

開発途上国における舗装設計基準
適用のあり方に関する調査
(プロジェクト研究)
報告書

平成 27 年 4 月
(2015 年)

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

一般社団法人国際建設技術協会
株式会社エイト日本技術開発

基盤
JR
15-111

◆ 要約 ◆

1. 報告書の構成

本プロジェクト研究の報告書は、「開発途上国における舗装設計基準適用のあり方」に関する国内調査・現地調査結果をまとめた報告書本文と「協力準備調査における道路舗装設計 ハンドブック（案）」の2部で構成されている。

○2部その1：「報告書本文」

○2部その2：「協力準備調査における道路舗装設計 ハンドブック（案）」

2. 業務背景と目的

本プロジェクト研究は、舗装設計基準調査、協力準備調査事例調査、現地調査（東南アジア・アフリカ）及び既往調査「アフリカ（エチオピア、ガーナ、タンザニア）資金協力事業による道路整備のあり方（基礎研究）報告書（平成25年3月）」を基に、道路舗装事業（資金協力事業）の協力準備調査に携わる JICA 職員およびコンサルタント等関係者向けに、協力準備調査における道路舗装設計の留意事項をまとめた「協力準備調査における道路舗装設計ハンドブック（案）」（以下、「ハンドブック（案）」）の作成を目的とする。

我が国はこれまでの長い間、有償資金協力・無償資金協力を問わず、多くの開発途上国において道路インフラ構築・改善に貢献している。これまでに行ってきた協力は、相手国の生活・経済の向上に役立っており、高く評価されている。しかしながら一方では自然条件や交通条件に大きく影響される舗装について、早期に損傷し、交通を担う機能を損なっているケースも発生している。

多くの開発途上国においては、自然条件、交通環境が我が国と異なり、過酷な条件にある場合がある。施工環境においても、一定の品質を満たした材料の確保が困難な場合がある。また、設計においては、相手国で採用されている設計基準が必ずしも当該事業の設計条件に適しているとは限らない。また、それらの設計思想や運用方法を設計者が十分理解していない場合、予期しない損傷の要因となることが考えられる。

これらの課題に対して、設計基準の特徴や開発途上国における設計条件・施工条件の違いを予め認識し、設計段階で対応することが望ましい。

本調査は、

- ・ AASHTO Guide 1993、Overseas Road Note 等の設計思想や運用のやり方
- ・ 舗装設計に必要な自然条件調査のレビュー、交通状況の把握・評価
- ・ 現地の土質 CBR 試験や交通量・軸重調査、アスファルト混合物の試験等

を行い、設計段階において舗装の損傷の要因となり得る課題を抽出するとともに、役立つ知見やノウハウをまとめ、自然条件調査・材料調査・交通条件調査の留意点、設計基準の選定・路面設計・舗装構造設計・排水の影響に関する留意点、設計条件・申し送り事項の協力準備調査報告書への記載事項等からなるハンドブック（案）を作成した。

3. 調査の概要

第一次国内調査（1, 2章）、現地調査（3, 4章）、第二次国内調査（5, 6, 7, 8章）に分けて、調査の概要を示す。

【現地写真】	○現地調査・試験、舗装破損
【第1章】舗装設計基準書のレビュー・比較	
【第2章】既往設計のレビュー	
	<ul style="list-style-type: none"> ○主な舗装設計基準（舗装設計便覧（平成18年）、AASHTO Guide 1993、Overseas Road Note 31等）のレビューと比較に基づき、設計基準の特徴、運用の留意点に関する基礎資料を作成。 ○主な配合設計基準（マーシャル法、Superpave法、Refusal Density法）のレビューと比較に基づき、わだち掘れ等に抵抗する路面の配合設計等の基礎資料を作成。
【第3章】現地調査結果のまとめ（アフリカ地域）	
【第4章】現地調査結果のまとめ（アジア地域）	
	<ul style="list-style-type: none"> ○舗装設計基準の特徴・運用、自然条件調査および交通量・軸重調査等に関する現地ヒアリング（タンザニア、南アフリカ、ラオス、カンボジア）により、舗装設計の設計条件調査に関する実施内容、問題点の分析等を実施。 ○供用条件の乖離が懸念される路線・区間において、交通量・軸重調査（タンザニア、ガーナ、ラオス、カンボジア）を行い、想定と実態の乖離の把握、およびそれに基づく調査方法の検討を実施。 ○地質条件の乖離が懸念される路線・区間において、CBR試験（タンザニア、ラオス）を行い、想定と実態の乖離の把握、およびそれに基づく調査方法の検討を実施。 ○現地で使用されるアスファルト舗装（表層）材料の現地採取（タンザニア、ラオス）と日本での試験（材料の品質を調べる物性試験と耐流動性を担保するためのホイールトラッキング試験）により、材料品質の実態把握と試験方法の検討の実施。
【第5章】自然条件調査・交通条件調査の留意点	
	<ul style="list-style-type: none"> ○現地調査等をもとに設計条件と現場条件の乖離（供用条件と地質条件別に）の典型的な事例の列举と留意点の検討の実施。 ○地質調査（路床強度）の調査ピッチ等や軟弱地盤や問題土（分散性土と膨張性粘土）が懸念される場合の調査の留意点の検討の実施。 ○水文調査（地下水調査）の留意点、特に、雨季に地下水位、洪水水位、路床強度が問題になる場合の調査の留意点の検討の実施。 ○舗装材料（アスファルト舗装材料等）の品質を確保し、コストの増加を避けるための材料調査の留意点の検討の実施。 ○開発途上国の交通量調査、軸重調査（大型車分類、軸重換算係数等）及び舗装計画交通量/累積軸重推計の留意点の検討の実施。
【第6章】舗装設計における留意点	
	<ul style="list-style-type: none"> ○AASHTO、ORN31及び相手国政府の舗装設計基準に準拠して設計する際の留意点検討の実施。 ○日本の設計基準適用の可能性の検討の実施。 ○わだち掘れ対策を考慮した路面設計（表層の材料等の決定）の留意点の検討の実施。 ○舗装の構造設計（各層の材料・厚さの決定）の際の留意点の検討の実施。

【第7章】協力準備調査報告書の記載事項
○協力準備調査報告書への舗装及び排水の設計条件、及び詳細設計段階、施工監理段階への申し送りが必要な課題等の記載事項の検討の実施。
【第8章】施工計画の留意点
○設計が要求する舗装性能を満足するための施工計画の留意点の検討の実施。

4. 「協力準備調査における道路舗装設計 ハンドブック（案）の作成

無償資金協力事業の協力準備調査の道路舗装設計を念頭において、関連する技術基準類の要諦や既往事例から得られた教訓・懸念事項等を踏まえて調査・概略設計段階における望ましい運用、注意事項などにかかる知見を整理した。ハンドブック（案）の構成を以下に示す。

【適用範囲】	○ハンドブック（案）の適用範囲
【1】アスファルト舗装の破損事例	○アスファルト舗装の破損の分類とその原因。 ○アスファルト舗装の破損タイプ：わだち掘れ、ひび割れ、平坦性の低下。 (コルゲーション)、その他（ポットホール、陥没、ずれ等）
【2】協力準備調査における舗装設計	○舗装設計において、路面設計（路面を形成する材料等を決定すること）を採用。
【3】自然条件調査	○路床強度の設計と現場の乖離事例に基づく、適切な調査ピッチによる地質調査（路床土）の必要性。 ○設計と現場における土質性状の乖離事例に基づく、軟弱地盤と問題土（分散性土、膨張性粘土）の把握方法、改良範囲の特定の必要性。 ○自然状況（地下水位、河川水位（洪水位含む）、路床強度等）や排水状況の雨季の調査の必要性。
【4】材料調査	○基準を満足する材料の有無、採取場所、賦存量等、材料調査の内容。 ○品質を確保するために確認すべき舗装材料の性質。
【5】交通条件調査	○開発途上国の交通量調査/軸重調査（軸重換算係数含む）の留意点。 ○過積載車両の実態の把握と設計条件への考慮。 ○開発途上国における交通量推計、累積軸重推計の留意点。
【6】設計基準の選定	○使用する舗装設計基準の特徴と留意点の理解。 ○使用する舗装設計基準についての相手国政府と協議の必要性。
【7】路面設計	○路面の要求性能を設定し、路面を形成する表層の材料等を決定する「路面設計」の必要性。 ○路面性能指標に関する相手国への提案、路面設計の具体的な方法（案）。
【8】舗装の構造設計	○舗装の構造設計（各層の材料・厚さ決定）における留意事項。 ○過積載車両の考慮、信頼度の慎重な設定、路床支持力の評価の留意点、セメント安定処理路盤の採用の留意点、アスファルトの最小舗装厚の確認、舗装の構造設計の他の設計手法による妥当性の確認、経済性評価。

【9】舗装設計における水（排水）の影響に関する留意点
○舗装設計における排水・地下水・流末処理の留意点。
【10】準備調査報告書のとりまとめ
○準備調査報告書に記載する舗装及び排水の設計条件の設定根拠詳細設計段階及び施工監理段階への申し送りが必要な課題等。
【付属資料】の構成
<p>付属資料1．アスファルト舗装の設計基準</p> <p>付属資料2．舗装設計の方法</p> <p>付属資料3．配合設計の方法</p> <p>付属資料4．施工計画の留意点</p> <p>付属資料5．問題土の判定と対策の例</p> <p>付属資料6．適用材料の基準例</p> <p>付属資料7．塑性変形（わだち掘れ）</p> <p>付属資料8．セメント安定処理適用の留意点</p> <p>付属資料9．業務指示書記載（案）</p>

開発途上国における舗装設計基準適用のあり方に関する調査（プロジェクト研究）

最終報告書

目 次

要約

目次

図表・写真リスト

調査対象国の位置図

第一次現地調査（アフリカ地域） 調査写真集

第二次現地調査（アジア地域） 調査写真集

舗装破損写真集

第 1 章 舗装設計基準書のレビュー・比較	1- 1
1.1 舗装設計基準	1- 2
1.2 自然条件調査（路床強度）	1- 8
1.3 配合設計法	1-12
1.4 力学的経験的設計法	1-23
第 2 章 既往設計のレビュー	2- 1
2.1 対象道路	2- 1
2.2 調査内容のまとめ（準備調査レベル）	2- 2
2.3 調査内容のまとめ（詳細設計レベル）	2- 6
第 3 章 現地調査結果のまとめ（アフリカ地域）	3- 1
3.1 ヒアリングより得られた知見	3- 1
3.2 交通量・軸重調査	3- 9
3.3 土質試験（CBR 試験）	3-17
3.4 舗装試験	3-21
第 4 章 現地調査結果のまとめ（アジア地域）	4- 1
4.1 ヒアリングより得られた知見	4- 1
4.2 交通量・軸重調査	4- 7
4.3 土質試験（CBR 試験）	4-12
4.4 舗装試験	4-15

第5章 自然条件調査・交通条件調査の留意点	5- 1
5.1 設計条件と現場条件の乖離	5- 1
5.2 自然条件調査	5- 8
5.3 地質調査	5- 9
5.4 水文調査（地下水調査）	5-14
5.5 材料調査	5-16
5.6 交通条件調査	5-18
第6章 舗装設計における留意点	6- 1
6.1 協力準備調査における舗装設計の進め方	6- 1
6.2 舗装設計基準の選定	6- 1
6.3 路面設計	6- 2
6.4 舗装構造設計	6-11
6.5 舗装設計における水（排水）の影響に関する留意点	6-22
6.6 日本の設計基準適用の可能性	6-25
第7章 協力準備調査報告書の記載事項	7- 1
第8章 施工計画の留意点	8- 1
8.1 施工の前提条件	8- 1
8.2 舗装材料について	8- 1
8.3 路床・路盤材料について	8- 2
8.4 アスファルトの表・基層材料について	8- 3
8.5 大型車交通量が多いなど耐流動性が懸念される場合の留意事項	8- 5

参考文献

別冊 協力準備調査における道路舗装設計 ハンドブック（案）
同 付属資料1～9

表リスト

表 1.1 舗装設計の代表的基準	1- 1
表 1.2 舗装の性能と設計のアウトプットの例	1- 3
表 1.3 信頼性と交通量換算（舗装設計施工指針 H. 18（社）日本道路協会）	1- 7
表 1.4 信頼度 R の推奨値（AASHTO1993）	1- 7
表 1.5 代表的な路床の評価方法	1- 8
表 1.6 CBR 試験と修正 CBR 試験の違い	1-11
表 1.7 マーシャル試験の概要	1-13
表 1.8 表層の空隙率のクリティカルな値	1-14
表 1.9 最小骨材空隙率の規定	1-14
表 1.10 マーシャル試験の基準値	1-14
表 1.11 Superpave ジャイレトリ-コンパクタの締固めエネルギー（AASHTO R35-09）	1-15
表 1.12 Superpave 加熱アスファルト混合物設計基準（AASHTO M 323-07）	1-15
表 1.13 南アフリカの配合設計基準	1-16
表 1.14 走行速度を考慮した PG の補正	1-19
表 1.15 砕石の粒度	1-19
表 1.16 砕石の品質の目標値	1-19
表 1.17 スクリーニングスの粒度	1-19
表 1.18 石灰岩を粉砕した石粉の粒度規格	1-21
表 1.19 フライアッシュ、石灰岩以外の岩石の粉末の目標値	1-21
表 1.20 粒度規格	1-21
表 1.21 強熱減量の規格	1-21
表 2.1 資料収集対象一般プロジェクト無償道路案件（橋梁単独を除く）	2- 1
表 2.2 収集資料の一覧	2- 2
表 2.3 詳細設計成果品の一覧	2- 7
表 2.4 対象プロジェクトの設計条件等比較一覧	2- 8
表 3.1 タンザニア及び南アフリカの舗装設計基準の概要	3- 1
表 3.2 タンザニア及び南アフリカの標準的な舗装構成	3- 2
表 3.3 粒度調整砕石路盤の締固め度規定	3- 3
表 3.4 設計／施工段階での評価	3- 4
表 3.5 維持管理段階での評価	3- 4
表 3.6 舗装内排水	3- 5
表 3.7 計配合設の特徴	3- 5
表 3.8 南アフリカの配合設計基準	3- 6
表 3.9 バインダータイプ選定の一般的なガイド	3- 7
表 3.10 フランスにおける路盤の粒度範囲	3- 7
表 3.11 土質（CBR）調査の特徴	3- 8

表 3.12 交通量／軸重調査の特徴	3- 8
表 3.13 南アフリカ舗装設計ガイドライン：大型車軸重換算係数	3- 9
表 3.14 キルワ道路交通量調査結果（12 時間）	3-11
表 3.15 キルワ道路の予測交通量と実測交通量の比較（24 時間）	3-11
表 3.16 軸重調査結果（ネルソン・マンデラ道路）から計算される軸重換算係数	3-12
表 3.17 累積軸重の再計算結果と準備調査結果の比較	3-12
表 3.18 南アフリカの軸重換算係数（出典：TRH4, 1966、TRH16, 1991）	3-14
表 3.19 ニューバガモヨ道路交通量調査結果（24 時間）	3-14
表 3.20 ニューバガモヨ道路の予測交通量と実測交通量の比較	3-15
表 3.21 軸重調査結果（ニューバガモヨ道路）から計算される軸重係数	3-15
表 3.22 累積軸重の再計算結果と準備調査結果の比較	3-15
表 3.23 国道 8 号線交通量調査結果（24 時間）	3-16
表 3.24 国道 8 号線の予測交通量と実測交通量の比較	3-16
表 3.25 軸重調査結果（国道 8 号線）から計算される軸重係数	3-17
表 3.26 累積軸重の再計算結果と準備調査結果の比較	3-17
表 3.27 地質調査の内容	3-18
表 3.28 ORN31、タンザニア国と日本の CBR 評価方法	3-18
表 3.29 土質調査結果（雨季）	3-19
表 3.30 土質調査結果（乾季）	3-19
表 4.1 ラオス及びカンボジアの舗装基準の概要	4- 1
表 4.2 ラオス国の交通区分（舗装設計）	4- 2
表 4.3 ラオス国の設計基準に示される舗装厚さの基準	4- 3
表 4.4 カンボジアの舗装適用材料	4- 4
表 4.5 安定処理に用いる骨材の望ましい品質（下層路盤）	4- 4
表 4.6 安定処理後の品質（下層路盤）	4- 4
表 4.7 安定処理に用いる骨材の望ましい品質（上層路盤、下層路盤）	4- 5
表 4.8 安定処理に用いる骨材の望ましい品質（下層路盤）	4- 5
表 4.9 ラオス及びカンボジアの土質（CBR）調査基準	4- 6
表 4.10 ラオス及びカンボジアの交通量／軸重調査基準	4- 6
表 4.11 交通量調査結果（12 時間）	4- 9
表 4.12 交通量予測値の比較（24 時間）	4- 9
表 4.13 軸重換算係数の比較	4-10
表 4.14 累積軸重の再計算結果と準備調査結果の比較	4-10
表 4.15 交通量調査結果（12 時間）	4-11
表 4.16 予測交通量と実測値の比較	4-11
表 4.17 観測所データから計算される軸重換算係数	4-12
表 4.18 累積軸重の再計算結果と準備調査結果の比較	4-12
表 4.19 室内 CBR 試験の適用基準（Austroad 基準）	4-13

表 4.20	ラオス国の降雨量	4-13
表 4.21	土質調査試験の条件の比較	4-14
表 4.22	土質調査結果の比較	4-15
表 4.23	アスファルト合材輸送方法の比較	4-15
表 4.24	大型車交通量（台/日）測定 2014 年	4-16
表 4.25	アスファルト混合物の配合設計	4-16
表 4.26	試験項目	4-17
表 4.27	国道 9 号線のアスファルト混合物の配合設計	4-17
表 4.28	試験方法	4-20
表 4.29	試験結果	4-20
表 4.30	塑性変形輪数（動的安定度）の基準（日本）	4-21
表 4.31	BS ホイールトラッキング試験の限界値と日本基準の比較	4-22
表 4.32	試験結果の比較 BS ホイールトラッキング試験の限界値と日本基準の比較	4-22
表 5.1	設計条件と現場条件の乖離例	5- 1
表 5.2	予測交通量と実測値の比較（幹線道路：都市部）	5- 2
表 5.3	予測交通量と実測値の比較（国道：地方部）	5- 2
表 5.4	過積載調査結果（24 時間）	5- 3
表 5.5	土質調査結果（路床強度）の比較	5- 5
表 5.6	問題土の判定／対策工	5- 8
表 5.7	一般的な自然条件調査	5- 8
表 5.8	路床調査基準	5-10
表 5.9	タンザニアにおけるブラックコットンソイルの分類	5-14
表 5.10	分類別に示される対策工	5-14
表 5.11	舗装材料の性質	5-17
表 5.12	アスファルト舗装材料の材料基準（1/2）	5-17
表 5.13	アスファルト舗装材料の材料基準（2/2）	5-18
表 5.14	調査対象各国の交通量及び軸重調査基準	5-19
表 5.15	南アフリカ舗装設計ガイドライン：大型車軸数換算係数	5-20
表 5.16	交通荷重の伸び率の設定法	5-21
表 6.1	各基準の適用限界等	6- 2
表 6.2	流動わだち掘れの内的因子に対する対策	6- 4
表 6.3	流動わだち掘れの外的因子に対する対応	6- 5
表 6.4	舗装の性能指標	6- 6
表 6.5	試験方法	6- 7
表 6.6	ホイールトラッキング試験結果（低速走行試験）	6- 8
表 6.7	我が国の塑性変形輪数の基準値（国交省令第 103 号）	6- 9
表 6.8	舗装設計における交通量の区分	6-10
表 6.9	耐流動対策の動的安定度（DS）の目標値（回/mm）	6-10

表 6.10 過積載車両への配慮	6-12
表 6.11 AASHTO Pavement Design Guide に示される信頼度 R の推奨値	6-13
表 6.12 舗装設計便覧における信頼性と交通量換算	6-13
表 6.13 主な CBR 試験方法	6-14
表 6.14 セメント安定処理路盤の骨材の規定	6-16
表 6.15 セメント安定処理路盤の一軸圧縮強度の最大値、品質試験方法	6-17
表 6.16 Ac 層（表層・基層）の厚さの規定	6-19
表 6.17 AASHTO1993（米国）基準における厚さの最小値（inch）	6-19
表 6.18 舗装設計便覧（日本）における表層と基層を加えた最少厚さ	6-20
表 6.19 構築路床及び軟弱地盤対策	6-20
表 6.20 構造設計の確認に用いる舗装設計基準	6-21
表 6.21 舗装のライフサイクルコストの費用項目例	6-22
表 6.22 排水に関する留意事項	6-23
表 6.23 排水不良による設計条件選択のガイドライン	6-24
表 6.24 舗装の性能と設計のアウトプット	6-27
表 6.25 準備調査に適用可能な日本の基準等（案）	6-28
表 7.1 記載すべき設計条件（案）	7- 1
表 7.2 準備調査段階で想定される申し送り事項（例）	7- 2
表 8.1 耐流動性、耐摩耗性に寄与する要因	8- 7

図リスト

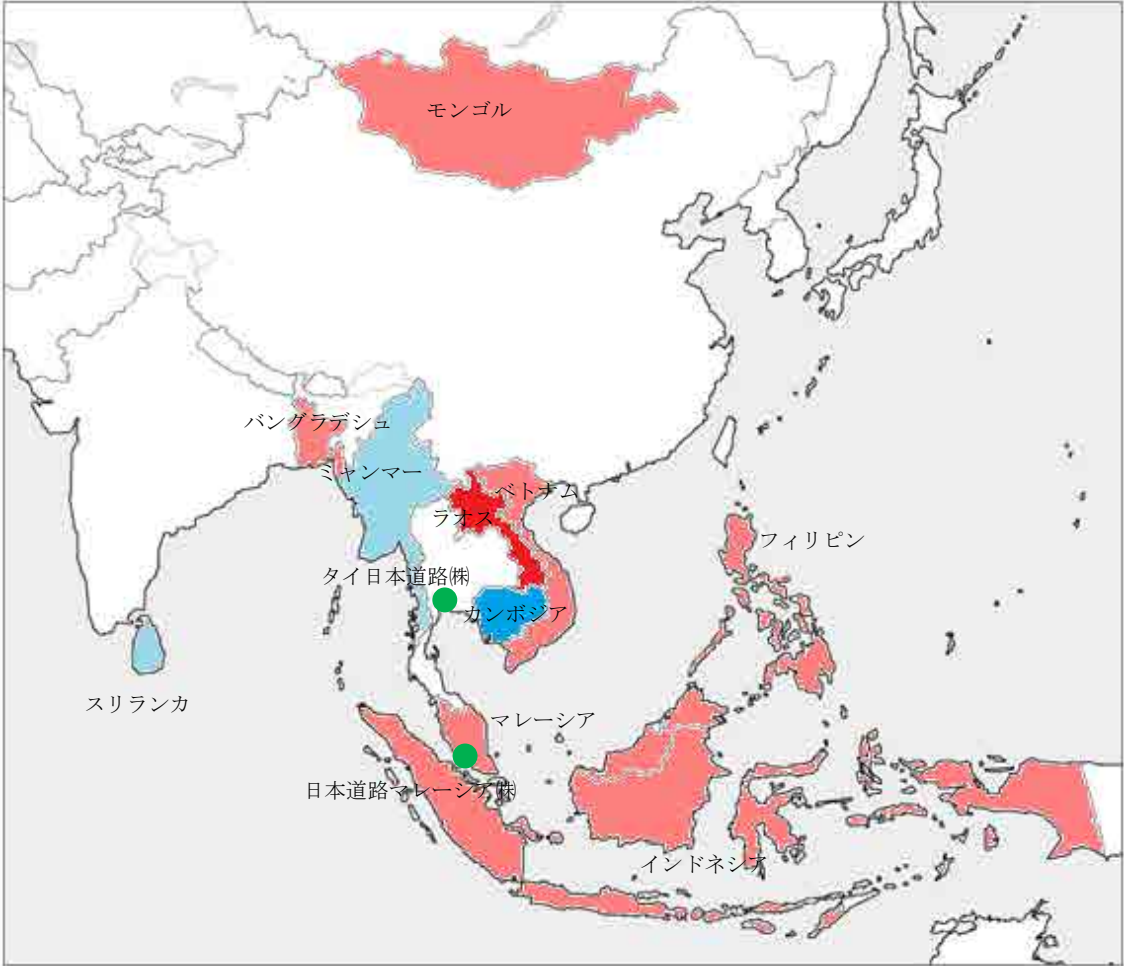
図 1.1 舗装構造のモデル図 (例)	1-23
図 3.1 粒度調整碎石路盤の締固め度の例	3- 4
図 3.2 交通量／軸重調査位置図 (タンザニア国 キルワ道路)	3-10
図 3.3 軸重調査結果	3-12
図 3.4 等価軸重の軸数への換算	3-13
図 3.5 軸重換算係数による等価軸重の軸数の算定	3-13
図 3.6 単軸の軸重換算係数と大型車の軸重換算係数の例	3-14
図 3.7 軸重調査結果	3-15
図 3.8 軸重調査結果	3-16
図 3.9 土質調査位置図 (タンザニア国 キルワ道路)	3-17
図 3.10 土質調査結果 (箇所別)	3-20
図 3.11 土質調査結果 (全体)	3-20
図 4.1 交通量／軸重調査位置図 (ラオス国 国道 9 号線)	4- 7
図 4.2 交通量調査位置図 (カンボジア国 国道 1 号線)	4- 8
図 4.3 軸重調査結果	4-10
図 4.4 軸重調査結果	4-11
図 4.5 土質調査位置図 (ラオス国 国道 9 号線)	4-12
図 4.6 ふるい試験結果 (タンザニア混合物)	4-18
図 4.7 ふるい試験結果 (ラオス混合物)	4-18
図 4.8 動的安定度試験結果	4-21
図 4.9 T_R の比較	4-22
図 4.10 D_{45} の比較	4-22
図 4.11 動的安定度 (D S) の比較	4-23
図 4.12 ホイールトラッキング試験の時間と変形の関係	4-23
図 5.1 対象国の車両輸入量の変化	5- 2
図 5.2 軸重調査結果 (昼間 12 時間)	5- 3
図 5.3 過積載車両調査結果 (軸重観測所データ)	5- 4
図 5.4 路床強度の設計時の CBR (室内 CBR 試験) と施工時の CBR (DCP による現場 CBR 試験、一部室内 CBR 試験) の比較例	5- 4
図 5.5 協力準備調査時の土質調査の位置と不良土の範囲	5- 6
図 5.6 施工時の詳細調査の位置と不良土の範囲	5- 6
図 5.7 ブラックコットンソイル対策工 (TANROADS 舗装設計マニュアル)	5-14
図 5.8 軸重換算係数の差異	5-20
図 6.1 舗装設計の一般的な流れ	6- 1
図 6.2 舗装温度と動的安定度の関係	6- 7
図 6.3 試験結果	6- 7

図 6.4 耐摩耗耐流動対策の選定フロー	6-10
図 6.5 セメント材料の長期的な性状	6-16
図 6.6 不透水性の連続的な路肩で路盤が拘束された「溝形」の横断面例	6-23
図 6.7 Road Note 31 に示される路肩排水方法（路盤排水）の例	6-24
図 6.8 道路土工-盛土工指針に示される地下排水工の例	6-25
図 6.9 道路計画における道路計画高設定の例	6-26
図 6.10 舗装の設計から施工までの流れ	6-27
図 8.1 耐流動性、耐摩耗性と 2.36mm ふるい通過量の関係	8-23
図 8.2 耐流動性、耐摩耗性とアスファルト量の関係	8-23

写真リスト

写真 3.1 試料採取状況(1)	3-18
写真 3.2 試料採取状況(2)	3-18
写真 3.3 試料採取箇所	3-21
写真 3.4 併設される大型側溝	3-21
写真 4.1 交通量調査実施状況	4- 7
写真 4.2 交通量調査実施箇所	4- 7
写真 4.3 軸重調査実施状況(1)	4- 8
写真 4.4 軸重調査実施状況(2)	4- 8
写真 4.5 交通量調査実施状況(1)	4- 8
写真 4.6 交通量調査実施状況(2)	4- 8
写真 4.7 国道 1 号線既存観測所	4- 9
写真 4.8 試料採取状況(1)	4-13
写真 4.9 試料採取状況(2)	4-13
写真 4.10 現場 CBR 確認状況	4-14
写真 4.11 クレックハンマーの CBR 値表示部	4-14
写真 4.12 土側溝が埋まり滞水している状態	4-14
写真 4.13 沿道部の滞水(雨季のみに発生)	4-14
写真 4.14 輸送準備された荷姿	4-16
写真 4.15 アスファルト混合物	4-16
写真 5.1 発生したドラゴンホール	5- 7
写真 5.2 ブラックコットンソイル	5- 7
写真 5.3 施工時の湧水(地下水)(1)	5-11
写真 5.4 施工時の湧水(地下水)(2)	5-11
写真 5.5 水浸直後	5-12
写真 5.6 水浸 24 時間後	5-12
写真 5.7 不飽和状態のブラックコットンソイル	5-12
写真 5.8 飽和状態のブラックコットンソイル	5-12
写真 5.9 土側溝が埋まり滞水している状態	5-15
写真 5.10 沿道部の滞水(雨季のみに発生)	5-15
写真 6.1 路面の破損状況	6- 4
写真 6.2 低速重車両	6- 4

調査対象国の位置図

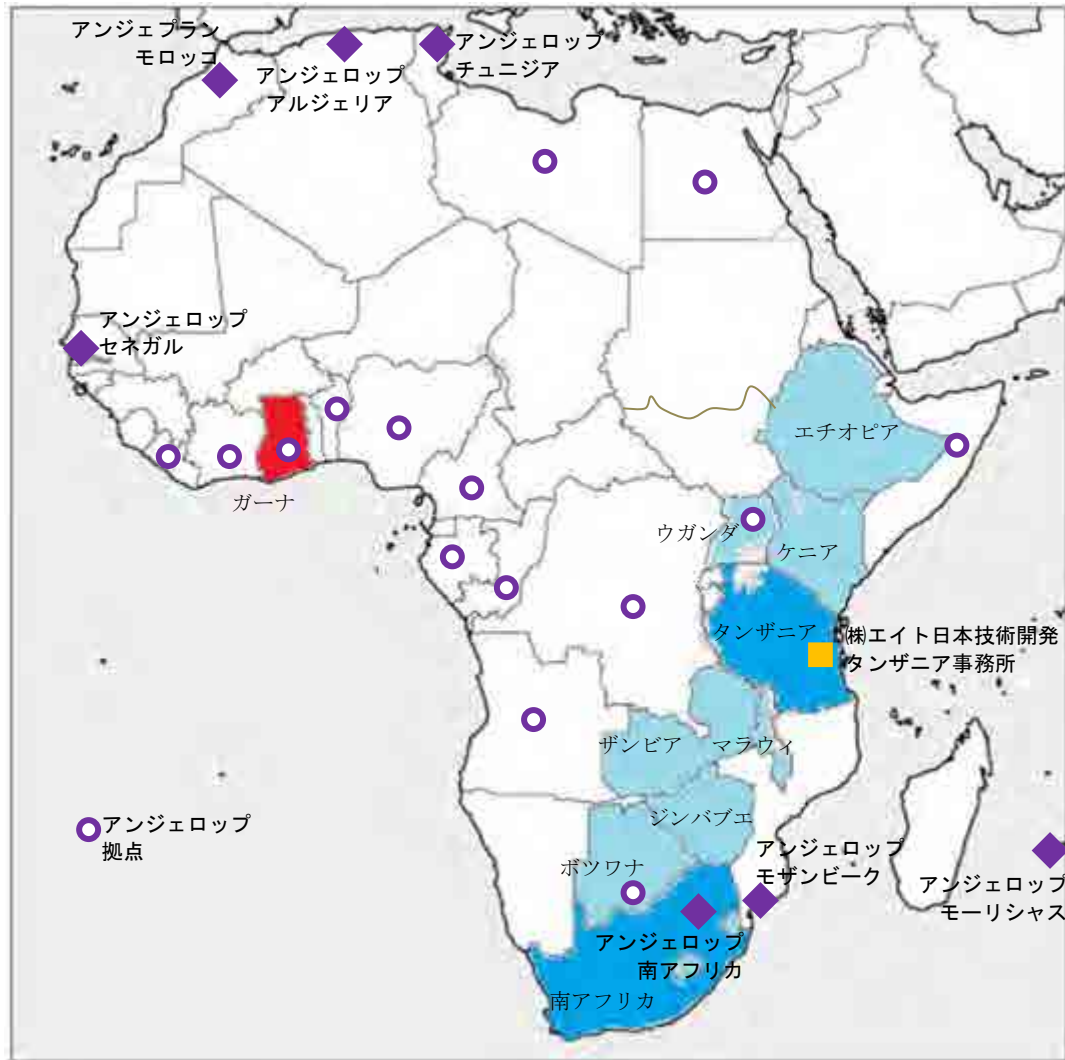


アジア各国の舗装設計基準と現地調査対象国

適用設計基準	国名	現地調査想定国
AASHTO を参照した基準を適用していると想定される国	ラオス、ベトナム*、マレーシア**、 バングラデシュ、モンゴル、 フィリピン、インドネシア等	ラオス
ORN31 参照した基準を適用していると想定される国	カンボジア、ミャンマー、スリランカ 等	カンボジア

*) ベトナムは、ロシア基準（主に国内事業）と AASHTO（主に国際支援事業）を使い分けている。

**）マレーシアは、ORN31 参照基準から AASHTO 参照基準に変更



アフリカ各国の舗装設計基準と現地調査対象国

適用設計基準	国名	現地調査想定国
AASHTOを参照した基準を適用していると想定される国	ガーナ等	ガーナ
ORN31参照した基準を適用していると想定される国	タンザニア、ケニア、ボツワナ、ウガンダ、南アフリカ、エチオピア、ザンビア、南部アフリカ共同体(SADC)等	タンザニア、南アフリカ(ヒアリングのみ)

現地調査写真集

1. アフリカ地域

(1) タンザニア国キルワ道路 (Phase I)



建設後7年経過しており、一部区間で路面損傷が発生。交通量測定箇所



中央分離帯に近傍にわだち掘れ(側方流動)交通量測定箇所



路肩側にわだち掘れ(側方流動)が発生。CBR試験の試料採取区間



バス停付近の損傷。CBR試験の試料採取区間

(2) タンザニア国キルワ道路 (Phase II)



路面にひび割れが発生、補修を行っている。CBR試験の試料採取区間



ひび割れをシール注入材で補修。CBR試験の試料採取区間

現地調査写真集



路肩の状況



路肩近傍の表面写真

(3) タンザニア国他の市内幹線道路



ダルエスサラーム港と国内主要路線を結ぶネルソン・マンデラ道路。軸重測定箇所



軸重測定を実施したネルソン・マンデラ道路

(4) タンザニア国ニューガモヨ道路拡幅工事（プラント視察）



アスファルト合材のサンプルを採取したプラント



アスファルト合材の材料試験装置

現地調査写真集

(5) 南アフリカ South Africa National Road Agency Limited (SANRAL)



南アフリカ 80km/h で走行しながらたわみ測定を行う Traffic Speed Deflectometer (概観)



Traffic Speed Deflectometer (内部)

2. アジア地域

(1) ラオス国



ラオス国 国道9号 (未改修区間)



ラオス国 国道9号 (未改修区間)



ラオス国 軸重計測所 (国道9号)



ラオス国 アスファルトプラント (大林組)

現地調査写真集

(2) カンボジア国



カンボジア国 ドラゴンホール（国道1号）



カンボジア国 軸重計測所（国道1号）

舗装破損写真集

「アフリカ地域 資金協力事業による道路整備の計画のあり方（基礎研究）」より



部分的な不具合が見られる箇所



山側からの地下水で山側のレーンが破壊している



急勾配区間に発生した流動わだち掘れ



小曲線部の流動わだち掘れ



急勾配区間に発生した側方流動



低速重量車両によるバインダーの染み出し

舗装破損写真集

「アフリカ地域 資金協力事業による道路整備の計画のあり方（基礎研究）」より



曲線部の損傷



深刻な不具合が見られる箇所



わだち掘れ（側方流動）等の損傷



わだち掘れ（側方流動）等の損傷



わだち掘れ（側方流動）等の損傷



連続する大型貨物車

舗装破損写真集

「アフリカ地域 資金協力事業による道路整備の計画のあり方（基礎研究）」より



オーバーレイと下層（既存）との層間はがれ



オーバーレイと下層（既存）との層間はがれ

第1章 設計基準書のレビュー・比較

舗装の設計とは、現地の交通条件、地盤条件、及び気象条件の下で、所定の期間（設計期間）にわたって所定の性能を満足するように、舗装各層の厚さ、材料を決定することであり、これらの具体的な設計手順については、各舗装設計基準に示されている。

各舗装設計基準に示される舗装の設計法には、経験に基づく経験的設計法と交通荷重による舗装の挙動を力学的に解析し、供用性（経験）に関係づけた破壊基準を適用する力学的経験的方法が代表的な設計法である。以下に、各設計法の代表的な事例を示す。

表1.1 舗装設計の代表的基準

設計法	各設計法の代表的な設計基準	作成国	採用している代表的な国
経験的設計法*	AASHTO Guide 1993	米国	米国、ガーナ、タイ等
	舗装設計便覧（平成18年）（TA法）	日本	日本
	ORN (Overseas Road Note) 31, 1993	英国	旧英国領他多数
	SATCC(南部アフリカ運輸交通委員会) Draft Code of Practice for the Design of Road Pavements	南ア	南部アフリカ地域
力学的経験的設計法	舗装設計便覧（平成18年） （多層弾性理論を適用した方法）	日本	日本
	MEPDG (Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide 2008)	米国	米国
	TRH (Technical Recommendations for Highways)4, 1996	南ア	南アフリカ
	SAMD (South African Mechanistic-Empirical Design Method)	南ア	南アフリカ

*力学的な検討が加味されている。

上記の内、米国では AASHTO Guide 1993 から力学的経験的設計法である MEPDG への完全な移行を目指し、南アフリカでは、TRH4 において CBR 法や DCP 法なども許容しているが、規格の高い道路（交通量の多い道路）の舗装設計の検証に SAMDM を用いることとしている。日本では、平成13年に性能規定が採用され、舗装設計便覧（平成18年）において、経験的設計法、力学的経験的設計法、又は性能が担保できるものであればどのような設計法を用いてもよいことになっているが、力学的経験的設計法については、適用に際しての検討が進められている段階である。この力学的経験的設計法の概要は1-4に示される。

なお、今回の調査対象とした開発途上国の舗装設計基準書では、経験的設計法を採用していた。

1-1. 舗装設計基準

(1) 比較設計基準の概要

基準名	舗装設計便覧 (平成 18 年)	AASHTO Guide 1993
作成国	日本	米国
作成年	2006 年	1993 年
概要	<p>1950 年 (昭和 25 年) に「アスファルト要綱」が国内基準として刊行され、官民の舗装技術者達の手によって激増する自動車交通量と道路利用者のニーズの変化に対応するため、新たな技術開発、諸外国の有用な経験や設計法が適宜取り入れられ、要綱類は順次改訂されてきた。</p> <p>平成 13 年 4 月には、「道路構造令」の改正により、舗装材の種類による仕様規定を改め、材質を問わず所要の性能を満たせばよいこととする性能規定が採用された。舗装設計便覧は平成 18 年に刊行され、路面設計方法、構造設計方法等をより具体化した技術参考書となっている。</p>	<p>AASHTO 舗装設計法は、1950 年代に実施された AASHTO 道路試験の結果に基づき、統計解析技術を駆使して作られた設計法であり、観測された破壊形態から、舗装構造と交通荷重の関係を見出した。この現場の経験に基づいた設計法を経験的設計法といい、AASHTO 舗装設計法はその代表格である。</p> <p>注：上記の設計式は、近年の交通事情にはそぐわないこと、新しい舗装材料に対応できないことなどが問題となっていたことから、AASHTO は 1998 年に産学官の共同作業チームを結成し、2004 年に Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, Final Report を公開し、2008 年に Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide を公表した。これにより経験的設計法から力学的経験的設計法に大幅にシフトし、各州はその実用化に向けた調査研究を実施中である。</p>
設計法	経験的設計法／力学的経験的設計法	経験的設計法
適用国	日本	米国等多数 (タイ、ガーナ等)
適用限界*	無し	無し (チャートの上限は累積軸重: 50×10^6)

基準名	Overseas Road Note 31	SATCC (南部アフリカ運輸交通委員会) Draft Code of Practice for the Design of Road Pavements
作成国	英国	南アフリカ
作成年	1962 年 (初版) 1966 年、1977 年 (改定)、1993 年 (改訂)	1998 年
概要	<p>英国の TRL (Transport Research Laboratory) が、熱帯・亜熱帯途上国を対象に、英国内および海外関連 30 の熱帯・亜熱帯諸国データにより作成した基準。少～多交通量道路を対象とし、表層として簡易舗装と本舗装の両方を推奨されている。作成国英国では Road Note 29 (現在は HD26/06) が舗装設計基準であり、重交通量路線も対象となっている。</p> <p>設計基準として利用される。</p>	<p>TRH4 (Technical Recommendation for Highway: South Africa) と OVERSEAS ROAD NOTE 31 を参考とし、Southern Africa Transport and Communication Unit (南部アフリカ運輸交通委員会) の運輸通信部会にて、主に南アフリカ地域で活用するために作成された基準。</p>
設計法	経験的設計法	経験的設計法
適用国	旧英国領他熱帯・亜熱帯諸国	南部アフリカ地域
適用限界*	累積軸重: 30×10^6	累積軸重: 30×10^6 適用限界を超えた場合、英国、米国、オーストラリア、及び南ア (TRH4) を参考とする。

*適用限界：設計期間内に想定される通過大型車両の累積軸重 (係数) の設計基準採用上の限界値

(2) 経験的設計法の手順

基準名	舗装設計便覧 (平成 18 年)	AASHTO Guide 1993
設計手順	<p>舗装の設計手順</p> <pre> graph TD A[設計条件の設定] --> B[路面設計] B --> C[舗装の構造設計] C --> D[経済性評価] D --> E[舗装構成の決定] E --> F[アスファルトの配合設計 (マーシャル設計法)] </pre> <p>設定条件</p> <ul style="list-style-type: none"> 設計期間 舗装計画交通量 舗装の性能指標 信頼性 表層(基層)材料の決定 工法の決定 交通条件 基盤(路床)条件 環境条件 材料条件 要求性能に対する評価 (動的安定度の確認等) 	<p>舗装の設計手順</p> <pre> graph TD A[設計条件の設定] --> B[舗装の構造設計] B --> C[経済性評価] C --> D[舗装構成の決定] D --> E[アスファルトの配合設計 (マーシャル設計法等)] </pre> <p>設定条件</p> <ul style="list-style-type: none"> 設計期間 設計交通量 信頼度の設定 全標準偏差 供用性指数 基盤(路床)条件 材料条件 環境条件 排水条件 施工後の供用性(破損)は、配合設計のプロセスで考慮。
特徴	設計は舗装各層の厚さ設計と表層混合物の設計からなる。設計は、供用性を考慮。	PSI (Pavement Serviceability Index : 供用性指数) を指標として舗装の設計を行う。
構造設計 (詳細は別冊ハンドブック付属資料 2 参照)	(経験的設計法 (T _A 法*) による場合) ①設計期間における大型車交通量から交通量区分を定める。 ②路床を CBR にて評価し、区間の CBR から設計 CBR を求める。 ③交通量区分と設計 CBR から目標 T _A を定める。 ④各層の設計舗装厚と等値換算係数の積から等値換算 T _A を算出し、これが目標 T _A を下回らないように舗装構成を定める。	① AASHTO 道路試験で得られた経験的情報から、「交通量」「設計および供用性」に対する【信頼性】【路床の支持力】【舗装構成】が関係する 基本式 を作っている。 ② 最終的に各層ごとに求まる厚さと層係数および排水係数の積の総和が必要とされる構造指数を満足するようにする。
備考	2 種類の構造設計方法が示される (1) T _A 法 : 目標 T _A 表に基づく舗装厚さの設計(利便性を考慮した方法)、及び T _A 式に基づく舗装厚さの設計(一般的な方法) (2) 多層弾性理論を用いた舗装厚さの設計(後述)	材料特性の季節変動の影響や設計プロジェクトに対する交通量評価は、設計者が徹底的に評価すべきであると前書きされている。
層構成	表層、基層、上層路盤、下層路盤からなる。	表層、基層、上層路盤、下層路盤からなる。
荷重支持	それぞれの層が強度に応じて分担し、全体を等値換算厚 (T _A) で評価・表示する。	それぞれの層が強度に応じて分担、各層、全体を構造係数 (SN:Structure Number) で評価・表示。

*T_A法 : Total Asphalt 法の略であり、舗装各層の材料強度をアスファルトを基準に換算し厚さを求める方法

表 1.2 舗装の性能と設計のアウトプットの例

設計の区分	舗装の性能の例		設計のアウトプット
路面設計	路面 (表層) の性能	塑性変形抵抗性 平たん性 透水性、排水性、騒音低減 すべり抵抗性など	①表層の使用材料 ②表層の厚さ (③基層の使用材料) (④基層の厚さ) (⑤施工方法)
構造設計	舗装構造の性能	疲労破壊抵抗性 透水性 その他	舗装構成 ①舗装を構成する層の数 ②各層の材料 ③各層の厚さ (④コンクリート版の強度)

出典 : 舗装設計施工指針 (H. 18 (社) 日本道路協会)

□AASHTO 基本式

AASHTO の 10 年間に及ぶ実際道路での大規模な試験結果を統計的にまとめた経験式を示す。必要強度は構造指数 (SN) と呼ばれ、以下の基本式から求められる。

$$\log_{10} W_{18} = Z_R * S_0 + 9.36 * \log_{10} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \frac{\Delta PSI}{(4.2 - 1.5)}}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

- W₁₈ : 供用期間内の 18kip (=8. 2t) 換算の軸荷重通過数
- Z_R : 信頼性係数 (信頼性確率に対応、都市部幹線道路は 80~99%の範囲、地方部幹線道路は 75~95%の範囲)
- S₀ : 全体の標準偏差 (たわみ性舗装は通常 0. 45 とする)
- M_R : 路床土のレジリエントモデュラス = CBR x 1, 500 (psi)
- ΔPSI : Pavement Serviceability Index (供用性指数) の初期設計供用性指数と設計終局供用性指数の差 (例: 初期値: Po=4. 2、終局値: Pt=2. 5 とすると Po-Pt = 1. 7)

基準名	Overseas Road Note 31	SATCC(南部アフリカ運輸交通委員会) Draft Code of Practice for the Design of Road Pavements																												
設計手順	<table border="1"> <tr> <th>舗装の設計手順</th> <th>設定条件</th> </tr> <tr> <td>設計条件の設定</td> <td>- 設計期間 - 舗装設計交通量 - 基盤(路床)条件</td> </tr> <tr> <td>↓</td> <td></td> </tr> <tr> <td>舗装の構造設計</td> <td>- 材料条件 - 排水条件</td> </tr> <tr> <td>↓</td> <td></td> </tr> <tr> <td>舗装構成の決定</td> <td>カタログからの選定</td> </tr> <tr> <td>↓</td> <td></td> </tr> <tr> <td>アスファルトの配合設計 (マーシャル設計法)</td> <td>重交通路線に対し、リ フューザルデンシティ法を 推奨</td> </tr> </table>	舗装の設計手順	設定条件	設計条件の設定	- 設計期間 - 舗装設計交通量 - 基盤(路床)条件	↓		舗装の構造設計	- 材料条件 - 排水条件	↓		舗装構成の決定	カタログからの選定	↓		アスファルトの配合設計 (マーシャル設計法)	重交通路線に対し、リ フューザルデンシティ法を 推奨	<table border="1"> <tr> <th>舗装の設計手順</th> <th>設定条件</th> </tr> <tr> <td>設計条件の設定</td> <td>- 設計期間 - 舗装設計交通量 - 基盤(路床)条件 - 気象条件</td> </tr> <tr> <td>↓</td> <td></td> </tr> <tr> <td>舗装の構造設計</td> <td>- 材料条件 - 排水条件</td> </tr> <tr> <td>↓</td> <td></td> </tr> <tr> <td>舗装構成の決定</td> <td>気象条件(Wet or Dry)を考 慮したカタログからの選定</td> </tr> </table>	舗装の設計手順	設定条件	設計条件の設定	- 設計期間 - 舗装設計交通量 - 基盤(路床)条件 - 気象条件	↓		舗装の構造設計	- 材料条件 - 排水条件	↓		舗装構成の決定	気象条件(Wet or Dry)を考 慮したカタログからの選定
舗装の設計手順	設定条件																													
設計条件の設定	- 設計期間 - 舗装設計交通量 - 基盤(路床)条件																													
↓																														
舗装の構造設計	- 材料条件 - 排水条件																													
↓																														
舗装構成の決定	カタログからの選定																													
↓																														
アスファルトの配合設計 (マーシャル設計法)	重交通路線に対し、リ フューザルデンシティ法を 推奨																													
舗装の設計手順	設定条件																													
設計条件の設定	- 設計期間 - 舗装設計交通量 - 基盤(路床)条件 - 気象条件																													
↓																														
舗装の構造設計	- 材料条件 - 排水条件																													
↓																														
舗装構成の決定	気象条件(Wet or Dry)を考 慮したカタログからの選定																													
特徴	熱帯諸国の実績にもとづき、英国の舗装技術を組み入れている。	気象条件 (Wet と Dry) により舗装構成を大きく変えている。																												
構造設計	設計交通量を累積標準軸重通過数に換算した値、路床支持力、及び材料条件から舗装構造をカタログから選定	設計交通量を累積標準軸重通過数に換算した値、路床支持力、及び材料条件から舗装構造をカタログから選定																												
層構成	表層、基層、上層路盤、下層路盤からなる。	表層、基層、上層路盤、下層路盤からなる。																												
荷重支持	表層のメニューは SD (Surface Dressing: 防塵、防水を考慮した簡易舗装) と HMA (Hot Mix Asphalt: 一般的なアスファルト舗装) があり、SD の場合は路盤以下で荷重を支持する。	表層のメニューは SD (Surface Dressing: 防塵、防水を考慮した簡易舗装) と HMA (Hot Mix Asphalt: 一般的なアスファルト舗装) があり、SD の場合は路盤以下で荷重を支持する。																												

(3) 交通条件の設定

基準名	舗装設計便覧（平成 18 年）	AASHTO Guide 1993
荷重条件	大型車交通量／49kN 換算輪数（ESWL）	80 kN 等価単軸荷重（ESAL）
交通量調査	記述なし（他の基準類による）	記述なし（他の基準類による）
軸重調査	記述なし（他の基準類による）	記述なし（他の基準類による）
標準荷重の換算係数	4 乗則	80kN の等価単軸係数（ほぼ 4 乗則）を使用
舗装設計対象交通	<ul style="list-style-type: none"> ・構造設計には、1 日 1 方向当たりの大型車交通量を用いている。 ・片側 3 車線以上の道路の場合は、大型車交通量を 70%まで低減可能としている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・構造設計には、設計期間における累積標準軸通過数/設計車線を用いている。 ・多車線道路の場合は 1 方向当たりの車線数に応じ分配率を乗じて算定している。
評価方法	<ul style="list-style-type: none"> ・大型車交通量から設計交通量を決定する場合は 7 段階 (N1～N7 交通) に区分する。 ・走行車両の輪荷重から設計交通量を決定する場合は、4 乗則を用いて求めた日 49kN 換算輪数 (N5) から、設計期間 n 年における累積 49kN 換算輪数 (N) を算出する。 $N = \sum (N5 \times 365 \times a_i)$ <p>a_i : 交通量の伸び率</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・設計車線の交通量 (W18, 1 方向 1 車線, 18kip ESAL) は、両方向の推定交通量 (W18) から下式により求める。 $W18 = D0 \times D1 \times D18$ <p>D0: 方向別分布係数 (0.3～0.7) DL: 車線別分布係数 (0.5～1.0) W18: 18kip ESAL に換算した両方向の推定交通量</p>
設計期間	<p>路面の設計期間：路面の設計期間は、道路交通や沿道環境に影響を及ぼす舗装工事の影響、当該舗装の LCC、利用できる舗装技術等を総合的に勘案して道路管理者が適宜設定する。一般に舗装の設計期間と同じか、または短く設定する。</p> <p>舗装の設計期間：路面の設計期間の設定の場合と同様であるが、以下のような場合には、設計期間を長くすることが望ましい。</p> <p>(例)</p> <ul style="list-style-type: none"> i) 主要幹線道路の舗装（高速道路 40 年、国道 20 年） ii) トンネル内舗装（20～40 年） 	<p>LCC に基づく評価を行うための解析期間が、道路条件ごとに示されている。</p> <p>設計期間：20 年</p>
交通量の伸び率	記述なし	記述なし

基準名	Overseas Road Note 31	SATCC(南部アフリカ運輸交通委員会) Draft Code of Practice for the Design of Road Pavements																																				
荷重条件	80 kN 等価単軸荷重 (ESAL)	80 kN 等価単軸荷重 (ESAL)																																				
交通量調査	7 日間連続調査を推奨 (内平/休日 1 日は 24 時間調査とし、可能 であれば年間数回の調査が望ましい)	ORN31 を参照																																				
軸重調査	Road Note 40 を参照 7 日間連続 24 時間調査を推奨 (12 時間又は 16 時間まで低減可能。抽出率 は 80%以上)	ORN31 を参照																																				
標準荷重の 換算係数	$EF = (\text{Axle load}(\text{kg}) / 8160(\text{kg}))^{4.5}$	$EF = (P(\text{kN}) / 80(\text{kN}))^n$ n: 3~4.5 (使用材料で異なる)																																				
舗装設計 対象交通	<ul style="list-style-type: none"> 中/大型交通 (大型バス、中型貨物、大型貨物 (3 軸)、 大型貨物 (4 軸以上)) 車線数による低減の規定は記載なし 	<ul style="list-style-type: none"> 中/大型交通 車線数、幅員構成および交通量により配分量を規定 																																				
評価方法	<p>設計期間の累積軸重により 8 段階 (T1~T8) に区分する。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Traffic Class</th> <th>Range (10⁶ESA)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>T1</td><td>< 0.3</td></tr> <tr><td>T2</td><td>0.3 - 0.7</td></tr> <tr><td>T3</td><td>0.7 - 1.5</td></tr> <tr><td>T4</td><td>1.5 - 3.0</td></tr> <tr><td>T5</td><td>3.0 - 6.0</td></tr> <tr><td>T6</td><td>6.0 - 10.0</td></tr> <tr><td>T7</td><td>10.0 - 20.0</td></tr> <tr><td>T8</td><td>20.0 - 30.0</td></tr> </tbody> </table>	Traffic Class	Range (10 ⁶ ESA)	T1	< 0.3	T2	0.3 - 0.7	T3	0.7 - 1.5	T4	1.5 - 3.0	T5	3.0 - 6.0	T6	6.0 - 10.0	T7	10.0 - 20.0	T8	20.0 - 30.0	<p>設計期間の累積軸重により 8 段階 (T1~T8) に区分する。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Traffic Class</th> <th>Range (10⁶ESA)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>T1</td><td>< 0.3</td></tr> <tr><td>T2</td><td>0.3 - 0.7</td></tr> <tr><td>T3</td><td>0.7 - 1.5</td></tr> <tr><td>T4</td><td>1.5 - 3.0</td></tr> <tr><td>T5</td><td>3.0 - 6.0</td></tr> <tr><td>T6</td><td>6.0 - 10.0</td></tr> <tr><td>T7</td><td>10.0 - 20.0</td></tr> <tr><td>T8</td><td>20.0 - 30.0</td></tr> </tbody> </table>	Traffic Class	Range (10 ⁶ ESA)	T1	< 0.3	T2	0.3 - 0.7	T3	0.7 - 1.5	T4	1.5 - 3.0	T5	3.0 - 6.0	T6	6.0 - 10.0	T7	10.0 - 20.0	T8	20.0 - 30.0
Traffic Class	Range (10 ⁶ ESA)																																					
T1	< 0.3																																					
T2	0.3 - 0.7																																					
T3	0.7 - 1.5																																					
T4	1.5 - 3.0																																					
T5	3.0 - 6.0																																					
T6	6.0 - 10.0																																					
T7	10.0 - 20.0																																					
T8	20.0 - 30.0																																					
Traffic Class	Range (10 ⁶ ESA)																																					
T1	< 0.3																																					
T2	0.3 - 0.7																																					
T3	0.7 - 1.5																																					
T4	1.5 - 3.0																																					
T5	3.0 - 6.0																																					
T6	6.0 - 10.0																																					
T7	10.0 - 20.0																																					
T8	20.0 - 30.0																																					
設計期間	15 年迄 (推奨) (長期間を考慮する場合は段階施工を推奨)	10~20 年 (道路の重要度と推計値の信頼度から決定)																																				
交通量の 伸び率	伸び率は GDP 等を使用する。対象として自然増交通量、転換交通量、誘発交通量を考慮する。	通常は 2~15%の範囲にあるが、社会経済指標を用いて設定することとされている。																																				

(4) 信頼度及び環境条件の設定

基準名	舗装設計便覧（平成 18 年）	AASHTO Guide 1993
信頼度	信頼性は、ネットワーク上の路線の位置付けや交通の状況等、道路の重要性に応じて使い分けることとなっている。	下表のように、道路区分に応じて設定される。
排水条件	総論（舗装設計施工指針）において重要性に触れるが具体的記述はない。路盤内排水に関する記述はない。問題となる切土構造などに関しては土工指針（排水工指針）による。	舗装構造、特に路盤の排水性に問題がある場合舗装の性能は劣化していく。AASHTO では安定処理をしない場合の路盤の層係数を修正するため排水係数 m_i を考慮することとしている。 また、自由水の排水に必要な排水層、フィルター層の設置の重要性を記載し、一般的な考慮事項として 1) 表面排水、2) 地下排水、3) 構造的な排水を考慮することとされている。
気象条件	TA 法の場合は、凍上抑制層の検討のために凍結指数から凍結深さを算定する。	温度と降雨の 2 つの要素を考慮する。温度は、たわみ性舗装のモデュラス、熱応力、路床土の凍上あるいは凍結融解に関連する。降雨は、舗装構造あるいは路床への浸潤に影響する。
その他	-	ステージコンストラクションもしくは計画的な修繕計画の選択における信頼性を問題とする場合には、合成信頼性の影響を考慮することが重要となる。

表1.3 信頼性と交通量換算（舗装設計施工指針（H.18（社）日本道路協会）

信頼性	50%	75%	90%
意味	疲労破壊を起こすまでの期間が設計期間を上回るものが全体の50%	疲労破壊を起こすまでの期間が設計期間を上回るものが全体の75%	疲労破壊を起こすまでの期間が設計期間を上回るものが全体の90%
交通量換算	1倍	2倍	4倍
疲労破壊までの期間（参考）	設計条件の通りであれば設計期間を通して疲労破壊を生じない舗装	設計条件に若干の変動があっても設計期間を通して疲労破壊を生じない舗装および設計条件の通りであれば設計期間を若干超過しても疲労破壊を生じない舗装	設計条件に大幅な変動があっても設計期間を通して疲労破壊を生じない舗装および設計条件の通りであれば設計期間を大幅に超過しても疲労破壊を生じない舗装

表1.4 信頼度 R の推奨値（AASHTO1993）

	州際道路・高速道路	幹線道路	集散道路	地方道路
都市部	85-99.9	80-99	80-95	50-80
地方部	80-99.9	75-95	75-95	50-80

基準名	Overseas Road Note 31	SATCC(南部アフリカ運輸交通委員会) Draft Code of Practice for the Design of Road Pavements
信頼度	記述なし	記述なし
排水条件	第5章に排水・路肩について記述有り。路床を地下水位より高くすること、表層のみならず路盤についても、横断勾配によって水を早く排出すること、透水性の路盤材の適用（路盤排水）について言及されている。	Appendix-B に排水・路肩について記述有り。路床を地下水位より高くすること、表層のみならず路盤についても、横断勾配によって水を早く排出すること、透水性の路盤材の適用（路盤排水）について言及されている。

気象条件	気象条件 (C1:多雨地域、C2:それほどの頻度で高い降雨量が発生しない、C3:乾燥地域) によって CBR 試験の方法を変えている。また、材料、施工への影響も記述されている。	気象条件 (多雨地域、それほどの頻度で高い降雨量が発生しない、乾燥地域) によって CBR 試験の方法を変えている。
その他	骨材強度 (TFV) の規定に気象条件が考慮されている。	気象条件により舗装構成を変えている。

1-2. 自然条件調査 (路床強度)

(1) 路床の評価試験

路床の支持力を求める方法は、大別すれば下記の表のように土質区分法、CBR 法、平板載荷法、三軸試験法の 4 つに分けられる。このうち、評価試験の負担が小さい CBR 法や土質区分法が世界的な主流となっている。

表1.5 代表的な路床の評価方法

分類	方法・事例・長所・短所		備考
土質区分法	方法	粒度、液性限界 (LL)、塑性限界 (PL) などによって路床土を分類し、分類に応じた評価を行う方法。	ORN31、SATCC 基準にも土質区分と地下水位による CBR 評価が記載されている。
	事例	AASHTO ソイルナンバー法など。	
	長所	特別な装置は必要なく試験も簡単で結果もすぐわかる。	
	短所	路床土の支持力を直接的に評価する方法ではない。	
CBR 法	方法	路床土を室内で突固め CBR 試験によって評価する方法。現場 CBR 試験もあるが現在実施している国はほとんどない。	室内・現場の他、含水比、水浸・非水浸などの違いによる細分がある。
	事例	舗装設計便覧 (日本) 等多数	
	長所	比較的簡単な試験で路床土の工学的性状を評価できる	
	短所	乱さない状態の路床土の評価は行えない	
DCP 法	方法	動的貫入試験 (DCP: Dynamic Cone Penetration) は、南アフリカ共和国で開発された方法で、路盤や路床にコーンを貫入させ、土の貫入抵抗を計測する方法。	TRL (英国) や CSIR (南ア) より、土質区分等を考慮した解析ソフトが公開されている。
	事例	ROAD NOTE、SATCC 等、世界的に使用例がある。	
	長所	簡易な計測機器であり、安価に多数のデータを採ることができる。また、CBR への変換式も多数提案されている。	
	短所	土質区分、雨季/乾季の土の性状変化の評価が課題である。	
平板載荷法	方法	現位置において平板載荷試験を実施し路床の支持力を直接求める方法	-
	事例	舗装設計便覧 (日本) コンクリート舗装の路床の支持力係数による路盤厚の設計法 (CBR 法と併記されている)	
	長所	路床の支持力を直接評価できる	
	短所	実際の路床面での試験を行うため非現実的な側面を持つ	
三軸試験法	方法	路床土を室内で突固め三軸圧縮試験 (側圧を一定とすることが多い) によって評価する方法	路床のレジリエントモジュラス (MR) の測定が可能
	事例	カリフォルニア州のビームスタビロメータ法など	
	長所	路床土の力学的性状を評価できる	
	短所	試験がやや面倒で一般に熟練を要する	

(2) 基準別路床の評価方法

基準名	舗装設計便覧（平成 18 年）	AASHTO Guide 1993																
路床の定義	<p>厚さ規定：舗装の支持地盤のうち舗装の下面から約 1m の地盤。</p> <p>路床の定義：舗装と一体となって交通荷重を支持し、当該荷重を路体以下にはほぼ一定に分散する役割を担う。</p>	<p>厚さの規定：記述なし。</p> <p>路床の定義：その上に舗装構造あるいは路肩を施工する調整路床土として、締め固められた路床土の層、あるいは選別された客土で特定の密度に締め固められたものという定義がある。</p>																
試料の採取	<p>予備調査による土質調査を CBR 試験に先立ち数多く実施する。予備調査の結果、路床土に変化のある場合には、あらかじめ舗装厚を変えるべき区間を想定する。変化の少ないと思われる区間では CBR 試験の個数を少なくし、変化の多いと思われる区間ではその個数を多くする。ただし、調査区間が比較的短い場合や、路床土がほぼ均一と見なされる場合であっても、道路延長線上に 3 箇所以上とする。</p>	記載なし																
路床の試験	<ul style="list-style-type: none"> 水浸 CBR 試験 	<ul style="list-style-type: none"> 季節の含水比変化を考慮したレジリエントモデュラス (MR) による評価 MR は室内試験等によって得られる。 CBR 値からの変換式も多く提案されているが、一般的に $MR=1,500 \times CBR$ が用いられる。 																
地点の CBR	<p>ある地点の路床の支持力であり、路床面下 1 m で土質が変わる場合には、異なる土質毎に CBR 試験を実施し、定められた公式により合成 CBR を求める。</p>	記載なし																
区間の CBR	<p>ある区間における路床の支持力を、次式によって求めたものである。</p> <p>区間の CBR = (各地点の CBR の平均値) - (各地点の CBR の標準偏差)</p> <p>ただし、極端な値の「地点の CBR」は棄却判定によって計算から除外する。</p> <p>ここでいう区間とは、舗装厚さを同一とする区間をいう。</p>	記載なし																
設計 CBR	<p>設計 CBR とは、構造設計に用いる CBR の値をいう。CBR20%以上の場合の設計 CBR は 20 とする。</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>区間の CBR</th> <th>設計 CBR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2 以上 3 未満</td> <td>(2)</td> </tr> <tr> <td>3 以上 4 未満</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>4 以上 6 未満</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>6 以上 8 未満</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>8 以上 12 未満</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>12 以上 20 未満</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>20 以上</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table>	区間の CBR	設計 CBR	2 以上 3 未満	(2)	3 以上 4 未満	3	4 以上 6 未満	4	6 以上 8 未満	6	8 以上 12 未満	8	12 以上 20 未満	12	20 以上	20	記載なし
区間の CBR	設計 CBR																	
2 以上 3 未満	(2)																	
3 以上 4 未満	3																	
4 以上 6 未満	4																	
6 以上 8 未満	6																	
8 以上 12 未満	8																	
12 以上 20 未満	12																	
20 以上	20																	

基準名	Overseas Road Note 31 1993	SATCC(南部アフリカ運輸交通委員会) Draft Code of Practice for the Design of Road Pavements 1998																												
路床の定義	厚さの規定：記述なし。 工事中に上部250mmを再転圧することを規定している。	厚さの規定：以下のとおり <table border="1"> <thead> <tr> <th>Class</th> <th>Minimum Depth (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>S1</td><td>250</td></tr> <tr><td>S2</td><td>250</td></tr> <tr><td>S3</td><td>350</td></tr> <tr><td>S4</td><td>450</td></tr> <tr><td>S5</td><td>550</td></tr> <tr><td>S6</td><td>650</td></tr> </tbody> </table>	Class	Minimum Depth (mm)	S1	250	S2	250	S3	350	S4	450	S5	550	S6	650														
Class	Minimum Depth (mm)																													
S1	250																													
S2	250																													
S3	350																													
S4	450																													
S5	550																													
S6	650																													
試料の採取	記述なし	記述なし																												
路床の調査	<ul style="list-style-type: none"> 修正 CBR 試験 (BS 基準：平衡含水比*) 水浸／非水浸**は状況によって判断 CBR 試験によらず、土質と地下水位から CBR を推定するチャート有り 	<ul style="list-style-type: none"> 修正 CBR 試験 (AASHTO T-99) 水浸／非水浸は状況によって判断 DCP (動的コーン貫入試験) 試験の利用も可能 																												
地点の CBR	記述なし	記述なし																												
区間の CBR	10%タイル値を使用	10%タイル値を使用																												
設計 CBR	CBR 試験の結果を以下の 6 クラスに分類する。 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Class</th> <th>Range (CBR%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>S1</td><td>2</td></tr> <tr><td>S2</td><td>3 - 4</td></tr> <tr><td>S3</td><td>5 - 7</td></tr> <tr><td>S4</td><td>8 - 14</td></tr> <tr><td>S5</td><td>15 - 29</td></tr> <tr><td>S6</td><td>30+</td></tr> </tbody> </table> CBR クラスが S1～S4 の場合、使用材料や交通クラスによって、CBR15%以上の材料による Capping Layer (調整層又は構築路床) を上部路床として設ける。	Class	Range (CBR%)	S1	2	S2	3 - 4	S3	5 - 7	S4	8 - 14	S5	15 - 29	S6	30+	CBR 試験の結果を以下の 6 クラスに分類する。 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Class</th> <th>Range (CBR%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>S1</td><td>2</td></tr> <tr><td>S2</td><td>3 - 4</td></tr> <tr><td>S3</td><td>5 - 7</td></tr> <tr><td>S4</td><td>8 - 14</td></tr> <tr><td>S5</td><td>15 - 29</td></tr> <tr><td>S6</td><td>30+</td></tr> </tbody> </table> CBR クラスが S1～S4 の場合、使用材料や交通クラスによって、CBR15%以上の材料による Capping Layer (調整層又は構築路床) を上部路床として設ける。	Class	Range (CBR%)	S1	2	S2	3 - 4	S3	5 - 7	S4	8 - 14	S5	15 - 29	S6	30+
Class	Range (CBR%)																													
S1	2																													
S2	3 - 4																													
S3	5 - 7																													
S4	8 - 14																													
S5	15 - 29																													
S6	30+																													
Class	Range (CBR%)																													
S1	2																													
S2	3 - 4																													
S3	5 - 7																													
S4	8 - 14																													
S5	15 - 29																													
S6	30+																													
その他	・ CBR が 2 未満の場合は路床の改良を行う。	・ CBR が 2 未満の場合は路床の改良を行う。																												

*平衡含水比

含水比の種類	詳細
自然含水比	土が自然状態の時に保持している含水量のこと。土質や地下水位などに応じて広い範囲で変化するが、砂質土で 5%から 30%程度、粘性土で 30%から 80%程度が目安となる。
最適含水比	一定の方法と一定の締め固めエネルギーによって土を締め固めたとき、最もよく締まる状態の含水比のこと。一般には最大乾燥密度が大きい土ほど最適含水比が小さく、細粒度ほど最大乾燥密度は小さい。
平衡含水比	路床は舗装されるまでは水分の出入れがあるが、舗装後はその出入れが絶たれるので一定の含水状態になると考えられる。その将来の落ち着くべき路床の含水状態＝平衡含水比となる。

**水浸／非水浸

水浸／非水浸	適用条件
水浸	一般的な条件下では水浸 CBR 試験を実施
非水浸	乾燥地域 (low rainfall areas, water-table low) で適用

(3) CBR 試験及び修正 CBR 試験

以下に日本の基準を事例として、CBR 試験と修正 CBR 試験の違いについて示す。

表1.6 CBR 試験と修正 CBR 試験の違い

項目	CBR 試験	修正 CBR 試験
締固め条件	4.5kg、3層 67回	4.5kg、3層 各層 17回、42回、92回
含水比	自然含水比(雨季と乾季で含水比が変化する)	最適含水比(雨季と乾季で変化しない)
水浸条件	4日間(供試体全体を水浸)	4日間(供試体全体を水浸)
採取時における雨季/乾季の CBR 値	自然含水比での試験のため、雨季と乾季で CBR 値が異なる。	最適含水比での試験のため、雨季と乾季で CBR 値が異なることはない。CBR 値は規定された密度における値とする。
適用事例	切土部	構築路床の置換え材料(いわゆる selected material)

我が国の路床土の CBR 試験は上表の含水比条件と締固め条件で行う。これは土取り場または切土路床からの採取試料の含水量が最適含水量よりも湿潤なことが多く最適含水量での CBR 評価が現実的でないことから自然含水量、また通常の締固め機械・装置で現場において確実に達成される密度に該当する室内締固め条件、供用中の路床土の最悪条件を想定した水浸条件をそれぞれ設定したことによる。

海外の事例では我が国の NEXCO と同様に、最適含水比への調整が可能(一般に良質な路床土)で、規定された密度における CBR(我が国でいう修正 CBR)を求める。海外の事例では、これら条件が現実的であると解釈される。

路床土の CBR を我が国のような方法で求めるか、海外の事例のように最適含水比における規定された密度の値とするかは、現場で達成できる密度と含水比における現実的な値を求め、設計に適用するという考え方は共通している。

なお、試験方法の詳細(突固め回数等)は各基準によって異なるため、それらを参照する。

以上のように、「現場で得られる密度(締固め規定)と想定される最悪の含水状態において評価される CBR を設計に用いること」である。

1-3. 配合設計法

アスファルト舗装の表層には主として加熱アスファルト混合物を用いるが、流動わだち掘れなどに抵抗する路面を確保することが基本である。したがって、アスファルト混合物の品質を決定する上で、配合設計が非常に重要となる。配合設計とは、所定の品質の材料を用いて、流動わだち掘れ抵抗性などの要求される品質が得られるようにアスファルト量や骨材の量を決定するものである。我が国ではマーシャル配合設計法を用いている。開発途上国に適用されている舗装設計基準においてもマーシャル配合設計法が用いられているが、配合設計を行う際のマーシャル試験基準値、供用後の交通による締固めの影響を配合設計段階でどのように評価するかなどが適用基準によって異なる。

アスファルト混合物の配合設計法に関しては、新しい配合設計法として Superpave 法がある。この方法は容積配合設計であるが、交通レベルの高い場合は容積設計と現場パフォーマンスと直接関係付けられる工学的な特性を設計に組み込み供用性予測を行う室内パフォーマンス試験を検証試験として行うものである。

これらのことから、以下には主な配合設計法、材料仕様の比較を示す。

(1) 主な配合設計法

設計方法	マーシャル法	Superpave 法	Refusal Density 法
概要	気象条件、交通条件などから混合物の種類と使用する材料を選定し、骨材配合比は粒度規定を満たすよう決定する。アスファルト量を変化させ、交通条件に応じた締固め回数にて供試体を作製し、マーシャル試験を行う。設計アスファルト量は混合物基準を満たす範囲(一般に中央値)で設定する。舗装施工便覧、ORN19 など世界で広く適用されている。	パフォーマンスグレイド(PG)のアスファルトと、骨材、粒度を選定し、ローラ転圧をシミュレーションしたジャイレトリコンパクタを用い、交通レベルに応じた締固めパラメーター(回転数など)によって混合物を締め固め、容積基準から設計アスファルト量を設定する。	供用後の交通による締固めに対する抵抗性(わだち掘れ抵抗性)を考慮した方法で、マーシャル供試体を最終的な締固め状態まで施工厚にて締め固め、一般に空隙率が3%以下にならないように設計アスファルト量を設定する、ORN19 では締固めに労力、時間を要さない振動ハンマーを用いる。マーシャル法の改善、流動わだち掘れ抵抗性評価試験として位置づけられる。Road Note 31 と 19 で採用されている。
使用材料の選定方法	①アスファルト：気象、地域、交通条件、適用箇所などから選定する。 ②骨材：規定を満たし、安定して必要な数量を確保できる骨材を選定する。	①アスファルト：最高および最低舗装温度から選定する。 ②骨材：Superpave 骨材規定を満たす骨材を選定する。	マーシャル法と同じ。
骨材の評価方法	①粗骨材；清浄さ、粒度、粒形、強度、アブレーション、ポリッシング、吸水量、安定性、有害物量、はく離抵抗性(舗装施工便覧, ORN19 など) ②細骨材；清浄さ、安定性、粒度(ORN19 など)	①粗骨材：最大粒径、粒度、角張り、扁平と細長 ②細骨材：角張り、砂当量	マーシャル法(ORN19)と同じ。
設計アスファルト量の選定方法	混合物基準：(空隙率、飽和度、骨材間隙率、安定度、フロー値)を満たすアスファルト量の範囲から選定。一般に範囲の中央値。機関によって基準項目、基準値が異なる。(舗装施工便覧, ORN19 など)	設計アスファルト量は交通レベルに応じた容積基準(締固めパラメーター N_{ini} 、 N_{design} 、 N_{max} における空隙率、 N_{design} における骨材間隙率、飽和度、ダストバインダー比)を満たすよう設定する。	Refusal Density において空隙率が3%となるアスファルト量。

最終評価方法	必要に応じて塑性変形輪数を確認する(舗装施工便覧)。	-	-
重交通路線への対応	ポリマー改質アスファルトの選定、突固め回数と安定度の基準で対応し、塑性変形輪数で性能を確認(舗装施工便覧)。	交通条件に応じて PG をランクアップさせたアスファルトと締固めパラメーターの適用で対応する。	Refusal Density 法自体がシビアな交通条件、重交通路線対応。
気象条件(高温/低温)への対応方法	高温条件への対応は重交通路線の対応と同じ、低温条件への対応はアスファルトと混合物種類の選定で対応(舗装施工便覧)。	高温/低温条件へは PG バインダーの選定で対応。	-

各舗装設計基準におけるマーシャル試験基準値および Superpave 容積設計基準は以下のとおりである。

1) 舗装施工便覧(日本道路協会)のマーシャル配合設計法

表1.7 マーシャル試験の概要

混合物の種類		密粒(20)	密粒(13)
突き固め回数	$1,000 \leq T$	75	75
	$T < 1,000$	50	50
空隙率 (%)		3-6	3-6
飽和度 (%)		70-85	70-85
安定度 (kN)		4.90 (7.35)	4.90 (7.35)
フロー値 (1/100cm)		20-40	20-40

- 注 1. Tは舗装計画交通量(台/日・方向)である。舗装計画交通量は設計期間内の大型車自動車の平均的な交通量である。T=1000は約 2.7×10^6 ESALsに該当する。
2. 安定度の()内は突固め回数75回とする場合の基準値である。
3. 骨材空隙率は、骨材の最大粒径が20mmのときは15%以上、13mmのときは16%以上がよい。安定度/フロー値は、一般地域で2000~4,900 kN/mの範囲がよい。
4. 一般地域で特に流動が予想される場合の表層用混合物の設計アスファルト量は、表中に示すマーシャル試験基準を満足するアスファルト量の範囲の中央値から下限値の範囲で設定するとよい。
5. 耐流動対策は、ホイールトラッキング試験で求める動的安定度(DS)によって、その塑性変形抵抗性を評価することによって行う。目標 DS は、交通条件、気象条件および経済性などを考慮して1,500回/mm以上で設定するが、舗装計画交通量(T)が3,000台/日以上の場合では3,000回/mm以上で設定する。

2) ORN19のマーシャル配合設計法

ORN19はORN31(新設舗装の設計と施工)を補完し、加熱アスファルト混合物の設計指針である。

① 表層の空隙率のクリティカルな値

表1.8 表層の空隙率のクリティカルな値

空隙率(%)	空隙率の影響
>5	次第に空気が透過し、アスファルトが酸化する傾向になる
4または5	設計の目標
3-5	耐久性があり安定性のある混合物
<3	重荷重による塑性変形の傾向となる。

② 最小骨材間隙率の規定

表1.9 最小骨材間隙率の規定

公称最大粒径 (mm)	最小骨材間隙率(%)	
	設計空隙率；4.0%	設計空隙率；5.0%
37.5	11.0	12.0
25	12.0	13.0
19	13.0	14.0
12.5	14.0	15.0
9.5	15.0	16.0

③ マーシャル試験基準値

表1.10 マーシャル試験の基準値

a. 80 kN ESALs < 5 × 10⁶ (98 kN ESALs が 2.2 × 10⁶) の場合 (ORN19)

カテゴリーと 設計交通 (×10 ⁶ esa)	マーシャル 突固め回数	最小安定度 (N)	フロー (mm)	飽和度 (%)	最適アスファ ルト量におけ る空隙率(%)
Heavy (1-5)	75	8000	2-3.5	65-75	4
Madium (0.4-1)	50	5300	2-4.0	65-78	4
Light (-0.4)	33	3300	2-4.5	70-80	4

注 1. 最適アスファルト量において空隙率4%を交通レベルによらず適用する。

b. 80 kN ESALs ≥ 5 × 10⁶ (98 kN ESALs が 2.2 × 10⁶) の場合 (ORN19)

カテゴリーと 設計交通 (×10 ⁶ esa)	マーシャル 突固め回数	最小安定度 (N)	フロー (mm)	飽和度 (%)	最適アスファ ルト量におけ る空隙率(%)
Very heavy (>5)	75	9000	2-3.5	65-73	5

c. 過酷な交通条件における配合設計 (ORN19)

低速で重い交通荷重を受ける登坂車線などの過酷な交通条件では refusal density 法を適用し、refusal density において最小空隙率 3%を確保できるような骨材間隙率を与える。refusal density は、混合物中の骨材骨格構造(骨材間隙率が指標)によって混合物に締固めを与えても、密度が上昇しなくなる時の混合物密度をいう。

3) Superpave (Superior Performing Asphalt Pavements) 配合設計法

この設計法はアスファルト混合物の空隙率、骨材間隙率、飽和度などの容積特性にもとづく。

a. 混合物供試体の締固め

混合物供試体の締固めにはジャイレトリ-コンパクタを使用する。締固め条件は交通レベ

ルに応じて設定する。

表1.11 Superpave ジャイレトリ-コンパクトの締固めエネルギー (AASHTO R35-09)

設計 ESAL ^a ($\times 10^6$)	締固めパラメーター			代表的な車道への適用 ^b
	N _{ini}	N _{des}	N _{max}	
<0.3	6	50	75	適用には、大型交通の走行が禁止または非常に最小レベルとなるローカル道路、郡道のような低交通量の車道がある。これら車道上の交通は性質上ローカルと考えられ、地域的道路、州内道路または州際道路ではない。リクレーションサイトまたはエリアの特別な目的の車道は、このレベルを適用できる。
0.3to <3	7	75	115	適用には多くの集散道路またはアクセス街路がある。中程度の交通に供する市街路や郡道の大部分はこのレベルを適用してよい。
3to <30	8	100	160	適用には、多くの2車線、多車線、分離道路、および完全あるいは部分的にコントロールされたアクセス道路がある。これらの中には、中程度～高交通に供する市街路、多くの州道、US道路、およびいくつかの地方部州際道路がある。
≥ 30	9	125	205	適用には、US州際道路の大部分、性質上、地方部と都市部の両方がある。大型車重量測定箇所や2車線道路における登坂車線も、このレベルを適用するとよい。

a. 20年間に設計車線で予期されるプロジェクトの予想交通量。車道の設計期間に関係なく、20年間の設計 ESALs を決定する。
b. A policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, AASHTO の定義による

注 N_{ini} : 施工中の締固め性、落ち着きの悪い混合物を避けるための指標となる旋回数
N_{design} : 予想交通量における現場密度と同じ密度の供試体とするのに要する旋回数
N_{max} : 流動わだち掘れを避けるよう、現場で決して超えることのない室内密度を得るための旋回数

b. アスファルト混合物の Superpave 配合設計基準

表 1.12 Superpave 加熱アスファルト混合物設計基準 (AASHTO M 323-07)

設計 ESAL ^a ($\times 10^6$)	所要締固め率 (理論最大密度に対する%) 空隙率=100-締固め率			最小骨材間隙率 (%)						飽和度 ^b (%)	ダスト バイン ダー比 ^c
				骨材の最大粒径 (mm)							
	N _{ini}	N _{des}	N _{max}	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75		
<0.3	≤ 91.5	96.0	≤ 98.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	70-80 ^d	0.6-1.2
0.3to <3	≤ 90.5									65-78	
3to <10	≤ 89.0									65-75 ^e	
10to <30											
≥ 30											

注 a. 設計 ESAL は 20年間に設計車線で予想されるプロジェクトの交通レベルである。車道の実際の設計寿命にかかわらず、20年間の設計 ESAL を決定する。
b. 最大粒径が 37.5mm の混合物では、飽和度の下限値はすべての設計交通レベルで 64%とする。
c. 最大粒径が 4.75mm の混合物では、ダストバインダー比を 0.9~2.0 とする。
d. 最大粒径が 25mm の混合物では、飽和度の下限値は設計交通レベルが 0.3×10^6 未満の場合、67%とする。
e. 最大粒径が 9.5mm の混合物において設計交通レベルが 3×10^6 以上の場合、飽和度の範囲は 73%~76%とするものとする。最大粒径が 4.75mm の場合には、75~78%とする。

「南アフリカの配合設計 (参考)」

マーシャル締固めを用いた配合設計法は INTERIM GUIDELINES FOR THE DESIGN OF HOT-MIX ASPHALT IN SOUTH AFRICA に示されている。

表 1.13 南アフリカの配合設計基準

交通レベル	マーシャル75回突き(現場締め固めをシミュレーション)後の許容空隙率の範囲		交通による追加締め固め後の許容空隙率の範囲		
	最小	最大	全突固め回数	空隙率	
				最小	最大
軽	3.5%	5.5%	75+15	3.0%	4.5%
中	4.5%	6.5%	75+45	3.0%	5.0%
重	5.5%	7.5%	75+75	4.0%	5.0%
	SHRP試験法に準拠し、ジャイレトリコンパクタで300回旋回後の最小空隙率1.5% 混合物の透水性は合格基準内				
極重	6.0%	8.0%	75+75	4.5%	5.5%
	SHRP試験法に準拠し、ジャイレトリコンパクタで300回旋回後の最小空隙率2.5% 混合物の透水性は合格基準内				

交通レベル

交通レベル	重車両台数/車線/日	舗装構造設計の80 kN ESALs
軽	< 80	<1×10 ⁶
中	80-200	1-3×10 ⁶
重	200-700	3-10×10 ⁶
極重	>700	>10×10 ⁶

配合設計法の特徴は以下のとおりである。

- ① 混合物の締め固め性と交通レベルを考慮したマーシャル締め固めを用いた設計法である。施工直後は75回突き、供用後の交通締め固めは交通レベルに応じた突固め回数を設定している。
- ② 容積特性として空隙率を用いる。
- ③ マーシャル締め固め時の空隙率と突固め回数をプロットし、回帰曲線の傾きが5%より急であれば、ジャイレトリ試験を実施する。回帰曲線の傾きが5%より急な混合物は2%未満のRefusal空隙率(すなわち、混合物がジャイレトリコンパクタで旋回数300回を受けた後)をもつ混合物の指標となる。

(2) 材料の仕様比較

基準名	舗装施工便覧 (平成 18 年)	AASHTO Guide 1993 (Superpave 法 ; AASHTO M323-07, R35-09)
アスファルト	①舗装用石油アスファルト:4種の針入度等級(40/60、60/80、80/100、100/120) ②改質アスファルト:4タイプのポリマー改質(I型、II型、III型、H型)	①パフォーマンスグレイドPGバインダー;舗装最大温度と舗装最低温度から選定。 ②交通レベル、交通速度から高温側のグレードを補正する。
乳剤	①タックコート:カチオン系PK-4 ②プライムコート:カチオン系PK-3	タックコートとプライムコート:アニオン系SS-1、SS-1h、カチオン系CSS-1、CSS-1hなど
粗骨材	①碎石(JIS A5501,日本道路協会):粒度、表乾密度、吸水率、すり減り減量、安定性損失量、有害物含有量(粘土、軟らかい石片、細長または扁平) ②玉砕:破砕面の数+碎石と同じ ③砂利:碎石と同じ	①角張り(破砕面の数) ②扁平率と細長比粒度 ③ロサンジェルスすり減り減量 ④安定性 ・①と②は道路機関に共通項目。③と④は道路機関が決める。
細骨材	①天然砂 ②人工砂 ③スクリーニングス:粒度	①角張り(締め固められていないルーズな状態における骨材の間隙率) ②粘土量(砂当量) ③安定性 ④有害物含有量 ・①と②は道路機関に共通項目。③と④は道路機関が決める。
フィラー	①石灰岩石粉:粒度 ②石灰岩石粉以外:PI等	岩石ダスト、スラグダスト、フライアッシュ、消石灰、セメントなど:粒度、強熱減量(フライアッシュのみ)
混合物	①9種類の混合物(適用は主に使用箇所による):密粒、細粒、密粒ギャップ、開粒、ポーラス等 ②混合物の種類ごとに骨材の最大粒径と粒度範囲を規定	①混合物の種類:密粒タイプが基本 ②表層用混合物の骨材最大粒径は4.75~19mm。 ③骨材粒度は粒度コントロールポイントの上下限値の範囲内を満たすよう設定する。最大粒径19mmでは4.75mmふるい通過量が47%未満、最大粒径12.5mmでは2.36mmふるい通過量が39%未満の粒度をcoarse gradedとし、その他はfine gradedとする。
備考	-	構造設計指針であり、表中の記述はSuperpave法による。

基準名	Overseas Road Note 19	SATCC(南部アフリカ運輸交通委員会) Draft Code of Practice for the Design of Road Pavements
アスファルト	針入度級アスファルト:40/50、60/70(推奨)、80/100(仕様はRoad Note 19に示されている)	Road Note 31を推奨
粗骨材	碎石、破砕した砂利;清浄さ、粒形、強度、アブレーション、ポリッシング、安定性、吸水性、はく離抵抗性	Road Note 31を推奨
細骨材	破砕した岩石、天然砂:清浄さ、安定性	Road Note 31を推奨
フィラー	破砕した岩石の細粒分、セメント、消石灰	Road Note 31を推奨
混合物の種類	3種類の混合物;アスファルトコンクリート、デンスピチュメンマカダム、ホットロールアスファルト	Road Note 31を推奨
備考	Road Note 19はRoad Note 31の加熱アスファルト混合物に関する事項を補完し、内容を更新したもの。	構造設計実務規則(案)であり、アスファルト混合物の仕様はRoad Note 31を推奨。

1) アスファルト

① 舗装施工便覧(日本道路協会)

針入度等級		40~60	60~80	80~100
針入度(25℃)	1/10mm	40~60	60~80	80~100
軟化点	℃	47.5~55.0	44.0~52.0	42.0~50.0
伸度(15℃)	cm	≥10	≥100	≥100
トルエン可溶分	%	≥99.0	≥99.0	≥99.0
引火点	℃	≥260	≥260	≥260
薄膜加熱質量変化率	%	≤0.6	≤0.6	≤0.6
薄膜加熱後針入度残留率	%	≥58	≥55	≥50
蒸発後の針入度比	%	≤110	≤110	≤110
密度(15℃)	g/cm ³	≥1.000	≥1.000	≥1.000

② ORN19

針入度等級		40~50	60~70	80~100
針入度(25℃)	1/10mm	40~50	60~70	80~100
軟化点	℃	49~59	46~56	42~51
伸度(15℃)	cm	-	-	-
トルエン可溶分	%	≥99.0	≥99.0	≥99.0
引火点	℃	≥232	≥232	≥219
薄膜加熱質量変化率	%	≤0.5	≤0.5	≤0.8
薄膜加熱後針入度残留率	%	≥58	≥54	≥50
薄膜加熱後の伸度(25℃)		-	≥50	≥75
蒸発後の針入度比	%	-	-	-
密度(15℃)	g/cm ³	-	-	-

③ Superpave

Superpave のパフォーマンスグレード(PG)がきめ細かく設定され、バインダーの品質も力学的な特性が設定されており、他の設計基準が主として用いるインデックス試験とは異なり、基準間の比較ができないことから、以下にはバインダー品質項目を列記する。

- a. 最小引火点温度
- b. 最大粘度 135℃で 3 Pa・s
- c. 道路の場所に適した温度における最小動的せん断
- d. 回転式薄膜加熱後：
 - ・ 質量の最大損失%
 - ・ 道路の場所に適した温度における最小動的せん断
- e. 加圧促進老化 Pressure Ageing Vessel (PAV) 老化後：
 - ・ 道路の場所に適した温度における最大動的せん断
 - ・ 物理的な硬化(アスファルトのビーム供試体で試験)
 - ・ クリープスティフネス基準
 - ・ 直接引張り破壊基準

パフォーマンスグレード(PG)は交通レベルと交通速度に応じて高温側グレードを 1~2 グレード増やす。

表 1.14 走行速度を考慮した PG の補正

設計 ESALs ^b (×10 ⁶)	バインダーの高温側グレードの補正 ^a		
	交通走行速度		
	停止 ^c	低速 ^d	標準 ^e
<0.3	— ^f	—	—
0.3to <3	2	1	—
3to <10	2	1	—
10to <30	2	1	— ^f
≥30	2	1	1

- 注 a. 表中に示したグレード数まで高温側グレードを増やす (1 グレードは 6°C である)。低温側グレードは最低舗装温度から決定する。
 b. 20 年間にわたる設計車線で想定される当該プロジェクトの交通レベルである。車道の実際の設計寿命にかかわらず、20 年間の設計 ESAL を決定する。
 c. 停止交通：平均走行速度が 20km/h 未満。
 d. 低速走行交通：平均走行速度が 20~70km/h の範囲。
 e. 標準的な交通：平均走行速度が 70km/h を超える。
 f. 高温側の温度グレードを 1 ランク上げることを考慮するものとする。

2) 粗骨材および細骨材

① 舗装施工便覧(日本道路協会)

表 1.15 碎石の粒度

ふるい目 (mm)	S-20	S-13	S-5
26.5	100		
19	85-100	100	
13.2	0-15	85-100	100
4.75		0-15	85-100
2.36			0-25
1.18			0-5

表 1.16 碎石の品質の目標値

項目	品質の目標値
表乾密度 (g/cm ³)	≥2.45
吸水率 (%)	≤3.0
すり減り減量 (%)	≤30
安定性；損失量 (%)	≤12
粘土、粘土塊	≤0.25*
軟らかい石片	≤5.0*
細長、あるいは扁平な骨材	≤10.0*

*含有量(全試料に対する質量百分率%)

表 1.17 スクリーニングスの粒度

ふるい目	4.75mm	2.36mm	600 μ m	300 μ m	150 μ m	75 μ m
通過%	100	85-100	25-55	15-40	7-28	0-20

② ORN31

特性	試験	要求特性
清浄さ	砂当量 ; <4.75mm ふるい < 1.5×10^6 ESALs > 1.5×10^6 ESALs	> 35 > 40
	(0.425mm ふるい通過材料) 塑性指数 線収縮 (%)	< 4 < 2
粒子形状	扁平指数	< 35
強度	骨材破砕値 (ACV)	< 25
	骨材衝撃値 (AIV)	< 25
	10%細粒値 (乾燥) kN	> 160
	ロサンジェルスすり減り減量 (LAA) (%)	< 30
摩損	骨材摩損値 (AAV) 250-1000 商用車台数/車線/日 1000-2500 商用車台数/車線/日 >2500 商用車台数/車線/日	< 16 < 14 < 12
	Polished Stone Value	英国の道路に用いる粗骨材に対して規定
	吸水率	< 2
安定性 (5 サイクル、損失量%)	硫酸ナトリウム ; 粗骨材 細骨材	< 10 < 16
	硫酸マグネシウム ; 粗骨材 細骨材	< 15 < 20
	残留マーシャル安定度 (%)	> 75
	静的はく離 残留間接引張り強度	> 95% (コーティング残留) > 79 (空隙率 7%において)

③ Superpave

設計 ESAL s ($\times 10^6$)*	粗骨材の破砕面の割合***、最小%		締め固められていないルーズな状態における細骨材の間隙率、最小%		砂当量、最小%	扁平および細長比、最大%
	舗装表面からの深さ		舗装表面からの深さ			
	≤ 100mm	> 100mm	≤ 100mm	> 100mm		
< 0.3	55/-	-/-	-	-	40	-
0.3-3	75/-	50/-	40	40	40	10
3-10	85/80**	60/-	45	40	45	10
10-30	95/90	80/75	45	40	45	10
≥ 30	100/100	100/100	45	45	50	10

* 20年間にわたる設計車線で想定される当該プロジェクトの交通レベルである。車道の実設計寿命にかかわらず、20年間の設計 ESAL を決定する。

** 85/80 は粗骨材の 85%が一つの破砕面があり、80%が2つ以上の破砕面のあることを示す。

*** この基準は最大粒径 4.75mm を用いた混合物には適用しない。

3) フィラー

① 舗装施工便覧 (日本道路協会)

- 石灰岩やその他の岩石を粉砕した石粉、消石灰、セメント、回収ダストおよびフライアッシュなどを用いる。

表 1.18 石灰岩を粉砕した石粉の粒度規格

ふるい目	通過質量百分率 (%)
600 μ m	100
150 μ m	90-100
75 μ m	70-100

表 1.19 フライアッシュ、石灰岩以外の岩石の粉末の目標値

項目	目標値
PI	≤ 4
フロー試験 %	≤ 50
吸水膨張率 %	≤ 3
はく離試験	$\leq 1/4$

② ORN19

- 破砕した岩石の粉末、セメント、消石灰

③ Superpave (AASHTO 1993)

- 岩石ダスト、スラグダスト、フライアッシュ、消石灰、セメントなど：粒度、強熱減量(フライアッシュのみ)

表 1.20 粒度規格

ふるい目	通過質量百分率 (%)
1.18mm	100
600 μ m	97-100
300 μ m	95-100
75 μ m	70-100

表 1.21 強熱減量の規格

強熱減量	12%以下 (フライアッシュの場合)
------	--------------------

4) 混合物の種類

設計基準	舗装施工便覧		ORN19			Superpave		
混合物の種類	密粒	密粒	密粒	密粒	密粒	密粒系*	密粒系*	密粒系*
最大粒径 (mm)	20	13	19	12.5	9.5	19*	12.5*	9.5*
26.5	100							
25			100			100		
19.0	95-100	100	90-100	100		90-100	100	
13.2	75-90	95-100						
12.5				90-100	100	-90(上限のみ)	90-100	100
9.5			56-80		90-100		-90(上限のみ)	90-100
4.75	45-65	55-70	35-65	44-74	55-85			-90(上限のみ)
2.36	35-50	35-50	23-49	28-58	32-67	23-49	28-58	32-67
0.6	18-30	18-30						
0.3	10-21	10-21	5-19	5-21	7-23			
0.15	6-16	6-16						
0.075	4-8	4-8	2-8	2-10	2-10	2-8	2-10	2-10

*Superpave の混合物はすべて密粒系である。Superpave では、下表のように主コントロールふるいにおける通過量を設定し、粒度曲線が設定値よりも下側を通る混合物を coarse 混合物、逆の場合を fine 混合物と呼んでいる。

混合物の骨材最大粒径と公称最大寸法における主コントロールポイントにおける通過量(%)			
骨材の最大粒径(mm)	19.0	12.5	9.5
主コントロールポイントのふるい目(mm)	4.75	2.36	2.36
主コントロールポイントふるい目通過量(%)	47	39	47

1-4. 力学的経験的設計法

(1) 設計法の概要

力学的経験的設計法は、力学理論によって舗装構造の応答を求め、その応答と現場で観測されたパフォーマンスを関係付けた挙動を設計基準に照らし合わせて舗装構造の設計を行う。舗装の応答は多層弾性理論やFEMなどの構造解析手法により求める。

我が国の力学的経験的設計法では、力学理論として多層弾性理論を採用し、このモデルによって交通荷重によるアスファルト層下面の引張りひずみと路床上面の圧縮ひずみから、破壊基準式によって許容 49kN 輪数を計算するものである。

米国の AASHTO-MEPDG (mechanistic empirical pavement design guide) に代表される力学的経験的設計法は、構造解析結果を用いて個々の破損毎の破損モデルによって、舗装のパフォーマンス予測する方法であり、対象とする舗装のパフォーマンスは、わだち掘れ、疲労ひび割れ（底面及び表面）、低温ひび割れ、IRI (International Roughness Index) が採用されている。

(2) 多層弾性理論の概要

我が国の方法を例として概説する。

多層弾性理論は、アスファルト舗装を構成する各層の材料を弾性体と仮定し、49kN の交通荷重を繰り返し載荷し、舗装と路床の任意の点に生ずる応力、ひずみ、および変位を弾性理論から計算し、破壊基準から舗装の設計断面を設計する方法である。

舗装構造については図 1-1 に示すようなモデルを作成する。舗装体の各層に弾性係数やポアソン比を設定し、任意の交通条件や気象条件等を考慮し、舗装断面を仮定する。仮定した舗装断面における予測疲労破壊輪数に対して、設計における 49kN 換算輪数が小さければ、力学的安定性を有していると判断される。

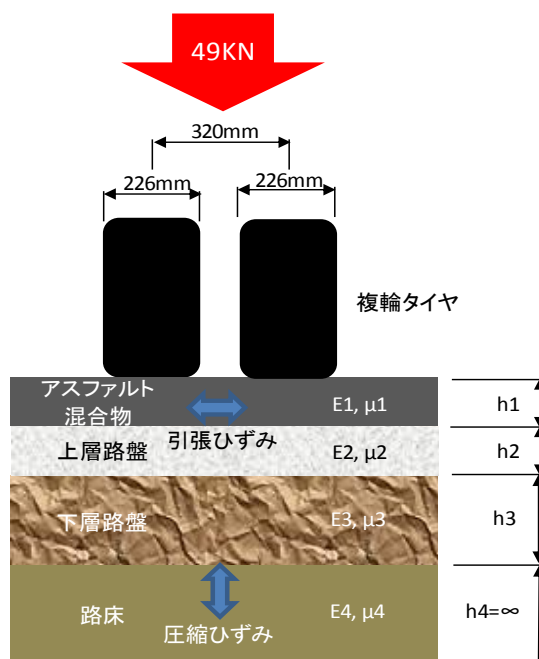


図 1.1 舗装構造のモデル図 (例)

(3) 各設計法の比較

基準名	舗装設計便覧 (平成 18 年)	MEPDG (mechanistic empirical pavement design guide 2008)
国名	日本	米国
設計法	力学的経験的設計法	力学的経験的設計法
構造解析手法	多層弾性理論	多層弾性理論 (線形弾性問題) 有限要素法 (非線形弾性問題)
適用範囲	性能規定設計法を採用する日本の舗装設計基準では、原則として性能が担保でき	全ての舗装に対応している。基本的には、密粒度加熱アスファルト (HMA) 混合物を

	ば、どのような舗装設計に対しても適用可能である。ただし、実際の適用例はほとんど無い。(性能を保証する手段が無いため)	用いた舗装を設計する際に最も適合するものであるが、碎石マスタックアスファルト(SMA)混合物、ポリマーで改質されたアスファルト(PMA)混合物、リサイクル材(RAP)を含んだアスファルト混合物にも適用可能である。
設計手順	<ol style="list-style-type: none"> ① 舗装構成を仮定する ② 舗装材料の弾性係数やポアソン比といった物理定数を設定する ③ 載荷荷重に対する、任意の位置における応力やひずみ等を計算する ④ 計算結果を破壊基準式*に代入し舗装の寿命を計算する ⑤ 経済性も考慮して舗装断面を決定する <p>*舗装破壊式 舗装設計便覧には、暫定舗装破壊式として、AI (Asphalt Institute) の破壊式に、我が国独自の補正係数を組み込んだ式が提案されている。</p>	<ol style="list-style-type: none"> ① 地盤、気象、交通条件から破損予測に必要な諸量を求めるとともに、舗装断面(設計案)を仮定する。また信頼性もここで決定する。 ② 舗装断面の設計条件のもとでのパフォーマンスを予測し、照査する。 ③ LCC 解析や施工条件などの技術的検討によって、最適断面を決定する。 <p>*設計に必要な条件を入力する際に、階層入力という考え方が導入され、計画の重要度に応じ設計入力を3つのレベルに分類： レベル1：最も高い精度 レベル2：中程度の精度 レベル3：もっとも低い精度</p>
設計結果	<p>舗装断面の(許容49kN輪数/信頼度に応じた係数)と疲労破壊輪数を比較し、(許容49kN輪数/信頼度に応じた係数) \geq 疲労破壊輪数であれば、力学的安全性を有し、設計条件を満足する舗装断面と評価する。</p> <p>なお、評価する値はアスファルト層下面の引張りひずみ、及び路床上面の圧縮ひずみである。</p>	<p>設計条件の下で、想定した舗装断面のパフォーマンス曲線が計算され、設計基準を満足するかどうかの判定を行う。MEPDGが対象とする舗装のパフォーマンスは、アスファルト舗装においては、わだち掘れ、疲労ひび割れ(底面および表面)、低温ひび割れ、IRIである。</p> <p>最適断面の決定は技術者(ユーザ)に委ねられている。</p>
自然条件	<ol style="list-style-type: none"> ① 気温またはアスファルト混合物層の温度(年平均、月平均など) ② 凍結指数(寒冷地) 	<p>MEPDGでは、舗装内温度、含水比を時間単位で予測し、それらの変化による舗装材料の特性値の変化まで推測するモデルを開発した。統合気象モデル(Enhanced Integrated Climate Model: EICM)と呼ばれるこのモデルでは、現場の位置情報から気象データベースを使ってその地点の気象を予測し、舗装の設計期間中における舗装構造あるいは路床内での温度と水分の変化を、気象データから時間単位で予測することができる。</p>
交通条件	<ol style="list-style-type: none"> ① 疲労破壊輪数 ② 交通荷重 <ul style="list-style-type: none"> ・単輪荷重、複輪荷重の区分 ・タイヤ1輪の荷重 ・複輪タイヤの中心間隔 ・タイヤ接地圧と接地半径 	<p>等価換算軸数の考え方を放棄し、交通荷重条件としてFHWAの車種分類に基づき、それらの軸重分布、走行速度、走行位置分布などをデータとして使用。</p>
排水条件	<p>排水は他の基準類で別途設計し、設計条件として舗装の設計には組み入れていない。</p>	<p>MEPDGでは、粒状材料や路床材料のスティフネスに及ぼす水分の影響を、降雨や温度の要因、地下水の変動、材料の特性などと直接関連させて考慮している。</p> <p>さらに水分の影響は、粒状材料や路床材料の凍結融解作用にも関連させている。従来の経験的設計法と異なり、排水係数のような形でなく、EICMによって予測された気象から、直接各層のスティフネスや強度を予測する。</p>
提供される設計ツール	<p>設計手順の③に示される、任意の位置における応力やひずみ等の計算に対して「GAMES」という多層弾性解析ソフトが公</p>	<p>MEPDGでは、気象、交通、材料条件の詳細なデータベースをバンドルし、破損予測を行うためのソフトウェアとして配布されて</p>

	開され、広く利用されている。ただし、舗装断面までを確定する設計ツールは用意されていない。	おり、ソフトウェアを用いて舗装構造を決定することが可能。
その他	舗装各層の材料の自然条件等の影響は、弾性係数の変化で考慮する。	舗装各層の材料の自然条件等の影響は、弾性係数の変化で考慮する。 わだち掘れ（永久変形）に関しては、載荷過程と除荷過程に発生する。前者は弾性理論で、後者の残存する永久ひずみは、実症データと相関づけ、予測する手法を採っている。

基準名	SAMDM (The South African Mechanistic Design Method)	
国名	南アフリカ	
設計法	力学的経験的設計法	
構造解析手法	多層弾性理論	
適用範囲	アスファルト舗装（簡易舗装を含む）のみを対象とし、コンクリート舗装には対応していない。アスファルト舗装はAC（連続粒度のもの）とAG（ギャップアスファルト）を対象としている。	
設計手順	<ol style="list-style-type: none"> ① 舗装構成（材料の物理定数）と交通条件の設定 ② 載荷荷重に対する、各層の任意の位置における応力やひずみ等を計算する ③ 舗装各層の応答を求める ④ 舗装各層の設計寿命を予測する ⑤ 設計条件との比較により最適な舗装断面を決定する 	
計算結果	<p>我が国の力学的経験的設計法と異なり、舗装各層毎に破壊基準が設定されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・アスファルト：下面のひび割れ（疲労ひび割れ） ・粒状路盤：永久ひずみ ・セメント安定処理路盤：破碎劣化、疲労破壊、永久ひずみ ・路床：永久ひずみ（10mmまたは20mm） 	
自然条件	<p>地域の気候区分として以下を考慮</p> <ol style="list-style-type: none"> ① Dry ② Moderate ③ Wet 	
交通条件	<ol style="list-style-type: none"> ① 道路カテゴリー（信頼性の選択） ② 設計軸重クラス（累積軸重） ③ 交通荷重 <ul style="list-style-type: none"> ・単輪荷重、複輪荷重の区分 ・タイヤ1輪の荷重 ・複輪タイヤの中心間隔 ・タイヤ接地圧と接地半径 	
排水条件	排水は他の基準類で別途設計し、設計条件として舗装の設計には組み入れていない。	
提供される設計ツール	SAMDMでは、GAMESをベースとしたmePAD（ソフトウェア）が公開されており、このソフトウェアを用いて舗装構造を決定することが可能。（機能制限はあるが無料で使用することも可能）	
その他	<p>セメント安定処理路盤に関しては、セメント安定処理路盤は、最終的に粒状路盤と同等にまで強度が劣化するとし、それを解析に取り入れている。具体的には、解析を3つのフェーズに分け、各フェーズに採用するセメント安定処理路盤の弾性係数を変更している。この際、気象条件も考慮される。</p> <p>また、下層路盤が粒状材料かセメント安定処理かにより、上層路盤（粒状材）の弾性係数も異なる。</p>	

第2章 既往設計のレビュー

2-1. 対象道路

(1) 対象プロジェクトの選定

既往設計のレビュー対象とするプロジェクトは、2005年以降に実施されたプロジェクトとした。なお、2005年以前に事業が開始されたが、完了が2005年以降のプロジェクトも含まれる。また、対象プロジェクトは「道路整備事業」であり、橋梁を主としたプロジェクトは含まない。

(2) 対象プロジェクト

表 2.1 資料収集対象一般プロジェクト無償道路案件（橋梁単独を除く）

東南アジア			担当コンサルタント
カンボジア	国道一号線改修計画	完了	片平インターナショナル
タイ	東部外環状道路(国道九号線)改修計画	施工中	建技インターナショナル
ラオス	国道九号線（メコン地域東西経済回廊）整備計画	施工中	オリエンタルコンサルタンツ
大洋州			
パラオ	首都圏基幹道路改修計画	完了	片平インターナショナル
南アジア			
ネパール	シンズリ道路建設計画（第2工区）	完了	日本工営
	カトマンズーバクタール間道路改修計画	完了	日本工営
	シンズリ道路建設計画（第三工区）	施工中	日本工営
パキスタン	国道二十五号線（カラローウッド間）改修計画	完了	アンジェロセック
中央アジア・コーカサス			
タジキスタン	クルガンチュベードゥスティ間道路改修計画	完了	アンジェロセック
	ドゥスティーニジノピヤンジ間道路整備計画	完了	片平インターナショナル
アフリカ			
エチオピア	第四次幹線道路改修計画	施工中	オリエンタルコンサルタンツ
ガーナ	国道8号線改修計画	完了	アンジェロセック
ケニア	ナイロビ西部環状道路建設計画	完了	片平インターナショナル
	ウゴング道路拡幅計画	完了	片平インターナショナル
コンゴ民主共和国	キンシャサ市ボワ・ルー通り補修及び改修計画	完了	アンジェロセック
ザンビア	リビングストーン市道路整備計画	完了	アンジェロセック
	ンドラ市及びキトウェ市道路網整備計画	完了	片平インターナショナル
	ルサカ南部地域居住環境改善計画	施工中	片平インターナショナル
タンザニア	キルワ道路拡幅計画	完了	アンジェロセック
	マサシーマンガッカ間道路整備計画	完了	アンジェロセック
	ニューバガモヨ道路拡幅計画	施工中	アンジェロセック
	ダルエスサラーム市交通機能向上計画	調達手続き中	アンジェロセック
	タザラ交差点改善計画	調達手続き中	オリエンタルコンサルタンツ
ブルンジ	ブジュンブラ市内交通網整備計画	完了	建技インターナショナル
マラウイ	ブランタイヤ市道路網整備計画	完了	エイト日本技術開発
	ブランタイヤ市道路網整備計画（第二次）	完了	片平インターナショナル
リベリア	モンロビア首都圏ソマリアドライブ復旧計画	施工中	片平インターナショナル

調査中プロジェクトを除く27プロジェクトの内、ネパール国のシンズリ道路（砂利舗装、簡易舗装）、タンザニア国のマサシーマンガッカ道路（簡易舗装）を除く24プロジェクトを対象として検証を実施する。

2-2. 調査内容のまとめ（準備調査レベル）

(1) 資料収集状況

対象プロジェクトの準備調査報告書の収集状況は以下のとおりであり、全ての準備調査報告書が入手可能であった。ただし、前述の24プロジェクトの内、「ケニア国ウゴンゴ道路拡幅計画」の報告書のみが簡易製本版（全データが掲載されていない報告書）であることから、「ケニア国ウゴンゴ道路拡幅計画」を除く23プロジェクトを検証の対象とする。

表 2.2 収集資料の一覧

東南アジア		業務指示書	準備調査報告書
カンボジア	国道一号線改修計画	-	○
タイ	東部外環状道路(国道九号線)改修計画	○	○
ラオス	国道九号線（メコン地域東西経済回廊）整備計画	○	○
大洋州			
パラオ	首都圏基幹道路改修計画	-	○
南アジア			
ネパール	カトマンズーバクタプール間道路改修計画	○	○
パキスタン	国道二十五号線（カラローウッド間）改修計画	○	○
中央アジア・コーカサス			
タジキスタン	クルガンチュベドゥスティ間道路改修計画	○	○
	ドゥスティーニジノピャンジ間道路整備計画	○	○
アフリカ			
エチオピア	第四次幹線道路改修計画	○	○
ガーナ	国道8号線改修計画	○	○
ケニア	ナイロビ西部環状道路建設計画	○	○
	ウゴンゴ道路拡幅計画	○	○(簡易製本版)
コンゴ民主共和国	キンシャサ市ボワ・ルー通り補修及び改修計画	○	○
ザンビア	リビングストーン市道路整備計画	○	○
	ンドラ市及びキトウェ市道路網整備計画	○	○
	ルサカ南部地域居住環境改善計画	○	○
タンザニア	キルワ道路拡幅計画	○	○
	ニューバガモヨ道路拡幅計画	○	○
	ダルエスサラーム市交通機能向上計画	○	○
	タザラ交差点改善計画	○	○
ブルンジ	ブジュンブラ市内交通網整備計画	○	○
マラウイ	ブランタイヤ市道路網整備計画	○	○
	ブランタイヤ市道路網整備計画（第二次）	○	○
リベリア	モンロビア首都圏ソマリアドライブ復旧計画	○	○

(2) 自然条件調査の実施内容

自然条件調査については、入手した業務指示書全てにおいて、「以下に実施すべき調査項目を参考までに記すので、先方要請内容も勘案の上、コンサルタントは必要な調査の細目（調査方法、項目、手法、位置、数量、成果等）を検討し、プロポーザルにて提案するものとする。なお、必要な自然条件調査は基本設計調査の中で行うことを原則とする。ただし、基本設計調査の中でやむを得ない事情が発生しそうな場合、基本設計調査で決定した設計を基本的に変えないことを条件に、D/D 以降にて必要最小限の調査を実施することは差し支えないが、その場合はプロポーザルにその旨記述するものとする。」と指示されており、具体的な調査数量について言及しているものは22件中1件のみ。その1件には標準測定間隔を「2km程度」と記載されている。

① CBR 試験実施プロジェクト

実施した（記載有り）	17	「実施していない」2件は、たわみ量から判定しているものと、その（1）調査で実施しているもの。
実施したかどうか不明	4	
実施していない	2	
Total	23	

② CBR 試験の試料採取間隔

0-250m	1	概ね 500m 以下の間隔で実施している案件が多い。
250m - 500m	8	
500m - 1,000m	1	
1,000m 以上	7	
Total	17	

③ その他の自然条件等調査

材料調査については、9プロジェクトの報告書で調査を実施したことが報告されている。ただし、調査結果について記載している報告書はない。

材料調査（砕石、骨材）	9/23	全 9 プロジェクトの報告書に「材料調査」を実施したことが報告されている。
材料調査（土取場）	9/23	

(3) 交通量／軸重調査の実施内容

交通量調査については、20 案件の報告書で調査を実施したことが報告されている。交通量調査を実施していない、又は実施が確認できない 3 件のうち 2 件は、現地政府が実施した調査データを使用しており、1 件は調査について記載がなかった。

軸重調査については、準備調査の中で実施したものが 3 プロジェクト、既存データを使用したものが 4 プロジェクト、その他のプロジェクトの実施状況は不明である。

交通量調査	平日 1 日	11/20
	平／休日 1 日（計 2 日）	3/20
	平日 2 日	2/20
	平日 3 日以上	2/20
	平日 2 日 休日 1 日	1/20
	休日 1 日	1/20
	計	20/20
軸重調査	調査内で実施	3/20
	既存データ（観測所等）使用	4/20
	不明	13/20
	計	20/20

(4) 舗装設計

① 準備調査報告書で舗装設計の検証が可能なもの

舗装設計の検証が可能であるとは、以下の設計条件が根拠とともに記載されているものとした。

設計基準	適用した設計基準が記載されていること。	
設計条件	路床強度	CBR 試験又は DCP 試験等、路床強度を設定した試験結果が記載されていること。

		延長方向、又は深さ方向の CBR、設計 CBR の設定方法が記載されていること。
	交通量	設計期間内の舗装設計対象交通量が記載されているか、供用開始年度の設計対象交通量と設計期間の交通量の伸び率が示されていること。
	等価軸重係数	軸重調査の結果等、軸重係数を設定した根拠が示されていること。
	舗装構成	採用した舗装構成と使用する材料が記載されていること。
	等値換算係数	AAHTO 又は T_A 法を用いた場合に、使用した等値換算係数が記載されていること。
	信頼性等	AASHTO の設計法を使用した場合に、信頼性等の係数が記載されていること。

以上の条件に基づき、舗装設計の検証の可能性について集計した結果は以下のとおりである。なお、再現できない場合の理由については、複数の理由を持つ報告書があるため、合計とプロジェクト数は一致しない。

再現できる		5/23
再現できない	舗装設計交通量（大型車）が不明	6/18
	設計期間の交通量の伸び率が不明	5/18
	軸重の設定根拠又は係数が不明	11/18
	設計 CBR の設定根拠が不明	13/18
	AASHTO 設計法に用いる材料係数が不明	2/18
	計	18/18

② 設計基準

舗装設計基準については、17 のプロジェクトで AASHTO を使用したと明記されているが、添付資料の AASHTO の設計方法に明確に従っているプロジェクトはほとんどない。つまり、何らかの舗装構成を想定し、それを AASHTO で検証しているのが実態である。

AASHTO（米国）	17	2 件にて日本の基準（舗装設計便覧）の使用例有り。
対象国のマニュアル+AASHTO（検証）	2	
対象国のマニュアル	1	
舗装設計便覧（日本）	2	
SATCC（南部アフリカ）	1	
Overseas Road Note（英国）	0	
Total	23	

③ 区間の CBR 算出方法

平均値－標準偏差（舗装設計便覧）	8	1 件はたわみ量から既存舗装の不足強度を算定しているため設計 CBR の設定を必要としていない。
試験の最下値を使用	1	
構築路床を採用	1	
算出方法の記載なし	12	
CBR の算定を必要としないもの	1	
Total	23	

④ 深さ方向の路床の評価

考慮している	0	基本的に深さ方向への土質の変化を考慮して設計 CBR を決定しているプロジェクトはない。
考慮していない	23	
Total	23	

⑤ 舗装設計期間

8年	1	1件のみ目標設計が記載されていない。
10年	11	
15年	9	
20年	1	
不明	1	
Total	23	

⑥ 交通量伸び率

設定されている	18	「設定されている」18件のうち、1件は伸び率0%である。
不明	5	
Total	23	

⑦ AASHTO 舗装設計における信頼性

50%～80%未満	1	信頼性 95%以上の道路 ・タジキスタン：クルガンチュペードウ ステイ間道路 ・ガーナ：8号線 ・コンゴ：キンシャサ市内道路 ・タンザニア：ゲレザニ道路
80%以上～90%未満	9	
90%以上～95%未満	3	
95%以上	4	
不明	2	
Total	19	信頼性 50%～80%未満 ・ザンビア：ンドラ市/キトウェ市内道 路

(5) 排水設計

排水設計について、排水施設の設計根拠、及び排水系統を明確に示している報告書は23件中1件のみである。特に都市道路プロジェクトにおいては、この排水系統図が示されていないことは照査の意味も込めて不適切である。

以下に、各プロジェクトが使用した道路排水設計に用いたピーク時降雨強度を示すが、明らかにピーク時降雨強度が小さいものがいくつか見られる。

① 路面排水降雨確率年

2年	3	路面排水降雨確率年の記載のないプロジェクトが多い。
3年	6	
5年	3	
10年	2	
不明	9	
Total	23	

② 採用ピーク降雨強度 (mm/hr)

2年	83.0	ピーク時降雨強度のバラつきが大きい。路面排水の場合の流達時間（10～30分）を理解していないと推察される。
	64.6	
	92.5	
3年	49.3	
	61.8	
	91.9	
	100.0	

	107.4	
	数値不明	
5年	58.0	
	62.0	
	164.0	
10年	45.7	
	82.9	
参考（日本：国土交通省）	90 - 120	地方整備局毎に異なる。

2-3. 調査内容のまとめ（詳細設計レベル）

対象プロジェクトを担当したコンサルタントに対し、詳細設計報告書の提供を依頼したところ、詳細設計報告書という形で取りまとめている会社は皆無であった。各社、詳細設計の根拠（構造計算、排水計算等）を、内部資料として保持している場合もあるが、それらは詳細設計報告書として相手国政府には提出されていない。

無償資金協力事業において、コンサルタントが実施する詳細設計（及び施工監理）については、業務内容（作業項目、成果品、成果品提出部数等、（施工監理ではコンサルタント業務範囲と責任））を示す TOR が無く、以下の参考に示す「契約内容」に準じた成果品を作成している。このため、成果品が不足しているとはいえない。有償、又は現地政府発注業務の場合、RFP（Request for Proposal）に TOR が示されるのが一般的である。

【参考】コンサルタント契約書フォーム（A型国債詳細設計）

Article 3. Scope of Service of Consultant

3.1 The Consultant shall render his consulting services for the Project on the basis of the Basic Design Study Report/the Preparatory Survey Report (事業化調査を実施している場合は以下を追記する: and the Implementation Review Study Report) prepared and submitted to the Government of (name of the recipient country) by JICA. The Consultant's services to be rendered shall consist of the following:

- (1) The Consultant shall prepare the design documents consisting of drawings, specifications, and other technical documents to describe the entire project as to materials, equipment, workmanship and such other essentials as may be appropriate in coordination with the Client.
- (2) The Consultant shall assist the Client in preparation of tender documents such as instruction to tenderers, form of tender, conditions of contract, technical specifications and necessary appendices.

表 2.3 詳細設計成果品の一覧

東南アジア		詳細設計報告書
カンボジア	国道一号線改修計画	入札図書のみ
タイ	東部外環状道路(国道九号線)改修計画	入札図書のみ
ラオス	国道九号線(メコン地域東西経済回廊)整備計画	入札図書のみ
大洋州		
パラオ	首都圏基幹道路改修計画	入札図書のみ
南アジア		
ネパール	カトマンズーバクタプール間道路改修計画	入札図書のみ
パキスタン	国道二十五号線(カラローウッド間)改修計画	入札図書のみ
中央アジア・コーカサス		
タジキスタン	クルガンチュベードウステイ間道路改修計画	入札図書のみ
	ドゥステーニジノピヤンジ間道路整備計画	入札図書のみ
アフリカ		
エチオピア	第四次幹線道路改修計画	入札図書のみ
ガーナ	国道8号線改修計画	入札図書のみ
ケニア	ナイロビ西部環状道路建設計画	入札図書のみ
	ウゴンゴ道路拡幅計画	入札図書のみ
コンゴ民主共和国	キンシャサ市ポワ・ルー通り補修及び改修計画	入札図書のみ
ザンビア	リビングストーン市道路整備計画	入札図書のみ
	ンドラ市及びキトウェ市道路網整備計画	入札図書のみ
	ルサカ南部地域居住環境改善計画	入札図書のみ
タンザニア	キルワ道路拡幅計画	入札図書のみ
	ニューバガモヨ道路拡幅計画	入札図書のみ
	ダルエスサラーム市交通機能向上計画	入札図書のみ
	タザラ交差点改善計画	入札図書のみ
ブルンジ	ブジュンブラ市内交通網整備計画	入札図書のみ
マラウイ	ブランタイヤ市道路網整備計画	入札図書のみ
	ブランタイヤ市道路網整備計画(第二次)	入札図書のみ
リベリア	モンロビア首都圏ソマリアドライブ復旧計画	入札図書のみ

入札図書：契約書(案)、標準及び特記仕様書、詳細図面

第3章 現地調査結果のまとめ（アフリカ地域）

3-1. ヒアリングより得られた知見

(1) 舗装設計基準の特徴

1) 舗装設計基準の特徴

タンザニアの舗装基準は、ノルウェー政府の協力により 1999 年に作成されたものであり、新設道路からオーバーレイによる改修にまで対応している。舗装設計を作成する際には、Road Note 31、Austroad 1992、南アフリカの TRH (Technical Recommendation for Highways) シリーズ等の設計基準を参考としている。

南アフリカの舗装設計基準は TRH シリーズ (1~22) を原則としており、補足基準として TMH (Technical Methods for Highways) のシリーズがある。2013 年に「SOUTH AFRICAN PAVEMENT ENGINEERING MANUAL (Chapter1~14)」を公表したが、これは設計者が最も適した設計法を選択するためのツールである。このマニュアルの作成意図は、a)適切なデザイン (適切な材料) への誘導、b)高温地域での舗装の流動の問題、c)低温地域での舗装のひび割れの問題、d)建設期間中の品質管理、等の問題へ対応するためである。

以下に両国の舗装設計基準の特徴を示す。

表3.1 タンザニア及び南アフリカの舗装設計基準の概要

項目	タンザニア	南アフリカ
設計の基本的考え方	アスファルト舗装の設計は交通荷重区分に応じたカタログ式となっている。カタログは、路床の CBR は 15%以上の健全な場合に対応している。南アに習った薄いアスファルト層が特徴である。	供用期間、所要の供用性を確保する設計を基本とし、道路分類、交通レベルに応じたアスファルト表層と粒状路盤の最小厚を規定している。南アは石油輸入国であり、アスファルトは高価である。このため、気象条件をふまえて As 層は薄くすることを基本としている。
舗装設計基準及び同時に参照すべき基準	主基準：Pavement and Material Design Manual (1999 年) 参照基準： ・Laboratory Testing Manual 2000 ・Field Testing Manual 2003 ・Standard Specification for Road Works 2000	主基準：TRH 4 参照基準： ・その他 TRH シリーズ ・TMH シリーズ ・SOUTH AFRICAN PAVEMENT ENGINEERING MANUAL ・INTERIM GUIDELINES FOR THE DESIGN OF HOT-MIX ASPHALT IN SOUTH AFRICA
適用範囲	タンザニアの舗装設計基準は、累積軸重 50×10^6 が適用限界である。これを超える場合は他の基準 (南ア等) 等を用いる。	ガイドラインは年間降雨量が 1500mm/year 以下の地域を対象としている。アフリカは比較的しっかりした土壌の上に降雨量の少ない条件下で道路舗装を設置している地域が多い。
過積載対策	過積載車両については、軸重観測所での計量によって取り締まっている。	過積載の監視は、軸重規制に基づき行っている。軸重規制は、軸数別の重量規制と総重量で規制している。
わだち掘れ対策 (低速重車両対策)	以下の区間に針入度「40/50」のアスファルトバインダー又は改質アスファルトの使用を規定 ● 縦断勾配が6%を超える登り車線	低速車両にはステイフネスで対応。または、ブロック舗装も考えられる。なお、急な登り勾配ではコンクリートを推奨している。

	<ul style="list-style-type: none"> ● 縦断勾配が4%以上であり、且つそれが1km以上続く区間 ● 大交差点へのアプローチ区間 ● 全ての主要都市の路線 ● 交通が連続する区間、及び上記以外の理由で車両が低速走行となる地域 また、配合試験として Refusal Density を採用し、重交通に対応している。	また、南アフリカの配合設計（マーシャル試験）では、交通区分（軽～極重）に応じて、突き固め回数や基準値を設定している。（詳細は後述）
その他	現在、このカタログ式的设计基準に、剛性舗装や多層弾性等に対応したものに取り入れる予定。広く改定に対する意見を募っている段階である。来年度から見直しを始める。今のところ、As層と安定処理層（セメント、石灰等）に対する意見が多く寄せられている。	設計はTRHを基本とするが、交通量が多い路線の舗装構成は南アのM-E (Mechanical-Emprical)法で検証することとしている。交通量が中程度、又は少ない場合は基準のカタログ通りでよい。M-E法で使用する弾性係数について、気候（気温等）を考慮したものに改訂中であり、今年中に改定される予定である。

2) 舗装構成

南アフリカでは、舗装構成として薄いアスファルト層、よく締め固められた上層路盤、セメント安定処理下層路盤を標準的に使用している。タンザニアの舗装基準では、アスファルト表層の標準厚さを5cmとしているが、大型車混入率が高い重交通区間では、アスファルト層厚を10cmまで増加させている。ともに特徴的なことは、CBR値が低い場合には路床の構築を標準としている点である。

表3.2 タンザニア及び南アフリカの標準的な舗装構成

項目	タンザニア	南アフリカ
表層	ST(Surface Treatment)とアスファルトコンクリートを使用。アスファルトコンクリートの場合、厚さは5cmが基本である。ただし、軸重13tonを超える軸の比率が50%以上の重交通区間の場合には、アスファルト層（表層+基層）の厚さを10cmとしている。	南アフリカの舗装設計の考え方は、表層はシール材（雨水の流入防止）ということであり、Surface dressing(約80%)が多く、アスファルト層(約20%)の場合も30mm～40mmの厚さが一般的である。
上層路盤	粒度調整材、アス安定処理、セメント又は石灰安定処理、浸透式マカダムが適用される。	薄いアスファルト層を可能にしているのは、よく締め固められた粒度調整碎石層（上層路盤でAASHTOの締固め度で100%以上）とセメント安定処理(下層路盤)で舗装構造強度を支えているからである。また、よく締め固めることで路盤の骨材のかみ合わせがよくなる。(インバートペイメント*)
下層路盤	粒調材、セメント又は石灰安定処理が適用される。	下層路盤をセメント安定処理にするのが一般的である。これは路盤の施工を行う上で良いプラットフォームとなる。ただし、地下排水には注意が必要であり、地下排水施設を十分に設置することが重要。
設計（材料） 深さ	舗装表面からの深さ（材料深さ）を道路カテゴリと交通クラスごとに設定し、以下の深さを荷重の影響範囲としている。 幹線道路：標準 0.8m、重交通：1.2m 他の道路：標準 0.6m、重交通：1.0m	舗装表面からの深さ（材料深さ）を道路カテゴリと交通クラスごとに設定し、以下の深さを荷重の影響範囲としている。 A:1000-1200mm、B:800-1000mm、C:800mm、D:700mm

構築路床	上記の設計深さの範囲が CBR15 以下の場合には、構築路床により設計 CBR15 とする。設計 CBR の最大は 15%である。	道路クラスと荷重クラス別に、上記の材料深さの基準に従って G7(CBR15%) から G10(CBR3%) の材料で路床を構築する。
その他	セメント安定処理については、配合設計を経て所定のセメント添加量を決定し施工を行っているが、アフリカ圏では乾燥収縮に伴うひび割れが発生するリスクは高く、石灰による改良が良いと考えられている。セメント安定処理でセメント量を多量に添加したことでひび割れが発生したケースがタンザニアだけでなくたくさんある。施工には十分注意して行わなければならない。	高温下、低速度大型車の作用に対し、砕石のかみ合いで (SMA (Stone Stone Matrix Asphalt)に近い) で抵抗する。機能性能は劣化するが、構造性能が保持している。

***インバートペイジメント（標準舗装構成）**



特徴

- 上層路盤の締固め度を Modified Proctor**で100%以上 (High Compaction) としたもので、これにより
- ・アスファルト層を薄くすることが可能。
 - ・アスファルト下面の引張応力が小さく、クラックが発生しにくい。
 - ・セメント安定処理に用いるセメント量が少なくてよい。
 - ・経済性に優れる。

HMA: Hot Mix Asphalt

**突固めの仕事量のこと。「Standard Proctor」 $E_c \approx 550 \text{kJ/m}^3$ と、「Modified Proctor」 $E_c \approx 2500 \text{kJ/m}^3$ がある。「Standard Proctor」は、路体や路床で、「Modified Proctor」は路盤で使用される。

****粒度調整砕石路盤の締固め度規定**

- Pavement Engineering Manual (南アフリカ) と日本 (舗装設計便覧) の締固め度規定

表3.3 粒度調整砕石路盤の締固め度規定

項目	Pavement Engineering Manual	舗装設計便覧
CBR 値設定における締固め度*	最大乾燥密度の 98%	最大乾燥密度の 95%
締固め方法		
①含水量	最適含水量	最適含水量
②ランマー、層数、突固め回数	4.5kg、5層、56回/層	4.5kg、3層、92回/層
③締固めエネルギー	27.4 (cm・kgf/cm ³)	25.3 (cm・kgf/cm ³)
CBR の規定	締固め規定最小値において 80%以上	締固め規定最小値において 80%以上
現場における締固め規定*	最大乾燥密度の 100%以上 (TRH14)	最大乾燥密度の 95%以上

*粒度調整砕石材料の CBR 値評価は現場における最小締固め規定値(最大乾燥密度に対するパーセンテージで表示)とするのが一般である。南アフリカの規定のほうが高い締固め度を要求している。

● 日本での実施例

国道のデータ例を下図に示す。

- ① データ数は少ないが 100%を超える事例もある。締固め度 100%以上はあり得る。
- ② 現行の規定(締固め度 95%以上)で路盤の締固め不足で供用早期に舗装が破壊した報告はなく、この規定は数十年にわたる供用実績に裏付けられている。

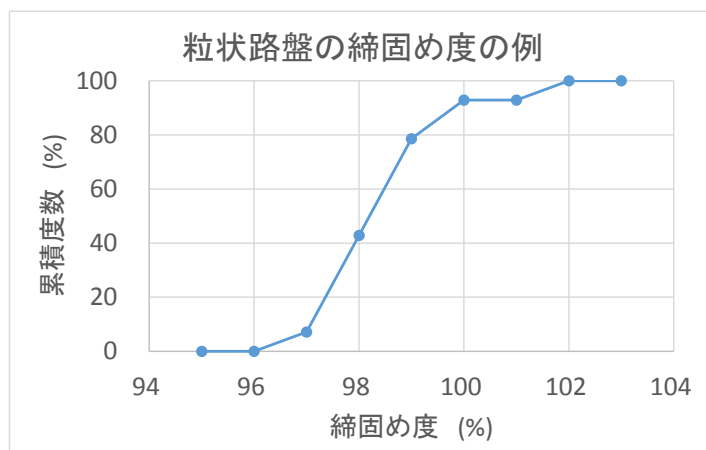


図 3.1 粒度調整碎石路盤の締固め度の例

3) アスファルト混合物及びアスファルト層の評価

表3.4 設計／施工段階での評価

項目	タンザニア	南アフリカ
評価方法	As 層のパフォーマンスの評価については、必要であれば南アに依頼して CSIR (Council for Scientific and Industrial Research) の耐流動性 (Rutting Resistance) 試験を実施している。	耐流動性の試験方法は、ハンブルグホイールトラッキング試験や MMLS (mobile load simulator) を使っている。MMLS は、配合の異なる多くの供試体の試験ができる。
試験施工	仕様書にも舗装の試験施工(トライアルセクション)の実施について規定されており、また契約金額にも含まれるが、この試験施工を重要視していない、又は実施しない場合が多い。この試験施工は舗装のパフォーマンスを事前に確認するために非常に重要である。	配合設計は、ラボだけでなく、プラントの試験練り (full production) と 200m の試験施工で確認し、仕様を満たすまで繰り返し行う。

表3.5 維持管理段階での評価

項目	タンザニア	南アフリカ
舗装の点検	FWD (Falling Weight Deflectometer) 試験機を MCC (Millennium Challenge Corporation) から供与され、全国の主要道路の特定区間について調査を開始している。(CML (Central Materials Laboratory) に FWD の現物有り。) 今のところ、キルワ道路は調査対象に入っていない。	舗装表面の状態の自動測定に加え、舗装の支持力を測定する車両 (TSD: Traffic Speed Deflectometer) を開発して使っている。強力なエンジンを有しており時速 80km/h で走行しながらの測定が可能である。 FWD 試験機の測定では 300 回/日が限界であり、短い調査区間での連続調査をするのに適さない。

4) 排水（舗装内排水）

表3.6 舗装内排水

項目	タンザニア	南アフリカ
路盤排水	舗装にとって排水は非常に重要である。タンザニアの基準には無いが、路肩部分まで路盤を設置し、排水層として外部に排出する方法を取っている。(BRT プロジェクト)	路盤排水の考え方を取り入れていない。過去に路盤排水を考慮したが、多くの道路が排水を考慮した路盤部分で破壊された。重要なのは基準通りの横断勾配の設置と道路の嵩上げである。
その他	-	インバートペイブメントは、路盤内に水が入ることにより弱体化するので、防水に留意する必要がある。表面処理工(Surface dressing)は、防水機能を保てるように施工し維持管理する必要がある。路盤は水が入らないように十分締め固める。側溝を設置し路盤内に水が入らないようにする。

(2) 配合設計の特徴

表3.7 計配合設の特徴

項目	タンザニア	南アフリカ
設計方法	重交通区間や登坂区間には Refusal Density*を用いている。100回、200回、300回毎にデータを取る。骨材が割れた場合は粒度が変わるのでやり直しとなる。Superpave の資機材を終了したプロジェクト (Challige-Tanga) から譲り受けた。現在、タンザニアの環境に合わせたキャリブレーションを実施中であり、来年度より本格的に Superpave 法の運用を開始する予定である。	南アも Superpave 法に移行する。現在、南アの条件に合わせて内容を修正しており来年からの運用になる。100%ではないが、マーシャル試験は使わなくなる。現在のマーシャル試験も、南ア用に修正**されたものである。SATCC の基準も CSIR が作成しており、Superpave 法に移行する予定である。
その他	スペックに Superpave 法を用いることが記載されており、これに準じて監理を行っている。(BRT プロジェクト) 配合設計については ORN19 が非常に良くできている。これは配合設計のバイブルであり、参考にすべきである。(BRT) 耐流動性を考慮してセミブローンアスファルトを使用している。(BRT プロジェクト)	耐流動性に強いアスファルトとして 10/20 の瀝青材、フランスの EME***等がある。

*参考 1 : Refusal Density 法

Refusal Density 法は、マーシャル試験におけるハンマー打撃回数(75回)が、供用後に車輪によって締固められた最終状態を示していないとの評価により、その打撃回数を増加させた方法である。したがって、Refusal Density は、高温地域、大きな軸重荷重作用、重車両の緩速走行等、厳しい荷重・走行条件の場合に採用される。

なお、試験方法については、マーシャル試験の延長線上にあり、マーシャル試験を補完する試験と言える。

■ 設計手順 (TANZANIA Testing Manual より)

- A) マーシャル試験（打撃回数75回）によって、最低空隙率が6%となる配合を決定する。
- B) 上記で得られたアスファルト量を中心に、±0.5%のアスファルト量による3点のアスファルト量で試験を行う。
- C) マーシャル試験と同様に供試体を作成する。この際の突き固め回数は、200回～500回程度とするが、500回突き固めることが望ましい。
- D) 供試体の密度を測定し、この密度により空隙率を求める。この際、最少空隙率が3%以上あればよい。もし、3%以下となった場合には、再度同じステップを繰り返す。（Road Note 31では、最終の空隙率を2%以上と規定している。）

****参考2：南アフリカの配合設計**

マーシャル締固めを用いた配合設計法は INTERIM GUIDELINES FOR THE DESIGN OF HOT-MIX ASPHALT IN SOUTH AFRICA に示されている。

表3.8 南アフリカの配合設計基準

交通レベル	マーシャル75回突き(現場締め固めをシミュレーション)後の許容空隙率の範囲		交通による追加締固め後の許容空隙率の範囲		
	最小	最大	全突固め回数	空隙率	
				最小	最大
軽	3.5%	5.5%	75+15	3.0%	4.5%
中	4.5%	6.5%	75+45	3.0%	5.0%
重	5.5%	7.5%	75+75	4.0%	5.0%
	SHRP試験法に準拠し、ジャイレトリコンパクタで300回旋回後の最小空隙率1.5% 混合物の透水性は合格基準内				
極重	6.0%	8.0%	75+75	4.5%	5.5%
	SHRP試験法に準拠し、ジャイレトリコンパクタで300回旋回後の最小空隙率2.5% 混合物の透水性は合格基準内				

交通レベル

交通レベル	重車両台数/車線/日	舗装構造設計の80kN ESALs
軽	< 80	<1×10 ⁶
中	80-200	1-3×10 ⁶
重	200-700	3-10×10 ⁶
極重	>700	>10×10 ⁶

配合設計法の特徴は以下のとおりである。

- ① 混合物の締固め性と交通レベルを考慮したマーシャル締固めを用いた設計法である。施工直後を75回突き、供用後の交通締固めは交通レベルに応じた突固め回数を設定している。
- ② 容積特性として空隙率を用いる。

- ③ マーシャル締固め時の空隙率と突固め回数をプロットし、回帰曲線の傾きが5%より急であれば、ジャイレトリ試験を実施する。回帰曲線の傾きが5%より急な混合物は2%未満のRefusal空隙率(すなわち、混合物がジャイレトリー・コンパクタで旋回数300回を受けた後)をもつ混合物の指標となる。

***参考3 : EME

- (1) 極重交通における針入度級 10-20 を用いた混合物(EME)の試行

南アフリカではHiMA(High modulus asphalt)混合物を試験舗装において検討中[Erik Denneman; Introducing High Modulus Asphalt(HiMA)]。

- 1) HiMAはEME(Enrobé à Module Élevé)のことであり、フランスで開発された混合物である。
- ① 路盤への適用が中心であるが、基層、表層への適用がヨーロッパなどで試みられている。
 - ② EMEの特徴は、従来の混合物よりも硬いバインダー(針入度級 10-20)の使用、高バインダー量、低い空隙率、高いモデュラス、高いわだち掘れ抵抗性と疲労抵抗性にある。なお、下表は南アフリカのバインダータイプ選定の一般的なガイドである。

表3.9 バインダータイプ選定の一般的なガイド

(INTERIM GUIDELINES FOR THE DESIGN OF HOT-MIX ASPHALT IN SOUTH AFRICA)

バインダータイプ	主な適用
針入度級 40/50	多交通に適用。一般に厚い層とアスファルトベースに使用。
針入度級 60/70	軽交通～中交通の表層に適用。最も一般的に使用。
針入度級 80/100	低交通に適用。暑い地域に一般に適さない。
改質バインダー	重交通に適用。わだち掘れ抵抗性の混合物に使用。

- 2) HiMA(EME)の利点は、舗装厚の低減と長寿命舗装にあるとし、試験舗装を展開している。
- 3) 今後、HiMA に関して種々なプロジェクトで適用を進める段階(現在、配合設計に用いる試験方法と配合基準は設定されていない)である。
- 4) 以下は、参考までに、フランスの仕様(路盤)
- ① バインダー ; 針入度 10-25、軟化点 62～72℃
 - ② 粒度範囲 (LCPCBituminous Mixtures DDesign Guide, 2007 より)

表3.10 フランスにおける路盤の粒度範囲

ふるい目 (mm)	最大粒径 20mm または 14mm			最大粒径 10mm		
	最小	目標	最大	最小	目標	最大
6.3	45(50)*	53	65 (70)		55	65
4	40	47	60	最小	52	
2	25	33	38	45	33	38
0.063	5.4	6.7	7.7	6.3	6.7	7.2

* ()は最大粒径 14mm の場合

(3) 自然条件調査及び交通量／軸重調査

1) 土質 (CBR) 調査

路床の支持力の評価には CBR 試験と DCP (Dynamic cone penetrometer) を使っている。DCP の弱点は雨季・乾季の強度の違いについては、英国の TRL (Transport Research Laboratory) や南アフリカの CSIR (Council for Scientific and Industrial Research) で開発した、解析ソフトで補正ができる。路床性状 (強度) の調査間隔は、タンザニアでは 250m (土質の変化が無い場合は 500m)、南アフリカでは千鳥配置や調査ピッチを密にすることを推奨している。

表3.11 土質 (CBR) 調査の特徴

項目	タンザニア	南アフリカ
土質調査	<ul style="list-style-type: none"> ・ CBR 調査は基準に従って実施され、必要に応じ室内試験と現場 CBR の 2 つで管理する。(現場 CBR=DCP) ・ DCP 試験は TRL の開発した解析方法により、土質の違いや、雨季・乾季の状況が解析に反映される。 ・ 試料の採取は道路の縦断計画によるが、一般的には現地盤から 1m 下が標準となる。ただし、Deep Cut (路床位置が深くなる切土区間) の場合は、土質の判断は行うが、試料の採取は困難であるため、建設時の確認を報告書に明記する。 ・ 標準的な試料の採取間隔は 250m であり、これにより土質区分を行い、CBR 試験は土質に変化がない場合は 500m が最小間隔である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 路床の評価には CBR と DCP が使用される。DCP は雨季と乾季で結果が異なるが、CSIR で開発した DCP 解析ソフトウェアでは、雨季と乾季の補正ができる。 ・ 路床の調査は千鳥配置とし、道路中央部も調査に含む。調査ピッチはかなり密に取ることをすすめる。弾性係数が必要な場合には、3 軸試験を実施する。

2) 交通量／軸重調査

タンザニアでは、国道等の交通量の測定は継続的に実施されていない。このため、交通量の調査はプロジェクト毎の実施が規定されている。これに対し、南アフリカでは、国道での常時観測を 250 箇所を実施し、定期観測を 1,100 箇所を 2 年毎に実施している。このため、これらのデータを利用し舗装設計に反映させている。

軸重観測については、タンザニアでも軸重観測所を主要な箇所に設置し、軸重の管理を行なっている。ただし、観測箇所が少ないことから、交通量調査と同様にプロジェクト毎の実施が規定されている。南アフリカでは、蓄積データが多いこと、軸重管理のシステムが確立されていることから、過積載の取締りの状況 (通常レベル、厳しく実施) に応じた大型車の軸重換算係数 (3-13~15 の説明参照) が舗装設計基準に記載されている。

表3.12 交通量／軸重調査の特徴

項目	タンザニア	南アフリカ
交通量／軸重調査	<p>連続 7 日間 (24 時間) の交通量及び軸重調査の実施が基本とマニュアル「Field Testing Manual 2003」に記載されている。</p>	<p>国道の交通量測定は 2 種類の方法で実施されている。 常時測定：24 時間 365 日の測定を約 250 箇所を実施。 定期測定：2 年ごとに約 1,100 箇所を実施。</p>

表3.13 南アフリカ舗装設計ガイドライン：大型車軸重換算係数

過積載管理	通常レベル			厳しく実施
2軸大型車割合	低い(SHV*>45%)	中間(SHV=20-45%)	高い(SHV<20%)	全てのレベル
大型車分類	大型車軸重換算値 (E80/HV) 値の推奨値			
1・2軸大型車	0.5 - 1.5			0.4 - 0.8
中間大型車	1.0 - 4.0	2.0 - 5.0		1.0 - 3.0
多軸大型車	1.5 - 4.5	3.5 - 6.0	4.5 - 7.0	3.0 - 5.0
全大型車	0.8 - 2.8	2.0 - 4.5	3.0 - 5.0	2.0 - 3.0

*) SHV=short heavy vehicle : 1, 2軸の大型車

(4) 舗装設計基準の適用上の留意点

タンザニアの舗装基準に関する留意点について以下に述べる。ノルウェーの協力で建設省、道路中央試験所が関与して作成したタンザニアの舗装基準（1999作成）は、道路中央試験所の担当者によると改訂する予定で広く意見を募っているとのことである。As層とセメント安定処理の改訂の要望が多く寄せられているとのことである。

1) As層の耐流動性

タンザニアの舗装基準(1999)は、ORN31や南アフリカの舗装基準 TRH4等を参照しているが、ORN31は補足基準であるORN19(2001)、TRH4は同じくHMA暫定ガイドライン(2001)を作成し重交通路線等の耐流動性対策などを規定している。タンザニア基準は、これらの補足基準を反映しているとは言えない。

2) As層の厚さ

タンザニアの舗装基準は(1999)の舗装設計カタログのAs層の厚さは、降雨量が少なく、地盤の健全な条件に建設される南アフリカの舗装基準に類似している。その点がORN31やSATCC(湿潤地域の)舗装設計基準の舗装設計カタログは異なり、As層が薄くなっている。

3-2. 交通量・軸重調査

(1) 交通量・軸重調査の概要

① タンザニア国（キルワ道路）

■ 交通量調査

キルワ道路上の2箇所（ネルソンマンデラ道路をはさみ中心地側と郊外側）で2014年5月28日（12時間：7:00-19:00）に実施した。

■ 軸重調査

タンザニア国で一般的に重交通が観測されるネルソンマンデラ道路で2014年5月28日（12時間：7:00-19:00）に実施した。



図 3.2 交通量／軸重調査位置図（タンザニア国 キルワ道路）

② タンザニア国（ニューバガモヨ道路）

■ 交通量調査

ニューバガモヨ道路については、「ニューバガモヨ道路拡幅計画フェーズ2 準備調査」にて、交通量調査を実施済みであったことから、その調査結果を使用することとした。なお、調査場所はムエンゲ交差点、調査日時は2014年4月29及び30日であり、両日ともに24時間調査が実施された。

■ 軸重調査

軸重調査についても同準備調査にて実施された。調査日時は2014年4月30日午前10:00から5月1日午前10:00までの24時間調査であった。

③ ガーナ国（国道8号線）

■ 交通量調査

ガーナ国 国道8号線については、「国道8号線改修計画フェーズ2 準備調査」にて、交通量調査を実施済みであったことから、その調査結果を使用することとした。なお、調査位置はアシンプラソ集落、調査日は2013年11月5及び6日であり、両日ともに24時間調査が実施された。

■ 軸重調査

軸重調査についても同準備調査にて実施された。調査日は2013年11月27日から28日にかけて実施された。

(2) 交通量・軸重調査の結果

① タンザニア国（キルワ道路）

■ 交通量調査

2箇所の上り、下り、両方向の交通量調査結果（12時間）を以下に示す。（大型車交通量＝大型バス（含む中型）交通量＋2軸・3軸トラック交通量＋トレーラー交通量）

表3.14 キルワ道路交通量調査結果（12時間）

調査地点	測定方向	1. Motorcycle	2. Car/Taxi	3. PickUp	4. Mini Bus	5. Large Bus	6. 2 axles Truck	7. 3 axles Truck	8. Trailer	9. Other	大型車計
1	上り方向	2299	2642	1846	2350	671	361	161	368	486	
	下り方向	2788	2269	2533	2141	862	396	168	472	446	
	双方向	5087	4911	4379	4491	1533	757	329	840	932	3459
2	上り方向	2458	3986	1426	1368	410	727	109	440	231	
	下り方向	234	4464	1514	1280	485	368	119	296	234	
	双方向	2692	8450	2940	2648	895	1095	228	736	465	5602

本調査結果の内、ダルエスサラーム港からの交通の影響を受けていると考えられる地点2の交通量結果を用いて、2005年に準備調査で実施された交通量調査（24時間）の予測交通量との比較を行った。また、本調査で実施した交通量調査は12時間観測であることから、24時間に換算するため1.65の昼夜率を設定した。

比較の結果、大型車交通量、特に、大型バス、トレーラーの伸びが顕著であった。

表3.15 キルワ道路の予測交通量と実測交通量の比較（24時間）

年	大型バス	トラック	トレーラー	大型車合計	備考
2005	11	788	100	899	実測値
2006	12	823	105	940	予測値
2007	12	860	110	982	予測値
2008	13	899	115	1,027	予測値
2009	14	939	120	1,073	予測値
2010	15	981	125	1,121	予測値
2011	16	1,025	131	1,172	予測値
2012	17	1,071	137	1,225	予測値
2013	18	1,120	143	1,281	予測値
2014年予測値					
2014	19	1,170	149	1,338	予測値
2014年実測値					
2014	1,477	2,184	1,215	4,876	実測値

■ 軸重調査

本調査で実施した軸重調査では、過積載車両は計測した 534 台の内 162 台であった。

また、この 534 台のデータから得られた軸重換算係数の値と準備調査時と施工後に用いた軸重換算係数の値は以下のとおりとなる。

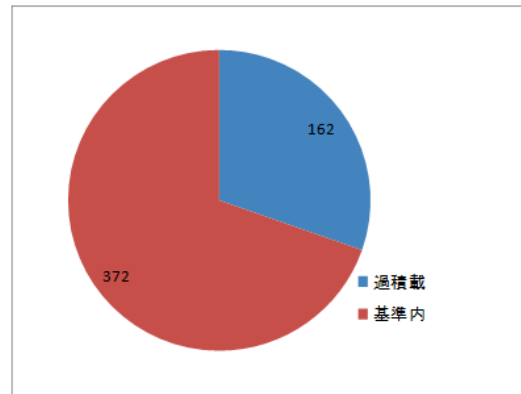


図 3.3 軸重調査結果

表3.16 軸重調査結果（ネルソン・マンデラ道路）から計算される軸重換算係数*

	大型バス	中型貨物車	大型貨物車	トレーラー
準備調査結果	0.960	4.670	8.840	10.840
施工後調査結果	0.960	0.859	2.283	2.595
今回調査結果	-	0.576	1.088	3.170

今回調査結果の軸重換算係数と交通量調査結果に基づき、設計期間 15 年間（2009 年～2023 年）の累積軸重の再計算を実施した。以下に再計算結果と準備調査報告書に示される累積軸重の比較を示す。

表3.17 累積軸重の再計算結果と準備調査結果の比較

	今回調査結果	準備調査結果
累積軸重（15 年）	22.5 x 10 ⁶	12.3 x 10 ⁶

今回の調査結果を用いて計算した設計期間の累積軸重は、準備調査時の累積軸重を上回る結果となった。

*) 軸重換算係数

軸重換算係数は、軸重を等価軸重（8t や 10t）の軸数に換算する係数と各種大型車両 1 台当りの全ての荷重（軸重）を等価軸重の軸数に換算する係数である。以下に、詳細を説明する。

A) 単軸の軸重換算係数

単軸の軸重分布測定結果から求めた軸重毎の頻度分布を作成し、標準軸重への軸重換算係数を用いて標準軸重の等価換算軸数を算定する。

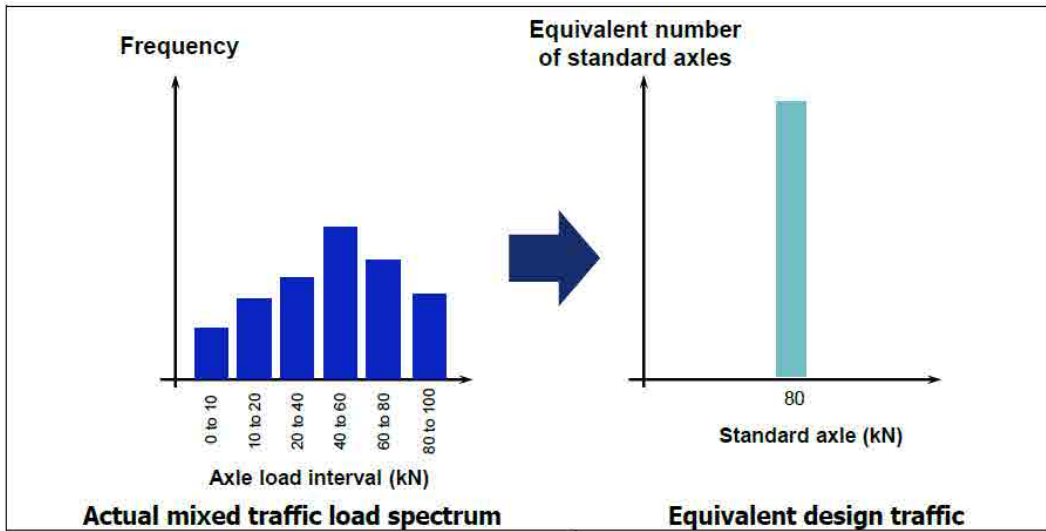


図 3.4 等価軸重の軸数への換算

ここで、標準軸重は 8, 160kg/80kN をとる。この場合、等価換算軸数は下式より算定する。

$$F = [P/8160]^n \quad (\text{for loads in kg}) \quad \text{or} \quad F = [P/80]^n \quad (\text{for loads in kN})$$

F : 標準軸重の等価換算軸数

P : 軸重 (kg または N)

N : 軸重換算係数 (値 4 が使われることが多い)

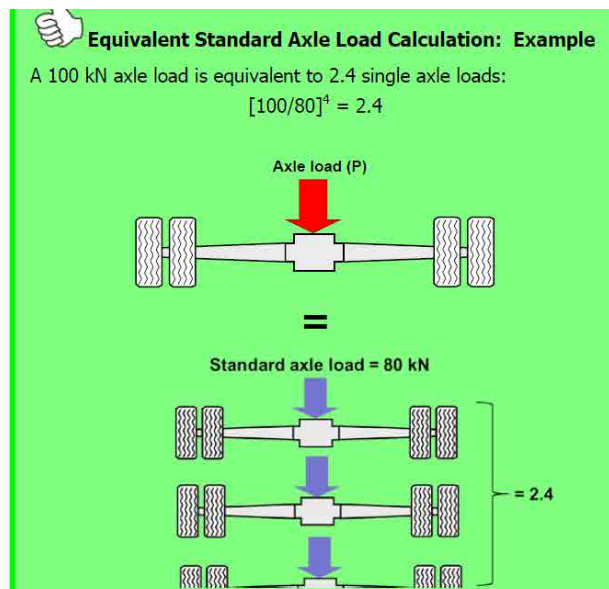


図 3.5 軸重換算係数による等価軸重の軸数の算定

B) 大型車の軸重換算係数

大型車両毎の軸重換算係数は軸重調査データより算定する。

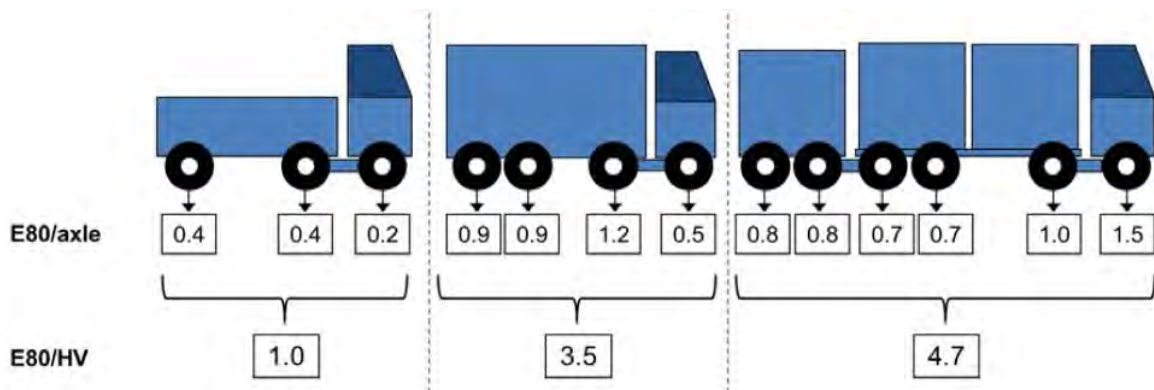


図 3.6 単軸の軸重換算係数と大型車の軸重換算係数の例

国により異なる車両分類、使用実態、過積載と法的軸重規制は、軸重換算係数に影響する。南アフリカの基準の軸重換算係数を参考に下表に示す。

表3.18 南アフリカの軸重換算係数（出典：TRH4, 1966、TRH16, 1991）

車両分類	大型車の平均軸重換算係数	大型車の軸重換算係数の地域別バラツキ
2軸トラック	0.70	0.30 - 1.10
2軸バス	0.73	0.41 - 1.52
3軸トラック	1.70	0.80 - 2.60
4軸トラック	1.80	0.80 - 3.00
5軸トラック	2.20	1.00 - 3.00
6軸トラック	3.50	1.60 - 5.20
7軸トラック	4.40	3.80 - 5.00

② タンザニア国（ニューバガモヨ道路）

■ 交通量調査

2014年に準備調査で実施された上り、下り、両方向の交通量調査結果（24時間）を以下に示す。

表3.19 ニューバガモヨ道路交通量調査結果（24時間）

測定日	測定方向	1. Motorcycle	2. Car/Taxi	3. PickUp	4. Mini Bus	5. Large Bus	6. 2 axles Truck	7. 3 axles Truck	8. Trailer	9. Other	大型車計
4/29	上り方向	1520	6958	3204	463	22	464	278	326	76	
	下り方向	1877	7903	3540	235	5	663	220	318	146	
	双方向	3397	14861	6744	698	27	1127	498	644	222	2296
4/30	上り方向	1323	7015	3047	221	33	575	204	290	69	
	下り方向	1936	7326	2711	842	12	652	214	299	116	
	双方向	3259	14341	5758	1063	45	1227	418	589	185	2279
Average	上り方向	1422	6987	3126	342	28	520	241	308	73	
	下り方向	1907	7615	3126	539	9	658	217	309	131	
	双方向	3329	14602	6252	881	37	1178	458	617	204	2290

本調査結果と2007年の準備調査で実施された大型車の予測交通量との比較を行った。比較の結果、2014年時点の大型車交通量は予測された大型交通量の約30%であった。

表3.20 ニューバガモヨ道路の予測交通量と実測交通量の比較

年	中・大型バス	2軸トラック	3-4軸トラック	5軸トラック	トラクトレーラ	大型車合計	備考
2007	1,908	1,499	1,386	196	35	5,024	実測値
2008	2,003	1,574	1,455	206	37	5,275	
2009	2,103	1,653	1,528	216	39	5,539	
2010	2,208	1,736	1,604	227	41	5,816	
2011	2,318	1,823	1,684	238	43	6,106	
2012	2,434	1,914	1,768	250	45	6,411	
2013	2,556	2,010	1,856	263	47	6,732	
2014	37	1,178	458		617	2,290	実測値
2014	2,684	2,111	1,949	276	49	7,069	予測値
2015	2,818	2,217	2,046	290	51	7,422	
2016	2,959	2,328	2,148	305	54	7,794	
2017	3,107	2,444	2,255	320	57	8,183	
2018	3,262	2,566	2,368	336	60	8,592	
2019	3,425	2,694	2,486	353	63	9,021	
2020	3,596	2,829	2,610	371	66	9,472	
2021	3,776	2,970	2,741	390	69	9,946	
2022	3,965	3,119	2,878	410	72	10,444	
2023	4,163	3,275	3,022	431	76	10,967	
2024	4,371	3,439	3,173	453	80	11,516	
2025	4,590	3,611	3,332	476	84	12,093	
2026	4,820	3,792	3,499	500	88	12,699	
2027	5,061	3,982	3,674	525	92	13,334	
2028	5,314	4,181	3,858	551	97	14,001	

■ 軸重調査

ニューバガモヨ道路の準備調査で実施した軸重調査では、過積載車両は計測した241台の内4台であった。

この241台のデータから得られた軸重係数の値と準備調査時に用いた軸重係数の値は以下のとおりとなる。

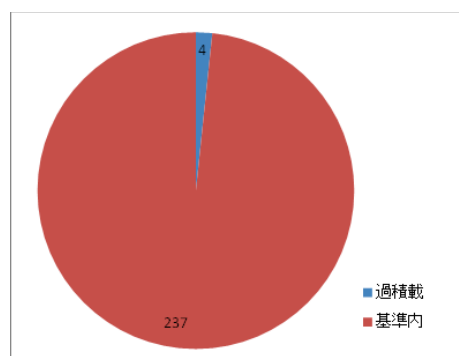


図 3.7 軸重調査結果

表3.21 軸重調査結果（ニューバガモヨ道路）から計算される軸重係数

	大型バス	中型貨物	大型貨物		トレーラー 6軸
			3-4軸	5軸	
準備調査結果	1.244	0.663	2.343	2.502	3.515
今回調査結果	0.174	0.383	1.084		3.063

今回調査結果による軸重換算係数と交通量調査結果に基づき、設計期間15年間（2014年～2028年）の累積軸重の再計算を実施した。以下に再計算結果と準備調査報告書に示される累積軸重の比較を示す。

表3.22 累積軸重の再計算結果と準備調査結果の比較

	今回調査結果	準備調査結果
累積軸重（15年）	12.3 x 10 ⁶	30.95 x 10 ⁶

今回の調査結果を用いて計算した設計期間の累積軸重は、準備調査時の累積軸重を下回る結果となった。

③ ガーナ国（国道8号線）

■ 交通量調査

2013年の準備調査で実施された交通量調査結果（24時間）を示す。

表3.23 国道8号線交通量調査結果（24時間）

調査日時	1. Bicycle	2. Motorcycle	3. Car/Taxi	4. PickUp	5. Bus	6. L.Truck	7. H. Truck	8. Trailer	9. Extra Large	10. Other	大型車計
11/5	711	508	7687	1739	164	370	164	114	155	17	967
11/6	699	553	7087	1501	254	298	153	105	187	5	997
Average	705	531	7387	1620	209	334	159	110	171	11	983

本調査結果と2008年の準備調査で実施された大型車の予測交通量の比較を行った。比較の結果、2013年時点の予測大型車交通量は、実測値の約93%であった。

表3.24 国道8号線の予測交通量と実測交通量の比較

年	中・大型バス	2軸トラック	3軸トラック	4軸トラック	5軸トラック	6軸トラック	大型車合計	備考
2008	347	134	26	34	66	63	670	実測値
2009	370	143	28	36	70	67	714	
2010	394	152	30	38	75	71	760	
2011	420	162	32	40	80	76	810	
2012	447	173	34	43	85	81	863	
2013	209	334	159	110	171	983	983	実測値
2013	476	184	36	46	91	86	919	予測値
2014	507	196	38	49	97	92	979	
2015	540	209	40	52	103	98	1,042	
2016	575	223	43	55	110	104	1,110	
2017	612	237	46	59	117	111	1,182	
2018	652	252	49	63	125	118	1,259	
2019	694	268	52	67	133	126	1,340	
2020	739	285	55	71	142	134	1,426	
2021	787	304	59	76	151	143	1,520	
2022	838	324	63	81	161	152	1,619	
2023	892	345	67	86	171	162	1,723	
2024	950	367	71	92	182	173	1,835	
2025	1,012	391	76	98	194	184	1,955	
2026	1,078	416	81	104	207	196	2,082	
2027	1,148	443	86	111	220	209	2,217	

■ 軸重調査

本調査で実施した軸重調査では、過積載車両は計測した121台の内48台であった。

このデータから得られた軸重換算係数の値と準備調査時に用いた軸重換算係数の値は以下のとおりとなる。

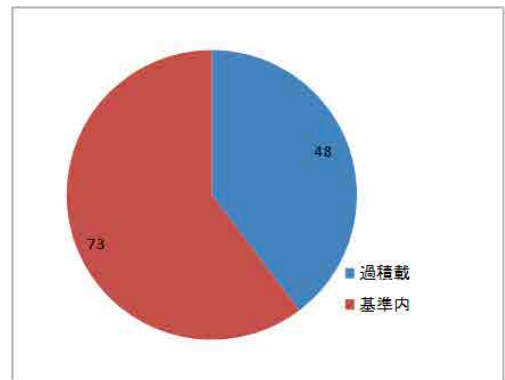


図 3.8 軸重調査結果

表3.25 軸重調査結果（国道8号線）から計算される軸重換算係数

	大型バス	中型貨物	3軸 (Medium)	4軸 Trailer (Light)	5軸 Trailer (Heavy)	6軸 Trailer (Extra)
準備調査結果	1.198	6.105	8.322	14.237	16.454	22.369
今回調査結果	0.758	1.526	7.845	7.845	9.743	9.510

今回調査結果による軸重換算係数と交通量調査結果に基づき、設計期間15年（2013年～2027年）の累積軸重の再計算を実施した。以下に再計算結果と準備調査報告書に示される累積軸重の比較を示す。

表3.26 累積軸重の再計算結果と準備調査結果の比較

	今回調査結果	準備調査結果
累積軸重	24.8 x 10 ⁶	26.7 x 10 ⁶

今回の調査結果を用いて計算した設計期間の累積軸重は、準備調査時の累積軸重を下回る結果となった。

3-3. 土質試験（CBR 試験）

(1) 土質試験の概要

現地調査位置および調査内容を以下に示す。



図 3.9 土質調査位置図（タンザニア国 キルワ道路）

路床 CBR 調査試験は、キルワ道路上にて路面の変状、地形から下図に示す 1,400m の区間を抽出し、200mピッチ連続7箇所から CBR 試験用の試料を採取し実施した。

以下に5月18日に実施した試料採取状況写真を以下に示す。



写真 3.1 試料採取状況 (1)



写真 3.2 試料採取状況 (2)

室内試験については、CBR 試験は、雨季である 2014 年 5 月 18 日と乾季 2014 年 8 月の 2 回実施した。試験方法は、タンザニア基準と日本基準に準拠し各々の CBR 試験を実施する。

表3.27 地質調査の内容

調査／試験内容	数量	単位	調査ピッチ	備考
試料採取 (雨季)	14	箇所	200m	5 月
水浸 CBR 試験 (three point method)	7	試料		
水浸 CBR 試験 (日本基準)	7	試料		
試料採取 (乾季)	14	箇所	200m	8 月
水浸 CBR 試験 (three point method)	7	試料		
水浸 CBR 試験 (日本基準)	7	試料		

表3.28 ORN31、タンザニア国と日本の CBR 評価方法

項目	ORN31	CML Test No. 1.9 (タンザニア国)	舗装設計便覧 (日本)
締固め条件	①BS Light; 2.5kg ランマー、3 層 62 回 ②BS Heavy; 4.5kg ランマー、5 層 62 回 ③締固め規定; Light; $\geq 100\%$ 、 Heavy; $\geq 93\%$ Light と Heavy は同等の乾燥密度	①4.5kg ランマー、5 層 62 回 ②4.5kg ランマー、5 層 30 回 ③2.5kg ランマー、3 層 62 回	4.5kg、3 層 67 回
含水比	最適含水比 (OMC) (雨季と乾季で OMC は変化しない)		自然含水比 (雨季 と乾季で含水比が 変化する)
水浸条件	4 日間 (水浸後、サンプル上面に水が 現れてから 4 日間)	①4 日間 ②サンプル上面に水が 現れる時間を記録する。 この現象が水浸後 3 日 以内に現れない場合は、 サンプル上面まで水浸 し、4 日間。	4 日間 (供試体全体 を水浸)
採取時における 雨季 / 乾季 の CBR 値	雨季と乾季で同じ CBR 評価値になる		雨季と乾季で CBR 値が異なる。この 検証確認試験を現 地にて指示。

(2) 土質試験の結果

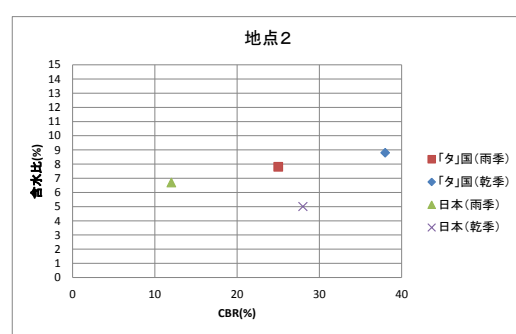
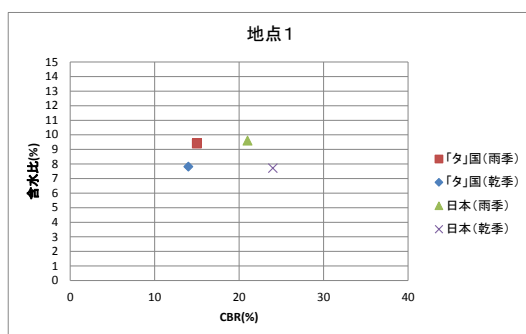
雨季と乾季に採取したサンプルの試験結果は以下の通りである。なお、本区間の設計 CBR は準備調査段階で 9%とされているが、ほとんどの調査地点で設計 CBR を上回る試験結果となっている。

表3.29 土質調査結果（雨季）

計測点	「夕」国基準 CBR AT 95%、		日本基準	
	CBR(%)	最適含水比 ¹ (%)	CBR(%)	自然含水比 ² (%)
1	15	9.4	21	9.6
2	25	7.8	12	6.7
3	31	8.4	11	8.5
4	23	8.7	5	12.6
5	9	6.8	15	5.0
6	9	8.3	31	6.0
7	16	7.2	21	13.2

表3.30 土質調査結果（乾季）

計測点	「夕」国基準 CBR AT 95%、		日本基準	
	CBR(%)	最適含水比 (%)	CBR(%)	自然含水比 (%)
1	14	7.8	24	7.7
2	38	8.8	28	5.0
3	4	7.0	39	3.9
4	8	7.0	20	3.9
5	19	7.8	24	3.7
6	26	8.9	16	3.5
7	10	9.0	25	5.6



¹ 最適含水比：土を締め固めたとき、最もよく縮まる含水比のこと。

² 自然含水比：土が自然状態の時に保持している含水比のこと。

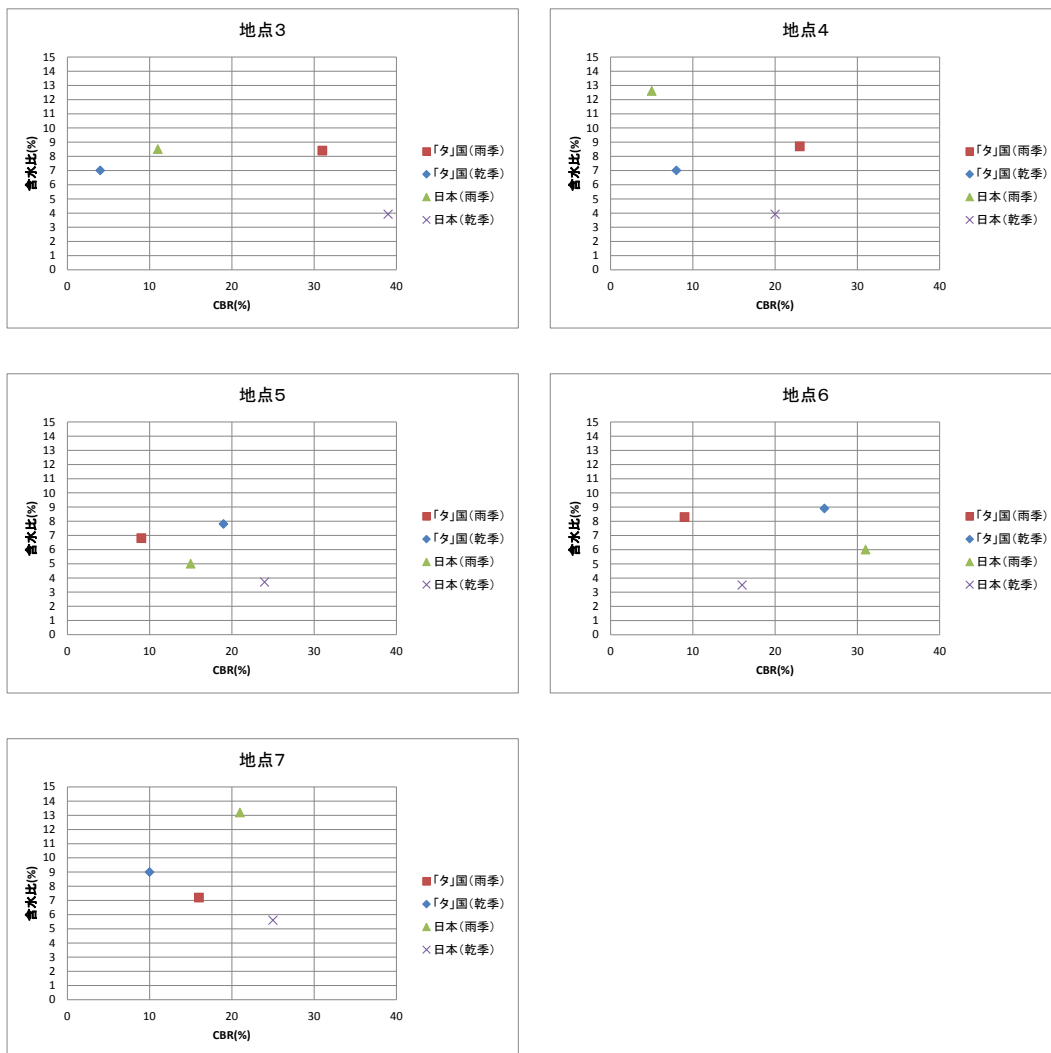


图 3.10 土質調査結果 (箇所別)

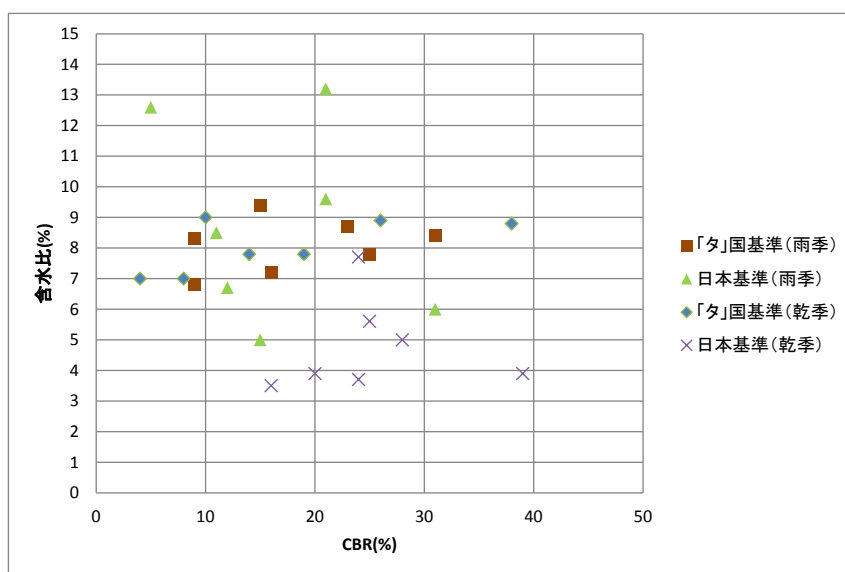


图 3.11 土質調査結果 (全体)

全体の試験結果から言えることは、雨季の自然含水比のバラつきが非常に大きく、乾季の自然含水比は低下する。最適含水比については、雨季／乾季に関わらずある程度の範囲に収まる。

このように、自然含水比については雨水の影響を若干受けるものの、設計時に採用された CBR 値を下回るような路床の脆弱化が見られない原因として、下の写真に示す大型の側溝の存在が挙げられる。この大型の側溝により、外部からの水の侵入が防がれているものと考えられる。

なお、CBR 値については、雨季／乾季、及び試験方法による顕著な傾向は見られない。これについては、引き続き文献等の調査により考察を進める必要がある。



写真 3.3 試料採取箇所



写真 3.4 併設される大型側溝

3-4 舗装試験

ホイールトラッキング試験の結果については、第2次現地調査（アジア地域調査）終了後、日本で実施した。第4章にまとめて記述する。

第4章 現地調査結果のまとめ（アジア地域）

4-1. ヒアリングより得られた知見

(1) 舗装設計基準の特徴

ラオスの舗装設計基準は工事仕様書に等しく、使用する材料の規定が細かく定められている。構造設計に関しては、AASHTO Guide(1993)の手法に準じたマニュアルである。カンボジアの舗装設計は、水分管理と材料規定について詳細に記載されている。構造設計については、Overseas Road Note 31の交通区分とカタログに準じている。

表4.1 ラオス及びカンボジアの舗装基準の概要

項目	ラオス	カンボジア
設計基準	Road Design Manual, Part III Materials and Pavement Design	Road Design Standard, Part 2 Pavement
発行年	1996年：SIDA（スウェーデン）の援助で作成	2003年：AustAID（オーストラリア）の援助で作成
舗装厚設計法	使用材料の基準を明確に定め、その材料を使用することを求めている。また、下記の交通区分によっても使用材料が規定される。厚さについては、次頁の図が示されている。	路床評価、材料規定にオーストラリアの基準を取り入れているが、最終的なカタログは Overseas Road Note 31 を使用。
交通区分	EO～E4 の 5 段階の交通区分に分類されている。（下表参照）	カタログでは Road Note の交通区分により舗装構成を決めることになっているが、本文中に交通区分の記載が無い。
構造設計	路床の評価には CBR 法の適用を推奨している。路盤の設計には、ORN 31、RN 29（累積軸重が 2.5 million を超えた場合）の使用が推奨されている。	使用材料、累積軸重、路床強度別にカタログから選択。
重交通対策	重交通、及び極重交通路線には Type I*アスファルトの使用が推奨されている。中・軽交通路線にはサーフェースドレッシングの使用を推奨し、サーフェースドレッシングに適切な材料（骨材）が無い場合に Type II**、ギャップアスファルトを考慮する。	記載なし
その他	重交通路線でも、サーフェースドレッシングを使用する基準となっている。設計基準の改訂を計画している。	水分変化が舗装のパフォーマンスに最も影響を与えているとしている。詳細は、Association of Australian State Road Authorities (NAASRA)のガイダンスを参照することを推奨している。

*Type I：高安定タイプ。厚さは 50mm 以下で、剛性舗装の上部、又は 75mm 以上の厚いたわみ性舗装の上部に使用される。

**Type II：たわみ性舗装。比較的高いたわみ変形の抵抗のために使用される。最大厚さは 50mm としている。

る。

表4.2 ラオス国の交通区分（舗装設計）

Traffic class	Cumulative Equivalent traffic E80/lane	Description
E0	$< 0,2 \times 10^6$	Very lightly trafficked roads, very few heavy vehicles
E1	$0,2-0,8 \times 10^6$	Lightly trafficked roads, mainly cars, light delivery and agricultural vehicles, very few heavy vehicles
E2	$0,8 - 3 \times 10^6$	Medium volume of traffic, few heavy vehicles
E3	$3-12 \times 10^6$	High volume of traffic and /or many heavy vehicles
E4	$12 - 50 \times 10^6$	Very high volume of traffic and/or a high proportion of fully laden heavy vehicles

表4.3 ラオス国の設計基準に示される舗装厚さの基準

Traffic (cumulative number of standards axles)		0.5 25 millions	less than 0.5
Over 11 millions	2.5 11 millions	(3)	(4)
(1)	(2)		
Wearing course (Crushed rock of slag coarse aggregate only) Minimum thickness 40 mm Rolled asphalt to BS 594 (Pitch bitumen binder may be used) (Clause 907)		Wearing course Minimum thickness 40 mm Rolled asphalt to BS 594 (Pitch bitumen binder may be used) (Clause 907) Dense tar surfacing to BTIA Specification (Clause 909) Cold asphalt to BS 1690 (Clause 910) (See note 4) Medium textured tarmacadam To BS 802 (Clause 913) to be surface dressed immediately or as soon as possible (see note 4) Dense bitumen macadam to BS 1621 (Clause 908) (See note 4) Open textured bitumen Macadam to BS 1621 (Clause 912) (See Note 4)	Two course (a) Wearing course Minimum thickness 20mm Cold asphalt to BS 1690 (Clause 910) (see Note 4) Coated macadam to BS 802 BS 1621, BS 1241 or BS 2040, (Clause 913,914 or 908) (See Notes 2 and 4) (b) Base course Coated macadam to BS 802 BS 1621, BS 1241 or BS 2040 (Clause 906 or 905) (See note 2) Single course Roller asphalt to BS 594 (Pitch bitumen binder may be used) Dense tar surfacing to BTIA Specification (Clause 909) Medium textured tarmacadam to BS 802 (Clause 913) (to be surface dressed immediately or as soon as possible – see note 4) Dense bitumen macadam BS 1621 (Clause 908) (See Note 4) 60 mm of single course tarmacadam to BS 802 BS 1241 (to be surface dressed immediately or as soon as possible - see Note 4) 60 mm of single course Bitumen macadam to BS 1621 (Clause 905) Or BS 2040 (See Note 4)
Base course Minimum thickness 60 mm Rolled asphalt to (See note 2) Dense bitumen macadam Or dense tarmacadam (Crush rock or slag only) (Clause 903 or 904)	Base course Rolled asphalt to BS 594 (Clause 902) (See note 2) Dense bitumen macadam or dense tarmacadam (Clause 903 or 904) (See Note 3)	Base course Rolled asphalt to BS 594 (Clause 902) (See note 2) Dense bitumen macadam or dense tarmacadam (Clause 903 or 904) Single course tarmacadam to BS 802 (Clause 906) or BS 1241 (See Notes 2 and 5) Single course bitumen Macadam to BS 1621 (Clause 905) or BS 2040 (See Note 2 and 5)	
<i>Notes:</i>			
<ol style="list-style-type: none"> The thickness of all layers of bituminous surfacing should be consistent with the appropriate British Standard Specification. When gravel other than limestone is used 2 percent of Portland cement should be added to the mix and percentage of fine aggregate reduced accordingly. Gravel tarmacadam is not recommended as a base course for load designed to carry more than 2.5 million standard axles. When the wearing course is neither rolled asphalt then tar surfacing and where it is not intended to apply a surface dressing immediately to the wearing course is essential to seal the construction against the ingress of water by applying a surface dressing either to the load base or to the base-course. Under a wearing course of rolled asphalt or dense tar surfacing the base-course should consist of rolled asphalt to BS 594 (Clause 902) or of dense coated macadam (Clause 903 or 904) 			

(2) 舗装材料の適用

1) 舗装材料の種類

ラオスの舗装設計基準、カンボジアの舗装設計基準に規定されている舗装材料(下層路盤、上層路盤、表・基層)を下表に示す。

表4.4 カンボジアの舗装適用材料

項目	ラオス	カンボジア
下層路盤	<ul style="list-style-type: none"> ● Natural Materials - Natural gravels - Clayey and silty sands ● Cement and Lime Improvement Materials ● Graded Crushed Stone 	<ul style="list-style-type: none"> ● Granular Materials ● Modified Materials (Cement or lime) ● Concrete
上層路盤	<ul style="list-style-type: none"> ● Natural Gravel ● Cement and Lime Improvement Materials ● Cement Stabilized Materials ● Graded Crushed Stone ● Sand Bitumen Mixes ● Dense Bitumen ● Lean Concrete 	<ul style="list-style-type: none"> ● Granular Materials ● Modified Materials (Cement or lime) ● Concrete
表・基層	<ul style="list-style-type: none"> ● Surface Dressing ● Asphalt Concrete ● Gap Graded Asphalt ● Sand Asphalt ● Emulsion Slurry Seal 	<ul style="list-style-type: none"> ● Bituminous Surface treatment ● Asphalt Concrete

2) 舗装材料の規定の留意点

Overseas Road Note 31 や日本の舗装設計便覧に比べて、ラオス国の下層路盤の材料基準に示されるPI(塑性指数)の最大許容値が高くなっており、より塑性的な土の使用が認められている。他の基準のセメント安定処理路盤に関する規定との比較を示す。

① ラオス国の下層路盤のセメント安定処理の基準

表4.5 安定処理に用いる骨材の望ましい品質(下層路盤)

項目	内容	
・粒度	-Natural gravels	<ul style="list-style-type: none"> ・最大粒径：10 - 50mm ・0.075mmふるい通過率：最大40%
	砂、シルト質砂、粘土質砂	<ul style="list-style-type: none"> ・最大粒径：0.5 - 10mm ・0.075mmふるい通過率：最大50%
・塑性指数(PI: Plastic Index)	: 30以下	
・有機物(Organic matter)	: 2%以下	

表4.6 安定処理後の品質(下層路盤)

項目	内容
・修正CBR(7日水侵)	60以上
・塑性指数(PI: Plastic Index)	15以下

② Overseas Road Note 31

ORN 31 では、セメント、または、石灰により安定処理できる材料の最低基準を下表のように定めている。

ORN 31 では、やむをえない場合は、骨材の粒度が不良や PI が大きい材料のセメント安定処理を許容している。この場合、セメント含有量の増加によるコスト増、ひび割れ、中性化による劣化のリスクが高いとしている。セメント安定処理の劣化の試験方法として乾湿(Wet-dry brushing) 試験を規定している。

表4.7 安定処理に用いる骨材の望ましい品質（上層路盤、下層路盤）

Desirable properties of material before stabilisation			
BS test sieve (mm)	Percentage by mass of total aggregate passing test sieve		
	CB1	CB2	CS
53	100	100	-
37.5	85 - 100	80 - 100	-
20	60 - 90	55 - 90	-
5	30 - 65	25 - 65	-
2	20 - 50	15 - 50	-
0.425	10 - 30	10 - 30	-
0.075	5 - 15	5 - 15	-
Maximum allowable value			
LL	25	30	-
PI	6	10	20
LS	3	5	-

Note. It is recommended that materials should have a coefficient of uniformity of 5 or more.

ここで、CB: Cement or Lime-stabilization Road Base

CS: Cement or Lime-stabilization Road Sub-base

なお、カンボジア基準は、Overseas Road Note 31 と同じである。

③ SATCC（南部アフリカ運輸交通委員会）

セメント安定処理に用いる骨材の望ましい品質（路盤材）は PI10 以下としている。劣化の試験方法として乾湿（Wet-dry brushing）試験を規定している。

④ AASHTO

材料事情が州により異なるため、州により仕様が異なる。乾湿試験（ASTM D559-96）を規定している。

⑤ 日本（舗装設計便覧）

日本では、経済性を考慮して PI9 以下としている。

表4.8 安定処理に用いる骨材の望ましい品質（下層路盤）

工法	修正 CBR (%)	PI
セメント安定処理	10 以上	9 以下
石灰安定処理	10 以上	6~18

(3) 自然条件調査及び交通量／軸重調査

1) 土質 (CBR) 調査

路床の支持力の評価について、ラオスの基準では 6 points CBR 試験の実施が規定されている。カンボジアの基準では、現場 CBR 又は室内 CBR 試験から適切に決定することとされている。

表4.9 ラオス及びカンボジアの土質 (CBR) 調査基準

項目	ラオス	カンボジア
試料採取	Final Design (詳細設計) では、少なくとも 500m ピッチでの試料採取が規定されている。	記載なし
試験方法	6 points CBR*試験 (4日水浸) 但し、乾燥地域 (年間降雨量 500mm 以下) では、水浸試験は求められない。	現場 CBR (現場 CBR 試験、DCP 試験)、及び室内 CBR より適切に決定することになっている。土質による標準値が記載されている。
材料規定	CBR : 100% MDD and 4 days soak: more than 5 Swell : 100% MDD and 4 days soak: less than 2% 有機物含有率 : 3%以下 (重量)	路床材料に関する記述なし。

*締固め度 90, 95, 100% x 2 (水浸、非水浸)

2) 交通量／軸重調査

交通量と軸重調査について、ラオスの基準ではセンサデータの利用と記載されている。カンボジアの基準では、Road Note を参考にした調査基準が示されている。

表4.10 ラオス及びカンボジアの交通量／軸重調査基準

項目	ラオス	カンボジア
交通量調査	記載なし	7日間連続調査を推奨。数日間は24時間調査、残りは16時間調査としている。可能であれば、年数回の調査が望ましい。(Overseas Road Note 31を適用)
軸重調査	記載なし	原則、時間60台以上を抽出する。調査期間は、上記「交通量調査」と同様である。
その他	両調査とも、指定された箇所におけるセンサデータを使用するとされている。	軸重調査の詳細については、TRRL Road Note 40を参照すること。

4-2. 交通量・軸重調査

(1) 交通量・軸重調査の概要

① ラオス国（国道9号線）

現地調査位置および調査内容を以下に示す。

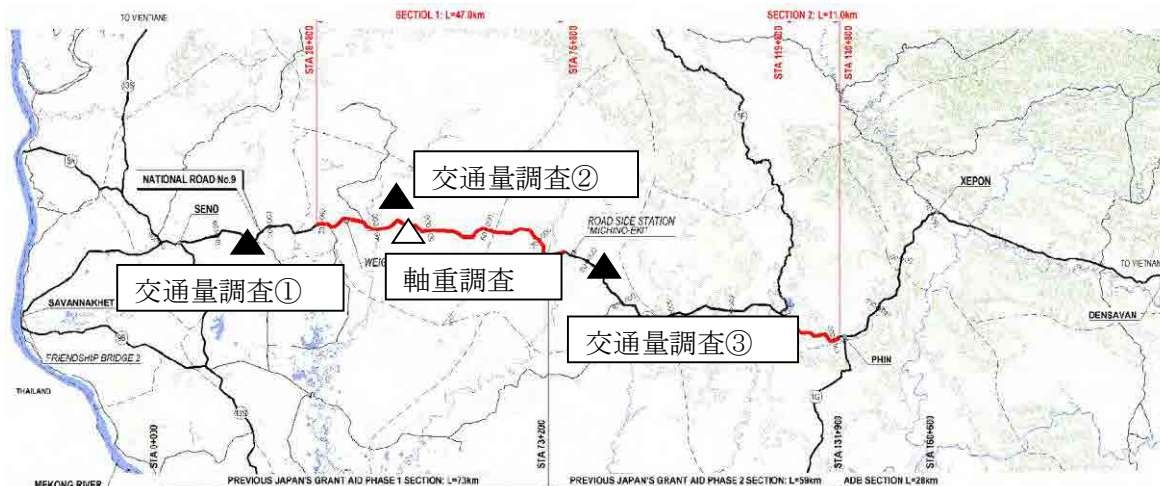


図 4.1 交通量／軸重調査位置図（ラオス国 国道9号線）

■ 交通量調査

国道9号線上の3箇所（セノ町付近、国道9号線改善工事 STA30 および STA76 付近）で2014年8月11日7:00～19:00の12時間実施した。



写真 4.1 交通量調査実施状況



写真 4.2 交通量調査実施箇所

■ 軸重調査

国道9号線上にある軸重計測所の機器を使用し、2014年8月11日7:00～19:00の12時間実施した。



写真 4.3 軸重調査実施状況(1)



写真 4.4 軸重調査実施状況(2)

② カンボジア国（国道1号線）

現地調査位置および調査内容を以下に示す。



図 4.2 交通量調査位置図（カンボジア国 国道1号線）

■ 交通量調査

国道1号線上の3箇所（無償資金協力実施区間（55km）の起点、中間、終点）で2014年8月17日7:00～19:00の12時間実施した。



写真 4.5 交通量調査実施状況(1)



写真 4.6 交通量調査実施状況(2)

■ 軸重調査

軸重の実測調査については、カンボジア国にポータブルの観測機が存在しないことから、路線上の軸重観測所のデータの入手、及び解析で代替することとした。



写真 4.7 国道 1 号線既存観測所

(2) 交通量・軸重調査の結果

①ラオス国（国道 9 号線）

■ 交通量調査

3 箇所（無償資金協力実施区間（55km）の起点、中間、終点）の上り、下り、双方向の交通量調査結果（12 時間）を示す。

表4.11 交通量調査結果（12時間）

調査地点	測定方法	1. Bicycle	2. Motorcycle	3. TukTuk	4. Car/Taxi	5. PickUp	6. Bus	7. L.Truck	8. H. Truck	9. Trailer	10. Walker	11. Other	大型車計
A	上り方向	46	1426	59	366	453	344	569	90	35	54	54	
	下り方向	7	1068	19	174	593	388	220	108	34	18	25	
	双方向	53	2494	78	540	1046	732	789	198	69	72	79	1788
B	上り方向	1	481	0	66	172	25	325	22	42	0	29	
	下り方向	1	524	0	119	220	16	320	29	48	0	32	
	双方向	2	1005	0	185	392	41	645	51	90	0	61	827
C	上り方向	8	971	0	88	185	121	196	22	36	42	99	
	下り方向	12	1052	0	119	229	123	199	25	37	60	109	
	双方向	20	2023	0	207	414	244	395	47	73	102	208	759

本調査結果の内、観測箇所が同じ地点 B の交通量結果を用いて、2010 年の準備調査で実施された大型車の予測交通量との比較を行った。本調査で実施した交通量調査が 12 時間観測であることから、24 時間に換算するため、施工業者が 2012 年に実施した 24 時間交通量の夜間交通量の調査結果を参考に 1.25 の昼夜率を設定した。

比較の結果、地点 B の大型車交通量は、2014 年の本調査結果(827x1.25=1034 台)は、2010 年の準備調査による結果（682 台）の約 1.5 倍であった。

表4.12 予測交通量と実測値の比較（24時間）

年	大型バス	トラック	トレーラー	大型車合計	備考
2010	43	523	116	682	実測値（準備調査時）
2014	51	870	113	1034	実測値
2015	54	736	182	972	予測値（供用開始時）

■ 軸重調査

本調査で実施した軸重調査では、過積載車両は計測した 40 台の内 1 台であった。ただし、施工業者である「大林組」が独自に実施している軸重調査（2013 年 5 月～2014 年 5 月の 1 年間）では、大型車両の凡そ 20%が過積載であった。前述のとおり、過積載車両は夜間に通過するため、昼間の調査では捉えにくいとのことであった。

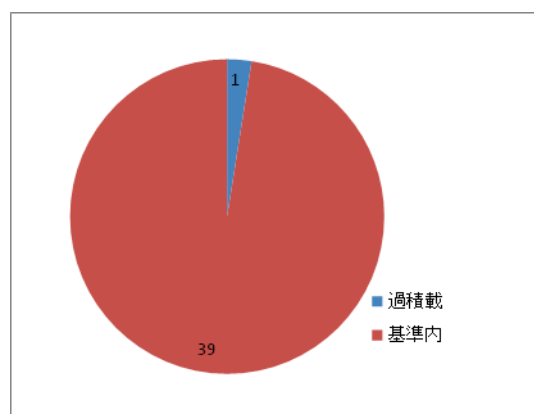


図 4.3 軸重調査結果

また、以下に交通量調査と同様に、準備調査で予測された累積軸重と本調査結果を用いた累積軸重の比較を行った。なお、本調査が平日 1 日（12 時間）の調査であることから、分析に必要な全車種データが入手できてい。このため、不足するデータについては準備調査のデータを用いた。

表4.13 軸重換算係数の比較

車種	今回調査結果	準備調査結果	
		対象プロジェクト	前回改修時
大型バス	データなし (1.005)	1.005	0.383
トラック	データなし (0.113)	0.113	
大型トラック (2 軸)	5.113	0.899	2.598
大型トラック (3 軸以上)		2.558	
トレーラー	5.172	3.955	4.008
2 連トレーラー		6.469	

比較の結果 2024 年（設計期間）、及び 2034 年（供用後 20 年）における累積軸重は、本調査結果を用いた場合の方が約 10%小さくなった。

表4.14 累積軸重の再計算結果と準備調査結果の比較

年	今回調査結果	準備調査結果
2024	2.63 x 10 ⁶	2.88 x 10 ⁶
2034	7.23 x 10 ⁶	7.89 x 10 ⁶

②カンボジア国（国道 1 号線）

■ 交通量調査

3 箇所（無償資金協力実施区間（55km）の起点、中間、終点）の交通量調査結果（12

時間)を示す。

表4.15 交通量調査結果 (12時間)

調査地点	Motorcycle			Light Vehicle				Heavy Vehicle				
	Motorcycle	Motorbike Trailer / Tuk-Tuk	Sub Total	Sedan Wagon Light Van	4WD(Pick-up Jeep Light Truck)	Mini Bus	Sub Total	Short & Long Body Bus	2 Axles Truck (MGV)	3 Axles Truck (HGV)	4 Axles or more Truck (VHGV)	Sub Total
A 5.0km	16420	1722	18142	1697	1721	1141	4559	133	514	32	165	844
B 34.0km	6583	717	7300	975	922	958	2855	128	261	25	102	516
C 54.0km	4554	329	4883	866	514	840	2220	134	175	19	102	430

本調査結果と準備調査で実施された大型車の予測交通量との比較を行った。比較は2014年時点の予測交通量と実測交通量とした。なお、昼夜率については、準備調査報告書に「ネアックルンフェリーの運行時間が6:00~21:00までであることから、昼夜率の設定は必要なし」と記載されていることから、これを踏襲し昼夜率を1.00とした。

2014年時点での比較の結果、バイクと普通車の予測交通量のブレが非常に大きくなっている。大型車については、地点Aを除き概ね予測値に近い実測値が観測されているが、プノンペン市街地に最も近い地点Aでは、実測の大型車交通量が予測値に比べ非常に大きくなっている。

表4.16 予測交通量と実測値の比較

地点A 5km						地点B 34km						地点C 54km					
年	自転車	バイク	普通車	大型車	備考	年	自転車	バイク	普通車	大型車	備考	年	自転車	バイク	普通車	大型車	備考
2004	604	16746	4658	278		2004	931	2855	1722	306		2004	2359	4279	1784	198	
2005	620	17851	5059	299		2005	955	3043	1870	330		2005	2420	4561	1937	213	
2006	635	18940	5453	321		2006	978	3229	2016	353		2006	2478	4840	2089	229	
2007	650	20096	5879	344		2007	1002	3426	2173	379		2007	2538	5135	2251	245	
2008	665	21321	6337	369		2008	1026	3635	2343	406		2008	2599	5448	2427	263	
2009	681	22622	6831	395		2009	1050	3857	2525	435		2009	2661	5780	2616	282	
2010	698	24002	7364	424		2010	1075	4092	2722	467		2010	2725	6133	2820	302	
2011	714	25466	7924	454		2011	1100	4342	2929	499		2011	2788	6507	3035	323	
2012	730	27019	8526	485		2012	1126	4606	3152	534		2012	2852	6904	3265	346	
2013	747	28668	9174	519		2013	1151	4887	3392	572		2013	2917	7325	3514	370	
2014	764	30416	9871	556	予測値	2014	1178	5186	3649	612	予測値	2014	2985	7772	3781	396	予測値
2014	-	18142	4559	844	実測値	2014	-	7300	2855	516	実測値	2014	-	4883	2220	430	実測値
2015	782	32272	10621	595		2015	1205	5502	3927	654		2015	3053	8246	4068	423	
2016	800	34240	11407	635		2016	1233	5838	4217	699		2016	3123	8749	4369	452	
2017	818	36329	12252	678		2017	1261	6194	4529	746		2017	3123	8749	4369	452	
2018	837	38545	13158	724		2018	1290	6571	4864	797		2018	3195	9283	4692	483	
2019	856	40896	14132	773		2019	1320	6972	5224	851		2019	3195	9283	4692	483	
2020	876	43391	15178	826		2020	1350	7398	5611	909		2020	3269	9849	5040	516	

■ 軸重調査

カンボジア国の軸重データとして、国道1号線上の観測所データを2ヶ月分(2014年6月、7月)入手した。データの総数(サンプル数)は500であった。この内、過積載であった車両は10台、比率としては2%であった。

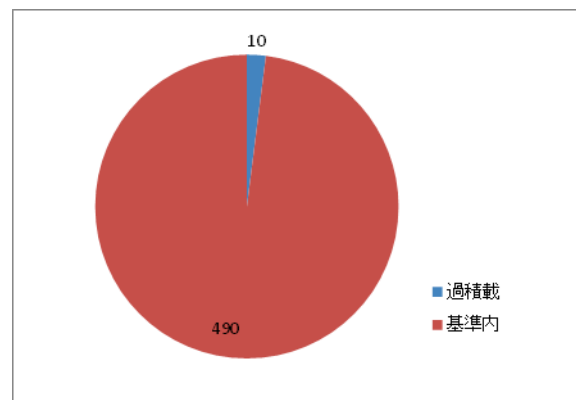


図4.4 軸重調査結果

また、この 500 のデータから得られた軸重換算係数の値は以下のとおりとなる。なお、準備調査時に用いた軸重換算係数の値は記載が無く不明である。

表4.17 観測所データから計算される軸重換算係数

車種	今回調査結果	準備調査結果
大型バス	データなし	データ記載無し
中型トラック (2 軸)	1.21	データ記載無し
大型トラック (3 軸)	1.68	データ記載無し
大型トラック (4 軸以上) 及びトレーラー	2.14	データ記載無し

算出された軸重換算係数に基づき、設計期間 10 年間 (2007 年～2016 年) の累積軸重の再計算を実施した。以下に再計算結果と準備調査報告書に示される累積軸重の比較を示す。なお、交通量に関しては、2004 年の準備調査報告書に記載される実測交通量と今回 (2014 年) の実測交通量から算定した結果を用いた。また、データの無いバスの換算係数については、中型トラックと同様とした。

表4.18 累積軸重の再計算結果と準備調査結果の比較

車種	今回調査結果	準備調査結果
地点 A 5km	1.73×10^6	2.02×10^6
地点 B 34km	1.18×10^6	2.18×10^6
地点 C 54km	0.96×10^6	1.42×10^6

今回の調査結果を用いて計算した設計期間の累積軸重は、準備調査時の累積軸重を下回る結果となった。

4-3. 土質試験 (CBR 試験)

(1) 土質試験の概要

現地調査位置および調査内容を以下に示す。



図 4.5 土質調査位置図 (ラオス国 国道 9 号線)

国道 9 号線改善工事 STA27+200 から STA28+800 まで、200mピッチを基本とした連続 9 箇所で CBR 試験用の試料を 10 個採取した。以下の写真は、2014 年 8 月 9 日に実施した試料採取状況である。



写真 4.8 試料採取状況(1)



写真 4.9 試料採取状況(2)

室内試験については、9 個の試料をラオス基準に準拠し、のこり 1 個の試料を水浸期間 10 日間として CBR 試験を実施した。なお、ラオス国の年平均降水量が約 1,400mm であることから、参考として Austroad の舗装設計基準 2012 に記載のある「水浸期間 10 日間」による室内 CBR 試験を実施した。本試験は、年平均降水量が 800mm 以上、且つ排水施設が不十分である場合に適用される。

表4.19 室内 CBR 試験の適用基準 (Austroad 基準)

年平均降雨量 (mm)	適用含水比	試験条件	
		排水条件 (良好)	排水条件 (不良)
< 500	OMC*	非水浸 4 日間	水浸 1 ~ 4 日間
500-800	OMC	非水浸 4 日間	水浸 4 ~ 7 日間
> 800	1 to 1.15 × OMC	非水浸 4 日間	水浸 4 ~ 10 日間

出典：Austroad: GUIDE TO PAVEMENT TECHNOLOGY Part 2: Pavement Structural Design

*)OMC : Optimum moisture content

表4.20 ラオス国の降雨量

項目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計
降水量(mm)	3.7	17.3	31.9	90.8	168.3	262.5	219	343.4	219	86.6	6.8	2.4	1451.7
雨季						雨季							

また試料採取時に、併せてクレググ（Clegg）ハンマーによる現場 CBR 値の計測を行った。



写真 4.10 現場 CBR 確認状況



写真 4.11 クレググハンマーの CBR 値表示部

(2) 土質試験の結果と考察

下表に、準備調査時と本調査の土質試験の条件比較を示す。

表 4.21 土質調査試験の条件の比較

項目	準備調査時	本調査
試料採取時期	11 月（乾季）	8 月（雨季）
試料採取間隔	3.0km	200m
締固め試験	AASHTO T-180	AASHTO T-180
CBR 試験方法	AASHTO T-193	AASHTO T-193
水浸条件	4 日間（供試体全体を水浸）	4 日間（供試体全体を水浸） 但し、比較のため 1 試料のみ 10 日間を適用
含水比	最適含水比	最適含水比

試験の結果、準備調査段階で 2 地点の試験結果から 13.7%と評価された路床強度（CBR）は、200m 間隔、9 箇所を試料採取を実施した今回の試験では 4.8%（4%）と評価された。この原因については、試料数が少ないため断定的に判断することは困難であるが、雨季／乾季、及び地下水位の影響が大きいと考えられる。



写真 4.12 土側溝が埋まり滞水している状態



写真 4.13 沿道部の滞水（雨季のみに発生）

上の写真は試料採取区間の沿道状況である。乾季には見られない滞水が雨季には発生している。この状況から、道路周辺の地下水位が高いことが推察される。また、当初設置された土側

溝も埋まり、道路の排水状況が非常に悪く路床、路盤に悪影響を与えているものと考えられる。アフリカ地域の試料採取箇所との大きな違いとして、この排水施設の状況が挙げられる。

参考として実施した、「10日間水浸」の試験結果でも、通常の4日間水浸に比べCBR値が約65%低下した。この結果からも、路床、及び路盤が長期間水浸状態にある場合には、通常の試験(4日間水浸)で得られる路床強度よりも、現地の路床強度は小さくなることが推察される。ただし、今回の比較試験が1試料のみであるため、この結果が誤差の範囲であるのか、又は全ての土質に当てはまる現象であるかは不明である。以下に試験結果の一覧を示す。

表4.22 土質調査結果の比較

試料No.	現場CBR試験結果(Clegg Hummerによる)							室内試験結果			設計CBR		
	採取日	路線	CIV (クレググインパクト値)					平均CBR (読み値)	AASHTO T180			CBR (95%締固め)	
			1	2	3	4	5		MDD	OMC			95
Km 27+200 L/S	14-Aug-14	粟 味 の 環 境	17	18	18	19	19	31	g/cm ³	%	%	95	
Km 27+400 R/S	14-Aug-14		8	9	10	10	10	12	1.988	12.8	5.8	4.88	
Km 27+600 R/S	14-Aug-14		21	22	23	24	24	43	2.125	11.0	5.7		
Km 27+800 L/S	13-Aug-14		4	10	14	15	15	19	1.977	10.6	5.0		
km 28+000 R/S	13-Aug-14		4	10	14	15	15	19	2.101	11.8	4.7		
km 28+200 R/S	12-Aug-14		22	25	26	26	26	49	1.991	10.3	5.4		
km 28+400 R/S	12-Aug-14		10	12	13	14	14	19	2.140	11.7	4.8		
km 28+600 R/S (4day)	12-Aug-14		13	14	15	16	16	23	1.960	15.3	5.2		
km 28+600 R/S (10day)	11-Aug-14								2.224	6.4	5.4		
km 28+800 R/S	12-Aug-14		-	-	-	-	-	-	2.050	6.8	3.9		
Km 26+575	Nov-11		-	-	-	-	-	-	2.272	5.5	6.3		
Km 29+575	Nov-11		-	-	-	-	-	-	2.140	8.6	9.0		13.7

準備調査結果(試験間隔 3km)

10日間水浸CBR

4-4. 舗装試験

アフリカ地域、アジア地域のプロジェクトで表層材料として使用しているアスファルト混合物を対象に日本国内に持ち込み、ホイールトラッキング試験を実施した。本試験では日本基準および英国(BS)基準に準拠したホイールトラッキング試験を行い、アスファルト混合物の耐流動性を評価する。なお、英国(BS)基準の選定理由として、当該アフリカプロジェクトでは英国(BS)基準を採用しているためである。

(1) 海外プロジェクトの舗装試験材の輸送

ホイールトラッキング試験のための舗装材の日本への輸送方法は下記の方法を検討した。

表4.23 アスファルト合材輸送方法の比較

輸送方法	課題等	精度	評価
1 使用した材料を混合せずに送り、日本で混合と締め固めを行う	輸出手続きに長時間を要する、又は困難。 試験精度が最も高い。	◎	△
2 アスファルト合材の状態を送り、日本で締め固める	輸送手続きに若干時間を要する。 試験精度に大きな問題は無い。	○	◎
3 通常サイズ(30cm x 30cm)の供試体の状態で日本へ送る	日本標準との比較が困難。 供試体の作成の能力により試験精度に差が生じる。	△	△
4 現場で施工されたAs層から採取したΦ15cmのコアの状態で日本へ送る。	日本標準との比較が困難。 コアの状態に精度が大きく左右される。	△	○

その結果、アフリカ地域（タンザニア）、アジア地域（ラオス）ともに、下記の理由から2のアスファルト合材の状態を送り、日本で締め固める方法を選択した。

- ・使用した材料を混合せずに日本に送るためには、輸出手続きに長時間を要する、又は、困難である。
- ・供試体の状態で日本に送るためには、梱包などの輸送の問題があり、試験の精度が確保できない。



写真 4. 14 輸送準備された荷姿



写真 4. 15 アスファルト混合物

(2) プロジェクトの交通条件、配合設計

1) 交通条件

アフリカ地域、アジア地域のプロジェクトの大型車交通量は下記のとおりである。

表4. 24 大型車交通量（台/日）測定2014年

アフリカ地域プロジェクトの大型車交通量				アジア地域プロジェクトの大型車交通量			
大型バス	トラック	トレーラー	大型車合計	大型バス	トラック	トレーラー	大型車合計
37	1,636	617	2,290	51	870	113	1,034

2) 配合設計

アフリカ地域、アジア地域のプロジェクトの大型車交通量は下記のとおりである。

表4. 25 アスファルト混合物の配合設計

	アフリカ地域のプロジェクトの配合設計	アジア地域のプロジェクトの配合設計
最大密度 (g/cm ³)	2.639	2.393
かさ密度 (g/cm ³)	2.541	2.285
空隙率 (%)	3.7	4.5
安定度 (kN)	12.20	13.79
フロー値 (1/10mm)	32	30
アスファルト含有量 (%)	4.2	5.7
ふるい分け (%)		
31.5mm	100.0	100.0
26.5mm	100.0	100.0
19.0mm	100.0	100.0
13.2mm	99.1	81.5

9.5mm	82.8	71.2
4.75mm	52.1	58.7
2.36mm	37.4	40.0
1.18mm	29.9	-
0.60mm	23.4	23.0
0.30mm	17.1	16.9
0.15mm	11.0	12.0
0.075mm	5.6	6.8

(3) 試験内容及び数量

実施した試験項目および数量を下表に示す。

表4.26 試験項目

試験項目	試験方法	求められるデータ	試験個数		
			タンザニア混合物	ラオス混合物	計
ホイールラッキング試験	舗装調査・試験法便覧 B003・BS規格	動的安定度	6	6	12
アスファルト混合物の抽出試験(ソックスレー法)	舗装調査・試験法便覧 G028	粒度、アスファルト量	1	1	2
アスファルト混合物の回収試験(アブソン法)	舗装調査・試験法便覧 G029	-	1	1	2
アスファルトの針入度試験	JIS K 2207	針入度	1	1	2
アスファルトの軟化点試験	JIS K 2207	軟化点	1	1	2
アスファルト混合物の最大密度試験	舗装調査・試験法便覧 G027	最大密度	1	1	2
マーシャル供試体作製	舗装調査・試験法便覧 B001	-	3	3	6
アスファルト混合物の密度試験	舗装調査・試験法便覧 B008-1	密度、空隙率	3	3	6

(4) 試験結果

1) アスファルト物性試験結果

アスファルト物性試験結果を表に、ふるい分け試験結果を図に示す。

表4.27 国道9号線のアスファルト混合物の配合設計

舗装材 項目	タンザニア		ラオス	
	国内試験結果	現地配合設計	国内試験結果	現地配合設計
最大密度 (g/cm ³)	2.666	2.639	2.372	2.393
針入度 (1/10cm ³)	38	-	34	-
軟化点 (°C)	54.0	-	55.0	-
アスファルト含有率 (%)	3.9	4.2	6.2	5.7

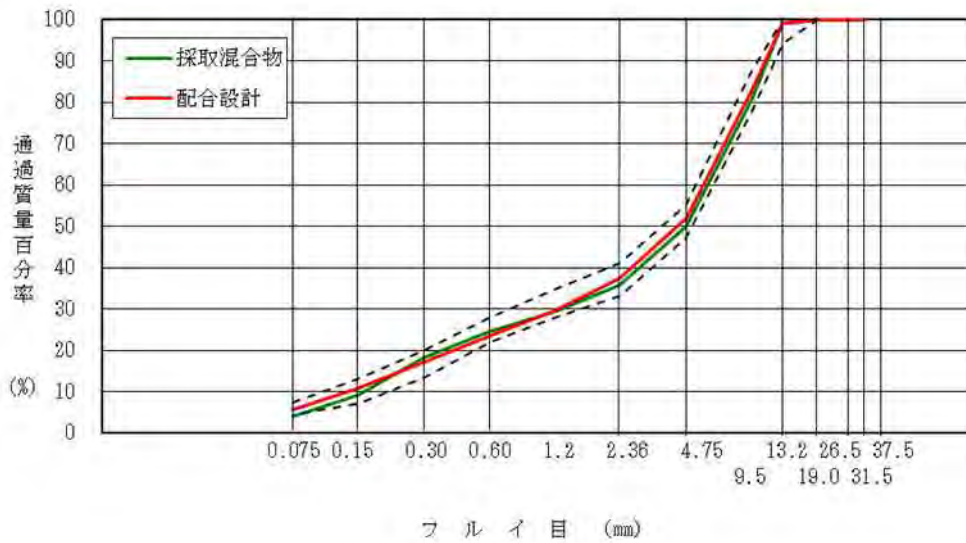
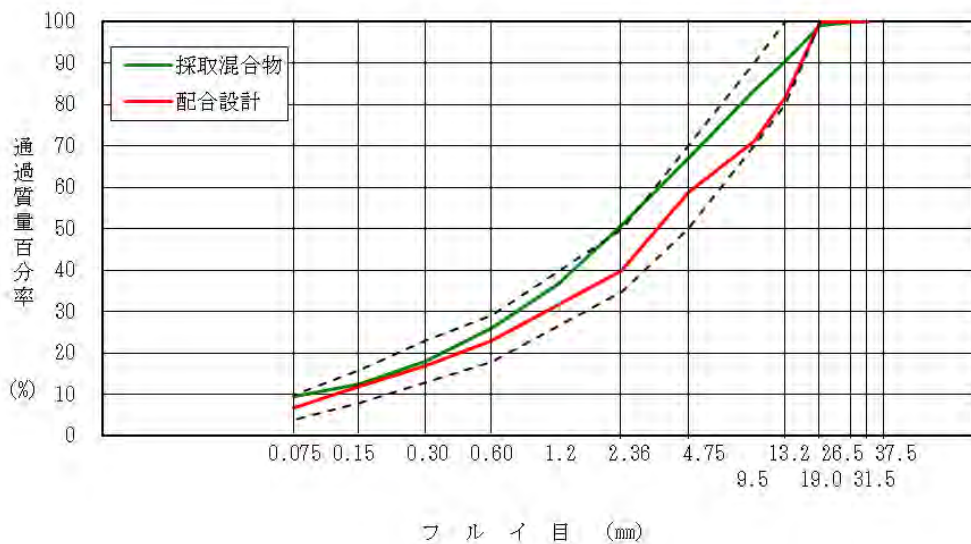


図 4.6 ふるい試験結果（タンザニア混合物）※黒点線は設計値（specifications）



4.7 ふるい試験結果（ラオス混合物）※黒点線は限界値（limit）

① 最大密度

最大密度は国内試験結果と現地配合設計に大きな差異は無かった。これによりアスファルト混合物は概ね現地配合設計に記されている骨材を使用していることが推察される。

② 針入度・軟化点

回収されたアスファルトの針入度はタンザニア国のアスファルトは38(1/10mm)、ラオス国のものは34(1/10mm)であった。現地で使用されたアスファルトの種類はストレート

アスファルト60-70とすれば針入度の低下率は50%程度となる。一般的に、アスファルト混合所で所定の温度管理下であればアスファルトの針入度はタンク貯蔵状態から出荷直後（舗設前）で70%程度に低下すると考えられている*。

現地のアスファルト混合所で製造された混合物から回収したアスファルトの針入度の低下率は50%程度と大きく、製造時に過度の加熱によりアスファルトの品質が劣化したと推察される。

※ 舗装技術の質疑応答 第1巻 建設図書 P132（出荷直後は③トラックに相当）

イ*	ハ* ロ*	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
		貯 タンク	歳 ライン	トラック	フィニッ シ	舗設直後	12 カ 月 供 用 後	③/①	④/③	⑥/⑤	⑩/①
25°C 100g 5sec	A	147	145	117	109	112	72	0.80	0.93	0.64	0.49
	B	157	152	110	99	86	73	0.70	0.90	0.85	0.46
	C	177	—	124	130	132	82	0.70	1.05	0.62	0.46
	D	149	147	86	92	94	94	0.58	1.07	0.79	0.50
	E	138	139	89	94	90	66	0.64	1.06	0.73	0.48

注) *イ; 試験条件 ロ; 精油所 ハ; サンプルング時期

③ アスファルト量・粒度

ソックスレー抽出試験から得られたアスファルト含有量と現地配合設計を比較すると、タンザニア国のアスファルト混合物で-0.26%とアスファルト含有量が少なく、ラオス国のアスファルト混合物は+0.49%と多い結果であった。参考に日本の代表的な管理限界値は±0.9%（舗装施工便覧（平成18年度）（社）日本道路協会 P263）である。

③ アスファルト量・粒度

ソックスレー抽出試験から得られたアスファルト含有量と現地配合設計を比較すると、タンザニア国のアスファルト混合物で-0.26%とアスファルト含有量が少なく、ラオス国のアスファルト混合物は+0.49%アスファルト含有量が多い結果であった。参考に日本の代表的な管理限界値は±0.9%（舗装施工便覧（平成18年度）（社）日本道路協会 P263）である。

両国のふるい分け試験で得られた合成粒度を比較すると、タンザニア国のアスファルト混合物は現地配合設計と同様な粒度分布を示した。一方、ラオス国のアスファルト混合物ではフルイ目4.75および2.36mmの管理限界値の上限に近い粒度分布であり、現地配合設計と比較してもより細かくなっており大きな差異があった。

2) ホイールトラッキング試験結果

舗装調査・試験法便覧規格（以下、日本規格）と BS 規格の2種類のホイールトラッキング試験を行った。試験条件の違いと試験結果を表、図に示す。

表4.28 試験方法

項目	日本規格	BS規格
供試体形状	30cm × 30cm × 5cm	30cm × 30cm × 5cm
試験温度	60°C	60°C
試験時間	60分	60分
試験機	タイヤ種類	ソリトラハ [®] -硬度84
	タイヤ形状	W=5cm, φ=20cm
	加重	686KN
	サイクル	21往復(42回)
		ソリトラハ [®] -硬度80
		W=5cm, φ=20cm
		520KN
		21往復(42回)

表4.29 試験結果

産地	試験方法	No.	上載荷重 (KN)	動的安定度(DS) (回/mm)	日本規格のDS値 を1.0とした場合 のBS規格のDS値	変動係数 (%)	締固め度 (%)	空隙率 (%)
タンザニア	日本規格	1	686	3,000	1.0	—	100.9	2.8
		2		2,250		—	100.9	2.8
		3		1,909		—	100.9	2.9
		平均		2,333		24.1	100.9	2.8
	BS規格	4	520	5,250	2.1	—	100.7	3.0
		5		4,200		—	100.9	2.8
		6		5,250		—	100.8	2.9
		平均		4,846		12.6	100.8	2.9
ラオス	日本規格	1	686	1,909	1.0	—	99.6	4.9
		2		2,864		—	99.7	4.8
		3		2,739		—	99.2	5.3
		平均		2,423		21.8	99.5	5.0
	BS規格	4	520	4,200	2.2	—	99.1	5.3
		5		5,727		—	99.4	5.1
		6		6,300		—	99.8	4.7
		平均		5,250		21.0	99.4	5.0

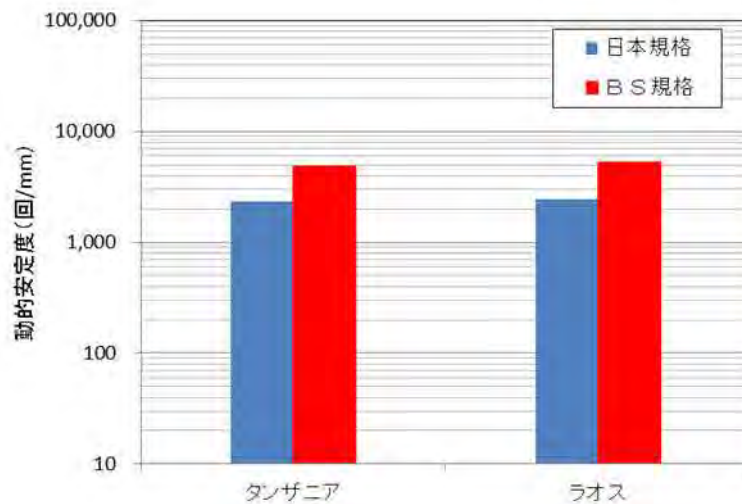


図 4.8 動的安定度試験結果

タンザニア国のアスファルト混合物およびラオス国のアスファルト混合物で作製したホイールトラッキング供試体の締固め度は $100 \pm 1\%$ 以内にあり、十分に締固められた供試体であることがわかる。タンザニア国のホイールトラッキング供試体の空隙率が 3%程度と小さい結果であり、一概に空隙率の大小だけで耐流動性を判断することは出来ないがアスファルト混合物の不安定さの懸念がある。締固め後のホイールトラッキング試験の結果、日本規格の DS は両者とも 2,400 回/mm 程度であった。

併せて BS 規格のホイールトラッキング試験を実施したが、輪荷重は 520N と日本規格のものとは比べ 75%程度と小さいため、BS 規格の DS は日本規格と比べ 2 倍程度の値を示した。当然ながら輪荷重の相異により、得られる DS も異なる結果となっている。

参考として我が国の「舗装の構造に関する技術基準・同解説」の道路区分および舗装計画交通量(大型車交通量)に応じた、塑性変形輪数(動的安定度)の基準を以下に示す。

表4.30 塑性変形輪数(動的安定度)の基準(日本)

道路区分	舗装計画交通量 (単位 1 日につき台)	塑性変形輪数 (単位 1 ミリメートルにつき回)
第 1 種、第 2 種、第 3 種第 1 級および第 2 級並びに第 4 種第 1 級	3,000 以上	3,000
	3,000 未満	1,500
その他		500

今回の試験で得られた DS は 2,400 回/mm 程度であり我が国の「舗装の構造に関する技術基準・同解説」内の塑性変形輪数(動的安定度)の基準に照らし合わせると、日本の舗装計画交通量 3,000 台未満の塑性変形輪数 1,500 回/mm の区分に該当する。

3) BS 基準と日本基準の比較

BS規格は荷重が520kNと日本規格の686kNと比較すると少ないため、DS値が大きくなる。BS規格の T_R （変形率）=5.0mm/hr以下の規定は、DS値で504回/mmに相当する。BS規格は試験温度60℃と45℃を使い分けしているが、いずれにしても、日本規格と比較すると穏やかな規格となっている。適用実績が多く試験方法も明確な日本規格を適用することが推奨される。

表4.31 BSホイールトラッキング試験の限界値と日本基準の比較

項目	日本規格	BS規格
解析方法	DS (回/mm) = $15 \times 42 / (d60 - d45)$ d60 : 60分の変形量 d45 : 45分の変形量	T_R (mm/hour) = $3.6(r_n - r_{(n-3)}) + 1.2(r_{(n-1)} - r_{(n-2)})$ r_n : n分時の変形量
$T_R = 5.0$ mm/hr から DS への変換	60分間の走行回数 = 60分 x 42回 = 2520回 Mm/hr = 2520mm/回 したがって、5mm/hrは 5/2520mm/回であるから、この逆数をとると DS = 2520/5 = 504回/mm	
最大わだち量 = 7.0mm	45分走行時の変形量	

BS規格によるホイールトラッキング試験の結果の例として、タンザニアのプロジェクトのアスファルト混合物を使って、平成23年11月に日本大学で実施した結果と当業務での結果を表-および図-に示す。

表4.32 試験結果の比較 BSホイールトラッキング試験の限界値と日本基準の比較

配合：タンザニア混合物 (AC14-G)		試験条件：BS規格 (荷重520KN)				
		日本大学による試験			当業務	規格限界値
アスファルト量 (%)		3.8	4.1	4.4	4.2	—
$T_R (D_{45} - D_{30}) \times 4$ (mm/h)		1.28	0.81	1.53	1.16	5.0以下
D_{45} (mm)		1.93	1.65	1.83	1.93	7.0以下
DS	(回/mm)	2644	2495	1993	4846	—

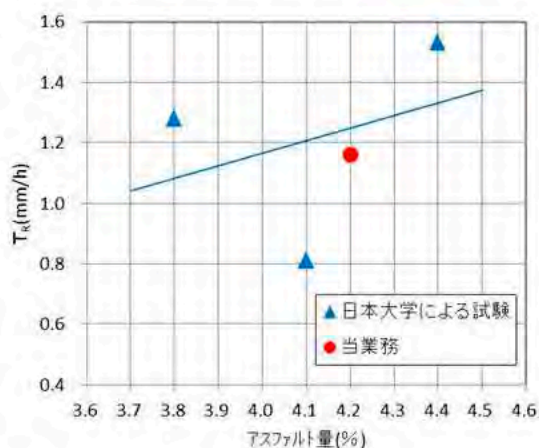


図 4.9 T_R の比較

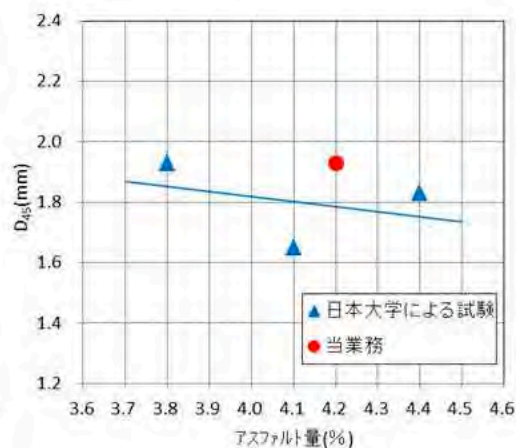


図4.10 D_{45} の比較

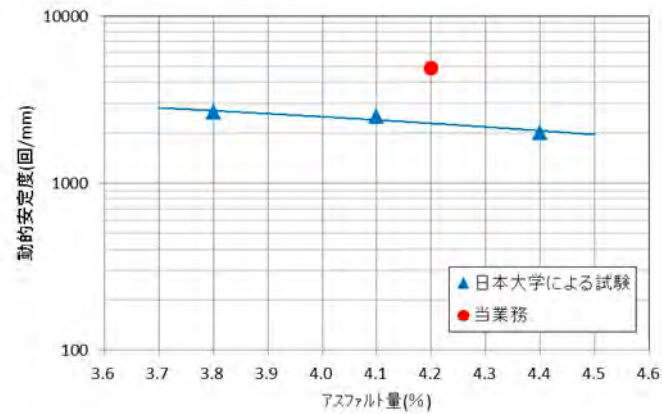


図 4.11 動的安定度（DS）の比較

当業務の T_R および D_{45} （45分経過時の変形量）の結果は日本大学の試験結果と同傾向を示している。BS のホイールトラッキング試験の規格限界値を満足している。

一方、動的安定度（DS）では当業務の結果は日本大学による試験結果よりも高い値を示している。

動的安定度（DS）の定義：供試体が（ホイールトラッキング試験開始後 45 分と 60 分の 15 分間における）1mm 変形するのに要する車輪の通過数。

T_R ：変形率

D_{45} ：45 分経過時の変位置量

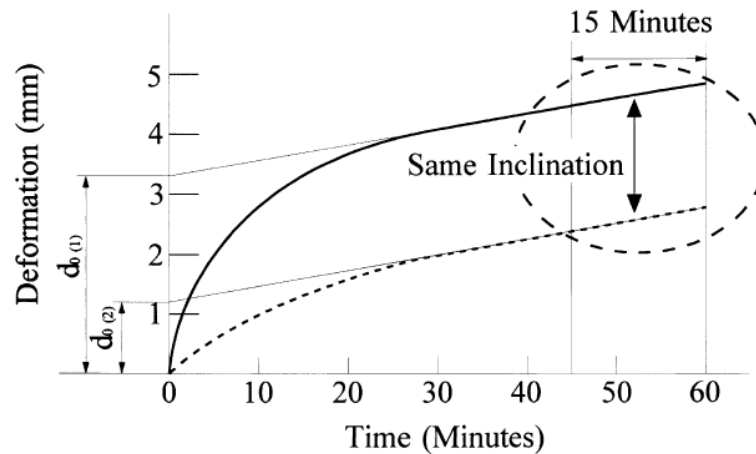


図 4.12 ホイールトラッキング試験の時間と変形の関係

第5章 自然条件調査・交通量調査の留意点

本章では、まず、本調査による供用条件の乖離、地質条件の乖離について整理し、地質、水文（地下水）、材料のような自然条件調査、交通量、軸重、過積載のような交通条件調査の留意点について記述する。

協力準備調査の調査項目、方法及び頻度の設定では、施工時の補足確認調査の必要性、設計変更、工期延長の発生する可能性をできるだけ少なくすることに留意する必要がある。

5-1. 設計条件と現場条件の乖離

協力準備調査の段階で必要な自然条件（土質条件、材料等）や交通条件のデータをそろえることは、時間的、物理的にも無理な場合もある。以下に、本調査で得られた設計段階と施工段階、又は供用段階で発生する乖離の例を示す。

表5.1 設計条件と現場条件の乖離例

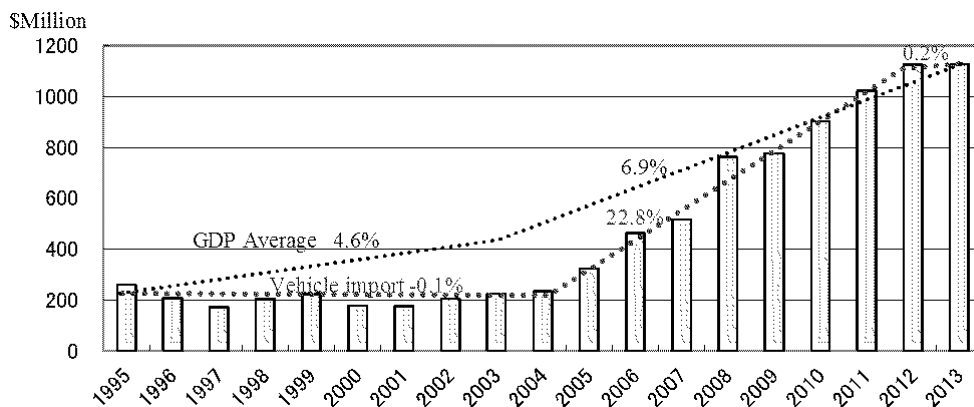
項目	詳細	乖離内容
供用条件の乖離	予測交通量	誘発、転換交通などにより発生する予想を上回る利用交通量
	過積載車両	経済の高成長に伴う貨物車（過積載車両を含む）の増加
地質条件の乖離	路床支持力	設計で想定した路床支持力が、設計条件より小さい。
	問題土	ブラックコットンソイル等、道路構造に影響を与える問題土の存在

(1) 供用条件の乖離

1) 予測交通量

予測交通量の乖離は、設計期間内の交通荷重の乖離と舗装構成の不適合という問題を引き起こす。本報告書の3章及び4章の事例にもある通り、予測交通量を過少評価する事例が少なくない。舗装構造強度の設計では、主に設計期間中の累積荷重を交通条件としているが、経済発展段階にある多くの途上国では、単に現在交通量に一定の伸び率を乗じて推計する累積荷重では過小評価になる場合が多い。

下図は、対象国のGDPと自動車輸入額の伸びを示したグラフである。その結果、2005~2012年の自動車輸入額に大きな伸び(22.8%)が見られ、交通量予測に使用したGDP伸び率(約7%)の3倍程度であった。対象道路の2005~2012年の交通量の伸び率もこの車両輸入の伸び率と類似した。



出典：UN Database

図 5.1 対象国の車両輸入量の変化

下表はアフリカ地域の幹線道路拡幅の事例である。2014 年の大型車交通量の実測値と予測値に大きな乖離があり、大型バスで予測値の 78 倍、トラックで約 2 倍、トレーラーで約 8 倍となっている。この内、大型バスについては、ミニバスから大型バスへの移行という「政策転換」により生じた乖離であるが、トラック、トレーラーの乖離については、高い経済成長率を背景とした貨物量の急激な増加も一因であると考えられる。

表 5.2 予測交通量と実測値の比較（幹線道路：都市部）

年	大型バス	トラック	トレーラー	大型車合計	備考
2005	11	788	100	899	実測値
2006	12	823	105	940	予測値
2007	12	860	110	982	予測値
2008	13	899	115	1,027	予測値
2009	14	939	120	1,073	予測値
2010	15	981	125	1,121	予測値
2011	16	1,025	131	1,172	予測値
2012	17	1,071	137	1,225	予測値
2013	18	1,120	143	1,281	予測値
2014 年予測値					
2014	19	1,170	149	1,338	予測値
2014 年実測値					
2014	1,477	2,184	1,215	4,876	実測値

開発途上国の交通量（荷重）の評価では、経済発展による貨物車の増加や車両の大型化、国際物流への対応に伴う軸重規制の変更等が発生しており、交通条件の過少評価の一因となっている。下表は東南アジア地域のある国の事例であるが、施工時（2012 年）に計測された大型車交通量が、既に供用開始予定時（2015 年）の大型車交通量を越えている。

表 5.3 予測交通量と実測値の比較（国道：地方部）

年	大型バス	トラック	トレーラー	大型車合計	備考
2010	43	523	116	682	実測値（準備調査時）
2012	43	986	104	1,133	実測値（施工時）
2015	54	736	182	972	予測値（供用開始時）

2) 軸重調査結果

東南アジア地域の国道改修事業では、対象とする国道の供用後の2006年に規制軸重が9.1tから11tに変更された。軸重管理の意識が低いこともあり、過積載車両も多い。過積載車両の実態を把握するために、施工開始時に過積載調査を実施している。その結果を以下の表に示す。この表の調査期間は、2013年5月20日から2014年5月25日までの凡そ1年間であり、調査は24時間で実施された。集計の結果、本調査期間の過積載車両の比率は約20%であった。

表5.4 過積載調査結果（24時間）

調査項目	調査結果	単位
(a)：軸重計測大型車	9,591	(台)
(b)：過積載車両	2,118	(台)
(c)：計測せず通過した車両	4,454	(台)
(d)：過積載車両割合 (d) = (b)/(a) x 100	22	(%)
(e)：積み降さなかった過積載車両割合： (国道9号線を過積載状態で走行した車両割合)	80	(%)

出典：当該事業の工事事務所作成資料

一方、別途調査で実施した昼間12時間の軸重調査では、過積載車両は計測した40台の内1台であった。この路線では、過積載車両は、過積載の計測が実施されていない夜間に通過することが多く、昼間の過積載の取締りでは捉えにくい場合があるので注意すべきである。

アフリカ地域の幹線道路では、本調査で実施した軸重調査では、過積載車両は534台のうち162台であった。

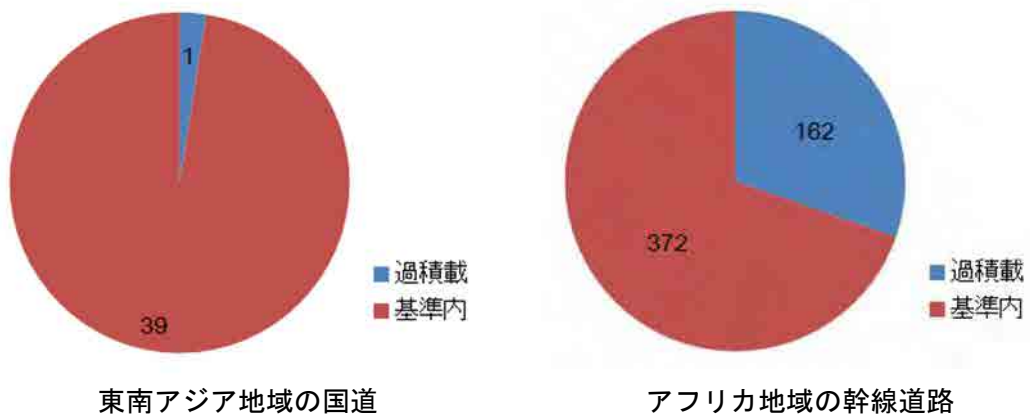


図 5.2 軸重調査結果(昼間 12 時間)

また、過積載車両が社会的な問題となっているアフリカ地域のある国の軸重観測所月別データ(2011年1月～2012年3月)によれば、計測車両数に差はあるが、データ収集期間の過積載車両比率の最も高い月は57%であり、平均でも31%の過積載車両が観測されている。

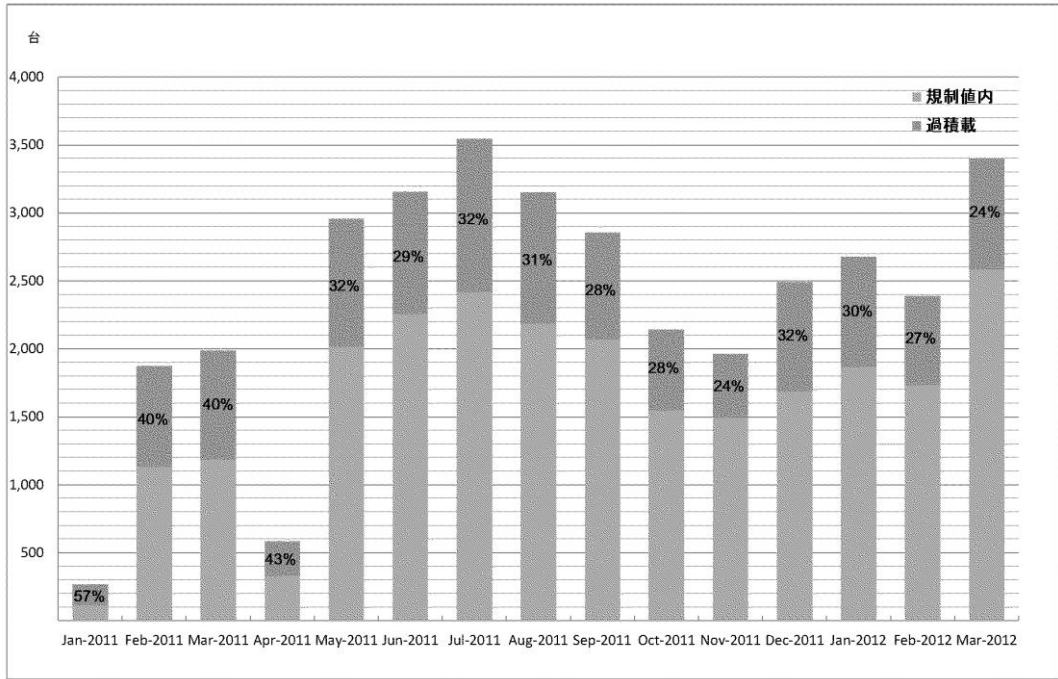


図 5.3 過積載車両調査結果（軸重観測所データ）

(2) 地質条件の乖離

1) 路床支持力

東南アジア地域の国道改修・整備事業においては、協力準備調査時の土質試験の結果と施工時の詳細調査の結果が大きく異なり、低強度の既存路盤、及び路床の範囲が大幅に増加した。この結果、置き換え工の増加等により、工事費が増加することとなった。以下に協力準備調査時の調査内容、施工時の調査内容、及びその結果の比較を示す。

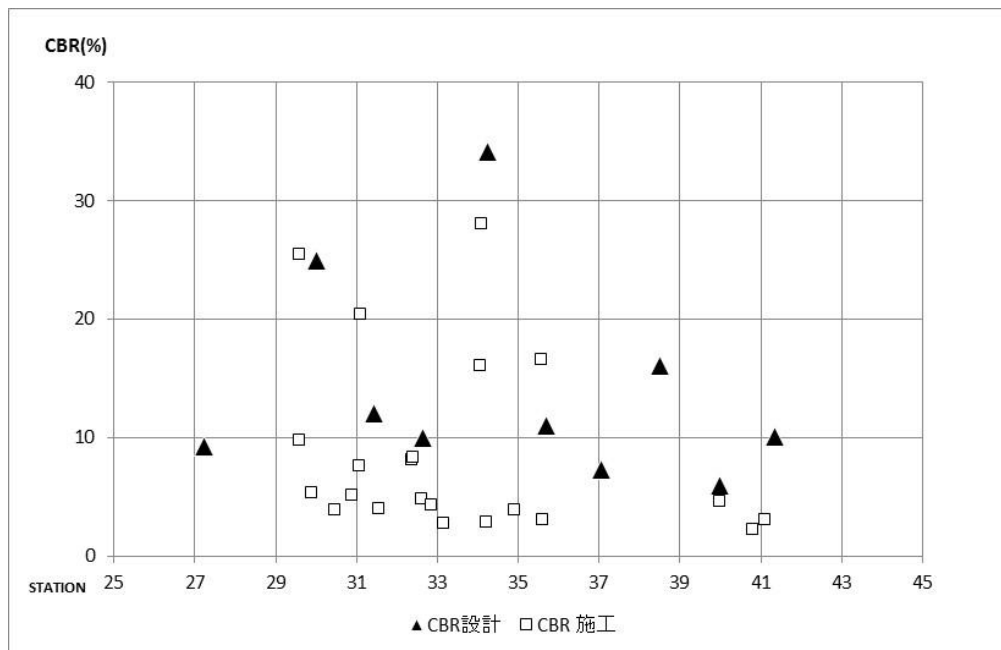


図 5.4 路床強度の設計時の CBR（室内 CBR 試験）と施工時の CBR（DCP による現場 CBR 試験、一部室内 CBR 試験）の比較例

■ 協力準備調査時の土質調査

施工時の CBR の評価は現場 CBR 試験で推定され、一部について既存の下層路盤と路床から、1.5～3.0km 間隔で試料を採取し室内試験を実施した。本計画では、セメント安定処理された既存下層路盤を路床として使用する計画であった。結果として、工事区間の設計 CBR は 6%として設定された。

■ 施工時の土質調査

施工時の土質確認調査は、1.5km～3.0km 間隔で実施された既存調査を補完する形で実施された。CBR の評価は、DCP による現場 CBR 試験で実施され、一部について室内 CBR 試験で確認を行った。この結果、設計 CBR として設定された 6%を下回る箇所が多く出現した。

また、路面損傷が発生しているプロジェクト隣接区間においても、雨季である 8 月に準備調査の地質調査を補完する形で路床強度調査が実施された。この路床強度調査の結果が下表である。この結果、準備調査の試験結果から計算される設計 CBR13.7%に対して、雨季の補完調査結果で測定された設計 CBR は 4.9%となり、路床強度が低いことが確認された。併せて、オーストラリア基準に沿った 10 日水浸 CBR 試験では、5.4%の 4 日水浸 CBR 値に対して、更に低い 3.9%となった。

これらの結果から、CBR 試験については、適切な間隔による精度の確保と水の影響を考慮する必要があることがわかる。

表5.5 土質調査結果（路床強度）の比較

試料No.	現場CBR試験結果(Clegg Hammerによる)							室内試験結果			設計CBR		
	採取日	路線	CIV (クレググインパクト値)					平均CBR (読み値)	AASHTO T180			CBR (95%締固め)	
			1	2	3	4	5		MDD g/cm ³	OMC %		95 %	
Km 27+200 L/S	14-Aug-14	繁 花 の 環 境	17	18	18	19	19	31	1.988	12.8	5.8	4.88	
Km 27+400 R/S	14-Aug-14		8	9	10	10	10	12	2.125	11.0	5.7		
Km 27+600 R/S	14-Aug-14		21	22	23	24	24	43	1.977	10.6	5.0		
Km 27+800 L/S	13-Aug-14		4	10	14	15	15	19	2.101	11.8	4.7		
km 28+000 R/S	13-Aug-14		4	10	14	15	15	19	1.991	10.3	5.4		
km 28+200 R/S	12-Aug-14		22	25	26	26	26	49	2.140	11.7	4.8		
km 28+400 R/S	12-Aug-14		10	12	13	14	14	19	1.960	15.3	5.2		
km 28+600 R/S (4day)	12-Aug-14								2.224	6.4	5.4		
km 28+600 R/S (10day)	11-Aug-14		13	14	15	16	16	23	2.050	6.8	3.9		
km 28+800 R/S	12-Aug-14		-	-	-	-	-	-	2.272	5.5	6.3		
Km 26+575	Nov-11		-	-	-	-	-	-	2.140	8.6	9.0		13.7
Km 29+575	Nov-11		-	-	-	-	-	-	2.140	9.1	25.0		

：準備調査結果(試験間隔 3km)

：10日間水浸CBR

採取日：8月(雨季)、11月(乾季)

CIV(クレググインパクト値)：クレググハンマーによる打撃値であり、この数値が現場 CBR 値に変換される。

MDD: Maximum Dry Dnsity：最大乾燥密度

OMC:Optimum Moisture Contents：最適含水比

2) 土質試験調査の制約

無償資金協力事業で実施されたアフリカ地域の幹線道路拡幅事業において、施工段階の土質調査の結果、協力準備調査時に設定した不良土の範囲が大幅に増加するという問題が発生した

事例である。

■ 協力準備調査時の概略土質調査

協力準備調査段階では、路床の性状（強度）調査のために、500m 毎に掘削したテストピットから試料を採取し、土質試験と CBR 試験を行った。試料採取地点は、道路拡幅側（新設側）の道路中心線位置を基本としたが、用地の制約条件等により基本位置での採取が困難な場合は、既存道路と新設道路の中間部とした。この結果、不良土と判定されたのは図 5.5（協力準備調査時の土質調査の位置と不良土の範囲）の通りであった。

■ 施工時の土質調査

施工時の詳細調査の位置と不良土の判定範囲を図 5.6（施工時の詳細調査の位置と不良土の範囲）に示す。この図によれば、協力準備調査時に調査不可能（用地的な制約）であった箇所でも不良土が多く確認された。

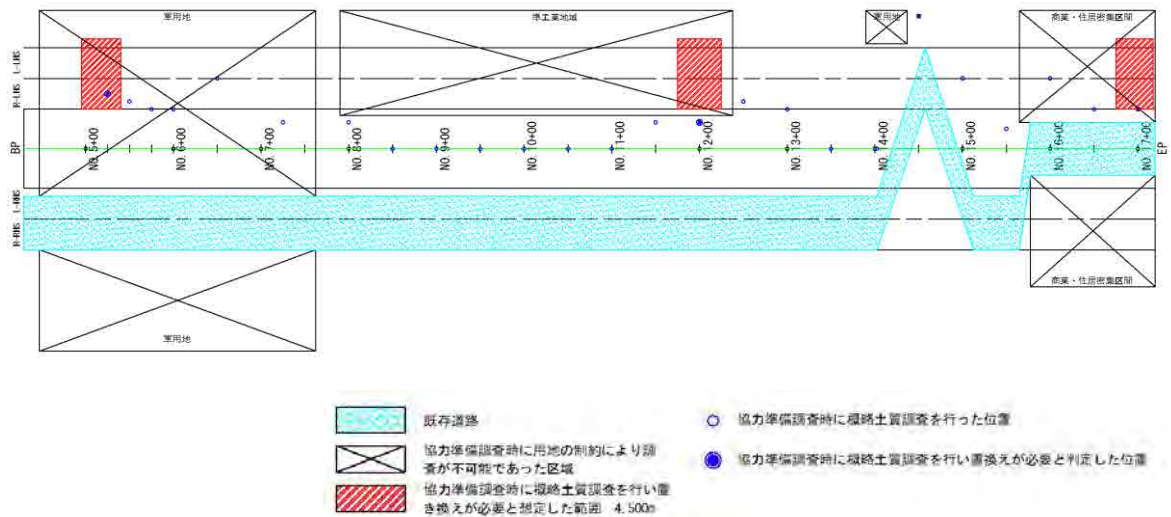


図 5.5 協力準備調査時の土質調査の位置と不良土の範囲

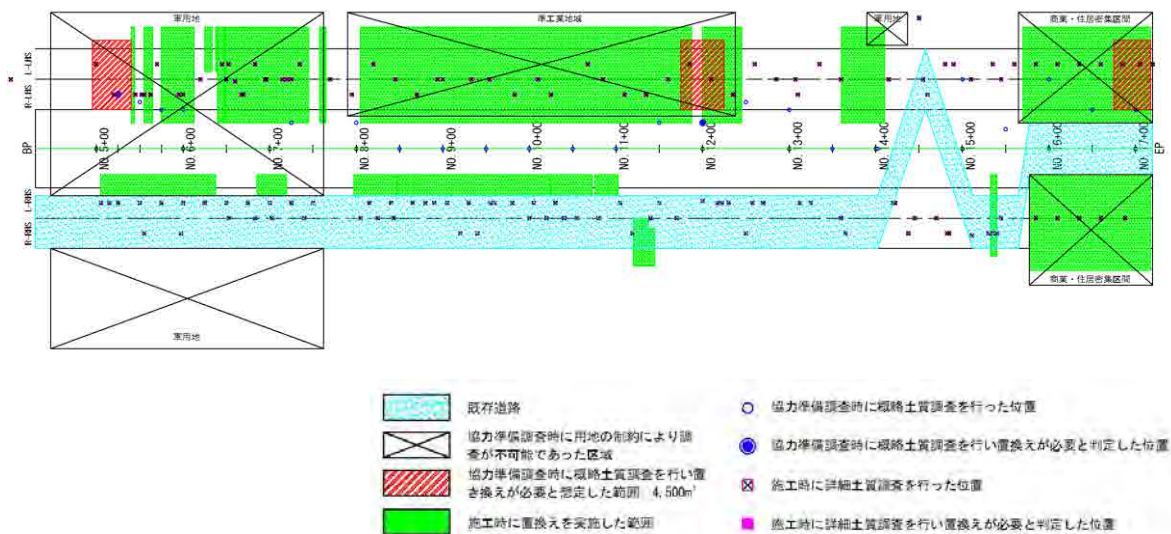


図 5.6 施工時の詳細調査の位置と不良土の範囲

3) 問題土／不良土

本調査で現地調査を実施した、東南アジア地域の国道改修事業の舗装の状態は、現地政府による補修跡等も見られるが、全体として良好な状態であった。ただし、一部の区間の保護路肩部でドラゴンホールが発生していた。



写真 5.1 発生したドラゴンホール

カンボジアやラオスでは、ドラゴンホールと呼ばれる盛土に発生する縦方向の穴が問題となっている。穴は、盛土上面や斜面に鉛直方向に発生し、直径 20cm - 50cm 程度のものが多い。ドラゴンホールは、盛土の施工者によらず一般的に発生していることから、盛土材料の性質に起因していると考えられる。原因として考えられるのは、各国の堤体で問題となっている分散性土が盛土材に含まれることである。

また、本報告書の第3章に示したように、アフリカ地域においても想定を超える問題土（ブラックコットンソイル）や不良土が発生している。



湿潤状態



乾燥状態

写真 5.2 ブラックコットンソイル

黒灰色の膨潤土。東アフリカ地域に広く分布する。この土は乾燥状態においては硬く支持力も大きい。含水量が増すと粘土状となり膨潤し、乾燥時の強さを完全に失ってしまう。湿った状態から乾燥する過程において収縮(Shrink)クラックが生じ、道路建設上、深刻な問題となる材料である。膨張度(Swell)の高いものになると 30%を超える体積変化が見られる。

このように、開発途上国の道路・舗装の設計、施工においては、日本国内には存在しないような問題土の存在により道路の損傷、施工費の増大といった事態が発生している。以下に各基準に示される問題土の判定方法、及び対策工について整理する。

表5.6 問題土の判定／対策工

基準名・作成年度	判定法	留意点等
ORN31 1993	盛土区間の圧密、有機質土、切土区間の斜面安定等の記述はあるが問題土の記述は無い。	-
AASHTO Guide 1993	記述無し	-
SATCC 舗装設計 基準 1998	記述無し	-
タンザニア 舗装基準 2001 材料試験 2001 CML Test 1.9	通常土質試験（PI が 20 以上）等からブラックコトン等の膨張土の疑いのある土壌について追加試験、詳細な膨張性試験を行い、膨張性により膨張土を 3 種類に分類する。 * 膨張土に対する対策工は、膨張性の程度によりコストを考慮して置き換え工が提案されている。	問題土の存在、種類、判定などについて整理され記述されている。 分散性土壌（粘土）*の識別に関する記述がある。 乾燥地帯の高い塩分を含む土壌による損傷に関する記述がある。 高塩分土壌に対する対策工が記述されている。
南アフリカ舗装ガイドライン 2013	問題土として、膨張土、分散性粘土等の特徴が記述されている。 乾燥地域の高い塩分を含む土壌による損傷が別途記述されている。	問題土に関する知見が整理されている。
舗装設計便覧 道路土工—軟弱地盤対策工指針 (日本)	軟弱地盤対策工指針に、高有機質土、有機質土、火山灰質粘土等の高含水比粘性土が挙げられている。水分含有量、膨張率、N 値などが含まれる。 対策工は、路体安定の検討を実施したうえで、最もコストが安くなるように路床改良の程度を決める。	開発途上国の問題土は、判定のための土質試験の方法なども異なる。

*）分散性粘土：交換し易いナトリウムの含有率の高い土壌で水流により流れるように無くなる。

5-2. 自然条件調査

自然条件調査とは、道路の設計を実施する上で必要な自然条件を調査することであり、一般的に下表に示す調査で構成される。

表5.7 一般的な自然条件調査

調査名	調査内容
測量調査	① 地形測量 設計に必要な地形図を作成する作業のことである。現地で測った点を展開し、同じ高さを結んだ線が等高線、同じ属性を持つ点を結んだものが建物等になる。最終的に図化されたものを平面図（地形図）と呼ぶ。地図の縮尺は一般的に 1/1,000 が用いられるが、細部の検討が必要な橋梁や交差点の場合、1/500 の地形図が用いられることもある。
	② 路線測量 中心線測量、縦断測量、横断測量までの一連の測量を総称して路線測量という。最近ではトータルステーション（GPS を用いた3次元測量）を用いた測量が主流であり、

	既存道路の縦断方向と横断方向（一般的に20m ピッチ）のデータも地形測量時に併せて計測し地形を三次元化する。この三次元地形図を用いて、任意の個所で縦断と横断を自動で取得することができるため、厳密な路線測量を実施しないこともある。
地質調査	地質調査とは、計画道路が通過する地点の地質状況を把握するために実施される。地質調査は、既存の文献や現場で土や岩の露頭状況を確認する地質概査、及び現場から試料を採取して試験を実施する土質試験の2つの調査によって構成される。土質試験は、さらにその目的によって物理試験、力学試験、化学試験などに分類され、舗装構造を決定する上で最も重要な路床の調査は、土質調査の力学試験に分類される。
材料調査	コンクリートや舗装に使用される骨材、道路を構築する際の土などには、使用目的に応じて必要な条件（強度など）が定められている。材料調査とは、この条件を満たす材料が入手可能であるか、または十分な量が確保できるかを現地調査と試料採取による土質試験（物理試験、力学試験、化学試験など）によって確認することである。
水文調査	山地、中山間地や平地に降った雨は、一部は表流水として水系に流出し、一部は地下に浸透し地下水となる。これらは相互にやり取りしながら徐々に陸域を流下して河川、湖沼および海域に流入し、それぞれの過程で大気中に蒸発して再び降雨となる。この連続的な一連のサイクルを「水循環（Hydrologic Cycle）」という。水文調査は、水循環過程のある部分での地下水および地表水に関する広範な情報を得ることにより、水の賦存・挙動・収支およびそれらの因果関係を明確にすることである。
その他	自然条件調査には、気温、降雨量、路面温度の把握も含まれる。

以下、地質調査、水文（地下水）調査、材料調査について述べる。

5-3. 地質調査

舗装の構造設計は、設計期間の累積荷重と路床強度（CBR）から主に決定され、路床 CBR の調査結果は舗装構造に大きな影響を与える。路床の評価（試料採取）間隔を長く取った場合には、設計 CBR を過大、又は過少に評価する危険性がある。また、軟弱地盤、問題土等の土質的な弱点を見落とすことになる。

(1) 地質調査（路床強度）

無償資金協力事業の準備調査段階では、実施段階（詳細設計）での追加調査を想定し粗めの精度で調査されることが多いが、準備調査の精度を考慮すれば、当初より十分な調査を行うことが望ましい。路床調査の調査間隔を長く取った場合には、設計条件と現場条件に大きな乖離を発生させる可能性が高い。（5.4（2）地質条件の乖離参照）このため、路床強度の調査については、各設計基準に定められる調査精度を参考に適切なピッチ（200～250m ピッチ）で土質調査/路床支持力調査を行い土質性状/路床強度を調査する。ただし、既往の土質データ等から明らかに土質の変化がなく、路床強度の調査ピッチが低減できる場合には、その旨を提案する。また、道路拡幅工事等で改良幅が広い場合は、縦断方向のみならず横断方向の調査についても考慮すべきである。

表5.8 路床調査基準

対象国	路床強度調査の基準
日本	予備調査による土質調査をCBR試験に先立ち数多く実施する。予備調査の結果、路床土に変化のある場合には、あらかじめ舗装厚を変えるべき区間を想定する。変化の少ないと思われる区間ではCBR試験の個数を少なくし、変化の多いと思われる区間ではその個数を多くする。ただし、調査区間が比較的短い場合や、路床土がほぼ均一と見なされる場合であっても、道路延長線上に3箇所以上とする。 (但し、舗装要綱に示される「同一断面の舗装の最小延長200m」を根拠に、200mピッチで実施することが一般的。(舗装コンサルタント聴取結果))
AASHTO (米国)	記載なし
Overseas Road Note 31	記載なし
SATCC	記載なし
エチオピア	室内 CBR 試験：1 試料/km 土質試験：500m ピッチ 土質試験の内容：コンシステンシー限界、粒度分布等
ガーナ	新設道路 室内試験：4 試料/km (幹線道路) 規格の低い道路では試料数の低減可能。 既設道路 FWD 試験：最大 50m ピッチ (DCP 併用)
タンザニア	室内 CBR 試験：2 試料/km (舗装幹線道路)、1 試料/km (その他舗装道路)、1 試料/2km (グラベル道路) 土質試験：4 試料/km (舗装幹線道路)、2 試料/km (その他舗装道路)、2 試料/km (グラベル道路)
ラオス	記載なし
カンボジア	記載なし

(2) 地質調査 (軟弱地盤及び問題土)

道路工事を行う上で問題となる土として、軟弱地盤と問題土 (分散粘土 (カンボジア、ラオス)、膨張性粘土 (南アジア、東アフリカ等)) がある。それぞれ、道路工事の品質に与える影響が大きいことから、準備調査段階からこれらの土の存在の有無を把握し、存在が懸念される場合には、必要に応じ 100m 程度の間隔の詳細土質調査により改良範囲を特定しておくべきである。

1) 軟弱地盤

前述の土質試験調査の制約を示す図 5.6 は、協力準備調査において不良土範囲の特定ができなかった典型的な事例である。

以下の事例は、無償資金協力事業の事例ではないが、アフリカ地域で実施された道路工事である。以下の写真の区間は湿地帯 (SWAMP) であるが、当初の想定よりも軟弱地盤の改良範囲と深さが大きくなり、事業費が大幅に増加した。地質調査結果では、地下水位は低く軟弱地盤はないと報告されていたが、施工段階で掘削を始めたところ、地下水と軟弱地盤が存在した。なお、地下水については「5.4 地下水調査 (水文調査)」を参照のこと。



写真 5.3 施工時の湧水（地下水）（1）



写真 5.4 施工時の湧水（地下水）（2）

ウガンダ国では、このような調査不足による工事費の増加事例が多数発生したことから、地質調査のガイドラインを定めた。以下は、ガイドラインに記載される湿地帯部における調査方法及び調査間隔のに関する記述である。

Draft Guideline for Site Investigation at Design Stage (Uganda)

Sampling in Swamps

・What tests do you propose for water logged/marshy lands? Options include boreholes or Hand Auger sampling at possibly 50m intervals along the road alignment. This is necessary to identify the extent of the swamp and depth of possible problem soils, as well as identify possible areas with potential expansive clays.

2) 問題土

主な問題土として、分散性土と膨張性粘土が挙げられる。

i) 分散性土

分散性を呈する土砂として可能性のあるのは、白色のシルトである。このシルトは、乾燥すると白色の硬質なシルトとなる。分散性土は、降雨や洪水に対して浸食されやすい性質を持った土であり、道路工事等の際に盛土材として使用した場合に、浸食や「ドラゴンホール」と呼ばれる陥没が発生し、道路の品質を損なう大きな原因のひとつとなっている。カンボジア国で実施された JICA 調査によれば、分散性土の対策としてはセメント安定処理がある程度有効である。なお、分散性については、以下の写真のような簡易浸水試験により把握することが可能である。同位置から採取した2つの試料土) を水浸させ、その内一つを攪拌する(写真：試料 B)。24時間経過後の状態を比較する方法である。では、両試料ともに粗粒分の沈殿は認められるが、攪拌した試料 B の粘土粒子の沈殿が進んでいないことから分散性が確認できる。



写真 5.5 水浸直後
左：試料 A 右：試料 B



写真 5.6 水浸 24 時間後
左：試料 A 右：試料 B

ii) 膨張性粘土（ブラックコットンソイル）

膨張性粘土（ブラックコットンソイル）は乾燥時には多数のクラックが生じており、このような状態の土を確認した場合にも、簡易な方法として試料に水を加えて膨張性を確認する方法がある。また、ブラックコットンソイルが地表面に露出していない場合でも、乾燥時に表土に多数のクラックが見られる場合には、下層にブラックコットンソイルの存在を疑うべきである。



写真5.7 不飽和状態の
ブラックコットンソイル



写真5.8 飽和状態の
ブラックコットンソイル

問題土か否かの判定が簡易試験のみでは難しい場合には、現地技術者の同行及び試料を採取して問題土の基本的性状（膨張率、水浸性を含む）を土質試験により把握する。ブラックコットンソイルが、道路建設上の大きな問題となっているタンザニア国では、設計基準の中で、現地調査と物理試験から、以下のようにブラックコットンソイルを判断する方法を提案している。

《一般的な調査》

- ・ 地理・地質学からの判断
- ・ 現地調査
- ・ 土の物理試験結果（コンシステンシー限界（液性/塑性限界、収縮限界）と粒度分布）
- ・ 土質試験結果からの解析

《膨張土の典型的な特徴》

項目	特徴
土の分類	一般の粘性土より粘性が高く、膨張率が大きい
乾燥時の状態	非常に硬く、変形しにくい
湿潤時の状態	粘着性があり、非常に柔らかい
見た目	表面にクラックがあり、面的な亀裂がある。

《物理試験結果》

以下のような特徴がある場合は、膨張土の可能性が高いとされることから、さらなる調査もしくは解析を行う。

- ・ 現場での評価の結果が膨張土の特徴を示した場合、及びPI（塑性指数）>20%

調査精度に関して定めている基準はほとんどないが、湿地帯が多く、軟弱地盤と高い地下水位が道路建設上の問題となっているウガンダ国では、湿地帯における地質調査の精度として、50～100m 間隔での土質調査により土の性状や地下水位を明らかにし、改良範囲を決めることとしている。

問題土対策に関しては、多くの国で独自の対策の基準を持っており、あらかじめ政府や地元コンサルタント等から情報を得ておく。

米国の M-E pdg(Mechanistic-Emprical Pavement Design Guide)では、問題の発生自体を最小にする方法を与えている。膨張性の土は季節ごとの含水比の変化によって体積変化を起こす。AASHTO T258(Standard Method for Test for Determining Expansive Soils)では膨張する疑いのある土の条件が示されており、路床の水分が大きく変動する場所で膨張性の土に遭遇した場合、膨張性の土の体積変化を最小限にとどめるために以下の処置が取られる：

- ✓ 膨張性の層が薄い場合には、土の置き換えを行う。
- ✓ 縁部の路床の水分の消失を防ぐために、舗装の幅を広くする。
- ✓ 膨張性の路床粘土の上の部分をかきほぐして安定処理し、再転圧する。
- ✓ 過圧密の土を切り出す場合、表面下の土を完全に除去し、舗装を建設する前に膨張させる。
- ✓ そのままにしておく場合には、最適含水比以上で締め固める。

また、広く全土にわたってブラックコットンソイルが存在し、道路建設の際にしばしば問題が発生するタンザニアでは、舗装設計マニュアルの中にブラックコットン対策工が示されている。このマニュアルでは、ブラックコットンソイルを膨張係数によって下表のように分類し、それぞれに対して対策工を提案している。

表5.9 タンザニアにおけるブラックコットンソイルの分類

膨張率 ϵ_{ex}	分類
< 20	Low
20 - 50	Medium
> 50	High

表5.10 分類別に示される対策工

膨張率	対策工	
	幹線道路（舗装道路）	その他（舗装道路）
Low $\epsilon_{ex} < 20$	路肩シール 法面勾配 1:6	-
Medium $20 \leq \epsilon_{ex} < 50$	下図上段参照 路肩シール、法面勾配：1:6 以下 最少盛土厚：1.0m	
High $\epsilon_{ex} \geq 50$	下図中段及び下段参照 置換え厚：0.6m、最少盛土厚：1.0m、路肩シール、法面勾配：1:6 以下 最少路肩幅：2.0m	
	代替案：無	下図上段 参照 路肩シール、最少路肩幅：2.0m、最少盛土厚：1.0m、法面勾配：1:6 以下

上表の対策工を図化したものが下図である。最上段の図は、膨張率（Low）に対応しており、盛土の高さは考慮されていない。下2段の図は、膨張率（Medium）と膨張率（High）のブラックコットンに対する対策工であり、盛土の高さ別に対策が規定されている。

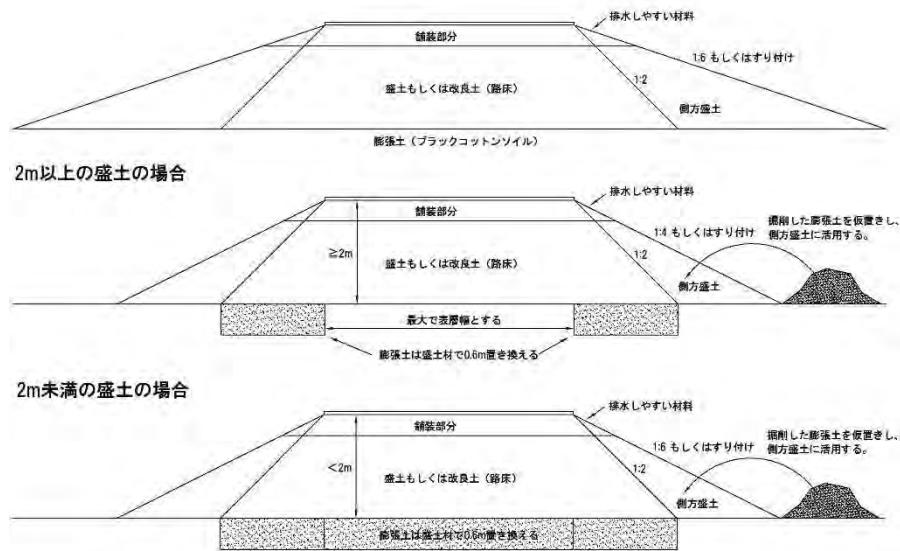


図 5.7 ブラックコットンソイル対策工（TANROADS 舗装設計マニュアル）

5-4. 水文調査（地下水調査）

雨季/乾季により自然状況（地下水位、河川水位（洪水水位含む）、路床強度等）や排水状況が異なることが想定される場合は、原則として雨季に調査を実施すべきである。なお、事業スケジュール上、雨季の調査が困難な場合は、雨季の補完調査を提案する。

なお、舗装構造に影響を与える地下水の存在について、現地調査（既存資料収集、補足的踏査、聞き込み等）で資料を収集し、地下水の検討が必要であると判断された箇所・区間については、テストピット、必要に応じてボーリング調査などで把握する。

テストピットのピッチは、5.3 (1) 地質調査（路床土）を参照、また、地下水対策工については、6.5 舗装設計における排水の影響に関する留意点を参照。ただし、地下水の挙動を完全に把握することは難しい場合は、工事中のモニタリングの必要性と追加費用についても検討を行う。

下の写真は、東南アジア地域の国道改修・整備事業の沿道状況である。乾季には見られない滞水が雨季には発生している。この状況から、道路周辺の地下水位が高いことが推察される。また、当初設置された土側溝も埋まり、道路の排水状況が非常に悪く路床、路盤に悪影響を与えているものと考えられる箇所である。



写真 5.9 土側溝が埋まり滞水している状態



写真 5.10 沿道部の滞水
(雨季のみに発生)

この地点から採取した路床土を用いて実施した「10日間水浸 CBR 試験」の試験結果においても、通常の4日間水浸に比べ CBR 値が約 65% 低下した (4.4 土質調査参照)。この結果からも、路床、及び路盤が長期間水浸状態にある場合には、通常の試験 (4日間水浸) で得られる路床強度よりも、現地の路床強度は小さくなることが推察される。このため、雨季/乾季により自然状況 (地下水位、路床強度等) や排水状況が著しく異なることが想定される場合には、原則として雨季に調査を実施する。事業の実施スケジュール上、雨季の調査が困難な場合は、雨季の補完調査を提案する。

なお、SATCC の設計基準では、「乾燥地域/湿潤地域」の定義を定めて、舗装設計に反映している。

SATCC の設計上の乾燥地域/湿潤地域の定義

○水分含有率による適切な舗装設計のための地域の選択

設計上の乾燥地域

- ・ 年間降雨量が 250mm/年未満の地域
- ・ 洪水や潮位等による冠水が発生しない、地下水等の有害な条件による水分の浸入の可

能性が少ない地域

- ・ 年間降雨量は少なくないが、年間を通じて一定で、明確な雨季がない地域
- ・ 年間を通して、舗装への水分の浸入がないと確信できる地域

設計上の湿潤地域

- ・ 上記で乾燥地域に分類された地域以外が湿潤地域とする。
- ・ 降雨量が年間を通して比較的少ない場合でも、大型車交通量が多い場合はアスファルト層が薄いと深刻な損傷が発生することがあるので乾燥地域としない
- ・ 年間降雨量が 500mm を越す地域は乾燥地域とはみなさない
- ・ 乾燥地域/湿潤地域の選択には、道路の排水施設の（設計）状況、維持管理作業の実施状況を考慮する（6.6 舗装設計における排水の影響に関する留意点 参照）

5-5. 材料調査

日本国内の道路工事であれば、材料毎（アスファルト、砕石等）に生産会社（供給者）が有り、仕様と必要量を伝えれば材料が供給される仕組みができあがっている。しかし、途上国ではこのような生産会社が存在しないことが一般的であり、施工業者自らが生産者を兼ねる場合がある。このため、協力準備調査の段階で、材料価格のみならず、構築路床（盛土）、路盤及び表・基層の

- ①材料基準を満足する材料の有無
- ②採取可能場所
- ③十分な賦存量があるのか

を確認することが重要である。当初予定していた場所で予定の材料が確保できなければ輸送距離と輸送コストが増加し、予定の仕様を満たす材料が無ければセメントを混ぜる等の処理により同様にコストが増加する。材料調査は、このような工事中のコスト増加リスクを回避するために必要であり、総価契約である無償資金協力事業では非常に重要な調査である。

課題となるのは、準備調査の段階でどこまで材料調査をすべきかという点である。準備調査の期間と費用は限られているため、より効率的に材料調査を実施する必要がある。このため、道路管理者の保有する土取り場、採石場、あるいは近隣工事での材料調達実績等の情報を事前に入手するとともに、地域の地質等の情報に精通した現地コンサルタントの協力を得ることが必要である。このような事前準備、及び予想される舗装構造の概略検討を行った上で、必要な材料調査を行うものとする。少なくとも下表に示した項目は材料試験により性状を確認し、適用する設計基準において定められている材料基準値に適合するか確認することが望ましい。

表5.11 舗装材料の性質

材料	調査項目	土質試験から得るべき情報
構築路床 (盛土) 材料	<ul style="list-style-type: none"> 採取位置 賦存量 土質試験 地権者 	<ul style="list-style-type: none"> 最大乾燥密度 ・最適含水比 CBR 値 (水浸) 吸水膨張率 PI ・粒度
路盤材料	<ul style="list-style-type: none"> 採取位置 賦存量 土質試験 地権者 	<ul style="list-style-type: none"> 最大乾燥密度 ・最適含水比 修正 CBR 値 (水浸) 吸水膨張率 ・液・塑性限界及びPI ・粒度 (セメント安定処理路盤を予定する場合) セメント量及び UCS (一軸圧縮強度)
表層 (骨材)	<ul style="list-style-type: none"> 採取位置 賦存量 土質試験 地権者 	<ul style="list-style-type: none"> {粗骨材} 骨材の破碎試験 (ACV 又は TFV) 骨材のすり減り減量試験 ・粒度 骨材の剥離抵抗性試験 骨材の粒形(細長、あるいは扁平な石片の含有量) 骨材の角張り度、形状試験 (CAA) 粘土、粘土隗、軟石量試験 {細骨材} 形状試験 (FAA) 骨材中の粘土分の含有量 (SE)

PI (Plasticity Index) : 塑性指数

UCS (Uniaxial Compressive Strength) : 一軸圧縮強度

ACV (Aggregate Crushing Value) : 骨材破碎値

TFV (Ten percent Fines Value) : 全体の骨材のうち10%が2.36mmのふるいを通過する時の破碎荷重

CAA (Coarse aggregate angularity) : 粗骨材の角張り度

FAA (Fine aggregate angularity) : 細骨材の角張り度

SE (Sand Equivalent) : 骨材中の粘土分の含有量

アスファルト表層材の舗装施工便覧、ORN31 : ORN19、AASHTO Superpave 法) の材料基準を表に示す。

表5.12 アスファルト舗装材料の材料基準 (1/2)

基準名	舗装施工便覧 (平成 18 年)	ORN 19
アスファルト	<ul style="list-style-type: none"> ①舗装用石油アスファルト:4種の針入度等級(40/60、60/80、80/100、100/120) ②改質アスファルト:4タイプのポリマー改質(I型、II型、III型、H型) 	針入度級アスファルト : 40/50、60/70(推奨)、80/100(仕様は Road Note 19 に示されている)
乳剤	<ul style="list-style-type: none"> ①タックコート : カチオン系 PK-4 ②プライムコート : カチオン系 PK-3 	—
粗骨材	<ul style="list-style-type: none"> ①碎石 (JIS A5501, 日本道路協会) : 粒度、表乾密度、吸水率、すり減り減量、安定性損失量、有害物含有量(粘土、軟らかい石片、細長または扁平) ②玉砕 : 破碎面の数+碎石と同じ ③砂利 : 碎石と同じ 	碎石、破碎した砂利 ; 清浄さ、粒形、強度、アブレーション、ポリッシング、安定性、吸水性、はく離抵抗性

細骨材	①天然砂 ②人工砂 ③スクリーニングス：粒度	破碎した岩石、天然砂：清浄さ、安定性
フィラー	①石灰岩石粉：粒度 ②石灰岩石粉以外：PI 等	破碎した岩石の細粒分、セメント、消石灰
混合物	①9種類の混合物(適用は主に使用箇所による)：密粒、細粒、密粒ギャップ、開粒、ポーラス等 ②混合物の種類ごとに骨材の最大粒径と粒度範囲を規定	3種類の混合物;アスファルトコンクリート、デンスピチュメンマカダム、ホットロールドアスファルト
備考	-	ORN 19はORN 31の加熱アスファルト混合物に関する事項を補完し、内容を更新したもの。

表5.13 アスファルト舗装材料の材料基準 (2/2)

基準名	AASHTO Superpave 法	
アスファルト	①パフォーマンスグレード PG バインダー；舗装最大温度と舗装最低温度から選定。②交通レベル、交通速度から高温側のグレードを補正する。	
乳剤	タックコートとプライムコート：アニオン系 SS-1、SS-1h、カチオン系 CSS-1、CSS-1h など	
粗骨材	①角張り(破碎面の数) ②扁平率と細長比粒度 ③ロサンジェルスすり減り減量 ④安定性 Soundness、硫酸ナトリウム又は硫酸マグネシウムによる安定性) ・①と②は道路機関に共通項目。③と④は道路機関が決める。	
細骨材	①角張り(締め固められていないルーズな状態における骨材の間隙率、FAA：Fine aggregate angularity) ②粘土量(砂当量：Sand Equivalent) ③安定性(Soundness、硫酸ナトリウム又は硫酸マグネシウムによる安定性) ④有害物含有量 ・①と②は道路機関に共通項目。③と④は道路機関が決める。	
フィラー	岩石ダスト、スラグダスト、フライアッシュ、消石灰、セメントなど：粒度、強熱減量(フライアッシュのみ)	
混合物	①混合物の種類：密粒タイプが基本 ②表層用混合物の骨材最大粒径は 4.75～19mm。 ③骨材粒度は粒度コントロールポイントの上下限値の範囲内を満たすよう設定する。最大粒径 19mm では 4.75mm ふるい通過量が 47%未満、最大粒径 12.5mm では 2.36mm ふるい通過量が 39%未満の粒度を coarse graded とし、その他は fine graded とする。	
備考	表中の記述は Superpave 法による。	

5-6. 交通条件調査

(1) 交通量/軸重調査

舗装設計に用いる大型車交通量の予測精度を向上させるためには、適切な交通量/軸重調査

を実施することが必要である。特に都市部においては、「転換交通量」の影響が大きいことから、調査範囲、調査日（調査期間）、及び調査時間の設定を慎重に行うことが必要である。調査については、曜日変動、季節変動、及び道路供用後の転換交通量を反映できる調査を計画し実施する。

主な舗装設計基準に示される交通量、及び軸重調査の基準について取りまとめる。

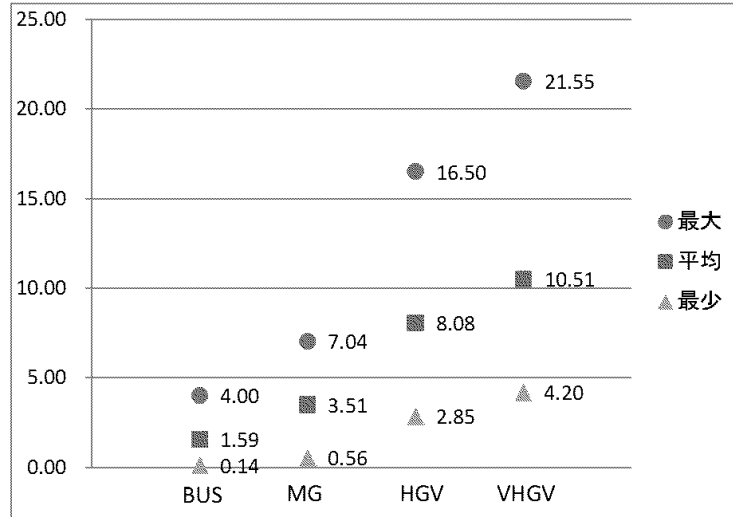
表5.14 調査対象各国の交通量及び軸重調査基準

対象国	交通量及び軸重調査の基準
日本	別途、全国道路・街路交通情勢調査（道路交通センサス）等による
AASHTO（米国）	別途、米国では州別に交通量調査を実施しており、舗装設計基準で交通量調査方法を記載していない。
Overseas Road Note 31	交通量 7日間連続調査を推奨 （内平/休日1日は24時間調査とし、可能であれば年間数回の調査が望ましい） 軸重 Road Note 40を参照 7日間連続24時間調査を推奨 （12時間又は16時間まで低減可能。抽出率は80%以上）
SATCC	Overseas Road Note 31を参照
エチオピア	連続7日間（少なくとも1日は24時間）の交通量及び軸重調査を年数回実施とマニュアルに記載されている。 調査された過積載車両の軸重の適用については、協議により決定。
ガーナ	プロジェクト毎に交通量調査を実施することを定めている。調査は少なくとも平日2日、休日1日の計3日（12時間） 調査された過積載車両の軸重の適用については、協議により決定。 （実際は7日間連続の交通量調査、内4日間の軸重調査を実施することが一般的であり、季節変動についてはGHAが実施している幹線道路の定期交通量調査結果を反映させるとのことである。）コンサルタントヒアリング結果
タンザニア	連続7日間（24時間）交通量及び軸重調査の実施が基本とマニュアル「Field Testing Manual 2003」に記載されている。
ラオス	記載なし
カンボジア	Overseas Road Note 31と同様

しかし、無償資金協力事業の対象国では、軸重管理のシステムが十分に確立されていないこと、また、同種の大型車であっても国によって軸重が大きく異なる。次図は、「アフリカ（エチオピア、ガーナ、タンザニア）の資金協力事業による道路整備計画のあり方（基礎研究）」で収集された幹線道路の舗装設計（我が国の無償式協力事業も含まれる）資料

を基に作成されたグラフであり、軸重換算係数¹の幅を示す。これからも分かる通り、車両が大型化するほど軸重換算係数の幅が大きくなる。

¹ 軸重換算係数：各車両の単軸重量を基準軸重（基準により異なる）に置き換えた値であり、舗装へ与える影響の大きさを表す。舗装の破壊係数と呼ばれることもある。



MGV: Medium Goods Vehicle, HGV: Heavy Goods Vehicle
 VHGV: Very Heavy Goods Vehicle
 一軸当たり軸重換算係数 = $(P/8t)^{4.5}$
 車両の軸重換算係数 = $(P1/8t)^{4.5} + (P2/8t)^{4.5} + \dots + (Pn/8t)^{4.5}$
 P: 軸荷重、n: 軸数

図 5.8 軸重換算係数の差異

また、舗装設計を実施する際に、過積載が多いにもかかわらず、過積載は存在しないとして設計する国もあるが、過積載を設計に考慮することを明言している国もある。例えば、南アフリカでは、蓄積データが多いこと、軸重管理のシステムが確立されていることから、過積載の取締りの状況（通常レベル、厳しく実施）に応じた大型車の軸重換算係数が舗装設計基準に記載されている。

表5.15 南アフリカ舗装設計ガイドライン：大型車軸数換算係数

過積載管理 貨物輸送需要	通常レベル			厳しく実施
	低い(SHV*>45%)	中間(SHV=20-45%)	高い(SHV<20%)	全てのレベル
大型車分類	大型車軸重換算係数の推奨値			
2軸大型車	0.5 - 1.5			0.4 - 0.8
中間大型車	1.0 - 4.0	2.0 - 5.0		1.0 - 3.0
多軸大型車	1.5 - 4.5	3.5 - 6.0	4.5 - 7.0	3.0 - 5.0
全大型車	0.8 - 2.8	2.0 - 4.5	3.0 - 5.0	2.0 - 3.0

*) SHV=short heavy vehicle : 2軸の大型車

したがって、軸重調査については、過去の無償資金協力事業において実施されていない事例がみられるが、舗装構造の検討に与える影響が大きいため、直近で流用可能な軸重調査結果がある場合を除き調査を実施するものとする。

(2) 舗装計画交通量/累積軸重の設定

開発途上国には計画交通量が存在しない場合が多く、舗装設計の交通条件である舗装計画交通量及び累積軸重(ESAL値等)の設定を個別に行う必要がある。経済成長に伴う爆発的な交通量の増加も起こり得ることから交通量の推計は容易ではないが、交通量の推計では、社会・経済指標、交通関連指標、道路の通過する地域の土地利用(臨港地区等)、広域的な道路ネットワーク、道路密度、及び道路整備による誘発交通等を十分検討し、適切なパラメーターの設定に

努めるべきである。また、推計値のみでなく、道路の位置づけ（アジアハイウェイ等国際幹線道路としての指定等）についても考慮すべきである。なお、予測値の不確実性を考慮し、過少評価とならないよう注意が必要である。同時に維持管理状況を考慮した設計期間²を設定することが望ましい。

また、政策転換に伴う交通条件の変更は予期できないため、相手国政府に推計の前提条件を説明し、合意すべきである。

例えば、国際幹線道路、一般の幹線道路であっても、港湾等の交通結節点や鉱山などに連結している路線、道路網が脆弱であり整備後の交通集中が考えられる路線等、重量車両の将来的な増加が明らかな場合は、単にトレンドによる交通量予測によらず、ネットワークとしての重要性から設計荷重、交通量区分を検討することも考える必要がある。以下に参考として、主な設計基準の交通量の伸び率の考え方を示す。

表5.16 交通荷重の伸び率の設定法

基準名・作成年度	基準
Overseas Road Note 31 1993	交通量伸び率の予測 <u>自然増交通量、転換交通量、誘発交通量より算定。</u>
AASHTO Guide 1993	付録Dにおいて、指数的に仮定された成長率に基づく将来交通を予測するための情報を提供。ほとんどの場合の成長率を付録Dの表から選択できる。
南アフリカ 舗装設計基準 1996 交通荷重基準 1991	累積軸重の伸び率の予測 継続的な測定に基づき推奨値を提案
SATCC 舗装設計 基準 1998	ORN31 参照
タンザニア舗装 基準 1999	交通荷重の伸び率は、大型車の増加、軸重係数の増加で評価。 <u>自然増交通量、転換交通量、誘発交通量より算定。</u>
ラオス Road Design Manual 2003	定期交通量調査、開発計画、自動車登録台数の伸び率などより算定。 5段階の交通区分の幅は将来の予測できぬ事象による軸重分布の影響を吸収できる。
舗装設計便覧 (日本) 2006	設計期間内の舗装計画交通量の算定式内に a_i (i 年後の交通量伸び率) として伸び率を考慮。ただし、具体的数値への言及は無い。
南アフリカ 舗装ガイドライン 2013	累積軸重の伸び率の予測 継続的な測定に基づき修正した推奨値を提案

² 設計期間：舗装の設計期間は、交通による繰り返し荷重に対する舗装構造設計全体の耐荷力を設定するための期間であり、舗装に疲労破壊によるひび割れが生じるまでの期間として設定される。

第6章 舗装設計における留意点

本章では、AASHTO、ORN31及び相手国政府の舗装設計基準に準拠して設計する際に、運用に際しての留意点、及び、日本の設計基準適用の可能性について取りまとめる。

6-1. 協力準備調査における舗装設計の進め方

道路設計に含まれる舗装設計は、「周辺の事例収集」→「自然条件の設定」→「交通条件の設定」→「設計基準の選定」→「路面設計」→「舗装の構造設計」→「経済性評価」→「舗装構成の決定」という流れで実施することが望ましい。ここで「路面設計」とは、路面を形成する表層の材料等（瀝青材の選定、改質材の有無、骨材の品質等）を決定することをいう。

特に、熱帯諸国の舗装を対象としたアスファルト舗装の設計では、「路面破損」である流動わだち掘れ、及び排水不良等による「構造破損」が主な課題になっている。

「路面破損」については、路面設計の採用により、表層用混合物の種類選定において路面に求められる要求性能を明らかにすることによって、防ぐことができると考えられる。なお、「路面設計」は日本の舗装設計の流れの特徴の一つである。

「構造破損」については、自然条件調査等で得られた交通条件、路床条件、気象条件、及び材料条件の下で、所定の期間（設計期間）にわたって所定の性能（要求性能）を満足するように、舗装各層の厚さ、材料を決定することで防ぐことができると考えられる。

つまり、舗装の設計とは、その舗装に必要な機能から路面及び構造上の要求性能を明確にし、舗装がその要求性能を満足することを確認する作業である。

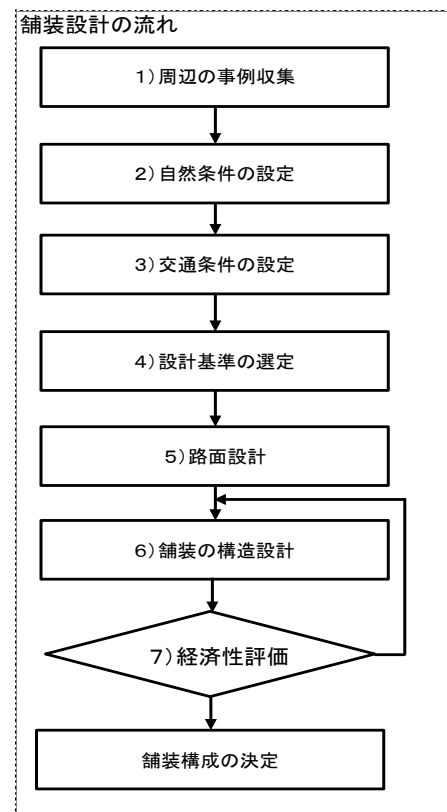


図 6.1 舗装設計の一般的な流れ

出典：舗装設計便覧(H.18)

(社) 日本道路協会

6-2. 舗装設計基準の選定

舗装設計を実施する際には、相手国の舗装設計基準類に従うことを基本とする。舗装の設計基準は、主に AASHTO、Road Note をそのまま使用する場合と、これらの舗装設計基準等をベースに、各国の独自条件を加えたものに分類される。いずれの場合においても、採用する舗装設

計基準の特徴と運用の留意点を正しく理解して使用する必要がある。ただし、適用限界、自然条件、交通条件等により、他の設計基準の適用が望ましい場合には、相手国政府と協議の上、最適な設計基準を適用する。

途上国においても、概ね独自の条件を加味した舗装設計基準があるにもかかわらず、調査した23件中4件が明確な不採用理由（例えば適用限界を超える等）を記述せずに AASHTO1993の設計基準を採用している。

ORN31、南アフリカ舗装設計基準、SATCC 等は累積軸重に適用限界があるため、適用範囲を超えて使用することができないので注意が必要である。また、南アフリカ舗装設計基準は年間降雨量が少ない南アフリカに適用できる基準であり、降雨量の多い地域では適用できない。このような場合は、南部アフリカ共同体諸国の多様な自然条件にに対応した SATCC 舗装設計基準などの適用を検討することが重要である。各基準の適用限界と留意点を下表に示す。

表6.1 各基準の適用限界等

基準名・作成年度	適用限界	留意点
Road Note 31 1993	累積軸重 30×10^6 までが適用範囲	・大型車交通量が多い場合は注意深く適用する必要がある。
AASHTO Guide 1993	適用限界なし	・チャートの上限は 50×10^6
南アフリカ 舗装設計基準 1996	累積軸重 100×10^6 までが適用範囲	・年間降雨量の多い地域には適用できない。
SATCC 舗装設計基準 1998	累積軸重 30×10^6 までが適用範囲	・大型車交通量が多い場合は注意深く適用する必要がある。
タンザニア 舗装基準 1999	累積軸重 50×10^6 までが適用範囲	・低速大型車などが多く Ac 層が早期損傷を受ける主要都市幹線道路は別途検討としている。
舗装設計便覧 (日本)	・適用限界なし(少なくとも 80×10^6 [80kN 軸重換算] 以上に対応)	この基準のみが標準軸荷重 98kN、他は 80kN である。単純に累積軸重における設計の比較をする誤用が見られ、必ず同じ標準荷重への換算値を用いることに留意する。

6-3. 路面設計

路面の要求性能を設定し、路面を形成する表層の材料等（瀝青材の選定、改質材の有無、骨材の品質等）を決定することを「路面設計」という。主な路面破損の形態である「流動わだち掘れ」対策が対象路線に必要かどうかを検討する。対策が必要な場合、「塑性変形抵抗性」を要求性能の基本とし、この性能指標として「塑性変形輪数（動的安定度：DS）」を交通条件に基づき設定する。

性能確認試験（日本で実績のある「ホイールトラッキング試験」）は、配合設計段階で実施することとし、協力準備調査段階での実施は求めないが、材料調査及び日本における実績等を

参考に改質材等のアスファルトの想定を行い、計画に反映しておくことが望ましい。

(1) 重交通路線等の塑性変形（わだち掘れ）の原因

経済発展による大型車の増大に伴い熱帯・亜熱帯のアフリカ・アジア地域では高温の舗装温度下で低速大型車が走行する路線区間や重交通路線では流動わだち掘れが発生しやすい。塑性変形（わだち掘れ）に影響する因子は、一般的に以下のとおりである。

■ 内的因子

アスファルト・・・硬さ、感温性、改質材の有無

骨材・・・・・・・・硬さ、キメの粗さ、角張

配合設計・・・・骨材粒度、アスファルト量

■ 外的因子

交通荷重・・・・交通量、大型車混入率、接地圧

幾何構造・・・・道路幅員、車線分離

舗装構造・・・・アスファルト層の厚さ、路盤の種類

温度・・・・舗装体温度の変化

その他・・・・交通渋滞、交差点付近など

出典) わだち掘れに影響する因子と対策の方向

途上国では、これら外的な因子の内、特に過積載車両等の大型車交通に起因するもの、及び温度による影響が大きいと考えられる。

開発途上国では、トラックなど輸送車両は、積荷を満載することから、走行速度が極端に遅い場合がある（写真参照）。このような大型低速車両が多く通過する箇所では、アスファルト舗装の破損が予想より早くなる。また、年平均温度の高いアジア・アフリカ地域においては、路面温度が上昇しアスファルト混合物の弾性係数の低下、流動化に繋がる恐れがある。

このような路線では、設計時にアスファルト表・基層の塑性変形抵抗性に考慮した設計を実施することが望ましく、海外や国内の基準を参考にし、針入度「40/50」のアスファルト・バインダー又は改質アスファルトの使用を検討すべきである。



急勾配で曲線半径の小さな区間であるため走行速度は10km/h以下である。

写真6.1 路面の破損状況



勾配が10%程度あり碎石を満載しているために速度は10km/h以下である。

写真6.2 低速重車両

(2) 内的因子に対する対応

内的因子に対しては、主に配合設計法と物理試験で対応される。以下に、内的因子に対する各基準の対応を整理する。

表6.2 流動わだち掘れの内的因子に対する対策

基準名・作成年度	内的因子への対応	留意点等
Road Note 31 1993	重交通路線で所要最低空隙率を確保し塑性変形対策として Refusal Density 法を紹介。	配合設計による対応。 わだち掘れ等の問題に対して、2001年に ORN19 を発行し対応。
AASHTO Guide 1993	AASHTO1993 は構造設計基準であるため、内的因子に対する対応は記載されていない。	配合設計による対応。 配合試験 (Superpave 法) において、新たなバインダー規格 (PG : performance Grade)、容積特性基準等を導入。
SATCC 舗装設計 基準 1998	舗装構造基準のため記載なし	-
タンザニア 舗装基準 1999	厳しい荷重条件下 (急勾配車線、主要交差点、主要都市道路、低速走行箇所) では、改質アスファルト、針入度 40/50 のバインダーの適用も推奨している。 同様に、塑性変形抵抗性の対策として、Refusal Density 法を試行するとしている。	配合設計による対応。
ORN19 HMA ガイドライン 2001	交通レベルに応じた混合物基準 (マーシャル法突き固め回数、安定度、所要最低空隙率等)、Refusal Density 法にて対応	配合設計による対応。 ホイール・トラッキング試験、Gyratory compaction 等の各種試験方法は紹介にとどめている。 塑性変形抵抗性の対策が記述されている。
南アフリカ HMA 暫定ガイド ライン 2001	交通レベル (大型車交通量、軸重の増加) に対応した独自のマーシャル法 (追加突き固め後の許容空隙率の範囲) を採	配合設計による対応。 ガイドラインの提案する試験方法は暫定案で試行段階としてい

	用。 必要に応じてジャレレトリコンパクター試験を実施。 わだち掘れの性能試験方法としてホイール・トラッキング試験を説明。	る。 塑性変形抵抗性の対策がより具体的に記述されている。
南アフリカ 舗装ガイドライン 2013	マーシャル法に加え Superpave ジャレレトリコンパクター試験が紹介されている 塑性変形抵抗性の性能試験として -MMLS (Model Mobile Load Simulator) -ハンブルグ ホイール・トラッキング試験を説明。	配合設計と物理試験による対応。塑性変形抵抗性の性能試験として、MMLS が優れているとしている。 塑性変形抵抗性の対策の最近の知見が記述されている。
舗装施工便覧 (日本) 2006	マーシャル試験の突き固め回数と混合物品質基準で対応。ホイール・トラッキング試験によって塑性変形抵抗性を検証。 塑性変形抵抗性を確保するために「改質アスファルト」等を適用。	塑性変形抵抗性の対策がより具体的に記述されている。

(3) 外的因子に対する対応

外的因子については、特に自然条件（温度条件）と交通条件に対する対応について取りまとめる。なお、交通条件については、前述の内的因子の対応に示される配合設計法で対応されている場合があるため、取りまとめ内容が重複する場合もある。

表6.3 流動わだち掘れの外的因子に対する対応

基準名・作成年度	路面温度への対応	交通条件への対応
Road Note 31 1993	記載なし	重交通路線で所要最低空隙率を確保する Refusal Density 法を紹介。
AASHTO Guide 1993	AASHTO1993 は構造設計基準であるため、温度の影響に対する対応は記載されていない。 配合試験（Superpave 法）において、温度条件に対応した新たなバインダー規格（PG：performance Grade）等を導入。	AASHTO1993 は構造設計基準であるため、交通条件の影響に対する対応は記載されていない。 配合試験（Superpave 法）において、低速走行等の交通条件に対応した新たなバインダー規格（PG：performance Grade）等を導入。
SATCC 舗装設計 基準 1998	舗装構造基準のため記載なし	舗装構造基準のため記載なし
タンザニア舗装 基準 1999	舗装温度を配合設計に考慮しているが、舗装温度の考慮方法の具体的な記述はない。	大型車混入率が高い路線の場合、舗装設計の交通クラスを別途定めて、適用される舗装構造の標準構造を変えている。
ORN19 HMA ガイドライン 2001	ホイール・トラッキング試験（BS/CEN 基準）の試験温度を 45℃、または 60℃としている。 熱帯、亜熱帯諸国では試験時の舗装路面温度は 60℃が適切としている。	交通レベルに応じた配合試験基準（マーシャル法突き固め回数、安定度、所要最低空隙率等）、Refusal Density 法にて対応
南アフリカ HMA 暫 定ガイドライン 2001	ホイール・トラッキング試験の試験温度を通常 60℃としている。 ホイール・トラッキング試験	交通レベル（大型車交通量、軸重の増加）に対応した独自のマーシャル法（追加突固め後の許容空隙率の範

	(BS/CEN 基準) を紹介。	囲) を採用。
南アフリカ 舗装 ガイドライン 2013	ハンブルグ ホイール・トラッキング試験は 45~55℃で行われる。試験温度 50℃が多いとしている。	MMLS (Model Mobile Load Simulator) 試験を説明。
舗装施工便覧 (日本) 2006	高温化における気象条件を考慮して塑性変形抵抗性をホイール・トラッキング試験による塑性変形輪数 (DS) で評価。 ホイール・トラッキング試験の試験温度を 60℃としている。	ホイール・トラッキング試験によって、交通条件を考慮した塑性変形輪数 (DS) の基準で評価する方法を確立。

「低速重車両の影響」

流動わだち掘れについては、気象条件（温度条件）の他に低速で走行する大型車両の影響を考慮する必要がある。低速で走行する大型車が舗装へ与えるダメージは、通常の状態より大きいと想定されることから、この点についても留意が必要である。低速重車両は我が国では顕著ではなく、途上国で典型的な事象である。これについては「アフリカ（エチオピア、ガーナ、タンザニア）の資金協力事業による道路整備計画のあり方（基礎研究）」で試験が実施されており、以下のような結果が得られている。

表6.6 ホイールトラッキング試験結果（低速走行試験）

アスファルト量 (%)	種類	上乗荷重		走行速度* (回/分)	動的安定度 (DS) (回/mm)	変動係数 (%)	変形率 (RD) (mm/min)
		試験輪荷重 (KN)	接地圧 (MPa)				
5.3	標準	686	0.63	42	492	18.4	0.085
	重車両	980** (約1.4倍)	0.90	42	348	17.7	0.121 (約1.4倍)
	低速	686	0.63	21 (0.5倍)	294	6.8	0.143 (約1.7倍)

*走行速度：載荷走行速度は、供試体中央部分長さ22cmの区間を一樣な速さで走行することと規定されており、42±1回/分が基準値。この数値は、英国 RRL (Road Research Laboratory) の試験基準をそのまま適用している。
(走行速度の想定値は不明)

**試験機の限界値

本試験結果によれば、①試験荷重を1.4倍 (0.63Mpa→0.90Mpa) とした場合の変形率 (RD) は約1.4倍 (0.085mm/min→0.121mm/min) となり、変形率は試験荷重に比例するものと考えられる。②走行速度を1/2 (161.0mm/sec→80.5mm/sec) とした場合、試験輪載荷時間は2倍 (0.14sec→0.27sec) となり、変形率 (RD) は約1.7倍 (0.085mm/min→0.143mm/min) に増加する。このことから、アスファルト舗装の変形は、車両の重量のみならず、走行速度の影響を大きく受けていることが推測される。

この試験結果から、低速時（通常状態の2分の1）の場合、約1.7倍の変形率すなわち「わだち」が発生する結果となった。世界道路協会 (PIARC) の研究成果では、わだち掘れの絶対量推計の困難さは指摘されているが、その経過の議論は参考になる。例えばシェル・モデルのようなものでは単純に、わだちは標準軸重通過回数とその車輪通過時間の積の関数であって、通過回数の効きと通過時間の効きが同等であるとしている。つまり、通過時間が2倍になれば、2倍の通過輪数に相当する訳である。わだち掘れは主として粘性変形によって引き起こされると考えられているので、論理的なモデルであるといえる。

(4) 我が国の塑性変形抵抗性の要求性能を考慮した路面設計

舗装設計の内、舗装路面の要求性能を設定し、路面を形成する表層の材料、層厚などを決定することを「路面設計」という。

表6.4 舗装の性能指標

設計の区分	舗装の路面性能の例		設計のアウトプット
路面設計	路面（表層）の性能	塑性変形抵抗性 平坦性 透水性、排水性 すべり抵抗性など	①表層の使用材料 ②表層の厚さ

出典：舗装設計施工指針（H.18（社）日本道路協会）

塑性変形抵抗性

アフリカ諸国等、年間を通じて高い路面温度が想定される地域では、表層の流動わだち掘れが大きな課題である。日本では、舗装温度とアスファルト舗装（ストレートアスファルト使用）の強度（DS 値）の関係について、ホイールトラッキング試験を基に以下の関係式が得られている。

$$\text{Log}_{10}(\text{DS}) = 8.656 - 0.07095T - 0.2285P$$

DS：動的安定度（回/mm）

T：温度（℃）

P：接地圧（kgf/cm²）

出典：舗装技術の質疑応答（第7巻上）

この関係式をグラフにしたものが下図である。これによれば、通常の試験温度（60℃）のDS値864回/mm に対して、65℃で382回/mm、70℃で169回/mm とそれぞれ44%、20%の強度に低下する。このことから、高温の日が続いた場合などには、アスファルト舗装がわだち掘れを起こしやすくなることがわかる。

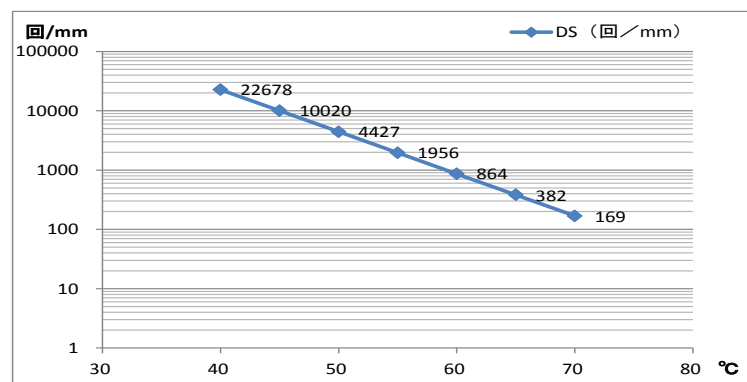


図 6.2 舗装温度と動的安定度の関係

そこで、このような場合には、日本の舗装設計の項目である「路面設計」を適用し、要求性能は「塑性変形抵抗性」とする。塑性変形抵抗性の性能指標としては、「動的安定度（DS:Dynamic Stability）」を用いる。試験方法は、日本で実績のあるホイールトラッキング試験を活用する。本試験方法は舗装表面での高温条件における繰返し輪荷重によって流動

が生じる現象を再現するものであり、我が国には既往の実績や蓄積データが豊富にある。

ホイールトラッキング試験の方法としては、日本規格のほかに BS 規格があり東アフリカで適用された実績がある。タンザニア国とラオス国で生産したアスファルト混合物について、日本規格と BS 規格の試験方法の比較と試験した結果を図に示す。

表6.5 試験方法

項目		日本規格	BS規格
供試体形状		30cm × 30cm × 5cm	30cm × 30cm × 5cm
試験温度		60°C	60°C
試験時間		60分	60分
試験機	タイヤ種類	ソリッドラバー硬度84	ソリッドラバー硬度80
	タイヤ形状	W=5cm,φ =20cm	W=5cm,φ =20cm
	加重	686KN	520KN
	サイクル	21往復(42回)	21往復(42回)

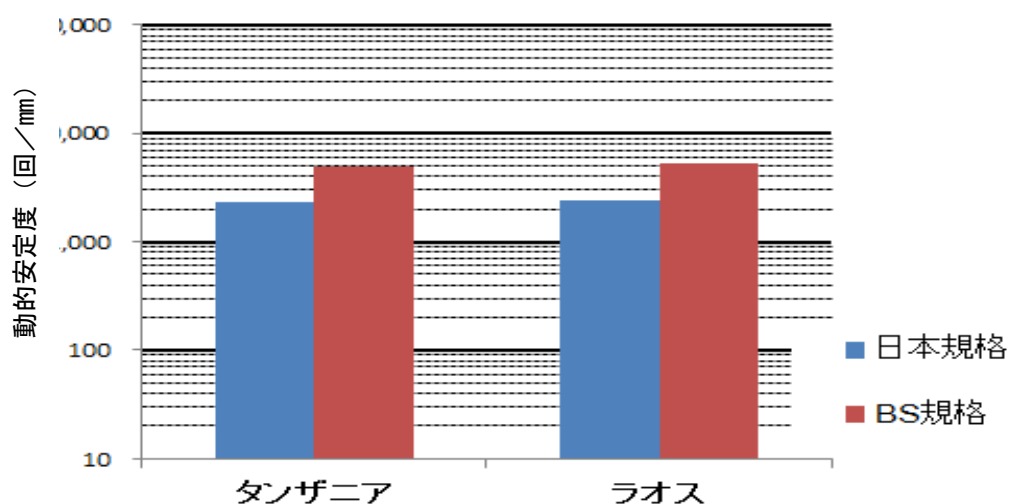


図 6.3 試験結果

BS 規格は荷重が520kN と日本規格の686kN と比較すると小さいため、DS 値が大きくなる。BS 規格の T_R (変形率) = 5.0mm/hr 以下の規定は、DS 値で504回/mm に相当する。BS 規格は試験温度60°Cと45°Cを交通条件によって使い分けているが、いずれにしても、日本規格と比較すると穏やかな規格となっている。適用実績が多く試験方法も明確な日本規格を適用することが推奨される。

(5) 路面設計の具体的方法 (案)

路面設計を行う場合には、我が国 (相手国に基準がある場合は相手国の基準) の基準を参考に DS を交通条件、道路条件などから設定する。

また、DS が小さい場合は、必要に応じて改質材の適用を発注者と協議し、積算上含むか含ま

ないか事前に協議しておくことも必要である。

1) 日本の基準を用いる場合（国交省令第103号）

路面設計を行う場合には、我が国の基準を参考に DS を交通条件、道路条件等から設定することができる。

表6.7 我が国の塑性変形輪数の基準値（国交省令第103号）

区分	舗装設計交通量 (単位：台/日・方向)	塑性変形輪数:DS (単位：回/mm)
第1種、第2種、第3種第1級 および第2級、第4種第1級	3,000以上	3,000
	3,000未満	1,500
その他		500

2) 日本の経験式を用いる場合（舗装設計便覧）

舗装設計便覧（平成18年）では、ある期間における大型車交通量に対して、設計でわだち掘れ深さを設定して、そのために必要なアスファルト混合物の目標となる DS の性能値を求める方法が提案されており、この方法を用いている。

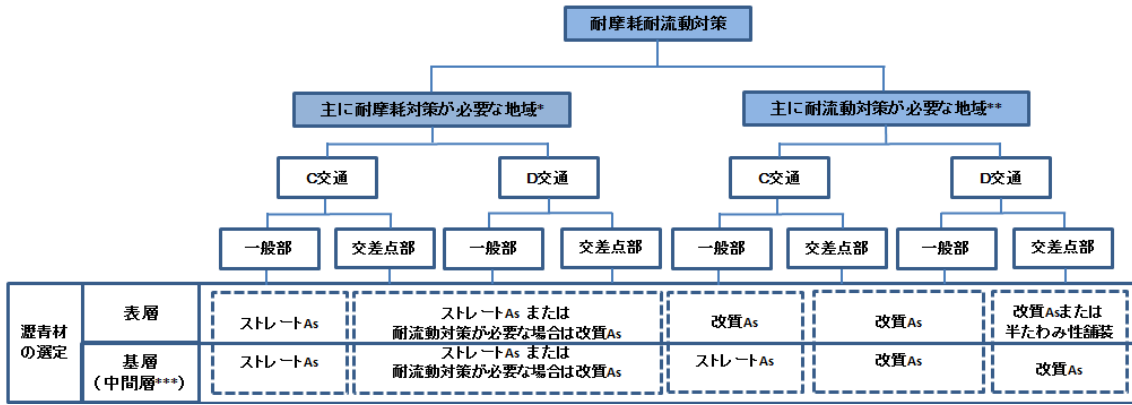
$$DS = 0.679 \times \left(\frac{N \times W \times V \times Ct}{RD} \right)^{1.02}$$

ここに、DS は目標 DS (回/mm)、N は大型車交通量 (台) RD はわだち掘れ深さ (mm) である。W は輪荷重補正係数で重い車が少ない場合1.0、多い場合2.0、非常に多い場合3.0をとる。V は走行速度補正係数で一般部は0.4、交差点部は0.6の値をとる。Ct は温度補正係数で温度を T とすれば、 $\log Ct = 0.0003216T^2 + 0.0153T - 2.080$ となる。

ただし、上記の式は経験式であることから、気象条件の異なる対象国での適用については、適用方法について検討する必要がある。

3) 日本の設計基準を直接用いる場合（例：関東地方整備局）

下図に国土交通省関東地方整備局「道路設計要領」に示される舗装タイプの選定フローを示す。



*主に耐摩耗対策が必要な地域

積雪寒冷地域や路面の凍結する箇所では、タイヤチェーン等による路面の摩耗に対する対策として、耐摩耗性の高い混合物を表層に使用する。

**主に耐流動対策が必要な地域

大型車交通量の多い道路及び交差点流入部等のわだち掘れが予想される区間では、とくに耐流動性を向上させた混合物を、【表層】または【表層+基層】に使用する。

***中間層：アスファルト舗装において、基層を2層に分けた場合（基層が厚い場合）の上の層。表層と基層にはさまれているのでこの名称がある。

図 6.4 耐摩耗耐流動対策の選定フロー

表6.8 舗装設計における交通量の区分

設計交通量の区分		大型車交通量（台/日・方向）の範囲	
旧区分	新区分		
L 交通	N1	15未満	
	N2	15以上	40未満
	N3	40以上	100未満
A 交通	N4	100以上	250未満
B 交通	N5	250以上	1,000未満
C 交通	N6	1,000以上	3,000未満
D 交通	N7	3,000以上	

出典：アスファルト舗装要綱及び舗装設計便覧（社）日本道路協会

表6.9 耐流動対策の動的安定度（DS）の目標値（回/mm）

	C 交通		D 交通	
	一般部	交差点部	一般部	交差点部
表層 密粒度アスコン（20） 厚さ5cm	3000程度 改質 As	4000程度 改質 As	4000程度 改質 As	5000程度 改質 As または特にわだち掘れの著しい箇所は半たわみ性舗装でもよい
基層 粗粒度アスコン（20） 厚さ5cm	ストレート As	4000程度 改質 As	4000程度 改質 As	5000程度 改質 As

出典：国土交通省関東地方整備局「道路設計要領」

4) 性能確認（案）

試験方法は、日本で実績のあるホイールトラック試験を活用する。本試験方法は実際の舗装表面での高温条件における繰返し輪荷重によって粘性流動が生じる現象を再現するものであり、我が国には既往の実績や蓄積データが豊富にある。多くの途上国では試験機もないが、可能な限り供試体を日本に送って試験し、日本基準を準用して目標値とすることが好ましい。なお、性能の確認は施工時のアスファルト配合設計段階で実施することとし、準備調査段階では実施は原則とめない。

6-4. 舗装構造設計

舗装の各層の構成（材料・厚さ）を決定することを「舗装の構造設計」という。舗装の構造設計を実施する際の代表的な設計法である「AASHTO Guide 1993」、「Overseas Road Note 31」及び「舗装設計便覧（TA法）」についての概要を第1章に示している。

舗装の構造設計における主な留意点を以下に示す。

(1) 過積載車両

各国の技術基準は、多数の過積載車両等の交通条件、気象条件（高温、昼夜間の温度差、多雨、短時間の集中降雨等）等の特殊条件下における条件に対して構造設計段階で対応していない（その適用範囲の限界を超えている）場合がある。

開発途上国においては、規制軸重（10t～13t）をこえる過積載による荷重が作用していることが多いが、設計には配慮されていないことが一般的である。また、基準によっては、軸重調査で過積載を交通荷重条件に考慮しているものもある。

したがって、設計段階で累積軸重の設定に際して、軸重調査を実施し、頻繁に発生するレベルの過積載は設計に別途考慮すべきである。各基準の過積載への配慮について下表に整理する。

表6.10 過積載車両への配慮

基準名・作成年度	特徴	留意点等
Overseas Road Note 31 1993	過積載への配慮は、記述されていない。軸重調査を実施していない場合は過積載車両の軸重は考慮されない可能性がある。	Overseas Road Note 40に軸重調査の詳細が別途記載されている。
AASHTO Guide 1993	過積載への配慮に関する記述はない。軸重調査を実施していない場合は過積載車両の軸重は考慮されない可能性がある。	
南アフリカ舗装設計 1996 交通荷重 1991	累積軸重は軸重ヒストグラムより算定。軸重算定に過積載大型車の軸重を考慮。	南アフリカの値を他国に適用できない。過積載の規制の程度により、荷重、伸び率に考慮
SATCC 舗装設計基準 1998	地域により異なる大型車交通量の構成、過積載管理のレベル、規制値等を考慮して損傷係数を決めるとしている。過積載が規制できない場合は下記の対策をとる -上層路盤や下層路盤の厚さを厚くし強度に余裕を持たせる。 -特別なアスファルト、例えば、SMA (Stone mastic asphalt) を適用する。	累積軸重の算定根拠となる軸重ヒストグラムに過積載を考慮軸重調査を実施していない場合は過積載の軸重は考慮されない。
タンザニア舗装基準 1999	過積載への配慮に関する記述はない。軸重調査を実施していない場合は過積載車両の軸重は考慮されない可能性がある。	大型車混入率が高い場合の基準は定められている。
ラオス Road Design Manual 2003	過積載への配慮に関する記述はない。軸重調査を実施していない場合は過積載車両の軸重は考慮されない可能性がある。	-

南アフリカ 舗装ガイドライン 2013	累積軸重（交通荷重）を算定する際に過積載を考慮する。 大型車の車種別の軸重の決定に過積載を考慮する。 過積載規制の程度を 大型車軸重等に考慮する。（下表参照）	南アフリカの値を他国に適用できない。
舗装設計便覧 （日本）	過積載への配慮に関する記述はない。	

(2) 信頼性

「AASHTO1993」では、舗装設計に用いる信頼性を、「舗装設計-供用性のプロセスの信頼性とは、その設計期間の交通および環境条件のもとで、このプロセスによって設計された舗装がその機能を満足にはたす確率である。」としている。また、「舗装設計便覧」では、「設計期間を通して、舗装が疲労破壊しない確からしさを設計の信頼性といい、その場合の破壊しない確率を信頼度」としている。

どのような方法を用いて設計した場合でも、設計期間における設計条件の変化に伴うリスクに対応する必要がある、この将来のリスクに対して交通条件や地盤条件などに係数を乗じ、これら設計条件の変化に対する信頼性を設計に見込む方法もある。AASHTO1993では、地域別・道路別に信頼度の採用が推奨されており、舗装設計便覧では、疲労破壊輪数に係数を乗じて信頼性（90%, 75%, 50%）を設計に見込む方法を採用している。

この信頼度については、交通量予測の精度、排水施設等を含む道路維持管理レベルを考慮し、適切に設定することが重要である。

表6.11 AASHTO Pavement Design Guide に示される信頼度 R の推奨値

	州際道路・高速道路	幹線道路	集散道路	地方道路
都市部	85-99.9	80-99	80-95	50-80
地方部	80-99.9	75-95	75-95	50-80

表6.12 舗装設計便覧における信頼性と交通量換算

信頼性	50%	75%	90%
意味	疲労破壊を起こすまでの期間が設計期間を上回るものが全体の50%	疲労破壊を起こすまでの期間が設計期間を上回るものが全体の75%	疲労破壊を起こすまでの期間が設計期間を上回るものが全体の90%
交通量換算	1倍	2倍	4倍
疲労破壊までの期間 （参考）	設計条件の通りであれば設計期間を通して疲労破壊を生じない舗装	設計条件に若干の変動があっても設計期間を通して疲労破壊を生じない舗装および設計条件の通りであれば設計期間を若干超過しても疲労破壊を生じない舗装	設計条件に大幅な変動があっても設計期間を通して疲労破壊を生じない舗装および設計条件の通りであれば設計期間を大幅に超過しても疲労破壊を生じない舗装

出典：舗装設計施工指針（H.18（社）日本道路協会）

(3) 路床支持力の評価

路床強度の試験方法（CBR 試験等）、試料採取方法、路床強度の評価方法は、各国の自然条

件により異なる場合がある。

CBR 試験については、各国の自然状況を反映している場合があるので、CBR 試験方法の誤用（基準と異なる試験方法）は避けなければならない。

表6.13 主な CBR 試験方法

基準名・作成年度	特徴	留意点
Overseas Road Note 31 1993	・修正 CBR 試験（BS 基準：平衡含水比など現場条件に適合した含水量）	水浸／非水浸は状況によって判断
SATCC 舗装設計基準 1998	・修正 CBR 試験（AASHTO T-99）	水浸／非水浸は状況によって判断
AASHTO ASTM 274	・Mr（レジエントモジュラス） ・繰り返し3軸試験	-
舗装設計便覧（日本）	・CBR 試験（切土路床） 乱した試料土、含水比は自然含水比	盛土路床（構築路床）では、修正 CBR 試験が適用される。
タンザニア 舗装設計基準	・修正 CBR 試験	緊急を要する場合のみ 1 point CBR 試験を適用可能
ラオス 舗装設計基準	・表層の弾性係数が重要だが、試験方法が複雑であるため、修正 CBR 試験を採用	乾燥地域（年間降雨量 500mm 以下）では、水浸試験は求められない。
カンボジア 舗装設計基準	・修正 CBR 試験（平衡含水比）	粘土、シルト系砂質土では、試験時の締固め密度が異なる。

長期浸水が地盤の性状に影響を与えるおそれが想定される場合は、オーストラリア等で採用されている 10 日間水浸 CBR などを活用して設計 CBR を設定することも考えられる。

また、路床強度の試験結果は、区間（箇所）や試料採取時期などによりバラツキがあるため、区間の CBR を求める際は、過大評価（危険側）となるリスクを考慮して、設計 CBR を設定すべきである。なお、設定した設計 CBR が、設計基準によって規定されている路床強度を満足することを確認する必要がある。

(4) セメント安定処理

- 上層路盤にセメント安定処理を採用するときは、表層を十分厚くするなどの注意が必要である。
- セメント安定処理路盤の劣化は、乾燥した状態でも物理的な破壊で最終的に粒状体に戻るとされている。南アフリカでは、その劣化の進展を設計に反映することが基準で定められている。
- 実施プロジェクトの経験から、無償資金協力による道路事業については、下層路盤へのセメント安定処理路盤の採用に十分注意しなければならない。
- 下層路盤への使用は、ORN31 を初め多くの国で規定されている。しかし、厚さを少なくとも 15cm 以上とってひび割れのリスクを減ずるとともに、湿潤状態にならにように、注意すべきである。

1) セメント安定処理の上層路盤への適用

セメント安定処理は、現地で得られる材料を有効に使用するために広く使われている工法である。しかし、JICA プロジェクトにおいても、水浸状態が長時間となった場合のセメント安定処理路盤の劣化が報告されており、雨季が長く洪水にさらされる機会の多い無償資金協力事業の道路にあつては路盤排水の確保などに注意する必要がある。

特に、上層路盤のセメント安定処理は、セメント量が多くなると表層のアスファルト層におけるリフレクションクラックの発生する恐れがあり、路盤のクラックに対する追従性に留意する必要がある。また、セメント量が少なくアスファルト層が薄い場合は、セメント安定処理路盤上のアスファルト舗装のはがれの事例も報告されているので、その点でも上層路盤にセメント安定処理を採用するときは、表層を十分に厚くするなどの注意が必要である。

本調査の対象外ではあるが、無償資金協力で実施された「タジキスタン国ドゥスティ〜ニジノピヤンジ間道路改修計画」において、セメント安定処理された上層路盤上の薄いアスファルト舗装（10cm 以下）が早期に破損する事例がみられた。上層路盤にセメント安定処理を使った場合の問題については、十分に知見が伝承されていないと思われるが、日本（NEXCO）及び南アフリカに以下のような知見がある。

● NEXCO の設計要領第一集（舗装編）

「車線部の舗装で、セメント安定処理路盤上に直接アスファルト混合物を舗設する場合のアスファルト混合物層の合計厚は、15cm 以上でなければならない。」という基準が示されている。この 15cm の根拠について、明確ではないが以下が参考になると考えられる。

- A) 旧建設省土木研究所による「ソイルセメントを用いたアスファルト舗装の供用成績調査」結果より
- セメント量の多いソイルセメントを用いたアスファルト舗装には破損したものが多
い。
 - 圧縮強度が大きいソイルセメントの舗装では破損が発生しやすい。そのため、セメン
トは必要最小量を用いることにし圧縮強度は 30kg/cm² 以下にした方がよい。
 - ソイルセメントの厚さは 15cm 以上が望ましい。圧縮強度が 30kg/cm² を超えたソイル
セメントで、ソイルセメント上部厚の薄いものは、道路の横断方向に入る幅の広いひ
び割れが発生しやすい。ソイルセメント上部層は、少なくとも 10cm 以上のアスコン
層（表層、基層）を設けたほうがよい。
- B) 上記の結果を受けて、昭和 42 年のアスファルト要綱の改訂では、上層路盤にセメント安定
処理を用いる場合には、セメント安定処理は舗装表面より 10cm 以上深い位置にあるよう
にし、一軸圧縮強度 30kg/cm² に相当するセメント量を選ぶ、としている。また、セメント安
定処理を舗装表面より 5cm 程度以下に用いると、表層部分が流動しやすく、ソイルセメン
トのひび割れが直接表面にあらわれやすいというデータをもとに 10cm 以下に用いること
とした、と記述されている。
- C) 「コンクリート舗装のオーバーレイにおけるリフレクションクラック防止工法」より
- コンクリート舗装にアスファルト混合物でオーバーレイした場合、コンクリート版の

目地あるいはクラックがオーバーレイ表面にあらわれるリフレクションクラックが問題となる（これは、ソイルセメント路面上に、アスファルト舗装を一層施工したケースと同様と考えられる）。

- その場合、コンクリート舗装上に 10cm 厚程度のアスファルト混合物によるオーバーレイしても、リフレクションクラックを防止することができず、結論としてアスファルト混合物は、3層で 15cm 程度あれば問題ない、と言われている。

● 南アフリカの設計基準

南アフリカの設計方法では、セメント安定処理路盤が経年劣化により粒状に変化することを考慮していることが挙げられる。

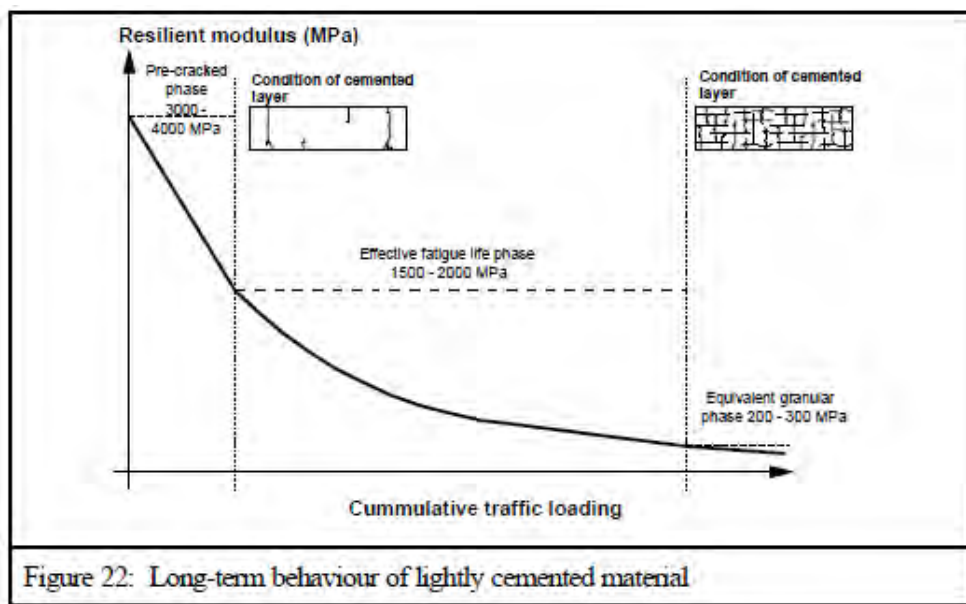


図 6.5 セメント材料の長期的な性状

2) セメント安定処理路盤の強度不足と劣化

セメント安定処理路盤の採用は、路盤材料の塑性指数 (PI) に十分注意しなければならない。セメント安定処理路盤の強度不足や劣化に関しての報告があり、ここではセメント安定処理路盤の骨材規定や品質試験方法を示す。

第 4 章に記述したように、ラオス国の国道 9 号線においては、セメント安定処理された既存の下層路盤の強度が、想定以上に小さいという問題が発生した。なお、当初工事で実施されたセメント安定処理のセメント混入率は 3%であった。

セメント安定処理路盤の適用に関しては、多くの基準が骨材の粒度の悪い材料、及び PI* が大きい材料の使用は、強度発現不足と劣化の恐れがあるため、できるだけ避ける/使用しないとしている。

PI*: Plasticity Index の略で塑性指数を示す。土あるいは路盤材料中に含まれる細粒分等が塑性状態にある含水量の大きさをいい、液性限界と塑性限界の含水比の差で表される。この指数は土の分類に使われるほか、路盤材等の品質規格の判定項目にも使われている。PI=WL-WP、ここに PI: 塑性指数 [%] WL: 液性限界 [%] WP: 塑性限界 [%]。塑性指数は砂質土で 0 である。粘

土分が多くなるにしたがい大きくなる。

表6.14 セメント安定処理路盤の骨材の規定

基準名・作成年度	規定	留意点等
ORN31 1993	セメント安定処理に適した骨材は、ある程度粗骨材を含む連続した粒度の骨材を推奨している。 やむをえない場合は、骨材の粒度が不良な場合やPIが大きい材料のセメント安定処理を許容している。 この場合、セメント含有量の増加によるコスト増、ひび割れ、レフレクションクラックの発生、中性化による劣化のリスクが高いとしている。	骨材の粒度が不良な場合やPIの許容値を具体的に記していないコスト（セメント量）、損傷を考慮した骨材の選択法が明確に示されている。
AASHTO Guide 1993	材料事情が州により異なるため、統一した試験法で材料を判定するが、州により異なる仕様に合致するかにより判断する。	統一された試験方法で仕様を決定している。
SATCC 舗装設計 基準 1998	セメント安定処理に適した骨材は、PIが10以下で一樣な粒度分布がよいとしている。	現地発生材を使用する場合、性状を確認し性能をチェックする必要がある。 適した骨材のPIを規定している
ラオス Road Design Manual 2003	下層路盤のセメント-石灰安定処理に適した骨材は、PIが30以下。その他粒度の規定あり。	より塑性的な土の使用が認められている
南アフリカ舗装ガイドライン 2013	セメント安定処理の骨材はクラッシャーランまたは粒状材としている。 骨材の規定は日本の基準に近い。	性状を確認し性能をチェックする必要がある。 コスト（セメント量）、損傷を考慮した骨材の選択法が明確に示されている。
舗装設計便覧 (日本)	「下層路盤の場合」 骨材はPIが9以下、修正CBRが10以上 「上層路盤の場合」 骨材はPIが9以下、修正CBRが20以上 粒度分布（通過質量百分率） 53mm-100%、37.5mm-95~100%、19mm-50~100%、2.36mm-20~60%、75 μ m-0~15%	コスト（セメント量）を考慮した規定である。

また、セメント安定処理に関し、現地発生不良材料の使用する場合には、施工段階でセメント量の増加等により生ずる問題を防止するために、下記のような品質管理試験（南アフリカ舗装ガイドライン 2013 による）をクリアしなくてはならないことを念頭において対処することとする。

- 改良後の一軸圧縮強度の上限値の設定
- 劣化試験の採用
- 間接引張試験の採用
- ラボでの試験混合の採用

- 現場での試行等

表6.15 セメント安定処理路盤の一軸圧縮強度の最大値、品質試験方法

基準名・作成年度	特徴	留意点/弱点
ORN31 1993	一軸圧縮強さが比較的高い (3.0-6.0MPa) セメント安定処理材の使用も認めている。 セメント含有量の増加によるコスト増、ひび割れ、レフレクションクラックの発生、中性化による劣化のリスクが高いとしている。 劣化の試験方法として wet-dry brushing 試験を規定している。	現地発生のおよくない土を改良する場合は、特に、ラボ試験、現場試行により性能を確認する必要がある。なお、セメント安定処理に関する規定では、現地発生のおよくない土を規定していないが、適用時には、SATCC の PI が 10 以下で一様な粒度分布がよい材料、設計施工便覧の PI9 以下、等が目安になる。
AASHTO Guide 1993	乾湿試験 (ASTM D559-96)、凍結融解試験 (ASTM D560-96) を規定している。	
SATCC 舗装設計 基準 1998	一軸圧縮強さは、最大で 1.5-3.0MPa を推奨している。 ラボでの試験混合 (セメント量、水分量を考慮) による確認を推奨している。 劣化の試験方法として wet-dry brushing 試験を規定している。	現地発生材の使用は限られるが、性状を確認し、性能をチェックする必要がある。 乾湿の繰り返し劣化試験を規定 セメント量 (強度) を制限
ラオス Road Design Manual 2003	安定処理後の品質は 修正 CBR (7 日間水浸) : 60 以上 PI : 15 以下	乾湿促進による劣化が規定されていない。
南アフリカ舗装ガイ ドライン 2013	一軸圧縮強さ 6.0~12MPa, 一軸圧縮強さ 3~6MPa に分類される高強度のセメント安定処理材は、ひび割れとリフレクションクラックを発生するので通常使用しない。 セメント安定処理材の一軸圧縮強度の上限値は 3.0 MPa セメント安定処理で発生する問題は、所定の引張強度が得られていないことが理由とし、引張強度試験を規定。 セメント安定処理の強度は劣化するのでこれを考慮した設計、試験による確認が必要であるとしている。(Wet/dry bushing test 等を規定.)	現地発生材の使用は限られるが、性状を確認し、性能をチェックする必要がある。 (圧縮強度、引張強度、劣化度) セメント安定処理に関する最近の知見がまとめられている
舗装設計便覧 (日本)	「下層路盤の場合」 一軸圧縮強度 (7 日強度、6 日養生、1 日水浸) : 0.98Mpa 「上層路盤の場合」 一軸圧縮強度 (7 日強度、6 日養生、1 日水浸) : 2.9Mpa 試行による確認が必要	

(5) 舗装構成

1) アスファルト舗装厚

AASHTO1993 の設計法を適用している場合も、アスファルトの最小厚さの規定の無視している場合がある。大型車交通量が多くなると Ac 層の最小厚さ（表層と基層の厚さ）が厚くなるとする考え方と、Ac 層の最小厚さは高温の自然条件下では 50mm 程度がベターでよく締め固めた碎石層とセメント安定処理層で強度を確保するという考え方がある。後者はアフリカ地域に多い地盤のしっかりした乾燥地帯には適用できるが、降雨量が多い地域には適さない。

表6.16 Ac 層（表層・基層）の厚さの規定

基準名・作成年度	特徴	留意点
Road Note 31 1993	<ul style="list-style-type: none"> Ac 層の厚さは、交通量（累積等価軸重）と自然条件（路床強度）より設計カタログから決まる。 交通量が多い場合 Ac 層は厚い(100～150mm) 	湿潤地域の大型車交通量が多い場合は注意深く適用する必要がある。
AASHTO Guide 1993	<ul style="list-style-type: none"> 交通量に応じて最小厚さを提案 	路盤の最小厚も規定されている。
南アフリカ 舗装設計基準 1996	<ul style="list-style-type: none"> Ac 層の厚さ（設計カタログより） 交通量が多く粒状路盤の場合 Ac 層： 50mm 全国を乾燥地域、中間地域、軽い湿潤地域にわけ、路盤の厚さなどで調整。 軽い湿潤地域で交通量が多い場合は、瀝青安定処理上層路盤で対応。 	南アフリカは、年間降雨量は少ない。年間降雨量が少ない場合に適用できる。
SATCC 舗装設計基準 1998	<ul style="list-style-type: none"> 粒状路盤をもちいた場合、Ac 層の厚さは乾燥地域と湿潤地域に分類した設計カタログより決まる。 交通量が多い場合 Ac 層 <ul style="list-style-type: none"> —乾燥地域：40*～50mm —湿潤地域：50*～150mm *：瀝青安定処理の場合 	自然条件（湿潤地域）による区分をよく理解していないと「Ac 層の厚さ不足」になる可能性がある。
タンザニア 舗装基準 1999	<ul style="list-style-type: none"> Ac 層の厚さ（設計カタログより） 一般部：50mm 大型車両が特に多い場合： 50～100mm* *上層路盤を瀝青安定処理：50mm 乾燥地域、湿潤地域にわけ、路盤の厚さなどで調整。 路床強度を強くし（CBR15 以上）Ac 層を薄くする考え方をとっている。 	湿潤地域の大型車交通量が多い場合は注意深く適用する必要がある。 低速大型車などが多く Ac 層が早期損傷を受ける場合は別途検討としている。
舗装設計便覧 (日本)	<ul style="list-style-type: none"> 交通量に応じて最小厚さを規定 ：50mm～200(150*)mm *上層路盤を瀝青安定処理とした場合 	路盤の最小厚さも規定されている。

表6.17 AASHTO1993（米国）基準における厚さの最小値（inch）

交通量 ESAL	アスファルト混合物	粒状路盤
50,000 以下	1.0（または表面処理）	4
50,001 ~ 150,000	2.0	4
150,001 ~ 500,000	2.5	4
500,001 ~ 2,000,000	3.0	6
2,000,001 ~ 7,000,000	3.5	6
7,000,001 以上	4.0	6

表 6.18 舗装設計便覧（日本）における表層と基層を加えた最少厚さ

交通区分	舗装計画交通量(台/日)	表層と基層を加えた最小厚さ(cm)
N7	3,000 以上	20 (15) ^{注1}
N6	1,000 以上 3,000 未満	15 (10) ^{注1}
N5	250 以上 1,000 未満	10 (5) ^{注1}
N4	100 以上 250 未満	5
N3	40 以上 100 未満	5
N2, N1	40 未満	4 (3) ^{注2}

注1：（）内は上層路盤に瀝青安定処理工法およびセメント・瀝青安定処理工法を用いる場合の最少厚を示す
 注2：交通区分 N1, N2 にあって、大型車交通量をあまり考慮する必要が無い場合には、瀝青安定処理工法およびセメント・瀝青安定処理工法の有無によらず、最少厚さは 3cm とすることができる。

SATCC の設計上の乾燥地域/湿潤地域の定義については、6.3 水文調査の SATCC の設計上の乾燥地域/湿潤地域の定義を参照のこと

2) 構築路床

主にアフリカ地域の基準では、Overseas Road Note 31 (1993) の影響を受け、構築路床（キャッピング層）を構築するケースが多い。構築路床の目的は、舗装を支持する路床の強度を盛土や置き換えによって向上させ、その上の舗装構造を薄くすることにある。また、路床の強度を一定にし（Uniform と呼ぶ）、舗装構造も一定とできる利点もある。

タンザニア国の設計基準（設計カタログ）では、路床強度を 15%以上にすることが定められているが、この基準を満足しない（適用していない）設計事例が多いので注意すべきである。

表6.19 構築路床及び軟弱地盤対策

基準名・作成年度	構築路床	軟弱路床対策
Road Note 31 1993	使用材料や交通クラスによって CBR 15 以上の材料による上部路床（キャッピング層等）を設ける。	路床の CBR が 2 未満の軟弱な場合は安定処理するか、良質土で置き換える
SATCC 舗装設計 基準 1998	使用材料や交通クラスによって CBR 15 以上の材料による上部路床（キャッピング層等）を設ける。	路床の CBR が 2 未満の軟弱な場合は安定処理するか、良質土で置き換える
タンザニア 舗装設計基準	使用材料や交通クラスによって（設計カタログでは）路床強度を CBR 15	路床の CBR が 3 未満の軟弱な場合は安定処理するか、良質土で置き換える

	以上としている。	
ラオス 舗装設計基準	路床の修正 CBR : 5 以上	-
舗装設計便覧 (日本)	路床の CBR が 3 未満の軟弱な場合は 路床を構築する。	路床の CBR が 3 未満の軟弱な場合は 安定処理するか、良質土で置き換える

(6) 舗装構造設計の確認

Overseas Road Note 31等のようにカタログ等から舗装の各層の構成（材料、厚さ）を決定する場合、他の設計手法による確認を実施すべきである。

確認を実施する際に用いられる設計手法としては、経験的設計法であり、且つ世界的に使用される「AASHTO 1993」の設計方法、同じく経験的設計法であり日本で実績のある「TA 法」の適用が提案される。また、力学的設計法である「多層弾性理論」による照査も有効である。なお、これらの確認は舗装厚を薄くすることに用いるのではなく、設定した舗装構成の妥当性と問題点の検証に用いるものである。なお、確認を実施する際には、以下の点に注意する必要がある。

表6.20 構造設計の確認に用いる舗装設計基準

基準名	構造設計手法	利点／欠点
AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993	経験的設計法	<p>利点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・適用限界が無い。 ・世界的に知名度が高く、使用実績が多い。 ・排水条件が良い場合経済的設計になるといえる。 <p>欠点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・路床強度、交通荷重のブレには信頼性設計で対応しているが、供用性の実態把握がなされていないと、実行できない。 ・新工法や新材料に対応できない。
舗装設計便覧 (平成 18 年 2 月)	T _A 法 (経験的設計法)	<p>利点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・適用限界が無い。 ・路床強度、交通量の多少のブレに対応可能（クラス分けを行なっている）。 ・日本での使用実績が多く、知見が豊富である。 <p>欠点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・世界的な知名度が無い。 ・新工法や新材料に対応できない。 ・力学的に厚さを検討できない。
	多層弾性理論 (力学的経験的設計法)	<p>利点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・適用限界が無い。 ・近年、世界的に使用されつつあり、知名度は高い。 ・新工法や新材料への適用が可能である。 ・弱い路床の影響、表層厚さの影響などを説明できる。 ・気温（温度）を考慮した分析が可能である。 <p>欠点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・各国に適用できる破壊基準式が実証されていない ・新材料の場合、材料特性（弾性係数やポアソン比）の設定に試験が必要となる。

- AASHTO Guide 1993
 経験的設計法の代表である AASHTO Pavement Design Guide は、信頼性および供用性指数といった概念を導入した画期的な設計法である。この設計法を用いて照査を実施する場合は、当該道路の信頼度と排水条件を設定し、基本式に基づき構造指数 (SN) を決めた後、その構造指数に対応する耐荷能力を有するような設計各層の厚さを求めるが、照査方法としては、構造指数を満足するか否かを判定する。
- T_A 法 (舗装設計便覧)
 T_A 法に関しても、設定された信頼度に対して必要等値換算厚 T_A を求める必要がある。確認に際しては、当該道路の適切な信頼度を用いて照査するものとする。
- 多層弾性理論
 当該国の道路事業から、設計条件がほぼ同等で良好な実績のある舗装断面と当該設計断面の応力、ひずみ、たわみを相対比較する。

(7) 経済性評価

舗装の性能は、安全性、走行性の観点から一定レベル以上に保持する必要がある。このため、舗装の建設 (舗装の新設あるいは再建設)、供用、機能低下による補修、または補修によって必要な性能まで向上させることができない場合には再び建設 (舗装の打換え) されることになる。このような舗装の建設から次の建設までの一連の流れを舗装ライフサイクルといい、これに係わる費用をライフサイクルコストという。わが国では、舗装のライフサイクルコストの算定手法について確立されたものはないが、ライフサイクルコストの算定に用いる一般的な費用項目は、道路管理者費用、道路利用者費用ならびに沿道及び地域社会の費用の3つに大別できる。各費用項目の代表的なものを表8.12に示す。ライフサイクルコスト算定においては、必ずしもこれらすべての項目について考慮する必要はなく、その目的や要求される精度、工事条件、交通条件、沿道及び地域条件等により算定項目を適切に選択して行う。

表6.21 舗装のライフサイクルコストの費用項目例

分類	項目	詳細項目例
道路管理者費用	調査・計画費用	調査費、設計費
	建設費用	建設費、現場管理費
	維持管理費用	維持費、除雪費
	補修費用・再建設費用	補修・再建設費、廃棄処分費、現場管理費
	関連行政費用	広報費
道路利用者費用	車両走行費用	燃料費、車両損耗費の増加
	時間損失費用	工事規制や迂回による時間損失費用
	その他費用	事故費用、心理的負担 (乗り心地、渋滞) 費用
沿道および地域社会の費用	環境費用	騒音・振動等による沿道地域等への影響
	その他費用	工事による沿道住民の心理的負担 沿道事業者の経済損失

出典：設計施工指針 (H.18 日本道路協会)

6-5. 舗装設計における水（排水）の影響に関する留意点

排水施設に不備のある場合には、舗装破壊の原因となるので排水施設は舗装の設計と同時に設計することが重要である。また、舗装設計における排水・地下水・流末の留意点は以下のとおりである。

- 路面排水のみならず、路盤排水、地下排水等を十分に検討する。
- 排水施設（特に流末）の整備状態、維持管理レベルなどを検討し設計に反映する。
- 雨季の隣接地排水の流域、湧水や地下水位の変動などについて十分に検討する。
- 道路縦断のサグ部や雨季の冠水状況に配慮する。

(1) 路盤排水/地下排水

各国の舗装基準では排水不良は路盤強度の低下、全体の支持力低下をもたらすとして、排水の重要性が強調されている。特に、舗装に悪影響を与える路盤内の水処理に対して、欧米諸国では「路盤排水」という考え方が広く普及している。透水性の高い路盤材料を使用し、路盤層を排水層として道路端部へ排水する方法である。Road Note 31 では、舗装体内から水を排すための「路盤排水」という考え方が前提となっているが、この路盤排水を考慮せずに、舗装の構成のみを考慮している事例が多い。

SATCC 舗装設計基準(1998)では不十分な排水施設やその維持管理レベルが低い場合は、舗装構造の各層の厚さや強度を増す等設計に考慮している。また、AASHTO Guide(1993)では、排水係数を考慮している。

表6.22 排水に関する留意事項

基準名・作成年度	特徴	留意点
Road Note 31 1993	<ul style="list-style-type: none"> ・路床を地下水位より上に持ってくることでしている。 ・道路表面からの浸水を設計期間に渡って防止できるわけではないので、透水層を設置する場合はすみやかに路盤内排水を行う道路横断面構造とする。 (参考1参照) 	路盤の排水が前提となっている。
AASHTO Guide 1993	<ul style="list-style-type: none"> ・路盤の強度算定に使用する層係数の修正に排水係数を考慮する。 	AASHTO の排水係数については、アメリカの自然条件によるもの
SATCC 舗装設計 基準 1998	<ul style="list-style-type: none"> ・排水不良の場合は、<u>湿潤地域に分類し設計に考慮している。</u>(参考2参照) ・地下排水は、南アフリカ地下排水基準、TRH15を参照することとしている。 	降雨量が比較的少なくとも排水不良の場合は湿潤に分類
舗装設計便覧 (日本)	<ul style="list-style-type: none"> ・路面排水、地下排水の重要性を説明し排水工の設計の詳細は、道路土工—道路排水工指針、及び道路土工—盛土工指針によっている。 	道路土工—盛土工指針では、路床および路盤に対する地下排水溝の設置例が示される。(参考3参照)

参考1 : Overseas Road Note 31 に記載される路盤排水

Overseas Road Note 31 には、「Under no circumstances should the ‘trench’ type of cross-section be used in which the pavement layers are confined between continuous impervious shoulders.」（どのような場合でも、不透水性の連続的な路肩で舗装路盤が拘束された「溝型」の横断面を使うべきではない。）と記載されている。



図6.6 不透水性の連続的な路肩で路盤が拘束された「溝形」の横断面例

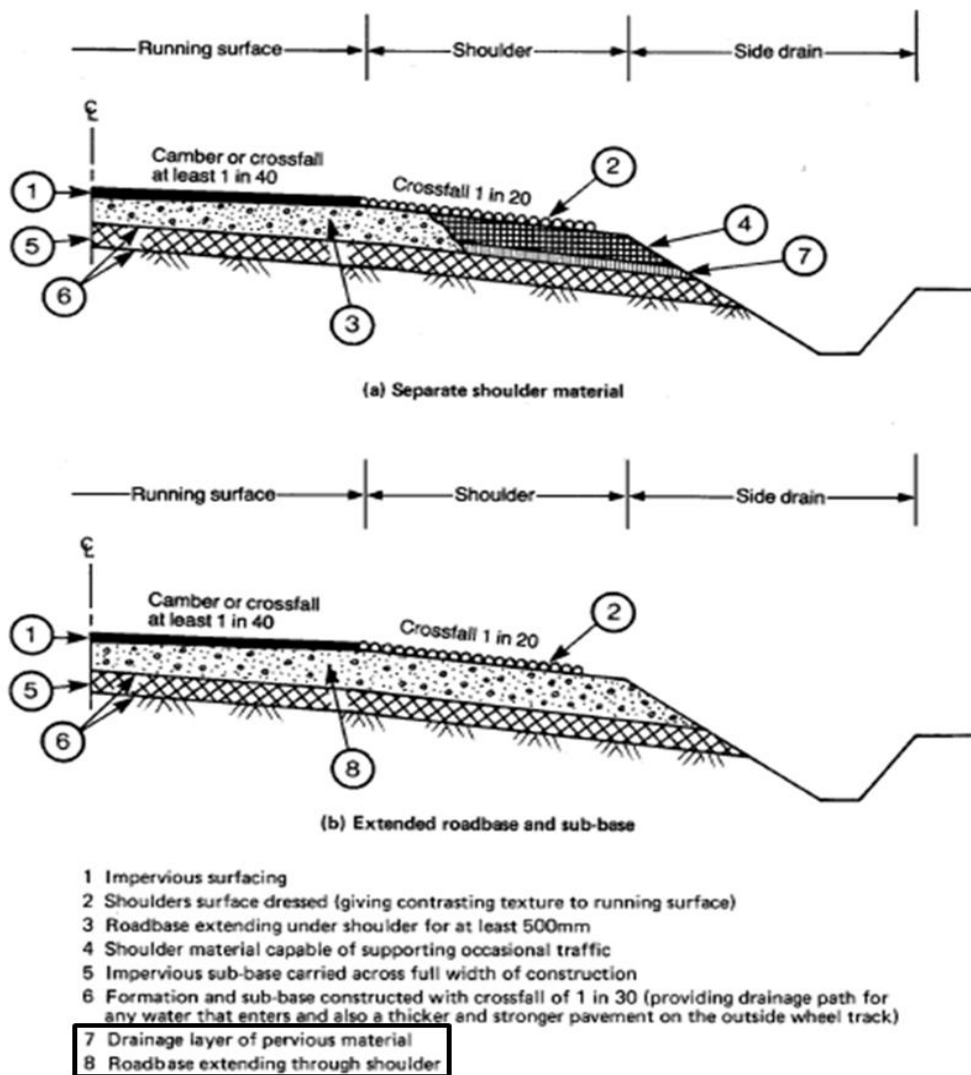


図6.7 Road Note 31に示される路肩排水方法（路盤排水）の例

参考2 : SATCC の設計上の乾燥地域/湿潤地域の定義

○排水施設不良とその維持管理レベルによる分類

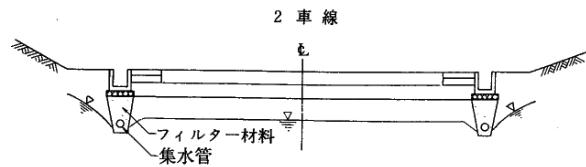
設計上の乾燥地域/湿潤地域の分類は、自然条件だけでなく、排水施設不良とその維持管理レベルを考慮して定義されている。降雨量が年間を通して比較的少ない場合でも、排水不良、維持管理レベルを考慮して分類する必要がある。

表6.23 排水不良による設計条件選択のガイドライン

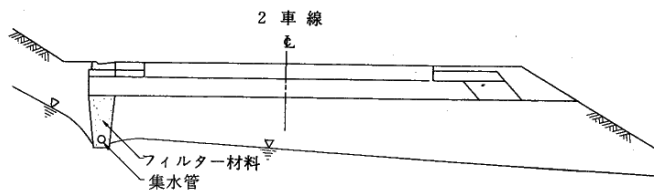
排水施設の状況	維持管理レベル		
	良好、計画的、欠陥補修は適時に実施	欠陥が補修されていない	
良好、良く計画されている、適切に建設されている	乾燥地域	交通量レベル	
		0.7x10 ⁶ 未満	0.7x10 ⁶ 以上
適切に整備されていない	交通量レベル		湿潤地域
	0.7x10 ⁶ 未満	0.7x10 ⁶ 以上	
	乾燥地域	湿潤地域	

参考3：道路土工-盛土工指針に記載される路床・路盤排水

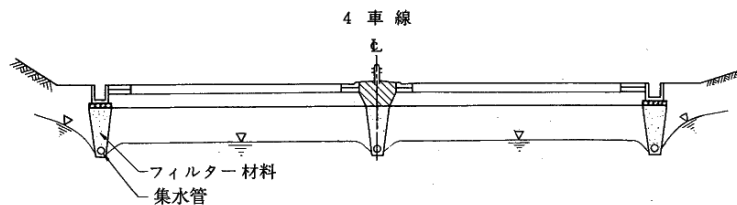
「道路土工-盛土工指針 4-9-9 路床・路盤の排水」では、「路床・路盤の排水施設は、路体あるいは地盤内の地下水位を低下させ、あるいは道路隣接地から路床等に浸透する水をしゃ断し、路床、路盤を良好に維持するような構造でなければならない」と記述され、その例として以下の様な構造を示している。



解図 4-9-20 両側の路側に設けられた地下排水溝



解図 4-9-21 片側に設けられた地下排水溝



解図 4-9-22 中央分離帯のある場合の地下排水溝

図6.8 道路土工-盛土工指針に示される地下排水工の例

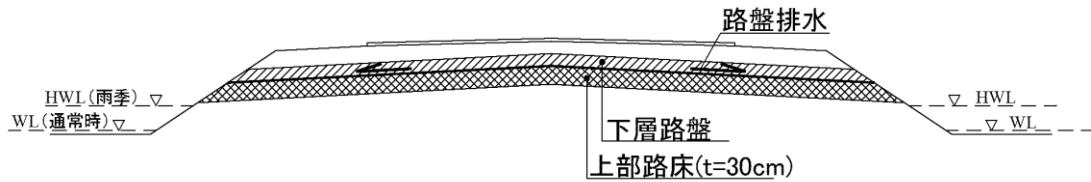
(2) 道路計画高

道路の計画高を設定する場合には、現地における冠水時の水位高さのヒアリング結果や降雨時における水位マップの作成等を行い、道路縦断計画高をその水位高以上に計画を行う、または道路構造自体を保護するなどの対策を講じることが必要である。

基本：原則として、少なくとも上部路床下面が HWL より高くなるように道路の計画高を設定する。併せて、路盤排水の採用について考慮する。

盛土区間

(HWL < 上部路床)



嵩上げが困難な場合：沿道状況等により道路の嵩上げが困難な場合は、道路構造を保護する対策を実施する。併せて、路盤排水の採用について考慮する。

盛土区間

(HWL > 上部路床)

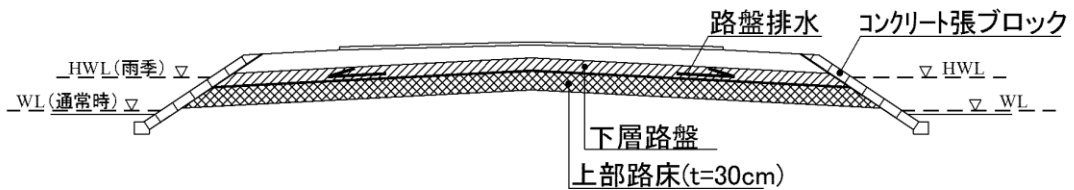


図 6.9 道路計画における道路計画高設定の例

6-6. 日本の設計基準適用の可能性

(1) 設計の流れの比較

下図に舗装の設計から施工までの日本と他国の主な流れを示す。日本の舗装設計の特徴的な点は、設計の初期段階（設計条件の設定後）に路面設計を行う点にある。他国の主な流れの中では、表層用混合物の種類選定において路面の性能を考慮することが一般的である。

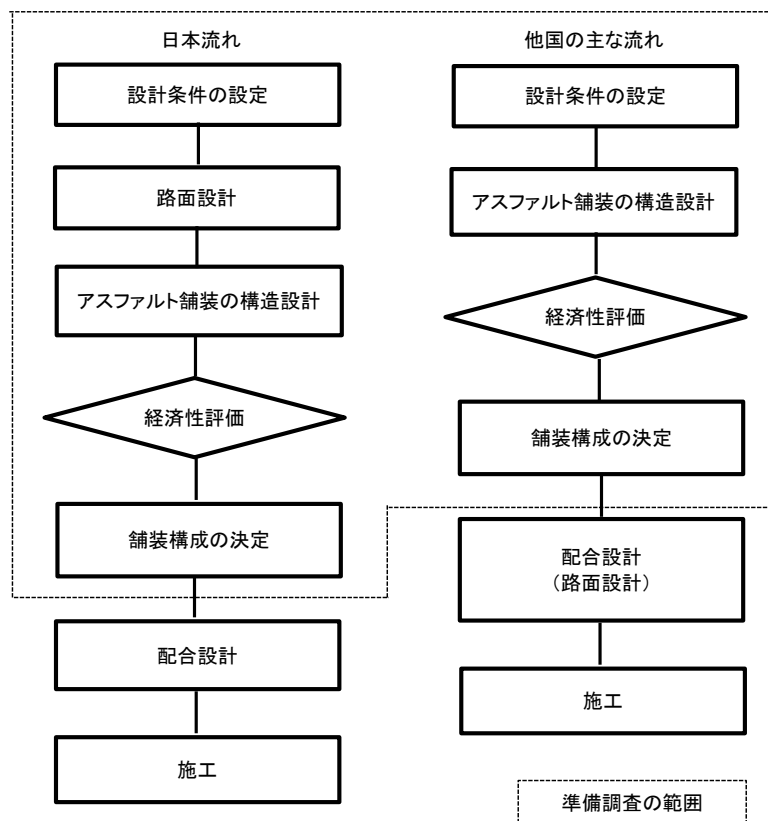


図 6.10 舗装の設計から施工までの流れ

日本の舗装設計に示される路面設計、及び構造設計については、それぞれ舗装の性能と設計のアウトプットが下表のように定められている。

表6.24 舗装の性能と設計のアウトプット

設計の区分	舗装の性能の例		設計のアウトプット
路面設計	路面（表層）の性能	塑性変形抵抗性 平たん性 透水性、排水性、騒音低減 すべり抵抗性など	①表層の仕様材料 ②表層の厚さ
構造設計	舗装構造の性能	疲労破壊抵抗性 透水性 その他	舗装構成 ①舗装を構成する層の数 ②各層の材料 ③各層の厚さ

出典：舗装設計施工指針（H.18（社）日本道路協会）

(2) 日本の基準適用の可能性

日本の舗装設計（配合設計を含む）の基準の内、途上国における準備調査に適用可能な基準、手法等を示す。

表6.25 準備調査に適用可能な日本の基準等（案）

区分	項目	適用の可能性のある項目
設計条件の設定	交通条件	交通条件については、各国独自の交通区分や軸重区分が設定されており、 <u>日本の基準を適用するには、各国の標準荷重（一般に、軸荷重 80kN）を日本の標準荷重（輪荷重 49kN、軸荷重 98kN）に換算する必要がある。</u> 【軸荷重 98kN への換算方法】 $(80\text{kN}/98\text{kN})^4 \times (80\text{kN})$ の等価単軸荷重 舗装設計便覧 P64 式 5.2.2 参照
	地盤条件（路床）	設計 CBR（深さ方向） 路床土を 1 m として、その中が異なる層をなしている場合に、深さ方向を考慮した CBR 値の設定については、日本の基準である。 <u>土質調査（テストピット）の結果を受け、深さ方向の土質変化を考慮した CBR の設定は対象国にも安全側の設計として受け入れやすい。</u>
路面設計	塑性変形抵抗性	アフリカ諸国等、年間を通じて高い路面温度が想定される地域では、表層の流動わだち掘れが大きな課題である。そこで、「塑性変形抵抗性」の要求性能を満足する路面設計をまず行い舗装各層の厚さを決める構造設計を行う考え方を準備調査段階から積極的に適用すべきである。
構造設計	T _A 法 経験的設計法	AASHTO を基本としているが、日本の自然条件、材料条件、及び経験を踏まえた独自の設計法であり、他国への展開は 5t 輪荷重と軸重の換算を行うことにより、舗装構造の検証を実施することができる。
	多層弾性理論による設計法	世界的に認識された方法であるが、各国の材料条件を反映した材料の特性値（弾性係数やポアソン比）を詳細に設定することが困難である。ただし、理論的には説明しやすい設計法であることから、設計条件が適切に設定され、供用性との関係が確立されている場合のみ、 <u>設計照査の方法として適用できる。</u>
配合設計	マーシャル安定度試験	マーシャル法は、各国で適用している設計基準に応じて打撃回数等の試験基準値が異なるが、現地の交通条件に応じた日本の基準値を適用する。わだち掘れ問題はマーシャル法による耐流動対策、動的安定度による検証試験をホイールトラッキング試験で評価し、対応する。
	その他試験	前述の塑性変形抵抗性を確認するための試験として、日本で実績のあるホイールトラッキング試験を活用する。本試験方法は舗装表面での高温条件における繰返し輪荷重によって流動が生じる現象を再現するものである。

第7章 協力準備調査報告書の記載事項

舗装及び排水の設計条件の設定根拠（再委託調査結果を含む）及び詳細設計段階、施工監理段階への申し送りが必要な課題等について、準備調査報告書に記載、または、添付することを基本とする。

(1) 設計条件の記載

報告書では施工時に不具合があった場合、その原因を検証するための情報が不十分な場合が多い。特に問題の発生頻度の高い「舗装」（設計基準、交通条件、地盤条件、気象条件、材料条件等）、及び「排水」（設計基準、気象条件、計画図）の設計条件については、再委託調査結果を含めて準備調査報告書に記載、又は添付するものとする。

表7.1 記載すべき設計条件（案）

項目	条件	記載及び添付内容
舗装設計	設計基準	設計基準名
	交通条件	交通量調査結果、(軸重調査結果)、設計大型車交通量、交通量の伸び率(設定根拠も含め)、設計期間、舗装設計対象車両の軸重係数(設定根拠も含め)
	地盤条件	調査時期(雨季/乾季)、CBR調査結果(試料採取位置/深さ、室内試験結果)、設計CBR設定法(区間毎)、影響のある地下水の有無
	気象条件	路面温度計測結果、AASHTO設計法の場合は排水係数
	材料条件	材料調査結果(構築路床材、路盤材、アスファルト骨材等)、各層の使用材料、層(材料)係数や等値換算係数、安定処理を行う場合は室内試験結果
	その他	その他、設計の検証に必要な採用した係数(例:AASHTOの信頼性確率)等
排水設計	設計基準	設計基準名
	気象条件	設計に用いた降雨量データ
	設計条件	構造物別確率年、採用流達時間、降雨強度(算定方法を含め)、流出係数、対象排水施設の流域図と流域面積、対象施設の粗度係数
	計画図	排水施設一般図、排水系統図(接続部の高さ情報を含む)

(2) 申し送り事項の記載

準備調査の設計段階で想定されるリスク、課題を詳細設計、あるいは施工監理へ申し送りすることが必要な場合、想定されるリスクを準備調査報告に記載するものとする。想定されるリスクの例として、以下のような項目があげられる。

表7.2 準備調査段階で想定される申し送り事項（例）

大項目	中項目	設計内容
舗装設計	交通	可能な範囲で大型車交通量の新たな流入や伸び率を設定した。道路ができたことによる新規開発行為が想定を超えた場合、舗装が早期に破損する可能性がある。 軸重調査を実施せず、近傍プロジェクトのデータを採用。想定軸重が実態を反映していないため、舗装が早期に破損する可能性がある。
	材料	材料調査結果に基づき、最も運搬距離が短い採石場や土取場候補地を採用。採取材料は仕様を満たすが、プロジェクトに必要な量が確保できない可能性がある。
排水設計 (橋梁含む)	洪水位	データが不足しているため、水文解析によらず、聞き取り調査の結果を採用。過去の洪水位を反映していない可能性があり、橋梁が想定以上に冠水する可能性がある。
	浸水 (水害)	道路敷地内のみを対象に護岸工を計画。断面積増による流出量の増加、改修に伴う流速の上昇が、下流居住地へ影響を与える可能性がある。
	地下水位	地下水位の上昇や路盤内流水が想定される区間には、地下水対策工を実施。想定区間以外にも、地下水位の上昇や路盤流水が発生し、舗装を早期に劣化させる可能性がある。
斜面防護	落石や土石流	既存斜面に手をつけないことから、落石などの危険性について相手国政府への提言とし、対策工を計画に含めない。落石による通行止めや道路の損傷、横断構造物の断面阻害による冠水の危険性がある。
公共施設	埋設管	進行中の光ファイバーケーブルの敷設について、敷設位置が確定していないため、想定で設計を実施。光ファイバーの埋設位置によっては、道路中心線の変更、用地範囲の変更が必要。

第8章 施工計画の留意点

施工の段階の問題点は、施工時の現場の立会いや施工記録の検証による確認が困難であった。このため本調査では、現地調査やヒアリングを基に、設計が要求する舗装性能を満足するための施工計画の留意点について取りまとめた。

8-1. 施工の前提条件

施工の前提条件が適切に施工計画に組み入れられ、材料の品質、施工の品質が適用する設計基準を満たすものか否かを施工事前会議等において発注者と受注者の両者で検討し、記録文書により相互に確認する。

これら確認を要する事項を以下に示す。

- ① 適用する設計基準、品質基準、合格判定基準、検測方法と支払い条件は明記されているか
- ② 現地踏査、既存情報等による設計図書をチェックし、設計が適切か
- ③ 材料計画は当該プロジェクトに対して品質の変動が少なく、十分な数量が確保されているか
- ④ 資機材計画は材料の特性に応じて適切な資機材を用意し、工事を円滑に実行できるか
- ⑤ 労務計画と安全計画は万全か
- ⑥ 品質管理計画と品質保証計画が作成され、両者は整合性がとれているか。品質のコントロールは請負者の責任であり、品質の保証は発注者の責任である。
- ⑦ 試験室は人、装置に関して承認できるか
- ⑧ 各工種の想定される作業標準とその適用区間が明記され、不具合発生時の是正方法が設定されているか
- ⑨ 標準的な工法では対処できない、または対処することが困難な区間に対する特別な措置が示されているか
- ⑩ たとえば、盛土区間の圧密沈下、切土区間等で湧水のある区間、岩盤等で舗装厚が確保できない区間、路盤等の締固め度が得られない可能性がある場合などである。すなわち、舗装の長期的なパフォーマンス確保が困難と考えられる場合である。これらケースへの対応が適用する設計基準に明記されていない場合、プロポーズされた施工法に関する経験(他の設計基準も含む)を書面で提出、または要求する。
- ⑪ 提出書類、契約図書との適合性、契約図書から逸脱した提案の合理性を実証する書類などの扱いがスケジュールも含めて明記されているか

8-2. 舗装材料について

工事の請負者は使用する材料について材料試験と配合試験を行い、それが仕様書を満足することを確かめる。また、工事の開始に先立っては室内配合試験で得た目標の混合物などが実機プラントで製造され、かつ十分な施工管理を行なえるのかを確認するための試験施工を行うことがある。

材料の選定に際し、計画路線上で入手可能な材料の品質と供給量を加味し、それが使用でき

る工法を念頭において材料試験、配合試験を行うことが望ましい。

舗装材料に共通する留意事項は以下に示す。

- ① 適用する設計基準における材料および混合物の品質規定と施工の合格判定基準が明記されているか
- ② 室内試験において品質の確認がなされているか。
- ③ 品質の最終確認は試験施工または施工一日目の施工で確認されるか。
- ④ プロジェクトの途中で材料の変更をやむを得ず余儀なくされる場合は、上記②、③を繰り返すことが、費用負担を含めて明記されているか。

8-3. 路床・路盤材料について

自動車荷重により繰り返し載荷作用や自然環境のもとにさらされていることから、物理的試験に重点を置く。

路床の強さは舗装構造設計を行う場合、交通荷重とともに重要な意味を持つので、路床に使用される土の性質を適切に評価する。また、路盤に使用する材料は、輪荷重などの外的作用に耐えなければならず物理的性質を十分に把握しておく。

これら材料の品質は適用する設計基準に明示された品質項目とし、その品質基準を満たすものとする。

施工の仕上がり面は仕上がり高さ(elevation)、縦横断形状(いわゆる grade)、と締め固め度を満たすものとする。

路床・路盤材料の留意事項は施工も含めて以下のとおりである。

- ① 適用する設計基準の当該する品質基準を満たしているか。
- ② 路床の評価は含水条件と締固め条件が設計基準に適合しているか、現地条件に適切であるか。
 - ・ 降雨量、地下水位との関係から含水条件は適切か
 - ・ 現場で通常の施工機械で達成できる密度で規定されているか、
 - ・ 室内供試体の作製条件が細部まで規定されているか
- ③ 品質基準を満たし、品質変動の少ないものを選択しているか。
- ④ 締固め度は現場で確実に達成できるレベルで設定し、試験施工で確認するよう計画されているか。
- ⑤ 施工のポイントは含水量管理と締固め度管理であり、これらが計画に組み込まれているか。
- ⑥ 施工後の合否判定は仕上がり高さ(elevation)、縦横断形状(いわゆる grade)、と締め固め度である。これらの合格判定基準と許容値が明確に定義されているか。
- ⑦ 適用する設計基準の品質基準の一部を満たさない場合、セメントまたは石灰による安定処理が良好な品質の材料を搬入するよりも経済的となる場合がある。このような場合には、両者のコスト比較検討結果の提出を要求する筋道が明記されているか。

8-4. アスファルト表・基層材料について

(1) 骨材

アスファルト混合物の主たる材料は骨材であり、砂、碎石、フィラーその他材料を指す。また、粒子の大きさによって細骨材と粗骨材に分けられる。

一般に日本ではアスファルト混合物の骨材を 2.5mm で区分し、2.5mm以上を粗骨材、それ以下を細骨材としている。ただし、世界各国とも 2.5mm で粗骨材と細骨材の区別をしているわけではない。フィラーとは 0.075mm ふるい通過量が 70%以上の鉱物質粉末である。

舗装骨材として要求される性質を以下に示す。

- A) 所定の粒度や粒形を有している
- B) 泥・有機物・ゴミを含まない
- C) 耐久性、耐摩耗性に優れている
- D) アスファルトとの付着性に優れている

骨材の性質がアスファルト混合物に与える影響は大きい。走行車両に対する耐摩耗や耐久性に優れ、しかもアスファルトの付着性の良好であるものが骨材選定条件といえる。

(2) 瀝青材（アスファルト）

アスファルトは温度の影響を受けやすい材料であり、舗装の耐久性に大きく影響を及ぼす。このため使用目的や気象・交通条件に適した性質の瀝青材（アスファルト）を選定することが大切である。改質アスファルトはストレートアスファルトに比べ高価なため、現場条件を勘案し選定する。

- A) 一般的なストレートアスファルト種類別の使い方を以下に示す。

ストレートアスファルト 40/60	一般地域, 気温が比較的高く交通量の多い場合
ストレートアスファルト 60/80	一般地域, 交通量の多い場合
ストレートアスファルト 80/100	積雪寒冷地域

※40/60、60/80、80/100 はグレイド（針入度）を表す。

- B) 一般的な改質アスファルトを使用する主たる使用目的を以下に示す。

ポリマー改質アスファルト I 型	耐摩耗
ポリマー改質アスファルト II 型	耐流動性・耐摩耗
セミブローンアスファルト (AC-100)	耐流動

※セミブローンアスファルト (AC-100) はストレートアスファルトに軽度のブローイング操作を加え感温性を改善し粘度を高めたもの。



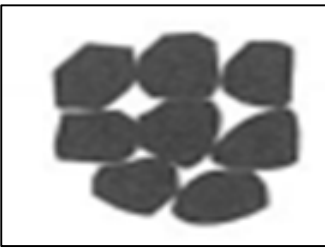
出典：舗装施工便覧 (H. 18 日本道路協会)

(3) アスファルト混合物

アスファルト混合物の選定にあたっては、気象条件、地域条件、交通条件、材料条件、一層の仕上がり厚、施工法などを考慮する。

- A) アスファルト混合物の種類は骨材粒度によって連続粒度(密粒)、ギャップ粒度、オーブ

ン粒度に大別される。これら粒度の概念図を示す。

		
連続粒度	ギャップ粒度	オープン粒度
骨材サイズが広く分布し、大きな骨材の間隙を小さな骨材が埋め、骨材粒子間の間隙が小さく密な状態となり、インターロックが高い。適用基準の混合物はこのタイプのもものがほとんどである。	ある範囲の骨材サイズを使用せず、粗骨材で骨格を形成してインターロックを与え、粗骨材の隙間に細骨材とフィラーを充てんする。	骨材粒子間の接点数が少なく、インターロックが低い

- B) 骨材の最大粒径が 20mm のものと 13mm のものとを比較すると一般的に、前者は耐流動、耐摩耗、すべり抵抗性に優れ、後者は耐水性やひび割れに対する抵抗性に優れている。
- C) 一般的に重交通条件下では表層に耐流動性に優れた混合物を、それ以外はたわみ性・耐水性に富み、ひび割れが起こりにくい混合物を選定する。

表層・基層に用いるアスファルト混合物の施工計画における留意事項を以下に示す。

① 全般的事項

- a. 適用する設計基準は何か
- b. 混合物に使用する各材料は所要数量を安定して確保できるものか
- c. 各材料は設計基準の品質規定を満たすか
- d. 適用した混合物の配合設計方法は何か、混合物は品質基準を満たすか
- e. 施工方法は施工機械とその編成を含めて適正化か
- f. 品質管理計画は適正に設定されているか
- g. 上記事項が施工計画に組み入れられているか

② 室内配合設計；骨材およびその配合割合

- a. 骨材の品質はすべての規定を満たしているか
- b. 粗骨材は所要の破砕面を有するか
- c. 天然砂の使用量が多すぎないか
- d. 0.075mm ふるい通過量は高すぎないか
- e. 有機物、粘土分を含んでいないか

③ 室内配合設計；瀝青材（アスファルト）

- a. 入手可能なアスファルトの中で気温条件、交通条件から適切なグレイド(針入度)のアスファルトが選定されてか

④ 室内配合設計；アスファルト混合物

- a. 混合物の種類は適用する設計基準に指定されている混合物の種類から適正に選択さ

れているか

- b. 混合物の粒度は、規定された粒度範囲を見たとし、各骨材の生産比率や混合物製造上の変動を考慮して設定されているか
 - c. 配合設計法が明記されているか、
 - d. 配合設計に用いる供試体作製条件は、交通条件に応じて適切に設定されているか
 - e. 混合物の設計基準は、適用する層や交通条件に応じて適切に設定され、設計基準の項目と基準値が明記されているか
 - f. 配合試験の方法、データの整理方法、最適アスファルト量の設定方法が明記されているか
 - g. 耐水性など現場条件に応じて要求される水侵マーシャル安定度試験等適用される試験が明記されているか
- ⑤ 実際に使用するアスファルトプラントにおける試験練り、試験施工
- a. 室内配合設計により決定した混合物の品質が要求される基準を満足することを確認できる計画が設定されているか。
 - b. 試験施工の規模が明記され、実際に使用する施工機械による作業標準設定ができる計画となっているか
- ⑥ アスファルト混合物の粒度管理
- a. 粒度管理に適用するふるいサイズとその通過量の許容範囲が設定されているか。混合物の品質に与える影響の大きな 2.36mm 通過量と 0.075mm 通過量が必ず取り上げられているか。
 - b. 工事初期や工事が定常的に安定した段階での粒度試験の頻度、コントロールチャートの利用と是正措置など粒度管理の手法を含めた事項が品質管理計画に設定されているか。

8-5. 大型車交通量が多いなど耐流動性が懸念される場合の留意事項

近年、急激な交通量の増大・車両の大型化に伴って、マーシャル安定度試験で設計された舗装が予想よりも早期に、わだち掘れの生じる現象が多くなっている傾向にある。この現象に対する重要な手段は耐流動性が高い混合物を舗装することである。

上述の要求に対しマーシャル安定度試験による配合設計する際の留意事項を以下に示す。

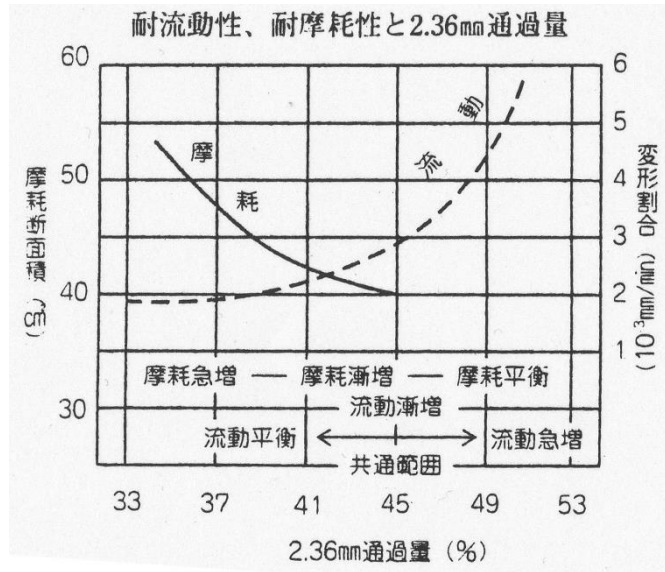
① 目標粒度の設定に関する一般的な考え方

目標粒度を設定する場合の留意事項としては、次の項目が挙げられる。

- A) 仕様書粒度範囲
- B) 施工現場の状況（交通量、気象条件）
- C) 経済性（使用材料の供給状況も含む）
- D) 施工性

まず、A)を満足することは当然であるが、他の項目は工事規模、過去の実績を基に総合的に検討し目標粒度を選定することが望ましい。

アスファルト混合物は目標粒度（合成粒度）の設定によって、その混合物がもつ耐流動性・耐摩耗性の耐久性が大きく異なる。下図は「2.36mmふるい通過量」の大小と混合物の耐久性の関係を示したものである。



出典:技術手帳 1998 日本道路公団試験研究

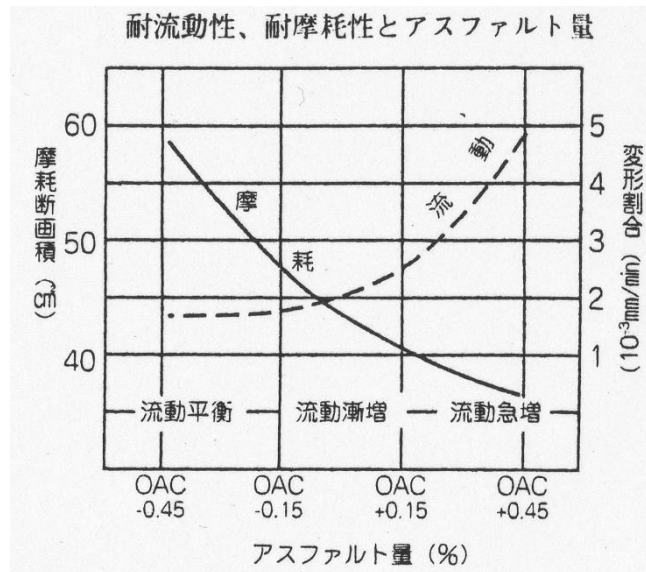
図 8.1 耐流動性、耐摩耗性と 2.36mm ふるい通過量の関係

2.36mm ふるい通過量が 少ないほど(粒度:粗い) ⇒耐流動性◎、耐摩耗性×
 大きいほど(粒度:細い) ⇒耐流動性×、耐摩耗性◎

また、目標粒度(合成粒度)は粒度範囲の中央値が理想粒度であるといった考え方もあるが、図からも粒度範囲の中央値が必ずしも理想でない場合が多い。

② 目標粒度に対する設計アスファルト量の設定

アスファルト量の大小は「2.36mm ふるい通過量」と同様に、混合物の耐久性に大きな影響を与える。図 3.3.2 はアスファルト量の大小と混合物の耐久性の関係を示したものである。



出典:技術手帳 1998 日本道路公団試験研究

図 8.2 耐流動性、耐摩耗性とアスファルト量の関係

アスファルト量が	少ないほど ⇒耐流動性◎、耐摩耗性×
	大きいほど ⇒耐流動性×、耐摩耗性◎

共通範囲（すべての基準値を満足するアスファルト量の範囲）の中央値を一般的には、設計アスファルト量としている。特にB)施工現場の状況（交通量、気象条件）として交通量が多い道路では中央値から下限値の範囲内で減らすこともできる。

以上のとおり、耐流動性と耐摩耗性は配合設計を行うにあたって相反する傾向にある。配合設計を行う際は適用する地域の気象条件や交通量を考慮し、バランスのとれた配合とする必要がある。

表8.1 耐流動性、耐摩耗性に寄与する要因

耐流動性	要因	耐摩耗性
少ないほど 良い	2.36mm ふるい 通過量（細骨材量）	多いほど 良い
硬いほど 良い (40-60>80-100)	アスファルトの針入度	軟らかいほど 良い (40-60<80-100)
少ないほど 良い	アスファルト量	多いほど 良い
-	粗骨材の石質	硬質なほど 良い
稜角なほど 良い	細骨材の形状	-

以上はアスファルトコンクリートの耐流動性に関する原理的な考え方、手法である。

大型車交通量が多いなど耐流動性が懸念される場合の配合設計の配慮、留意事項はつぎのとおりである。

- ① 適用する設計基準の枠組みは遵守されているか
- ② マーシャル法で配合設計を行う場合、重交通、極重交通に対する設計基準が明記されている方法の使用が指示されているか、明記されているか。粒度範囲の中央粒度と下限側粒度の検討（2.36mm 通過量を変化）が組み込まれ、交通レベルに応じた突き固め回数と容積特性（空隙率、VMA、飽和度）が設定されているか。
- ③ 使用アスファルトのグレード(種類)は上記②に基づいたものが入手可能なものの中で針入度グレードが最も低いもの、粘度グレードの最も高いものが選択されているか
- ④ マーシャル法で得られた最適アスファルト量 OAC の検証、修正として refusal density 法が適用される場合、実績が示されているか
- ⑤ ホイールトラッキング試験を用いた動的安定度（DS）の検証が計画に組み入れられているか

参考文献

➤ 舗装設計基準、ガイドライン

- 1) ORN31 : A guide to the structural design of bitumen-surfaced roads in tropical and sub-tropical Countries, 1993
- 2) AASHTO Guide : AASHTO Guide for Design of Pavement Structure, 1993
- 3) SATCC 舗装設計基準 : Code of Practice for the Design of Road Pavement, 1998
- 4) 南アフリカ舗装設計基準 : TRH4, Structural design of flexible pavement for interurban and rural roads, 1996
- 5) タンザニア舗装基準 : Pavement and Materials Design, MOW, 1999
- 6) ラオス舗装設計基準 : Road design manual (Rrovisional Use) , Part III Materials and Pavement Design, 1996
- 7) カンボジア舗装設計基準 : Road Design Standard Part 2. Pavement, 2003
- 8) ORN19 HMA ガイドライン : A guide to the design of hot mix asphalt in tropical and sub-tropical countries, 2001
- 9) 南アフリカ HMA 暫定ガイドライン : Interim guidelines for the design of hot-mix asphalt in South Africa, 2001
- 10) 米国の力学的経験的設計法 : Mechanistic empirical pavement design guide, 2008
- 11) 南アフリカの力学的経験的設計法 : South African pavement design method
- 12) 南アフリカ舗装ガイドライン : Pavement engineering manual, 2013
- 13) 舗装設計便覧, 2006
- 14) 舗装設計施工指針, 2006
- 15) 舗装の構造に関する技術基準・同解説, 2006
- 16) SATCC 改修基準 : Code of Practice for the Rehabilitation of Road Pavements, 1998

➤ 交通荷重にかかる基準

- 17) 英国交通荷重調査(ORN40) : A guide to axle load surveys and traffic counts for determining loading on pavements, 2004
- 18) 南アフリカ舗装交通荷重基準 : TRH16 Traffic loading for pavement and rehabilitation design, 1991
- 19) タンザニア現場試験マニュアル (交通量/軸重調査含む) : Field Testing Manual, 第4章 Axle load surveys, 2003

➤ 舗装施工基準

- 20) SATCC 舗装施工基準 : Standard Specifications for Road and Bridge Works, 1998
- 21) タンザニア舗装施工基準 : Standard Specification for Road Works, 2000
- 22) カンボジア施工基準 : Construction Specifications, 2003
- 23) 舗装施工便覧, 2006

➤ その他

- 24) タンザニア材料試験基準 : Laboratory test manual, Central materials laboratory, 2001
- 25) 南アフリカ道路地下排水基準 : Subsurface drainage for roads (TRH15), 1996
- 26) AASHTO ブラックコットンソイルの試験方法 : T258 (Standard Method for Test for Determining Expansive Soils)
- 27) AASHTO CBR 試験 : ASTM T274
- 28) AASHTO セメント安定処理の乾湿試験 : ASTM D559 (Standard Test Methods for Wetting and Drying Compacted Soil-Cement Mixtures)
- 29) セメント安定処理の引張試験 : ASTM D6931-07 (Standard Test Method for Indirect Tensile Strength (ITS) Test of Bituminous Mixtures)
- 30) パフォーマンスグレード(PG) アスファルト : AASHTO M320 (Standard specification for Performance-Graded Asphalt Binder)
- 31) スーパーペイブ 配合設計法 : AASHTO M323 (Standard specification for Superpave Volumetric Mix Design)
- 32) スーパーペイブ 配合設計法 : AASHTO M35(Standard Practice for Superpave Volumetric Design for Hot-Mix Asphalt(HMA))
- 33) ジャイロトリー コンパクション(Gyratory Compaction) : ASTM D6925-09 (Standard Test Method for Preparation and Determination of the Relative Density of Asphalt Mix Specimens by means of Superpave Gyratory Compactor)