

平成 24 年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業（文部科学省）

名城大学

自然災害リスク軽減研究センター

Advanced Research Center for Natural Disaster Risk Reduction

研究紹介

平成 25 年 5 月



名城大学

ま え が き

「名城大学 自然災害リスク軽減研究センター」は、平成 24 年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業として文部科学省に採択されました「21 世紀型自然災害のリスク軽減に関するプロジェクト」を実施・運営する組織として、プロジェクト期間（平成 24～28 年度）である 5 ヶ年の時限付きで名城大学に設置されました。本センターは、名城大学高度制震実験・解析研究センター（ARCSEC）（代表：宇佐美勉教授，平成 19～23 年度の 5 ヶ年設置）の研究実績を基礎として新たな研究を展開しつつ、その研究基盤を本学に築くことを目的としています。

折しも名城大学では平成 25 年 4 月に大型実験棟を含む研究実験棟Ⅱが竣工し、本センターの施設が大幅増強されました。今回導入した新たな研究設備は、いずれも我が国で有数の最先端なものばかりであり、中部地方ではもちろん随一を自負しております。しかも、防災・減災研究を共通のテーマとして、土木・建築の多分野の研究設備が一同に介している大学は全国を探しても多くは見当たりません。名城大学に本センターが設置されてからすでに 1 年が経過しておりますが、新研究実験棟が完成したこの機会に本センターの存在を広く知っていただくために、開所記念イベントを開催することにいたしました。

本センターが推進する「21 世紀型自然災害のリスク軽減に関するプロジェクト」では、都市域での震災や、集中豪雨に伴う流域圏の水害・土砂災害など、現代社会が直面している自然災害を「21 世紀型自然災害」と位置付け、そのリスクを適正に評価し、かつ軽減をはかる方策を提案してゆくことを目的としています。南海トラフ地震が発生する際には、沿岸部での津波被害のみならず、中部地方の都市域でも地震動による深刻なダメージを被ることが予想されます。また、広大なゼロメートル地帯を擁する濃尾平野では、豪雨水害や複合災害に対する大きなリスクと常に向き合った生活が営まれています。濃尾地盤の東縁に位置する名城大学にて「自然災害リスク軽減研究センター」を設置し、21 世紀型自然災害のリスク軽減を目指す研究プロジェクトを遂行する意義は大きいと考えています。本センターの今後の活動にご期待下さい。

平成 25 年 5 月 31 日

自然災害リスク軽減研究センター

代表 小高猛司（理工学部教授）

研 究 組 織

テーマ1：連動型巨大地震に対する土木構造物の安全性と修復性の向上に関する研究

- 葛 漢彬 理工学部 社会基盤デザイン工学科 教授
- 石川 靖晃 理工学部 社会基盤デザイン工学科 教授
- 近藤 明雅 理工学部 環境創造学科 教授
- 渡辺 孝一 理工学部 社会基盤デザイン工学科 准教授
- 岩下健太郎 理工学部 社会基盤デザイン工学科 准教授
- 小塩 達也 理工学部 環境創造学科 准教授

テーマ2：大空間構造物の耐震安全性評価による震災リスクの軽減

- 武藤 厚 理工学部 建築学科 教授
- 立川 剛 理工学部 建築学科 教授
- 村田 賢 理工学部 建築学科 教授
- 寺西 浩司 理工学部 建築学科 教授
- 大塚 貴弘 理工学部 建築学科 准教授
- 平岩 陸 理工学部 建築学科 准教授

テーマ3：豪雨および水災事象の発生機構とリスク軽減方策に関する研究

- 原田 守博 理工学部 社会基盤デザイン工学科 教授
- 新井 宗之 理工学部 社会基盤デザイン工学科 准教授
- 広瀬 正史 理工学部 環境創造学科 准教授

テーマ4：水工学－地盤工学の連携による沿岸域低平地の自然災害リスク軽減への挑戦

- ◎ 小高 猛司 理工学部 社会基盤デザイン工学科 教授
- 溝口 敦子 理工学部 社会基盤デザイン工学科 准教授
- 崔 瑛 理工学部 社会基盤デザイン工学科 准教授

テーマ5：「中核被災者」を主体とした被災限界からの自律再建メカニズムの解明

- 柄谷 友香 都市情報学部都市情報学科 准教授

※ ◎：センター代表兼テーマリーダー，○：テーマリーダー

プロジェクトの概要

平成 23 年 3 月の東日本大震災がもたらした未曾有の被害により、あらためて巨大災害の恐ろしさを思い知らされました。さらに、平成 23 年 9 月に日本列島を襲った台風 12 号は観測史上最大級の豪雨災害をもたらすとともに、その直後の台風 15 号は東海・関東の都市域に大きなダメージを与えました。また、平成 24 年 7 月には九州北部で記録的な豪雨災害が発生しています。東日本大震災における津波被害にしても、集中豪雨による出水被害にしても、我が国の社会・経済活動が、被災ポテンシャルの高い平野部に集中していることが被害を拡大した一要因となっています。さらに気候変動に伴う豪雨災害は世界規模で頻発しており、我々が想定すべき自然災害に対するリスクは、この数十年の間に急速に増大しています。

我が国は戦後 65 年あまりにわたり、特に平野部において都市域が爆発的な発展を遂げてきましたが、その経済活動が集中している土地の多くは、わずか 1 世紀前までは湿地帯であり、場合によっては陸地ですらなかったところです。先の東日本大震災において、津波や液状化による被害が拡大したのは、この最も被災リスクが高い軟弱な低平地に社会活動が集中している現代日本の社会構造に由来している一面が色濃くあります。一方、現在の都市基盤を支える社会資本には、高度経済成長期に整備されたものが今なお現役として機能しており、それらの中には当初想定されていた耐用年数を過ぎて高齢化が進んでいる構造物も少なくありません。最近の我が国を取り巻く政治・経済の状況下では、それらを順次更新することは難しく、ましてや耐災害性の高いものに更改してゆくことは一層困難となっています。そのような社会情勢を背景とした社会資本全体の弱体化が、自然災害による被害を助長している面も無視できません。そのため、社会資本の高機能化等でハード的に災害リスクを軽減する対策のみならず、現代社会においては、経済的かつ合理的な維持管理手法ならびに補修・補強方法の構築が重要となっています。また、本センターが想定する巨大地震や大規模水害などの自然災害が発生した場合には、都市機能や行政機能が喪失するとともに、膨大な被災者が発生することが見込まれています。機能喪失状態からの被災者自身による自律再建のメカニズムについて十分に検証しておくことは、来るべき災害後から早期復旧・復興するために極めて重要であり、その備えは広義のリスク軽減と位置付けることができます。

「21 世紀型自然災害のリスク軽減に関するプロジェクト」では、以上のような現代の社会構造が抱える問題と真摯に向き合い、海溝型地震や都市直下型地震など大地震時の都市域で

の被災ポテンシャルとそれに伴う震災リスクを適正に評価し、その軽減をはかることを目的のひとつとしています。また、21世紀型自然災害として地震災害と並んで重要なものは、近年の気候変動に伴い頻発しているゲリラ豪雨とそれに伴う流域圏の水害・土砂災害であります。さらに、豪雨と地震の複合災害ももはや想定外とは考えられないほど現実味を帯びています。本センターでは、地震のみならず、豪雨も21世紀型自然災害を引き起こす大きなリスクとして加え、それらのリスクを軽減するための減災研究の推進をはかります。

そのため、本センターでは、前身の名城大学高度制震実験・解析研究センター（ARCSEC）が推進してきた地震に対する防災・減災研究に加えて、近年頻発する流域圏の水害・土砂災害も対象とするとともに、社会資本の老齢化や被災者自身による自律再建メカニズムなどの視点も取り入れた以下の5つのテーマを設定し、研究プロジェクトを遂行していきます。

- テーマ1 連動型巨大地震に対する土木構造物の安全性と修復性の向上に関する研究
- テーマ2 大空間構造物の耐震安全性評価による震災リスクの軽減
- テーマ3 豪雨および水災事象の発生機構とリスク軽減方策に関する研究
- テーマ4 水工学－地盤工学の連携による沿岸域低平地の自然災害リスク軽減への挑戦
- テーマ5 「中核被災者」を主体とした被災限界からの自律再建メカニズムの解明

さらに、それぞれのテーマに、サブテーマを設けて研究を遂行しています。詳細は、研究成果の概要をご覧ください。

研究成果の概要

研究テーマ 1：連動型巨大地震に対する土木構造物の安全性と修復性の向上に関する研究

(1) 各種部材の損傷メカニズムの解明

A. 鋼部材の損傷メカニズムの解明

【研究目的】

本研究では、溶接未溶着が存在する鋼製橋脚の隅角部を想定し、完全溶け込み溶接が要求される高い応力レベルが発生する溶接継手において、溶接未溶着が存在する場合における地震時極低サイクル疲労下における破壊挙動の解明を実験および解析の両面から試み、破壊挙動に対する基礎データを提供すると共に、極低サイクル疲労発生初期段階における延性き裂発生メカニズムの調査法を提案することを目的としている。

【研究成果】

実験と解析の結果から、隅角部の耐力はフィレットの有無やその大きさ、溶接欠陥の大きさ、溶接脚長の大きさによって大きく左右されることが明らかになった。今後、隅角部の近接目視点検および溶接部の超音波探傷を行う際には、同時にフィレットの大きさや溶接脚長を計測し、データを蓄積していくことが望まれる。現在の非破壊検査は、試験技術者の技量に大きく委ねられる傾向が見られ、溶接欠陥または未溶着部の大きさを実験や解析のように正確に把握することが困難である。しかし、今後の検査技術の進歩や今回の3つの条件の様々な組み合わせに加え、上部構造の荷重条件や欠陥の延長方向の長さ、その位置などの他のパラメータやスケールファクターを含めた研究の進歩により、具体的に鋼製橋脚隅角部の保有耐力の順位付けのようなものが明らかに出来る可能性がある。これは、大きな地震が発生した場合に優先的に点検すべき鋼製橋脚がある程度絞り込めることを意味し、交通開放等の早急な判断に活用できる可能性も考えられる。

B. コンクリート部材のメカニズムの解明

【研究目的】

コンクリート構造物の耐震補強材として連続繊維複合材 (FRP) が広く用いられているが、巨大地震等、衝撃を伴い大きな外力を受ける場合に、接着材として用いられるエポキシ樹脂の損傷、ならびに脆性的な FRP 剥離の発生が懸念されている。本研究では、特に衝撃的な外力と接着材の環境劣化を複合的に考慮したケースにおける FRP の剥離メカニズムの解明を重要な目的の一つとする。

【研究成果】

土木学会指針に示されている，FRP-コンクリート界面の剥離に関する評価実験を，FRPの形状を考慮しつつ，基礎データの取得を目的として，静的荷重下で実施した．その結果，従来のFRPシートの付着に対する評価式が，ロッドやメッシュ形状のFRPを表面接着した場合にも応用できることが明らかになった．次年度以降，衝撃荷重および環境劣化の影響に関する研究を進める．

(2) 修復性に基づく損傷制御構造物の動的応答と制御設計法の確立

【研究目的】

制震部材を土木構造物に導入して制震化することで構造物の耐震性を格段に向上させることができるが，本研究では高機能制震部材の開発，制震部材を設置した構造物の地震時特性の解明および修復性に着目した損傷制御設計法の提案を目的としている．

【研究成果】

ラーメン橋脚およびアーチ橋に制震部材として座屈拘束ブレース (BRB) またはせん断パネルダンパー (SPD) を導入する際の，構造物の制震効果および制震部材の要求性能を複数回の地震動を考慮して明らかにしている．その結果，SPDの要求性能として，最大せん断ひずみについては，1回目地震動および3回目地震動ともに5%であることが分かった．一方，累積塑性ひずみ (CID) については，1回目地震動では60%，3回目地震動では170%であることが分かった．一方，複数回地震動を受けた場合のBRBの要求性能については，3%のひずみと70%の累積塑性ひずみが必要性能として得られた．複数回地震動を考慮した場合のSPDの要求性能としては，最大せん断ひずみは安全係数1が妥当であるのに対し，累積塑性ひずみについては安全係数を3として考慮する必要があることが分かった．

橋梁構造物の耐震・制震設計に複数回の地震動を考慮することの必要性は，連動型の地震動である東北地方太平洋沖地震 (2011) によって実証され，本研究の先見性は高く評価されている．

(3) 相似則を考慮した分散型サブストラクチャ応答実験システムによる土木構造物の制震構造設計法の確立

【研究目的】

橋梁などの構造物に犠牲部材として挿入し，その部材に地震エネルギーを吸収させることで，主構造の損傷を最小限に抑えて健全性を保つことができる座屈拘束ブレース (BRB) の研究開発が精力的に実施されている．本研究は，複数の座屈拘束ブレースを備えた橋脚を対象として，その橋脚に地震動を入力し，制震性能を検証するものである．既往の研究は，ブレースを設置した橋梁の部分模型に対して，振動台による動的加振によって制震効果を検討

した事例等がある。しかし、動的加振における実験装置の能力から、実験供試体のサイズが制限されるなど制約条件が多い。本研究は新たに分散した実験システムを同期させ、油圧アクチュエータによる載荷装置と、FEM 解析プログラムを融合した分散型サブストラクチャ応答実験を構築し、その実験システムの応答性を検証した上で、並列に設置した 2 基の座屈拘束ブレースによる鋼製橋脚の制震性能を総合的に検証するものである。

【研究成果】

本年度は 2 カ所での油圧ジャッキを制御するための実験システム構築についてハードウェアと制御ソフトの両面から研究を進めた。ハードウェアについては、油圧ジャッキを増加させたことによる油圧動力不足を解消するために、新たに 7.5kw 容量の油圧ポンプを整備した。ソフトウェアにおいては、2 台の油圧ジャッキ制御に関わる信号を制御するプログラム開発を進めており、プログラムのバグフィクスを進めた。これらの検討により、次年度の分散ハイブリッド実験実施準備を完了しつつある。

(4) 構造物の早期復旧のための診断支援技術

【研究目的】

道路構造物の健全性を診断するためには、目視による現状の把握に加え、車両走行時の各種の応答値から構造物の剛性や変状の有無等の情報を得ることが求められている。本研究では、従来の方法では測定が困難な道路構造物の変位応答を対象に、遠望から構造物の一部を撮影、これを画像解析することでその点の動的変位波形を取得する方法について検討する。

【研究成果】

具体的な方法として、低コストで高倍率の撮影を可能とするため、フィールドスコープと高倍率のレンズを持つデジタルビデオカメラないしはデジタルカメラを組み合わせた。また、カメラ側の振動による映像のブレを少なくするためと、撮影点に用意に照準を合わせることを可能にするために、土木測量用のトランシットの視準部分を加工しカメラおよびレンズを装着した。使用したカメラについて、カメラ側の表示倍率と視準距離に対する撮影範囲の関係を調査したところ、カメラ側の表示倍率に対し、焦点距離はズーム装置の制御ステップの関係で数段階存在することが確認された。一方、この段階の違いが撮影範囲に与える影響は数パーセントと小さく、この誤差を許容すれば、視準距離とカメラの表示倍率から撮影範囲を算定でき、被写体へのマーカー貼付をしないでも画像測定が可能となることが明らかになった。

また、複数のカメラを同期する方法として、撮影時刻のみ同期させた場合に 2 台のビデオカメラにどの程度の時間差が生じるかを確認した。2 台の同じビデオカメラについて全く同じ画像を撮影させ、同じ実時間に対するフレーム数の差を計測した結果、フレーム数は数十 ppm

(100 万分の 1 精度, parts per million) の誤差しかないことが確認できた。これにより, 10 分程度の撮影において, 撮影開始時刻が同期されていれば, 2 つのカメラを同期させて撮影するのと同程度の精度の画像が得られることが明らかになった。一方, 民生用デジタルカメラないしはデジタルカメラの動画撮影について撮影開始時刻を同期することは機構的に困難であることから, 複数のカメラによる動画像の中に同じ時刻を示すマーカー画像を挿入する方法を検討した。試行の結果, 被写体を遠望から撮影している状態でレンズ近傍からフラッシュライトを発光させると, 撮影範囲外であっても画面全体が白くなり, マーカー画像として利用可能であることが確認できた。そこで, フラッシュライトを遠隔同期させる方法を調査した結果, 民生品として市販されている静止画カメラ用の無線リモコンが適用可能であることが明らかになった。今後は, デジタルカメラにおける高速度動画撮影機能を利用し, 上述の方法を実構造物の計測に適用し, その適用性等を検討する。

(5) 連動型巨大地震に対する修復性および自己センシング性を有する新型材料および補強技術

【研究目的】

多くの種類がある繊維強化プラスチック (FRP) 材料をコンクリート等の母材に適材適所に配置した, 高靱性で修復性に富んだ材料の開発を目的とする。また, その材料の内部にセンサーを導入し, 損傷を自己検知できる材料にすることも重要な目的とする。

【研究成果】

これまで研究では, FRP を内包することにより高靱性化させたコンクリートの静的荷重下での曲げ靱性に対する補強効果を検討した。FRP の形状ごとに同様の曲げ試験等を行った結果, メッシュ形状の FRP を用いた場合に, 補強材を補強が必要な箇所に集中させることが容易であり, コンクリートとの付着が強く, 曲げ靱性に対する補強効果も比較的高くなることが明確化された。また, 構造物の損傷検知に適したセンシング対象箇所ならびにセンサーの選定を進めた。次年度以降, FRP メッシュの付着と補強効果の関係の明確化や, センシングに関する研究を進める。

(6) 既存構造物の初期損傷ならびに連動型大地震による複合劣化予測

【研究目的】

従来の鉄筋コンクリート構造物の劣化予測手法においては, 図 1.1(a)に示すように耐荷性能と耐久性能の評価方法は完全に独立していた。そのため, 供用開始直後の構造物に対してのみしか, 地震力に対する安全性を評価することができなかった。本サブテーマでは, 図 1.1(b)に示すように耐荷性能と耐久性能の評価方法を有機的に融合させることにより, 経年劣化等により損傷した構造物の, 地震力に対する安全性能評価手法を確立することを最終的な目的

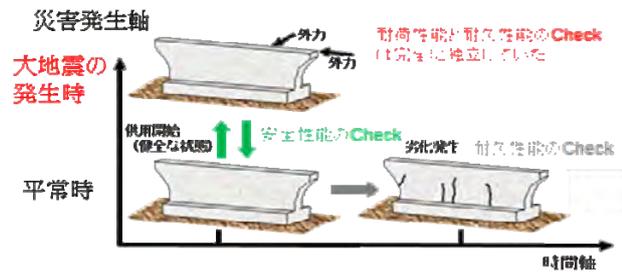
とする。今後、以下のことを実施する予定である。

- ・鉄筋コンクリート部材の水和熱や乾燥収縮等による劣化現象の把握およびその解析 Code 化
- ・初期応力解析手法と耐荷力解析手法の融合および実構造物レベルでの検証

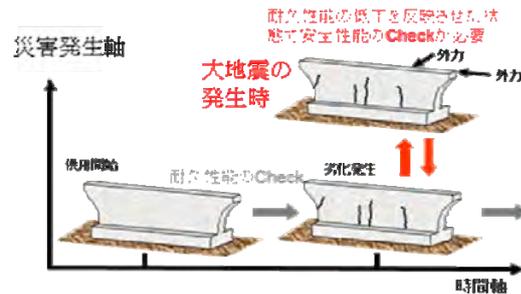
【研究成果】

①材齢ごく初期における乾燥収縮現象を表現する理論モデルへの着手

若材齢時コンクリートに対して乾燥収縮解析を実施する場合、材齢極初期から表面部にひび割れが生じる解析解となる傾向となり、実際の現象を十分捉えているとは言い難かった。従来の解析手法では硬化時コンクリートに対する乾燥収縮ひずみ履歴を若材齢コンクリートにそのまま適用していた。一方、乾燥収縮によって生じる応力はメニスカスに大きく依存するがメニスカスの影響の程度は硬化時と若材齢時では異なると考えられる。既往の研究では乾燥即ち水分移動に伴う応力の発生は、空隙間水のメニスカス形成で負の圧力が空隙水中に生じる結果であるとされている。比表面積が増大することはメニスカスを発生させる場所が増え、小さなメニスカス半径の水柱がより多く生じることを意味している。比表面積変化は水和変化そのものであるから水柱



(a)従来の手法



(b)今後望まれる手法

図 1.1 従来および今後望まれる安全性・耐久性評価手法

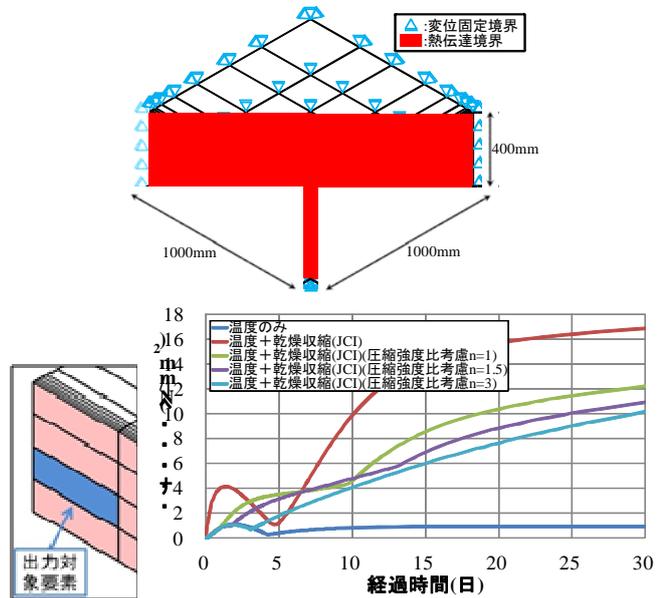


図 1.2 最大主応力の経時変化の一例

の変化と強度変化は概ね比例関係であると考えられる。この考え方を従来の初期応力解析プログラムに導入することを試みた。水和による温度変化と乾燥収縮を同時に受けるコンクリートモデルに対して、弾性解析シミュレーションを実施した一例を図 1.2 に示す。材齢極初期における表面部に生じる引張応力が低減することが確認された。今後、相対湿度をさまざま

に変化させ、かつ材齢ごく初期から乾燥収縮試験を行うことにより、本手法についてさらに検証を続けたいと考えている。

②パイプクーリングによる熱除去効果を簡単に実現できる温度解析 Code の開発着手

パイプクーリングを考慮した温度解析手法は、既往の研究にて既に確立されている。一方で、数値解析を行う際、図 1.3 左に示すように、パイプ節点とコンクリート節点位置を完全に一致させ、かつパイプ要素をコンクリート要素辺に一致させる必要がある等、パイプレイアウトに関する問題が依然としていくつか存在する。このことがパイプレイアウトの自由度に大きな制約を与えることは明らかであり、多角的な視点からのパイプレイアウトに関する検討を実施する上で大きな障害となっていた。そこで、図 1.3 右に示すようにコンクリート要素形状やコンクリート節点位置に依らない自由なパイプレイアウトを数値解析上実現させることを試みた。そして、簡単な数値モデルで検証を行った。その一例を図 1.4 に示す。パイプ周囲からの熱除去効果が合理的にシミュレートされており、パイプクーリングが施されたコンクリート内部の水和熱をより多角的に予測可能となることが確認された。今後更に検証を行っていきたいと考えている。

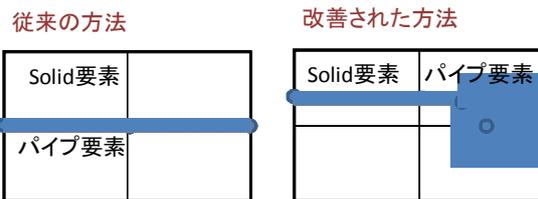
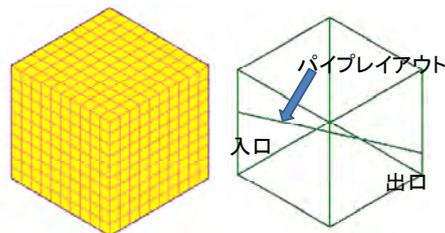


図 1.3 従来のパイプレイアウトとその改善



- 1m × 1m × 1mのコンクリート立方体
- コンクリート周囲は断熱境界、水和発熱最大75°C
- 打設後3日目で20°Cの水を通水

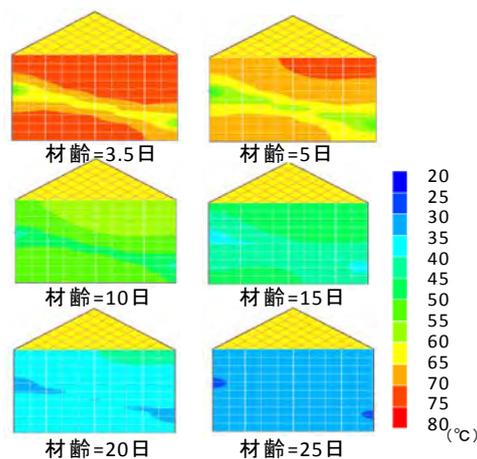


図 1.4 自由なパイプレイアウトによる熱除去効果シミュレーションの一例

(7) 地震・津波・漂流物衝突の複合外力を受ける土木構造物の3次元複合非線形動的解析法

【研究目的】

東北地方太平洋沖地震では大規模な津波が発生し、東日本一帯の広い範囲の構造物に対して壊滅的な被害をもたらした。一方、南海トラフの運動型巨大地震の発生が危惧され、死者は32万人、経済損失は国家予算を上回るという予測があり、インフラの効率的な耐地震・耐津波対策は喫緊の課題である。本研究では、巨大地震を伴う津波による大型漂流物が、地震

による損傷を受けた橋梁構造物へ衝突したときの現象を、同一震源断層による地震動と津波の複合現象としてとらえ、震源断層から対象橋梁までの全体系における複合現象をシミュレーションする手法を提案することを目的にしている。

【研究成果】

長大橋梁に対して、設計では想定していない異常外力（たとえば耐震設計上想定外の巨大地震や津波外力、漂流物の衝突など）が作用する状況を考慮した連成解析システムを構築し、高度な数値シミュレーションにより構造物の余剰耐力や崩壊メカニズムを解明している。本解析手法では、地震・津波を受ける長大橋梁全体系の有限要素法モデルによる座屈強度解析、衝突解析、地震応答解析や、周辺地形における津波伝播解析を組み合わせることを提示している。対象構造物を長大橋梁としているが、研究の特性上、たとえば湾岸線工場の大規模建設物（ガスタンクやコンビナートなど）や港湾施設などへの展開も可能と考えられる。

（８）構造安全性および地震後の使用性を考慮した損傷照査法の開発および補修補強ガイドラインの作成

【研究目的】

（１）～（７）の成果を踏まえ、構造安全性および地震後の使用性を考慮した損傷照査法の開発および補修補強ガイドラインの作成を目的としている。

【研究成果】

最終年度に着手する予定である。

研究テーマ 2 : 大空間構造物の耐震安全性評価による震災リスクの軽減

【研究目的】

阪神淡路大震災後、建築構造物の耐震性能評価・耐震補強は順次進められてきたが、現在、耐震安全性評価手法が整備されているのは重層ラーメン建築構造に対してであり、動的挙動が複雑な大空間構造物（ドームなど）はその構造系式の特異性から対策が困難な場合が多く、震災リスクの評価および軽減方法は模索の段階である。一方、大空間構造物は震災時には避難所や活動拠点として使用することが期待されており、震災後の復興という観点からもより一層耐震安全性評価が重要な構造物である。また、東海地域は東海・東南海・南海地震の発生が懸念されており、この地域で大空間構造物の震災リスク軽減を研究することの意義は大きいと考えられる。

対象とする大空間構造物としては、構造種別毎に、鋼構造、鉄筋コンクリート構造（以下 RC 構造）・木質構造の 3 種類に分けて進める。

- ・鋼構造：リスク評価のためには構造物の倒壊挙動を精度良くシミュレートする必要がある。構造物の倒壊挙動評価では部材の局部座屈が重要な因子となるが、大空間構造物において一般的な重層構造物より重要性が高まる軸力および 2 軸曲げ状態における局部座屈を考慮した要素モデルは現在まで提案されていない。本プロジェクトでは、倒壊挙動を支配する因子の内、部材の局部座屈に注目した局部座屈を考慮し得る梁要素モデルを提案し、3 次元震動台を用いた動的実験および提案要素モデルを用いた数値解析結果を分析することで、大空間構造物の耐震安全性を評価する。
- ・RC 構造：コンクリート系の空間構造としては、種々の曲面の適用や大規模化を始め、エネルギー関連の産業用容器構造として、地下埋設構造物や各種廃棄物貯蔵施設への適用と大型化が進行している。その中で主として耐震設計時における想定を超えるレベルでの機能維持や耐震余裕度の評価が課題となっている。本プロジェクトでは、動的荷重に対する動的な損傷・破壊レベルの推定に用いられるソフトウェアの開発を実施する。また、その検証を目的とした動的破壊実験を、RC を中心とし、炭素繊維補強によるアーチおよびシェル試験体により実施する（3 次元震動台を用いる）。さらに、評価の入力値に関する材料レベルでの検討も併せて行う。
- ・木質構造：平成 22 年の「公共建築物等木材利用促進法」施行を契機に、低層構造物での木質構造の検討が進んでおり、種々の接合金物・高耐力のパネル・免制震等デバイス等の開発と適用が進んでいる。本プロジェクトでは、これらの構造要素を数値モデル化し、強震時の挙動評価を可能とするための基礎的検討を実施する。具体的には静的加力実験と震動実験による検証を含めた数値解析モデルの提案を目標とし、耐震性能評価のためのシステムの検討を実施する。

【研究成果】

解析的な準備は進められており、鋼構造については軸力と2軸曲げを受けるH形鋼梁柱試験体を製作し、静的局部座屈実験を行いつつ、数値解析を活用しながらその実験結果を分析しているところである。また、地震時挙動を高精度に追跡するために梁部材のせん断変形に関する検討も実施している。

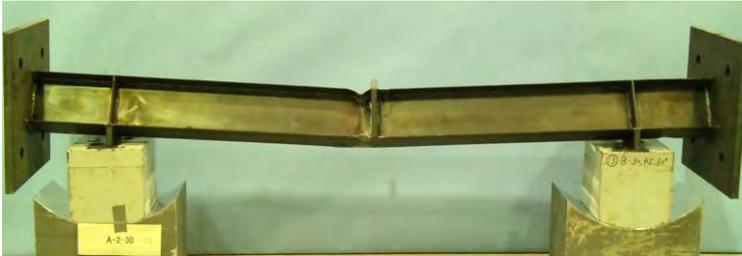
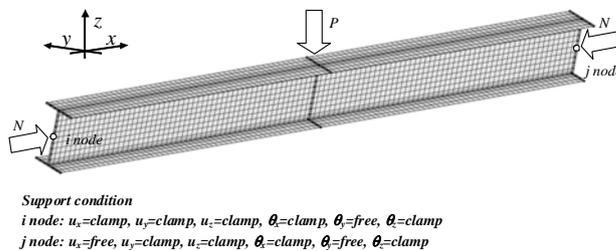


写真 2.1 最終変形形状 (H-70×45×1.4×1.6, $N/N_y=0.3$, 傾き 30°)



Support condition
 i node: $u_x=clamp, u_y=clamp, u_z=clamp, \theta_x=clamp, \theta_y=free, \theta_z=clamp$
 j node: $u_x=free, u_y=clamp, u_z=clamp, \theta_x=clamp, \theta_y=free, \theta_z=clamp$

図 2.1 解析モデル

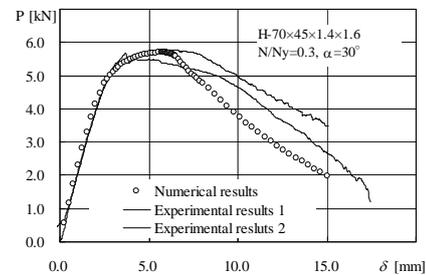


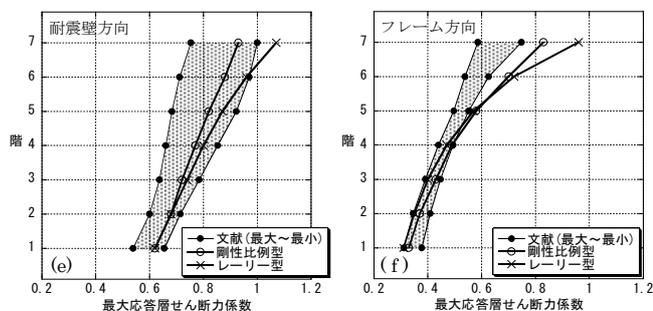
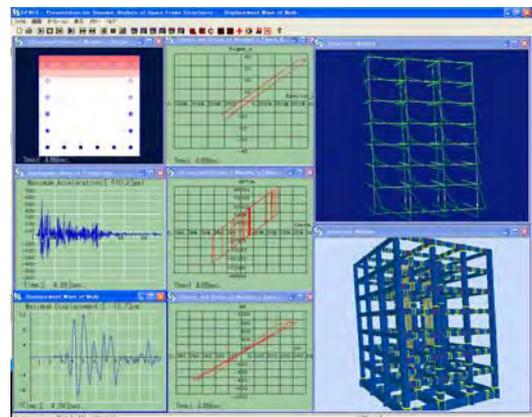
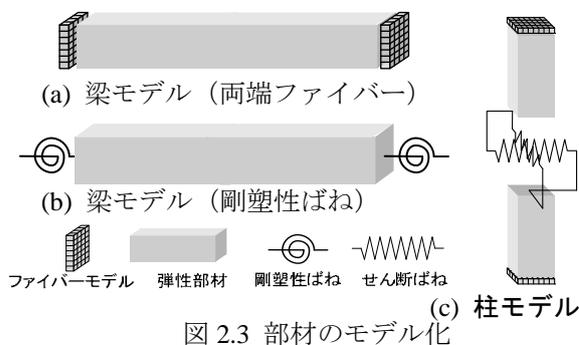
図 2.2 荷重-変位関係

RC 構造については、以下の2つに分けられる。①フレーム構造については、3次元骨組解析システムへの鉄筋コンクリート部材の弾塑性解析機能の組み込みと応用、およびその公開を実施した。また、システムの新規機能を紹介すると共に、RC 構造物のモデル化の概要と妥当性の検証について示した。例として既往の文献に示されたRC 建物を対象として、開発されたシステムを用いてモデル化し、静的および動的な弾塑性解析を試みた。以下に数値解析事例により得られた結果をまとめる。

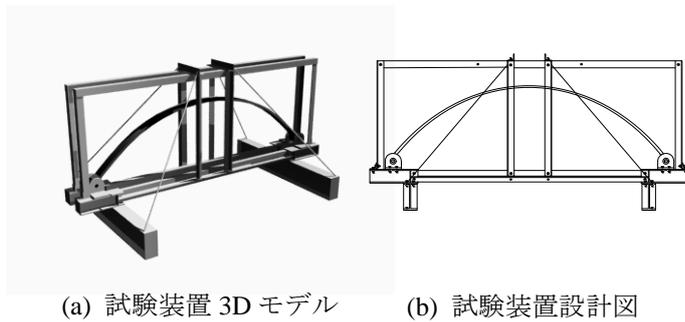
1) 梁モデルに、材端剛塑性ばねを用いた場合では文献と近い結果が得られた。一方、材端ファイバーを用いた場合には、圧縮軸力によって曲げ耐力が増加する。そのため文献に示された結果とは異なるものの、一般的なRC 構造物の破壊進展状況として妥当性のある結果を示している。

2) 骨組系地震応答解析では、耐震壁方向は文献と同等の結果が得られたが、フレーム方向については文献や質点系解析の結果より、剛性が高いという結果を得た。

比較対象が一事例の数値解析ではあるが、以上の分析結果より当該システムにおけるRC 構造物の静的弾塑性解析及び質点系地震応答解析は概ね妥当なものと考えられる。しかし骨組系地震応答解析では、水平剛性が高く評価されるなど未だ検証の余地があり、そのほかの利用上の機能アップ等を含め、継続して開発する予定である。



次に②連続体構造については実験・実地調査・および解析的検討を進めている。具体的には、コンクリート系のむくりのある構造(アーチ, シェル)は一般に高い耐荷力を有するが、常に座屈や初期不整の影響が指摘され、設計に際しての耐力予測や安全率の設定に際しては多くの不確定要素があることが問題とされる。形状や境界条件、荷重等に対して大きく異なる変形・損傷・耐力、さらにポストピーク挙動に至るまで、ある程度コンセンサスの得られる評価手法(実験および解析の組合せ)の確立が可能ならば、実務設計に有益であると考えられ、ひいてはこれらの優れた力学特性を生かした建築への適用(部材としても)を促すとも想定される。本研究では、RCアーチを研究対象とし振動破壊実験を実施し、その数値解析的検証により動的な終局状態までの現象の追跡の可能性を検討した。実験と解析により、シングル配筋とダブル配筋によるRCアーチの振動破壊実験を実施し、動的な複合非線形解析結果と近い結果を得ることができた。また、現在炭素繊維シートによる補強効果の検証を実施中である。これらにより、RCアーチ・シェルの動的挙動の評価手法のための基本資料を蓄積していく予定である。



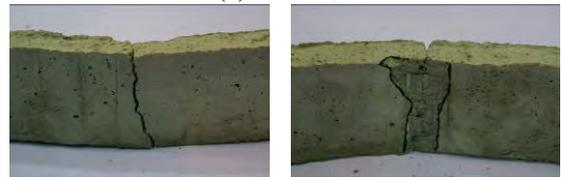
(a) 試験装置 3D モデル (b) 試験装置設計図



図 2.6 実験システム全体



(a) 崩壊状況



(b)崩壊部詳細(外周面)(c)崩壊部詳細(内周面)

図 2.7 試験体

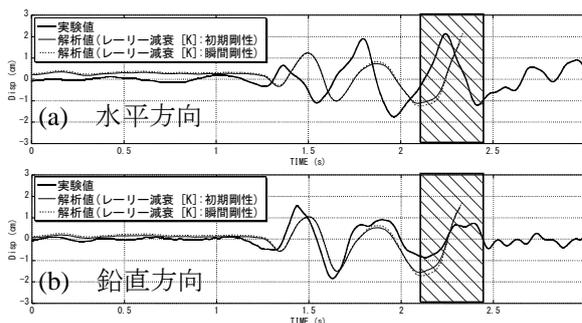


図 2.8 変位応答時刻歴 (A2)

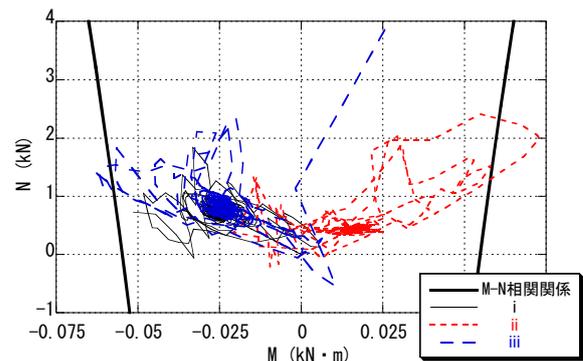


図 2.9 M-N 相関関係図

次いで、実機のシェルに対する適用検討事例として、劣化の無い新設の RC シェルの躯体のみの振動特性の同定を試み、高感度のセンサーを用いて振動測定を実施し、2次モードまで同定することができた。また、一波ではあるが地震応答解析を試みた。その結果下記の知見が得られ、今後の構造設計用のデータとする予定である。

- 1)実測で得られた固有振動数とコア抜き試験体による物性値を用いた固有値解析結果は良い一致を示す。
- 2)減衰定数は1次で0.8%・2次で0.65%と小さい(仕上げや二次部材が無く、竣工直後、シェル本体内部での振動レベル程度)
- 3)Kobe波に対する応答変位は一般的な2%の減衰に対し約20%程度増加する可能性がある。



図 2.10 実機シェルの検討対象外観

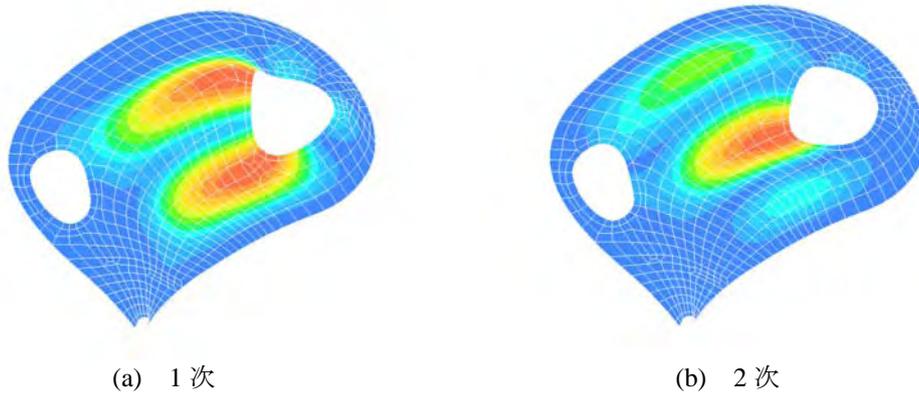
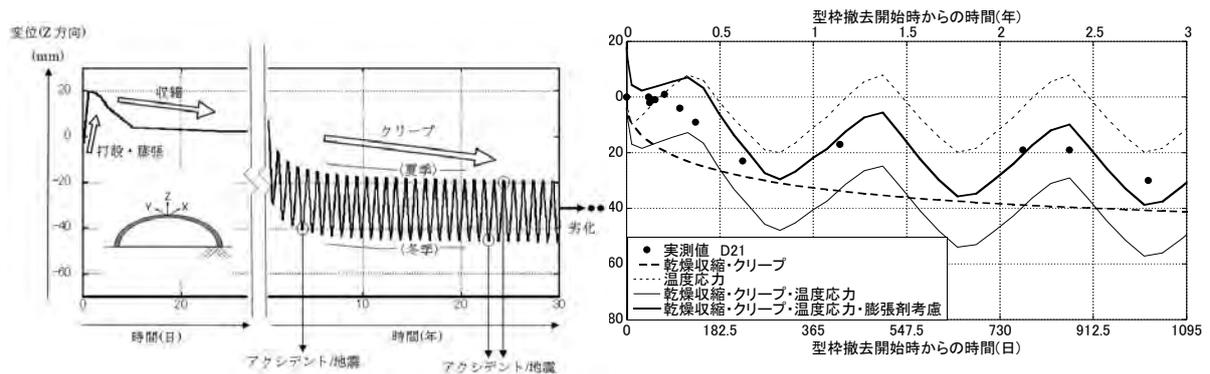


図 2.11 振動モードの同定

また、今後は、長期にわたる変形の測定結果を元に解析結果と比較することで、乾燥収縮・クリープ変形の変化の評価を行い、それらが耐力や振動特性に対する影響の評価を行う予定である。また、温度応力による影響の検討を年変化及び日変化について行う。これらを通し RC シェル構造の耐震設計手法の確立に関するデータの蓄積を行っていく。



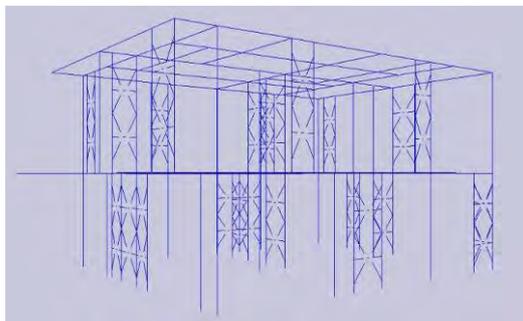
(a) 長期変形性状の模式図

(b) 実測と解析の比較

図 2.12 RC シェルの長期変形

木質構造については、現在一般的に建築例の多い在来工法を中心に、各種の補強金物、あるいは制震デザイスを組み込んだ住宅用のフレームの実大モデルを1スパン取り出し、震動

実験を実施することにより，その振動特性や耐震性能，および各種工法による比較を実施し，振動特性の基礎データを蓄積し，数値解析手法の検証を実施する．また，適用事例として大スパンを有する保存対象の耐震補強に関する検証を実施する予定である．



(a) 戸建住宅の高耐震化検討



(b) 大スパン木造建物の補強検討例

図 2.13 木質構造に対する検討事例

また，地域連携・水平展開の一環として，「かぐ転防」運動に関する研究も実施している．

研究テーマ 3 : 豪雨および水災事象の発生機構とリスク軽減方策に関する研究

(1) 短時間強雨および大雨の出現特性に関する解析的研究

【研究目的】

降水の遠隔探査データは強雨・大雨の空間分布や統計的特徴を把握するために有用であり、衛星による全球規模の降水データも気候学的特徴を議論できる程に蓄積されつつある。しかし、局所的かつ稀に発生する極端現象を抽出するためには、観測特性・推定特性・降水特性に依る推定誤差に関する評価が依然として重要である。本研究では、衛星観測データによる強雨・大雨の地域的特徴の検出、さらにはこれらの情報活用可能性の議論の深化に向けて、地上・衛星観測データに基づく降水表現の現状整理と課題の抽出、および衛星データによる局所的特徴の検出能力に関する理解を目的とした研究を行った。

【研究成果】

本研究で主に使用したデータは衛星搭載降雨レーダ (TRMM PR) の標準プロダクト 2A25 V6 および V7 である。顕著な降水イベントに関するスナップショットの一例を図 3.1 に示す。この TRMM PR データに加えて、最新の各種降水データセット (GPCP, GPC, AMeDAS, APHRODITE MA, UDel) も用いて降水の地域的特徴に関する比較研究を実施した。他に、マイクロ波放射計データ TMI V7, 高時間空間分解能データ (GSMaP, TMPA) も整備を進めた。

平成 24 年度に実施した比較検証を大別すると、AMeDAS を用いたマッチアップ解析によるサンプリング誤差・リトリバル誤差の評価と、広域観測データの気候値相互比較の 2 つに分かれる。前者については、日本域特有の降水出現頻度や衛星軌道パターンに依存するものの、データ積算期間に対応するサンプリング誤差を求めることができた。また、同期観測結果によるリトリバル誤差も検出し、地域によっては最新降水データにも数十%程度の不確実性が存在することや誤差

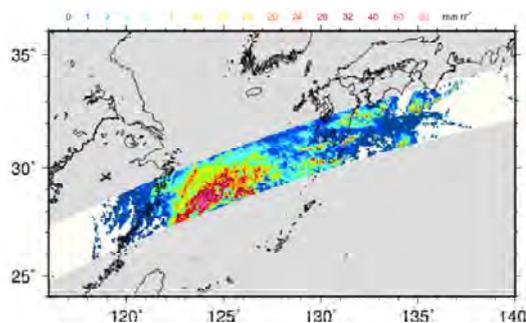


図 3.1 TRMM PR による推定地表面降雨強度の例。1998–2006 年で最大の面積雨量を記録した事例 (2004 年 12 月 4 日)。

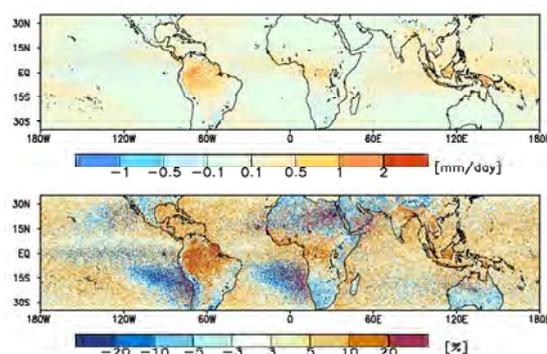


図 3.2 TRMM PR 推定地表面降水量のアルゴリズム改訂による影響。上 (下) 図は V6 に対する V7 の降水量の増減 (変化率)。

に強度依存性があることを明らかにした。後者のデータ比較においては、TRMM PR のアルゴリズム改訂の影響 (図 3.2) や観測データ間の差異・類似性に関する理解を深めた。TRMM PR V7 は入射角依存性の軽減という意味で改良されていることが明らかであった。また、図 3.2 に示されるように V7 によって陸上の降水が増加したことにより、他の観測データとの差がやや低減していた。しかし V7 も過小評価傾向が依然として顕著である。誤差の傾向は地域やデータの種別によって異なっており、日本域で特に見られる過小評価の解消だけでは観測データの不確実性問題を解決できないことが確かめられた。地上データの空間内挿やデータ数密度に関する不確かさが懸念される山岳地域では、衛星データの特長を生かしたデータベースを作ることができる可能性がある。その一方で入射角による推定量の違いなど、衛星データの不確実性も幾つか見出された。系統誤差の理解に資する結果は得られたが、現時点では、幾つもの要因が複合的に作用する誤差特性の統一的な説明には至っていない。今後、データの利活用を進展させるため、最適あるいは最尤推定値に関する検討を進める必要がある。

並行して、長期間蓄積された TRMM PR データをもとに高空間分解能 0.1 度の降水データを作成し、局所的なシグナルの抽出状況について調査した。山脈や海岸線に沿った降水量の多寡が鮮やかに現れるとともに、より小規模の山や島、湖による影響が見え始めている。図 3.3 はエベレスト付近で集中する雨が地域時刻によらず同じ場所で降っており、等価直径 10km 以下の水平規模を持つ降水システム (small PRPS) のみによってもたらされていることを示した結果である。他に、大規模な降水システムのサンプルが気候値に与えるインパクトの地域的特徴、熱帯・亜熱帯域の島の地形効果の統計、衛星観測視野以下の空間解像度で山岳性降雨が抽出できる事例等を発見し、第 4 回 TRMM・GPM 国際科学会議などで発表した。

一連の研究から示唆された課題の解決と局域に集中する降水現象の普遍的特徴について総括するために、さらなる精査が必要である。

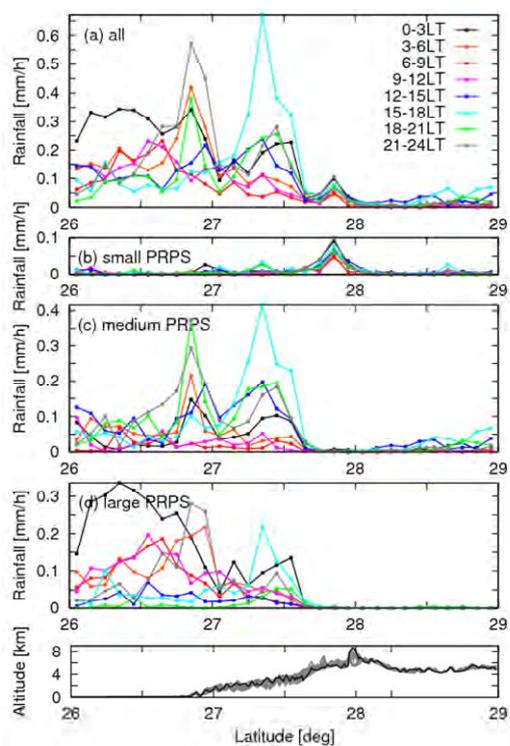


図 3.3 東経 86.95 度における規模別降水システムによる各時刻の降水量の緯度断面図。色は地域時刻。

(2) 短時間強雨に伴う都市河川の出水機構と流出抑制方策に関する研究

【研究目的】

近年頻発している局地型短時間強雨（いわゆるゲリラ豪雨）に伴う都市河川の溢水氾濫に対処するには、①豪雨事象の精確な捕捉と、②急激な河川への流出現象の解明が急務であり、実現象の理解を踏まえた上で、③精度の高い流出予測モデルの構築、そして④流出抑制施設の整備や種々の流域管理施策等を通じてリスク軽減を図ることが求められる。本研究では、最近配備された X バンド MP レーダの精度検証ならびに活用方法の検討を行うとともに、名古屋市を流れる植田川流域を対象に、急激な雨水流出過程と雨水貯留施設の流出抑制効果について、現地観測とモデル解析を通じて実証的かつ定量的な検討を行うことを目的とする。

【研究成果】

① X バンド MP レーダを活用した豪雨事象の精確な捕捉

1) 地上雨量計データによる精度検証：

平成 22 年より都市域に配備された X バンド MP レーダの有効性について、2011 年 9 月の 15 号台風に伴う集中豪雨を対象に、X バンドレーダのデータと名古屋市内における 46 箇所に及ぶ高密度な地上雨量計データと比較して精度検証を行った。その結果、レーダ降雨と地上降雨の相関は 0.98 に達する（図 3.4）ほか、両者の差の分布を見たところ、標準偏差は 1.33mm/10min であり、X バンドレーダの観測雨量は地上雨量計に対して誤差が極めて小さいことが明らかとなった。このことから、X バンドレーダは、少なくとも平坦な地形の流域においてはゲリラ豪雨に対して十分な捕捉可能性をもつといえよう。

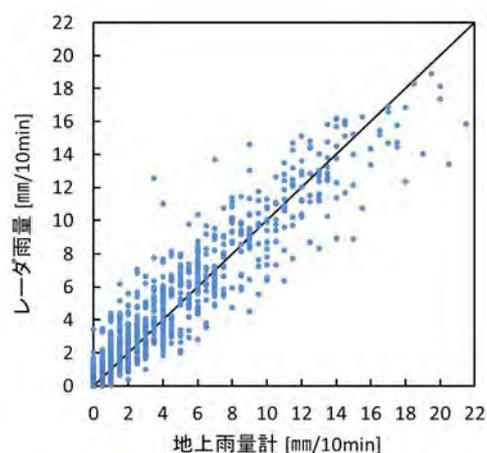


図 3.4 地上雨量計とレーダ雨量の比較

2) 地上雨量計による流域平均降雨算定値の妥当性評価：

精度が検証された X バンド MP レーダの降雨データを用いて、名古屋市東部を流れる植田川流域を対象に、流域全体の平均降雨の評価方法について検討した。すなわち、流域面積が小さい都市流域において、従来から行われている

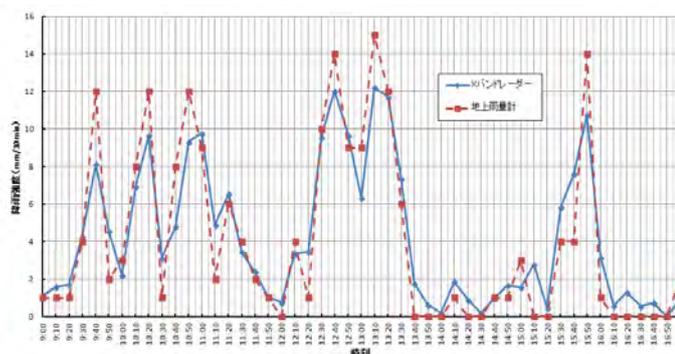


図 3.5 流域平均降雨強度の比較

ティーセン法を用いた地上雨量計による流域平均降雨の算定値がどの程度の妥当性をもつのかを、流域内の 250m メッシュにおける X バンド降雨の合計値と比較することによって評価した。その結果、地上雨量計による流域平均降雨は X バンドデータに基づく値に比べて時間的変動が激しく、ピーク値が最大最少ともに大きく振れている (図 3.5)。これは数少ない地上降雨から算定した流域平均降雨が地点データの変動に大きな影響を受けていることを示しており、流域の小さい都市河川では、局地豪雨に対し、従来手法による流域平均降雨の評価には問題があることを示唆している。

② 都市河川における豪雨の急激な流出現象の解明

1) 中小河川における洪水流量評価手法の開発 :

各地の都市河川の基準点では水位観測は実施されているものの、流速観測が十分に行われていないため、「水位 - 流量曲線」が確立されていない河川が多い。流速観測が不十分な原因として、出水が早いため観測作業が間に合わない、流速変動が鋭敏なため浮子による観測が難しい、洪水観測に適した流速計が無いなどが挙げられる。そこで、最近、洪水時の流速を安全かつ迅速に測定できるように開発された可搬型電波式流速計 (平成 24 年度予算にて新規購入) について、愛知用水の開水路を使用して精度検証を行うとともに (図 3.6)、植田川の橋梁に設置して洪水流量の評価を試みた。また、電波流速計から得られるデータは表面流速値であるため、洪水流の流速分布を援用して河道の全断面流量を推算する手法を提案した。今回は小規模な出水を試行的に観測したに過ぎないので、今後、水災上問題となるような規模の豪雨についても観測を進め、都市河川における水位 - 流量曲線の評価に繋げたい。

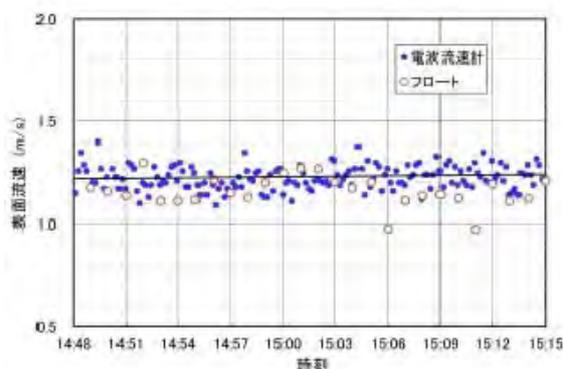


図 3.6 電波流速計とフロートの流下速度の比較

2) 既存の雨水貯留施設の流出抑制効果の検証 :

都市河川の急激な洪水流出を緩和するため、流域内には、こうした流出抑制効果を期待して幾つかの雨水貯留施設が設けられている。しかし、その多くは古い時代、例えば 1970 年代に総合治水施策の一環として 1/5 確率降雨を想定して建設されたものも多い。そうした相当に古い施設が現在において、特に近年のゲリラ豪雨に対して

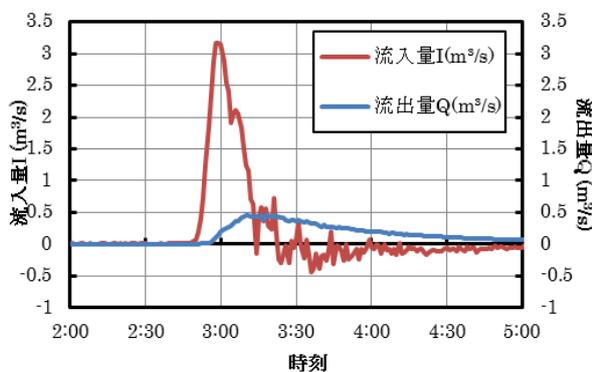


図 3.7 天白溪下池における流出抑制効果

どの程度の効果を発揮するかは一度検討しておく必要がある。植田川の支川流域に位置する天白溪下池もそうした洪水調整池としての役割をもった溜め池の一つであり、今回、実際に池内の水位観測を行うことによって、その流出抑制効果の検証を試みた。対象とするのは2012年9月11日の降雨であり、池内の水位データを用いて池の貯留量変化および流出口からの流出量の推算を行い、連続式から求まる流入量と比較したところ、今回の出水に対する流出抑制効果は84.8%と求められた。今後は、より大きな降雨に対して観測を行うとともに、それらの結果を踏まえ、水災が想定される豪雨に対する効果を評価する予定である。

(3) 段波状洪水流を制御する透過性砂防ダム群に関する研究

【研究目的】

平成24, 25年度は、おもに間欠的な土砂流サージの生成機構及びその特性を明らかにすることを目的としている。

間欠的な土石流サージの流下については、中国の粘性土石流と呼ばれる土石流がよく知られている。しかし、間欠的に多数の段波状サージの流下は粘性土石流固有な現象ではない。オーストリア西部の山間部でも間欠的に段波状の土石流あるいは土砂流の流下が観測されるようになってきている。この間欠的な土砂流の生成は流れの不安定性による一種の転波列であることを明らかにしつつある。しかし、その特性についてはまだ不明の点が多い。ここでは、転波列性土砂流サージの流下特性を明らかにするために、この基本となる波動方程式の導出と実験的な転波列性サージの波動特性を明らかにすることを目的としている。

【研究成果】

流下現象の流体を非圧縮、非回転として取り扱う。これによりラプラス方程式の関係があることから、速度ポテンシャル ϕ を導入している。流れの条件として、水路床で水深方向の流速成分を0とする。また、水面の平均水深からの変動量 η が水面の流体粒子と一致する条件、および傾斜水路上の浅水流運動方程式より、逡減摂動法を用い、かなり複雑な過程を要するが次式の無次元波動方程式を導出した。

$$\frac{\partial \eta'}{\partial \tau'} + \frac{1}{2}(1 + 2c_0'^2)\eta' \frac{\partial \eta'}{\partial \xi'} - \frac{1}{2} \tan \theta \frac{c_0'^2}{u_0} \frac{\partial^2 \eta'}{\partial \xi'^2} + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{c_0'^2} - 1 \right) \frac{\partial^3 \eta'}{\partial \xi'^3} = 0$$

上式は、左辺第2項が非線形項で時間とともに種々の波数を生成する、第3項は散逸項で高周波の波形を低減させるとともに波形の変形をもたらす、第4項は波形の分散項で、KdV方程式ではソリトンの特性をもたらす項である。移動座標系の移動速度と同じ意味を有するGardner-Morikawa変換の速度パラメータを、波動方程式の導出で用いられる長波の波速とすると上式より次式を得る。

$$\frac{\partial \eta'}{\partial \tau'} + \frac{3}{2} \eta' \frac{\partial \eta'}{\partial \xi'} - \frac{1}{2} \frac{\tan \theta}{u_0'} \frac{\partial^2 \eta'}{\partial \xi'^2} = 0$$

上式はバーガース(Burgers)方程式と同型である。バーガース方程式は N-S 方程式より気体を対象として理論的に導出された方程式である。バーガース方程式では 2 階微分の係数項は流体の粘性を表しているが、ここで導かれた波動方程式では水路勾配 $\tan \theta$ と流体の抵抗則を意味する無次元平均流速 u_0' による項であることを明らかにした。上式の波動方程式より、周期的矩形波、周期的正弦波、無限遠点を境界条件とする単一矩形波の初期条件による、解析解を明らかにした。

図 3.7 は周期的初期条件による水面変動解析解の一例である。無次元平均流速 u_0' が大きくなると波高が大きくなるとともに谷部から頂部への急峻化を生じることを示している。また、周期的な初期条件の違いに関わらず時間の経過とともに同じ水面形状に変形していくことも波動方程式からの解析解により明らかにした。

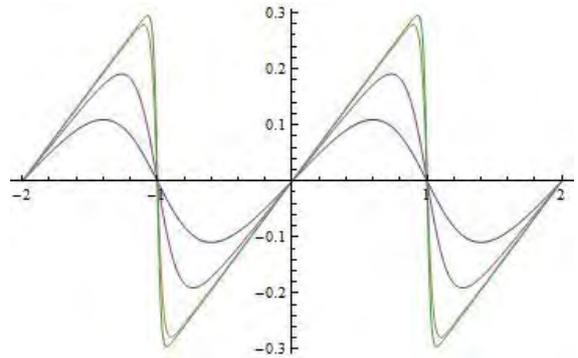


図 3.7 解析解の例

長さ 56m, 幅 10cm, 深さ 15cm の循環式直線水路による実験の水面変動と上述の波動方程式による解析解との関係がよく対応する。図 3.8 は実験結果と解析解の比較の一例である。細かく変動している実線が実験結果であり、滑らかな実線が解析解である。実験結果と解析解は比較的良好に対応している。

以上の他に傾斜水路上の浅水流の運動方程式における流速分布形に関わる運動量補正係数 β を含む波動方程式を導出し、その方程式の構成を明らかにした。従来、傾斜水路上の波動方程式については十分明らかになっていなかったが運動量補正係数を含む波動方程式を明らかにした。間欠的な土砂流サージの特性を明らかにして行くうえで、その基礎となる波動方程式を導出し明らかにすることは非常に重要なことである。

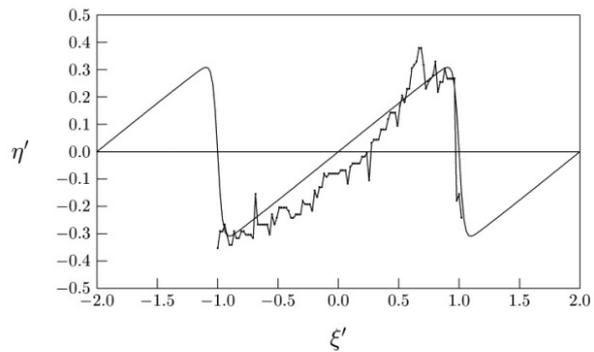


図 3.8 実験結果と解析解との比較例

研究テーマ4：水工学—地盤工学の連携による沿岸域低平地の自然災害リスク軽減への挑戦

(1) 各種河道条件を考慮した越流破堤現象の解明

【研究目的】

異常気象等により想定外の降雨の発生などを要因として、最近では毎年のように堤防決壊等河川災害が報告されている。山地と比べ沿岸域低平地は出水時水位が高い状況が比較的長く続くことを考えると堤体への浸透現象が破堤災害を誘発させる可能性が高いなど各河道の特徴により破堤要因とそのリスクは異なる。また、河道と堤内地の条件により、破堤後の周囲に与える影響も異なることが考えられる。

こうしたことを考慮し、本研究では、越流破堤に至るきっかけなどに着目し越流破堤現象を解明し、破堤災害のリスク軽減として、場所の特徴を考慮したうえでの破堤予防策、破堤後の現象解明から破堤時のリスク軽減に向けた対策に向けた検討を実施する。

【研究成果】

初年度、本研究では、小規模実験で破堤過程を再現できるかを含め、越流破堤にいたるきっかけとして浸透流による堤防の変形および堤体高さ等の不足により外水位が天端高さを上回る越水に着目し、実験的検討を行った。結果の一例を図4.1, 4.2に示す。限られた条件下の実験ではあったが、結果として以下が得られている。

- ・堤体下の基礎地盤に透水性が高い材料を設置することにより、漏水につながる浸透流を促すとともに、設置条件によっては堤体内部への浸透を促進し法崩れが発生する。
- ・浸透流による法崩れにより堤防が変形し越流に至った場合と堤体高さが低いことにより越流した場合では破堤開始直後に破堤口から流出する流量が異なること、法面崩れにより破堤した場合には落ち堀が比較的局所でできる傾向にあることなどが分かった。

今後、こうした小規模実験と数値解析を援用し、浸透流による堤体の変形現象および堤防条件や河道条件が及ぼす越流破堤過程への影響についてさらに検討していく予定である。

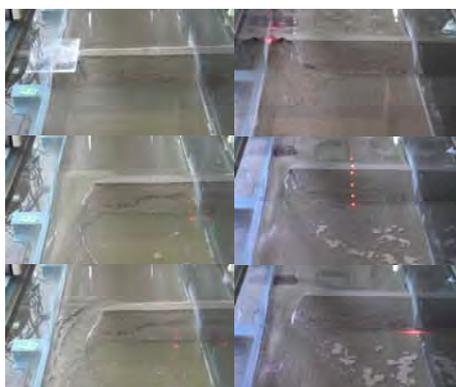


図4.1 破堤口拡大過程
(左図：切り欠きから越流したケース、
右図：透水性の高い礫層を設置)

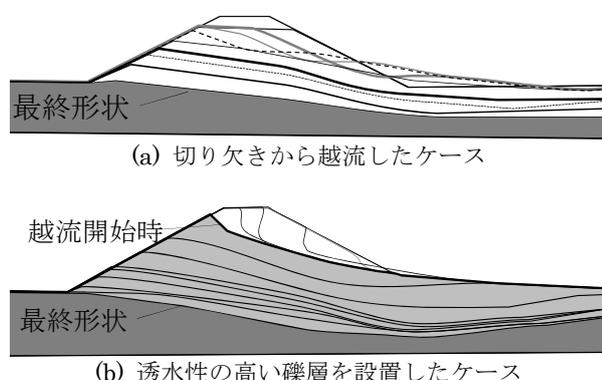


図4.2 堤防断面の変化イメージ

(2) 沖積低平地における堤防基礎地盤の海溝型地震時の震動特性の解明

【研究目的】

東日本大震災で崩壊した河川堤防のほとんどは、軟弱な沖積層を基礎地盤としており、海溝型地震の長時間震動を受けてその基礎地盤が液状化や沈下した。例えば、液状化しづらいたらずの細粒分を含む砂層がその下部層の粘土層の震動増幅によって液状化したり、粘土層自身が揺すり込み沈下するなど、未解明の現象が東日本大震災で多く確認されている。本研究では、海溝型地震時の堤防被災メカニズムの全容を解明するため、軟弱な基礎地盤の震動特性を明らかにするとともに、沿岸域低平地の堤防の被災ポテンシャルを明確にする。

【研究成果】

東日本大震災では、粘性土基礎地盤上の河川堤防において堤体下部が液状化し、堤体全体に大変状が発生するという新たな被害形態が多く見受けられた。これら大変状の原因として、軟弱粘土地盤上に堤防を築堤したことにより長期にわたって圧密沈下が発生し、砂質土堤体が粘土地盤の地下水位以深まで沈み込んだことにより、堤体下部に含水状態が非常に高いレンズ状の閉封飽和域が形成され、その飽和領域が液状化してしまったために堤体全体が大きく変状したと考えられている。そのため、被災メカニズムを検討する際には閉封飽和域については様々な検証がなされているのに対して、粘性土地盤が地震時にどのような役割を果たしたのかについては、ほとんど検証されていないのが現状である。

平成 24 年度の本研究においては、東北地方の鳴瀬川の被災堤防近傍の堤外地でボーリング採取した粘性土を用いて室内試験を実施し、基礎地盤の粘性土の力学特性を詳細に求めた。その試験結果を用いて、堤体の築堤まで遡ってシミュレーションを実施し、粘性土基礎地盤上の堤防の長期圧密履歴を検証した。さらに、長期圧密履歴を経た粘性土基礎地盤に対して地震応答解析を実施することにより、地震時ならびに地震後の粘性土基礎地盤上の河川堤防の変形挙動を検討した。

図 4.1 は解析結果であるが、地震前の堤体には大きな沈下は生じておらず、それほど大きな閉封飽和域が発生していた形跡は解析では得られなかった。しかし、地震中には粘性土地盤に大きな即時沈下が発生しており、特に第 2 波目に沈下が加速している様子がよくわかる。すなわち、粘性土地盤は継続時間が長い海溝型地震においては長く揺すられることによって地震中に大きな即時沈下が発生するため、地震後に観察されためり込みは、地震前からのものか地震中に発生したものか即座に判断出来ないことに注意しなければならないことをこの解析結果は示唆している。

以上のように粘性土を弾塑性モデルで正確に記述することにより、東北地方太平洋沖地震で大変状した堤防について今まで見過ごされてきた被災メカニズムのひとつを解明することができた。すなわち、地震前にそれほど大きな沈下が生じておらず、かつ、堤体内に大きな閉封飽和域が形成されていなかったとしても、堤防に大変状被害が発生した可能性がある。

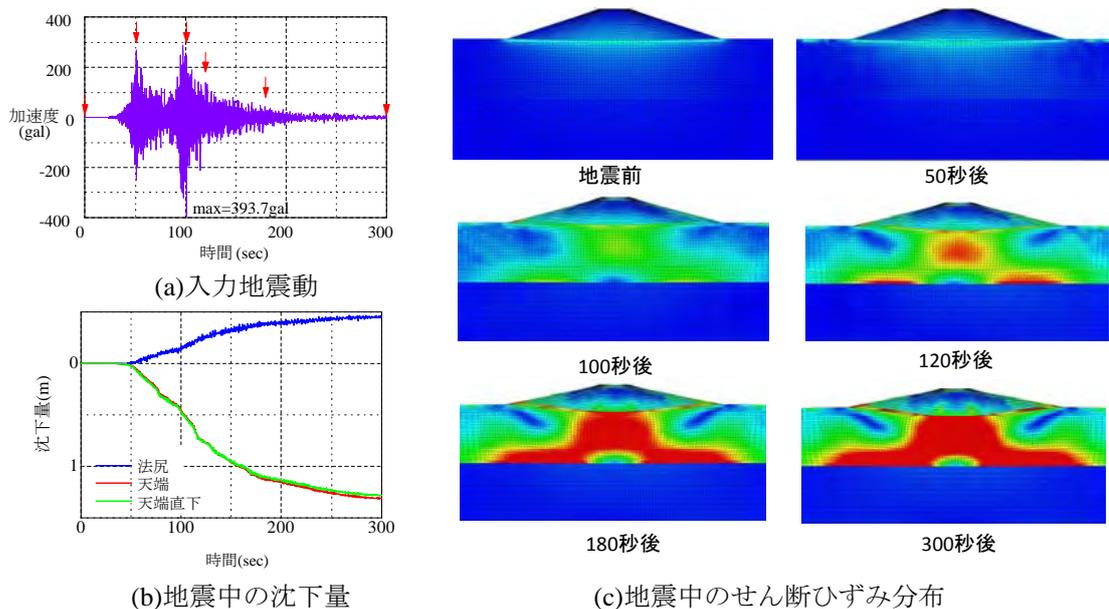


図 4.1 粘性土基礎地盤上の河川堤防の海溝型地震時の変形挙動

(3) 洪水ならびに地震時の堤防安全性照査技術の開発

【研究目的】

現行の堤防の安全性照査は、浸透破壊は浸透とすべり破壊を別個に検討する木に竹を接ぐような手法であったり、静的弾性解析に基づく耐震評価法であったりするなど不合理な点が多い。本研究では、粘土地盤から砂礫地盤に至るまで低平地の河川堤防全般を対象として、豪雨や津波による洪水や地震などの各種の外力に対して一貫して堤防の安全性を評価できる照査技術の開発を行う。

【研究成果】

本研究では、洪水ならびに地震時の堤防安全性照査技術の開発を行うが、それと並行して入力パラメータ設定についての検討も同時に行っている。すなわち、精緻な解析や詳細な検討をいくら実施しても、それらに用いる土質定数が適切でなければ意味をなさない。実務においては、土質試験の試験条件の意味すら十分に理解されずに土質定数が決定されている場合も少なくないのが現状である。平成 24 年度には、堤防照査時に必要となる土質定数について、地盤特性を考慮して適切に決定できる手法についての検討を行った。具体的には、砂礫から砂質土まで、各種の実堤防土を対象に室内試験を実施し、土質特性に適した試験条件を考察した。

図 4.2 および 4.3 は仁淀川で採取した砂礫試料の三軸試験結果であり、試験条件によって得られる強度定数が大きく異なることが示されており、実務者への注意を喚起するものである。

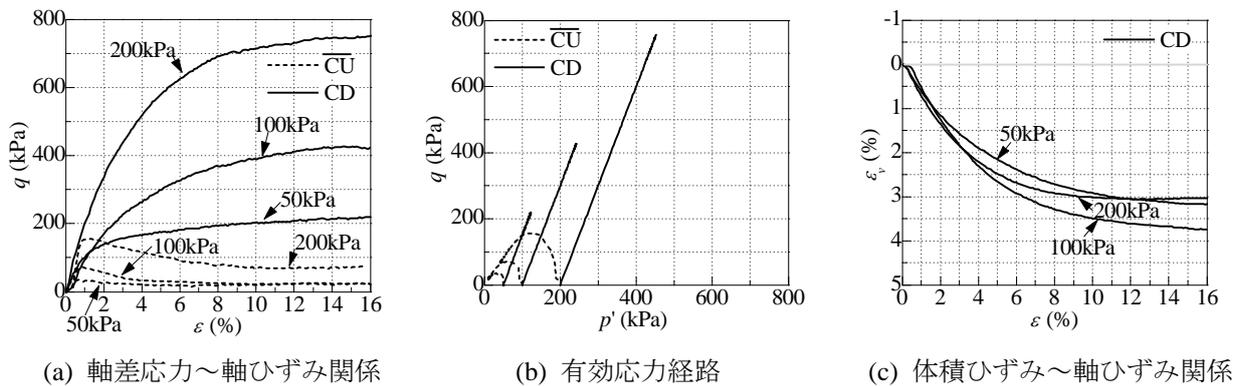


図4.2 仁淀川（大型三軸・相対密度70%）

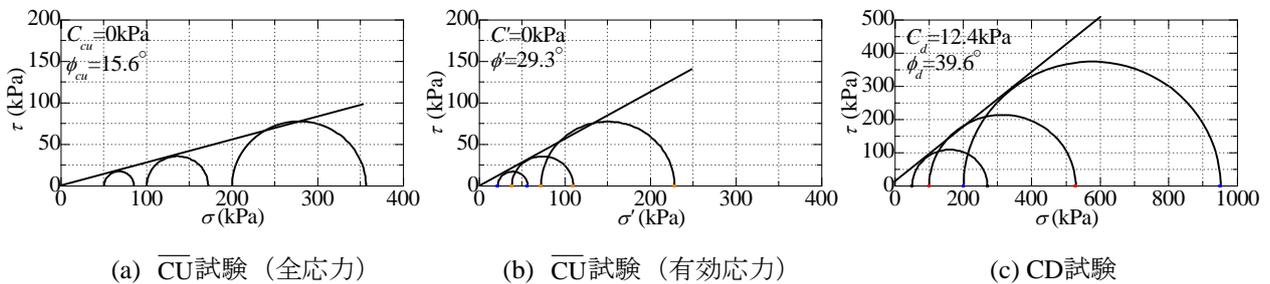


図4.3 全応力と有効応力のモールの応力円（仁淀川・大型三軸・相対密度70%）

一方、図4.4は淀川堤防からサンドサンプラーで採取した乱れの少ない砂質試料を用いて実施した三軸試験の結果とそれを数値シミュレーションした結果である。堤防から採取した原位置試料は、締固め履歴などの影響を強く受け、ほぼ同じ深度の供試体でも個別のばらつきが非常に大きく、全応力ベースで強度定数を決定するのが非常に難しいことがわかった。しかし、有効応力レベルで評価する場合には、供試体毎の締固め履歴もダイレイタンス特性に反映して評価できることから、図4.4のシミュレーション結果でもわかるように、供試体毎の強度のばらつきも含めて試験結果を説明できることが示された。

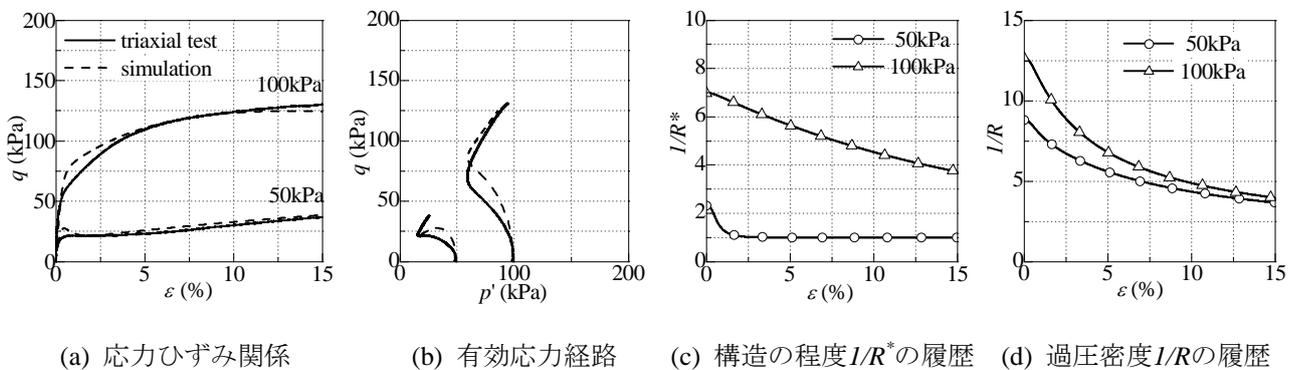


図4.4 淀川試料の三軸試験とそのシミュレーション

研究テーマ5：「中核被災者」を主体とした被災限界からの自律再建メカニズムの解明

【研究目的】

本研究では、東日本大震災による「被災限界」において、被災地再建の中核を担う層「中核被災者」の役割と可能性について考察する。具体的には、発災直後から地域住民主体で避難所運営を担ってきた陸前高田市のA自主防災会の活動を事例とし、中核被災者の主体性発揮が地域再建に果たす役割と可能性を示唆するものである。

【研究成果】

1. 本研究からみえてきた「中核被災者」の存在と役割

本研究による主要な成果は、現地参与観察およびヒアリング調査を通じて、被災しながらも地域の再建を支える「中核被災者」の存在を再確認し（岩手県陸前高田市における震災直後からの継続調査）、その役割と可能性を考察し、提起した点にある。具体的な調査内容および方法は、発災直後から地域住民主体で避難所運営を担ってきた陸前高田市のA自主防災会の活動を事例とし、中核被災者の主体性発揮が地域再建に果たす役割と可能性を示唆した。なお、調査方法は、2011年4月以降の筆者による避難所の生活を通じた参与観察と、A自主防災本部長（男性1名）をはじめ、副部長（男性2名）、本部付事務局長（男性1名）、広報班（女性3名）、救出・救護班（女性3名）への随時のヒアリング調査である。以下に成果の概要を述べる。

2. A自主防災会による東日本大震災時の避難所運営

(1) 発災当日

a) A公民館の「避難所」としての開設

3月11日14時47分、自主防災会会長、副会長、事務局長は役員会の開催中、立ってられないような非常に強い揺れを感じた。揺れが収まった後、A公民館（市の指定避難所ではないが避難所として機能、後に災害救助法上の認定を受ける）に駆けつけ、食器などの落下物を片付けながら、15時には低平地から上がってくる避難者受入を想定し、開所した。その頃、低平地にある市立小学校児童が校内に参集し、教職員の誘導により、A公民館より高台にある病床併設型の医療施設や高齢者施設へ避難誘導されている姿を見かけた。15時半には、A自主防災会メンバーはA公民館に参集し、15時45分頃には避難者の受入を開始した。A公民館には、約300名の避難者が徒歩や車で参集し、うち195名は会館内の広間、和室、ステージ、廊下を埋め尽くし、あとの30台約100名は駐車場で車中避難となった。A町内会は高台にあり、津波を免れたため、避難者のほとんどが異なる複数の町内会住民であり、面識もなかった。

b) 各班の対応—物資調達、炊出し、避難者名簿の作成—

まず、事務局長の指示に従い、広報班（女性3名）と炊き出し班（町内女性の動員）を中

心に活動を開始した。そもそも A 公民館は指定避難所でなく、食糧や物資の備蓄がないため、米などの食料、ローソク、毛布、だるまストーブの提供を町内会住民に呼びかけた。幸いにも、農家が多く、各世帯に米のストックの提供者が多く、また、地域内に貯水槽があったため一週間分の水は確保できた。その際、停電ながら、精米には公民館前の工事現場にある発電機が利用できた。A 町内会住民らは、家屋は残ったものの、家族の安否確認ができず、ライフライン（電気・ガス・水道）も停止する中で、避難所避難者への物資提供などを率先して行ってきた。その結果、各家庭から集まった 600kg（30kg×20 袋）の米を使って、炊き出し班によりおにぎり作りを始めた。

一方、小学生らの保護者が今後 A 公民館に安否確認に来ることを想定し、広報班の女性一人が医療施設や高齢者施設に出向き、子供達の避難者名簿（ひらがなフルネーム書き）を作成した。予想通り、夕方以降、保護者らが安否確認に訪れ、「B ちゃんは、C 病院に避難していますよ」という情報が安心情報につながった。また、17 時頃、A 公民館においても、懐中電灯を持ってひとり一人の氏名を確認しながら、避難者名簿を作成した。その際、広報班と共に、救護班（看護師有資格者）が避難者ひとり一人に声かけを行い、顔色、熱や血圧など避難者の体調の変化を確認して回った。そこでは騒ぐ様子もなく、寒さと恐怖、疲労のため、一様に顔面蒼白であり、かける言葉に迷ったという。

当日 19 時半には、A 公民館の避難者や車中避難者のみならず、近隣の医療施設、高齢者施設、そして人命救助活動などを行う消防団屯所に大きく温かいおにぎりの配給を行った。小雪が舞う寒い夜、避難者同士身を寄せ合って温かいおにぎりを口にしたとき、硬直していた表情が少し和らいだという。公民館内は、廊下やステージまで避難者で埋め尽くされ、横になって眠れる状況ではなかった。

(2) 発災後から 1 週間

a) 救護班による健康相談の開始

発災翌日には、救護班 3 名（現役看護師 1 名、元看護師 2 名）による健康相談窓口が開設された。従来、A 公民館のステージの袖にある 3 畳ほどの部屋で、町内会への放送設備、事務机とイスが備えられていた。健康相談を受ける際のプライバシー保護等を配慮し、ドア付の部屋が選定された。「健康相談」の貼り紙をし、用件のない人は自由に出入りできないようにした。そこでは、血圧や熱を毎日測定し、簡易カルテ（ノート）に記録し、生活や健康不安に関する相談を受けた。ただし、医師や薬剤師は不在であることから、現場で判断できない案件には、日本赤十字が滞在する E 避難所や県立大船渡病院への搬送対応を行った。避難者の中には、避難時の恐怖と先の見えない不安から、血圧の多少の変化や持病の悪化を過剰に訴える者も多かったが、医療施設も限られる中、緊急性のない場合は、避難者の声のできる限り耳を傾け、「大丈夫。いつもと変わりありませんよ」と避難者が安心できるように配慮する場面もあった。こうした対応により、血圧や精神が安定するケースもあったという。

b) 避難者による自治会の発足

発災から 1 週間は、自主防災会の主要メンバーはほとんど不眠不休で避難者の対応に総力を注いだ。広報班、救護班の女性達は寒さと寝不足で疲労困憊し、業務のローテーションが必要な状況であった。3月15日に電気が復旧したことを契機に、事務局長は、元県職員の避難者をリーダーとする避難者自治会を組織するよう依頼し、自主防災会と避難者自治会で避難所運営の役割分担を提案した。その際、避難者自治会の役割として朝のラジオ体操と掃除を担うことになった。その2日後には、避難者自治会の方から、「われわれにやれることはないか」という申し出があり、支援物資を使った3食の準備も避難者の女性達を中心に担うようになり、僅かながら、自主防災会の負担が軽減した。

c) 衛生環境確保のための個人面談と在宅避難者の名簿作成

3月17日、D医科大学の支援チームがA公民館に来訪し、避難所環境に関する指摘を受けた。主な意見は、防犯上のセキュリティは良いが、面積当たりの高齢避難者が多いため、インフルエンザや食中毒などの感染症の危険性であった。また、同日、市内最大のE避難所で行われた避難所代表者会議において、家屋（自宅・親類宅など）が残っている人は、ライフライン等がなくても避難所避難者とは認めないように指示があった。その含意は、避難所での避難者数をできる限り減らし、衛生環境を改善すると共に、避難所運営者の負担を軽減することであった。

これらを受け、A自主防災会では、避難所避難者および在宅避難者に対して2つの対応を行った。1つは、A公民館の避難者全員（世帯代表）に対して、個人面談を実施し、一時的にでも滞在できる家屋がある人には移ってもらうよう要請した。なお、今回の個人面談に限らず、避難者からの相談等には、後の相互関係を良好に保つため（事実関係が曲がる場合がある）、必ず2名以上で対応・記録するように工夫した。もう1つは、在宅避難者への配慮であり、避難所避難者同様に物資が公平に配給されるように、A町内会12区の全区長に対して、世帯や親類の安否確認および避難者数を聞き取り、リストを作成するように依頼した。このリストに従い、自衛隊から毎日届く支援物資を在宅避難者に行き渡すよう配給が行われた。

(3) 1週間後から1ヶ月

a) 岐阜県保健師チームによる在宅避難者の状況調査

4月上旬、岐阜県保健師チームが陸前高田市に派遣され、A公民館を含む町の担当になった。事務局長および救護班は、保健師チームにA町内会各地区の名簿を渡し、在宅避難者の健康調査を依頼した。保健師チームは5日間かけて、全戸を訪問し、生活や健康上の相談を受けた。その結果、対象世帯198のうち、151世帯（うち47世帯は域外避難などのため不在）への聞き取り調査を行い、発災から1ヶ月間の避難状況と課題について報告された。具体的には、経済的な問題や家族死亡による養育等による家庭不和（震災前からあった問題が増幅して表出）、介護サービスが停滞することによる精神・健康機能の低下、給水の運搬等による腰痛の悪化、生活習慣病（高血圧、糖尿病等）の内服薬を制限することによる症状の悪化、支

援物資に頼る炭水化物を中心とする食生活による塩分や血糖コントロールが困難、親族や知人を津波で失ったことによる鬱状態もみられるなど多くの課題が挙げられた。

また、A 公民館内においても和式かつ男女共同便所のため、水分を自己制限し、脱水や便秘の悪循環になっていることなどの指摘があった。しかし一方で、集団生活を余儀なくされる避難所においては、軽度の認知症や歩行障害のある高齢者に対して、避難者同士で声を掛け合い、助け合うことで症状が改善する傾向がみられたという報告もあった。これらの報告は、救護班だけでは対応できないため、今後派遣される日赤医療チーム等とも随時共有した。このような岐阜県保健師チームの活動は、在宅避難者にまで手が回らない自主防災会の機能を補完する非常に有益な支援であったといえる。また、予告なく来訪してくる支援者に対して、受援者側からの確かなニーズを提示できたことが功を奏したといえる。

b) 避難者への内陸避難の斡旋

4月に入って、長期にわたる避難所生活への1対応策として、岩手県から内陸避難（県内内陸部の温泉やかんぼの宿など）に関する情報提供があった。事務局長を含む2名で4月8日からA公民館の避難者に個人面談をし、意向を尋ねた。とくに、持病や不安を抱える高齢者やその家族を中心に、20名が内陸避難をした結果、5月には約30名にまで避難者が減少した。この頃には、避難者自治会との連携や、炊事を担う外部ボランティア（遠野まごころネット等）の支援もあって、自主防災会の負担は徐々に軽減されてきた。

(4) 1ヶ月後から6月11日（避難所閉鎖）まで

a) 避難所閉鎖までの経緯—市民主体による避難所運営の限界と課題—

A公民館では、自主防災会メンバーの肉体的・精神的な疲れを理由に、4月30日に避難所を閉鎖したい旨を市役所担当者に要請した。支援する側である自主防災会メンバーも、避難者と同様に家族や親類を津波で亡くし、職場被災により仕事を失い、自宅には親類や知人などの在宅避難者を受け入れながらの避難所運営であった。市担当者と避難者代表、自主防災会とで話し合いを重ねた結果、市内の避難所運営はどれも厳しく、新たな受け入れ先の確保は難しい状況であり、仮設住宅の入居が決まる時期まで運営を継続することになった。その際、避難者からは「これまで地区の方々の疲れに気づいてあげられなかった」、「新しい場所に移るのは不安だが、いつまでも世話になっていられない」などの声が聞かれた。これを機に、避難所運営を見直し、防犯のための見回り夜勤や早朝からの受付業務なども避難者自治会で担い、自主防災会の負担軽減に努めた。

当時、市役所および市職員も甚大な被害を受けており、48カ所もの避難所や在宅避難者までに対応できない状況であった。しかしながら、地元住民も被災する中で、先の見えない避難所運営には限界もみられた。些細なことではあるが、指定避難所でなくとも、市職員や関係者から住民への労いの一言や顔の見える関係があれば、状況は緩和されたかも知れない。同じ被災者である市民と行政だからこそ、上手いコミュニケーションが共助の安定や継続につながる可能性を示唆している。

3. おわりに

以上、本研究では、超広域大規模災害により自治体機能が著しく低下するような被災限界において、被災地再建の中核を担う層「中核被災者」の存在と役割を、陸前高田市の1避難所運営を事例として述べた。対象としたA町内会では、2008年の役員改選を契機に、機能する自主防災会をめざし、個人の資質を鑑み、看護師有資格者や女性達を中心に再構成した。発災後から、会長、副会長、事務局長の指揮命令系統の下、彼女らの各班での機転の利く活動が避難所運営を支えた。しかしながら、支援に回る住民自身も被災していることから、先の見えない対応は負担が大きく、住民主体を尊重しながらも、行政とのコミュニケーションの必要性も課題として見えてきた。

将来、東海・東南海・南海の発生が危惧される中、公助の限界とそれを担う自助・共助の重要性を訴えるだけでなく、東日本大震災時の経験を丹念に紡ぎ、より具体的な事前策として生かしていくことが急務と考えている。

施設概要

1. 構造実験載荷システム

1. 施設概要

構造耐震実験室に整備された構造実験システムは、油圧シリンダ、ポンプ（写真 1.1）、構造フレームユニット（図 1.1）から構成されている。今後展開される実験に応じて、自在に組換えすることで多様な載荷実験に対応できる。スイベルジョイントを備えた油圧ジャッキ 2 基と、2 軸受けスライダを併用することで、水平 2 軸+1 軸（死荷重）の 3 軸同時載荷実験を行うことが可能である。また、構造実験システムを展開するための反力床は専用に設計した鉄骨部材を格子状に接合して、強固な PC スラブと一体化した構造である。規則的に配置されたボルト孔により、構造フレームを確実に固定することができる。



写真 1.1 油圧ポンプ

2. どのような研究を行うか

連動型巨大地震に対する土木構造物の安全性と修復性の向上に関する研究に関連した、各種載荷実験を実施する。例えば、修復性に基づく損傷制御構造物の動的応答と制御設計法の確立のため、鋼製橋脚の部分模型に対する低サイクル疲労実験を実施、土木構造物の制震構造設計法の確立のため、相似則を考慮した分散型サブストラクチャ応答実験を実施する。

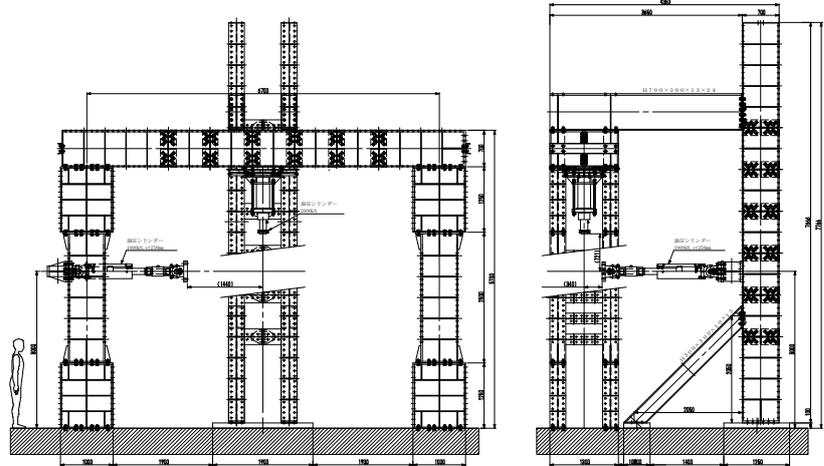


図 1.1 構造実験載荷システム設置例

3. 期待される成果

動的挙動が複雑な高架橋など各種土木構造物を対象にし、連動型巨大地震時挙動や破壊・崩壊メカニズムを明らかにすることにより、現状より高度な耐震解析法の提案と有効な損傷制御設計法・補強法を提案することで土木構造物の耐震設計の理論と手法の高度化が図られ、倒壊・落橋といったリスクの軽減を目指した耐震安全性の確保が期待できる。

2. 劣化環境促進装置

1. 施設概要

劣化環境促進装置は、室内の温度、湿度を自由自在に制御することにより、室内に劣化環境を再現するための装置である。本装置は、主にプレハブパネル、温調ユニットおよび操作パネルから構成される(写真 2.1)。再現できる温度範囲は、 $-10^{\circ}\text{C}\sim+80^{\circ}\text{C}$ であり、 $\pm 0.75^{\circ}\text{C}$ の精度で制御可能である。湿度に関しては、20%R.H.~95%R.H.の範囲で、かつ $\pm 5\%$ の精度で制御可能である。本装置での制御の一例を図 2.1 に示す。温度上昇(降下)時間は $1^{\circ}\text{C}/1$ 分以上である。恒温恒湿モードや繰り返しモードを組み合わせて設定することにより、任意の温度および湿度履歴をプログラムすることができる。温度については 0.1°C 、湿度については1%R.H.、時間については1分単位で設定することができる。保存可能なプログラムパターンは最大 45 であり、かつ繰り返し数をほぼ無限に設定することができる。運転モードはプログラムモードと定値モードの 2 種類あり、プログラムモードでは0~999 時間 59 分、定値モードでは0~20000 時間の範囲にて運転時間を設定することができる。

厚さ 75mm のプレハブパネルよりなる幅 2000mm×奥行 3000mm×高さ 2100mm の部屋である。内板の表面材として、耐久性に優れたステンレス鋼 (SUS304) が施されている。また、パネル芯材として硬質ウレタンが使用されている。さらに、有効寸法幅 1400mm×高さ 1800mm の両開き扉がプレハブパネルに設けられている。



写真 2.1 劣化環境促進装置外観，操作パネル，および内装

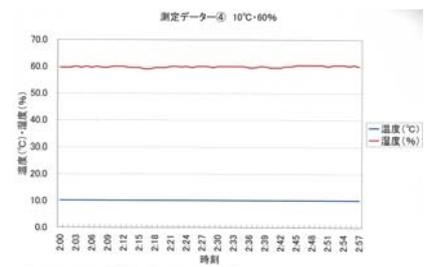
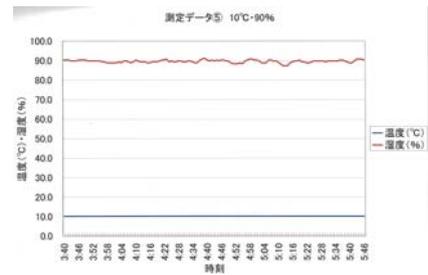


図 2.1 プレハブパネル内の温度および湿度制御の一例

2. どのような研究を行うか

(1) 様々な環境条件下におけるコンクリートの乾燥収縮測定実験 (写真 2.2)

コンクリート部材の劣化要因のひとつである乾燥収縮は、温度や相対湿度変化等の環境条件に大きく依存する。本装置を用いて、温度条件および相対湿度を様々に変動させた条件の下で、コンクリート部材の乾燥収縮試験を実施する。室内



写真 2.2 乾燥収縮によるひび割れ

で部材を打設作製することにより、材齢ごく初期を含めた乾燥収縮挙動を評価できることが特徴である。乾燥収縮量と温度、相対湿度との関連性を明らかにする。

(2) 温度サイクル劣化を考慮した FRP 接着界面の付着強さ測定実験 (写真 2.3)

コンクリート構造物の耐震補強材として連続繊維複合材 (FRP) が広く用いられているが、巨大地震等、衝撃を伴い大きな外力を受ける場合に、接着材の損傷、ならびに脆性的な FRP 剥離の発生が懸念されている。また、長期供用時に温度変化等による接着材の環境劣化も懸念されている。本研究では、衝撃的な外力と温度サイクルによる劣化を複合的に考慮した FRP の剥離メカニズムを検証する。



写真 2.3 付着強さ試験の状況

(3) 温度サイクル劣化を考慮したバサルト繊維メッシュの引き抜け強さと補強効果の確認実験 (写真 2.4)

大規模地震災害を背景に、コンクリート構造物およびその構成材料に対してより大きな靱性が求められており、格子状のバサルト繊維メッシュを混入させることでコンクリートの靱性向上を図る研究を実施している。静的荷重下では、大きな靱性補強効果が得られているが、バサルト繊維メッシュの引き抜けに伴い補強効果が失われることもわかっており、長期供用時の温度サイクルによる繊維補強材とコンクリートの界面劣化が懸念される。本研究では、環境劣化促進装置を用いて、温度サイクルによる界面劣化のメカニズムを明らかにする。



写真 2.4 補強効果確認実験の状況

3. 期待される成果

本施設を利用する研究に期待される成果は以下のとおりである。

(1) 乾燥収縮によるコンクリートの変形挙動と温度および湿度との関係が包括的に明らかになる。このことは、乾燥収縮変形に関する理論モデルの緻密化に直ちに結びつき、乾燥収縮による劣化シミュレーションの予測精度の向上が期待される。

(2) コンクリートと連続繊維補強材の接着界面に及ぼす温度サイクルの影響と、温度サイクルによる界面劣化がその補強効果に及ぼす影響を明らかにする。このことは、現在盛んに用いられている連続繊維材による補強技術の信頼性向上に結びつくものと期待される。

3. 3次元地震波震動台性能増強システム

1. 施設概要

既設の3次元震動台に加振器を1台増設し、電力増幅器と3軸同時振動台を部分改造することで、X方向の加振能力を2倍に性能増強した(1ton 載荷時の地震波再現時で、0.75G⇒1.5G)。さらに、汎用的な加振システムと組み合わせることで、各種建築構造物の基本架構に対する性能評価試験が可能となる。本装置は駆動方式として永久磁石方式を採用しているため、騒音を抑えるとともに広い周波数帯域(0.1～50Hz)にわたって振動波形の精度が高く、実地震波も忠実に再現することができる。

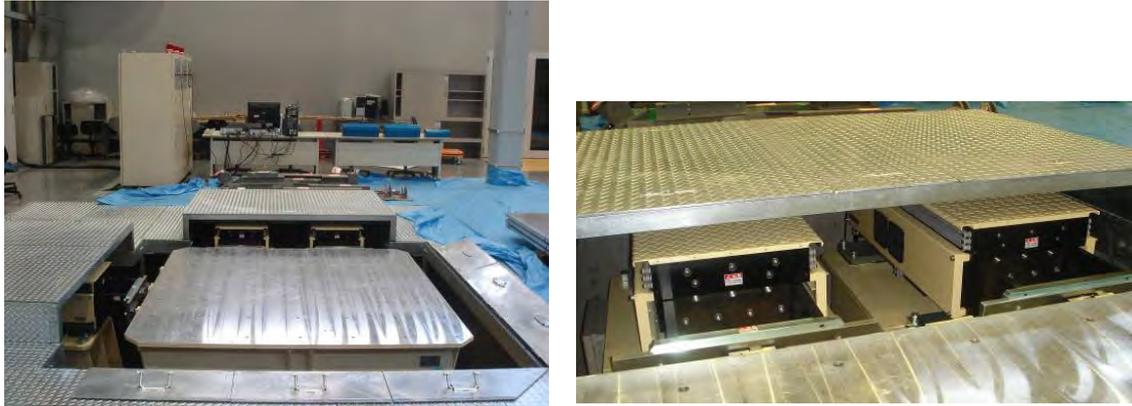


図 3.1 3次元震動台 (左：全景，右：駆動部)

2. どのような研究を行うか

薄肉で扁平な RC アーチモデルの動的実験を行い、RC アーチにおける損傷・破壊現象を再現分析し、その結果を用いて数値解析手法の高度化を行う。また、炭素繊維シートによる補強効果を検証し、既存施設への耐震補強や新設の設計に関する提案を行う。

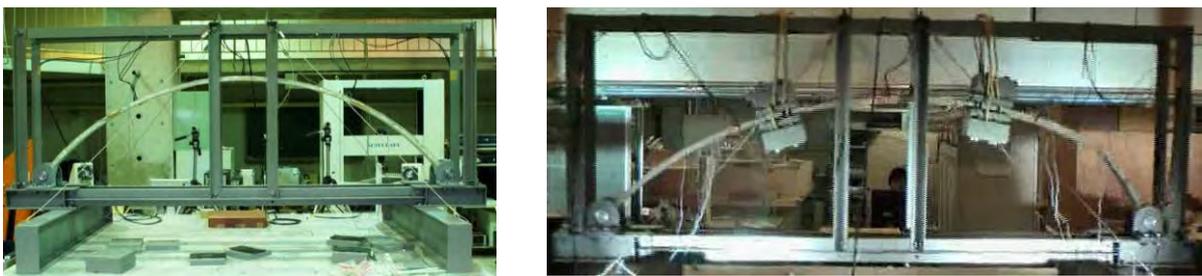
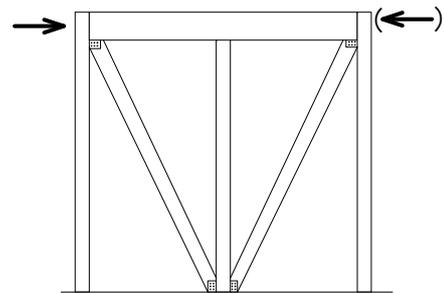


図 3.2 3次元震動台上の試験体の様子 (左：セットアップ時，右：加振時)

木質構造については、現在一般的に建築例の多い在来工法を中心に、各種の補強金物、あるいは制震デザインを組み込んだ住宅用のフレームの実大モデルを1スパン取り出し、震動実験を実施することにより、その振動特性や耐震性能、および各種工法による比較を実施し、振動特性の基礎データを蓄積し、数値解析手法の検証を実施する。

<STEP1>

国産材を用い在来工法で単位木質フレームを製作し、静的実験を行う柱頭位置で水平力を繰り返し与えることにより、在来工法での静的耐力の確認、評価を試みる。

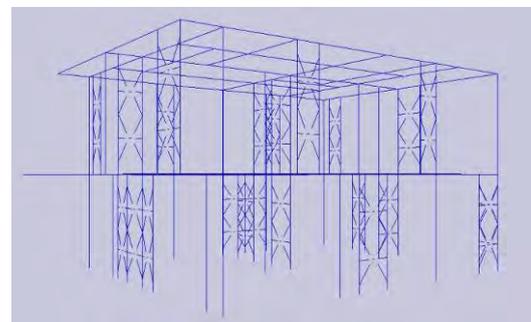


<STEP2>

現在、一般的に幅広く用いられている接合金物を使用し、試験体を製作し、Step1 同様の実験を行い静的耐力の確認、接合金物が与える耐力への影響を評価する。



それぞれの実験より得られた結果を用い数値解析的検討により、木質骨組での性能の評価を行っていく。



また、近年建築物の耐震性能評価のみならず居室内部の家具の地震時挙動や固定方法が問題となっているが、数値解析で得られた建築物地震時応答を本設備に入力することで、地震時の居室の揺れを3次元で再現し、家具の挙動を把握する。

図 3.3 木質構造の耐震研究例

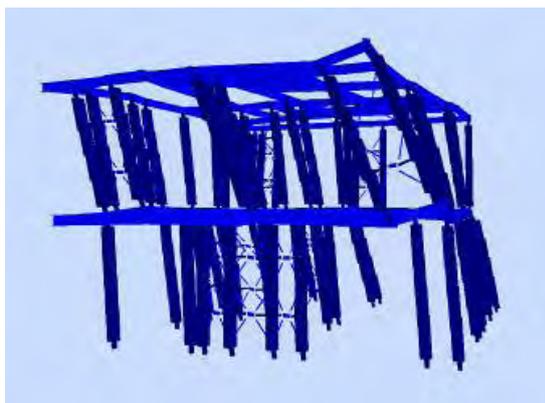


図 3.4 家具等の地震時挙動の研究例

3. 期待される成果

RC 構造物に対しては、各種エネルギー関連施設の安全性向上策としての容器構造の半地下化・完全埋設化や、近年の各種モニュメントとなる建築のルーフィングの大型化に関連し、それらの耐震設計の高度化が可能となる。

木質構造に関しては、一般の戸建住宅の耐震性能の検証や新しい工法やデバイスの有効性の検証・

さらに数値解析手法の検証用のデータを提供することにより、基礎データの充実に貢献する。

また、各種構造物の居室内部の家具の挙動を把握するとともに、効果的な固定方法の開発を行う。さらに研究成果を活用し、地域住民への啓発活動も行う。

4. 急勾配水路

1. 施設概要

本施設は、幅 20cm、深さ 40cm、長さ 10m のガラス壁を有する水路であり、水平～30 度まで傾けることができる。下流端にエスカレーションゲートを有する水路部分、受水槽（沈砂槽）、ポンプから構成され、流水は自己循環式となっている。本水路は急勾配で起こる流砂、土石流の基礎現象を室内で再現し、それに伴う流れ、河床高変化の計測を可能とする装置である。なお、給砂装置を搭載することにより一定量の土砂供給を可能とし、かつ、計測台車を載せることで、水位および河床の変化を計測することも可能である。



図 4.1 急勾配水路の全景

2. どのような研究を行うか

本水路を用いて以下の研究を行う予定である。

① 急勾配流れにおける流砂現象の解明

本水路が急勾配に設定できることを利用し、堤防法面での土砂の流れ、堤防洗掘につながる急勾配河川における河岸浸食災害等を踏まえ、基礎知見として急勾配流れでの流砂現象の解明をめざす。ここでは、急勾配水路を用いた実験により、例えばレーザーによる流れの可視化を実施し PIV・PTV を援用して粒径に対し水深が小さい場（相対水深が小さい場）の流砂現象と流速分布を計測する。さらに数値解析なども援用し、流砂量や河床変動の予測方法について検討する予定である。

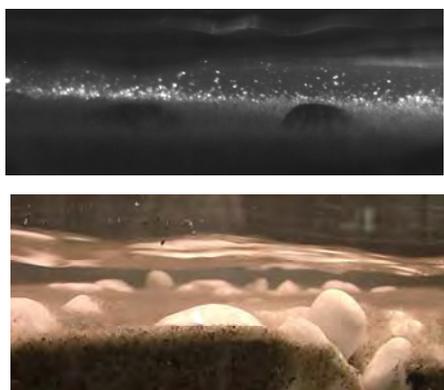


図 4.2 相対水深が低い場での流れイメージ
(上は解析用画像)



図 4.3 レーザーによる流れの可視化システム

② 浸透流および越水を誘因とした破堤現象の解明

破堤の原因として浸透流によって堤防が変形する破堤現象に着目し、例えば水路横断堤防を用いて、そのメカニズムおよび破堤過程について検討する。特に横断堤防を水路内に設置し、上流側に湛水していくと、浸透流による浸潤面の進行やそれに伴う堤体の変形を計測することができ、メカニズムを知ることができる。こうしたメカニズムの基盤条件や堤防の内部条件による違いを解明して

いくとともに、他の実験装置を用いるなどしてその変形がその後の破堤現象に及ぼす影響の検討へ発展させることができる。

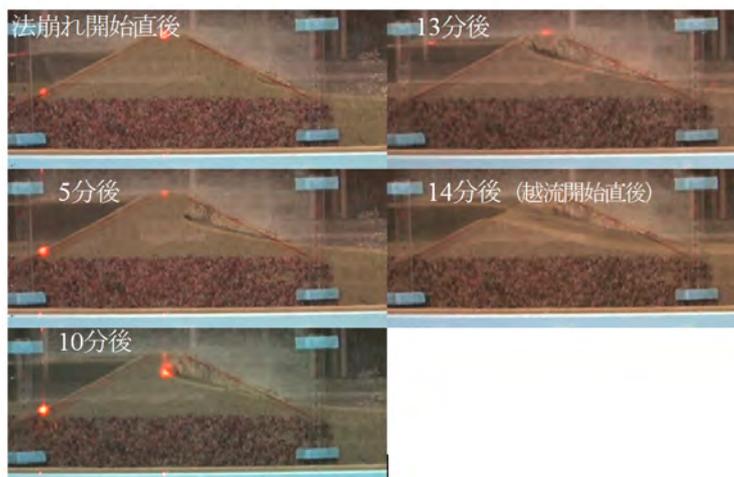


図 4.4 浸透流による堤防変形イメージ

3. 期待される成果

本水路は、水災害の研究の枠組みのうち、主に流砂現象、移動床現象の基礎的知見の収集を実現する装置となる。ここでは、特に上記のような研究を実施することにより、主に土砂移動をメインとした基礎的知見が収集され、さらにそれら知見と数値解析等を援用することによって、破堤リスクの軽減や河川災害のリスク軽減につながる知見を得られると期待できる。

5. 動的中型三軸試験装置

1. 施設概要

本試験装置は、直径 20cm、高さ 40cm までの中型供試体を用いて、最大粒径 38mm 程度の礫粒子を含む地盤材料の精密な静的力学特性ならびに液状化をはじめとする動的力学特性を解明することができる。荷重駆動には、小型のハイブリッド油圧アクチュエータを用い、静的荷重時には最大荷重 50kN、荷重速度は 0.050mm/s～0.0005mm/s で可変となる。一方、動的荷重時には、最大荷重 10kN、荷重周波数は 0.01～10Hz である。また、直径 20cm の中型供試体のみならず、直径 10cm の供試体まで対応可能である。



写真 5.1 動的中型三軸試験装置

2. どのような研究を行うか

南海トラフ地震により、四国の河川をはじめとして、広域にわたる砂礫土を基礎地盤とする河川堤防において液状化被害が懸念されている。大きな粒径の礫を含む原粒度礫質土地盤の試験は、通常、小さな粒径のみに粒度を調整した試験試料を用いて、小型の試験装置を用いて実施される。しかし、砂礫土の力学特性は粒度調整によって大きく変わってしまうため、正確な力学特性を把握するためには原粒度のままの試料で実施可能な大きな供試体を扱える本装置のような試験設備が必要となる。本装置によって、継続時間が長い海溝型地震を模擬した繰り返し载荷試験を実施し、砂礫地盤上の河川堤防の地震時安全性を検討することが可能となる。

3. 期待される成果

現状の砂礫土を基礎地盤とする堤防の多くが現行評価法の液状化判定を受けて要耐震対策とされているが、それらの堤防の中には、液状化対策工で使用するドレーン材とさほど変わらない粒度構成の砂礫の基礎地盤を有する場合も散見される。すなわち、現行の液状化判定法には、対象とする地盤の透水性が考慮されておらず、本来透水性が高い砂礫地盤において、現行法の予測通りに本当に液状化するのかわどは不明であるのが実情である。本装置を用いて原粒度の砂礫に対して、通常完全排水条件のみならず、部分的に排水を許す部分排水条件下での液状化試験を実施することにより、海溝型地震時の真の砂礫地盤の挙動を予測することが可能となる。今後も同種の地盤での液状化対策の必要性が検討される事例が多く発生すると予想されるが、その際に適正な判定が可能となっていることの経済効果は非常に高い。



写真 5.2 液状化が懸念される砂礫地盤

アクセスおよび問い合わせ先

名城大学天白キャンパス

〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1丁目501番地

地下鉄鶴舞線「塩釜口／名城大学前」駅下車，1番出口徒歩約5分

研究実験棟II

研究実験棟IIの位置は下図の通りです。

NDRR ホームページ URL

<http://ndrr.meijo-u.ac.jp/>

※研究者情報，公表論文等の最新の研究成果などの詳細な情報を掲載しております。

問い合わせ先

名城大学工学部社会基盤デザイン工学科 小高猛司（自然災害リスク軽減研究センター 代表）

Tel & Fax: 052-838-2347

E-mail: kodaka@meijo-u.ac.jp

