

CFT 造超高層建築物の構造計画に関する研究

— 免・制振装置の検討 —

日大生産工(院) ○井出 翔太 日大生産工 藤本 利昭
日大生産工(学部) 宋 子成

1. まえがき

近年、超高層建築物の設計には様々な構造技術が取り入れられている。それら超高層建築物の中でも、藤本ら¹⁾によって1968年から2013年までのコンクリート充填鋼管(CFT)造については構造計画がまとめられている。本論文では、2013年以降のCFT造超高層建築物のデータを加えて構造計画の変遷を整理した。

また本論文では、近年一般的になってきた制振構造に着目し取り入れられる各装置と超高層建築物の構造計画を関連付け分析を行った。

分析にはCFT造超高層建築物の構造計画に関する設計資料を基にデータベースを作成し、CFT造の持つ構造的特徴が構造計画にどのように影響を与えているか検討した。

2. 対象建築物

図1にCFT造超高層建築物の設計棟数の年代推移を示す。

また、本研究で取り扱うCFT造超高層建築物のデータは日本建築センター発行「ビルディングレター」²⁾および日本総合試験所発行「GBRC」³⁾に記載されている性能評価シートを基にした。

調査対象期間は1968年から2020年であり、藤本らによってまとめられたデータに制振構造3棟、免震構造4棟の計7棟を加えた163棟のCFT造超高層建築物を対象とした。全体163棟の内、制振構造が119棟、免震構造が16棟、耐震構造が28棟である。また、分析項目によっては明記されていない建物もあるため、その分析から除外した建物もある。

3. 調査結果

3.1 制振装置

図2に制振部材の割合を示す。

本研究では制振装置を日本建築構造技術者協会「耐震構造設計ハンドブック」⁴⁾を参考に、エネルギーの吸収方式により履歴減衰型、摩擦減衰型、粘性減衰型、粘弾性減衰型、質量系に分けた。質量系の制振装置にはマスダンパー、回転慣性質量ダンパー、同調粘性マスダンパーがあった。

図2に示すように、履歴減衰型が54%、粘性減衰型(オイル系)が20%、粘性減衰型(粘性系)が12%で全体の86%を占めている。更に、粘弾性減衰型が5%、摩擦減衰型が7%、質量系が2%であり、採用される件数が少ないことが分かった。

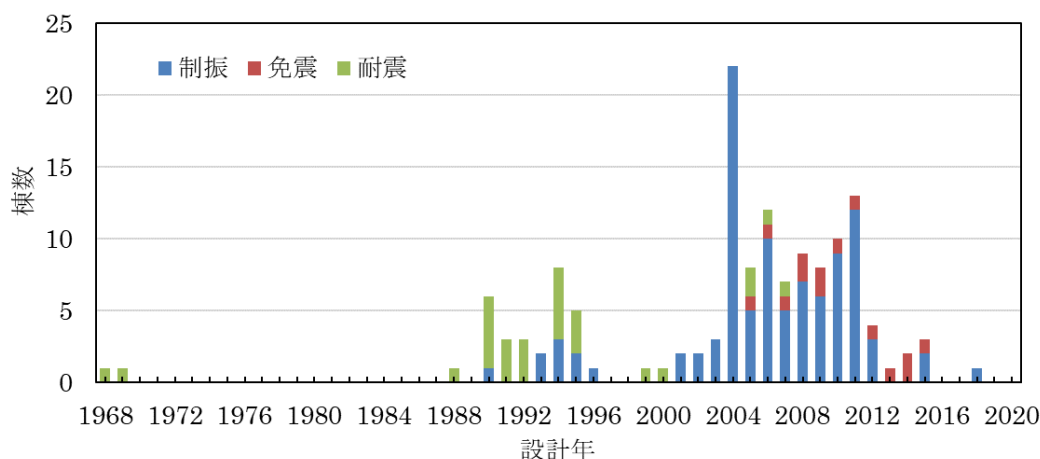


図1 CFT造超高層建築物の設計年の年代推移

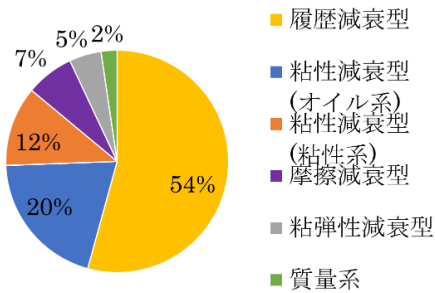


図2 制振部材の割合

3.2 制振装置の年代推移

図3に採用された制振装置の年代推移を示す。

1990年から1996年に設計された建物には履歴減衰型の制振装置が主として採用されていることが分かる。また、2001年から粘性減衰型(オイル系)の制振装置が採用され始め、2012年、2016年には履歴減衰型を上回り全体の半分を占めている。2004年からは粘性減衰型(粘性系)の制振装置が採用され始め、2007年には採用率が全体の40%を上回っている。更に、2008年から2011年にかけて粘弾性減衰型、2002年から2012年にかけて質量系の制振装置が取り入れられていることが確認できた。また、1994年に摩擦減衰型が取り入れられ、期間中は空気が次に採用された2004年以降、徐々に取り入れられていることが分かる。

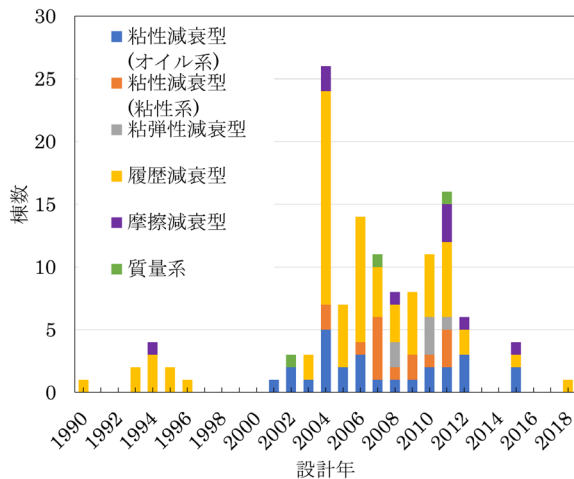


図3 制振装置の年代推移

3.3 建物用途

表2に対象建物の主要用途と棟数の関係を示す。表中には用途の記載があった156棟の主要用途を示している。表3に制振構造の建物の主要用途と取り入れられた制振装置の関係を示す。なお対象は、表2と同様に記載があった102棟で複数型併用する事例もあることから合計136件の制振装置を示している。

主要用途と制振装置の関係をみると、ホテル

の場合履歴減衰型が1件、摩擦減衰型が2件であり摩擦減衰型が多く採用されている。学校では履歴減衰型の採用がほとんどである。共同住宅では粘性減衰型の採用が目立ち、履歴減衰型、質量型も採用されている。事務所では履歴減衰型が粘性減衰型より採用数が多少多く、両者で全体の9割を占めている他、摩擦減衰型と質量型の採用があることを確認できた。

表2 対象建物の主要用途

主要用途	ホテル	学校	共同住宅	研修所	事務所
棟数	5棟	8棟	13棟	1棟	89棟
主要用途	庁舎	店舗	病院	複合施設	計
棟数	1棟	3棟	1棟	35棟	156棟

表3 主要用途と制振装置の関係

	履歴減衰型	粘性減衰型	粘弾性減衰型	摩擦減衰型	質量型	棟数
ホテル	1件	-	-	2件	-	3棟
学校	5件	1件	-	-	-	5棟
共同住宅	2件	4件	-	-	1件	6棟
研修所	1件	-	-	-	-	1棟
事務所	42件	33件	-	6件	2件	60棟
店舗	-	1件	-	-	-	1棟
複合施設	17件	10件	6件	2件	-	24棟

3.4 塔状比

表4に制振構造を採用した建物の塔状比と取り入れられた制振装置のタイプの関係を示す。

なお、本研究では建築物高さを基準階面積の短辺方向の長さで除した値を塔状比とした。対象建物全体163棟での塔状比の平均は3.12であった。

履歴減衰型、摩擦減衰型を取り入れた建物の塔状比の平均はそれぞれ2.89、2.67であり、全体の平均を下回っていた。

装置の塑性化を利用する履歴減衰型、摩擦減衰型において塔状比が平均よりも低い要因として以下が考えられる。

塔状比が高くなり建物の架構全体としての曲げ変形が生じると層間変形の内、曲げ変形成分の占める割合が高くなる⁵⁾。結果、ダンパーに十分な変位を伝えられず、装置の塑性化による制振効果を発揮できないため。

表4 塔状比と制振装置のタイプの関係

装置のタイプ	履歴減衰型	粘性減衰型	摩擦減衰型	混合
塔状比	2.89	3.34	2.67	3.48

3.5 一次固有周期と設計用ベースシア係数

図4に一次固有周期 T_1 と建物最下階の層せん断力係数 C_b の関係を示す。また、制振構造52棟の平均は $C_b=0.271/T_1$ であり、併せて示している。なお、 C_b および T_1 は建物の長辺、短辺方向の値の平均値を用いた。

制振装置のタイプごとの T_1 と C_b の関係を見ると、履歴減衰型、粘性減衰型が共に $C_b=0.281/T_1$ であり制振構造全体の平均を上回っていることが、混合が $C_b=0.271/T_1$ で全体の平均と同じ値であったことが分かった。また、摩擦減衰型は $C_b=0.260/T_1$ であり全体の平均を下回っていた。

更に、構造種別ごとで見ると耐震構造23棟の平均は $C_b=0.281/T_1$ であり制振構造の方が低い値の C_b であることが確認できた。

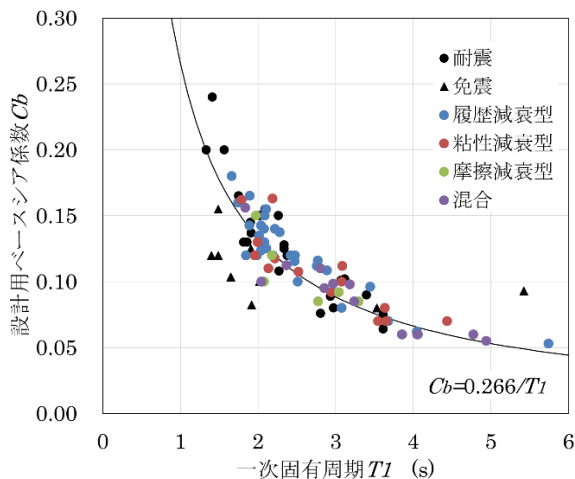


図4 一次固有周期と設計用ベースシア係数の関係

3.6 鋼管の材料強度

図5に使用された鋼材の最大F値の年代推移を示す。

鋼材の最大F値は文献1)では年々使用される鋼材の強度が高くなる傾向がみられた。

しかし高強度化の傾向がみられる中、2013年、2018年に設計された建物には鋼材の最大F値が325N/mm²と比較的低い強度の鋼材を使用していることが分かった。また、使用された鋼材は両者ともBCP325であった。これら2棟の建物は株式会社日建設計による設計の地上13階建て、地下1階、最高高さ60.0mの「(仮称)サッポロ恵比寿ビル」と株式会社日企設計、株式会社現代構造による設計の地上22階建て、最高高さ81.2mの「(仮称)泉佐野市りんくう往来北計画」であった。これは本データベースにおける建築物高さの平均が109.77mであるの

に対して低い設計であり、両建物とも高強度の鋼材を使用しなくても合理的な設計が可能であったためと考えられる。

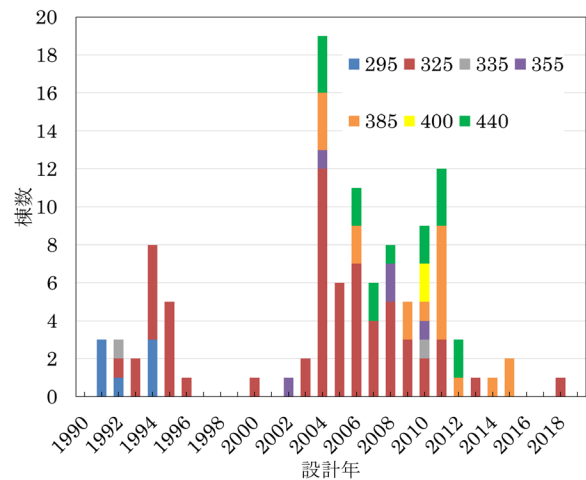


図5 鋼材の最大F値の年代推移

3.7 コンクリート強度

図6にコンクリート強度の最大値の年代推移を示す。

コンクリート強度の最大値に関しても、文献1)と同様に2013年以降も高強度化の傾向があることを確認できた。また、前述の図5鋼材の最大F値の年代推移と対応させてみると、コンクリート強度が高くなると使用する鋼材の最大F値も高くなる傾向がある。しかし、2018年にコンクリート強度の最大値が36N/mm²で設計された建物があることが分かる。この建物は前述にもあった「(仮称)泉佐野市りんくう往来北計画」であり、鋼材の最大F値は325N/mm²であった。この場合、鋼材とコンクリートそれぞれの強度に大きな差が生じないように材料選定がなされていると考えられる。

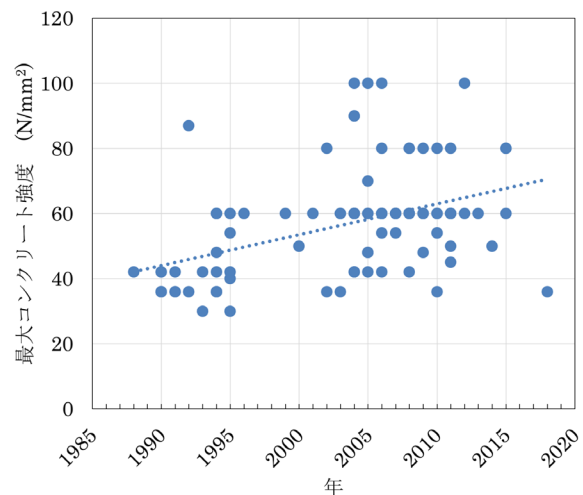


図6 コンクリート強度の最大値の年代推移

3.8 柱径

図7に柱の断面径(せい)の最大, 最小値と設計年の関係を示す。

CFT造の柱には大きく分けて二種類の断面がある。一つが角形断面, 二つ目が円形断面である。さらに角形断面は正方形断面, 長方形断面に分けられる。分析に使用した値は, 角形断面は長辺方向の長さを使用し, 円形断面は使用された柱の直径の長さを使用した。

柱径の最大値の年代推移を見ると, 2002年に1000mmが設計されて以降, 2005年には1800mm, 2009年には2200mmが設計され柱径の設計の自由度の幅が広がっていることが伺える。一方柱径の最小値を見ると, 2004年以降では500mmを下回る設計がされていることが分かる。これは鋼材とコンクリートの高強度化が柱断面の縮小化に貢献していると考えられる。

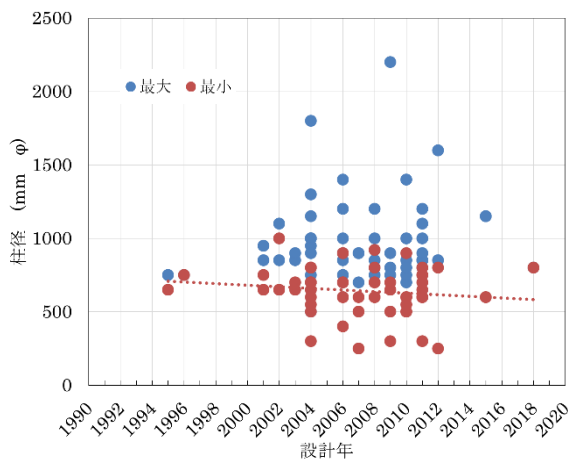


図7 柱径の年代推移

3.9 板厚

図8に柱の断面径(せい)と板厚の最大値の関係を示す。

板厚の最大値は柱の断面径(せい)が大きくなるにつれ厚くなる傾向が認められた。

更に, 板厚は40mm以上が主流であり, 最大で90mmまで設計されている。板厚90mmの設計には高強度のコンクリートが充填されていた。

また, 柱の最大径は円形鋼管が900mm~1800mmの範囲にあり, 角形鋼管の範囲が600mm~1200mmである。円形の方が角形より断面が大きく設計されていることが分かった。

4. まとめ

本論文ではCFT造超高層建築物の構造計画を調査し, 制振装置と構造計画の関係性を分析し得られた知見を以下に示す。

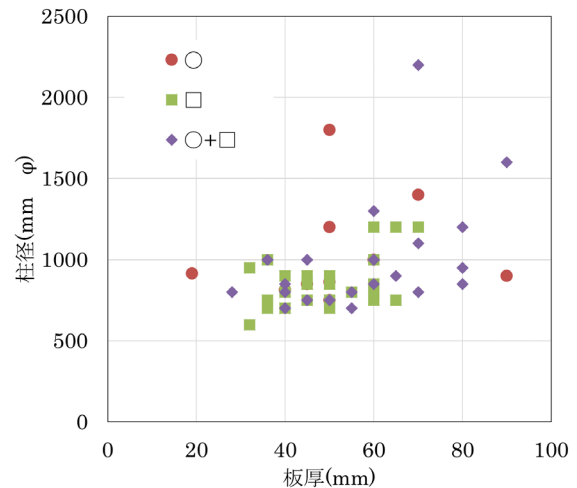


図8 板厚と柱径の関係

- ・ 取り入れられる制振装置は全体の半分を履歴減衰型が占め, 約3割を粘性減衰型が占めていた。また, 近年粘性減衰型が多くなってきている。
- ・ 制振装置の性能は建物の架構全体の曲げ変形の影響を受けやすいため, 取り入れる型は建物の塔状比を考慮している。
- ・ 対象163棟の内, 制振構造の52棟の設計用ベースシア係数 C_b の平均は $C_b=0.271/T_I$ であり, 制振構造の内, 履歴減衰型, 粘性減衰型を採用したときの平均は $C_b=0.281/T_I$ となり全体の平均と比べて大きい。
- ・ 使用される鋼材, コンクリートの強度は高強度化の傾向にある。
- ・ 柱の断面は材料の強度に影響する。
- ・ 柱の板厚は柱の断面径が大きくなるにつれ, ともに大きくなる傾向がある。

今回は制振装置とCFT造超高層建築物の構造計画の関係性を分析したが, 今後は免振装置との関係も分析していく予定である。

参考文献

- 1) 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, 2017.10
- 2) 日本建築センター: ビルディングレター, No.1-No.653, 1967.1-2020.5
- 3) 日本建築試験総合研究所: 機関誌 GBRC, Vol.36 No.3-Vol.39 No.4, 2011.7-2014.10
- 4) 日本建築構造技術者協会: 耐震構造設計ハンドブック, オーム社, 2008.10
- 5) 「超高層建築物の構造設計実務」編集委員会: 性能評価を踏まえた超高層建築物の構造設計実務, 日本建築センター, 2019.7