

生研における耐震建築構造の研究

Researches on Earthquake Resistant Buildings in I. I. S.

田中 尚*

Hisashi TANAKA

昭和46年度から3年間行われた第一次臨時事業の中で、著者ら建築構造の研究グループは「都市構造物の耐震強度の研究」を分担した。それ以来盛んに行われてきた建築耐震構造の研究の成果と現在の研究進捗状態を概説した。

1. はじめに

岡本舜三名誉教授が生研の中で耐震工学に関心のある人達を集めて「耐震構造学研究センター」の名のもと月に1回研究発表や、情報交換の会を始められてから10年経った。建築構造関係のメンバーは、はじめは坪井善勝名誉教授・田治見研究員(日大教授)それに筆者を加えた3人であったが、その後川股(現東北工大)・岡田・高梨・半谷助教授や重信(現横浜国大)・宇田川・関助手などの若手も加わって現在に至っている。

地震国であるわが国では、建築構造の研究の大半は耐震に関係があるが、現在の設計法が静的に取扱われているために数年前までのわれわれの研究は建築物やその部材の静的挙動に関するものが多かった。耐震に直接関係のある部材や接合部の動的な強度や地震応答の研究を始めたのは比較的新しく、昭和46年度に生研内で「都市災害公害防除に関する研究」という名の臨時事業が始まり、その中で筆者らが「都市構造物の耐震強度の研究」を3年間分担してからである。それ以来の研究を中心として今進んだ耐震建築の研究を概観し併せて現況を述べる。

2. 電算機一試験機オンラインシステムの研究

構造物の地震動による弾塑性応答を調べるために通常構造物の保持している復元力特性を数式でモデル化したのち数値解析を行っている。そこでの難しさは複雑な復元力特性をいかにして簡単な数式モデルに置換えるかであるが、応答によって構造物の一部が破壊したり座屈が生じたりして復元力特性が非常に複雑になった後までも忠実に数式モデルに置換えることには困難が多い。一方、地震動による構造物の崩壊を追跡するには、どうしても破壊したり不安定になった状態における解析が不可欠で、そのために何らかの工夫が必要である。

詳細は文献1)~4)にゆずるが、オンラインシステムによる解析はそのような要求に答える一つの試みである。オンラインシステムは図-1に示すように小型計算機

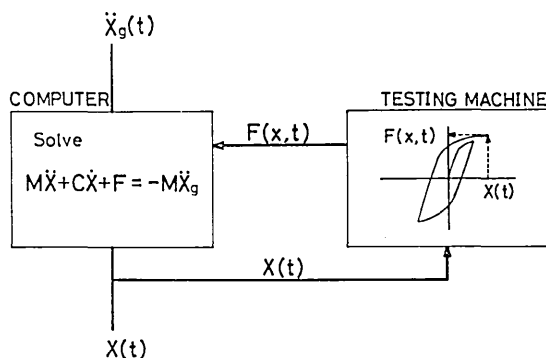


図-1 FLOW CHART OF SIMULATION

(A/D・D/A 変換器を含む)と動的破壊試験装置との二つによって構成され、デジタル計算機によって振動方程式を解く際に復元力特性Fが複雑な非線形になっても、同時に進行している動的破壊実験から常にその瞬間の復元力の値が供給されて、構造物の正確な応答が求められる。このシステムによる解析の目的として次の二つをあげることができよう。

- 1) 復元力特性の数式モデルの妥当性の検討
- 2) 復元力特性が非常に複雑でその数式モデル化が困難な構造物の地震応答を直接求める

これらの目的に沿った解析例については次項で説明するが、現在までにいくつかの構造物について十分な精度で応答結果が得られており、実物に近い試験体の崩壊に至る過程が克明に追跡されている。

3. オンラインシステムによる研究

前項で説明した設備を用いた実験的研究について述べる。

1) はり降伏型の1層1スパン骨組

この研究は大きな地震動によって鋼構造物のはりが降伏し、さらに横座屈等が発生してその復元力が劣下する場合に応答がどのように変化するか、また、どの程度の塑性変形能力を期待できるかを正弦波と記録された実地震波を入力として調べたものである。その結果復元力特性の簡単な数式モデルの適用可能な範囲や、静的単調載荷実験において求めた変形能力と応答変位量の関連が明らかにされた。^{5), 6)}

2) 柱降伏型の1層1スパン骨組

* 東京大学生産技術研究所 第5部

鋼構造物の柱が降伏する場合、存在する軸力のために復元力特性は非常に複雑になる。そのため復元力特性を簡単な数式モデルに置換することはほとんど不可能である。この研究では記録された実地震波に対する応答をオンラインシステムによって求め、現在までに提案されている2～3の復元力の数式モデルの妥当性を検討した。また高い軸力が存在すると柱の細長比が比較的大きい場合には降伏が起こるとわずかな塑性変形能力しか期待できないことを指摘した。^{7),8)}

3) はりに高力ボルト接合部を有する1層1スパン骨組

最近鋼構造物では、高力ボルト摩擦接合がひろく現場接合として用いられているが、接合部附近が降伏した場合には接合部板要素に“やせ”が生じ、そのために接合部に迂りが起こることが予想される。この接合部の迂りが地震応答にどのような影響を与えるかは十分調べておく必要がある。現在この研究の予備実験が終了し、接合部に迂りが生ずると応答変位が非常に大きくなる可能性のあることおよび迂り時に発生する大きな音が心理的パニックを起こす可能性があることなどが明らかになった。^{9),10)}

4) ブレースを有する1層1スパンの骨組

鋼構造ではブレースは重要な耐震要素であるが通常使用されているブレースは細長比が大きく、圧縮時に座屈が生じるため、ブレースを有する骨組の復元力特性は複雑である。ブレースが地震時にどのような応答を示すかを明らかにし、その設計法を確立することは重要である。したがってブレースをもつ構造物の地震応答性状を明らかにする研究を行うため現在ブレース構造の地震応答の数値解析を行い、オンライン実験の準備を進めている。

5) 2層1スパン骨組

1)～4)までは1自由度系の構造物の研究であったが2層の骨組を解析するためオンラインシステムを多自由度系にも使用できるように拡張した。

通常的设计においては弾塑性振動を数値解析するとき、いわゆる“せん断型モデル”を用いている。しかし柱がはりに比べて大きな強度を有する場合などではこの数式モデルは適切ではない。一方、設計者の立場からは“せん断型モデル”のような簡単なモデルを用いるのが便利である。そこで、簡単でしかも原骨組の挙動を適確に表現できる数式モデルをいかにして作成するかが今後の研究の課題となろう。この課題を果たすためオンラインシステムによる多自由度系の解析法の研究を行った。⁴⁾ また現在までに部材の挙動は比較的明らかになったが、部材が接合されて構造体になった場合に部材と接合部の相乗的な効果はまだ十分解明されていない。そのために今後多層骨組の応答をオンラインシステムによる解析によって解明してゆく準備を現在進めている。

6) 柱崩壊型1層鉄筋コンクリート骨組

この研究では鉄筋コンクリート骨組の弾性周期や骨組の強度と地動加速度との比率などをパラメーターとしてオンラインシステムによる解析を行い、強度・じん性・破壊性状および地震応答結果について検討を加えた。

またコンクリートと鉄筋の非線形応力・歪関係を数式モデル化して骨組の地震応答を数値解析するプログラムOS-1Dを開発し、数値解析の結果とオンライン解析の結果を比較検討した。現在までに得られた結論の主なもののは：

i) オンラインシステムによる地震応答解析の結果は従来慣用されている数式モデルによる解析の結果よりやや大きい傾向にある。

ii) 新しく提案した数式モデルを用いた数値解析の結果はオンラインシステムによる解析の結果とかなりよく一致する。

などである。

現在データの集積とプログラムOS-1Dより更に簡単な数式モデルによる解析用プログラム開発の研究などを継続して行っている。^{11)～15)}

4. 繰返し载荷による実験

1) 多数回繰返し応力を受ける鉄筋コンクリート部材の復元力

鉄筋コンクリート部材が、塑性域に入るような大きな繰返し曲げを多数回受けた場合の性質を調べる適切な解析モデルを開発するため、(1)鉄筋の圧縮・引張試験、(2)コンクリートの圧縮・引張試験、(3)鉄筋コンクリート部材の圧縮・引張試験、(4)鉄筋コンクリート柱の繰返し偏心圧縮・引張試験など、小型模型による一連の実験をサーボモーター式試験機(オートグラフ)を用いて行い、その結果得られたコンクリートと鉄筋の非線形応力・歪関係にもとづいて鉄筋コンクリート曲率関係を繰返し応力の場合も含めて解析するプログラムOS-1Sを開発した。このプログラムはその後開発した1方向地震応答用プログラムOS-1D、2方向繰返し荷重時の曲げモーメント曲率関係の計算用プログラムOS-2Sおよび2方向入力による地震応答用プログラムOS-2Dの基礎となっている。^{16)～18)}

2) 繰返し2方向曲げ・せん断力と一定軸力をうける鉄筋コンクリート柱の復元力

平面的に2方向の成分をもつ地動を受けると、建物は2方向の応答を示す。この影響は現在まだ通常の耐震設計では考慮されていないが、過去の震害例をみると、地動の2方向成分の影響を考慮しないと破壊の原因の説明が困難な場合がある。その原因を究明するため、昭和46年までに多方向から繰返し偏心圧縮力を加えた柱の模型実験と数値解析を行い、繰返し応力の方向が変化すると

一方繰返しの場合よりはるかに激しい破壊が起こって柱のじん性が劣下し、2軸曲げをうける柱の変形限界は1軸曲げ時のそれよりも小さくなることを明らかにした。この研究は実験設備がなかったために一時中断したが昨年3方向繰返し加力試験装置を試作し、同装置とアクチュエータシステムを用いて、一定動力と地震時に起こる建物の平面的な動きをシミュレートした2方向水平変位履歴とを鉄筋コンクリート柱模型に与え、その性質を調べた。結果は予想した通りで2方向地震入力を考慮した耐震設計法の確立の必要性を示すものであった。またこの実験結果は、新しく開発したプログラムOS-2Sによる数値解析の結果とも良い一致を示した。^{19)~22)}

3) 繰返し載荷をうける鋼構造部材の力学的挙動

昭和46年までに鋼構造物の塑性設計法の確立を目的とした静的な単調増加荷重に対する部材の弾塑性挙動、特に塑性状態において発生する局部座屈・横座屈の解明²³⁾とその防止法について研究²⁴⁾してきたが、昭和46年以降は変動する繰返し荷重に対する部材の応力と変形の関係、特に塑性域における復元力特性の解明および塑性化した部材に生ずる不安定現象が復元力におよぼす影響や破断の様子を調べる研究を行ってきた。その成果は次の三つに大別できよう。

i) 繰返し曲げをうけるはりの塑性変形能力^{5), 25)}

変形能力を損う横座屈現象とそれに伴う復元力の低下の関連、特に地震応答のようなランダムな外力によって横座屈が発生した場合の復元力低下量の定量的な把握を目的とする研究。

ii) 繰返し軸力をうける比較的細長比の大きい部材の塑性挙動^{26), 27)}

鉄骨造建物の耐震要素として用いられているブレース材の復元力特性の数式モデル化の研究で、ブレース付骨組の地震応答やその設計法の研究。

iii) 一定軸力と繰返し曲げをうける柱材の塑性変形能力²⁸⁾

柱が降伏する建築物の耐震性の研究で、柱材の復元力特性のモデル化の検討や、変形能力の定量的な把握のための研究。

以上の各項目について現在まで基礎的な資料は十分得られている。今後はオンライン実験の結果などと関連させて、実用的な設計法の開発を目指している。

4) 地震時の高力ボルト接合部の挙動

鋼構造部材の高力ボルトによる接合法は高力ボルトによって与えられる高い締めつけ力によって接合される板要素同志を圧着させ、その間の摩擦力によって応力を伝達させる、いわゆる摩擦接合法が用いられている。

もし接合部分の板要素が降伏すると、塑性変形によって、起こる接合板要素の“やせ”によって締めつけ力が弛緩して摩擦力が低下し、すべりが生じやすくなること

が指摘されている。地震応答によって接合部が繰返し力をうけて降伏する場合にはさらにすべりが生じやすくなると予想される。

そこで、まずボルト接合部の繰返し曲げ試験によってすべり発生の有無やすべり発生後の復元力特性を調べ²⁹⁾、さらに別項〔3, (3)〕で説明したオンライン実験によってすべりの生ずる接合部の応答性状を究明する目的で、現在まですでに予備的な実験が終了し、本実験を計画しつつある。⁹⁾

5. 鉄筋コンクリート造耐震壁の耐震効果

鉄筋コンクリート造建物の耐震性を向上させるには耐震壁を有効に配置することが最も効果的な手段の一つであることが知られているが、その量あるいは配置方法が建物の耐震性に及ぼす影響はかなり複雑である。この複雑な特性をできるだけ簡略化した数式モデルで解明するため、建物を耐震壁の性質を代表する非線形復元力モデルと骨組の性質を代表する復元力モデルとの並列結合で表現し、パラメトリックな地震応答数値解析を行い、壁の量と建物に必要とされる水平強度の関数に関する提案を行い、つづいて鉄筋コンクリート立体骨組中のいろいろな位置に耐震壁を配置した小型模型を作り、振動台による破壊実験を行って、その結果と数式モデルによる解析の結果との比較検討を行った。^{30), 31)}

6. 鉄筋コンクリート造建物の耐震設計法および耐震性評価法の開発

岡田助教授は生研で行ってきた基礎研究を背景として実用的な設計法および耐震性評価法の開発を目的として、所外の多くの委員会や研究会に参加して設計法の提案と耐震性評価法の開発を行ってきた。

耐震設計法の提案に関しては、文献32・33・34がその主なものである。耐震性評価法に関しては、日本学術振興会と米国NSFとの協力研究の一環として、カルフォルニア大学パークレイにおいて1973-1974にBresler教授・Penzien教授と共同で実在鉄筋コンクリート建物の耐震性評価法の開発に従事して成果を挙げた。^{35), 36)}また現在建設省において同じ目的で耐震診断法の開発が進められているが、岡田助教授はその原案作成小委員会の主査を務めている。

7. 振動減衰機構の開発研究

振動減衰機構を積極的に構造物内に組み込んで、人工的に構造物の耐震性を改善しようとする試みは過去にも種々行われたが、実用化された例は少ない。この開発研究の目的は、地震動に対する構造物の応答量を低減するための振動減衰機構を開発することである。

開発した装置は1対のペローズ容器のなかに液体を封

入したものを管で連絡し、構造物の振動にともなって管中の液体が高速運動をするように構造物に組み込んだものである。この新しい形の液体容器はポンプ作用による液体の高速運動に基づくエネルギーによって、見かけ上大きな質量効果を振動系に及ぼすので「質量ポンプ」と名付けた。構造物の振動応答の低減は、この質量ポンプのもつ質量効果と液体の流動にともなう粘性抵抗による減衰効果が相乗的に発揮される結果として現われるものである。

以上のことを確かめるため模型実験を行い、振動減衰機構のもつ質量効果と減衰効果を適当に組合わせることにより、固有周期の調節・応答振幅の全般的低下・減衰力の付与による共振振幅の低下などが可能となり、地震時の振動の抑制のみならず機械の防振にも役立ち得ることを実証した。^{37), 42)}

8. 十勝沖地震における建築物の被害調査と被害原因の解析

1968年5月16日に青森県ならびに北海道を襲った十勝沖地震では、建築物に多くの被害を生じた。生研調査団建築班は、八戸市・三沢市・むつ市・函館市・青森市などにおける建築物の被害の概況調査ならびに八戸市における鉄筋コンクリート造建物2例(八戸市庁舎・八戸市立図書館)の詳細調査を1週間にわたり行った。

その後調査の結果に基づき、八戸市庁舎および八戸市立図書館の詳細な応答解析を行い、被害原因の推定や慣用の耐震設計法の問題点の指摘などを行った。調査ならびに解析結果は文献^{43)~49)}に発表した。これらの一連の調査・研究はその後の生研における建築物の耐震に関する研究方針に大きな影響を与えた。

9. おわりに

以上生研における耐震の研究のうち建築関係の分について概況を説明したが、記述が抄録集のようになってしまったことをお詫びすると共に直接耐震工学に関連しない研究は振動に関するものでも省略したことをお断りしておく。なお終わりに本文をまとめるに当たってご協力を頂いた岡田・高梨・半谷の3助教授に厚く御礼申し上げます。

(1977年2月25日受理)

参考文献

- 1) K. Takanashi, K. Udagawa, M. Seki, T. Okada and H. Tanaka: "Non-linear Earthquake Response Analysis of Structures by a Computer-Actuator on-line System", ERS Bulletin No.8, 1974
- 2) Earthquake Resistant Structure Research Center: "Dynamic Testing Facilities", ERS Bulletin, No.9, 1975
- 3) 高梨晃一, 宇田川邦明, 関松太郎, 岡田恒男, 田中尚「電

- 算機-試験機オンラインシステムによる構造物の非線形地震応答解析」日本建築学会論文報告集229号 1975.3
- 4) 田中尚「構造物非線形振動解析のための小型電算機-試験機オンラインシステム」東京大学・生産研究27巻12号, 1975.12
- 5) 宇田川邦明「H形鋼はりの回転能力に関する実験的研究」東京大学学位論文 1976.11
- 6) K. Takanashi, K. Udagawa and H. Tanaka: "A Simulation of Earthquake Response of Steel Buildings 6-WCEE New Delhi, 1977.1
- 7) 高梨晃一, 宇田川邦明, 関松太郎, 田中尚「電算機-試験機 オンラインシステムによる構造物の地震時崩壊の解析」東京大学・生産研究26巻11号 1974.11
- 8) 笠井政之「H形鋼柱の地震応答に関する研究」東京大学修士論文 1977.2
- 9) K. Takanashi, K. Udagawa and H. Tanaka: "Behavior of Bolted Joints in Earthquake Excitation", ERS Bulletin No.10, 1976
- 10) 高梨晃一, 宇田川邦明, 田中尚「地震時におけるボルト接合の挙動」東京大学・生産研究29巻5号, 1977.5
- 11) 関松太郎, 岡田恒男「鉄筋コンクリート建物の電算機-試験機オンラインシステムによる地震応答解析, その1. 柱崩壊型鉄筋コンクリート1層建物」日本建築学会大会学術講演梗概集, 1975
- 12) 岡田恒男, 関松太郎「電算機-アクチュエータ-オンラインシステムによる鉄筋コンクリート建物の非線形地震応答解析(柱崩壊型1層建物 その2)」第22回構造工学シンポジウム, 1976.1
- 13) 関松太郎, 岡田恒男「鉄筋コンクリート建物の電算機-試験機オンラインシステムによる地震応答解析, その3. 柱崩壊型鉄筋コンクリート1層建物」日本建築学会大会学術講演梗概集, 1976
- 14) T. Okada and M. Seki: "A Simulation of Earthquake Response of Reinforced Concrete Buildings by Computer - Actuator On-line System" ERS Bulletin, No.9, 1975
- 15) T. Okada and M. Seki: "A Simulation of Earthquake Response of Reinforced Concrete Buildings" A paper submitted to the 6-WCEE, New Delhi, India, 1977
- 16) 岡田恒男, 関松太郎, 伊藤秀夫「鉄筋コンクリート部材の復元力特性」東京大学・生産研究25巻2号, 1973
- 17) 関松太郎, 岡田恒男「鉄筋コンクリート部材の復元力特性(第2報)」東京大学・生産研究26巻2号, 1974
- 18) 岡田恒男, 関松太郎, 伊藤秀夫「多数回繰返し応力をうける鉄筋コンクリート部材の復元力」I, II, III, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1972
- IV, V, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1973
- 19) 岡田恒男, 伊藤秀夫「多方向繰返し偏心圧縮力をうける鉄筋コンクリート柱の復元力」日本建築学会大会学術講演梗概集, 1970
- 20) 伊藤秀夫, 岡田恒男「鉄筋コンクリート柱の変形限界-軸力と対角線方向の曲げを受ける場合」日本建築学会関東支部学術研究報告集, 1971
- 21) 岡田恒男, 関松太郎, 浅井敏司, 岡田健良「定軸力と繰返し2方向曲げ・せん断力を受ける鉄筋コンクリート柱の復元力」その1およびその2 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1976
- 22) T. Okada, M. Seki and S. Asai: "Response of

- Reinforced Concrete Columns to Bi-directional Horizontal Force and Constant Axial, "ERS Bulletin, No.10, 1976
- 23) K. Takanashi : "Plastic Buckling and Post-Buckling Behavior of Steel Plates," Report of I.I. S. Univ. of Tokyo, Vol. 20, No.4, 1970.10
- 24) K. Udagawa, M. Saisho, K. Takanashi, H. Tanaka "Experiments on Lateral Buckling of H-Shaped Beams Subjected to Monotonic Loadings," Trans. of A. I. I., No.212, Oct., 1973
- 25) K. Takanashi, K. Udagawa and H. Tanaka "Failure of Steel Beams due to Lateral Buckling under Repeated Loads" IABSE Symposium, Lisbon 1973.9
- 26) 重信恒雄, 田中尚「繰返し軸力をうける鋼部材の復元力特性に関する研究」東京大学・生産研究
- 27) 重信恒雄, 田中尚「繰返し荷重をうける筋違構造の復元力履歴モデル」第22回構造工学シンポジウム, 1976.1
- 28) 高梨晃一, 宇田川邦明, 田中尚「軸力と繰返し曲げをうけるH形鋼柱の変形能力」日本建築学会関東支部学術研究報告集, 1976
- 29) 高梨晃一「過大孔を有する高力ボルト摩擦接合に関する研究」鋼材倶楽部・鉄骨加工制度と強度に関する研究委員会資料, 1976.10
- 30) 久野雅祥, 岡田恒男「耐震壁をもつ低層鉄筋コンクリート建物の地震応答 — 1 質点壁・フレーム並列系の応答」日本建築学会関東支部研究報告集, 1975
日本建築学会大会学術講演梗概集, 1975
- 31) 久野雅祥, 岡田恒男, 関松太郎「鉄筋コンクリート立体模型の振動破壊実験 — その1 — 1 層純ラーメン」日本建築学会大会学術講演梗概集, 1976
- 32) 梅村魁編著「鉄筋コンクリート建物の動的耐震設計法」技報堂, 1973
- 33) T. Okada : "A Proposal for Preliminary Seismic Design of Reinforced Concrete Low-rise Buildings," A paper presented to the US-Japan Seminar on the Seismic Safety of Concrete Structures, Berkeley, California, U. S. A., 1973
- 34) 日本建築学会「地震荷重と建築構造の耐震性 (1976)」1977.1
- 35) T. Okada, B. Bresler : "Strength and Ductility Evaluation of Existing Low-rise Reinforced Buildings - Screening Method" EERC Report, 76-1, Earthquake Engineering Research Center, University of California Berkeley, California, U. S. A.
- 36) 岡田恒男, B. Bresler 「同上邦文抄訳」コンクリート工学 Vol. 13, No.12, 1975
- 37) 川股重也, 米田護, 半谷裕彦「耐震ダンパーに関する研究 (第1報) 自由振動および起振実験」生産研究, 25巻3号, 1973.3
- 38) 川股重也, 半谷裕彦, 米田護, 金沢京子「制振機構に関する研究, その1~3」日本建築学会大会学術講演梗概集, 1973
- 39) 川股重也, 米田護, 半谷裕彦, 金沢京子「耐震ダンパーに関する研究 第2報 起振実験および振動台実験」生産研究, 25巻11号, 1973.11
- 40) S. Kawamata, M. Yoneda and Y. Hangai : "Development of a Vibration Control System for Structures by means of Mass Pump" ERS Bulletin No.7, 1973
- 41) 川股重也, 米田護, 半谷裕彦「振動減衰機構の開発研究」生産研究, 26巻11号, 1974.11
- 42) 川股重也「制振機構の研究 — 質量ポンプを用いた新しい防振装置の提案」日本造船学会誌, Vol. 547, 1975.1
- 43) 田中尚, 岡田恒男「十勝沖地震における建築物の被害 (主として八戸市の鉄筋コンクリート造建物について)」生産研究, 20巻12号, 1968.12
- 44) 田中尚, 岡田恒男「十勝沖地震により被害をうけた八戸市立図書館の解析」生産研究, 21巻6号, 1969.6
- 45) 岡田恒男, 村上雅也, 宇田川邦明, 西川孝夫, 大沢胖, 田中尚「1968年十勝沖地震による八戸市立図書館の被害に関する考察」日本建築学会論文報告集, 第167号, 1970.1
- 46) 西川孝夫, 宇田川邦明, 村上雅也, 岡田恒男, 大沢胖, 田中尚「1968年十勝沖地震による八戸市庁舎の被害に関する考察」日本建築学会論文報告集, 第169号, 1970.3
- 47) T. Okada, M. Murakami, K. Udagawa, T. Nishikawa, Y. Osawa and H. Tanaka : "Analysis of the Hachinohe Library Damaged by '68 Tokachi-oki Earthquake" Bulletin of ERS, Earthquake Resistant Structure Research Center, Institute of Industrial Science, University of Tokyo, 1969.12
- 48) 「1968年十勝沖地震災害調査報告」日本建築学会, 1968 (田中尚, 岡田恒男が1部執筆)
- 49) "General Report on the Tokachi-oki Earthquake of 1968" Editorial Committee of "General report on the Tokachi-oki Earthquake," Keigaku Publishing Co., Ltd, 1971 (岡田恒男が1部執筆)