

博士論文

開発途上国における橋梁維持管理の技術協力
に関する実践的研究

Practical Study on Technical Cooperation for Bridge Maintenance
in Developing Countries

東京都市大学大学院総合理工学研究科
建築・都市専攻

渡 邊 正 俊

2023 年 1 月

Copyright © 2023 by 渡邊正俊

五艘 隆志 准教授
(主査)

白旗 弘実 教授

関屋 英彦 准教授

東京大学生産技術研究所
長井 宏平 准教授

要旨

開発途上国における橋梁維持管理の技術協力 に関する実践的研究

渡邊 正俊

近年、我が国は開発途上国に対し、橋梁維持管理の能力向上・強化を目的とした技術協力を多く実施しており、橋梁点検・補修技術の普及、維持管理計画策定を目指した活動が行われている。しかしながら、多くの開発途上国は維持管理計画を策定する上での基礎データとなる橋梁台帳が未整備であることに加え、これまで橋梁点検が実施されておらず、技術協力の開始時点において維持管理の対象となる橋梁の状態が把握されていない。効率的な維持管理を実施していくためには、管理する橋梁の基礎データ（橋梁インベントリー及び橋梁点検結果）を収集し、それらを橋梁データベースシステムとして構築することは不可欠である。

然しながら、既往の研究においては橋梁データベースの機能面に関する研究やデータ利用の高度化（劣化予測や LCC 算出）等に関する研究は行われているものの、それらは橋梁データが正確に入力されることが前提であるものが多い。開発途上国においては、橋梁データを集めるところから始めなければならないため、データベースシステムに入力する橋梁データを迅速に収集し、最初のデータベースを構築する手法がまず必要であるが、このような橋梁データ収集に関する研究は国内外においてほとんど行われておらず、全国規模かつ数千橋というレベルで橋梁データの収集を実践した研究は皆無である。上述の課題を抱える開発途上国において橋梁データベースを構築することは、今後確実に到来する維持管理時代に向けての準備の第一歩目であり、橋梁維持管理サイクルを循環させていくための初期条件と位置づけられる。

本研究においては、既往の調査・研究から開発途上国の橋梁維持管理にかかる現状と課題を指摘し、その課題の 1 つに対し、筆者らが開発したモバイル端末（タブレット端末、スマートフォン）を用いた橋梁データ収集システムにより、カンボジア国公共事業

運輸省が管理する道路に位置する全国約 2,400 橋の橋梁データベースを構築した手法を述べる。更に、そのデータを利用した橋梁維持管理計画の策定及び予算請求を実践した経験を基に、開発途上国に対する橋梁維持管理の技術協力手法について考察する。また、橋梁点検の知識が不足している開発途上国に対し、時間と場所を選ばずに橋梁点検の基礎を学習可能な **e-Learning** システムを開発した。これらのシステムを用い、今後も続いていくと思われる我が国の開発途上国に対する橋梁維持管理の技術協力プロジェクトにおける人材育成と技術の定着を図るための手法について提言を行う。

目 次

第1章	はじめに	1
1.1	研究の背景	1
1.2	研究の目的	3
1.3	本論文の構成	4
第2章	我が国の開発途上国に対する橋梁維持管理に係る技術協力の現状分析	8
2.1	我が国の支援による橋梁維持管理に係る技術協力プロジェクト	8
2.2	開発途上国における橋梁維持管理の課題	15
第3章	我が国の地方自治体における橋梁維持管理の現状と課題	30
3.1	我が国の橋梁維持管理の現状	30
3.2	既往の研究	31
3.3	地方自治体の取り組み状況	33
3.4	まとめ	41
第4章	開発途上国における橋梁維持管理の実践	46
4.1	はじめに	46
4.2	カンボジアの道路・橋梁の状況	46
4.3	開発途上国におけるメンテナンスサイクル	49
4.4	橋梁データ収集システムと橋梁データベース整備	52
4.5	システム導入の成果と課題	66
4.6	橋梁データ収集システムの改良とマダガスカル国での実践	72
第5章	橋梁点検基礎の学習システムの開発	89
5.1	はじめに	89

5.2 橋梁点検基礎の学習システム	90
5.3 ケニアでの実践を通じて見えた効果と課題	103
第 6 章 橋梁維持管理に係る技術協力プロジェクトへの 提言	108
6.1 はじめに	108
6.2 橋梁維持管理に係る技術協力プロジェクトへの提言	108
第 7 章 まとめ.....	116
7.1 橋梁データ収集システム	116
7.2 橋梁点検基礎の学習システム	117
7.3 今後の JICA 技術協力プロジェクトに対する提言と課題	118

謝辞

第1章 はじめに

1.1 研究の背景

我が国の建設業界において、社会インフラ施設の維持管理の重要性が指摘されるようになって久しい。国土交通省によれば、我が国には約 70 万橋の道路橋（橋長 2m 以上）及び約 1 万本の道路トンネルが存在するとされているが、その多くは高度経済成長期に建設されたものであり、2023 年には 6 割以上の橋梁、4 割以上のトンネルが建設後 50 年以上経過するとされており¹⁾、急速に老朽化を迎える。

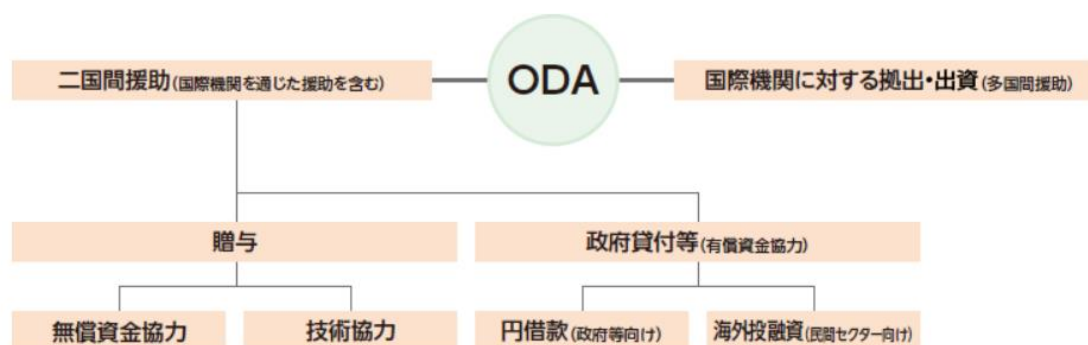
このような社会的状況に対応するため、国土交通省や土木研究所等の研究機関、地方公共団体、大学や高等専門学校等の教育機関、民間企業等において橋梁の維持管理に関する研究や関連技術の開発が行われている。2012 年に起こった笹子トンネル天井板落下事故を契機に、これらの道路構造物の維持管理に関する社会的関心も高まり、国内において橋梁をはじめとする道路構造物の維持管理に関する議論も活発に行われるようになってきている。

国土交通省は 2013 年に社会資本メンテナンス元年を掲げ、既存の社会インフラが長期の未来にわたってその便益を発揮することを確保していくために将来を見越して戦略的かつ計画的な社会インフラのメンテナンスを実施している。社会インフラの被害もメディアに大きく取り上げられるようになり、更に近年は Facebook や Twitter 等に代表される SNS（Social Networking Service）の社会全体への普及により、一般市民からの社会インフラの損傷・被害が広く報告されるようになり、社会インフラの維持管理は我が国の社会的問題としても確実に認識されてきている。

一方、著者が従事する開発途上国においては、社会は経済成長の真っ只中もしくはこれから本格的な高度経済成長を迎える段階にある。我が国もそうであったように、経済成長及び人口増加が右肩上がりの社会状況下においては社会インフラ施設の新規（量的）整備のニーズが圧倒的に高く、また優先される状況にあり、既存インフラ施設の維持管理は十分に実施されていない状況にある。

然しながら、我が国の独立行政法人国際協力機構（Japan International Cooperation Agency、以下 JICA）をはじめ、各国際援助機関の支援により徐々にではあるが維持管理への関心も高まりつつある²⁾。

これまで我が国が高度経済成長期から現在まで経てきた状況を鑑みると、開発途上国においても将来的に維持管理の時代が来ることは必至であることから、我が国は政府開発援助の一環として、JICA が主体となり、その重要性を早期に認識してもらい、将来の維持管理時代に備えることが可能となるよう、世界各地で道路・橋梁の維持管理の能力向上・強化を目的とした技術協力プロジェクトを実施している。また、2015 年に閣議決定された開発協力大綱³⁾においては、「日本の持つ強みを活かした協力」を謳っている。この中で、民間部門を始め様々な主体からの提案を積極的に取り入れるとともに、大学・研究機関等と連携し教育・学術研究の知見を活用すること、及びインフラ建設等のハード面の支援のみならず、その運営管理等のシステム、人づくりや制度づくり等のソフト面の支援を総合的に行うことにより、日本の経験と知見をより積極的に活用していくことが述べられている。このソフト面の支援は、図 1-1 に示す我が国の開発協力の 4 つの形態のうち、主として技術協力が担うものである。



出典：外務省 web ページ⁴⁾

図1-1 我が国の開発協力の形態

故に、国内において開発した技術を世界へ向けて展開する素地は整っている状況にあると言えるものの、これまでの技術協力プロジェクトにおいては、それらの技術が技術協力プロジェクト終了後に確実に現地に根付いているとはいえない状況にある事例も報告されている^{5)、6)}。代表的な事例をいくつか以下に

示す．

- 技術協力プロジェクトにて供与した機材が活用されていない
- プロジェクト内では補修事例の紹介に留まり，具体的な補修工法技術移転が無く，補修が実施されていない
- プロジェクトで作成したマニュアル類（橋梁点検マニュアル，橋梁補修マニュアル等）は本省内では認知されているものの，実際に点検の実務を担う地方事務所においては存在が知られていない

これらをまとめると技術協力プロジェクト終了後の継続性の問題が課題であるといえる．こういった状況にあるにも関わらず，開発途上国の橋梁維持管理に係る課題の要因分析や技術協力のあり方を体系的に考察するような研究は行われておらず，過去 10 年以上において同様の指摘が繰り返されているというのが現状である．

1.2 研究の目的

著者は，これまでにキルギス共和国（以下，キルギス），カンボジア王国（以下，カンボジア），ケニア共和国（以下，ケニア），ミャンマー連邦共和国（以下，ミャンマー）において，JICA が実施した橋梁維持管理に係る技術協力プロジェクトに JICA 専門家として従事し，開発途上国における橋梁維持管理の現状及び課題を目の当たりにしてきた．そして，これらの活動を通じて，特に，「人材の不足」，「技術力の不足（点検資機材の未整備を含む）」，「予算の不足」，「情報の未整備」といった“ヒト・モノ・カネ・情報”が不足している状況下における開発途上国への橋梁維持管理に係る技術支援のあり方を考えてきた．

本研究は，開発途上国における橋梁維持管理を研究対象とし，開発途上国と同様の課題を抱える我が国の地方自治体との比較を通じて，開発途上国への橋梁維持管理技術の技術協力を効率的かつ効果的に実施する方法を考察する．更に，維持管理サイクルとして継続的に循環するための手法を開発途上国での実践を通して得られた実践知を基に提案することを目的としたものである．

1.3 本論文の構成

本研究のフローは、まず過去の我が国が支援してきた開発途上国における橋梁維持管理に係る技術協力プロジェクトにおいて調査・報告されている課題を整理する。更に、我が国の地方自治体の橋梁維持管理に係る体制、手法等を調査・分析し、課題に対するアプローチ事例について考察する。一方で、これまで報告されてきた、また筆者が実務を通じて経験した開発途上国における橋梁維持管理の現状と課題を比較し、開発途上国と我が国の地方自治体の類似性を示すとともに、筆者が実際の技術協力プロジェクトにおいて導入し、実装した橋梁データ収集システムの成果を述べ、今後の橋梁維持管理に係る技術協力プロジェクトにおいて、筆者らの開発した橋梁データ収集システムを活用した橋梁データベースの構築から維持管理計画の策定までの技術移転手法を提案する。

本論文の構成を図 1-2 に示す。まず、第 2 章において既往の調査及び研究により報告されている開発途上国における橋梁維持管理の現状から、全般的な課題を述べる。具体的には、JICA がこれまで（2007 年から 2019 年）に橋梁維持管理に係る技術協力プロジェクトを実施した開発途上国（12 カ国）の事例⁶⁾を基に、課題及び課題解決へのアプローチについて言及し、本研究の位置づけを示す。

第 3 章では、我が国の地方自治体の事例として長崎県及び新潟市を挙げ、それぞれの課題と課題解決へのアプローチ手法をまとめる。そして、開発途上国と我が国の地方自治体の抱える課題の類似性及び開発途上国に導入可能と思われる技術を示す。

第 4 章では、筆者の従事したキルギス及びカンボジアにおける道路、橋梁の維持管理状況を述べ、プロジェクトにおいて実践した橋梁点検、記録、維持管理計画策定の手法を述べる。具体的には、筆者らが開発し、カンボジアに導入した橋梁データ収集システムの仕様と機能を説明し、本システムを導入した成果と導入したことで見つかった課題を述べる。そして、その課題に対して橋梁データ収集システムの改良を行い、マダガスカルにて実践した結果を述べる。

第 5 章では、筆者が開発途上国でのプロジェクトを通じて感じた橋梁点検の基礎的な知識が不足しているという問題に対して開発した、e-Learning で受講

可能な学習システムについて述べる。

第6章では、開発途上国に対する橋梁維持管理サイクルの実現のための課題と提言として、第2章で述べた開発途上国の橋梁維持管理に係る全般的な課題と第4章で述べたカンボジア及びマダガスカルでの実践結果から、筆者らが開発した橋梁データ収集システムの有効性を述べると共に、第5章で述べた橋梁点検に係る学習システムの実践から得た知見を踏まえて、JICAの橋梁維持管理に係る技術協力プロジェクトへの提言を行う。

第7章では、本論文のまとめとして、開発途上国に対する橋梁維持管理に係る技術移転のあり方を提案する。

なお、本研究では複数の開発途上国を実践のフィールドとしている。国毎の教育レベル、技術レベル、橋梁維持管理の習熟度等は異なることは承知しているものの、本論文においては各国の違いには言及せず、開発途上国として一括りとして論ずることとする。

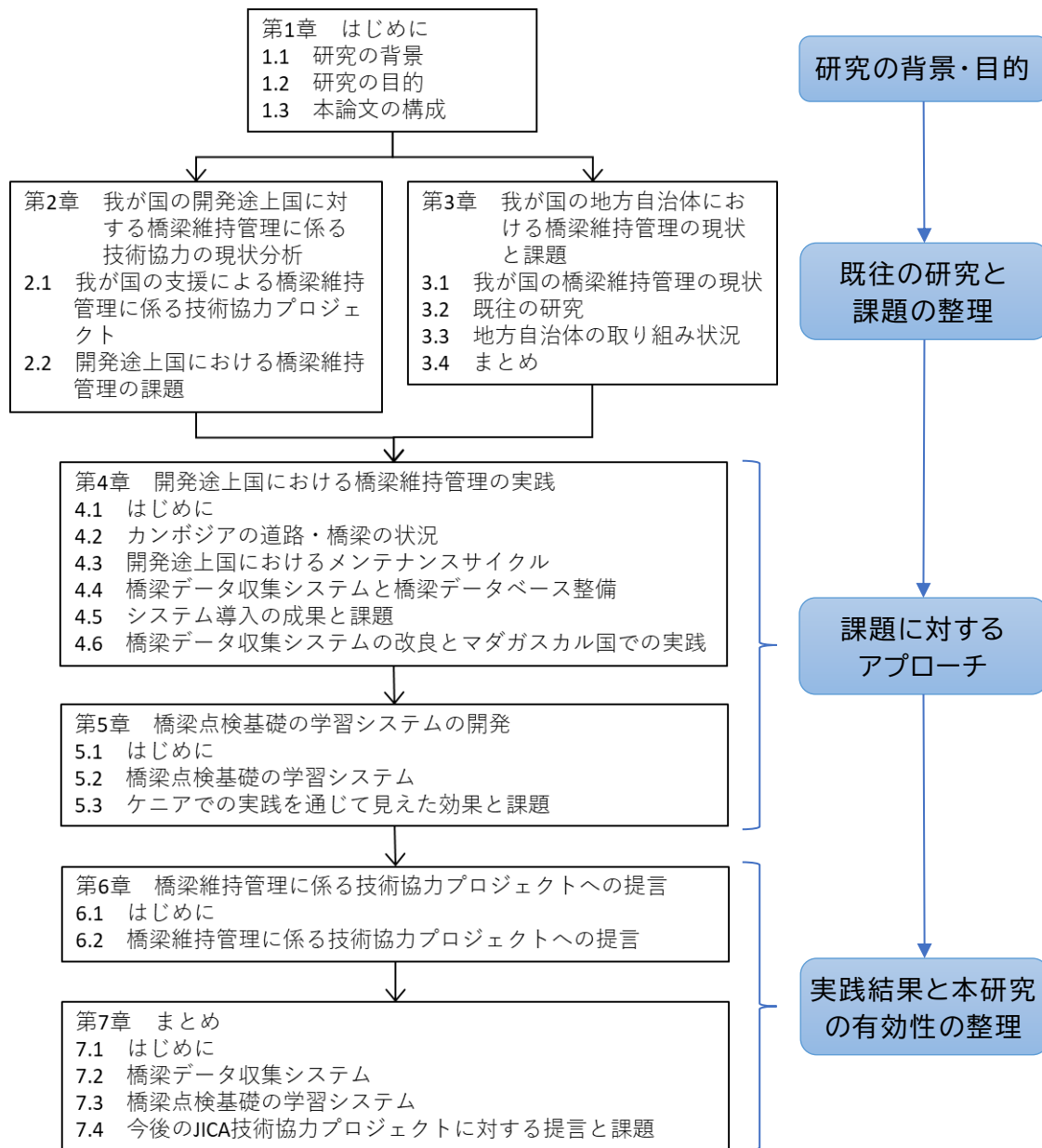


図1-2 本論文の構成

【参考文献】

- 1) 国土交通省社会資本整備審議会道路分科会：道路の老朽化対策の本格実施に関する提言，平成 26 年 4 月
- 2) 中村明：開発途上国におけるインフラ開発支援の現状と課題，コンクリート工学，Vol.55, No.5, pp. 414-418, 2017.5
- 3) 外務省：開発協力大綱について，p.8,
<https://www.mofa.go.jp/mofaj/files/000067688.pdf>, (2022 年 3 月 16 日現在)
- 4) 外務省：開発協力の形態，
https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/about/oda/oda_keitai.html, (2022 年 3 月 16 日現在)
- 5) 独立行政法人国際協力機構，株式会社三菱総合研究所：道路・橋梁維持管理に関する情報収集・確認調査最終報告書，平成 25 年 1 月
- 6) 独立行政法人国際協力機構，株式会社建設技研インターナショナル：開発途上国における橋梁維持管理にかかる支援に関する調査（プロジェクト研究）最終報告書，平成 31 年 2 月

第2章 我が国の開発途上国に対する橋梁維持管理に係る技術協力の現状分析

2.1 我が国の支援による橋梁維持管理に係る技術協力プロジェクト

(1) 技術協力プロジェクトとは

まずはじめに、技術協力プロジェクトとはどういうものを簡単に説明する。

技術協力プロジェクトは、その開始は 1957 年まで遡り「プロジェクト方式技術協力」として開始された。開発途上国の人づくりを中心とする事業目的の達成のため、「専門家の派遣」「研修員の受入れ」「機材の供与」の 3 つを日本側から投入し、1 つの協力事業（プロジェクト）として有機的に組み合わせながら一定期間実施される事業であった。しかし、21 世紀に入り、開発途上国のニーズが従来にも増して多様化し、我が国はこれまで以上に限られた資源を有効に活用しつつ、成果重視の技術協力を行う必要が出てきたことから、2002 年より専門家派遣、研修員受入れ、機材供与等の投入要素の組合せや投入規模、協力期間を事業の目標・成果に応じて柔軟に選択できる技術協力プロジェクトとして再構築され、現在に至っている¹⁾。

JICA の Web ページ²⁾においては、「技術協力プロジェクトは、JICA の専門家の派遣、研修員の受入れ、機材の供与という 3 つの協力手段（協力ツール）を組み合わせ、一つのプロジェクトとして一定の期間に実施される事業です。」と定義されている。対象とする分野は、本論文の対象としている橋梁維持管理をはじめ、都市・都市地域開発、運輸交通、情報通信技術分野を支援する「経済基盤開発分野」から、法・司法制度や行財政制度といった国家・社会の基本的な仕組みの構築を支援する「公共政策分野」、教育、社会保障、保健医療を支援する「人間開発分野」、自然環境保全、環境管理（公害対策）、水資源・防災を軸に幅広い地球環境問題を支援する「地球環境分野」、農業・農村開発、水産に関する課題を支援する「農村開発分野」、民間センター開発、資源・省エネルギーといった課題を扱う「産業開発分野」と多岐にわたる¹⁾。

(2) 道路・橋梁分野の技術協力プロジェクト

筆者の調査によると、我が国の支援による道路・橋梁分野の技術協力プロジェクトは、道路建設に係るもの³⁾、施工技術・品質管理に係るもの⁴⁾、建設機材の維持管理に係るもの⁵⁾、道路・橋梁の維持管理に係るものと多岐に渡り、道路・橋梁の計画・設計から施工・品質管理、維持管理に至るまで被援助国の課題に合わせた支援がなされているが、プロジェクト数としては維持管理に係るものが圧倒的に多い。

JICA の職員であった西宮ら⁶⁾は、2000 年以降に JICA で実施した道路・橋梁分野の維持管理に係る技術協力プロジェクトの内、アジア 4 カ国（フィリピン、キルギス、東ティモール、アフガニスタン）、アフリカ 2 カ国（ケニア、タンザニア）、中南米 3 カ国（コスタリカ、チリ、ボリビア）の計 9 カ国（10 プロジェクト）について国別の道路・橋梁の維持管理の状況と我が国による支援内容をレビューし、情報・課題・教訓等の抽出とそれらの体系的な整理を行い、その後の維持管理に係る技術協力において取るべき方向性と留意点に関する提言を行っている。この中で開発途上国の課題として、予算、技術、制度、実施方法、組織及び効率等の問題、維持管理の重要性への認識の問題、更に過積載や経済発展に伴う計画を超える交通量等の問題といった社会経済面からの問題を指摘している。

道路・橋梁維持管理は点検計画、点検、評価・判定、維持・修繕・改良計画、実際の維持・修繕・改良といった作業手順によるサイクルを形成することで、効果的かつ効率的な維持管理が可能となることが知られている。開発途上国の状況を勘案した西宮ら⁶⁾による道路・橋梁維持管理のサイクルを図 2-1 に示すが、西宮らは開発途上国はまず計画的な点検を行えるようになることが重要であり、その後、維持管理サイクルを取り巻く 6 つの基幹要素（資金、組織・人材、技術力、基準類、データシステム、機材）が維持管理サイクルと共にスパイラルアップすることで維持管理技術の向上に繋がるとしている。

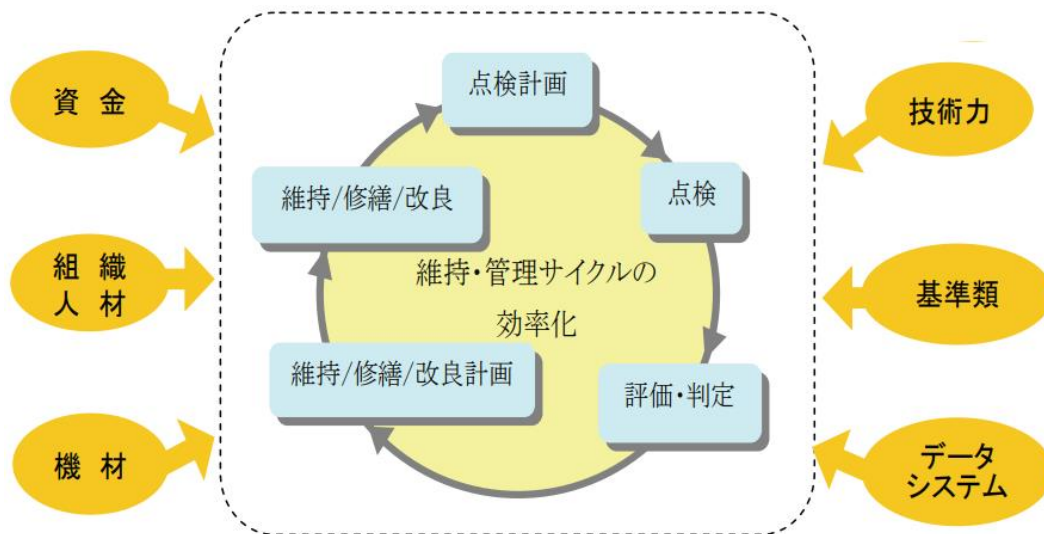


図 2-1 西宮らによる開発途上国の状況を勘案した道路・橋梁維持管理サイクル⁶⁾

(3) 橋梁維持管理(メンテナンス)サイクル

本研究は開発途上国における橋梁維持管理をテーマにしたものであるが、前述したように橋梁維持管理を論じる上で、最も基本的な知識として維持管理サイクルがある。国土交通省は、社会インフラ施設の維持管理サイクルを総称してメンテナンスサイクルという言葉を用いている⁷⁾が、本論文ではこれらを同義として扱うこととする。

図 2-2 及び図 2-3 にそれぞれ建設コンサルタンツ協会及び国土交通省の報告書（もしくは資料）におけるメンテナンスサイクルを示すが、多少の表記の違いはあれど、いずれのサイクル図においても点検、診断、計画、措置、記録といった要素を繰り返し行う業務サイクルのことを指している。

しかし筆者は、既に橋梁維持管理の問題が社会問題として指摘されて久しい我が国においては、これらのメンテナンスサイクルは橋梁維持管理に従事する者らにとっては常識となっているが、これから橋梁維持管理に取り組む開発途上国にとってはどこから始めていけば良いのかが分からないのではないかと考え、開発途上国向けのメンテナンスサイクルを提案している⁸⁾。筆者の提案するメンテナンスサイクルは第 4 章にて詳述する。

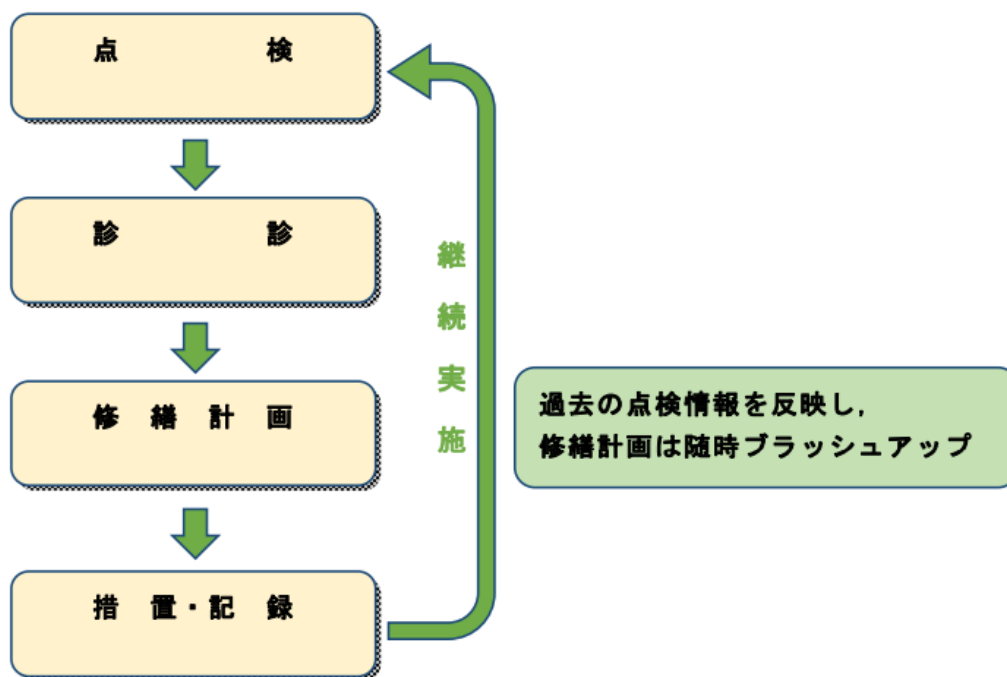


図 2-2 建設コンサルタンツ協会報告書におけるメンテナンスサイクル ⁹⁾

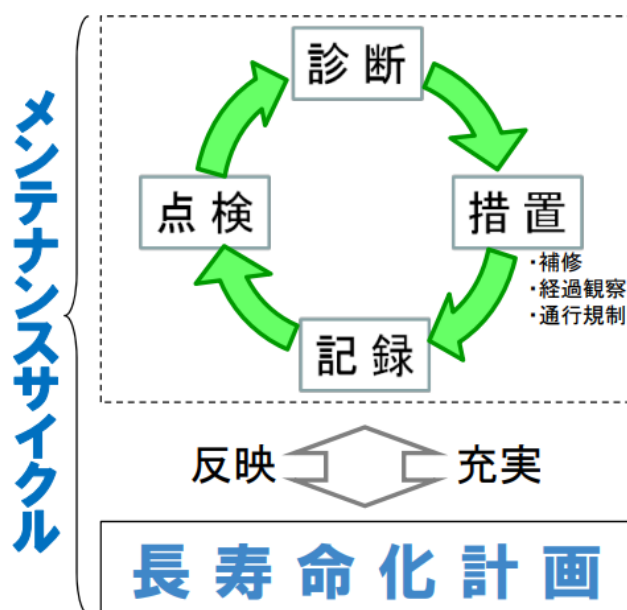


図 2-3 国土交通省資料におけるメンテナンスサイクル ⁷⁾

近年は、橋梁をはじめとする社会インフラ施設を国民の資産（アセット）として位置づけ、計画的かつ戦略的にアセットの価値を維持し、高めるというアセットマネジメントの考え方が広まってきている。アセットマネジメントとは

「アセットからの価値を実現化する組織の調整された活動」と定義されており、組織がその目標を達成するために、アセットからより大きな価値を生み出せるよう、組織の様々な活動を調整することである¹⁰⁾。

図 2-4 に JICA 報告書¹¹⁾におけるアセットマネジメントサイクルを示すが、維持管理に対する PDCA は橋梁管理者の担当部署（例えば維持管理課）のサイクルであり、アセットマネジメントに対する PDCA は橋梁管理者（例えば、道路局）のサイクルを示している。このように社会インフラの維持管理には、管理者内の様々な組織の活動が関連してくる。

つまり“橋梁維持管理（メンテナンス）サイクル”とは、狭義では橋梁を安全に運用するために点検、診断、計画、措置、記録といった要素を繰り返し実施することであり（循環）、広義では橋梁管理者が限られた予算で効率的に維持管理を行うために狭義の維持管理サイクルを循環させつつ、計画的かつ戦略的に橋梁の価値（機能）を維持・向上させるために、組織内（橋梁管理者）の様々な活動を調整することであると言える。

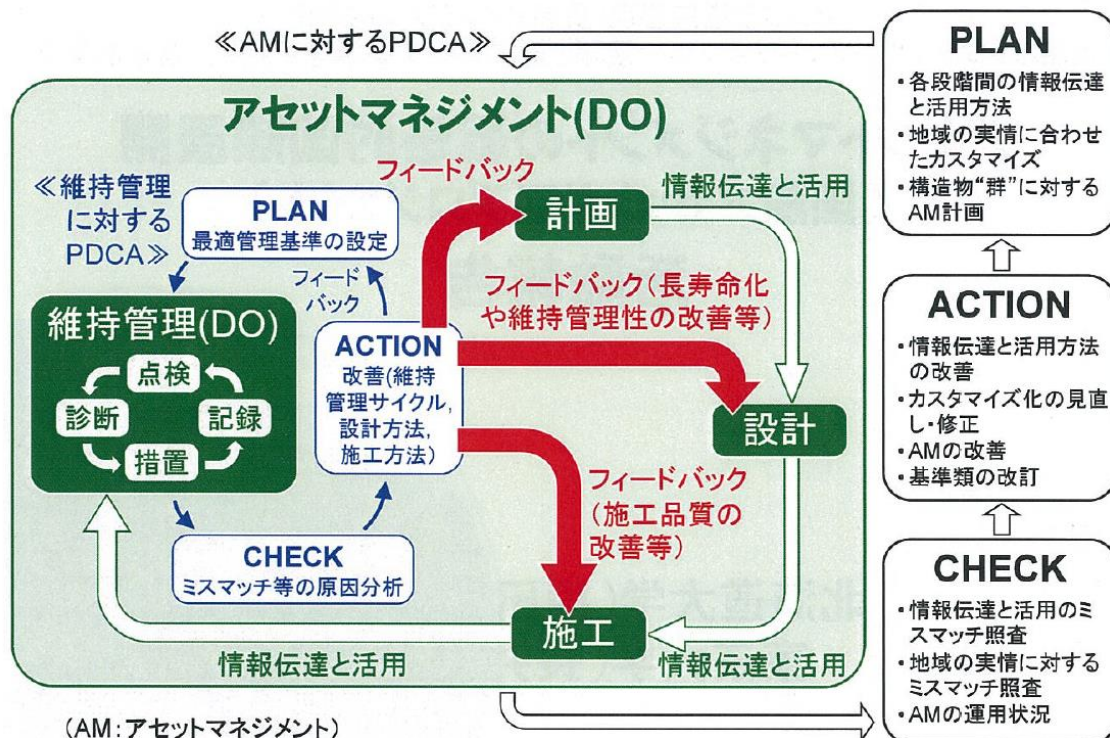


図 2-4 JICA 報告書におけるアセットマネジメントサイクル¹¹⁾

(4) 我が国が実施した橋梁維持管理に係る技術協力プロジェクト

JICA はこれまでに多くの開発途上国に対して橋梁維持管理に係る技術協力プロジェクトを実施し、橋梁維持管理技術の支援を行ってきた¹¹⁾。筆者の調査による 2007 年以降に JICA が実施した（現在実施中を含む）橋梁維持管理に係る技術協力プロジェクトの一覧（2022 年 8 月末現在）を次頁表 2-1 に示すが、2007 年以降において、アジア及びアフリカ地域を中心に 19 カ国において橋梁維持管理に係る技術協力を実施している。技術協力プロジェクトの対象としては、道路と橋梁の維持管理に係るもの、橋梁とトンネルの維持管理に係るもの、橋梁維持管理のみのもの、橋梁の施工監理から維持管理までを対象とするもの等、橋梁維持管理への支援のみでなく、道路維持管理や橋梁施工監理といった社会インフラの管理者にとって橋梁維持管理と深く関連する技術支援を加えたプロジェクトも複数件見られ、各国の課題を踏まえて、技術協力プロジェクトが形成されていると思われる。

表 2-1 JICA による橋梁維持管理に係る技術協力プロジェクト一覧

No.	国名	実施年 (期間)	プロジェクト名
アジア地域			
1	フィリピン	2007 - 2019 (36 カ月×3)	道路・橋梁の建設・維持に係わる品質管理 向上プロジェクト (フェーズ 1~3)
2	タイ	2011 - 2013 (22 カ月)	地方における橋梁基本計画作成・橋梁維 持管理能力プロジェクト
3	モンゴル	2013 - 2015 (29 カ月)	橋梁維持管理能力向上プロジェクト
4	キルギス	2013 - 2015 (32 カ月)	橋梁・トンネル維持管理能力向上プロジ ェクト
5	スリランカ	2015 - 2017 (37 カ月)	橋梁維持管理能力向上プロジェクト
6	バングラデシュ	2015 - 2017 (39 カ月)	橋梁維持管理プロジェクト
7	カンボジア	2015 - 2018 (37 カ月)	道路・橋梁の維持管理能力強化プロジェ クト
8	パキスタン	2016 - 2018 (34 カ月)	橋梁維持管理プロジェクト
9	ブータン	2016 - 2020 (45 カ月)	橋梁施工監理及び維持管理能力向上プロ ジェクト
10	ラオス	2020 - 2023 (36 カ月)	橋梁維持管理能力強化プロジェクト
11	ミャンマー	2020 - 2022 (30 カ月)	道路橋梁維持管理能力強化プロジェクト
12	タジキスタン	2021 - 2024 (44 カ月)	橋梁維持管理能力向上プロジェクト
アフリカ地域			
13	エチオピア	2007 - 2012 (67 カ月)	橋梁維持管理能力向上プロジェクト
14	エジプト	2012 - 2015 (40 カ月)	橋梁維持管理能力向上プロジェクト
15	ザンビア	2015 - 2024 (計 84 カ月)	橋梁維持管理能力向上プロジェクト (フ ェーズ 1~2)
16	ケニア	2020 - 2025 (60 カ月)	橋梁維持管理能力強化プロジェクト
17	マダガスカル	2021 - 2024 (45 カ月)	道路・橋梁維持管理能力強化プロジェク ト
18	モザンビーク	2021 - 2024 (42 カ月)	橋梁維持管理能力強化プロジェクト
中南米地域			
19	ボリビア	2009 - 2012 (44 カ月)	道路防災及び橋梁維持管理キャパシテ ィ・ディベロップメントプロジェクト

2.2 開発途上国における橋梁維持管理の課題

プロジェクトとは一言でいうと「目的（ゴール）」と「期間」が決まっている事業である¹²⁾。JICAの技術協力プロジェクトはPCM(Project Cycle Management)手法によって計画、作成されたPDM(Project Design Matrix)に従って運営される。従って、各プロジェクトのPDMを調査することによって、各プロジェクトの目的と期間を知ることが出来る。JICA支援による橋梁維持管理に係る技術協力プロジェクトは、2010年代は概ね3年程度であったが、2020年以降はケニア国橋梁維持管理能力強化プロジェクトやタジキスタン国橋梁維持管理能力向上プロジェクトのように、プロジェクト期間が3年半から5年といった長期間に及ぶプロジェクトも出てきている。また、表2-1に示すプロジェクトからタイとブータンを除く17カ国(20プロジェクト)の目標(上位目標(Overall Goal)及びプロジェクト目標(Project Purpose))と成果(Outcome)を表2-2に示すが、ほぼ全てにおいてプロジェクト目標は“組織の橋梁維持管理に係る能力の強化・改善”となっている。また、表2-2から各プロジェクトは3~5つの成果を目指していることがわかるが、以下に示す橋梁維持管理に係るキーワードを抽出し、どの部分に対し支援がされているのかを分析したものを表2-3に示す。支援がされているということは、その国において課題となっていると考えられる。

【橋梁維持管理に係るキーワード】

- 点検/診断
- 補修
- 維持管理計画・政策
- Database/BMS
- 維持管理サイクル
- 組織体制・制度の強化

また、プロジェクトの運営手法として、フィリピン、スリランカ、パキスタン等、プロジェクトの対象とするエリアを絞ったプロジェクトも見られたため、表2-3の右列に併せて示した。プロジェクトの対象エリアを限定する理由としては、筆者の経験から開発途上国の地方部は維持管理を行う上での基礎的な知識を持つ橋梁技術者がおらず技術移転の対象がいないこと、地方部の職員は英

語でのコミュニケーションが困難であること、当該国の交通網の整備状況等により国内移動が困難であること、地域的な治安の問題等が考えられ、一部は JICA 報告書¹¹⁾においても述べられている。

これらの対象エリアを限定したプロジェクトは、プロジェクトにおいては JICA 専門家から対象エリアに対して集中的に技術移転を図り、その後（プロジェクトの後半もしくはプロジェクト終了後）に技術移転を受けた対象エリアの現地実施機関の職員が中心となって全国的に展開する手法を取っている。

他方、筆者が直接従事したキルギスやカンボジアは、プロジェクトの対象地域は全国であったものの、上述した地方部に橋梁技術者がいないことと英語でのコミュニケーションが困難（キルギスはキルギス語もしくはロシア語、カンボジアはクメール語）であったことから、プロジェクトの前半は現地実施機関の職員から橋梁工学の基礎知識を有し、英語でのコミュニケーションが可能な職員を選抜し、JICA 専門家からの技術移転を行い、マスタートレーナー（以降、MT）として JICA 専門家チームが認定をした上で、プロジェクトの後半ではその MT が地方部の維持管理事務所へ現地の言語にて技術移転を実施した。

また、地域的な特徴として、アフリカ地域（エチオピア、ザンビア）は外部委託型の維持管理手法をとっていることが PDM からわかる。筆者が現在従事しているケニアにおいても道路維持管理は外部委託型であり、橋梁維持管理も道路維持管理と同様の外部委託型での実施を前提にしていることから、一言で橋梁維持管理といっても、国や地域によってその手法が異なることがわかる。橋梁点検・診断や補修といった現場における基本的な技術は全世界共通であると思われるが、道路管理者（橋梁管理者）として、補修・補強工事を行う際の調達業務は上述のように国や地域によって異なるため、当該国の制度や慣習等を考慮したアプローチが求められる。

表 2-2 各技術協力プロジェクトの目的と成果

国名	目的（Overall Goal & Project Purpose）		成果（Outcome）
フィリピン (フェーズ 1) ¹³⁾	Overall	DPWH 技術者全体の道路・橋梁の施工管理能力及び点検・補修技術が向上する	1. 研修を受講した技術者の、道路施工管理及び道路・橋梁の点検・補修技術が向上する 2. 道路施工管理及び道路・橋梁維持管理に係る技術マニュアルが整備される
	Project	DPWH モデル 3 地域事務所（コルディレラ行政リージョン、リージョン 7、リージョン 11）管内の技術者の、実際の業務における道路・橋梁の施工管理能力及び点検・補修技術が向上する	
フィリピン (フェーズ 2) ¹⁴⁾	Overall	道路・橋梁の維持管理に係る DPWH 全体の能力が向上する	1. 道路・橋梁の維持管理サイクルが改善する 2. 道路斜面維持管理に係るモデルリージョンオフィス技術者の能力が向上する 3. 橋梁維持管理に係るモデルリージョンオフィス技術者の能力が向上する
	Project	DPWH モデル 3 リージョンオフィス及びディストリクト・エンジニアリングオフィスの道路・橋梁の維持管理に係る能力が向上する	
フィリピン (フェーズ 3) ¹⁵⁾	Overall	DPWH 管轄の道路・橋梁の状況が改善する	1. 道路維持管理に係る全 RO 及び DEO 技術者の能力が向上する 2. 橋梁維持管理に係る全 RO 及び DEO 技術者の能力が向上する 3. 特殊橋梁維持管理に係る対象地域事務所（II,III,VII,VIII,XIII）及び DEO 技術者の能力が向上する 4. 道路・橋梁維持管理に活用するためのデータベースシ
	Project	DPWH 全地域において、道路・橋梁の維持管理業務が改善する	

国名	目的（Overall Goal & Project Purpose）		成果（Outcome）
			システムが整備される
モンゴル ¹⁶⁾	Overall	Maintenance status of bridges is improved in Mongolia.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Concept of "Bridges management cycle" is widely understood, and guidelines and/or manuals regarding inspection, evaluation, priority assessment and selection of measures are developed. 2. Database system to record information of bridge is developed in nation-wide and UBC. 3. National policy on maintenance and management are developed. 4. Staff members related to bridge / structure maintenance and management in MRT and UBC are trained, and trainings are conducted by Mongolian Side
	Project	MRT's and UBC's capacity for planning skills of bridge maintenance is improved.	
キルギス ¹⁷⁾	Overall	Maintenance status of bridges and tunnels is improved in Kyrgyz.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Demarcation of MOTC HQ, RMD, PLUADs/UADs and DEPs is clearly identified with necessary staffing for the maintenance management of bridges and tunnels. 2. A database system to record information on bridges and tunnels is developed and ready for maintenance planning. 3. Capacity of DEPs for routine maintenance and capacity of PLUADs/UADs for inspection and condition rating of bridges and tunnels are enhanced. 4. Capacity of MOTC's HQ, RMD, PLUADs/UADs and DEPs for preparing maintenance management plans on
	Project	MOTC's capacity is improved for maintenance cost estimation of bridges and tunnels on the basis of inspection results.	

国名	目的（Overall Goal & Project Purpose）		成果（Outcome）
			bridges and tunnels is enhanced.
スリランカ ¹⁸⁾	Overall	スリランカ全体における RDA が管理する橋梁の維持管理が橋梁維持管理サイクルに則り、改善する	1. 橋梁維持管理政策／計画が作成される 2. RDA 本部及び地方事務所（PD, CE, EE）の橋梁維持管理についての行政組織が再構築される 3. 橋梁点検、診断、補修マニュアル及び橋梁維持管理ガイドラインが改訂される 4. 橋梁マネジメントシステム（BMS）が構築される 5. セミナーや OJT を通じて、RDA 本部及び地方事務所（モデル州）職員の技術的な基礎知識が深まる
	Project	RDA の橋梁維持管理に係わる能力が向上する	
バングラデシュ ¹⁹⁾	Overall	バングラデシュ全土における RHD (Roads and Highways Department, Road Transport and Highways Division, Ministry of Road Transport and Bridges)の橋梁維持管理業務が改善される	1. 橋梁維持管理制度が改善される 2. 橋梁点検／評価マニュアル及び橋梁補修／補強マニュアルが作成される 3. 橋梁維持管理システムが開発される 4. 橋梁維持管理に必要な知識を RHD 職員が習得する
	Project	RHD の橋梁維持管理能力が向上する	
カンボジア ²⁰⁾	Overall	MPWT によって道路と橋梁が適切に管理される	1. RID の橋梁の維持管理サイクルが整備される 2. RID の道路と橋梁の点検能力が強化される 3. RID の道路と橋梁の補修能力が強化される 4. 道路と橋梁の維持管理サイクルが DPWT と関連組織に広められる
	Project	道路・橋梁の維持管理に係る RID の業務管理能力が強化される	
パキスタン ²¹⁾	Overall	モデルエリアの国道における橋梁点検・維持管理状況が改善する	1. 橋梁の点検や補修に必要なマニュアル、データベース及び BMS が整備される 2. BMS 研修後にモデルエリアの橋梁／カルバート点検
	Project	モデルエリアの国道における最新の橋梁点	

国名	目的（Overall Goal & Project Purpose）		成果（Outcome）
		検の結果に基づき、橋梁維持管理の年度計画が準備される	が実施される 3. モデルエリアの橋梁データが本部の BMU（Bridge Management Unit）で活用が可能となり、データに基づき橋梁維持管理計画が立案される
ラオス ²²⁾	Overall	パイロット県（ビエンチャン県、サバナケット県、チャンパサック県）の橋梁が適切に維持管理される	1. DOR 及びパイロット県 DPWT の橋梁点検・診断に係る能力が向上する 2. DOR 及びパイロット県 DPWT の橋梁補修・維持管理に係る能力が向上する 3. DOR 及びパイロット県 DPWT の BMS の運用管理能力が向上する 4. DOR 及びパイロット県 DPWT の橋梁維持管理計画の策定能力が向上する
	Project	DOR 及びパイロット県 DPWT の橋梁維持管理能力が向上する	
ミャンマー ²³⁾	Overall	道路と橋梁の維持管理サイクルが発展する	1. ミャンマーに適した橋梁の点検・評価手法が確立される 2. ミャンマーに適した道路の点検・補修設計手法が確立される 3. 道路・橋梁の予算計画を含む年間維持管理計画が策定される 4. 道路・橋梁の運営維持管理に係る組織体制が強化される
	Project	建設省の技術者の道路・橋梁の維持管理能力が向上する	
タジキスタン ²⁴⁾	Overall	国際道路・国道上の橋梁が計画的に維持管理される	1. MOT、DITI 及び SETM・SEHM の橋梁維持管理体制が強化される 2. MOT、DITI、SETM・SEHM 及び TTU の橋梁インベ
	Project	MOT、DITI、SETM・SEHM 及び TTU の橋	

国名	目的（Overall Goal & Project Purpose）		成果（Outcome）
		梁維持管理能力が向上する	ントリー作成、点検・診断、維持管理、補修能力が向上する 3. MOT 及びモデル SETM の橋梁維持管理計画策定能力が向上する 4. 橋梁維持管理に係る人材育成体制が強化される
エチオピア ²⁵⁾	Overall	橋梁の適切な維持・補修が実施され、エチオピアの道路ネットワークのサービスレベル改善に貢献する	1. 「橋梁維持管理サイクル」の概念が広く理解され、点検、評価、優先順位づけ、対策選定技術が向上する 2. 橋梁維持管理におけるエチオピア道路公社-橋梁管理システム（Ethiopian Roads Authority - Bridge Management System : ERA-BMS）が効果的に利用される 3. 橋梁補修の発注と監督にかかわる能力が改善する 4. 橋梁補修の技術とスキルが強化される
	Project	エチオピアの橋梁維持管理能力が改善する	
エジプト ²⁶⁾	Overall	エジプトにおいて橋梁維持管理が適切に実施される	1. GARBLT における橋梁維持管理サイクルが改善する 2. GARBLT のエンジニアの橋梁点検能力が向上する 3. GARBLT のエンジニアの橋梁補修能力が向上する 4. GARBLT において橋梁維持管理システムが整備される
	Project	GARBLT の橋梁維持管理能力が向上する	
ザンビア (フェーズ 1) ²⁷⁾	Overall	橋梁の維持管理が RDA により定期的に実施される	1. RDA 職員が日常維持管理の業務サイクルを理解し、同業務の実施監理が出来る 2. RDA 職員が橋梁点検データを橋梁補修あるいは架け替えのための調査や計画策定等に活用できる
	Project	橋梁維持管理に係る計画立案から業務管理に至るまでの RDA の能力が強化される	

国名	目的（Overall Goal & Project Purpose）		成果（Outcome）
			3. RDA 職員の橋梁補修技術に係る知識が強化され、点検結果を用いてパイロット橋梁の補修に係る計画立案ができる 4. 橋梁の日常維持管理・補修の業務外部委託に係る RDA の契約監理能力が強化される
ザンビア (フェーズ 2) ²⁸⁾	Overall	RDA 管轄の橋梁の状態が改善する	1. RDA 本部とリージョン事務所において、橋梁日常維持管理に係る技術者の能力が向上する 2. RDA 本部とリージョン事務所において、橋梁補修に係る技術者の能力が向上する 3. RDA 本部とリージョン事務所において、橋梁点検に係る技術者の能力が向上する 4. ザンビア大学に、RDA、NCC 等への持続的な橋梁技術者育成体制が構築される
	Project	RDA 本部とリージョン事務所において、橋梁の維持管理業務が改善する	
ケニア ²⁹⁾	Overall	モンバサ島と南部のリコニ地区を繋ぐ橋梁を建設し、周辺道路改良を行うことにより、交通渋滞緩和及び交通の円滑化を図り、もって域内経済活性化及びケニア・周辺国の経済発展に寄与する	1. KeNHA において、橋梁点検・診断に係る能力が向上する 2. KeNHA において、橋梁補修に係る能力が向上する 3. KeNHA において、橋梁データベースに係る管理能力が向上する 4. 橋梁維持管理の技術者を育成するための持続可能なシステムが構築される 5. 橋梁維持に関する運営予算管理手続が改善される
	Project	KeNHA の橋梁維持管理能力が向上し、円借款によって整備されたあるいは整備予定の橋梁が適切に運営維持管理される基盤ができる	

国名	目的（Overall Goal & Project Purpose）		成果（Outcome）
マダガスカル ³⁰⁾	Overall	マダガスカルの道路・橋梁維持管理サイクルが発展する	1. マダガスカルに適した道路維持管理手法が確立される 2. マダガスカルに適した橋梁点検・診断手法が確立される 3. 道路・橋梁維持管理に係る技術者の育成体制が整う
	Project	MATP 及び AR の道路・橋梁維持管理能力が向上する	
モザンビーク ³¹⁾	Overall	パイロット事業対象地域の橋梁が適切に維持管理される	1. ANE,IP 及びパイロット事業対象地域における ANE 地方事務所の技術者の橋梁点検・診断に係る知識・技能が習得される 2. ANE,IP 及びパイロット事業対象地域における ANE 地方事務所の技術者の橋梁補修・維持管理に係る知識・技能が習得される 3. ANE,IP 及びパイロット事業対象地域における ANE 地方事務所の技術者の BMS 運用管理に関する知識が習得される 4. ANE,IP 及びパイロット事業対象地域における ANE 地方事務所の技術者の橋梁維持管理計画の策定に関する知識が習得される
	Project	道路公社（ANE,IP）及びパイロット事業対象地域における ANE 地方事務所の技術者の橋梁維持管理能力が向上する	
ボリビア ³²⁾	Overall	国道が恒常的に通行可能となる	1. 道路防災室（UPD）の活動方針が確立される 2. 道路防災業務体制が整備される 3. 道路防災に関する技術が向上する 4. 橋梁維持管理業務体制が整備される 5. 橋梁維持管理に関する技術が向上する
	Project	ABC の道路防災及び橋梁維持管理能力が向上する	

表 2-3 橋梁維持管理に係る技術支援の分野と手法の分析

No.	国名及び フェーズ*	点検/ 診断	補修	維持管理 計画・政策	Database/ BMS	維持管理 サイクル	組織体制・ 制度の強化	エリア 限定型
1	フィリピン 1	✓	✓					○
2	フィリピン 2					✓		○
3	フィリピン 3				✓			
4	モンゴル	✓	✓	✓	✓	✓		
5	キルギス	✓		✓	✓		✓	
6	スリランカ	✓	✓	✓	✓		✓	○
7	バングラデシュ	✓	✓		✓		✓	
8	カンボジア	✓	✓			✓	✓	
9	パキスタン	✓	✓	✓	✓			○
10	ラオス	✓	✓	✓	✓			○
11	ミャンマー	✓	✓	✓			✓	
12	タジキスタン	✓	✓	✓	✓		✓	
13	エチオピア	✓	✓	✓	✓	✓		
14	エジプト	✓	✓		✓	✓		
15	ザンビア 1	✓	✓	✓		✓		
16	ザンビア 2					✓	✓	
17	ケニア	✓	✓	✓	✓		✓	
18	マダガスカル	✓	✓			✓	✓	
19	モザンビーク	✓	✓	✓	✓			○
20	ボリビア						✓	
		16	15	11	12	8	10	6

*国名の後の数字はフェーズを示す

以上のことをまとめると、開発途上国における全般的な橋梁維持管理の課題は、

- 橋梁の点検及びその結果を診断する技術が不足している
- 橋梁を補修する技術が十分でない
- 橋梁維持管理に対応する部署がない（明確に定まってない）
- 管理する橋梁の概況（位置、橋種、状態等）が把握されていない
- 従って、計画的な維持管理を行うことができない

であるといえよう。

【参考文献】

- 1) 外務省：政府開発援助（ODA）白書，2010 年度版
- 2) JICA Web ページ：<https://www.jica.go.jp/project/index.html>，（2022 年 6 月 23 日現在）
- 3) 独立行政法人国際協力機構，株式会社オリエンタルコンサルタンツグローバル，国際航業株式会社，東日本高速道路株式会社，国土防災技術株式会社：インド国持続可能な山岳道路開発のための能力向上プロジェクト事業完了報告書，2022 年 2 月，
<https://libopac.jica.go.jp/images/report/12364972.pdf> （2022 年 6 月 23 日現在）
- 4) 独立行政法人国際協力機構，株式会社建設技研インターナショナル，株式会社オリエンタルコンサルタンツグローバル，東日本高速道路株式会社，首都高速道路株式会社，日本工営株式会社，大日本コンサルタント株式会社：ミャンマー国道路橋梁技術能力強化プロジェクト事業完了報告書，令和元年 6 月，
https://openjicareport.jica.go.jp/614/614/614_104_12340386.html （2022 年 6 月 23 日現在）
- 5) 独立行政法人国際協力機構社会基盤・平和構築部：東ティモール民主共和国道路施工技術能力向上プロジェクト終了時合同評価報告書，平成 26 年 8 月，<https://libopac.jica.go.jp/images/report/12263703.pdf> （2022 年 6 月 23 日現在）
- 6) 西宮宣昭，讃井一正，溝田祐造：道路・橋梁維持管理の技術協力の現状と課題，土木学会論文集 F5（土木技術者実践），Vol.67，No.1，pp.78-90，2011，<https://doi.org/10.2208/jscejppce.67.78>
- 7) 国土交通省資料：道路のメンテナンスサイクルの構築に向けて参考資料，<https://www.mlit.go.jp/common/0010000089.pdf> （2022 年 10 月 21 日現在）
- 8) 渡邊正俊，井林康，五艘隆志，皆川勝：開発途上国における橋梁維持管理の課題と橋梁データベース作成システムのカンボジア全国レベルでの導入・実践，土木学会論文集 F5，Vol.77，No.1，pp.70-83，2021.4，

https://doi.org/10.2208/jscejppce.77.1_70

- 9) 一般社団法人建設コンサルタント協会近畿支部：維持管理研究委員会報告書，平成 27 年 2 月
- 10) 一般社団法人日本アセットマネジメント協会 Web ページ：
https://www.ja-am.or.jp/asset_management（2022 年 6 月 23 日現在）
- 11) 独立行政法人国際協力機構，株式会社建設技研インターナショナル：開発途上国における橋梁維持管理にかかる支援に関する調査（プロジェクト研究）最終報告書，平成 31 年 2 月，
https://openjicareport.jica.go.jp/615/615/615_000_12331633.html（2022 年 6 月 23 日現在）
- 12) Project Management Body of Knowledge 7th edition
- 13) <https://www.jica.go.jp/project/philippines/0600935/01/index.html>（2022 年 6 月 23 日現在）
- 14) <https://www.jica.go.jp/project/philippines/005/outline/index.html>（2022 年 6 月 23 日現在）
- 15) <https://www.jica.go.jp/project/philippines/012/outline/index.html>（2022 年 6 月 23 日現在）
- 16) 独立行政法人国際協力機構，株式会社建設技研インターナショナル，中日本高速道路株式会社，株式会社オリエンタルコンサルタンツグローバル：モンゴル国橋梁維持管理能力向上プロジェクト業務完了報告書，平成 27 年 11 月，<https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12247946.pdf>（2022 年 6 月 23 日現在）
- 17) 独立行政法人国際協力機構，株式会社建設技研インターナショナル，中日本高速道路株式会社：キルギス共和国橋梁・トンネル維持管理能力向上プロジェクト業務完了報告書（要約），平成 28 年 1 月，
<https://libopac.jica.go.jp/images/report/12250072.pdf>（2022 年 6 月 23 日現在）
- 18) <https://www.jica.go.jp/project/srilanka/006/outline/index.html>（2022 年 6 月 23 日現在）
- 19) 独立行政法人国際協力機構，株式会社日本構造橋梁研究所，株式会社オ

リエンタルコンサルタンツグローバル，一般財団法人橋梁調査会：バン
グラデシュ国橋梁維持管理プロジェクト事業完了報告書，平成 30 年 10
月，https://openjicareport.jica.go.jp/615/615/615_101_12323507.html

（2022 年 6 月 23 日現在）

- 20) 独立行政法人国際協力機構，株式会社建設技研インターナショナル，阪
神高速道路株式会社：カンボジア国道路・橋梁の維持管理能力強化プロ
ジェクト事業完了報告書（和文要約），平成 30 年 2 月，

<https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12303897.pdf> （2022 年 6 月 23 日現
在）

- 21) 独立行政法人国際協力機構，パシフィックコンサルタンツ株式会社：パ
キスタン国橋梁維持管理プロジェクト事業完了報告書，平成 31 年 4
月，https://openjicareport.jica.go.jp/615/615/615_117_12339842.html

（2022 年 6 月 23 日現在）

- 22) 独立行政法人国際協力機構：事業事前評価表，

https://www2.jica.go.jp/ja/evaluation/pdf/2020_1900277_1_s.pdf （2022 年
6 月 23 日現在）

- 23) 独立行政法人国際協力機構社会基盤・平和構築部運輸交通・情報通信グ
ループ：事業事前評価表，

https://www2.jica.go.jp/ja/evaluation/pdf/2019_1905412_1_s.pdf （2022 年
6 月 23 日現在）

- 24) <https://www.jica.go.jp/project/tajikistan/009/outline/index.html> （2022 年 6
月 23 日現在）

- 25) 独立行政法人国際協力機構エチオピア事務所：エチオピア連邦民主共和
国橋梁維持管理能力向上プロジェクト終了時評価報告書，平成 22 年 8
月

- 26) <https://www.jica.go.jp/project/egypt/003/outline/index.html> （2022 年 6 月
23 日現在）

- 27) <https://www.jica.go.jp/project/zambia/008/outline/index.html> （2022 年 6 月
23 日現在）

- 28) <https://www.jica.go.jp/project/zambia/021/outline/index.html> （2022 年 6 月

23 日現在)

29) <https://www.jica.go.jp/project/kenya/018/outline/index.html> (2022 年 6 月

23 日現在)

30) 独立行政法人国際協力機構：企画競争説明書マダガスカル国道路・橋梁
維持管理能力強化プロジェクト

https://www2.jica.go.jp/ja/announce/pdf/20201111_205565_1_01.pdf (2022
年 6 月 23 日現在)

31) <https://www.jica.go.jp/project/mozambique/014/outline/index.html> (2022 年
6 月 23 日現在)

32) <https://www.jica.go.jp/project/bolivia/002/outline/index.html> (2022 年 6 月
23 日現在)

第3章 我が国の地方自治体における橋梁維持管理の現状と課題

3.1 我が国の橋梁維持管理の現状

我が国においては、橋梁を初めとするインフラ施設の維持管理に視点が当たりはじめてから久しく、国土交通省をはじめ、地方自治体は橋梁の維持管理、長寿命化に向けた各種取り組みを行っている。特に、平成 26（2014）年の道路法改正¹⁾により、国内の全橋梁（橋長 2m 以上）に対して 5 年に 1 度の近接目視点検が義務付けられてからは、各自治体において橋梁長寿命化修繕計画が策定されてきており、中長期的な視点から計画的な橋梁維持管理に向けての取り組みが実施されている。

国内の橋梁維持管理方針は、予防保全に向けた大きな流れがあるものの、予防保全の実現には、予算、人的資源、発注側の意識、指針類の整備、技術の体系化などが必要であり、特に予算及び人的資源が非常に限られている地方自治体にとっては非常にハードルが高い^{2), 3)}。予防保全は、損傷が軽微な段階において措置を施すことになるため、素人目には健全に映ることから、その状態であっても税金を投入して措置を行うことへの理解が発注側に深まらなければ実現しない。ここでいう発注側とは、工事を発注する役所のみではなく、社会インフラという特性上、納税者である一般市民も含む。従って、国内の自治体が管理する橋梁に一律に予防保全を適用することは、現実的に困難であると同時に、橋長 10m 以下の小規模橋梁に対してまで予防保全を適用することが果たして経済的であるのかどうか、筆者は甚だ疑問であった。

このような状況は、開発途上国における状況と非常に似ていることから、我が国の地方自治体を対象とした既往の研究を調査すると共に、国内の二つの自治体（長崎県と新潟市）に対しヒアリングを行い、地方自治体の橋梁維持管理に対する取り組み状況を調査した。

3.2 既往の研究

小澤⁴⁾は、社会インフラのストックや橋梁維持管理の現状及びその政策的な経緯や取り組みについて整理している。特に地方公共団体において、財源不足や技術者不足を原因として点検が実施されていない実態と課題を示しつつ、予算制約という条件下では、現存する全ての社会インフラを適切に維持管理し、更新していくことは、不可能な状況に直面する可能性を述べている。

稲垣ら⁵⁾は、地方自治体が管理する橋梁を例にとり、地方自治体の橋梁維持管理の実態をアンケート及びヒアリングを通じて調査し、以下の3点を明らかにした。

- 各自治体の保有する橋梁資産に比べて、維持管理・更新関連の予算が非常に少ないこと
- データの整備状況や点検実施に関しても全般的には整備がまだ進まない機関が多いこと
- データ整備状況に関し、諸元や点検結果の保存状況に比べ、補修等に関する整備が非常に遅れていること

また同研究においては、過去のデータが不足しており、実データに基づくLCC解析が困難であることが課題として挙げられている。更に、橋梁の健全度と補修・更新投資との間には負の相関があり、補修・補強への投資は健全度を低下させない効果があることを点検データ解析から検証している。

高橋⁶⁾は、地方自治体の橋梁維持管理の実態として、地方の橋梁技術に精通した技術者の不足及び適切な維持管理が行われていない実態を指摘しており、地方自治体が最も多く管理する中小規模橋梁を対象とし、「適切な橋梁維持管理評価を把握すること」と「地方自治体の身の丈にあった橋梁床版の大規模更新」についての研究を行っている。

高木⁷⁾は、小規模自治体の橋梁維持管理において、5年毎の点検時には専用の橋梁点検車・高所作業車を使用する必要があること、もしくは大掛かりな仮設足場を組んで近接目視を行う必要があるため、特に小規模自治体には点検を継続する費用は大きな負担となっており、さらに点検結果による必要な補修を適切に実施することが困難となっている現状を指摘している。

美濃，森川⁸⁾は，地方自治体（都道府県レベルと市町村レベル）の組織体制の視点から道路橋梁維持管理に対する課題を整理し，以下の点を指摘している．

- 維持管理に係る土木系技術職員の人数が少なく，幅広い業務を少人数で担当する必要がある，負担が大きい．また，数年で他部署へ異動を繰り返す人事システムという現状においては，維持管理業務の経験も蓄積されない．
- 重大な損傷を把握した際の対応においては，自治体職員が中心となる必要があるものの，専門的な知識を有する土木系職員を養成することが困難である．

このように，土木系職員の人的及び経験の不足，更に橋梁に対する専門知識を持つ技術者の育成の必要性を挙げている．

このような財政力及び技術力の不足している自治体の現状に対し，浅野ら⁹⁾は，簡易橋梁点検チェックシートと橋マップを用いて，住民が主体となって地域の橋梁を自らメンテナンスを行うセルフメンテナンスモデルを構築し，実際に地方自治体（福島県平田村）へ実装した．この研究においては，実務者が実際に使用している「福島県橋面工の点検調書」を元に，簡易橋梁点検チェックシートを作成している．チェックシートは，点検箇所毎に点検項目が設けられており，点検者は点検項目の損傷の有るか無いか，有った場合は部分的か広範囲かを記入するのみであり，現状の把握に重点を置いている．点検者は，地域住民，高校生，大学生，実務者と多岐に渡る．高校生の点検結果と実務者（橋梁技術者）の点検結果の分析を行っているが，橋梁点検未経験の非実務者であっても，橋梁の現状把握を目的とした点検が行えることを検証している．また，これらの点検結果を Web 上でマッピングし，可視化することで，地域住民の自発的な清掃活動につなげ，更に次の点検活動へとつながるメンテナンスサイクルを構築した．また，自治体の職員（インハウスエンジニア）が直接実施する日常点検においても，このチェックシートが用いられており，損傷の早期発見，点検の効率化に寄与することが実践的に確認されている．

地方自治体（熊本県玉名市）の職員である木下¹⁰⁾は，自らの業務経験を基に橋梁メンテナンスサイクルの遅延問題を分析し，その要因が地方自治体の財源不足及び橋梁メンテナンスの経験不足によるものであること，その背景として

自治体自体が組織として維持管理業務への関心度が低いことを詳細な聞き取り調査により明らかにし、地方自治体の組織的な維持管理への意識向上が重要であることを指摘している。また、橋梁補修 DIY として地方でも調達可能な資機材を用いて、自治体職員自ら措置（補修）を行うことで修繕の即時性を確保している。修繕の即時性確保は予防保全に寄与するものであり、予算制約の厳しい地方自治体においても実施可能な手法を示している。これらメンテナンス業務の調査分析（点検、診断）から施工（補修）までを直営で行うことにより幅広いコスト縮減が可能となること、そして、これらの実践が人材育成に有効な OJT になると述べている。更に、直営施工により得た知見を工学的な観点から照査するために大学との協働を始めているが、学との連携の効果を発揮するためには自治体のインハウス技術力の向上も同時に必要であると指摘している。このように、条件が恵まれていない地方自治体であっても実行可能なところから徐々にはじめながら、次の現場や実施体制にフィードバックすることにより PDCA を実践し、メンテナンスサイクルをスパイラルアップしている。

3.3 地方自治体の取り組み状況

国内の地方自治体における課題等は、前述の既往の研究等において指摘され、研究者らによって様々な課題解決へのアプローチがなされているところであるが、実際の地方自治体における取り組み状況を長崎県と新潟市に対してヒアリングした。なお、このヒアリング調査は筆者が JICA「開発途上国における橋梁維持管理にかかる支援に関する調査（プロジェクト研究）」内において 2017 年 8～9 月にかけて実施したものであり、同調査の最終報告書¹¹⁾にも記載されている。国内調査のヒアリング先に長崎県と新潟市を選んだ理由は、以下の通りである。

長崎県は、平成 19 年 3 月に県が管理する全ての土木施設の維持管理に係わる基本方針「公共土木施設等維持管理基本方針」¹²⁾を定め、従来からの対症療法的修繕から予防的修繕への転換を目指した。この基本方針に基づき、翌 20 年 3 月に橋梁を対象とした維持管理に必要な事項を「橋梁維持管理ガイドライン」¹³⁾として策定し、このガイドラインに則り橋梁の維持管理計画として「長崎県

橋梁長寿命化修繕計画」¹⁴⁾を全国に先駆けて策定した。そして、この計画に基づき、対症療法的な維持修繕工事による健全性の回復、管理橋梁全てに対する定期点検の実施及びデータの蓄積を行うなど、着実な PDCA サイクル（メンテナンスサイクル）を実施し、これを基に平成 27 年 3 月に橋梁長寿命化修繕計画を改定しており、行政組織（道路管理者）としてメンテナンスサイクルの 2 周目に入っていた。従って、その 1 周目における経験及び課題は、これから橋梁維持管理を行う開発途上国においても有効な知見になると考えたためである。

新潟市は、平成 17 年に周辺市町村を合併したことで、多くの公共施設、インフラ資産を保有している。特にインフラ資産は、平成 27 年に策定された「新潟市財産経営推進計画」において、「メンテナンスサイクルに基づく計画的・効率的な維持管理・更新」と「既存施設の長寿命化」を基本方針として、個別のインフラ資産それぞれにおいて維持管理計画の策定あるいは見直しを開始した。このような背景から、内閣府が主導した戦略的イノベーション創造プログラム（Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program）の「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の研究課題「道路インフラマネジメントサイクルの展開と国内外への実装を目指した総括的研究」において、平成 27 年度から持続可能なアセットマネジメントシステムの体制構築を推進するためのモデル市に選定されている。同事業は、アセットマネジメントシステムの体制構築において抱える課題を特定し、その課題を解決するための方策を提案し、実装する取り組みを実践するものであり、課題の特定から解決策の実装までの計画をヒアリングすることで、開発途上国における橋梁維持管理への技術協力プロジェクトにおいても活用可能な手法や視点が得られると考えたためである。

(1) 長崎県の橋梁維持管理

a) 長崎県の橋梁概況

長崎県内の橋梁総数は 9,920 橋であり（2017 年 8 月現在）、うち県管理は 21% の 2,112 橋（管理橋梁数はカンボジアと同程度）、市町村管理は 77% の 7,608 橋となっている。県管理の 2,112 橋のうち、約 1,500 橋がコンクリート橋である。道路法改正により法廷点検が義務化された 2014 年から順次点検を実施し、2016 年までに完了した 1,168 橋のうち、健全度¹⁵⁾I は 968 橋（83%）、健全度 II は 172

橋（15%）、健全度 III は 28 橋（2%）であった。健全度 IV は報告されていない。

b) 橋梁維持管理方針

長崎県は平成 19 年に公共土木施設等維持管理基本方針¹²⁾を策定し、同方針に基づき、県管理の全橋に対して、予防保全型維持管理を目指している。維持管理計画の策定においては、10 年間の補修計画を策定し、それを基に予算を平準化させ予算確保に努めているが、計画は毎年 100%実施できてはいない。また、支間 200m 以上の特殊形式の橋梁や橋長の長い橋梁で迂回路の確保が難しい橋梁は「重点維持管理橋梁」と指定し、年 1 回点検を行うなど、一般橋梁と維持管理区分を分けて管理している。

メンテナンスサイクルを構成する各要素の実施者及び概要は、以下のとおりである。

表 3-1 長崎県における橋梁メンテナンスサイクルの概要

要素	実施者及び概要
点検	近接目視に機材が必要な橋梁：建設コンサルタントへ発注 近接目視に機材が不要な橋梁：県職員
健全度評価	県職員（出先機関と本省で協議）が判断。健全度が III や IV の評価が難しい橋梁については有識者からなる委員会で判断。
補修	建設会社に発注
維持管理計画	予防保全的手法を導入した計画を県職員が策定。計画の期間は 10 年間。健全度評価結果により、維持管理計画を適宜見直し。特殊な形式や大規模な橋梁は、「重点維持管理橋梁」に指定し、一般橋梁と区別した維持管理を実施。
データベース	長崎県のシステムにより、橋梁台帳、点検記録、補修履歴等を管理。システムへの入力は、県職員が実施。システムの管理は建設技術センター。県内の市町村も利用可能。
設計・品質管理	橋梁計画において、維持管理担当部署の職員も加わり、維持管理性を検討。

c) 橋梁維持管理における特徴(産学官の連携)

長崎県の橋梁維持管理の特徴として、産学官の連携が挙げられる。具体的には、長崎大学（学）が運営する道守養成ユニットの有資格者（以下、道守資格者）に対し、長崎県（官）発注の橋梁点検業務において、道守資格者の在席する企業（産）の評価に加点するという便宜を図っている。企業も入札時に加点されることで社員を道守資格取得のための講習会へ参加させ、資格の取得を後押しすることで結果的に個人及び会社の技術力向上に繋がり、道守資格を軸とした良い循環を生んでいる。近年は、長崎県のみならず県内の市町村も加わりつつあり、ヒアリング調査時（2017 年）で約 700 名、2022 年 7 月時点で 999 名（内、県外 126 名）を認定している¹⁶⁾。

道守養成ユニットの資格は、「道守」「特定道守」「道守補」「道守補助員」と 4 段階のレベルに分けられており、特徴的な点として一般市民を対象にした「道守補助員」を設けていることが挙げられる（技術者を対象とした資格は、「道守補」「特定道守」「道守」）。道守補助員であっても、有資格者として扱われ、長崎大学インフラ長寿命化センターが運営する通報システムに参加することが出来る。このシステムは、道守資格者がパソコンやスマートフォンからインフラの損傷を長崎大学インフラ長寿命化センターに通報し、通報を受けた長崎大学はその道路管理者に道守資格者からの通報を転送する構造となっている。長崎大学が仲介する理由として、道守資格者は損傷を見つけた道路の管理者を把握していないため、長崎大学インフラ長寿命化センターが一度情報を集約し、道路管理者を調べた後、各道路管理者に通報を転送する仕組みとしている。通報を受けた道路管理者は、補修等措置の状況を長崎大学に報告し、長崎大学はそれを通報した道守資格者へフィードバックすることで、道守資格者のモチベーション維持に繋がっており、住民参加型のメンテナンスサイクルが構築されている。また、道守資格は国土交通省が平成 27 年から開始した技術者資格登録制度¹⁷⁾においても、第 1 回から現在に至るまで登録されており、全国的に知名度の高い資格として認知されてきている。

一方で、資格を運営する長崎大学へのヒアリングから、資格の運営に関しての課題も見えてきた。道守資格制度は、文部科学省の平成 25 年度科学技術戦略推進費に採択されて始まったものであり¹⁸⁾、推進費によるプロジェクト期間は

道守資格の受講料，受験料，登録料等は無料で提供可能であるが，プロジェクト終了後においても資格制度を運用していくためには，これらの費用を有料化していかなければならない点が課題として挙げられた．2022 年時点においては，「道守補助員」は無料であるものの，「道守補」から「道守」までを取得する場合は，23 万円の費用が必要である¹⁶⁾．長崎県土木部へこの将来的な費用負担についてヒアリングを行ったところ，個人で負担するには高額であり，困難であるとの回答を得ている．

このように，資格制度の運営においては橋梁の維持管理と同様に，個人で負担するには困難な額のメンテナンスコストが発生することから，産学官が社会インフラの重要性とそれぞれの役割を理解し，互いに連携して，点検・補修技術の向上のみならず，社会制度の運用も重要な課題であることがわかった．

d) 長崎県の橋梁維持管理における特徴

上述した長崎県の橋梁維持管理における特徴をまとめると，

- 完全予防保全型を目指した橋梁維持管理方針
- 中小規模の橋梁と大規模の橋梁を分けた維持管理方針
- 道守資格による産学官の連携

の 3 点が挙げられる．

(2) 新潟市の橋梁維持管理

a) 新潟市の橋梁概況

新潟市の橋梁総数は 4,055 橋であり（2017 年 4 月現在，バングラデシュと同程度），特徴的な点としては，橋長 15m 未満の小規模橋梁が全体の約 84%を占めている．8 区ある行政区のうち，田園地帯が広がる西蒲区は 1,371 橋と突出して多く，そのほとんどが橋長 15m 未満の小規模橋梁である．橋種別では，鋼橋が 11%，コンクリート橋が 88%を占めており，橋長 15m 以上でみると，鋼橋が 56%，コンクリート橋が 42%となっている．

法定点検が義務化された 2014 年から順次点検を行っており，2017 年 8 月末時点において，健全度Ⅰは 715 橋（37%），健全度Ⅱは 897 橋（47%），健全度Ⅲは 299 橋（16%）となっている．健全度Ⅲの割合が多いのが特徴的であるが，市町村レベルではこれまで維持管理が実施されていない橋梁が多いため，

健全度 III になるまで放置されていた橋梁が多いと推察される。健全度 IV は報告されていない。

b) 橋梁維持管理方針

新潟市では平成 22 年度に新潟市橋梁長寿命化修繕計画を策定し、予防保全的な維持・補修による橋梁の長寿命化を図ってきたが、その後 5 年間の維持管理状況からさまざまな課題が分かってきたため、平成 29 年 3 月に持続可能な維持管理となるように戦略性を高めた計画に見直した。今後は、全橋予防保全を目指すのではなく、橋梁の重要度に応じて、シナリオを設け、メリハリのある維持管理・補修に舵を切っている。

メンテナンスサイクルを構成する各要素の実施者及び概要は、以下の通りである。

表 3-2 新潟市における橋梁メンテナンスサイクルの概要

要素	実施者及び概要
点検	建設コンサルタントに発注。小規模橋梁に関しては、建設業者（協会）に発注し、建設業者の閑散期に実施する試みを開始。
健全度評価	点検者が実施。建設コンサルタントは厳し目の評価を行うことから、それを基に修繕計画を策定すると費用が非常に高額になる傾向。今後は健全度の低い橋梁については、有識者を含めた会議にて、最終的な健全度を確定するシステムを構築予定。
補修	建設会社に発注。
維持管理計画	県職員が策定。計画の期間は 5 年間。橋梁の特性（路線、橋長、迂回路の有無、歴史的価値等）により管理区分を 4 段階に区別。これまでは予防保全を目指していたが、平成 29 年からシナリオ型の維持管理に移行。
データベース	新潟市のシステムにより、橋梁台帳、点検記録、補修履歴等を管理。システムへの入力には市職員が実施。システム自体は新潟県とほぼ同じ。
設計・品質管理	橋梁計画時点では維持管理を担当する職員は参加していない。

c) 橋梁維持管理における特徴 1(シナリオ型維持管理)

前述したように、新潟市では平成 22 年度に新潟市橋梁長寿命化修繕計画を策定し、予防保全的な維持・補修による橋梁の長寿命化を図ってきたが、その後の 5 年間の維持管理状況からさまざまな課題が分かってきたため、平成 29 年 3 月に持続可能な維持管理となるように戦略性を高めた計画に見直した。

この中で、道路ネットワーク特性（道路優先度、日交通量）、橋梁特性（特殊橋梁、塩害地域橋梁）に応じて、管理区分Ⅰ～Ⅳに分類し（図 3-1）、管理区分毎に管理水準を設定している（表 3-3）。更に、管理区分に応じた維持管理シナリオを設定し（表 3-4 及び表 3-5）、実現可能な維持管理手法を策定している。

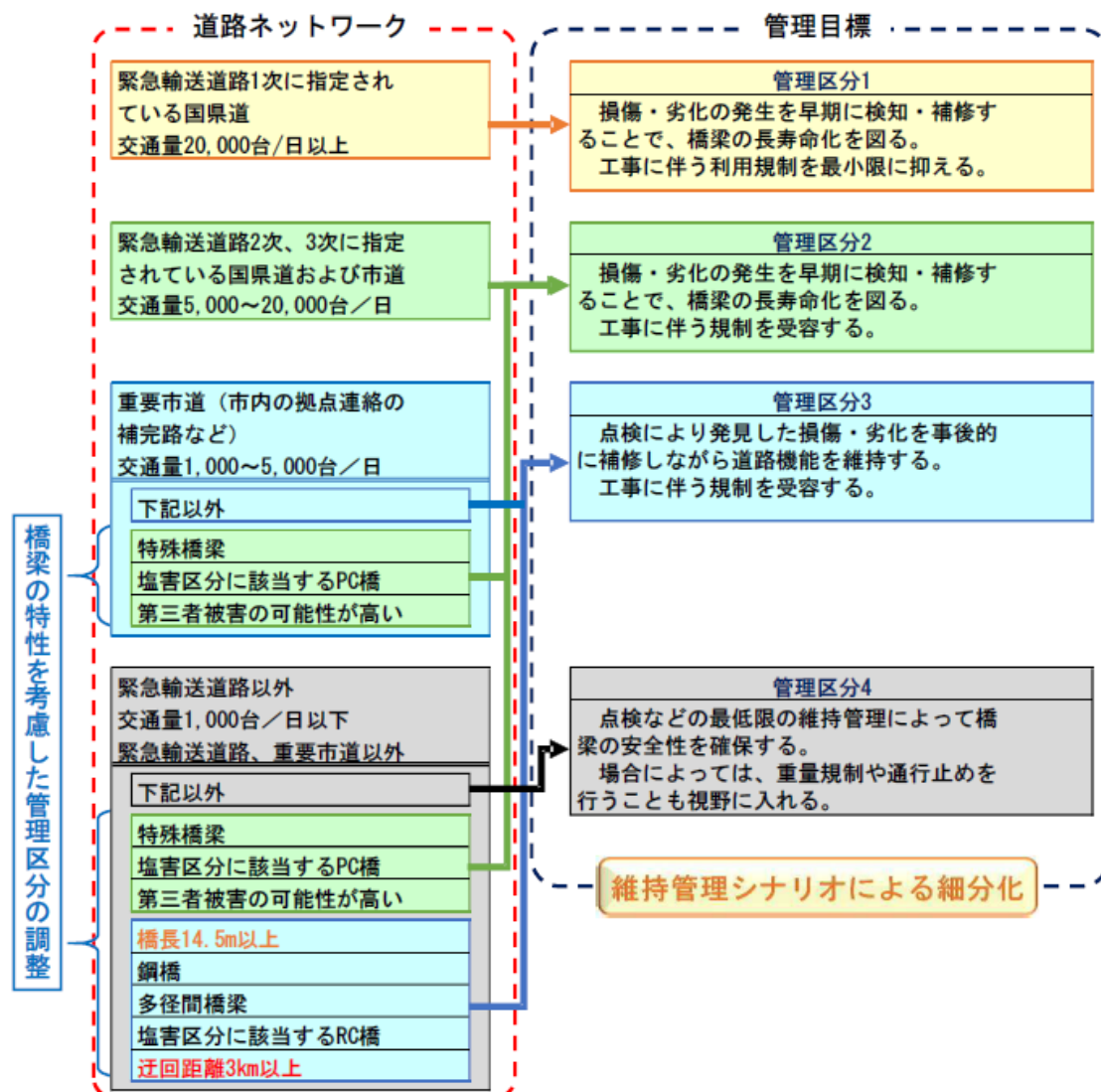


図 3-1 新潟市の橋梁管理区分及び管理目標の設定 ¹⁹⁾

表 3-3 管理区分毎の管理水準 ¹⁹⁾

全国統一区分		I		II		III		IV		維持する健全度	定期点検種別
新潟市区分		A	B1	B2	C1	C2	C3	E			
管理区分	1					対策を実施する健全度				健全度 B2以上	A 点検
	2	維持する健全度								健全度 C1以上	
	3									健全度 C2以上	
	4									—	B 点検

A点検:管理区分1~3の橋梁で実施
B点検:管理区分4の橋梁で実施

表 3-4 維持管理シナリオの設定 ¹⁹⁾

管理区分	管理目標	維持管理シナリオ(表 3-5 参照)			
		早期対策	戦略的シナリオ		
管理区分 1	図 3-1 参照	健全度 回復	スーパー ハイスパック メンテナンス	ハイスパック メンテナンス	更新
管理区分 2				ミニマム メンテナンス	
管理区分 3			スタンダード メンテナンス		
管理区分 4		—	小規模橋梁		

表 3-5 新潟市の維持管理シナリオ ¹⁹⁾

維持管理シナリオ	内容
1 健全度回復	管理水準を下回った橋梁で、早期に健全度回復するため、最小限の補修を実施。修繕優先度は最も高い。
2 スーパーハイスパックメンテナンス	特に重要な橋梁で、更なる長寿命化のため手厚い予防保全を実施。
3 ハイスパックメンテナンス	重要な橋梁で、長寿命化のため予防保全を実施。
4 スタンダードメンテナンス	従来通りの維持管理を実施。
5 ミニマムメンテナンス	元の性能が低く、延命化が期待できない橋梁などで、最小限の維持管理を実施。
6 更新	架替事業中や架替検討が必要な橋梁で、更新までの維持管理を実施。
7 小規模橋梁	管理区分 4 の橋梁で緊急時の応急対応のみを実施。通行規制や更新に伴う集約・廃橋も検討。

d) 橋梁維持管理における特徴 2(タブレット端末を用いた橋梁点検)

新潟市は小規模橋梁が非常に多いという特徴がある反面、信濃川や阿賀野川といった大河の河口に位置していることから大規模橋梁も多く抱えている。大規模橋梁は重要度が高く、管理区分も長寿命化を図る区分に位置づけられることから、点検手法も大規模橋梁と小規模橋梁で区別している。点検種別は A 点検、B 点検の 2 種類が設けられており、A 点検は管理区分 I, II, III の橋梁（重要度が高い）に適用され、B 点検は管理区分 IV の橋梁（小規模橋梁）に適用される。

B 点検には長岡工業高等専門学校の井林教授が開発したタブレット端末を用いた点検手法を導入し、損傷図の省略し、調査結果報告の作成手間の軽減を図っている²⁰⁾。タブレット点検を導入した後の点検精度については、建設コンサルタントが実施した点検結果と比較・分析を行い、点検精度が担保されていることを検証済みである²¹⁾。また、その後の導入効果を検証した結果、従来の点検費用から 9 割削減できたとのことであり²²⁾、限られた予算で多くの橋梁を点検しなければならない地方自治体にとっては非常に効果のある手法である。

3.4 まとめ

国内の地方自治体を対象とした既往の研究をレビューし、国内の地方自治体における現状として、財政力、技術力（人材及び組織制度）が不足していることがわかった。これらは第 2 章で述べた開発途上国における橋梁維持管理の課題と合致する。一方で、それらの課題に対し、各々の自治体において地域の実情を考慮した取り組みが行われており、これらの取り組み・手法は同様の課題を抱える開発途上国に対する我が国の技術協力プロジェクトにおいても非常に参考になり、かつ導入可能性の高い技術もいくつか見られた。筆者はこれまで複数の開発途上国において橋梁維持管理にかかる技術協力プロジェクトに従事してきた経験から、開発途上国へ導入可能と思われる橋梁維持管理手法及び技術を選定し、その理由を付して表 3-6 に示す。

表 3-6 開発途上国へ導入可能な地方自治体の橋梁維持管理手法

No.	手法及び技術	理由
1	大規模橋梁と中小規模橋梁に分けた維持管理手法	開発途上国においても，国際援助機関及び自国の資金により建設された大規模な橋梁はあるが，橋数が圧倒的に多いのは中小規模の橋梁である．また，橋梁点検車や点検足場等の資機材が無い中で，自らの技術力でメンテナンス可能な中小規模橋梁と不可能な大規模橋梁に分けて，対策を検討することは開発途上国において効率的な手法であると考えられる．
2	損傷の有無を確認する点検シート形式の橋梁点検手法	我が国の地方自治体と同様に，橋梁工学に深い知見を持つ技術者が不足している，かつこれまで橋梁点検の経験のない開発途上国において，最初から我が国の橋梁定期点検要領 ¹⁷⁾ に基づく橋梁点検手法はハードルが高く，持続性の担保が難しい．従って，まずは浅野ら ⁹⁾ が地方自治体に実装したような簡易な手法による点検が，橋梁点検を根付かせる上で有用であると考ええる．
3	モバイル端末（スマートフォン，タブレット端末）を用いた橋梁点検	多くの開発途上国では橋梁データベースが未整備であり，橋梁点検結果が指定された場所に確実に記録・保存されていない．記録・保存されている場合も，その方法は従来我が国もそうであったように，現場で結果を記録したフォームの内容を Excel ベースの帳票に入力するといったものであり，記録という作業が二度生じており，非効率的である．タブレット端末を用いたシステムとすることで，現場で記録した結果をデータとしてサーバに送信することが可能となり，点検の効率化に寄与する．
4	橋梁補修 DIY	開発途上国においては，高価な資機材や我が国から輸出しなければならない高品質な資機材を技術協力プロジェクトにおいて導入しても，プロジェクト終了後に現地にて資材の調達が困難であるこ

No.	手法及び技術	理由
		と、機材が故障した際に部品の調達が困難という理由から、そのまま放置されるという継続性の課題が報告されている。従って、木下 ¹⁰⁾ が述べているように現地で調達可能な資機材を用いた橋梁補修の手法は派手さは無いながらも、現地に根付いた確実なメンテナンスサイクルの循環に寄与すると考える。

筆者は上記の考察を基に、開発途上国において橋梁メンテナンスサイクルを循環させるための第一歩目として、橋梁データ（橋梁インベントリー、橋梁点検結果）の整備がまず必要であると考え、モバイル端末を用いた橋梁データ収集システムを開発し、開発途上国（カンボジア、ケニア、タジキスタン、マダガスカル）において実装した。次章第4章においては、モバイル端末を用いた橋梁データ収集システムについて述べる。

【参考文献】

- 1) 道路法施行規則第四条の五の二
- 2) 小川福嗣：橋梁の中長期維持管理計画策定の高度化に関する研究，金沢大学博士論文，2021 年 3 月
- 3) 竹田宣典，江良和徳，濱崎仁，山口明伸，田中博一：既設コンクリート構造物の予防保全を目的とした維持管理の現状と提案，コンクリート工学，Vol.59, No.10, pp.857-864, 2021
- 4) 小澤隆：道路維持管理の現状と課題，レファレンス，Vol. 57, No.4, pp.53-70, 2007,
- 5) 稲垣博信，水野祐介，藤野陽三，河村圭：地方自治体における橋梁維持管理の状況と投資効果に関する調査検討，土木学会論文集 F，Vol.66, No.3, pp.351-359, 2010.7, <https://doi.org/10.2208/jscejf.66.351>
- 6) 高橋明彦：地方自治体が管理する小規模橋梁の維持管理の効率化に関する対策工法の開発研究，岩手大学博士論文，2019 年 9 月
- 7) 高木直良：小規模自治体が向き合う橋梁の老朽化，月刊「住民と自治」，2018 年 4 月
- 8) 美濃智広，森川英典：自治体道路橋梁維持管理体制の現状と課題，土木学会論文集 F4（建設マネジメント），Vol.71, No.3, pp.182-189, 2015, <https://doi.org/10.2208/jscejcm.71.182>
- 9) 浅野和香奈，子田康弘，岩城一郎：簡易橋梁点検チェックシートと橋マップを用いた住民先導型橋梁セルフメンテナンスモデルの構築と実装，土木学会論文集 F4（建設マネジメント），Vol.75, No.2, pp.36-49, 2019, https://doi.org/10.2208/jscejcm.75.2_I_36
- 10) 木下義昭：自治体職員が直営施工を実践する手作りの橋梁メンテナンスの構築，Vol.76, No.1, pp.52-65, 2020, https://doi.org/10.2208/jscejppce.76.1_52
- 11) 独立行政法人国際協力機構，株式会社建設技研インターナショナル：開発途上国における橋梁維持管理にかかる支援に関する調査（プロジェクト研究）最終報告書，平成 31 年 2 月
- 12) 長崎県：公共土木施設等維持管理基本方針，平成 19 年 3 月，

- <https://www.pref.nagasaki.jp/bunrui/machidukuri/doro-kotsu/ijikanri/kyouryou/>,
(2022 年 7 月 27 日現在)
- 13) 長崎県：橋梁維持管理ガイドライン，平成 20 年 3 月，
<https://www.pref.nagasaki.jp/shared/uploads/2013/06/1371108199.pdf>，(2022
年 7 月 27 日現在)
- 14) 長崎県：橋梁長寿命化修繕計画，
<https://www.pref.nagasaki.jp/bunrui/machidukuri/doro-kotsu/ijikanri/kyouryou/>，
(2022 年 7 月 27 日現在)
- 15) 国土交通省：道路橋定期点検要領，平成 26 年 6 月
- 16) 長崎大学インフラ長寿命化センター道守養成ユニット Web ページ：
<https://michimori.net>，(2022 年 7 月 24 日現在)
- 17) 国土交通省 Web ページ：国土交通省技術者資格登録制度，
https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_hh_000318.html，(2022 年 7 月
15 日現在)
- 18) 文部科学省 Web ページ：平成 25 年度科学技術戦略推進費による実施プロ
ジェクトの評価結果等について，
https://www.mext.go.jp/a_menu/sonotaichiran/ittaitekisuisin/1342577.htm，
(2022 年 7 月 24 日現在)
- 19) 新潟市土木部土木総務課：新潟市橋梁長寿命化修繕計画（案）（平成 29
年度改定版）
- 20) 公益社団法人土木学会技術推進機構：アセットマネジメントシステム実
装のための実践研究委員会平成 30 年度成果報告書，平成 31 年 3 月
- 21) 井林康，丸山明：地方自治体向けのタブレット端末利用の橋梁概略点検
システムの開発と実証実験，インフラメンテナンス実践研究論文集，
Vol.1, No.1, pp.8-17, 2022.3, https://doi.org/10.11532/jsceim.1.1_8
- 22) 建設工業新聞：2021 年 8 月 23 日版 7 面

第4章 開発途上国における橋梁維持管理の実践

4.1 はじめに

第2章で述べた開発途上国における橋梁維持管理の課題、及び第3章で述べた我が国の地方自治体における橋梁維持管理の状況から、開発途上国と我が国の地方自治体は抱えている課題が以下の点で類似している。

- 橋梁を専門とする技術者が不足している
- 管理する橋梁の情報がまとまっていない
- 管理橋梁の多くは中小橋梁である
- 橋梁維持管理に対する予算措置が不足している

これらの課題を解決するためには、Kleywegt and Sinha¹⁾も指摘しているが、筆者は開発途上国がこれから橋梁維持管理に取り組むにあたり最初の作業となる橋梁データ（橋梁台帳、点検記録）の整備（橋梁データベースの構築）が重要であると考え、迅速かつ正確に橋梁データベースが構築可能な橋梁データ収集システムを開発した。まず、2015年から2018年にわたり筆者が従事していたカンボジア国道路・橋梁の維持管理能力強化プロジェクトにおいて導入し、実践的研究を行った。

更に、カンボジアでの実践を通して明らかになった課題のうち、解決可能なものについてシステムの改良を行った。そして、その改良版を2021年から実施されているマダガスカル国道路・橋梁維持管理能力強化プロジェクトにおけるベースライン調査に導入し、改良効果を検証した。

4.2 カンボジアの道路・橋梁の状況

(1) カンボジアの概況

まず、筆者が最初に実践的研究を実施したカンボジアの概況を述べる。

カンボジアは東南アジアのインドシナ半島南部に位置し、約 18.1 万 m²（日

本の半分程度)の国土に、約 1,672 万人(世界銀行、2020 年)の人口を有する立憲君主制国家である。2010 年以降は年 8%以上の経済成長を続け、人口は年平均 1.6%程度の割合で増加を続けている(表 4-1 参照)。2020 年はマイナスの経済成長になっているが、これは世界的に流行した新型コロナウイルス(COVID-19)の影響であると考えられる。北部には世界遺産のアンコールワットやプレアヴィヒアといった観光資源を有し、500 リエル紙幣には、我が国の支援で建設された「きずな橋」、「つばさ橋」及び日の丸が描かれており(図 4-1)、カンボジアにとって象徴的なものの一つとなっている。

表 4-1 カンボジアの経済及び人口の推移

西暦	GDP* ¹		GNI per capita* ²		人口	
	億 USD	前年比	USD	前年比	万人	前年比
2011	128.3	+14.1%	810	+8.0%	1,454	+1.6%
2012	140.5	+9.5%	880	+8.6%	1,478	+1.7%
2013	152.3	+8.4%	970	+10.2%	1,502	+1.6%
2014	167.0	+9.7%	1,020	+5.2%	1,527	+1.7%
2015	180.5	+8.1%	1,060	+3.9%	1,552	+1.6%
2016	200.2	+10.9%	1,140	+7.5%	1,576	+1.5%
2017	221.8	+10.7%	1,230	+7.9%	1,601	+1.6%
2018	245.7	+10.8%	1,380	+12.2%	1,625	+1.5%
2019	270.9	+10.3%	1,530	+10.9%	1,649	+1.5%
2020	258.1	-4.7%	1,500	-2.0%	1,672	+1.4%

*1 Gross Domestic Product, 国内総生産

*2 Gross National Income per capita, 一人あたりの国民総所得

出典：World Bank Open Data, <https://data.worldbank.org>



出典：National Bank of Cambodia の Web サイト

図 4-1 カンボジア 500 リエル紙幣の裏側

(2) カンボジアの橋梁状況と維持管理

カンボジアの道路網（総延長約 4.7 万 km， 2015 年）の多くは 1920～30 年代に建設された古い道路であり²⁾， 1970 年以降の内戦の影響により主要道路・橋梁等の多くが破壊された．昨今では，重量車両の通行，定期的に発生する川の氾濫等のため，道路・橋梁ともに劣化が進んでおり，カンボジア国内で道路・橋梁の維持管理の必要性及び重要性が高まっている．JICA をはじめ国際機関からの援助は受けているものの，カンボジアの道路・橋梁維持管理のための人材，財源，技術，機材はいまだ不足している状況である．加えて，橋梁台帳データの未整備も影響し，正確な管理橋梁数やその状態は把握されておらず，維持管理計画は未策定であり，定期的な橋梁点検も実施されていない（2015 年時点）．

カンボジア公共事業運輸省（Ministry of Public Works and Transport, 以下 MPWT）が管理する橋梁数と道路延長を表 4-2 に示す．道路の管理区分は，1 桁道路と 2 桁道路は国道，3 桁道路と 4 桁道路は州道とされ，これらの道路は MPWT が所管しており，MPWT 内の道路インフラ局（Road Infrastructure Department, 以下 RID）が担当部局として管理している（2015 年当時）．その他，カンボジア農村開発省（Ministry of Rural Development）が管理する地方道が約 39,000km 存在するが（2014 年時点）³⁾，本研究の対象は MPWT が管理する国道及び州道に限る．

表 4-2 カンボジアの道路延長と橋梁数

道路種別		橋梁数		道路延長(km)	橋梁密度(橋/km)
国道	1 桁道路	476		2,262.77	0.210
	2 桁道路	736		3,360.31	0.219
州道	3 桁道路	644	1,090	6,244.40	0.175
	4 桁道路	446			
計		2,302		11,867.48	0.194

出典：MPWT

本研究においては，管理橋梁数を管理道路延長で除した値を橋梁密度として

定義するが、カンボジアでは平均 0.2 橋/km 程度である。また、後述する橋梁データ収集システムにより収集した橋梁データから、平均橋長は約 33m であった。カンボジアの州道に分類される 3 桁道路及び 4 桁道路は、未舗装道路区間も多く、橋梁の整備も遅れていることが表 4-2 から推察される。我が国の市町村道の橋梁密度（橋長 15m 以上）は概ね 0.1～0.2 橋/km、平均橋長約 39m であり、カンボジアの橋梁密度及び平均橋長と大きな差は見られない。参考として、高速自動車国道ではそれぞれ 1.1 橋/km、約 168m、一般国道ではそれぞれ 0.55 橋/km、約 100m である⁴⁾。

4.3 開発途上国におけるメンテナンスサイクル

第 2 章において、我が国でよく用いられている橋梁維持管理のメンテナンスサイクルの概念図を示したが、これにはこれから橋梁維持管理に取り組む開発途上国において重要な点が抜けている。図 2-2 及び図 2-3 で示したものは、いずれも点検、診断からサイクルが始まっている。特定の橋のメンテナンスサイクルはそれで良いものの、道路（橋梁）管理者としては、まず自らが管理する橋梁が何橋あるのか、またその概況（どこに、どのような橋が、どのような状態で存在しているか）を知ることが最重要である。その上で、自らのリソース（職員数、所有機材等）を考慮し、どの程度の頻度で点検するのが妥当か、その為にはどのような手法で点検をしなければならないか等を検討し、現実的に実施可能なやり方を構築していかなければならない。

そこで、筆者は図 4-2 に示すメンテナンスサイクルを提案する。

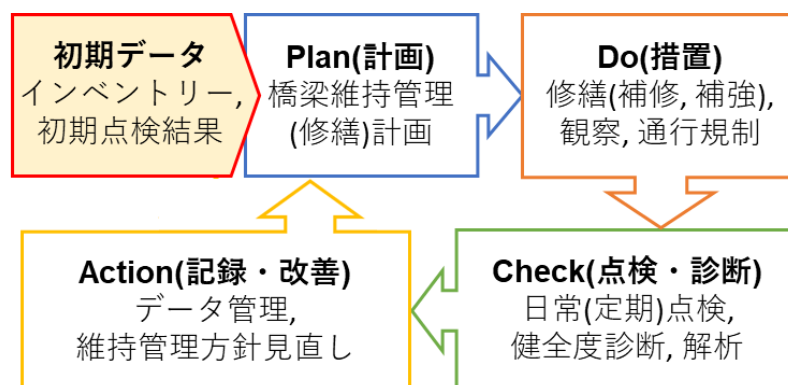


図 4-2 開発途上国における橋梁メンテナンスサイクルの概念図

参考として Ahmad⁵⁾の Bridge Management Program を図 4-3 に示すが，筆者の提案する橋梁メンテナンスサイクルと同様に Inventory（インベントリー＝橋梁台帳），Condition Assessment（点検・診断）から始まっており，インベントリーと初期点検が初期データとして重要であることがわかる．

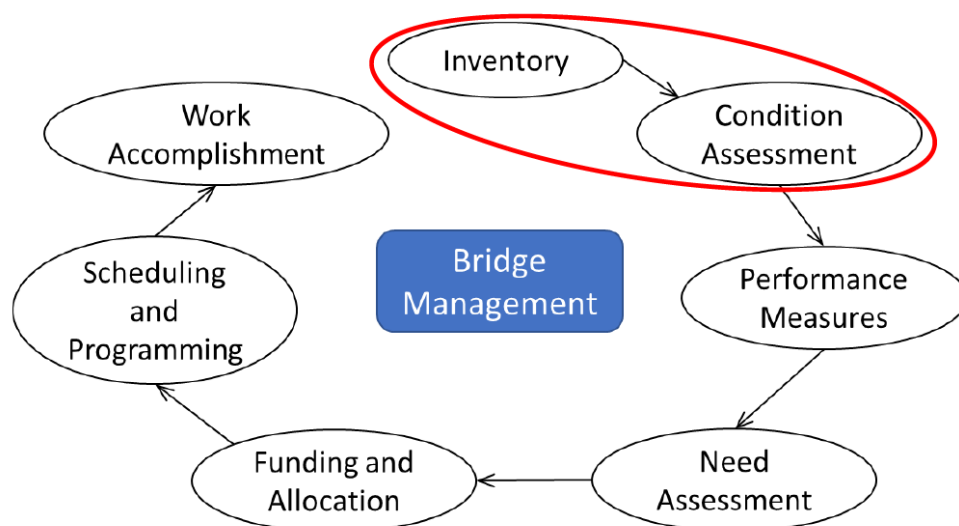


図 4-3 Ahmad の Bridge Management Program⁵⁾

上述したように，道路管理者としてはまず自らの管理する橋梁の概況を把握する必要があるため，初期データとして全管理橋梁のインベントリー（橋梁台帳）を収集し，同時に初期点検を実施しなければならない．そして，このデータを用いて橋梁維持管理（修繕）計画を策定する．従って，初期データとして収集する橋梁点検結果は損傷レベル別に分類が可能となるものでなければならない．損傷レベル別に分類されていれば，その後の措置につながる計画が策定可能になる．例えば，軽微な損傷がある橋梁は補修，構造的に重大な損傷がある橋梁は架替えといったように，損傷レベル別にとるべき対処方針は異なるため，複数の損傷レベルを設定する必要がある．詳細は後述するが，筆者は橋梁維持管理を開始する段階においては多くのレベル分けは複雑になるため，4 レベル（重大な損傷がある橋（要架替え），損傷がある橋（補修で対応可），補修するまでもないが軽微な損傷がある橋（要経過観察），損傷の無い橋（対処不要））で十分であると考える．

次に，その計画に従って Do（措置）の段階に入る．メンテナンスサイクル 1

周目の措置として実施可能なものは、損傷の無い橋梁に対する無対策、軽微な損傷が見つかった橋梁に対する観察及び必要に応じた追加の点検となる。補修及び架替えの実施には多額の費用がかかるため、予算措置が必要であり、メンテナンスサイクルの1周目においては実施困難である。従って、補修及び架替えを検討する橋梁に対しては、ここで予算措置に向けた資料作成等を行う必要がある。

続いて、Check（点検・診断）の段階では、要経過観察の橋梁に対しては日常点検する。補修及び架替えの検討を要する橋梁に対しては補修設計をする上で必要となる点検（初期データの段階で実施する点検は損傷の有無をチェックする点検であり、ひび割れ長さ等の数量は計測していない）を実施し、実際に補修及び架替えが必要か否かを決定し、必要と判断した橋梁に対しては事業費の積算を行う。ここで、前段（Do）の「予算措置」と「事業費積算」の違いであるが、予算措置は単位面積当たりの単価等により概算金額を見積るもの、事業費積算は工事を行うにあたり、対象となる橋梁の補修（もしくは架替え）にいくらか必要なのかを実際に行う工種と数量により見積るものである。補修や架替えが必要となる橋梁全橋に対して事業費積算を実施することが当然望ましいが、人材及び予算が不足している橋梁管理者において事業費積算を行うのは困難である。従って、開発途上国においては予算措置で大枠を確保し、承認された予算内で実施可能な橋梁を選択し、選択した橋梁に対し事業費を積算するというやり方が効率的であると考える。

最後の Action（記録・改善）の段階では、Plan（計画）、Do（措置）、Check（点検・診断）を経てきた各種データを確実に記録するとともに、メンテナンスサイクル2周目に入るにあたり維持管理方針の見直しを行う。維持管理方針の見直しとは具体的には、補修及び架替えの検討が必要とされたものの結果的に措置不要となった橋梁があった場合、措置不要と判定された理由を踏まえ、補修及び架替えを検討する橋梁に分類する際の基準を見直すというものである。

そして、メンテナンスサイクルの2周目に入るわけであるが、2周目の Plan（計画）においては、予算が配分された場合は、修繕（補修、補強）工事の実施も考慮した橋梁維持管理（修繕）計画を策定し、Do において工事を実施する。

以上がこれから橋梁維持管理を始める開発途上国に対するメンテナンスサイ

クルモデルであるが、筆者が従事したキルギスやミャンマーがそうであったように、多くの技術協力プロジェクトではこの管理橋梁の概況を把握するという作業が最初に行われていないプロジェクトも少なくない。多くの技術協力プロジェクトでは点検・診断手法や補修技術それぞれに対して技術移転が行われているが、メンテナンスサイクルに準じた体系的な橋梁維持管理技術の技術支援が必要であると考える。

筆者は、2015年から2018年にカンボジア国道路・橋梁の維持管理能力強化プロジェクトにJICA専門家チームの一員として従事したが、カンボジアも上述した開発途上国の状況と同様、初期データが未整備であることがプロジェクト開始前の事前調査において明らかになっていた。また、プロジェクトにおいて期待される成果の一つに橋梁メンテナンスサイクルの構築があり、プロジェクト期間3年間でメンテナンスサイクルを1周させる必要があった。そのためには、プロジェクト開始後早期に初期データを整備することが求められたことから、タブレット端末を利用した橋梁データ収集システムを開発し、導入した。次節以降に同システムについて詳述する。

4.4 橋梁データ収集システムと橋梁データベース整備

(1) システム開発の留意点

従来の橋梁点検作業は、野帳、図面、点検シート等を現場に持ち込み、それらに点検結果を手書きで記入した後、事務所に帰り、現場で記録した情報を定められた調査票へ再度入力し、報告書を作成することが一般的であったが、これは、現場と事務所で記録という作業が二度行われており（かつ同じ内容）、記録という作業の二度手間となっていた。また、我が国の地方自治体へのアンケート調査において⁹⁾、「報告書の作成」「結果判定」に時間がかかっているとの回答が4～5割程度あり、調査票の入力（＝報告書の作成）が橋梁点検業務において重荷になっていることがわかる。そして、筆者らはキルギスの技術協力プロジェクトでの経験から以下の教訓を得ていた。

- 現場で橋梁点検結果を記録した点検記録用紙の紛失

- 共通言語として英語によるデータベースとなるが、非英語圏では、現地語の読みから英語表記にするため、記録（入力）者により表記の相違
- 入力者による相違があると、キーワード入力による検索・分類が不可能
- 点検シート（Excel ファイル）への記録作業において、入力者が任意で写真の縦横比を変えるため、写真から橋梁がどのようなものか想定することが困難

以上の点から、手書きに依存する従来手法を導入しても成果が限定的かつ非効率であると判断し、カンボジアでは現場において直接電子的に入力する手法を構築することとした。筆者らは、現地の橋梁事情の視察から小規模な橋梁、単純な構造の橋梁が多く存在することを把握しており、点検・記録手法にはシンプルなボタン操作で安価に橋梁点検を実施できると期待されていた井林のシステム^{7),8)}を参考とした。カンボジアにおいて導入した橋梁データベース作成システムは、新潟市において試験的に導入されていた、井林が開発したタブレット端末を用いた橋梁点検システムを参考に、カンボジア用に新たに開発したものである。開発した橋梁データベース作成システムの構成を図 4-4 に示す。

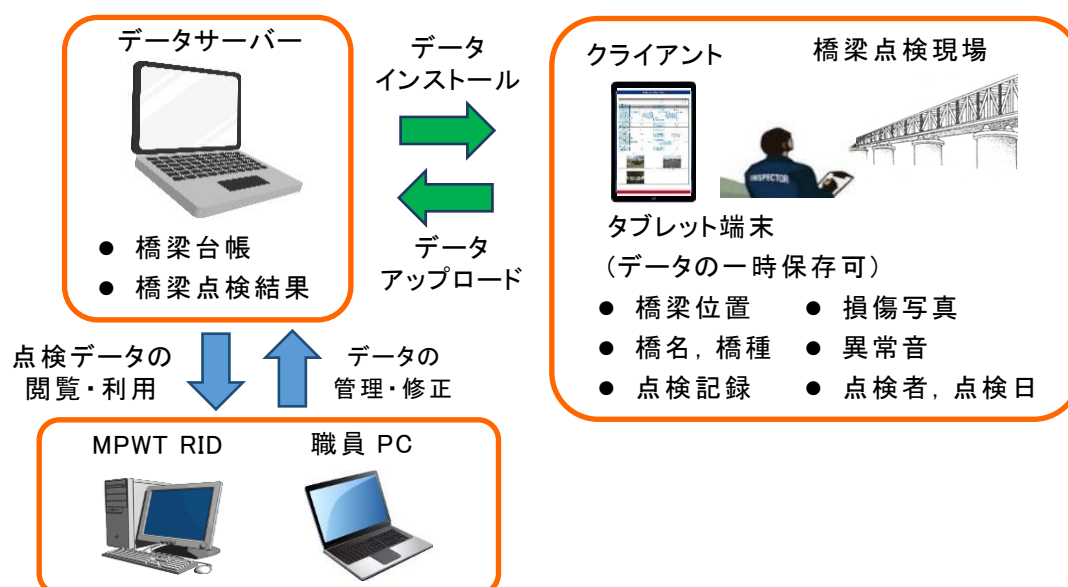


図 4-4 カンボジアの橋梁データベース作成システムの構成

使用機材の選定にあたっては、以下の点に留意した。

- 将来的にはカンボジア自身でシステムを運営する必要があるため、機材

はカンボジアにおいても容易に調達可能であり，日本語，英語，更にはカンボジアの公用語であるクメール語にも対応可能なもの

- カンボジア地方部においては，通信環境が悪い（携帯電話回線が繋がらない or 通信速度が非常に遅い）ことを考慮し，タブレット端末に情報を一定量保存できるもの
- データ通信やカメラといった一般的な機能に加え，位置情報記録のための GNSS（Global Navigation Satellite System）機能，異常音記録のための録音機能を持つもの
- 電力の安定供給に懸念があったため，サーバには非常時電源が必要となるデスクトップ型パソコンではなく，内部にバッテリーを有するラップトップ型パソコンを採用

以上の点を考慮し，クライアント（タブレット）端末には Apple 社の iPad mini（32GB，Wi-Fi+Cellular モデル），サーバには MacBook Pro を用いた．

(2) システムの概要

開発した橋梁データベースシステムは，主に橋梁台帳作成機能，橋梁点検機能で構成され，その他の機能として橋梁データの検索・抽出・統計情報閲覧，出力機能がある．

本システムは，橋梁データを収集するために使用するクライアント版と，データ，システムの管理を行うために使用するサーバ版がある．クライアント版は，橋梁台帳作成機能，橋梁点検機能のみ操作できる．タブレット端末を用いて屋外での操作を想定しているため，インターネット接続環境が無い，若しくは悪い場所でも操作でき，端末内にデータが保存される仕様となっている．更に，インターネット接続環境のある場所であれば，クライアント版で収集したデータをサーバへアップロードすることが可能であり，データの集約が容易となる．サーバ版は，収集したデータ及び統計情報の閲覧，データの出力の時に使用する．

本システムによる橋梁データの収集は，MPWT 職員によって行われ，システム内の言語は基本的に英語で，橋梁名など一部は公用語であるクメール語を併記できる仕様としている．

(3) 橋梁台帳作成機能

カンボジアで策定した橋梁台帳フォームには、表 4-3 に示す項目（橋梁名，橋長，建設年，位置情報などの一般情報，構造形式，橋梁写真等の情報）を記載するものとした．この項目は，我が国の一般的な橋梁台帳に記載されている項目とカンボジアに 25 ある公共事業運輸局（Department of Public Works and Transport, MPWT の地方事務所）の一部が所有していた管理橋梁リストに記載のあった項目を基に，MPWT との協議を経て決定した．

表 4-3 カンボジア橋梁台帳に含まれる情報

区分	項目	区分	項目
一般	橋梁名	床版	材種
	道路カテゴリー	舗装	材種
	州名	橋台	材種
	地域名（町名）		構造形式
	道路名（番号，PK）		基礎形式
	位置（緯度，経度）		橋台高さ
	橋長	橋脚	材種
	径間数		構造形式
	最長径間長		寸法
	歩車道幅員		基礎形式
	全幅員		基数
	車線数	付属物	支承の有無
	建設年		伸縮装置の有無
	施工者		防護柵の有無
	竣工図の有無		添架物の有無
上部工	材種	写真	橋梁全景
	構造形式		路面
	主桁本数		下面
	単純桁 or 連続桁		橋名版

橋梁台帳への入力は、図 4-5 に示すように全 4 ページで行う。1 ページ目では橋梁写真を撮影、2 ページ目では一般情報の入力、3 ページ目では上部工の構造形式等の入力、4 ページ目では下部工の構造形式等の入力を行う。この入力画面の順番は、点検者が現場に到着してから、(1) 橋梁周りの踏査、(2) 路面上の調査・計測、(3) 桁下での調査・計測という流れを想定して作成した。位置情報（緯度、経度）は調書が作成される際にタブレット端末に内蔵されている GNSS により自動で取得され、入力が行われる。

Input screen 1

PHOTO

Overview

Surface

Name Plate

Back 全景, 橋面, 橋名版を撮影 Next

1) 橋梁写真撮影

Input screen 2

GENERAL

Bridge Name Moat Khmong Road Category National Provincial

Province Thauang Khnum Village/Commune Thauang Khnum

Road Name 7 PK 128 075

Location Latitude 11.958821 Longitude 105.514179

Bridge Length 210 m Number of Span 6 Max. Span Length 35 m

Left Sidewalk Width 10 m Carriageway Width 10 m Right Sidewalk Width 10 m

Total Width (including Curb) 11 m Number of Lane 2 Constructed Year 2003

Contractor Maega Corporation As built drawings Yes No

Back 橋名, 位置, 橋長, 幅員等 Next

2) 一般情報の入力

Input screen 3

SLAB/PAVEMENT

Slab Material Concrete Pavement Asphalt Concrete

ACCESSORY

Bearing Yes No Expansion Joint Yes No

Bridge Railing Yes No Attachment Yes No

SUPERSTRUCTURE

Material Concrete Superstructure Type Girder

Number of Girders/Span 5 Continuous Yes No

Back 床版種別, 舗装種別, 添架物の有無, 上部工種別 Next

3) 上部工情報の入力

Input screen 4

Underside 桁下からの撮影

COLUMNS AND PIERS

Material Concrete Structure Type Wall Type

Size of Column/Pier Rectangle 9000 mm x 1000 mm Circle

Foundation Type Unknown Number of Column / Pier

ABUTMENTS

Material Concrete Structure Type Semi-Retaining (h<5m)

Foundation Type Unknown Height A1 1.5 m A2 1.5 m

Back 下部工(橋台・橋脚)種別 Confirm

4) 下部工及び付属物情報の入力

図 4-5 橋梁台帳作成機能の画面

これらの入力完了すると図 4-6 に示す橋梁台帳シートが作成され、橋梁一覧画面に追加される。この画面には現在位置情報を取得するボタンを付けており、現在地に近い順に橋梁台帳をソーティングできるため、容易に橋梁選択が可能となる。橋梁一覧画面から橋梁データを選択すると、橋梁台帳の閲覧、修正、印刷（PDF ファイル出力）が行える。

本システムは、効率的な情報収集を目的としており、橋梁台帳作成機能の構築において留意した主な点として、以下の 5 点が挙げられる。

- 地域名、材種などの入力項目が限られている項目に関しては、誤入力や点検者による表記の違いを防ぐため、選択式入力（プルダウン方式）を採用
- 項目の入力漏れがないよう、未入力の項目は背景を赤く表示
- 入力画面では、テキストの入力の場合はキーボードを表示、数値の場合はテンキーを表示させ、スムーズな入力に配慮
- 数字はテンキー入力とすることで、カンマは表示させず、小数点とカンマの打ち違えを防止
- 別の地図アプリケーション（Maps.me を利用）とリンクさせ、自動的に取得された位置情報の精度を現場で確認

(4) 橋梁点検記録機能

a) 点検項目と点検手法

本システムでは、表 4-4 に示す項目の点検結果を収録する。橋面の 4 部材 6

Bridge Inventory Sheet									
Fill in								2015/09/24	
Revised in								2016/06/30	
A. GENERAL									
Bridge Name	Most Khomng				Road Category	National			
Province	Thang Khomng				Village/Commune	Thang Khomng			
Road Name	7				PK	128		075	
Location	Latitude	11.55823			Longitude	102.514179			
Bridge Length	210 m	Number of Span	6		Max. Span Length	35 m			
Left Sidewalk Width	10 m	Carrageway Width	10 m		Right Sidewalk Width	10 m			
Total Width (including Curb)	11 m	Number of Lane	2		Constructed Year	2003			
Contractor	Mega Corporation				As built drawings	No			
B. SUPERSTRUCTURE									
Material	Concrete				Superstructure Type	Girder			
Number of Girders/Span	5				Continuous	Yes			
C. SLAB/PAVEMENT									
Slab Material	Concrete				Pavement	Asphalt Concrete			
D. ABUTMENTS									
Material	Concrete				Structure Type	Rigid Retaining (R/S)			
Foundation Type	Unknown				Height	1.5 m		A2 1.5 m	
E. COLUMNS AND PIERS									
Material	Concrete				Structure Type	Wall Type			
Size of Column/Pier	Rectangle	9000 mm x 3000 mm		Circle	ø		mm		
Foundation Type	Unknown				Number of Column / Pier				
F. ACCESSORY									
Bearing	Yes				Expansion Joint	Yes			
Bridge Rating	Yes				Attachment	Yes			
G. PHOTO									
Overview					Surface				
Underside					Name Plate				

図 4-6 橋梁台帳シート

項目と桁下の 2 部材（床版，下部工）4 項目は全橋共通項目である．上部工と床版は材料別に項目が分かれており，上部工は，鋼橋，コンクリート橋，木橋，床版は，鋼床版（鋼板），コンクリート床版，木床版に分かれている．点検項目には，それぞれ損傷確認項目（表 4-5）が設定されており，計 56 項目である．

表 4-4 橋梁点検記録機能内の点検項目

点検箇所	部位	点検項目
橋面	舗装	凹凸／ポットホール／轍ぼれ／ひび割れ
	高欄／防護柵／地覆	損傷
	伸縮装置	段差
		変形／損傷
		異常音
	排水装置	排水管の詰まり
桁下	上部工（鋼橋）	腐食／錆び
		き裂／変形／断面欠損／破損
		ボルトの抜け
	上部工 （コンクリート橋）	ひび割れ
		豆板／剥離／鉄筋露出
	上部工（木橋）	腐食
		ひび割れ／損傷
	床版（鋼床版）	腐食／錆び
	床版 （コンクリート）	ひび割れ／抜け落ち
		豆板／剥離／鉄筋露出
	床版（木床版）	腐食
		ひび割れ／損傷
		振動／異常音
	支承	堆積物／損傷
	下部工 （橋脚／橋台）	洗掘／沈下
		ひび割れ
		豆板／剥離／鉄筋露出

表 4-5 損傷確認項目の配点

部位	点検項目	損傷確認項目	配点	損傷判定
舗装	舗装面の凸凹, わだち, ポットホール, ひび割れ	凸凹, ポットホール	3	合計点 X $X \geq 7$: 損傷レベル III $7 > X \geq 4$: 損傷レベル II $4 > X$: 損傷レベル I
		わだち	1	
		ひび割れ	1	
高欄／ 防護柵／ 地覆	損傷	小さな損傷(コンクリートの欠けや部材の変形)	1	
		大きな損傷(部分的な崩壊)	3	
伸縮装置	段差	20mm 未満の段差	1	
		20mm 以上の段差	3	
	変形, 欠損	遊間の異常	1	
		変形や損傷	3	
	異常音	異常音がする	3	
排水施設	排水施設の詰まり	部分的に機能不全	1	合計点 X $X \geq 10$: 損傷レベル III $10 > X \geq 6$: 損傷レベル II $6 > X$: 損傷レベル I
		完全に機能不全	3	
上部工 (鋼橋)	腐食, 錆び	腐食	2	
		鋼部材の板厚減少	6	
		目視不可	-	
	亀裂, 変形, 欠損, 破断	部材に亀裂	10	
		部材が変形	5	
		部材が欠損／破断	20	
		目視不可	-	
	ボルトの脱落	ボルトの抜け(10%未満)	2	
		ボルトの抜け(10%以上)	5	
		目視不可	-	
上部工 (コンクリート橋)	ひび割れ	下面にひび割れ	5	合計点 X $X \geq 15$: 損傷レベル III
		側面にひび割れ	5	
		ひび割れから錆び汁	10	

部 位	点 検 項 目	損 傷 確 認 項 目	配 点	損 傷 判 定
	剥離，浮き，豆板	目視不可	-	$15 > X \geq 10$: 損傷レベル II $10 > X$: 損傷レベル I
		豆板	3	
		浮き／欠け	3	
		鉄筋が露出	3	
		鉄筋が減肉	6	
		目視不可	-	
上部工 (木橋)	腐食	腐食（虫食い含む）	10	合計点 X $X \geq 20$: 損傷レベル III $20 > X \geq 10$: 損傷レベル II $10 > X$: 損傷レベル I
		断面が減少	10	
		目視不可	-	
	割れ，損傷	大きな損傷，通行不能	20	
		目視不可	-	
床版 (鋼床版)	腐食，き裂	腐食や錆び	5	合計点 X $X \geq 20$: 損傷レベル III $20 > X \geq 10$: 損傷レベル II $10 > X$: 損傷レベル I
		き裂	10	
		穴	20	
		目視不可	-	
床版 (コンクリート床版)	ひび割れ，抜け落ち	下面にひび割れ	5	合計点 X $X \geq 20$: 損傷レベル III $20 > X \geq 10$: 損傷レベル II $10 > X$: 損傷レベル I
		遊離石灰	10	
		ひび割れから錆び汁	10	
		穴	20	
		目視不可	-	
	剥離，浮き，豆板	豆板	5	
		浮き／欠け	5	
		鉄筋が露出	5	
		鉄筋が減肉	10	
		目視不可	-	

部位	点検項目	損傷確認項目	配点	損傷判定
床版 (木床版)	腐食	腐食（虫食い含む）	10	合計点 X X \geq 20 : 損傷レベル III 20>X \geq 10 : 損傷レベル II 10>X : 損傷レベル I
		断面が減少	10	
		目視不可	-	
	割れ，損傷	大きな損傷，通行不能	20	
		目視不可	-	
	ばたつき，異常音	車両走行時のばたつきや異常音	5	
支承	腐食，損傷	ゴミや土砂の堆積	2	合計点 X X \geq 6 : 損傷レベル III 6>X \geq 4 : 損傷レベル II 4>X : 損傷レベル I
		腐食や損傷	2	
		機能不全	6	
		目視不可	-	
下部工 (橋脚、橋台)	洗掘，沈下	下部工周りの洗掘	10	合計点 X X \geq 20 : 損傷レベル III 20>X \geq 10 : 損傷レベル II 10>X : 損傷レベル I
		下部工が沈下	20	
		目視不可	-	
	ひび割れ	ひび割れ	2	
		遊離石灰	2	
		ひび割れから錆び汁	2	
		目視不可	-	
	剥離，浮き，豆板	豆板	2	
		浮き／欠け	2	
		鉄筋が露出	2	
		鉄筋が減肉	4	
		目視不可	-	

我が国には国土交通省道路局の橋梁定期点検要領⁹⁾や道路橋定期点検要領¹⁰⁾をはじめ，各道路管理者が定めている橋梁点検要領といった多数の橋梁点検及

び診断に関するマニュアル類があるが、それらの多くでは橋梁点検（診断を含む）は「適正に行うために必要な知識及び技能を有する者」が実施することとしており、専門知識を有する者による実施を前提としている。しかしながら、2章で述べたように、開発途上国においてはこれまで橋梁点検はほとんど実施されておらず、我が国のような専門家（土木系の学科を卒業し、一定年数の実務経験を有する者）は育っていない。このような点を考慮し、点検項目の選定においては、我が国のマニュアル類を参考にしつつも、専門家でなくとも短期間のトレーニングにより、目視で損傷を確認でき、かつ損傷及び不具合を写真及び音声で記録可能な項目とすることを条件とした。

各点検項目の記録においては、「No Damage（損傷なし）」、「Damaged（損傷あり）」、「Invisible（目視不可）」の3評価あり、いずれかを選択する。「Damaged（損傷あり）」と選択した項目については、損傷部位の写真を撮影、異常音の場合は車両通過時の音を録音し、記録する。

記録項目に「Invisible（目視不可）」を設けた理由は、その橋梁に他の損傷具合により詳細点検が必要と判断された場合、詳細点検実施計画を策定する必要があるが、その際に、通常のアクセス手法では点検が行えないことを示す情報であり、橋梁台帳にある橋梁写真等から詳細点検手法を検討する際に有用であると考えたためである。この情報により、2度目の点検においては、ボート（小舟）を事前に用意する等の準備作業が行えたことから、有効な情報であると言える。

また、上記のように三者択一式（項目によっては二者択一）の点検手法を採用した理由を述べる。表3-6で整理したように、これまでの多くのプロジェクトで行われていた点検手法は、今まで橋梁点検をしていなかった開発途上国の技術者に対して、損傷図を描いて、損傷及びその位置を紙面に記録するという日本の従来手法が主であった。筆者は国内コンサルタント会社に在籍中にこの手法による橋梁点検を行った経験があり、その経験からこの紙ベースでの点検手法はその実施もさることながら、図を描く技術やセンスも求められ、橋梁点検初心者にとってはハードルが高いと感じていたため、浅野¹¹⁾や井林^{7,8,12)}らの研究を参考にし、カンボジアでも適用可能な橋梁点検手法として採用したものである。

b) 評価方法

評価方法として、部材毎に決定する損傷レベル、橋梁毎に決定する損傷評価がある。損傷確認項目には、それぞれ重み付けされた配点が設けられており、チェックを付けた項目の合計点数によって部材毎に損傷レベルが決定される。各損傷確認項目の配点は表 4-5 に示す。評価の一例として、コンクリート床版の場合、2 つの点検項目と 8 つの損傷確認項目が用意されており、合計点数が 20 点以上で「III」、10 点以上 20 点未満で「II」、10 点未満で「I」となる。各損傷の配点に際しては、床版の抜け落ち等、供用交通の安全が脅かされる損傷は、それ一つでも損傷レベル III と判定されるように配点している。また、例えば、構造的に重大な損傷である鉄筋の減肉については、それ自体は 10 点としているが、鉄筋の減肉が確認される場合は、コンクリートの剥離／欠損、鉄筋露出は同時に確認されることも考慮した配点としている。

損傷評価は、損傷レベルの評価数によって決定する。これは全橋梁共通で損傷レベル「III」が 2 つ以上の場合は SD (Seriously Damaged)、損傷レベル「III」が 1 つの場合は D (Damaged)、損傷レベル「II」が 1 つ以上の場合は O (Observation required) とした。

損傷評価手法の策定にあたっては、MPWT からは橋単位での評価結果を求められたが、我が国のような専門家による診断は難易度が高く、かつ点検者により診断結果にばらつきが生じることが想定されたため、点検記録（部材毎の損傷）を基に、前述した重み付け配点により自動的に部材毎の損傷レベルを決定し、その個数により橋単位での損傷評価とした。なお、この損傷評価は何かしらの対策が必要な橋を抽出する（スクリーニング）ため、統一指標による横並びの評価を目的とした。

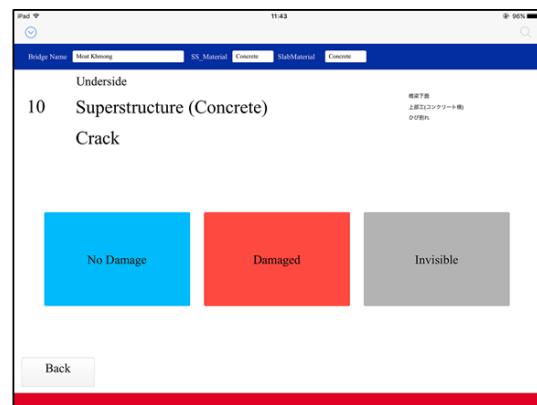
c) 点検の流れ

点検画面を図 4-7 に示す。まず、橋梁一覧画面から橋梁を選択する。選択後、図 4-7(a)に示すように対象橋梁のこれまでの点検結果内容が表示される。「New Inspection」ボタンを選択して点検が開始されると、図 4-7(b)の画面に移動する。画面には、部材、点検項目、選択肢が表示され、はじめに損傷の有無を判断する。損傷がない場合、目視ができない場合は、「No Damage」、「Invisible」を選

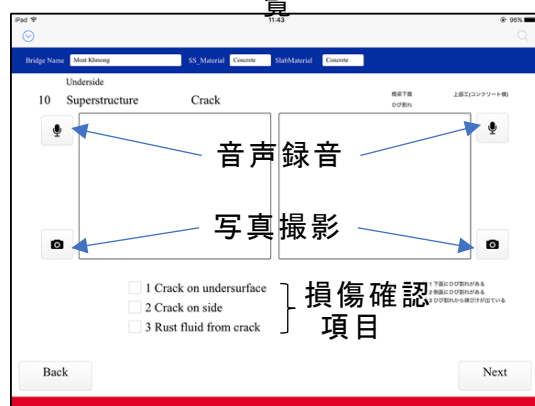
択し次の点検項目へ移動する。損傷がある場合は、「Damaged」を選択し、図 4-7(c)の損傷記録画面へ移動する。この画面では、損傷部の撮影、該当する損傷確認項目にチェックを付ける。点検項目によっては音で損傷を判断する場合（伸縮装置の異常音など）があるため、タブレット端末の録音機能を用いて音声データを記録する。記録可能なデータは点検項目 1 つにつき 2 データとした。すべての点検項目が終了すると備考欄の記入画面（図 4-7(d)）に移動し、項目以外で記録したいことについて記入する。すべて終了すると、次頁の図 4-8 に示すような点検調書が表示される。ここでは、チェックを付けた項目、撮影・録音した損傷の確認、調書の印刷（PDF 出力）が行える。



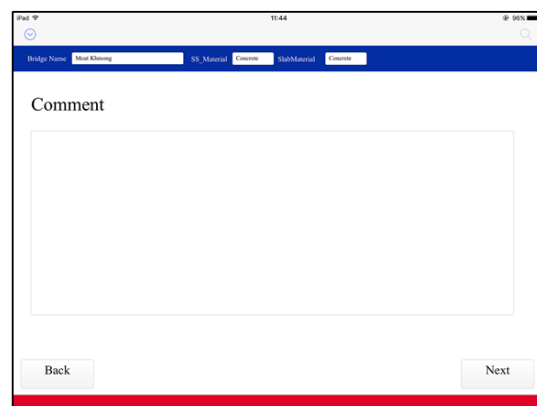
(a) 点検開始，過去の点検結果一覧



(b) 点検画面



(c) 損傷状態の記録



(d) 備考コメント記入

図 4-7 橋梁点検記録機能の画面

Bridge Name: Phum Ty 8

		No Damage	Damage	Unusable	Observation	Unnecessary
Sub-structure	Pierment	Overturning / Buckling	No Damage	Damage		
		Overturning / Buckling	No Damage	Damage		
	Bridge Rating / Guardrail / Curb	Damage	No Damage	Damage		
		Damage	No Damage	Damage		
	Expansion Joint	Step	No Damage	Damage		
		Deformation / Damage	No Damage	Damage		
	Drainage system	Abnormal Sound	No Damage	Damage		
		Clay of drainage pipe	No Damage	Damage		
	Superstructure (Steel)	Corrosion / Rust	No Damage	Damage		
		Crack, Deformation, Loss, Break	No Damage	Damage		
Missing bolt		No Damage	Damage			
Crack		No Damage	Damage			
Superstructure (Concrete)	Reinforcement / Flaking / Exposure of other	No Damage	Damage			
	Reinforcement	No Damage	Damage			
	Rotting	No Damage	Damage			
	Crack / Damage	No Damage	Damage			
Slab (Steel)	Corrosion / Crack	No Damage	Damage			
	Crack	No Damage	Damage			

Bridge Name: Phum Ty 8

		No Damage	Damage	Unusable	Observation	Unnecessary
Sub-structure	Crack / Hole	No Damage	Damage			
		No Damage	Damage			
	Reinforcement / Flaking / Exposure of other	No Damage	Damage			
		No Damage	Damage			
	Rotting	No Damage	Damage			
		No Damage	Damage			
	Crack / Damage	No Damage	Damage			
		No Damage	Damage			
	Deformation / Damage	No Damage	Damage			
		No Damage	Damage			
Superstructure (Steel)	Corrosion / Rust	No Damage	Damage			
	Crack, Deformation, Loss, Break	No Damage	Damage			
	Missing bolt	No Damage	Damage			
	Crack	No Damage	Damage			
Superstructure (Concrete)	Reinforcement / Flaking / Exposure of other	No Damage	Damage			
	Reinforcement	No Damage	Damage			
	Rotting	No Damage	Damage			
	Crack / Damage	No Damage	Damage			
Slab (Steel)	Corrosion / Crack	No Damage	Damage			
	Crack	No Damage	Damage			

Comment: This bridge is very old (built in 1954) and have heavy damage on superstructure and slab as shown in photos and must be to replace new elements of this bridge.

図 4-8 橋梁点検調書

d) その他の機能

作成した点検調書や点検結果の傾向をみるため、特定の条件に該当するデータを抽出できる機能をシステム内に設けた。

橋梁台帳の抽出は、写真以外の各種の橋梁諸元から検索可能であり、条件入力ページは橋梁台帳と同じフォームとなっている。条件に該当する橋梁がある場合には、橋梁一覧ページに該当する橋梁のみ表示され、調書の閲覧や点検を行うことが可能である。また、点検結果の抽出は、調書と同様に写真以外の損傷レベル、点数、チェックを付けた損傷確認項目などの検索で行える。条件入力ページは、総合結果ページと同じである。検索後、該当する点検結果の一覧が表示され、点検結果とその橋梁の点検調書を閲覧することができる。収集した調書や点検結果の傾向を可視化するため、グラフ表示ページを作成し、材種別、建設年別などのグラフの閲覧が可能である。また、これらのデータは統計分析等に用いること考慮し、Excel ファイルにて出力可能な仕様としている。

e) 点検前のトレーニング

橋梁点検を開始する前に、MPWT の職員を対象に橋梁点検（橋梁台帳作成に係るものを含む）の方法及び本システムの操作方法を習得してもらうため、短期集中型のトレーニングを実施した（図 4-9 参照）。



図 4-9 橋梁点検のトレーニング実施状況

トレーニングにおいては単に損傷の有無の判断基準を教えるだけでなく、この点検結果を基にカンボジアの橋梁維持管理計画が策定されること、タブレット端末による橋梁点検は日本でもまだ一部でしか実施されていない等の先進性も交えた説明を行い、点検員のモチベーション向上を図った。また、表 4-5 に例を示した損傷確認項目の判定が肝要であるが、木内らの研究¹³⁾において点検者の違いによる判定結果のばらつきが指摘されている点を考慮し、点検員により判定に差が生じないように、トレーニングは複数の橋梁現場において繰り返し実施し、判定基準の平準化及び点検者のスキルアップを目的として点検員同士で各々の判定結果について議論する時間を設ける¹⁴⁾等、点検結果のばらつき低減を目指した。トレーニング手法は、日本人専門家からの一方向の講義形式になると、点検員も受け身となり、モチベーションも向上しないと考え、日本人専門家との良好な関係構築や当事者意識の醸成にも寄与するようインタラクティブなトレーニングを心がけた。例えば、ひび割れ幅の判定において、日本人専門家を含めた現場トレーニング参加者間でクラックゲージの当て方から議論し、繰り返し実践することにより、点検員間の判定のばらつきは小さくなると思われる。

4.5 システム導入の成果と課題

(1) システム導入の成果

本システムは、2015 年 7 月初旬よりカンボジアにて運用が開始された。点検機材として iPad mini を 10 台導入し、調査手法は MPWT の RID 職員を班長と

して5班（1班4名）編成し、カンボジアの全25州を3つのエリアに分け、エリア1（プノンペン近郊の州）から徐々に地方部へ展開した。調査開始から3ヶ月間はシステムの利用状況のモニタリングを実施し、調査班の日報から求めた調査速度を表4-6に示す。

表 4-6 本システムによる橋梁調査速度

c	所要日数※	調査橋梁数（橋）	調査速度（橋/日/班）
1	71	711	10.0
2	63	821	13.0
3	36	526	14.6
合計	170	2,058	12.1

※1班1日稼働で1日。全5班が1日稼働した場合は5日。

2015年10月2日時点において、約2,000橋の橋梁データを収集した。調査速度としては、最大31橋/日/班、最低1橋/日/班、平均12.0橋/日/班であった。エリア番号が増えるに従い、首都から離れていくため道路の走行性は悪化し、橋梁間の移動距離も長くなると思われるが、それにも関わらず調査速度が向上している。システム導入後の点検に要した時間や点検結果の品質、橋梁間の移動方法と時間といった条件が同一化されていないため、確定的に断ずることは出来ないが、システム利用の習熟度の向上も調査速度向上の一因となった可能性が考えられる。道路の舗装率が非常に低いカンボジアの道路事情を考慮すると、迅速にデータ収集が可能なシステムといえるだろう。参考文献14)において調査した範囲においては、JICAプロジェクトの期間内において、2,000橋を超える橋梁点検を実施し、橋梁台帳データと橋梁点検データをデータベースとして取りまとめた事例はカンボジア以外には確認できなかった。なお、プロジェクトの調査班は本橋梁調査の専門部隊ではなく、所属する部署の日常の業務を行いつつ、本調査を実施したことを申し添えておく。

この調査結果を基に、カンボジアにおける第1次橋梁維持管理計画を策定し、財務省への予算請求資料とした。カンボジアにおいては、予算承認において財務省職員の現場視察が行われるが、本システムから出力される点検調書を説明

根拠資料として用いることで、より説得力のあるものとなったと思われる。

また、プロジェクト終了後も本システムにより橋梁点検が実施され、最終的に 2,439 橋の橋梁データが取得されたことで、カンボジアの橋種割合、橋梁の健全度別割合、損傷橋梁の分布図等が作成された¹⁶⁾。その一部を図 4-10 から図 4-12 に示す。

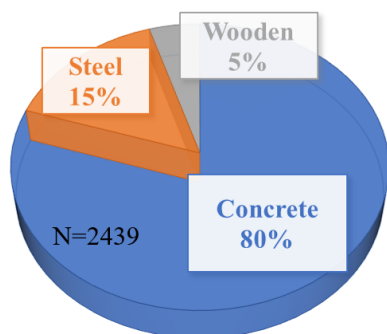


図 4-10 カンボジアの橋種割合¹⁶⁾

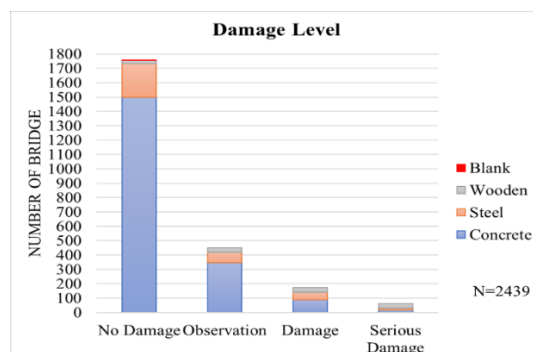


図 4-11 カンボジアの橋梁健全度¹⁶⁾

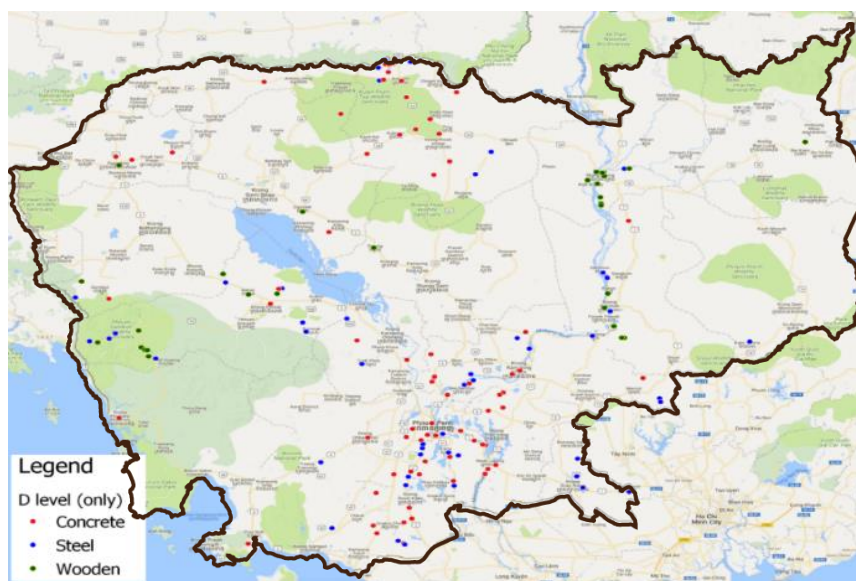


図 4-12 損傷橋梁の分布図¹⁶⁾に筆者一部追記

本システムを用いた橋梁点検により、以下のことが明らかとなった。

- カンボジアの MPWT が管理する橋梁は約 2,400 橋あり、その 80%はコンクリート橋である。
- 鋼橋が 15%あるが、その多くはベイリー橋（仮設橋）である。
- 「Serious Damaged」及び「Damaged」と判定された橋梁は、全体の 10%程度あり、その多くは州道に位置する橋梁である。

これから、カンボジアは発展途上にあるため幹線道路の整備も重要である一方で、住民の生活道路としての機能が大きい州道上に位置する橋梁には深刻な損傷を抱えるものも多く、これらを安全に運用していくためには、計画的かつ効率的な修繕が必要不可欠である。筆者らの所見では、損傷橋梁の多くは打込み時のコンクリート締固め不足や充填不良といった初期品質に起因すると思われるものが多く、施工時の品質管理も維持管理上の課題の一つとして明らかになった。そして、管理すべき橋梁数、橋梁位置、橋梁の現状等が明確になったことで様々な議論を始めることができ、その一例として点検頻度は本実践結果も踏まえて5年に1回（年500橋程度）であれば、カンボジア自身でも実施可能な頻度であると合意の上、決定することができた。

また、橋梁点検を開始する前に、橋梁点検手法ならびに本システムの使い方について調査員となるMPWT職員に研修を実施したが、紙ベースでの管理に変わり、クライアントにタブレット端末を用いることで確実なデータ記録や省力化、及びデータの一元的な集約を実現するものであることから、MPWT職員の関心度も高く、かつ積極的な参加であった。本システムを橋梁点検及び橋梁維持管理への教育・研修ツールとしての利用も今後有効であると思われる。更に、MPWTは本システムにより取得した橋梁データを利用し、衛星写真の経年変化から橋梁の架設年を推定する研究を行っている¹⁶⁾。これらのことから、導入したシステムにより取得されたデータの有用性が伺える。

(2) カンボジアにおける課題と実践知

第2章において、開発途上国における橋梁維持管理の課題を述べたが、カンボジアも同様に、これまで全国レベルで統一した指標により体系的な橋梁点検が実施されておらず、MPWTが管理する橋梁の状態が把握されていないという問題を抱えていた。従って、MPWT技術者の橋梁点検に関する技能は当然不足していることから、点検手法は我が国の様な損傷図を描く手法とはせず、予め定めた点検（損傷）項目に対して、その損傷が発見された場合は損傷あり、無い場合は損傷無しで回答し、損傷ありの場合は損傷写真を撮影するという簡易な手法を導入した。これにより、プロジェクト期間内にMPWTが管理する全国レベルでの橋梁データの収集が実現できた。また、この橋梁データを基にカン

ボジアにおける第1次橋梁維持管理計画を策定できたことは大きな成果である
と考える。

本システムは新潟市において導入されていた橋梁点検システムにヒントを得
て、カンボジア用に開発し、JICA プロジェクトにて導入したものであるが、特
に気候の違いによるものと思われる不具合が生じた。調査を開始した時期はカ
ンボジアの雨期にあたる7月～10月であり、乾期の3月～4月に比べ気温は低
くなるが、それでも日本の真夏と同程度の気温であるため、高温が原因と思わ
れるタブレット端末の強制終了が多々生じた。プロジェクトにおいては、予備
のタブレット端末を用意し、1班2台体制とすると共に移動中の車内でタブレ
ット端末を冷却するなどの対策を行ったが、根本的な解決には橋梁点検中に稼
働可能な冷却装置の開発等が必要である。

しかし、それ以外はどの地域においても特段のトラブル無く運用され、全国
レベルでの情報収集が可能であることが確認できた。日本と同程度の気温環境
下にある国では特段問題無く導入できると思われる。

また、導入当初は現場において位置情報が正常に取得できないという問題が
生じたが、因果関係を証明するには至っていないものの、これも端末が高温にな
ったことが一因と考えられる。当初のシステムにおいては、4.4 (3)で述べたよ
うな別のアプリケーションによる位置情報の確認機能はつけていなかったため、
データベースでインベントリーデータを確認した際に、その間違いが判明した。
当然、データを後から修正することは可能であるが、橋梁の位置（緯度、経度）
を点検後に Web 等により調査し、データを修正することは時間を要することか
ら、現場で取得した位置情報をその場で確認できる機能をつけたことは、点検
精度の向上のみならず、その後の記録という作業の軽減にも寄与したと考える。
更に、位置情報の確認に外部のアプリケーションを用い、データベース作成に
用いた FileMaker が持たない機能を実装し活用したことで、データベースと外
部アプリケーションとの連携の可能性を示した。これは、将来的なデータベー
スの管理・運用・更新という課題に対しても有用な知見となると考える。

(3) 他の開発途上国への展開

筆者らが開発し、カンボジアに導入した橋梁データベース作成システムは開

発途上国の実状及び要求事項に応えたものであり、これまで現場の担当者が持っていた明文化されていない暗黙知に依存し、かつ属人的であった橋梁点検・診断及び記録をデータベースにより形式知かつ集合知に変換させたことで、維持管理を担う行政機関として橋梁の状態を把握することが可能となった。

表 2-1 で示した技術協力プロジェクト以降もパキスタン国パンジャブ州、南スーダン等を対象とした同様のプロジェクト（詳細計画策定調査含む）が公示されており（2022 年 9 月 14 日現在）、今後も多くの開発途上国及び地域へ橋梁維持管理技術の支援は広がっていくと推察される。それらの国々へ本システムの適用を広げていくためには、カンボジアでの実践を通して得た課題を改善し、より使い勝手の良い手法及びシステムにしていく必要がある。

具体例としては、熱帯地域のカンボジアでの実践を通じて、高温環境下でのタブレット端末の使用は、タブレット端末の発熱によりシステムがダウンすることが課題として明らかになった。この問題に対する抜本的な対策は、冷却可能なケースを開発する等の物理的対策であるが、システム改良により少しでも点検時間を短くし、現場点検中のシステムダウンのリスクを軽減出来る可能性を検討した。前述したように、入力をプルダウン方式とするなどの工夫は当初からしていたものの、再度システムの仕様を見直し、“点検時間の短縮”と“全世界でシームレスに使用可能”なシステムを目指し、以下の点に配慮した改良を行った。

- 端末の携帯性と入力時の操作性（片手で入力可能）を考慮し、クライアント端末としてスマートフォンの使用を前提
- スマートフォンの内蔵機能で取得できる情報（例：GNSS（Global Navigation Satellite System）機能での橋の位置の取得）は、入力ミスや時間を減らすために自動取得
- 英語圏と非英語圏では、公用語の音からアルファベット表記に変換されることが多く、情報のスペルが異なる場合があるため、地域名、道路名、材料名など、あらかじめ決められた項目についてはプルダウンリストやチェックボックス形式を採用し、迅速な入力と将来の検索性の確保
- 記入漏れを防ぐため、記入が必要な箇所は赤色で強調。記入不要箇所は、グレースアウト

- 橋梁の長さや幅など数値で入力する項目はテンキーで入力．カンマや小数点の意味が国によって異なるため，解釈ミスを防ぐために小数点のみを使用
- 橋梁点検は、橋梁の端から端まで、橋梁面から下部工周辺の地面まで移動しながら目視点検を行うため，システム側の都合による移動が無い点検画面構成
- データ転送時の不可を軽減させるため，写真サイズを低減
- 多言語化への対応

上述の点について改良を加えたシステムとその導入結果については，次節で述べる．

4.6 橋梁データ収集システムの改良とマダガスカル国での実践

(1) 改良後のシステムの概要

前述のように，著者の橋梁データ収集システムは橋梁台帳作成機能と橋梁点検記録機能の2つからなるものである．最初に動作する橋梁台帳作成機能については，トップ画面で国及びシステム内で使用する言語の選択が出来るようにした．また，スマートフォンの使用を前提にしたインターフェースの修正，写真サイズの低減等の改良を加えた．基本的な入力手順・方法は前節で述べたものと同じである．

橋梁点検記録機能については，点検時間の短縮を目指した改良を行った．カンボジアに導入したシステムの点検順序は，表 4-5 の損傷確認項目の順番で点検を行うシステムであったため，点検員は現場でその順序で動く必要があり，柔軟性に欠けていたと思われる．従って，点検員の動きを拘束しないことが点検時間の短縮に繋がると考え，システムを改良した．各機能の詳細を次節で説明する．

(2) 改良した橋梁データ収集システム

a) 橋梁台帳作成機能

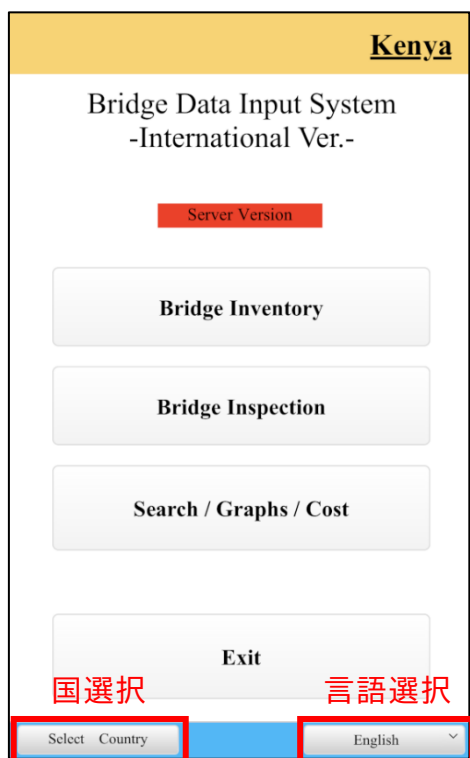
システムのトップ画面を次頁の図 4-13(a)に示す。トップ画面においては使用する国（図 4-13(b)）及び言語（図 4-13(c), (d)）を選択し、国を選ぶことで次に続く台帳情報入力画面において、その国の地域名や道路名のリストを切り替えるようにしている。従って、事前に調査する国の地域名（日本で例えると、都道府県及び市町村）及び道路名のリストを作成し、システム内にインストールしておく必要がある。

言語選択に関しては、現時点（2022 年 9 月末）において、以下に示す 10 言語に対応している。

- | | |
|-----------------|--------------|
| ● 日本語 | ● タジキスタン語 |
| ● 英語 | ● スワヒリ語（ケニア） |
| ● フランス語 | ● アラビア語 |
| ● マラガシ語（マダガスカル） | ● ネパール語 |
| ● タガログ語（フィリピン） | ● スペイン語 |

言語の切り替えは、各画面に配置されている言語選択のポップアップメニューのリストからも選択可能であり、作成した各調書も任意の言語で出力することが可能である。また、対応言語の追加は本システム上で使用する約 300 単語について VBA と翻訳サイトを用いて任意の言語に翻訳し、Excel ファイル形式でまとめ、システムにインポートする。1 つの言語を追加するのに 30 分程度の時間を要するものの、これまで一部のプロジェクトで行われていた日本のシステムを海外へ持っていく際に必要であった言語の修正作業に比べて圧倒的に短時間であり、かつ高額な翻訳等の費用も不要となることから、開発途上国への導入に非常に適している手法であると思われる。翻訳の精度は翻訳サイトに依存するため、複雑な表現等を用いると翻訳の精度が低下する可能性が高くなるため、システム内で用いる単語は簡易な表現を用いるようよう配慮した。

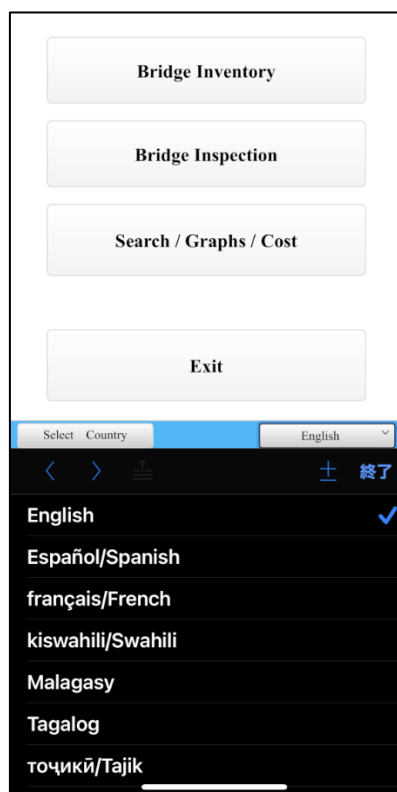
また、旧システム同様にフリーの地図アプリ **Maps.me** とリンクさせ橋梁位置の確認を容易にしている点、入力に際しては、リストはプルダウン表示、テキスト入力の場合はキーボード、数値入力の場合はテンキーを表示させる等の配慮により、入力時間の削減を図っている。橋梁規模にも依るが、単径間、橋長 30m 程度の橋であれば、10 分程度で橋梁台帳を作成可能であることを確認した。



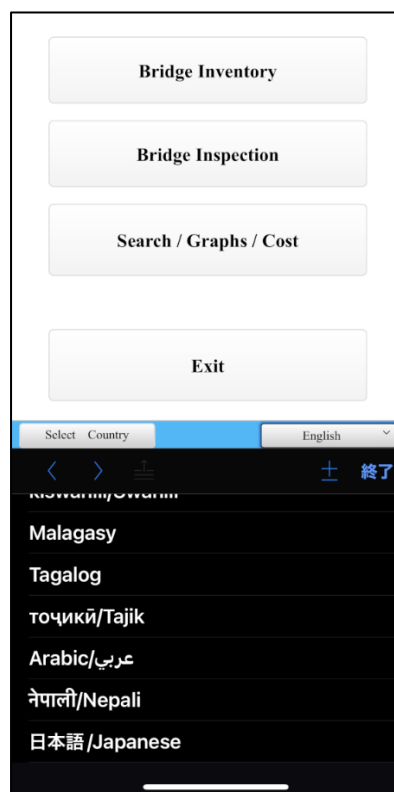
(a) トップ画面



(b)国選択画面



(c)言語選択画面 1



(d)言語選択画面 2

図 4-13 改良後のシステムの国選択及び言語選択画面

b) 橋梁点検記録機能

カンボジアに導入したシステムの点検順序は、路面（舗装、高欄・防護柵・地覆、伸縮装置、排水施設）→上部構造→床版→支承周り→下部構造といった構造部材の順番で、かつ決められた順序（表 4-5 の損傷確認項目の順番）で点検項目毎に損傷の有無を確認するシステムであった。この点検方法では、例えば、橋梁の点検は常に路面から始めなければならないこと、下部工の点検中に床版の損傷を発見した場合、該当する損傷項目の画面に 1 画面ずつ順番に戻る必要があること、といった課題が確認された。更に、旧システムでは例えば図 4-7 の 2)のように上部工のクラックの有無のみを尋ねる手法であったが、点検員は現場でコンクリートのクラック、かぶりの剥落、鉄筋露出を同時に認識していること、そしてこのような損傷は同位置（写真を撮影すると一緒に写る範囲）に発生していることが多いことから、損傷の種類別に損傷の有無を尋ねるのではなく、まず上部工に損傷があるか否かを尋ね（図 4-14 画面(c)）、ある場合はその次に損傷の種別を選択し（図 4-14 画面(d)）、写真を撮影する（図 4-14 画面(e)）という手法に変更した。この変更により、写真もまとめて 1 枚とすることが可能となることから、システム内のデータ容量の縮減にも寄与していると考えられる。

また、前述したように本システムは新たな橋梁を登録する場合、まず橋梁台帳作成機能により、橋梁台帳を作成し、その後、その橋梁台帳データに紐付ける形で橋梁点検記録を登録していくものである。従って、橋梁台帳が作成された時点は、点検員は下部工情報の入力を終えたところであり橋梁の下にいる可能性が高く、橋梁点検を開始するにあたり、一度路面に戻る必要があることがわかった。そこで、この移動時間を無くすことも点検時間の短縮に寄与すると考え、橋梁台帳を作成した後、点検員がその場所に関係なく最も身近な部材から橋梁点検を開始できるようにシステムを改良した（図 4-14 画面(b)及び画面(f)）。

改良した橋梁点検記録機能は、旧バージョン同様、路面、上部構造（主桁／主構造、床版）、下部構造（橋脚、橋台）、支承周りの 6 部位について点検を行う。各部材には損傷確認項目が設定されており、損傷の種類や程度をチェック

ボックス形式で入力する。橋面と支承周りについての損傷確認項目は全ての橋で共通であり、その他部材については橋梁調書作成システムで入力した各種毎に損傷確認項目が設定される。例として、上部工はコンクリート橋、鋼橋、木橋、石橋に分かれており、コンクリート橋の場合はひび割れや遊離石灰、豆板等、鋼橋の場合はボルトの抜けや錆汁、塗装の剥がれ等の損傷確認項目が設定されている（表 4-7）。我が国の国道上にかかる橋梁はほぼ全てがコンクリート橋と鋼橋であるが、著者は開発途上国において中央省庁が管理する道路上であっても木橋、石橋が存在することを現地で確認しており、これらの橋種にも対応するため大分県橋梁定期点検要領（案）¹⁶⁾等を参考にし、木橋、石橋についてもカバーしている。

図 4-14 は改良したシステムの画面遷移を示したものである。まず、点検を開始するにあたり、装備及び持ち物のチェックを行う。チェック完了後、「Yes」をタップすると点検開始ボタンが ON になり、点検を開始できる（図 4-14(a)）。続いて、点検する橋梁部材を選択する（図 4-14(b)）。橋梁部材は表 4-7 にまとめた 5 つの部材に分類されており、点検員は都合の良い部材から検査を開始することができる。図 4-14 の(c)から(e)までが検査データの入力画面である。画面(c)で選択した要素に損傷がない場合は、「No Damage」を選択する。一方、何らかの損傷が見つかった場合は、「Damaged」を選択すると橋梁部材の損傷の種類をチェックする画面（画面(d)）となる。なお、画面(d)に表示される選択肢は、表 4-7 の「損傷確認項目」に記載の項目である。次に、写真撮影のための画面が表示される（画面(e)）。画面(e)では、各要素において 6 枚の写真を記録することができる。そして、路面以外の要素については、「Not Visible」というオプションを設けている。上部構造、橋台、橋脚、支承周りは点検が可能な場所へのアクセスが地形や検査路が無い等の理由で目視確認が困難な場合は「Not Visible」を選択する。「Not Visible」は、橋梁台帳の写真や Web 上の衛星写真及びストリートビュー等を参考に、点検員が次回検査時にどのようにアクセスし、どのように検査するかを事前に検討できる点でも有用な情報であると考えられる。このように、最初に損傷の有無を確認し、損傷を発見した場合は損傷の種類を確認し、損傷の写真を撮影するという画面遷移の順序は、全部材共通である。続いて、点検員は他の部材の点検を任意の部材から続けることができる。既に

← English français 日本語

The inspection will start from now on.
Do you have the following items?

☒ Yes ☐ No

Start Inspection

(a) 装備のチェック, 点検開始

← English français 日本語

Which element do you check?

Road surface

Superstructure / Slab

Abutment

Pier

Around the bearing

Comment by inspector

(b) 部材の選択

English français 日本語

Superstructure / Slab

Are there any abnormalities in the superstructure
and slab?

No Damaged

Damaged

Not Visible

(c) 損傷の有無の入力

← English français 日本語

Superstructure / Slab

Check out the damage you find

Superstructure

- ☐ 1 Cracks
- ☒ 2 Free lime
- ☐ 3 Rust fluid
- ☒ 4 Honeycomb
- ☐ 5 Delamination
- ☒ 6 Rebar exposure

Slab

- ☐ 1 Corrosion
- ☒ 2 Rust
- ☒ 3 Cracks
- ☐ 4 Deformation
- ☐ 5 Section loss
- ☒ 6 Fracture

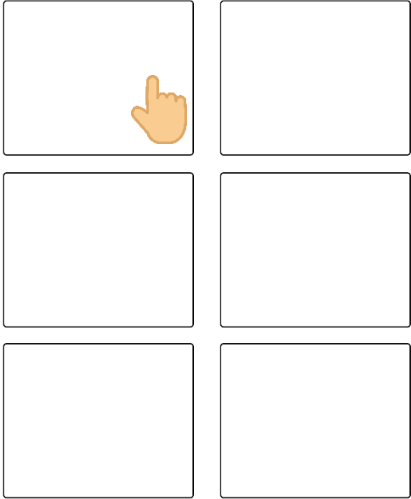
→

(d) 損傷確認項目の入力

← English français 日本語 →

Superstructure / Slab

Take a picture of the damaged part



(e) 写真撮影(損傷有りの場合)

← English français 日本語 →

Which element do you check?

Road surface

Superstructure / Slab

Abutment

Pier

Around the bearing

Comment by inspector

(f) 部材の点検完了

← English français 日本語 →

Which element do you check?

Road surface

Superstructure / Slab

Abutment

Pier

Around the bearing

Comment by inspector

(g) 全部材の点検完了

← English français 日本語 →

Comment by inspector

Comment

Signature

Inspector Name

→

(h) テキスト入力及び署名

図 4-14 改良後の橋梁点検記録機能の画面遷移

点検が完了した部材はボタンの色が水色に変わり点検完了を示しているが、再度タップすることで追加の入力及び入力内容の確認はできる（図 4-14(f)）。以上の点検順序で全部材の点検が完了すると、「Comment by inspector」のボタンがオンになり（図 4-14(g)），点検員は点検時の気付いた点等を入力することができ、その後、署名、氏名のテキスト入力を行い（図 4-14(h)），点検完了となる。点検結果は iPhone 内に保存され、図 4-15 に示す橋梁点検調書が作成できる。















Inspection Date		Total Score		Damage Level	
2021/07/06		23.0		III	
Damaged Element	Road surface				
Situation	<input checked="" type="checkbox"/> Rutting on pavement <input checked="" type="checkbox"/> Damage on expansion joint <input checked="" type="checkbox"/> Clogging drainage				
Comment				Damage Level	III
Damaged Element	Superstructure (Concrete)				
Situation	<input checked="" type="checkbox"/> Cracks <input checked="" type="checkbox"/> Rebar exposure				
Comment				Damage Level	II
Damaged Element	Deck Slab (Concrete)				
Situation	<input checked="" type="checkbox"/> Cracks <input checked="" type="checkbox"/> Rebar exposure				
Comment				Damage Level	II
Damaged Element	Abutment (Concrete)				
Situation	<input checked="" type="checkbox"/> Cracks				
Comment				Damage Level	I

図 4-15 システム改良後の橋梁点検調書

表 4-7 改良した橋梁点検記録機能の損傷確認項目一覧

部位及び部材			損傷確認項目	配点	判定条件 DL I, II or III	部材 スコア (A)	部材の 重み (B)
路面	路面	路面	轍ぼれ	1	1-2 点: I 3-5 点: II 6 点以上: III	DL I: 1 DL II: 3 DL III: 5	10%
			舗装のひび割れ	1			
			縁石の欠損	1			
			縁石の鉄筋露出	2			
			高欄・防護柵の損傷	3			
			高欄・防護柵の崩落	6			
			伸縮装置上の損傷	3			
			排水施設の詰まり	3			
上部構造	主桁／主構造	コンクリート橋	ひび割れ	2	1-3 点: I 4-7 点: II 8 点以上: III	DL I: 1 DL II: 3 DL III: 5	30%
			遊離石灰	1			
			錆汁	3			
			豆板	2			
			被りの剥離	5			
			鉄筋露出	5			
		鋼橋	塗装の剥がれ	2	1-4 点: I 5-9 点: II 10 点以上: III		
			腐食	4			
			錆び	2			
			ひび割れ	5			
			変形	3			
			断面欠損	3			
			破断	5			
			ボルトの抜け	3			
		木橋	腐食	3	1-2 点: I 3-4 点: II 5 点以上: III		
			ひび割れ	2			
			部材の脱落	5			
		石橋	ひび割れ	2	1-3 点: I 4-6 点: II 7 点以上: III		
			断面欠損	2			
			ふくらみ	2			
			石材抜け落ち	2			
			変形	3			

部位及び部材			損傷確認項目	配点	判定条件 DL I, II or III	部材 スコア (A)	部材の 重み (B)
	床版	コンクリート	ひび割れ	2	1-4 点: I 5-9 点: II 10 点以上: III	DL I: 1 DL II: 3 DL III: 5	10%
			遊離石灰	1			
			錆汁	3			
			豆板	2			
			被りの剥離	5			
			鉄筋露出	5			
			コンクリートの剥落	5			
		鋼製	腐食	3	1-4 点: I 5-9 点: II 10 点以上: III		
			錆び	2			
			ひび割れ	5			
			変形	3			
			断面欠損	4			
			破断	5			
		木製	腐食	3	1-2 点: I 3-4 点: II 5 点以上: III		
			ひび割れ	2			
			部材の脱落, 穴	5			
下部構造	橋台	コンクリート造	ひび割れ	2	1-4 点: I 5-9 点: II 10 点以上: III	DL I: 1 DL II: 3 DL III: 5	20% (If single span, 40%)
			遊離石灰	1			
			錆汁	3			
			豆板	2			
			被りの剥離	5			
			鉄筋露出	5			
			沈下／洗掘	10			
		石造	ひび割れ	2	1-4 点: I 5-9 点: II 10 点以上: III		
			ずれ・開き	2			
			石材の抜け落ち	3			
			変形	3			
			沈下／洗掘	10			
		木造	腐食	3	1-2 点: I 3-4 点: II 5 点以上: III		
			ひび割れ	2			
			沈下／洗掘	5			

部位及び部材			損傷確認項目	配点	判定条件 DL I, II or III	部材 スコア (A)	部材の 重み (B)	
下部構造	橋脚	コンクリート造	ひび割れ	2	1-4 点: I 5-9 点: II 10 点以上: III	DL I: 1 DL II: 3 DL III: 5	20%	
			遊離石灰	1				
			錆汁	3				
			豆板	2				
			被りの剥離	5				
			鉄筋露出	5				
			沈下／洗掘	10				
		鋼製	腐食	3	1-4 点: I 5-9 点: II 10 点以上: III			
			錆び	2				
			ひび割れ	5				
			変形	3				
			断面欠損	4				
			破断	5				
			沈下／洗掘	10				
		コンクリート＋鋼製	コンクリートのひび割れ	2	1-4 点: I 5-9 点: II 10 点以上: III			
			遊離石灰	1				
			錆汁	2				
			豆板	1				
			被りの剥離	3				
			鉄筋露出	3				
			鋼部材の腐食	3				
			鋼部材の錆び	2				
			鋼部材のひび割れ	4				
			変形	2				
			断面欠損	3				
			破断	4				
			沈下／洗掘	10				
			木造	腐食				3
		ひび割れ		2				
		沈下／洗掘		5				

部位及び部材			損傷確認項目	配点	判定条件 DL I, II or III	部材 スコア (A)	部材の 重み (B)
		石造	ひび割れ	2	1-2 点: I 3-6 点: II 7 点以上: III		
			ずれ・開き	2			
			石材の抜け落ち	2			
			変形	2			
			沈下／洗掘	7			
支承周り	支承周り	支承と伸縮装置	堆積物	2	1-4 点: I 5-9 点: II 10 点以上: III	DL I: 1 DL II: 3 DL III: 5	10%
			錆び	3			
			滞水	2			
			機能障害	5			
			脱落	5			
			遊間の異常	4			

本システムで採用した橋梁点検方法は、表 4-7 に示した損傷項目の有無を確認し、損傷がある場合は損傷状況を写真撮影して記録するものである。点検結果の評価においては、各損傷項目に橋梁の構造的影響を考慮し、1～10 点を配点している。クラックや遊離石灰等の軽微な損傷は低い点数、下部工の沈下等構造的に影響を与えるものは高い点数としている。これらの配点は、橋梁技術者である筆者の経験に基づいて初期値として設定したものであり、点検結果を精査し、変更が必要となった場合は変更可能である。損傷項目の点数を合計し、該当する部材の合計点数を求める。この点数を部材の種類ごとに定められた判定基準に基づき、3 段階の損傷レベル（表 4-7 参照，DL (Damage Level) I～III）で評価し、各部材について DL I を 1 点，DL II を 3 点，DL III を 5 点として点数を付与する。そして、路面，上部工，床版，橋台，橋脚，支承周り部材のそれぞれに 10%，30%，10%，20%，20%，10%の重みが割り当てられている。単スパンでは，下部工は橋台のみであるため，下部構造として 40%としている。各部材のスコア（A）に対応する部材の重み（B）を乗じた値の合計を橋全体の損傷スコア（T）とし、次のようにする。

$$T = \Sigma(A \times B) \quad (1)$$

橋梁全体の損傷程度は、表 4-8 に示すように T の値により 4 段階に分けられる。

表 4-8 橋梁としての損傷判定基準

橋梁の損傷判定	T の値
SD (Serious Damaged)	Above 1.5
D (Damaged)	1.0 to 1.5
O (Observation required)	0.6 to 0.9
N (No damage)	Under 0.6

このように本システムでは、部材の損傷の有無、部材の損傷度、橋梁全体の損傷度など、複数のレベルで橋梁の損傷を評価することができ、これにより、データベースにおいて以下のような検索が可能となる。

- コンクリート桁にひび割れがある橋梁
- 上部工や下部工に著しい損傷がある橋梁
- 緊急の対策が必要な橋梁

また、表 4-7 に示した各損傷項目への配点、損傷レベルの分類基準、部材毎の配点、部材の重み、表 4-8 の分類基準は、収集したデータや損傷写真を基に、管理者の橋梁保全の方針に応じて、例えば上部構造や床版の損傷に重点を置いた評価にすることは可能である。

(3) マダガスカルでの実践

筆者は 2021 年 6 月末から 7 月初旬にかけて、マダガスカル国道路・橋梁維持管理能力強化プロジェクトでのベースライン調査に改良後のシステムを導入し、125 橋の橋梁データを収集した。調査日毎の点検橋梁数を表 4-9 に示す。

マダガスカルへの導入にあたっては、2020 年から世界的に流行した新型コロナウイルス（以下、COVID-19）の影響により筆者ら JICA 専門家の渡航が制限されたため、オンラインで現地の技術者にシステムの操作方法を説明し、いくつかの橋のデータを試行的に収集した。そのデータを確認し、マダガスカル側単独で調査可能と判断した後、2021 年 6 月 23 日からマダガスカルで現地技術者（現地コンサルタント会社）により調査を実施した。

表 4-9 調査日毎の点検橋梁数

調査日	点検橋梁数	調査日	点検橋梁数
6 月 23 日	7	7 月 1 日	12
6 月 24 日	14	7 月 2 日	6
6 月 25 日	10	7 月 3 日	11
6 月 26 日	点検無し	7 月 4 日	10
6 月 27 日	4	7 月 5 日	16
6 月 28 日	7	7 月 6 日	8
6 月 29 日	12	計	125
6 月 30 日	8	日平均	9.6 (橋／日)

点検橋梁数は調査 1 日あたり 4～16 橋とばらつきがあったが、これは橋梁密度¹⁸⁾(道路 1km 当たり何橋あるか)や道路状況によるものと思われる。平均データ収集量は 9.6 橋／日であり、渡邊ら¹⁸⁾がカンボジアで行った調査開始時(10.0 橋／日)と同程度であった。ただし、カンボジアで実施した調査とは異なり、システムの使用方法の説明はオンラインで行われ、橋梁データの収集は日本からの遠隔管理で行われたものである。このような状況下においても、渡邊ら¹⁸⁾のカンボジアでの実践と同じデータ収集量が得られたことは、初めての人も簡単に操作でき、扱いやすいシステムであったと推察される。

岩政ら¹⁹⁾は、同時期にタジキスタン国橋梁維持管理能力向上プロジェクトにおいて渡邊ら¹⁸⁾がカンボジアで採用した手法と同じ手法を用いて、橋梁調査を行っている。これは、マダガスカルと同様に COVID-19 の流行下であったため、マダガスカルでのベースライン調査と同様に遠隔指導条件下での橋梁調査である。岩政ら¹⁹⁾のタジキスタンの橋梁調査では、最大 2 チーム／日、計 55 日間で 431 橋のデータを収集し、平均 5.7 橋／日／チームのデータ収集率であった。これと比較すると、マダガスカルでの橋梁調査結果(速度)は、タジキスタンの約 1.7 倍であり、システムの改良による効果を示す可能性は高い。マダガスカルとタジキスタンでは地形や気候条件、橋梁密度等が異なるため、完全に同一条件での直接比較はできないものの、使用したシステムや機器、点検員が初めてシステムを操作する点などは同じであるため、マダガスカルでの改良後のシステムの効果を判断するために部分的な比較は可能であると考えられる。

橋梁点検システムで最も重要な損傷評価について、表 4-7、表 4-8 に示した基準で重大損傷（SD）と評価された橋梁の損傷写真の例を図 4-16 に示す。これらの損傷写真例から、橋梁管理者は、このシステムを利用しデータベース上で SD に分類された橋梁を迅速に特定することが可能であり、措置を検討するに十分な機能を有していると思われる。図 4-16 に示した SD と判定された橋梁の写真には軽微な損傷しか写っていないものもあるが、表 4-7 に示した各 DL に対する点数は初期値であり、得られた点検結果に基づいて各点検項目や DL の定義基準の見直し、表 4-8 の損傷判定基準の見直し等を行い、精度を向上させることが可能である。これらの作業は橋梁の維持管理サイクルの一部であり、同サイクルを確実に循環させることは将来的な課題である。

		
舗装のひび割れ	防護柵の損傷	コンクリート桁の豆板
		
コンクリート桁の鉄筋露出	コンクリート桁のひび割れ	鋼部材の変形
		
支承の機能不全	橋台の洗掘	橋脚の洗掘

図 4-16 重大損傷（SD）と評価された橋梁の損傷写真例

【参考文献】

- 1) Anton J. Kleywegt and Kumares C. Sinha: Tools for Bridge Management Data Analysis
Bridge management, TRANSPORTATION RESEARCH CIRCULAR. (423): pp.16-26,
1993, <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trcircular/423/423-002.pdf>, (2022 年 6 月
6 日現在)
- 2) Ministry of Public Works and Transport: Current Status of Asian Highway Network in
Cambodia, 6th Meeting of the Working Group on the Asian Highway Network 3-4
November 2015, Seoul, Korea.
- 3) <https://www.mlit.go.jp/common/001090411.pdf>, (2022 年 6 月 6 日現在)
- 4) 国土交通省：道路統計年報 2019
- 5) Anwar, S. A. 2010. Bridge Performance Measures (BPM), US Department of
Transportation, Federal Highway Administration, Detroit, Michigan.
- 6) 一般社団法人次世代センサ協議会社会インフラ・モニタリングシステム
研究会：自治体橋梁における橋梁点検業務実態調査報告書【課題・ニー
ズ調査編】，2016.12
- 7) 新潟市土木部土木総務課：タブレット端末を活用した小規模橋梁点検の
取り組み，北陸の建設技術，2019.1
- 8) 土木学会技術推進機構：アセットマネジメントシステム実装のための実
践研究委員会平成 29 年度成果報告書，2018.3
- 9) 国土交通省道路局国道・技術課：橋梁定期点検要領，2019.2
- 10) 国土交通省道路局：道路橋定期点検要領，2019.2
- 11) 浅野和香奈，子田康弘，岩城一郎：簡易橋梁点検チェックシートと橋マ
ップを用いた住民先導型橋梁セルフメンテナンスモデルの構築と実装，
土木学会論文集 F4（建設マネジメント），Vol.75, No.2, pp.36-49, 2019,
https://doi.org/10.2208/jscejcm.75.2_I_36
- 12) 井林 康，丸山 明：地方自治体向けのタブレット端末利用の橋梁概略点
検システムの開発と実証実験，インフラメンテナンス実践研究論文集，
Vol.1, No.11, pp. 8-17, 2022.3, https://doi.org/10.11532/jsceim.1.1_8
- 13) 木内順司，齋藤善之，杉本博之：点検結果のばらつきを考慮した橋梁の
最適維持管理計画に関する研究，構造工学論文集，Vol. 57A, pp. 155-168,

2011, <https://doi.org/10.11532/structcivil.57A.155>

- 14) 深谷亘，鈴木康芳，山田光希：橋梁診断を通じたアセットマネジメントに係る人材育成・地域支援，土木技術資料，Vol. 55, No. 8, pp. 34-37, 2013.
- 15) 独立行政法人国際協力機構，株式会社建設技研インターナショナル：開発途上国における橋梁維持管理にかかる支援に関する調査（プロジェクト研究）最終報告書，平成 31 年 2 月
- 16) Eam Sovisoht: Estimation of Bridge Construction Years in Cambodia by the Analysis of Landsat Satellite Data, 東京大学修士論文，2020.1
- 17) 大分県土木建築部道路保全課：大分県橋梁定期点検要領（案），令和元年 11 月
- 18) 渡邊正俊，井林康，五艘隆志，皆川勝：開発途上国における橋梁維持管理の課題と橋梁データベース作成システムのカンボジア全国レベルでの導入・実践，土木学会論文集 F5（土木技術者実践），Vol.77, No.1, pp.70-83, 2021, https://doi.org/10.2208/jscejppce.77.1_70
- 19) 岩政瞳，片山英資，山本民夫，渡邊正俊：タジキスタンにおける橋梁維持管理の課題と橋梁データベースの構築手法に関する考察，インフラメンテナンス実践研究論文集，Vol.1, No.1, pp.125-133, 2022.3, https://doi.org/10.11532/jsceim.1.1_125

第5章 橋梁点検基礎の学習システムの開発

5.1 はじめに

我が国の文部科学省は、平成 26 年の中央教育審議会への諮問¹⁾において、『学びの成果等を表現し、更に実践に生かしていけるようにすることが重要である』、『「何を教えるか」という知識の質や量の改善はもちろんのこと、「どのように学ぶか」という、学びの質や深まりを重視することが必要であり、課題の発見と解決に向けて主体的・協働的に学ぶ学習（いわゆる「アクティブ・ラーニング」）や、そのための指導の方法等を充実させていく必要がある』、『学びの成果として「どのような力が身に付いたか」に関する学習評価の在り方についても、同様の視点から改善を図る必要がある』と述べている。これらの指摘は、我が国の初等中等教育に限らず、これから橋梁維持管理に取り組む開発途上国においても同様に該当するものであり、技術協力プロジェクトにおいても共通するものであると考える。

JICA の技術協力プロジェクトにおいては、例えば各国の状況を踏まえて橋梁点検の体系、点検の頻度等を決定し、それらを橋梁点検マニュアルに盛り込むというようなマニュアル類の策定を行っている²⁾が、橋梁点検の基礎的部分は構造力学や橋梁工学であり、各国で大きく事情が異なるという点は少ない。

筆者はこれまでキルギス、カンボジア、ミャンマー、ケニアで実施された JICA 支援の橋梁維持管理にかかる技術協力プロジェクトに JICA 専門家として従事してきた経験を通じて、以下の課題を感じていた。

- 橋梁維持管理への関心度が低い
- 橋梁維持管理に係る教育ツール、システム等が無い
- 技術の定着の評価が難しい

また、2020 年初めから世界的に猛威を振るい始め、2022 年 9 月末時点においても未だその終焉を迎えていない COVID-19 の影響により、海外への移動が厳しく制限される状況になり、これまで JICA の技術協力プロジェクトにおいては対面で実施してきた JICA 専門家からの講義の多くはオンラインツールを用

いたリモート形式に変化した。

このような社会的に大きな変化に直面したこと，更に前述の課題を解決するために，橋梁維持管理の基礎知識となる橋梁点検の基礎を主体的，能動的に学習可能な e-Learning カリキュラムを開発し，その一部をケニア国橋梁維持管理能力強化プロジェクト内で試行した．学習手法に e-Learning システムを用いることで多くの人アクセス可能となること，更に受講者の学習成果をデータとして保存が可能となり，技術の定着を評価するための指標となりうると考える．

本章では，筆者の作成した橋梁点検基礎の e-Learning システムを紹介し，ケニアでの試行結果を述べる．

5.2 橋梁点検基礎の学習システム

(1) e-Learning 及び Learning Management System

2020 年から始まった COVID-19 の世界的な流行により，大学を初めとする高等教育機関及び社会における各種講習会等における教育形態はこれまでの対面での講義に加え，オンラインによる講義も広く社会に受け入れられるようになった．また同時に，対面という条件が無くなったことで，受講する側の都合に合わせて学ぶことが出来る e-Learning 形式の学びの機会も増加している．

一部の大学においては 15 年以上前から自学自習型の e-Learning 教材を開発し，社会人学生向けに提供しており，以下に示す効果が報告³⁾されているが，これらの効果は，技術協力プロジェクトにおいても求められているものである．

- 学生がいつ学習し，どこでつまずき，その後学習状況がどのようなになっているのか等，個々の学生の状況を詳しく把握することが可能
- 教育の質保証のための様々な工夫が実現でき，またその効果を測定することが可能
- 社会人が働きながら自宅で学ぶことができる e-Learning を活用した遠隔学習は，リカレント教育を実現する手段

我が国のインフラメンテナンス分野においても，2020 年 5 月から舞鶴工業高等専門学校 iMec 社会基盤メンテナンス教育センターが企画・製作した「橋梁点

検【基礎編】」がオンライン学習講座として、土木学会認定土木工学コースの第一弾として提供されている⁴⁾。

また、e-Learning を受講者の属性毎への割り当て、進捗状況の管理等が行え、組織全体の学習効果を高めつつ、運営担当者の業務効率化を実現する仕組みとして Learning Management System（以下、LMS）が普及してきており⁵⁾、特に昨今は、COVID-19 の影響によりテレワークが推進されたこともあり、LMS を導入する企業も増加している。

このような背景から、e-Learning としても利用可能な講義資料作成を行い、LMS を用いた学習システムを採用し、JICA ケニア国橋梁維持管理能力強化プロジェクトにおいて試行した。LMS は、受講生がケニア人であるため英語対応していること、利用プランに依らず受講生の登録人数が無制限であることの理由から株式会社テクノカルチャー社が提供する「学びばこ」⁶⁾というサービスを採用した。

(2) カリキュラムの策定

本講座はこれから橋梁維持管理を始める開発途上国の技術者の学習教材としての利用を想定していることから、カリキュラムの策定にあたっては、次頁表 5-1 に示す目的及び対象者を設定し、表 5-2 に示す橋梁点検基礎講座のカリキュラムを考案した。第 1 章で述べたように、開発途上国は経済成長期である国が多く、社会的には橋梁の新規建設（量的整備）が求められているのが現状であり、橋梁維持管理への関心度は相対的に低い。従って、まずは橋梁自体に興味を持ってもらうところから始める必要があると考え、当該国（今回はケニア）の橋梁の状況を解説した上で、橋梁の分類や専門用語の説明を Fundamental course（初級編）として設定した。

なお、カリキュラムの策定にあたっては、我が国の研究及び教育機関が運営している資格制度^{7),8)}を参考に、受講者に達成感を感じてもらい、次のステップへのレベルアップのモチベーションとしてももらえるよう、Fundamental course と Intermediate course の 2 レベルとし、Intermediate course の受講は Fundamental course の修了証が必要となることとした。

表 5-1 学習システムの目的及び対象者

目的：	<ul style="list-style-type: none"> ■ 橋梁維持管理を始めるにあたり，橋梁工学の専門用語，橋梁を構成する各部材の役割等の基礎的な知識を習得すること ■ 橋梁点検の手法を習得すること ■ 橋梁設計の基礎的な知識を習得すること ■ コンクリート橋及び鋼橋の劣化・損傷が発見でき，その劣化・損傷の原因を推定できること ■ 推定した損傷原因を特定するための各種試験方法を学習すること
対象者のレベル：	大学の学部卒業者，橋梁点検未経験者，若手技術者（土木工学の基礎知識は持っていると思われる者）

表 5-2 橋梁点検基礎講座のカリキュラム

レベル	内容
Fundamental course:	<ul style="list-style-type: none"> ■ 橋梁工学基礎 <ul style="list-style-type: none"> ➤ 当該国（ケニア）の橋梁概況 ➤ 橋梁工学のための橋梁用語 ➤ 橋梁の分類 ➤ 主要部材の役割 ■ 橋梁設計の基礎知識
Intermediate course：	<ul style="list-style-type: none"> ■ 橋梁点検のポイント ■ コンクリート橋の劣化・損傷とその要因 ■ 鋼橋の劣化・損傷とその要因 ■ 微破壊検査と非破壊検査

(3) 学習コンテンツ

学習コンテンツの作成にあたっては，我が国の研究機関や教育機関が公開及び主催している橋梁工学・橋梁点検に係る資料等⁹⁾を参考にしつつ，筆者の経験を基に開発途上国のレベルに合わせて作成した。学習コンテンツの品質の担

保にあたっては、筆者は技術士（建設部門、鋼構造及びコンクリート）の有資格者であり、技術士法の定義において「高度な専門的応用能力を必要とする事項についての計画、研究、設計、分析、試験などの業務を行う者」¹⁰⁾であることから、表 5-2 に示すカリキュラムの教材作成は可能であると判断する。

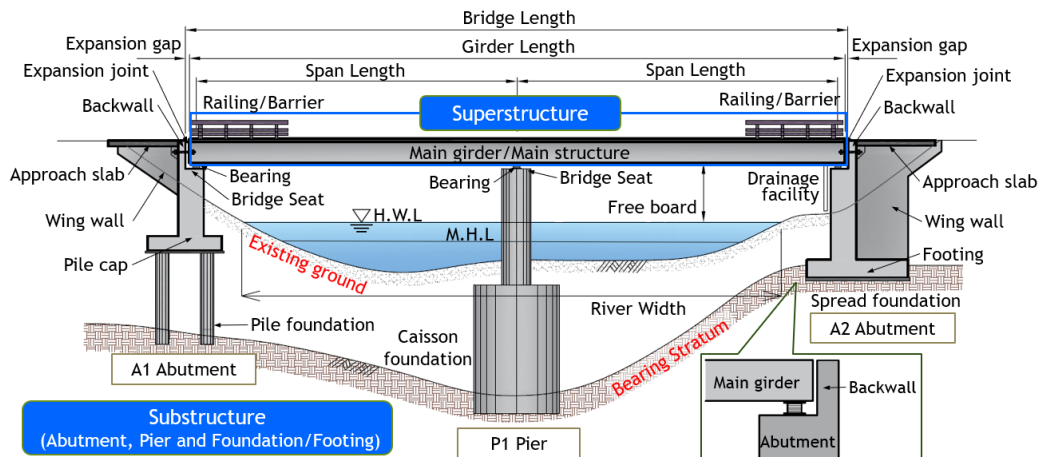
学習コンテンツのスライドは総数 200 枚を超える（表 5-3）ため添付資料を参照頂くこととするが、図や写真等を多く用いるよう留意した。なお、添付資料は知的財産の関係で非公開とするが、一部を次頁以降、図 5-1～図 5-3 に示す。

表 5-3 橋梁点検基礎講座の各講座のスライド枚数

コース名	講義内容	枚数
Fundamental course	橋梁工学基礎	42
	橋梁設計の基礎知識	44
Intermediate course	橋梁点検のポイント	20
	コンクリート橋の劣化・損傷とその要因	31
	鋼橋の劣化・損傷とその要因	33
	微破壊検査と非破壊検査	40
合計		210

2. Bridge Terms for Bridge Engineering

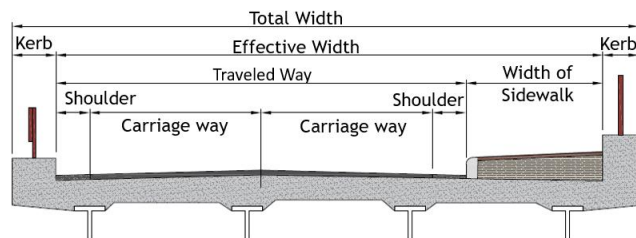
Bridge components



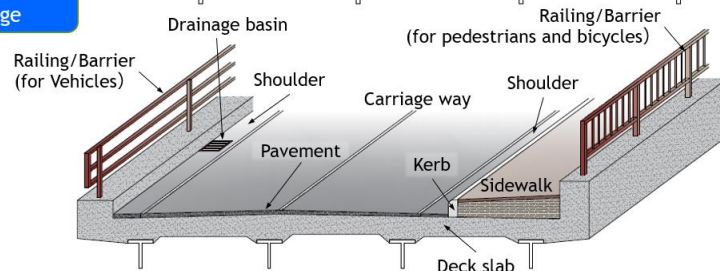
6

2. Bridge Terms for Bridge Engineering

Cross Section



Structure of Road on Bridge



7

図 5-1 橋梁用語の説明(Fundamental course)

3. Classification of Bridges

(2) Classification by material used



Wooden bridge



Masonry bridge



Concrete bridge



Steel bridge



Composite material bridge

19

3. Classification of Bridges

(3) Classification by support method

1) Simple bridge

Bridge girders are simply supported at each span. Statically determinate structure.



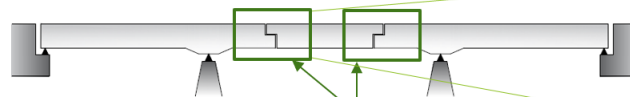
2) Continuous bridge

Bridge girders are continuous across two or more spans with three or more supports. Statically indeterminate structure.



3) Cantilever/Gerber bridge

Bridges with hinges installed at appropriate places in a continuous girder bridge to create a statically determinate structure.



Gerber hinge part



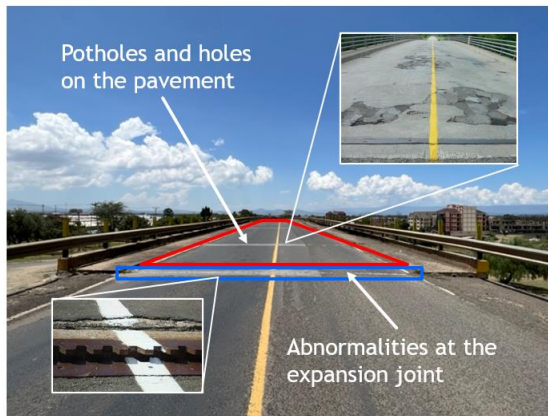
Gerber hinge part

20

図 5-2 橋梁の分類(Fundamental course)

3. Key Points in Bridge Inspection

Inspection on the road looking the whole picture



First, check for major damage that may pose a structural and traffic safety problem.

8

3. Key Points in Bridge Inspection

Inspection on the superstructure looking the whole picture



9

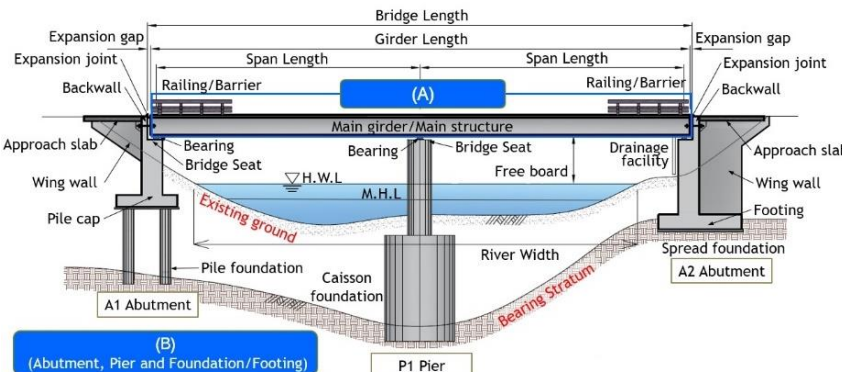
図 5-3 橋梁点検のポイント(Intermediate course)

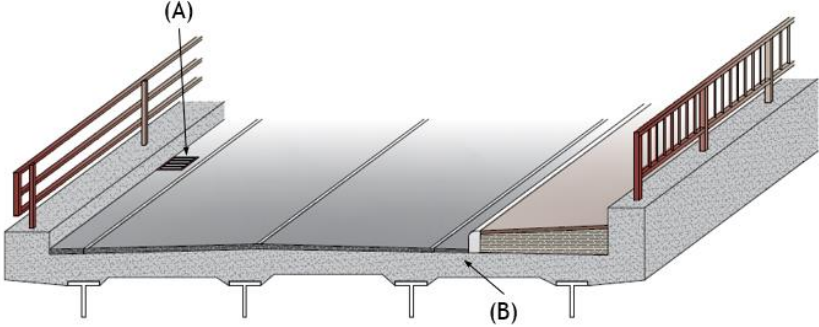
(4) 達成度確認テスト





表 5-2 に示したレベルの学習終了時に学習の達成度を確認するための達成度確認テストを設定した。テストは全 10 問、全て選択式とし、e-Learning で学習したスライドの内容からの出題とした。合格基準は、橋梁点検を始めるに際して最も基本的な内容であることに加え、確実に理解してもらうまでに何回程度









の再履修が必要かを確認するために全問正解で合格とした。テスト形式（問題数、回答方式（記述式 or 選択式））及びテスト問題のセット、並びに合格基準ラインは、LMS 上で任意に設定可能である。ケニア国橋梁維持管理能力強化プロジェクトにおいて実施した達成度確認テストの問題を表 5-4 に示す。受講者のテスト結果については、次節において解説する。

表 5-4 達成度確認テストの問題(Fundamental course)

No.	問題	正解
1	<p>Choose the correct statements from the following description.</p> <ol style="list-style-type: none"> Most of the bridges in Kenya are concrete bridges. Most of the bridges in Kenya are steel bridges. Many bridges in Kenya have spans of less than 15 meters. Many of the bridges in Kenya are large bridges with span lengths of 100 meters or more. About half of the bridges in Kenya are single-span bridges. 	<ol style="list-style-type: none">
2	<p>Choose the correct combination of words that be in (A) and (B) in the figure below.</p>  <ol style="list-style-type: none"> (A) Superstructure (B) Pile (A) Substructure (B) Superstructure (A) Superstructure (B) Substructure (A) Bridge (B) Substructure (A) Steel (B) Concrete 	<ol style="list-style-type: none">

No.	問題	正解
3	<p>Choose the correct combination of words that be in (A) and (B) in the figure below.</p>  <ol style="list-style-type: none"> (A) Drainage basin (B) Deck Slab (A) Drainage basin (B) Superstructure (A) Railing/Barrier (B) Deck Slab (A) Deck Slab (B) Pavement (A) Superstructure (B) Substructure 	1.
4	<p>Choose one of the following statements that correspond to “Superstructure”.</p> <ol style="list-style-type: none"> The role of Superstructure is that transfers the load from the superstructure to the ground through the bearings. It is a general term for bridge abutments, piers, and foundations. It is a structural member that directly supports vehicles, pedestrians, etc. passing through a bridge and transmits the load to the main girder (main structure). It is a concrete slab to be installed behind the abutment to prevent elevation difference from occurring because the embankment behind the abutment tends to settle, resulting in a bump in the road surface. It supports the weight of objects passing through the bridge and transmits it to the substructure. It consists of main girder, deck slab, cross beam, lateral bracing, diaphragms, etc. 	4.

No.	問題	正解
5	<p>Choose one of the following statements that correspond to “Substructure”.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. The role of Substructure is that transfers the load from the superstructure to the ground through the bearings. It is a general term for bridge abutments, piers, and foundations. 2. It is a structural member that directly supports vehicles, pedestrians, etc. passing through a bridge and transmits the load to the main girder (main structure). 3. It is a concrete slab to be installed behind the abutment to prevent elevation difference from occurring because the embankment behind the abutment tends to settle, resulting in a bump in the road surface. 4. It supports the weight of objects passing through the bridge and transmits it to the substructure. It consists of main girder, deck slab, cross beam, lateral bracing, diaphragms, etc. 	1.
6	<p>Choose all photos that are categorized into “Viaduct”.</p> <div> <div>  <p>1.</p> </div> <div>  <p>2.</p> </div> <div>  <p>3.</p> </div> <div>  <p>4.</p> </div> </div>	<p>2.</p> <p>3.</p> <p>4.</p>

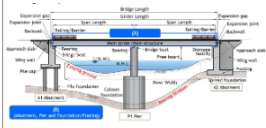
No.	問題	正解
7	<p>Choose all photos that are categorized into “Concrete Bridge”.</p> <div> <div>1. </div> <div>2. </div> <div>3. </div> <div>4. </div> </div>	<p>1. 3.</p>
8	<p>Choose all photos that are categorized into “Box girder”.</p> <div> <div>1. </div> <div>2. </div> <div>3. </div> <div>4. </div> </div>	<p>1. 2. 4.</p>
9	<p>Choose one of the following statements that correspond to “Bearing”.</p> <p>1. It is installed between the backwall of the abutment and at the girder to absorb the expansion and contraction of the bridge due to temperature changes, earthquakes, and deformation of the bridge caused by vehicular traffic so that vehicles and people can pass through without hindrance.</p>	<p>2.</p>

No.	問題	正解
	2. A component that transmits the forces acting between the superstructure and substructure. 3. A member of superstructure, that is directly supported with objects passing through the bridge. 4. A structure that transmits the load from the superstructure to the supporting ground.	
10	Choose one of the following statements that correspond to “Expansion Joint”. 1. It is installed between the backwall of the abutment and at the girder to absorb the expansion and contraction of the bridge due to temperature changes, earthquakes, and deformation of the bridge caused by vehicular traffic, so that vehicles and people can pass through without hindrance. 2. A component that transmits the forces acting between the superstructure and substructure. 3. A member of superstructure, that is directly supported with objects passing through the bridge. 4. A structure that transmits the load from the superstructure to the supporting ground.	1.

また、LMS を用いることにより、以下に示す機能を利用でき、学習の振り返りや誤答箇所の再学習が容易となる点も特筆すべき点として挙げられる。

- テスト合格ラインを任意に設定できるため、基礎知識を問う Fundamental course は満点合格，Intermediate course は 80 点合格というような学習レベルを考慮した設定が可能
- テスト問題をランダムに出題可能．同じ問題の繰り返しとなると問題番号と解答を暗記してクリアする可能性があるため，毎回問題が変わることとで確実な達成評価が可能
- 学習履歴を記録可能．e-Learning の受講回数，達成度確認テストの合否及び確認テストの履歴が閲覧可能

- 問題の出題先スライドをリンクさせることで、回答後にその場で該当箇所の復習ができ、再学習が可能（図 5-4）

No.	Question	Result	Correct Answer	Point Alloc.	Explan.
1	Choose the correct statements from the following description. <input checked="" type="checkbox"/> 1. Most of the bridges in Kenya are concrete bridges. <input type="checkbox"/> 2. Most of the bridges in Kenya are steel bridges. <input checked="" type="checkbox"/> 3. Many bridges in Kenya have spans of less than 15 meters. <input type="checkbox"/> 4. Many of the bridges in Kenya are large bridges with span lengths of 100 meters or more. <input checked="" type="checkbox"/> 5. About half of the bridges in Kenya are single-span bridges.	○	1,3,5	10	Explan.
2	Choose the correct combination of words that be in (A) and (B) in the figure below.  <input type="radio"/> 1. (A) Superstructure (B) Pile <input type="radio"/> 2. (A) Substructure (B) Superstructure <input checked="" type="radio"/> 3. (A) Superstructure (B) Substructure				

Click

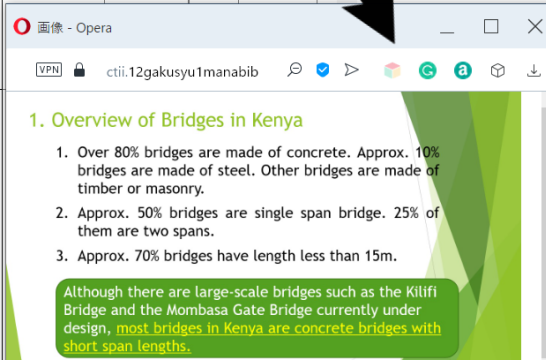


図 5-4 問題の出題先へのリンク

達成度確認テストに合格すると修了証（図 5-5）が LMS 上で自動的に発行され、次のレベルの講座に進むことができる。



図 5-5 達成度確認テストの修了証

5.3 ケニアでの実践を通じて見えた効果と課題

(1) 達成度確認テストの結果

上述の橋梁点検基礎講座（表 5-2）のうち，Fundamental course をケニア国橋梁維持管理能力強化プロジェクトの本邦研修（2021 年はオンラインにて実施）前の事前学習教材として導入し，本テストの受講及び達成度確認テストの修了証を本邦研修への参加の条件とした．LMS を用いたことで，管理者（筆者）側で受講者の履修状況を把握でき，未受講者には履修を促すメールを送付し，結果，受講登録者 20 名中 19 名が e-Learning を受講し，達成度確認テストまで受験した．達成度確認テストの集計結果を表 5-5 に示す．

表 5-5 達成度確認テスト(Fundamental course)の結果

テスト回	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目以降
解答者数	19 人	14 人	9 人	7 人	7 人
問題 No.	正答率 (%)				
1	63	79	67	71	100
2	90	79	100	100	100
3	95	100	100	100	100
4	100	86	100	100	100
5	100	100	100	100	100
6	53	57	78	57	100
7	79	93	100	86	100
8	53	57	56	57	100
9	100	100	89	100	100
10	100	100	100	100	100
平均点	83	85	89	87	100

表 5-5 の見方は，テスト 1 回目は 19 人が受験し，問題 1 は 19 人中 12 人が正解し，正答率は 63%（12／19）であることを示している．最下段の平均点は，各テスト回の解答者の平均点であり，1 回目は 19 人の平均点が 83 点，2 回目

は 14 人の平均点が 85 点ということを意味している。n, LMS のシステム上、5 回目以降の受講は 5 回目の値を上書きする仕様となっており、後述するが 7 人中 4 人は 6 回以上テストを受験した。

表 5-5 に示す結果から、特に問題 No.1, 6, 7, 8 の正答率が低いことがわかる。問題 No.1 はケニアの橋梁概況の理解を問う問題、No.6, 7, 8 は橋種を問う問題である。

各受講者の e-Learning 受講回数とテスト受験回数を表 5-6 に示す。

表 5-6 各受講者の受講状況

受講者名	受講状態	e-Learning 受講回数	テスト受験回数
A	受講済	1	1
B	受講済	3	2
C	受講済	6	6
D	未受講	—	—
E	受講済	3	3
F	受講済	6	6
G	受講済	2	2
H	受講済	8	8
I	受講済	4	3
J	受講済	2	2
K	受講済	1	1
L	受講済	1	1
M	受講済	4	10
N	受講済	5	5
O	受講済	5	5
P	受講済	3	1
Q	受講済	6	5
R	受講済	3	2
S	受講済	2	2
T	受講済	1	1

表 5-6 の受講者名は LMS 上では個人名で管理しているが、ここではアルファベットで置き換えている。受講者 D のみ未受講であったが、受講登録者 20 名中 19 名が達成度確認テストまでを修了した。

表 5-6 より、以下のことがわかった。

- テストを 1 回で合格した者は、受講者 A, K, L, P, T の 5 人
- テストを 2 回で合格した者は、受講者 B, G, J, R, S の 5 人
- テストを 3 回で合格した者は、受講者 F, I の 2 人
- それ以外の 7 人は、テスト 5 回以上で合格
- 最多のテスト受験回数は受講者 M の 10 回
- e-Learning 受講回数がテスト受験回数より多い、受講者 B, I, P, Q, R の 5 人はテスト合格後に部分的ではあるかもしれないが、e-Learning を受講
- e-Learning 受講回数がテスト受験回数より少ない受講者 M は、誤答箇所の復習が不十分であったと推察

(2) LMS を用いた e-Learning の実践から見てきた効果と課題

LMS を用いた e-Learning による橋梁点検基礎の学習をケニア国橋梁維持管理能力強化プロジェクトにおいて実践し、そこから見てきた効果と課題を以下に示す。

a) 効果

- インターネット接続環境下であれば、時と場所を選ばすいつでも受講できるため、受講者の都合に合わせた学習が可能
- 管理者（著者）は日本に居ながら、ケニア人受講者の学習状況を把握可能（COVID-19 による渡航制限下においては非常に有効な手段）
- 受講者の学習状況が確認でき、学習データから受講者の理解が不足している箇所が明確となるため、プロジェクト内のトレーニングにおいてフォローアップすることが可能
- 各受講者の成績が把握できるため、技術協力プロジェクトにおけるトレーニングでのグループ構成等に活用可能
- 技術協力プロジェクトの運営にあたり、成績上位者を中核としたグルー

プ構成とすることで，リーダーシップの醸成やグループ内での相互学習効果に寄与

b) 課題

【受講者側】

- ケニアの橋梁概況の理解の不足
- 橋梁工学の基礎知識のうち，特に橋種の分類に関する知識が不足
- 同じプロジェクトのカウンターパートであっても，知識及び学習の理解度の個人差が大

【講師側】

- 上記の受講者側の課題へ対応した講義内容が必要
- 受講者が事前に学習してくるため，これまでの講師側から受講者側への講義形式から，講師と受講者間のディスカッション形式（アクティブラーニング）への転換が必要

以上が実践を通じて得た LMS を用いた e-Learning の効果と今後の課題である．次章では，第 4 章で述べた橋梁データ収集システムと橋梁データベース整備手法，本章で述べた LMS を用いた橋梁点検基礎の教育システムの効果と課題を踏まえて，今後の JICA の橋梁維持管理に係る技術協力プロジェクトへの提言を行う．

【参考文献】

- 1) 文部科学省 Web ページ：初等中等教育における教育課程の基準等の在り方について（諮問），
https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1353440.htm，（2022 年 10 月 6 日現在）
- 2) 独立行政法人国際協力機構，株式会社建設技研インターナショナル：開発途上国における橋梁維持管理にかかる支援に関する調査（プロジェクト研究）最終報告書，平成 31 年 2 月
- 3) 不破泰，右代美香，國宗永佳，新村正明：e-Learning を用いた社会人遠隔学習における質保証への取組—学生サポートの実践と評価—，メディア教育研究，Vol. 3, No.2, pp.13-23, 2007
- 4) 土木学会土木広報センター Web ページ：
<https://committees.jsce.or.jp/cprcenter/node/226>，（2022 年 10 月 6 日現在）
- 5) 田邊康雄：e ラーニングの現状と課題～IOT、AI 活用の時代に向けた一考察～，白梅学園大学・短期大学情報教育研究，No.21, pp.15-32, 2018
- 6) テクノカルチャー：学びばこ，
<https://manabibako.com>，（2022 年 10 月 6 日現在）
- 7) 長崎大学インフラ長寿命化センター Web ページ：道守養成ユニット，
<https://michimori.net>，（2022 年 10 月 6 日現在）
- 8) iMec 社会基盤メンテナンス教育センター Web ページ：
<https://www.maizuru-ct.ac.jp/imec/>，（2022 年 10 月 6 日現在）
- 9) 国土技術政策総合研究所研究資料：
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0829pdf/ks082906.pdf>，（2022 年 10 月 6 日現在）
- 10) 技術士法第二条

第6章 橋梁維持管理に係る技術協力プロジェクトへの 提言

6.1 はじめに

本論文において、第2章で開発途上国の橋梁維持管理に係る課題、第3章で我が国の地方自治体における同課題、第4章で筆者らが開発した橋梁点検システムの実装と橋梁データベースの構築、第5章において橋梁点検の基礎学習システムの実践を通じて得た知見について述べた。

本章では、今後の JICA の技術協力プロジェクトを実施するにあたり、前述の実際の技術協力プロジェクトにおける実践を通じて得た知見を基に、特にプロジェクト開始初期における運営手法について提言を行う。

6.2 橋梁維持管理に係る技術協力プロジェクトへの提言

(1) 橋梁維持管理サイクル

第2章及び第4章で述べたように、開発途上国では、橋梁データが未整備であることや橋梁維持管理に係る管理能力が不足しているのが実状である。これは10年以上前から他の研究者らによっても指摘されている¹⁾。

従って、我が国で一般的に用いられている橋梁維持管理サイクルをそのまま適用するのは困難である。まずは、橋梁インベントリー（橋梁台帳）の整備と初期点検を実施し、橋梁維持管理を計画的かつ効率的に実施していくための基盤を構築する必要がある。この橋梁維持管理の基盤（橋梁インベントリーの整備と初期点検の実施）を明記した橋梁維持管理サイクルを図4-2に示した。

JICA の技術協力プロジェクトは、一般的にはプロジェクト開始前に詳細計画策定調査が行われる。この調査は、プロジェクトの枠組み、スコープ、目標、成果等を現地カウンターパートとなる機関と協議し、設定するものであるが、この調査から現地カウンターパートとなる機関に対して、橋梁インベントリー

の構築と初期点検の必要性を説き、現地側の理解を得ることが重要である。

(2) 橋梁インベントリーと初期点検

前項では橋梁維持管理の基盤となる橋梁インベントリーと初期点検が重要であることを述べた。そして、第 2 章で述べたように JICA の技術協力プロジェクトは概ね 3 年程度の期間で実施されること、プロジェクトの成果の 1 つに橋梁維持管理計画の策定があることから、これらの基盤はプロジェクトの開始初期（遅くとも 1 年以内）において構築しなければならない。

JICA の技術協力プロジェクトのカウンターパートとなる中央省庁の管理する橋梁は全国に点在し、数千～数万橋というオーダーの橋梁に対して、インベントリーデータを収集し、初期点検を実施しなければならない。そこで、第 4 章で述べたタブレット端末もしくはスマートフォンを用いた橋梁データ収集システムを活用することで、橋梁維持管理の基盤を早期に構築することが可能となる。また、表 2-3 で示したエリア限定型のプロジェクトにおいても、全国レベルでの橋梁データ収集が可能となり、全管理橋梁をカバーした橋梁維持管理計画の策定に繋がると考える。

2022 年 8 月 31 日に JICA が公示した、パキスタン国パンジャブ州における道路アセットマネジメントシステム能力向上プロジェクト (QCBS) の企画競争説明書²⁾において、調達機材に橋梁データ収集用タブレット端末 10 台が入っている。筆者が参加しないプロジェクトにおいてもタブレット端末を用いた橋梁データ収集手法が用いられるようになってきたことは、直接的ではないかもしれないが、筆者の研究の成果の現れと言えるのではないだろうか。しかし、タブレット端末を導入すれば良いというものではなく、本論文で述べた橋梁データ収集システムの仕様やカンボジアやマダガスカル等での実践から得た実践知を生かしたシステムの構築が重要である。

(3) 橋梁点検基礎の学習システム

2020 年から始まった COVID-19 の世界的な影響により日本の専門家が直接橋梁点検のトレーニングを行うことが困難な状況になり、技術移転の手法も新しい形態が求められるようになってきた。また、技術協力プロジェクト中も現地

カウンターパート職員の学習履歴の把握や能力向上度合いの評価が難しいという課題があり、これらの課題を解決する 1 つの方法として、LMS を用いた e-Learning が挙げられる。

橋梁データ収集にあたっては、橋梁インベントリー情報の入力に際し、橋梁の分類等を理解し、橋梁点検においては損傷の種類を理解し、点検結果を記録しなければならない。リモートにより実施したケニア、タジキスタン及びマダガスカル橋梁データ収集においては、一部に間違っただータの入力等が確認された。システム入力時の誤入力という可能性もあるが、ケニアにおける達成度確認テストの結果（表 5-5 参照）において、橋種の分類に関する部分の正答率が低かったことから、理解が不足している可能性が高いと思われる。橋梁点検においては、コンクリート橋と鋼橋では損傷の種類も異なり、前項のシステムにおいてもコンクリート橋を選択した場合は、コンクリート橋の損傷項目が表示されるようにしている（鋼橋の場合も同様）ことから、基礎的な部分は橋梁点検に関わる全員が確実に理解する必要がある。

従って、橋梁データの収集を開始する前に、第 5 章で述べた学習システムにて橋梁点検の基礎を学習し、達成度確認テストに合格した後、橋梁データ収集システムを用いた橋梁インベントリー収集及び初期点検を実施することが望ましい。

また、橋梁点検基礎の学習システムは、LMS を用いた e-Learning 形式とすることで、受講者の学習状況を把握、管理することが可能となる。ケニアでの試行の結果からは、達成度確認テストの合格までの受験回数は 1 回から 10 回と大きな差があることがわかった。つまり、同じ学習内容であっても、受講者によって理解度に大きな差があったといえる。これは、対面での講義においても同様であると思われるが、多人数かつ対面での講義では、その時間内に何度もテストを行うことは難しく、個々の理解度の把握は困難である。

従って、これまで専門家から講義形式で伝えてきた内容のうち、知識の習得となる部分に関しては LMS を用いた e-Learning 形式とし、受講者の理解度に合わせた学習形態とすることが望ましいと考える。e-Learning により事前に学習することで、技術移転の形態もこれまでの専門家から受講生（現地カウンターパート職員）への一方向の講義でなく、Flipped Classroom（反転授業）へと変

化させることが可能となる（図 6-1 参照）。Nouri³⁾や加藤ら⁴⁾の研究に拠れば、反転授業は従来方式の講義と比べて、予習の精度を高めること、能動的に学習するようになること、記憶の定着に寄与すること、学習へのモチベーションが向上すること等のメリットがあるとされる。JICA の技術協力プロジェクトにおいても、反転授業の手法を取り入れることで、橋梁維持管理の知識をより定着させることが可能になり、現地カウンターパート職員の能動的な学習へ寄与すると考える。

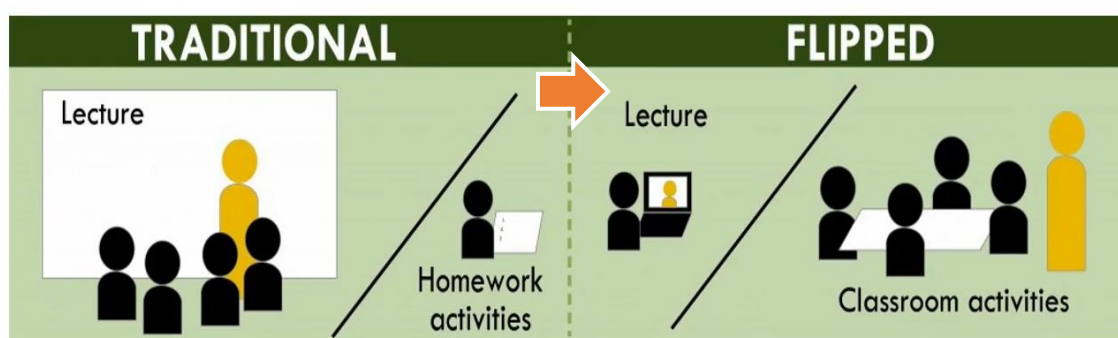


図 6-1 Lecture から Flipped Classroom(反転授業)⁵⁾

(4) 橋梁維持管理計画の策定

JICA の橋梁維持管理に係る技術協力プロジェクトの多くは、対象地域が対象国全土であり、成果の 1 つとして橋梁維持管理計画の策定がある⁶⁾。従って、策定する橋梁維持管理計画は特定の橋梁に対するものではなく、橋梁管理者として管理する全橋梁を対象としたものとなる。まず、この全橋梁を把握する必要があるが、管理橋梁数は国毎に差はあるものの数千～数万というオーダーとなるため、第 4 章で述べた橋梁データ収集システムを用いてデータベース化することが望ましい。

筆者の橋梁データ収集システムを用いて構築された橋梁データベースは、損傷の有無に基づく損傷度評価を行え、全橋梁に対して同一の尺度による評価が可能なものである。従って、損傷度別に並び替えると要対策橋梁のロングリストとなり、それに橋梁の重要度や架橋路線の重要度、交通量等の指標を加えたマトリックスとすることで、ショートリストが作成可能である。カンボジアでは橋梁の損傷度と道路の優先度のマトリックスを作成し、橋梁維持管理方針を策定した（次頁図 6-2）。

開発途上国は予算が非常に限られているという状況であるため、例えばカンボジアでは、要対策橋梁を損傷度 SD 及び D と判定された橋梁に限定し、損傷度 O は要観察、損傷度 N は無対策という方針としている。損傷度 O の要観察橋梁は、道路パトロール時に変状がないかを確認するというレベルの観察である。

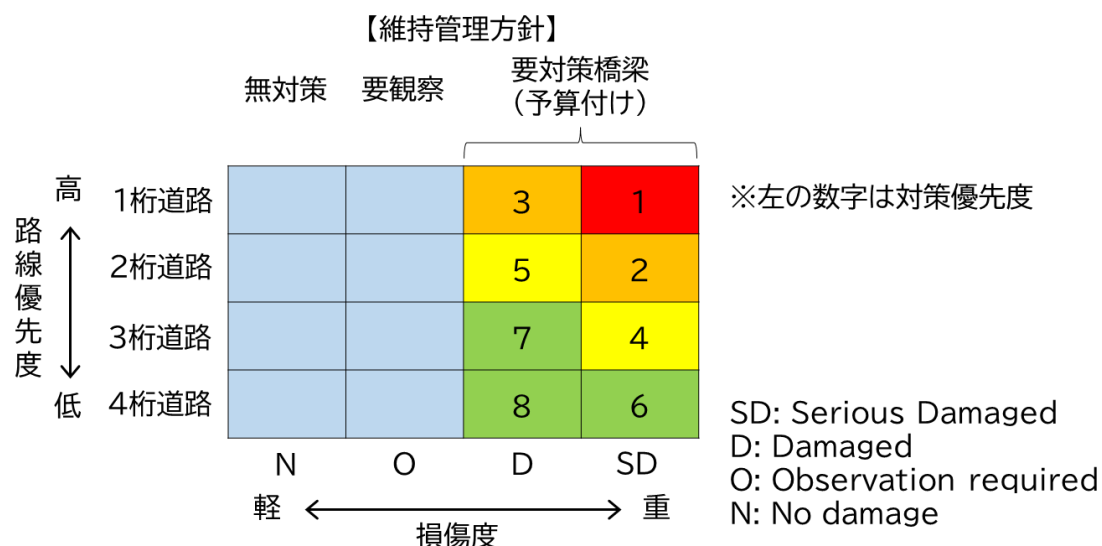


図 6-2 カンボジアでの橋梁維持管理方針

損傷度 SD と D に判定された橋梁に対しては、架替えもしくは補修を検討することとなるが、対策のための予算措置も重要となるため、SD と判定された橋梁は架替え、D と判定された橋梁は補修をするという仮定の下、概算事業費を算出することとした。架替えについては、カンボジア公共事業運輸省 (MPWT) が過去に行った橋梁建設工事の事業費をそれぞれの橋梁の橋面積で除して平均単価を求め、既存橋の撤去費用等の割増分として 50%増しした値を架替え単価として設定した。補修の単価設定については、カンボジアでは統計を取れるような補修工事はこれまで行われていなかったため、架替え単価の 30%とした。これらの割増し率は MPWT と協議の上、概ね妥当であろう値として決定した。

そして、設定した架替え単価及び補修単価に SD 及び D と判定された橋の橋面積を乗じることで、対策に必要な橋梁と費用の概算総額を示し（長期計画）、図 6-2 に示した対策優先度に従って短期（3 ヶ年）計画を策定することができる。

このように、我が国の予算措置と比較すると簡易な方法であるかもしれないが、予算を承認する側も橋梁維持管理の経験がない開発途上国においては、皆がプロセスも含めて理解できる手法であることが橋梁維持管理の予算を得るために重要であると考えます。カンボジアにおいては、予算承認にあたり財務省の担当者が現場を視察する。その際に、損傷写真を含めた橋梁点検結果を提示することで、説得力のある説明をすることが可能となる。

また、今後の検討課題として、橋梁維持管理の方針及び計画を策定する際には、長崎県のように大規模橋梁（特殊橋梁）と中小規模橋梁に分けた維持管理手法の構築が望ましいと考える。大規模な橋梁は、架橋位置の環境、橋梁点検手法、維持管理費等が中小規模橋梁と大きく異なり、かつ開発途上国においては建設実績も限られている。従って、中小規模橋梁と比べて高度な技術、費用が必要であることから、まずは一般的な中小規模橋梁に対する維持管理技術を支援し、段階的に大規模橋梁へとステップアップすることが確実な維持管理技術の定着に繋がると考える。

(5) 橋梁インベントリーデータの構築から維持管理計画策定

開発途上国が橋梁維持管理へ第一歩を踏み出すにあたり、その基本となるのは橋梁インベントリーと点検結果であることを説き、開発途上国向けの橋梁維持管理サイクルを提案した。

第一歩目となる橋梁インベントリーデータ及び初期点検結果は第4章で述べた筆者らが開発したクライアントにタブレット端末を用いた橋梁データ収集システムにより、これまでの紙ベースでの記録・管理と比較し、確実なデータ記録、省力化を実現し、非常に短期間でデータベースが構築可能である。続いて、データベースに記録されている橋梁データを基に、例えば前述した手法を用いて要対策橋梁を選定し、維持管理方針を定めた上で、予算申請のための短期計画まで策定可能である。

カンボジアの事例⁷⁾を紹介すると、プロジェクトの開始時の PDM (Project Design Matrix) においては、対象とする州を限定した上で、年次計画 (Annual bridge maintenance plan) を策定することになっていた。しかし、現地カウンターパートの MPWT との協議の結果、短期計画 (3 年) に基づき年次計画を作成

することが財務省へ説明する際により効率的であることが判明し、全国レベルの橋梁の状況が分からないと、選定した橋梁への予算配分の妥当性を判断することが難しいとの意見もあり、対象を全州に広げた活動をするようになった。このような大幅なプロジェクト対象地域の変更に對しても、前述のシステム及び手法により、プロジェクト期間内にカンボジア全国の MPWT が管理する橋梁のデータベース化から短期計画の策定、予算申請及び予算承認までの一連の業務を橋梁メンテナンスサイクルの流れで実施したことは橋梁データ収集システムの有効性を証明した一例と言えよう。なお、この予算はカンボジアにおいて初めて“橋梁維持管理の費目”として承認された予算である。

このように、全国を対象とした橋梁データ収集を行い、そのデータを基にした予算申請までをプロジェクト期間内に実施するためには、筆者らが開発した橋梁データ収集システムのような IoT 技術を用いた手法が非常に有効である。カンボジア側カウンターパート職員は、自身の Facebook において、JICA プロジェクト内で実施した橋梁インベントリー収集及び初期点検がその後（6年後）非常に役に立ったことを投稿していることから（図 6-3）、開発途上国側にとっても役立つものとなっていると言える。

また、そのデータの信頼性を担保するために、橋梁点検の基礎知識を学べる e-Learning 講座を LMS を用いて提供することで、予算申請書類等の信頼性確保につながり、更に開発途上国の橋梁維持管理の裾野の拡大にも寄与するものと考ええる。

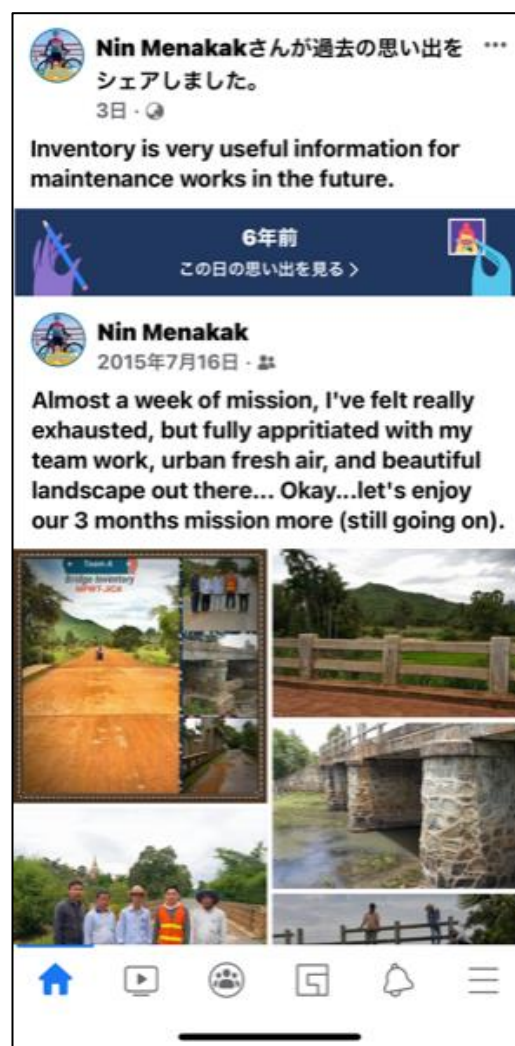


図 6-3 MPWT 職員の Facebook

【参考文献】

- 1) 西宮宣昭，讃井一正，溝田祐造：道路・橋梁維持管理の技術協力の現状と課題，土木学会論文集 F5（土木技術者実践），Vol.67，No.1，P78-90，2011，<https://doi.org/10.2208/jscejppce.67.78>
- 2) JICA：パキスタン国パンジャブ州における道路アセットマネジメントシステム能力向上プロジェクト（QCBS）企画競争説明書，2022 年 8 月 31 日公示
- 3) Nouri, J. The flipped classroom: for active, effective and increased learning – especially for low achievers. Int J Educ Technol High Educ 13, 33 (2016). <https://doi.org/10.1186/s41239-016-0032-z>
- 4) 加藤研太郎，高島恵：基礎科目に対する反転授業の効果，理学療法—臨床・研究・教育，26，pp.29-35，2019，<https://doi.org/10.11350/ptcse.26.29>
- 5) EDUCATIONAL TECHNOLOGY:
<https://educationaltechnology.net/flipped-classroom/>
- 6) 独立行政法人国際協力機構，株式会社建設技研インターナショナル：開発途上国における橋梁維持管理にかかる支援に関する調査（プロジェクト研究）最終報告書，平成 31 年 2 月
- 7) JICA: Project Completion Report, The Project for Strengthening Capacity for Maintenance of Roads and Bridges, February 2018

第7章 まとめ

本研究は、開発途上国における橋梁維持管理を対象とし、JICA が実施する技術協力プロジェクトを実装の場として用いた実践的研究である。本研究のまとめを以下に示す。

7.1 橋梁データ収集システム

これから橋梁維持管理に取り組む開発途上国が最初に取り組むべきことは、橋梁インベントリーと初期点検のデータベース化であると考え、タブレット端末もしくはスマートフォンを用いた橋梁データ収集システムを開発した。そのシステムをカンボジアのプロジェクトにおいて導入し、短期間でカンボジア全国の橋梁データベースを構築した。カンボジアでは、その橋梁データを用いて予算申請を行い、結果、カンボジアで初となる橋梁維持管理のための予算が承認された。

更に、カンボジアでは JICA 技術協力プロジェクトから選抜された現地カウンターパート職員が本邦大学大学院へ留学し、修士課程において JICA プロジェクト内において著者らの開発したシステムで収集したデータを用いた研究を行っている¹⁾。これは JICA 技術協力プロジェクトから JICA 道路アセットマネジメントプラットフォーム（RAMP：Road Asset Management Platform）²⁾の 1 つである留学生事業までシームレスに繋がったグッドプラクティスである。

このように、カンボジアでのシステム導入事例を通して、橋梁インベントリー及び初期点検は、現地カウンターパートの橋梁維持管理業務に加え、現地の技術力向上にも役立つ情報であるといえる。従って、これら橋梁基礎データの収集及びデータベースの構築は、技術協力プロジェクトにおいて最優先事項であるといえよう。

また、カンボジアでの実装で得た知見から、システムの改良を行い、マダガスカルプロジェクトにおいて試行した。マダガスカルでは、JICA プロジェクトのベースライン調査での導入ということもあり、全国規模の調査は未実施で

あるが、システム改良の効果は確認された。改良前のシステムも含め、カンボジア、ケニア、タジキスタン、マダガスカルで実装し、どの国においても大きな問題は生じずシステムは稼働し、一定数の橋梁データは収集できたことから、今後橋梁維持管理に係る技術協力プロジェクトが実施される国に導入可能であると考ええる。

7.2 橋梁点検基礎の学習システム

開発途上国は橋梁維持管理を未実施の国が多く、そのため橋梁維持管理を学ぶための教材及びツールが整備されていない。また、2020 年から世界的に広がった COVID-19 により、これまでのように大人数で集まって行う講義や現場トレーニングが制限される状況になったこともあり、技術移転の手法も新しい形態が求められるようになってきた。また、技術協力プロジェクト中も現地カウンターパート職員の学習履歴の把握や能力向上度合いの評価が難しいという課題があるが、これらの課題を解決する 1 つの方法として、LMS を用いた e-Learning が挙げられる。

筆者は、まずは学習対象を橋梁点検に絞り、橋梁の分類、部材名称といった橋梁工学の入門から、コンクリート橋及び鋼橋の劣化とその原因、各種検査手法（微破壊検査と非破壊検査）を学習できる e-Learning 教材を開発し、ケニア国橋梁維持管理能力強化プロジェクトにて試行したが、受講者毎に理解度に大きな差があることが分かった他、理解が不足していると思われる部分も統計的に把握することができた。

また、e-Learning 方式とすることで、受講者は時間と場所を選ばず、各自のペースで学習することが可能となる他、JICA 専門家からのトレーニングに先立ち、予習にも利用可能となる。それにより、これまで講義形式で行われてきた専門家からのトレーニングを、能動的な学習、記憶の定着、学習へのモチベーション向上といった効果が報告^{3),4)}されている Flipped Classroom（反転授業、図 6-1 参照）へと変化させることが可能になると考える。しかし、このように技術移転の形態を変えるということは、教授法も変わるということであり、技術協力の現場を担う JICA 専門家のスキルアップも同時に必要になる。

7.3 今後の JICA 技術協力プロジェクトに対する提言と課題

COVID-19 の世界的蔓延は社会に大きな変化をもたらした。JICA の技術協力プロジェクトも例外ではなく、専門家が現地へ渡航できない状況下において、プロジェクトを前進させるために様々な試みがなされた。特に Web 会議システムはこれまでのやり方を大きく変えたものの代表であるが、本論文で述べた橋梁データ収集システムや LMS を用いた e-Learning システムもその 1 つである。我が国の技術が開発途上国に展開され、更に現地で根付くような支援として拡がっていくためには、新しい手法を積極的に取り入れ、より効果的なプロジェクト運営について議論、検討を始める必要がある。

JICA はパキスタン国パンジャブ州における道路アセットマネジメントシステム能力向上プロジェクトにおいて、橋梁データ収集用タブレット端末 10 台を導入する予定であるが、2022 年度の土木学会全国大会の研究討論会でも話題に挙げた橋梁データベースのデータセット化はその 1 つであり、今後 JICA が主体となり RAMP 内で議論を深めていくことが望まれる。

また、LMS を用いた e-Learning システムにおいても、筆者は橋梁点検を対象とした学習教材を作成したが、今後は橋梁補修や維持管理計画の策定手法等に関する部分も補充されていくことが望ましい。橋梁補修や維持管理計画は、各国の資機材調達事情や財政状況等により統一することが難しいと思われるが、RAMP のネットワーク等を活かし、議論、検討が始まることを願って、本研究のまとめとする。

【参考文献】

- 1) Eam Sovisoth: Estimation of Bridge Construction Years in Cambodia by the Analysis of Landsat Satellite Data, 東京大学修士論文, 2020.1
- 2) JICA 道路アセットマネジメントプラットフォーム Web ページ : <https://www.jica.go.jp/activities/issues/transport/ramp/index.html>, 2022 年 10 月 26 日現在
- 3) Nouri, J. The flipped classroom: for active, effective and increased learning – especially for low achievers. *Int J Educ Technol High Educ* 13, 33 (2016), <https://doi.org/10.1186/s41239-016-0032-z>
- 4) 加藤研太郎, 高島恵 : 基礎科目に対する反転授業の効果, 理学療法—臨床・研究・教育, 26, pp.29-35, 2019, <https://doi.org/10.11350/ptcse.26.29>

謝 辞

本論文の取りまとめにあたり、終始熱心なご指導と高い見地からのご教示を賜りました東京都市大学建築都市デザイン学部都市工学科准教授 五艘隆志先生に厚く御礼申し上げます。

また本論文の審査に当たっては、東京都市大学建築都市デザイン学部都市工学科教授 白旗弘実先生、同准教授 関屋英彦先生、ならびに東京大学生産技術研究所准教授 長井宏平先生には貴重なご意見を頂きました。ここに、感謝の意を表します。

共同研究者でもある長岡工業高等専門学校環境都市工学科教授 井林康先生には私が高専本科4年時から公私ともに数多くのご指導を賜りましたこと、大変感謝しております。誠にありがとうございました。また、e-Learning講座の開発においては、舞鶴工業高等専門学校建設システム工学科教授 玉田和也先生にご指導頂きました。厚く御礼申し上げます。

開発した橋梁データベース作成システムの実装は、独立行政法人国際協力機構(JICA)の支援により実施されたカンボジア、ケニア、マダガスカル、タジキスタンにおける橋梁の維持管理にかかる技術協力プロジェクトにおけるものであります。JICAをはじめ、各国のカウンターパートのご協力を賜りましたこと、ここに謝意を示します。また、カンボジアでのシステム実装においては、阪神高速技術株式会社技術部調査点検課 塚本成昭課長補佐（当時）のご協力を頂きました。心より御礼申し上げます。

本論文は、私が株式会社建設技研インターナショナルに在籍中に取りまとめたものです。友永則雄元会長、土田貴之交通部門副部門長をはじめ、私に社会人学生としての機会を与えていただき、大学院博士後期課程へ送り出して頂きました社内の関係者皆様に、感謝致します。そして特に、カンボジア、ケニア、マダガスカル、タジキスタンにおいて本システムを実装する機会を提供して頂きました中島隆志経営企画室室長、岩政瞳氏には心より感謝いたします。ありがとうございました。

最後に、どんな状況でも私のことを温かく見守ってくれた母、そして毎日誰よりも近くで応援し続けてくれた妻と子供たちに心からの感謝を伝えて、本論文の謝辞といたします。

2023年1月

渡邊 正俊