

CFT 造超高層建築物の構造計画に関する研究

－データベースの構築と検証－

日大生産工(院) 野口 丈翔 日大生産工 藤本 利昭

1. まえがき

コンクリート充填鋼管(CFT: Concrete Filled Steel Tube)構造とは、円形や角形の閉断面の鋼管の中にコンクリートを充填した合成構造であり、現代における多くの超高層建築物に用いられている。最初に設計されたCFT造超高層建築物は1968年の「静岡放送ビル」にはじまり、1990年代以降、S造、RC造、SRC造に次ぐ「第4の構造」と呼ばれるほどに一般化した。また、CFTの適用により建物は年々高層化の傾向にあり、用途や構造形式も複合化および複雑化してきている。本報告では、今後の研究の前段として日本建築センター発行の「ビルディングレター」¹⁾、鉄鋼造出版発行の「鉄鋼技術」²⁾及び日本総合試験所発行の「GBRC」³⁾に掲載されているデータの内、1968年9月から2024年8月までの56年間で計画・竣工した計186棟のCFT造超高層建築物を対象に計画的及び構造的観点から既往研究⁴⁾との整合性も含めて分析し、データを整理するとともにその信頼性の確認を行った結果を報告する。ただし、次のa)b)について注意されたい。

- a)各建物の年号に関しては、「ビルディングレター」によるものは性能評価の“認定年”，「鉄鋼技術」及び「GBRC」によるものは“竣工年”としていること
b)各資料に掲載されていない超高層建築物は本研究の対象外としていること

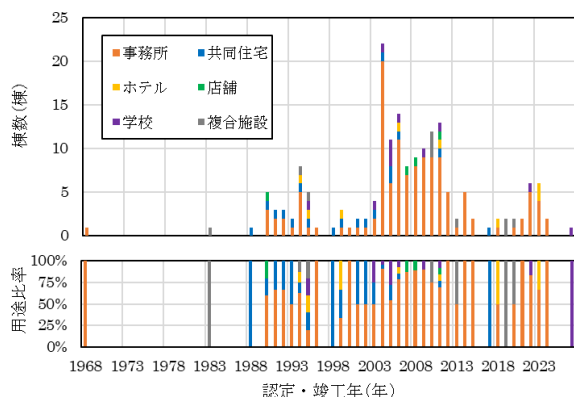


Fig.1 年代別設計実績・主要用途

2. 建築計画

2.1 設計実績と普及

Fig.1に主要用途ごとの年代別設計実績の推移、Fig.2に充填コンクリートおよび鋼管の材料強度の最大値の推移を示す。Fig.1よりCFT造超高層建築物は1990年代前半から増加し、90年代後半に件数が一時的に減るものの、2000年代前半から再び急速に棟数が増加していることが分かる。1990年代の普及は、建設省によって1985年から5箇年計画で実施された「新都市型集合住宅システム開発プロジェクト」において構造共同住宅の構造システムとしてCFT造が採用されたこと、および、1993年から5箇年計画で実施された日米共同耐震実験研究「ハイブリッド構造」にて、CFT分科会によって、CFT造の柱部材・柱梁接合部に関する実験的研究が実施されたことに起因するものだと考えられる。また、Fig.2から充填コンクリートや鋼材の材料強度も1990年代に高強度化していることから、1988年から1992年にかけて行われた建設省総合技術開発プロジェクト「鉄筋コンクリート造建築物の超軽量・超高層化技術の開発」（略称 NewRC 総プロ）によって高強度鉄筋や高強度コンクリートの技術開発が積極的に進められ、その概念がCFT造にも活用されたと考えられる。2000年代の普及は、2002年にコンクリート充填鋼管構造告示によりCFT造が鉄骨造の特殊な構造と位置付けられ、大臣認定を取得することなく、実施できるようになったことも一つの要因と考えられる。

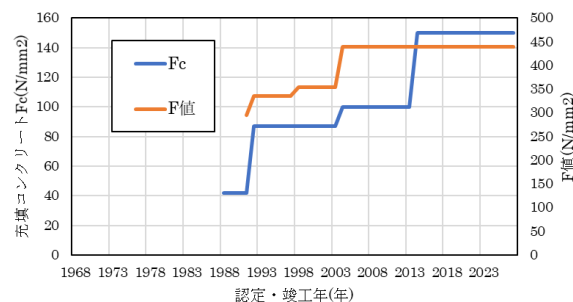


Fig.2 Fc と F 値の最大値の推移

Statistical Survey of Structural Characteristics of Existing High-rise CFT Buildings
－ Database Construction and Validation －

Taketo NOGUCHI and Toshiaki FUJIMOTO

2.2 主要用途

Fig.3 に主要用途ごとの棟数を示す。CFT を適用した超高層建築物は事務所が約 62%と半数以上を占めている。また、Fig.1 より対象期間を通して事務所が各年の用途比率の約 70%を占めていることが分かる。さらに 2000 年代以降、より多くの割合を占めている。当時はバブル崩壊後で経済回復を図るため東京を中心に大規模事務所ビルが次々に建てられたが、CFT がもつ相互拘束効果には高層化や耐震性能に優れるだけでなく、階高の向上や柱断面のコンパクト化および柱数減少による有効面積の増加といったメリットが存在したため、事務所に多く用いられたと考えられる。

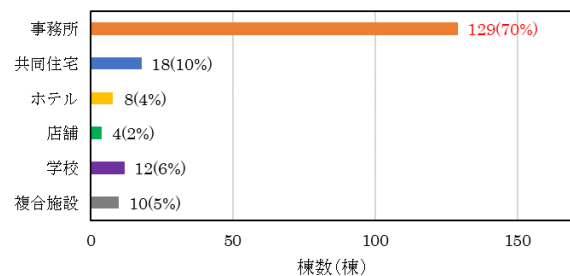


Fig.3 主要用途

3. 立面計画

Fig.4～Fig.6の各図では各年の建物高さ、階数及び基準階高の最大値、最小値及びその年までの実績最大値を示し、また各年の平均値を黄丸で示している。

3.1 建物高さ

Fig.4に建物高さの年代別の推移を示す。ここで建物高さは軒高とした。建物高さは1988年に「大川端リバーシティ21東ブロックA棟」が高さ114mで100mを超え、1990年代になるとさらに高層化し、2014年には「あべのハルカス」が竣工したことで高さ300mに達した。1968年の65.5mから約50年間で建物高さは約4.5倍にもなり、研究の進展とともに著しく増加していることが分かる。また、現在ではあべのハルカスを超える高さの建物も計画・竣工しており、今後も増加していくと考えられる。

3.2 建物地上階階数

Fig.5に地上階階数の年代別の推移を示す。建物地上階階数は最高値および平均値の推移で建築高さと同様の傾向を示しており、1968年で17階、2014年で60階の建物が竣工しており、約50年間で地上階階数は約3.5倍増加していることが分かる。

3.3 建物基準階高さ

Fig.6に基準階高さの年代別の推移を示す。年代別の平均値に着目すると、1990年代までは相関がないものの、2000年以降は年々増加傾向にあり、4.3m程度を多く採用している。これには2000年以降で事務所が増加したことで事務所の傾向が影響しやすくなったこと、また、2001年以降、国土交通省主導のもと、CASBEE（建築物総合環境性能評価システム）が普及し、建築物の「健康性」・「快適性」が求められるようになったことの影響が大きいものと考えられる。空調・電気・通信用のスペースを多く要する事務所では OA フロアやシステム天井を採用することで快適かつ機能的な執務空間を確保することができるため、結果として階高は高くなる傾向にあると考えられる。この傾向は前述 3.1 および 3.2 より建物高さの方が地上階階数に比べて増加している傾向を示したことに影響を与えている。

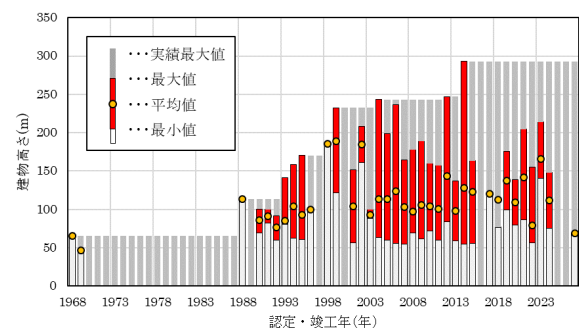


Fig.4 建物高さ

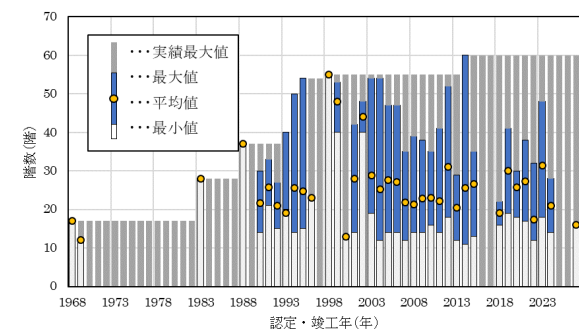


Fig.5 建物地上階階数

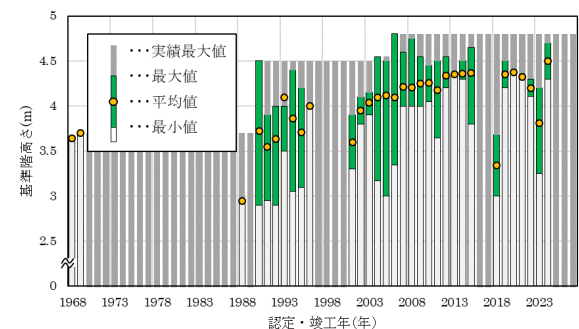


Fig.6 建物基準階高さ

3.4 塔状比

Fig.7に塔状比の年代別の推移を示す。ここで塔状比は基準階の短辺幅を軒高で除した値とした。耐震・制震・免震で比較すると、1990年代初頭までは耐震が主流であったが、以降、制震が多く用いられるようになり、2000年代後半からは、超高層建築物に適さないとされていた免震も採用されるようになったことが分かる。1995年の兵庫県南部地震において、制震および免震による建築物の被害が少なく、その有効性が確認されたこと、地震後も軽微な補修で継続的に使用できるよう、損傷制御型設計に変化したことから制震および免震の採用が増えたと考えられる。特に免震は高層化に不向きであったが、超高層用アイソレータおよび大規模地震時の引張力に対する技術の開発、中間層免震の採用などにより100m級以上の超高層建築物にも徐々に採用される例が増えてきている。

また、塔状比が4を超える場合に地震時の建物の転倒に対する検討が必要となるが、対象建物の約80%が4以下に収まっている。塔状比が4を超える建物のうち約85%が制震であり、実績データで塔状比の最大値は「西梅田プロジェクト ブリーゼタワー」の5.77である。制震の塔状比の平均値は3.18で耐震および免震の平均値である2.86および2.75を上回った。制震に用いられるオイルダンパーや座屈拘束ブレース、粘性制振壁などの制振装置の適切な配置により、建物の揺れを小さくし、転倒モーメントの抑制が可能であるために塔状比が大きな建物に制震が多く用いられていると考えられる。

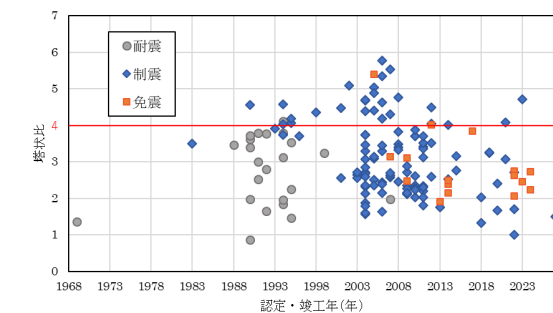


Fig.7 塔状比

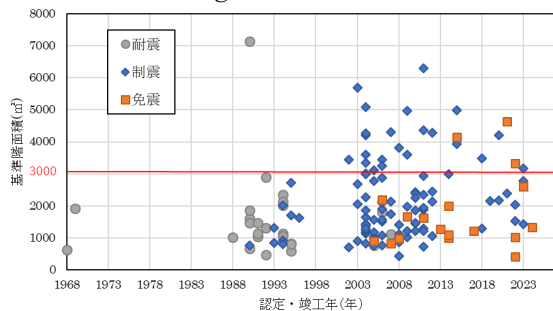


Fig.8 基準階面積

4. 平面計画

4.1 基準階面積

Fig.8に基準階面積の年代別の推移を示す。2000年代以前は1990年に計画された「小倉駅前東地区第一種市街地再開発事業」を除き、全ての事例で3000㎡未満であったが、2000年以降ではそれを大きく上回るものが多くみられるようになった。また、このような建物は制震が多く採用されていることが分かる。この傾向には、同時期は高層化が進んでいる時期であり、塔状比が大きくなることを避けるために基準階面積も大きくする必要があったこと、前述3.4の塔状比と制震の関係から基準階面積の大きな建物に制震が用いられていることの2つの影響が大きいものと考えられる。また、前述3.3と同様にCASBEEが普及した時期でもあるため、その影響によるものとも考えられる。2013年以降では基準階面積が大きいものに免震も採用され始めていること分かるが、塔状比4以下のものだけに留まっている。

4.2 柱スパン

Fig.9に柱スパンの年代別の推移を示す。長辺方向の柱スパンは各年の平均値で比較すると概ね変化は少なく、全棟の平均値7.5m付近に集中している。特に2010年以降、7割以上の建物で7.2mを採用している。短辺方向においては相関はみられなかった。長辺方向の柱を一定のスパンで密に配置し、建物にかかる荷重を均等にバランスよく受けることで、その直行方向となる短辺方向では柱スパンを大きくし、無柱の大空間とする計画が多く採用されるためだと考えられる。

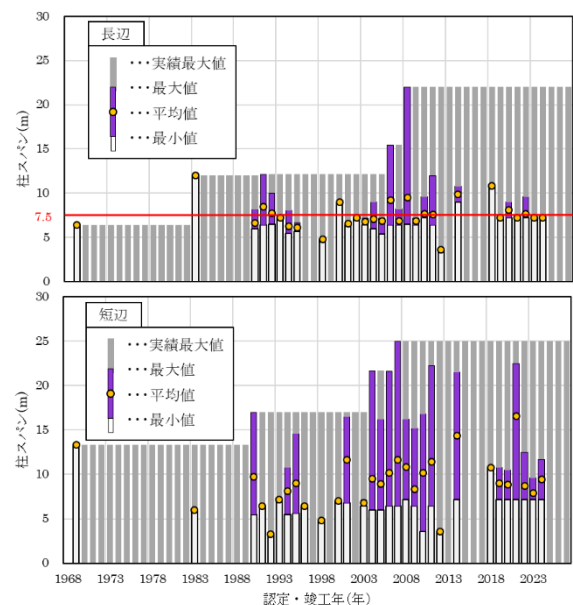


Fig.9 柱スパン

5. 振動特性

5.1 固有周期

Fig.10に一次固有周期 T_1 と建物高さ h の関係を示す。ここで一次固有周期は建物の長辺、短辺方向の平均値とし、建物高さは軒高とした。一次固有周期と建物高さの関係には強い相関が見られた。現行の建築基準法上の一次固有周期の概算値としてRC造では $T_1=0.02h$ 、S造では $T_1=0.03h$ とされており、CFT造の振動特性がS造と近いことから、S造と同様の値が用いられることが多い。文献5)において得られている構造種別毎の実績データに基づいて導いた一次固有周期と建物高さの関係は、超高層RC造では $T_1=0.022h$ 、超高層S造では $T_1=0.026h$ と示されており、本研究における実績データに基づいた超高層CFT造の平均値は $T_1=0.027h$ となり、超高層S造と同様の関係が確認できた。

5.2 設計用ベースシア係数

Fig.11に設計用ベースシア係数 C_B と一次固有周期 T_1 の関係を示す。ここで設計用ベースシア係数、一次固有周期ともに長辺、短辺方向の平均値とした。また、Fig.11には日本建築学会高層建築技術指針⁶⁾の下限式 $C_B=0.18/T_1$ および文献7)で示されたS造設計時に一般的に用いられる式 $C_B=0.30/T_1$ を表記する。本研究におけるCFT造の平均値は $C_B=0.274/T_1$ となり、S造より1割程度小さいことが分かる。特に免震を用いた建物については基礎固定時の固有周期を示しているため、下限付近に集中していることが分かる。

6. まとめ

研究対象文とした1968年から2024年までに掲載された計186棟のCFT造超高層建築物のデータを収集し、データベースを作成し、その関係を明らかにした。以下に得られた知見をまとめる。

- 1) CFT造超高層建築物は高強度鋼材および高強度コンクリートの技術開発や法整備に伴い棟数を増やしてきた。
- 2) 主要用途の約70%が事務所で半数以上を占めている。
- 3) 階高が増加傾向にあるため、対象期間の約50年間で建物高さは約4.5倍、地上階階数は約3.5倍と建物高さの方が地上階階数に比べて増加している傾向を示した。
- 4) 塔状比は対象建物の約80%が4以下で、4を超える建物のうち約85%が制震である。
- 5) 塔状比が過大にならないよう、高層化に伴い、基準階面積が増加する傾向がある。
- 6) 長辺方向の柱スパンは対象期間を通して変動が少なく7.5m付近に集中している。長辺方向の柱を密に配置することで短辺方向の柱スパンは自由度が増し、相関はみられなかった。
- 7) 超高層CFTの固有周期およびベースシア係数は超高層S造のものと同程度となり、振動特性が近いことが確認できた。

参考文献

- 1) 日本建築センター：ビルディングレター，No.1-No.705，1967.9-2024.8
- 2) 鋼構造出版：鉄鋼技術，No.1-No.705，1967.9-2024.8
- 3) 日本建築総合試験所：機関紙 GBRC，Vol.36 No.3-Vol.46 No.3，2011.7-2021.7
- 4) 藤本利昭，三上功生，水野僚子，山中美穂：CFT造超高層建築物の構造計画の変遷，日本建築学会技術報告集 第23巻 第55号，pp.897-902，2007.10
- 5) 金本清臣，石川祐次：鉄筋コンクリート構造の技術的変遷 第27回，ビルディングレター，No.609，pp.1-22，2021.8
- 6) 日本建築学会：高層建築技術指針，1968
- 7) 木村麗，市村将太，福島東陽，寺本隆幸：超高層建築物の力学的特性の調査，日本建築学会大会学術講演便概集(東北)，2000.9

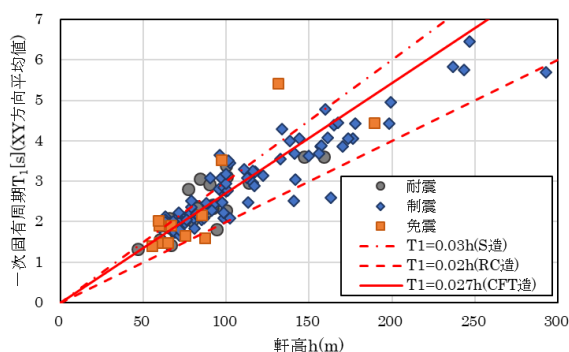


Fig.10 建物高さと一次固有周期

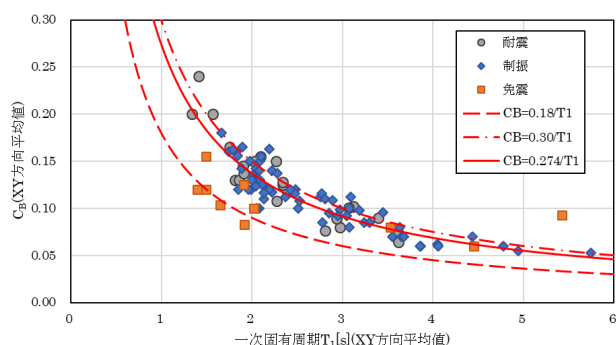


Fig.11 一次固有周期と設計用ベースシア係数