

耐震構造学研究グループの活動

耐震構造学研究センター

1. 緒 言

従来から当研究所では各分野の構造関係研究室で耐震問題の研究を進めてきていたが、昭和39年6月新潟地震を契機に地震災害の課題が解決すべき緊急の問題として一般の脚光を浴びることとなり、昭和40年度から昭和42年度にかけて耐震工学関係の3部門、生産施設防災工学・動的材強弱学・耐震機械構造学が当所に新設された。それぞれの部門で対象とする構造物は異なっても耐震工学上の基礎的問題については、多くの共通部分があり、耐震工学の性質から共同で研究しなければならない部分もまた多いことなどから、これに携わる研究室相互の連絡の場を提供し、研究の促進をはかることを目的として、昭和42年春耐震工学研究者の任意の集まりである本研究グループが発足した。以来12年耐震工学全般に亘り活発な活動を続けてきていて一昨年昭和52年には発足10周年を記念して、生産研究第29巻第5号で地震工学特集を行い、この間の活動の一端を紹介した。

顧みて昭和30年代の後半は、本邦の経済発展に伴って、国土の開発が急速に進み始め、また都市の巨大化への道程が始まった時期に当たり、狭小な国土全体が、活発に活動している環太平洋地震帯上にあるという地理的条件を考慮すると、耐震工学の研究促進が求められた時期に対応しているのであって、正にこの時期に当グループが発足したことになる。

発足と時期を同じくして、千葉実験所に大型振動台が完成し、主として土構造物の振動実験が開始された。長さ10m、幅2m、高さ4mの砂箱を備え、170tonの容量をもつ振動台は、当時としてはこの分野の研究では最大規模のものであった。昭和43年5月、1968年十勝沖地震が発生し、青森県東部を中心として大きな被害が生じたのであるが、この地震では本グループメンバーは互いに密接に連絡をとりつつ、調査班を組織して震害現場の調査に当たった。翌昭和44年には第4回世界地震工学会議がサンチャゴで開かれ、4名の所内メンバーが出席している。この時期が第一期とも言える期間で、今までの研究成果の蓄積の上に基盤を定め、グループとしての活動

を開始した時期に当たる。

第二期としては、臨時事業“都市における災害・公害の防除に関する研究”の一つの柱である都市の震災、都市の機能に対する地震の影響等の地震工学上の課題の研究母体として役割を果たした時期から、今日までの期間が対応するのではなからうか。この時期には構造物の動的強度を研究するため、千葉実験所に構造物動的破壊試験装置が臨時事業費によって建設され、RC部材、鋼部材の動的荷重による破壊実験等が実施された。この装置を構成する小型振動台(容量5ton)を用いて、橋梁模型の振動破壊実験、各種トンネル、地下埋設管、貯水槽等の模型による振動実験が行われた。

またこの時期には昭和46年にサンフェルナンド地震、1974年伊豆半島沖地震、昭和50年には大分県中部の地震、1978年伊豆大島近海地震、さらに1978年宮城県沖地震等においてはメンバーの多くがグループであるいは単独で震害の調査を実施している。

研究調査結果はニュースも含めて毎年1回グループで発行しているBulletin of Earthquake Resistant Structure Research Center(略称Bulletin of ERS)、生産研究、日本地震工学シンポジウムおよび世界地震工学会議のProceedings、学協会誌等各分野でそれぞれ発表されていて、斯界で高い評価を得ている。以下に各項目ごとにセンターの概要を記述する。

2. グループの構成

耐震構造学研究グループの構成メンバーは、本所の教職員を中心として本所で研究に従事している大学院生および過去に本所の研究に関係した所外のメンバーからなっている。

本所を中心として見た過去10年間の人事の異動は以下のとおりである。当センターの設立に際して主導的な役割を果たされた岡本舜三教授(現・埼玉大学学長)が昭和45年度をもって停年退官され、また昭和52年度には互理教授(現・社)自動車研究所長)が停年退官された。昭和46年度には吉田裕助教授(現・東京工業大学)、昭和49年度には鈴木浩平講師(現・東京都立大学)、昭和49

年度には森地重暉助手 (現・東京理科大学), 川股重也助教授 (現・東北工業大学), 昭和 51 年度には重信恒雄助手 (現・横浜国立大学), 昭和 52 年度には宇田川邦明助手 (現・東京電機大学), 昭和 53 年度には藤谷義信講師 (現・広島大学), 中村豊枝官 (現・日本国有鉄道) が所外へ去られたが, 大部分の方々は今後もグループの所外メンバーとして参加している。

昭和 53 年度末現在の所内メンバーは以下のとおりである。

教授	田村重四郎 (1部)	柴田 碧 (2部)
	川井 忠彦 (2部)	佐藤 壽芳 (2部)
	久保慶三郎 (5部)	田中 尚 (5部)
助教授	岡田 恒男 (1部)	藤田 隆史 (2部)
	高梨 晃一 (5部)	片山 恒雄 (5部)
	半谷 裕彦 (5部)	龍岡 文夫 (5部)
助手	加藤 勝行 (1部)	関 松太郎 (1部)
	佐藤 暢彦 (5部)	後藤 博司 (5部)
	大保 直人 (5部)	

以上の最近 10 年間に所外メンバーとなられたの方々, 所内メンバーおよび現在本所で地震工学を専攻している数名の大学院博士課程学生に加えて, 坪井善勝名誉教授, 田治見宏 (日本大学, 本所研究員), 大沢胖 (地震研究所), 伯野元彦 (地震研究所), 秋野金次 (日本原子力発電), 清水信行 (千代田化工), 曾我部潔 (上智大学) の諸氏は, 所外からのメンバーとして参加されており, 昭和 53 年末現在のメンバーは 36 名である。

3. 研究活動の概要

メンバーの地震工学分野における研究活動は, 研究会を核として, 互いに密接な連絡を取りながら, 広い分野で活発に行われている。任意参加の研究者のグループであるという性格もあって, 全メンバーがひとつの研究テーマに当たるということは今まで行われてきてはいないが, 震害調査の場合のように互いに情報を交換することにより, 全体的な調査を完成している場合もある。全般的にはグループを構成することにより, それぞれの分野で先端的な研究の企画とその実施を容易にしているといえることができる。

研究会, Bulletin 発行, 講習会への参加, 臨時事業での活動については, それぞれの項に詳細に記載されているのでここでは総括的にのべることとし, また震害調査に関して特にその概要をのべることとする。

月 1 回程度の割合で開催される研究会では 1~2 篇の研究の発表と, センター運営上の諸問題が主な議題となっている。時には国外研究者の来訪があって, 講演, 懇談を行う場合もある。この会には構成メンバーのほか

大学院学生等が参加でき, 常時 10 数名以上の出席者があって, 盛会である。

情報の交換はこの研究会のみならず相互に行われていて研究の進展に有益であるが, この外に研究室間での実験観測要員, あるいは測定用機器の融通もまた研究の効果を挙げるのに役立っている。一時的に行われる大型実験では, 多くの測定機器が必要であり, また多くの熟達した技術者の参加が必要であるからである。そのため共同利用機器の作動状態等に関する情報も円滑に流れ, さらに管理の面にも反映し, 研究の能率と成果を挙げることに貢献している。

研究は主にそれぞれの研究室, または複数の研究室の共同で進められているが, グループとしてまとまった活動を示したものに震害調査, 講習会, 臨時事業がある。

震害の調査は広い地域を調査対象としており, 震害の社会に対する影響を構造物の面のみから調査するにしても, 対象構造物の数は非常に多く, しかも地震直後の混乱した時期に比較的短期間に完了する必要があるのである。さらに重要なことは, 震害の調査の実を挙げるためには, 調査対象構造物に対し, 地震工学の視点からの高い認識をもつことが必須の条件であることである。したがって本グループのような研究者グループがこれに当たることには大きな意義がある。

グループが発足した直後の昭和 48 年 5 月に十勝沖地震 ($M=7.9$) が発生した。たまたま地震前に青森県東部を中心に豪雨があり, 青森県東部から東北部, 岩手県北東部, 北海道南部を中心に広域に亘り, いわゆる地盤災害を生ずると共に, 八戸・函館等の同地域の諸都市で建築物に多大の被害が発生し, 産業施設にも少なからぬ被害を生じた。本グループは地震発生後直ちに情報の蒐集を始め, 調査グループを組織して現地へ急行した。

その結果は生産研究第 20 巻第 12 号にまとめられ, また各学会誌, 研究発表会に発表されている。同様に 1978 年伊豆半島沖地震 ($M=6.9$), 1978 年伊豆大島近海地震, 1978 年宮城県沖地震においてもグループとして地震調査を行っている。

前述のような被害の多い地震のほか, 昭和 45 年 10 月秋田県南東部の地震 ($M=6.2$), 昭和 47 年 2 月八丈島近海の地震 ($M=7.0$), 昭和 50 年 4 月大分県中部の地震 ($M=6.4$) 等の地震では構成メンバーが調査を行っている。また国外の地震についてもメンバーが調査に参加している。所内メンバーに限れば昭和 46 年サンフェルナンド地震 ($M=6.7$) の調査にはグループまたは単独で多くのメンバーが参加し, 昭和 48 年 3 月ルーマニヤに発生した地震 ($M=7.2$) にも調査に当たっている。

調査結果は地震工学上の資料として, またより詳細な

解析のための資料として広く利用されている、このように一定のメンバーが、多くの震災の調査に従事することは、構造物の耐震性に対するメンバーの認識を高め、耐震工学の発展を促進する結果を生んでいる。

生研講習会については、今までに第6回(昭和43年)および第13回(昭和49年)の2回、耐震工学に関する講習が行われている。第6回のテーマは「耐震・防震の考え方」で、耐震工学関係では、地盤の地震動、構造物基礎と地盤の相互作用、構造物の地震応答、動的応答の確率論的扱いおよび安全度のそれぞれの課題について講義を行った。また第13回のテーマは「耐震工学の最近の発展」であり、最近の地震学の発展、地震動の性質、沈埋トンネルの挙動と解析、鋼構造の動的挙動、鉄筋コンクリート建物の耐震性と耐震設計の評価、耐震ダンパー、化学プラントの耐震設計、火災避難シミュレーション等最近著しく進んだ部分について、それぞれ講義し地震工学研究者、産業界の実務者との交流を行うと共に耐震技術の発展をはかっている。

次に昭和46年度から昭和48年度まで実施した第一次臨時事業においては第1グループを構成し「都市構造物の耐震強度の調査研究」を分担した。この研究を行うための施設の一環として既述の構造物動的破壊実験施設が設置されたのである。続いてさらに3カ年行われた第二次臨時事業においても、第6グループを構成し、「都市災害・公害の最適防護システムに関する研究」を分担している。ここでは、統計手法にもとづく震災予測手法の開発、震災時の避難緊急対策が主なものであり、第一次の場合の内容にくらべるといわゆるソフトな部分を取り扱っている。

各メンバーの研究成果はそれぞれ学協会あるいはシンポジウム等に発表されているが、グループ独自に公表するものとして後述の英文の「Bulletin of ERS」がある。年1回の刊行で、昭和42年より発行を始めて昨年度末ですでにNo. 12を数え、当初20数頁のものが、最近では80頁を超える冊子となっており、諸外国で定期刊行物として高く評価されている。

日本学術振興会(学振)と米国 National Science Foundation (NSF) との協賛で、昭和48年パークレーで開催された「鉄筋コンクリート構造に重点を置いた地震工学に関するセミナー」では久保が日本側コーディネーターとなり、昭和51年東京で開催された「ライフライン系に重点をおいた地震工学に関するセミナー」では、久保・片山研究室が事務局をつとめた。昭和48年から3年間に亘って学振・NSFの協賛で行われた「学校建築の耐震安全性に重点をおいた地震工学に関する日米協力研究」では、岡田が鉄筋コンクリート学校建築の耐震診断

法の開発を担当した。これらの活動は本グループの国際的な評価の一端を示すものである。数名のメンバーは世界地震工学会議(WCEE)の運営委員会の業務を分担している。最近の3回の同会議の所内メンバーの出席者数および提出論文数は次のとおりである。

4 WCEE	1969.1	サンチャゴ	出席者4名	提出論文4篇
5 WCEE	1973.6	ローマ	" 8名	" 6篇
6 WCEE	1977.1	ニューデリー	" 9名	" 10篇

このほか、1971年以来、2年に1回開催されている国際原子炉構造会議には毎回数名が出席し、耐震関係の論文を発表している。

以上はグループの研究活動全般の概要を述べたものである。次に研究の主な内容を、この10年間を中心に紹介するが、内容は広範囲に亘り、しかも同一課題を多方面から、研究していることもあって研究分野を分類しにくい、ここでは3部に分けてそれぞれ概説することにする。なお詳細については各研究紹介を参照されたい。

3-1 耐震土木構造の研究

地盤の地震動、橋梁、ダム、地中構造物、港湾構造物、道路等この分野に含まれる構造物は多様であり、これらの構造物の耐震性の研究は岡本によって以前より総合的に進められてきたものであるが、当該期間において特に進展をみたのは地震動、ダム、橋梁、トンネル、地中埋設管等の地下構造物に関する研究があげられよう。

地中埋設管については20年代後半より上水道施設の震災軽減のための設計法の検討が行われて、昭和39年には岡本、伯野により地中構造物に作用する地震力に関する研究がまとめられている。41年にはゼラチンを用いた3次模型の振動実験が行われ地盤との相互作用が定性的に把握され、岡本・田村研究室により44年からは沈埋トンネルの大型模型実験が実施された。

ついで昭和45年から実トンネルの地震時の歪の観測が開始され、また昭和50年度より地下鉄道用トンネルを利用して、都内の数カ所で軟質地盤中のトンネルの地震観測を始め、トンネルの地震時の挙動が定量的にとらえられた。

一方、久保・片山により昭和46年から関東地震時の水道管被害のより詳細な分析が始められた。折から東京都の地盤の動特性に関する資料が充実されたことにより、地盤の種類と地盤の動特性の変化を尺度とした被害の定量的解析が行われた。この結果は、管路周辺地盤の動特性の変化が震災に最も強い関連があることを明らかにした。

昭和46年2月サンフェルナンド地震における埋設管の被害状況は、この研究に新しい資料を提出することになり、さらに、福井地震の埋設管の被害もまた地盤との関連

で再調査され、マナグワ地震における被害資料を加えて震害と地震動の強さとの関連の定量化がはかられ、震害の巨視的な予測手法を検討した。また田村研究室では、昭和52年より埋設管網を一つのシステムとし、システム全体としての地震時の機能の信頼性を検討するため、モンテカルロ法を用いた解析手法の検討を行っている。また柴田研究室ではパイプの各種の継手の動的荷重に対する強度の研究が進められている。

以上、ハードな面およびソフトの面の両面から総合的にこの種類の構造物の耐震性の検討が進められていて、国内外の高い評価を得ている。

アーチダム、フィルダム、コンクリート重力ダムの耐震性については、同様に以前から研究が進めてきているが、当該期間中特に進展したのはフィルダムおよびアーチダムに関してである。アーチダムについては、生研式模型試験法が開発され広く使用されるに到っているが、岡本・田村研究室で昭和41年より44年にかけて、実ダムの耐震設計資料を得るため、円弧および放物線の2種のアーチダムの模型を千葉実験所に築造し、振動実験を行いその挙動を比較している。岡本は小型模型を用いた振動台による振動実験の結果と生研式試験方法による結果とを組み合わせることにより湛水状態の堤体の挙動を実験的に求めることを示した。この方法は大規模な模型と振動台を不要とする実用的な方法として評価されている。

フィルダムの内アースダムについては昭和41~42年にかけて線形領域での模型振動実験を行う一方地震観測を続けている。ロックフィルダムについては岡本・田村研究室で地震時の破壊機構究明のため昭和42年完成した大型振動台を用いて、昭和48年まで大型模型による振動破壊実験を集中的に実施した。高さ約1.4mの2次元模型を一定振動数の正弦波形で加振破壊させ、破壊現象と堤体の応力状態とを関連づけた。

地震動については岩盤ならびに通常の沖積地盤に地震計を設置し、震動の深さ方向の分布性状を測定すると共に地表の直線上または、平面上における地震の同時記録の解析を行うなど実地震動の性状の解明につとめると共に、これらの記録の統計的取り扱いにより計画地震動の策定をはかるなど工学的諸特性の研究を進めている(岡本・久保・田村・片山各研究室)。昭和50~52年にかけて地震動加速度スペクトルを地盤種別と地震諸元とから推定するために、片山等が提案した工学的予測式は建設省による総プロ「新耐震設計法」の中に採り入れられている。

橋梁に関する研究として高橋脚橋梁の耐震性の研究、剛体基礎の動的挙動、杭基礎の動特性に関する実験なら

びに解析的研究、歩道橋の振動特性の実測・解析とモデルによる振動破壊実験等のハードな面の研究のほか既に既存道路橋の耐震性の判定のため、過去に震害を受けた橋をサンプルとする統計解析を行い、耐震性を判断するための手法を提案するなどソフトな面からの研究を行っている(久保・片山研究室)。また久保・片山研究室により、剛体基礎、杭基礎の振動実験が、千葉実験所の大型振動台を使用して行われ、本州四国連絡橋の耐震設計への資料を提供した。

以上のほか、震害調査は大きな比重を置いて実施している。国内では昭和45年秋田県南東部での地震、昭和50年大分県中部での地震等比較小規模な地震の場合にも現地調査を行い、また国外では最近では、昭和42年コイナ地震(インド)、前出のサンフェルナンド地震、昭和52年ルーマニヤでの地震等で現地調査を実施している。

3-2 耐震建築構造の研究

本所においては坪井等によって、すでに以前より研究が進められてきて、連続しているわけであるが、ここでは過去10年間に行われた研究、特に本所で行われた研究と地震被害との関係、研究室で行われた共同研究に焦点をしばって概要をのべることにする。

建築物の耐震に関する研究の究極の目的は、言うまでもなく地震被害を防ぐことにあるが、生活・住そのものであることからこの問題はより切実であり、震害の発生は本所におけるその後の研究に大きな影響を与えている。震害はその時代の耐震設計法の欠点を教え、被害を軽減するためにはどのような研究が必要であるかを示唆するからである。1年のずれを許容するならば本所の創立20周年から30周年までの10年間の本所における建築物の耐震性に関する研究は、1968年十勝沖地震に始まり、1978年伊豆大島近海地震、1978年宮城県沖地震でしめくられ同時にこれらが新しい出発点になっていると言ってもよいであろう。

1968年十勝沖地震の際には、建築の分野では田中・岡田ほか大学院学生4名、技官1名がグループを構成し、八戸市を中心として青森県、北海道において約1週間の調査を実施し、その後1年を費やして調査結果の整理、被害原因推定のための解析などを行った。この調査結果はその後の建築物の耐震に関する研究に大きな影響を及ぼすことになった。

この地震では比較的多く建設されている低層RC建築物で被害が発生していて、貴重な知見を与えることになった。すなわちRC建築物については耐震壁の効果が立証された反面、壁の少ない骨組構造の耐震設計法の再検討が必要であることが認識され、また鉄骨構造については、ブレースの耐震設計法と施工法の見直しなどが指摘

されたのである。従来構造体または部材の数学モデルとして用いられていた復元力特性に対し、より実際に適合した特性、また破壊過程、破壊強度が要求されることとなった。昭和46年度から始まった第一次臨時事業「都市構造物の災害・公害の防除に関する研究」の重点項目として、施設の項でのべるような構造物動的破壊実験施設の導入が取り上げられ設置された。非線形領域、破壊過程における構造物または構造材の動的実験は極めて困難な実験のひとつであるが、構造物に外力を与えるアクチュエータと構造物の動応答を計算する電算機とをオンラインで結合して、それぞれ得られる情報を相互にフィードバックして実験を進めるという電算機-アクチュエータオンラインシステムの開発に成功した。これによりRC および鉄骨の建物模型の非線形領域での地震応答に関する実験が田中・岡田・高梨の各研究室の共同で実施されることになったのである。従来実験的には再現が容易でなかった部材の地震時の破壊状況が、この実験によって得られ、破壊過程に入ってからのRC部材の復元力特性、高力ボルト接合部の性状等建物の破壊性状に関する多くの知見を得ることができた。この実験手法は国内外で高く評価されている。

RC建物の耐震性を向上するには耐震壁を有効に配置することは効果的な方法であるが、その配置方法、量の建物の耐震性に及ぼす影響は複雑である。岡田研究室では建物を耐震壁の性質を代表する力学モデル、骨組の性質をあらわす力学モデルを並列に結合して数値解析を行うと共に前述の実験施設の一部である小型振動台を利用して小型模型の振動破壊実験を行い、耐震強度を検討した。

以上のような基礎研究結果にもとづいて、建物の耐震設計法ならびに既存建物の耐震診断法の開発が進められた。鉄骨造建物については田中・高梨研究室が、RC建物については岡田研究室がそれぞれ研究を行い学協会、建設省などが主宰するプロジェクトにおいても先導的な役割を果たしている。

昭和53年に入り、1月伊豆大島近海地震 ($M=7.0$)、2月宮城県北部沖合の地震 ($M=6.7$)、6月宮城県沖地震 ($M=7.4$) とあいついで発生、再び建築物に被害が生じた。1968年十勝沖地震の場合と同様、調査団を組織し現地調査を行った。現在その成果がまとまりつつある段階ではあるが、被害はこれまでの研究成果から大筋において説明可能であると思われるものが多い反面、新しい被害状況を示したものもまた多いことが認められており、創立後30年代に向かう今後の課題であろう。

原子力施設については、シェル構造物の応用問題として川股・半谷研究室が圧力容器の耐震問題の研究を進め

ている。最近では、原子力機器特に円筒シェル構造の動的問題、機器が建物に定着する部分の地震時の動的挙動などの研究を、耐震機械構造の柴田・藤田研究室と協同で、岡田・高梨・半谷の各研究室が進めている。

3-3 耐震機械構造の研究

本所で機械系の分野で耐震の問題が採り上げられたのは、原子力発電所の建設に関連して機器、配管系の耐震性の検討をしたのが端緒で昭和33年より亘理、柴田、佐藤等によって始められている。当初配管系の固有値解析と応答に関する研究と機器系の応答に関する研究が理論解析、模型実験、現地測定などの併用により進められた。その後、産業機械の自動化、高精度化、大規模化が急速に進み、さらに立地条件、産業環境の変遷があり、産業施設の耐震性の重要性が増してきていて、この分野での研究対象は急激に増加することになった。

最近における本所のこの分野の研究は、主に原子力発電所、化学プラントなどの産業施設、ライフライン施設の耐震性等のハードの部分と都市内における爆発物、毒物等の貯蔵の地震時の安全性、火災、震災時における避難の最適化、電力供給システムの安定性等ソフトな部分に亘る広範囲な領域における対象を取り扱っている。このような事情により、久保等本グループ内のみならず、高羽、越等の本所内の関連研究室、さらに所外の関連研究者と協同研究を行うなど幅広い研究活動を進めている。

研究の詳細は生産研究第巻29第5号ならびに発表論文にゆずることとし、ここでは最近の研究活動を紹介する。

配管系等の連続体が複数の点で支持されている場合、各支点から入力する地震動は一般に異なるのが普通である。佐藤等は地震動を定常確率過程として取り扱い、1質点に二つの支持点より一定の時間差で同一地震波が入力した場合時間差が構造物の応答に大きな影響を与えることを示した。さらにこれを発展させて建物上に設置された機械の地震応答の問題、地盤が2つの卓越周期をもっている場合の構造物の地震応答等の問題の解析を行っている。

配管系に対する多入力問題に付随して生じた応答のゆらぎに関しては、柴田等によって擬似地震波に対する応答解析、実構造物の地震観測の結果にもとづいて研究が進められている。このゆらぎは地震応答解析の信頼性の評価に関連するものであり、その幅は地震時の構造物、容器、配管などの損傷確率の推定に重要な意味がある。千葉実験所に昭和47年に建設された化学プラントモデルで得られた地震記録によれば構造物の固有周期と地盤の卓越周期が一致した場合大きなゆらぎのことが認められている。

昭和48年に千葉実験所に建設された貯槽モデル（直径4 m）は液体貯槽の耐震性を地震観測により検討するためのものである。液体貯槽の動特性については球形貯槽および円筒平底貯槽をモデルとして模型振動実験、固有値解析、応答解析が実施されていて、設計を行う場合加速度波に対する応答のほかに変位波に対するスロッシング応答を求める必要のあることを明らかにした。上述の地震観測と共に振り地震動の観測が昭和49年より行われている。

火災・震災時の避難に関する研究は柴田、藤田によって行われている。浜田の延焼速度式を基本にして微少延焼火面の概念を導入して逐次的に火災の延焼過程のシミュレーションを行っており、また避難に関しては街路をネットとし避難群衆が避難指定地へ流れていくとして避難過程を検討している。本研究は ERS メンバーの有志のほか安田（3部）、高羽（3部）、越（5部）等の所内関係者および、所外関係者との共同で進められており、都市の防災問題の解決に寄与している。

昭和49年以来、石油コンビナートの耐震設計基準の確立に努め、通産省に協力して一応の体系を完成した。また電力関係施設の耐震性のシステムとしての視点からの検討、超高層ビル内の消火設備の耐震化等都市の震害に関する研究もまた所外の関係者をも含めて進められている。

震害調査は上述の研究の基本資料を提供するものであり、今まで少なかったこの分野の被害の実態を把握するため、積極的に実施している。昭和39年の新潟地震を初めに1968年十勝沖地震、1978年宮城県沖地震、また国外では昭和46年のサンフェルナンド地震、昭和52年のルーマニヤ地震等における産業施設の被害の調査を実施した。

4. 研究会

耐震構造学研究グループの主要なグループ活動に、ほぼ1カ月に1回の割合で開催される研究会がある。この研究会では、各メンバーが最新の研究の経過・成果・問題点などを発表し、それに関するメンバー間の情報意見の交換を通じて研究遂行上の助言および知見を得たり、共同研究施設の使用上の問題の協議等のセンターとしての運営上の打合せ等を行ったりしている。

外国からの地震工学者の来訪があった場合、この研究会で専門分野の講演を行い、メンバーとの懇談、情報の交換の場を持つなど、国際交流の場としても使われている。最近5年間だけに限っても米国、カナダ、オーストラリア、ニュージーランド、トルコからの地震工学関係の研究者をむかえている。昭和49年には J. Penzien 教授

(Univ. of California, Berkeley), F. Y. Cheng 教授 (Univ. of Missouri-Rolla), T. H. H. Pian 教授 (MIT), 昭和50年には R. S. Ayre 教授 (Univ. of Colorado), 昭和51年には A. H. S. Ang 教授 (Univ. of Illinois), L. W. Lu 教授 (Lehigh Univ.), D. Dere-Janes 教授 (Victoria Univ., New Zealand), S. Valliappan 教授 (Univ. of New South Wales, Australia), 昭和52年には R. Yarrar 教授 (Istanbul 工科大学, トルコ), N. Radhakrishnan 博士 (U. S. Army Waterways Experiment Station), 昭和53年には M. Z. Cohn 教授 (Univ. of Waterloo, Canada), S. Uzumeri 教授 (Univ. of Toronto, Canada) がそれぞれグループの会合に出席している。また、昭和51年6月には、中国建築学会副理事長、程震文氏を団長とする10名の中国耐震技術考察団の訪問があり約3時間にわたり本グループの研究活動の紹介を中心とする懇談会を行った。

グループの運営に関する協議としては、ERS で共同管理している構造物動的破壊装置の実験計画の調整・保守に関する問題、Bulletin の発行に関する問題、予算、新しいメンバーの加入などが主なものとなっている。このほか研究所公開の際の共同展示、生研講習会への参加など、グループとしての活動に係わる課題についての打合せも研究会を通じて行われている。

過去10年間における研究会開催の回数は、昭和44年度9回、45年度9回、46年度7回、47年度9回、48年度5回、49年度9回、50年度10回、51年度11回、52年度9回、53年度11回の計87回に達している。

この会の運営事務は、所内メンバー研究室が1年交代で担当することになっている。

5. 設 備

耐震構造を強度の視点から研究するためには実験設備が不可欠なものであり、メンバー研究室には、それぞれ振動台、起振機、実験設備、測定機器等の設備がある。センターとしての共同の設備としては千葉実験所に設置されている大型振動台（昭和41年度設備）および構造物動的破壊実験施設（昭和46年度設備）があげられる。前者は主として土構造物の地震時の挙動、地盤一構造物の相互作用研究等のために設けられたものであり、後者は主に地上構造物の破壊過程における性状と強度の研究のために設備されたものである。いずれも大規模な施設であり、各研究室に備えられた実験設備による研究の成果と併せ、研究の実を上げるよう使用されている。

以下、この2つの施設について説明を加えることにする。

5-1 大型振動台

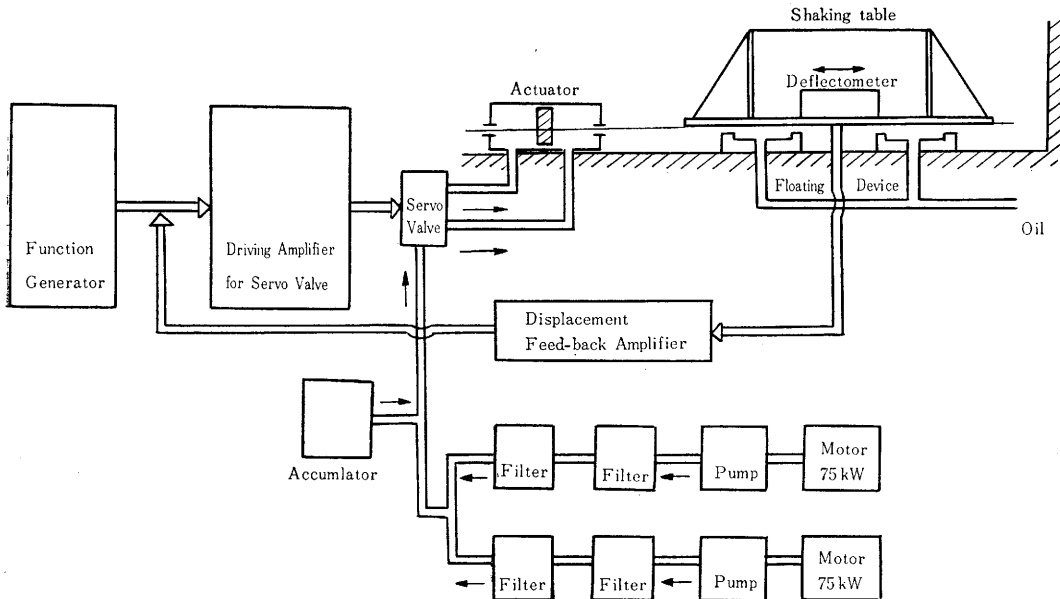


図 1 大型振動台構成図 (現状)

A. 構造物のうち、土が主体である構造物、堤防、フィルダム等の耐震性状、斜面の地震時の安定等の問題は土、または天然地盤の多様でしかも複雑な力学的特性のみならず、強度に対する重力の要素の影響の大きさにより、解明しにくい問題とされている。

構造物またはその基礎と周辺地盤との相互作用も上述の理由も含めて、構造物の耐震性の基本であるに拘わらず、容易に解明されず以前より種々の角度から検討されてきている。

この種類の問題の研究には、相似率を満足させた大型模型による実験的研究が極めて有効である。

本設備はこのため、昭和41年度予算と各関係機関の協力により、昭和42年完成したもので当時最大規模の振動台であった。

B. 本振動台は当初大きな積載荷重の下で、大きな振幅で正弦振動することを第一の目的として設計された。

振動台の駆動には、電動油圧装置を使用し小さい加振力により大きな振動台の振幅を得るため、振動台一バネ系の共振現象を利用した方式を採用した。また振動台と基礎との間の摩擦抵抗を減ずるため、支持方式には油圧浮上式を採り、さらに作動時の振動台の振動がその周辺環境に与える影響を少なくするよう、基礎コンクリートをゴムのパット (25cm×25cm×25cm) で支えるような方式をとっている。

当初の振動台の性能は下記のとおりであった。

1. 砂箱の寸法 長10m×幅2m×深4m

2. 振動台の重量 空量時35t 最大積載時170t
3. 振動周期 0.2~1.0秒
3種のパネの組合せにより、共振周期を変える。
4. 波形 正弦波形
5. 最大変位振幅 ±100mm
6. 最大加速度 0.4g
7. アクチュエータ出力 20t

なお、加振は水平一方向であるが、砂箱の中央部分を取り外すことにより、長い構造物の直角方向の加振もできるようになっている。

この振動台により昭和42年から、主にロックフィルダム模型の振動破壊実験、ついで抗基礎の振動実験が実施された。

性能の項で述べたように当初の設計では、この振動台の加振波形は正弦波形であり、積載荷重が大きい場合は加振振動数も制限される。このため実地震波形による加振は出来ない。振動台建設後、油圧機器の改良と進歩、制御技術の進展等の技術の進歩があり一方土構造物の不規則波形加振に対する応答の検討が必要になるにいたり、昭和50年~51年にかけて、この振動台の改良を行った。改良の要点は

- 1) 振動台バネ系の加振方式をやめて、アクチュエータによる直接加振とし、
 - 2) アクチュエータ出力を80tに増す、
 - 3) 任意波形で加振可能とすることになった。
- 改良後1~10Hzの範囲では良好な波形が得られ30Hz程度までは加振可能になっている。

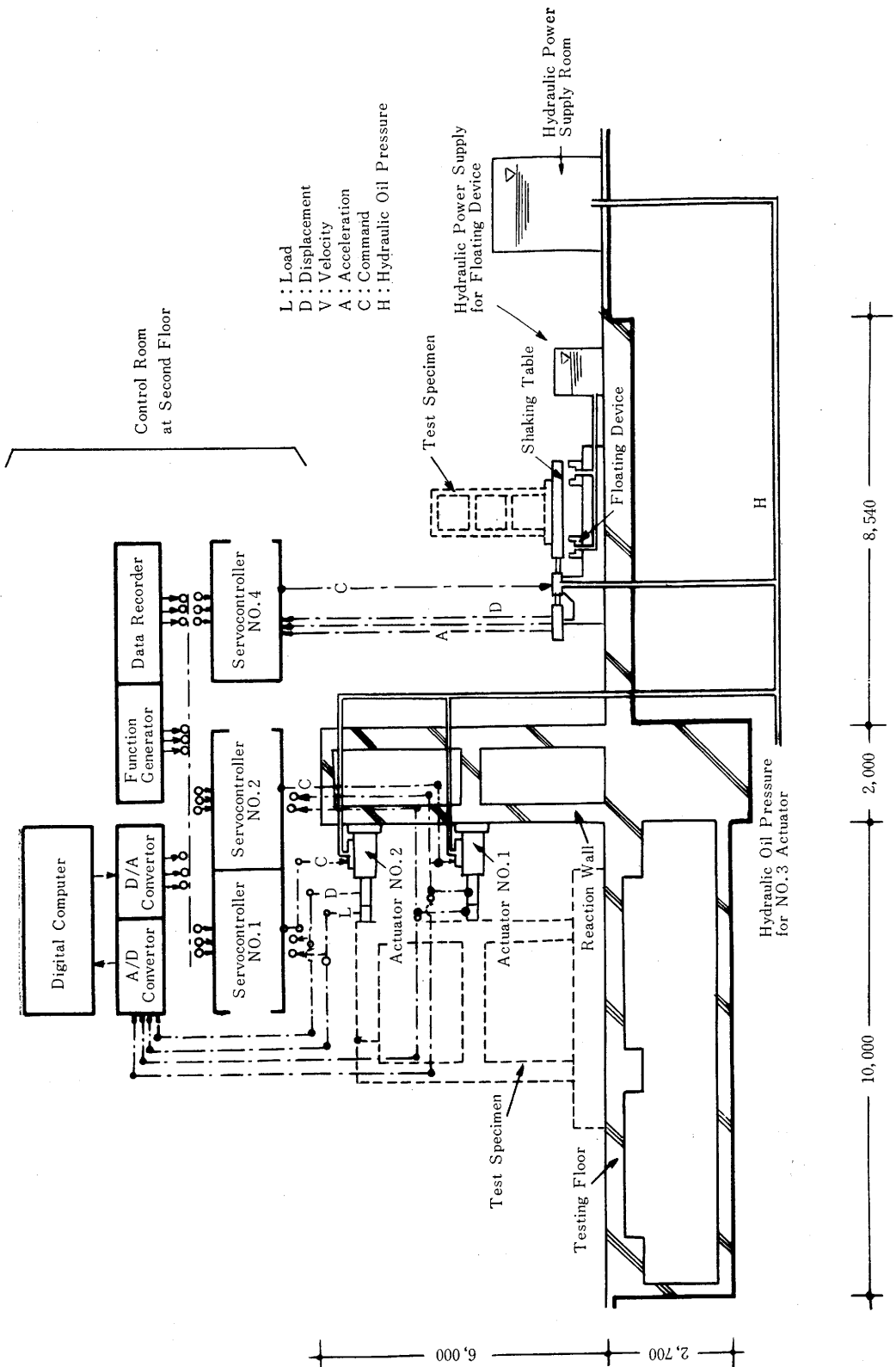


图 2 構造物動的破壊実験施設構成図

ウェル基礎、スラブ基礎等、基礎と地盤の相互作用に関する実験が行われている。

5-2 構造物動的破壊実験施設

A. 地震規模とその発生頻度との関係、および構造物の耐用年数を併せ考慮すれば、構造物の構造力学的視点からの地震時の強度の正当な評価は、耐震構造を検討する上で極めて基本的なものである。

地上構造物または空間に築造される構造物の地震時の挙動は、構造物の復元力特性が分かれば、電子計算機を用いた数値解析によって、ある程度把握できる段階に達している。

しかしながら合理的な耐震性を構造物に賦与するためには、地震動と構造物の強度の関係をより明らかにする必要がある、そのためには構造部材、さらに構造体としての単なる非線形領域の復元力特性のみならず、さらに一步進めたそれぞれの破壊過程をも含めた構造物の挙動の解明が必要である。このような研究結果によって構造物の破壊強度および破壊過程のモデル化が可能となる。この種類の研究が構造物の耐震性の評価に必須のものであることが、このセンターのメンバーによって以前より指摘されていた。昭和46年度より始まった第1次の臨時事業において、このことが重要項目として認められ、千葉実験所に、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部分からなる本実験施設が設置されることになった。主要施設は昭和48年度までに導入された。これらの実験設備を収容する上屋がなく、一時期プレハブ小屋、テントがけで風雨をしのぎ、昭和49年度に到り漸く鉄骨造平屋、一部 RC 2 階建の実験棟が国立学校施設整備費により築造された経緯がある。その後文部省科学研究費などにより設備の充実が行われ、現在耐震構造の研究の上で一つの主要な役割を果たしている。以下設備の概要をのべる。

B. 構造物動的破壊試験装置は長さ 10m、幅 4.9m の反力床、この一端に作られた高さ 6m の反力壁、およびこれらに取り付けられる加力用電気油圧式アクチュエータ、ならびにアクチュエータを制御する機器よりなっていて本施設の主要部を構成している。

アクチュエータは現在載荷能力 20 t (ストローク ± 15 cm) のもの 2 台と載荷能力 100 t (ストローク + 5 cm) のもの 1 台の計 3 台である。この 3 台のアクチュエータと、電子計算機とを結合して、アクチュエータによる構造物あるいはその部分の模型の変位強制破壊実験とそれにより得られる復元力特性を用いた電子計算機による構造物モデルの非線形地震応答計算とを同時に進行させ、実験と計算で得られる情報を互いにフィードバックしながら破壊過程を研究する電算機—アクチュエータオンラ

インシステムと呼ばれる破壊実験手法を開発し、1 方向および 2 方向の地震入力に対する RC 部材、鉄骨部材の破壊実験を進めている。この実験手法は国内外で注目をあび、この種類の実験的な研究方法として高く評価されている。

併設されている小型高精度振動台は、この装置と結合し、あるいは単独で使用するもので、載荷重量 5 ton、テーブル寸法 1.5×2.5m、最大振幅 10cm、最大速度 60 cm/sec、最大加速度 1.2g である。ベクトル型制御によって、国内で初めて加速度入力による高精度の応答を得、かつ最大速度の大きな点に特徴があり、各種の模型実験に利用されている。

6. 研究成果の発表

所内メンバーによる研究成果の発表は「各部研究室の研究概要」に詳しいが、グループとして主体的な成果発表も行っている。

昭和42年度にこの研究グループが発足して以来、毎年 1 冊の割合でメンバーの研究論文を英文の印刷物とし、“Bulletin of Earthquake Resistant Structure Research Center” を、本所の共同研究計画推進費と一部本所メンバー研究室の負担により、発行してきた。現在は毎月約 500 冊を印刷し、そのほぼ半数を国外の研究機関や研究者に送付している。1972年からカリフォルニア大学バークレー校で発行されている“Abstract Journal in Earthquake Engineering” で Survey される定期刊行物に含まれており、国外の関連研究者からの要望も増えてきている。今後は日本国内の研究者へも幅広く送付する方向で検討を進めている。

Bulletin の発行は ERS グループの活動の一つの中心でもあるので、本文末尾に No. 1 ~ No. 12 までの掲載論文リストを示しておいた。

本所で昭和46年から 6 年間にわたって行われた第 1 次および第一次臨時事業「都市における災害・公害の防除に関する研究」には本グループから多数のメンバーが参加したが、その成果は「生産研究」の特集（または小特集）として、24 巻 3 号、25 巻 2 号、26 巻 2 号、26 巻 11 号、27 巻 3 号、28 巻 3 号、29 巻 3 号および 29 巻 11 号にまとめられている。また、昭和 46 年サンフェルナド地震、1974 年伊豆半島沖地震、昭和 46 年宮城県沖地震の調査結果もグループとしての活動の一環であるが、これらの報告は、「生産研究」の 23 巻 8 号、27 巻 2 号および 30 巻 11 号に発表されている。

7. 年 表

以上のように耐震構造学研究グループは、発足以来不

断に活発に研究を進めているが、国際的な視野からみても、地震工学そのものが、この期間に長足の進歩を遂げている。地震工学に関する各種の学会、会議が設立されると共に研究者間交流、情報の交換が盛んに行われるようになってきた。

このような背景の下における本グループの活動の位置づけを示す参考として、この10年間の地震工学に関する活動を、本グループの活動を中心にして紙上を賑わした主な大地震と、話題となった事件とを併記して、年代的に記すことにした。

	地 震	生 研 ・ 学 会	一 般
1969年	7/26 日向灘で地表 M=6.7 9/9 岐阜県中部で地震 M=6.6	1月. 第4回世界地震工学会議 (サンチャゴ)	1月. 東大紛争, 安田講堂攻防 5月. 東名高速道路全通 7月. 米軍ベトナム撤退始まる, 人類, 月に立つ
1970年	3/29 トルコで地震 M=7.1 6/1 ペルー北部で地震 M=7.8 (死者約5万人) 10/16 秋田県南部で地震 M=6.2	11月. 第3回日本地震工学シンポジウム	2月. “おおすみ” 成功 3月. 万博 4月. 大阪ガス爆発事故 7月. 歩行者天国始まる 11月. 三島由紀夫割腹自殺
1971年	2/9 サンフェルネンド地震 M=6.7 8/2 浦河沖で地震 M=7.0	4月. 特別研究, 都市における災害公害の防除に関する研究開始 『生産研究』23-8, サンフェルナンド地震小特集	7月. キッシンジャー訪中 8月. ドルショック 11月. 中国国連復帰
1972年	2/29 八丈島近海で地震 M=7.0 12/23 マナグワ (ニカラグア) で地震 M=6.3 12/24 八丈島東方沖地震 M=7.2	『生産研究』24-3, 都市における災害公害の防除に関する研究小特集	1月. 横井さん, グラムで救出 2月. 札幌冬季オリンピックニクソン訪中 5月. 沖縄復帰 テルアヴィブ空港乱射事件 7月. 日中復交 8月. ミュンヘンオリンピック P.C.B. 生産中止
1973年	6/17 根室半島沖地震 M=7.4 8/28 メキシコ中部で地震 M=5.5~6.5	『生産研究』25-2, 都市における災害公害の防除に関する研究小特集2 6月. 第5回世界地震工学会議 (ローマ) 8月. 関東大地震50周年地震工学シンポジウム	8月. 金大中事件 10月. 石油危機 ウォーター・ゲート事件 ソ連 SST 墜落
1974年	5/9 伊豆半島沖地震 M=6.9	『生産研究』26-2, 都市における災害公害の防除に関する研究小特集3 4月. 特別研究, 都市における災害・公害の防除に関する研究 (第二次) 開始 『生産研究』26-11, 都市における災害公害の防除に関する研究特集	3月. 小野田さんルバング島から帰国 8月. むつの放射能もれ事件 ニクソン大統領辞任 12月. 田中首相退陣 新幹線安全総点検

1975年	1/20~23 熊本県阿蘇で地震 M=6.1 (1/23)	『生産研究』27-3, 都市における災害・公害の防除に関する研究小特集4 11月. 第4回日本地震工学シンポジウム	4月. インドシナ戦争終わる
	2/4 中国遼寧省で地震 M=7.3 (予知に成功)		5月. エリザベス女王来日
	4/21 大分県中部で地震 M=6.4		9月. 天皇・皇后両陛下訪米 12月. 3億円事件時効
1976年	2/4 グアマテラで地震 M=7.5	『生産研究』28-3, 都市における災害・公害の防除に関する研究特集2 6月. 中国耐震技術考察団来所 12月. ERS Bull. 第10号発行	2月. ロッキード事件起る
	5/2 イタリア北部で地震 M=6.5		9月. ミグ25亡命
	7/28 中国河北省地震 M=8.0 (唐山地震)		11月. カーター米大統領 毛沢東, 周恩来の死去
	8/17 ミンダナオ島で地震 M=8.0		
11/24 トルコで地震 M=7.3			
1977年	3/4 ルーマニアで地震 M=7.2	1月. 第6回世界地震工学会議(ニューデリー) 『生産研究』29-3, 災害・公害からの都市機能の防護とその最適化に関する研究特集 『生産研究』29-5. ERS 10周年記念特集 『生産研究』29-11, 災害・公害からの都市機能の防護とその最適化に関する研究特集	3月. 漁業専管水域200哩
	8/9 ジャワ東方沖で地震 M=7.0		9月. 円高 王選手756号達成
	11/23 アルゼンチンで地震 M=7.0		
1978年	1/14 伊豆大島近海地震 M=7.0	11月. 第5回日本地震工学シンポジウム	1月. ソ連原子炉衛星カナダに墜落
	2/20 宮城県北部沖合で地震 M=6.7		
	6/12 宮城県沖地震 M=7.4		5月. 成田空港開港
	9/16(17) イランで地震 M=7.7		10月. 日中条約発効
	11/29(30) メキシコで地震 M=7.9		12月. 米中国交樹立

Bulletin of Earthquake Resistant Structure Research Center (No.1~No.12) に発表された論文リスト

- Vibration Test of a Structure Supported by Pile-Foundation, K. Kubo and N. Sato, Dec. 1967. (No. 1)
- Application of Finite Element Method to Non-Symmetrical Problems of Solids of Revolution, Y. Tsuboi, S. Kawamata and S. Shioya, Dec. 1967. (No. 1)
- Non-Linear Behaviors of the Earth Dam During Earthquakes, S. Okamoto, C. Tamura and K. Kato, Dec. 1968 (No. 2)
- A Suggestion of Generating a Phase Restricted Pseudo-Earthquake Motion, H. Shibata and M. Miyamoto, Dec. 1968 (No. 2)
- A New Photoelastic Method of the Dynamic Stress Analysis, S. Okamoto and S. Morichi, Dec. 1969 (No. 3)
- Site Characteristics in Strong Motion Accelerograms, H. Tajimi, Dec. (No. 3)
- Analysis of the Hachinobe Library Damaged by

'68 Tokachi-oki Earthquake, T. Okada, M. Murakami, K. Udagawa, T. Nishikawa, Y. Osawa and H. Tanaka, Dec. 1969 (No. 3)

- Field Survey on Damages in the Epicentral Area of the Earthquake (M=6.2), S. Okamoto and C. Tamura, Dec. 1970 (No. 4)
- Dynamic "Force-Displacement" Relations of Cantilever Test Piece Applied by Earthquake Type External Force, M. Hakuno and M. Shidawara, Dec. 1970 (No. 4)
- A Study on Response Analysis of Machine Structure System Subjected to Two Seismic Motions, H. Sato and K. Suzuki, Dec. 1970 (No. 4)
- Response Analysis of a Piping System in Three Story Building on Shaking Table, H. Shibata, T. Shigeta, M. Yamamuro, T. Shinkai, H. Kasugai and H. Kurokochi, Dec. 1971 (No. 5)
- Special Characteristics of Seismic Damages to Underground Pipes, K. Kubo, Dec. 1971 (No. 5)
- Proposal for Design Formulae of H-Beam to Box-Column Connections, H. Tanaka and T. Shigenobu, Dec. 1971 (No. 5)
- Observations on Dynamic Strains of Submerged Tunnel during Earthquakes, C. Tamura, S. Oka-

- moto and K. Kato, Dec. 1972 (No. 6)
- 15) The Response Spectrum Analysis of Building-Appedage Structure System to an Artificial Earthquake with Two Ground Predominant Periods, H. Sato, Dec. 1972 (No. 6)
 - 16) Inelastic Lateral Buckling of Steel Beams Subjected to Repeated and Reversed Loadings, K. Takanashi, K. Udagawa and H. Tanaka, Dec. 1972 (No. 6)
 - 17) Development of a Vibration Control System for Structures by Means of "Mass Pumps", S. Kawamoto and Y. Dec. 1973 (No. 7)
 - 18) Earthquake Observations at a 35,000 kJ LNG Tank, N. Sato, T. Katayama and K. Kubo, Dec. 1978 (No. 7)
 - 19) Non-linear Earthquake Response Analysis of Structures by a Computer-Actuator On-line System, K. Takanashi, K. Udagawa, M. Seki, T. Okada and H. Tanaka, Dec. 1974 (No. 8)
 - 20) On Sloshing Effects of Liquid in Cylindrical and Spherical Vessels during a Strong Earthquake, K. Sogabe, Dec. 1974 (No. 8)
 - 21) Finite Element Analysis of the Tsunami Problem, T. Kawai and M. Watanabe, Dec. 1975 (No. 9)
 - 22) The Direct Numerical Integration Methods for Large Scale Ordinary Differential Equations-Evaluation and Proposal of Numerical Integration Method, N. Shimizu, K. Watanabe, K. Shimada, M. Kamata and S. Yamamoto. Dec. 1975 (No. 9)
 - 23) Evaluation of Seismic Safety of Existing Bridges, K. Kubo and T. Katayama, Dec. 1975 (No. 9)
 - 24) A Simulation of Earthquake Response of Reinforced Concrete Building Frames by Computer-Actuator On-line System, T. Okada and M. Seki, Dec. 1975 (No. 9)
 - 25) A Simulation of Earthquake Response of Steel Frames, K. Takanashi, K. Udagawa and H. Tanaka, Dec. 1975 (No. 9)
 - 26) Energy Criteria for Dynamic Buckling of Shallow Structures Under Rectangular Loading, Y. Hangai and N. Matsui, Dec. 1975 (No. 9)
 - 27) Development of Earthquake Engineering for Civil Engineering Constructions, K. Kubo, Dec. 1976 (No. 10)
 - 28) Earthquake Ground Motion at Rocky Ground Interspersed with Thin Soft Layers, C. Tamura, S. Okamoto and H. Kawakami, Dec. 1976 (No.10)
 - 29) Response of Reinforced Concrete Columns to Bi-Directional Horizontal Force and Constant Axial Force, T. Okada, M. Seki and S. Asai, Dec. 1976 (No.10)
 - 30) Behavior of Bolted Joints in Earthquake Excitation, K. Takanashi, K. Udagawa and H. Tanaka, Dec. 1976 (No.10)
 - 31) On Some Results of Observation of Torsional Ground Motions and Their Response Analysis, H. Shibata, T. Shigeta and A. Sone, Dec. 1976 (No.10)
 - 32) Stability Analysis of a Circular Arch under Hydrostatic Pressure by the Adjoint Variational Method, H. Goto and Y. Hangai, Dec. 1976 (No.10)
 - 33) Prediction of Acceleration Response Spectra for Given Earthquake Magnitude, Epicentral Distance and Site Conditions, T. Katayama, T. Iwasaki and M. Saeki, Dec. 1977 (No.11)
 - 34) A Method for Estimating Undrained Cyclic Strength of Sandy Soil Using Standard Penetration Resistances, F. Tatsuoka, Dec. 1977 (No.11)
 - 35) On Logical Treatment and Evaluation of Regulatory Statements, T. Tsutsumi and H. Shibata, Dec. 1977 (No.11)
 - 36) Earthquake Response Analysis of a 1-Bay-2-Story Steel Frame by Computer-Actuator On-line System K. Takanashi, K. Udagawa and H. Tanaka, Dec. 1977 (No.11)
 - 37) Computer Simulation of Two Dimensional Plate Tectonics Problems by a New Discrete Method of Analysis, T. Kawai and Y. Toi, Dec. 1977 (No.11)
 - 38) Soil Liquefaction and Damage to Soil Structure during the Earthquake Off Miyagi Prefecture on June 12th, 1978, F. Tatsuoka, Y. Ohkochi, S. Fukushima, H. Igarashi and S. Yamada, Mar. 1978 (No.12)
 - 39) Seismic Risk As Expressed by Acceleration Response of Single-Degree-of-Freedom System, T. Katayama, Mar. 1979 (No.12)
 - 40) New Types of Ground Motions for the Anti-earthquake Design of Non-building Industrial Facilities, H. Shibata, T. Shigeta, and A. Sone, Mar. 1979 (No.12)
 - 41) Comparison of Five Approximate Methods of the Nonlinear Equation of Motion, H. Goto and Y. Hangai, Mar. 1979 (No. 12)
 - 42) A Discrete Analysis on Dynamic Collapas of Clamped Beams and Rectangular Plates Loaded Impulsively, T. Kawai and Y. Toi, Mar. 1979 (No. 12)
- (田村重四郎・岡田恒男・佐藤壽芳・片山恒雄記)