

部材構成に着目した BIM によるプレハブ応急仮設住宅の 数量表および設計図書の自動作成プログラムの開発

Development of an Automatic Creation Program of Quantity Estimation and Design Development Document Creation for Emergency Provisional Housing Focusing on Building Components Using BIM

○玉木 蒼乃^{*1}, 大西 康伸^{*2}
Aono Tamaki^{*1}, Yasunobu Onishi^{*2}

*1 熊本大学大学院自然科学教育部 大学院生

Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University.

*2 熊本大学大学院先端科学研究部 准教授 博士(学術)

Associate Prof., Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto Univ., Ph. D.

Summary: To provide emergency provisional housing quickly after natural disasters, BIM is used to shorten the planning and construction documentation period of such housing. As an attempt to support the construction documentation of prefabricated provisional housing with BIM, the purpose of this study is to automatically provide design development documents and quantity tables for all automatically arranged emergency provisional housing units. The research progress is as follows. 1) The specifications of the basic BIM models (3 types of units and 4 types of walls) were proposed that constitute the provisional housing units, and the BIM models were developed. 2) Based on the information of automatically situated dwelling units, the developed program can automatically create dwelling unit models for emergency provisional housing by automatically combining basic BIM models and adding building materials of the dwelling units. In addition, the developed program could automatically create design development documents and quantity tables from the BIM model of the dwelling units. 3) The feasibility of application of the automatically created design development documents and quantity tables was evaluated and inspected. As a result, by creating the basic BIM models manually, it would be easy to automatically complete the dwelling unit design, design development documents, and quantity tables.

キーワード: 応急仮設住宅団地; BIM; 数量算出; 実施設計図; 生産設計; 自動化

Keywords: Emergency provisional housing complex; BIM; Quantity estimation; Design development documents; Construction documentation; Automation.

1. 研究の背景と目的

災害発生後に供給される応急仮設住宅（以下、仮設住宅）は、現地調査から供給までに通常約 4 週間もの期間を要する。そのうち着工までの工程の約 1 週間は、配置案の作成と住戸の設計に費やされている。そこで、既往研究¹⁾では、着工までの工程で最も時間を要していた仮設住宅の配置案の作成期間の短縮を目指し、コンピュータによる自動実行と人の手動操作を組み合わせたプロセス（以下、対話的プロセス）により、これまで人が行っていた煩雑な作業を効率化した。しかし、住戸の設計期間における数量表や実施設計図の作成などの実施設計段階の自動化は未着手であり、配置案の作成と同様に住戸の設計についても期間の短縮が必要である。また、実施設計段階で BIM を導入することで数量表や整合性の高い図面の作成が自動で行えるとされているが、BIM を用

いた数量表の作成は、モデリングの有無や要求される数量表の形式などにより作成が不可能な場合がある。また、BIM で実施設計図を作成するためには BIM パーツの事前の作り込みや図面への寸法及び注釈の加筆、図面の修正が不可欠である。

そこで本研究では、BIM を用いたプレハブ仮設住宅の設計支援を行う試みとして、既往研究¹⁾で自動配置された仮設住宅のすべての連棟の数量表および実施設計図の自動作成を行うプログラムの開発およびその評価を行う。

2. 既往研究

永尾ら^{2) 3)}の一連の研究では、3次元 CAD を用いた生産設計におけるコストコントロールのための根拠数量の算出について論じている。生産設計のために部材の数量算出を行い、作成した 3D モデルにどのような属性情報

を追加すればよいか検討している点では本研究と類似している。しかし、この研究で算出した根拠数量は部材の15品目についてであり全体予算の約47%と限られた根拠数量の把握に留まっている。本研究ではプレハブを対象とすることで、仮設住宅における主な部材153種類の数量の把握が可能になったと考える。また本研究では、プログラムにより、モデリングしている部材からモデリングをしていない部材を間接的に算出することが可能である点も既往研究^{2) 3)}と異なる。

また、永尾ら^{2) 3)}の研究では図面の作成は行われていないが、本研究ではBIMモデルを用いた実施設計図の自動作成を試みている。

3. プレハブ応急仮設住宅の数量表と実施設計図の作成における問題点

3.1.数量算出と実施設計図作成にかかる手間

プレハブ仮設住宅は、6型、9型、12型^{注1)}の3種類の住戸タイプの組み合わせによって構成される連棟の種類ごとに実施設計図を作成し、作成した実施設計図から数量算出を行う。仮設住宅の配置案は、敷地ごとにいくつかの決まった住戸タイプの並び(連棟)が用いられるが、それら連棟のみでは配置計画に不十分な場合には新たな連棟が作成されるため、その都度数量表と実施設計図を作成しなければならない。

また、プレハブ仮設住宅はプレハブ材と非プレハブ材から構成される。プレハブ材は規格化された部材、非プレハブ材はメーカーが製造する機器や部品と現場で職人により加工される造作材で構成される部材である。自治体の要望や資材の調達可能性などにより被災地ごとに住戸の仕様や間取り、非プレハブ材が変更されるため、その都度実施設計図や数量表を作成しなければならない。以上のように仮設住宅にプレハブ工法を採用しても、それを生かされず手間が掛かっていることが現状である。

3.2.連棟の情報を考慮して配置する部材の存在

プレハブ仮設住宅では3種類の住戸タイプごとに間取りや数量がある程度決まっているため、連棟を構成する住戸タイプの情報から、数量表と実施設計図を事前に作成することで作業時間の短縮が期待できる。

しかし、仮設住宅に使用される部材には住戸タイプをまたいで配置される部材や、隣り合う住戸タイプによって配置が変化する部材が存在し、そのような部材は住戸タイプごとではなく、連棟構成後の連棟情報を考慮することで初めて配置が可能となる。住戸タイプをまたいで配置される部材として母屋や土台があり、これらは連棟全体の長さを長さの規格が大きい部材で順に割り付けるように配置する(図1)。また、隣り合う住戸タイプによって配置が変化する部材として庇や屋根の水平ブレース

があり、これらの部材は隣り合う住戸タイプによって他の部材に置き換える必要がある(図2)。以上のことから、連棟情報がない段階で数量表と実施設計図を作成しておくことは困難であるため、プレハブ工法を採用したとしても事前に数量表と実施設計図を作成しておくことはできない。

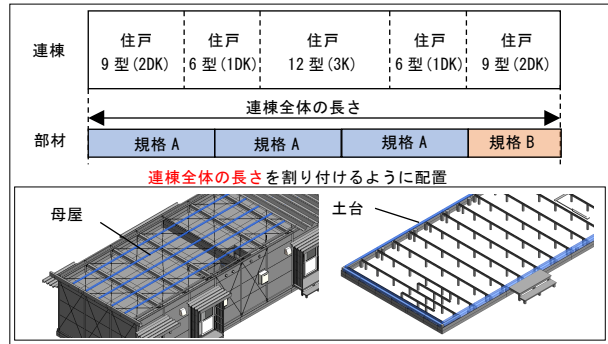


図1 住戸タイプをまたいで配置される部材

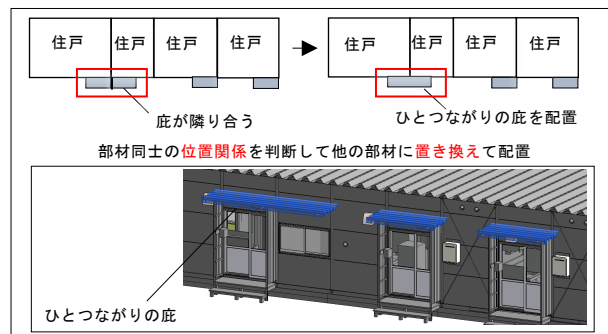


図2 隣り合う住戸タイプによって配置が変化する部材

4. 数量表と実施設計図の自動作成プログラムの開発

4.1.プログラムの概要

本研究では、BIMツール上で動作する、数量表および実施設計図の自動作成プログラムを開発する。開発にあたりBIMツールとしてオートデスク社のRevit2019(以下、Revit)、プログラミングツールとしてRevit上で動作するGAE(Graphical Algorithm Editor)であるDynamo2.0.3(以下、Dynamo)、また数量表の作成には表計算ソフトであるExcel2016(以下、Excel)を使用する。

プレハブ仮設住宅の数量表と実施設計図の自動作成を目指して、6つのプログラムを開発した^{注2)}。各プログラムの内容を表1に、構成を図3に、処理の流れを図4に示す。

表1 プログラムの内容

プログラム4	連棟の種類を削減するために、連棟を構成する住戸タイプが同じで並びが異なる連棟の並びを統一する(以下、並び替え)。
プログラム5a	並び替えを行った連棟の構成情報から連棟ごとにプロジェクト ^{注3)} を作成する。その際、並びを考慮しなければ配置できない部材を自動配置する。
プログラム5b	自動設計した連棟詳細モデル ^{注4)} から、数量表を作成する。
プログラム5c	数量表と部材パーツの対応の確認を行うために、対応を確認したい部材をハイライト表示する。
プログラム6	自動設計した連棟詳細モデル ^{注4)} から、実施設計図を作成する。
プログラム7	並びを統一した配置案を連棟詳細モデルによって置き換えることで、詳細化を行う。

※次項4.2参照

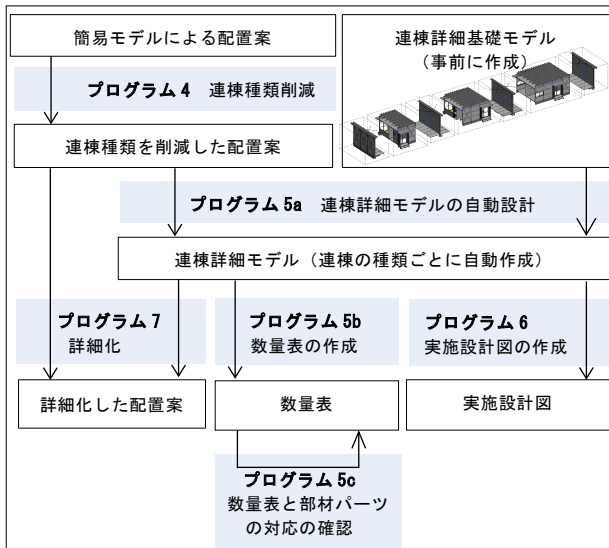


図3 プログラムの構成

4.2. 連棟詳細基礎モデルの仕様

既往研究¹⁾で簡易モデルによる配置案を詳細化する際に用いられた詳細モデルは、VRを用いた住景観の評価を目的としており数量表と実施設計図の作成に用いるには不十分であった。そのため、数量表と実施設計図の自動作成に対応した新たな詳細モデルの仕様を提案する。プレハブ仮設住宅の連棟は、3種類の住戸タイプと、左右の妻壁、耐力壁、非耐力壁の4種類の壁の組み合わせによって構成されているため、自動作成された連棟配置案に基づいて、これらを組み合わせることで連棟詳細モデルを自動作成し、その連棟詳細モデルから数量表と実施設計図を作成する。その際、住戸や壁を1つのパーツとしてファミリ^{注4)}化すると、図面注釈の追加が困難となり図面作成に対応できない。また、連棟詳細基礎モデルを設計する際、システムファミリが使用できないため Revit による通常の設計とは異なる操作が生じる。そこで、7種類の住戸タイプや壁をファミリとして作成するのではなく、プロジェクト内に入力された部材ファミリの集合（以下、詳細グループ）として作成し、連棟詳細モデルのもととなる連棟モデル（以下、連棟詳細基礎モデル）を作成する。また連棟詳細基礎モデルの詳細グループを並び替えおよび複製し、1つの連棟ごとに1つのプロジェクトを作成することで、連棟を自動設計できる利便性と Revit で通常どおり自由に設計できる柔軟性の両立が可能となる。各詳細グループはプレハブ材と非プレハブ材の2種類の部材ファミリで構成される（図5）。また、プレハブ材は図面表記の有無によってモデリングを行うプレハブ材（以下、直接算出材）とモデリングを行わないプレハブ材（以下、間接算出材）に分類する。直接算出材には、部材ファミリから数量を直接算出するために、ファミリのパラメータにコードナンバー^{注5)}を追加する。また、非プレハブ材は算出したい単位によ

て面積算出材、長さ算出材、個数算出材のいずれかに分類し、それぞれの部材ファミリにパラメータを追加する（表2）。

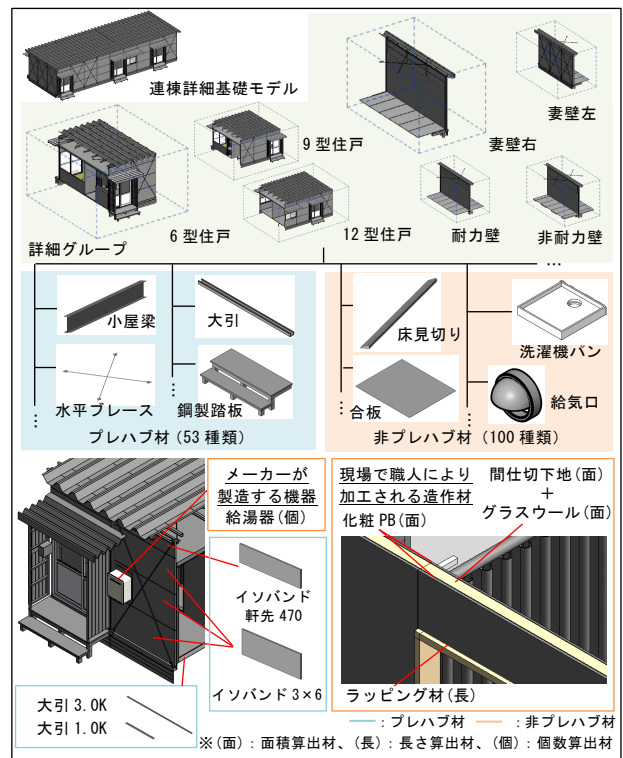


図5 詳細グループの構成

表2 非プレハブ材の分類と追加パラメータ

面積算出材		長さ算出材		個数算出材	
パラメータ名	数値	パラメータ名	数値	パラメータ名	数値
部材厚さ	〇〇(mm)	部材長さ	〇〇(mm)	単位	個・台など
規格縦	〇〇(mm)	規格長さ	〇〇(mm)		
規格横	〇〇(mm)				

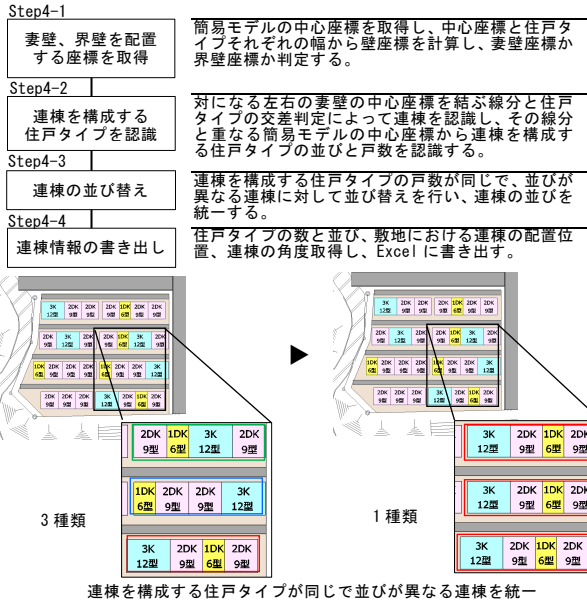
4.3. プログラム4（配置案の連棟種類の削減）

プログラム4では、既往研究¹⁾で作成された配置案の連棟の種類を削減することを目的とし、連棟を構成する住戸タイプとその数は同じで、並びが異なる連棟の並びの統一を行う（以下、並び替え）。これは、数量表、実施設計図はともに連棟の種類ごとに必要であり、連棟の種類が増えるほど、書類作成の手間や施工時の理解不足による間違いが増加するためである。連棟種類の統一後、連棟情報（住戸タイプの数と並び、敷地における連棟の配置位置、連棟の角度）を Excel に書き出すことで、連棟情報を後述のプログラムで使用することが可能となる。

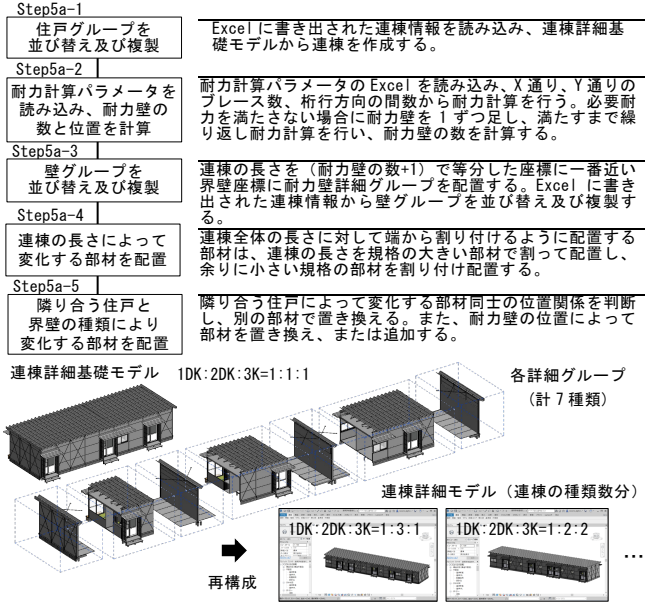
4.4. プログラム5a（連棟詳細モデルの自動設計）

プログラム5aでは、配置案の連棟情報に基づき、連棟詳細基礎モデルを構成する詳細グループを複製及び並び替えることで、連棟の種類ごとに連棟詳細モデルを自動設計する。その際、仮設住宅の数量表と実施設計図の

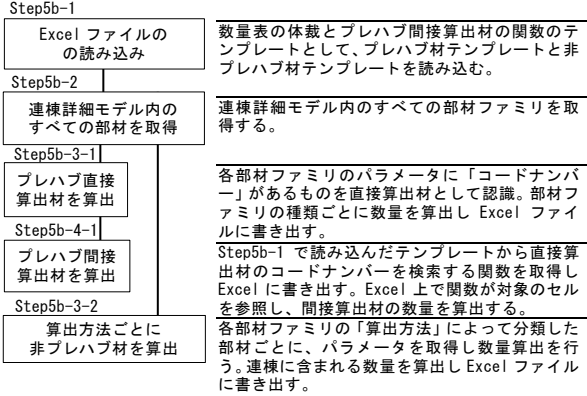
■ プログラム 4 (連棟種類の削減) の処理の流れ



■ プログラム 5a (連棟詳細モデル自動設計) の処理の流れ



■ プログラム 5b (数量表の作成) の処理の流れ

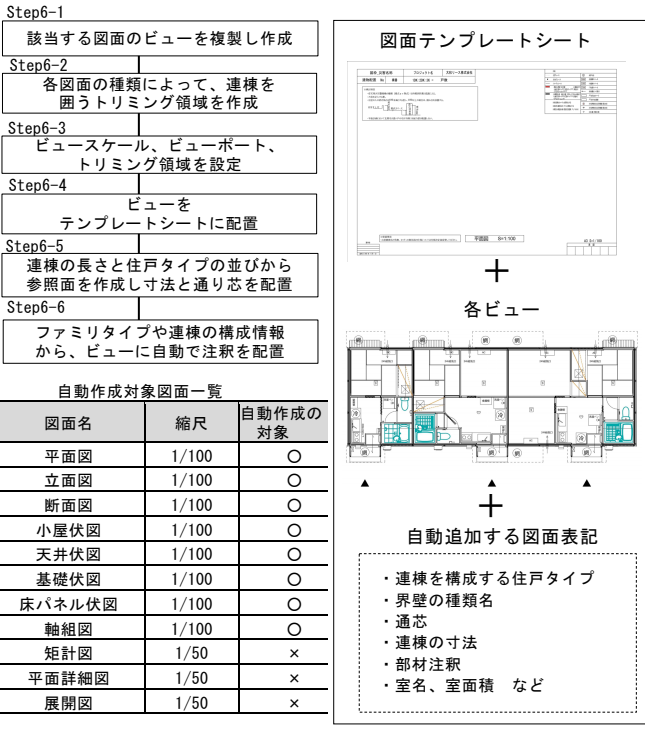


管理No.	棟名	応急取組住宅	竣工年月	更新履歴	最終更新日時
10000001	SAIS	1000	1000		

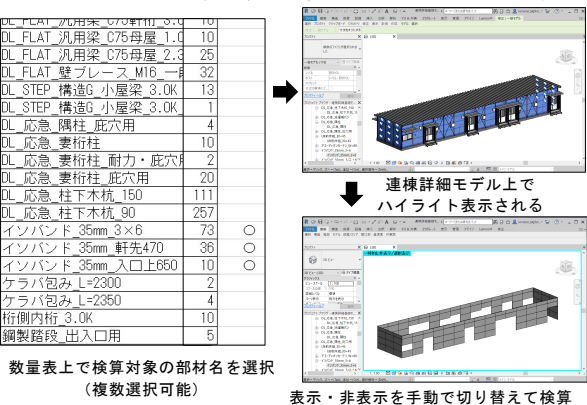
コードナンバー	ファミリー名	明細数量	コードナンバー	品名	間接算出材
81609501	DL_FLAT_汎用梁_C75母屋1.0	45	7108500	鋼骨柱	コーナ
81609502	DL_FLAT_汎用梁_C75母屋2.3	54	20116000	土台水切(吹)	コーナ
22103500	DL_FLAT_汎用梁_C75母屋2.3	22	20305500	新製壁見切	要項
33241001	DL_FLAT_汎用梁_C75軒付1.0K	4	20302700	新製壁見切	型(外下用)
33241002	DL_FLAT_汎用梁_C75軒付3.0K	6	18301100	入口下パッキン	T型
34241001	DL_FLAT_汎用梁_C75母屋1.0K	4	18208200	窓下パッキン	I S25用
34241002	DL_FLAT_汎用梁_C75母屋2.3	10	18208500	窓下パッキン	I S25用
34241003	DL_FLAT_汎用梁_C75母屋3.0K	15	18102100	壁パッキン	I S25用
81609495	DL_FLAT_壁ブレース_M16	29	18102200	壁パッキン	I S35用
10000001	DL_応急_鋼柱_庇穴用	3	18300200	窓下パッキン	I S35用
10000001	DL_応急_鋼柱_庇穴用	3	23800200	庇骨金物	内
10000001	DL_応急_鋼柱_庇穴用	3	23800100	開閉金物	外

作成した数量表一部抜粋

■ プログラム 6 (実施設計図の作成) の処理の流れ



■ プログラム 5c (数量表と部材パーツの対応の確認)



■ プログラム 7 (配置案の詳細化) の処理の流れ

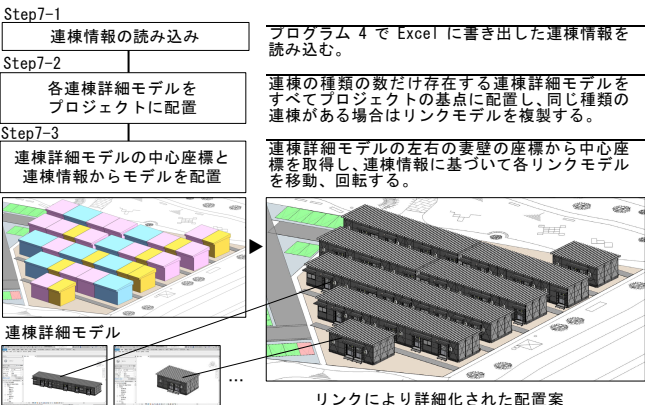


図 4 プログラムの処理の流れ

自動作成における問題点として挙げた、各詳細グループの複製及び並び替えでは対応できない住戸部材については、連棟を構成後、連棟情報を考慮し住戸部材の自動配置を行う。自動配置を行う住戸部材を表3に示す。

表3 自動配置する部材

	自動で配置する部材
住戸タイプを またいで配置される 部材する部材	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製土台 (1.5K、2.0K、3.0K、コーナー用) 軒削内桁 (1.5K、2.0K、3.0K) 軒桁 (1.0K 端用、1.0K、2.0K、3.0K) 母屋 (1.0K 端用、1.0K、2.0K、3.0K) 幕板
隣り合う住戸 タイプによって 配置が変化する部材	<ul style="list-style-type: none"> 庇折板 (L=2200、L=4000) 庇腕木 (妻桁柱用、隅柱用) 妻桁柱 (庇穴用、耐力用、耐力・庇穴用、等) 隅柱 (庇穴用、その他) 防風壁 水平ブレース

4.5.プログラム 5b (数量表の作成)

プレハブ材に関して、間接算出材であるボルトやナットなどは直接算出材である柱や梁などの部材の数量から決定されるため、モデリングを行わず直接算出材の数量から関数によって算出することが可能である。また、非プレハブ材は算出する数量(面積、長さ、個数)によって3種類に分類する。

非プレハブ材は全てモデリングを行い、算出する単位によってプログラムを用いて、部材パーツから取得する属性情報を選定している。面積算出材はシステムファミリの壁や床、天井で作成し、システムファミリの構造のマテリアルの面積を算出しているため、構造が複層の場合にも対応することが可能である。

算出した数量を書き出す際は、事前に Excel で作成した体裁をテンプレートとして読み込み、テンプレート上に書き出すことで、実務で使用されている形式に沿った形式での数量表の作成が可能となる。

4.6.プログラム 5c (数量表と部材パーツの対応の確認)

プログラム 5c では、自動作成した数量表と連棟詳細モデル内の部材パーツの対応の確認を行う。数量表内で対応を確認する対象の部材名を指定しプログラムを実行することで、Revit モデル上で部材が選択状態になりハイライト表示される。ハイライト表示された部材の表示、非表示を Revit 上で手動で切り替えることで対応の確認が可能である。

4.7.プログラム 6 (実施設計図の作成)

BIM ツールで自動作成される図面は、実務で利用可能な実施設計図としては表現が不十分である。BIM ツールを用いた場合でも実施設計図の作成には、BIM パーツの作り込みやビュー、注釈、寸法線の追加など煩雑な作業が多く存在する。そこで、プログラム 6 では、各図面のビューや寸法、注釈を自動作成し図面テンプレートシートに自動で配置することで、実施設計図の自動作成を行

う。各図面のビューは連棟の長さや作成図面の種類によって表示範囲を決定し作成を行う。図面注釈のうち、寸法や通り芯は、オブジェクトの指定をプログラムで行うことが難しいため参照する位置に「参照面」を自動で配置することで作成している。部材仕様や室名、室面積などの図面注釈は、部材パーツ内に属性情報を追加し、それらの情報をプログラムで取得することで作成している。ただし、寸法や図面注釈の表示位置は手動での調節が必要である。

連棟ごとにプロジェクトを作成することで、プロジェクト内に複数の連棟が存在する場合に生じるビューのトリミング領域の設定が困難になる問題や、連棟ごとに別の通り芯番号を配置できない問題、住戸や壁をファミリー化した際に生じる図面注釈などの属性情報を部材ファミリーから取得できない問題を解決できる。作成した図面の一部を図6に示す。

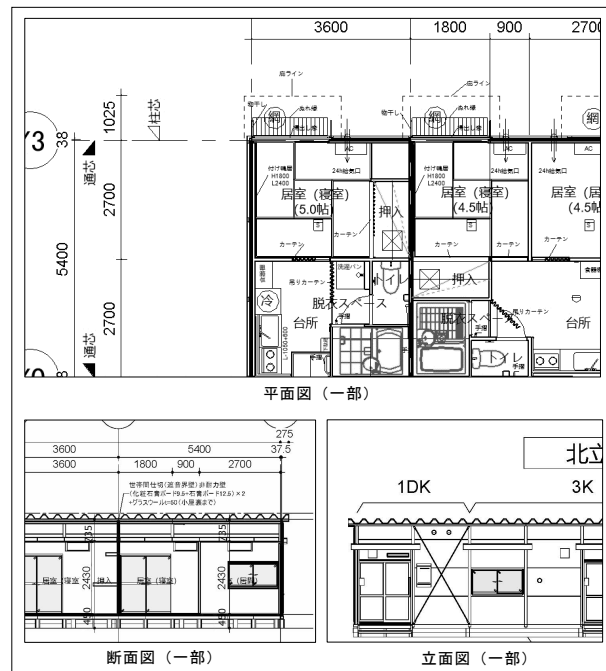


図6 自動作成した図面

4.8.プログラム 7 (配置案の詳細化)

プログラム 7 では、プログラム 4 で連棟種類を削減した簡易モデルによる配置案の連棟を、プログラム 5a で作成した連棟詳細モデルで置き換えることで詳細化を行う。その際、プログラム 4 で書き出した Excel の連棟情報に含まれる住戸タイプの数と並び順、敷地における連棟の配置位置、連棟の角度を用いて、簡易モデルの配置と同様の位置にリンク^{注6)}によって連棟詳細モデルを配置している。リンクを用いることで、詳細化した配置案のプロジェクトのデータ量が縮小され、よりスムーズな操作が可能になる。また、各連棟詳細モデルを変更した場合、リンク先を変更するだけで配置案に反映される。

5. 開発プログラムの評価と考察

5.1. BIMを用いた数量表の作成について

開発したプログラムによって作成した数量表と実在案の数量表との比較により評価を行う(表4)。比較に用いた実在案の数量表は、熊本地震の際に作成されたもののうち、各住戸タイプと耐力壁を一つずつ含む3戸連の連棟の数量表を選定した。比較の結果、プレハブ材の数量は直接算出材、間接算出材ともに完全に一致した。非プレハブ材は個数算出材の数量は89%が一致したが、面積算出材は54%、長さ算出材は29%と低い一致割合となった。

以上のことから、BIMとプログラミングツールを用いることでプレハブ材や個数算出材のような、部材の個数を算出する部材は概ね算出が可能であることが分かった。しかし、面積算出材や長さ算出材のような部材の形状に数量の算出結果が依存する部材は、情報不足^{注7)}による形状、位置、大きさ等のモデリングの不備や、実務における数量表作成の際の図面からの手拾い作業によるミスが含まれる可能性があり、それらの確認ができなかったことが一致割合が下がった原因であると推測できる。

表4 数量表の比較結果

	プレハブ材		非プレハブ材		
	直接算出材	間接算出材	面積算出材※	長さ算出材※	個数算出材
部材種類	46	51	19	14	57
一致	46	51	10	4	51
不一致	0	0	9	10	6
一致割合(%)	100	100	54	29	89.5

※面積算出材と長さ算出材は、モデリングの精度によって数量が容易に変化する。そのため、差が-10%~10%の部材は誤差とみなし、「一致」に分類した。

5.2. BIMを用いた実施設計図の作成について

開発したプログラムによって作成した実施設計図と、実在案の実実施設計図との比較により評価を行う。比較で用いた実在案の実実施設計図は、熊本地震の際に作成されたもののうち、各住戸タイプを一つずつ含む3戸連の連棟の実実施設計図を選定した。比較の結果、不足している情報として、ビューの切断面の高さによって表示されない部材や各部屋間のレベル差を示す注釈、界壁の種類ごとの断面表現などが挙げられた。これは、Revitでは平面の切断高さを部分的に変化させることができないことに起因している。従来の図面表記に合わせるのではなく、BIMならではの新たな図面表記を提案する必要があると考える。

また、本研究では実施設計図のうち縮尺が1/100の図面を対象として自動作成を行ったため、実務での利用を想定した際には、平面詳細図や矩計図、展開図など縮尺が1/50の図面の作成が必要である。本プログラムでは自動で配置した参照面に対して寸法の配置を行っているが、縮尺が大きくなることに伴ってより詳細な寸法が必要となるため寸法の追加方法についても課題になると考える。

6. 研究の成果と課題

本研究の成果は、1)自動で連棟詳細モデルが作成されるという利便性と連棟詳細基礎モデル内の各詳細グループが自由に設計できるという柔軟性の両立、2)数量表と実施設計図の自動作成に対応した応急仮設住宅のBIMモデルの仕様の提案、3)自動連棟設計プログラムの開発、4)実務の方針に沿ったプレハブ仮設住宅の数量表と実施設計図の自動作成プログラムの開発、5)BIMを用いた数量表と実施設計図の作成についての評価、の5つがあげられる。課題は、1)未着手である平面詳細図、展開図、矩計図の自動作成、2)配置案の作成と住戸の詳細設計を同時並行で行うことに対応したプログラムの改善、3)BIMの特徴を生かした図面表記の提案、の3つがあげられる。

謝辞

大和ハウス工業株式会社、大和リース株式会社の関係者の方々には、研究を進めるにあたり貴重なデータをご提供いただくとともに、多大なご助言を賜りました。この場をお借りして御礼を申し上げます。

注釈

注1)6型は1DK、9型は2DK、12型は3Kの間取りを示している。

注2)プログラム1~3は仮設住宅の敷地の形状に応じて、住戸及び駐車場が自動配置され、さらに手動で幹線道路や敷地のゾーニングを変更できるプログラムである。その続きとして開発したプログラムであるため、プログラム4から名称を始めた。

注3)Revitにおける建築情報の単一のデータベースファイルのこと(Revitで作成した建物ファイル)。

注4)Revitで用いるBIMパーツのこと。

注5)某プレ協会員企業がプレハブ材を管理、調達するために社内内で用いている管理番号。社内での形式は8桁の数字であるが、本研究ではさらに詳細な分類のためにアルファベットを追加している。

注6)あるプロジェクトで作成されたモデルを、それとは別のプロジェクトで参照表示すること。

注7)図面からBIMモデルを作成したため、図面で確認できる範囲でのモデリングに留まっていることによるもの。

参考文献

- 1) 福岡怜大、大西康伸、「対話的計画機能を実装したBIMによる仮設住宅配置案の作成手法に関する研究」、日本建築学会第42回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集(DVD)、pp.48-53、2019.12
- 2) 永尾眞、福島清、曾根巨充、藤井裕彦、松葉裕、綱川隆司、東間敬造、菅島敬、「数量算出とコストコントロールの可能性 生産設計における3次元CADシステム(その1)」、日本建築学会技術報告集、第21号、pp373-377、2005.6
- 3) 永尾眞、福島清、曾根巨充、藤井裕彦、松葉裕、綱川隆司、東間敬造、菅島敬、「ラフモデルと施工標準モデルによる数量算出とコストコントロール 生産設計における3次元CADシステム(その2)」、日本建築学会技術報告集、第22号、pp543-548、2005.12