

生研公開講演

地 震 と 風 と 高 層 建 築

Earthquake, Wind and Highrise Building

高 梨 晃 一*

Koichi TAKANASHI

高梨でございます。大変大きな題をつけて、さてどんな話ができるかと多少心配なんです、早速始めさせていただきます。

みなさんご承知のとおり旧約聖書の創世記にバベルの塔の話がございます。図1にありますように街と塔を建て、その頂きを天に届けようと仕事を始めたのを神様が、人間の傲慢さを懲らしめようとして、みんなの言葉を違う言葉にして、お互いの意志を通じなくさせて、結局この企ては徒労に終わった、というのですが、どのくらい高い塔であるか、あるいはどんなものか子供のころから気になっていたのです。

ウィーンにあります美術史博物館にフリューゲルの有名なバベルの塔の絵があります。この絵を見たとき、ああこういうものかと思ったのですが、よくよく見ますと、右の方には大航海時代の船がありますし、後ろのほうの民家がどうも中世の民家みたいで、どうも変だなと思っていたのですが……。

今世紀に入って、イラクの領地でメソポタミアの遺跡の発掘が盛んに行われまして、シュメール人のつくったジググラトといわれる遺跡が発掘され、また楔形文字の粘土板がたくさん出土しまして、その解読が進みますと、かなりその様子が明らかになった。どうもバベルの塔というのはバビロン（バグダッド付近）のあたりにあった塔のことを言ってるらしい。多くの研究者がその遺跡から想像しております。だいたいの定説が、図2に示しますように、90m 角の基段をもった7段の塔で、高さも90m くらいということですが¹⁾、ここで使っている材料が、アドベ、日乾しレンガとか、聖書に出てきますようにレンガで焼いておりまして、構造材料としてはあまり強くない。そこで葦などの繊維質に天然のアスファルトを混ぜて補強したりして苦勞してつくったようでございます。これは聖書の世界ですが、

一気に3000年くらい飛びますが、人はどんどん高い建物

*東京大学生産技術研究所 第5部

をつくるようになりまして、ドイツのウルム（シュツットガルトとミュンヘンのちょうど真ん中ぐらいのところにありますが）にある大聖堂は、高さが161m ぐらい、ゴシックの聖堂としてはいちばん高いもの。図3はウィーンにあるシュテファン大聖堂で、これで3番めの高さだそうです。このように、土の建築から石の建造物に至って、どんどん高い建物がつくられるようになったわけです。

日本では木の建築から始まるわけです。吉野ヶ里遺跡の想像図をご覧になった方も多いと思いますが、絵や写真が残っているわけではございませんで、ただ掘建柱の穴が空いている。穴はわかるのですが、どのくらいの径の柱が入っているか想像になるわけです。九州地方ですと、掘建柱の穴の大きさと径の大きさはそれほど違わなかったのだらうということで、だいたいこういう柱の直径を想像しまして、それを使うとだいたい10から20m くらいかなというのが想像図です。現実に存在するものでは法隆寺の五重の塔ですが、木を丹念に組み上げてつくった建造物で、高さが34m ぐらいあります。このように石なり木なりを使って高い建物をつくろうとしましても当然限界がございまして、それで、次に出てくるのが当然金属ということになります。

ご承知のように18世紀の中葉から産業革命で鉄の生産が盛んになりました。もともとは鉄道に使うとか橋梁に使っていたわけですが、そのうち都市化が進みますと、人が何階建てか家に住むようになる。そうなりましていちばん恐いのは火災でして、まず建物の不燃化を図らなければいけない。そういうことから鉄が使われたわけですが、1851年にはロンドン大博覧会におけるいわゆる水晶宮・クリスタルパレスが出現しまして、鉄とガラスを使った見事な建築が到来したわけでございます。これから大博覧会ごとにこういう鉄骨の建築物が出たわけです。その一つの終着点のエッフェル塔でして、これはフランス革命後100年を記念して建てた塔ですが、一見しますと鉄をふんだんに使った塔のように見えます（図4）。ところが近寄ってみます

と非常に小さなピースの鋼材をつなぎあわせて丹念に組み上げているのがよくわかります。これは今のいわゆる鋼とはちょっと違ひまして、その前の段階、錬鉄、ロートアイアンといっておりますが、強度の低い鉄を使っている。それと同時に、当時の圧延技術では大型の鋼材というのができませんので小さな鋼材をつなぎあわせた。エッフェル塔に使いました鋼板の板厚が最大で12mm ぐらいです。それを丹念にリベットで組み上げていく。そのかわり非常にきれいな組み上げ方をやっております、レース編みのような見事な構造物が出来上がっております(図5)。建造当時は賛否両論があったものですが、しかし今では世界の鋼構造のシンボルという感じでして、錬鉄を使った構造物の一つの終着点ということになります。

これから鉄の建築が各地で、とくに新大陸アメリカで出現したわけですが、図6はいまでもアメリカにたくさん残っておりますいわゆる木橋・カバブリッジです。「マディソン郡の橋」ではございませんで、私が一年ほどおりましたペンシルバニア州のベツレヘムというまちの近所にあった木橋で、図7のように木を丹念に三角に組み上げてつくっている。こんな小さな橋ではなくて、西部劇に出てきますような鉄道橋も木を組み上げてつくっているわけです。こういう建造物を1850年ごろヨーロッパの人たちが視察に来まして、実はそれから構造力学というのがかなり発達いたしました。特に三角形で組み上げていくということが大変発達いたしました。図8のように力のつりあいというのは、まず力を矢印で表す。大きさを長さに、方向と向きを矢印で表す。こういう矢印の三角形が閉じるようになれば、これがつりあいだということから、図9のように非常に複雑な構造物のつりあいも正確に、作図することによって知るという手法が発達してまいりました。先ほどのエッフェル塔は、実はこの図解法ですべて解いております。こういう方法を習得しましたスイス人の技術者がエッフェルの会社で作図を丹念に行った。また当時ですから、その結果を非常にきれいなドローイングをして残しております。

そういうことからどんどん高層建築が発達してまいりまして、図10はニューヨーク、マンハッタンの高層建築群です。高い2本の塔は爆破事故のあったワールド・トレード・センターです。図11がシカゴにありますジョン・ハンcockビルで、これぐらいになりますと340m ぐらいの高さになる。その一つの到達点が、図12にありますシアーズタワーで、443m, 109階という、現在世界でいちばん高い建物で、シカゴにございます。図13の写真にあります本ですが、今回ずいぶん参考にさせていただいた本で²⁾、レオンハルトというドイツの有名な教授の著書ですが、その本の表紙ですが、ここにだいたいのスケールをあわせてい

んな高い建造物を並べてあります。フィレンツェにありますフィレンツェ政庁のタワーとか。これは世界7不思議の1つのアレキサンドリアにあったという灯台、これがニューヨークのウルワースのビル、これがエンパイアステートです。これがシアーズタワー。真ん中にありますのがトロントにありますCNタワー。この構造設計をされたブルーノ・ツルリマンという教授、いまスイス連邦工科大学の名誉教授になりましたが、親しくしていただいておりますが、その先生とある時話をしていたら、CNタワーは550mの高さがある、この下層部の断面はYの字型になっているわけです。そこの外径が54m ぐらい。これはコンクリートでできているのですが、「このコンクリートを54m 径の断面に全部を流し込んだら何メートルの高さになるかわかるか」と言われたのですが、「わかりません」と言いましたら、だいたい16m だそうです。この16m を非常に薄くのばして550m までつくっているわけです。ご承知のようにコンクリートというのは圧縮には非常に強いのですが、引っ張りに弱いということで、それを補う意味で中に非常に強い鋼線を通してありまして、あらかじめその線を緊張させて、ある程度引張力にも耐えられるようにしておくということで、こういうことができるのだと。将来というか、現在すでにやっているわけですが、このように材料のそれぞれの特徴を生かした構造というのがいちばん将来性があるだろうという話をしたわけです。

そのお隣が先ほどのエッフェル塔なんですが、このエッフェル塔は300m の高さ。4本の脚がありますが、その脚の間隔が110m の正方形です。今度は、「この鉄を全部溶かして110m 平方に流し込んだら何センチの高さになるか」と聞かれて、これもわからなかったのですが、だいたい9cm ぐらい。ですから先ほど言いましたように薄い鉄板を、あるいは形鋼を丹念に組み上げると300m ぐらいできる。ただし、このときのGustave Eiffelが大変心配したのは、どのくらいの風荷重を見積もったらよいかということで、彼はそういうことから風洞実験なども考えていたようです。

次にありますのはミュンヘンにありますテレビ塔で、なぜこんなのが出てきたかという、レインハルト先生が関係してるから出てくるのですが。次は、先ほど言いましたウルムの大聖堂。それから、アジアにいきますとマンマのヤンゴンにありますパコーダで100m ぐらいの高さだそうです。それからこれはイスタンブールのアヤソフィア、それから最後にあるのは、南宋時代の開封にあります塔です。

さて日本ですが、日本には建築基準法というのがございます。これは大正8年に制定されました『市街地建築物法』が昭和25年に新しく編集されなおしてできた法律ですが、法律ですから必ずその規定を守らなければいけない。

その第20条に構造耐力という条項がありまして、「構造物は安全な構造でなければいけない」とはっきり書いております。もう一つ大事なものは、「構造計算によって構造が安全であることを確かめなければならない」これはかなり重要なことでありまして、設計者が、「私が安全というのだから大丈夫だ」と言ってもだめなんです。計算によって安全だということを実証しなければいけないと法律で決まっているものですから、このへんは構造設計家が大変苦労される場所だと思います(図14)。この建築基準法のなかに、実は1963年の改正までは高さ制限がございました。これは先ほど言いました市街地建築物法を引き継いでいるわけですが、そこでは都市、市街地ですから昔の6大都市を対象にしているわけですが、都市において住宅地は65尺(約20m)以下、その他の地域では100尺(31m)以下というのをそのまま引き継いできたわけです。ですから改正以前では高さ制限がありまして、それ以上高い建物をつくれなかったわけですが、この改正によって高さ制限を撤廃するかわりに容積率という概念を持ち出した。容積率というのは、敷地面積に対する延べ床面積ですから、敷地いっばいに一階建ての建物を建てれば容積率は100%ということになりますが、そのほか法律では建蔽率といって、敷地に対して建物の占める面積が何パーセント以下ということがありますので、必ずしも敷地一杯建てられない。そういうことで、どうしても高く建てないといけないわけですが、そういう容積率の制限さえ守っていればいくらでも高くしてよしいということになったのです。基準法には付属した施行令、細かい規則を書いた法令がありますが、その81条の2に、「60mを超える建物については建設大臣が認める方法で安全性を確認しなければいけない」とありますので、60mというのは一つの閾値になっている。だからそれを超えたものが当時から超高層といていたわけで、この設計には個別のいろいろな審査がございます。最近では超高層を凌駕するような超超高層というのが出現しまして、これについてはあとでまた触れられると思います。

さて、地震の話ですが、日本にはご存じのように大変大きな地震がまいるまして、それはプレートテクトニクスの理論によりますと、太平洋プレートというのが日本に押し寄せてくる。フィリピンプレートも押し寄せてくる。どうもその交差点に日本があるということです。1872年から1993年までのマグニチュード7以上の地震を、震央にマグニチュードの大きさを円の大きさにしてプロットすると図15になるわけです。地震の記録は歴史のなかにもいっぱい出てまいりまして、それを丹念に拾いまして整理します。これを参考にして現在、設計地震動としては図16に示すことを考えているのですが、まず2段階の設計をしよう。レベル1の地震は、再現期間が200年ぐらい。ということは200年に一度程度の地震と簡単に思っているのですが、

その程度の地震に対しては建物の使用性、機能性に対する設計ということで、構造体はもちろん安全であるようにしている。レベル2は、非常に大きな地震を想定しております。再現期間が1000年ぐらいで、これに対しては構造体が崩壊しないような設計をしなければいけないというわけです。

再現期間の話なんですけど、ざっと200年に1回起きる程度の外乱と考えますと、1年に発生する確率は200分の1、0.005です。それと、建物にはどのくらいの期間、建物を使用するか供用年限がありますから、その供用年限で確率を想像してみますと、5年ぐらいだったら0.025程度の確率ですが、仮に50年使おうとすると20%の確率でこの程度の地震は来そうだという、そういう指標・目安になります。ただ200年たっても実はこれは63%ぐらいだということです。必ずしも100%でないというのが確率のおもしろいところです。

あとは、弾性設計、塑性設計ということですが、弾性設計は、図17に示しますように地震がきますと変形しますが、終わるともとへ戻る。だからあとは何も後遺症はない。そういうことに対してただ内装材とか設備、機器は機能性を失わないように設計しようということです。塑性設計になりますと、かなり構造体にき裂が入ったり、曲がったりしまして、地震が過ぎ去っても元へ戻らない、こういうものを塑性状態といいます。このへんの状態まで許した設計を塑性設計といいます。ですからレベル2の地震では、多少変形しても倒壊することはないように設計しよう。人命に対する障りはないようにしようというのが設計の思想でございます。こういう地震動を想定して振動解析をしているわけです。

最近コンピュータによる地震動解析が発達してきましたが、なんらかの実験的な実証が必要だろうということで、振動台実験というのをときどきやるわけです。図18はこの研究所にあります振動台の写真ですが、地震は上下左右揺れますが、ここでは上下方向の振動と1水平方向の振動ができる振動台です。ただ値段のこともありまして、なかなか大きなものを作れない。これがだいたい3m角のテーブルで、いっぱい乗せても7トンぐらいまでしか乗せられないというわけです。これで振動実験しますと、だいたい図19に示す程度の骨組みぐらいしかできないわけで、これは鉄骨の骨組みの振動実験ですが、こういうことをやって、どういう損傷が起こるかということを調べるわけです。もっともっと大きなものができないか。四国の多度津には世界でいちばん大きな振動台がありますが、15m角ございまして、その上に1,000トンぐらいまで乗せられる。ここでは原子炉の実証試験に使われてますが、いちばん乗せても1,000トンということです。物を乗せて揺するというのは、そのまま振動性状が観察できていいのですが、なかなか

か容量が大きくできない。建物はの重量はもちろんもっと大きいわけですから、さてそれをどうするかという話になるわけです。

そこで我田引水ですが、もしわれわれがその振動台に試験体と一緒に乗って周りを暗くしておく。揺すりますと、当然自分も一緒に揺れてますから、自分自身の動きというのはわからなくて、ただ試験体が根元に対して揺れているという状態がわかるわけです。そういうことをうまく実現できれば、振動台にかわることができるのではないかとということで20年ほど前にオンライン応答実験法をはじめてやったわけです。これには図20のように振動方程式の助けを借りるわけですが、これを数値的に時間刻みを追って解くときに、解くと同時に実験も同時に進行させて、その各瞬間における反発力を試験体から測定する。それを用いると振動方程式によって次の瞬間にどのぐらいの変形を構造物に与えなければいけないかということがわかるものですから、これを繰り返していくと、下を揺すらなくても上だけを変形させることによって、振動実験にかわることができるのではないかとということで、こんなことを始めたわけです。

こうしますと、振動台の上に試験体を置かなくていいのですから、かなり大きなものもできるということで、これをいちばん大きくしたのが筑波にあります建設省の建築研究所で、実物大の構造物をつくって、かつて日米共同研究として実験されたこともございます。

最近、コンピュータももっとよくなってきましたし、試験器のコントロールもよくなってきましたので、なにも構造物全体を実験する必要はない。必要なところだけ実験でやって、残りの部分はコンピュータでシミュレーションして全体の挙動を調べることができるのではないかと。これは数値計算にありますサブストラクチャリング・メソッドの一つの応用ですけども、そういう試みもありまして、うちでも多少試みております。

今度は風の問題になるわけですが、ご承知のように日本には台風がまいて、台風の進路にあたったところはかなりの強風を受けます。そういう過去のデータから、どのぐらいの風速を期待したらよいかというマップができております。

図22は、実線が、1961年9月の第2室戸台風の進路です³⁾。点線は1934年の第1の室戸台風、ほとんど同じ線を通ったわけですが、室戸台風の実測データというのが大阪あたりでとれておりまして、そういうものなどをもとにして、先ほどの地震と同じく設計風速をレベル1、レベル2と、図23のように考えているというのが設計の現状です。100年再現期間は秒速32mぐらい、500年の再現期間だと37mぐらいになるということで設計します。

ただ、風速だけでは設計が片つきませんで、実際に風を

建物が受けるときにどのぐらいの風圧になるかということとを換算しなければいけないわけですが、相手が空気の動きなものですから、地表面の滑らかさによって非常に違ってまいります。これをどうするかという設計式もありますが、最近の高層建築ですと、だいたい風洞の実験によってそれを確かめているということが多くございます。風洞はトンネルがあって空気が循環できるようにできているわけですが、これに調べたいものの模型を置きます。図23のような模型を置きます。建物を建てたいときに、その周辺に現在ある建物の模型を、これは木で作ってまして、一方から風を吹かせる。そうすると、この建物にあたる風圧がどうなるかということが測定できますし、建物がここに建ったことによって周辺にどういふ風が起るかということも最近問題になりますので、そういうことを調べようとしています。

それから、最近、風洞ではなくて乱流モデルを解いて、数値解析によって空気の流れを知る。この辺はこの研究所ですと、村上教授や加藤助教授が盛んに研究している。あとで展示をごらんになるとよくわかりいただけると思います。

次に、最近の話題の日本の高層建築について触れたいと思います。図24は「横浜 MM21」のランドマークタワーで296mでございます。この構造は「ダブルチューブ」といって、2つの管を重ねたような構造になってまして、上に展望台があって、かなり流行っているそうです。ここでは円形の柱と四角い柱とを使っているわけですが、その鉄の厚さが90mmぐらいということで、最近の高層建築では、鋼材の厚みも増してまいりました。

図25は東京都庁です。第1、第2とあるわけですが、第1のほうの都庁は242mあります。ここは約1m角の柱を4つ組み合わせて、また1つの大きな柱にする。そういう柱を立てまして、それを大きな梁で結ぶという、「メガストラクチャ法」といっておりますが、そういう大柱・大梁で構成している設計です。これでもかなりの厚い鋼板になりまして、80mm程度の厚さの鋼を使っているということです。

図26は「新梅田スカイビル」で、ここの研究所の原廣司教授の設計ですが、この2つのタワーを上で結んで、ここには空中庭園があります。工事のやり方でおもしろかったのは、空中庭園を下で組んで、一気に吊り上げていくというわけです(図27)。

だいたい1日で上がったわけですが、それを仕上げて展望台にしている。外にも出られるようになっているそうです。空中にエレベーターがあって、エスカレーターがあって、かなり気持ちよさそうな、ちょっとこわそうなものです。

図28は「センチュリータワー」というお茶の水にあるビ

ルですが、これはノーマン・フォスターという香港上海銀行を設計したイギリス人の基本設計によるものです。最近外国のアーキテクトが設計する例もかなり多くなってまいりました。大きな三角すじかいの面は2面によって構成されるわけですが、もう一つ特徴は、1つの枠組が2層分ありまして、その中間階は吊り床にしているという構造です。

もう一つの話は、高くなってまいりますと、構造体の問題のほかに、かなり揺れによってなかの人の気分が悪くなるということが出てきて、その揺れをどう抑えるかという問題です。図30は先ほどのランドマークタワーの上にあります制振装置です。これは重いおもりをぶら下げて釣り鐘のようにして、それを頼りにうまく調整しますと振動がおさまる。建物の1次の有効質量に対して0.6%程度の重さでうまく調整しますと、40m前後の風が吹いたときに揺れを半分ぐらい減らせるだろうという計画です。

図30は内幸町にある最近竣工したビルの屋上にありまして、これは蓄熱槽で約200トン。これは建物総重量に対して0.7%ぐらいになると思いますが、この下にゴムと鉄板を重ね合わせた、いわゆる積層ダンパーを置きまして、これで揺れを穏やかにすると同時に、ここにアクチュエーターがありますが、いわゆる制御付きのオイルジャッキを置いて建物が揺れないように強制的にコントロールしてやろうという発想です。ここの研究所の藤田隆史教授が研究しておりまして展示でもご覧いただけたと思います。

図31は国技館の隣にできました江戸東京博物館です。ここには30mぐらいはね出しがありまして、これが揺れますとかなり床が上下に揺れそうなので、この床の下に図32に示す空気ばねを並べまして、上下振動が大きくならないように圧力を調整することによってコントロールしよう。いわゆる床の振動を防止する。これも最近コンピュータとか精密機械が振動を嫌うということで、こういうコントロールが盛んになっています。

このような高層ビルがすでに出来上がっているのですが、さらにもっともっと高いビルということで、図33は高さ550mありますが、ほとんど実施設計まで進んで、意外と固有周期の短いものができております。このような超々高層ビルが建設各社とか設計事務所などで計画をされております。まだ実際のプロジェクトまでは進んでないのですが、こういうことは十分現在の技術で可能であろうということです。

そこでなぜ高層建築かということですが、一つは、人は高さへの憧憬があるということがあります。先ほど来の写真にもありましたように、宗教の力でどんどん高いタワーをつくるという人間の行為が連綿として続いております。それに、高いところには、展望台がありよく流行るということがあります。マンションも上のほうから売れるという話を聞きましたが、このように高さにかなり憧れがあると

いうことがございます。図34はこれはパリにありますグランドルシェですけれども、ここにはシースルーのエレベーターがあります。大変こわそうなんですが、こういうものに必ず人が集まって、待って乗る。高いものをつくると必ず人が集まるということがございます。次に高層ビルをつくと人が密度高く集まりますので、人と人との間隔が小さくなる。そういうのは便利だということと同時に、エネルギーロスも避けられるのではないか。東京都の昼の人口は、いちばん高いところで500m平方当たり2万人。それが夜になりますと、同じところで2,000人、非常に違いがある。ただその周辺は昼、夜あまり変化がない。そうすると、この人たちはどうしているかという、実は都外から来る。ということは、交通のエネルギーロスがあって、これはなんとかしないといけないだろう。それから経済行為も、人が集まることによって非常に盛んになるということがございます。

その次に環境の保全。人口集中してなにより環境の保全だと言われそうですが、図35は新宿です。確かに都庁周辺には高層ビルが集中していますが、その周りにはかなり低層のものがある。山の手線の内側の平均階数は2階から3階ぐらいだと言われている。日建設計の試算によりますと、現在はだいたいネット容積率100%ぐらいだということです。そこで、そのうちの25%の宅地を確保して、そこに5階建ぐらいの住宅をつくる。その一部に容積率600%で、平均30階ぐらいの事務所をつくると、あとの約50%ぐらいが緑地と水面になるという試算でございまして、高層によって少し環境の保全ができる。だから一極集中排除ということで、いまの東京の集中人口を全国にばらまきますと、日本全土環境の破壊になるということもありますから、しかたがないからなるべく住むところは集中して住んで、あとは緑を保存する、あるいは農業を保護するという思想も必要ではないかと思えます。

あと、高層建物にはいろいろな問題がございまして。居住性の問題、防災の問題がございまして。高層になりますと、水平方向の運輸手段はなくなるとかわりに縦方向の運輸手段をどうするか等々。いろいろな問題がございまして、私の専門でいいますと、鉄骨構造では非常に鋼の強度が高くなってきたということで、そういう高強度鋼をどのくらい粘り強くするかということ。それから高強度の鋼になりますと溶接の問題が出てまいりまして、その溶接性をどう確保するかということがあります。

それから、鉄筋コンクリートになりますと、やはり高強度のコンクリートを使わなければいけないということで、その耐久性の問題とか信頼性の問題がございまして。それから、非常に高強度の鉄筋を使いますから、鉄筋の粘りの問題、それから鉄筋を継ぎますから、その継手をどうするかという問題。さらに基礎構造の問題があります。

建物が建つところの地盤というのは一様ではございません。横浜のランドマークタワーのように非常に堅い地盤がありますと、そのまま建物を置くことができるのですが、そうでないところはこういう杭をもって堅い地盤に支えなければいけない(図36)。この土の問題というのは非常に大変でございまして、空の上の方ですと、何億光年先にブラックホールがあるらしいなど現在ではわかるのですが、地面の中のことはすぐわかりませんで、30cm 下のガス管がどこにあるかとうろろしなければいけない。そういう問題がありますから、ましてや地震のときに地盤がどう揺れて、その杭がどうだということは非常に難しい問題で、これはほんとに真剣になって今後取り組まなければいけない問題だと思います。

最後に、図37はルーブルにありますハムラビ法典の石柱で、ここにいわゆる楔文字が書いてあるわけです。何が書いてあるかというと、ハムラビ法典は紀元前1700年ころ編さんされたのですが、建築家に対する刑法でありまして(図38)、家が崩壊し、その家の所有者が死亡した場合には建築家を死刑にする。息子が死んだら、その建築家の息子を死刑にする。奴隷が死んだら、奴隷を補充しないとされない。財産はもちろんもとに復元しなければいけない⁴⁾。非常に厳しい規定がございまして、現在こんなことはないのですけれども、でも、たぶん建築構造家は“必死”の思

いで設計はされているだろうとおもいます。いろいろな未知のことに對して挑戦的、かつ慎重に設計されていると思いますが、その目指すところは古代ローマの建築家とあまり変わりませんで、図39にありますように⁵⁾、ともかく強く耐久性のある建築物をつくる。その建物は使いやすく機能的でなければいけない。最後に、魅力的で美しくなければいけないというのが目指すところで、こういうことで建築構造家は日夜努力されていることだろうと思います。

最後に、多くの会社の方から資料提供していただきました。それから、こういう文献を参考にさせていただきましたので、最後に深く御礼申し上げます。ご静聴ありがとうございました。

謝 辞

今回の講演にあたり、次の各社より資料の提供をいただきました。ここに記して厚くお礼申し上げます。

清水建設、鹿島、竹中工務店、大林組、三菱地所、木村俊彦事務所、松井源吾+O. R. S.、日建設計

(1994年6月2日講演分)

旧約聖書

創世記 第11章

「さあ、れんがを造って、よく焼こう」。こうして彼らは石の代わりに、れんがを得、しっくい代わりに、アスファルトを得た。

彼らはまた言った、「さあ、町と塔を建てて、その頂を天に届かせよう。そしてわれわれは名を上げて、全地のおもてに散るのを免れよう」。

こうして主が彼らをそこから全地のおもてに散らされたので彼らは町を建ててのをやめた。これによってその町の名はバベルと呼ばれた。

図1 旧約聖書創世記第11章

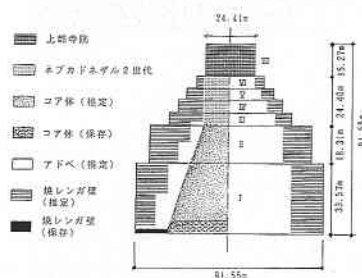


図2 バベルの塔の想像図



図3 シュテファン大聖堂



図4 エッフェル塔



図5 エッフェル塔 (部分)



図6 カバブリヂ



図7 カバーブリヂ (内部)

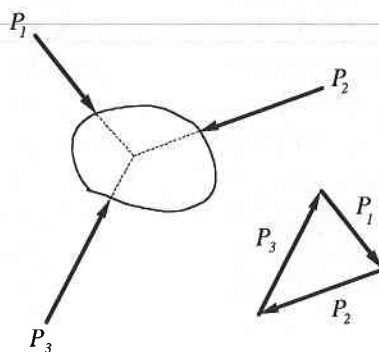


図8 力のベクトルと力のつりあい

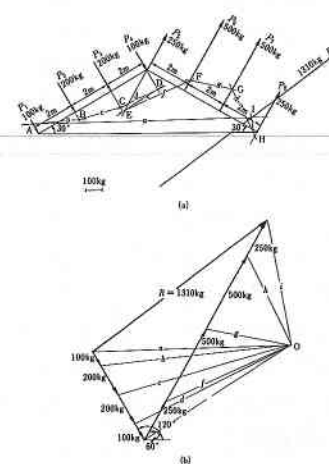


図9 図解法の例



図10 ニューヨーク・マンハッタン



図11 ジョン・ハンコックビル

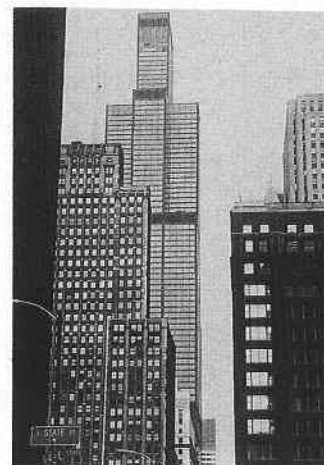


図12 シヤーズ タワー

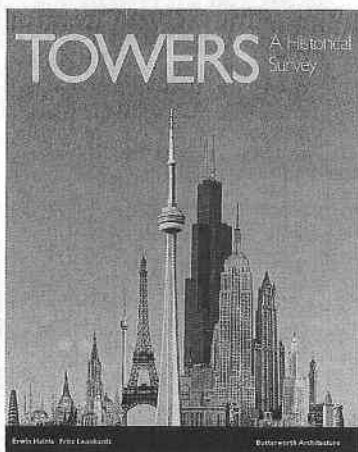


図13 Towers 表紙

建築基準法

(構造耐力)

第20条

1. 建築物は、自重、積載荷重、積雪、風圧、土圧及び水圧並びに地震その他の震動及び衝撃に対して安全な構造でなければならない。
2. 建築物に関する設計図書の作成にあたっては、構造計算によってその構造が安全であることを確かめなければならない。

図14 建築基準法



図15 日本付近の大地震

設計地震動

レベル1	使用性・機能性 再現期間200年 に対する設計	弾性設計
レベル2	構造安全性 再現期間1000年 に対する設計	塑性設計

図16 設計地震動

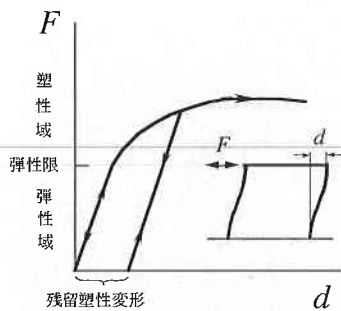


図17 弾塑性状態における力-変形関係

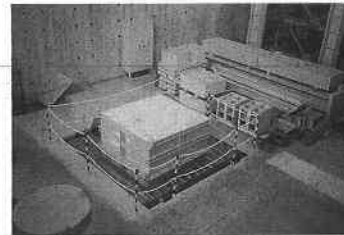


図18 2次元振動台

オンライン応答実験法

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + F = -M\ddot{X}g$$

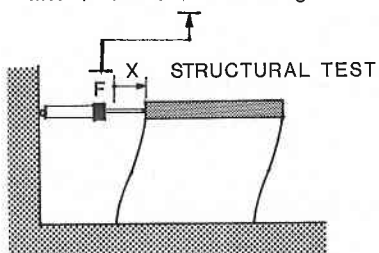


図20 オンライン応答実験法の原理



「建築の構造：その事故と災害」(丸善)より

図21 第1, 第2室戸台風



図19 鉄骨造骨組の振動実験

設計風速

レベル1	
再現期間100年	32.1 m/s
レベル2	
再現期間500年	36.9 m/s

図22 設計風速

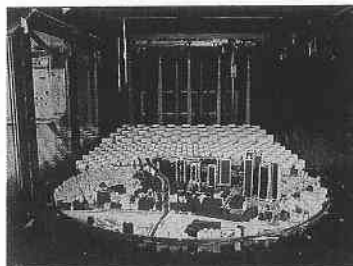


図23 風洞実験模型



図24 ランド・マーク タワー



図25 東京都庁舎



図26 新梅田スカイビル



図27 スカイビル空中庭園



図28 センチュリータワー

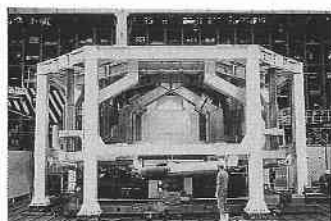


図29 ランドマークタワーの制振装置

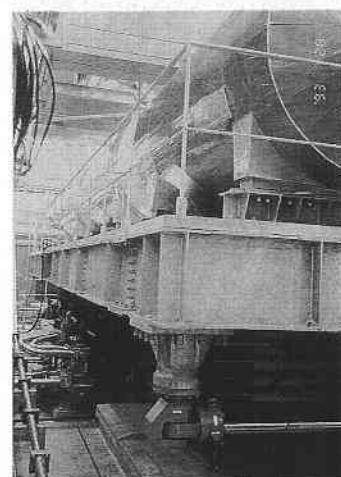


図30 蓄熱槽を利用した制振装置



図31 江戸東京博物館

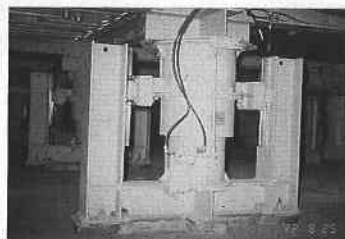


図32 床の制振装置

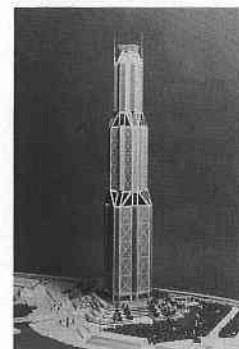


図33 計画中の超々高層ビル



図34 グランダルシェ (パリ)



図35 新宿副都心

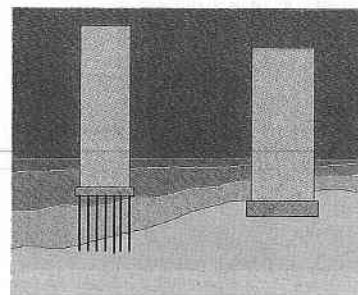


図36 地盤と基礎



図37 ハムラビ法典の記念石柱

ハンムラビの法典
(バビロン第1王朝)
B. C. 1700年

1. 家が崩壊し、その家の所有者が死亡→建築者に死を科す。
2. 家が崩壊し、その家の所有者の子弟が死亡→建築者の子弟に死を科す。
3. 家が崩壊し、その家の所有者の奴隷が死亡→建築者は同等の価値の奴隷を与えよ。
4. 家の崩壊のために財産が破壊→建築者は財産を復元、家を自分の費用で再建せよ。
5. 壁が倒壊→建築者は自分の費用で補強せよ。

図38 ハムラビ法典の刑罰

Vitruvius

古代ローマの建築家

- Firmitas 強く、耐久性がある
- Utilitas 使い易く、機能的である
- Venustas 魅力的で美しい

図39 Vitruvius の言葉

参 考 文 献

- 1) Z. Cywinsky; "Structural Message of the Tower of Babel", Structural Preservation of the Architectural Heritage, Proc. IABSE Symp. Rome 1993, p. 653
- 2) Erwin Heinle, Fritz Leonhardt, "Towers-A Historical Survey", Butterworth Architecture, 1988
- 3) 鷲尾, 高橋, 五十嵐, "建築の構造: その事故と災害", 丸善, 1978年
- 4) ヤコブ・フェルド, "建設事故の記録", 1972年
- 5) ブルーノ・チュルリマン (中島正愛 訳), "構造物の最近の進歩と将来の展望", 日本鋼構造協会関西地区研究集会講演録 1990年