

# (31) CFT造超高層建築物の構造計画 に関する研究

内藤 哲也<sup>1</sup>・藤本 利昭<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 日本大学大学院生産工学研究科 建築工学専攻 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町1-2-1)  
E-mail:cite13027@nihon-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 日本大学 生産工学部建築工学科 准教授 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町1-2-1)  
E-mail:fujimoto.toshiaki@nihon-u.ac.jp

近年、優れた性能からコンクリート充填鋼管(CFT)柱を用いた超高層建築物が増加している。しかしながら、その超高層建築物を設計する際に参考となる資料は、充分整備されていないのが現状である。そこで本研究では、超高層建築物に適用事例が増加している CFT 構造の構造計画について設計資料を基にデータベース化し、分析を行った。1968 年から 2012 年までの間に設計された 148 棟の設計資料に基づき分析した結果、約 7 割が制震構造による建築物であり、地上階階数・建物高さ・階高は年々増加傾向にあり高層化していることがわかった。また、一次固有周期(T1)と軒高(H)の関係の値は、ほとんどの建物が  $T1=0.02H\sim 0.03H$  の間に位置していた。設計用ベースシア係数  $C_B$  と一次固有周期 T1 の関係は、 $C_B=0.268/T1$  となり S 造の値より若干小さい値であることが明らかになった。

**Key Words :** CFT, High-rise building, Structural design, Natural period

## 1. はじめに

コンクリート充填鋼管(以下、CFT)構造は、近年優れた性能から、超高層建築物を中心にその実施例が増加している。しかしながら、その超高層建築物を設計する際に参考となる資料は、鉄筋コンクリート(RC)構造、鉄骨(S)構造、鉄骨鉄筋コンクリート(SRC)構造等に関しては、文献 1)~3)において整理されているものの、比較的歴史の浅い CFT 構造に関しては、まとまった資料が整っていないのが現状である。

そこで本研究では、超高層建築物に適用事例が増加している CFT 構造の構造計画について設計資料を基にデータベース化し分析を行った。

## 2. 分析方法

CFT 構造の超高層建築物のデータベースに収集したデータは、日本建築センター発行の「ビルディングレター」に掲載されている性能評価シート、日本総合試験所発行の「GBRC」に掲載されている性能評価シートを基にしたデータである。これらの文献を調査した結果、本分析に使用した CFT 構造超高層建築物は、1968 年から 2012 年までのシートに記載されている 148 棟である。

## 3. 構造計画の年代別推移・棟数分布

### (1) 耐震設計における構造分類

図-1 に耐震設計に関する構造の分類(耐震、制震、免震)による設計棟数の推移を示す。1980 年代後半から 1990 年代には耐震構造が多くなっているが、近年は、ほとんどの建物が制震構造で設計されており、全体の約 7 割を占めている。また、免震構造(超高層免震)の建物は、2005 年頃から設計されるようになってきている。

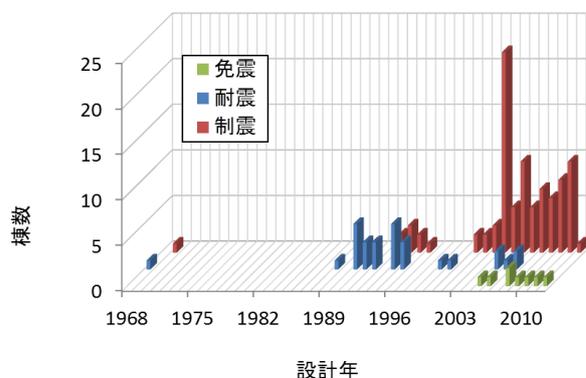


図-1 構造種別の推移

### (2) 地上階階数・建築高さ(軒高)

地上階階数の推移と棟数分布を図-2 に示す。地上階

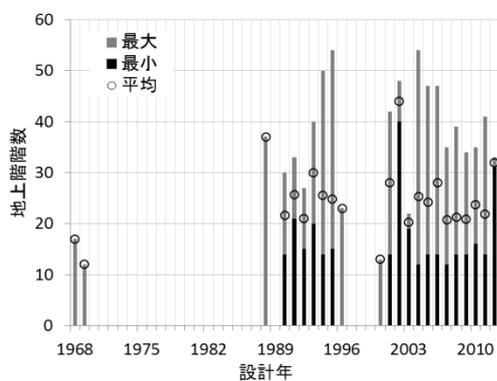
階数は、1968年に設計された「静岡放送ビル」の17階建てに始まり、1988年には30階を超える建築物が設計されている。1995年には調査した建物の中で最も階数の多い54階建ての「大川端リバーシティ21」が設計されており、この約27年間でおよそ3倍程度の階数の建築物が設計されるようになったことがわかる。各年の階数の平均値は、20階から30階程度となっている。構造別では、耐震構造の平均の階数は21階、制震構造は26階であり制震構造の方が高くなっているが、これは、制震構造の建物の設計年が耐震構造より新しいことが影響している。また、免震構造の平均は20階であった。

建築高さの推移と棟数分布を図-3に示す。建築高さは、地上階階数と同様の傾向を示している。平均の建築

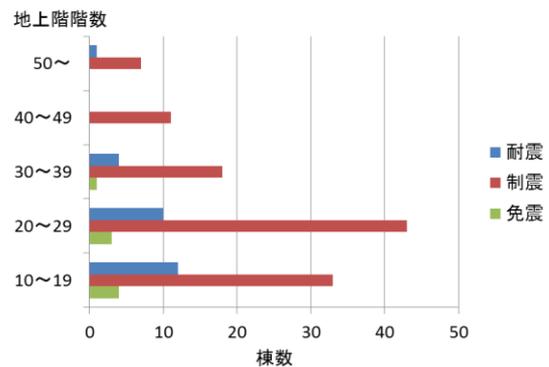
高さは108mで、120m以下程度の高さの建築物が多く設計されている。

### (3) 基準階階高

図-4に基準階階高の推移と棟数分布を示す。1996年以前の基準階の階高は、ほぼ4m以下であった。しかし、2002年以降は階高が4mを超える建物が多く設計され、全体の約8割を占めている。また、各年の平均値は増加傾向にある。特に制震構造では、設計年が新しいためであると考えられるが、4mを下回る建物が少なく、ほとんどの建物が4m以上で設計されており、平均値も4.2mと耐震構造の3.7mに比べ高くなっている。

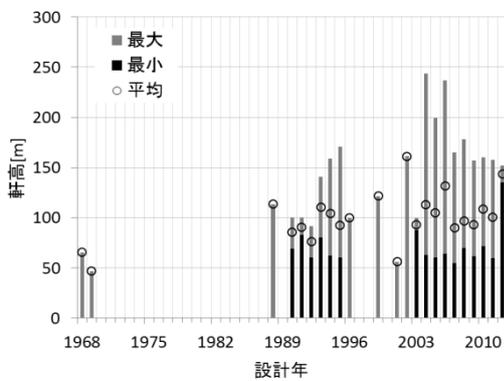


(a) 地上階階数の推移

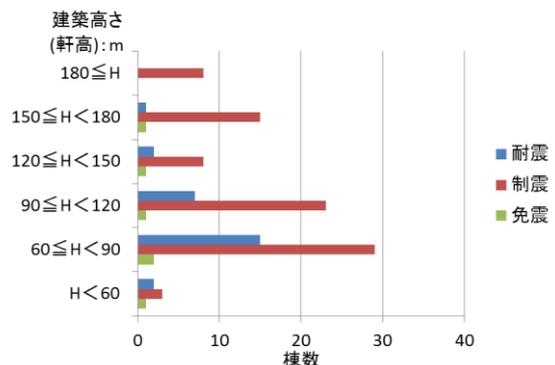


(b) 地上階数の棟数分布

図-2 地上階階数の分析

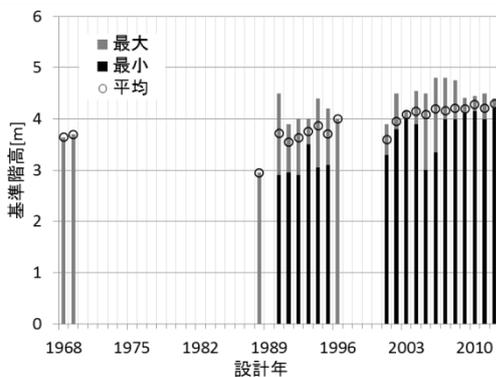


(a) 軒高の推移

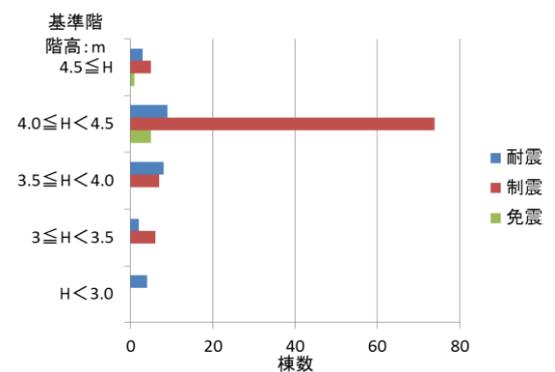


(b) 軒高の棟数分布

図-3 軒高の分析



(a) 基準階階高の推移



(b) 基準階階高の棟数分布

図-4 基準階階高の分析

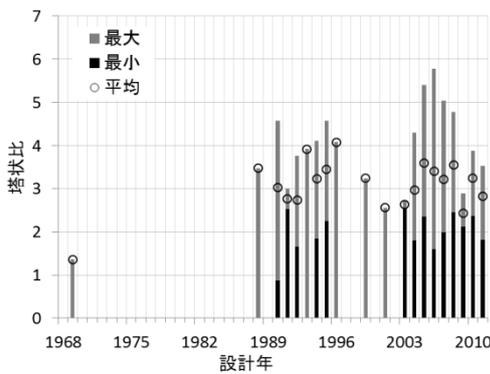
#### (4) 塔状比

建築物の立体的な形状を表す値として塔状比に着目した。図-5 に塔状比の推移と棟数分布を示す。塔状比は、建物高さ（軒高）を基準階の短辺方向の建物幅で除した値とした。図-5 より、塔状比は、4を下回る建物が多い。これは、一般的に塔状比が4を超える場合、地震時の建物の転倒に対する検討が必要とされることが影響しているものと推察される。しかしながら、2000年以降では4を超える建物も多くなっており、2006年には最大値である5.8の建築物「西梅田プロジェクト ブリーゼタワー」が設計されている。また、塔状比が4を超える建物の約85%は制震構造であり、制震構造の塔状比は、耐震構造に比べて大きい傾向がみられ、制震構造の平均値

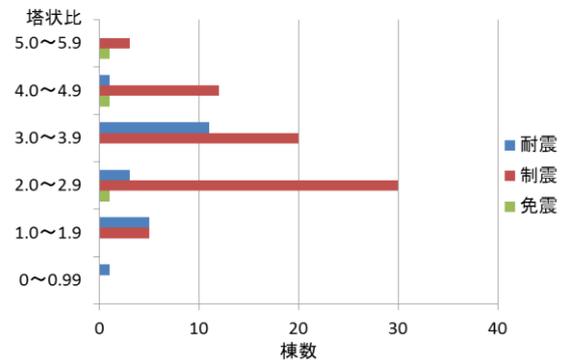
は3.13で、耐震構造の平均値は2.84である。このことは、何かしらの制震装置を組み込むことによって、転倒モーメントを抑制する方法が取られているものと考えられる。

#### (5) 基準階面積

基準階床面積の推移と棟数分布を図-6 に示す。約620 m<sup>2</sup>に始まり最大約7000 m<sup>2</sup>の建築物も1990年に設計されている。基準階床面積が最大の建物は、「小倉駅前東地区第一種市街地再開発事業」である。また、平均値は約2000 m<sup>2</sup>であり、設計年代による傾向はみられない。棟数分布を見ると、1500~2000 m<sup>2</sup>が最も多い。制震構造の平均値は他の構造よりも、500 m<sup>2</sup>程度大きい。

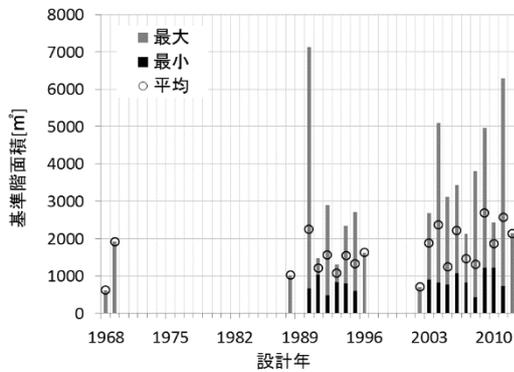


(a) 塔状比の推移

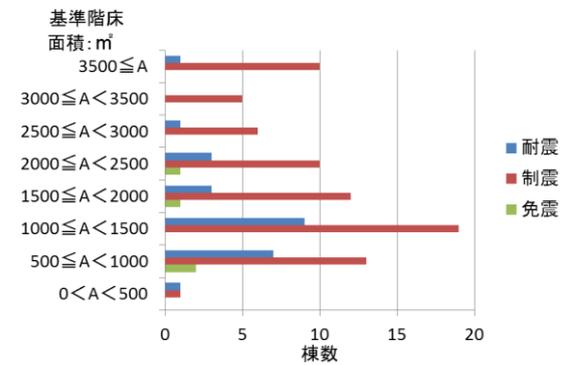


(b) 塔状比の棟数分布

図-5 塔状比の分析

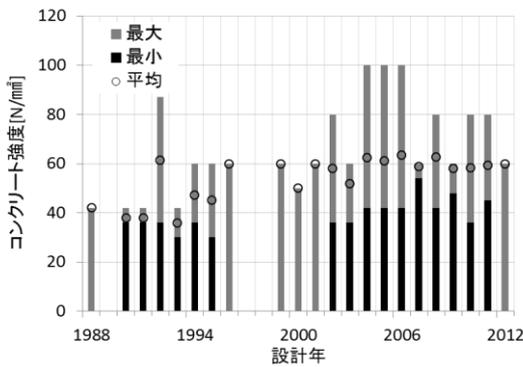


(a) 基準階面積の推移

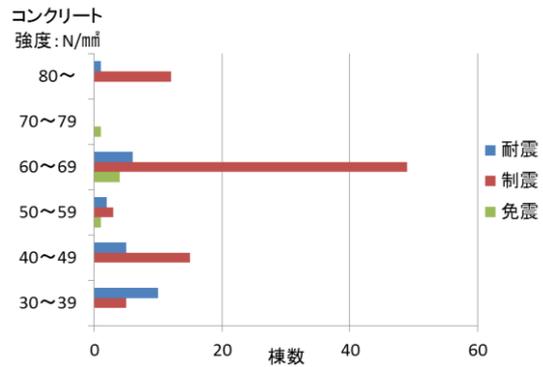


(b) 基準階面積の棟数分布

図-6 基準階面積の分析



(a) コンクリート強度の推移



(b) コンクリート強度の棟数分布

図-7 コンクリート強度の分析

## (6) 充填コンクリートの設計基準強度

それぞれの建物の CFT 柱の充填コンクリートに採用されたコンクリート強度の推移と棟数分布を図-7 に示す。コンクリート強度の最大値は、1988 年の  $F_c=42\text{N/mm}^2$  から始まり、1992 年には「藤原台住宅事業計画 F 棟」に  $F_c=87\text{N/mm}^2$  の充填コンクリートが、2004 年には「東京ミッドタウンプロジェクト A 棟」に  $F_c=100\text{N/mm}^2$  のコンクリートが採用された建物が設計されていることから、CFT 柱の充填コンクリートの高強度化は進んでいく方向にあると考えられる。 $F_c=60\text{N/mm}^2$  のコンクリートが使われるようになった 1994 年以降は各年の平均値が  $60\text{N/mm}^2$  程度となっており、大きな変化はない。設計棟数では、 $F_c=60\text{N/mm}^2$  が過半数を占めている。設計基準強度は、コンクリート充填鋼管構造設計施工指針<sup>4</sup>では下限値を  $18\text{N/mm}^2$ 、上限値を  $90\text{N/mm}^2$  とされている。しかし、コンクリートの充填によるコスト低減効果をより向上させることと、施工上の要求等から高流動コンクリートを用いることになる場合が多いことから、設計基準強度は高強度となることが多いものといえる。ただし近年でも  $F_c=60\text{N/mm}^2$  程度の充填コンクリートが採用される場合が多いことから、この程度のコンクリート強度に、構造上のメリットが大きくなるものと推察される。

## (7) 柱の断面形状

柱の断面形状の棟数分布を図-8に示す。角形鋼管を用いた建物が61%と最も多く、次いで角形鋼管と円形鋼管の併用(25%)・円形鋼管(14%)となっている。CFT 柱の構造性能上は、角形鋼管に比べ円形鋼管を使用した方が優れていることは周知の事実ではあるが、建物の意匠上の問題や使用上の使い勝手の問題等から、角形鋼管が多く使用されているものと考えられる。

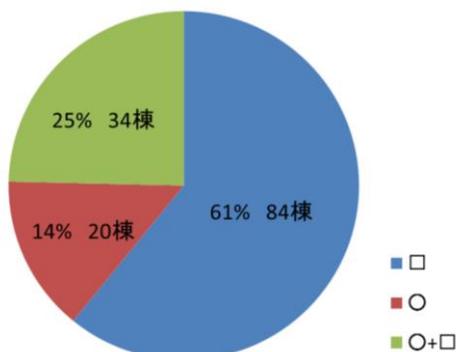


図-8 柱断面形状

## 4. 考察

### (1) コンクリート強度と地上階階数の関係

各建物のコンクリート設計基準強度の最大値と地上階階数の関係を図-9 に示す。地上階階数が増加すると

コンクリート強度が増加する右上がりの傾向が分かる。一般的に、地上の階数が増加する(建物高さが高くなる)ほど、最下階の柱の負担軸力が大きくなることから、高強度コンクリートの使用は有効な手段であり、階数が多くなると高強度コンクリートが使用されることになる。一方で、階数に関わらず  $F_c=60\text{N/mm}^2$  程度が広く使われており、鋼管の高強度化や構造計画などによって、構造設計者が判断しているものと考えられる。

### (2) 塔状比と地上階階数の関係

図-10 に塔状比と地上階階数の関係を示す。耐震構造、制震構造、免震構造とも階数が大きくなるにつれて、塔状比が大きくなる傾向がある。図-11 に基準階面積と地上階階数の関係を示すが、地上階階数が増加しても基準階の床面積にそれほど変化がみられないためであると推測できる。また、制震構造は耐震構造に比べて、塔状比の大きい建築物に採用されている。これは、制震構造が耐震構造より比較的高層で採用されていることや、制震装置の効果によるものと考えられる。なお、免震構造は、塔状比の大きい建物(スレンダーな建物)には適さないように考えられるが、塔状比が5を超える建物「代々木ゼミナール本部校代ゼミタワー」もあり、興味深い結果となった。

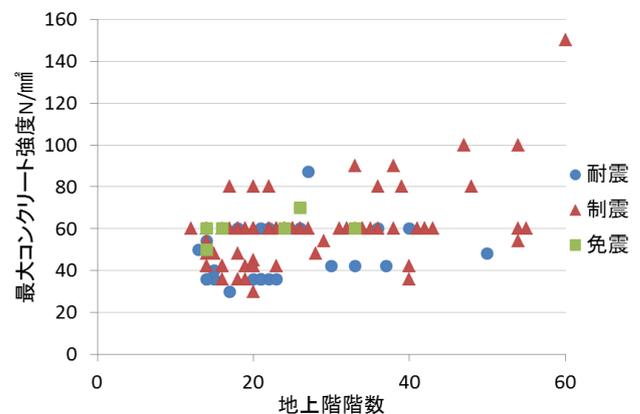


図-9 最大コンクリート強度と地上階階数の関係

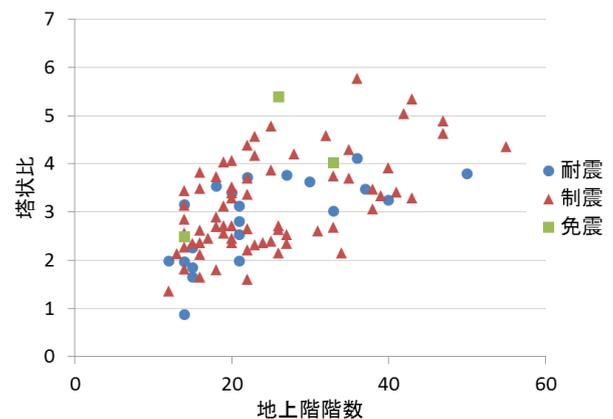


図-10 塔状比と地上階階数の関係

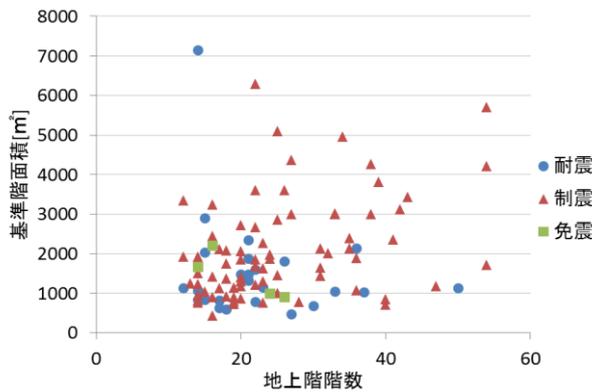


図-11 基準階面積と地上階階数の関係

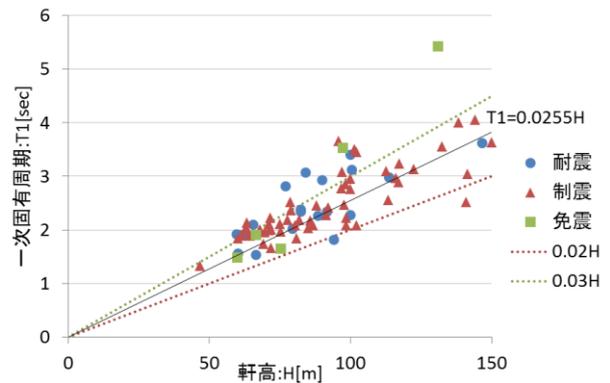


図-12 一次固有周期と軒高の関係

### (3) 固有周期

固有周期は建築物の振動特性を考える上で重要な項目である。図-12 に建物設計時の固有値解析により得られた一次固有周期 ( $T_1$ :sec) と軒高 ( $H$ :m) の関係を示す。なお、 $T_1$  は建築物の X, Y 方向の一次固有周期の平均値である。免震構造に関しては、基礎固定時の周期を示している。一般的に CFT 構造では、鉄骨造と同様に一次固有周期の略算値として  $T_1=0.03H$  が用いられているが<sup>5)</sup>、固有値解析による値では、これよりも短い周期の建物が多い。平均値は  $T_1=0.0256H$  であり、ほとんどの建物が  $T_1=0.02H \sim 0.03H$  の間に位置している。免震構造の建物「代々木ゼミナール本部校代ゼミタワー」が、一次固有周期 5.43[sec]、軒高が 131.3m で平均値より大きい位置に位置しているが、これは、この建物の塔状比が 5 を超えているため、一次固有周期が長くなったからだと考えられる。

図-13 に一次固有周期 ( $T_1$ :sec) と地上階階数を示す。なお、 $T_1$  は図-12 と同様に建築物の X, Y 方向の一次固有周期の平均値としている。平均値は  $T_1=0.1099N$  でありほとんどの点が  $T_1=0.06N \sim 0.15N$  の間にプロットされている。文献 5) での CFT 構造の平均値は  $T_1=0.116N$  であり本研究と同等の値であった。

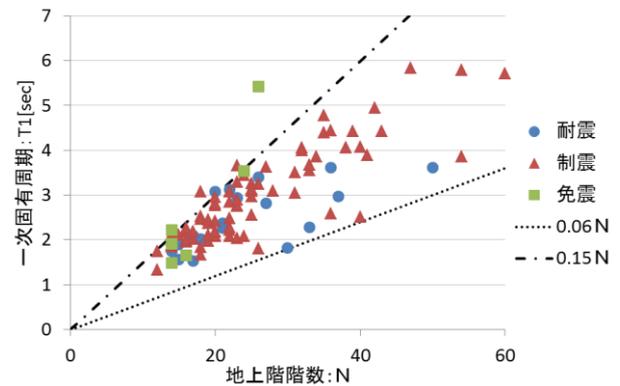


図-13 一次固有周期と地上階階数の関係

### (4) 設計用ベースシア係数

建物の損傷限界耐力を示す値として設計用ベースシア係数に着目する。図-14 に地震力算定時の地域係数  $Z$  が 1.0 の建物を抽出して設計用ベースシア係数 ( $C_B$ ) と一次固有周期 ( $T_1$ :sec) の関係を示す。設計用ベースシア係数は、耐震設計における許容応力度設計に用いる静的地震力の値である。なお、 $C_B$  と  $T_1$  は建築物の X, Y 方向の値の平均値を用いた。平均的に S 造は  $C_B=0.30/T_1$  で設計されていることが文献 6) で示されている。本研究では  $C_B=0.268/T_1$  となり、S 造に近い値となることが明らかになった。また、日本建築学会高層建築技術指針の下限式  $C_B=0.18/T_1$  による値に比べて、大きい事例が多い。図-15 には、地震力算定時の地域係数  $Z$  が 0.9, 0.8 の建物の設

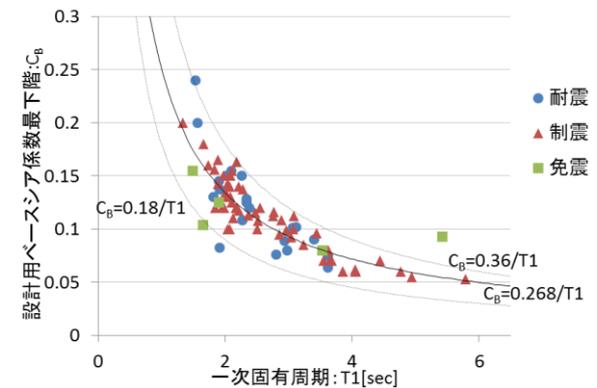


図-14 設計用ベースシア係数と一次固有周期の関係 ( $Z=1.0$ )

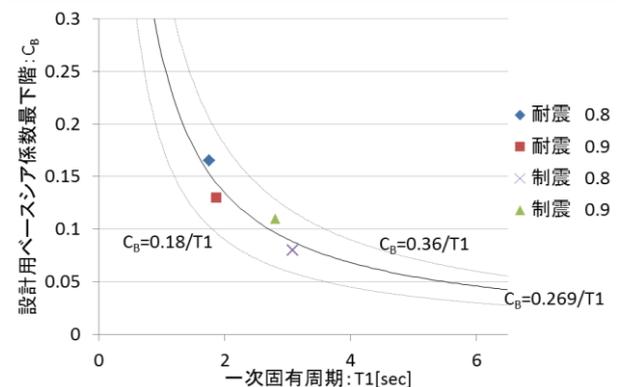


図-15 設計用ベースシア係数と一次固有周期の関係 ( $Z=0.9$  以下)

計用ベースシア係数( $C_B$ )と一次固有周期( $T1$ :sec)の関係を示す。地域係数 $Z$ が 0.8, 0.9 の建物においても、固有周期とベースシア係数との関係は、 $Z=1$  の場合とほぼ同様であり、また耐震構造、制震構造による差異も認められなかった。

## 5. 結論

超高層CFT構造建築物の適用事例を基に、構造計画について分析を行った結果、以下の知見を得た。

- ・約 7 割が制震構造による建築物であり、地上階階数・建物高さ・基準階階高ともに年々増加傾向にあり高層化している。
- ・塔状比は、4 以下の建築物が多い。
- ・一次固有周期( $T1$ )と軒高( $H$ )の関係の値は、ほとんどの建物が  $T1=0.02H\sim 0.03H$  の間に位置している。
- ・設計用ベースシア係数( $C_B$ )と一次固有周期( $T1$ )の関係は、 $C_B=0.268/T1$  となり鉄骨造の値と近くなった。

## 参考文献

- 1) 江田拓也, 五百井壮, 栗本耕太郎, 秋田知芳, 和泉信之: 既存超高層RC造建築物の構造特性に関する研究 (その1~2), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), 2010.9
- 2) 助村浩太郎, 佐藤大樹, 大下優作, 北村春幸, 長江拓也, 佐野剛志: 性能評価シートによる既存超高層鋼構造建物の耐震性能評価 (その1) 年代・地区に着目した既存建物の耐震性能分析, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2010
- 3) 野路利幸, 山中久幸, 山岸邦彰, 有松重雄, 小田稔: 超高層住宅の構造設計情報の調査・分析, 日本建築学会北陸支部研究報告集 第50号, 2007.7
- 4) 日本建築学会: コンクリート充填鋼管構造設計施工指針, 2008
- 5) コンクリート充填鋼管構造設計ガイドブック, 2012
- 6) 日本建築センター: 高層建築物の構造設計実務, 2002
- 7) 日本建築学会 関東支部: 耐震構造の設計, 2012
- 8) 松井千秋: コンクリート充填鋼管構造 CFT構造の性能と設計, 2009

# STUDY ON STRUCTURAL DESIGN OF HIGH RISE CFT BUILDINGS

Tetsuya NAITO and Toshiaki FUJIMOTO

Concrete filled steel tubular (CFT) columns have become popular as structural member used for high-rise buildings. The data on structural characteristics of 148 high-rise CFT buildings designed from 1968 to 2012 was collected. In this paper, the structural planning and seismic design value of the existing high-rise CFT buildings is analyzed by design generations.