (0) が最低経路の探索

⑩Roof (4) (0) がSE (7)、SE (10)、SE (12)の棟木勾配変化点探索

⑬Roof (4) (0) がAR (5) 生成、AR (5) が配置位置決定、Roof (4) (0) がAR (6) 生成、AR (6) がRoof (4) (0) に全屋根面外周辺勾配判定を依頼、Roof (4) (0) が全屋根面外周辺勾配判定、AR (6) 配置位置探索不能、Roof (4) (0) に探索不能報告、Roof (4) (0) がAR (6) 消去、Roof (4) (0) は隅木生成終了

-----: 谷隅木 (Roof (4) (0) 以外) ○: 求高点 - - - ->: 仮経路 - - - ->: リンク ●: ノード ○: 高さが明らかなノード n: n mdh n: 求高経路の重み [単位: mdh]
 - - - ->: 尾根隅木 (Roof (4) (0)) -----: 谷隅木 (Roof (4) (0)) - - - ->: 屋根面勾配探索線 AR (i) * A: AR (i) は、i 番目の隅木、* は、隅木配置基準判定要素略号、A は、終点修正

④Roof (4) (0) が基準面正射影全屋根面外周辺始点から仮経路設定

最低経路が経路するノードを座標が、Y が大きい値、X が小さい値の順に A ~ J とする。

求高点がノード A、高さが明らかなノードがノード H (1.0 mdh)、I (1.0 mdh)、J (0.0 mdh) となる。

以下に求高点 (ノード A) の最低経路におけるリンクの重みに高さを加えた求高点高を示す。

最低経路名	求高点 (A) 高	リンクの重み	+ 高さが明らかなノード高
ACFH	3 mdh	= (1.0 mdh + 0.5 mdh + 0.5 mdh)	+ 1.0 mdh
ABCFH	3 mdh	= (0.5 mdh + 0.5 mdh + 0.5 mdh + 0.5 mdh)	+ 1.0 mdh
ABDFH	3 mdh	= (0.5 mdh + 0.5 mdh + 0.5 mdh + 0.5 mdh)	+ 1.0 mdh
ABDH	3 mdh	= (0.5 mdh + 0.5 mdh + 1.0 mdh)	+ 1.0 mdh
ABDGH	3 mdh	= (0.5 mdh + 0.5 mdh + 0.5 mdh + 0.5 mdh)	+ 1.0 mdh
ABDGI	3 mdh	= (0.5 mdh + 0.5 mdh + 0.5 mdh + 0.5 mdh)	+ 1.0 mdh
ABDEJ	3 mdh	= (0.5 mdh + 0.5 mdh + 0.5 mdh + 1.0 mdh)	+ 0.0 mdh
ABDGEJ	3 mdh	= (0.5 mdh + 0.5 mdh + 0.5 mdh + 1.0 mdh)	+ 0.0 mdh
ABDGIJ	3 mdh	= (0.5 mdh + 0.5 mdh + 0.5 mdh + 1.0 mdh)	+ 0.0 mdh

⑪Roof (4) (0) が、SE (7)、SE (10)、SE (12)、SE (13)の勾配判定

⑮Roof (4) (0) が架構部材生成後、Roof (3) (0) に修正を依頼、Roof (3) (0) が架構部材 (再) 生成

れることはない。これらのことから、真隅寄棟屋根面上の任意の 1 点において、雨水などは、より勾配が急な屋根面上の屋根勾配下り方向、谷棟上の隅勾配下り方向の順に流下方向を選択する。また、雨水などが流下する谷棟下端 (終点) は、図 16 の隅木配置基準点テーブルから、全屋根面外周辺端点だけに存在することが確認できる。これらを利用して、全ての隅木が生成されていない、言い換えると、屋根面形状が確定していない真隅寄棟屋根において、雨水などの流下が予想される仮経路を設定する。最初に、仮経路は、屋根面上の高さを求める点 (以後、求高点とする) を基準面に正射影した基準面正射影求高点を始点として設定する。図 18 では、説明用に、最初の時点で、全屋根面外周辺上の勾配判定用に高さを求める必要のない求高点を全屋根面外周辺 SE (11) 上の座標 (6md1, 4md1) に設定している。図 18 の③に示すように、基準面正射影求高点を仮経路始点とし、基準面正射影屋根面領域内を通る 90 × dcr 度 (dcr は、0 ~ 3 の整数) 方向へ仮経路を延伸、仮経路上にお

図 19 単位正方領域屋根面形状種類

いて、仮経路始点が基準面正射影全屋根面外周辺にある場合、始点のある基準面正射影全屋根面外周辺を除く仮経路始点に最も近い基準面正射影全屋根面外周辺との交差点を終点として設定する。次に、図 18 の④に示すように、全ての基準面正射影全屋根外周辺始点を仮経路始点とし、基準面正射影屋根面領域内を通る 45 × dc 度 (dc は、0 ~ 7 の整数) 方向へ延伸、求高点と同様に終点を設定する。ただし、同一位置に仮経路が設定されている (複数の仮経路により構成される場合と始終点の方向が異なる場合も含む) 場合は、設定しない。

屋根勾配 : $p = \frac{a}{10}$ a : 分母を10とした時の屋根勾配を表す分子

基準面正射影全屋根面外周辺上の始点から棟木勾配変化点までの水平距離 : $d_r = \frac{h_1 + h_2}{2p}$ (2)

棟木勾配変化点高さ (想定高) : $h_r = h_0 + pd_r$ (3)

l_1 : 棟木勾配変化点設定前全屋根面外周辺基準面正射影長さ, h_1 : 全屋根面外周辺終点高上限,
 h_0 : 全屋根面外周辺始点高さ, h_2 : 全屋根面外周辺終点高さ

図20 棟木勾配変化点の想定

手順3-2: ノード・リンクの設定

図18の⑤に示すように、仮経路が交差接触する点をノードとし、ノードにより切断された仮経路をリンクとする。

手順3-3: リンクの重みの設定

真隅寄棟屋根の屋根面上において、雨水などが、求高点から、屋根ユニット群の最外部に位置する非接触屋根外周辺 [Fr] の外側に流出するためには、連続した勾配を流下する。また、真隅寄棟屋根の屋根面形状は、図19に示す1辺がn mdlの正方形ABCDの基準面正射影屋根面領域において、平部ABC'D'、出隅部ABC'D、入隅部AB'C'D'の屋根面形状に整理できる。これらの屋根面形状において、他の頂点を經由しない屋根面の2頂点間高低差は、0 mdh、または、n mdhとなる。そこで、雨水などが流下する連続した勾配により構成される経路を探索するため、図18の⑤に示すように、各リンクに重みとして、1辺がn mdlの正方基準面正射影屋根面領域の真隅寄棟屋根の屋根面における他の頂点を經由しない2頂点間の最大高低差のn mdhを与える。

手順3-4: 高さが明らかなノードの探索

図18の⑥に示すように、高さが明らかなノードとして、非接触 [Fr] と架構部材生成済屋根ユニット接触 [cRf] の全屋根面外周辺始点を探索する。Fr 辺始点高は、基準面高さ、cRf 辺始点高は、接触屋根ユニットの全屋根面外周辺始点高とする。

手順3-5: 最低経路の探索

基準面正射影求高点から、手順3-4で求めた全ての高さが明らかなノードまでのリンクの重みによる高低差に、その高さが明らかなノード高を加えた高さが最も低くなる経路 (以後、最低経路とする) をDijkstra法などを用いて求めることにより、求高点の高さを求める。図18の⑦に最低経路の例を示す。基準面高を0 mdhとした場合、求高点高は、3 mdhとなる。この場合、最低経路は、9経路があるが、実際の雨水などの流下経路は、基準面投影求高点から、最低経路のリンクを高さが明らかなノードまで辿る際に、ノード毎に、雨水などの流下と同様に屋根勾配、隅勾配の優先順位で次のリンクを選択することにより求めることができる。図18の⑦の例では、流下経路は、最低経路ACFHとなる。

全屋根面外周辺始点と屋根面勾配探索線の始点高は、それぞれを求高点とし、手順3-1～5を繰り返すことにより求めることができる。

図21 隅木勾配変化点探索と全屋根面外周辺勾配判定例の一部

図22 屋根面勾配探索線の勾配判定例

図18の⑧にRoof(4)(0)の全屋根面外周辺始点高を示す。

図18の⑧のRoof(4)(0)SE(8)、SE(9)の始点のように、接触屋根ユニットRoof(3)(0)の全屋根面外周辺始点高が自屋根ユニットにおいて真隅寄棟屋根面求高法により求めた全屋根面外周辺始点高より高い場合、図18の⑩に示すように、自屋根ユニットの架構部材生成後に接触屋根ユニットに修正 (架構部材再生成) を依頼する。

手順4: 全屋根面外周辺連結

全屋根面外周辺始点高探索が終了した時点で、図18の⑧のSE(8)始点のように、接触屋根ユニット全屋根面外周辺勾配変化点に対応した自屋根ユニット全屋根面外周辺勾配変化点において、真隅寄棟屋根面求高法により求めた高さと同位置の接触屋根ユニット全屋根面外周辺の高さが異なる場合、真の勾配変化点ではないので、SE(7)とSE(8)を連結し、図18の⑨のSE(7)とする。

手順5: 全屋根面外周辺勾配判定および棟木勾配変化点探索と分割

全屋根面外周辺の基準面正射影長と始点高低差から勾配判定を行う。しかし、全屋根面外周辺上に、図17のeに示すような棟木による勾配変化点が存在することがあるため、全屋根面外周辺の勾配判定ができない場合がある。そこで、非接触辺 [Fr]、接触屋根ユニット側が自ユニット側の始点と同高の架構部材生成済屋根ユニット接触辺 [cRf]、始点高差により屋根勾配と判定される全屋根面外周辺を除く、全ての全屋根面外周辺に対して、棟木による勾配変化点 (以後、棟木勾配変化点とする) を探索する。図20に示す棟木勾配変化点の位置を全屋根面外周辺始点からの水平距離は、図

図 2-3 隅木終点探索例

図 2-4 隅木終点位置算出式

中の式 (2)、高さは、式 (3) を用いて想定（以後、この高さを想定高とする）し、真隅寄棟屋根面求高法を用いて棟木勾配変化点の高さを求める（以後、この高さを求高高とする）。a. 棟木勾配変化点の想定高と求高高が同じ場合（図 1-8 の⑨⑩の Roof (4) (0) SE (12)）は、棟木勾配変化点で分割し、分割した全屋根面外周辺始終点の高低差から勾配を判定する（図 1-8 の⑪の Roof (4) (0) SE (12)、SE (13)）。b. 棟木勾配変化点の想定高と求高高が異なる場合において、b-1. 始終点の高さが異なる場合は、棟木勾配変化点で分割せず、仮に、高さの低い端点から高い端点への上り屋根勾配と判定（図 1-8 の⑨⑩の Roof (4) (0) SE (7)、SE (10)）、b-2. 始終点の高さが同じ、かつ、棟木勾配変化点の求高高が、始終点の高さと同じ場合は、棟木勾配変化点で分割せず、水平と判定（図 2-1 の Roof (2) (0) SE (4)）、b-3. 始終点の高さが同一、かつ、棟木勾配変化点の求高高が、始終点の高さと異なる場合は、棟木勾配変化点で分割せず、仮に、両端部を上り屋根勾配と判定（図 2-1 の Roof (2) (0) SE (7)）する。

手順 6：屋根面勾配探索線下り屋根勾配判定

屋根面勾配探索線の下り屋根勾配判定は、探索対象隅木配置基準点において、隅木配置基準点テーブルの iFrDF、iFDrF の探索対象屋根面外周辺始点における全屋根面外周辺状態、または、nBrD、nBDr の探索対象谷隅木終点状態が生じた際に行う。屋根面勾配探索線は、図 2-2 と図 1-8 の⑭の AR (2) 終点の隅木配置基準点に示すように、探索対象隅木配置基準点を始点とし、隅木配置基準点テーブルの屋根面勾配探索方向に下り屋根勾配で延伸、自ユニット内の既存隅木、または、全屋根面外周辺に交差した場合、探索対象隅木配置基準点を基点とした下り屋根勾配と判定する。

c. 最低隅木配置基準点探索

全屋根面外周辺勾配判定が終了した後、図 1-8 ⑫～⑭に示すように、隅木配置基準点テーブルを用いて、最も低い隅木配置基準点である最低隅木配置基準点を探索する。

3-4. 隅木延長線生成

隅木延長線は、図 2-3 に示すように、隅木配置基準点テーブルの判定要素に適合する最低隅木配置基準点において、最低隅木配置基準点を始点とし、隅木終点探索方向に上り隅勾配で延伸し、終点は、基準面正射影隅木延長線上において基準面正射影隅木延長線始点を除く最も近い基準面正射影全屋根面外周辺との交差接触点における基準面垂線との交点とする。

3-5. 隅木終点探索

本研究において、隅木は、始点から終点に向け上り隅勾配のみの設定としている。また、図 2-3 に示すように、真隅寄棟屋根を隅木延長線を含み基準面に対して垂直に切断した断面（以後、隅木延長線基準面垂直断面とする）と屋根面との交線（以後、屋根面交線とする）は、隅木延長線始点から、上り隅勾配のみ、または、上りと下り隅勾配から構成される。隅木延長線は、隅木延長線基準面垂直断面において、始点から屋根面交線の上り隅勾配が終わる点、または、上りから下り隅勾配へと変化する勾配変化点まで隅木に相当する屋根面交線と同位置を占める。これらのことから、隅木終点位置は、隅木延長線の始点から上り隅勾配が終了する点となる。ここで、基準面に正射影した 2 線分が交差接触する位置関係を正射影元の 2 線分が基準面交差接触位置関係にあるとする。また、基準面におけるこの交差接触点を基準面交差接触点とする。本研究において、隅木終点は、隅木延長線基準面垂直断面において、隅木延長線の高さ以下の既存隅木、または、全屋根面外周辺に基づき形成される点に着目し、隅木終点探索は、図 2-4 に示すように、隅木延長線と基準面交差接触位置関係、かつ、基準面交差接触点において隅木延長線の高さ以下の既存隅木、または、全屋根面外周辺（以下、これらを終点判定要素線分とする）のうち、基準面正射影隅木延長線上において、その始点を除き始点に最も近い基準面交差接触位置関係にある終点

図25 正しい隅木終点が決まらない例と修正例

判定要素線分と隅木延長線の基準面交差接触点を探索する。隅木終点の隅木延長線始点からの水平距離を図24の式(4)、高さを式(5)を用いて算出する。

3-6. 隅木終点位置修正

隅木終点探索において、図25の屋根ユニットRoof(3)(0)に示すように、隅木エレメントの隅木終点探索時に、適切な終点判定要素線分が存在しないため、正しい隅木終点位置を決定できない場合がある。そこで、本研究では、新たに終点位置を決定した隅木エレメントが、その隅木エレメントにより終点位置が変化する可能性のある既存隅木に終点位置の修正を依頼することにより、正しい終点位置を算出する方法を用いる。修正を依頼する対象となる隅木エレメント(以後、修正依頼先隅木とする)は、新規生成、または、他隅木から修正依頼を受けて新たに終点位置を決定した隅木エレメント(以後、修正依頼元隅木とする)の隅木延長線の始点を除き、修正依頼元隅木の隅木延長線と隅木延長線が基準面交差接触位置関係にあり、かつ、基準面交差接触点において、修正依頼元隅木の隅木延長線以上の高さの隅木延長線を持つ既存隅木とする。ただし、自隅木エレメントに修正を依頼した修正依頼元隅木は、除く。修正を依頼された隅木は、終点位置を探索、終点位置が変化しない場合、修正

依頼元隅木に修正終了を報告する。終点位置が変化し、かつ、修正依頼先隅木が存在する場合、修正依頼先隅木に終点位置修正を依頼、全ての修正依頼先隅木から修正終了報告を受けた後、修正依頼元隅木に修正終了を報告する。これらの隅木終点位置修正を繰り返すことにより、図25の④の最終結果が示すように、隅木の正しい終点位置が決定される。

4. まとめ

本研究において架構部材生成システムで生じる全ての状況に対応できる真隅寄棟屋根隅木生成部分を構築することができた。また、システム構築過程において、次の知見を得た。

- ①隅木配置基準点探索部分において、隅木下端位置、隅木種類、隅木上端方向は、全屋根面外周とその勾配、隅木上端、一部の屋根面の屋根勾配方向で決定することができる。
- ②①の全屋根面外周の勾配方向と屋根面の屋根勾配方向の判定に必要な真隅寄棟屋根の任意の1点の高さは、真隅寄棟屋根の特徴とグラフ理論を用いて、求めることができ、更に、それを利用して、雨水などの流下経路を求めることができる。
- ③隅木終点探索部分において、隅木上端位置は、隅木下端から隅木上端方向に上り隅勾配で延伸した隅木延長線と

立体的に交差接触する既存隅木の隅木延長線と全屋根面外周から求めることができる。

これらは、住宅生産、教育訓練などの分野に応用が可能である。

注

- 注1) 屋根ユニットは、複数の屋根面で構成される場合もあるため、単一の「屋根面」ではなく屋根ユニットの「全屋根面」と表現する。
- 注2) 本研究では、既報¹⁾の表8の勾配辺の名称をより適切な表現である全屋根面外周に変更する。
- 注3) 架構部材生成システムにおいて、棟木は、真隅寄棟屋根の母屋として生成するため、エッジメントとして設定していない。本研究では、説明のために使用する。

参考文献

- 1) 水嶋克典, 武生和久, 木村明博, 松留慎一郎, 小松幸夫: 構成要素の連携による架構部材生成システムの構成と基本動作 ―構成要素の連携による木造組構法住宅の架構部材生成システム― その1ー, 日本建築学会計画系論文集, 第647号, pp. 279-288, 2010. 1
- 2) 鈴木郁子, 小西直子, 長江貞彦: 多角形領域分割問題を応用した屋根の自動設計―建築用CADシステムにおけるマンマシンインターフェースの改良―, 図学研究 48号, pp. 7-13, 1988. 12
- 3) 佐藤奈緒美, 沢田尚志, 岩間淳二: 建築CADのための屋根形状の分析と自動作成時の屋根面分割アルゴリズム, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A分冊, pp. 1543-1544, 1993. 7

(2012年2月10日原稿受理, 2012年6月27日採用決定)