

# 進化する 建築デザイン

スカイスクレーパー (Skyscraper: 空を削るもの) と呼ばれる超高層建築が、世界各地で建設・計画されている。そこには未知の高さへの挑戦と共に、その形状にも様々な挑戦が見られる。従来までの四角柱や円筒形を中心にしたものから、曲線や曲面を組み合わせたより複雑で自由な形状を持った建築物が増えている。これらの建築を実現するために、鋼構造は重要な役割を担っている。

## 螺旋状に上昇する新しいランドマーク

経済成長が目覚ましい、アラブ首長国連邦のドバイ。現在建設中の「ブルジュ・ドバイ (Burj Dubai)」は、地上162階、軒高643.3m、アンテナ高818mで設計されており、2009年に竣工すれば、世界で最も高いビルとなる。世界各地で超高層建築が次々と計画・着工され、その高さにばかりでなく外観形状についても、これまでは見られなかったユニークなものが少なくない。例えば、シカゴで建設中の「シカゴ・スピア (Chicago spire)」はネジのような螺旋状の外観を持つし、パリの「ファール・タワー (Tour Phare)」は「流動的で肉感のある柔軟な形」をイメージして設計されているという。特にドバイを中心とした中東諸国では、設計者の自由な発想を現実化した、奇抜ともいえる様々な形状の超高層建築の計画が進んでいる。

わが国においても都市の再開発が進められているが、中でもこれまでにないユニークな外観を持つ建築が建設されている。ここでは、2008年2月に竣工したモード学園スパイラルタワーズ (名古屋) を例にして、その材料や構造の特徴について見ていく。

モード学園スパイラルタワーズ (以下、スパイラルタワーズ) は、地下3階、地上36階、塔屋2階で最高高さ170m、延床面積は約

4万9,000m<sup>2</sup>にも及ぶ。その構造は地上部分がS造 (鉄骨造)、地下部分が地下1、2階がS造 (鉄骨造)、地下3階がSRC造 (鉄骨鉄筋コンクリート造) で、使用された鉄骨の量は地下約2,000t、地上約8,000tの合計約1万tであった (設計・監理: (株) 日建設計、施工: (株) 大林組名古屋支店)。

特徴的な螺旋状の形状は、入居する3つの学校の学生のエネルギーが互いに絡み合いながら、上空に向かって上昇していくというイメージを具現化したもので、ビルの名称である「スパイラルタワーズ」の由来にもなっている。

## 有機的なデザインを実現する二重構造

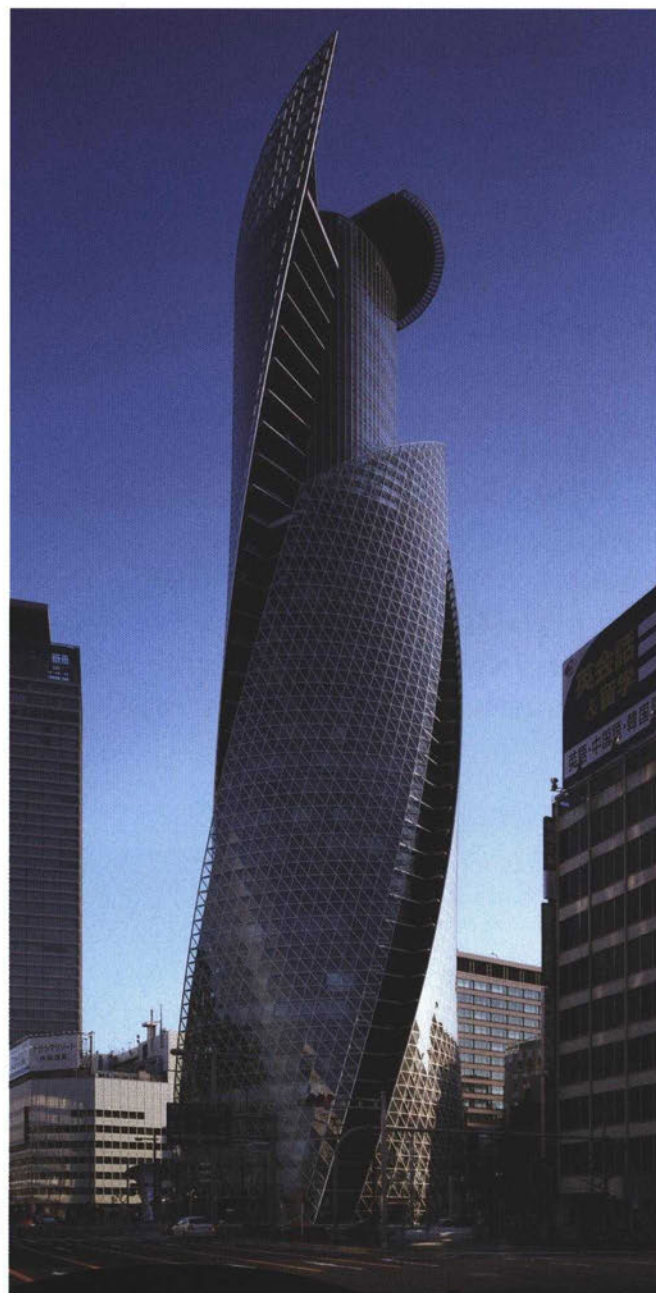
スパイラルタワーズの設計では、単にビルの意匠を実現できる構造架構を当てはめるのではなく、力強くかつ繊細な表現を合理的に実現することを強く意識して構造設計が行われた。その結果、採用されたのが、強固なセンターコア (中心構造) に、ウィング部と呼ばれる断面の細い柱で構成された外周架構を螺旋状に絡ませていく二重構造である。

センターコアには、インナートラストチューブと呼ばれる12本のCFT (コンクリート充填鋼管) 柱が楕円状に配置されている。インナートラストチューブには径が600、800、900mmで板厚が25～90mmの

鋼管 (STKN490B) を用い、これらを鋼管ブレース (筋交い) により接合することで、強固なトラス構造を実現している。センターコアの構造の要となるインナートラスチューブと鋼管ブレースの接合部である柱梁ブレース接合部には、遠心力鋳鋼管 (SCW490-CF、SCW590-CF) を用いている。また、1階の接合部には重量が約12tの鋳鋼ブロックを6台使用している。建築物に大型の鋳鋼ブロックが使用されることは珍しく、施工前に実大試験体を用いた溶接性の確認や施工性の確認を入念に行っている。このセンターコアの部分には、主としてエレベーターホールなどの設備に利用されている。

スパイラルタワーズの外観を形成するウィング部は、3つの扇形の平面から構成されている。これらはそれぞれ別の回転中心を持ち、1階上昇するごとに、3度回転しながら同時に面積を1%ずつ縮小していくことで、ユニークな外観を作り出している。しかしそのために、ウィング部の柱、ブレース、梁はそれぞれ接続角度が異なり、設計・施工に高度な技術を要することになった。ウィング

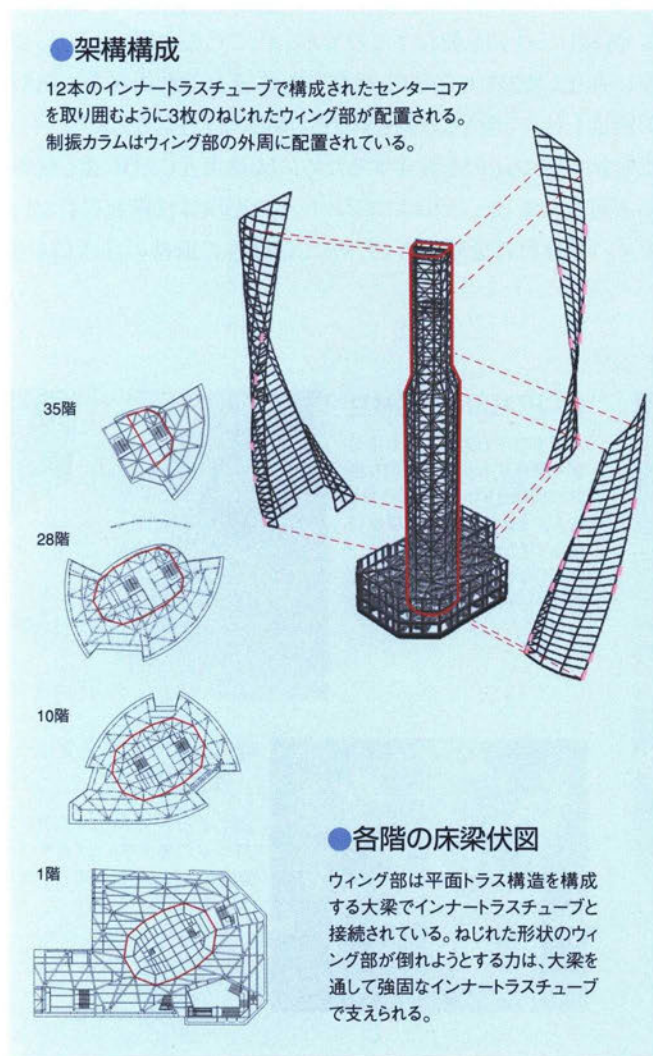
部とセンターコアは梁によりトラス構造で接合され、螺旋形状によるねじれに抵抗する構造になっている。インナートラスチューブに十分な耐力を持たせることで、ウィング部には細い柱を使用することができ、アルミとガラスのカーテンウォールに覆われた軽やかで優美なシルエットを形作ることに成功している。



## モード学園スパイラルタワーズ

|       |                         |        |                    |
|-------|-------------------------|--------|--------------------|
| ◆所在地  | 愛知県名古屋市中村区<br>名駅4-27-1  | ◆構造    | S造(地上)・S造・SRC造(地下) |
| ◆敷地面積 | 3,540.06m <sup>2</sup>  | ◆階数    | 地下3階・地上36階・塔屋2階    |
| ◆建築面積 | 2,365.75m <sup>2</sup>  | ◆最高高さ  | 170m               |
| ◆延床面積 | 48,988.96m <sup>2</sup> | ◆設計・監理 | (株)日建設計            |
|       |                         | ◆施工    | (株)大林組名古屋支店        |

(撮影:鈴木 研一)



## 独特なデザインを確かに支える制振技術

スパイラルタワーズには、2種類の制振装置が用いられている。1つはウィング部の外周に取り付けられた制振カラム(粘性ダンパー)である。制振カラムは、スパイラルタワーズ全体で26箇所に用いられている。設計時の解析によって、大地震時には1階で最大41mm、それ以外の階では18mmの制振カラムの伸縮が予想されており、26箇所のうち5箇所は伸縮の大きい1階に取り付けられている。ブレースではなく柱そのものを制振カラムに置き換える例は少なく、大きな減衰効果が期待されている。

もう1つの制振装置が屋上制震である。上部構造の約1%の重量である250tのコンクリート塊が、付加質量としてインナートラスチューブの最上部に設置されている。コンクリート塊は転がり支承(支承:構造物を支持し、変形などを吸収する装置)により支持され、屋上とコンクリート塊を接続する鉛ダンパーが変形することで地震エネルギーを吸収する。建物の振動周期とコンクリート塊の振動周期を同調させるために、2段に重ね積層ゴムアイソレーターが両者を接続している。動的解析によって、制振カラムと屋上制震による地震時の変形低減効果は最大22%と評価している。

このほか、スパイラルタワーズには風による振動に対する装置が取り付けられている。それが2基のアクティブマスダンパー(AMD)である。これは居住性能を改善するための装置で、振動体の変位を検知して自動的に振動体を移動させることで、強風などに

よるビルの振動を抑える仕組みである。制振カラムと屋上制震が大地震向けの対策であるのに対し、AMDは強風などによる微弱な振動向けの対策である。

## CADによる設計と職人技の融合

独創的な外観を持つスパイラルタワーズだが、内外装や構造において特殊な材料や工法が用いられているわけではない。しかし、それらの要素技術を最適化して組み合わせたことに、設計の妙がある。そして、そのユニークな建築デザインを実際に具現化するためには、最新の設計技術と施工技術の融合が不可欠であった。

例えば、ウィング部の柱は、上から見ると回転方向への傾きと中心方向への傾きを持っており、階の上下で傾きと方向が異なって接続されている。CFT柱は組み立て後にコンクリートを充填する。そのためには、内部が1つの空間として繋がっている必要がある。特に柱径が切り替わる階の仕口(柱や梁、桁などの部材を組み合わせ、接合すること)は複雑な形状になる。上下の柱の肉厚にそれぞれぴたりと合う形状にするため、板材を曲げ加工し、溶接して仕口を製作するのであるが、これを実現したのが、高度に進化した3次元CADの存在である。それぞれ複雑な楕円形の断面を持つ、傾きも方向も異なる2本のCFT柱にぴたりと合った形状を持つ仕口を製作するためには、3次元CADによる解析が不可欠であった。因みにコンクリートの充填は12階毎に行ない、セメントと骨材の分離を防ぐために、CFT柱の低部の注入口から

### ●制振カラム

大きな伸縮が予想される1階には5箇所に制振カラムが使用されている。制振カラムの上部階にはインナートラスチューブからのブレースが設けられ、片持トラス構造で荷重を支持している。



### ●ガラスカーテンウォール

4つのトライアングルで構成されるユニットは、それぞれ寸法が異なるため、重心位置も異なる。ユニットを歪めることなく移動するために、専用の台車や治具を開発した。

### ●CFT柱の仕口の検査

角度も方向も異なる柱の接合部を構成する仕口は複雑な形状に切り出された鋼板から作られる。寸法測定による精度確認ができないので、基準墨や下げ振りなどにより3次元の加工精度を確認している。



### ●インナートラスチューブ 鋳鋼ブロック

1階のインナートラスチューブの柱・梁・ブレースの接合部には1台が12tの鋳鋼ブロックが6台使用されている。

圧送供給される。

また、インナートラスチューブの柱プレス接合部についても、十分な耐力を確保しながら柱内の空間が繋がっている継手とするために様々な工夫が凝らされている。その1つが、角度が変化する特殊な開先形状である。開先加工を精度よく行うために、開先加工機を新たに考案した。さらに334パスにも及ぶ溶接についても極めて難易度が高かったという。このため、実物大の試験体を用いて開先形状と溶接性、施工性を事前に十分に検討している。

さらにこれらの部材の加工精度・組立精度の確保も、重要な課題であった。形状が複雑であるために、単純に寸法を測定するだけでは必要な精度を確認できないからだ。そのため、水平方向と垂直方向から測定を行い、寸法精度を確認する方法を開発している。

外装でも他の建築とは異なる工夫がされている。スパイラルタワーズの外観を構成するカーテンウォールは、角度と形状が異なる4つの三角形のフレームを組み合わせたユニット約1,800枚で構成さ

### 最近の建築トピックス

## 「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 ～震度7クラスでも倒壊しない建築物と構造材料の開発～

### 府省連携・官民共同のプロジェクト

本プロジェクトは、内閣府、総務省、文部科学省、経済産業省、国土交通省と(社)新都市ハウジング協会、(社)日本鉄鋼連盟、(社)日本鋼構造協会が連携して取り組むプロジェクトである(2004～2008年度)。

その狙いは、材料技術、耐震技術、長期耐用技術、リデュース・リユース・リサイクルなどの環境技術、マネジメント手法などを活用して、持続的な社会を構築するための方策を研究するものだ。

具体的には、現行の設計では震度5弱から震度6弱までの地震で倒壊はしないが損傷はするという耐震性能を、震度7クラスでも損傷を受けない「震度7クラス弾性構造」を持つ建築物を様々なアプローチから開発するためのプロジェクトである。

### 新構造システム実現への3つのアプローチ

「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」プロジェクトには、大きく2つの方向から研究が進められている。

1つ目は「革新的構造材料」の開発である。現在、わが国で使用されている鉄骨構造用の鋼材の多くは400N/mm<sup>2</sup>鋼、490N/mm<sup>2</sup>鋼である。これに加えて超高層建築物では590N/mm<sup>2</sup>鋼の利用も進んでいる。

これに対してプロジェクトでは800N/mm<sup>2</sup>クラスの高強度鋼と2000N/mm<sup>2</sup>クラスの超高強度鋼材接合部品の開発を目指した。具体的には、結晶粒の細粒化、析出物制御、変態制御など、非調質による製造技術の研究が進められた。

800N/mm<sup>2</sup>クラスの高強度鋼を実用化することにより、大規模地震でも建築物への損傷を防ぐことができると同時に、わが国の鋼材需要で大きなウエイトを占める建築用鋼材の使用量を抑えることができ、省資源、CO<sub>2</sub>削減への寄与も期待できる。

もう1つは新しい構造システムの開発である。これは目覚ましい発展を遂げている免震装置・制震装置などの様々な耐震デバイスと高い強度を持つ鋼材を組み合わせることによって、実現を目指すものだ。

このほか、部材や接合部の開発も重要であり、部材のリユースを可能にするために、溶接によらないボルトや嵌合などの乾式接合を開発していく計画だ。

### 実大実証試験を経て、市場への普及を目指す

「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」プロジェクトは2008年度が最終年度となるが、その最後に実大実証試験が行われた。これは、建築関係者や技術者などにプロジェクトの成果を公開すると共に、「革新的構造材料を用いた新構造システム建築物」の市場への普及を目指して開催されたものだ。

実大実証試験による「革新的構造材料を用いた新構造システム建築物」の周知により、震度7クラスの地震でも無損傷のスケルトンを持ち、耐用年数が200年の用途可変に対応できる建築物の早期普及が期待される。また同時に、それによるCO<sub>2</sub>の30%削減と廃棄物発生量の80%削減が期待されている。

### ●研究開発の目標

| 項目          | 開発の目標                        |
|-------------|------------------------------|
| 鋼材強度        | 従来鋼材の2倍                      |
| 耐震性能        | 震度7クラス弾性 主要構造体無損傷            |
| 耐用年数        | 200年                         |
| スパン(柱本数)    | 従来鋼構造の1.5倍～2.0倍(50～25%)      |
| 主要部材・部品システム | スケルトン・サブスケルトン・インフィル分離・リユース可能 |
| 用途の変更       | 自由に対応可能                      |
| 建設工期        | 現行施工法と同等以下                   |
| 建設費         | 現行設計法による従来鋼構造1.1倍以下          |



開発技術を活用したプロジェクト検討事例  
住宅街区内の高度な防災機能を備え、多様な利用が可能な「地域コミュニティセンター」

資料提供:(社)日本鉄鋼連盟

## 個性を表現するブランドショップビルと鉄鋼材料

世界の有名ブランドの銀座への進出が進んでいる。「旗艦店」と呼ばれる店舗が入居するビルには、ブランドイメージを表現するために、様々な意匠を凝らしたビルが建築されている。最近注目されているブランドショップビルの中から鉄鋼材料が効果的に使用されている例を紹介する。



2枚の銅板の間に通常よりも柔らかいコンクリートを流し込んでいる。幅2.4m、高さ5mの銅板ユニットを溶接し、積み上げている。



- ◆敷地面積 275.74m<sup>2</sup>
- ◆構造 S造(銅板コンクリート構造)、一部壁式RC造(地下)
- ◆階数 地下1階・地上9階
- ◆最高高さ 47.9m
- ◆建築設計 (株)伊東豊雄建築設計事務所、大成建設(株)一級建築士事務所
- ◆構造設計 (株)佐々木建朗構造計画研究所、大成建設(株)一級建築士事務所
- ◆施工・監理 大成建設(株)東京支店

### ミキモト「MIKIMOTO Ginza 2」

宝飾箱を覗きこみたいくなるような期待感や神秘性を感じさせる大小様々な開口部を持つデザイン。その外壁は、真珠を育む貝から生まれる泡、舞い落ちる花びらを連想させる塗料で塗装されている。幾何学模様の開口部が開けられた外壁は、2枚の銅板の間にコンクリートを流し込んだもので、構造体の役割も果たしている。先に銅板ユニット同士を軽く溶接し、次にコンクリートを打設することで、コンクリートの拘束力によって溶接変形を大幅に抑える工法が採用された。ユニットの溶接線の総延長は7kmに及ぶという。

(資料提供: (株)ミキモト、大成建設(株))



ステンレスパネルの内側にある構造体は、片側で端部の間柱で支持し、もう一方を斜材で吊った主架構からの片持ち構造となっている。

- ◆敷地面積 444.18m<sup>2</sup>
- ◆構造 S造
- ◆階数 地下2階・地上11階
- ◆最高高さ 48.00m
- ◆基本設計 光井純&アソシエーツ建築設計事務所(株)
- ◆実施設計 大成建設(株)一級建築士事務所
- ◆施工・監理 大成建設(株)東京支店

### デビアス「デビアス銀座ビルディング」

個性的な建築物が並ぶ銀座マロニエ通りで一際異彩を放つ、柔らかなふくらみやうねりを見せる曲面と宙に浮かび上がった柱で形づくられたファサード。シュルレアリスムの巨匠、ダリの柔らかな時計を彷彿とさせるその姿は、「光のリボンやオーロラのような、洗練された銀座の華やかな優美さ」を表現しているという。波打つような曲面は、3次元加工されたステンレスパネルと、その内側にある多角で構成された鉄骨により表現されている。

(資料提供:ヴェロックス・アセット・マネジメント・コープ、大成建設(株))

れている。これらには1つとして同じ形状のパーツは存在しないという。このユニットの設計も、3次元CADの存在なしには実現は困難であった。さらに、ユニットが少しでも歪むと正確に取り付けることができなくなるため、設計、製造、輸送、取り付けの全ての面で様々な工夫が必要だったのである。

複雑な形状の建築物の設計は、構造計算や3次元CADの存在により効率化されている。しかし、実際に製造・施工する技術が伴わなければ建築物が竣工することはない。意匠と構造が調和した合理的な「美」を実現するためには、解析ソフトの性能ではなく技術者の創意工夫と情熱が不可欠なのである。意匠と構造の調和という視点から建築物を眺めてみることで、設計者の本当の意図が見えて来るに違いない。

## 現代建築の安心・安全を支える鉄鋼材料

19世紀後半、鋼の生産技術が進歩し、世界各国で鋼構造の建築が建てられるようになった。以来、建築物の高層化、大空間を作り出すため、様々な鉄鋼材料が現代建築を支えてきた。

例えば1968年に竣工した、わが国で最初の超高層ビルといわれる霞が関ビルディング(地上36階、147m)では、高層建築用の

大型H形鋼が構造材に用いられた。ここで使用されたH形鋼には、1960年代に相次いで製品化されたロールH形鋼や極厚H形鋼の技術が活かされている。

鉄鋼材料の用途のなかでも、建築分野は大きなウエイトを占めており、特に1981年の建築基準法の改正後は、耐震性能を向上させた低降伏点鋼や、TMCP鋼、耐火被覆を必要としない耐火鋼(FR鋼)などが次々に開発されている。また、建築物の高層化に伴い、高強度鋼や外法一定H形鋼などが開発されている。

さらに現在進められている「革新的構造材料を用いた新構造システム建築物の開発」プロジェクトでは、地震に強く、省資源など環境にも配慮した建築物の実現を目指している。今後の建築のあり方を考えた時、環境負荷の低減や長寿命化は避けて通れない課題であり、これを実現するためには、高強度、高溶接性、耐火性など様々な機能を付与された、安心・安全を守る鉄鋼材料が不可欠である。建築家の自由な発想を具現化し、地球環境と調和する建築物を実現するために、鉄鋼材料は進化を続けていく。

●取材協力 (株)日建設計、JFEエンジニアリング(株)、JFEスチール(株)  
●文 杉山 香里