

タイ国

タイ国
インフラメンテナンスコスト抑制
のためのスケルトン防災コーティ
ング導入にかかる案件化調査
業務完了報告書

平成 30 年 11 月
(2018 年)

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

株式会社エムビーエス

国内
JR(先)
18-204

<本報告書の利用についての注意・免責事項>

- ・ 本報告書の内容は、JICA が受託企業に作成を委託し、作成時点で入手した情報に基づくものであり、その後の社会情勢の変化、法律改正等によって本報告書の内容が変わる場合があります。また、掲載した情報・コメントは受託企業の判断によるものが含まれ、一般的な情報・解釈がこのとおりであることを保証するものではありません。本報告書を通じて提供される情報に基づいて何らかの行為をされる場合には、必ずご自身の責任で行ってください。
- ・ 利用者が本報告書を利用したことから生じる損害に関し、JICA 及び受託企業は、いかなる責任も負いかねます。

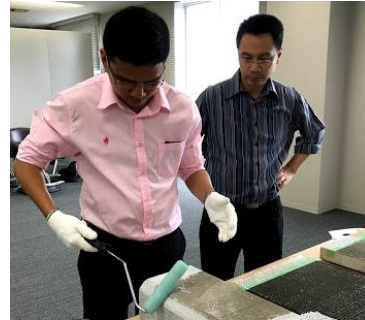
<Notes and Disclaimers>

- ・ This report is produced by the trust corporation based on the contract with JICA. The contents of this report are based on the information at the time of preparing the report which may differ from current information due to the changes in the situation, changes in laws, etc. In addition, the information and comments posted include subjective judgment of the trust corporation. Please be noted that any actions taken by the users based on the contents of this report shall be done at user's own risk.
- ・ Neither JICA nor the trust corporation shall be responsible for any loss or damages incurred by use of such information provided in this report.

巻頭写真



カウンターパート候補であるチュラロンコーン大学との ODA 計画について協議する様子



本邦受入事業で、バンコク首都圏庁(BMA)の職員がスケルトン防災コーティングの施工容易性を体験している様子



タイ国の最大手の建設企業のイタリアンタイの副社長にエムビーエス社の製品紹介を行っている様子



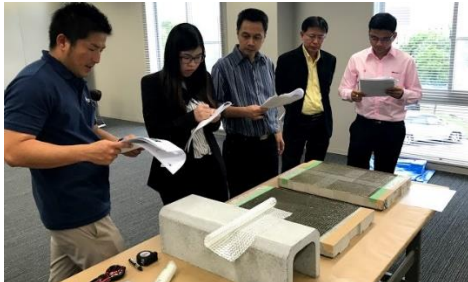
運輸省道路局 (DOH)へエムビーエス社の製品紹介を行っている様子



チャオプラヤ川に日本の ODA の資金を活用し、橋梁建設を行った住友建設へのヒアリングを行う様子



本邦受入事業にて、国土交通省大阪国道事務所です予保全の重要性について講演を受講後の様子



本邦受入事業にてスケルトン防災コーティングの技術指導を受けている様子



本邦受入事業にて、トンネルの目地及び施工現場視察の様子

目次

目次	1
図表	4
略語表	7
要約	8
はじめに	14
第1章 対象国・地域の開発課題	19
1-1 対象国・地域の開発課題	19
1-1-1 進行するインフラの老朽化	19
1-1-2 増加するインフラ関連コスト	27
1-2 当該開発課題に関連する開発計画、政策、法令等	55
1-3 当該開発課題に関連する我が国の国別開発協力方針	55
1-4 当該開発課題に関連する ODA 事業及び他ドナーの先行事例分析	56
1-4-1 タイ国に対する我が国の ODA	56
1-4-2 他ドナーの先行事例	59
第2章 提案企業、製品・技術	60
2-1 提案企業の概要	60
2-1-1 企業情報	60
2-1-2 海外ビジネス展開の位置づけ	60
2-2 提案製品・技術の概要	60
2-2-1 ターゲット市場	60
2-2-2 提案製品・技術の概要	61
2-2-3 製品・技術のスペック	62
2-2-4 国内外の競合他社製品との比較優位性	66
2-3 提案製品・技術の現地適合性	66
2-3-1 現地適合性(制度面)	67
2-3-2 現地適合性(技術面)	67
2-3-3 本邦受入活動	67
2-4 開発課題解決貢献可能性	67
第3章 ODA 案件化	69
3-1 ODA 案件化概要	69
3-1-1 ODA 案件概要	69
3-1-2 対象地域	69
3-2 ODA 案件内容	70
3-2-1 事業内容	70

3-2-2 投入.....	71
3-2-3 実施体制	73
3-2-4 活動計画	73
3-3 C/P 候補機関組織・協議状況	74
3-3-1 C/P 候補機関	74
3-3-2 協議状況	75
3-4 他 ODA 事業との連携可能性.....	88
3-5 ODA 案件形成における課題・リスクと対応策	89
3-5-1 課題・リスクと対応策(制度面).....	89
3-5-2 課題・リスクと対応策(実施).....	89
3-6 期待される開発効果.....	91
第4章 ビジネス展開計画	91
4-1 ビジネス展開計画概要.....	95
4-2 市場分析.....	95
4-2-1 市場の定義.....	95
4-2-2 競合の状況.....	96
4-3 バリューチェーン	96
4-3-1 生産計画	96
4-3-2 販売計画	96
4-4 進出形態とパートナー候補.....	96
4-5 収支計画.....	96
4-6 想定される課題・リスクと対応策.....	96
4-6-1 投資規制・許認可に対するリスク	96
4-6-2 知財流出リスク	96
4-7 期待される開発効果.....	96
4-8 日本国内地元経済・地域活性化への貢献.....	97
4-8-1 事業実施による国内の雇用創出、新規開拓、新規開発	97
4-8-2 事業実施による国内関連企業の売上増.....	97
英文要約.....	98
別添1：関心表明レター文面.....	108
別添2：【ACI】CFRP による構造強化の方法(ACI 440 規格).....	108
別添3：NCHRP(National Cooperative Highway Research Program)	108
別添4：ASTM D6413(一部抜粋).....	108
参考資料1：道路および橋梁の管理体制.....	109
参考資料2：道路および橋梁の管理体制.....	109
参考資料3：中央官庁におけるメンテナンス予算の推移	109

参考資料4：バンコク首都圏庁(BMA)における予算の推移	109
参考資料5：タイ高速道路公社(EXAT)における予算の推移	109
参考資料6：各種鉄道における予算の推移	109

図表

図 1	公共セクターの純社会資本額の推移(時価)	19
図 2	建設後経過年数別橋梁数 (運輸省道路局 (DOH)管理橋梁)	20
図 3	コンクリート構造物の劣化とその原因	21
図 4	タイ国のコンクリート構造物の様子	21
図 5	パッタナカン高架道路陥没事故の様子	22
図 6	パッタナカン高架道路陥没事故の様子	23
図 7	パッタナカン高架道路のコンクリートの様子(修繕後)	23
図 8	パッタナカン高架道路の修繕費(バンコク首都圏庁(BMA)負担分)	23
図 9	タイ国の橋梁における塩害の様子	24
図 10	タイ国の一般的な表面保護工による「ふくれ」や「はがれ」	24
図 11	タイ国のインフラと維持・管理機関	25
図 12	タイ国における道路延長と維持・管理組織	25
図 13	所管の省別対象機関と対象施設	26
図 14	タイ国の道路の管理区分	26
図 15	鉄道の管理体制 (全体)	27
図 16	左：新設・メンテナンス予算、右：新設の道路(距離)及び品質評価	28
図 17	タイ国の鉄道の新設予定	29
図 18	バンコク首都圏の 2029 年までに開通が予定されている路線	29
図 19	運輸省道路局 (DOH)におけるメンテナンス予算の内訳 (2012~2016 年)	32
図 20	DOH の定期的なメンテナンス手法と目視点検の有無	34
図 21	DRR の定期的なメンテナンス手法と目視点検の有無	35
図 22	BMA の定期的なメンテナンス手法と目視点検の有無	35
図 23	タイ高速道路公社(EXAT) の定期的なメンテナンス手法と目視点検の有無	36
図 24	SRT の定期的なメンテナンス手法と目視点検の有無	36
図 25	MRTA の定期的なメンテナンス手法と目視点検の有無	37
図 26	遠望目視で生じてしまう死角	39
図 27	コンクリートの劣化	40
図 28	ひび割れのサイズの記載例	41
図 29	ひび割れの様子 (DOH マニュアル掲載)	41
図 30	“はく落”の様子 (DOH マニュアル掲載)	43
図 31	EXAT における“はく落”の様子	43
図 32	タイ高速道路公社(EXAT)の管理する高速道路の工法内訳	44
図 33	タイ高速道路公社(EXAT)の 5 つ評価項目	45

図 3 4	タイ高速道路公社(EXAT)のメンテナンスチームの視察の様子	45
図 3 5	点検フォーマット	46
図 3 6	運輸省道路局 (DOH)の目視点検の様子	47
図 3 7	DOH 管轄の橋梁の健全度 (OCR)	48
図 3 8	運輸省道路局 (DOH)の BMMS の入力画面(タブレット端末の表示画面)	48
図 3 9	運輸省地方道路局(DRR) BMMS システム	49
図 4 0	NBI 指標	49
図 4 1	PC 箱桁のコア採取写真	50
図 4 2	補修状況(左：損傷部分のコンクリートを除去、右：モルタル補修)	50
図 4 3	目視点検レイト修繕後の様子(左：目視点検後のレポート(例：Ding Dang 橋)、 右：修繕後の様子)	51
図 4 4	バンコク首都圏庁(BMA) の Bridge Management System の操作画面	52
図 4 5	炭素繊維補強工	53
図 4 6	事後保全及び予防保全のメンテナンスイメージ	54
図 4 7	タイでの事後保全及び予防保全のメンテナンスイメージ	55
図 4 8	タイ国向け日本からの ODA 実績	56
図 4 9	チャオプラヤ川を渡河する橋梁と日本の ODA	57
図 5 0	主要ドナーの対タイ国への経済協力実績	59
図 5 1	スケルトン防災コーティングの透明性	61
図 5 2	左 スケルトン防災コーティング、右 従来の色付き塗料	61
図 5 3	透明であるため、ひび割れのみならず、エフロの発生状況も確認できる	61
図 5 4	左：使用材料、 右：スケルトン防災コーティングの構造	62
図 5 5	コーティング後の様子(補修跡が確認可能)	62
図 5 6	表面保護工としての製品技術のスペック	63
図 5 7	「はく落防止工」としての製品のスペック	63
図 5 8	水蒸気透過性	63
図 5 9	従来型の表面保護工のふくれ、はがれの様子	64
図 6 0	火災時安全性	64
図 6 1	日本での施工先の例	65
図 6 2	部分補修の方法	65
図 6 3	スケルトン防災コーティングの特長	65
図 6 4	普及事業における実施体制案	73
図 6 5	活動計画 (案)	74
図 6 6	関心表明レター (左) 受理式典の様子 (右、下)	75
図 6 7	チュラロンコーン大学	76
図 6 8	Ratchada 高架道路の地図	77

図 6 9	Ratchada 高架道路	77
図 7 0	Ratchada 高架道路の高架下	77
図 7 1	高架下で営業している露店の様子	78
図 7 2	“はく落”が発生したと推測される痕跡	78
図 7 3	プルアウト法強度推定試験	84
図 7 4	トンネル補修材料の延焼性試験	86
図 7 5	ガラス繊維シートの張力試験	86
図 7 6	引抜き試験	87
図 7 7	曲げ試験	87
図 7 8	修繕計画箇所 1 (路面)	89
図 7 9	修繕計画箇所 2 (路面)	89
図 8 0	BMA が検討中の修繕先	90
図 8 1	高所作業中に発生した事故の様子	90
図 8 2	現地パートナー候補が実施している交通整備の様子	91
図 8 3	DOH 発表のコンクリート構造物劣化モデル	92
図 8 4	算出条件と健全度の推移 (DOH ヒアリングによる)	93
図 8 5	保全コストの積算推移の比較 (事後保全のみ (現状) vs 予防保全導入)	94
図 8 6	DOH の全対象橋梁における開発効果算出式	94
図 8 7	タイ国の全対象橋梁における開発効果算出式	94
表 1	高速道路の整備予定	28
表 2	バンコク首都圏庁(BMA)の橋梁の健全度の判断基準	33
表 3	道路・橋梁のマニュアル	38
表 4	各管轄機関における“はく落”の認識	42
表 5	JICA における過去の関連プロジェクト	58

略語表

#	略語	正式名称	和称
1	AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials	全米州高速道路交通協会
2	ACI	American Concrete Institute	アメリカコンクリート学会
3	ADB	Asian Development Bank	アジア開発銀行
4	AEC	Asian Engineering Consultants Corp., Ltd.	会社名 (アジア エンジニアリング コンサルタンツ)
5	ASEAN	Association of South East Asian Nations	東南アジア諸国連合
6	BECL	Bangkok Expressway Public Co., Ltd.	バンコク高速道路株式会社
7	BEM	Bangkok Expressway and Metro	バンコク高速道路・メトロ社 ※旧バンコク高速道路 (B E C L) と旧バンコクメトロ (B M C L) の合併
8	BMA	Bangkok Metropolitan Administration	バンコク首都圏庁
9	BMCL	Bangkok Mass Transit System Public Co.,	バンコクメトロ
10	BMMS	Bridge Maintenance Management System	橋梁維持管理システム (DOH, DRRで使用)
11	BMS	Bridge Management System	橋梁管理システム
12	BTSC	Bangkok Mass Transit System Public Co., Ltd.	会社名 (バンコク・マス・トランジット・システム)
13	BOB	Bureau of the Budget	予算局
14	BOT	Build, Operate and Transfer	建設・運営・譲渡委託
15	BTO	Build-Transfer-Operate	建設-譲渡-運営
16	BTS	Bangkok Transit System (Sky Train)	バンコク高架鉄道
17	CFRP	Carbon Fiber Reinforced Plastics	炭素繊維強化プラスチック
18	CMLT	The Commission of Management of Land Traffic	陸上交通計画会議
19	DAC	Development Assistance Committee	開発援助委員会
20	DOH	Department of Highways	道路局
21	DRR	Department of Rural Roads	地方道路局
22	EXAT	Expressway Authority of Thailand	タイ高速道路公社
23	F/S	Feasibility Study	フイージビリティスタディ
24	JICA	Japan International Cooperation Agency	独立行政法人国際協力機構
25	MRTA	Mass Rapid Transit Authority	タイ高速度交通公社
26	NBI	National Bridge Inventory	全米橋梁台帳
27	NBIS	National Bridge Inspection Standards	米国全国橋梁点検基準
28	NCHRP	National Cooperative Highway Research Program	全米共同道路研究プログラム
29	NESDB	National Economic and Social Development Board	国家経済社会開発委員会
30	PMMS	Pavement Maintenance and Management System	舗装維持管理システム (DRR で使用)
31	PMS	Pavement Management System	舗装管理システム
32	SEPO	State Enterprise Policy Office	国営企業政策事務局
33	SRT	State Railway of Thailand	タイ国有鉄道
34	TPMS	Thailand Pavement Management System	タイ舗装管理システム (DOHで使用)

要約

<第1章 対象国の現状>

タイ国では1980年頃からインフラ建設が進み、東南アジアの周辺諸国に比べて道路などの産業インフラ整備が活発である。今も純社会資本は伸び続けているが、今後10～20年の間にインフラ老朽化の問題に直面する可能性が指摘されている。例えば、国道を管轄する運輸省道路局(Department of Highways, DOH)によると、2016年時点において道路橋14,939橋のうち、50年以上経過しているものは338橋(2%)であるが、10年後には1,818橋(12%)と老朽化が急激に進行する見込みである。

こうした状況もあり、タイ国におけるインフラメンテナンスにかかるコストは近年飛躍的に増大している。例えば、国道を管轄する運輸省道路局(DOH)のメンテナンス費は近年高止まりしている状況であり、2011年～2013年は一時的にメンテナンス予算が新設予算を上回っていた。

これはタイ国におけるインフラメンテナンス手法が「事後保全」を主としていることに起因していると考えられる。現にDOHは、健全度をOCR(Overall Condition Rating)という指標を使ってレベル「0」から「5」までの6段階でインフラの健全度を評価しているが、より状態が深刻化したインフラへの対応を優先するため、OCR=2以下のインフラメンテナンスにしか予算が回せていない状況である。このような損傷が深刻化してから大規模な修繕を行う「事後保全」は大掛かりな補修を必要とすることからコストが高くつく傾向にある。

先述の通り、タイ国は今後インフラ老朽化の問題に直面することが見込まれており、同様のメンテナンス手法を継続する限りにおいては、メンテナンスコストの更なる増大は避けられない。こうした状況を踏まえ、インフラ関連予算を出来るだけ多くの新設需要(=成長に向けた投資)に配分できるよう、損傷が軽微なうちに修繕を行う「予防保全」へと転換しメンテナンスコストを削減していくことが望まれる。

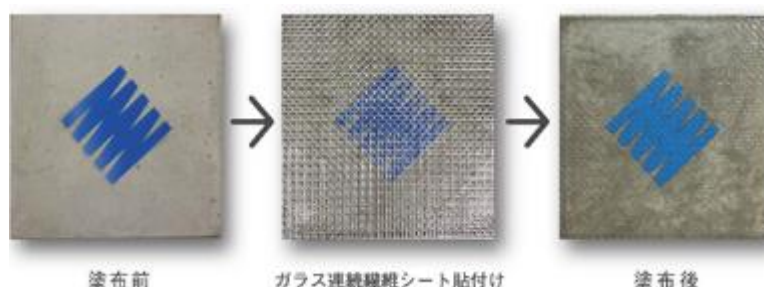
我が国の対タイ王国 援助方針において、「持続的な経済の発展と成熟する社会への対応」が重点分野の開発課題に挙げられており、「社会の成熟化に伴い取り組むべき課題である社会的弱者支援等、タイだけでは解決が困難な課題について、日本の知見・経験も活用した支援に取り組む(一部抜粋)」と謳われている。

以上のような状況を踏まえ、我が国としてはタイの持続的な社会・経済発展に資するべく、日本の知見・経験を活用したインフラメンテナンスコストの削減を目的とした支援策を検討する必要がある。

<第2章 提案企業、製品・技術>

エムビーエスの「スケルトン防災コーティング」は、外観を損なわずに橋梁・トンネル等の“はく落”を防止することができ、コンクリートの表面保護ができる1液ポリウレタン製

の透明コーティング材である。主に日本では、損傷が軽微なうちに修繕を行う「予防保全」手法として導入されており、修繕後も透明であり目視確認が可能であることから修繕箇所を容易に点検することができ、トータルのメンテナンスコストを抑制する予防保全手法として数多く導入されている。



日本では従来も同種の”はく落防止工”が活用されていたが、主に有色の工法であった。こうした色付き工法の問題点としては大きく2点あり、①コンクリートの表面が目視不可能、②作業工程と使用材料が複雑であり施工管理の手間と時間が必要な点である。①の目視確認において、色付き塗料によって表面保護内の異常確認不可能、異常範囲が不明となると、コンクリートにあるひび割れの原因を推定するために打点点検を逐一行う必要がある等、余計な手間が発生する。

他方で「スケルトン防災コーティング」は①無色透明で施工後も目視確認が可能、②シンプルな方式(2工程。プライマーが必要ない)の工法ゆえに管理の手間と時間が短縮可能である。

また日本では2012年に発生した笹子トンネル天井板落下事故以降、第三者に対する被害を予防する措置への関心が高まったことに加え、道路法が改正され全橋梁に対し5年に1度の近接目視による点検が義務化された。

こうした状況を背景に、施工後の目視点検を容易にするスケルトン防災コーティングへの需要は爆発的に高まり、NEXCO西日本、阪神高速道路、山口県や兵庫県等の各都道府県など多くの橋梁や跨線橋、トンネルで導入されており、日本では全国430件以上の実績を有している。

本調査では、特に以下の観点から現地適合性の検証を行った。

①法規制や許認可、「はく落防止工」に対する基準・ルール等の観点から、タイ国における提案製品の輸入・販売・施工が可能であること。

②タイ国という気候条件・施工水準の異なる環境下においても提案製品の施工が技術的に可能であること

③タイ国における予防保全手法への理解が進むことも含め、提案製品が技術的に現地のニーズを充足し得ること

その結果、製品の輸入、販売、施工等を制限するような法令や諸規制等は確認されなかつ

たが、そもそもタイ国において「はく落防止工」というカテゴリの製品認知は進んでおらず、同類の製品・技術を評価する基準・ガイドラインは存在していないことが判明した。そのため提案製品を「補強」目的の製品と誤解されることも多く、「はく落防止工」と「補強材」の境界線が明確に存在する日本の状況と大きく異なることが確認された。

<第3章 ODA 案件化>

普及・実証事業のスキームを活用した ODA 事業の実施を想定している。タイ国におけるインフラの管轄組織は縦割りかつ複数に分かれているため、第三者的立場であるチュラロンコーン大学土木工学部をカウンターパートとして「スケルトン防災コーティング」のパイロット導入を行う。

パイロット導入を通じて同技術がタイ国におけるインフラのトータルメンテナンスコストを抑制しつつメンテナンス精度を向上させる技術（タイ国の社会課題の解決に貢献し得る技術）であることを検証するとともに、その実証結果を以ってタイ国内への普及・ビジネス展開を目指す。

よって本案件は以下の3つの事業から構成する。

(1)タイ国のインフラにパイロット施工を行いタイ国の環境条件下においても製品が有効に機能することを実証する「実地での実証事業」

(2)第三者機関による製品評価を通じて客観的に製品の有効性を実証する「ラボでの実証事業」

(3)実証事業の結果を以ってタイ国内への技術の普及を目指す「普及事業」

(1)の実地での実証事業については、施工対象候補として、同技術への関心の高さやはく落防止の必要性、コンクリートの状態、現場での施工性等に鑑み、バンコク首都圏庁(BMA)管轄下の Ratchada 高架道路を選定した。



また(2)のラボでの実証事業については、外的環境に影響されない条件下での第三者機関による製品評価を目的として、チュラロンコーン大学土木工学部の監督のもと、耐火性試験・張力試験・プルアウト法による強度推定試験・曲げ試験を行う。この過程において、将

来的な基準化を見据え、「はく落」防止コーティング」の性能をはかるための試験ガイドラインの策定も併せて行い、チュラロンコーン大学土木工学部よりタイ国に対して提案を行う。

(3)普及活動としては、「はく落」防止・予防保全」の重要性が社会に十分に認知され、スケルトン防災コーティングの導入のみならず、予防保全のための政策が促進されることを目的として、セミナー等の開催に加え、日本国の予防保全政策などを参考に、タイ国の気候条件下にあった「はく落防止工」の基準値の策定を意図し、技術委員会の組成など基準づくりに向けた体制構築準備を行う。

本事業の実施に係る投入は、日本国側からは機材費・人件費・旅費・現地活動費等を想定しており、事業費は約 2 億円にのぼると見込んでいる。カウンターパート側からは、事業実施に係る人材配置、普及活動におけるセミナーやイベントへの登壇、導入先インフラの提供に係る調整業務を負担することで合意している。

以上の ODA 事業を実施し、公的機関への導入が促進されることにより、2021-2025 年の 5 年間で約 3.7 億円の開発効果が期待される。

<第 4 章 ビジネス展開計画>

タイ国では「補強材」、あるいは「表面保護材」のマーケットは存在しているが、「はく落防止工」の機能を持った競合製品は現時点で確認できておらず同製品へのマーケットは存在していないと考えられる。これは第 1 章で記載しているとおりにタイ国が ASTM 等の米国のガイドラインを参照していることに起因していると考えられる。同ガイドラインにおいては、「はく落」に関する定義や点検方法の記載はあるものの、その対策(すなわち「はく落防止工」の製品・技術)を評価する基準・ガイドラインは存在していない。

提案製品は「表面保護」および「はく落防止」の機能を有した製品であり、同製品がタイ国の市場で展開していくためには、大きく分けて 2 つのアプローチが考えられる。

- ①「表面保護」の既存マーケットにおいて競合製品の代替化を狙う
- ②「はく落防止」のマーケットを新規創造する

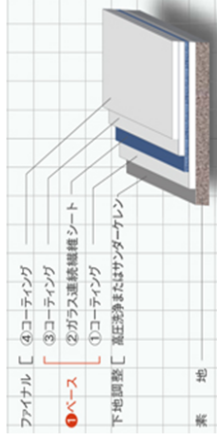
現時点で提案製品への需要が具体的に確認できるのは「表面保護」機能に対してであり、ビジネス開始当初は①のアプローチで実績を積みながらビジネス展開を図るのが有効であると考えられる。

他方で「はく落防止」のマーケットとしては、対象市場規模の総額は 5,598 億円(推定)と試算され、うち DOH の持つ市場規模が 3,372 億円(推定)と全市場規模の過半数を超える。まずは BMA や EXAT がビジネス初期段階における有力顧客候補と考えており、事業が拡大していくにつれて大きな市場規模が見込まれる DOH にも展開していきたいと考えている。

なお②のアプローチを進めるにあたっては ODA 事業を通じて予防保全手法に対する認識を啓蒙し製品・技術に対する認知を積み上げていく方法が最も有効である。日本において、第三者被害防止措置要領(ガイドライン)の制定・道路法の改正による近接目視義務化が提案製品導入の起爆剤となったように、タイにおいても予防保全手法への理解が高まり「はく落防止工」に対する法制度・ガイドラインが制定される働きかけを行っていく必要があると考えられる。そのため第 3 章で記載した普及・実証事業のスキームを活用した ODA 事業の実施を事業計画の主軸に据えるのが適切であると判断される。

なお事業開始当初は日本での生産・輸出を軸に検討しているが、将来的には現地タイでの生産、現地パートナー企業との合弁による現地法人の設立も含めて検討している。

タイ国 インフラメンテナンスコスト抑制のための スケルトン防災コーティング導入にかかる案件化調査



企業・サイト概要

- 提案企業：株式会社エムビーエス
- 提案企業所在地：山口県宇部市
- サイト・C/P機関：バンコク都・チュラロンコン大学

タイ国の開発課題

- 1980年頃からインフラ建設が活発で、近年はインフラメンテナンスコストの増大が問題となっている
- インフラの維持管理には定期的な点検が必要だが、現在、橋梁は定期点検が未実施、道路は2年に1度の日常目視点検のみであり、補修はその場次第の対処療法的なものとなっているが、これがメンテナンスの非効率性・コスト増大を招いている

中小企業の技術・製品

- 外観を損なわずに橋梁・トンネル等のはく落を防止し、点検精度を高めることができる1液ポリウレタン製の透明コーティング材
- 施工後の透明性が高く、0.2mmのひび割れも目視でモニタリング可能

調査を通じて提案されているODA事業及び期待される効果

- チュラロンコン大学をカウンターパートとし、老朽化が進みコンクリートはく落の危険性が高まっているインフラを対象に「スケルトン防災コーティング」のパイロット導入を行う
- 本製品のコーティング後の効果(強度・メンテナンスコストの削減率)を『実証』し、パイロット事業での結果をもつて、他の橋梁や高速道路などのインフラへ『普及』させることでメンテナンスの効率化・コスト削減を目指す

日本の中小企業のビジネス展開

- 上記ODA事業を通じ「スケルトン防災コーティング」に対する大学等公的機関による評価を得たうえで、インフラを管理する政府機関に当該技術を提案し、橋梁や高速道路などのインフラ補修への導入を進める

はじめに

- ・ 調査名

インフラメンテナンスコスト抑制のためのスケルトン防災コーティング導入にかかる案件化調査（英文調査名：Feasibility Survey for Installation of "Skeleton Disaster Prevention Coating" for Reduction of Infrastructure Maintenance Cost in Thailand）

- ・ 調査の背景

我が国の対タイ国事業展開計画において、「持続的な経済の発展と成熟する社会への対応」が重点分野の開発課題に挙げられており、その中の「競争力強化のための基盤整備」における協力プログラムとして、「都市大量輸送システム等のインフラ整備」が掲げられている。

タイ国では 1980 年頃からインフラ建設が進み、東南アジアの周辺諸国に比べて道路などの産業インフラ整備が活発である。今も純社会資本は伸び続けているが、今後 10～20 年の間にインフラ老朽化の問題に直面する可能性が指摘されている。例えば、国道を管轄する運輸省道路局(Department of Highways, DOH)によると、2016 年時点において道路橋 14,939 橋のうち、50 年以上経過しているものは 338 橋(2%)であるが、10 年後には 1,818 橋(12%)と老朽化が急激に進行する見込みである。

こうした状況もあり、タイ国におけるインフラメンテナンスにかかるコストは近年飛躍的に増大している。これはタイ国におけるインフラメンテナンス手法が「事後保全」を主としていることに起因していると考えられる。

先述の通り、タイ国は今後インフラ老朽化の問題に直面することが見込まれており、同様のメンテナンス手法を継続する限りにおいては、メンテナンスコストの更なる増大は避けられない。こうした状況を踏まえ、インフラ関連予算を出来るだけ多くの新設需要(=成長に向けた投資)に配分できるよう、損傷が軽微なうちに修繕を行う「予防保全」へと転換しメンテナンスコストを削減していくことが望まれる。

以上のような状況を踏まえ、我が国としてはタイの持続的な社会・経済発展に資するべく、日本の知見・経験を活用したインフラメンテナンスコストの削減を目的とした支援策を検討する必要がある。

- ・ 調査の目的

調査を通じて確認される提案製品・技術の途上国の開発への活用可能性を基に、ODA 案件及びビジネス展開計画が策定される。

- 調査対象国・地域
タイ国 バンコク都

- 調査期間、調査工程

調査期間：2018年4月18日～2019年1月31日

調査工程：

業務完了 報告書目次	調査内容 (本調査で確認が必要な事項)	現地調査 調査方法	国内調査 調査方法
1.対象国・ 地域の開発課題	<u>1-1. 対象国・地域の開発課題に関する調査</u> ・インフラメンテナスの方針、コスト、現場での運用状況・ルール ・管轄するインフラのうち修繕の必要な道路・橋梁	・インフラを管轄するBMA、DOH、DRRなどに対し、客観的に本製品への評価を頂く ・カウンターパートの大学とともに、現状のインフラメンテナス方法や修繕の必要な道路・橋梁についてのヒアリング(大学とともに訪問することで、現地公的機関の信頼を確保)	・政府機関文書等を通じたインフラメンテナスの方針等にかかる文献調査 ・タイ国メディア報道を通じたインフラ維持管理にかかる課題の把握
	<u>1-2.当該開発課題に関連する開発計画、政策、法令等の調査</u> ・タイ国の運輸省など政府機関におけるインフラメンテナスの方針、当該課題に対する開発計画、政策、法令	・上記と同様	・上記と同様
	<u>1-4. 当該開発課題に関連するODA事業及び他ドナーの先行事例分析</u> ・インフラメンテナスに係るODA事業および他ドナーの先行事例収集・分析	・必要なデータ・資料を各公的機関より収集するとともに、必要に応じて他ドナーへのヒアリングを実施	・タイ国のODA事業の先行事例等について、必要なデータ・資料を各公的機関より収集
2.提案企業、製品・技術	<u>2-3.提案製品・技術の現地適合性</u> バンコク首都圏庁(BMA)や運輸省地方道路局(DRR)等のインフラ管理機関とともにパイロット導入先候補を選定。パイロット導入先候補における「スケルトン防災コーティング」の施工適合性について確認、分析を行う 十分な品質での施行が対応可能かどうか現地企業への訪問を通じて確認を行う 加えてインフラメンテナスに係るタイ国の基準・ルールを確認し、制度面での現地適合性を確認する	・パイロット導入候補についてカウンターパートとともに検証 ・導入先候補のインフラ現状調査 ・現地提携企業調査 ・インフラメンテナスに係るタイ国の基準・ルールの情報収集・ヒアリング	・タイの気候など環境条件や導入先の現状・条件に合わせた製品の導入について検討 ・適合性の実証方法について検討 ・政府関係者に実際に提案製品が日本で使用されている事例を見てもらったうえで、タイ国での活用する際の留意点についてフィードバックを得る【本邦受入活動にて確認】

<p>3.ODA 案件化</p>	<p><u>3-1.ODA 案件化概要～3-7. ODA 案件を通じて期待される開発効果</u> パイロット導入先候補のひび割れ状態等現状を把握し、本製品の適用に関し、原材料の調達・輸送や施工時の課題等について具体的に検討する また、スマートセンシングなど、インフラモニタリングにおける先進技術導入の検討を行う</p>	<p>・カウンターパート機関と ODA 案件化計画（体制・役割分担・スケジュール・実施事項等）について協議</p>	<p>・想定している ODA 案件の概要、本製品の技術概要に関する説明資料の検討 ・現地調査の結果を踏まえ、施工に関し国内での事例等を踏まえ本製品の適用にあたっての課題等を具体的に検討 ・現地のインフラモニタリングに導入可能な先進技術について検討 ・実証事業の手法について詳細協議【本邦受入活動にて確認】 ・カウンターパート候補との協議内容を元に、ODA 案件化計画の素案を策定</p>
<p>4.ビジネス展開計画</p>	<p><u>4-1.ビジネス展開計画概要</u> ・市場分析、競合分析等を踏まえ、ビジネス展開アプローチを検討する</p> <p><u>4-2.市場分析(競合分析含む)</u> ・各機関で保有するインフラの供用年数を調査し、今後の老朽化状況について分析する。また、各インフラに関し、はく落発生によるリスクの大きさをカテゴリ評価 ・現地にてはく落防災コーティング材の製造・販売を行っている業者を明らかにし、コーティング材のスペックを調査し、競合優位性を明らかにする</p> <p><u>4-3.バリューチェーン、4-4.進出形態とパートナー候補</u> 現地法人設立を見据えたパートナー検討や販売代理店について調査を行い、現地におけるビジネス展開の具体化を図る</p>	<p>-</p> <p>・JETRO、建設コンサル、建設企業等へのヒアリングを通じた提案事業に関連する経済・社会情勢の状況の調査 ・道路を管轄する各機関に、インフラの供用年数等についてヒアリング ・必要に応じて現場に行き老朽化状況を調査し、競合製品の有効性を調査 ・道路を管轄する各機関に、現在のメンテナンス業者についてヒアリング</p> <p>・国内調査でリストアップしたパートナー候補にヒアリング ・JETRO タイ事務所等へのヒアリングを通じ、進出形態を検討するために必要な制度や優遇措置について情報収集 ・有望な提携先については面談を実施</p>	<p>・他社の市場参入アプローチの事例収集・分析 ・ビジネス展開アプローチの検討</p> <p>・老朽化状況から修繕が必要になる時期を分析 ・競合企業および現地販売代理店について文献またはウェブ調査、絞り込み ・JETRO 等が発行する関連する文献またはウェブ調査</p> <p>・関連企業について文献またはウェブ調査を行い、パートナー候補をリストアップ、絞り込み ・進出形態・ビジネスモデルの検討</p>

	<p><u>4-5.収支計画</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・市場分析の内容及びビジネスモデルの検討を踏まえ、現地販売価格・数量の試算から収支計画を検討する 	-	<ul style="list-style-type: none"> ・4-2 を踏まえ現地にかかる修繕費の見積もり作成、売上の試算を行うとともに財務分析・五か年分の収支計画表の作成
	<p><u>4-6.想定される課題・リスクと対応策</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・タイの建造物等に関する規制・基準の把握、現地法人設立や代理店販売等に関わる規制等の把握を行う 	<ul style="list-style-type: none"> ・DRR などに規制・基準についてヒアリング ・タイ商務省等へのヒアリングを通じ、輸出入に必要なライセンスについて調査 ・JETRO などを通じてタイにおけるビジネス展開に関する規制等調査 	<ul style="list-style-type: none"> ・規制・基準に関する政府機関文書の文献調査
	<p><u>4-7.ビジネス展開を通じて期待される開発効果、4-8.日本国内地元経済・地域活性化への貢献</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・収支計画およびビジネスモデルの検討を踏まえ、開発効果・地元への裨益効果を分析する 	-	<ul style="list-style-type: none"> ・4-2 および 4-5 を踏まえ開発効果を定量的・定性的に検討

▪ 調査団員構成

本調査の調査団員は以下の通りである。

担当業務	名前	所属先
業務主任者	高木 弘敬（山口）	株式会社エムビーエス
実証実験	山本 貴士（山口）	株式会社エムビーエス
ビジネス展開可能性調査	栗山 征樹（山口）	株式会社エムビーエス
現地生産可否調査	赤波江 卓也（山口）	株式会社エムビーエス
技術適合性検証（表面保護法）	小沼 恵太郎（東京）	株式会社エムビーエス （補強：パシフィックコンサルタンツ株式会社）
チーフアドバイザー/技術適合性検証（コンクリート構造物）	金 哲佑（京都）	京都大学
ODA案件化計画策定、カウンターパート交渉、報告書作成（構想、レビュー）	福山 周平（東京）	アクセンチュア（株）
開発課題調査、競合調査、現地技術適合性調査、本邦受入、報告書作成（ドラフト作成）	葛西 翠（東京）	アクセンチュア（株）
対象国現状調査、投資環境・規制・許認可調査、現地パートナー調査、現地ニーズ調査	Sajeedhan Kalayanajati（バンコク）	アクセンチュア（株）
市場調査、ビジネス展開策定	東 望（東京）	アクセンチュア（株）

第1章 対象国・地域の開発課題

1-1 対象国・地域の開発課題

1-1-1 進行するインフラの老朽化

ア 老朽化の背景

(ア) 経年劣化

タイ国では1980年頃からインフラ建設が進み、東南アジアの周辺諸国に比べて道路などの産業インフラ整備が活発である。今も純社会資本は伸び続けているが、今後10～20年の間にインフラ老朽化の問題に直面する可能性が指摘されている。

1980年頃からインフラ建設が活発化した背景には、政府の当時の方針・計画がある。タイ国において、国土政策に関する諸計画の最上位に位置づけられるのは、国家社会経済開発庁(NESDB)が作成する5カ年計画「国家社会経済開発計画」である。タイ国での本格的な長期道路整備計画は、1962～66年の第1次国家経済社会開発計画を受け作成された道路整備7カ年計画(1965～71年)に始まる。特に第8次国家社会経済開発計画までは、インフラを推進し、地方別取組方針を含む空間開発政策も本格的に内包されてきた。このように1970～80年代より、タイ国は、道路、港湾、電力といった基本的な産業インフラの整備に力をいれてきた。道路、橋梁、ダム、空港、事務所ビル、発電所等政府機関の所有する純社会資本は下図のように伸び続けており、2012年には11兆4,230億バーツとなっている。

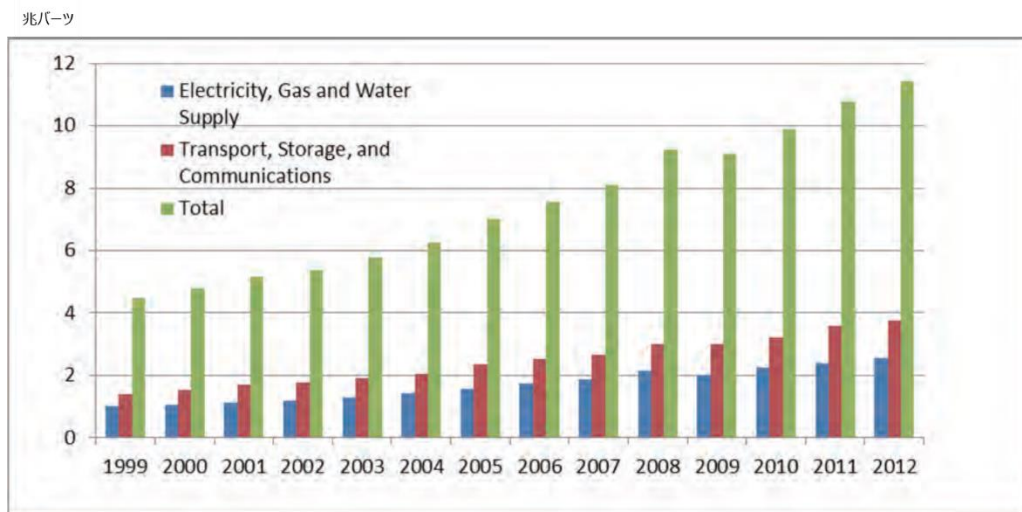


図1 公共セクターの純社会資本額の推移(時価)¹

現在タイ国には約3万橋の橋梁が存在している。そのうち1/3以上が建設後30年以上経過しており、インフラの老朽化が進みはじめている。また、国道を管轄する運輸省道路局(Department of Highways, DOH)によると、2016年時点において、道路橋14,939橋のう

¹ Capital Stock of Thailand, 2012 edition, NESDB

ち、50年以上経過しているものは338橋(2%)であり、10年後には1,818橋(12%)と老朽化が急激に進行する見込みである。

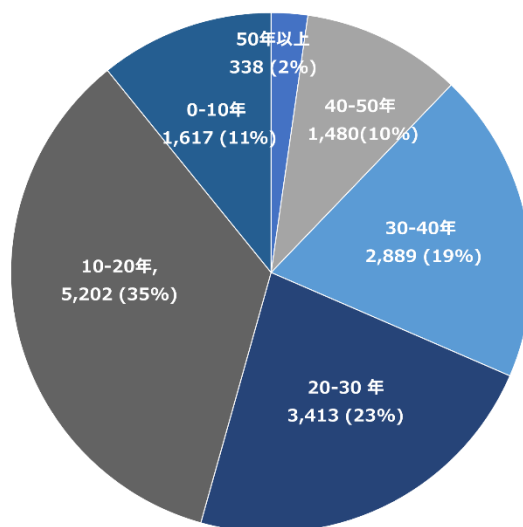


図 2 建設後経過年数別橋梁数 (運輸省道路局 (DOH)管理橋梁)

(イ) コンクリートの品質

インフラの老朽化が進行する背景には、経年劣化以外にもタイ国内で活用されているコンクリート自体の品質が起因しているとも指摘されている。

例えば、バンコク首都圏及び近郊の高速道路のうち、建設後20年以内の敷設割合が81%と比較的新しいインフラであるにもかかわらず、いたるところで“はく落 (Spalling)”の様子が目視確認できる。運輸省傘下のタイ高速道路公社(EXAT)においても、各地で“はく落”している状況について認識しており、メンテナンス時の重要な検査項目として位置づけ、記録している²。

その背景には、乾燥収縮、温度変化³、荷重によるたわみ、腐食等も考えられるものの⁴、Thammasat 大学の7年間の研究結果によれば品質の悪いコンクリートが市場に出回っていることも要因として考えられる^{5,6}。政府は、品質をコントロールする対応策として、コンクリートの成分配合まで入札時の規格要領に記載しているが、品質が担保されたコンクリートが活用されているかは懐疑的にならざるを得ないと指摘されている。

更に、コンクリート建造物は補修タイミングの見極めが重要であるが、タイ国では「コンクリートはスクラップ・アンド・ビルドで良い」という認識をベースに設計されるインフラ

² タイ高速道路公社(EXAT)ヒアリング (2018/7)

³ タイは日本にくらべて気温が高く、日本では気温が25度を超えるとコンクリートの品質低下が始まるといわれているが、タイは年中気温が25度以上なので品質が低下しやすい状況にあると考えられる

⁴ 日本道路協会「コンクリート舗装ガイドブック2016」<https://www.road.or.jp/event/pdf/201609152.pdf>

⁵ King Mongkut's University of Technology Thonburi 大学(2018/5)

⁶ Thammasat University “Problems of Concrete Structures and Effort Toward Durability Design in Thailand”

が多く、点検・維持管理が軽んじられる傾向にある⁷。また日本では、道路に防水層が施工されているが、タイでは施工されていない⁸。よって、雨が降ると車両から排出される二酸化炭素（CO₂）を溶解し、コンクリートの内部まで浸透してしまい、ひび割れなど劣化につながってしまうリスクが高い。このような要因もあり、日本ではコンクリート構造物の耐用年数は50年以上とされているが、タイ国では15～20年⁹程度で大規模な修繕が必要となっている。

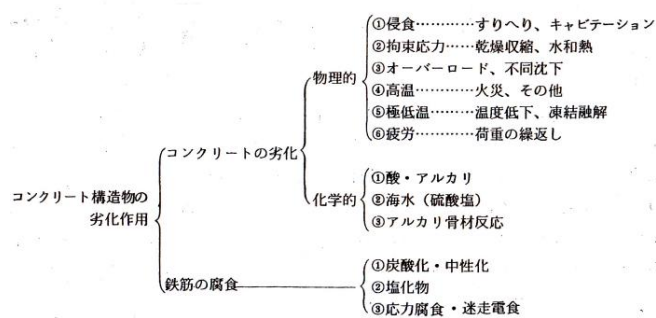


図 3 コンクリート構造物の劣化とその原因¹⁰



図 4 タイ国のコンクリート構造物の様子¹¹

イ 老朽化による事故の発生

タイ国では落橋等による人命に関わる重大な事故はいまだ発生していない。

そのため、大々的に報じられることは少ないが、バンコク首都圏庁(BMA)が管轄している Krong-Non 橋(Taling Chan 地区と Tambon Tambon Tambon Nonthaburi の間を結ぶ Soi Suan Phetch の橋梁)では 2015 年にコンクリートの崩落事故が発生した事例がニュースにとりあげられた¹²。

⁷ BMA ヒアリング(2018/5)

⁸ DOH ヒアリング(2018/7)

⁹ BMA ヒアリング(2018/5)

¹⁰ 岡山大学 阪田憲次 「コンクリート構造物のひび割れと劣化、その対策について」

<http://concom.jp/contents/seminar/201504/pdf/material.pdf>

¹¹ King Mongkut's University of Technology Thonburi 大学(2018/5)※提出時にはこちらは「大学」とする

¹² <http://oknation.nationtv.tv/blog/newstime/2015/05/21/entry-1>

その他でも、(ニュースでは報じられていないが、) 直近では 2016 年にバンコク首都圏庁(BMA)が管轄しているパッタナカン高架道路¹³でも、コンクリートの陥没事故が発生している。陥没の原因は究明中であるが、バンコク首都圏庁(BMA)によれば、当該橋梁は設計図通りに建造されておらず、推定していた耐震荷重を支えきれない構造に仕上がっていないことが原因とのことである¹⁴。

パッタナカン高架道路を含む、バンコク首都圏庁(BMA)の管轄施設においては 2 年に 1 度、(可能な限り近接) 目視点検による定期的な安全点検実施が義務付けられている。パッタナカン高架道路においては、事故前の点検において異常は確認されていなかった。一方、事故後に実施された詳細検査では、ひび割れや陥没リスクの高い場所が確認でき、現在も高架道路の高欄部分等において“はく落”した跡が散見される状況である¹⁵。以上より、現在実施されている目視点検では安全性を十分に確認できない可能性があると考えられる。

また、本件は市民からの通報によりコンクリートの床版落下が発見され、運よく負傷者は出ていないものの、落下場所は交通量の多い交差点であったため、大惨事になりうる危険性を大きく孕んでいた。その結果、タイ政府は早急な対応をせざるを得ない事態に陥り、対症療法のための費用を急遽工面し、修繕を実施した。

(参考：約 5m²の修繕費合計 263,474 バーツ(約 89 万円))

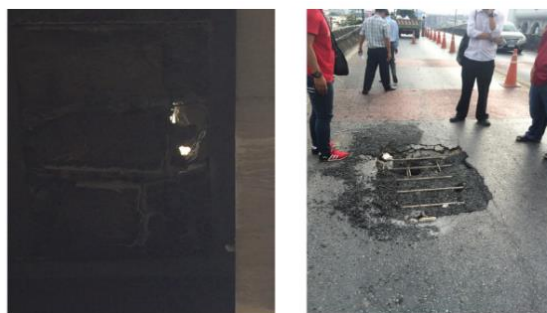


図 5 パッタナカン高架道路陥没事故の様子¹⁶

¹³ 長さ 548m、幅 9m のスチール及びコンクリート構造の橋梁

¹⁴ BMA ヒアリング(2018/5)

¹⁵ BMA 提供(2018/5)

¹⁶ BMA 提供(2018/5)



図 6 パッタナカン高架道路陥没事故の様子¹⁷



図 7 パッタナカン高架道路のコンクリートの様子(修繕後)

#	修繕内容	単価 (パーツ/m2, パーツ/ m3)	修繕面積 (m2, m3)	合計 (パーツ)
1	表面損傷部分の修復 (D1 エリア)	44,347	2.6319	116,717
2	表面損傷部分の修復 (D2 エリア)	53,955	2.6319	142,004
3	破損部分の撤去費	903	2.6319	4,753
				263,474

図 8 パッタナカン高架道路の修繕費(バンコク首都圏庁(BMA)負担分)

また、Thammasat 大学の報告書によると、タイではコンクリート構造物の劣化状況を早期に把握できていないことでメンテナンス対応が遅れ、下図に示すような塩害等による深刻な被害が数多く生じているとしている。加えて、メンテナンスの手法としてタイで普及している一般的な表面保護工では完全遮水となってしまうため、表面保護箇所において「ふくれ」や「はがれ」が生じ、一層インフラの老朽化を促進させているケースが報告されている¹⁸。

¹⁷ BMA 提供(2018/5)

¹⁸ Thammasat University “Problems of Concrete Structures and Effort Toward Durability Design in Thailand”



図 9 タイ国の橋梁における塩害の様子¹⁹



図 10 タイ国の一般的な表面保護工による「ふくれ」や「はがれ」²⁰

ウ 管理体制

タイ国のインフラは、道路橋の種類により組織別に維持・管理されている。

インフラには、道路、鉄道、空港、港湾、河川、ダム関連、下水道関連があるが、以降の報告書では、本調査の提案技術である「スケルトンコーティング」(第2章にて詳述)の対象である道路、橋梁、トンネルに絞って説明する。

¹⁹ Thammasat University “Problems of Concrete Structures and Effort Toward Durability Design in Thailand” Chloride Induced Corrosion(Early Maintenance Program is Required)

²⁰ Thammasat University “Problems of Concrete Structures and Effort Toward Durability Design in Thailand” Chloride Induced Corrosion(Early Maintenance Program is Required)

管轄の省	対象機関の形態	対象機関	維持管理の対象施設	対象
運輸省	省内の局	DOH	国道	国道：50,000 km 橋梁：約16,000 橋 トンネル：11
		DRR	地方道	地方道：40,000km 橋梁等：約8,000 (内橋梁は4,100橋、 残りがボックスカルバート等) トンネル：10
	国営企業	EXAT	有料高速道路	高速道路：224.6km
		SRT	国有鉄道 ・地方鉄道 ・都市鉄道	鉄道：4500 km 鉄道橋：3,000- 4,000橋 トンネル：5 高架鉄道：エアポートリンク 28km 44km
		MRTA	鉄道	高架鉄道：パープルライン23km 地下鉄：ブルーライン21km
-	地方自治体	BMA	都道 都市鉄道	道路面積：28,000万km 橋梁：1,084橋 トンネル：12 高架鉄道：27.7km グリーンライン(BTSスカイトレイン) ※BMA、MRTA、



図 1 1 タイ国のインフラと維持・管理機関²¹

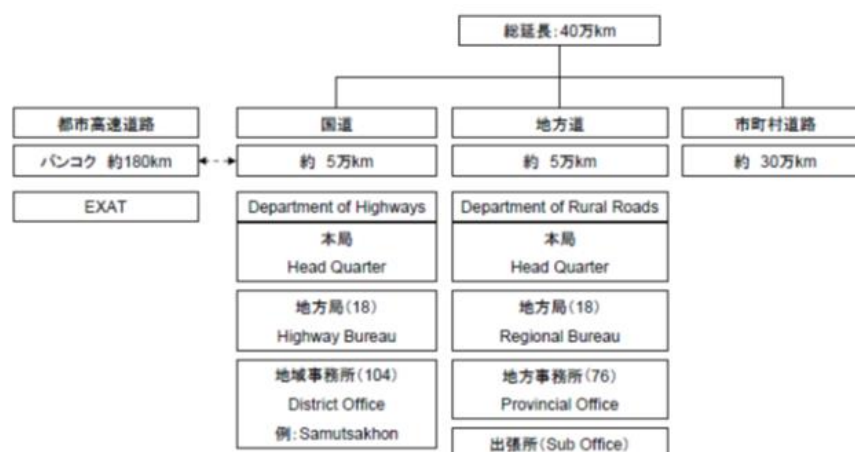


図 1 2 タイ国における道路延長と維持・管理組織

(ア) 道路および橋梁の管理体制

タイ国の道路及び橋梁の管理は、下図のとおり複数の行政機関²²と国有企業によって実施され、一部のみ民間企業に委託している²³。(詳細については、参考資料 1 を参照)

²¹ MOT ホームページ <http://www.unescap.org/sites/default/files/2.23.Thailand-1.pdf>

DOH, DRR, BMA, EXAT, SRT, MRTA へのヒアリング (2018/7)

²² DOH, DRR, 地方自治体・BMA

²³ <https://www.adb.org/sites/default/files/linked-documents/cps-tha-2013-2016-ssa-01.pdf>

管轄の省	対象機関の形態	対象機関	維持管理の対象施設
運輸省	省内の局	DOH	国道
		DRR	地方道
	国営企業	EXAT	有料高速道路
		SRT	国有鉄道
		MRTA	地下鉄
-	地方自治体	BMA	バンコク市内の都道
		地方自治体	地方道
-	民間企業	BEM	有料高速道路
		NECL	有料高速道路
		ドンムアン高速道路会社	公共道路

図 1 3 所管の省別対象機関と対象施設

道路種別	道路管理者	道路の概要
国道	DOH	全国の都市間を連絡する主要道路。これは下記の3種類に区分される。 1級国道：地域間を連絡する道路。道路番号は1桁または2桁。 2級国道：各地域内の幹線道路。道路番号は3桁。 3級国道：郡庁を結ぶ連絡道路。道路番号は4桁。
地方道路	DRR、国家保安司令部、農業共同組合省立灌漑局等	自治体行政区の外側にある、国道以外の道路。目的により種々の政府機関により建設される。DRRは地方道路の建設の他、バンコク都の産業環状道路、チャオプラヤ川の橋梁建設、バンコク外環道路の建設も実施している。
自治体道路	自治体	自治体内にある道路網で、他の分類に属さない道路。バンコク都等の主要都市では、自治体が建設・管理を行うが、その他の自治体の道路は、DRRが建設を行い、管理のみが自治体へ移管される。
都市間高速道路	DOH	有料の高規格道路。Motorwayと呼ばれる。
都市内高速道路	EXAT	バンコク都内及び近郊の有料高速道路で、EXAT国営会社が運営管理を行っている。Expresswayと呼ばれる。

図 1 4 タイ国の道路の管理区分

(イ) 鉄道の管理体制

タイ国の鉄道は、下記の通り都市鉄道及び 地方鉄道の 2 種類に大分できる。(詳細については、参考資料 2 を参照)

区分	管理組織（制度上）	管理組織（実際）	対象施設
都市鉄道	BMA	MRTA	44km パープルライン（高架鉄道）23km ブルーライン（地下鉄）21km
		BMA/MRTA	27.7km グリーンライン(BTSスカイトレイン) 27.7km
		SRT	28km エアポートリンク 28km
地方鉄道	SRT	SRT	4,500km 地方鉄道：総延長 4,500km

図 15 鉄道の管理体制（全体）

1-1-2 増加するインフラ関連コスト

インフラの老朽化が急激に進行しているタイ国であるが、インフラの維持管理には定期的な点検が義務化されている。現時点で点検内容を把握している運輸省道路局（DOH）、運輸省地方道路局(DRR)、バンコク首都圏庁(BMA)管轄のインフラについては、橋梁・道路ともに2年に1度の目視点検が課されている。万が一、点検により不備等が発見された場合の対応としては補修等の事後保全が主となっており、この補修費がメンテナンスコストの増大を引き起こす一因となっている。

例えば、後述のとおり、国道を管轄する運輸省道路局(DOH)のメンテナンス費は近年高止まりしている状況であり、2011年～2013年は一時的にメンテナンス予算が新設予算を上回っていた。

また、2015年のタイ国の「新設・メンテナンス予算(Investement budget for construction and road maintenance)」の総額は、2008年と比較すると60,000百万バーツから93,000百万バーツの約1.55倍に増えている一方で、新設の道路長は減少していることから、国道のインフラ関連予算に占めるメンテナンス予算の割合が増えていることがうかがえる。加えて、2015年の道路品質評価は2008年と比較する低下しており²⁴、今後より一層メンテナンス費用のかかる道路の割合が増える可能性がある。

また、後述のとおり、タイ国はいまだ新設需要も活発であり、ASEAN諸国との競争力確保のためにはインフラ建設、維持管理どちらも後回しにできない状態となっている。タイ国のインフラは老朽化により、今後より一層維持管理が重要になると考えられるが、現状のままいくと維持管理に必要な費用がより増加し、財源をひっ迫させる可能性が高いと考えられる。

したがって、今後インフラ関連予算を過度に増大させず、有効活用するためには、メンテナンスコストをいかに抑えられるかが重要なポイントとなると考えられる。

²⁴ SCB <https://www.scbeic.com/en/detail/product/2363>



図 16 左：新設・メンテナンス予算、右：新設の道路(距離)及び品質評価²⁵

ア 高まるインフラの新設需要

タイ国の国家経済社会開発委員会(NESDB)が策定した第 12 次計画では、インフラ関連の方針として第 11 次計画の方針を継続する形で、鉄道網の改善に重点をおき、周辺諸国に対する競争力を強化すると示されている²⁶。タイ国では今後 8 年間で高速鉄道(新幹線)、鉄道、高速道路を中心に総事業費 1 兆 9,100 億バートの大規模インフラ投資計画を予定している²⁷。

(ア) 道路橋

2014 年 7 月に作成された 2022 年までの戦略では、道路に関しては計画的補修と 2 車線道路の 4 車線化、税関などの施設整備、主要幹線道路や高速道路建設等が計画として挙げられている²⁸。2015 年には、都市間高速道路(モーターウェイ)整備に関する 20 年計画が作成され、今後 20 年間で約 2 兆バートを投じ、約 6,400km の高速道路整備を進めていく予定となっている²⁹。

表 1 高速道路の整備予定

高速道路の整備：
① 主要都市間の 4 車線高速道路の整備
② 地方高速道路の修繕
③ 3 路線 ³⁰ で特別高速道路の整備(1,604 億バート、総延長 324km)
④ 環境農業支援のための地方道路整備
⑤ 複合一環輸送のための設備の整備(2 兆 1 千億バートの 20 年プランを運輸省が発表)

²⁵ SCB <https://www.scbeic.com/en/detail/product/2363>

²⁶ http://www.nesdb.go.th/nesdb_en/ewt_dl_link.php?nid=4345

²⁷ JETRO

²⁸ バンコク日本人商工会議所「タイ国経済概況 2016/2017 年版」P503、

JETRO バンコク事務所 2018 年 4 月「タイの概況とアセアン経済」p23

²⁹ タイ国経済概要(2016/2017 年度版)

³⁰ 3 路線とは、バンパイン～ナコンラチャシマ、パタヤ～マブタブット、バイヤン～カンチャナブリ

(イ) 鉄道

タイ政府³¹はバンコク首都圏の交通渋滞・環境問題の解消を図るため、2029年までに12路線、総延長495kmの都市型鉄道網も整備される予定である³²。

NESDBでは鉄道網強化のため鉄道分野の新規投資を重点的に行うと示されている。

管理組織 (制度上)	管理組織 (実際)	対象施設	運営	新規予定
BMA	MRTA	44km パープルライン (高架鉄道) 23km ブルーライン (地下鉄) 21km	バンコク高速道路・メトロ社(BEM)	パープルライン (高架鉄道) 延伸 23.6km ※一部地下鉄となる 14.2km(タオプン〜ジョムトン間) ブルーライン (地下鉄) 延伸 27km オレンジライン(地下鉄) 38.9km イエローライン(高架鉄道) 29.1km
	BMA/MRTA	27.7km グリーンライン(BTSスカイトレイン) 27.7km	バンコク・マストランシッドシステム社 (BTSC)	グリーンライン 12.6km ※運輸省、MRTA、BMAとの共同事業
	SRT	28km エアポートリンク 28km	エアポートリンク : SRTエレクトリファン ド・トレイン社(SRTET)	レッドライン 139.3km
SRT	SRT	4,500km 地方鉄道 : 総延長 4,500km	SRT	鉄道の複線化 903km (チャチュンサオ〜ゲンコイなど6路線) 高速鉄道 672km※運輸省との共同事業

図 17 タイ国の鉄道の新設予定



図 18 バンコク首都圏の2029年までに開通が予定されている路線³³

³¹ NESDBによると下記の新規投資を重点的に行うことを提示している。

- (1) 鉄道の複線化：チャチュンサオ〜ゲンコイなど6路線、2015〜2019年の総事業費1,293億バーツ、903kmの計画がある。うち、2路線(322億バーツ)は2016年2月に着工している。
- (2) 中速鉄道(標準軌道新線)：中国との協力で総延長873kmの都市型鉄道網も整備される予定である。既述のブルーラインの延長27kmのほか、バンコクではレッドライン、グリーンラインの3線の鉄道事業が進行中である。タイ高速度交通公社(MRTA)はオレンジライン(38.9kmの地下鉄)、パープルライン延伸(23.6km高架鉄道)、イエローライン(29.1km、高架鉄道)4線の建設に向けた準備を進めている。
- (3) 高速鉄道計画：新幹線の技術を活用した日タイ共同事業、バンコク〜チェンマイ(672km)であり、総事業費は4,495億バーツを予定し、2023年からの運航を目指して計画が進んでいる。

³² 「タイ国経済概況 2016/2017年度版」

³³ <http://www.unescap.org/sites/default/files/8.2%20Mass%20Rapid%20Transport%20Systems%20Development%20through%20Private%20Sector%20Involvement%20-%20Experience%20from%20Thailand.pdf>

イ 高まるインフラメンテナンスコスト

運輸省道路局 (DOH)をはじめとして、各政府機関のメンテナンス予算は、過去と比べて上昇傾向を示しているケースが多い。その背景としては、インフラの老朽化が進行しメンテナンスの必要な箇所が増加しているにもかかわらず、年次予算の立案が完全修復を前提とした費用負担の大きい対症療法的なメンテナンス計画に基づいていることが挙げられる。また、早急な補修対応が必要な場合には、年次メンテナンス予算以外の緊急メンテナンス予算を期中に確保して対応するが、当該予算についても多くの管轄機関において上昇傾向である。

(ア) メンテナンス予算の概況と立案プロセス

a. 年次メンテナンス予算

タイ国のメンテナンス予算には、インフラ設計時のコンセプトが大きく影響している。インフラ設計時に、「スクラップ・アンド・ビルド」のコンセプトで設計されたインフラについては、長持ちさせようという思想で設計されていないため必然的に事後保全手法が採用され、また補修コストも増大する傾向にある。予算取りは単年ごとに行われており、職員による点検(遠望目視点検など)で発見された損傷箇所のリストを元にメンテナンス計画が立てられ、予算立案の根拠³⁴となっている。

(a) 中央官庁

タイ国の官庁及び国営企業³⁵は、毎年予算計画を作成し、国会の承認を得る必要がある。タイ国の多くの機関では会計年度は10月から始まり、年末には翌年度の予算計画の作成を開始し、翌年9月末に国会で承認される。運輸省道路局(DOH)、タイ国地方道路局(DRR)ともに高い水準で推移しており、今後も増加が見込まれる。(各省庁における予算の詳細な推移は、参考資料3を参照)

(b) 地方自治体

地方自治体は国家計画の影響を大きく受けながらも、自治体内部で予算審査、決定している。2012年から政府の地方分権化の方針に伴い、それまで中央政府が行っていた地方自治体(市、村落)のインフラ整備を自治体が行うことになり、資金力や技術力が十分でない地方自治体には内務省公共事業・都市地方計画局(DPT)³⁶が支援を提供することになっている。

³⁴ 例えばタイ国地方道路局(DRR)では、報告を受けて本局内で優先順位付けを行い、次年度の予算申請を行っている。優先順位付けは現場写真をもとに行われており、補修にかかる数量や費用算出の根拠としては十分なものとは言い難い。本来は、運輸省道路局(DOH)及び運輸省地方道路局(DRR)が活用しているデータベース³⁴を活用して定量的な根拠を基に予算申請を行うのが基本であるが、精度と信頼性の高い根拠資料が作成されておらず、結果的に予算申請のためにBMMSが利用されていないのが現状である。

³⁵ 国営企業は独立採算が基本のため、予算を利用せずに自己採算で事業を行っている国営企業でも、参考のため予算計画を提出し、他機関と同様に国会でも説明する必要がある。

³⁶ 2002年に地方自治体(市、村落)の公共事業を管轄する公共事業局と都市計画を管轄する都市地方計画局が合併し、内務省公共事業・都市地方計画局(DPT)が統括しているが、部門編成や業務の分担に変更はない。旧公共事業局では、地方自治体(おもに村落)のインフラ施設の建設及び維持管理の支援を行っている。

DPT は自治体のインフラ施設の計画及び建設を行い、地方自治体に運営、維持管理を移管するまでの期間(建設後 2 年間)の維持管理を担当している。³⁷

一方、バンコク首都圏庁(BMA)の様に資金力および管理能力のある地方自治体は、計画、建設から自らの手で行っており、DPT が直接関与することはない。なお、バンコク首都圏庁におけるメンテナンス予算は年々漸増している。(バンコク首都圏庁における予算の推移については、参考資料 4 を参照)

(c) 都市内高速道路(Expressway)

運輸省傘下のタイ高速道路公社(EXAT)がバンコク都内及びタイ国内の高速道路(Expressway)の建設及び維持管理を担当しており、自ら予算立案を実施している。近年の、メンテナンス予算は漸増しており、今後さらに増加すると見込まれる。(EXAT における予算の推移については、参考資料 5 を参照)

(d) 鉄道

タイ国の都市鉄道の 3 線³⁸の管理組織であるタイ高速度交通公社(MRTA)³⁹が保有している路線の建設や施設は、民間会社の BEM が維持管理を含めて運営を行っている⁴⁰。

タイ国の地方鉄道については、タイ国有鉄道(SRT)⁴¹ が管理・運営を行っている。

グリーンライン (BTS スカイトレイン) は、バンコク首都圏庁(BMA)が建設・運営権を所有するが、BOT 方式を通じてバンコク・マストランジッドシステム社(BTSC) がメンテナンスを担っている。

上記各鉄道は各道路、橋梁と比べると、比較的あたらしい建造物であるため、メンテナンス予算がそれほど増加していない。しかしながら、仮にメンテナンス手法が先述の各道路、橋梁と同じ方針である場合、将来的にはメンテナンス予算が大きく増加することが想定される。(各鉄道における予算の推移については、参考資料 6 を参照)

b. 緊急時メンテナンス予算

(a) 中央官庁

運輸省道路局 (DOH) においては、道路メンテナンス費が増加傾向である。その中でも、

³⁷ 支援期間内の 2 年間において、日常の点検は各村落が行い、修繕や補修が必要な箇所を発見した場合には DPT に対処を要請する。DPT はペンキ塗り等の通常の維持管理、及び 1,000 万バツ以下の修繕、補修を DPT の地方事務所が行うよう差配し、1,000 万バツ以上の修繕、補修は、DPT 本部が対処する。維持管理移管後も、地方自治体が維持管理費用を賄えない場合には DPT から予算を提供している。2014 年からは DPT 本部が行う大規模補修も加わり維持管理費が急増したものの、維持管理の対象は、原則的に支援を求める自治体での建設後 2 年間であるため、施設を保有する機関に比して維持管理費の割合は小さい。

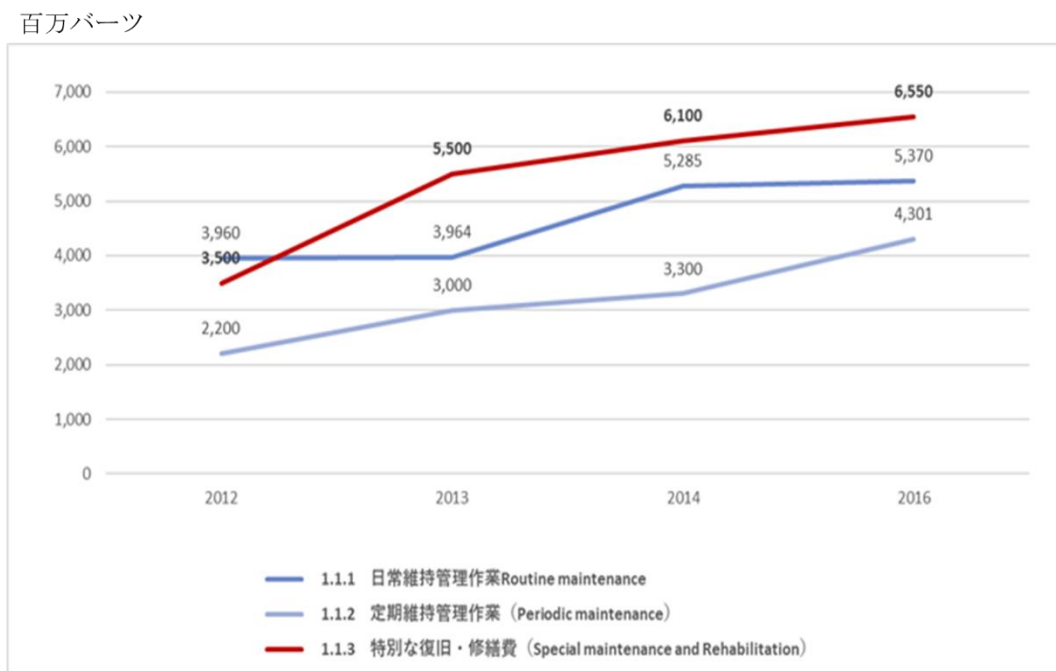
³⁸ 2004 年に開通

³⁹ <http://www.mot.go.th/about.html?id=15>

⁴⁰ MRTA ヒアリング (2018/7)

⁴¹ 鉄道は 19 世紀にはじまり、1897 年のバンコク～アユタヤ間開業後、路線の整備が進められていた。1951 年に運輸鉄道局が独立する形で、タイ政府出資の国有企業としてタイ国鉄(SRT)が発足した。

不定期で行われる特別な修繕費や維持管理作業の予算項目⁴²である「特別な復旧・修繕費 (Special maintenance と Rehabilitation)」が占める割合が最も大きく、事後保全等の対症療法に最も予算を使っている状況である。



百万 Baht

Code Maintenance work	2012	2013	2014	2016
1道路メンテナンス費	9,660	12,464	14,685	16,221
1.1道路メンテナンス費				
1.1.1 日常維持管理作業 (Routine maintenance)	3,960	3,964	5,285	5,370
1.1.2 定期維持管理作業 (Periodic maintenance)	2,200	3,000	3,300	4,301
1.1.3 特別な復旧・修繕費 (Special maintenance and Rehabilitation)	3,500	5,500	6,100	6,550

図 19 運輸省道路局 (DOH)におけるメンテナンス予算の内訳 (2012~2016年)⁴³

(b) 地方自治体

自治体のインフラは、内務省公共事業・都市地方計画局(DPT)によって計画及び建設が行われたあと2年後に地方自治体に運営、維持管理が移管される。しかし、自治体への移管後は財政的な問題から維持管理がなされていないことが多く、そのため深刻な問題が発見された場合でも修繕されないことが多かった。

しかし、近年、深刻な問題が顕在化してきたことにより、2014年7月に立案された2022年までの総事業費1兆9,100億バーツの大規模インフラ投資計画の中に地方道路修繕のた

⁴² 省庁や国営企業が、大規模事業を実施する際は、事前に内閣の承認が必要である。大規模事業の定義は実施機関の規定によって異なるが、例えば、5千万バーツ以上の事業、自己資本や負債に500万バーツ以上の変化がある場合等となっている。新規事業には大規模修理や更新事業も該当し、年間予算申請と異なり、申請時期は決まっておらずいつでも申請でき、審査を受けることができる。

⁴³ 2015年の報告書には記載なしであったが「DOH Annual Reports」から各年度の予算を抜粋

めの予算が盛り込まれ、対策が図られ始めている⁴⁴。

バンコク首都圏庁(BMA)でも緊急時の予算項目を設けており、Director Civil Work Division Department の承認のもと年間 50 百万バーツを活用し、インフラの破損・崩壊の原因究明後に早急にメンテナンス対処することとなっている⁴⁵。バンコク首都圏庁(BMA)ではインフラの健全度を 6 段階レベル「0」(崩落寸前) から「5」(状態が良い) に分類し、特にレベル「0」と判断した橋梁などが緊急メンテナンス予算の対象となる⁴⁶。

2017 年に、バンコク首都圏庁(BMA)はバンコクの橋梁のうち 6 橋⁴⁷が老朽化による事故の可能性が高い危機的なレベル「0」の状況であると報告し、緊急予算を使用して早急にメンテナンス等の対応を実施した⁴⁸。一般的に事後保全コストは予防保全コストと比べて割高となるため、今後もこのような状況が続くとバンコク首都圏庁(BMA)のメンテナンスコストは上がりやすい状況に陥ることが想定される。

表 2 バンコク首都圏庁(BMA)の橋梁の健全度の判断基準

レベル	状況	対応の有無・期間
レベル 0	危機的な状況であり、崩落寸前もしくは崩落してしまっただケース	要対応・1 週間以内 ※原則は発生時から翌日であるが、実際には原因の究明を含め 1 週間程度要する。
レベル 1	重度の問題が散見され、対応の優先度が高く翌年には修繕する必要がある	要対応・1 年以内
レベル 2	中度の問題が散見され、優先度が高く翌年もしくは、2 年以内にする必要がある	要対応・2 年以内
レベル 3	軽度の問題が散見される。悪化すれば補修する必要があるが、現時点では対応する必要はない	なし
レベル 4	軽度の問題が少々確認できるが、現時点では対応する必要はない	なし
レベル 5	良い状態であるため、補修など対応する必要なし	なし

⁴⁴ JETRO タイ事務所 2018 年 4 月「タイの概況とアセアン経済」

⁴⁵ BMA ヒアリング

⁴⁶ BMA ヒアリング

⁴⁷ 6 つの橋：1.Klong Saen Saep bridge、2.Saphan Sung Bang Sue Bridge、3.Phempracha Bridge、4.Klong Lam Ped Bridge、5.Klong Sam Wa Bridge、6. Klong Tha Raeng bridge

⁴⁸ <https://www.bangkokpost.com/news/general/1355251/no-budget-for-urgent-bridge-repairs>

(イ) メンテナンス手法

タイ国の現在のインフラメンテナンスは、対象インフラ、管轄機関により、それぞれ以下のとおり実施され、補修はその場次第の対症療法的なものとなっている。

- ✓ 道路
 - ◇ 2年に一回 全国道路網調査
 - ◇ 日常目視点検（地域事務所）
- ✓ 橋梁
 - ◇ 1年に一回、または2年に一回 定期点検
- ✓ トンネル
 - ◇ 2年に一回 定期点検
- ✓ 地下鉄
 - ◇ 1年に一回、または2年に一回 定期点検
- ✓ 高架鉄道
 - ◇ 1年に一回、または2年に一回 定期点検

管轄組織	対象数	頻度	遠望 目視	近接 目視	実施内容	
DOH	道路	総延長 50,000 km	2年1回	○	×	全国国道網性状調査を行い、計測車両を用い、計測項目はIRI（平坦性）を評価3.5以下、Rutting（わだち掘れ）、Cracking（ひび割れ）、Ravelling（アスファルト劣化）の状況を調査する。
	橋梁	16,000 橋 (500km)	①1年1回 ②2年1回	○	△	橋梁の全景写真を3方向から撮影し、橋梁の健全度を0～5で判断する。その結果はBMMS（Bridge Maintenance and Management System）に保存される。健全度評価3以下の損傷がひどい橋梁に対しては、損傷箇所をBMMSに記録する。近接目視を可能な限り推奨している。
	トンネル	12カ所	2年1回	○	△	点検シートに従って目視点検を実施。しかし、DOHのBMMSへは登録されていない。



図 20 DOH の定期的なメンテナンス手法と目視点検の有無

管轄組織	対象数	頻度	遠望 目視	近接 目視	実施内容	
DRR	道路	総延長 40,000 km	2年1回	○	×	2年1回に路面性状調査車（Rosy Car : Road Survey Car）で平坦性（IRI値）の状態を調査。
	橋梁	4,100橋 (150- 200km)	①1年1回 ②2年1回	○	△	①バンコク都内の大規模橋梁点検・維持管理はDRRの本部が1年に1回は行い、②その他の橋梁は2年に1回橋梁点検シートを活用し、地方局が点検を実施。近接目視を可能な限り推奨しているが、実情としては遠望目視になっている。
	トンネル	約10カ所	2年1回	○	△	2年1回に点検シートに従って目視点検を実施。




図 2 1 DRR の定期的なメンテナンス手法と目視点検の有無

管轄組織	対象数	頻度	遠望 目視	近接 目視	実施内容	
BMA	道路	道路面積： 28,000 万km ²	問題発生 時に実施	○	○	舗装の点検は目視で行っているが、基本的には公共事業部内にある苦情受付電話番号1555へ連絡に応じて、舗装を補修する。年間10件程度。
	橋梁	1,084 橋	2年1回	○	△	橋梁の点検シートに従って目視点検を実施。診断結果の健全度を0～5に判断し、損傷箇所は橋梁ごとに図面化して、Bridge Health Monitoring system に写真と一緒にマッピングしてデータベース化している。
	トンネル	12カ所	2年1回	○	△	2年1回に橋梁の点検シートがあり、それに従って目視点検を実施。
	鉄道	27.7km	2年1回	○	△	バンコク首都圏庁(BMA)がグリーンラインの建設・運営権を所有するが、BOT方式を通じてバンコク・マストランジッドシステム社(BTSC) が担っている。BTSCがBMAのマニュアルに従って目視点検を実施しているが詳細は非公開である。



図 2 2 BMA の定期的なメンテナンス手法と目視点検の有無

管轄組織	対象数	頻度	遠望 目視	近接 目視	実施内容	
EXAT	道路橋	総延長 224.6 km	1年1回	○	○	EXATは9割がコンクリート高架道路であるため、定期点検では目視以外にも、赤外線サーモグラフィ、マイクロ波スキャン、中性化検査 (Half-Cell Potential)等を活用し危険性を確認している。必要に応じて近接目視や詳細な点検を実施している。

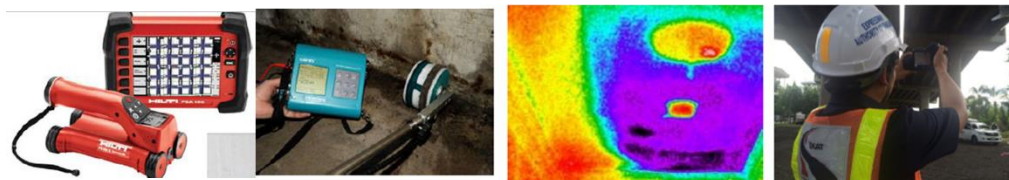


図 2 3 タイ高速道路公社(EXAT) の定期的なメンテナンス手法と目視点検の有無

管轄組織	対象数	頻度	遠望 目視	近接 目視	実施内容	
SRT	鉄道	総延長 4,500 km	問題発生 時に実施	○	△	維持管理の担当区間は平均300kmの保線区に分かれており、「Track Maintenance」マニュアル上では週に一度は保線区長が担当する全区間を、週に3回は上級検査員が全区間を目視点検を行うこととなっている。しかし、実際には故障している報告を受けてから、目視確認等を実施している場合も多い様である。また1年1回「Track Recording Car」を活用して、異変がないかの記録調査を行っている。異変が確認できた場合のみ、詳細な近接目視を含めた点検が実施される。
	橋梁	約3,000- 4,000橋	1年1回	○	△	
	地下鉄	約5箇所	1年1回	○	△	
	高架 鉄道	28km	1年1回	○	△	



図 2 4 SRT の定期的なメンテナンス手法と目視点検の有無

管轄組織	対象数	頻度	遠望 目視	近接 目視	実施内容	
MRTA	高架 鉄道	23km	2年1回	○	○	MRTAが所有権を保有し、メンテナンス実施の運営を全てバンコク高速道路・メトロ社(BEM)で行っている。点検シートに従って目視点検を実施。マニュアルでは、2年に1回の近接目視を行うことを義務化しており、①ひび割れ・はく落状態、②鉄筋の腐食状態、③浸水状況、④コンクリートのふくれの状況、⑤水漏れの有無、⑥エプロの発生状況を確認している。
	地下鉄	21km	2年1回	○	△	





図 25 MRTA の定期的なメンテナンス手法と目視点検の有無

a. 定期点検

(a) 道路・橋梁の点検マニュアルの概要

タイ国では、道路・橋梁・トンネルに関する建設・施工・維持管理の基準やマニュアルは各管理組織が独自に作成・所有し、同組織内で本局から地方局への共有はされているが、異なる組織間での共有や統一はされていない。

しかし、多くの基準等は主にアメリカの AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) 基準や ACI (American Concrete Institute) Building Code、NCHRP(National Cooperative Highway Research Program)に基づいて、大学教授やコンサルタント会社、JICA 専門家によって作成されたものを活用している。

アメリカの基準が参考として活用されている背景には、第二次世界大戦後の 1950 年代に、アメリカによる無償援助で道路整備されたことが大きく寄与している⁴⁹。その過程で、機材の提供や技術指導をアメリカから受け、またタイ国のエンジニアはアメリカへ留学し道路整備を学ぶようになった。タイ国では、1965～71 年に実施された「道路整備 7 年計画」により本格的な長期道路整備計画が始まったが、先述のような背景から本計画もアメリカの基準がベースとなっている。

次頁に示す通り、各インフラ運営機関は独自にマニュアルを整備している。ただし、地方自治体においては運輸省道路局 (DOH)及び運輸省地方道路局(DRR)のマニュアルが参照されることが多い⁵⁰。

⁴⁹ 1951 年～54 年までに総額約 190 万ドル分の国道がアメリカの援助によって整備された。(柿崎一郎「戦後復興期タイにおける道路整備(1945 年—1957 年)」<http://www.jaas.or.jp/pdf/48-3/4-31.pdf>)

⁵⁰ http://web-app.drr.go.th/wpdor_tor/formview/view_tr_announcement.aspx

表 3 道路・橋梁のマニュアル⁵¹

名称	内容	発行日	管理機関
Specifications for Highway Construction	道路建設仕様書	2003	DOH
Bridge Strengthening Manual	橋梁補強マニュアル	2006.5	DOH
Bridge Inspection, Analysis and Evaluation Manual	橋梁点検・分析・評価マニュアル	2006.5	DOH
Bridge Repair and Maintenance Manual	橋梁維持管理マニュアル	2006.5	DOH
Work Instruction for Bridge and Box Culvert Construction	橋梁／ボックスカルバート施工管理指針	2006	DOH
Inspection Manual for Expressways	高速道路点検マニュアル	1990.3	EXAT
Manual for Inspection of the Rama IX Bridge	ラマ9 世橋点検マニュアル	1990.3	EXAT
Procedure for Construction Management of RC Bridges and Condition Evaluation including Maintenance Method	・橋梁施工管理のガイドライン ・橋梁定期点検、点検記録様式	2000.8	DRR
Manual for Construction and Maintenance of Road	道路及び橋梁の施工管理のガイドライン及び道路維持管理のガイドライン	2003	DRR
Project for Development of Management System for DRR's Road Network (Phase 1)-Manual for Bridge Inspection and Evaluation	橋梁点検作業の基礎知識、点検作業のガイドライン（床版、上部工、下部工、支承、水路）、BMMS（点検帳票、点検結果の記録、損傷程度の評価、健全度の評価）	2007.2	DRR
Bridge Inspection and Improvement Manual	橋梁の基礎知識、健全度の評価、コンクリートの劣化、目視点検方法、点検結果の報告、補修補強方法	2007.9	DRR
The Industrial Ring Road Project - Inspection and Maintenance Manual	IRR 橋梁の点検及び維持管理マニュアル（通常点検、定期点検、詳細点検、異常時点検）	2008.1	DRR
Study Project for Repair Method for Damages due to Material Deterioration and Service Life of Bridges in DRR's Road Network (Phase 2)	補修補強方法、損傷程度の評価、補修方法の選定、補修工費の概算	2009.9	DRR
Project for Maintenance and Management System Development for DRR's Bridges - Manual for repair of RC bridge components due to deterioration of bridge structures and components	BMMS 開発に関する報告書 ・橋梁部材の補修補強マニュアル・報告書（概要版） ・BMMS のユーザーマニュアル ・報告書（最終版） 点検作業評価マニュアル 2011.3 DRR チャオブラヤ川架橋に関する点検作業評価マニュアル	2009.12	DRR
チャオブラヤ川架橋に関する橋梁長期維持管理計画策定マニュアル	チャオブラヤ川架橋に関する橋梁長期維持管理計画策定マニュアル	2011.3	DRR
Routine Maintenance Manual	通常点検方法、点検帳票、補修計画作成、補修工費の概算、報告書作成のガイドライン（主に道路） ・橋梁については高欄塗装、区画線補修、掃除のみ	2011.6	DRR
点検作業評価マニュアル	地方橋梁に関する点検作業評価マニュアル	2013.7	DRR
橋梁長期維持管理計画策定マニュアル	地方橋梁に関する橋梁長期維持管理計画策定マニュアル	2013.7	DRR

⁵¹ 2013.7「タイ国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」

(b) 定期点検の種類

タイ国においては、メンテナンスには主に3種類に分類され、①日常維持管理作業 **Routine maintenance**(良好に維持するために定期的に行われる点検作業)、②定期維持管理作業 **Periodic maintenance**(状態が良好な間に予防保全として行われる点検作業)、③特別な復旧・修繕 **Special maintenance** と **Rehabilitation**(状況が悪くなってから行う点検・修繕作業)がある⁵²。

上記②定期維持管理作業の作業項目のうち、目視点検はどの組織でも義務づけられているが、日本と異なり近接目視が必須ではない。例えば、運輸省道路局 (DOH) 場合、目視点検を2年1回行うこととしているが、可能な限りの近接目視を行うことを推奨するにとどまっているため⁵³、河川などの場合は船などで可能な限り近づき、望遠レンズを活用したカメラ撮影を行う遠望目視での対応が多い⁵⁴。そのため、写真の撮影状況や死角の存在により、正確に判断できないこともある⁵⁵。

日本では、2012年の笹子トンネルの事故を契機に、2014年に法改正され、点検時の近接目視が義務化された。実際に、日本において約50橋を対象に、近接目視と遠望目視の点検結果を比較すると、遠望目視では合格であったうちの約3割の橋梁において、近接目視では不合格であった。

このことから、タイ国において一般的に実施されている遠望目視においては、インフラの健全性を過大評価してしまう恐れがある。また先述の通り、タイ国では②定期維持管理作業の結果によってメンテナンス予算を申請するため、メンテナンスが必要な箇所を正確に把握できていない場合、予期せぬインフラの崩壊対応、事後保全に対する緊急時メンテナンス費用が肥大する可能性が高いと考えられる。



図 26 遠望目視で生じてしまう死角

⁵² メンテナンスとは別に、修繕での復旧が困難になってからの修復作業は、**Reconstruction** と呼び、道路新設に分類されている。

⁵³ DOH ヒアリング (2018/7)

⁵⁴ IMMS ヒアリング (2018/7)

⁵⁵ DOH ヒアリング (2018/7)、IMMS 社ヒアリング (2018/7)

(c) 目視点検の項目

目視点検で確認する項目はひび割れの度合い、ひび割れ方であることが多い。その背景としては、コンクリート構造物の劣化要因には乾燥収縮、温度変化(凍結融解)、荷重によるたわみ、腐食等があるが、その結果として共通して発生するのは「ひび割れ」であるためである。

ひび割れはより深刻な劣化などの前兆であり⁵⁶、劣化の原因によってひび割れの度合、ひび割れ方に特徴がある。そのため、目視による劣化原因の推測が可能であり、非破壊でのコンクリート構造物の劣化状況把握の面から非常に効果的な手法である⁵⁷。したがって、コンクリート構造物の劣化、崩壊の予防保全の観点から、コンクリート構造物に生じたひび割れ箇所、およびその様子を目視確認できる状況であることが望ましい。

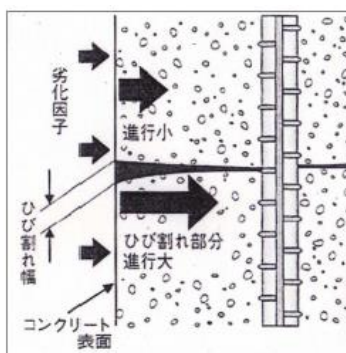


図 27 コンクリートの劣化⁵⁸

(d) ひび割れの度合と危険度

タイ国では、EXAT 及び BMA のみ、以下の通りひび割れの度合から危険度を定義している。DOH の場合は、サイズ別の定義はないがひび割れを「通常のひび割れ」、「鋼材のひび割れ」、「格子状のひび割れ」、「縦方向のひび割れ」の 4 タイプに分類して報告をしている⁵⁹。DOH、DRR、EXAT、BMA においては、報告されたひび割れは、基本的に損傷部分のコンクリートを除去し、モルタルまたはコンクリートで修理する方法や、損傷した構造材を撤去して、再度建設する方法など対症療法で対応している。

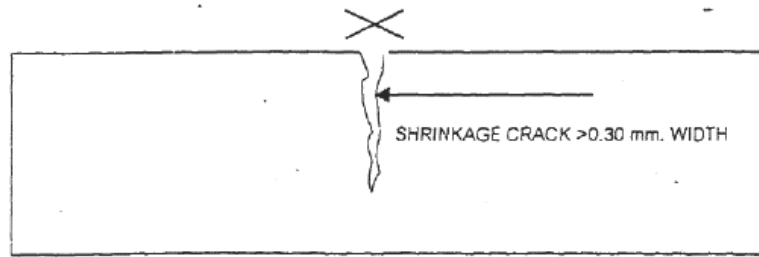
⁵⁶ 岡山大学 阪田憲次 「コンクリート構造物のひび割れと劣化、その対策について」

<http://concom.jp/contents/seminar/201504/pdf/material.pdf>

⁵⁷ 日本コンクリート工学協会によると、日本の場合は、例えば防水性・水密性に対する許容ひび割れ幅は 0.5mm (鉄筋を覆っているコンクリートの厚さ「かぶり厚さ(mm)」) 以下と定義している。

⁵⁸ 「コンクリートの劣化と補修のわかる本」セメントジャーナル社

⁵⁹ DOH ヒアリング (2018/7)



STAGE 1 : MARK THE CRACK LINE LOCATION AT SITE

図 28 ひび割れのサイズの記載例

管轄機関	小	中	大	危険
DOH ⁶⁰	サイズ別の定義なし	サイズ別の定義なし	サイズ別の定義なし	サイズ別の定義なし
DRR ⁶¹	確認中	確認中	確認中	確認中
BMA ⁶²	0.3 mm ⁹³ 以下	0.3mm ⁹³ 以上	—	—
EXAT ⁶³	0.5.mm ⁶⁴ 以下	0.5–1.0mm ⁹³	1.0–2.0mm ⁹³	2.0mm ⁹³ 以上
MRTA	0.3mm ⁹³ 以下	0.3mm ⁹³ 以上	—	—
SRT ⁶⁵	—*	—*	—*	—*

*サイズの定義はないが、ひび割れのサイズを mm 単位で報告書に記載する必要がある



図 29 ひび割れの様子 (DOH マニュアル掲載)⁶⁶

⁶⁰ DOH マニュアル (タイ語) 「Inspection and damage detection of bridge」 p 3-9、p 3-10

⁶¹ DOH マニュアル (タイ語) 「Inspection and damage detection of bridge」 p 3-9、p 3-10

⁶² BMA は ACI を参照

⁶³ EXAT 発表資料 「Condition Rating for Structure Elements」 p6

⁶⁴ かぶり厚さ(mm)

⁶⁵ SRT ヒアリング (2018/7)

⁶⁶ DOH マニュアル (タイ語) 「Inspection and damage detection of bridge」 p 3-9-

(e) “はく落” の度合と危険度

タイ国では、コンクリートの表面の“はく落”についても、状況確認し報告する義務がある。DOH、DRR、EXAT のメンテナンス・マニュアル上で“はく落”について定義しており、BMA についてはメンテナンス・マニュアル上に特に記載はないが、“はく落” 状況を確認し、報告している。また先述のとおり、各組織が参考に行っているアメリカの ASSHTO^{67,68}、ACI⁶⁹内でも、「点検すべき項目」の中に“はく落” が記載されている。

“はく落” については、上記全ての組織で対症療法によって対応している。

MRTA はマニュアル上は“はく落” は予防保全 (Preventive Maintenance) のためにも確認すべきと記載はあるが、報告は義務付けていない⁷⁰。これは、タイ国が参考に行っている AASHTO、ACI において、“はく落” はあくまでも 1 指標であり、“はく落” による第三者被害予防の観点がないためであると考えられる。

表 4 各管轄機関における“はく落” の認識

管轄機関	小	中	大
DOH ⁷¹	深 さ 2.5cm× 直 径 15cm (未満)	—	2.5cm の深さ以上×直 径 15cm 以上
DRR ⁷²	深 さ 2.5cm× 直 径 15cm (未満)	—	深 さ 2.5cm× 直 径 15cm (未満)
BMA ⁷³	定めていないが、報告 を義務付けている	定めていないが、報告 を義務付けている	定めていないが、報告 を義務付けている
EXAT ⁷⁴	検査対象のコンクリ ート 表面 (一面) の 2% 以下	検査対象のコンクリ ート 表面 (一面) の 2~5%	検査対象のコンクリ ート 表面 (一面) の 5%以上
MRTA (BEM) ⁷⁵	確認すべき項目とし ているが、明確な定義 はなく、報告は義務づ けていない	確認すべき項目とし ているが、明確な定義 はなく、報告は義務づ けていない	確認すべき項目とし ているが、明確な定義 はなく、報告は義務づ けていない
SRT ⁷⁶	定めていない	定めていない	定めていない

⁶⁷ ASSHTO Maintenance Mnual for Roadways and Bridges 2007

⁶⁸ ASSHTO Maintenance Mnual for Roadways and Bridges 2007 “3.2.7.3 Performing the Inspection”

⁶⁹ ACI においては、「Low-Pressure Spraying (ACI RAP-3)」「Veritical and overhead spall repair by hand application (ACI RAP-6)」「Horizontal Concrtee Surface (ACI RAP-7)」「Prepared aggregate method (ACI RAP-9)」などで記載されている。

⁷⁰ MRTA マニュアル「Operations& Maintenance Manual- Structure Works」”2.2 Maintenace & Servicing Manua”

⁷¹ DOH マニュアル (タイ語)「Inspection and damage detection of bridge」 p 3-9-

⁷² DRR マニュアル (タイ語)「Manual_Brudge_250560」 p21

⁷³ BMA は特には定めていない。

⁷⁴ EXAT 発表資料「Condition Rating for Structure Elements」 p6 「% Area of concrete spalling」

⁷⁵ ACI においては、「Low-Pressure Spraying (ACI RAP-3)」「Veritical and overhead spall repair by hand application (ACI RAP-6)」「Horizontal Concrtee Surface (ACI RAP-7)」「Prepared aggregate method (ACI RAP-9)」などで記載されている。

⁷⁶ SRT ヒアリング (2018/7)



図 30 “はく落”の様子 (DOH マニュアル掲載) ⁷⁷



図 31 EXAT における“はく落”の様子⁷⁸

● <補足情報>道路の点検マニュアル

道路のメンテナンスは、それぞれの政府機関ごとに状況を把握するマニュアル及び利用システムが異なっているが、損傷の激しい箇所を優先的に修繕する対症療法的なメンテナンス・マニュアルとなっている。

運輸省道路局 (DOH)は、「Specification of Highway Construction」マニュアルを活用している。運輸省道路局 (DOH)の行う道路性状点検は、計測車両を用いて本部が2年に1回行う全国の国道網性状調査⁷⁹と、全国に配置されている地域道路事務所での目視による日常点検に分けられている。これらの情報は、タイランド舗装管理システム TPMS (Thai Pravegment Management System)というシステムに統括されており、このシステムを通じて維持管理公示の優先順位付けを行い、損傷の激しい箇所を優先的に修繕する対症療法的なメンテナンス計画となっている。

運輸省地方道路局(DRR)の場合も、「Manual for Construction and Maintenance of Road」のマニュアルを基に点検を実施している。維持管理のために、PMMS(Pavement

⁷⁷ DOH マニュアル (タイ語) 「Inspection and damage detection of bridge」 p 3-9-

⁷⁸ タイ高速道路公社(EXAT)提供資料 (2018/7) P16

⁷⁹ DOH は2年に一度全道路網の調査を行いたい意向であり、全国国道網性状調査は、DOH 本部が3つの大学(チュラロンコン、タマサート、カセサート)に委託して実施した。このうちカセサート大学への委託分は STS 社(コンサルタント会社)が下請けで実施している。

Maintenance Management System)⁸⁰を2005年に導入した。運輸省地方道路局(DRR)は多くの種類の道路を管理しているため、運輸省道路局(DOH)とは異なるシステムを活用している。しかし、同様に損傷の激しい箇所を優先的に修繕する対症療法的なメンテナンス計画となっている。

バンコク首都圏庁(BMA)の場合は、舗装の点検は目視で行っているが、基本的には公共事業部内にある苦情受付電話番号1555への連絡に応じて、舗装を補修する事後保全が多い⁸¹。

タイ高速道路公社(EXAT)は、「Inspection Manual for Expressways」のマニュアルを活用し点検作業を3種類(Daily Inspection, Routine Inspection, Special Inspection)に分類して点検を実施している。なお、この「Inspection Manual for Expressways」マニュアルは、原型は1994年にJICAの技術協力で作成されたものを参照している。

タイ高速道路公社(EXAT)は管理している高速道路の9割がコンクリートの高架道路であるため、ひび割れや“はく落”の状況を含めた8つの評価項目で健全度を「A」(最も状態が悪い)～「D」(最も状態が良い)で判定している。基本的には、損傷が激しい状態の物から優先的に修繕している事後保全となっている。

タイ高速道路公社(EXAT)によると、2018年時点では、全体の約85～95%が健全度「D」判定であり、10%が健全度「B」もしくは「C」判定であり、5%が健全度「A」判定である⁸²。

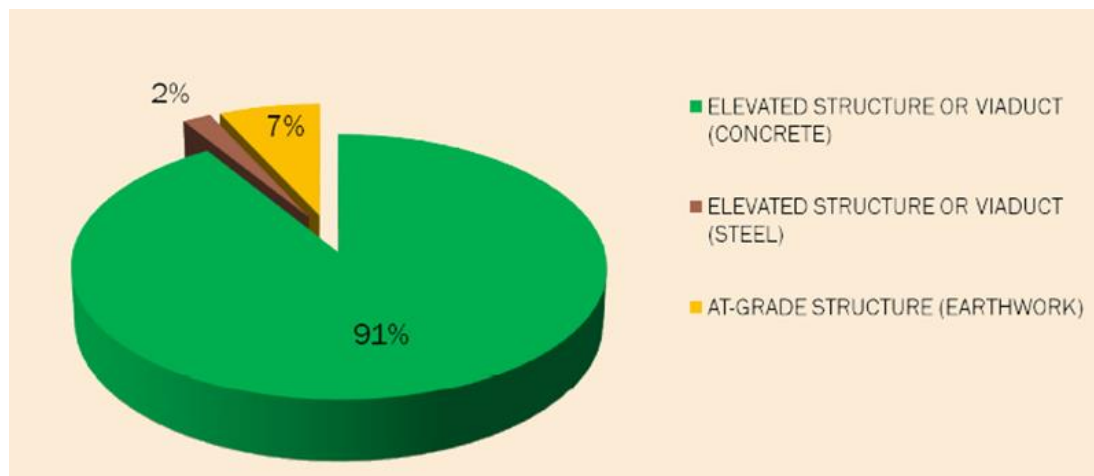


図 3 2 タイ高速道路公社(EXAT)の管理する高速道路の工法内訳⁸³

⁸⁰ PMMS は、WEB ベースのアプリケーションの7つのモジュールから構成されている。

- (1) Road Inventory Module(道路インベントリーモジュール)
- (2) Road Condition Database(道路コンディションデータベース)
- (3) Treatment Strategy Analysis Module.(補修戦略分析モジュール)
- (4) Budget and Cost Database(予算・費用データベース)
- (5) Prioritization Analysis Module(優先順位分析モジュール)
- (6) Maintenance History Database(補修履歴データベース)
- (7) Presentation and Reporting Module(プレゼン・レポートモジュール)

⁸¹ BMA ヒアリング(2018/6)

⁸² EXAT ヒアリング(2018/8)

⁸³ EXAT 提供資料(2018/7)

Element 対象	Damage Type 検査項目	Condition Rating 評価			
		D	C	B	A
Concrete Deck Girder Cross Beam Retaining Wall Concrete Pier	Crack Width ひび割れ	< 0.5 mm.	0.5-1.0 mm.	1.0-2.0 mm.	> 2.0 mm.
	Depth of concrete scaling スケーリング	No Damage	< 5 mm.	5 - 15 mm.	15 - 25 mm.
	% Area of concrete spalling はく落	No Damage	< 2 %	2 - 5 %	> 5 %
	% Area of water saturation and leaching 水飽和	No Damage	< 10%	10 - 30%	> 30%
	% Area of air pocket in concrete エアポケット	No Damage	< 2%	2 - 5%	> 5%

6

図 3 3 タイ高速道路公社(EXAT)の 5 つ評価項目



図 3 4 タイ高速道路公社(EXAT)のメンテナンスチームの視察の様子

✓ 1994年にJICAがEXATに「タイ王国高速道路点検・維持管理計画調査」事業⁸⁴で高速道路及びラマ9世橋の点検・維持管理マニュアルの整備しているが、そのマニュアルを元に2002年にEXAT独自で橋梁点検マニュアルを策定している。よって、目視点検に対する意識が強く、毎年、下図の様な点検フォーマットを用いている。具体的には年に1度、徒歩で全建造物に対して一つひとつ目視点検を実施し、詳細な構造物の検査を実施している。更に、より安全なコンクリートの高速道路の建設・維持補修のために、独自でコンクリ

⁸⁴ 「タイ国 インフラマネジメント 情報収集・確認調査 ファイナルレポート」 2014年 P159

ートの寿命を延ばす研究も実施している⁸⁵。

ตัวอย่างแบบฟอร์มที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้าง

แบบฟอร์มตรวจสอบโครงสร้าง

ทดสอบครั้งที่ ทดสอบตามรายการซ่อมแซม

วันที่ตรวจสอบ: _____

ชื่อโครงการ: _____

ชื่อผู้ตรวจสอบ: _____

ประเภท	จำนวน	ความเสียหาย	จำนวนชิ้น	ขนาด	รวม
SLAB / ใ้					
PILE / ใ้					
PILE CAP / ใ้					
PIER HEAD / ใ้					
CROSS BEAM / ใ้					
PAVEMENT / ใ้					
OTHER / ใ้					

แบบฟอร์มตรวจสอบโครงสร้าง

วันที่ตรวจสอบ: _____

ชื่อโครงการ: _____

ชื่อผู้ตรวจสอบ: _____

ประเภท	จำนวน	ความเสียหาย	จำนวนชิ้น	ขนาด	รวม
PILE / ใ้					
FOOTING / ใ้					
BOX GIRDER / ใ้					
ANCHOR BOLT / ใ้					
STIFFENING RIB / ใ้					
PAVEMENT / ใ้					
WEAR / ใ้					
RETAINING WALL / ใ้					
ANCHORAGE / ใ้					
STEEL PIPE / ใ้					
BEARING / ใ้					
DRAINAGE / ใ้					
OTHER / ใ้					

図 35 点検フォーマット

● <補足情報> 橋梁の点検マニュアル

橋梁に関しても基本的に各管轄機関でマニュアルが異なるが、修繕などの対症療法的なメンテナンス手法が主にとられている。

運輸省道路局 (DOH)においては、2006年に作成された Bridge Inspection, Analysis and Evaluation Manual に準じて点検され、2006年に作成された橋梁維持管理マニュアル Bridge Repair and Maintenance Manual に従って補修されている。

橋長 10m 以上の橋梁の維持管理については、運輸省道路局 (DOH)は本局の Bureau of Bridge Construction の職員が点検・維持管理・橋面舗装打替え等の修繕を担当している。一方で、橋長 10m 以下の橋梁は、地方事務所が点検と維持管理を担当している。更に運輸省道路局 (DOH)の場合は、2012年より橋梁の維持管理ソフトウェア「橋梁維持管理システム(Bridge Maintenance and Management System : BMMS)⁸⁶」を活用してデータを一元管理しており、Bureau of Bridge(橋梁局)が所掌している。

⁸⁵ EXAT ヒアリング(2018/7)

⁸⁶ 1998年から1992年にかけてデンマーク政府の支援により導入されたが、当時はコンピューターの知識がない者が多く使用が中止された。2011年から2012年にかけて、Kasetsart 大学に再整備を委託して2012年から活用されるようになった。



図 3 6 運輸省道路局 (DOH) の目視点検の様子 87

BMMS に入力されている項目としては、橋梁コード、橋梁名、架橋タイプ (河川橋、跨線橋等)、架橋位置、路線名、幅員、上部工形式等である。これらの基本情報とともに、写真や図面データを保存できるようになっており、保存された写真や図面データを参考に健全度判定が行われている⁸⁸。

DOH の健全度は計 31 項目ある評価項目を基に判定しており、OCR (Overall Condition Rating) という指標を使って判定する。健全度はレベル「0」(最も状態が悪い) から「5」(最も状態が良い) の 6 段階に分類されている。

DOH では、橋梁のメンテナンスは基本的に、建設後 15 年経過するまでに予防保全で対応する方針である。しかしながら、現状では事後保全にかかる修繕費だけで予算をオーバーする状況であるため、現実的には予防保全まで十分に実施できていない。

事後保全においては、レベル「2」以下の全橋梁が修繕対象であり、レベル「4」になるまで修繕する方針としている。また、建設後 30 年経過した橋梁は、基本的には建替える「スクラップ・アンド・ビルド」の方針である⁸⁹。

現在、DOH が管理している 16,000 橋の内、DOH が BMMS で管理している 14,949 橋梁の内約 62%にあたる 9,192 橋が OCR=3 以下 (3、2、1、0) の橋梁に分類されている⁹⁰。BMMS において橋梁名、建設年、架橋位置などの基本情報は整理されているものの、先述のコンクリート構造物の劣化診断の指標となるひび割れデータなどは十分に整理されていない⁹¹。したがってコンクリート構造物の現状把握が十分にできていない可能性があり、それを基に実施している予算申請根拠の精度が懸念される。

なお現状予算が取得できているのは、2017 年時点で OCR=2 以下の計 1,278 橋 (OCR2:666 カ所、OCR1:593 カ所、OCR0:19 カ所) になっている⁹²。このことから、DOH の管轄橋梁は、損傷が激しい状況に陥ってからの対症療法で修繕されている状況であることが伺える。

⁸⁷ DOH ヒアリング (2018/7)

⁸⁸ DOH ヒアリング (2018/7)

⁸⁹ DOH ヒアリング (2018/8)

⁹⁰ DOH 提供資料及び「タイ国 ひび割れ計測システムを活用した橋梁維持管理手法の普及・実証事業業務完了報告書」

⁹¹ 「タイ国 ひび割れ計測システムを活用した 橋梁維持管理手法の普及・実証事業」

⁹² DOH 提供資料

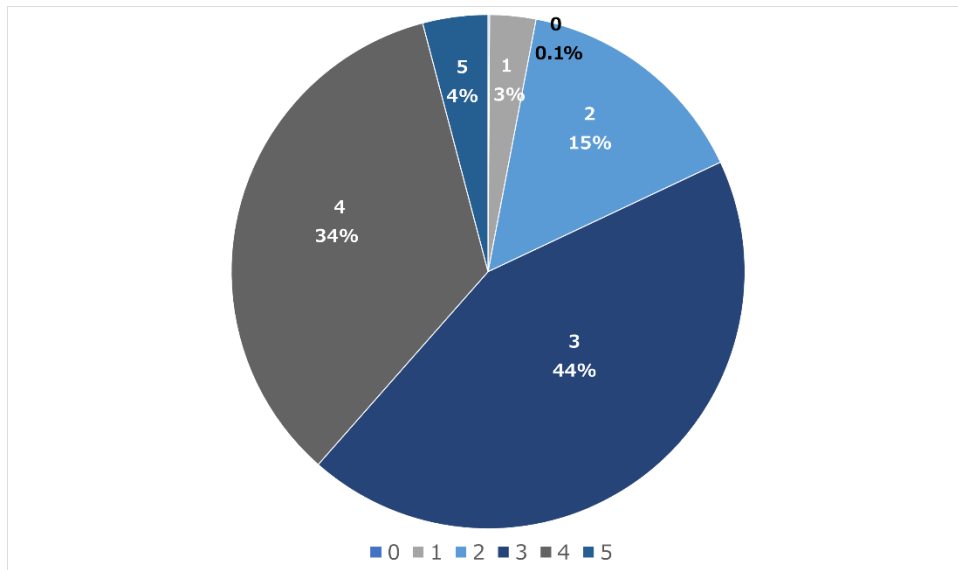


図 3 7 DOH 管轄の橋梁の健全度 (OCR) 93

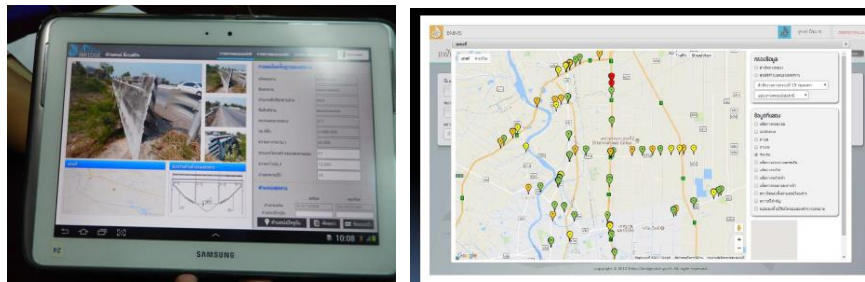


図 3 8 運輸省道路局 (DOH)の BMMS の入力画面(タブレット端末の表示画面)94

運輸省地方道路局(DRR)は、チュラロンコーン大学と開発した独自の BMMS を活用して DRR 管轄下の 4,100⁹⁵ 橋の橋梁点検計画の作成及び橋梁点検を行っている。主に橋梁点検結果や架橋位置周辺の環境条件等の情報を一元管理し、様々な橋梁の基礎データに基づいて補修の優先順位付けを行い、維持管理計画をサポートするシステムとなっている⁹⁶。現状としては、損傷が激しい状況に陥ってからの修繕と、主に対症療法で対応している状況である。

93 DOH 提供資料及び「タイ国 ひび割れ計測システムを活用した橋梁維持管理手法の普及・実証事業業務完了報告書」

94 「日本の先端測量機器及び計測技術を活用した構造物の 3D 維持管理手法普及に係る案件化調査」2014 年

95 構造物の数は約 8,000

96 「タイ国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2013.7」



図 3 9 運輸省地方道路局(DRR) BMMS システム⁹⁷

バンコク首都圏庁(BMA)は、橋梁の点検についてアメリカのNBI(National Bridge Index)という評価基準を参照している。2年に1度、下記のチェックリストに従って目視点検を行い、結果は橋梁データベースに入力して管理されている。NBI 値が5以上は合格とし、5以下の箇所を維持管理の必要があると診断している。

NBI Ratings

Concrete Deck Condition Rating (Item 58)

Code	Condition of Deck Item
N	Use for all culverts
9	Excellent condition – No noticeable or noteworthy deficiencies which affect the condition of the deck item. Usually new decks.
8	Very good condition – Minor transverse cracks with no deterioration, i.e. delamination, spalling, scaling or water saturation.
7	Good condition – Sealable deck cracks, light scaling (less than 1/2" depth). No spalling or delamination of deck surface but visible tire wear. Substantial deterioration of curbs, sidewalks, parapets, railing or deck joints (need repair). Drains or scuppers need cleaning.
6	Satisfactory condition – Medium scaling (1/2" to 1" in depth). Excessive number of open cracks in deck (5 ft intervals or less). Extensive deterioration of the curbs, sidewalks, parapets, railing or deck joints (requires replacing deteriorated elements).
5	Fair condition – Heavy scaling (1" to 1 1/2" in depth). Excessive cracking and up to 5% of the deck area is spalled; 20 – 40% is water saturated and/or deteriorated. Disintegrating of deck edges or around scuppers. Considerable leaching through deck. Some partial depth failures, i.e. rebar exposed (repairs needed).
4	Poor condition – More than 50 % of the deck area is water saturated and/or deteriorated. Leaching throughout deck. Substantial partial depth failures (replace deck soon).
3	Serious condition – More than 60% of the deck area is water saturated and/or deteriorated. Use this rating if severe or critical signs of structural distress are visible and the deck is integral with the superstructure. A full depth failure or extensive partial depth failures (repair or load post immediately).
2	Critical condition – Some full depth failures in the deck (close the bridge until the deck is repaired or holes covered).
1	"Imminent" failure condition – Substantial full depth failures in the deck (close the bridge until deck is repaired or replaced).
0	Failed condition – Extensive full depth failures in the deck (close bridge until the deck is replaced).

図 4 0 NBI 指標

バンコク首都圏庁(BMA)では NBI の結果を活用し、健全度の判断を先述の通り 6 段階で分けて行っている。しかし、現状予算が取得しているのはレベル「2」以下の橋梁となっており、損傷が激しい状況に陥ってからの対症療法で修繕されている状況であることが伺える。

健全度評価でレベル2以下と判断された場合に、実施される検査項目を以下に示す。当該項目は BMA の職員ではなく、建設コンサルタントや大学に調査委託を行い実施されることが多い。

⁹⁷ DOH 提供 (2018/7)

Bridge Maintenance Management System

<http://www.unescap.org/sites/default/files/5-c.Thailand-Koonnamas.pdf>

- 材料点検

コンクリート材料の劣化度を把握するために、コンクリートのコアを採取して圧縮試験を行い、210ksc 以上のものを合格と判定している。またコアを採取せずに、現場で計測器を使用してのコンクリート強度測定(Windsor Probe Test、Rebound Hammer Test、鉄筋の引張強度試験、炭化度試験、塩分試験、Half-cell Potential 試験)も実施している⁹⁸。

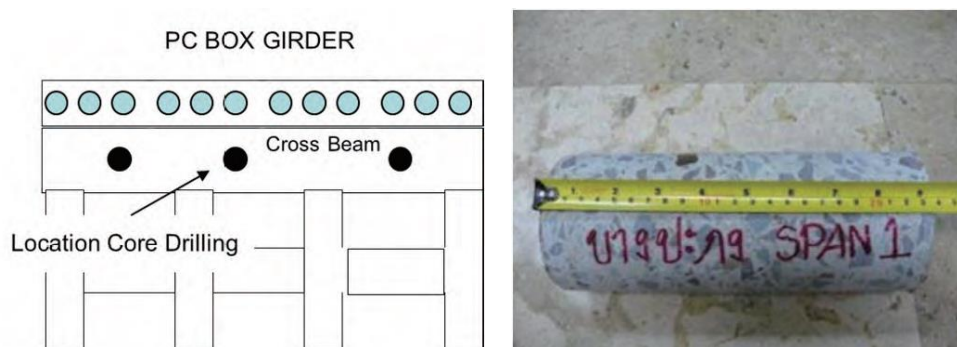


図 4 1 PC 箱桁のコア採取写真⁹⁹

- 評価

橋梁の評価は、“Manual for Bridge Evaluation 2008”, 1st Edition, with 2010 Interim Revisions by AASHTO modified from LRFR 2003 (Load and Resistance Factor Rating) を用いて行われている。

- 補修

損傷部分のコンクリートを除去し、モルタルまたはコンクリートで修理する方法と、損傷した構造材を撤去して、再度建設する方法が行われている。



図 4 2 補修状況(左：損傷部分のコンクリートを除去、右：モルタル補修)¹⁰⁰

⁹⁸ 「タイ国 インフラ・マネジメント情報収集・確認調査」

⁹⁹ 「タイ国 インフラ・マネジメント情報収集・確認調査」

¹⁰⁰ 「タイ国 インフラ・マネジメント情報収集・確認調査」

- 補強

CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics)技術が活用されており、ACI (American Concrete Institute) Building Code の「ACI 440 : 外部の設計と建設の手引きコンクリート構造物補強用 FRP 接合システム」(別添 2)を参照している。



図 4 3 目視点検レイト修繕後の様子(左：目視点検後のレポート(例：Ding Dang 橋)、右：修繕後の様子)

またバンコク首都圏庁(BMA)は 2 年前にオンライン上のデータマネジメントシステム (Bridge Management System¹⁰¹) の運用を開始した¹⁰²が、システム上には以下のようなインベントリデータが整理されているだけであり、誰がどの時点で登録したかが不明確、未記入の欄も多い状況であるため、現時点では詳細なメンテナンス管理に活用するためには十分な情報量が得られていない^{103,104}。

- (1) データベース
- (2) 検査報告書
- (3) 状況の詳細な報告書
- (4) 概算見積 (自動計算)
- (5) 予算状況
- (6) メンテナンス・修繕結果報告

¹⁰¹ BMA データベース提供(2018/7)

¹⁰² BMA ヒアリング(2018/5)

¹⁰³ BMA ヒアリング(2018/5)

¹⁰⁴ IMMS ヒアリング (2018/7)

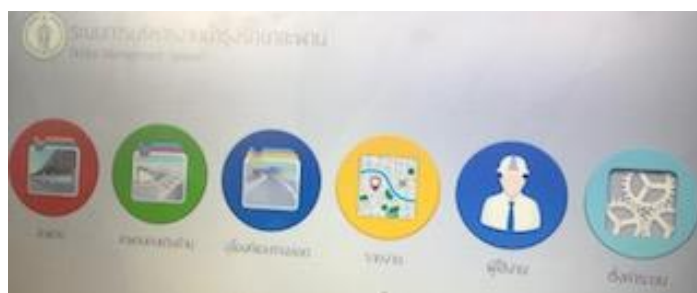


図 4 4 バンコク首都圏庁(BMA) の Bridge Management System の操作画面

● <補足情報> トンネルのメンテナンスマニュアル

トンネルが多いタイ高速交通公社(Mass Rapid Transit Authority of Thailand: MRTA) は BEM (Bangkok Expressway and Metro Limited(2016 年まで旧 BMCL 社)に地下鉄内のトンネル施設、レール、安全施設等の日常点検の実務を委託している。

BEM は予防保全の考え方に基づくアセットマネジメントを導入しており国際標準化機構(ISO)が策定した国際規格 ISO55000 に基づき維持管理を実施する。日常の維持管理は、保線要員が終電から始発間に地下全線の点検補修を実施し、主としてトンネル・駅舎部の湧水状況をチェックしている。

b. 突発的なメンテナンス

タイ国では突発的なメンテナンスの際、基本的にはコンクリート構造物を「補強」する等、事後保全によるガイドラインを整備し対応している。この方法はコンクリート構造物の損傷が激しい段階での対策となってしまうためコスト負担が大きく、メンテナンス予算の膨張につながっている。

タイ国において「補強材」としての活用が多い背景には、通行可能な車両に関する法改正が行われたことに起因している¹⁰⁵。2015 年以前に設計された橋梁や高架道路では、荷重限度の想定は半分以下であった。しかし、法改正に伴い全ての橋梁・道路等を全摘一斉に補強や建替を行うことはできない。よって、交通網として重要視されている橋梁・道路等に対して、事後保全時に、補強もすることで、法の基準値までの補強を行っている。各組織の判断基準により、重要度が低い橋梁・道路等に対しては、事後保全時に設計時の基準値まで修繕している¹⁰⁶。よって人口が密集して、建替が容易でないバンコクを中心に、橋梁・道路等への補強ニーズが高まっている。

補強の中でも活用が多い種類は、炭素繊維強化プラスチック CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics)の技術であり、ACI (American Concrete Institute) Building Code の「ACI 440 : 外部の設計と建設の手引きコンクリート構造物補強用 FRP 接合システム」(別

¹⁰⁵ 通行可能な車両の重量は、1992 年までは 18 トン未満、2013 年までは 25 トン、2013 年以降 50.5 トンと引き上げられている。また、2015 年には一律に「50.5 トン未満であれば通行して構わない」と法律で規定された。
<http://www.doh.go.th/doh/th/law/law-doh/weight.html>

¹⁰⁶ DOH ヒアリング(2018/8)

添 2)を参照している¹⁰⁷108。

コンクリートの損傷部分が大きい場合は、CFRP を活用する前に、損傷箇所のコンクリートを除去しモルタルまたはコンクリートで修理する方法と、損傷した構造材を撤去して再度建設する方法が行われている。

ひび割れの大きさが、0.3 mm より大きい場合は、ACI 440 規格のようにエポキシ注入によって修復する必要があり、0.3mm より小さいクラックはエポキシ・パテ法(Epoxy putty method)で封止することとなっている(施工詳細は、別添 2 の通り)。

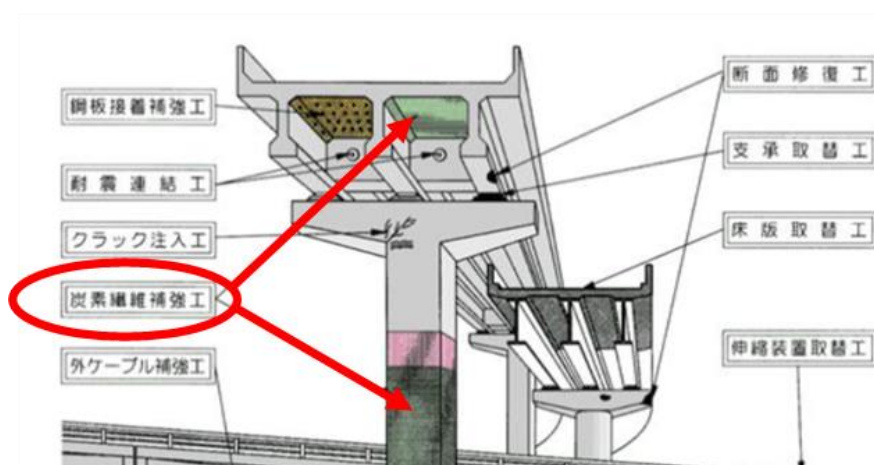


図 4 5 炭素繊維補強工

上記のとおり、タイ国においては、事故や機能障害が起こってから対応する事後保全が主体であり、予防保全の考え方をベースにした予算計画はなされていない。そのため突発的なメンテナンスが発生し、修繕等に係るメンテナンス費用等が相対的に高額になっていると推定される。また老朽化や維持管理の不備により破損が進み、道路ネットワークとして適切に機能していない橋梁も多く存在する状況である。

加えて、メンテナンス不備による死亡事故も発生しており、道路管轄者に賠償責任が生じている。例えば、2008 年に運輸省地方道路局(DRR)が管轄している道路のメンテナンス不備で発生してしまったバイクの交通事故では1名が亡くなり DRR に約 200 万 THB の支払義務が生じた¹⁰⁹。今後、老朽化する建造物がより増えるため、同様のリスクが発生する可能性が増えると想定される¹¹⁰。

¹⁰⁷ ACI 440 規格を参照 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics)という炭素繊維強化プラスチックを橋梁の補強工事に活用している。

¹⁰⁸ Italian Thai Development ヒアリング、建設コンサル AEC ヒアリング

¹⁰⁹ <https://www.sanook.com/news/787123/>

¹¹⁰ Ban Dong Yen, Non Khwang, Ban Dan, Buriram,

現状、運輸省道路局 (DOH) の 2017 年の年間維持管理予算は 190.58 億バーツ(道路、橋梁含む)であり、運輸省道路局 (DOH) が管轄する道路延長が約 67,510km であるので、1km 当たり約 281,000 バーツ(約 95 万円)となる。また運輸省地方道路局(DRR) で管理している地方橋の平均維持管理費用は 1 km 当たり 200,000~300,000Baht(約 50~90 万円程度)であり、橋梁数から判断すると十分な予算が確保されているとは言い難い状況である¹¹¹。

事後保全の手法では、補修費・更新費は橋梁数が少ない段階では大きな負担とならないが、補修対象の増加に伴って今後高額になることが想定される。高まるインフラの新設需要に応えるために、対応を先送りして重大な劣化・損傷を放置すれば、崩落等の大事故に繋がる危険性もある。事故発生や機能停止は日常生活や社会活動に大きな影響を生じるため、そのような状態を未然に防止する予防保全が重要となる。

以下に補修するタイミング別の劣化曲線イメージを示すが、日本の場合は国が管理している直轄道路のみでも、予防保全がなされていれば、ライフサイクルコストが 20 年間で約 5000 億円縮減できると予想されている¹¹²。一方、構造物が壊れてから(寿命を迎えてから)補修する場合、建設当初の性能まで回復することはなく、補修後の寿命も短い。

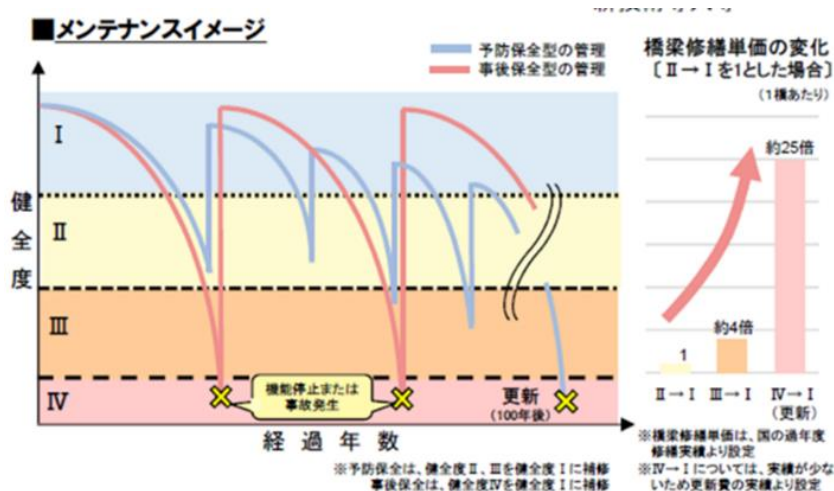


図 4 6 事後保全及び予防保全のメンテナンスイメージ¹¹³

タイ国の運輸省道路局 (DOH) においても、予防保全の有益性は認識されつつあり、予防保全の導入によって運輸省道路局 (DOH) で管理している道路のライフサイクルコストが 1/6 に縮減できると試算されている。しかしながら、先述の通り依然として事後保全の考え

¹¹¹ JICA 2013 年「タイ国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」

日本の場合、国土交通省の直轄国道の 1 年間の 1km 当たりの平均維持管理費用は約 1,000 万円であるので、タイでは、日本の 10 分の 1 の予算しか確保されていないことになる。

¹¹² 予防保全の場合は約 4.2~4.9 兆円/20 年、事後保全の場合は約 4.7~5.5 兆円/20 年

¹¹³ 国土交通省「平成 21 年度国土交通白書」

事後保全とは、構造物が壊れてから(寿命を迎えてから)、その都度損傷箇所を補修すること。

予防保全とは、構造物が壊れる前に(寿命を迎える前に)、対策を施し延命化を図ること。

方に則ってメンテナンスされているのが実情であり、予防保全に対する認識が向上し予算計画の考え方が変化するまでになるためには、日本と同様に法制度の改正が重要であると考えられる¹¹⁴。

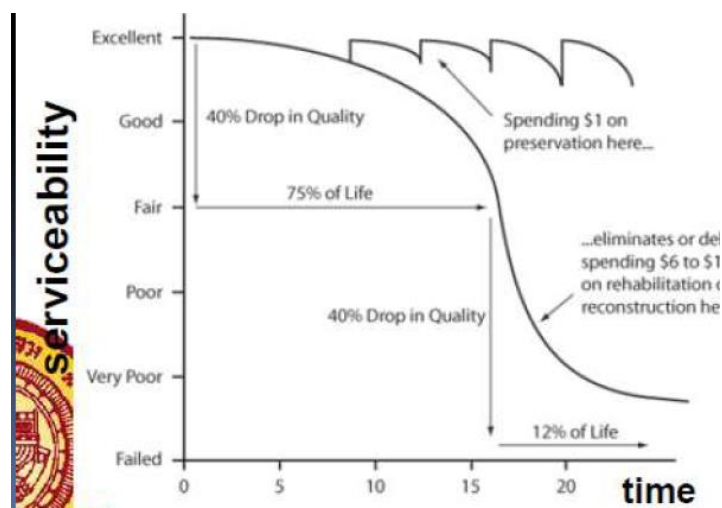


図 4 7 タイでの事後保全及び予防保全のメンテナンスイメージ¹¹⁵

1-2 当該開発課題に関連する開発計画、政策、法令等

タイ国における全国レベルの政策プランとしては、「国家経済社会開発計画」がある。「国家経済社会開発計画」は国家経済社会開発庁(NESDB)が作成し、内閣により承認され、政令として発布される。現行の第 12 次計画は、「⑨地域開発、都市開発、経済エリア開発」において、国内のインフラ開発、周辺国との運輸・物流システムの構築の促進の重要性が示されている。NESDB の道路・鉄道分野に係る認識は、以下のとおりである¹¹⁶。

- ✓ 道路分野は鉄道への重点シフトに伴い、維持管理に移行していく。
- ✓ 鉄道分野は鉄道網強化のため新規投資を重点的に行う。

1-3 当該開発課題に関連する我が国の国別開発協力方針

我が国の「対タイ王国 事業展開計画(2016 年 4 月)」において、「持続的な経済の発展と成熟する社会への対応」が重点分野の開発課題に挙げられており、「社会の成熟化に伴いタイ国だけでは解決が困難な課題について日本の知見・経験も活用した支援に取り組む(一部抜粋)」と謳われている。

先述の通り、タイ国は 1980 年代に活発化したインフラ建設の影響で、今後ますますインフラの老朽化に直面する時代に突入する。このような状況を踏まえ、我が国としては

¹¹⁴ 運輸省道路局 (DOH)やタイ国有鉄道(SRT)へのヒアリング (2018/7)

¹¹⁵ DOH 提供資料

¹¹⁶ バンコク日本人商工会議所「タイ国経済概況(2016/2017 年版)」

「持続的な経済の発展と成熟する社会への対応」としてインフラメンテナンスの品質向上とコスト削減を目的とした支援策を検討する必要がある。

1-4 当該開発課題に関連する ODA 事業及び他ドナーの先行事例分析

1-4-1 タイ国に対する我が国の ODA

我が国は、タイ国にとって最大の ODA 供与国(累積)となっている。日本は 1960 年代後半から始まった有償資金協力(円借款)により、国民の生活に必要なインフラの新規整備(バンコク都内の地下鉄、高速道路、港湾等のインフラ施設等)が現在に至るまで行われてきており、タイ国の発展に大きく貢献してきた。

タイ向けODA実績

(単位：億円)

実施年度	有償資金協力	無償資金協力	技術協力
2004	0	5.01	47.02
2005	354.3	2.36	35.53
2006	0	1.61	29.60
2007	624.42	1.79	24.47
2008	630.18	2.57	18.60
2009	44.62	8.32	24.11
2010	239.46	11.55	27.98
2011	0	3.06	35.29
2012	0	89.86	34.79
2013	0	1.78	27.69
2014	0	2.31	17.43
2015	382.03	11.68	23.95
2016	1,668.60	2.38	25.62
累計	24,036.84	1,719.15	2,291.99

図 48 タイ国向け日本からの ODA 実績¹¹⁷

道路・橋梁分野においては、バンコク都内及びその近郊を中心に、高速道路・幹線道路建設や都市部の高架橋建設等が行われてきたが、その中でもチャオプラヤ川を渡河する橋梁 20 のうち、日本の戦後賠償及び ODA により整備された橋梁は 13 橋(メモリアル橋の補修 1 橋含む)にのぼる。

¹¹⁷ 外務省「外務省政府開発援助(ODA)国別データブック」2017年
<https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/files/000367699.pdf#page=27>

番号	橋梁名	管理機関	供用年	橋長 (m) (メインスパン)	上部構造	日本の ODAの有 無
1	ラマ6世橋 Rama6世橋 (鉄道橋)	SRT	1926	(120)	鋼トラス	無
2	メモリアル橋 Memorial橋	DRR	1932	234	鋼トラス	円借款
3	クルントン橋 KrungThon橋	DRR	1958	(64)	鋼トラス	無
4	ノンタプリ橋 Nonthaburi橋	DOH	1959	(64)	鋼トラス	無
5	クルンテープ橋 KrungThep橋	DRR	1959	350	鋼トラス	戦後賠償
6	プラ・ピンクラオ橋 Pinklao橋	DRR	1973	280	PC箱桁	円借款
7	プラ・チャオ・タクシン橋 Taksin橋	DRR	1982	224	PC箱桁	円借款
8	パトムタニ橋 PatumTani橋	DOH	1984	239	PC箱桁箱桁	円借款
9	プラ・ポックラオ橋 PhraPokklao橋	DRR	1984	212	PC箱桁	円借款
10	プラ・ナングラオ橋 PhraNangklao橋	DOH	1985	329	PC箱桁箱桁	円借款
11	ラマ9世橋 Rama9世橋	EXAT	1987	781	斜張橋	円借款
12	ラマ7世橋 Rama7世橋	DRR	1992	290	PC箱桁	円借款
13	ラマ3世橋 Rama3世橋	DRR	2000	476	PC箱桁	円借款
14	ラマ5世橋 Rama5世橋	DRR	2002	130	PC箱桁	円借款
15	ラマ8世橋 Rama8世橋	BMA	2002	(300)	斜張橋	無
16	ラマ4世橋 Rama4世橋	DRR	2006	416	PC箱桁箱桁	円借款
17	プミボン橋 (北) IndustrialRingRoad橋(北)	DRR	2006	582	斜張橋	円借款
18	プミボン橋 (南) IndustrialRingRoad橋(南)	DRR	2006	702	斜張橋	円借款
19	カンチャナピセーク橋 Kanchanapisek橋	DOH	2007	(500)	斜張橋	無
20	新プラ・ナングラオ橋 NewPhraNangklao橋	DOH	2008	(229)	PC箱桁箱桁	無
21	パトムタニ2橋 PatumTani2橋	DOH	2009	(160)	PC箱桁箱桁	無

図 49 チャオプラヤ川を渡河する橋梁と日本のODA

表 5 JICA における過去の関連プロジェクト

実施年度	案件名	スキーム	金額	概要
1999年	バンコク地下鉄建設計画	有償資金協力	458.18億円	フアンボン～パンスー間約20kmの地下鉄建設に係る土木工事（南線、北線、車両基地、軌道、エレベーター及びエスカレーター）を建設。
1999年 03月 ～ 2000年 06月	ラオス国・タイ国第 2 メコン国際橋架橋事業実施設計調査	技術協力プロジェクト		タイ・ラオス両国政府の第 2 メコン国際橋建設に係る円借款要請に基づき、海外経済協力基金(OECF)の資金供与事業と連携して同橋建設のための実施設計調査を実施。 実施内容としては、第メコン国際橋建設のための既存データの収集分析、基本設計（各種設計基準の設定、橋梁・取付道路の位置決定、橋梁形式の決定、平面／縦横断面設計、施工方法の検討）等を実施し施工計画及び維持管理計画の策定した。
2001年	第2メコン国際橋架橋計画	有償資金協力	40.79億円	インドシナをベトナムからミャンマーまで東西に横断する「東西回廊」（ベトナムのダナン港から、ドンハ、ラオスのサバナケット、タイのムクダハンを通して、ミャンマーのモラマインまでを繋ぐ運輸インフラ）構想の一環として、タイ・ラオス国境のメコン河に国際橋梁を建設。
2007年～2010年	バンコク大量輸送網整備事業（パープルライン）（II）	有償資金協力	890.81億円	第1期：2007年（624.42億円） バンコク首都圏において増大する輸送需要へ対処し、交通渋滞の緩和と大気汚染の改善、ひいては地域経済の発展に資するため、バンコクにおける輸送網整備の一環としてパープルラインを建設。 第2期：2010年（166.39億円） バンコク北西部から中心部（パンヤイ～パンスー）に低炭素な交通インフラである都市鉄道（パープルライン、高架23キロメートル・駅舎16駅）を整備。
2010年	ンタブリ1道路チャオプラヤ川橋梁建設事業	開発計画調査型技術協力	73.07億円	交通渋滞の発生が頻繁なバンコク首都圏ノンタブリ県において、チャオプラヤ川に橋梁及び付帯道路（全長約4.3キロメートル（橋梁部分約460メートル）、6車線）を新設。
2009年～2016年	バンコク大量輸送網整備事業（レッドライン）	有償資金協力	2680.81億円	第1期：2009年4月～ 2014年7月（630.18億円） バンコク中心部において、大量輸送システム（レッドライン：パンスー～ランジット区間）の整備を支援。バンコク中心部に都市鉄道レッドライン（パンスー～ランジット区間22.5kmを含む総延長26.4km）を建設。 第2期：2015年（382.03） バンコク首都圏における大量輸送システム整備を実施。具体的には、バンコク都内のパンスーと北部ランジットを結ぶ大量輸送鉄道レッドライン（高架・地上8駅、26キロメートル）の新設を支援。 第3期：2016年9月（1,668.60億円） バンコク首都圏に都市鉄道レッドライン（パンスー～ランジット駅間：約26キロメートル）を建設。レッドライン（パンスー～ランジット区間）の整備（高架、駅舎、車両基地などに係る土木工事、電気・機械システム・車両の調達およびコンサルティングサービス）を実施。
2011年10月～ 2013年7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	技術協力プロジェクト		地方道路及び橋梁の計画・建設・維持管理を行う運輸省地方道路局(DRR)に対して、地方橋梁の整備、補修および維持管理が効率的に行われるための、技術協力プロジェクトを実施。 既存の橋梁基本計画をレビューし、橋梁維持管理体制を整備。橋梁維持管理にかかる橋梁点検、損傷度評価、維持管理計画に関するマニュアル類を作成した。
2018年 6月～ 2023年 5月（予定）	Thailand 4.0を実現するスマート交通戦略	技術協力プロジェクト - 科学技術	3億円	温室効果ガス（GHG）の削減を目標とし、バンコクのスクンビット通りとスクンビット通りに接続する道路で都市交通システムを策定。

上記に加え、本事業に関連する JICA における過去の関連プロジェクト実績としては、「タイ国 インフラ・マネジメント情報収集・確認調査」、「道路・橋梁維持管理に関する情報収集・確認調査」、中小企業海外展開支援事業 普及実証事業「ひび割れ計測システムを活用した橋梁維持管理手法の普及実証事業(2016年9月～2018年2月)」が挙げられる。

「ひび割れ計測システムを活用した橋梁維持管理手法の普及実証事業」では、クモノスコポーレーションの「KUMONOS」というひび割れ計測システムを用いた道路橋梁計測を通じて、劣化状況を正確に把握・管理するための点検手法及び点検データ活用の事業を

行い、予防保全維持管理の導入や点検精度の向上を啓発するセミナー等を開催している。

1-4-2 他ドナーの先行事例

日本に次いで対タイ国経済協力や地域協力を米国、ドイツ、フランス等の各国が実施しており、我が国とも適宜情報・意見交換を行っている。

(支出総額ベース、単位:百万ドル)

暦年	1位	2位	3位	4位	5位	うち日本	合計
2011年	日本 310.40	米国 57.91	ドイツ 19.87	フランス 16.42	オーストラリア 10.33	310.40	447.34
2012年	日本 289.03	米国 53.71	ドイツ 20.45	フランス 13.79	オーストラリア 13.62	289.03	418.15
2013年	日本 607.21	米国 56.66	ドイツ 19.63	フランス 15.26	スウェーデン 8.47	607.21	729.56
2014年	日本 415.72	米国 56.98	英国 21.53	ドイツ 18.83	フランス 13.99	415.72	553.04
2015年	日本 172.76	米国 43.39	ドイツ 14.35	フランス 10.53	英国 5.77	172.76	266.55

出典) OECD/DAC

図 50 主要ドナーの対タイ国への経済協力実績

また国際機関のなかで、インフラ分野で最も積極的に支援を行っているのが世界銀行である。世界銀行はタイ国に対して、これまでに環境保全、廃棄物処理、インフラ整備、気候変動対策等の分野で支援を行ってきている。その内、道路維持管理に関する支援としては、2004年から運輸省道路局(DOH)を対象に実施していた「Highways Management Project¹¹⁸⁾」及び2010年から実施されていた「Additional Financing - Highways Management Project」がある。その内容としては、国道維持管理予算計画策定のためのデータベースの構築、道路維持管理システム¹¹⁹⁾及び橋梁維持管理システムの構築、道路の補修修繕・拡幅工事等があげられる。

またアジア開発銀行(ADB)もインフラ整備の分野でタイ国への支援を行ってきた。道路に関しては、2009年に承認された「Implementation Plan for Strategic Intercity Motorway Network Project」等のプロジェクトがあるが、新規道路ネットワーク整備が中心であり、維持管理に関する支援は特に行われていない。一方、ADBではアジアインフラパートナーシップ信託基金(LEAP: Leading Asia's Private Infrastructure Fund)を2017年に設立し¹²⁰⁾、都市インフラも含めた民間セクターが様々な形態(官民連携パートナーシップ(PPP)、コンセッション、法人等)を通じて実施するインフラ事業などの質の高い民間セクターのインフラ案件を対象とし、出融資による支援を行う予定である。現時点ではタイ国への実績はないが、タイ国を含めたアジア・太平洋地域を対象とした民間によるインフラ整備のための追加融資や出資によって、5億ドルを超える資金提供の準備を進めており、今後事業拡大の可能性があると考えられる。

¹¹⁸⁾ World Bank 2003/10/27 “Thailand - Highways Management Project”
<http://documents.worldbank.org/curated/en/756801468777593399/Thailand-Highways-Management-Project>

¹¹⁹⁾ World bank “Overview of Thailand Infrastructure Development 2018”
<http://siteresources.worldbank.org/INTTHAILAND/Resources/333200-1177475763598/3714275-1234408023295/5826366-1234408105311/chapter1-overview-of-thailand-infrastructure-development.pdf>

¹²⁰⁾ 「JICAとADBのアジアインフラ信託基金、本格始動」 2017/10/04
<https://www.adb.org/ja/news/adb-approves-over-210-million-leap-financing-first-year-operation>

第2章 提案企業、製品・技術

2-1 提案企業の概要

2-1-1 企業情報

提案法人の概要	
1. 法人名	株式会社エムビーエス
2. 代表者名	代表取締役社長 山本 貴士
3. 本社所在地	山口県宇部市西岐波 1173-162
4. 設立年月日(西暦)	1997年6月20日
5. 資本金	335,164千円(2017年5月現在)
6. 従業員数	86名(2017年7月現在)
7. 直近の年商(売上高)	26億6,000万円

2-1-2 海外ビジネス展開の位置づけ

国内における本製品への需要は高く、導入件数も増加している。施工後も補修箇所が目視できる高い透明性を有する本製品の活用によるメンテナンスコストの大幅な抑制は、今後海外においても需要が高まってくると考え、海外での市場参入も検討することとした。

タイ国は東南アジアの中ではインフラ整備が進んでいる国であり、インフラ老朽化への対応ニーズもこれから高くなると想定される。今回の調査予定地であるタイ国を皮切りに、ASEANの中心国であるタイ国の発信力を活かし、他のASEAN諸国(特に地震国であるインドネシアや、中進国であるマレーシア等)への展開を検討する。

2-2 提案製品・技術の概要

2-2-1 ターゲット市場

ODA事業を通じ、「スケルトン防災コーティング」に対する現地大学(チュラロンコーン大学を予定)の品質保証を得たうえで、以下の公的機関インフラへの導入を目指す。

◇バンコク首都圏庁(BMA)：高速道路

◇運輸省道路局(DOH)：国道

◇運輸省地方道路局(DRR)：地方道

◇地方自治体：市町村道路

◇タイ高速道路公社(EXAT)

◇タイ高速度交通公社(MRTA)

◇タイ国有鉄道(SRT)

将来的には、タイ国における実績を活かし、他のアジア諸国のインフラへの導入を目指す。

2-2-2 提案製品・技術の概要

本提案製品である「スケルトン防災コーティング」は、外観を損なわずに橋梁・トンネル等の“はく落”を防止することができ、コンクリートの表面保護ができる 1液ポリウレタン製の透明コーティング材である。

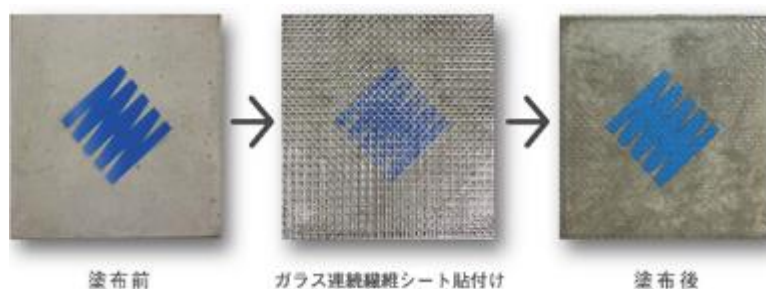


図 5 1 スケルトン防災コーティングの透明性

従来の色付き工法の問題点としては大きく 2 点あり、①コンクリートの表面が目視不可能、②作業工程と使用材料が複雑である点である。特に①の目視確認において、コンクリート構造物は先述したとおり、ひび割れの状況で原因を推測することがあるが、色付き塗料で、表面保護内の異常確認不可能、異常範囲が不明となる。



図 5 2 左 スケルトン防災コーティング、右 従来の色付き塗料



図 5 3 透明であるため、ひび割れのみならず、エフロ¹²¹の発生状況も確認できる

¹²¹ エフロとは、コンクリートに発生したクラック等に雨水や地下水が浸透し、コンクリート内部から流れ出た、水溶性の水酸化カルシウムが大気中の炭酸ガスに触れ、水に不溶の炭酸カルシウムに変化したものである。

②の作業工程と使用材料が複雑である点で管理の手間と時間が必要である。一方、「はく落防災コーティング」は、下地処理後にガラス連続繊維シートをコーティングで挟み込み、ファイナルコーティングで仕上げる 4 層構造のシンプルな方式(2 工程。プライマーが必要ない)である。よって、管理の手間と時間が短縮できる。

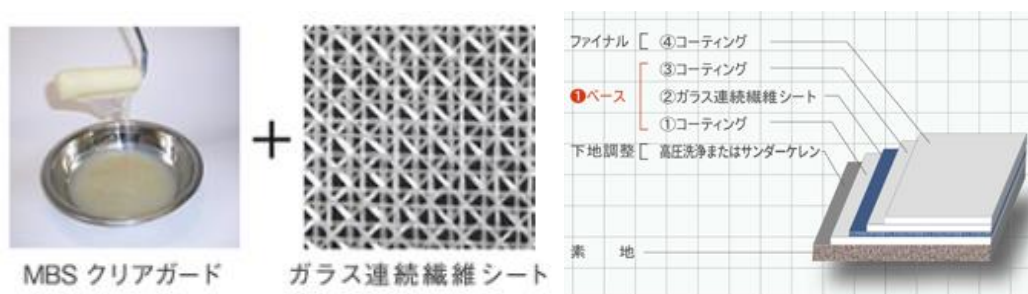


図 5 4 左：使用材料、 右：スケルトン防災コーティングの構造



図 5 5 コーティング後の様子(補修跡が確認可能)

2-2-3 製品・技術のスペック

本製品はコンクリートの表面保護及び「はく落防止工」であり、土木・建築における全てのコンクリート構造物に対応可能である。透明特殊コーティング材とガラス連続繊維シートを組み合わせることにより、これまでに無かった透明性と高い耐久性能を同時に実現した画期的工法である。

以下の図の通り、表面保護工、「はく落防止工」のいずれについても日本の基準を満足している。※下記試験値は J R 西日本の規格を抜粋

試験項目	試験結果	基準値
中性化阻止性	0.0mm	28日間促進、平均0.0mm
遮塩性	定量下限値 ($0.7 \times 10^{-3} \text{mg/cm}^2 \cdot \text{day}$) 以下	$5.0 \times 10^{-3} \text{mg/cm}^2 \cdot \text{day}$ 以下
酸素透過阻止性	$0.9 \times 10^{-2} \text{mg/cm}^2 \cdot \text{day}$	$1.5 \times 10^{-2} \text{mg/cm}^2 \cdot \text{day}$ 以下
耐アルカリ性	「膨れ」「割れ」「はがれ」「軟化」「溶出」のそれぞれに異常を認めない	30日間浸漬、「膨れ」「割れ」「はがれ」「軟化」「溶出」のそれぞれに異常がないこと
水遮断性	0.01g	0.05g 以下
水蒸気透過性	$1.99 \text{mg/cm}^2 \cdot \text{day}$	$0.03 \text{mg/cm}^2 \cdot \text{day}$ 以上

図 5 6 表面保護工としての製品技術のスペック

試験項目	試験結果	基準値
ひび割れ追従性	(促進) 試験不可* (常温) 試験不可*	(促進) 0.3mm 以上 (常温) 0.3mm 以上
押し抜き荷重試験	3.2kN / 1.1kN 時変位 = 4.3mm	1.5kN 以上 / 1.1kN 時変位 \leq 50mm
接着強さ	湿潤: 3.5 / 温冷: 3.8 (N/mm ²)	湿潤: 1.5 / 温冷: 1.5 以上 (N/mm ²)

図 5 7 「はく落防止工」としての製品のスペック

上記に加え、以下の特長も兼ね備えている。

✓ 水蒸気透過性：

下図に示すような水蒸気透過性があり、水蒸気透過性により内部コンクリートの劣化(内部鉄筋の腐食、アルカリシリカ反応等)を抑制する。日本には各機関により定められている基準値があるが、スケルトン防災コーティングはそれらを満たしている。

これらの基準値が決められた背景には、従来は、「表面保護工」としての「防水性」(完全遮水)が重視されていたが、表面保護工のふくれ、はがれの発生や内部コンクリートの過剰水分残留などにより内部鉄筋の腐食促進することが問題視されるようになった経緯がある。

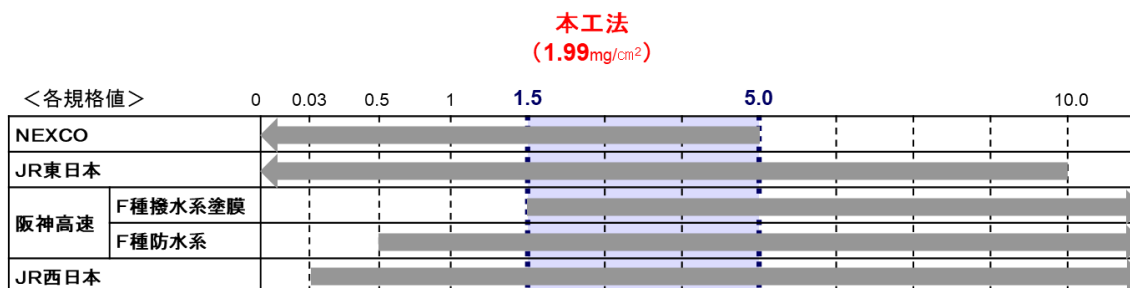


図 5 8 水蒸気透過性



図 59 従来型の表面保護工のふくれ、はがれの様子

✓ 火災時安全性：

火災時に延焼せず、有毒ガスを発生させないことが、試験で実証されている。

(1) 加熱後の残炎なし【難燃】

- ・「トンネル補修材料の延焼性試験方法」
NEXCO試験法 738-2011



(2) マウス平均行動停止時間が基準を満足

- ・「耐火性能試験・評価業務方法書」
4.10 不燃性能試験・評価方法
(日本建築総合試験所制定)



〔試験前〕 ⇒ 15分加熱 ⇒ 〔試験後〕

試験結果

試験項目	試験結果	規格
試験後の寸法 (mm)	6.50×6.50	6.50×6.50
バーナー温度 (℃)	1.500*	1.500*
バーナー温度変動	変動-1	変動-2
燃焼時間 (分)	1.0	1.0
燃焼時間 (分)	0	0
燃焼試験前後寸法 (mm)	1.50	1.50
燃焼試験前後寸法 (mm)	2.00	2.00
試験方法	平均値取得法	平均値取得法

備考
試験中の燃焼時間、燃焼試験終了後、試験試料の寸法を測定し、燃焼試験終了後の寸法と比較して、燃焼試験前後の寸法変化を算出する。
* 燃焼試験終了後、燃焼試験終了後、燃焼試験終了後の寸法を測定する。
① 燃焼試験終了後、燃焼試験終了後の寸法を測定する。
② 燃焼試験終了後、燃焼試験終了後の寸法を測定する。

試験結果 マウス行動記録(抜粋)

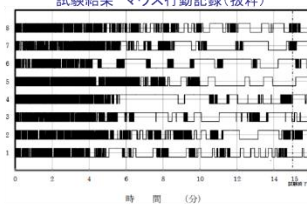


図 60 火災時安全性

✓ 施工性：

従来工法はコンクリート表面の含水率が 5%~8%未満でないとは施工できないことが多いが、スケルトン防災コーティングは、20%未満まで対応可能である。

施工可能な気温も 2°C以上であれば施工可能であり、コンクリート以外にも、鉄とコンクリートの接続部であれば施工可能である。

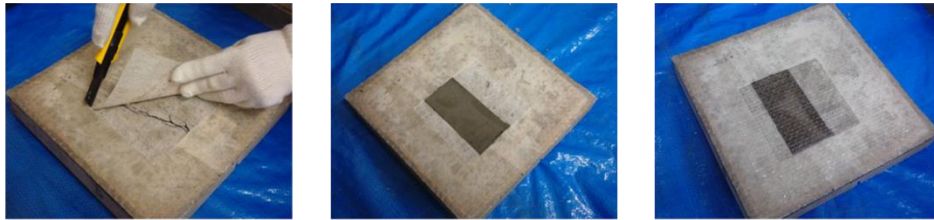
また、資材ヤードや大型重機・機器・車両を必要とせず、50cm の幅があれば施工できるため、狭い場所や部分補修でも導入が可能である。



図 6 1 日本での施工先の例

✓ 補修性：

目視確認が可能な為、コンクリート損傷部に限定した再補修が可能であり、内部コンクリートの軽微な不具合に対し、部分補修が可能である。



小型カッターで部分切除 → 不具合補修 → 部分的な再施工

図 6 2 部分補修の方法

<p>コンクリート表面が透けて見える</p> <ul style="list-style-type: none"> ●点検精度向上 ●メンテナンスコストの抑制 ●異常箇所をすばやく特定 	<p>繊維が柔らかい</p> <ul style="list-style-type: none"> ●細かい部分の施工も可能
<p>シンプルな作業工程と使用材料</p> <ul style="list-style-type: none"> ●30~50%工期短縮 ●使用材料は2種類のみ(プライマー不要) 	<p>構造物の長寿命化</p> <ul style="list-style-type: none"> ●中性化抑止 ●耐候性向上 ●遮水・遮塩性 ●その他諸性能
<p>構造物のじん性向上</p> <ul style="list-style-type: none"> ●構造物の粘り強さ向上・強度再生 ●二次災害の防止 	<p>水蒸気透過性</p> <ul style="list-style-type: none"> ●ASRの抑制 ●防水性を併せ持つ ●膨れ・内部劣化抑制

図 6 3 スケルトン防災コーティングの特長

✓ 製品・技術における特許(国内)

- ◇ 国内：あり(特許第 5727708 号)
- ◇ 海外：なし



✓ 国内外の販売実績

- ◇ NEXCO 西日本、阪神高速道路、山口県や兵庫県等の各都道府県など国内で多くの

橋梁や跨線橋、トンネルで導入されており、日本では全国 430 件以上の実績を保有している。

2-2-4 国内外の競合他社製品との比較優位性

従来の色付き塗料に比べて、①施工対象部分の点検が容易、②細かい部分への施工が可能、③工期が短いといった特長が挙げられる。

	従来の塗料	スケルトン防災コーティング
1 施工対象部分の点検が容易	<p>従来の色付き塗料は紫外線に強くないため、紫外線からの保護として最終工程に有色塗料を施工する。</p> <p>この場合、内部が見えないためにハンマーなどを用いた音での確認が必要であり、点検に膨大な時間が必要。</p> <p>打音検査を行っても、劣化状況の判定が困難な為、点検に膨大な時間が必要。</p>  <p>色付き塗料コーティング施工例</p>	<p>優れた強度をもつガラス連続繊維シートを用いることで透明性を維持することに成功</p> <p>それにより目視で異常を確認し、特定の部分のみ修繕することが可能</p> <p>さらに、内部のコンクリートが劣化して水漏れしだすと白濁するため異常検知しやすい</p>  <p>本製品施工例</p>
2 工期が短い	作業工程・使用材料共に複雑で、膨大な手間と時間が必要	材料は二種類でシンプルな工程のため、従来のコーティングに比べて、工期を 30～50% 圧縮することが可能
3 細かい部分への施工が可能	製品の繊維が硬いまたは厚いため、全面的に覆うことで塗装しており、細かい部分の施工が困難	ガラス連続繊維シートが柔らかく、コンクリートにフィットしやすいため、トンネルのカーブ箇所や高速道路料金所などでも施工が可能

2-3 提案製品・技術の現地適合性

非公開

2-3-1 現地適合性(制度面)

非公開

2-3-2 現地適合性(技術面)

非公開

2-3-3 本邦受入活動

非公開

2-4 開発課題解決貢献可能性

既に「1-1-2 タイ国のインフラ建設の開発課題」で述べた通り、タイ国では今後 10～20 年の間にインフラ老朽化の問題に直面する可能性が指摘されている。更に、タイ国では老朽化以外にも、コンクリートの品質上の問題が見られるケースや品質が劣化しやすい気候環境にある。

現状のタイ国のメンテナンス手法は、事故や機能障害が起こってから対応する事後保全が主体であり、メンテナンスコストは上昇もしくは高止まりしている。いまだインフラの新設需要も活発であり、ASEAN 諸国との競争力確保のためにはインフラ建設も維持管理もどちらも後回しにできない状態となっている。タイ国の道路は老朽化により、今後維持管理時代へ移行すると考えられるが、維持管理に必要な費用が確実に増え、財源で賄えなくなる可能性が高い。

現状は、定期的な目視確認が行われているが、近接目視は義務付けられていない。更に、従来型の色付き塗料などでの補修を行っているため、一部は必然的に目視確認ができない状況となっている。死者を出すほどの事故はないものの、対応を先送りして重大な劣化・損傷を放置すれば、崩落等の大事故に繋がる危険性がある。

既に「2-3 提案製品・技術の現地適合性」に記載のとおり、提案製品は技術的側面からも気候の異なるタイ国において施工することが可能であり、同製品を利用することにより、同製品の持つ高い透明性によって補修後も目視での確認が可能で点検の精度や効率が上げることが可能となる。また利用ニーズの側面からも予防保全手法の文化を啓蒙・浸透させることができれば、タイ国においても利用が拡大する可能性が高い。

以上の観点から、施工が容易であり補修後のメンテナンスを簡素化させる高い透明度を誇る本提案製品の普及は、タイ国のメンテナンスの精度向上及びインフラメンテナンスコストの抑制に貢献することが想定される。

日本では予防保全手法を導入することで、国が管理している直轄道路のみでも、ライフサイクルコストが 20 年間で約 5,000 億円縮減できると推算されている¹²²。スケルトン防災

¹²² 予防保全の場合は約 4.2～4.9 兆円/20 年、事後保全の場合は約 4.7～5.5 兆円/20 年

コーティングを予防保全手法の一環として導入することにより、タイ国も同様に、ライフサイクルコストを縮減できると想定される。

第3章 ODA 案件化

3-1 ODA 案件化概要

3-1-1 ODA 案件概要

普及・実証事業のスキームを活用した ODA 事業の実施を想定している。タイ国の交通インフラを管轄する部署は前述のとおり複数に分かれているため、第三者的立場であるチュロンコーン大学土木工学部をカウンターパートとして「スケルトン防災コーティング」のパイロット導入を行う。

先述の通り、タイ国では 1980 年頃からインフラ建設が活発で、東南アジアの中でもインフラの整備が進んでおり、近年はインフラメンテナンスコストの増大が問題となっている。今後 10～20 年でさらにインフラの老朽化が進む可能性が指摘されており、新設予算の確保のためにもインフラメンテナンスコストの抑制に資する手法の導入が期待されている。

こうした課題の解決が期待される手法として、エムビーエス社の「スケルトン防災コーティング」を活用した実証試験を実施し社会課題解決の貢献可能性を検証する。実証試験を通じて同技術がタイ国におけるインフラのトータルメンテナンスコストを抑制しつつメンテナンス精度を向上させる技術であることを検証するとともに、その実証結果を以ってタイ国内への普及・ビジネス展開を目指す。

よって本案件は以下の 3 つの事業から構成する。

(1)タイ国のインフラにパイロット施工を行いタイ国の環境条件下においても製品が有効に機能することを実証する「実地での実証事業」

(2)第三者機関による製品評価を通じて客観的に製品の有効性を実証する「ラボでの実証事業」

(3)実証事業の結果を以ってタイ国内への技術の普及を目指す「普及事業」

3-1-2 対象地域

対象地域は、バンコク都とする。当該技術はタイ国にとって全く新しい技術であり、ODA 事業の現地での話題性、デモンストレーション効果、ビジネスの中心地であることかを鑑みて、最も大きな普及効果が期待できる地域と判断し、首都バンコク都での実施が適切と判断した。

3-2 ODA 案件内容

3-2-1 事業内容

<p>目的：タイ国において「“はく落”防止・予防保全」に対する認知が広まり、インフラメンテナンスにおいて「スケルトン防災コーティング」がメンテナンスコスト抑制に貢献できることを実証する。</p>	
成果	活動
<p>成果 1</p> <p>スケルトン防災コーティングのパイロット施工及び実験室での検証によって製品の有効性を客観的に実証する</p>	<p>1-1 公的インフラへのパイロット施工(実地での実証)</p> <p>タイ国のインフラにパイロット施工を行いタイ国の環境条件下においても製品が有効に機能することを実証する。</p>
	<p>1-2 ラボでの試験の実施(ラボでの実証)</p> <p>第三者機関のラボでの実証事業による製品評価を通じて、客観的に製品の有効性を客観的に実証する。</p>
<p>成果 2</p> <p>実証事業で得られた結果によって官民におけるスケルトン防災コーティングの技術に対する理解が醸成され、導入が促進される。</p>	<p>2-1 公的機関・民間企業向け普及活動</p> <p>タイ国内の公的機関・民間企業に対し、スケルトン防災コーティングの実証事業における成果を共有するセミナーを開催する。</p>
	<p>2-2 普及展開計画の策定</p> <p>現地のニーズに基づき、ターゲット市場やビジネスモデル、ビジネスパートナーのあるべき姿を定め、財務計画等の具体的な事業計画に落とし込む。</p>
<p>成果 3</p> <p>「“はく落”防止・予防保全」の重要性が社会に十分に認知され、スケルトン防災コーティングの導入のみならず、予防保全のための政策が促進される</p>	<p>3-1 “はく落”防止の試験規格の検討</p> <p>ラボでの実証試験を行うにあたり、日本の試験ガイドラインを参考にしながら「はく落防止工」に対する試験ガイドラインを検討する。またその流布を狙って、チュラロンコーン大学による専門雑誌への論文寄稿を行う。</p>
	<p>3-2 基準化に向けた検討体制構築</p> <p>日本国の予防保全政策などを参考に、タイ国の気候条件下にあった「はく落防止工」の基準値の策定を意図し、技術委員会の組成など基準づくりに向けた体制構築準備を行う。</p>

3-2-2 投入

本事業の実施に係る投入は以下の通りである。

項目	内容
予算(概算)	<p>I.人件費直接人件費・その他原価・一般管理費) 39,680,000 円</p> <p>II.直接経費 131,136,000 円</p> <p>1. 機材製造・購入費 107,354,000 円</p> <p>(1)本邦機材製造・購入費 37,982,000 円</p> <p>①スケルトン防災コーティング(実地試験用)</p> <p>連続繊維シート 2,160,000 円</p> <p>クリアガード 29,900,000 円</p> <p>希釈液 1,440,000 円</p> <p>クラックゲージ 100,000 円</p> <p>4Kカメラ 1,000,000 円</p> <p>データレコーダー 900,000 円</p> <p>データストレージ(SSD) 750,000 円</p> <p>データダウンロードモジュールキット 500,000 円</p> <p>ケーブル 60,000 円</p> <p>交換レンズ(標準) 200,000 円</p> <p>交換レンズ(広角) 200,000 円</p> <p>ノート PC 300,000 円</p> <p>バッテリー 100,000 円</p> <p>三脚 160,000 円</p> <p>PH センサ 100,000 円</p> <p>②スケルトン防災コーティング(ラボ用)</p> <p>連続繊維シート 7,200 円</p> <p>クリアガード 100,000 円</p> <p>希釈液 4,800 円</p> <p>(2)現地機材製造・購入費 3,316,000 円</p> <p>環境因子センサ(温度・湿度) 500,000 円</p> <p>含水計 500,000 円</p> <p>露出計 100,000 円</p> <p>スチールディスク 36,000 円</p> <p>透明度試験用の機材(光学繊維) 500,000 円</p> <p>副資材(ローラー等) 1,680,000 円</p> <p>(3) 現地工事費 46,940,000 円</p> <p>事前インスペクション 1,000,000 円</p> <p>施工 45,940,000 円</p> <p>(4) 輸送費(空輸) 10,000,000 円</p> <p>(5) 関税・付加価値税 (VAT) 等 9,116,000 円</p> <p>2.旅費 17,777,000 円</p> <p>3.現地活動費 3,984,000 円</p> <p>(1)車両(100 日) 1,038,000 円</p>

	<p>(2)通訳(30日) 1,350,000円 (3)現地再委託費 1,596,000円 パンフレット翻訳(英語・タイ語) 91,000円 延焼性試験(6サンプル) 700,000円 張力試験(6サンプル) 175,000円 プルアウト法による強度推定試験(12サンプル) 350,000円 曲げ試験(1サンプル) 280,000円</p> <p>4,本邦受入活動費 2,021,000円</p> <p>III. 管理費 13,038,000円</p> <p>合計(税抜) 183,854,000円 合計(税込) 198,562,320円</p>
<p>投入 (日本国側)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 製品 <ul style="list-style-type: none"> - スケルトン防災コーティング(連続繊維シート、クリアガード、希釈液) - クラックゲージ - 4Kカメラ - データレコーダー - データストレージ(SSD) - データダウンロードモジュールキット - ケーブル - 交換レンズ(標準) - 交換レンズ(広角) - ノートPC - バッテリー - 三脚 - PHセンサー - 環境因子センサー(温度・湿度) - 含水計 - 露出計 - スティールディスク - 透明度試験用の機材(光学繊維) - 副資材(ローラー等) ● スケルトン防災コーティングの施工費・試験に係る委託費 ● スケルトン防災コーティングの施工・維持管理に係る技術移転およびビジネスモデルの開発・構築に係る人材の派遣 ● 普及活動におけるセミナーやイベントの運営
<p>投入 (カウンターパート側)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 事業実施に係る人材配置(総括責任者1名及び実務責任者1名、連絡調整担当者1~2名程度を想定) ● 普及活動におけるセミナーやイベントへの登壇 ● 導入先インフラの提供

3-2-3 実施体制

普及事業における実施体制案を以下に示す。

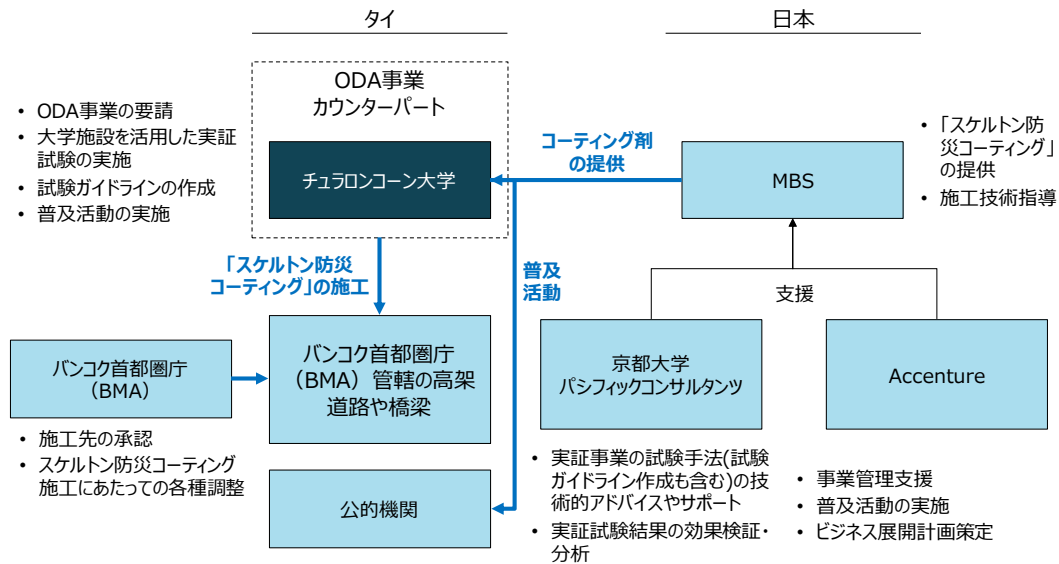


図 6 4 普及事業における実施体制案

- ✓ エムビーエス社からは代表取締役を含む4名が参画して本事業を実施する。
- ✓ 外部人材として、パシフィックコンサルタンツおよび京都大学に全面的な技術的協力を依頼し、実証事業の試験手法(試験ガイドライン作成も含む)に関する技術的アドバイスの提供・実証試験結果の効果検証・分析を委託する。またアクセントゥア株式会社をコンサルタントとして活用し、全体事業管理・本邦受入・アクションプラン協議・セミナー等の開催・市場調査・ビジネス展開計画策定・成果品の作成を委託する。
- ✓ タイ国側ではチュラロンコーン大学土木工学部をカウンターパートとし、大学施設を活用した実証試験の実施・試験ガイドラインの作成等、実証試験における中心的役割を要請する。なおラボ試験についてはチュラロンコーン大学監修のもと外部業者に委託する形で実施する。
- ✓ またバンコク首都圏庁インフラメンテナンス課にも協力を要請し、施工対象候補への施工に係る承認・調整等の協力を要請する。

3-2-4 活動計画

事業実施期間は2年2か月(2019年7月～2021年9月)とする。事業開始直後の半年間は実証試験の準備期間とし、施工対象・手法を確定させるとともに、資材の輸送や施工方法に関する技術指導等を行う。加えてチュラロンコーン大学でのラボ試験に備え、日本の試験ガイドラインを参考にした「タイ国版 “はく落” 防止コーティング向け試験ガイドライン」の策定を行う。

2020年1月より決定した施工先にスケルトン防災コーティングのパイロット施工を開始し、施工後のモニタリングを行う。並行してチュラロンコーン大学ではラボ試験を実施し製品の有効性に係る検証を行う。これらの実証事業を通じて得られた結果をもとに、2020年7月頃より普及活動を実施するとともにビジネス展開計画の策定を行う。

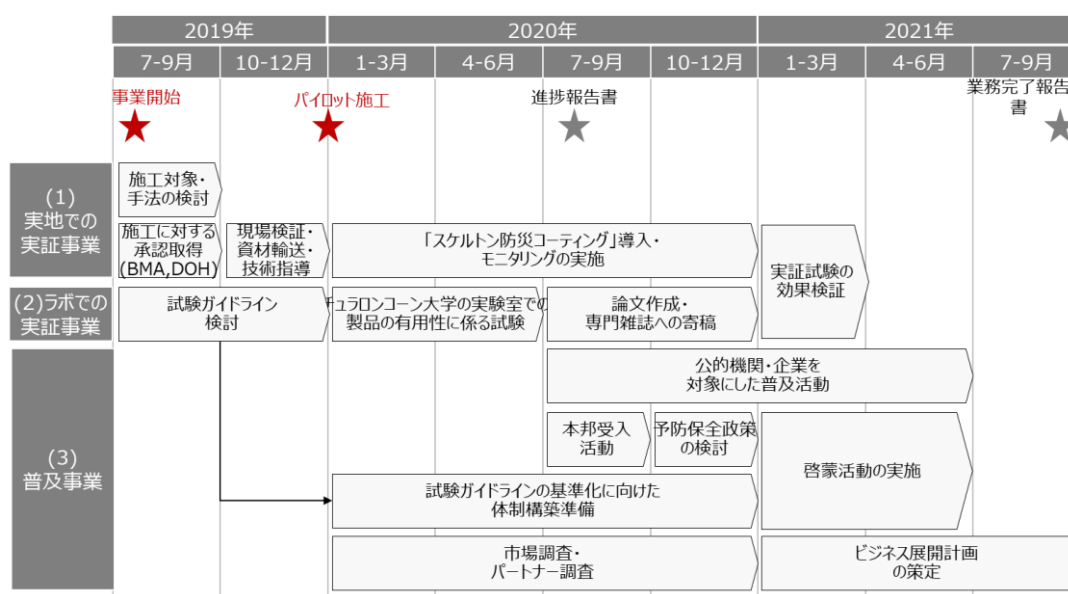


図 6 5 活動計画 (案)

3-3 C/P 候補機関組織・協議状況

3-3-1 C/P 候補機関

第三者的立場であるチュラロンコーン大学土木工学部をカウンターパート候補とする。

チュラロンコーン大学土木工学部は、運輸省道路局 (DOH)、運輸省地方道路局(DRR)、タイ高速道路公社(EXAT)、バンコク首都圏庁(BMA)など、政府に技術指導を提供する大学機関であり、タイ国のインフラ整備に大きな役割を果たしている。

普及・実証事業内では、「スケルトン防災コーティング」の現地における適用可能性、大学施設を活用した実証試験の実施・試験ガイドラインの作成等、実証試験における中心的役割を担う予定である。

カウンターパートとの役割分担については、案件化調査での現地協議を通じて、概ね合意している。また、チュラロンコーン大学土木工学部の学部長 Dr.Supot Teachavorasinskunからは、先述した投入を含めた今後の協業を約束して頂いている。本内容を盛り込んだ関心表明レターは既に受理しており、速やかな普及実証事業の実施に向けた準備が整っている。

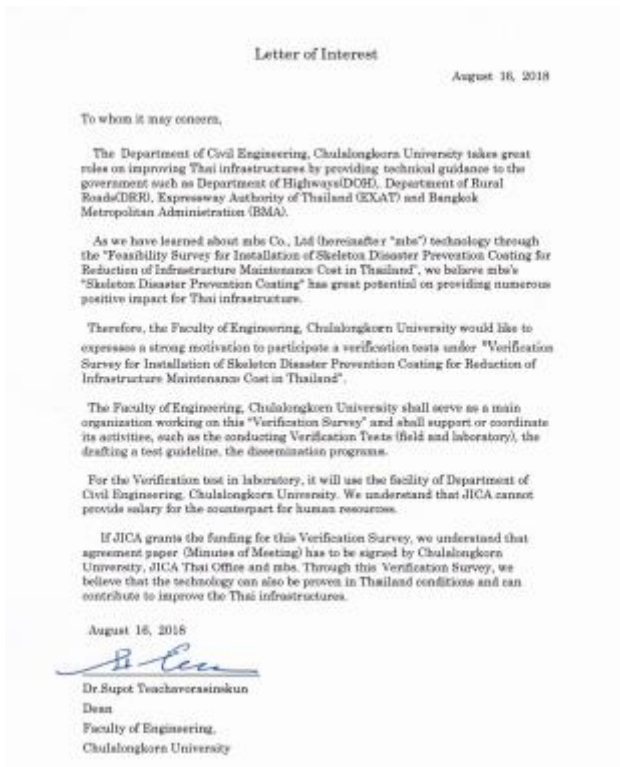


図 6 6 関心表明レター (左) 受理式典の様子 (右、下)

3-3-2 協議状況

普及実証事業内での実施事項および役割分担について C/P 候補との協議を重ねており、第 3 回目渡航では C/P 候補の学部長と詳細な役割分担を含めて協議した。



図 67 チュラロンコーン大学

ア 実証事業

スケルトン防災コーティングのパイロット施工及び実験室での検証によって製品の有効性を客観的に実証する。

(ア) 活動 1-1 実地での実証事業(インフラへのパイロット施工)

a. 事業目的

スケルトン防災コーティングが以下の 4 点で有用であることを実証することを目的とする。

- ① 表面保護：鉄筋コンクリートを劣化因子から保護する防水性、コンクリートの中性化抑制などの表面保護性能
- ② “はく落” 防止：鉄筋腐食などによる鉄筋コンクリート構造物の被りコンクリートの“はく落” 防止性能
- ③ 施工性：日本と比較して高温多湿なタイ国における施工性、およびタイ国における一般土木作業員の施工能力、仮設足場や資材保管方法
- ④ コスト：イニシャルコストのみならず、ライフサイクルコスト、加えて“はく落”による第三者被害のリスクをモデル化した定量的評価

b. 事業内容

(a) 施工対象候補

施工対象候補については、バンコク首都圏庁(BMA)管轄下の Ratchada 高架道路を検討している。現在までに BMA 管轄下の高架道路を中心に 15 橋を概要調査のうち 5 橋を実地調査し、施工性やコンクリートの状態等の観点から選定した。



図 6 8 Ratchada 高架道路の地図¹²³

Ratchada 高架道路¹²⁴

- 形式：PC 連続箱桁橋（プレキャストセグメント）
- 管轄：バンコク首都圏庁（BMA）
- 交差物件：Vipawadee 道路¹²⁵、Donmuang 高速道路¹²⁶（いずれも施工対象外）
- 建設年：1990-1993 年(1993 年に竣工)
- 橋長：1,197 m
- 幅：11.9m
- 幅員構成：車道(片側 3 車線)（歩道なし）
- 建設企業：The Civil Engineering Co., Ltd¹²⁷
- 健全度評価(2016 年): レベル「5」(良い状態である)



図 6 9 Ratchada 高架道路

本候補地は、周囲が開けており、施工性が高い。建設後 25 年経過しているが状態は良く、プレキャストセグメントを用いた PC 構造のため、構造的な不安が少ない。



図 7 0 Ratchada 高架道路の高架下

¹²³ BMA 資料

¹²⁴ 別名 Rhatchavipha 高架道路

¹²⁵ 運輸省道路局 (DOH)が管轄している。

¹²⁶ 「コンセッション道路(Concession Road)」であり、運輸省道路局 (DOH)が管轄しているが、運営はドンムアン高速道路会社であり、運輸省道路局 (DOH)との契約により建設し、道路利用者から料金を徴収して建設資金を回収する公共道路である。

¹²⁷ <https://www.civilengineering.co.th/project-road-2/?lang=en>

現場視察の結果、“はく落”が発生した場合に第三者被害が懸念される状況を確認した。とくに候補地の高架下では露店が数店舗営業するなど、人通りもあり“はく落”を防止する必要性が高い。また、床板下面までが低く、施工後の現場の状況確認が実施しやすいことから、試験施工に適している。

なお、交差物件として運輸省道路局（DOH）管轄の道路もあるが、施工対処候補外である。また、第4次渡航で、DOH に対し、口頭での許可は獲得済である。

施工対象候補が変更になり、運輸省道路局（DOH）への許認可が必要になった場合は、チュラロンコーン大学を通じて DOH への担当部門に協力申請を得る予定である。



図 7 1 高架下で営業している露店の様子



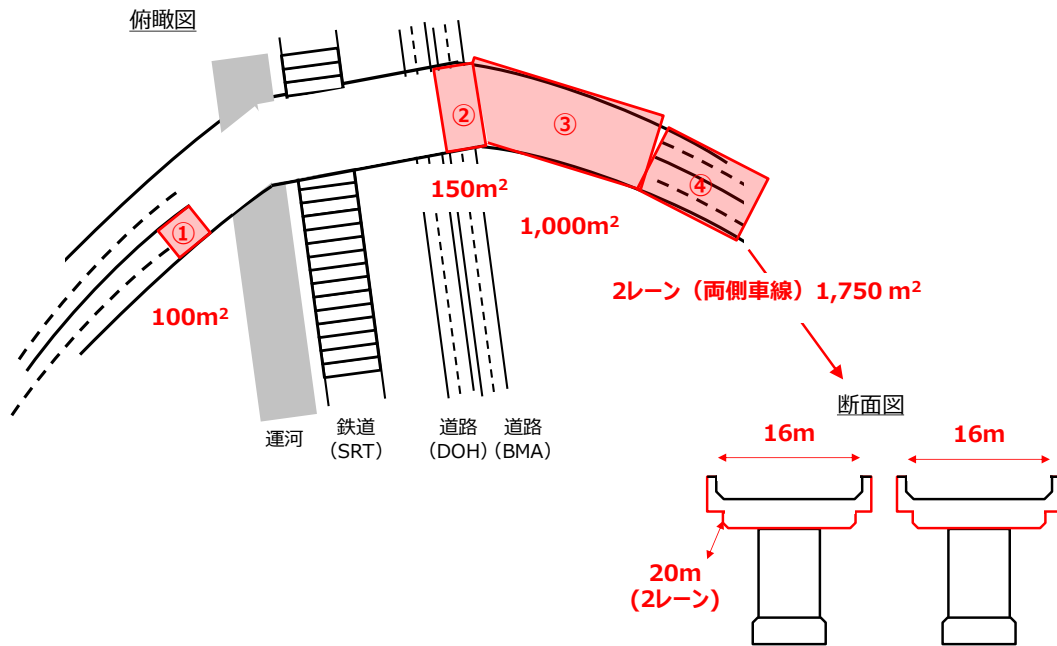
図 7 2 “はく落”が発生したと推測される痕跡


(b) 施工方法に関する方針

✓ 施工範囲：A-D の計 2,000 m²



施工範囲については、下記の4カ所での施工を検討している。

実証試験（案） Ratchada（ラチャダー）高架道路施工箇所




	施工面積	選定理由	施工後試験
エリア A (炭素繊維シートとの比較) 	100 m ² ¹²⁸	対比施工 2006 年に施工された炭素繊維シートの施工箇所の隣に、スケルトン防災コーティングを施工することで、色付き塗料と透明な塗料でひび割れの状態確認の対比を確認する。	「①表面保護」 ✓ 透明度試験 施工時にクラックゲージを埋め込んで塗装し、スケルトン防災コーティングが透明であることから施工後にもひび割れを目視確認できることを証明する。 ✓ 中性化状況 内部鉄筋の腐食原因である中性化について、コンクリートの pH 値を定期的にモニタリングする。
エリア B (施工性確認)	150 m ²	施工性 今後のタイにおける施工を見据え、交通	「②“はく落”防止」 ✓ 施工性 施工時には、地場の施工業者を

¹²⁸ 2006 年に BMA の仮設保管庫で火災発生し、床板の一部が損傷。2006 年（12 年前）に 100 m²を補修（炭素繊維シート）している。（Veethech 社ヒアリング（2018/8））

		<p>量の多い場所に施工することにより、現地施工業者の施工性の確認とともに、交通規制の実施方法等を確認する。</p>	<p>活用することによってタイ国における一般土木作業員の技能力、仮設足場や資材保管方法、交通規制などの施工環境の違いに着目した調査を行う。</p> <p>「①表面保護」</p> <p>✓ 透明度試験</p> <p>施工時にクラックゲージを埋め込んで塗装し、施工前と施工後の外観を比較し、交通量の多い環境下においても外観を損なわない程度に施工されている様子(すすの汚れが目視確認可能な程度であることや水・シンナーで清掃可能な程度であること)を確認する。</p>
<p>エリア C (基本性能試験実施)</p> 	<p>1,000 m²</p>	<p>基準値</p> <p>試験結果を比較分析するために基礎設定値の場所として選定。また安全性も担保でき、床板下面までが低く、施工後の現場の状況確認が実施しやすい。</p>	<p>「①表面保護」</p> <p>✓ 透明度試験</p> <p>施工時にクラックゲージを埋め込んで塗装し、スケルトン防災コーティングが透明であることから施工後にもひび割れを目視確認できることを証明することで、見学者に施工後もひび割れの目視点検が可能であることを実体験してもらおう。クラックゲージのほかに、企業のロゴや製品紹介動画とリンクさせた QR コードの埋め込みも検討している。</p> <p>または、光学繊維を埋め込むことで、ルーメン値 (lm)¹²⁹を定期的に計測するなど定量的な試験も行う予定である。</p> <p>✓ コンクリートの劣化(中性</p>

¹²⁹ 光の量を示し、数値が大きいほど明るい

			<p>化)のモニタリング コンクリートの pH 値を定期的モニタリング調査する。</p> <p>「② “はく落” 防止」</p> <p>✓ ひずみモニタリング 施工前にひずみセンサを取り付けて対象橋梁の応力を計測するとともに、カメラで撮影した画像を対象に画像解析を行い施工前後(直後・半年後・1年後)の施工部位の変化状況をモニタリングする。</p> <p>✓ 振動モニタリング 加速度センサ導入し、施工前後の走行車両による振動データの収集を行い、振動特性の同定を行い、振動モニタリングによるコンクリート劣化状況の評価可能性について検討を行う。</p> <p>✓ プルアウト法強度推定試験 施工前に、コンクリートの表面に一定間隔おきに銅鉄ディスクを設置させ、接着性の継続性を確認するために 2 カ月に 1 回検査を行う。</p> <p>「③施工性」</p> <p>✓ 施工性を確認 交通規制が必要ない場所で、施工性を確認する。</p>
<p>エリア D(構造変化部分施工性、性能確認)</p> 	<p>1,750 m²</p>	<p>構造の違い 高架道路が二股に分かれており、他の施工箇所と構造が異なる。 異なる構造が存在、構造が変わる箇所に</p>	<p>「①表面保護」</p> <p>✓ 透明度試験 施工時にクラックゲージを埋め込んで塗装する。また光学繊維を埋め込むことで、ルーメンの値 (lm) を定期的に計測するなど</p>

		<p>おける有効性を確認する。</p>	<p>定量的な試験も行う予定である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ コンクリートの劣化(中性化)のモニタリング コンクリートの pH 値を定期的にモニタリング調査する。 「② “はく落” 防止」 ✓ ひずみモニタリング 施工前にひずみセンサを取り付けて対象橋梁の応力を計測するとともに、カメラで撮影した画像を対象に画像解析を行い施工前後(直後・半年後・1年後)の施工部位の変化状況をモニタリングする。 ✓ 振動モニタリング 加速度センサ導入し、施工前後の走行車両による振動データの収集を行い、振動特性の同定を行い、振動モニタリングによるコンクリート劣化状況の評価可能性について検討を行う。 ✓ プルアウト法強度推定試験 施工前に、コンクリートの表面に一定間隔おきに銅鉄ディスクを設置させ、接着性の継続性を確認するために 2 カ月に 1 回検査を行う。
--	--	---------------------	--

- ✓ 施工手法：
下地補修を実施した上で、エムビーエス社のスケルトン防災コーティングを施工。
- ✓ 施工期間：約 2 カ月(最大 60 日間を想定)
- ✓ 実施体制：エムビーエス社の社員 2 名が技術指導・現場指揮を行い、施工は地場の外部業者に委託する。委託先の施工人員は 9 名を想定(1 チーム 3 名で、3 チームが同時作業予定)。

(c) 施工後のモニタリング手法

① 表面保護：

✓ 透明度試験

施工時にクラックゲージを埋め込んで塗装し、スケルトン防災コーティングが透明であることから施工後にもクラックゲージを目視確認できることを証明することで、見学者に施工後もひび割れの目視点検が可能であることを実体験してもらう。クラックゲージのほか、企業のロゴや製品紹介動画とリンクさせた QR コードの埋め込みも検討している。または光学繊維を埋め込むことで、ルーメンの値 (lm) を定期的に計測するなど定量的な試験も行う予定である。

また一部施工しない面を作り、気温・湿度・紫外線といった外的要因によって黄変しないことも証明する。

加えて施工前と施工後の外観を比較し、交通量の多い環境下においても外観を損なわない程度に施工されている様子(すすの汚れが目視確認可能な程度であることや水・シンナーで清掃可能な程度であることを)を確認する。

✓ コンクリートの劣化(中性化)状況

内部鉄筋の腐食因子である中性化について、コンクリートの pH 値を定期的にモニタリングし、非施工面は pH 値が変化するのに対し、施工面は pH 値が変化せずコンクリートの腐食状況が進まないことを証明する。pH 値についてはスケルトン防災コーティングの施工部分のコンクリートを一部取り出して調査する。

② “はく落” 防止：

✓ ひずみモニタリング

ひずみセンサを取り付けて対象橋梁の応力を計測するとともに、高画質カメラ(例えば、4Kカメラ)で撮影した画像を対象に画像解析を行い施工前後(例えば、直後・半年後・1年後)の施工部位の応力および変形状況をモニタリングする新しい手法の適用を試みる。画像解析による変状モニタリングの可能性が確認できれば、管理者の定量的な点検をサポートできるスマートフォン・カメラ画像による変状モニタリングに拡張する。但し、ひずみセンサの設置と画像解析による変状調査の基礎データを確保するためにカメラ撮影の際には、不規則な車両通行による不確定要因の増加を最小化するため、通行止めと諸元が既知の車両による走行実験が望ましい。あるいは通行車両が把握できる通行量の少ない時間帯での計測が前提となる。

✓ 振動モニタリング

加速度センサを導入し、施工前と施工後の走行車両による振動データの収集を行う。収集した振動データより振動特性の同定を行い、振動モニタリングによるコンクリート劣化状況の評価可能性について検討を行う。また、ひずみモニタリング結果との融合によるコンク

リート劣化状況の評価精度向上についても検討する。加速度センサの設置場所や導入箇所の詳細については、対象橋梁の事前解析（有限要素解析）によって決めるが、概ね施工対象床板に5箇所、主桁5箇所に設置することとする。なお床板とは車両が走行するコンクリートの床板であり、主桁とは橋の荷重を支える橋軸方向の桁である。ただし、施工対象区間に既に設置されている加速度センサがあり、そのセンサの性能（分解能、周波数応答特性、SN比（信号雑音比））が十分であれば、既設置の加速度センサを活用する。

✓ プルアウト法強度推定試験

施工前に、コンクリートの表面に一定間隔おきに銅鉄ディスクを設置させ、コンクリートを引張破断させたときの最大引張荷重から圧縮強度を推定する試験方法である。接着性の継続性を確認するために、2カ月に1回検査を行う（ASTMの規格を参照）。

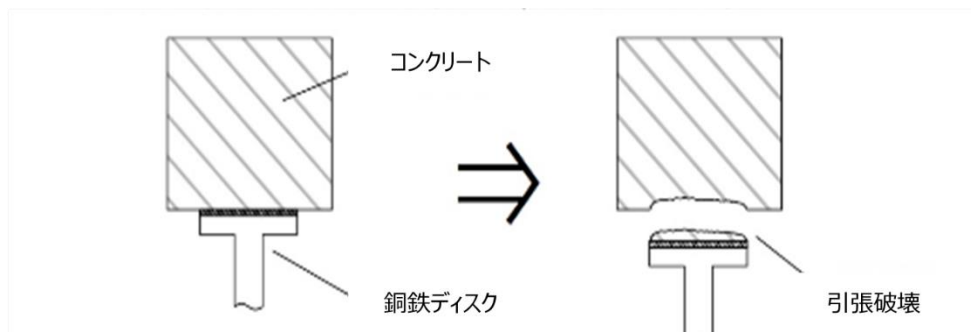


図 7 3 プルアウト法強度推定試験¹³⁰

③ 施工性：

日本と比較して高温多湿なタイ国における施工性を検証するとともに、施工時には地場の施工業者を活用することによってタイ国における一般土木作業員の技能、仮設足場や資材保管方法などの施工環境の違いに着目した補足調査も行う。

④ コスト削減：

✓ 工期短縮・維持管理の容易化・予防保全によるコスト比較

現状のメンテナンス手法によって発生するコストと、スケルトン防災コーティングを活用して新しく予防保全のメンテナンス手法を導入した際に発生するコストを比較する。

予防保全のメンテナンス手法を導入することによって下図のように必要コストが変化するものと考えられる。

なお“はく落”による構造物全体の崩壊が考え難いが、通行車両や通行人への影響は大きな懸念事項である。一方で、途上国の道路管理者や政策立案者にとっては、“はく落”によるリスクを大きく考慮してないのが現状である。それで、補修の費用対効果のコストについては、実際に発生するコストに加えリスク要因を加味することとする。リスクを加味した費

¹³⁰ <https://ga40077.com/concrete-diagnosis/strength-estimation0pull-off-test>

用対効果の検討には、過去に先進国で実際に発生したシナリオに基づき、それがタイ国に発生したときのリスクレベル毎に数値換算を行う。

	補修コスト	点検コスト
Before(現状)	事後の対症療法(大規模修理)	打診点検
After(スケルトン防災コーティング施工後)	事前の予防メンテナンス(スケルトン防災コーティングの施工)	目視点検

(d) 事業終了後のメンテナンス

スケルトン防災コーティングは 施工後、基本的にメンテナンスを必要としないため、メンテナンスは実施しない。事業終了後の定期点検は、BMA が適宜実施する。

(イ) 活動 1-2 ラボでの実証事業(ラボ試験)

a. 事業目的

チュラロンコーン大学内施設での実験を行い、外的環境に影響されない条件下での第三者機関による製品評価を通じて客観的に製品の有効性を実証することを目的とする。

b. 事業内容

チュラロンコーン大学内の実験施設を用いて、チュラロンコーン大学土木工学部の監督のもと、第三者機関に委託する形で以下 4 種類のラボ試験を実施する。なお将来的な基準化を見据え、「“はく落” 防止コーティング」の性能をはかるための試験ガイドラインの策定も併せて行い、チュラロンコーン大学土木工学部よりタイ国に対して提案を行う。

① 耐火性試験

過去にタイ国の橋梁で発生した火事を想定し 500-600℃での燃焼を行い、可燃性・匂い・溶解度/液体化を計測する。実験設備はチュラロンコーン大学の設備を活用する。実験方法については ASTM D6413(米国基準:別添 3)別のガイドラインに準拠した方法で実施することを想定しているが、最終的には日本の試験ガイドライン (NEXCO 738-2011) を参照しつつ方法を検討する。6 サンプルで必要期間は 2 週間程度を想定。

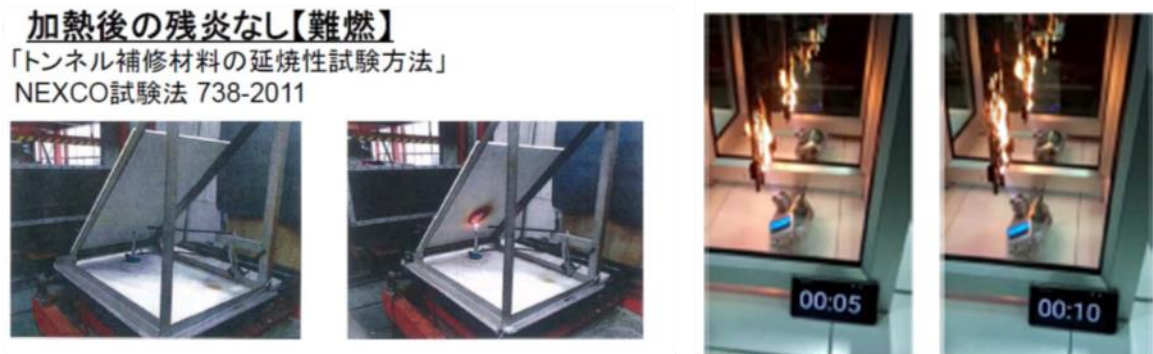


図 7 4 トンネル補修材料の延焼性試験

② 張力試験

2 種類の張力試験(ガラス繊維シートのみ、コンクリートにスケルトン防災コーティングを施工した状態)を行う。また張力に加えて破損した際の形状や、ハイスピードカメラを用いて破損タイミングについても計測を行う。実験設備はチュラロンコーン大学の設備を活用する。6 サンプルを想定。



図 7 5 ガラス繊維シートの張力試験

③ プルアウト法による強度推定試験

10cm のコンクリート板にスケルトン防災コーティングを施し、どのタイミングで破損するかを測定する。12 サンプルを想定しているが、サンプルのうち半分については、長期間の試験(6 か月程度の期間、雨に曝した状態にしたコンクリートにて検証)を実施する。他方で短期間の試験については水に濡らすことなく通常の状態で行うこととする。

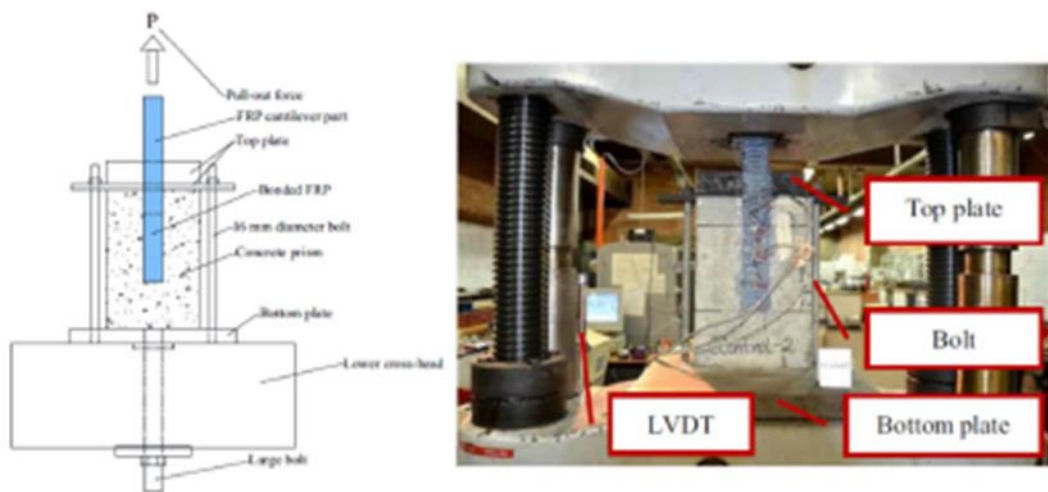


図 7 6 引抜き試験

④ 曲げ試験

20-25cm のコンクリートスラブを対象として圧力をかけ、コーティングとコンクリートのどちらが先に破損するのかを検証する。1 サンプルで必要期間は 2 週間程度を想定。

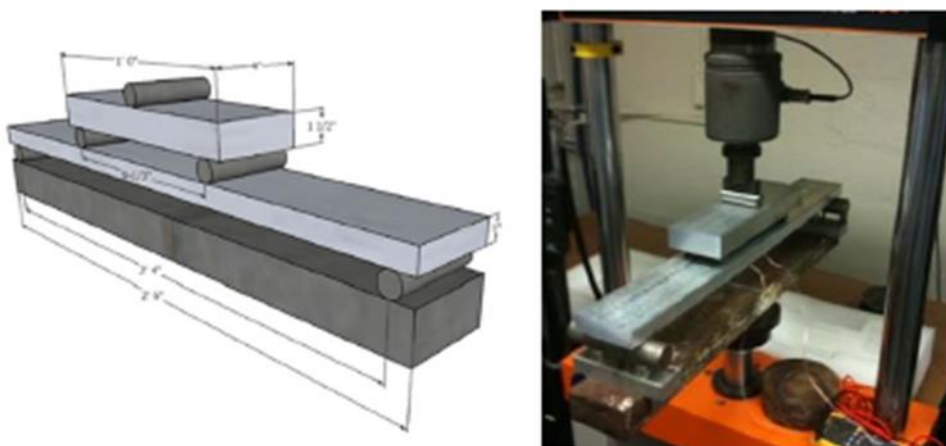


図 7 7 曲げ試験

イ 普及事業

(ア) 事業目的

上記の実証事業の結果を以って、タイ国における「はく落」防止・予防保全」という考え方の啓蒙活動も含め、スケルトン防災コーティング技術が普及・ビジネス展開することを目的とする。

(イ) 事業内容

a. 活動 2-1 セミナーや展示会の開催

チュラロンコーン大学主催で公的機関を含めた各関係者を集めたセミナーを開催。京都大学の教授による基調講演も行い、日本のメンテナンス手法の意見交換の場とする。また下記の展示会と同時開催される学術セミナーでの発表も行う。

展示会への出展は、以下の様な場所への展示を想定している。

✓ 例 1：タイ建設協会(Thai Contractors Association)+ BMAM 主催

「BMAM Expo Asia 2018 - International Exhibition and Conference on Building Maintenance & Facilities Management」

(2018 年は 9 月に開催、規模：150 社、5400 人規模、10 カ国以上)

✓ 例 2：日本能率協会(JMA)産業振興センター「インフラ&プラントメンテナンスショー ケース in タイ」

(2018 年は 6 月に開催、規模：20 ブース、1000 名)

b. 活動 2-2 市場調査・パートナー調査・普及展開計画の作成

市場分析、競合分析等を踏まえ、ビジネス展開アプローチを検討のうえ、現地販売価格・数量の試算から事業計画を作成する。

ウ 啓蒙活動

① 活動 3-1 “はく落” 防止の試験規格の検討

ラボでの実証試験を行うにあたり、日本の試験ガイドラインを参考にしながらタイ国仕様の「はく落防止工」に対する試験ガイドラインを検討する。またその流布を狙って、チュラロンコーン大学による専門雑誌への論文寄稿を行う。

② 活動 3-2 基準化に向けた検討体制構築

将来的にはタイ国の気候条件下にあった基準値の策定を意図し、技術委員会の組成など基準づくりに向けた体制構築準備を行う。並行してタイ国の公的機関におけるインフラメンテナンス担当官を対象に本邦受入活動を行い、日本における予防保全の技術移転を図るとともに、タイ国での予防保全政策の検討を促す。

3-4 他 ODA 事業との連携可能性

他 ODA 事業との連携可能性としては、2018 年 1 月に事業が終了した「タイ国 ひび割れ計測システムを活用した橋梁維持管理手法の普及・実証事業」のクモノスコーポレーション株式会社の「KUMONOS」を活用して、パイロット施工の事前インスペクションでの計測サービスの依頼も検討中である。

3-5 ODA 案件形成における課題・リスクと対応策

3-5-1 課題・リスクと対応策(制度面)

実証事業内でパイロット施工を想定するインフラは、C/P 候補管轄のものではないため、当該インフラを管轄する組織より許認可を別途取得する必要がある。候補例として挙げた Ratchada 高架道路をチュラロンコーン大学を通じてバンコク首都圏庁(BMA)より推薦を受けたインフラであるものの、BMA 内での許認可プロセスに加え、場合によっては DOH や交通整備のために警察署へも許認可が必要となると想定されるため、事業の開始が遅れる可能性もある。

本案件化調査内で、C/P および関連政府機関と密にコミュニケーションを行うことで対応する想定である。

3-5-2 課題・リスクと対応策(実施)

ア 施工時に伴うリスク

① 施工候補先の修繕計画

施工対象候補である Ratchada 高架道路では、2020 年の 10 月、または 2021 年に修繕計画を検討中である。計画では、橋梁の接合 (Joint) 部分及び 2016 年に実施された点検評価で補修の必要性が見られる箇所を検討中である。本件については、現在本事業で施工対象としている箇所ではない旨を BMA 側から確認できており、調整の必要はない想定している。BMA の最終的な決定を受けて、関連政府機関と密にコミュニケーションを行うことで対応する予定である¹³¹。

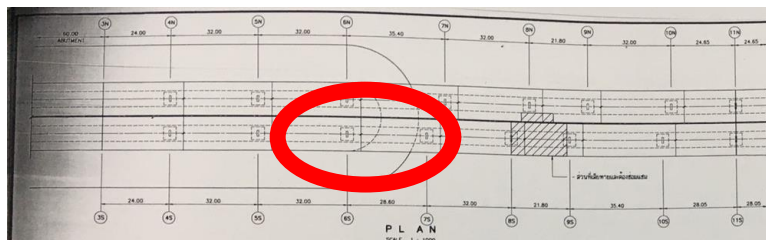


図 78 修繕計画箇所 1 (路面) 132

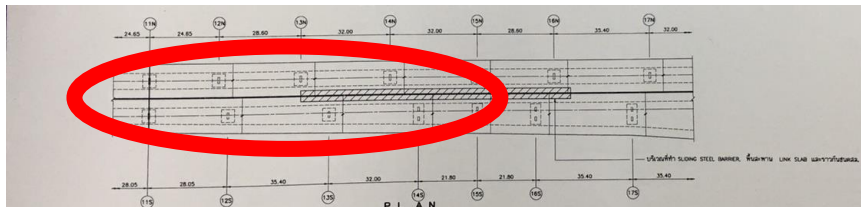


図 79 修繕計画箇所 2 (路面) 133

¹³¹ BMA ヒアリング (2018/8)

¹³² BMA 提供 (2018/8)

¹³³ BMA 提供 (2018/8)

番号	損傷箇所の位置	ひび割れ 大きさ	点検 評価	損傷箇所 写真
①	路面	0.90 m ²	3	 ①
②	路面	0.90 m ²	4	 ②
③	高欄部分	1.50 m ²	2	 ③
④	高欄部分	1.00 m ²	3	 ④
⑤	高欄部分	3.00 m ²	2	 ⑤
⑥	高欄部分	1.00 m ²	4	 ⑥
⑦	高欄部分	2.50 m ²	2	 ⑦

図 8 0 BMA が検討中の修繕先¹³⁴

② 事故のリスク

施工時に伴うリスクとしては、高所作業中の足場の崩壊による落下¹³⁵を想定している。本事業の施工においては、日本基準の足場の組み方、もしくは高所作業車を使用することでリスクを回避する予定である。

また、タイ国では、交通量の多い道路で、安全面の配慮が足りず、作業場所でハザードを焚かなかったことによる車両事故なども発生している。よって、本事業では施工パートナー候補は、交通整備の安全確保を順守している企業を施工業者を選定する予定である。更に、全ての作業手順に関しては、施工業者と十分に協議を行い、安全対策・周辺環境を確認する予定である。



図 8 1 高所作業中に発生した事故の様子

¹³⁴ JICA 調査団作成 (BMA 提供資料参考)

¹³⁵ タイ国において過去、高速道路の高所作業中に、足場の一部の鉄筋が落下し、駐車場に止めていた車両に衝突するといった事故が発生している。 <https://today.line.me/th/pc/article>



図 8 2 現地パートナー候補が実施している交通整備の様子

3-6 期待される開発効果

タイ国の道路や橋梁等のインフラにおいては、今後 10～20 年で老朽化が進み、“はく落”のリスクが高まる。既にメンテナンスコストが膨れ上がっている中、“はく落”が起きるとその修繕費に加え、崩落のリスクも高まるため、インフラ新設に回す予算がさらに圧迫される。

エムビーエスの防災コーティング費用は、単年のみで見た場合、現行の予防保全と比べて 10 倍以上の施工単価であるため、コストメリットは出ない。しかしながら、施工効果に大幅な違いがある。その結果、長期的目線で見えた場合、エムビーエスの防災コーティングではトータルメンテナンスコストの面で大きな開発効果が見込まれる。

現行の予防保全は事後保全の実施頻度を多少低減する効果にとどまり、いわば多少の延命治療のようなものである。その結果、現行の予防保全を実施したとしてもインフラの健全度は着実に落ちていき、建設 30 年後に取り壊さざるを得ないようなメンテナンス手法となっている。

一方、エムビーエスの防災コーティングは、“はく落”、崩落のリスクを抑えることができ、インフラの劣化を遅延させる効果がある。加えて、施工箇所が透明なために点検精度が向上し、修繕後の当該箇所の経過を的確に把握することができる。その結果、修繕が必要な箇所、タイミングを適切に見極めることができるため、取り壊しが必要な状態に陥る前に適切なメンテナンスを実施することができるようになる。

健全度の状態の良いレベル「4」、「5」のインフラについては、現在の健全度を維持することで 30 年以上問題なく利用できる見込みである。そこで、健全度「4」、「5」のインフラに対して、エムビーエスの防災コーティングを導入することで、取り壊し、建て替えを極力不要とするようなメンテナンス手法を提供できる。その結果、最長で 30 年の長いスパンで見えた時のトータルメンテナンスコストにおいて、特に建替費用の削減効果の面で大幅にメリットが創出できると想定している。

DOH の現状のオペレーションをベースに、定量的な開発効果を算出したところ、2018 年から 2037 年の 20 年間積算で約 278 億パーツ（約 948 億円）、年平均 13.9 億パーツ（約 47.4 億円）となった。詳細の算出前提、方法を以下に示す。

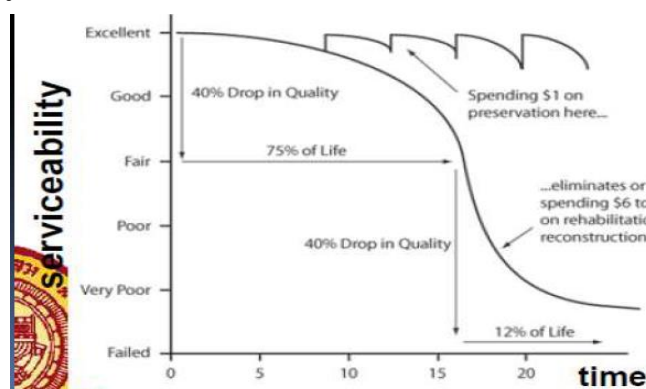
➤ DOH におけるスケルトン防災コーティング施工対象

DOH 管轄の全橋梁約 16,000 橋のうち、スケルトン防災コーティングによる予防保全対象となりうる橋梁は、橋梁状態のよい健全度「4」以上の 5,751 橋（健全度「4」：5,139 橋、健全度「5」：612 橋）である想定される。予算面等から考えると、この中でも現実としては全橋梁が対象とはなり得ない。そこで、今回開発効果の算出にあたり、施工対象としては以下条件を満たす 118 橋梁を選定した。

- ✓ 健全度「4」（予防保全効果が高い）（現時点で建設後 14 年経過）¹³⁶
- ✓ 橋梁長さ 500m 以上（建築物としての規模が大きく、はく落・崩落によるインパクトが大きい）（全体の 2.3%）¹³⁷

➤ DOH における保全コストシミュレーション

上記で対象とした橋梁に対し、現行の保全方法である「事後保全のみ」、およびスケルトン防災コーティングを施工する保全方法「予防保全導入」の 2 通りについてシミュレーションを実施した。シミュレーションにあたり、以下に示した DOH 発表のコンクリート構造物劣化モデル、および DOH からヒアリングした現行の保全方針を参考にした。



各健全度における劣化までの年数

- ✓ “Excellent”（健全度「5」） → “Good”（健全度「4」）： 14 年
- ✓ “Good”（健全度「4」） → “Fair”（健全度「3」）： 2 年
- ✓ “Fair”（健全度「3」） → “Poor”（健全度「2」）： 1 年

図 8 3 DOH 発表のコンクリート構造物劣化モデル

¹³⁶ DOH 発表のコンクリート構造物劣化モデルに準ずる

¹³⁷ DOH ヒアリング(2018/6)

事後保全のみ（現行方式）

- 健全度 2 以下に達した場合、事後保全で即時対応し、健全度 4 に回復
- 予防保全実施なし
- 建設後 30 年で建替え*
- 費用
- ✓ (建替え) : 154,927,846 THB/橋
- ✓ (事後保全) 健全度 2→4 : 5,630,631 THB/橋

予防保全導入

- 初回予防保全時は MBS 予防保全を実施
- 4 年おきに現地形式の予防保全実施
- MBS 製品を用いた予防保全を実施後は建替えなし*
- 保全費用
- ✓ (予防保全) MBS : 29,884,500 THB/橋
- ✓ (予防保全) 現地形式 : 1,482,383 THB/橋

* 建設後 30 年以降の橋梁では、一度健全度 2 まで劣化した場合、予防保全では建て替えを防ぐことができないが、健全度 4 程度をキープすることで継続して利用可能 (DOH ヒアリングおよび DOH 構造劣化モデルより)

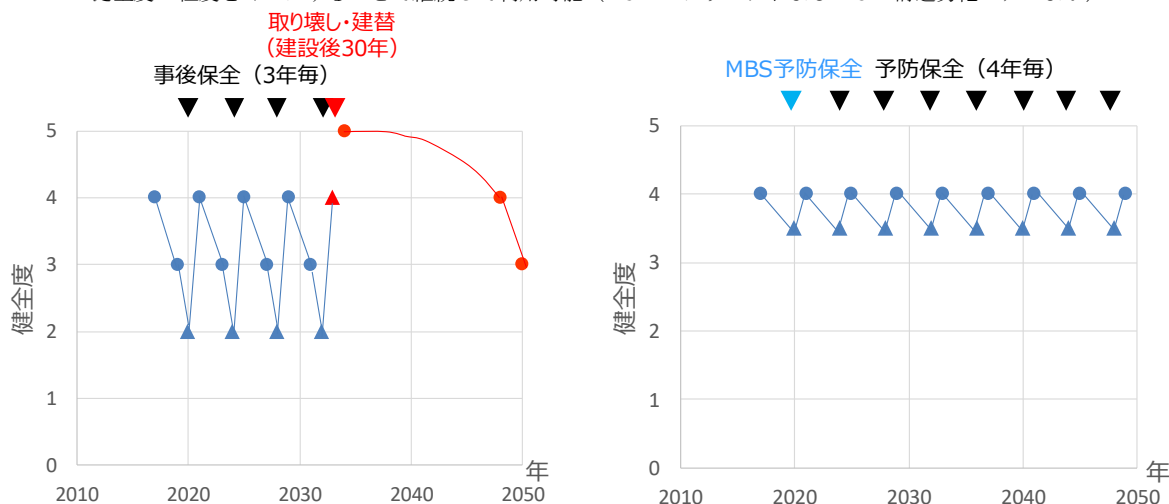


図 8.4 算出条件と健全度の推移 (DOH ヒアリングによる)
(左: 事後保全のみ (現行方式) 右: 予防保全導入)

➢ DOH における開発効果

- ✓ 対象橋梁 1 橋当たりの開発効果 (2018 年-2037 年)

上記条件のもと算出した 1 橋当たりの開発効果 (保全コスト削減額) は、2018 年から 2037 年の 20 年間積算で約 1.4 億バーツ (約 4.8 億円) となると予想される。具体的には、2018 年～2033 年の間 (試算開始から 15 年目) までの積算保全費用は、事後保全のみの場合と比べて MBS 予防保全を実施する予防保全導入の場合のほうが 2 倍程度高くなる。しかし、2034 年に事後保全のみの場合は建設後 30 年経過した橋梁の建替えが発生するため、その時点で積算保全費用が大きく逆転し、予防保全導入のメリットが発生する見込みである。

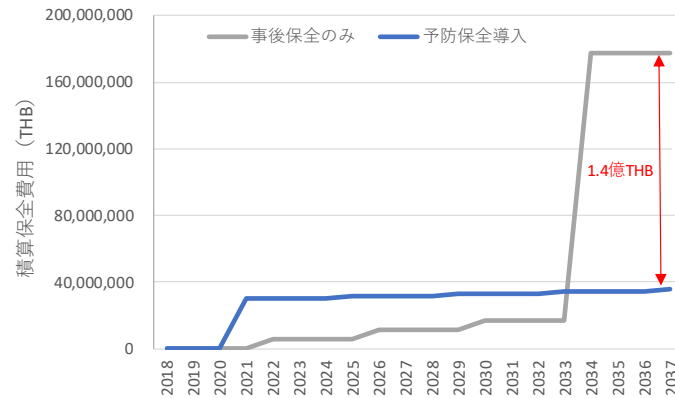


図 8 5 保全コストの積算推移の比較 (事後保全のみ (現状) vs 予防保全導入)

✓ 全対象橋梁における開発効果

全対象橋梁における開発効果は 2018 年から 2037 年の 20 年間積算で約 167 億パーツ (約 571 億円)、年平均約 8.4 億パーツ (約 28.5 億円) の保全コストを削減できると算出された。開発効果の算出には、以下計算式を用いた。

$$\begin{array}{c}
 \boxed{\text{1橋当たりの開発効果}} \times \boxed{\text{健全度「4」の橋梁数}} \times \boxed{\text{橋梁長さ500m以上の比率}} = \boxed{\text{全体の開発効果}} \\
 \text{1.4億パーツ (4.8億円)} \quad \quad \quad \text{5,139橋} \quad \quad \quad \text{2.3\%} \quad \quad \quad \underline{\underline{\text{167億パーツ (571億円)}}}
 \end{array}$$

図 8 6 DOH の全対象橋梁における開発効果算出式

➤ タイ国における全体の開発効果

上記 DOH の算出結果、およびエムビーエスの市場規模推定結果 (後掲載の図 9 8 を参照) を基に、タイ国における全体の開発効果を算出した。その結果、2018 年から 2037 年の 20 年間積算で約 278 億パーツ (約 948 億円)、年平均 13.9 億パーツ (約 47.4 億円) となった。

$$\begin{array}{c}
 \boxed{\text{DOHにおける開発効果}} \times \frac{\boxed{\text{エムビーエスの全市場規模}}}{\boxed{\text{エムビーエスのDOHにおける市場規模}}} = \boxed{\text{全体の開発効果}} \\
 \text{167億パーツ (571億円)} \quad \quad \quad \frac{\text{1,647億パーツ (5,598億円)}}{\text{992億パーツ (3,372億円)}} \quad \quad \quad \underline{\underline{\text{278億パーツ (948億円)}}}
 \end{array}$$

図 8 7 タイ国の全対象橋梁における開発効果算出式

第4章 ビジネス展開計画

4-1 ビジネス展開計画概要

タイ国では「補強材」、あるいは「表面保護材」のマーケットは存在しているが、「はく落防止工」の機能を持った競合製品は現時点で確認できておらず同製品へのマーケットは存在していないと考えられる。これは1章で記載しているとおりタイ国がASTM等の米国のガイドラインを参照していることに起因していると考えられる。同ガイドラインにおいては、「はく落」に関する定義や点検方法の記載はあるものの、その対策(すなわち「はく落防止工」の製品・技術)を評価する基準・ガイドラインは存在していない。

提案製品は「表面保護」および「はく落防止」の機能を有した製品であり、同製品がタイ国の市場で展開していくためには、大きく分けて2つのアプローチが考えられる。

- ①「表面保護」の既存マーケットにおいて競合製品の代替化を狙う
- ②「はく落防止」のマーケットを新規創造する

現時点で提案製品への需要が具体的に確認できるのは「表面保護」機能に対してであり、ビジネス開始当初は①のアプローチで実績を積みながらビジネス展開を図るのが有効であると考えられる。特に需要が確認されているのは遮塩性の機能であり、既存の表面保護塗料では10年に1回塗り替える必要があり特に河川などを跨ぐ橋梁やトンネルでの塗り替え作業には経費がかかっているが、提案製品は一度導入すれば特に内部コンクリートに問題がない限りは30年以上再施工の必要がないため、経済的な側面からもメリットが大きいのではと期待が寄せられている。

①のアプローチで実績を積みながら②のアプローチも並行して進めるが、そのためにはODA事業を通じて予防保全手法に対する認識を啓蒙し製品・技術に対する認知を積み上げていく方法が最も有効である。日本において、第三者被害防止措置要領(ガイドライン)の制定・道路法の改正による近接目視義務化が提案製品導入の起爆剤となったように、タイにおいても予防保全手法への理解が高まり「はく落防止工」に対する法制度・ガイドラインが制定される働きかけを行っていく必要があると考えられる。

販売先ターゲットとしては、まずは道路や橋梁を管轄する省庁や自治体を考えており、なかでも予防保全手法の導入に関心の高い政府機関を有力顧客候補として選定しビジネス展開を図っていく。現時点では、BMAやEXATがビジネス初期段階における有力顧客候補と考えており、事業が拡大していくにつれて大きな市場規模が見込まれるDOHにも展開していきたいと考えている。

4-2 市場分析

4-2-1 市場の定義

非公開

4-2-2 競合の状況

非公開

4-3 バリューチェーン

非公開

4-3-1 生産計画

非公開

4-3-2 販売計画

非公開

4-4 進出形態とパートナー候補

非公開

4-5 収支計画

非公開

4-6 想定される課題・リスクと対応策

4-6-1 投資規制・許認可に対するリスク

非公開

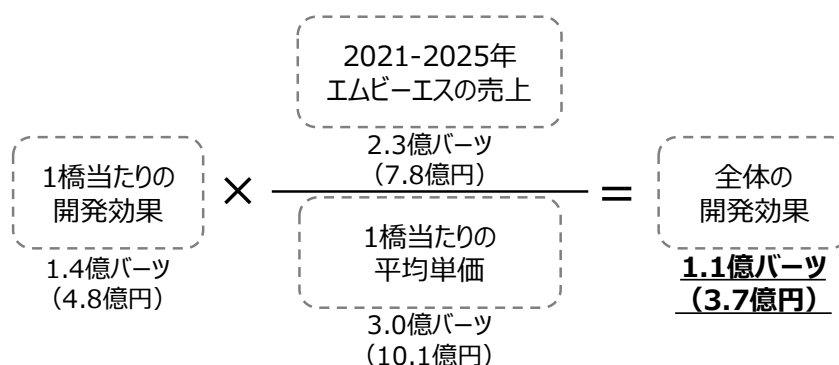
4-6-2 知財流出リスク

非公開

4-7 期待される開発効果

普及・実証事業等の ODA 事業の形で JICA からの支援を得られ、ODA 案件の一環として実施できれば、政府の取り組みであることから通常の事業よりも高いデモンストレーション効果が期待できる。それを通じ他の公的機関(道路や橋梁を管轄する省庁や自治体)への導入が促進されれば、インフラメンテナンスコスト全体の抑制、ひいてはインフラ新設のための必要投資枠の確保を通じたインフラ基盤の強化が可能になることが期待される。

ビジネス展開に伴う定量的な開発効果を以下計算式で算出した結果、2021 年-2025 年の 5 年間で、約 1.1 億パーツ (約 3.7 億円) の開発効果が見込まれ、その後は等比級数的に開発効果が増加することが見込まれる。



4-8 日本国内地元経済・地域活性化への貢献

4-8-1 事業実施による国内の雇用創出、新規開拓、新規開発

ODA 事業を通じ、海外での普及・実証活動の成果を、メディアを通じて発信することによって、国内での認知度向上・販売が促進されることが期待される。また、海外での実証実験は、当社としては初めてとなるため、日本とは異なる環境下における本製品適用の検討の中で技術的な改良点があれば、新規開発の促進にも繋がる。

4-8-2 事業実施による国内関連企業の売上増

タイ国での事業展開においても、当面は生産を日本にて行う想定であることから、関連企業には直接的な売上増の機会を提供することができる。

英文要約

Feasibility Survey for Installation of "Skeleton Disaster Prevention Coating" for Reduction of Infrastructure Maintenance Cost in Thailand Overview (Draft)

Chapter1 : Concerned Development Issues

Since the 1980 in Thailand, the infrastructure for building and construction industry has grown rapidly. Thailand is considered active compared with other neighboring countries in Southeast Asia. Even now, Thailand's net social capital continues to grow, but in the next 10 to 20 years, there are concerns of problems related to infrastructure deterioration.

For example, according to Department of Highways (DOH), which has jurisdiction over the national highway, as of 2016, among the 14,939 road bridges, more than 50 years ago was 338 bridges (2%). Yet, after 10 years, 1,818 bridges (12%) are expected to be over 50 years and its aging will proceed rapidly.

Hence, in recent years, the Thailand roads and bridges maintenance fees has seen a noticeable and substantial increase and it is becoming a critical issue. For example, the maintenance expenses of DOH have remained high in recent years, and noticeable was when the maintenance budget temporarily exceeded the new building budget between 2011-2013.

This is believed to be due to the fact that the infrastructure maintenance method in Thailand is mainly "post-maintenance". As DOH evaluates the health of the infrastructure at six levels from level 0 to 5 using the index OCR (Overall Condition Rating). Currently it is only able to finance the maintenance of infrastructure that are in dire need, which is below OCR level 2.

These method of repairing after having substantial serious damage are called "large-scale repair"/ "post-maintenance" , which leads be costly.

As mentioned earlier, Thailand is expected to face the problem of infrastructure aging in the future, and further maintenance costs will inevitably increase as long as the same maintenance method is continued. Based on these circumstances, it is better to shift to "preventive maintenance", which means repair while damage is not substantial. This shift will be important aspect in order to keep meeting the new demand of

new infrastructure (in order to investment for growth economy) while minimizing damage and reduce maintenance costs.

In the Japan's International Aid Policy to the Kingdom of Thailand, it states "(support the) development of sustainable economy" as priority topics, and mentions "by utilizing knowledge and experience in Japan, support to reach venerable people or resolving issues that may be challenging to solve alone in Thailand."

Therefore, Japan needs to consider support measures aimed at reducing infrastructure maintenance costs utilizing Japan's knowledge and experience in order to contribute to sustainable social and economic development in Thailand.

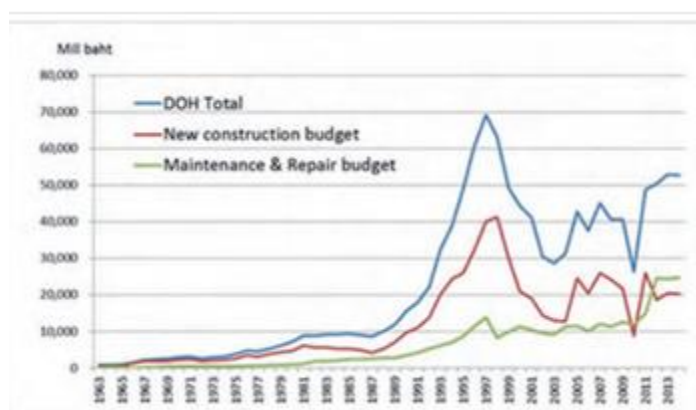
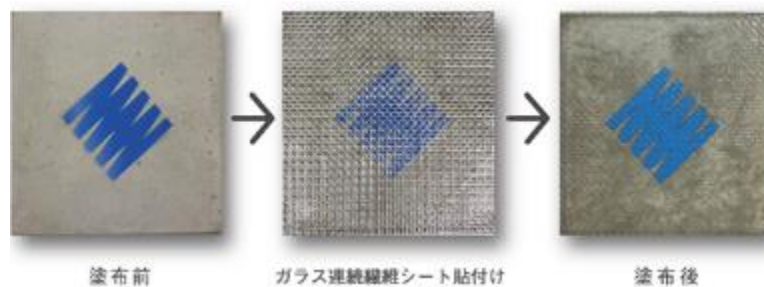


Figure 1 DOH budget expectation

Chapter2: Products and Technologies

mbs's product called "Skeleton Disaster Prevention Coating" is transparent coating material which can prevent "spalling" of concrete and protect the surface of concrete. It is made by polyurethane and glass-fibersheet. The transparency of such kind of coating is rare and this coating material can be used in many locations including bridges, tunnels, highways without changing the appearance of the construction.

Mainly in Japan, it is introduced as a "preventive maintenance" method to repair while the damage is minimal, it is transparent after repair and it can be visually confirmed so that repair spots can be easily inspected. It is implemented in more than 400 locations and introduced as "preventive maintenance" methods in order to suppress the total maintenance cost.



In Japan, there are other similar kind of "spalling prevention method". However, those conventional method are colored. There are two major problems with such a colored coating materials:

(1) the surface of the concrete is not visible so it can hinder the visual inspection. If in the visual confirmation the abnormality can not be confirmed, the extent of the abnormality becomes unknown, which result to perform hammer batting check each time in order to evaluate the condition.

(2) the application process need extensive experience for applying them and it is complicated. Thus, it require skilled labor and time consuming for construction management.

On the other hand, the "skeleton disaster prevention coating" is (1)transparent and can be visually confirmed even after construction, (2) time and labor for management can be reduced due to the simple method (two simple steps and it is not necessary to paint “primer”).

In Japan, since the accident of “Sasago tunnel” when the ceiling board fell in 2012, there are more awareness toward the importance of measures to prevent damage prior to deuteriation and prevent harm or creating victims. Moreover, the National law for road was revised and it became mandatory to conduct near-by visual inspection once every five years to all bridges.

These social changes had increased the demand to facilitates visual inspection cost effectively, and the "Skeleton disaster prevention coating" in Japan increased significantly.

Currently used by 430 locations national wide by public companies and organizations that are managing highways, road, bridges, and tunnels. Such as NEXCO West, Hanshin Expressway, Yamaguchi Prefecture and Hyogo

Prefecture and other prefectures.

In this Feasibility Survey, it verified on-site compatibility especially from the following aspects.

- ① It is possible to import, sell and implement the proposal products in Thailand, in terms of the regulations, licenses and approvals in Thailand.
- ② The application of the proposed product is technically feasible even the environment and culture around application is different from Japan.
conditions and construction level of Thailand apply
- ③ The proposal products can technically satisfy local needs, including the advancement of understanding of preventive maintenance methods in Thailand.

As a result, laws and regulations restricting the importation, sale, construction etc. of products were not confirmed, but in the first place in Thailand product recognition in the category "anti-spalling" is not categorized, there are no specific standards / guidelines for evaluating products / technology for "anti-spalling" .

Therefore, this product was often misunderstood as product for "reinforcement". It was confirmed to be significantly different from the situation in Japan. As in Thailand the boundary line between "anti-spalling" and "reinforcement" is not clear.

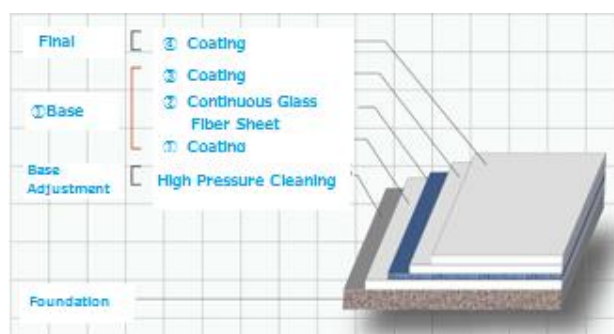


Figure 2 Coating layers



Figure 3 Application of Conventional Coating Material



Figure 4 Application of "Skeleton Disaster Prevention Coating"

Chapter3: Proposed ODA Projects and Expected Impact

- Scheme

For the ODA project, it is currently considering applying for "Verification Survey" Project supported by JICA.

- Counterpart

Since the jurisdictional organization of infrastructure in Thailand is divided into many organizations, for this Verification Survey aims to be conducted in cooperation with Civil Engineering Department, Chulalongkorn University.

Who can conduct the pilot implementation of the "skeleton disaster prevention coating" as a third-party position to infrastructure in Thailand.

- Overview

Through the pilot implementation in the Verification Survey, it aims to verified that the technology can improves maintenance accuracy while suppressing the total maintenance cost of infrastructure in Thailand (a technology that can contribute to solving social problems in Thailand). By

using the result of the Verification Survey, it plans to disseminate and develop business in Thailand.

Therefore, this project consists of the following three project.

(1) "Verification tests in the field" demonstrating that the product works effectively even under the Thai environmental by applying to pilot site infrastructure in Thailand,

(2) "Verification tests in laboratories" demonstrates the effectiveness of products through product evaluation by third-party organizations to prove objectively.

(3) "Dissemination project" aiming at dissemination of new technology to public organization in Thailand by presenting the result of the above verification tests.

With regard to the (1)"Verification tests in the field", the pilot site is decided as Ratchada Flyover road which is under jurisdiction the Bangkok Metropolitan Authority Bureau (BMA). This decision is based on considering the high interest in the technology by the BMA and the necessity of prevention of spalling of the site, and considering the condition of concrete.



With regard to the(2) "Verification tests in laboratories", under the supervision of the Chulalongkorn University civil engineering department, the product will be evaluating by the third parties. This is to avoid influence of external environments. It plans to conduct fire resistance test, tension test. pull-out Test and Slab bending Test.

Through this testing process, it anticipate the planning for future

standardization. In this phase, it aims to also formulate test guidelines for the performance of "spalling", and hopes to propose to government Thailand from Civil Engineer Department of Chulalongkorn University.

Finally as (3) "Dissemination project", the purpose is to promote policies for preventive maintenance as well as the introduction of the "Skeleton Disaster Prevention Coating". Not only gain recognition of the product but more importantly enhance the policies and momentum to promote "Preventive Maintenance" in Thailand. Thus in addition to organizing seminars, it opes to create bases of standard value of "anti-spalling" method, with reference to the preventive maintenance policy of Japan. The standard will consider the climatic conditions of Thailand. Based on these, it hopes to support creating the base for Technical Committee.

In order to conduct this Verification Survey, the responsibilities from the Japanese side would be cost of the product, Japanese human resource expenses, travel expenses, Verification tests costs. The project cost is expected to be roughly 200 million yen.

From the counterpart side in Thailand (Chulalongkorn University), the personnel allocation related to the project implementation, the coordination of the verification tests (both Field and Lab), hosting the seminar of the dissemination activity as well the presentation to the event, and the communication hub related to the provision of the infrastructure for installation at the pilot sites.

By implementing these ODA projects and promoting introduction to public institutions, it is expected that the development effect of about 370 million yen will be achieved in the five years from 2021 to 2025.

The ODA project aims to conduct pilot test by applying "Skeleton Disaster Prevention Coating" to infrastructure that has risk of spalling.

After applying the coating material, assessment will be done (for material strength, maintenance cost reduction rate) to prove the effectiveness of the product.

Chapter4 : Intended Business Development

In Thailand there is a market for "reinforcing materials" or "surface protection materials", but lacks category of "anti-spalling". It has yet to confirm any competitor for "anti-spalling" since there seems to be lack of awareness of such market.

As mentioned in Chapter 1, this is probably due to Thailand's reference to US guidelines such as ASTM. In the same guideline, although there are descriptions about inspections and inspection methods, there are no standards / guidelines for evaluating countermeasures (ie products / technologies of "anti-spalling").

The proposed product has functions of "surface protection" and "anti-spalling", and in order for the product to develop and expand in the Thai market it can roughly be divided into two approaches.

(1) Aim for substitution of competing products in the existing " surface protection" market

(2) Create a new market for "anti-spalling"

At the moment, the demand for the proposed product can be confirmed specifically for the "surface protection" function, and at the beginning of the business, it is thought that it is effective to develop business while accumulating actual results with approach (1).

On the other hand, as a market of "anti-spalling", the total market size of target market is estimated to be 559.8 billion yen (estimate), of which DOH's market size is estimated to be 337.2 billion yen (estimate), exceeding majority of all market sizes.

For its strategy of market entry, mbs will consider BMA and EXAT to be potential candidates at the early stages of business. Then, it would like to develop it to DOH, which is expected to have a large market size as the business expands.

Having said that , in advancing the approach (2), it is most effective to raise awareness of preventive maintenance methods through the Verification Survey. It has to accumulate its recognition of products and technologies.

Similar to Japan, Thailand would need to establish more regulation such as "Third-party/ victim prevention measures (guidelines)" or have a unified obligatory law that suggest the safety and necessity of close visual

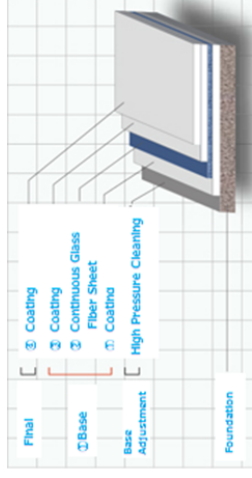
inspection.

By having more awareness in Thailand, it can increased understanding of importance of preventive maintenance method and lead to legislative guidelines to be enacted against "anti-spalling".

For this reason, it is judged that it is appropriate to set the implementation of ODA projects utilizing the JICA scheme described in Chapter 3 as the main axis of the business plan.

Although mbs are considering manufacturing and exporting in Japan at the beginning of the project, in the future mbs are considering production in local Thailand and establishing a local subsidiary through joint venture with local partner companies.

Feasibility Survey on implementing “Skeleton Disaster Prevention Coating” to restrain rise of cost for Infrastructure Maintenance Fees in Thailand



SMEs and Counterpart Organization

- Name of SME: MBS Co., Ltd
- Location of SME: Yamaguchi Pref., Japan
- Survey Site * Counterpart Organization: Bangkok, Chulalongkorn University

Concerned Development Issues

- Since the 1980 in Thailand, the infrastructure, building and construction industry has grown rapidly. In recent years, the industry has seen a substantial increase in the maintenance fees and it is becoming a critical issue.
- Checking periodically is vital for the maintenance. However, for bridges, governments scarcely ever checks. For roads, simple visual check are conducted once in two years. Thus, the repair are done when there is a problem, which result to lack of efficiency and rise of overall maintenance fee.

Products and Technologies of SMEs

- The “Skeleton Disaster Prevention Coating” is a transparent coating which can prevent spalling of bridges and tunnels, without changing the appearance of the infrastructure. It can improve the effect of checking.
- The product is made out of liquid polyurethane. Even after the coating, since the transparency remains, human can check the 0.2mm cracks visually.

Proposed ODA Projects and Expected Impact

- Chulalongkorn University is the counterpart for the proposed ODA project.
- At the ODA project, it aims to conduct pilot test by applying “Skeleton Disaster Prevention Coating” to infrastructure that has risk of spalling. Especially to concrete materials that are damaged due to aging.
- After applying the coating in pilot test, the assessment will be done (for material strength, maintenance cost reduction rate) to prove the effectiveness of the product. With the result of pilot test, it plans to disseminate and promote to apply to other infrastructures such as bridges and highway. It aims to contribute to efficiency and restrain rise of overall maintenance fee.

別添 1 : 関心表明レター文面

非公開

別添 2 : **【ACI】** CFRP による構造強化の方法(ACI 440 規格)

非公開

別添 3 : NCHRP(National Cooperative Highway Research
Program)

非公開

別添 4 : ASTM D6413(一部抜粋)

非公開

参考資料 1 : 道路および橋梁の管理体制

非公開

参考資料 2 : 道路および橋梁の管理体制

非公開

参考資料 3 : 中央官庁におけるメンテナンス予算の推移

非公開

参考資料 4 : バンコク首都圏庁(BMA)における予算の推移

非公開

参考資料 5 : タイ高速道路公社(EXAT)における予算の推移

非公開

参考資料 6 : 各種鉄道における予算の推移

非公開