

展望

超高層建築の近未来

久保田俊彦 (株)小堀鐸二研究所 常務取締役
Toshihiko Kubota

Near Future of High-Rise Building

1 はじめに

地震国日本で最初の本格的超高層ビル「霞が関ビル」が完成し約30年が経過した今日、大都市では超高層ビルはごく普通の景観として受け入れられるようになってきた。

超高層ビルはいわば建築の花形であり、あらゆる面で最新の技術が適用されていると言っても過言ではない。

本小論では、初の超高層ビルがどのようなコンセプトのもと、どのような技術が開発され実現に至ったのか、また、その後どのように展開してきたのかを振り返り、そして、近未来としてこれからの10年程を展望したときの新たな期待・課題が何か、日本の超高層ビルの過去、現在、未来について考えてみたい。

2 霞が関ビルの誕生から現在まで

2.1 霞が関ビルの誕生

1963年に東京の5000坪(16319.97m²)の土地に建物の建設計画があり、今までのように敷地一杯に高さ31mの巨大なビルを安易に建てるかどうかが問題となった。時あたかも建築基準法が一部改正され、「容積地区」の新設と容積地区内の高さ制限が撤廃された。これは敷地一杯に建物を建設するのではなく、高層化により周囲に緑の広場を設け都市に良い環境を提供することを意図したものであった。

そこで、これを受けて種々の高さの建築計画が検討され、経済性、使用性、耐震設計などとの総合的判断の結果、基準階床面積が約1000坪(3505.28m²)、階数が36階の案が採用され、敷地の70%が解放されることとなった¹⁾。

この超高層化を可能にした“かぎ”は、「動的設計法」による柔構造耐震技術と建築生産技術の画期的な発展であった²⁾。

2.1.1 柔構造と動的設計法

日本における耐震構造の研究は、1891年の濃尾地震を契機として始まり、次の世紀的な大地震となった1923年の関東大地震までにその基礎が確立された。すなわち、建物を耐震的にするには、壁やブレースを平面的、立面的に偏りなく配置して十分剛な建物(剛構造)にし、地震の力に対して変形しにくくすることが基本とされた。この理論に基づいた日本興業銀行の建物が関東大地震のときに無被害であったことは、歴史的に有名な話である。

ただ関東大地震では、低層のビルが比較的地震に耐えたのに反して8～9階建ての欧米直輸入の高層ビルは大きな被害を被った。それは、単に耐震的配慮がなされていなかったためであったが、高い建物は大地震に不利であると短絡的に考えられ、それ以前に別の目的で定められていた建築法規における建物の高さ制限「31m(100尺)」以下が定着することとなり、その思想は戦後も引き継がれることとなった。

1940年代になってアメリカで強震計が開発され、大地震の正確な記録が得られるようになった。それらの地震波を当時発達してきたコンピュータにより解析したところ、強固な地盤では短周期成分が卓越し、周期の長い建物(柔構造)には周期の短い建物(剛構造)ほど大きな力が作用しないことが分かった。この知見により、地震国でも建物に十分な変形性能を与えれば超高層ビルが可能となったのである。

31m以下の一般の建物の地震に対する検討は、地震によって生ずる力を等価な静的地震力として骨組みに加える静的設計法で行っていた。これに対し柔構造を採用した霞が関ビルは、「動的設計法」により初めて設計された。

この動的設計法は、コンピュータで建物の揺れ方、応力やひずみの発生を時々刻々照査する地震応答解析を行い、その結果をチェックして設計の修正を加える手順を

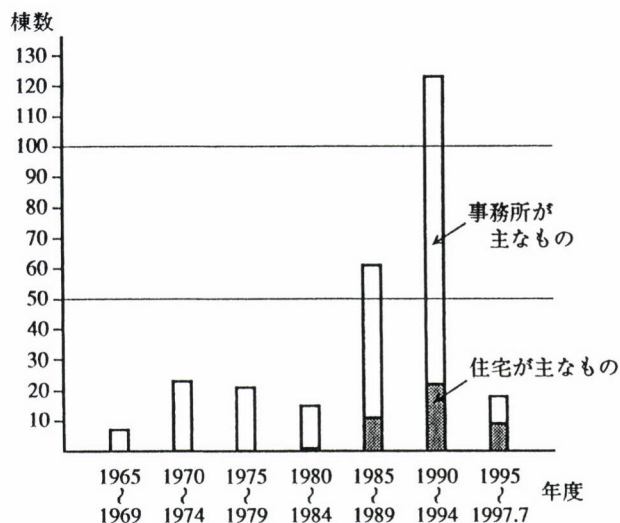


図1 軒高100m以上の超高層ビルの各5年間の評価棟数
(全268棟)

繰り返すフィードバックシステムである。

2.1.2 建築生産技術の革新

この柔構造を実現する生産技術として、構造材料としての厚板H型鋼、材料の軽量化、生産性の低い現場作業の効率化のためのプレファブ化、高層ビル特有の施工用機械の性能の飛躍的増強、足場なし工法の開発といった近代的施工システムと、超高層ビルの下から上まで同じパターンの作業の繰り返しを活用した施工管理などが新たに開発された。

そのうち主な施工技術として、①鉄骨の大部分を工場で作製し、現場ではボルトや溶接で組み立てるだけというプレファブ化と、それを現場で揚重するセルフクライミングクレーンの開発、②火災時の鉄骨を保護するための耐火被覆用の石綿板接着工法、③鉄骨の組立に平行して作業の安全性を高めるための作業床の確保と、また床コンクリートの型枠にもなる波形デッキプレートの開発、④地震時に主体骨組に悪影響を与えないために構造体と切り離したプレファブの外装材としてのカーテンウォールと足場なしのその取り付け工法などがある。これらの技術はその後続々と建設されることとなった超高層ビルで様々に改良・発展されることとなったが基本は変わっていない。いかに成熟度が高かったかがうかがえる。

2.2 現在までの変遷

2.2.1 棟数、立地、用途

ここでは仮に軒高が100m以上のものを超高層ビルと呼

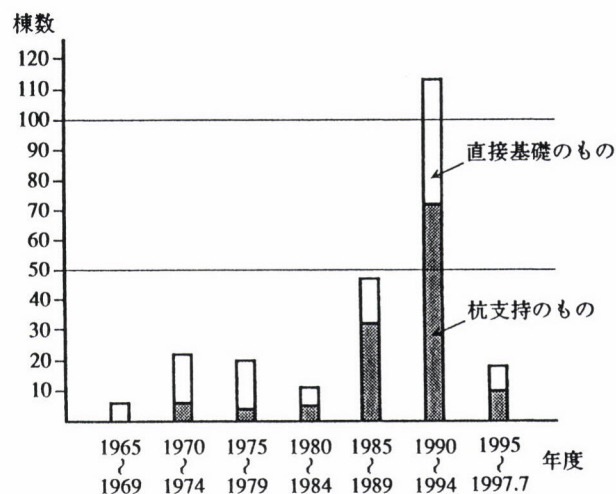


図2 軒高100m以上の超高層ビルの基礎事業方式
(評価シート未提出分を除く236棟分)

ぶとして、現在、日本で超高層ビルがどれくらいあるのか建築センターの高層評価の1997年7月時点における性能評価シート³⁾から調べると268棟となり、その評価年度の5年ごとの数は、図1に示すとおりである。ただし評価を受けても必ずしも建設されるとは限らないので、完成済みおよび建設中の合計は上記の棟数より少ない。いずれにしろ年を追って飛躍的に増加していることが分かる。

超高層ビルは強固な地盤であれば低層ビルよりも地震入力と建物の揺れが小さいという性質を利用して地震国日本でも建設が可能となったことは既に触れた。図2では、建物の基礎が直接強固な地盤に設置されたものと、強固な地盤へ杭や連続壁を介して支持されているものとの区別を示すが、年とともに杭支持の物件が増加している。

これは、①超高層ビルが海岸の埋め立て地や川沿いのいわゆるウオータフロントなどの支持地盤の深い場所に近年立地することが多くなった、②オフィスビルに比べ地下室をそれほど必要としない高層住宅の数が増加してきた(図1参照)、③内陸部でもやや地盤の悪いところでも建設されるようになってきたことなどによると考えられ、超高層ビルが年とともに様々な場所に建設されるようになってきていることが理解される。ただし、超高層ビル成立の良好な地盤に立地させるという要件から大きく逸脱しないことが肝要である。

2.2.2 高さ、基準階平面形

表1に1997年7月時点の日本の超高層ビルの軒高順50傑を示す。霞が関ビル(1968年完成以下同じ、図3)の147mか



図3 震が関ビル

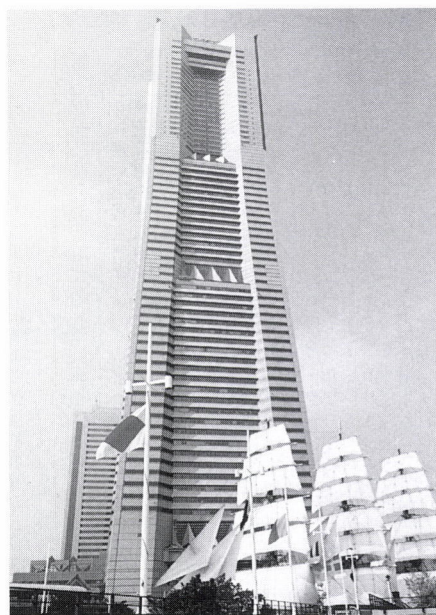


図4 ランドマークタワー

ら、新宿三井ビル(1974年)の211.1m、サンシャイン60(1978年)の226.2m、東京都第一本庁舎(1991年)の241.9mを経てランドマークタワー(1993年、図4)の282.3mと25年でほぼ2倍の高さとなった。

図5に基準階平面の変化を示す⁴⁾。最初は、慎重を期したこと、解析技術、コンピュータ能力などの制限などから基準階平面形は力学的に単純明快な長方形や正方形のプランであったものが、解析技術、コンピュータ能力の向上で立体的に詳細な検討が可能となり、それに裏付けられた構法の発展によって建物の機能や目的に合った複雑な平面形を持つものも建設されるようになってきている。

2.2.3 構造材料

(1) 鉄骨

震が関ビルでは柱に溶接構造用圧延鋼材SM50Aが使用された。以後1989年ごろまでたまに、より高強度のSM53やSM58が使用されることもあるが保守的と思われるほどほとんどSM50を使用している。1990年に入って厚板でも設計基準強度の低減が不要な熱加工制御(TMCP)鋼の指定が増え、1995年には、阪神・淡路大震災の苦い経験からより靱性と溶接性に優れた建築構造用圧延鋼材SN材の指定が目立っているが強度的にはほとんど変化はない。

しかし1996年9月に建築構造用高性能鋼材(SA440B、C)が建設大臣の一般認定を取得したので今後使用が増えるものと考えられる。

(2) コンクリート

一方、住宅を主機能とした超高層ビルでは、鉄骨造と比べて剛性が高く普段の強風時でも揺れにくい、断熱性・遮

音性能が高くかつ経済性も高いということで鉄筋コンクリート造が多く用いられる。鉄筋コンクリート造の高層化に向けて建物の粘りを確保するための配筋法や施工、品質管理に関する研究が積み重ねられ、当初18階から始まり45階建て(ザ・シーン城北)まで建てられるようになった。コンクリート強度として600kgf/cm²が使用されている。

また、鉄骨に高強度コンクリートを充填した鋼管コンクリート(CFT)を柱に使用した55階建ての超高層住宅(エルザタワー55、鉄骨SM520B、コンクリート強度600kgf/cm²)が建設中である。

2.2.4 一般建物への展開

数多くの超高層ビルでなされた動的設計の成果を一般の中低層の建物の設計に活用するため、1981年に建築基準法の一部が改訂され(新耐震設計法と略称)、それに基づき設計された建物は、兵庫県南部地震においてそれ以前の基準に基づき建てられた建物に比べて被害が遙かに少なかったことが報告されている。その意味でも超高層ビルの果たした役割は大きい。また設計法だけでなく生産技術も一般の建物に応用され、安全性の向上、建築生産の近代化に大いに役立っている。

3 これからの超高層ビルへの課題

建築は社会や人間生活と全かけ離れて単独で存在できない。超高層ビルの近未来についても、社会がどのように変わり建築にどのような期待が寄せられるかによって、そのありようと課題が決まってくるのは当然であろう。

表1 日本の超高層ビル高さ順50傑

No.	建物名称	所在地	階数 地上/地下	軒高 (m)	完成年
1	ランドマークタワー	横浜	70/3	282.3	1993
2	りんくうゲートタワービル・北棟	大阪	56/2	254.4	1996
3	大阪ワールドトレードセンタービルディング	大阪	55/3	250.0	1995
4	東京都第一本庁舎	東京	48/3	241.9	1991
5	(仮称)JR東海名古屋駅ビル	名古屋	51/4	232.6	工事中
6	新宿パークタワー	東京	52/5	226.5	1994
7	サンシャイン60	東京	60/3	226.2	1978
8	東京オペラシティ	東京	54/4	222.4	1996
9	新宿センタービル	東京	55/5	216.0	1979
10	新宿三井ビル	東京	55/3	211.1	1974
11	新宿野村ビル	東京	53/5	203.3	1978
12	新宿住友ビル	東京	52/4	200.0	1974
13	聖路加ガーデン・セントルークスタワー	東京	51/4	199.2	1994
14	安田火災海上本社ビル	東京	43/6	193.0	1976
15	アクトシティ浜松・アクトタワー	浜松	45/2	190.8	1994
16	オーク1番街	大阪	50/3	188.3	1992
17	エルザタワー55	川口	55/1	185.8	工事中
18	(仮称)山王共同ビル	東京	44/4	183.8	工事中
19	日本電気本社ビル	東京	43/4	180.0	1990
20	ハービスOSAKA	大阪	40/5	174.7	1997
21	新宿アイランドタワー	東京	44/4	173.7	1995
22	幕張プリンスホテルタワー棟	千葉	49/2	173.1	1993
23	センチュリーパークタワー	東京	54/3	170.5	工事中
24	OAPタワー	大阪	39/3	169.8	1996
25	京王プラザホテル	東京	47/3	169.7	1971
26	渋谷・桜丘町プロジェクト	東京	41/6	169.0	計画中
27	新梅田シティ・梅田スカイビル	大阪	40/2	167.5	1993
28	東芝本社ビル	東京	40/3	165.1	1984
29	東京都第二本庁舎	東京	34/3	162.3	1991
30	恵比寿ガーデンプレイスタワー	東京	40/5	161.5	1994
31	IHI豊洲センタービル	東京	37/2	160.9	1992
32	ザ・シエン城北	名古屋	45/0	160.0	1996
33	(仮称)晴海一丁目地区第一種市街地再開発事業(東地区)2街区住宅B・G棟(民間)	東京	50/2	158.7	工事中
34	JT本社ビル	東京	35/3	158.4	1995
35	オークブリオタワー	大阪	50/2	156.8	1992
36	クイーンズタワーA	横浜	36/5	156.7	1997
37	ホテルオーシャン45	宮崎	43/2	154.3	1994
38	ワールドビジネスガーデン(2棟)	千葉	37/1	152.9	1991
39	世界貿易センタービル	東京	40/3	152.0	1970
40	(仮称)芝三丁目共同ビル計画	東京	34/2	151.5	計画中
41	KDDビル	東京	32/3	151.2	1974
42	OBPキャスルタワービル	大阪	38/3	150.0	1988
42	ツイン21(2棟)	大阪	38/1	150.0	1986
44	OBPクリスタルタワー	大阪	37/2	149.7	1990
45	アブロースタワー	大阪	34/3	149.1	1992
46	JR東日本本社ビル	東京	28/4	148.6	1997
47	城山JT森ビル	東京	36/3	147.7	1991
48	霞が関ビル	東京	36/3	147.0	1968
49	小田急サザンタワー	東京	36/4	146.8	工事中
50	新神戸オリエンタルホテル	神戸	37/3	146.2	1988

(筆者1997年7月調べ 計画中、工事中を含む、ただし計画変更・中止のものは省略)

ここ10年間で人間のライフスタイルが、情報関係のすさまじい発展は見られるものの革命的に変化するとは思えない。しかし、地球温暖化防止や廃棄物処理などの環境問題、阪神・淡路大震災の貴重な経験を生かした防災、大都市への再集中化、少子化・高齢化など対応しなければならない事柄は差し迫っている。これらの傾向を受けて建築、特にその代表である超高層ビルが今後どのような課題を解決していくべきであろうか。

3.1 性能設計への移行と制震技術の適用

現行の建築基準法は、大地震時には建物にひび割れなどが入ることは許すが人命に損傷を与えるような崩壊はさせないという最低限のクライテリアの基に、細かく決まった規則に従って進めてゆく仕様設計の形態を採っている。

兵庫県南部地震では崩壊には至らなかったがその後の生活に支障をきたしたマンションが見られ、大地震の後でも

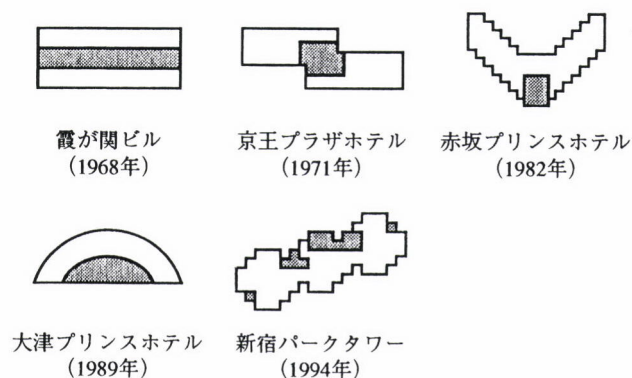


図5 平面形の多様化(アミ部分はコアを示す)
(参考文献4)を修正

今までどおり使用できるものと信じ込んでいた所有者の認識と構造設計者の認識に乖離があった。このような乖離をなくすため、また大地震後も機能を果たさなくてはならない公共建築物や病院などは高い耐震性能が要求されるが、この要求を満たすため、現在、目標性能を明確に設定しそれを満足させる自由度の高い性能設計法が検討されており1998年中にも建築基準法の改訂が実施される予定である。

超高層ビルにはもともと一般の中低層ビルに比べ高い耐震性能が付与されており、兵庫県南部地震でも超高層ビルに大きな構造的被害を受けたものはなかった。しかし中には、天井材の落下などで部屋が使用不能に至ったビルもあった。今日の進んだ高度情報化社会では、地震後もこのような状況に至らないで機能維持できるより高い性能のビルが求められる。

その解決法として、ここ10年で開発の進んできた制震技術の適用が今後必須のものになると考える。

制震とは、建物が地震に対してただ受動的に堪え忍ぶ耐震に対し、建物の剛性や減衰などの性質を時々刻々変化させたり、エネルギー吸収装置を付加的に設置したり、加力装置を設置し地震や強風時の建物の揺れを能動的に制御しようとする意図を発想の基本とする技術である。

制震構造の分類を図6に示す⁵⁾。このうちパッシブ型は、極低降伏点鋼の履歴エネルギーを利用した弾塑性ダンパーやオイルダンパなど比較的安価でかつ手軽に利用できるので急速に普及し始めている(図7)。一方、アクティブ型およびパッシブ型とアクティブ型の利点を活かしたハイブリッド型は、中地震と風揺れ対策に用いられているのが現状(前出のランドマークタワーにもアクティブ型の制震装置が設置されている)であるが、大地震対応への研究が進んでおり近い将来実用化されるであろう。

3.2 地球温暖化防止対応

データが少し古いですが、1985年に日本の全産業から排出されたCO₂の1/3は、建築分野(建築新增改築、補修、運用(エネルギー消費分))からであり、そのうち60%を運用部分が占めている⁶⁾。コジェネレーションシステムの採用、外装材の高断熱化などの省エネルギー対策が重要となるとともに、高強度材料の使用による資材の減量や建物を長く使用することがCO₂の削減に有効となる。

超高層ビルでは、当然、その規模にもよるが鉄骨造の場合数万吨の鉄骨を使用している。そこで1997年から金属材料技術研究所と鉄鋼各社の共同開発プロジェクトとして、現在の鉄鋼の2倍の強度と寿命を持つ新しい鉄鋼材料の開発が始まっており、その成果が待たれる。

また、通産省のニューサンシャイン計画の一環として、建築物の外壁に太陽電池を組み込む「建材一体型モジュール」の研究開発が実施されている。超高層ビルは、外壁面が多いと言う特徴からこの成果の活用が望まれる。

3.3 リサイクル率の向上

建設廃棄物は、全産業廃棄物の重量ベースで2割、最終処分量の4割、不法投棄量の9割を占めており、そのリサイクル率は58%で他産業に比べ低い⁷⁾。

超高層ビルは、建設されてからまだ年月が経っていないことと、もともと多くの面で優れた建物であることから解体に至ったものはなく、霞が関ビルや新宿三井ビルに見られるようにリニューアルで機能アップが図られている。

普通鋼鋼材の需要部門別のシェアは、建設部門で約50%を占めその割合は大きい⁸⁾。一方鉄は年間スクラップとして2700万吨回収されている⁹⁾。超高層ビルは、特に耐震安全性の面から構造材に高炉製品を使用しているが、今後はその部位などを選んで電炉製品も使用していくことも必要となろう。

3.4 大都市への再集中化、少子化・高齢化

バブル崩壊による地価下落と建設費の単価競争により、都心のマンションが一般の人にとっても購入しやすくなり都心回帰の傾向が見られる。また、郊外の一戸建て住宅に住むお年寄りの中に、文化施設やショッピングなどの生活の便利さに惹かれて都心の高層マンションに移る方もおられると聞く。

一方、1997年6月に住宅・土地関連の規制緩和として「高層住居誘導地区」の創設がなされ、容積率の上限が400%から600%に引き上げられたので超高層住宅が都心でますます増加するものと予想される。

これらを考えると、今後、オフィス、店、住宅に加え医

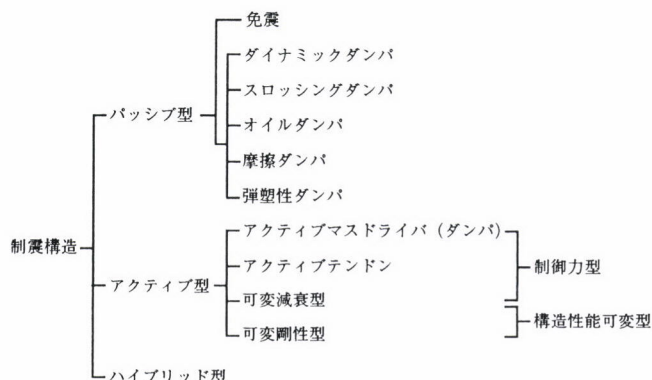


図6 制震構造の分類



図7 制震装置(オイルダンパ)を組み込んだJAL本社ビル

療施設、介護施設などが入った複合超高層ビルが出現してもよいのではないかと考える。

少子化による若年労働者の減少対策、魅力ある建設労働環境創出策、また海外と比較して割高な建設費低減策として超高層ビルは同じ繰り返し作業が多いと言う特徴を生かし、建築生産の工業化をねらった全自動化工法が各社から提案され既に実施されている。今のところ、その効果の評価には賛否両論があり一層の改良、発展が必要と思われる。

3.5 超々高層化

1990年前後に建設会社数社より高さが800mから4000mの超々高層ビルの構想が発表された。その後、建設省の支援・協力のもと1994年12月から約2年間かけて、より広範囲の民間会社に参加し、高さ1000m、耐用年数1000年、延べ床面積1000haと言う目標を掲げたハイパービルディング実現に向けての共同研究が実施された¹⁰⁾。

その活動の主目的は解決すべき研究課題の抽出であった。その中で、広く世論の支持を得るためのコンセンサスの醸成、実現のための社会的ルールの見直しなどのソフトの研究、および高所要因の生理・心理の研究などが注目すべき課題である。

4 まとめ

東京だけでも超高層ビルが主体となるようなプロジェクトは、国鉄精算事業団の汐留跡地、品川駅東口など数は多い¹¹⁾。そのうち完成予想図のあるものから判断するとその超高層ビルの外観は、現存のものと大きく変わらない。

しかし、眼に見えないところで、地球温暖化防止や廃棄物低減などの環境問題に対応した、また誕生から30年近くの間培ったオフィスや住宅の生活経験を生かしたより人間性に配慮した設計が行われるものと確信する。

今後、超高層ビルが、低層、中層ビルとバランス良く組み合わされ、より良い都市環境創造に向けて、積極的に活用されていくことを期待するものである。

執筆に当り鹿島建設設計・エンジニアリング総事業本部構造設計部若杉和雄副部長、同設備設計部佐藤正章技術長、同技術研究所第5研究部吉田孝男専門部長からそれぞれ資料提供をいただいた。また鹿島建設設計・エンジニアリング総事業本部構造設計部播繁部長、同小堀研究室金山弘雄

室次長には貴重な意見をいただいた。ここに各氏に感謝いたします。

引用文献及び参考文献

- 1) 霞が関ビルディング, 三井不動産, (1968), 6.
- 2) 武藤清: 日本機械学会誌, 78 (1975) 674, 53.
- 3) 日本建築センター性能評価シート(高層建築物), (財)日本建築センター
- 4) 超高層ビルなんでも小事典, 鹿島建設編, 講談社, (1988), 61.
- 5) 小堀鐸二: 制震構造, 鹿島出版会, (1993), 25.
- 6) ライフサイクルCO₂で建物を測る, (社)日本建築学会地球環境委員会ライフサイクルCO₂小委員会, (1996) 2月, 4.
- 7) 地球環境と建設事業, 日刊建設工業新聞, 1997年6月26日第2部, 16.
- 8) 林明夫: ふえらむ, 2 (1997), 245.
- 9) 素材リサイクル明暗, 日本経済新聞, 1997年9月24日, 23.
- 10) ハイパービルディングの研究報告書, ハイパービルディング研究会, (1996) 12月
- 11) NEW URBAN PROJECT, 産経新聞, 1997年4月26日

(1997年10月31日受付)