

地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）

研究課題別終了時評価報告書

1. 研究課題名

都市の急激な高密度化に伴う災害脆弱性を克服する技術開発と都市政策への戦略的展開プロジェクト（2016年8月～2022年7月）

2. 研究代表者

2.1. 日本側研究代表者：中埜 良昭（東京大学生産技術研究所 教授）

2.2. 相手国側研究代表者：Mr. Md. Ashraful Alam

（バングラデシュ住宅建築研究所 所長）

3. 研究概要

本プロジェクトは、バングラデシュ国の首都ダッカの建築物を対象に、その災害脆弱性を克服するための技術を開発し、さらにその効率的な普及を通じてより安全な都市を築くための戦略を提案するものである。ここで提案される知見ならびに技術の社会実装を通して、研究成果が建築関連基準の改訂や都市政策等に反映され、上位目標として掲げた同国全体の強靱化が達成されることを目標とする。

プロジェクトは下記の4つの研究題目で構成されている。

- ・研究題目1：ダッカの都市・建築の実態把握と課題抽出及び研究対象建築物・領域の選定
- ・研究題目2：過剰外力による崩壊診断法の開発と診断事例の分析
- ・研究題目3：低品質建築物の新たな補強技術の開発
- ・研究題目4：高密度化都市の耐災害強靱化計画

研究題目1にてダッカの都市・建築の実態把握と課題抽出及び研究対象建築物・領域の選定を実施し、研究題目2及び3にて研究題目1の情報をもとに個別建築物の耐震診断手法・補強手法の開発と社会実装を行い、研究題目4にて都市の災害脆弱性を改善するための耐震補強シナリオの提案手法の開発と社会実装に取り組むものである。

4. 評価結果

総合評価：A+

（所期の計画をやや上回る取組みが行われ、大きな成果が期待できる）

ダッカ襲撃事件によるプロジェクト当初の制約、プロジェクト期間中のCOVID-19の制約など、様々な困難な状況にありながらも、多数の留学生の就学と学位取得、オンライ

ンによる会合や実験指導なども行い、また、バングラデシュ国の技術指針（耐震診断・補強ガイドライン）の策定への影響を与えるなど社会実装面でも工夫を凝らして、初期の計画を上回る成果を上げたと評価する。

本プロジェクトでは、4つの研究題目それぞれにおいて、実施すべき事項が着実に遂行されている。バングラデシュ国のコンクリート建築物が極めて脆弱なこと、そうした中、相手国の予算状況等を考慮して、ダッカ市を対象にして、建築物の実態を把握した後、地震に対する脆弱性の安価で簡易的な診断法の開発（目視による簡易診断マニュアル（VR法））、耐震診断ガイドライン、フェロセメントやフラットプレートによる安価な補強法の開発がなされた。また、実務で活用すべく、ガイドラインとして研究成果が取り纏められている（簡易診断マニュアル（VR法）、耐震診断、耐震補強）。補強コストの対費用効果を考慮した補強優先度評価（補強シナリオ構築手法）ならびに都市計画ガイドライン作成（手法論としての取り纏め）も行われた。必ずしも先端的な研究開発ではないが、予算が少ない、優れた材料の入手が難しい、人口が密集しているといった課題を抱えた多くの開発途上国における極めて重要な技術開発といえる。本プロジェクトは、サイエンスとエンジニアリングがうまく融合した SATREPS ならではの優れた研究成果を上げたものと高く評価する。

本プロジェクトにおける研究成果は、行政へのオーソライズを目的としたセミナー開催による技術移転がなされている。実効性のある技術の普及が進むものであり、研究成果の社会実装の筋道ができたといえ、広く活用されることが期待される。

4-1. 地球規模課題解決への貢献

世界で最も地震に対して脆弱な都市といわれるダッカの建築物の耐震性能評価と耐震対策は、地域社会レジリエンスを高めていくために重要な課題である。本プロジェクトの研究成果は、現地の建築物の現状に沿った形で行われた課題解決に向けた活動の科学的・技術的な成果であり、現地での実装可能性が高いことからそのインパクトは極めて大きい。当該成果は、バングラデシュ国内（例えば、シレット市、チョットグラム市）及び周辺国（ネパール）にも認知され、今後活用されることが期待される。建築物の地震脆弱性は、開発途上国の多くの大都市に見られる課題であり、ヒマラヤ造山帯の各国及び地域への波及効果が見込める。

本プロジェクトにおいて、ダッカの建築物の状況を調べ、コンクリート強度が低いことや構造上の問題を確認し、建築物の地震に対する脆弱性を明らかにした。このことから、建築物の強度の診断法として、現地でも簡単に行える簡易診断マニュアル（VR法）が開発された。現地ですべて必要とされる技術の開発に着目し、検討を進めた点を高く評価したい。本プロジェクトで開発された簡易診断マニュアル（VR法）、耐震診断法、耐震補強工法については、ユーザー向けのマニュアルの作成、実践に向けた指導及び講習

が行われており、今後十分利用されていくものと考えられる。

本プロジェクトで試みた簡易診断マニュアル（VR法）等の技術は「地域が求める技術」であり、発展途上国における社会実装の実現の可能性が高く、グローバルな社会の中で展開することが可能な手法を提案している。ミャンマー、ネパールなどから技術指導を希望する依頼があるなど、他の地域への波及が望めるものである。SDGs（目標11：住み続けられる街づくりを）という観点においても、新しいアプローチとして国際社会の中で認知・活用されることが期待される。

4-2. 相手国ニーズの充足

バングラデシュ国において、過密都市における地震災害を想定した構造物脆弱性の克服を達成することは、都市の生産活動と消費活動を持続可能にすることにおいて極めて重要である。多くの脆弱建築物を抱える同国の建築物強靱化ニーズは高く、過密都市ダッカにおける減災、都市の災害関連のレジリエンスを高める本プロジェクトの研究成果は、相手国のニーズに応えるものである。また、本プロジェクトで開発された技術が、相手国の課題解決に大きく寄与することはもちろんであるが、相手国に対し自国の状況に応じた技術開発のあり方を示した意義は大きい。

本プロジェクトで策定された簡易診断マニュアル（VR法）、技術指針となった耐震診断ガイドライン、耐震補強ガイドラインは、相手国のニーズに沿った研究成果と考える。

バングラデシュ国における建築物の設計・施工の現状を実証的に把握し、適切な課題を抽出している。サイエンスとエンジニアリングを融合させ、実装可能な成果を創出した。上記ガイドラインの策定、本プロジェクトで開発したフェロセメント耐震補強工法が実際の建物に適用され施工が完了するなど、社会実装に向けた成果も上げている。

また、本プロジェクトを遂行することによって得られた研究成果、技術体系、マニュアルなどの作成は、相手国における大学及び研究機関のみならず、防災を担う行政でも利用可能な状況を作り出した。日本側研究者による相手国の若手研究者育成などを含めて考えると、将来にわたって持続的な利用が見込まれる。本プロジェクトの成果を基とした研究や実務活動が継続され発展していく素地が整い、現地での社会実装への見通しが得られた。実際、本プロジェクトの成果がバングラデシュ住宅建築研究所（HBRI）やバングラデシュ工科大学（BUET）の自主研究などにも展開される計画であり、持続的な発展が期待できる。

相手国側の人材育成の面では、日本の若手研究者がバングラデシュの学生ならびに若手研究者へ教育・技術指導を行い、研究手法などの知識並びに技術の移転がなされている。また、文部科学省の奨学金を受給する大学院レベルの留学生を12人（うち、受け入れ大学プログラムによるもの2人）、JICA長期研修員を4人、合計16名も日本側で受け入れ、バングラデシュ国の若手人材の育成が活発になされたことは、継続的発展の見地

からも高く評価される。本プロジェクトに参加した両国の大学院生が活躍し、関連学会の賞を受けるなど、学術的な成果も得られている。

4-3. 付随的成果

発展途上国で安価で容易に利用できる技術開発は、需要が極めて高い。本プロジェクトで開発された技術は、純粋な科学技術という面では標準的であるが、発展途上国で安価で容易に利用できる技術、実装という面で、極めてユニークかつ重要な位置を占めているといえる。

本プロジェクトの成果は、災害脆弱性を有する発展途上国において、戦略的な防災計画を盛り込む都市計画に対して重要な指標を与えた。発展途上国において防災を推進するための「標準的」な手法として、この成果が日本から国際社会に対して与える影響は大きいものと考えられる。建築関係の企業、産業に対しても有用な知見を与えるものである。バングラデシュ国のみならず、同様な都市課題を抱えている発展途上国への技術移転などを行う際のガイドラインを示すものとする。

また、バングラデシュ国には繊維産業関連の日本企業が多く進出しており、地震リスクのみならず自重で崩壊してしまうような建築物のリスクを認識し、改善を行うことは日本政府、社会、産業にとってもプラスとなると考える。

具体的成果物として、本プロジェクトで策定された簡易診断マニュアル（VR法）、技術指針となった耐震診断ガイドライン、耐震補強ガイドラインは、基礎科学的背景からの確にまとめられている。相手国のニーズに沿った研究成果であり、技術移転として活用されており、卓越した成果物といえる。

本プロジェクトを通して日本の若手研究者が直接的に共同研究を指揮し、当該国の研究者を指導することが行われた。共同で論文執筆を行うなどの国際性も養われており、国際的に通用する研究者として日本人研究者が育成されている。また、日本側大学において、多くのバングラデシュ留学生が受け入れられており、彼らが帰国後、強い人的ネットワークの構築に寄与するものと考えられる。SATREPS 終了後もバングラデシュ研究者との継続的な連携が望まれ、我が国との強固な技術及び人的ネットワークの形成、維持が強く期待される。

4-4. プロジェクトの運営

プロジェクト推進・管理について、ダッカ襲撃事件や COVID-19 の影響により、バングラデシュ国における調査・実験活動が予定通り進まない状況にあったが、4つの研究題目それぞれにおいて、実施すべき事項が着実に遂行された。現地で行う予定であった調査・実験について、相手国研究者を日本へ招聘して日本において実験を行う、また、オ

ンラインによる実験指導なども行うなどして、オンライン会合にて補完して研究を進めた。また、同国の技術指針（耐震診断・補強ガイドライン）の策定に影響を与えるなど社会実装面でも工夫を凝らして、初期の計画を上回る成果を上げたことは、研究代表者のリーダーシップによるものと高く評価する。

プロジェクト推進体制について、先行の技術協力プロジェクト（CNGRP、BSPP）との連携も図られ、先行プロジェクトの経験を活かせるプロジェクト推進体制が組まれていた。アジア太平洋大学（UAP）、BUET、アサヌラ科学技術大学（AUST）、ジャハングルナガル大学（JU）等の大学機関だけでなく、HBRI、住宅公共事業省（PWD）等の行政機関も含まれている。適材適所にカウンターパート機関が参画した体制がとられたことで研究成果の社会実装に対する筋道ができたことも評価したい。

情報発信については、ダッカの建築・都市の調査報告書、建築物の崩壊危険度診断法の耐震診断マニュアル、低品質建築物の耐震補強工法マニュアル、ダッカの災害強靱化計画提案などを通して、確実に情報が発信されている。学術論文、講演などは国際共著論文執筆や合同発表会などが適宜なされており、また、各種マニュアル、技術ガイドラインを用いた学識経験者及び都市計画担当官向けのセミナー、地方都市計画担当者向けの情報共有セミナー、一般技術者向けセミナーの開催による技術移転がなされており、実効性のある普及が進むものと考えられる。さらに、住宅公共事業省、防災救援省等の政府高官に対するハイレベルセミナー企画による情報発信にも努め、政策として活用されることが期待される。

人材、機材、予算の面でも、適切な人材配置と機材設置がなされ、効率的な活用により十分な研究成果を上げたものとする。

5. 今後の研究に向けての要改善点及び要望事項

本プロジェクトを契機として、バングラデシュ国全体の建築物の災害脆弱性が低減され、災害に対する都市の強靱化が進展していくために、以下のような事項について引き続き尽力されたい。

- (1) 本プロジェクトにおける研究成果は、行政へのオーソライズを目的としたセミナー開催による技術移転がなされ、実効性のある普及、社会実装が進むことが期待される。一方、建築物強靱化には長期間を要することが想定され、バングラデシュ国建築基準への研究成果の取り込み、建築物補強将来計画の具体化への貢献等、地道で粘り強い活動を期待する。
- (2) 本プロジェクトにおいて、建築物の脆弱性という見地から建物の構造、材質などに研究の焦点が当てられた。地震防災の観点からは、地盤の地震動に対する建物の脆弱性

評価も望まれるものであり、バングラデシュ国全体における地震ハザード評価も含めた今後のプロジェクトを期待したい。

- (3) 都市の脆弱性を考える上で、建造物の耐震を考えることは極めて重要であるが、さらに都市の地下構造を検討することが必要と考えられる。表層地質、地下構造を合わせて、きめ細かなアセスメントとゾーニングを行って、さらに建造物診断法に追加した検討が行われることを期待したい。既往の SATREPS バングラデシュプロジェクトの中には洪水関連で地盤に関わる研究成果もあることなどから、今後、協働する機会があると両プロジェクトの連携や成果の共有を通じて、さらに本プロジェクトの進展に繋がるものとする。

以上

成果目標シート

研究課題名	都市の急激な高密度化に伴う災害脆弱性を克服する技術開発と都市政策への戦略的展開プロジェクト
研究代表者名 (所属機関)	中埜 良昭 (東京大学 生産技術研究所)
研究期間	H27採択(平成27年6月1日～令和4年3月31日)
相手国名/主要相手国研究機関	バングラデシュ人民共和国/住宅建築研究所(HBRI)、アジア太平洋大学(UAP)、バングラデシュ工科大学(BUET)、アサヌラ科学技術大学(AUST)、公共事業局(PWD)、ジャハングルナガル大学(JU)

付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> 戦略的対災害強靱化手法の日本を含む世界中での活用(基準への反映も含む) 途上国への日本企業進出及びそのための安全・安心な社会基盤構築
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> 変形能力の極めて乏しい建物の崩壊メカニズム解明と診断法の新規開発 世界中に潜在する低品質建築物の補強工法の新規開発 高効率な都市建築の補強シナリオに基づく総合的都市開発手法の新規開発
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	<ul style="list-style-type: none"> 応用性の高い補強工法の開発(国際標準化) 急激に高密度化する都市の災害脆弱性の指標化と高効率な都市計画手法(国際標準化)
世界で活躍できる日本人人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> 文化や社会背景の異なる地域での人的交流ならびに共同研究を通じて、普遍的な科学技術が議論できるようなタフでグローバルな若手研究者を育成
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> 日本人-現地外国人研究者の交流体制構築(若手-若手を含む) 現地建設業界とのネットワーク構築
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	<ul style="list-style-type: none"> ダッカの建築・都市の調査報告書 建物の崩壊危険度診断法の技術マニュアル 低品質建物の補強法技術マニュアル ダッカの災害強靱化計画提案書

上位目標

バ国全体の建築物の災害脆弱性が低減され、都市が災害に対して強靱化される

バングラデシュの建築基準法や対災害計画・政策に研究成果が反映される

プロジェクト目標

バ国の技術開発と研究資源を充実させつつ首都ダッカの災害脆弱性を克服するための診断・補強技術とその高効率な実装手法が提案される。

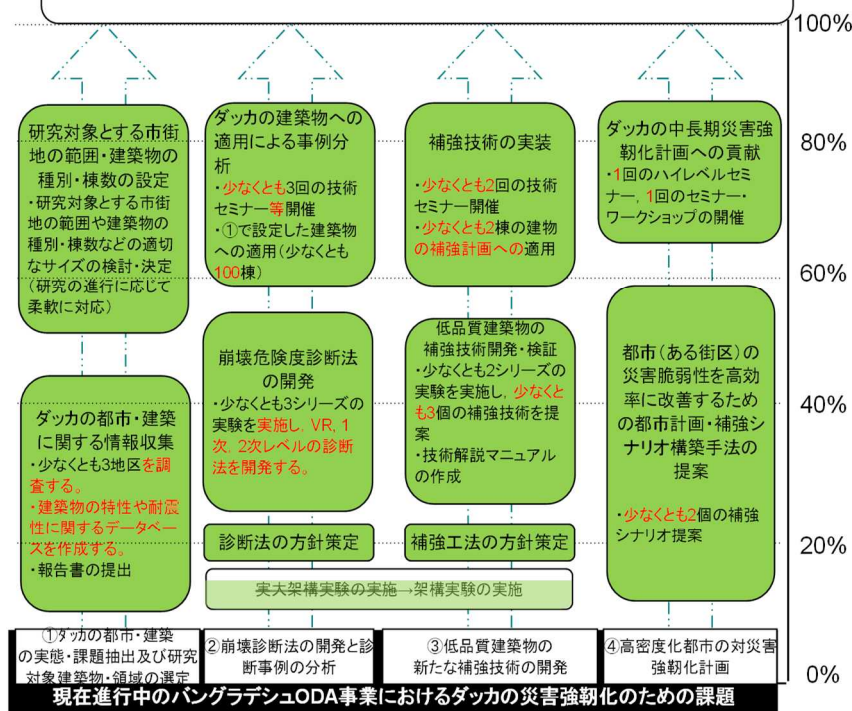


図1 成果目標シートと達成状況 (2022年3月時点)