

わが国における最近の耐震工学の諸問題

土木学会耐震工学委員会

はじめに

国土の高度の開発に伴い、従来無視されるようなものであったり、あるいは小規模であったりした自然災害が急激に顕化してきた。人口の都市集中、大工場地帯の形成、交通網の発達、盛んな造成土地の利用等により、震害の増大が予想される現状である。周知のように本邦は環太平洋地震帯上にあつて、しばしば大きな地震に見舞われており、地球全体の地震エネルギーのおおよそ 1/6 が本邦および周辺で放出されているといわれている。これに対し、地震の科学的観測が明治初めより行なわれ、地震の研究、耐震構造の研究が絶えず進められてきた。1956 年カリフォルニア大学において、第 1 回の世界地震工学会議が開催されてより、地震工学の研究は著しく促進され、本年 1 月チリー・サンチャゴで開かれた第 4 回世界地震工学会議においては、日本ならびにアメリカを中心として 160 編におよぶ論文が提出された。その内容は、次のようなものであった。

- ① 最近の地震災害に関するもの 10 編
- ② 地震の確率的研究ならびに擬似地震動の研究に関するもの 14 編
- ③ 構造物の振動試験に関するもの 13 編
- ④ 地震動ならびに測定装置に関するもの 13 編
- ⑤ 構造物の地震時挙動に関するもの 14 編
- ⑥ 構造物の弾性応答に関するもの 13 編
- ⑦ 高層ビルならびに構造細目に関するもの 12 編
- ⑧ 構造物の非弾性応答に関するもの 12 編
- ⑨ その他構造物の設計に関するもの 14 編
- ⑩ 土および土構造物に関するもの 12 編
- ⑪ 基礎と土構造物の相互作用に関するもの 13 編
- ⑫ 耐震設計基準ならびに調査に関するもの 14 編
- ⑬ 小建築、保険および被害修復に関するもの 6 編

以上 160 編のうち 43 編が日本から提出された論文である。それぞれの論文について討論が行なわれたが、最近

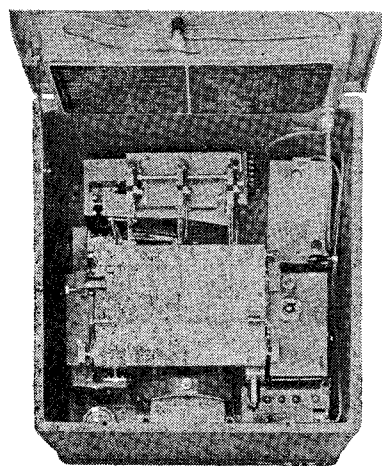
の数値計算方法の進歩を反映して構造物の地震応答に関する研究が比較的多いようである。

本邦における最近の耐震工学の動向について、土木工学の分野を中心に以下に述べてみたい。

1. 地震観測について

構造物の耐震を考える場合、地震の際に構造物がいかに挙動するかを知るのがまず必要なことである。それには、構造物に作用する地震動の性質を知らねばならない。1953 年 SMAC 型強振計が完成し、また 1955 年に DC 型強振計が開発されて以来、土木建築構造物に多数の強振計が設置されるようになり、1968 年 3 月末には SMAC 型強振計 428 個、DC 型強振計 20 個が全国的に設置されるに至った。これらの計器は主として、東京、大阪を中心に設備されているが、強振を記録するためには全国的に見てなお強振計の設置が望まれる箇所が少なくない。現在、強振観測委員会において全国的な強振計の配置計画がたてられ、強震観測の促進がはかられている。すでに地震計の各管理機関から多くの有益な地

写真—1 SMAC 型強振計



震記録が出版されているが、この中には、新潟地震、松代地震、1968年十勝沖地震等の大地震の記録も含まれている。これらの記録は本州四国連絡橋等の橋梁の設計、杭式橋等の港湾施設設計、高層ビルの耐震設計、その他の構造物の耐震設計に広く利用されている。

2. 地下地震動の観測

地震動が表層土質によって大きく変わることは周知のことであって、地震動の性質はその地震計の設置されている点での地盤条件と関連して考えられなければならない。また、地盤上に建設されている構造物の地震時の性状は地盤と独立のものではなく、相関連した力学系として構造物と地盤が考慮される必要がある。戦後計測技術の進歩によって埋設型地震計の開発が行なわれ、地盤内の地震時の変位、加速度の測定が盛んに行なわれるようになってきた。一方、原子力発電が進み水力地下発電所の建設が進められるに伴って、岩盤内での地震動の観測の必要が生じてきた。

(1) 埋設型地震計

現在使用されている埋設型地震計は、大別して電磁型、抵抗線ひずみ計型および差動トランス型の3種である。埋設型地震計の大部分は、振子の振動数3~5c/sで、シリコンオイルをダンパーとして加速度を表わすようになっているが、ガルバノメーターの種類によっては加速度計あるいは変位計にすることができる。多くの場合、自動的に感度が切り変わるように装置されているので、小地震の場合でも大地震の場合でも、地震動を必要なスケールで記録することができる。埋設型変位計にあつては、計器の傾斜が重要であるため、パラフィンや粘性の高いシリコン等の使用によって自動的に水平位置を保つよう工夫されている。

現在40数カ所においてこの種の観測が行なわれているが、建築物の基礎地盤の観測が主なものとなっている。東京近傍では、東京砂礫層に達する軟弱地盤の地震時挙動の測定や、軟弱層内に建設された地下構造物での地震動の観測が続けられており、原子力発電所においても、地下における地震動の観測が行なわれている。

岩盤内での地震記録の解析によれば、通常沖積地盤での観測と比較して最大加速度は2ないし3分の1程度であり、卓越震動数はかなり高いことが知られている。また、沖積地盤で20~30mの軟弱地盤を表層とする場合地表面と軟弱層の下端では地震動の振幅比は2~4であつて、表層がN値が1より小さいような粘土層から成る場合、加速度比は1~3で、振幅比は5~8であることがわかつた。計算機の進歩によって多重反射理論に基

づいて深さ方向の振幅の分布や加速度分布が計算されるようになり、理論と観測の量的比較が可能となつてきた。地下埋設構造物の地震動の観測も同様に行なわれている。

(2) 建築物とその地盤内での地震動の観測結果

第4回世界地震工学会議において、このことについて日本より報告され注目を集めた。軟弱地盤の深さ方向の地震動が土質の性質を考慮に入れて解析されるようになってきたので、構造の動的解析と合せて、地震観測記録と対比することにより、構造物の地震時の挙動が正しく評価されるようになるであろう。

(3) 松代地震

1965年8月から始まつた松代地震においては、1968年7月末までに有感地震が68万7000回記録され、そのうち45回の地震が人家に被害を与えた。建築、道路、鉄道等では地震計が設置され、幾多の有益な記録がえられた。この地震を利用して、実際の地震時応答を調べるため機械の配管系の模型や地下ケーブルのダクト等が建設され、これらにおよぼす地震の影響が測定されるとともに、震源が比較的集中していることから、100km以内の近接地震に対する距離、マグニチュード振幅等の関係も研究され、貴重な資料がえられている。

3. 構造物の耐震性について

第2回世界地震工学会議において、土木学会は橋梁、港湾、ダムその他の構造物の耐震設計方法を集録し配布した。その後、いくつかの改変が行なわれ、第4回世界地震工学会議においても、ダム、港湾、橋梁の分野では研究活動をも含めて報告・配布された。また、同会議日本国内委員会から『日本における耐震工学上の諸問題』が同様に配布された。次にいくつかの構造について述べてみたい。

(1) ダム

本邦においては、かんがいのため古くから多くのアースダムが築造されているが、今世紀に入って重力式、バットレス式、アーチ式、ロックフィル、マルチプルアーチ式等多くのしかも大規模な近代的ダムが盛んに建設されるようになった。この場合、上推業ダムの建設に当つて慎重に考慮されたように、本邦では耐震性がダム建設の重要な要素の一つであつて、このため地震の不断の観測と検討、研究が行なわれており、ダム保安上の要点の一つともなつている。現在では30以上のダムに電磁型地震計あるいは強振計が据え付けられ、地震時のダムの

挙動の観測、ダム等の動的性状を明らかにし、耐震性の向上のための検討が行なわれている。一方、各種ダムの動的挙動に対する理論的研究が進められ、同時に模型振動実験が併行して実施されている。また実際のダムの起振器による振動実験も行なわれ、減衰性、振動モード等を決定し、耐震設計のための貴重な資料を提供している。

建設機械の大型化、経済性の上昇によって、近年非常に高いフィルタイプダムが建設されるようになり、本邦でも160mのダムの計画がたてられている。この種のダムの耐震性については、材料が土であることからして特に慎重を要するものであり、種々の研究が行なわれているが、最近数値計算による地震時のダムの挙動の解析的研究が特に多く発表されている。高さ約40mのアースダムにおいて、大地震の際堤頂の振動が非線形性を示すことが観測されているが、堤体材料の動的性質に基づくダムの地震時挙動の解明が期待される。重力ダムの場合、耐震設計に関して1967年12月インドのコイナ地震におけるコイナダムの被害は貴重な資料を提供した。高さ103mのコンクリート重力ダムは、その標準断面が普通より薄く形状も多少変わっているとはいえ、この地震のため上下流面にクラックを生じ漏水した。従来、重力ダムが剛構造のように考えられ、設計においても基底より堤頂まで一様分布する震度を考えていたが、この被害は大地震時に重力ダムが動的な性質を示すことを表わしているのであって、重力ダムの設計において振動学的性状にも注意を払わなければならないことを表わしている。また、この際コンクリートの地震時の強度や、従来の震度法によって設計を行なう場合の安全度の問題についても、変形する堤体の地震時応答との関連等の重要な課題を提起した。ちなみに、コイナ地震の震源はダムより5km以内にあり、ダム地点での最大加速度は堤軸直交方向で360gal程度であった。

アーチダムについても、ダムでの振動実験、動水圧をも考慮した模型実験、地震観測が行なわれている。アーチダムの設計震度については、これらの研究の結果、堤頂における設計震度は基部のその2倍を採るものとし、実験その他により特別の検討がなされる場合は、その結果にしたがってよいように従来の規準が改められた。現在、多くのアーチダムにおいて、振動モード、動水圧等の観測が行なわれている。

(2) 土構造物

堤防、盛土等の土構造物が1968年十勝沖地震において大きな損傷を受けたが、これとともに、火山灰、ピート等の土質の斜面のすべり崩壊のため著しい被害を生じた。これらについては多くの調査団が派遣されそれぞれ報告が出されているが、一般家屋、鉄筋コンクリート建

築、工場等の構造的被害に比して、これらの被害はむしろ構造材料としての土の動的性質に関係が深いようである。1951年の宇都宮近傍の地震、近くはえびの地震を含めて、いずれもその地方の土の性質が震害に大きな影響をもっており、このような土の振動時の性質を日頃究明し、適切な対策を講じておくことは大切であり、十勝沖地震についてこの種の研究が進められている。

(3) 港湾

港湾は大地震で大きな被害を受ける部門の一つであって、たとえば、南海地震の宇野港、東南海・三河・南海等の大地震で被災した四日市港、新潟地震における新潟港、1968年十勝沖地震における青森・函館・八戸港等、被害額は非常に大きい。港湾構造物は、岸壁、防波堤等重力構造物が多く、比較的短い固有周期をもっていて、かつ減衰も大きい。それゆえ設計震度は構造の動的性質に関係が少なく、それゆえ、まず構造物の設計に適用すべき妥当な震度の推定が重要になってくる。地震の統計的处理でえられた震度分布図を基にして、全国を震度の強さ別にA、B、Cの3区域に分ち、その震度にさらに土質条件による係数および構造物の重要度の係数を乗じて震度を定めている。

杭栈橋や高い構造については動的な検討が行なわれ、研究が進められている。すなわち、実物大の試験用杭式栈橋を建設し、これら静的荷重試験、通常振動試験を行なうとともに、破壊試験を実施した。構造の固有振動周期が長いので、土のばね係数は静的な場合のそれと変わらないこと、また土の示すヒステリシス曲線はJenningsの模型でよく表わされること、減衰はヒステリシス曲線より算定できる等の重要な研究が発表されている。

全国主要港には強振計が設置され地震の観測を行なっているが、十勝沖地震でもいくつかの強震記録をえられ、構造物の設計に有用されている。

(4) 上下水道

地中構造物としての上下水道施設もまた地震によって大きな被害を受ける重要構造の一つである。大きな震害を受けた1964年の新潟地震の後、日本水道協会は旧耐震設計規定を改訂した。主要施設の設計では十分耐震性を考慮に入れて行なわれなければならない、経済的理由によって十分な耐震設計が困難な場合でも、地震被害をできるだけ局部的なものにしたり、また震害復旧のための設備を備えたり、さらに震災の2次の効果を起こさない等の諸点に注意して設計せねばならない。また、損傷が容易に発見できなかったり、復旧が容易でないような施設については留意するよう述べている。

1968年十勝沖地震においても、主に青森市で上水道

の被害が大きかった。配水幹線は数 10 m に 1 ヶ所の割合で破損し、市内漏水箇所は約 240 ヶ所に達している。また、この地震で上水道、簡易水道、都市下水道等の被害分布を眺めた場合、住宅や一般土木被害に較べて広い範囲に広がっていることがわかっている。生活水準の向上、人口の都市集中は地震時における水道施設の被害の影響を増大させるであろう。松代地震を利用して行なわれた土中埋設鋼管の地震観測によれば、管軸方向とこれと直角方向で変位はほぼ同程度であったが、軸方向に大きいひずみの発生することが報告されている。

(5) 橋 梁

構造材料、橋梁工学の進歩により、各種の長大な橋梁が建設されるようになった。橋梁の耐震性についても検討手段、設計方法が研究され、上部構造、下部構造について設計示方がつくられている。現在設計示方は管理機関ごとに定められているが、いずれも震度法に基づいた静力学的設計方法を基にしている。しかしながら、特に高い構造である場合や曲出しやすい構造の場合では動的解析を行なって検討し、特殊な構造や、地盤が軟弱であるようなときも同様に動的解析をして調査することになっている。

設計震度としては、地域別の震度に地盤に種別による係数および構造の重要度による係数を乗じて求めており、鉛直方向については水平震度の半分を採用したり、あるいは地盤の種別、構造物の重要性を考慮して定めるようになっている。また、比較的高い(10 m あるいは 15 m 以上)橋梁については、高さによって設計震度の割り増しを行なっている場合もあり、特に高い橋脚の場合、動的解析を実施している。また、地下構造部分に作用する水平震度として、土質条件や深さを考慮して別に定めている場合もある。

高橋脚橋梁の特徴は、橋脚頭部が従来のように固定点のように考えられず、地震時に大きな変位をし、上部構の一部のように振動する場合があることであって、これにより構造系の振動は 3 次元的となり、橋軸直交方向に大きな変位を生ずることである。これに伴い、支承、ジョイント等についても特殊の設計が行なわれている。一方高橋脚橋梁の橋脚基礎、橋脚および上部構を含めた場合の 3 つの建設段階について振動実験が行なわれる一方、強振計を設置して地震観測も実施されている。この種の橋梁計画に当っては、橋の形式、支点の位置、支承の構造等を動的な観点からも検討する必要があると思われる。

長スパンのプレストレスト コンクリート橋が多く架設されているが、普通の鉄筋コンクリート橋梁に較べて振動時の減衰定数が小さく、長スパンの場合には地震応答について検討が行なわれている。しかし、鉛直方向の

応答についても注意する必要がある。また市街を走る高架橋では、橋脚と上部構との間にオイルダンパーを取り付け振動の減衰をはかったり、可動支承をもつ橋脚について橋脚と上部構とを緊張された鋼棒により結んで地震時における橋軸方向の水平力を各橋脚に分散せしめる等、対策が工夫されている。

下部構造、特に地下構造部分については周辺の土の構造部分におよぼす作用をばねと考え、下部構造の動的挙動の研究が行なわれている。新潟地震では、表層の砂質土が強振のため液化現象を起こし鋼管杭橋脚に大きな変位を生ぜしめたので、昭和大橋が落橋したといわれている。この事実は、下部構造周辺の土質の動的な性質も検討されなければならないことを示している。落橋防止対策は、いくつかの橋梁でとられている。十勝沖地震においては、橋梁の被害はほとんどなかった。たとえば、東北本線小川原橋梁は 20~30 m の軟弱層のある地区にあり、場所打コンクリート杭を鉄筋コンクリートわくでつないだもの(地中ばり)を基礎として、3 径間ずつ連続した高架橋であるが、鉄筋コンクリートわく周辺の土質の沈下が見られたほか、橋梁の被害はほとんど認められなかったことが報告されている。新しい方法で建設された橋梁が高い耐震性をもつことを示していよう。

(6) 本州四国連絡橋

現在計画中の本州四国連絡橋について述べる。1964 年世界最長のスパン(1 298 m)をもつ吊橋 Verrazano Narrows 橋が完成し、1 000 m 以上のスパンの吊橋は 6 橋を数えるに至った。本架橋計画では、スパンは最大 1 500 m が予想され、しかも自然条件や船舶航行条件のきびしさは欧米の長大橋にくらべて類を見ないものであって、特に地震ならびに台風の対策は必要である。耐震設計は、基礎・主塔などの構造規模を決める重大な要素であって、検討事項について概略述べてみたい。

まず架橋予定地点で予想される地震について、過去の記録をもとに調査した。瀬戸内海およびその近接地域では、中小地震による局地的災害の記録はあるが、大地震の記録がなく、検討の結果基準水平震度を 0.2 とし、地盤の種別による補正係数は、第 3 紀層またはそれ以前の古期岩層の場合を 1.0 とし、沖積層に対しては 1.25 としたものである。鉛直震度は水平震度の 1/2 を取った。さらに地上 10 m 以上の部分については、高さによる震度の割り増しを行なっている。耐震設計指針によると、基本的設計は震度法または応答を考慮した修正震度法により行ない、その結果を動的解析によって検討することとしている。修正震度法による設計では、地盤反力、構造物の振動におよぼす周囲の土、水の影響、ならびに下部構造と上部構造の連続性を考慮することとしており、

動的解析では使用する応答スペクトルは土木研究所作成の平均応答スペクトルであり、入力波としては 1940 年 El Centro における強震記録、ならびに架橋地点付近で記録された代表的な地震記録を使用するものとし、構造物の振動におよぼす周囲の土や水の影響を考慮するものとしている。

地中構造物に作用する地震時の土圧については、地震と構造物との相対変位量に比例した土圧が作用するものとし、動水圧については、水の圧縮性を無視して下端で固定された剛な円柱に働く動水圧を基準として断面形状による差を勘案している。

また、現地での地震動の性質を知るため、8 ヶ所に海底地震計を含めて、強振計、加速度計、変位計、位相差計等が設置され、観測を続けている。今までに小地震ではあるがいくつか地震が記録された。その中地表岩盤上で取れたいくつかのものについて一質点系の応答計算を行ない、Housner および建設省土木研究所が作成した平均応答スペクトルと比較した結果、巨視的には同じであるが、細かく見ると周期の短い所で平均応答スペクトルを上まわっているものもあった。これについては、さらに大きい地震記録の集積をまって詳細な研究を行なわねばならない。また、深さ方向の加速度振幅を比較すると、深くなって地盤が硬くなるにしたがって振幅は数分の 1 以下に減少することが見い出されている。

このほか、スパンの大きいことによる吊橋基礎に作用する地震動の相違が構造物の振動におよぼす影響や安全と経済性に最も大きい影響をもつ設計基準水平震度、吊橋基礎の振動性状、吊橋上部構造および基礎の振動の減衰性等の重要な諸課題に対し、現在なお調査研究が行なわれている。

(7) その他構造物

耐震性を特に考慮せねばならないものとして、エネルギーの中心である電力関係設備、重要構造物である海底トンネル等が加えられる。前者については、新潟地震、1968 年十勝沖地震で特に被害の多かったしゃ断器、避雷器等の地震応答を考慮した耐震設計確立のため実験、研究が行なわれており、後者も地震観測が実施され基礎的な研究が進められている。

4. 高層ビルの耐震設計

1921 年以来建築規準で定められていた建築の高さ制限が 1964 年 1 月に廃止され、新たにつくられた体積制限の規準で 31 m 以上のビルも建設できるようになった。これには、耐震工学の進歩が大きく寄与していることはいうまでもない。

今までの低い建築のための耐震規定は、高層建築には適用できないのであって、高層建築の安全性に関しては現在日本建築センターにある構造審査会が審査に当たっており、1968 年 3 月末までの 3 年半の間に 32 の高層建築の設計を認可している。

建築学会の高層建築耐震設計指針に述べられている耐震計算は、おおむね次のようである。

(1) 設計用ベースシャー係数 C_B (建築の全重量に対する建築に作用する地震力の比) を仮定する。 C_B の値は建築の固有周期の増加に伴って双曲線関数的に減少するが 0.05 以下にはならない。

(2) 各層に対する設計用層せん断力係数の分布を定める。

(3) 構造部材の断面や接合部の設計を行ない、この構造についてその剛性および降伏時の強度、変形ならびに降伏後の性状を評価する。ようするに、適当な実験によってこれを確かめることが望ましい。

(4) 動的解析を行なって地震に対する種々の弾塑性応答量を計算し、これを検討する。ようするに、修正設計を行ない、適切な構造物とする。

(5) パラペット、内外部の装飾物、屋上から突出する水槽、煙突、その他これに類するものは十分大きな水平力に対して設計する。

現在まで審査会が検討した 30 の高層建築の資料より、次のことがわかっている。すなわち

(a) 鋼構造は 40 階までの建築に採用されており、鉄骨鉄筋コンクリート構造は 20 階程度までの建築に使用されている。

(b) おおよそ 10 の建築がスペース フレームのみの構造となっていて、他は水平力に対するせん断壁やブラーシングを備えたスペース フレームである。

(c) 高層ビルはすべて 2~5 階の地下室をもっていて、多くのビルでは東京砂礫層に達しているマット基礎であり、一部が杭基礎である。

(d) 固有振動周期は 0.7~5 秒で、高さの増加に伴い長くなっているが、鋼構造形式のものは鉄骨鉄筋コンクリート構造のものより長い。

(e) 設計用ベースシャー係数 C_B は固有周期 T_1 の増加に伴って減少する。 C_B と T_1 の関係は、 $C_B = 0.36/T_1 \sim 0.18/T_2$ で 0.05 より大きい。

(f) 層せん断力係数は建築が高くなると増加し、最上階でのせん断力係数 C_T と C_B との比は 2~4 である。

(g) 多くの場合、減衰定数は鋼構造に対しては 2%、鉄骨鉄筋コンクリート構造では 5% である。

(h) 動的解析では、多くの場合建築構造を一階または地下一階で固定された多自由度系と考えており、弾性応答を解析する場合、普通せん断系を考えるが、ときに

は曲げモーメントとせん断の両方を考慮するか、あるいは曲げモーメントの効果を考慮したせん断置換系を考えている。弾塑性応答の計算では、構造をせん断系あるいはせん断置換系と見なしている。

(i) 入力地震としては EL Centro 1940 NS の加速度記録を最大値だけ変えて使用しているほか、Taft 1952 EW も使われている。さらに、東京砂礫層にビルを建設する場合、東京 101 NS および仙台 501 NS の記録が使用されている。

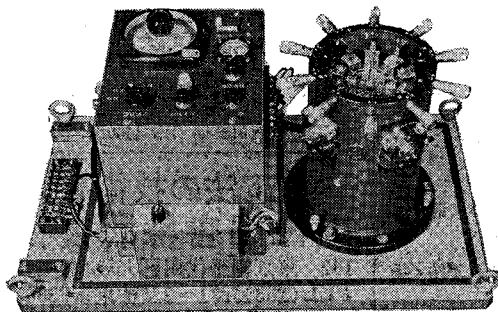
(j) 主構は一般に 200~350 gal の地震動に対して弾性範囲内にあるように設計されていて、層間の変位は最大 2 cm どりである。しかし、主構の中にあるせん断壁については、ダクティリティーが 2 またはそれ以下程度の塑性域にまで達してもよいとされている。弾塑性応答の場合、ときには最大 500 gal の地盤加速度で検討されている。

第 4 回世界地震会議においても、建築に関する多くの論文が提出されていた。本邦では、すでに多くの高層ビルおよびその基礎地盤内に、既述のように多数の地震計が設置され、地震観測が行なわれている。解析手段・方法の進歩した現在、大地震時における実際の高層ビルの挙動を知りえたならば、解析理論の結果と対比研究することにより、さらにこの種の耐震設計方法の充実が期待される。

5. 原子力発電所および東海道新幹線の地震警報システム

最近、耐震性が特に取り上げられた重要構造物として原子力発電所ならびに東海道新幹線をあげることができよう。いずれの場合も地震によって事故を起こすようなことがあれば、それは重大な結果が予想されるからであり、万全の地震防災対策が講ぜられねばならない。ここにおいて、地震警報用地震計と呼ばれる特別な地震計の開発が進められ、警報用地震計 AJA-1 および AJA-2 型が完成したのである。現在、原子力発電所、東海道新幹線ならびに新潟、仙台、八戸等の火力発電所等に設備

写真-2 AJA-2



されている。この地震計と通常の地震計との相違は地震による災害防止のためのものであることであって、次のような諸点が特に考慮されている。すなわち

(1) 地震計の出力は、被害を支配する地震動の性質を示すものでなければならない。主に構造の破壊が水平地震力によるものと考えられるので、加速度計とするよう配慮したい。

(2) 加速度が設定値をこえた場合、自動的に警報あるいは安全装置を作動させるものでなければならない。

(3) オンラインで使用され、確実な信頼性がなければならない。

これらの条件を満たすため、警報地震計 AJA-2 型は特別に設計された振子、接点、制御回路をもっている。振子の固有周期は 10 Hz で、0~10 Hz まで一様な感度をもっていて、減衰は空気ダンパーによっている。感度は 0.4 mm/100 gal で 40~300 gal の任意の加速度に設定でき、電源として乾電池またはアルカリ電池が内蔵されている。

東海道新幹線には約 20 km 間隔で 25 ヶ所に AJA-2 型が設置され、40 gal 以上の地震動で警報装置が作動するように装置してある。松代群発地震の際不測の災害を防止するため震央付近をとおる信越本線の長大橋梁、千曲川、犀川橋梁地点に AJA-2 型が設置された。この観測より AJA-2 は加速度計として正確に動作し、小地震でもごく近接した地震では作動すること、地盤によって増幅度が異なるので警報地震計の設置位置については十分注意しなければならないことなどのほか、設定加速度、被害等について多くの貴重な資料がえられた。

原子力発電所では、反応炉の建設に当たって地震に対する安全施設を設けることが法律によって規定されている。日本原子力発電東海発電所第 1 号炉には、AJA-1 型が水平方向および鉛直方向に設置されていて、鉛直方向で 50 gal、水平方向で 200 gal の加速度が認知されたとき警報が発せられ、制御系統に信号を送るようになっている。また鉛直方向では 10 秒間に 0.2 秒以上の間隔で 3 個以上の衝撃を感知した場合、制御装置を動作させて炉の運転をとめ水平方向では 3 個の地震計のうちの 2 つから 250 gal 以上の信号を受けたとき、制御装置が作動して炉の運転を停止させるようになっている。SMAC 型強振計も設置されている。

このような警報装置は、各電力会社、化学工業、建築等にも設備されている。

6. 大都市の地震防災対策

今まで耐震の問題について個々の分野で述べてきたが、総合的な地震防災の課題である都市の防災につい

て、最後に述べてみたい。人口の都市集中、その内部や周辺における産業の集中が異状なまでに進行している現在、いったん大地震が当該地域を襲った場合、類例を見ない震災の発生が予想されるのである。1961年災害対策基本法が公布され、国家的レベルでこの問題を取り上げるようになったが、地震防災について東京都の場合を概略述べる。東京都を含めた南関東地域は、人口約2000万人のメガロポリスを形成し、この地震防災の問題はきわめて重要である。東京都防災会議には

① 地震・地質、② 建築、③ 土木地下埋設物、④ 火災、⑤ 危険物、⑥ 避難施設、⑦ 総合計画、の7つの作業班からなる地震部会があって、大地震時における種々の分野での予想される地震震害の調査を行ない、震害対策の研究を進めている。

現在、調査対象として1923年の関東地震を想定し、⑧ 被害想定の基本となる震度分布を調べ、土木・建築その他の構造物におよぼす直接的地震被害および地盤破壊や地すべり等による間接的被害の調査、⑨ 地震によって惹起される火災・消火、⑩ 津波、⑪ 爆発物、化学的危険物、それに付随した施設の調査、⑫ 住民の避難場所、避難経路の安全、⑬ 応急対策、等の調査検討を行なっている。

いずれも独立には取り扱うことはできないものであるが、特に記したいのは、主要既設構造物の強度実態調査、避難路上の橋梁の安全性、水門故障あるいは堤防破壊等による水害、緊急物質輸送のための港湾施設の安全

性、防火帯の建設、応急橋の常備、河川水路の護岸整備、防災上必要な計画公園の整備等であるが、火災発生源としての安全暖房の検討、消防水利を含めた消防力の整備はもちろん基本的なものである。その他、情報伝達機構の確保、飲料水・食料品・医療衛生手段の確保運搬もまた地震防災に関連しているのである。

これらは、耐震工学の見地から眺めた場合、おおよそ構造物の動的な強度と破壊の関係の究明に帰することができよう。

むすび

以上、地震観測、構造物の耐震、地震警報、都市の地震防災の順に述べてきたが、いわば振動台上に位置するとも見られる本邦において、国土の高度の利用に伴いますます震害の問題が重要性を高めて行くであろうし、総合的に対策を考えねばならなくなるであろう。

一方、地震観測網の整備、計測技術の進歩、解析方法の発展で耐震工学が長足の進歩を遂げているが、大地震における地震動の性質、構造物の地震時の強度と破壊の関係等、なお、解決されるべき基本的問題が山積みされている。

最後に地震の発生を制止することはできないが、地震災害の発生を防止することは不可能ではないことを記して筆をおきたい。

(文責・田村重四郎)

(1969.4.14・受付)

新しい基礎工法のえらび方と実績

日本鉄道建設公団理事 田中倫治 編
B5判 373頁 定価3200円 送料200円

本書の特色

- ◎ 各種基礎工法のチェックリストの一覧表を製作一目して各工法の条件に応じた得失がわかる。
- ◎ 基礎工法のえらび方の各条件を体系づけ、はじめてえらび方の理論を確立した。
- ◎ 基礎工法のえらび方を各種工法を比較しつつ実例をもって示した。
- ◎ とくに基礎工法のえらび方のキメテになる経費の比較も検討されている。

【主要目次】

- 第1章 各種基礎工法の概要
木クイ/鋼クイ/鉄筋コンクリートクイ/場所打ちコンクリートクイ/PCクイ/井筒工法
- 第2章 各種基礎工法のえらび方
概説/各種基礎工法の分類/チェック・リスト/チェック・リストの使用法
- 第3章 各種基礎工法のえらび方の実例
RCクイ/PCクイ/鋼管クイ/鋼管クイの斜クイ/大口径クイ圧入工法/場所打ちコンクリートクイ/ケーソン基礎・井筒工法/直接基礎

〈新しい基礎工法〉シリーズ全4巻

〈増補版〉

新しい基礎工法
中島 武著 定価1500円 千150円

〈改訂版〉

新しい基礎工法の設計
中島武・八島忠 編 定価2600円 千180円

〈増補版〉

新しい基礎工法の歩掛と実績
中島武・滝山養 編 定価2000円 千150円

新しい土留工法
藤森謙一・内田襄 編 定価3400円 千200円

新しい軟弱処理工法
藤森謙一・内田襄 編 定価3400円 千200円

基礎工法の技術書は近代図書株式会社

102 東京都千代田区九段北1-6-7
TEL(263)3871~2 振替東京23801