パラメトリックモデルを活用したRC躯体配筋図の自動作成及び自動照査技術の開発

松下　文哉[1]

[1]清水建設株式会社　土木技術本部　イノベーション推進部　主査

設計人員の不足や新規分野・海外大型設計施工案件の増加を背景に，設計人工の 4 割以上を占める RC 躯体の配筋施工図の作成・修正・照査業務の合理化が求められている．本稿では，プロジェクト内で扱う全ての鉄筋に対して情報モデルを統一的に規定・標準化し，その機械判読可能なパラメータを活用することで，3 次元配筋モデルの自動生成と，構造細目等に対する自動照査を実現する技術を開発した．本技術をジャカルタ都市高速鉄道南北線 2 期 CP202 工区の地下駅舎 3 駅に全面適用した結果，施工図作成で 50%，照査で 70%の人工削減を達成するとともに，創出された余力を設計断面の細分化に充てるフロントローディングにより，設計の最適化を実現した．

キーワード：BIM/CIM，パラメトリックモデル，情報モデルの標準化，自動照査，配筋施工図

1.　はじめに

建設業では担い手の減少と高齢化が深刻化しており，国土交通省は「i-Construction 2.0」において，2040 年度までに建設現場の省人化を少なくとも 3 割，すなわち生産性を 1.5 倍に向上させる目標を掲げている [1)]．土木設計の分野においても，風力発電や原子力といった新規分野の案件や，海外の大型設計施工案件が増加する一方で，設計人員の不足が顕在化している．その結果，設計品質の低下の懸念，取り組める案件の制限，設計外注費の増加といった課題が生じている．

当社ではこれらの課題に対し，土木設計 DX プラットフォーム「DDD」の構築を進めている（図-1）．DDD は，設計プロセスを自動化し設計解を最適化する「Design Automation（設計自動化，D1）」，設計ワークフローをデジタル化し合理化する「Digital Workflow（D2）」，設計成果や仕様書を利活用可能な環境を構築する「Design Data Utilization（設計情報利活用，D3）」の 3 つから構成され，合理化による省人化・省力化，自動化による設計品質の担保，最適化による施工原価の低減を目的としている．

本稿では，このうち D1 に位置付けられる「BIM を活用した配筋図作成」及び「構造細目の自動照査」を対象に，パラメトリックモデルを活用した RC 躯体配筋図の自動作成及び自動照査技術の開発内容と，海外大型工事への現場適用の結果，ならびに今後の展開について述べる．



図-1　土木設計 DX プラットフォーム「DDD」の概要

2.　開発の背景と技術課題

(1)　配筋施工図に係る業務の現状

RC 躯体の施工にあたっては，設計者の作成する基本設計図に対し，施工性を考慮した配筋計画を立案し，展開図（立面図，平面図，断面図），加工図及び鉄筋集計表から成る配筋施工図を作成する．従来は，設計技術者が詳細設計情報を手書きや口頭で CAD オペレータに指示し，2 次元 CAD で作図していた．作図された施工図の照査では，集計表，展開図，断面図・加工図の間の整合性を手作業で確認す

る必要があり，さらに施工計画の変更に伴う修正も頻繁に発生する．当社が受注した設計施工案件の実績では，こうした大量の配筋施工図の「作成・修正・照査」に設計人工の 4 割以上が充てられており，合理化が強く望まれる業務である．

(2)　開発要件と技術課題の特定

上記を踏まえ，本開発の要件を「大量の配筋施工図を容易に作成，容易に修正，容易に照査できること」と設定した．これに対する解決案は BIM/CIM の活用である．3 次元配筋モデルを構築すれば，任意断面の 2 次元配筋図を作成でき，モデルを修正するのみで全ての 2 次元図面に修正が反映され，各種図面間の整合性も担保される．3 次元モデルから 2 次元図面を切り出す機能自体は，Revit 等の既存のソフトウェアに実装されている．

一方，配筋を対象とした既往の BIM/CIM のユースケースは，過密配筋部の確認や干渉チェックなどが中心であり，作成されたモデルが施工に直接利用されるケースは少ない．筆者らはこれまで，3 次元モデルを用いた配筋施工図作成のための詳細設計システムを構築してきたが [2), 3)]，実務への全面適用にあたっては，表-1 に示す 2 つの技術的課題が残されていた．第一に，配筋モデルは部材点数が膨大であり，そもそもモデリング自体に多大な手間を要する（技術的課題 1：モデルの自動生成）．第二に，設計基準（構造細目など）に対する照査は依然として手動で行われている（技術的課題 2：自動照査）．そして，これら 2 つの課題を解決するための必須要件として，取り扱うデータの統一・標準化，すなわち情報モデルの統一・標準化が求められる．

表-1　開発要件，解決案及び技術課題

項目	内容
開発要件	大量の配筋施工図を容易に作成，容易に修正，容易に照査できること
解決案（BIM/CIM）	任意断面の 2 次元配筋図を作成 モデルの修正のみで全図面を修正 各種図面間の整合性を担保
技術的課題 1	モデルの自動生成（モデリングに手間を要する）
技術的課題 2	自動照査（構造細目等の照査が手動）
必須要件	取り扱うデータの統一・標準化（情報モデルの統一・標準化）

3.　開発技術の内容

(1)　鉄筋の情報モデルの統一・標準化

本開発では，プロジェクト内で扱われる全ての鉄筋に対して，形状ごとに情報モデルを統一的に規定し，標準化された情報モデルとして定義した．鉄筋の情報モデルの例を図-2 に示す．情報モデルは，外形寸法（図中の a，b，c の値），鉄筋の径とピッチ，端部処理（フック形状）といった幾何・数量情報と，鉄筋番号や打設リフト番号といった施工計画の情報から構成される．

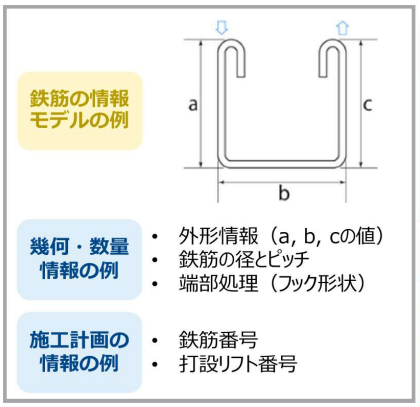


図-2　鉄筋の情報モデルの例

このように情報モデルを統一・標準化することで，各種パラメータの機械判読が容易となる．その結果，入力パラメータをパラメトリックに変更することによるモデルの自動生成（技術的課題 1）と，パラメータを用いた自動チェックによる自動照査（技術的課題 2）が可能となる．

(2)　モデルの自動生成

モデルの自動生成の流れを図-4 に示す．従来は，2 次元の基本設計図に詳細設計情報を加味した施工図作成指示を，手書きや口頭で CAD オペレータに伝達していた．本開発では，幾何・数量情報に対する入力値（詳細設計情報）をパラメータデータ（CSV 形式）として整理し，パラメトリックに変更可能とした．モデリングプログラムは，3 次元躯体外形モデルから選択された対象躯体と，読み込んだパラメータデータに基づき，3 次元配筋モデルを自動的に生成する．生成されたモデルから 2 次元の配筋施工図を出力する．

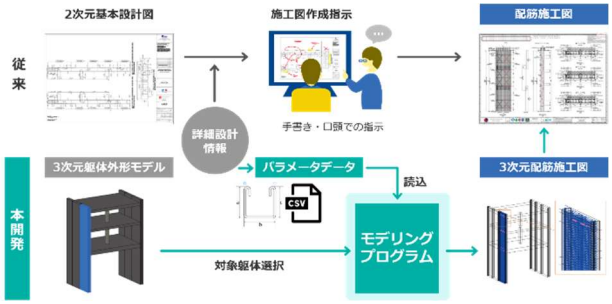


図-4　モデルの自動生成の流れ（上：従来，下：本開発）

モデリングプログラムは，ビジュアルプログラミング環境である Rhinoceros/Grasshopper を用いて開発し，Rhino.Inside を介して Revit 上に鉄筋要素として配筋モデルを生成する構成とした（図-5）．この構成とした理由は部材ごとのカスタマイズが必要となるモデリング処理は，ユーザ自身も比較的容易に修正できるビジュアルプログラミングで実装することが望ましいためである．これにより，従来は手書き・口頭で伝達されていた詳細設計情報がデータとして明示的に管理され，断面仕様の変更時にもパラメータを修正してモデルを再生成するだけで対応できる．

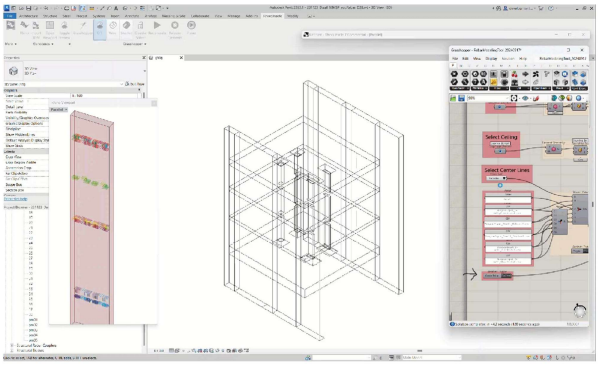


図-5　モデリングの自動化の実行画面

(3)　照査の自動化

標準化された情報モデルを用いて，設計条件・設計基準と突合・比較可能な照査ロジックを検討し，自動照査を実現した（図-6）．照査プログラム群は，3 次元配筋モデルと，CSV や PDF 形式で与えられる設計条件・設計基準を入力とし，照査結果を 3 次元モデル上での幾何学的な結果表示と，計算値とパラメータ値を一覧化したレポートの 2 つの形式で出力する．

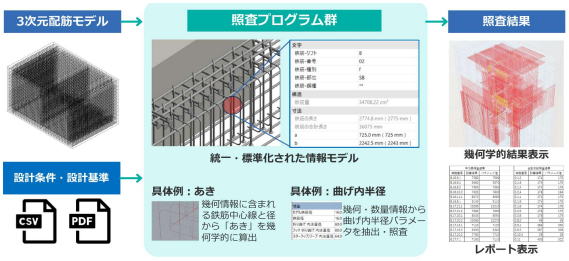


図-6　照査の自動化の概要

例えば「あき」の照査では，幾何情報に含まれる鉄筋の中心線と鉄筋径から，鉄筋間のあきを幾何学的に算出して照査する．「曲げ内半径」の照査では，幾何・数量情報から曲げ内半径のパラメータを抽出して設計値と比較する．また「重ね継手長」の照査では，モデル内の重ね継手位置を検知したうえで，同一断面内の継手の有無及び最小継手間隔を確認し，条件に応じて基本定着長，もしくはこれを割り増した値に対して重ね継手長を照査する [3]．

照査プログラムは主に Revit のアドイン（C#）として実装した．照査ロジックはユーザが容易に改変できないことが望ましいため，ソースコードを改変できないアドイン形式を採用している．図-7 に示す干渉チェック，かぶり，重ね継手，開口部位置，埋込み金物位置，曲げ径・フック余長を含め，計16個の設計照査プログラムを開発した．

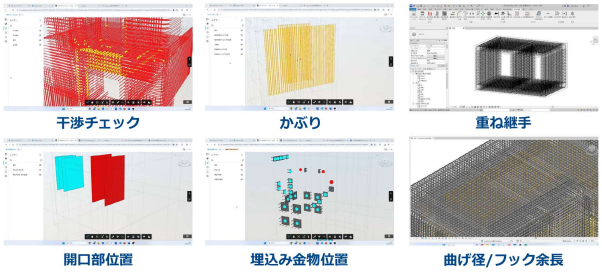


図-7　開発した照査プログラムの例

4.　現場実装と効果

(1)　適用工事の概要

開発した技術を，インドネシアのジャカルタ都市高速鉄道（MRT）南北線 2 期工事のうち，地下工区 CP202 に適用した [4]．工事概要を表-3 に，計画図を図-8 に示す．本工区は，交通量の多い幹線道路直下に地下駅舎 3 駅を構築する大規模な都市土木工事である．

表-3　適用工事の概要

項目	内容
工事名	JKT MRT 南北線 2 期 CP202 工区
施工延長	1,830m
地下駅舎	3 駅（地下 2 層×1 駅，地下 4 層×2 駅）
シールド	1,190m×上下線，内径 6.05m
その他	M&E 設備

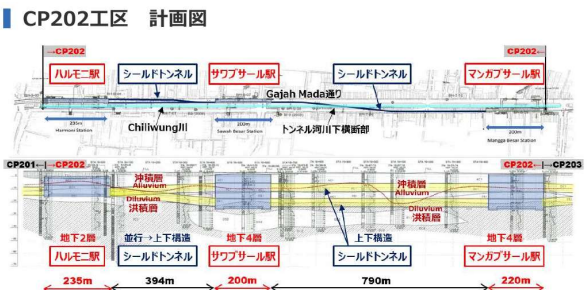


図-8　CP202 工区の計画図

本工事では，地下駅舎 3 駅の RC 躯体に本技術を全面的に適用した．極めて厳しい設計工期を克服し，施工工程上求められた 3 駅の同時施工を実現した．

また，BIM から出力した 2 次元図面のみで施工を実施し，従来の手法で作成した 2 次元図面は用いていない．

(2)　生産性向上の効果

従来手法と BIM を活用した本手法の人工を比較した結果を図-9 に示す．BIM（CAD）オペレータ及び設計技術者が担う施工図作成で 50%，設計技術者が担う照査で 70%の人工削減を実現した．このほか，照査の自動化による見落としの防止など，設計品質の向上といった労務・コスト以外の効果もあったと考えられる．

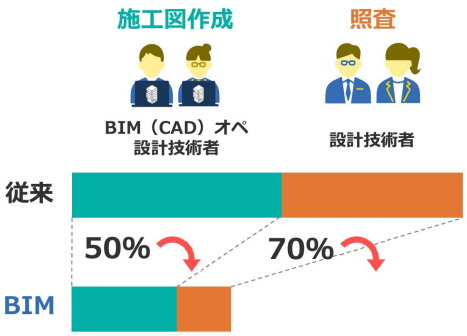


図-9　生産性向上の効果（施工図作成及び照査の人工比較）

(3)　フロントローディングによるコストダウン

施工図作成の生産性向上は，設計プロセス全体の合理化にもつながった（図-10）．従来は，構造解析の後に配筋施工図の作成に多くの時間を要するため，施工開始に間に合わせるには設計断面を少数（図中では A～C の 3 区分）に集約せざるを得なかった．本手法では配筋施工図作成の期間が短縮されたことで，その分を構造解析等の上流の設計検討に充てるフロントローディングが可能となった．これにより，設計断面を細分化（図中では A～E の 5 区分）し，各区間に適した配筋とする最適な設計を実現した．

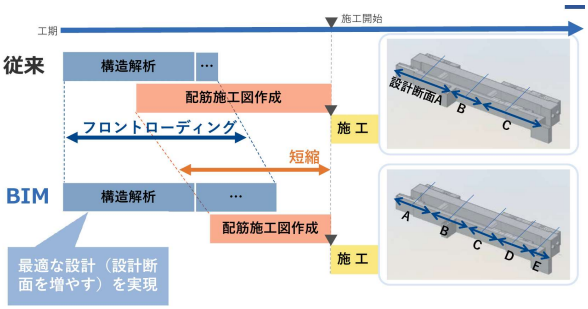


図-10　フロントローディングによる設計の合理化

5.　今後の展開

土木設計の自動化に向けた BIM/CIM の取組みは大手建設会社を中心に進んでいるものの，各社固有のソフトウェアに依存した独自の取組みにとどまっており，主要な設計ソフトウェアへの実装や業界全体への普及には至っていない．こうした状況を踏まえ，内閣府の「研究開発と Society 5.0 との橋渡しプログラム（BRIDGE）」において，国土交通省による「土木設計データのパラメータ化及び設計照査のオートメーション化に関する技術開発」が令和 8 年度から進められている [5]．同研究開発では，土木構造物のパラメトリック設計に関するソフトウェア間連携標準，構造計算ソフトと 3 次元モデル作成ソフトの連携用中間ファイル，及びパラメトリック設計の基準化とガイドラインの策定等が計画されている．

当社は，国土交通省／国土技術政策総合研究所が進める同研究開発に共同研究者として参画しており，本稿で述べた鉄筋の情報モデルの統一・標準化や自動照査の知見を活かし，当該技術の普及・展開を推進していく．

6.　まとめ

本稿では，パラメトリックモデルを活用した RC 躯体配筋図の自動作成及び自動照査技術の開発について述べた．得られた知見を以下にまとめる．

(a)　プロジェクト内の全ての鉄筋に対して情報モデルを統一・標準化し，パラメータの機械判読を容易にすることで，配筋モデルの自動生成と自動照査を実現した．

(b)　干渉チェック，かぶり，重ね継手等を含む 16 個の設計照査プログラムを開発した．

(c)　ジャカルタ MRT 南北線 2 期 CP202 工区の地下駅舎 3 駅に全面適用し，施工図作成で 50%，照査で 70%の人工削減を達成した．

(d)　施工図作成の生産性向上により，設計断面を細分化するフロントローディングが可能となり，設計の最適化とコストダウンを実現した．

今後は，国の研究開発への参画を通じて，パラメトリック設計及び自動照査の標準化と普及に取り組んでいく．

参考文献

1)　国土交通省：i-Construction 2.0 ～建設現場のオートメーション化～，2024.

2)　松下文哉，宮岡香苗，連勝，鈴木宏昇，Vincensius Y.A.P.，大野広志，土田一輝，荒木尚幸：3 次元プロダクトモデルを活用した詳細設計システムの構築と現場実装に向けた取組み，土木建設技術発表会 2022，2022.

3)　松下文哉，太田周作，宮岡香苗，連勝，荒木尚幸：

BIM/CIM を活用した配筋施工図作成のための詳細設計システム その 2（照査システム編），土木学会第 78 回年次学術講演会，2023.
4) 清水建設株式会社：ジャカルタ MRT 南北線 2 期工事で地下工区「CP202」を JV 受注，ニュースリリース，2022，https://www.shimz.co.jp/company/about/news-release/2022/2022035.html
5) 内閣府：研究開発と Society 5.0 との橋渡しプログラム（BRIDGE）令和 8 年度研究開発等計画「土木設計データのパラメータ化及び設計照査のオートメーション化に関する技術開発」，2026，https://www8.cao.go.jp/cstp/bridge/keikaku/r8-19_bridge_r8.pdf