

論 文 要 旨

2025年08月26日

※報告番号	甲第370号	氏名	ZHU ZHENGLU
主論文題名			
架構式 PCa 工法の設計段階における生産情報検討プロセスに関する研究 —施工・製作ノウハウを設計に反映する一手法の提案—			
内容の要旨			
<p>日本国内の建設業では、技能労働者の不足や2024年4月から適用された時間外労働規制により、生産性向上と省人化が喫緊の課題となっている。その解決方策の一つとして、架構式 PCa 工法（RPC 工法）の期待が高まっている。RPC 工法における PCa 部材の製造プロセスは、構造設計の後、構工法計画、施工計画、施工図作成、製作図作成、製造の流れとなる。中でも、構工法計画は、PCa 部材を効率的に製造・施工するためには、様々な制約条件を調整しつつ、製造性や施工性を考慮することが求められる。しかし、日本では設計初期に PCa 製造者が関与することが難しく、構工法計画は体系的な基準に基づく網羅的な検討が行われず、属人的判断に依拠して決定される場合が多い。その結果、製作における作業性や効率性といったノウハウが設計段階に十分反映されていない。</p> <p>以上を踏まえ、本研究では RPC 工法の構工法計画について、属人的ノウハウを形式知化し、再現可能な構工法選定支援の仕組みを提案する。具体的には、① RPC 工法における生産情報確定過程の実態および課題を整理・明確化すること、② 政策的に PCa 工法の導入を推進しているシンガポールの事例を参照しつつ日本における RPC 工法の運用実態とその課題を相対的に考察すること、③ それらのノウハウを基盤として BIM を活用した新たな構工法計画手法を提案することを目的とする。</p> <p>本論文の構成は以下に示す。</p> <p>序章：本研究の背景と目的、本論文の構成などを述べている。</p> <p>第2章：RPC 工法の歴史と技術蓄積に伴う多様化の流れを時系列で整理した。さらに、中国・シンガポール・マレーシアにおける PCa 制度と標準化の状況を調査し、日本との対比から構工法の多様化要因（用途、施工環境、発注方式、政策、耐震要求）を分析した。その結果、アジア諸国では政策や発注方式に基づく標準化が進展している一方、日本では自由度重視により多様化が加速し、この多様性が標準化や情報共有の阻害要因となっていることを指摘した。</p> <p>第3章：既往研究を、①RPC の生産プロセス、②製作図作成、③構工法 BIM モデル、④遺伝的アルゴリズム（GA）による設計・計画支援、⑤シンガポールにおける PPVC 工法研究の五つの側面から整理した。その結果、RPC 工法における製造者との協働や生産プロセスの実態、シンガポールにおける PPVC 工法の運用実態に関する研究は限定的であり、さらに RPC 工法を対象として、施工・製作ノウハウの形式知化を試みた研究は現時点で見当たらないと指摘した。これらを踏まえ、本研究は国内外の事例を通じて実態を明らかにし、施工・製作ノウハウを形式知化して活用可能にするために、BIM や GA を活用した構工法計画手法を提案することで、</p>			

既往研究の不足を補う立場を明確にした。

第 4 章：シンガポールの PPVC 工法の生産情報検討プロセスを明らかにするために、発注者・総合建設会社・PPVC 製造業者にインタビュー調査を実施した。そこから、設計者が製造者と設計早期段階に協業することを、制度や発注方式が促進している状況を確認した。さらに、日本では設計・施工一括発注方式においても、設計者が製造業者に設計の早期段階での協力を委託する契約のあり方が成熟していないことが課題であることを指摘した。こうした制度的制約を前提としつつ、製造ノウハウをいかに設計初期段階から構工法計画の意思決定に取り込むことの重要性を示した。

第 5 章：日本国内の総合建設会社と PCa 工場を対象とした構造化インタビューにより、構工法計画から製作図作成までの実態を把握した。その上で、設計図書・施工図・製作図の作成における協力関係や分担の実態を可視化し、課題を整理・考察した。さらに、製作図作成プロセスをパターン化することで、RPC 工法における設計・施工・製作工場間の情報交換の特徴を明らかにした。特に、承諾図発行の遅延に起因して部材製造工程の確保が困難となる問題が顕著であることを確認した。この問題の原因として、承諾プロセスの効率化だけでなく、設計図書の情報不足や計画段階における製造への配慮不足も指摘された。また、BIM の利用についても、特殊な部材形状では現行の BIM ソフトウェアが対応困難であり、各社とも十分に活用できていない実態が明らかになった。これらの結果から、PCa 工場の製造ノウハウを構工法検討へ早期に反映させる必要性を再認識した。

第 6 章：構工法計画において施工・製造ノウハウを形式知化する基盤を構築するため、柱や梁の単位で構成される部位に「パネルゾーン」を追加することで、RPC の構工法が計画しやすくなることを提案した。その概念を BIM モデルに実装することで、RPC の多様なケースを表現できる構法 BIM モデルに再構築する手法を提示した。さらに、工法情報を属性として付与することで段階的構法・工法計画を実現し、部分形状や重量、部材施工方法などをパラメトリックに検討できる手法を示した。最後に、プロトタイプを開発してその有効性を検証した。

第 7 章：形式知化の第 2 歩として、第 6 章で構築した構工法 BIM モデルに対し、第 5 章で実施したヒアリングした結果を基に、施工性と製造性に基づく複数の適合度関数を設定し、遺伝的アルゴリズム (GA) を用いた構工法パターン最適化手法を開発した。その手法について、簡易なラーメン構造を対象とした数値実験により、構工法案の客観的評価と最適化の実現可能性を確認した。その中で、製造と施工のノウハウを評価指標として組み込むことの効果が期待されることを確認した。

第 8 章：本論文の全体的な考察として、提案した BIM および GA を活用した構工法計画支援の枠組みは、PCa 工場や施工のノウハウを設計段階に取り込む有効な手段となり得ることを示した。一方で、構工法計画に関する評価指標の多くは判断基準が明確でなく、ノウハウの有無によって部材形状や配置の複雑さに差が生じる可能性があることを指摘した。こうした課題に対応するためには、ノウハウの形式知化と蓄積が不可欠であり、PCa 工場や総合建設会社のノウハウを評価指標化して共有・公開することが望まれる。その際には、ノウハウそのものの整理だけでなく、相互の関係性を調整する仕組みの必要性を示した。

最後に、本研究の結論として、製作・施工ノウハウを設計段階に的確に反映させ、属人的判断に依存しない再現可能な構工法選定を支援する情報基盤を提示し、RPC 工法の実産情報確定プロセスの改善に資するノウハウを提供した。