

開発途上国における舗装施工監理／  
管理のあり方に関する調査  
(基礎研究)  
報告書(別冊)  
舗装施工監理／管理  
ハンドブック (案)

平成 28 年 12 月

(2016 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

資金
JR
16-033



## はじめに

本ハンドブックは、アジア地域やアフリカ地域の熱帯・亜熱帯気候の地域で発生している無償資金協力事業で実施した道路舗装の早期損傷（劣化）の現地調査結果、国内事例の収集、国内外の文献収集調査の結果を基に、今後の無償資金協力事業の施工の品質向上のため、特にアスファルト舗装にかかる施工監理/管理の参考資料として作成されたものである。

本ハンドブックは、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、より有効な参考資料としてゆく必要がある。

本ハンドブックの作成に併せて「協力準備調査における道路舗装設計ハンドブック（案）」についても、本基礎調査で得られた知見に基づき「協力準備調査における道路舗装設計ハンドブック（改訂版）」として見直しを行った。必要に応じて、両ハンドブックを併用することが効果的である。



# 目 次

	頁
<b>[ねらいと適用範囲]</b> .....	<b>1</b>
<b>[本ハンドブックの構成]</b> .....	<b>1</b>
<b>1. 舗装施工監理／管理の一般事項</b> .....	<b>6</b>
(1) プロジェクトの実施体制 .....	6
(2) コンサルタントの施工監理 .....	7
(3) 無償資金協力事業におけるコンサルタントの役割.....	8
(4) 施工監理計画書 .....	9
(5) 施工業者の施工管理 .....	10
(6) 施工計画書 .....	10
<b>2. 舗装施工監理</b> .....	<b>11</b>
(1) 舗装施工監理 .....	11
<b>3. 舗装工事の施工管理</b> .....	<b>13</b>
(1) 舗装施工管理 .....	13
(2) 材料調達・試験 .....	16
(3) 配合設計・試験 .....	28
(4) 路盤の施工管理 .....	32
(5) アスファルト混合物の舗設管理 .....	36
<b>4. アスファルト舗装の破損事例</b> .....	<b>39</b>
<b>4.1 アスファルト舗装の破損の分類とその原因</b> .....	<b>39</b>
<b>4.2 施工不良を主原因とする舗装損傷の事例</b> .....	<b>40</b>
(1) わだち掘れ .....	40
(2) ひび割れ .....	42
(3) セメント安定処理・問題土による損傷 .....	43
<b>5. 流動わだち掘れ対策</b> .....	<b>45</b>
(1) 流動わだち掘れの原因 .....	45
(2) 配合設計の留意点 .....	49
(3) 配合設計に係る各種性能の比較実験 .....	61
(4) プラント管理の留意点 .....	65
<b>6. セメント安定処理の留意点</b> .....	<b>76</b>
(1) セメント安定処理路盤の破損原因 .....	76
(2) 路盤のセメント安定処理の留意点 .....	79
<b>7. 問題土対策</b> .....	<b>85</b>
(1) 問題土の存在による破損原因 .....	85
(2) 問題土対策 .....	87

**[付属資料]**

<b>付属資料 1. 舗装施工監理/施工管理</b> .....	<b>資-1</b>
<b>付属資料 2. 我が国の配合設計法</b> .....	<b>資-6</b>
<b>付属資料 3. ジャイレトリーコンパクタによる配合設計法</b> .....	<b>資-11</b>
(1) SUPERPAVE の配合設計法 .....	資-11
(2) Austroads (オーストラリア) の配合設計法 .....	資-13
<b>付属資料 4. 各国の流動わだち掘れ対策</b> .....	<b>資-17</b>
<b>付属資料 5. アスファルト混合物の動的安定度に対する温度の影響</b> .....	<b>資-24</b>
<b>付属資料 6. 配合設計に係る各種性能の比較実験</b> .....	<b>資-28</b>
(1) 目的 .....	資-28
(2) 試験条件の設定 .....	資-28
(3) 試験方法 .....	資-31
(4) 試験結果 .....	資-35
(5) 考察 .....	資-50
<b>付属資料 7. アスファルト混合物のホイールトラッキング試験による評価</b> .....	<b>資-55</b>
<b>付属資料 8. 地下水位と路盤排水</b> .....	<b>資-60</b>
(1) 地下・路盤の排水不良による破損事例、路床、舗装の支持力低下 .....	資-60
(2) 地下排水や路盤排水の留意点 .....	資-62

**[参考文献一覧]**

## 【ねらいと適用範囲】

本ハンドブックは、JICA無償資金道路事業の舗装工事を念頭に、かつて熱帯諸国を中心に経験した舗装破損の再発防止と品質向上のための、材料及び施工分野の共通課題解決策の共有を目的とする参考書としてまとめられたものである。

したがって、以下のような考え方を基本として取りまとめられている。すなわち、

- ① 流動わだち掘れ対策、プラントの品質管理、特殊土壌等熱帯地域途上国の自然、社会、そして技術的な環境に特有な舗装破損対策に重点を置くこと、
- ② 日本企業にとって基本的・一般的な舗装技術に関しては、他の専門書・基準書類を参照することを前提にして、必ずしも網羅的な記述は狙わないこと、
- ③ 我が国企業（コンサルタントおよび施工業者）が施工にあたることを前提とするが、相手国の基準・習慣、試験機械・材料の入手しやすさ、相手国政府のやり取り等を考慮し諸外国の基準や技術にも言及すること、

の3点を基本としている。

## 【本ハンドブックの構成】

多くの開発途上国においては、自然条件や交通条件に大きく影響される舗装について、設計時には予期しなかった不具合や破損が発生し、交通を担う機能を損なっているケースが発生している。

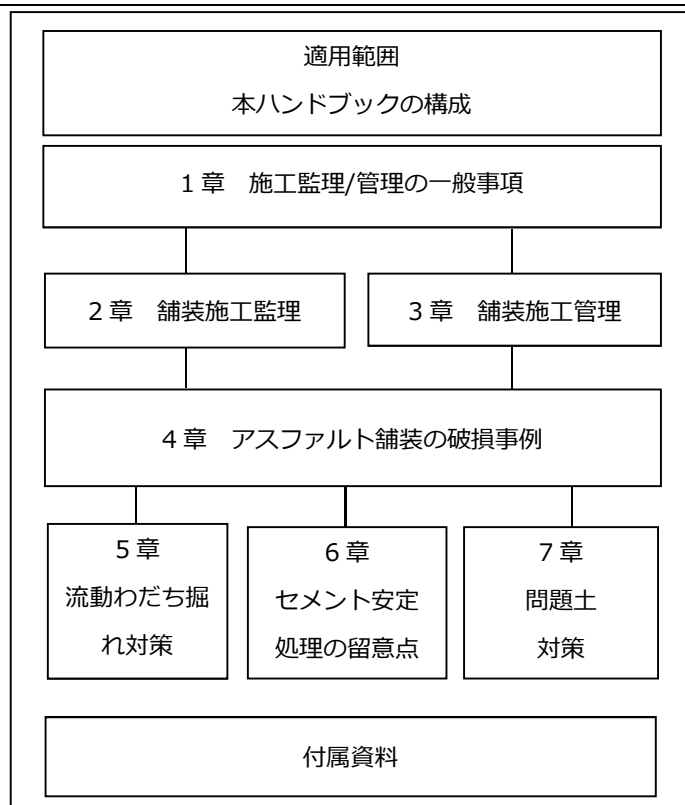
このような状況を踏まえ、不具合や破損の再発防止を図るため、2015年に、設計段階における課題を抽出し、「協力準備調査における道路舗装設計ハンドブック（案）」を作成した。この中で、舗装の早期破損の原因については、設計時の調査・検討不足のみならず、工事中の施工及び品質管理の問題についても指摘されている。

一般的に日本の舗装工事は舗装専門業者により実施され、材料（配合）、プラント、施工、施工機械の厳密な管理・運用と各専門家の経験と知見により品質が確保されている。しかしながら、開発途上国における事業では、国内と異なる体制のもと、品質管理の行き届かないプラントの操業、不良原材料の使用などに基づく破損事例も少なくない。

主に無償資金協力事業における施工に起因する不具合や破損の多くが流動わだち、次いでセメント安定処理、特殊土壌による問題土であり、その他は原材料の品質、路盤品質等であることを念頭において、再発防止に資するために、「開発途上国における舗装施工監理／管理のハンドブック（案）」を以下の構成で作成した。

前半(1～3章)は、道路舗装事業（無償資金協力事業）の舗装工事の施工監理／管理に関し、コンサルタント、及び、施工業者の役割及び原材料や路盤の施工管理についてまとめた。

後半(4～7章)は、舗装の破損事例、主要原因、注意点、及び各対策案について取りまとめたものであり、4章にアスファルト舗装の破損事例、5章に流動わだち掘れ対策、6章にセメント安定処理の留意点、7章に問題土対策となっている。なお、ここに示されるものが全ての原因、対策であるとは限らない点に注意する必要がある。



**舗装施工監理/管理ハンドブック(案)の構成**

項目	本文の構成	付属資料	
施工監理/管理	1. 施工監理/管理の一般事項	付資-1 舗装施工監理/施工管理	
施工監理	2. 舗装施工監理		
施工管理	3. 舗装工事の施工管理		
	管理体制等	(1) 舗装施工管理	
	材料管理	(2) 材料調達・試験	
	配合設計	(3) 配合設計・試験	付資-2 我が国の配合設計法 付資-3 ジャイロリコングによる配合設計法
	路盤施工 As 施工	(4) 路盤の施工管理 (5) アスファルト混合物の舗設管理	
破損事例・主要原因	4. アスファルト舗装の破損事例		
流動わだち掘れ	5. 流動わだち掘れ対策		
	破損原因	(1) 流動わだち掘れの原因	
	配合設計	(2) 配合設計の留意点	付資-4 各国の流動わだち掘れ対策 付資-5 動的安定度に対する温度の影響
	性能実験	(3) 各種性能の比較実験	付資-6 各種性能の比較実験 付資-7 As 混合物の WT 試験による評価
セメント安定処理	品質管理	(4) プラント管理の留意点	
	6. セメント安定処理の留意点		
	破損原因	(1) セメント安定処理路盤の破損原因	
問題土	品質管理	(2) 路盤のセメント安定処理の留意点	付資-8 地下水位と路盤排水
	7. 問題土対策		
	破損原因	(1) 問題土の存在による破損原因	
	品質管理	(2) 問題土対策	



また、本ハンドブックは、 (枠内) に示される「まとめ」と「解説」によって構成されており、「解説」には枠内の「まとめ」に関する背景や詳細が記載されている。以下に、「まとめ」の部分のみを取りまとめたものを示す。

項目	概要
<b>1. 施工の監理/管理の一般事項</b>	
<p>コンサルタントが実施する施工監理業務では、調査・設計段階から得られたプロジェクトの全ての情報や工事の発注文書内の技術仕様書を正確に現場に伝達し、その情報や仕様通りに現場が施工されているかを把握し、最終目的に合致するように現場を適切な状況に監督 (Supervise) しなければならない。設計図書 (仕様書や図面など) や伝達された情報通りに施設を造り上げるために施工業者が実施する工事全体の運営が施工管理業務であり、「工程管理」、「品質管理」、「原価管理」、「安全管理」の四つを施工管理と呼ぶ。</p> <p>なお、工事開始前に施工業者は「施工計画書」、コンサルタントは「施工監理計画書」を作成し、発注者に提出しなければならない。</p>	
<b>2. 舗装施工監理</b>	
<p>無償資金協力事業における舗装工事の不具合については「不良原材料の利用」、「配合設計」、「不適切なプラント管理 (プラントの品質管理)」が主な要因となっている。施工業者は、舗装工事の開始前には基準試験*を行い、使用材料や配合が適正なものかどうかなどを施工業者とコンサルタントで確認する。このため、基準試験から試験施工及び舗装工事の期間中、コンサルタントは、材料、配合設計、舗装工事に精通した専門家を配置することが望ましい。</p> <p>*基準試験：基準試験は、使用する材料・配合設計や施工の方法が適正なものかどうかを確認するためのもので、通常、施工開始以前に行う。基準試験は、施工業者が実施し、その結果についてコンサルタントが確認、発注者が承諾する。</p>	
<b>3. 舗装施工管理</b>	
(1)舗装施工管理	<p>舗装工事の不具合の主な要因を踏まえ、無償資金協力事業における施工業者は、アスファルト舗装の配合設計等に精通した舗装の専門家を配置して施工計画書の作成、施工管理等を行い、適切な品質・工期などを達成することとしている。</p> <p>舗装工事を始める前に基準試験を行い、使用材料や配合が品質管理基準をみたしているかどうかなどを施工業者はコンサルタントと共同して確認しておく必要がある。</p>
(2)材料調達・試験	<p>アスファルト舗装に用いる材料は、アスファルト、骨材、アスファルト混合物、路盤材料等がある。これらの各材料の使用に当たっては、仕様書及び品質管理計画書に定められている試験、及び経験に基づいて十分に調査を行い、使用の適否、使用方法、受け入れ方法、保管方法などを慎重に決定する。</p> <p>アジア・アフリカの開発途上国では、砕石プラントの能力不足から骨材の形状に問題がある場合や生産地・場所により品質(粒度、性状等)のばらつきが大きい場合がある。施工に起因する破損では、骨材の粒度の不具合、強度不足、アスファルトの品質不適等の事例が指摘されているので留意する。(「4.アスファルト舗装の破損事例」、「5.流動わだち掘れ対策」参照)</p>
(3)配合設計・試験	<p>貨物車の重量化と交通量の増加が進むなか、特に熱帯諸国では、アスファルト舗装表層の加熱アスファルト混合物の流動わだち掘れ等に抵抗する路面の性能を確保することが重要な課題となっている。アスファルト混合物の性能を確保するためには、配合設計が非常に重要になる。配合設計では、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性能が得られるようにアスファルト量や骨材の粒度を決定する。</p> <p>我が国ではマーシャル配合設計法により粒度やアスファルト量を調整してホイールトラッキング試験によって動的安定度 (DS) を確認する方法。米国やオーストラリアでは、交通荷重の締固めニーディングを再現したジャイレトリーコンパクトで配合設計を行い、骨材の噛みあわせによる空隙率を確保する方法で流動わだち掘れに抵抗している。流動わだち掘れ対策については、「5.流動わだち掘れ対策」に詳述する。</p> <p>また、不適切なプラント管理の例と対策、留意点について、「5.流動わだち掘れ対策」に記述する。</p>
(4)路盤の施工管理	<p>日本(舗装設計便覧)では、上層路盤の締固め度として95%以上が標準的な規定値となっている。一方、南アフリカやオーストラリアの締固め度規定は100%以上となっている場合がある。現場における締固め度の管理規定は、突き固め試験による最大乾燥密度を基準に管理する。基準密度は突き固め試験の衝撃荷重により大小2種類の方法が適用される。例えば、オーストラリアでは、小さい衝撃荷重で基準密度が決まっており、締固め度が100%以上となる規定がある。このように小さい衝撃荷重で基準密度が決まっている場合に締固め度規定を95%以上とすると締固め不足となるので留意する。</p> <p>大型の施工機械を使って一層の仕上げり厚を厚くする場合は、転圧面付近の締固め度の数値は所定のものが出るが転圧面より深いところの締め固めが十分でないことがあるので、試験施工を行う等し</p>

	て所要の締固め度が得られることを確認する必要がある。
(5)アスファルト混合物の舗設管理	<p>アスファルト舗装の路面や構造は、アスファルト層に用いるアスファルト混合物の品質等に応じて決定したものであるから、アスファルト混合物が所定の品質を有するものであることを確認しなければならない。アスファルト混合物の舗設の良否が交通に対する安定性(耐流動性)や耐久性に影響するので入念に仕上げなければならない。工事を始める前に、材料や配合設計の基準試験による確認、プラントの試験練りに加え、試験施工を実施し作業標準*を決めておく。</p> <p>施工過程で、プライムコートの不良、降雨の対策、施工継ぎ目不良、タックコートの不良などによりひび割れ等の不具合が発生しているのに(「4. アスファルト舗装の破損事例」参照)特に留意する。</p> <p>*作業標準：所定の品質を満足する施工を行うために、使用機械、施工手順、施工方法などをどのように行うかの作業の標準をしめすものである。試験施工を行って決めるかまたは過去に同様な工事で良好な結果が得られた施工例があれば、その時の作業標準を用いて決めることができる。</p>
4. アスファルト舗装の破損事例	
4.1 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、ずれ等がある。特に流動わだち掘れが早期に発生する事例が多く、施工段階において適切な品質管理を行う必要がある。
4.2 施工不良を主要原因とする舗装破損の事例	<p>アフリカあるいはアジアの高温多雨の地域では、我が国の ODA による道路を含む幹線道路において、日本では見られなくなった舗装の破損形態が多く観察される。特に、表層を中心とした「わだち掘れ」の発生が顕著である。これについては、主に高温時に交通荷重の繰返し作用により、アスファルト混合物がタイヤによって押しやられて永久変形を起こして発生したものの、つまり表層の流動化によるもの(流動わだち掘れ)が中心である。</p> <p>わだち掘れには、流動わだち掘れのほかに路床・路盤の圧縮変形によるものがある。また、わだち掘れ以外の施工不良に起因する舗装破損としては、ひび割れ等の破損が発生している。</p>
5. 流動わだち掘れ対策	
(1)流動わだち掘れの原因	<p>近年、無償資金協力事業の道路案件において、急激な交通量の増大、なかでも大型車の増大と過積載車両の横行もあって舗装の破損がみられ、そのうち施工(材料を含む)に起因する舗装の不具合の多くが流動わだち掘れである。アスファルト混合物の流動わだち掘れの原因としては、アスファルト混合物の配合(骨材粒度、アスファルトの種類および量等)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、熱帯諸国など高い路面温度と重交通車両の多い道路で見られる。このようなアスファルト舗装の破損は、設計時の条件設定の相違(違法な過積載車両、重車両の低速走行等)だけでなく、不適切な配合設計、施工不良(不良な材料の使用、不適切なプラント管理等)等によって引き起こされる。</p> <p>ただし、アジア・アフリカの熱帯諸国であっても、高原など涼冷な地域があるが、そのような地域の場合は、我が国と同様に耐流動性わだち掘れ対策のみならずひび割れ対策も考慮する必要がある。</p>
(2)配合設計の留意点	<p>アスファルト混合物が所定の性能を発揮するように、骨材の選定、粒度分布、アスファルトの種類とアスファルト量を決定することを配合設計という。日本国内ではあまり意識されていないが、途上国では刻に骨材の選定も大きな決定要素となる。</p> <p>流動わだち掘れ対策としてまず配合設計に注意しなければならない。配合設計に関しては、従来のマーシャル法を基本にするアプローチのほか、米国のスーパーペーパーの体系、オーストラリア等で採用されているジャイレトリーコンパクタを使った容積設計法のアプローチなどがある。</p> <p>マーシャル法による方法では、「舗装施工便覧」に示された配合設計の留意点に準拠するとともに、特に熱帯諸国など高い路面温度が長い期間見られる地域にあっては、マーシャル試験のほかにホイールトラッキング(WT)試験によってアスファルト混合物の耐流動性(動的安定度:DS)を確認することが効果的である。その際目標とするDS値は、ESAL値、走行速度、気温、経済性等を考慮し、関係基準類等を考慮して設定する。</p> <p>舗装の路面設計に当たっては、途上国のアスファルト調達事情等を考慮すると、一般的な経済性の観点からストレートアスファルトで対処することが基本であるが、ストレートアスファルトでは対応が困難と判断された区間には改質剤の添加や改質アスファルトを使用する。配合設計のあたっては、標準的な混合物(表5.3)のうち、密粒度アスファルトおよび密粒度ギャップアスファルトの粒度範囲を参考にする。</p> <p>なお相手国において、ジャイレトリーコンパクタに関して空隙率等の基準が確立し、普及している場合はその手順に従った配合設計が求められることも考えられる。</p>
(3)配合設計に係る各種性能の比較実験	<p>流動わだち掘れ対策に関連する粒度分布、空隙率、アスファルト量について、その影響の確認のためマーシャル試験、ホイールトラッキング(WT)試験、及び、ジャイレトリーコンパクタによる最終空隙率確認を行った。その結論は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 耐流動性を低下させる要因として骨材の噛みあわせを阻害する粒度の外れに着目した試験の結果、細粒分外れ(増加)により耐流動性が大幅に減少する結果が得られた。特にプラント混合時の細骨材の粒度管理が耐流動性の観点から特に重要であることが確認できた。</li> <li>● 耐流動性を増大させるための要因として、アスファルト量の影響が大きいことを確認した。</li> </ul>

	<p>アスファルト量（施工性を損なわない範囲で）を少なくしたほうが耐流動性を高めることができる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● WT 試験より得られた結果 (DS 値) とジャイレトリーコンパクタを使用して得られた結果 (最終空隙率) の関係を調べた結果、最終空隙率の大小と耐流動性 (動的安定度: DS) との相関が確認でき、これは最終空隙率による耐流動性判定の有効性を示唆するものであった。</li> <li>● ストレートアスファルトによってどの程度まで DS 値を確保できるかは、経済性の観点から重要であり、本試験で 3250 回/mm という高い値となった理由については今後研究の価値がある。</li> </ul>
(4)プラント管理の留意点	<p>アスファルト舗装のわだち掘れは、不適切なプラント管理等によっても引き起こされる。すなわち、配合設計が適切になされていてもプラント管理が不適切な場合は、不良なアスファルト混合物が製造される。</p> <p>無償資金協力事業においては、一般に日本のコンサルタント、施工業者が自らプラント管理を行う必要があるため、プラント管理の留意点について示す。無償資金協力事業のプラント設備箇所の不具合例を列記し、その対応としての留意点をのべる。次に、アスファルト混合物の粒度、アスファルト量、製造温度に問題が発生した場合の対策、留意点について述べる。</p>
6. セメント安定処理の留意点	
(1)セメント安定処理路盤の破損原因	<p>無償資金協力事業の道路舗装において、セメント安定処理上層路盤上のアスファルト表層に破損が発生した例が報告されている。アスファルト層が薄い場合にセメント安定処理の収縮によりブロックひび割れや、交通荷重によるアスファルト層とセメント安定処理層の間に発生する層間せん断力によりずれひび割れと凹凸（ずれ、はがれ）が発生する。</p> <p>また、セメント安定処理路盤の劣化、及び強度不足による亀甲状ひび割れ等の関する報告がされている。これらは、セメント安定処理路盤の交通荷重による疲労破壊（初期段階、進行段階、破壊後の段階）、水分の浸入による乾湿状態を繰り返すことによるセメント安定処理路盤の劣化及びその相乗効果が原因とされている。</p>
(2)路盤のセメント安定処理の留意点	<p>セメント安定処理上層路盤上のアスファルト層が薄い場合に、収縮によるひび割れの伝播、層間せん断力によるずれひび割れが発生している。これらの破損に対する対策として、アスファルト層の厚さを 150mm (NEXCO)、175mm (オーストラリア) 以上とする方法やずれ止め、ひび割れの養生をかねて層間にチップシールを施す対策 (オーストラリア) 等がとられている。これらの経験を反映したためと考えられるが、南アフリカ等アフリカ諸国の標準設計においては、上層路盤はセメント安定処理ではなく砕石を使うことが一般的である。</p> <p>また、塑性指数 (PI) の大きい (9 以上) 材料を使ったセメント安定処理路盤の劣化、及び強度不足に関する報告がされていることから、セメント安定処理路盤の採用には PI が基準 (舗装設計便覧 9 以下) を満たすかどうかなど細心の注意を払う必要がある。セメント安定処理路盤の強度不足は、曲げやせん断力により発生するクラックの進行だけでなく、乾湿の繰り返しによる劣化や化学変化、また、劣化により促進された疲労によることが多いと考えられるため、地下水位が高い箇所や排水が悪い箇所では水分の浸入の影響を受ける場合は、セメント安定処理路盤の採用は細心の注意を要する。</p>
7. 問題土対策	
(1)問題土の存在による破損原因	<p>道路工事を行う上で問題となる土として、分散性粘土 (Dispersive soil : カンボジア、ラオス、ミャンマー、オーストラリア、USA 等に存在)、膨張土 (Expansive soil : 南アジア、東アフリカ、オーストラリア、USA 等に存在) 等があり、一般に「問題土 (Problem Soil)」として扱われる。分散性土を含む盛土材、法面材を使用した場合、水分の浸入により土が水に溶解し、ガリ浸食、崩壊や「ドラゴンホール、または、トンネル侵食やシンクホール」と呼ばれる穿孔と陥没が発生するものであり、日本国内では見られないものである。</p> <p>膨張土は、乾燥状態では硬く支持力も大きいですが、水の浸入により膨潤すると支持力を失う。初期には舗装に縦クラックが発生し、徐々に舗装の破壊が進行する。</p> <p>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、これらの問題土が確認された場合には適切な対応を図る必要がある。</p>
(2)問題土対策	<p>問題土 (膨張土、分散性粘度) の判定方法及び対策工については、問題土が存在する国で基準や文献に記載があるので参考となる。</p> <p>分散性土の分散性については、室内の簡易浸水試験により把握することが可能である。分散性土への対策工としては、分散性土が新しい水 (降雨等) に接してイオン作用によって溶解することを防ぐために、盛土表面近傍に、セメント混合土や良質土を用い、透水性を抑えた遮水層 (路肩など) を設置する。</p> <p>膨張土の判定は、PI (塑性指数) によりある程度判定できるが、膨張性試験による判定が望ましい。膨張土への対策工としては、遮水、置き換え、キャッピング層の設置 (路盤と路床の間)、石灰安定処理等の例がある。</p>

## 1. 施工の監理/管理の一般事項

コンサルタントが実施する施工監理業務では、調査・設計段階から得られたプロジェクトの全ての情報や工事の発注文書内の技術仕様書を正確に現場に伝達し、その情報や仕様通りに現場が施工されているかを把握し、最終目的に合致するように現場を適切な状況に監督 (Supervise) しなければならない。設計図書 (仕様書や図面など) や伝達された情報通りに施設を造り上げるために施工業者が実施する工事全体の運営が施工管理業務であり、「工程管理」、「品質管理」、「原価管理」、「安全管理」の四つを施工管理と呼ぶ。

なお、工事開始前にコンサルタントは「施工監理計画書」、施工業者は「施工計画書」を作成し、発注者に提出しなければならない。

### 解 説

#### (1) プロジェクトの実施体制

JICA の実施するプロジェクトは、無償資金協力事業と有償資金協力事業によって、契約形態や実施体制 (JICA の関与) が異なる。無償資金協力事業は従来より総価契約を採用していたが、現在総価契約単価合意方式へ移行しており、有償資金協力事業の場合は、イギリス、アメリカ、及びその影響を受ける多くの開発途上国で採用している BQ 契約方式を採用するのが一般的である。JICA 無償、JICA 有償、国内 (国交省) の契約方式、プロジェクト実施体制の比較を表1.1に示す。

表 1.1 プロジェクト実施体制の比較 (共通点と差異、名称の差異など)

事項	JICA 無償 (事例より)	JICA 有償 (事例より)	国内 (国交省の事例)
予算制度上の制約	ENとG/Aで制約 (コンサルタントの積算価格を参考) 上限拘束性あり	ENとL/Aで制約 (コンサルタントの積算価格を参考)	
契約形態	総価契約単価合意方式	B/Q契約 (単価確定契約)	総価契約単価合意方式
変更契約	コンサルタントの申請による JICAの審査・承認が必要。原則として、残余金、予備的経費の順番にその金額の範囲内で変更金額の承認が行われる。(手順は国交省の手続きに準じる)	数量の増減が著しい場合、施工条件が異なる場合、契約単価に記載のない工種が生じた場合、等に契約変更が認められる。	請負代金額の変更方法は、特別な理由が無い場合には、原則として単価合意書に記載の合意単価等を基礎として請負代金額を変更する。
JICA対応・体制	相手国との関係	ENとG/Aで定義	-
	JICAの関与	JICAは、実施監理業務を担い、以下のように技術的側面にも関与する。 ● 工品質管理会議 (施主、JICA、コンサルタント、施工業者) の実施 ● JICA調査員による実施状況調査の実施 ● 進捗の確認	調達やプロジェクトの実施に課題があった場合、それぞれの専門家を派遣し、プロジェクトの円滑な進捗をサポートするが、プロジェクトの技術的側面には関与しない。 - *

		● 設計変更の承認等		
	コンサルタントとの関係	相手国発注者経由でコンサルタントから施工状況や設計変更の報告を受ける。	相手国からの報告を受けるが、コンサルタントとの直接的な関係は無い。	-
コンサルタントの施工監理	位置づけ	相手国発注者の代理	相手国発注者の代理	-
	権限と責任	最終権限と責任は発注者だが、特に技術面の補助をコンサルタントが行う。	最終権限と責任は発注者だが、特に技術面で一定範囲の権限をコンサルタントが有する。	施工監理は国交省の直営であり、補助者としてコンサルタントと契約する場合もある。
	総括責任者等	業務主任者/常駐管理者 (Project Manager/Resident Engineer)	業務主任者/常駐管理者 (Project Manager/Resident Engineer)	-
	監理基準等	監理方法、監理基準等を施工監理計画書に明記し、発注者に報告する。	監理方法、監理基準等を施工監理計画書に明記し、発注者に報告する。	国交省の監督基準、検査基準による。
品質管理等基準	入札図書に含まれる標準技術仕様、特記技術仕様書	入札図書に含まれる標準技術仕様、特記技術仕様書	国交省の技術基準等のほか標準技術仕様、特記技術仕様書で規定	
施工業者	組織図	責任を果たす組織構成	責任を果たす組織構成	責任を果たす組織構成
	権限と責任	工事の実施、欠陥修復等	工事の実施、欠陥修復等	工事の実施、欠陥修復等
	総括責任者等	現場代理人	現場代理人	現場代理人
	品質管理基準等	入札図書に含まれる標準技術仕様、特記技術仕様書(管理値の厳しい自社基準を参考として使用する場合もある)	入札図書に含まれる標準技術仕様、特記技術仕様書(管理値の厳しい自社基準を参考として使用する場合もある)	標準技術仕様、特記技術仕様書のほか社内基準による
その他	JICAは監理コンサルタントを成績評価			

\*) 日本のシステムでは、監督官と検査官をおき兼務はできない。

## (2) コンサルタントの施工監理

施工監理コンサルタントは、発注者から委任されて、施工業者が請負契約を発注者と締結した後、工事に関わる種々の契約履行の義務を果たすため、設計図書に基づいて、決定、証明、命令を施工業者に行う。無償資金協力事業の場合、施工監理コンサルタントは、その具体的な監理方法を施工監理計画として作成し、発注者に提出しなければならない。また、施工監理コンサルタントは、建設完了まで発注者とともに技術上の責任と義務を持って、施工業者が施工を忠実に実施するよう監理する役割を負っている。施工監理コンサルタントが発注者から委任されて行う業務を列挙すると以下のとおりであり、そのうち施工監理に関する事項は3項目目以降である。

[入札準備と支援]

- 入札関連図書の作成
- 入札に関わる手続き、評価、発注者への助言

[施工監理]

- 施工業者の作成する施工計画書（工程計画、品質管理計画等）のチェック
- 施工中の工事に対する監理
- 工事中に発生する問題への対処
- 施工業者の工事の瑕疵についての指摘
- 契約に従った証明書の発行
- 施工業者の提出するクレームについての第一判定者

### (3) 無償資金協力事業におけるコンサルタントの役割

JICA は、JICA の実施する資金協力事業（有償資金協力、無償資金協力）のうち無償資金協力事業の包括的改善の一環として、関連するガイドライン等の改訂を以下のように進めている。

無償資金協力の包括的改善について

	課題	取組み方針	改善策
1	入札の不落・不調の頻発 応札企業が少ない	リスク対応能力の強化	● 予備的経費の本格運用
		リスクの低減 (開発途上国における事業リスク、無償資金協力の調達制度・契約上のリスク)	● 相手国負担事項の履行強化 ● 施工段階を見据えた早い段階からの情報収集・分析・共有 (自然条件、現地施工業者情報の提供、調査段階における関心企業向け事業説明会の開催) ● 施工安全管理や施工監理の充実化(必要な人月・費用の手当) ● G/Aの改訂 (JICA・相手国政府の権利・義務の明確化、基本約定(GTC)の導入) ● 調達手続きの見直し(調達ガイドラインの改訂) (入札期間の延長、質問回数複数化、各種要件・手続きの明確化、設計変更等手続の合理化) ● 契約書雛型の改訂 (施設整備案件での一般契約条件書・総価契約単価合意方式の導入)
2	品質確保の強化	調査内容の充実化	● 調査内容の充実化 (相手国負担事項、自然条件調査、安全管理対策の検討等)
		実施監理時の体制強化	● コンサルタントによる内部照査の充実化 ● 工事品質管理会議の導入 ● 実施監理時のコンサルタント実績評価の導入 ● JICAによる事後監理体制の強化
3	多様化するニーズへの対応	ニーズ対応能力の強化	● サブスキームの見直し ● 多様化するニーズに対応した運用手法の改善 (医療機材案件における維持管理を含む運用の拡充、地方自治体や民間企業との連携強化等)

出典：JICA HP

また、コンサルタントの責任と立場について、「無償資金協力事業におけるコンサルタント業務の手引き」（2015年4月改訂 独立行政法人国際協力機構）の中に以下のように記述し、その立場と責任を明確化した。

①「コンサルタントには、発注者である被援助国実施機関に対して業務を履行する責任があるのと同時に、他方ではガイドライン等を遵守し、国税の用途としての適切さを確保する責任があることを十分認識の上、業務を履行。これら業務に対する品質の高さや適正さこそが、無償資金協力事業におけるコンサルタント

の付加価値」

- ② 「コンサルタントによる技術的な見解や判断は、コンサルタントの責任」
- ③ 「当該工事が、契約書で規定される仕様書、設計図等に則って所定の品質を確保しながら正しく施工されることを監理するのが施設案件での実施監理（施工監理）の目的」

また、2015年11月以降の閣議決定の案件については、新たなコンサルタントの契約フォームを採用しており、主な改訂点は以下のとおりである。

コンサルタント契約書の構成

- これまでは、契約書一本にすべての内容を網羅していたが、これを合意書（Agreement）、一般仕様書（GCA）、特記仕様書（SCA）、法令遵守（Compliance）の4 つにわける。GCA の内容は固定で、案件ごとの特性はSCA に示すようにした。
- 第2 章にコンサルタント、第3 章にJICA の役割を規定している。
- 第4 章に施主、第5 章にコンサルタントの責任を規定した。第4 章にはG/A の内容が転記される。

一般仕様書での留意事項

- 3.2 章：工期延長の場合を規定しているが、最大3 か月までは事前の手続きは不要としている。
- 5.4 章：コンサルタントの責任を明確化
- 5.6 章：コンサルタントの加入する保険のことを規定している。（将来的には保険加入を義務化していく予定）
- 7.2 章：不可抗力を規定している。

コンサルタント契約書の変更に併せ、施設建設契約書フォームも、片務契約の見直し等を含む改訂が行われた。これらの契約書フォームやガイドラインは、JICA のホームページを参照すること。

#### (4) 施工監理計画書

JICA の案件では、2015年11月以降に閣議決定された案件について、施工監理計画書の作成が契約上義務付けられ、コンサルタント契約書に明記された。施工監理コンサルタントは、コンサルタント契約書、標準技術仕様、特記技術仕様書等に基づき、「施工監理計画書」を作成し、発注者に提出しなければならない。コンサルタントが「施工監理計画書」を作成する際には、施工監理方法、品質管理基準/方法、試験や立合いの頻度を品質管理の重要性を考慮して作成することが必要である。以下に「施工監理計画書」の目次（例）を示す。

##### 施工監理計画書の目次（例）

###### 1. 案件概要

- 1.1 案件概要
- 1.2 位置図
- 1.3 平面図/標準横断図
- 1.4 主要工事の内容/数量

###### 2. 案件に固有の条件等（外部条件）

（この章は案件毎に記載する内容が異なる）

- 2.1 工事範囲と用地取得
- 2.2 公共施設の移設
- 2.3 規制地域（自然公園や軍用地）



2.4 特殊な地盤条件 (軟弱地盤、問題土)

2.5 排水 (流末) 計画

2.6 工事中の迂回路 (切り回し)

### 3. 施工監理の方針・体制

3.1 施工監理の方針

3.2 施工監理の範囲 (責任範囲)

3.3 施工監理の体制 (役割分担と監理者の責任範囲)

3.4 施工会社の役割と責任

### 4. 施工監理の方法 (品質/工程管理)

4.1 主な適用基準

4.2 指示・承認・連絡のルール

4.3 提出/承認が必要な事項

4.4 検査/承認の対象となる項目・時期・方法

4.5 会議の開催

4.6 記録と書類の保管方法

4.7 工程管理 (工事工程を添付)

### 5. 工事の安全管理

5.1 コンサルタントの安全管理に係る方針・体制・方法

5.2 安全管理上特に留意すべき事項

5.3 緊急連絡網

### 6. 環境管理計画

6.1 環境管理計画

6.2 環境モニタリング計画

6.3 適用基準

### 7. その他

7.1 施工監理計画書の更新

#### 添付資料

- ・品質管理項目一覧表 (工種・項目・確認 (試験) 方法・参照する基準及び基準値・検査 (試験) 頻度・不合格の場合の処置・記録の整理方法・備考)
- ・出来形管理項目一覧表 (同上) ・工種・項目別インスペクションシート

### (5) 施工業者の施工管理

施工業者は、発注者と契約を締結した後、契約図書の示す施設の建設工事を遂行する義務を持ち、そのために施工管理を実施する。施工業者の行う施工管理の目的は、工事の欠陥を未然に防ぎ、ばらつきをできるだけ小さくし、工事の信頼性を増すとともに、設計図書に合格する品質及び性能をもつ施設を提供することである。施工管理では、建設工事の施工手段 (人・労力、材料、方法、機械、資金) を選定し、施工計画を立て、目的 (適切な品質・工期・価格) を果たすために、工程管理・品質管理・原価管理・安全管理等を実施しなければならない。このうち具体的な品質管理の管理項目、管理頻度、管理の限界の設定は、当該国の基準、又は工事仕様書に示された検査基準に従うが、工事規模、施工能力、及び施工業者の社内基準等を加味して、施工監理コンサルタントとの合意の上で、施工業者が責任を持って合理的に定めることもできる。

### (6) 施工計画書

施工業者は、施工方法や品質管理の方法などを具体的に示した施工管理計画書を作成し、施工監理コンサルタントと協議・調整の上、発注者に提出しなければならない。施工計画書は、契約書および設計図書



に示される設計の要求性能を満足する舗装を構築するために、受注者が施工に先立ち作成する。作成に当たって、受注者は契約条件や現場条件を適切に把握した上で、その時点において最も合理的かつ効率的と思われる施工計画を立案する必要がある。施工計画には、特に、使用される材料および工法および工程計画を定める。現場施設（機械）と仮設構造物は施工計画に付記する。工程計画には以下のものを含む。

- (a) 工事の手順
- (b) 検査と試験の順序と時期
- (c) 追加書類（工法、使用機械）

施工業者は、契約に定める条件、要件を充足していることを示す品質管理計画書を作成する。

## 2. 舗装施工監理

### (1) 舗装施工監理

無償資金協力事業における舗装工事の不具合については「不良原材料の使用」、「配合設計」、「不適切なプラント管理（プラントの品質管理）」が主な要因となっている。施工業者は、舗装工事の開始前には基準試験\*を行い、使用材料や配合が適正なものかどうかなどを施工業者とコンサルタントで確認する。このため、基準試験から試験施工、及び舗設工事の期間中、コンサルタントは、材料、配合設計、舗設工事に精通した専門家を配置することが望ましい。

\*基準試験：基準試験は、使用する材料・配合設計や施工の方法が適正なものかどうか確認するためのもので、通常、施工開始以前に行う。基準試験は、施工業者が実施し、その結果についてコンサルタントが確認、発注者が承諾する。

## 解 説

### 1) コンサルタントサービスの具体的な内容

コンサルタントは、施工監理を行う立場から、品質確保に一定の責任を負う。以下に舗装工事の内アスファルトを用いる部分についての流れを示すが、コンサルタントは一貫して施工業者の実施する品質管理に対する確認義務を負っている。（図2.1）

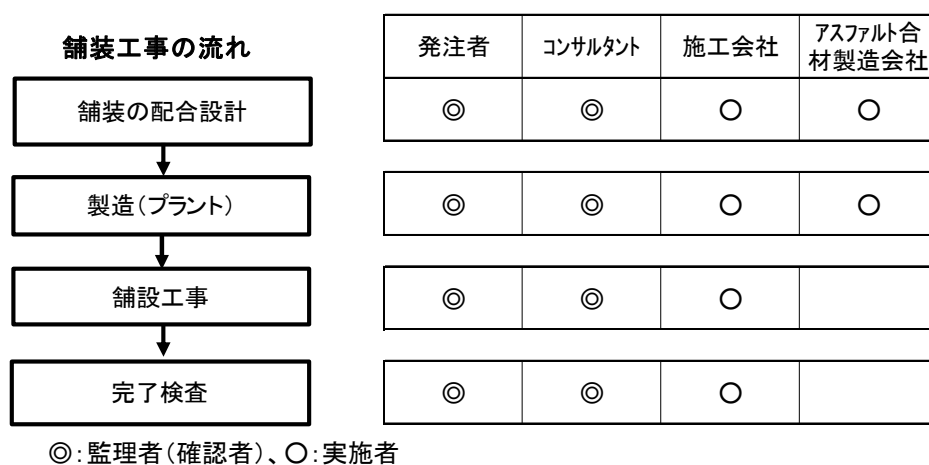


図2.1 舗装の施工監理の流れ

---

## 2) コンサルタントの舗装施工監理の実施体制

大規模な橋梁等の構造物を含まない舗装工事を主体とした標準的な無償資金協力事業では、日本人常駐施工監理者の数は1~2名、現地雇用の技術者数も2~4名である場合が多い。舗装工事の施工監理のうち、舗設工事やプラントに関しては、常駐監理者や現地雇用の技術者によって、施工監理計画書に定めた日常的（標準的）な監理が実施されている。

一方、無償資金協力事業における舗装工事の不具合については、「不良材料の利用」、「不適切なプラント管理（プラントの品質管理）」が主な原因となっている（4章 破損事例、5章 流動わだち掘れ対策参照）。品質管理の第一義的責任は施工業者にあり、舗装専門技術者の配置を義務付けているが、監理者であるコンサルタントも、舗装に精通した専門技術者を基準試験から舗設工事の期間中配置し、配合設計やプラントの管理方法をチェックし協力することが重要である。

ここで指摘する不具合の原因は、国内のケースとは異なるものがあるが、それは現場で使える材料の制約、国内と異なるプラント管理体制（主体）などから発生するものであるため、必ず対策が必要であることを予め考慮すべきである。

## 3) コンサルタントによる検査と日常監理の役割

舗装工事の検査は、設計図書の基準を満たすように施工業者が目的物を適正に施工しているか否かの判定を行うためにコンサルタントが実施する。検査は、工事の規模に応じて工程の各段階で書面検査（試験結果記録等）と実施（立会）検査によって実施され、検査基準に示される。

無償資金協力事業における舗装工事の不具合の主な要因が「不良原材料の利用」、「配合設計」、「不適切なプラント管理（プラントにおける品質管理）」であること、コンサルタントは一貫して施工業者の実施する品質管理に対する確認義務を負っていることから、材料の品質試験やプラントの日常的な品質管理については、常に施工業者とコンサルタントが合同で行い不具合を適切に処理することが必要である。

これらコンサルタントの品質管理への関与（試験や施工への立会など）については「施工監理計画書」に明記する。

### 3. 舗装工事の施工管理

#### (1) 舗装施工管理

舗装工事の不具合の主な要因を踏まえ、無償資金協力事業における施工業者は、アスファルト舗装の配合設計等に精通した舗装の専門家を配置して施工計画書の作成、施工管理等を行い、適切な品質・工期などを達成することとしている。

舗装工事を始める前に基準試験を行い、使用材料や配合が品質管理基準をみたしているかどうかなどを施工業者はコンサルタントと共同して確認しておく必要がある。

### 解 説

#### 1) 施工管理体制の強化

近年発生した我が国の無償資金協力における舗装の早期破損については「不良原材料の使用」、「不適切なプラント管理（プラントにおける品質管理）」が主な要因となっている。（4章 破損事例、5章 流動わだち掘れ対策参照）このことから、工事の規模にもよるが、舗装工事に従事する技術者のうち少なくとも舗装施工技術者、品質管理技術者（配合設計）、プラント技術者については経験と実績のある技術者であることが必要である。このような舗装に精通した熟練技術者の配置については、施工計画書に組織図と合わせて明記する。（図3.1）

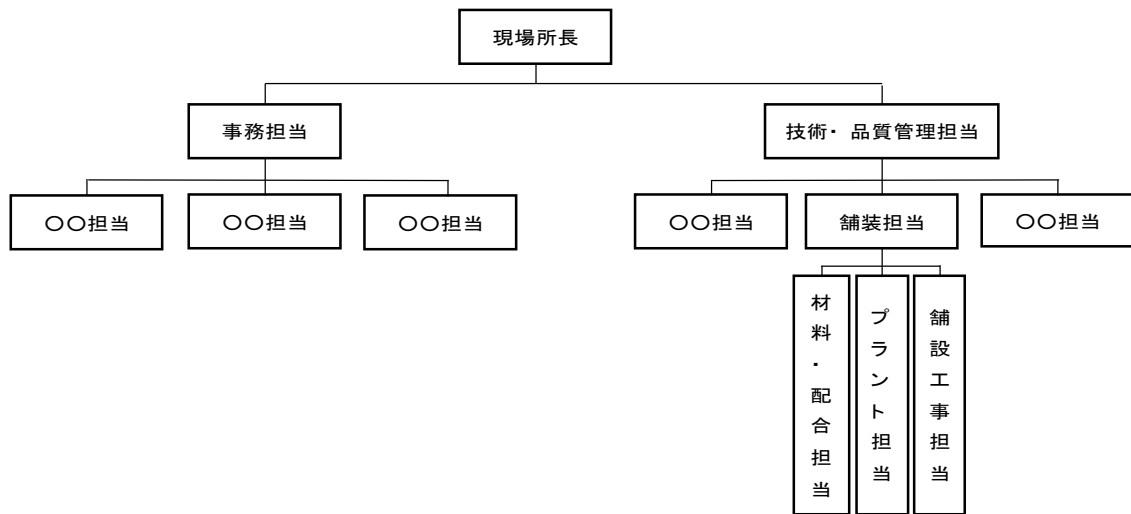


図 3.1 現場組織図 (例)

現在の無償資金協力事業の事前資格審査（PQ：Pre-qualification）段階では、会社の財務状況、会社の工事实績など、会社の経営状況と実績のみを条件としている。しかし、本調査で確認された舗装に関する問題は、会社規模や実績によらず発生していることから、実際に舗装工事を担当する技術者（材料・配合設計、プラント管理、舗設工事）は、以下に示すような知識・能力が求められる。

**材料・配合設計：**舗装が扱う材料は多岐にわたるが、設計で要求された性能を満足するために、調達可能な材料を確保し、それらを適切に配合・調整して製造する知識と能力

**プラント管理：**プラントの機構と各設備の役割を理解し、不良混合物が発生した場合には、その原因となるプラントの不具合を特定し修正できる知識と能力。

**舗設工事：**舗装の種類によって施工方法や使用機材は大きく異なるため、これらに関する知識と活用能力。併せて、工程管理、出来形・品質管理、安全管理などの知識。

施工業者の実施する施工管理には、工程管理、品質管理、広義には原価管理、安全管理等が含まれる。施工業者は品質管理の第一義的責任を有することを考慮し、施工の工程を管理し、各工種における品質の管理を自主的に行う。表3.1に日本で用いられている国交省の品質管理基準の例を示す（中規模工事の例）。

表3.1 品質管理基準の例（国交省）

工種	種別	試験区分	試験項目	試験方法	規格値	試験基準	摘要		
下層路盤工	施工	必須	締固め度	舗装調査・試験法便覧 砂置換法 JIS A 1214	個々の値が最大乾燥密度の93%以上	3,000㎡未満 3個(3孔) 3,001~10,000㎡:10個 10,001㎡以上10,000㎡毎に10個追加			
					平均値x10 95%以上 x6 96%以上 x3 97%以上				
		その他	ふるい分け試験	JIS A 1102	—	中規模以上の工事:異常が認められたとき			
		PI	JIS A 1205	塑性指数PI:6以下					
含水比試験	JIS A 1203	設計図書による							
上層路盤工	施工	必須	締固め度	舗装調査・試験法便覧 砂置換法 JIS A 1214	個々の値が最大乾燥密度の93%以上	3,000㎡未満 3個(3孔) 3,001~10,000㎡:10個 10,001㎡以上10,000㎡毎に10個追加	—		
					平均値x10 95%以上 x6 95.5%以上 x3 96.5%以上				
		その他	ふるい分け試験	JIS A 1102	—	中規模以上の工事:異常が認められたとき			
		PI	JIS A 1205	塑性指数PI:4以下					
含水比試験	JIS A 1203	設計図書による							
セメント安定処理路盤	施工	必須	粒度	2.36mm 75μm	JIS A 1102	±15%以内	中規模以上の工事:定期的または随時(1~2回/日)		
						±6%以内			
		その他	締固め度	舗装調査・試験法便覧 砂置換法 JIS A 1214	個々の値が最大乾燥密度の93%以上	3,000㎡未満 3個(3孔) 3,001~10,000㎡:10個 10,001㎡以上10,000㎡毎に10個追加			
		平均値x10 95%以上 x6 95.5%以上 x3 96.5%以上							
その他	含水比試験	JIS A 1203	設計図書による	観察により異常が認められた時					
セメント量試験	舗装調査・試験法便覧	±1.2%以内	中規模以上の工事:定期的または随時(1~2回/日)						
瀝青安定処理(アスファルト舗装に準じ)	プラント	必須	粒度	2.36mm	舗装調査・試験法便覧	±12%以内	中規模以上の工事:定期的または随時(1~2回/日) 印字記録の場合:全数または、抽出・フルイ分け試験 1~2回/日		
			粒度	75μm		±5%以内			
			アスファルト量		舗装調査・試験法便覧	±0.9%以内			
			温度測定		温度計	配合設計で決定した混合温度		随時	
	舗設現場	必須	締固め度		舗装調査・試験法便覧	個々の値が最大乾燥密度の94%以上	3,000㎡未満 3個(3孔) 3,001~10,000㎡:10個 10,001㎡以上10,000㎡毎に10個追加		
						平均値x10 96%以上 x6 96%以上 x3 96.5%以上			
			温度測定(初期転圧)	温度計	110℃以上	随時	測定値の記録は、1日4回(午前・午後各2回)		
			外観検査(混合物)	目視	—	随時			
アスファルト舗装	プラント	必須	粒度	2.36mm	舗装調査・試験法便覧	±12%以内	中規模以上の工事:定期的または随時(1~2回/日) 印字記録の場合:全数または、抽出・フルイ分け試験 1~2回/日		
			粒度	75μm		±5%以内			
			アスファルト量		舗装調査・試験法便覧	±0.9%以内			
			温度測定		温度計	配合設計で決定した混合温度		随時	
	舗設現場	必須	締固め度		舗装調査・試験法便覧	個々の値が最大乾燥密度の94%以上	3,000㎡未満 3個(3孔) 3,001~10,000㎡:10個 10,001㎡以上10,000㎡毎に10個追加		
						平均値x10 96%以上 x6 96%以上 x3 96.5%以上			
			温度測定(初期転圧)	温度計	110℃以上	随時	測定値の記録は、1日4回(午前・午後各2回)		
			外観検査(混合物)	目視	—	随時			
舗設現場	その他	水浸ホイールトラッキング試験		舗装調査・試験法便覧	設計図書による	設計図書による	アスファルト混合物の耐はく離性の確認		
							ホイールトラッキング試験	舗装調査・試験法便覧	アスファルト混合物の耐流動性の確認
							ラベリング試験	舗装調査・試験法便覧	アスファルト混合物の耐摩耗性の確認
		必須	すべり抵抗試験	舗装調査・試験法便覧	設計図書による	舗設車線毎200m毎に1回			

出典：舗装施工便覧（平成18年）

なお、表3.1によるとプラントの粒度管理の規格値は、2.36mm で±12%、75μm±mで5%となっているが、多くの国及び NEXCO の基準では2.36mm で±4%、75μm で±1.5~2.0%としているので注意を要する。また、日本でも、上記の品質管理基準(粒度2.36mm, ±12%、75μm, ±5%以内)とは別に、各アスファルトプラントは、調達可能な材料の性状を考慮し、プラント毎により厳しい独自基準を設定し品質を管理しているので参考にする必要がある(表3.2)

表3.2 品質管理基準の例 (プラント管理基準の例)

品質管理・管理限界一覧表											
管理項目			前年データ(23年)				24年管理目標値				
			Max	Min	$\chi$	$\sigma$	設定値	範囲	上限値	下限値	国交省基準
新規骨材	5号砕石	19 mm通過	95.5	86.6	90.8	2.7	90.8	±5.4	96.2	85.4	
		13.2 mm通過	13.3	6.8	10.3	2.0	10.3	±4.0	14.3	6.3	
	6号砕石	13.2 mm通過	96.1	89.5	93.4	2.1	93.4	±4.2	97.6	89.2	
		4.75 mm通過	9.2	2.4	6.4	2.0	6.4	±4.0	10.4	2.4	
	7号砕石	4.75 mm通過	98.2	92.1	95.2	1.9	95.2	±3.8	99.0	91.4	
		2.36 mm通過	15.3	6.9	10.7	2.7	10.7	±5.4	16.1	5.3	
	スクリーニングス	2.36 mm通過	97.3	89.4	93.1	2.3	93.1	±4.6	97.7	88.5	
		75 μm通過	14.1	8.4	11.4	1.7	11.4	±3.4	14.8	8.0	
	細目砂	0.6 mm通過	81.1	73.8	77.9	2.0	77.9	±4.0	81.9	73.9	
		0.3 mm通過	49.1	40.9	45.1	2.6	45.1	±5.2	50.3	39.9	
		75 μm通過	2.6	0.5	1.5	0.6	1.5	±1.2	2.7	0.3	
	石粉	75 μm通過	88.4	84.4	86.5	1.2	86.5	±2.4	88.9	84.1	
比重		2732	2732	2732	1	2732	±2.0	2734	2730		
	水分量	0.06	0.04	0.04	0.01	0.04	±0.02	0.06	0.02		
アスファルト	60/80	針入度	75	64	68	4	68	60~80	80	60	
		密度(×10 <sup>-3</sup> )	1040	1032	1035	2	1035	±4.0	1039	1031	
	改質II型	針入度	53	50	51	1	51	40以上	—	40	
		密度(×10 <sup>-3</sup> )	1030	1029	1030	1	1030	±2.0	1032	1028	
混合物抽出		2.36mm通過	3.9	-1.5	0.4	1.6		±3.2	3.2	-3.2	±12
(基準値との差)		75 μm通過	1.2	-2.0	-0.3	0.8		±1.6	1.6	-1.6	±5
		アスファルト量	0.36	-0.23	-0.01	0.17		±0.34	0.34	-0.34	±0.9
ホットビン粒度		2.36mm通過	1.6	-1.3	0.1	0.8		±1.6	1.6	-1.6	±12
(基準値との差)		75 μm通過	0.6	-1.0	0.0	0.5		±1.0	1.0	-1.0	±5
1ピン粒度		0.6 mm通過	3.3	-5.3	-0.4	2.5		±5.0	5.0	-5.0	
(基準値との差)		0.3 mm通過	2.4	-5.6	-0.8	2.4		±4.8	4.8	-4.8	
マーシャル密度		V-06	10	-8	0	5		±10	10	-10	
(基準値との差)×10 <sup>-3</sup>		R-06	12	-12	1	8		±16	16	-16	
印字管理		1Bin(2.36mm)						± 3% 以内		±12	
		石粉(75 μm)						± 0.35% 以内		±5	
		アスファルト量						± 0.25% 以内		±0.9	
		ミキサー・目標温度						± 5℃ 以内			

出典：某舗装会社のプラント品質管理基準

## (2) 材料調達・試験

アスファルト舗装に用いる材料は、アスファルト、骨材、アスファルト混合物、路盤材料等がある。これらの各材料の使用に当たっては、仕様書及び品質管理計画書に定められている試験、及び経験に基づいて十分に調査を行い、使用の適否、使用方法、受け入れ方法、保管方法などを慎重に決定する。

アジア・アフリカの開発途上国では、砕石プラントの能力不足から骨材の形状に問題がある場合や生産地・場所により品質(粒度、性状等)のばらつきが大きい場合がある。施工に起因する破損では、骨材の粒度の不具合、強度不足、アスファルトの品質不適等の事例が指摘されているので留意する。

(「4. アスファルト舗装の破損事例」、「5. 流動わだち掘れ対策」参照)

### 解 説

舗装工事に使用する材料について材料試験や配合試験を行い、それが仕様書を満足することを確認する。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。以下にアスファルト混合物を製造するために必要な材料と製造される混合物の一般的な種類を表3.3に示す。

表3.3 アスファルト混合物のための一般的な材料

	材 料
アスファルト	舗装用石油アスファルト：針入度等級、粘度等級、PG*等 ポリマー改質アスファルト：改質Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ型、PG等
乳剤等	カチオン系アスファルト乳剤、カットバックアスファルト等
粗骨材	舗装用砕石、玉砕、砂利、スラグ、リサイクル骨材等
細骨材	天然砂、人工砂、スラグ等
フィラー	石灰岩石粉、回収フィラー、セメント、フライアッシュ等

\*PG (Performance Grade)：温度毎の物理的性質により分類する方法（「付属資料3 ジャイレトリコンパクタによる配合設計」参照）

#### 1) 骨材

アスファルト混合物の主たる材料は骨材であり、砕石、砂、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 2.36mm で区分し、2.36mm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 2.36mm で粗骨材と細骨材の区別をしているわけではない。オーストラリア、南アフリカ等のように 4.75mm で粗骨材と細骨材を区別している国も多い。ただし、例えば、オーストラリアの細骨材のふるいは日本より種類が多く（4.75, 2.36, 1.18, 0.6, 0.3, 0.075mm）、細骨材の粒度を厳密に管理している。

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り、石灰岩やその他の岩石を粉碎した石粉、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。

舗装用の骨材は、アスファルト混合物の骨格をなす材料であるため骨材の粒度・形状のみならず、そのものの性状が使用目的に合致する材料でなければならない。舗装用骨材として一般的に要求される性質を

以下に示す。

- A) 所定の粒度や粒形を有している
  - ・最大粒形はフィニッシュビリティ（仕上がり）、ワーカビリティ（施工性）に影響し、粒度は安定性耐久性に影響を与える。
  - ・骨材の粒形は立方体に近く稜角に富むものが良い。扁平・細長のものは混合物の安定性を低下させ、ワーカビリティを悪くする。
- B) 泥・有機物・ゴミを含まない
  - ・有害物がアスファルト混合物に混ざるとその性質を悪化させる。
- C) 耐久性、耐摩耗性に優れている
  - ・施工中の破碎や供用時のすり減りに十分耐える必要がある。
- D) アスファルトとの付着性に優れている
  - ・一般的に流紋岩、花崗岩などの酸性岩はアスファルトとの付着性が悪い。付着性が悪いと剥離等の問題が生ずる可能性が高くなる。

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。

細骨材の砂には、天然砂、人工砂、スクリーニングス等がある。

#### 【舗装施工便覧】

舗装施工便覧（平成 18 年）からの骨材の基準を表 3.4 に示す。

#### -碎石

碎石は、均等質、清浄、強硬で耐久性があり、細長いあるいは扁平な石片、ゴミ、泥、有機物などの有害物などを有害量含んではならない。花崗岩や頁岩などを含む碎石で、加熱することによってすり減り減量が大きくなったり、破壊したりするものは、特に表層のアスファルト混合物に用いてはならない。碎石の耐久性を損なう原因の一つに、目視では判断できない微細なひび割れがある。これを硫酸ナトリウムによる安定性試験で判定する。

表3.4 碎石の品質の目標値

項目	用途	表層・基層	上層路盤
	表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )		2.45 以上
吸水率 (%)		3.0 以下	—
すり減り減量 (%)		30 以下	50 以下
安定性；損失量 (%)		12 以下	20 以下
粘土、粘土塊 (%)		0.25 以下	—
軟らかい石片 (%)		5.0 以下	—
細長、あるいは扁平な石片 (%)		10.0 以下	—

なお、表層の骨材のすり減り減量が上限値に近い材料を使用したアスファルト舗装において、表面の骨材が抜ける現象が見られた例がある。

## - 砂

砂には、天然砂、人工砂、スクリーニングス等がある。スクリーニングスは、砕石を製造する場合に生じる、粒径 2.36mm 以下の細かい部分をいう。

天然砂は、採取場所により粒度等が変化し易いので、十分調査のうえ使用する。天然砂は球形に近いものが多く耐流動性の点で不利であるので、DS が不足する場合は人工砂に変える必要がある。人工砂である砕砂は砕石工場で砂にし水洗いし生産する。スクリーニングスは、シルトや粘土等の有害物を含むことがあるほか、耐流動抵抗性を減少させるので、十分検討のうえ使用する。スクリーニングスの粒度範囲は、次表を標準とする。

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

## - フィラー

フィラーには、石灰岩を粉砕した石粉、消石灰、回収ダスト等を用いる。フィラーは、アスファルトと一体となって骨材の間隙を充填し、混合物の安定性や耐久性を向上させる役割がある。フィラーの添加量は、混合物の性状のほかに、施工性にも影響を与えるため、配合設計において総合的に検討する必要がある。

回収ダストは、アスファルトプラントで加熱アスファルト混合物を製造する際に、ドライヤなどで加熱された骨材から発生する、粉末状のものをいう。バグフィルタなどの二次集塵装置で捕集して、混合物のフィラーとして使用するものである。回収ダストをフィラーの一部として使用する場合は、他のフィラーと配合したものがフィラーの粒度規格と性状に適合することが望ましい。

フィラーの粒度規格

ふるい目開き	通過量百分率(%)
600 $\mu$ m	100
150 $\mu$ m	90~100
75 $\mu$ m	70~100

回収ダストを一部用いる場合のフィラーの性状

項目	目標値
PI	4 以下
フロー試験 (%)	50 以下

[注] この試験は 75 $\mu$ m 通過分について行う。

開発途上国で多く参照されている ORN19 の骨材の基準を「参考資料 2 ORN19 骨材の試験の基準」に示す。

### 【開発途上国での骨材の問題点】

#### - 骨材の扁平率

砕石プラントは、通常、一次破碎、二次破碎で所定の大きさまで破碎し、三次破碎で骨材の形状を改善する設備構成になっているが、途上国の砕石プラントは、二次、三次破碎の設備(整粒機)が十分でないこ



とが多く扁平な碎石の割合が多くなる傾向にある。

代表的な碎石機を以下に示す。

ジョークラッシャ：一次破碎用、細長い形状を生産する傾向にある

コーンクラッシャ：二次破碎用に用いられる

インパクトクラッシャ：立方体の形状を生産するのに向いている

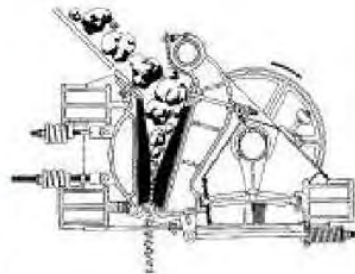
扁平率が高く適切な配合設計ができない場合は、整粒機を加えて、製造ラインを改善して品質を確保する必要がある。

#### - 細骨材の粒度分布と粒形

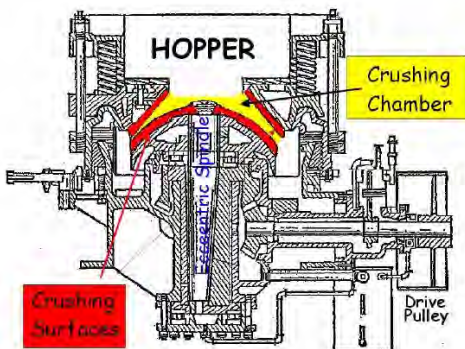
途上国の碎石場の需要はコンクリート用が多いため、細骨材 (0~5mm) の粒度分布は、アスファルトコンクリート用に管理されたものでないことが多い。この場合、2.5mm のふるいを加えて、製造ラインを改善するとよい。また、天然砂は角の少ないものが多く、耐流動抵抗性の面から問題となる例もあり、ホイールトラッキング試験等でチェックする必要がある。細骨材の形状試験としては細骨材粒子形状評価 (FAA 試験, ASTM) 等がある。コラム骨材の形状試験参照。

#### 【コラム：クラッシャ (代表的な碎石機)】

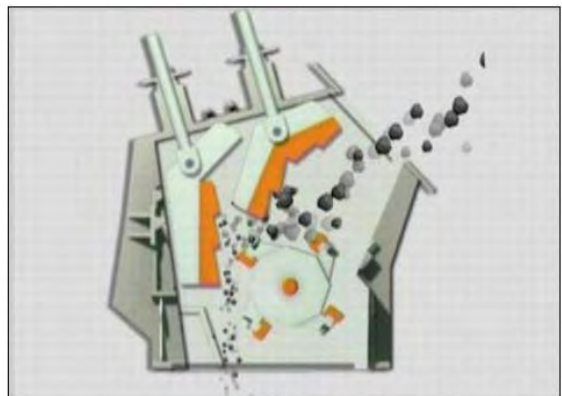
ジョークラッシャ：一次破碎、細長い形状を生産する傾向にある



コーンクラッシャ：二次破碎



インパクトクラッシャ：立方体の形状を生産するのに向いている



## 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<sup>1</sup>なため、現場条件を勘案し選定する。

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、改質剤の選定の評価は協力準備調査における舗装設計において考慮することが望ましい。

### - ストレートアスファルト

一般的なストレートアスファルト種類別の使い方を表 3.5 に示す。

**表 3.5 ストレートアスファルトの種類別の使い方**

ストレートアスファルトの種類	使用方法
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

舗装施工便覧 (平成 18 年度) でのストレートアスファルトの種類別の性状を下記に示す。(表 3.6)

**表 3.6 ストレートアスファルトの種類別の性状**

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 <sup>3</sup>	≥1.000	≥1.000	≥1.000

なお、開発途上国の基準で多く参照されている Overseas Road Note 19 等では、針入度アスファルト等級は、40/50, 60/70 (一般に使用)、80/100 に分類されている。(参考資料 3 参照)

### - 改質アスファルト

国内で一般的なプレミックスタイプの改質アスファルトの種類と主たる使用目的を表 3.7 に示す。

**表 3.7 改質アスファルトの種類と使用目的**

改質アスファルトの種類	使用目的
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
ポリマー改質アスファルト III 型	耐水性、可撓性
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

<sup>1</sup> ストレートアスファルト 60-80:57,000 円/t、ポリマー改質アス II 型 103,000 円/t ストレートアス混合物 密粒 20 10,400 円/t、改質 II 型混合物 密粒 20 12,200 円/t、関東現場渡し (建設物価 2016 7 月号)

改善し粘度を高めたもの。 出典：舗装施工便覧 (H. 18 日本道路協会)

舗装施工便覧 (平成 18 年度) では、改質アスファルト (I 型、II 型、III 型) の標準的性状を規定している。(表 3.8)

表 3.8 改質アスファルトの種類と標準的性状

項目	種類 付加記号	I 型	II 型	III 型	
				III-W 型	III-WF 型
軟化点	℃	50.0 以上	56.0 以上	70	
伸度	(7℃) cm	30 以上	-	-	
	(15℃) cm	-	30 以上	50 以上	
タフネス (25℃)	N・m	5.0 以上	8.0 以上	16 以上	
テナシティ(25℃)	N・m	2.5 以上	4.0 以上	-	
粗骨材の剥離面積率	%	-	-	-	5 以下
フラス脆化点	℃	-	-	-	12 以下
針入度(25℃)	1/10mm	40 以上			
薄膜加熱質量変化率	%	0.6 以下			
薄膜加熱後の針入度残留率	%	65 以下			
引火点	℃	260 以上			
密度 (15℃)	g/cm <sup>3</sup>	試験表に付記			
最適混合温度	℃	試験表に付記			
最適締め温度	℃	試験表に付記			

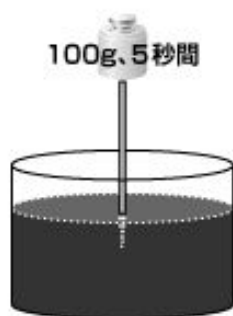
付加記号の略号 W：耐水性 (Water resistance) F：可撓性 (Flexibility) (舗装施工便覧、平成 18 年)

一方、アスファルトの分類として、針入度や改質アスファルトによる分類以外に温度毎の性状、性能により分類する SUPERPAVE の PG(Performance Grade)がある。(「付属資料 3 ジャイレクトリーコンパクタによる配合設計法」参照)

【コラム：アスファルト品質試験の例】

・針入度試験

針入度は、常温付近におけるアスファルトの硬さを表わす指数。鋼製標準針が試験温度 25℃で、100g の荷重をかけ、5 秒間の貫入長さを測定する。



・軟化点試験

アスファルトが軟化する温度を調べる試験である。環状上の型枠を注いだアスファルトの上に鋼球を載せ、一定の温度勾配で昇温し、アスファルトが所定の距離まで垂れ下がるときの温度を測定する。



ポリマー改質アスファルトには、プレミックスタイプとプラントミックスタイプがある。プレミックスタイプは、あらかじめ工場（製油所）でアスファルトと改質剤を均一に混合したもので、通常ローリー車で供給される。現地で製造する場合は、改質アスファルト製造プラントの導入や特別なノウハウが必要となる。

プラントミックスタイプは、アスファルトプラントでアスファルト混合物を製造するときに、ミキサの中に直接改質剤を液状あるいは粉末状の形で、添加・混合して使用するもので、プレミックス・ポリマー改質アスファルトの効果と同様な結果を得ることができる。海外では、Anti-Rutting Additive や Anti-Rutting Agent と呼ばれる。改質材は、特別な機材なしで混合できるように特別な加工がされており、通常のプレミックスタイプの改質アスファルトに比べて価格が高くなる。品質管理はポリマー改質アスファルト混合物を作成してホイールトラッキング試験（WT 試験）などを実施することが必要になる。一般に印字記録されない人力投入であるため数量（投入有無）の管理をどの様に実施するか検討する必要がある。

主なプラントミックスタイプの改質材料の例を表 3.9 に示す。

**表3.9 主なプラントミックスタイプの改質材料（例）**

生産国	会社名	改質材
フランス	PR Industrie	Plast S
アメリカ	Du Ponte	RET asphalt modifier
スペイン	Spanco	NOSBUR PLAST
日本	前田工織	かいしつくん
	昭和瀝青工業株式会社	フィックスパウダー
中国	Yancheng Wantong Fiber Technology	DXG - 1 anti-rutting additive
	Shanghai Roadphalt Asphalt Technology Co., Ltd.	Roadphalt Anti-rutting Additive

#### 【改質アスファルトの調達例 1】

タイ 東部外環道路（国道九号線）改修計画では、改質アスファルトが使用された。

##### ・アスファルト合材の耐流動性対策

4車線のうち、外側2車線を大型車(対象道路の大型車交通量は約4,000台/日、2010年実測値)が通行可能な車線としているため、耐流動性に鑑みて表層部分にプレミックスタイプの改質アスファルトを使用した。現地にWT試験機をもち込み耐流動性の試験を実施している。なお、タイ国政府では2006年に改質アスファルトの仕様書を作成し、試験施工、本格施工を行っている。

##### ・アスファルトの調達

アスファルト（ストレートアスファルト、改質アスファルト）は、タイシェルより購入。

改質材は、プレミックスタイプ、日本の改質Ⅱ型に相当するタイの基準。

（参考）マレーシア、ベトナム、インドネシア等で改質材を使う場合は、シンガポールのシェルから購入していることが多い。

#### 【改質アスファルトの調達例 2】

・リベリアの無償資金協力の道路整備事業では改質アスファルト製造プラントにより現地でストレートアスファルトとSBSを混合してプレミックスアスファルトを製造した。

・ザンビアの無償資金協力の道路整備事業では、プラントミックスの改質材を日本より輸入して一部の表

層に使用した。

無償資金協力事業で改質アスファルトが使用された例を表 3.10 に示す。

**表3.10 改質アスファルトの使用例（無償資金協力事業）**

対象国	プロジェクト名	改質材のタイプ	採用道路名
タイ	東部外環道路（国道九号線） 改修計画	プレミックス	アスファルト（ストレートアスファルト、改質アスファルト）は、 タイシェルより購入。（日本の改質Ⅱ型に相当するタイの基準*）
リベリア	モンロビア首都圏ソマリアド ライブ復旧計画	プレミックス	改質アスファルト製造プラント により現地でストレートアスファルトと SBS を混合してプレミックスアスファルトを製造。
ザンビア	ルサカ南部地域居住環境改善 計画	プラントミックス	-
エチオピア	国道一号線アワシュ橋架け替 え計画	プラントミックス	かいしつくん
タンザニア	キルワ道路拡幅計画（第二期） （舗装補修）	プラントミックス	Plast S

\*タイ国では 2006 年に改質アスファルトの仕様書を作成し、試験施工、施工を行っている。

【コラム：ポリマー改質アスファルト】

ポリマー改質アスファルトは、SBS（スチレン・ブタジエン・スチレン・ブロック共重合体）が主に使用されている。

SBSは高温領域（150～180℃程度）では流動性を示し、常温領域ではポリスチレン部分が架橋点となり、アスファルト中で三次元ネットワークを形成し、塑性変形に対する抵抗性が向上する（図）。また低温領域では、常温領域でゴム弾性を持つポリブタジエン部分がアスファルトの低温性状の改善に寄与し、低温域での破断に強くなり、耐ひび割れ性も向上すると考えられている。

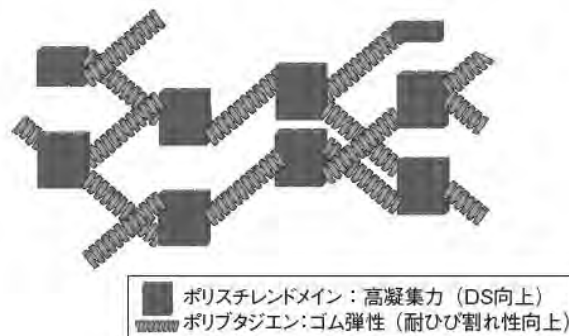


図 SBSのネットワーク

ポリマー改質アスファルトの変遷は、当初、ゴム入りアスファルトが使われ、次に流動わだち掘れ対策として硬いアスファルト（ブローンアスファルト等）が使用され、最近では耐流動わだちに加え耐ひび割れ性を考慮したSBS（熱可塑性エラストマー）が主に使用されている。

### 3) アスファルト混合物

アスファルト混合物は、使用する材料（骨材、アスファルトバインダー、添加物等）やその配合によりいくつかの種類に分類される。表 3.11 に主なアスファルト混合物の種類と粒度分布を示す。

表 3.11 舗装施工便覧に示すアスファルト混合物の種類と粒度範囲

混合物の種類	①	②		③	④	⑤
	粗粒度 アスファルト 混合物  (20)	密粒度 アスファルト 混合物  (20)	(13)	細粒度 アスファルト 混合物  (13)	密粒度 ギャップ アスファルト 混合物  (13)	開粒度 アスファルト 混合物  (13)
仕上り厚 cm	4~6	4~6	3~5	3~5	3~5	3~4
最大粒径 mm	20	20	13	13	13	13
通過質量百分率 %	26.5mm	100	100			
	19.0mm	95~100	95~100	100	100	100
	13.2mm	70~90	75~90	95~100	95~100	95~100
	4.75mm	35~55	45~65	55~70	65~80	23~45
	2.36mm	20~35	35~50		50~65	30~45
	600μm	11~23	18~30		25~40	20~40
	300μm	5~16	10~21		12~27	15~30
	150μm	4~12	6~16		8~20	5~15
75μm	2~7	4~8		4~10	4~10	
アスファルト量 %	4.5~6	5~7		6~8	4.5~6.5	3.5~5.5

注 1) 赤枠内は、特に大型車交通の多い場合に適用

注 2) この粒度範囲は配合設計の際の粒度範囲であって品質管理の際の許容範囲でないことを注意

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。アスファルト混合物の種類別の粒度分布と容積比の概念図(参考資料 4、図 3.2)が参考になる。

### (参考資料 1) アスファルト混合物の材料試験の例

アスファルト混合物の材料試験については、舗装施工便覧、南アフリカ、オーストラリアの基準では、表 3.12 に示す試験が定められている。

表 3.12 アスファルト混合物の材料試験の基準例

基準名	舗装施工便覧 (平成 18 年)	南アフリカ	オーストラリア
アスファルト	針入度グレードアスファルト試験 改質アスファルト試験	針入度グレードアスファルト試験 PG Test	60℃の粘度で分類 改質アスファルト試験
骨材	粒度試験 比重・吸水率試験 すり減り減量試験 安定性試験 有害物含有量 (扁平率を含む)	堅さ/強靱性 健全度 耐久性 形状/きめ (表面形状) 吸水率 清浄度	粒度試験 粒子形状試験 表面きめ (形状) 研磨抵抗性 すり減り減量 耐久性 強度 清浄度 密度 吸水率
フィラー	粒度試験 比重試験	粒度分布 密度 Methylene blue (メチレンブルー)	粒度分布 含水率 粒子形状 溶解性 Loss on ignition 粘土量 塑性指数 締固め空隙率

(調査団作成)

無償資金協力事業では、一般的に施工業者が日常的に品質管理を行うことから、日常管理に必要な試験所 (Laboratory) を現場ないし現場近くに設置することを前提に工事費が積み上げられている。ただし、特殊な試験や試験数が少量の場合、または材料承認試験の場合には、それらの試験を外部の試験機関へ委託することもある。しかし、途上国の多くの国では、試験機関に計量証明等の義務が無く、試験機の精度に問題がある場合も存在する。このため、「施工期間中に外部委託した試験結果では、全て仕様を満たす結果となっていたが、最終的に別機関で試験を実施したところ、仕様を満たしていないことが判明した」という事例もある。このように試験を外部機関に委託する場合には、幾つかの試験機関を事前にチェックし、信頼性の高い試験機関に委託する必要がある。また、複数の試験機関に委託し、ダブルチェックを実施することも考えられる。なお、コンサルタントと施工業者の両者に試験所の設置を義務付けるガーナ国のような例もある。

### (参考資料 2) Overseas Road Note 19 の骨材の試験基準

多くの開発途上国の基準で参照している Overseas Road Note 19 の材料試験基準(骨材)を表 3.13 示す。舗装施工便覧と比較して、各種骨材破碎試験、衝撃試験、形状試験や剥離性試験が規定されている。

表 3.13 ORN19 の骨材の試験基準

特性	試験	要求特性	
清浄さ	砂当量 ; <4.75mm ふるい < $1.5 \times 10^6$ ESALs > $1.5 \times 10^6$ ESALs	> 35 > 40	
	(0.425mm ふるい通過材料) 塑性指数 (PI) 線収縮 (%)	< 4 < 2	
	粒子形状	扁平指数 < 35	
強度	骨材破碎値(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 細骨材	< 10 < 16	
	硫酸マグネシウム ; 粗骨材 細骨材	< 15 < 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)	



【コラム：材料試験の例：骨材の形状試験】

骨材の形状試験（舗装調査・試験法便覧）

アスファルト混合物に用いる扁平な骨材の含有量を求める試験。

4.75mm ふるいにとどまった骨材の形状を測定し、次式にあてはまる骨材を扁平な骨材とし、扁平率を算出する。

$$l \text{ (長径)} / t \text{ (厚さ)} \geq 5$$

$$\text{扁平率} = \text{扁平な骨材の質量} / \text{骨材全体の質量}$$

BS（英国基準）の骨材の形状試験

BSの基準では、写真に示す形状試験のゲージを用い、このゲージを通過する骨材の質量が全質量に占める割合から扁平な骨材の含有率（扁平指数）を算出するように規定している。



骨材の形状試験装置（BS, オーストラリア）

細骨材粒子形状評価(FAA試験：

Fine Aggregate Angularity)

細骨材の空隙率を測定して粒子形状を評価する方法。

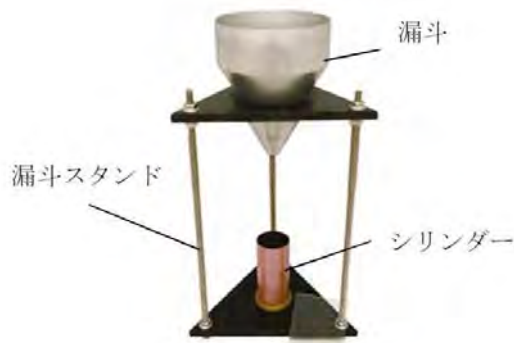
粒度分布が同じであれば粒子が角張っていて粗いほど空隙率は大きくなる。

試験装置の漏斗内に計量した試料を入れ、へらでならしシリンダー内に落させ空隙率を測定する。

$$U = (V - (F/G)) / V \times 100$$

U：空隙率 V：シリンダーの容積

F：試料の質量 G：試料の見かけ比重



FAA試験装置（ASTM）

(参考資料 3) Overseas Road Note 19の針入度アスファルト等級

Overseas Road Note 19等では、針入度アスファルト等級は、40/50, 60/70（一般に使用）、80/100に分類される。

表 3.14 ORN19の針入度アスファルト等級

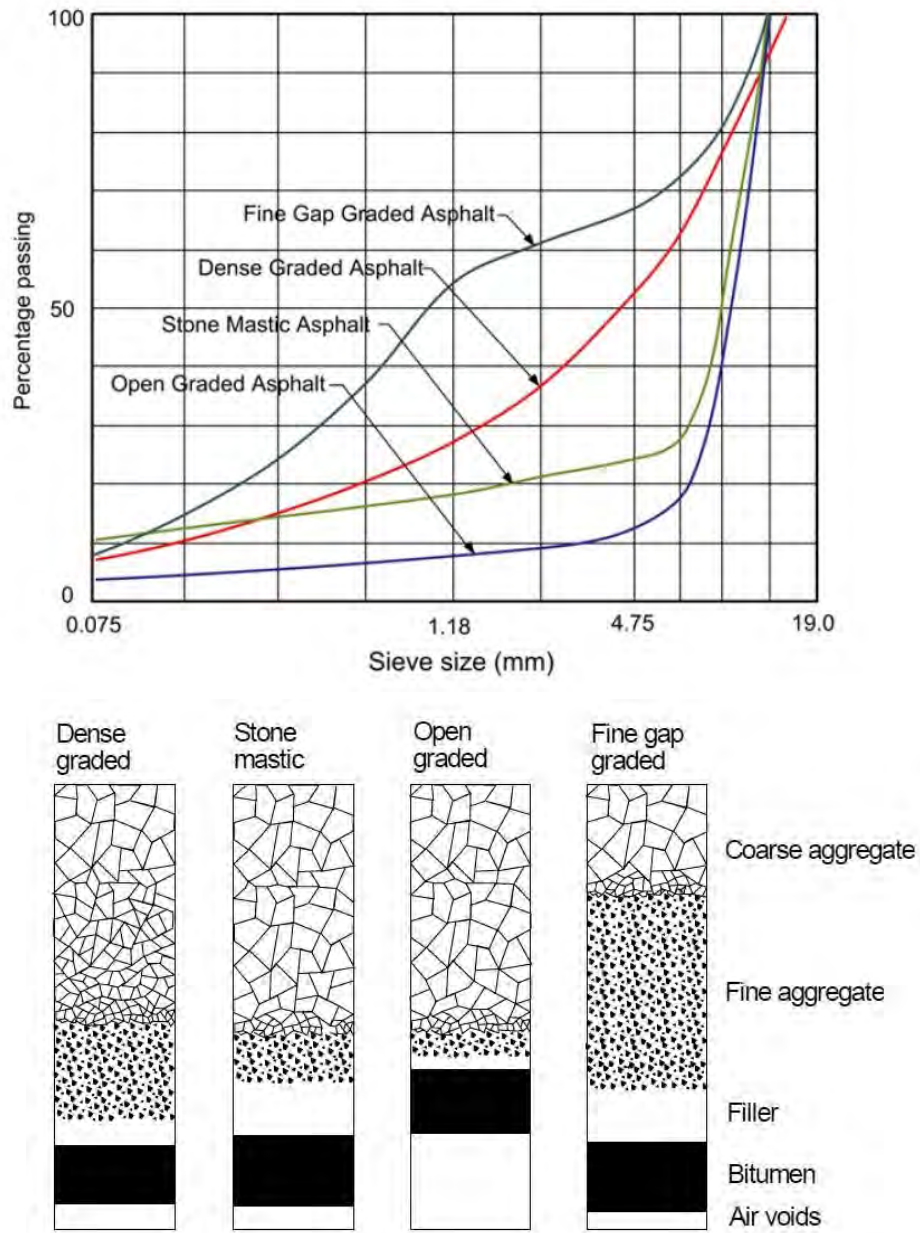
針入度等級		40~50	60~70	80~100
針入度(25℃)	1/10mm	40~50	60~70	80~100
軟化点	℃	49~59	46~56	42~51
伸度(15℃)	cm	-	-	-
トルエン可溶分	%	≥99.0	≥99.0	≥99.0
引火点	℃	≥232	≥232	≥219
薄膜加熱質量変化率	%	≤0.5	≤0.5	≤0.8
薄膜加熱後針入度残留率	%	≥58	≥54	≥50
薄膜加熱後の伸度(25℃)		-	≥50	≥75
蒸発後の針入度比	%	-	-	-
密度(15℃)	g/cm <sup>3</sup>	-	-	-

出典：Overseas Road Note 19（2001 DFID）



**(参考資料 4) アスファルト混合物の種類別の粒度分布と容積比の概念図**

アスファルト混合物の種類別の骨材の粒度分布と容積比の概念図を示す。



Dense graded : 密粒度、Stone mastic : SMA、Open graded : 開粒度  
 Fine gap graded : 細粒度ギャップ

(出典 : Austroads, Guide to Pavement technology, 4B Asphalt)

**図 3.2 アスファルト混合物の粒度分布と容積比の概念図**

**(3) 配合設計・試験**

貨物車の重量化と交通量の増加が進むなか、特に熱帯諸国では、アスファルト舗装表層の加熱アスファルト混合物の流動わだち掘れ等に抵抗する路面の性能を確保することが重要な課題となっている。アスファルト混合物の性能を確保するためには、配合設計が非常に重要になる。配合設計では、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性能が得られるようにアスファルト量や骨材の粒度を決定する。

我が国ではマーシャル配合設計法により粒度やアスファルト量を調整してホイールトラッキング試験によって動的安定度 (DS) を確認する方法、米国やオーストラリアでは、交通荷重の締固め二デイングを再現したジャイレクトリーコンパクタで配合設計を行い、骨材の噛みあわせによる空隙率を確保する方法で流動わだち掘れに抵抗している。流動わだち掘れ対策については、「5. 流動わだち掘れ対策」に詳述する。

また、不適切なプラント管理の例と対策、留意点について「5. 流動わだち掘れ対策」に記述する。

**解 説****1) マーシャル配合設計法の基準**

設計段階で、アスファルト混合物の種類や層厚を決定するが、配合設計は施工段階に行う。我が国では耐流動性の対策を講じる場合の配合設計においては、マーシャル安定度試験により粒度やアスファルト量を調整し、ホイールトラッキング試験により動的安定度(DS)を確認する方法を取っている。

流動わだち掘れ等に抵抗する路面の性能を確保するためには、アスファルト混合物の配合設計が非常に重要である。アスファルト混合物の配合設計には、我が国では原則として、マーシャル安定度試験を用いている。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。(表 3.15)

**表 3.15 マーシャル配合試験法の概要**

設計方法	マーシャル法
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。)
使用材料の選定方法	① アスファルト：気象、地域、交通条件、適用箇所などを考慮して選定する。 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。
骨材の評価方法	① 粗骨材；清浄さ、粒度、粒形、強度、すり減り、研磨性、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)
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)
最終評価方法	必要に応じて DS を確認する(舗装施工便覧)。 ジャイレクトリーコンパクタを使って空隙率が確保されているかどうかチェックすることも有効
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、DS で性能を確認(舗装施工便覧)。
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)。

舗装施工便覧におけるマーシャル試験基準値を表 3.16 に示す。ORN31 のマーシャル試験基準値を「参考資料 5」に示す。

表3.16 マーシャル試験の基準値 (舗装施工便覧)

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

1. T は舗装計画交通量(台/日・方向)である。舗装計画交通量は設計期間内の平均大型車自動車の交通量(日当り・方向別)である。
2. 安定度の( )内は突き固め回数 75 回とする場合の基準値である。
3. 骨材間隙率は、骨材の最大粒径が 20mm のときは 15%以上、13mm のときは 16%以上がよい。安定度/フロー値は、一般地域で 2000~4,900 kN/m の範囲がよい。
4. 一般地域で特に流動が予想される場合の表層用混合物の設計アスファルト量は、表中に示すマーシャル試験基準を満足するアスファルト量の範囲の中央値から下限値の範囲で設定するとよい。
5. 耐流動対策は、後述する。

【コラム：マーシャル試験】

直径約 10.2cm、高さ約 6.3cm の円筒供試体を使用し、円筒供試体を横にした状態で荷重をかけ、供試体が破壊するまでに示した最大荷重（マーシャル安定度）とその時の変形量（フロー値）を求める。円筒形の供試体の作成にはマーシャル突き固め試験機を使用し、安定度とフロー値の測定にはマーシャル安定度試験載荷装置を使用する。



写真 マーシャル突き固め試験機(クランク式)

マーシャル突き固め試験機は、マーシャル試験機供試体の作成のための装置で一定の高さからランマーを自由落下させ、突き固め台に設置したモールド中の試料を規定の回数で突き固める構造である。



写真 マーシャル安定度試験載荷装置(自記記録式)

アスファルト混合材の安定度及びフロー値を決定する試験に適用され最大骨材寸法25.4mm以下のアスファルト舗装用混合物の安定度及びフロー値の測定に用いる。

## 2) アスファルト混合物の性能試験

加熱アスファルト混合物に対する特別な対策として耐剥離性、耐流動性などの検討を行う場合は、必要に応じて表 3.17 に示す試験を行う。(舗装施工便覧)

表 3.17 アスファルト混合物の検討試験の例

目的	試験項目
耐流動性の確認	ホイールトラッキング試験
耐剥離性の確認	水浸マーシャル試験
	水浸ホイールトラッキング試験

大型車交通量の多い道路では、路面にわだち掘れが生じやすいので、特に耐流動性を向上させたアスファルト混合物を使用する。この場合、ホイールトラッキング試験で求まる DS によって、その塑性変形抵抗性を評価する。

アスファルト混合物において、アスファルトと骨材が剥離すると、混合物が粒状化して破壊するため、一度発生すると修復は困難である。剥離の心配のある材料(特に骨材)をやむを得ず使用する場合、また、地下水位が高い箇所の場合などは、針入度の小さい(針入度は 40~60)アスファルトを用いる。水に対する抵抗性の検討(耐剥離性の確認)は、水浸マーシャル安定度試験による残留安定度や、水浸ホイールトラッキング試験によるとよい。

### 【コラム：ホイールトラッキング試験】

アスファルト混合物の耐流動性を室内的に確認するために行う試験。所定の大きさの供試体上を、所定の荷重を有する小型のゴム車輪を繰り返し走行させ、その時の単位時間当たりの変形量から動的安定度(DS)を求める。

ホイールトラッキング試験機にはいくつかの方式があるが、なかでも、ハンブルグ・ホイールトラッキング(HWT)試験機は使用例が多く入手しやすい。

HWT試験では一万回までの車輪通過で変形量を計測するもので、日本式のWT試験と対応関係について、確認試験が望まれる。



写真 ホイールトラッキング試験(日本)



同(オーストラリア)

**(参考資料 5) Overseas Road Note 19 のマーシャル試験法の基準**

ORN19 は ORN31(舗装の設計と施工)を耐流動性の観点等で補完したもので、加熱アスファルト混合物の配合設計の指針となっている。ORN19 では、アスファルト混合物の配合設計の方法として、マーシャル試験による方法(表 3.18)の他に Superpave 法を紹介している。マーシャル試験法の基準を以下に示す。

**表3.18 ORN19のマーシャル試験の基準値**

a. 80 kN ESALs <  $5 \times 10^6$  (98 kN ESALs が  $2.2 \times 10^6$ ) の場合

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

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

出典 : ORN19 P20 Table6.3

b. 80 kN ESALs  $\geq 5 \times 10^6$  (98 kN ESALs が  $2.2 \times 10^6$ ) の場合(ORN19)

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

出典 : ORN19 P20 Table6.4

**(4) 路盤の施工管理**

日本(舗装設計便覧)では、上層路盤の締固め度として95%以上が標準的な規定値となっている。一方、南アフリカやオーストラリアの締固め度規定は100%以上となっている場合がある。現場における締固め度の管理規定は、突き固め試験による最大乾燥密度を基準に管理する。基準密度は突き固め試験の衝撃荷重により大小2種類の方法が適用される。例えば、オーストラリアでは、小さい衝撃荷重で基準密度が決まっており、締固め度が100%以上となる規定がある。このように小さい衝撃荷重で基準密度が決まっている場合に、締固め度規定を95%以上とすると締固め不足となるので留意する。

大型の施工機械を使って一層の仕上がり厚を厚くする場合は、転圧面付近の締固め度の数値は所定のものであすが転圧面より深いところの締め固めが十分でないことがあるので、試験施工を行う等して所要の締固め度が得られることを確認する必要がある。

**解 説****1) 我が国の路盤の締固め度規定と海外の規定の比較**

日本(舗装設計便覧)では、上層路盤の締固め度として95%以上が標準的な規定値となっている。一方、南アフリカ(Pavement Engineering Manual)やオーストラリア(Austrroads)の締固め度規定は100%以上となっている場合がある。この違いについては以下のように考察できる。

舗装設計便覧では、基準密度(最大乾燥密度)は大きな締め固めエネルギー(25.3cm/kgf/cm<sup>3</sup>)で締固めた密度で、現場の締固め度の規定は基準密度に対して95%以上である。一方、Austrroads(オーストラリア)では、基準密度(最大乾燥密度)の締め固めエネルギーは州により異なり、大きなエネルギー(25.4cm/kgf/cm<sup>3</sup>)による州と小さなエネルギー(5.7cm/kgf/cm<sup>3</sup>)による州がある。現場の締固め度の規定は基準密度が大きなエネルギーで決まっている州は97%~100%以上であるが、基準密度が小さなエネルギーで決まっている州は100%~102%以上となっている。(表3.19)

**表3.19 粒度調整碎石路盤の締固め度規定**

項目	舗装設計便覧	Austrroads	Pavement Engineering Manual (SA)
基準密度(最大乾燥密度)の規定 ・含水量 ・ランマ質量、落下高さ、層数、突固め回数、 モールド容積 ・締め固めエネルギー	・最適含水量 ・4.5kg、45cm、3層 92回/層、2209cc  ・25.3(cm・kgf/cm <sup>3</sup> )	Standard compaction ・最適含水量 ・2.49kg、305mm、3層、25回/層、1000cc ・5.7(cm・kgf/cm <sup>3</sup> ) Modified compaction ・最適含水量 ・4.45kg、457mm、5層、25回/層、1000cc ・25.4(cm・kgf/cm <sup>3</sup> )	Modified AASHTO A~Eの五つの突固め方法を規定 使用する材料、現場状況、経験等から、採用する方法を特記仕様書で規定している。
現場における締固め度の規定*	最大乾燥密度の95%以上	クイーンズランド州： 102/100% ニューサウスウェールズ州： 102% ヴィクトリア州：100/98%	使用する材料、仕様書*により異なる。 TRH14：98 - 102% COLTO：98 または 100%

\* TRH: TECHNICAL RECOMMENDATION FOR HIGHWAYS  
COLTO: Committee of Land Transport Officials

以下に、舗装設計便覧(我が国)とAustrroads(オーストラリア)の基準密度(最大乾燥密度)の規定を

比較する。

我が国では、JISにおいて、盛土や路盤材料は「JIS A 1210突固めによる土の締固め試験（舗装調査・試験法便覧 F007、E011）」によって、その材料の最適含水比（OMC）と最大乾燥密度（MDD）を求めらる。その時求められた MDD を基準に、現場では締固め度を管理する。

基準密度を決める場合の「突固め試験」の突固め方法には、A～E の 5 種類があり、衝撃荷重（Ec）によって下記の2種類に分類される。（表3.19）

- ① JIS 呼び名 A, B “Standard 法”  $E_c \approx 550 \text{ kJ/m}^3$
- ② JIS 呼び名 C, D, E “Modified 法”  $E_c \approx 2500 \text{ kJ/m}^3$

$$E_c = \frac{W_R \cdot H \cdot N_B \cdot N_L}{V} \quad (\text{kJ/m}^3)$$

ここに、 $W_R$ ：ランマーの重量（kN）

$H$ ：ランマーの落下高（m）

$N_B$ ：層あたりの突固め回数

$N_L$ ：層の数

$V$ ：モールドの容積（締固めた供試体の体積）（ $\text{m}^3$ ）

**表 3.20 突き固めによる締固め試験（①呼び名 A,B、②呼び名 C,D,E）**

突固め方法の呼び名	モールド径 (mm)	モールド深さ (供試体高さ) (mm)	モールド(供試体)容積 (cm <sup>3</sup> )	ランマ質量 (kg)	落下高さ (cm)	突固め回数 (回)	層	許容最大粒径 (mm)	$E_c$ (kJ/m <sup>3</sup> )
A	100	127.3	1,000	2.5	30	25	3	19	552
B	150	125	2,209	2.5	30	55	3	37.5	549
C	100	127.3	1,000	4.5	45	25	5	19	2,482
D	150	125	2,209	4.5	45	55	5	19	2,472
E	150	125	2,209	4.5	45	92	3	37.5	2,481

Standard 法と Modified 法の比較を表3.21に示す。

**表 3.21 突き固めによる締固め試験（Standard 法、Modified 法）**

項目	① Standard 法	③ Modified 法
適用基準	一軸圧縮強度で規定している	修正 C B R で規定している
ランマー重量	2.5 kg	4.5 kg
ランマー落下高	30 cm	45 cm
突固め回数	25 回・3 層	92 回・3 層
現場における締固め規定	100%以上	95%以上

同材料において、①と②でそれぞれ試験を実施した場合、①は②に比較して最大乾燥密度（MDD）は小さく、最適含水比（OMC）は大きくなる傾向がある。つまり、「突固め試験」をどちらの方法で実施するかによって、基準密度が異なることとなる。

日本では、路盤材料の規定が修正 CBR である道路工の路盤では、一般的に現場施工における基準密度は

②の Modified Protector が適用される。

国土交通省における現場管理基準は②の Modified Protector による基準密度に対し表 3.22 のとおりである。

表 3.22 国土交通省における現場締固め基準

発注機関	工種名	種別	試験項目	試験方法	規格値
国土交通省	下層路盤	材料	修正CBR試験	舗装調査・試験法便覧 E001 JIS A 1210準拠	粒状路盤:修正CBR(95)20%以上
		施工	現場密度の測定	舗装調査・試験法便覧 G021	最大乾燥密度の93%以上 X10 95%以上
	上層路盤	材料	修正CBR試験	舗装調査・試験法便覧 E001 JIS A 1210準拠	粒状路盤:修正CBR(95)80%以上
		施工	現場密度の測定	舗装調査・試験法便覧 G021	最大乾燥密度の93%以上 X10 95%以上
	セメント安定処理路盤	材料	一軸圧縮試験	舗装調査・試験法便覧 E013	一軸圧縮強さ( $\sigma_7$ )0.98Mpa
		材料	修正CBR試験	舗装調査・試験法便覧 E001	上層路盤:修正CBR(95)20%以上 下層路盤:修正CBR(95)10%以上
施工		現場密度の測定	舗装調査・試験法便覧 G021	最大乾燥密度の93%以上 X10 95%以上	

X10 : 10 個の測定の平均値

Austrroads (オーストラリア) では、Standard compaction と Modified compaction の 2 種類が記載されており、このうち前者 (Standard compaction) は我が国の①Standard 法に相当し、後者 (Modified compaction) は②Modified 法に相当する。Modified compaction と Standard compaction による基準密度はの概念図を図 3.3 に示す。

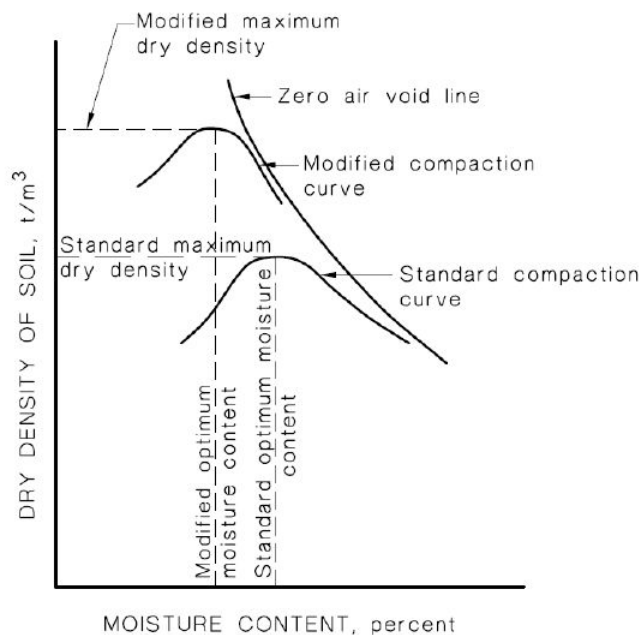


図 3.3 オーストラリアの突き固めによる締固め試験 (Modified 法, Standard 法)



表 3.23 では standard と modified の別と締固め度とを対応させて示している。

**表 3.23 締固め度規定の例 (オーストラリア)**

項目	締固め度規定	
	下層路盤	上層路盤
QDMR, クイーンズランド州 (タイプ 1)	≥102% (standard)	≥102% (standard)
QDMR, クイーンズランド州 (タイプ 2,3,4)	≥100% (standard)	≥100% (standard)
RTA, NSW 州	≥102% (standard)	≥102% (standard)
VicRoads, VIC (Scale A)	≥98.0% (modified)	≥100% (modified)
VicRoads, VIC (Scale B)	≥97.0% (modified)	≥98.0% (modified)

Source: QDMR (1999), RTA (2007a) and VicRoads (2008b)

これに見るように、オーストラリアでは、道路工の路盤では、一般的に現場施工における基準密度は州により① (Standard compaction) または② (Modified compaction) が適用される。①が適用された場合は、許容締固度は 100% を越す、一方、②が適用された場合は、許容締固度は 97%~100% である。

小さいエネルギーで基準密度が決まっている場合には一律に、締固め度規定を 95% 以上とするのではなく、より高い締固め度を採用する必要があることに留意する必要がある。

## 2) 大型機械を使った場合の路盤の一層の仕上がり厚

路盤施工の一層の仕上がり厚さに関しては、舗装施工便覧には、下記の規定がある。

- ・粒状路盤の施工は、材料分離に留意しながら均一に敷き均し締め固めて仕上げる。
- ・下層路盤では、粒状路盤の一層の仕上がり厚さは 20cm 以下を標準とする。
- ・上層路盤では、粒度調整路盤の一層の仕上がり厚は 15cm 以下を標準とする。振動ローラーを用いる場合は上限を 20cm とする。
- ・一層の仕上がり厚さが 20cm を超える場合においては所要の締め固め度が保証される施工方法が確認されていれば、その仕上がり厚さをもちいてもよい。

土木研究所の研究によると、大型施工機械を用いて一層の仕上がり厚さが 20cm を超える場合は、転圧面付近の締固め度の数値は出るが、深さ方向の減衰が大きく下のほうは締め固めが十分でない場合があるので、試験施工を行うなどして品質を確認しておく必要がある。

- ・締固め度は深さ方向において変化し、転圧面より深いほど締固め度は低下し、その差は振動ローラーに比べ、タイヤローラーでは大きくなっている。
- ・締固め管理における計測は、砂置換法が用いられることが多いが、この方法では転圧面付近の締固め度を計測することになる。深さ方向の密度変化にも留意しておく必要がある。

## (5) アスファルト混合物の舗設管理

アスファルト舗装の路面や構造は、アスファルト層に用いるアスファルト混合物の品質等に応じて決定したものであるから、アスファルト混合物が所定の品質を有するものであることを確認しなければならない。さらに、アスファルト混合物の舗設の良否が交通に対する安定性（耐流動性）や耐久性に影響するので入念に仕上げなければならない。工事を始める前に、材料や配合設計の基準試験による確認、プラントの試験練りに加え、試験施工を実施し作業標準\*を決めておく。

施工過程で、プライムコートの不良、降雨の対策、施工継ぎ目不良、タックコートの不良などによりひび割れ等の不具合が発生している（「4.アスファルト舗装の破損事例」参照）、この点に、特に、留意する。

\*作業標準：所定の品質を満足する施工を行うために、使用機械、施工手順、施工方法などをどのように行うかの作業の標準を示すものである。試験施工を行って決めるかまたは過去に同様な工事で良好な結果が得られた施工例があれば、その時の作業標準を用いて決めることができる。

## 解 説

### 1) 概要

使用する材料や工法により、試験施工を行い、実際にアスファルト混合物を敷きならし、締め固めてこれらの品質や作業性などについて確認を行う。また、敷きならしや締め固め作業についての作業標準を定め、管理限界、管理の頻度なども設定する。試験施工では、実際の状況と同様の条件で行うことが望ましく、そのためには現場の一部を使用して実施するとよい。

試験施工で検討する項目の一例を表 3.24 に示す。

表 3.24 試験施工で検討する項目の一例(アスファルト舗装)

検討項目	内 容
施工機械の確認	敷きならし機械の適否など
	締め固め機械の選択, 組合せなど
混合物の確認 (試験練り)	粒度, アスファルト量など
	作業性, 材料分離の有無など
混合物の廃棄限界	混合物の下限温度など
敷きならし条件	余盛り量など
締め固め条件	混合物温度, 転圧の順序, 回数, 速度など

締め固め度の管理は、通常切り取りコアの密度を測定して行う。コア採取の頻度は工程の初期は多めに、それ以降は少なくして、混合物の温度と締め固め状況に注意するとよい。この際、表面における材料の分離やヘアクラックの有無などについても注意深く観察する。

アスファルト混合物の施工管理に関し、ひび割れ等の不具合の発生が見られるプライムコート施工、施工継ぎ目施工、タックコート施工の留意点について以下に述べる。

### 2) プライムコート施工の留意点

プライムコートは、路盤（瀝青安定処理を除く）を仕上げた後、すみやかに瀝青材を所定量均一に散布して養生する。散布量は、一般的には1~2 リットル/m<sup>2</sup>が標準である。プライムコートには、通常、

カチオン系のアスファルト乳剤を使用する。国によっては、カットバックアスファルト(MC-30, MC-70)を使用する。アスファルト乳剤の散布は、一般にアスファルトディストリビュータを使用する。アスファルトエンジンブレイヤを使用することもある。

a) 目的

- ・路盤の上にアスファルト混合物を施工する場合は、路盤とアスファルト混合物とのなじみをよくする。
- ・路盤表面部に浸透し、その部分を安定させる。
- ・降雨による路盤の洗掘または表面水の浸透などを防止する。
- ・路盤からの水分の蒸発を遮断する。

b) 施工の留意点

- ・散布したアスファルト乳剤の施工機械等への付着およびはがれを防止するため、乳剤の散布直後に必要最小限の砂(通常 100m<sup>2</sup> 当たり 0.2~0.5m<sup>3</sup>)を散布するとよい。
- ・瀝青材料が路盤に浸透せず厚い皮膜を作ったり、養生が不十分な場合には、上層の施工時にブリーディングが起きたり、層の間でずれて上層にひび割れを生じることがあるので留意する。

### 3) 施工継ぎ目施工の留意点

混合物は、所定の密度が得られるように締め固める。締め固め作業は、継ぎ目転圧、初転圧、二次転圧、仕上げ転圧の順序で行う。締め固め機械は、一般にロードローラー、タイヤローラー及び振動ローラーが用いられる。補助機械としてハンドガイド式振動ローラーや振動コンパクタなどを用いることがある。

横継目、縦継目および構造物との接合部は、十分締め固め密着させることが重要である。

継目の施工に当たっては、継目または構造物との接触面をよく清掃したのち、タックコートを施工後、敷きならした混合物を締め固め、相互に密着させる。

施工継目や構造物との接合部では、締め固めが不十分となりがちとなる。所定の締め固め度が得られない場合には、不連続となり弱点となりやすいので、施工継目はできるだけ少なくなるように計画する。継目は、その方向により横継目と縦継目とがある。

#### a) 横継目

- ・横継目は施工の終了時, またはやむを得ず施工を中断したとき, 道路の横断方向に設ける継目で, 仕上がりの良否が走行性に直接影響を与えるので, 平たんに仕上げるように留意する。
- ・舗設作業をやむを得ず長時間中断するときは敷きならしの終わった端まで転圧を完了させておく。
- ・施工中断時または終了時の継目は, 横断方向にあらかじめ型枠を置いて, 所定の高さに仕上げる。
- ・下層の継目の上に上層の継目を重ねないようにする。

#### b) 縦継目

- ・縦継目は道路幅員を車線数に分けて施工する場合に道路中心線に平行に設ける継目である。締固めが十分でないと, 継目部の開きや縦ひび割れなどが生じやすい。
- ・表層の縦継目の位置は, 原則としてレーンマークに合わせるようにする。
- ・各層の継目の位置は, 下層の継目の上に上層の継目を重ねないようにする (図 3.4 参照)。また縦継目は, 上・下層とも車輪の走行位置直下にしないようにする。
- ・縦継目部は, レーキなどで粗骨材を取り除いた新しい混合物を, 既設舗装に 5cm 程度重ねて敷きならし(図 3.5 参照), 直ちにローラの駆動輪を 15cm 程度かけて転圧する。(図 3.6 参照)
- ・ホットジョイントの場合は, 縦継目側の 5~10cm 幅を転圧しないでにおいて, この部分を後続の混合物と同時に締め固める。(出典: 舗装施工便覧、平成 18 年)

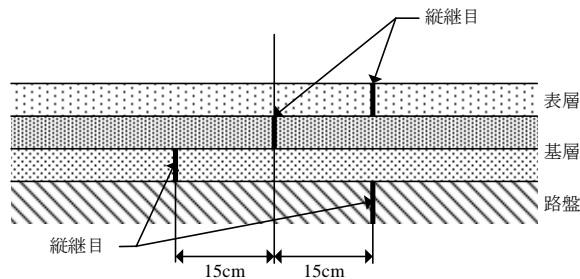
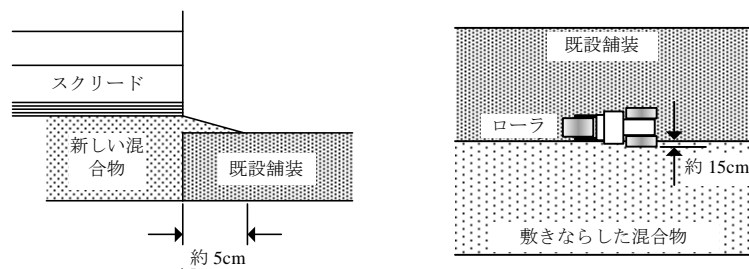


図 3.4 各層縦継目の一例



(スクリーン: アスファルトフィニシャのアスファルトを敷均す部分)

図 3.5 縦継目の重ね合わせ

図 3.6 縦継目の転圧

#### 4) タックコート施工の留意点

##### a) 目的

タックコートは, 新たに舗設する混合物層とその下層の瀝青安定処理層, 中間層, 基層との接着, および継目部や構造物との付着をよくするために行う。

##### b) 施工上の留意点

タックコートには, 通常, カチオン系のアスファルト乳剤を使用する。アスファルト乳剤の散布は, 一般にアスファルトディストリビュータを使用する。アスファルトエンジンプレイヤを使

用することもある。タックコート面の保護や、乳剤による施工現場周辺の汚れを防止する場合、以下のもの等を使用することもある。

- ・ 乳剤散布装置を搭載したアスファルトフィニッシャー
- ・ 運搬車両や舗設機械のタイヤに付着しにくい乳剤

## 4. アスファルト舗装の破損

### 4.1 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、ずれ等がある。特に流動わだち掘れが早期に発生する事例が多く、施工段階において適切な配合設計、品質管理を行う必要がある。

## 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(ひび割れのシーリング、ポットホールの充填等)であり、排水性舗装の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。

破損の形態と分類を表 4.1 に一覧表にて示す。

**表 4.1 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	摩耗によるわだち掘れ	◎		
		路床・路盤の支持力低下によるひび割れ		◎	
	線状ひび割れ	舗装面全体	アスファルト混合物の劣化・老化によるひび割れ	○	○
		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）	◎				
平坦性の低下	縦断方向	不等沈下によるひび割れ		◎	
		コルゲーション（さざ波状の舗装面のしわ）	○	○	
	不特定	くぼみ（局部的沈下）	○	○	
	路肩部	寄り（こぶ状）	○		
	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）	◎		
	不特定	ポットホール（アスファルト混合物の剥離・崩壊・散逸）	◎		
	不特定	ポンピング（水、路盤材の細粒分の吹きだし）		◎	
	不特定	陥没		◎	
	走行部	ずれ（アスファルト混合物のずれ）	◎		

網掛けは、我が国の ODA で発生している破損。

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）

## 4.2 施工不良を主原因とする舗装破損の事例

アフリカあるいはアジアの高温多雨の地域では、我が国の ODA による道路を含む幹線道路において、日本では見られなくなった舗装の破損形態が多く観察される。特に、表層を中心とした「わだち掘れ」の発生が顕著である。これについては、主に高温時に交通荷重の繰返し作用により、アスファルト混合物がタイヤに押しやられて永久変形を起こして発生したもの、つまり表層の流動化によるもの（流動わだち掘れ）が中心である。

わだち掘れには、流動わだち掘れのほかに路床・路盤の圧縮変形によるものがある。また、わだち掘れ以外の施工不良に起因する舗装破損としては、ひび割れ等の破損が発生している。

### 解 説

#### (1) わだち掘れ

わだちの発生形態は主に、1) 路床・路盤の圧縮変形、2) アスファルト混合物の塑性変形(流動わだち掘れ)、3)アスファルト混合物の磨耗によるものがある。

##### 1) 路床・路盤の圧縮変形によるわだち掘れ

路床・路盤の圧縮変形によるわだち掘れは、路床・路盤の支持力低下、路盤の締固め不足、ひび割れから雨水等が浸透することによる路床・路盤の脆弱化、舗装構造に対して過大な荷重走行により路床・路盤の圧縮変形が促進され、アスファルト混合物層がこれに追従するかたちで変形をきたすものである。

路床・路盤の圧縮変形によるわだち掘れの特徴を表 4.2 に示す。

表 4.2 路床・路盤の圧縮変形によるわだち掘れ

項 目	説 明	
主な発生原因	・路床・路盤の支持力の低下、路盤の締固め不足 ・舗装構造に対して走行荷重が過大 ・長時間に及ぶ車両の停車や振動	
発生場所	・アスファルト舗装厚が比較的薄い箇所	
特 徴	わだち掘れの幅	比較的広い
	盛り上がり	比較的少ない
	わだち掘れの進行速度	供用初期に進行し、その後の進行は比較的少ない。
	ダブルわだち（形状）	全体的な凹形状、ダブルわだちの発生は少ない
	わだち割れの有無	わだち割れも見られる場合が多い
	走行性（縦断）	特に問題にならない場合が多い

出典:舗装の維持修繕ガイドブック(H25年、日本道路協会)

##### 2) 流動わだち掘れ

アスファルト混合物は典型的な粘弾性体(粘性体と弾性体の性質を有するもの)であって、高温下ではアスファルトの軟化によって粘性体の性質がより顕著になる。すなわちタイヤの荷重によって変形し、わだち掘れを起こすわけである。粘性体の動きは、作用する力が大きいほど、また作用する時間が長いほど大



きくなる。すなわち輪荷重が大きいほど、また、車両の速度が遅いほどわだち掘れが大きくなる。このようにアスファルト混合物の流動化(粘性体としての変形)によるわだち掘れを、路盤の変形や路面の磨耗によるわだち掘れと区別して流動わだち掘れと呼んでいる。熱帯諸国における幹線道路においては、近年車両重量の増大と大型車交通量の増大、更に過積載の横行によって流動わだち掘れが顕著となり大きな問題となっている。

### 事 例 (流動わだち掘れ)



写真-1：地方部幹線道路（平地部）



写真-2：地方部幹線道路（丘陵部）



写真-3：地方部幹線道路（山地勾配部）



写真-4：地方部幹線道路（山地部）



写真-5：地方部幹線道路（山地勾配部）



写真-6：都市部幹線道路（平地部）

このようなアスファルト舗装の破損は、設計時の条件設定の間違い、供用条件に合わない配合設計、施工不良（不良材料の使用、不適切なプラント管理）、違法な過積載車両、重車両の低速走行等によって引き起こされる。

流動わだち掘れ対策については、「5. 流動わだち掘れ対策」に記述する。

## (2) ひび割れ

ひび割れの形態としては、線状（縦方向、横方向）、亀甲状ひび割れがある。

ひび割れの形態・発生位置などにより表 4.3 のように分類できる。

表 4.3 ひび割れの形態・発生位置・種類

形態		発生位置など	種類
線状 クラック	縦方向	車輪走行部	わだち割れ
		施工継目部	施工継目のひび割れ
	横方向	間隔が均等	リフレクションクラック
		施工継目部	施工継目部のひび割れ
亀甲状 クラック	車輪走行部		路床・路盤の支持力低下によるひび割れ
			路床・路盤の沈下によるひび割れ
	部分的		構造物周辺のひび割れ
			基層の剥離によるひび割れ

出典:舗装の維持修繕ガイドブック(H25年、日本道路協会)

### 1) わだち割れ

わだち割れは、車輪輪跡部に縦方法に線状に発生する。

発生の原因やメカニズム等に関しては統一的な見解はない。一つの見解として、交通荷重によりアスファルト混合物の表面に引張りひずみと圧縮ひずみが生じ、このひずみの繰返しにより、アスファルト混合物層の表面にひび割れが発生し、徐々に下部へと伸張してゆくとの考えがある。大型車交通量が多い硬いアスファルト舗装で見られ、わだち割れと流動わだちとは同時には見られない。

### 2) 施工継ぎ目のひび割れ

施工継ぎ目部に発生ひび割れである。継ぎ目部の接着不良や転圧不足等により。供用開始早期に発生する場合がある。

### 3) リフレクションクラック

セメント安定処理を用いた上層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層にひび割れが発生する。ひび割れの間隔は3~5m程度である。

### 4) 路床・路盤の沈下によるひび割れ

主に車輪走行部に沿って発生する。雨水が最初にひび割れ発生した線状を伝わって、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に進行して行く。

### 5) 剥離によるひび割れ

車輪走行部において発生するもので、基層混合物の剥離を起こすことで支持力を失い、亀甲状のひび割れを発生する。



### 事 例（ひび割れ）



写真-7：わだち割れの例



写真-8：施工継目のひび割れの例

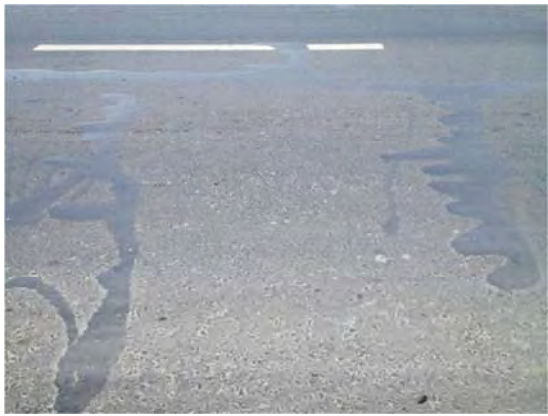


写真-9：リフレクションクラックの例



写真-10：路床・路盤の沈下によるひび割れ

### (3) セメント安定処理・問題土による破損

施工不良に起因する舗装破損のうち、セメント安定処理に係る舗装破損例とその対策例は、「6. セメント安定処理の留意点」、問題土の存在による舗装破損例と対策例は、「7. 問題土対策」に記述する。

施工に起因するアスファルト舗装の破損と主要原因について取りまとめ表 4.4 に示す。

表 4.4 アスファルトの破損と主要原因

損傷形態	課題・原因								
	土工		路盤工		アスファルト				設計その他
	材料選定	施工管理	材料選定	施工管理	材料選定	保管・製造	配合設計	施工管理	
法面のガリ・崩壊	表面部の材料選定		表面部の材料選定						排水設計不適切
轍振れ等	流動轍				アスファルトの品質不適 自然砂採用	骨材洗浄不足	配合設計不適切	プラント管理不適切	大型車交通量 走行速度 気温
	沈下・構造轍		締固め不足・むら	締固め不足・むら				締め固め不足	路盤排水不適切
ひび割れ	ヘアクラック					水分管理不適切	アスファルト量不足 細粒分過多	施工温度 ローラ重量 降雨の対策	過積載
	縦クラック・ 亀甲状クラック		締固めむら	骨材強度不足	締固めむら			安定度不足 タック・プライムコート不良	支持力不足・ 過積載、 排水不良
その他骨材飛散等					骨材すり減り			タックコート 施工不備	セメント安定 処理上層路盤 の問題
その他摘要	特殊土壌対策	土工管理の合理化		土工管理の合理化		プラント管理手法	骨材かみ合い理論		

(調査団作成)

## 5. 流動わだち掘れ対策

### (1) 流動わだち掘れの原因

近年、無償資金協力事業の道路案件において、急激な交通量の増大、なかでも大型車の増大と過積載車両の横行もあって舗装の破損がみられ、そのうち施工（材料を含む）に起因する舗装の不具合の多くが流動わだち掘れである。アスファルト混合物の流動わだち掘れの原因としては、アスファルト混合物の配合（骨材粒度、アスファルトの種類および量等）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く、熱帯諸国など高い路面温度と重交通車両の多い道路で見られる。このようなアスファルト舗装の破損は、設計時の条件設定との相違（違法な過積載車両、重車両の低速走行等）だけでなく、不適切な配合設計、施工不良（不良な材料の使用、不適切なプラント管理等）等によって引き起こされる。

ただし、アジア・アフリカの熱帯諸国であっても、高原など涼冷な地域があり、そのような地域の場合、我が国と同様に耐流動わだち掘れ対策のみならず、ひび割れ対策も考慮する必要がある。

## 解 説

### 1) 流動わだち掘れ（塑性変形）の原因

熱帯諸国においては日本国内と異なり低温によるひび割れは一般的にあまり大きな問題とはならない。一方、流動わだち掘れ対策は大きな課題であり、施工性や水密性にも注意が必要である。以下流動わだち掘ればれに関して、その原因を外的要因と内的要因に分けて説明する。

なお日本国内と異なり、多くの途上国では一部の大都会を除いて、舗装に必要な骨材などの手配・選定、配合設計も施工段階で施工業者が実施しなければならないため、国内とは異なる要員配置と施工体制が必要なことを念頭に置く必要がある。

#### i) 外的要因

流動わだち掘れに影響する外的要因は、一般的に以下のとおりである。

- 交通荷重・・・大型車交通量、過積載、低速度走行（渋滞、勾配）
- 幾何構造・・・道路幅員、車線分離、交差点、縦断勾配
- 舗装構造・・・アスファルト層の厚さ及びその特性
- 温度・・・アスファルト層の温度とその継続時間

開発途上国では、これら外的な因子の内、特に過積載車両を含む大型車交通に起因するもの、及び路面温度による影響が大きいと考えられる。以下それぞれについて概要を説明する。

#### 【重車両の低速走行】

開発途上国では、整備不良のトラックなどに積荷を満載する場合などにより、極端に走行速度が遅い場合がある。このような大型低速車両が多く通過する箇所では、とくに流動わだち掘れによる破損が予想より早くなる。塑性変形については、ホイールトラッキング（WT）試験によって、荷重の大きさ、速度の影響を確かめることができる。表 5.1 は、重車両および低速車両を想定して耐わだち掘れ性能を比較したものである。

表 5.1 WT 試験結果

アスファルト量 (%)	想定条件	上載荷重		走行速度* (回/分)	動的安定度(DS) (回/mm)
		試験輪荷重(KN)	接地圧 (MPa)		
5.3	標準	686	0.63	42	492
	重車両	980** (約 1.4 倍)	0.90	42	348
	低速車両	686	0.63	21 (0.5 倍)	294

\*走行速度： 載荷走行速度は、供試体中央部分長さ 22cm の区間を一律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。

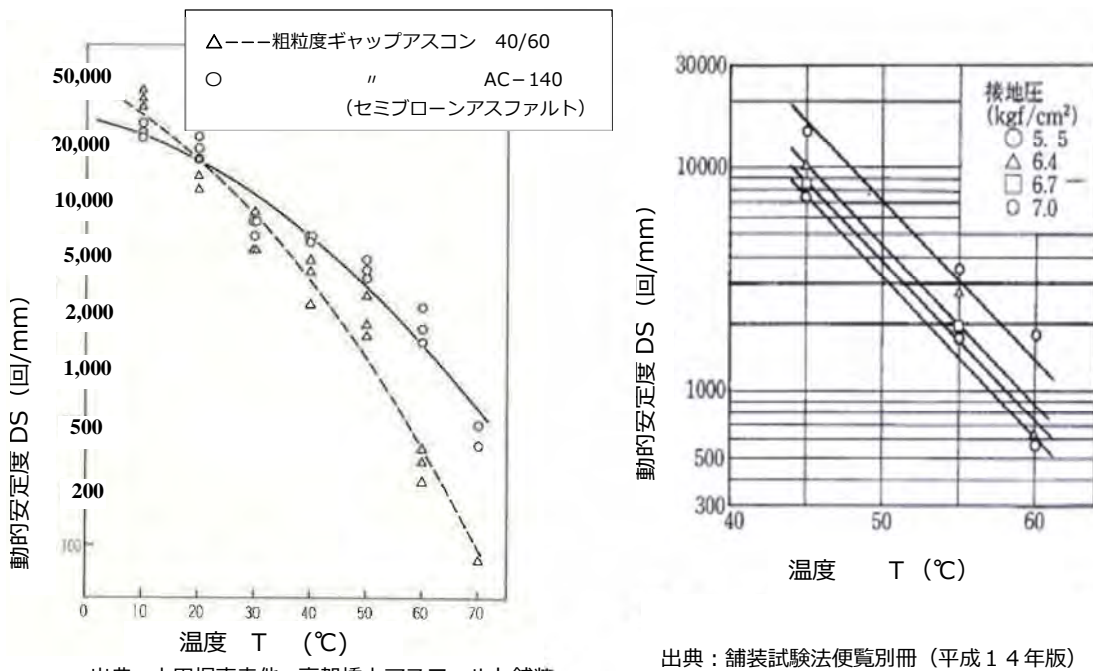
\*\*試験機の限界値

出典：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）H23.3

本試験結果によれば、①上載荷重を 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、変形率は上載荷重に比例している。②走行速度を 1/2 (161.0mm/sec→80.5mm/sec) とした場合、試験輪載荷時間は 2 倍 (0.14sec→0.27sec) となるが、変形率 (RD) は約 1.7 倍 (0.085mm/min→0.143mm/min) に増加する。この試験は、アスファルト舗装の変形が荷重の大きさと走行速度に影響を受けることを明確に示している。

【路面温度の影響】

WT 試験における試験温度を変えた場合の、温度と DS の関係について、土木研究所等で実施した試験によると、供試体温度が 20℃以下での DS は、アスファルトの種類によらずほとんど同じ範囲の値となるが、高温になると（特にアスファルトの軟化点（日本の針入度等級 40/60 で 47.5℃～55.0℃）以上になると）急激に DS の値が減少するなどの結果が得られている。（図 5.1 参照）



出典：小田桐直幸他、高架橋上アスファルト舗装わだち掘れ予測

出典：舗装試験法便覧別冊（平成 14 年版）

① 温度と動的安定度の関係

② 試験温度、接地圧と動的安定度の関係

図5.1 温度と動的安定度の関係

ii) 内的要因

流動わだち掘れに影響する内的要因は、一般的に以下のとおりである。

アスファルト・・・硬さ（針入度）、感温性、改質材の有無、表面色彩の明度

骨材・・・硬さ、キメの粗さ、角張（粒形）、天然か人工か

配合設計・・・骨材粒度分布、アスファルト量、アスファルトの性能

内的要因については、後で配合設計の節で詳しく説明する。

## 2) 粒度による流動わだち掘れの事例

以下は熱帯地域における道路のアスファルト切り取りコア確認試験の事例で、粒度分布のスペックからの外れ具合と舗装の破損（ほぼわだち掘れ）の関係が明確に表れている。深刻な不具合箇所（4箇所）の外れ具合、部分的な不具合箇所（4箇所）の外れ具合、比較として良好箇所の外れ具合（2箇所）を表 5.2 に示す。図 5.2 に示す外れ具合の箇所のその実際の破損状況と粒度分布は図 5.3 の通りである。

表 5.2 サンプル調査の結果

路面状態	No.	サンプル位置	粒度外れ率※ 1
a) 深刻な不具合箇所	1	4.0km 左側	10.9%
	2	12.5km 左側	29.5%
	3	5.0km 右側	17.9%
	4	4.0km 右側	18.2%
	a) 平均=19.1% ( c の 13 倍)		
b) 中程度の不具合箇所	5	7.5km 左側	9.9%
	6	10.5km 左側	7.6%
	7	1.5km 左側	14.3%
	8	2.0km 左側	3.9%
	b) 平均=8.9% ( c の 6 倍)		
c) 良好な箇所 (参考)	1	5.4km 左側	2.0%
	2	-0.2km 左側	1.0%
	c) 平均=1.5%		

備考：※ 1 仕様（スペック）上・下限範囲からの外れ率

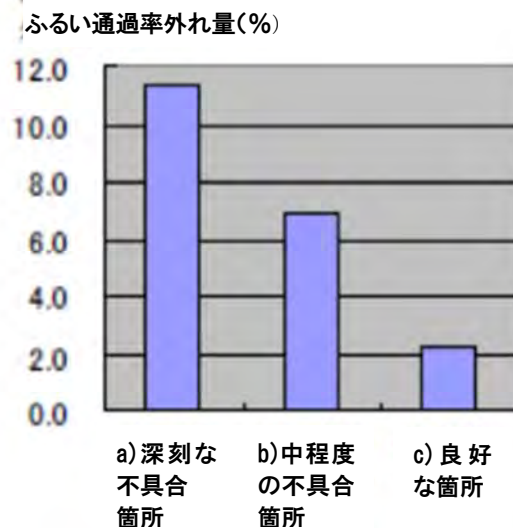
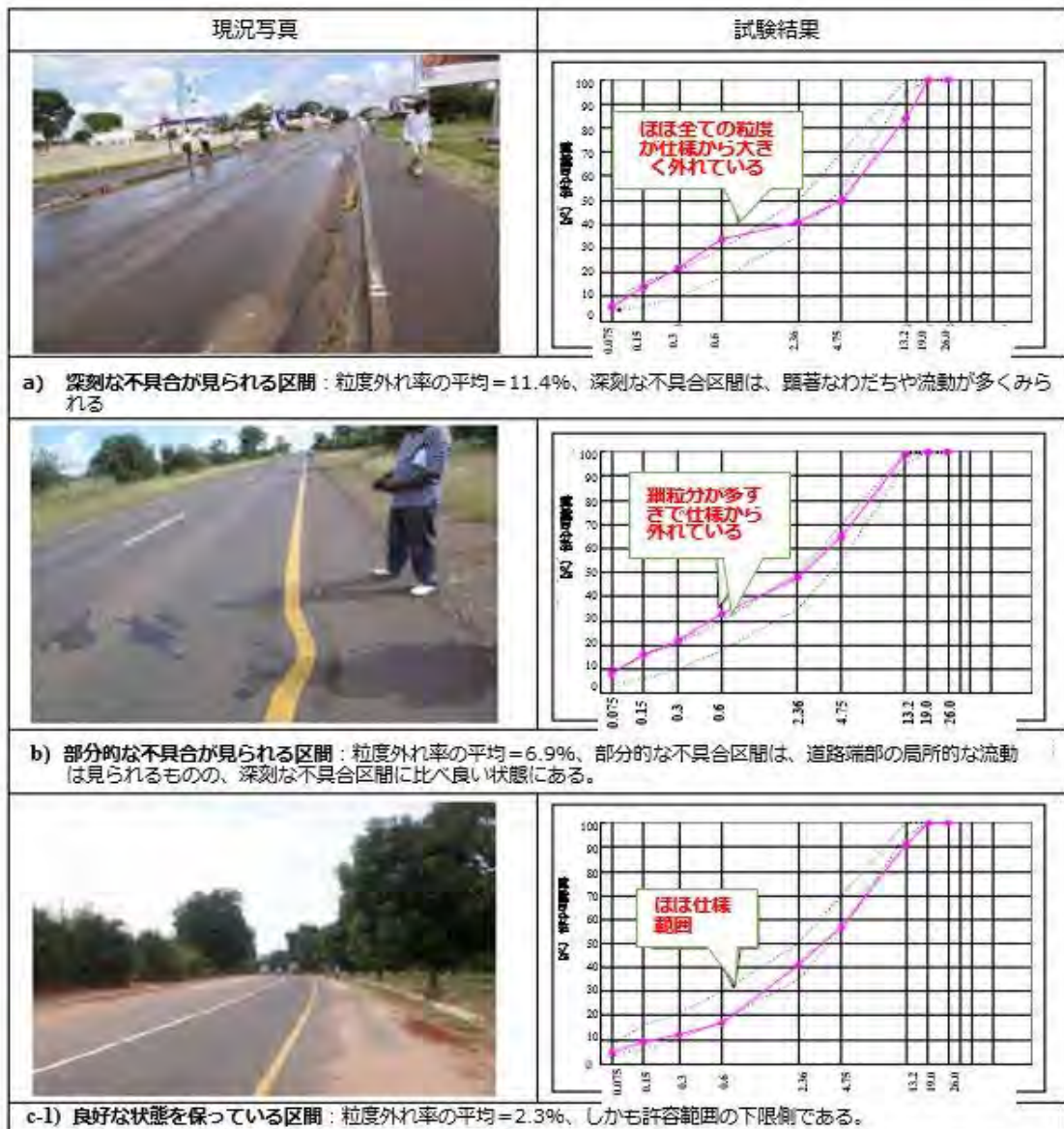


図 5.2 アスファルト骨材粒度分布の品質(ふるい通過率外れ量)と不具合の程度





注) 現場の品質管理の視点からは、本来配合設計からのずれに注目すべきであるが、破損状況との相関を明確にするために、密粒度アスファルト混合物の粒度範囲からの外れ度合いを表示している。

図 5.3 アスファルトの骨材粒度分布の不具合と破損の事例

この事例では骨材粒度分布の外れ具合と破損状況とは明確に関連している。図 5.3 の a) においては粒度の小さな成分<sup>1)</sup> (特に 0.6mm 以下) が多いことから、粗骨材相互のかみ合いが充分でなく、このことが主要な原因となって破損に至ったと考えられる。このことから、わだち掘れの要因として粒度分布、あるいは粗骨材のかみ合いが重要であることが示されている。もちろん路面温度が極端に高いなどの場合、ストレートアスファルトでは、たとえ骨材のかみ合いが十分でも流動化が発生することもありうる。なおこの事例の仕様を外れた粒度分布は、アスファルトプラントの不適切な管理が原因となっているとみられている。アスファルトプラントの不適切な管理事例及び対策については別途項を改め「(4) プラント管理の留意点」に記述する。

なお配合設計が原因とみられる事例も報告されているので、配合設計段階での十分な検討が重要であることは共有すべき注意点である。

<sup>1)</sup> アスファルト混合物の細粒分といった場合普通 2.36mm 以下を指す。

## (2) 配合設計の留意点

アスファルト混合物が所定の性能を発揮するように、骨材の選定、粒度分布、アスファルトの種類とアスファルト量を決定することを配合設計という。日本国内ではあまり意識されないが、途上国では時に骨材の選定も大きな決定要素となる。

流動わだち掘れ対策としては配合設計が特に重要である。配合設計の手法としては、従来のマーシャル法を基本にするアプローチのほか、米国のスーパーペーブの体系、オーストラリア等で採用されているジャイレトリーコンパクタを使った容積設計法のアプローチなどがある。

マーシャル法による方法では、「舗装施工便覧」に示された配合設計の留意点に準拠するとともに、特に熱帯諸国など高い路面温度が長い期間見られる地域にあつては、マーシャル試験のほかにホイールトラッキング (WT) 試験によってアスファルト混合物の耐流動性 (動的安定度: DS) を確認することが効果的である。その際目標とする DS 値は、大型車交通量 (ESAL 値)、走行速度、気温、経済性等を考慮し、関係基準類等を参考にして設定する。

舗装の路面設計に当たっては、途上国のアスファルト調達事情等を考慮すると、一般的に経済性の観点からストレートアスファルトで対処することが基本であるが、ストレートアスファルトでは対応が困難と判断された区間では改質剤の添加や改質アスファルトを使用する。配合設計に当たっては、標準的な混合物 (表 5.3) のうち、密粒度アスファルト及び密粒度ギャップアスファルトの粒度範囲を参考にする。

なお相手国において、ジャイレトリーコンパクタに関して空隙率等の基準が確立し、普及している場合はその手順に従った配合設計が求められることも考えられる。

## 解 説

### 1) 耐流動性を重視する配合設計の概要

流動化によるわだち掘れは、気温の高い地域・季節に主として表層・基層のアスファルト混合物層において発生する。他方構造破壊と呼ばれる破損形態は、アスファルト混合物層のみならず、路盤や路床の変形を伴う疲労破壊によってもたらされるとされ、現象も対策も異なる。従って流動わだち掘れ対策はもっぱらアスファルト混合物を対象として実施される。

JICA 無償事業にあつては、配合設計は施工段階でマーシャル試験等によって最終的に決定することが一般的であるが、道路事業コストに大きな影響のある改質剤の利用の有無については、準備調査段階において、大型車交通量(または ESAL 値)、道路の勾配、気温等現地の事情に即した検討を実施しこれを決定しておく。

アスファルト混合物を対象とした耐流動化対策は、まず配合設計であるが、骨材の粒度分布のみならず骨材の強度や性質、粒形、アスファルト量と種類なども深く関係する。

一般的には、配合設計に当たっては、耐流動性のみならず、耐ひび割れ性も大きな課題であり、その他骨材の剥離、施工性、滑り抵抗なども考慮しなければならない。しかし JICA 道路事業の多くが熱帯諸国で実施されていることもあり、流動わだち掘れ対策が最大の課題となっている訳である。

配合設計に関しては世界的にもマーシャル法が主流であり、多くのデータと実績を有する。しかし近年欧米、南ア、あるいはオーストラリアではアスファルト混合物の耐久性等に関する分析と試験法の研究が進められて、マーシャル法では不十分な路面での車輪荷重による締固め作用の再現性に優れるジャイレトリーコンパクタを使用した容積設計法を採用する事例が増えているので本解説でも概要を紹介する。

現在、流動わだち掘れ対策の考え方には、

- ①経験による配合設計の工夫によるアプローチ、
  - ②バインダー（アスファルト）を強固なものにするアプローチ、
  - ③アスファルト混合物の骨材の噛み合いを確保するアプローチ
- などがある。

①は従来のマーシャル法による経験に基づく考え方であり、②としては改質アスファルトの活用によるものがあげられ、③としてはジャイレトリーコンパクタによって空隙率の確保を確認するアプローチがあげられる。もちろんそれぞれは相補うものであるが、試験機の有無等現場の状況によっても採用の判断は異なると考えられる。骨材の噛みあいについてはコラム参照のこと。

本節では、我が国で経験が豊富で各種基準が確立されているマーシャル法を中心に紹介するほか、相手国でジャイレトリーコンパクタが導入されていて、一定の基準化が進められていることも考慮し耐流動化の視点から関連情報を紹介する。

## 2) 本邦の基準と経験に基づく知見

i) 耐流動性を重視する場合、舗装施工便覧の「耐流動性を重視した場合の設計アスファルト量の設定」などを参照にする。

- ・骨材間隙率、安定度/フロー値 (S/F) を求め、最大点、最小点のあるものはその点を求めておく。骨材間隙率 (VMA) は、骨材の最大粒径が 20mm のときは 15%以上、13mm のときは 16%以上がよい。安定度/フロー値は、2,000~4,900kN/m の範囲がよい (舗装施工便覧)。
- ・特に流動が予想される場合の表層の混合物の設計アスファルト量は、共通範囲の中央値から下限値の範囲で設定するとよい (舗装施工便覧)。また、この旨入札図書で明記することが望ましい。この場合、骨材間隙率の最小点のアスファルト量より少なく、安定度/フロー値の最大値より多い範囲でアスファルト量を選定する方法がある。しかし、中央値のアスファルト量より 0.5%以上少なくしないほうがよい (舗装施工便覧)。
- ・その他、耐流動性を高めるためには低い針入度、たとえば日本であれば 40-60 といった軟化点の高いアスファルトの採用が有利であり、各国の研究からは骨材粒形が扁平でなく角張っていることも重要であって、砂に関しても天然砂よりも人工砂が有利であることが分かっている。
- ・一般にアスファルト量を減らすことにより耐流動性は向上する。涼冷・寒冷地域ではアスファルト量を減らせば温度低下によるひび割れの原因となるが、例えば温暖な地域においては、アスファルト量を減じてひび割れを発生させることなく舗装の耐流動性が向上する可能性がある。これを考慮した試験結果をもとに、沖縄総合事務局では表層アスファルト混合物のアスファルト量を最適アスファルト量から 0.4%減じるのが良いとの研究を発表している。しかし、市街地の重交通路線では、アスファルト量を減じて流動化が防げなかったため、更に耐流動効果の高い改質アスファルト適用方法のための試験施工を実施し、気候・交通量を勘案し、耐流動対策の基準(案)をまとめている(表5.6)。もちろん、アスファルト舗装の破損はわだち掘れのみではない。極端にアスファルト量が小さい場合、施工性、耐久性、骨材の剥離などの点でも問題を生じるので各性能のバランスを考慮する必要がある。

ii) 更に大型車交通量が多い場合、舗装施工便覧の「6-3-4 加熱アスファルト混合物に対する特別な対策」を参照し、以下に示す対策を施すとよい。



a) 動的安定度 (DS) 目標値の設定

耐流動性対策としては、まずホイールトラッキング (WT) 試験で求まる塑性変形輪数 (動的安定度 : DS値)によって、その塑性変形抵抗性を評価するのが有効であって、日本では舗装の性能規定の指標の一つとなっている。日本の主要な道路での目標DS値は舗装計画交通量が3,000台/日以上 of 箇所では、3,000回/mm以上、同じく3,000台/日未満の箇所では1,500回/mm、主要な道路以外ではDS 500回/mmの確保を要求している。また、NEXCOにあっては、高速道路の実態を反映したDS値の基準を設けている (表5.6)。

途上国等では気象条件、特に気温が異なるなどの条件も異なるので、走行速度、経済性等を考慮し、関係基準類等を参考にして設定する。

b) 材料

- ・耐流動性の観点からは骨材の選択は重要である。そのため複数の採石場の骨材の比較を行ったり、砕砂など材料を広く検討するなどしてDS値の向上に努める。アフリカの事例で、天然のコーラル砂を使ったために流動わだち掘れが発生した事例もあり、天然砂の使用には留意する必要がある。天然砂は一般的に球体に近いので、多量に使用することは施工性の良さに貢献するものの、耐流動性に欠けるアスファルト混合物となりやすい。
- ・また、アスファルト舗装が普及していない地域では、骨材はコンクリートプラント用に生産しており、コンクリートでは2.5mmふるいを使わないので、そのままではアスファルト舗装用骨材としては不十分である。したがって、自前での骨材生産とするか、地元業者に2.5mmふるいの設置を依頼するなどの対応が必要となる。アスファルト混合物の粒度分布の品質管理基準(変動の許容範囲)を各国で定めているが、必ず2.36mm (または、2.5mm) 及び75 $\mu$ mにおける管理基準を含んでいて、2.5mmふるいを使った粒度分布の材料がないと、品質管理が困難となり、しかもこれら粒度の材料の割合が耐流動性に大きく影響を与えることが分かっているからである。

c) 混合物の種類及び配合

耐流動性を必要とする場合、混合物選定の基本は、密粒度アスファルト混合物 (20, 13)、密粒度ギャップアスファルト混合物 (13) 等の中から選ぶ (表5.3) (舗装施工便覧)。基本的にはこの表に示されたそれぞれの粒度範囲で配合設計の粒度を決定するが、例えば骨材の密度が高い場合には見かけ上はアスファルト量が小さくなるなどの例もあり、その場合は骨材の密度の違いによる補正を行って判断する必要がある。本書では取り上げていないが、SMA (ストーンマスチックアスファルト) など日本の基準に依らないケースも考えられる。

耐流動性を確保したい混合物の配合設計においては、以下舗装施工便覧に従って次の点に留意する。

- ・骨材の粒度は中央値以下 (結果的には細粒分の少ない) を目標とし、75 $\mu$ mふるい通過質量百分率は小さめにする。
- ・アスファルト量は、共通範囲の中央値かそれ以下を目標とするとよい。なお、骨材によっては、アスファルト量を減少させると剥離しやすくなることがあるので注意する。
- ・マーシャル安定度は75回突き固めで7.35kN以上安定度/フロー値は2,500kN/m以上を目標とする。
- ・75 $\mu$ mふるい通過分のうち、回収ダスト分は30%を超えないようにする。
- ・WT試験の結果、目標のDS値が得られなかった場合は、骨材合成粒度のうち、2.36mmふるい通過質量百分率を小さくし、下限値へ近づける。同時に75 $\mu$ mふるい通過百分率も小さくする。さらに使用する瀝青材料を再検討し、高いDS値の得られるような瀝青材料に替える。この場合は、瀝青材料

の種類によって、最適アスファルト量の値が変わる場合があるので、注意を要する。

- ・それらの対応でも所定の DS が得られない場合は、骨材、特に細骨材の再検討、例えば人工砂(砕砂)の選定及びその割合に注目する必要がある。

**表 5.3 舗装施工便覧に示すアスファルト混合物の種類と粒度範囲\***  
(枠内は、特に大型車交通の多い場合に適用)

混合物の種類	①	②		③	④
	粗粒度アスファルト混合物 (20)	密粒度アスファルト混合物 (20)	(13)	細粒度アスファルト混合物 (13)	密粒度キヤップアスファルト混合物 (13)
仕上り厚 cm	4~6	4~6	3~5	3~5	3~5
最大粒径 mm	20	20	13	13	13
通過質量百分率 %	26.5mm	100	100		
	19.0mm	95~100	95~100	100	100
	13.2mm	70~90	75~90	95~100	95~100
	4.75mm	35~55	45~65	55~70	65~80
	2.36mm	20~35	35~50		50~65
	600 μ m	11~23	18~30		25~40
	300 μ m	5~16	10~21		12~27
	150 μ m	4~12	6~16		8~20
75 μ m	2~7	4~8		4~10	
アスファルト量 %	4.5~6	5~7		6~8	4.5~6.5

\*注) この粒度範囲は配合設計の際の粒度範囲であって品質管理の際の許容範囲ではないことに注意。

### 3) 海外道路事業における塑性変形抵抗性 (DS 値) の決定

WT 試験を実施する場合目標とする DS 値を設定する必要があり、以下のような我が国の設定例をもとにしつつ現地の環境条件等を勘案しながら目標値を定めることが考えられる。

我が国ではストレートアスファルトの使用に当って、特段に DS を試験することは少ないが、途上国の道路事業においては一般にアスファルト混合物の建設コストに占める割合が大きいため、ストレートアスファルトによる耐流動性の確保は経済性の観点から重要であり、更に改質アスファルト使用の適否判断のため、WT 試験を行うことが望まれることになる。しかし、海外の気象条件に適合した DS 値に関しては十分な知見の蓄積が進んでいないのが実態である。そこで以下のような我が国の設定例をもとにしつつ現地の環境条件等を勘案しながら目標値を定める。

なお相手国において、ジャイレトリーコンパクタが普及し、空隙率 (Air void) 範囲等の基準が確立している場合はその基準に従って配合設計を行うことも可能である。主要国の事例に関しては付属資料 3 のジャイレトリーコンパクタによる配合設計法を参照のこと。

以下に、国交省「舗装の構造に関する技術基準」、NEXCO 設計要領を紹介するので、これら基準と、次節 4) 路面温度の問題と設計期間等も参考のうえ、特に重車両の実態、プラントの品質、路面温度の実態等現地の状況に応じた DS 目標値を設定する。

#### 【国交省「舗装の構造に関する技術基準」】

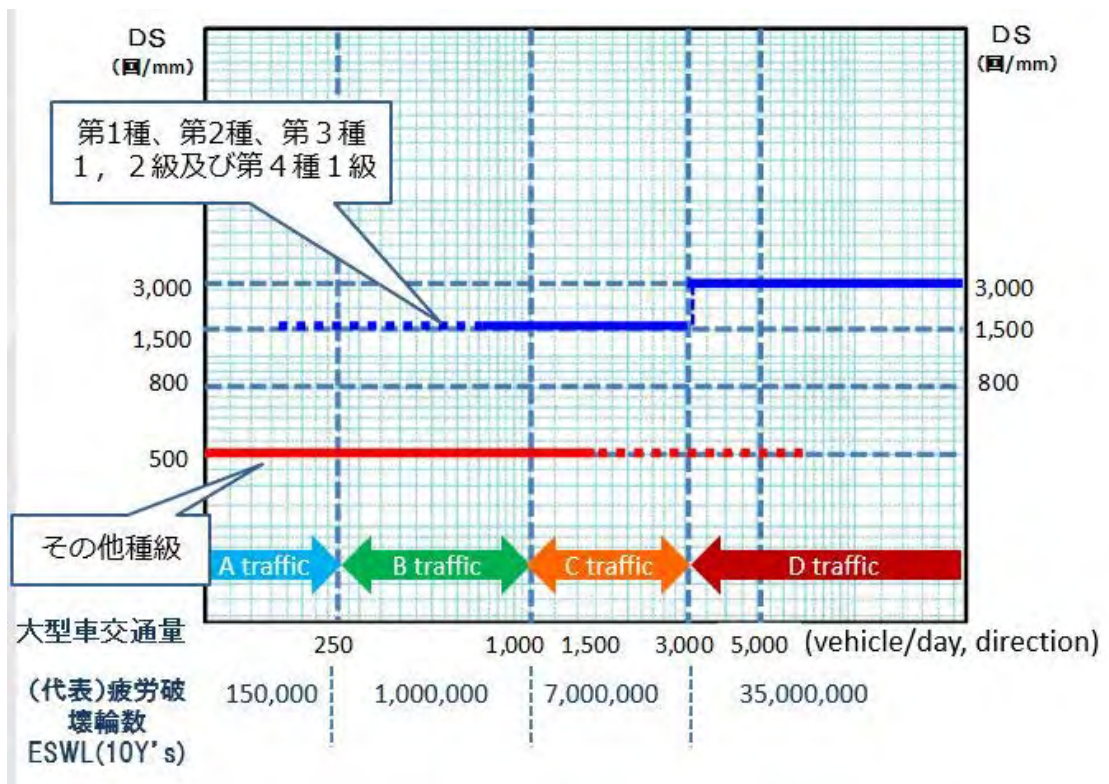
国交省令では交通条件によって、表 5.4 のように舗装の耐塑性変形性能の性能指標として、DS 値の要求水準が決められている。すなわち、主要な道路 (第 1 種、2 種、第 3 種第 1 級及び第 2 級、第 4

種第 1 級) では大型車日交通量が 1 方向あたり 3,000 台以上であれば必要な DS 値は 3,000 回/mm、3,000 台未満であれば 1,500 回/mm としている。(表 5.4、図 5.4)

3,000 回/mm という DS 値を達成するためには改質アスファルトが必須であるが、DS 値 1,500 回/mm はストレートアスファルト使用の場合達成するには相当困難な値であり、骨材等の条件が整わないと達成が困難であるとみられている。またその他の道路に関しは DS500 回/mm を確保すること規定しており、この値はアスファルト混合物の最小の要求性能であるといえる。

**表 5.4 我が国の塑性変形輪数の基準値 (国交省令第 103 号)**

道路構造例による区分	舗装計画交通量 (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



\* A, B等は舗装設計便覧に示す舗装計画交通量による交通の区分

**図 5.4 各種 DS 基準等比較**

**[NEXCO の目標値]**

NEXCO の設計要領によれば、高速道路の高機能舗装 (排水性舗装) 以外の区間にあつては、表 5.5 のように初年度の大型車の交通量区分によって 1 日 1 方向 5,000 台未満ではストレートアスファルトで 800 回/mm、5,000 台以上では改質アスファルトによって 3,000 回/mm 以上を目標値としている。ストレートアスファルトによる DS800 回/mm で大型車交通量 5,000 台/日をカバーするというのは、国交省基準に比べて対象とする大型車交通量大きい印象を受ける。この理由としては、高速道路にあつては走行速度が高く、輪荷重の作用時間が短いことが理由として考えられ、実測値によつても(参考資

料6 図 5.5 参照)、DS800 の配合が耐久性を發揮している。この基準は渋滞のない比較的高速で走行する道路の舗装設計の参考になるであろう。

表 5.5 NEXCO の表層混合物に関する動的安定度 (DS) の目標値 (回/mm)

交通区分		動的安定度目標値(回/mm)	使用アスファルト
軽中交通	5,000 台/日/一方向未満	800	ストレートアスファルト
重交通	5,000 台/日/一方向以上	3,000 以上	改質アスファルト

注) 交通量とは初年度の大型車交通量をさす。

出典：設計要領 第一集 舗装編 (高速道路会社)

このように国内の基準等から、ストレートアスファルトに求める DS 値は 500 ないし 800 回/mm 以上であることが分かる。さらに、舗装の構造に関する技術基準・同解説においては、「幹線道路においては、ストレートアスファルトを用いたアスファルト混合物の骨材粒度、アスファルト量等を工夫することで得られる動的安定度の範囲の上限域を参考にして 1,500 回/mm とした。」との記述もあり、ストレートアスファルトの DS 値の上限域を 1,500 回/mm 程度まで想定しているといえる。

以上国内の基準等の三つの事例を一覧比較したものが、表 5.6 である。

表 5.6 各種 DS 基準等比較

基準等	概要	分類			塑性変形輪数: DS (単位: 回/mm)	(注)	
			大型車交通量 (=舗装計画交通量: 台/日・方向)	疲労破壊 49kN 換算輪数≠ 10 年間の値 (単位: ×10 <sup>6</sup> )			
国交省技術基準	すべての道路を対象とし、道路の種類及区分と大型車交通量によって DS 値を指定	幹線道路*	3,000 台以上	35.0(D 交通対応とすると)	3,000 以上	*第 1 種、第 2 種、第 3 種第 1 級・第 2 級、第 4 種第 1 級道路	
			3,000 台未満		1,500 以上		
		その他			500 以上		
NEXCO 設計要領	高速道路の舗装の種類と大型車交通量によって DS を指定 (第 1 種道路)	高機能舗装*	—	—	—	*排水性舗装	
		その他舗装	重交通	5,000 台以上 (初年度交通量)	15.5 以上*	3,000 以上 (改質アスファルト)	*大型車 1 台当たりの破壊係数 0.85 を使用
			中・軽交通	5,000 台未満 (初年度交通量)	15.5 未満	800 以上 (ストレートアスファルト)	
沖縄調査	舗装設計交通量区分別、交差点・一般部別にアスファルト量調整量と種類を指定	C 交通	交差点	1,000 以上 3,000 未満	7.0(代表的輪数)	(改質アスファルト)	
			一般部			OAC-0.4% (改質アスファルト)	
		B 交通	交差点	250 以上 1,000 未満	1.0 (代表的輪数)	OAC-0.4% (改質アスファルト)	
			一般部			OAC-0.4% (ストレートアスファルト)	

#### 4) 路面温度の問題と設計期間等

以上の記述から、日本に於いて必要とみなされている DS 値が理解されるが、これを各国の温度条件に当てはめる必要がある。舗装設計便覧に必要 DS 値の推計式として次式 (式 5.1) が提示されているがこれは、路面温度のみならず、設計期間、走行速度、許されるわだち掘れ量などを組み込んだ式であり、国内の場合は地域毎の温度補正係数(Ct)が計算されているので、この式から簡単に必要な DS を求めることができる。しかし、海外では温度補正係数に関し現地の毎時の年間気温記録から路面温度を推定し、その継続時間を考慮した加重平均によって求める手続きが必要である。

一例として、わだち掘れの許容値を 40mm、流動わだち掘れ対策の設計期間 (路面の設計期間) を 10

年、大型車交通量を 250 台/日、輪荷重補正係数を 1.0 (重い車両が少ない)、走行速度補正係数を 0.4 とし、温度補正係数については我が国の最大値 0.045 (石垣島周辺) を当てはめるとすると、必要な DS 値は約 280 回/mm となり、例えば目標 DS 値として 500 回/mm あるいは 800 回/mm をとれば十分ということになる。逆に DS を 800 回/mm とすると対応する(許容される) 大型車交通量は 720 台/日となる。ちなみにこの台数は大型車 1 台当たりのダメージ係数を実績 (付属資料 4 付表 4.6 参照) から求められた 1.198 を代入すると 49kN 換算軸数は 315 万、ESAL 値では 710 万程度に相当する。

なおこの式では走行速度補正において、一般部と交差点部ではそれぞれ 0.4、0.9 となっており、交差点では 2 倍以上の DS 値が必要であるとしている。途上国では車両の性能から坂道での低速走行も同様の影響が考えられるので大型貨物車の走行が予想される場合は、あらかじめ交差点部や勾配区間において改質アスファルト・改質剤の活用を検討する必要があることを示唆している。

$$DS=0.679 (Y \cdot Tr \cdot W \cdot V \cdot Ct/D) \quad (\text{式 } 5.1)$$

ここに DS : 動的安定度 (回/mm)

D : わだち掘れ量 (mm)

Y : 供用期間 (日)

Tr : 大型車交通量 (台/日)

W : 輪荷重補正係数\*

V : 走行速度補正\*

Ct : 温度補正係数 ( $\times 10^{-3}$ ) 下記による

$$\log(Ct)=0.0003216T^2 + 0.01537T - 2.080 \quad (\text{式 } 5.2)$$

Ct (=DS<sub>0</sub>/DS<sub>t</sub>) : 温度補正係数

DS<sub>0</sub> : 標準条件 (60℃) での動的安定度 (回/mm)

DS<sub>t</sub> : 試験温度 T による動的安定度 (回/mm)

T : 温度 (℃) (⇒気温から路面温度を推定し、その時間を考慮した加重平均を使う)

\*) 個々の係数の詳細に関しては「付属資料 5 アスファルト混合物の動的安定度に対する温度の影響」を参照のこと。

式 5.2 の温度補正係数の日本国内における値は計算されており図 (付属資料 5 付図 5.1 参照) に示されている。

海外事業では、舗装の構造設計のために、累積軸数である ESAL 値が推計されるのが一般的である。そこで、海外事業で必要な DS 値を算定するためには、式-5.1 の大型車交通量 (Tr) を、大型車の破壊係数 (ダメージ係数 : d f、10 トン軸重換算) を用いて ESAL 値換算しておくことが有効であろう。10 トン軸重基準大型車 1 台当たりの破壊係数を d f とすると式 5.1 は、 $ESAL = Tr \times Y \times df \times 2.25$  を考慮して、以下のようなになる。

$$\begin{aligned} DS &= 0.679 (Y \cdot Tr \cdot W \cdot V \cdot Ct / D) = 0.679 ((ESAL / 2.25 df) \cdot W \cdot V \cdot Ct / D) \\ &= 0.302 (ESAL \cdot W \cdot V \cdot Ct / (df \cdot D)) \end{aligned} \quad (\text{式 } 5.3)$$

ここに DS : 動的安定度 (回/mm)

D : わだち掘れ量 (mm)

Y : 供用期間 (日)

W : 輪荷重補正係数

V : 走行速度補正

df:破壊係数(ダメージファクター、軸重係数)

(日本国内における大型車のダメージ係数は付属資料 4 各国に流動わだち掘れ対策 付表 4.6 を参照のこと。)

この温度補正係数式 5.2 を使うと、たとえば標準条件 (60℃) の DS を様々な温度での値に換算できる。例えばこの式によれば、50℃で WT 試験を行った場合の DS 値は、60℃の場合の約 3.2 倍の値となる。

このようにアスファルト混合物の耐流動性は温度に敏感である。日本で使われ始めている遮熱性舗装は、昼間では約 10℃の温度低下が期待されており、ヒートアイランド対策としてのみならずわだち掘れ対策にも有効であり、実施例も報告されている。<sup>2</sup>

一般に日本の WT 試験機は海外では普及していないので、日本の DS 値の基準を当てはめようとする、WT 試験機を持ち込むか、供試体を日本に送って試験しなければならない。ハンブルグ式 WT 試験機は地域によっては入手しやすく安価であるので、活用について日本の WT 試験との相関性など検討が望まれる。

## 5) 材料の問題

### a) 骨材

以上に述べた事項を考慮した注意深い操作によっても、アスファルト混合物について、十分な DS を得られない場合も想定される。この対策として、あらかじめ採石場の選択段階で複数の候補を残しておき、試験結果によって大きな DS を確保できる砕石山を選択することも重要である。

特に、すり減り試験などで示される粗骨材の強度や形状、細骨材の材質と粒形は DS に影響を及ぼすので注意が必要である。コーラル砂を使った混合物で流動わだち掘れが発生した事例もあり、特に細骨材の材質・粒形は注意すべきである。多くの場合このような地域の事情は地元業者や行政技術者から聞き出すことも必要である。前述でも触れたように人工砂 (砕砂) の活用を行うことも必要となる。

### b) アスファルトの改質用の添加材

一部の途上国では、近隣の国、例えばタイ、シンガポールから改質アスファルトを輸入することは可能であるが、そうでない国では、改質添加剤をアスファルト製造プラントで添加することになる。すなわち施工段階で、想定する DS 値に対して、現地材料の配合では達成できない場合に改質添加剤を使用することになる。

無償事業の特徴として、予算額の上限が事実上決まる協力準備調査の段階で、アスファルト舗装のコストが大きな比重を占める場合は、そのコストに大きな影響のある改質剤使用の有無を決定することが望ましく、表 5.6 から、例えば沖縄の例では、C 交通 (大型車が 1 日 1 方向 1000 台以上、10 年間の E S A L 値約  $16 \times 10^6$ ) で改質剤を使うとしているのが参考となる。正確な検討は「4) 路面温度の問題と設計期間等」を参照していただきたいが、沖縄よりも明らかに暑い国の場合で、E S A L 値が  $10 \times 10^6$  程度以上と判断されれば、協力準備調査段階で改質剤の使用を設計条件として明示し、かつ積算条件とすることが望ましい。

## 6) ジャイレトリーコンパクタ

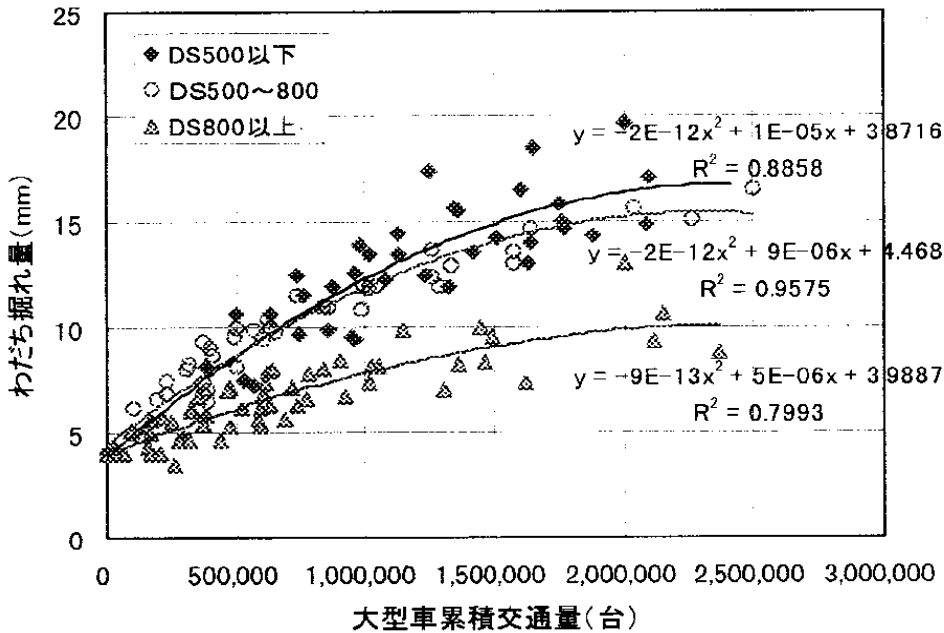
相手国の要請により、ジャイレトリーコンパクタを使った試験が必要な場合も想定される。詳細につい

<sup>2</sup> 遮熱性舗装を適用、温度を下げ耐久性向上、日経コンストラクション、2016.8.8, PP62~63



では「参考資料7及び付属資料3 ジャイレクトリーコンパクタによる配合設計法」参照のこと。

**(参考資料6) 高速道路における大型車交通量とわだち掘れ量**



出典：「高速道路における密粒度アスファルト舗装のわだち掘れ量の実態調査と耐流動性の評価」

飯田章夫 他（土木学会舗装工学論文集第4巻1999年12月）

**図 5.5 DS別のわだち掘れ量（5,000台/日/一方向未満）**

この資料をもとに、目標として設定したあるDS値が、どの程度の大型車交通量(ESAL値)に耐えるかを検討してみる。

図5.5から、DS値800回/mmでは大型車累積交通量200万台に対しわだち掘れが約10mmである。これは大型車のダメージ係数を設計に使われている0.85(10t軸重換算)とした場合、対応する疲労破壊輪数は170万(200万台×0.85)、ESAL値に換算すると約400万となる。つまり、目標DS値を800回/mmとし、わだち掘れ量の許容値を10mmとした場合の可能な(許容できる)ESAL値は400万回となるわけである。

同様にDS値500~800回/mmでは、わだち掘れ10mmに対する大型車累積交通量は約70万回でESAL値に換算すると140万回となる。しかしわだち掘れを15mmまで許容するなら、DS値500-800回/mmでもESAL値400万回に対応可能であるともいえる。すなわち、大型車のダメージ係数0.85と日本の気象条件を前提とはしているがDS値500回以上なら、ESAL値100万~400万回程度には対応できることになる。ただしESAL目標値を何年間の交通を対象に考えるかは技術的判断によることになるが、可能であれば舗装構造設計の設計期間に一致させることが望ましい。

**(参考資料7)**

■ ジャイレクトリーコンパクタを使用した配合設計

アスファルトの配合設計に用いられる「マーシャル配合設計」は、粒度配合を決めてアスファルト量を変化させた多数の試験供試体を作成して確認試験を行う。一方、マーシャルランマで締め固めて作成した供試体から求めた空隙率等の特性値が、アスファルトコンクリートの真の品質を代表していないことを多くの研究レポートを問題としている。これはマーシャルランマでの締め固めは衝撃荷重であるが、転圧用口

ーラや交通荷重による締固めはニーディング（こねかえし）によるものであり両者に違いがあるためである。このような課題に対して、粒度分布、骨材のかみ合わせ、空隙率の管理によってアスファルト混合物の配合を決定するために「ジャイレトリーコンパクタ」を用いた方法が提案されている。この締固めの方法は、試験台が回転して一定の回転角度を保持しながら締固めるもので、アメリカの Super Pave Gyratory Compactor(SGC)やオーストラリア製（ジャイロパック）がある。SGC とオーストラリア製のものでは回転角度と載荷重が異なる。



写真 ジャイロパック（オーストラリア）



写真 SGC(Super Pave Gyratory Compactor)

#### ■ オーストラリアの配合設計法の基準

オーストラリアの配合設計・試験はジャイレトリーコンパクタ<sup>3</sup>を使用した容積設計法が主である。ただし一部の州や地方道でマーシャル法を使っている。以下、NSW（ニューサウスウェールズ）州基準を表 5.7、ビクトリア州基準を表 5.8 に引用する。

これらの基準では、供用中の混合物の空隙率（図 5.6 参照）が小さすぎると（約 2%未満）、塑性流動によるわだち掘れを発生させるとし、重交通下の混合物は、最終回転数（250 または 350）における最少空隙率 2~2.5%以上を確保するとしている。

表 5.7 ジャイレトリーコンパクタの締固め基準（NSW 州）

	設計時		最終時	
	設計時回転数	空隙率（設計時）	最終回転数 <sup>4</sup>	空隙率（最終時）
軽交通	50	3-6%	適用しない	適用しない
中交通	80	3-6%	250/350	2.0 %以上
重交通	120	3-6%	250/350	2.0 %以上

注記) 軽交通：軽交通対象、中交通：中交通対象、重交通：重交通対象 出典：NSW 州基準

表5.8 ジャイレトリーコンパクタの締固め基準（ビクトリア州）

	設計時		最終時	
	設計時回転数	空隙率（設計時）	最終回転数	空隙率（最終時）
軽交通	50	4%	適用しない	適用しない
中交通	80	4%	250	2.0 %以上
重交通	120	4%	250	2.5 %以上

<sup>3</sup> このジャイレトリーコンパクタは、米国のもの（SGC）とは緒元が異なっている。

<sup>4</sup> 長い期間に渡って使われた状態に対応していると考えられる回転数



出典 : Victoria 州基準

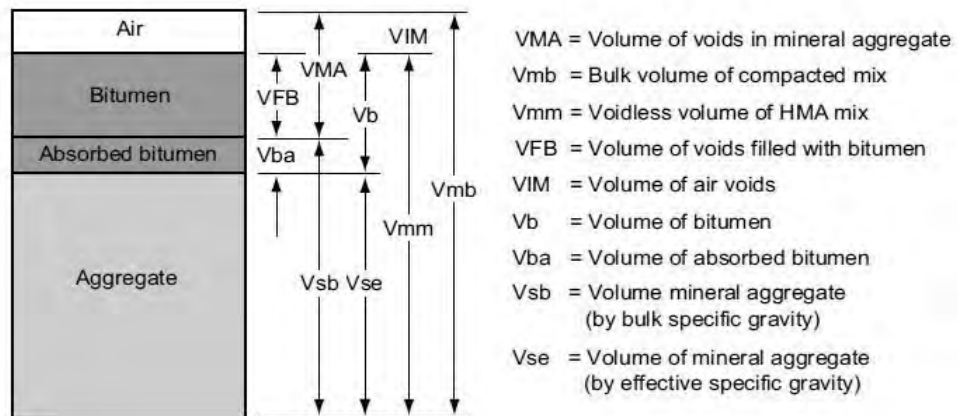


図 5.6 締固めたアスファルト混合物の容積表示

(空隙率 : VIM、骨材空隙率 : VMA、アスファルト量 : Vb、飽和度 : VFB、骨材吸収アスファルト量 : Vba)

■ SUPERPAVE の配合設計法

SUPERPAVE では、交通荷重を再現した SGC により締固めた後の空隙率を、交通レベル(20 年間の ESA 値)に応じた締固め回転数に対して確保すべきアスファルト混合物の空隙率として規定している(表 5.9)。

表 5.9 SGC の回転率と空隙率の基準

		締固め回転数 <sup>注)</sup>			代表的な車道への適用
		N <sub>ini</sub>	N <sub>des</sub>	N <sub>max</sub>	
設計 ESAL 値 (×10 <sup>6</sup> )	<0.3	6	50	75	適用には、大型交通の走行が禁止または非常に最小レベルとなるローカル道路、郡道のような低交通量の車道がある。これら車道上の交通は性質上ローカルと考えられ、地域的道路、州内道路または州際道路ではない。リクレーションサイトまたはエリアの特別な目的の車道は、このレベルを適用できる。
	0.3to <3	7	75	115	適用には多くの集散道路またはアクセス街路がある。中程度の交通に供する市街路や郡道の大部分はこのレベルを適用してよい。
	3to <30	8	100	160	適用には、多くの 2 車線、多車線、分離道路、および完全あるいは部分的にコントロールされたアクセス道路がある。これらの中には、中程度～高交通に供する市街路、多くの州道、US 道路、およびいくつかの地方部州際道路がある。
	≥30	9	125	205	適用には、US 州際道路の大部分、性質上、地方部と都市部の両方がある。大型車重量測定箇所や 2 車線道路における登坂車線も、このレベルを適用するとよい。
空隙率 (%)		8.5-11.0 以上	4	2 以上	

注) Ninitial (舗設直後の締固め状態を示す回転数)

Ndesign (設計交通量における締固め状態を示す回転数)

Nmax (設計寿命を超えて供用した終局状態をしめす最終回転数)

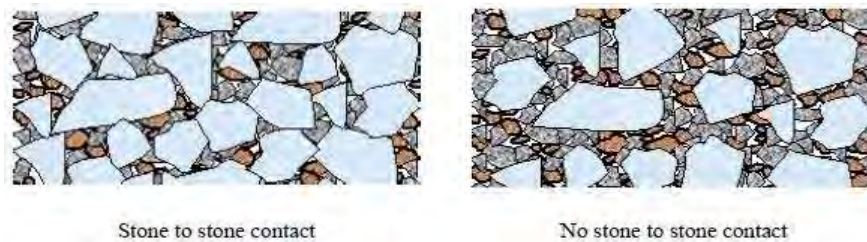
【コラム：骨材のかみ合わせと耐流動性】

流動化対策には、アスファルト混合物の粗骨材のかみ合いが極めて重要で有効である。この概念を、表したものが図1で、左の図で粗骨材同士が骨格(skelton)を形成する様子を示し、右は粗骨材同士の噛み合いがなく骨格が形成できない状態を示している。

またアスファルト混合物の、舗設から交通によってこねられた最終状態までの変化を模式的に示したものが図2である。上の段では、最終状態の空気量が1~2%であるために、粗骨材がアスファルトの中に浮いた状態で、かみ合うことがなく、流動わだち掘れができることを示している。

一方下段は最終状態でも空気量が2%以上であって、これは粗骨材同士がかみあった状態で、耐流動性が高い混合物であることを示している。構造的には逆に、粗骨材がかみ合って骨格を形成するので、アスファルト部分の空気が押し出されずに、空気量を一定程度確保しているということである。すなわち空気量は必要条件ではなく骨材のかみ合いを間接的に確認するための指標であるといえる。

もちろん、骨材のかみ合わせのみですべての流動わだち掘れ問題が解決するとは限らないが、かみ合いはアスファルト混合物のいわば基礎体力であるといえるので、この性能を最大限確保した上で、必要に応じて更に改質材などの次の対策を導入することが効果的であろう。



出典：Design Procedure of Wearing Course Mixtures for Airport Pavements  
Combining the Superpave and the Bailey Method by Goh Teck Shang

図1 骨材のかみ合いで形成される骨格の様子

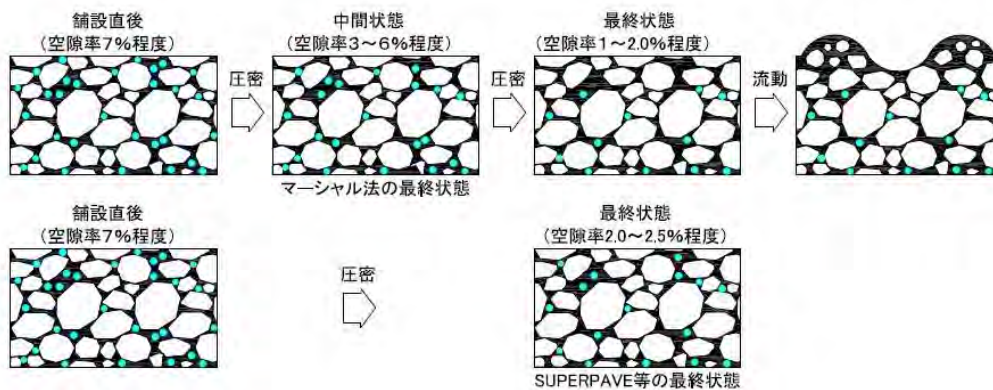


図2 最終状態の空隙率が小さい場合(上段)と大きい場合(下段)の違い

### (3) 配合設計に係る各種性能の比較実験

流動わだち掘れ対策に関連する粒度分布、空隙率、アスファルト量について、その影響の確認のためマーシャル試験、ホイールトラッキング (WT) 試験及びジャイレトリーコンパクタによる最終空隙率の確認を行った。その結論は以下のとおりである。

- 1) 耐流動性を低下させる要因として骨材のかみあわせを阻害する粒度の外れに着目した試験の結果、細粒分の外れ (増加) により耐流動性が大幅に減少する結果が得られた。特にプラント混合時の細骨材の粒度管理が耐流動性の観点から特に重要であることが確認できた。
- 2) 耐流動性を増大させる要因として、アスファルト量の影響が大きいことを確認した。アスファルト量 (施工性を損なわない範囲で) を少なくしたほうが耐流動性を高めることができる。
- 3) WT 試験より得られた結果 (DS 値) とジャイレトリーコンパクタを使用して得られた結果 (最終空隙率) の関係を調べた結果、最終空隙率の大小と耐流動性 (動的安定度 : DS) との相関が確認でき、これは最終空隙率による耐流動性判定の有効性を示唆するものであった。
- 4) ストレートアスファルトによってどの程度まで DS 値を確保できるかは、経済性の観点からも重要であり本試験で最大 3250 回/mm という高い値になった理由については今後の研究の価値がある。

#### 解 説

流動わだち掘れ対策に関連する粒度分布、空隙率、アスファルト量について、その影響を実証するため室内配合試験 (マーシャル試験、WT 試験:試験温度 60℃、水浸 WT 試験、曲げ試験、SGC (スーパーペーパ・ジャイレトリーコンパクタ) 締固め試験) を実施した。

具体的には、流動わだち掘れに対する粒度分布、アスファルト量、空隙率の影響を検討するため、下記の関係性をデータとして整理し取りまとめた。

- ・ DS(動的安定度)～粒度分布
- ・ DS(動的安定度)～アスファルト量
- ・ DS(動的安定度)～SGC 締固め試験によって得られた最終空隙率
- ・ SGC 締固め試験によって得られた最終空隙率～アスファルト量

なお使用材料、試験方法、試験結果の詳細については付属資料 6 配合設計に係る各種性能比較実験を参照。



写真 ホイールトラッキング試験状況



写真 SGC 試験機による締固め試験状況

1) 骨材粒度分布の問題

図 5.7 は典型的な流動わだち掘れの現況写真およびコアボーリングサンプルの粒度分布である。(ページ 47、粒度による流動わだち掘れの事例 参照)この原因として、混合物の粒度が粒度範囲を大きく外れたことによると考えられるが、今回の室内試験で混合物の粒度が中央粒度から外れた場合の DS 値の大幅な低下が確認され、この破損原因の推定の適切さが裏付けられた。

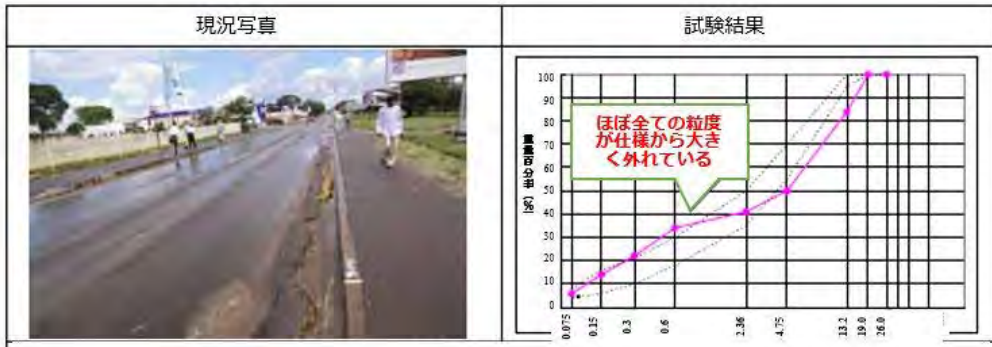


図 5.7 舗装の現場写真および混合物粒度

検討を行った混合物の配合を表 5.10 に示す。配合 No.①は粗骨材、細骨材ともに最適配合（中央粒度）から大きくずれた配合。配合 No.②は細骨材のみが最適配合から大きくずれた配合を想定している。

ホイールトラッキング試験の結果を図 5.8 に示す。

表 5.10 試験混合物の配合（粗骨材、細骨材を中央粒度からずらして設定）

フルイ目 (mm)	中央粒度累積%	骨材通過質量(%)の設計値からのずれ	
		配合 No. ①	配合 No. ②
19.0	100	±0	±0
13.2	99.1	- 10.0	±0
4.75	62.6	- 10.0	±0
2.36	42.5	±0	±0
0.6	24.8	+ 10.0	+ 10.0
0.3	16.2	+ 5.0	+ 5.0
0.075	5.2	±0	±0
アスファルト量	4.8	±0	±0

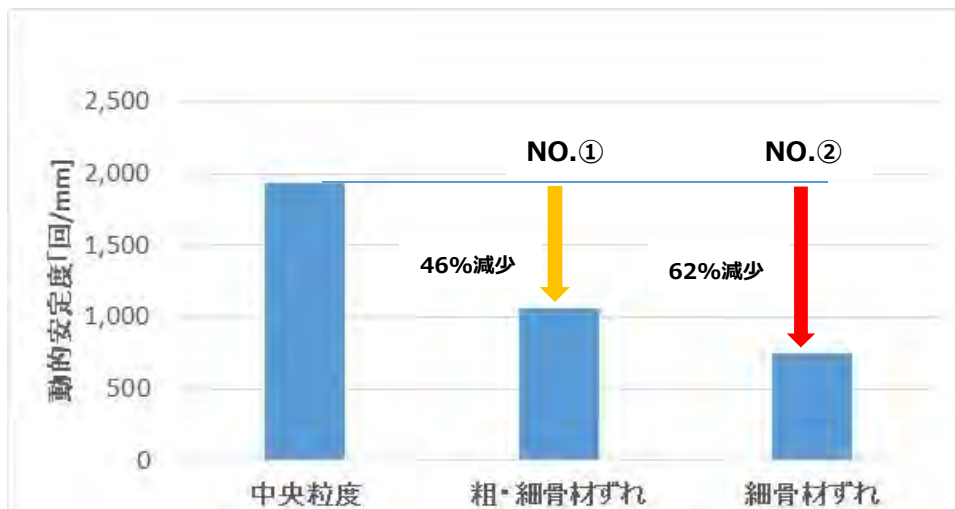


図 5.8 骨材粒度の中央粒度からの外れと動的安定度



粗骨材、細骨材とも中央粒度からずれている場合は DS が約 46%減少、細骨材が中央粒度からずれている場合は DS が約 62%減少した。細粒分の割合が多くなると耐流動性が大きく減少することが確認された。

## 2) アスファルト量の問題

日本国内の基準では、アスファルト量を少なくしたほうが耐流動性を高めることができるとしている。本試験においても、アスファルト量が少ない場合に耐流動性は高くなっている。(図 5.9)

ただし、アスファルト量を減少した場合骨材によっては剥離しやすくなったり、アスファルトの劣化などにより耐久性が損なわれる場合があるので限度を見極める必要がある。

(注) OAC : 最適アスファルト量

## 3) 剥離性、耐久性の問題

アスファルト量を減少した場合の特性を水浸 WT 試験、曲げ試験等で混合物の剥離性、変形追従性を確認した。

水浸 WT 試験の結果、剥離率とアスファルト量、粒度の関係を図 5.10 に示す。アスファルト量が減少しても剥離率はさほど増大していない。

混合物の曲げ試験の結果を図 5.11 と図 5.12 に示す。曲げ強度および曲げひずみとも、アスファルト量の減少による明確な差は見られなかった。

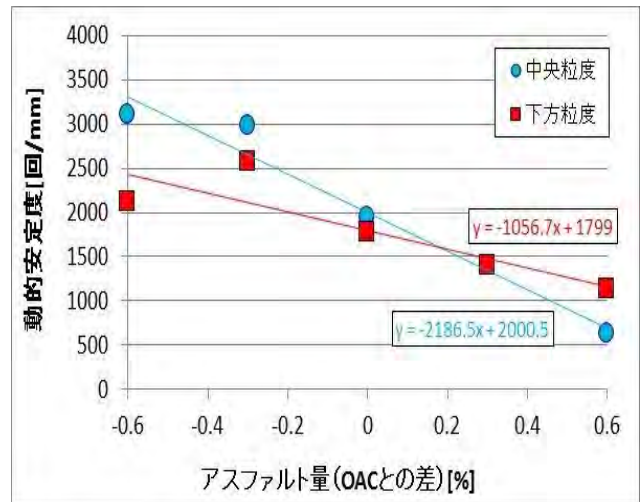


図 5.9 アスファルト量と動的安定度(DS)の関係

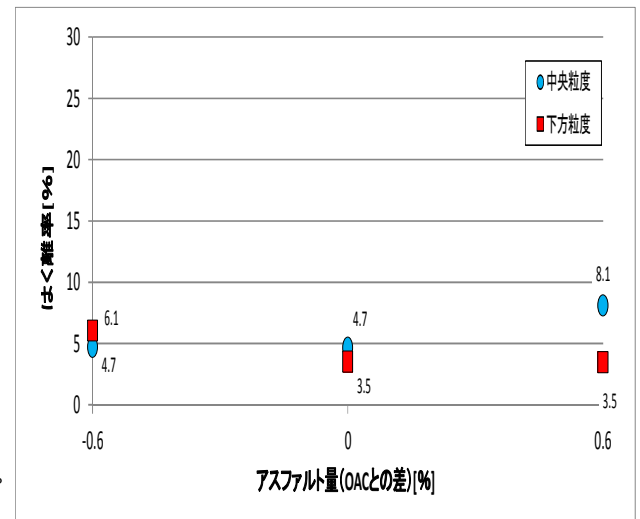


図 5.10 アスファルト量と剥離率の関係

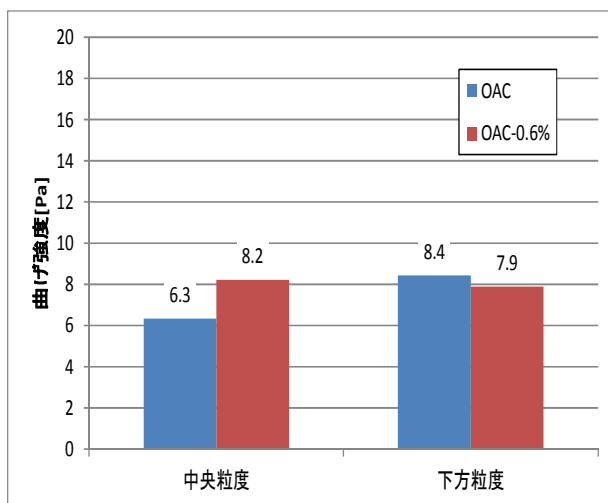


図 5.11 アスファルト量と曲げ強度

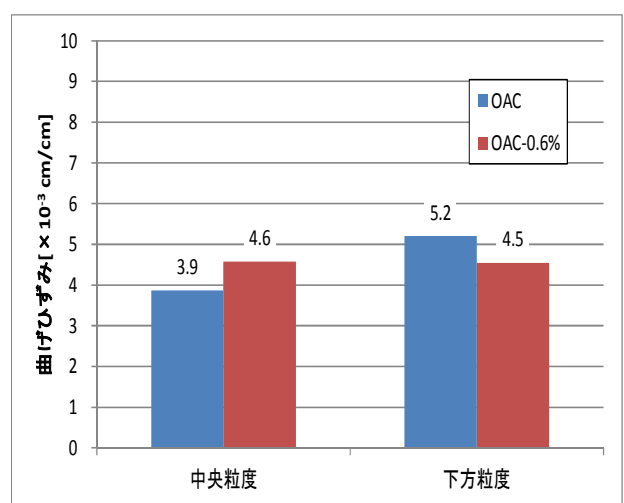


図 5.12 アスファルト量と曲げひずみ

今回の試験では、空隙率を大きくする(アスファルト量を、OAC-0.6 の範囲内で少なくする)ことで、

剥離抵抗性やたわみ追従性を損なわずに塑性変形抵抗性を向上させることが示された。なお、この試験ではストレートアスファルトでも OAC で 1,500~2,000 回/mm という高い数値を得ているがこれは、形状のいい良質な粗骨材と砕砂の組み合わせが、好ましい骨材骨格を形成し高い DS が得られたと考えられる。ストレートアスファルトによってどの程度まで DS 値を確保できるは、経済性の観点からも重要であるので、本試験で最大 3250 回/mm と、一般に 1500 回/mm 程度とみられている値の倍以上の高い値を得た理由については今後研究の価値がある。

#### 4) SGC による最終空隙率の問題

マーシャル安定度試験以外の確認試験方法として SGC による締め固めをおこない最終空隙率の確認を行った。

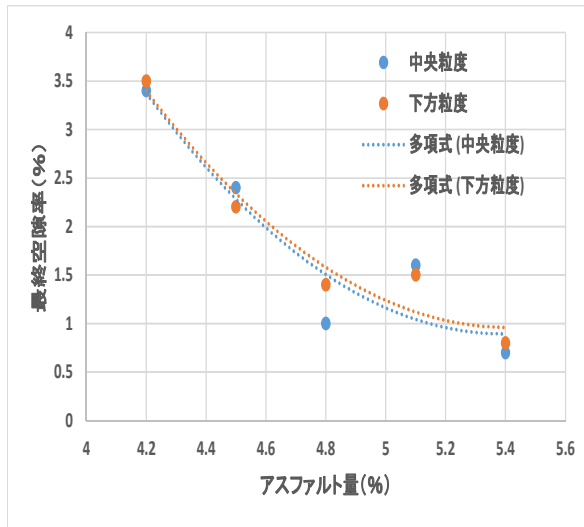


図 5.13 アスファルト量と最終空隙率

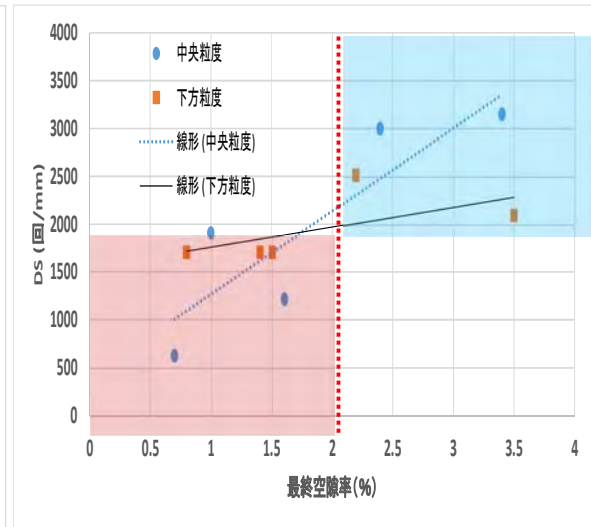


図 5.14 最終空隙率と動的安定度(DS)

SGC による最終空隙率とアスファルト量の間には明確な相関があり(図 5.13)、アスファルト量を少なくしたほうが最終空隙率は大きくなっており、また、SGC による最終空隙率と DS の間に相関がある(図 5.14)ことが確認できた。

SGC では、最終空隙率 2~2.5%以上確保することが規定されているが、空隙率 2%で区切ってみると、空隙率 2%以上の混合物ではすべて DS が 2000 以上である(右上になる)の対して、2%未満の混合物ではすべて 2000 以下(左下)となっていて、2%程度が一つの分岐点となることを示唆している。

なお、本試験の DS 値はストレートアスファルト混合物としては極めて高い数値となっている。この原因としては、形状のいい良質な硬い粗骨材と砕砂の組み合わせが、好ましい骨材骨格を形成し、高い耐流動性を発揮したためと推定される。今後、異種の岩質の粗骨材や、天然砂等の細骨材を使用した比較試験を行って耐流動性向上の要因を探り、DS 値向上のための知見集積に貢献することが期待される。

#### (4) プラント管理の留意点

アスファルト舗装のわだち掘れは、不適切なプラント管理等によっても引き起こされる。すなわち、配合設計が適切になされていてもプラント管理が不適切な場合は、不良なアスファルト混合物が製造される。

無償資金協力事業においては、一般的に日本のコンサルタント、施工業者が自らプラント管理を行う必要があるため、プラント管理の留意点について示す。無償資金協力事業のプラントの設備箇所の不具合例を列記し、その対応としての留意点を述べる。次に、アスファルト混合物の粒度、アスファルト量、製造温度に問題が発生した場合の対策、留意点について述べる。

### 解 説

#### 1) プラント品質管理基準

アスファルトプラントにおける品質管理基準に関しては、第3章3.1表3.2プラント管理基準の例において紹介している通りである。舗装施工便覧によれば、粒度2.36mmで±12%以内、0.075mmで±5%以内となっているが、NEXCOの基準及び多くの国において2.36mmで±4%、0.075mmで±1.5~2.0%と許容範囲は日本の施工便覧のおおよそ3分の1と、厳しい管理水準が要求されているので注意を要する。この場合、ある粒度の骨材の比重が数%変わっても品質管理基準から外れる程度のものであることも念頭に置く必要がある。

#### 2) プラント管理の必要性

日本国内のアスファルト舗装工事の場合、日本中ほぼどこであっても、アスファルトプラントから信頼性の高い品質のアスファルト混合物を入手することができる。しかし、無償資金協力対象国の場合、仮に現地プラントがあったとしても品質は信頼できない場合が一般的であり、また施工業者自らプラントを持ち込む場合は、日本国内と違って、経験のないアスファルトプラントの品質管理を自ら行う必要があるなど、アスファルトプラントの管理が大きな課題となる。

図5.15にアスファルトプラントの標準的な構成、及び不適切な管理事例を示す。

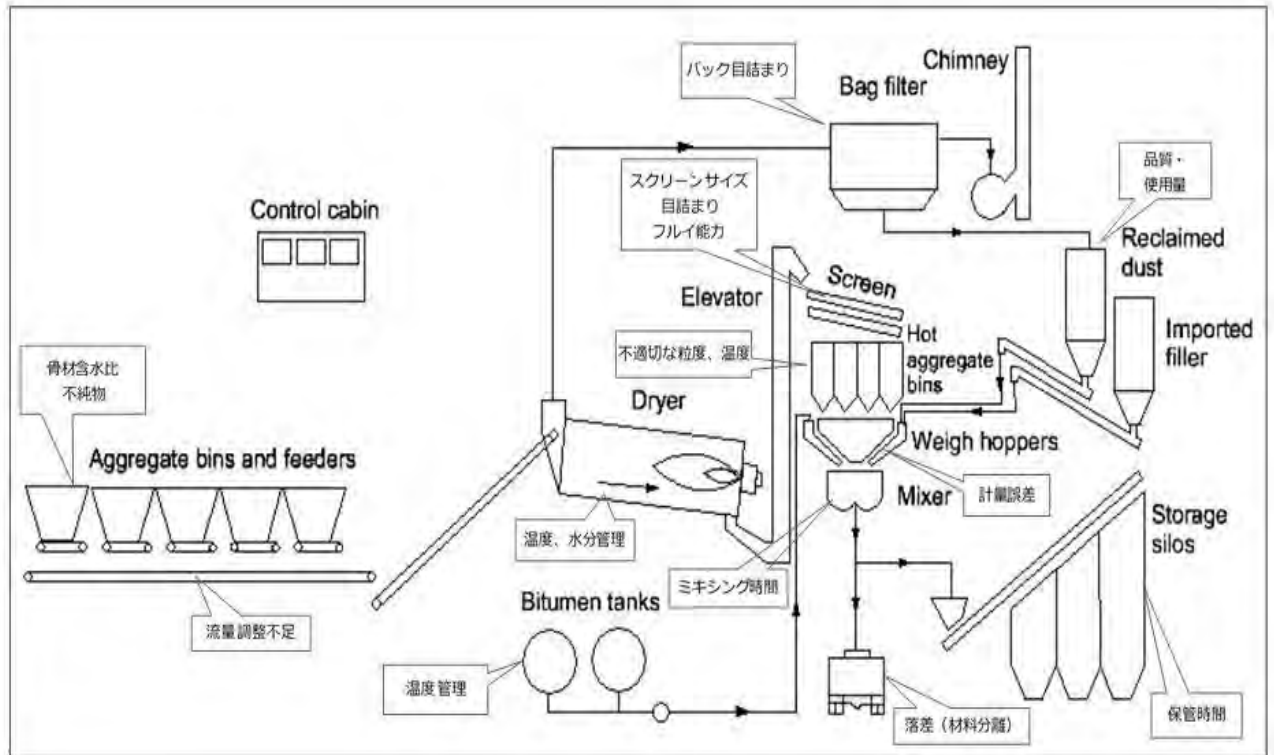
近年の無償資金協力事業で舗装工事を実施した企業へのヒアリングにおいても、プラント設備に表5.11に見るような不具合が発生している。不具合は骨材供給設備(フィーダ)で最も多く発生し、次いで多いのがスクリーンとホットピンである。

アスファルトプラントの型式にはバッチ式と連続式プラントがある。日本国内で稼動中のもの、また無償資金協力事業においてプラントを設置する場合もほとんどがバッチ式であるため、バッチ式プラントの留意点に関して述べる。連続式プラントに関しては、参考資料を参照されたい。

表5.12にバッチ式アスファルトプラントにおける管理の留意点を、不具合事例を併記して示す。

表 5.11 バッチ式アスファルトプラント設備の不具合(複数回等可)

設備名	回答数	設備名	回答数
骨材供給設備(フィーダ)	5	石粉貯蔵供給設備	0
骨材乾燥加熱設備(ドライヤ)	1	計量設備	2
スクリーンとホットピン	4	混合設備(ミキサー)	2
バックフィルタ	3	混合物貯蔵設備	0
アスファルト貯蔵供給設備	0		



(Austroads の図などを基に国内調査結果から調査団作成)

図 5.15 バッチ式アスファルトプラントの標準構成と品質管理上の留意点

表 5.12 プラントの不適切管理の例と留意点

管理箇所	不適切な管理例	不具合事例	留意点
ストックヤード	<ul style="list-style-type: none"> <li>屋根・雨よけシートなどが無い(特に細骨材)</li> <li>場内排水の不良</li> <li>入荷材料の変質</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>骨材乾燥後の残留水分により、アスファルトがはく離</li> <li>コールドビンの流れが悪くなる</li> <li>不適切な粒度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>骨材の含水量が過多にならないよう管理する</li> <li>粒度や比重など品質の変質はないか</li> </ul>
コールドビン・フィーダ	<ul style="list-style-type: none"> <li>設定流量の確認不足(キヤリブレーション不足)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(特に細骨材の)粒度、配合比が変動</li> <li>ホットビンでのオーバーフローや粒度変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設定供給速度、流量の管理</li> <li>フィーダ出口やベルトの状態をチェック</li> </ul>
ドライヤ	<ul style="list-style-type: none"> <li>温度計の検査不足</li> <li>火力調節の不手際</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>混合物の温度が低すぎ、被膜不良、転圧不良</li> <li>混合物の温度が高すぎる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>温度計、温度の管理</li> </ul>
スクリーン	<ul style="list-style-type: none"> <li>目詰まりまたは破れ</li> <li>不適切なサイズのふるいを使用*(2.5mm以下のふるいがない)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ホットビン粒度の変動。</li> <li>2.5 mm通過量など重要ポイントの粒度調節ができない。</li> <li>混合物の粒度、性状が不安定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>金網の目詰まり、破れはないか</li> <li>2.5mm以下のふるいはあるか</li> </ul>
ホットビン	<ul style="list-style-type: none"> <li>ホットビン粒度管理の不徹底</li> <li>温度計の検査不足</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>スクリーンの異常に気付かない。</li> <li>粒度の調整ができない。</li> <li>適切な温度管理ができない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>加熱骨材粒度は適切か</li> <li>温度は正常か</li> </ul>
計量器	<ul style="list-style-type: none"> <li>計量器の精度が悪い(検査不足)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>骨材配合比の異常。</li> <li>アスファルト量の過多、過少</li> <li>フィラー量の異常</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>粒度の異常はないか</li> <li>バサツキ・ギラツキはないか</li> </ul>
ミキサー	<ul style="list-style-type: none"> <li>不適切なミキシングタイム</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ミキシングタイムが短すぎ骨材の分散不足、アスファルトの被膜不足</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>混合むらのチェック</li> </ul>
ダンプピット	<ul style="list-style-type: none"> <li>混練時または出荷時の温度管理不足</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>混合物温度の異常</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>温度管理</li> </ul>
バックフィルタ	<ul style="list-style-type: none"> <li>濾布の目詰まり</li> <li>濾布の穴あき</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>吸引力が弱まり、ダストがホットビンに入り、フィラー過剰</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ダスト回収状況のチェック</li> <li>渦電流のチェック</li> </ul>

注\*) コラムのスクリーンの項参照。



【コラム：コールドビン、スクリーン、ホットビン】

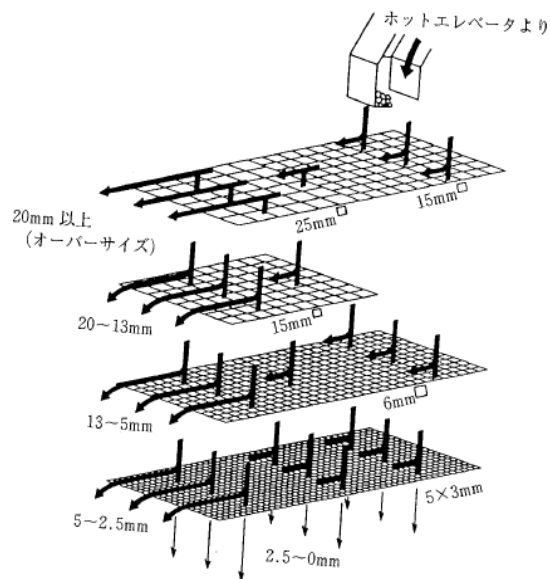
コールドビン

原材料の常温骨材を投入するビン。材料別（6号砕石、7号砕石、砂、スクリーングスなど）に分かれており、それぞれ決められた場所に投入する。異種材料の混入に留意しなくてはならない。



スクリーン

ホットエレベーターで運ばれた乾燥・加熱骨材を、所定の粒度区分に分給する装置である。分級する骨材の粒径より10%~20%大き目の網を使用している。細骨材用のふるいは、目詰まりをおこしやすいので網の線径や形状を変えたりする。海外では、ホットビンの最小サイズ5mm以下で、2.5mm通過量の管理ができない場合があるのでその場合は右図のように2.5mmのふるいを追加し、2.5mmのホットビンを追加する。



ふるい目の組み合わせとホットビンに入る骨材粒径の例

ホットビン

コールドビンから搬送された常温骨材がドライヤにて加熱乾燥され、スクリーンにて分級された加熱骨材が一時貯蔵されるビン。通常4~5ビンに分かれており、それぞれサイズ別に貯蔵される。一般には数字が大きい方が骨材サイズは大きい。ホットビン内の骨材粒度が混合物の合成粒度に与える影響は大きい。

ホットビン内の骨材を日常的に、例えば毎朝採取して骨材粒度の確認を行い品質の確保に最善の注意を払う必要がある。骨材の粒度に異常が認められた場合には網の破損や磨耗などの点検を行う。通常、ホットビンには骨材の取り出し口があるが、海外のアスファルトプラントには、取り出し口のないものがある。その場合は、排出ゲートで採取するなどの方法を取る。

### 3) プラント管理の実務

プラント管理は、大きく定期管理と日常管理に分けられる。定期管理は、出荷する混合物の配合を決定し、プラントにて製造・出荷するために行う基本となる試験・検査である。日常管理は、製造された混合物が、決定された配合設計に見合うものになっているかを確認するための試験・検査である。前者は、プラント建設時、工事着手前、試験練り時など、及び工事期間中に生産を休止しているときなどに、定期的（1回/年、1回/月）に実施されるものであり、後者は生産時に日常的に実施されるものである。

つまり、対象となるプラントが、工事に適合する混合物を安定的に製造できるようにするための品質保証はまず定期管理により基本的な条件整備を行う必要がある。次に日常管理では定期管理で得られたデータに基づき、プラント製造工程、材料、練り落とし混合物において、誤差は許容範囲か、変化・異常がないかなどを確認するものであることを理解して管理/監理を行う。推奨される定期管理、日常管理の例を表5.13、表5.14に示す。

これらの定常管理によって、安定した品質の混合物が連続的に製造・出荷できることが確認されるまで操業してはならない。

なおこれらプラントの管理は、専門的知識・経験を必要とするものであり、海外の現場では一定期間プラント管理の専門家を配置する必要がある。

表 5.13 アスファルトプラント定期管理の例

管理項目	管理箇所	管理内容	推奨する頻度
プラント 設備	計量器* (バッチ式)	秤量の精度	工事着手前 1回/年
	コールドビン	骨材流量とフィーダ出力のキャリブレーション	工事着手前 1回/年
	温度計	温度計のタイムラグおよび誤差（表示温度）	工事着手前 1回/年
	アスファルト吐出装 置	アスファルト吐出量	工事着手前 1回/年
材料	骨材	粒度	材料基準試験時 配合試験時 試験練り時
		その他の骨材性状	材料試験時 その後は2回/年程度
	フィラー、アスファ ルト	性状試験	メーカー試験成績表による確認 配合試験時 その後はメーカー推奨頻度による
	混合物	配合試験	工事着手前
		ホットビンのふるいわけ試験（ホット ビン配合比と合成粒度の決定）	試験練り前 試験練り時 試験舗装時
		抽出試験 （アスファルト量、混合物粒度確認）	試験練り時 試験舗装時
		マーシャル試験 （基準密度、空隙率、安定度）	配合試験時 試験練り時 試験舗装時

注：\*計量については、印字記録装置があると望ましい。計量器の点検の際に、印字記録装置による打ち出しを行い、計量器の指示値と印字記録値との整合性を確認しておく。

表 5.14 アスファルトプラントの日常管理の例

管理項目	管理箇所	管理内容	推奨する頻度
常温骨材	ストックヤード コールドビン	粒度	入荷日ごと 定期管理のときから異常がないか
加熱骨材	ホットビン	粒度 ホットビンのふる いわけ試験	出荷日ごと
混合物	練り落とし混合物	抽出試験	出荷日ごと アスファルト量、混合物粒度は基準値に 対して許容範囲か
		マーシャル試験	出荷日ごと 基準密度、空隙率、安定度は基準値に 対して許容範囲か
	操作盤および自動印字 記録装置	印字記録	バッチごと 計量値（印字記録）は基準値に 対して許容範囲か

注：粒度、アスファルト量の管理は、印字記録の結果を利用して管理することが望ましい。  
ホットビンのふるいわけ試験：各ホットビン（骨材種）別に粒度分布をチェックする。

日常管理において異常が発見された場合には直ちに出荷を停止し、改めて異常個所の点検を実施する必要がある。また、異常発生 の程度によっては、定期管理の頻度を増やすことが望ましい。

バッチ式ではホットビンの配合比は一般的にコンピューター管理(印字記録管理)されているが実際の配合に異常が見られた事例がある。これはホットビンのふるいの目詰まりなどの原因で各ホットビンの粒度分布に偏りができたことによる可能性がある。このような場合は印字記録管理では対応できないため抽出試験が必要で、アスファルト量はメインの関心事ではない。そのような場合、プラントのスクリーンの清掃、各合材のふるい再試験、ベルトコンベアーのスピード調整、採石場の確認等を行う必要がある。

以下に、図 5.16 にある施工例でのアスファルトプラントの日常管理の流れを、表 5.15 に管理内容を示す。

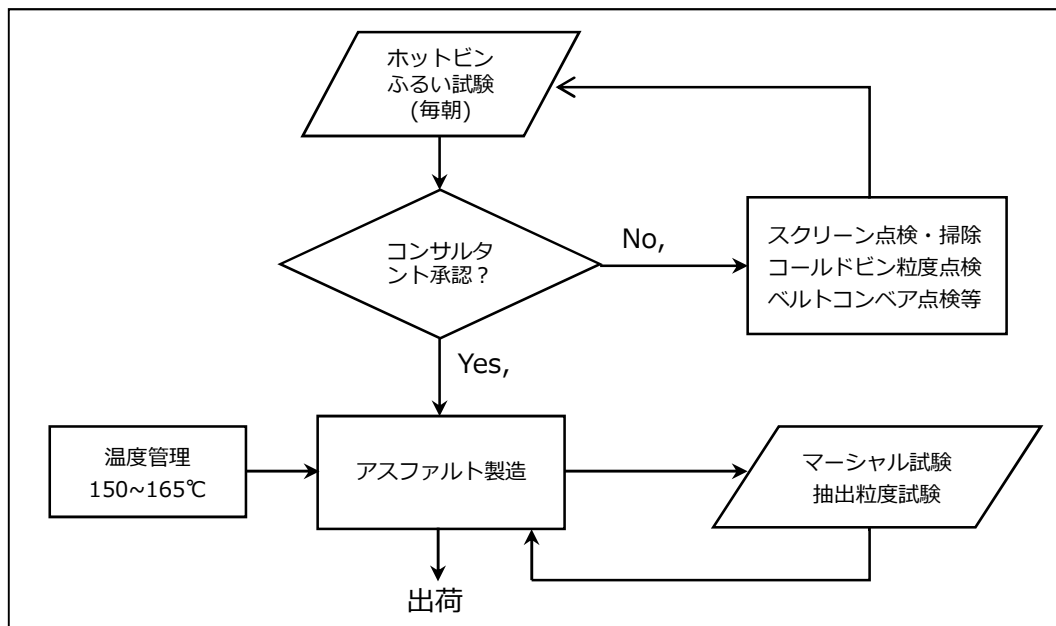


図 5.16 アスファルト混合物のプラントの日常管理の例

(実例1) カンボジアでの事例をまとめると表 5.15 のとおりである。プラントは持ち込みプラントである。

**表 5.15 アスファルトプラントの日常管理の実例 1**

管理内容	頻度	所要時間	管理方法	不具合処理
ホットビンのふるいわけ試験	出荷日毎 毎日	1 時間半程度 (全ふるいを同時に振動させる試験機を導入すれば時間を短縮できる)	・夜中に雨が降る可能性があり、骨材をホッパーに入れるのは毎朝 ・粒度分布の許容誤差は、0.075mm ふるいで±1%	・通常は、スクリーンの節目に破損がないかを点検 ・破損がない場合は他の原因を探す。ベルトコンベヤーのスピード調整が悪かった例がある。
マーシャル試験 (基準密度、空隙率、安定度)	出荷日毎 毎日、 各配合毎	養生、水浸の時間もあるので結果は翌日提出		・コアを抜いて所定の品質試験を実施。 ・一般車に開放して様子を見る
抽出試験 (アスファルト量、混合物粒度確認)	100t に 1 回	遠心分離器使用 2 時間程度		

(実例2) ラオスのプロジェクトでの例を表 5.16 に示す。この現場では、アスファルトプラントの設置・運搬にあたりプラント管理の専門家を下記の期間配置し品質管理を行った。

- ・初期：2 ヶ月
- ・新たな配合設計時毎に：約 (1.0~1.5 ヶ月) × 2 回

上記以外の期間は、施工会社の現場舗設担当の職員が毎日にプラントを確認

**表 5.16 アスファルトプラントの日常管理の実例 2**

管理内容	頻度	管理方法	不具合処理
ホットビンのふるいわけ試験	出荷日毎 毎日	・毎日実施しているため、所定の粒度分布からのずれ傾向が把握できる。	・Asphalt Plant の Top の Screen 清掃 ・各骨材のふるい再試験 ・原石山にて原石採取箇所の再確認
マーシャル試験 (基準密度、空隙率、安定度)	出荷日毎 毎日		・規格外れは無し
抽出試験 (アスファルト量、混合物粒度確認)	毎日		・規格外れは無し

アスファルト混合物の主な抽出試験方法と特徴を表 5.17 に示す。

**表 5.17 アスファルト混合物の主な抽出試験方法と特徴**

抽出試験方法	方法、特徴
ソックスレー抽出法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・有機溶剤を使用してアスファルトを抽出する。抽出前の混合物の質量と抽出された骨材、フィルターの質量の差からアスファルト量を求める。</li> <li>・得られた骨材は、粒度試験に使用する。</li> <li>・低コストで導入可能。日本ではほぼ全てのプラントに導入されている。</li> <li>・所要時間の目安例：試料採取から粒度試験の結果が出るまでの時間、約 2 日</li> </ul>
燃焼式抽出法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アスファルト混合物を炉内で燃焼させる方法で、アスファルト量は残った骨材の質量から求める。短時間で試験結果が算出できる。有機溶剤を使用しないので、安全衛生面では優れている。</li> <li>・得られた骨材は、粒度試験に使用する。</li> <li>・骨材が割れる場合があり粒度試験の精度が問題とされる。日本では公的機関では使われていない。</li> <li>・重量自動計測システムの装備された炉と自動計測の設備のない炉がある。</li> <li>・所要時間の目安例：試料採取から粒度試験の結果が出るまでの時間、2~3 時間</li> </ul>

自動遠心分離 抽出法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・溶解後、遠心抽出することにより、ソックスレー抽出と比較し、短時間でアスファルトの抽出、骨材の自動乾燥ができる。安全衛生面でも優れている。</li> <li>・所要時間の目安例：試料採取から粒度試験の結果が出るまでの時間、3~4時間</li> <li>・日常管理に最適で、日本ではプラントや公的機関で多数使用されている。メンテナンスが必要。</li> </ul>
---------------	--

**(参考資料9) アスファルト混合所便覧のプラント管理のチェック方法**

日常の工程チェックは、作業に取りかかる前あるいは作業を進めながら、自主的な作業標準で定めた各設備や製造時などの管理ポイントを目視観察により点検する。

品質確認試験値が、管理限界をはずれた場合、あるいは一方に片寄っている場合などの結果が生じた場合は、直ちに試験頻度を増して異常の有無を確かめ、対策をとる。特に骨材粒度においては、入荷時やストック時の骨材粒度が変動すると、ホットビンの粒度に大きな影響が生じるので、個々の骨材の粒度管理に注意する。（出典：アスファルト混合所便覧、平成8年、日本道路協会）

**表 5.18 管理項目に対する具体的なチェック方法の例**

管理項目		日常の工程チェック	品質確認試験
骨材	粒度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・入荷材のチェック (標準材料との目視による照合)</li> <li>・ゲートの開きのチェック</li> <li>・フィーダ設定のチェック</li> <li>・流量、詰まりのチェック (コールドビンの目視点検)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ふるい分け試験</li> <li>・各材料の変動と傾向のチェック</li> <li>・変動がある場合 (原材料の再チェック)</li> <li>・予定合成粒度と異なる場合 (材料、流量、詰まり)</li> <li>・配合比率変更の場合 (吐出量の変更)</li> </ul>
	含水量	<ul style="list-style-type: none"> <li>・含水比のチェック (目視観察)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>含水量試験</li> <li>・骨材合成含水比変動のチェック (製造量、燃料消費量との関係)</li> </ul>
混合物	粒度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ホットビン粒度 (標準粒度との目視による照合)</li> <li>・混合物粒度のチェック (排出時の目視観察および計量値)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ふるい分け試験</li> <li>・各ビンの粒度変動と傾向のチェック</li> <li>印字記録または抽出試験</li> <li>・混合物粒度の変動と傾向のチェック</li> <li>・変動がある場合 (キャリアオーバー、ふるい目の目詰まり、ふるい目の破れ、隔壁の破れ、吐出量および原材料の再チェック)</li> </ul>
	アスファルト量	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アスファルト量のチェック (排出時の目視観察および計量値)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>印字記録または抽出試験</li> <li>・アスファルト量の変動のチェック</li> <li>・変動がある場合 (計量器および設定のチェック)</li> </ul>
	混合性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・混合状態のチェック (排出時の目視観察)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・混合むらのチェック</li> <li>・混合むらのある場合 (混合時間、温度のチェック)</li> </ul>
	アスファルト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・貯蔵温度のチェック</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・貯蔵温度の変動のチェック (温度調節器のチェック)</li> </ul>
	加熱骨材	<ul style="list-style-type: none"> <li>・骨材加熱温度のチェック (自動記録の観察)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・骨材加熱設定のチェック (骨材含水比および骨材加熱温度とバーナーの調整との関係)</li> </ul>
	温度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・排出時の混合物のチェック (混合状態、煙による目視観察)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>温度測定</li> <li>・混合物温度の変動のチェック</li> <li>・変動がある場合 (骨材加熱温度とバーナー調整との関係) (各部の温度計のチェック)</li> </ul>

**(参考資料 10)**

アスファルトプラントの型式にはバッチ式プラントと連続式プラントがある。それぞれの特徴、利点と欠点を表 5.19 に示す。

**表 5.19 アスファルトプラントの型式**

項目	バッチ式プラント	連続式プラント
特徴	各材料を計量槽で1バッチ分毎に計量してミキサーで混合する。	設定された流量で供給される各材料を連続的に混合する。
利点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コールドビンから流された材料をスクリーンでふるい分けして計量するので一般的に品質管理が行いやすい。</li> <li>・ 多種・少量の混合物製造に対応しやすい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ スクリーン、ホットビン、ホットエレベータ等の設備が不要であり、小型化、低価格化また製造能力を大きくしやすい。</li> <li>・ 1種類の混合物ならば、大量に安定供給できる。</li> </ul>
欠点	連続式に比べて必要な設備が多くなる。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コールドビンの管理結果がそのまま排出材料の品質に影響しやすい。</li> <li>・ 多種・少量の混合物製造には不向き</li> </ul>

連続式プラントを使用して、アスファルト混合物製造時の管理の項目と管理の方法を表 5.20 に述べる。

**表 5.20 アスファルトプラント管理項目と管理方法 (連続式プラント)**

項目	管理箇所	管理内容	着目点
粒度	ストックヤード	入荷材の粒度	変化はないか 異種材料や不純物の混入はないか
	コールドビン	流量	キャリブレーションから変化はないか 湿潤材料のつまりや付着はないか
	スクリーフイーダ (フィラー)	送り量	送り量に変化はないか
	フィラーサイロ	使用量	使用量に誤差はないか
アスファルト量	噴射ノズル	流量	設定された流量に誤差はないか
製造温度	温度計	設置箇所	ドライヤ (ホットシュート)、アスファルト配管など適切な位置に設置されているか 定期的に検査され誤差はないか

上の表を見てもわかるように、連続式には加熱骨材の粒度および計量槽がないため、均質で安定した材料の供給のためには、各材料の送り量の管理を厳しくする必要がある。

【コラム：計画・設計段階での舗装種別の考慮】

舗装のタイプ選定、構造設計は舗装の性能を基本的に決定するものであり、現地の事情に応じて場合によっては事業中に舗装タイプや設計に遡って変更を行う場合もあるので、以下参考までに概要をまとめておく。

1) 計画/設計条件

舗装の計画・設計は、まず地域の気象条件、地盤条件、掘り返しなどの沿道条件、施工業者の施工能力、維持管理体制、コストなどを考慮して舗装種別を決定する。

2) 幹線道路における主なタイプ

幹線道路に採用される主な舗装の種類としては、以下の表のように分けられる。JICA の現場では、日本企業の経験等も加味して①のコンクリート舗装か②のアスファルト舗装が採用され、バス停など油滴対策が必要な個所については④の半たわみ性舗装も使われている。

- ① セメントコンクリート舗装（一般にコンクリート舗装と呼ぶ）
- ② アスファルトコンクリート舗装（一般にアスファルト舗装と呼ぶ）
- ③ DBST 及び浸透式マカダム舗装（簡易舗装と呼ぶ場合もある）
- ④ その他、半たわみ性舗装など
- ⑤ 橋面舗装（橋面舗装については、コンクリート床版と鋼床版、それぞれの特性に応じた舗装材料が使用されている。両床版ともに、表層には密粒度アスファルト混合物、又は改質アスファルト混合物が適用される。基層については、密粒度アスファルト混合物、碎石マスチックアスファルト（SMA）、及びグースアスファルト（鋼床版のみ）が使用される。米国などではコンクリート床版を舗装の一部として設計する例も多い。

以下にそれぞれの特徴を表に示す。

種 類	長 所	短 所	その他
コンクリート舗装	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 路面の永久変形や材料の劣化が少ないので耐久性に優れる。</li> <li>● 長寿命で補修頻度が低いため、長期的なコストが抑えられる。</li> <li>● アスファルト舗装に比べ走行抵抗が低いため、燃費が向上する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 温度変化による伸縮を考えて継ぎ目を作らなければならず、走行時の不快感や走行音が大きい。</li> <li>● 専用の施工機械が必要で養生が必要。(強度発現までの時間が長い)ため、工事に時間がかかる)</li> <li>● 一旦破損が生じると修繕が複雑で日数を要し、また技術的に対応困難な国もある。</li> <li>● 単価が高い(日本)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 無筋、鉄網、連続鉄筋、転圧コンクリートなどの種類がある。</li> <li>● コンクリート版に高い剛性がある故に、地盤への追従性が低く、不均一な支持力の路盤では早期の破損につながりやすい。軟弱地盤で構造物の多い道路では設計・施工に工夫が必要となる。</li> </ul>
アスファルト舗装	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 成形が容易なため、走行性が良く静か。</li> <li>● 施工速度が速く、養生時間も必要ないため交通開放が早い。</li> <li>● 簡易な方法での補修が可能のため、地下埋設物のある場所の舗装に適している。</li> <li>● 単価が安い(日本)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 耐久性が低いため、ひび割れや凹みができやすく、頻繁に補修する必要がある</li> <li>● 高温時にアスファルト混合物が変形しやすく、わだち掘れなどによる平坦性の低下が速い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 使用する骨材の粒度によって、粗粒、密粒、細粒、開粒、ギャップ、ポーラスに区分される。</li> <li>● 使用する瀝青材料によっても区分される。(改質、高粘度等)</li> </ul>

簡易舗装	[DBST]	<ul style="list-style-type: none"> <li>● アスファルトプラントなどの混合設備の必要がない。</li> <li>● 施工の機械化により、より速く、比較的安価にできる。</li> <li>● 路床、路盤が強固であり、水密性を高めれば表層としても相当の耐久性がある。(少雨地域では有効)</li> <li>● 舗装ストックの機能を効率的に維持・修繕するための予防的維持の工法として適用度が高い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 舗装の構造計算(強度計算)上、舗装構造の一部として見込めない(AASHTO等基準)。一般に理論的設計は行われない。</li> <li>● 重交通路線への適用は困難。</li> <li>● 多雨地域での適用はリスクが大きい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 瀝青材料の上に骨材を撒き転圧する簡易な舗装を2層にわたり行うもの。通常は、修繕や仮設的な舗装として用いられるが、途上国では本格的な舗装として用いていることも多い。</li> <li>● 我が国では主として防水、防塵処理の目的のために用いられるが、南ア、オーストラリア、ニュージーランドでは幹線道路でも使われている。</li> </ul>
	[浸透式マカダム]	<ul style="list-style-type: none"> <li>● アスファルトプラントなどの混合設備の必要がない。</li> <li>● 施工方法が簡単で比較的安価にできる。</li> <li>● 表面の仕上げを水密にすれば表層としても相当の耐久性がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 骨材が大きい場合は人力により注意して施工しなければならず、多くの労力と時間を要する。(骨材の大きさを規定すれば一定の機械化施工は可能)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 単粒度の主骨材を一層に敷広げて転圧した後、瀝青材料を散布浸透させ、更にくさび骨材および、目つぶし骨材により、主骨材の間隙を充てんしていく工法。</li> <li>● 舗装の上層路盤や簡易舗装の上層路盤、表層に採用されていたが、昭和53年の舗装要綱改定時に削除された。</li> </ul>
半たわみ性舗装	<ul style="list-style-type: none"> <li>● セメントが硬化すると硬くなりわだち掘れ対策になるため、わだち掘れが生じやすい交差点付近、駐車場、バスの停車帯などで使用される。</li> <li>● アスファルト舗装の弱点となっている耐油性、耐熱性が高く、且つ耐摩耗性が大きい。</li> <li>● コンクリート舗装に比べて交通開放が早い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 浸透用セメントミルクの強度は、曲げ強度あるいは圧縮強度により表されるが、流動性と強度は相反する関係にあるため、流動性を確保しつつ、強度を確保することが課題。</li> <li>● 急勾配箇所や十分に振動を与えられない場所での施工が困難。</li> <li>● 高価になる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 空隙の多いアスファルト混合物層にセメントミルクを浸透させたものを表層とした舗装。</li> </ul>	
橋面舗装(アスファルト舗装)	[ゲースアスファルト]	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 鋼床版との接着性が高く、たわみ追従性に優れておりクラックの発生が防げる。</li> <li>● 空隙がほとんどないため水密性が高く、防水層としての効果が高い。</li> <li>● 施工時の流動性に富むため、鋼床版継手部のボルトや段差部など隅々まで充填できる。</li> <li>● 流し込み工法なので締固めが不要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ゲースアスファルトは縦横断勾配が4%以上になると混合物が舗設中に流動する恐れがある。</li> <li>● 耐流動性は低い。</li> <li>● 舗装後の冷却に伴って構造物と舗装本体の間に空隙が生じる。</li> <li>● 施工は、クッカと呼ばれる加熱混合装置を備えた車で運搬し、ゲースアスファルトフィニッシャーか人力によって流し込む。(特殊作業車が必要)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● アスファルトにトリニダッドレイクアスファルトなどの改質材を混合したアスファルトと粗骨材、細骨材およびフィラーを配合してアスファルトプラントで混合する。主として鋼床版上の舗装の基層に使われる。</li> </ul>
	[SMA(砕石マスチックアスファルト)]	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 粗骨材のかみ合いを確保しており動的安定度に優れ、たわみ追従性も備えている。</li> <li>● 通常の改質アスファルト</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 温度依存性が高く、防水層温度が低いとCavity(空隙)が発生しやすい</li> <li>● SMAは単体では防水性に懸念があるため、必ず防水層を伴わなくてはならない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● SMAは、粗骨材量が多く、細骨材に対するフィラー量が多いアスファルトモルタルで粗骨材間隙を充填したギャップ型粒度のアスファルト混合物。</li> <li>● コンクリート床版、鋼床版</li> </ul>



	合材と同様のプラントラインでの製造が可能である。 <ul style="list-style-type: none"><li>● 施工機械も通常のアスファルト舗装の機械で行うことができる。</li></ul>		ともに舗装の基層として使用される。
--	--	--	-------------------

3) JICA 事業における舗装タイプの選定

途上国においても交通量の増加が顕著であり、港湾地域の連絡道路など高温で ESAL 値も大きく（例えば ESAL 値  $10 \times 10^6$  以上<sup>5</sup>、あるいは大型車が 1 方向あたり 1,000 台以上である場合）わだち掘れが心配される場合は、改質剤や改質アスファルトを使ったアスファルト舗装や、更に地盤の条件、コスト等も考慮してコンクリート舗装とするなど、タイプ選定のみならず配合設計に関する事項も調査・設計段階で検討しておくべきである。また、アスファルト舗装であっても、基層において十分な遮水性を確保した上で、表層をギャップアスファルトとすることも対策となる。バス停など、油滴によるアスファルトの劣化と破損が見られる箇所では、半たわみ性舗装やコンクリート舗装とするのが良い。

<sup>5</sup> 南アフリカの TRH (Technical Recommendation for Highways)4でも、 $10 \times 10^6$ 以上の Standard Axles/lane について、Very high traffic volume roads と位置づけている。

## 6. セメント安定処理の留意点

### (1) セメント安定処理路盤の破損原因

無償資金協力事業の道路舗装において、セメント安定処理上層路盤上のアスファルト表層に破損が発生した例が報告されている。アスファルト層が薄い場合にセメント安定処理の収縮によりブロックひび割れや、交通荷重によるアスファルト層とセメント安定処理層の間に発生する層間せん断力によりずれひび割れと凹凸（ずれ、はがれ）が発生する。

また、セメント安定処理路盤の劣化及び強度不足によるアスファルト表層の亀甲状ひび割れ等の破損に関する報告がされている。これらは、セメント安定処理路盤の交通荷重による疲労破壊（初期段階、進行段階、破壊後の3段階の様相を呈する）、水分の浸入による乾湿状態を繰り返すことによるセメント安定処理路盤の劣化及びその相乗効果が原因とされている。

### 解 説

#### 【セメント安定処理上層路盤の表層の破損】

アスファルト表層のブロックひび割れは、セメント安定処理上層路盤の収縮により、アスファルト層が薄い場合に発生する。アスファルト表層のずれ（剥がれ、めくれ）は、交通荷重の作用で層と層の間に生ずるせん断力によってアスファルト表層がずれひび割れと凹凸が発生する。



写真 アスファルト表層のブロックひび割れ 出典：NCHR 写真 アスファルト表層のずれひび割れ 出典：JICA 調査

#### 【セメント安定処理路盤の破損】

水の浸入が想定される地域におけるセメント安定処理路盤の採用に当たって重要なことは、路盤材料の塑性指数（PI）に十分注意する必要がある。無償資金協力事業においてもセメント安定処理路盤の経年変化による強度減少、及び劣化による破損に関する報告がされている。（写真参照、出典：JICA 調査）



写真 PIの大きな赤土を使ったセメント安定処理の破損事例 出典：JICA 調査



写真 PIの大きな赤土を使ったセメント安定処理の破損事例 出典：JICA 調査

下の写真は粘性化したPIの大きな赤土のセメント安定処理路盤とPIの小さい土壌のセメント安定処理路盤を比較したものである。



図6.1は破損した舗装と健全な舗装の路盤材のPIの違いを比較したものである。健全な区間は破損した区間と比較しPIが1~2小さくなっている。



図 6.1 破損した舗装と健全な舗装のPIの比較

【セメント安定処理路盤の疲労破壊】

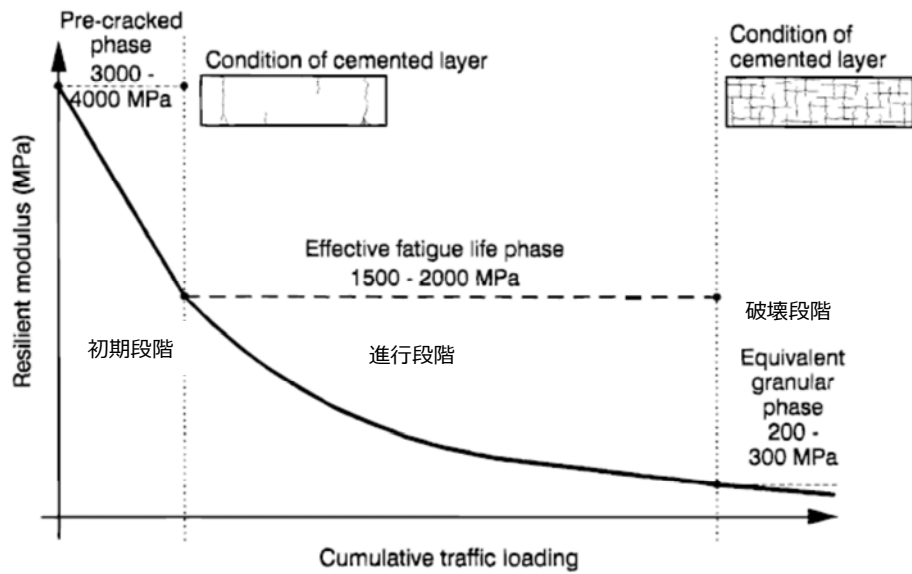
セメント安定処理路盤の疲労破壊は、交通荷重による曲げやせん断によるひび割れが発生し伝播する。この現象は①初期段階、②進行段階、③破壊段階の3段階に分けられる。(図6.2)

南アフリカでは、このようなセメント安定処理路盤の性格から、構造設計においては、長期的な強度は期待しない。



左の写真は、セメント安定処理路盤の下部の曲げひずみが限度を越え、マイクロクラックが発生した例。クラックは次第に上部に進展している。図6.2の疲労破壊の進行段階に相当する。

写真 セメント安定処理路盤の疲労ひび割れ  
出典：NCHR, USA



出典 NCHR, National Cooperative Highway Research Program, USA

図 6.2 セメント安定路盤の疲労破壊の過程

【セメント安定処理路盤の劣化】

セメント安定処理路盤は、乾湿サイクル等により劣化する。特に、PIの大きい材料のセメント安定処理路盤は劣化し易い。乾湿劣化試験については、表6.6 セメント安定処理材の必要に応じて適用する規格 参照。交通荷重、気象条件（水分の浸入）により劣化、前述の疲労破壊が促進され、強度、剛性がより減少する。



写真 セメント安定処理路盤の乾湿による劣化

出典 NCHR, National Cooperative Highway Research Program

## (2) 路盤のセメント安定処理の留意点

セメント安定処理上層路盤上のアスファルト層が薄い場合に発生する、収縮によるひび割れの伝播、層間せん断力によるずれひび割れが発生している。これらの破損に対する対策として、アスファルト層の厚さを 150mm (NEXCO)、175mm (オーストラリア) 以上とする方法、ずれ止め、ひび割れの養生をかねて層間にチップシールを施す対策(オーストラリア)等がとられている。これらの経験を反映したためと考えられるが、南アフリカ等アフリカ諸国の標準設計においては、上層路盤はセメント安定処理ではなく砕石を使うことが一般的である。

また、塑性指数 (PI) の大きい (9 以上) 材料を使ったセメント安定処理路盤の劣化、及び強度不足に関する報告がされていることから、セメント安定処理路盤の採用には PI が基準 (舗装設計便覧では 9 以下) を満たすかどうかなど細心の注意を払う必要がある。セメント安定処理路盤の強度不足は、曲げやせん断力により発生するクラックの進行だけでなく、乾湿の繰り返しによる劣化や化学変化、また、劣化により促進された疲労によることが多いと考えられるため、地下水位が高い箇所や排水が悪い箇所での水分の浸入の影響を受ける場合は、セメント安定処理路盤の採用適用は細心の注意を要する。

### 解 説

#### 【セメント安定処理採用時の材料規定】

セメント安定処理路盤の適用に関しては、多くの設計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。

- ・舗装設計便覧 (日本) : PI が 9 以下
- ・オーストラリア : PI は 10 以下がよい
- ・SATCC (南アフリカ共同体) : PI は 10 以下 等

舗装設計便覧 (日本) の根拠は、現地発生材をセメント安定処理する費用や維持・補修費を考慮し最も経済的となるのは PI が 9 以下であるとの考え方である。

以下セメント安定処理路盤の骨材規定を表 6.1 に示す。

表 6.1 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
舗装設計便覧 (日本)	「下層路盤の場合」 骨材は PI*が 9 以下、修正 CBR が 10 以上 「上層路盤の場合」 骨材は PI が 9 以下、修正 CBR が 20 以上 粒度分布 (通過質量百分率) 53mm-100%、37.5mm-95~100%、19mm-50 ~100%、2.36mm-20~60%、75 $\mu$ m-0~15%	コスト (セメント量) を考慮した規定である。
オーストラリア	下層路盤材のセメント安定処理に対する望ましい品質として細粒分の割合と PI で規定している。 ・ 0.425mm 通過分の割合 > 25% PI ≤ 10 ・ 0.425mm 通過分の割合 < 25% PI ≥ 10 も許容される	粒度分布と PI から、セメント、石灰の使い分けを規定している。 (図 6.3)
南アフリカ舗装ガイド ライン 2013	セメント安定処理については C1~C4 までの規格があり、それぞれの規格ごとに混合する骨材の規定が定められている。(表 6.5)	セメント安定処理は上層路盤には推奨されていない。



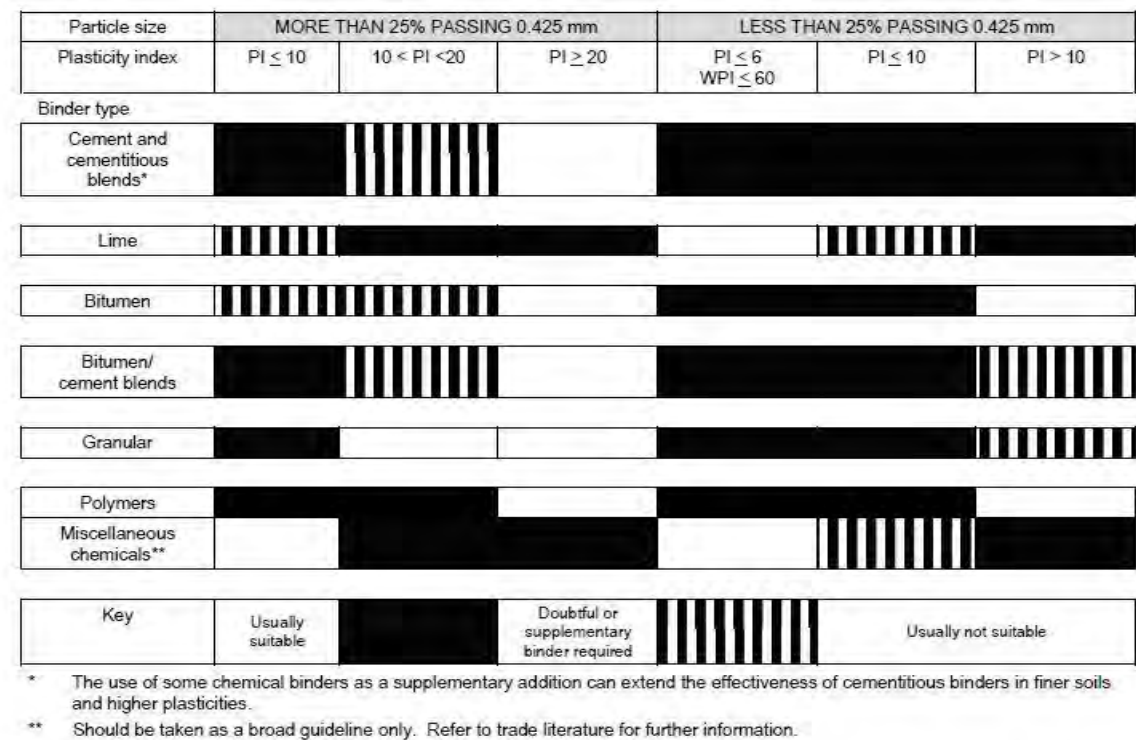
ORN31 1993	セメント安定処理に適した骨材は、ある程度粗骨材を含む連続した粒度の骨材を推奨している。やむをえない場合は、骨材の粒度が不良な場合やPIが大きい材料のセメント安定処理を許容している。 この場合、セメント含有量の増加によるコスト増、ひび割れ、リフレクションクラックの発生、中性化による劣化のリスクが高いとしている。	粒度分布とPIから、セメントと石灰の使い分けを規定している。 (表 6.2)
SATCC**舗装設計 基準 1998	セメント安定処理に適した骨材は、PIが10以下で一様な粒度分布がよいとしている。	現地発生材を使用する場合、性状を確認し性能をチェックする必要がある。
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。
カンボジア	CBR ≥ 20% 0.075mm 通過分 < 40% 0.425mm 通過分の PI < 20	

PI\* : Plasticity Index

「0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。

SATCC\*\* : Southern Africa Transport and Communication Commission(南部アフリカ運輸交通委員会) : SADC(南部アフリカ開発共同体) の運輸通信部会、上記設計基準は、南アフリカの CSIR(Council for Scientific and Industrial Research)が作成を担当。

オーストラリアの基準 (Austroads : 図 6.3)、ORN31(表 6.2)では、粒度分布とPIからセメント安定処理と石灰安定処理の使い分けを規定している。



出典 : Austroads, Guide to Pavement Technology, Part 4D Stabilized materia

図 6.3 効果の期待できる安定処理法 (オーストラリア)

表6.2 効果の期待できる安定処理法 (ORN31)

Type of stabilisation	Soil properties					
	More than 25% passing the 0.075 mm sieve			Less than 25% passing the 0.075 mm sieve		
	PI≤10	10<PI≤20	PI>20	PI≤6 PP≤60	PI≤10	PI > 10
Cement	Yes	Yes	*	Yes	Yes	Yes
Lime	*	Yes	Yes	No	*	Yes
Lime-Pozzolan	Yes	*	No	Yes	Yes	*

Notes. 1. \* Indicates that the agent will have marginal effectiveness  
2. PP = Plasticity Product (see Chapter 6).

また、セメント安定処理に関し、現地発生の不良材料を使用せざるを得ない場合には、施工段階でセメント量の増加と均質な混合の困難さ等により生じる問題を防止するために、表 6.3 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必要がある。

表 6.3 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	留意点等
ORN31 1993	一軸圧縮強さが比較的高い (3.0-6.0MPa) セメント安定処理材の使用も認めている。 セメント含有量の増加によるコスト増、ひび割れ、レフレクションクラックの発生、中性化による劣化のリスクが高いとしている。 劣化の試験方法として wet-dry brushing 試験を規定している。	粒度分布と PI から、セメントと石灰の使い分けを規定している。 (表 6.2)
AASHTO Guide 1993	乾湿試験 (ASTM D559-96)、凍結融解試験 (ASTM D560-96) を規定している。	
SATCC 舗装設計 基準 1998	一軸圧縮強さは、最大で 1.5-3.0MPa を推奨している。 ラボでの試験混合 (セメント量、水分量を考慮) による確認を推奨している。 劣化の試験方法として wet-dry brushing 試験を規定している。	現地発生材の使用は限られるが、性状を確認し、性能をチェックする必要がある。 乾湿の繰り返し劣化試験を規定 セメント量 (強度) を制限
ラオス Road Design Manual 2003	安定処理後の品質は 修正 CBR(7 日間水浸) : 60 以上 PI : 15 以下	乾湿促進による劣化が規定されていない。(タイの基準に準拠) セメント-石灰の安定処理である。
南アフリカ舗装ガイド ライン 2013	一軸圧縮強さ 6.0~12MPa, 及び 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
舗装設計便覧 (日本)	「下層路盤の場合」 一軸圧縮強度 (7 日強度、6 日養生、1 日水浸) : 0.98Mpa 「上層路盤の場合」 一軸圧縮強度 (7 日強度、6 日養生、1 日	

	水浸) : 2.9Mpa 試行による確認が必要	
オーストラリア	0.7Mpa < UCS < 1.5MPa (28日養生、4日水浸)	粒度分布とPIから、セメント、石灰瀝青の使い分けを規定している。(図6.3)
カンボジア	粒度の規定(表に示す) CBR ≥ 30% 0.075mm 通過分 < 2/3 0.425 通過分 0.425mm 通過分のPI < 20	

### 【日本の知見】

無償資金協力で実施された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(厚さ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)に以下のような知見がある。NEXCOの設計要領第一集(舗装編)では、

「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装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の根拠は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」では
- ・セメント量の多いソイルセメントを路盤に用いたアスファルト舗装には破損したものが多く、
  - ・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/cm<sup>2</sup>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/cm<sup>2</sup>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。

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/cm<sup>2</sup>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舗装表面より10cm以下に用いることとした、と記述されている。

- b) 「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。



【オーストラリアの知見】

オーストラリアでは、上層路盤にセメント安定処理を施す場合のアスファルト舗装厚は 175mm 以上とするとしている。また、必要に応じてセメント安定処理層とアスファルト層の間にチップシールを施すことが多い。これは、セメント安定処理の養生、滑り防止とリフレクションクラックの防止を兼ねている。(図 6.4)



図 6.4 セメント安定上層路盤上のアスファルト舗装

【南アフリカの知見】

南アフリカでは、重交通路線に対してセメント安定処理路盤を上層路盤に使用することは、以下の表に示すようにほとんどの場合について推奨されていない。(表 6.4 の Base ; 上層路盤、Cemented;セメント安定処理、の欄参照)

表 6.4 セメント安定処理の適用範囲

Pavement Type		Road Category & Design Traffic Class								Reasons for Exclusion
Base	Subbase	A		B			C			
		ES100	ES30	ES10	ES3	ES1	ES3	ES1	< ES0.3	
Concrete	Granular	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Granular subbases prone to erosion at joints and cracks
	Cemented	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Granular	Granular	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Uncertain behaviour for high traffic demand
	Cemented	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Hot mix asphalt	Granular	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	×	Cost effectiveness
	Cemented	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	×	
Cemented	Granular	×	×	×	×	×	×	×	✓	Cracking, crushing, rocking blocks and pumping unacceptable
	Cemented	×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	
BSMs	Granular	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Cost effectiveness, permanent deformation

凡例：✓使用可、×使用不可

ES:ESAL 値による舗装設計区分、ES100:30-100x10<sup>6</sup>, ES30:10-30 x10<sup>6</sup>, ES10: 3-10 x10<sup>6</sup>, ES3:1-3x10<sup>6</sup>等

南アフリカでは、セメント安定処理路盤については C1~C4 の分類があり、それぞれの規格毎に混合する骨材は表 6.5 のとおり規定されている。

表 6.5 セメント安定処理路盤の分類 (TRH14)

分類	C1	C2	C3	C4
安定処理に用いる骨材の分類	G2	G2/G3/G4	G5/G6	G%/G6
安定処理に用いる骨材の品質				
粒度 (ふるい, mm)	骨材の公称最大粒径 (通過百分率)		最大粒径は 1 層 締固め厚の 2/3 または、63mm の小さい値の いずれか以下	
		38mm		
38	100			
37.5	95 - 100			
28	90 - 100	100		
26.5	78 - 98	88 - 98		
20	75 - 95	85 - 95		
19.0	68 - 88	74 - 86		
14	65 - 85	71 - 84		
5	48 - 62	45 - 64		
4.75	45 - 60	42 - 60		
2.00	41 - 53	27 - 45		
0.425	30 - 47	13 - 27		
0.075	5 - 12	5 - 12		
破碎強度 ACV(MAX) または 10% FACT (min) *	29% 110kN		適用しない	
扁平率	最大 35%		適用しない	
Sand equivalent	最大 30%		適用しない	
安定処理材の強度				
分類	C1	C2	C3	C4
一軸圧縮強度(MPa)	6 ~ 12	3 ~ 6	1.5 ~ 3.0	0.75 ~ 1.5
安定処理後の Atterberg Limits (PI)	適用しない		最大 6	

注) : \* ACV(aggregate crushing value)は硬い材料に向く、軟岩には 10%FACT を適用ことがある。

出典 : TRH14 (Guidelines for Road Construction Materials, SANRAL, South Africa)

また、セメント安定処理に関しては、以下の品質管基準(表 6.6) が示されている他、幾つかの試験 (劣化試験、間接引張試験等) が提案されている。

表 6.6 セメント安定処理材の必要に応じて適用する規格

分類	C1	C2	C3	C4
安定処理に用いる骨材の品質	最低 G2	最低 G4	最低 G5	最低 G6
安定処理後の PI	Non-plastic	Non-plastic	最大 6	最大 6
一軸圧縮強度(MPa)	最低 6	最低 4	最低 1.5	最低 0.75
間接引張強度(KPa)	-	-	最低 250	最低 200
乾湿耐久性* (%ロス)	最大 5	最大 10	最大 20	最大 30

- 注) 1. 結晶質岩の PI は Non-plastic  
 2. 一軸圧縮強度@100%MDD(Maximum dry density)  
 3. 引張り強度@100%MDD(Maximum dry density)  
 4. 乾湿耐久性試験\*は、SANS 3001- GR55 による。

\*乾湿耐久性試験：乾湿ブラッシング試験

セメント安定処理の長期耐久性を確認する試験としては、乾湿ブラッシング試験と促進炭酸化試験がある。

湿潤地域においては、乾湿ブラッシング試験 (右写真を参照) が行われる。この試験は乾湿を繰り返すため、乾燥状態での炭酸化の影響も含まれる。



## 7. 問題土対策

### (1) 問題土の存在による破損原因

道路工事を行う上で問題となる土として、分散性粘土 (Dispersive soil : カンボジア、ラオス、ミャンマー、オーストラリア、USA 等に存在)、膨張土 (Expansive soil : 南アジア、東アフリカ、オーストラリア、USA 等に存在) 等があり、一般に「問題土 (Problem Soil)」として扱われる。

分散性土を含む盛土材、法面材を使用した場合、水分の浸入により土が水に溶解し、ガリ浸食、崩壊や「ドラゴンホール、または、トンネル侵食やシンクホール」と呼ばれる穿孔と陥没が発生するものであり、日本国内では見かけないものである。

膨張土は、乾燥状態では硬く支持力も大きいですが、水の浸入により膨潤すると支持力を失う。初期には舗装に縦クラックが発生し、徐々に舗装の破壊が進行する。

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、これらの問題土が確認された場合には適切な対応を図る必要がある。

## 解 説

### 【分散性土とは】

分散性土とは、「通常の粘土に比べ、土中の間隙水中に溶け込んでいるナトリウムイオンの含有量が多く、個々のコロイド粒子がほとんど静止した水中に浮遊していくことによって侵食されるような土」と定義される。分散性土による土壌侵食は、一般的に 6.0%以上の交換性ナトリウムを含む土壌において発生する。このようなナトリウム土壌は非塩水と接触すると、水分子が土壌小板の間に浸透し、凝縮体から分離する程度まで膨張することで土壌が分散していく。

分散性土は、降雨や洪水に対して溶解するような性状を示し、侵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、侵食によるガリ、崩壊や「ドラゴンホール (ドラゴンホールはカンボジアでの呼び名でトンネル侵食、シンクホールともいわれる)」と呼ばれる穿孔が発生し、道路の品質を損なう大きな原因のひとつとなっている。



写真 ドラゴンホール



写真 ガリ侵食



【膨張土とは】

ブラックコットンソイルに代表される膨張性土は、乾燥状態においては硬く支持力も大きいですが、含水量が増すと粘土状となり膨潤し、乾燥時の強さを完全に失ってしまう。湿った状態から乾燥する過程において収縮クラックが生じ、道路建設上、深刻な問題となる材料である。膨張土については、AASHTOの土質分類の A-7-6 に分類される。また、膨張度の高いものになると 30%を超える体積変化が見られる。構成物質の特徴として、黒灰色にもかかわらず有機性成分の量が少なく、モンモリロナイトのような膨張粘土鉱物が多く含まれる。また、アルカリ反応性が高い。



写真 湿った状態のブラックコットンソイル（粘土状）



写真 乾燥状態のブラックコットンソイル(CBR 調査等では高強度を示す場合がある)

なお、膨張土による道路の破壊の形態は、ほぼパターン化されており、初期に舗装端部で縦クラックが発生し、その後、そこを弱点として舗装の破壊が進行する。以下に示す写真は、膨張土により破損に至った舗装である。



写真 地方部幹線道路  
膨張土（ブラックコットンソイル）の影響により、舗装端部に縦クラックが発生したもの。  
出典：SAPEM Chapter-6



写真 南アフリカの事例（膨張性土により盛り上がったカルバート上の道路）  
出典：SAPEM Chapter-6

## (2) 問題土対策

<p>問題土（膨張土、分散性粘土）の判定方法及び対策工については、問題土が存在する国で基準や文献に記載があるので参考となる。</p> <p>分散性土の分散性については、室内の簡易浸水試験により把握することが可能である。分散性土への対策工としては、分散性土が新しい水(降雨等)に接してイオン作用によって溶解することを防ぐために、盛土表面近傍に、セメント混合土や良質土を用い、透水性を抑えた遮水層（路肩など）を設置する。</p> <p>膨張土の判定は、PI（塑性指数）によりある程度判定できるが、膨張性試験による判定が望ましい。膨張土への対策工としては、遮水、置き換え、キャッピング層の設置（路盤と路床の間）、石灰安定処理等の例がある。</p>
--

## 解 説

### 【問題土に関する各国の基準】

各国の舗装基準に記載されている問題土の判定法、対策工を表 7.1 に示す。

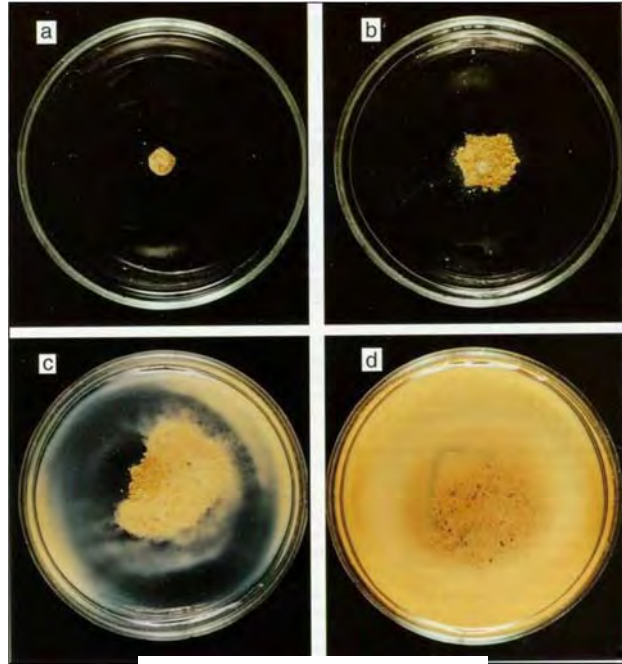
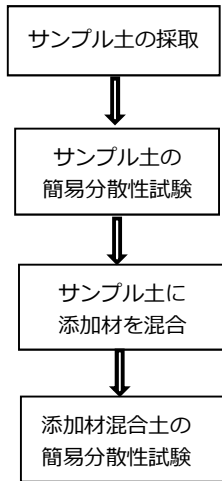
**表7.1 各国の問題土に関する基準**

基準名・作成年度	判定法	対策工
オーストラリア 舗装ガイドライン	膨張土は PI によりある程度判定できるが、膨張性試験での判定が望まれる。 (表 7.2) 分散性土の判定に関する文献が多い。	州により、膨張土が存在するため対策の基準が整備されている。(図 7.3) 分散性土への対策工に関する文献が多い。(図 7.2)
舗装設計便覧 道路土工－軟弱地盤 対策工指針 (日本)	軟弱地盤対策工指針に、高有機質土、有機質土、火山灰質粘土等の高含水比粘性土が挙げられている。水分含有量、膨張率、N 値などが含まれる。	対策工は、路体安定の検討を実施したうえで、最もコストが安くなるように路床改良の程度を決める。
南アフリカ舗装ガイドライン 2013	膨張土の判定は粒度、PI、膨張度を測定して行う。PI、粘土含有量によりある程度判定できる 分散性土の判定試験として、化学試験等いくつかの方法がある。	膨張土への対策工として、置換え、遮水層の設置などがある。(図 7.5) 分散性土に対する対策工として良質土でカバーする方法、カルシウムイオンの土壌による方法がある。
タンザニア 舗装基準 2001 材料試験 2001 CML Test 1.9	通常の土質試験 (PI が 20 以上) 等からブラックコトン等の膨張土の疑いのある土壌について追加試験、詳細な膨張性試験を行い、膨張性により膨張土を 3 種類に分類する。(表 7.3)	膨張土に対する対策工は、膨張性の程度によりコストを考慮して置き換え工が提案されている。(図 7.4)

出典：Pavement structural design of Austroads guide to pavement technology, Queensland, Australia  
South African pavement engineering, chapter 6  
Pavement and Materials Design Manual, chapter 6 Problem Soils, 1999, Tanzania

【分散性土の判定】

カンボジアで JICA が実施した試験工事では、現地技術者が簡易に分散性土を見分けることができる簡易分散性試験を採用し、原法面土、及び、セメント材混合土の分散性を判定している。試験工事現場からサンプル土を採取し図 7.1 の手順で、分散性の簡易判定を行っている(写真参照)。採用されている対策工法は化学的なものであり、ナトリウムイオンを含む土壌を添加材(石膏、セメントおよび石灰;硫酸カルシウム)を混合することにより、ナトリウムイオンを結合力の強いカルシウムイオンに置き換える方法である。



分散性の程度の判定基準  
a: 無、b: 小、c: 中、d: 大

図 7.1 試験の手順

写真 分散性の判定基準

出典：土木施工、2016,12月号、カンボジアの道路施工における分散性土対策

■ 南アフリカの判定方法 (SAPEM Chapter 6)

南アフリカの舗装ガイドラインには、分散性の試験方法に、化学的試験、ピンホール試験等いくつかの試験方法があるとしている。

- ・化学的試験：交換し易いナトリウムの含有率を測定する試験
- ・ピンホール試験：締固めた土壌に指した 1mm のピンホールから水を流し侵食穴を形成するかどうかを見る試験

【分散性土壌対策の事例】

盛土材に分散性土が含まれる可能性がある場合、路体への浸水を防止するため、盛土表面近傍に、セメント等の混合土や良質土を用いて透水性を抑えた遮水層(路肩など)を設置し路体を保護する構造とする。

■ JICA のカンボジアでの試験工事

試験工事で採用された化学的対策工法は、ナトリウムイオンを添加材(石膏、セメントおよび石灰；硫酸カルシウム) を使用してカルシウムイオンに置き換える方法であるが以下の成果が得られている。

- ・ 添加剤 (セメントおよび石灰、石膏) は、1~3%の添加量で分散性を防止する効果がある。
- ・ 試験工事は、添加剤の混合率、混合時間等を変化させて行った。改良厚は、0.5m または 1.0m。改良効果は混合時間よりも添加剤混合率に依存する。例えば、添加材混合率が 2,5%で混合時間が 3.3 分/m<sup>3</sup> 以上の場合、改良効果率 100%。
- ・ 試験工事の追跡調査の結果、ドラゴンホールの多くは、セメント改良していない表土に発生したが、一部のセメント改良土部分においてもドラゴンホールが発生していた。これは混合が十分でないことが原因と考えられる。

■ オーストラリア、クイーンズランド州の事例

良質土を一定の厚さ吹き付ける方法の例を図 7.2 に示す。

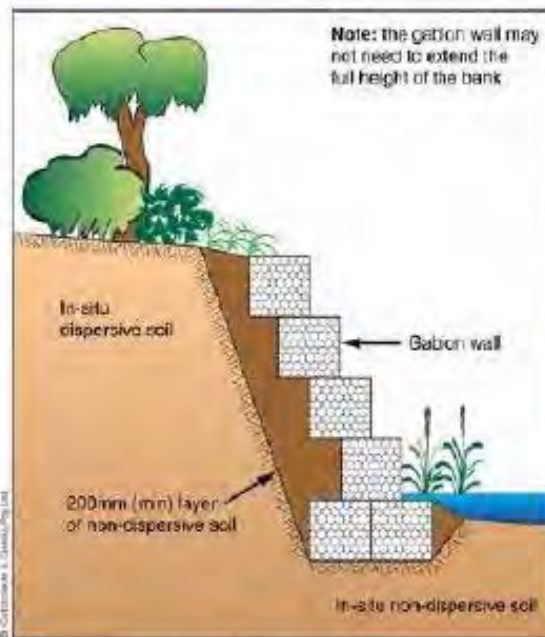


Figure 18 – Gabion stabilisation of gully banks containing dispersive soils

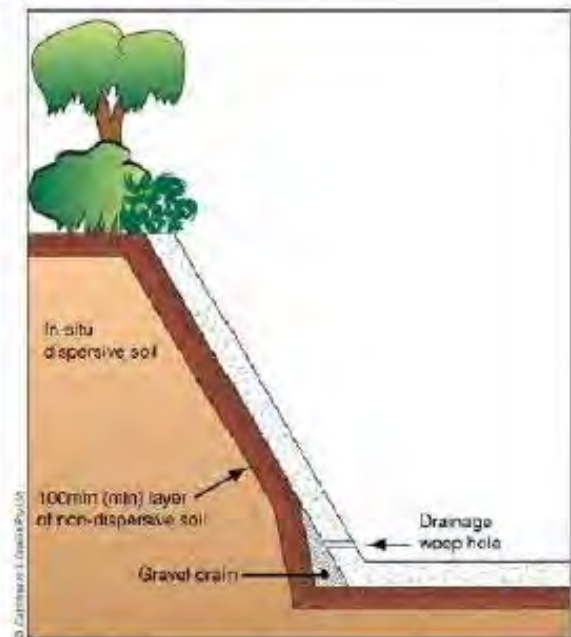


Figure 19 – Placement of hard linings over dispersive soils

出典：オーストラリア、クイーンズランド州文献

図 7.2 分散性土壌対策事例：良質土を吹きつけ、更に蛇籠、コンクリートライニングを設置

【膨張土の判定】

■ オーストラリアの判定方法

オーストラリアの Austroads 舗装ガイドラインの舗装構造設計の項 (Part 2 Pavement Structural Design) では、膨張土の判定基準は表7.2である。PI によりある程度判定できるが、膨張性試験で膨張率を求めて判定することが望まれる。

表7.2 オーストラリアの膨張土の判定基準

膨張性	液性限界 (%)	塑性指数 (PI)	PI x % < 0.425mm	膨張率*
Very high	> 70	> 45	> 3200	> 5.0
High	> 70	> 45	2200 - 3200	2.5 - 5.0
Moderate	50 - 70	25 - 45	1200 - 2200	0.5 - 2.5
Low	< 50	< 25	< 1200	< 0.5

\*)膨張率の測定は、OMCでStandard法による98%MDD(modified dry density)、4日間水浸、4.5kgサーチャージ  
出典：Austroads, Guide to Pavement Technology, Part 2 Pavement Structural Design

■ タンザニアの判定方法

タンザニアの舗装設計マニュアル (Pavement and Materials Design Manual 6. Problem soils) では、PI により膨張土の疑いのある土壌について詳細な膨張性試験を行い膨張率により膨張土を3種類に分類する。(表 7.3)

表7.3 タンザニアにおける膨張土の分類

膨張率 $\epsilon_{ex}$	分類
< 20	Low
20 - 50	Medium
> 50	High

タンザニアの膨張率は、次式より算出する。

$$E_{ex} = 2.4 \times W_p - 3.9 \times W_s + 32.5$$

ここで、 $W_p = (\text{塑性限界}) \times (425\mu\text{m 通過量}\%) / 100$

$W_s = (\text{収縮限界}) \times (425\mu\text{m 通過量}\%) / 100$

■ 南アフリカの判定方法 (SAPEM Chapter 6)

南アフリカでは、膨張土の判定のために、以下の試験を実施することになっている。

- ・ 粒度分布
- ・ PI (塑性指数)
- ・ 膨張度

膨張土の初期判定は PI と粘土含有量を指標としている。



【膨張土対策】

膨張土による道路建設上の問題を抱える各国の対策案を表 7.4 に示す。

表 7.4 膨張土対策工基準

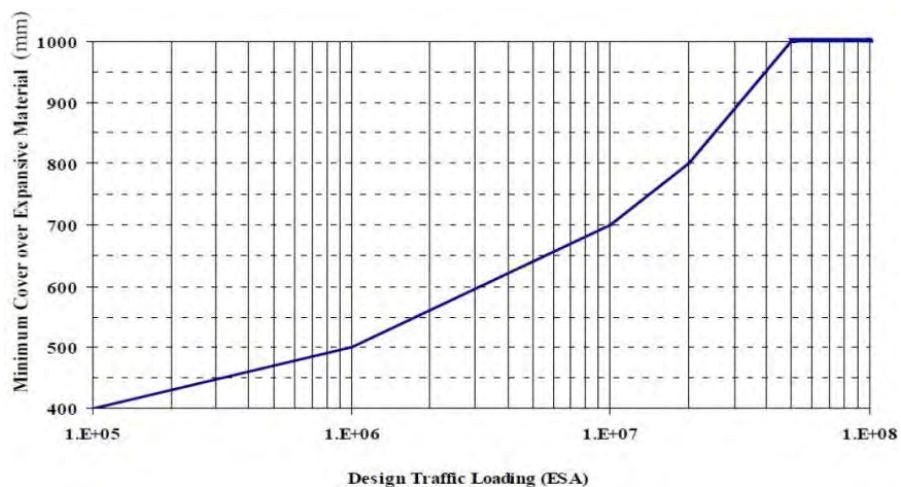
対象国	推奨対策案
オーストラリア	・基準により最少 150mm のキャッピング層の設置 (Guide to pavement technology) ・膨張性が高い場合、交通量に応じて 400mm~1000mm の盛土層の設置 (図 7.3 参照) (Vicroads,2010)
南アフリカ	置換え (具体的な数字は無い) ←水分量変化の抑制 置換え+遮水層 (図 7.5 参照)
タンザニア	路肩シール、法面勾配 1:6 以下 膨張性の高い場合、0.6~1.0m 以上の盛土の設置 盛土+置換え (図 7.4 参照)
エチオピア	線形改良, 石灰安定処理 掘削/置換え←水分量変化の最小化 置き換え+遮水シート (図 7.7 参照)
ジンバブエ基準	700mm の置換え
ケニア基準	1000mm の置換え
インドケーススタディ	1000mm の置換え
SATCC	1000mm の置換え
アメリカ	最大 1500mm の置換え

(調査団作成)

■ オーストラリアの基準 (Austrodes)

舗装ガイドラインの舗装構造設計の項では、膨張土への水の浸入を防止するために下層路盤との間にキャッピング層を設置するとしている。キャッピング層の厚さは、150mm 以上とする。膨張率、交通荷重により舗装表面の変形を抑え乗り心地を確保するために、盛土層を設置する。

クイーンズランド州が用いている上記舗装構造設計の補足基準では、膨張性は大きい場合で詳細な土質調査が実施されていない場合は、図 7.3 により盛土厚さを決めることができるとしている。



出典 : Austroads, Guide to Pavement Technology, Part 2 Pavement Structural Design Supplement of Queensland

図 7.3 膨張性の高い膨張土の盛土層の厚さ

■ タンザニアの基準 (Pavement and Materials Design, 6 Problem Soils)

タンザニアでは、TANROADS の舗装設計マニュアルの中に、ブラックコットン対策工が表 7.5 のように示されている。

表 7.5 分類別に表示される対策工(タンザニア)

膨張率	対策工	
	幹線道路 (舗装道路)	その他 (舗装道路)
Low $\epsilon_{ex} < 20$	路肩シール	
	法面勾配 1:6 以下	-
Medium $\epsilon_{ex} < 20 - 50$	図 7.4 上段参照 路肩シール、法面勾配: 1:6 以下	
	盛土厚: 1.0m 以上	盛土厚: 0.6m 以上
High $\epsilon_{ex} > 50$	図 7.4 中段及び下段参照 置換え厚: 0.6m 以上、盛土厚: 1.0m 以上、路肩シール、法面勾配: 1:6 以下	
	路肩幅: 2.0m 以上	-
	代替案: 無	図 7.4 上段 参照 路肩シール、路肩幅: 2.0m 以上、盛土厚: 1.0m 以上、法面勾配: 1:6 以下

表 7.5 の対策工を図化したものが図 7.4 である。最上段の図は、膨張率 (Low) に対応しており、盛土の高さは考慮されていない。下 2 段の図は、膨張率 (Medium) と膨張率 (High) のブラックコットンに対する対策工であり、盛土の高さ別に対策が規定されている。

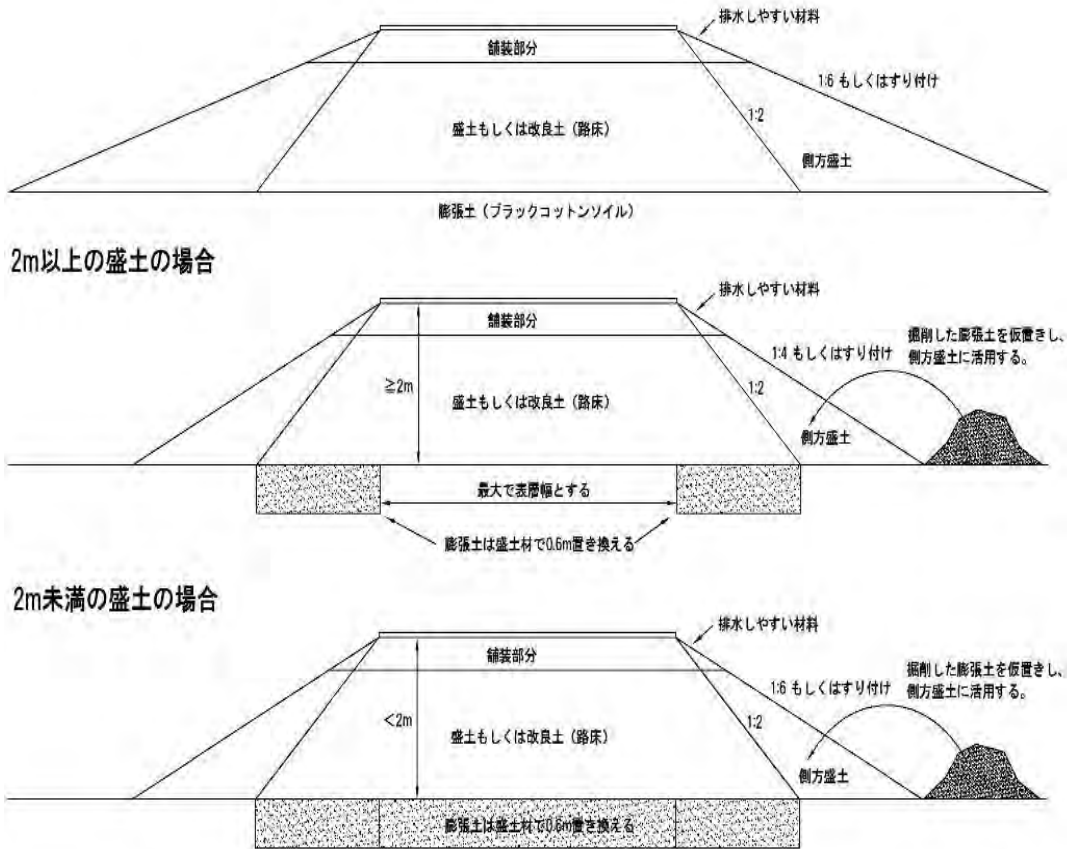


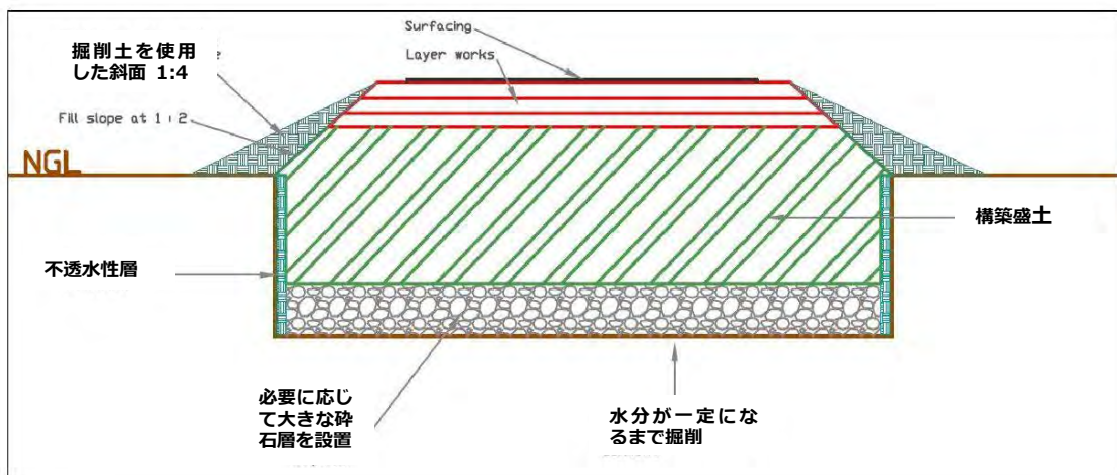
図 7.4 膨張土対策工 (TANROADS 舗装設計マニュアル)

■南アフリカの基準 (Pavement Engineering Manual, 6 Road Prism and Pavement Investigation)

南アフリカでは、舗装マニュアルの中に、ブラックコットン対策工の成功例として以下の方法が示されている。(図 7.5)

- ・含水率が一定になる(含水比の変化が生じない点) まで掘削を行う。
- ・交通荷重の増加に応じて盛土高を高くする。
- ・膨張土の不安定性を取り除くため、最下層に砕石を設置した後良質土(透水性が低く締め固め易いもの)で埋め戻す。
- ・掘削した縦端面に不透水性層を設置する。

この方法の眼目は、水の局所的な集中、水の横方向、縦方向への浸透を防止することである。また、掘削土は盛土の斜面勾配の緩和に使える。



出典 : SAPEM Chapter-6

図 7.5 南アフリカにおける膨張土の対策例

■エチオピアの事例

我が国の無償工事で実施されている「エチオピア国第四次幹線道路改修計画」では、AAU (Association of American Universities) に加盟大学の土質学の教授へのヒアリング結果を対策工に取り入れている。雨季および乾季の水分量の変化により、ブラックコットン層で含水比の変化が生じるのは(膨潤し強度を失うのは) 地表から 3m までであり、特に、影響の大きい範囲は地表から 1.5m までとのことである。(図 7.6)

エチオピアの無償資金協力事業における膨張土への対策例を表 7.6、図 7.7 に示す。

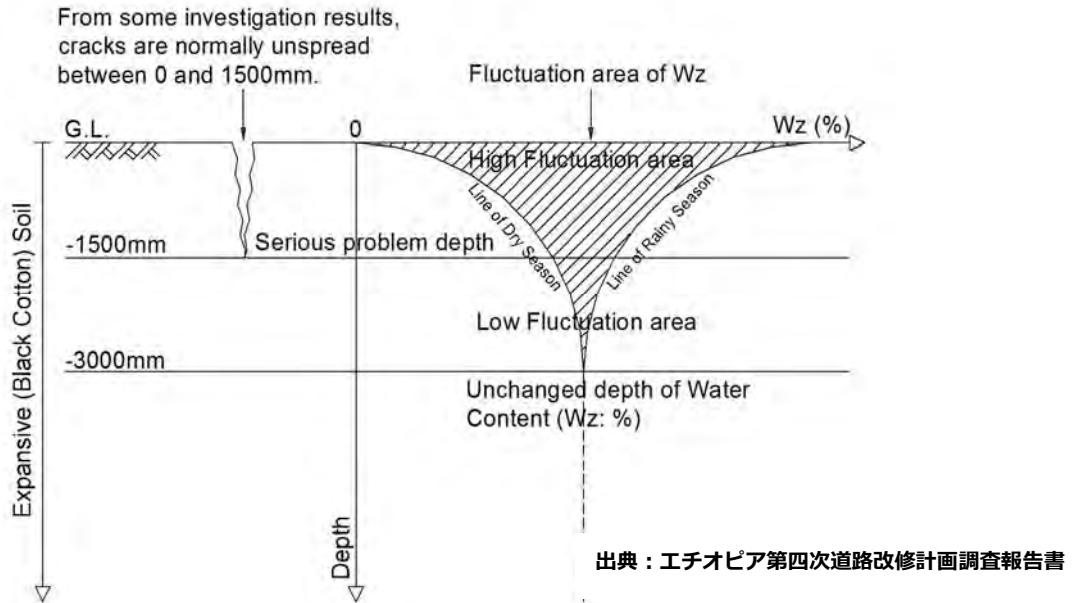


図 7.6 ブラックコットンソイル層の含水比の変化

エチオピアにおける膨張土の対策例を表 7.6、図 7.7 に示す。

表 7.6 エチオピアにおける膨張土の対策例

プロジェクト	対策例
A	800mm の置換え
B	500~1500mm の置換え 低密度ポリエチレンシートによる縦壁の設置
C	1000~3000mm の置換え 遮水シートの縦壁への設置
D	800~1500mm の置換え
エチオピア基準 (参考)	良質材料 (CBR5 以上の材料) による 1000mm の置き換え。 下層に残る膨張土については、含水比の変化が生じないように対策する。

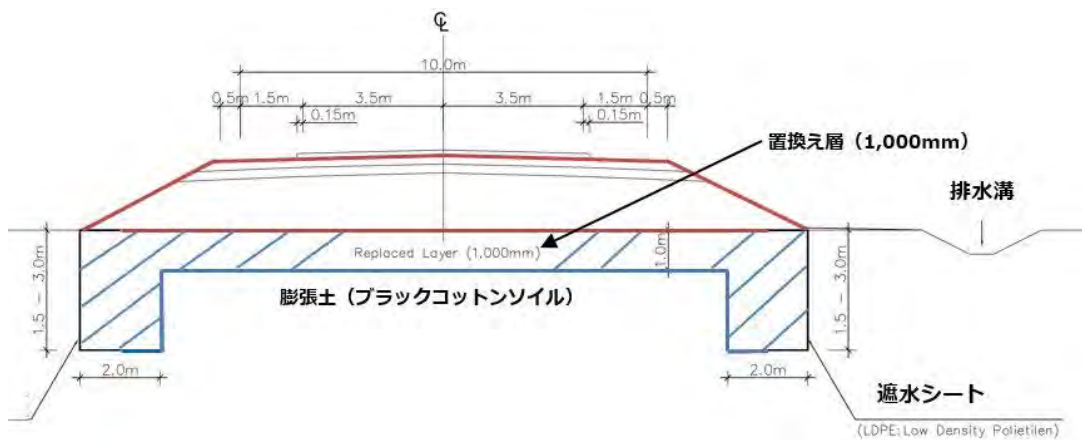


図 7.7 エチオピアにおける膨張土の対策例

【施工時に発生した特殊土の管理】

現場において設計に含まれない特殊土が発生し、その対策工を実施した場合には、契約処理上の手続きが必要でありその記録を詳細に残しておくことが必要である。これは、瑕疵期間のみならず供用後に問題土区間で不具合が発生した場合の対策工実施の証明、及び対策工の妥当性の検証に用いられる。詳細に残す記録としては、以下のものが想定される。

① 施工方法

施工方法の妥当性を示すために、対策工実施の状況を写真で記録しておく。特にブラックコットンソイル等の膨張性粘土の場合、掘削区間をシート養生するなどして、掘削部の含水比の変化を防ぐことが重要である。また、同様の理由により、埋め戻し作業も極力早く（可能な限り1日以内）実施することが望ましい。このような場合には、施工状況等の記録を写真により残すことが重要である。

② 掘削土量

問題土と判定された土を置き換える場合には、掘削土量の記録を残しておく。前述のように、掘削後に早急に埋め戻す必要がある場合には、コンサルタントやクライアントの立ち会いをその都度要求することが困難なことも予想される。このため、50m程度毎に掘削断面の計測を写真撮影とともに行い、平均断面法により掘削土量を把握する。

③ 品質管理

品質管理としては、埋め戻しに用いる良質材の品質記録（粒度分布、強度、必要に応じて透水係数等）、施工時の転圧管理（巻き出し厚、密度管理等）記録を残しておく。特に、埋土し・転圧作業が急がれ、通常の砂置換法による管理では時間がかかる場合には、RI計器(放射線による方法)を用いた管理が推奨される。

④ 残土処理

問題土と判定された土の中には、道路建設上は好ましくないが、農業用の適土となるものがある（例えばブラックコットンソイル）。このような土の処理については、現地政府及び地元代表者等と協議を行い、残土処理の方法を決定する。また、処理方法についての合意文書を記録として残しておくことが望ましい。

## 付属資料 1 舗装施工監理／施工管理

現場監理業務、あるいは現場管理業務は、現場所存国、プロジェクト内容、施工業者、常駐監理者、現場状況などによりその内容は全く異なる。しかし、コンサルタントとしての監理業務と施工業者が実施する現場管理業務は明確に分離する必要がある。

JICA では、新規案件に適用するコンサルタントの契約フォームを策定し、JICA、施主、コンサルタントの役割と責任について明確に規定した。

この他、南アフリカの SAPEM (South Africa Pavement Engineering Manual) では、コンサルタントと施工業者の役割を付表 1.1 のように規定している。

付表 1.1 Quality Management versus Quality Control

Quality Management (Contractor)	Quality Control (Engineer)
Prevents problems (問題の防止)	Reacts to problems (問題への対応)
Does the right thing (正しい行動)	Does the right thing (正しい行動)
Controls activity (管理行為)	Provides end inspection (最終確認)
Involves all people in the organization (全ての関係者が含まれる)	Places reliance on quality control specialist (品質管理者に依存する)
Places responsibility for quality with the people who do the work (作業を行う者に品質に責任を持たせる)	Client supervision (クライアントの代理監理)

出典 : South Africa Pavement Engineering Manual

調査・設計段階から得られたプロジェクトの全ての情報や工事の発注文書内の技術仕様書を正確に現場に伝達し、その情報や仕様通りに施工されているかを把握し、最終目的に合致するように現場において適切な状況に監督 (Supervise) することがコンサルタントの監理業務である。これに対し設計図書 (仕様書や図面など) や伝達された情報通りに施設を造り上げるために施工業者が実施する工事全体の運営が現場管理業務であり、「工程管理」、「品質管理」、「原価管理」、「安全管理」の四つを施工管理と呼ぶ。施工業者は、施工管理の方法などを具体的に示した施工管理計画書を作成し、コンサルタントはその内容をチェックし確認する。

一方、オーストラリア、フランスやアメリカは、直営(発注者と請負者の2者関係)が原則であり、特殊構造物や特殊な検査などは一部外部委託している。イギリスや南アフリカでは、施工監理は外部委託している(発注者、コンサルタントと請負者の3者関係)。

【舗装施工便覧】

日本における舗装技術基準を統一して最初にまとめたものとして、日本道路協会が発行する「アスファルト舗装要綱」（初版 1950 年）、「セメントコンクリート舗装要綱」（初版 1955 年）がある。これら要綱は社会のニーズや技術の進歩に伴い順次改定され、2001 年にはそれまでの要綱を引き継ぐ形で「舗装設計施工指針」「舗装施工便覧」（ともに日本道路協会）が発行されている。これらの舗装要綱類には舗装工事の管理に関する技術的な基準が示されており、近年の舗装要綱類の記述では、設計図書の基準を満たすことを目的として「発注者」が「管理」を行い、発注者が「検査」を行うものとされている(付図 1.1)。

管理は基準試験、品質管理、出来高管理からなり、検査は品質検査および施工状況の検査からなる。

管理および検査の実施フロー	主たる実施者	
	発注者	受注者
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">                     基準試験                      ・試験の実施                      ・試験成績表                 </div>		○
↓		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">                     基準試験結果の確認                 </div>	○	
↓		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">                     作業標準の作成                 </div>		○
↓		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">                     施工                 </div>		○
↓		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">                     出来形・品質管理                      ・試験・測定の実施                      ・作業標準によるチェック                 </div>		○
↓		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">                     検査                 </div>	○	

付図 1.1 発注者と施工業者（受注者）の責任分担（舗装施工便覧）

基準試験は、使用する材料、アスファルト混合物の配合や施工の方法が適正なものであるかどうかを確認するためのもので、通常、施工開始以前に行う。材料の品質を確認する試験、基準密度のような基準値を得るための試験、作業標準を得るための試験施工等がある。原則として、基準試験は受注者が実施し、その結果について発注者が確認・承諾する。

出来形および品質管理は、設計図書に合格する舗装を経済的に築造するために実施するもので、受注者が施工中に自主的に実施する。

検査は、仕様書および設計図書に定められた条件を満足する舗装ができているかどうかを確認するために行うもので、原則として抜き取り検査で行う。

【オーストラリア、Austroads】

オーストラリアの舗装工事の品質管理については、Austroads の Guide to Pavement Technology の Part8 Pavement Construction の Quality Assurance に品質管理の概要が示されている。

具体的な管理基準については、

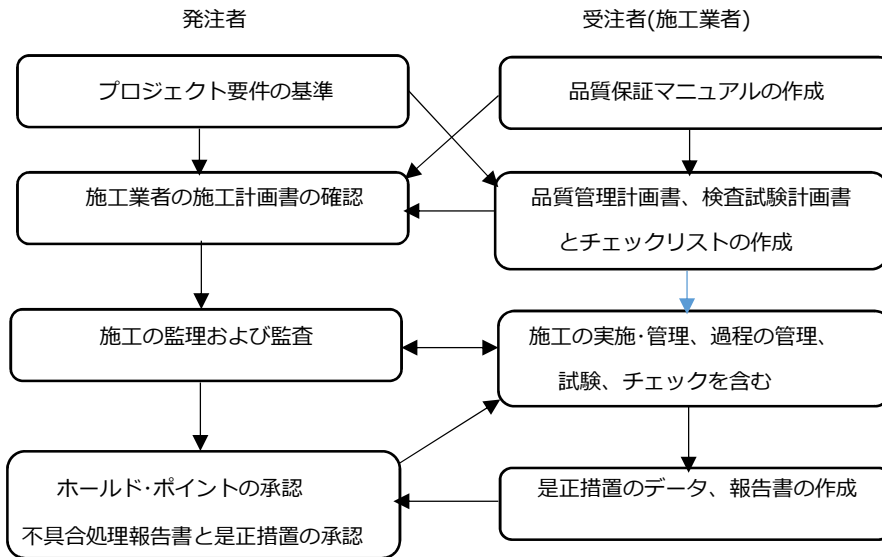
- Part 4B Asphalt (材料、配合設計、As 製造等)
- Part 8 の Asphalt Pavements and Surfacing (As 施工)
- Austroads, Guide to Pavement 他 Part (セメント安定処理、特殊土,CBR など)
- 各州の技術基準 (品質管理、材料、配合設計、As 製造、As 施工)

に示されている。

オーストラリアでは、施工業者が品質計画、検査・試験計画を作成する。施工業者は各社の品質保証マニュアルに沿って、品質管理計画を作成する。契約により、多くの場合、品質管理計画書の提出を義務づけられる。品質管理計画書は、下記の内容を含む。

- 品質管理体制
- 工程、作業方法
- ホールドポイント (契約書により規定)
- チェックリスト
- 検査、試験計画
- 立会い試験記録

施工業者 (Contractor) と発注者 (Principal) の責任分担は、付図 1.2 に示すとおりである。

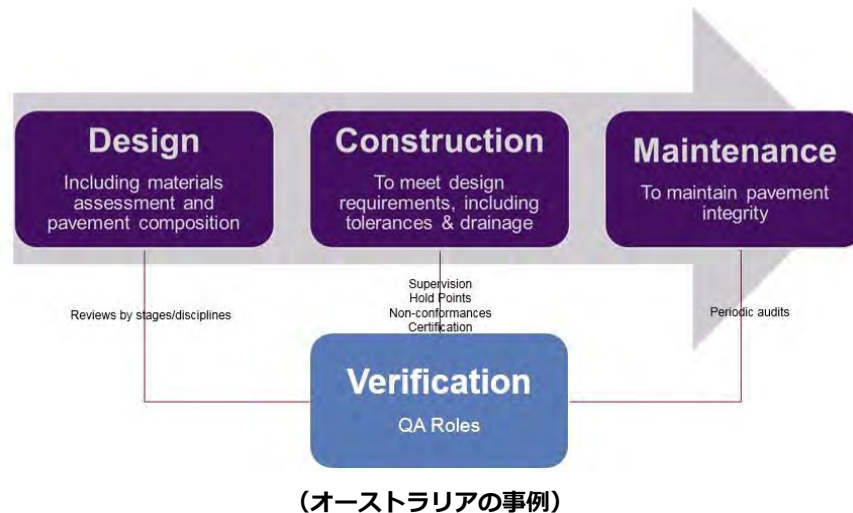


出典 : Austroads, Guide to Pavemen、Part8 Pavement Construction

付図1.2 発注者と施工業者の責任分担 (オーストラリアの事例)

発注者は、基準の設定、施工業者の計画のチェック、作業の監理と立会い、不具合処理要領の承認等を行う。発注者に代わってコンサルタントが品質保証 (Verification) を行うことがある。(付図1.3)





付図1.3 コンサルタントの品質保証(Verification)

【南アフリカ】

南アフリカの舗装工事の品質管理については、South Africa Pavement Engineering Manual (SAPEM) の Chapter 13 Quality Management に概要が示されている。この Manual は技術者が参考とする便覧の位置づけであり、実際の管理基準については COLTO (Committee of Land Transport Officials) Standard Specifications (1998)の8200番と8300番に示されている。

建設期間中の品質管理については、前述のとおり建設会社 (Contractor) と権限の与えられたコンサルタント (Engineer) の2者による管理システムが採用されている。南アフリカの SAPEM では、施工業者の役割を「Quality Management」、コンサルタントの役割を「Quality Control」と定義している。

コンサルタントの役割については、発注者の代理人として以下の活動をカバーすることが「SAPEM」の中で求められている。

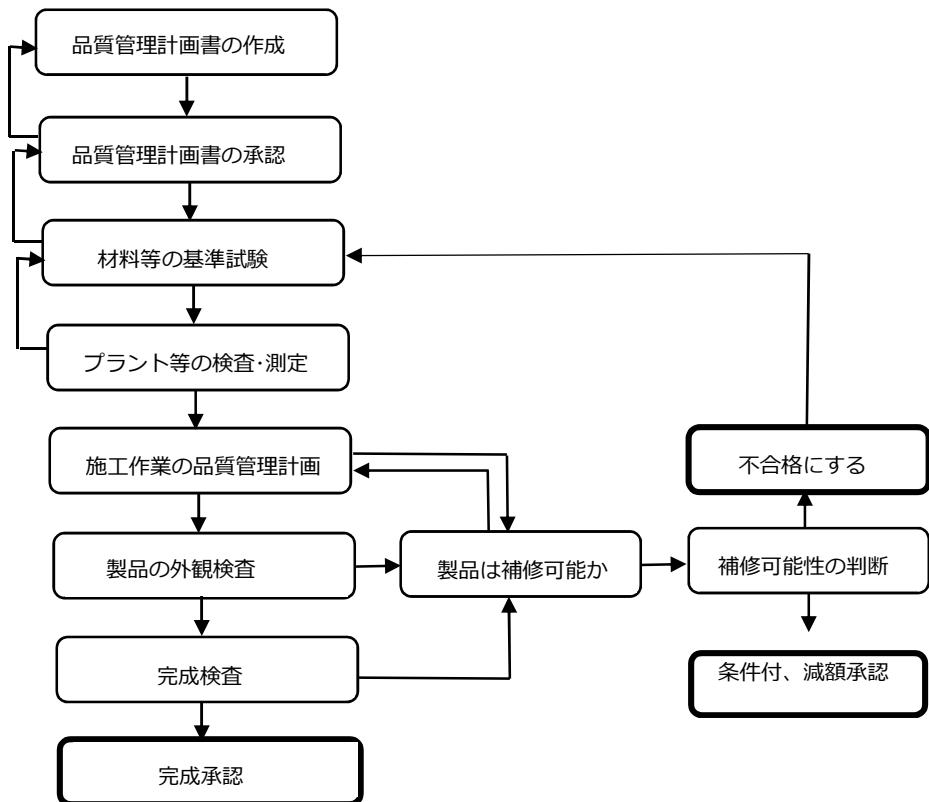
- 契約上のクライアントの方針
- プロジェクト組織
- 契約行為に対する責任と権限  
(ホールドポイントの設定と解除、監理と検査、不適合排除)
- 手続き  
(契約管理、紛争、契約金の変更、不適合の確認と是正、検査を含む監理、現場協議、購入とリリース、ホールドポイントと立会ポイント、記録、トレーニング)
- 全ての関係者が要求する工事工程
- 契約に基づく検査スケジュール

また、コンサルタントの実施する施工監理にメンバーとして参加する「materials supervisory staff」については、特に役割の重要性について記載されており、以下の活動を実施できる能力を持ったスタッフが必要であるとしている。

- プロジェクトの仕様と要求に関する知識
- 生材料の特徴、性質の評価

- 材料の選定と使用
- 使用（設計）材料の査定と変更への気配り
- 適切な建設プラント監理
- 適切で一貫した工事プロセスと技術
- 自然環境へのこだわり（支持）（天候や気温）
- 完成部分の目視確認
- 所定（適所）の材料試験の監理
- 平坦性、幅、層厚の監理
- スムーズな表面の最終仕上げ
- 完了作業の査定と結果の報告
- SANS17025（ISO17025）に関する知識
- 試験所の品質、及び手順の検査に関する知識
- 竣工の記録

南アフリカにおける品質管理の流れを付図1.4に示す。



出典：South Africa Pavement Engineering Manual

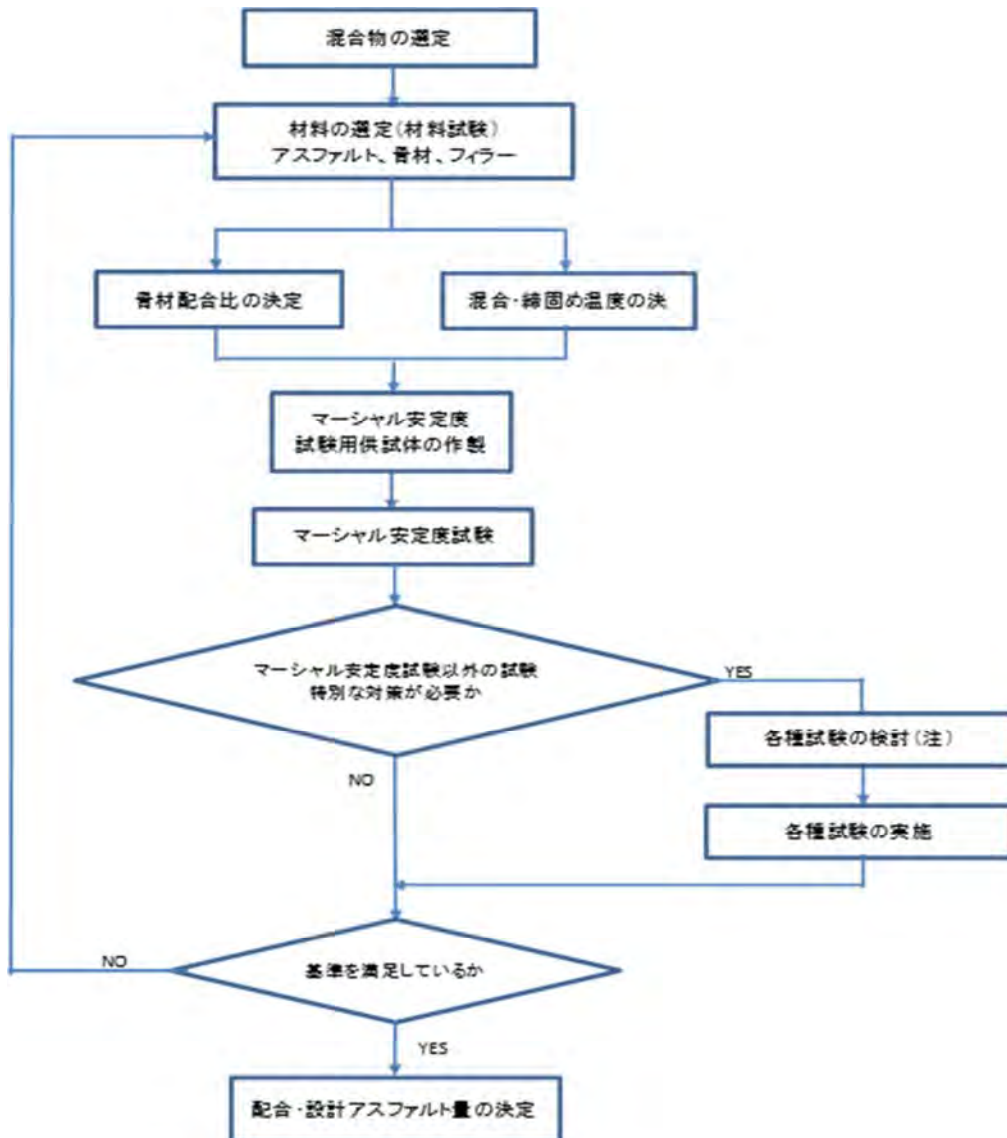
付図1.4 南アフリカにおける品質管理の原則的な流れ

## 付属資料 2 我が国の配合設計法

### 【配合設計（舗装施工便覧）】

配合設計は、原則としてマーシャル安定度試験で行う。選定された各骨材は、アスファルト混合物の種類ごとに定められた粒度範囲に入り、しかも適切な粒度曲線が得られるように決定する。マーシャル安定度試験の供試体は、選定したアスファルト混合物の予測される最適アスファルト量を中心に、0.5%きざみで作成する。

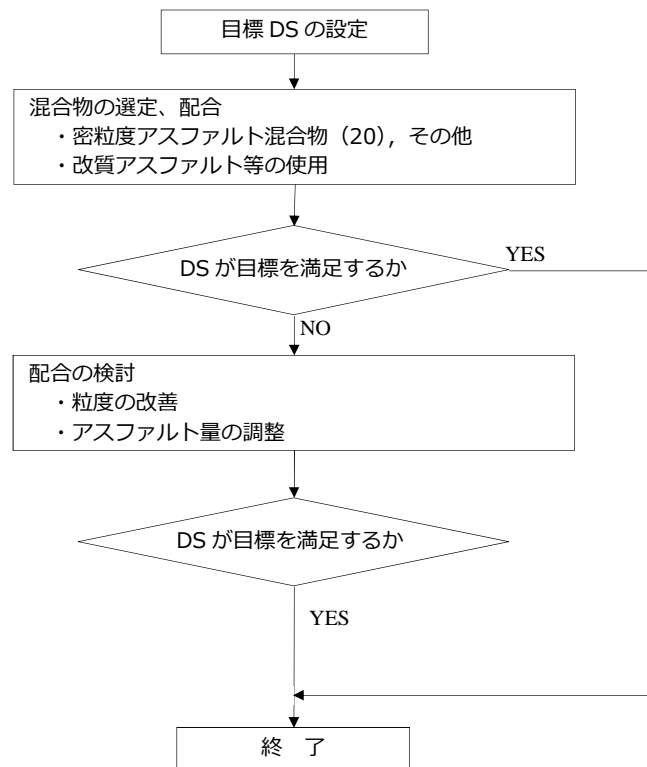
各供試体の密度、安定度、フロー値を測定し、空隙率、飽和度を算定する。密度、空隙率、飽和度、安定度、フロー値の全ての基準値を満足するアスファルト量の範囲（共通範囲という）を求め、その中央値を設計アスファルト量とする。配合設計の手順を付図 2.1 に示す。



(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。

付図 2.1 配合設計の手順（舗装施工便覧、平成 18 年）





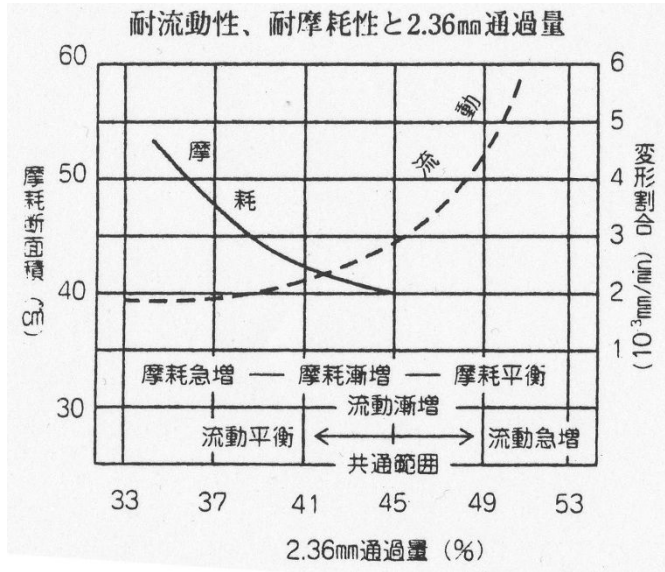
付図 2.3 耐流動性に関するアスファルト混合物の検討フロー

なお、DS の設定においては次の点に留意する。

- 1) DS の変動係数は、同一機関が同一条件で試験を行った場合でも 20%を超えることがあり、条件が異なる場合にはさらに大きな差異を生ずることも多い。したがって、試験結果の評価に際してはこれらのことを考慮しておく必要がある。
- 2) 目標 DS の設定手法として、対象路線における交通量等の各種条件からわだち掘れ量の推定を行い、その結果をもとに補修のサイクルを想定し、建設費用、維持費用、補修費用、工事渋滞に係わる時間損失費用などを総合的に考慮して設定する方法もある。

【日本道路公団の技術説明書】

日本道路公団の技術説明書では、耐流動性に対する粒度とアスファルト量の関係を説明している。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 2.4 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。



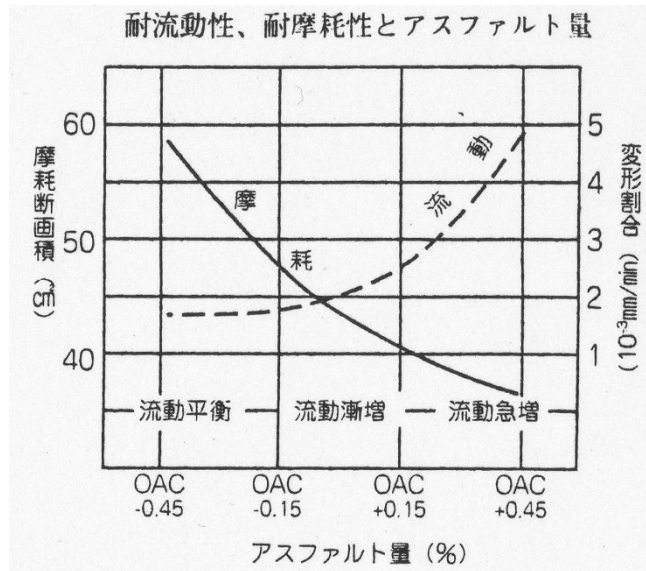
出典:技術手帳 1998 日本道路公団試験研究

付図 2.4 耐流動性、耐摩耗性と 2.36mm ふり通過量の関係

2.36mm ふり通過量が 少ないほど(粒度:粗い) ⇒耐流動性○、耐摩耗性×  
 多いほど(粒度:細い) ⇒耐流動性×、耐摩耗性○

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 2.4 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。

アスファルト量の大小は「2.36mm ふり通過量」と同様に、混合物の耐久性に大きな影響を与える。付図 2.5 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

OAC: Optimum asphalt content (最適アスファルト量)、耐久性(耐摩耗性)と耐流動性のバランスが取れる最適なアスファルト量で骨材の粒度、性状や締め固めの程度等により異なる。

付図 2.5 耐流動性、耐摩耗性とアスファルト量の関係



### 付属資料 3 ジャイレトリーコンパクタによる配合設計法

流動わだちほれ対策として我が国ではマーシャル配合設計法により粒度やアスファルト量を調整して、ホイールトラッキング試験によって動的安定性 (DS) が目標値を満足するかを確認する方法を採用しているが、この他に、米国やオーストラリアでは、道路交通荷重による締め固めを再現したジャイレトリーコンパクタで配合設計を行い、骨材の噛み合わせにより空隙率を確保する方法で耐流動性を確保している。

#### 解 説

SUPERPAVE などでは、設計時は、供用年数を経過しても骨材の適度な骨格 (空隙率 ; 4%) を確保する、供用年数をかなり過ぎて放置してあっても骨材骨格 (2%以上) は残すという規定がある。それと同時に、アスファルト量が少なくなり過ぎないようにするために骨材間隙率の最小値を決めている。

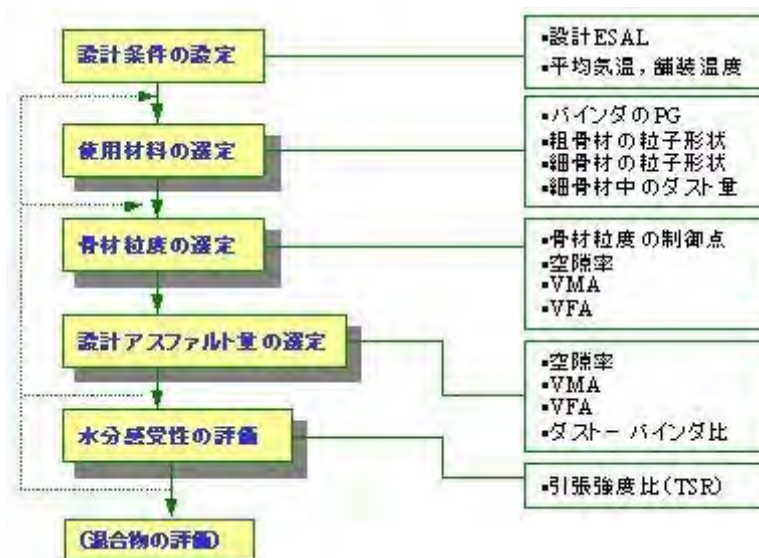
#### (1) SUPERPAVE の配合設計法

SUPERPAVE : Superior Performing Asphalt Pavement の略。米国の総合的舗装改善計画である SHRP (Strategic Highway Research Program:戦略的的道路研究計画) の成果の一つ。1995 年に発表されその後 AASHTO で基準化され米国の多くの州で採用されている。

SUPERPAVE 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 (PG) を満たすアスファルトを選定する。
- ・アスファルト混合物の締め固めには、交通荷重による締め固めに近いニーディング(こね返し)作用を再現した“ジャイレトリーコンパクタ”を用いる、締め固めレベルは交通レベルから選定する。
- ・配合設計法はアスファルト混合物の空隙率、骨材間隙率(VMA)、飽和度(VFA)等の容積特性にもとづく。
- ・全体として、骨材の骨格構造に注目するなど粘性抵抗性を意識したものとなっている。

SUPERPAVE 法の手順の概要を付図 3.1 に示す。



付図 3.1 Superpave 配合設計の手順



SUPERPAVE の配合設計の規格を付表 3.1 に、交通レベルに応じた締め固め条件を付表 3.2 に示す。

付表 3.1 Superpave 配合設計の規格

設計 ESAL <sup>a</sup> ( $\times 10^6$ )	所要締め固め率 (理論最大密度に対する%) 空隙率=100-締め固め率			最小骨材間隙率(%)						飽和度 <sup>b</sup> (%)	ダストバインダー比 <sup>c</sup>
	N <sub>ini</sub>	N <sub>des</sub>	N <sub>max</sub>	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 (4%)	≤98.0 (2% 以上)	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	70-80 <sup>d</sup>	0.6-1.2
0.3to <3	≤90.5									65-78	
3to <10	≤89.0									65-75 <sup>e</sup>	
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  $0.3 \times 10^6$  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  $3 \times 10^6$  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 29<sup>th</sup> Edition

付表3.2 Superpave ジャイレトリ-コンパクタの締め固めエネルギー(AASHTO R35-09)

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

a. 20 年間に設計車線で予想されるプロジェクトの予想交通量。車道の設計期間に関係なく、20 年間の設 ESALs を決定する。

b. A policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, AASHTO の定義による

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

【コラム : SUPERPAVE のアスファルト性状の分類 PG】

PG (Performance Grade、AASHTO M320) は、アスファルトバインダーを異なった温度毎の物理的性質により区分する方法である。

例えば、「PG58 -28」

ここで、PG : Performance Grade

58 : 7日平均舗装設計最高温度 (°C)

-28 : 7日平均舗装設計最低温度 (°C)

		High Temperature, °C				
		52	58	64	70	76
Low Temperature, °C	-16	52-16	58-16	64-16	70-16	76-16
	-22	52-22	58-22	64-22	70-22	76-22
	-28	52-28	58-28	64-28	70-28	76-28
	-34	52-34	58-34	64-34	70-34	76-34
	-40	52-40	58-40	64-40	70-40	76-40

= Crude Oil  
 = High Quality Crude Oil  
 = Modifier Required

**アスファルトの分類 PG**

日本の現行のストレートアスファルト 40/60、及び、60/80 はほとんど PG64-22 に該当し、一部が PG64-16 である。改質アスファルトはほとんど PG70-22 に該当し、一部 PG64-28 である。

**(2) Austroads (オーストラリア) の配合設計法**

Austroads (オーストラリア) の配合設計法の説明を抜粋する。

**【容積設計法の手法】**

a) 骨材間隙率 (VMA=Volume of voids in mineral aggregate)

- ・骨材間隙率は、粒度分布、骨材の形状、表面きめ(形状)、骨材粒子の締固め特性より決まる。
- ・骨材間隙率は最大粒径に応じてアスファルト量 (耐久性)、締固め後の安定性を確保できる量 (13%

~

20%) が必要。

- ・骨材間隙率が小さすぎると、空隙に対しアスファルト量が多くなりすぎ不安定となる、または、アスファルト量が不十分で付着不足、耐久性不足となる。
- ・骨材間隙率を増加する方法は、
  - 粒度分布を最大密度曲線から粗い方向に移動させる。
  - 0.075mm (フィラー) 以下の要素を減少させる。
  - 骨材の形状及び/または表面のきめ(形状)などを幾つか変化させることによる締め固め特性を改善

する。

b) 空隙率 (VIM=Volume of air voids)

- ・混合物の空隙率は、VMA (骨材間隙率)、アスファルト量、締め固め度の関数である。
- ・空隙率が大きすぎるとアスファルトの退化 (酸化)、水の浸透、それに伴う剥離が起こり易い。
- ・供用中の混合物の空隙率が小さすぎると (約2%未満)、塑性流動によるわだち掘れを発生させる。  
供用中に混合物が達する最大密度 (最少空隙率) は、ジャイレトリーコンパクタの最終回転数の締め固めで与えられる。重交通下でのアスファルトの配合設計では、最終回転数 (250/350 回) における最少空隙率の基準が適用される。

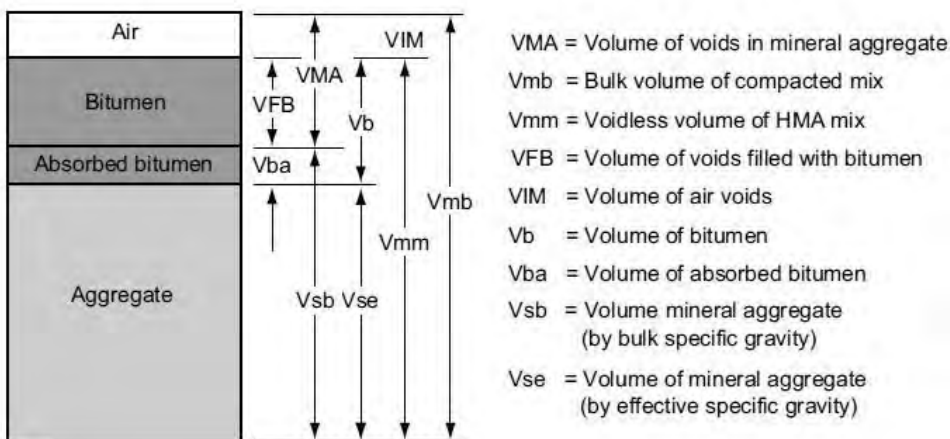
c) アスファルト量 (Vb=Volume of bitumen)

- ・最適アスファルト量は、耐久性を確保するための必要量と不安定にならないために減じた量のバランスである。
- ・最適アスファルト量は、骨材の種類、粒度分布、締め固め度、設計空隙率より決まる。
- ・性能に影響するのはアスファルト量から骨材に吸収される量を除く有効アスファルト量より決まる。
- ・骨材に吸収されるアスファルト量は、混合物の測定最大密度と理論最大密度より決定できる。骨材に吸収されるアスファルト量の割合は、骨材の浸透性とアスファルトの種類による。概して、骨材の水の吸収量の 0.3 から 0.7 である。

d) 飽和度 (VFB(A)=Volume of voids filled with bitumen(asphalt))

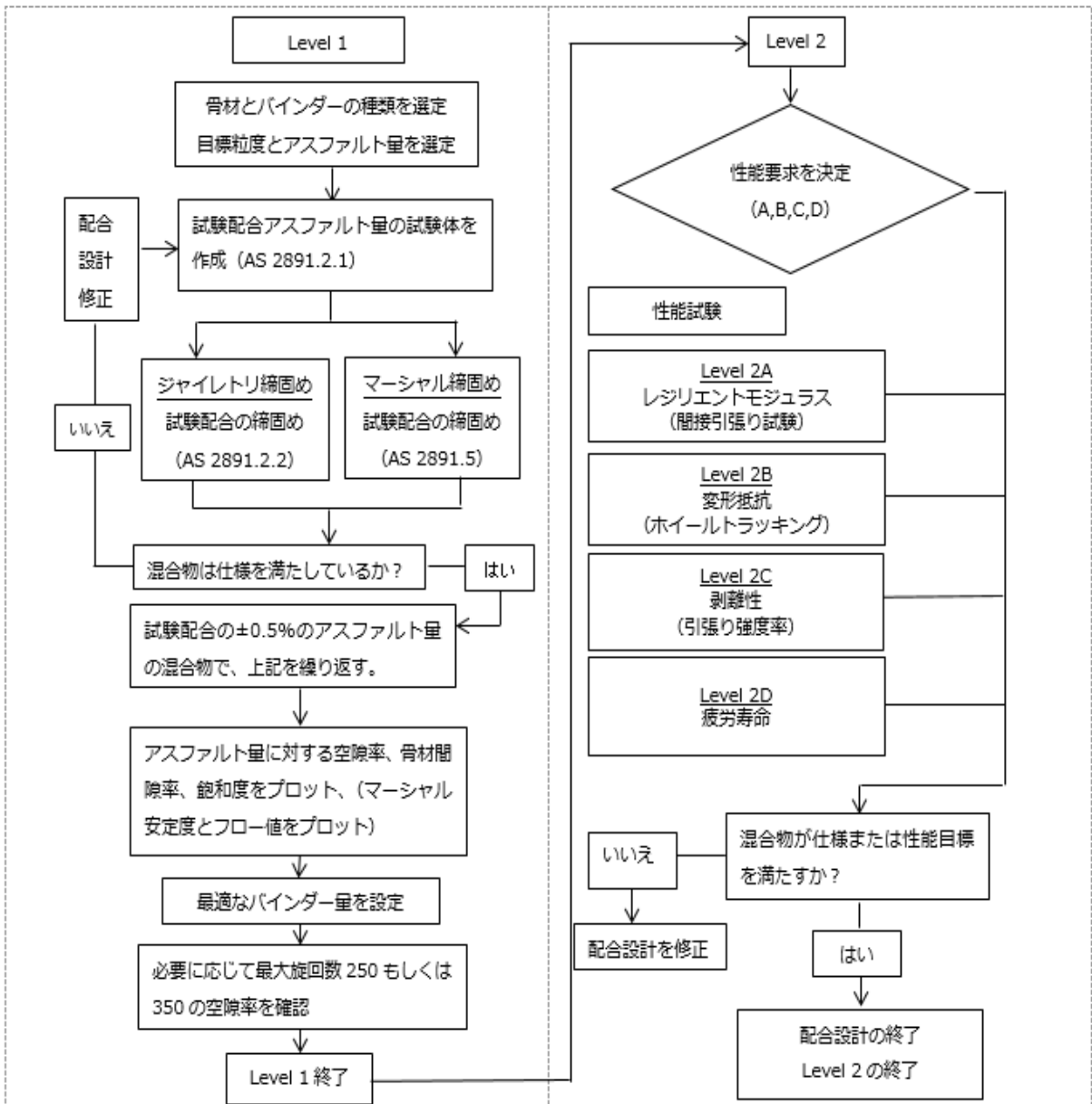
- ・飽和度は、有効アスファルト量により占有される VMA(骨材間隙率)の割合で、一般に 65~80% である。
- ・低い飽和度(VFB)、約 60%、では、混合物は乾燥し、付着力、耐久性、疲労抵抗性が不足する。飽和度が約 85%またはそれ以上の場合、混合物は不安定となりわだち掘れの危険がある。
- ・空隙率の目標値が与えられた場合、高い飽和度は大きな骨材間隙率 (VMA) と、低い飽和度は小さい骨材間隙率と関連性がある。

アスファルト混合物の容積表示を付図 3.2 に示す。



付図 3.2 締め固めたアスファルト混合物の容積表示

密粒度アスファルト混合物(表 5.3 参照)の配合設計の手順を付図 3.3 に示す。



出典 : Austroads, Guide to Pavement technology,4B Asphalt

付図 3.3 配合設計の手順

付図 3.3 の補足説明を以下に記述する。

**【骨材間隙率、空隙率】**

空隙率は重要な配合設計のパラメーターである。特に、重交通混合物は最終回転数で締固めた後に規定空隙率を下回ってはならない。

-重交通下で混合物は、最終回転(250 又は 350 サイクル)後に最小空隙率の確保が規定される。

空隙率を大きくするためにアスファルト量を減らしすぎると耐久性、ワーカビリティに影響するので骨材間隙率の最小値は確保する必要がある。骨材間隙率及び目標空隙率を満足するように、アスファルト量を増減させる調整は、以下の方法がある。

- ・混合物の粒度を粗く/細かくする。粒度の一部を粗く/細かくすることで、一般的に骨材間隙率が増加する。しかし、混合物のスティフネス(剛性)や路面のテクスチャへの影響に注意を払う必要がある。
- ・細粒分（2.36mmのふるいを通過した材料）の割合を変化させる - 上記と同じ影響。
- ・フィラー量を増減させる。フィラー量の増加により骨材間隙率は減少し、フィラー量の減少により骨材間隙率は増加する。
- ・骨材の形状を変化させる。特に細骨材に関して、滑らかな、そして丸い細骨材はワーカビリティ（混合物の締固めが容易となる）を増加させ、骨材間隙率を減少させる。この時、混合物のスティフネス(剛性)は減少することに注意する。

#### 【変形抵抗性】

変形抵抗性の不足はわだち掘れを引き起こすことが知られている。変形抵抗性を改善するためには、下記のような方法がある。

- ・最大粒径の大きい混合物を選択する
- ・形状が角張ったもしくは表面がざらざらした骨材を用いる
- ・固いバインダーを用いる
- ・粗い粒度を適用する
- ・空隙を減らす（但し、最終回転数で最少空隙を確保するという条件下で）
- ・フィラー量を増加させる

これらの各要因は他の特性に影響を与える。例えば、角張ってざらざらした骨材をより用いることでワーカビリティを減少させる、フィラー量を増加させることでたわみ性を欠いた混合物となり疲労抵抗を減少させる。

#### 付属資料 4 各国の流動わだち掘れ対策

流動わだち掘れ対策として、わだち掘れに対する舗装の耐流動性を動的安定性 (DS) の基準値とし、基準値を満足するように配合設計のアプローチ、道路交通荷重による締め固めを再現したジャイレクトリーコンパクトで極限状態まで締め固めた時の空隙率を 2%以上とする配合設計 (容積設計法) のアプローチがある。

### 解 説

#### 【舗装の構造に関する技術基準・同解説】

日本では、わだち掘れに対する舗装の耐流動性は動的安定性 (DS) で示されている。国交省では、交通量に応じた動的安定性の目標値を付表 4.1 のように定めている。

付表 4.1 我が国の塑性変形輪数の基準値 (国交省令第 103 号)

区分	舗装計画交通量 (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

#### 【関東地方整備局の事例】

関東地方整備局の設計要領では、この“わだち掘れ”防止策の一つとして誕生した“改質アスファルト” (従来のアスファルト (ストレートアスファルト) にポリマー等の添加材を加えて粘着力が低下しないように工夫されたアスファルト) の使用と、ホイールトラッキング試験による動的安定度 (DS) の目標値 (付表 4.2) の設定により、流動わだち掘れ対策を行っている。

付表 4.2 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: 設計要領(舗装等) (国土交通省関東地方整備局)

#### 【沖縄県の研究事例 (沖縄総合事務局)】

本州各地に比べて平均気温の高い沖縄におけるわだち掘れ対策は、熱帯諸国の参考になる。沖縄総合事務局では C 交通 (大型車日交通量 1 方向あたり 1,000 台から 3,000 台) 及び B 交通 (大型車日交通量 1 方向あたり 250 台から 1,000 台) について、付表 4.3 に示すような基準案を提案しており、最適アスフ

アルト量から 0.4%減ずるとしている。この案では B 交通の単路部ではストレートアスファルトの使用が前提となっている。B 交通は日本の条件のもとの疲労破壊輪数は 100 万回 (ESAL 値で 225 万 (10 年) 相当) を想定している (参考資料 1 舗装計画交通量と疲労破壊輪数 付表 4.5) が、沖縄の基準 (案) において、疲労破壊輪数をそのまま配合設計の耐流動性の目標として考えているかどうかは明確ではない。

付表 4.3 表層混合物に関するアスファルト量、改質アスファルトの基準

B 交通		C 交通	
単路部	交差点	単路部	交差点
OAC-0.4%	OAC-0.4%	OAC-0.4%	
← 改質アスファルト		改質アスファルト →	← 改質アスファルト

(注) : C 交通の交差点では、この他に半たわみ性舗装の適用を検討

- 1) 饒波正史「沖縄に適した舗装技術へ向けて～アスファルト技術研究の 20 年～」
- 2) D 交通 (N7) : 舗装計画交通量 3,000 (台/日・方向) 以上、疲労破壊輪数  $35 \times 10^6$   
 C 交通 (N6) : 1,000 以上 3,000 未満、疲労破壊輪数  $7 \times 10^6$   
 B 交通 (N5) : 250 以上 1,000 未満、疲労破壊輪数  $1 \times 10^6$   
 A 交通 (N4) : 100 以上 250 未満、疲労破壊輪数  $0.15 \times 10^6$   
 ESAL = 疲労破壊輪数  $\times 2.32$

#### 【NEXCOの対策事例】

NEXCOでは耐流動、騒音対策を考慮した高機能舗装 (排水性舗装) が標準仕様となっており、一部の区間で高機能舗装以外の表層混合物が使用されている。流動わだち掘れ対策基準については、高機能舗装以外の表層混合物に関する動的安定度 (DS) 目標値は付表 4.4 のとおりとなっている。

付表 4.4 表層混合物に関する動的安定度 (DS) の目標値 (回/mm)

交通区分		動的安定度目標値(回/mm)	使用アスファルト
軽中交通	5,000 台/日/一方向未満	800	ストレートアスファルト
重交通	5,000 台/日/一方向以上	3,000 以上	改質アスファルト

- 1) 交通量とは初年度の大型車交通量をさす。
- 2) ホイールトラッキング試験は試験機関、試験機による変動は避けられない。よって目標値は絶対的なものでなく取り扱いには注意すること。
- 3) 4,000~5,000 台/日/一方向付近の交通量の場合、動的安定度の目標値はストレートアスファルト使用で 1,000 回/mm 程度を目指すものとする。

出典 : 設計要領 第一集 舗装編 (高速道路会社)

#### 【オーストラリアの事例】

オーストラリアの配合設計・試験はジャイレクトリーコンパクトを使用した容積設計法が主である。混合物の空隙率が小さすぎると (最終回転数で約 2%未満)、塑性流動によるわだち掘れを発生させるとしている。重交通下でのアスファルト混合物の配合設計には、重交通混合物の最終回転数 (250 または 350 の基準) における最少空隙率が適用される。以下に、オーストラリアで用いられている配合設計



の空隙率に関する基準の例を付表 4.7 : NSW (ニューサウスウェールズ) 州の基準、および、付表 4.8 : ビクトリア州に示す。

付表 4.7 ジャイレクトリーコンパクタの締固め基準 (NSW 州)

	設計時		最終時	
	設計時回転回数	空隙率	最終回転回数	空隙率
軽交通	50	3-6%	適用しない	適用しない
中交通	80	3-6%	250/350	2.0 %以上
重交通	120	3-6%	250/350	2.0 %以上

注記1) 軽交通：軽交通対象、骨材最大粒径7~10mm で空隙率は小,アスファルト量は多い

中交通：中交通対象、骨材最大粒径7~14 mm

重交通：重交通対象、最大粒径7~14mm

注記2) 設計時：供用による締固め 最終時：極限状態

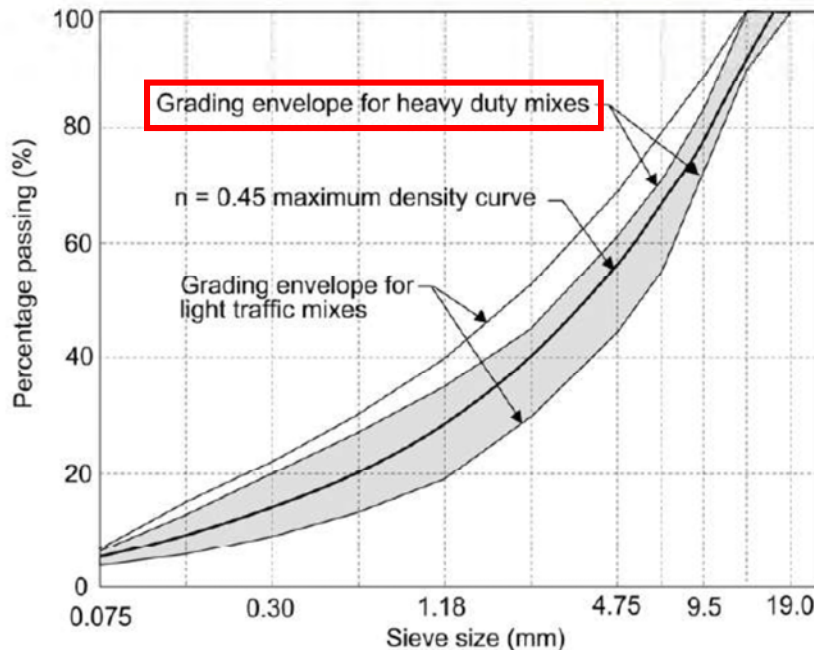
付表4.8 ジャイレトリーコンパクタの締固め基準 (ビクトリア州)

	設計時		最終時	
	設計時回転回数	空隙率 (設計時)	最終回転回数	空隙率 (最終時)
軽交通	50	4%	適用しない	適用しない
中交通	80	4%	250	2.0 %以上
重交通	120	4%	250	2.5 %以上

出典：ビクトリア 州基準

重交通下では、設計時回転回数 120 回のとき空隙率 3~6%、最終回転回数 250/350 回のとき空隙率 2% 以上の基準。すなわち、重交通下での使用が見込まれる混合物については、最終回転回数 250 もしくは 350 回までジャイレトリーコンパクタによって締固め、空隙率 2~2.5%以上を確認している。

ビクトリア州では、重交通下の密粒アスファルト混合物の粒度範囲を規定している。(付図 4.2)



付図 4.2 重交通下の密粒度アスファルト混合物の粒度範囲 (ビクトリア州)

## 【南アフリカの事例】

南アフリカでも、日本と同様にわだち掘れ対策として改質材が使用される。付表 4.9 は南アフリカのバインダータイプ選定の一般的なガイドである。

付表 4.9 バインダータイプ選定の一般的なガイド

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

また、配合設計において交通量レベル別にマーシャルの突き固め回数と空隙率、ジャイレトリコンパクタの最終旋回数と空隙率と必要な試験を区分しており、その基準は「INTERIM GUIDELINES FOR THE DESIGN OF HOT-MIX ASPHALT IN SOUTH AFRICA」に示されている。(付表 4.10)

付表 4.10 南アフリカの配合設計基準

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

## 交通レベル

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

この配合設計法の特徴は以下のとおりである。

- ・混合物の締め固め性と交通レベルを考慮したマーシャル締め固めを用いた設計法である。標準は 75 回突き、追加締め固めは交通レベルに応じた突き固め回数を設定している。
- ・容積特性として空隙率を用いる。

### (参考資料 1) 舗装計画交通量と疲労破壊輪数

#### ■日本の舗装交通量区分に対応する舗装計画交通量と疲労破壊輪数

日本における舗装の構造設計で目標として設定される 49kN の輪荷重数すなわち疲労破壊輪数 (ESAL 値に相当) は下記の通りである。(付表 4.5)

付表 4.5 交通量区分と舗装計画交通量及び疲労破壊輪数

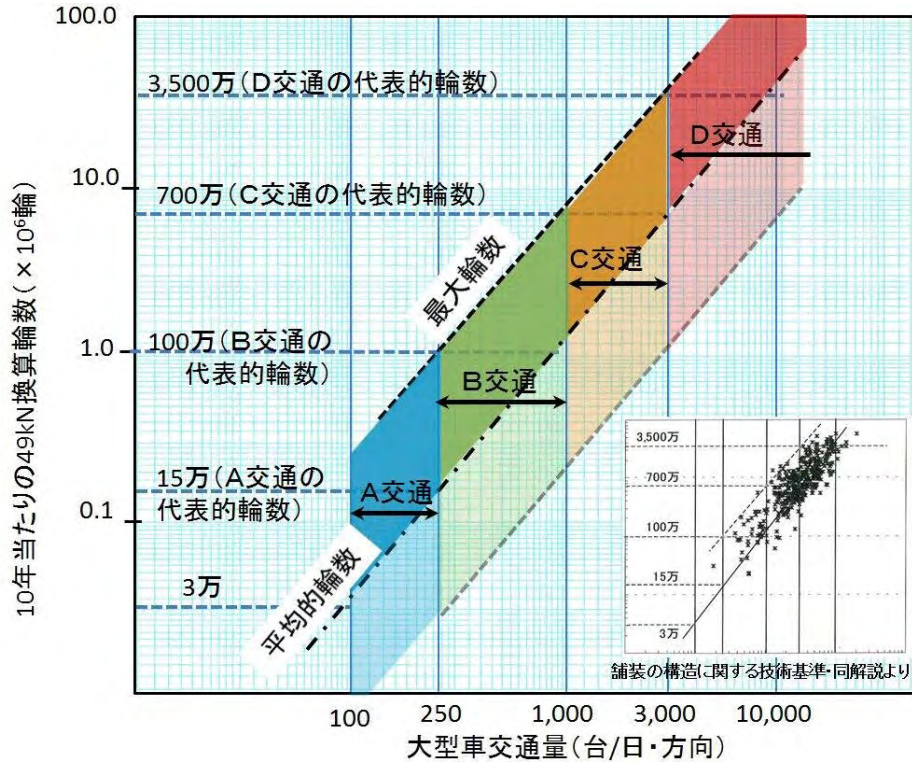
交通量区分	舗装計画交通量* (単位: 台/日・方向)	疲労破壊輪数 (単位: 回/10年)
N7 (D)	3,000 以上	35,000,000
N6 (C)	1,000 以上 3,000 未満	7,000,000
N5 (B)	250 以上 1,000 未満	1,000,000
N4 (A)	100 以上 250 未満	150,000
N3 (L)	40 以上 100 未満	30,000
N2 (L)	15 以上 40 未満	7,000
N1 (L)	15 未満	1,500

- (注) 1. 大型車 (総重量  $\geq 11,000\text{kg}$ , 積載重量  $\geq 6,500\text{kg}$  の貨物車、30 人乗り以上のバス) 交通量  
2. 疲労破壊輪数とは、舗装道において、舗装路面に 49 キロニュートンの輪荷重を繰り返し加えた場合に、舗装にひび割れが生じるまでに要する回数で、舗装を構成する層の数並びに各層の厚さ及び材質(以下「舗装構成」という。)が同一である区間ごとに定められるものをいう。

#### ■大型車交通量、49 k N 換算輪数及び破壊係数の実績

大型車交通量 (舗装設計交通量) と 49 k N 換算軸数の関係に関しては、日本の詳細な調査が舗装の構造に関する技術基準・同解説に示されている。これを図解したものが付図 4.1 である。国内の軸重調査をもとに、10 年間の 49 k N 換算軸数を求め、大型車交通量との関係をプロットしたものが付図 4.1 の右下に示され、これを交通区分ごとに整理して概念を図解で示したものである。大型車交通量と 49 k N 換算軸数とは両対数グラフ上ほぼ直線回帰で表されその平均的輪数と最大輪数の線が表示されている。

これによれば、各交通区分の大型車交通量の下限値 (例えば B 交通 250 台) における最大輪数との交点の値が、上限値 (B 交通で 1,000 台) の平均軸数との交点の値とほぼ一致している (B 交通で 100 万)。



付図 4.1 大型車交通量と 49kN 換算軸数

この関係を表に整理したものが付表 4.6 である。大型車交通量と換算軸数が分かれば大型車 1 台当たりのダメージ係数が求められ、それを付表 4.6 に合わせて表示してある。

これによれば、大型車交通量の多いところほど 1 台当たりの破壊係数も大きい結果となっているが、大型車交通量が多いところほどより大型トラックの割合が大きい可能性が考えられる。

付表 4.6 交通量区分と 49 k N換算軸数・ダメージ係数

交通量区分と 大型車交通量(T)の上下限 (単位: 台/日・方向)		49kN換算軸数(N輪/10年)* 単位: $\times 10^6$ 輪		大型車1台当たりダメージ係数*** (df)	
		平均的軸数対応 (カバー率50%)	最大軸数対応 (カバー率100%**)	平均的軸数対応 (カバー率50%)	最大軸数対応 (カバー率100%**)
D交通	下限 3000	7.00	35.00	0.639	3.196
C交通	上限 3000	7.00	35.00	0.639	3.196
	下限 1000	1.00	7.00	0.274	1.918
B交通	上限 1000	1.00	7.00	0.274	1.918
	下限 250	0.15	1.00	0.164	1.096
A交通	上限 250	0.15	1.00	0.164	1.096
	下限 100	0.03	0.15	0.082	0.411

\* 舗装の構造に関する技術基準・同解説 図2-5より

\*\*注1) 元データが標準偏差値表示ではなく包絡線なので100%と表現したが2~3σの可能性はある。

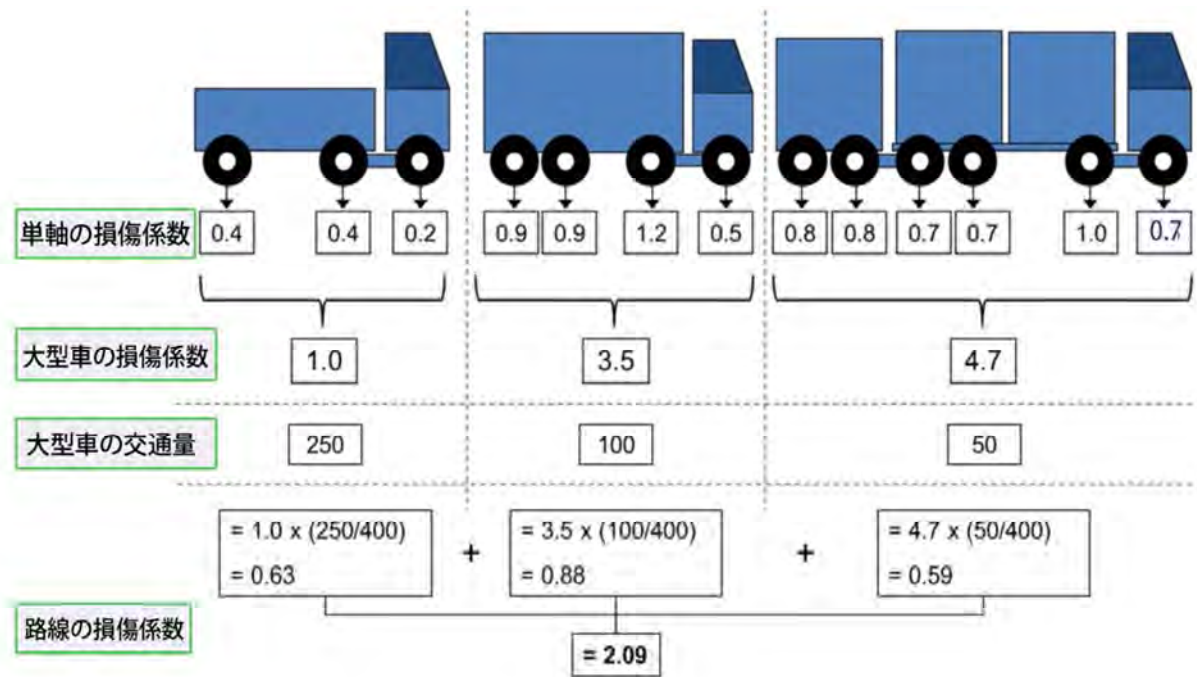
\*\*\*注3)  $df = N / (T * 365 * 10)$ で算出。

■ 49kN 換算軸数の E S A L への変換係数 (εとする) の求め方

- ・前提 1ton=2.205kip
- ・表記 kip 表記の i 番目の輪荷重を Pi, ton 表記の輪荷重を Ti とする。
- ・定義  $E S A L = \sum (P_i/9)^4$   
49kN 換算軸数 =  $\sum (T_i/5)^4$
- ・ $\epsilon = E S A L / 49kN \text{ 換算軸数} = \sum (P_i/9)^4 / \sum (T_i/5)^4 = \sum (P_i/9)^4 / \sum (P_i / (5 \times 2.205))^4$   
 $= \sum (P_i/9)^4 / \sum (P_i/11.025)^4 = (1/9^4) / (1/11.025^4) = 11.025^4 / 9^4$   
 $= (11.025/9)^4 = 1.225^4 = 2.2519 \approx 2.25$

(参考資料 2) 大型車、路線 (区間) の軸重係数 (破損係数)

等価車両荷重(ESALS)の算定には、大型車、路線 (区間) の軸重係数 (破損係数、ダメージ係数) と大型車別交通量、路線交通量などから算定する。大型車、路線 (区間) の軸重係数 (破損係数、ダメージ係数) の算定例を付図 4.3 に示す。



(出典 : 南アフリカ、SAPEM, 10 章、Pavemet Design)

付図 4.3 大型車、路線 (区間) の軸重係数 (破損係数) の算定例

NEXCO の舗装設計要領では、破損係数 (10t 軸換算係数) = 0.85 としているが、これは 1972~1980 年の東名高速道路の軸重測定結果より求めたものである。

$$10t \text{ 換算軸数} = \text{通過大型車台数} \times 10t \text{ 軸換算係数}$$

## 付属資料 5 アスファルト混合物の動的安定度に対する温度の影響

舗装設計便覧では、舗装設計の内、舗装路面の要求性能を設定し、路面を形成する表層の材料、層厚などを決定することを路面設計という。性能指標の例を付表 5.1 に示す。

付表5.1 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）

### 【路面の設計期間】

設計では、道路管理者が設定した路面の設計期間を設計条件として用いる。路面の性能指標の値の経時的变化が把握されている場合は、それにもとづいて設定する。

性能指標によっては、現状では、路面の設計期間の設定が困難なものがある。このような場合には、暫定的に設計期間を設定し、性能指標の値の経時的变化を追跡調査し、将来、適切な設計期間の設定が行えるようにする方法が考えられる。

### 【設計期間の動的安定度】

例えば、舗装設計便覧（平成 18 年）では、土木研究所から提案されている動的安定度～轍掘れ量～供用期間の関係を示す式を参照している。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（動的安定度）の性能値を求める方法が提案されている。（本文、5 章（2）配合設計の留意点 4）路面温度の問題と設計期間等参照）

$$DS=0.679 (Y \cdot Tr \cdot W \cdot V \cdot Ct/D) \quad (\text{式 } 5.1)$$

ここに DS：動的安定度（回/mm）

D：わだち掘れ量（mm）

Y：供用期間（日）

Tr：大型車交通量（台/日）

W：輪荷重補正係数

区分	補正係数 W
重い車両が少ない	1.0
重い車両が多い	2.0
重い車両が非常に多い	3.0

V：走行速度補正

種別	補正係数 V
一般部	0.4
交差点部	0.9



【温度補正係数】

Ct : 温度補正係数 ( $\times 10^{-3}$ )      下記による

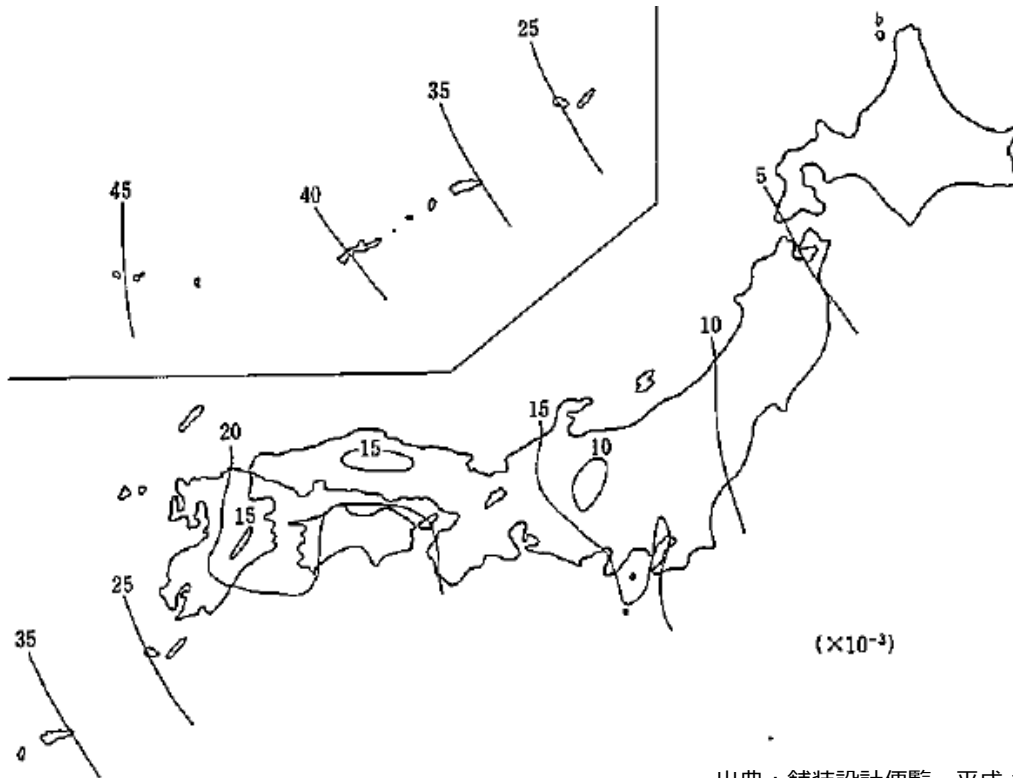
$$\log(Ct) = 0.0003216T^2 + 0.01537T - 2.080 \quad (\text{式 } 5.2)$$

Ct (=DS<sub>0</sub>/DS<sub>t</sub>) : 温度補正係数

DS<sub>0</sub> : 標準条件 (60℃) での動的安定度 (回/mm)

DS<sub>t</sub> : 試験温度 T における動的安定度 (回/mm)

T : 温度 (℃)



出典：舗装設計便覧 平成 18 年

付図 5.1 温度補正係数の分布

温度補正係数の算定式 5.2 は、小田桐などの論文（高架橋上アスファルト舗装のわだち掘れ予測、道路建設、第 466 号）による温度と動的安定度の回帰式 5.3 より求めている。

$$\log(DS_t) = -0.0003216T^2 - 0.01537T + 4.636 \quad (\text{式 } 5.3)$$

DS<sub>t</sub> : 試験温度 T における動的安定度 (回/mm)

T : 温度 (⇒気温から路面温度を推定し、その時間を考慮した加重平均を使う)

式 5.3 より、60℃のときの DS<sub>0</sub> = 360(標準条件での動的安定度)が得られる。

任意の温度 (T) の温度補正係数 (Ct = DS<sub>0</sub>/DS<sub>t</sub>) は、式 5.3 より、60℃のときの DS<sub>0</sub> = 360(標準条件での動的安定度)が得られたため、下式となり式 5.2 が得られる。

$$\begin{aligned} \log(Ct) &= \log(DS_0) - \log(DS_t) \\ &= 0.0003216T^2 + 0.01537T - 2.080 \end{aligned}$$



温度補正係数は、気温から路面温度を推定し、その継続時間を考慮した加重平均より算定する。算定の手順を以下に示す。

- i) 1年間の気温の観測結果を得る。
- ii) 気象の観測結果より舗装路面温度を推定する。ここで路面温度の算出には秋山の式 (5.4) 使用している。

$$\Phi_s = 1.1 \Phi_a + 1.5 + 0.17 \exp(0.126\Phi_a) \quad (\text{式 } 5.4)$$

$\Phi_s$  : 路面温度 (°C)

$\Phi_a$  : 気温 (°C)

- iii) 1年間 (24 x 365 = 8760 時間) の温度観測結果から、付表 5.2 に示す温度区分であった時間がそれぞれ何時間であったかを求め、付表 5.2 の補正值と掛け合わせて加重平均し補正係数を求める。

**付表 5.2 温度に対する補正值**

温度範囲 (°C)	0~5	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30	30~35	35~40	40~45	45~50	50~55	55~60	60~
補正值	0.008	0.011	0.014	0.019	0.026	0.037	0.056	0.086	0.137	0.228	0.394	0.704	1.480

(温度補正係数の算定式 5.2 による)

出典：アスファルト混合物の動的安定度の目標値設定手法の提案、伊藤他、土木技術資料 31-1(1989)

付図 5.2 に示すように、沖縄県石垣島の年平均気温は 24.3°C で、高温によるわだち掘れが問題となったタンザニアのダルエスサラームの平均気温 26.0°C と気温差 1.7°C と大差は無いように見える。

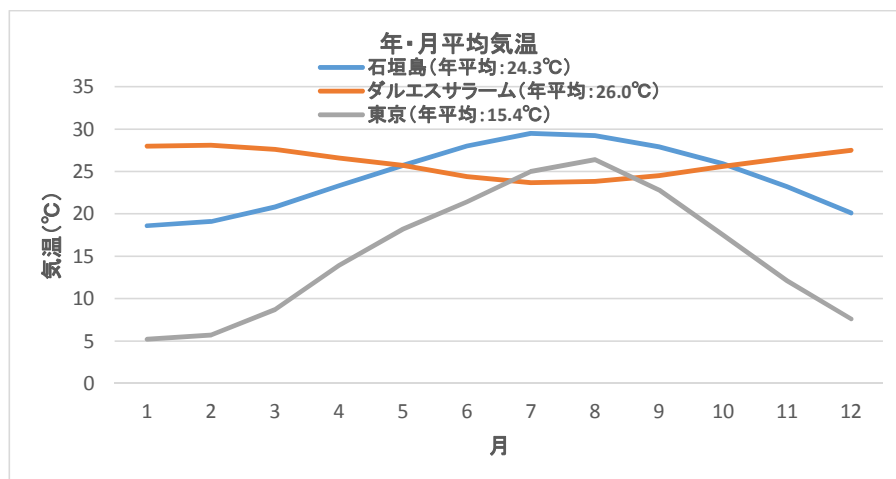
石垣島の温度補正係数 (C t) は、付図 5.1 より 0.045 であると推定されている。以下一定の仮定のもとに、ダルエスサラームの温度補正係数を試算してみる。

石垣島の上記温度補正係数は時間ごとの気温をもとに推定されたものであるが、付図 5.1 の月平均気温を付表 5.2 に当てはめられるとして温度補正係数を試算してみる。

- ① 石垣島の月平均気温から路面温度を推計して (式 5.4)  
付表 5.2 により各月の温度補正係数を求めて平均、試算値： 0.066
- ② 正しい温度補正值 0.045 との比：  $0.066/0.045=1.47=a$
- ③ ダルエスサラームの月平均気温から同様に求めた温度補正係数の試算値： 0.072
- ④ 石垣島の月平均値を使った温度補正係数の正しい温度係数に対する比  $a$  をダルエスサラームに提  
要できるとすると：  $0.072/a=0.049$

大胆な仮定のもとの試算値ではあるが、ダルエスサラームの温度補正係数 0.049 は、石垣島の 0.045 に比べて 1.09 倍であり、年間の気温差 1.07 倍と同じ程度の差であると試算された。

実務的には今後、時間単位の気温データの収集を行って正確に温度補正係数の推計を行って、簡便的に時間別気温の代わりに月平均気温や日平均気温を使って推計することの可能性を検討する必要がある。



付図 5.2 石垣島平均気温とダルエスサラーム平均気温の比較 出典：気象庁

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。

一例として、わだち掘れの許容値を 30mm、流動わだち掘れ対策の設計期間(路面の設計期間)を 10 年、輪荷重補正係数を 2.0 (重い車両が多い)、走行速度補正係数を 0.4、温度補正係数を 0.045 (石垣島周辺)として、3 通りの大型車交通量を 250 台/日、1,000 台/日、3,000 台/日に対して必要な DS 値は、下表の値となる。

大型車交通量 (台/日)	必要な DS 値 (回/mm) (石垣島周辺：温度補正係数 0.045)
250	744
1,000	2,974
3,000	8,922

前述の仮定をおいてのダルエスサラームの温度補正係数の試算を参考にすると、ダルエスサラームの温度補正係数は 0.049 であり、上表の日本で最も暑い石垣島の 0.045 の 1.09 倍である。この値からダルエスサラームでは、大型車交通量を 250 台/日、1,000 台/日、3,000 台/日に対して必要な DS 値は、810 回/mm、3,240 回/mm、9,725 回/mm となる。ただし、この値に関しては、時間単位の加重平均による検討等が必要である。

## 付属資料6 配合設計に係る各種性能の比較実験

### (1) 目的

流動わだち掘れ対策に関連する粒度分布、空隙率、アスファルト量について、その影響を確認のためマーシャル試験、ホイールトラッキング(WT)試験及びジャイレトリーコンパクタによる最終空隙率の確認を行った。

日本国内では、舗装の性能指標として、重交通ではD S 3,000 以上が基準値として定められている。密粒タイプでは、粗骨材の母岩質によってはまれに高いD S 値が得られることもあるが、この基準値を満足するためには、ほとんどの場合、改質アスファルトを使用することによって対応している。しかしながら、開発途上国によっては改質アスファルトの入手が困難な場合や、改質アスファルト合材は通常のアスファルト合材と比較すると工費で 20~30%程度高価であることなどを考慮すると、安易に適用できないことも考えられる。

そこで、ストレートアスファルトを使用して、耐流動性を向上する方策について検討を行った。

- 耐流動性を劣化させる要因について列挙し、その要因を排除/低減するために配合時やプラント混合時、あるいは施工時において特に留意する管理ポイント
- 耐流動性を向上させるために特に有効と思われる要因
- 混合物の耐流動性について、マーシャル安定度試験以外の確認試験方法

ただし、対象国において、路面温度が60℃を超える時間が長時間になる区間、重交通区間、低速重車両対策が必要な区間(急勾配区間、交差点内及びその手前の要対策区間等)などの外的要因や、粗骨材・細骨材の品質や生産能力、調達可能な材料の選択肢が少ないなど内的要因の現状から、対応困難である場合が懸念される。よって、ハンドブックには推奨事項として紹介する程度にとどめる。

### (2) 試験条件の設定

#### 1) 基本配合の設定

すでに一般的に知られている、混合物の耐流動性に寄与する要因(パラメータ)を付表6.1に示す。

付表 6.1 耐流動性に寄与する要因(パラメータ)

区分	摘要	因子	D S に与える影響
内的要因	骨材	粒度	2.36 mmふるい通過量が少ないほどよい
		骨材骨格	ギャップ粒度など、粗骨材量が多いほどよい。
		骨材形状(細骨材)	球状にちかい天然砂より、稜角に富む人工砂の方がよい。
		骨材形状(粗骨材)	扁平・細長含有率が少なく、方形に近い方がよい。
		最大粒径	大きいほどよい。
		回収ダスト	回収ダスト混入率は少ないほどよい。
	アスファルト	針入度	針入度が小さいほどよい。
		PMB	改質アスファルトがよい
アスファルト量		少ないほどよい。	
外的要因	外気温	熱帯地域	路面温度が 60℃を超えると極端に低下する。
	走行速度	渋滞・低速車両	渋滞箇所の方が流動は顕著である。

本試験では、代表混合物を密粒タイプ（13）アスファルト 60/80 とし、空隙率を指標とするため空隙率を変化させ、ホイールトラッキング試験とSGCによる混合物締固め試験を行った。

粒度やアスファルト量を一定にして、空隙率だけを変化させる手段はない。そこで、下記の2通りとした。

- ① 密粒(13)のアスファルト量を変化させる。
- ② 密粒(13)の2.36 mmふるい通過量を変化させた。

①～②より得られた結果から、縦軸にDSをとり、横軸には空隙率、アスファルト量、2.36 mmふるい通過量、締固め度、最終空隙率などを取った相関図を作成した。

①のアスファルト量は、代表混合物における最適アスファルト量（以下、OAC） $\pm 0.3$ 、 $0.6$  %となるように設定した。なお、本業務では中央粒度と下方粒度のみアスファルト量を変化させた。

- ③ の2.36 mmふるい通過量については、密粒度アスファルト混合物(13)の標準粒度範囲をもとに、37.5%、42.5%、47.5%の3通りで変化させ、それぞれ下方粒度、中央粒度、上方粒度とした。3粒度における配合総括表を付表6.2に示す。

付表 6.2 配合総括表（中央、上方、下方粒度）

		配合種類		
		中央粒度	下方粒度	上方粒度
配合割合 (%)	6号碎石	37.5	41.8	35.4
	7号碎石	15.0	17.0	11.0
	砕砂	37.5	31.2	43.6
	細目砂	5.0	5.0	5.0
	石粉	5.0	5.0	5.0
通過質量百分率 (%)	19.0	100.0	100.0	100.0
	13.2	99.1	99.0	99.2
	4.75	62.6	58.3	65.5
	2.36	42.5	37.5	47.5
	0.600	24.8	22.4	27.2
	0.300	16.2	14.8	17.6
	0.150	9.4	8.9	10.0
	0.075	5.2	5.2	5.1
粒度曲線				

2) 現場舗装のわだち掘れ発生要因に関する検討

高温熱帯地域における舗装で、早期にわだち掘れが発生するという現象が見られた。現場混合物を採取し、粒度の確認を行ったところ、混合物の粒度が密粒度アスファルト混合物(13)の標準粒度範囲をほぼ全ての粒度で外れていたことがわかった。そこで、現場混合物の性状確認を目的として、再現試験を行った。混合物の粒度は、現場混合物粒度を参考に以下の2種類とした。

- ・再現試験①：粗骨材、細骨材ともに適正範囲をはずれた粒度
- ・再現試験②：細骨材のみが適正範囲をはずれた粒度

各粒度における配合総括表を付表 6.3 に示す。現場混合物の再現性を可能な限り高めるため、再現試験①、再現試験②には砕砂をふるい目ごとに分級したものを使用し、再現試験①には 5 号砕石を用いた。なお、アスファルト量については 1) の検討における中央粒度の OAC を採用した。

付表 6.3 配合総括表 (再現試験①, ②)

		配合種類				
		再現試験①		再現試験②		
配合割合 (%)	5号砕石	14.0		0.0		
	6号砕石	36.0		38.0		
	7号砕石	5.0		17.0		
	砕砂	2.36	35.0	10.0	35.0	10.0
		0.600		15.0		15.0
		0.300		35.0		35.0
		0.150		25.0		25.0
		0.075		15.0		15.0
細目砂	5.0		5.0			
石粉	5.0		5.0			
通過質量百分率 (%)	26.0	100.0		100.0		
	19.0	100.0		100.0		
	13.2	86.7		99.1		
	4.75	52.5		61.7		
	2.36	42.9		42.9		
	0.600	36.4		36.4		
	0.300	21.6		21.6		
	0.150	11.1		11.1		
0.075	5.2		5.2			
粒度曲線						

### 3) 試験項目の設定

本検討での試験項目、試験法を付表6.4に示す。

付表6.4 提案した試験項目

No.	試験名	試験法	適用
①	骨材の比重吸水試験	JIS A 1110	理論最大密度の計算値
②	マーシャル安定度試験	試験法便覧 B 001	OACの決定
③	ホイールトラッキング(WT)試験	試験法便覧 B 003	動的安定度
④	水浸ホイールトラッキング(WT)試験	試験法便覧 B 004	はく離面積率
⑤	曲げ試験	試験法便覧 B 005	曲げ強度・曲げひずみ
⑥	最大密度試験	試験法便覧 G027	理論最大密度の実測値
⑦	SGCによる混合物締固め試験	SHRP	最終空隙率

- ①、②は従来のマーシャル安定度試験に準じて実施し、アスファルト量と空隙率の関係を求めるために行う。
- ③はDSを求めるために行う。
- ④、⑤は耐流動性を重視するあまり、耐候性が低下することが懸念されるため、はく離抵抗性、ひびわれ抵抗性について確認するため行う。
- ⑥、⑦は、SHRPに準拠し、重交通条件における旋回数(Nini、Ndes、Nmax)における締固め度と空隙率をもとめ、ワーカビリティと設計空隙率および最終空隙率を求めるために行う。その際、空隙率の算出に使用する最大密度は⑥で得られた値とする。

(3) 試験方法

1) 使用材料

本検討で使用する骨材およびアスファルトを付表 6.5,6.6 に示す。また、使用骨材の外観を写真に示す。

付表 6.5 使用骨材

		5号砕石	6号砕石	7号砕石	砕砂	再現試験用 砕砂	細目砂	石粉	規格
製造会社名		㈱オーリス				羽黒資材㈱	菱光石灰工業㈱		
産地		茨城県 笠間市	茨城県 笠間市	茨城県 笠間市	茨城県 北相馬郡守谷町		栃木県 宇都宮市 小倉町	埼玉県 秩父郡 横瀬町	
材質		硬質砂岩	硬質砂岩	硬質砂岩	硬質砂岩		洗砂	炭酸 カルシウム	
試験項目	通過 質量 百分率 [%]	19.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
		13.2	10.7	97.6	100.0	100.0	100.0	100.0	
		9.5	0.5	66.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
		4.75	0.5	10.4	74.8	100.0	100.0	100.0	
		2.36	0.5	3.7	0.0	83.0	90.0	100.0	
		1.18	0.5	2.4	0.0	59.3	-	97.6	
		0.600	0.5	1.9	0.0	39.3	75.0	87.7	
		0.300	0.4	1.6	0.0	22.9	40.0	39.3	
		0.150	0.4	1.4	0.0	9.5	15.0	6.7	
	0.075	0.4	1.0	0.0	0.0	0.0	1.6		
	密度	表乾密度 [g/cm <sup>3</sup> ]	2.675	2.653	2.650	2.619		2.590	粗骨材:2.45以上 細骨材: -
		見かけ密度 [g/cm <sup>3</sup> ]	2.689	2.682	2.693	2.680		2.631	
		かさ密度 [g/cm <sup>3</sup> ]	2.666	2.636	2.625	2.530		2.546	
		吸水率[%]	0.32	0.65	0.97	3.51		1.76	粗骨材:30以下 細骨材: - 粗骨材:12以下 細骨材: - 粗骨材:5.0以下 細骨材: - 粗骨材:10.0以下 細骨材: -
		すり減り減量[%]	11.9	12.2					
		安定性試験による 損失量[%]	0.1	0.3	0.1	0.6		3.6	
		軟石量[%]	2.7	2.2					
	へん平率[%]	0.2	0.8						
	静的剥離率[%]		12.0						
	塑性指数 PI				NP		NP		
備考								舗装施工便覧 (平成18年度版)	



付表 6.6 使用アスファルト

製品名		ストレートアスファルト60/80	
製造元		JXエネルギー(株)根岸製油所	規格
試験項目	伸度 [cm]	100(+)	100以上
	引火点 GOC [°C]	362	260以上
	動粘度(120°C) [mm <sup>2</sup> /s]	834	
	動粘度(150°C) [mm <sup>2</sup> /s]	190	
	動粘度(180°C) [mm <sup>2</sup> /s]	64.0	
	軟化点 [°C]	46.0	44.0~52.0
	針入度(25°C) [1/10mm]	71	60を超え80以下
	蒸発後の針入度比 [%]	102	110以下
	トルエン可溶分 [質量%]	99.97	99.0以上
	密度(15°C) [g/cm <sup>3</sup> ]	1.036	1.000以上
	薄膜加熱質量変化率 [%]	(+)0.15	0.6以下
	薄膜加熱針入度残留率 [%]	70.3	55以上
	備考		



写真 使用骨材の外観

(左上: 5号、右上: 6号、左中: 7号、右中: 碎砂、左下: 細目砂、右下: 石粉)



## 3) 評価対象混合物

本検討で対象とする混合物の一覧を付表 6.7 に示す。

付表 6.7 試験対象混合物一覧

No.	配合名	2.36mm通過量[%]	アスファルト量
①	中央粒度OAC	42.9	共通範囲の中央値
②	中央粒度+0.6%		OACに対して+0.6%となるAs量
③	中央粒度+0.3%		OACに対して+0.3%となるAs量
④	中央粒度-0.3%		OACに対して-0.3%となるAs量
⑤	中央粒度-0.6%		OACに対して-0.6%となるAs量
⑥	上方粒度OAC	47.5	共通範囲の中央値
⑦	下方粒度OAC	37.5	共通範囲の中央値
⑧	下方粒度+0.6%		OACに対して+0.6%となるAs量
⑨	下方粒度-0.3%		OACに対して+0.3%となるAs量
⑩	下方粒度-0.3%		OACに対して-0.3%となるAs量
⑪	下方粒度-0.6%		OACに対して-0.6%となるAs量
⑫	再現試験①	42.9	中央粒度OACに準ずる
⑬	再現試験②		

## 4) 実施試験項目

試験と混合物の対応表を付表 6.8 に示す。

付表 6.8 試験と混合物の対応表

No.	配合名	マーシャル試験	ホイールトラッキング試験	水浸ホイールトラッキング試験	曲げ試験	最大密度試験	SGCによる混合物締固め試験
①	中央粒度OAC	○	○	○	○	○	○
②	中央粒度+0.6%	●	○	○	-	○	○
③	中央粒度+0.3%	●	○	-	-	○	○
④	中央粒度-0.3%	●	○	-	-	○	○
⑤	中央粒度-0.6%	●	○	○	○	○	○
⑥	上方粒度OAC	○	○	-	-	○	○
⑦	下方粒度OAC	○	○	○	○	○	○
⑧	下方粒度+0.6%	●	○	○	-	○	○
⑨	下方粒度+0.3%	●	○	-	-	○	○
⑩	下方粒度-0.3%	●	○	-	-	○	○
⑪	下方粒度-0.6%	●	○	○	○	○	○
⑫	再現試験①	●	○	-	-	○	○
⑬	再現試験②	●	○	-	-	○	○

●は設定アスファルト量一点のみ行い、基準密度を求める。

○は付表 6.4 の試験法により実施

—は試験を実施しない

## 【SGCによる混合物締固め試験】

SGC(Superpave Gyrotory Compactor)は、Superpave 配合設計により用いられている試験機である。この試験機では、SGCによる締固めの回転数と混合物の高さの関係が得られる。その際の相関図の例を付図 6.1 に示す。この関係から、ある回転数における見かけ密度およびその空隙率を算出することができる。

締固めパラメーターN は回転数と混合物密度から、下記の様に定義される。

$N_{ini}$  : 施工中の締固め性、落ち着きの悪い混合物を避けるための指標となる回転数

$N_{deg}$  : 予想交通量における現場密度と同じ密度の供試体とするのに要する回転数

$N_{max}$  : 流動わだち掘れを避けるよう現場で決して超えることのない回転数

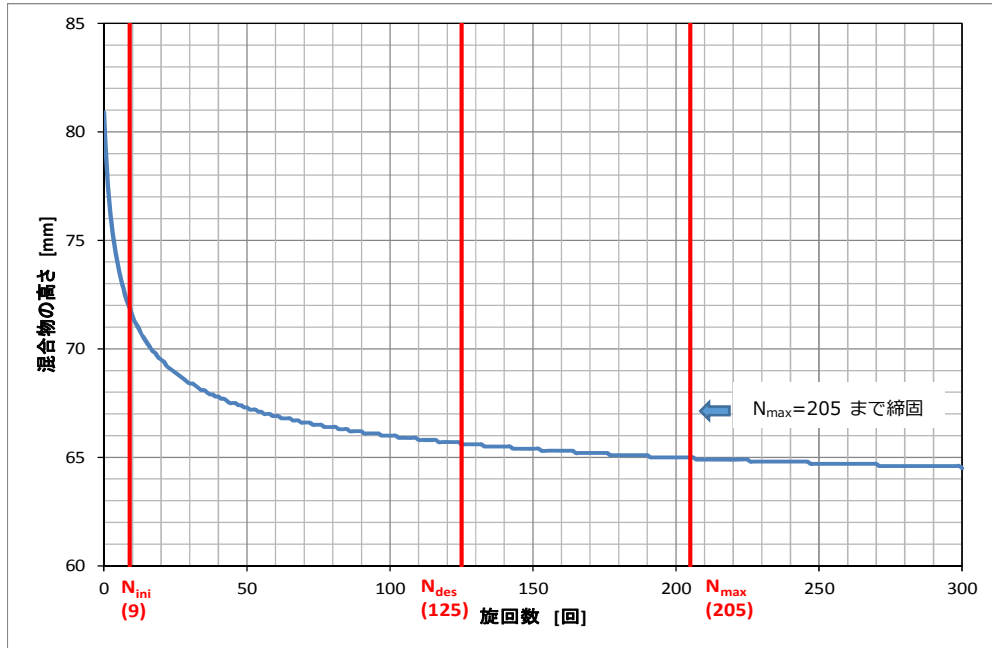
交通量による締固めパラメーターN の設定値を付表 6.9 に示す。また、各締固めパラメーターごとに得られる混合物の空隙率を以下のように定義した。

$N_{ini}$  :  $V_{ini}$  (初期空隙率)

$N_{des}$  :  $V_{des}$  (設計空隙率)

$N_{max}$  :  $V_{max}$  (最終空隙率)

なお、本検討では超重交通路線を想定し、設計 ESAL が  $30 \times 10^6$  以上における締固めパラメーターを採用した。



付図 6.1 SGC における旋回数と供試体混合物高さの関係 (例)

付表 6.9 Superpave ジャイレトリーコンパクタの締固めエネルギー(AASHTO R35-09)

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

a. 20 年間に設計車線で予期されるプロジェクトの予想交通量。車道の設計期間に関係なく、20 年間の設 ESALs を決定する。

b. A policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, AASHTO の定義による

試験方法は、*Superpave(MixDesign)* に準じて行った。手順を以下に示す。

i) 理論最大密度を求める。

理論最大密度は、「アスファルト混合物が混合した素材のみで占有され、空隙が全く存在しない状態の密度」で定義され、試験法便覧 G027 理論最大密度の実測（ライス法、ASTM D2041/AASHTO T209、を標準化したもの）により求められる。

ii) 見かけ密度を求める。

アスファルト混合物をモールドに入れ、SGC で締め固める。(付図 6.1 参照)

最終回転数 ( $N_{max}=205$  回)まで締め固め、回転数と混合物高さの関係から、見かけ密度 ( $N_{ini}, N_{des}, N_{ini}$ ) を求める。ここで計算は、試験体を平滑な側面を有する円柱と仮定する。

- ・見かけ密度：試験体の空中重量を、締め固め後の高さおよびモールド内径から試験体容積 ( $\pi R^2/4 \times h$ ) を用いて算出した密度

$$\text{見かけ密度} = \text{空中重量} / \text{容積} \quad (\text{式 1})$$

iii) かさ密度、補正係数を求める。

最終回転数 ( $N_{max}=205$  回)まで締め固めた試験体の密度試験を行い、 $N_{max}$  でのかさ密度を測定。

- ・かさ密度 ( $N_{max}$ ):「調査試験法便覧 B008-1 密粒度アスファルト混合物等の密度試験方法」、(AASHTO T166 ) により得られる密度

$$\text{かさ密度} (N_{max}) = \text{空中重量} / (\text{表乾重量} - \text{水中重量}) \times \text{水の密度} (\neq 1.0) \quad (\text{式 2})$$

- ・補正係数：見かけ密度とかさ密度から密度の補正係数を求める。

$$\text{補正係数 } C = \text{かさ密度} (N_{max}) / \text{見かけ密度} (N_{max}) \quad (\text{式 3})$$

- ・かさ密度 ( $N_{ini}, N_{des}$ ): 見かけ密度 ( $N_{ini}, N_{des}$ ) に補正係数 C を用いて修正し、各回転数における計算上のかさ密度 ( $N_{ini}, N_{des}$ ) を求める。

$$\text{かさ密度} (N_{ini}, N_{des}) = \text{補正係数 } C \times \text{見かけ密度} (N_{ini}, N_{des}) \quad (\text{式 4})$$

iv) 空隙率を求める。

回転数に対応する密度（空隙を含む）と理論最大密度（空隙を含まない）より、空隙率を求める。

- ・空隙率：密度より得られる空隙率

$$\text{空隙率} = (1 - \text{密度} / \text{理論最大密度}) \times 100 \quad (\text{式 5})$$

(4) 試験結果

1) 配合設計

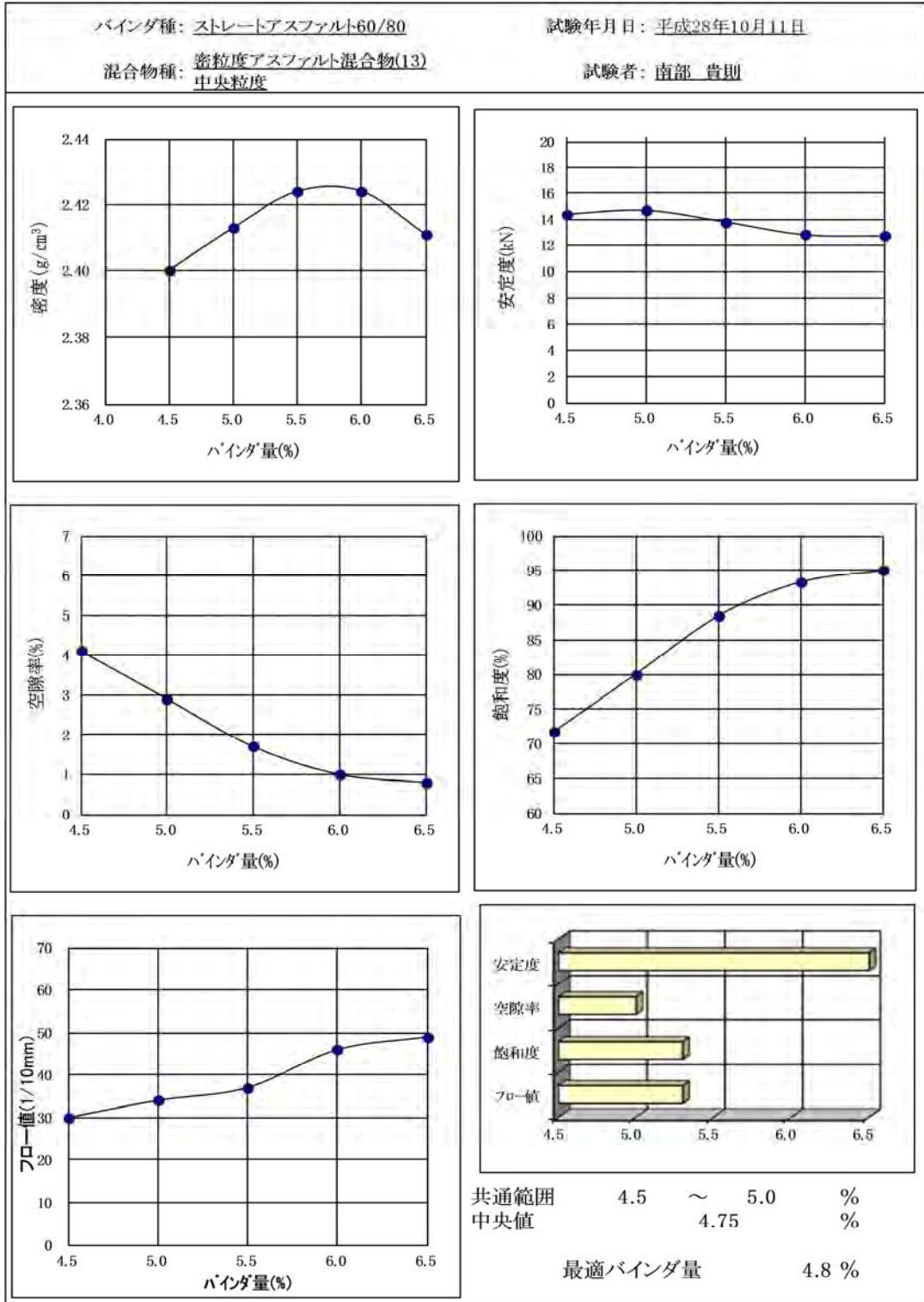
中央、上方、下方の3粒度について配合設計を行った。試験結果のまとめを付表 6.10 に示す。

付表 6.10 マーシャル試験結果

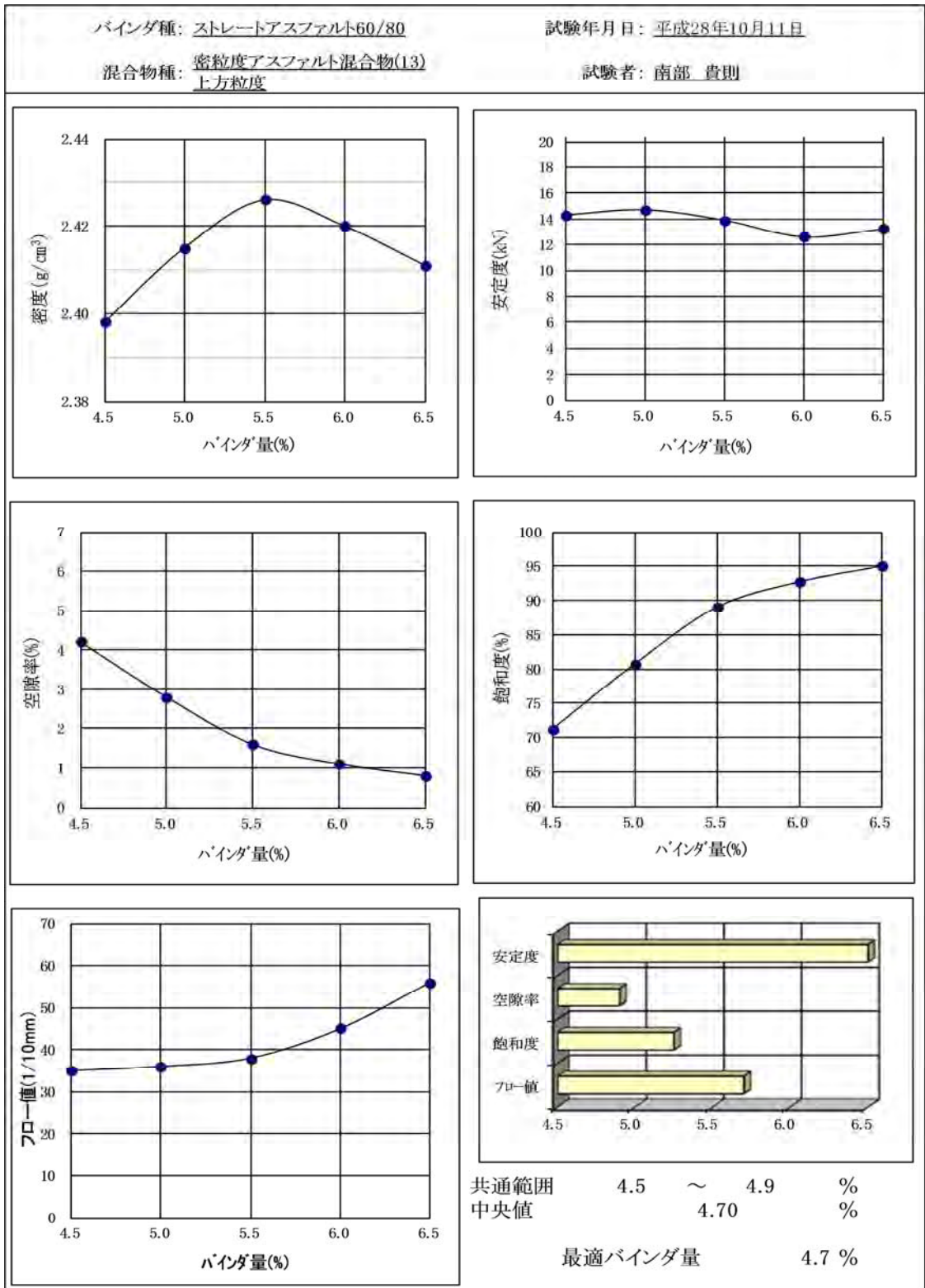
配合名	OAC (%)	理論最大密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	基準密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	空隙率 (%)	飽和度 (%)	VMA	安定度 (kN)	フロー値 (1/100cm)	S/F kN/m
上方粒度	4.7	2.495	2.409	3.4	76.2	14.5	15.4	35	4,400
中央粒度	4.8	2.492	2.409	3.3	77.2	14.5	14.3	36	3,972
下方粒度	4.8	2.492	2.403	3.6	75.5	14.6	15.0	38	3,947
基準値	—	—	—	3~6	70~85	16以上 (望ましい値)	7.35以上 (重交通)	20~40	2,500以上 (重交通)

中央粒度の配合試験結果を付表 6.11 に、上方粒度の配合試験結果を付表 6.12 に、下方粒度の配合試験結果を付表 6.13 に示す。

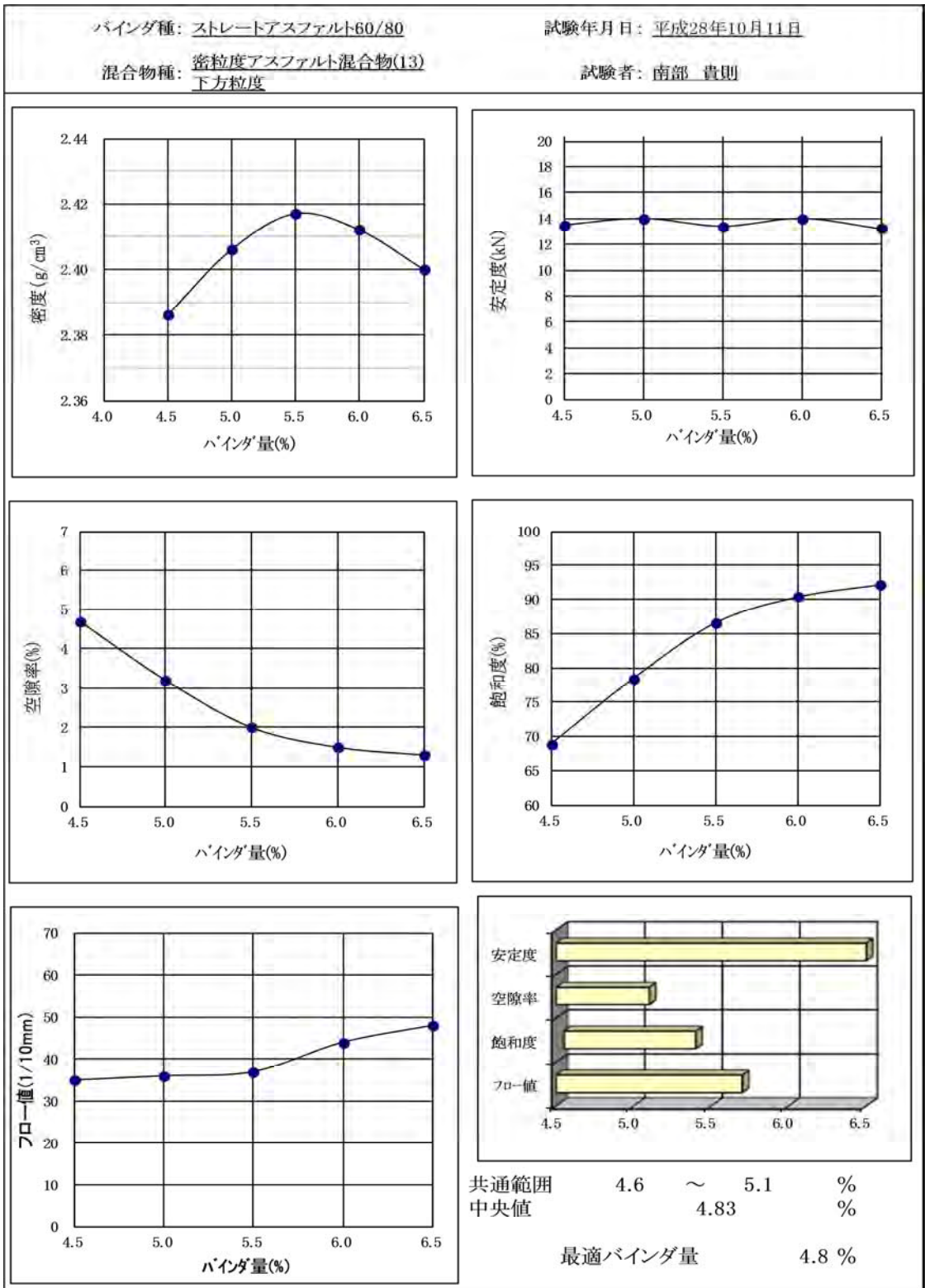
付表 6.11 マーシャル試験結果 (中央粒度)



付表 6.12 マーシャル試験結果 (上方粒度)



付表 6.13 マーシャル試験結果 (下方粒度)





【各混合物におけるアスファルト量および基準密度】

3 粒度における OAC をもとに、各混合物についての基準密度を求めた。各混合物における基準密度を付表 6.14 に示す。以降の評価試験は、求めた基準密度に対して締固め度  $100 \pm 1\%$  の混合物を用いて行った。

表 6.14 アスファルト量と基準密度一覧

No.	混合物種	アスファルト量[%]	基準密度[g/cm <sup>3</sup> ]
①	密粒(13)中OAC	4.8	2.409
②	密粒(13)中+0.6%	5.4	2.422
③	密粒(13)中+0.3%	5.1	2.416
④	密粒(13)中-0.3%	4.5	2.400
⑤	密粒(13)中-0.6%	4.2	2.392
⑥	密粒(13)上OAC	4.7	2.409
⑦	密粒(13)下OAC	4.8	2.403
⑧	密粒(13)下+0.6%	5.4	2.416
⑨	密粒(13)下+0.3%	5.1	2.409
⑩	密粒(13)下-0.3%	4.5	2.386
⑪	密粒(13)下-0.6%	4.2	2.373
⑫	再現試験①	4.8	2.421
⑬	再現試験②	4.8	2.408

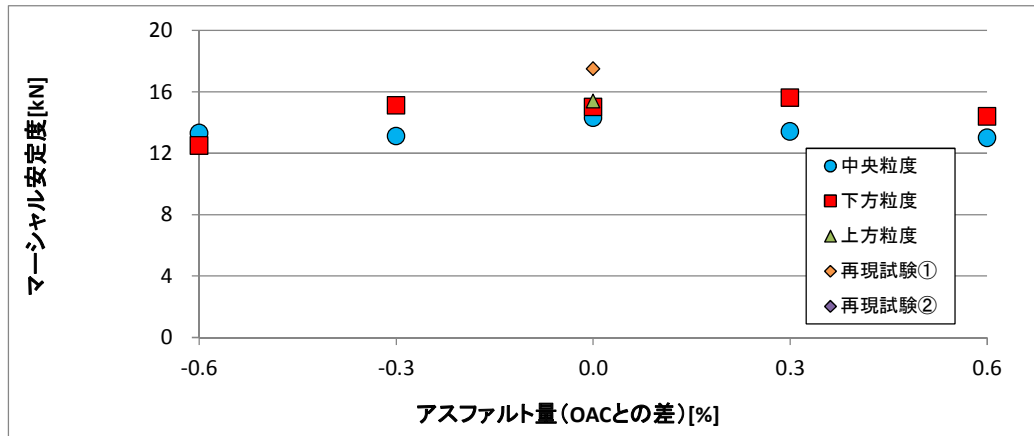
### 3) マーシャル安定度

マーシャル安定度試験結果を付表 6.15 に示す。マーシャル安定度とアスファルト量、粒度の関係を付図 6.2 に、フロー値とアスファルト量、粒度の関係を付図 6.3 に示す。また、試験状況を写真に示す。

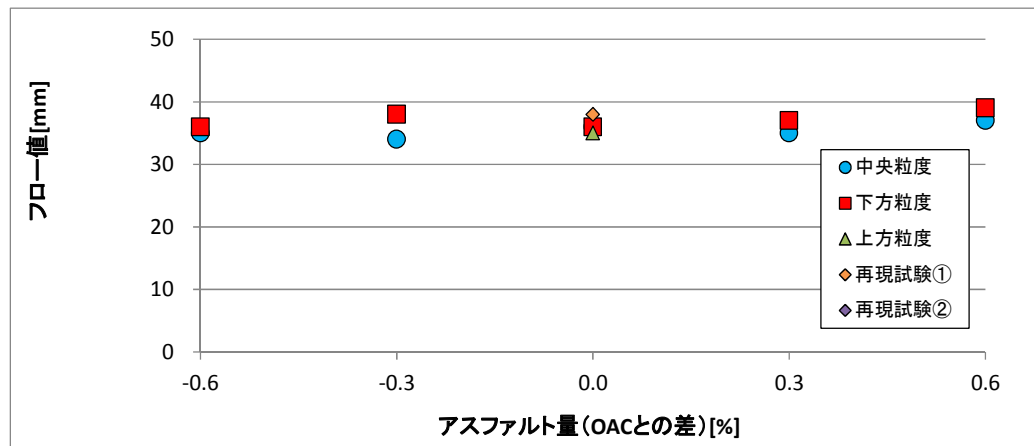
付表 6.15 マーシャル安定度とフロー値

混合物種	マーシャル安定度[kN]	フロー値[1/100cm]
中央粒度OAC	14.3	36
中央粒度+0.6%	13.0	37
中央粒度+0.3%	13.4	35
中央粒度-0.3%	13.1	34
中央粒度-0.6%	13.3	35
上方粒度OAC	15.4	35
下方粒度OAC	15.0	36
下方粒度+0.6%	14.4	39
下方粒度+0.3%	15.6	37
下方粒度-0.3%	13.3	38
下方粒度-0.6%	12.5	36
再現試験①	17.5	38
再現試験②	18.1	37





付図 6.2 アスファルト量 (OAC との差) とマーシャル安定度の関係



付図 6.3 アスファルト量 (OAC との差) とフロー値の関係



写真 マーシャル安定度試験状況

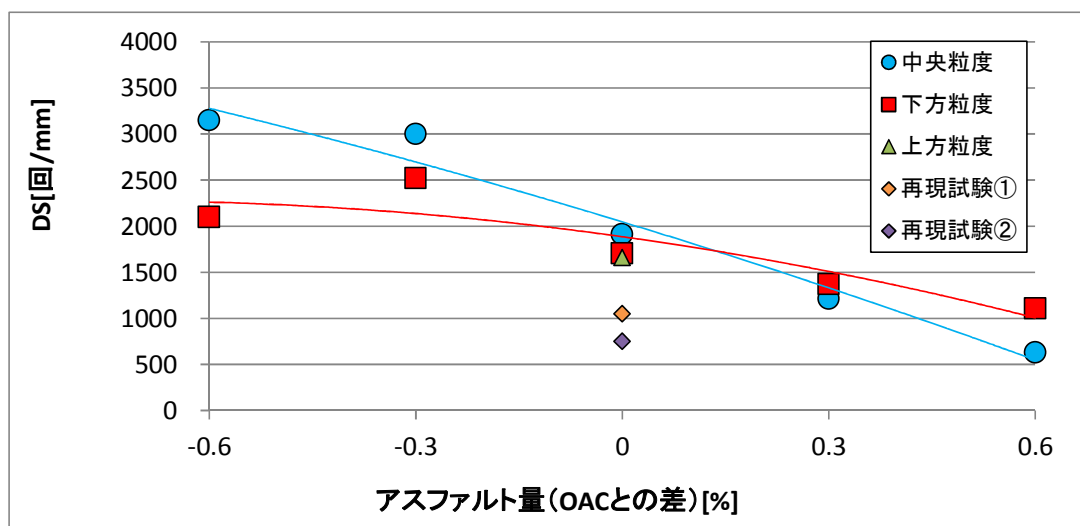
### 3) ホイールトラッキング試験

ホイールトラッキング試験 (以下、WT試験) 結果を付表 6.16 に示す。また、試験状況および試験後供試体の外観を写真に示す。試験結果から、以下の傾向が得られた。

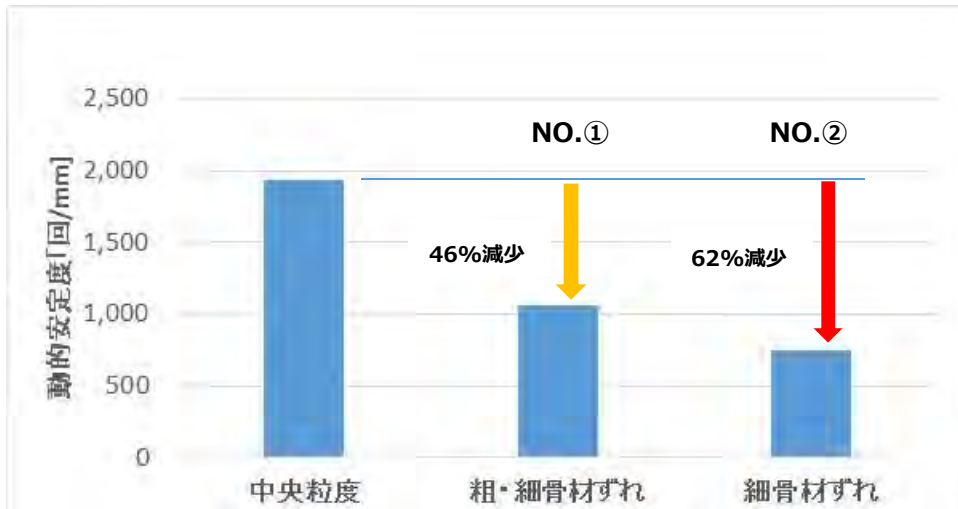
- ・アスファルト量が少なくなるとともに、いずれの粒度でも DS が高くなる傾向が見られた。(付図 6.4)
- ・中央粒度の方が下方粒度よりもアスファルト量の増減による DS への影響が大きかった。(付図 6.4)
- ・OAC で比較すると、再現試験①、②の DS は、密粒度アスファルト混合物(13)のいずれの粒度よりも低くなった。また、再現試験①、②における DS は、細骨材のみを適正範囲から外した②の粒度の方が低くなった。(付図 6.5)

付表 6.16 WT試験結果

混合物種	空隙率[%]	d <sub>45</sub> [mm]	d <sub>60</sub> [mm]	d <sub>0</sub> [mm]	DS[回/mm]
中央粒度OAC+0.6%	2.4	5.85	6.85	2.85	630
中央粒度OAC+0.3%	3.0	3.51	4.03	1.95	1212
中央粒度OAC	3.7	2.36	2.69	1.38	1909
中央粒度OAC-0.3%	4.0	1.68	1.89	1.04	3000
中央粒度OAC-0.6%	5.6	1.84	2.05	1.23	3150
下方粒度OAC+0.6%	2.2	4.29	4.87	2.57	1105
下方粒度OAC+0.3%	3.4	3.40	3.85	2.03	1370
下方粒度OAC	3.4	2.57	2.94	1.46	1703
下方粒度OAC-0.3%	4.2	1.97	2.22	1.23	2520
下方粒度OAC-0.6%	6.0	2.32	2.62	1.43	2100
上方粒度OAC	4.1	3.18	3.56	2.05	1658
再現試験①	3.7	3.13	3.73	1.44	1050
再現試験②	4.1	3.94	4.78	1.43	750



付図 6.4 アスファルト量 (OAC との差) と DS の関係



付図 6.5 骨材粒度の中央粒度からの外れの影響



写真 WT試験状況

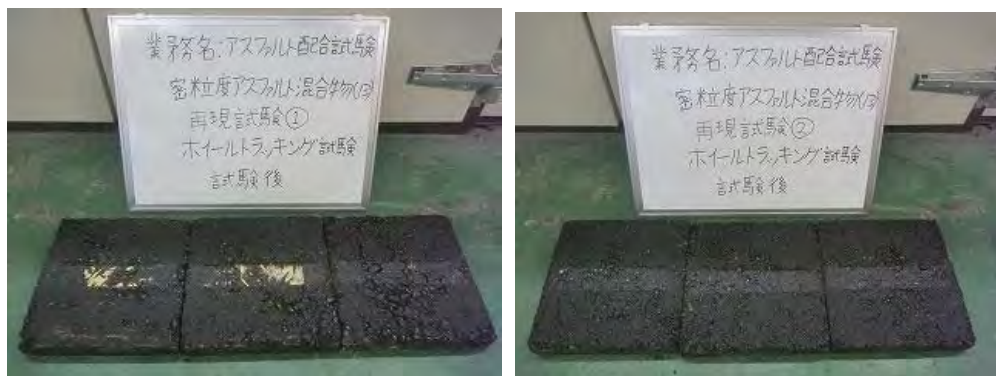


写真 WT試験後供試体 (左: 再現試験①、右: 再現試験②) 外観

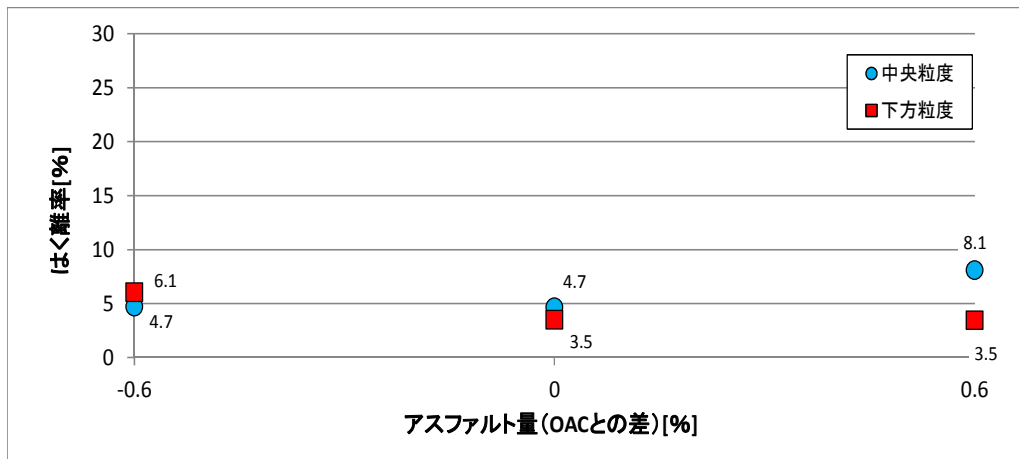
#### 4) 水浸ホイールトラッキング試験

水浸ホイールトラッキング試験（以下、水浸WT試験）結果を付表 6.17 および付図 6.6 に示す。また、試験状況及び試験後の供試体の断面写真を写真に示す。

- ・中央粒度、下方粒度において、アスファルト量と剥離率に明確な差は見られなかった。
- ・アスファルト量が減少しても剥離率は、さほど増大していない。

付表 6.17 水浸WT試験結果

混合物種	空隙率[%]	はく離率[%]
中央粒度OAC	3.7	4.7
中央粒度+0.6%	2.4	8.1
中央粒度-0.6%	5.6	4.7
下方粒度OAC	3.4	3.5
下方粒度+0.6%	2.2	3.5
下方粒度-0.6%	6.0	6.1



付図 6.6 アスファルト量 (OAC との差) とはく離率の関係



写真 水浸WT試験状況





写真 水浸WT試験後の断面（左：中央粒度 OAC、右：下方粒度 OAC）



写真 水浸WT試験後の断面（左：中央粒度 OAC+0.6%、右：下方粒度 OAC+0.6%）

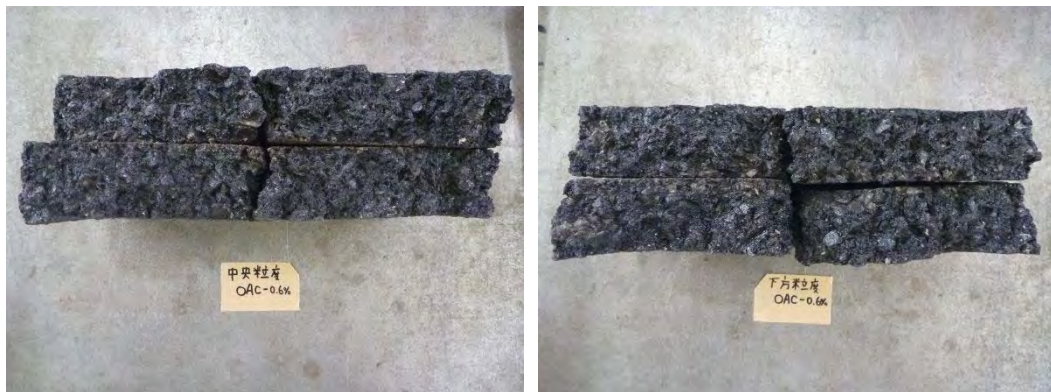


写真 水浸WT試験後の断面（左：中央粒度 OAC-0.6%、右：下方粒度 OAC-0.6%）

### 5) 曲げ試験

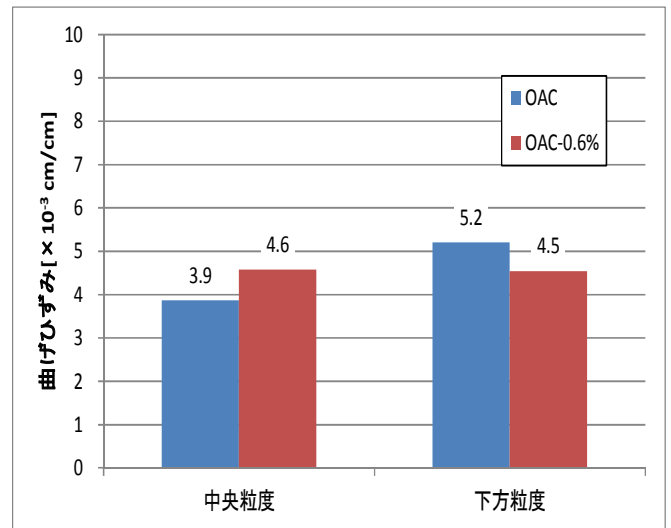
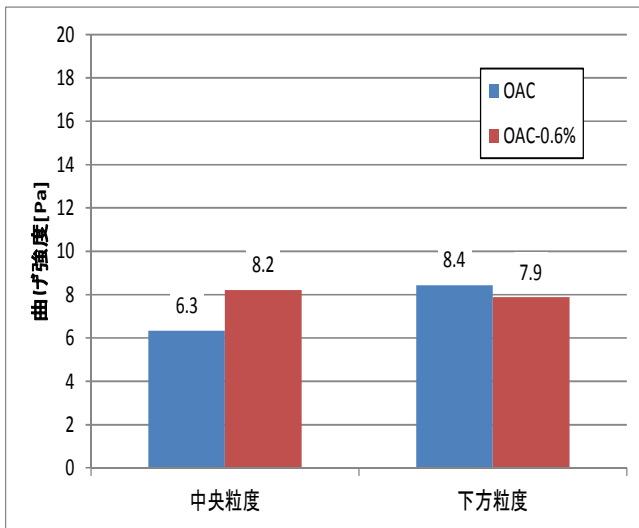
混合物の曲げ試験結果を付表 6.18 および付図 6.7, 付図 6.8 に示す。また、試験状況を写真に示す。

- ・曲げ強度および曲げひずみとも、アスファルト量や粒度の違いによる明確な差は見られなかった。

付表 6.18 曲げ試験結果

混合物種	空隙率[%]	曲げ強度[MPa]	曲げひずみ[ $\times 10^{-3}$ cm/cm]
中央粒度OAC	3.7	6.27	3.87
中央粒度-0.6%	5.6	8.14	4.57
下方粒度OAC	3.4	8.36	5.20
下方粒度-0.6%	6.0	7.82	4.54

※空隙率はカット前の混合物の値



付図 6.7 中央粒度および下方粒度の曲げ強度 付図 6.8 中央粒度および下方粒度の曲げひずみ



写真 曲げ試験状況

## 6) 理論最大密度

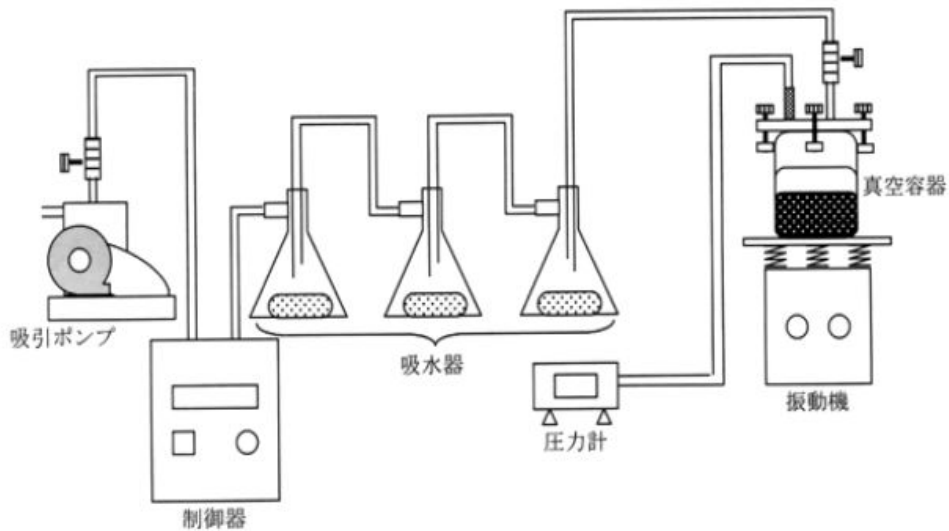
最大密度試験より求めた理論最大密度を付表 6.19 に示す。試験状況を写真に、試験装置の概要を付図 6.9 に示す。

付表 6.19 最大密度試験結果

混合物		理論最大密度[g/cm <sup>3</sup> ]
粒度	アスフ量 (%)	
中央粒度	4.2	2.515
	4.5	2.504
	4.8(OAC)	2.493
	5.1	2.484
	5.4	2.472
下方粒度	4.2	2.517
	4.5	2.503
	4.8(OAC)	2.491
	5.1	2.484
	5.4	2.467
上方粒度	4.7(OAC)	2.495
再現試験①	4.8	2.493
再現試験②	4.8	2.489



写真 最大密度試験状況



出典：計算法と実測法によるアスファルト混合物の理論最大密度の比較、高橋

付図 6.9 Rice 法の試験装置の概要



## 7) SGC による混合物締固め試験

最終回転数 (Nmax = 205) での高さの変位から求めた見かけ密度 (参考資料 4 参照)、実測によるかさ密度の 2 つの密度を求め補正係数 C (correction factor) を算出した。見かけ密度、かさ密度より見かけの空隙率、かさ空隙率を求めた。検討結果を付表 6.20 に示す。試験状況を写真に示す。

付表 6.20 最終回転数 (N<sub>max</sub>=205) における密度、補正係数および空隙率

混合物		密度[g/cm <sup>3</sup> ]		補正係数	空隙率[%]	
粒度	アス量 (%)	見かけ	かさ		見かけ	かさ
中央粒度	4.2	2.366	2.430	1.027	5.9	3.4
	4.5	2.381	2.444	1.027	4.9	2.4
	4.8(OAC)	2.415	2.467	1.022	3.1	1.0
	5.1	2.387	2.444	1.024	3.9	1.6
	5.4	2.414	2.455	1.017	2.3	0.7
下方粒度	4.2	2.349	2.430	1.034	6.6	3.5
	4.5	2.368	2.448	1.034	5.4	2.2
	4.8(OAC)	2.394	2.457	1.026	3.9	1.4
	5.1	2.384	2.447	1.027	4.0	1.5
	5.4	2.392	2.447	1.023	3.1	0.8
上方粒度	4.7(OAC)	2.407	2.458	1.021	3.5	1.5
再現試験①	4.8	2.408	2.451	1.018	3.4	1.7
再現試験②	4.8	2.389	2.448	1.025	4.0	1.6

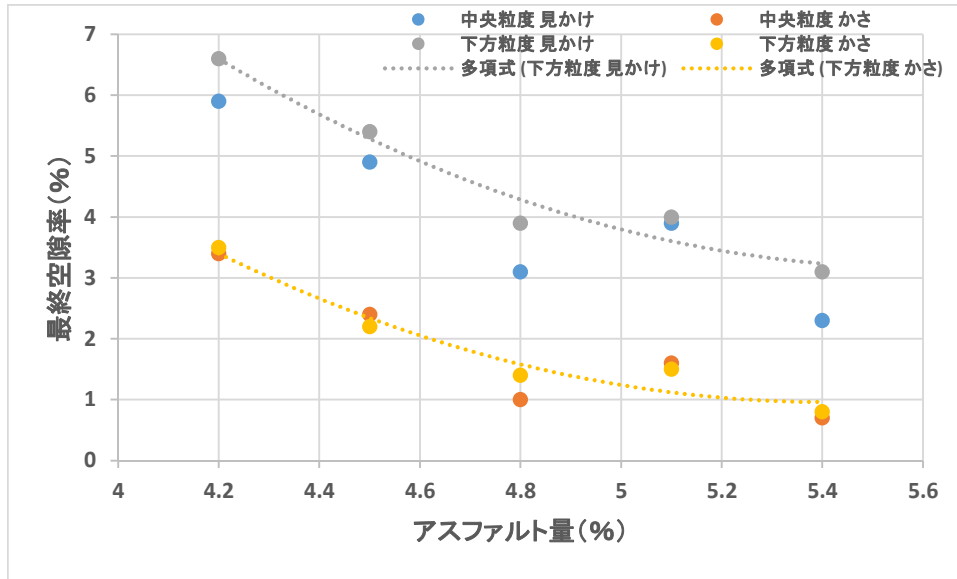


写真 SGC 締固め試験状況

最終回転数 (Nmax = 205) での見かけ密度よりもとめた見かけの空隙率、かさ密度より求めかさ空隙率とアスファルト量の間関係を付図 6.10 に示す。

- ・ SGC による最終空隙率とアスファルト量の間には明確な相関があり、アスファルト量を少なくしたほうが最終空隙率は大きくなっている。
- ・ 中央粒度と下方粒度で空隙率には有意の差は確認できなかった。
- ・ 見かけの空隙率とかさ空隙率には比較的大きな差が見られた。

かさ空隙率と見かけの空隙率の差についての分析 (参考資料 4 参照) からかさ空隙率を試験結果として採用する。



付図 6.10 アスファルト量と見かけ最終空隙率、かさ最終空隙率

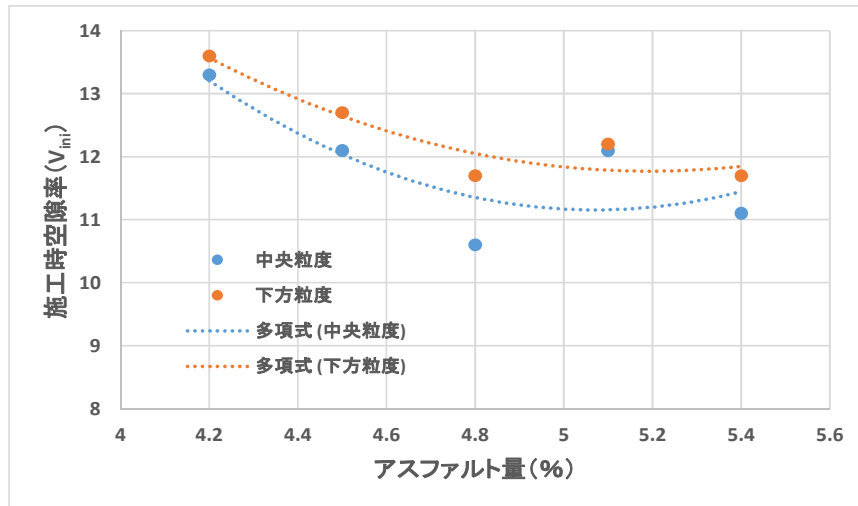
補正係数を使い、施工時、設計時の見かけ密度からかさ密度を求め、施工時のかさ空隙率 ( $V_{ini}$ ) と設計時のかさ空隙率 ( $V_{des}$ ) を算出した結果を付表 6.21 に示す。

付表 6.21 施工時 ( $N_{ini}=9$ )、設計時 ( $N_{des}=125$ ) における空隙率

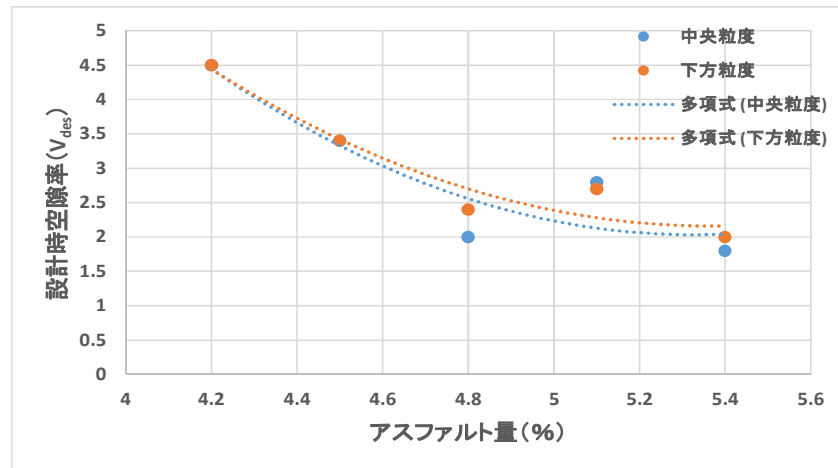
混合物		かさ空隙率[%]	
粒度	アス量 (%)	施工時 ( $V_{ini}$ )	設計時 ( $V_{des}$ )
中央粒度	4.2	13.3	4.5
	4.5	12.1	3.4
	4.8(OAC)	10.6	2.0
	5.1	12.1	2.8
	5.4	11.1	1.8
下方粒度	4.2	13.6	4.5
	4.5	12.7	3.4
	4.8(OAC)	11.7	2.4
	5.1	12.2	2.7
	5.4	11.7	2.0

アスファルト量と施工時のかさ空隙率 ( $V_{ini}$ ) の関係を付図 6.11 に、アスファルト量と設計時のかさ空隙率 ( $V_{des}$ ) の関係を付図 6.12 に示す。

- ・施工時の空隙率 ( $V_{ini}$ ) は、アスファルト量が少なくなると若干大きくなる。
- ・施工時の空隙率 ( $V_{ini}$ ) は、下方粒度のほうが若干大きくなる。
- ・設計時の空隙率 ( $V_{des}$ ) は、アスファルト量が少なくなると大きくなる。
- ・設計時の空隙率 ( $V_{des}$ ) は、中央粒度と下方粒度で明確な差は見られなかった。



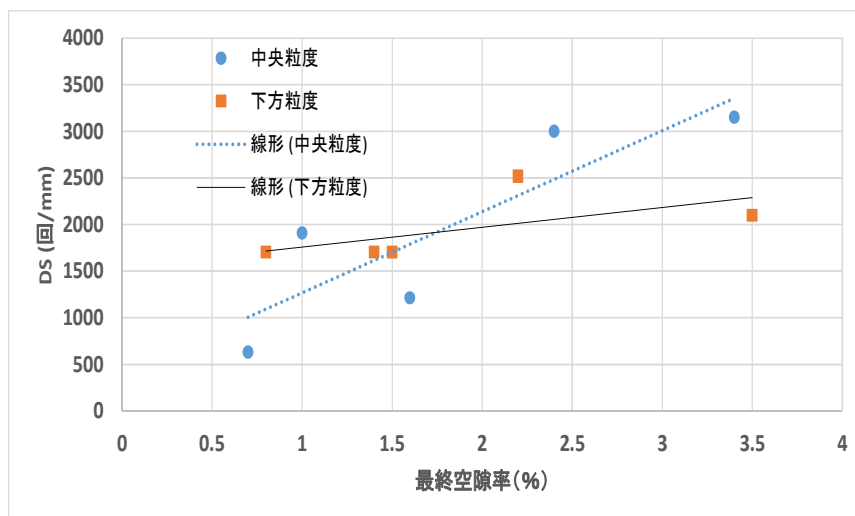
付図 6.11 アスファルト量と施工時空隙率



付図 6.12 アスファルト量と設計時空隙率

最終空隙率とDSの関係を付図 6.13 に示す。

- ・SGCによる最終空隙率とDSの間に相関があることが確認できた。



付図 6.13 最終空隙率と動的安定度 (DS) の関係

## (5) 考察

本試験における考察を以下に示す。

### (1) 塑性変形抵抗性に起因するパラメーター

今回の試験では、空隙率を大きくする（アスファルト量を、OAC-0.6 の範囲内で少なくする）ことで、剥離抵抗性やたわみ追従性を損なわずに塑性変形抵抗性を向上させることができた。なお、この試験ではストレートアスファルトでも中央粒度の OAC で 1,500~2,000 回/mm という高い数値を得ているがこれは、形状のいい良質な粗骨材と砕砂の組み合わせが、好ましい骨材骨格を形成し高い DS が得られたと考えられる。ストレートアスファルトによってどの程度まで DS 値を確保できるは、経済性の観点からも重要であるので、本試験で最大 3250 回/mm と、一般に 1500 回/mm 程度とみられている値の倍以上の高い値を得た理由については今後研究の価値がある。

### (2) SGC による最終空隙率の検討

SGC による最終空隙率とアスファルト量の間には明確な相関があり、アスファルト量を少なくしたほうが最終空隙率は大きくなっており、また、SGC による最終空隙率と DS の間に相関があることが確認できた。

SGC では、最終空隙率 2~2.5%以上確保することが規定されているが、空隙率 2%で区切ってみると、空隙率 2%以上の混合物ではすべて DS が 2000 以上であるのに対して、2%未満の混合物ではすべて 2000 以下（左下）となっていて、2%程度が一つの分岐点となることを示唆している。

なお、本試験の DS 値はストレートアスファルト混合物としては極めて高い数値となっている。この原因としては、形状のいい良質な硬い粗骨材と砕砂の組み合わせが、好ましい骨材骨格を形成し、高い耐流動性を発揮したためと推定される。今後、異種の岩質の粗骨材や、天然砂等の細骨材を使用した比較試験を行って耐流動性向上の要因を探り、DS 値向上のための知見集積に貢献することが期待される。

### (参考資料3) 計算法と実測法によるアスファルト混合物の理論最大密度の比較

我が国では配合設計等で空隙率を求める場合、計算法(式6)により理論最大密度を求めている。一方、SUPERPAE法では、実測値(試験法便覧G027 理論最大密度の実測(ライス法、ASTM D2041 / AASHTO T209、を標準化したもの)より求めている。既往の文献では、実測値より計算法で求めた場合が大きくなるとして理由が説明されている。式(6)の理論最大密度の計算において重要なのは、個々の骨材に対してどのような状態の比重を用いるかである。

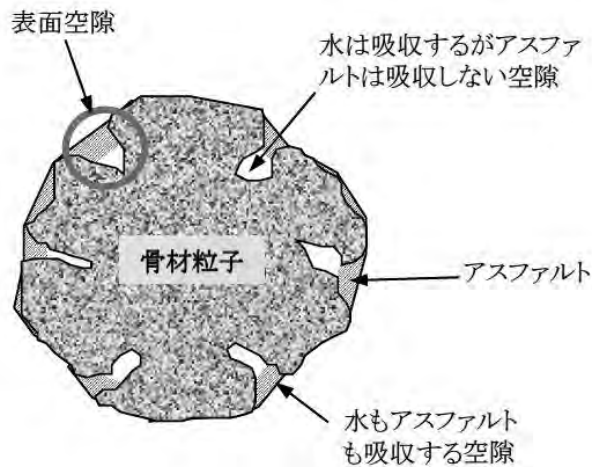
理論最大密度は、次式によって計算する。

$$D_t = \frac{100}{\frac{W_a}{D_a} + \frac{1}{\rho_w} \times \sum_{i=1}^n \frac{W_i}{G_i}} \quad (\text{式6})$$

ここに  $W_i$  : 各骨材の配合率 (%)  
 $G_i$  : 各骨材の密度 (g/cm<sup>3</sup>)  
 $W_a$  : アスファルトの配合率 (%)  
 $D_a$  : アスファルトの密度 (g/cm<sup>3</sup>)  
 $\rho_w$  : 常温の水の密度 (通常 1 g/cm<sup>3</sup>)

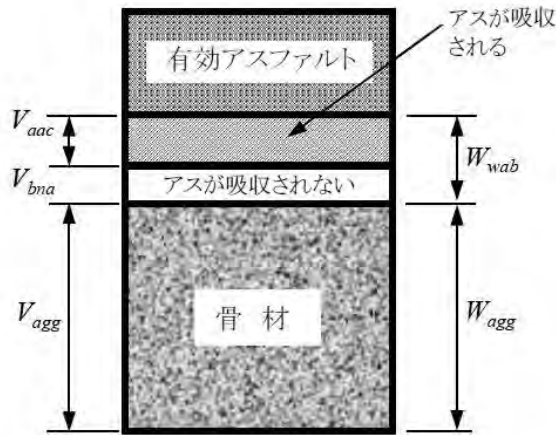
計算には、一般に見かけ比重を用いており、見かけ比重(Gsa)の算定に関し、日本では一般に無視されている骨材のアスファルトの吸収を考慮して、SUPERPAVEでは以下のように説明されている。

- ・アスファルト混合物中の骨材粒子には、模式的に付図6.14に示すように、表面空隙と称される細かな空隙が存在しており、加熱混合したアスファルトが骨材表面を皮膜した場合、アスファルトが入り込んで、吸収されたような状態になる。アスファルトは水よりも粘性が高いことから、入り込む量は水よりも少ないとされている。そのため「水は吸収するがアスファルトは吸収しない空隙が存在する。
- ・骨材の空隙に吸収されたアスファルトは骨材をつなぐバインダとして機能せず、これ以外の表面を皮膜するアスファルトがバインダとしての役割を果たす。



出典：計算法と実測法によるアスファルト混合物の理論最大密度の比較、高橋

付図6.14 アスファルト混合物中の骨材粒子の状態



出典：計算法と実測法によるアスファルト混合物の理論最大密度の比較、高橋  
付図 6.15 アスファルト混合物の構成要素（本来の空隙を含まない）

計算には一般に見かけ比重を用いており、見かけ比重（Gsa）は次式で算定される。

$$Gsa = \frac{W_{agg}}{V_{agg}} \quad (式 7)$$

式(1)の各骨材の密度（Gi）に Gsa を用いた場合は、「水は吸収するがアスファルトは吸収しない空隙」も存在しない状態のものである。従って、見かけ密度を（Gsa）用いて締め後の空隙率を求めた場合、その空隙には「水は吸収するがアスファルトは吸収しない空隙」も含まれることになる。この空隙は、アスファルト混合物の構成要素としての空隙とは別のもので機械的に無意味なもので、主に骨材の品質や状態に起因するものであることから、骨材の特性値に含めることが合理的である。この場合の骨材の有効比重(Gse)は次式で表わされる。

$$Gse = \frac{W_{agg}}{V_{agg} + V_{bna}} \quad (式 8)$$

この有効比重（Gse）を求めるために開発された方法が Rice 法である。式より見かけ比重(Gsa) > 有効比重（Gse）であり、計算法で求めた理論最大密度 > 実測法より求めた理論最大密度となる。一般に吸水率が大きい骨材ほど差が大きいと予想される。我が国のガイドラインでは、吸水率が 1.5%を超える粗骨材を使用する場合は見かけ比重と表乾比重の平均値を用いることになっている。

本試験で行った最大密度試験について、試験方法についての手順は下記の通りである。

<最大密度試験>

- ①アスファルト混合物をフラスコに入れる(試料重量を測定)。その後水を浸す程度入れる。
- ②界面活性剤(洗剤)を一滴入れる。
- ③真空ポンプで空気を除く。(真空度は 2kPa 程度)
- ④15 分そのまま保つ。
- ⑤数分に一回のペースでフラスコを振り、骨材に付いた泡を除く。
- ⑥泡がほぼ見られなくなったら真空ポンプを止める(おおよそ 3~4 時間)。

⑦ フラスコ内を水で満たし、25℃の水槽で養生する。

⑧ 水と試料で満たされたフラスコの重量を測定する。

本試験は骨材表面に付着する泡が完全になくなったら試験終了とした。

#### (参考資料4) SGC 締固め試験におけるかさ空隙と見かけ空隙について

本試験において、かさ空隙率と見かけの空隙率に大きな差が見られることは、かさ密度と見かけ密度に大きな差があるからである。

$$\text{見かけ密度}^1 = \text{空中重量} / \text{容積} (nR^2/4 \times h)$$

$$\text{かさ密度} = \text{空中重量} / (\text{表乾重量} - \text{水中重量})$$

かさ密度と見かけ密度に大きな差がある理由は、計算容積 ( $nR^2/4 \times h$ ) と実測容積 (表乾重量 - 水中重量) に差があるためである。(付表 6.22)

付表 6.22 見かけ密度とかさ密度の容積の差

混合物		容積[cm <sup>3</sup> ]		
粒度	アス量 (%)	計算値	実測値	差
中央粒度	4.2	519.2	506.2	13.0
	4.5	518.4	507.3	11.1
	4.8(OAC)	508.9	500.0	8.9
	5.1	516.0	504.5	11.5
	5.4	517.6	506.3	11.3
下方粒度	4.2	523.1	504.9	18.2
	4.5	519.9	500.7	19.2
	4.8(OAC)	511.3	499.1	12.2
	5.1	518.4	505.3	13.1
	5.4	512.1	503.6	8.5

容積の差はアスファルト量が少ないほど大きい。下方粒度アスファルト量 4.5%(OAC - 0.3%)と中央粒度アスファルト量 4.8%(OAC) の混合物の最終回転数まで締固めたあとの外観を写真に示す。



写真 下方粒度アスファルト量 4.5%(OAC - 0.3%)の供試体の締め固めた後の外観

<sup>1</sup> ここでいう見かけ密度とは、本検討においてのみ定義したものの(SGC での estimated bulk specific gravity) です。舗装施工便覧でいう見かけ密度とは「空中重量/(空中重量-水中重量)×水の比重」で算出されます。骨材に水が入り込む空隙が少なければ空中重量≒表乾重量となり、見かけ密度≒かさ密度とみなしてよい場合などに使われます。



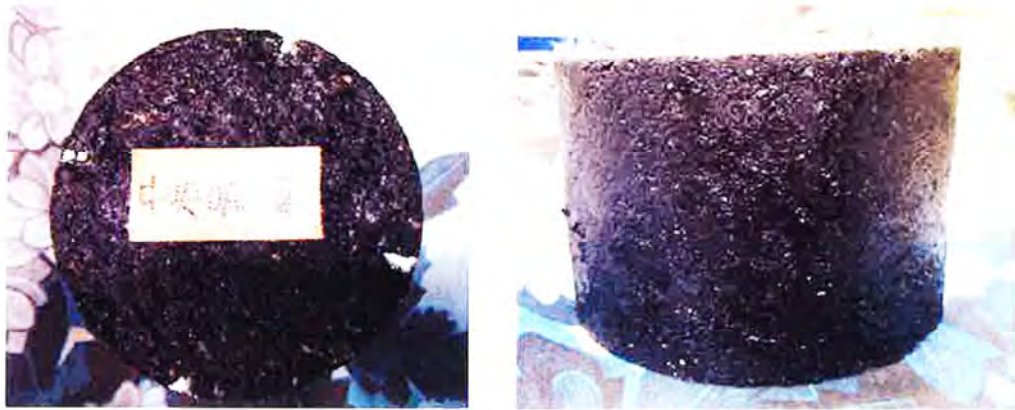
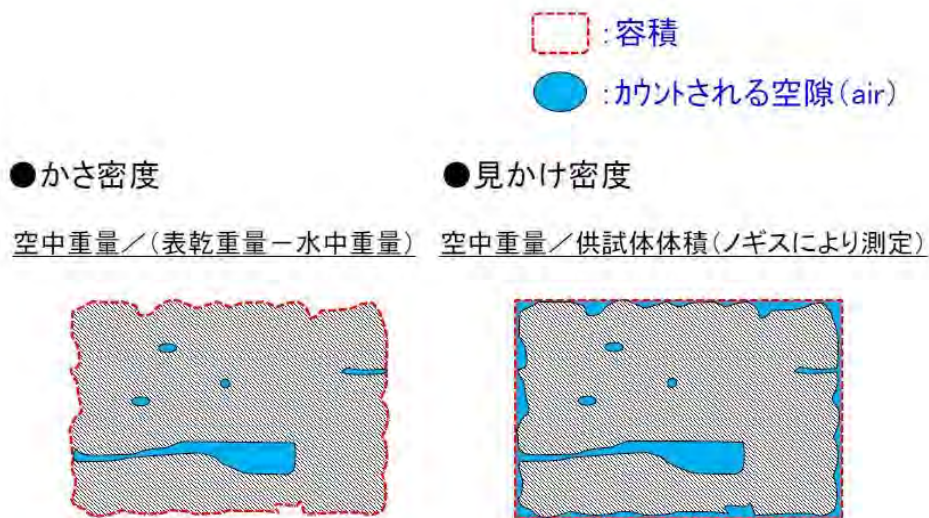


写真 中央粒度アスファルト量 4.8%(OAC)の供試体の締め固めた後の外観

計算容積は、表面が平滑で完全な正円柱形であるという前提に基づいている。しかしながら実際は、表面に表れた粗骨材の周縁にくぼみがあったりする。この現象は、中央粒度より下方粒度、アスファルト量が少ないとより顕著となっている。

かさ密度と見かけ密度の差、容積の差を模式図（付図 6.16）に示す。



付図 6.16 見かけ密度とかさ密度の定義

## 付属資料7 アスファルト混合物のホイールトラッキング(WT)試験による評価

### 【アスファルト混合物の評価】

我が国の無償資金協力事業にあっては、アスファルト混合物の評価（流動抵抗性）に対し、日本の基準を準用して目標値とすることが好ましい。アスファルト混合物の評価試験として、日本で実績のあるホイールトラッキング試験を活用する。本試験方法は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。多くの途上国にはホイールトラッキング試験機もないことから、ホイールトラッキング試験の実施が必要と認められる事業については、事業費にホイールトラッキング試験の費用を積算に反映させる。具体的には、供試体を日本に送って試験をするか、必要な試験機を用意し現地で試験を実施することを想定する。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が、ホイールトラッキング試験の必要性について検討するものとする。

### 【ホイールトラッキング（WT）試験機】

別紙にホイールトラッキング試験（WT 試験）に関する世界の基準を示す。各機関により試験機械、試験方法、試験装置、評価方法が異なるが、米国、ヨーロッパの試験機はハンブルグホイールトラッキング試験（HWT 試験）である。WT 試験と HWT 試験の仕様は概ね合致しているが、使用するタイヤの種類、結果の指標（結果の整理方法）等が異なっている。このため、日本の WT 試験のデータと経験を活用するためには、現時点では日本の WT 試験機を用いることが妥当である。HWT 試験機は、使用例が多く安価で入手しやすい。HWT 試験は、一万回までの車輪通過で変形量を計測するもので、日本式の WT との対応関係について、確認試験が望まれる。日本の試験仕様に合わせるためにタイヤゴムの JIS 硬度 84 への張替え、供試体設置部の改良等が必要となる。

ただし、現地政府の基準に HWT 試験によるアスファルト混合物の評価が明確に示されている場合には、HWT 試験を用いることも可能である。

### 【積算方法】

ホイールトラッキング試験は、共通仮設費の「7. 技術管理費」に計上し、「④特別な品質管理等に要する費用」として積み上げる。

表 7.1 WT 試験方法比較 - 1/2

国名	日本	英国	
基準	舗装試験法便覧 3-7-3	BS598-110 <sup>※1</sup>	
Device	Wheel Tracking	Wheel Tracking	
試験機 (例)			
供試体作成方法	300×300×50mm	305×305×50mm	
供試体養生条件	気中	気中	
試験の目的	わだち掘れ	わだち掘れ	
試験温度	60±2℃	45℃ (標準)	
試験時間 (載荷終了条件)	載荷開始から 60 分経過後	載荷開始から 45 分経過後	
試験機	タイヤ種類	ソリッドタイヤ (JIS 硬度 84)	ソリッドラバー (BS 硬度 80)
	タイヤ形状	W=5cm、φ=20cm	W=5cm、φ=20cm
	荷重	686±10N	520N
	サイクル	42±1 回/min (往復 21.0±0.5 回/min)	42 回±4/min (往復 21.0±2 回/min)
	走行距離	230 mm	230 mm
結果の整理	動的安定度 : DS (回/mm)	試料中央部の測点における変位を図る。最終 1/3 走行サイクルを対象に、時間当たりの変位量 (mm/hr) を求める。これに加え、最終的変位 (最大変位) (mm)をもとに試料の対流動性の評価を行う。	
備考	東京都では、供試体を直径 20cm×厚さ 5 cm の切り取りコアを原則としている。ただし、30×30×5cm (長さ・幅・厚さ) の現場切り取り試料で行ってもよいことにしている。供試体形状により目標 DS は異なる。	※ 1:英国では、2011 年より EN12697-22 によるホイールトラッキング試験方法へ移行している。	

表 7.2 WT 試験方法比較 - 2/2


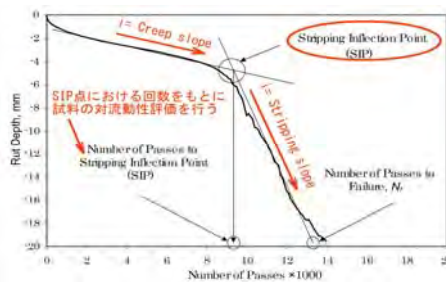
国名		米国	ヨーロッパ
基準		AASHTO T324-04	European Standard EN 12697-22 Small Size Device <sup>※2</sup> (maximum axle loads <13 tonnes <sup>※2</sup> )
Device		Humburg Wheel Tracking	Humburg Wheel Tracking
試験機 (例)			
供試体作成方法		φ150mm, t=60mm (ダルマ形) SGC (空隙率 7%)	φ150mm, t=60mm (空隙率 7%)
供試体養生条件		水中	気中 (A, B 法) 又は水中 (B 法)
試験の目的		わだち掘れ、水による剥離抵抗性	わだち掘れ、水による剥離抵抗性
試験温度		40 - 50℃	決まっていない (定めていない)
試験時間 (載荷終了条件)		試験輪 : 20,000 回通過後 変形量 : 40.90mm を超えた時	A 法 (HRA: Hot Rolled Asphalt) 試験輪 : 1,000 回 (往復) 通過後 変形量 : 15mm を超えた時
			B 法 (AC & SMA) 試験輪 : 10,000 回 (往復) 通過後 変形量 : 20mm を超えた時
試験機	タイヤ種類	鉄輪	ソリッドタイヤ
	タイヤ形状	W=47cm、φ=20.32cm	W=45~55mm、φ=200~205mm
	荷重	705±4.5N	630~770±10N
	サイクル	50 回/min (往復 25.0 回/min)	53 ± 2 回/min (往復 26.5±1 回/min)
	走行距離	供試体全幅 (230mm 程度)	230 mm
結果の整理		SIP までの通過回数 SIP までの変形量 : Creep Slope 破壊回数 : Stripping Slope 	A 法 試料中央部の測点における変位を図る。 最終 300 回 (往復) を対象に、サイクル当たりの平均変位量 (WTR (Mean Wheel Tracking Rate) (μm/回) を求める。これに加え、最終的変位 (最大変位) (mm) をもとに試料の対流動性の評価を行う。 B 法 25 ケ点の測点における平均変位を求め、5,000 回及び 10,000 回時における変位量 (それぞれ D <sub>5,000</sub> -D <sub>10,000</sub> ) を求め、下記式により平均トラッキング勾配 (Mean Wheel Tracking Slope) (WTS) を計算する WTS = (D <sub>10,000</sub> - D <sub>5,000</sub> ) / 5
備考			※2: EN12697-22 では、13t 以上の軸重について別途試験方法が規定されている。

表 7.3 WT 試験機の例 - ホイールトラッキング試験機

	ホイールトラッキング試験				
	日本標準舗装試験 (舗装試験法便覧 3-7-3)			BS 598:110	
試験機 (例)	試験機 (例) : 大和建工 				
概要	<p>イギリスの交通研究所 (TRL) で開発された WT 試験機と同様の試験機を使用する。            アスファルト混合物の耐流動性を評価する試験。所定の寸法の供試体上を載荷した小型のゴム車輪を規定温度、規定時間、規定速度で繰り返し往復走行させ、単位時間あたりの変形量から動的安定度 (回/mm) を求める。値が 6,000 (回/mm) にも達すると試験精度に問題があるため判定や値の取扱いには慎重を要する。</p>				
主要試験機と金額	メーカー	A 社	B 社	C 社	Jet Materials (英国)
	アスファルトミキサー (30kg)	1,700,000	1,850,000	1,800,000	
	ローラーコンパクター	3,350,000	3,890,000	3,700,000	
	ホイールトラッキング試験機	11,000,000	12,350,000	6,000,000	12,500
	計 (税別)	<b>16,050,000</b>	<b>18,090,000</b>	<b>11,500,000</b>	12,500
		円	円	円	EUR
対応基準	舗装試験法便覧 3-7-3			EN 12697-22 / BS 598:110	
備考	日本国内購入			バンコク受取 : +2,750EUR ダルエス受取 : +2,750EUR	



表 7.4 WT 試験機の例 - ハンブルグホイールトラッキング試験機

ハンブルグホイールトラッキング試験			
EN 12697-22 / AASHTO T324 (世界標準)			
試験機 (例)			
概要	<p>評価は、タイヤ通過回数 1 万回時の変形量を対象とする。従来手法は 2520 回*と約 4 分の 1 にとどまるため、より詳細な評価が可能になる。従来が試験開始後 45 分と 60 分の変形量の差だけに注目するのに対し、ハンブルグホイールトラッキング試験機は試験開始前後の供試体そのものの変形量に着目する。水に浸かった状態で試験が行えるのも特徴で、耐水性や剥離抵抗性といった性能の評価も可能となる。</p>		
主要試験機と金額	infraTest (ドイツ)	Jet Materials (英国)	CONTROLS 社 (イタリア)
	24,590		
	43,970		
	35,894	21,500	9,000,000
	<b>104,454</b>	21,500	9,000,000
	EUR	EUR	円
対応規準	EN 12697-22, ASHTOO T324	EN 12697-22, ASHTOO T324	EN 12697-22, AASHTO T324
備考	<p>バンコク受取：+1,000~2,000EUR ダルエス受取：+1,000~2,000EUR 機材ごとに梱包料金と輸送料金は異なる。</p>	<p>バンコク受取：+2,850EUR ダルエス受取：+2,850EUR</p>	<p><b>日本道路(株)購入試験機 (2015 年)</b> 測定制御 PC 込 備品：ソリッドタイヤ、鉄輪（スチールタイヤ）、SGC 供試体用型枠、300×350×60mm 供試体型枠</p>
<p>* <b>2520 回</b>：WT 試験の走行回数 60min×42 回=2520 回/1 試験</p> <p>HWT では 10000 回走行/1 試験であるため、約 4 分の 1 となる。現行の試験では、2520 回走行させたうちのさらに後半 4 分の 1 (45-60 分) の変形量で DS を求める。そのため、DS6000 回以上の高対流動性混合物では変形量が 0.1 ミリ以下となり、試験精度に難があるとされている。</p> <p>例：45-60 分の変形量が 0.10 ミリ→DS6,300、0.09 ミリ→7,000、0.08 ミリ→DS7,875、0.07 ミリ→DS9,000</p> <p>このあたりから、0.01 ミリの差で DS の値は級数的に変動する。変形量を計測する装置の感度によって、誤差が大きいとされている。よって、試験法便覧では DS が 6,000 を超えた場合、6,000 以上と報告すると記載されている。一方で、HWT は 10,000 回走行した上で試験前後の変形量を評価するため、DS6000 を超えるような高対流動性混合物の評価に適している。</p>			

## 付属資料8 地下水位と路盤排水

雨季や降雨時に地下水位や河川水位（洪水位含む）が長期間にわたって高くなる箇所や道路の排水状況が悪い箇所は、道路の長期冠水や滞水が路床、路盤の支持力を低下させ、舗装路面に破損が発生する。水の影響を避けられない場合は、舗装構造の弱体化を考慮する必要があり、路盤排水や地下排水により水の影響を緩和することが重要である。

### 解 説

#### (1) 地下・路盤の排水不良による破損事例、路床、舗装の支持力低下

##### 1) 水の浸透（滞水）を主原因とする舗装破損事例

道路周辺の地下水位や洪水位が長期間にわたって高くなる箇所や排水状況が悪い箇所では、水が路床や路盤に浸透し、路床・舗装の支持力が低下し破損が発生する。



水の滞水による舗装の破損



水の滞水による舗装の破損

##### 2) 水の影響による路床・舗装の支持力低下

【日本の手法例】

港湾技術研究所の八木等は「高地下水位の空港アスファルト舗装への影響」に関し、下記の結果を得ている。

- ・アスファルトコンクリート表・基層はその下方の路盤が水浸状態になった状態で交通荷重を受けることによりその下方から剥離現象を呈し始め、載荷重回数が増加するにつれて剥離が上方へ進行する。これは水位の上昇に伴って著しくなる。アスファルトコンクリートの剥離対策としては増厚することが有効である。
- ・路床とその上の路盤は、地下水位が上昇するにつれて荷重支持力が低下し、しかも粒状材路盤を有する舗装ほど著しいものとなる。この点を完全水浸（冠水）後の弾性係数の水浸前のものに対する比率で定量化して評価すると、路床、路盤の場合で80%,70%となる。
- ・高い地下水位下で路床まで水浸することが想定される場合には、通常の方法により算定される路床の設計CBRを、水浸状態に応じて100%~80%に低減する必要がある。



【オーストラリアの手法例】

オーストラリアの舗装基準では、路床のCBR試験で現場の水浸条件に応じて、10日間水浸の試験を規定している。(日本の基準は4日間水浸)

例えば、オーストラリア、Queensland 州の基準では、下記の箇所では路床強度は10日間水浸のCBR試験により評価する。

- 地下水位以下の切土で湧水が発生する箇所
- 経験的に10日間以上水浸する箇所

【米国の手法例】

AASHTO では、路盤・路床内排水等の排水条件を設計にしている。

以下に AASHTO の排水考慮区分けの例を表 7.1 に示す。

**付表 7.1 AASHTO の排水条件区分**

排水考慮区分	排水時間
excellent drain (優)	2 hour
good drain (良)	1 day
fair drain (並)	1 week
poor drain (不良)	1 month
very poor (悪)	no - drain

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強度を評価する層係数に排水係数を考慮している。(付表 7.2)

**付表 7.2 排水係数**

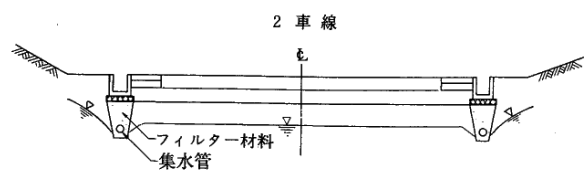
排水の質	舗装構造が飽水状態に近い含水比レベルに暴露される時間の百分率			
	1%以下	1~5%	5~25%	25%以上
優	1.40~1.35	1.35~1.30	1.30~1.20	1.20
良	1.35~1.25	1.25~1.15	1.15~1.00	1.00
並	1.25~1.15	1.15~1.05	1.00~0.80	0.80
不良	1.15~1.05	1.05~0.80	0.80~0.60	0.60
悪	1.05~0.95	0.95~0.75	0.75~0.40	0.40

## (2) 地下排水や路盤排水の留意点

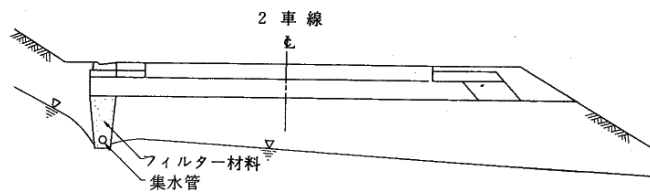
### 【地下排水】

道路排水施設を計画するにあたり、表面排水と地下水排水を十分調査し、計画する必要がある。地下水対策を検討するには、雨季と乾季の地下水調査を実施し、地下水が路盤、路床に影響しないよう設計に反映することが肝要である。ただし、地下水の挙動を完全に把握することは難しいため、必要に応じて工事中のモニタリングを行い対応することが重要である。

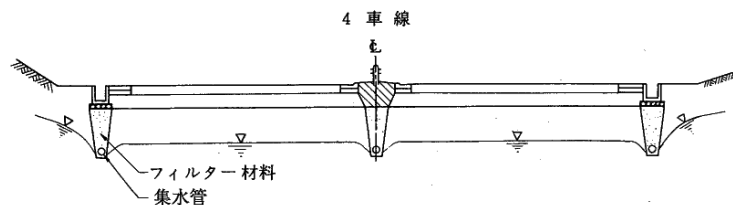
「道路土工-盛土工指針 4-9-9 路床・路盤の排水」では、「路床・路盤の排水施設は、路体あるいは地盤内の地下水位を低下させ、あるいは道路隣接地から路床等に浸透する水をしゃ断し、路床、路盤を良好に維持するような構造でなければならない」と記述され、その例として構造を示している。(付図 7.1)



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

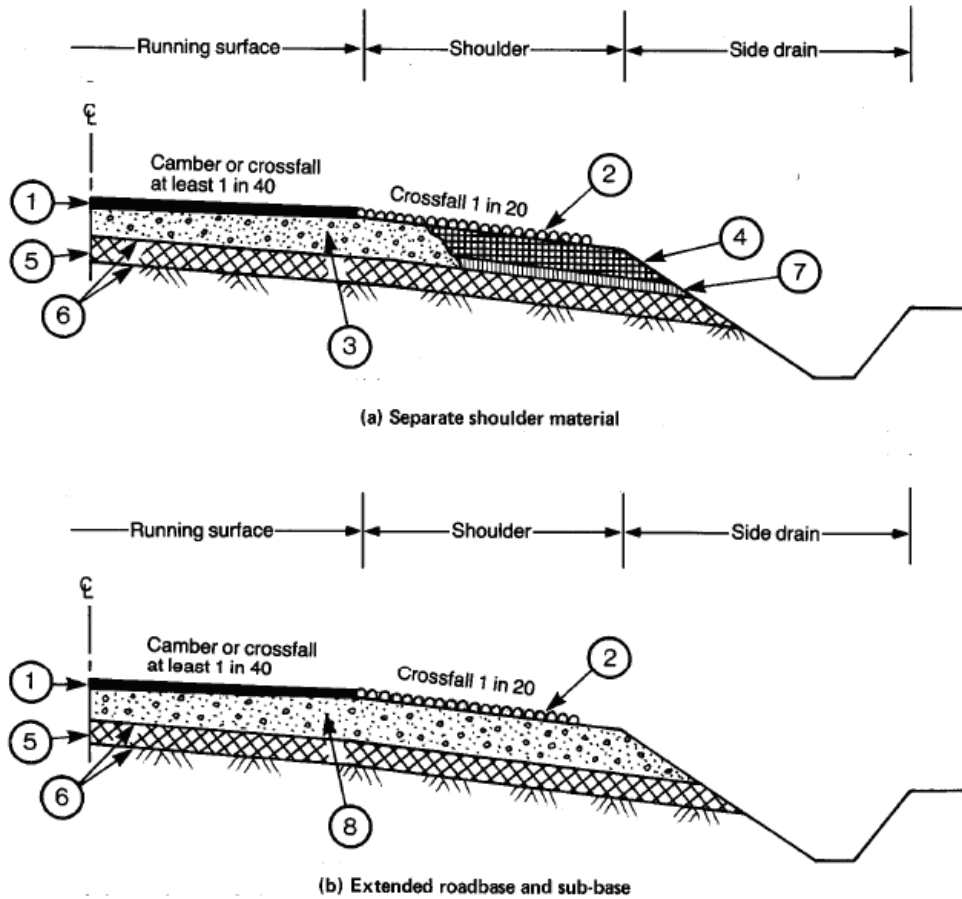


解図 4-9-22 中央分離帯のある場合の地下排水溝

付図 7.1 道路土工-盛土工指針に示される地下排水工の例

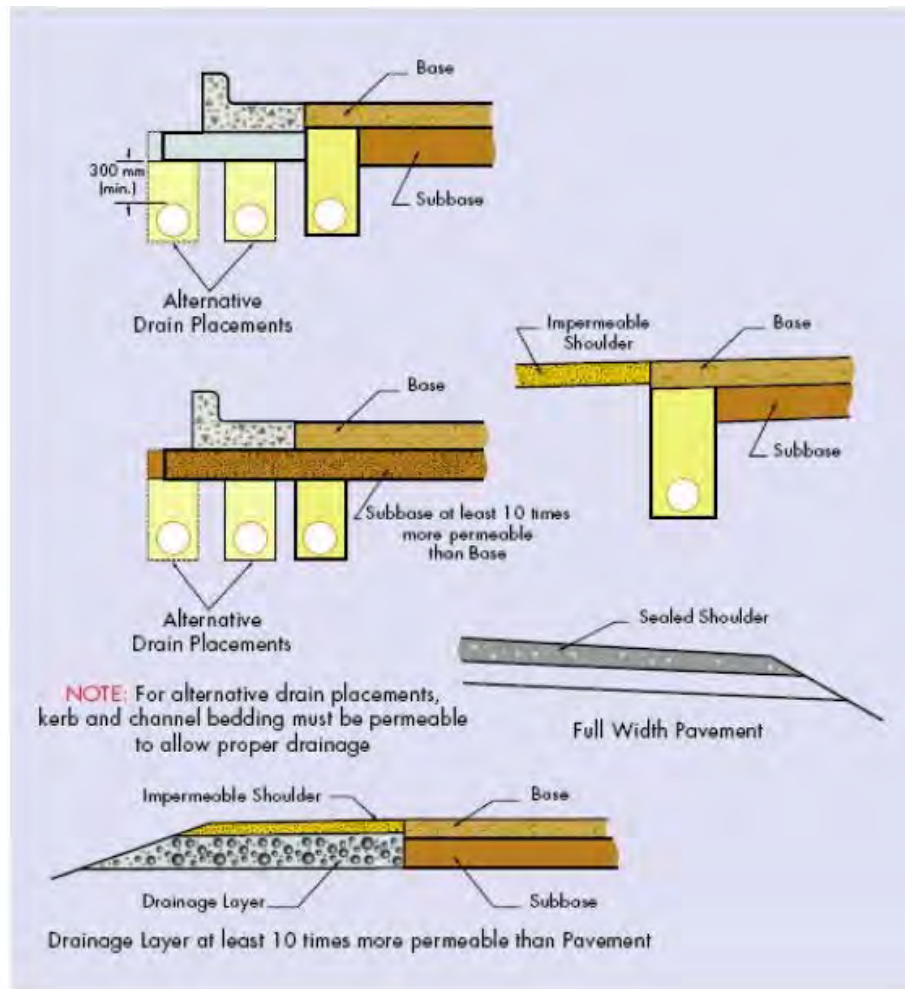
【路盤排水】

舗装に悪影響を与える路盤内の水の処理に対して、ORN31, Austroads 等では「路盤排水」という方法が推奨されている。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、路盤排水が前提となっている。(付図 7.1)オーストラリア Austroads のガイドラインでは、適切な排水工の例として推奨されている。(付図 7.3)



1. 不浸透性表層
2. 表面処理路肩
3. 路盤、路盤を路肩の下端部から側溝の縁まで拡げた
4. 仮交通を支持できる路肩材料
5. 不浸透性の下層路盤、全幅まで拡げた
6. 路床と下層路盤は横断勾配をつけて建設
7. 排水層
8. 路肩部まで拡げた路盤

付図 7.2 路盤排水工の例 (出典 : Overseas Road Note 31)



Source: VicRoads (2004a)

出典 : Austroads, Guide to Pavement Technology, Part 10 Subsurface Drainage

付図 7.3 適切な地下排水・路盤排水工の例

## 参考文献一覧

### 舗装全体

- ・舗装の構造に関する技術基準・同解説、日本道路協会
- ・舗装設計施工指針、平成 18 年、道路協会
- ・ Guide to pavement technology, Austroads, Australia
- ・ South African pavement engineering manual, the South African national roads agency, 2013

### 設計

- ・舗装設計便覧、平成 18 年、日本道路協会
- ・ Overseas Road Note 31, a guide to the structural design of bitumen-surfaced roads in tropical and sub-tropical countries, transport research laboratory, United Kingdom, Overseas development administration, 1993
- ・ Code of practice for the design of road pavements, SATCC(Southern Africa transport and communications commission, prepared by CSIR(Council for scientific and industrial research of South Africa), 1998
- ・設計要領 第一集 舗装編、NEXCO, 2013
- ・ Guide to pavement technology, Part 2: Pavement structural design, 2012, Austroads, Australia
- ・ South African pavement engineering manual, chapter 10 pavement design, 2013

### 配合設計

- ・舗装施工便覧、6-3 加熱アスファルト混合物の配合設計、平成 18 年、日本道路協会
- ・ Overseas Road Note 31, A guide to the design of hot mix asphalt in a tropical and sub-tropical countries, Department for international development, 2002
- ・ Interim guidelines for the design of hot-mix asphalt in South Africa, Department of Transport, South Africa, 2001
- ・ SUPERPAVE mix design, Asphalt Institute USA, 2001
- ・ Guide to pavement technology Part 4B asphalt, Austroads, Australia, 2014
- ・ Registration of bituminous mix designs, Vicroads, Victoria Australia, 2014
- ・ Improvement on aggregate gradation design and evaluation of rutting performance of Vietnamese wearing course mixture, Tran Thanh Nhat, Osamu Takahashi,
- ・ 高速道路における密粒度アスファルト舗装のわだち掘れ量の実態調査と耐流動性の評価、飯田、七五三野他、  
土木学会舗装工学論文集、1999
- ・ 沖縄県の研究事例、沖縄総合事務局、饒波正史「沖縄に適した舗装技術へ向けて～アスファルト技術研究の 20 年～」
- ・ アスファルト混合物の動的安定度の目標値設定手法の提案、伊藤他、土木技術資料 31-1(1989)
- ・ 高架橋上アスファルト舗装のわだち掘れ予測、小田桐他、道路建設、第 466 号
- ・ 永久変形、土木学会、舗装工学委員会 舗装材料小委員会 アスファルト分科会 調査報告

- ・骨材間隙率に基づく加熱アスファルト混合物の容積配合設計法の提案、郡司他、土木学会舗装工学論文集、第5巻、2000年
- ・骨材粒度に基づく加熱アスファルト混合物の骨材間隙率推定法に関する研究、郡司他、土木学会論文集 No.648, 2000年
- ・About the polymer modified asphalt(PMA) in Japan, 改質アスファルト協会、丸山
- ・高架橋上アスファルト舗装のわだち掘れ予測、小田桐他、道路建設、1986
- ・ホイールトラッキング共通試験結果の解析、土木研究所資料 第2124号、1984

#### 配合試験

- ・AASHTO T 166, Bulk Specific Gravity of Compacted Asphalt Mixtures Using Saturated Surface-Dry Specimens, 2015
- ・AASHTO T 209, Theoretical Maximum Specific Gravity (Gmm) and Density of Hot Mix Asphalt (HMA)、2012
- ・舗装調査・試験法便覧、第3分冊、第Ⅲ章 試験編 B001 マーシャル安定度試験方法、日本道路協会
- ・舗装調査・試験法便覧、第3分冊、第Ⅲ章 試験編 B003 ホイールトラッキング試験方法、日本道路協会
- ・舗装調査・試験法便覧、第3分冊、第Ⅲ章試験編 B004 水浸ホイールトラッキング試験方法、日本道路協会
- ・舗装調査・試験法便覧、第3分冊、第Ⅲ章 試験編 B005 曲げ試験方法、日本道路協会
- ・舗装調査・試験法便覧、第3分冊、第Ⅲ章 試験編 B007 ジャイレトリ試験機によるアスファルト混合物の締め固め試験方法、日本道路協会
- ・舗装調査・試験法便覧、第4分冊、第Ⅲ章 試験編 G027 アスファルト混合物の最大密度試験方法、日本道路協会
- ・我が国のマーシャルランマ締め固めに基づくジャイレトリコンパクタの設計回転数に関する一考察、高橋他、
- ・計算法と実測法によるアスファルト混合物の理論最大密度の比較、高橋

#### プラント管理

- ・アスファルト混合所便覧、平成8年、日本道路協会

#### 施工

- ・舗装施工便覧、平成18年、日本道路協会
- ・Guide to pavement technology, part 8 Pavement construction chapter 6 Unbound granular pavements, Austroads, Australia
- ・Construction specifications, カンボジア MPWT
- ・Hot mix asphalt trouble-shooting guide, Society for asphalt technology, USA, 2005
- ・盛土施工の効率化と品質管理向上技術に関する研究②、土木研究所、宮武他、

#### 施工監理/管理

- ・ Guide to pavement technology, part 8 Pavement construction chapter 2 Quality assurance, Austroads, Australia
- ・ South African pavement engineering manual, chapter 13 Quality management, 2013
- ・ 舗装施工便覧、第 10 章 施工管理、平成 18 年、日本道路協会

#### 維持修繕

- ・ 舗装の維持修繕 ガイドブック 2013, 日本道路協会 舗装委員会 舗装設計施工小委員会

#### セメント安定処理

- ・ Characterization of cementitiously stabilized layers for use in pavement design analysis, NCHRP (national cooperative highway research program) report 789, Transportation research board of national academies, USA, 2014
- ・ Guide to pavement technology Part 4D Stabilized materials, Austroads, Australia, 2009
- ・ South African pavement engineering manual, chapter 3 Materials testing, 5.3 Testing of Cementitiously stabilized materials, 2013

#### 問題土

- ・ カンボジアの道路施工における分散性土対策、土木施工 2016 Dec VOL.57 No.12
- ・ Identification and management of dispersive mine soils, Australian center for Mining environmental research, 2004
- ・ Understanding dispersive soils, Bruce Carely, 2014
- ・ Guide to pavement technology, Part 2: Pavement structural design, 5 Subgrade evaluation, 2012, Austroads, Australia
- ・ Supplement to Part 2: Pavement structural design of the Austroads guide to pavement technology, department of transport and main roads, 2013, Queensland, Australia
- ・ South African pavement engineering manual, chapter 6 road prism and pavement investigation, 4. Road prism investigation, 4.4.3 expansive or heaving clays, 2013
- ・ Pavement and Materials Design Manual – 1999, chapter 6 Problem soils, Ministry of works, Tanzania

#### 排水

- ・ Guide to pavement technology Part 10 Subsurface drainage, Austroads, Australia, 2009
- ・ Overseas Road Note 31, 5. Drainage and road shoulders, TRL, 1993