

スチールデザイン

No.18



大林組技術研究所本館

設計施工
大林組

編集委員

委員長：高梨 晃一（東京大学名誉教授）
委員：隈 研吾（建築家）
委員：佐々木睦朗（構造家）
委員：手塚 貴晴（建築家）
委員：西沢 立衛（建築家）
委員：馬場 璋造（建築評論家）
委員：伏見 光雅（新日本製鐵）
委員：佐藤 嘉昭（新日本製鐵）
委員：藤澤 一善（JFE スチール）
委員：高木 伸之（JFE スチール）
委員：金子 悦三（住友金属工業）
委員：北 芳男（神戸製鋼所）

スレンダーな 超高強度鋼柱が 大規模空間を支える

大西宏治（大林組設計本部建築設計部）
山中昌之（大林組設計本部構造設計部）
金子悦三（編集委員・司会）

東京都清瀬市にある大林組技術研究所。天井高6.4m、2層吹き抜けのワンルーム型ワークプレイスに、200人が一堂に会して研究を行う。ここには、研究者の頭脳が結集する施設にふさわしい、さまざまな最新設備や機能が考えられている。大空間を支える超高強度鋼柱や、世界初のスーパーアクティブ制震システムについてお話をうかがった。

200人の研究員が 集まる大空間

まず最初に、この大林組技術研究所の建設に至った経緯と設計コンセプトをご紹介します。

大西 ●大林組技術研究所は、もともとこの東京都清瀬市にありますが、今までは敷地内に研究部門ごとに別々の建物を持っていました。例えばコンクリート系だったらコンクリート系の、環境系なら環境系の建物があって、おのおのの研究員がそれぞれの建物で研



大西宏治氏

究活動を行っていました。

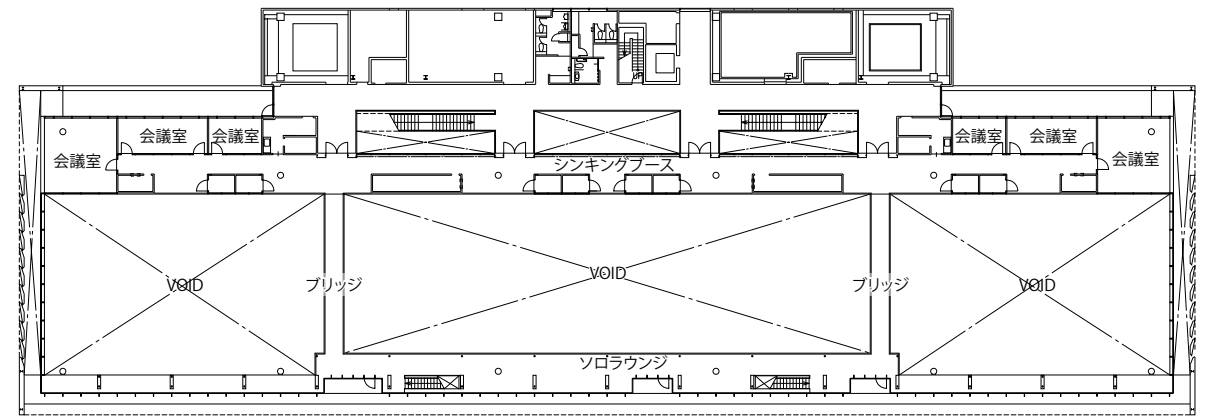
ひとりのスペシャリストをつくり、ひとつの研究をとにかく追求するという意味では、それで良かったのかもしれませんが、最近は、お客様の求めているものがより多様になってきたり、スピードが求められたり、柔軟なことを考えていかなければならなくなってきました。2007年くらいから異分野の壁を取り払って、ちゃんと広い視野で物ごとを見て、いろいろなコミュニケーションをとった上で研究をするべきだろうという話が出まして、そういったコンセプトメイキングのワーキングを立ち上げて、「じゃあ、何をしなければならないのか」を会社として取り組み始めました。

そこで出てきたのが今まで13部門だった研究部門を4つに再編し、研究員を1ヵ所に集めて、とにかく顔が見える状態の空間で、良質なコミュニ

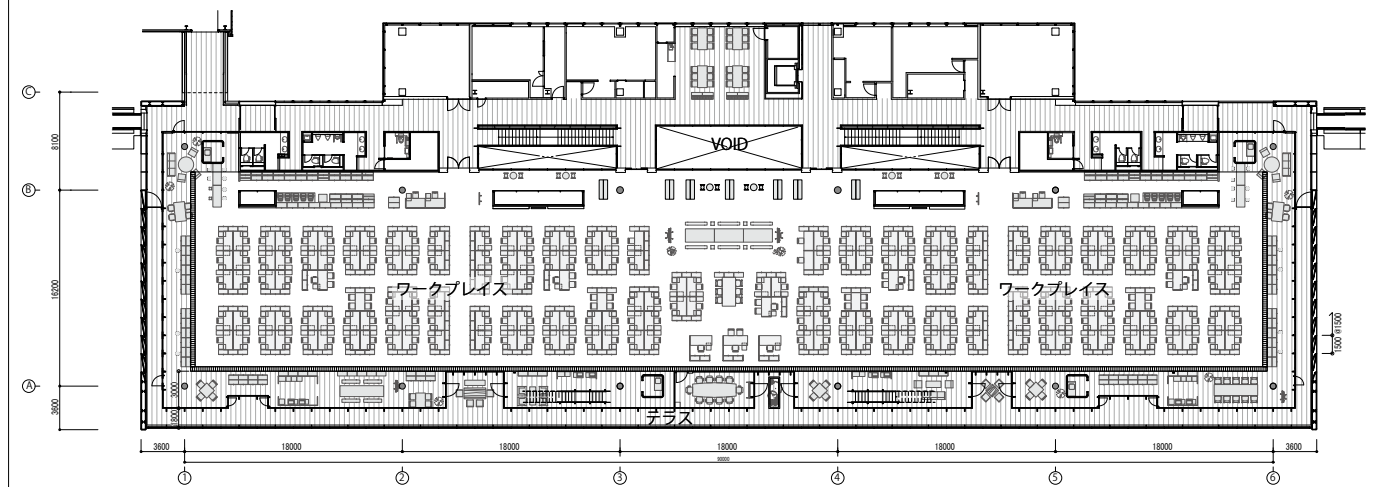
ケーションを取り、ニーズにふさわしい研究を世の中に生み出していこうという「センターオフィス」の新築計画でした。

この敷地の中にいくつか実験棟も残っていますが、200人の研究員が全員集まれるスペースの実現に向けて、様々な案をつくりました。2階建て、3階建て、4階建てと案をつくった中で、異分野の垣根を取り払うのだったら、全員の顔が見渡せるようなひとつの大空間をつくって、そこでいろいろと発見があったり相互触発が生まれることを意図しようと、こういった非常に大きなワンルームでワンボックスのワークプレイスにたどり着いた訳です。

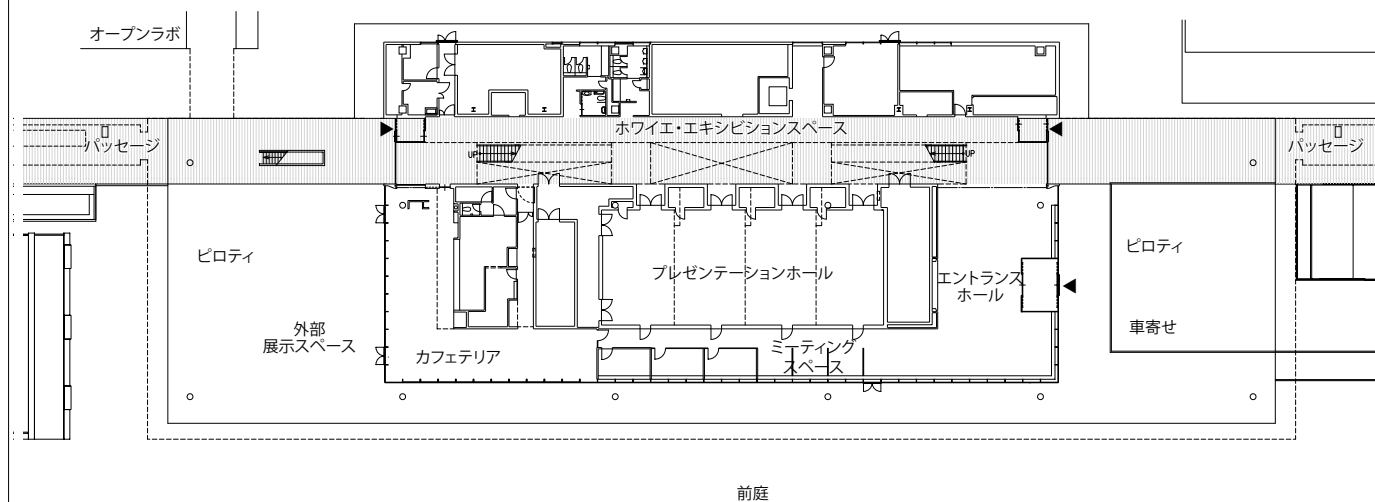
ワークプレイスの天井高は6.4mで、奥行きが90m、幅が約18mですが、この中に役員クラスの所長も含めて約200人が同じ空間に全員集まっています。



3F平面図



2F平面図



1F平面図



3つの特徴で 成り立つ

大西●この建物の特徴は、研究員のコミュニケーションや全員の一体感を高めるための開放感と視認性の高さにあります。ですから、邪魔になるようなものを一切省くために、かなりスリムな構造体を採用しています。

それに加えて、最先端の安全な建物にしようということと、最先端の環境配慮を取り込もうということをメインテーマとしました。安全という意味では、「ラピュタ2D」という世界初のスーパーアクティブ制震を採用しました。地震動と逆位相に力を加えて、地面が動いても建物は静止した状態になるというものです。

最先端の環境配慮という意味では、自然光を最大限に利用したタスク・アンド・アンビエント照明であったり、非常に大きな気積なので、本来一律に空調してしまうと、ものすごいエネルギーロスになるところを、タスク・アンド・アンビエント空調でエリアを分けて、必要なところだけちゃんと空調したりしています。

研究所ということもあり、クールビズで知的生産性を落としてはいけないという趣旨の下、省エネに配慮しながらも快適性は損なわないように、パー

ソナルエリアは28℃ではなく、26℃に設定しています。こういった快適性と省エネを両立しながら、省CO₂、55%を達成しています。CASBEEもSで、BEE値7.6というかなり高い数値で取得しています。

このように大きく、「コミュニケーション」、「安全・安心」、「環境配慮」、この3つで成り立っているのがこの建物です。

開放感と一体感を 感じる空間

大西●デザインの点では、先ほどの無駄なものを一切省いて、開放感や一体感を高めようという趣旨から、かなり構造のスパンを飛ばして18m×16mスパンの無柱空間としました。

2層吹き抜けの、2階にはワークプレイス、3階には会議室やブラウジングエリアがあります。ブリッジが上空に2本通っていますが、これも、普通にやってしまうと視界が通らなくなって一体感を損なってしまうので、高じん性高強度モルタル材を使用した先端35mm、桁行で335mmという非常に薄いブリッジを採用しました。

このように技術をうまくデザインに取り込んで、コンセプトにふさわしい空間をつくれたかなと思います。



トップライトを BIMでシミュレーション

3階の通路から2階のワークプレイスを拝見しましたが、とても開放的でしかも明るいですね。

大西●ワークプレイスの梁せい900mmの大梁と大梁の間にどうやってトップライトをとるかという問題がありました。

最初の設計の時は、南北方向にトッ

プライトをとっていましたが、そうすると、南側から直射日光が入ってしまい、パソコンのモニターが見にくかったり、グレアが出たりしてしまうのです。

そこで東西方向にトップライトの向きを変更し、北側からの安定した光を拡散させて落とすと常にグレアがないことをBIM（ビルディング・インフォメーション・モデリング）のデータを使って検証しました。BIMに全ての

情報を入力して、直射日光が真夏の一番低い高度で北側に回り込んだときに、ちゃんと拡散できるのかどうかなど、シミュレーションをかなりやって検証していきました。

最終的には北向きのトップライトを設けて、回折反射をさせながら採光しています。きょうも天気がとても良いので、実は照明はまったくつけていません。

超高強度鋼 H-SA700 を 使用したCFT柱

構造計画について説明していただけますか。

山中●この本館の建物は東西方向で95m、南北方向で35m程の細長い整形な形状をしており、上部は基本的に鉄骨造ラーメン構造です。特に2階のワークプレイスを開放性の高い空間とするために必然的にロングスパン架構

となり、鉄骨造の大梁と、できるだけスレンダーな柱とするために、表面は肉厚25mmの超高強度鋼（H-SA700）、中身は超高強度コンクリートを組み合わせた超高強度CFT柱の架構を採用しました。また1階の大梁は鉄骨鉄筋コンクリート梁として剛性を確保しています。

この大空間は驚くほど細い柱で支えられています。

大西 ● 通常だと800φくらい必要なところを500φで収めて、かなりスレンダーにしました。

H-SA700は国の「革新的構造材料を用いた新構造システム建築物研究開発プロジェクト」で開発されたもので、ここが最初の適用建物だそうです。

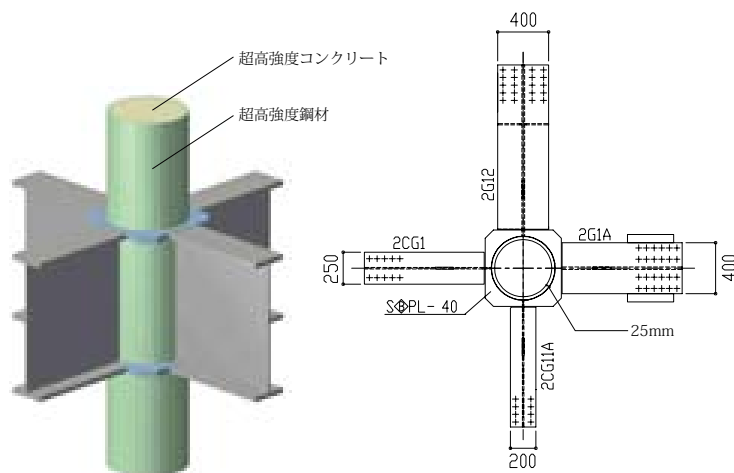
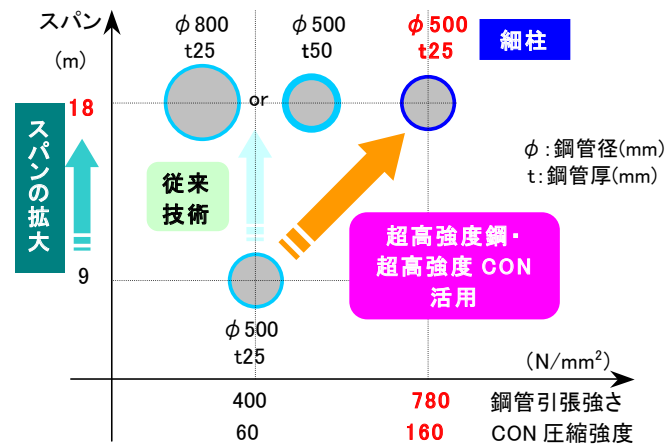
この材料を使うことになった動機は何なのでしょう。

山中 ● 自社の技術研究所の本館に適用しますので、構造技術にしても、構造材料にしても、最先端のものを使いたいという気持ちは最初から強く持っていました。また建築計画的にも柱をできるだけ細く見せたいという要望があり、鉄は当時使用できる中で一番強度の高い鉄、コンクリートも一番強度の高いものを使いたいと思っていました。

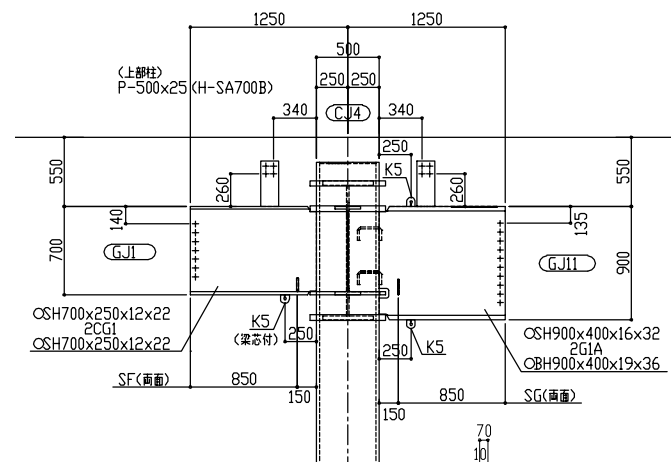
CFT柱は、鋼管柱の内部にコンクリートを充填した構造形式で、それぞれの材料の長所をあわせ持つ優れた柱部材です。鋼管に使用したH-SA700という鋼材の降伏強度は700N/mm²以上あり、一般的に使われている鋼材が325N/mm²ですので2倍以上の強さを持っています。コンクリートも通常使われる80N/mm²クラスの2倍の設計強度で160N/mm²という高強度のものを使いました。実験室レベルで



山中昌之氏



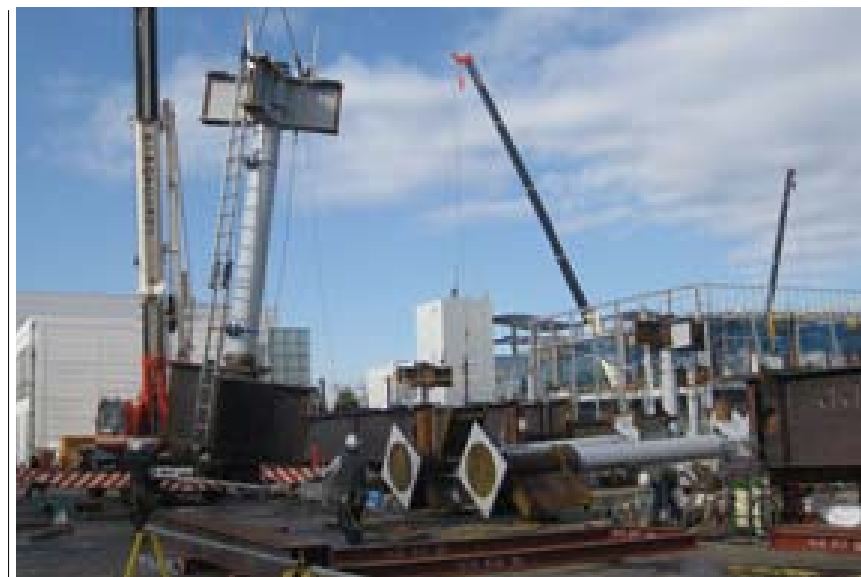
CFT柱構成図



CFT柱接合部詳細



鋼管柱継手の現場溶接状況



は200N/mm²近くまで強度が出ることを確認しています。

超高強度のCFT柱を適用することにより、本館のメインとなる研究員のワークスペースを2層吹き抜けて18m×16mの大スパンを実現しています。柱の径も500mmと従来強度の6～7割に細くすることができました。

柱梁接合部など、H-SA700の取り扱いのところはどうなっていますか。

山中 ● H-SA700鋼管の柱梁接合部は外ダイヤフラム形式です。ダイヤフラムには大梁と柱の中間の降伏点440N/mm²の鋼材を使っています。各柱の下に免震積層ゴムを設置しており、柱のベースプレートが積層ゴムのフランジプレートに直接接している納まりにしています。

鉄骨加工や施工面で留意された点がありますか。

山中 ● 特に溶接部の品質確保には気を使いました。溶接材料も通常に使うものではないので、事前に十分に検討することにしました。工場で人が溶接す

る場合、ロボットが溶接する場合のそれぞれに対して、溶接部の性能確認試験を行っています。実際に作業する溶接工の技量確認試験も行い、一定以上の技量のある人に溶接作業をしてもらいました。現場溶接も出てきますので、現場溶接の場合にも同様の試験を行いました。実際に作業した人からは、この超高強度鋼用の溶接材料は従来のものに比べて硬いというふうに聞いています。

大西●H-SA700はここでの使用が第1号ですが、まだ他に使われていないそうですね。

去年の秋にテクノフェアというオープニングフェスタをここで4日間かけて行い、3千人強もの人を呼びましたが、設計事務所の人が来ると、「この柱は、いいね」と、みんな言っていましたからね。設計者としては興味津々だったと思いますよ。

山中●柱サイズを小さくしたり、柱本数を減らすことは、実際に使える床面積が増えることにつながり、フレキシブルな大空間を作ることができます。また使用材料が少なくてすみ、建物全体重量も軽くなり、省資源の観点からも大きな効果が期待できると思います。今後、超高層ビルをはじめ幅広く提案していきたいと思っています。

安全を検証し 耐火塗料で柱を仕上げる

CFT 柱の耐火設計や全体の防火設計についてご紹介いただけますか。

山中●せっかく柱を小さくしていますので、耐火塗料を使って耐火被覆部分を薄くして、できるだけ構造体そのままの寸法で仕上がるようにしています。耐火性能に関しては、技術研究所の中の耐火炉を使って、性能確認の実験を行いました。実験結果をもとに耐火設計法を適用して火災時の安全性を確認しています。この結果、特に1階の外部の柱の耐火被覆を省略することができ、塗装のみで仕上げていますので、



かなり細い柱に見えると思います。**大西**●この建物は普通にやると防火区画だらけになってしまいますが、避難安全検証法を使って、蓄煙している間に、避難距離と避難時間の計算をして、十分に安全が確保できているという検討をすることによって防火区画や防煙垂壁を免除しています。

したがって、普通ですと区画が必要な階段や吹抜けもシャッターが一切なかったり、完全にオープンにすることができました。とにかく開放性を高めるという意味でも、避難安全検証法はすぐ有効な手法だったので、設計の段階から、これを使うことありきで計画しました。

この避難安全検証法も、当技術研究所にプロフェッショナルがいるので早い段階からいろいろアドバイスをもらって設計できたのが良かったですね。

柱についても、とにかくスレンダーにすることが第一だったので、せっかく構造体が細くなっているのに、意匠で被覆して化粧材を被せてしまったら台無しですから、耐火塗料で仕上げています。

500φの柱で、耐火塗料はしていますが、あらわしのままになっているということなのですが、特に設計面で工夫された点がありますか。

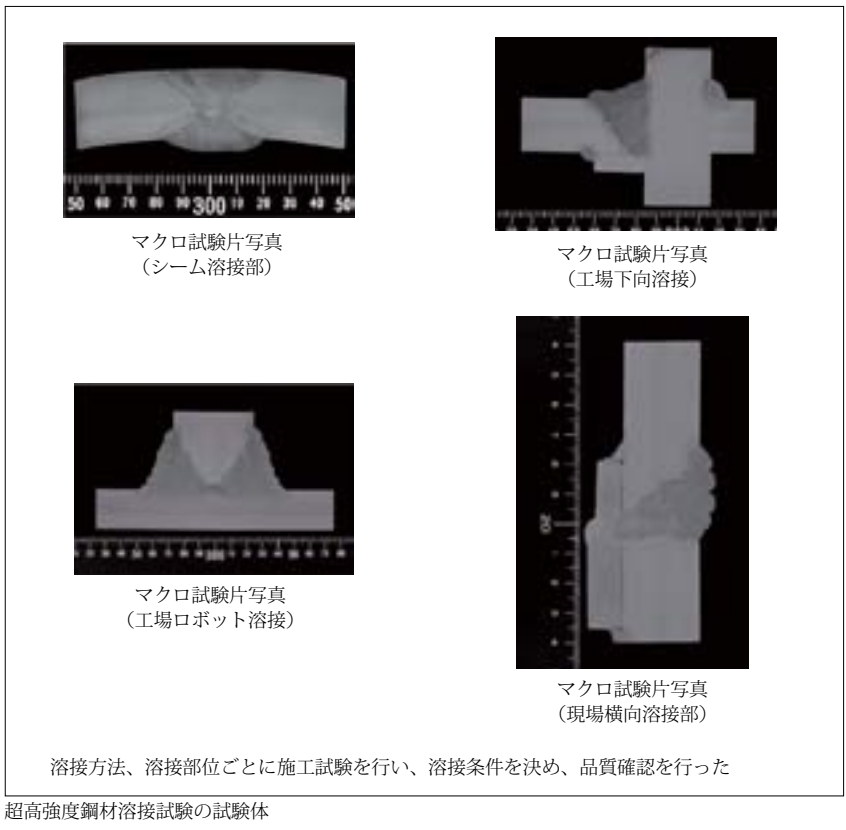
山中●通常、鉄骨造の柱の現場継手は溶接作業がしやすいようにFLから1m位の高さに設けていますが、こうすると今回のようにほとんど仕上げがない場合には溶接継手の部分が非常に目立ってしまいます。今回は2階の床下に空調用のスペースがあったため、この部分を利用して、柱の継手の位置を床下部分の見えない位置に設定しました。施工中は結構太く見えたので失



耐火実験状況



超高強度鋼管溶接試験状況





敗したかなと思ったのですが、できてみると結構スレンダーでほっとしました。

振動を感じない大空間

これだけの無柱大空間で、日常的な風揺れや床振動に対する対策で苦労された点がありますか。

山中●柱を細くしたといっても、一定の水平剛性は確保していますので風で揺れるようなことはありません。床の振動に対しても当社で設定した基準値に収まるように設計していますので問題はないと思っています。

大西●意匠的にも、外部から見てもアンバランスなほどに細い柱なので、ちょっと不安になるくらいですが、確かに、揺れるという話は一回も出ていないですね。

山中●18mスパン部分の梁成は900mmで、梁フランジの厚みは最大で40mm程です。梁に関しては特別なものは使っていません。

スーパーアクティブ制震を開発

最先端の安全・安心ということで「ラピュタ2D」を採用したことがこの建物の大きな特徴ですね。

大西●地盤と建物の中に、ものを押したり引いたりするアクチュエータという装置がついています。1,000分の1秒単位で、コンピュータから建物をどれだけ移動させるか指令が出され、アクチュエータは、揺れが発生してから0.1秒程度で動き出します。

地盤が動いた分アクチュエータが建物を反対方向へ動かすので、建物の位置は変わりません。ラピュタ2Dはこういった原理です。

基礎の制震構造と比較的剛性の低い上部構造との相性というのはどうなのですか。

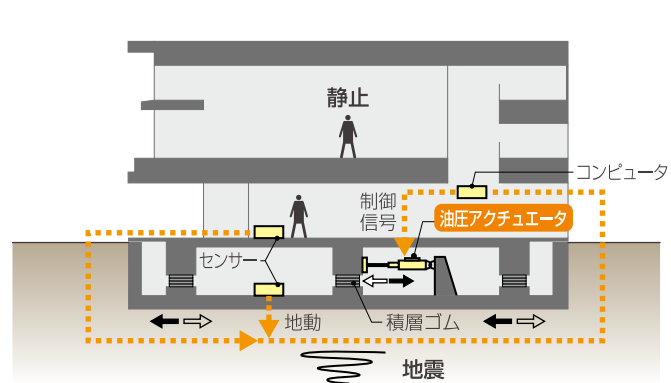
山中●理論的には、建物基礎部分で制御してしまうと、上部構造の剛性の影響はありません。最初は、上部構造を結構剛くする必要があるんじゃないか

と考えていましたが、設計を進めていくうちに必ずしもそうでもないということが分かってきました。最初はもっとガッチリした箱のようなイメージを持っていました。

ラピュタ2Dは、地震が来ても建物が全く揺れずに、絶対空間で静止させ、あたかも空中に浮かんでいるかのような状態を作り出す技術です。ガリバー旅行記に出てくる「空飛ぶ島La Puta」が名前の由来となっています。

技術研究所内の3次元振動台で縮小モデルを使って実証実験を行い、地面の揺れを1/50程度まで低減できることを確認しました。これは通常の免震システムの10倍以上の性能です。震度6強を超える巨大地震レベルでも建物上に立てた鉛筆が倒れないくらい地震の揺れを制御できる優れたものです。

地震時にも機能を維持しなければならない病院や官公庁など災害拠点となるべき建物あるいは貴重な展示物を保管する美術館・博物館などに適用できると考えています。またラピュタ2Dの技術は建物だけではなくて床免震に



ラピュタ2Dの概念図



アクチュエータ

も適用できます。病院の中でも手術室や重要な医療設備のある部屋、博物館でも国宝など特に重要なものの展示、保管室など部分的にも設置することができます。最近言われた長周期地震動に対しても十分効力を発揮すると考えています。

施工面で特に留意された点がありますか。

山中●免震側は地面側とは確実に縁を切ること、免震構造としては基本的なことです。設備用の配管などがあり結構複雑です。1カ所1カ所確認していきました。また免震装置の製品のバラツキをできるだけ少なくするようにメーカーにも協力してもらったり、品質管理にはかなり気を使いました。積層ゴムの設置にも当社独自の方法があり、位置やレベル等の設置精度にも留意して施工しています。

東日本大震災で制震の効果は確認できたのでしょうか。

山中●ラピュタ2Dは制御上ある一定の大きさ以上の地震に対しては安全装置が働くようにあらかじめ設定されています。3月11日の地震は、揺れ始めの加速度の小さい段階から変位が大きいうという特殊の揺れ方だったため、アクティブ制震システムが数秒間作動しましたが、その後、安全装置が働きパッシブ免震に移行しました。つまり通常の免震システムになったということです。その後、調整し直しており、余震に対してはアクティブ制震システ

ムがちゃんと作動し制御効果があることを確認しています。

この技術研究所がある清瀬では、今まで震度3程度が一番大きな地震だったので、その程度の地震を対象に制御システムの調整をしていましたが、いきなり大きいのがきてしまい、想定通り安全装置がすぐに働いたという状態です。

満を持した「ラピュタ2D」の採用

山中●ラピュタ2Dの理論は、実は20年前からできていたんです。それも当社の研究員が考えて開発したもので、小規模のモデルに対して実験まで済ませていて制御の効果を確認していました。当時は、免震積層ゴムが十分柔らかくなくて、制御に必要な力が桁外れになったり、またセンサーやコンピュータの作動速度も遅かったりして、実用に至っていませんでした。

今回の計画に当たって色々精査していくと、そういう技術がかなり進んできており、実建物に十分適用可能という見通しがついたため採用に踏み切ったわけです。一人の若い研究員が夢に描いた技術が20年後に現実になったというストーリーは技術者冥利に尽きる良い話で、我々としてもしっかりと伝承していきたいと思っています。

実はラピュタ2Dに至るまでに布石がありました。今回採用したアクティブ制震システムは、アクチュエータと

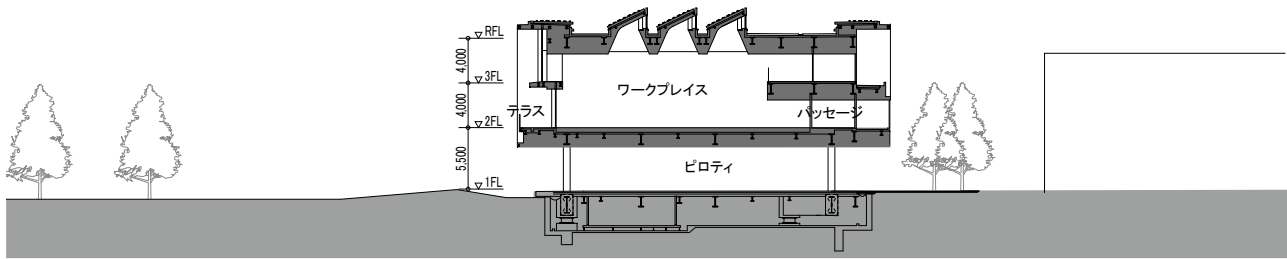
いう装置で大きな力を建物に直接与えて揺れを制御する技術ですが、いきなりこういう技術をポンとやったわけではありません。10年前にセミアクティブ制震システムという、建物に与える減衰の大きさを地震動によって最適に制御する技術を免震ビルに適用したことがあり、その経験が今回につながっている訳です。理論が20年前にできて、10年前に一步手前のセミアクティブ制震システムがあり、それが今回のアクティブ制震システムにつながっているという、一連の流れの中で技術の進歩が実現されているのです。

今回は2次元で水平方向の制御ですが、鉛直方向はどうなんだと良く聞かれます。最終的なゴールとしては何年後になるか分かりませんが、鉛直方向も制御して、空中に浮いているような建物が実現できればと思っています。それが「ラピュタ2D」から「ラピュタ」に変わる時だと思っています。

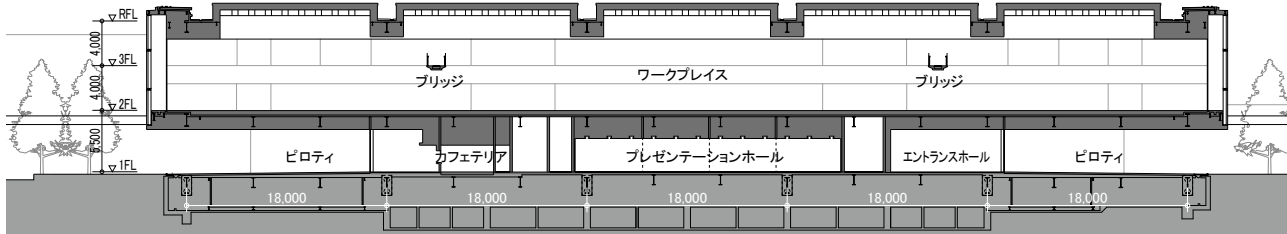
自社施設だからできること

『スチールデザイン』で、ゼネコンの設計・施工の建物を取り上げたのは今回が初めてで、さらに自社施設というのも初めてです。特に、自社施設の設計で、やりやすい面もやりにくい面もいろいろあったかと思います。

大西●やりにくい面は確かにありました。というのは、ひとつは、いろいろなことを言う人が多いというのは当然ですが(笑)、技術研究所なので、こ



南北断面



東西断面

ここにお客さんを呼んで技術のプレゼンテーションの場としても使おうとしていますので、いろいろな人に来ていただいているいろいろな部分で、「実はこれ、大林の特殊技術なんですよ」とPRしているのですね。なので、どの技術がこの建物に採用するか、その判断が非常に難しかったです。

また、経営者層が考える「コミュニケーションを密にとってニーズに相応しい技術を生み出す」という考え方に対して、研究員は、今までの環境にあまり不満がなかったのも、「何で変わらなきゃいけないの」という思いがあったと思います。こういう大きな空間になると、コミュニケーションはとれるけれど、逆に集中できないとか、収納の量が足りないのではないとか、上層部と実際に使う人のギャップみたいなものをどう埋めていくかというのは、かなり苦労しました。それが自社施設ならではの苦労だったのかもしれない。

山中●自社の技術研究所本館ということで、最先端の技術を何とか入れたいという意識は最初からありました。最新技術の洗い出しから始まったのですが、今まで世界に例のない技術で、しかも十分に実用化が可能な技術とい

うことでラビュタ2Dを選択しました。決定に至るまでは、結構長い議論が社内であったことは確かです。新しい技術を自社で開発し、発展させていくことができるのが、ゼネコンの強みの一つだと思います。当社は10年前のセミアクティブ制震システムも、今回のアクティブ制震システムも世界で初めて実建物に適用してきました。技術的に高いレベルを目指す姿勢に対してはポジティブな会社だと思っています。

社内施設ですと、使用者からのフィードバックが比較的届きやすいと思いますが、いかがですか。

大西●稼働してからいろいろな要望が出るのが想定されたので、最初からワーキングを立ち上げて、アンケート調査とかをやって改善していこうとしました。引き渡して終わりというのではなく、きちんとフォローアップしていくということも大切なことだと思います。

発端となったのは、ここは国交省の省CO₂のモデル事業に採択されており、そのため3年間モニタリングする必要があるため、省CO₂委員会を作り、そこで省CO₂に限らず、使い勝手上的改善要望も全部吸い上げています。みんなで定期的にワーキングとし

て集まって、設計担当者も入って議論と改善の実施を行っており、こういった使い勝手上的フィードバックは、3年に限らず、引き続きやっていくことになると思います。

これからの鋼構造への要望

最後に、鋼構造に期待することや、要望、ご意見等を聞かせてください。

大西●この建物を設計している途中で国家プロジェクトの超高強度の鉄の話が聞こえてきましたが、それまでは、普通に鉄でやるのかなというイメージでした。他にはフルPCでやろうかとも考えた時期もありましたし、あとは、もうちょっと細い材料を鳥かごのように組んでいって、それで強さを出せないかとか、そういったことも考えていました。

そこに、超高強度鋼と超高強度コンクリートの組み合わせで、かなりスレンダーな柱ができるという話が出て、瞬間に飛びついたという感じです。このスポーンと抜けた空間をつくるには、それが一番ベストな解かなと感じたので、それがなかったら全然違う建物が



できていたかもしれません。

そのように材料のバリエーション、強度のバリエーションがいろいろあると、設計の可能性はどんどん広がっていきますね。

山中●新しい材料が出たときにいつも問題になるのは接合部なので、接合部をどうしようかと頭を悩ませています。材料だけでなく接合部にももっとバリエーションがあっても良いと思います。

前から言っていてぜんぜん聞いてもらえないのは、ヤング係数が変えられないかということなんです。もうちょっと剛い鉄とか、柔らかい鉄とか、そういう鉄の可能性はないかとメーカーの人に言うと一笑に付されますが、そういうものがあれば良いないつも思っています。技術は常識を覆しながら進歩していきますので今後に期待しています。

鉄のもつ可能性についてどうお考えですか。

大西●鋼構造の最も魅力的なところはコンクリートに比べてとにかく軽いという点かと思います。構造体の軽さを活かした、より繊細で軽やかな建築を活かした、より繊細で軽やかな建築が次々と作られています、逆に図太く

てダイナミックな建築、土木的スケールを持った建築にもそそられます。

名古屋に2002年に完成した「オアシス21」の設計の際には、フィーレンデールトラスで約30mのキャンチレバーを支えるという長大スケールの醍醐味を味わいました。訪れた人が「うーん……」と唸るような、建築が持つ「気」が襲いかかって来るような、そんな建築を作っていきたいです。そういった両極端な建築の可能性を引っ張り出せるところに、鋼構造を使った設計の面白さがあると思います。

山中●今回、超高強度鋼材を使用したことにより、柱の鉄骨重量は従来の6割程度になっています。特に高層ビルになるとその自重を支えるために下部では極厚、大断面の柱が必要になりますが、超高強度鋼材によりかなりの軽量化が図れると思います。これは鉄骨の加工、輸送の負担の軽減につながります。さらに柱本数を低減できることは、フレキシブルで開放的な空間の実現にも貢献し、建物に大きな付加価値を与えてくれます。また、超高強度鋼は、弾性範囲が広がるため、地震エネルギーを吸収するダンパーと組み合わせると、巨大地震に対しても主体構造を弾性にとどめる設計も可能になっ

てきます。鋼材重量を減らしながら建物の耐震性能を向上させることができるのです。省エネルギーや環境配慮の流れの中で、大きな可能性を持つ材料として今後普及していくことを期待しています。

最近の構造設計の環境としては数年前からの審査の厳格化のなかで、構造設計よりは法的手続きの方にウエートがシフトしているのではないかという危機感を感じています。構造技術の発展が停滞しないように、新しい材料や構造形式にも積極的に挑戦する姿勢を保っていきたいと思います。

(2011年7月12日 大林組技術研究所本館)

大林組技術研究所本館	
所在地	東京都清瀬市下清戸
主要用途	研究所
面積	建築面積：3,370.51㎡ 延床面積：5,535.38㎡
構造	鉄骨造（免震構造：スーパーアクティブ制震構造）
階数	地上3階、塔屋1階
最高高	16,092mm
設計・監理	大林組
施工	大林組
設計期間	2008年10月～2009年6月
施工期間	2009年11月～2010年9月
写真提供：	大林組 新建築社 写真部



一般社団法人 **日本鉄鋼連盟**
建築委員会

東京都中央区日本橋茅場町 3-2-10
Tel.03-3669-4815 Fax.03-3667-0245
<http://www.jisf.or.jp>

編集協力：株式会社建報社
2011 年 9 月 30 日発行

本書は著作権法上の保護を受けております。
無断で複写、複製することは禁じられています。