

都市構造物の耐震強度の調査研究概要

Outline of Studies on the Aseismic Strength of Urban Structures

久保 慶三郎*

Keizaburo KUBO

1. ま え が き

本研究は昭和46年度から開始されたので、本年で第3年目に入り、今までの研究の継続部分を更に進展させまた今年度の新しい研究テーマについては、研究計画に則って研究を遂行しなければならない。さらに本年度は最終年度であるので、都市構造物の耐震強度の調査とその向上の方策について、総合的取まとめが必要と考えられ、過去2年の研究とはいささか異った作業を行なわなければならない。

本研究は近代都市施設として不可欠な諸施設、例えば地下埋設管、沈埋管、高架橋、高層ビル、および工業地区に存在する工場プラントなどの耐震性を高めるに必要な基礎的研究を行ない、都市構造物の地震災害を最小限にすることを目的としている。そのためには繰返し荷重による構造部材の挙動、新しい研究成果に基づいた耐震設計法の確立、地震による構造物の応答変位を減少させる方法に関する研究を重点的に研究すべきものと考えた。研究実施は今までと同じメンバーで行なわれ、それらは、昭和42年以来組織されている「耐震構造学研究センター」のメンバーである。また研究の総合化の実質的作業は近く開始されるが、本誌48年2月号(25巻2号)に都市における災害公害の防除に関する研究の特集号を発刊し、そこに研究の概要をのべているので、ここでは上の記述以後発展した研究をまとめることにした。

本年度の研究の主たる部分は従来通り、1. 埋設物の耐震強度、2. 構造物の動的強度、3. 振動減衰機構の開発などの3つのテーマで研究が進められてきている。第2のテーマについては、次の論文で詳しく述べられるが、第1と第3のテーマについては昨年2、3月号である程度述べられているので、本号には詳細な報告されないことになった。したがって本報告では第1と第3のテーマについてのみ述べることにした。

本研究の第1年度には構造物の部材の動的破壊試験装置、第2年度では動的破壊試験装置の加圧器の入力データを得るための小型模型振動台を購入し、今年度は両者を結びつける入出力データ解析処理装置を購入した。そこで最初に購入した機械について述べ、以下埋設物の耐震強度と振動減衰機構の開発について述べる。

2. 入出力データ解析処理装置

構造物の動的強度に関する研究は、地震時の構造物の破壊に至るまでの動的挙動を明らかにするための研究であって、本研究に用いられる装置は、動的破壊試験装置(20t加振器2台)、応答発生装置(振幅±100mm、加速度制御式振動台)と入出力データ解析処理装置とから成立っている。第3の装置は第1と第2の装置をオンラインで結合させる役割を果たすもので、これにより構造物の一部分を動的破壊試験装置で第2の装置よりの出力をインプットとして強制加力させ、地震時の構造物の動的破壊の現象を再現しようとするものである。

入出力データ解析処理装置は次の各部分からなる。すなわち演算処理の部分、A-D、D-A変換器、インターフェース(演算処理装置とA-D、D-A変換器とを接続するために必要な回路である。)A-D変換器はデータレコーダに収納されているデータ、および動的破壊試験装置、応答発生装置からのアナログ量を演算処理装置へ伝送するデジタル量に変える目的に使用される。D-A変換器は処理装置から出力されたデジタル量をデータレコーダに記録されるアナログ量および動的破壊試験装置、応答発生装置を制御するためにアナログ量に変換する目的に使用される。演算処理の部分は小型の電子計算機とその付属装置で、記録されたデータの解析を行なうほか、破壊試験装置の反力と変位からえられるバネ力を用いて運動方程式を解き、計算された応答変位を破壊試験装置の入力として用いるなどの作用も行なわせることになる。今年度3つの装置の結合方式を開発してゆく予定である。

3. 埋設物の耐震強度に関する研究

埋設物の耐震強度の研究では、ガス水道管などのような比較的径の小さい管と、沈埋トンネルのような大断面の埋設施設について研究を継続して行なっている。

地表層の厚さと埋設管の震害率との関係を実例について調査するため、福井地震における福井市の水道管の震害特性と地盤との関係を明らかにすべく、同市内の地盤調査を既存のデータの収集と新しい3本のボーリング試験を実施した。この結果、福井市の地表層の厚さは30~35mのほぼ一定厚さのものであることが明らかになり、福井市の水道管の震害は地表層の厚さの変化に原因するものではなく、震源からの距離が近い(約5km)ため

* 東京大学生産技術研究所 第5部

に、震源からの地震波の位相差に原因すると考える方が妥当と考えられた。その後他の適当な調査地点を探索していたところ、十勝沖地震における青森の水道管の震害が地表層の厚によるものらしいことを発見した。

青森市の水道は市の中心より南 6.0 km のところに水源地があり、2本の配水管は北上し、全市に給水している。水源地は洪積台地にあり、水源地より北にずれるにつれて沖積層の厚さが漸増し、市の中心で層厚約 20 m に達する。沖積層厚 0 から 10 m までの管と、層厚 10~20 m までの管について、杆当りの震害率を比較したところ、前者の方が平均（配水管が 2 系統あるため）して、2.9 倍であることが判明し、青森市の水道管の震害特性は筆者の研究に対し最良の資料を与えてくれることとなった。早速昨年度購入した地震計 3 台を昨年 3 月、青森に運び、地表層の厚さの異なる 3 ヶ所に設置し、地震動の観測を始めた。これと同時に地盤の振動特性、振動の増幅率、地盤種別などを知るために昭和 48 年 9 月には常時微動計を用いて、配水管沿いに 100 m 毎に常時微動を測定した。現在までのところ、3 台の地震計（10 ガル以上の地震を記録する）のうち 1 台が作働したのみであるので、沖積層厚による地震動の差を明らかにできていないが、地震動観測は続けているので、研究上有用なデータがとれるものと期待している。また常時微動の測定結果は現在解析中である。

田村助教授は埋設施設の耐震強度、地震時挙動の研究を行ない、多摩川の沈埋トンネルについては引続いて、地盤の振動、沈埋トンネルの振動、ひずみの測定を行っている。沈埋トンネルのひずみは地盤の加速度より変位と比例関係にあることがいくつかの追加実測データから確認された。また周期の長い波の振幅は沖積層によってそれほど増幅されることが判明した。地震動の観測は南砂町のシールドトンネルについても実施されており、この方はひずみの振幅は実測しては、地中の加速度およびトンネル内の加速度が観測されている。いくつかの実測データによると、トンネル内の加速度と地盤中のそれとはほとんど差がなく、トンネルが地盤とは別の振動系にはなっていないことが明らかにされた。

以上の観測とは別に解析モデルによる沈埋トンネルの応答の計算が行なわれた。田村助教授は模型実験から、沈埋トンネルの解析モデルとして、トンネルの質量、曲げ剛性、土のせん断（まさつ）バネ、土の支持バネの系から成る解析モデルを考え、基盤から地震波が入るとしたときの応答計算を行ない、沈埋トンネルの耐震設計の有用なデータを得た。沈埋トンネルを一体のものとして仮定すると、トンネルの中央点付近で比較的大きい曲げモーメントが発生することが判ったので、ヒンジを設けたら応答曲げモーメントがどの位減少するかの検討が解析モ

デルを用いて行なわれた。入力地震波としてはエルセントロ記録波と、十勝沖地震の青森港での記録とが用いられ、中央点付近のヒンジにより曲げモーメントの最大値が著しく減少することを明らかにした。

当初予定していた大型振動台を用いた埋設管の動的挙動の実験は大型振動台の機械の都合で今年度中には実施できなくなってしまった。

4. 振動減衰機構の開発

本研究の耐震ダンパーを構造物内に組み込んで、その振動エネルギー吸収能力を利用して構造物の地震時応答を低減せんとするもので、減衰のメカニズムの解析、耐震ダンパーの応用などが主たるものである。ダンパーはステンレス製のベローズの両端を鉄板のダイヤフラムで閉じ、つづみ形とし、一對のダイヤフラムをある径のパイプで連結したものである。1 対のダンパーのうちの一つが圧縮変形で、他がのびの変形になるように一對のダンパーを構造物中に組み込むと、ダンパー内の油は連結管を通して移動する。180°位相がずれると、前に圧縮変形のダンパーはのび変形を受け、他のダンパーも逆の変形になるため、ダンパー内油は連結管内を逆向きに流れることになる。このような運動をくり返すと、ダンパー内の液体はダイヤフラムに設けられた円孔（オリフィス）を通して高速に運動するから、これにともなう運動エネルギーの消費と、油の粘性抵抗によって、構造物の振動が減衰されることになる。

スパン 1500 mm、高さ 1000 mm の鉄骨フレームに内径 170 mm、外径 210 mm のベローズに 8 mm と 15 mm の 2 種のオリフィス（連結管はそれぞれの場合に 2 本）をもったダンパーをとりつけて実験された。液体としては粘性の小さい水を用いて実験が行なわれた。満水したダンパーの効果として最も顕著なことは液に大きい質量効果が存在することで、結果としてフレームの振動数が空のダンパーのとき 25.4 Hz であったものが、満水にすると 1.5~4.0 Hz になり、オリフィスの径の小さいものほど振動数の低下への効果の大きいことが明らかにされた。また変位振幅が大きくなると、見掛けの減衰も大きくなることが判明し、ダンパーのないときに 1% 位の減衰定数がダンパーを用いることによって 8.7%~11.5% まで上昇し、この型式のダンパーが振動減衰上非常に有効であることが発見された。

川股助教授の開発した耐震ダンパーは顕著な質量効果があり、これがダンパーを組み込んだフレームの制振作用の大きい要因になっていることは、理論解析および一層フレームに関する実験からも明らかになった。本年度はさらにダンパーを高層のフレームに組込んだ場合のフレームの振動性状の解析と、最適ダンパーの設計について研究が進められている。（1973 年 12 月 14 日受理）