

# プレキャスト PC 床版自動製図システムの開発

## —PSMAX Smart Slab System (PSMAX-3S) —

|        |                |        |
|--------|----------------|--------|
| 技術本部   | 技術部            | 桐川 潔   |
| 東京土木支店 | 土木技術部          | 植村 典生  |
| 大坂支店   | 土木技術部 (九州支店駐在) | 藤田 知高  |
| 技術本部   | 技術部            | 花房 禎三郎 |

**概要：** NEXCO 大規模更新工事は、ピーエス三菱の主要工事となっており、今後多くの発注が計画されている。現状では人員不足の中、大規模更新工事に対応しているが、更に受注を増加させていくためには、設計・施工の面から生産性を向上させることは必須である。NEXCO 大規模更新工事の詳細設計業務としては、プレキャスト PC 床版の設計計算・図面作成・数量計算を実施するが、設計要員および協力業者の不足から、プレキャスト PC 床版の図面作成業務が工程を圧迫している。そこで、設計業務の生産性向上を目的とし、プレキャスト PC 床版の自動製図システムの開発を行った。

**Key Words：** 生産性向上, 大規模更新, 床版取替え工事, 自動製図

### 1. はじめに

近年、鋼鈹桁橋における既設 RC 床版の劣化から、既設 RC 床版をプレキャスト PC 床版（以下、PCaPC 床版）に取替える床版取替え工事が実施されている。床版取替え工事の工事量は年々増加しており、これらの工事を限られた人員の中で実施するには、生産性の向上が急務であると考えられる。

PCaPC 床版による床版取替え工事において、生産性を向上させる対策としては、設計段階、製造段階、施工段階と各種段階で手法があると考えられるが、まずは、設計段階における生産性向上対策について検討することとした。

床版取替え工事における PCaPC 床版の設計において、最も時間を要する項目は図面の製図であると考えられ、それを自動化することができれば、作図期間の短縮はもちろん、製造準備期間の確保や、工場製作工程の自由度を向上させることもでき、工事全体の効率化もはかることができると考えられる。

### 2. 自動製図システムの概要

#### 2.1 PCaPC 床版の設計フロー

PCaPC 床版の一般的な設計フローを図-1 に示す。それぞれの項目については、以下に説明を行う。図中の赤ハッチング項目は本システムで自動化した部分となる。



桐川 潔



植村 典生



藤田 知高



花房 禎三郎

## ①線形計算

床版取替え工事を行う既設橋梁の線形計算を復元する。既設床版であることから、対象橋梁の完成時の線形計算書を復元することになる。現地計測結果と比較し、線形に差異が無いことを確認する必要がある。

## ②PCaPC床版の割付

復元した線形計算結果をもとに、PCaPC床版の割付を実施する。PCaPC床版の幅や、PCaPC床版の配置方向、PCaPC床版の形状（長方形・台形・平行四辺形）、土工部とのとりあい等を考慮して床版配置を決定する。

## ③線形計算の修正

決定したPCaPC床版の割付に合わせて、線形計算書を修正する。この結果を基に、PCaPC床版の設計を開始する。

## ④設計計算

床版割付の決定により、床版支間や床版の張出し長が決定するため、PCaPC床版の設計計算を行い床版厚やPC鋼材・鉄筋の配置間隔や本数を決定する。

## ⑤PCaPC床版形状計算

PCaPC床版の各種形状条件（ハンチ形状、スタッドジベル個所数、調整モルタル厚、橋軸方向継手形状等）を決定し、線形計算結果から、PCaPC床版の形状寸法を計算する。この際に、現地計測結果と比較し、橋面の嵩上げ高さも決定する。

## ⑥PCaPC床版構造寸法図の作成

算出した形状寸法値より、PCaPC床版の構造寸法図を作成する。

## ⑦PCaPC床版配筋図の作成

設計計算により決定したかぶりや鋼材配置にて、PCaPC床版の配筋図を作成する。

## ⑧数量計算書の作成

PCaPC床版部分の鉄筋、型枠、コンクリートの数量を算出し、数量計算書を作成する。

## ⑨完成

## 【自動製図システム導入後の作業】

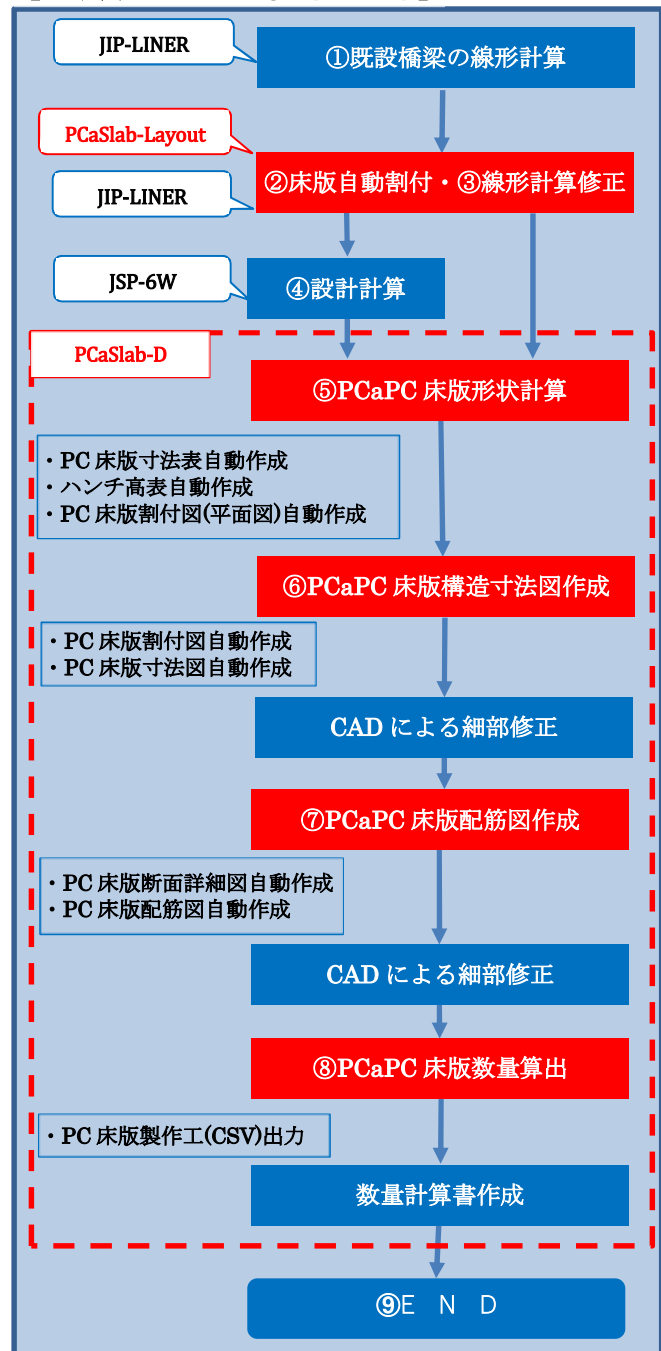


図-1 設計フロー

## 2.2 自動化について

設計計算の流れのうち、図-1の中の②、③、⑤、⑥、⑦、⑧の項目について自動化を実施する。本システムはプレキャスト床版割付支援システム(PCaSlab-Layout)とプレキャスト床版自動製図システム(PCaSlab-D)の2つのシステムが連動して構成されている。自動化の内容については、以下に示す。

## ②床版自動割付、③線形計算修正(PCaSlab-Layout)

線形計算結果のXYZ座標をCSV形式ファイルにてシステムに読み込み、基本条件（径間数、主桁本数）、プレキャスト床版の配置方針（版形状、版幅、桁直角配置等）、端部場所打ち床版範囲等を入力することで、PC床版の自動割付が実施される。自動割付実行の入力画面ではコメント欄があり、場所打ち床版部の範囲

を変更することで版枚数を低減できる寸法値も表示される。また、図-2に示すように、画面上で、DXF出力図面を確認することも可能である。また、本システムで出力される新たな割付ライン（セクションライン）については、線形計算ソフト（JIP-LINER）と連動しており、本システムで出力されるテキストデータを、線形計算ソフトの入力データに貼り付けることで、簡単に線形計算データを修正することが可能である。

#### ⑤PCaPC床版形状計算（PCaSlab-D）

③で修正した線形計算データのXYZ座標をCSV形式でシステムに読み込み、PCaPC床版のタイプ（MuSSL継手、ループ継手、アゴの有無等）、ハンチ形状、スタッドジベル孔の形状および箇所数等を入力することで、PCaPC床版の構造寸法を自動で算出することが可能である。基本条件として、鋼桁の上フランジ厚や幅および添接板位置を入力する必要があるが、この値と調整モルタル厚の範囲を指定することで、ハンチ高さと調整モルタル厚の自動計算が可能である。なお、調整モルタル厚が設定範囲内に収まらない場合は、範囲外の調整モルタル厚が赤字で表示されるため、現状の構造高さから橋面の嵩上げを行う必要がある。

また、各工場にて壁高欄水切り部や地覆立ち上げ部等を、PC床版と同時に打設するケースが増加しているが、それらの地覆形状にも対応している。

#### ⑥PCaPC床版構造寸法図作成

⑤で算出した構造寸法値よりPCaPC床版の構造寸法図を自動で作成する。出力例を図-3に示す。図面については、グループ毎または版1枚毎の出力が可能である。また、後述する配筋図でも同様であるが、図面枠、フォントおよびフォントサイズ、レイヤ、図面の縮尺、一覧表の行数等、各種図面設定も変更可能である。

#### ⑦PCaPC床版配筋図作成

基本条件として、PC鋼材や鉄筋の鋼材種類や配置、壁高欄鉄筋の配置間隔等を入力することで、PCaPC床版の配筋図を自動で作成する。出力例を図-4に示す。PC鋼材および鉄筋の配置については、床版の設計計算プログラムである「JSP-6W」と連動しており、その鋼材配置を読み込むことで、入力を省略することも可能である。

#### ⑧PCaPC床版数量算出

形状計算により求めた寸法値をもとに、鉄筋、型枠、コンクリートの数量を自動的に算出し、CSV形式にて出力する。

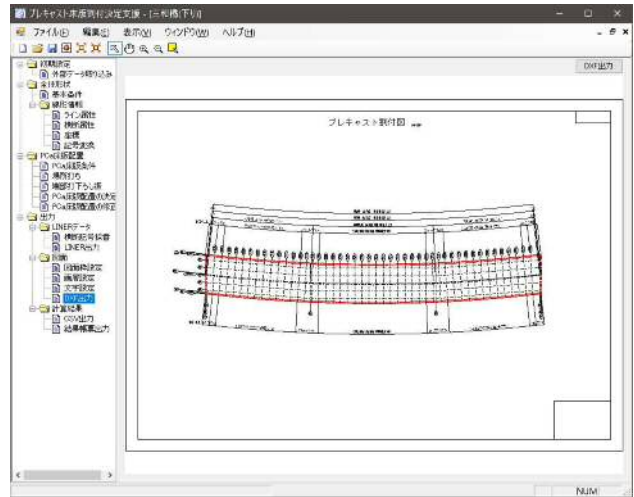


図-2 PC 床版割付図（出力）

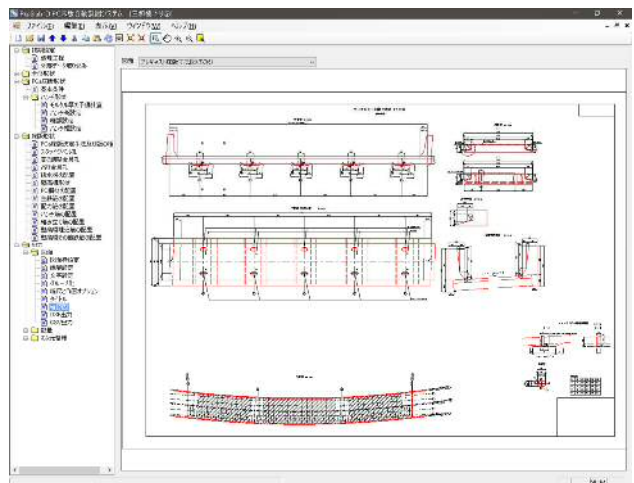


図-3 PC 床版構造寸法図（出力）

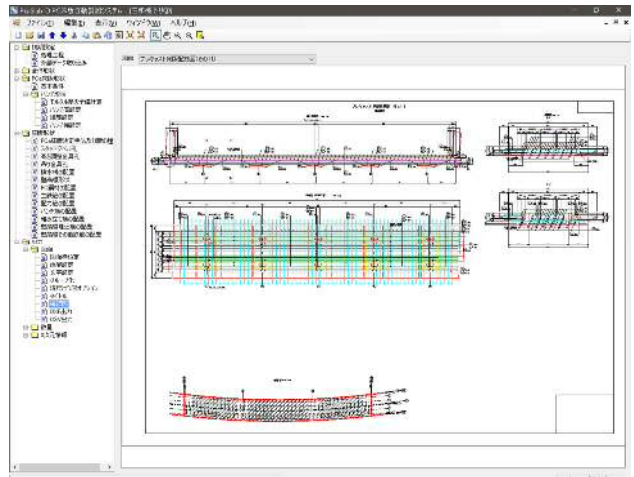


図-4 PC 床版配筋図（出力）

### 3. 自動製図システムの開発による効果

自動製図システムを開発する事による効果を各種観点から検証した。検証結果を以下に示す。

#### 3.1 設計における効果

##### 3.1.1 設計生産図の処理能力の拡大

製図に必要であった人工を低減できると考える。自動製図システムが完成したと仮定し、設計会社に、システムを使用した場合の低減効果についてのアンケートを実施した。アンケートの集計結果を表-1に示す。

表-1 アンケート結果による低減効果

| 対象項目     | 低減効果  |       |       |
|----------|-------|-------|-------|
|          | A社    | B社    | 平均    |
| 割付図の作成   | 0.475 | 0.350 | 0.413 |
| 構造寸法図の作成 | 0.565 | 0.488 | 0.527 |
| 配筋図の作成   | 0.568 | 0.463 | 0.516 |
| 数量計算書の作成 | 0.334 | 0.330 | 0.332 |

数社のアンケート結果であるが、33.2%から52.7%程度の低減効果が期待でき、処理能力が向上すると考えられる。

##### 3.1.2 PCaPC床版製作時のチェックに要する業務削減

PCaPC床版の寸法ミスが生じると、現地で所定の位置にPCaPC床版が設置できず、PCaPC床版が架設できなくなり、再製作などの対応が必要となる。決められた期間内で施工を行う必要がある床版取替え工事では、図面寸法のミスは工期の遅れに直結し、致命的となる。そのため、製作前に図面寸法のチェックを行うことは重要であり、台形版などの特殊な形状の版においては、単独の版ごとに製造のための図面を製図している場合もある。

この寸法算出および図化の部分がプログラムにより自動化されることで、人的ミスがなくなり、チェック等に必要な労力が軽減できると考える。

#### 3.2 製造における効果

##### 3.2.1 製作準備期間の確保

工事規模にもよるが、設計開始から工場においてPCaPC床版の製作を開始するまで、約5か月が必要であり、その内2~3か月程度は製図に必要な期間となっている。近年では、図面完成から型枠の製作が完了するまでに3か月程度必要であり、その後PCaPC床版の製作が開始となっている。そのため、設計開始から現場架設までの期間が短いと、製作時期を調整する余裕がなくなり、他物件との施工時期が重なると、製作時期も重なってしまう。そのため、本システムを用いて製図に必要な時間が短縮できることで、製作準備期間を確保でき、PCaPC床版製作の平準化を図ることができる。

##### 3.2.2 製作図の作成

PCaPC床版の図面は一般的に寸法表で示されていることから、製作時に人的ミスが発生する可能性がある。本システムを用いることで、PCaPC床版それぞれの図面を、実寸のCADデータとして出力可能であることから、製作図として準用が可能となる。製作図が実寸で作図されていることから、鉄筋長や斜寸法など、CADによる寸法値の実測が可能となり、製作時の寸法ミスを防ぐことができる。

### 4. プレキャストPC床版自動製図システム

#### 4.1 プレキャスト床版割付決定支援システム

プレキャスト床版割付決定支援システムの入力画面

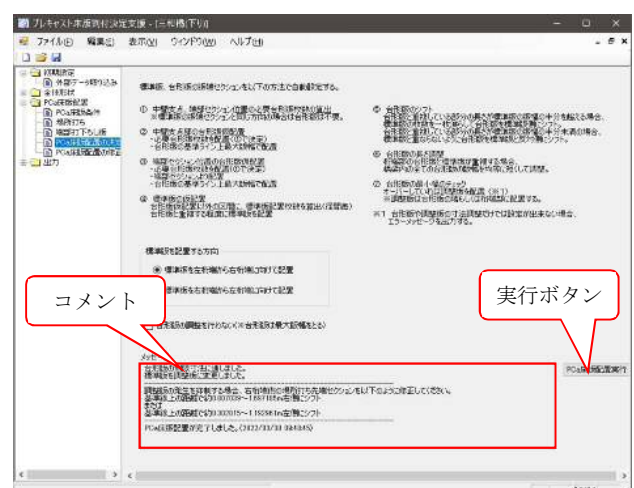


図-5 自動割付実行 (操作状況)

を図-5 および図-6 に示す。このシステムのみで割付図の出力が可能である。また、システムの機能および特徴を以下に示す。

- ・床版形状の選択可能（長方形、斜版）
- ・自動割付後の版幅調整が可能
- ・入力の手簡素化（座標データ読み込み、LINER データ出力）

#### 4.2 プレキャスト床版自動製図システム

自動製図システムの入力画面を図-7 に示す。全ての項目を入力せず、割付図や構造寸法図に必要な項目を入力した段階で、図面を出力することも可能である。また、システムの機能および特徴を以下に示す。

- ・各種継手および形状対応（MuSSL 継手、ループ継手、片アゴ付）
- ・ハンチ高さ調整モルタルの自動計算（添接板、ボルト突出長、鋼桁キャンバーを考慮可能）
- ・2段ハンチ、細目対応（高さ調整ボルト、吊り金具、排水桝、組み立て筋、ハンチ鉄筋形状）
- ・途中入力段階での図面出力（割付図、構造寸法図、三次元モデル）
- ・出力図面のグループ化が可能（版単位、版形状単位）

#### 4.3 三次元モデルの出力

2023 年度に発注される公共事業の CIM 原則標準化もあり、今後、PCaPC 床版の各種図面も三次元モデル化が求められると考え、本システムでは構造寸法図の三次元モデル（IFC 形式、DXF 形式）を出力可能とした。出力結果を図-8 に示す。

### 5. おわりに

本プログラムの開発は、設計業務における生産性向上を目指したものであり、現在、試用を行い生産性向上効果については検証中である。本システムをブラッシュアップすることは、もちろんであるが、今後は、3D スキャナーによる部材寸法の計測手法等と組み合わせ、出来形管理まで活用できる手法を検討する等、製造や施工においても生産性が向上できるシステムへと拡張していく所存である。

#### 謝辞

本自動製図システムは、JIP テクノサイエンス(株)との共同開発である。開発に携わった関係各位に、心よりお礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 桐川潔・植典生・藤田知高・高田伸昭:プレキャスト PC 床版の設計における生産性向上のための一考察, プレストレストコンクリート工学会 第30回シンポジウム論文集, pp.277-280, 2021.10

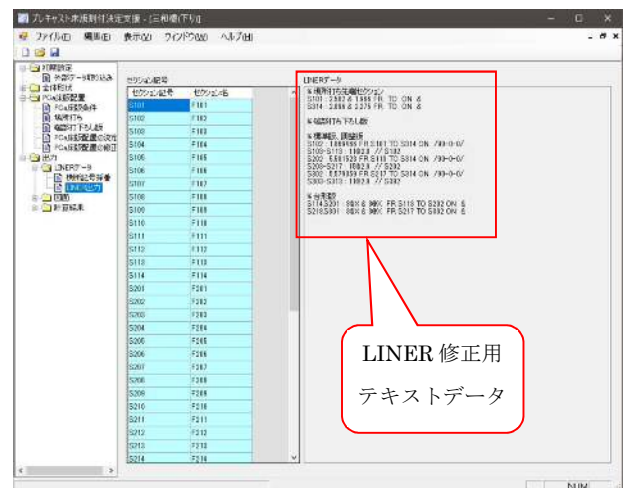


図-6 LINER データ出力（操作状況）

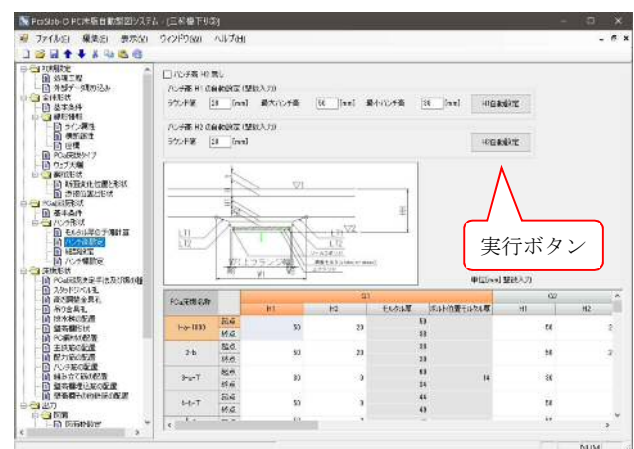


図-7 ハンチ高さの自動決定（操作状況）

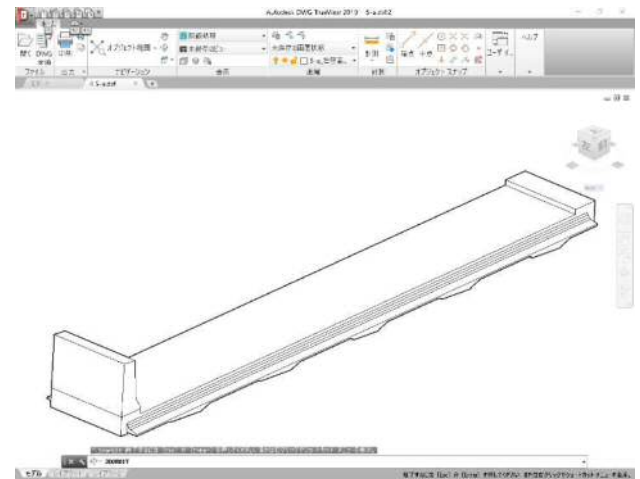


図-8 三次元モデル（出力結果）