

# 部材接合方式が異なる PCaPC 工法による物流倉庫の建設事例

まるぜんしょうわうんゆ      ぜんえいしょうじ  
一丸全昭和運輸東海倉庫・善栄商事市川倉庫一

建築本部      設計部      大塚夕  
西日本支社      建築部      古林桂太

**概要**：PCaPC（プレキャスト・プレストレストコンクリート）工法のメリットを活かして建設された2つの物流倉庫について、不静定応力の抑制方法、プレキャスト部材の分割位置、圧着接合方式の違いに着目して、構造計画から施工までを紹介する。

**Key Words**：PCaPC 工法，不静定応力，ホッチキス方式，PC レンコン方式，物流倉庫

## 1. はじめに

### 1.1 PCaPC 工法の採用

プレキャスト・プレストレストコンクリート（以下 PCaPC）工法は、柱梁床部材を工場で製作し、大型重機を用いて組立てるため、比較的大規模で整形な建物に採用するとコストメリットが生まれやすい。また、プレストレスにより部材耐力を大きくすることが可能なため、重荷重や階高が高い建物との相性がよいとされている。このような点から、中規模以上の倉庫は PCaPC 工法が採用されやすい建築物のひとつであるといえる。

倉庫の計画にあたって、PCaPC 工法を採用することで様々なメリットが生まれる。

まず、倉庫の機能を向上させるという点では次の3つが主なメリットとなる。①コンクリート系構造物にもかかわらず、鉄骨なみの梁せいで計画できるため、限られた階高の中で大きな倉庫スペースを確保できる。②床の長期的なたわみ障害の問題が無い。③鉄骨造に較べて床振動を小さくできる。

次に、構造性能という点では次の2つが主なメリットとなる。④復元性に優れているため大地震後の残留変形やひび割れ等の損傷が少なく、軽微な修復で継続使用が可能である。⑤ひびわれが極めて少なく、コンクリート中性化スピードが極めて遅く、高耐久、長寿命の建物にできる。また、塩害にも強い。

最後に、施工性を向上させるという点では次の4つが主なメリットとなる。⑥あらかじめ主要躯体を工場で製作するため、工期の短縮が可能である。⑦現場作業が少なく、施工管理、品質管理が容易である。⑧現場への資材搬入、廃材の搬出を大幅に減らし、環境に配慮した工事とすることができる。⑨足場や支保工を大幅に減らすことができ、作業の安全性が増す。

今回紹介する2つの倉庫の建設事例は、PCaPC 工法のメリットを活かして当社の設計施工で計画されたものである。

### 1.2 部材接合方式

PCaPC 工法において大規模な平面形状の構造体を計画する場合、プレストレス力の導入によって生じる梁の軸縮みによる不静定応力の処理方法が問題となることが多い。物流倉庫の場合、長辺（桁行）方向が100mを超える場合も珍しくなく、全長にわたり建物の両端で緊張する PC ケーブルのみで梁に必要な耐力を確保



大塚夕



古林桂太

しようとする、大きな緊張力を要し、梁の軸変形が過大となる。その結果、**図-1**に示すように外端柱が建物内側に倒れ込もうとするために、外端柱の設計が困難となる。

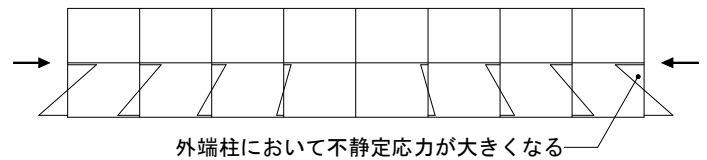


図-1 柱に生じる不静定応力の概要

この問題を解決するために今回採用した、部材相互の接合方式が異なる2つの事例を紹介する。

事例1は柱梁がそれぞれ独立したプレキャスト部材となっており、梁の接合目地は梁両端部に設けられている。接合方式は、桁梁端部に設けた拡幅部を利用して、梁をPC鋼棒で柱部材に圧着接合する「ホッチキス方式」である。

事例2は桁梁と柱梁接合部を一体としたプレキャスト部材となっており、梁の接合目地は、短辺（張間）方向では梁端部に、長辺（桁行）方向では梁中央に設けられている。接合方式は、長辺（桁行）方向に通したPCケーブルを用いて、桁梁中央の目地部で梁を相互に圧着接合する「PCレンコン方式」である。

## 2. 事例1（ホッチキス方式）

### 2.1 建物概要

本建物は名古屋市中心部から南へおよそ15kmの愛知県東海市に位置し、東海市と大府市のほぼ境界付近の伊勢湾岸自動車道大府ICに隣接する、非常に交通至便な場所に建設された約5800坪の倉庫である。低温倉庫、高床倉庫が併設され、垂直搬送機等の荷役設備・雨天荷役場など高度化する倉庫需要に応えられる計画としている。

建物概要を表-1に、建物の全景を写真-1に示す。

表-1 建物概要

建物名称	丸全昭和運輸株式会社中部支店東海倉庫営業所
所在地	愛知県東海市名和町北蔵40番
建築主	丸全昭和運輸株式会社
設計監理	株式会社ピーエス三菱一級建築士事務所
施工	株式会社ピーエス三菱
建物用途	倉庫
階数	地上3階
最高高さ	22.45m
軒高	21.95m
建築面積	9141.91m <sup>2</sup>
延床面積	22212.03m <sup>2</sup> (付属建物を含む)
構造種別	プレキャストプレストレストコンクリート造 (一部鉄骨造、鉄筋コンクリート造)
構造形式	ラーメン構造
基礎形式	場所打ち鋼管コンクリート拡底杭
工期	2006年12月～2007年9月



写真-1 建物全景

### 2.2 構造計画概要

#### 2.2.1 全体計画

本建物は長辺方向128.4m、短辺方向49mの3階建て、基本グリッドは**図-2**に示すように全て10.7m×9.8mの整形な純ラーメン構造で、プレキャスト化に適しているといえる。階高は各階において梁下有効高さで6mを確保している。

屋根は軽量の折版屋根であり、全体の重量軽減の目的と、折版との納まりの良好性から鉄骨梁とし、PC柱上にアンカーボルト形式でピン接合と

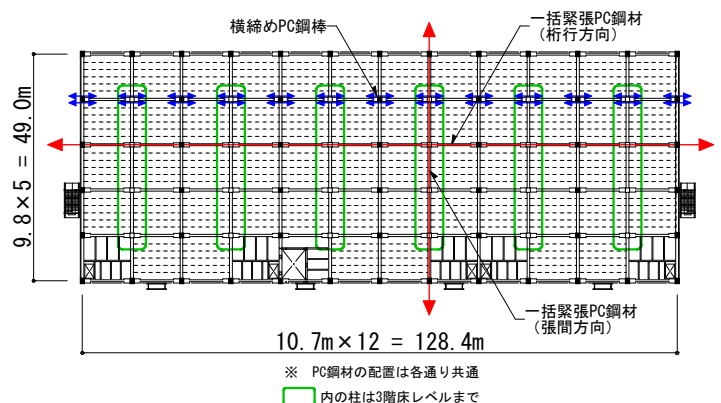


図-2 平面計画

した。鉄骨梁のスパンは 21.4m として、3階の PC 柱は 1本ごとに間引く計画とし 3階倉庫部の使用性を向上させている。

架構の施工状況を写真-2に示す。

### 2.2.2 PCaPC 圧着工法計画

本建物においては、短辺（張間）方向は全長 49m を PC ケーブルで一括緊張して圧着接合している。しかし、長辺（桁行）方向は 128m の長さがあるため、通しで配置する PC ケーブルを必要最小限にとどめて、不静定応力を抑える計画とした。PC 梁端部で不足する耐力は、図-3に示すように、桁行方向各スパンの梁両端部に設けた拡幅部を利用して、PC 鋼棒により PC 柱と PC 梁を圧着接合する工法（ホッチキス方式と呼ぶ）を併用して確保した。

ホッチキス方式においても、PC 鋼棒の緊張により桁梁の軸変形が生じるため、通しで配置する PC ケーブルと比較すると小さいとはいえ、不静定応力を考慮する必要がある。しかし、後述の建て逃げ方式による施工を採用することで、PC 鋼棒を緊張した際の桁梁の軸変形が建物全体に影響するのを避け、PC 鋼棒による不静定応力を無視できる程度に抑えている。

### 2.2.3 床組計画

大荷重を支える倉庫建物において、床版の計画は全体コストを考える上で非常に重要なポイントとなる。本計画においては、①常時の鉛直荷重を張間方向の大梁に伝達させる一方向版とし、桁行方向の大梁には極力負担させない、②支保工が不要で、製作が容易かつローコストなプレキャスト部材であること、③過荷重においても過大なひび割れ、たわみが生じない、という3つのことを勘案し、プレテンション方式のダブル T 型合成床版（以下 DT 版）を採用した。

通常の DT 版の場合受梁側の支承部をフラットな形状とするが、本工事では DT 版が全長にわたって断面形状となるように（写真-3参照）、受梁側に DT 版断面形状に合わせた凹みを設け、全断面が大梁にのみ込む支承形式（写真-4参照）としている。受梁型枠の製作上は複雑になるが、全ての張間方向大梁が同形状で製作されるため、結果的に大梁と DT 版の部材生産性向上を図ることができる。また、この支承形式にすることで、スラブ端部の曲げ有効せいとして DT 版リブの全せいを考慮できるため、現場打ちコンクリート部分に配筋するスラブ上端筋を減らすことが可能となり、床剛性も高くすることができる。



写真-2 架構の施工状況

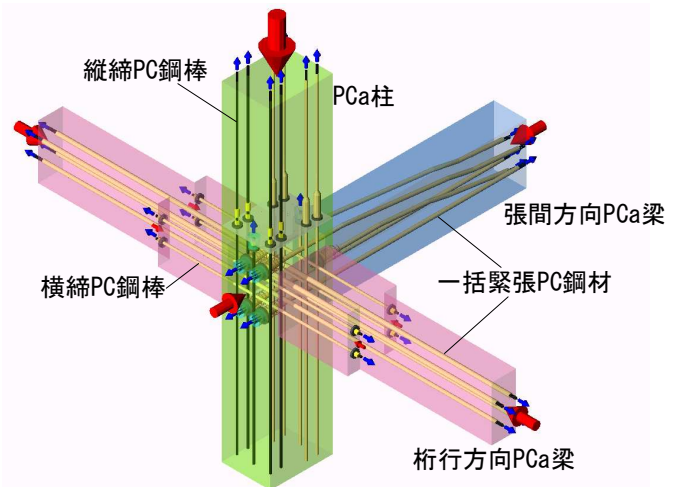


図-3 柱梁接合部（ホッチキス方式）



写真-3 DT版形状



写真-4 DT版支承部



## 2.3 施工計画概要

### 2.3.1 建て逃げ方式の採用

本工事においては、鉄骨造倉庫と同等の工期で建方を完了することが要求された。通常の下層階から順に積み上げる施工では、上部のプレキャスト躯体に着手する段階で基礎工事が全て完了している必要がある。本工事のような平面的に大きな建物の場合、短期間で躯体を構築するためには、基礎工事に短期間で多くの労務を投入することが必要となり、非常に効率が悪いものとなる。

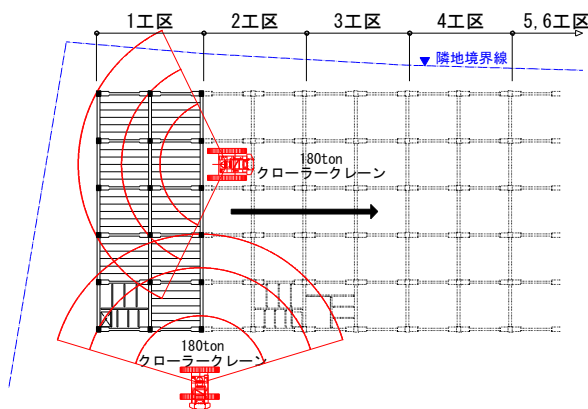


図-4 揚重機計画図

そこで本工事においては図-4に示すように全体を6工区に分割し、掘削工事→基礎躯体→1～3階上部プレキャスト躯体→屋根鉄骨を工区毎に進めていく「建て逃げ方式」を採用した。(図-5参照)

この工法により建方実働60日という短期間での施工が可能となった。また、複数の工種で並行作業を行うことができ、屋根、外装等の早期着手が可能となり、全体工期の短縮にも繋がった。

プレキャスト部材を用いて躯体を構築する場合、工期およびコスト面で揚重機計画が重要となる。本工事では敷地上の制約があり、北側(図-2の上側)の隣地境界線に敷地の余裕が少ないため、建物外部に揚重機を据えることができない。南側(図-2の下側)のみから施工した場合には、作業半径を考えると非常に大型の揚重機が必要と考えられた。しかし、この建て逃げ方式の採用により、図-4に示すように建物内に1台の重機を配置することができ、比較的小型の180tonクレーン2台を用いた施工が可能となった。

### 2.3.2 ホッチキス方式の施工

建物長辺方向の全長に通して配置したPCケーブルによる圧着方式で建て逃げ方式を採用した場合、全ての工区で建方が完了するまで本緊張を行うことができない。従って、各工区ではある期間非常に不安定な架構状態となり、安全面で問題がある。本工事で採用されているホッチキス方式では、梁端部に横締めPC鋼棒が配置されているため、各工区の建方が完了した時点で緊張により柱との剛節が可能となり、建方時の安全性が確保できる。写真-5に施工状況を示す。

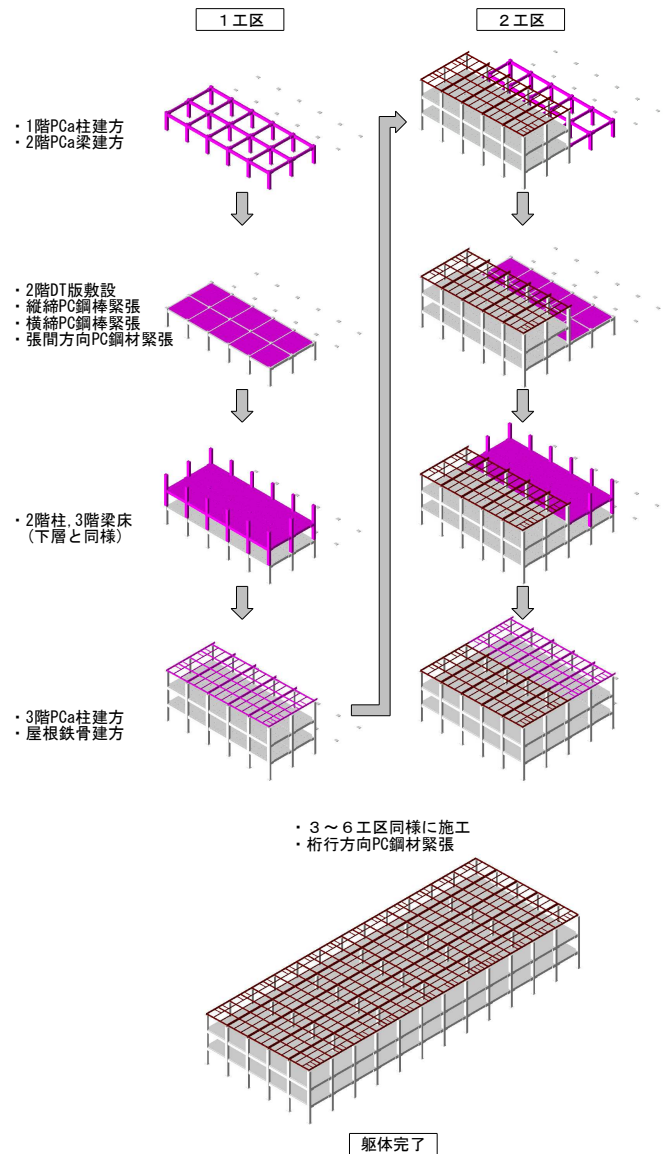


図-5 建て逃げ手順概要



写真-5 横締めPC鋼棒

### 3. 事例2 (PC レンコン方式)

#### 3.1 建物概要

本建物は、東京と千葉のほぼ中間にあたる湾岸市川インターの直近で、現在建設中の東京外環道のインターにも近い、千葉県市川市の好立地に建設された約 3600 坪の倉庫である。倉庫機能としては高床式でエレベータを主体とした荷役設備を備えている。また、防火区画はエレベータを除いたほぼ全面をシャッターで開放可能で、最上階の防火区画を除いて各区画内が無柱の、フレキシビリティに富んだ空間となっている。

建物概要を表-2に、建物の全景を写真-6に示す。

表-2 建物概要

建物名称	善栄商事株式会社市川倉庫
所在地	千葉県市川市原木西浜土地区画整理事業地内5街区1番
建築主	善栄商事株式会社
設計監理	株式会社ピーエス三菱一級建築士事務所
施工	株式会社ピーエス三菱
建物用途	倉庫
階数	地上3階
最高高さ	22.80m
軒高	22.20m
建築面積	5607.55m <sup>2</sup>
延床面積	13648.26m <sup>2</sup> (付属建物を含む)
構造種別	プレキャストプレストレストコンクリート造 (一部鉄骨造, 鉄筋コンクリート造)
構造形式	ラーメン構造
基礎形式	PHC杭拡大根固め工法
工期	2007年3月~2007年11月



写真-6 建物全景

#### 3.2 構造計画概要

##### 3.2.1 全体計画

本建物は長辺方向 120m, 短辺方向 32.1m の3階建て、基本グリッドは図-6に示すように全て 10.0m×10.7m の整形な純ラーメン構造で、事例1と同様にプレキャスト化に適しているといえる。階高は各階において梁下有効高さで6mを確保している。

屋根には事例1と同様に鉄骨梁と折版屋根を用い、鉄骨梁は短辺方向 32.1m を1スパンとしたため、3階の柱は外周のみとなっている。

架構の施工状況を写真-7に、鉄骨屋根の施工状況を写真-8に示す。

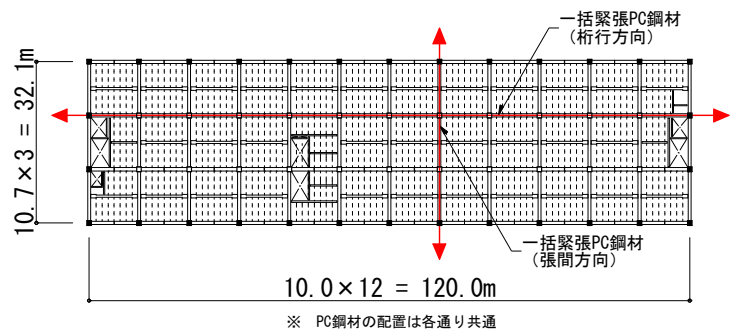


図-6 平面計画



写真-7 架構状況



写真-8 鉄骨屋根施工状況

### 3.2.2 PCaPC 圧着工法計画

本建物は事例1と同様に、短辺（張間）方向は全長32.1mをPCケーブルで一括緊張して圧着接合している。また、長辺（桁行）方向は120mの長さがあるため、プレストレス力導入による不静定応力を抑える必要がある点も同様である。

そこで本建物では図-7に示すように、桁梁を柱梁接合部と一体製作した部材（レンコン部材と呼ぶ）として、PC梁の圧着目地を中央に設ける工法（PCレンコン方式）を採用した。このPCレンコン方式の特長は次の通りである。

梁端部にPC圧着目地を設けた従来の工法と異なり、PCレンコン方式では、桁梁と柱梁接合部とが一体製作されている。梁端部には柱に定着された主筋があるため、①端部の長期応力に対して鉄筋を考慮したPRC設計が可能で、②地震時に必要な曲げ耐力を鉄筋を併用して確保することができる。従って、導入するプレストレスを減らすことが可能となる。

結果として、PC鋼材量を応力が大きい梁端部で決定する必要がなくなり、桁梁中央の圧着目地部における曲げモーメントと地震によるせん断力、の2つに抵抗できるだけの最小限に抑えることが可能となっている。

また施工性において、RCレンコン方式では主筋を機械式継手で接続するため、梁中央部において1m程度の現場打ちコンクリート部を設ける必要がある。一方PCレンコン方式では、PCケーブルにより圧着接合されるため、機械式継手による鉄筋の接続は不要であり、梁中央部では30mm程度の目地にモルタルを充填すればよい。特に倉庫のように階高が高い建物では施工的に有意である。

### 3.2.3 床組計画

本建物においては、建物高さを抑えることを第一に考え、常時の鉛直荷重を両方向の大梁に伝達させ、張間方向の梁せいと桁行方向の梁せいを揃える計画とした。各グリッドに1ピースずつ、プレテンション方式でプレストレスを導入した小梁を張間方向梁に架けることにより、両方向に荷重を伝達させている。

床工法の選択にあたっては、①支保工が不要なプレキャスト部材であること、②施工時に床版上で高所作業車による作業が可能であることを勘案し、穴あき

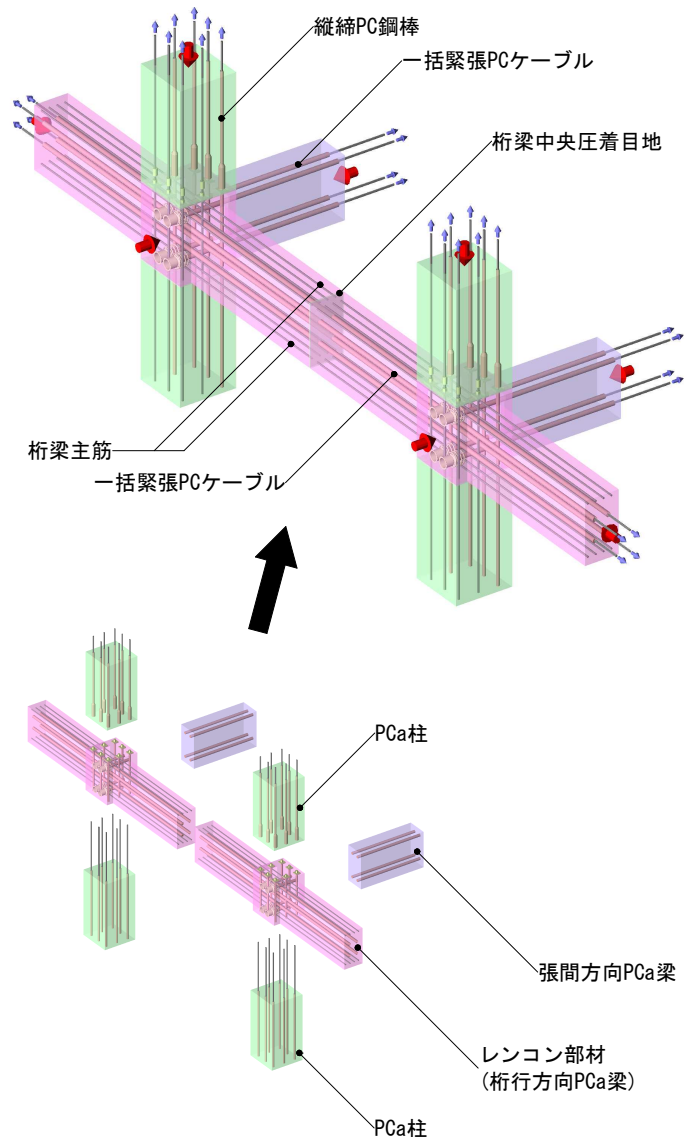


図-7 柱梁接合部（PCレンコン方式）



写真-9 PCaPC 小梁支承部



PC 合成床版を採用した。

小梁は写真-9に示すように、張間方向大梁に設けたブラケットに架けることで、施工時の支保工を不要としている。写真-10に小梁の架設状況を示す。



写真-10 PCaPC 小梁架設状況

### 3.3 施工計画概要

#### 3.3.1 積層方式と建て逃げ方式の併用

本工事では PC レンコン方式を採用したため、桁行のレンコン部材が最も重く、1 ピースあたり 16.7ton となった。揚重機の選定に際しては敷地の制約があり、建物西側 (図-6 の上側) の建物外部に揚重機を設置することができず、建物東側 (図-6 の下側) からのみ架設した場合には、大型の揚重機が必要と考えられた。

そこで、比較的小型の揚重機を用いた施工を実現するため、図-8 に示すように積層方式による建方と、建て逃げ方式による建方を併用する施工計画を立案した。

まず、建物東側に揚重機 A を設置し、西側 1 スパンの建物内部に設置したもう 1 台の揚重機 B と同時に、東側 2 スパンを先行して 1 層ずつ 3 階まで施工する (積層方式)。次に、東側の揚重機 A を西側の建物内部に移動し、建物長辺方向の中央から両妻側に向かって、2 台の揚重機を移動しながら架設する計画とした (建て逃げ方式)。この施工計画により、150ton クレーン 2 台を用い、建方実働 32 日間での施工が可能となった。

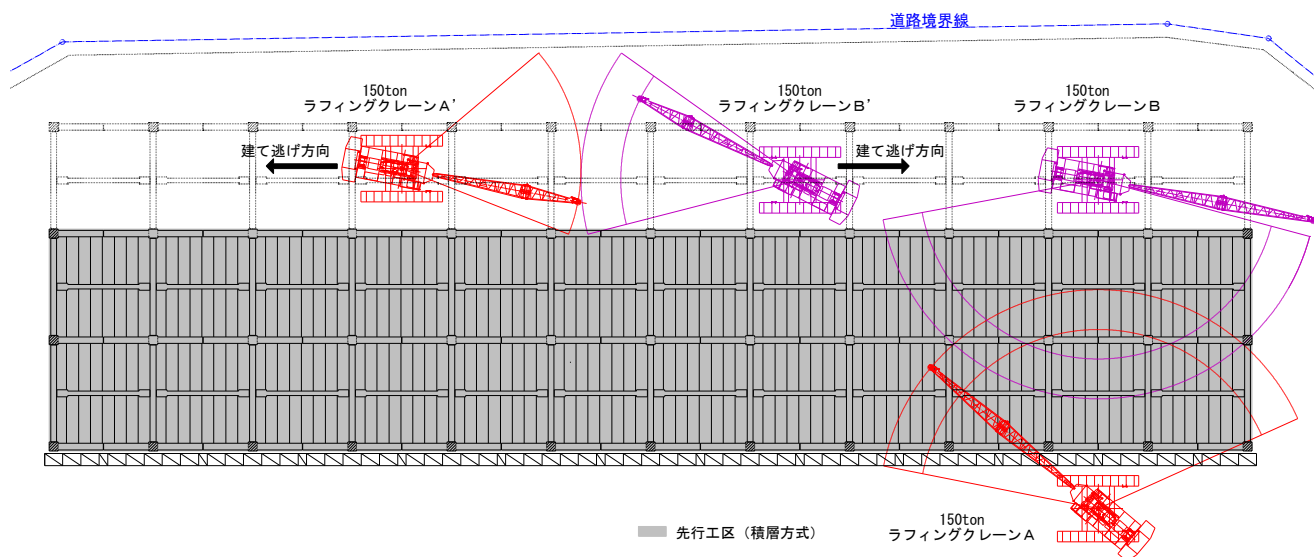


図-8 揚重機計画

#### 3.3.2 PC レンコン方式の施工

本建物の特徴である PC レンコン部材は、架設時にスパン中央に支保工を設置し、柱梁接合部で鉛直 PC 鋼棒を仮締めして固定する。部材固定後、柱部材との水平目地、桁梁相互の鉛直目地にモルタルを充填する。柱梁接合部を現場打ちコンクリートとする RC 造のプレキャスト工法や、RC レンコン方式と異なり、①現場打ちコンクリートがトッピングコンクリートのみである、②柱梁接合部や梁相互の接合部における現場作業

が非常に簡略化されている，という点が大きな特長である。

目地モルタル強度発現後，長辺方向の PC 鋼材の約半数を緊張し，支保工を撤去する。施工時に必要な分だけプレストレスを導入することで，支保工の早期撤去が可能となり，下階の床トップコンクリートを障害物無く打設することができる。倉庫のように床仕上げ材が無い場合には有効な工法といえる。

写真－11，12に PC レンコン部材の施工状況を示す。



写真－11 PC レンコン部材施工状況－1



写真－12 PC レンコン部材施工状況－2

#### 4. おわりに

2つの物流倉庫について，主にプレキャスト部材の分割位置と圧着接合方式の違いに着目して紹介した。

ホッチキス方式，PC レンコン方式のいずれの方式でも，プレストレス力導入により建物長辺方向に生じる不静定応力を抑制することが可能で，PCaPC 工法のメリットを活かした高性能，高品質な建物を，短期間で安全に施工することができた。