

二国間交流事業 共同研究報告書

6 防災研推第 119 号

令和 6 年 4 月 30 日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[日本側代表者所属機関・部局]
国立研究開発法人防災科学技術研究所
・地震減災実験研究部門
[職・氏名]
主任研究員・山下拓三
[課題番号]
JPJSBP 120217717

1. 事業名 相手国: インド (振興会対応機関: DST) との共同研究

2. 研究課題名

(和文) 非局所弾塑性損傷構成則を用いた RC 建造物の地震被害予測のための詳細 FEM

(英文) Detailed FE simulation of a RC building for seismic damage prediction using a non-local plasticity based damage model for concrete

3. 共同研究実施期間 2021年 6 月 1 日 ~ 2024 年 3 月 31 日 (2 年 10 ヶ月)【延長前】 2021年 6 月 1 日 ~ 2023年5 月 31 日 (2 年 ヶ月)

4. 相手国側代表者(所属機関名・職名・氏名【全て英文】)

Indian Institute of Technology, Hyderabad ・ Professor ・ Rajagopal
Amritham

5. 委託費総額(返還額を除く)

本事業により執行した委託費総額		1,812,542 円
内訳	1年度目執行経費	950,000 円
	2年度目執行経費	844,072 円
	3年度目執行経費	18,470 円

6. 共同研究実施期間を通じた参加者数(代表者を含む)

日本側参加者等	4 名
相手国側参加者等	9 名

* 参加者リスト(様式 B1(1))に表示される合計数を転記してください(途中で不参加となった方も含め、全ての期間で参加した通算の参加者数となります)。

7. 派遣・受入実績

	派遣		受入
	相手国	第三国	
1 年度目	0	0	()
2 年度目	0	0	2(2)
3 年度目	2	0	1(1)

* 派遣・受入実績(様式 B1(3))に表示される合計数を転記してください。

派遣:委託費を使用した日本側参加者等の相手国及び相手国以外への渡航実績(延べ人数)。

受入:相手国側参加者等の来日実績(延べ人数)。カッコ内は委託費で滞在費等を負担した内数。

8. 研究交流の概要・成果等

(1)研究交流概要(全期間を通じた研究交流の目的・実施状況)

防災科研では、地震時の建築・土木構造物の損傷破壊過程を再現するため数値シミュレーションとして数値震動台を開発している。地震被害予測と定量的な耐震性評価に向けて、数値震動台の高精度化を進めている。高精度な予測のためには構造物の物理的なふるまいを適切な数値モデルで表すことが不可欠であり、計算力学の広範の知見が必要となる。インド工科大学ハイデラバード校(IITH)は、建設工学の分野では、材料の構成則やマルチスケールモデリング等の計算力学の研究を推進しており、同校は数値モデルの共同研究パートナーとして適任と考えた。IITHの学生をインターンシップで受け入れて弊所の若手研究員と交流することで若手研究員の外国人研究員との協働の経験と学生の技術向上に加えて、将来的には優秀な外国人の人材の獲得が期待できると考えた。

そこで、防災科研の地震減災実験研究部門とインド工科大学ハイデラバード校は学術協力に関する覚書を締結した。この覚書では地震工学分野の数値シミュレーション研究に関する研究協力の枠組みを構築して、(a)高性能計算を用いた建築・土木構造物の耐震性評価と地震被害予測のための、国際標準となる数値モデルの開発、(b)地震防災分野における最先端の計算工学研究の国際的な人材育成の2点を達成することを目的としている。

この覚書を締結後にIITHのRajagopa教授と定期的にWeb会議を実施してコンクリート構成則開発と数値震動台を活用した鉄筋コンクリート(RC)造建物の地震応答解析に関する研究交流の計画を検討して、本事業で研究交流を推進することとなった。コンクリート構成則についてモデル化の方針について双方を議論しプログラム開発をIITH側で実施した。インターン生を防災科研で受け入れて開発したコンクリート構成則の数値震動台への実装を協働で進めた。また、防災科研が詳細有限要素解析によるRC構造物のモデル化と地震応答解析を実施するとともに、建物のサイトで想定される様々な地震動に対する被害予測手法の開発を行った。この研究の内容について、研究交流を通じて知見の提供を行った。

(2)学術的価値(本研究交流により得られた新たな知見や概念の展開等、学術的成果)

勾配拡張損傷アプローチやMicroplane damage plasticityモデルによる材料構成則が開発できた。勾配拡張損傷アプローチは損傷の非局所化に有効であり、Microplane damage plasticityモデルはミクロスケールの力学的相互作用から材料のマクロスケールの応答を予測することでコンクリートの多方向に発生するミクロスケールの亀裂による損傷挙動の再現に有効である。これらの材料構成則を数値震動台で利用することでRC構造物の地震応答解析の再現性向上が期待できる。

また、構造物の地震応答解析結果を活用した様々な地震動に対する被害予測手法構築に向けて、地震動の低次元特徴量を入力して地震被害の指標となる地震デマンド(最大層間変形角や最大層せん断力など)を予測する応答曲面モデルを開発した。これにより少数の地震応答解析結果を利用して応答曲面を学習して多数の地震動に対して地震デマンドをわずかな計算コストで予測する手法が開発できた。

(3)相手国との交流(両国の研究者が協力して学術交流することによって得られた成果)

IITHで開発した材料構成則の数値震動台への実装作業を、インターン生を受け入れて進めた。IITHではMatlabやFortranによって材料構成則を開発している。一方、数値震動台はC++を用いてオブジェクト指向で開発している。そのため、数値震動台のプログラムの内容のレクチャーや実装方法の議論に多くの時間を要し

てプログラムの実装の完了には至らなかったが、対面での活発なやりとりによって開発の方針については道筋が見えた。今後も引き続きプログラムの実装を進めてコンクリート構成則の数値震動台への実装を完成させる。

(4)社会的貢献(社会の基盤となる文化の継承と発展、社会生活の質の改善、現代的諸問題の克服と解決に資する等の社会的貢献はどのようにあったか)

地震被害の予測とそれに基づく耐震性評価を通じて、適切な事前対策を見出すことにより、防災・減災の実現が期待できる。本研究は数値シミュレーションを用いた地震被害予測の精度向上に貢献するものである。また、この共同研究においては、数値震動台の共同開発が可能となるよう、材料の構成則や要素を容易に組み込めるようモジュール化を進めた。このモジュール化により、システムの柔軟性が向上し、研究者や技術者が自由にカスタマイズできる基盤が整った。その結果、数値震動台をオープンソース化することで、広範なコミュニティによる改良と応用が期待される。これにより、研究や実務への応用が進み、建物の耐震技術の向上が期待できる。

(5)若手研究者養成への貢献(若手研究者養成への取組、成果)

2022年5月12日、13日で日印のワークショップを開催してIITHからはコンクリート構成則から地震に対する構造物の脆弱性やリスク評価に関する研究発表があった。防災科研からは実大震動破壊実験施設(Eーディフェンス)を活用した研究開発、数値震動台の研究開発、都市のCyber-Physical Systemの研究開発、地震リスク評価の研究開発の発表があった。IITHからは多数の学生の参加があり防災科研からも学位取得を目指す小嶋特別技術員が参加して両者の若手研究者の耐震工学および計算工学の知見を広める良い機会となった。

また2023年2月にはIITHから2名のインターン生を2023年11月には1名のインターン生を受け入れて、小嶋特別技術員や大村特別研究員が英語での議論をしながら協働でプログラム開発を進める貴重な体験を得た。防災科研からも2023年6月のIITHへの派遣に若手研究員の大村特別研究員も加わり、材料構成則開発や地震応答解析技術を都市の構造物群に展開していくための研究構想について英語で活発な議論を行い、貴重な経験を得ることができた。

(6)将来発展可能性(本事業を実施したことにより、今後どのような発展の可能性が認められるか)

本研究において、IITHで開発している材料構成則を防災科研で開発している数値震動台に実装する共同の取り組みができた。この取り組みにより、数値震動台のオープンソース化に向けた検討を進めることができた。これによりIITHとの引き続きの共同開発の推進も期待でき、また、様々な研究者との共同開発の促進も期待できる。多くの研究者との共同開発体制の構築により、建物単体からデジタルツイン上での都市の構造物群の地震被害シミュレーションの研究開発に発展する可能性がある。

(7)その他(上記(2)～(6)以外に得られた成果があれば記載してください)

例:大学間協定の締結、他事業への展開、受賞など