

第3章 研究の促進, 成果の公開および総合化

3.1 研究の促進

3.1.1 分科会, 研究班会議の開催

分科会, 研究班会議の開催実績を表-3 に示す.

表-3 分科会， 研究班会議の開催実績

分科会・ 研究班	研究テーマ	主査/ 座長	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
第一分科会	総合的検討	濱田 政則		第1回 1999/7/30		第2回 1999/9/30			第3回 1999/12/15			第4回 2000/3/27
第2分科会	耐震性評価のための 支援技術の開発	清水 信行		準備回 1999/7/3	第1回 1999/8/24			第2回 1999/11/12				
研究班A	耐震調査手法	山本 鎮男				第1回 1999/9/8			第2回 1999/12/16		第3回 2000/3/13	第4回 2000/3/27
研究班B	計測・処理・加震技術	清水 信行	第1回 1999/6/19	第2回 1999/7/6 第3回 1999/7/17								第4回 2000/3/29
研究班C	人体被災計測	熊谷 良雄				第1回 1999/9/7		第2回 1999/11/18	第3回 1999/12/23		第4回 2000/2/29	
第3分科会	構造物の破壊過程に 関する研究	家村 浩和				第1回 1999/9/7			第2回 1999/12/1			第3回 2000/3/28
研究班A	脆性破壊	小川 信行					第1回 1999/10/26			第2回 2000/1/21		第3回 2000/3/28
研究班B	構造物構成要素の耐 震性能	福田 敏文						第1回 1999/11/11				
研究班C	最適補強法	田村 敬一				第1回 1999/10/19						第2回 2000/3/14
研究班D	次世代高性能橋脚	運上 茂樹							第1回 1999/12/1	第2回 1999/12/17	第3回 2000/1/31	
第4分科会	地盤基礎	三浦 房紀			第1回 1999/8/24					第2回 2000/1/6		第3回 2000/3/29
研究班A	大規模地盤の作成	水野 二十 一			第1回 1999/8/25				第5回 1999/12/22		第6回 2000/2/10	第7回 2000/3/13
研究班B	側方流動	濱田 政則				第1回 1999/9/13						
研究班C	杭基礎	三浦 房紀				第1回 1999/9/14						第2回 2000/3/29

3.1.2 研究進捗状況ヒアリングの実施

研究遂行上の問題点、今後の研究の進め方について討議するとともに、総合研究全体としての統合化について調整するために、受託研究機関を対象にヒアリングを行った。議事録を以下に示す。

(1) 試験体の動特性および破壊を考慮した加振手法の高度化(2B-1)

(a) 担当機関 科学技術庁防災科学技術研究所，いわき明星大学

(b) 日 時 2000年2月23日 13:00～13:40

(c) 出席者 小川，佐藤（防災技研），濱田，高橋 （敬称略）

(d) 議 事

① 本年度成果と来年度以降の予定

- ・試験体の破壊が振動台に与える影響を把握し、想定した望ましい地震波形で振動実験が行える入力制御手法の開発を目的としている。実験を数多く行い、習熟することで技術が身に付くと考えている。
- ・構造物の破壊挙動を模擬し、繰り返し模擬破壊試験が実現できる可変剛性型試験模型装置を製作し、性能検査を実施中である。可変剛性にはMRダンパーを用いている。バイリニアの剛性変化を模擬しているが、精度の高い剛性変化、再現性が課題である。
- ・2次元継手試験装置（小型2次元振動台）の改良として、以下を実施した。
制御プログラムやデータ解析に用いる数値解析プログラムの開発
制御が容易で精度が高いデジタル制御装置及びアクチュエータの製作
- ・データ収録装置及び変位計，加速時計の製作，購入を行った。
- ・予備実験として，ピロティ崩壊実験を行った。

② 指摘事項

- ・「大規模実験における計測・処理手法の高度化」の実験で利用することを検討する。

(2) 大規模実験における計測・処理手法の高度化(2B-2)

(a) 担当機関 科学技術庁防災科学技術研究所，東京電機大学

(b) 日 時 2000年2月22日 15:00～16:00

(c) 出席者 小川，御子柴，加藤，佐藤（防災技研），濱田，高橋 （敬称略）

(d) 議 事

① 本年度成果と来年度以降の予定

- ・既存の計測手法（センサー）で計測できない大変形の計測を目的としている。
- ・画像処理方式については装置の購入（2セット）とソフトウェアの開発を行った。計測精度は、毎秒200コマの撮影でcmオーダーである。目標精度はmmオーダーである。2000年10月頃に性能評価試験を行う予定である。
- ・電波を利用する方式については技術調査を行った。反射波（ゴースト）の問題があるが、技術的可能性について更に検討する。
- ・振動台入力エネルギー計測手法はアクチュエーターの差圧と振動台の動きとから試験体に入力されたエネルギーの総和を把握し、破壊との関係を明確にすることを

目的としている。

② 指摘事項

- ・大変形計測については他の研究機関が実施する実験での適用を検討する。
- ・振動台入力エネルギー計測については目的及び成果の活用方法を明確にする。

(3) 大規模破壊実験における人体被災計測手法の開発(2C)

(a) 担当機関 科学技術庁防災科学技術研究所, 筑波大学

(b) 日 時 2000年2月23日 13:40~14:20

(c) 出席者 小川, 佐藤 (防災技研), 濱田, 高橋 (敬称略)

(d) 議 事

① 本年度成果と来年度以降の予定

- ・家屋倒壊が人体被災に及ぼす影響を調べることが目的である。
- ・収集した約5,000例の人体被災データをもとにデータベースを設計し, 現在データを入力中である。これまでに約1,000例を入力した。3月下旬には全データを入力する予定である。

② 指摘事項

- ・データベースを作成することは, データを後世に残すということでは意味あることであるが, 家屋倒壊が人体被災に及ぼす影響を調べるという目的に対し, 全データを整理する必要があるかを検討する。
- ・破壊過程解明, 地震防災性向上という本プロジェクトの目的に対し, どのような貢献ができるのかを検討しておく必要がある。
- ・部分的な人体模型でもよいから実験を行うことを検討する。(平成12年度に計画し, 平成13年度に実験を行う。)

(4) 大型鋼構造物の動的解析および部材・骨組試験(3A-1)

(a) 担当機関 科学技術庁防災科学技術研究所, 日本大学

(b) 日 時 2000年2月23日 14:20~15:00

(c) 出席者 小川, 佐藤 (防災技研), 濱田, 高橋 (敬称略)

(d) 議 事

① 本年度成果と来年度以降の予定

- ・阪神・淡路大震災における鋼構造物の被害の調査, 検討結果を基に, 平成13年度に実施する大型振動台による損傷実験の計画を検討した。また, 実験モデルの解析に用いる構造解析ソフトウェアの更新, 振動実験で使用する光学式変位計を購入した。平成12年度は平成13年度の実験準備として, 慣性加振装置, 破損個所防護ジグ等を設計製作する。
- ・エネルギー吸収要素に用いる鋼素材の靱性とエネルギー吸収能力・破壊性状の関係を結びつけることを目的として, 要素の破壊実験を行った。今後も引き続き, 条件を変えて実験を行う予定である。

② 指摘事項

- ・部分架構の試験体柱に軸力を入れることを検討する。

- ・エネルギー吸収要素については建設各社から提案されている類似のものも参考に
する。
- ・接合部仕様の提案ができるとうい。

(5) 鋼材の動的強度および靱性評価法の研究(3A-2)

- (a) 担当機関 科学技術庁金属材料研究所, 大阪府立大学
 (b) 日 時 2000年3月15日 17:00~18:00
 (c) 出席者 竹内(金材研), 濱田, 高橋 (敬称略)
 (d) 議 事

① 本年度成果と来年度以降の予定

- ・阪神・淡路大震災では, 鋼構造物に脆性破壊が生じた。これまで, シャルピー試験により靱性評価を行ってきたが, 実構造物ではシャルピー試験で得られる靱性よりも小さいことがわかっており, 靱性評価法の見直しが必要とされた。本研究では, 動的及び静的載荷試験を行うとともに破面解析を組み合わせることにより実大構造物と小型試験片との間を関係づける靱性評価法を開発することを目的としている。
- ・靱性評価法として, 延性亀裂の幅(深さ)で整理すると旨くいきそうであるとの感触を得ている。
- ・来年度は試験温度等の条件を変更して試験を行い, 上記仮説の真否を確認する予定である。
- ・脆性破壊のメカニズムがわかれば, 新たな材料開発につながる可能性がある。

② 指摘事項

- ・第Ⅱ期に移行するためには分かり易い成果を出す必要がある。
- ・大阪府立大学が実施している研究内容と調整をとる。

(6) 鉄筋コンクリート部材の損傷評価, 鉄筋コンクリート架構の損傷評価(3B-1,2)

- (a) 担当機関 建設省建築研究所, 京都大学, 東京大学
 (b) 日 時 2000年3月15日 15:00~16:30
 (c) 出席者 福田(建研), 濱田, 高橋 (敬称略)
 (d) 議 事

① 本年度成果と来年度以降の予定

- ・鉄筋コンクリート架構の損傷評価として, ピロティ形式6階建て構造物のサブストラクチャー加動的実験を行い, 併せて行った解析との比較検証を行った。解析結果は実験結果を精度よく表していた。
- ・京都大学で行う部材損傷評価試験(拘束コンクリートの圧縮試験)結果は架構構造物の解析を行う際のインプットデータとして使用できる。柱梁接合部の実験は建築物の耐震性を向上させる工法(接合詳細)の開発に役立つ。
- ・東京大学が行う地震観測は地盤-構造物の相互作用を検討する際に有用な情報を提供する。
- ・来年度, 防災研の振動台を利用して1/3スケールの架構モデルの振動実験を行う予

定である。

② 指摘事項

- ・地震観測の目的を明確にする必要がある。
- ・地震観測については、台湾の地震の際に観測された台湾中興大学のデータを活用することを検討する。

(7) 基礎—地盤との連成を考慮した橋脚の破壊過程の実験的検討(3C-1)

(a) 担当機関 建設省土木研究所

(b) 日 時 2000年2月23日10:00~11:00

(c) 出席者 田村, 小林, 運上, 星隈 (土研), 濱田, 高橋 (敬称略)

(d) 議 事

① 本年度成果と来年度以降の予定

- ・本年度研究の第一目標は、振動台上に地盤—基礎構造物の模型を設置して行うハイブリッド実験手法を確立し、その適用性、有効性を確認することである。
- ・実橋梁を想定し、橋脚—基礎の設計を行った。また、1/4スケールの模型を製作及び振動解析を実施した。
- ・模型の解析を行ったところ、ハイブリッド振動実験装置の改造が必要であることが判明したため、実験装置の改造を行った。

② 指摘事項

- ・鹿島建設が担当する解析と連携をとって進める。

(8) 合成構造を用いた次世代高性能橋脚の開発(3D)

(a) 担当機関 建設省土木研究所, 京都大学

(b) 日 時 2000年2月23日11:00~12:00

(c) 出席者 田村, 小林, 運上, 星隈 (土研), 濱田, 高橋 (敬称略)

(d) 議 事

① 本年度成果と来年度以降の予定

- ・損傷度, 補修・復旧性という観点からその性能に優れた新しいタイプの橋脚構造形式を提案することを目標にしている。
- ・今年度は以下の3通りの構造を提案し、性能確認のための基礎的実験を行った。
 - 1)従来 of RC 橋脚にアンボンド高強度芯材を導入することにより、強震後の耐震性能を向上できる構造
 - 2)塑性ヒンジに生じる損傷レベルの低減を図ることを目的として、塑性ヒンジ領域において作用モーメント分布に応じて断面耐力を変化させ、断面の曲げ塑性変形がより広い領域で生じるようにした構造
 - 3)軸方向鉄筋のフーチングへの定着を上面側で一部区間アンボンドすることにより、軸方向鉄筋の伸び出しに伴う基部の回転を生じやすくした構造
- ・来年度はこれら構造に対する解析手法の解析を行う。また、取り替えが容易な部位に塑性ヒンジを誘導する構造についての研究を行う。

② 指摘事項

- ・特許申請することを検討する。

(9) 大規模地盤の振動実験における地盤作成法・計測技術の開発(4A-1)

- (a) 担当機関 科学技術庁防災科学技術研究所
- (b) 日 時 2000年2月22日16:00～17:00
- (c) 出席者 小川, 御子柴, 加藤, 佐藤 (防災技研), 濱田, 高橋 (敬称略)
- (d) 議 事

① 本年度成果と来年度以降の予定

- ・液状化地盤の変位計測については計測装置を試作した。回転角を計測することにより変位を算定するため、慣性力の影響を受けず、加振中の変位計測も可能である。3月にシステムの性能試験を予定している。平成12年度は、平成13年度に実施する大規模地盤実証実験を行うための設計製作を行う。
- ・飽和度の計測手法として、圧電型パルス発生装置と水中マイクを用いたP波速度計測手法を提案した。大型三軸試験装置を用いて、飽和度(B値)とP波速度との関係を調べたところ、うまくいくことがわかった。平成12年度は、平成13年度に実施する大規模地盤実証実験の準備を行う。
- ・大規模地盤の作成法については A)振動スクリーンを用いた脱泡, B)ボイリング, C)超音波による付着気泡の除去, D)水温上昇による気泡の除去 の手法を検討しており、3月に実験を行う予定である。今年度中に最適な手法を選定する。有望と考えられる振動スクリーンを用いた脱泡手法についてはスクリーンの振動速度、目の粗さ等をパラメータにした検討を行う。平成12年度は、平成13年度に実施する大規模地盤実証実験を行うための設計製作を行う。

② 指摘事項

- ・三木市に建設する実大三次元震動破壊実験施設で実験を行う際に不可欠な技術であるため、実用的な成果を出す必要がある。
- ・実際に地盤模型実験を行う他の研究機関(早稲田大学, 港湾技研, 農工研, 山口大学)及び地盤ひずみ計測システムの研究を行っている京都大学を交えて議論を行う必要がある。
- ・農工研が計画している音響トモグラフィー, 比抵抗を用いた地盤の均質性調査法や資源環境技研が行っている比抵抗を利用した相対密度測定法などと併せて研究を進める。

(10) せん断土槽を用いた三次元地盤実験手法の開発(4A-2)

- (a) 担当機関 農林水産省農業工学研究所
- (b) 日 時 2000年2月22日13:00～14:30
- (c) 出席者 毛利 (農工研), 濱田, 高橋 (敬称略)
- (d) 議 事

① 本年度成果と来年度以降の予定

- ・今年度は二次元せん断土槽を設計・開発し、機械的な特性評価を実施した。
- ・このせん断土槽を用いて、飽和地盤の振動実験を行い、埋設構造物の浮上現象と加

振入力波の関係を把握した。

- ・作成したせん断土槽はリング質量が大きく、地盤に付加的な荷重が作用している可能性があるため、リング質量を軽量化したせん断土槽を作成中であり、これを用いた実験からリング慣性力の影響を明らかにする予定である。
- ・来年度以降、作成された地盤の不均質性が振動性状に及ぼす影響を把握する研究を行う。不均質性の把握にトモグラフィーを適用する研究を実施する予定である。
- ・また、二次元せん断土槽を用いた液状化実験へと進めていく予定である。

② 指摘事項

- ・防災科研が行っている地盤作成や飽和度測定の研究と連携を取って進める。
- ・研究の内容をせん断土槽の作成で終わらせることなく、せん断土槽を用いた実験へとシフトしていく。
- ・不均質性の把握に音響トモグラフィーを適用する研究には成果があがることを期待したい。マイアミ大学・山本先生の研究成果を参考にする（後日資料送付）。

(11) 液状化および側方流動による杭基礎の破壊過程の解明(4C)

- (a) 担当機関 港湾技術研究所, 山口大学
(b) 日時 2000年2月25日 15:45~17:00
(c) 出席者 上部, 菊池(港研), 濱田, 高橋 (敬称略)
(d) 議事

① 本年度成果と来年度以降の予定

- ・流動化した地盤が杭に与える影響を、群杭効果や杭に作用する土圧の大きさに着目して静的な実験により検討している。来年度以降は振動実験を予定している。
- ・山口大学では杭の載荷実験、遠心載荷場における実験を行っており、それらの結果を踏まえて来年度は杭の破壊過程を表現可能なソフトウェアを開発する予定である。

② 指摘事項

- ・山口大学との研究内容の調整を行う。

3.2 研究成果の公開

3.2.1 ニュースレターの発行およびホームページの開設

(1) ニュースレターの発行

本年度は第1～3号のニュースレターを発行した。ニュースレターは和文、英文のものを作成し、国内約550名、海外約180名に送付した。

次ページ以降に和文のニュースレターを示す。

科学技術振興調整費

「構造物の破壊過程解明に基づく生活基盤の地震防災性向上に関する研究」

研究を始めるに当たって

科学技術会議の基本方針に沿った国家プロジェクトとしての重要な研究分野を総合的に推進するための経費である科学技術振興調整費において、平成11年度の総合研究新規課題として科学技術庁防災科学技術研究所/土木学会/建設省建築研究所が中心となって提案した「構造物の破壊過程解明に基づく生活基盤の地震防災性向上に関する研究」(研究代表者:濱田政則(早稲田大学))が採択されました。この課題は、平成10年度の科学技術振興調整費でフィージビリティスタディー(FS)として採択された防災科学技術研究所/建築研究所が提案した課題、及び土木学会が提案した課題の2つを、両課題FSの調査推進委員会の指摘を的確に反映し、1つの課題に統合して再提案されたものです。

FSとして採択された2つの課題は、いずれも、1995年に起こった兵庫県南部地震による、想像もしなかった大きな被害が、私たち地震工学、都市防災の研究者、実務家に与えた、強烈なインパクトから生まれたものでした。1つは、国立試験研究機関が中心となって提案し、もう1つは、学会が提案したということで、それらの性質の違いはありましたが、どちらに所属する関係者も、地震の直後には「自己嫌悪」に近いものを感じていたことに変わりはありませんでした。

防災科学技術研究所が中心となって提案した「大地震時における構造物等の破壊過程解明のための試験体設計及び解析に関する研究」は、「日本の構造物だって惨めに壊れるのだ」という観点から、現有の施設を高度に利用すれば、各種の構造要素や構造物モデルが強い地震の揺れによって「どのように」「どこまで」壊れるのか、そして「なぜそんな破壊が起こるのか」をもっと明らかにできるはずだ、というところに重点を置いたものでした。政府の審議会の答申¹⁾でも、実物大構造物を対象とする破壊挙動の研究が特に重要であり、本当の破壊過程を予測するためには、大型で3次元に動く震動台の開発が必要であることが指摘されていましたから、そのような施設の整備を念頭においた研究計画でもありました。

他方、土木学会の提案、「都市基盤施設の地震防災性向上に関する研究」は、学会の研究グループからの提案ということで、むしろ阪神・淡路大震災を契機にして、都市基盤施設の地震防災性を向上させるための考え方をきちんと整理したいという点に重点が置かれていました。すなわち、強烈な地震動の性質、限界状態を考慮した設計法、地震前における構造物の耐震診断と補強、地震後の残存強度の評価と復旧といった流れの中で、研究課題を抽出し、具体的な研究方法を提示することに力点を置いていました。阪神・淡路大震災の直後から、土木学会は、新しい耐震設計のいわば哲学に関してきわめて積極的に発言していましたから、土木学会の提案はまさにその延長上に位置するものでした。

新しい提案は、三本の柱を中心に組み立てられています。その一つは、「構造物の破壊過程に関する研究」です。二つめは、「基礎・地盤系の非線形挙動と破壊過程に関する研究」です。大規模地盤模型の作成技術の開発は、2本目の柱の中の研究課題として位置付けましたが、3本目の柱である「支援技術の開発」として捉えてもよ

い研究課題です。ここでいう支援技術は、大型震動台の高度利用のための支援技術と効率的な耐震診断を可能にするための支援技術の両者を含みます。また、これらの研究は実大三次元震動破壊実験施設²⁾を用いた耐震研究等にもつながるものと期待されます。

本研究課題が採択されたことによって、1年あたり3億円弱の研究費が3年間にわたって頂けることになります。しかし、これまでに述べた研究課題のすべてを実施するとなると、3億円では足りないことは明らかです。実際の研究計画を立てる段階で、「こんなはずではなかった」と思われる研究者の方々もおられるでしょう。贅沢を言っているいきりはありません。せつかくのチャンスなのです。研究費の無駄のない執行で、できるかぎりの成果を挙げようではありませんか。

研究推進委員会委員長
科学技術庁防災科学技術研究所所長 片山恒雄

参考文献

- 1) 「地震防災研究基盤の効果的な整備のあり方について」（諮問第24号）に対する答申，平成9年9月3日
航空・電子等技術審議会
- 2) <http://www.miki.riken.go.jp/>

プロジェクトの目的

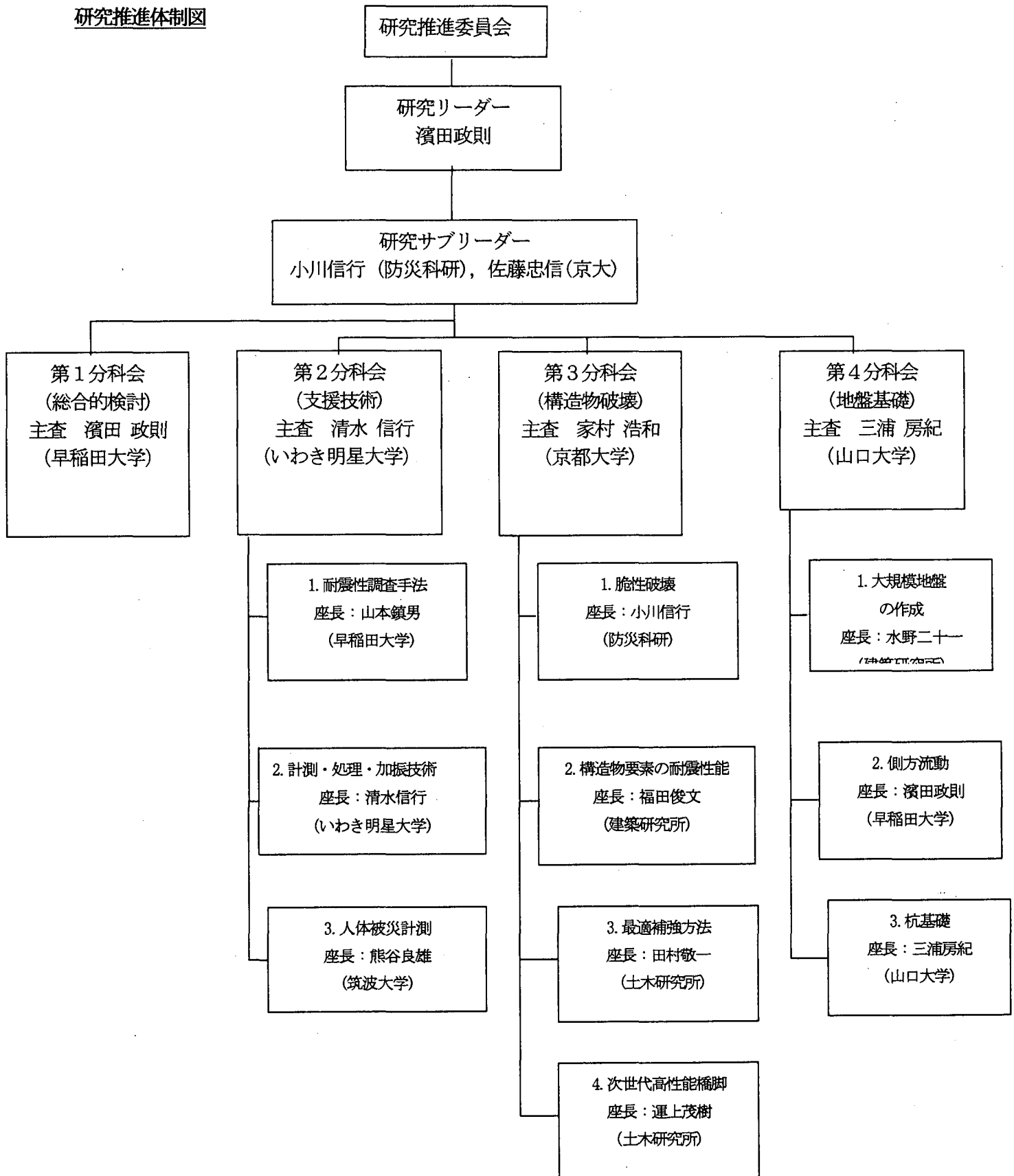
1995年兵庫県南部地震および1994年ノースリッジ地震は、大都市近傍域で発生するマグニチュード7クラス以上の地震の破壊力をあらためて示し、都市域の地震防災性を考える上で、断層近傍域で発生する強地震動を考慮する必要性が強く認識されました。これまでも都市を構成する社会基盤施設や建物の耐震性を高めるため、兵庫県南部地震以後、関係機関において、神戸で観測されたような強震動、いわゆるレベル2地震動を想定した各種構造物・施設の耐震基準の改訂が行われてきました。しかしながら、構造物の塑性領域での挙動や破壊過程に関しては十分な知見が得られておらず、今後より合理的な耐震設計を考えるためにはこれらを解明していくことが必要です。

また、我が国の都市圏には既に膨大な数の既存構造物・施設が存在します。これらの中には建設後数十年を経過し老朽化が危惧されているもの、および旧来の耐震設計基準によって建設されたため強地震動に対して耐震性が不十分な構造物も数多くあります。都市圏の地震防災性を向上させるためには、既存構造物の残存強度と振動特性などの耐震性調査法の開発と耐震補強技術の開発が急務です。

以上のような現状認識にたつて、本研究プロジェクトでは高精度の加振手法、計測・処理技術の開発を行うとともに、現有の実験施設を用いて強地震動に対する構造物の塑性域での挙動及び破壊に至る過程解明のための技術的知見の集積を行い、構造物の大規模破壊実験のための破壊過程を考慮した実験技術・評価手法の高度化を図ります。そして、これらの成果は現在建設中の実大三次元震動破壊実験施設を用いた研究プロジェクトへと引き継がれ、世界的にも本格的な耐震実験研究が開始されることでしょう。

研究リーダー
早稲田大学理工学部土木工学科教授 濱田政則

研究推進体制図



研究推進委員会名簿

- ◎片山恒雄 科学技術庁防災科学技術研究所 所長
 - 秋山 宏 日本大学理工学部 教授
 - 石原研而 東京理科大学理工学部 教授
 - 上部達生 運輸省港湾技術研究所 構造部長
 - 佐藤壽芳 中央大学理工学部 教授
 - 佐藤忠信 京都大学防災研究所 教授
 - 清水信行 いわき明星大学理工学部 教授
 - 高橋祐治 鹿島建設(株) 土木設計本部設計技術部 設計長
 - 濱田政則 早稲田大学理工学部 教授
 - 林 春男 京都大学防災研究所 教授
 - 平田和太 電力中央研究所我孫子研究所 上席研究員
 - 保田雅彦 建設省土木研究所 耐震技術研究センター長
 - 山内泰之 建設省建築研究所 研究調整官
- (五十音順) ◎ 推進委員長
○ 研究実施担当者

研究の概要

研究は、4つの分科会から成り立っています。分科会と各研究者の研究テーマのご紹介をします。

第一分科会：総合的検討（主査：濱田 政則（早稲田大学））

研究成果を総合化し、生活基盤の地震防災性向上の理念を構築するとともに、地盤と構造物が連成する現実のシステムの耐震性評価に向けて大型三次元震動破壊実験による検証手法、試験体設計の考え方、解析手法の課題などを取りまとめます。

第二分科会：耐震性評価のための支援技術の開発（主査：清水 信行（いわき明星大学））

構造物の破壊過程の解明と、既存構造物の耐震性調査法および耐震補強技術開発を行うために、構造物の損傷状態や劣化度を示す諸数値の測定方法、大規模振動実験の方法および試験体の作成方法について、基礎技術の開発を行います。これらの基礎技術は、将来の「実大三次元震動破壊実験施設」による実大・実時間における構造物破壊実験および生活基盤施設の老朽化診断にも広く応用される予定です。

(1) 既存構造物の耐震性調査法の開発（京都大学防災研究所 佐藤 忠信, E-mail : sato@catfish.dpri.kyoto-u.ac.jp)

(2) 大規模破壊実験のための振動台加振手法および計測・処理技術の高度化

①試験体の動特性及び破壊を考慮した加振手法の高度化（科学技術庁防災科学技術研究所 小川 信行, E-mail : ogawa@eq-eng.bosai.go.jp, いわき明星大学理工学部 清水 信行, E-mail : nshim@iwakimu.ac.jp)

②大規模破壊実験における計測・処理手法の高度化（科学技術庁防災科学技術研究所 御子柴 正, E-mail : miko@eq-eng.bosai.go.jp, 東京電機大学 藤田 聡, E-mail : sfujita@cck.dendai.ac.jp)

③大規模破壊実験における人体被災計測手法の開発（科学技術庁防災科学技術研究所 大谷 圭一, 筑波大学社会工学系 熊谷 良雄, E-mail : kumagai@shako.ak.tsukuba.ac.jp)

第三分科会：構造物の破壊過程に関する研究（主査：家村 浩和(京都大学)）

コンクリート構造物および鋼構造物を対象として、構造部材の動的・静的載荷試験および大規模模型を用いた震動破壊実験により、構造物の塑性域での挙動と破壊過程の解析を行い、合理的な耐震設計法確立のための知見と情報を提供します。さらに補強された構造物について震動破壊実験を行い、最適な補強方法を開発します。

(1) 鋼構造物の実地震荷重下における破壊特性の解明

①大型鋼構造の動的解析及び部材・骨組試験（科学技術庁防災科学技術研究所 小川 信行, E-mail : ogawa@eq-eng.bosai.go.jp, 日本大学理工学部 秋山 宏）

②鋼材の動的強度及び靱性評価法の研究（科学技術庁金属材料技術研究所 松岡 三郎, E-mail : saburo@nrim.go.jp, 大阪府立大学工学部 谷村 眞治, E-mail : tanimura@mecha.osakafu-u.ac.jp）

(2) 構造物構成要素の耐震性能指標の構築

①鉄筋コンクリート部材の損傷評価（建設省建築研究所 福田 俊文, E-mail : fukuta@kenken.go.jp, 京都大学大学院建築学専攻 渡邊 史夫, E-mail : nabe@archi.kyoto-u.ac.jp, 東京大学地震研究所 壁谷澤 寿海, E-mail : kabe@eri.u-tokyo.ac.jp）

②鉄筋コンクリート架構の損傷評価（建設省建築研究所 福田 俊文, E-mail : fukuta@kenken.go.jp, 京都大学大学院建築学専攻 渡邊 史夫, E-mail : nabe@archi.kyoto-u.ac.jp, 東京大学地震研究所 壁谷澤 寿海, E-mail : kabe@eri.u-tokyo.ac.jp）

(3) 橋脚の破壊過程解明と最適補強方法の開発（建設省土木研究所 田村 敬一, E-mail : tamura@pwri.go.jp, 鹿島建設 高橋 祐治, E-mail : taka_y@cedd.kajima.co.jp）

(4) 合成構造を用いた次世代高性能橋脚の開発（建設省土木研究所 運上 茂樹, E-mail : unjoh@pwri.go.jp, 京都大学工学部 家村 浩和, E-mail : iemura@catfish.kuciv.kyoto-u.ac.jp）

第四分科会：基礎・地盤系の塑性領域での挙動と破壊過程に関する研究（主査：三浦 房紀(山口大学)）

地盤材料は強い非線形的な性質を持つことから、縮尺率の大きい小模型による実験では実地盤と模型地盤の間の相似律が満たされていません。このため相似律がほぼ満足されるような規模の模型による実験が不可欠です。本研究では大規模な地盤模型による震動実験技術を開発するとともに、液状化土の流動実験および杭基礎-地盤系の震動実験を行い、側方流動のメカニズムの解明と杭基礎の塑性域での挙動と破壊過程について研究します。

(1) 大規模地盤模型による震動実験技術の開発

①大規模地盤の震動実験における地盤作成法・計測技術の開発（科学技術庁防災科学技術研究所 田村 修次, E-mail : tamura@eq-eng.bosai.ac.jp）

②せん断土槽を用いた三次元地盤実験手法の開発（農林水産省農業工学研究所 毛利 栄征, E-mail : accordl@ss.nkk.affrc.go.jp）

(2) 液状化地盤の側方流動メカニズムの解明と地盤変位の予測手法の開発（早稲田大学理工学部 濱田 政則, E-mail : hamada@mn.waseda.ac.jp）

(3) 液状化および側方流動による杭基礎の破壊過程の解明（運輸省港湾技術研究所 上部 達生, E-mail : uwabe@ipc.phri.go.jp, 山口大学 三浦 房紀, E-mail : miura@earth.csse.yamaguchi-u.ac.jp）

編集後記：

科学技術振興調整費研究プロジェクト，土木学会版第1号のニューズレター第1号です。この研究プロジェクトでは，研究推進を図るとともにその研究成果をニューズレター，ホームページやシンポジウムなどを通して積極的に内外に広く公開していくことが求められています。ニューズレターは，今年度中に後2回の発行を予定しています。また，来年3月27日，28日には，東京，国際フォーラムDホールでこの研究プロジェクトに関連したシンポジウムを開催する予定です。

このプロジェクトのホームページ(URL <http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/jsce2/>)が開設されていますので，そちらの方もご覧下さい。ご意見，ご質問等がございましたら，下記事務局までお寄せください。

事務局 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1
早稲田大学理工学部土木工学科 濱田研究室
TEL: 03-5286-3406, FAX: 03-3208-0349
E-mail: hamada@mn.waseda.ac.jp
URL <http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/jsce2/>

科学技術振興調整費

「構造物の破壊過程解明に基づく生活基盤の地震防災性向上に関する研究」

1. はじめに

ニュースレター第1号においてすでに紹介しているように、標記研究を遂行するために分科会を4つ設けている。第1分科会は全体の調整を行う総合的検討分科会、第2分科会は耐震性評価のための支援技術開発、第3分科会は構造物の破壊過程に関する研究、第4分科会は基礎、地盤系の塑性領域での挙動と破壊過程に関する研究である。今回のニュースレターではこのうちの第2分科会の内容について紹介する。

本分科会では耐震性評価のための支援技術開発（主査：清水信行（いわき明星大学））を行う。構造物の破壊過程の解明と、既存構造物の耐震性調査法および耐震補強技術開発を行うために、構造物の損傷状態や劣化度を示す諸数値の測定方法、大規模振動実験の方法および試験体の作成方法について、基礎技術の開発を行う。これらの基礎技術は、将来の「実大三次元震動破壊実験施設」(<http://www.bosai.go.jp/>)による実大・実時間における構造物破壊実験および生活基盤施設の老朽化診断にも広く応用する予定である。その内容は以下の(1)と(2)に大別される。また(2)は①～③の3つのテーマに分けて実施される。

- (1) 既存構造物の耐震性調査法の開発（京都大学防災研究所 佐藤忠信）
- (2) 大規模破壊実験のための振動台加振手法および計測・処理技術の高度化
 - ① 試験体の動特性及び破壊を考慮した加振手法の高度化
（科学技術庁防災科学技術研究所 小川信行, いわき明星大学理工学部 清水信行）
 - ② 大規模破壊実験における計測・処理手法の高度化
（科学技術庁防災科学技術研究所 御子柴正, 東京電機大学 藤田 聡）
 - ③ 大規模破壊実験における人体被災計測手法の開発
（科学技術庁防災科学技術研究所 大谷圭一, 筑波大学社会工学系 熊谷良雄）

第二分科会 主査
いわき明星大学 理工学部 機械工学科 教授 清水信行

2. 第二分科会の研究概要について

2.1 耐震性調査手法

同研究班は、既存構造物の耐震性調査手法開発のために結成されたものである。研究班のメンバーは、山本鎮男（早大・理工総研）、山田真（早大・理工総研）、濱田政則（早大・理工）、佐藤忠信（京大・防災研）、濱本卓司（武蔵工大）、曾根彰（京工繊大）、大津政康（熊本大・工）、北原道弘（東北大・工）、嶋田昌義（東京電力・技研）、跡部義久（大日本土木・技研）、岡原美知夫（建設省・土木研）、緑川光正（建設省・建築研）、藤田和朗（本州四国連絡橋公団）、多久和勇（日本道路公団試験研）に見られるように、既存構造物に関する研究者と各種構造物の管理責任部署の研究者からなっている。

平成11年9月8日（水）に第1回目の会合を行ない、その後会合を重ね、個別テーマの研究者と、各構造物の管理責任部署で行われている研究、研究開発および今後の計画について討議した。

(1) 既存構造物の耐震性調査法

1994年のノースリッジ地震ならびに1995年の兵庫県南部地震では比較的古い構造物が大きな被害を受けたが、地震直後に個々の構造物被害の詳細を把握することは非常に困難であった。実時間で構造物の応答がモニターできるシステムがあれば地震直後に既存の建物の健全度を迅速に評価することが可能である。また、都市社会資本が充実するに伴って、適切な時期に既存都市施設の補強を行って都市の耐震性を向上する必要があるが、このためには継続的に都市建物群や土木施設の耐震健全度を遠隔操作によりモニターできるシステムの構築が望まれている。本研究では、構造物の健全度をモニターするためのソフトとハードの新しい技術の開発を目的としている。

(2) ソフトの開発

システム同定の方法論としてはH無限大やカルマンフィルター、ネットワーク構造の記憶減退機能を有するニューラルネットワーク、時空間場条件付同定アルゴリズム、カオス時系列の同定技術など多様なものがある。本研究では、構造物の非線型応答特性のみならず非正常動特性の同定を効率的に行えるアルゴリズムの開発を行う。システム同定では、構造要素の履歴特性や降伏・破壊特性などのモデル化に伴う不確定性に強いアルゴリズムが必要であるので、こうした観点についての研究も実施する。従来から行われてきた構造特性を規定するパラメータ同定だけでなく、システムの動的応答特性を構造パラメータを介さず直接同定するノンパラメトリック同定アルゴリズムの開発も行う。

(3) ハードの開発

既存構造システムの健全度や地震による損傷度を調査するためのシステムを開発する。開発されるシステムは高速演算が可能な小型コンピュータと一体となったものである。解析システムだけではなく携帯可能なセンサーシステムの開発も重要なテーマである。構造物のヘルスマonitoringシステムでは構造物の劣化度ならびに地震時における損傷度の検出を遠隔操作により行えるようにしておく必要があるが、既存のシステムにはそのような機能が無いので、本研究では光ファイバーや高分子樹脂ファイバー、炭素繊維など先端材料を用いたひずみ記憶型動計測システムを開発し、それをワイヤレスのシステムとして遠隔地から計測データを収録できるシステムを開発する。

2.2 加振手法・計測・処理技術の高度化

この研究の正式な課題は「大規模破壊実験のための振動台加振手法および計測・処理技術の高度化」である。将来建設される「実大三次元震動破壊実験施設」での破壊実験に対応するために、実大の大型振動台を用いた破壊実験に関する支援技術を開発しようとするものである。この中に以下の①～③の3つのテーマがある。

- ① 試験体の動特性及び破壊を考慮した加振手法の高度化
- ② 大規模破壊実験における計測・処理手法の高度化
- ③ 大規模破壊実験における人体被災計測手法の開発

以下これら①～③の内容を説明する。

(1) 加振手法の高度化

研究班のメンバーは清水信行（いわき明星大・理工）、五十嵐克哉（鹿島建設・技研）、小川信行（科技厅・防災研）、佐藤栄児（科技厅・防災研）、野田茂（鳥取大・工）、野波健蔵（千葉大・工）、藤田聡（東京電機大・工）である。

1995年の阪神・淡路大震災では地盤、土木、港湾、建築、プラントなどの構造物が甚大な破壊・損傷を受け、予想もしなかった被害を受けた。この兵庫県南部地震の経験から、構造物の破壊過程を解明するための実大3次元震動破壊施設の建設計画が急浮上し、現在この建設が急ピッチで進められている。試験体としての構造物が破壊することを前提とした振動台の設計・建設はこれまで例がなく、振動台の加振手法と制御手法の高度化の必要性がクローズアップされてきた。そこで本研究では振動台の上載試験体模型が破壊を伴ない非弾性的に崩壊していく過程においても所要の加振性能を維持・制御できる振動台に要求される制御性能と、これを制御するための制御則、振動台に加えるべき入力としての合理的な加振入力波形を明らかにするために、この研究に取り組むことにした。そのために実施しようとする内容は以下のとおりである。

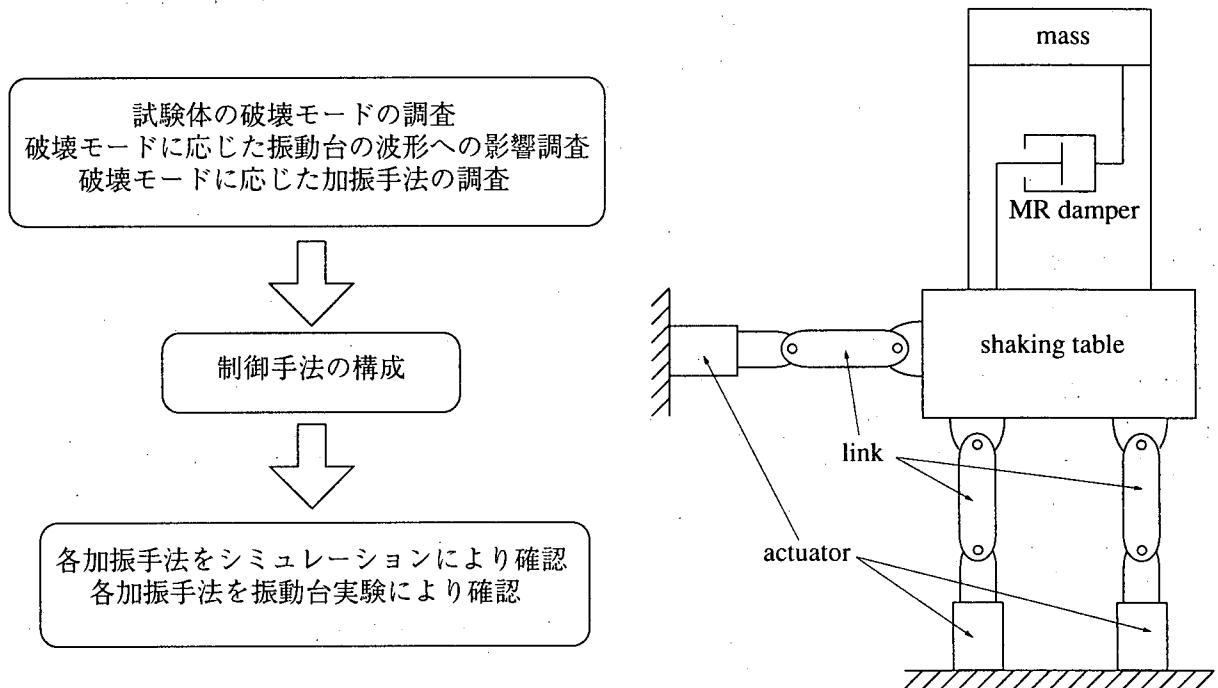


図1 研究の流れ

図2 小型模型実験による加振手法の研究

これらの結果からその成果として加振・制御手法のガイドラインを作成することを目指している。

本年度は、小型2次元振動台を用いた基礎実験を行う。その内容は破壊を模擬できる試験体を製作し、これを用い振動実験を行い、破壊が振動台加振に与える影響を調べることである（図2参照）。また、次年度以降は破壊モードに応じた加振手法の開発を行い、各手法の性能をシミュレーション及び実験で確認する。その結果により中型の振動台及び大型の振動台での破壊を考慮した加振手法の高度化を目指す。

(2) 計測処理の高度化

研究班のメンバーは藤田聡（東京電機大・工），清水信行（いわき明星大・理工），新津靖（東京電機大・工），古屋治（都立高専・機械），御子柴正（科技厅・防災研），西村英士（セガ・第4AM 研），佐藤忠信（京都大・防災研）である。

地震による構造物の崩壊過程を明確にするためには，実規模モデルを用いた振動実験による検証が不可欠と考えられる．しかしながら，この地震時崩壊過程を的確に捉えるためには一般的に用いられている接触型／非接触型変位センサーによる測定手法では精度良く計測することが困難であり，これに代わる新たな計測手法を確立する必要がある．

ここでは，その計測手法として，これまでの文献調査などより，近年，人の動的計測などの分野で盛んに研究がなされているモーションキャプチャー技術を応用した三次元計測手法を検討する．三次元計測手法は，表1に示すようなものが主に研究されてきているが，本研究においては，図3に示すように複数台のカメラで計測を行うステレオ法により，大型構造物崩壊現象計測に適した三次元位置計測技術の研究開発を行う．現在は，図4に示すCCDカメラを用いて次の手順で計測用プログラムを開発している．

- ①画像入力ができることの確認
- ②光点の位置座標の検出方法の確立
- ③複数光点の自動的計測
- ④2カメラの画像での複数光点の自動的計測
- ⑤複数光点の自動的3次元位置計測
- ⑥複数の既知座標上の光点計測によるカメラパラメータの設定
- ⑦魚眼効果を考慮した正確な複数光点の自動的3次元位置計測
- ⑧連続的な複数光点の自動的3次元位置計測，および複数光点の追跡
- ⑨複数光点の変位からのローカルな変位と回転などの成分の計算

また，振動台を用いた加振実験においては，構造物の崩壊モードを評価する上で，地震による総エネルギー入力を明確にすることが重要であることが知られているが，これを直接精度良く計測する手法はまだ確立されていない．そこで，ここでは，振動実験時の入力エネルギー量の計測手法を検討し，構造物の崩壊モードを精度良く予測し，耐震設計手法の高度化を計ることも併せて検討する．

計測処理班

〔東京電機大学 工学部 機械工学科 教授 藤田 聡〕

表1 主な三次元計測手法

能動的 方法	光レーダー法	時間差
		位相差
	光投影法	スポット光
		スリット光
面パターン光（傾斜光/符号化パターン/カラー）		
モアレ法		
受動的 方法	単眼視	焦点調節
	両眼視	両眼ステレオ
	多眼視	多眼ステレオ
		運動ステレオ

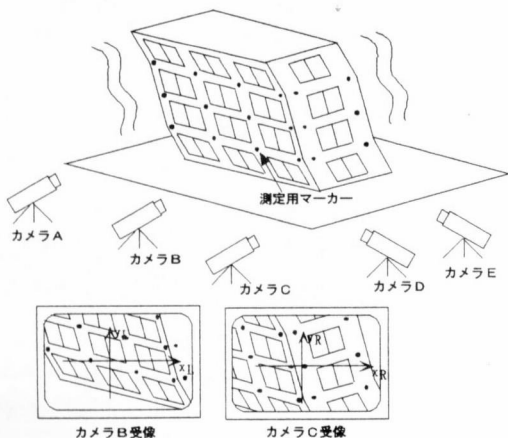


図3 計測手法概要図

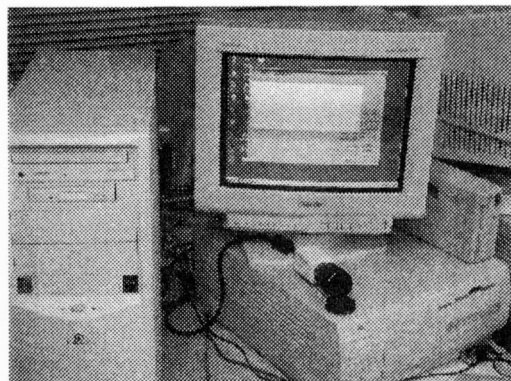


図4 計測装置

(3) 人体被災計測手法の開発

研究班のメンバーは熊谷良雄（筑波大・社会工），磯山龍二（日本技術開発・環境防災），小野古志郎（日本自動車研・安全研），立花正一（航空医学実験隊），宮野道雄（大阪市立大・生活科学），長崎高巳（科技厅・防災研）である。

この研究課題は，第2分科会（耐震性評価のための支援技術の開発）のサブテーマの1つである「(2)大規模破壊実験のための振動台加振方法および計測・処理技術の高度化」の一環として実施されている「大規模破壊実験における人体被災計測手法の開発」において開始されているものである。

第2分科会に含まれる研究課題は，平成10年度のFS調査：「大地震時における構造物等の破壊過程解明のための試験体設計及び解析に関する調査」で検討されたものである。その中で本研究課題は，「人間への影響」という大項目に沿って人間行動等人間工学的観点から解明すべき現象，課題の抽出，その研究方法及び人体損傷実験を行なう場合などにおける実験技術についての検討結果の一部から構成されたものである。

FS調査から提案された研究課題は，①強震動への人体応答と家屋被害等が人体に与える影響に関する研究，②強震動による人体被災計測ダミーおよび数値シミュレーション技術の開発，③強震動における人の応答行動と家屋被害等が人の反応に与える影響に関する研究，④人間行動数値シミュレーターの開発及び⑤実大三次元震動破壊実験を想定した人間行動環境試験装置の開発の5課題であった。これらの課題の中から，当初，①及び②を中心とした，強震動による“家屋被害等が人体に与える影響”と“人体被災計測ダミーの開発”の内容を踏まえて本研究課題が構成されたが，初年度は「強震動による“家屋被害等が人体に与える影響”」のみが開始されているのが現状である。

したがって，現段階での本研究課題の目標は，当面，人体ダミー開発のための基礎的な資料を得ることとしている。家屋破壊等が人体に与える影響を計測するための人体ダミーの開発にあたっては，家屋破壊によって人体のどの部位にどのような衝撃や荷重がもたらされるかを解明する必要がある。

人体ダミーの開発は，航空機の安全分野を評価するために，1920年代に米国でのサンドバックダミー開発によって着手されたが，その後の自動車の発達によって，現在は自動車衝突用のものがほとんどである。自動車衝突実験用人体ダミーとしては，現在前突（前面衝突実験用），側突，二輪車用，子供保護用，歩行者保護用等が開発されているが，これらのほとんどは衝撃や加速度を計測するためのものである。

しかし，家屋破壊等が人体に与える影響は衝撃のみではなく，「平成7年（1995年）兵庫県南部地震」で注目された挫滅症候群（クラッシュ・シンドローム）に代表される長時間の筋肉圧迫等も考慮に入れなければならない。そこで本研究では，約5,500名の直接的な人的被害をもたらした阪神・淡路大震災を主な対象とし，家屋破壊等によって被災された方々の被災状況のデータベース作成を初年度の目標としている。

阪神・淡路大震災における人体被災に関するデータとしては，滋賀県立医科大学：西村明儒（監察医記録／死亡者のみ／約5,400例），北淡町診療所：井宮雅宏（現地調査等によるスケッチ／死亡者および生存者／33例），大阪大学：田中裕（病院へのアンケート／重篤患者／約2,700例），大阪市立大学：宮野道雄（現地ヒヤリング等による建物損傷と人体損傷／死亡者／約200例），建設省建築研究所（警察庁死亡者リストと建物被災度／死亡者／約4,700例），厚生省人口動態統計課（人口動態統計個表／死亡者／約5,500例）等がある。これらのデータを活用し，対象者のマッチングを行なうことによって，統合的人体被災データベースを作成していく。さらに，阪神・淡路大震災以前の事例ばかりでなく本年のトルコ，台湾における大地震による被災者のデータも入手・整理していく予定である。

来年度以降は，作成したデータベースを詳細に解析し，家屋破壊用の人体ダミーの設計条件を確定していく予定である。

人体被災計測班 座長
筑波大学 社会工学系 教授 熊谷良雄

第1回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム開催のご案内

本研究プロジェクトの成果の公表と関連する情報や意見の交換を目的として標記シンポジウムを開催することにしました。シンポジウムでは、本研究プロジェクトの実施機関からの発表にとどまらず、同じ分野の研究に取り組む方々からも研究成果の発表をしていただき、今後の研究に反映していきたいと考えています。多数ご参加いただきますようご案内申し上げます。

記

1. 主催：土木学会

2. 期日：3月27日（月）、28日（火）

3. 場所：東京国際フォーラム

4. 定員：150名

5. 参加費：無料

6. プログラム：

3月27日：10:00～10:10	開会挨拶	科学技術庁防災科学技術研究所	片山恒雄
10:10～10:30	研究プロジェクトの概要	早稲田大学	濱田政則
10:30～12:40	大規模破壊実験のための振動台加振手法及び計測技術		
13:30～15:20	コンクリート構造物の塑性域の挙動と終局強度(1)		
15:40～17:20	コンクリート構造物の塑性域の挙動と終局強度(2)		
3月28日：9:00～10:20	液状化および側方流動に対する構造物の挙動(1)		
10:40～12:10	液状化および側方流動に対する構造物の挙動(2)		
13:10～15:20	鋼構造物の塑性域の挙動と終局強度		
15:40～17:10	既存構造物の耐震性調査法		
17:10～17:20	閉会挨拶		

7. 問い合わせ先：土木学会技術推進機構事務局 比奈地または柳川（TEL.03-3355-3443, FAX.03-5379-2769, E-mail: hinaji@civil.or.jp）

編集後記：

本号では第2分科会の各研究班のテーマを知っていただくことを目的とし、プロジェクト全体を通じた研究計画、及び本年度の具体的な研究内容について各担当者に原稿をお願いしました。今後、各研究班の具体的な研究成果が期待され、これらの成果についても今後のニューズレターで紹介する予定です。また、この科学技術振興調整費研究プロジェクトはニューズレター以外にも、ホームページや上記のシンポジウムなどを通して積極的に内外に広く公開していく予定です。

このプロジェクトのために下記のとおりホームページが開設されていますので、そちらの方もご覧下さい。ご意見、ご質問等がございましたら、下記事務局までお寄せください。

第2分科会ニューズレター事務担当
いわき明星大学 理工学部 機械工学 助手 高橋義考

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1

早稲田大学理工学部土木工学科 濱田研究室

TEL.: 03-5286-3406, FAX: 03-3208-0349

E-mail: hamada@mn.waseda.ac.jp

URL <http://www.jsce.or.jp/committee/kikou/subcommittee/kagicho/>

科学技術振興調整費

「構造物の破壊過程解明に基づく生活基盤の地震防災性向上に関する研究」

社団法人 土木学会 土木技術推進機構

1. はじめに

本研究プロジェクトでは、分科会を4つ設けている。第一分科会は全体の調整を行う総合的検討分科会、第二分科会は耐震性評価のための支援技術開発、第三分科会は構造物の破壊過程に関する研究、第四分科会は基礎、地盤系の塑性領域での挙動と破壊過程に関する研究である。今回のニューズレターではこのうちの第三分科会の内容について紹介する。

第三分科会では構造物の破壊過程に関する研究（主査：家村浩和(京都大学)）を行っている。コンクリートおよび鋼構造物を対象として、構造部材の動的・静的載荷試験および大規模模型を用いた振動破壊実験により、構造物の塑性域での挙動と破壊過程の解析を行い、合理的な耐震設計法確立のための知見と情報を提供する。さらに補強された構造物について振動破壊実験を行うことにより、最適な補強方法を開発する。また次世代高性能橋脚として合成構造を用いた橋脚を開発し、その耐震性能の評価手法について検討する。これら内容は以下の(1)～(4)の研究班に大別される。

(1) 鋼構造物の実地震荷重下における破壊特性の解明（研究班3A）

①大型鋼構造物の動的応答解析および部材・骨組試験

(科学技術庁防災科学技術研究所 小川信行, 日本大学理工学部 秋山 宏)

②鋼材の動的強度および靱性評価法の研究

(科学技術庁金属材料技術研究所 松岡三郎, 大阪府立大学 谷村真治)

(2) 構造物構成要素の耐震性能指標の構築（研究班3B）

①鉄筋コンクリート部材の損傷評価

(建設省建築研究所 福田俊文, 京都大学工学研究科 渡邊史夫, 東京大学地震研究所 壁谷澤寿海)

②鉄筋コンクリート架構の損傷評価

(建設省建築研究所 福田俊文, 京都大学工学研究科 渡邊史夫, 東京大学地震研究所 壁谷澤寿海)

(3) 橋脚の破壊過程解明と最適補強方法の開発（研究班3C）

(建設省土木研究所 田村敬一, 鹿島建設 高橋祐治)

(4) 合成構造を用いた次世代高性能橋脚の開発（研究班3D）

(建設省土木研究所 運上茂樹, 京都大学工学研究科 家村浩和)

上記の4研究課題は、9の研究機関により実施されているが、研究方針や内容を相互に検討するため、研究課題の代表者を委員とした分科会を設けている。

第三分科会 主査

京都大学 工学研究科 土木システム工学専攻 教授 家村浩和

2. 第三分科会の研究概要

2.1 鋼構造物の実地震荷重下における破壊特性の解明（研究班3A）

2.1.1 研究組織

同研究班は、小川信行座長（科技厅・防災科学技研）、秋山宏（日大・理工）、安藤柱（横国大・工）、北村春幸（日建設計）、齊藤年正（日立造船・技研）、高畠秀雄（金沢工大）、竹内悦男（科技厅・金属材料技研）、谷村眞治（大阪府立大・工）、藤田勝久（大阪府立大・工）、松岡三朗（科技厅・金属材料技研）、三村耕司（大阪府立大・工）、山田哲（東工大）、横田治彦（清水建設）より構成されている。

2.1.2 大型鋼構造物の動的応答解析および部材・骨組試験

(1) 第I期目標

- ・小規模かつ代表的なタイプの鋼構造骨組の動的破壊過程に関する検証データの把握、解析手法の評価を通じて、鋼構造の実地震による被害を定量的に予測する手法のケーススタディを提示する。
- ・直下型地震動による大型構造物の過渡応答時に、構造物の一部に破壊開始の起こる位置、条件、及びその後の破壊の進展過程を、具体的に検討して、明確にする。

(2) 今年度の研究の経過と成果の見通し

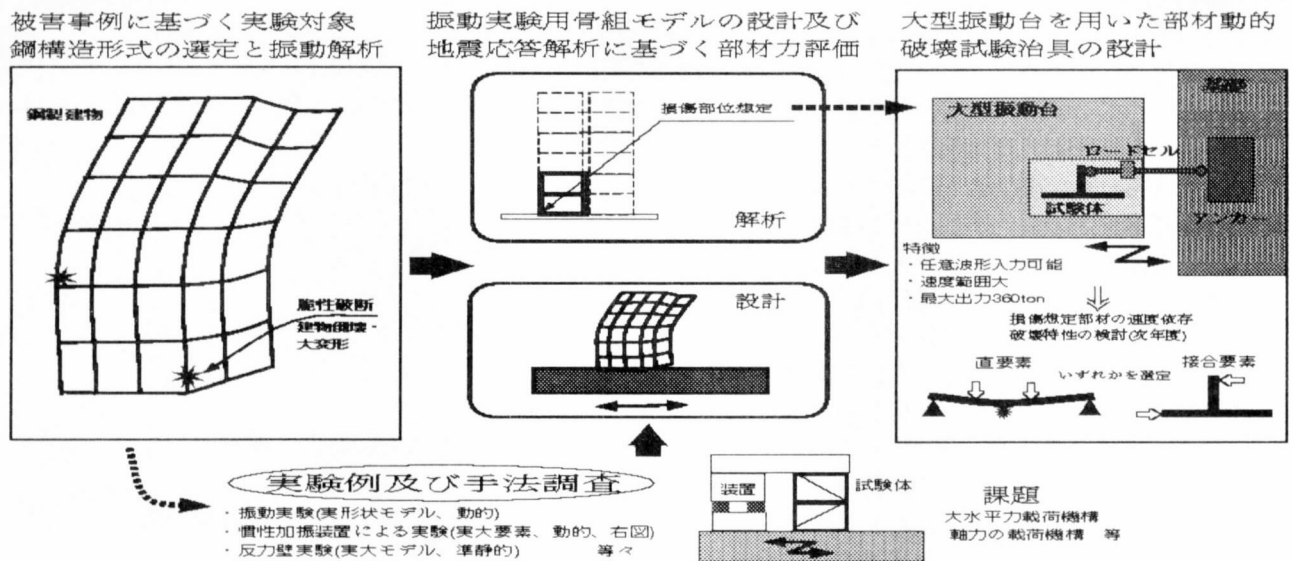
・破壊実験用骨組みモデルの設計・地震応答解析および動的強制加力用治具の設計

鋼構造の脆性破壊に関する既往の被害事例および関連研究の調査を実施するとともに、実験用モデルの選定に関する検討、解析用ソフトウェアの拡充を行った。

・大型鋼構造物の過渡応答解析

直下型地震時の揺れ初期の上下・水平動による高層建築物モデルの過渡応答時の動的挙動に注目した動的応答解析を実施している。

高層建築物の動的応答解析を実施した結果、直下型地震時の激しい揺れ初期の過渡応答時に、鋼製箱型柱の一部に破壊開始が起こった可能性がかなり高いこと、等がわかった。



(3) 来年度の研究の概要

・大型振動台を用いた脆性破壊の再現に必要な治具、計測および加力架構の設計・解析

大型振動台を用いた脆性破壊の再現に必要な治具、計測および加力架構の設計・解析を行うとともに、これらの一部を製作し、強度・機能を確認する。

要素および骨組みに効果的に地震力を作用させることのできる振動台上載荷装置、特に反復試験が容易で、軸力も載荷でき、かつ大きな水平力を試験体に作用させることのできる装置を設計する。この装置は、将来の実大三次元振動台を利用する実験でも必要となる装置の原型版である。

・小規模部材接合モデルの破壊実験

次年度大型モデル実験の予備実験として、既存の小型加力装置を用いて、小規模部材モデルの破壊実験を実施し、解析手法の評価を行うとともに、大型脆性破壊再現モデルの基本構造を計画する。

・大型鋼構造物の過渡応答解析

大型構造物モデル底面に直下型地震のような激しい上下動および水平動が作用するときの動的応答解析を行う。これらの解析結果より、その挙動の過渡応答時に破壊や座屈の開始が起こる可能性のある部材を抽出し、

実物部材のソリッドモデルによる三次元動的応答解析を行い、モデル中の動的応力分布、動的応力集中現象を調べる。

別途行う鋼材の動的強度特性のひずみ速度依存性試験の結果と応力解析結果をもとに、直下型地震の初期の地震動による大型構造物の過渡応答時において、大型構造物の一部に破壊や座屈が開始する部材およびその開始時刻を定量的に検討する。また、直下型地震動による破壊が過渡応答時にぜい性的に起こる場合と瞬時には破断に至らず、その後の揺れにより破壊や座屈が進展する場合についても定量的に検討する。

2.1.3 鋼材の動的強度および靱性評価法の研究

(1) 第I期目標

- ・ぜい性き裂進展開始前に生じる延性き裂領域をもとにした、じん性評価法の有効性を確認する。
- ・実地震時の動荷重と対応した中間の広いひずみ速度域での鋼材の動的応力-ひずみ曲線、破断までの（動的）ひずみエネルギーを調べる。

(2) 今年度の研究の経過と成果の見通し

・シャルピー試験

構造物に一般に用いられているSM490A鋼の高じん性材と低じん性材のシャルピー衝撃試験を低温から高温で実施し、シャルピー衝撃試験による静的な力学特性が得られつつある。

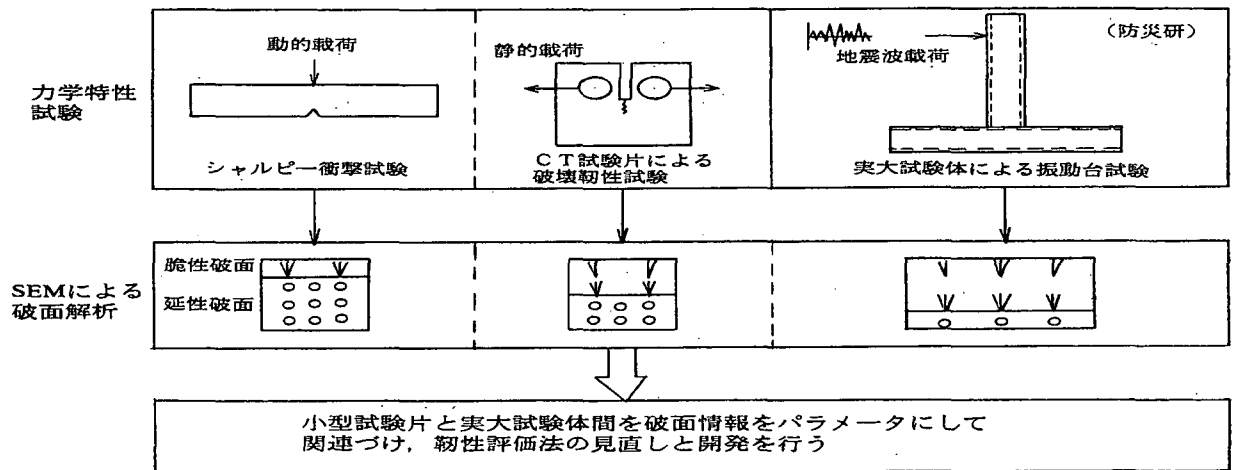
・コンパクトテンション (CT) 試験

CT試験片を用いた低温から高温の破壊じん性試験を行うため、低温槽並びに試験片掴み部等の設計が終了し、作成している。

・鋼材の動的強度特性のひずみ速度依存性試験

大型構造物の代表的な鋼材としての高靱性材と低靱性材および溶接部材を選定し、地震動で起こるひずみ速度域をカバーする広いひずみ速度域 ($10^{-3}/s \sim 10^3/s$) での材料の動特性を検力ブロック式高速材料試験機および既製の試験装置で求めている。

延性き裂領域に基づくじん性評価



(3) 来年度の研究の概要

・シャルピー試験

SM490A鋼の高じん性材と低じん性材を用い、平成11年度に実施した試験温度に加え、試験速度と試験片採取位置をパラメータにしたシャルピー衝撃試験を実施し、動的な力学特性を系統的に調べる。

また破壊したシャルピー試験片破面をSEM等により解析し、破面情報と力学特性とを関連付ける。

・CT試験

低温から高温までの試験温度をパラメータにしたCT試験片による破壊靱性試験と破面解析を実施し、力学条件が厳密に規定されているもとの、静的力学特性と破面情報とを結び付ける。

・鋼材の動的強度特性のひずみ速度依存性試験

検力ブロック式高速材料試験機を使用して、直下型地震動による破壊開始時の挙動と対応した広いひずみ速度域における各種構造材料と溶接部材の動的引張応力-ひずみ曲線、破断までの吸収エネルギーおよび動的変形特性を調べる。

2.2 構造物構成要素の耐震性能指標の構築 (研究班3B)

2.2.1 研究組織

同研究班は、福田俊文座長 (建設省・建研)、渡邊史夫 (京大・工)、藤井栄 (京大・工)、西山峰広 (京大・工)、河野進 (京大・工)、壁谷澤寿海 (東大・地震研)、工藤一嘉 (東大・地震研)、倉本洋 (建設省・建研)、隈澤文俊 (建設省・建研)、加藤博人 (建設省・建研) より構成されている。

2.2.2 鉄筋コンクリート部材の損傷評価

(1) 第I期目標

- ・鉄筋コンクリート構造物の地震時破壊過程の実験的、解析的解明
- ・地震動レベル、建築物の耐震性能及び地震時破壊過程における損傷度の関係の定量的評価が可能な損傷指標の提案

(2) 今年度の研究の経過と成果の見通し

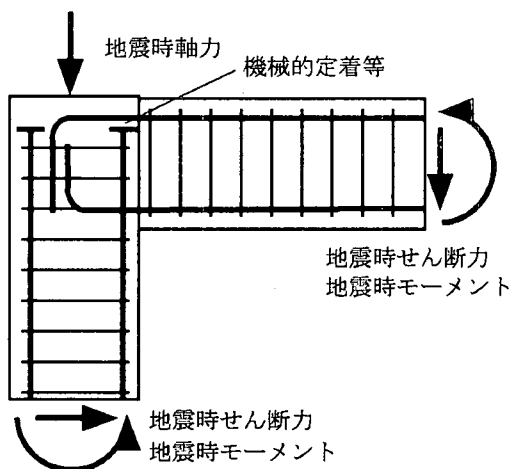
- ・拘束コンクリートの応力歪関係に歪速度が及ぼす影響

既往の関連研究資料の収集、問題点の詳細抽出を行い、これに基づいて実験を行った。過去の実験は数も少なく、歪速度の影響に関して意見の食い違いがあり、これらの実験研究と比較対照をするべく、75x100mmのシリンダー試験体72体を用いて、歪速度の影響がコンクリートの応力歪関係に与える影響を確認する実験を行った。

・梁柱接合部の損傷評価

耐震骨組架構の柱・梁接合部は配筋詳細に性能が大きく支配されることから、典型的な部位であるT字型、L字型となる接合部について耐震性能と損傷過程を実験的に明らかにする。現在、約1/2スケールの試験体を8体製作し、実験を実施している。

柱梁接合部実験



1. L型及びT型柱梁接合部の地震荷重を模擬した載荷実験を行う。
2. 接合部の履歴復元力特性、せん断強度、各種歪及び変形を計測する。
3. 接合部鉄筋配置の詳細と接合部挙動の関係を明らかにする。
4. 接合部での応力伝達機構の分析を行う。
5. 接合部設計の基礎資料を得ると共に、今後の研究計画に反映させる。

・来年度の研究の概要

柱ヒンジ部拘束コンクリートの応力歪特性に及ぼす歪速度の影響を、拘束されたシリンダーの高速載荷実験によって明らかにし、柱の地震時挙動を予測する際の基礎データを得る。また、耐震RC架構の柱梁接合部のディテールと地震時構造性能の関係を、外部柱梁接合部実験により明らかにする。これらは前年度に引き続き、実験パラメーターを補い実施し、それぞれの評価のための範囲をカバーするものである。

2.2.3 鉄筋コンクリート架構の損傷評価

(1) 第I期目標

- ・鉄筋コンクリートピロティ構造の地震時の挙動を解明と解析モデルの妥当性を検証するとともに、応答変形を考慮した耐震設計法、損傷評価手法を提案する。
- ・地震計による性能モニタリング手法の妥当性、地盤基礎構造物系のモデルの妥当性も検証し、特に基礎近傍の非線形挙動をともなう相互作用による入力逸散効果を明らかにする。

(2) 今年度の研究の経過と成果の見通し

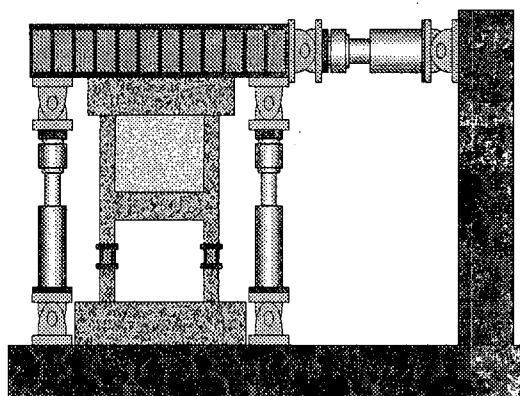
- ・ピロティ構造建築物の地震時挙動の把握

6階建てピロティ建物の縮尺モデル試験体を作成し、サブストラクチャ擬似動的実験を実施し、モデル建物

の強地震動に対する弾塑性地震応答を得た。その結果、1階柱の復元力特性、作用する引張及び圧縮軸力のレベル、及びせん断力分担割合、損傷分布、高さ方向の地震力分布等が明らかになった。これらは、開発した応答解析プログラムによる解析結果とも良い一致をみた。来年度実施予定の振動実験用モデル建物の設計を実施し、試験体の一部の製作に着手している。

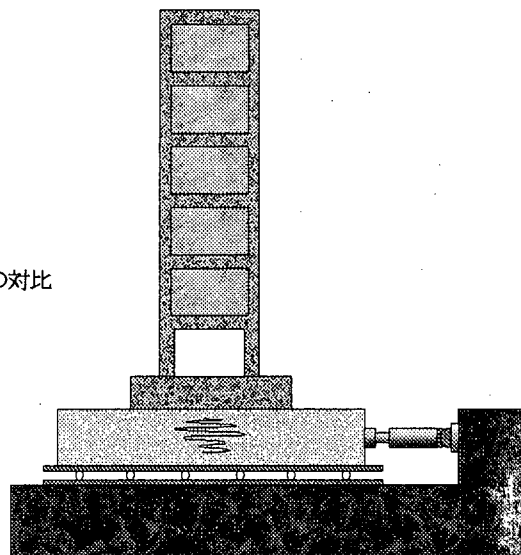
・実在建造物の地震観測

小田原の高等学校で構造物地盤系の挙動を観測する目的で高密度の観測体制の一部を整備した。現在までに大きな地震はないので、非線形効果を含む挙動を観測するには至っていないが、微小地震記録により弾性範囲での構造物および地盤系の同定解析を行っている。また、地盤をモデル化して地盤構造物系の地震応答解析の準備作業を行っている。やや大きい地震の観測結果を待って、観測結果の解析にすぐに入ることができる体制を整えつつある。また、観測と警報を連動させる試みも実施しつつある。



ピロティ構造物下2層部分架構の擬似的動的実験と解析
 ①地震動に対して上層の応答も計算しながら、部分架構の応答挙動を実現する。
 ②柱のせん断力負担比率を明らかにする。
 ③柱のMSモデル、壁の2次元要素モデルにより、実験結果を再現する。

モデルおよび結果の対比



6層ピロティ構造物
 ①震動実験により、擬似的動的実験の妥当性を確認するとともに、動的な挙動を実験的に確認する。
 ②損傷レベルを地震計により予測する手法を検証する。
 ③動的解析モデルの妥当性を検証する。

(3) 来年度の研究の概要

特定の層に損傷の集中する鉄筋コンクリート造建物を対象とした立体架構の振動実験を実施し、この種の構造形式の地震時損傷過程、動的応答を明らかにする。

また、実在建築構造物の高密度振動観測について、前年度に全体計測点の一部を整備したが、不足分を整備し、全体として整合性のとれた観測を実施する。

2.3 橋脚の破壊過程解明と最適補強方法の開発 (研究班3C)

2.3.1 研究組織

本研究班は、田村敬一座長 (建設省・土研)、五十嵐晃 (京大・工)、運上茂樹 (建設省・土研)、後藤洋三 (大林組・技研)、小林寛 (建設省・土研)、斉藤悦郎 (フジタ・技研)、砂坂善雄 (鹿島)、高橋祐治 (鹿島)、松田泰治 (九大・工) より構成されている。

2.3.2 第I期目標

- ・非液状化地盤における橋脚—基礎の損傷・破壊に至る挙動を解明する。
- ・橋脚—基礎の強度バランスを考慮した橋脚の最適補強法の開発に資する基礎資料を得る。

2.3.3 今年度の研究の経過と成果の見通し

(1) 基礎構造との連成を考慮した橋脚の破壊過程の実験的解明

a) 研究経過

① 実験模型の設計・製作

平成8年道路橋示方書に準じた実橋梁をベースにスケールダウンを行い、実験模型の設計・製作を行った。

② 簡易解析による実験対象橋梁模型の振動挙動把握

実験対象橋梁模型および周辺地盤に対し FEM 解析を行い、実験対象模型の固有振動モード、正弦波入力に対する応答等振動挙動を把握した。

③ ハイブリッド振動実験の準備

実験地盤特性の把握及び実験地盤の作成、実験模型および取付治具の作成、ハイブリッド振動実験装置の据付けを行った。

④ ハイブリッド振動実験装置の改造

下記の問題点に対する実験装置の改造を行った。

⑤ 実験制御ソフトウェアの改造

下記の問題点に対する実験制御ソフトウェアの改造を行った。

b) これまでの研究成果

① 弾性領域における実験対象橋梁模型の振動挙動が把握できた。その結果、支配的な1次の固有振動モードでは、橋梁桁部が大きく応答し、フーチング部の応答は小さいことが明らかになった。

② ハイブリッド実験の制御点であるフーチング部の応答(変位及び荷重)が小さいことに対処するため、ハイブリッド振動実験装置及び実験制御ソフトウェアの改造を行った。

③ 解析結果より、実験対象模型の鉛直方向の固有振動数が、ハイブリッド振動実験装置の適用範囲外の高振動数域にあることが判明した。そのため、ハイブリッド振動実験装置を2次元3自由度制御から、鉛直方向自重載荷—水平方向制御に装置を変更した。

(2) 基礎構造との連成を考慮した橋脚の破壊過程の解析的解明

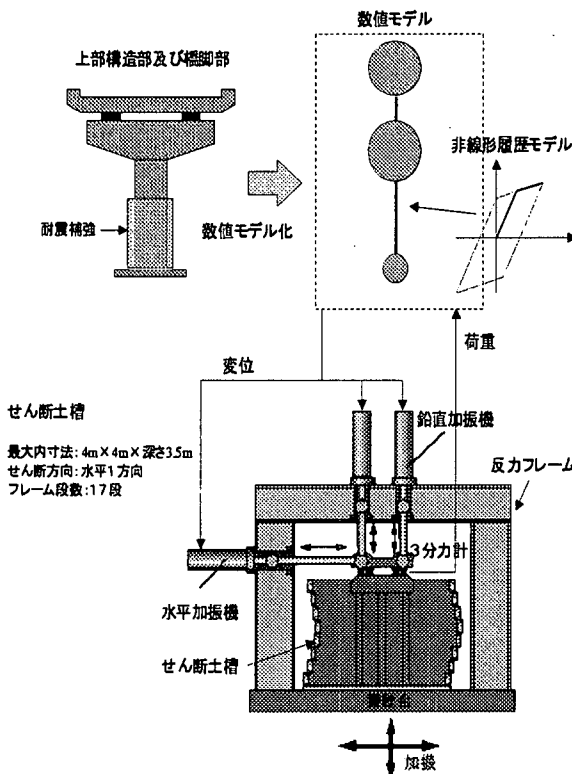
実験模型に対応した実橋梁および実験模型の動的応答解析をもとに、以下の観点から解析結果相互または解析結果と実験結果の比較を行い橋梁の地震時応答解析におけるモデル化手法、実験手法について検討した。

① 実験結果と解析結果の比較

② 模型側方境界のモデル化による影響

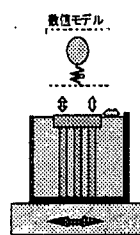
③ 模型の解析に用いる実地震波の時間スケール方法の比較

④ 実橋梁の解析結果と模型橋梁の解析結果の比較

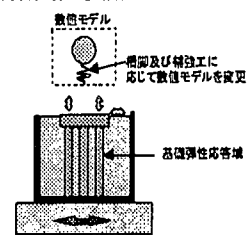


ハイブリッド振動実験のイメージ

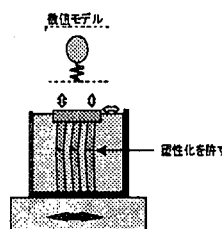
H11年度
橋梁全体系の振動実験手法の検討



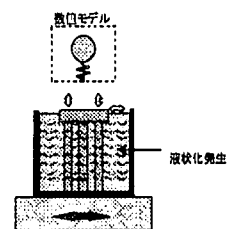
H12年度
弾性域での地盤—基礎構造物模型を用いた
橋脚の地震時挙動に関する振動実験



H13年度
塑性域までを考慮した地盤—基礎構造物模型を用いた
橋脚の地震時挙動に関する振動実験



H14～15年度
液状化を考慮した地盤—基礎構造物模型を用いた
橋脚の地震時挙動に関する振動実験



研究の流れ

2.3.4 来年度の研究の概要

(1) 基礎構造との連成を考慮した橋脚の破壊過程の実験的解明

弾性領域における橋梁全体系の地震時振動特性の把握および最適補強方法に関する検討を行う。

- ①弾性域での地盤－基礎構造物模型を用いた橋脚の地震時挙動に関する振動実験を行う。
- ②実験結果をもとに、基礎構造との連成を考慮した橋脚の損傷・破壊メカニズムを系統的に解明する。

(2) 基礎構造との連成を考慮した橋脚の破壊過程の解析的解明

橋脚補強の有無が基礎に与える影響について検討するために、上部構造－橋脚－基礎－地盤の全体系の地震応答解析を行う。

実験と比較するため、弾性域での応答解析を行うとともに、地盤および構造物の非線型領域での応答解析を行う。

2.4 合成構造を用いた次世代高性能橋脚の開発（研究班3D）

2.4.1 研究組織

本研究組織は、運上茂樹座長（建設省・土研）、家村浩和（京大・工）、大内一（大林組・技研）、北田俊行（大阪市大・工）、篠崎裕生（三井建設）、星隈順一（建設省・土研）、森敦（日本技術開発）、依田照彦（早大・理工）により構成されている。

2.4.2 第I期目標

- ・ 損傷しにくく、また損傷を受けても補修や復旧が容易な新しい次世代高性能橋脚を開発するとともに、その耐震性能の評価手法を示す。

2.4.3 今年度の研究の経過と成果の見通し

(1) アンボンド高強度芯材を用いた新構造の開発と実験・解析の結果

- ・ 高強度芯材としてPC鋼棒を導入することにより、RC供試体は正の二次剛性を持つように改善され、残留変位を小さくすることができる。
- ・ エネルギー吸収性能は主鉄筋量に依存し、高強度芯材を導入しても変化しない。すなわちRC橋脚と同程度の鉄筋を配置することにより、同程度のエネルギー吸収性能が期待できる。
- ・ 高強度芯材をアンボンドとすることにより、ひずみが平滑化され、芯材の損傷が低減された。
- ・ RC橋脚に弾性部材を導入することにより得られる原理とほぼ同等の結果を正負交番載荷実験より得ることができた。本構造は施工性にも優れており、実用性の高い高耐震性能橋脚と言える。
- ・ 高強度芯材をアンボンドとするため、シーす管を用いた結果、圧縮力に対する芯材の抵抗が十分に得られなかった。今後は圧縮力に対しても有効に作用するアンボンド構造を開発、採用の予定である。

(2) 塑性化領域の拡張を図った構造の開発

- ・ 橋脚基部に近い断面において損傷制御鉄筋を途中定着させ、作用モーメントに応じて基部と途中定着位置の2箇所確実に損傷が生じるように断面設計すれば、損傷が合理的に分散され、1つの箇所が生じる損傷度は低減される。
- ・ 橋脚構造としての変形性能も従来タイプの構造よりもさらに向上する。

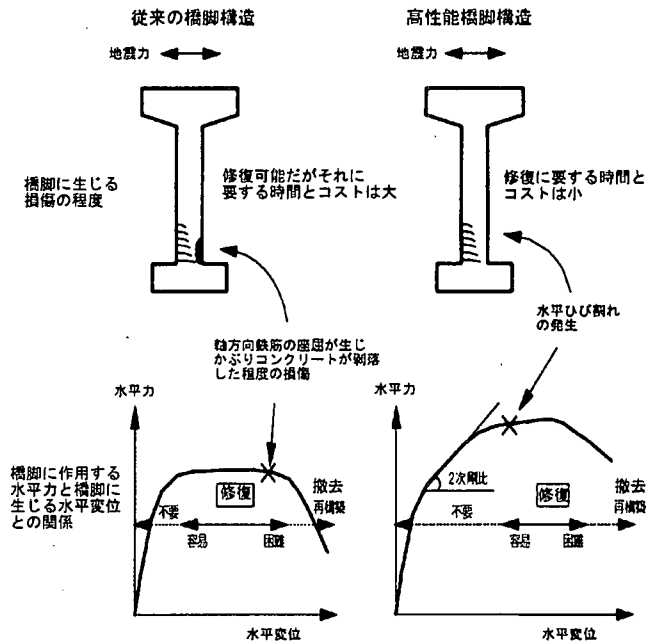
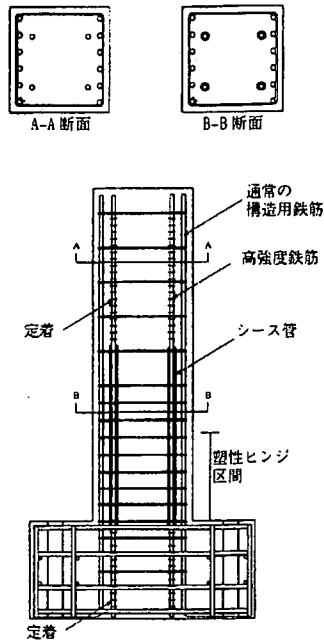
(3) 軸方向鉄筋の伸び出し変形を大きくさせた構造の開発

- ・ 軸方向鉄筋の定着をフーチング上面から一部区間アンボンドとすることにより、基部の回転が生じやすくなり、載荷点における水平変位は主として基部の回転によって吸収されるようになる。
- ・ 軸方向鉄筋の伸び出しによって橋脚の全体変位がより多く吸収されるため、橋脚躯体断面が分担する曲げ変形小さくなり、躯体に生じる損傷を非常に軽微なものに抑えることができる。

2.4.4 来年度の研究の概要

(1) 平成11年度における実験結果等を基に橋脚構造の地震時における破壊メカニズムを明らかにするとともに、その破壊過程を踏まえ、修復性の観点から耐震性能が優れていると考えられる低降伏点鋼材等の新材料を活用した橋脚構造に着目し、その模型供試体に対して動的載荷実験を行い、その履歴特性ならびに耐力・変形性能について明らかにするとともに、従来タイプの橋脚との比較検討を行う。

(2) 補修・復旧が容易な部材（損傷誘導部材）を塑性ヒンジ領域に導入した橋脚構造に対して模型載荷実験を行い、損傷誘導部材の破壊過程における損傷度ならびに損傷度と修復性との関係について検討する。



編集後記：

本号では第三分科会の各研究班のテーマを知っていただくことを目的とし、研究組織のメンバー、第I期のプロジェクト目標、及び本年度の具体的な研究経過と成果、来年度の研究概要について紹介しました。より具体的な研究成果は、今後のニューズレターで紹介する予定です。また、この科学技術振興調整費研究プロジェクトはニューズレター以外にも、ホームページや本プロジェクトのシンポジウムなどを通して積極的に内外に広く公開していく予定です。

このプロジェクトの紹介のために下記のとおりホームページが開設されていますので、そちらの方もご覧下さい。ご意見、ご質問等がございましたら、下記事務局までお寄せください。

第三分科会ニューズレター事務担当
 京都大学 工学研究科 土木システム工学専攻 助手 高橋良和

事務局 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1
 早稲田大学理工学部土木工学科 濱田研究室
 TEL: 03-5286-3406, FAX: 03-3208-0349
 E-mail: hamada@mn.waseda.ac.jp
 URL <http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/jsce2/committee/kikou/subcommittee/kagicho/>

(2) ホームページの開設, 更新

ニューズレターの発行に合わせ, ニューズレターと同じ内容の記事をホームページで公開した. ホームページの URL は以下の通りである.

<http://www.jsce.or.jp/committee/kikou/subcommittee/kagicho/index.htm>

3.2.2 シンポジウムの開催

本研究プロジェクトの成果の公表と関連する情報や意見の交換を目的に, 2000年3月27, 28日に東京国際フォーラムにおいて「第1回 構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム」を開催した. 当日は約200名の参加者があり, 活発な質疑, 意見交換が行われた.

シンポジウムでは, 科学技術庁研究開発局企画課防災科学技術推進室 岩瀬室長, 科学技術庁防災科学技術研究所 片山所長の挨拶に引き続いて, 本研究プロジェクトの受託研究機関および同じ分野の研究に取り組む方々の研究成果の発表が行われた. 研究分野ごとの発表数は以下の通りである.

分 野	受託研究機関	一般公募	計
a. 既存構造物の耐震性調査法	2	3	5
b. 大規模破壊実験のための振動台加振手法 および計測・処理技術	6	4	10
c. 鋼構造物の塑性域の挙動と終局強度	4	6	10
d. コンクリート構造物の塑性域の挙動と終局強度	7	9	16
e. 液状化および側方流動に対する構造物の挙動	4	9	13
計	23	31	54

シンポジウム論文集の目次を次ページ以降に示す.

第1回 構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム・論文集
目次

	Page
科学技術振興調整費による総合研究	
「構造物の破壊過程解明に基づく生活基盤の地震防災性の向上に関する研究」の概要……………	1
研究リーダー 濱田 政則（早稲田大学理工学部土木工学科）	
a 既存構造物の耐震性調査法	
1 常時微動計測に基づく構造同定……………	5
○佐藤 忠信（京都大学防災研究所）	
本田 利器（同上）	
梶 啓介（京都大学大学院工学研究科）	
2 ジャークセンサによる構造物の地震応答に含まれる不連続点の検出……………	11
曾根 彰（京都工芸繊維大学工学部機械システム工学科）	
山田 真（早稲田大学理工学総合研究センター）	
山本 鎮男（同上）	
3 既存コンクリート構造物の欠陥探査と損傷度評価のための 非破壊的な調査法に関する研究……………	15
○大津 政康（熊本大学工学部環境システム工学科）	
飯田 剛史（熊本大学大学院自然科学研究科）	
渡辺 健（同上）	
4 非線形構造解析によるRC構造物の地震時即時損傷度判定基準作成の試み……………	19
○上半 文昭（鉄道総合技術研究所）	
目黒 公郎（東京大学生産技術研究所）	
5 FBG光ファイバセンサを用いた地盤ひずみ計測……………	23
佐藤 忠信（京都大学防災研究所）	
○本田 利器（同上）	
柴田 俊次郎（同上）	
竹川 直希（同上）	
b 大規模破壊実験のための振動台加振手法および計測・処理技術	
1 振動台加振手法研究用の非弾性挙動実現模型の製作……………	29
○清水 信行（いわき明星大学理工学部機械工学科）	
小川 信行（科学技術庁防災科学技術研究所）	
佐藤 栄児（同上）	
野波 健蔵（千葉大学工学部電子機械工学科）	

- 2 ピロティ崩壊実験の振動台への影響に関する予備試験…………… 3 5
 ○小川 信行 (科学技術庁防災科学技術研究所)
 佐藤 栄児 (同上)
 清水 信行 (いわき明星大学理工学部)
- 3 実大三次元震動破壊実験装置の加振機構開発…………… 4 1
 ○佐藤 栄児 (科学技術庁防災科学技術研究所)
 小川 信行 (同上)
 清水 信行 (いわき明星大学理工学部機械工学科)
- 4 超大型三次元地震震動台の動的シミュレータの開発…………… 4 7
 ○梶井 紳一郎 (三菱重工業(株)高砂研究所)
 安田 千秋 (同上)
 前川 明寛 (同上)
 奥田 幸人 (同上)
 原田 孝幸 (三菱重工業(株)下関造船所)
 小川 信行 (科学技術庁防災科学技術研究所)
 柴田 碧 (日本大学)
- 5 三次元地震振動台の高機能制御…………… 5 1
 ○前川 明寛 (三菱重工業(株)高砂研究所)
 安田 千秋 (同上)
 広江 隆治 (同上)
 井手 和成 (三菱重工業(株)長崎研究所)
 作野 誠 (三菱重工業(株)下関造船所)
- 6 実時間数値シミュレーションを組合せた耐震実験…………… 5 5
 ○梶井 紳一郎 (三菱重工業(株)高砂研究所)
 安田 千秋 (同上)
 広江 隆治 (同上)
 山下 敏夫 (三菱重工業(株)下関造船所)
- 7 変位計測手法の高度化に関する既往の事例と今後の動向…………… 5 9
 ○御子柴 正 (科学技術庁防災科学技術研究所)
 藤田 聡 (東京電機大学工学部機械工学科)
 新津 靖 (同上)
 古屋 治 (東京都立工業高等専門学校機械工学科)
 相川 慎一郎 (東京電機大学大学院工学研究科機械システム工学科)
 藤村 俊 (同上)
- 8 大規模破壊実験における計測・処理手法の高度化…………… 6 5
 藤田 聡 (東京電機大学工学部機械工学科)
 ○古屋 治 (東京都立工業高等専門学校機械工学科)
 新津 靖 (東京電機大学工学部機械工学科)
 御子柴 正 (科学技術庁防災科学技術研究所)
 相川 慎一郎 (東京電機大学大学院工学研究科機械システム工学専攻)
 藤村 俊 (同上)

- 9 均一土槽実験試料の作製方法及び比抵抗を用いたその評価方法…………… 7 1
 ○神宮司 元治 (工業技術院資源環境技術総合研究所)
 国松 直 (同上)
 泉 博允 (大成建設(株))
 望月 智也 ((株)篠塚研究所)

- 10 阪神・淡路大震災での人的被害データとその分析…………… 7 5
 熊谷 良雄 (筑波大学社会工学系)
 ○宮野 道雄 (大阪市立大学生活科学部生活環境学科)
 糸井川 栄一 (建設省建築研究所第六研究部)

c 鋼構造物の塑性域の挙動と終局強度

- 1 広ひずみ速度域における鋼構造材の強度のひずみ速度依存性…………… 8 1
 ○谷村 眞治 (大阪府立大学工学部機械システム工学科)
 三村 耕司 (同上)
 平井 更之右 (ダイハツ工業(株)材料技術部)

- 2 高性能鋼を用いた圧縮板の劣化域におけるダクティリティーと鋼材の機械的性質について…………… 8 7
 三上 市蔵 (関西大学工学部土木工学科)
 丹羽 量久 (日本電子計算(株)大阪支店技術営業部)
 ○宮西 淳 (関西大学大学院工学研究科土木工学専攻)

- 3 鋼構造物のじん性評価法の新しい試み…………… 9 1
 ○竹内 悦男 (科学技術庁金属材料技術研究所フロンティア構造材料センター)
 蛭川 寿 (同上)
 松岡 三郎 (同上)
 山田 哲 (東京工業大学建築物理研究センター)
 松本 由香 (横浜国立大学工学部建設学科)
 秋山 宏 (日本大学理工学研究科不動産科学科)

- 4 慣性加力装置を用いた鋼構造部分架構の動的破壊実験…………… 9 7
 秋山 宏 (日本大学総合科学研究所)
 ○山田 哲 (東京工業大学建築物理研究センター)
 松本 由香 (横浜国立大学工学部建設学科)
 小川 信行 (科学技術庁防災科学技術研究所)

- 5 直下型地震による大型鋼構造物の過渡応答時における動的応力…………… 1 0 3
 ○谷村 眞治 (大阪府立大学工学部機械システム工学科)
 斎藤 年正 (日立造船(株)技術研究所)
 榎田 努 (大阪府立大学工学部機械システム工学科)
 佐藤 登史 (大阪府立大学大学院工学研究科)
 小川 信行 (科学技術庁防災科学技術研究所)

- 6 弾塑性スペクトルによる多層鋼構造骨組の応答予測…………… 1 0 9
 ○山田 有孝 (鹿島 小堀研究室)
 金山 弘雄 (同上)

- 7 線形計画法に基づく鋼製円すい型貯水槽の塑性崩壊に関する研究…………… 113
 ○師 自海 (日本工営(株)中央研究所)
 中野 雅章 (同上)
 桜井 達朗 (同上)
- 8 鋼管杭式栈橋の地震時における破壊過程の解析…………… 117
 ○井口 重信 (早稲田大学大学院理工学研究科建設工学専攻)
 清宮 理 (早稲田大学理工学部土木工学科)
 横田 弘 (運輸省港湾技術研究所構造部)
- 9 強地震動を受ける鋼製橋脚の構成補剛板の座屈波形, および塑性ひずみの累積現象について… 121
 ○岡田 潤 (大阪市立大学大学院工学研究科)
 北田 俊行 (大阪市立大学工学部土木工学科)
 山野 敏郎 (日本構研情報(株))
- 10 コンクリート充填鋼管柱の隅角部の終局強度評価について…………… 125
 堀地 紀行 (日本鉄道建設公団設計技術室)
 保坂 鐵矢 (同上)
 ○依田 照彦 (早稲田大学理工学部土木工学科)
 勝尾 伸一 (日本シビックコンサルタント(株))
- d コンクリート構造物の塑性域の挙動と終局強度**
- 1 圧縮および引っ張り軸力作用下におけるPHC杭の曲げ破壊特性…………… 129
 三浦 房紀 (山口大学大学院理工学研究科)
- 2 鉄筋コンクリート橋脚の耐震性能の向上策に関する実験的研究…………… 135
 ○星隈 順一 (建設省土木研究所耐震研究室)
 運上 茂樹 (同上)
 長屋 和宏 (同上)
- 3 軸力変動による影響を考慮した場所打ち群杭基礎の繰り返し水平載荷試験の
 3次元弾塑性有限要素解析によるシミュレーション…………… 141
 ○張 鋒 (岐阜大学工学部土木工学科)
 八嶋 厚 (同上)
 木村 亮 (京都大学大学院工学研究科)
 渦岡 良介 (理化学研究所地震防災フロンティア研究センター)
- 4 地盤-基礎系模型を用いたハイブリッド振動実験…………… 145
 ○田村 敬一 (建設省土木研究所耐震技術研究センター振動研究室)
 小林 寛 (同上)

- 5 地盤－基礎との連成を考慮した橋脚の動的応答解析 …………… 151
- 高橋 祐治 (鹿島建設(株)土木設計本部)
 - 砂坂 善雄 (同上)
 - 塩崎 信久 (同上)
 - 大野 晋也 (同上)
 - 後藤 洋三 ((株)大林組技術研究所)
 - 孫 利民 (同上)
 - 斉藤 悦郎 ((株)フジタ技術研究所)
 - 岸下 崇裕 (同上)
- 6 アンボンド高強度芯材による高耐震性能RC橋脚の開発…………… 157
- 家村 浩和 (京都大学工学研究科土木システム工学専攻)
 - 高橋 良和 (同上)
 - 曾我部 直樹 (京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻)
 - 鵜飼 正裕 (京都大学工学部工学研究科土木システム工学専攻)
- 7 ON SEISMIC FAILURE OF RC BRIDGE PILE FOUNDATION IN VIEW OF
NONLINEAR PILE-SOIL INTERACTION …………… 163
- Jorge SHIMABUKU (岡山大学環境理工学部環境デザイン工学科)
 - Hirokazu TAKEMIYA (同上)
 - Abdullah Can ZULFIKAR (同上)
- 8 場所打ち杭のポストピーク解析のためのファイバー要素を用いたモデル化手法…………… 167
- 白戸 真大 (建設省土木研究所構造橋梁部基礎研究室)
 - 福井 次郎 (同上)
 - 木村 嘉富 (国土庁)
- 9 大型せん断土槽振動実験に基づくボックスカルバートの塑性域挙動…………… 171
- 大友 敬三 ((財)電力中央研究所我孫子研究所)
 - 末広 俊夫 (同上)
 - 金津 努 (同上)
 - 松本 恭明 (関西電力(株)土木建築室)
 - 岡市 明大 (同上)
- 10 実際に使用されてきた地中構造物を用いた地震時の耐力・変形性能に関する載荷実験…………… 175
- 平松 住雄 (中部電力(株)土木建築部)
 - 橘 泰久 (同上)
 - 秋山 伸一 (佐藤工業(株)中央技術研究所)
 - 荒添 正棋 (同上)
- 11 鉄筋コンクリート部材の損傷評価 …………… 179
- その1: コンクリートの応力歪特性に歪速度が与える影響
 - その2: 鉄筋コンクリート梁・柱接合部の性能評価
 - 河野 進 (京都大学工学研究科建築学専攻)
 - 藤井 栄 (京都大学工学研究科環境地球工学専攻)
 - 西山 峰広 (京都大学工学研究科建築学専攻)
 - 渡辺 史夫 (同上)

- 12 鉄筋コンクリート造ピロティ建築物の崩壊メカニズムに関する研究…………… 185
 -6層平面フレームのサブストラクチャー仮動的実験-
 倉本 洋 (建設省建築研究所第3研究部)
 ○福田 俊文 (建設省建築研究所第4研究部)
 壁谷澤 寿海 (東京大学地震研究所)
 中塚 善博 (東京大学大学院工学研究科)
 顧 建華 (日本建設業経営協会中央技術研究所)
 松本 和行 ((株)藤木工務店本社技術研究所)
- 13 兵庫県南部地震における神戸市灘区の建物の応答解析(その2 上部構造物の応答解析) …… 191
 ○Kangning LI (理化学研究所地震防災フロンティア研究センター)
 日比野 浩 (同上)
 久保 哲夫 (同上)
 亀田 弘行 (同上)
- 14 応用要素法:高精度数値震動台としての可能性…………… 195
 ○目黒 公郎 (東京大学生産技術研究所)
 Hatem TAGEL-DIN (カイロ大学工学部)
- 15 SIMULATION OF BUCKLING BEHAVIOR OF ELASTIC STRUCTURES
 BY APPLIED ELEMENT METHOD…………… 199
 ○目黒 公郎 (東京大学生産技術研究所)
 Hatem TAGEL-DIN (カイロ大学工学部)
- 16 RC構造の破壊挙動に与える材料特性の違いや空間的なばらつきの影響についての基礎的考察… 203
 ○斉藤 康裕 (東京大学大学院工学系研究科)
 目黒 公郎 (東京大学生産技術研究所)
- e 液状化および側方流動に対する構造物の挙動**
- 1 弱層の存在により側方移動する地盤中の杭の挙動…………… 207
 ○菊池 喜昭 (運輸省港湾技術研究所土質部基礎工研究室)
 廣瀬 栄樹 (大成基礎設計(株)技術本部)
- 2 杭の水平地盤反力の推定方法に関する検討…………… 213
 ○森 伸一郎 (愛媛大学工学部環境建設工学科)
 込山 貴士 (愛媛大学大学院理工学研究科)
- 3 液状化時の地盤変状に対する地中パイプラインの挙動と対策…………… 217
 ○渕田 邦彦 (八代工業高等専門学校土木建築工学科)
 秋吉 卓 (熊本大学工学部環境システム工学科)
 尻無濱 昭三 (鉄建建設(株)技術研究所)
- 4 地中構造物の浮上に関する実験的研究…………… 221
 ○毛利 栄征 (農林水産省農業工学研究所)
 河端 俊典 ((株)クボタ)
 松島 建一 (農林水産省農業工学研究所)

- 5 被害構造物に見られる液状化現象の影響 2 2 7
 ○森 伸一郎 (愛媛大学工学部環境建設工学科)
 沼田 淳紀 (飛島建設(株)技術研究所)
 関 宝琪 (同上)
- 6 液状化・側方流動で損傷した鋼管杭の被害の検討 2 3 1
 ○三輪 滋 (飛島建設(株)技術研究所)
 池田 隆明 (同上)
 大岡 弘 (新潟工科大学建築学科)
- 7 傾斜地盤における側方流動のメカニズムと変位量の予測 2 3 5
 濱田 政則 (早稲田大学理工学部土木工学科)
 河野 暁 (早稲田大学理工学研究科)
 那須 太郎 (同上)
 柳瀬 和俊 (同上)
- 8 庫県南部地震における神戸市灘区の建物の応答解析 (その1 地盤と基礎の応答) 2 4 1
 ○渦岡 良介 (理化学研究所地震防災フロンティア研究センター)
 日比野 浩 (同上)
 新井 洋 (同上)
 久保 哲夫 (同上)
 亀田 弘行 (同上)
- 9 深層混合処理の液状化防止効果 2 4 5
 ○小宮 一仁 (千葉工業大学工学部土木工学科)
 渡邊 勉 (同上)
 清水 英治 (同上)
- 10 P波を用いた地盤の飽和度計測法の開発 2 4 9
 ○田村 修次 (信州大学工学部社会開発工学科
 (科学技術庁防災科学技術研究所 併任))
 阿部秋男 ((株)東京ソイルリサーチ特殊試験室)
- 11 盛土の強地震動崩壊の粘塑性有限要素法シミュレーション 2 5 5
 小宮 一仁 (千葉工業大学工学部土木工学科)
 赤木 寛一 (早稲田大学理工学部土木工学科)
 ○玉野 亮人 (ケミカルグラウト(株)技術本部設計部)
 高橋 正光 (同上)
- 12 遠心載荷振動実験によるロックフィルダムの地震時損傷に関する検討 2 5 9
 有賀 義明 (電源開発(株)茅ヶ崎研究センター)
 曹 増延 ((株)開発計算センター科学システム事業部)
- 13 正弦波入力による砕石道床の破壊挙動に関する解析 2 6 3
 相川 明 (国立大分高専土木工学科)

3.3 総合報告書の刊行

各受託研究機関の協力を得て、総合報告書を刊行した。総合報告書は受託研究機関ごとに分冊となっており、各分冊のタイトルは以下の通りである。

報告書タイトル	担当機関
総合的検討	(社) 土木学会
耐震性評価のための支援技術の開発 (1) 既存構造物の耐震性調査法の開発	京都大学防災研究所
大規模破壊実験のための計測・処理技術および振動台加振手法の高度化 ①試験体の動特性および破壊を考慮した加振手法の高度化	科学技術庁 防災科学技術研究所 いわき明星大学
大規模破壊実験のための計測・処理技術および振動台加振手法の高度化 ②大規模破壊実験における計測・処理手法の高度化	科学技術庁 防災科学技術研究所 東京電機大学
大規模破壊実験における人体被災計測手法の開発 ① 阪神・淡路大震災での人的被災データとその分析 ② 関東大震災から兵庫県南部地震までの人的被災の状況と要因	科学技術庁 防災科学技術研究所 筑波大学
鋼構造物の実地震荷重下における破壊特性の解明 ①大型鋼構造物の動的応答解析および部材・骨組試験	科学技術庁 防災科学技術研究所 日本大学
鋼構造物の実地震荷重下における破壊特性の解明 鋼材の動的強度および靱性評価の研究	科学技術庁 金属材料研究所
鋼構造物の実地震荷重下における破壊特性の解明 ①大型鋼構造物の動的応答解析および部材・骨組試験 ②鋼材の動的強度および靱性評価の研究	大阪府立大学
構造物構成要素の耐震性能指標の構築 ①鉄筋コンクリート部材の損傷評価 ②鉄筋コンクリート架構の損傷評価	建設省建築研究所 京都大学 東京大学地震研究所
橋脚の破壊過程解明と最適補強方法の開発 ①基礎-地盤との連成を考慮した橋脚の破壊過程の実験的検討	建設省土木研究所
橋脚の破壊過程解明と最適補強方法の開発 ②基礎-地盤との連成を考慮した橋脚の破壊過程の解析的研究	鹿島建設(株)
合成構造を用いた次世代高性能橋脚の開発	建設省土木研究所 京都大学
基礎・地盤系における大規模三次元振動実験手法の開発 ①大規模地盤の振動実験における地盤作成法・計測技術の開発	科学技術庁 防災科学技術研究所
基礎・地盤系における大規模三次元振動実験手法の開発 ②せん断土槽を用いた三次元地盤実験手法の開発	農林水産省 農業工学研究所
液状化地盤の側方流動のメカニズムの解明と地盤変位の予測手法の開発	早稲田大学理工学部
液状化および側方流動による杭基礎の破壊過程の解明 側方流動地盤中の杭間土のすり抜けに関する予備検討	運輸省港湾技術研究所
液状化および側方流動による杭基礎の破壊過程の解明 圧縮・引っ張り軸力作用下におけるPHC杭の曲げ破壊特性 遠心載荷実験による液状化地盤から杭に作用する外力の評価 杭基礎の破壊過程シミュレーションプログラムの開発要件に検討	山口大学

各研究の概要を以下に示す。

3.3.1 耐震性評価のための支援技術の開発－既存構造物の耐震性調査法の開発

委託機関名

京都大学防災研究所

キーワード

システム同定, 光ファイバー, アコースティックエミッション, CCDカメラ, ひずみ記憶型センサー, コンクリートひび割れ, コンクリートの劣化, 構造損傷度

Synopsis

Software Development

Based on a recent review of system identification, there is a number of promising methodologies corresponding to the system identification such as an adaptive H infinity and Kalman filter, a neural network with forgetting capability of network structure, a conditional identification algorithm of temporal and spatial fields, an identification algorithm to identify the chaotic time series. In this project we develop an efficient time-marching identification algorithm to be able to use for identifying non-linear and non-stationary structural systems. The robustness is included in developed identification algorithms to lessen the effect of the large modeling uncertainty associated with most structural members (hysteretic behavior, yielding, fracture, etc.) on the result of structural identification. Both parametric as well as non-parametric system identification technologies are also developed suitable to deal with highly nonlinear and time varying systems.

Hardware Development

A portable censoring and signal processing system is developed for health monitoring of civil structures with the intent of detecting specific modes of damage and failure. The system developed is an integrated computer-aided system to detect the deterioration due to the secular change of structural system based on a prototype integrated real-time monitoring system to detect post-earthquake structural damage. Although there has been a considerable amount of research on health monitoring of structures, there has been very little work on remote monitoring of damage in large civil structures. In this project we target a novel approach using smart sensors and wireless communication technology to monitor the health of large civil structures remotely. Not only velocity type seismometers but carbon fiber strain sensor and optical fiber sensors are used to monitor the seismic and microtremor response of structural systems. To identify internal defects visually, stack imaging of spectral amplitudes based on the impact echo is developed. In order to estimate the damage degree of concrete from core samples, the rate process analysis of acoustic emission (AE) activity is proposed and examined.

研究の背景

1994年のノースリッジ地震ならびに1995年の兵庫県南部地震では比較的古い構造物が大きな被害を受けたが、地震直後に個々の構造物被害の詳細を把握することは非常に困難であった。実時間で構造物の応答がモニターできるシステムがあれば、地震直後に既存の建物の健全度を迅速に評価することが可能である。また、都市社会資本が充実するに伴って、適切な時期に既存都市施設の補強を行って都市の耐震性を向上する必要があるが、このためには継続的に都市建物群や土木施設の耐震健全度を遠隔操作によりモニターできるシステムの構築が望まれている。

研究の目的

既存構造物の耐震性を評価するためには、構造物の構成要素である鉄筋やコンクリートの腐食状態のみならず構造物全体としての劣化状態を精度良く調査する技術が不可欠である。また、地盤を含む構造物基礎系の強度特性を把握するための調査手法の開発も必要である。調査技術は簡便でかつ廉価であることが要求される。土木・建築分野ですでに提案されている方法に加え、レーザー計測、光ファイバー計測技術、ひずみ記憶型センサー、加速度計ならびに速度計等を利用した構造動特性の実時間計測システムを開発する。さらに、コンピュータ断層撮影技術を利用したコンクリート構造物や鋼構造物の非破壊検査の新しい技術について研究する。構造物直下の地盤特性や土構造物の経年変化を計測するための調査技術を開発するために光ファイバーを利用した地盤内多点動的ひずみ計測システムを開発する。

主な結果

平成11年度の研究成果として得られた内容をソフトとハードに大別してまとめると以下のようなになる。

ソフトの開発

システム同定の方法論としては、H無限大やカルマンフィルター、ネットワーク構造の記憶減退機能を有するニューラルネットワーク、時空間場条件付同定アルゴリズム、カオス時系列の同定技術など多様なものがある。本年度は、構造物の非線形型応答特性のみならず非定常動特性の同定を効率的に行えるアルゴリズムの開発を行った。システム同定では、構造要素の履歴特性や降伏・破壊特性などのモデル化に伴う不確定性に強いアルゴリズムが必要であるので、適応型カルマンフィルターを用いて非線形構造系の線形同定法のアルゴリズムを開発した。また、モンテカルロフィルターを用いた構造同定アルゴリズムの開発を行った上で、実大構造物の常時微動計測値を用いて、開発したアルゴリズムの有効性を検証した。

ハードの開発

地盤内既存構造システムの健全度や地震による損傷度を調査するためのシステムを開発する。開発されるシステムは高速演算が可能な小型コンピュータと一体となったものである。解析システムだけではなく携帯可能なセンサーシステムの開発も重要なテーマである。構造物のヘルスマonitoringシステムでは構造物の劣化度ならびに地震時における損傷度の検出を遠隔操作により行えるようにしておく必

要があるが、現存のシステムにはそのような機能が無いので、本研究では光ファイバーや高分子樹脂ファイバー、炭素繊維など先端材料を用いたひずみ記憶型動計測システムを設計し、それをワイヤレスのシステムとして遠隔地から計測データを収録できるシステムの設計を行う。本年度は地震時に地盤内に発生する動的ひずみと多点で同時に実時間観測できるシステムの開発に重点をおいた。

今後の展開

光ファイバーを用いた地盤内ひずみ計測装置については平成 11 年度に基本的な要素実験を終えて開発のめどはほぼついている。平成 12 年度に小型計測装置の開発を行ない、せん断土層を用いた実験によりその有効性を確認するとともに、プロトタイプの開発に着手する。

構造物のヘルスマモニタリングのためのシステム同定手法の開発については、常時微動を用いた線形動特性の同定のみならず強震時の構造物の応答から構造物の非線形応答特性を実時間で同定する手法を確立する。さらに、強震時に構造物が受ける損傷の程度を判定できるとともに損傷位置を同定するための方法論を開発する。構造物の応答の計測システムに用いるセンサーとしては、「加速時計では非線形動特性の同定が困難になる」という本年度の成果から加速時計ではなく速度計を利用するワイヤレス計測システムを開発する。

既存の一般的な構造物の地震時損傷を検出するために、多数の地震計(速度計)をセンサーとして建物内に配置するのは費用に面から現実的でない。そこで外部電源を必要としない簡便な最大ひずみ計測システムを開発する。そのために、光ファイバーや高分子樹脂ファイバー、炭素繊維など先端材料を用いた最大ひずみ記憶型センサーを開発しその有効性を検証する。コンクリート構造部材の損傷度を検出するシステムとして、CCD カメラを用いたコンクリート構造物のひび割れ計測システムの開発を図り、その有効性を検証するとともにアコースティックエミッションを利用した、コンクリート部材内の欠陥検出システムの開発を行なう。

3.3.2 大規模破壊実験のための計測・処理技術および振動台加振手法の高度化

(1) 試験体の動特性および破壊を考慮した加振手法の高度化

委託機関名

科学技術庁防災科学技術研究所，いわき明星大学

キーワード

振動台制御，破壊実験，油圧アクチュエータ，MRダンパ

Synopsis

3-D full-scale earthquake testing facility was planned and is now under construction in the city of Miki in Hyogo Prefecture. Since no similar facility has been built to test destruction, the necessity of enhancing the procedures of the shaking-table operation and controls has been highlighted. Therefore, in this study, the performance and control methods to achieve stable and proper shaking-table motion when the testing model on the shaking-table will progress through the collapsing and destroying range during such an operation, will be investigated. From this study, a guideline for the optimizing the shaking-table operation and control methods to reproduce the target wave will be made.

研究の背景

1995年に発生した阪神・淡路大震災では、多くの構造物で想像もしなかった被害が生じた。兵庫県南部地震の経験から私たちはそれまで安全だと考えていた構造物の中にも安全でないものがあることがわかってきた。そこで構造物の破壊過程を解明するため、実大三次元震動破壊実験施設が提案され、現在この建設が急ピッチで進められている。試験体としての構造物が破壊することを前提とした振動台はこれまでに例がなく、実験精度の向上のために、破壊を考慮した振動台加振手法及び制御手法の高度化が必要となってくる。そこで本研究では振動台に搭載した試験体が破壊にともないその特性を変化させていく過程においても所要の加振性能を維持・制御できる加振制御則を明らかにするために、この研究に取り組むこととなった。

研究目的

構造物の破壊過程を解明する方法として振動台による加振実験を行う方法が考えられる。しかし、既存の振動台における加振制御手法はほぼ確立されているが、それらの加振手法のほとんどが構造物（試験体）の破壊まで考慮した理論になっていない。そのため、構造物の破壊過程を考慮した加振手法の高度化が必要となる。

そこで、本研究の目標は構造物が破壊によりその特性を変化させていく状況のなかで振動台の加振波形を忠実に再現するような加振手法の確立と模型に応じた振動台加振手法のガイドラインの作成を目指すことである。

主な結果

加振手法の高度化を目指す手始めとして、防災科学技術研究所所有の既存の小型2次元振動台の性能把握を行った。本研究を進めて行く上で各種制御アルゴリズムを検証するため制御装置のデジタル化が必要である。また、振動台としての基本的な精度向上また各種データを計測するため加振装置の更新が必要である。

小型2次元振動台を用いた実験において試験体の破壊挙動を繰り返し再現できる破壊シミュレータの開発を行った。このシミュレータはMR（磁性流体）ダンパーを用いており、シミュレータの目的である履歴特性と剛性の低下を実現できることが確認できた。

また、プロティ構造物の崩壊を模擬した試験体を用い、試験体の崩壊が振動台に与える影響を調査した。崩壊による衝突時などを除けば、崩壊前後の振動台波形はほぼ同様であることがわかった。

今後の展開

破壊シミュレータを用いた振動実験を行い、加振波形に与える影響を調査する。その結果についてシミュレーションを行い、加振波形への影響を軽減できる制御手法を検討し、実証する。

また、プロティ構造物の崩壊による加振波形への影響についてもその影響を軽減する制御方法等の検討を行い実証も合わせて行う。

これらの結果をふまえて、中型振動台での試験体崩壊実験における加振手法の検討を行い及び実証していく予定である。

(2) 大規模破壊実験における計測・処理手法の高度化

委託機関名 科学技術庁防災科学技術研究所，東京電機大学

キーワード 実規模破壊実験，非接触，三次元計測，画像処理，動的位置計測

Synopsis

The world largest shake table is now being constructed in Japan to clarify fracturing or breakdown process of structures. However, it is difficult to measure these processes by using conventional measurement methods, because the measurement of enormously large dynamic displacement will be the key to a solution. In this study, the R&D will be carried out for the measurement method of fracturing or breakdown process by applying a motion capture technique, which has been mainly studied for modeling of human motions, and a dynamic position measurement using the radio wave. In shake table tests, moreover, it is considered to be important to clarify the total input energy into the test structures to evaluate the structural fracturing process. However, any accurate measurement method regarding this has not been established yet. This study also examines to enhance the seismic design method by measuring and evaluating the total input energy into the structures during the shake table tests.

研究の背景

近年の兵庫県南部地震をはじめとした都市部での強地震の経験より，そのような強地震動を想定した産業施設や各種構造物の耐震性向上を目的とした耐震基準の改定が検討されてきている。しかしながら，このような強地震時の構造物の塑性領域での挙動や崩壊過程に関しては，十分な知見が得られておらず，今後の耐震設計を考える上でこれらの解明が重要となっている。特に建物の倒壊／崩壊現象を解明するためには従来行われているような縮小モデルを用いた振動実験でなく実規模モデルを用いた振動実験による検討が有効だと考えられる。1995年より科学技術庁防災科学技術研究所を中心として兵庫県三木市に兵庫県南部地震をはじめとした強地震動を再現でき，構造物の崩壊過程を解明，実証できる実大三次元震動破壊実験施設の建設が検討され，現在，その建設が進められている。ここでは，実大規模の橋梁，建築物，タンク，電力施設，地盤・基礎・地中構造物などを震動台に搭載し震動実験を行うことで各種構造物の崩壊過程を3次元的に検証することを目的としている。しかしながら，このような実大規模のモデルを用いた震動破壊実験において，その地震時崩壊過程を的確かつ3次元的に捉えるためにはこれまで一般的に用いられてきた接触型／非接触型変位センサーによる測定手法では困難でありこれに変わる新たな計測手法を確立する必要がある。

研究目的

大規模模型の地震時崩壊過程を明確にするためには変位計測が重要となる。しか

しながら、本事象を的確に捉えるためには一般的に用いられている接触型変位センサーによる測定手法では精度良く計測することが困難であり、これに変わる新たな計測手法を確立する必要がある。このため、大規模模型を対象とした画像処理による変位計測の高度化を図るとともに、動的にセンサー位置を追跡する計測法を検討する。また、振動台を用いた加振実験においては、構造物の崩壊モードを評価する上で、地震による総エネルギー入力を明確にすることが重要であることが知られているが、これを直接精度良く計測する手法はまだ確立されておらず、これを検討することは極めて重要である。

主な結果

本研究で目的の一つである「実規模模型を用いた震動実験時の構造物崩壊過程の計測」を実施するためには、一般的に用いられている接触・非接触型変位センサーによる測定手法では困難であり、以下のような条件を満たす計測手法を検討する必要がある。

- ・実規模構造物等の大きな計測対象の三次元計測
- ・破壊・崩壊現象までを計測できる非接触型三次元計測
- ・破壊・崩壊現象を解明し得る測定精度

既存の計測手法に関する文献調査等から、これらの条件を満たす計測手法として、以下の計測手法を検討することとした。

○ステレオ法を適用した CCD カメラによる 3 次元位置姿勢計測

○電波を利用した 3 次元位置計測

CCD カメラおよび電波を利用した 3 次元位置計測は、従来の研究によりその基本的計測理論は、すでにほぼ確立されたものであるが、上記の条件を満たすためには、ハード・ソフトの両面から三次元震動破壊実験に適した計測技術の研究開発を行っていく必要がある。現在は、計測用ソフトの構築を進めており、CCD カメラからの入力画像での光点（マーカー）の位置座標の検出、複数光点の位置座標自動計測等が行える段階にある。電波を利用した 3 次元位置計測に関しては、複数マーカーの同時計測を行う上での技術的調査検討を行っている。

また、振動台を用いた加振実験においては、構造物の崩壊モードを評価する上で、地震による総エネルギー入力を明確にすることが重要であることが知られており、ここでは、振動実験時の入力エネルギー量の計測手法を検討し、構造物の崩壊モードを精度良く予測することで耐震設計手法の高度化を計ることも併せて検討している。現在は、入力エネルギー計測に関して、簡単な解析モデルを用いたシミュレーションを実施し、その有効性を検討している。

今後の展開

画像処理による動的変位計測システム、および電波等利用による動的位置追跡装置の設計・試作を行い、簡単な建物モデルを用いた振動実験より、計測システムの有効性を確認する。また、併せて実験的に振動台入力エネルギー計測手法の検討を実施する。その後、実大三次元震動破壊実験施設での利用を前提とした画像処理に

おける動的変位計測装置，および電波等利用による動的位置追跡手法の高度化を行い実用化に向けての開発を行うとともに，大型振動台等を用いて実際に構造物モデルを搭載した振動実験等を実施し，震動台エネルギー入力計測に基づく加振手法の改良と実用化に向けての開発を行う。

(3) 大規模破壊実験における人体被災計測手法の開発

受託研究機関名

科学技術庁防災科学技術研究所 筑波大学 大阪市立大学

キーワード

人体被災， 阪神・淡路大震災， 死因， 人体ダミー， 模型実験

Synopsis

More than five thousands and five hundreds lives were directly lost in the Great Hanshin-Awaji Earthquake. The majority of fatalities were crushed to death under completely collapsed wooden buildings. However, we have not any research reports about the causes of death and the process to death. In this report, we compiled human hazard data sets in the Great Hanshin-Awaji Earthquake and tried to clarify the relations of each fatality to damage, use and structure of buildings that was living the fatality before the earthquake.

研究の背景

防災の目的は、災害時あるいは災害後において人間への影響を最小限にとどめるとともに、財産を保全することにある。究極的には、防災は、人間の生命への影響を最小限になるよう計画・実施されなくてはならない。阪神・淡路大震災での構造物崩壊等により多くの人命が現実に奪われたことで、崩壊をも前提とした、地震被害から直接的な死傷を低減する対策の必要性が明らかとなった。その対策を発案・実施するためには、従前の構造物に着目した研究と共に、震災が人体に与える影響に着目した人体被災の研究も行わなくてはならない。

平成10年度のF S調査：「大地震時における構造物等の破壊過程解明のための試験体設計及び解析に関する調査」から提案された研究課題は、①強震動への人体応答と家屋被害等が人体に与える影響に関する研究、②強震動による人体被災計測ダミーおよび数値シミュレーション技術の開発、③強震動における人の応答行動と家屋被害等が人の反応に与える影響に関する研究、④人間行動数値シミュレーターの開発、および、⑤実大三次元震動破壊実験を想定した人間行動環境試験装置の開発の5課題であった。これらの課題の中から、当初、①および②を中心とした強震動による“家屋被害等が人体に与える影響”と“人体被災計測ダミーの開発”の内容を踏まえて「大規模破壊実験における人体被災計測手法の開発」が構成されたが、初年度に当たる平成11年度は「強震動による“家屋被害等が人体に与える影響”」のみが開始されているのが現状である。

したがって、現段階での目標は、当面、人体ダミー開発のための基礎的な資料を得ることとしている。すなわち、家屋破壊等が人体に与える影響を計測するための人体ダミーの開発にあたっては、家屋破壊によって人体のどの部位にどのような衝撃や荷重がもたらされるかを解明する必要がある。

研究目的

震災と人間の損傷との関係を医学、工学の両面から定量的に明らかにするためには、過去の人体被災データに基づいた人体模型計測手法の開発が必要と考えられる。そこで本課題ではまず、阪神・淡路大震災における人体被災の要因について整理すると共に、地震における建築物の破壊が人体に与えた影響の事例を系統的に整理し、統合的な人体被災データベースの構築を目的とした。

主な結果

① 阪神・淡路大震災での人的被災データとその分析

人的被災に関するデータとして、死者、重傷者など様々なデータが研究者個々に管理されていたが、被災対象者のマッチングなどを通じ、各データの統合を図ることができた。最終的に約5500事例の統合、登録を済ませることで、人体被災計測の基礎データベースを構築できた。

② 関東大震災から兵庫県南部地震までの人的被災の状況と要因

地域、時代による差異などを把握するために、1923年の関東地震を初めとする過去の大地震についても、可能な限りの人的被災データを収集し、被害要因の抽出、類型化を行った。

今後の展開

① 構造物等の破壊による人体の損傷の分析

作成したデータベースをもとに、重要な事例を分類整理すると共に、代表的な事例については生データの詳細な分析を行い、人体被災をもたらす力学的、構造学的諸条件を明らかにする。また、人体の損傷の医学的メカニズムと工学的条件の関連を明確にする。

② 震災用ダミーの試設計

人体被災計測方法については、人体の損傷の分析に基づき、粗モデルとしての人体ダミーの材料、構造の選定、搭載センサーの計画、試設計を行う。また、震動台による人体ダミー損傷予備実験の実施方法を検討し、概略計画を立案する。予備試験は平成13年度に他の研究課題との連携をベースに実施する予定である。

3.3.3 構造物の実地震荷重下における破壊特性の解明

(1) 大型鋼構造物の動的応答解析および部材・骨組試験

受託研究機関名

科学技術庁防災科学技術研究所，日本大学

キーワード

鋼構造，骨組，地震応答，脆性破壊，振動実験

Synopsis

Many types of steel structures were collapsed or failed by strong motion in Great Hanshin-Awaji Earthquake Disaster. Some of them were observed to be brittle fracture of steel components. This type of failure could cause collapse of whole structure and is one of the most important failure modes of structure. There have been many studies on seismic behaviour of steel structures, but the brittle failure process of real size structure or components are not yet become clear.

The mechanism of such brittle failure of real size structure will be finally verified using large test system such as 3-D large scale shaking table under construction. In order to perform effective large verification test in future, the failure process model of material, member element and basic frame must be established using real size components. Then this study aims to realize the brittle failure of large size steel structure components by experiment and obtain the parameter effects on fracture. The large size basic frame test will be conducted using the large scale shaking table and inertial force loading equipment in 2001 fiscal year. The test results will be compared with analytical estimations and applied to failure process modeling.

研究の背景

阪神・淡路大震災では、激しい地震動により鋼構造建物に脆性破壊と思われる各種の被害を生じた。同様の被害は米国のノースリッジ地震等でも発生していることが知られている。鋼構造要素の脆性的破壊は、構造全体の急速な崩壊をもたらさるため最も危険な破壊モードの一つとされている。このような破壊現象については基礎的な研究が行われてきたが、破壊は寸法に依存することもあり、実験手法の制約すなわち実地震時と同様の高速荷重の再現及び試験体の大きさの制限などから未だ十分に解明されるに至っていない。地震時の実構造破壊の再現と検証、また耐震構造化の実証などは、現在建設中の大型三次元振動台などを用いて将来実施されると思われるが、そのような検証実験を有効ならしめるためには、材料、要素レベル、基本架構レベルでの破壊過程をできる限り実在に近い部材等を用いて再現し、実大実験に適用できるモデルを確立しておくことが必要である。

本研究はこのような必要性に基づいて計画されたものであるが、これまで多くの機関で実施されてきた鋼構造破壊実験などの成果及び、防災科学技術研究所、民間

企業及び東京大学が共同して行った官民特定共同研究(平成7-10年度)における大型振動破壊実験の成果などに立脚して進めるものである。

研究目的

本研究では、別途実施されている小課題とあわせて、阪神淡路大震災でみられた鋼構造物の破壊、特に建築骨組の脆性破壊のメカニズムを明確にすることを目的とする。脆性破壊は鋼材の寸法に依存するが、本研究では既存の大型振動台および改造可能な動的載荷試験装置を用い、実在寸法に近い鋼構造要素及び部材・骨組等の実験により、動的破壊特性、すなわち構造上重要なディテールの破壊に及ぼす影響や入力地震動としての速度や波形に対する依存特性を調べる。実験データをもとに、解析的手法とあわせ鋼構造部分架構における地震時脆性破壊の発生機構を明らかにする。

主な結果

- ・ これまでの地震被害事例の調査及び既往の実験研究の手法等を調査し、本研究で主な実験対象として、複数の破壊箇所を有する最も基本的な架構が適切であること、これに部材断面、寸法を考慮に入れ、また接合部のディテールを考慮することにより、実被害でみられる多くの損傷部位を取り上げることができると判断された。
- ・ 実験装置としては、これまで大型振動台実験用に開発、使用されてきた慣性力加振装置に側面ガイドの追加等の改善を行って用いるのが適切であるとの結果を得た。
- ・ 要素試験により、エネルギー吸収能力には材料靱性によらない上限値が存在すること、試験片形状に対し配慮すれば、材料靱性に関わらず十分なエネルギー吸収能力の発揮を期待できることなどの結果が得られている。
- ・ 実験に必要な計測機器(光学式変位計)の整備、解析に必要なソフトウェアの拡充などを行った。

今後の展開

平成12年度は、今年度実施した要素試験を継続し、その結果を踏まえて大型実験の代表的試験体についてディテールの基本設計を行う。試験体の形状、数量等についてもこれまでの研究、被害例を参考に概略決定する。また、代表ケースについて変形、応力等の予備解析を実施するとともに、既往の実験をもとに破壊過程を推測し、これを試験体設計に反映させる。さらに、大型実験に必要な加力架構等の詳細設計を行うとともに、その一部を製作し、機能・強度を確認する。平成13年度は、これらの準備をふまえて大型振動実験を実施する。

(2) 鋼材の動的強度および靱性評価の研究

受託研究機関名 金属材料技術研究所

キーワード

阪神・淡路大震災, 靱性評価, 破面情報, シャルピー衝撃試験片, 実大試験体

Synopsis

Many steel structures were damaged on Hanshin-Awaji great earthquake of January 17, 1995. One typical example was the buckling of steel columns in highways and another was the brittle fracture of steel box columns in high-rise buildings. This study aims at developing method of evaluating toughness for steel structural components from Charpy impact test and fracture analysis in Charpy specimens.

Charpy impact tests were carried out for SM490A steel on the market. In parallel to this, fracture surface of Charpy impact specimens were observed by a scanning electron microscope (SEM). Ductile fracture specified by dimples was formed ahead of brittle fracture in Charpy impact specimens. The relationship between the Charpy absorbed energy and the ductile crack depth from notch root for Charpy impact specimens was independent of the material and temperature without the upper shelf region.

The relationship between the Charpy impact specimen and the large specimen was discussed using the previous results of full scale shaking table tests of beam-to-column welded connections under loading simulated Hanshin-Awaji earthquake. Based on the results, we proposed that when the ductile crack depth of large specimen was the same that of Charpy impact specimen, the toughness of large specimens was evaluated as the Charpy absorbed energy.

Materials and specimens for SM490A steel with different toughness compared with above steel were manufactured. Furthermore, low temperatures test chamber for test of fracture toughness was also manufactured. At present, Charpy impact tests and SEM fractography are carrying out.

研究の背景, 研究の目的, 主な結果, 今後の展開

阪神・淡路大震災では多くの鋼構造物に被害が生じた。その中に通常低靱性材で生じる脆性破壊が起こったことを教訓とし、本研究では鋼構造物の動的強度および靱性評価法の見直しと開発を行うことを目的としている。特に、鋼構造物の靱性は主にシャルピー衝撃試験によって評価されている現状を考慮すると、破面情報を仲立ちとしてシャルピー試験片のような小型試験片と実大試験体との間を関連づけることが重要となる。まず、SM490A鋼市販材を用い、シャルピー衝撃試験を行うと共に、得られた試験片破面を走査型電子顕微鏡を用いて解析した。その結果、破壊起点近傍に形成される延性破壊領域の深さは、靱性評価において重要なパラメータとなり得ることを見い出した。さらに、これまでに得られている鋼構造骨組の部分架構を

想定した実大試験体による振動台試験結果を用いて、シャルピー試験片との関連を検討し、延性破壊領域の深さをパラメータにすると、実大試験体の靱性をシャルピー吸収エネルギーに置き換えて評価できる可能性を明らかにしている。このような考え方の妥当性を検証するために、現在、上記の市販材に比べて靱性が異なる材料を作成し、シャルピー衝撃試験と試験片の破面解析を実施中である。

(3) 大型鋼構造物の動的応答解析および部材・骨組試験および
鋼材の動的強度および靱性評価の研究

受託研究機関名 大阪府立大学

キーワード 阪神・淡路大震災，動的応答解析，直下型地震，破壊，過渡応答，
動的有限要素法，動的強度，ひずみ速度，応力-ひずみ，構成式

Synopsis

The main aim of this study is to make clear the occurrence of failure initiation at some parts of a large scale building, in the transient state, under strong near source earthquakes, and to elucidate the mechanism and process of the failure.

Dynamic behavior of a tall-building-model under violent simultaneous horizontal and vertical excitation due to a strong near source earthquake was studied focussing mainly on the initial transient behavior, based on the numerical simulations by using computer codes MSC/DYTRAN and DYNA 2D, 3D, respectively. It was found that stress of value about 0.9 time of dynamic yield strength of the column material occurred in some columns of the building at the initial transient state, and a high stress concentration was observed in the location near the connection part of the column with rib. These results show very possibility that a high stress sufficient to lead to the initiation of fracture can be reached in some parts of the tall building, at the initial transient state.

To study the dynamic behavior of large scale steel structures due to a strong earthquake and to analyze a fracture initiation and propagation, it is important to know the rate dependence of the material properties covering wide ranges of strain rates of $10^{-3}\sim 10^3$ s⁻¹ and strain. A practical constitutive equation covering the wide ranges of strain rates and strain which can be used in the simulations of the dynamic behavior of steel structures and in the fracture analysis of materials was introduced. Experiments were performed to obtain the rate dependence of tensile stress-strain curves of high and low toughness steels and of welding elements of steels. The obtained results are presented.

研究の背景

阪神・淡路大震災では，柱の脆性破壊，水平ひび割れ，橋脚中央部の座屈，ニールセン橋支承部の破壊など，従来の地震被害例とは異なるパターンのもものが数多く見られた．これらの被害例のいくつかのものには，直下型地震特有の地震動初期の激しい上下・水平方向の揺れに起因し，その揺れの初期の時間に対応した大型構造物の過渡応答時において，大型構造物の一部に，き裂や部分的破壊が生じ，その後の引き続く揺れによって大きな変形，破壊，座屈などに至った可能性の高いものがあることが指摘されている．

このような大型構造物の過渡応答時の挙動は，たとえば最高速度が同じ揺れ速度波形が作用するときでも，その速度波形の形状（立上りや立下りなど）によっても，

また構造物のモデル化や構造物を取りまく境界条件の設定の仕方によっても敏感に影響を受ける。ところが、構造物が大型のものではないときは、これらの影響は小さくなり、それらの影響を検証する実験が困難となる。また、大型構造物の動的挙動の解析においても、その大型構造物のモデル化、境界条件の設定、揺れ速度波形の入力条件（波形の形状など）を実際の状態、条件に注意深く近いものとしないと、その過渡応答時の挙動を過小評価することになる。

また、このような大型構造物の過渡応答時における柱や部材中の応力分布状態は、定常振動時におけるそれらとは異なる場合がある。したがって上述のき裂や部分的破壊が開始する部位が定常振動時に生じる部位とは違ったところで生じ、したがって破壊や座屈の生じる場所も違ったところで起こる可能性のあることが指摘されている。これらのことは、破損や破壊を防止するための新しい視点を示唆するものである。

研究目的

直下型実地震動による大型鋼構造物の破壊過程を解明するための、一つのアプローチとして、直下型地震特有の地震動初期の激しい上下・水平方向の揺れに起因して、その揺れ初期の時間に対応した大型鋼構造物の過渡応答時において、大型構造物の一部に脆性破壊が生じる場合、及び過渡応答時にはき裂や部分的破壊が生じ、その後の引き続く揺れによって大きな変形、破壊、座屈などに至る場合の破壊過程を解明することを、主目的としている。

また、このような破壊過程を解明するためには、実地震動のもとでの構造物の鋼材の動的強度を明らかにする必要がある。このためには、実地震荷重下で生じ得る鋼構造物の変形速度（ひずみ速度）域における鋼材の動的強度とともに、き裂、部分的破損や座屈が生じ、その後の揺れによりそれらが進展するときに対応した高ひずみ速度域での動的強度も把握する必要がある。したがって、準静的な低ひずみ速度域から高ひずみ速度域におよぶ広いひずみ速度域における鋼材の動的強度を実験的に明らかにすることを目的とするとともに、破壊過程に関する解析的研究に必要な広ひずみ速度域をカバーした鋼材の力学特性を合理的にモデル化した構成式を提示することも目的としている。

主な結果

- (1) 直下型地震動の記録波形を入力し、大型鋼構造モデル（高層建築物モデル）の動的挙動について、その揺れ初期の過渡応答に、とくに注目して、解析した。これにより、過渡応答時において、高層建築物モデルの柱のいくつかにおいて、その部材の動的降伏強さの約 90% に達する引張応力の生じる場合のある結果が得られた。
- (2) 仮定した高層建築物モデルの鋼製箱形柱には、梁やブレース、柱内のダイアフラム等が接合されているので、そのような接合部に動荷重が作用するときの応力集中現象を調べた。これにより、箱形柱破壊の実例の 1 つと良く対応した位置、すなわち柱とブレースの鋼管をつなぐリブの接合部近傍で、高い応力集中が生じる

結果が得られた。このような結果から、部材の不連続部等での応力集中現象を調べることが重要である。

- (3) 上記の(1)と(2)の解析結果を考え合わせると、直下型地震動による揺れ初期の過渡応答時において、仮定した高層建築物モデルの箱形柱の一部に、破壊や破損の開始が起こったものがある可能性が高く、今後、種々の角度から検討することが極めて重要である。
- (4) 過渡応答時に大きい引張応力が生じた柱の位置近くにおける柱の長手方向の応力分布状態を調べた。それによると、過渡応答時での柱に生じる応力分布の状態は、定常振動時での応力分布の状態とは異なり、かなり変動の小さい分布状態となっていた。このことは、揺れ初期の過渡応答時に破壊開始が起こるとき、その発生位置が定常振動時での発生位置と違ったところで起こる場合のある可能性を示している。
- (5) 鋼構造物の動特性を調べるために高靱性材と低靱性材、及び一部溶接部材を選び、これらの材料に対して、準静的変形域から 10^3 s^{-1} のオーダーの高ひずみ速度までの各種ひずみ速度での引張応力-ひずみ曲線を求めた。
- (6) 鋼構造物の動的変形、き裂進展、大変形、破壊を含む破壊過程を解析コードで大規模解析するために必要となる、広ひずみ速度域をカバーした鋼材の動特性を合理的にモデル化した構成式を提示した。

今後の展開

上記のような「主な研究成果」は、直下型実地震動による大型鋼構造物の破壊過程の解明のための、一つのアプローチとしての本研究の目的、視点の妥当性、重要性を、定量的に裏付ける結果を示している。今後(当面)、次のような課題に取り組み、本研究を推進することが、極めて重要であると考えている。

- (1) 直下型実地震動の水平方向揺れが、高層建築物モデルの桁方向と張間方向の任意の方向に作用するときの動的挙動。
- (2) 建築物モデルの基礎部の境界条件の設定の問題。
- (3) 構造物中の種々の不連続部での応力集中現象を明らかにすること。
- (4) 過渡応答時と定常振動時とで、大型構造物中に生じる動的応力分布の違いを明らかにすること。
- (5) 大型構造モデルに対して、常用の地震応答解析用モデルによる解析と、衝撃応答解析用モデル(応力波伝ばの影響を含む)による動的応答解析との結果とに対して、とくに過渡応答時に注目して両者の比較検討を行うこと。また、応力分布状態が、両者の場合によって異なる様子を、種々の構造部材を例に上げて定量的に検討する。
- (6) 今後実用が見込まれる代表的な鋼材、及び溶接部材の広ひずみ速度域における動的強度、変形特性、破断までの動的ひずみエネルギーを求めること。
- (7) 鋼構造物の動的変形、き裂進展、破壊等の破壊過程を解析コードで大規模解析するときに必要な広ひずみ速度域をカバーした実用構成式を使用するための、構成式を構成するパラメータ値を明示すること。

- (8) このような従来にない新しい視点，観点からの研究成果を整理して，直下型実地震動による大型鋼構造物の破壊防止のための，対策に対する一つの指針を提示すること。

3.3.4 構造物構成要素の耐震性能指標の構築

受託研究機関名

建設省建築研究所 京都大学 東京大学地震研究所

キーワード

鉄筋コンクリート造建物，拘束コンクリート，歪速度，梁柱接合部，定着，ピロティー構造，実建物と地盤の地震観測，高速加力実験，静的加力実験，サブストラクチャー仮動的実験

Synopsis

There are four sub-items in this research project about Establishment of Seismic Performance Index of Structure Elements of Buildings. The axial compression tests on the concrete cylinders with strain rate were implemented in the research item 1) on the effect of strain rate on stress-strain relation of confined concrete. The static loading tests on beam-column joints were carried out in the item 2) of the damage assessment on beam-to-column joint of RC structures. The substructure pseudo dynamic test on a six-storied model structure was finished in the item 3) of the seismic behavior of RC buildings with soft first story. The seismic observation of an existing building in Odawara-city in Kanagawa prefecture has been commenced in the item 4) of the soil-structure interaction assessment of existing buildings. This paper reports the results of the four research items obtained in the year of 1999.

研究の背景

兵庫県南部地震で鉄筋コンクリート造建物は，接合部の破壊や層崩壊など大きな被害を受け，その原因究明と耐震性改善の必要性が認識された。また，大きな被害を受けた建物の近くに無被害の建物があるなど，建物への地震入力と地盤条件との関連の解明の必要性も痛感された。一方，耐震設計法として，構造物の耐力に重点を置く従来の設計法から，構造の変形に重点を置く新しい，より精緻な設計法の提案が近年なされている。この設計法は，建築構造の性能を適切に評価し，それを設計に活かそうとするものであり，鉄筋コンクリート造建物の耐震設計も，将来はこの設計の適用に向かうものと推察される。

このような背景の下，鉄筋コンクリート造建物の耐震性向上を最終目標とし，新しい耐震設計法の将来の適用をも視野に入れつつ，先の神戸地震の震害から4項目のテーマを見出した。

研究目的

①歪速度が拘束コンクリートの応力歪関係に与える影響

歪速度が拘束コンクリートの軸応力-軸歪関係に与える影響を，スパイラル筋で拘束されたコンクリートシリンダーを用いた実験から定量化し，モデル化を行う

ことを目的とする。特に、歪速度の変化により破壊や損傷の形態にどのような変化が生じるかを確かめ、さらに応力-歪関係の剛性や最大軸応力等の様々な物理量の変化が歪速度に依存するものか拘束量の変化に依存するものかを明らかにする。

②柱・梁接合部における配筋詳細と接合部の性能、損傷に関する実験的研究

鉄筋コンクリート骨組構造における隅柱・外柱と梁の接合部を対象に、定着部ディテールとせん断耐力の相関、保有性能と損傷の関係を明らかにすることを目的としている。特に、1995年1月の兵庫県南部地震で見られた特徴的な被害事例を参考に、現行の設計指針の見直しを年頭に試験体の変数を決め、鉄筋詳細が接合部コンクリートの圧壊やせん断ひびわれ、柱・梁接合部の損壊等の損傷度に与える影響をモデル化する。

③ピロティ構造建物の地震時挙動の把握

兵庫県南部地震において、1層部分の耐力・剛性が他に比べて極端に小さいピロティ形式の鉄筋コンクリート造建物は大きな被害を受けた。ピロティ建物は地震時に1層柱に大きな変動軸力とせん断力を生じ、地震エネルギーがその層に集中した事が崩壊の一因であると指摘されているが、その崩壊メカニズムも含め、本質的な崩壊原因の解明には至っていないのが現状である。本課題は、ピロティ建物の地震時における層崩壊メカニズムによる挙動を把握することを目的としている。

④実在建造物の地震観測

建物の動特性(固有振動数、減衰、固有振動モード、刺激係数)は建物と基礎および地盤のおのおのが相互に影響しあって決まり、地震時にはこれらに地震動の特性が加わる。建物と地盤の相互作用を考慮した建造物の耐震設計のための地震応答解析を行うとき、建物の減衰要因の一つである逸散減衰をどのように評価するかは重大な問題である。逸散減衰は建物の振動エネルギーが地盤に逸散することによる減衰効果であり、本観測は、特に地盤の逸散減衰の評価をその目的とする。また、ピロティ構造の建物の観測も行い、ピロティ構造建物の地震時挙動の把握するための実測データを得る。

主な結果

①歪速度が拘束コンクリートの応力歪関係に与える影響

拘束が無い試験体では歪速度が増加するに従い最大軸応力は単調に増加するが、最大軸応力時軸歪は一旦減少してから増加する。しかし、拘束の程度を強めるに従い、最大軸応力及び最大軸応力時軸歪は歪速度に関わらず一定値となる傾向があった。さらに、最大軸応力及び最大軸応力時軸歪で基準化した基準化軸応力-基準化軸歪関係において、ピークに達するまでの載荷経路は、基本コンクリート強度と拘束程度には依存し、歪速度には依存しなかった。

②柱・梁接合部における配筋詳細と接合部の性能，損傷に関する実験的研究

L字型試験体に関する実験結果から荷重－変形特性について以下の知見を得た．

- ・ L字型接合部のせん断耐力は主筋の定着詳細に支配される．
- ・ 梁上端筋を 90° 折り曲げ定着とし余長を柱危険断面を越えて定着させることで正，負荷荷時に対しても指針式による評価は安全側となる．
- ・ 柱筋のプレート定着は 180° フック定着とほぼ同じ性能を有する．
- ・ 入り隅部の斜め筋の配置が負荷荷時の耐力，変形性能を大幅に改善する．

③ピロティ構造建物の地震時挙動の把握

6層ピロティ構造建物を対象としたサブストラクチャー仮動的実験を実施し，層崩壊メカニズムを検討した．El Centro NS (50kine に基準化) 波及び JMA 神戸波 (原波) の入力に対し，最終破壊モードは柱の曲げ降伏を伴う 1 層の層崩壊であった．最大応答時の外力分布，柱軸力が明らかとなった．一方，予備解析の結果は，層せん断力，変形相対水平変位，柱の作用軸力に関する実験結果と極めて良好な対応を示し，本実験手法の精度および使用した解析ツールの信頼性の高さが確認できた．また，来年度実施予定の振動実験用モデル建物の設計と試験体の一部を製作した．

④実在建造物の地震観測

小田原市酒匂所在の西湘高校に観測システムを構築し，1999年9月13日発生した地震観測に成功した．観測データの予備解析からはロッキングの成分が抽出され，自由地盤よりは建物の基礎付近地盤の変形が大きいなど，建物と地盤の相互作用の影響が見られた．ピロティ構造建物の場合は建物全体の変形の中，1階が占める部分が50%以上になる観測データが得られた．また，観測データの予備解析から観測点選定の適切性が確認された．

今後の展開

①歪速度が拘束コンクリートの応力歪関係に与える影響

初年度の実験では，限られた実験変数の範囲ではあるが，拘束コンクリートが高速荷重を受ける場合の応力－歪関係について定性的に特徴を押さえたと考えられる．以後は，実験変数の範囲を広げて初年度に押さえきれなかった実験変数の実験を行うこと，得られた応力歪関係の特徴を定量化し応力－歪関係をモデル化すること，またこうしたモデルを用いて柱や梁等の動的荷重状態における損傷を予想することをこれ以降予定している．

②柱・梁接合部における配筋詳細と接合部の性能，損傷に関する実験的研究

本年度は，L字型接合部の実験から得られた荷重－変形特性の相違に関し纏めた．今後，この実験結果の主筋ひずみ分布や，接合部の変形等の分析を行う．また，定着ディテールとせん断耐力の関係，せん断補強筋，斜め補助筋のせん断力伝達機構面での役割，梁，柱筋のすべりの影響，損傷進展特性を明らかにし，よ

り合理的な定着，せん断設計法を提案する予定である。

③ピロティ構造建物の地震時挙動の把握

本年度のサブストラクチャー仮動的実験で得られたピロティ構造物の挙動を前提にして，対応するピロティ構造の縮小モデル（1×2 スパン，6 層，約 1/2.5 スケール）の振動実験を行い，主に変動軸力を受ける柱の負担せん断力，高次モードの挙動，変形集中特性を実験的に明らかにし，解析モデルの妥当性を検証する。

④実在構造物の地震観測

観測データに基づいて数値シミュレーションを行い，逸散減衰効果を検証する。また，建物の振動振幅が小さい場合は逸散減衰が支配的であり，常時微動測定や強制振動実験で得られる減衰定数はそのほとんどが逸散減衰によるものであるから，これらの実験を実施し，建物，地盤の動的特性に関するデータベースを増やす。

3.3.5 橋脚の破壊過程解明と最適補強方法の開発

(1) 基礎構造との連成を考慮した橋脚の破壊過程の実験的解明

受託研究機関名

建設省土木研究所

キーワード

ハイブリッド振動実験, 地震応答解析, 振動台実験, 橋梁基礎, 地盤-基礎系

Synopsis

In this paper, we examine the applicability of hybrid vibration experiment to study seismic response of bridge-soil system that consists of superstructure, pier, foundation and surrounding ground. The hybrid vibration experiment combines shaking table test and numerical response analysis, and the merit of this experiment is that only a part of structure whose seismic behavior is unknown or complicated is necessary to be actually modeled and the rest of structure is numerically modeled. In the present study, we introduce an actual specimen for soil-foundation system. The validity of hybrid vibration experiment for the whole bridge system is demonstrated.

研究の背景

道路橋示方書を始め、橋梁の耐震設計は一般に上部構造（橋脚-上部構造）と基礎構造（地盤-基礎構造）を切り離して行われている。これは上部構造と基礎構造を切り離して考えることで地震時の挙動が把握しやすく、物理的にも理解しやすいためである。しかし、地震時に上部構造が基礎構造に及ぼす影響、また基礎構造が上部構造に及ぼす影響が互いに存在するのは明らかであり、特に両者もしくは一方が損傷領域に入った場合には、その影響が顕著になると考えられる。したがって、橋梁全体系（地盤-基礎構造-橋脚-上部構造）の連成を考慮した耐震設計法を構築することは、橋梁設計の合理化、経済化に繋がると考える。また、既設橋梁の補強に関しても、橋梁全体系の連成を考慮することで合理的な補強方法を提案することができる。しかし、これら橋梁全体系の連成を考慮した実験的な研究は皆無であり、橋梁全体系の連成の影響は十分には解明されていないのが現状である。

このような背景を踏まえ、本研究では、橋梁全体系の振動挙動を解明する実験手法として、振動実験と振動応答数値解析とを結びつけたハイブリッド振動実験について検討した。ハイブリッド振動実験の特長は、振動挙動を明らかにする必要がある部分のみをモデル化すればよいため、大縮尺で精度の良い模型を作成することが可能になる。本研究では、上部構造及び橋脚部を数値モデルに置き換え、振動挙動が複雑な地盤-基礎構造物系を実験模型として実験を行った。振動実験では入力波を種々変化させて橋梁全体系を対象としたハイブリッド振動実験の適用性及び有効性を確認した。

今回の実験は一連の研究の第一ステップに相当するものであり、入力地震動のレベルは

基本的には、地盤－基礎構造系が弾性範囲に留まるよう選定する。入力レベルを地盤の線形域に保つことで繰り返し実験を行い、実験手法の確認が可能になる。また、その後で地盤－基礎構造系が非線形域に入る実験も予定している。

(2) 基礎—地盤との連成を考慮した橋脚の破壊過程の解析的研究

受託研究機関名 鹿島建設株式会社

キーワード 橋脚基礎，二次元有限要素法モデル，多質点系モデル，動的解析

Synopsis

The objective of this study is to contribute to development of optimum strengthening for bridge piers and foundations and to advance in skill of simulating a bridge-soil system which would be damaged during earthquakes. Being the first year of the study, objects of study are bridge that has been designed according to Specification for Highway Bridge(1996) and a modeled specimen for shaking table tests. Those are modeled using a numerical model and the dynamic response analysis is performed. A seismic behavior of the bridge-soil system is found.

研究の背景

1995年兵庫県南部地震では多くの橋梁に被害が生じた。その後、橋脚の補強はより高い靱性を与えることを主眼として、外部に鋼板や炭素繊維を巻き付ける方法によって行われてきている。このような方法により補強された橋脚の強度増加や靱性増加については部材模型などによる実験が行われてきたが、地盤、基礎、上部工を含む構造系全体としての挙動や補強効果については十分に確認されていないのが実状である。

本研究では、地盤、基礎、橋脚および上部工を含む構造系全体としての挙動を解析的に解明し、橋梁設計の合理化、経済性の向上、さらには既設橋梁の最適な補強方法の開発に資する基礎資料を得ることを目標として解析的検討を行う。

研究目的

橋脚脚柱部の補強方法は既に多くの方法が開発され、その効果も実験的に確認されて実際に適用されている。しかし、脚柱部のみの補強が基礎や周辺地盤も含めた橋脚全体系としての挙動に及ぼす影響については、未解明な点が多い。直下型地震のような強烈な地震動に対処するためには、橋脚全体系の中で損傷部位が最適に配分されるよう考慮し、全体系として致命的な損傷を避けることが必要である。ところが、このような最適補強を実現する上で、基礎や地盤を含めた全体系の地震時の損傷過程を解析的に精度良く予測することはいまだ困難である。そこで、地震時の橋脚—基礎—地盤全体系の損傷過程をシミュレーションする技術を開発し、最適補強方法の開発に資することを目的とする。

主な結果

研究初年度である本年度は、平成8年に改定された道路橋示方書に準拠して設計された橋梁とそれをモデル化した縮小模型実験供試体を対象に、上部構造—橋脚—基礎—地盤の全体系の地震応答解析を行い、弾性域及び塑性域での挙動を把握した。また、解析は、a)杭、橋脚をビーム要素、地盤をソリッド要素にモデル化する二次元有限要素法、

b) 杭基礎を一本の曲げせん断棒に置換し、地盤との相互作用ばねを取り付けた質点系にモデル化するフレーム解析の二通りの手法を採用し、解析手法の違いによる解析結果の差異を把握した。

(1) 部材断面力

部材の非線形性を考慮した多質点曲げせん断モデル解析によると、橋脚は降伏点を超えていないが、杭は杭頭部、土層境界部において降伏点を超える結果となった。

(2) 解析手法の比較

多質点曲げせん断モデル解析の結果と有限要素法解析の結果を比較すると、入力時震動レベルが大きい場合には両者は比較的よく一致したが、入力時震動レベルが小さい場合には、多質点曲げせん断モデル解析結果>有限要素法解析結果となった。

(3) 模型側方境界のモデル化による影響

模型実験を対象とした解析において、側方境界をエネルギー伝達境界とした場合と土槽枠の存在と土槽枠位置で水平ローラーにモデル化した場合で解析結果に差が生じた。このことは、模型実験の結果から実物の挙動を推定する際に、境界条件の違いを考慮すべきであることを示唆している。

(4) 模型実験に用いる実地震波のスケーリング

基礎構造物の破壊を検討する土槽加振実験では、入力波の卓越周期を地盤の卓越周期に合わせるよう時間軸を調整するのがよいと考えられる。

今後の展開

来年度は、昭和 47 年の道路橋耐震設計指針に基づいて設計された橋梁および橋脚が耐震補強された橋梁について地震応答解析を行い、補強の有無による橋脚-基礎の弾性域及び塑性域での挙動の違いを把握する。また、本年度の地震応答解析結果との比較を行う。さらに別途実施される模型実験と解析結果との比較を行い、解析手法の検証を実施する。

3.3.6 合成構造を用いた次世代高性能橋脚の開発

受託研究機関 建設省土木研究所，京都大学工学部

キーワード 橋脚，損傷度，破壊過程，模型実験

Synopsis

This report introduces idealized reinforced concrete column structures which will exhibit better seismic performance in ductile manner than conventional reinforced concrete columns. The displacement capacity is represented by curvature, plastic hinge length and base rotation induced by strain penetration of longitudinal reinforcement into footing. Curvature capacity can be enhanced by placing transverse reinforcement for confinement. Other options for improving seismic performance are to enlarge plastic hinge length, and to deepen strain penetration and thus prevent serious damage to column bodies. On the other hand, the residual displacement developed in bridge columns affects the reparability of the columns after an earthquake. To mitigate the effect of the residual displacement, new reinforced concrete structure with high strength core-bars was created. Structural details for these options were studied and the effectiveness of the structures were examined through cyclic loading tests. Test results showed that the extension of the plastic hinge length was controllable by means of balancing flexural strength and moment action. A partial unbonding of longitudinal reinforcement in the footing significantly increased base rotation and consequently prevented damage to column section. Furthermore, it was found that the high strength core-bars improved the degrading property of the lateral force-displacement response and thus reduced the residual displacement.

研究の背景

鉄筋コンクリート橋脚の耐震性能を表す代表的な指標としては，耐力と変形性能がよく用いられているが，兵庫県南部地震による被災経験から，修復性を考慮した耐震設計の重要性が認識され，部材の塑性化を許容する場合においても，震後に速やかな修復が行える程度の損傷に止めることが求められるようになった。鉄筋コンクリート橋脚に対して変形性能を高める構造的な方策としては，塑性ヒンジ領域において帯鉄筋や中間帯鉄筋を密に配置する方法が一般的である。しかしながら，このようにしてコンクリートの拘束効果を高めれば高めるほど，それだけ大きな残留変位が生じる可能性もあり，また損傷も限定された断面にのみ集中して生じるようになることにも注意しなければならない。すなわち，修復性の観点からは，橋脚の2次剛性を高めて残留変位が小さくなるような特性を有する構造，また，塑性ヒンジとなる橋脚断面に負荷される曲げ変形を一カ所にだけ集中させるのではなく，別の断面にも分散させ，塑性ヒ

ンジに生じる損傷度を合理的に軽減させるような構造等が望ましいものと考えられる。

このような背景から、本研究では、鉄筋コンクリート橋脚の塑性変形メカニズムを踏まえ、残留変位の低減、ならびに塑性ヒンジに生じる損傷レベルの低減を図ることが可能な新しい鉄筋コンクリート構造について様々な検討を行ったものである。

研究目的

本研究では、損傷しにくく、また損傷を受けても補修や復旧が容易な新しい次世代高性能橋脚を開発するとともに、その耐震性能の評価手法を示すことを研究目的としている。本年度は、これまでにわかっている従来の鉄筋コンクリート橋脚の破壊過程を踏まえ、損傷度ならびに補修・復旧性という観点からその性能に優れた新しいタイプの橋脚構造形式を提案した。さらに、これらの模型供試体を製作し、正負交番載荷実験を行い、破壊に至るまでのプロセスを明らかにするとともに、耐力や変形性能についても従来の橋脚との比較を行った。

主な研究成果

高性能橋脚として、1) 従来のRC橋脚にアンボンド高強度芯材を導入することにより、地震後に生じる残留変位を小さくすることができる構造、2) 塑性ヒンジに生じる損傷レベルの低減を図ることを目的として、塑性ヒンジ領域において作用モーメント分布に応じて断面耐力を変化させ、断面の曲げ塑性変形がより広い領域で生じるようにした構造、3) 軸方向鉄筋のフーチングへの定着を上面側で一部区間アンボンドとすることにより、軸方向鉄筋の伸び出しに伴う基部の回転が生じやすくした構造、の3通りを提案し、性能確認のための基礎的実験を行った。本研究で得られた主な成果をまとめると次のようになる。

1)アンボンド高強度芯材を用いた構造

- ・高強度芯材としてPC鋼棒を導入することにより、RC供試体は正の二次剛性を持つように改善され、残留変位を小さくすることができる。
- ・エネルギー吸収性能は主鉄筋量に依存し、高強度芯材を導入しても変化しない。すなわちRC橋脚と同程度の鉄筋を配置することにより、同程度のエネルギー吸収性能が期待できる。
- ・高強度芯材をアンボンドとすることにより、ひずみが平滑化され、芯材の損傷が低減された。
- ・RC橋脚に弾性部材を導入することにより得られる原理とほぼ同等の結果を正負交番載荷実験より得ることができた。本構造は施工性にも優れており、実用性の高い高耐震性能橋脚と言える。
- ・高強度芯材をアンボンドとするため、シース管を用いた結果、圧縮力に対する芯材の抵抗が十分に得られなかった。今後は圧縮力に対しても有効に作用するアンボンド構造を開発、採用の予定である。

2) 塑性化領域の拡張を図った構造

- ・ 橋脚基部に近い断面において損傷制御鉄筋を途中定着させ、作用モーメントに応じて基部と途中定着位置の2箇所確実に損傷が生じるように断面設計すれば、損傷が合理的に分散され、1つの箇所に生じる損傷度は低減される。
- ・ 橋脚構造としての変形性能も従来タイプの構造よりもさらに向上する。

3) 軸方向鉄筋の伸び出し変形を大きくさせた構造

- ・ 軸方向鉄筋の定着をフーチング上面から一部区間アンボンドとすることにより、基部の回転が生じやすくなり、載荷点における水平変位は主として基部の回転によって吸収されるようになる。
- ・ 軸方向鉄筋の伸び出しによって橋脚の全体変位がより多く吸収されるため、橋脚躯体断面が分担する曲げ変形小さくなり、躯体に生じる損傷を非常に軽微なものに抑えることができる。

今後の展開

平成11年度での実験結果を踏まえ、さらに高弾性材料の適用や損傷しても容易に取り替え可能な部材へ塑性ヒンジが誘導されるような構造形式を考案し、その有効性を模型供試体による正負交番載荷実験により検証する。また、実験結果を基に、破壊に至るまでのプロセスを明らかにするとともに、耐力や変形性能についても従来の橋脚との比較を行うとともに、耐力、変形性能、損傷度、修復性等の耐震性能の評価手法について検討していく予定である。

3.3.7 基礎・地盤系における大規模三次元振動実験手法の開発

(1) 大規模地盤の振動実験における地盤作成方法・計測技術の開発

受託研究機関 科学技術庁 防災科学技術研究所

キーワード： 液状化，飽和度，変位，模型実験，P波速度

Synopsis

In the project “The method of preparation for model ground in large-scale shaking tests”, the following subjects are focused on: 1) Sonic wave method using hydro-phones is developed for determination of P-wave velocity of partly saturated sand, 2) New method using a submerged vibrating screen is presented for model soils to be fully saturated, 3) New system using plastic plates and rotational meters is presented liquefied soils displacements.

研究の背景

大型土槽振動実験は相似則を満たすため，基礎・地盤の破壊メカニズムの解明が可能である。しかし，大型土槽では，均一および飽和な地盤の作成法および効率的な排出法，破壊過程を捉える基礎・地盤応答の計測技術は確立していない。現在，防災科学技術研究所が三木市に建設を進めている実大三次元震動破壊実験施設(2005年完成予定)では，超大型地盤の振動実験が行われる予定であり，大型地盤の作成法および破壊過程を捉える基礎・地盤応答の計測技術の確立が急務である。

研究目的

本研究は，大規模地盤の振動実験における均一で飽和な地盤の作成法や液状化地盤の変位計測技術等の開発を目的としている。平成11年度に，土槽地盤の飽和度を把握することを目的として，音波を用いたP波速度計測手法を開発するとともに，飽和度(B値)とP波速度の関係を大型三軸試験装置で検証する。また，P波速度からB値を推定する手法を提案する。さらに，水中スクリーン等を用いた飽和地盤作成法の検討，液状化地盤の変位計測システムの試作を行う。

主な結果

- ① 土槽フレームへ打撃を加える手法では，フレーム伝達波の影響のため，P波速度を計測することが困難である。それに対し，圧電型パルス発生装置と水中マイクを用いることにより，飽和度によらず地盤のP波速度計測が可能である。
- ② P波速度は飽和度99~100%，B値0~0.9において大きく変化する。ただし，多孔質弾性体理論に基づくB値とP波速度の関係は，B値0.4以上において，必ずしも実験値と対応しない。
- ③ 計測されたP波速度を乾燥状態のP波速度，完全飽和状態のP波速度で正規化することにより，地盤のB値をある程度の精度で把握できる。
- ④ 水中に設置したスクリーンを振動させ，そこを通して土粒子を落下させることにより，

飽和度の高い地盤を作成することが可能である。スクリーンの振動は大きいほうが有効である。スクリーンの目の大きさは土粒子が通過できるものであれば作成した地盤の飽和度に関係がない。

- ⑤ 液状化地盤の変形を測定する装置を考案し試作した。

今後の展開

平成12年度は平成11年度に引き続き、以下の検討を行う予定である。

- ① 平成11年度に確立した水中振動スクリーンを用いた地盤作成法を、さらに中型せん断土槽を用いて検証を行う。
- ② 平成11年度に試作した液状化地盤の変位測定システムを、上記実験とあわせて実証を行う。
- ③ 土槽地盤の剛性評価法の一つとして、常時微動測定システムを導入する。これにより、土槽地盤の卓越周期や平均S波速度の把握が可能となる。
- ④ ベンダーエレメントを導入し、地盤の剛性および均一性の評価を可能とする。

(2) せん断土槽を用いた三次元地盤実験手法の開発

受託研究機関 農林水産省 農業工学研究所

キーワード せん断土槽, 模型地盤, 振動実験台実験, 液状化

Synopsis

It is necessary to confine the soil foundation within finite boundaries in order to carry out model tests for geotechnical purposes, liquefaction of soil foundation and interaction behavior between soil and structure, etc.

The boundary effects of soil container's wall are serious problem on mechanical behavior of soil and stress-strain behavior of structure into the foundation.

In order to use the laboratory tests for soil foundation exciting the two directional shaking, a stacked ring device was designed to carry out in the laboratory setting. And stacked ring confinement was used in some tests to reveal the mechanical behavior of buried structure in liquefied soil under shaking.

It appears that stacked ring confinement is very useful for the shaking table tests and there still are some unresolved problems concerning the soil movement under liquefaction and the behavior of structure.

研究の背景

大規模な地震に対する施設構造物の安全性を確保することは、地域社会全体の持続的な生活基盤を保証する上で不可欠な要件である。過去の大規模地震では構造物は甚大な被災を受け、その経験から設計・施工方法について幾つかの見直しや提言がなされているが、施設構造物の厳密な意味での限界状態についてはまだ多くの問題が残されている。地盤と構造物を対象とした地震時における限界状態の把握のためには、実験的な研究手法が不可欠である。特に地盤の液状化あるいは動的強度低下等の動的破壊現象の解明には、地盤模型の振動台実験は非常に有効な手段で、破壊に至る現象解明のための多くの情報得ることができる。しかしながら、従来から実施されている地盤の振動現象や構造物の地震時挙動の解明を目的とした地盤模型の振動台実験の多くは、一方向に加振するもので現実の構造物の地震時挙動を的確に表しておらず、2方向あるいは3方向の加振実験による検証が不可欠となってきている。

研究目的

本研究では、このような2,3方向の振動台実験において地盤の地震時挙動の解明や構造物との相互作用の解明に使用するためのせん断土槽を開発することを目的としている。また、鉛直振動や二方向の同時加振実験による地盤の挙動や構造物の地震時挙動に大きな影響を与え、一方向の加振振動実験

と大きく異なることを実験的に解明し、二方向せん断土槽、およびその土槽を用いた振動台実験の手法を開発する。

主な成果

第I期平成11年度の研究概要は次の通りである。

二方向せん断土槽の試作を行い、以下の項目について機能確認を実施した。

- ・せん断プレート間の水平全方向の摩擦低減方法の検討と試作
- ・せん断プレート間の摩擦や慣性力の評価
- ・振動台加振による二方向せん断土槽の動きの確認

今後の展開

平成12年度からは以下の項目を実施し、せん断土槽の全体的な機能評価と地盤の液状化に伴う構造物の浮上や沈下現象について検証し、せん断土槽や加振入力波の影響を明らかにする。

- ・振動台加振による二方向せん断土槽を用いた地盤の地震時挙動の確認と土槽の機能評価
- ・せん断土槽内の均質地盤作成方法の開発
- ・剛な土槽、一方向および二方向せん断土槽に作成した地盤模型（乾燥砂及び飽和砂）の振動台実験

3.3.8 液状化地盤の側方流動のメカニズムの解明と地盤変位の予測手法の開発

受託研究機関 早稲田大学 理工学部

キーワード 液状化, 飽和土, 地震, 模型実験, 特殊せん断試験, 変形

Synopsis

The aims of this study are to investigate the lateral ground flow mechanism due to liquefaction and to create the method of its prediction. Three types of research works were carried out.

1) 1G medium sized shaking table tests: The effect of the cover soil depth on the flow characteristics was shown. The similitude law for the model tests was indicated.

2) Small sized shaking table tests in the centrifuge: The flow characteristics were dependent on the magnitude of confining pressure.

3) Torsion shear tests on liquefied sands: Although the measurement results of the flow characteristics were scattered, the viscosity constant of liquefied sand is dependent on the confining pressure.

研究の背景

液状化によって地盤が一方向に流動するという現象が存在するという事は、すでに1964年に起きた新潟地震において指摘されていたが、この現象が定量的に明らかにされたのは1983年の日本海中部地震による能代の液状化事例であった。その後、1923年関東地震などの多くの既往地震における側方流動の事例が調査され、地盤の液状化に対する研究が精力的に行われるようになった。また、米国でも1971年サンフェルナンド地震などの既往地による側方流動の事例が調査されてきた。この結果、当初の研究で行われてきた液状化発生メカニズムの解明や液状化発生の予測法については現在ではかなり明らかにされてきている状況にある。これに対して、地盤の液状化が生じた後の地盤の挙動予測については現在も解明できたという段階にはいたっておらず、精力的に研究が続けられている。

研究目的

中型模型地盤（重力場）による流動実験および小型模型地盤の遠心載荷場による流動実験により、地盤の相対密度、細粒分含有率および加振加速度などの諸要因が液状化土の流動特性に与える影響の解明を行う。あわせて、中空ねじり試験により液状化土の流体としての特性を明らかにする。

以上の実験と試験結果を総合化することにより、模型地盤と実地盤の間の相似則を考案する。さらに、大型模型地盤の流動実験により相似則の合理性を検証して側方流動メカニズムを解明し、地盤変位の予測手法を開発する。

主な成果

1) 重力場の模型実験によって得られた粘性係数 μ_A と液状化層厚の関係を示唆しており、

実験結果にばらつきはあるものの概ね粘性係数が液状化層厚の $3/2$ 乗に比例して増大することを示唆しており、フルードの相似則が妥当であることを示している。また、定常状態の速度 V_{AS} も液状化層厚の平方根に比例して増大していると考えることができ、この結果もフルードの相似則を支持している。

2) 初期粘性係数はほぼ模型地盤の中央深さにおける有効鉛直応力の $3/2$ 乗に比例して増大しており、著者らが提案している液状化土の流動に関する相似則が遠心場の実験においても保たれていることが分かる。また、ばらつきはあるものの基準せん断ひずみ速度は有効鉛直応力のほぼ平方根に比例して減少しており、この結果も相似則の妥当性を支持している。

3) 中空ねじり試験得られた結果にはばらつきは認められるものの、液状化土の粘性係数には拘束圧に対する依存性を認めることができる。ただし、実験で用いたひずみ速度と模型実験で観測されたひずみ速度には大きな違いがあるので、これに関する検討が今後の課題である。また、供試体下部ペDESTAL外周面を中空ねじり試験時にねじり方向と同期させて回転させた。その結果、供試体を包むゴムメンブレン張力がせん断応力の測定値に及ぼす影響を適切に補正することができた。

今後の展開

1) 平成12年度においては広角の高速ビデオカメラにより地表面の変位の時刻歴の撮影を行い、実験精度の向上を企る。さらに相対密度および加振加速度を変化させた実験を行い、遠心載荷場での実験結果と総合化することにより地表面変位の推定式の精度を向上させる。

2) 平成12年度においては、高速ビデオカメラを遠心載荷装置の中に設置し、これにより地表面変位の時刻歴の測定を行って精度の向上を企る。さらに遠心重力を10gから60gの間で大きく変動させることにより、提案されている相似則の確認を行い、変位予測手法提案に結びつける。

3) 平成11年度に新たに試作した中空ねじり装置を用いて、供試体下部ペDESTAL外周面を中空ねじり試験時にねじり方向と同期させて回転させた。その結果、供試体を包むゴムメンブレン張力がせん断応力の測定値に及ぼす影響を適切に補正することができた。この成果をもとに、メンブレン張力の自動補正機構を備えた中空ねじり試験装置を制作する。上記の新型中空ねじり試験装置を利用して、特に試料の粒度特性が液状化土の流動特性に及ぼす影響に重点をおいて調査する。

3.3.9 液状化および側方流動による杭基礎の破壊過程の解明

(1) 側方流動地盤中の杭間土のすり抜けに関する予備検討

受託研究機関 運輸省 港湾技術研究所

キーワード 杭, 側方流動, 液状化, 模型実験

Synopsis

The responses of piles installed in the ground where an upper layer laterally flows relatively to a lower layer are examined by experimental study. In the experiment, the lateral flow of the upper to the lower layer is simulated by pulling out the base of the sand box statically. The model ground is consisted of the healthy upper layer of 50cm thick and the weak lower layer of 30cm thick. Discussion as to the effect of the strength ratio of the upper and lower layers and the interval of piles to the responses of piles is made.

研究の背景

構造物の基礎に用いられる杭の主な機能は、鉛直荷重の支持、水平荷重に対する抵抗である。水平荷重に対する抵抗に着目した場合、地盤は杭に作用する水平方向の荷重に対して抵抗する機能を発揮する。しかし、何らかの原因により地盤が側方流動を起こした場合、地盤が杭に対して水平方向の荷重を与えるようになる。この場合、杭は時として破壊に至ることがあり、最近では兵庫県南部地震において港湾構造物が地震に伴う地盤の側方流動により甚大な被害を受けたことが報告されている。このような状況に対応するために、側方流動を起こしうる地盤に建設される杭基礎構造物及び既設の杭基礎構造物に対する設計・対策についての考え方を取りまとめる必要がある。そのためには、地盤が側方流動を起こしたときに、その地盤中の杭基礎構造物がどのような影響を受け、どのような破壊メカニズムを示すのか解明する必要がある。

研究の目的

液状化地盤の強震時挙動及び液状化に伴う地盤の側方流動を受ける杭の破壊過程を明らかにするために、杭が破壊に到るまでのプロセスを明らかにする。次に地盤を含む中型の杭基礎模型による実験を行い、杭基礎の破壊過程と限界状態を明らかにし、これらを表現できる数値解析技術を開発する。

このうち、1999年度は、側方流動地盤中の杭間土のすり抜けを模した実験を実施し、杭間土のすり抜け現象のメカニズムと地盤から杭に作用する外力を把握することを目的とした。

この研究では、中間に弱層を挟む上下層が水平方向に相対的に動く場合を想定し、その地盤中にある杭の挙動をシミュレートする実験を行った。ここで想定しているような側方流動が起きたときに杭の挙動を支配する要因はさまざまであると考えられるが、この研究では、中間弱層の強度と杭の間隔をパラメータとして実験をし、これらの要因が杭の挙動に及ぼす影響を中心に検討した。

主な結果

本研究では、特に上下の比較的しっかりした地盤の中間に弱層が存在し、その影響で、上下の層が相対的に側方に移動するような条件のもとで、そのような地盤中にある杭の挙動について実験的に検討したものである。実験では、層厚 80cm の模型地盤(上部 50cm を硬層、下部 30cm を弱層とした)を作成し、土槽底板を静的に引抜くことにより側方流動を模擬した。このとき、地盤強度比と杭間隔をいくつか選び、それらの影響を調べた。その結果、以下のような結論を得た。

- ① 中間弱層の強度低下の程度の違いは、杭の挙動に大きな影響を与える。
- ② 中間弱層の強度低下が大きい場合の杭の挙動は、一方の弱層端で回転固定として水平に強制変位させるようなモデルで現象を再現することができ、港研方式を適用して計算できる。
- ③ 杭中心間隔が小さいと側方流動を起こす地盤に対して大きい抵抗を示す。

今後の展開

地盤の流動力を受ける杭を対象に、地盤の強度をさまざま変更し、多点計測により 1 G 場における模型振動実験を行う。

更に、杭の破壊に及ぼす振動モード（杭上部工の慣性力）と地盤震動・流動の影響に関する検討を行い、港湾技術研究所で開発した FLIP などの数値解析に用いる入力パラメータの同定手法について検討する。

(2) 液状化および側方流動による杭基礎の破壊過程の解明

(a) 圧縮・引張り軸力作用下における PHC 杭の曲げ破壊特性

受託研究機関 山口大学工学部

キーワード PHC 杭, 曲げ破壊, 軸力, 実大実験, 終局状態

Synopsis

This paper presents the bending characteristics up to the ultimate state of PHC piles subjected to compressive and tensile axial loads. The diameters of the piles are 400mm, 600mm, and 800mm, which are commonly used. The relationships between bending moments-deflections and bending moments-curvatures are examined with respect to the axial load. The results will provide useful information for the ultimate state design of pile foundations.

研究の背景

建築物あるいは土木構造物の上部工の設計は、限界状態設計法へと移行しつつある。合理的な耐震設計を行うには上部工とバランスをとりながら下部工、基礎も限界状態設計を行うことが理想である。限界状態設計を行うには、その終局状態に至るまでの特性を明らかにしなければならない。しかしながらこれまでのところ基礎に関しては必ずしも限界状態設計に耐えうるだけのデータの蓄積はなされていない。特に杭基礎は地震時においては変動軸力の作用を受け、しかも杭は軸力によって大きくその特性が異なるにもかかわらず、軸力に依存した形で系統的に杭の曲げ破壊特性は整理されていない。したがって、圧縮軸力および引張り軸力作用下における杭の破壊に至るまでの曲げ特性を系統的に実験により明らかにする必要がある。

研究の目的

上述の通り、杭基礎は地震時においては変動軸力の作用を受け、しかも杭は軸力によって大きくその特性が異なる。そこで、本研究では一般によく用いられる3種類の杭径、400mm, 600mm, 800mmのPHC杭に対して、長期、短期荷重に対応する圧縮軸力および短期荷重に対する引張り軸力を作用させ、破壊に至るまでのこれら杭の曲げ破壊特性を実験的に求めることを目的とした。軸引張力下における曲げ破壊実験を実施するに当たっては、鋼鉄製のフレームを組み、これと併せて既存の載荷装置の改良をすることによって実験を実現した。

主な結果

1) 曲げモーメント-たわみ関係

杭径 400mm の場合が最もたわみが大きいのは軸力が0の時である。軸力が圧縮側にも引張側にも大きくなると破壊時のたわみは小さくなっている。杭径 600mm の場合には圧縮側の傾向は 400mm の場合とほぼ同様であるが、引張側は異なり、引張軸力が最も大きい場合に変形性能は最大になっている。800mm の場合は圧縮軸力だけであるが、

その傾向は 400mm の場合と同じであった。

杭径の違いによる最大たわみの比較を軸力=0 で比較すると、杭径 400mm が約 105mm で最も大きく、杭径 800mm が約 100mm、杭径 600mm が最も小さく約 65mm となっている。それぞれの杭径ごとの設計破壊モーメントに対応するたわみに対する実測のたわみの倍率は、2.2, 2.1, 2.9 倍であった。

次に地震時に対応する短期の圧縮軸力 N_2 について同様の検討をする。実測の破壊時のたわみは杭径の小さい順に 65.2mm, 49.5mm, 47.5mm であった。これらに対して設計破壊モーメントに対するたわみはそれぞれ 30.9mm, 27.8mm, 33.1mm である。実測たわみの倍率は 2.1, 1.8, 1.4 と軸力=0 の時より小さく、しかも杭径が大きくなるほど小さい倍率であった。

最後に引張軸力の大きい場合について同様の倍率を算出したところ、実測たわみは杭径 400mm, 600mm それぞれ 76.0mm, 57.9mm。これに対して設計破壊モーメントに対応するたわみは 15.5mm, 10.5mm であった。従って倍率は 4.9, 5.5 であり、圧縮時に比べてかなり大きな値になっている。

2) 曲げモーメントー回転角関係

実測破壊時の回転角と設計破壊モーメント時の回転角を比較したところ、杭径 800mm の軸力=0 の場合が飛び抜けて大きな倍率となった。これは最後の測定時に PC 鋼棒の破断する音が聞こえており、他の場合と破壊モードが異なったため、すなわち、杭の曲げが載荷点直下に集中したためこのように回転角が大きくなったものと考えている。

一般に実測破壊曲げモーメントは設計破壊曲げモーメントより約 20%程度大きくなっている。しかしながら 15%を越えると微妙な挙動を示し始める場合があり、最後の破壊時はかなり偶然性に作用される。従って設計破壊曲げモーメントに対応する変形に対する実測の変形の倍率にはかなりばらつきがあり、注意を要する。

今後の展開

本研究によってかなり系統的に軸力依存性を考慮に入れて PHC 杭の破壊に至るまでの曲げ変形特性が明らかになった。今後はこの結果を破壊過程シミュレーションプログラムに導入する必要がある。本研究によっても系統的にデータが得られたとはいえ、まだ限られた軸力のケースに対する特性であり、今後も同様なデータを蓄積していく必要がある。

(b) 遠心載荷実験による液状化地盤から杭に作用する外力の評価

受託研究機関 山口大学工学部

キーワード 遠心載荷実験, 液状化地盤, 側方流動, 模型杭, 外力評価

Synopsis

The purpose of this study is to investigate the capability to evaluate the external force acting on a pile from lateral flow of liquefied layer by centrifugal tests. In the test, a steel pile model was used of which boundary condition was fixed at the pile tip and free at the pile head. The external force acting on the pile was obtained from the strain induced in the pile model. The relative density of the saturated sand layer was changed to investigate the effect of it to the external force.

研究の背景

地震によって液状化が発生すると、地形、土地利用あるいは地盤条件によっては液状化地盤が側方に流動する。そして過去の地震においてはこれが基礎構造物に甚大な被害を生じている。液状化の発生、側方流動発生の可能性についてはかなり究明されてきているが、側方流動の定量的予測は現在鋭意研究されているのが現状である。そして本研究の対象である液状化地盤中あるいは側方流動する地盤中にある杭基礎の破壊過程の解明に関してもその研究は途に着いたばかりである。

杭基礎の破壊状態に至るまでの現象を解明するには、杭の材料特性、基礎としての構造特性、さらには杭基礎に作用する外力特性を精度良く評価することが必要である。本研究は遠心載荷実験により杭基礎に作用する側方流動地盤からの外力を定量的に評価する事を試みようというものである。

研究の目的

本研究は、液状化によって生じる地盤の側方流動中にある杭に作用する外力を遠心載荷実験によって評価することを目的とするものである。この研究は平成12年度に本格的に実施する予定で、平成11年度はその予備実験として位置づけられる。したがって、杭の模型はステンレス製の杭先端固定、杭頭自由の片持ち梁という、最も単純な形状、境界条件とした。液状化を生じる地盤は、別途早稲田大学濱田教授を中心に行われている側方流動実験の地盤と同じ条件に設定した。実験では地盤の相対密度を変化させることにより、これが外力に及ぼす影響についても検討する。

本研究の実験結果は、平成12年度本格的に実施する遠心載荷実験の基本となるもので、さらに今後開発される杭の破壊に至るまでをシミュレーションする解析プログラムの杭に作用する外力に関する貴重なデータを提供することになる。

(c) 杭基礎の破壊過程シミュレーションプログラムの開発要件の検討

受託研究機関名 山口大学工学部

キーワード：シミュレーション、材料非線形性、幾何学的非線形性、大変形解析

Synopsis

The purpose of this study is to investigate the requirement of a computer program with which the ultimate behavior of a pile foundation subjected to liquefaction-induced lateral spreading is simulated. To simulate the behavior, the program can treat nonlinear material characteristics of pile as well as soil, besides, geometrical nonlinearity of the pile must be also treated. From this point of view, the requirement to meet them was summarized and an existing computer program was modified to partially meet the requirement.

研究の背景

地震によって液状化が発生し、その地盤が側方に流動すると基礎が多大な被害を生じることが過去の被害事例より明らかにされている。このような被害を未然に防いだり、あるいは悪くとも低減するには、杭基礎の破壊に至るまでの過程を解明し、それに基づいて合理的な安全対策を講じなければならない。

しかしながら液状化地盤の側方流動に関しては現在盛んに研究がなされている段階であり、杭基礎の破壊に至るまでの過程が十分に解明されているわけではない。このような背景で、液状化の発生や地盤の側方流動、さらには杭の曲げ破壊実験が精力的に行われており、これら基本的な実験結果を取り入れ、杭基礎の破壊過程をシミュレートする解析プログラムの開発が強く望まれている。

研究の目的

本研究の最終目的は、杭基礎の破壊に至るまでの過程をシミュレートするコンピュータプログラムを開発することである。本年度は、平行して行われている杭の曲げ破壊実験から得られる曲げモーメント—回転角を表現できるように、また平成11年度および12年度に実施される遠心載荷実験から得られる杭基礎に作用する外力を表現できるように、解析プログラムの仕様を決定することである。