

耐震工学研究の現況

岡 本 舜 三

日本のような地震国では耐震工学研究の問題点を専門家でない方々、一般国民の方々にも理解してもらわなければならないと思ひこの小文をまとめた。

1. 日本の地震事情

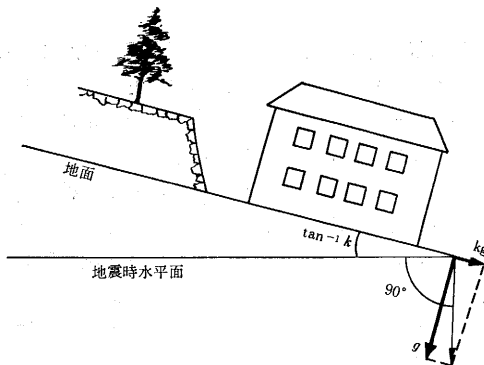
日本は地震の多い国である。実際におきた大震災とその全半壊家屋数を最近の 20 年間についてだけあげても

昭和 21 年 12 月 21 日	南海地震	28,274 戸
23 年 6 月 28 日	福井地震	46,869 戸
27 年 3 月 4 日	十勝沖地震	2,139 戸
35 年 5 月 24 日	チリ地震津波	3,764 戸
39 年 6 月	新潟地震	8,600 戸

など 5 指を屈するに足る。日本の構造関係者がとくに耐震工学に深い関心を示すのは当然のことといえる。

2. 在来の耐震設計法

濃尾大地震、関東大地震と幾度か大震災の試練をへて非常に巧みな耐震設計法がみだされた。それは「地震とは地平線が傾斜することである」とするのである。ここでは地震が激しいほど傾斜はひどい。傾斜角はたとえば関東地震の東京下町では 17° 、新潟地震の新潟市では 12° 程度であったと考える。こう考えれば、なぜ地震のとき家が倒れるのか、土手が崩れるのか、理由は第 1 図



第 1 図 地震は地面の傾斜に相当する

から明らかである。もちろん地震は振動現象で、単に地面が傾くことではない。また地面は傾きはしない。ただここに書いた程度地平線が傾いたとして、その地面上に作られた構造物がこわれないようにしておけば、実際の地震動に対して安定を保ちうるというのである。どうして 17° とか 12° とかの角度を知りえたのであろうか。われわれは何回かの大地震をへて、経験的にそれをえたのである。それだけにこの傾斜角は信頼のおける値である。地震時における構造物の振動のような複雑な現象を、

こうも思い切った割り切り方で理解したということは先人の驚くべき直感である。この理解によってどんな複雑な構造物の耐震設計も静力学によって容易に行なうことができる。この方法は震度法とよばれ、今日多くの構造物に対する耐震設計法として使われている。

3. 動的設計法

実際の地震現象をおちついて観察する機会を持つことはむずかしいので、走っている電車の振動をかりに地震動と想像してみよう。腰掛けや照明などは床とほとんど同じに運動しているが吊皮の運動はそうでない。何かの拍子に驚くほどゆれ出すかと思うと床がゆれても吊皮はとまっていることもある。つまり吊皮のようなゆれやすいものは床と同じには動いていない。

超高層の建築とか長大な吊橋とかのようなゆれやすい構造物についても同様な現象がおきて、これらは地震時には地動と同じようにはゆれない。それであまり高層でない建築とか小さな橋梁などに無理なく適用しえた在来の震度法は、この場合はぜんぜん正しい結果を与えない。それゆえ設計には使えない。この場合には地震による構造物の振動を綿密に計算した上で設計の安全性がためされる。この方法を動的設計法という。

今日都市の改造は数 10 階の超高層ビルの建設を要請する。原子力発電所もその高さにおいてはこれに劣らない。一方また交通路の整備は長さ 1000m を超える橋梁や 50m 級の高さの橋脚の建設を必要とする。これらの構造物はわれわれの生活に大きな影響をもっており、それ自身の建設費も高い。したがって地震によって損傷するようなことがあれば、その損失は莫大であり、それゆえに耐震設計は綿密に行なわれなければならない。いうまでもなくこれらの長大構造物は可撓性であり、その耐震設計は動的設計法で行なうことになる。近年になって動的設計法が急に重要視されはじめたのにはこうした背景がある。

動的設計を行なうには少なくとも次の事項が明らかになっていなければならない。

地震の強さ

地震動波形の性質

構造物の振動性

変動する力をうけた場合の材料の強弱

その一部分だけしか明らかになっていない場合に、あ

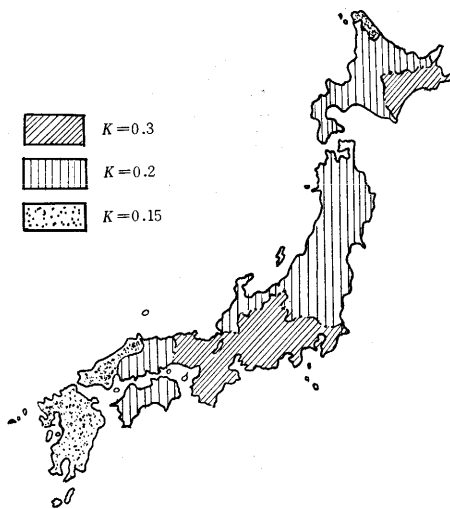
えてこの設計法を強行すれば、それはいくらかでも合理的になるのかというと、決してそうではない。設計法というような総合的な技術は各要素のバランスの上に作られている。したがって用法を誤れば、あるいは不経済な、あるいは危険な設計となる。生兵法大けがの元ということわざのとおりになりかねない。

上にのべた各要素のあるものは今日まだほとんど明らかになっていない。それゆえ動的設計法は、それについての研究論文はおびただしい数が発表されているけれども、完全な形では実用されていない。一方において長大構造物建造の要請は大きく、それを建設する技術もおおむねそなわっている。完全な形で動的耐震設計を行なわねばならない時期はすでにきている。いま必要なのは残された未知の問題のとくに基礎的な部分を一日も早く解決することである。耐震工学研究はいまそうした方向にむいている。

4. 設計に考うべき地震動の強さ

関東地方は九州地方より地震が多いという。また東京の下町では山手より地震が強いともいう。してみると設計に考うべき地震の強さはその地域とそのある場所の地盤によって異なるはずである。もちろんこの外に構造物の重要性とか修理の難易の程度とか別の面からの配慮もあるが、それについてはここにはふれない。

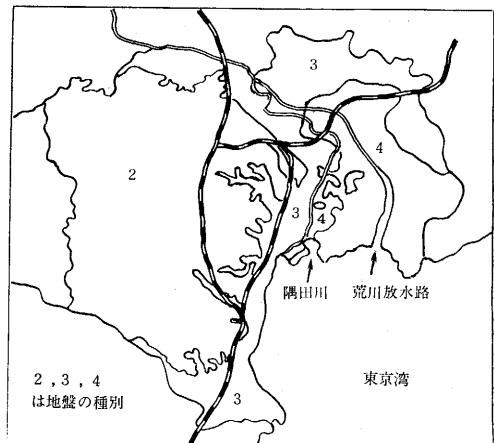
設計にとるべき震度を地域別にあるいは地盤別に示すには直接に地図の上で分けするのが一番わかりやすい。地域別震度区分図、地盤別震度区分図といわれるものがこれである。



第 2 図 地域別震度区分図 (国鉄)

第 2 図は国鉄で使っている日本の地域別震度区分図でこれを見ると東海道は裏日本や東北より大きな震度を設計の対象としてとっていることが知られる。こうした図を日本列島の生立ちや、現在の地質構造から導き出し得るのが理想であるが、科学はまだそこまで達していない。

現在行なわれているやり方は過去に地震が多かった所は将来も多いであろうという推測にもとづいて、過去の地震を定常的確率現象として、将来にのぼしているのである。それでこの図はときどきあたらしない。この図では福井や新潟はそれほど危険な土地ではないとされているのである。このような図をもっときめの細かいものになしうれば耐震設計もそれだけ確実性をますわけで、統計的研究のみならず地質構造の面からの研究の進歩が望まれるのである。



第 3 図 地盤別震度区分図 (東京)

第 3 図は地盤別震度区分図の 1 例で東京の区分図である。番号で区分されているが、番号の大きい方が一般には設計震度が大きくとられる。同じエネルギーの波が同じ振動数で伝わっていれば、その振幅は軟地盤の中では硬地盤の中におけるよりも大きい。また波が硬地層から軟地層に入りこむときは振幅が増大する。このように軟地盤での振幅は硬地盤での振幅より理論的にも大きいと考えられるが、実測でもそうした事実が知られている。たとえば福井地震余震の観測例では、沖積層上の振幅は第 3 紀層上の振幅の 1.4~6.5 倍であった。

こういうような事実から地盤を調べて地盤別区分図が作られるわけで、それは都市計画という大きな形での都市の耐震化に対する基本的データである。日本ではこの考え方が普及しているので、都市ごとにこの種の図を作ろうという意欲はさかんである。しかし外国では地盤に対する関心が驚くほど低い。国際的学会の場などで日本が懇切に説明してやっと近頃みこしをあげはじめた程度である。これは地震を観念的に知っている者と身近に体験した者との違いであろう。

地盤別区分はできたとしても、両区域の震度の差をいくつにつければよいか、定量的なことになると問題は急にむずかしくなる。先の例のように 1.4~6.5 倍というような開きのある結果が出たのには、地震の発震位置や機構、波の構造等いろいろの原因があるであろう。そこに存する因果関係を究明した上で、さて硬軟両地盤に対す

る設計震度を一義的にきめなければならないわけでは、そうするためには今後なお多くのことを研究しなければならないのである。

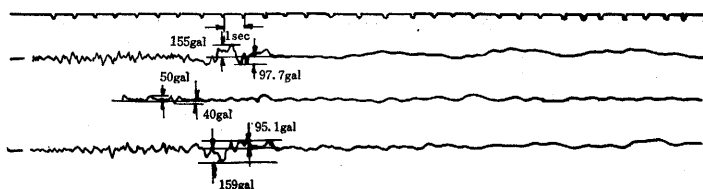
5. 地震動の波形

強さが同じでも波形が違えばその地震動が構造物に与える影響は異なる。それゆえ動的設計にとっては地震動の波形について十分な知識をもつことが基本的に重要である。このためにはまず地震観測、ことに強震観測をしなければならない。日本では古くから気象関係官署の手で地震観測が行なわれていたにもかかわらず、強震記録はほとんどとられていない。強震のときは地震計の針が飛ぶからである。それというのも観測者の主たる関心が地球物理学にむけられていて、震災防除にはむけられていなかったからではなかろうか。

10 年ほど前に、工学側からの強い要望で強震計が作られ、その後主として建築関係の学者の非常な努力で急速にその設置がはかどった。いまでは 200 台に近い強震計が日本の各地に分散配置されているが、関係者が苦心して民間経費を動員してなしとげたことだけに、その配置は必ずしも適正にはなっていない。そこで政府も本腰を入れて計画的な強震観測計画を実施し、防災計画樹立の基礎データの集積に乗り出すべきだとして、昨春秋、日本学会会議が勧告を出しているが、それによると全体で 594 台が必要とされている(第4図)。

強震観測のような地味な仕事は急には成果があがらない。計器をすえたらすぐに記録がとれるようなわけにはゆかない。根気が必要であるが、アメリカはこの方面の先進国であって、日本の末広恭二博士の主張に耳を傾け、すでに30年前からこの計画を始めている。そして今日では実際に役に立つデータをたくさん持っていて、これがアメリカでの動的設計法の開発を支えている。1940年5月18日カリフォルニア州エルセントロで記録された強震記録は最大加速度は $0.33g$ となっていて、強震記録としては完全であり、今では日本も含めて世界各国で標準的強震の一つとして採用されている。エルセントロ地震ばかりが標準ではあるまいと思っても、こちらにそれだけのものがない点があるのは弱い。しかしその考えは間違っているわけではない。日本で強震観測を熱心に行なわねばならない理由が、ここにあると思うのである。

もちろん強震観測に並行して微小地震の観測も行なわれている。これはめったにこない強震だけを待ってはおれないので、小地震にも取り組んで、大地震についての何らかの手がかりをつかもうとの努力である。こうしたいろいろの成果をまとめて、設計にとりあげる波形として何をとるか、この判定は容易でない。そこでエルセントロ地震とか埼玉地震とか、とにかくこれまでにとれてい



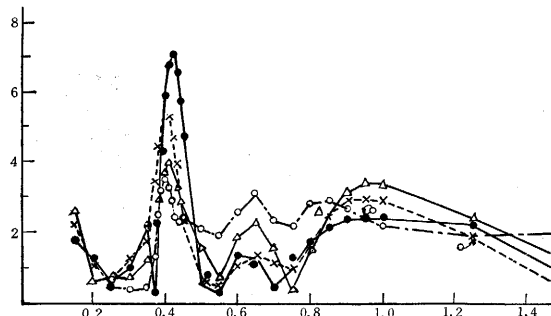
第4図 新潟地震の強震計記録(新潟市)

る地震波動をそのまま標準にとって、それをもとに設計しようとするやり方もある。または硬地盤や軟地盤の下にある基盤にくる地震波のスペクトルを仮定して、それを設計のもととなる地震とするやり方もある。このときのスペクトルのきめ方は、若干の研究成果にもとづいて、ある帯域で速度振幅スペクトル一定、各成分振動の位相はどの角度も同じ確率で起こるとおくことがしばしば行なわれる。やや大胆ではあるけれども、こうした抽象的な設定はその後の理論を円滑に進める上には非常に有効なのである。

地盤に地表層があれば地表層は基盤層の地震のこのようなスペクトルに対して、その性質に応じたゆれ方をする。したがって地表層の地震動のスペクトルもまた算出することができる。地表層は先へのべたようにとくにゆれやすい振動形というものを持っているために、スペクトルは山形になる場合が多い。

この場合には地表層の振動特性を知ることが必要であるが、これはそれぞれの地表層の動的な意味での構造を測定しなければわからない。しかし地表層の構造は一口に砂層とか砂利層とかいうけれども、よく調べてみるとその締め具合が場所によって違っていたり、間に薄い粘土層がレンズ状にはさまっていたり、その動的性質は一般に非常に複雑である。今はそれを常時微動の測定という簡単な方法で解決している。非常に高感度の感振器を地上におけば、地盤は地震時でなくても常時ゆれていることがわかる。この微動を測って分析して地盤の振動特性を知ろうというのであって、重要な建築や橋や高架の建設には必ず行なわれている。

微動に対するのと強震に対するのとは地盤の振動特性が違うのではないか、第5図はそれを理論的に計算し



第5図 非線形性地盤の応答スペクトル

てみた結果である。地盤を構成している土のような材料では、力と変形の関係は鉄のような簡単な関係ではあわせない。計算はこのことを考慮して行なわれているがそれによると地盤は大地震に対しては微動に対するほど敏感な特性をもっていない。図でいえば黒丸は微動に対するスペクトルその他は強震動に対するスペクトルであって、黒丸の曲線の方がピークが顕著で、その他の曲線はなだらかである。なだらかであるということは特性が顕著でないことを示すもので、こういう理論計算の結果をみると微動観測だけにすべてをたよるのは問題がある。

最近メキシコ市で地盤のボーリング資料と各層の土材料の実験室内における材料試験の結果から地盤の動的特性を理論的に計算し、メキシコ地震における観測結果と比較して良好な一致がみられたことが報告されているが、土木構造物のような深い基礎をもつ構造物に対しては、このような解析的手法を併用した現地試験法が必要である。

6. 構造物の振動特性

地盤の振動状況が与えられ、構造物の振動特性がわかれば地震時の構造物の振動状況を明らかにすることは計算機の進歩した今日ではかなりのことまでできるようになっている。地震動がたとえばエルセントロ地震というように確定した形で与えられれば構造物の振動による応力や変形も確定した形で算出されてくるので、それに耐えるような設計をすることになる。また先に述べたように地震動が統計的な形で与えられるならば構造物の振動もその形で出てくるので、最大値の生起する確率を論ずることになる。

ここに構造物の振動特性とは、たとえばよく知られていることであるが、時計の振子は一定の周期をもち、その長さはひもの長さで定まる。つまり周期はひもの長さによってきまる一定値であるが、このような一定値を振子の振動特性という。同様にすべての構造物は振動特性をもっていて、地盤を通じて地震をうけるとその特性に応じて振動する。それゆえダムや建物のような実在する構造物の振動特性を知ることが、非常に重要なことである。

その振動特性は構造物の詳しい構造がわかればある程度正確に計算することができるが、この場合まだ未知のまま残っているいくつかの大きな問題がある。その第1は地盤と構造物のつながりの問題である。一般に地上に立っているビルの状態は単に地面の上に置かれているのでもないし、ボルトを打ち込んだようにしっかりと大地にうめこまれているのでもない。杭打工事をしたり、潜函工事をしたりして作られた基礎工を通じて構造物と地盤がつながっているのであって、この関係を定量的に把握することはむずかしい問題である。しかし実際にはこの支持方法が構造物の振動特性に著しい影響をもっている、むずかしいからといって逃げるわけにはいかず、

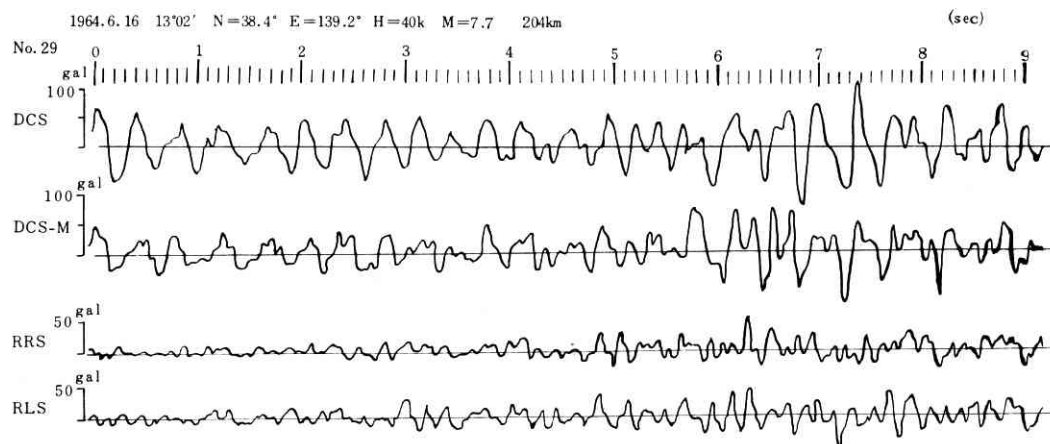
研究しなければならないのである。

第2の問題は地震時の振動エネルギーの行くえの問題である。いま例としてダムの振動を考えよう。振動のエネルギーは地盤からダムに入ってダムをゆらす。ダムがゆれれば、ダム材料内部では内部摩擦によるエネルギーの損失、貯水を伝わってエネルギーが遠方に去ってゆくための損失、同じくダムが接している岩盤を通じて地下に伝わって去ってゆくための損失などがあるので、入ったエネルギーが全部ダムを振動させるために使われるわけではない。損失が多いほどダムはゆれにくくて都合が良いわけであるが、いまのところ何割がどの途を通じて損失するかを理論的にだすことは、現象が複雑すぎてまだできず、もっぱら実測にたよっている。

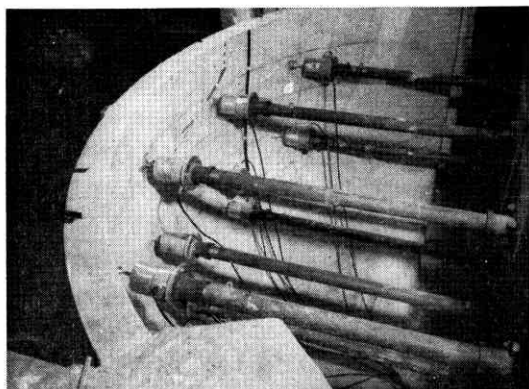
一般に実在する構造物の特性をしるためにそれを人工的にゆすって実験することは、なかなか大変なことである。それで人工的な振動実験のほかに、平素から地震計をすえておいて、地震がきたらそれが自動的に動き出す装置をつけておいて、地震時の構造物の動きを知り、これから構造物の振動特性をだすやり方も行なわれている。この方法は得られる振動が複雑なので、結果の解析に難点はあるが、一方また大きな振動を与えることができる、とにかく地震時の構造物の動作の実相をとらえることができる、利点もある。第6図は岩手県下にある高さ37mのアースダムで記録された新潟地震の記録であって、一番上の記録はダム頂部の振動、次が中腹部の振動、最後が地盤の振動である。一見してダムは相当にゆれやすい構造物であることがわかるが、さらにこれを分析するとその振動特性がわかるのである。

さきに構造物支持の条件が与えられれば、その振動状態は算出しようと述べたが、原理的にそうであっても、構造物が複雑であるとその演算は容易でない。そこで電子計算機を駆使したり、模型について振動試験を行ったりする(第7図)。これらの結果はもちろん、構造物の設計に使われるのであるが、構造物によっては稀有の大地震のときには多少のひびは入ってもよいではないかという場合もある。多少のひびを許し、地震後には修繕するというような弾力的な考え方はダムなどでは保安上許されまいが建築では許されるであろう。こうすると場合によって設計が非常に経済的になしうるのである。ただ、ひびを適当なところで止めるような設計をすることはなかなかむずかしい。

ひびが入るということは構造物の内容が変わるということであるから、振動中に時々刻々内容が変わってゆくような構造物の地震時の振動を計算しなければならない。このような計算は以前にはとてもできなかったが電子計算機はそれを可能にした。計算の結果では多少のひび割れを許した場合の振動の方がかえってあまり大きな振幅がでない。特性が鋭いほどピークが顕著にでる、



第6図 アースダムにおける地震記録（新潟地震）



第7図 生研式アーチダム振動試験装置

なまっているほど顕著でないということは先に地盤について示したが、構造物についても同様な性質がある。この性質は自然界を広く支配する原則であって、それをうまく生かすと経済的な設計ができるのである。

7. 変動する力に対する材料の強弱

材料力学は古くから、研究されている専門分野であるが、従来は主として静かに加えられる力に対する材料の力学的性質を調べることに重点がおかれた。重い煉瓦造の家を地震のほとんどないヨーロッパに建造する場合は梁や柱にかかる力は建物自身の重さのみで動的な力はまったく作用しない。橋でも同様で、最も重要な外力は自己の重量であり、通る人間の重さなどは問題ではない。ところが最近事情が一変している。長大構造物が日本、中国、アメリカ等地震の多い国々にも作られるようになったし、一方また内燃機関のように動的外力が重要な影響をもつ場合が少なからず現われ、構造物に対する荷重状態に革命的な変化が起こってきた。

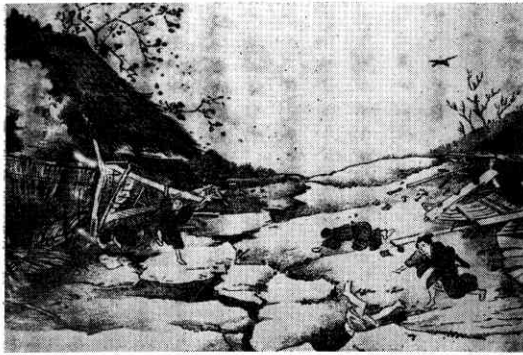
そこで当然材料の動的な力に対する強弱が問題となってくるわけであるが、これを耐震工学の面からみると第1に関係のあるのは土の動的強弱に関する問題である。地震は土や岩がゆれる現象であること、構造物は土

や岩によって支持されていることを考えると、耐震工学において土の力学が最も重要な部分を占めるであろうことは推測に難くない。ただ都合の悪いことに土は一般に動的な外力に対して、その性質の変化がきわめて敏感なのである。たとえばゆるくつまった砂はある程度振動を与えられるとほとんどその強さを失ってしまう。ある種の粘土はショックをうけると急にすべり出す。

このような例はこれまでの地震にも数多く起こっている。新潟地震で信濃川の川岸に立ち並んだアパート群が傾斜または転倒したのはよく知られているが、その他にも昭和19年の東海地震のときなど東海道線の盛土は静岡県下ではなはだしく沈下した。鷲津駅西方約1.5mの地点から約2kmの間で高さ4.5~20mの盛土が各所で陥没流失し、はなはだしくは土の流出距離が100mにおよんだ所もあった。このために列車は2週間不通となったが、比島における戦闘たけなわのとき、この災害をうけた国民の気持は泣くにも泣けないものがあつた。

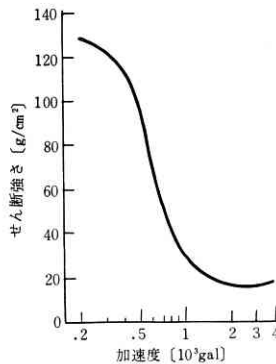
古いものでは明治24年10月28日濃尾地震にもこんな記録がある。「震動激烈なれば単に建築物等の被害あるのみならず、地も亀裂し、あるいは横すべりし、あるいは陥落することあり、もし、しからざるも非常に振盪せらるるがためにその分子凝集力を幾分か弱めたる場合もあるへし。たとえば美濃国根尾谷等にて農夫は地震後、地を耕すに地震前即ち平時におけるよりは労力を要すること頗る少なかりしと云へり。また同国大野郡宝江村にて震後新たに井を掘りたるに、鉄棒の地に入ることはなはだ容易にして、以前一日を要せし仕事は半日にて成就せしといへり(第8図)」これなどは新潟地震にみられた現象と同じである。

このような震害に対処するための土の動的性質についての研究はもちろん行なわれている。第9図は砂についての試験の1例で、そのせん断強さとこれに加えた振動加速度の関係であつて、この砂では加速度が約400ガルを超えるとほとんどその強度が失われることを示してい



第 8 図 濃尾大震災被害図

る。400 ガルの加速度は激震（震度Ⅶ）の加速度に相当している。この実験では振動は何回でも繰り返されたのであるが、地震の振動が有限であることを考えて有限回の繰返し荷重のもとにおける粘土のひずみの増加について研究された例もある。それは一種のつかれ試験であってそれによる破壊を生じないために

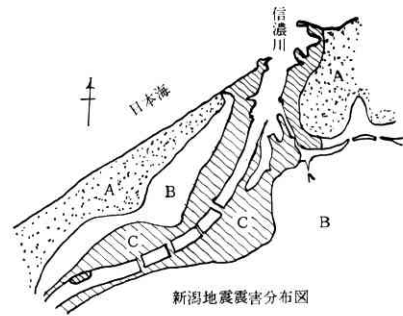


第 9 図 砂の動的強度試験成績

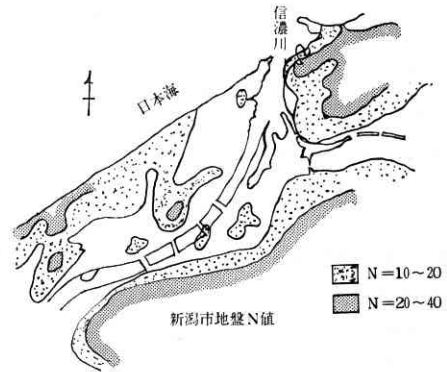
許しうる振動荷重振幅は振動回数の多いほど小さく、定荷重の大きさが大きいほど小さくなっている。これらの実験はしかし定常的振動下のものであって地震による振動は実際は不規則である。それで最近是不規則振動についての強度に関する理論を地震動の立場から論じた研究がぼつぼつ現われている。実験的研究はまだないが、それも遠からず行なわれることであろう。

このような室内の基礎的実験はこれまではあまり組織的には行なわれず、むしろ本格的にはこれからであるがその気運を強く醸成したのは新潟地震であった。第 10 図は新潟地震における被害区域図と、詳細に実測して作られた新潟市内の地盤のしまり程度の図である。この図の N という係数はしまり程度を示す指数で、N が 5 以下の区域では被害が非常に大きく、N が 20 以上の所では被害がほとんどない。N の区分と震害の区分が非常に一致していることは土の動的強弱研究の意欲をますますかきたてる。

このことから、もしすべての都市にこのような地盤調査図を作っておき、これに基づいて都市を建設してゆけば震災を未然に防げるであろうとの考えに到達する。それで現在その方向に進んでおり、軟弱地盤の地盤調査は関係官庁の努力で漸次実現しつつあり、大学はその基礎的学術の究明に努力している。ただ日本のようにすでに



新潟地震震害分布図



第 10 図 新潟市地盤調査図および震害区域図（新潟地震）

旧都市が存在する所では調査結果がすぐさま都市建設に生かされにくいのが新産業都市の建設などには、ただちに役立てらるべきものであるし、先年の地震で壊滅的打撃をうけたりビヤやスコピエの復興などはこの線で行なわれているときいている。

8. 終わりにあたって

これまでは耐震工学研究を学問的な面についてのみ述べたが、この種の学問はとくに人類福祉への貢献という面からも眺められねばならない。この面では 10 年くらい前までの耐震工学は象牙の塔の中で行なわれてきたように思われる。しかしその頃から以後はそれは人類を恐るべき惨害からまもるための学問であるという自覚の上になつて行なわれるようになり、その自覚の当然の帰結として研究者の社会的活動は非常に能動的になると同時に国際的になってきた。

その最初のきっかけは 1956 年の第 1 回世界地震工学会議であつてこれは非常な成功をおさめた。会議はその後 4 年ごとに行なわれて国際的に知識が交換されているが、それ以上に大切なことは非常の際には互いに助け合おうというムードが、国際的に生まれつつあることである。たとえば昭和 36 年から 37 年にかけて東アジア、南米、地中海および中近東の 3 地域に対して国際的地震調査団が派遣されて、これらの地域の震害を防止するため

(27 ページへつづく)

である。一方の区画から他の区画へ避難するにはシャッターの一部にくぐり戸が必要で、これがないとかえってシャッターが人の避難を妨害し危険になることが多い。

屋外に設けられたバルコニーは避難のためにきわめて有効である。バルコニーに出れば煙の害を一応避けられ、バルコニーを伝わって安全な別の区画に避難することも可能であり、またバルコニーからハシゴ車などで救出することはやさしいし、バルコニーが上の階に炎や煙が近づくのを防いでくれる利点もある。

避難口の標示は非常灯で明示することが規定されているが、見通しのきく劇場などはいとして、百貨店やホテルなど障害や曲折の多い建物では廊下や柱などに方向を示す矢印のようなものがほしいことがある。

2. 地下建築の防災対策

(1) 地下建築と防災上の問題点

最近土地の取得難とビルの高層化に伴って地下室の階数および面積が増大し、商店街・食堂・娯楽場や劇場などに利用する傾向が強くなっている。幸い地下街の大規模な災害例は起こっていないが、先般の地下キャバレーの出火の例でも明らかなように、空気の流通の不十分な地下街で火災が起ると多量の煙が発生し、たちまち全空間にひろがり、避難を著しく困難にするばかりか、煙は避難上もっとも大切な階段室をはい上ることになるので一層不利な結果になりやすい。地下の火災は空気の供給が限定されているのでそれほど急激に拡がることは少ない半面、煙による避難障害と窒息死の危険が大きい。

地下街の消防活動には、ガスマスクなどの装備が必要で、火源の発見がおくれ、進入路が限定されている点など不利な面が多い。一方有利な面としては火勢の拡大がおくれること、人のいないところでは CO_2 など不燃性ガスの充填による消火法がとられること、周囲に延焼する危険の少ないことなどである。

また地下街で火災が長時間つづくと、放熱が少ないだけに上階の大きい荷重をうけている柱の座屈などの心配も大きく、建物全体に及ぼす影響も大きいので早く鎮圧する必要がある。

(2) 地下建築の防災対策

煙がたまりやすく避難のむずかしい地下建築では、まず第1に火災が発生しにくい工法をとらねばならない。多くの場合地下室は鉄筋コンクリート構造となるので、主体構造そのものは一応耐火性が高いとみられるが問題はむしろ天井・間仕切などの付属構造の不燃化にある。

わが国の法規では地下の居室は準不燃材（石こうボード、木毛セメント板の類）か不燃材で仕上げることになっているが、実際には燃えやすい布や紙を張ったり、後になって借り主が木造の造作をつくったりして、危険この上ない地下街となっている例が多い。このような場所

原則的には不燃材料だけで構成するのが本道であるが、やむをえずその他の材料を使う場合には、スプリンクラーを配置するとか、区画が小さくできるように防火シャッターや壁で区画するなど火災の拡大を極力押えるような方法をとることが望まれる。

車庫のような用途では泡沫消火器を用い、倉庫などは CO_2 による酸素遮断の消火法をとることも考えられる。

集会室のような人の多い用途では第1に避難の便を考えて廊下・階段などをわかりやすい配置で安全な区画の中に収め、防煙の効果のある防火戸で区画できるように考えておく必要がある。

また煙の発生を極力押えるように煙の出やすい材料たとえばポリスチレン・塩化ビニルなどの材料を使うのは注意しなければならない。

多量の煙を排除するために排煙用加圧機を使ったり、またドライエリヤ（空堀）を設けて屋外に排出することができればさらに望ましい。

地下室に多く空調用の機械室がとられ、この部分に煙が侵入すると各階に煙が拡大するような事故も起こることがあり、また油の燃焼などによるススの被害も押える方法を講じなければならない。

上階の火災で消防用水が地下に流入して電源を危険にし、ポンプを停めるなどの事故も笑いごとではすまされない。地下に収納された多量の可燃物の燃焼によって熱が蓄積して長時間にわたって柱を加熱して座くつを起こすようなことがあるとさらに大きい損害となる。

(1965 年 9 月 22 日受理)

(7 ページよりつづく)

の対策が討議されたり、それらの成果を実現に導くための政府間会議が昨年 4 月パリで行なわれるなど、その活動は活発である。

日本はこの方面の先進国として現在主導的な役割を演じており、過去の震害でも、チリ、ユーゴスラビア、イラン、リビアなどの震災復興計画に人員を派して協力している。また東京におかれている国際地震学および地震工学研修所では毎年各国から派遣される 15~30 人の地震学および地震工学の専門家を養成している。このように日本が地震国として国際的に果たす役割は非常に重く、その基礎となる耐震工学の研究はこの国において最も精力的に行なわれなければならないのである。20 年前にフォン・カルマンが *Engineers struggle with non-linear problem* という論説を書いて、当時体系的なものないままに非線形問題に遭遇して苦心する工学者の姿を画いた。今日乏しい振動学の知識をたよりにして耐震工学という複雑な課題に取り組むとき筆者はいつもカルマンの論文を思い出す。そして現在の非線形理論の壮麗さを頭にうかべて夢を将来に託しているのである。

(1965 年 9 月 14 日受理)