

第一倉庫冷蔵岩槻物流センターの設計・施工

— 杭頭免震構法による PCaPC 造大型冷凍冷蔵倉庫 —

川原 敏男*1・廣森 睦祐*2・柳 千尋*3・百武 茂*4

第一倉庫冷蔵株式会社は、横浜を発祥の地とする冷凍冷蔵倉庫を得意とする会社である。一昨年前に本社を埼玉県に移し、現在では埼玉県を中心に約 100 棟の倉庫を有する規模となっている。施主は 2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災の被害を目のあたりにし、食品を扱う倉庫が被災してはならないと強く感じた。その思いが第一倉庫冷蔵初の免震倉庫を採用する要因となった。

今回報告する建物は、地震に強い“プレキャスト・プレストレストコンクリート造”と、荷崩れを防止する“免震構造”の組合せによる次世代型の冷凍冷蔵倉庫である。

キーワード：冷凍冷蔵倉庫、BCP、PCaPC、杭頭免震

1. はじめに

計画地は、埼玉県さいたま市岩槻区の国道 16 号線に隣接し東北自動車道の岩槻インターチェンジより北東へ約 4 km の距離に位置している。近年、この地域は多くの物流施設が計画・建設され一大物流ゾーンとなってきている。

本施設は、今後ますます運用が期待される冷凍冷蔵倉庫

への拡大するニーズに応えること、大地震時において食料を安定的に供給するという機能を損なわないことを目的として計画された。

本施設の設計にあたり、施主より要求された項目は高機能、高効率の省エネ型の最新免震機能を併せもつ物流倉庫である(写真 - 1)。

この要求に対して下記の 3 点を基本方針として設計を進



写真 - 1 外観写真*



*1 Toshio KAWAHARA

(株) 渡辺建築事務所
構造部



*2 Mutsusuke HIROMORI

(株) 渡辺建築事務所
構造部



*3 Chihiro YANAGI

(株) 渡辺建築事務所
構造部



*4 Shigeru HYAKUTAKE

黒沢建設 (株)
設計部

めた。

1) 省エネルギーを追求した施設

二重屋根（断熱二重折版屋根）や二重外壁（ダブルスキン）などの外断熱工法を採用することにより空調効率を大幅に向上させ、消費エネルギーの削減を図りCO₂の排出を抑制する。

2) 継続運用可能な施設

大地震時において機能維持と継続的な運用が可能な物流システムを持つ事業継続計画（BCP）とする。

3) 環境に配慮した施設

雨水流出抑制施設としての機能を併せもつことにより、ヒートアイランド現象を緩和し周辺環境への影響に配慮する。

以上の設計方針と短工期、ローコストを実現するために、杭頭免震構法によるプレキャスト・プレストレストコンクリート造を採用した。

2. 建物概要

- 建築主：第一倉庫冷蔵株式会社
- 建築名称：第一倉庫冷蔵株式会社 岩槻物流センター
- 建築場所：埼玉県さいたま市岩槻区長宮
- 主要用途：冷凍・冷蔵倉庫
- 建築面積：7914.94 m²
- 延床面積：29486.17 m²
- 階数：地上4階+塔屋1階
- 最高高さ：29.9 m
- 倉庫仕様：1～4F 低温庫 ±0℃
 (温度帯) 1F 冷凍庫 -25℃～±0℃
 2～4F 冷凍庫 -25℃
- 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 RC造, S造
 (外壁ダブルスキン構造)
- 耐震種別：杭頭免震
- 基礎形式：杭基礎（場所打ち鋼管コンクリート杭）
- 全体工期：2013年10月～2015年4月
- 設計・監理：(株) 渡辺建築事務所
- 施工：東亜建設工業(株)
 (PC工事：黒沢建設(株))

3. 建築計画

3.1 配置計画

敷地はほぼ長方形の平面形状であるため建物周囲はすべて構内道路とし、スムーズで安全な車両通行を確保した。また、敷地周辺部分は緩衝帯としての緑地ゾーンを配置し、隣接している既存施設側の一部には防音壁を設置するなど、周辺環境との調和を計っている。

さらに、当敷地は埼玉県条例にて湛水^{a)} 想定区域に指定されているため敷地全体で約29000tもの大量の雨水貯留量を確保する必要がある。このため、2期計画部分を兼ねる一般的な雨水調整池のほかに、建物下および構内道路下の一部にプラスチック製既製品雨水貯留槽（通称プラダム）を敷設している。これにより、通常コンクリート製

ピットに比べ大幅な工期短縮も実現している（図-1）。

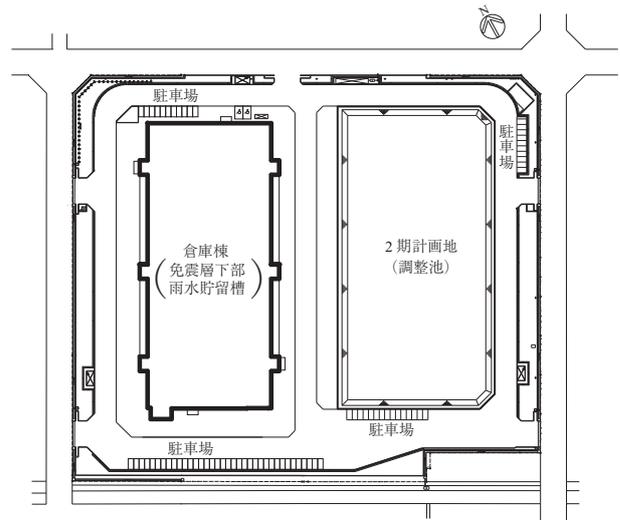


図-1 配置図

3.2 平面計画

保管荷物の入出荷を効率的に行うことを第一に考え、冷凍庫・倉庫ゾーンはシンプルな長方形平面とした。これにより、1階バース（トラック接車部分）は建物の長辺方向両サイドに計48か所も配置可能となり、倉庫としての機能を最大限生かせるよう配慮した（図-2）。

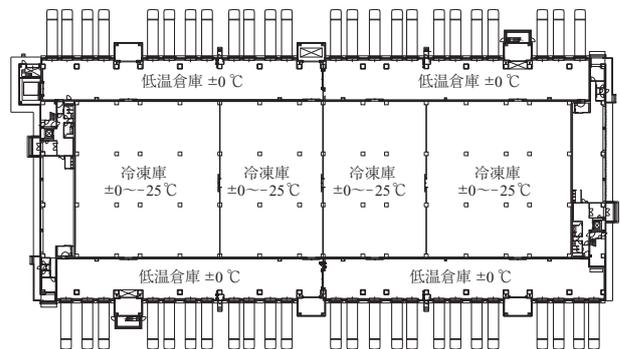


図-2 1階平面図

垂直搬送機や荷物用エレベーターなどの縦動線部分は倉庫外部に跳ね出し配置し、倉庫をより広く有効に活用できるようにしている。また、省エネルギー化および断熱負荷低減の観点から、冷凍庫エリアは低温倉庫や事務所等コア部分で囲まれるような平面レイアウトをして外部に面しないことにより熱影響を最小限に留めた。

事務所等コア部分は建物の短辺方向両サイドにシンメトリに配置し、分割的な運用等さまざまな使い勝手にもフレキシブルに対応できるようにしている。冷凍庫・倉庫ゾーンは1階から4階までほぼ同一のプランニングとし、機能的で使いやすいよう配慮した。

各階の冷凍庫については、ワンフロアを4つの部屋に分けているが、とくに1階冷凍庫についてはそのすべてを「±0℃～-25℃」の可変型とすることにより、多様なニーズの温度帯への対応が可能になるような計画としている。

冷凍庫内は3段式電動移動ラック設置対応とし、機動性とフレキシブル性を兼ね備えた設備・レイアウトを実現している。

照明設備はすべてLEDとし、省電力化・省エネルギー化を図ると共にランニングコストの削減に寄与している。

3.3 立面・外装計画

外壁は断熱性・低汚染性に優れた『断熱金属サンドイッチパネル』を外側に、『穴あきPC版』を内側に配置しその間には断熱材を充填するダブルスキン工法を採用し、高断熱・省エネルギー効果をより向上させている。

屋根は断熱性・耐候性に優れた『断熱二重折版屋根（金属折版+グラスウール挟込み）』を使用することにより、同じく高断熱・省エネルギー効果を計っている（図-3）。

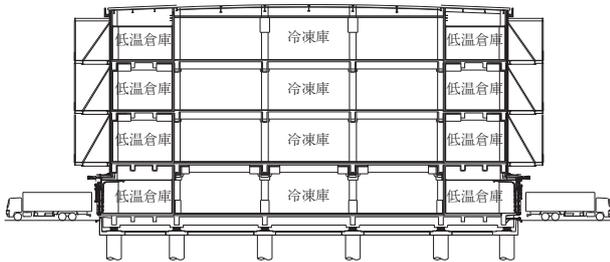


図-3 断面図

4. 構造計画

今回、構造計画にあたり①コスト、②継続性、③工期の短縮という3つのキーワードをもとに計画を進めた。主体構造形式はプレキャスト・プレストレストコンクリート造（以下、PCa PC造）とし、大地震後においても継続的な運用を行うため層間変形角や水平加速度を小さくすることを目指して杭頭免震構法を採用することとした。

4.1 上部構造

架構形式はX・Y両方向とも1階～3階までは純ラーメン構造とし、4階のみ柱を片持ち形式の架構とし屋根を鉄骨造で形成することにより、柱本数を減らし冷凍冷蔵倉庫として必要な大空間を確保する計画とした（図-4）。各階の柱（ $X \times Y = 900 \times 900 \text{ mm}$ ）と2階～4階までの大梁（ $B \times D = 600 \times 1000 \sim 1300 \text{ mm}$ ）はPCa PC造、1階の大梁は現場打ちプレストレストコンクリート造とした。屋根梁および各階平面より跳ね出す形で配置されている垂直搬送機シャフトおよび設備機械置場については鉄骨造とし吊り構造により地上より浮かしている。吊材は引張力に強く、信頼性の高い高張力材のタイロッドを使用した（図-5、写真-2）。

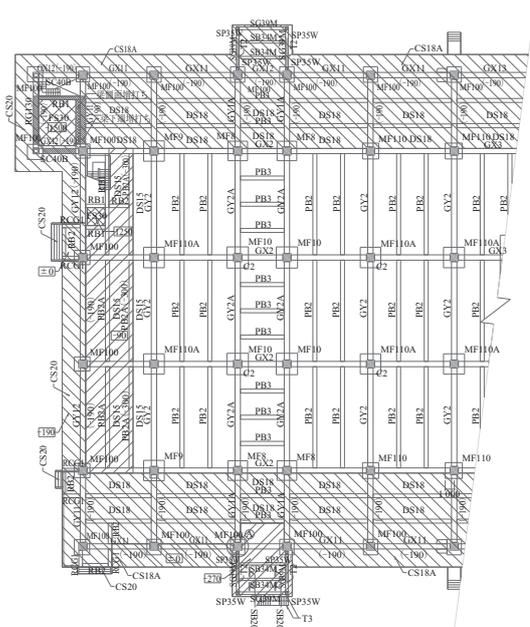


図-4 1階床伏図

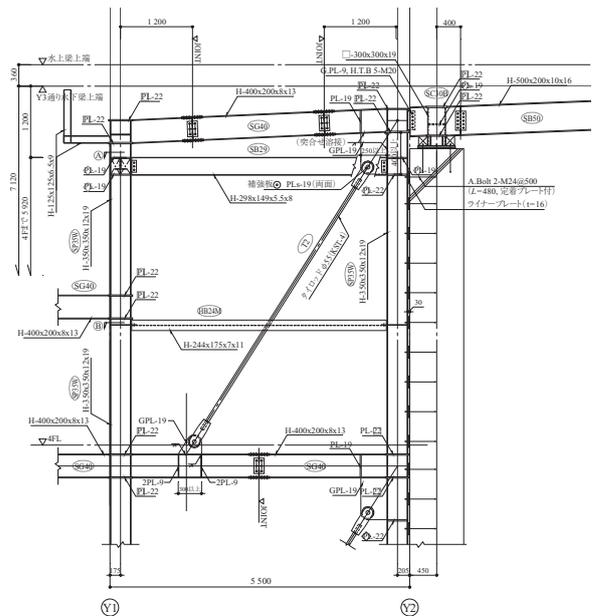


図-5 鉄骨詳細図



写真-2 吊構造*

4.2 基礎構造

計画敷地は、GL-数m～10m以浅から洪積砂層が出現する地盤であり、GL-15m程度以深からN値が徐々に高くなる砂層が出現し、GL-40m付近以深ではN値50～60程度以上の砂層が出現する。今回の計画は、この砂層を支持層とする杭基礎（場所打ち鋼管コンクリート杭 軸径1900mm）を採用した。また、工学的基盤は杭支持層よりさらに深いGL-61mに設定した（図-6）。

液状化が懸念される層については、杭の設計および設計用入力地震動の際に配慮した。

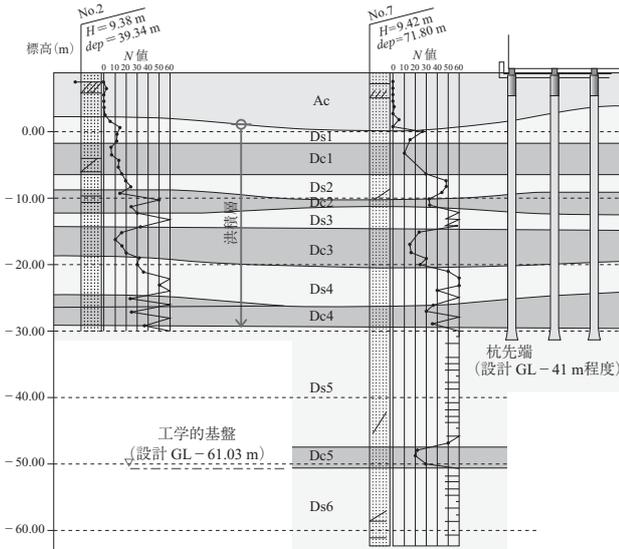


図-6 柱状図

杭頭免震構法は、免震装置下部の基礎・地中梁をなくし、杭の上に直接免震装置を載せることでコストダウン・工期短縮を図る技術である。また、杭頭同士をつなぎスラブにより接続することで、杭頭変位が一様となるだけでなく杭頭の回転も抑えた。なお、レベル2地震時に杭頭回転角のクライテリアを1/100以内と設定した（図-7）。

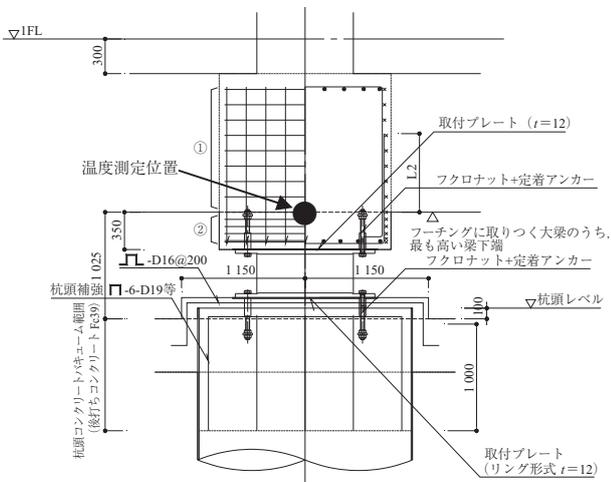


図-7 杭頭免震詳細図

4.3 免震層

免震層は、支承材として天然ゴム系積層ゴム（RB）68基、弾性すべり支承（DKB）36基の計104基、減衰材はU型ダンパー14カ所（×8=112本）、粘性ダンパー（RDT）を各方向6本（×2=12基）を適宜バランスよく配置した（図-8、写真-3）。

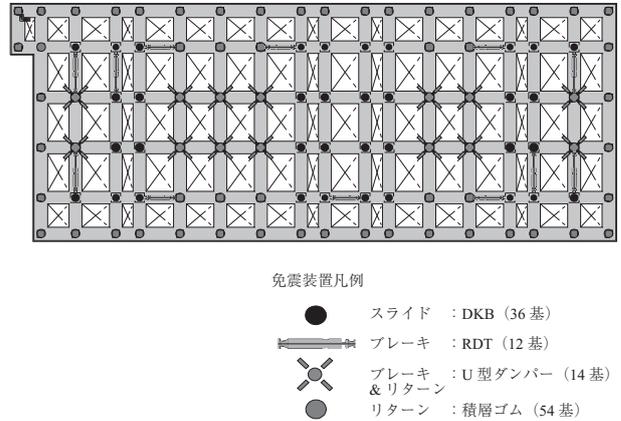


図-8 免震装置配置図

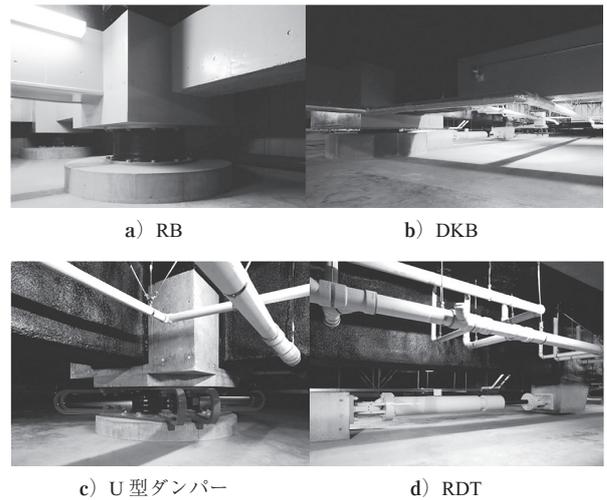


写真-3 免震装置*

4.4 振動解析

振動解析モデルは、ひび割れによる剛性低下を考慮した復元力特性を作成し、1層1質点の等価せん断型モデルとした。

免震周期は、レベル2相当の歪みレベルでX・Y方向ともに4秒以上となり、床加速度の大幅な低減が期待できる（表-1）。

レベル2地震時の最大応答値（ばらつき考慮）は、地動最大加速度779.6 cm/s²に対して1～4階床の加速度は240 cm/s²以下となり、1階の層せん断力係数0.145として上部構造の構造計算を行った。また、最大層間変形角は1/359となった。免震層の変位は50.3 cmとなり、ダンパーにより過大な変形を防いでいる（図-9）。

免震構造により加速度・変位を低減し、荷崩れや内外装・設備等の損傷を抑えることができる。

表 - 1 固有周期

a) 免震層固定時

	方向	1次モード	2次モード	3次モード
固有周期 (sec)	X方向	0.791	0.335	0.256
	Y方向	0.858	0.356	0.278

b) 免震層を考慮

		微小変形時 (初期剛性)	$\delta i = 100 \text{ mm}$ レベル 1 相当	$\delta i = 500 \text{ mm}$ レベル 2 相当
1次固有周期 (sec)	X方向	1.852	3.146	4.453
	Y方向	1.873	3.158	4.461

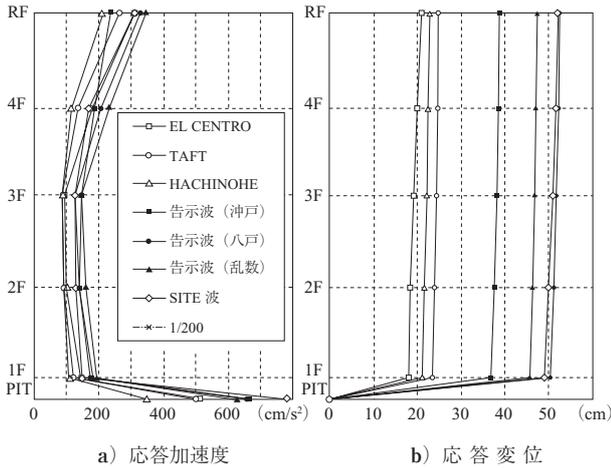


図 - 9 時刻歴応答解析結果

4.5 ヒートブリッジ (熱橋) について

冷凍庫内は -25℃と低温のため、柱に断熱材を巻き免震装置に直接熱が伝わらないよう防熱処理を行った。しかし、実際には柱、基礎がヒートブリッジとなり免震装置が低温となる懸念がある。そこで、今回は基礎コンクリートに内蔵した温度計により温度を測定し、竣工後も長期に渡り観測している。観測データによると、冬季でも +4.8℃であり、免震装置の使用温度範囲内であることが実証されている (図 - 7, 表 - 2)。

表 - 2 温度測定結果

日付	外気温	ビット内気温	フーチング位置温度				
			測点A	測点B	測点C	測点D	測点E
2015/2/3	8.5	3.5	4.8	4.8	5.1	5.1	5.7
2015/3/3	9.8	7.2	7.1	7.0	7.2	7.4	7.3
2015/3/10	9.7	7.8	7.1	7.2	7.3	7.3	7.2
2015/6/2		15.7	12.1	12.0	13.2	13.6	10.5
2015/6/11		14.5	12.8	12.5	14.0	14.1	11.4
2015/6/16		18.6	12.9	13.2	14.4	14.8	11.6
2015/6/24		17.0	13.6	13.5	14.8	15.2	12.3
2015/7/15		17.5	12.9	11.2	12.2	12.2	9.0
2015/7/23		22.0	16.8	16.3	17.8	17.5	14.6
2015/7/30		20.0	15.1	15.4	16.4	-	13.9
2015/8/20	31.0	20.0	17.0	11.2	15.2	17.1	14.0
2016/7/24	31.0	19.8	14.1	14.7	-	-	13.7
2016/7/30	30.9	20.0	14.1	14.3	15.9	-	13.6

5. 施工計画

今回、杭頭免震構法を採用するにあたり、免震装置と免震装置上部基礎・杭頭部などの接合部を重点管理項目と考え品質を確保するための計画を行っている (図 - 10)。

5.1 ディープウェル施工

敷地は地下水位の高い超軟弱地盤で地盤調査用の重機が水没するほどであった。この問題の多い地盤をどのように安定させるかが施工上の重要課題である。まず、場所打ち鋼管コンクリート杭打設に先立ち、軟弱地盤の地盤安定確保と地下水対策のためディープウェルを設置し地下水位低下を図った (写真 - 4 ①)。また、地下水位低下による周辺地盤への影響を監視するため井戸を設け、観測を行った。ディープウェルは免震層の下に設ける雨水貯留槽 (プラダム) の掘削深さを考慮し水位を GL-5.5 m となるよう設定し計画を行った。地下水位をコントロールすることにより、当初計画していた山留めのシートパイルが不要となり、地下掘削がドライな状態でオープンカットが可能となり、施工品質の向上と工期短縮に繋がった。

5.2 場所打ち鋼管コンクリート杭施工

(1) 杭芯精度

杭の上に直接免震装置を載せる杭頭免震構法にとって、杭芯精度の確保は最重要課題である。そのため杭芯は掘削前、掘削中にも観測を行い、最終的に頭部の鋼管をセットする際にケーシングと鋼管とのクリアーをおのおの測り、鋼材スペーサーにて微調整を行った。その結果 104 本の杭芯はおおむね 100 mm 以内に納まった。

(2) 杭頭鋼管レベル精度 (写真 - 4 ②)

杭頭鋼管の沈下、浮上がり防止をレベル検尺により確認し、ケーシング引抜による沈下量を予測し、鋼管レベルを若干プラス側にセットして最終的に 0 ~ -30 mm になるよう施工した。

(3) 杭頭コンクリート強度管理 (写真 - 4 ③)

通常、場所打ちコンクリート杭の頭部は掘削土のスライムなどでコンクリート強度が低下するため、頭部 1 m 程度を研り取ることになっている。しかし、今回の場所打ち杭は頭部が鋼管であるため、まだ固まらないコンクリートを吸引 (バキューム処理) する工法を採用している都合上、ブリージングによるレイタンスなどで頭部のコンクリートの品質が確保されているかが問題となった。コンクリート強度の確認はバキューム処理後、まだ固まらないコンクリートを直接採取しテストピースとしたほか、杭頭部のコンクリートを硬化後にコア採取を行い圧縮試験を行った。結果は試験杭 6 本から採取したテストピースの内、コア採取の 2 本が 28 日では呼び強度に達しなかったが、91 日では満足することが確認できた。今回はあらかじめ頭部鋼管部分のコンクリート強度を +3 N/mm² としておいたため、問題とならなかったが、短工期の場合は別途配慮が必要と思われる。

5.3 雨水貯留槽 (プラダム) の施工 (写真 - 4 ④)

本敷地の開発要件により雨水貯留を行う必要があり、免震層の下にも約 7 000 t の水量を確保するプラスチック製

既製品雨水貯留槽を配備し対処した。

5.4 免震層上部基礎サイト PC 化 (写真 - 4 ⑤, ⑥)

免震層上部の基礎には基礎配筋のほか免震装置固定用のボルトや PC 柱用の PC 鋼棒、主筋などを固定するテンプレートなどが複雑に配置される。そのため、基礎配筋、地中梁配筋やシース管、テンプレートなどを地上にて組み上げ基礎の下方一部を現場 (サイト) PC 化の計画を行い、工期短縮と精度確保を行った。

5.5 PC 柱建方精度 (写真 - 4 ⑦, ⑧)

トランシットにより 2 方向より柱の垂直度を確認しながら、柱下にレベル調整用ライナープレートを設置し目標値の 5 mm 以内となるよう調整を繰り返した。

5.6 屋根鉄骨アンカーボルト設置精度 (写真 - 4 ⑨)

PC 柱上部に埋め込まれたアンカーボルトと鉄骨束柱の接続用ベースプレートとの穴のクリアーが小さいとアンカーボルトの台直しやベースプレートの穴を拡げるなどの措置が行われ、またクリアーを大きくするとせん断力伝達などいずれの場合でも構造強度上、問題となる。本物件では PC 柱上部に十字型の凹部を設け、束柱のベースプレート下には十字プレートを溶接し、建方終了後にグラウト注入しせん断力伝達用のシアーキーを設けた。これによりアンカーボルト穴のクリアーを拡げつつ、構造上の問題を解消しスムーズに鉄骨建方を進めることができた。

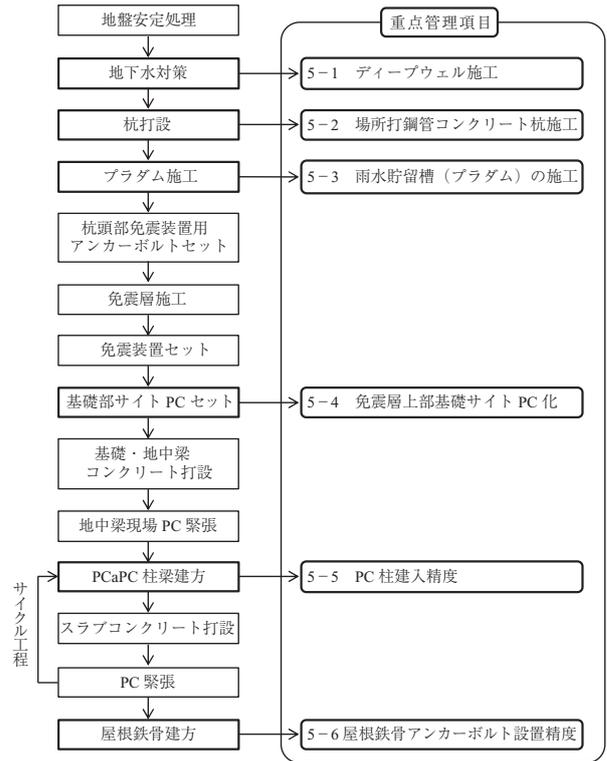


図 - 10 施工フローと重点管理項目

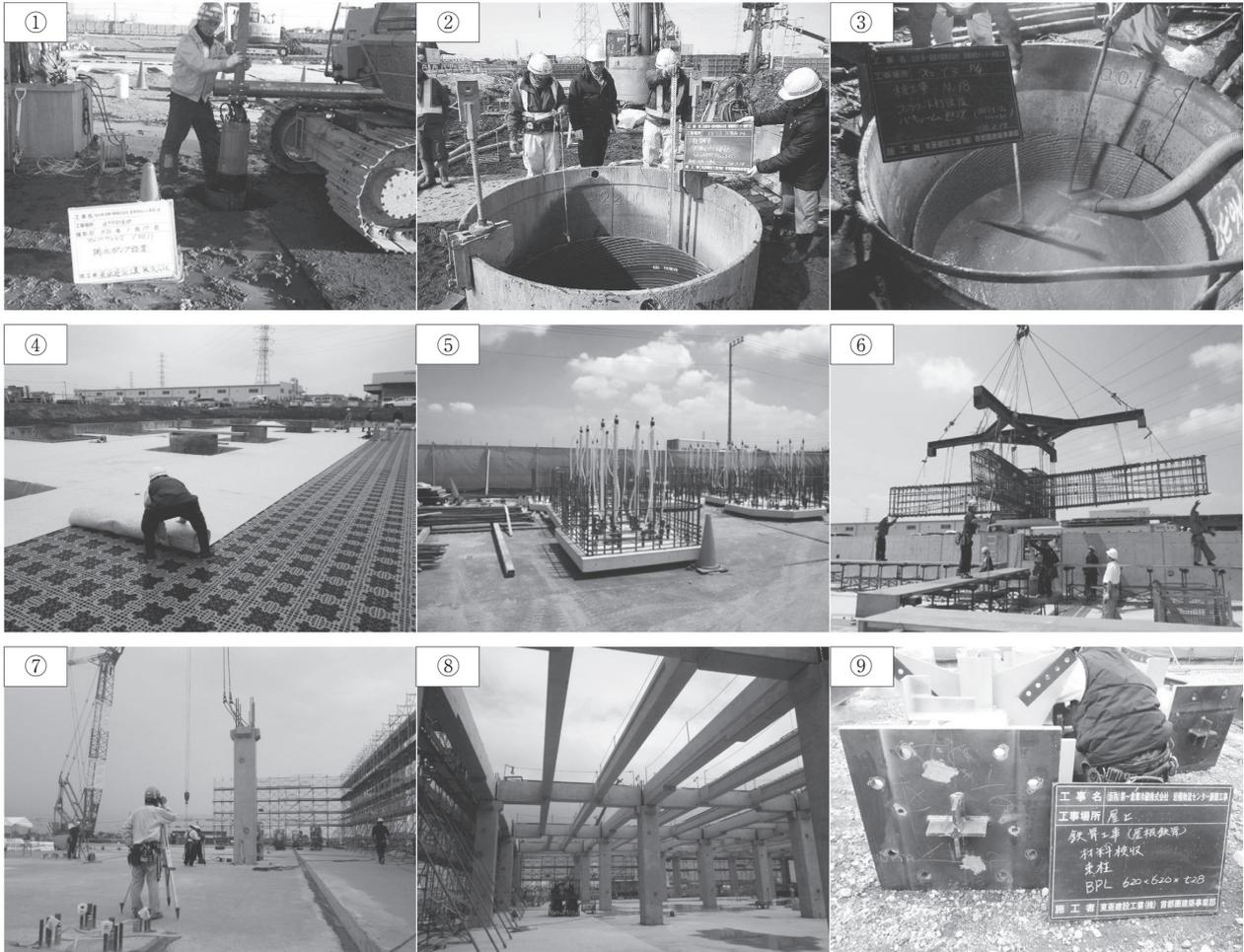


写真 - 4 施工写真

6. PC の設計と施工

6.1 PC 圧着関節工法

本建物は、柱、梁を工場で製作し、現場にてPCケーブルを用いて接合する圧着関節工法である（図 - 11）。パネルゾーンは、現場打ちコンクリートとするため梁上端筋と梁下端筋はPCケーブルと併用している。また、梁段差部分等はプレキャスト化しているため梁下端筋は設けず、PCケーブルを複数段設けて圧着力を期待した接合方法としている。柱、梁すべてにプレストレスが導入されているので、建物は三軸圧縮状態という特徴もっている。これにより、建物全体が復元性を備えた構造となり、免震構造の上部構造としてもっとも相応しいといえる。また、免震装置直上の大梁をレベル2地震動時においても弾性挙動を示すプレストレスコンクリート造とすることで、免震効果を十分に発揮できるようにしている。

本工法は、柱は自立し、梁はアゴに架設する単純架設で、支保工を必要としない。また、柱と梁の接合部には、目地や現場打ちコンクリートが充填されるため、施工誤差や製作誤差を吸収するという特徴もっている。

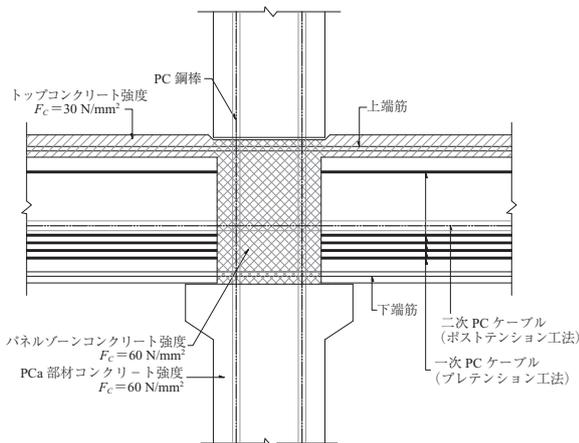


図 - 11 PC 柱と PC 大梁の接合部

6.2 PCa PC 部材

柱は、主筋にD32を用いている。さらに、長さ約6mの柱が自立できるようにするためPC鋼棒を4本-26φを配しプレストレスを与える構造としている（図 - 12）。

1階大梁は、フーチングおよび床スラブのコンクリートと一緒に打設する在来工法のプレストレスコンクリート造である（図 - 13）。2～4階大梁は、柱に付帯しているアゴに架設し、スラブ打設まで単純支持の状態となる。この応力によって生じる断面の応力度をキャンセルするように工場で緊張するプレテンション工法の一次PCケーブルを配置しており、さらに柱と大梁の接合に用いる二次PCケーブルを配置している。また、上端筋と下端筋も併用した構造である（図 - 14）。

PCa PC 小梁は1～4階で使用している。1階の部材は大梁の側面かぶり厚さ部分に架け、2～4階の部材は大梁に付帯しているアゴに架設し、スラブ荷重まで一次PCケーブルが負担する。プレキャスト大梁とプレキャスト小梁

のため下端筋は接続せず、上端筋のみの接続となる。大梁と小梁の接合部には目地を設けた構造である（図 - 15）。

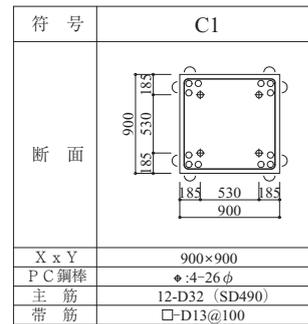


図 - 12 PC 柱

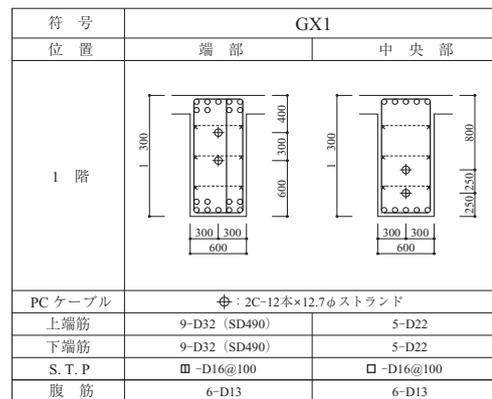


図 - 13 現場打ち PC 大梁

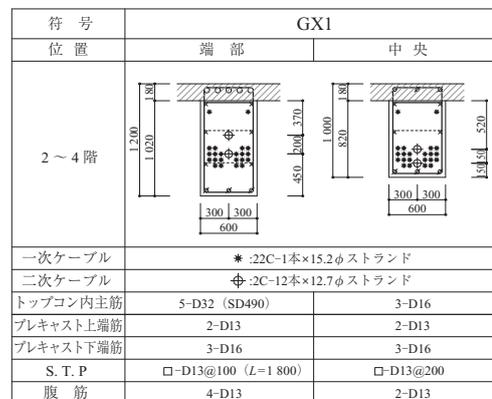


図 - 14 PC 大梁

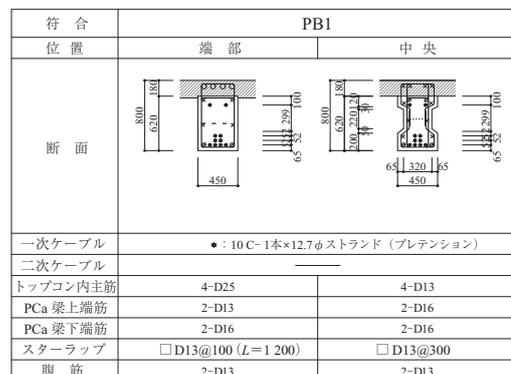


図 - 15 PC 小梁

6.3 製 造

PC 部材は、柱、大梁、小梁をあわせて 1 592 ピースで、すべて黒沢建設(株)北海道工場(株)ジェー・ピー・シー苫小牧工場)で製造した。本建物は床レベル差が多かったため、大梁の型枠数が増えることを懸念していたが、調整用の型枠を用意することで、適正な型枠数で製造することができた。

6.4 施工順序

PC 部材の施工順序を図 - 16 に示す。PCa PC 柱は、PC 鋼棒を緊張することで自立させる工法である。柱が真っ直ぐに立つように十分注意を払うことで精度良く施工した(写真 - 5)。

PCa PC 大梁は、柱に付帯されたアゴに硬質ゴムを敷き、その上に架設した。下端筋が突出しているため、架設の順番を間違えないように注意した(写真 - 6)。

PCa PC 小梁は、大梁に付帯されたアゴに硬質ゴムを敷

き、その上に架設した。端部に突出物がないので、もっとも単純な架設である。

パネルゾーンは、PC 鋼棒と PC ケーブル用シースおよびフープをセットし、パネルゾーンおよびスラブのコンクリートを打設する。強度発現後、大梁の二次 PC ケーブルの緊張を行った(写真 - 7)。

7. おわりに

最後に、建築主である第一倉庫冷蔵株式会社の皆様と施工に携わった東亜建設工業(株)をはじめ協力会社の皆様方に感謝し、深く御礼申し上げます。

注 釈

a) 湛水(たんすい)：雨水が溜まるの意味

*写真 - 1, 2, 3 撮影：株式会社エスエス

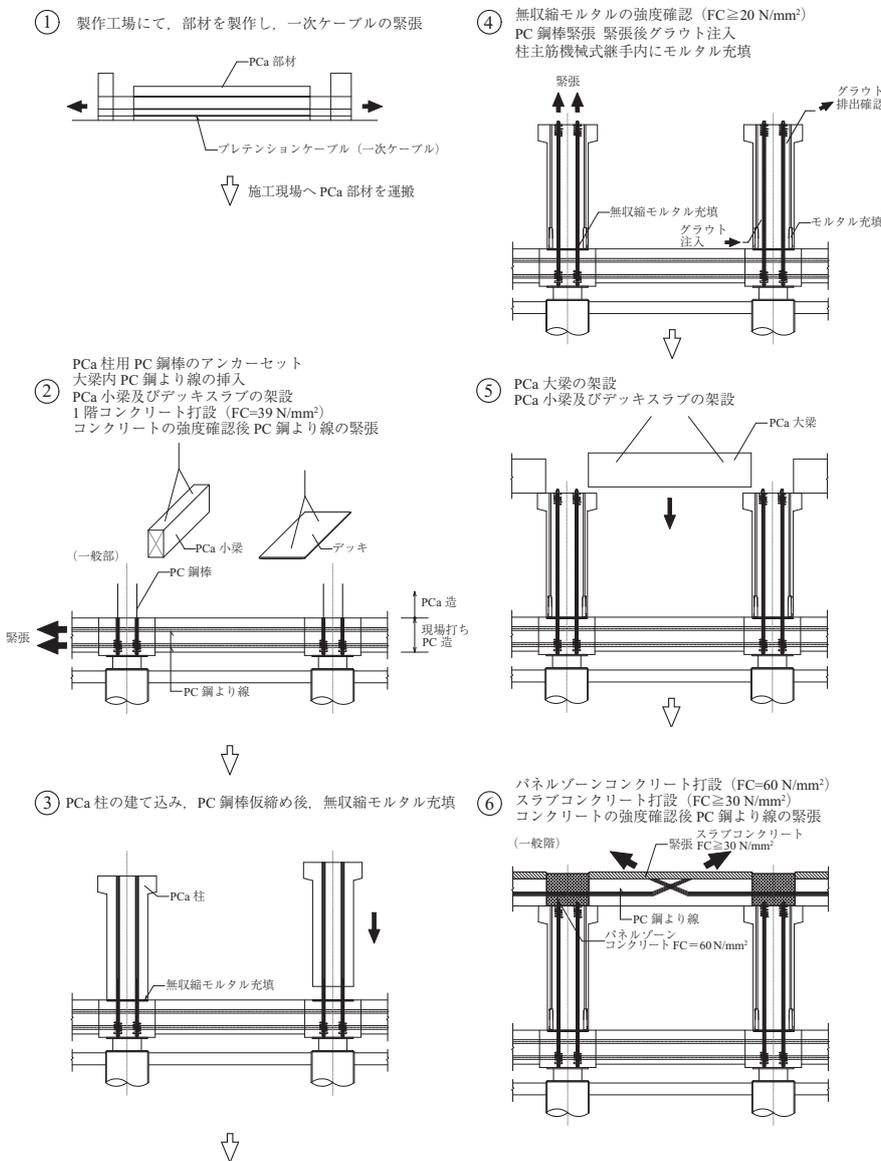


図 - 16 PC 部材の施工順序



写真 - 5 PC 柱の自立



写真 - 6 PC 大梁の架設状況

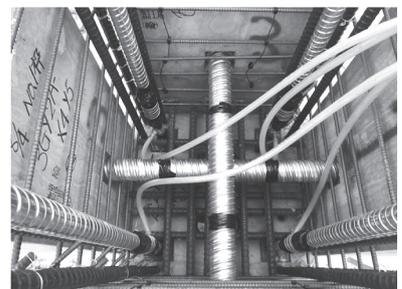


写真 - 7 パネルゾーンの配筋状況

【2017年6月9日受付】