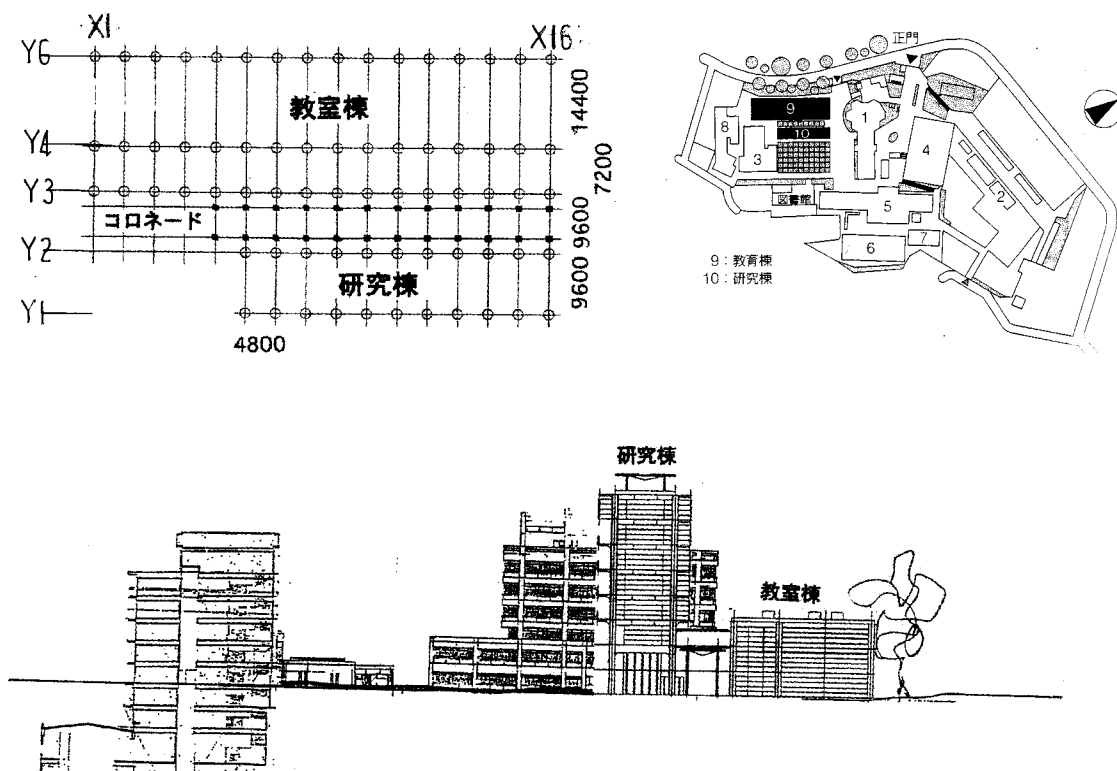


1. はじめに

ここで紹介する建物は、東北工業大学の環境情報工学科の施設である。配置図（図-1）に示すように、高低差のある香澄キャンパス内において、この施設は敷地内の最も高い松並木の公道沿いに建設されている。当初の計画では1棟であったものが、教室と研究室では利用状況や動線計画、設備や空調システム、基準となるスパン割等も異なることから、最終的には2つの建物として計画されている。中庭側に8階建ての研究棟を、道路側に3階建ての教育棟を配置することで、沿道の松並木の景観に配慮した計画となっている。さらに研究棟の初層に2層の吹き抜けや2棟の間にコロネードを設け、中庭から教育棟までの連続性を確保しながら交差する通りの空間を演出している。



〈図1 配置図、柱グリッド、東立面図〉

2. 構造設計者として目指したもの

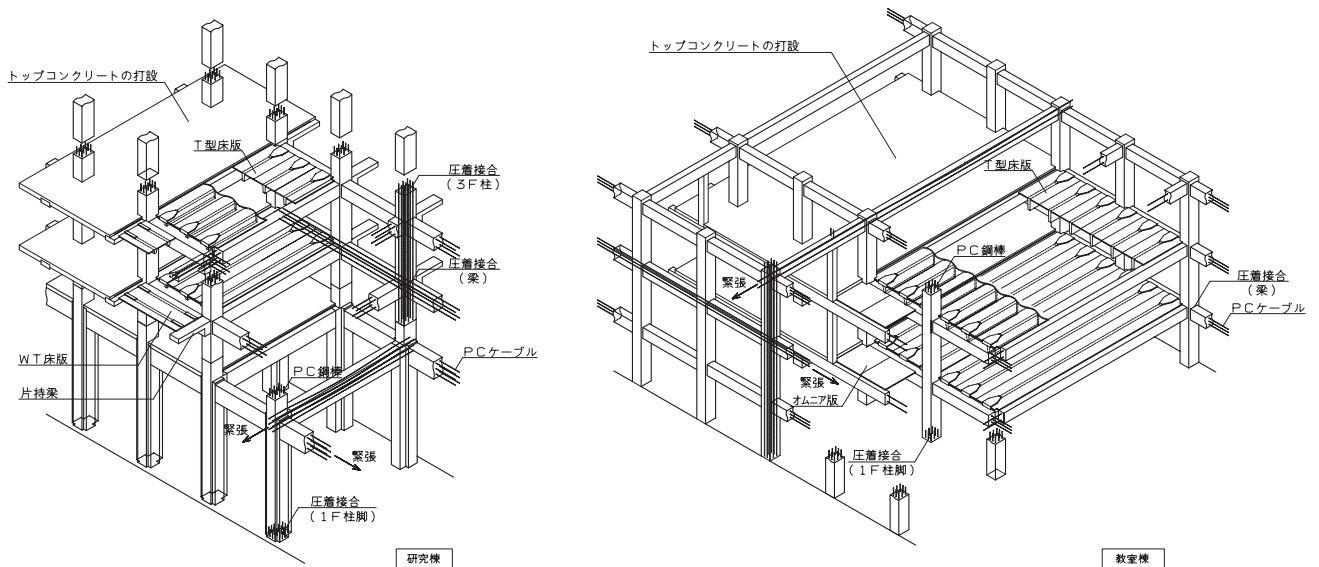
比較的大きな空間の教室棟と小割の空間で構成される研究棟に分けることで、構造的には架構の単純化や柱・梁の断面の統一を図ることが可能である。そこで構造安全性能を確保しつつ、建物の耐久性の確保と建設廃材を抑制する構法として、プレキャスト鉄筋コンクリート構造を提案した。最終的に高層の研究棟の主体構造は、東北工業大学の川股重也教授を中心に研究が進められてきた粘弾性物質でシールされたオイルダンパーを利用した鉄骨構造を採用した。教育棟は提案通り緊張時のスライド工法によるプレキャスト鉄筋コンクリート構造として計画した。高強度コンクリートによるプレキャスト化はひび割れ発生を抑制することから、小さな柱・梁断面による架構や高耐久性の鉄筋コンクリート構造を実現する構法である。さらに現場におけるコンクリート工事の軽減や工期の短縮を可能なことから、本来構造合理性のある経済的な構法である。しかし現実には現場打ちの鉄筋コンクリート構造に比べ高価で、設計機会も少ない。本設計は限られた工事予算の中で、プレキャスト鉄筋コンクリート構造を実現すべく、断面の統一と最小化によりコスト低減を目指したものである。以下プレキャスト化を中心に研究棟と教育棟の構造設計と実施の施工状況を紹介する。

3. 研究棟

地上8階地下1階の研究棟は、最初の提案では図-2に示すようなプレキャストコンクリートを用いた純ラーメン構造で提案した。2棟の外観の統一と部材の共有化を考慮したものである。以後設計打ち合わせを重ねる中で、大学から提案された制震装置の研究成果の実用化を受け入れ、主体構造をより軽量で強度が期待できる鉄骨構造に変更した。

床板については当初の計画通り、PC床板の上にトップコンクリートを打設する方法を採用した。桁行4.8m x 10mスパン、張間9.6m x 1mスパンの鉄骨構造で、天井高さを確保するために、床板を9.6mのスパン方向に架け張間方向の梁成を押さえるように計画している。床板の重量と床荷重を負担する桁行方向4.8mの連続梁（H-450 x 300）と、長期の鉛直荷重の負担から解放された張間方向の大梁（H-600 x 300）と下フランジレベルの同じくすることで効率的な架構を実現している。

研究棟で用いた床板は9.6mのスパンに架ける梁成700mmのT型スラブと、4.8mスパンの片持ち廊下を支える梁成250mmのWT型スラブの2種類である。共にプレテンション形式の床板で、100mm以上のトップコンクリートを打設することで、PC床板相互と鉄骨梁の一体化を図っている。研究室と屋外器が設置される積載荷重の違いは、T型スラブ内のストランドの本数を変えることで対応している。



〈 図2 PC部材による架構図 〉

4. 教育棟

4.1 スライド工法

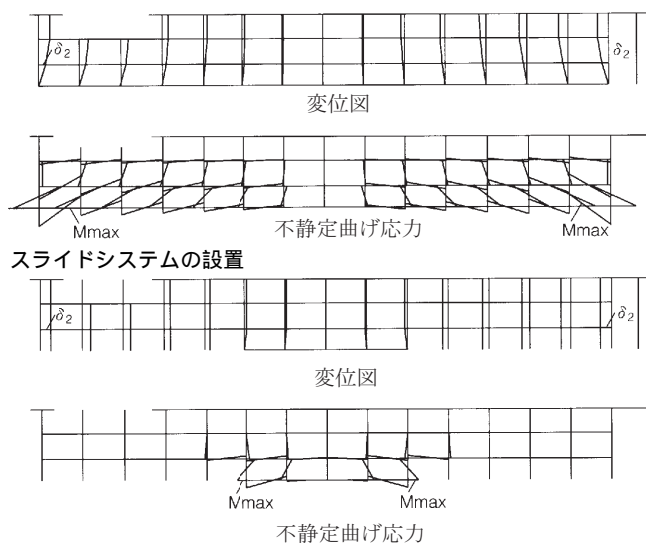
講義用の教室として使われる教育棟は、張間方向6.6m x 3スパン、桁行方向4.8m x 15スパンの規則的な平面形状を有する3階建ての建物である。教育棟の架構図(図-2)に示すとおり、柱・梁と床板には高強度のプレキャストコンクリート部材を用い、架構の組み立てはプレストレス力による圧着工法によって行われている。1階地中梁等の躯体と教室間の耐力壁、PC床板上のトップコンクリートは、現場にてコンクリートを打設している。工場生産されたプレキャスト部材をプレストレス力により圧着接合しようとする、6.6m x 3スパンの張間方向については特に問題はないが、4.8m x 15スパンの桁行方向のうちY4、Y6については、プレストレス力導入に伴う不静定応力が地震時の応力を上回る結果になり、大きな柱・梁断面が必要になる。採用する工法によって断面が大きくなるようなことは、選択した工法が誤りのようなものである。

本計画では2階以上の梁の同時緊張を、両外側5本の1階柱脚の拘束を解除した状態で実施するスライド工法を採用した。1階柱脚をスライドさせ部材角の発生を解消することで、不静定応力の低減を図るように設計し、実際の施工を計画する。一方吹き抜け部分のY3列については、2階床梁が1カ所、3階の梁が部分的であることから、屋根梁の軸変形による部材変形角は小さく、大きな不静定応力の発生が生じることはない。通常通り柱建て込み緊張固定後、3階と屋根梁を同時緊張固定し、続いて2階梁を緊張するように計画した。比較のためにY4列について、全柱の移動を拘束した場合と両外側5本の柱をスライドさせた場合について、不静定力の算定結果を図-3に示す。スライドさせることで不静定応力を約40%に低減できたことになり、柱断面に対するこの応力の低減効果は大きく、梁の支圧板を柱・梁のせん断パネルの外に出すことによって、当初の目標通りPC鋼棒の収まりで決まる小さな柱断面(□-650 x 650)で設計することが可能になった。同時に梁の不静定応力も小さく発生箇所も少ないので、ストランドケーブルの直線的な配線で梁成を700mmに押さえることができた。柱・梁の導入プレストレス力もそれぞれ3500kN、2650kNで足りる計算である。

柱脚には図-4に示すようなスライド用の支承をセットする。架設時にはできるだけ摩擦係数が小さく多少の付加荷重があってもスムーズに移動し、移動後は溶接固定できるような支承を計画した。摩擦係数0.1を目標に、メッキした鋼板の一方にはステンレスを貼り付け、他方はテフロンパウダーを塗布しすべり面を構成した。押さえることができた。柱・梁の導入プレストレス力もそれぞれ3500kN、2650kNで足りる計算である。

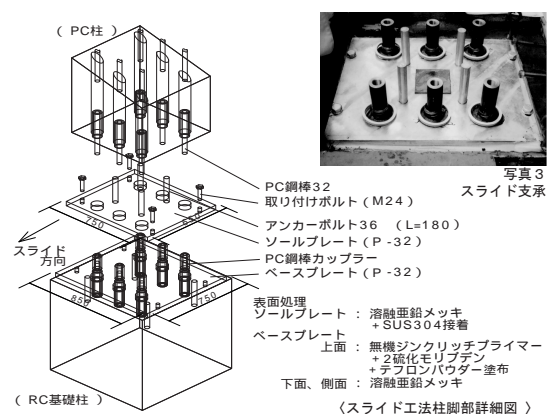
柱脚には図-4に示すようなスライド用の支承をセットする。架設時にはできるだけ摩擦係数が小さく多少の付加荷重があってもスムーズに移動し、移動後は溶接固定できるような支承を計画した。摩擦係数0.1を目標に、メッキした鋼板の一方にはステンレスを貼り付け、他方はテフロンパウダーを塗布しすべり面を構成した。

全柱・柱脚固定



	2階外端柱の変位	1階柱脚不静定モーメント・せん断力	
全柱・柱脚固定	0.621 cm	62.9 tm	32.4 t
スライドシステムの設置	0.721 cm	24.9 tm	13.6 t

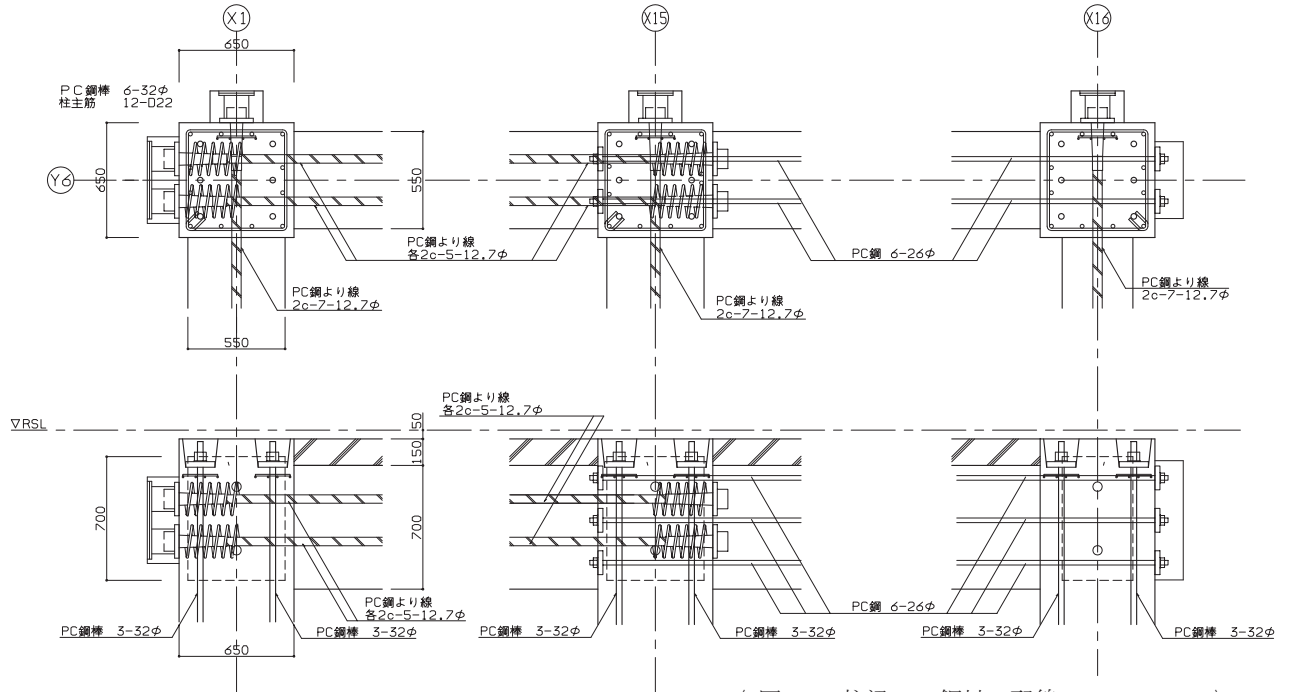
〈 図-3 軸変形による不静定 〉



〈 図-4 スライド支承詳細図 〉

4.2 搬入路の確保

キャンパス内の建物の配置図からも解るように、施工のための搬出入路は幅6m程度で教育棟と1号館の間1カ所に限定されている。研究棟の鉄骨建て方完了後に、教育棟のPC部材建て方を開始せざるを得ない施工状況であった。さらに教育棟の奥から建て方を行うと、建物の端部でクレーンの設置場所やPC部材搬入に支障をきたすことから、X15～X16間の1スパンを後施工とすることを余儀なくされた。X15までのPCの架構や鉄骨屋根や階段を完成させた後、1スパン分の2層吹き抜けの柱と屋根梁をPC鋼棒により接続するように計画した。PC鋼材の配線要領は、図-5に示すとおりである。



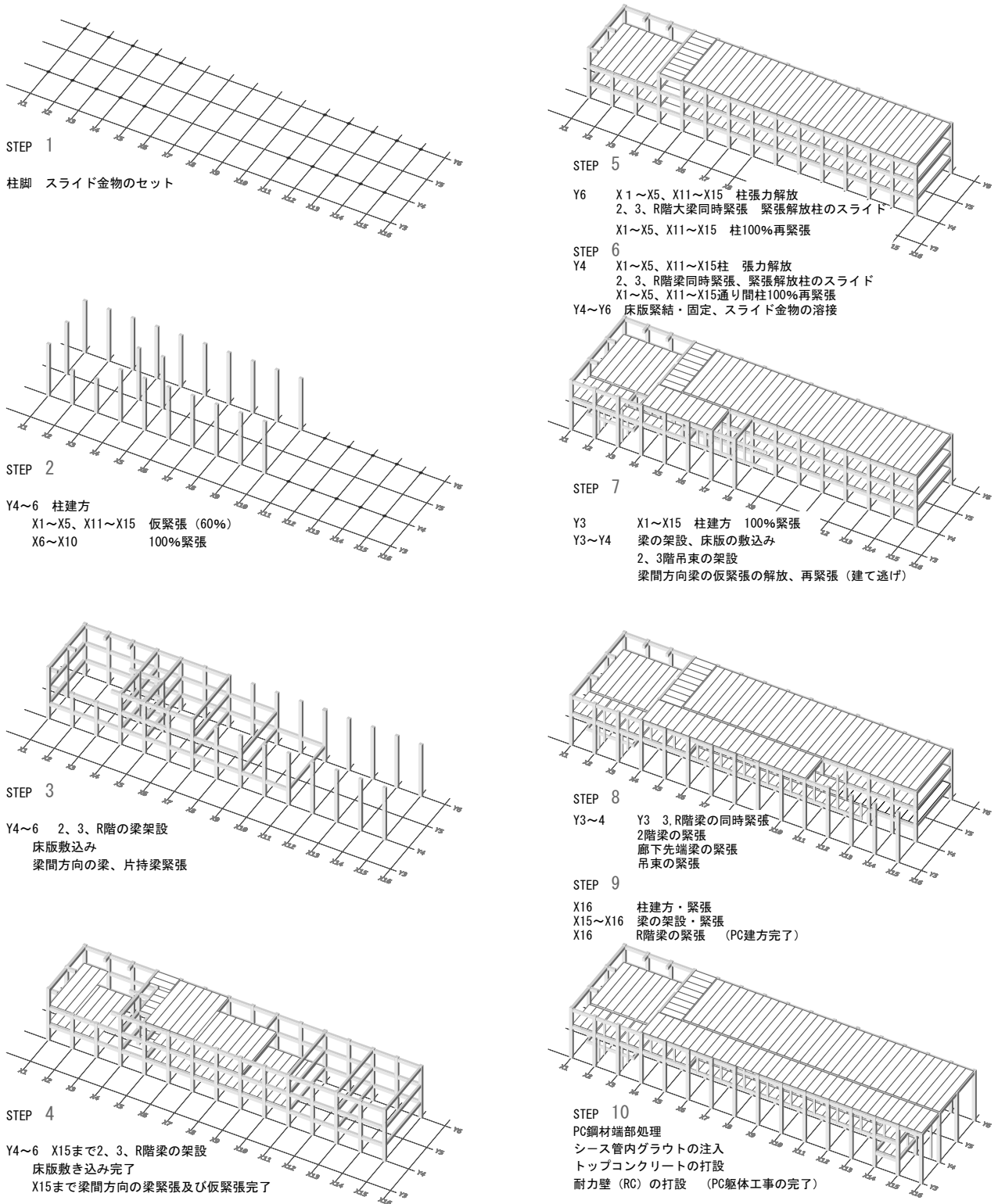
〈 図-5 柱梁PC鋼材の配線 Y6、RF 〉

4.3 床板

教育棟で用いた床板は、13.2mスパンの教室の床や屋根を支えるために梁成700mmのT型スラブを、スパン6.6mの屋根に対しては研究棟のT型スラブを、その他短スパンの床に対しては梁成250mmのWT型スラブを、床荷重によって配線を変えて使用している。さらに幅3mの通路の床は、1方向板としても応力が小さいためにオムニア板を用いている。研究棟と併せても、スラブ型枠として2種類のT型スラブと1種類のWT型スラブの計3種類を、荷重条件に応じて配線を変え、オムニア板の配筋を含めて8種類のスラブを使い分けている。さらに研究棟と同様にトップコンクリート100mmを打設することで、梁天端の増し打ち筋と異なる種類の床板と連続する水平構面の一体化を図っている。

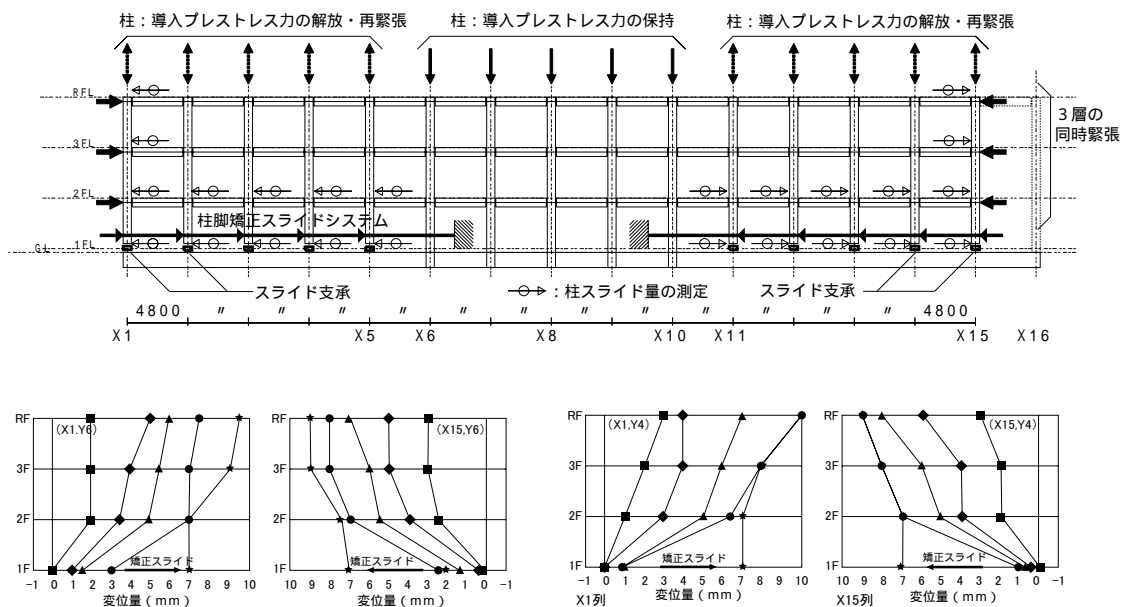
4.4 PCa部材の架設・緊張

PCa部材の架設・緊張の順序は、Y4～Y6のスライド工法を適用する部分、Y3～Y4の吹き抜け部分、そしてX15～X16間の3つのエリアの順番に施工する。一連の施工順序のフローを図-6に示す。



〈 図-6 PCaの建方順序 〉

Y 4, Y 6 の柱については、建て込み時やスライド時の導入力を PC 專業者のヒヤリングより、60%、10%と決めた。さらに滑り支承メーカーのヒヤリングより、スライド支承に想定される最大摩擦係数 ($\mu = 0.1$) とその管理要領を決定した。スライドさせる柱を両側の各5本とし中央5本は固定すること。スライド後の柱の許容部材角を、中央固定柱の最大部材角や架構の保有水平耐力時における柱の曲げ破断耐力より、 $2\text{mm}/4000\text{mm}$ と設定した。梁のプレストレスカの導入だけでは、スライド量をコントロール出来ないことも想定し、1階の柱脚に強制スライド機構も設置した。〈 図-7 〉



〈 図-7 スライド工法、及びスライド量の測定結果 (作成 戸田・共立建設共同企業体) 〉

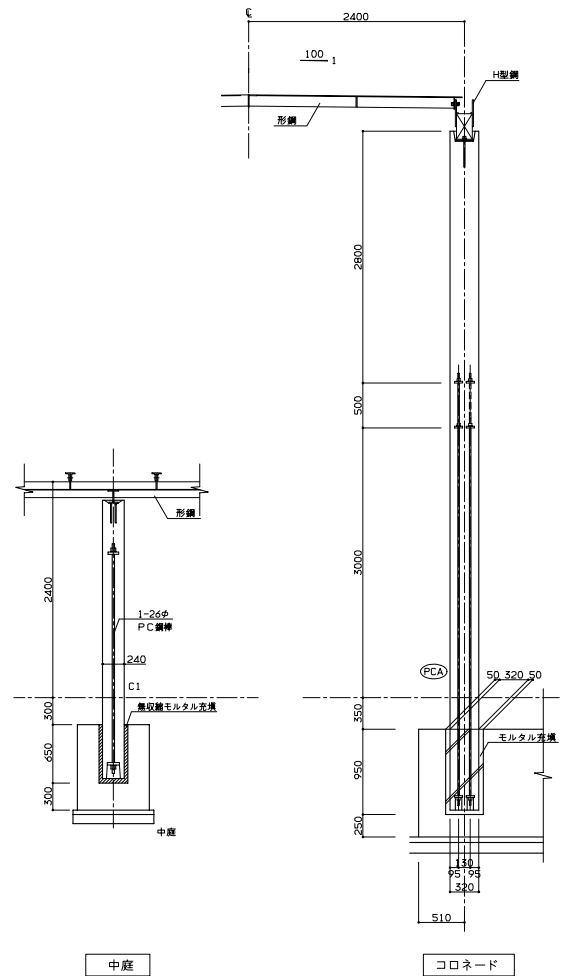
柱の支承を取り付け、計画通りに緊張した際の移動量の測定要領と測定結果図-7に示す。計算によって求めた1階柱脚6. $2 \pm 2.0\text{mm}$ の移動量に対して、実測値は1mmから3mmと何れも小さな移動量しか確認できなかったために、強制スライドを実施した。2階から屋根レベルをみると、6mmを超える移動量が確認された。最終移動量が7mmを超え、各階の移動量のさも最大2mm以下に収まっていることから、所定の導入力が得られたものと判断した。柱を100%緊張後スライド用の支承を溶接によって固定しY4とY6列の緊張作業を終了した。

引き続き、吹き抜け部分Y3の柱とY3~Y4間の梁を架け、柱の緊張張間方向のストランドを配線し、順次柱と張間方向の緊張・固定を実施しX15までの架設終了後、Y3列の梁にPC鋼材を配線し、3階と屋根の梁を同時緊張を実施した。さらに2階梁を緊張し、X15~X16の1スパンを除き架設緊張作業を終了した。この時点で鉄骨屋根や内部階段、通路の鉄骨建て方もほぼ終了させる必要があった。最後のX15端で梁のPC鋼棒をジョイントしながら、柱・梁をPC鋼棒により圧着して教育棟の全PC a部材の架設を終了した。

5. コロネード

研究棟と教育棟の谷間と中庭の外周部にコロネードを設けている。中庭のコロネードは、太陽電池パネルを挟んだガラスの庇で通路を覆い、屋根の鉄骨梁は掘立てのPC柱（24cm角）によって支持されている。また研究棟と教育棟間のコロネードも、高さ6mのガラスの屋根と中間の小庇に鉄骨梁を架け、掘立てPC柱で支持している。

特に建物間のコロネードは、建築の計画上1時間以上の耐火性能が求められ、鉄骨に耐火被覆を施すか、PC柱を採用するかで検討が加えられた結果、4x17mmのPC鋼棒、4隅の主筋と10mmの帯筋で構成される32cm角のPC柱が最小断面になることから採用されている。これらのPC柱はPC鋼棒を埋め込み、工場でコンクリート打設養生・プレストレスを導入した後現場に搬入する。予め現場の基礎の上に設けられた鉄筋コンクリート造の建て込み用の孔に据え周辺にモルタルを充填して完成する。工場製作された製品の受け渡しだけで、PC専門業者によらずとも可能な簡単な現場作業で架構を構成できる。



〈 図-8 PCa掘建て柱 〉

6. 成し得たことと今後の課題

スライド工法を取り入れることで、柱・梁を小さな断面で構成出来たことで、設計目標の一部は達成できたと感じている。またスライド工法の改良すべき点も明確になり、比較的容易な方法で解決できることが解ったことは大きな収穫である。しかし残念ながら躯体数量の低減が、構造躯体コストの低減に反映できた実感はない。さらにこの度の設計において、PCaの耐力壁を採用するに至らなかったことは非常に残念である。今後私個人的には、ローコストのPCa構造躯体の実現に向けて、PCa耐力壁の技術的コスト的な検証と、PCa構造のLCAの試算を行い、建物のライフサイクル全体を視野に入れた、環境考慮の設計を行いたいと考えている。

7. さいごに

PCa工法の提案を受け入れ、設計の機会を与えて頂いた東北工業大学に、大学の窓口で直接建築的なディテールの検討をして下さった二瓶氏や、設計・工事全体の調整をして頂いた関空間設計に、スライド工法を理解し実行して頂いた(株)戸田建設、(株)ピーエス三菱のスタッフの皆様へ感謝致します。この度の設計を通して学んだ事を、PCa工法の更なる省エネルギー、ローコストの実現に生かして行きたい。

建築概要／構造設計概要

建築場所	宮城県太白区八木山香澄町 35-1 東北工業大学香澄町キャンパス内				
建築面積			研究棟	教育棟	
建築・延床面積			653 m ² / 4240	1713 m ² / 3866	
階数			地下 1 階地上 8 階塔屋 1 階	3 階	
建築物高さ／軒高さ			31.1 m / 31.1 m	15.0m / 12.0 m	
1 階／基準階階高さ			8.0m / 3.80 m	4.0 m / 4.0 m	
高幅比 長・短辺方向			(桁行) 31.1 / 48.0 = 0.65 (張間) 31.1 / 9.6 = 3.24	(桁行) 15.0 / 72.0 = 0.21 (張間) 15.0 / 19.8 = 0.76	
支持地盤			シルト岩 GL-16.5 m	礫混じり粘土 GL-11.0 m	
地業、基礎構造			場所打ちコンクリート杭 アースドリル工法	既成コンクリート杭 先端拡大根固め工法	
構造種別			鉄骨構造	プレキャストコンクリート構造	
架構形式			純ラーメン+制震ダンパ-	純ラーメン/耐力壁付ラーメン構造	
柱・梁、壁、ブレス、等の断面・材料			柱 : B □-450x450 SN490C 梁 : H-600x300,450x300 SN490 ブレス : ○-267.4, 216.3 STK490	柱 : 650x650 Fc=50 n/mm ² 梁 : 400,550x700 Fc=50 n/mm ² 壁 : t=180 mm Fc=24 n/mm ²	
接合部			柱梁仕口 : 梁貫通 継手 : 柱 ; 溶接 梁、ブレス ; 高力ボルト	プレストレス力による圧着工法 柱 ; P C 鋼棒 梁 ; スラントケブル、PC 鋼棒	
床形式			プレキャスト PC 板+トップコンクリート	プレキャスト PC 板+トップコンクリート	
屋根形式			アスファルト防水露出断熱工法+ プレキャスト PC 板+トップコンクリート	アスファルト防水露出断熱工法+部屋 上緑化+プレキャスト PC 板+トップコン クリート、一部金属屋根	
地震時荷重	最上階		5517 kn / 8.8 kn/m ² (8F)	15876 kn / 12.1 kn/m ² (3F)	
	基準階		4771 ~ 5486 kn / 7.8 ~ 8.4 kn/m ²	15440 kn / 12.1 kn/m ² (2F)	
	最下階		4866 kn / 9.8 kn/m ² (1F)	14576 kn / 12.3 kn/m ² (1F)	
地域係数/地盤種別			1.0 / 第 2 種地盤	1.0 / 第 2 種地盤	
設計用 1 次固有周期			0.928 sec	0.244 sec	
Rt / Co			0.94 / 0.20	1.00 / 0.20	
1 次設計	せん断力係数及び壁分担率	最上階	0.399 / 0 % (8F)	0.276 (桁行) 0 % (張間) 99 %	
		基準階	0.328 ~ 0.208 / 0 %	0.230 (桁行) 0 % (張間) 99 %	
		最下階	0.188 / 0 % (1F)	0.200 (桁行) 0 % (張間) 99 %	
	耐震壁の最大せん断応力度		(桁行) — (張間) —	(桁行) — (張間) 0.84 n/mm ²	
	最大層間変位		(桁行) 3.53 cm (張間) 3.77 cm	(桁行) 0.10 cm (張間) 0.01 cm	
	層間変形角 (最大)		1/227 1/213	1/2537 1/27163	
	剛性率 (最小)		0.715 0.781	0.826 0.892	
偏心率 (最大)		0.046 0.053	0.008 0.097		
保有水平耐	構造特性係数 Ds	(桁行) 0.25 (張間) 0.25	(桁行) ひび割れ、曲げ耐力の確認による		
	形状係数 Fes	1.00 1.00	(張間) ルート 1		
	保有水平耐力 Qu	10575 kn 11111. kn			
	必要水平耐力 Qun	8405 kn 8405. kn (*1)			
	Qu/Qun	1.25 1.32 (*1)			

*1 : 層間変形角 1 / 1 0 0 の水平荷重を示す。