

BIM を利用した構造設計モデルに基づく 型枠データの自動作成に関する研究

Study on the Automatic Modeling of Concrete Formwork based on a Building Structure Model using BIM

○松尾 賢史*¹, 大西 康伸*²
Satoshi Matsuo*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 : In recent years, the development of BIM has been remarkable, with many design offices and general contractors creating BIM models. However, the created BIM models are used only in specific fields, and are rarely used for other purposes. In addition, the shortage of craftsmen has become serious in formwork construction, and inefficient work in calculating formwork quantities and uncertainty in estimating the contents of construction costs have become issues. Therefore, based on the structural design model created at the design stage, taking formwork construction as an example, we proposed a method of automatically creating a BIM model that has formwork information. In this study, we used the sheathing board of the main formwork component, as the object, and examined the arrangement rules for program implementation by interview survey, and evaluated the implemented program. As a result, it was possible to automatically create a BIM model with the area and basic arrangement information of the sheathing board. This method could be used for purposes other than structural design, such as facilitation of the contract between the people involved, adjustment of the number of people at an earlier stage, and design study taking into consideration the construction cost.

キーワード: せき板; 自動化; BIM; 割付; ビジュアルプログラミング

Keywords: Sheathing board; Automation; Building Information Modeling; Arrangement; Visual programming.

1. 研究の背景と目的

近年、Building Information Modeling (以下、BIM) の普及、発展は著しく、設計事務所やゼネコンは、設計から施工、維持管理に至るまでの建物のライフサイクル全体で多種多様な建物の情報を一元管理し、活用する試みを行っている。しかし、利用目的毎に BIM モデルを手間と時間をかけ作成することが多く、BIM 本来の目的である一つのモデルを多種多様な目的のために利活用するという理想とはかけ離れた状態であると言える。異なる目的のために作成された BIM モデルであっても、自動に必要なオブジェクト情報を付加することで、他の目的で当該モデルを利活用することが可能となると考える。一方で、近年、施工における BIM の利活用が検討され始めており、設計 BIM データから施工のための BIM データの自動生成が期待されている。そこで本研究では、本来的な BIM の利活用の第一歩として型枠工事を取り挙げ、そこに生じる問題を明らかにすることを目的とする。

型枠工事において、型枠加工図を作成し、それに基づ

き施工ができる技術を持った型枠職人が不足している。また、その元請となるゼネコンは、現場では手計算で型枠の数量を算定するという非効率な作業を強いられており、また、関係者間の契約時においては、型枠の見積内容が不透明であることによるコストコントロールの困難さが課題となっている。

本研究では、設計段階でゼネコンが作成した構造設計モデルをもとに、型枠の情報 (本研究では主要な構成材であるせき板) を持つ BIM モデル (以下、型枠データ) を自動生成する手法の提案を行う。これにより、BIM モデルの属性情報を参照し、自動で型枠の数量算出ができるとともに、3次元モデル上で型枠の数量の根拠を目で見て確認できるため、前述した問題を解決しようと考えている。せき板の自動作成をケーススタディーとして、前述した BIM モデルの多様な活用の可能性について論じる。

2. 従来研究

永尾ら^{1) 2)}の一連の研究では、3次元 CAD を用いた

生産設計における数量算出とコストコントロールについて論じている。設計段階で作成したモデルから生産設計のための部材を数量算出するという点では本研究と類似している。しかし、これらの研究は数量算出の対象が入力されたモデルであるのに対し、本研究は自動生成したせき板に基づき数量算出を行っているという点で異なる。

また、石田ら³⁾は、内装間仕切壁に使用するボード材の残材量に着目し、残材量が最小となるような割付図と加工図の最適化に関する研究を行った。これは BIM モデルに対して情報を新たに追加しているという点では本研究と類似しているが、本研究は多様な部位に対してより複雑な形状のオブジェクトを自動生成することを試みており、自動生成の難易度は高いと言える。

3. 型枠工事における問題点

3.1. 型枠工事会社における問題点

型枠工事会社はゼネコンが作成した生産設計図をもとに型枠加工図を作成するが、その方法は 2 つある。1 つは、躯体図をもとに展開図を作成し、それを基に型枠加工図を作成する方法である。もう一方は、躯体図をもとに割付に特化した専用ソフト^{注1)}を使って図面を作成する方法である。前者の方法は経験に頼った高度な設計作業が必要のため、作図に多大な手間と時間を要し、人為的なミスが生じる可能性がある(図 1)。後者の方法では、躯体図を参照しながら、躯体の位置や寸法などの情報を専用ソフトに入力する。この方法は、BIM の導入により 3 次元のモデルが存在する場合でも、それをそのまま活用できないため、再入力するという手間が生じている。

また、型枠工事において型枠を施工する職人の不足や型枠加工図を作成できる熟練技能者の不足による技術力や品質の低下が懸念されている。

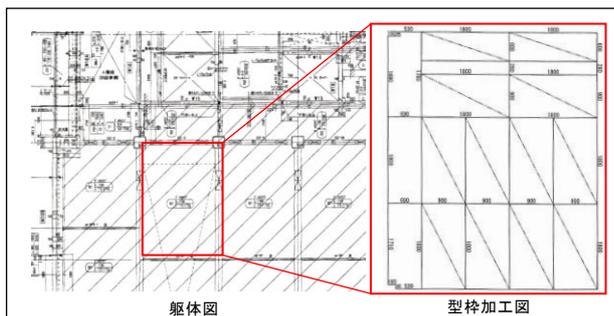


図 1 型枠工事会社における図面作成

3.2. ゼネコンにおける問題点

ゼネコンは型枠工事会社や施工主と契約を結ぶ際に、型枠の 1 m²あたり単価(材料費や労務費など)をもとにした工事費が必要となるため、型枠の面積を計算する。ゼネコンが面積算出を行う段階は、デザインビルド方式と設計施工分離方式のどちらの発注方式であるかによって異なるが、どちらの方式も上流段階では限られた設計情

報をもとにした数量しか算出できず、概算にとどまっている(図 2)。そのため、下流段階においてより詳細な数値が必要な場合は、設計図書をもとにして精算算出を行っている。

また、ゼネコンが型枠工事会社や施工主と契約をする際、図 3 の手順で契約を行う。この時、型枠の必要面積を算出する元となった図面と、型枠の面積の算出結果をもとに質疑応答や見積を行うが、図面からせき板の配置を想像することは難しく、面積の根拠を把握することができない。そのため、型枠の数量の根拠が不透明なまま契約を結ぶことも少なくない。

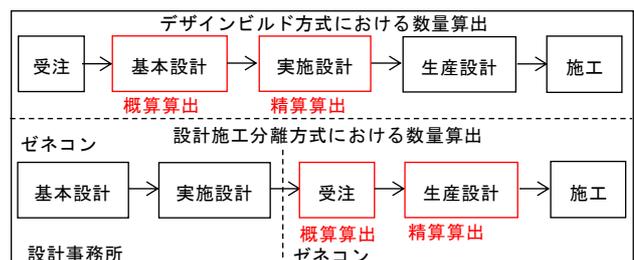


図 2 ゼネコンによる型枠の数量算出

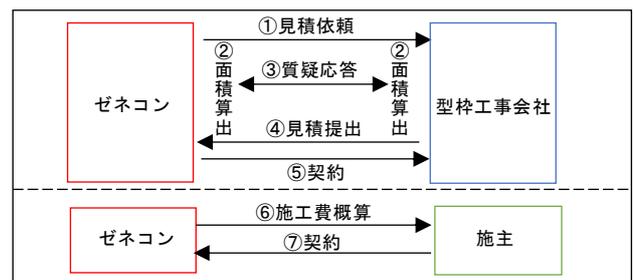


図 3 契約関係者間の契約までの流れ⁴⁾

4. せき板データの自動作成手法の提案

前述した問題を解決するため、設計段階で作成された構造設計モデルに基づき、属性情報が付加されたせき板を建築モデルの表面に自動的に割付ける手法を提案する。なお、本研究ではせき板データの自動作成手法を提案するにあたり、BIM ソフトであるオートデスク社の Revit2017 (以下、Revit) を使用することとする。BIM モデルの中でも施工時の躯体モデルと形状が類似している構造設計モデルにせき板を割付けることとする。

5. せき板データの仕様の検討

せき板データを自動で割付けるにあたり、Revit で事前にせき板のファミリー^{注2)}を作成する。そこで、せき板ファミリーに付加する属性情報を以下に示す。

表 1 せき板ファミリーが有する属性情報

せき板	付加する属性情報	付加する理由
	せき板長さ (mm)	せき板割付面積を計算するため。縦使い、横使いを変更するため。
	せき板幅 (mm)	同上
	せき板厚さ (mm)	規格の厚さから選択するため。
	識別番号 (部材+番号)	せき板を一枚ずつ識別するため。
	配置部位 (部位名)	せき板がどの部材に割付けられているかを識別するため。
	階数 (FL)	せき板がどの階の立ち上がりにも属しているかを識別するため。

6. せき板の割付ルールの作成

一般的なせき板の割付ルールを作成するために、文献5)に記載されているせき板の割付に関する指針と、型枠工事会社が現場で使用した型枠加工図について調査した。せき板は、規格サイズのせき板（以下、定尺パネル）と加工したせき板（以下、補助パネル）で構成されており、せき板の割付ルールは部位ごとに異なっている。また、同じ部位でも複数のルールがあることや、部位によっては明確に規定されたルールが記載されていないことがあったため、文献5)と、型枠加工図の調査だけでは一般的と言える割付ルールを作成することができなかった。そこで、前述したルールのうち、業界で共通していると考えられるルールを作成するために型枠大工にヒアリング調査を行った。その結果、定尺パネルの積極的利用やせき板の転用などのコスト削減や、施工のしやすさを考慮した、ルールが採用されていた。また、型枠大工や施工現場の所在地によって異なるルールが存在した。調査した割付ルールを建築の部位ごとに整理した結果を以下に示す（表3）。

本研究では、前述した調査によって得られた配置ルールを、業界で共通していると考えられるルールほど優先度が高いルールとみなし、高い方から順にA～Fで分類した（表2）。この中でもせき板の面積・枚数を算出するために重要であるA～Cのみプログラムに実装することとする。なお、D～Fの割付ルールについて、実装しない場合でもDは全体の約1%の差異しかなく、E、Fはせき板の面積に与える影響はないため実装しないこととする。また、表3では網掛け部分を実装する割付ルールとし、実装する割付ルールを図化したもの以下に示す（表3）。

7. せき板自動割付プログラムの開発

本研究では、開発環境としてDynamo 2.0.1^{注3)}（以下、Dynamo）を使用する。

提案したせき板データの仕様と割付ルールに従い稼働するプログラムを、壁、柱、梁、床、基礎、屋根用の合計6つ開発する。加えて、集計表の自動作成プログラムを開発する。本プログラムではRevitで作成された構造設計モデルの表面を覆うサーフェスデータを生成し、それに基づきファミリを配置していく。

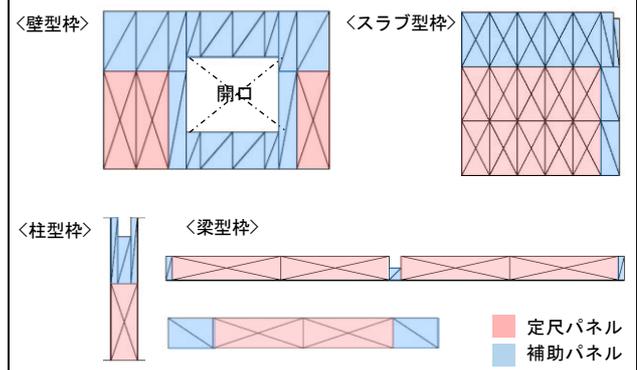
壁のせき板自動割付プログラムを例に、Dynamoプログラムの処理フローを図化したもの図4に示す。まず、プログラムの実行前に表4に示すパラメータ（以下、実行パラメータ）を手動で設定し、その後プログラムを実行する。なお、他の部位の処理フローもおおよそ同様であり、6つのせき板自動割付プログラムはどの順序でも実行可能である。建物全体への自動割付の実行結果を図5に示す。また、本研究で作成するプログラムの割付対象部位を表5に示す。

表2 せき板自動割付プログラムに実装する割付ルールの優先度

	優先度	優先度の分類理由
実装する	A	定尺パネルの割付ルール
	B	補助パネルの割付ルール
	C	接合部周りの補助パネルの割付ルール
実装しない	D	せき板の収まりを考慮した割付ルール
	E	特殊な形のせき板が必要な割付ルール
	F	型枠大工による異なる割付ルール

表3 調査で得られたせき板の割付ルールとプログラムに実装するルール

部位	割付ルール	優先度	実装
壁型枠	① せき板を縦方向に使用する。	A	○
	② 規格サイズのせき板（以下、定尺パネル）を左詰めで配置する。	A	○
	③-1 補助パネルは右端、上端に配置する。	B	○
	③-2 補助パネルを壁の中心に配置する場合や両端に分けて配置する場合もある。	F	×
	④-1 開口周りのせき板を開口の縦方向に沿って分断し矩形の補助パネルを配置する。	C	○
	④-2 開口周りのせき板をL字に加工した補助パネルを配置する場合がある。	F	×
	⑤ 台形や三角形の壁については、その形に合わせて加工した補助パネルを使用する。	E	×
柱型枠	⑥ 壁の小口部分は小口の大きさに合わせたパネルや桧木を用いる。	F	×
	⑦ 開口周りのせき板について、幅あるいは長さが6cm以下になる場合は、L字やコの字のせき板を使用する。	F	×
	① せき板を縦方向に使用する。	A	○
	② 定尺パネルを左詰めで配置する。	A	○
	③ 右端に補助パネルが配置されるようにする。	B	○
	④-1 柱と梁の接合部においては、矩形のせき板を適切なサイズに加工し配置する。	C	○
	④-2 柱と梁の接合部において、L字、コの字に加工したせき板を用いる場合がある。	F	×
梁型枠	① せき板を横使いする。	A	○
	②-1 梁底に関しては、定尺パネルを両端から配置して、補助パネルを中心に配置することもある。	C	○
	②-2 梁側面、梁底の中心から定尺パネルを配置し、両端に補助パネルを配置する。	F	×
	③ 小梁と重なるせき板は、小梁の縦方向（梁せい方向）にせき板を分断して、補助パネルを配置する。	B	○
スラブ型枠	④ 側板を底板より早く取り外すことを考慮して型枠の収まりを検討する。	D	×
	① 補助部分の最も少ない割付を行う。	F	×
	② 定尺パネルを左詰めで配置し、右端に補助パネルを配置する。	A	○
基礎型枠	③ 柱や梁との接合部において、接合部に沿ってせき板を矩形に加工し、配置する。	C	○
	① 基礎梁型枠、基礎床型枠については、上記の梁型枠、床型枠と同様に割付を行う。	A	○
	② 基礎立ち上がり型枠は、左詰めで配置し、右端に補助パネルを入れる。	B	○



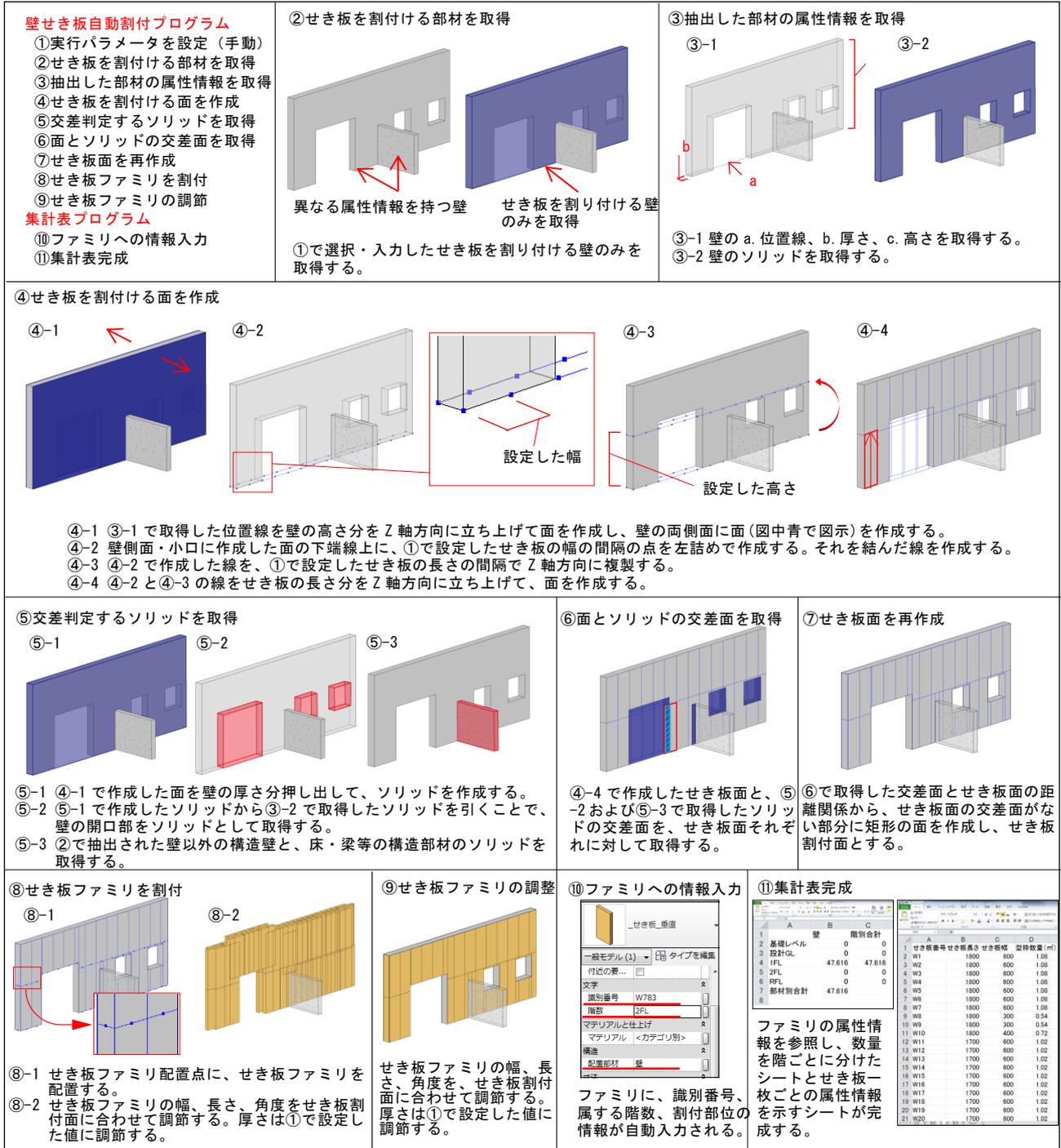


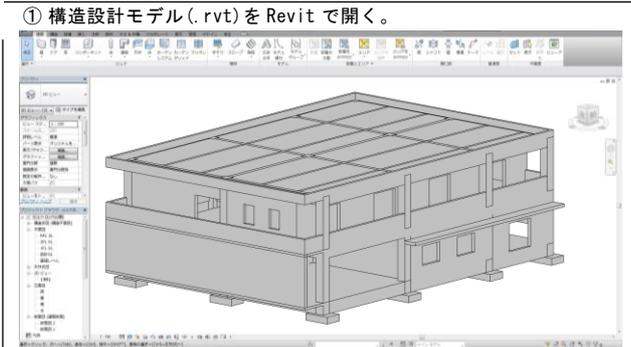
図 4 壁用のせき板自動割付プログラムおよびせき板集計表自動作成の実行フロー

表 4 プログラム実行前に設定するパラメータ

	設定項目	設定方法
せき板を割付ける部材を指定	ファミリで指定	「ファミリで指定」 せき板を割付ける部材のファミリ名を入力する。 (入力例: 柱のファミリ名「RC 柱-角」) ※ただし、壁、床、屋根は指定できない。
	タイプで指定	「タイプで指定」 せき板を割付ける部材のタイプをプルダウンから選択する (入力例: 柱のタイプ「600×600」)
	材料で指定	「材料で指定」 せき板を割付ける部材の材料名を入力する。 (入力例: 柱の材料名「コンクリート-現場打ち」)
せき板の仕様を指定	せき板ファミリ	ファミリタイプをプルダウンから選択 垂直用せき板: 壁、柱、梁側面 水平用せき板: 梁底、床、屋根
	厚さ	厚さ: 12mm、15mm、18mm の中から設定
	幅・長さ	幅・長さ: 0~2400mm の間を 100mm 間隔で設定

表 5 せき板自動割付プログラムの部位別稼働条件

	せき板を割付ける対象部位	せき板を割付不可能な部位
壁	・垂直な壁 ・構造壁	・底の小口部分 ・曲面の壁
柱	・角柱 ・垂直な柱 ・構造柱	・円柱
梁	・勾配のない梁 ・構造梁	
床	・水平な床 ・構造床	・小口部分
基礎	・勾配のない基礎 ・独立基礎	・連続基礎
屋根	・水平な屋根	
その他	・庇 ・バルコニー ・パラペット	・底の小口部分 ・1枚のせき板面に対して、他の部材が4面以上交差している部分 ・階段



② Dynamo を起動し、6つのせき板自動割付プログラム(.dyn)をそれぞれ開き、実行パラメータを設定後、すべて実行する。

- ・ 壁せき板自動割付プログラム
- ・ 柱せき板自動割付プログラム
- ・ 梁せき板自動割付プログラム
- ・ 床せき板自動割付プログラム
- ・ 基礎せき板自動割付プログラム
- ・ 屋根せき板自動割付プログラム

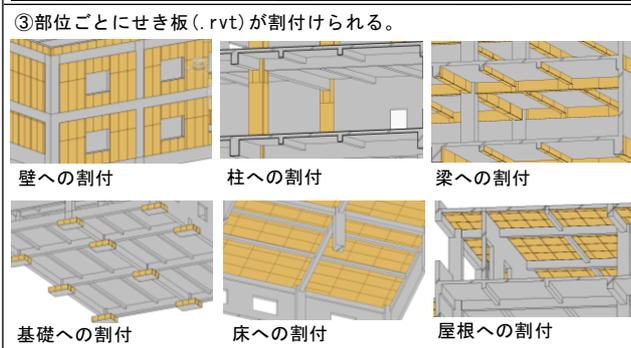
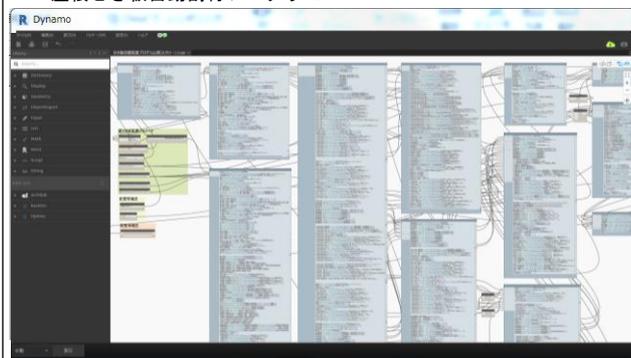


図5 開発プログラムの実行結果

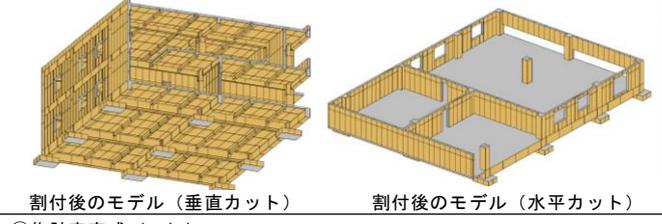
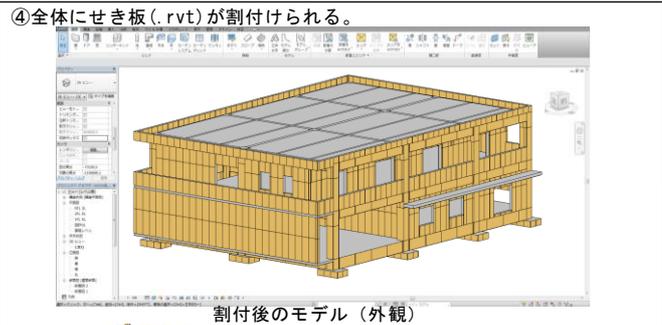
8. せき板自動割付プログラムの評価

8.1. せき板自動割付の正確性の検証

表6に示す実験モデル1を対象にせき板割付対象面積を手計算^{注4)}した結果とプログラムによる算出結果を比較した。その結果、全体としての誤差は0.9%であり、本プログラムにより精度の高い割付が行えることを確認した。一方、階・部位毎に比較した際、誤差の大きい項目があった。これは、設計段階で設定したレベルと施工段階でせき板が属するレベルが異なることが原因であり、プログラム改善の余地があることが明らかとなった。

8.2. せき板自動割付プログラムの評価実験

せき板自動割付プログラムを評価するため、評価実験を行った。評価実験の概要及びヒアリング結果を整理したものを表6、表7に示す。



⑤ 集計表完成(.xls)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	壁	梁	柱	基礎	床	屋根	階別合計	
2	基礎レベル	0	207.462	13.75	32.4	0	0	253.612
3	設計GL	0	58.8	0	0	338.4	0	397.2
4	1FL SL	470.388	198.77	80.56	0	320.48	13.14	1083.34
5	2FL SL	455.192	170.58	83.928	0	0	348.92	1058.62
6	RFL SL	63.99	0	0	0	0	0	63.99
7	部材別合計	989.57	635.612	178.238	32.4	658.88	362.06	2856.76

階および部位ごとのせき板の面積数量

A	B	C	D
1	せき板番号	せき板長さ	せき板幅 型枠数量 (㎡)
2	W1	1800	600 1.08
3	W2	1800	600 1.08
1693	W1692	450	400 0.18
1694	W1693	450	200 0.09
1695	型枠総量		989.5704

部位ごとに割付けられたせき板一枚一枚の数量

表6 評価実験の概要

実施日	2018年11月14日		
時間	約3時間		
被験者	ゼネコンA社 施工管理経験者及び生産設計担当者を含めた社員5名		
実験の手順	①事前準備 (30分) 作成したせき板自動割付プログラムの構成と部位別稼働条件について説明する。 ②プログラムの説明 (30分) 事前に作成したプログラムの操作チュートリアルと併せて基本的な操作を説明する。 ③プログラムの実行 (40分) 実験モデル1:2名、実験モデル2:2名、実験モデル3:1名で一齐にプログラムの実行を行う。 プログラムの処理時間(3つの実験モデルの部位別平均): 壁6分、柱1分、梁3分、基礎30秒、床5分、屋根1分、集計表3分 ④配置後のモデル及び集計表の確認 (50分) ⑤ヒアリング (30分) プログラムの実行後、集計表やモデルを確認しながら、開発したプログラムの実務上での有用性についてヒアリングを行う。		
実験に使用したモデル	実験モデル1 延床面積: 約710㎡ 階数: 地上2階 データサイズ: 6.95MB 	実験モデル2 延床面積: 420㎡ 階数: 地上3階 データサイズ: 3.09MB 	実験モデル3 延床面積: 470㎡ 階数: 地上3階 データサイズ: 3.92MB 

表7 ヒアリング結果

利点	<ul style="list-style-type: none"> ・根拠が明確であり、元となる建築モデルがあれば自動で算出できることが、業者との交渉の円滑化に寄与する。 ・モデル上では正しく配置されないせき板（4面以上交差）について、面積は正しいことをパラメータで識別している点が良い。 ・対応済みの条件下で使用すれば、全体に対するの対応済みの条件と合う部分の割合が、削減割合となる。 ・正確性の担保の条件下であれば、従来手法の1割以下の時間で面積算出が可能である。 ・設計段階からコンカレントに型枠数量がわかれば、必要となる型枠大工の人数を把握でき、早期での人数調整により人不足問題を緩和できる。 ・化粧打放のパネル割についての打ち合わせて設計者との協議に有効活用できる。 ・割付図の自動作成は、型枠の自動加工の可能性につながる。 ・せき板を配置する部材を、タイプでも選択できる点が良い。
問題・課題点	<ul style="list-style-type: none"> ・複数のマテリアルを一度に指定できると良い。 ・マテリアル指定で取得した要素の中から、特定の要素を除くことができると良い。 ・実用するにはより複雑な形状への対応が必要である。 ・面積表で、梁番号など部材ごとの情報がわかると良い。 ・型枠以外の材の数量算出にも対応すると良い。 ・型枠種別ごとの面積根拠が明示されると良い。 ・割付調整機能を追加したい。 ・型枠組立図を作成したい。 ・型枠データと工程表をリンクしたい。 ・処理の正確性の確保が必要である。 ・より大きなデータ量に対応できるプログラミングツール導入を検討する。 ・処理時間の短縮が必要である。

表7より、本プログラムは、面積根拠を確認できることで、ゼネコンと型枠工事会社の契約の際に役立つことが明らかとなった。また、施主との契約の際、面積根拠を3次元モデルで提示できることで、施主の納得を得やすく、契約を円滑に進めることができると言える。また、BIMモデルをもとに自動で数量が算出できることで費用の算出に要する手間と時間は従来に比べ大幅に削減できることが予想される。さらに、設計段階で数量算出できることで、コストを考慮した設計検討や型枠大工の早期での人数調整が可能になると考えられる。また、基本的なルールに則った割付が自動で行えることで、型枠工事会社が割付図を作成する手間を間接的に削減できることが予想される。また、複数の割付パターンの試行や、納まりを確認できるため、設計者と施工者の化粧打放のパネル割りに関する協議において役立つと言える。

9. 考察

本研究において、構造設計モデルからせき板の数量（面積、枚数）を算出し、基本的な割付を自動的に作成できることを確認した。さらに、設計段階で構造設計用に作成されたモデルをもとに割付を行うことで、割付後のモデルが上述したような構造設計以外の目的で活用できることが確認できた。

一方で、設計段階の構造設計モデルは詳細度が不足しており、施工段階で活用できるほど詳細な情報を持つせき板割付モデルを自動作成することは容易ではないことが明らかになった。施工段階で利用できるせき板割付モデルを自動作成するためには、施工精度の躯体モデルが必要であり、その手法を検討する必要がある。

せき板のように、複数部位に横断的に関係するようなオブジェクトを生成する場合、それら複数部位の属性情報を一括して参照する必要がある。しかし、今回の試行においてDynamoの仕様上、一括しての参照は工夫を要することが明らかとなった。また、Revitにおける各オブジェクトは設定されたパラメータの結果として立体的な

幾何形状を形成するが、形成された幾何形状そのものの情報をオブジェクトは保持していない。そのため、オブジェクト同士の接合部分に関する情報を取得することができない。よって、Dynamo上でオブジェクトに基づき幾何形状を再形成する必要があり、その上で接合部分を判定し、さらに、それを避けるようにせき板割付面を作成するという複雑なプログラムを作成する必要があった。以上より、既存のモデルを基により多種多様な目的で活用できる情報を自動生成するためには、Revitのオブジェクトそのものが立体的な幾何形状の情報を保持することが必要不可欠であると考えられる。

10. 成果と課題・展望

本研究の成果として、自動的にせき板の割付を行うプログラムを開発し、設計段階において、ある目的で作成したBIMモデル（構造設計モデル）から他の目的で活用するための情報（せき板の割付、面積数量）の自動生成を行った。プログラムの課題として、1. せき板を割付ける対象部位の増加、2. 処理時間の短縮、3. 複雑なモデル形状への対応、4. プログラムの稼働条件の範囲拡大、5. 型枠配置部位の選択の自由度の向上があげられる。また、展望として、1. 割付図自動作成、2. 数量算定のためのせき板以外の型枠構成材の自動配置プログラムの開発、3. 型枠構成材の構造計算を自動化があげられる。

【注釈】

- 1) 株式会社創和企業が開発及び販売する「型枠積算システム ひらいたしくん」などがある。
- 2) 属性情報の保持が可能なパラメトリックな部品データ
- 3) オートデスク社が提供するRevit上で動作する公式プラグインであり、Revitの属性情報を取り扱うことができるビジュアルプログラミングツールである。
- 4) せき板配置予定のモデルの躯体表面積を計上した。

【参考文献】

- 1) 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、pp.373-377、2005.6
- 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：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、pp.543-548、2005.12
- 3) 石田航星、嘉納成男、五十嵐健：内装間仕切壁におけるボード材の割付図と加工図の最適化に関する研究、日本建築学会計画系論文集、第78巻、第692号、pp.2173-2180、2013.10
- 4) 建設生産システム合理化推進協議会、「総合工事業者・専門工事業者間における工事見積条件の明確化について-施工条件・範囲リスト（標準モデル）の作成-第4版」、建設生産システム合理化推進協議会、2011.12
- 5) 日本建築学会、「型枠の設計・施工指針」、日本建築学会、2018.4