

構造体をそのままファサードデザインとして

構築する PCaPC 造の設計・施工例

― 中央区立晴海西小学校・晴海西中学校 ―

東京建築支店

建築工事部

高橋基之

東京建築支店

建築工事部

久保克揮

建築本部

構造設計部

鈴木大貴

建築本部

構造設計部

橋本航太郎

概要: 東京都中央区内で新しく再開発・まちづくりが進む街「晴海フラッグ (HARUMI FLAG)」は、東京 2020 オリンピック・パラリンピックの選手村跡地としても全国的に有名なエリアである。本建物は、晴海フラッグ内に計画された地上 5 階・地下 1 階建て、建物高さ約 22m の小中学校である。新しい街のランドマークとして計画されたファサードは、V と Y が交わるような独創的な架構（以下、VY フレーム）で、スリムな構造体をそのままファサードデザインとするために、プレキャスト・プレストレストコンクリート（以下、PCaPC）造による圧着工法が採用された。また、施工時には、斜めに傾斜する部材同士を接合するために、様々な施工検討を行い、安全かつ合理的に PC 建方工事を進めた。

Key Words: VY フレーム, PCaPC, 圧着工法, 3DCAD, 3D プリンタ

1. はじめに

晴海フラッグ (HARUMI FLAG) は、東京 2020 オリンピック・パラリンピックの選手村跡地における大規模まちづくり事業が行われた場所として、全国的に有名なエリアである。約 18ha の土地には、分譲住宅や賃貸住宅をはじめ、複合施設、公園、交通など、人々の生活に必要な機能が一斉に整備され、新しい生活スタイルが創出された。東京の湾岸エリアは、近年超高層タワーマンションなどを中心に住宅開発が盛んで、人口が増加し続ける地域となっている。そのため、地域の公立学校では児童の受け入れが困難な状況となっており、街全体の活性化に寄与する小中学校が計画された。

本建物は、「輝く未来を地域と築く、新しいまちの学び舎」をコンセプトにつくられた地上 5 階・地下 1 階建て、建物高さ約 22m の小中学校である。新しい街の中心に計画され、学びの空間を充実させると共に、街の成長や社会変化に対応する可変性や防災拠点としての機能も備えている。新しい街のランドマークとして計画されたファサードは、V と Y が交わるような独創的な架構で、スリムな構造体をそのままファサードデザインとするために、PCaPC 造による圧着工法が採用された。



高橋基之



久保克揮



鈴木大貴



橋本航太郎

2. 建築概要

建 築 主：東京都中央区
 所 在 地：東京都中央区晴海 5 丁目 3 番 5 号
 設計・監理：株式会社石本建築事務所
 施 工 者：大成・シマ・CROSS 建設共同企業体
 P C 施 工：株式会社ピーエス三菱
 構 造：SRC 造，一部 RC 造一部 S 造
 用 途：学校
 建 築 面 積：7,487m²
 延 べ 面 積：25,923m²
 階 数：地上 5 階，地下 1 階
 建 物 高 さ：22.51m



写真-1 建物外観

3. PC 工事概要

図-1 に PCaPC 造による VY フレームの範囲を示す。VY フレームは、V と Y が交差した台形の柱部材と、それを繋げる梁部材にて構築されている。図-2 に断面を示す。各部材は、PCa 部材として運搬できるようにパーツ化し、PC ケーブルにて圧着接合する提案を行った。部材は全 24 種類、部材数は 123P である。また、緊張は、水平方向・鉛直方向共に、PC 鋼より線による圧着接合とし、施工順序に配慮したケーブル配置とした。

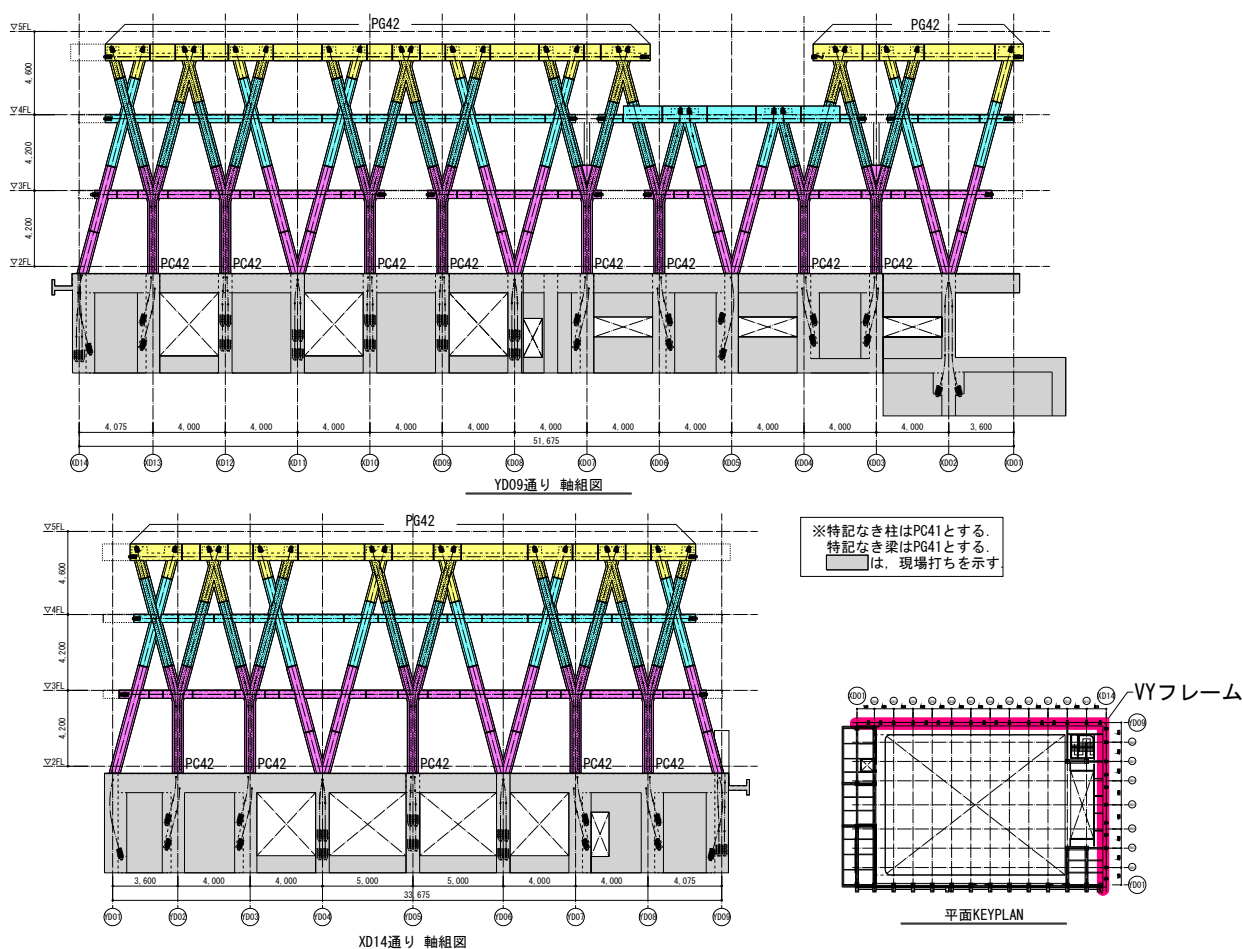


図-1 VY フレーム (軸組図)

PCaPC柱リスト				PCaPC梁リスト			
階		PC41	PC42	階		PG41	PG42
	断面				断面		
4F				5F			
2F				3F			
	PC鋼材	2c-12-15.2mm (SNPR7BL)	4c-12-15.2mm (SNPR7BL)		PC鋼材	2c-7-15.2mm (SNPR7BL)	3c-7-15.2mm (SNPR7BL)
	組立筋	8-D19 (SD345)	8-D19 (SD345)		上端筋	5-D19 (SD345)	7-D19 (SD345)
	HOOP	□-D13@100 (SD295A)	□-D13@100 (SD295A)		下端筋	5-D19 (SD345)	7-D19 (SD345)
	備考				STP	□-D13@100 (SD295A)	□-D13@100 (SD295A)
					備考		

図-2 PCa 柱、梁断面リスト

4. VY フレームの設計

VY フレームは、V と Y が交わるような独創的な架構で、スリムな構造体をそのままファサードデザインとするために、高強度で製作精度の高い PCaPC 造が採用された。設計ルートはルート 3 とされており、大地震時相当を超える応力として、層間変形角 1/200 の強制変位時に生じる応力に対して終局強度設計が行われている。トラスに似た架構であったことから、応力は軸力が主体となっており、引張力が生じる箇所における圧着接合部のせん断検討が課題とされた。そこで、柱の PC ユニットには、VSL 工法による E6・12・EC6・12・GC6・12(12S15.2mm)が採用され、引張力をキャンセルできるだけのプレストレスが導入された。また、PC ケーブルを縫うように配線させることで、柱と柱が交差する部分における納まりを解消した。定着部の納まりについては、PC 鋼より線による鉛直方向の緊張を行うために、VY フレームが施工される下階（1 階）の現場打ち部分の柱側面に定着体を設け、固定端とした。また、VY フレームの最上段に緊張端を設け、最上段からの鉛直方向の緊張を行った（図-3，4）。水平方向の梁の緊張に用いる PC ユニットは VSL 工法による E6・7(7S15.2mm)が採用された。梁が柱の軸心に対して、少し偏心した位置に取りついているため、大きな偏心モーメントが発生しないように、図芯に対して PC ケーブル位置を決定することで偏心量を小さくするよう配慮して配線を計画した（図-5）。

なお、VY フレームは、内部の躯体と鉄骨および現場打ち RC の梁を介して接続されており、部材にアンカーボルト、機械式継手、および突出筋を配置することで、対応を行った（図-6）。

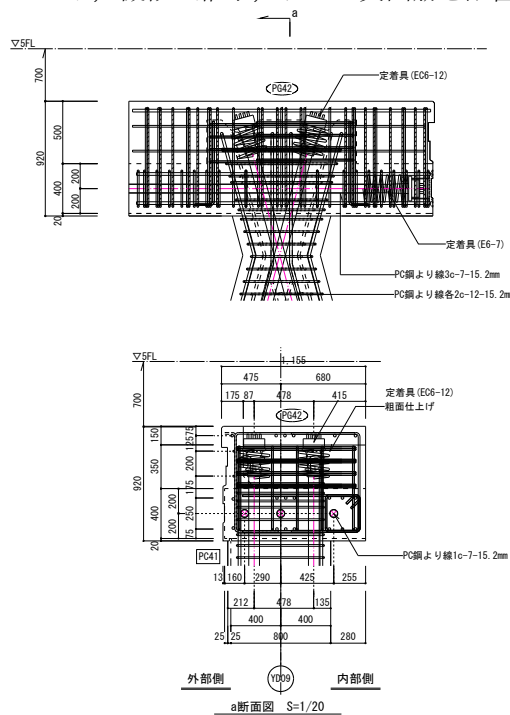


図-3 最上階の定着体（緊張端）納まり図

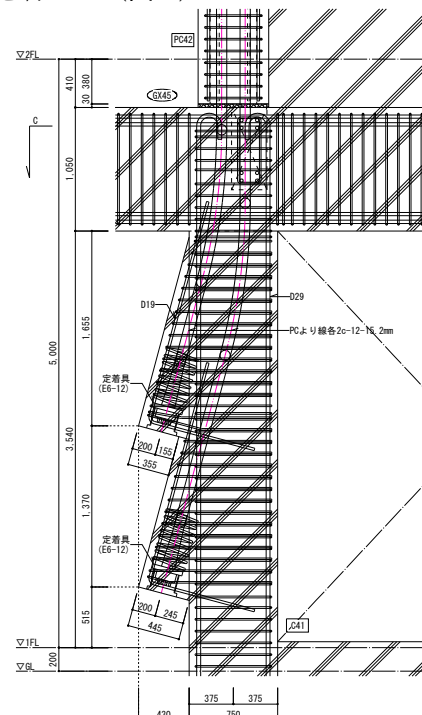


図-4 下階現場打ち範囲の定着体（固定端）納まり

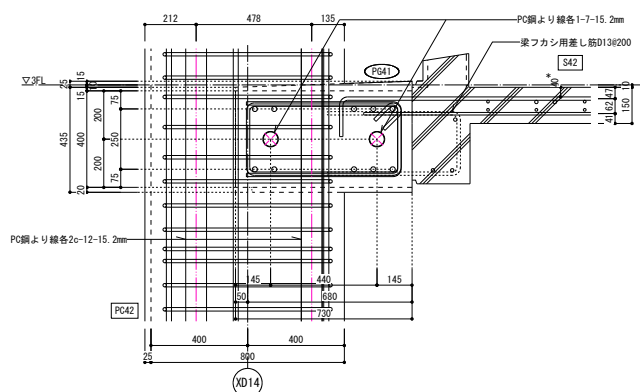


図-5 柱梁接合部詳細断面図

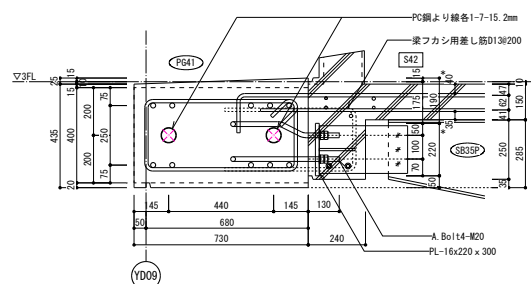


図-6 PCa 部材-鉄骨取合い詳細断面図

5. 部材製作

PCa 部材は、高い強度と剛性を必要とするためコンクリート設計基準強度 $F_c=60$ および 70N/mm^2 となっている。

24 種類 123P の部材は、鋼製型枠を適宜兼用できるように、統一化を図ることで型枠数の低減に努めた。製作工期は、2022 年 11 月中旬から 2023 年 3 月末までの約 4 ヶ月半であり、ピー・エス・コンクリート(株)茨城工場にて製作した。

VY フレームは、部材の製作精度が外観に直結するため、非常に高い精度が要求された。そのため、工場担当者や型枠製作者を含めて綿密に打合せを行い、「施工誤差ゼロ（精度 1 mm 未満）」の目標を掲げて、高い意識をもって取り組んだ。部材形状が複雑であるため、関係者にディティールまで即座に理解してもらうことは困難であったが、3DCAD と 3D プリンタを効果的に活用することで、形状やディティールが一目瞭然となり、意思疎通を迅速に行うことができた。

また、鋼製型枠や部材の測定には、測定・確認のための専用治具を活用するなど、測定方法を事前に検証することで部材の製作精度向上に努めた（図-7、写真-6）。初品を製作した段階で立会検査を行い、工事監理者、元請け施工業者、および製作者とで部材の仕上がり具合について確認し、製品の仕上げについて意識の統一を図った。



写真-4 各 PCa 部材の 3D 模型



写真-2 PCa 部材製作状況



写真-3 PCa 部材出来形状況

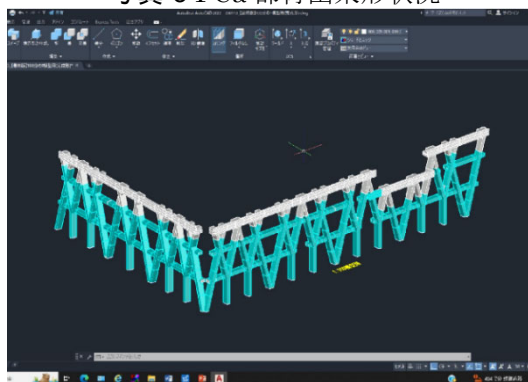


写真-5 3D モデル

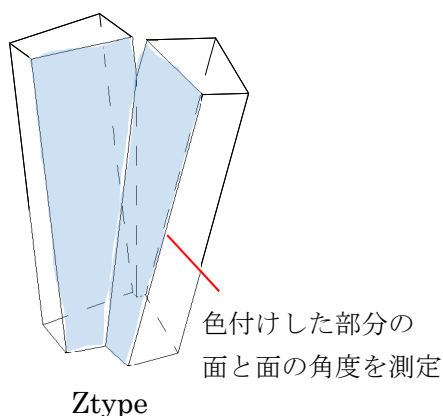


図-7 専用治具を用いた測定位置参考図

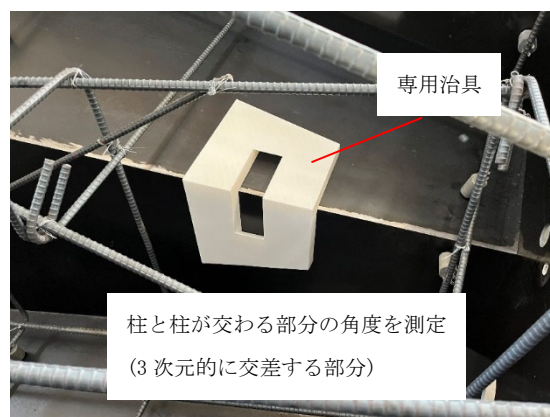


写真-6 実際の測定状況 (Ztype)

6. 施工

6.1 施工計画

PCa 部材の架設計画図を図-8, 9 に示す。部材の最大重量は約 11t であり、北側の PCa 部材は 65t ラフテレーンクレーンまたは 120t オールテレーンクレーン、東側の PCa 部材は 200 t クローラクレーンを用いて PCa 部材の架設を行った。架設工期は、2023 年 4 月末~7 月末の約 3 ヶ月であった。

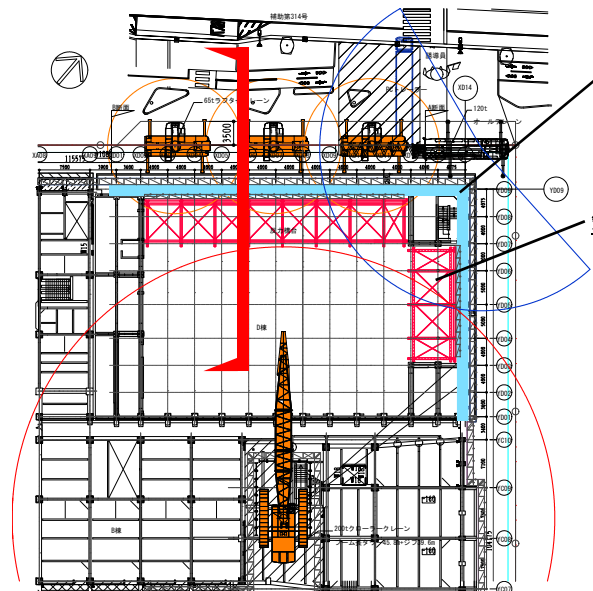


図-8 架設計画図

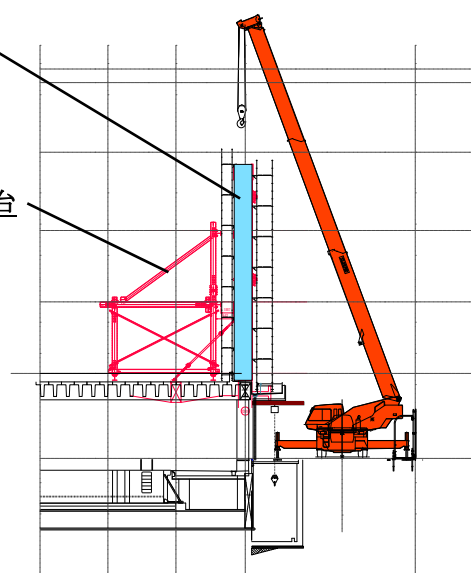


図-9 架設計画図(断面図)

VY フレームは、内部が体育館として設計されていることから、PCa 部材を固定させておく控えの役割をする躯体がないために、面外方向の外力が生じた際に、PCa 部材を安全に保持させる必要があった。そこで、本計画では PCa 部材が圧着接合されるまでの間、鉄骨構台による控えを計画し、PCa 部材が安全に保持できる計画とした。検討時に想定した水平力は、元請けである大成建設と協議の上、面内・面外方向共に、部材自重の 1.2 倍とし、施工時の不均等な部材配置を考慮して、更に 20%割増した 1.44 倍の水平力に対して施工時の転倒防止を計画した。

図-10 に面外方向の転倒防止計画の概要図を示す。1 層目は、主に斜めの押し引きサポートにより転倒防止を図った。2, 3 層目は、建方治具 (建方エース) によって建て入れ調整を行い、全体の水平力は鉄骨構台により転倒防止を図る計画とした。面内方向は、主に斜めの押し引きサポートにおいて転倒防止を図り、各層の部材が全て架設し終わった段階で、梁の仮緊張を行い、部材を全体的に接合することで、面内方向には転倒しない計画とした。架設前には、施工検討会および試験施工を実施し、懸念事項の洗い出しや注意点を確認し、現場関係者および協力業者と手順を確認しながら進めることで安全に施工を完了することができた。写真-8~11 に、試験施工の状況および施工時の写真を示す。

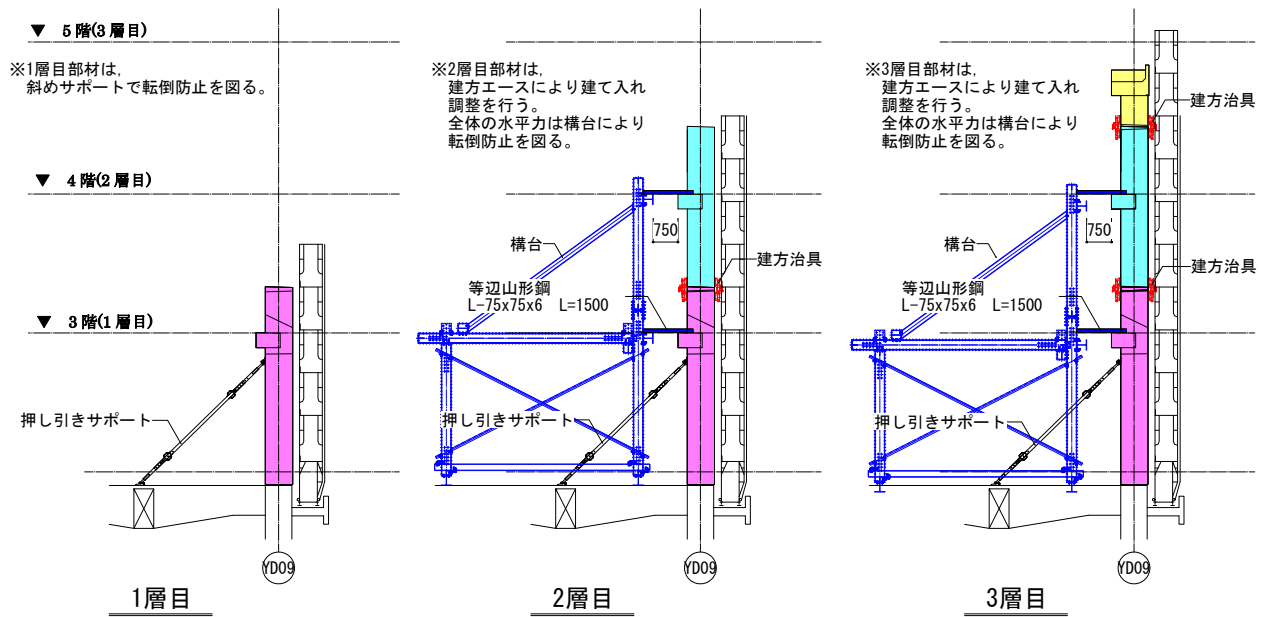


図-10 転倒防止計画概要図(面外方向)



写真-8 試験施工状況



写真-9 PCa 部材建方調整状況

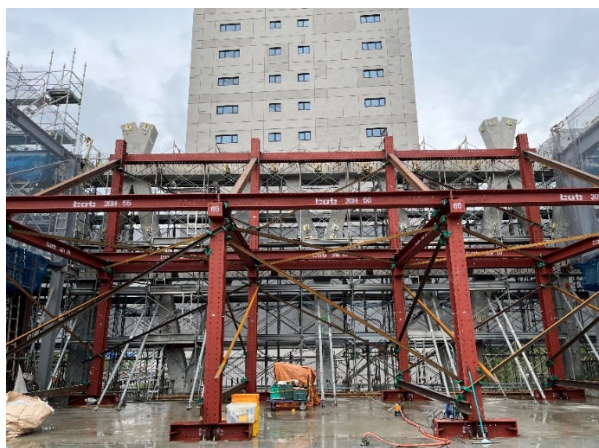


写真-10 鉄骨構台

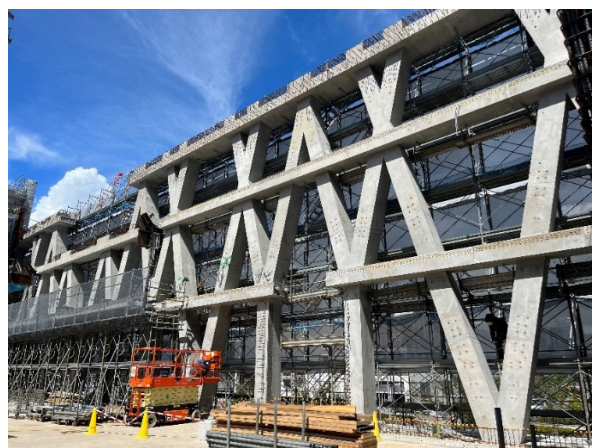


写真-11 架設完了状況

6.2 斜め柱の圧着接合部

VY フレームは、PC ケーブルによる圧着工法を採用している。これにより、鉄筋や機械式継手によって混み合うことがなくなるため、部材同士の接合部分の納まりが格段に向上した。なお、本部材は斜めに傾斜する部材同士が接続されるため、架設難易度が高いことから対策を講じる必要があった。本架設計画では、建方治具、脱落防止筋、高さ調整ボルト、およびズレ止め金物を用いて架設を行った（図-11）。高さ調整用ボルトおよびズレ止め金物は、初期段階の部材の位置合わせの役割を果たす。全体の調整及び固定は建方治具を用いて行い、前後・左右・高さ調整の全てを 1 つの治具で行うことが可能であった。また、地震時の備えとして、脱落防止鉄筋を計画し安全性を担保した。実際の施工時の写真を写真-12、13 に示す。

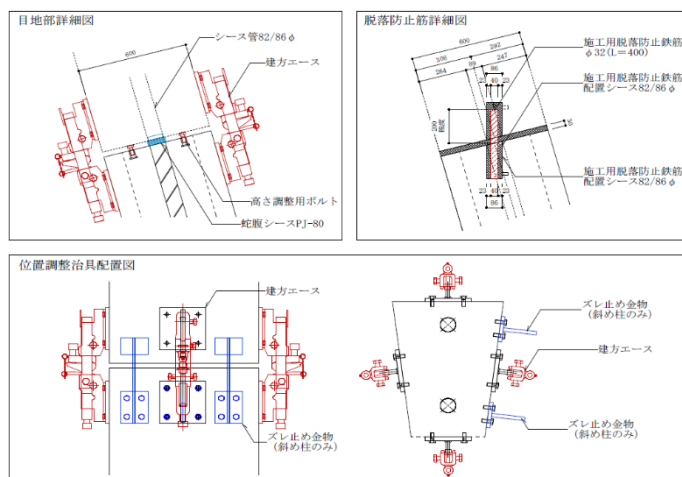


図-11 圧着接合部納まり図

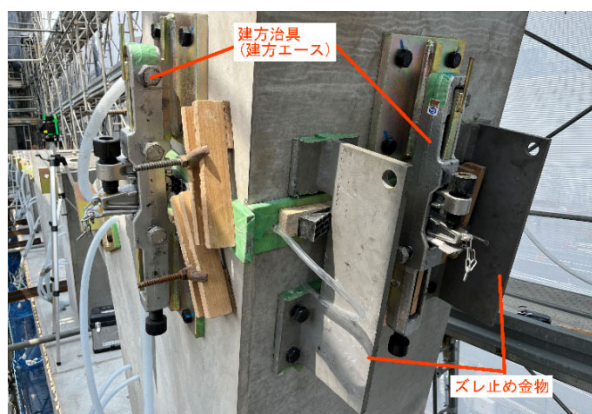


写真-12 接合部固定状況

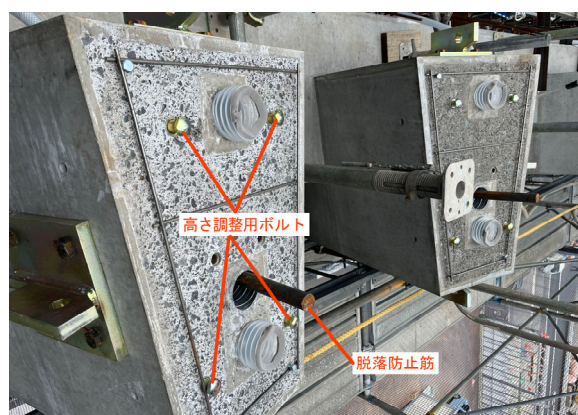


写真-13 接合部接合前断面

6.3 緊張

PCa 部材の緊張手順を図-12 に示す。各層の施工段階に応じて、部材に生じる応力の確認を行い、緊張手順を決定した。応力の確認は、FEM 解析 (Midas-iGen : マイダスジャパン) を用いて行い、各部材の縁応力度が、施工時の許容圧縮・引張応力度以下であることを確認した。また、柱脚に生じる不静定応力が課題であったが、建方時は梁の仮緊張力を 20% に低減させることで縁応力度を許容値以下とし、完成時においては、柱に導入するプレストレスによって不静定応力による縁応力度を相殺した。緊張手順は以下の通りである。

- ①～③：1～3 層の梁の PC ケーブルの仮緊張(20%)を行う。
- ④：柱の PC ケーブルの 50% 緊張を行う。
- ⑤：柱の PC ケーブルの 100% 緊張を行う。
- ⑥～⑧：1～3 層の梁の 100% 緊張を行い、完成形となる。

上記は、大まかな緊張手順であり、実際には全ての緊張箇所を完了するために、100step 以上の緊張作業を行っている。①～③を先行して行い一定の緊張力を導入することで、架設時の部材の安定性を確保した。また、④では偏った応力が生じないように、一度に 100% の緊張をすることは避けた。なお、⑤まで完了することで、PCa 部材のみで自立できるため、鉄骨構台の解体が可能となった。プレストレスによる不静定応力が悪影響を及ぼすことのないように、詳細な手順を順番通り進めていくことが重要であったが、上記の緊張手順を遵守した結果、大きな応力差を生じさせることなく、また、緊張力による部材の変位を最小限に抑えて、作業を完了することができた。

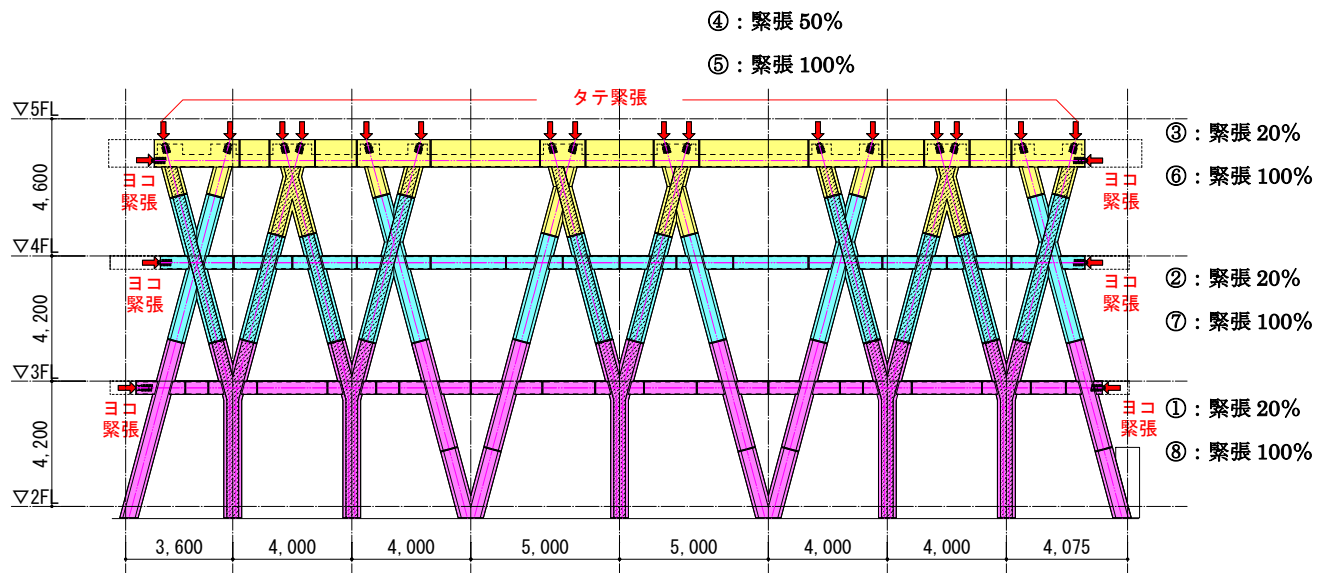


図-12 緊張計画図(PCa 部材軸組図：東側)

7. まとめ

本建物は、新しい街のランドマークとして計画されたファサードに PCaPC 造が採用され、高い製作精度が要求されたが、3DCAD、3D プリンタを活用した計画や、専用治具を使用した測定により、その要求を満たすことができた。また、施工時においても、部材の完成形を考慮した架設計画を検討すると共に、緊張手順については施工解析を行い、それを遵守することで、プレストレスによる不静定応力の悪影響を生じさせることなく、安全かつ合理的に施工を進めることができた。

本建物の PC 工事にあたり多大なるご指導・ご支援をいただきました、株式会社石本建築事務所様、大成・シマ・CROSS 建設共同企業体様にはこの場をお借りし御礼申し上げます。