

U. D. C 691. 328. 4

塔状比6のRC超高層建築物の風揺れについて

加藤 信男* 佐々木孝基*

要約： 近年、高さが60mを超える超高層建築物が多く建設されているが、高さ100mで塔状比が6程度の鉄筋コンクリート造の超高層建築物による設計は国内でも事例が少ない。本報告は、塔状比6の建築物の主な設計上の検討事項とその結論について記述する。

- ①耐震性能を確保するための設計手法および工夫点
- ②本建物の風揺れ時の居住性評価
- ③施工の観点からみた設計的配慮および工夫点
- ④コストダウンを図るための設計的配慮および工夫点

キーワード： 超高層建築物, 鉄筋コンクリート造, 構造設計, 耐震性能, 風揺れ

- 目次：**
- 1. はじめに
 - 2. 設計概要
 - 3. 本建物の特徴および設計上の留意事項
 - 4. 設計上の工夫について
 - 5. まとめ

1. はじめに

近年、高さが60mを超える超高層建築物が数多く建設されるようになってきた。しかし、高さ約100mで塔状比が6程度のRC超高層建築物の設計は国内でもほとんど事例がない。

本報告では、主に以下の点について述べるものである。①耐震性能を確保するための設計手法および工夫点、②本建物の風揺れ時の居住性評価について、③施工の観点からみた設計的配慮および工夫点、④コストダウンを図るための設計的配慮および工夫点。

2. 設計概要

用 途	共同住宅
敷 地 面 積	2,336.74 m ²
建 築 面 積	809.08 m ²
延 床 面 積	14,877.94 m ²
建物最高高さ	103.70m
建 物 軒 高	97.40m
階 数	地下1階、地上30階、塔屋1階
基準階階高	3.20m
1 階 階 高	4.50m



写真1 模型写真

基礎の構造方法 場所打ち鉄筋コンクリート杭
 拡底アースドリル工法
 上部構造 鉄筋コンクリート造純ラーメン構造
 下部構造 鉄筋コンクリート造耐震壁付ラーメン構造

3. 本建物の特徴および設計上の留意事項

本建物におけるB1からR階までの平面は図1に示す通り同形状で、X方向が5スパンで31.5m、Y方向2～3スパンで15.27～17.93mの大きさである。北側架構で梁が斜めに取り付け、南側隅部において曲がり梁を有した形状を呈している。

塔状比(幅高さ比)はX方向3程度、Y方向6程度ある。超高層建築物で塔状比が6以上ある建物は国内でもほとんど例が無い。

架構を構成する部材については、基準階(2階柱～PHR階床梁)での施工の合理化を行う為、工業化した部材を用いることとしている。柱はプレキャスト(PCa)造とし、梁においては、PCa造の上部に場所打ちコンクリートを用いたハーフPCa造と場所打ち鉄筋コンクリート造の併用工法とし、床については薄肉PCa板を用いた鉄筋コンクリート造合成スラブを採用している。

一般的に超高層建築物に限らず、建築物は塔状比を4以下に抑える計画とするのが1つの目安となる。塔状比が4以上となると、地震時に生じる外柱の変動軸力が大きいため、作用する圧縮軸力および引抜力が通常の建物よりも大きい。圧縮軸力が大きい柱は靱性に乏しく、引抜力が大きい柱は主筋量が過密となる。また超高層建築物においては、大地震時での建物の曲げ変形成分も無視出来ないため、それによる各部材の付加応力なども考慮して設計を進め、十分な耐震安全性を図る必要がある。

4. 設計上の工夫について

今回設計するにあたり、スレンダーな超高層建築物の耐震設計は言うまでもなく、耐風設計および風揺れ時の居住性能にも配慮する必要があり、その上で施工的な観点、コスト的な観点による設計上の工夫点について述べる。

4.1 耐震性能の工夫点

基本計画段階では、構造形式として図2に示す3案が検討された。B.チューブ構造案、C.制振構造案は、柱本数を減らし、居住空間を大きく取ることを目的として考えられたが、実際の住戸割を計画しても意匠的にメリットが得られなかったため、コスト的に有利なA.均等スパン案を採用することとした。先にも述べたが、本物件は塔状比が6を有する超高層建築物であり、日本建築センター超高層建築物構造審査委員会においても、それに対する設計配慮を明示することが求められた。以下にその

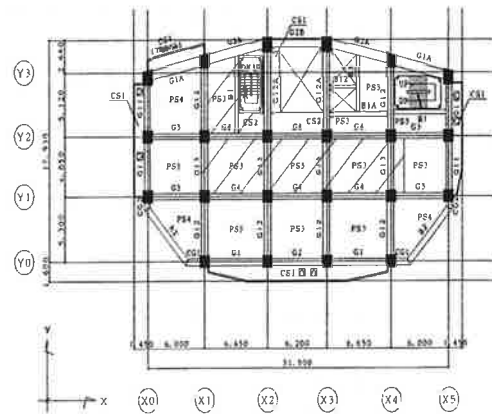


図1 基準階伏図

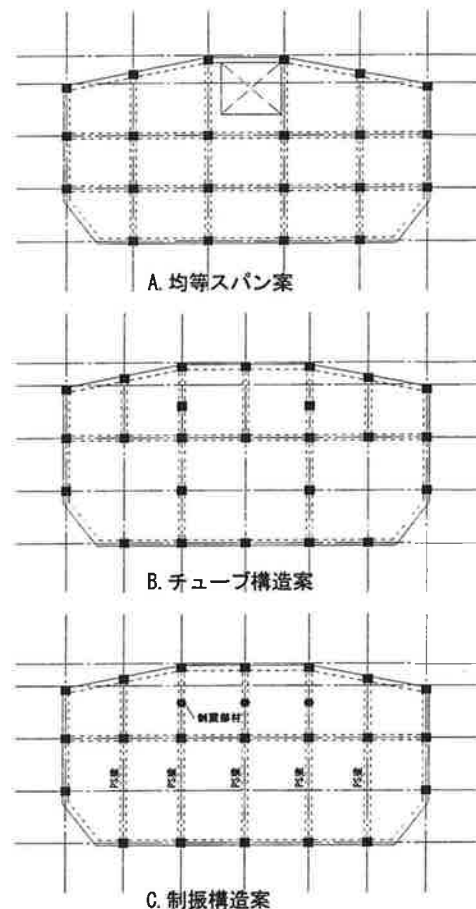


図2 構造形式案

内容を列記する。

- ① 低層部において、柱断面を 1000×1000～1000×1200 と大きく確保している。
- ② 柱の総本数を 22 本とし、柱 1 本当りの支配面積を平均で約 25m² と小さく抑えて計画している。
- ③ 架構設計変形時において、柱の曲げ余裕度を 1.4 以上、せん断余裕度を 1.4 以上確保している。〈原設計値：曲げ 1.75、せん断 1.69〉
- ④ アスペクト比の大きい Y 方向の大梁断面は中低層部から断面を大きくし、剛性の確保および X 方向と同程度の耐力確保を図っている。外周部のフレームは、地震時における柱および杭の変動軸力を低減させるため、外周部の大梁断面は住戸内の大梁断面よりも小さくし計画している。
- ⑤ 地下階においては、各フレームにおいて可能な限り耐震壁を設け、地下階の各フレームに生ずるせん断力をなるべく均等に分散させることにより、杭に生ずる変動軸力を低減できるように計画している。
- ⑥ 柱・梁を靱性の富んだ部材にするため、中低層部において柱の横補強筋を閉鎖型のせん断補強筋としている。また、大地震時において軸力増減の大きな外柱には、軸耐力を増強する目的で柱中央部に芯鉄筋を配置して対処している。
- ⑦ P-Δ効果による剛性低下の影響および柱の付加応力に対する影響についても考慮し、レベル 2 地震動においても耐震安全性判定基準および柱部材の余裕度を確保している。

以上の点の他、計画地付近の地盤については、工学的基盤となる上総層群が基礎梁底以深から堆積しており、地盤条件が良いことから表層部での地震動の増幅が少ないことも、建物の耐震安全性を増す要因の一つである。以上のように、塔状比 6 と大きい超高層建築物であっても十分な耐震性能を確保することを可能にした。

4.2 風揺れ検討時の工夫点

風は地震とは違い日常頻繁に生じるものであるため、建設地付近で 1 年間に吹く最大風速を予測し、それに対し居住性能についての評価を行う。本建物は RC 造で計画され S 造に比べ建物の剛性が高いとは言え、スレンダーな形状の為、風揺れ時の居住性能は無視できない。一般的に風揺れに対しては、建物の総重量が大きいほど安定し居住性能が改善される。しかし、このことは耐震設計の観点からは逆に厳しい設計となる。柱梁断面を大きくすることは居住空間に制約を与えるため、なるべく断面は絞りたい。ゆえに折衷案としてスラブを性能上要求される厚さよりも大きくすることで、建物総重量を確保しながら、構

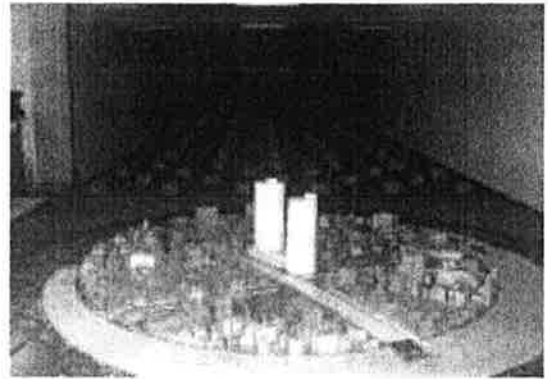


写真 2 風洞実験状況

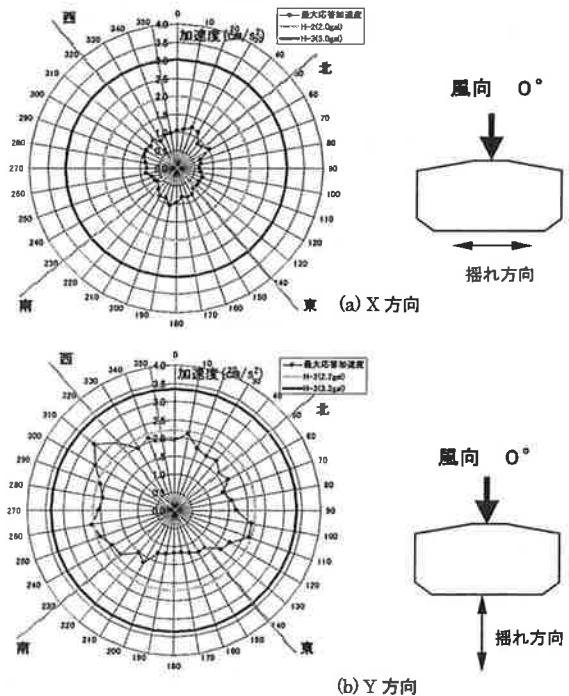


図 3 風向角による最大応答加速度の変化



図 4 最大応答加速度の居住性能指針との比較

造設計を行うこととした。風揺れを抑える手法として建物頂部に制振装置(TMD)を設けることも考えられるが、制振装置だけで高いコストがかかるため、耐震設計にて対応することを計画した。

4.2.1 風洞実験概要と解析条件

風揺れの検討は、技術研究所風洞実験室にて行い、周辺を含めた直径510mの範囲にある地形と建物を1/300に縮尺した地域模型を用いた。

以下に、風洞実験概要と解析条件を表1、2に示す。

表1 風洞実験概要

実験気流	当該地区の気流として、風速の鉛直分布指数($\alpha=0.27$)の気流を作成した。
実験風向	長辺に風が直角に当たる場合を 0° とし、 $0^\circ \sim 350^\circ$ まで36風向とした。
計測	地域模型および分譲棟、賃貸棟の縮尺模型を風洞内に設置し、模型頂部の風速4m/sの実験気流とし、X方向・Y方向それぞれの風力を計測した。

表2 解析条件

固有振動数	X方向：0.519Hz(1.925秒) Y方向：0.402Hz(2.488秒)
建物総質量	23566t
減衰定数	0.03 (X, Y方向共)
1年再現期間風速	24.1m/sec (建物頂部)

4.2.2 解析結果

a) 風向角による最大応答加速度の変化

図3に、風向角による最大応答加速度の変化を示す。X方向の最大応答加速度は、風向角 20° の場合に 1.20cm/s^2 である。Y方向の最大応答加速度は、風向角 310° の場合(ほぼ西方向)に 2.84cm/s^2 である。西方向の風向で応答加速度が大きいのは、風上の賃貸棟に影響されていることが確認されている。

b) 最大応答加速度の居住性能指針との比較

図4に、X方向・Y方向の最大応答加速度を日本建築学会「居住性能評価指針」と比較したものを示す。X方向は、居住性能指針で示されるランクIの住居ビル(H-1)相当の風揺れである。Y方向は、ほとんどの風向で居住性能指針で示されるランクIIの住居ビル(H-2)相当の風揺れであるが、西風の場合にランクIIを超える。しかし図5に示すように、東京地方の強風は南北の風向が多く、西寄りの風の頻度は極めて少ない。また西風の日最大風速は全風向を考慮した一年再現期間風速24.1m/sより小

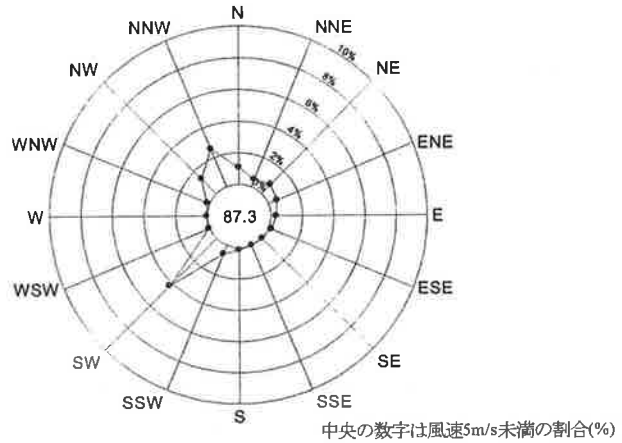


図5 東京気象台5m/s以上の風配図(全季節)

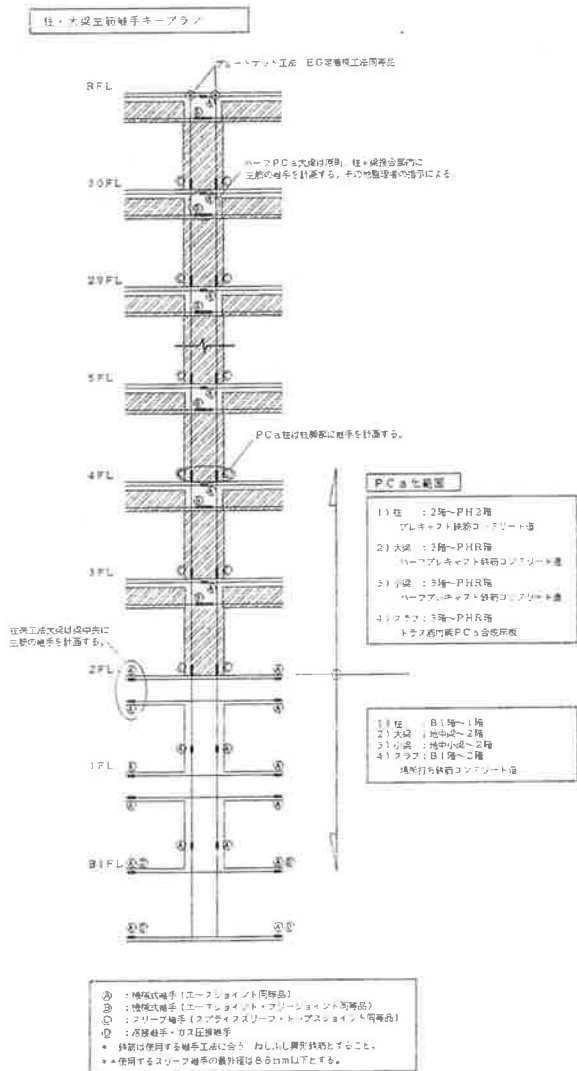


図6 PCa計画図

く、21.4m/sであり図4に示したように建築学会の標準的な住居ビルの推奨値(H-2)を満足する結果となった。

4.3 施工の観点から見た設計的配慮および工夫点

今回の物件では、超高層建築物ということでPCa化のメリットを出すこと、外周部でバルコニーがつかない部分では無足場となるため、そのことを意識したPCa製作することなどが挙げられる。また、柱・大梁の主筋継手については機械式継手となることを考慮し、今までの設計施工物件の実績から得られた施工上の納まりについて事前に検討協議を行った。図6～図9に、計画図を示す。

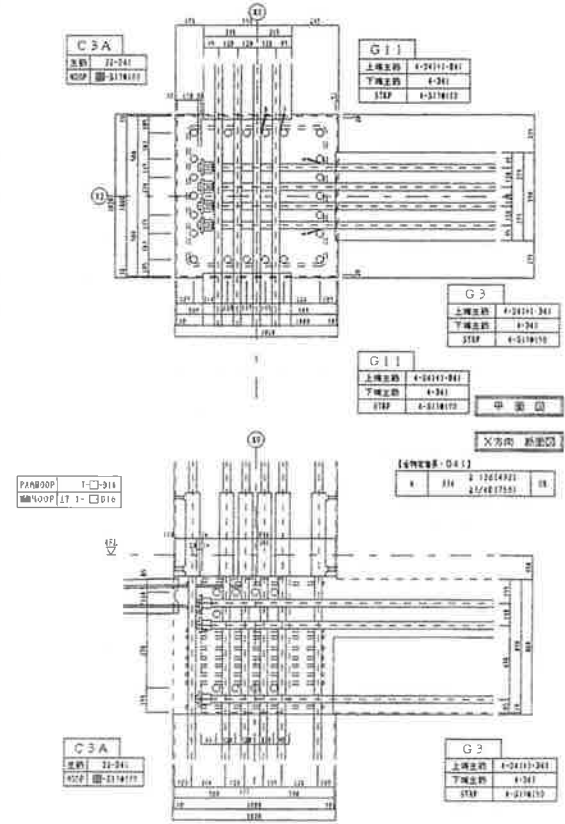
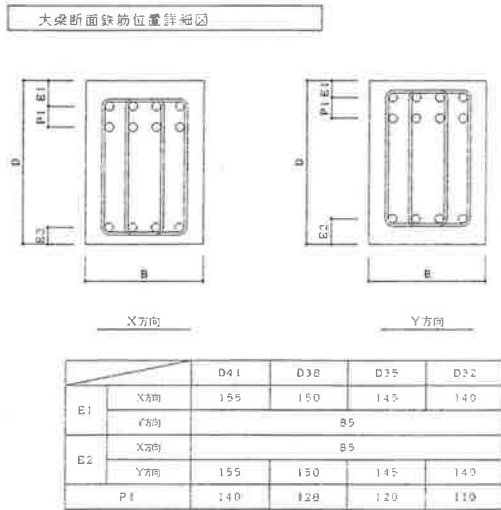


図8 柱梁接合部配筋詳細図

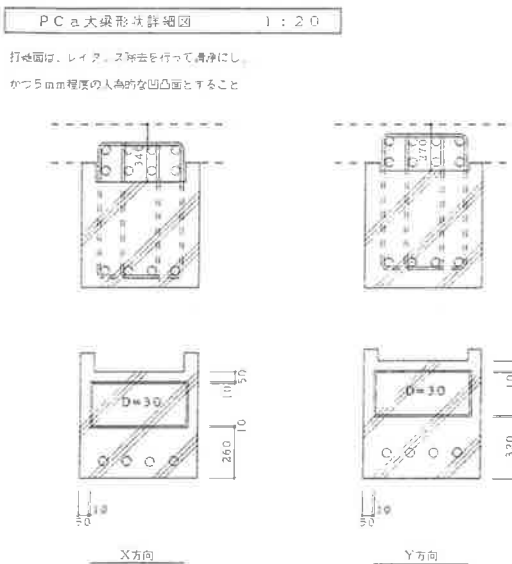


図7 大梁主筋位置計画図

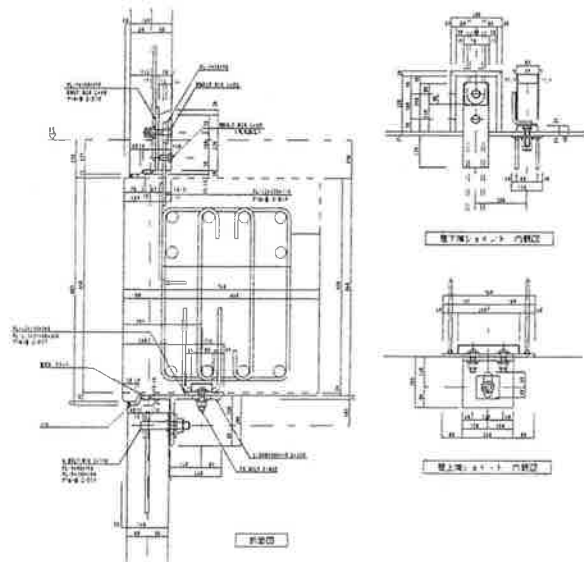


図9 PCa腰壁取合い詳細図

またスラブについては、基本的にはハーフ PCa であるが、現場打ちで計画されるコンクリート強度は最大で $54\text{N}/\text{mm}^2$ 必要となる。しかし、スラブが実際に必要とする強度は $30\text{N}/\text{mm}^2$ で良いため、コストのUP要素となっている点が指摘されていた。この点についての改良案を施工サイドと協議した。具体的には、揚重できる重量をチェックし、大梁の構造計算上、協力幅とみなされる範囲以外のスラブ中央部分については、先行打ち、すなわち凸形状の先行 PCa を作製し、現場打コンクリート量を減らすことで、コストの無駄を省くこととした。

4.4 コストの観点から見た設計の配慮および工夫点

一番コストがかかる要素としてはまず基礎形式が挙げられる。計画地の地盤は基礎底以深から N 値 50 以上の細砂層(上総層群)が堆積しており、良好な地盤と判断される。図 10(a)に示すように、当初は直接基礎とする案が考えられた。

本物件はスレンダー形状のため、地震時に杭に作用する引抜力が 12000kN 程度と大きい。また地下 1 階であるため、根入れ深さが建物高さに比べて小さい。そのため、直接基礎を可能とするためには、地下層での平面形状を広げ、建物の安定性を増し、引抜力を緩和させる計画が必要である。この計画は地下の掘削量が多くなること、30 層の重量を支える耐圧版の厚さとしては 1000mm 程度となり、地中梁断面も大きくなる。

上部構造については、Y 方向は各スパンとも長さが違うが、X 方向はシンメトリーの形状をしており、部材長を合わせられる。そこで X 方向については大梁断面をなるべく統一し、型枠の種類を減らした。

5. まとめ

本編では塔状比が 6 と大きく、難易度の高い超高層建築物において、設計・施工・コストの観点から計画された工夫点について示し、その構造設計が実現できることを示した。

今後も詳細な検討を加え、より安全で経済的な建築物の設計を行いたいと考える。

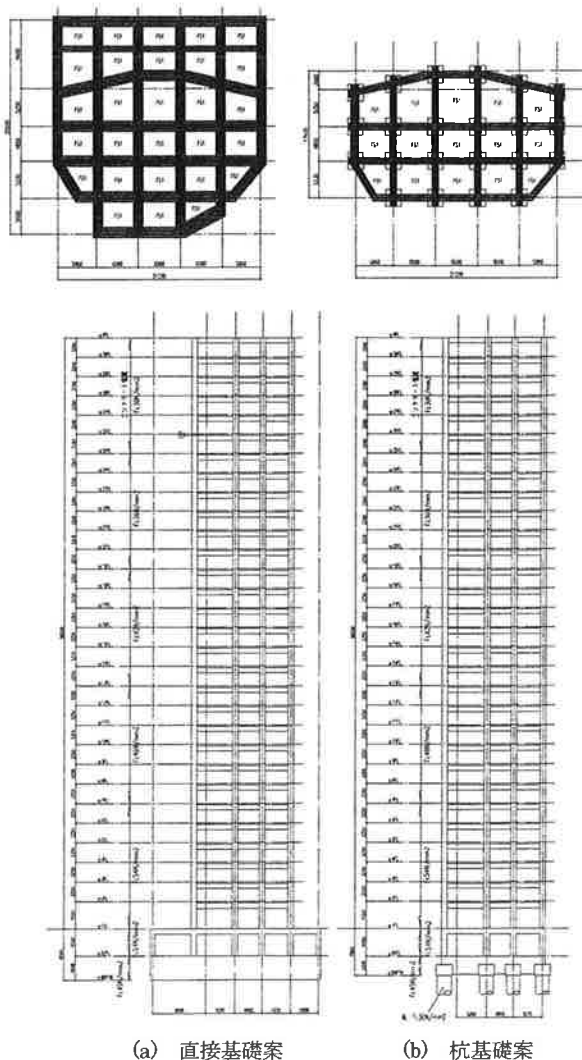


図 10 基礎形式の比較

DESIGN OF HIGH-RISE BUILDING OVER ASPECT RESIO 6

N.Kato T. Sasaki

This paper described design of high-rise building named higashi nakano 5 choume. The experiments have carried out with wind tunnel for conform of resident. As result, authors could do design of this building to safety, conform and economic.