

自然災害リスク軽減研究センター
研究成果中間報告会
開催報告

自然災害リスク軽減研究センター研究成果中間報告会 開催報告

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

テーマリーダーの葛より、「課題 1-1：南海トラフ巨大地震に対する土木建造物の安全性と修復性の向上を目指して」として、①鋼部材の座屈とき裂の連成破壊メカニズムの解明、②地震・津波・漂流物衝突の複合外力を受ける土木建造物の3次元複合非線形動的解析法の提案、③BFRPにより補強したコンクリート部材の損傷メカニズムの解明、④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建造物の制震構造設計法の確立、⑤建造物の早期復旧のための診断支援技術、⑥連動型巨大地震に対する修復性を有する新型材料および補強技術、⑦既存建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技術、といった研究が順調に進んでいることが報告された。

テーマ1に対する講評

名古屋大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 伊藤義人教授

連動型巨大地震に対する土木建造物の安全性と修復性に関して精力的に研究を進められている。鋼部材の座屈とき裂の連成破壊メカニズムの解明について、実験的・解析的に取り組み、成果を挙げている。基礎的なレベルから最終的な設計や補強の評価システム構築を目指されており、レベルの高い大学の研究センターとして相応しい取り組みをされている。実験と解析をうまく組み合わせ、実用的なレベルまでの研究をされようとしていることは高い評価に値する。

斜張橋を事例にして、地震応答解析は大変興味深い。ケーブルの挙動やケーブルアンカーの安全性についての考察があるとよい。

土木建造物である、橋脚の低サイクル疲労についての研究は、特に大変興味深く、今後の南海トラフにおける被害予測や補強に役立つものと思われる。地震動について余震を想定して、複数回の巨大地震を想定していることも、南海トラフ地震の性格を考えると非常に合理的である。ブレース材についてもクラック発生・進展・破壊解析も従来にない取り組みであり、今後、実験との整合性を明らかにしてさらなる精度の良い解析手法の開発が望まれる。

建築骨組についても繰り返し挙動を扱っているが、米国リーハイ大学の鉄骨の繰り返し載荷実験でも、骨組端部のせん断パネルで鋼板の破断が最終的に発生しており、土木での取り組みとの連携が望まれる。土木グループと建築グループの交流も始まっており、今後の連携による新たな研究成果と BDRR の今後の発展が望まれる。

また、その他の種々の研究テーマについて、まとまりがでるように、今後の研究グループのリーダーシップが期待される。

テーマ1に対する講評に関する回答

まず、鋼部材の座屈とき裂の連成破壊メカニズムの解明に関する検討および低サイクル疲労の評価手法の開発に関しては、今後、一層努力して、より高いレベルの研究成果を発信していきたい。

次に、地震・津波・衝突の複合作用を受ける斜張橋の耐震検討については、ご指摘の通り、ケーブルが重要な構造部材である斜張橋において、地震時には桁と主塔の振動モードによってはケーブルの張力抜けが発生したり、ケーブル自体のモードも存在するため、その動的挙動を正確に評価する必要がある。橋梁全体系モデルにおけるケーブルのモデル化は、通常モデル化のように非圧縮の非線形バネ（圧縮

と引張が異なる特性とした部材力レベルの非線形性)としてモデル化せず、1本のケーブルを要素分割して幾何学的非線形性によってケーブル特性を評価するモデルとしている。入力する材料特性(応力-ひずみ)は圧縮と引張で同じ特性(線形材料)であるが、幾何学的非線形性を考慮した解析を行うため、圧縮力を受けた時にケーブルが形状的にたわむことにより非圧縮の特性を評価している。初期状態の作成では、ケーブル自重を分布重量で載荷してたわみを考慮し、初期張力のプレストレスを導入している。また、中間節点に質量を設けているため、地震時のケーブル1本ずつに対しての振動モードも評価される。この挙動が実際のケーブル応答に近いと考え採用した。

ケーブルアンカーの安全性については、斜張橋のケーブルは構造を成立させるための重要な部材であるため、設計においてケーブルの安全率は一般に鋼材よりも高い2.0~2.5(破断に対して)が用いられており、対象とした斜張橋(モデル橋)の試設計においても安全率2.5を使用している。そのため、ケーブルアンカー部においてもケーブル耐力以上で設計されているため、通常であればケーブル本体や取付部がクリティカルになることはなく、モデル橋やその他の斜張橋においてもL2地震の地震応答解析でケーブル本体が厳しくなることはほとんどない。耐震検討、設計のときにケーブル照査を行うが、実際には地震で決まることはないとの設計認識がある。今後、より合理的な設計法を検討し、IDAや橋梁全体系で行うフラジリティカーブを用いた耐震安全性評価など、橋梁全体系で評価する手法を検討していきたい。

一方、土木と建築の分野間連携については、テーマ1のメンバー会議にテーマ2(建築構造グループ)の研究者も来て、また、テーマ1の研究者はテーマ2のリーダーである武藤教授との討論も実施してきているが、今後も一層交流するように努めたい。

(回答者:葛)

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

テーマリーダーの武藤より、以下の報告がなされた。

1) 鋼構造:部材の局部座屈を考慮し得る梁要素モデルに関する提案とその検証結果について示し、大空間構造物の耐震安全性への適用可能性について示した。2) 木質構造:在来工法の単位フレームに対する震動破壊実験と数値解析モデルの提案、および構造設計や耐震診断への実際の適用の検討について示した。3) RC構造:先ず骨組構造に関しては、より大入力を想定した各部材のピーク以降の特性までを対象とした非線形解析システムの開発・検証・公開事例を示した。次いで、連続体構造に関しては種々の曲面の建築への採用や各種産業用容器への適用と大型化が進行している状況を鑑み、主として耐震設計時における想定を超えるレベルでの耐震余裕度の評価を検討対象とする。具体的に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し、同時にアーチ試験体による検証結果について示した。また、長期における性能評価や構造設計時の検討事項として、コンクリートの収縮・クリープ・温度応力が構造性能に与える影響の分析を、実験に加え、実機での観測を加えた評価について示した。ここで、コンクリートの物性レベルでの取り組みについても併せて示した。

テーマ2に対する講評

名古屋大学 大森博司 名誉教授

1) 鋼構造:土木構造分野の研究と連動して、葛教授らのプロジェクトで検討されている部材の破断のシミュレーション技術と連動することの可能性を検討すべき。2) 木質構造:この種の構造の応答挙動の把握への社会的なニーズは高い一方で、特にその接合部の扱いの困難さのために関連の先行研究は未

だ非常に少ない。研究成果に大いに期待する。今後の進め方として、マイクロなアプローチによるよりも、木材自体や接合部の不確定要素をマクロに取り込んだモデル化を行う方向で進めることが良いと考える。なお、実験装置のアイデアは独創的で大変に優れている。3) RC 構造：骨組構造のソフトの公開は良い取り組みと考える。また、材料的な取り組みも解析手法の順調な進展がある。RC アーチの動的崩壊挙動の追跡や、RC シェルの長期挙動の追跡による安全率設定に関する基礎研究の成果を国内や IASS 等の規準策定や改定に是非とも展開していただきたい。

テーマ 2 に対する講評に関する回答

1) 鋼構造：部材の破断のシミュレーション技術との連動であるが、実際に開発中の技術は種々の数値解析システムに組み込むことを可能とする基本的な手法の開発であり、可能性は大きいと考える。一方具体的な数値解析システムへの実装に際しては、増分型のつり合い式の数値解析手法・要素自由度や座標系の扱い・制御法などで調整を図る必要があり、綿密な調整が必須となろう。それらの点を踏まえ、基本的には関連分野と情報交換を進めながら前向きに検討して行きたいと考えている。2) 木質構造：評価を頂いた実験システムについては、限られた設備等の条件で最大限の成果を上げるべく、継続して改良・拡張を進める予定である。解析手法については、ご指摘のように木質材料の接合部の評価に不可避な不確定性について適切なモデル化を目標に、数値解析と基本的な（一部マイクロな実験による）特性を組み合わせたマクロなモデル化を目指して検討を進めており、方向性は同じと考えている。今後新しいタイプの補強金物や各種の制震デバイスを含めて具体化する予定である。この点については、解析システムが学内で開発・公開のソフトウェアであるため、検証・改良に大きな優位性があるので、継続した取り組みの予定である。3) RC 構造：基本的にはご賛同を得た方向でそのまま継続して研究を進めていきたいと考える。具体的には、良い評価を得ている「骨組構造のソフトの公開」についてはさらに検証を進めて最新の結果の公開を予定している。なお、他の公開システムとの比較も充実させる予定である。材料的な取り組みに関しては、解析手法の順調な進展があると評価されているが、今後さらに実験・解析による実証データを積み上げていく予定である。RC アーチの動的崩壊挙動の追跡や、RC シェルの長期挙動の追跡による安全率設定に関する基礎研究の成果の公開については、ご指摘のように、順次、研究成果を国内や IASS 等の規準策定や改定に是非とも展開して行くこととしたい。具体的には、国内では 2014 年 10 月開催の日本建築学会のセミナーでの報告と 2016 年度完成予定のガイドラインの策定、国外では 2014 年度の国際シェル空間構造学会(IASS)での報告などから進めている。

(回答者：武藤)

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

テーマリーダーの原田より、研究課題とその担当者、ならびに研究課題相互の係わりについて全体的な説明がなされた。続いて、「テーマ 3-1：短時間強雨および大雨の出現特性に関する解析的研究」（担当：広瀬）について、地球規模での地上・衛星降水観測データのもつ課題の抽出と最良推定値の導出、そして衛星搭載降雨レーダ（TRMM PR）による強雨・大雨の地域的特徴の理解と極端現象の動態把握に関して、現在までの研究成果が報告された。また、「テーマ 3-2：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」（担当：原田）について、頻発しているゲリラ豪雨に伴う都市河川の溢水氾濫に対処するため、X バンド MP レーダの地上雨量計による精度検証結果、ならびにティーセン法による流域平均降雨の妥当性の評価例が報告され、都市河川への急激な流出過程と流出抑制対策について現地観測を進めていることも付言された。引き続き「テーマ 3-3：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」（担当：新井）について、近年の土石流・土砂流災害において報告されている間

欠的な複数の粘性土石流について、その生成機構と流下特性を明らかにするため、導出した波動方程式の特徴と実験結果との比較が報告された。

テーマ3に対する講評

名古屋工業大学大学院社会工学専攻 富永晃宏 教授

テーマ3-1については、グローバルな視点からの研究であるが、防災減災に活かす意味では「どのような地域特性の所でどのような条件下で豪雨が起り得るか？」という観点で今後展開されるとよい。テーマ3-2については、ゲリラ豪雨を地上観測所だけで捉えることは困難なためXバンドMPレーダを活用することは有用であり、その精度を検証されていることは意味がある。流出抑制対策の推進には住民の協力が必要であり、そのためにも施設の設置効果を評価して住民に示していくことが重要である。またそれを減災に活かす上ではリアルタイムでのデータ取得し活用してゆくことが必要となってくる。したがって、現象の解明と減災への活用がともに重要であり、名城大とも協力して進めていきたい。テーマ3-3については、土石流は最も人命に係わる災害であり、段波状土石流が日本ではどのような地域でどのように発生・流動するかについて、また透過性砂防ダムの効果についても説明いただきたい。

テーマ3に対する講評に関する回答

3-1については、広瀬は気象学の観点から人工衛星データを用いた研究をしており、現時点では減災に直結した取組みにはなっていないが、今後はテーマ3の中で連携協力して活用に向けた検討を行う予定である。3-2については、Xバンドレーダのデータ解析を進めているが、今後は流域スケールとの係わりについて検討を行っていきたい。Xバンドレーダの一層の活用のためには、数値配信を国土交通省にお願いしたい。流出抑制対策としては、ポーラスコンクリートの有効性について他大学と共同研究を進めている。また、都市河川特有の雨水吐では河川の水位上昇による閉塞現象が生じており、今後は観測と水理解析を進め、外水による内水氾濫への影響についても考察していきたい。テーマ3-3については、段波状土石流の日本国内での観測事例は手元に無く、過去に測った中国雲南省での粘性土石流や、最近では日本の地形に似たオーストリアでウィーン大学と共同観測した事例を念頭に置いて検討している。透過性砂防ダムについては研究を始めたところなので、今後成果を出していきたい。

(回答者：原田(テーマ3-1と3-2)、新井(テーマ3-3))

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

テーマリーダーの小高より、南海トラフ地震やスーパー伊勢湾台風などの巨大災害を想定した上で、沿岸低平地での災害リスクを軽減するためには堤防強化が重要であり、それに役立てる研究を目標としていることがはじめに説明された。次に3つのサブテーマ「4-1 各種河道条件を考慮した越流破堤現象の解明」、「4-2 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」、「4-3 洪水ならびに地震時の堤防安全性照査技術の開発」の概要紹介の後、今回は特に4-2について詳細に報告された。すなわち、東日本大震災にて多くの被害が発生した沖積粘土地盤上の河川堤防について、基礎地盤の粘土を詳細に実験し、弾塑性モデル化して検証してはじめて、地震時変状メカニズムが明確になることが示された。この点は、現状の河川堤防耐震性照査における3次点検時の詳細解析のあり方に直結することが説明された。さらに、1次点検における損傷変状後の堤防の浸透安全性の考え方についての問題点も指摘され、今後模型実験や解析を通してその問題点の改善にむけた研究の計画について説明がなされた。

テーマ4に対する講評

名古屋大学減災連携研究センター 野田利弘 教授

地盤工学分野と水工学分野での連携は評価できる。これまではお互いが他を境界条件としてきたが、本来両者は相互作用的に影響を及ぼすことから、この連携は重要であり、かつ期待値が高い。本テーマにおける地盤工学と水工学の連携をはじめ、他テーマにおいてもいろいろな分野間連携が進むことを期待している。

堤防に関する研究として、今回は点としての評価を中心に説明されたが、堤防は延長がきわめて長い線状構造物であることが特徴であり、空間的な評価を今後どう考えていくか非常に重要である。研究代表者は、空間的に問題点を抽出する、あるいは点検する手法についての研究もなされていたはずであり、今回はその説明は時間の関係でなされなかったが、河川管理者にとっては非常に重要なポイントであるため、今後はその点も合わせた報告を期待している。

濃尾平野には広大な海拔ゼロメートル地帯が控えており、河川堤防の破壊を扱っている本研究はきわめて重要である。蟹江などは津波が遡上する前に堤体が破壊・沈下を示すと予想されているが、本研究によりその予測がさらに高精度化されることが期待でき、その研究成果は高く評価できる。また、地震による堤体損傷後の水位上昇時の破堤は耐震性照査においてきわめて重要な視点であり、現状の耐震性照査で目をつむってしまっている点である。是非、早急な解明を期待したい。さらに、その事象だけではなく、豪雨時の地震による破堤のような複合災害についても、今後の研究を展開していただきたい。最後に、本研究は「河川堤防の強化」を目標としているが、現状では強化対策の段階にまでは至っていない。今後の研究成果が、実際の堤防の強化対策に結びつくことを強く期待している。

テーマ4に対する講評に関する回答

分野間連携は、本センターの研究プロジェクト全体で掲げている目標であり、今後も積極的に推進していく所存である。また、センターの特性を活かし、テーマ2で導入した震動台をテーマ4の堤防震動試験に使用する計画があるなど、常日頃からテーマ間の連携もはかることによって、より高度な研究を容易に進めていけるようにしている。

線状構造物である河川堤防の耐震性照査は、1次点検から3次点検までの段階があり、段階的にスクリーニングがかけられる。今回報告した変状メカニズムの再考は、点で詳細に評価する際の3次点検の精度向上を目指したものである。ただし、スクリーニングするための手法については、浸透であれ、耐震であれ、精度を向上させるための研究が別途なされている。また、地震で変状した堤防の浸透安全性の再評価は、1次点検の見直しに直結することであり、今後積極的に行政に研究成果をフィードバックしていきたい。現状では具体的な堤防強化策を示すものではないが、現状の照査手法の精度を高めていくことは、堤防強化に直結していると考えている。今後は、具体的な強化策の提案もしていきたい。

今回、本テーマの研究成果を、概ねポジティブに評価していただいたと理解している。今後は、より分野間の連携を深めつつ、コメントで指摘のあった複合災害についての視点や堤防強化策についての研究も一層推進していきたいと考えている。

(回答者：小高)

テーマ5：自律再建に向けた「中核被災者」の役割と影響に関する基礎的調査

テーマリーダーの柄谷より、現在進行中の「中核被災者による自立再建の実態と効用—陸前高田に学び、減災に生かす—」、具体的には、中小企業の仮設施設を用いた事業再開プロセスについて、その進捗状況および成果の報告がなされた。まず、仮設施設により事業を再開した陸前高田市内の4商店街の代表および店舗経営者を対象としたヒアリング調査の概要を紹介した後、各商店街の再開の時期ときつ

かけ、立地場所の選定、従業員の確保、活用した支援制度、各店舗や商店街のコンセプト、本設までの見通しに加えて、来客数や雇、売り上げなど経営状況の震災前後の変化について報告がなされた。また、その結果、スピード重視型や内装・コンセプト重視型など、業種によって「仮設」への考え方や今後の本設に向けた戦略が異なることについても報告された。

テーマ5に対する講評

岐阜大学工学部社会基盤工学科 高木朗義 教授

震災後長期にわたり被災者に寄り添いながら調査研究を継続されており、研究内容と合わせて、防災研究者としてのバイタリティを高く評価している。その上で、2点のコメントをしたい。

(1) 被災地あるいは被災者の自律再建には、「中核被災者」と呼ばれるリーダーの存在が重要である主張は理解できるが、一方で、バイタリティある研究者自身の被災者や被災地への関わりがその再建に向けたエンカレッジにつながっているように感じている。また、こうした組織論的な議論や分析は、グループダイナミクスの枠組みも参考になるのではないか。多くの場合、被災者や被災地の再建をエンカレッジできる仕組みやシステムは用意されておらず、今後危惧される南海トラフ地震などに備えて人材を育成し、仕組みや制度と合わせて用意しておくことが今後の課題である。

(2) (1) と関連して、発表の中に、行政サービスと被災者（受け手）を繋ぐ通訳型リーダーの紹介があり、非常に重要な役割と評価している。例えば、発表にあったように、中小企業再建のための多様な支援メニューが用意され、情報発信されていても、申請書類の煩雑さやそもそもその情報にアクセスできない事業者がみられる。そのため、被災者や被災地の再建支援メニューをわかりやすく伝え、もれなく効果的に活用されるための通訳型の支援者の存在は重要である。

計画系の研究では、地域目標に向けた実現・達成のための人材育成や教育、制度や仕組みの構築も研究対象であるため、事例研究にとどめず、その成果を防災・減災に活かすような展開を期待している。

テーマ5に対する講評に関する回答

大変貴重なコメントをいただき、心から感謝申し上げます。

まず(1)については、震災後の被災地調査においては、非被災者かつ調査者である立場を取るよう極力心がけてきた。すなわち、研究者としての働きかけはあえて抑えて、被災者らが自ら情報収集し、再建に向けて行動しようとする事象に対して協働する姿勢を貫いてきた。ご指摘の通り、参与観察者としての被災者への影響（エンカレッジ）は少なからずあったかも知れないが、被災からの時間経過と共に距離を置くなど、調査スタイルの工夫も講じてきた。また、(1)と(2)の両方に関連するが、被災地や被災者に対する多様な支援メニューが用意されているにも拘わらず、現場サイドで上手く活用されていない現状が見受けられた。今後危惧される南海トラフ地震などさらに超広域・大規模災害になると、行政や企業が現場に向いて個別メニューについて説明するのは困難になる。被災地域の言語や文化を把握し、支援メニューに関する知識を有し、被災者からの信望を得る通訳型リーダー（第三者）の育成が益々重要性を帯びている。被災地での調査研究成果を踏まえて、こうした通訳型リーダーの持つべき知識や知恵を分析し、防災・減災に向けた人材育成プログラムにも寄与できるよう努めたい。

土木技術者（メンテナンス・エキスパート）の育成に「しくみ・ひと・こと」の総合的な視点で実践され、成果を上げられてきた高木朗義教授には、引き続きのご指導ご鞭撻を賜りますよう切にお願い申し上げます。

（回答者：柄谷）

NDRR の活動全体に対する講評

国土交通省中部地方整備局 総括防災調整官 井口泰行

構造系のテーマ 1, 2 については、やや専門外であるが、強くて安くて良い構造物を造れるように目指してほしい。

テーマ 3 では、X バンド MP レーダの WEB での配信方法について、画像以外のデータの提供や精度についての話があったが、レーダの検討会を設置しご意見を聞く場を設けているので、ぜひご意見をいただきたい。また、現在は、防災、避難面での利用を意識したアプリなども開発中である。

テーマ 4 での河川堤防の耐震点検の課題については、前半のフォーラムで、堤防の耐震点検を地整で進めていると話したばかりであったが、今一度確認が必要と感じた。現在、木曾三川を中心に堤防の耐震化を進めているのでアドバイスとともに、フィールド研究の実施も期待する。

テーマ 5 については、高木先生の話にもあったように東北人氣質が重要である。東日本大震災の際に 10 万人の自衛隊員を統括された君塚栄治さんから伺った話しによると、各地域に救援物資を投下する計画があがった際に、アメリカではハリケーンカトリーナやサンディなどで同様の供給を行ったときに暴動が起こったことから物資投下には心配の声があった。しかし、日本では暴動など起こらなかったことから、お友達作戦などが広まっていったとのことである。東北での事例はそうであったが、地域防災力が落ちている現在、名古屋の中心でそれが通用するのかは疑問である。そのため、地域性を是非考慮した検討を希望する。また、静岡県牧の原市が実施している地域ファシリテータの育成をはじめとする南海トラフに対する様々な取り組みのように地域防災力の向上につながる提案を行政として期待している。

全体について、5 月 28 日の日本経済新聞で、中央教育審議会から学習指導要綱改訂の流れで、「防災教育」を教科に入れる議論がなされているとあった。そういったところにも踏み込む分野を設けてほしい。

最後に、今後も中部地整との連携を通じ、引き続きお互いに協力していきたい。