

PCaPC 床版製作工場における取組み

— 生産性向上と環境負荷低減について —

中川 真文*1・柴田 樹*2

建設業の人手不足と脱炭素対応が喫緊の課題となるなか、高速道路リニューアル工事に伴うプレキャスト PC 床版（以下、PCaPC 床版）の製作増加に対して、PC 工場で実施した生産性向上対策および環境負荷低減への取組みを報告する。本工場では、鉄筋結束機を導入し、鉄筋組立作業の省人化と組立精度の安定を図った。また、簡易緊張装置を導入して PCaPC 床版 1 枚単体での製作を可能とし、工程 1 日サイクルにおける作業負荷の平準化を図ることで生産性向上と PC 鋼材のロス低減を実現した。さらにレイタンス処理作業を専用装置で自動化し、作業員への負荷軽減と作業時間の短縮を図った。脱炭素対策として、自家消費型太陽光発電と蓄電池を組み合わせたシステムを構築し、工場内の消費電力に占める再エネ比率を高め、CO₂ 排出量の低減に貢献した。本稿では、これらの取組みがもたらした生産性向上と環境負荷低減の効果について報告する。

キーワード：PCaPC 床版、生産性向上、機械化、環境負荷低減

1. はじめに

近年、建設業界では深刻化する労働力不足や環境問題への対応が課題となっている。工場製品の製作現場でも作業員の高齢化や担い手不足が進行し、プレキャスト製品の生産性向上と環境負荷低減を同時に達成することが求められている。

従来の PCaPC 床版製作工程では、鉄筋組立作業、プレストレス導入時の緊張作業、レイタンス処理など、多くの工程で熟練工による手作業が必要とされてきた。また、製品の製造過程で消費される電力の多くは化石燃料由来であり、カーボンニュートラルの実現に向けた取組みが不可欠となっている。

このような背景のもと、PCaPC 床版製作の生産性向上を目的として、鉄筋組立作業の省人化、PCaPC 床版専用の簡易緊張装置による効率化、およびレイタンス処理作業の自動化を実施した。さらに、環境負荷低減を目的として、PC 工場内に自家消費型太陽光発電設備と蓄電池を導入し、再生可能エネルギーの効率的な活用を図った。

本稿では、これらの技術による生産性向上効果、および

環境負荷低減効果について報告する。

2. PCaPC 床版の生産性向上

2.1 鉄筋組立作業の省人化

(1) 概要と目的

従来、工場における PCaPC 床版の鉄筋組立では、ユニット化による生産工程の効率化を図ってきたものの、組立作業は全て人力作業に依存していた。この課題を解決するため、鉄筋組立作業の省人化を目的とした鉄筋結束メッシュ製造ライン（以下、鉄筋結束機）を導入した（写真 - 1）。

PCaPC 床版の鉄筋ユニットを上筋、下筋、ハンチ補強筋のパーツに分割して組み立てることとし、各パーツの組立作業を鉄筋結束機により半自動化した。PCaPC 床版の鉄筋は継手方式によって異なるが、道路橋用プレキャスト床版設計・製造便覧¹⁾に記載されているループ継手の PCaPC 床版の場合、上筋、下筋、ハンチ補強筋、サークルハンチ補強筋の 4 パーツが鉄筋結束機で組立可能である（図 - 1）。また端部拡張鉄筋の上筋、下筋についても組立が可能である。鉄筋結束機の作業は以下の手順で行う。まず、オペレーターが操作パネルに部材諸元（パーツ種別、鉄筋ピッチ、製作枚数等）を入力後、橋軸直角方向の配力



*1 Masafumi NAKAGAWA

(株)日本ピーエス
品質管理グループ



*2 Tatsuki SHIBATA

(株)日本ピーエス
品質管理グループ



写真 - 1 鉄筋結束機全景

筋を所定の位置に配置する。次に自動運転ボタンの操作により、橋軸方向鉄筋の供給、結束作業（写真 - 2）、移動工程、そして製品の段積みに至る一連のプロセスが自動制御により実行される（写真 - 3）。

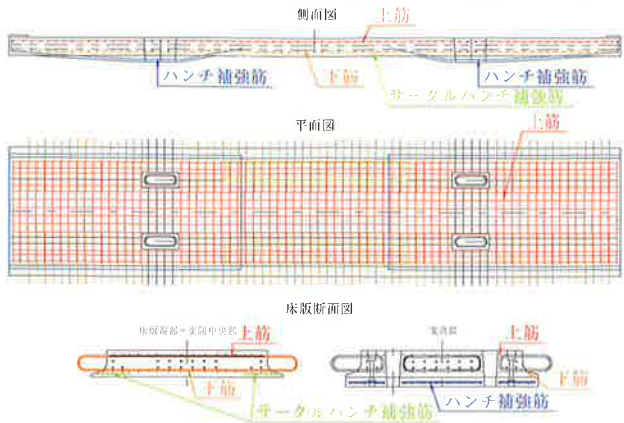


図 - 1 鉄筋結束機による組立可能なパーツ



写真 - 2 鉄筋結束機結束部



写真 - 3 上筋組立完了

(2) 導入効果

鉄筋結束機により、PCaPC 床版鉄筋総重量の約 80% を自動結束することが可能となり、PCaPC 床版 6 枚あたりの必要作業員数を 12 人から 6 人へと 50% 削減することができた。さらに、人的要因による組立誤差を排除することで、鉄筋組立の精度が向上した。

2.2 PCaPC 床版専用の簡易緊張装置

(1) 概要と目的

高速道路リニューアル工事に用いられる PCaPC 床版は現場条件を反映して設計されるため、新設工事に比べて複雑な形状が多く、PCaPC 床版ごとに鉄筋形状、PC 鋼材本数、緊張力等が異なる場合がある。したがって、個別の条件ごとに製作ベンチが必要な場合や、2 日に 1 枚の製作に留まるなど、生産性向上が課題であった。また、図 - 2 に示すように従来のプレテンション桁製作に用いられる固定型ベンチでは PC 鋼材をベンチ全長（68 m）に配置して緊張するため、PC 鋼材の余材が発生してしまう場合もある。そこで、PCaPC 床版 1 枚ごとを単独で製作が可能な簡易緊張装置を導入し、生産性向上と余材の削減を図る（写真 - 4）。

ショートベンチ 1 基の仕様を以下に示す。

- ・緊張能力：4 500 kN（2 500 kN ジャッキ× 2 基）
- ・寸法：長さ 19.0 m × 幅 5.1 m × 高さ 1.3 m
- ・製作可能 PCaPC 床版長：12.0 m 以下

本装置の特徴は、1 基あたりの PCaPC 床版製作数を 1 枚に限定することで装置の簡略化を実現した。

(2) 導入効果

3 基の簡易緊張装置を独立して稼働させることが可能である特徴を活かし、1 日の作業サイクル内の遊休時間を次工程に有効活用することで、作業の平準化を実現した。その結果、PCaPC 床版の製作能力は従来の 2.0 枚 / 日から 2.5 枚 / 日へと向上した。また、従来の固定型ベンチ（ロングライン方式）と比較して、省スペースで効率的に生産可能で、PC 鋼材の余材を低減でき省資源化にも繋がった（図 - 2）。



写真 - 4 簡易緊張装置（1 基）

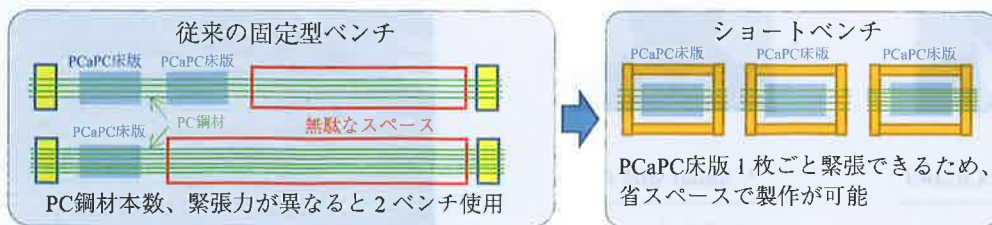


図 - 2 PCaPC 床版製作ベンチ（従来型と簡易緊張装置）

2.3 レイタンス処理作業の自動化

(1) 概要と目的

従来のレイタンス処理作業は、すべて高圧洗浄機による人力作業で実施していたが、セメント分を含んだ処理水が作業員に飛散するなど作業環境は悪く、特に冬季においては冷水を扱うため作業負担が顕著であった（写真 - 5）。作業員の高齢化や担い手不足による人員確保の課題を踏まえ、レイタンス処理作業を自動化することで、過酷な環境下での人力作業の軽減と作業時間短縮による生産性向上を図る。

レイタンス処理装置は、PCaPC床版の位置を光電センサーで自動検知し、天端・側面・端面のレイタンス処理、および洗浄水の給水までを自動で行うことが可能である（写真 - 6）。また、複数のPCaPC床版を1列に配置することで最大4枚までの連続処理が可能である。ただし、ジベル孔等の天端開口部の処理は、寸法、位置がPCaPC床版によって異なるため、従来どおり人力作業で行う必要がある。

(2) 導入効果

レイタンス処理装置の導入により、従来は人力で対応していたPCaPC床版1枚あたりの処理対象面積を8.6㎡から1.6㎡へと削減でき、処理範囲を約80%削減した。この結果、作業量が大幅に減少し、飛散による被服汚染や冬季の冷水作業など体への負荷が大きく軽減された。併せて処理工程の標準化が進み、個人差による仕上がりのばらつきが抑制されることで表面品質の均一化が図られた。

また、1枚あたりの処理時間は従来の60分から30分へ半減し、工程リードタイムの短縮に寄与した。一方で、ジベル孔や高さ調整ボルト孔など開口部周りの細部処理は引き続き人手での対応が必要であり、完全自動化に向けた課題が残る。今後はセンサーを用いた開口部検出や可変ノズル・局所処理用ツールの導入といった技術改良を進めることで、さらなる自動化比率の向上と作業負荷の一層の低減を図っていくことが望まれる。

3. 太陽光発電および蓄電池による再生可能エネルギーの導入

3.1 概要

2020年の政府による「2050年カーボンニュートラル宣言」以降、建設業界においても脱炭素化への取組みが加速している。そこで、自社の活動に直接起因する温室効果ガス排出を指すScope1および、他社から購入した電力や熱の使用に伴う間接的な温室効果ガス排出を指すScope2²⁾の温室効果ガス排出量を2030年までに基準年（2021年度）よりも42%削減する目標を設定し、工場で使用する電力に対して再生可能エネルギーを導入する。具体的には、太陽光発電と蓄電池を組み合わせたシステムを構築し、工場における電力の脱炭素化を図る。

3.2 自家消費型太陽光発電

太陽光発電で発電した電力は、すべて工場敷地内で自家消費している。太陽光パネルは工場の屋根に1960枚敷設し、発電容量は700kWで、想定年間発電量は約970MWhである（写真 - 7）。



写真 - 5 高圧洗浄機による人力作業

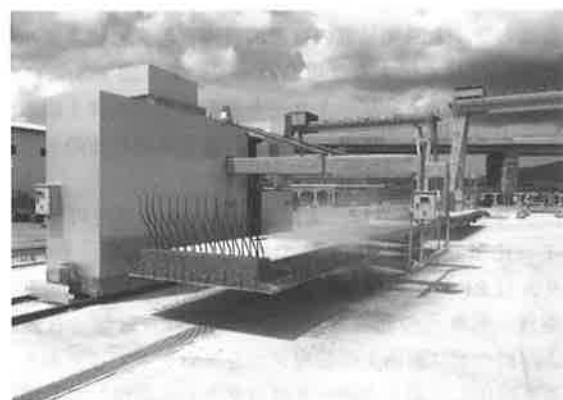


写真 - 6 レイタンス処理装置



写真 - 7 太陽光発電パネル



写真 - 8 蓄電池 (RF 電池)

3.3 蓄電池

蓄電池はレドックスフロー電池（以下、RF 電池）を採用し、蓄電容量は 750 kWh（250 kW × 3 h）である（写真 - 8）。

RF 電池の特徴を以下に示す。

- ・設計寿命は 20 年以上で、長寿命
- ・電解液は半永久的にリユースが可能
- ・電解液は水溶液のため不燃で危険物は不使用
- ・充放電サイクル数無制限で、運転条件の制約無し
- ・太陽光発電の自家消費率向上（再エネ比率向上）のほか、ピークカットや停電時対応にも活用可能

3.4 太陽光発電および蓄電池の運用と実績

日中は太陽光発電で発電した電力を優先的に工場内消費に充当する。発電が需要を上回るときは RF 電池に充電する。夜間、太陽光発電による発電ができない時間帯に放電することで、太陽光発電の自家消費率（再生可能エネルギー比率）を最大化する運用を行っている（図 - 3）。この充放電運用に加え、ピークカット等の需要側制御を組み合わせることで電力コストの平準化および系統負荷の平滑化にも寄与している。

2024 年度の実績では、太陽光発電による再生可能エネルギー比率の実績は 45.8% であった（図 - 4）。その内、12.9% は RF 電池の併用による効果である。太陽光発電の発電量、蓄電池の充放電量および電池残量は図 - 5 にあるようにウェブ画面での監視ダッシュボードでリアルタイムに可視化しており、データはログとして蓄積して長期的な運用効果算出に利用している。可視化することで社員の環境意識が高まり、省エネ運転や設備利用の最適化につながっている。

また、太陽光発電で賄えない電力は電力会社から従来どおり買電で補っているが、買電電力については実質的に CO₂ 排出量がゼロとなる調達契約を選定しており、その結

果、2023 年 10 月から工場で消費する電力は 100% 再生可能エネルギー化を達成している。これにより、Scope2 における CO₂ 排出量は実質ゼロである。

4. おわりに

これらの取組みにより、PCaPC 床版の生産性向上を実現した。一方で適用上の制約と改善余地が残っていることも明確になった。今回導入した鉄筋結束機で結束できる PCaPC 床版鉄筋は、橋軸方向と橋軸直角方向鉄筋が直角の場合に限定されるため、斜角のある PC 床版への適用が今後の課題である。

レイタンス処理装置についても、ジベル孔、高さ調整ボルト孔など細部の処理は自動化の適用外となっており、人手による作業が残っている。自動化の更なる高度化には、開口部位置の高精度検出技術、可変ノズルや局所処理用のロボットツールの導入など、自動処理の拡張が求められる。

今回の機械化により作業負荷の低減や品質安定化は進むが、現場判断や微細な対応は依然として人に依存する場面が多い。また、機械設備の操作、整備、保守ができる人材の育成も課題である。

環境面では、今回 Scope2 に係る CO₂ 排出量ゼロ化を達成したが、Scope1（燃料起因）の削減は今後の重要課題である。特に工場での主要排出源である蒸気養生用ボイラーに関しては、ボイラー稼働の削減を図るとともに、蒸気養生を必要としないコンクリート配合への転換が今後の課題と考えている。

参考文献

- 1) プレストレスト・コンクリート建設業協会：道路橋用プレキャスト床版設計・製造便覧、JIS A 5373-2004、2004 年 7 月
- 2) World Resources Institute, Greenhouse Gas Protocol : A Corporate Accounting and Reporting Standard, Revised Edition, 2004.

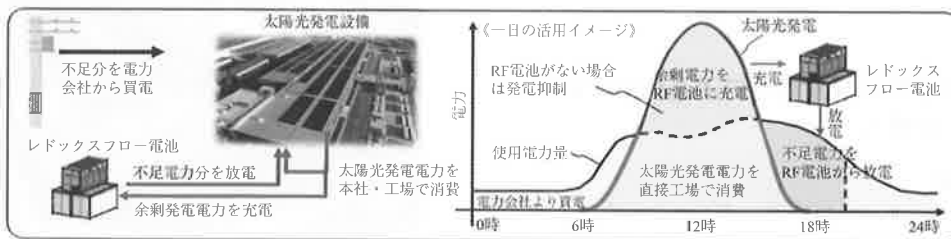


図 - 3 太陽光発電・蓄電池の運用イメージ

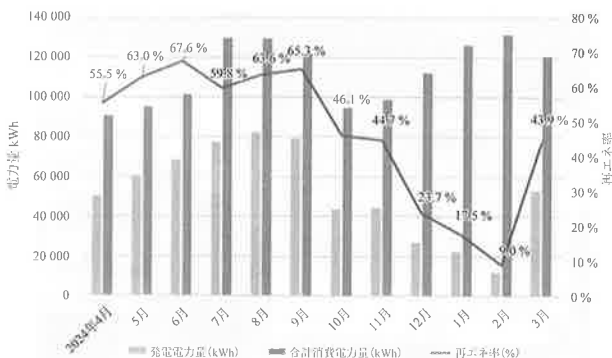


図 - 4 2024 年度太陽光発電量・消費電力量と再エネ率

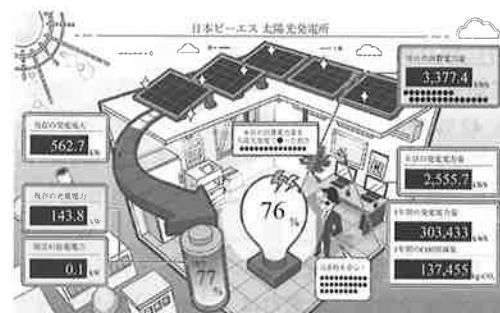


図 - 5 太陽光発電と蓄電池稼働状況画面

【2026 年 1 月 28 日受付】