

Banding Together to Reach Out

Teamwork and post-tensioning result in 40 ft cantilevers in the Novartis Radiation Oncology Building

by Douglas P. González, Michael W. Hopper, and Carol Hayek

Designed by Maki and Associates and architect of record Gensler, the 185,000 ft² (17,190 m²) Novartis Oncology Research Building reflects the fast-paced nature of innovation in healthcare research, a field in which it's common for teams to form and disperse within a matter of months. The building is an integral component of the campus master plan, which consists of five office and research facilities connected by a central park and oriented to promote freedom of movement. Its design incorporates the open environment concept into a five-story structure by reinterpreting the campus layout as a vertical campus of office neighborhoods, anchored by two-story "community parks" that link research teams on different floors.

To create a perimeter band of free-flowing workspaces with maximal views of the surrounding landscape, the designers significantly set back the columns from the façade, resulting in long-span cantilevers and large, column-free expanses (Fig. 1). The use of a bonded post-tensioning (PT) system was crucial to realizing the simple yet structurally complex design and achieving the desired open spaces. However, the quantity and density of PT (Fig. 2) necessary to meet performance requirements posed challenges in design and construction, met only through open, creative, and precise collaborative efforts between the owner, builders, manufacturers, installers, and designers.

Novartis Campus Masterplan

Novartis' corporate ambition is to gather the most talented pharmaceutical professionals in the world and place them in highly collaborative environments for cutting-edge medical research. To fulfill this aim, the company decided to transition the facilities at its North American headquarters, located at the 190 acre (77 ha) East Hanover, NJ campus, from manufacturing and production to research. Accordingly, Novartis developed a guiding long-term master plan that organizes many evolving teams into a singular campus of



Fig. 1: View of the Novartis Oncology Research Building during construction



Fig. 2: Workers place PT tendons in a floor slab

“villages” connected spatially and socially via a central park, as shown in Fig. 3(a). Their vision was to create a truly interactive campus environment that bridges the gap between individual and collective workplaces.

Oncology Building Architectural Concept

The design architect, Fumihiko Maki, applied the scheme of the campus master plan to the building concept, where the villages became neighborhoods and the central park became community parks, thus providing a framework for individual team and collective workplaces to be organized within the building. The result is a 185,000 ft² program developed within a 99 x 335 ft

(30 x 102 m) footprint and five floors, including 440 workstations and associated amenities, as shown in Fig. 3(b).

Based on research of Novartis’ operations and desired team approaches, Maki proposed that the ideal balance and interaction between individual team workstation areas on each floor would be created with two office neighborhoods, each with about 50 people, connected via two-story community parks. Central to Maki’s concept was the ability for research teams to easily reorganize as needed, unencumbered by vertical building structure. To accomplish the open space plan and accentuate the exposure to the nearby forests outside the campus, the building columns would have to be significantly set

back from the façade—a serious structural challenge.

Structural System Development

The challenge was met by the structural engineers at Leslie E. Robertson Associates (LERA), New York, NY, who studied and proposed variations of a concrete flat slab system that tapered in depth from 20 in. (508 mm) at strong column support zones to 8 in. (203 mm) at the perimeter (Fig. 4). To control deflections and provide efficient tensile reinforcement for the cantilevered office slabs, they also proposed a bonded PT system. The outcome is a repetitively formed concrete structure that cantilevers approximately 30 ft (9.1 m) to the side perimeters at each floor level (with a 40 ft [12.2 m] reach at the building corners, as shown in Fig. 5). The 20 in. thick backspans of the cantilevers provide the structural thickness for the long span areas (up to 72 ft [21.9 m]) of the community parks.

The use of two-way post-tensioned slabs helped to avoid the complexities and expenses of fabricating structural steel framing moment connections in two directions. By providing intrinsic fire proofing and finishes, the system also allowed the structural floor depth to be minimized and the ceiling heights and open façade to be maximized. As a bonus, the interior placement of the 36 in. (915 mm) diameter concrete columns minimized the number of columns and defined the interior circulation paths.

An open, collaborative dialogue with Maki informed the development of the curtain wall. To preserve openness, Maki wanted to limit the number of façade mullions, and this led to the use of 14 ft wide by 7 ft tall (4.25 by 2.1 m) glazing panels. Particular attention was given to the interaction between the curtain wall and cantilevers. Hanging the mullions from the upper roof slab with only lateral support provided by the office floors ensured that there would be no impact on the curtain wall system from the movement of the typical cantilever floor. To support the additional curtain wall loading, the roof



Fig. 3: Novartis facilities plans: (a) campus masterplan; and (b) Oncology Research Building stacking diagrams and floor plan

slab was increased by 6 in. (152 mm) over the typical floor thicknesses.

Realizing the Design

Performance requirements for the cantilevered slabs posed unique challenges in design and construction, particularly because the quantity of PT tendons was over three times the quantity of a typical flat-plate post-tensioned slab. The level of difficulty was compounded by the fact that structural steel is the most common system in the New Jersey market. The successful realization of the final building called for a carefully considered, precise, and creative collaboration between the owner, design team, and builders.

First, a dialogue was started with the owner and builders, including PT manufacturers and installers, to explain the job in detail and solicit their input on aspects of implementation, such as tendon and anchorage availability, that were incorporated into the design. Introductions were made between the major concrete trade contractors in the area with PT contractors so that they could work together with confidence. High-strength concrete (8000 psi [55 MPa]), newly available in this market, was specified for the slabs and columns for further efficiency. The specified bonded tendon system, with grouted ducts to enhance performance and achieve redundancy, was endorsed by the PT contractors as being cost-effective for this structure. The architectural team coordinated the various building systems with the post-tensioned structure to ensure that field cutting, core drilling, and post-installed anchors would not be regularly required.

Deflection of the cantilevered slab edges was a major design and construction consideration, and understanding creep movement during and after the installation of the curtain wall was critical. The load balancing effect from PT minimizes the cantilever deflections due to the slab's self-weight, and it helps counteract long-term deflection due to creep. LERA performed extensive analyses, using multiple models, to best predict the

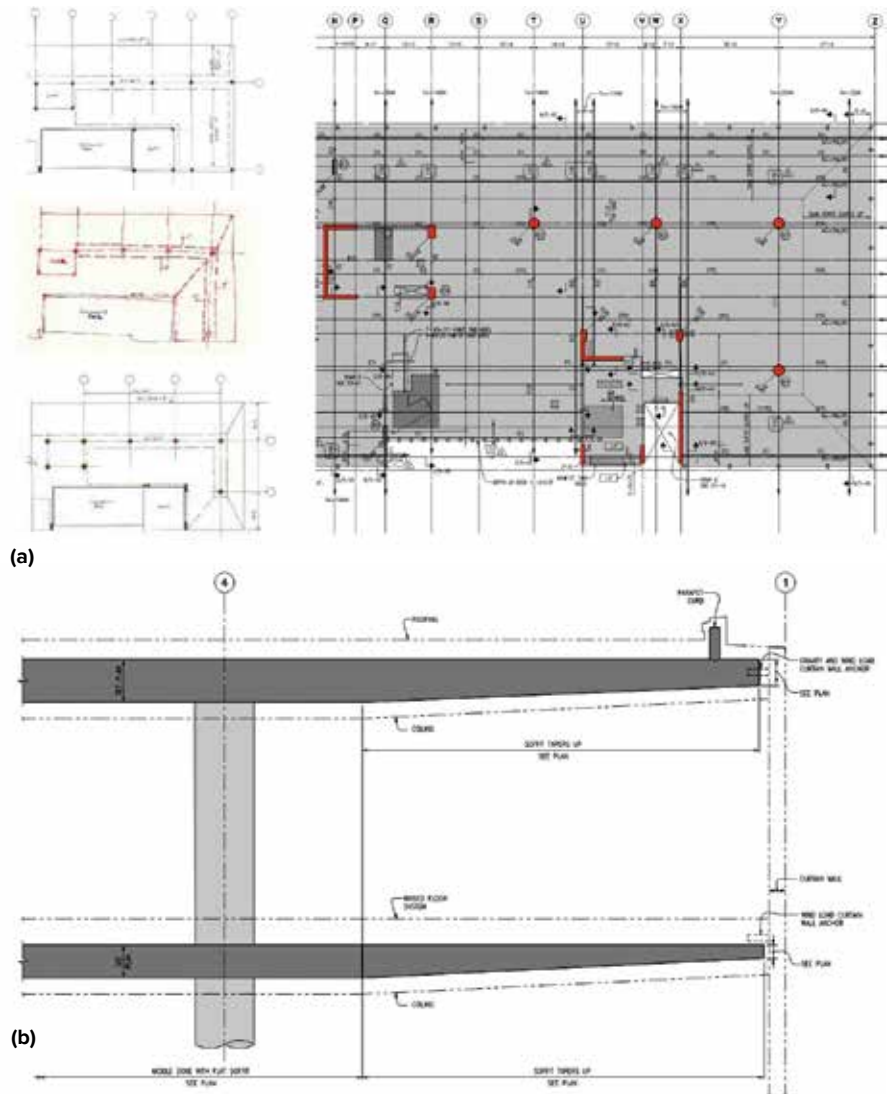


Fig. 4: Structural concept development: (a) flat slab system; and (b) typical floor and roof cross sections



Fig. 5: View of 40 ft (12 m) cantilever at corners

long-term deflections of the cantilevered slabs and assist the team in coordinating façade installation (Fig. 6).

These models included the time-step method by Nilson,¹ and an approach for PT structures as presented by ADAPT Corporation.² Additionally, long-term deflections were calculated using the method provided in the ACI 318 Code.³ The method, intended for estimating deformation of cracked, reinforced concrete, was used as a benchmark for maximum

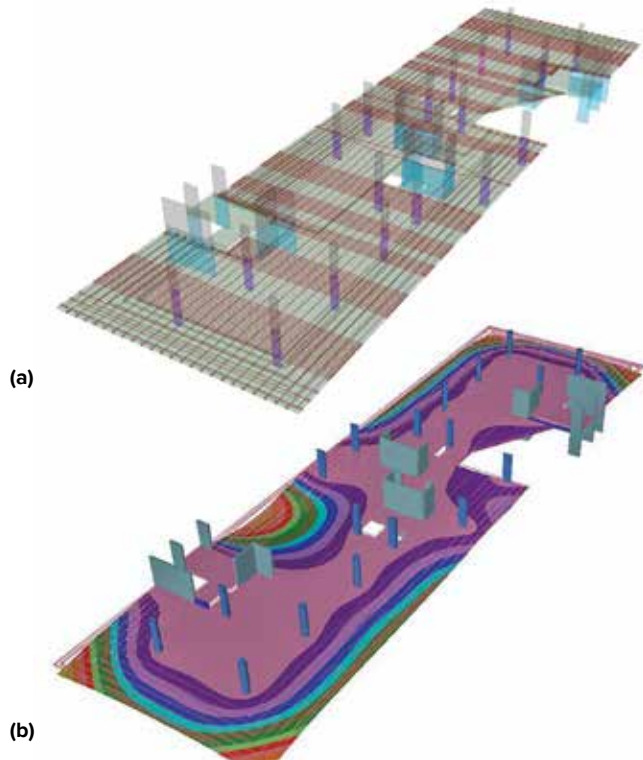


Fig. 6: Deflection analyses were conducted using finite element models: (a) model of a typical floor; and (b) example graphical output showing maximum deflections at corners and long-span region. Calculated maximum long-term deflections, including creep associated with self-weight, PT effects, finishes, and façade, were 1.5 and 1.75 in. (38 and 45 mm) at the roof and typical floor, respectively

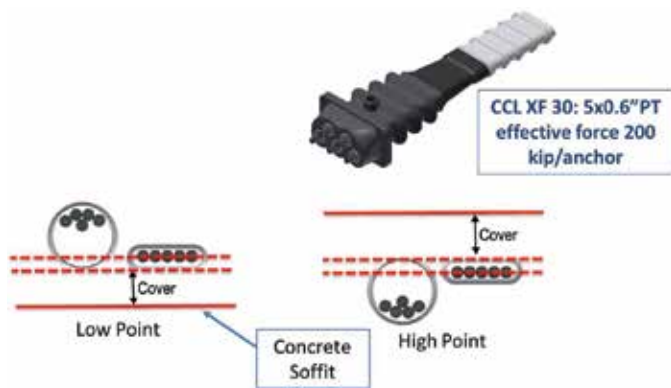


Fig. 7: The selected PT system comprises flat ducts. In contrast to circular ducts, flat ducts result in more efficient tendon eccentricities at both the high and low points in the tendon profile

predicted deflections. Because the PT slabs were designed to be uncracked, it was an appropriate upper-bound estimation. In the end, these various models provided a range of calculated values, and were combined with engineering judgment to report expected building movements to the curtain wall design consultant.

The maximum calculated long-term deflections are 1.5 in. (38 mm) at the roof slab and 1.75 in. (45 mm) at the typical floor slabs. These values characterize the movements of the cantilevers occurring after the façade is installed, and they include the instantaneous deflections from the weight of the finishes and the live loads, as well as the creep effects from the self-weight, PT, and finish and façade weight. The slabs performed as expected, with the site-measured deflections correlating well with the time-dependent calculated values.

Choice of Bonded Flat Tendon System

The initial design called for a bonded system, similar to the one used for bridges, using circular ducts that require heavy multi-strand stressing equipment. To speed up and facilitate the construction process, the PT system supplier, CCL, proposed an alternative PT system using its XF bonded flat slab system. This PT system can accommodate five, 0.6 in. (15 mm) diameter strands—equating to an effective PT force (after all losses) between 150 and 200 kip (670 and 890 kN) per anchor—and allows the strands to be individually stressed. The switch to the flat system simplified the stressing operation significantly so it would be similar to normal monostrand applications. In addition, the use of this system yielded efficient tendon eccentricities close to those attained with an unbonded monostrand system at both low and high points (Fig. 7).

High PT Forces

In each direction, the required PT forces after all losses were 75 kip/ft (1100 kN/m) with 315 psi (2.17 MPa) in precompression at the typical floors and 150 kip/ft (2200 kN/m) with 480 psi (3.30 MPa) precompression at the roof. Such forces are not typically encountered in PT slab construction, where forces are normally in the range of 10 to 20 kip/ft (145 to 290 kN/m) with precompression values between 125 and 300 psi (0.860 and 2.07 MPa).^{4,5} Coupled with the long aspect ratio of the building, these high forces necessitated thorough restraint and PT loss calculations. Studies were conducted in design, and again during construction, to evaluate the effects of precompression on slab shortening and building movement.

To study the restraint impacts from elastic and long-term shortening of the slabs, the average effective PT forces were applied to three-dimensional (3-D) finite element models of the slabs (Fig. 8(a)). The PT forces were scaled up to account for creep and shrinkage effects to study the impacts from restraint over time. The analyses showed that the restraint of shortening imposed at the supports had only a minor impact on the PT force distribution. The yellow shaded areas in Fig. 8(b) highlight tensile forces that are predominantly the

result of the terminating PT tendons at slab steps. Additional reinforcing bars were provided at these locations to resist the tensile forces.

The design team was also concerned about the effect of slab shortening on the walls (shown in Fig. 8(c)). The shortening analysis results showed that the high precompression forces could potentially crack the shear walls at the time of stressing (at that time, there would be little gravity load because the slabs were shored, and the PT force would be at its maximum). However, it was decided that special shortening relief details were not necessary because the project team could live with the minor cracking in the core walls.

Ultimately, the concrete contractor proposed using three placements per floor and using a stressing sequence that was coordinated to centrally locate the core walls within each placement. This sequencing minimized the initial restraint and resulted in less shortening restraint effects than indicated by LERA's initial full-building analysis.

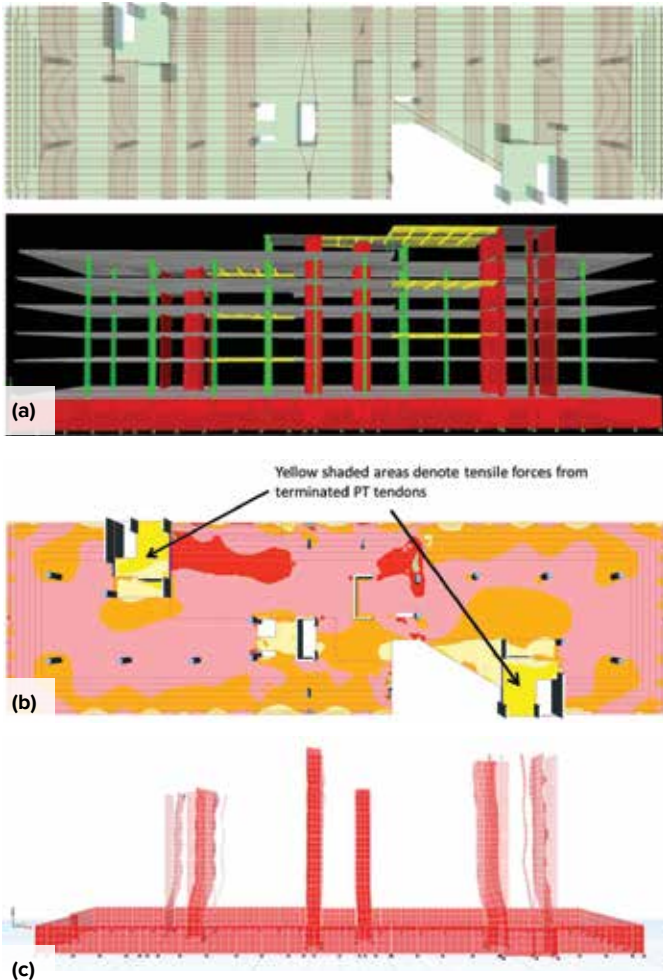


Fig. 8: Three-dimensional finite element analyses were also used to study the effects of the high precompression forces in the slabs: (a) model schematic; (b) example graphical output showing effects of shear walls on slab stresses; and (c) output showing magnified deformation of the shear walls

To ensure that the specified final effective PT forces were met, losses were calculated at various sections along the tendons and under different load combinations. Long-term losses depend on the applied stresses at the tendon level because the strands are grouted⁶ and have the same deformation compatibility as the surrounding concrete. While in some instances average PT losses can be taken, the design team felt a more accurate PT loss calculation was warranted. This included evaluating horizontal sweeps and different tendon profiles and lengths, as well as evaluating long-term losses. The final effective forces ranged from 35 to 39 kip (155 to 174 kN), representing a 10% maximum variance. This is quite a high value, showing that averaging would have been unsuitable for this project.

PT Detailing Challenges

The contractor, the design team, and CCL worked together on construction details at critical locations. Critical details included placement of PT tendon at congested areas such as through column cages, as well as placement of PT anchorage at the slab edges, where they had to be coordinated with curtain wall embeds. Typical column reinforcement cages were detailed to allow two bonded PT tendons to pass through



TCI

Technical Consultants, Inc.
is now offering the

Fietz Concrete Tester

Anywhere you need it!

The **newest** test method for in-place strength testing and evaluation of concrete structures is now available.

The Fietz Concrete Tester uses traditional engineering principles with current technology to get you the **strength test results from hard to reach locations.**



Use inside any void or opening as small as a four inch hole from core sampling. Test with no cutting, noise, waste, repairs or waiting.

www.FietzConcreteTester.com

the cage in each direction. Mechanical couplers were required for the columns' vertical bars to limit the reinforcement ratio at splices. Some columns were designed with certain vertical bars omitted to permit the placement of PT anchors at congested locations.

At the cantilever areas, the tapering slab required coordination between the tendon profile and the sloping soffit. CCL built a 3-D model to extract the PT chair heights at different sections along the cantilever length, allowing the construction team to measure the profile heights from the bottom of the slab, as is typical for slabs with horizontal soffits.

As the roof slab required 150 kip/ft precompression, it was not feasible to have a typical banded-uniform tendon layout. In the banded direction, the PT tendons with each duct housing 5 x 0.6 in. strands were spaced as close as possible at 9 in. (229 mm) on center. This meant that 25 ducts (with a total of 125 strands) were spread across a width of 19 ft (5.8 m), occupying about 55% of the bay width. Consequently, weaving of the PT tendons between the banded and the uniform direction was unavoidable. A detailed tendon installation sequence was provided to assist with the installation. Because the tendons were so closely spaced, fitting the PT anchors in the banded direction in one layer was also not achievable. A detailing configuration for the anchors

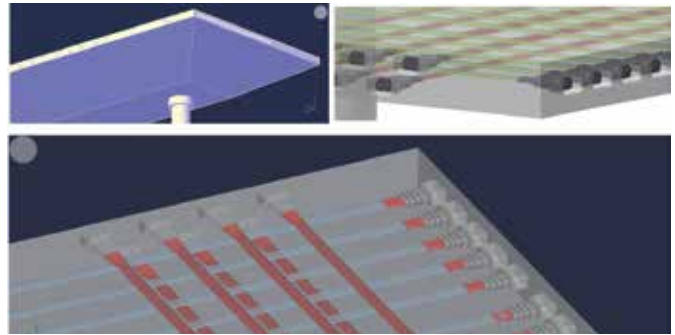


Fig. 9: Tight spacing of the banded PT tendons made it necessary to weave the PT tendons and configure the anchors in a zigzag layered pattern

in the form of a zigzag layered pattern (Fig. 9) made the anchor placement possible while still providing a sizeable concrete block behind the anchors to resist bursting during stressing. The PT tendons were then flared out from the slab edges to form one layer within the slab.

PT Prefabrication Station

The project schedule did not allow for typical construction practices seen in PT slabs. With the amount of PT involved, it made sense to have tendons prefabricated. CCL worked with



ACI Resources for Contractors and Craftsmen

Contractor's Guide to Quality Concrete Construction, now available in text and audiobook versions.



Order Code: ASCCI05 (Text format)
 ASCCI05S (Spanish text)
 ASCCI05CD (CD format)
 ASCCI05MP3 (MP3 format)
Price: \$68.50 (ACI members \$41.00)
Format: Text, 6-CD set, or MP3 (Both audio formats include a 75-page printed book of photos, figures, tables, and checklists)

Spanish text version available now!

The best-selling Contractor's Guide to Quality Concrete Construction is now available in CD and MP3 audio formats. Educate yourself or your employees on quality concrete construction techniques and practices while waiting in a vehicle, traveling to and from work, or running between projects.

Concrete Craftsman Series 1 — Slabs-on-Ground

Order Code: CCS110
Price: \$37.00 (ACI members \$22.00)

This primary reference for the ACI Concrete Flatwork Finisher and Technician Certification programs was completely revised and rewritten in 2010. The third edition includes more of the up-to-date information that concrete craftsmen need to know to produce quality flatwork.



**Order today! www.concrete.org
 +1.248.848.3800**



Fig. 10: Tendons were assembled and then lifted onto the slab formwork

the contractor to set up a prefabrication station and train a team of installers so that they could work in parallel while the formwork system was being placed. Strands were cut to length and placed in PT ducts using customized PT equipment. The assembled tendons were then lifted onto the slab (Fig. 10). The full-time presence of a Post-Tensioning Institute (PTI)-certified supervisor was effective in ensuring that the installation ran smoothly and site issues were promptly solved.

PT Grouting

Grouting was particularly challenging, as the project was constructed in the wintertime in New Jersey, with expected temperatures falling well below freezing. Per the PTI grouting specification,⁷ when temperatures in the concrete surrounding the ducts are expected to fall below 35°F (2°C) within 48 hours, no grouting should be carried out with normal grout mixture and without proper heating. Cold weather procedures before, during, and after grouting were put in place so that the grouting operations could continue through the winter season and prevent project delays.

Conclusions

The Novartis Oncology Research Building embodies the themes of transparency and open collaboration, in the structure itself and in its design and construction. The use of a bonded PT system was critical to achieving up to 40 ft cantilevers and 72 ft spans. However, the quantity and density of PT required, in combination with an accelerated project schedule, posed a difficult challenge in design and construction — a challenge that was only overcome through an open, intricate collaborative effort between the owners, builders, manufacturers, installers, and designers.

References

1. Nilson, A.H., *Design of Prestressed Concrete*, second edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1987, pp. 346-347.

2. Aalami, B.O., “Deflection of Concrete Floor Systems for Serviceability,” ADAPT Corporation, Redwood City, CA, 2008, 28 pp.
3. ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (ACI 318R-05),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2005, Ch. 9, Par. R9.5.2.5, p. 113.
4. “PTI DC20.9-11: Guide for Design of Post-Tensioned Buildings,” Post-Tensioning Institute, Farmington Hills, MI, 2011, 73 pp.
5. ACI Committee 423, “Recommendations for Concrete Members Prestressed with Unbonded Tendons (ACI 423.3R-05),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2005, 21 pp.
6. Kelley, G.S., “Prestress Losses in Post-Tensioned Structures,” *PTI Technical Notes*, No. 10, Sept. 2000, 6 pp.
7. “PTI M55.1-12: Specification for Grouting of Post-Tensioned Structures,” Post-Tensioning Institute, Farmington Hills, MI, 2012, 60 pp.

Selected for reader interest by the editors.



Douglas P. González is an Associate Partner at Leslie E. Robertson Associates (LERA), New York, NY. He is Past President of the Structural Engineers Association of New York (SEAoNY) and has served on the SEAoNY Board since 2011. He is a member of the Post-Tensioning Institute (PTI). He previously led the ASCE Metropolitan Section Structures Group, and he has assisted

the NYC Building Department with their update of the building code. He received his MS from Cornell University, Ithaca, NY, and his BE from The Cooper Union, New York, NY.



Michael W. Hopper is an Associate at LERA. He is a member of PTI and the Structural Engineers Association. He received his MS and BS in architectural engineering from Pennsylvania State University, University Park, PA.



ACI member **Carol Hayek** is Chief Technical Officer at CCL International, Jessup, MD, and a lecturer on prestressed concrete design at Johns Hopkins University, Baltimore, MD. She is Chair of Joint ACI-ASCE Subcommittee 423-F, Sustainable Prestressed Concrete, and a member of Joint ACI-ASCE Committee 423, Prestressed Concrete. She is a Fellow of PTI, a member of the

PTI Technical Advisory Board, and Chair of the PTI Building Design Committee. She is also a member of *fib* Commission 5 Reinforcements. She received her MSE and PhD in civil engineering from Johns Hopkins University and her MBA from ESA Business School, Beirut, Lebanon, in partnership with ESCP Business School, Paris, France.

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・性能要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

横事務所と 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、性能要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)

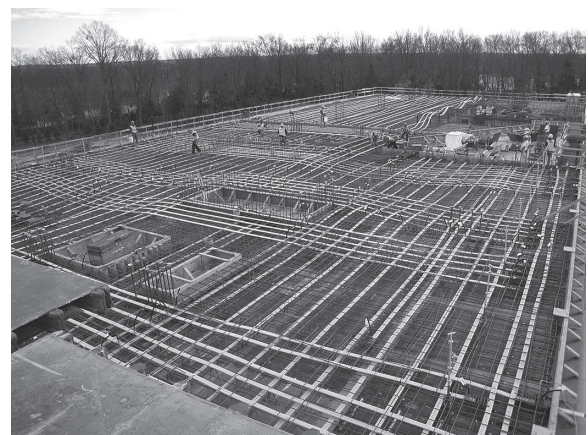
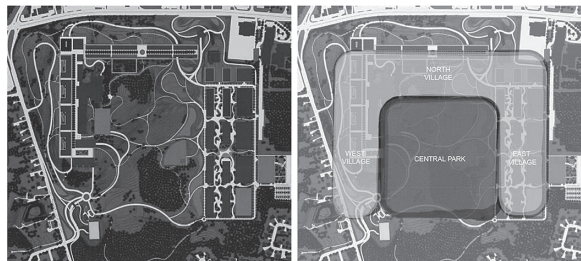


図 - 2 スラブの PC 鋼材ユニット配線状況

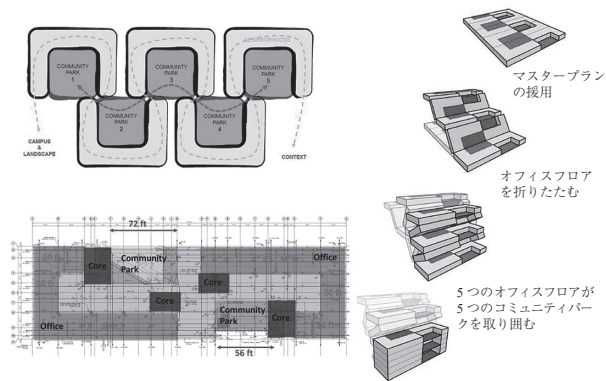
2.2 がん研究センターの設計コンセプト

設計者の横文彦氏は、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30m×102m、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17190m²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、横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。横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508mmで、外周部では203mm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9.1mの跳ね出しスラブ(図-5に示すように角部までは12.2mになる)を有するコンクリート構造物が形成された。508mmの厚さの内部スパンは、コミュニティパークの最大21.9m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。

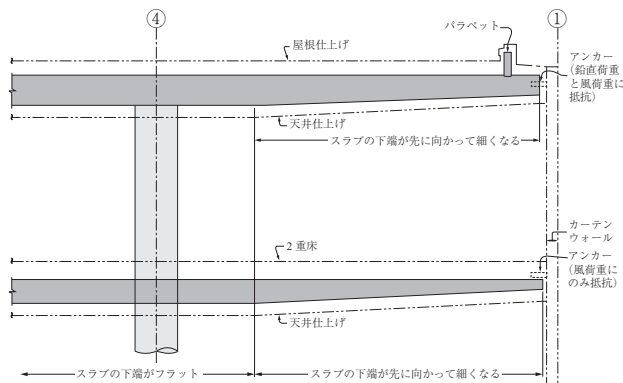


図-4 躯体断面図



図-5 12m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、天井高さとお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915mm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。

横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。横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4.25m、高さ2.1m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152mm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要件に、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わせ、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。施工を急激に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）。

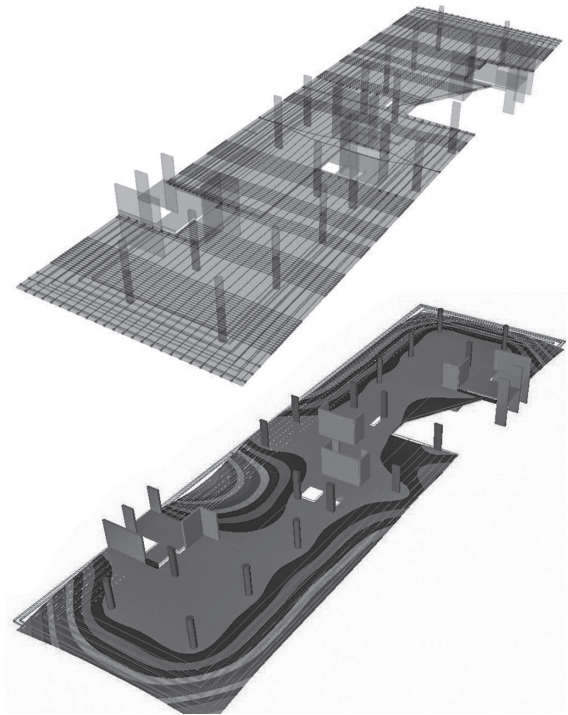


図-6 FEM解析による鉛直変形分布
（上：一般階のモデル，下：鉛直変形のコンター図）

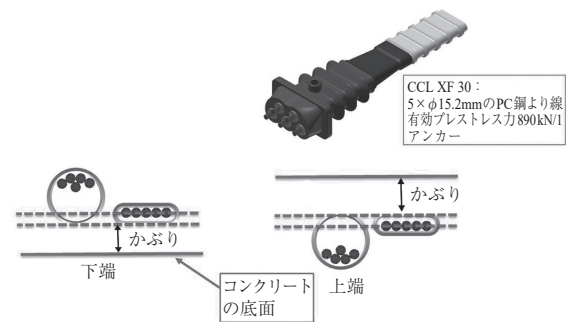


図-7 採用したPC定着具

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1100 kN/m、屋根スラブで2200 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。

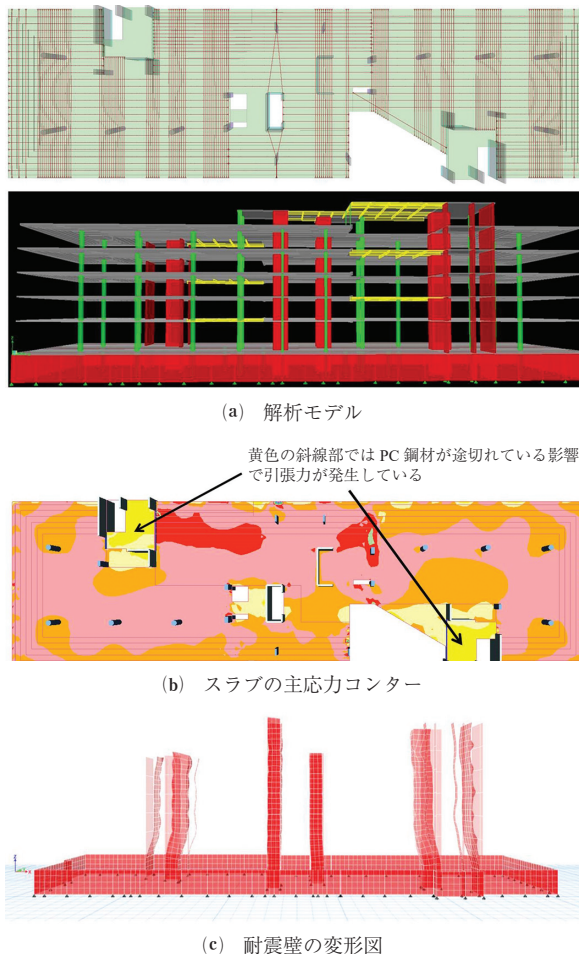


図-8 3次元FEM解析結果(プレストレス力の影響)

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、異なる荷重組み合わ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鋼材がおおの方向に、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2190 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

○ 海外文献 ○

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、スラブ端部で広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trand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、設置はスムーズに行われ、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。

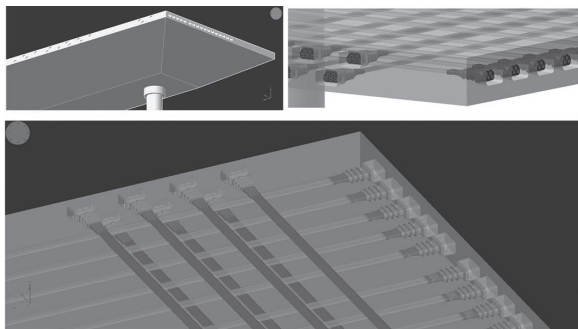


図 - 9 屋根スラブ内の PC 鋼材ユニットの配線



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】