

◆ 自然地震による地盤・構造物系の応答および破壊機構に関する研究 ◆

1. はじめに

本プロジェクトの研究施設は昭和56, 57兩年度にわたって千葉実験所内に設置されたが, 1部の地震観測はすでに昭和57年に始まった。昭和42年を耐震構造学研究グループ(Earth~quake Resistant Structure Research Center, 略称ERS)の発足を第一期とし, “都市における災害・公害の防除に関する研究”の始まった昭和46年を研究の第二期とすれば, 本プロジェクト研究は第3期に当り, ERSで進めて来た研究成果を背景に伸長する研究方向線上にあって, ERSの所内の全メンバー研究室が集まって共通の目標をもって研究活動に当たった最初のものである。したがってERSの研究活動そのものと言ってもよく, この10年間のERSの研究の支柱をなしている。ここでは本プロジェクトをERSの研究活動の一貫とみなして記述する。

生研を中心にみた過去10年間のERSのメンバーの移動は次のとおりである(職名は異動当時)。

昭和55年下坂陽男講師が明治大学へ, 57年には永年ERSの発展につくされた久保慶三郎教授が埼玉大学へそれぞれ転出, 同年第3部石塚満助教授が知識工学の分野で参加した。昭和58年には本プロジェクトの推進に尽力された田中尚教授が千葉大学に転出された。昭和59年には工学部より都井裕助教授が着任, 61年には川井忠彦教授が東京理科大学へ転出, 大井謙一講師(昇任), 藤田聡講師(昇任)が着任, 62年には長岡技術科学大学から小長井一男助教授が着任, 63年には藤田聡講師が東京電気大学へ転出した。ただしERSのメンバーは転出後もメンバーとしてとどまることになっている。

ここに亘理厚名誉教授が昭和58年に他界されたことを報告しなければならない。また永年にわたりERSに貢献してきた加藤勝行, 佐藤暢彦両助手が昭和62年, 63年にそれぞれ退職したことを特に記したい。

昭和63年12月現在, 名誉会員J. Penzien教授(米

国)を含めて48名で, 所内メンバーは下記である。

教授 田村重四郎, 岡田恒男, 柴田 碧, 佐藤
壽芳, 高梨晃一, 片山恒雄, 半谷裕彦
助教授 小長井一男, 藤田隆史, 都井 裕,
石塚 満, 龍岡文夫
講師 大井謙一
助手 隈沢文俊, 重田達也, 田波徹行

2. 研究会・Bulletin 等

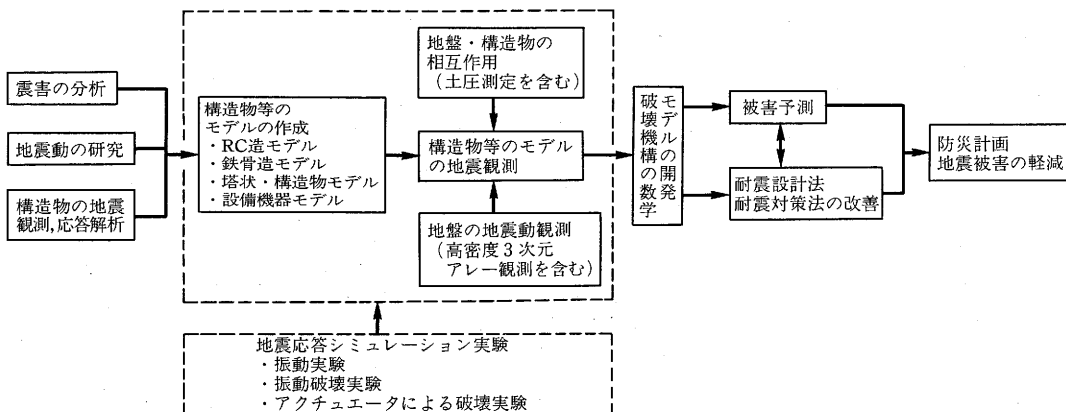
ERSの基本的な研究活動としては月1回の研究会と年1回のBulletin of ERS(英文)の発行がある。研究会は昭和54年度には9回開催され外国人講師ではD. Petrovski博士(ユーゴスラビア)の講演があり, 55年度は8回でA. C. Shah教授(USA), 56年度9回で中国の林 皐, 韓国城各教授と魏璉所長(建築科学研究院)およびS. Cherry教授(カナダ), V. V. Bolotin教授(ソ連), 57年度は11回, 58年度は11回でJ. C. Nagtegal教授(米国)および魏璉所長(前出)と藤 征本教授, 59年度は10回で, L. H. Lee教授(韓国), 60年度は10回, 61年度は12回で王 光遠教授(中国), L. Esteva教授(メキシコ)およびG. C. Manos教授(ギリシア), 62年度は11回でJ. Murzewski教授(ポーランド), G. C. Hart教授(米国)およびJ. Kariotis博士(米国), 63年度は11回でB. Simeonov教授(ユーゴスラビア)がそれぞれ講演している。

BulletinについてはNo.18(1985年), 19および21が標記プロジェクト研究の小特集となっている。また, 昭和61年3月に本所より刊行された大型共同研究成果概要5号“耐震工学に関する研究”は最近の10年間の研究を総合的にまとめたもので, 本プロジェクト研究の内容が主体となっている。

3. プロジェクト研究

3-1 概要

ERSは土木, 建築, 機械の各分野の地震工学研究の部門を核としているが, 耐震構造の研究では互



いに多くの共通する部分があり、第一期、第二期の段階を経て、第三期では相互に重複する研究部分が自然的に発生するに至り、また研究課題も地震防災から構造物の振動実験まで、地震工学の全分野にまたがる広い範囲にわたるようになった。

したがって研究の詳細は前出の「地震工学に関する研究」, Bulletin, 各研究室の研究紹介, 各学・協会誌等にゆずり、ここでは本プロジェクト研究を中心に概説する。

3-2 目 的

このプロジェクト研究は地下や地上に建設されている構造物が地震の際にどのような過程を経て被災し、破壊するかを、地震観測ならびに実験解析、理論解析によって総合的に研究するもので、上図に示されているERSの研究課題のうち、点線の部分が当該プロジェクト研究の関連する主要部分である。

3-3 組織および研究課題

昭和63年12月現在の組織および研究課題は以下のようである。

- 組 織 研究総括 田村重四郎
 幹 事 応答観測担当 片山恒雄
 幹 事 応答シミュレーション担当 柴田 碧
 幹 事 応答シミュレーション担当 岡田恒男

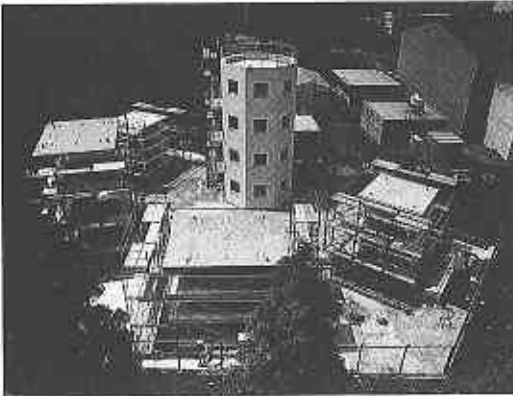
- 研究課題
 1) 3次元アレイによる地震観測 片山恒雄
 2) 鉄筋コンクリート縮小モデル建物の地震応答観測 岡田恒男
 3) 鉄骨造弱小モデル建物の地震応答観測 高梨晃一, 大井謙一

- 4) 地震時土圧観測 片山恒雄, 龍岡文夫
 5) 塔状建物の地震応答観測 半谷裕彦
 6) 機器の地震応答観測 柴田 碧, 藤田隆史
 7) 模擬地震による応答シミュレーション 全員

3-4 設 備

このプロジェクト研究のため、課題1) に対しては、約110mを一辺とする3角形状の地震アレイ観測と約21m平方の範囲に9測点を設けた超高密度アレイ観測 (いずれの場合も地中にも地震計を埋設)、直径15cm長さ120mの2条の埋設官および3ヶの地盤歪計がおのおの設置され、2), 3) のために実物の1/3~1/4のスケールで、震度IV~Vで破壊するよう設計されたRC建物の5階高さ5mの模型2ヶ (柱崩壊型と梁崩壊型) および鉄骨建物の3階、高さ4.65mの模型、更にこれと対比するため、震度IV~Vの地震動では線形範囲で挙動するよう設計された3階、高さ7.2mの鉄骨建物模型がそれぞれ実地盤上に築造された。4), 5) に対しては地上4階、高さ10.5m, 地下1階2.5m, 直径5.3mのRCの応答観測塔が造られ、地下部と地盤の間には土圧計が設置された。以上の設備の観測値は、500ヶをこえるが、地下40mにある地震計の加速度が所定のレベルに達したときStarterが作動して、同時に記録されるようになっている。

6), 7) のため、中型の高性能の2次元振動台 (鉛直方向および水平1方向) と2方向反力壁が設備された。これらは既設の施設と相まって、研究の促進、新しい発展に大きな役割を果たした。その後、1) の課題について、地震アレイ観測網は千葉実験



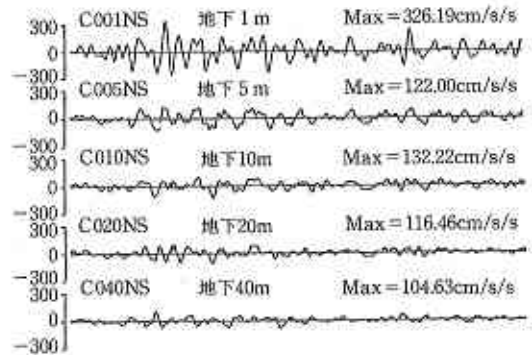
地震応答観測塔

所全域に拡大し、6)については免震装置の性能の実測のための実験用住宅が建築された(昭和62年)。

3-5 研究の概要

昭和63年3月までに、当該設備のある千葉市で震度Ⅲ、Ⅳ、Ⅴの地震がおのおの22回、4回、1回記録された。2)、3)の弱小モデルは震度Ⅳ以上の地震動により、数回被害を受けた。最も強い地震動が記録されたのは、1987年12月17日の千葉県東方沖地震で、地下1mで最大加速度は398ガルに達した。RC弱小モデルでは柱および梁にクラックが発生し、鉄骨建物弱小モデルは斜材が座屈した。また高さ5m、直径3.8mの液体貯槽では下部で座屈が生じた。これらの設備で行われた主な研究の項目を紹介する。

アレー観測により地震動と地盤の動歪、埋設管の動歪との関係が検討され、ライフラインの地震時の安全性の解明につながり、応答観測塔の地震観測から塔の地震時挙動のみならず塔と地盤との間に作用する動土圧が実測され、塔内に設置しておいた3次元免震装置の実地震に対する応答特性が確認されて実用化につながった。弱小モデルで観測された破壊を含めた地震応答特性は構造部材の動的破壊試験、震害調査の結果等と総合されて建物の耐震診断法の確立、実用化へとつながった。振動台では上記の研究のほか、鉛直・水平の2方向の地震動が作用したときのフィルダムの破壊強度、液体貯槽のスロッシングの制御、Space Structureの地震応答特性等、模型による実験解析、機械-人間系の大地震時のヒューマンエラーについての研究等が行われた。



1987年12月17日千葉県東方沖地震で超高密度アレー観測のCO地点で記録された地中の加速度波形(南北方向)単位はガル

4. ERSの研究活動

研究活動としては震害調査、耐震構造の日中共同研究等があげられる。

4-1 震害調査

所内メンバーが調査に参加した地震は以下のとおりである。

- 1980年 伊豆半島東方沖の群発地震(最大のマグニチュード6.7)
- 1981年8月 海域地震(1975年, M=7.3)および唐山地震(1976年, M=7.8)の震災地踏査
- 1982年 浦河沖地震(M=7.3)
- 1983年 日本海中部地震(M=7.7)
- 1983年 神奈川・山梨県境地震(M=6.0)
- 1984年 長野県西部地震(M=6.8)
- 1984年 兵庫県南西部の地震(M=5.6)
- 1985年 メキシコ地震(M=8.1)
- 1987年 千葉県東方沖地震(M=6.7)
- 1988年 インド・ネパール地震(M=6.7)
- 1988年 アルメニアの地震(M=6.9~7)

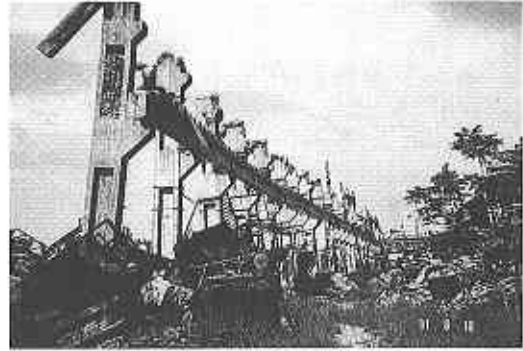
唐山地震および海域地震については後に述べることにして、1985年メキシコ地震では、田村、岡田、片山の各教授が現地踏査した。特に岡田教授はメキシコ市の建築物の耐震診断と復旧に技術協力した。1988年のアルメニア地震では岡田教授が国際緊急救助隊・災害専門家チームに参加した。

4-2 日中共同研究

1981年度から3年間(勸励島学術振興財団の助成を



メキシコ地震：メキシコ市内地下鉄Pino Suarez駅前の崩壊した家電販売店



唐山地震：倒壊により8,700人もの死者を出した列車修理工場（唐山市）

受けて実施された『唐山地震を含む最近の中国の地震による被害の耐震工学的解釈に関する日中共同研究』では岡本舜三名誉教授、久保、田村（代表）の各教授、片山（幹事）、龍岡、韓（中国政府派遣研究員・大連工学院）の各助教授他小川研究員、野中研究生の8名は1981年8月、海城、營口、鞍山の各県、市および唐山、天津の各市等で震害調査を行った。岡田、柴田各教授、山田助手の参加を得ていて、この間、中国から来所した地震工学者は魏所長（前出）を代表として、符 聖聡、王 開順、各高級工 程 師（以上中国建築科学研究院）、林 皋教授、王 中正副教授（以上大連工学院）周 雍年、張 克緒 各工 程 師（以上中国科学院工程力学研究所）および 易 建国講師（同济大学）の延べ9名に達し、本邦と中国との間の地震工学の交流の先導的役割を果たした。更に高梨、半谷各教授、都井助教授が参加し日常的に交流が行われるほどに拡大発展した。この間の活動が本所と大連工学院（現大連理工大学）との学術交流協定締結の基礎となった（職名は当時のものを示す）。

4-3 講習会等の活動

グループとして活動したものに昭和61年度の第20回生研講習会（テーマ：耐震工学の最近の考え方）があり、地震防災の考え方、地下構造物の耐震設計、建物の耐震対策、設備機器の耐震対策等に対する講義のほか、千葉実験所内の耐震構造研究施設の見学が実施された。また昭和62年度秋から始まった生研公開講座イブニングセミナーにも所内メンバーが7名参加している。



耐震に関係する先生方と大連工学院正面にて（龍岡撮影）

1988年、28年ぶりに本邦で開催された第9回世界地震工学会議（略称9WCEE）では久保慶三郎名誉教授は副会長・実行委員長として、岡本舜三名誉教授は耐震災害防協会理事長として、会議の企画、運営に当たっているのを始めとしてERSのメンバーの活躍が目立ったが、特に所内メンバーはほとんどが会議の運営・実施の中核となって活躍した。この10年間に開催された世界地震工学会議に出席した所内メンバーおよび論文の数は次表のとおり。

	開催年	開催地	人数	論文数
7WCEE	1980年	イスタンブール	12	14
8WCEE	1984年	サンフランシスコ	12	11
9WCEE	1988年	東京・京都	15	31

同会議前8月2日に外国人参加者に対し、千葉実験所の本研究の諸施設および実験等を公開した。このTechnical Tourには約140名が参加し、討議と懇談が行われ好評を博した。