

## 都市構造物の耐震強度の調査研究

Studies on Aseismicity of Civil Structures

久保慶三郎\*・岡田 恒男\*\*・川股 重也\*

Keizaburo KUBO, Tsuneo OKADA and Shigeya KAWAMATA

## 1. 序 論

地震周期説によると、関東地方中心部を襲う大地震の周期は 69 年であって、1923 年の関東大地震から計算すると 1992 年が大地震の再発年ということになるが、周期の推定に誤差があるので、1978 年以降は東京近辺は関東大震災級の大地震の発生する危険期であることが予想されている。また一方地震地殻構造学の方で地表のひずみを測定していると、東京湾付近のひずみも大きいことが予想され、この方面の研究からも東京近辺は大地震にそれほど遠くない時期に襲われる危険性があり、防震対策が急がれている。

一方高速道路用高架橋、超高層ビルをはじめとし、現在の都市施設はますます巨大化をたどると同時に、それへの投資額も飛躍的に増大しており、その施設の規模は関東大地震当時とは比較にならないほど大きい。一方構造物の耐震強度も関東大地震以来のいくたの大地震の経験と地震工学の研究成果により、かなり向上しているが、マクロ的にみれば、震害は公共投資額に比例して大きくなる要因もあるので、都市における構造物の耐震強度の調査研究は災害を最小限にとどめるために今日ほど強調されている時はないといっても過言ではないであろう。特に 1971 年 2 月 9 日の San Fernando 地震の経験に鑑みても、高架橋、高層近代ビル、ガス、水道、オイルの埋設管などの震害も大きく、耐震研究の必要性が一段と強調され、地震時の地盤の挙動および構造物、特に鉄筋コンクリート構造物の動的破壊強度、変形能力に関する研究の今後の発展が強く要望されている。

本研究は、地下埋設物、土木構造物、建築物、プラント施設など、近代都市施設として不可欠の構造物の耐震性能の調査研究を行なうことにより、地震災害の様相規模を確実に把握して、耐震対策に対する資料を作成し、あわせてより高度な耐震設計法の確立を計ることを目的としたものである。本研究の研究母体は、すでに本所に数年前から発足している耐震構造学研究センターの構成員があたり、本所の土木、建築、機械関係の研究者で実施されるものである。

昭和 46 年度から 48 年度までの研究としては、次の 3 つのテーマを選んで研究することにした。

- 1) 埋設管の耐震強度に関する研究
- 2) 構造物の動的強度に関する研究
- 3) 振動減衰装置に関する研究

埋設管、沈埋トンネル、地下鉄構造などは近代都市においてはますます多く建設される構造であり、その反面これらの構造物の耐震性の研究は非常におこなわれている。田村はすでに沈埋トンネルの地震時挙動の実測および理論的解析を行なっているし、久保は水道管の震害のデータの解析に着手していた点も考えて、久保・田村で埋設物の地震時挙動およびその耐震強度の研究を担当することにした。

最近の電子計算機の進歩により、入力を仮定すれば、非線形特性をもつ構造物の変形、応力状態の解析が可能になってきたが、構造物の耐震設計法を確立するためには、入力および構造部材の荷重変形曲線が破壊に至るまで、十分に解明されなければならない。しかしながら現在では構造部材の動的荷重変形曲線は大型部材の静的荷重変形曲線を用いるか、または小形模型を振動台に設置してえられるものを用いるかしかなく、両者の相似律は完全に満足しえないので、真の動的挙動を明らかにする必要があった。第 2 のテーマは部材の動的特性の研究の原点に立って、新しい方式でこの問題を実験的に明らかにしようとしたもので、建築構造の面から、田中、岡田、高梨、土木構造の分野から久保、機械の分野から柴田、佐藤が本研究に参加することにした。この試験装置は比較的小型の加振器とコンピューターとを組み合わせることにより、実大構造物の地震時の挙動を破壊に至るまで追跡できるようにするもので、破壊装置(加力器)、応答発生装置、および入出力データ解析装置と組み合わせ、大形部材を実際に地震により振動している構造物の一部とまったく同じ荷重で、変形させることを考えている。もちろん非線形特性をもっているから、変形は荷重と荷重レベルによって変化するので、その変化状態は実際の構造物の応答値にフィードバックされるように計算機によって制御することが必要である。

減衰の大きい構造物は地震時の変形も小さく、それだけ耐震強度も高くなることは、構造物の地震時応答の計算から明らかである。しかしながら現在まで、積極的に減衰を大きくする工夫は設計上なされていない。これは減衰装置そのものの研究も少なかったこと、および設計

\* 東京大学生産技術研究所 第 5 部, \*\* 第 1 部

(土木道) 附圖第三十九 東京市土木道 震災水道鉄管被害箇所調査圖 (自大正十三年九月十一日 至大正十三年五月三十一日)

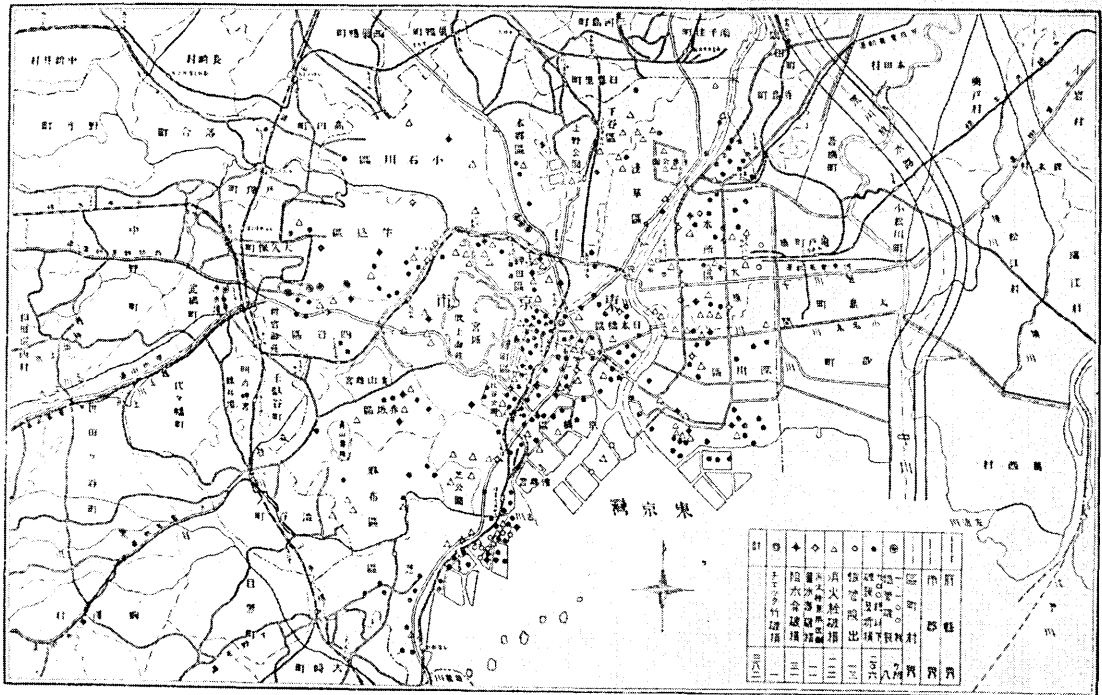


図1 土木学会，関東大地震調査報告第2巻より

にとり入れる努力の少なかったことが原因となっていると考えられる。都市構造物の耐震強度の調査研究のテーマとして振動減衰装置とその構造物設計へのとり入れ方を第3の研究テーマとすることにし，直理，柴田，佐藤が機械工学の面から，川股は建築学の立場からこの問題の解決にとり組むことになった。

以上3つのテーマが当面の研究課題で，従来あまり研究されなかったが耐震工学の分野で重要であると考えられる。埋設物の問題，実物大模型による動的破壊試験装置の試作ならびにこれによる構造物の耐震設計法の確立，および減衰装置の試作の研究とが本研究のテーマである。

## 2. 埋設物の耐震強度に関する研究

### (1) 目的

人口の都市集中，都市の巨大化および産業規模の大形化に伴い，地下の利用，開発がさかんに行なわれるようになってきた。従来，地下は特殊な目的に利用されてきたが，現今では，ガス水道などの他，大量輸送交通機関としての地下鉄，電力，通信情報輸送のための電力送電線ならびに通信ケーブル用坑道，化学薬品輸送のための配管などの場として，また市街の一部としての地下街としてまで使用されるようになってきた。

通常の地上に建設される構造物に用いられる耐震設計法を埋設管にそのまま適用することは，埋設管の過去の地震の解析から疑問とせざるをえない。すなわち，建物

の耐震強度は地震の影響を水平荷重（地震荷重とよび，その大きさは自重の10~20%）に置換し，この地震荷重に対して安全であるか，部材断面は十分であるか，いなかで判断される。もし同じ考え方を埋設管に適用すると，埋設管とその内容物との重さの10~20%の力および周囲の土の地震時土圧の増加分とを水平に管に作用させ，土の抵抗土圧が以上の2つの力の和より大きいか小さいかで，埋設管の耐震強度を判定することになる。この方法によると，埋設管は地盤が軟弱になるほど地震荷重も地震時土圧も他の地盤に比して大きくなるので，震害は軟弱地盤に集中しておることになる。しかし過去の埋設管の震害は必ずしも軟弱地盤のみとはいえず，逆に軟弱地盤に近接する比較的良い地盤に多いこともあるので，地震荷重的考え方は埋設管の耐震性を判断するものさしとしては不適當といわざるをえない。

担当者の1人は沈埋トンネルについて，すでに模型実験による研究を進めるとともに，実際の沈埋トンネルについて地震観測を実施して，地震時の挙動の解明を行なうと同時に沈埋トンネルの耐震設計法について提案をしてきた。また他の1人は水道管の過去における震害を調査してきたが，両者の結論として，埋設構造物の動的挙動は地盤の動きと構造物の剛度が密接に関係しあい，特に前者が埋設管の耐震性の判定に重要な要素であることが結論された。したがって，地盤の地震時挙動，特に変位の解明と，構造物と地盤との相対運動の研究とが必要であり，研究もこの点を重点に行なわれなければならない。

いものと考える。

(2) 過去における埋設管の震害とその特徴

図1は関東大地震における東京の水道管の震害箇所を示している。この図によると、900 mm 以下の鉄管の被害は軟弱地盤地帯である本所、深川地区よりも、丸の内、日本橋から芝にかけての地区に多く発生していることがわかる。木造家屋の震害率は江東地区で高かったことを考えると、埋設管と建物とは地震時に異なった特性を示すものと考えるべきであるし、この点前述のように地震荷重は建物の耐震強度を判定するには合理的であるが、埋設管にそのままの考え方を適用することは不適當であることの1例とも言える。

この震害の特徴は江東地区の地盤の変位振幅が山手のそれに比してかなり大きく、そのため両者を継いでいる水道管は長手方向の変位を強制させられ、このために管の抜けがおこり、震害が多く発生したものと考えられている。この場合管の曲げ変形と軸方向の変形といずれが埋設管の耐震性に影響するかについてはこの節の終りに述べるが、結論を先に述べさせて載くと、軸方向の変形をより注目すべきであるということになる。

新潟地震(1964年)は砂の流動化とそれにとまなう地盤変動により建物は沈下傾斜し、橋桁は橋脚からはずれた点の特徴であった。空中写真で撮られた地割れの分布より、地盤変動の方向は明瞭であったので、地盤変動の方向と同じ向き水道管と、それと直交する管および45°の方向の管について震害の個数を調査した。その結果は表1の結果に示す。地盤区分でAはよくしまった洪積層をあらわし、この地域での震害は小さかった。Cの地層は信濃川の新しい時代の堆積地であり、砂の流動化が

表1 A, B, C 地区における被害比較

角 度	被 害	A	B	C
地盤変動方向の管	管の抜け	5	26	7
	折損	2	10	6
	鉛の抜け	0	19	6
	鉛の弛み	0	0	3
	漏水	0	0	9
	ナットゆるみ	0	0	4
	傷害	3	0	0
	ヒビ割れ	2	0	0
	破 裂	0	2	0
	地盤変動と直角の管	管の抜け	13	6
折損		6	18	9
管の弛み		0	0	8
鉛の弛み		0	8	15
鉛の抜け		0	4	15
漏水		0	3	0
地盤変動と45°をなす管	管の抜け	0	1	2
	折損	0	0	44
	管の弛み	0	1	0
	鉛の抜け	0	4	3
	破 損	0	0	13
	漏 水	0	0	1

はげしかった地域で、構造物の震害も多くはこの地域に発生した。Bは図3に示すようにAとCの中間に位置し、土の強度もAとCの中間的なものであった。表1によると、新潟市の場合、水道管の長手方向の破損は地盤変動の方向の管でB地区に非常に多く発生し、管の抜け、鉛の抜け折損まで含めると、B地区で発生した震害の大部分が、地盤変動方向の管に発生したことになる。C地区

(注 本 圖)

附圖第八十八 秦野町陶管水道 秦野水道區之圖

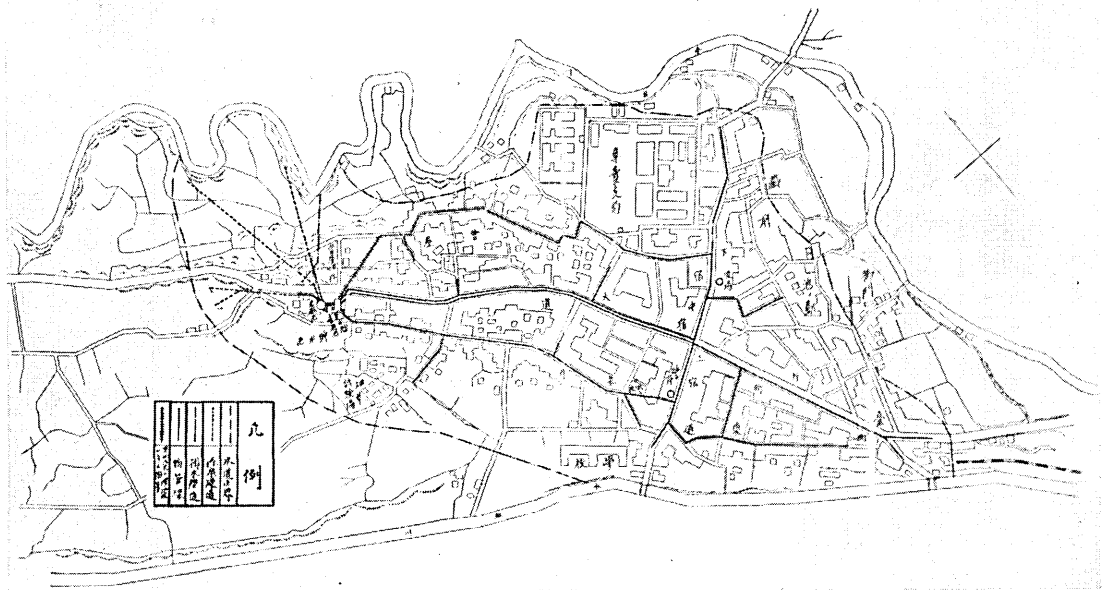


図2

で地盤変動方向と直角および 45° の管に震害が多く発生しているのは、砂の流動化による建物の沈下傾斜がおこり、さらに同じ原因でマンホールが浮上したため、建物に接続しているかあるいは近接している水道管およびマンホールに直結している管が折損したためであろう。特に C 地区で地盤変動と同方向の管に管の抜けなどの震害が非常に少なかったことは、管の震害は長手方向に主として発生するもので、一様に地盤が動く場合には震害が発生しにくいことは埋設管の耐震性を論ずる上に、重要な現象と考えられる。

昨年 2 月に発生した San Fernando 地震の配水本管の被害は約 700 箇所であり、日本の場合と同じく、鋳鉄管が使用されているために、継手の強度も弱く、また管自身も延性に乏しいことが、原因と考えられている。同地震によってガス溶接のガス管も震害をうけたが、これは断層によって発生した<sup>1)</sup>ものである。断層付近ではガス管は圧縮変形をし、挫屈しているが、断層から 200 m にわたっては引張変形で、管の継手が切れ、最大 5 cm 開口した。

震源距離の近い場合の埋設管の被害は上述の 3 つのケースとは異なっていることが、関東大地震の際の神奈川県秦野町の水道管の震害から推察される。この水道管は古く明治 23 年に完成されたもので、管として陶管を使用しているが、管の強度は 80 ポンドの水圧に耐えるものであった。水道管の配置図は図 2 のごとくで、管の方向と震害との直接的な関係はうすいように思われるが、震害率は 1.2 m に埋設した管で 33%、2.4 m に埋設したもの(図中で卍印)で 0% と報告されており、埋設深さが震害率に直接関係があるように思われる。この現象は地震の表面波の性質で説明され、地質構造にはよらないとされている。すなわち表面波は震源近くで大きい、鉛直方向の分布は表面で大きく、深さとともに急速に減衰することがその特徴であるので、深さの差によって、震害率が大きく影響されたものと考えられている。

以上過去の震害から、水道管の耐震強度は長手方向に弱く、地盤の相対変位が震源距離の遠い場合、地震の表面波は震源距離の近い場合に重要な研究項目になると考えられる。長手方向の変形と曲げ変形とについて、前者が重要であることは、次のような簡単な計算からも推論することができる。

地盤の相対変位による場合から考えることにする。地

深さ 8 m, N=12 を基準としたボーリングの分類と被害地域

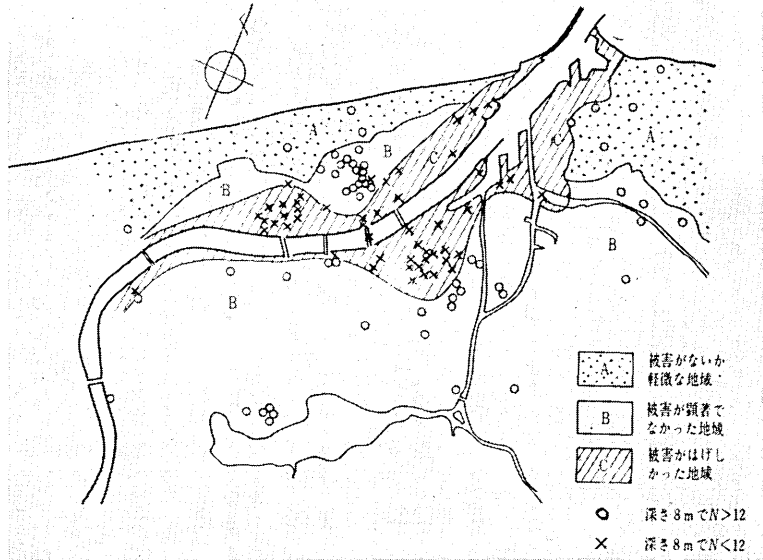


図 3 土木学会：関東大地震震害報告第 2 巻より

震時の地盤の運動には方向性がないと仮定し、管の長手方向とそれに直角方向とは同じ振幅で振動すると仮定する。 $L/2$  だけはなれた 2 点間の相対変位が  $A$  であり、その間の変位の分布は  $\sin \pi x/L$  で与えられるものとする、曲げひずみは  $\pi^2 DA/L^2$  (ここに  $D$  は管の直径とする) となり、一方  $L/2$  だけはなれた 2 点間が  $A$  だけ長手方向に相対変位したとすると、たてひずみは  $2A/L$  となるので、たてひずみと曲げひずみとの比は  $4L/\pi^2 D$  となる。

表面波の形を  $A \sin 2\pi/T(t-x/V)$  (ここに  $T$  は地盤の基本固有周期、 $V$  は地盤内の弾性波の速度とする) と仮定すると、曲げひずみは  $D/2V^2$ 、たてひずみは  $AT/2\pi V$  で与えられ、たてひずみと曲げひずみとの比は  $VT/\pi D$  となる。

以上の 2 つのケースを仮りに  $VT=L$  として計算すると、 $D=40$  cm,  $L=VT=10$  m の場合表面波については、たてひずみと曲げひずみとの比は約 8 であり、地盤の相対変位の計算値は約 10 となり、いずれの場合もたてひずみの方が曲げひずみより大きくでている。すなわち埋設管の耐震強度は長手方向のひずみが支配的になっていることがわかる。

(3) 研究計画

a) 46 年度の研究計画

過去の震害については、いくつかの報告書がまとめられている。関東大地震、新潟地震についても報告書が出版されている。埋設管の震害の報告書のもう 1 つは福井地震(1948 年)の報告書である。日本学術会議が出版したもので、これによると「福井市の水道の南北方向の管に震害が集中し、東西方向の管の震害率は低かった」と

1) 久保慶三郎：ダム、発電所、地下埋設管の被害、生産研究 23 巻 8 号

報告されている。関東地震、新潟地震の場合には埋設管の震害率は、地盤に強く影響されていることを考えると、福井市の水道の震害の主たる原因も地盤の表層の厚さによる差であることがまず考えられる。そこで 46 年度の研究として、福井地震における水道管の震害と地盤との関連の究明を研究対象とし、福井の地盤を調べることとした。

地盤調査のためにすでに実施されたボーリングのデータを収集した。地盤構造をきめる上に不足している地点 4 ヶ所を選んで、12 月に硬い地点まで（地表より約 30 m）のボーリングを実施した。これらのデータによると福井市内の地盤は足羽山（市の南部にある）を除いてほぼ一様な構造で、地表より約 30 m 以下に硬い洪積層があり、それから上は弱い沖積層であることが判明した。この結果、南北方向の水道管の震害率が高かったという水道管の震害特性は地盤構造の差によるものではなく、奈野町の例にみられる地震の表面波によっていることも考えられ、この面の検討も行ないたいと思っている。

なお、地震計による地震動の実測を行ない、震害の特性の解明を行なう予定であったが、地震計の設置は予算の都合で 47 年度に延期されている。

次に本年度の研究テーマとして、地震時の地盤の変位振幅の研究がある。地盤動は一般に加速度記録で測定されるのが普通であり、この実測結果は建物の耐震設計に非常に役立ってきたが、地下埋設管の震害に直接的なパラメータは変位記録であり、この値を究明することは震源距離の遠い地震に対する埋設管の設計に必要である。このため地震の加速度記録を変位記録に変換することが是非とも必要であり、従来地震時の変位振幅はほとんど実測されていないので、加速度記録の積分方法を研究することにした。積分する段階で問題になるのは、加速度記録のよみの誤差（零線の移動、傾斜による誤差）と、初期条件が不明確なための誤差である。これらは加速度波形を積分する際の波形のドリフトとして、現われてくる。これを補正する方法として、長周期成分をフィルターしてしまう方法と、多項式で補正する方法とがある。現在までのところでは、いくつかの方法が提案されているが、同一加速度波形から求められた変位振幅の値がまちまちであるなど、問題が残っているので、本年度はモデル実験を用いて、積分方法の検討を行ない、積分方法の妥当性を調査する予定である。この方法が決まると、地盤構造と変形振幅との相関を加速度記録を用いて解明したいと思っている。

以上の研究のほか、地中地震計による沖積層における地震波の振幅の研究も実施中であり、この研究も地盤の振動性状、ひいては埋設管の耐震強度の判定と関連づけられるものと考えている。さらに多摩川の沈埋トンネルの地震動観測も継続しているし、また砂と管との動的摩

擦の実験研究も実施中である。これらの研究成果は地下埋設管の耐震強度の定量的研究、耐震設計法の確立に有効であると考えられる。

b) 47 年度の研究計画

46年度に実施できなかった福井市における地震動の観測を行ない、福井地震における水道管の震害の定性的ならびに定量的解析に役立たせたいと考えている。

異なった沖積層厚をもつ2つの地盤を貫通する地下埋設管の地震時挙動、地震時応力について、土と管との動摩擦、地盤構造の相異による変位振幅の相異を考慮した計算を行なうと同時に、観測継続中の沈埋トンネルの解析を実施する。以上の研究を総合して、地下埋設管の地震時挙動を究明する予定である。

c) 48 年度の研究計画

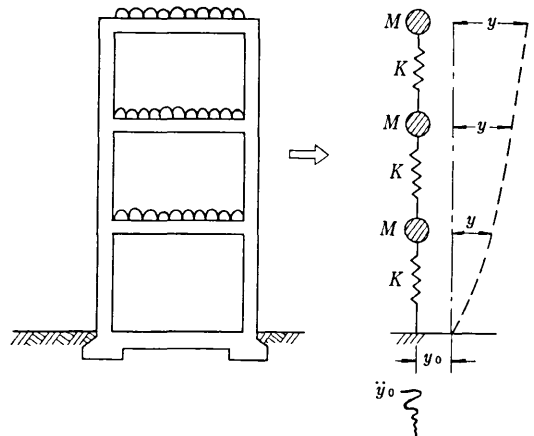
大型振動台を用いて（46, 47 年度は運転スケジュールが決まっている）、地下埋設管の振動特性をモデル実験からも実証したいと考えている。

また同時に 46, 47 年の研究を引続いて実施し、地下埋設管のみならず、沈埋トンネル、地下鉄など地下埋設物の耐震設計を確立したいと考えている。（久保 慶三郎）

3. 構造物の動的強度に関する研究

(1) 目 的

構造物の耐震設計法を確立するためには、地震時の構造物の破壊に至るまでの動的な挙動を明らかにする必要がある。この目的を達成するためには、種々の実物の構造物を巨大な振動台の上に設置し振動破壊実験を行ないその特性を調べることが直接的ではあるが、そのためには非常に大規模な振動台を必要とし、技術的にも経済的にも困難が多い。すなわち、構造物が地震力をうけて振動している時の状態は、たとえば図4に示したように質点系にモデル化され、式(1)の形式で表現されることが多いが、この時の振動性状あるいは破壊の状態を調べ



$$[M] \{\ddot{y}\} + [C] \{\dot{y}\} + [K] \{y\} = -[M] \{\ddot{y}_0\} \dots \dots (1)$$

図4 構造物のモデル化

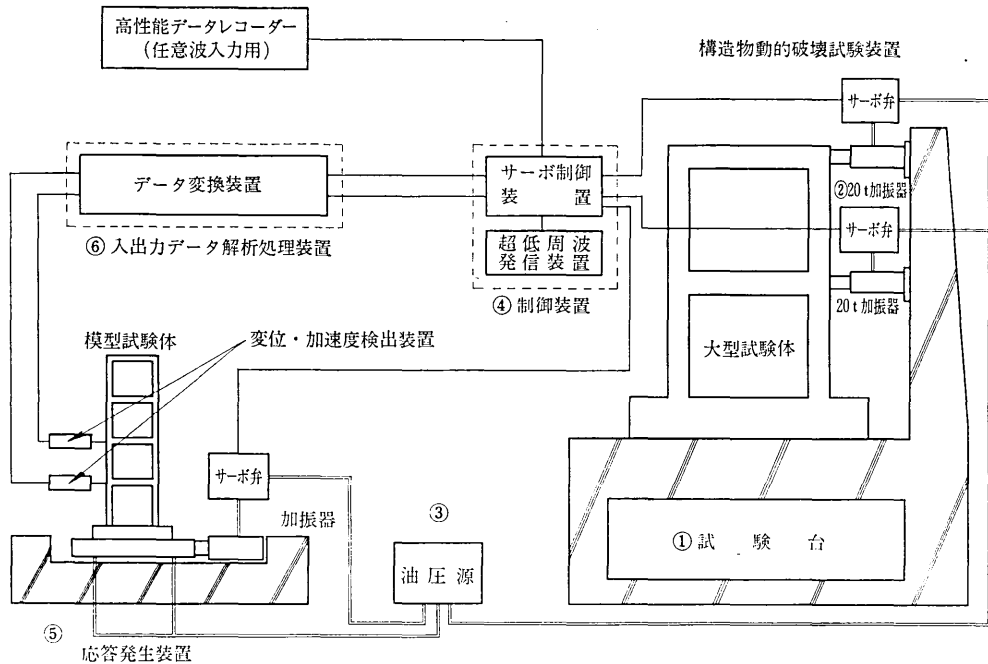


図5 試験装置一覧

る直接的な手段は、構造物に地震波 ( $y_0$  あるいは  $y_0$ ) を作用させて振動破壊を再現することである。しかし、先に述べた種々の制約により構造物をこの方法で破壊させるには困難が多い。

このため、従来のこの種の研究は構造物が地震時にうける力あるいは変位を静的に作用させて破壊に至らしめるか、あるいは振動台によって小型の構造模型を振動破壊させる方法に限られており、実大の構造物の地震時の破壊を直接的には把握し得ていないのが現状である。

今回、臨時事業費による「都市における災害・公害の防除に関する研究」の一環として実施途上にある「構造物の動的強度に関する研究」は、

- 1) 構造物動的破壊試験装置
- 2) 応答発生装置
- 3) 入出力データ解析処理装置

の3種の装置を試作し、これらを組み合せて、比較的小型の設備により、構造物の地震時の動的な破壊現象を再現し、耐震設計法の確立に役立てようとするものである。

研究は3年度にわたって計画されているが、現在、初年度計画として構造物動的破壊試験装置を本所千葉実験所に建設中であり、昭和47年2月より装置の性能調査を含めて予備実験が開始される予定である。

以下にこれらの装置の概要ならびに予定されている研究計画について述べる。

(2) 試験装置の概要

- 1) 構造物動的破壊試験装置

本装置は図5に示した全体計画のうち、①試験台、②加振器、③油圧源および④制御装置よりなるもので、鉄

筋コンクリート造、鉄骨造の建物、ダム、橋梁あるいは機械構造物などの大型全体模型あるいは、実大部分模型に、構造物が地震時に受ける予想される力あるいは変位を直接動的に作用させて構造物の破壊までの特性を研究するために使用される。

すなわち、①試験台は構造物を固定するために用いられ、②電気油圧式加振器により動的な力あるいは変位が与えられる。加振器は③油圧源から供給される油により駆動するが、④制御装置によりサーボ弁を制御することによりあらかじめ設定した波形をもつ動的な力あるいは変位を加振器に発生させることが可能である。

①試験台は図6に示したように約  $50 \text{ t/m}^2$  の耐力を有する  $4.9 \text{ m} \times 10 \text{ m}$  の耐力床と約  $450 \text{ t} \cdot \text{m}$  の曲げ耐力を有する高さ  $6 \text{ m}$  の耐力壁よりなり、一部にポストテンションを導入した鉄筋コンクリート造である。耐力床は地下室を有しており、 $50 \text{ cm}$  間隔に設けられたボルト穴を利用して任意の位置に試験体を固定することが可能である。耐力壁にも同様のボルト穴が設けられており、加振器の設置のために用いられる。

加振器、油圧源および制御装置の設計仕様の概要は次の通りであるが、図7にも示したように加振器のストロークが比較的大きいのが特徴となっている。

- ②加振器    容量: 動的  $\pm 20 \text{ t}$ , 静的  $\pm 30 \text{ t}$   
               ストローク:  $\pm 150 \text{ mm}$   
               特性: 図7参照
- ③油圧源    供給圧力:  $210 \text{ kg/cm}^2$   
               供給吐出量:  $300 \text{ l/min}$ ,  $50 \text{ Hz}$   
               モータ容量:  $75 \text{ kW} \times 2$

- ④制御装置 入力波形: 正弦波, 三角波, 方形波, 任意波  
 制御量切換: 荷重, 変位, 加速度, 外部入力

2) 応答発生装置

動的破壊試験装置で試験を行なう際の入力は地震時の構造物の応答量であるから, 例えば (1) 式を解くことにより一応求めることができる。しかし, 構造物の応答量は破壊の状態により刻々変化するものであるから, これを計算で厳密に求めることは現段階では不可能である。

応答発生装置は, 構造物の小型模型の振動破壊試験により動的破壊試験装置の入力を求めるために用いるもので, 動的破壊試験装置と同じく電気油圧式加振器により駆動される。

3) 入出力データ解析処理装置

応答発生装置で求めた応答量を動的破壊試験装置の入力として使用するためには構造物模型の相似性を考慮してデータ変換を行なう必要がある。本装置はその目的のために設置されるもので, 動的破壊試験装置と応答発生装置とをオンラインで結合させる役割を果たすものである。

(3) 研究計画

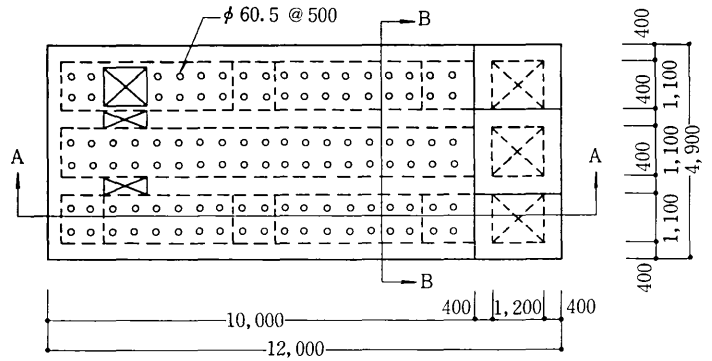
これらの装置がすべて整備された段階では, これらをいろいろに組合せた構造物の動的破壊試験が可能となる。

図 8 (a)~(d) にその例を示したが, (a) に示した AB オフラインあるいは, CB オフラインシステムによる試験以外は, 来年度以降に計画されている装置を用いて行なわれる予定のものである。以下, 初年度の計画に重点をおいて概要を述べる。

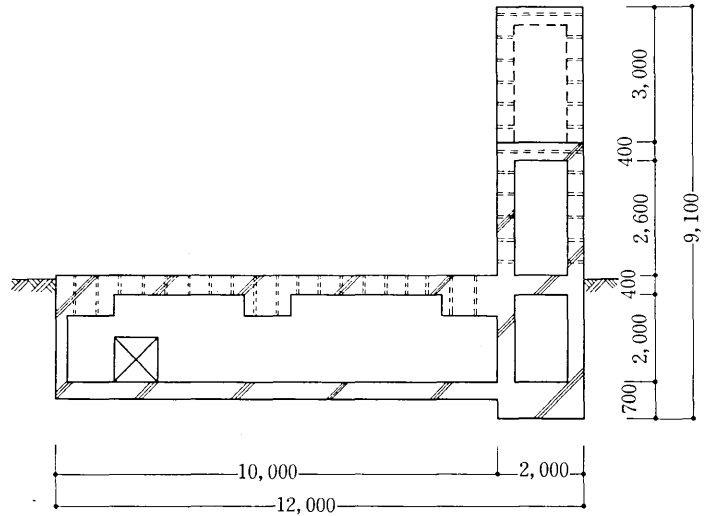
1) AB オフラインおよび CB オフラインシステム

このシステムは, 現在建設中の構造物動的破壊試験装置を単独に用いて可能なもので, まず, 構造物が地震動をうけた時の応答量の計算を行ない, その結果得られた応答量を加振器に入力として与え, 動的破壊試験を行なう。結果の評価は主として計算の際仮定した復元力特性と動的破壊試験の結果得られた復元力特性との比較検討によりなされる。

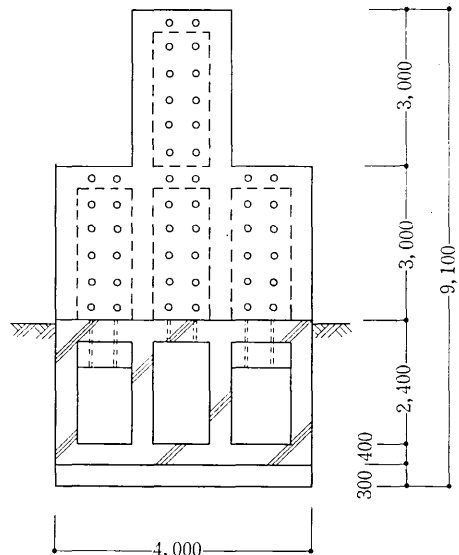
構造物の地震時の応答量の計算は, 通常, ある地震波 ( $\ddot{y}_0$ ) に対して式 (1) を解くことにより求められるが, 弾性域を超えた領域を問題にする時には式 (1) の剛性マトリクス ( $(K)$ ) に非線形の復元力特性を与える必要がある。図 9 は, 鉄骨造あるいは鉄筋コンクリート造建



(a) Testing floor (Plan)



(b) Testing floor (Section A-A)



(c) Testing floor (Section B-B)

図 6 試験台

物の非線形復元力特性として地震応答計算に用いられて

いるものの例を示したものであるが、これらの特性が材料の特性、架構の特性あるいは破壊の程度などにより変化することは従来の静的試験からも予想されているところである。初年度の AB オフラインあるいは CB オフラインシステムによる研究は主として非線形復元力特性の解明に重点がおかれ、材料の種類、架構形式などにより地震応答計算の際どのような非線形復元力の採用が最適であるかの調査研究が行なわれる予定である。

2) CB オンラインシステム

動的破壊試験装置と入出力データ解析処理装置とをオンラインで用いて行なうシステムで第3年度に行なわれる予定のものである。このシステムは、入出力データ解析処理装置により応答計算を行なう際に復元力特性の仮定を行なうことなく、同時に行なわれている動的破壊試験の力と変位との関係を直接復元力特性として用いるもので、東大地震研究所伯野博士が試みた小型鉄骨部材の試験中のデータをアナログコンピューターの回路に組み

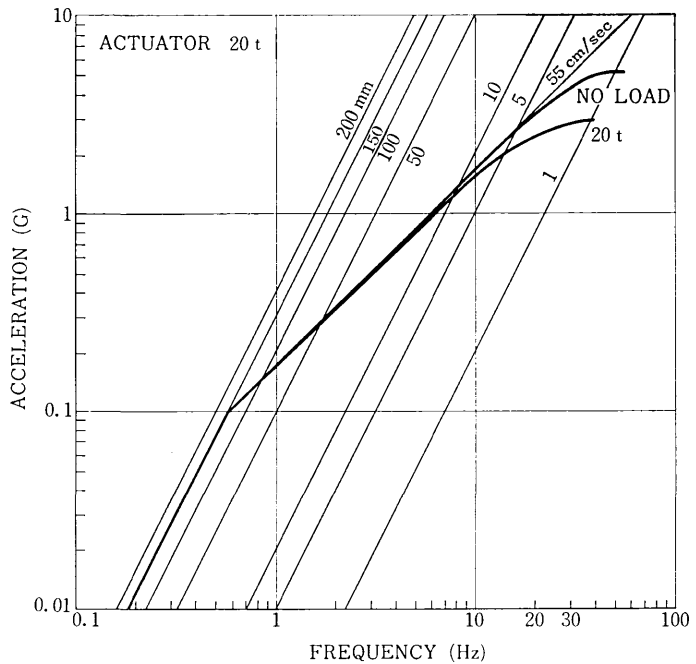
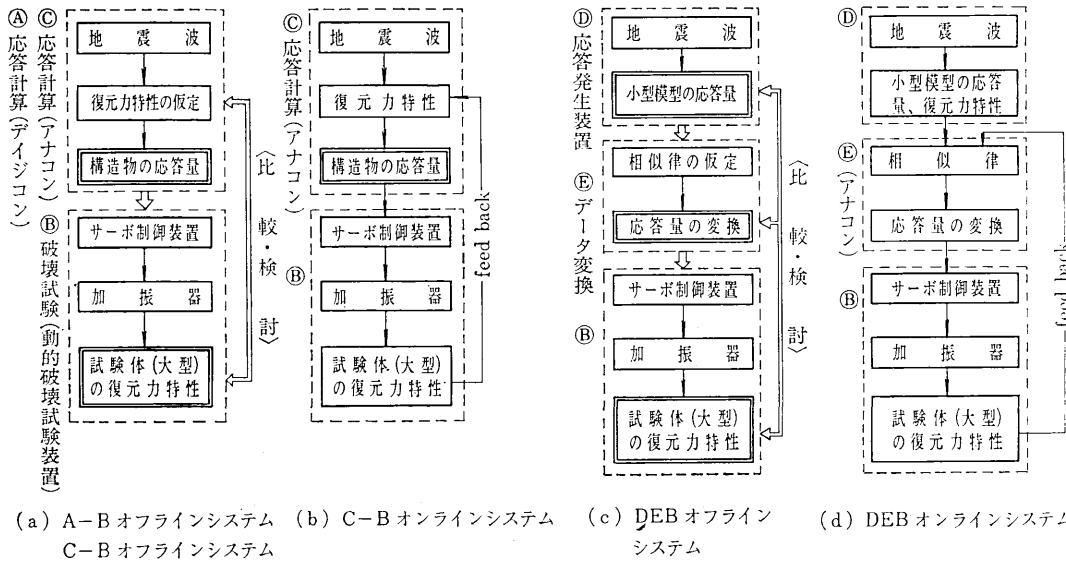


図7 加振器特性図



NOTE: ↓ : オフライン    | : オンライン

図8 動的破壊試験システム例

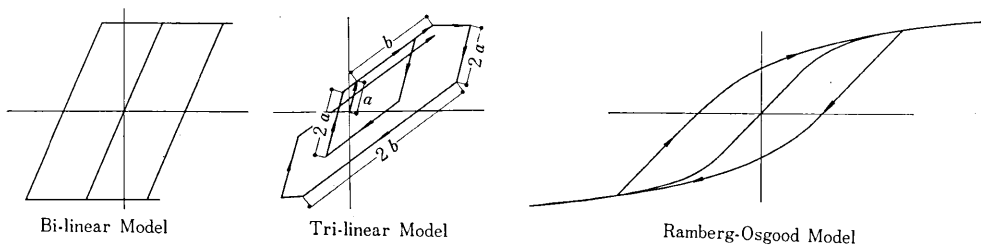


図9 非線形復元力特性モデル例



込む手法と同種のものである。

### 3) DEB オフラインシステム

ABあるいはCB オフラインシステムの計算部の代りに応答発生装置を用いるシステムである。すなわち、小型模型の振動破壊試験により得られた応答量を変換し動的破壊試験装置の入力として用いるもので、応答発生装置により応答量の予測が困難な複雑な架構あるいは複雑な破壊を生じる構造物の応答量の予測できる点に利点があるが、この結果を動的破壊試験装置の入力として用いる場合の模型相似律を、どのようにするかに問題が残されており、この点も同時に研究の対象となっている。

### 4) DEB オンラインシステム

DEB オフラインシステムをオンラインで行なうシステムで、応答発生装置で得られた小型模型のデータを大型模型への入力として用いる際の変換を動的破壊試験装置により得られるデータを判断しながら行なうシステムである。

(岡田 恒男)

## 4. 振動減衰機構の開発研究

### (1) 研究の目的

構造物の振動減衰性が、地震時に地盤から構造物に伝えられる振動のエネルギーを吸収する結果、地震応答を減じさせ、結果として構造物の耐震強度を高めることになる。

このことは、地震による構造物の応答解析の結果および過去の震害の調査からも、明らかであるにもかかわらず、従来構造物に耐地震を目的として人工的に減衰性能を与え、応答性の低下を計ることは、一部の部材の破壊にたよるもの以外はほとんど試みられていない。

この研究では、構造物の振動減衰性を積極的に高めるための減衰装置を試作開発し、その地震時における特性と効果を明らかにしようとするものである。

構造物の靱性を重視する耐震上の考慮は、大地震に対して部材が降伏し始めてから崩壊に至るまでのエネルギーの吸収能にもとづく減衰効果に期待する考え方であるが本研究のねらいは、微小振幅の範囲においても十分に減衰効果をもつようなメカニズムの開発にある。

### (2) 研究方法

簡単な力学的モデルの減衰振動の解析によりこの種の機構が可能となる条件をさぐる。

一方、対象が耐震工学の分野でまったく未経験のものであるから実現の可能性は、有効で信頼度の高いダンパーの製作が可能かどうかにかかっている。したがって、種々のダンパー方式について試作と試験を繰り返すことにより初期の目的に到達することが必要である。

また解析および試験については、当初は正弦波を対象として装置の基本的な性状を明らかにし、しだいにランダム波あるいは地震波形についてその効果を確かめるこ

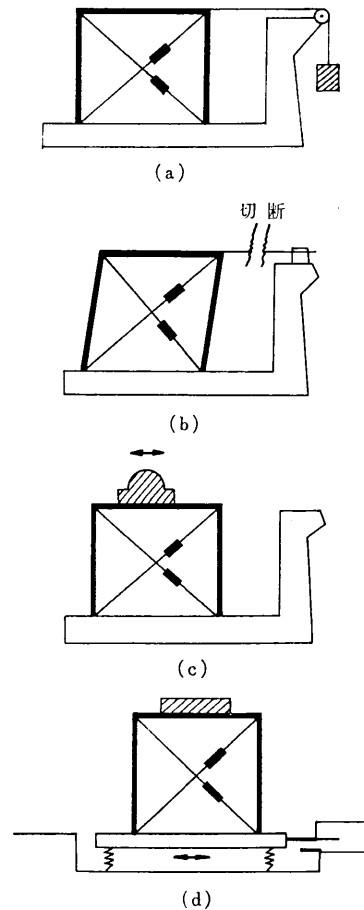


図10

とが必要である。

### (3) 研究計画

減衰装置(ダンパー)の形式としては、流体の粘性を利用するもの、相対移動にともなう摩擦を利用するものなど、種々考えられる。またダンパーを構造物にどのような形で組み込むかという点でも多種の考え方があり得る。

本研究のシリーズでは、はじめにオイルダンパーを取り上げ、これを簡単な門型フレームの斜材に取りつけたものを試作、試験することとした。フレームの横振動に伴って、斜材には、伸び、縮みの変形が交互に生じるが、ここに粘性抵抗を入れて減衰を期待しようとする試みである。

#### a) 本年度の計画

現時点では利用可能と思われるパラメータにより、オイルダンパーを試作し、ヒンジ形式のフレームに組み込む。

正弦振動に対する応答解析を行なうとともに、次のような実験を行なう。

#### i) 静的加力試験

フレームに静的な横力を加え、ダンパーおよびフレ

ム全体の粘弾性性状を試験する。

ii) 自由振動試験

フレームの自由振動の観測により、ダンパー特性と減衰定数の算出を行なう。

iii) 起振試験

起振機によりフレーム上部に振動を与え応答を調査する。共振曲線により減衰性能を見る。

iv) 振動台試験

振動台により正弦振動を与え、応答を調査する。

上記の目的のために、1m×1m の平面フレームを試作した。また起振試験に用いる小型試験機として、出力 200 W、最大振動数 25 Hz、起振モーメント 1~4kg・cm、重量約 30 kg のものを製作した。

ダンパーについては、第一号の設計を終わり目下試作中

である。

b) 明年度以降の計画

明年度以降においては

i) ダンパーの改良，試作，試験を行なう。

ii) ダンパーおよびフレームを中程度の規模に拡大する。

iii) 加振力を地震波形とした場合の応答を解析および実験により調査し、地震時における減衰性能および実用性を検討する。

ことを予定している。

iii) 項の地震波による実験には、明年度新設予定の応答発生装置を利用することとなろう。

(川股 重也)

(1972 年 1 月 6 日受理)

