

# 国内外における超高層建築物の構造計画の分析

## - 中国の建設例の分析 -

日大生産工(院) ○宋 子成            日大生産工 藤本 利昭  
東洋大理工 李 文聰            日大生産工(院) 井出 翔太

### 1. まえがき

近年世界の建設および不動産業界の活況に伴い、高層およびメガスケールの建築物の需要は過去20年間で増加している。より統合された建物機能、開放的外観、個性的インフラストラクチャとの連続の向上などにより、それら超高層建築物の発展の背景には、構造システム内で重要な構造部材である柱を代表とした技術の進歩が関わっている。実際に上海タワー<sup>1)</sup>や中国銀行ビル<sup>2)</sup>等の様に中国国内に建設される超高層建築物においては通常の柱に比べ柱径が大きいメガSRC柱またはメガCFT柱が採用されている。そこで本研究では、中国に建設されたメガ柱を採用している超高層建築物を対象に構造計画を比較した。

### 2. 研究目的

中国では超高層建築物が多く建設され、建築物の高さも競い合うように年々高くなってきている。今回これらの超高層建築物における、柱を中央に構造計画に注目して研究する。近年、中国の超高層建築物の多くにメガ構造システムが採用され、メガ柱が多く採用されている。本研究では、既往の研究を基に中国に建設される超高層建築物の多くに採用されるメガ構

造システムに注目し、超高層建築物の構造計画について把握することを目的に分析を行った。そして分析結果より、中国の超高層建築物の構造計画の特徴・傾向について得られた知見を対象建築物の事例紹介を交えて報告する。

### 3. 対象建築物

近年中国では建築物高さが100mから600mを超える超高層建築物が建設されている。その中でも本研究では建築物高さ300mから600mまでを100mで区切り、300m超、400m超、500m超、600m超の各1棟の建物高さが異なる合計4棟を対象とした。

表1に対象とする4棟の超高層建築物の概要を示す。中国の各都市に位置しているこれら4棟の超高層建築物は、「上海タワー」<sup>1)2)</sup>、「Goldin Finance 117」<sup>4)</sup>、「上海ワールドフィナンシャルセンター」<sup>5)</sup>および「中国銀行ビル」<sup>3)</sup>である。対象の4棟の超高層建築物の共通の特徴として、構造システムに内部コア+ベルトトラス・フレーム構造を採用していることが挙げられる<sup>6)</sup>。またコアタイプは全て中央型であり、構造形式は全て制振構造であった。

表1 対象建築物

建物名称	建築物高さ(m)	竣工年	構造システム	コアタイプ	構造種別	構造形式
上海タワー	632.0	2015年	コア+ベルトトラス・フレーム構造	中央型	SRC造 S造	制振
Goldin Finance 117	569.5	2017年	コア+ベルトトラス・フレーム構造	中央型	SRC造 CFT造 S造	制振
上海ワールドフィナンシャルセンター	492.0	2008年	コア+ベルトトラス・フレーム構造	中央型	SRC造 S造	制振
中国銀行ビル	367.0	1990年	コア+ベルトトラス・フレーム構造	中央型	SRC造 CFT造 S造	制振

Structural Planning Analysis of World Skyscrapers  
- Comparison of the Skyscrapers in China -

Zicheng SONG, Toshiaki FUJIMOTO, Wencong LI and Shota IDE

## 4. 事例紹介

### 4.1 上海タワー<sup>1)</sup> 2)

図1に上海タワーの外観図を示す。

上海タワーの建築物高さは632mである。上海タワーは、センタービルを中心に、展示会、ホテル、観光、エンターテインメント、ビジネスなどの用途が複合されている。上海タワーの敷地面積は30,000m<sup>2</sup>以上の面積を占めており、建築面積は6,000m<sup>2</sup>、建築物は地上118階、全高632m、構造高さは580mで2015年に竣工した。

#### 4.1.1 上海タワーの構造設計

図2に上海タワーの基準階伏図を示す。上海タワーは鋼コンクリート合成構造であり、図2に示すように建物中央にRC造のコアを設け、周辺にメガ柱を配置し、メガベルトトラスとメガアウトリガートラスで、メガ柱に接続する構造形式を採用している。

上海タワーの構造的特徴を以下に示す。

- 1) 平面内の周囲に設置したメガ柱に軸力を集中させ、柱の引抜きを防ぐ。
- 2) 高い剛性を備えたメガアウトリガートラスを設置することにより、構造全体の水平剛性の大幅に向上を図っており、水平変形が低減されている。また、センターコアの転倒モーメントも低減させている。
- 3) 更にメガベルトトラスとメガSRC柱の接合により、構造物の水平剛性が上昇し、建物に作用する外力に有利に抵抗できる<sup>1)</sup>。



図1 上海タワーの外観図

上海タワーは9つの円筒状の建築物が縦に積み重なる構造である。内側の壁が建物を囲み、外側の壁が120度旋回しながら螺旋状に上昇するように全体を覆い、独特な外観を生み出している。二重ファサードの間の空間には、吹き抜け式の9つ空中庭園が配置されている。これらの特徴はデザインだけでなく、高さごとに渦放出周波数を変化させ、共振を防ぐ効果を生んでいる。よって、風に対する抵抗力も高い優れた構造計画がなされている<sup>2)</sup>。

### 4.2 Goldin Finance 117<sup>4)</sup>

図3にGoldin Finance 117の外観図を示す。

天津のGoldin Finance 117の建築物高さは569.5mで、塔状比は9.5である。この建物の用途はオフィス、ホテル、観光とビジネスなどの用途が複合されている。また建築面積は2,050m<sup>2</sup>であり、建築物は地上117階、全高596.5m、構造高さは596.5mで2017年に竣工した。

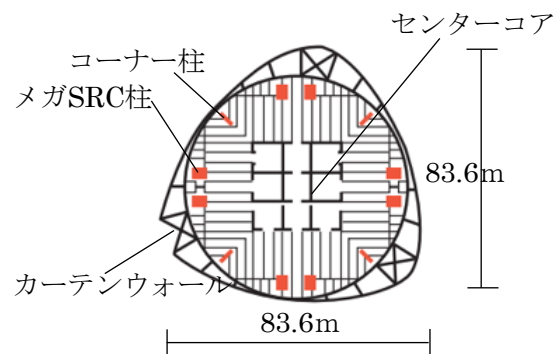


図2 上海タワーの基準階伏図



図3 Goldin Finance 117の外観図

#### 4.2.1 Goldin Finance 117の構造設計

Goldin Finance 117はメガ CFT 柱、ベルトトラスからなる周辺フレームと複合鋼板壁を備えた鉄筋コンクリートコアチューブからなる構造を採用しており、平面計画は二軸対称の配置がなされている。また、鉄筋コンクリートのコアチューブは中央に配置されており、耐震性と耐風性を向上させている。更に建築物の安全性を確保し、メガ CFT 柱と鉄筋コンクリートコアチューブの利点を最大限発揮するために図4に示すようにコア+メガ CFT 柱構造が考えられた<sup>3)</sup>。Goldin Finance 117のコアは建築物の高さ全体にわたって、杭頭の上から最上階まで伸びている。コアは長方形で、平面の中心に設置している。コアの平面サイズは 34 m × 32m で、67階ではほぼ正方形になっている。メガ CFT 柱は建築物の平面の四隅に配置され、タワーの上部まで伸びており、各エリアで梁、ベルトトラスを接続している。更にメガ CFT 柱柱脚部の断面積は約 45 m<sup>2</sup>で、柱頭部の断面積は約 5.4 m<sup>2</sup>であり、上層階に行くにつれ徐々に小さくなっている。

上記の様に柱脚部のメガ CFT 柱の断面形状は平面計画における収まりだけでなく、構造計画としての要件を満たしている。

#### 4.3 上海ワールドフィナンシャルセンター<sup>5)</sup>

図5に上海ワールドフィナンシャルセンターの外観図を示す。

上海ワールドフィナンシャルセンターの建築物高さは 492m である。建築物用途はオフィス、展示会、ホテル、観光などの用途を含む複合施設である。上海ワールドフィナンシャルセンターの建築面積は 3,480m<sup>2</sup>であり、地上階階数は 101 階、2008年に竣工した。

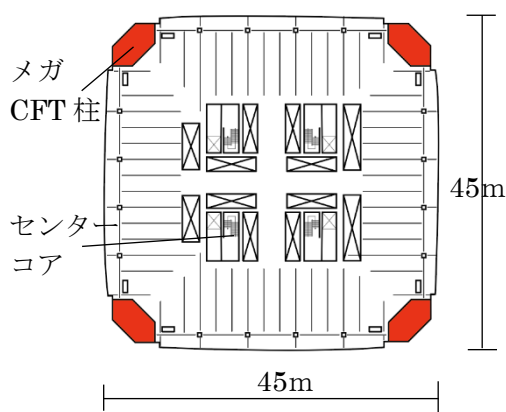


図4 Goldin Finance 117 基準階伏図

#### 4.3.1 上海ワールドフィナンシャルセンターの構造設計

図6に上海ワールドフィナンシャルセンターの基準階伏図を示す。

上海ワールドフィナンシャルセンターはメガ SRC 柱を使っている。メガ SRC 柱内部に対角線で配置された鉄骨は SRC 柱にかかる、垂直力に十分に伝達している。上海ワールドフィナンシャルセンターは台風と地震による力に抵抗するために、以下の3つの要素で連動的に作用する構造システムを導入している<sup>4)</sup>。

- 1) 主要な構造柱，およびベルトトラスで構成されるメガ構造システム
- 2) コンクリート耐震壁で形成されるセンターコア
- 3) ベルトトラスとセンターコアを繋ぐアウトリガートラス



図5 上海ワールドフィナンシャルセンターの外観図

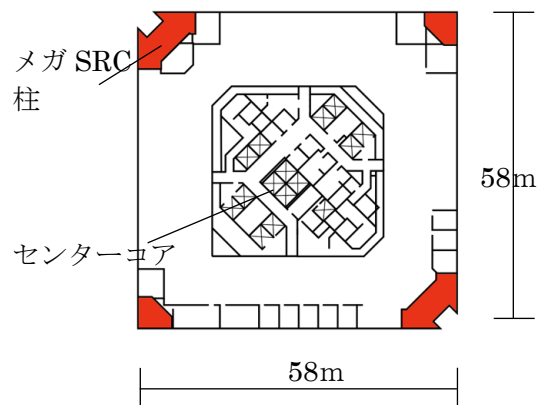


図6 上海ワールドフィナンシャルセンターの基準階伏図

#### 4.4 中国銀行ビル<sup>3)</sup>

図7に中国銀行ビルの外観図を示す。

香港中国銀行ビルの建築物高さは367mである。中国銀行ビルは、オフィスを中心に、ビジネスなどの用途が複合されている。建築面積は2,700m<sup>2</sup>であり、建築物は地上70階、全高367m、構造高さは315mで1990年に竣工した建物である。

##### 4.4.1 中国銀行ビルの構造設計

図8に中国銀行ビルの基準階伏図を示す。

中国銀行ビルの構造は、メガSRCストラクチャーである。このメガSRCストラクチャーは、架構形状はスペーストラスを基本にしているが、構造種別でみれば柱に採用したメガSRC柱を使ってメガ混合構造システムである。このメガストラクチャーは、以下4つの構造的特徴から構成されている<sup>5)</sup>。

- 1) 外周、対角線上の8つの平面フレーム
- 2) 4本のメガSRC柱
- 3) 鋼板+コンクリートの4Fの床
- 4) 中間階ベルトトラス

図8に示すように、このメガ柱はスペーストラスの鉛直材として常時および風荷重時の軸力に主に抵抗するが、鉄骨柱でなくSRC柱が用いられた理由は各平面フレームの端部鉄骨柱をRCで一体化でき、更に鋼材重量を低減できるコスト的利点がある。更にこのメガSRC柱は、1990年当時41N/mm<sup>2</sup>の高強度コンクリートを用いており、RCの大きな軸方向耐力と剛性を有効的に利用している。転倒モーメントに対して



図7 中国銀行ビルの外観図

は、柱自重が大きいほうが有利である。四隅のメガSRC柱はすべての垂直荷重を支持している。メガSRC柱の軸力とメガSRC柱自身の重量によってメガSRCストラクチャーの剛性が増すことで中国銀行ビルは転倒モーメントに抵抗している。そして、混合構造はその多様性から超高層建築物が幅広く採用され、設計の自由度はより高まる。

#### 5. まとめ

中国の超高層建築物の構造システムは、1990年代以降基本的な考え方は変わっておらず、コア+ベルトトラス・フレーム構造が主である。コアを中央に配置し外周フレームは四隅の柱にSRC造またはCFT造のメガ柱を設け、制振構造を採用している。今回の対象として、建築物高さが367m~632mと異なる建物においても、構造システムは同様である。中国の自然災害が多く、地震または台風が頻発に発生する地域に対して塔状比が大きい建築物においては、センターコアにメガベルトトラスとメガアウドリガートラス、メガ柱を併用することで構造安全性の確保を図っているものと考えられる。

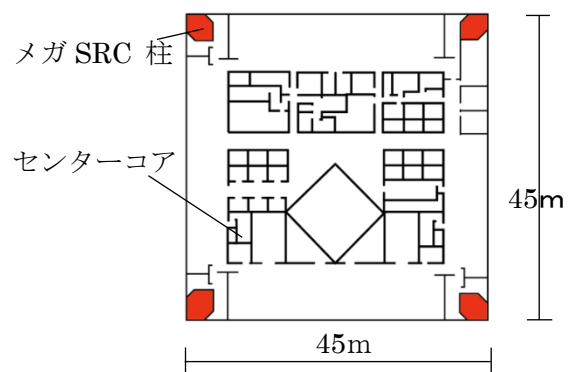


図8 中国銀行ビルの基準階伏図

#### 参考文献

- 1) 李文聰：高層建築物に用いるメガSRC柱および構造形式に関する中国の研究事例Vol.54, No.2, pp.195,2016
- 2) 丁洁民，他：上海中心大厦巨型悬挂式幕墙系统结构设计 与思考Vol.44, No.4, 2015
- 3) 井上明，他：海外における混合構造の高層建築の施工 Vol.31, No.2, pp.47-50, 1993.6
- 4) PengLiu, et al. : the structural design of tianjin goldin finance 117 tower Vol.1, No.4, pp.271-281,2012
- 5) PaulKatz, et al. : Shanghai World Financial Center:Without Compromise pp.2-4,2008
- 6) 市ヶ谷出版社：建築計画・設計シリーズ38 新・超高層事務所ビル, 2007