

(51) 3次元プロダクトモデルを活用した配筋種別自動分類プログラムの開発

松下 文哉¹・連 勝²・大野 広志³・荒木 尚幸⁴

¹正会員 清水建設株式会社 土木技術本部 (〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目16番1号)
E-mail: f_matsushita@shimz.co.jp

²正会員 清水建設株式会社 土木技術本部 (〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目16番1号)
E-mail: s_lian@shimz.co.jp

³正会員 清水建設株式会社 土木技術本部 (〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目16番1号)
E-mail: h-ohno@shimz.co.jp

⁴正会員 清水建設株式会社 土木技術本部 (〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目16番1号)
E-mail: araki_n@shimz.co.jp

本研究では、BIM/CIM 活用のユースケースとしてコンクリート構造物の配筋施工図作成を対象とし、このユースケースを実現するために必要な配筋種別自動分類プログラムを開発する。まず、ユースケースの選定にあたって、配筋施工図作成を選定した理由を述べ、この上で、配筋種別自動分類プログラムの開発目的を述べる。次に、このプログラムのアルゴリズムの設計を行い、BIM ソフトウェアを選定し実際に機能を実装する。また、開発したプログラムが有効に機能するかについて、ボックスカルバートを対象にサンプルモデルを作成し、これを対象に検証した。

Key Words: *i-Construction, BIM/CIM, rebar shop drawing, 3D product model, Software development*

1. はじめに

Charles Eastmanらが3次元プロダクトモデルの建設生産プロセスにおける活用を提案した BIM (Building Information Modeling)¹⁾は、近年、国土交通省が推進する i-Construction においても中核技術として位置づけられ、積極的な適用が進められている。国土交通省では、BIM/CIM (Construction Information Management) の適用に向けて、受注者に対して実施目的を示すためのリクワイヤメントを業務、工事の双方に対して設定している²⁾。このリクワイヤメントに対し、受注者は実施内容 (ユースケース) を発注者に提案、協議の上、BIM/CIMをプロジェクト内で活用する。BIM/CIMを有効に活用するためには、このユースケースの設定が重要となる。

本研究開発ではユースケースとして、「コンクリート構造物の配筋施工図作成」を対象とする。ここで対象とする配筋施工図とは、施工時に必要となる配筋の立面図、平面図、断面図、加工図などの2次元図面と鉄筋集計表を指す。この配筋施工図は、仮設構造物との干渉、仮設

開口位置の変更など施工上の様々な制約から修正、変更が施工段階で多く発生する。このため、いかに容易に施工図を修正できるかが、このユースケースでは重要となる。

以上を踏まえて本研究開発では、まず BIM/CIM 活用のユースケースの事例分析を行い、配筋施工図作成を対象とした理由を述べる。この上で、このユースケースを実現するために新規に開発が必要となる配筋種別自動分類プログラムの概要を述べ、このプログラムのアルゴリズムを設計する。設計したアルゴリズムを BIM ソフトウェアに実装し、サンプルモデルを用いて機能の有効性を検証する。

2. 事例分析と配筋種別自動分類プログラムの開発目的

(1) BIM/CIM を活用したユースケースの事例分析

施工段階のユースケースは、施工CIM事例集³⁾として

2015年度から2019年度まで毎年まとめられ、2019年度は35箇所の現場の事例が報告されている。この事例集では活用方法による分類がなされている(表-1)。BIM/CIMがどのように利用されているかを明らかにするうえで、事例集を用いて表-1に示す分類方法に基づき活用方法を整理した(図-1)。図-1の縦軸は各活用方法の比率を表している。事例集の活用方法による分類項目が、複数回答可のため、比率は分母を事例数35とし、分子を事例集から集計した活用方法の総計とした。

図-1から施工管理や施工計画が多く、次いで施工手順周知にBIM/CIMが多く活用されていることが分かる。配筋に関連する事例は、施工計画が4事例、施工管理が2事例、施工手順周知が2事例、発注者協議が1事例、設計照査が1事例、報告されている。配筋に関連する事例も活用方法は概ね全体の比率と一致していることが分かる。具体的な内容としては、過密配筋部や他部材との干渉チェックが多く、配筋を3次元的に可視化することに着眼したユースケースが多く、手戻り防止などの効果が得られている。

一方で、現状の配筋に関連するユースケースを鑑みると3次元的に可視化することに留まっており、干渉チェック等に利用した3次元プロダクトモデルを実際の施工に活用できていないと捉えることもできる。干渉チェック等で作成した3次元プロダクトモデルを施工で利用する配筋施工図に活用することによって別途、2次元図面等を作成する手間が省けるため本研究開発ではユースケースとして「コンクリート構造物の配筋施工図作成」を設定した。

表-1 活用方法による分類³⁾

大項目	小項目
施工	施工管理, 施工計画, 施工手順周知, 施工の高度化, 施工数量の算出
協議資料	三者協議, 発注者協議, 下請け協議, 関係者協議, 住民説明会等
設計	設計協議, 設計照査, 設計数量算出

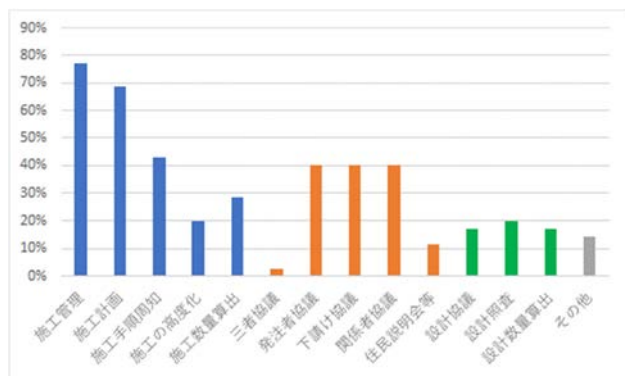


図-1 活用方法の比率 (参考文献3)に基づき筆者が作成)

(2) 配筋種別自動分類プログラムの開発目的

3次元プロダクトモデルを活用し、配筋施工図を作成する場合、モデルから任意断面を切り出し、2次元図面を生成する機能が求められる。これにより、配筋計画に変更が生じた場合にも、3次元プロダクトモデルのみ修正すれば関連する配筋施工図がすべて変更されるため、容易に修正することが可能となる。3次元プロダクトモデルから任意断面を切り出す機能は、Autodesk社が手掛けるBIMソフトウェアのRevitなどの標準機能として実装されている。

また配筋施工図の作成時には切り出した2次元図面に対して配筋種別に応じたタグ付けを行い(図-2)、加工図や集計表に記載された加工形状や数量といった情報と紐づける必要がある。ここでの配筋種別とは、配筋が属する躯体名称(例:底版の場合「F」)、配筋の種類(例:配力筋の場合「h」)、同じ配筋毎のグループでの連番から構成される文字列を指す。

現在、BIM/CIMにおいて広く使われるIFCは、建築構造物のプロダクトモデルの仕様であり、オブジェクト指向技術に基づいて表現されたデータモデルである⁴⁾。図-3は配筋のIFCに準拠した3次元プロダクトモデルのサンプルであり、緑色が選択した配筋、表は選択したオブジェクトのプロパティを表している。この図の通り配筋はIfcReinforcingBarで表されることが分かる。

しかし、タグ付けに必要な配筋種別の情報はモデル化時には付与されていない。仮に、配筋種別を属性情報として付与することができればタグ付け時にこの属性情報を抽出し描画することで半自動的にタグ付けが可能とな

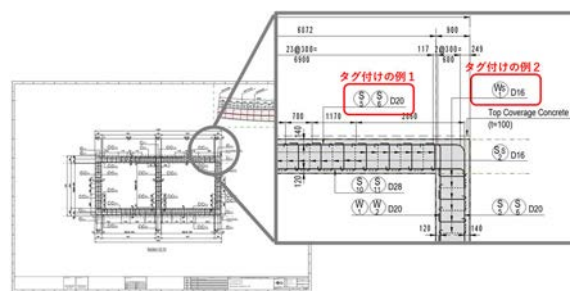


図-2 配筋施工図のタグ付けの例

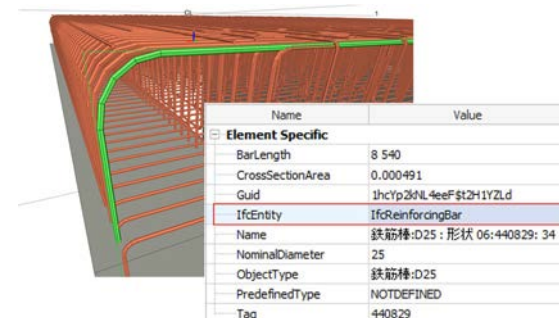


図-3 配筋のIFCにおけるエンティティ

る。さらに、配筋種別が属性情報として配筋に付与されると、配筋種別ごとに配筋数量を算出することが可能となるため、鉄筋集計表も自動的に出力することが可能となる。このように配筋種別を配筋の属性情報として付与することで施工図作成の合理化を図り得ると考えられるが、モデル化時にすべての配筋にこの属性情報の入力には工数がかかることが容易に想定される。

そこで、本研究開発で対象とする配筋施工図作成を合理的に行うためには、配筋種別を自動的に分類し、分類した情報を各配筋の属性情報として付与することが可能な、配筋種別自動分類プログラムが必要となる。

3. アルゴリズムの設計と実装

(1) アルゴリズムの設計

ここでは配筋種別自動分類プログラムのアルゴリズムについて、処理フローを示したうえで各Stepでの処理プロセスについて概説する。図-4 に示す通り、3つの処理プロセスから構成される。

Step1 では配筋が属する躯体を特定する。配筋種別は躯体名称に応じた分類が必要となるため、躯体を構成するオブジェクトも特定の Entity を利用することを前提とする。ここではボックスカルバートを例に具体を示す。

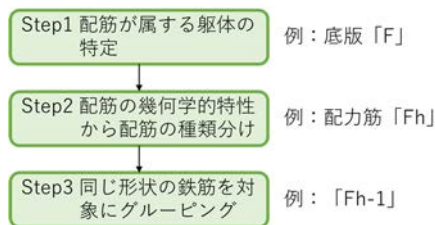


図-4 処理フロー

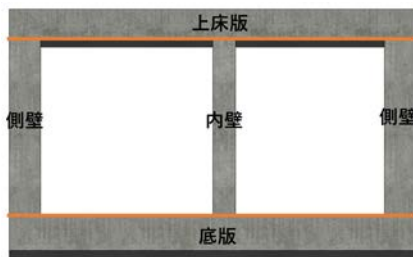


図-5 ボックスカルバートを例にした部材名称

表-2 活用方法による分類

部材名称	IFC の Entity	分類記号
上床版	IfcSlab	S
底版	IfcSlab	F
側壁	IfcWallStandardCase	W
中壁	IfcColumn	C

図-5 に示す部材名称に応じて表-2 に IFC の Entity とそれに応じて配筋種別分類プログラムによって与える分類記号をまとめる。なお、上床版と底版は同じ Entity を利用しているため、別途 Object Type を属性として与えることで、分類可能とする。

次に Step2 では、配筋の種類分けを行う。本研究開発で対象とする配筋は、主筋、配力筋、せん断補強筋とし、これ以外の配筋は適応範囲外とした。配筋の種類分けはオブジェクトの形状や幾何学的な位置関係によって分類することを考える。せん断補強筋は、主筋、配力筋に比べて分類しやすいため、本稿での説明は割愛し、ここでは主筋と配力筋の分類方法について述べる。

まず、ベクトルが平行かつ同一面上に存在する配筋をグルーピングする。グルーピングした配筋のうち最外縁の配筋端点の座標値を取得し、仮想面を生成する(図-6 では配力筋を例に青の四角でハッチングした範囲)。またこの仮想面に配筋方向のベクトル成分を持たせる(図-6 では主筋、配力筋それぞれに対し緑と青の矢印で示した方向)。この上で表-3 に示す a, b, c のステップで主筋と配力筋を分類する。また図-7 に表-3 中で述べた、面、クリアランス、配筋方向の模式図を示す。

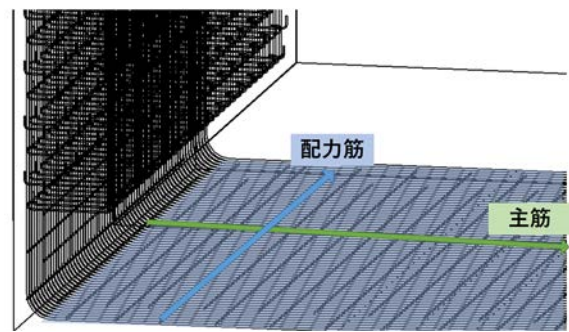


図-6 ボックスカルバートを例にした部材名称

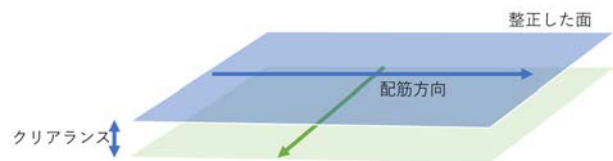


図-7 主筋と配力筋の分類に関する模式図

表-3 主筋と配力筋の分類の処理内容

	処理内容
a	各面に属する配筋の径を取得
b	面のクリアランスが (主筋径/2+配力筋径/2) になる面のペアをモデル空間内から探索
c	面のベクトル (配筋方向) をなす角度が 90 度であるか判定
d	配筋量が多い方が主筋, 少ない方が配力筋に分類



図-8 リボン画面と新たに実装したコマンド

最後に Step3 で、同様の鉄筋形状がモデル空間内にないか探索を行い、同じ形状がある場合は同一のグループに分類する。

(2) 実装

本研究開発では、設計したアルゴリズムを Autodesk Revit⁹⁾に実装することとした。Revit を選定した理由の詳細はここでは割愛するが、比較的多くのユーザーが Revit を利用していることが理由として挙げられる。また、公開されている API⁹⁾を通じて Revit の各機能やデータベースにアクセスが可能のため、比較的容易に設計したアルゴリズムの実装が可能であることも選定理由の一つである。

開発言語は C#を用いた。また Revit のデータ構造上、鉄筋は必ず躯体にホストされる必要があるため、Step1 は、該当する配筋をホストする躯体のオブジェクトから情報を取得することとした。また Step2 及び Step3 については Revit のデータベースからオブジェクトの座標値等を取得、幾何学的な計算を行うプログラムを開発し、設計したアルゴリズムを実装した。

また開発したプログラムは Revit の Add-in ソフトウェアとして実装し、Revit の他の標準機能と同様にリボン画面からコマンドの実行を可能とした (図-8)。

4. 有効性の検証

検証のためのサンプルモデルはボックスカルバートを対象にモデル化した。このモデルでは、鉄筋の Entity は IfcReinforcingBar を用い、躯体の Entity は表-2 に示すものを用いた。また上床版、底版はそれぞれ Object Type として、「頂版」、「底版」という属性情報を事前に与えた。

このモデルを用いて実装したコマンドを実行する。実行結果の一例を図-9 に示す。この図に示す通り、上床版に属する主筋や側壁に属するせん断補強筋に対して、正しい配筋種別が属性情報として各鉄筋に付与されることが確認された。また、他の部材や配力筋などについてもすべて正しく配筋種別が分類されていることを確認することができた。

以上を踏まえて、本研究において開発した配筋種別自動分類プログラムが有効に機能することを検証した。

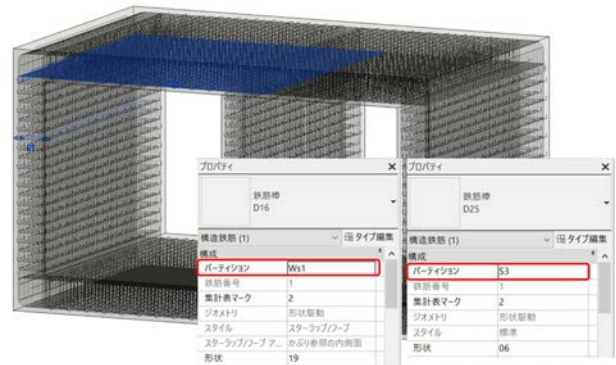


図-9 ボックスカルバートを対象としたサンプルモデル

5. 結論と今後の課題

本研究開発では配筋種別自動分類プログラムのアルゴリズムを設計し、Revitを対象に実装し、サンプルモデルを用いてその有効性を検証した。またこのプログラムを活用することで、コンクリート構造物の配筋施工図作成を合理的に実現することが可能になると考える。

一方で、対象範囲は主筋、配力筋、せん断補強筋であり、これ以外の例えば開口補強筋等は分類できない。比較的、配筋量が少ないものに対して手動で配筋種別を入力することも運用上考え得るが、この場合、自動分類されたか否かを明示的に示すことが必要である。こういった運用時に必要な機能も設計し、実装する予定である。

謝辞：本研究における配筋種別自動分類プログラムの実装にあたっては株式会社AMD Labの松原昌幹氏、齊藤魁利の協力を得た。また、機能の有効性を検証するためのサンプルプログラムの作成は清水建設株式会社の藤牧玖瑠実氏の協力を得た。関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) Rafael, S., Charles, E., Ghang, L., Paul, T.,: BIM Handbook A guide to Building Information Modeling For Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers, Willy, Third Edition, pp. 1-31, 2018.
- 2) 第5回 BIM/CIM 推進委員会：令和5年度の BIM/CIM 原則適用に向けた進め方, pp. 10-11, 2021, <<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001389577.pdf>> (入手 2022.6.9).
- 3) 一般社団法人日本建設業連合会：2019 施工 CIM 事例集, 2019.
- 4) 矢吹信喜:CIM 入門, pp. 73-93, 理工図書, 2016.
- 5) Autodesk Revit : <<https://www.autodesk.co.jp/products/revit/>>(入手 2022.6.9).
- 6) Revit API : <<https://www.revitapidocs.com/>> (入手 2022.6.9).