12 m の跳ね出しスラブを有する研究所の設計・施工
― フラットスラブへの大容量 PC の適用 ―

著：Douglas P. González, Michael W. Hopper, and Carol Hayek
訳：高津　比呂人

ニュージャージー州イーストハノーバーのノバルティス社のがん研究センターにおいて，周辺の景観を最大限に取り入れながら，自由に行き来できるワークスペースを実現するために，ファサード（訳者註：建物の正面，外観）から柱を大きくセットバックさせた設計を採用し，ロングスパンで跳ね出しの大きな，柱の無い広がりのある空間が実現した。設計・性能用件を満たすのに必要なボンド型の PC 鋼材量と過密配置を解決するための，建築主と施工者，製造業者，専門工事業者および設計者間の綿密かつ迅速な連携について報告する。

キーワード：設計，PC 鋼材，コンクリート，施工

1. はじめに

槇事務所と Genslar 社による設計の，延床面積 17 190 m² のノバルティス社のがん研究センターは，医療分野の研究におけるイノベーションの速さを反映しており，研究チームは結成されて数か月で解散するのが一般的である。セントラルパークに接続され，移動の自由を促進するよう指向された 5 つの事務所と研究施設で構成されるキャンパス基本計画において，この建物は不可欠な要素である。そのデザインは，キャンパスの配置を，異なる階の研究チームを結ぶ 2 層の“コミュニティパーク”でつながる縦型のオフィスであるとの解釈のもと，基本計画の開かれた環境のコンセプトを 5 階建ての建物に取り入れている。

周辺環境を最大限に取り入れながら，自由に行き来できる建物外周部のワークスペースをつくるため，設計者はファサードから柱を大きくセットバックさせた。その結果，ロングスパンで跳ね出しの大きな柱の無い広がりのある空間が実現した（図 - 1）。シンプルではあるが構造的に複雑なデザインを実現し，オープンスペースを確保するためには，ボンド型のポストテンショニングシステム（以降，PT システム）の採用が必要不可欠であった。しかし，性能用件を満たすために必要な PC 鋼材量と過密配置（図 - 2）が設計・施工において解決すべき課題となり，建築主・施工者・製造業者・専門工事業者・設計者間の綿密かつ迅速な連携により解決された。

2. 設計概要

2.1　キャンパス基本計画

ノバルティス社の想いは，世界でもっとも才能のある製薬医学の専門家を集め，高度な共同研究環境のなかで，最先端の医療分野の研究を行なうことである。この目的を果たすため，ニュージャージー州イーストハノーバーにある 77 ヘクタールの北米本社の生産施設を研究施設に移行することを決めた。それに応じて，ノバルティス社は多くの研究チームを，図 - 3(a) に示すようなセントラルパークを介して空間的かつ社会的に接続される“village”という一つのキャンパスに集約させる長期の全体計画の指針を作成した。ノバルティス社の構想は，個と集団のワークスペースのギャップを埋める環境を作り出すことであった。

図 - 1　施工中の建物
（ノバルティス社のがん研究センター）

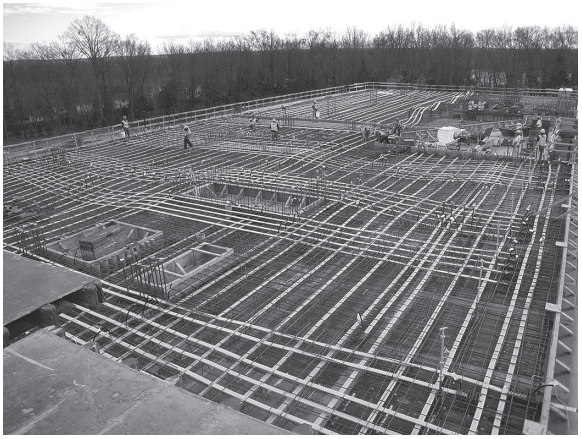
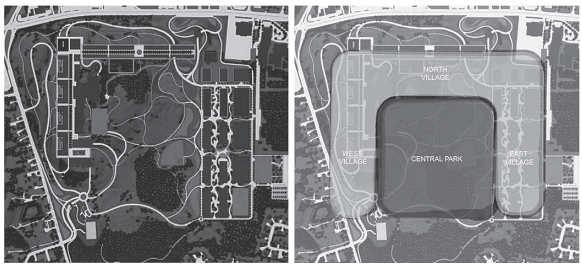


図 - 2　スラブの PC 鋼材ユニット配線状況

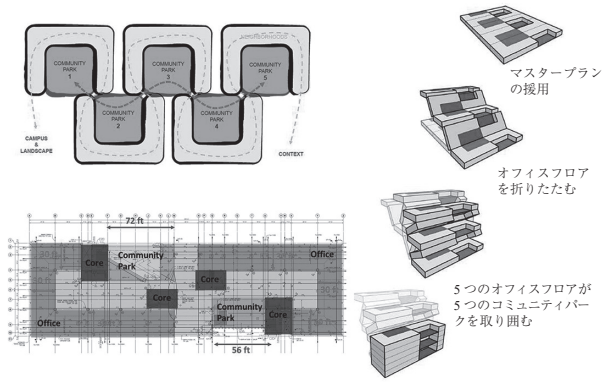
2.2　がん研究センターの設計コンセプト

設計者の槇文彦氏は，キャンパス基本計画の構想を建物のコンセプトにあてはめ，village を研究チームに，セントラルパークをコミュニティパークにそれぞれ置き換え，建物内で組織される個別のチームと協業ワークスペースの枠組みを提供した。その結果，図 - 3(b)に示すような建築面積 30 m × 102 m，5 階建てで 440 のワークステーションと関連する設備をもつ延床面積 17 190 m² の建物となった。

ノバルティス社の運用と望ましいチームアプローチ（訳者註：多様な職種がチーム形成し目標に向かって連携し，協働する技術）の研究に基づき，槇氏は各階での理想的なバランスと各チームのワークステーションエリア間の交流を促すため，約 50 人のチームを一つの階に配置し，2 階建てのコミュニティパークを介して接続することを提案した。槇氏のコンセプトの中心となるのは，研究チームが必要に応じて容易に再編成することが可能となり，縦方向のエリア間交流を創造することであった。オープンスペースを作り出し，キャンパス外の隣接する森林への見晴らしを強調するためには，ファサードから柱を大きくセットバックさせる必要があり，これは構造にとっては大きな課題であった。



(a)　キャンパスの基本計画



(b)　5 階建て構造の概念図

図 - 3　ノバルティス社の研究施設のプラン

3. 構造概要

3.1　構造システムの開発

この課題は，ニューヨークの Leslie E. Robertson Associates（LERA 社）の構造エンジニアが担当し，柱を支持する剛な領域では厚さ 508 mm で，外周部では 203 mm と次第に細くなるコンクリートフラットスラブシステムを検討し提案した（図 - 4）。跳ね出しのオフィスの床のたわみを制御し，効率的に引張鉄筋を配置するために，彼らはボンド型の PT システムを提案した。その結果，各フロアで外周部まで約 9.1 m の跳ね出しスラブ（図 - 5 に示すように角部までは 12.2 m になる）を有するコンクリート構造物が形成された。508 mm の厚さの内部スパンは，コミュニティパークの最大 21.9 m のロングスパンエリアにおいて構造上必要な厚さであった。

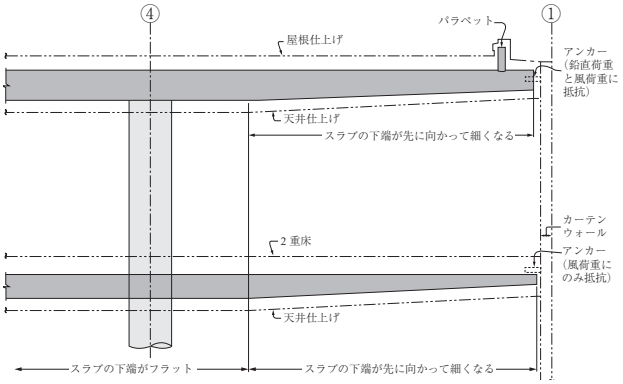


図 - 4　躯体断面図

図 - 5　12 m の跳ね出しスラブの角部

二方向ポストテンションスラブを採用することで，二方向の鉄骨造の剛接フレームの使用をやめ，費用を抑えることができる。コンクリートは耐火性もあり，仕上げを兼ねることができるので，このシステムでは構造スラブの厚さを最小限に抑え，天井高さとオープンなファサードを最大限にすることができた。さらに，直径 915 mm のコンクリート柱を建物内部に配置することで，柱の数を最小限に抑え，内部の人の循環経路を作り出した。

槇氏との率直で協調的な対話から，カーテンウォールの開発が必要であることがわかった。槇氏は開放性を確保するため，ファサードのマリオン（訳者註：建物外周部のガラスやパネルを支える縦枠材）を極力少なくすることを提案し，これにより幅 4.25 m，高さ 2.1 m のガラスパネルを使用することとなり，カーテンウォールと跳ね出しスラブの間の相互作用にはとくに注意を払った。マリオンを屋根スラブから吊り下げ，跳ね出しスラブの動きがカーテンウォールに影響を及ぼさないように，オフィスフロアには水平方向の支持材のみ配置した。カーテンウォールの追加の荷重を支持するために，屋根スラブの厚さを一般階のスラブ厚から 152 mm 増やした。

3.2　デザインの実現

とくにPC鋼材量が標準的なポストテンション方式フラットプレート構造の3倍以上となっているため，跳ね出しスラブの性能用件に，設計・施工上の特異な課題がもたらされた。ニュージャージーの建設市場では，構造用鋼を使うのがもっとも一般的であることが，本構造における実現の難易度をさらに上げた。建物の完成を成功させるためには，建築主と設計チームおよび施工者間の，綿密かつ迅速な連携が必要であった。

まず，建築主と施工者（PCメーカーと専門工事業者を含む）との話し合いを開始し，業務の詳細について説明し，PC鋼材やPC定着部の入手可能性など，実際に施工するにあたって彼らの意見を取り入れ，それを設計に組み込んだ。この地域の有力なコンクリート供給業者がPC工事請負業者に紹介され，信頼して仕事を一緒に行うことができた。スラブと柱には，この地域で新たに入手可能となった高強度コンクリート（55 MPa）を，さらなる効率化のため使用することとした。性能を向上させ，冗長性を確保できるシース管を有するポストテンションPCシステムは，費用対効果の高いものとしてPC工事請負業者に承認された。設計チームは，ポストテンション構造を前提に，現場での切断やコアドリル，あと施工アンカーを使わないよう，さまざまな建物システムを調整した。

跳ね出しスラブ先端のたわみ量は，設計上・施工上重要な考慮すべき事項であり，カーテンウォールの設置中および設置後のクリープ変形を知ることが重要であった。プレストレスによって，跳ね出しスラブの自重によるたわみを最小化することで荷重が均衡し，クリープによる長期たわみも抑制される。LERA社は，跳ね出しスラブの長期たわみを精度良く予測し，ファサード設置チームを支援するため，多重モデルを使った広範囲な解析を実施した（図 - 6）。これらのモデルには，Nilsonによるタイムステップ法とADAPT社が提示したPC構造解析手法が組み込まれている。加えて，長期たわみはACI規準に示される方法で計算されている。この方法は，ひび割れた鉄筋コンクリートの変形を推定するものであるが，これを最大予測変位の基準値として用いた。PCスラブは，ひび割れを発生させない設計としているため安全側の値となる。最終的に，これらのさまざまなモデルで計算された結果の値の範囲と，設計者判断を組み合せて，建物の挙動の予測値をカーテンウォールの設計コンサルタントに報告した。

長期たわみの計算値は，屋根スラブで最大38 mm，一般階のスラブで45 mmとなった。これらの値は，ファサードが取り付けられたあとの跳ね出しスラブの動きを示すもので，床仕上げの荷重によるたわみ，積載荷重，自重，プレストレス，仕上げおよびファサードの荷重によるクリープ変形を含んだものである。スラブは予測どおりに変形し，現場で計測された実際の変形は，予測値とよく合致していた。

3.3　ボンド型フラットPTシステムの採用

当初のデザインでは，橋梁で一般的に使用されるマルチストランドシステムを採用していたが，重いジャッキを必要とし，円形のダクトを使用していた。施工を急速化し，簡素化することができるXFボンドフラットスラブシステムが，CCLというPCメーカーから提案された。このPTシステムでは，5本の1S15.2のPC鋼材を収容でき（アンカー1本あたり670 ～ 890 kNの有効プレストレス力に相当），ストランド1本ずつを緊張することができる。フラットシステムに切り替えることで，通常のシングルストランドシステムと同様に緊張作業が大幅に簡素化された。さらに，このシステムを使うことで，アンボンドシングルストランドシステムと同様に偏心距離を大きく取れるようになった（図 - 7）。

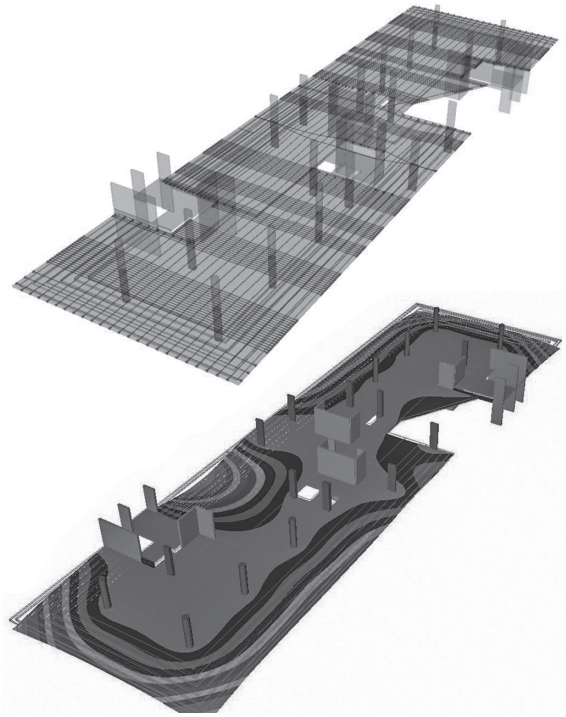


図 - 6　FEM解析による鉛直変形分布
（上：一般階のモデル，下：鉛直変形のコンター図）

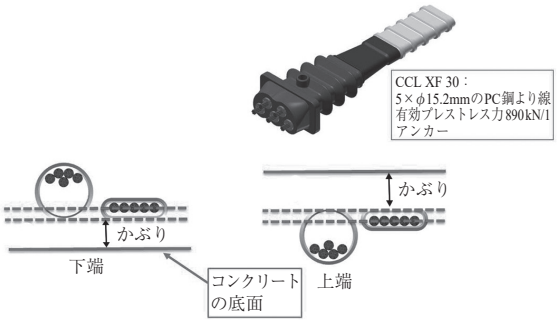


図 - 7　採用したPC定着具

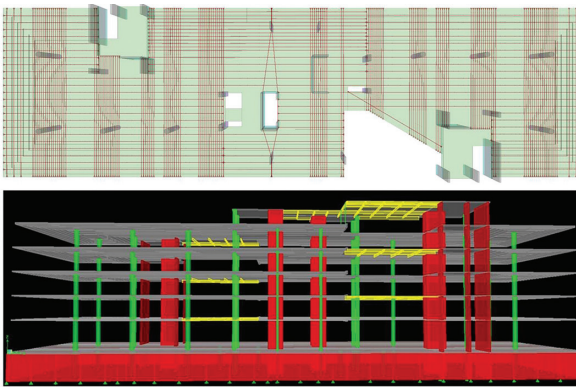
3.4　高プレストレスト力

各方向における必要な有効プレストレス力は，一般階で1 100 kN/m，屋根スラブで2 200 kN/mであった。通常のポストテンションスラブ構造はこのような大きな力ではなく，145 kN/m ～ 290 kN/mの間となる。建物の長い

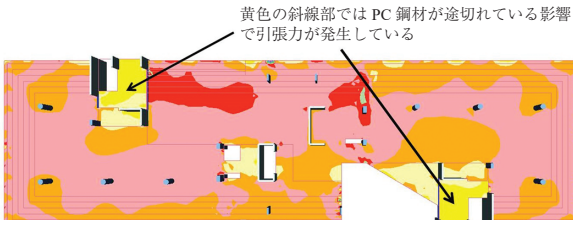
アスペクト比と相まって，このような大きな力が拘束力と有効プレストレス力の計算結果から必要となった。設計時および施工中に，圧縮力により生じるスラブの収縮と建物の挙動についての検討が行われた。

スラブの弾性変形および長期の収縮による拘束の影響を検討するために，平均有効プレストレス力を用いたスラブの 3 次元有限要素解析を行った（図 - 8(a)）。プレストレス力は，クリープや収縮の影響を考慮するために増加させ，長期間の拘束の効果を検証した。解析結果から，支点により収縮が拘束される条件は，プレストレス力の分布にほとんど影響を及ぼさないことがわかった。図 - 8(b) の黄色の斜線部分は，主にスラブの段差により PC 鋼材が途切れる結果生じる引張力であることを示している。この引張力に抵抗するために，これらの位置に補強筋を追加することとした。

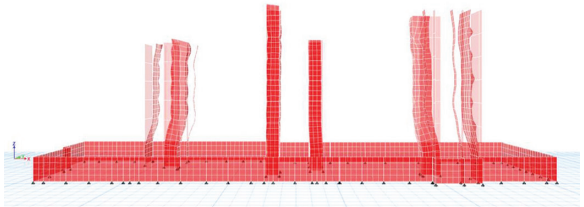
設計チームは，スラブの収縮が壁へ与える影響についても検証した（図 - 8(c)）。収縮を考慮した解析の結果，大きなプレストレスによる圧縮力が原因で，緊張時に耐震壁にひび割れが生じる可能性があることがわかった（緊張時にはスラブは支保工に支えられていて，プレストレス力はロスが無く最大となるので，壁に入る鉛直力が最小となる）。だが，プロジェクトチームでは，耐震壁の微細なひび割れの発生を許容したため，収縮を吸収するための特別なディテールは採用しないこととした。



(a)　解析モデル



(b)　スラブの主応力コンター



(c)　耐震壁の変形図

図 - 8　3 次元 FEM 解析結果（プレストレス力の影響）

最終的に，コンクリート施工業者がフロアを 3 つに分けて打設し，各工区でコア壁が中心になるように調整された緊張方法を提案した。この手順で，初期の拘束を最小化し，LERA の最初の建物フルモデルの解析よりも，収縮による拘束効果を小さくすることができた。

設計用の最終有効プレストレス力が確保されるように，PC 鋼材に沿った種々の断面と，異なる荷重組み合せでプレストレスロスの計算を行った。PC 鋼材をグラウトすることで，PC 鋼材と周りのコンクリートが一体化し変形するため，長期的なロスは，PC 鋼材の導入応力に依存する。場合によっては，平均プレストレスロスの値を取ることができるが，設計チームはより正確なプレストレスロスの算出を必要とした。これには，PC 鋼材の配置形状と長さ，長期的なプレストレスロスの評価が含まれる。最終的な有効プレストレス力の範囲は 155 ～ 174 kN で，最大誤差 10 % であった。これは非常に大きな値であり，このプロジェクトでは平均値を使うことは望ましくないことがわかる。

4. 施工概要

4.1　PC のディテールの課題

施工者，設計者と CCL 社は重要な箇所での施工ディテールについて協業した。重要なディテールとは，柱配筋の中を貫通するような，配筋が過密な箇所での PC 鋼材の配置や，カーテンウォール取付け用の埋込み金物があるスラブ端部の PC 鋼材定着部である。標準の柱配筋では，2 本のポストテンション PC 鋼材がおのおのの方向に，柱配筋内を通過するように設計された。継手部断面の鉄筋量を低減するために，重ね継手ではなく機械式継手を用いた。また，一部の柱は，配筋が密集した場所に PC 定着部を配置できるように，柱主筋量を減らした設計とした。

跳ね出し部分では，先細りのスラブで，PC 鋼材の配線とスラブの裏面の傾斜とを一致させる必要があった。CCL 社は 3D モデルを作って，跳ね出しの長さに沿って異なる断面位置での PC 鋼材を支持する台の高さを抽出し，通常のスラブと同様にスラブ底面からの PC 鋼材の高さを計測して施工できるようにした。

屋根スラブでは 2 190 kN/m の有効プレストレス力が必要となるが，柱を避けるための束ねた PC 鋼材の配置は適していない。柱を避けて束ねる方向では，各ダクトに 5 本の 1S15.2 の PC 鋼材をなるべく小さな間隔で並べたものが，中央（229 mm の高さ）に配置される。これは，25 本のダクト（125 本のストランド）が，幅 5.8 m（柱間距離の 55 %）のところに分布していることを意味する。その結果，柱を避けて束ねる方向の PC 鋼材と，それに直交した一様に配置できる方向の PC 鋼材が錯綜するのを避けられなかった。PC 鋼材を配置する詳細な手順が実際の施工を手助けするために提供された。PC 鋼材は非常に近接して配置されるため，柱を避けて束ねる方向の PC 鋼材の定着部を同じ高さに配置することもできなかった。ここでは，緊張時に割裂破壊に抵抗する定着部

の背面に大きなコンクリートブロックが存在したため，図 - 9 に示すように定着部の配列を千鳥の層状配置とした。スラブ内では同じ高さに配置させるため，スラブ端部で拡げて千鳥配置にして外へ出した。

4.2 PT システムのプレファブ化

このプロジェクトの工期は，ポストテンションスラブの一般的な施工工程を見込んでいなかった。PC 工事の量を考慮すると，PC 鋼材ユニットをプレハブ化することが理にかなっていた。CCL 社は施工者と協業して，プレハブステーションを設置し，PC 鋼材ユニット配線チームが型枠システムの設置中に同時に作業できるようにした。PC ストランドを所定の長さに切断し，カスタマイズされた装置でダクトの中に配置した。組み立てた PC 鋼材ユニットはスラブ上にクレーンで配置した（図 - 10）。ポストテンション協会（PTI）認定の資格保有者が常駐していたため，設置はスムースに行われ，問題も迅速に解決された。

4.3 グラウト

施工がニュージャージー州の冬の時期に行われ，予想気温が氷点下を大きく下回っていたため，グラウトの実施はとくに困難であった。PTI のグラウト工事の仕様によると，ダクト周囲のコンクリートの温度が，48 時間以内に 2℃を下回ると予想されるときには，通常のグラウト配合で適切な加熱を行わない場合には，グラウトを行ってはならないとされている。低温時のグラウト前，グラウト中およびグラウト後の手順を遵守することで，冬季にもグラウトを継続し，工期の遅延を避けることができた。

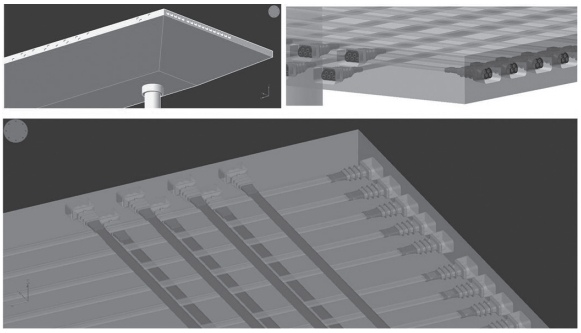


図 - 9　屋根スラブ内の PC 鋼材ユニットの配線

図 - 10　クレーンによる PC 鋼材ユニットの配置

5. ま と め

ノバルティス社のがん研究センターでは，透明性とオープンコラボレーションのテーマを，建物自体とその設計・施工において体現している。12.2 m の跳ね出しスラブと 21.9 m のロングスパンの空間を実現するためには，ボンド型の PT システムを使うことが必要であった。しかし PC 鋼材量とその過密配置が，工期の短さと相まって，設計・施工において困難な課題となった。この課題は，建築主，施工者，製造業者，専門工事業者および設計者らのオープンで複雑な共同作業によって克服された。

原　典

Douglas P. Gonzalez, Michael W. Hopper and Carol Hayek, “Banding Together to Reach Out”, Concrete International, vol.39, No.10, pp.23-29, Oct. 2010

参 考 文 献

「345 イースト ヴィレッジ プロムナード」，新建築　2015 年 1 月号，pp.76-83，新建築社

【2018 年 3 月 28 日受付】