

カンダホールディングス本社の設計・施工

— PC 連層耐震壁による跳出し架構 —

伊藤 利明*1・市川 尚史*2・安井 孝司*3・八木 真一*4

本建物は、床面積の約 50% が跳出し架構により構成される特徴的な構造をした本社オフィスビルである。とくに建物前面は、外部に開けた軒下空間の創出と附置義務駐車場の確保および上階フロア床面積の最大化という機能的な要求から、6.8 m の跳出し架構が求められた。この課題に対して、プレストレスを導入した連層耐震壁により跳出し架構を支持することで、要求された機能を確保するとともに、建物前面に開放的な空間を実現することができた。

キーワード：PC 連層耐震壁，大スパン跳出し架構，ひび割れ制御，免震構造

1. はじめに

本計画は、本社機構を中心として関連部門を集約し、交通利便性の良い都心にコンパクトな活動拠点を設けることを目的とした総合物流商社の本社オフィスビル新築計画である。地震時におけるテナントの資産保護と事業継続性、執務空間の安全性・安心感の確保を目的として、免震構造（基礎免震）を採用している。

本建物の特徴は、附置義務駐車場の確保および上階フロア床面積の最大化という機能的な要求と、外部に開けた軒下空間の創出という条件から、建物前面が 6.8 m の跳出し架構となっており、PC 連層耐震壁により支持する形式としている（写真 - 1, 2）。本報告では、この PC 連層耐震壁による跳出し架構の設計・施工について紹介する。



写真 - 1* 軒下外観



写真 - 2* 建物外観



*1 Toshiaki ITOU

(株) 竹中工務店 東京本店
設計部構造部門



*2 Hisashi ICHIKAWA

(株) 竹中工務店 東京本店
設計部構造部門



*3 Takashi YASUI

(株) 竹中工務店 東京本店
作業所



*4 Shinichi YAGI

(株) 竹中工務店 東京本店
作業所

2. 建築概要

本建物は地上8階建ての事務所ビルであり、附置義務駐車場の確保および上階フロア床面積の最大化の機能的要求から、建物前面の2階から上部が大きく跳出した形状をしており、また半外部空間および吹抜け部を有する特徴的なデザインをしている。建物前面側には、日射負荷を抑制しつつ、太陽光を拡散させ建物内部の明るさ感を向上させるための外装シェードがあり、高い環境性能を実現させている。外装シェードは、居室部には形状の自由度が高いGRC（硝子繊維補強セメント）パネルを採用し、半外部空間および吹抜け部は、跳出し架構部の軽量化のためにアルミパネルとしている（図 - 1）。

・ 建物概要

- 建物名称：カンダホールディングス本社
- 建設地：東京都千代田区神田三崎町三丁目3番6号
- 規模：地上8階
- 建物用途：事務所
- 建築面積：334.64 m²
- 延床面積：2 157.61 m²
- 建物高さ：33.2 m
- 軒高さ：32.5 m
- 構造形式：免震構造（基礎免震）
- 構造種別：鉄筋コンクリート造
一部プレストレストコンクリート造
- 架構形式：耐震壁付きラーメン構造
- 基礎形式：杭基礎
- 設計施工：(株)竹中工務店
- PC施工：株式会社 ピーエス三菱
- 工期：2017年12月～2019年2月

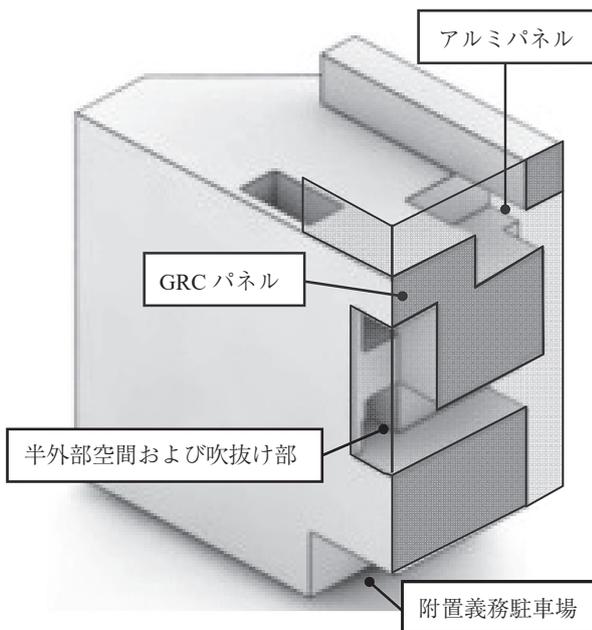


図 - 1 建物構成および外装シェード

3. 構造計画

3.1 構造計画概要

本建物は、床面積の約50%が跳出し架構という特徴的な構造である。安全・安心な建物にしたいという建築主要望を受け、免震構造（基礎免震）を採用している。構造種別は、免震性能を最大限発揮させるために上部架構の剛性および重量確保を目的として鉄筋コンクリート造を採用した。

3.2 基礎構造計画

基礎形式は、GL - 14.5 m 付近の砂礫・細砂層を支持地盤とする杭基礎とし、根切り底を浅くするためにマットスラブを採用している（図 - 2）。新設杭は、既存杭を避けた位置に配置することで、解体のコスト低減を図っている。

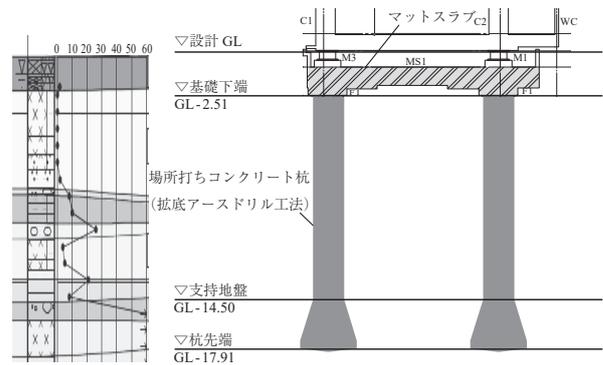


図 - 2 基礎計画図

3.3 免震層計画

免震層には、鉛プラグ入り積層ゴム支承（□850 mm ～ □950 mm）を6基、オイルダンパーを4基（各方向2基）配置している。偏心率を3%以下とする配置とし、大きな引抜きを生じる箇所には引抜き抵抗機構を付加している。免震周期は、ひずみ225%時で約4.4秒である（図 - 3）。

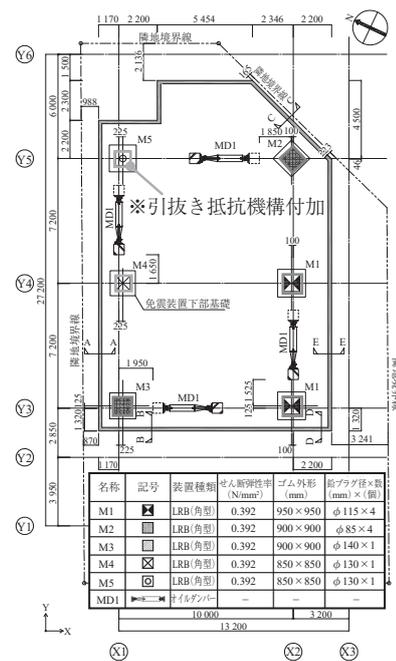


図 - 3 免震ピット階床伏図

3.4 上部構造計画

架構形式は、X、Y方向共耐震壁付きラーメン構造とし、柱スパンはX方向3.2m～10.0m、Y方向2.85m～7.2mとしている。建物西側(前面)の6.8m跳出し架構に対して、長期の重量バランスを考慮して建物東側(後面)についても6.0mの跳出し架構とした。この東西方向の跳出し架構は、壁厚300～350mmの連層耐震壁により支持する形式とし、ひび割れ抑制のためにプレストレスを導入している。建物南側に関しても3.2mの跳出し架構とし、各階の大梁により支持している(図-4、5)。1階床梁は、根切り底を浅くするためにフラットスラブ形式としている。

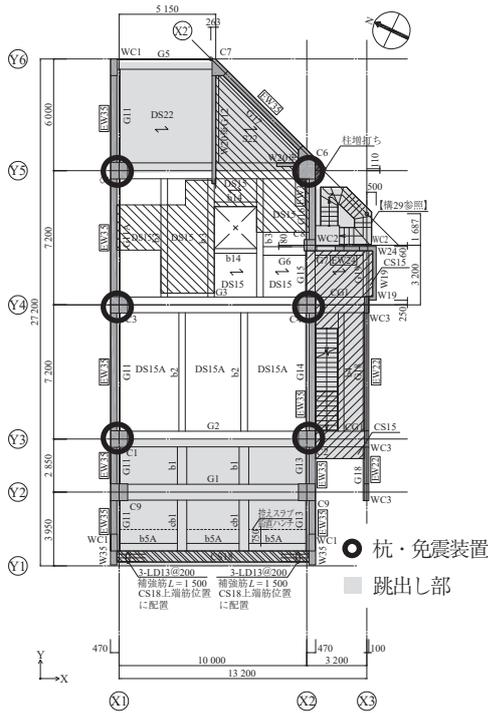


図-4 基準階床伏図

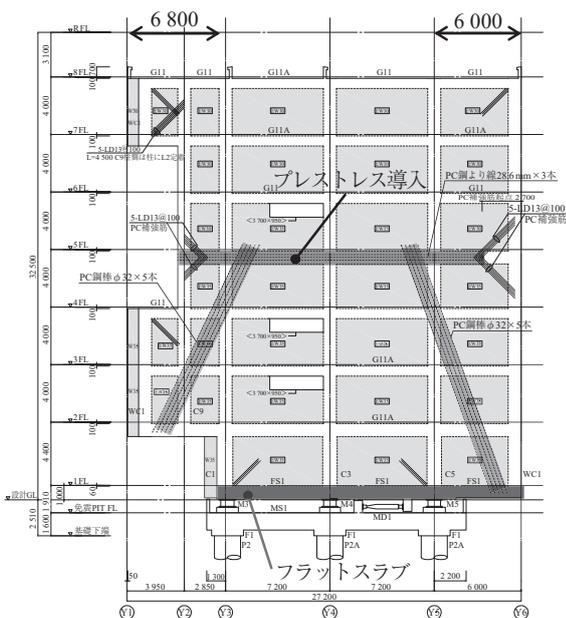


図-5 Y方向代表軸組図

3.5 跳出し架構プレストレス計画

1～4階の跳出し部連層耐震壁および5階Y方向大梁には、跳出し部のせん断変形によるひび割れ抑制の目的で長期応力をキャンセルする方向にプレストレスを導入している。

(1) プレストレス導入位置の比較

プレストレスの導入位置は、計画の初期段階で3案を比較検討し、たわみ・応力・コスト・施工性を総合的に判断して、5階床レベルにてプレストレス力を与えることとした(表-1)。

表-1 プレストレス力導入位置比較

	5階PS導入案	8階PS導入案	5階、8階大梁PS導入案
検討モデル			
たわみ	○	○	△
応力	○	○	△
コスト	○	△	○
施工性	○	△ (防水工事絡む)	◎
総合	○	△	△

(2) プレストレス力の設定

プレストレス力は、躯体内にPC鋼材が納まる本数で、プレストレスによる応力が長期の壁負担せん断力を超えない範囲で設定を行い、応力解析および納まり検討の結果、跳出し部連層耐震壁内部は32φのPC鋼棒を5本、大梁内部には28.6mmのPC鋼より線を3本設置し、斜め方向に約2500kN、水平方向に約1650kNのプレストレス力を与える計画としている(図-6)。PC鋼棒はねじ式定着工法、PC鋼より線はくさび式定着工法を採用している。

斜め方向のPC鋼材は、当初PC鋼より線を採用する計画であったが、配筋手順やPC鋼材設置時の形状保持など施工性を考慮してPC鋼棒を採用した。

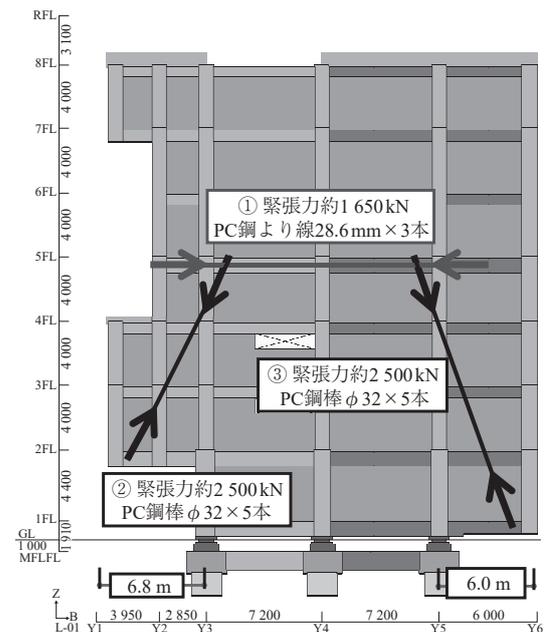


図-6 設定プレストレス力

(3) 設計クライテリアおよび解析結果

跳出し部耐震壁の設計クライテリアは、ひび割れ発生による長期たわみの増大を抑制するために、地震時上下動応答を考慮した設計応力に対してせん断ひび割れ強度以下を設定している。なお、ひび割れ強度よりも長期許容せん断応力度が小さいため、長期荷重時は長期許容せん断応力度を設計クライテリアとしている。

FEM 解析による応力解析の結果を図 - 7, 8 に示す。プレストレスを導入することにより、長期応力を約 50% 低減、弾性たわみは約 30% 低減し、地震時上下動応答を考慮した応力に対しても設計クライテリアを満足していることを確認している。

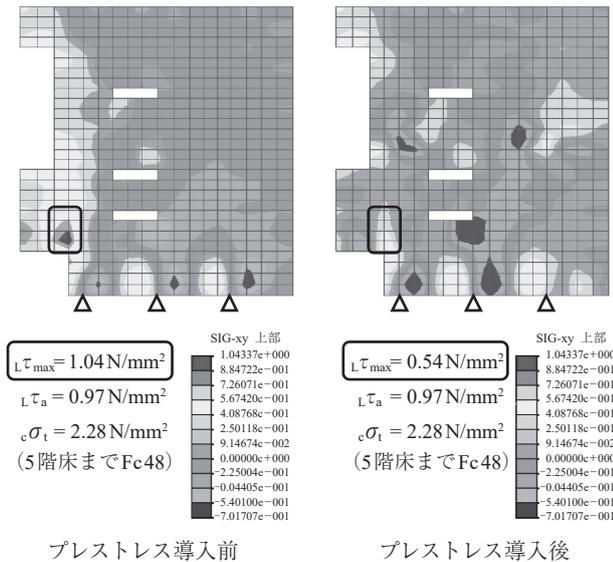


図 - 7 PS 導入前後 X1 通り長期応力図 (N/mm²)

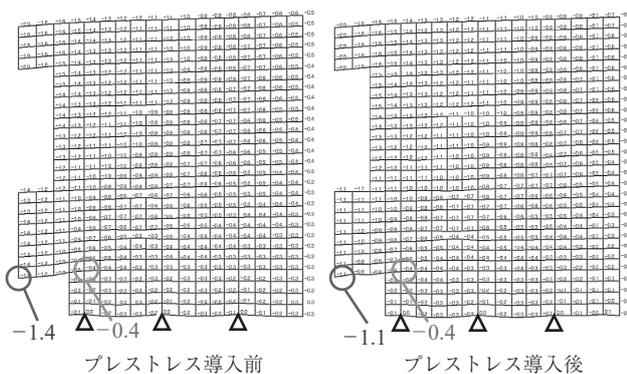


図 - 8 PS 導入前後 X1 通り長期変形図 (mm)

(4) PC 鋼材の躯体納まり

PC 鋼材の躯体納まりは、PC 鋼材寸法および配筋納まりから決まる壁および大梁の最小断面を仮設定し、柱および直交梁の配筋納まりを考慮して仮設定より大きくした断面を採用している。上記検討より、壁厚を 350 mm とし大梁断面は 500 ~ 550 × 900 mm を設定した (図 - 9)。設計段階においても BIM を活用し、納まりを確認している。

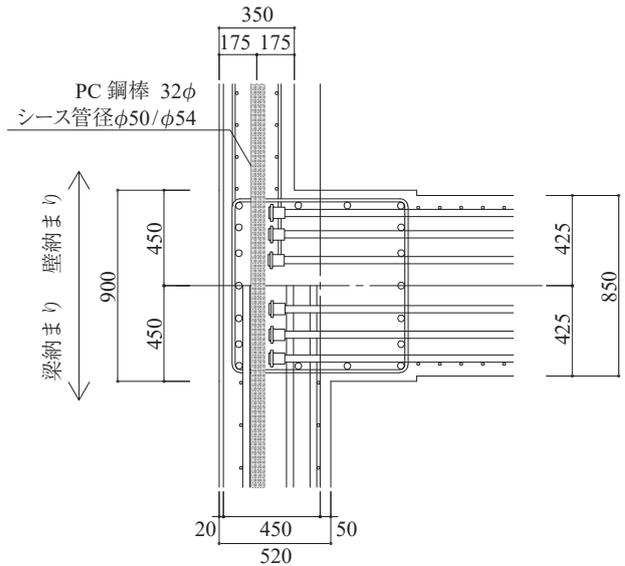


図 - 9 PC 鋼棒の梁、壁納まり図

3.6 跳出し PC 小梁

4 階 Y1 - Y2 通り間の跳出し小梁 cb2 は、バルコニー防水納まりの関係で躯体床下がりが大きく、ひび割れモーメント以下に抑えるための梁成を確保することができなかったため、プレストレスを導入した (図 - 10)。PC 鋼材は、PC 鋼より線 21.8 mm × 2 本とし、設計クライテリアはひび割れモーメント以下とした。

Y2 - Y3 通り間の控え小梁 b7 も曲げ応力が跳出し小梁と同条件となるため、PC 鋼より線を Y3 通りまで延長し、プレストレスを導入している (図 - 11)。

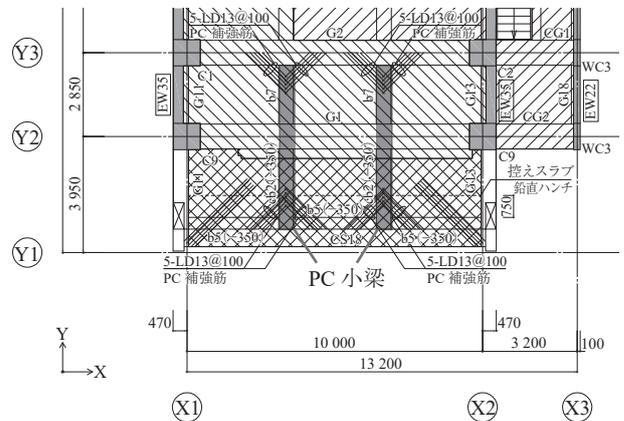


図 - 10 4 階跳出し PC 小梁対象箇所

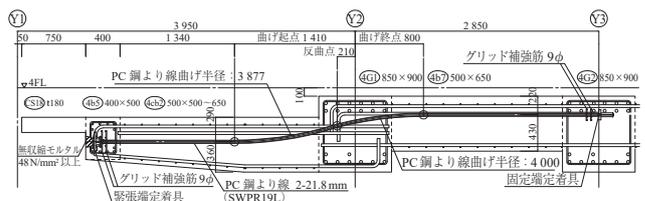


図 - 11 4 階跳出し小梁 PC 鋼より線納まり図

4. 施工概要

4.1 PC 鋼棒設置工事

跳出し部連層耐震壁内部には、斜め方向に PC 鋼棒 32φ×5 本が計画されており、図 - 12 に示すように柱筋内部を PC 鋼棒が貫通する箇所がある。

本計画の施工条件により、梁配筋は落とし込みでの施工としているため、PC 鋼棒設置は梁配筋のあととなる。このため、柱筋組立て時にフープ筋を PC 鋼棒に干渉しない正確な位置に配置する必要があったので、シース管 (49φ) と同径の単管パイプ (φ 48.6) を仮設で設置することで、フープ筋の位置決めを行った (写真 - 3)。頂部にはテンプレートを設置し、PC 鋼棒端部には固定治具を取付けて単管パイプを固定した (写真 - 4)。またシース管より上に配置される柱フープ筋について、機械式重ね継手工法を用いて配置することで、適切な位置・本数で配筋を行った (写真 - 5)。

図 - 13 に PC 鋼棒の施工手順を示す。

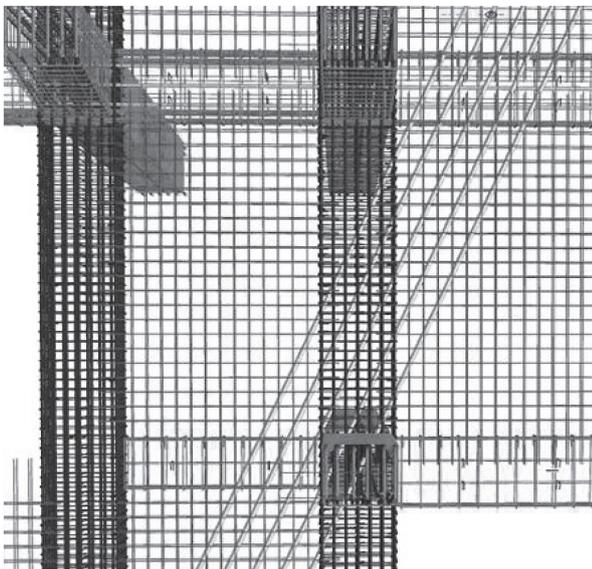


図 - 12 柱筋・PC 鋼棒取合い部 BIM モデル

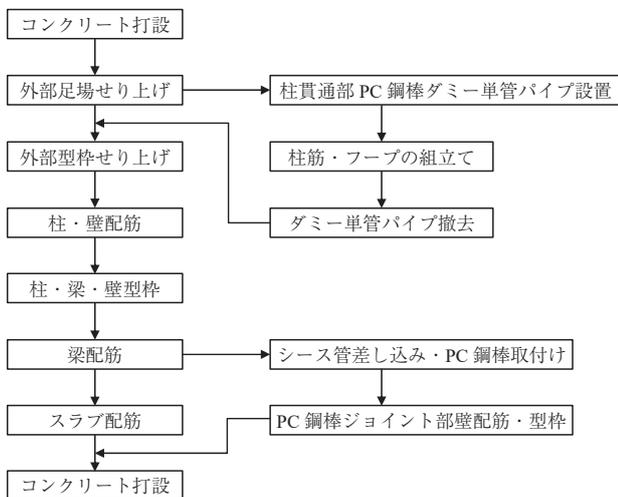


図 - 13 PC 鋼棒施工手順

前フロアのコンクリート打設完了後、外部足場より支持をとり柱貫通部 PC 鋼棒の代わりとなる単管パイプを設置する。柱筋・フープの組立てを行って、単管パイプを撤去する。その後は、型枠工事完了後に梁筋組立て・落とし込みを行い、シース管差し込み・PC 鋼棒取付けを行う。最後に PC 鋼棒ジョイント部壁配筋・型枠を行う。

上記の工法・手順により、梁配筋後の PC 鋼棒設置作業において鉄筋と干渉することなくシース管を差し込み、PC 鋼棒を設置することができた。



写真 - 3 柱貫通部 PC 鋼棒ダミー単管パイプ設置



写真 - 4 頂部位置出し用テンプレート



写真 - 5 機械式重ね継手工法によるフープ筋組立て

4.2 PC 鋼より線設置工事

5階の大梁および4階の小梁の中にPC鋼より線を設置しており、5階にはPC鋼より線28.6mm (SWPR19L) × 3本が、4階にはPC鋼より線21.8mm (SWPR19L) × 2本がある。PC鋼より線はタワークレーンにて揚重・取付けを行った。5階のPC鋼線については、PC鋼棒と交差しており、互いのシース管が干渉しないようBIMを用いて納まりの検討を行った(図-14、写真-6、7)。

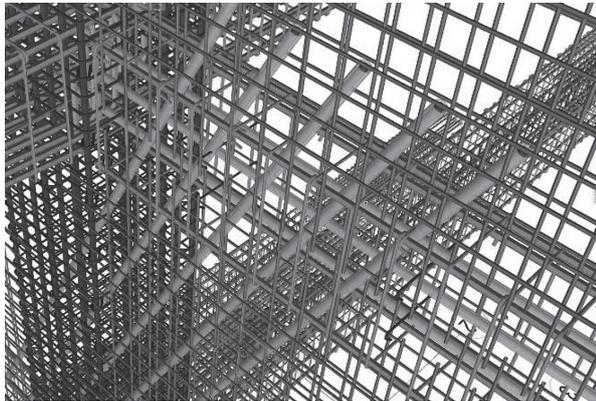


図-14 PC鋼棒・PC鋼より線交差部 BIMモデル



写真-6 PC鋼棒・PC鋼より線交差部シース管施工状況



写真-7 PC鋼より線揚重状況

4.3 緊張工事

PC鋼棒、PC鋼より線の緊張工事は、6階立上り7階床のコンクリート打設を完了し、かつ該当部分のコンクリート強度 $F_c48\text{ N/mm}^2$ の発現後に行った。

導入応力の管理¹⁾に基づき、伸びの測定値と計算値との誤差が5%以上とならないように導入応力を管理した。また、緊張にはキャリブレーションを行った圧力計を、伸びの測定は最小目盛1mmのスケールを使用して計測精度を確保した。

この際の緊張力と伸びの関係を図-15に、PC鋼材の機械的性質・緊張用諸係数・導入プレストレス・使用ジャッキ仕様を表-2~5に、理論伸び量・導入緊張力・圧力計示度の計算値を表-6に示す。

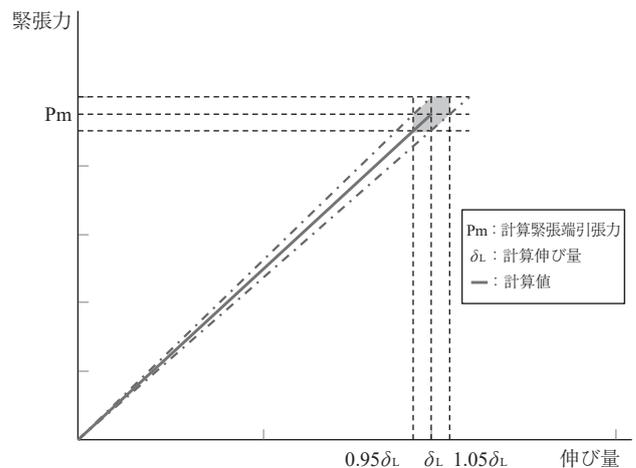


図-15 緊張力と伸びの関係

表-2 PC鋼材の機械的性質

定着体記号	1-21.8		1-28.6		φ 32	
	1-21.8mm (SWPR19L)		1-28.6mm (SWPR19L)		32φ (B-1)	
引張荷重	573.0	(58.4)	949.0	(96.8)	868.5	(88.6)
降伏点荷重	495.0	(50.5)	807.0	(82.3)	747.9	(76.3)
施工時 最大引張荷重	420.8	(42.9)	686.0	(70.0)	635.7	(64.8)

表-3 PC鋼材緊張用諸係数

定着体記号	1-21.8	1-28.6	φ 32
鋼材構成	1-21.8mm (SWPR19L)	1-28.6mm (SWPR19L)	32φ (B-1)
断面積	3.129 (cm ²)	5.324 (cm ²)	8.042 (cm ²)
弾性係数	190 000 (kg/cm ²)	190 000 (kg/cm ²)	200 000 (kg/cm ²)
角度変化による 摩擦係数	0.06 (1/rad)	0.15 (1/rad)	0.3 (1/rad)
m 当たりの 摩擦係数	0.002 (1/m)	0.004 (1/m)	0.003 (1/m)

表-4 導入プレストレス

定着体記号	1-21.8	1-28.6	φ 32	
鋼材構成	1-21.8mm (SWPR19L)	1-28.6mm (SWPR19L)	32φ (B-1)	
定着方式	くさび式 (アンボンド工法)	くさび式 (ボンド工法)	ねじ式 (ボンド工法)	
端部緊張力 kN(t)	396.0	646.0	(40.4)	(65.9)
			598.0	(61.0)

表 - 5 使用ジャッキ仕様

定着体記号	1-21.8	1-28.6	φ 32
使用ジャッキ	SM・J-50	SM・J-75	PC鋼棒ジャッキ70t
受圧面積 (cm ²)	75.4	114.47	99.55
ジャッキ内ロス (%)	2	2	0
ジャッキ内摩擦係数	1.02	1.02	1
実際の緊張力 kN(t)	403.9 (41.2)	658.9 (67.2)	598.0 (61.0)
圧力計示度 MPa (kg/cm ²)	53.6 (546.3)	57.6 (587.0)	60.1 (612.5)

表 - 6 理論伸び量・導入緊張力・圧力計示度 計算値

番号	部位	場所	PC鋼材仕様	導入緊張力 (kN)	圧力計示度 (Mpa)	伸び量 (mm)	±5%の許容値 (mm)
No. 1	梁	5階 X1 通り①	28.6 mm (SWPR19L)	646	57.6	130.0	123.5 ~ 136.5
No. 2		5階 X1 通り②				118.9	113.0 ~ 124.8
No. 3		5階 X1 通り③				130.0	123.5 ~ 136.5
No. 4		5階 X2 通り④				126.0	119.7 ~ 132.3
No. 5		5階 X2 通り⑤				130.4	123.9 ~ 136.9
No. 6		5階 X2 通り⑥				126.0	119.7 ~ 132.3
No. 7	小梁	4階 X1 側①	21.8 mm (SWPR19L)	396	53.6	41.8	39.7 ~ 43.9
No. 8		4階 X1 側②				41.8	39.7 ~ 43.9
No. 9		4階 X2 側①				41.8	39.7 ~ 43.9
No. 10		4階 X2 側②				41.8	39.7 ~ 43.9
No. 11	壁 (A)	5階 X1 通り Y3 通り a	32 φ (B-1)	598	60.1	55.6	52.8 ~ 58.4
No. 12		5階 X1 通り Y3 通り b				55.6	52.8 ~ 58.4
No. 13		5階 X1 通り Y3 通り c				55.6	52.8 ~ 58.4
No. 14		5階 X1 通り Y3 通り d				55.6	52.8 ~ 58.4
No. 15		5階 X1 通り Y3 通り e				55.6	52.8 ~ 58.4
No. 16	壁 (B)	5階 X2 通り Y3 通り a	32 φ (B-1)	598	60.1	55.6	52.8 ~ 58.4
No. 17		5階 X2 通り Y3 通り b				55.6	52.8 ~ 58.4
No. 18		5階 X2 通り Y3 通り c				55.6	52.8 ~ 58.4
No. 19		5階 X2 通り Y3 通り d				55.6	52.8 ~ 58.4
No. 20		5階 X2 通り Y3 通り e				55.6	52.8 ~ 58.4
No. 21	壁 (C)	5階 X1 通り Y5 通り a	32 φ (B-1)	598	60.1	70.5	67.0 ~ 74.0
No. 22		5階 X1 通り Y5 通り b				70.5	67.0 ~ 74.0
No. 23		5階 X1 通り Y5 通り c				70.5	67.0 ~ 74.0
No. 24		5階 X1 通り Y5 通り d				70.5	67.0 ~ 74.0
No. 25		5階 X1 通り Y5 通り e				70.5	67.0 ~ 74.0
No. 26	壁 (D)	5階 X2 通り Y5 通り a	32 φ (B-1)	598	60.1	62.6	59.5 ~ 65.7
No. 27		5階 X2 通り Y5 通り b				67.7	64.3 ~ 71.1
No. 28		5階 X2 通り Y5 通り c				57.5	54.6 ~ 60.4
No. 29		5階 X2 通り Y5 通り d				60.1	57.1 ~ 63.1
No. 30		5階 X2 通り Y5 通り e				65.2	61.9 ~ 68.5

PC鋼より線は、緊張後にクサビ状の金具で定着させるのが一般的である。この場合、緊張時にジャッキにかかっているプレストレスが定着時にPC鋼より線に移る際に、クサビの引き込まれ現象を起こす。このクサビが引き込まれた量（以下セット量）は定着体ごとに標準値が定まっており、緊張作業時に確認する必要がある。

セット量はそのまま測定することができないため、戻り量という管理方法を用いた。戻り量はセット量とジャッキ内ケーブルの伸びの和で、PC鋼より線28.6mmは8mm、PC鋼より線21.8mmは7mmを管理値とした。

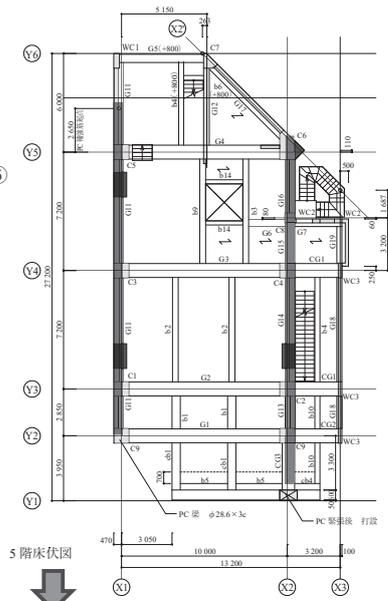
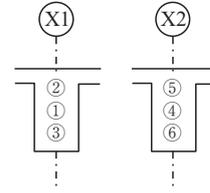
PC鋼材の緊張は、図-16に示す緊張順序で行った。斜め方向の緊張による躯体のひび割れ防止のため、初めに大梁の緊張を行い、水平方向の緊張が完了した後に連層耐震壁の緊張としている。表-7に施工時の最終緊張力・総伸び量・戻り量の計測値を示す。

すべてのPC鋼材において、総伸び量は計算値±5%の管理値内（最大で4.8%）となり、戻り量についても管理値内となった（写真-8, 9）。

① 5階 PC梁緊張

・PC鋼より線
28.6mm×3c×2梁
(ボンド工法)

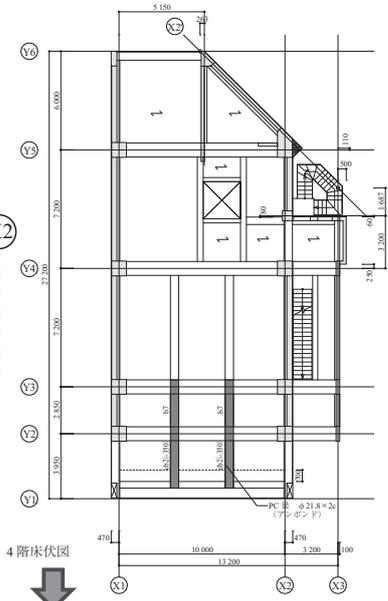
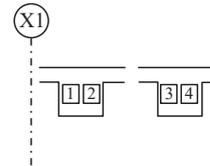
・順序
①→②→③→④→⑤→⑥



② 4階 PC小梁緊張

・PC鋼より線
21.8mm×2c×2梁
(アンボンド工法)

・順序
①→②→③→④



③ 5階 PC鋼棒緊張

・PC鋼棒
32φ×5本×4箇所
(ボンド工法)

・順序
1. 壁位置
A→B→C→D
2. 壁内部
①→②→③→④→⑤

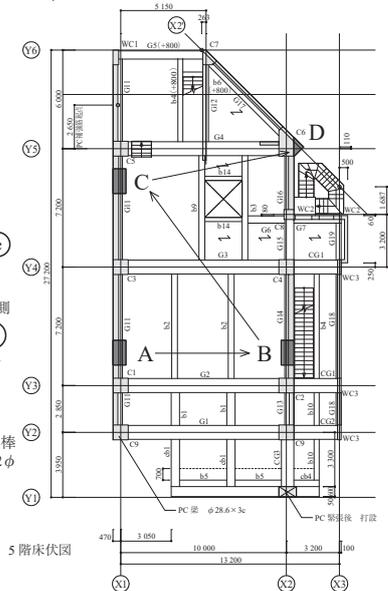
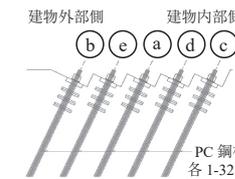


図 - 16 PC鋼材の緊張順序

表 - 7 最終緊張力・総伸び量・戻り量 計測値

番号	部位	場所	最終緊張力 (Mpa)	総伸び量 (mm)	総伸び量 伸び率	戻り量 (mm)
No.1	梁	5階 X1 通り ①	57.6	135	103.8 %	7
No.2		5階 X1 通り ②	57.0	124	104.3 %	6
No.3		5階 X1 通り ③	57.5	124	95.4 %	7
No.4		5階 X2 通り ④	57.6	132	104.8 %	5
No.5		5階 X2 通り ⑤	57.6	129	98.9 %	5
No.6		5階 X2 通り ⑥	57.6	132	104.8 %	6
No.7	小梁	4階 X1 側 ①	53.6	43	102.9 %	7
No.8		4階 X1 側 ②	53.6	42	100.5 %	7
No.9		4階 X2 側 ①	53.6	43	102.9 %	7
No.10		4階 X2 側 ②	53.6	42	100.5 %	4
No.11	壁 (A)	5階 X1 通り Y3 通り a	60.1	57	102.2 %	-
No.12		5階 X1 通り Y3 通り b	60.1	55	98.9 %	-
No.13		5階 X1 通り Y3 通り c	60.1	55	98.2 %	-
No.14		5階 X1 通り Y3 通り d	60.1	54	97.7 %	-
No.15		5階 X1 通り Y3 通り e	60.1	56	99.8 %	-
No.16	壁 (B)	5階 X2 通り Y3 通り a	60.1	54	97.3 %	-
No.17		5階 X2 通り Y3 通り b	60.1	54	97.5 %	-
No.18		5階 X2 通り Y3 通り c	60.1	53	95.5 %	-
No.19		5階 X2 通り Y3 通り d	60.1	53	95.9 %	-
No.20		5階 X2 通り Y3 通り e	60.1	55	98.9 %	-
No.21	壁 (C)	5階 X1 通り Y5 通り a	60.1	68	96.9 %	-
No.22		5階 X1 通り Y5 通り b	60.1	68	96.0 %	-
No.23		5階 X1 通り Y5 通り c	60.1	70	98.9 %	-
No.24		5階 X1 通り Y5 通り d	60.1	69	97.3 %	-
No.25		5階 X1 通り Y5 通り e	60.1	68	96.5 %	-
No.26	壁 (D)	5階 X2 通り Y5 通り a	60.1	63	99.8 %	-
No.27		5階 X2 通り Y5 通り b	60.1	69	101.5 %	-
No.28		5階 X2 通り Y5 通り c	60.1	56	97.7 %	-
No.29		5階 X2 通り Y5 通り d	60.1	60	99.2 %	-
No.30		5階 X2 通り Y5 通り e	60.1	65	99.4 %	-



写真 - 8 PC 鋼線ジャッキセット



写真 - 9 PC 鋼棒ジャッキセット

4.4 PC グラウト工事

PC グラウト工事は、PC 鋼材の緊張完了後に 1 日で実施した。PC グラウトの圧縮強度には、構造体コンクリート設計基準強度 $F_c 48 \text{ N/mm}^2$ 以上とした。PC グラウト注入ホースより一定速度で注入を行い、排出ホースおよび確認用ホースにて PC グラウトの充填を目視で確認した（写真 - 10 ~ 12）。なお、PC グラウト圧縮強度は材齢 28 日で 55.3 N/mm^2 であった。

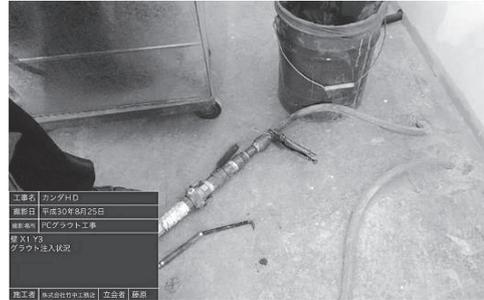


写真 - 10 PC 鋼棒 PC グラウト注入状況



写真 - 11 PC 鋼棒 PC グラウト排出状況



写真 - 12 PC 鋼棒 PC グラウト注入完了

5. おわりに

鉄筋コンクリート造に不向きな大スパン跳出し架構にプレストレスを導入することで、高品質で高い耐久性をもつ躯体を造りあげるとともに、デザインと機能を両立した新本社を実現することができた。最後に、本プロジェクト関係者の皆様に、心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会：プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説、1998

(※付写真：撮影 株式会社ミヤガワ)

【2019年4月26日受付】