

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

渡邊 正俊¹・井林 康²・五艘 隆志³・皆川 勝⁴

¹学生会員 東京都市大学大学院 総合理工学研究科 (〒158-0087 東京都世田谷区玉堤1-28-1)

E-mail: masatoshi.wt@gmail.com (Corresponding Author)

²正会員 長岡工業高等専門学校教授 環境都市工学科 (〒940-8532 新潟県長岡市西片貝町888)

E-mail: ibayashi@nagaoka-ct.ac.jp

³正会員 東京都市大学准教授 建築都市デザイン学部都市工学科 (〒158-0087 東京都世田谷区玉堤1-28-1)

E-mail: tgoso@tcu.ac.jp

⁴フェロー会員 東京都市大学副学長 (〒158-0087 東京都世田谷区玉堤1-28-1)

E-mail: minamasa@tcu.ac.jp

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台帳類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、基礎データを整備することは不可欠である。本論文においては、筆者らが開発したタブレット端末による橋梁データベース作成システムにより、技術協力プロジェクト期間内にカンボジア公共事業運輸省が管理する全国約2400橋の橋梁データベースを構築した手法を述べる。

Key Words : *developing country, bridge maintenance and management, bridge maintenance plan, bridge database creation system, tablet computer*

1. はじめに

我が国においては、高度経済成長期に建設された社会基盤施設がこれから急速に老朽化を迎える。国内に約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、その多くは高度成長期に建設されたものであり、2023年には4割以上の橋梁が建設後50年以上経過するとされている¹⁾。

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・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SNS(Social Networking Service)の社会全体への普及により、一般市民からも社会インフラの損傷・被害が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、筆者らが従事する開発途上国においては、これから本格的な高度経済成長を迎える段階にある。人口増加の社会状況下においては社会インフラ施設の新規(量的)整備が急務で優先される状況にある一方で、既存施設の維持管理の重要性も指摘されており、各援助機関が維持管理に関する技術支援を行っている。我が国は独立

表-1 2007年以降に JICA が実施した橋梁維持管理にかかる技術協力プロジェクト一覧

国名	実施年(期間)	プロジェクト名
アジア地域		
フィリピン	2007-2019 (36 ヶ月×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)
タイ	2011-2013 (22 ヶ月)	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
モンゴル	2013-2015 (29 ヶ月)	橋梁維持管理能力向上プロジェクト
キルギス	2013-2015 (32 ヶ月)	橋梁・トンネル維持管理能力向上プロジェクト
スリランカ	2015-2017 (37 ヶ月)	橋梁維持管理能力向上プロジェクト
バングラデシュ	2015-2017 (39 ヶ月)	橋梁維持管理プロジェクト
カンボジア	2015-2018 (37 ヶ月)	道路・橋梁の維持管理能力強化プロジェクト
パキスタン	2016-2018 (34 ヶ月)	橋梁維持管理プロジェクト
アフリカ地域		
エチオピア	2007-2012 (67 ヶ月)	橋梁維持管理能力向上プロジェクト
エジプト	2012-2015 (40 ヶ月)	橋梁維持管理能力向上プロジェクト
ザンビア	2015-2017 (24 ヶ月)	橋梁維持管理能力向上プロジェクト
中南米地域		
ボリビア	2009-2012 (44 ヶ月)	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

行政法人国際協力機構 (Japan International Cooperation Agency, 以下 JICA) が主体となり, 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 (表-1 参照)。これは我が国の道路・橋梁維持管理技術を開発途上国に積極的に移転し, 開発途上国にも将来確実に到来する維持管理の時代に備えるための支援であり, 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。しかし, 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言い難い状況にある事例も報告されている²⁾。

本論文においては, 既往の研究結果から開発途上国における橋梁維持管理の課題を明らかにした上で, 筆者らが携わった JICA 「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」において導入した橋梁データベース作成システムの成果を述べ, 開発途上国における効果的な橋梁データベース作成手法を提案する。

本論文の構成は, 第2章で既往の研究より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。第3章では橋梁データベース作成システムの導入を試みたカンボジアの道路, 橋梁状況を紹介する。第4章では筆者らが開発し, カンボジアに導入したシステムの仕様と機能を説明し, 第5章にて本システムの成果と導入したことで見つかった課題を述べる。最後に, 第6章に本論文のまとめを示す。

2. 開発途上国における橋梁維持管理の現状と課題

JICA は 2019 年に「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 (以下, JICA プロジェクト研究)」を実施し, 2007 年以降に我が国が技術協力を行った橋梁維持管理にかかる技術協力プロジェクト (全 12 カ国, 表-1 参照) を振り返り, 各技術協力プロジェクトで生じた課題・問題点を抽出し, 今後の技術協力プロジェクトへの留意点を整理している²⁾。

表-1 より, フィリピンのみ 2007 年のプロジェクト開始から 3 フェーズ 10 年以上の長期にわたり技術移転が図られている (各フェーズ間に 1-2 年程度の準備期間が設けられている) が, 多くの技術協力プロジェクトは概ね 3 年程度の期間をかけて実施されてきたことがわかる。橋梁維持管理は, 点検・診断, 補修, 維持管理計画といった各フェーズがあり, これらを供用期間中, 長期にわたって連続的に維持管理サイクルとして循環させていくことが望ましいことから, その国に根付かせるためには長い時間を要する。例えば, 通常は点検を行う者と補修を行う者は異なるため, 維持管理サイクルの循環には多くの関係者が関わることとなる。これら各フェーズ間 (各関係者間) を円滑に結ぶことで連続的な維持管理サイクルの循環が実現される。従って, 橋梁維持管理の重要性を意識させ, 点検・補修技術といったハード面, 維持管理計画策定技術や維持管理サイクルを循環させるための組織体制等の整備といったソフト面までを包括した

表-2 JICAプロジェクト研究による橋梁維持管理の重点領域

重点領域	サブ領域	重点領域	サブ領域
領域1：初期品質の確保	橋梁計画・設計	領域3：橋梁維持管理の組織・制度基盤の整備	予算
	施工		組織・制度
領域2：橋梁維持管理サイクルの構築	点検	領域4：橋梁の劣化を加速させる要因の除去	人材
	診断		過積載対策
	計画		不法占用対策
	措置		洗掘対策
	記録		

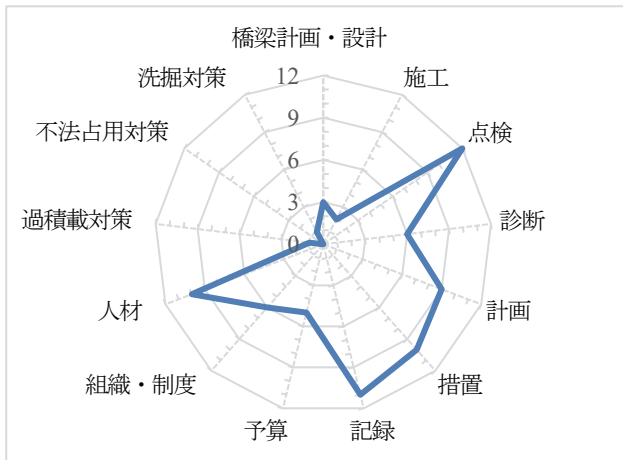


図-1 JICA技術協力プロジェクトのPDM分析結果²⁾

支援を行っていくためには、フィリピンの様に 10 年以上の年月が必要であると思われる。実際、フィリピンの公共事業道路省へのヒアリングにおいて、現在は橋梁維持管理のための予算は十分に確保出来ているとの回答が得られており、長期間継続して実施した支援の効果が現れている。

JICA プロジェクト研究においては、橋梁計画から供用に至るまでの各種活動を 4 つの重点領域に分け、さらにそれら 4 重点領域内に 13 のサブ領域を設定し（表-2 参照）、課題とその要因が整理されている。

これら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。図-1 は、JICA 技術協力プロジェクトの PDM を分析し、表-2 に示すサブ領域に係る活動の有無について整理したものである²⁾。これは、表-1 に示す全 12 の技術協力プロジェクトにおいて、どのサブ領域に対して支援したかのプロジェクト数を表しており、過去の技術協力プロジェクトにおいては、表-2 の領域 2 の橋梁維持管理サイクルの構築に係る活動が重点的に実施されてきたことがわかる。

橋梁維持管理サイクルの概念図を図-2 に示すが、維

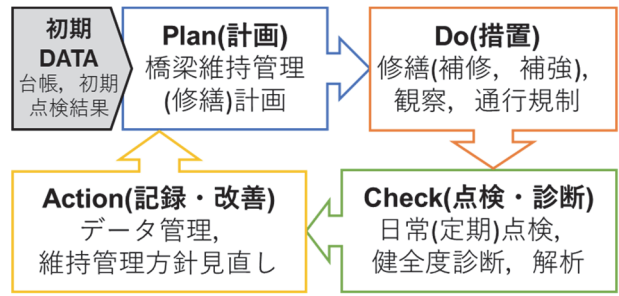


図-2 橋梁維持管理サイクルの概念図

持管理（修繕）計画の策定に当たっては、初期のデータ（橋梁台帳、初期点検結果）が必要となる。

図-1 の分析結果からも、これまで実施された技術協力プロジェクトにおいては、まずは橋梁点検を実施し、その点検結果を基に補修方法を検討し、プロジェクトによってはパイロットプロジェクトにて補修工事を実施し、それらの記録をデータベースに保存する活動を支援してきたと推察される。これは、上述のように表-2 の領域 2 に示す内容であり、これまで支援してきた開発途上国に概ね共通する課題であると考えられ、上記の課題を具体的に述べると以下の通りである。

- ▶ 日常的もしくは定期的な橋梁点検は実施されていない（点検、診断）
- ▶ 一部の点検結果が存在する場合も、点検項目や記録フォーム等は整備されていない（点検、記録）
- ▶ 橋梁の状況（位置、橋長、橋種、架設年、現状等）を把握可能なデータ・記録はない（記録）
- ▶ 点検データに基づき、維持管理計画は策定されていない（計画）
- ▶ 橋梁の補修はほとんど実施されていない（措置）

これらの課題は、文献 2) のみならず、それ以前の JICA 報告書等においても部分的に指摘されている³⁾⁴⁾。加えて、筆者が 2013 年から 2015 年にかけて従事した JICA 「キルギス国橋梁・トンネル維持管理能力向上プロジェクト」において現地実施機関へヒアリングしたところ、各地域の管理事務所の担当者は自らが管理する地域の道路・橋梁については詳しく説明できるものの、担当者の暗黙知となっており、維持管理の実務を担う地域の管理事務所も担当者に任せているという状況であった。具体的には、実際に現場において担当者から説明を受けた際に、高欄の損傷は昨年自動車が衝突したものであることや、下部工の洗掘は数年前の大雨時に生じたものであるといった回答が得られたが、こういった点検結果が管理する事務所において記録・共有されていなかったり、担当者がノートに記録しているのみといったように、体系だった点検項目、方法、組織がなく、属人的なデータ管理であったことを確認している。

こういった現状であることから、当然、役所の組織体

表-3 開発途上国における橋梁維持管理の現状・課題

段階	現状・課題
計画・設計・建設段階	<ul style="list-style-type: none"> 橋梁計画及び設計に関する基準やガイドラインが未整備 橋梁計画を行う上での各種データ（水理データ等）が未整備 設計照査の未実施 品質管理基準が未整備（基準があっても遵守されていない） 品質管理体制が未構築
維持管理段階	<ul style="list-style-type: none"> 橋梁台帳がない（基礎データの未整備） 橋梁点検記録が無い（橋梁点検の未実施） 維持管理に関する基準やマニュアルが無い 維持管理に対する予算がない or 十分でない 維持管理に対する職員が少ない or 少ない 維持管理を行う組織体制が明確でない

制においても橋梁維持管理課のような専門部署が存在せず、橋梁維持管理のための予算や職員は充てられていない国も存在する。従って、まずは橋梁点検の充実を目指し、点検記録を決められた様式で決められた場所に保存するという橋梁維持管理サイクルの基礎を築くことが多くの開発途上国において必要と考えられる。

ここに、開発途上国における橋梁維持管理の現状と課題の理解をより容易にするため、計画・設計・建設までの建設段階と、供用開始後からの維持管理段階の2段階に分けて再度現状と課題を整理し、表-3に取りまとめた。表-3において下線で記しているものは、後述する橋梁データベース作成システムの開発により、課題解決に寄与できると考えたものである。

一方、技術協力プロジェクト実施後の状況においては、各プロジェクト内で整備された橋梁データベースが活用されず、効率的な橋梁維持管理計画の策定に活かされていない国もいくつか確認されている。主な要因として、

- (1) プロジェクト期間中に対象地域を絞って技術移転し、対象地域以外は実施国の自助努力によって点検を実施し、データ入力を行うこととしていたものの、点検に必要な費用や体制等の問題により実施されていない、
- (2) データベースの活用方法が十分に理解されておらず情報が更新されない、
- (3) データベースのシステムを更新する費用がないため、点検データはあるものの使用できない、
- (4) 技術協力プロジェクトにおいて策定した修繕計画に基づく修繕を予算や技術協力プロジェクトにて紹介した補修技術が広く展開されていないといった技術的問題から遂行できておらず、次の計画を策定する段階にない等の要因が確認されている。

表-4 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
2010	112.42	+8.1%	750	+7.1%	1,431	+1.6%
2011	128.30	+14.1%	810	+8.0%	1,454	+1.6%
2012	140.54	+9.5%	880	+8.6%	1,478	+1.6%
2013	152.28	+8.4%	970	+10.2%	1,502	+1.7%
2014	167.03	+9.7%	1,020	+5.2%	1,527	+1.7%
2015	180.50	+8.1%	1,060	+3.9%	1,552	+1.6%
2016	200.17	+10.9%	1,140	+7.5%	1,576	+1.6%
2017	221.58	+10.7%	1,240	+7.9%	1,601	+1.5%
2018	245.42	+10.8%	1,390	+12.1%	1,625	+1.5%

*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：世界銀行 Web ページ (World Bank Open Data)

表-5 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		
州道	3 桁道路	644	6,244.40	0.175
	4 桁道路	446		
計		2,302	11,867.48	0.194

出典：MPWT

3. カンボジアの道路・橋梁の状況

(1) カンボジアの概要

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 1,625 万人 (世界銀行, 2018 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 参照)。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、カンボジアにとって象徴的なものの一つとなっており、我が国との交流も盛んな国である。

(2) カンボジアの橋梁状況

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⁹⁾、1970 年以降の内戦の影響により主要道路・橋梁等の多

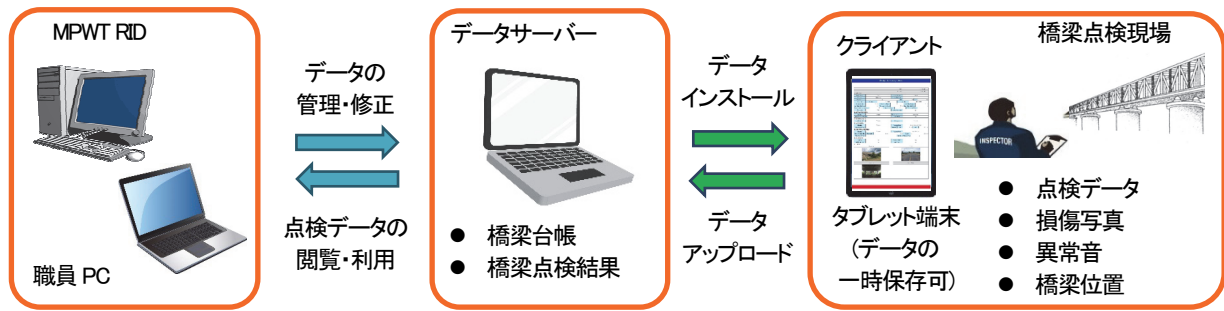


図3 カンボジアの橋梁データベース作成システムの構成

くが破壊された。昨今では、重量車両の通行、定期的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、維持管理計画は策定されておらず、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前頁の表-5 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。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 33,000km 存在するが (2009 年時点)⁶⁾、本論文の対象は MPWT が管理する国道及び州道に限る。

本論文においては、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ベース作成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-5 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⁷⁾。また、国土交通省は、道路管理者への技術的助言として道路橋定期点検要領⁸⁾を定めており、地方自治体はこの要領を参考にしつつ、各自で橋梁点検要領・基準類を定めている。JICA の支援する技術協力プロジェクトにおいても同様に日本の基準を一つのベースに、各国の事情を踏まえ橋梁維持管理にかかる要領・基準類を作成している。

筆者らは、この橋梁密度及び平均橋長の値から、開発途上国の省庁の管理する橋梁規模は、我が国の地方自治体が管理する橋梁規模と同程度であり、かつ、技術者が不足しているという実状、更に橋梁点検要領・基準類の作成プロセスも類似していると考え、地方自治体の橋梁維持管理手法の一部を開発途上国へ導入することを試みた。

4. 橋梁データベース作成システム

(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、事務所に戻り、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。しかし、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、橋梁点検業務において重荷になっていることがわかる。また、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^{10, 11)}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前頁の図-3に示す。

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、サーバー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、クライアント端末にはApple社のiPad mini 32GB（Wi-Fi+Cellularモデル）、サーバーにはMacBook Proを用いた。

(2) システムの概要

筆者らが開発し、カンボジアに導入したシステムは、橋梁台帳作成機能と橋梁点検記録機能で構成され、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。また、点検データを本部のサーバーコンピュータと直接リンクさせることで、データ入力の二度手間を省き、作業の効率化を図ることを目指した。また、システムの開発にあたっては、著者をはじめMPWT職員も建設系の技術者であるため、プログラミング言語を駆使した高度なデータベースシステムは開発の壁が高く、かつ将来的な運用においても課題が生じると考え、開発言語の習得が不要で比較的容易にシステム開発が可能なFileMakerを用いた。

本システムは、タブレット端末にインストールし、橋梁データを収集するために使用するクライアント用のアプリケーションと、データ及びシステムの管理を行うために使用するサーバー用のアプリケーションから構成される。クライアント用アプリケーションは橋梁点検者が

表-6 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
	架橋年		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

現場で使用することを想定したものであり、橋梁点検記録機能、点検調書作成機能のみ操作可能である。また、山間地や田園地帯に位置する橋梁も数多くあるため、通信環境が悪い場所でも操作できるよう、端末内にデータが保存される仕様となっている。そして、安定した通信環境下にて、クライアント用アプリケーションで収集したデータを、サーバーへアップロードすることが可能であり、データの集約が時間及び場所を問わず容易となる。サーバー用アプリケーションは、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。

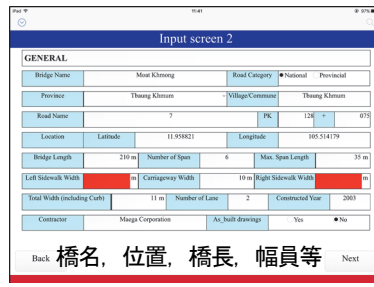
本システムのオペレーションは、MPWT職員によって行われ、システム内の言語は基本的に英語で、一部（橋梁名等）は公用語であるクメール語の入力欄を設けている。

(3) 橋梁台帳作成機能

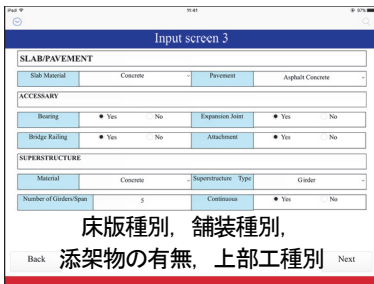
カンボジアで策定した橋梁台帳フォームには、表-6に示す項目（橋梁名、橋長、建設年、位置情報などの一般情報、構造形式、橋梁写真等の情報）を記載するものとした。この項目は、我が国の一般的な橋梁台帳に記載されている項目とカンボジアに25ある公共事業運輸局（Department of Public Works and Transport, MPWTの地方事務所）の一部が所有していた管理橋梁リストに記載のあ



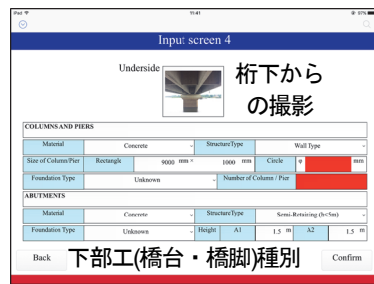
1) 橋梁写真撮影



2) 一般情報の入力



3) 上部工情報の入力



4) 下部工及び付属物情報の入力

図4 橋梁台帳作成機能の画面橋梁計画・設計



図5 橋梁台帳シート

った項目を基に、MPWT との協議を経て決定した。

橋梁台帳への入力には、図4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の入力、4ページ目では下部工の構造形式の入力を行う。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。

これらの入力が完了すると図5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

本システムでは、次頁の表7に示す項目の点検結果を収録する。橋面の4部材6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(一例を次頁の表8に示す)が設定されており、計56項目である。

我が国には国土交通省道路局の橋梁定期点検要領¹²⁾や道路橋定期点検要領⁹⁾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

表-7 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	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

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。

各点検項目の評価においては、「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、損傷部位の写真撮影、異常音の場合は車両通過時の音を録音し、記録する。

評価項目に「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

表-8 損傷確認項目の配点(床版(コンクリート)の例)

点検項目及び損傷確認項目	配点	損傷判定
ひび割れ/抜け落ち		合計点 X X ≥ 20 損傷レベル III
床版下面にひび割れ	5	
遊離石灰	10	
ひび割れから錆汁 抜け落ち	10 20	
豆板/剥離/鉄筋露出		20 > X ≥ 10 損傷レベル II
豆板	5	
コンクリートの剥離/欠損	5	10 > X 損傷レベル I
鉄筋露出	5	
鉄筋の減肉	10	

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よう。

b) 評価方法

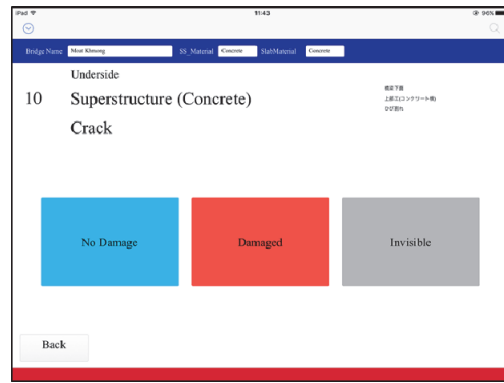
評価方法として、部材毎に決定する損傷レベル、橋梁毎に決定する損傷評価がある。損傷確認項目には、それぞれ重み付けされた配点が設けられており、チェックを付けた項目の合計点数によって部材毎に損傷レベルが決定される。点数の例を表-8に示す。コンクリート床版の場合、2つの点検項目と8つの損傷確認項目が用意されており、合計点数が20点以上で「III」、10点以上20点未満で「II」、10点以下で「I」となる。各損傷の配点に際しては、床版の抜け落ち等、供用交通の安全が脅かされる損傷は、それ一つでも損傷レベル III と判定されるように配点している。また、例えば、構造的に重大な損傷である鉄筋の減肉はそれ自体は10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つ以上の場合にはSD (Seriously Damaged)、損傷レベル「III」が1つの場合にはD (Damaged)、損傷レベル「II」が1つ以上の場合にはO (Observation) とした。

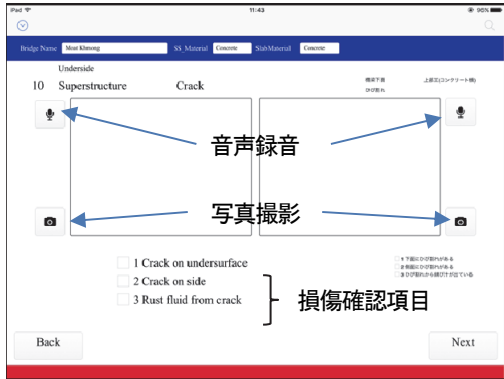
損傷評価手法の策定にあたっては、MPWTからは橋単位での評価結果を求められたが、我が国のような専門家による診断は難易度が高く、かつ点検者により診断結果にばらつきが生じることが想定されたため、点検記録(部材毎の損傷)を基に、前述した重み付け配点により自動的に部材毎の損傷レベルを決定し、その個数により橋単位での損傷評価とした。なお、この損傷評価は何かしらの対策が必要な橋を抽出する(スクリーニング)ため、統一指標による横並びの評価を目的とした。



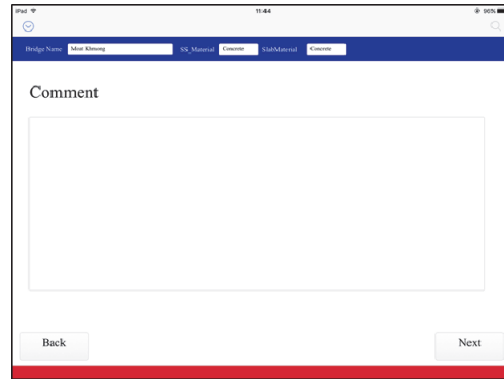
1) 点検開始, 過去の点検結果一覧



2) 点検画面



3) 損傷状態の記録



4) 備考コメント記入

図-6 橋梁点検記録機能の画面

Bridge Name		Phum Ty 8		FC Crack	II Observation	I Unnecessary
Pavement	Unravens / Po hole / Rutting / Crack	No Damage / Damaged				
	Crack	No Damage / Damaged				
Bridge Rating / Guardrail / Curb	Damage	No Damage / Damaged				
	Step	Step under 20mm / Step over 20mm				
Expansion Joint	Deformation / Damage	No Damage / Damaged				
	Abnormal Sound	No Damage / Damaged				
Drainage system	Clog of drainage pipe	No Damage / Damaged				
	Abnormal sound	No Damage / Damaged				
Superstructure (Steel)	Corrosion / Rust	No Damage / Damaged / Invisible				
	Crack, Deformation, Low, Break	No Damage / Damaged / Invisible				
Superstructure (Concrete)	Crack	No Damage / Damaged / Invisible				
	Honeycomb / Flaking / Exposure of rebar	No Damage / Damaged / Invisible				
Superstructure (Wooden)	Rotting	No Damage / Damaged / Invisible				
	Crack / Damage	No Damage / Damaged / Invisible				
Sub (Steel)	Corrosion / Crack	No Damage / Damaged / Invisible				
	Plate	No Damage / Damaged / Invisible				
			5	II		
			0			
			16	III		
			0			
			0			
			18	II		

Bridge Name		Phum Ty 8		FC Crack	II Observation	I Unnecessary
Sub (Concrete)	Crack / Hole	No Damage / Damaged / Invisible				
	Honeycomb / Flaking / Exposure of rebar	No Damage / Damaged / Invisible				
Sub (Wooden)	Rotting	No Damage / Damaged / Invisible				
	Crack/Damage	No Damage / Damaged / Invisible				
Bearing	Subsidence / Damage	No Damage / Damaged / Invisible				
	Crack	No Damage / Damaged / Invisible				
Substructure (Pier Abutment)	Crack	No Damage / Damaged / Invisible				
	Peeling / Flaking / Honeycombs	No Damage / Damaged / Invisible				
			45	III		
			0			
			0			
			18	II		

Comment
This bridge is very old (builded 1954) and have heavy damage on supper structure and slab as shows in photos and must be to replace new elements of this bridge

図-7 橋梁点検調査

c) 点検の流れ

点検画面を図-6に示す。まず、橋梁一覧画面から橋梁を選択する。選択後、1)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、2)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、3)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4)の備考欄に移動し、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、前頁の図-7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。

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付けた。

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-8参照）。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-8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



図-8 橋梁点検のトレーニング実施状況

表-9 本システムによる橋梁調査速度

エリア	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。

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。

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-9に示す。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2)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¹⁵⁾。その一部を前頁の図-9 から図-11 に示す。

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 Damage」及び「Damage」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。

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

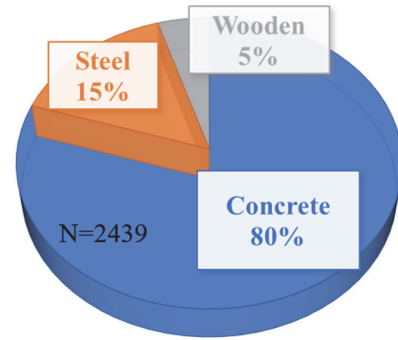


図-9 カンボジアの橋種割合¹⁵⁾

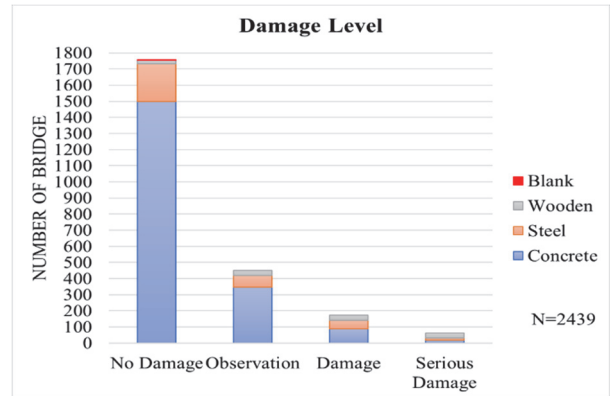


図-10 カンボジアの橋梁健全度¹⁵⁾

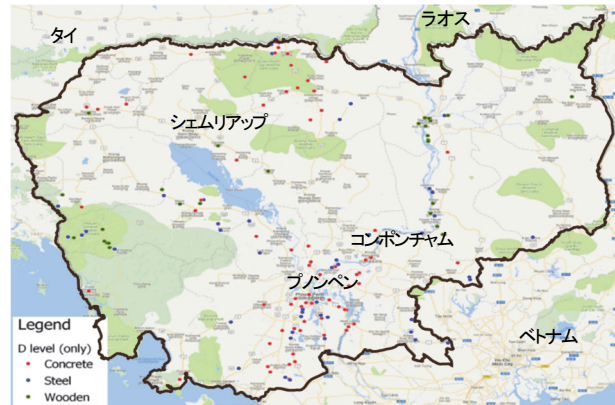


図-11 損傷橋梁の分布図¹⁵⁾に筆者一部追記

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¹⁵⁾。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

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られる。

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、それ以外ほ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.(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

表-1 に示した技術協力プロジェクト以降もガーナ、ザンビア(フェーズ2)、ミャンマー等で同様のプロジ

ェクトが開始されており、今後も多くの開発途上国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。

JICA 技術協力プロジェクトにおいては、概ね成果の一つに橋梁維持管理計画の策定が掲げられるが、多くの開発途上国では、橋梁維持管理計画の基礎情報となる橋梁インベントリーデータが未整備であるため、技術協力プロジェクトにおいて一から橋梁データベースを構築する必要がある。多くのプロジェクトは成果の一つに橋梁維持管理計画の策定があることから、その手段となる橋梁データベースはプロジェクト開始後早期において正確、迅速に、かつ開発途上国に対する技術協力という性質上、現地実施機関による整備が求められる。更にプロジェクトの現地カウンターパートは多くの場合、中央省庁であることから、全国レベルでの橋梁データベースとする必要がある。

また、多くの開発途上国はこれから橋梁維持管理に取り組んでいく状況にあり、橋梁点検を未経験の国が多く、橋梁の点検・診断に必要な経験や知識を有する技術者が少ないため、記述式の点検フォームへの記入は技術的に難易度が高い。カンボジアで実践した点検手法は、タブレット端末上にチェックすべき項目(表-7 及び表-8 参照)が設問形式で表示され、損傷あり or 損傷無し、もしくは目視不可で答える手法を採用し、その後の損傷写真の撮影も同一の機材で行うものである。このように、本手法は橋梁点検未経験者に対して易しいアプローチでありながらも、橋梁の診断は損傷の有無や程度に基づくものであることから、診断結果の根拠は有しており、橋梁の健全度ランク分け、またその説明を求められた場合にも十分な使用性を有するものである。

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合わせたものであり、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。

今後、他の開発途上国に対して橋梁維持管理技術の支援を展開するにあたり、当該国の実状を十分確認した上で本システムのカスタマイズを行うことが求められる。特に考慮すべき状況としては、設置されている橋梁の構造形式別の割合、現段階の利用状況及び劣化状況、気温・湿度・天候などの自然環境、橋梁までのアクセス利便性などのハード面の状況に加えて、財源、点検から補修に至る予算(及び人員)措置の行政的プロセス、現段階で有する橋梁管理システムなどのソフト面の状況が挙げられる。このような配慮に基づいてカンボジアにおいては地域名のリスト、構造形式や点検項目及び各損傷への配点を当該国の実状に合わせて設定した。同様の取り

組みは他の開発途上国においても必須となってくる。その上で、設定された点検項目に対し、損傷の有無で回答し、損傷ありの場合は損傷写真を撮影して記録し、それらをデータベースとして一元管理するという手法は、他の開発途上国に対しても広く適用可能であると思われる。また、橋梁データを一時的にクライアント端末内に保存する点、及び橋梁位置の確認にオフラインで利用可能な外部アプリケーションを利用した点は、通信環境が脆弱な開発途上国においては有効な手法であろう。このような、カンボジアにおいて本システムの導入する過程で得られた実践知は非常に有効な知見になると考える。

これらの取り組みは、カンボジアのように透明性を良しとする社会では受け入れられやすく、有効に機能するであろう。一方で、透明性を良しとしない旧共産圏や軍事政権の影響が残る国においては、暗黙知の形式知化は自分の職業を奪われることへの懸念や、軍事機密としての橋梁情報が公開されることへの懸念といった問題もあり、導入活動以前の調整も必要となってくることには留意する必要がある。

なお、カンボジアでの取り組みにおいては 4. (4) e)にて述べたとおり、点検者の違いによる判定結果のばらつきを低減するためのトレーニングを実施したが、トレーニング前後でのばらつきが低減できているかどうかの定量的な検証までは実施できなかった。今後の展開においては、トレーニング段階における判定結果の確認と集計を実施し、結果を見ながらトレーニング内容の向上を図ってゆくことも考えられる。

6. まとめ

本論文では、カンボジアにおける効率的かつ効果的な橋梁維持管理実現のための第一歩である橋梁台帳データ及び橋梁点検データのデータベースを作成するシステムを開発し、カンボジア全土の MPWT が管理する約 2,400 橋梁を対象として基礎データ収集及び簡易点検を行い、その効果を検証した。確認された成果をまとめて以下に示す。

- 1) これまで MPWT が管理する全橋梁に対して統一されたデータは存在せず、管理橋梁の概況を把握できていなかったが、本システムにより、全国の橋梁データが一元化された。
- 2) MPWT が管理する全橋梁に対して橋梁点検が実施されたことで、「どこに、どういう橋が、どういった状態であるか」を把握可能となった。
- 3) 橋梁点検結果を同一の評価指標でランク分けすることで、優先的な対策が求められる橋梁が容易に選定可能となった。
- 4) かつ、位置情報から地図上に容易に示すことがで

き、対策が求められる橋梁の分布状況が視覚的にも容易に理解可能となった。

- 5) 本システムは、現場においてタブレット端末に記録したものがそのまま橋梁データベースとして記録されるため、現場での点検・記録作業と事務所での点検結果の入力作業という重複作業が生じず、作業時間が大幅に短縮された。
- 6) データベースの収録項目の抜け等から、橋梁維持管理計画の高度化に向けての新たな課題（建設年が不明な橋梁が多い等）が明らかとなった。
- 7) 国内の道路整備が途上であり（舗装率が低い）、橋梁密度が低いカンボジアにおいても、12 橋/日/班の橋梁点検が実施できた。
- 8) 本システムは、汎用性の高い機材及びソフトウェアを用いており、他の開発途上国へも容易に導入可能であり、かつカンボジアと同様の効果を発揮するものと考えられる。

また、本システムの実装を通して、カンボジアのような常時高温な地域では、長時間連続して屋外で使用するタブレット端末が高温となり、強制終了となる事象やタブレット端末の機能不全が生じるといった問題も確認され、今後の対処すべき課題・留意点も明らかとなった。

カンボジアで導入、実践したシステムは、例えば橋梁定期点検要領¹²⁾と比較すれば簡易な点検であるが、道路橋定期点検要領⁹⁾の変状の区分は満足している。具体的には、損傷図を描かずに、代表的な損傷写真を記録し、更に手書きに依存する従来手法では記録不可能であった損傷音を音声データにて記録するものである。従って、“損傷の有無”に基づく点検結果となっており、要対策橋梁の判別には十分機能するシステムである。我が国においては損傷図は必須という考えもある一方で、道路橋定期点検要領⁹⁾では損傷図は必須としていないことから、本手法は今後の我が国の橋梁点検手法の一つの方法になるのではないかと考える。

謝辞: 本論文で報告した橋梁データベース作成システムの実装は、JICA「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」において実施され、点検用機材であるタブレット端末及びデータベースサーバー等の機材は JICA より MPWT に供与されたものである。また、現地での活動である橋梁台帳データ収集及び橋梁点検は、MPWT の RID 職員が主体となり行われたものである。ここに記して謝意を示す。

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，2014.4
- 2) JICA 報告書：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, 2019.2
- 3) JICA 報告書：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, 2013.1
- 4) JICA 報告書：ザンビア国橋梁維持管理能力向上プロジェクト詳細計画策定調査報告書, 2014.12
- 5) 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.
- 6) <http://www.cambodiainvestment.gov.kh/investors-information/infrastructure/roads.html>
- 7) 国土交通省：道路統計年報 2019
- 8) 国土交通省道路局：道路橋定期点検要領, 2019.2
- 9) 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
- 10) 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
- 11) 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
- 12) 国土交通省道路局国道・技術課：橋梁定期点検要領, 2019.2
- 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.
- 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) 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

(Received May 1, 2020)
(Accepted April 5, 2021)

CHALLENGES OF BRIDGE MAINTENANCE MANAGEMENT IN DEVELOPING COUNTRIES AND NATIONWIDE PRACTICE OF BRIDGE DATABASE PREPARATION SYSTEM IN CAMBODIA

Masatoshi WATANABE, Kou IBAYASHI, Takashi GOSO and Masaru MINAGAWA

In recent years, Japan is assisting techniques and capacity development of bridge maintenance and management for developing countries all over the world. And the activities of these projects aimed at formulation of maintenance and management plans, including bridge inspection and repair techniques, are being carried out. However, the current condition of the bridge to be managed is not understood and there is no effective data for the formulation of bridge maintenance plans when it is at the start of technical cooperation project because bridge inspection activities have not been carried out in many developing countries.

To carry out efficient and effective bridge maintenance management, it is essential to consolidate bridge inventory data and inspection data. In this paper, the method of a bridge database development of about 2,400 bridges nationwide managed by the Ministry of Public Works and Transport of Cambodia during the JICA technical cooperation project period will be described.