

## 建設技術と最近の研究動向(89・11・17 東京分館)

大崎 順彦(昭16理甲)

私が大崎でございます。組は川崎偉志夫君とか市原公佑君と一緒に理甲二であります。

私は現在、皆さんご存じかどうか、清水建設という建設会社がありまして、その副社長をしております。副社長として、そればかりではありませんが、主に技術に関する研究と開発、そういった方面を担当しておりますので、今日はひとつ、最近の建設業における研究とか技術が、どんな方向に動いているのか、現在の動向といったお話しをさせていただきますと思います。

ただ、技術や研究について、あまり詳しいことを申し上げても、皆さんお分かりにならないかも知れませんし、実は私自身あまりよく知らないことも多いので、ごく大雑把なお話にとどめたいと思っております。

## 建設業界

まず建設業でありますが、建設業という業界は、一体どんなところなのか、という辺りからお話しを始めたいと思います。

まず世界のGNPであります。皆さん大体ご存じと思いますが、昭和六三年度に、東欧圏は除きまして、西側諸国のGNPの総計は二、六二〇兆円であります。これに對してまして日本のGNPは、これは昭和六四年度で一年ずれています。三九八兆円あります。

三九八兆円を二、六二〇兆円で割りますと一五%、世界のGNPの一五%を日本で生産していることとなります。まあ大変な経済大国であることが、こういった数字でもうかがえるかと思えます。

そういう日本の中におきまして、いろいろな建設事業が行なわれております。公共事業としての建設、あるいは私企業、個人の建物、あるいは道路・港湾など全部含めると、日本の年間の建設投資額は、これも昭和六四年度ですが、七三兆円あります。

これは日本のGNP三九八兆円のうち、約一八%が建設の投資に回されている勘定になります。日本の防衛予算がGNPの一%を超える越えないで大騒ぎになっていますが、それに比べますとたいへん大きい数字ですね。世界中のGNP二、六二〇兆円に比べましても、約三%に当たる建

設投資が日本で行なわれている訳であります。諸外国、特に米国とか韓国が、日本の建設市場に参入したいと目の色を変えているのも、こういった数字をみますと、あるいは当然かも知れませんが、

これからも、いろいろドルと円のことを申し上げますが、換算レートはしよっちゅう変わっていますので、いまは仮に一ドル一三〇円として計算を行っております。

私は建設業に勤めている一人ではありますが、これだけ莫大な投資が行われておりますので、建設業の例えばわが社なども、しこたま稼いでいるのではないか、というふうにお考えになるかも知れません。しかし実はさにあらずでございまして、日本全国で建設業として正式に登録されている業者がいくらあるかと申しますと、ピンからキリまでありますが、全体で五一万社もあります。

街を歩いておりますと、いわゆる喫茶店—いまはコーヒーショップというんですか、軽い食べ物なども出す喫茶店が、やたらと目に付きます。ところで五一万という数字は、日本の全喫茶店の数よりまだ多いということが、真偽のほどは確かではありませんが、よくいわれております。いずれにしても、建設の全投資額七三兆円を五一万で割りますと一社当たり一・四億円、平均しますと年間この位の売り上げに過ぎないということでもあります。

それでは、建設業に従事している人間はどの位いるか、従業員の数でありますか、これが平成

元年度で約五八〇万人でありまして、投資額七三兆円を五八〇万人で割りますと、一年に一人当たり平均して一、二〇〇万円くらいです。ですから一人が一カ月に一〇〇万円くらいの生産をあげているという数字になります。

これに對しまして、日本の全労働人口は約六、一〇〇万人であります。したがって、六、一〇〇万人のうち九・五%、約一割が建設業という業界の中で働いていることになります。五八〇万人が建設業の従業員ですから、平均家族数を三・五人としますと約二、〇〇〇万ですので、日本の人口の五分の一くらいは、何らかの形で建設業に関わりがあるということになります。政治家が建設業界を大票田とみているのは当然ですね。

建設業の生産性は、いまお話ししたようなことですが、他の業界の生産性に比べますと決して高くない、むしろ非常に低いというのが実情であります。業界を分類するのはなかなか難しいんですが、仮にごく大雑把に製造業・建設業・運輸通信業・サービス業と四つに分けてみますと、建設業が一番低い。わずかですが、サービス業よりも低くなっております。

しかも、製造業・通信業などの生産性がどんどん伸びておりますのに、昭和五五年以降、建設業の伸びはそれほど目立っておりません。こういったのが実情でございます。

さらに、いま建設業は人気がありません。「汚い」「きつい」「危険だ」、いわゆる3Kなどといわれておりますが、確かに恥ずかしい点もたくさんあります。例えば昭和六四年度の業種別死傷

災害統計をみますと、建設業は全体の三〇%を占めておりまして、製造業と一位を分け合っております。全国の死傷者の三分の一近くが、建設の現場で出ている。これはまあ非常に恥ずかしい数字であります。

### 大手の生産性

五一万社がひしめき合っている建設業の中に、大手五社とか大手六社といわれている会社があります。、「あいうえお」順にいきますと大林・鹿島・清水・大成・竹中、続いて熊谷といった辺り、こういった会社がいわゆる大手と呼ばれている所であります。

大手五社の年間受注額は、だいたい各社一兆五〇〇億円から二兆円をやや越えるといったところで、五社を総計しますと八兆九〇〇億円くらいになります。ですから前にお話ししました全建設投資額七三兆円のうち、約一二%のマーケット・シェアを大手五社で占めているということになります。

大手五社の従業員数は、各社それぞれ一万人前後で、合計しますと五万四〇〇〇人となり、平均一人当たり年間一・六億円の仕事をしていますことになりました。前にお話ししましたが、日本の建設業全体の平均ですと、一人当たり一、二〇〇万円ですから、これに比べると約一三倍になります。まして、大手五社辺りの生産性は非常に高いといえるんじゃないかと思えます。

ちなみに、日本の大手を外国の建設業者に比べますと、どうなっているのか。年間の受注額で比較しますと、現在アメリカの一位はフルア・ダニエルという会社ですが、これが年間一兆八二〇〇億円くらい。二位は皆さんにも馴染みの名前かと思いますが、ベクテルであります。ベクテルはたくさんの方に分かれていますが、全部まとめてベクテル・グループとしますと一兆六三〇〇億くらい。日本円に換算しますと、この位の受注額になっております。

これに比べて例えばわが社の受注は、同じ年度で二兆〇三〇〇億円くらいですから、わずかの差ながら世界最大、ワールド・チャンピオンだと今はみなされているようです。ただごく近いうちに、日本の大手は軒並みに二兆円を超えるか、二兆円に近い受注を達成すると思われるので、世界の建設業者の上位五社ぐらい迄を、日本で独占するのではないかと考えられます。

### 研究投資

つぎに研究投資のことに移りますが、大手の会社は全部かなり膨大な研究施設をもっておりまして、年々研究開発のための予算を使っている訳であります。例えばわが社では研究開発のための年間の投資額は、約一四〇億円。大手五社をトータルしますと五九〇億円くらいになります。

それでは一体、稼ぎのうちのどの位を、研究開発に回しているのかという比率を出しますと平

均して〇・六六%で一%に満たない、そんな程度の比率であります。各社とも研究のための要員つまり研究員を抱えておりますが、わが社ではこれが三五〇人くらい。大手五社を平均しますと、だいたい全従業員のうちの二・五%くらいが、研究開発関係の仕事に従事していることになりました。

いま研究開発費の比率を〇・六六%といいましたが、大手以外も含めたもっと大きいグループで平均しますと、さらにずっと低い数字になります。今ですね、これみたいへん恥ずかしいことなんです、ほかの業界たとえば製造業・通信業などの研究投資に比べますと、桁違いに少ない。もっと個別にみて、電子工業界とか自動車工業界、あるいは医薬品工業界などの研究投資額は、比率にいたしましても莫大なものであります。例えば医薬品工業界などは八%ほどにもなっております、われわれ建設業などは到底足元にも及ばない、というのが実情であります。

### 研究の多様化

では建設業の研究開発とは、一体どんなことをやっているのか、ということを申し上げますと、大手といわれる所はだいたい内容的には似たり寄ったりですから、あまり他社のことを詳しくお話しするのははばかりまして、清水建設の例だけについて申し上げます。

図1に書きましたように、われわれもいくつかの研究組織をもっていますが、一番てっとり早

# 研究開発組織

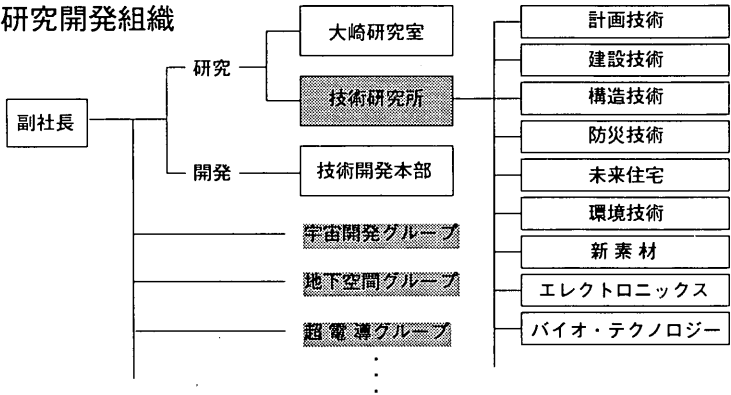


図1 研究開発組織 (清水建設の例)

いので、まず技術研究所の所を見て頂きますと、普通の技術たとえば計画・建設・構造・防災・住宅などのほかに、環境・新素材・エレクトロニクス・バイオなどを研究する部門があります。建設技術にはロボットの研究も含まれておりますし。環境部門では砂漠の緑化などもやっております。さらにそのほかに、宇宙・地下空間・超伝導などの開発グループもあります。要するに見て頂きたいのは、内容が非常に広がってきている、やっていることがきわめて多岐にわたっていることであります。

これも研究の内容が広がっていることの一つの現われですが、わが社に三五〇人ほどの研究員の内訳をみますと、大学の建築とか土木の学科を出た人間の数は、全体の半分をやっと越える程度でありまして、あとは機械・電子・情報・物理・化学・生物・薬学・地質など、さまざまな学科の出身者が占



めております。

また後でも申し上げますが、現在はひと口に建設といいますが、ただトンカチで家を造る、あるいは道路やトンネルを造るとか、そういった昔のイメージとは非常に変わってきておりまして、対象とする世界が非常に広い範囲にわたってきている訳であります。

これは現在の建設業のポリシーといえますか、それと密接な関係がありまして、だいたい現在のポリシーとしてわが社などでも業務の多様化・国際化・弾力化といった三つの柱を立てております。まず多様化ですが図2をご覧頂きますと、ビルあるいは土木構造物などの建設にかかわる手順は、企画・計画・設計・建設・保全といった流れになっております。企画すなわちビルならビルのある地点に建てるといったアイデアが、現実に可能かどうか、経済的な投資効果はどうなのかといった検討。アイデアを具体化する計画の段階から、さらに具体的な設計段階、続いて建設作業に入り、出来上がった後はメンテナンスあるいはリニューアルといった保全の段階に入っていく流れであります。こういった一連の流れを一貫して行なうことが、高品質・低価格・短工期といった発注者のニーズに、もっともよく応えるものだと考えております。

従来の建設業は、狭義の建設といった枠だけに専念していた訳ではありますが、それがご覧のように、企画から保全に至る軸に沿って、いっばいに広がり、さらに別の軸では、単に個別のもの建設だけでなく、都市計画・地域開発などと二次元的な広がりを見せております。こうした広

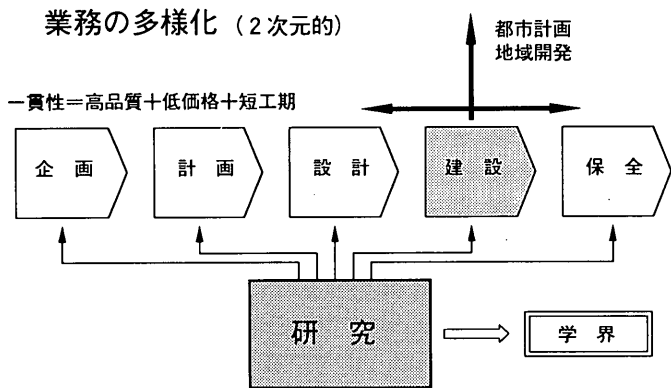


図2 業務の多様化

がりの全部と関わりがある、どの部分に対しても必要とされるといったことのため、研究内容の多様化は避けて通ることができない、という訳であります。それでは、建設会社はどうしてそんなに仕事を広げていくのか。一言にしていますと、そうしないところからは生きていけない、と言うのがその理由であります。

ちなみに、建設業界がやっている研究の学問の世界における位置付けですが、一つの断面として数字だけを申し上げますと、昨年度の建築学会・土木学会で、発表全論文のうち建設業からの論文が全体の約六〇%を占め、大学・国立研究所などからの論文数を越えております。

先ほどいいました三本の柱ですが、多様化に次ぐ二本目の柱は、仕事の舞台を日本だけに限らない国際化。これはもういうまでもありません。もう一つ

の三本目は、社内でいろいろな組織をつくったり、人間を配置したり、あるいは金を配分したりしますが、お役所などと違って、それが少しでも滞るといいますか、硬直しますとたちまち危機がやってくる。ですから決して硬直しない、いつもあらゆる面でフレキシブルに対応できるという弾力化であります。

### 研究投資の効果

研究はもちろん、なにかテーマがあって、それについてやっている。それでは研究のテーマは、どうして選ぶのかということですね。

これにはいろいろな社会的なニーズでありますとか、われわれ自身のポリシーあるいは社内でのいろいろな提案、トップ・ダウンといいますが、上で決めてやれというのと、これがやりたいと下から上がってくるボトム・アップ。この両方が交流して、そこでテーマが決まる。テーマが決まると研究をし、それを開発にもって行って、できれば実用化する、といった手順を原則としては踏んでおります。

ちょっと話が逸れますが、金を使って研究をやらせて、例えば私の立場上一番の悩みはですね、そういった研究の成果をどうやって評価するか、中には巧くないかという結論のものも沢山あります、それはそれで立派な研究なのです。成果が直接商品の売り上げにつながる業種と違っ

て、われわれ建設業では、そういった研究成果の評価の仕方を定式化したもの、あるいは一般に認められたものは、世界中のどこにもありません。悪くいえばバクチみたいなことをやっているもつと悪くいえばアテズツポーをやっているようなことも、かなり沢山あるのではないかと自ら認めております。

ところで、先ほどお話ししましたように多額な、実はそれほど多額でもありませんが、かなり研究開発投資を各社ともやっている訳であります。これは日本の建設業界がたいへん特殊なのでありまして、外国では建設企業が自分で研究をやる、開発をやるといったことは、どこでもやっておりません。

会社にやってくる外人のお客さんが、当社の技術研究所などを見学しますと、膨大な設備あるいはそのための大きい投資に、皆さんびつくりしまして、異口同音に必ずきまった質問を受けます。「いったい何故、日本の建設企業はこんなに膨大な投資を、研究・開発のために使うのか」という質問です。

これに対する答えは、要するに例えばアメリカのように大学と企業が巧く結びついて、大学が研究をし企業がそれを実用化するといったやり方が、日本ではどうも巧くない。同じことが、官庁の研究所と企業との関係についてもいえる訳であります。ですから、そういうことが期待できないので自分でやる。またそういった研究の成果を上げることによって、自分で独自に新しい

マーケットを切り開いていくんだということ。それから、大きい研究所をもち、大きい研究費を使っていると、世間の評判がよくなるといったことも理由の一つであります。なかなか外国人には説明のしにくい、理解の得にくい問題であります。

研究開発につきましては、いわゆる官・産・学それぞれにビジョンが違い特徴があり、立っている基盤が異なっております。ですから、三者が一体になって巧く効率的に運営されていけば、非常によい成果が早く生まれるだろうと、一応は考える訳であります。私は私自身ですね、たいへん珍しい経歴をもっておりまして、人生の前半は、東京大学で教育もし研究もした経歴をもってお所というところで過ごしました。人生の後半は、東京大学で教育もし研究もした経歴をもっております。そして八年ほど前に東京大学を定年になり、第二の人生として今の建設会社に入りました。一人で官・産・学を総ナメにしたと、自分でもいっておりますが、現在の日本ではかなりユニークな存在ではないかと思っております。

それで、さっきの官・産・学協同の問題ですが、それぞれの場所に身を置いた経験から、これがおいそれとはできない本質的な、日本の風土に特有な問題点のあることを、外人にはいいませんが、十分に承知しております。

日本の研究設備にびっくりした外国のお客さんが、次にする第二の質問は「いったい研究投資はペイするのか」、必ずこれなんですね。答えは、決してペイしない。少なくとも近い将来を直

結的に眺めたときには、決してペイするものではありません。しかしもつと長いロングレンジで考えますと、いろいろな意味で社会に貢献するとか、新しいビジネスの分野を切り開いていくとか、あるいはあまり直接的には儲からなくても、研究開発の成果とそれに携わった人間の体験は、やはり一つの財産・資産でありまして、長い目で見ますと将来必ず実を結んでいくものである、といったような答えをしております。

## 研究の動向

実はここまですが前置きのつもりだったんですが、時間がなくなりましたので、肝心の「研究動向」のことは、大急ぎで済ませてしまいます。

いったい現在の研究の方向は、どういうことなんだということですが、細かいことはいろいろあります。しかし、ごく大雑把に一言で申しますと、「ハードからソフトへ」、ハードなテクノロジからソフトなテクノロジへどんどん移っていく。また移っていかざるを得ないというのが現状であります。この動きは決して間違っではないし、その動きを速めた者が勝ちを納めるという事態に、現在はこちらつとあると考えております。

ハードからソフトへとは、一体どんなことをいうのか、それをこれからお話ししますが、ハードというのは研究をやる手段として、例えば大型の模型をつくるとか、あるいは実際に物を試作

してみる。そしてそれを大型の設備を使って、実際に揺すってみる、焼いてみる、潰してみる、といったような大型設備依存の大掛かりな研究のやり方をいいます。従来はどちらかといえば、このやり方が主流で、ですから業者間でも大型試験設備の保有競争が続いたのは止むを得ませんでした。

これに対してソフトとは何か、端的にいきますと、コンピュータを使う、コンピュータ依存の技術であります。あらゆる研究とか開発を、現物の世界で進めていくのではなくて、コンピュータの中で研究し実験して、いろいろ起こるであろう現象をシミュレートする。そういったシミュレーションの結果から研究の結論をだし、例えばどういう設計をしたらよいかというデザインを下していく。こういったやり方がソフトでありまして、いうならばハードとは設備、ソフトとは頭脳といって良いかも知れません。ハードにはどうしても限界がある、ソフトでなければならぬということをお気付きになるかと思えますので、ハードとソフトなアプローチの例を、いくつかお話してみることになります。

(一) 振動工学 振動台試験というのがあります。数メートル角の台の上に例えば高層建築の模型を載せ、台を実際の地震のときの地面の揺れと同じように揺すってみる大型試験であります。それで模型がどう揺れるか、どこにどんな力がかかるかということを実測します。これはこれで非常に明快ですし、説得力がありますね。説得力があるという点は、目に見える実験・研究の大

きなメリットですが、これではどうにもならない事があります。

大体こういった実験は、設計の拠り所を得ようとするのが目的ですが、設計に関与して来る要因といえますか、パラメーターは莫大な数にのぼるものであります。例えばある柱をちよつと細くしたらどうなるか、壁の一部をちよつと厚くしたらどんな結果になるかといったようなことは、設計者がどうしても知りたいことなんです。ところがそれを一々模型を作ってやりますと、現実離れした何百何千という模型が必要になりますので、現在はこういったハードな実験はあまりやっておけません。

代わりに振動工学といわれる理論に基づいて、コンピュータでシミュレートさせるソフトな方法に拠りますと、建築がどんな揺れ方をするか、それを目で見る実験と同じように、動く画面—いわゆるアニメーションで表現できますし、どこにどんな力が働いており、それがどういふうに変わっていくかも、色の変化で表わせて一目瞭然に分かる。それにもつと大切なのは、先ほどの何かをちよつと変えてみる、この「ちよつと変えてみる」ということが設計上はたいへん重要なのですが、こういった要因すなわちパラメーターを変えたときにどうなるかという結果が、瞬時にして出てくる。

パラメーターを変えたコンピュータの中のシミュレーション、これをパラメトリック・スタディといっていますが、これが非常に早い時間でできますので、いくらでも好きなだけやって、



その中から設計者は最適な要因の組み合わせを見つかる、そういうプロセスを現在はとっている訳であります。そもそも設計というものは、パラメーターの最適な組み合わせを見つかる、といった知的な行為なんですからね。

大地震のときの原子力発電所の揺れ方、力のかかり方なども、もちろんシミュレーション解析をやっております。それに最近では、コンピュータでなければできないいろいろな問題も出てきまして、例えばこれは極端な例なのですが、ボーイング七四七が落ちてきて、まともにぶつかったらどうなるか。これはとてもハードな実験などできる代物ではありません。これがソフトなコンピュータ技術ですと、衝突の瞬間から建物がどう揺れるか、どの辺まで壊れていくかといったことなど、直ぐに分かってくる訳です。

(二) 火災工学　ビルなどにとりまして火災はたいへんな問題なのですが、これもシミュレーションに基づいて防災設計をやっております。図面上で、例えばある部屋で火事が起こった。それがどの程度の火災になるかは、部屋の内装や燃え草をインプットしますと、相当正確に推定することができます。火事で一番怖いのは一酸化炭素、一酸化炭素の濃度ですね。これも例えば三〇秒後、一分後、五分後、一〇分後には、どのくらいの濃度がどの辺まで拡散していくかを、数式を解きながらコンピュータで追いかけていきます。同じように一酸化炭素だけではなくて、煙はどういう早さでどの方向へ広がっていくか、あるいは炎はどうか、そういったことも全部コ

ンピューターにやらせています。これをもし実験でやろうとしたら、どういうことになるのかという事です。

同じテクニクは、建物の中だけでなく、例えば東京で大地震があつて、どこ何処で火災が発生したとする。その時の風向きや風の速度、あるいは湿度などを考え合わせて、どんな早さでどういった方向に広がっていくのかという、火災の延焼を追いかけるシミュレーションも可能であります。またそういったパラメトリック・スタディを踏まえて、都内の避難広場はどのくらいの数を、どんな位置に置けば一番いいのか、といった都市計画の問題などにも応用されております。

話は元に戻りますが、ビルのある場所で火事が起こった。一酸化炭素や煙がどんどん追いかけてくる訳ですね。それに対して人間は逃げますが、こういつたとき人間はどういうパターンの行動をするのかという問題があります。これもできればコンピューターでシミュレートしたい訳ですが、人間の集団の行動を対象とした学問を、新しい言葉ですが「群衆工学」といっております。話はまた少し逸れますが、大体いままでの力学は、金属とかコンクリート・土あるいはプラスチックなど、ひと塊になったものー連続体といいますが、そういった塊の挙動を問題としてきました。ところが最近では、バラバラのもの例えば岩石がバラバラ崩れるとか、石炭をバラバラ落としていくとか、「個別体力学」といいますが、バラバラなものの振舞いも力学的にシミュレイ

トできるようになって参りました。セメントとか小麦粉のように、バラバラの粒がもっと小さいときは「粉体力学」といっております。

人間もバラバラな存在ですから、群衆工学も個別体力学のカテゴリーに入る筈ですが、困ったことに岩石や石炭と違って、人間はそれぞれ意志をもって行動しますから、問題はたいへんややくしくなって参ります。ところが最近、パニックのときの群衆の行動には、明るい方へ逃げるとか、空いた方よりむしろ混んだ方へ向かって走るとか、あるいはもと来た方向へ引き返すとか、数式で表わせる習性といえますか、一定の法則性のあることがだんだん分かってきまして、相当正確なシミュレーションが可能になって参りました。

そこでビル火災のとき、加害者として追いかけてくる一酸化炭素や煙の流れ、一方では被害者として逃げていく群衆の流れ、そういったものを、いろいろ状況を変えながらパラメトリック・スタディをやってみます。その結果、例えば部屋の面積あるいはそこにいる群衆の密度に対して、入り口のドアはどのくらいの広さが必要なのか、逃げるときドットと人が集まってきましたので、廊下はどのくらいの幅があるんだとか、あるいはその人達は階段で逃げますから、階段はどんな広さのものがいくつ要るか、といったようなことを決定して、人間を対象とした防災計画を立てております。

### (三) 風工学

設計者は例えば室戸台風級の暴風が来たとき、建物のどこにどんな力が働くか

ということとは、絶対に知っておかねばならないデータであります。いままでは、風洞といいますが、強風を起こす直径数メートルの大型装置の中に、高さ一メートル以上もあるビルの精密な模型を置いて、これにかかる風の力を、何百点も計測しておりました。建物一つだけでもたいへんな準備がいり、たいへんな作業です。

ところが最近はその建物一つだけという訳にはいきません。環境の問題がたいへん重要になってきまして、皆さんご存じのビル風ですね。ビルが建ちますと、周りの風の流れがすっかり変わります、場合によってはえらいことになる。これが非常に問題視されておりますので、いまではビルの周り数百メートルにわたる町並みも全部模型化しまして、風洞実験をしております。ところがここでまた、例の「ちよつと変えてみたら」という問題が起こります。ビルの向きをちよつと変えてみるとか、ビルの角は鋭い四角をしています、これをちよつと丸めてやりますと、風の力は極端に減ることもありますし、周りへの影響いわれる風公害の様相もすっかり変わってしまいます。ではどの位の丸味にしたらよいか、そういったパラメトリック・スタディをいくらでもやりたいんですが、精密な模型一つ作るにも一ヶ月や二ヶ月はすぐ経ってしまいますし、計測の手間もたいへんなことになります。ですから風洞実験もソフトでやれば、たいへん都合ということになります。

こういった風の問題を取り扱う学問を、風工学といっていますが、これは何も建築に限ったこ

とではありません。例えば航空機とか車の形を流体力学的に決めるときなど、理論の実証のために、まだ風洞実験もいくらかやってはいるようですが、やはり大幅にコンピューター・シミュレーションへと変わってきております。

ところが、こういった他の分野のソフト技術を建築に応用しようとしますと、たいへん悩ましい問題があります。飛行機はもちろんですが、車も形がいわゆる流線型、あるいはそれに近い形をしておりますね。こういった流線型の場合は、周りの風が非常に素直できれいな流れをしております。これを風工学では層流といいまして、数学的な扱いが割合易しいのです。

ところが建築の場合は、そう簡単にはいきません。建築物は流線型でもありませんし、滑らかでもありません。いわゆるブラフ・ボディなんですね。ブラフというのは、角張ったという意味ですが、隅が角張っているのです。そこで風の流れが剥がれる、いわゆる剝離現象が起こります。いったん流れが剝離しますと、これが建物の周りや後ろに渦巻を発生しまして、建物自体や周りの市街地にたいへんな影響を及ぼします。

剝離や渦のあるこういった乱れた流れを、層流に対して乱流といっております。乱流の場合には数学的な解析がたいへん難しい。しかしこれも最近はなんとかできるようになりました。例えば図3はシミュレーションの結果を絵に書いてみた一齣ですが、風が剥がれて渦を巻きながら後ろは流れていく様子とか、建物が受ける風圧の変化なども、ビデオでアニメーションによって見

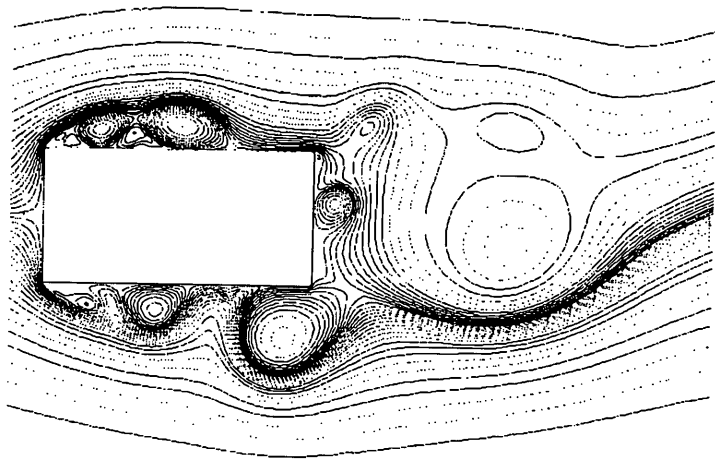


図3 建物の周りの風の流れ

ることができません。こうなりますと、ビルの縦横の長さをちよつと変えてみるとか、角の丸味を変えてみた効果が瞬時に、瞬時にはなかなかいきませんが、ごく短時間に出てくるといふ訳であります。

(四) 音響工学 音楽を聴くホールの話ですが、ホールには客席もあり、壁や床や天井もありで、これの設計はなかなか厄介なものであります。演奏者がステージである音を出しますと、これが直接届くだけでなく、壁や天井で屈折したり反射したりしながら、聴衆の耳に響きます。要はこの響きが、聴衆全体に対して最も良くないといけないということで、それにはホール全体の形はもちろん、壁の形や壁に貼り付ける素材の性質までが影響して参ります。それに残響の問題があります

ね。残響があまりあり過ぎますと、音がザワーと響く音になりまして、オーケストラの名演奏も台無しということになりますし、逆に残響をあまりカットしてしまいますと、味もそっけもない音になってしまいます。

これも昔は大きいホールの模型、人が測定に入らなければなりませんので、たいへんな大きさの模型ですが、中に人が入って実際に音を出したり聴いたり、天井の形を変えたり素材を貼り変えたりしていた訳ですが、到底満足なパラメトリック・スタディのできる筈がありません。こういった音の問題は、コンピュータが最も得意とするところでありまして、人間の耳の鼓膜にかかる音圧つまり音の圧力が計算できますし、そのスペクトルを求めて、音の性質や残響の多少なども全部分かってしまいます。天井に貼る素材を変えますと、音の反射率や吸収率が違いますので、その効果もすぐ分かりますし、もちろんある人間に聴こえたとおりの音を、スピーカーで出してみることだってできる訳です。

(五) **海洋工学**　まず港湾、港のお話です。港の設計には港内の波の静かさの度合い、静穏度といっていますが、静穏度のある一定のレベル以下に押さえることを要求されます。あるいは荷役船が着きますと、クレーンで荷物の上げ下ろしをする訳ですが、クレーンのブームがあまり揺れますと、荷役に不便だし能率も悪い。したがってブームの揺れのある限度以下に押さえるといった要求になることもあります。

港内を静穏にするためには、もちろん防波堤を造らなければなりません、どんな形の防波堤にするか、その高さ・長さは何のくらい必要か。そういったことを、かつては凄く大きい水槽の中に港湾の縮尺模型を置いて、ハードな実験をやっておりましたが、いまでは海洋工学の知識によって、全部コンピュータの中で片付けております。防波堤といえますと、たいいてい大きなコンクリートの塊でしたが、最近はスリットを開けてやった方が消波の効率が高いということが分かって参りました、そういったスリット型消波堤の設計なども、ソフトの活躍舞台であります。クレーン船の揺れを推定するには、「浮遊体力学」といった理論が必要になって参ります。

次は海洋構造物、海の中に造る構造物がありますね。海底の石油を掘るプラットフォームなどもその一つですが、それにはどんな波の力がどんなふうにかかるか。あるいは最近では北海とかアラスカ沖の北極海で、石油の採掘が始まっております。これにはまた難しい問題がありまして、海が一面に凍る訳ですね。すると氷がバリバリと構造物を締め上げてくる。氷圧というもので、恐ろしい力になりますが、そういったものも計算しなければならなくなって参りました。

また日本海を大きい水槽に見立てまして、秋田県沖で起こった津波が、朝鮮半島で跳ね返ってまた日本の海岸にやってくる、そういった津波の問題なども、実際とあまり違わない精度でシミュレートすることができます。

## (六) 破壊工学

次は鉄筋コンクリートの構造物であります。これも何十トンもある試験体を



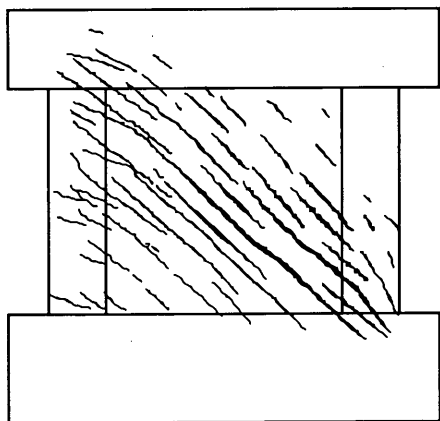


図4 鉄筋コンクリートのひび割れ

造って、大型の加力装置で壊してみまして、例えば地震のときの安全性などを調べておりました。鉄筋コンクリートの柱とか壁に力を加わえていきますと、まずひび割れ、クラックが出始めます。これが次第に延びていき数も増えて参りまして、最後にはコンクリートの破片がバラバラ落ちてきて、潰れてしまいます。こういうふうには、ものが壊れてバラバラになっていく現象を扱う工学を破壊工学といいます。数式的にはかなり扱いにくい対象であります。

地下空間の開発は、最近たいへん話題になってくるテーマですが、例えば地下の深い所に大きい空洞を掘ります。空洞の周りの力がどうなっているか、空洞がどんな具合に変形するか、といった辺りまではそれほど難しくはないんですが、例えばいざ地震というときに、周りの岩石にひび割れができて、バラバラ壊れていくことも考えておかなければなりません。こういうバラバラ現象のシミュレートはそれほど易しくはありませんが、最近は何とかフォローすることができるよう

なりまして、先ほどの鉄筋コンクリートの場合などは、全く実験と同じ程度に、ひび割れの発生から延び・破壊までを追跡することが可能になって参りました。図4は鉄筋コンクリートの壁やその周りの梁・柱に、クラックが発生した状態のシミュレーションであります。

### ハードからソフトへ

こういったハードからソフトへの移行は、何も工学とか技術の世界に限ったことではありません。始めの方でお話ししましたように、ビルの建設あるいは地域開発などの企画段階で必要な収支の予測・投資効果の検討なども、「経営工学」とでもいいでしょうか、いまは全部コンピュータでやらせるよう、いわゆるAI、人口知能ができております。

さらに建設といった企業の経営に当たりまして、一番大切なことの一つは、人・物・金を如何にうまく能率よく組み合わせていくかということでありますが、これもコンピュータにやらせておきまして、コンピュータがマネージメントをやってくれる訳であります。さらにいえば、一つの建物あるいは一つの区域に限りませんで、例えば東京という地域の中には、五百とか六百の現場がありまして、しょっちゅう仕事をしている訳ですが、こういった東京という地域全体の中で、人・物・金をどう動かせばもっとも効率的かという計算。さらにもっと大きくいきますと、日本全国を見渡して、常時三〇〇〇くらいの現場が散らばっておりますが、これらを全部統合し

て人・物・金の最適な流れを決めていけるようになれば、最高であると考えております。

いままでソフトな技術のメリットを、いろいろお話ししてきましたが、要するに最適なものを見つける、あるいは間違いないデジジョンを下すために、欠かすことのできないパラメトリック・スタディ。これを完璧にしかも瞬時にできるのは高速・大容量のコンピューター以外にはない、ということであります。

さらにもう一つ付け加えさせて頂きますと、ソフトのメリットあるいはソフトでしかできないことに、「パラダイムの拡大」ということがあります。パラダイムという言葉の意味は、私も完全に理解している訳ではありませんが、最近使われているのは「概念の領域」といったような意味ではないかと思っております。

ハードな技術では、現在の体系あるいは固定概念といったものから、どうしても抜け出すことができない。なぜなら、ハードなアプローチの道具である設備・装置といったものが、すべてそういう体系・概念の上に成り立っているからであります。卑近な例でいいますと、高さが三〇メートルくらいの高層建築は実験できますが、パラダイムを突き破って、最近よく話題になっている高さが一〇〇メートルを越すような高層、いわゆるキロメートル・ビルディングの問題などは、ハードではまず解決が不可能だと思われれます。

もっと極端な例を申しますと、宇宙構造物があります。スペース・ストラクチャーの構造は、

皆さんどんなものを想像していますか。恐らく既成のパラダイムにとらわれて、金属のパイプをつなぎ合わせたようなものを考えておられるのではないかと思えます。ところが宇宙では物の重さがないのですから、それを支えるのに金属のような強度のあるものは必要ありません。「フライイング・スパゲッティ」という言葉で呼ばれていますが、いろいろコンピューターの中での実験に拠りますと、スパゲッティのような部材を使うのが最適だというふうにいわれております。こんなものを、重力の作用からは絶対に逃げられない地上の実験室で、ハードな実験ができる訳がありませんね。

長々とお話ししましたが、話題は「研究の動向」ということでありました。研究の動向は、くどいほど申し上げましたが、疑いもなくハードからソフトへの移行ということでありませう。従いまして、同時に研究投資のお話しもいたしましたが、これからは研究の投資も設備投資より頭脳投資に重点が移っていく、これもまたいささかも疑っておられません。

どうも長い時間のご静聴ありがとうございました。

（東京大学名誉教授  
清水建設(株)副社長）