

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（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）

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

【適用範囲】

本ハンドブックは、「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調査（プロジェクト研究）」における、舗装設計基準調査、準備調査報告書事例調査、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計画のあり方（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 職員及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留意事項をとりまとめたものである。

本ハンドブックは、無償資金協力事業の協力準備調査を念頭において、道路舗装設計における、設計基準、設計条件（自然条件・交通条件）、路面設計、構造設計及びこれらに関連する調査を対象に、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・懸念事項などを踏まえて調査・概略設計段階における望ましい運用、注意事項等にかかる知見を整理したものである。なお、本ハンドブックは凍上等の影響を受ける寒冷地域を除く地域のアスファルトコンクリート舗装を対象としたものであり、また事業実施段階の詳細設計、配合設計、施工における内容は含んでいないことに注意が必要である。

今後、運用過程で発生する課題や新たな知見を反映しながら、より有効な手引書として補完していく必要がある。

【本ハンドブックの見方】

○. 章タイトル（大項目）

○. ○ 中項目

本枠線内には、中項目に示される事項に関し、本ハンドブックで提案する調査の内容、及び留意事項が説明されている。
--

解 説

本解説部分には、本ハンドブックで提案する調査の内容、及び留意事項に関する背景、事例、技術基準等の詳細が説明されている。

協力準備調査における道路舗装設計
ハンドブック（案）

目 次

1.	アスファルト舗装の破損事例	1
1.1	アスファルト舗装の破損の分類とその原因	1
1.2	アスファルト舗装の破損タイプ	3
(1)	わだち掘れ	3
(2)	ひび割れ	5
(3)	平坦性の低下（コルゲーション）	7
(4)	その他	8
2.	協力準備調査における舗装設計	11
2.1.	協力準備調査における道路設計の一般事項	11
2.2.	協力準備調査における舗装設計の進め方	12
3.	自然条件調査	13
3.1.	地質調査（路床土）	13
(1)	路床支持力の調査基準	13
(2)	路床支持力調査の乖離例	14
3.2.	地質調査（軟弱地盤及び問題土）	17
(1)	軟弱地盤	17
(2)	問題土	17
3.3.	水文調査（地下水調査）	19
4.	材料調査	21
5.	交通条件調査	22
5.1.	交通量／軸重調査	22
(1)	交通量／軸重調査の基準	22
(2)	軸重調査結果	24
5.2.	舗装計画交通量/累積軸重推計	25
(1)	交通量の予測に関する基準	25
(2)	予測交通量と実績値の比較	26
6.	設計基準の選定	28
7.	路面設計	29
(1)	塑性変形（わだち掘れ）の原因	29
(2)	路面設計の具体的方法（案）	30
8.	舗装の構造設計	33
(1)	過積載車両	34

(2)	信頼性	35
(3)	路床支持力の評価.....	35
(4)	セメント安定処理.....	36
(5)	舗装構成.....	36
(6)	舗装構造設計の確認.....	38
(7)	経済性評価	40
9.	舗装設計における水（排水）の影響に関する留意点.....	41
(1)	路盤排水／地下水.....	41
(2)	道路計画高	44
10.	準備調査報告書の取りまとめ.....	45
(1)	設計条件の記載	45
(2)	申し送り事項の記載.....	45

付属資料

- 付属資料 1. アスファルト舗装の設計基準
- 付属資料 2. 舗装設計の方法
- 付属資料 3. 配合設計の方法
- 付属資料 4. 施工計画の留意点
- 付属資料 5. 問題土の判定と対策の例
- 付属資料 6. 適用材料の基準例
- 付属資料 7. 塑性変形（わだち掘れ）
- 付属資料 8. セメント安定処理適用の留意点
- 付属資料 9. 業務指示書記載（案）

1. アスファルト舗装の破損事例

1.1 アスファルト舗装の破損の分類とその原因

舗装の破損は、「路面破損」と「構造破損」に大別され、無償資金協力事業における舗装の主な破損形態として、流動わだち掘れ、ひび割れ、ポットホール、ずれ、コルゲーション等がある。主な発生原因に対して、協力準備調査において、路床強度、軟弱地盤/問題土、地下水、使用材料の確認、交通量/軸重の推計、路面設計、構造設計を適切に行う必要がある。

解 説

路面破損

舗装強度の低下に起因しない破損であり、表層・基層のアスファルト混合物層のみに破損がとどまる場合の破損形態で様々な変状があり、高温と重交通によるアスファルト混合物の流動（塑性変形）やアスファルト混合物の劣化・老化による表層ひび割れ等が該当する。

構造破損

路盤以下が原因で表層や基層が破損している場合、あるいは路面破損が進行して、舗装の構造・機能が直接的に阻害されて耐久性に影響を及ぼしている破損をいう。

また、構造破損とは、舗装強度低下に起因する破損であり、表層・基層のみならず路盤、路床にまで破損が及んでいる場合が多く、維持作業では対策が不十分となるため「補修作業」で対応するものである。

維持作業とは、反復して行う手入れまたは軽度な修理であり、空隙つまり洗浄等により路面の性能を回復させることや、オーバーレイ等により舗装の構造的な強度低下を遅延させることを目的に実施されるものである。補修作業とは、維持作業では不経済もしくは十分な回復効果が期待できない場合に実施されるものであり、舗装打換え等が該当する。

表 1.1 破損の形態と分類

破損の種類			破損の区分		
			路面	構造	
わだち掘れ	走行軌跡部	路床・路盤の支持力低下によるわだち掘れ（沈下わだち掘れ）	○	◎	
		流動によるわだち掘れ	◎		
ひび割れ	亀甲状ひび割れ	走行部	○	◎	
		舗装面全体	○	◎	
	線状ひび割れ	縦断方向	わだち割れ（走行軌跡部）	○	◎
		横断方向	温度応力ひび割れ（等間隔のひび割れ）	○	○
			ヘアクラック（微細な線状ひび割れ）	◎	
		縦横断方向	リフレクションクラック		◎
	施工継目ひび割れ（ジョイント部）	◎			
	不等沈下によるひび割れ		◎		
平坦性の低下	不特定	コルゲーション（さざ波状の舗装面のしわ）	○	○	
		くぼみ（局部的沈下）	○	○	
		路肩部	○	○	
		構造物周辺	○	○	
		段差	○	○	
その他	不特定	プリスタリング（表層の局部的な膨らみ）	◎		
		ポットホール（アスファルト混合物の剥離・崩壊・散逸）	◎		
		ボンピング（水、路盤材の細粒分の吹きだし）		◎	
		陥没		◎	
	走行部	ずれ（アスファルト混合物のずれ）	◎		

◎：本調査で確認された破損の種類

参考：道路保全ハンドブック（H. 23（社）道路保全技術センター）

破損原因の分類

例えば「わだち掘れ」の発生原因には内的要因と外的要因があり、内的要因はアスファルト混合物事態に内在する要因でアスファルトの質と量、骨材の種類、粒度、空隙率などが考えらる。外的要因は交通量、交通荷重、温度、舗装構造などである。以下の舗装破壊の原因を示す表は、現地調査、及び既往の文献などを参考に設定したものであり、これが全ての原因であるとは限らない点に注意する必要がある。また、施工不良については、供用後の状態から判断することが非常に難しいことから、文献などを参考に推定したものである。

表1.2 アスファルト舗装の破損原因（想定）

破損タイプ	主な現象（損傷）	主な発生原因	本ハンドブックでの対応
わだち掘れ	路床・路盤の支持力低下によるわだち掘れ（沈下わだち掘れ）	・路床・路盤の支持力低下	3章、9章
		・問題土	3章
	流動わだち掘れ	・過大な交通量及び交通荷重	5章、7章
		・低速重車両	7章
		・長期間の高温	7章
	・配合不良*	-	
	・施工不良**	-	
ひび割れ	亀甲状ひび割れ	・過大な交通量及び交通荷重	5章
		・路床・路盤の支持力低下（排水）	3章、9章
		・舗装の底面疲労（寿命）	8章
		・地下水による影響（排水）	9章
	線状ひび割れ	・基層および路盤のひび割れからの誘発	8章
	・問題土	3章	
平坦性の低下	コルゲーション	・低速走行車両	7章
		・配合不良*	-
		・施工不良**	-
その他	ポットホール	・路床・路盤の支持力低下（排水）	3章
		・表流水及び地下水（排水）	3章、9章
		・車両の挙動	7章
	陥没	・問題土	3章
	ずれ	・施工不良**	-
		・長期間の高温	7章
・薄層舗装		8章	

*配合不良：As量過多、粘性不足、細粒分過多、空隙不足など

**施工不良：路床・路盤・As混合物の締固め不足、温度管理、接着不良、転圧不足など

1.2 アスファルト舗装の破損タイプ

(1) わだち掘れ

わだち掘れとは、車輪の荷重によって発生する道路横断方向の変形をいう。

1) 路床・路盤の支持力低下によるわだち掘れ（沈下わだち掘れ）

路床・路盤の沈下によるわだち掘れは、地下水等の影響による路床・路盤の支持力低下、路盤の締固め不足のほか、舗装構造に対して過大な交通荷重が加わることで発生する。以下の事例は、問題土と呼ばれる「ブラックコットンソイル」の影響により発生した沈下わだち掘れである。

ブラックコットンソイルは東アフリカ地域に広く分布し、乾燥状態においては硬く支持力も大きいですが、湿潤状態になると膨潤し、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。

事 例



写真-1：都市部幹線道路（平地部）

2) 流動わだち掘れ

アスファルト混合物の変形は、アスファルト混合物の配合（骨材粒度、バインダの種類および量等）および外的要因としての交通荷重と温度によるものが最も大きいことから、比較的温暖な地域で重交通車両の多い道路で見られ、主に高温と重交通によるアスファルト混合物の流動（塑性変形）がその原因である。タイヤの走行位置にわだちやその外側への盛り上がりが見られるのが特徴である。

事例



写真-2：地方部輸送幹線道路（平地部）



写真-3：地方部輸送幹線道路（丘陵部）



写真-4：地方部輸送幹線道路（山地部）



写真-5：地方部輸送幹線道路（山地部）



写真-6：地方部輸送幹線道路（山地部）



写真-7：都市部幹線道路（平地部）



写真-8：都市部幹線道路（平地部）



写真-9：都市部幹線道路（平地部）



写真-10：タイヤが歪むほど石灰石を積み、走行速度が徒歩速度よりも遅い車両



写真-11：急勾配で曲線半径の小さな区間で速度 10km/h 以下で走行する車両

(2) ひび割れ

1) 亀甲状ひび割れ

亀甲状ひび割れは、水の影響等による路床・路盤の支持力低下・沈下を原因とするひび割れで、線状に生じたひび割れが亀甲状に発達するもの。主に走行軌跡部を中心にひび割れが発生するが多い。アスファルト混合物全層にひび割れが進行すると、雨水がそのひび割れを伝わって、路床・路盤に浸透する。これにより、路床・路盤の支持力が低下し、発生していた線状ひび割れが亀甲状ひび割れへと進行していく。

事 例



写真-10：地方部輸送幹線道路（平地部）



写真-11：左写真の拡大



写真-12：地方部輸送幹線道路（丘陵部）

2) 線状ひび割れ

線状ひび割れには、縦断方向、横断方向、及び縦横断方向といくつかのひび割れ形状がある。代表的なリフレクションクラックは、基層の目地部やひび割れに誘発され、直上の表層アスファルト混合物にひび割れが発生するものである。また、セメント安定処理路盤に収縮ひび割れが発生した場合、それに誘発されて、その直上のアスファルト混合物にひび割れが発生するものもリフレクションクラックである。その他の事例として、写真-15のような「問題土」（ブラックコットンソイル）によるものがある。この路肩部の縦ひび割れは、ブラックコットンソイルによる舗装破損の典型的初期症状である。

事 例



写真-13：都市部幹線道路（平地部）



写真-14：都市部幹線道路（平地部）



写真-15：地方部輸送幹線道路（平地部）

(3) 平坦性の低下（コルゲーション）

コルゲーションは、道路縦断方向に比較的短い波長で連続的に路面に発生する波上の凹凸である。自動車交通の制動や停止の繰り返しや振動等の影響により路面が周期的に加圧されることで生じやすいため、交差点流入部、曲線部、下り坂、渋滞路線などに発生する。

事 例



写真-16：地方部輸送幹線道路（山地部）

(4) その他

1) ポットホール

ポットホールとは、舗装表面に生じた10～100cm の穴のことをいう。亀甲状ひび割れの飛散、アスファルト混合物の剥離など他の破損が進行した結果として発生する場合が多い。また、簡易な舗装において、表層のアスファルト混合物の剥離・崩壊・散逸(剥がれ、めくれ)して生じる場合も多い。破損が進行した場合、ポットホールは走行に支障となるばかりでなく路盤・路床を損傷するため、早急な維持・修繕が必要である。

事 例



写真-17：都市部幹線道路（平地部）



写真-18：都市部幹線道路（平地部）



写真-19：地方部輸送幹線道路（山地部）

2) 陥没

カンボジアやラオスで見られるドラゴンホールと呼ばれる盛土に発生する縦方向の穴。穴は、盛土上面や斜面に鉛直方向に発生し、直径20cm から時には1m以上に発達する。ドラゴンホールの発生は、盛土材料の性質（分散性土）に起因している。

事 例



写真-20：地方部輸送幹線道路



写真-21：地方部輸送幹線道路

3) ずれ

アスファルト舗装のずれ(剥がれ、めくれ)とは、交通荷重により生じる舗装（または、アスファルト混合物）の層と層の間に生じるせん断力によってアスファルト混合物がずれ、舗装表面にひび割れと凹凸が発生することをいう。この破損原因は、主に層間の接着不良であり、接着不良の要因としては、層間への水の浸入による接着力の低下、タックコート の過剰散布あるいは散布量不足、施工不良などが考えられる。また、セメント安定処理路盤 に薄いアスファルト層が乗った場合も発生する。

事 例



写真-22：地方部輸送幹線道路（丘陵部）



写真-23：地方部輸送幹線道路（丘陵部）

4) その他

雨水の通過箇所であるが、排水施設が不備であることから完全に舗装が剥がれた状態となったもの。（写真24～25）

薄い路肩舗装（DBST 舗装）が車両の通行や本線への流・出入により損傷を受けたもの。（写真26）

事 例



写真-24：地方部輸送幹線道路（丘陵部）



写真-25：地方部輸送幹線道路（丘陵部）



写真-26：都市間幹線道路（平地部）

2. 協力準備調査における舗装設計

2.1. 協力準備調査における道路設計の一般事項

無償資金協力事業の概略事業費は、高い精度が求められているものの、道路設計は、自然条件、交通条件、材料条件等の不確実性を有するため、協力準備調査において十分な調査を行う必要があると同時に不確実性を考慮した計画を作成する必要がある。

解 説

- ① コンサルタントが、現地の状況、収集資料、及び他のプロジェクトの情報などを基に、道路の建設、運用に必要な設計条件の設定を行い、JICA 及び相手国政府の承認を受ける。
- ② その設計条件に基づいて、道路予備設計（A）及び（B）¹に相当する作業を行う。具体的には、実測測量図（縮尺 1/500～1/1,000）に基づいて、平面線形、縦横断線形の比較案を策定し、施工性、経済性、維持管理、走行性、安全性及び環境等の総合的な検討と橋梁、トンネル等の主要構造物の位置、概略形式、基本寸法を計画し、技術的、経済的判定によりルートを中心線、及び用地幅を決定する。また、既存資料及び現地踏査の結果に基づいて排水系統の計画、流量計算を行い、排水構造物を設計する。主要な構造物（橋梁、函渠等）については、3 案程度を比較工種とし比較検討を行い、最適案に対して基本形状を決定するために必要な概略設計計算を実施する。
- ③ 計画された道路に対して、実施（詳細設計、施工監理、施工）に必要な概算事業費を積み上げにより算出する。
- ④ 無償資金協力事業における概算事業費は精度の高い事業費の算出が求められているため、十分な自然条件等の調査を行う必要がある。ただし、十分な調査を行うことができない場合、不確実性を考慮した設計を行うべきであり、どの程度考慮した計画とするかについて担当者と協議しておくことが望ましい。

¹ 道路予備設計（A）及び（B）：道路予備設計（A）とは1/1,000地形図を用いて、道路の中心線を決定するものであり、この中心線に基づき実施される路線測量、地質調査を用いて予備設計（B）が実施される。予備設計（B）では、用地幅杭の位置が確定される。

2.2. 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。特に流動わだち掘れ等の路面損傷を防ぐために、設計の初期段階に「路面設計」を採用することがポイントである。

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。

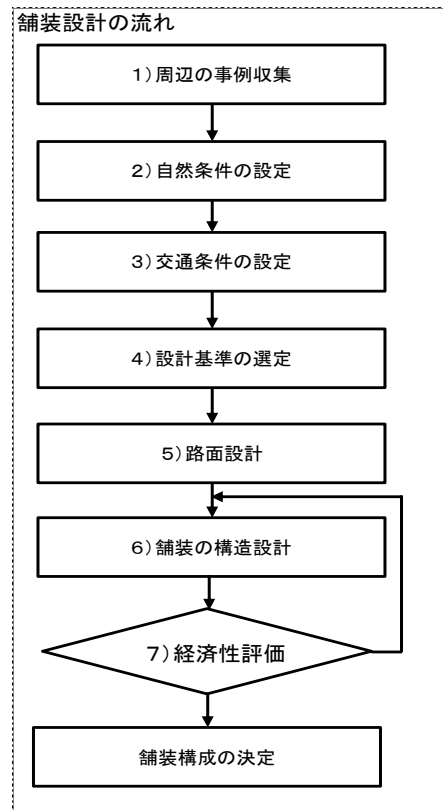
解 説

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」が主な課題となっている。

「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（表7.1参照）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荷重条件、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を満足するように、舗装各層の厚さ、材料を適切に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。



出典：舗装設計便覧（H.18（社）日本道路協会

図 2.1 舗装設計の流れ（日本の舗装設計の一般的な流れ）

3. 自然条件調査

3.1. 地質調査（路床土）

地質調査（路床土）は、日本における調査実績等を参考に適切なピッチ（同一舗装構造の最小区間とされる 200m）で土質/路床支持力調査を行い、土質性状/路床強度を把握することが望ましい。また、幅が広い場合は、横断方向の調査についても考慮すべきである。ただし、既往データ等から明らかに土質の変化が少ない区間は調査個数を少なくし、変化が多いと思われる区間は調査個数を多くすることで効率的な調査を行う。

解 説

(1) 路床支持力の調査基準

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。

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。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。

表 3.1 各国における路床強度調査の基準

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)

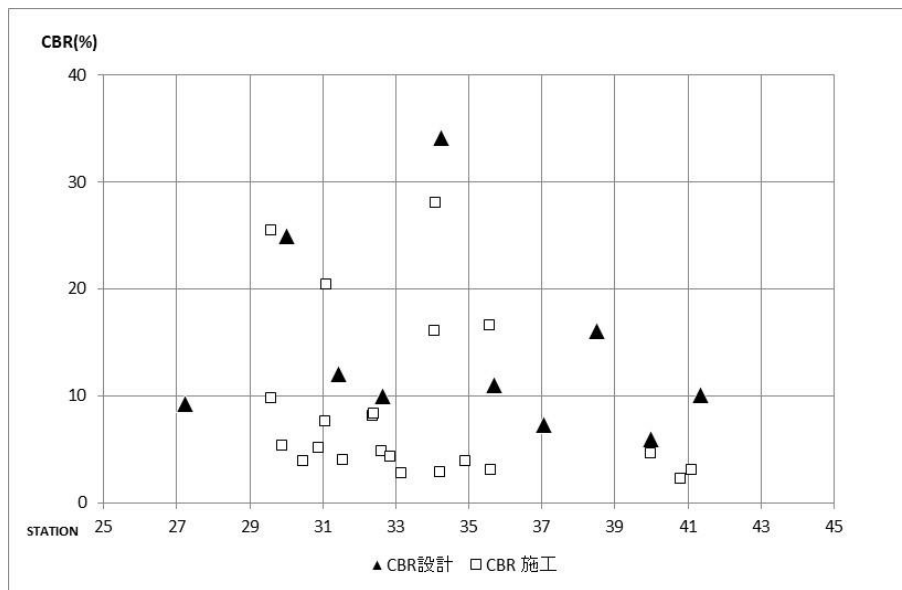
	土質試験：4 試料/km（舗装幹線道路）、2 試料/km（その他舗装道路）、2 試料/km（グラベル道路）
ラオス	記載なし
カンボジア	記載なし

(2) 路床支持力調査の乖離例

準備調査段階では、時間的、物理的(用地的) 制約により、設計段階に必要な土質条件のデータを完全に得ることが困難な場合もある。この場合、しばしば設計段階と施工段階で条件の乖離が発生することがあるため、準備調査段階においてやむを得ぬ事情により調査精度に課題がある場合には、発注担当者に報告する。

1) 路床支持力の乖離例

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。



CBR 施工：DCP による現場 CBR 試験、一部室内 CBR 試験

図 3.1 既存下層路盤の設計時の CBR 値と施工時の CBR の比較例（実測データを参考に作成）

■ 協力準備調査時の土質調査

準備調査時の設計 CBR は、は、既存の下層路盤と路床から、1.5~3.0km 間隔で採取された試料による室内 CBR 試験から 6%と設定された。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。なお、試料採取と室内試験は、乾季である 11 月に実施されている。

■ 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 3.2 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	OMC		95
									g/cm ³	%		%
Km 27+200 L/S	14-Aug-14	国道の幹線	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		13	14	15	16	16	23	2.224	6.4	5.4	
km 28+600 R/S (10day)	11-Aug-14								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（雨期）、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 Density：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 3.2（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 3.3（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。

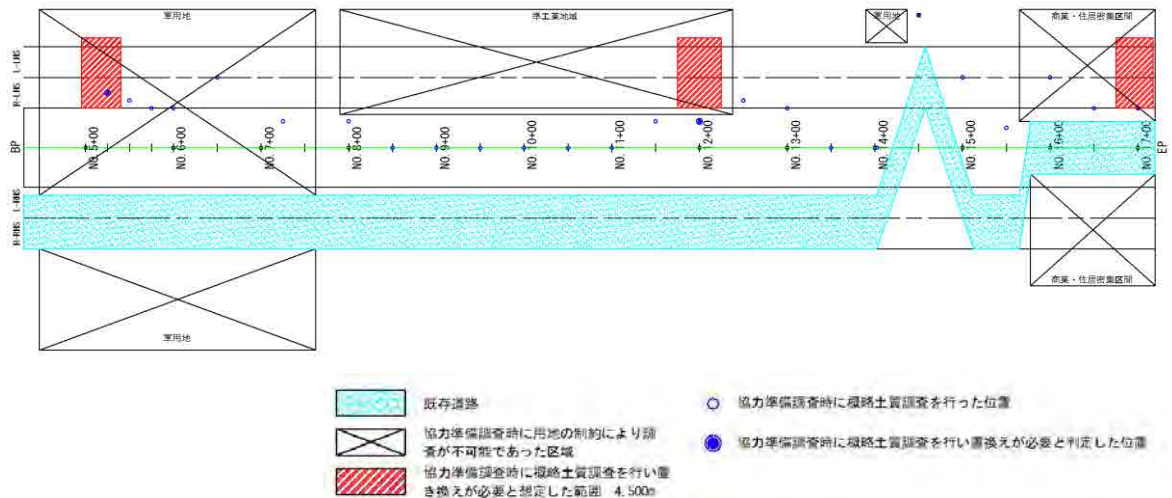


図 3.2 協力準備調査時の土質調査の位置と不良土の範囲

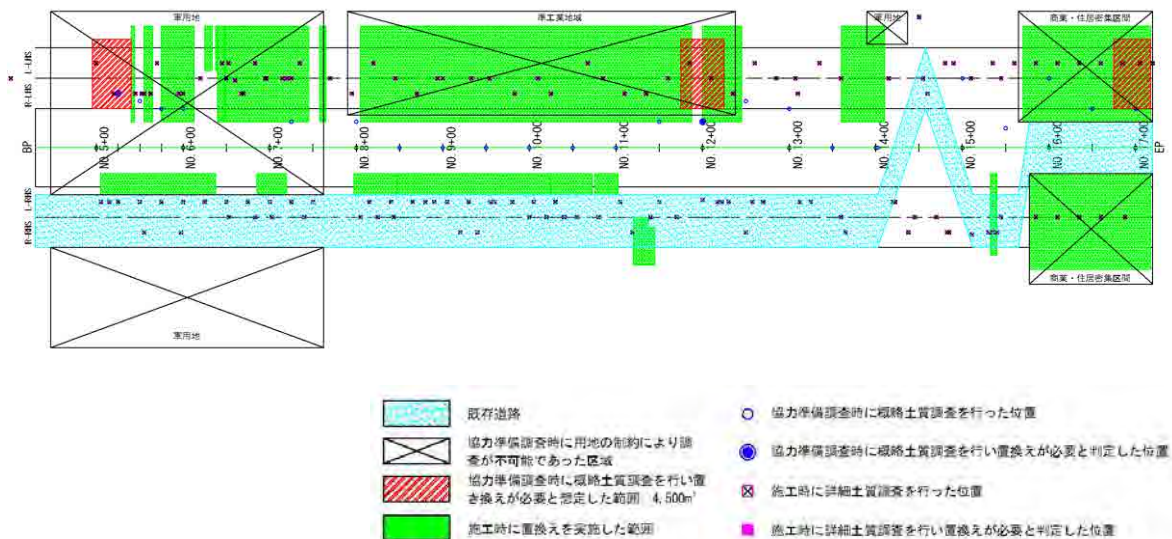


図 3.3 施工時の詳細調査の位置と不良土の範囲

3.2. 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（分散性土（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、準備調査段階で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、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。

解 説

(1) 軟弱地盤

前述の図3.3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、ウガンダ国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、かなりの地下水と軟弱地盤が存在した。なお、地下水については、「3.3 地下水調査（水文調査）」を参照のこと。



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。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一つとなっている。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。



水浸直後
左：試料 A 右：試料 B



水浸 24 時間後
左：試料 A 右：試料 B

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。



不飽和状態のブラックコットンソイル



飽和状態のブラックコットンソイル

なお、問題土か否かの判定方法、対策工及び対策工の選定方法については、対象国等の基準を参考とすることとし、参考情報を【付属資料 5】に示す。

3.3. 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、雨季の補完調査の提案を行い、必要に応じて、計画に反映する方法を検討する。

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。

解 説

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。



土側溝が埋まり滞水している状態



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38%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。

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。

4. 材料調査

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（表 4.1）を満足する材料の有無、②採取可能場所、③十分な賦存量の有無を確認する。施工段階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改良コストが増加するリスクがあるため、協力準備調査における材料調査の実施は重要である。

解 説

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結果より性状を確認し、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。

なお、適用材料基準例を【付属資料6】に示す。

表4.1 少なくとも確認されるべき舗装材料の性質

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*
表・基層 (骨材)	<ul style="list-style-type: none"> ・採取位置 ・賦存量 ・土質試験 ・地権者 	<p>【粗骨材】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・骨材の破碎試験 (ACV*又は TFV*) ・骨材のすり減り減量試験 ・骨材の剥離抵抗性試験 ・形状試験 (Coarse aggregate angularity (CAA) test)** ・軟石量試験 ・有機不純物試験 (Caly lump and friable particles) <p>【細骨材】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・形状試験 (Fine aggregate angularity (FAA) test)** ・有機不純物試験 (Sand equivalent test)

*略語

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

**試験の基準 (ASTM : American Society for Testing and Materials International)

CAA Test : ASTM D 5821、FAA Test : ASTM C 1252

5. 交通条件調査

5.1. 交通量／軸重調査

交通量調査については、調査範囲、調査日、調査時間の設定を適切に行い、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すべきである。

軸重調査については、直近で流用可能な軸重調査結果がある場合を除き、原則、実施すべきである。

解 説

(1) 交通量／軸重調査の基準

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。

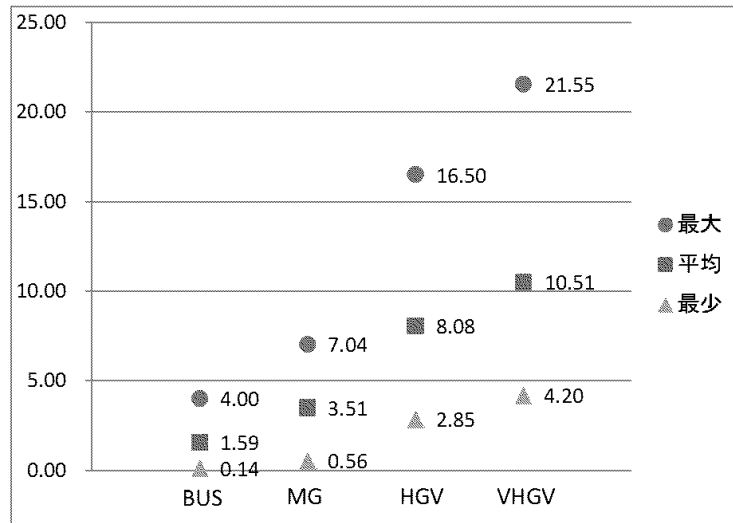
表5.1 調査対象各国の交通量及び軸重調査基準

対象国	交通量及び軸重調査の基準
日本	記載なし（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）	記載なし（州別を実施している交通量調査等による）
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

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。図5.1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²の幅を示す。これからも分かる通り、車両が大型化す

²軸重換算係数：各車両の単軸重量を基準軸重（基準毎に異なる）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。

るほど軸重換算係数の幅が大きくなる。



MGV: Medium Goods Vehicle, HGV: Heavy Goods Vehicle
VHGV: Very Heavy Goods Vehicle

$$\text{一軸当たり軸重換算係数} = (P/8t)^{4.5}$$

$$\text{車両の軸重換算係数} = (P_1/8t)^{4.5} + (P_2/8t)^{4.5} + \dots + (P_n/8t)^{4.5}$$

P: 軸荷重、n: 軸数

図 5.1 軸重換算係数の差異

また、舗装設計を実施する際に、過積載車両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基準もある。例えば、南アフリカでは、蓄積データが多いこと、軸重管理システムが確立されていることから、路線による過積載の取り締まりの状況（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5.2 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ことから、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) 軸重調査結果

東南アジア地域の国道改修事業では、過積載車両の実態を把握するために、工事期間中に継続的な過積載のモニタリング調査が施工業者により実施された。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。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、通常の過積載の取り締まり（昼間時のみ）では捉えられていない。

表5.3 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

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。

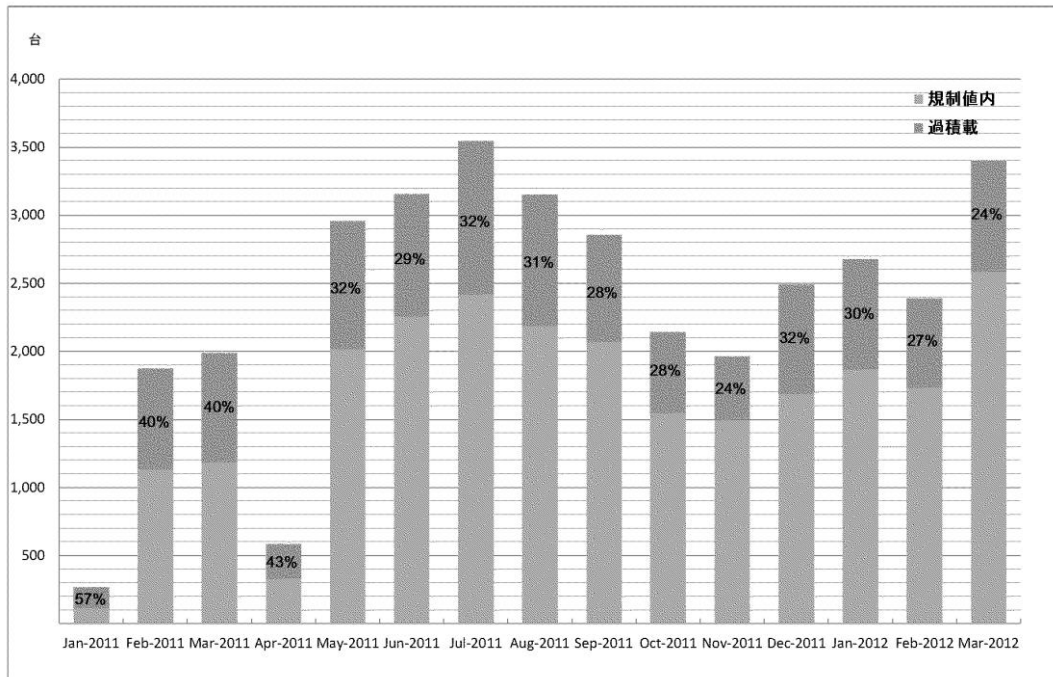


図 5.2 過積載車両調査結果（軸重観測所データ）

5.2. 舗装計画交通量/累積軸重推計

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、適切なパラメータの設定に努めるべきである。また、推計値のみではなく、道路の位置づけ（アジアハイウェイ等国际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、過小評価とならないよう注意が必要であると同時に維持管理状況を考慮した設計期間³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、先方政府に推計の前提条件を説明し、合意すべきである。

解 説

(1) 交通量の予測に関する基準

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5.4 交通荷重の伸び率の想定

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

³ 設計期間：舗装の設計期間は、交通による繰返し荷重に対する舗装構造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。

(2) 予測交通量と実績値の比較

準備調査段階では、時間的制約により、設計段階で必要な交通条件のデータを完全に得ることが困難な場合もある。この場合、しばしば設計段階と施工段階、又は供用段階で条件の乖離が発生する。したがって車線数等のように道路の横断構成を決定する一般の予測交通量とは別に、舗装構造を決定するための予測交通量を算出する等の工夫を講じることが重要である。以下に設計段階と施工段階、又は供用段階での交通条件の乖離例を示す。

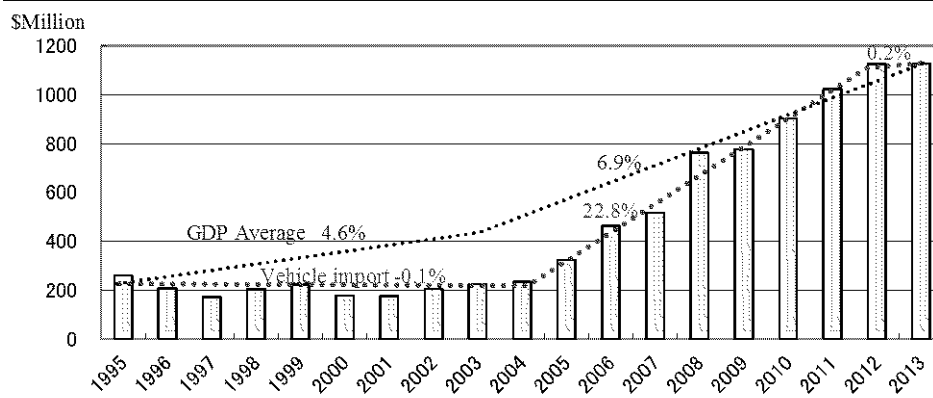
予測交通量の乖離は、設計期間内の交通荷重の乖離と舗装構成の不適合という問題を引き起こす。舗装構造強度の設計では、主に設計期間中の累積荷重を交通条件としているが、経済発展段階にある多くの途上国では、単に現在交通量に一定の伸び率を乗じて推計する累積荷重では過小評価になる場合が多い。

下表はアフリカ地域の幹線道路拡幅事業の事例である。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5.5 予測交通量と実績値の比較（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

図5.3は、対象国のGDPと自動車輸入額の伸び率を示したグラフである。2005年以降、急激にGDPが伸び、併せて自動車輸入額も大きく増加している。上記に示した予測交通量の乖離についても、このような経済の急激な進展に影響を受けたと考えられる。



出典：UN Database

図 5.3 対象国の GDP と自動車輸入量の推移

下表は東南アジア地域のある国の事例であるが、施工開始時（2012年）に計測された大型車交通量が、わずか2年間で倍増し、既に供用開始時（2015年）の予測交通量を超えている。

表5.6 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）

6. 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に従うことを基本とするが、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。このため、相手国の舗装設計基準をレビューし、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、最適な舗装設計基準を適用する。

解 説

開発途上国においても、概ね独自の条件を加味した舗装設計基準があるにも関わらず、調査した23件中の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の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対応した SATCC 舗装設計基準等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表6.1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
Overseas 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。

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（瀝青材の選定、改質材の有無、骨材の品質）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」対策が対象路線にて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ことを相手国に提案することも検討する。

性能の確認試験（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。

解 説

(1) 塑性変形（わだち掘れ）の原因

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

参考：わだち掘れに影響する因子と対策の方向

開発途上国では、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層・基層の塑性変形抵抗性に考慮した路面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。

なお、塑性変更（流動わだち掘れ）の対応に関する参考情報を【付属資料.7】に示す。



急勾配で曲線半径の小さな区間であるため速度は10km/h以下である。



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。

表7.1 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）

(2) 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、必要に応じて改質剤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7.2 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。

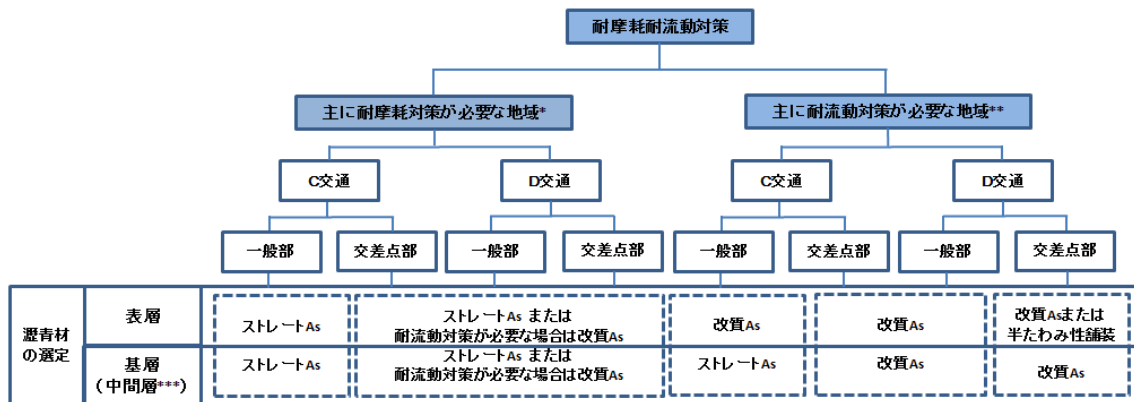
$$DS = 0.679 \times \left(\frac{N \times W \times V \times Ct}{RD} \right)^{1.02}$$

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。ただし、この選定フローは日本の基準の一例であり、重交通路線における路面設計の改質材の利用の際の参考とする。その際、交通量調査の車種分類と日本の大型車と対応させるよう注意する。



*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7.3 耐摩耗耐流動対策の選定フロー

表7.3 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7.4 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) 性能の確認（案）

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もとめない。

8. 舗装の構造設計

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）」について付属資料1及び2にて紹介している。舗装の構造設計における主な留意事項を以下に示す。

(1) 過積載車両

各舗装設計基準において、構造設計段階で累積軸重（疲労破壊輪数（TA法）、等価単軸荷重（ESAL値）（AASHTO）及び等価係数（ORN31）等）の設定に際して、軸重調査を実施することを原則とし、規制軸重を超える車両（過積載車両）実態も適切に考慮することが望ましい。

(2) 信頼性

信頼度は、道路ネットワーク上の路線の重要度を勘案して設定する。なお、経済成長期にある国、道路整備に伴う誘発交通や国際路線の貨物交通が予想される場合、自然条件の想定が厳しい場合、材料や施工の変動が大きい場合、代替路の無い重要路線で維持修繕が困難な場合等は、将来予測に対するリスクを勘案しながら、信頼度を慎重に設定することが望ましい。

(3) 路床支持力の評価

路床強度の試験方法（CBR試験等）、試料採取方法及び路床強度の評価方法は、基準毎に異なるため、留意が必要であり、また、路床強度の試験結果は、区間（箇所）や試料採取時期等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) セメント安定処理路盤

メカニズムが解明されていないが、既往の実施プロジェクトにおいて損傷が頻発していることから上層路盤へのセメント安定処理路盤の採用は当面避けることが望ましい。

なお、適用に関しては、骨材の粒度の悪い材料及び塑性指数が大きい材料（PIが9以上）の使用は、強度発現不足と劣化の恐れがあるため、材料調査にて確認し、できるだけ避けるべきである。

(5) 舗装構成

各舗装設計基準において、交通条件や自然条件からアスファルトの最小舗装厚、構築路床の採用について規定されているため、各層の構成の決定に際して、確認する必要がある。

(6) 舗装の構造設計の確認

Overseas Road Note等のようにカタログから各層の構成（材料、厚さ）を決定する場合、他の設計手法（TA法、AASHTO等）を用いて妥当性の確認を実施すべきである。

(7) 経済性評価

設計条件を満足する材料、層厚、工法の候補を挙げ、経済性を考慮して最適のものを選定する。なお、可能な範囲において供用後の維持管理・更新を含めたライフサイクルコスト等を加味し、ライフサイクルコストの最も小さな舗装構造を採用する。

解 説

(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）等の特殊環境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）を超える車両（過積載車両）が多く見られることがあるが、設計基準には反映されていない場合が一般的である。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、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。

なお、各基準の過積載への配慮について下表のとおり整理する。

表8.1 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。	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
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 大型車軸重とその伸び率に考慮する。（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。 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。	

(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り、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・道路別に表8.2に示される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8.2 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8.3 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）

（詳細は付属資料 2.1 経験的設計法（TA法）を参照）

(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。

また、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。

表8.4 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 (レジェントモジュラス) ・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 (3 points)	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	・修正 CBR 試験 (6 points)	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、試験時の締めめ密度が異なる。

(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、湿潤状態にならるように、注意すべきである。

なお、セメント安定処理路盤の適用に関する留意点を【付属資料8】に示す。

(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を無視している事例がある。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8.7 Ac層（表層・基層）の厚さの規定

基準名・作成年度	特徴	留意点
Overseas 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層の厚さは設計カタログより決まる 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） <ul style="list-style-type: none"> 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8.8 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8.9 舗装設計便覧（日本）における表層と基層を加えた最小厚さ

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：（ ）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小厚を示す。

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、最小厚さは3cmとすることができる。

SATCC の乾燥地域と湿潤地域の分類については、3. 自然条件調査の 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）を参照。

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、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では、路床強度を CBR15%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8.10 構築路床及び軟弱地盤対策

基準名・作成年度	構築路床	軟弱地盤対策
Overseas 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 以上としている。	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
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 等のようにカタログから各層の構成（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「T_A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8.11 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	利点 <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。
		欠点 <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)	利点 <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。
	多層弾性理論 (力学的経験的設計法)	利点 <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。 ・路床の影響、表層厚さの影響等を説明できる。 ・気温（温度）を考慮した分析が可能である。
		欠点 <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。
		利点 <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。 ・路床の影響、表層厚さの影響等を説明できる。 ・気温（温度）を考慮した分析が可能である。
		欠点 <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 for Design of Pavement Structures 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 (舗装設計便覧)

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8.12 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）

9. 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、維持管理の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。

解 説

(1) 路盤排水／地下水

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 (Base course drainage)」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。Overseas Road Note 31では、舗装体内から水を排する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9.1 排水に関する留意事項

基準名・作成年度	特徴	留意点
Overseas 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をしている。 ・ 道路表面からの浸水を設計期間内に渡って担保することができないので、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て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（Base course drainage）の例
 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レイヤーが拘束された「溝型」の横断面を使うべきではない。）と記載されている。

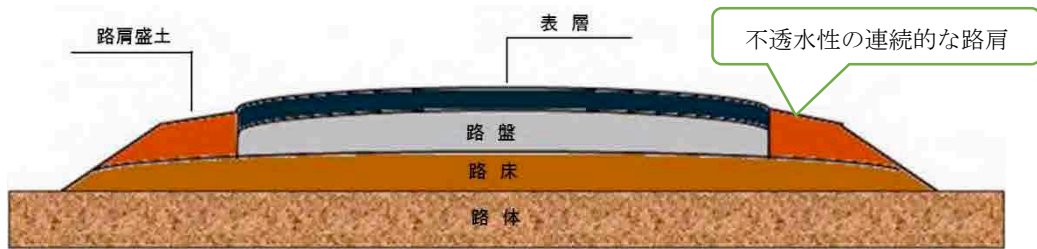


図9.1 不透水性の連続的な路肩で拘束された「溝形」の横断面例

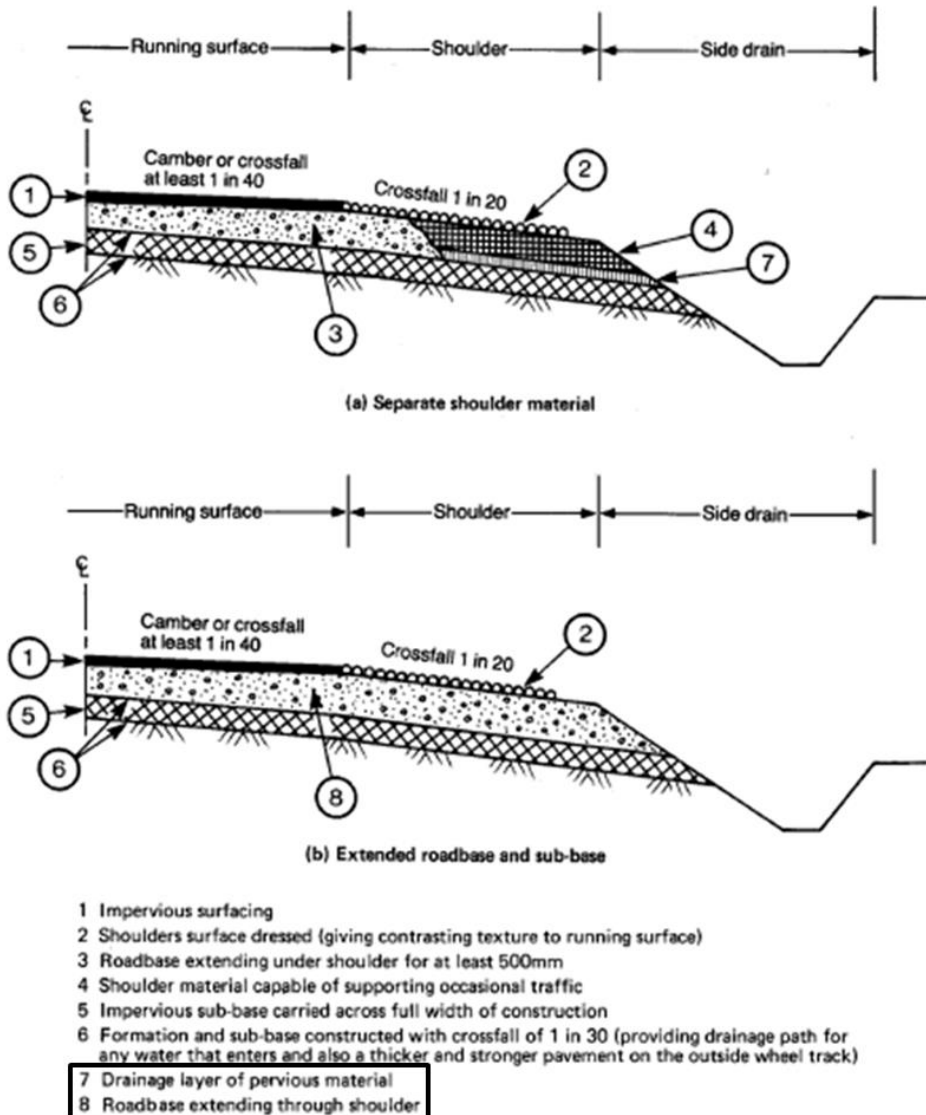


図9.2 Overseas Road Note 31に示される路肩排水方法（路盤排水）の例

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

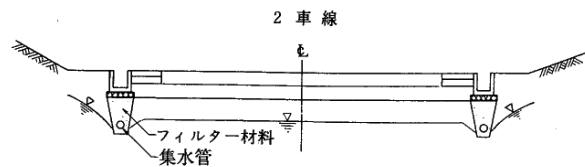
設計上の乾燥地域/湿潤地域の分類は、自然条件だけでなく、排水施設不良とその維持管理レベルを考慮して定義されている。降雨量が年間を通して比較的少ない場合でも、排水不良、維持管理レベルを考慮して分類する必要がある。

表9.2 排水不良による設計条件選択のガイドライン

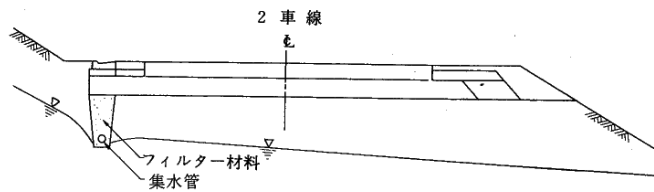
排水施設の状況	維持管理レベル			
	良好、計画的、欠陥補修は適時に実施	欠陥が補修されていない		
良好、良く計画されている、適切に建設されている	乾燥地域		交通量レベル	
			0.7x10 ⁶ 未満	0.7x10 ⁶ 以上
			乾燥地域	湿潤地域
適切に整備されていない	交通量レベル		湿潤地域	
	0.7x10 ⁶ 未満	0.7x10 ⁶ 以上		
	乾燥地域	湿潤地域		

参考 3：道路土工-盛土工指針に記載される路床・路盤排水の例

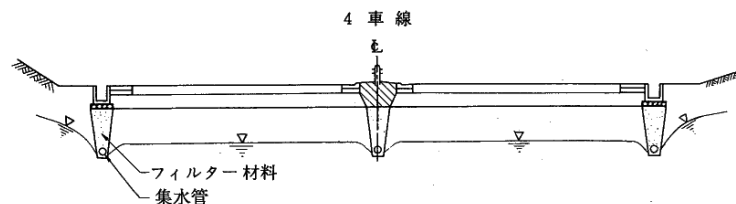
「道路土工-盛土工指針 4-9-9 路床・路盤の排水」では、「路床・路盤の排水施設は、路体あるいは地盤内の地下水位を低下させ、あるいは道路隣接地から路床等に浸透する水をしゃ断し、路床、路盤を良好に維持するような構造でなければならない」と記述され、その例として以下の様な構造を示している。



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



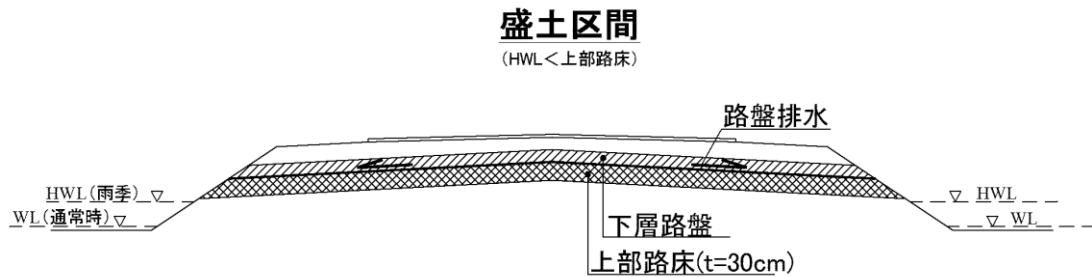
解図 4-9-22 中央分離帯のある場合の地下排水溝

図9.3 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等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。



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。

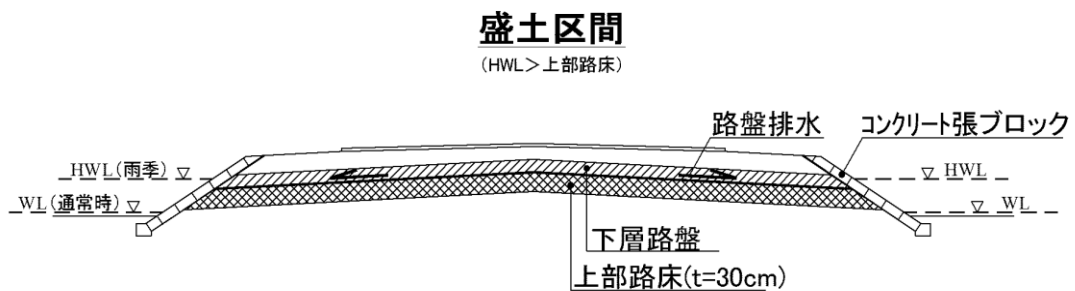


図9.4 道路計画における道路計画高設定の例

10. 準備調査報告書の取りまとめ

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、および、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、又は添付することを基本とする。

解 説

(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10.1 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、準備調査報告に記載するものとする。想定される申し送り事項の例として、以下のような項目があげられる。

表10.2 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	申し送り事項
舗装設計	交通	<p>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。</p> <p>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と、舗装が早期に破損する可能性がある。</p>
	材料	<p>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。</p> <p>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。</p>
排水設計 (橋梁含む)	洪水位	<p>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。</p> <p>過去の洪水位を反映していない可能性があり、道路・橋梁が想定以上に冠水する可能性がある。</p>
	浸水 (水害)	<p>道路敷地内のみを対象に護岸工を計画。</p> <p>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。</p>
	地下水位	<p>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。</p> <p>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。</p>
斜面防護	落石や土石流	<p>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。</p> <p>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。</p>
公共施設	埋設管	<p>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。</p> <p>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。</p>

付属資料 1. アスファルト舗装の設計基準

1.1 主な設計基準

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。

解 説

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。

付表1.1 主な設計法と代表的な設計基準

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
	SAMDM (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。

ただし、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）では、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、適用に際しての検討が進められている段階である。

1.2 経験的設計法の基準概要

付表 1.2 経験的設計法の基準概要（舗装設計便覧と AASHTO）

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、<u>産学官の共同作業チームを結成し、2004年にMechanistic-Empirical Pavement Design Guideを公開し、2008年にAASHTOとして暫定版を発刊した。</u></p> <p>現在、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 50×10^6 ）

付表 1.3 経験的設計法の基準概要（ORN31 と SATCC）

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 Surface Dressing と HMA 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 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	30×10^6	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。

1.3 経験的設計法の手順

(1) 舗装設計便覧と AASHTO

付表 1.4 経験的設計法の手順（舗装設計便覧と AASHTO）

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 設定条件</p>	<p>舗装の設計手順 設定条件</p>
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 を指標として舗装の設計を行う。
構造設計	<p>（経験的設計法（T_A法）による場合）</p> <p>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。</p> <p>②路床を CBR にて評価し、区間の CBR から設計 CBR を求める。</p> <p>③交通量区分と設計 CBR から目標 T_A を定める。</p> <p>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。</p>	<p>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。</p> <p>② 上記の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。</p> <p>③ 層構造の解析は、まず路床土に対して必要な構造指数を計算する。同じように下層路盤、上層路盤に必要な構造指数を、それぞれ適用される強度の値を用いて計算する。各層に必要な構造指数の計算値の差を用いて、各層の最大許容厚を計算する。</p>
備考	<p>2 種類の構造設計方法が示される</p> <p>(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)</p> <p>(2) 多層弾性理論を用いた舗装厚さの設計（後述）</p>	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 値) で評価・表示。

(2) ORN31と SATCC

付表 1.5 経験的設計法の手順（ORN31 と SATCC）

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	<p>舗装の設計手順 設定条件</p> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 60%;">設計条件の設定</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 35%;"> -設計期間 -舗装設計交通量 -基盤(路床)条件 </div> </div> <div style="margin: 5px 0;">↓</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 60%;">舗装の構造設計</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 35%;"> -材料条件 -排水条件 </div> </div> <div style="margin: 5px 0;">↓</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 60%;">舗装構成の決定</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 35%;">カタログからの選定</div> </div> <div style="margin: 5px 0;">↓</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 60%;">アスファルトの配合設計 (マーシャル設計法)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 35%;"> 重交通路線に対し、リ フューザルデンシティ法を 推奨 </div> </div> </div>	<p>舗装の設計手順 設定条件</p> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 60%;">設計条件の設定</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 35%;"> -設計期間 -舗装設計交通量 -基盤(路床)条件 -気象条件 </div> </div> <div style="margin: 5px 0;">↓</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 60%;">舗装の構造設計</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 35%;"> -材料条件 -排水条件 </div> </div> <div style="margin: 5px 0;">↓</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 60%;">舗装構成の決定</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 35%;"> 気象条件(Wet or Dry)を考 慮したカタログからの選定 </div> </div> </div>
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（サーフェシングドレッシング）とHMA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（サーフェシングドレッシング）とHMAがあり、SDの場合は路盤以下で荷重を支持する。

1.4 経験的設計法の交通条件の設定

(1) 舗装設計便覧と AASHTO

付表 1.6 経験的設計法の交通条件の設定（舗装設計便覧と AASHTO）

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。（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

(2) ORN31と SATCC

付表 1.7 経験的設計法の交通条件の設定（ORN31 と SATCC）

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	$EF=(Axle\ load(kg)/8160(kg))^{4.5}$	$EF=(P(kN)/80(kN))^n$ n:3~4.5 (使用材料で異なる)																																				
舗装設計 対象交通	・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	・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	設計期間の累積軸重により 8 段階(T1~ T8)に区分する。 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <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	設計期間の累積軸重により 8 段階(T1~ T8)に区分する。 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <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。																																				

1.5 経験的設計法の信頼度及び環境条件の設定

付表 1.8 経験的設計法の信頼度及び環境条件（舗装設計便覧と AASHTO）

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。	道路区分に応じて信頼性が設定される。
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な記述はない。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ついては土工指針（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。

付表 1.9 経験的設計法の信頼度及び環境条件（ORN31 と SATCC）

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。

1.8 力学的経験的設計法

(1) 力学的経験的設計法の概要

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。

解 説

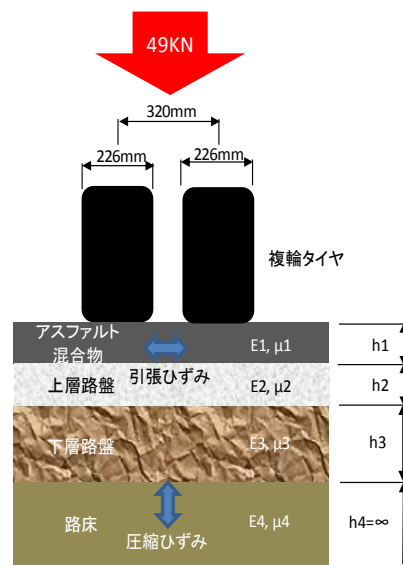
我が国の力学的経験的設計法では、力学理論として多層弾性理論を採用し、このモデルによって交通荷重によるアスファルト層下面の引張りひずみと路床上面の圧縮ひずみから、破壊基準式によって許容49kN輪数を計算するものである。

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。

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载荷し、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付図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。



付図 1.1 舗装構造のモデル図（例）

(2) 力学的経験的設計法の比較

付表 1.10 力学的経験的設計法の比較（舗装設計便覧と MEPDG）

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れば、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）	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）混合物を用いた舗装を設計する際に最も適合するものであるが、砕石マッシュアスファルト（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	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。 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。	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。 最適断面の決定は技術者（ユーザ）に委ねられている。
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） 	MEPDG では、舗装内温度、含水量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。
交通条件	① 疲労破壊軸数 ② 交通荷重 ・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	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。
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。	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。 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。
提供される設計ツール	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。	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。

参考文献：Guide for Mechanistic-Empirical Design (National Cooperative Highway Research Program Transportation Research Board National Research Council)

ダウンロードサイト：<http://me-design.com/MEDesign/>

付表 1.11 力学的経験的設計法の比較（SAMDM）

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	特に考慮しない
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>

参考文献：SOUTH AFRICAN PAVEMENT ENGINEERING MANUAL 2013 (The South African National Roads Agency)

ダウンロードサイト：<http://asphalt.csir.co.za/samdm/>

1.7 路床の評価方法

路床の支持力を求める方法は、土質区分法、CBR 法、DCP 法、平板載荷法、三軸試験法等がある。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。

解 説

付表1.12 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	AASHTO 1993、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	

(1) 舗装設計便覧と AASHTO

付表 1.13 基準別路床の評価方法（舗装設計便覧と AASHTO）

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。 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。 路床の定義：その上に舗装構造あるいは路肩を施工する基礎。 調整路床土として、締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>	<p>記載なし</p>																
路床の試験	<p>・水浸 CBR 試験</p>	<p>・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。</p>																
地点の CBR	<p>ある地点の路床の支持力であり、路床面下 1m 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>	<p>記載なし</p>																
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。 区間の CBR = (各地点の CBR の平均値) - (各地点の CBR の標準偏差) 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。 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>	<p>記載なし</p>																
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	<p>記載なし</p>
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																	

(2) 基準別路床の評価方法 ORN31と SATCC

付表 1.14 基準別路床の評価方法（ORN31 と SATCC）

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
-----	--

1.8 CBR 試験及び修正 CBR 試験

CBR 試験とは、道路の路床土等の相対的な支持力を調べる試験で、カリフォルニア州道路局で開発され、道路舗装、滑走路舗装事業で広く使われる。直径5cm の円筒を定速で圧入し、貫入深さにおける試験荷重を標準荷重で割って百分率（%）で表す。力学的には主としてせん断力抵抗を測るものとされる。したがって値が大きいほど強い材料である。

解 説

CBR 試験は、大きく室内 CBR 試験（写真1）と現場 CBR 試験（写真2）に分けられる。



写真1 CBR試験機とランマー、モールド



写真2 現場 CBR の様子（バックホーのボデーで反力を取っている）

室内 CBR 試験には現地で採取した試料を試験室でつき固めて行う乱した試料による CBR 試験と、現地で採取した試料をそのまま使う乱さない試料による CBR 試験がある。

一般に使われる CBR 試験は乱した試料によって行う CBR 試験である（JIS A1211）。現地で採取した試料を試験室に送り、指定のモールドに4.5 k g のランマーで、3層に分けてそれぞれ67回（目的によってこの回数は異なり、設計 CBR では67回である）のつき固めを行って試料を作る。道路の設計に使われる CBR 試験では、さらにこの試料をモールドごと4日間水に入れてから試験を行う。これを水浸 CBR と呼ぶ。CBR 試験のつき固めには、含水比が影響を及ぼす。そのため道路の設計目的で行う CBR 試験では現場で採取した試料をビニール袋に入れて、含水比を保つようにして試験室に送る。切土区間で施工時も路床を乱さない場合や、完成した路盤の CBR の判定のためには、現場でコアボーリングを行って作った試料によって乱さない試料の CBR 試験を実施する。

現場 CBR 試験は、シリンダーを直接路床や路盤に圧入して室内 CBR 試験と同様の計測を行って実施する。

以上に述べた C B R 試験の目的は路床などの現実の支持力を判定し設計に反映するこ

とである。路床のうち盛土あるいは路盤材などにあつては、実際の盛土工事の締め固めと CBR 試験における締め固めとに差異がある場合があり、CBR 試験の締め固めの方が大きい場合、設計が危険サイドになる可能性がある。そこで実際の現場の締め固めの目標値（管理値）、たとえば最大乾燥密度の 95%とすることなどを反映した CBR 値を修正 CBR と呼ぶ。新設路体などのように新たに締め固めによって形成される路床の場合は修正 CBR を使う必要がある。

なお修正 CBR を求める前段として、土壌の含水比と試料の乾燥密度で判定される締固め程度との関係を求めるために土の締固め試験が行われる。含水比を変えて突き固めを行い、得られた乾燥密度曲線から最も高い乾燥密度が得られるポイントを推定しその時の含水比を最適含水比と呼ぶ。

付表1.15 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）

海外の事例では我が国の NEXCO と同様に、最適含水量への調整が可能（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量における規定密度の値とするかは、現場で達成できる密度と含水量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、重要なことは「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。

1.9 配合設計法

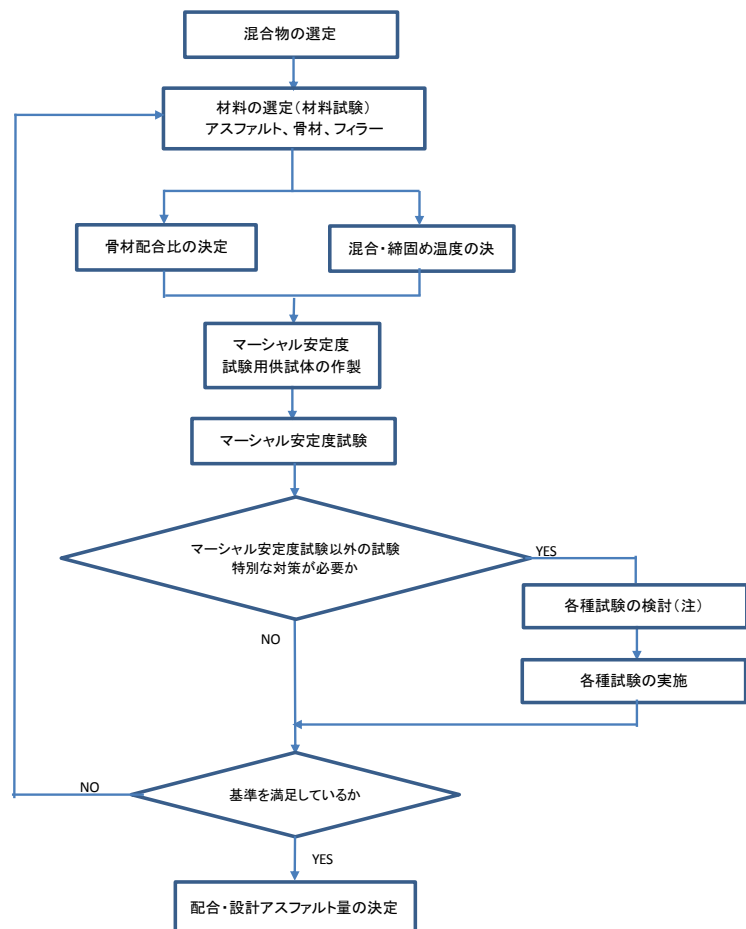
(1) 配合設計法の概要

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。

解 説

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。



(注) ここで示した「各種試験」とは、塑性変形輪数等の確認のほか、特別な対策を検討するのに必要な試験をいい、たとえばアスファルト混合物のホイールトラック試験、ラベリング試験の他、定水位透水試験などが該当する。

出典：舗装施工便覧（H. 18（社）日本道路協会）

付図 1.2 アスファルト混合物の配合設計手順

(2) 主な配合設計法

主な配合設計法としてマーシャル法/Superpave 法/Refusal Density 法の比較を示す。

付表 1.16 主な配合設計法

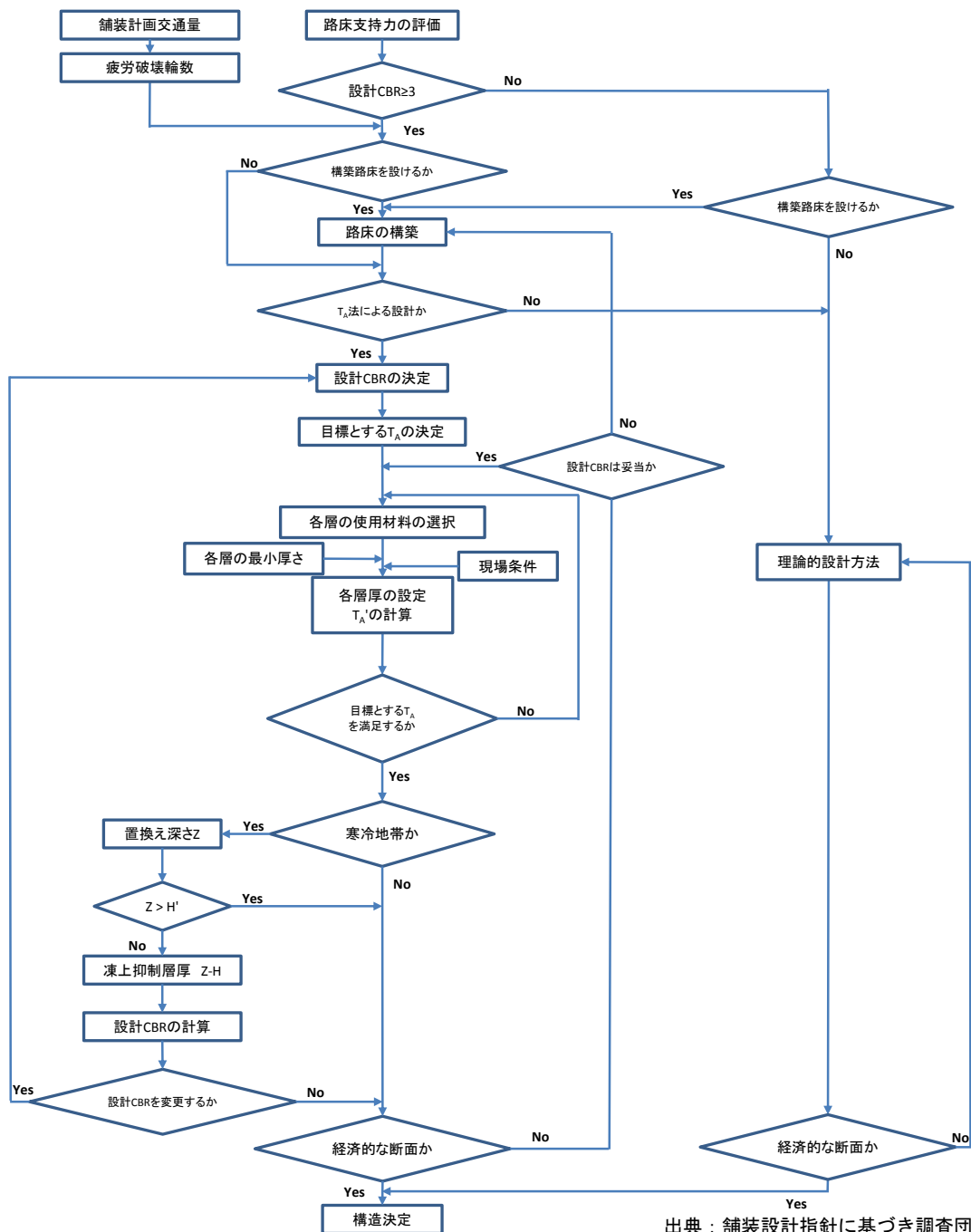
設計方法	マーシャル法	Superpave 法	Refusal Density 法
概要	気象条件、交通条件などから混合物の種類と使用する材料を選定し、骨材配合比は粒度規定を満たすよう決定する。アスファルト量を変化させ、交通条件に応じた締固め回数にて供試体を作製し、マーシャル試験を行う。設計アスファルト量は混合物基準を満たす範囲（一般に中央値）で設定する。舗装施工便覧、ORN19 など世界で広く適用されている。	パフォーマンスグレイド(PG)のアスファルトと、骨材、粒度を選定し、ローラ転圧をシミュレーションしたジャイレトリコンパクタを用い、交通レベルに応じた締固めパラメーター(旋回数など)によ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。ORN 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。	-

付属資料 2. 舗装設計の方法

2.1 経験的設計法（ T_A 法）

（1）設計方法の説明

路床の設計 CBR と設計交通量からアスファルト舗装の等値換算厚を定め、各層の使用材料が異なっても、換算厚が目標を下回らないようにするアスファルト舗装の設計手法であり、AASHTO の舗装試験結果を参考に我が国独自の舗装技術基準として確立された手法である。下図に T_A 法による構造設計のフローを示す。



出典：舗装設計指針に基づき調査団が作成

付図 2.1 T_A 法による構造設計の具体的な手順

1) 疲労破壊輪数について

疲労破壊とは、荷重の繰返しによるひび割れの発生で舗装が破壊することであり、疲労破壊輪数は、「舗装路面に 49kN の輪荷重を繰返し加えた場合に、舗装にひび割れが生じるまでに要する回数・・・」と定義されている。疲労破壊輪数の基準値としては舗装計画交通量に応じ、以下のように規定されている。なお、舗装の設計期間が 10 年以外である場合の疲労破壊輪数は、下表に示される数値に設計間の 10 年に対する割合を乗じて求める。例えば設計期間が 20 年の場合は、20 年の 10 年に対する割合、すなわち 2 を下表の値に乘じる。

付表 2.1 舗装破壊輪数の基準値

区分	舗装計画交通量* (台/日・方向)	疲労破壊輪数 (回/10年)
N7	3,000以上	35,000,000
N6	1,000~3,000	7,000,000
N5	250~1,000	1,000,000
N4	100~250	150,000
N3	40~100	30,000
N2	15~40	7,000
N1	15未満	1,500

*：舗装計画交通量とは、舗装の設計期間内の大型自動車の平均的な交通量（大型車とは、普通貨物自動車（ナンバープレート頭番号1）、乗合自動車（同頭番号2）、特殊自動車（同頭番号8,9,0）をいう）

出典：舗装設計便覧（H.18（社）日本道路協会）

また、設計期間内における交通量および輪荷重が別途設定されている場合には、以下の式により累積 49kN 換算輪数を求める。

$$N_{49} = \sum_{j=1}^m \left[\left(\frac{P_j}{49} \right)^4 \times N_j \right] \quad N = \sum_{i=1}^n (N_{49} \times 365 \times a_i)$$

N_{49} ：1日1方向当たりの 49kN 換算輪数

P_j ：J番目の輪荷重の範囲における輪荷重の代表値

m ：輪荷重の範囲の数（ $j = 1 \sim m$ ）

N_j ： P_j の通過数

N ：設計期間の累積 49kN 換算輪数、必要疲労破壊輪数

n ：設計期間

a_i ： N_{49} に対する i 年後の輪荷重通過数の伸び率（ $i = 1 \sim n$ ）

2) 信頼性を考慮した設計

道路管理者によって設定された信頼度に対して、下記の計算式を用いて路床の設計 CBR と疲労破壊輪数から必要等値換算厚 T_A を求める。 T_A とは、舗装各層を表

層及び基層用加熱アスファルト混合物で設計したときの必要厚さを指す。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。

信頼性 90%の場合 $T_A=3.84N^{0.16}/CBR^{0.3}$

信頼性 75%の場合 $T_A=3.43N^{0.16}/CBR^{0.3}$

信頼性 50%の場合 $T_A=3.07N^{0.16}/CBR^{0.3}$

T_A : 必要等値換算厚

N : 疲労破壊輪数

CBR : 路床の設計 CBR

付表 2.2 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) 各層の厚さの設定

必要等値換算厚 T_A を下回らないように、舗装各層の厚さを決定する。

等値換算厚 (T_A') < 必要等値換算厚 (T_A)

$$T_A' = \sum_{i=1}^n a_i \cdot h_i$$

T_A' : 等値換算厚 (cm)

a_i : 舗装各層に用いる材料・工法の等値換算係数（舗装を構成するある層の厚さ 1cm が表層、基層用加熱アスファルト混合物の何 cm に相当するかを示す値。

h_i : 各層の厚さ (cm)

付表 2.3 等値換算係数の値

使用する層	材料・工法	品質規格	等値換算係数 a
表層 基層	加熱アスファルト混合物	ストレートアスファルトを使用	1.00
上層路盤	瀝青安定処理	加熱混合：安定度3.43kN以上	0.80
		常温混合：安定度2.45kN以上	0.55
	セメント・瀝青安定処理	一軸圧縮強さ 1.5~2.9MPa 一次変位量 5~30(1/100cm) 残留強度率 65%以上	0.65
	セメント安定処理	一軸圧縮強さ [7日] 2.9MPa	0.55
	石灰安定処理	一軸圧縮強さ [10日] 0.98MPa	0.45
	粒度調整碎石・粒度調整鉄鋼スラグ	修正 CBR 80以上	0.35
下層路盤	クラッシュラン、鉄鋼スラグ、砂等	修正 CBR 30以上	0.25
		修正 CBR 20以上30未満	0.20
	セメント安定処理	一軸圧縮強さ [7日] 0.98MPa	0.25
	石灰安定処理	一軸圧縮強さ [10日] 0.7MPa	0.25

注

- 1 表層、基層の加熱アスファルト混合物に改質アスファルトを使用する場合には、その強度に応じた等値換算係数 a を設定する。
- 2 安定度とは、マーシャル安定度試験により得られる安定度 (kN) をいう。この試験は、直径 101.6mm のモールドを用いて 作製した高さ 63.5±1.3mm の円柱形の供試体を 60±1℃の下で、円形の載ヘッドにより 載荷速度 50±5mm/分 で 載荷する。
- 3 一軸圧縮強さとは、安定処理混合物の安定材の添加量を決定することを目的として実施される一軸圧縮試験により得られる強度 (MPa) をいう。[]内の期間は供試体の養生期間を表す。この試験は、直径 100mm のモールドを用いて 作製した高さ 127mm の円柱形の供試体を 圧縮ひずみ 1%/分 の速度で 載荷する。
- 4 一次変位量とは、セメント・瀝青安定処理路盤材料の配合設計を目的として実施される一軸圧縮試験により得られる 一軸圧縮強さ発現時における供試体の変位量 (1/100cm) をいう。この試験は、直径 101.6mm のモールドを用いて 作製した高さ 68.0±1.3mm の円柱形の供試体を 載荷速度 1mm/分 で 載荷する。
- 5 残留強度率とは、一軸圧縮強さ発現時からさらに供試体を圧縮し、一次変位量と同じ変位量を示した時点の強度の 一軸圧縮強さに対する割合をいう。
- 6 修正 CBR とは、修正 CBR 試験により得られる所定の締固め度における CBR 値 (%) をいう。
- 7 再生アスファルト混合所において製造された再生加熱アスファルト混合物および再生路盤材混合所で製造された 再生路盤材の等値換算係数も上記の数値を適用する。
- 8 排水性舗装に使用されるポーラスアスファルト混合物の等値換算係数は 1.0 を用いる。

出典：舗装設計便覧（H.18（社）日本道路協会）

上記の表に示される等値換算係数は、現時点で数値が明確なものだけであり、これら以外の新たな材料・工法については、その強度に応じた等値換算係数を道路管理者が設定することで、TA法の適用が可能となる。しかし、実際の運用では、等値換算係数を定めるための試験舗装には多大な時間と費用を必要とするため、室内試験結果

（弾性係数等）により推定する方法がある。しかし、この推定値は暫定値であり、それを一般値とするためには、試験舗装による供用性の確認が必要とされている。このため、改質アスファルトや半たわみ性舗装の等値換算係数についても、係数 1.0 とし て運用されている。

また、各層の厚さを決定する際には、下表に示される最少厚の規定を満足しなければならない。

付表 2.4 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：交通量区分 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。

付表 2.5 路盤各層の最少厚さ（舗装計画交通量 40 台/日・方向以上）

工法・材料	1 層の最小厚さ
瀝青安定処理（加熱混合式）	最大粒径の 2 倍かつ 5cm
その他の路盤材	最大粒径の 3 倍かつ 10cm

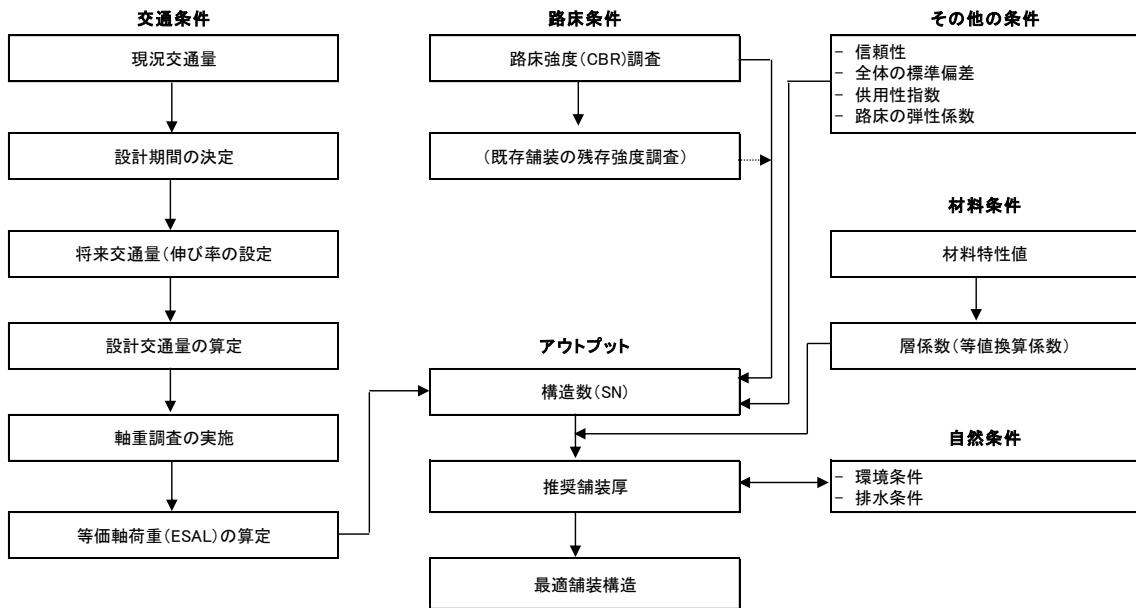
付表 2.6 路盤各層の最少厚さ（舗装計画交通量 40 台/日・方向未満）

工法・材料	1 層の最小厚さ
粒度調整碎石、クラッシュラン	7cm
瀝青安定処理（常温混合式）	7cm
瀝青安定処理（加熱混合式）	5cm
セメント・瀝青安定処理	7cm
セメント安定処理	12cm
石灰安定処理	10cm

2.2 経験的設計法（AASHTO 設計法1993）

（1） 設計方法の説明

経験的舗装設計法の代表である AASHTO Pavement Design Guide は、1950年代に実施された大規模な AASHTO 道路試験結果に基づいたもので、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った。この設計法は、アメリカ合衆国の80%以上の州で採用されているばかりでなく、わが国や世界の舗装設計法にも大きな影響を及ぼしている。下図に AASHTO Guide 1993 による構造設計のフローを示す。



付図 2.2 AASHTO Guide 1993 による構造設計の具体的な手順

出典：調査団作成

1) AASHTO の基本式

以下に 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。

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

W_{18} : 18kip (=8.2t) の等価単軸荷重の予測載荷数

Z_R : 標準偏差（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）

S_0 : 全標準偏差（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係数 = CBR x 1,500

ΔPSI ：供用性指数の低下分（例：初期値： $P_o=4.2$ 、終局値： $P_t=2.5$ とすると $P_o - P_t = 1.7$ ）

2) 設計条件の設定

AASHTO の設計法に必要な設計条件については、以下を参考に設定することとされている。

① 環境条件

温度と降雨の2つの要素を考慮する。温度は、たわみ性舗装のクリープ特性、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。

② 排水条件： C_d

降雨の項で記したように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。

なお、排水の質とは降雨時の雨水が処理される時間を示し、この時間は設計担当者が判断する。AASHTO 道路試験の排水の質は「並」である。

付表 2.7 排水時間

排水の質	排水時間
優	2 時間以内
良	1 日
並	1 週間
不良	1 か月
悪	排水されない

付表 2.8 排水係数

排水の質	舗装構造が飽水状態に近い含水比レベルに暴露される時間の百分率			
	1%以下	1~5%	5~25%	25%以上
優	1.40~1.35	1.35~1.30	1.30~1.20	1.20
良	1.35~1.25	1.25~1.15	1.15~1.00	1.00
並	1.25~1.15	1.15~1.05	1.00~0.80	0.80
不良	1.15~1.05	1.05~0.80	0.80~0.60	0.60
悪	1.05~0.95	0.95~0.75	0.75~0.40	0.40

③ 標準偏差： Z_R

上記2項目を含め、設計寿命期間に発生する可能性のある予期しない供用、荷重、破損に対して舗装が存続する確率である。基本式に用いられている信頼性係数 Z_R と、信頼性確率 $R(\%)$ とは下記のような関係にある。

付表 2.9 信頼性係数 Z_R と信頼性確率 $R(\%)$ との関係

R	99.9	99	98	97	96	95	93	90	85	80	70	60	50
Z_R	-3.090	-2.327	-2.054	-1.881	-1.751	-1.645	-1.476	-1.282	-1.037	-0.841	-0.524	-0.253	-0.000

ここに信頼度 R の推奨値は、下記のようにになっている。

付表 2.10 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

④ 全標準偏差： S_0

設計交通量予測および設計終局供用性指数における交通量予測の際の全標準偏差であり、下記のように決定されている。

付表 2.11 全標準偏差 S_0

	アスファルト 舗装	コンクリート 舗装
将来交通量分散が考慮されている場合	0.44	0.34
将来交通量分散が考慮されていない場合	0.49	0.39
供用履歴の誤差を含めたとき	0.45	0.35

⑤ 供用性指数： ΔPSI

AASHTO では PSI について、下表の数値を試験結果から提案している。初期供用性指数については、この提案に従いアスファルト舗装設計では $P_o=4.2$ 、コンクリート舗装設計では、 $P_o=4.5$ 、また、終局供用性指数はいずれの場合も $P_t=2.5$ を採用する。

付表 2.12 PSI の数値概念

	PSI	舗装構造およびその状態
最大	5.0	
初期供用性指数 P0	4.5	(剛性舗装)
	4.2	(たわみ性舗装)
終局供用性指数 Pt (オーバーレイを 行うべき時期)		(常用できないと表明した一般ユーザーの割合)
	3.0	12%
	2.5	55%
	2.0	85%
最小	0	

3) 構造的の評価（層の厚さの決定）

AASHTO の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。以下の式は、想定する舗装構成の SN 値を与えるものである。

$$SN = \sum ai \times hi \text{ (inch)} \times mi$$

- ai : 層係数
- hi : 各層の厚さ (inch)
- mi : 排水係数

層係数及びレジリエント係数 (MR) の一般的な数値は以下のとおりである。

付表 2.13 材料別層係数の例（一般的数値）

材料	CBR	層係数 : ai (1/in)	レジリエント係数 E (MR)
アスファルトコンクリート	>100	0.42~0.44	400,000
アスファルト安定処理	-	0.30~0.35	280,000
セメント安定処置	-	0.15~0.23	220,000
砕石 (硬い)	80 - 100	0.14	≒CBRx350
砕石 (通常)	60 - 80	0.13	
川砂利	40 - 70	0.12	≒CBR x700
砂+砂利 (混合材料)	20 -50	0.11	
下層路盤 (粒状材料)	10 - 30	0.08	
置換え層	> 15	0.08	
路床	-	-	≒CBRx1,500

また、AASHTO（1993）では粒状上層路盤、粒状下層路盤の層係数（ a_i ）をレジリエント係数（ E ）から、次の関係式を用いて推定してもよいこととしている。

$$\text{粒状上層路盤} : a_i = 0.249 \times (\log_{10} E_{BS}) - 0.977$$

$$\text{粒状下層路盤} : a_i = 0.227 \times (\log_{10} E_{SB}) - 0.839$$

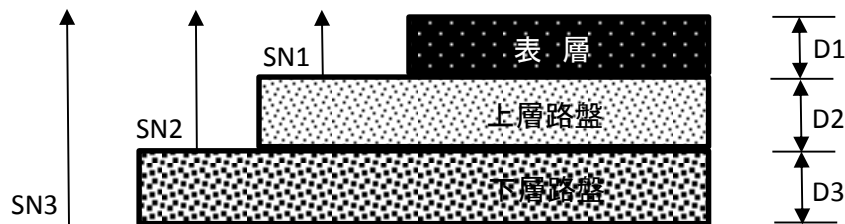
この与えられる SN 値を満たす舗装構成の組み合わせは数多くあるため、非現実的な設計とならないよう工事や維持管理の制約、及び経済性を加味しなければならない。また、各層の最少厚についても配慮することが必要である。AASHTO（1993）では、下表に示すような各層の最少厚（inch）が提案されている。

付表 2.14 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

4) 層構造の解析

層構造の解析は、付図2.2に示す手順によって行う。まず路床土に対して必要な構造指数を計算する。同じように下層路盤、上層路盤に必要な構造指数を、それぞれ適用される強度の値を用いて計算する。各層に必要な構造指数の計算値の差を用いて、各層の最大許容厚を計算することができる。この手順は、レジリエント係数が40,000psi 以上の下層路盤および上層路盤の材料に対して SN を求めることには適用してはならないこととなっている。高いレジリエント係数を持つ材料の層厚は、費用の効果および実用上の最少厚を考慮した上で決定しなければならない。



付図 2.2 層構造の解析手順

$$D1^* \geq \frac{SN1}{a1}$$

$$SN1^* = a1D1^* \geq SN1$$

$$D2^* \geq \frac{SN2 - SN1^*}{a2m2}$$

$$SN1^* + SN2^* \geq SN2$$

$$D3^* \geq \frac{SN3 - (SN1^* + SN2^*)}{a3m3}$$

：DおよびSNの右肩のアスタリスク（）は、実際に用いられている数字であることを示し、必要な値と等しいか、それより大きな値でなければならない。

2.3 仕様設計法（ORN31）

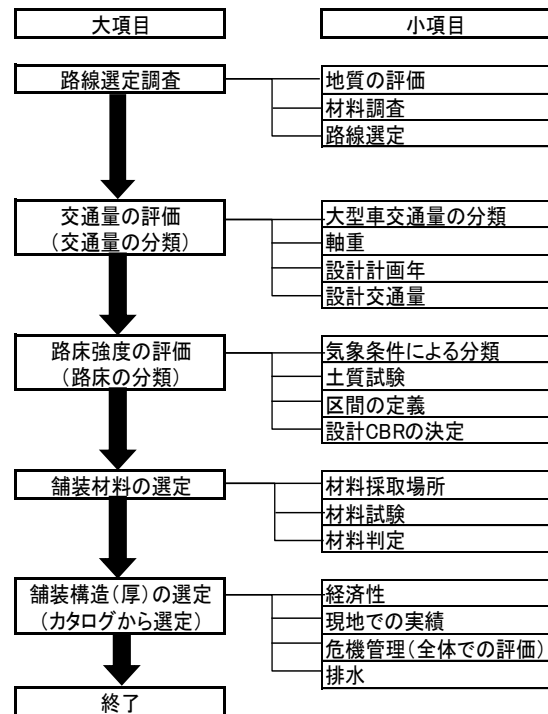
（1）設計方法の説明

イギリスの Transport Road Research Laboratory（TRRL：現 Transport Research Laboratory）の作成した基準である。これまでに多くのイギリス保護領で使われており、特に道路設計（構造・舗装も含む）については Road Note 29から31が基本である。舗装設計手順を以下に示す。

- ① 計画交通量および等価車軸荷重、設計期間の設定
- ② 路床となる対象地盤の支持力の評価
- ③ カタログより、①～②の条件、及び使用する材料に基づき舗装構成を選定。

付表 2.15 設計交通量の分類

Traffic Classes	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
T7	10-17
T8	17-30

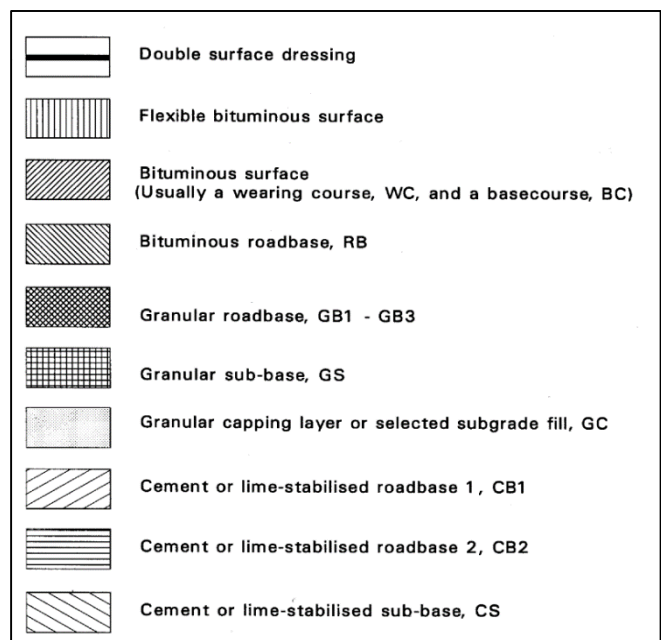


付図 2.3 舗装設計手順

付表 2.16 路床の分類

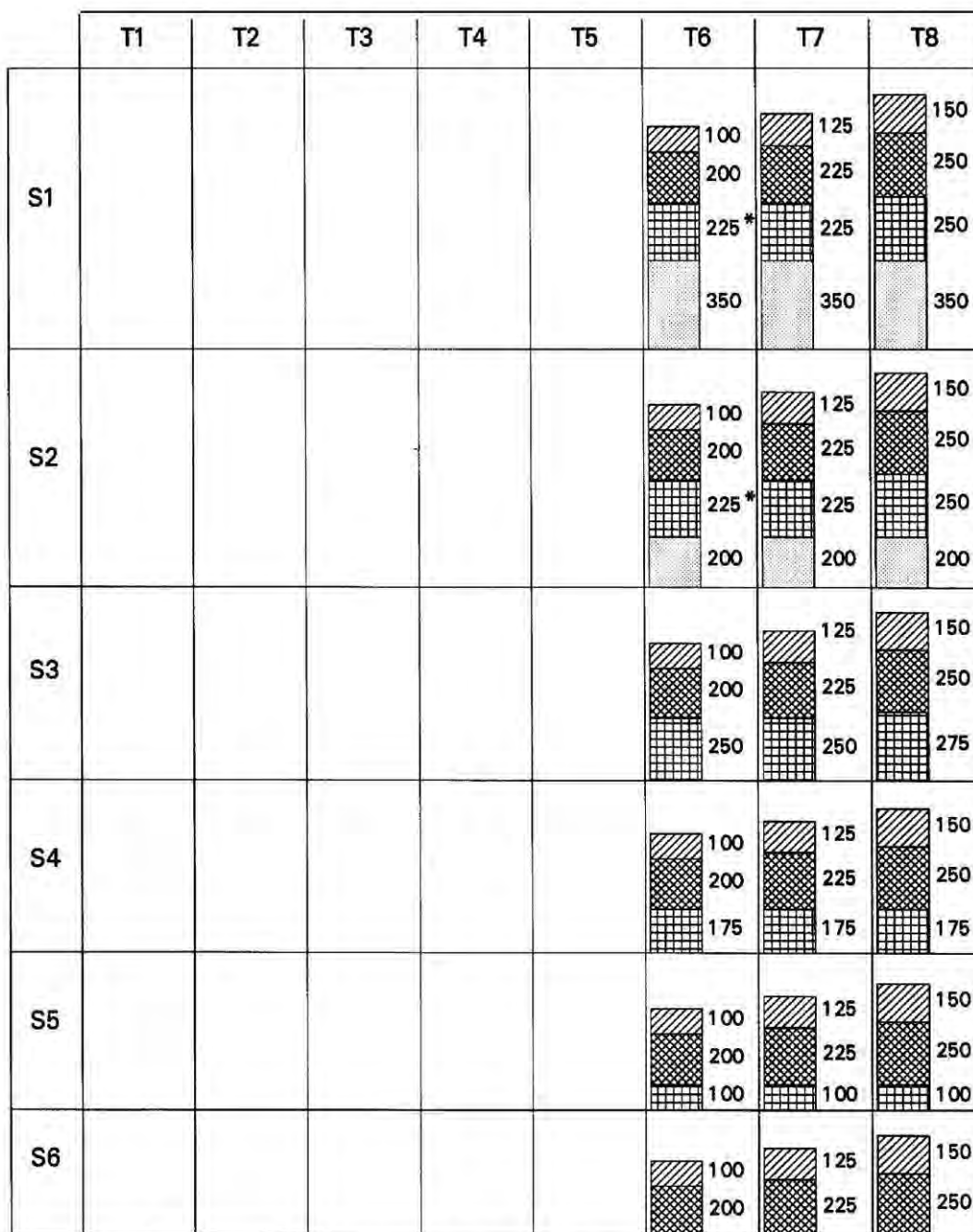
Class	Range (CBR %)
S1	2
S2	3-4
S3	5-7
S4	8-14
S5	15-29
S6	30

《舗装材料および工種》



《参考 カタログ》

CHART 5 GRANULAR ROADBASE / STRUCTURAL SURFACE



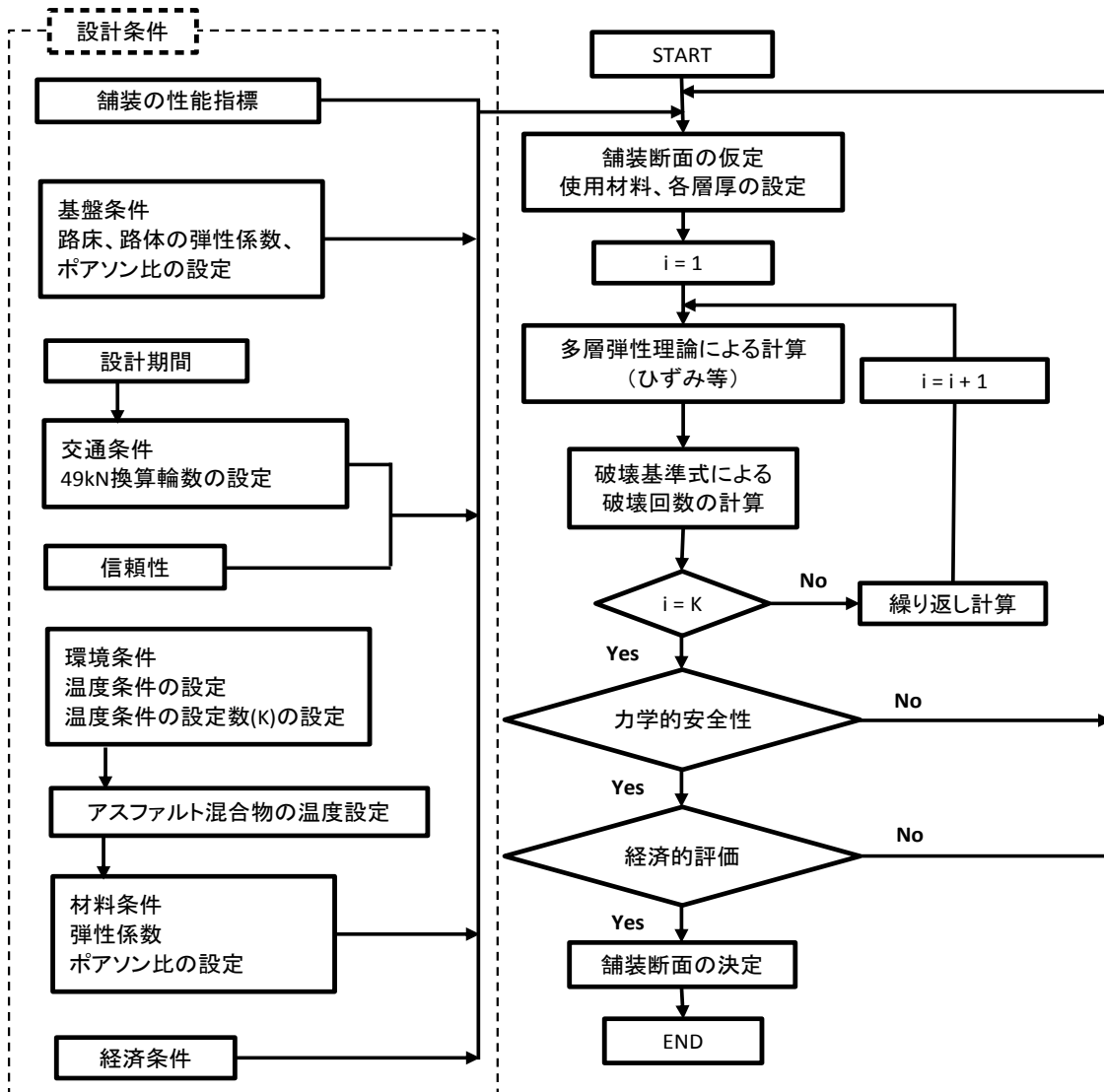
Note: 1 * Up to 100mm of sub-base may be substituted with selected fill provided the sub-base is not reduced to less than the roadbase thickness or 200mm whichever is the greater. The substitution ratio of sub-base to selected fill is 25mm : 32mm.

2 A cement or lime-stabilised sub-base may also be used.

2.4 多層弾性理論（舗装設計施工指針 平成18年）

（1） 設計方法の説明

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、舗装体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、舗装の設計断面を設計する方法である。図-1 に理論的設計法による構造設計のフローを示す。

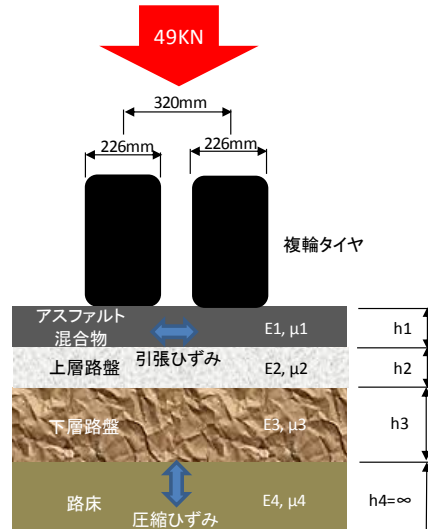


出典：舗装設計便覧

付図 2.4. 多層弾性理論による構造設計の具体的な手順

（２） 舗装構造のモデル

舗装構造については図-2 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。



付図 2.5 舗装構造のモデル図（例）

（３） 構造設計条件の設定項目

1) 設定条件

構造設計に必要な設定条件は以下のとおりである。

付表 2.17 構造設計条件の設定項目

項目	明確にする必要のある設計条件
交通条件	① 疲労破壊輪数 ② 交通荷重（図-2参照） ・ 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 ・ タイヤ設置圧と設置半径
基盤条件	① 路床条件を設定する際の路床厚を1mとする場合 ・ 構築路床、路床（原地盤）の弾性係数とポアソン比 ② 路床厚の設計を1m未満で行う場合 ・ 上記①とともに路体の弾性係数とポアソン比
環境条件	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）
材料条件	舗装各層の弾性係数とポアソン比

出典：舗装設計施工指針（H.18（社）日本道路協会）

2) 疲労破壊輪数について

疲労破壊とは、荷重の繰返しによるひび割れの発生で舗装が破壊することであり、疲労破壊輪数は、「舗装路面に49kNの輪荷重を繰返し加えた場合に、舗装にひび割れが生じるまでに要する回数・・・」と定義されている。疲労破壊輪数の基準値としては舗装計画交通量に応じ、以下のように規定されている。なお、舗装の設計期間が10年以外である場合の疲労破壊輪数は、下表に示される数

値に設計間の10年に対する割合を乗じて求める。例えば設計期間が20年の場合は、20年の10年に対する割合、すなわち2を下表の値に乘じる。

付表 2.18 舗装破壊輪数の基準値

区分	舗装計画交通量* (台/日・方向)	疲労破壊輪数 (回/10年)
N7	3,000以上	35,000,000
N6	1,000~3,000	7,000,000
N5	250~1,000	1,000,000
N4	100~250	150,000
N3	40~100	30,000
N2	15~40	7,000
N1	15未満	1,500

*：舗装計画交通量とは、舗装の設計期間内の大型自動車の平均的な交通量
 出典：舗装設計便覧（H.18（社）日本道路協会）

3）基礎及び材料条件

上記の内、舗装各層に使用する材料の弾性係数とポアソン比については、試験等によって設定されることが望ましいが、試験等によるデータ入手が困難な場合には、以下に示す値を用いることができる。

付表 2.19 舗装各層に使用する材料の弾性係数とポアソン比の例

使用材料	弾性係数 (MPa)	ポアソン比	測定方法、留意点
アスファルト 混合物	600~12,000	0.25~0.45 (0.35)**	・舗装試験法便覧別冊 「3-3-1Tアスファルト混 合物のレジリエントモデ ュラス試験方法」など ・舗装温度と想定される 走行速度を考慮
舗装用 コンクリート	25,000~35,000 (28,000)	0.15~0.25 (0.20)	JIS A1149「コンクリート の静弾性係数試験方法」 など
セメント安定処理 混合物	1,000~15,000* 想定する圧縮強度 から推定してもよ い	0.10~0.30 (0.20)	舗装試験法便覧別冊「3- 3-2T路盤材・路床土のレ ジリエントモデュラス試 験」など
粒状材料	100~600 (粒度調整碎石： 300) (クラッシュラン：200) 他の力学的な試験 から推定してもよ い	0.30~0.40 (0.35)	舗装試験法便覧別冊「3- 3-2T路盤材・路床土のレ ジリエントモデュラス試 験」など
路床材料	10 x CBR***	0.4	JIS A1149「コンクリート の静弾性係数試験方法」 など

*：一軸圧縮強度は3~15MPaである。

**：（）内は代表的な値である。

***：CBR値が求められている場合に用いることができる。

出典：舗装設計施工指針（H.18（社）日本道路協会）を参考に調査団作成

4) 環境条件

環境条件には、気温、降雨量などがある。（日本では寒冷地において凍結指数を考慮）気温は、アスファルト混合物の温度および弾性係数に影響を及ぼし、さらに舗装のひずみ、構造的な耐久性に影響を及ぼす。このことから気温データにもとづき、アスファルト混合物層（瀝青安定処理路盤材料を含む）の温度を適切に設定しなければならない。設計に用いる温度については、気温とアスファルト混合物層温度との実測データから設定することが望ましいが、アスファルト混合物層の温度測定ができない場合は、以下の式を用いて気温データからアスファルト混合物層の温度を推定する。

$$M_p = M_a \left[I + \frac{2.54}{z + 10.16} \right] - \frac{25.4}{9(z + 10.16)} + \frac{10}{3}$$

M_p : 月平均舗装温度 (°C)

M_a : 月平均気温 (°C)

z : 温度を推定しようとしている点の表層上面からの深さ (cm)

なお、ある層の平均温度は、その層（厚さ=h'）の上面から h' / 3 の位置での温度とする。したがって、ある層の平均温度は、路面からその層の上面までの深さに、h' / 3 を加えた値を z とする。

(4) 舗装の破壊条件

アスファルト混合物の疲労ひび割れに対してはアスファルト混合物下層の引張りひずみが支配的な要因である。また、路床を含めた舗装各層の圧縮による永久変形に対しては路床上面の圧縮ひずみが支配的な要因であり、これらの値を多層弾性理論を用いて算出する。算出されたひずみに対し、ひび割れ率や永久変形量に応じて、暫定的に設定した破壊基準を適用して許容 49kN 輪数を求める。

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。以下に暫定破壊基準を示す。

① 路床の暫定破壊基準

$$N_{fs} = \beta_{s1} \times (1.365 \times 10^{-9} \times \epsilon_z^{4.477 \beta_{s2}})$$

N_{fs} : 路床の許容 49 kN 輪数

ϵ_z : 路床上面の圧縮ひずみ

β_{s1} : 2.134×10^3

β_{s2} : 0.819

経験による AI 破壊基準に対する補正係数

② アスファルト混合物の暫定破壊基準

$$NFA = \beta_{a1} X (C) X (6.167 \times 10^{-5} X \epsilon t^{-3.291 \beta_{a2}} X E^{-0.854 \beta_{a3}})$$

N_{FA} ：アスファルト混合物層の許容 49 kN 輪数

C：C=10M (M=4.84 (VFA/100-0.69))

VFA：飽和度 (%)

ϵt ：アスファルト混合物層下面の引張りひずみ

E：アスファルト混合物の弾性係数 (MPa)

$$\beta_{a1} = K_a \times \beta_{ai}$$

$$\beta_{a1} : 5.229 \times 10^4$$

$$\beta_{a2} : 1.314$$

$$\beta_{a3} : 3.018$$

経験による AI 破壊基準 に対する補正係数

$$K_a = 1 / (8.27 \times 10^{-11} + 7.87 \times e^{-0.11H_a})$$

H_a ：アスファルト混合物の厚さ (cm)

2.5【参考】南アフリカ（SA）の理論的設計法

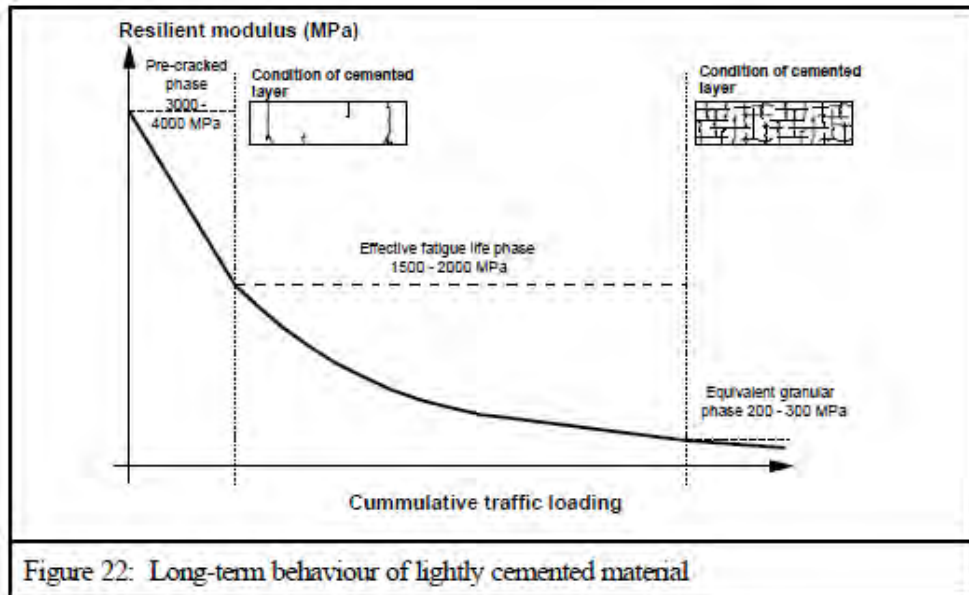
理論的設計法については、日本の「舗装設計便覧（H18）」で示されている方法の他、南アフリカ（SA）で使用されている方法を使用することも考えられる。南アフリカの設計方法では、材料ごとに細かく「弾性係数」が設定されており、汎用性の高いものとなっている。以下に、粒状路盤の使用材料別弾性係数の例を示す。

付表2.20 粒状材料の弾性係数:MPa（南ア基準）

コード*	材料	下部の材料		湿った状態 (強固な支持)	湿った状態 (脆弱な支持)
		セメント安定処理	粒状材料		
G1	碎石（高品質）	250-1,000 (450)	150-600 (300)	50-250	40-200
G2	碎石（中品質）	200-800 (400)	100-400 (250)	50-200	40-200
G3	碎石（低品質）	200-800 (350)	100-350 (230)	50-150	40-200
G4	自然砂利（上層路盤相当）	100-600 (300)	75-350 (225)	50-150	30-200
G5	自然砂利	50-400 (250)	40-300 (200)	30-200	20-150
G6	自然砂利（下層路盤相当）	50-200 (150)	30-200 (120)	20-150	20-150

*コード：材料コード（TRH（TECHNICAL RECOMMENDATIONS FOR HIGHWAYS）に定められた材料コード）

また、日本の理論的設計法と異なる点として、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。



付図2.6 セメント材料の長期的な性状

付属資料3. 配合設計の方法

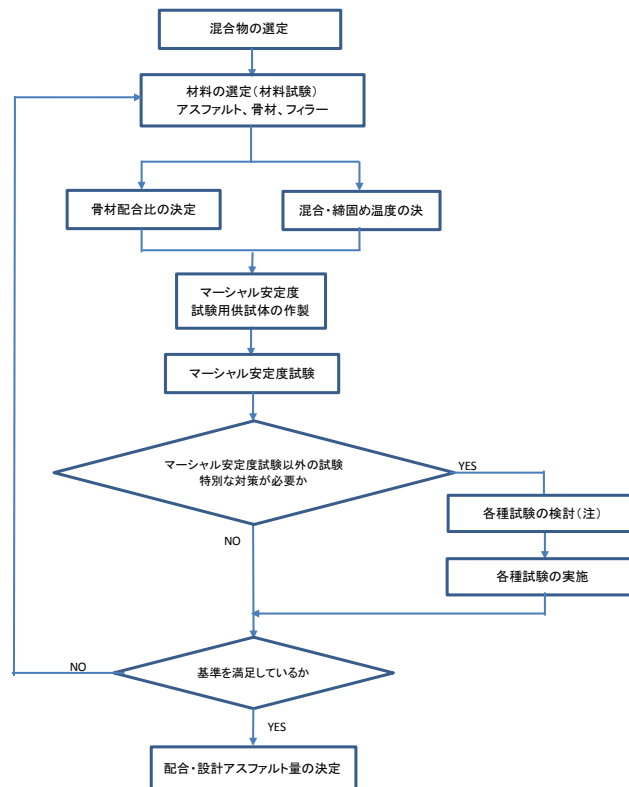
3.1 マーシャル設計法

① 概要

我が国のアスファルト混合物の配合設計は、一般的にマーシャルランマーで締め固めて供試体を作製するマーシャル設計法によって行われている。マーシャル設計法は、アスファルト混合物の配合設計に用いる安定度試験の1つで、試験方法は円筒形混合物供試体（直径100mm、厚さ約63mm）を作製し、規定の載荷速度（50mm/min）により直径方向に荷重を加え、供試体が破壊するまでに示す最大荷重（安定度）とそれに対応する変形量（フロー値）、マーシャル安定度、空隙率、飽和度を求め、その規定範囲内より設計アスファルト量を決定するものである。

② 配合設計方法

- 配合設計は下図に示す手順で行う。
- 目標空隙率が確保でき、下表の粒度範囲に入るように、骨材の配合比を決定する。
- アスファルト混合物の混合温度は、均一な混合ができ、かつ作業条件・熱劣化を考慮して決定する。アスファルトの温度管理は、製造メーカーが推奨する温度を参考に実施する。
- マーシャル試験は、推定最適アスファルト量を中心に0.5%間隔で5点以上のアスファルト量で行う。



(注)ここで示した「各種試験」とは、塑性変形輪数等の確認のほか、特別な対策を検討するのに必要な試験をいい、たとえばアスファルト混合物のホイールトラックング試験、ラベリング試験の他、定水位透水試験などが該当する。

出典：舗装施工便覧（H. 18（社）日本道路協会）

付図3.1 アスファルト混合物の配合設計手順

付表3.1 粒度・アスファルト量の範囲

ふるい目の 開き (mm)	ふるい通過質量百分率 (%)			
	表層			
	タイプ A	タイプ B	タイプ C	タイプ D
	13mm	13mm	13mm	13mm
26.5				
19.0	100	100	100	100
13.2	95-100	95-100	95-100	95-100
9.5	-	75-95	75-95	-
4.75	55-70	55-75	52-72	35-55
2.36	35-50	38-58	40-60	30-45
0.6	18-30	21-36	25-45	20-40
0.3	10-21	13-25	16-33	15-30
0.15	6-16	6-16	8-21	5-15
0.075	4-8	4-8	5-12	4-10

※タイプAは一般地域用、タイプB・Cは寒冷地域用、タイプGは線形の悪い区間やわだち掘れ対策用

出典：舗装工事施工管理要領（H. 23 高速道路会社）

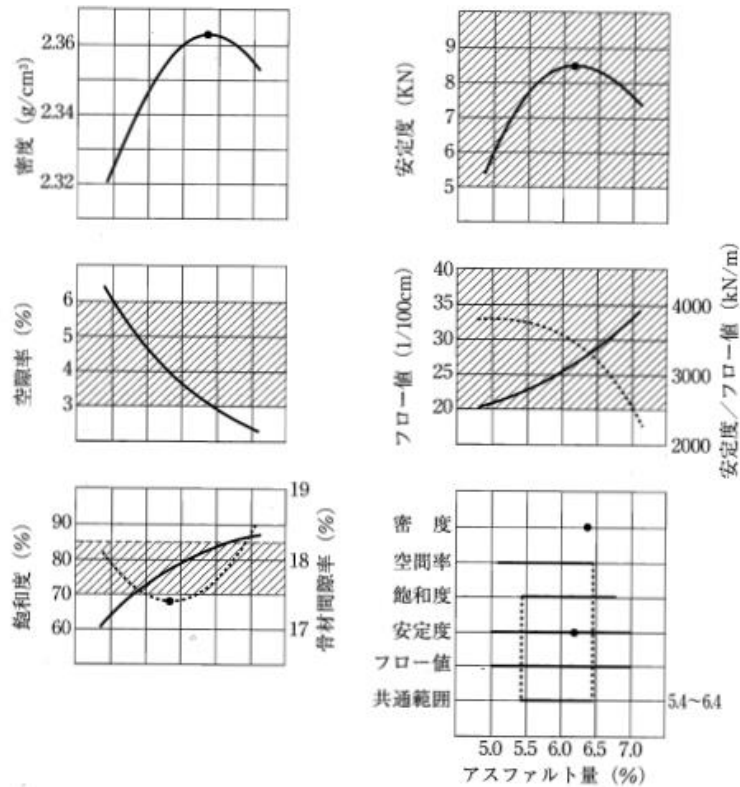
③ 配合設計手順

1) 骨材配合比の決定

- A) 所定の骨材粒度の範囲内で予定粒度を求める。過去の施工例を参考に、通常はその粒度の中央点での粒度を選定する。
- B) 予定粒度に照らし合わせて使用予定の粗骨材と細骨材、フィラーの配合比を設定する。
- C) マーシャル供試体を作製する際の突固め回数は50回もしくは75回とする。

2) 最適アスファルト量の決定

- A) 決定した骨材配合比にて、アスファルト混合物のマーシャル供試体を作製する。
- B) マーシャル試験を行う前に供試体の密度を測定し、この密度により空隙率と飽和度を求める。
- C) マーシャル供試体の密度、空隙率、飽和度、安定度、フロー値とアスファルトの関係をそれぞれグラフに表す。この際、アスファルト量を縦軸に、各試験値を横軸に取る。
- D) 各グラフとマーシャル試験基準値とを照合して、全ての基準値を満足するアスファルト量の範囲を求め、中央値を最適アスファルト量とする。



出典：舗装施工便覧（H. 18（社）日本道路協会）

付図3.2 最適アスファルト量の決定手法の例

付表3.2 マーシャル試験基準目標値

項目	表層		
	A	B, C	G
マーシャル安定度 kN (kgf)	6 (600) 以上		
フロー値 1/100cm	20~40		
空隙率 %	3~5		3~7
飽和度	70~85	75~85	65~85
水浸マーシャル残留安定度 60℃ 48時間 %	75 以上		
マーシャル基準密度に対する現場締固め度 %	96 以上		

出典：舗装工事施工管理要領（H. 23 高速道路会社）

④ マーシャルオートランマー

アスファルト混合物のマーシャル供試体を作製するための試験機。平らな円形の端面を持ち、45.7cmの高さから案内棒に沿って、モールド内に自由落下する質量4.5kgの重錘と供試体締固め台を備えた自動突き固め装置。

供試体締固め台とはモールドを装着するためのもので、30×30×2.3cmの鋼板を頂点に乗せた20×20×46cmの木柱を4個の形鋼によりコンクリート版に固定したものの、またはこの台と同様な締固め効果を与える適当な台。木柱は樫または乾燥密度が0.67～0.77g/cm³の木材により作られたものとする。



写真 マーシャルオートランマー

3.2 Refusal Density 法

① 概要

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（500回程度）させた方法である。したがって、高温、大きな軸重荷重作用、重車両の緩速走行等、厳しい荷重・走行条件の場合には、Refusal Density法を採用することを提案している。その他、Road Notesでは、累積軸重が100万ESAを超える場合にはSUPERPAVEの適用、500万ESAを超える場合には動的クリープ試験と弾性試験の実施も提案している。

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。

② 設計手順（TANROADS Test 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、 $\pm 0.5\%$ 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。）

3.3 Superpave 配合設計法

① 概要

SHRP (Strategic Highway Research Program:戦略的的道路研究計画)とは、舗装性能の向上を目指し、アメリカで1987年から5年間かけて実施した、総合的な舗装技術に関する研究計画のことである。アメリカが荒廃するアメリカとして、舗装の損傷がクローズアップされた時代であり、80億ドルともいわれる巨額をかけて、主として舗装の供用性を高めるための研究を実施した。その成果として生まれたのが、スーパーペイブ (SUPERPAVE: Superior Performance Pavement) という、アスファルトの規格体系、試験法の変更も含む設計法である。

Superpave配合設計法の特徴は、

- ・舗装の気象条件(最高温度と最低温度)と交通条件から要求されるパフォーマンスグレードを満たすアスファルトを選定する。
- ・ローラ転圧(垂直圧縮と水平せん断の組み合わせ)のニーディング(こねかえし)作用による締固めにマーシャル突固めよりもはるに近い“ジャイレトリコンパクタ” (回転速度：毎分30回、旋回角度：1.25度、上下方向圧力：600kPa) を室内供試体(直径150mm、厚さ110～120mm)作製に用い、締固めレベルは交通レベルから選定する。
- ・最適アスファルト量は容積特性基準(空隙率、骨材空隙率、飽和度、ダスト・バインダ比等)による。

などである。

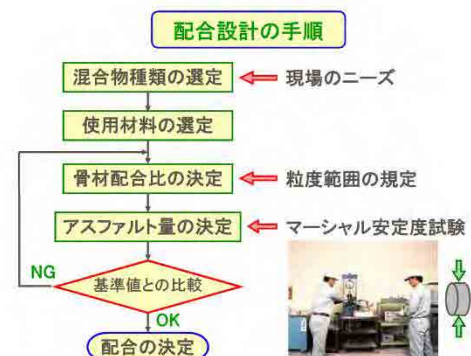


写真ジャイレトリコンパクタ

② 設計手順

- 舗装プロジェクトの設計条件、環境条件に基づいて、使用アスファルト、骨材を選定する。
- 選定した骨材を用いて、最低3通りの暫定骨材粒度を設定する。
- 各骨材粒度の暫定バインダ量を決定し、舗装プロジェクトの設計 ESAL に基づいた SGC の回転回数で、ジャイレトリ試験機により供試体を作製する。
- 骨材粒度の選定

供試体高さ、密度を測り、各試行混合物の設計回転回数時の空隙率と VMA (骨材空隙率) を計算し、空隙率が4.0%になる場合の、各試行骨材粒度に対する VMA と VFA (飽和度) を推定する。規準に最も満足するものを試行骨材粒度のなかから選定する。



付図3.3 配合設計手順概要フロー

E) 設計バインダ量の選定

選定した骨材粒度において、推定した設計バインダ量 (Pb)、 $Pb \pm 0.5\%$ 、 $Pb + 1.0\%$ の4通りのバインダ量でジャイレトリー試験機により供試体を作製し、密度を測る。内挿法により、空隙率が4%となるアスファルト量を0.1%単位で決定し、これを設計アスファルト量 (Pb) とする。なお、この設計アスファルト量で空隙率、VMA と VFA、ダストーバインダ比の規格が満たされることを確認する。

F) 水分感受性の評価

設計バインダ量の配合で6個の混合物供試体（凍結融解の試験が必要な場合は9個）を作製し、引張試験を行い、引張強度比が0.80以上であることを確認する。

付表 3.3 Superpave 配合設計の規格

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
	N _{ini}	N _{des}	N _{max}	骨材の最大粒径(mm)							
				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。

出典：AASHTO 2009 29th Edition

② 留意点

Superpave の設計における留意点は以下のとおりである。

A) アスファルトの選定

アスファルトは適切なパフォーマンスグレード (PG) を選定する。

- PG の特徴は舗装のパフォーマンスに関係づけたアスファルトのグレードであり、“PG A-B”のように表示され、A は高温側グレードで舗装の最高温度、B は低温側のグレードで舗装の最低温度を表す。たとえば PG 64-22 は、このアスファルトが少なくとも舗装温度 64°C までわだち掘れ抵抗性のあること、舗装温度 -22°C まで低温クラック抵抗性のあることを意味する。言い換えれば、従来の針入度等級アスファルトは規定温度 (たとえば、針入度は 25°C) におけるアスファルトの品質でグレードを設定していたが、PG グレードはわだち掘れ抵抗性と低温クラック抵抗性を確保するために必要な品質規格を設定し、この品質規格 (PG グレードが変化しても品質規格は同じ) を満足する温度で設定されたグレードである。
- PG グレードは 6°C 間隔で設定されている。たとえば、PG 64-22 の 1 グレード高温側

のグレイドはPG 70-22となる。

- ・ PG グレイドの選定は当該プロジェクト位置または近くの気象データを用いて行う。
 - － 高温側 PG グレイドは、気象データから各年の最も暑い7日間を抽出し、その平均最高気温とその標準偏差を求め、気温から平均舗装最高温度とその標準偏差を推定する。設計において設定した信頼度に応じた舗装最高温度を算定する。
 - － 低温側 PG グレイドは、気象データから各年の最低気温を抽出し、高温側グレイドと同じ方法で舗装最低温度を設定する。
- ・ PG グレイド設定に当たって利用した気象データの出典は何か、利用した気象データは何年間の記録か、気温から舗装温度の推定に適用した方法は何か、設定された信頼度が明記されているかを確認する。
- ・ わだち掘れ対策における PG アスファルトの選定は下記 D) を参照する。

B) 骨材の評価

SUPERPAVE による設計では、アスファルト混合物のパフォーマンスには骨材の特性が多分に影響しているという共通認識に基づいて、骨材の特性を二つに大別してその評価法を定めている。

一つは Consensus Property で道路機関が共通して設定する規定であり、交通レベルに応じた規格が設定されているか確認する。

もう一つは Source Property で各道路機関がローカルな経験にもとづいて設定する規定である。

- Consensus Property
 - ・ 扁平および細長骨材の含有量
 - ・ 粗骨材の角張り度
 - ・ 細骨材の角張り度 (FAA: Fine aggregate angularity)
 - ・ 骨材中の粘土分の含有量 (SE: Sand Equivalent)
- Source Property
 - ・ タフネス (ロサンゼルスすり減り減量)
 - ・ サウンドネス (硫酸ナトリウムまたは硫酸マグネシウムによる安定性)
 - ・ 不純物混入

SUPERPAVE で新たに導入され、試験法が開発されたものは、Consensus Property に分類されているものである。

付表3.4 SUPERPAVE における骨材の基準

累積設計軸重* (百万)	粗骨材の角張(%) 最少値		細骨材の空隙率(%) 最少値		砂等(%) 最少値	扁平率(%) 最大値***
	≤100	>100	≤100	>100		
T<0.3	55/-	-/-	-	-	40	-
0.3≤T<3	75/-	50/-	40	40	40	10
3≤T<10	85/80**	60/-	45	40	45	10
10≤T<30	95/90	80/75	45	40	45	10
T≥30	100/100	100/100	45	45	50	10

*累積設計軸重は、実際の設計交通量（20年間）と Ndesign Level にかかわらず、予測された1車線当たりの交通量で20年以上。

**85/80：85%は1つの破砕面、80%は2つ以上の破砕面を意味する。

***要求を満たさない比率。扁平率の基準は5:1としている。

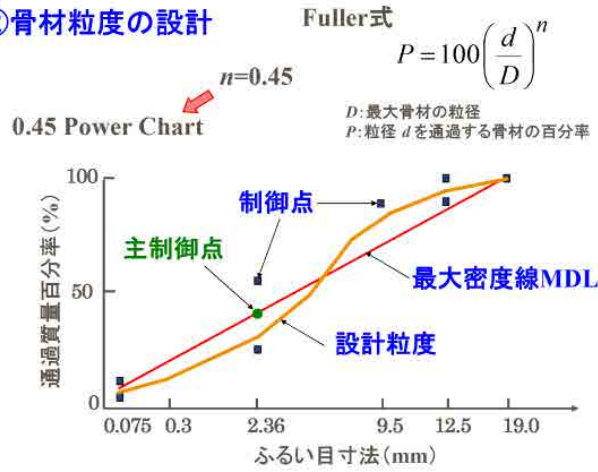
C) 骨材粒度の選定

Superpave 法では、骨材粒度は付図3.4に示すような0.45乗座標図(0.45 power chart)での表示が標準であり、この原点と最大粒度の100%を結んだ直線、すなわち $P=(d/D)^{0.45} \times 100$ (d; 任意の粒径、D; 最大粒径) が最大密度線 (Maximum density line: MDL) である。これは Fuller 曲線とほぼ同じである。Superpave 法では、付図3.4に示すように、制御点が規定されており、最大密度線から少しずらした S 字型の粒度曲線が推奨されている。骨材合成粒度における2.36mm 通過量は、粗骨材 (2.36mm 以上) と細骨材 (2.36mm 以下) の分岐点である。

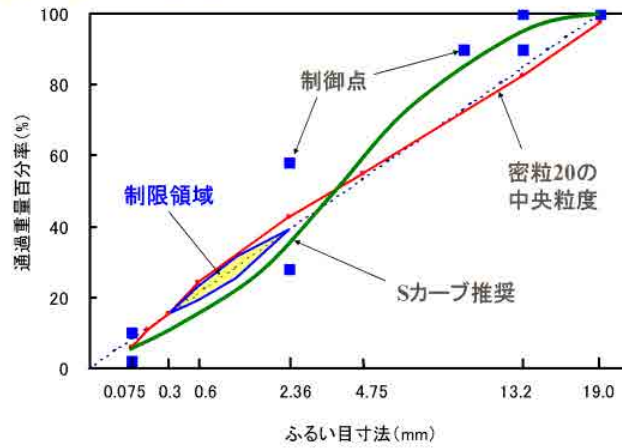
Superpave 法では、混合物の種類は全て密粒系であるが、アスファルト混合物は骨材粒度が、2.36mm ふるいにおいて最大密度線の下を通るものと上を通るものを、それぞれ coarse 粒度混合物および fine 粒度混合物と呼んでいる。耐流動性の点で coarse 粒度混合物を推奨している。

また Superpave 法の当初は2.36~0.3mm ふるい目において制限領域があつてその上方もしくは下方を通る粒度とせざるを得なかった。しかし実際に配合を組んで試験をしてみると、当然ながら上方を通る粒度 (細かい粒度) は耐流動性に劣り望ましくない結果を示した。そのため制限領域の下方を通る粒度曲線 (Sカーブ) となった。制限領域がなくなった現在も、その影響で Sカーブの粒度曲線となっている。

②骨材粒度の設計



廃止された制限領域



付図3.4 骨材粒度の設計と制御点

出典：アスファルト混合物の配合設計～Superpave 設計法～
（長岡技術科学大学 高橋 修教授作成資料）

付表3.5 混合物の最大骨材粒径毎の Superpave 制御点

最大粒径	37.5mm		25.0mm		19.0mm		12.5mm		9.5mm	
ふるい寸法 (mm)	下限	上限	下限	上限	下限	上限	下限	上限	下限	上限
50.0	100									
37.5	90	~ 100	100							
25.0		90	90	~ 100	100					
19.0				90	90	~ 100	100			
12.5						90	90	~ 100	100	
9.5								90	90	~ 100
4.75										90
2.36	15	~ 41	19	~ 45	23	~ 49	28	~ 58	32	~ 67
0.075	0	~ 6	1	~ 7	2	~ 8	2	~ 10	2	~ 20

出典：Asphalt Institute: Superpave No. 2 (SP2)

D) わだち掘れ抵抗性対策

- ・使用するアスファルトのグレードは適用箇所の気象条件と交通量のレベルから要求されるパフォーマンスグレード(PG)を満たすよう選定するが、交通速度によって高温側グレードのみを1~2グレード上げて対処する。
- ・容積特性基準を満たす混合物のわだち掘れ抵抗性は、混合物の品質確認としてパフォーマンス試験(Hamburg Wheel Tracking Test など)を実施する。

④ Superpave の適用状況

- ・Superpave は米国36州、カナダ3州が2005年調査時点で適用している。
- ・PG アスファルトの適用は、米国50州、カナダ6州が2005年調査時点で適用している。
- ・ヨーロッパは適用していない。
- ・南アフリカはマーシャル法から Superpave 適用へ移行する。

⑤ 開発途上国での適用可能性

- ・Superpave をそのまま適用することは困難である。
 - ーPG 選定の気象条件、交通条件が整備されていること、PG バインダーの入手可能なこと、ジャイレトリーコンパクタなどの試験装置と技術者の育成を必要とすることによる。
 - ージャイレトリーコンパクタ設計締固めレベル(設計回転数 ; Ndesign)の設定は、舗装の供用後の交通による密度上昇など現場での調査研究を必要とする。

付属資料 4. 施工計画の留意点

4.1 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、プロポーザ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

4.2 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。

4.3 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め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 締め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め固め度管理であり、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。

4.4 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用区分を付表 4.1 に示す。

付表 4.1 針入度別のアスファルトの使用区分

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付表 4.2 に示す。

付表 4.2 改質アスファルトの使用区分


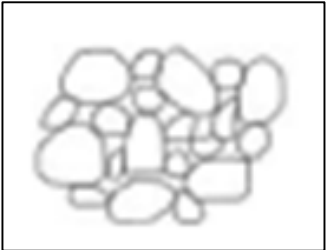
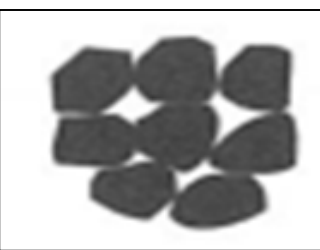
ポリマー改質アスファルト I 型	耐摩耗
ポリマー改質アスファルト II 型	耐流動性・耐摩耗
セミブローンアスファルト (AC-100)	耐流動

※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。

(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、オープン粒度に大別される。これら粒度の概念図を付図 4.1 に示す。

		
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る。	骨材粒子間の接点数が少なく、インターロックが低い

付図 4.1 混合物粒度の種類

- 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。

4.5 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。

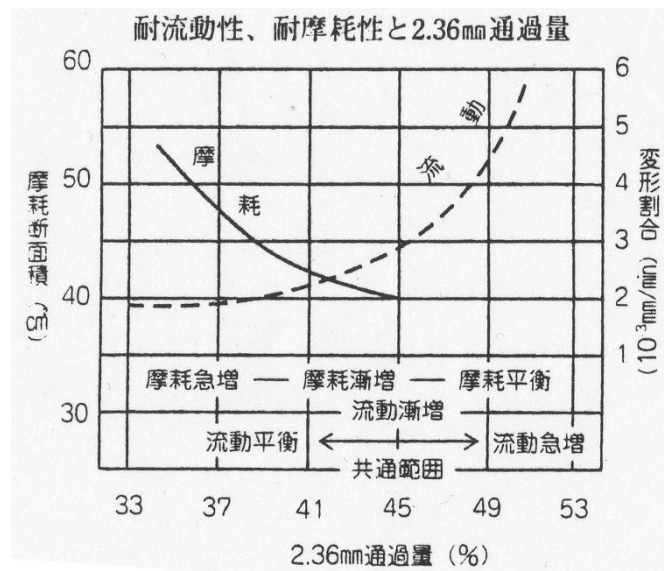
① 目標粒度の設定に関する一般的な考え方

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。付図 4.1 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

付図 4.1 耐流動性、耐摩耗性と 2.36mm ふるい通過量の関係

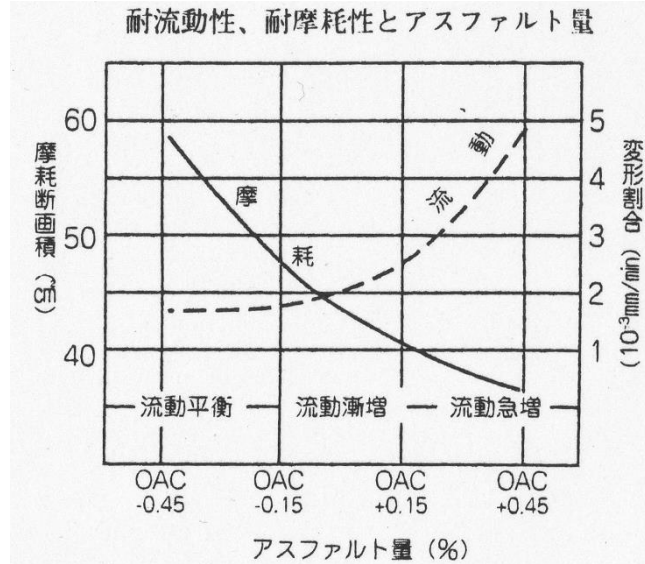
2.36mm ふるい通過量が 少ないほど(粒度：粗い) ⇒耐流動性◎、耐摩耗性×
 大きいほど(粒度：細かい) ⇒耐流動性×、耐摩耗性◎

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、付図 4.1 から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。付図 4.2 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

付図 4.2 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。

付表4.1 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 良好	2.36mm ふるい通過量(細骨材量)	多いほど 良好
硬いほど 良好 (40-60 > 80-100)	アスファルトの針入度	軟らかいほど 良好 (40-60 < 80-100)
少ないほど 良好	アスファルト量	多いほど 良好
-	粗骨材の石質	硬質なほど 良好
稜角なほど 良好	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に基づいて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

付属資料5. 問題土の判定と対策の例

(1) 問題土の判定

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ことが重要であり、問題土が多かった場合、準備調査計画を見直す必要性も視野に入れて発注者と協議を行う必要がある。

ブラックコットンソイルを含む膨張土が、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》	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 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》	
<p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 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% 	

(2) 問題土の対策

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必要がある。

米国の M-E pdg (Mechanistic-Empirical 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取り除き、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。本マニュアルでは、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。

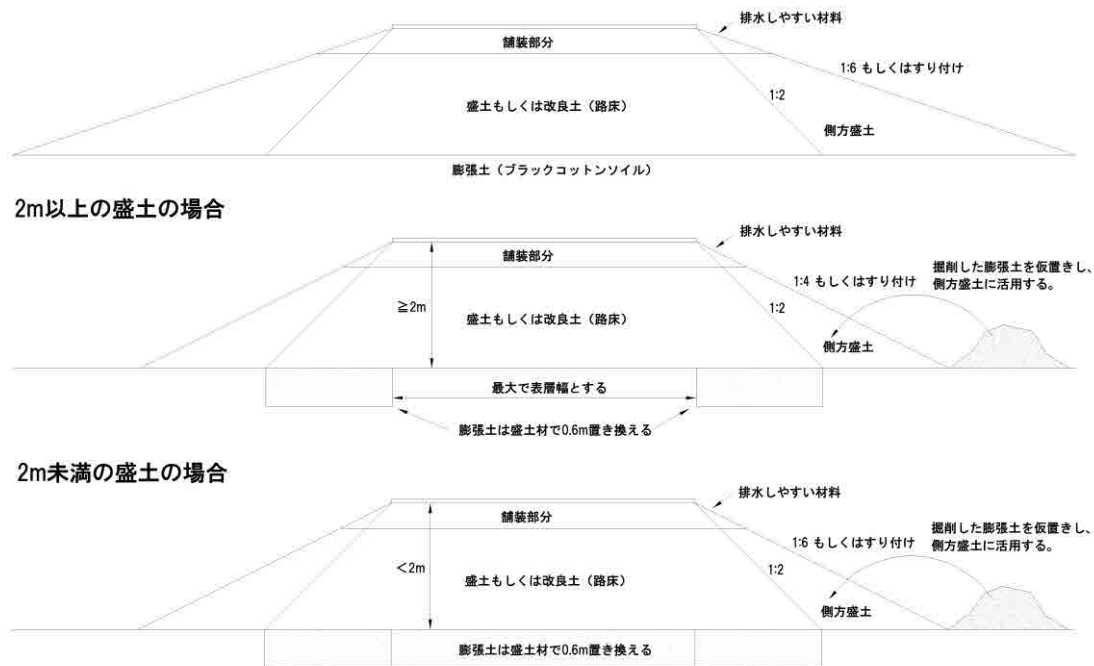
付表5.1 タンザニアにおける膨張土（ブラックコットンソイル）の分類

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

付表5.2 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 $\epsilon_{ex} < 20$	法面勾配 1:6	路肩シール -
Medium $\epsilon_{ex} < 20 - 50$	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	最少盛土厚：0.6m
High $\epsilon_{ex} > 50$	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。



付図5.1 ブラックコットンソイル対策工（TANROADS 舗装設計マニュアル）

付属資料6. 適用材料の基準例

(1) 盛土／路盤材料

付表6.1 材料基準の例（ORN31）

材料	要求基準
盛土材	The upper 500 mm of soil immediately beneath the subbase or capping layer i e the top of the embankment fill or the natural subgrade, should be well compacted In practice this means that a minimum level of 93-95 per cent of the maximum dry density obtained in the British Standard (Heavy) Compaction Test.
路床材料	Category (1). Subgrades where the water table is sufficiently close to the ground surface to control the subgrade moisture content. The type of subgrade soil governs the depth below the road surface at which a water table becomes the dominant influence on the subgrade moisture content. For example, in non-plastic soils the water table will dominate the subgrade moisture content when it rises to within 1 m of the road surface, in sandy clays (PI<20 per cent) the water table will dominate when it rises to within 3m of the road surface, and in heavy clays (PI>40 per cent) the water table will dominate when it rises to within 7m of the road surface. In addition to areas where the water table is maintained by rainfall, this category includes coastal strips and flood plains where the water table is maintained by the sea, by a lake or by a river. Category (2). Subgrades with deep water tables and where rainfall is sufficient to produce significant changes in moisture conditions under the road. These conditions occur when rainfall exceeds evapotranspiration for at least two months of the year. The rainfall in such areas is usually greater than 250 mm per year and is often seasonal. Category (3). Subgrades in areas with no permanent water table near the ground surface and where the climate is dry throughout most of the year with an annual rainfall of 250 mm or less.
置換え材料	These materials are often required to provide sufficient cover on weak subgrades. They are used in the lower pavement layers as a substitute for a thick sub-base to reduce costs. The requirements are less strict than for sub-bases. A minimum CBR of 15 per cent is specified at the highest anticipated moisture content measured on samples compacted in the laboratory at the specified field density.
下層路盤材料	A minimum CBR of 30 per cent is required at the highest anticipated moisture content when compacted to the specified field density, usually a minimum of 95 per cent of the maximum dry density achieved in the British Standard (Heavy)
上層路盤材料	Graded crushed stone (GB 1,A and GB1,B). Two types of material are defined in this category. One is produced by crushing fresh, quarried rock (GB1,A) and may be an all-in product, usually termed a `crusher-run', or alternatively the material may be separated by screening and recombined to produce a desired particle size distribution. The other is derived from crushing and screening natural granular material, rocks or boulders (GB1,B) and may contain a proportion of natural, fine aggregate.

付表6.2 粒上材料基準の例（ORN31）

材料	Code	Description	Summary of Specification
上層路盤材料	GB1,A	Fresh, Crushed Rock	Dense graded unweathered stone. Non-plastic parent fines
	GB1,B	Crushed Rock, Gravel or boulders	Dense grading, PI<6, soil or parent fines.
	GB2,A	Dry-bound macadam	Aggregate properties as for GB1,B PI<6
	GB2,B	Water-bound macadam	Aggregate properties as for GB1,B

			PI<6
	GB3	Natural coarsely graded granular material including processed and modified gravels	Dense grading, PI<6
下層路盤材料	GS	Natural Gravel	CBR after soaking > 80
キャピソク層	GC	Gravel and gravel-soil	Dense graded, CBR after soaking > 15

付表6.3 材料基準の例（舗装設計便覧）

材料	要求基準
盛土材	記載なし。
路床材料	路床面より50cm以上深い個所から乱した状態で CBR 試験を行う。 CBR 試験結果が3以下の場合、設計 CBR が3以上となるように改良を行う。
置換え材料	締固め度 90% 修正 CBR が20以上の場合は20として評価する。
下層路盤材料	クラッシュラン、鉄鋼スラグ、砂等 修正 CBR 20以上 セメント安定処理 一軸圧縮強さ〔7日〕 0.98MPa 石灰安定処理 一軸圧縮強さ〔10日〕 0.7MPa
上層路盤材料	瀝青安定処理 加熱混合：安定度3.43kN 以上 常温混合：安定度2.45kN 以上 セメント・瀝青安定処理 一軸圧縮強さ（7日） 1.5～2.9MPa 一次変位量（7日） 5～30(1/100cm) 残留強度率（7日） 65%以上 セメント安定処理 一軸圧縮強さ〔7日〕 2.9MPa 石灰安定処理 一軸圧縮強さ〔10日〕 0.98MPa 粒度調整碎石・粒度調整鉄鋼スラグ 修正 CBR 80以上 水硬性粒度調整鉄鋼スラグ 修正 CBR 80以上 一軸圧縮強さ〔14日〕 1.2MPa

付表6.4 材料基準の例（SATCC）

材料	要求基準
盛土材	TRH-14: No statement SATCC: Depth below final surface 0.0m – 1.2m: Minimum soaked CBR = 3% at 90% modified AASHTO density 1.2m – 9.0m: Minimum soaked CBR = 3% at 100% modified AASHTO density
路床材料	No grading requirements Minimum CBR at in-situ density = 10% (G8); 7% (G9); and 3% (G10) Maximum swell at 100 % mod AASHTO density = 1.5%
置換え材料	Minimum soaked CBR at 93% modified AASHTO density = 25% (G6); 15% (G7); PI should not exceed 12%; in the case of G6 or G7 material with a large coarse fraction, a higher PI of soil fines may be acceptable. In such case PI may be given by the formula Maximum PI = 3 x Grading Modulus (GM) + 10 Maximum swell at 100 % mod AASHTO density = 1.0% (G6); 1.5% (G7) GM minimum 1.2 (G6); 0.75 (G7)
下層路盤材料	Minimum soaked CBR = 30% at 95% modified AASHTO density Maximum PI = 10 Maximum swell at 100 % mod AASHTO density = 0.5% (G5); 1.0% (G6) GM minimum 1.5 (G5); 1.2 (G6) can be authorized by the Engineer
上層路盤材料	Minimum soaked CBR = 80% at 98% modified AASHTO density Maximum PI = 6 (G2, G3, G4). For stabilized soil shall not exceed 6% after

	treatment Maximum swell at 100 % mod AASHTO density = 0.2% (G2, G3, G4) GM minimum 2.0 for untreated material or 1.7 if material are to be chemically stabilized Maximum linear shrinkage = 3% (G2, G3, G4)
--	--

* $GM = (300 - (P_{2.00mm} + P_{0.425mm} + P_{0.075mm})) / 100$

P_{2.00mm}, etc., denotes the percentage passing through the sieve size.

(2) アスファルト混合物

基準名	舗装設計便覧（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	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	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	
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	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、ホットロールドアスファルト	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 舗装設計便覧(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。

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 舗装設計便覧(日本道路協会)

a. 砕石の粒度

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

b. 砕石の品質の目標値

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%)

c. 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	
	研摩	Polished Stone Value	英国の道路に用いる粗骨材に対して規定
	吸水	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	< 10	
	細骨材	< 16	
	硫酸マグネシウム; 粗骨材	< 15	
	細骨材	< 20	
アスファルトの耐はく離性	残留マーシャル安定度(%)	> 75	
	静的はく離	> 95%(コーティング残留)	
	残留間接引張り強度	> 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			
	$\leq 100\text{mm}$	$> 100\text{mm}$	$\leq 100\text{mm}$	$> 100\text{mm}$		
< 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。車道の実際の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 舗装設計便覧(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。

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 μm	100
150 μm	90-100
75 μm	70-100

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

- ・ 破碎した岩石の粉末、セメント、消石灰

4) 混合物の種類

設計基準	舗装施工便覧		ORN19			Superpave		
	密粒	密粒	密粒	密粒	密粒	密粒系*	密粒系*	密粒系*
混合物の種類								
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

付属資料7. 塑性変形（わだち掘れ）への対応

(1) 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。内的因子に対する各基準の対応を以下に示す。

表7.1 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
Overseas 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リフューザル デンシティ法等を紹介。	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	舗装構造基準のため記載なし	-
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、リフューザル デンシティ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）、リフューザルデンシティ法にて対応	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（追加突固め後の許容空隙率の範囲）を採用。 必要に応じてジャ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。	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。
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。
MEPDG （Mechanistic Empirical Pavement Design Guide 2008）	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、実証データと相関づけ、予測する手法を採っている。	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。
南アフリカ 舗装ガイドライン 2013	マーシャル法に加えジャ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。

(2) 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7.2 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
Overseas 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リフューザル デンシティ法等を紹介。
AASHTO Guide 1993	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
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）、リフューザルデンシティ法にて対応
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（BS/CEN 基準）を紹介。	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囲）を採用。
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。
MEPDG (Mechanistic Empirical Pavement Design Guide 2008)	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。	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。
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。

平均気温が高く、路面温度も高くなることが想定される場合には、弾性係数の低下による不具合、及び流動わだち掘れを引き起こす可能性がある。このため、その対策案を準備調査段階で見込んでおくことが望ましい。

(3) 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。

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

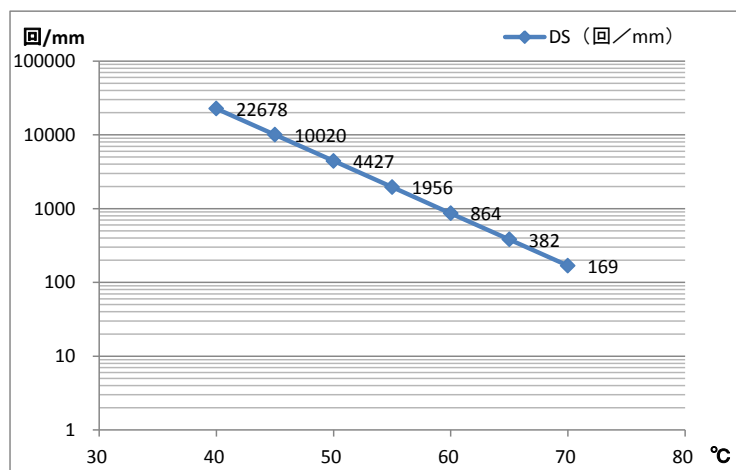
DS：動的安定度（回/mm）

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。



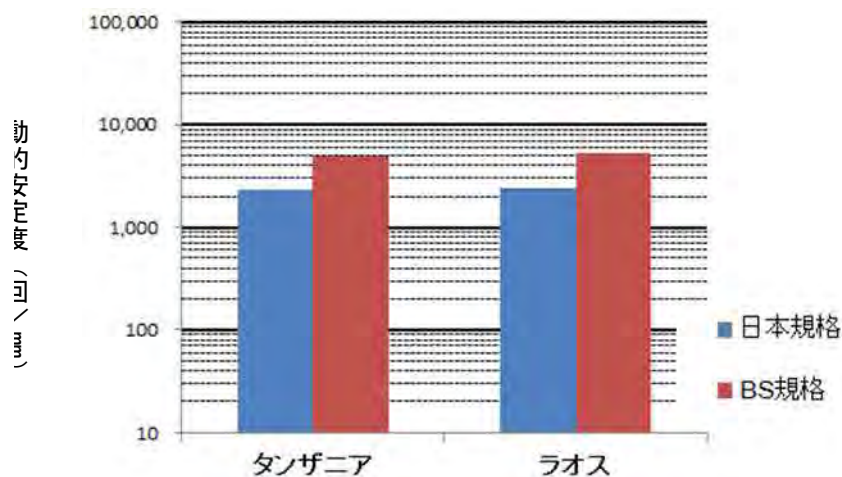
付図7.1 舗装温度と動的安定度の関係

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。

付表7.3 試験方法の比較

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)



付図7.2 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。

(4) 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。

付表7.4 WT 試験結果（低速走行試験）

アスファルト量 (%)	種類	上載荷重		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、試験輪荷重時間は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）の研究結果では、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。

付属資料 8. セメント安定処理適用の留意点

(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 のプロジェクトにおいても、水浸状態が長期間となった場合のセメント安定処理路盤での劣化が報告されており、雨期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っては路盤排水の確保などに注意する必要がある。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。

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と考える。

無償資金協力で実施された中央アジア地域の幹線道路改修事業において、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。

1) 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

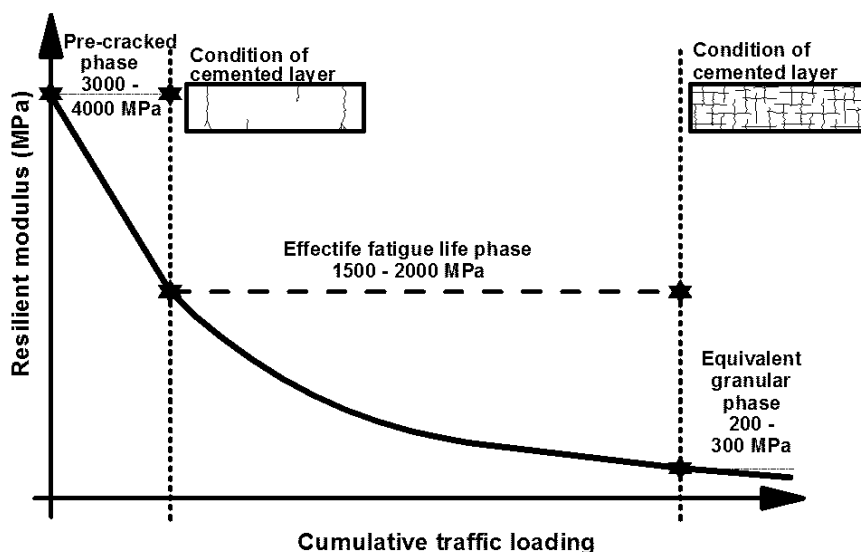
- セメント量の多いソイルセメントを用いたアスファルト舗装には破損したものが多。
- 圧縮強度が大きいソイルセメントの舗装では破損が発生しやすい。そのため、セメントは必要最小量を用いることにし、圧縮強度は 30kg/cm² 以下にした方がよい。
- ソイルセメントの厚さは 15cm 以上が望ましい。圧縮強度が 30kg/cm² を超え

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。

2) 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設計段階で考慮している。



出典：Overview of the South African Mechanistic Pavement Design Analysis Method

付図8.1 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等を示す。

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。舗装施工便覧ではセメント安定処理を路盤に使う場合は、PI9以下の材料に限るとしている。

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。

付表8.1 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
Overseas Road Note 31 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。	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以下で一様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
舗装設計便覧 2006 (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。
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。

また、セメント安定処理に関し、現地発生不良材料を使用する場合には、施工段階でセメント量の増加等により生じる問題を防止するために、下記のような品質管理試験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

出典：SOUTH AFRICAN PAVEMENT ENGINEERING MANUAL (2013)

付表8.2 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
Overseas Road Note 31 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。	現地発生が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、現地発生の良い土を規定していないが、適用時には、SATCC のPIが10以下で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乾湿（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。
舗装設計便覧 2006 (日本)	「下層路盤の場合」 一軸圧縮強度（7日強度、6日養生、1日水侵）：0.98Mpa 「上層路盤の場合」 一軸圧縮強度（7日強度、6日養生、1日水侵）：2.9Mpa 試行による確認が必要	
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、ひび割れとレ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。

付属資料 9. 業務指示書記載例（案）

■実施方針及び留意事項

（1）道路舗装設計

道路舗装設計に際して、本指示書参考資料に挙げた「協力準備調査における道路舗装設計ハンドブック(案)」(2015年4月)を参照するとともに、以下の点に特に留意した設計を行うこと。

1) 地質調査

- ・路床評価（試料採取）間隔
- ・軟弱地盤及び問題土（膨張粘土、分散性粘土等）の有無、分布状況の把握

2) 水文調査（地下水）

- ・乾季／雨季による地下水位の変化

3) 材料調査

- ・構築路床（盛土）、路盤及び表・基層及びアスファルトの品質（材料基準）

4) 交通量／軸重調査

- ・舗装設計対象交通量算出に用いる設計期間に道路維持管理実態を考慮
- ・舗装設計対象交通量の予測値の不確実性の考慮
- ・累積軸重に軸重調査結果及び予測値の不確実性の考慮

5) 設計基準の選定

- ・隣接区間及び周辺道路の舗装設計基準と供用（損傷）状況
- ・採用する設計基準の特徴と運用の留意点の理解

6) 路面設計

- ・耐流動性を考慮した路面性能と評価方法

7) 構造設計

- ・規制軸重を超える車両（過積載車両）
- ・信頼度の設定に過積載車両取締り状況及び将来予測に対するリスク等を考慮
- ・路床支持力の評価における調査結果のバラツキの考慮
- ・アスファルト舗装の最小舗装厚さ
- ・他の舗装設計法（TA法及びAASHTO等）による構造設計の確認

8) 排水設計

- ・路盤排水の必要性、路面排水・地下排水の排水系統及び流末の確認

■業務の内容

（1）関連事業・類似事業の情報収集

道路の舗装構成を検討するに当たり、隣接事業や交通条件、自然条件、及び土地利用条件の類似した事業に採用されている舗装設計法や舗装構造の資料を入手する。また、

カウンターパート機関等の類似事業担当者や関係するコンサルタントに対し、設計時、施工時、維持管理の時点での課題、問題点及び対応等について情報収集を実施し、これらの情報を計画の参考とする。

（2）サイト状況（自然条件等）調査

1）道路状況調査

対象区間において、地表踏査、聞き取り調査、既存資料の分析により、インベントリー調査を実施し、対象地域・道路の現況を把握する。なお、単に道路を中心とした狭い範囲の施設状況や土地利用の調査を行うだけではなく、広い範囲での沿道の自然状況（植生等）、湿地帯等の存在も調査する。また、最終的には、自然条件調査の情報（調査箇所、調査内容等）も加え、測量で得られる地形図に映像情報とともに取りまとめ、可能な限り現況情報を網羅したものとする。また、実施段階での情報の更新、及び入札図書の一部とすることも考慮する。

2）自然条件調査

本調査にて行う設計、施工計画、積算について必要な精度を確保するため、道路事業予定区間において、別紙●に示す自然条件調査を行う。自然条件とは、気温、湿度、降水量、災害履歴、地形測量などの他、地質（路床土・問題土）、地下水、路面温度の把握も含まれる。

ア）地質調査（路床土）

日本における調査実績等を参考に適切なピッチ（一般的に同一舗装構造の最小区間とされる 200m を目安）で土質／路床支持力調査を行い、土質性状／路床強度を把握する。また、幅が広い場合は、横断方向の調査についても計画する。ただし、既往データ等から明らかに土質の変化が少ない区間は調査個数を少なくし、変化が多いと思われる区間は調査個数を多くすることで効率的な調査を行うこと。

イ）地質調査（問題土）

道路工事を行う上で問題となる土（軟弱地盤、分散粘土、膨張性粘土等）の存在が懸念される場合には、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した上で追加調査を認める。追加調査では、100m 程度の間隔での詳細土質調査により土の性状を明らかにし、改良範囲を特定する。

ウ）地下水調査

舗装構造に影響を与える地下水の存在を現地調査、テストピット、必要に応じてボーリング調査および採取した試料の各種試験などで把握し、可能な範囲で適切な対策工を提案する。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。

また、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、雨季の補完調査の提案を行い、必要に応じて、計画に反映する方法を検討する。

（3）交通条件調査

1）交通量／軸重調査

交通量調査については、既存の交通情報・データを入手し、調査範囲、調査日、調査時間の設定を適切に行い、曜日変動、季節変動（考慮する必要がある場合）及び道路供用後の転換交通量及び誘発交通量等を反映できる調査を計画する。調査対象は、自動車（車種別）だけではなく、二輪車、歩行者についても必要に応じて調査するものとする。

軸重調査については、直近で流用可能な軸重調査結果がある場合を除き、原則、実施することとする。

2）舗装計画交通量／累積軸重推計

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）の推計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、交通量／軸重調査結果及び対象地域の開発計画、道路整備計画、インフラ整備計画及び「**■業務の内容（1）関連事業・類似事業の情報収集**」の項に示す事業調査結果を踏まえるとともに、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、適切なパラメータの設定を行うものとする。

（4）調達事情調査（現地調達、第三国調達、サブコンの技術レベル等）

本事業で必要となる資機材（骨材、コンクリート、アスファルト、建設機材等）、労務について、現地調達や第三国調達の可能性を検討し、調達事情（調達先、調達方法、調達期間、調達価格、品質等）を調査する。特に、道路舗装に関連して、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、③十分な賦存量の有無を確認する。なお、調査期間や費用に限りがあることから、現地カウンターパート、材料調達事情に精通した現地コンサルタント等から情報を入手した後、必要な調査と試験を効率的に行う。調査及び試験の結果、材料調達にリスクがあることは判明した場合は、そのリスクを報告書に記載するとともに、実施段階での再調査を提案するものとする。

（5）道路舗装設計

1）設計フロー

道路舗装設計は、「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。

2）自然条件の設定

「**■業務内容（2）サイト状況（自然条件等）調査**」の結果を基に、路床強度を設定する。路床強度の試験方法（CBR 試験等）、試料採取方法及び路床強度の評価方法

は、基準毎に異なるため、留意が必要であり、また、路床強度の試験結果は、区間（箇所）や試料採取時期等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 を設定すること。

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。

3) 交通条件の設定

「**業務内容（3）交通条件調査**」の結果を基に、累積軸重を設定する。累積軸重の設定に際して、規制軸重を超える車両（過積載車両）の取締り状況及び軸重調査結果を適切に考慮する。

なお、予測値の不確実性を考慮し、過小評価とにならないよう注意が必要であると同時に維持管理状況を考慮した設計期間を設定すること。また、経済の急成長期にある国、道路整備に伴う誘発交通や国際路線の貨物交通の急増が予想される場合、代替路の無い重要路線で維持修繕が困難な場合等は、将来予測に対するリスクを勘案しながら、信頼度を慎重に設定すること。

4) 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に従うことを基本とするが、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。このため、相手国の舗装設計基準をレビューし、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、最適な舗装設計基準を適用する。

5) 路面設計

主な路面破損の形態である「流動わだち掘れ」対策が対象路線にて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「塑性変更輪数（動的安定度：DS）」を交通条件に基づき設定することを相手国に提案することを検討する。

性能の確認試験（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を参考に改質材等のアスファルト種別の想定を行い、計画に反映させる。

6) 構造設計

「**業務内容（5）道路舗装設計 4）設計基準の選定**」において選定した設計基準に基づき、「**業務内容（5）道路舗装設計 2）自然条件の設定、3）交通条件の設定**」で設定した条件を用いて舗装構成を検討する。なお、各舗装設計基準において、交通条件や自然条件からアスファルトの最小舗装厚さが規定されているため、各層の構成の決定に際して、規定を満足しているか確認する。

Overseas Road Note 等のようにカタログから各層の構成（材料、厚さ）を決定する場合、他の設計手法（TA 法及び AASHTO1993 の設計法等）を用いて妥当性を確認する必要がある。

7) 排水検討

排水施設に不備のある場合は、舗装破壊の原因となるため、排水施設は舗装の設計と同時に、以下の事項を考慮して設計する。

- ・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）の整備状況、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。

(6) 準備調査報告書（案）の作成

上記調査結果を準備調査報告書（案）として取り纏め、その内容について JICA と協議する。

なお、舗装及び排水の設計条件の設定根拠（再委託調査結果含む）及び実施段階への申し送り事項等について、準備調査報告書に記載、又は添付することを基本とする。