

国際科学技術共同研究推進事業
地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）

研究領域「持続可能な社会を支える防災・減災に関する研究」

研究課題名「タイ国におけるレジリエンスの強化のための

道路と橋梁のライフタイムマネジメント技術の開発」

採択年度：令和 2 年（2020 年）度/研究期間：5 年/

相手国名：タイ王国

令和 4（2022）年度実施報告書

国際共同研究期間^{*1}

2022 年 4 月 1 日から 2027 年 3 月 31 日まで

JST 側研究期間^{*2}

2020 年 8 月 1 日から 2026 年 3 月 31 日まで

（正式契約移行日 2021 年 10 月 1 日）

*1 R/D に基づいた協力期間（JICA ナレッジサイト等参照）

*2 開始日=暫定契約開始日、終了日=JST との正式契約に定めた年度末

研究代表者：佐藤靖彦

早稲田大学・教授

I. 国際共同研究の内容 (公開)

1. 当初の研究計画に対する進捗状況

(1) 研究の主なスケジュール

研究題目・活動	2020年度 (14ヶ月)	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度 (8ヶ月)
1. 自然外力と過積載荷重の評価と構造物の損傷・破壊メカニズムの解明						
1-1 塩害による鋼材腐食メカニズムの解明		実態調査		予測法開発		
1-2 粘土河床の洗掘とクリープによる橋脚の変形メカニズムの解明		実態調査		予測法開発		
1-3 粘土河床の洗掘深予測法の開発		実態調査		材料モデルの開発		
1-4 乾湿繰り返しによる地盤の破壊メカニズムの解明		実態調査とモニタリング		実験によるモデル化	再現解析	
1-5 材料の経年劣化と複合外力による橋梁全体系の損傷・破壊メカニズムの解明	実態調査			再現解析		
2. 点検モニタリングシステムの開発						
2-1 ひび割れ幅振幅計測技術の開発	適正技術の検討		ひび割れ幅計測技術の開発			
2-2 管理情報のクラウド管理システムの開発		点検アプリ開発		クラウド管理システム		
3. 構造安全性診断システムの開発						
3-1 地盤の安全性診断法の開発		環境調査	モニタリングの開発・計測と診断法			
3-2 橋梁の安全性診断法の開発				診断法の開発		
4. 補修補強システムの開発						
4-1 FRPとセメント系材料の両者を用いたハイブリッド補強法の開発		既存の補強法の改良			効果検証	実 構 造 物 へ の 適 用 と 検 証
4-2 材料開発と品質管理法の開発		既存の材料改良		品質管理法	知財戦略	
4-3 土工管理手法の確立と地盤のハイブリッド補強法の開発	施工能力調査		ハイブリッド補強設計法		効果検証	
5. 補修補強設計, 施工, 維持管理マニュアルの作成						
5-1 設計と維持管理の連続化手法の開発と各種設計・施工マニュアルの作成	連続化手法		WGの立ち上げと管理マニュアルの検討		マニュアル作成	ワークショップ開催
5-2 リスクマネジメント手法の開発	既存手法の改良	外力生起リスク・材料劣化リスクの解析		優先度フロー		
6. 人材育成プログラム・教育カリキュラムの開発						
6-1 技術者および管理者用人材育成プログラムの開発	現状調査			点検者, 診断者, 施工者用教育ツール		
6-2 防災と維持管理を一体的に捉えた大学教育カリキュラムと教材開発	現状調査		高度人材大学 院講義	学部用教材開発		

(2) プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

進捗が遅れている研究課題6に関して大幅に見直した。

2. 計画の実施状況と目標の達成状況（公開）

(1) プロジェクト全体

2022年6月に、プロジェクト採択後初めて研究代表者が訪タイし、研究体制の再構築を行った。2022年8月29日には合同調整会議（以下、JCCミーティング）をキックオフの位置付けとして開催し、日本とタイでの実質的な研究を始動させた。本プロジェクトでは、6つの研究題目を設定しているが、その中で、研究題目1と4は極めて順調に、また、研究題目2と3は概ね予定通り進んでいる。以下に研究題目ごとの状況を説明する。

(2) 研究題目1：「自然外力と過積載荷重の評価と構造物の損傷・破壊メカニズムの解明」

メカニズムグループ・橋梁サブグループ（リーダー：佐藤靖彦）

メカニズムグループ・地盤サブグループ（リーダー：西村聡）

① 研究題目1の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

メカニズムグループ・橋梁サブグループ（リーダー：佐藤靖彦）

調査の結果、使用されているコンクリートの水セメント比が極めて大きく、また、二酸化炭素濃度が著しく高いため、最も重要な劣化機構は、上部構造と下部構造の双方において中性化による鋼材腐食であることを明らかにした。また、バンコククレイの特性を考慮した構造物と地盤の3次元有限要素解析による連成解析を行った。その結果、典型的な下部構造形式であるパイル橋脚は、トラック荷重により数mmのオーダーで沈下するが、沈下に伴うコンクリートの応力増加は数 N/mm^2 程度と小さいため、その影響は工学的に無視できることが判明した。さらに、Uターナブリッジの破壊機構は、ドローンによる荷重状況調査、通行を規制した状況での橋面調査、床版下面の外観調査、日本の床版諸元・損傷との比較調査、さらに、3次元非線形有限要素解析による分析を疲労による押抜きせん断破壊であることを明らかにした。

メカニズムグループ・地盤サブグループ（リーダー：西村聡）

乾湿繰り返しによる地盤状態変化・構造劣化メカニズムについて、研究題目4と重複する形で、原地盤を模擬した砂・粘土混合試料およびバイオ炭混合土を用いてサクシオン変化時の含水比および体積変化を同時に計測する手法を検討した。具体的には近年開発された連続加圧方式の加圧板法の水分特性曲線計測試験に下記の画像解析手法および（バックアップ的な第二の計測手法として）近接センサーを導入したものである。また、木炭と燐炭の2種類のバイオ炭を用い、それぞれに対して水銀圧入ポロシメトリによる間隙径計測を実施し、それぞれバイモーダルな間隙径分布を有することを確認し、これにより同じくバイモーダルな形状を示す水分特性曲線の由来を解明するに至った。従来型の圧力容器ではこれまで土試料の体積変化計測が容易ではなかったが、一般的なデジタルカメラによる画像解析で正確に体積変化を計測する方法（ステレオフォトグラメトリーに光線追跡法を導入することで、光線屈折による幾何歪みを補正し、アクリル耐圧壁外部から内部にある物質の形状変化を 10^{-3}mm オーダーで正確に定量化することができる）などを開発し、民間調査会社などにも移転可能な技術として精査を進めている。これにより、マクロクラック生成を推定する既往のモデルに入力する飽和度－サクシオン－体積剛性関係を得ることができるようになった。これ

らは多くの実務で用いられている van Genuchten 型の単調形状とは異なるバイモーダルな形状を呈するため、適切なモデル化を今後検討することになる。

② 研究題目 1 のカウンターパートへの技術移転の状況

技術移転は行われていない。

③ 研究題目 1 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

メカニズムグループ・橋梁サブグループ（リーダー：佐藤靖彦）

当初、対象をしていなかった U ターンブリッジの検討をタイ運輸省道路局（DOH）に依頼され検討に着手した。対象とする U ターンブリッジは、直線橋とは異なり断面力分布が複雑であり、床版厚が薄いという特徴がある。

メカニズムグループ・地盤サブグループ（リーダー：西村聡）

令和 4 年度までのコロナウィルスによる渡航制限により、タイ現地の土質試料を実際に調達して試験するのは現地のパートナーに委ねており、代替となる土質試料を用いて研究を進めている。この代替試料を採取するサイトとしては項目(4)に記したサイトを想定している。

④ 研究題目 1 の研究のねらい（参考）

メカニズムグループ・橋梁サブグループ（リーダー：佐藤靖彦）

道路と橋梁の損傷メカニズムを解明することで、構造物の安全性診断と補修補強設計に役立てる。

メカニズムグループ・地盤サブグループ（リーダー：西村聡）

通常は施工時にのみ品質管理が行われる土工について、タイのように乾季・雨季が分かれた気候下で経年的に盛土品質が劣化していく可能性とその原因を明らかにする。

⑤ 研究題目 1 の研究実施方法（参考）

メカニズムグループ・橋梁サブグループ（リーダー：佐藤靖彦）

室内実験、現地調査、3次元有限要素解析を組み合わせた検討を行うことで目的を達成する。

メカニズムグループ・地盤サブグループ（リーダー：西村聡）

実験室で乾湿過程を制御した試験を行い、土質構造の変化を定量化し、それによる力学的特性変化を解明するとともに、原位置において通年での状態（含水量・サクシオン）変化を実測する。

(3) 研究題目 2：「点検モニタリングシステムの開発」

点検グループ・ひび割れサブグループ（リーダー：佐藤靖彦）

点検グループ・クラウドサブグループ（リーダー：橋本勝文）

① 研究題目 2 の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

点検グループ・ひび割れサブグループ（リーダー：佐藤靖彦）

簡易なひび割れ幅計測方法については、計測用シートをひび割れ部に貼り付けることでひび割れ幅の変化をモアレ干渉縞の数の変化として測定する方法を考案し、そのための計測用シートと干渉縞本数を数えるための画像解析プログラムのプロトタイプをそれぞれ試作した。なお、空中ドローンについては、上記プログラムやシートの完成を優先し、現場摘要可能性のある機種の実験およびデモ機による見学（国内）を行ったに留まった。また、水上ドローンを模擬したラジコンによる実証実験を行い画像取得の条件を抽出した。さらに、精緻なひび割れ幅振幅解析ソフトに関しては、

動画を静止画に変換し、モアレ解析を連続して解析するプログラム（プロトタイプ）を試作した。

点検グループ・クラウドサブグループ（リーダー：橋本勝文）

点検・診断業務および構造物の劣化・損傷の情報をデータベース化するクラウドシステムの構築に向けた検討と連携アプリケーションの実装に向けた検証を行った。タイ国内における維持管理業務の現状と課題について整理を行うとともに、上記のクラウドシステムおよびアプリケーションの立案と構築を進めた。立案しているクラウドシステムは、情報管理技術プラットフォームと、アプリケーション化した調査・点検技術により構成される。これにより、効果的かつ効率的に構造物の位置情報および調査・点検結果の情報集約を可能とするものである。また、当該クラウドシステム上に実装することを目的とし、従来の目視および打音点検に準じて現場作業者の知識や経験に依らずに取得した画像や打音データから自動的に異常度を出力することができるアプリケーションを構築した。ここでは、コンクリート表面の画像を学習データとした教師なし深層学習（オートエンコーダ）、打音による波形をウェーブレット解析により得られる時間-周波数領域のスペクトル画像とした機械学習を基盤とした異常検知アルゴリズムを搭載した。

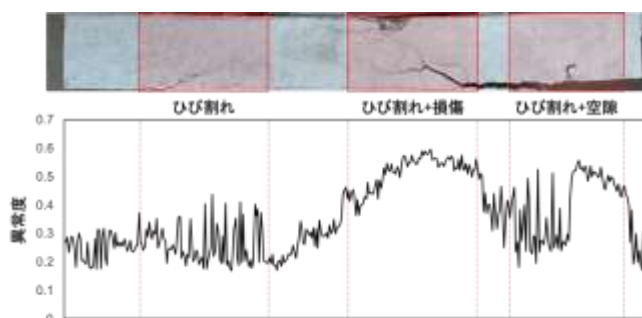


図 1 表面画像の教師なし深層学習による異常検知

② 研究題目 2 のカウンターパートへの技術移転の状況

技術移転は行われていない。

③ 研究題目 2 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

特になし。

④ 研究題目 2 の研究のねらい（参考）

点検グループ・ひび割れサブグループ（リーダー：佐藤靖彦）

簡易なひび割れ幅計測方法については、国内で試験を通して試作したプログラム及びシートの改良、使用するカメラやスマートフォンの適用条件の決定を行う。その後、タイでの現場検証を通じて完成させる。

点検グループ・クラウドサブグループ（リーダー：橋本勝文）

タイ国の橋梁の性能基準および点検業務に応じたシステム開発により、適切な維持管理業務の活性化および効率化を図り、技術レベルの向上および技術者教育に資する成果を目指す。

研究題目 2 の研究実施方法（参考）

点検グループ・ひび割れサブグループ（リーダー：佐藤靖彦）

日本国内で技術開発を行い、タイでの現場検証を通じて完成させる。

点検グループ・クラウドサブグループ（リーダー：橋本勝文）

モバイル端末で行う調査・点検業務および結果を管理できるクラウドシステムを構築し、実構造物に対する原位置データおよび室内実験でのデータで検証を行う。

(4) 研究題目 3：「構造安全性診断システムの開発」

診断グループ・橋梁サブグループ（リーダー：佐藤靖彦）

診断グループ・地盤サブグループ（リーダー：西村聡）

① 研究題目3の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

診断グループ・橋梁サブグループ（リーダー：佐藤靖彦）

Uターンプリッジは曲線部を有するため断面力の把握が重要である。しかし断面力の評価法は存在しない。そこで数値実験に基づき断面力算定式を新たに開発した。また、タイで使用されているAASHTO（American Association of State Highway and Transportation Officials）コードに基づく疲労寿命予測式を開発した。さらに、画像から鉄筋の腐食量を判定する簡易手法を作成した。

診断グループ・地盤サブグループ（リーダー：西村聡）

前年度から着手している広域多点モニタリングのための廉価かつ設置が簡易な無線通信テンシオメータの開発を継続した。省電力化機能の不調などを解決するためマイコン制御方法を変更し、装置の安定性を改善した。また、降雨の局所性を考慮し、雨量観測ステーションから離れた地点での雨量計の簡易な代替として雨滴センサーをテンシオメータのロガーに付加することで、降雨の局所時刻歴を簡易補正する手法を検討した。これは局所的な降雨開始・終了を雨滴センサーの応答から推定し、近傍の観測所記録の時刻歴をシフトすることで、局所的な間隙水圧・土壌水分データと降雨記録のシンクロを図るものである。データ処理の方法としては、粒子フィルタを用いた地盤水理パラメータの逆推定を行う手法の実装に着手し、室内における模擬降雨試験に対してその適用性を評価した。タイ北部の4サイトでは、タイ側パートナーが開発した別デザイン（原理は同様で、現地入手部材の規格等により諸元が異なる）のテンシオメータおよびLTE通信型ロガーにて観測を継続中である。なお、これら4サイトはHighway no 1192 KM. 11+500 18° 30' 36.57"N 98° 25' 50.18"E (Chiangmai 1 District:花崗岩質切土・盛土)、Highway no 118 KM. 46+700 19° 2' 20.67"N 99° 19' 59.63"E (Chiangmai 2 District:花崗岩質切土)、Highway no 21 KM. 324+151 17° 12' 58.2"N 101° 10' 29.3"E (Loei 2 District:崩積土質、盛土)、Highway no 21 KM. 329+700 17° 14' 22.1"N 101° 12' 19.4"E (Loei 2 District:崩積土質・堆積岩質、切土)である。研究題目3のカウンターパートへの技術移転の状況技術移転は行われていない。

① 研究題目3のカウンターパートへの技術移転の状況

技術移転は行われていない。

② 研究題目3の当初計画では想定されていなかった新たな展開

診断グループ・橋梁サブグループ（リーダー：佐藤靖彦）

特になし。

診断グループ・地盤サブグループ（リーダー：西村聡）

特になし。

③ 研究題目3の研究のねらい（参考）

診断グループ・橋梁サブグループ（リーダー：佐藤靖彦）

構造物の診断と補修補強に関する各種マニュアルの作成に必要な情報を整備する。

診断グループ・地盤サブグループ（リーダー：西村聡）

気候・地盤の不確定性に対応して盛土構造物の不安定化を早期に検出するため、廉価かつ設置・維持が簡易なテンシオメータを開発し、広域観測網を設ける端緒とする。

④ 研究題目 3 の研究実施方法 (参考)

診断グループ・橋梁サブグループ (リーダー：佐藤靖彦)

日本国内で解析的検討を進め、その結果に基づき部材実験の結果を立て、タイ国にて実験を行う。

診断グループ・地盤サブグループ (リーダー：西村聡)

前記の無線通信テンシオメータを、比較的長い乾季が続くタイの気候に適した形式に最適化し、タイ現地のモデルサイトを 4 か所ほど選定し、長期観測を行う。

(5) 研究題目 4 : 「補修補強システムの開発」

補強グループ・橋梁サブグループ (リーダー：上田尚史)

補強グループ・地盤サブグループ (リーダー：西村聡)

① 研究題目 4 の当初の計画 (全体計画) に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

補強グループ・橋梁サブグループ (リーダー：上田尚史)

R4 年度は、R3 年度に引き続き各種補強法で用いる材料の検討を行うとともに、腐食劣化した RC はりの補強実験を行った。FRP 接着補強法で用いる樹脂については、配合の微調整と摂氏 40 度環境下における作業性の確認、コンクリート供試体を用いた付着強度試験ならびに既設補強橋梁の調査を行い、タイ国の高温環境においても開発樹脂が所定の性能の発現、他社補強工法の状態を確認した。また、上面増厚工法に用いる繊維補強コンクリートについては、タイ国で入手可能な繊維を用いて国内において配合試験を実施することで、所定のフレッシュ性状を満足するとともに繊維種毎の繊維添加量と曲げじん性との関係などを把握した。タイ国で流通している繊維を使用しても、上面増厚用繊維補強コンクリートは十分に適用可能であることを確認した。腐食劣化した RC はりの補強実験では、鉄筋腐食した RC はりを対象として、FRP 接着補強、上面増厚補強ならびにそれらを組み合わせたハイブリッド補強を行い、それぞれの補強効果を確認した。また、その補強効果は断面解析により概ね評価できることを明らかにした。

補強グループ・地盤サブグループ (リーダー：西村聡)

令和 3 年度にタイ北部に設けた 4 観測サイト (項目 (4) にて記述) 不安定化の兆候が見られた法面に対して土嚢・マイクロパイル・バイオ炭によるキャピラリーバリア・ふとん籠工・表面緑化を多様に組み合わせた補強を数パターン設計・施工) にて観測を継続するとともに、土質採取し、水理特性などの調査 (加圧板法・土柱法・露点法の組み合わせによる水分特性曲線の同定および飽和透水係数の計測) を行った。また、項目 (1) に記した手法によりバイオ炭を混合した土質による法面表層保護技術の開発に向け、微視構造の可視化や間隙構造の定量化を行い、マクロな水理特性と関連付けるための室内試験とモデル化検討を進めた。また、経済的な盛土構築技術として再生アスファルト材の利用とその最適化に関する研究タスクを立ち上げるべく基礎検討を開始した。

② 研究題目 4 のカウンターパートへの技術移転の状況

技術移転は行われていない。

③ 研究題目 4 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

補強グループ・橋梁サブグループ (リーダー：上田尚史)

タイ国での試験施工現場として、DOH からの依頼に基づき、ラーマ II ロードにある U ターンブリッジも対象とする。

補強グループ・地盤サブグループ（リーダー：西村聡）

特にない。

④ 研究題目 4 の研究のねらい（参考）

補強グループ・橋梁サブグループ（リーダー：上田尚史）

橋梁の劣化の程度と補強後の性能レベルに応じて選択可能な補強法を確立するとともに、現地の状況に応じた施工法を提案することで、補強法の現地実装を目指す。

診断グループ・地盤サブグループ（リーダー：西村聡）

乾季の地盤表面クラック成長と雨季の急激な雨水浸透の両者を抑制し、かつ力学的な補強効果を有する低コストの法面補強工法を開発し、その有効性を水理・力学挙動の面から実証する。

⑤ 研究題目 4 の研究実施方法（参考）

補強グループ・橋梁サブグループ（リーダー：上田尚史）

FRP 接着補強法とコンクリートの増厚補強法に対して、現地での適用を念頭において使用材料と施工方法を改良・開発する。補強による性能の向上については、タイ側パートナーと共同のもと、実験と解析により定量的に評価する。さらに、早期に補強材料を提供できるよう調査研究体制を強化し、類似の材料の市場調査や低コスト化に関する検討を進めるなど、実装体制の構築に着手する。

補強グループ・地盤サブグループ（リーダー：西村聡）

前記の 4 つのサイト（可能であればサイト増設）において異なる補強を施した法面を用意し、長期的な水理モニタリング・変位観測および浸透流数値解析を実施し、水理的安定性（サクシオン増減抑制）と力学的安定性を定量化する。

(6) 研究題目 5：「補修補強設計、施工、維持管理マニュアルの作成」

マネジメントグループ・マニュアルサブグループ（リーダー：山田雄太）

マネジメントグループ・リスクサブグループ（リーダー：秋山充良）

① 研究題目 5 の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

マネジメントグループ・マニュアルサブグループ（リーダー：山田雄太）

余裕率（性能制御マトリクス）を活用した性能評価の試算例を国内の構造物を対象として作成した。その試算を通じて、性能制御マトリクスを活用した補修/補強優先度の決定や施工方法の選定に資する性能制御手法のフレームを構築できた。また、DOH が所有する BMMS (Bridge Management Maintenance System) の改良点を明確にし、本プロジェクトの成果と BMMS との連動性を整理した。さらに、DOH スタッフとカセサート大学の若手教員からなる WG を立ち上げ、DOH における道路と橋梁の維持管理の全体フローの構築に着手した。

マネジメントグループ・リスクサブグループ（リーダー：秋山充良）

タイ国における橋梁の損傷要因は、鉄筋腐食と洪水の作用、および一部の地域における地震作用である。橋梁群のマネジメントを実施するためには、まず、個別橋梁の安全性の程度を定量化する必要がある。これは、各橋梁位置のハザード（つまり、鉄筋腐食の可能性と洪水や地震作用の危険度の大小）の評価、橋梁の現状の劣化状態とそれが橋梁の耐震および対洪水に対する性能に及ぼす影響の評価により可能となる。さらに、限られた財源の中で、効率的に橋梁群のマネジメントを実施するためには、各橋梁のリスクを判定することが求められる。これは、橋梁が損壊することによ

るネットワークの機能性への影響（つまり、交通容量への影響）を評価し、それをリスクとして定量化することで、最終的な補修・補強対策の優先度、すなわちマネジメントが可能となる。この流れの中で、R4年度は次の取り組みを行った。(1)長さ6mの大型RC梁を対象に電食により鉄筋腐食を発生させ、コンクリート表面にあらわれる腐食ひび割れ幅の情報から、RC梁の耐荷力の低下程度を自動計算できる機械学習モデルを構築した。腐食ひび割れ幅の情報からRC梁の耐荷力の推定に成功した研究例は少なく、この成果はEngineering Structuresなどの構造工学分野のトップジャーナルに複数発表した。(2)気象情報、SWAT (Soil and Water Assessment Tool)、および橋梁位置毎の河川水量の相関性を考慮した洪水シミュレーション手法により、洪水ハザードを定量化した。また、洪水作用を受ける橋梁の性能関数を複数定義し、その脆弱性評価の解析から洪水フラジリティを評価した。この洪水ハザードと洪水フラジリティ解析により、橋梁の損傷度を確率的に定量化し、個別橋梁の安全性の程度を定量化した。(3)洪水ハザードの強弱が場所ごとに異なる中で、各位置の橋梁の損壊が道路ネットワークの機能性に及ぼす影響を評価できる手法を構築した。(2)と(3)の成果についても、既に国際ジャーナルへの投稿を終えている。

研究題目5のカウンターパートへの技術移転の状況

技術移転は行われていない。

② 研究題目5の当初計画では想定されていなかった新たな展開

マネジメントグループ・マニュアルサブグループ（リーダー：山田雄太）

特になし。

マネジメントグループ・リスクサブグループ（リーダー：秋山充良）

洪水ハザードに対する個別道路橋梁の安全性評価、あるいは道路ネットワークの接続性評価、さらには、材料劣化リスクの解析において、将来的な気候変動の影響も考慮できる解析モデルへの発展を検討する。既に気候変動の影響を構造物の安全性評価に取り入れる研究を実施し、成果の一部は、Structural Safetyなどの構造工学分野を代表するトップジャーナルで複数発表した。

③ 研究題目5の研究のねらい（参考）

マネジメントグループ・マニュアルサブグループ（リーダー：山田雄太）

当該年度の研究では、補修・補強優先度および施工方法の選定手法として、性能制御マトリクスを活用することを見据え、種々のケースに対する活用事例の骨子を示すことがねらいである。

マネジメントグループ・リスクサブグループ（リーダー：秋山充良）

タイ国において、橋梁を損壊させる可能性のあるハザードは、洪水、および塩害などの材料劣化である。このハザードに対する橋梁の損壊リスクの大小を、性能制御マトリクスを使いながら定量化し、さらには個別橋梁の損壊が道路ネットワークに及ぼす影響を加味することで、限られた予算の制約条件下でリスクを最小化、あるいは確保できる交通容量を最大化できる補修・補強戦略の立案を目標としている。

④ 研究題目5の研究実施方法（参考）

マネジメントグループ・マニュアルサブグループ（リーダー：山田雄太）

Chachoengsao 地区、Chonburi 地区、Rayong 地区の橋梁（約600）を対象として、余裕率を算定する。また、中性化による劣化した場合の耐久性の余裕率の算定方法を見出す。

マネジメントグループ・リスクサブグループ（リーダー：秋山充良）

タイ国から得られる気象・地形・地質情報、および橋梁の設計詳細に加え、現地において、対象橋梁群の洗掘や劣化程度に関する詳細調査を実施する。リスクマネジメントは、基本的には解析中心の検討となるが、その過程では、タイ国の研究者も交えながら、タイ国の橋梁の構造細目や材料の情報を取り込みながら実験的にそれらの劣化進展などを確認し、随時、劣化曲線等に反映する。

(7) 研究題目 6 : 「人材育成プログラム・教育カリキュラムの開発」

教育グループ（リーダー：長井宏平）

① 研究題目 6 の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

カセサート大学とチュラロンコン大学の大学院生を対象としたインフラ構造物の維持管理サイクルとデータ分析に関する講義を試行的に実施し、高度人材育成を目的とした大学院での講義コンテンツを作成した。

② 研究題目 6 のカウンターパートへの技術移転の状況

技術移転は行われていない。

③ 研究題目 6 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

特になし。

④ 研究題目 6 の研究のねらい（参考）

人材育成プログラムを開発することで、タイの実務者や学生に、道路橋梁維持管理のコンセプト、実際の管理技術、データ活用、マネジメントの基本知識と技術を長期的にも定着させる。本研究で開発する種々の技術の理解と持続的活用を図る。

⑤ 研究題目 6 の研究実施方法（参考）

極めて遅れているため体制を再構築する。実装の観点から、点検者用教育ツール、診断者用教育ツール、施工者用教育ツールの作成に早急に着手する。

II. 今後のプロジェクトの進め方、およびプロジェクト／上位目標達成の見通し（公開）

研究成果を社会実装につなげるために、ASEAN インフラメンテナンスセンターを活用する。すなわち、開発する種々の技術を ASEAN インフラメンテナンスセンターに実装し、タイ国を含む ASEAN 諸国に展開する。そして、最終年度（2026 年度）には、実施工を通じた、システム、マニュアル、プログラムの実践的検証を行う。

ASEAN インフラメンテナンスセンターでは、管理者、技術者、技能者を対象とした人材育成プログラムの実践、カセサート大学、チュラロンコン大学への教育カリキュラムの反映に加え、ASEAN 諸国を対象とした道路と橋梁の維持管理と防災に関するシンポジウムやワークショップを開催し、周辺国の管理者および技術者とのネットワークを強化する。また、ASEAN メンテナンスセンターのブランチである早稲田オフィスでは、日本にタイ国の技術者を招聘し、国内機関の管理者および技術者との交流の機会を用意する。さらに、本研究で開発するシステムを、文化や経済力が大きく異なる ASEAN 諸国にカスタマイズさせるために、タイ国に ASEAN リサーチセンターを立ち上げ、研究能力と展開力の向上を目指す。

日本の補修・補強技術の展開を図る上で、材料の安定的提供と施工者の確保が必要となる。材料の開発と販売は、主として共同研究機関の現地法人が担う。一方、施工者の確保に関しては、タイ国のベンチャー建設企業を組み入れ、共同研究機関の支援のもとで、新しい会社へと発展させたりすることで安定的な施工体制を構築する。

また、開発した技術や経験の日本国内への展開は、早稲田大学佐藤研究室が立ち上げたベンチャー企業が担う。

III. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など（公開）

(1) プロジェクト全体

定期的に訪問し、対面での話し合いの場を持つことが極めて重要である。それゆえ、2023 年度は 5 回訪タイし、タイ側のコアメンバーとの議論を積み重ねた。

IV. 社会実装（研究成果の社会還元）（公開）

(1) 成果展開事例

DOH がタイの社会向けに制作している広報ポスターに本プロジェクトの取り組みが紹介された。

(2) 社会実装に向けた取り組み

V. 日本のプレゼンスの向上（公開）

特になし。

以上

VI. 成果発表等

(1) 論文発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 原著論文(相手国側研究チームとの共著)

年度	著者名, 論文名, 掲載誌名, 出版年, 巻数, 号数, はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
----	--	--------	---------------	---------------------------------	--

論文数 0 件
 うち国内誌 0 件
 うち国際誌 0 件
 公開すべきでない論文 0 件

② 原著論文(上記①以外)

年度	著者名, 論文名, 掲載誌名, 出版年, 巻数, 号数, はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
R3	竹田京子, 佐藤靖彦, せん断補強筋のない鉄筋コンクリートはりのせん断疲 労破壊機構の実験的解明, 土木学会論文集E2, Vol.78, No.1, pp.30-45	https://doi .org/10.220 8/jscejmcs .78.1_30	国内誌	発表済	国内の土木分野トップジャーナル
R4	永島史晟, 佐藤靖彦, 剥離進行過程をモデル化したCFRPシートのせん断補 強効果の定量評価法, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, pp.265-270, 2022		国内誌	発表済	
R4	尾崎允彦, 佐藤靖彦, コンクリートの表層破壊に着目したFRPシート剥離現 象の再現解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, pp.817-822, 2022		国内誌	発表済	
R4	Jia, S., Akiyama, M., Han, B., Xie, H., and Frangopol, D.M.: Structural identification via the inference of the stochastic volatility model conditioned on the time-dependent bridge deflection, Structural Safety, 100: 102279, 2023.	10.1016/j.s trusafe.202 2.102279	国際誌	発表済	構造工学分野のトップレベル雑誌
R4	Alhamid, A.K., Akiyama, M., Aoki, K., Koshimura, S. and Frangopol, D.M.: Stochastic renewal process model of time-variant tsunami hazard assessment under nonstationary effects of sea-level rise due to climate change, Structural Safety, 99: 102263, 2022.	10.1016/j.s trusafe.202 2.102263	国際誌	発表済	構造工学分野のトップレベル雑誌
R4	Alhamid, A.K., Akiyama, M., Ishibashi, H., Aoki, K., Koshimura, S. and Frangopol, D.M.: Framework for probabilistic tsunami hazard assessment considering the effects of sealevel rise due to climate change, Structural Safety, Vol. 94, 102152, 2022.	10.1016/j.s trusafe.202 2.102264	国際誌	発表済	構造工学分野のトップレベル雑誌
R4	Srivarun, S., Akiyama, M., Taiki, Y., Frangopol, D.M., and Xin, J.: A novel combined experimental-machine learning approach to estimate the probabilistic capacity of RC beams with spatially correlated rebar corrosion in transverse and longitudinal directions, Engineering Structures, 279: 115588, 2023.	10.1016/j.e ngstruct.20 23.115588	国際誌	発表済	構造工学分野のトップレベル雑誌
R4	Jia, S., Akiyama, M., Han, B., and Frangopol, D.M.: Probabilistic structural identification and condition assessment of prestressed concrete bridges based on Bayesian inference using deflection measurements, Structure and Infrastructure Engineering, 2023.	10.1080/15 732479.202 3.2192508	国際誌	発表済	
R4	Xin, J., Akiyama, M., Miyazato, S., Frangopol, D.M., Lim, S., Xu, Z., and Li, A.: Effects of galvanostatic and artificial chloride environment methods on the steel corrosion spatial variability and probabilistic flexural capacity of RC beams, Structure and Infrastructure Engineering, 18(10-11):1506-1525, 2022.	10.1080/15 732479.202 2.2061016	国際誌	発表済	
R4	Srivarun, S., Akiyama, M., Masuda, K., Frangopol, D.M., and Maruyama, O.: Random field-based reliability updating framework for existing RC structures incorporating the effect of spatial steel corrosion distribution, Structure and Infrastructure Engineering, Vol. 18, No.7, pp. 967-982, 2022.	10.1080/15 732479.202 1.1995445	国際誌	発表済	

論文数 10 件
 うち国内誌 3 件
 うち国際誌 7 件
 公開すべきでない論文 0 件

③その他の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)

年度	著者名,タイトル,掲載誌名,巻数,号数,頁,年		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項

著作物数 0 件
公開すべきでない著作物 0 件

④その他の著作物(上記③以外)(総説、書籍など)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ-おわりのページ		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項

著作物数 0 件
公開すべきでない著作物 0 件

⑤研修コースや開発されたマニュアル等

年度	研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項

VI. 成果発表等

(2) 学会発表【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 学会発表(相手国側研究チームと連名)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
			招待講演 0 件
			口頭発表 0 件
			ポスター発表 0 件

② 学会発表(上記①以外)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	R4	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
R4	国内学会	塩永亮介, 倉内友己, 藤垣元治, 木村雄景, 佐藤靖彦, ステレオ方式のサンプリングモアレ法による実橋RC床版の動的たわみ計測, 令和4年度土木学会年次学術大会, 京都, 2022.9.15	口頭発表
R4	国際学会	Firdaus, P. S., Akiyama, M., Matsuzaki, H., Frangopol, D. M. and Ishibashi, H. 2022. Framework for determining the dominant hazard of bridges under flood and seismic hazards. Proceeding of the 11th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (IABMAS 2022), pp. 143-150, Barcelona, Spain	口頭発表
R4	国際学会	Frangopol, D.M. and Akiyama, M.: Life-cycle perspective on the application of stainless steel and CFRP sheet to reinforced concrete structures in chloride-laden environments, Sixth International Workshop on Seawater Seawater Concrete (SSC) Structures Reinforced with FRP Composites, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, 2023.	招待講演
R4	国際学会	Frangopol, D.M. and Akiyama, M.: Risk-informed life-cycle maintenance management framework for civil infrastructure under climate change. International Symposium on Emerging Developments and Innovative Applications of Reliability Engineering and Risk Managements (EDIARR2022), Taipei, Taiwan, 2022.	招待講演
R4	国際学会	Akiyama, M.: Increasing the Resilience of highway bridges under multiple hazards including earthquake, tsunami, corrosion and climate change. Spring 2022 Fazlur R. Khan Distinguished Lecture Series, Bethlehem, USA, 2022	招待講演
R4	国際学会	Akiyama, M., Frangopol, D.M. and Ishibashi, H.: Reliability, risk and resilience of coastal infrastructure under seismic and tsunami hazards. ASCE/IRD UCLA Lifelines 2021-22 Conference, Los Angeles, USA, 2022.	招待講演
R4	国際学会	Akiyama, M.: What can be done to enhance the resilience of structures and infrastructures in Japan before the anticipated Nankai Trough earthquake occurs? Inaugural Meeting of International Forum of Innovation Base of Earthquake Engineering Comprehensive Simulation & 1st International Forum on the Latest Development of Resilient City, Tianjin, China. 2022.	招待講演
			招待講演 5 件
			口頭発表 2 件
			ポスター発表 0 件

VI. 成果発表等

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】(公開)

①国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する外国出願※
No.1													
No.2													
No.3													

国内特許出願数 0 件
 公開すべきでない特許出願数 0 件

②外国出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する国内出願※
No.1													
No.2													
No.3													

外国特許出願数 0 件
 公開すべきでない特許出願数 0 件

VI. 成果発表等

(4) 受賞等【研究開始～現在の全期間】(公開)

①受賞

年度	受賞日	賞の名称	業績名等 (「〇〇の開発」など)	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
R4	2022/7/14	日本コンクリート工学会年次大会2022年次論文奨励	剥離進行過程をモデル化したCFRPシートのせん断補強効果の定量評価法	永島史晟	コンクリート工学会	1.当課題研究の成果である	

1 件

②マスコミ(新聞・TV等)報道

年度	掲載日	掲載媒体名	タイトル/見出し等	掲載面	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項

0 件

VI. 成果発表等

(5) ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等の活動【研究開始～現在の全期間】(公開)

① ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

年度	開催日	名称	場所 (開催国)	参加人数 (相手国からの招聘者数)	公開/ 非公開の別	概要
R4	12月19日	早稲田大学・チュラロンコン大学合同 WS	チュラロンコン大 学(タイ)	20名(8名)	公開	本プロジェクトに関するテーマを研究する早稲田大学・チュラロンコン大学の大学院生・学部生が研究発表を行い、意見交換した。

1件

② 合同調整委員会(JCC)開催記録(開催日、議題、出席人数、協議概要等)

年度	開催日	議題	出席人数	概要
R4	8月29日	Kicking-off the project Confirmation of the project goals	50名	バンコクにて本プロジェクトの主要メンバーが集まり、キックオフミーティングを行った。

1件

成果目標シート

研究課題名	タイ国におけるレジリエンスの強化のための道路と橋梁のライフタイムマネジメント技術の開発
研究代表者名 (所属機関)	佐藤 靖彦 (早稲田大学 理工学術院 創造理工学部 教授)
研究期間	R2採択(令和2年8月1日から令和8年9月30日)
相手国名/主要相手国研究機関	タイ王国/カセサート大学, 運輸省道路局
関連するSDGs	目標 9. 強靱(レジリエント)なインフラ構築、包摂的かつ持続可能な産業化の促進及びイノベーションの推進を図る 目標 11. 包摂的で安全かつ強靱(レジリエント)で持続可能な都市及び人間居住を実現する 目標 13. 気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる

成果の波及効果

日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> ・日本企業による成果の事業化 ・メンテナンスマーケットの創出 ・陸のASEANに展開する日本企業の活動基盤確保
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> ・構造物の設計と維持管理の連続化概念(ライフタイムデザイン)の構築 ・AIを活用することによる維持管理技術の合理化
知財の獲得、国際標準化の推進、遺伝資源へのアクセス等	<ul style="list-style-type: none"> ・複数の手法を組み合わせた安全性診断法 ・モニタリングと解析を組合わせた安全性診断法 ・モアレを用いたひび割れ幅振幅計測技術
世界で活躍できる日本人人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> ・若手大学教員のASEANにおけるプレゼンス, 問題解決能力, 国際共同研究推進能力の向上 ・管理者および技術者の国際展開能力とコミュニケーション能力の醸成
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> ・研究者間および民間企業間の日タイ人的ネットワークの構築
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"> ・道路と橋梁の補修設計・施工・維持管理マニュアル ・人材育成プログラムと大学教育カリキュラム ・塩害, 交通荷重, 洪水による複合損傷メカニズムの解明(マルチハザードに対する対策)

上位目標

タイ国の東北回廊と第二東西回廊を対象とした、AIMが管理するマネジメントシステムによる点検、診断、対策の着実な実施

開発した道路と橋梁のマネジメントシステムの継続的な改善と持続的人材育成

プロジェクト目標

防災と維持管理の複眼的視点を有する道路と橋梁のマネジメントシステムがASEANインフラメンテナンスセンター(AIM)に構築される

東北回廊と第二東西回廊連結領域を対象とした構造物群の補修補強優先度の決定と小規模な補修補強工事の実施を通じたマネジメントシステムの妥当性検証

