

鉄骨製作工程計画のためのネットワーク手法を用いたシミュレーション ～実装へむけて～

Simulation using network process method for steel frame fabrication process planning ～Towards implementation～

○古川 暁*, 吉田 知洋*²、紀乃元*³、角田恒夫*⁴、古阪秀三*⁵

Satoru FURUKAWA*¹, Tomohiro YOSHIDA*², Chi NAIYUAN*³, Tsuneo KAKUTA*⁴, Shuzo FURUSAKA*⁵

*¹ M.C.S. STEEL PUBLIC COMPANY LIMITED

*² 鹿島建設株式会社
Kajima Corporation

*³ M.C.S. STEEL PUBLIC COMPANY LIMITED 会長 博士 (工)
Executive president M.C.S. STEEL PUBLIC COMPANY LIMITED, Dr. Eng.

*⁴ M.C.S. STEEL PUBLIC COMPANY LIMITED M.C.S. STEEL PUBLIC COMPANY LIMITED

*⁵ 立命館大学 OIC 総合研究機構 グローバル MOT 研究センター客員教授。
Visiting Researcher, Open Innovation & Collaboration Research Organization Global Management of Technology Center,
Ritsumeikan University, Dr. Eng.

キーワード：建築鉄骨；生産管理システム；設計意思決定；実プロジェクト情報；工程シミュレーション

Keywords: Architectural steel frame; Production management system; Design decision making; Actual project information;
Process simulation.

1. はじめに

鉄骨は地震国である日本の大規模建築において欠かせない主要な構造材料である。また、鉄骨製品には PC ファスナーなどの内外装、設備機器・昇降設備（階段・ELV）周辺鉄骨、仮設金物（建て方・安全衛生等）など様々な金物を取り付けられる。建築鉄骨は建設現場ではなく鉄骨専門業者（鉄骨ファブ）の工場建て方工事に先行して製作され、溶接部位の品質維持のため現場での溶接は極力避けるべき事とされている。

鉄骨に取り付けられる様々な金物類は、内外装仕様、設備機器種別やメーカー、施工計画などにより異なる。この為、建築鉄骨の設計意思決定を早期に行おうとすれば、多数の専門工事業者間の調整が必須である。この専門工事分野間調整を行うのは、設計者もしくは元請けゼネコンに所属する鉄骨プロジェクトを熟知した担当者である。

現実の建築プロジェクトにおいては、敷地条件、顧客要求の変化、経済状況の変化、専門工事業者の繁忙状況、その他技術的な困難さなど様々な不確定要素が設計意思決定に影響する。設計意思決定の誤り・振れ・遅れは鉄骨製作の品質・コスト・工期に悪影響を及ぼす事は容易に予想できる。しかし、何を何時迄にどの程度の精度で決めればよいのか、また決定が遅れた時に意思決定者が負わなければならないペナルティはどの程度か、に関する確立された基準はない。

本研究の最終的な目的は建築鉄骨製作業務に係る設計意思決定から製作開始までの期間がどの程度必要か、それが遅れた場合の工程・品質へどのような影響が生じるのか

を合理的に判断できるようなしくみを構築し有効性を検証する事である。

筆者らはこれまで、実在する鉄骨ファブの実プロジェクトデータを基に鉄骨製作の過程を調査分析してきた。まず、鉄骨製作の全プロセスを分析して WBS (Work Breakdown Structure) を作成し、それぞれのプロセスを担う担当者・組織を RBS (Responsibility Breakdown Structure) に表し、各プロセスの依存関係をネットワーク図にまとめた⁹⁾¹⁰⁾。

次に、構造図・鉄骨詳細図の承認・受領記録から鉄骨図面作図に要する期間を求め¹²⁾¹³⁾、生産管理システムの記録データから素管製作と組立て・溶接までの鉄骨実製作期間を求めた¹³⁾¹⁵⁾。さらに、設計変更・図面修正が起りやすいケースの例を挙げた¹⁵⁾。

現在、筆者らはネットワーク工程モデルの妥当性を検証する為、簡単な工程シミュレーションシステムを作成している。前回 (2022 年) の本シンポジウムでは簡略化したノード型モデルを用いて LST/LFT (Latest Start Time / Latest Finish Time = プロジェクトの完了期日から逆算した各作業の最遅実行日) のみを計算し、実プロジェクトのスケジュール表と比較した¹⁶⁾。

今回の報告ではネットワーク工程モデルの全機能を実装したアロー型モデルを作成し、EST/EFT (Earliest Start Time / Earliest Finish Time = 作業開始日から作業日数を積み上げ計算した最早作業日) と LST/LFT の両方を計算し、シミュレーション結果と実プロジェクトデータの比較を行った。

2. 研究の方法

2.1. 概略

アロー型ネットワーク工程モデルは、業務プロセスを示すアローと接続関係を示すノードからなる。アローは名前と作業日数を持ち、ノードには分岐・合流する複数のアローが接続している。

前述した業務ネットワークモデル^{9) 10)}を表計算ソフトで表現し、これに図面受領記録及び生産管理システムのデータから抽出した作業日数を入力すると作業スケジュールを計算できる。

2.2. EST/EFT および LST/LFT の計算方法

スケジュールの計算手順を図1に示す。EST（最早作業開始日）は、プロジェクトの開始日から順にクリティカルパスに沿って作業日数を足し合わせたものである。当該するプロセスの開始ノードに複数のアロー（前プロセス）が合流している場合（例：図1.ノード2）は全ての前プロセスが完了する日が当該プロセスのESTである。ESTに作業期間を加えたものがそのプロセスのEFT（最も早く作業を完了できる日）となる。

一方、LFT（最遅作業完了日）はプロジェクトの完了予定日から逆算した「この日より前に当該作業を完了しなければいけない日」である。当該するプロセスの完了ノードから複数のアロー（次プロセス）が分岐している場合、全ての次プロセスのうちで最も早く開始しなければなら

いプロセスのLSTが当該プロセスのLFTである。LFTから作業期間を引いたものがLST（この日より早く作業を開始しなければいけない日）となる。

3. 鉄骨生産工程のネットワーク

鉄骨製作全プロセスのネットワーク図を図2に示す。左上が建設プロジェクトの開始で、右下の鉄骨製品納品と清算で完了する。このネットワーク図は大きすぎて細部が判読できないので、一部分（鉄骨詳細図作成の部分）を拡大した。

構造設計が完了し鉄骨ファブの分担と鉄骨図業者が決まると鉄骨詳細図の作図を開始する。鉄骨詳細図ではまず、主材・接合部・スリーブ等を記載した素管図（ビルトアップ図）を作成し、これに小梁・間柱などの接手や設備機器架台、仮設金物などを記入した最終図を作成する。

図2.に記入されている多数の線（アロー）と注記は、鉄骨詳細図に金物やディテールを記入する為に必要な決定事項（前プロセス）である。

例えば、貫通孔スリーブを記入する為には設備設計で配管ルートとスリーブ仕様が決定されていなければならない。また、施工計画の中で揚重計画や輸送搬入路の制約が見つかった為に長大梁を二分割するケースなどがある。同様に外壁割り付けによってPCファスナーの詳細が定まる、仮設計画・立て方計画によって仮設金物の詳細が定まる、などの依存関係がある。

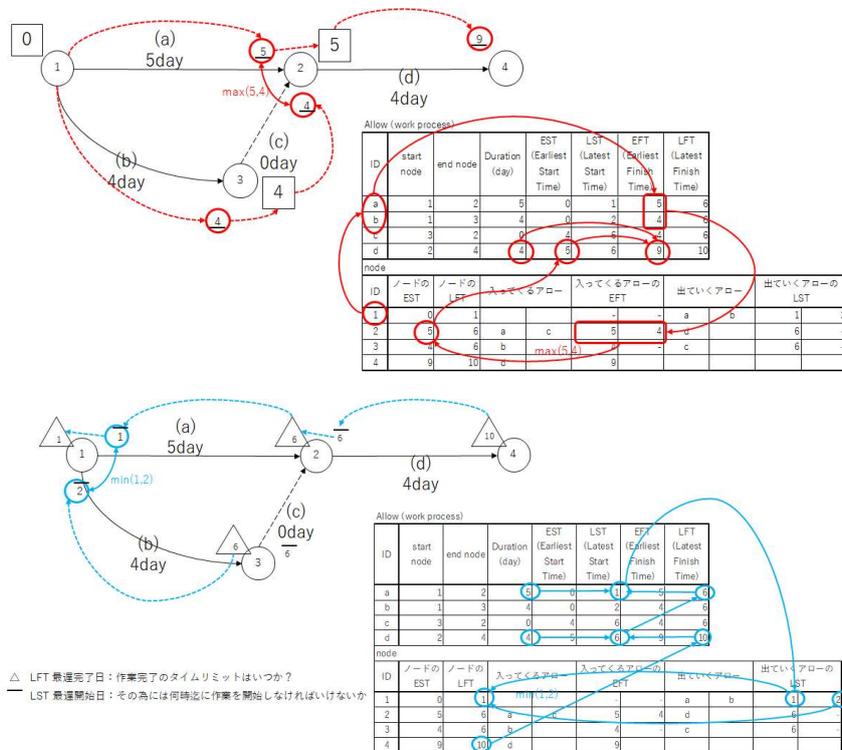


図1. EST/EFT 及び LST/LFT の計算方法¹⁵⁾

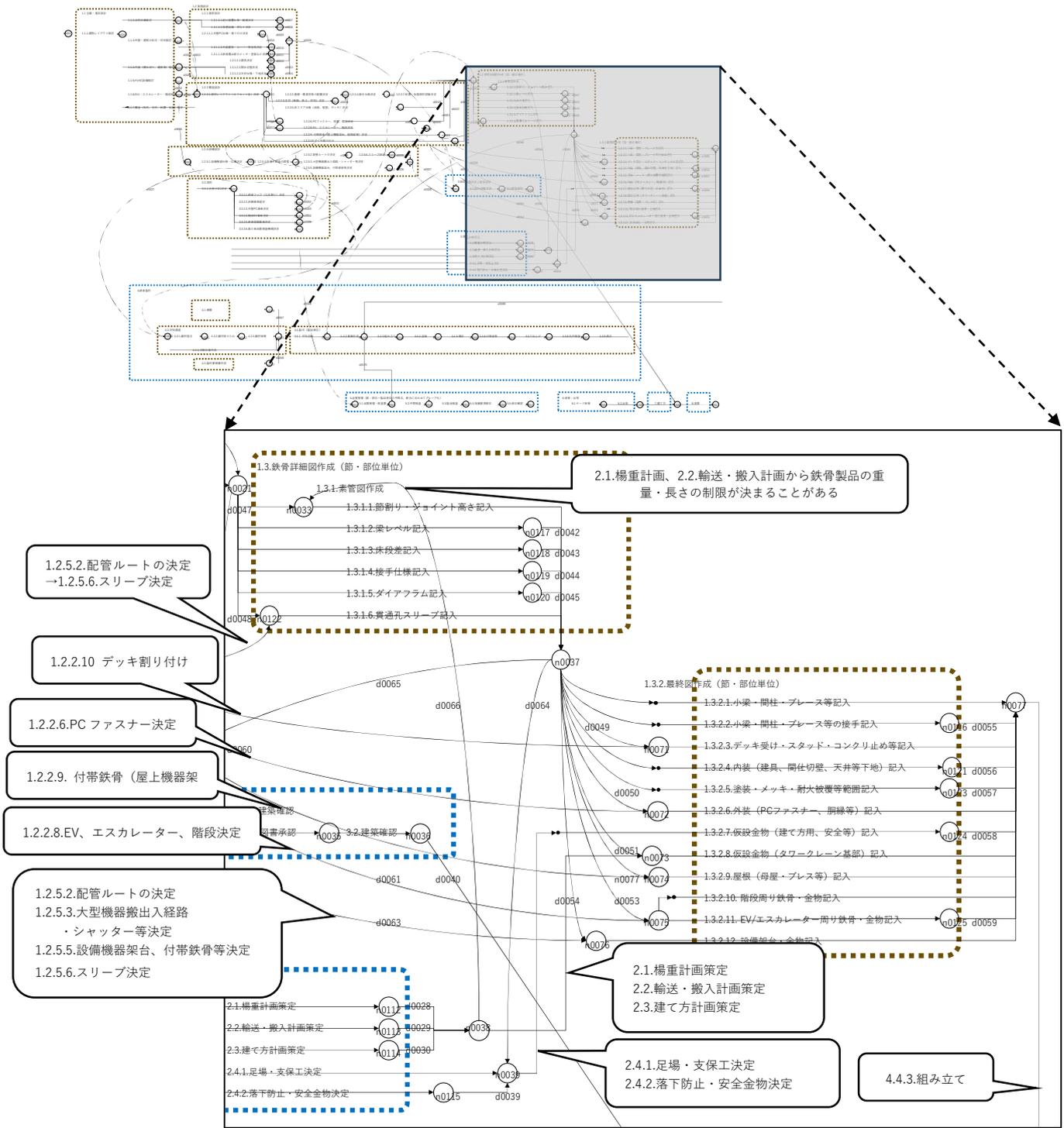


図2. 建築鉄骨製作のプロセスネットワーク (一部)

4. シミュレーションの計算結果

図2のプロセスネットワークの作業項目と接続関係を表計算ソフトに入力し、工程シミュレーションを行った計算結果を図3.に示す。各プロセスの作業期間は実績データの分析から推定した凡その値である。

図に示したのは一部 (鉄骨詳細図作成と部材製作) であるが、EST/EFT<LST/LFT である事、作業実績データと大体一致している事、から概ね妥当な計算値であると

考えている。

5. まとめ

今回の報告では工程シミュレーションの実装を行い、計算結果を示した。しかし、作業期間は暫定的な値であり工程モデルの詳細度など、改良が必要な部分は残っている。今後は工程モデルの改善と実作業データの見直しを進めシミュレーションの精度を高めた。

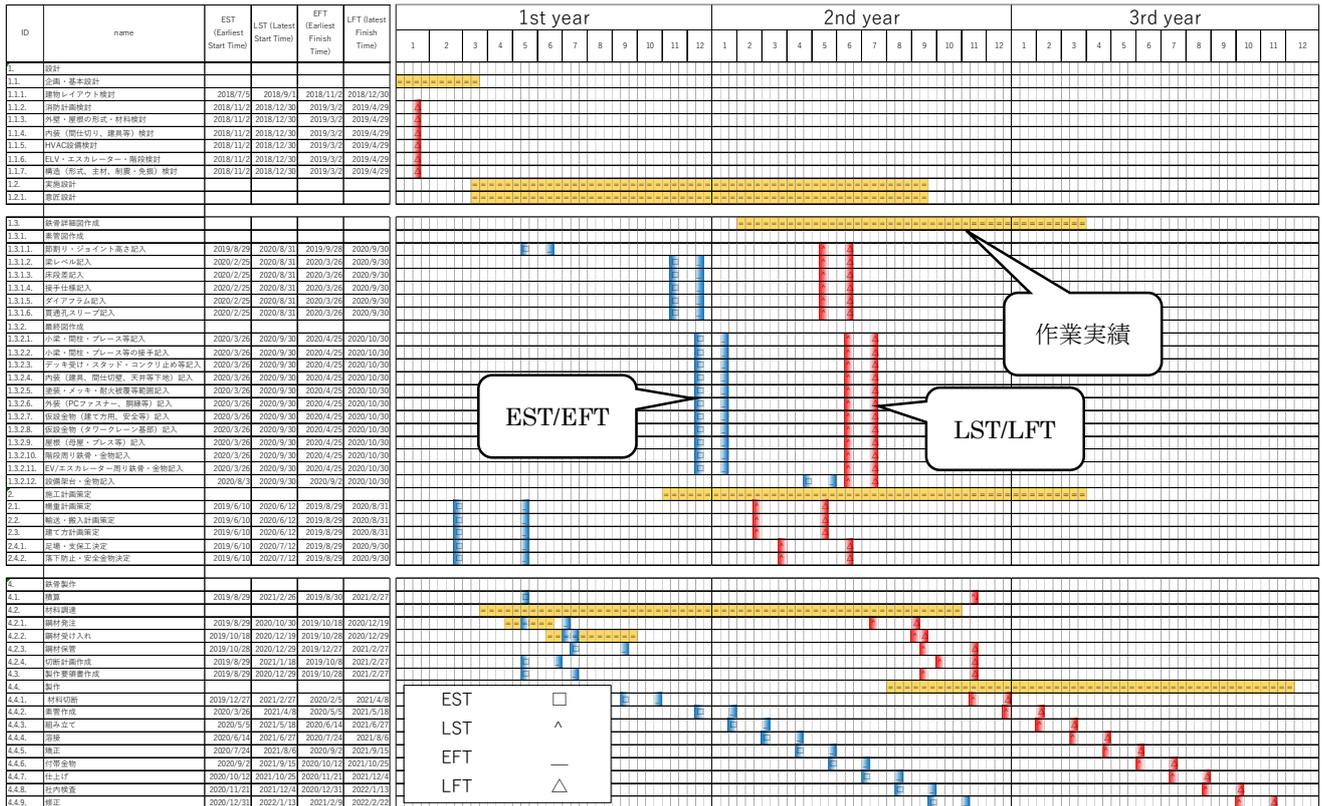


図3. 工程シミュレーションの計算結果（一部抜粋）

【参考文献】

- 田村篤, 藤井寛明, 片田匡貴, 古阪秀三: 建築工事において施工段階に作成される図面の役割-日本の建築生産プロセスに着目して-, 日本建築学会第 31 回建築生産シンポジウム, 2015.7
- 蟹澤宏剛, 安藤正雄, 浦江真人, 北条精志: 鉄骨製作段階における生産設計の実態, 日本建築学会第 10 回 建築生産シンポジウム, 1994
- 蟹澤宏剛, 安藤正雄, 浦江真人, 北条精志: 鉄骨ファブリケータの業務から見た生産設計の実態, 日本建築学会第 11 回 建築生産シンポジウム, 1995
- 金 貞坤, 紀乃元, 角田 恒男, 古川 暁, 古阪秀三: 設計変更に対する鉄骨ファブリケータの意思決定の仕組み, 日本建築学会計画系論文集, 第 77 巻, 第 681 号, pp2611-2618, 2012.11
- 金 貞坤, 紀乃元, 角田 恒男, 古川 暁, 古阪 秀三: 鉄骨工事における生産変更の発生要因と鉄骨ファブの対応, 日本建築学会建築社会システム委員会, 第 27 回建築生産シンポジウム論文集, pp213-218, 東京, 2011.7
- 古川暁, 紀乃元, 角田恒男, 古阪: 鉄骨生産管理システムを用いた製作リードタイムと不良率の分析, 日本建築学会 第 32 回建築生産シンポジウム, 2016.7
- The management of projects : Peter W.G.Morris, Thomas Telford Services Ltd, pp262-269, 1994
- 古川知洋, 古川暁, 紀乃元, 角田恒男, 岡本裕之, 古阪秀三: 鉄骨生産プロセスの WBS による記述とネットワーク手法による鉄骨生産プロセスの最適化, 日本建築学会第 35 回建築生産シンポジウム, pp161-166, 2019.7
- 古川暁, 古川知洋, 紀乃元, 角田恒男, 岡本裕之, 古阪秀三: 鉄骨生産プロセスの WBS による記述と, その活用による生産リードタイムと鉄骨製品品質の関係の検討, 日本

- 建築学会第 35 回建築生産シンポジウム, pp167-172, 2019.
- 古川 暁, 古川 知洋, 紀 乃元, 角田 恒男, 岡本 裕之, 古阪 秀三: 鉄骨生産プロセスに於ける設計意思決定過程の分析と実態調査, 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, pp338-341, 2019.
- Satoru Furukawa, Tomohiro Yoshida, Naiyuan Chi, Hiroyuki Okamoto and Shuzo Furusaka : Analysis and survey of design decision making process in steel production process, ICCEPM 2020 (The 8th International Conference on Construction Engineering and Project Management) Dec. 7-8, 2020, Hong Kong
- 古川 暁, 古川 知洋, 紀 乃元, 岡本 裕之, 古阪 秀三: 実プロジェクト情報を用いた鉄骨設計意思決定タイミングの分析, 日本建築学会第 43 回情報・システム・利用技術シンポジウム, pp244-247, 2020.12
- 古川暁, 古川 知洋, 紀乃元, 岡本裕之, 古阪秀三: 鉄骨生産プロセスにおける意思決定過程の分析と工程計画モデルの検討, 日本建築学会第 44 回情報・システム・利用技術シンポジウム, 2021
- “ネットワークによる工程の計画と管理”の指針 同開設, 日本建築学会、1968 年 9 月 10 日
- 古川 暁, 古川 知洋, 紀 乃元, 岡本 裕之, 古阪 秀三: 構造図・鉄骨詳細図の履歴データ分析による設計意思決定過程の調査-ネットワークモデルによる表現への検討にむけて-, 第 37 回建築生産シンポジウム, pp175-180, 2022.8
- 古川 暁, 古川 知洋, 紀 乃元, 角田 恒男, 古阪 秀三: 鉄骨製作実プロジェクトデータを用いた ネットワーク型工程シミュレーションの試み, 日本建築学会第 45 回情報・システム・利用技術シンポジウム, 2022
- 古川 暁, 古川 知洋, 紀 乃元, 角田 恒男, 古阪 秀三: 鉄骨製作ネットワーク工程シミュレーション手法の実装の試み, 建築生産シンポジウム, 2023