

ASEAN 国際物流路線における舗装設計・施工および維持管理方針の提案

研究第三部 上席調査役 五反田一郎

主任研究員 保田 敬一, 渡部健太郎

1. はじめに

ASEAN 諸国では、経済発展・投資の増大に伴い、今後物流規模の拡大が予想される。一方、各国の経済余力の相違から道路整備状況や維持管理状況などに大きな格差が生じており、大型車両が円滑に走行できる国際陸送ルートが十分に機能していないという現状がある。この問題を解決するために、ASEAN 地域においてわが国の技術の普及を図るとともに、日系企業等の活動を支える質の高いインフラとしての国際的な道路網整備を目指し、ASEAN 諸国と共同して、道路舗装の性能向上、道路維持管理、過積載対策の共同研究を支援するため、情報収集、各種資料作成、各国専門家及び国内有識者会合の開催補助等を行った結果を報告する。

2. ASEAN 国際物流路線の現状と課題

JICA, ADB 等はこれまで ODA において ASEAN 諸国の主として幹線道路整備を進めてきた。しかし、過去の多くの整備事例にて指摘されたことは、これらの ODA にて整備された道路が近代的な重交通に耐えるものとは言えず、それらが建設後まもなく損傷し、しかもそれらが放置されたままになっているという現実である。この事実から、維持管理の技術や体制の支援が重要であるという指摘がされている。PMS 構築のツールである HDM-4(The world bank Highway Development and Management)の導入を前提とした世界銀行の道路整備支援の方針もこの流れと同じである。HDM-4 は世界銀行やアジア開発銀行などが主要なスポンサーとして設立された ISOHDMによって開発された道路の維持管理、修繕に掛かる意思決定を合理的かつ効果的に行うことを支援するコンピュータ・ソフトウェアであり、100カ国以

上の国や地域で利用されている。しかし、HDM-4 ではいたずらに複雑なデータ収集・整備を無目的に行っているという指摘もある。

こういった道路の早期損傷の原因は我が国の基準よりも大型な車両の採用・普及である。また、途上国での交通量の急増と、特に低所得国で顕著な過積載車両の横行であろう。また、他にも不適切な設計と施工に起因すると思われる損傷事例も報告されている。損傷事例に過積載が誘因となっていることが事実であるが、そもそも設計の等価換算係数(ESAL 値)がアジアハイウェイの幹線道路であるにもかかわらず、10年の設計期間で約20万回から数百万回と過小であった事例が多い(損傷事例の幾つかで結果的に現行の数倍から10倍以上のESAL値が適正と判断された)。

以上のことから、本共同研究では、舗装の推奨ESAL値の提案、道路維持管理、過積載対策、施工の品質向上に焦点をあて、ASEAN各国で参考となる技術資料を共同で作成することを目的とする。

3. 舗装設計における提案

3.1 推奨ESAL値の必要性

ASEAN内における国際物流路線(TTRs: Transit Transport Routes, 以下、TTRsと略す)では重交通車両の増加による舗装の損傷が発生していることから、ASEAN地域内での舗装の性能および質を一定の水準に維持していくことや、重交通の増加を考慮した耐久性のある舗装を建設していくことを目的に、舗装設計における交通量に応じた推奨ESAL値(Equivalent Single Axle Load; 等価換算係数。地盤の強度を示すCBR(Carifornia Baring Ratio)と併せ舗装設計における最も重要なパラメータ)を共同研究の専門家会合にて

議論した。

3.2 ESAL 値見直し経緯

図-1にこれまでの専門家会合での議論や意見、見直しの経緯を示す。なお、第1回および第2回の専門家会合では、推奨ESAL値を算定するための大型車交通量の推計方法とWIMによる軸重計測データを用いたDF値の推計方法の方針について説明し、ASEAN各国に対して国境地点およびTTRの現況交通量およびWIMにより計測した軸重計測データの提供を依頼した。それらのデータをもとにして第3回の専門家会合以降で計算した推奨ESAL値を提案・議論した。

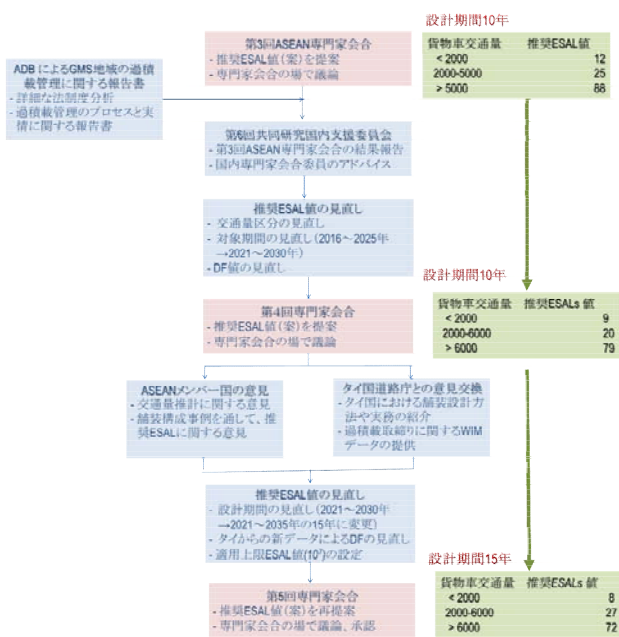


図-1 推奨ESAL値の見直し経緯

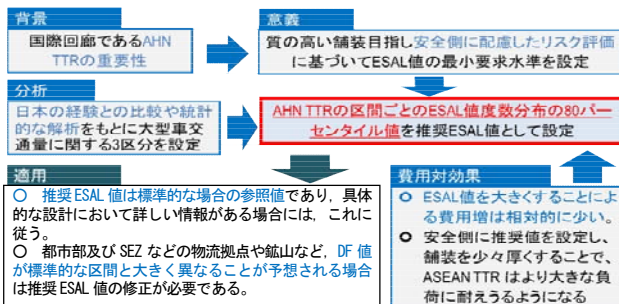


図-2 推奨ESAL値に関する背景、意義、分析、費用対効果、考察及び適用

3.3 推奨ESAL値算定上のパラメータ

(1) 交通量

交通量は、以下の方法で算出している。

- 交通量は、2015年の観測交通量及び2025年の推計交通量をもとに算出した。

- 観測交通量はアジアハイウェイデータベースを参照し、推計交通量はADB作成のOD表、新たにGRDPの推計を行い集中・発生交通量を算出、配分計算を行い算出した。

- 内々交通は2015年の観測交通量の一部(2015年観測交通量と2015年推計交通量の差)として推計に反映されている。2025年の交通量については推計値(内外交交通量のみ)に2015年の内々交通量を加算した。

(2) DF値

トラック、トレーラーについては以下のとおりDF(Damaging Factor)値を設定した。

- CLMV各国(カンボジア、ラオス、ミャンマー及びベトナム)は、共通のDF値としてトラック2.1 トレーラー5.7とした。

- タイについては、過積載対策が進んでいる同国の事情を考慮しタイのデータに基づくDF値としてトラック1.6 トレーラー1.4とした。

(3) 推奨ESAL値

推奨ESAL値は、ASEANハイウェイのTTRsを128の区間に区切り(原則アジアハイウェイデータベースの区間区分による)、ASEANハイウェイの規格水準を満たさないbelow class III、及び内々交通量の比率が高いことから交通量推計の精度を確保することが困難である都市部を除いた91区間についてESAL値を算出した。

推奨ESAL値は、上記91区間を2025年の推計交通量により3つの区分に分け、それぞれの区間について80パーセント値を推奨ESAL値とした。推奨ESAL値の算出にあたっては、以下の条件を設定した。

- 設計期間は15年とした。
- 上り下り方向0.5、片側3車線以上の区間は補正值としてさらに0.7を乗じた。

・都市部のゾーンに属する道路区間の ESAL は、広域推計用のデータを用いた交通量の推計が難しいこと(内々交通が多い)、DF 値が都市間の道路区間より小さい(貨物車はより小型で、短距離移動のため過積載のメリットが少ないため過積載車が少ないなど)ことから、ESAL 算定の対象から外した。

推奨 ESAL 値のまとめを図-2に示す。共同研究では、国際回廊である ASEAN ハイウェイの TTRsの重要性を背景に、日本の経験との比較や統計的な解析をもとに大型車交通量に関する 3 区分を設定し、AHN TTRs の区間ごとの ESAL 値度数分布の 80 パーセントイル値を推奨 ESAL 値として設定した。ESAL 値を大きく

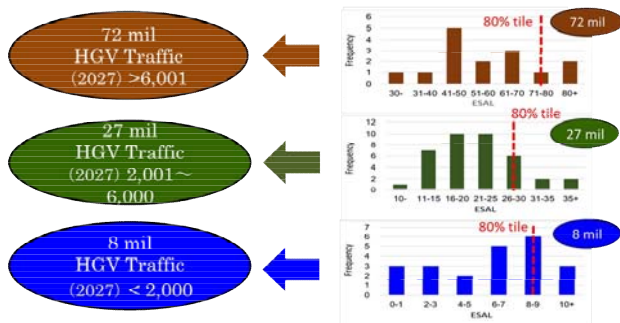


図-3 推奨 ESAL 値

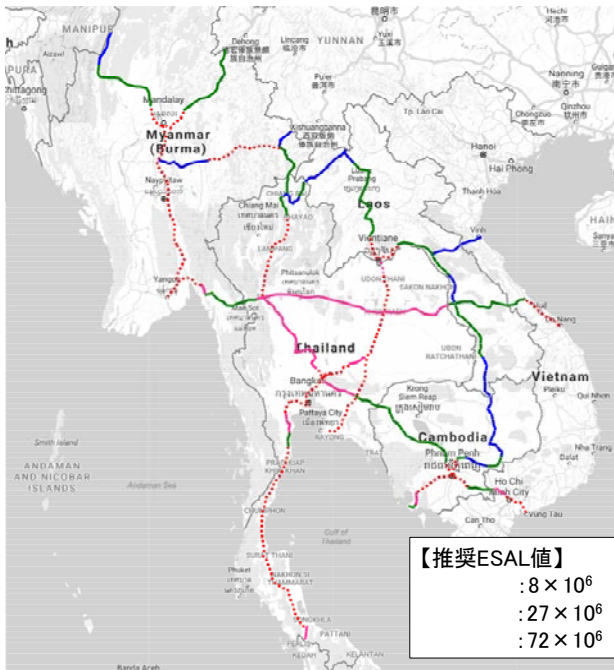


図-4 ASEAN TTRs の路線毎の設計荷重(推奨 ESAL 値)

することによる費用増は相対的に少ないことから、安全側に推奨値を設定し、舗装を少々厚くすることで、ASEAN TTR はより大きな負荷に耐えうるようになる。

推奨 ESAL 値の位置づけは、標準的な場合の参照値であり、具体的な設計において詳しい情報がある場合には、これに従う。また都市部及び経済特区(SEZ: Special Economy Zone)などの物流拠点や鉱山など、DF 値が標準的な区間と大きく異なることが予想される場合は推奨 ESAL 値の修正が必要である。

推奨 ESAL 値の検討手順は以下のとおりである。

①将来交通量:メコン地域の幹線道路ネットワークの将来交通量を推計(既存 OD 表を活用)

②DF 値:各国の軸重調査結果に基づき、トラック及びトレーラーの平均DF値を推定

③ESAL 値:①②の結果を基に、区間毎の ESAL 値を計算する。計算した ESAL 値の分布に基づき、3段階の ESAL 値を設定する。

過去、第3回から第5回までの専門家会合を踏まえ、推奨 ESAL 値を図-3のように設定した。また、ASEAN TTRs の路線毎の設計荷重(推奨 ESAL 値)を図-4に示す。

(4) 今後の課題及び推奨 ESAL 値の活用

専門家会合では、交通量推計のデータや結果をはじめ、さらなる検討や検証が必要であること、日本側の発表から、推奨 ESAL 値は大型車交通量の過小評価のリスクを避けるため、ASEAN ハイウェイネットワークに対する最低要求水準であること、及び区間ごとの舗装設計にあたっては、交通量の多い地域、移動距離の短い内々交通量が多い都市部、採掘場や物流ロジスティックセンターに隣接する地域など、道路区間がおかれた個別の条件に配慮する必要があることを共有した。

4. 舗装施工における提案

4.1 現状と課題

ASEAN TTRs は 2020 年までにはクラス I 以上の整備を目標としており、現道の拡幅、バイパス区間の整備等、今後数年間で急速に整備が進むと考えられ

る。また、整備した路線の品質を長く維持するためには、早期に舗装の破損が生じないように施工段階での対応に留意する必要がある。しかしながら、ASEAN 各国においては、使用する材料、配合設計で求められる基準値、試験方法等は統一されたものではない上、舗装の材料や気象条件、地形、交通量によっても、破損の形態、発生要因も異なる。

このようなことから、ASEAN 各国における舗装材料、配合設計等の適用基準、課題が生じている舗装の破損と対策、舗装品質の向上を目的とした取り組みや研究開発に関する情報を収集し、推奨される品質管理手法としてとりまとめを行った。

4.2 アスファルト舗装の破損

舗装の主な破損形態としては、わだち掘れ、ひび割

表-1 ASEAN 各国の舗装の主な損傷

国名	主な損傷
カンボジア	ポットホール、ひび割れ、変状その他
インドネシア	ポットホール、わだち掘れ
ミャンマー	ポットホール、ひび割れ、わだち掘れ、変状等
フィリピン	ポットホール、ひび割れ、わだち掘れ等
シンガポール	ポットホール、わだち掘れ、剥離等
タイ	わだち掘れ、ひび割れ
ベトナム	わだち掘れ、ひび割れ、ポットホール、剥離



ポットホール (インドネシア)



ひび割れ (カンボジア)



流動わだち掘れ (タイ)



流動わだち掘れ (シンガポール)

写真-1 アスファルト舗装の主な損傷

れ、ポットホール、剥離、変状等がある。これらの破損は、単独で発生するものや複数の損傷がある程度同時期に発生するものがある。その発生原因として材料、配合設計あるいは施工が起因するものがあり、破損の種類にかかわらずそれらの要因は相互に影響している。ASEAN 各国で問題となっている舗装の破損形態を把握するため、各国における舗装の破損に関する情報を収集した。主な損傷を整理した結果を表-1に示す。

4.3 舗装の損傷と要因

アスファルト混合物の変形は、アスファルト混合物の配合（骨材粒度、バインダの種類および量等）および外的要因としての交通荷重と温度によるものが最も大きいことから、比較的温暖な地域で重交通車両の多い道路で見られ、主に高温と重交通によるアスファルト混合物の流動がその原因である。このようなアスファルト舗装の損傷は、主に交通量等の設計条件設定の間違い、不適切な配合設計、施工不良、違法な過積載車両、重車両の低速走行等によって引き起こされる。表-2はアスファルト舗装の損傷と要因の関係について整理したものである。これらの中でも、流動わだち掘れは様々な要因により発生する損傷であると言える。

4.4 各国の流動わだち掘れ対策

各国からの舗装の損傷に関する報告において、特に課題となっているわだち掘れ対策について調査を行った。主な対策としては、改質アスファルト、SMA（砕石マッシュアスファルト）舗装等の高機能舗装、ストレートアスファルト AC40/50、剛性舗装（セメントコンクリート舗装）が採用されており、整理

表-2 主なアスファルト舗装の損傷と要因

損傷の種類	課題・原因				
	材料選定	配合設計	施工管理	大型車交通量	温度
わだち掘れ	沈下 / 構造わだち		締固め不足		
	流動わだち掘れ	アスファルトの品質不適	不適切な配合設計	プラント管理の不適切	交通量が多い場合
クラック	ヘアクラック		As 量の不足	施工温度 降雨対策	
	縦クランク / 亀甲クランク		安定度の不足	織目不良	交通量が多い場合
その他	ポットホール		締固め不足		

した結果を表-3に示す。

主なわだち掘れ対策の概要および特徴について示す。

【改質アスファルト】

アスファルト混合物の各種性状（耐流動性，耐摩耗性，耐水性，透水性等）を向上させるために使用する。また，材料の混合時と施工における締固めの際には慎重な温度管理が必要である。

【SMA 舗装】

アスファルトモルタルの充填効果と粗骨材のかみ合わせ効果により耐流動性，耐久性に優れ，大型車交通量の多い路線に特に効果的であるが，温度管理に関しては注意が必要となる。

【AC40-50】

AC40-50 は，塑性変形に抵抗するアスファルトバインダーとして使用される。タイでは AC 40/50 を基層，改質アスファルトを表層に使用し，組み合わせにより，わだち掘れ対策としての効果を上げている。

【剛性舗装】

大型車両の長時間の停車や繰り返しの荷重を受ける頻度が高い交差点/有料道路料金所，急な坂路には，高い耐流動性と耐久性を有するコンクリート舗装が

有効とされている。また，維持管理等の補修作業が現場の交通量に悪影響を及ぼすトンネル内舗装にも有効である。コンクリート舗装は，高速道路などの施工区間が長い場合には特殊な建設機械が必要となる。また，コンクリート強度の発現までに時間を要するため，早期開放は困難である。

4.5 舗装施工に関するまとめ

- ・適切なわだち掘れ対策を選択するためには，各対策の特性とコストを慎重に検討する必要がある。
- ・日本では，交通条件に応じて耐流動性の性能を規定し，様々な種類の改質材が用いられている
- ・ASEAN 地域では，気象条件や交通状況が類似していることから，実証実験の実施等の情報共有は有益である。
- ・今回の共同研究では，各国における舗装の現状や課題に対する主な対策について情報が収集されたが，まだ不十分である。今後は，各国のわだち掘れ対策に関する施策と進捗状況，技術的な共同研究による更なる情報の共有が必要である。

5. 舗装維持管理における提案

5.1 維持管理の必要性

今後，ASEAN TTRs の整備が進み，2020 年までにはクラス I 以上の幹線道路が全て整備されることから，それ以降は，道路舗装にも維持管理のしやすい構造，そして適正な維持管理が求められる。そのためにも，舗装の水準を維持することや合理的な維持管理手段が必要となる。本節で述べる舗装の維持管理に関しては，このクラス I 以上の幹線道路が全て整備されたという前提での議論を行う。

舗装は，他の社会インフラに比べて耐用年数が短く，また性能低下を前提に建設されており，その状態を適宜把握しつつ，維持修繕等を実施する必要がある。このため，舗装の状態把握・維持修繕の全体の流れの正確な理解を促しつつ，先進技術の活用等効果的な取組の普及促進を図る必要がある。

維持管理の各段階で意思決定を行うための判断材

表-3 ASEAN 各国の流動わだち掘れ対策

国名	改質アスファルト	SMA 舗装	AC40-50	剛性舗装
ブルネイ		●		
マレーシア	●	●		
ミャンマー				●
フィリピン	●	●		
シンガポール	●	●		●
タイ	●	●	●	●
ベトナム	●		●	



写真-2 各国の主なわだち掘れ対策

料となる維持管理指標は、以下の 2 つの観点から重要な役割を果たす。

① 路面調査(IRI, MCI等):管理目標設定, 破損の程度の評価(主にネットワークレベル)

② 構造調査(FWD等):舗装の構造的な健全度の把握・評価, 維持修繕時の構造設計(主に区間レベル)

以上のことから、舗装の質の向上の必要性が高い国際物流路線を中心にして合理的な維持管理を行っていくためにも、ASEAN 各国における舗装維持管理の現状と課題、舗装維持管理指標による調査の現状の把握を行い、今後の適切な利活用について検討を行う。

5.2 舗装維持管理の全体像

前述したように、舗装は性能劣化を前提として建設されており、橋梁など他の耐用年数の長い社会インフラに比べて維持管理のルーチンを適切に回すことが要求される。舗装維持管理の全体像を図-5に示す。図-5に示すように、維持管理は大きく、計画(予算)段階と設計・施工段階とに分けられる。計画段階では現状の舗装の状態を把握して(点検, 健全度評価), 設定しているサービス水準以上になるようにするための修繕計画が立案される(維持修繕計画の策定/決定)。サービス水準を下げると予算は少なくて済むが、道路利用の際の快適性は損なわれ、結果的に道路交通に支障をきたすようになる。一方、サービス水準を上げると走行時の快適性は向上するが、予算もそれだけかかるこ

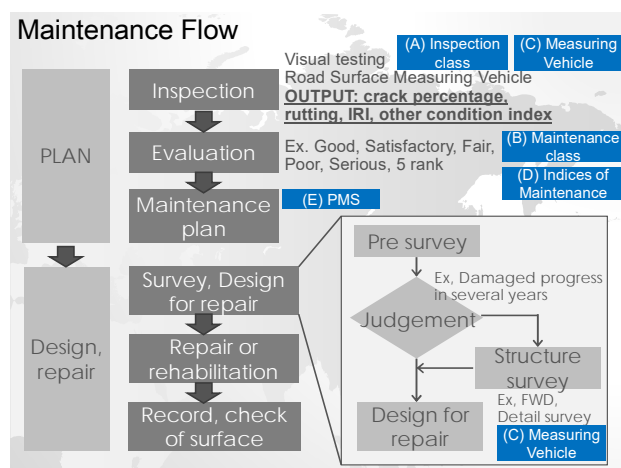


図-5 維持管理の全体像

とになる。計画段階で重要なのが現状把握のための点検である。舗装の状態を把握する唯一の方法はこの点検であり、現在は、①目視点検, ②路面性状測定車による路面性状調査の二つの方法で行われている。また、目視点検も重要であり、路面性状測定車による出力(ひび割れ率, わだち掘れ, 路面の凹凸, MCI, IRI など)だけを信用して健全度を評価することなく、直接技術者が損傷を目で見て、触って、叩いて確認することが必要である。さらに、舗装は劣化速度が他のインフラ構造物に比べて早い傾向にあるので、点検の頻度も重要である。重要で交通量の多い区間は毎年あるいは 2 年に 1 回, 3 年に 1 回, あるいは 5 年に 1 回程度は点検を実施すべきである。例えば、日本では H28 年に改訂された舗装点検要領(国土交通省)によると、大型車交通量が多い路線など損傷の進行が速い路線は 5 年に 1 回程度以上の頻度を目安にして点検を行うように定めている。

5.3 ASEAN 各国で用いられている舗装維持管理指標

ASEAN 各国で用いられている維持管理指標を把握する目的で、第 3 回専門家会合(カンボジア)にて各国が発表した維持管理に関する内容を取りまとめた。そのとりまとめ結果をもとにして、第 4 回専門家会合では ASEAN 各国に意見照会を行った。そして質問表を後日各国へ配布し、内容確認および補完する形をとった。整理した結果を表-4~表-5に示す。

専門家会合にて得られた意見を以下に紹介する。

・タイ:クラックの割合を計測するために画像処理ソフトウェアを使用して画像からクラックの割合を算定することを試みているが、それは非常に難しい。SCRIM(すべり抵抗)についても使用を検討している。タイでは 4 つのメンテナンスクラスがある。現在、タイの新設道路では、アスファルトコンクリート道路では IRI が 2 より小さくなければならない、コンクリート道路では IRI は 2.5 より低くなければならないと考えている。現時点では、国内の高速道路と政府の主要道路の 80%は IRI が 3.5 未満でなければならない。これは基準の 1 つであり、異なる目的のための多くの異なる基準が存在する。

表-4 ASEAN 各国の維持管理指標, 点検種別(1)

	(A)Inspection class						(B)Maintenance class						(C)Measuring Vehicle			
	1		2		3		1		2		3		Road surface		FWD	
	Class	Frequency	Class	Frequency	Class	Frequency	Class	Frequency	Class	Frequency	Class	Frequency		Frequency		Frequency
Entry example	routine inspection	once a week	periodic inspection	once a year	Emergency inspection	If necessary	Routine maintenance	once a week	Periodic maintenance	once a year	Emergency maintenance	If necessary	A or C	once a year	A or C	Once in 5 years
Brunei	routine inspection	once a week	periodic inspection	once a year	Emergency / adhoc inspection	If necessary	Preventive maintenance		Corrective maintenance		Emergency maintenance		A	varies	A	varies
Cambodia	routine inspection		periodic inspection		Detail Inspection		Routine maintenance		Periodic maintenance		Emergency maintenance		A			
Indonesia													A		A	
Lao P.D.R	routine inspection	once a week	periodic inspection		Emergency inspection	If necessary	Routine maintenance		Periodic maintenance		Emergency maintenance		A		A	
Malaysia	routine inspection		periodic inspection		Principal inspection		Routine maintenance		Periodic maintenance		Emergency maintenance		A		A	
Myanmar	routine inspection		periodic inspection		Principal inspection		Routine maintenance		Special maintenance *				A note4)		A note4)	
Philippines	routine inspection	once a week	periodic inspection	twice a year	Principal inspection	If necessary	Routine maintenance		Preventive maintenance		Performance-based maintenance		A		A	
Singapore	road inspection		maintenance inspection		Principal inspection		Preventive maintenance		Routine maintenance		Emergency maintenance		A		A note3)	
Thailand	routine inspection		special inspection		special inspection		Routine maintenance		Periodic maintenance		Emergency maintenance		A		A	
Vietnam	routine inspection		periodic inspection		Emergency inspection		Routine maintenance		Periodic maintenance		Emergency maintenance		A		A	

* Special maintenance (including periodic maintenance, emergency maintenance) Remarks A:Applied, C:under Consideration
 note2) SCRIM(Skid Resistance Measurement)
 note3) This is not FWD. But one that performs syrcure survey by deflectograph
 note4) Under training

表-5 ASEAN 各国の維持管理指標, 点検種別(2)

	(D)Indices of maintenance/judgement						(E)PMS				(F) Countermeasures					
	IRI	crack percentage	pot holes	rutting	SCRIM note2)	user cost A or C	DB		PMS		good	fair	poor	bad	other class	
	A or C	A or C	A or C	A or C	A or C	A or C	A or C	Engine	A or C	Engine	no maintenance required	routine maintenance	periodic maintenance	Reconstruction	average	marginal
Entry example	A or C	A or C	A or C	A or C	A or C	A or C	A or C	Engine	A or C	Engine	no maintenance required	routine maintenance	periodic maintenance	Reconstruction		
Brunei	A	A	C	A	A		A	HDM-4	C		no maintenance required	routine maintenance	periodic maintenance	Reconstruction		
Cambodia	A						C		C		A	A	A			
Indonesia	A	A	A	A			A	HDM-4	A	IRMS	no maintenance required	routine maintenance	periodic maintenance	Reconstruction		
Lao P.D.R	A	A	A	A			A	HDM-4	A	IRAM	no maintenance required	routine maintenance	periodic maintenance	Reconstruction		
Malaysia	A	A	A	A			A	HDM-4	A		no maintenance required	routine maintenance	periodic maintenance	Reconstruction/ Total Reconstruction		
Myanmar	A	C	A	C			C	GIS	C	Road Decision Tree Method	routine maintenance required	routine and periodic maintenance	periodic maintenance	Reconstruction		
Philippines	A	C	C	C			A	HDM-4 / RBIA	A		no maintenance required	preventive maintenance	rehabilitation	Total reconstruction		
Singapore	A	C	A	A	A		A	Customized	A						A	A
Thailand	A	C	A	A	C	A	A	Customized HDM-4 note1)	A							
Vietnam	A	A	A	A			A		A		no maintenance required	routine maintenance	periodic maintenance	rehabilitation or reconstruction		

Remarks A:Applied, C:under Consideration
 note1) Mobile accessible, Web Application(GIS)

・ベトナム:定期検査, 予防検査, principal 検査がある。メンテナンス指数については, 4 つのレベルに分類される。それは IRI ランキングの組み合わせになる。

・フィリピン:クラックの割合や, ポットホールや轍掘れを考慮している。

・カンボジア:マレーシアのような 3 つのメンテナンスクラス(定期メンテナンス, 予防保守, 緊急メンテナンス)がある。

・シンガポール:予防メンテナンスの他にメンテナンスや緊急メンテナンスも行っている。

・ラオス:日常かつ緊急のメンテナンスを行っている。

6. おわりに

本報では, ASEAN TTRsにおける舗装の質の向上やわが国の技術の普及などを目的として, 統一的な推奨基準, 舗装設計軸重(推奨 ESAL 値)および技術的な底上げのための参考技術資料, ベストプラクティス, 舗装材料, 舗装施工, 舗装維持管理, 過積載対策などを整理した。今後の ASEAN 地域での日系企業等の活動を支える質の高いインフラとしての国際的な道路網整備を目指し, ASEAN 諸国と共同して質の高い舗装整備のための統一的な技術基準を日 ASEAN 共同で作成することは意義があると考えられる。また, 今後も継続

的な情報共有を図っていきたいと考える。

上記は、平成 29 年度に実施した「日 ASEAN 交通連携プロジェクト推進支援業務」(発注機関:国土交通省道路局 企画課 国際室)および平成 28 年度に実施した「ASEAN 国際物流網における道路技術共同研究支援業務」(発注機関:国土交通省道路局 企画課 国際室)の結果に基づいてとりまとめたものである。