

土木研究所資料

長寿命舗装の経済性評価(フェイズⅠ) 調査報告書

平成16年11月

独立行政法人 土木研究所
基礎道路技術研究グループ 舗装チーム

長寿命舗装の経済性評価（フェイズⅠ） 調査報告書

基礎道路技術研究グループ舗装チーム 上席研究員 伊藤 正秀
主任研究員 坂本 康文

要旨

OECD/RTR（経済協力開発機構／道路交通・複合交通連携研究計画）では、経済発展のためには道路整備が最重要課題であるという共通認識の下、1960年以來3ヵ年ごとに研究プログラムを推進してきた。舗装の分野においても、これまでに数多くの成果が報告されている。2001年には、「長寿命舗装の経済性評価」に関して3ヵ年ごとにフェイズⅠ～Ⅲと分けられたプログラムがスタートし、我が国も当プロジェクトのワーキンググループのメンバーとして参加している。

本報告は、当プロジェクトのフェイズⅠで得られたワーキンググループの成果を和訳したものであり、参加各国の長寿命舗装の設計の考え方、舗装のライフサイクルコストの考え方、耐久性を考慮した新材料および舗装技術など、有意義な情報が示されている。

キーワード：長寿命舗装，ライフサイクルコスト，摩耗層，エポキシアスファルト，セメント系材料，OECD

目 次

長寿命舗装の経済性評価－フェイズⅠ：重要な論点の要約	1
第1章 序 論	5
1.1 道路管理組織の改編	5
1.2 道路資産の経済的価値	5
1.3 道路政策の方向	6
1.4 舗装の種類への焦点	6
1.5 範囲（道路の種類）の定義	7
1.6 他の国際機関の現在進行中の作業	7
1.7 当プロジェクトの委託権限	8
第2章 交通量の多い道路用の従来の舗装	11
2.1 初期費用と維持管理戦略	11
2.2 既存の舗装設計法および破壊規準	15
2.3 代表的な舗装構造	18
2.4 既存舗装材料の特徴	19
まとめ	20
参考文献	20
第3章 評価の構成	21
3.1 序	21
3.3 道路の利用者と社会的なコスト	25
3.4 評価の構成	25
3.5 利用可能な評価モデル	27
3.5.1 HDM-4 モデル	27
3.5.2 UK-SAS/PASI モデル	28
3.6 選択されたモデルの適応性および使用	29
参考文献	29
第4章 長寿命舗装の経済的な実現の可能性	30
4.1 使われているモデル	30
4.2 入手可能なデータ	30
4.3 分析の基礎	31
4.4 標準的テストケース	33
4.5 変数、仮定と感度試験	34

4.6	標準テストケースの結果	35
4.7	標準ケースの仮定を変化させたときの結果	36
4.8	感度テストの結果	38
4.9	結果の考察	40
4.10	モデル間の相違	41
4.11	経済的な分析からの結論	41
4.12	異なる国々への適用	42
第5章	交通量の多い幹線道路のための次世代舗装	44
5.1	序	44
5.2	関連性のピラミッド	44
5.3	性能 (Performance)	46
5.4	上質な材料の検討	47
5.5	アスファルトバインダー (Flexible Pavements)	47
5.6	剛性舗装 (Rigid Pavements)	51
5.6.1	ポルトランドセメントコンクリート (PCC)	51
5.6.2	高性能セメント系材料 (HPCM)	52
5.7	コンポジット舗装 (Composite Pavements)	53
5.8	合成バインダー	54
5.9	骨材	55
5.10	施工	57
5.11	評価	59
5.12	推奨	60
	参考文献	61
第6章	概念の展開：長寿命舗装表層の要求技術と解決案評価の指針	63
6.1	研究の内容	63
6.1.1	構造層および表層の定義	63
6.1.2	構造層の挙動の仮説	63
6.2	表層に要求される技術と性能	64
6.2.1	施工に関する要求事項 (作業性, 養生, 健康, 環境)	65
6.2.2	物理性能と耐久性	66
6.2.3	摩耗層の特定要求性能	69
6.2.4	修繕, 維持, リサイクル	71
6.3	長寿命舗装表層の候補についての実験的評価	71
6.3.1	実験的キャンペーンを定める際に考慮する全般的事項	71
6.3.3	成分レベルの試験	76
6.3.4	小規模シミュレーション試験	76

6.3.5 実物大試験.....	76
6.4 フェイズⅡにおける研究プログラムの提案.....	77
参考文献.....	79
第7章 まとめと結論.....	80
7.1 序.....	80
7.2 舗装整備の実態の検討.....	80
7.3 経済性分析.....	80
7.4 革新的舗装材料および技術.....	82
7.5 フェイズⅡに向けて.....	82
付録A アンケート（たわみ性舗装）.....	84
付録B ホールライフコストサイクルモデルの検討.....	89
付録C HDM-4モデルの適用.....	92
付録D PASIモデル 入力データと結果.....	94
用語集.....	98

まえがき

OECD（経済協力開発機構）には、RTR（道路交通・複合交通連携研究計画）というプログラムがある。RTRは、一国が、あるいは世界がよりよい経済発展を遂げるには、人と物の安全かつ円滑な移動とそのための道路整備が最重要課題であるとの共通認識の下、1960年以来 OECD 全加盟国の参加により3ヵ年ごとに進められてきたプログラムである。舗装の分野においても、このプログラムによりこれまでに数多くの研究成果が世に出されており、2001年からは「長寿命舗装の経済性評価」に関するプロジェクトをスタートさせている。

長寿命舗装の経済性評価プロジェクトは、道路資産の建設と管理に影響を与える経済条件のめまぐるしい変化に対応した道路アセットマネジメントのための技術的、経済的選択肢となる耐久性に優れた表層材料の開発を目的としている。当プロジェクトのワーキンググループには、オーストラリア、ベルギー、カナダ、デンマーク、フィンランド、フランス、ハンガリー、イタリア、日本、オランダ、ノルウェー、ポーランド、スウェーデン、スイス、イギリス、アメリカの計16カ国が参加している。

当プロジェクトは、フェイズⅠからフェイズⅢまでに分かれ、次のように計画されている。

- フェイズⅠ（2001～2003年）… 概念の実現可能性の検討
- フェイズⅡ（2004～2006年）… 概念の展開
- フェイズⅢ（2007～2009年）… 実物大実験

フェイズⅠにおける具体的な検討内容は次のとおりであり、様々な情報が収集・整理された。

- 供用されている従来の舗装の性能に関する検討
- 舗装の経済的な実現の可能性を評価するための評価構成の研究
- 長寿命舗装の表層の経済的な実現の可能性の検討
- 長寿命舗装として可能性のある材料および舗装技術の調査
- 長寿命舗装表層の要求技術と解決案評価のための指針に関する検討

本報は、長寿命舗装の経済性評価プロジェクトのフェイズⅠで得られたワーキンググループの成果「Economic Evaluation of Long Life Pavements: Phase I - Final Report - August 2004 (Working Group on EELLPO/OECD)」を和訳したものである。参加各国の長寿命舗装の設計の考え方、舗装のライフサイクルコストの考え方、耐久性を考慮した新材料および舗装技術などが示されており、舗装研究者にとって有意義な情報が数多く含まれている。本報告が、今後の研究開発の一助となれば幸いである。

OECD/RTR 2001～2003 年の 3 カ年計画 主要プロジェクト一覧

No.	プロジェクト名
◎ 持続可能な開発（環境、交通安全を含む）	
1	低公害車両：実施問題 Low Emission Vehicles: Implementation Issues
2	道路安全を向上させるための技術利用 Using Technology to Improve Road Safety
3	児童の交通関連死傷者数の削減 Reducing Children's Transport Related Fatalities and Injuries
4	高齢利用者のための交通技術における人的要素 Human Factors of Transport Technology for Elderly Users
◎ 多様な輸送戦略	
5	貨物輸送のベンチマーク：インターモーダル貨物回廊への方法論の応用 Benchmarking of Freight Transport: Application of Methodology to Intermodal Transport Corridors
6	都市内物流 Urban Freight Logistics
◎ グローバル化，経済動向，輸送インフラおよびマネジメント	
7	ワークショップ：物流交通需要に与える国際化，電子商取引および経済活動の影響 Workshop: Impact of Globalisation, E-commerce, and Economic Activity on Freight Transport Demand
8	ワークショップ：国際プライシング・シンポジウム－理論と実践 Workshop: International Pricing Symposium – Theory and Practice
◎ 特別プロジェクト	
9	長寿命舗装の経済性評価：フェイズ I Economic Evaluation of Long Life Pavements: Phase I
10	道路部門の性能規定 Performance Based Standards for Road Sector
◎ その他	
11	二輪車の事故分析 Motorcycle Accident Investigations

長寿命舗装の経済性評価－フェイズⅠ：重要な論点の要約

各国の政府は、高品質輸送ネットワーク特に道路のネットワークの開発に多額の資金をあてています。それらは今後適切なメンテナンスを必要とします。

成熟した道路ネットワークを持つ多くの国々では、新しい道路建設が、概して道路予算の約 50%を占めています。国家の道路予算の残りの多くは既存の道路の維持修繕に費やされます。現在の道路建設の方法や材料では、保全に必要な条件を満たすためには比較的高いコストになることが、この結果に影響しています。

近年、道路分野における改革として財政と組織の構造が注目されています。一方、道路を舗装する技術の変化はそれほど劇的なものではありませんでした。もっと正確に言えば、それらはわずかでしかありませんでした。しかし、全国のハイウェイ予算を最適化するためには、道路建設およびメンテナンスをどのように、どこで、そしていつ予算を費やすことが最適なのかを決定するために、ホールライフコスト（ライフサイクルコスト）による方法がますます使用されます。このフレームワーク内では、フルメンテナンス契約への移行は、コスト縮減や長期契約の採用を助成し、長期契約の採用は、より耐久性のある舗装の開発が促進される環境を確立するために役立ちます。

参加国の調査では、重交通道路に供されている舗装は概ね 10 年ごとに（地域条件に依存して）打ち換えられています。10 年の期間内では、パッチングやシーリングのような舗装補修により何度かの道路メンテナンスによる閉鎖があるかもしれません。もちろん、舗装の初期建設費は、たいていそのライフサイクル・メンテナンスおよび運営費を上回ります。道路予算の見解からは、将来発生するいくつかのメンテナンス業務は、いま資本の支出が増加することよりも好ましく見えるかもしれません。

しかしながら、道路のメンテナンスには、道路管理費から調達されたメンテナンスの直接費用とは別に、さらにユーザーに著しいコスト負担が課せられます。特に重交通道路においては、道路のメンテナンスが正常な交通の流れに渋滞や混乱をもたらすでしょう。道路のメンテナンス作業によって取られた措置にもかかわらず、多くの場所でユーザーの費用は高くなり、そして増加します。したがって、最小のメンテナンスとなる長寿命の道路インフラ舗装が強く求められています。また、そうすることによって道路管理やユーザーへの将来の負担額の多くを回避することができます。

展望

道路インフラへの投資は、多くの国々で道路交通の伸びに比べて増加していません。この傾向が続けば、将来の道路ネットワークにおける道路交通の厳しさが増す結果になるでしょう。これらの傾向は、重交通道路の数や比率が増加し、その結果、より高い建設コストでもより耐久力のある舗装が望まれることを裏付けています。

プロジェクトの目的

参加国によって承認された長寿命舗装プロジェクトでは、将来のメンテナンスや舗装補修、および道路利用者遅延によって生じるコストが、長寿命舗装が経済的に正当化される重交通道路のレベルに到達したかどうかを判断できるようになることを目指しています。このようなケースでは、軽減されたメンテナンスや他の関連するコスト（例えば、利用者コスト）が、少なくとも高い建設コストを帳消しにする必要があるでしょう。

長寿命舗装を開発する際には、舗装基盤から表層までのすべてを含めた舗装全体としてのパフォーマンスを考慮する必要があります。このレポートでは舗装の表層に焦点を当てており、長寿命舗装の構造に着目した研究については別途検討中です。

経済性の知見

経済性の分析では、革新的な摩耗層舗装の開発は相当な経済的便益がある可能性を示しています。コストの観点から、従来の摩耗層の約3倍のコストを要する長寿命の表層は、重交通道路クラスであれば経済的に適していると言えるでしょう。これは、30年の予測寿命、6%以下の割引率、および80,000以上の年平均日交通量（AADT）を前提としています。

長寿命表層が経済的に実現可能となる条件を確立するために、感度分析を行いました。この業務では、異なる割引率（3～10%）、交通レベル（40,000～100,000 AADT）、耐久性（30あるいは40年の長寿命舗装）、摩耗層のコスト（3倍増あるいは5倍増）、重車両の割合（5～20%）、および昼間もしくは夜間のメンテナンススケジュールの影響について検討しました。詳細はレポートの中で示しています。

このような摩耗層のコストによる増加を特定の舗装建設費として見る必要があります。例えば片側3車線の高速道路では、舗装建設費は車道1kmあたり総額180万US\$から225万US\$になるでしょう。この評価は、土工、排水、レーンマーク、安全フェンス等の特質は含んでいますが、橋の上部や下部、あるいは橋脚等の構造は含まれていません。

現段階では、そのような表層（摩耗層）は、前述の舗装建設費の約9～12%に相当します。摩耗層コストの3倍増は、舗装建設費の24%以下の増加を意味し、そして表層は建設コストの約30%相当になるでしょう。

もちろん、重交通道路の総建設費は、舗装建設費だけでなく橋やトンネル、土工の数量によって変動します。全体の1kmあたりの平均コストは、これらのコストを計算に入れると1kmあたり315万US\$から360万US\$増加します。これを考慮すると、摩耗層のコストが3倍に増加することは、1kmあたりの高速道路全体の建設費に対して10～15%に相当し、表層が総建設費の5～20%であることに

比べて低い印象を持つでしょう。仮に、全く新しい道路計画が検討されることになった場合、構造、用地買収、設計費用およびコミュニケーションを含む全コストを考慮すると、この割合はさらに低くなるでしょう。

今回評価された長寿命摩耗層は、まだ一般的に使用されているものではありません。表面仕上げの分析に用いたコスト、寿命、状態およびメンテナンス処理は、達成可能な目標として設定しました。それらの技術的な実現の可能性については、今後の研究段階における焦点になります。

摩耗層材料に関する知見

革新的な表層材料の調査研究、あるいは小規模プロジェクトでの制限された使用の下では、解析で仮定した標準的な長寿命表面仕上げは実現可能な材料であることが認められました。

材料に関する検討から、次に示す2種類の材料が必要条件を満足する可能性があるという結論付けられました。:

・エポキシアスファルト

エポキシアスファルトには、様々な橋梁の床版上で使用された多くのフィールド・データおよび供用実績があります。1967年に米国のサン・マテオ橋の床版に施されたエポキシアスファルトは、現在でも良好な性状を示しているという報告もあります。

・エポキシの摩擦層を備えた高性能なセメント系材料

高性能セメント系材料（HPCM：High Performance Cementitious Materials）は、すべてのデータが室内研究の成果ではあるが、その特性は特に強度およびたわみ特性に優れており注目に値します。この材料の考えられる欠点、すなわち、騒音、水はね、たわみ特性については、マクロテクスチャを改善することで克服することができるでしょう。

長寿命摩耗層は、環境条件の変化と同じように非常に長期的な交通の伸びに耐えなければならないでしょう。試験および開発の作業期間では、どの材料が包括的な概算コスト内でメンテナンスフリーの長寿命化が図れるかの検証が求められます。報告書の中で述べられている試験方法の調査は、老化、ひび割れ、はく離、わだち掘れ、ラベリングおよびポリッシングのパフォーマンスをシミュレートできる試験を見出すためのものです。また、試験法を確立するためには、排水や騒音のパフォーマンスも重要になります。

まとめでは、国際的な研究協力にもとづき、道路舗装のための長寿命表層の開発に繋がる可能のある材料が存在すると結論付けています。さらに、そのような材料が必要な技術的特性を備えているとした場合、重交通道路のためのそのような舗装の開発に関する経済性の議論も行っています。

この報告書では、当プロジェクトのフェイズⅡの一部として実行される研究プログラムのガイドラ

インを提供します。将来的な当業務の目的としては、長寿命摩耗層の候補となる材料の実際の耐久力および適応性も評価することになります。

第1章 序 論

輸送・移動は経済発展や社会発展に不可欠です。そのため、先進国は非常に高いコストを払って、輸送網を維持しています。増え続ける道路輸送量や、車量軸重、また予算削減の圧力によって、道路当局に対して新しい解決法を求める声が高まっています。また、交通量の多い道路での工事による交通の妨げや渋滞が経済に与える影響は、限界を超えています。最小限の維持管理で保てる長寿命道路インフラに対する要求が高まり続けています。

1.1 道路管理組織の改編

過去 10 年で、大多数の OECD 国における道路管理当局の管理方法が大きく変わりました。政府機関が輸送網提供コストの抑制を模索したため、物理的に道路工事に関わる公務員の数が減少しました。国家の道路当局から民間企業への道路インフラの設計・建設(改良)・維持管理の委託が増えています。

委託が増加するにつれ、12 年から 15 年以上にもわたる長期維持管理契約が珍しくなくなり、監督業務さえも特殊な民間企業にゆだねる道路当局も増えています。道路の公的機関あるいは民間による所有・運営・出資、という長期的な観点からの選択も、政府が輸送インフラの所有や運営への財政的にかかわりを削減しようとするにつれ、様々な形態の所有・出資方法が提案されています。

役割縮小の結果、公的道路当局は基本的に非常に贅肉の少ない組織に再編成されました。役割の一部ではなく、主に維持管理契約、建設契約および知識の契約の執行管理に携わる行政機関は、最近できたものです。

次の段階は、政府が筆頭株主となっている、あるいはなっていない、特別な企業への公有道路行政の移管です。こうした移管はまだ大規模に行われていませんが、財政問題の解決に関連して、促進されています。通行料など、交通量によって決まる収入がそうした企業組織の資金となり、政府の役割はそれら企業の顧客となることとなります。

近年の道路管理組織改編の焦点は、経済構造や組織構造にあり、交通情報技術を除いて、技術革新がわずかだったことは明らかです。しかし、維持管理の完全委託や、長期契約の導入への転換の利益の一つに、耐久性の高い舗装の開発推進が挙げられます。

1.2 道路資産の経済的価値

一国の道路インフラは、膨大な資本、数世代にもわたる莫大な投資を表しています。この資産の経済的価値は、道路網全体を新たに建設するのに現在必要なコストです。ランニングコスト（または一国の道路予算）には、今日の社会のニーズを満たすレベルに道路網を維持管理、改良、拡張するためのコストが含まれます。これらのコストは、資産価値に対する割合として表示され、政府の方針や道

路網の状態によって各国で異なります。ランニングコストは当初の量、質、維持管理歴、および現在と将来における交通量を反映するものです。したがって、一般的な割合というものはありません。表 1.1 にアメリカにおける概算コストを示します。どの国にも共通しているのは、将来資産価値を維持するのに必要なコストを削減する必要があるということです。長寿命舗装は、将来の維持管理コスト削減に大きく貢献することでしょう。

表 1.1 道路網の試算価値、道路網の年間経費、国民総生産

舗装された道路の総延長	2,600 万マイル
高速道路（延長）	16 万マイル（大部分は 35 年以上経過）
現状を維持するための不足額	590 億 US\$
加熱アスファルト混合物の年間投資額	150 億 US\$（加熱アスファルト混合物 5 億トン、バインダー 3,000 万トン）

1.3 道路政策の方向

道路の維持によって引き起こされる重交通道路の渋滞は、多くの国にとって大きな問題です。この問題に取り組むために様々な手段がとられ、はっきりとした目標を定めている機関もあります。大きな影響を与える道路工事の計画の際に、道路利用者のコストを考慮する機関もあります。現在、工事は深夜など交通量のピーク時をはずして行われていますが、すばやく工事を行わなければならないという圧力がかけられます。

重要な政策方針分野としては、他にも環境と安全があります。騒音抑制が重要事項となっている当局もありますし、高い基準が設定されるにつれ、騒音抑制の重要性は多くの国で増すと思われます。

1.4 舗装の種類への焦点

この報告書は舗装の表層に焦点を当てています。もちろん、表面から基礎までの舗装全体を考慮する重要性は認識しています。摩耗層の長寿命化は、単に摩耗層自体の特性を改良することでは得られません。正しく設計・施工されない限り、摩耗層の下層が構造強度を失い（例えば、交通荷重、温度変化、水の浸透、凍結・融解の繰返しなどによって）、摩耗層がどんなによく設計・施工されていても摩耗層の寿命は短くなってしまいます。摩耗層は、舗装全体に相互依存している構成要素です。耐久性が高く、欠点のない摩耗層は、路盤を上層からの透水から守り、強度および供用寿命の維持に欠かせません。

摩耗層の設計では、供用寿命に加えて要求される技術基準がいくつかあります。摩擦特性および排水特性は事故防止に不可欠で、制動性能の発揮、ぬれた路面からの水しぶきやはね上げによる視界低減の抑制、豪雨時あるいは長雨の際に起きるハイドロプレーニングの危険性減少に効果があります。排水性を向上させる開粒の舗装表面が開発されています。ただし、これは、空気との暴露が増え、瀝青バインダーの酸化の危険性が増えることを意味し、その結果、舗装表面から骨材が損失し、供用寿

命が短くなる危険性があります。

近年では、騒音低減摩耗層が、住宅地域付近の交通量の多い道路で広く使われています。そうした舗装は 6dB まで騒音を減らすことが可能で、防音壁の代わりに、あるいは防音壁とともに使用することができます。しかし、現在の騒音低減舗装の供用寿命は（空気間隙が多い構造を有するため）かなり短い（6～8 年）です。ここで定量可能なメリットは、もし別の防音方法で国家騒音基準を満たしたときに必要なコストと比べた時のコスト差です。

これらの例から、舗装排水や騒音に関する基準が厳しくなっていることがわかります。新しい長寿命摩耗層の特性が、長年にわたって使用されるように、現在の最高性能を有していることが必要不可欠です。

1.5 範囲（道路の種類の変義）

長寿命舗装の開発が、すべての種類の道路を網羅することが理想ですが、耐久性以外にも、摩耗層の供用寿命を制限する要因があります。

下部構造の変形をもたらす強度不足は、よくみられる摩耗層の早期疲労の原因の一つです。これは、設計値よりも多い交通量にさらされた道路で典型的にみられます。こうした道路は、改良工事が行われ、実際の交通量や推定される交通量にみあう構造強度が得られない限り、新規で比較的高価な種類の舗装を用いる理由がありません。

多くの都市道路や、郊外の住宅地の道路のように利用設備（例えば下水道、上水道、電線、電話線など）の上を走る道路は、頻繁に掘削、埋め戻し、再舗装されます。したがって、長寿命摩耗層はそうした道路に適していません。

これによって、このプロジェクトの範囲が狭まり、適応範囲は、実際の交通量にみあう構造強度を有し、所有者に優先的立入り権限があるような地下構造物のない道路に限られます。また、長寿命舗装のコストを考慮すれば、維持管理中の道路利用者遅延コストが重要となります。したがって、適応範囲はさらに狭まり、交通量が増加中の主要な幹線道路となります。

1.6 他の国際機関の現在進行中の作業

このプロジェクトに関連した国際プロジェクトが他にも多数あり、すでに終了あるいは現在進行中です。その結果・成果は、当プロジェクトの今後の段階に影響を与える可能性があるため、ある程度当グループの仕事に統合してあります。

- ◎ European Long-Life Pavements Group (ELLPAG) の「ヨーロッパにおける長寿命舗装の最適利用」

- ③ EU の FORMAT (完全最適化道路管理), 「道路舗装の長期性能」に関する COST アクション 324
- ④ 世界道路協会の「ホールライフコストおよび資産管理システム」

などです。最初の2つは現在進行中で、その目的と概要を以下に紹介します。

ELLPAG は、FEHRL (Forum of European Highway Research Laboratories) の専門家の集まりで、CEDR (Conference of European Directors of Roads) によって、「ヨーロッパにおける長寿命舗装の最適利用」の研究プロジェクトをスタートさせるよう任命された団体です。この研究プロジェクトは、いくつもの段階からなり、長期の目的は、ヨーロッパで一般的に使用されているすべての種類の舗装について、長寿命舗装設計および維持管理に関する利用者にやさしい最適作業手引きを作成することです。その理由として、ELLPAG は「正しい社会経済条件では、長寿命舗装設計の利用は、ヨーロッパ諸国において効率的、安全かつ耐久性の高い道路網の提供という問題に対する持続可能な解決法であると明らかに考えられ (中略) 提案されている作業は、OECD-RTR 特別プロジェクトと充足的である」(当プロジェクトに関して) と述べています。OECD のプロジェクトの焦点は、摩耗層の長寿命性および経済問題にあり、ヨーロッパの ELLPAG プロジェクトでは構造的な舗装構成層が強調されています。ELLPAG プロジェクトのフェイズ I は 2003 年の 9 月に始まり、すでに完了していますが、現在はフェイズ II の活動の一部として半たわみ性舗装の調査を行っています。フェイズ II の活動は、2004 年末までに完了させる予定です。

FORMAT は、舗装維持目的の道路工事の頻度、期間、規模を減らすことによって、道路網の効率および安全性の向上を目指しています。この研究プロジェクトはまた、工事によって引き起こされる遅延を減らし、その結果として生じる道路利用者のコストの削減にも焦点を当てています。これらの目的を達成するための舗装維持管理過程の計画と実施の重要点について、利用可能な一連の統合舗装維持管理工程として最適化される予定です。この研究の課題では、道路舗装維持には 4 つの鍵となる項目があります。舗装状態の監視、維持管理技術、工事現場およびその周辺における安全性とコスト分析です。そのため、FORMAT とこのプロジェクトの間には、道路舗装表面の維持コスト全体の削減という共通した目的があり、結果によっては長寿命、メンテナンスフリー、そして高価な舗装の適用範囲が減る可能性もあります。

1.7 当プロジェクトの委託権限

当プロジェクトに期待される成果は、新しい長寿命舗装表面の開発です。今日、アスファルトとセメントがバインダー市場を占めています。広い範囲の交通量および気候条件においてよく機能し、環境への影響も大きくありません。

しかし、高品質のものもありますが、舗装の大部分は、耐久性、道路利用者にとっての品質、強度、修繕の必要性のどの点においても不十分です。つまり、現在または近い将来、幹線道路の交通量の総量や密度が増加した場合には、道路の維持管理の経済性が悪くなることを意味します。

よく知られているように、非常に耐久性の高い、騒音の少ない、摩耗抵抗性のある舗装をつくれる合成バインダーが各種あり（単独、あるいは既存のバインダーと組み合わせて使用）、下層構造を保護し、短い工期および最小限の交通への影響で、舗設可能です。こうした材料は、今までのところ、もっぱら長寿命および構造の保護というメリットによって、初期費用が高くても正当化されやすい橋に使われています。しかし、こうした特性を有する材料をより広範囲の、交通量の多い道路へ応用することを考えるべきです。

現在、舗装に関する工業目的の研究の焦点は、伝統的なバインダー材料にあてられています。その理由の一つは、最新式のバインダーが高額なこと、また別の理由として、道路管理者が長い供用寿命を得るために高額の初期コストを受け入れる傾向が少ないことがあげられます。したがって、今日材料技術を 100%用いて高性能の道路舗装を構築することが望ましいとされない限り、産業界自体が率先して技術革新の前線を進めることはあまり考えられません。この状態は、分析によって別のバインダーの特性が、その供用期間全体を考慮したときに、大きくかつ拡張する市場をひきつける可能性があることが示されれば、変わる可能性があります。

交通量の多い道路の舗装に対する理解が深まったことで、近年、長寿命または永久舗装の概念が生まれました。広い意味では、舗装構造全体を指し、摩耗層あるいは表層のみを意味しているわけではありません。長寿命構造を建設するのに必要な事項は、他の進行中のプロジェクトで明らかにされつつあります。したがって、当プロジェクトでは、長寿命表層の経済的観点を特に検討します。

当プロジェクトの目的は以下のとおりです。

- ③ 道路管理者の、道路インフラの管理および財政に関する政策方向の明確化
- ③ 交通量の多い道路におけるそうした舗装の大規模使用の経済的実行可能性を評価するための評価枠組みの精査
- ③ 道路インフラの舗装用各種バインダーに関する知識のまとめ、強固化
- ③ 大規模応用のための、そうした舗装用バインダーの性能および環境的特性の確立
- ③ 適切なデモンストレーションプロジェクトの計画、準備、実施

当プロジェクトは3つの段階が計画されています。フェイズⅠは概念の実行可能性、フェイズⅡは概念の展開、フェイズⅢは、実物大試験です。

フェイズⅠ、概念の実行可能性が、当報告書の内容です。

第2章 供用されている従来の舗装の性能に関する概説

第3章 舗装の経済的な実現の可能性を評価するための評価構成の研究

第4章 長寿命舗装の表層の経済的な実現の可能性の検討

第5章 長寿命舗装として可能性のある材料および舗装技術の調査

第6章 長寿命舗装表層の要求技術と解決案評価のための指針に関する検討

フェイズⅡ，概念の展開は，3つの課題からなります。

課題1 設計，室内実験

課題2 促進載荷実験

課題3 施工技術・方法

フェイズⅢ，実物大試験は参加国で行われます。OECD プロジェクトグループが，試験の計画策定に協力します。

第2章 交通量の多い道路用の従来の舗装

この章では、交通量の多い道路に整備されている典型的・既存・伝統的な摩耗層の説明、まとめを行います。目的は2つあります。一つ目は、現存の伝統的な摩耗層と革新的な長寿命摩耗層の比較分析を行うための情報を提供することです（第4章）。

さらに、第5章で、長寿命摩耗層の材料および期待できる性能を議論します。第2章に述べる情報は、伝統的な舗装方法が提供可能な性能の基準として使えます。革新的な材料の性能をこの基準と比較することができます。

現存する伝統的な舗装についてのアンケートを作成しました（付録A参照）。アンケートでは、コンクリート舗装の情報も集めましたが、主に既存のアスファルト舗装に焦点をおきました。12の国から回答があり、それらは、カナダ、デンマーク、フィンランド、フランス、ハンガリー、オランダ、ノルウェー、ポーランド、ポルトガル、スウェーデン、イギリス、アメリカです。

また最近の研究からも情報を得ました。PIARC（2002）、TRB（2001, 2002）、ヨーロッパ道路輸送研究委員会（European Commission on Road Transport Research, 1999）です。

アンケートは、各国道路当局の舗装作業、特に摩耗層に関する技術的および経済的情報が得られるように作成されました。集めようとした情報は、交通量の多い道路の舗装（最低10,000台/日、15%以上の重量トラック）に限りしました。当プロジェクトのための材料、工事、排水は、実質的な構造的性能の向上につながると仮定しました（例えば、摩耗層の定期的な維持管理および整備を伴う、舗装構造の長寿命化）。摩耗層の特性（期待される寿命、初期費用、厚さ、材料および設計方法）を全体の構造や下層材料の特性から分離し、摩耗層のみの分析が可能となりました。

道路当局には最近の特定プロジェクトを用いて回答することを求めました。平均的な基準および性能が確認でき、分析にも使えることが期待されました。

2.1 初期費用と維持管理戦略

表2.1に摩耗層材料の初期費用、代表的厚さ、期待される寿命、管理戦略と、通行止め期間を示します。現存する混合物を特定するために、地域的に使われる種類や名称も備考欄に記載してあります。これを、第5章で述べる伝統的な既存の舗装と革新的な高度技術の舗装との比較分析のために、主な情報源として用いました。

初期費用には、材料、混合、運搬、敷設、および工事の際の交通規制の費用のみが含まれています。この費用は工事請負会社の全体見積り金額で、設計費用、工事監督費用やその他の工事に付随した費用は含まれていません。また、摩耗層のみの費用で、その下の構造層の費用や舗装前に必要な細々

とした準備の費用は含まれません。これによって、不必要な可変要素が可能な限り少なくなり、かつ、比較分析に必要なデータが十分得られます。費用はすべて、摩耗層 1 m²あたりの US\$（2002 年 12 月のレート）で表してあります。

初期費用と期待される寿命のほかに、分析に必要な経済情報として、維持管理戦略、維持費、維持スケジュール、維持の際の通行止め期間があります。工事作業費の違いによる舗装初期費用を標準化する意図はないので、報告された値の範囲の平均が示されています。この報告書では、革新的舗装を敷設するための平均作業費を経済性の比較分析に用いています。特定の国内ケースの分析は、関連する行政機関が実施するよう、残してあります。

表 2.1 摩耗層の初期費用と維持管理戦略

国	初 期 費用 \$/m ²	厚さ mm	予想寿命 (摩耗層) (年)	維持管理戦略	年	費用 lane km	通行止 期間 (日)	備考
カナダ 1	5.50	50	15	クラックシール	2,9,15	1000	0.2	Superpave
				表面シール・加熱打換え	12	20000	2	
				打換え	15	30000	1	
2	5.25	50	15	クラックシール	2	1000	0.2	Class I Mix
				パッチング	10	10000	1	
				表面シール・加熱打換え	12	20000	2	
3	3.00	40	15	打換え	15	30000	4	
				クラックシール	3,9,15	1000	1	密粒度摩擦層
				パッチング	9,15	8000	1	
打換え					19	73000	1	
フランス	3.00	25	16 (トラック レーン 8)	クラックシール	5		1	
				加熱リサイクル	8			
				(トラックレーン) 打換え	16			
デンマーク 1	5.30	20	14	クラックシール	8	1000	0.33	TB(薄層)
				パッチング	10,13	3000	0.33	
				オーバーレイ	14	20000	1	
2	9.50	35	14	クラックシール	8	1000	0.33	SMA
				パッチング	10,13	3000	0.33	
				打換え	14	35000	1	
フィンランド	5.00	40	5	打換え	5	20000	0.5	
ハンガリー	8.00	40	7	パッチング	3	100	0.5	SMA
				パッチング	5	200	0.5	
				オーバーレイ	7	100000	1	
オランダ 1	10.60	50	9	打換え 痛んだレーン	9	65000	0.8	ポーラスアスファルト /新
				打換え すべてのレーン	15	86000	0.8	
2	15.60	50	9					ポーラスアスファルト /再生
ノルウェー	6.70	35	5	打換え	5	24300	1	SMA
ポーランド 1	6.94	40	10	薄いオーバーレイ	10	20000	0.5	SMA
				打換え	20	26000	0.75	
2	9.20	50	10	薄いオーバーレイ	10	24000	0.4	アスファルト・コンク リート
				打換え	20	32000	1	
ポルトガル	3.44	40	15	クラックシール	3,6,12	2600	2	SMA
				打換え	15	16000	1	
スウェーデン 1	3.00	20	9	打換え	9	15000	1	TSK 薄層
				シールコート (SDI)	9	4000	0.2	
2	6.00	40	13	打換え	13	30000	2	SMA
イギリス 1	6.61	25	9	クラックシール, 打換え	8,9			SMA
2	8.61	30	9	クラックシール	8	2000	0.5	
				打換え	9	34000	0.4	
3	9.50	30	9	打換え	9,27	20000	0.5	
				打換え	18,35	33000	1	
アメリカ 1	4.90	50	18	クラックシール	3			HMA ミネソタ
				表面シール	8	3500	0.04	
				オーバーレイ	18	20000	1	
2	5.60	50	10	クラックシール	5,10	2000	1.	SMA コロラド
				打換え	10	27000	2	
3	35.00	320	30	クラックシール	20	320000	10	コンクリート フロリダ
				切削	20	240000	10	
				オーバーレイ	20			

表 2.1 は以下のことを示しています。

- ⑨ ストーンマスチックアスファルト (SMA) は、最も多く報告された摩耗層用混合であったため、代表的な摩耗層用混合の種類および費用を表す主要な指標として用いました。
- ⑩ 厚さは 30mm から 50mm の範囲で異なり、初期費用も最低 3.50 US\$ から最高 9.30 US\$ まで様々でした。
- ⑪ 他の種類の混合の厚さはもっと異なり、20mm から 50mm の範囲でした。異なった種類の混合物の中でも 50mm の値が多く報告されました。摩耗層の厚さは、費用に大きな影響を与え、予想どおり薄いほど安価でした。デンマークやスウェーデンからは、薄層表面層の厚さとして 20mm という薄い混合層が報告されています。
- ⑫ 西ヨーロッパにおける初期費用は、北欧や北アメリカ諸国よりもわずかに高く、その差の原因はすでに検討されています。しかし、プロジェクト実施の過程で、アメリカドルとユーロのレートが 20% も変化したため、おおよその比較でしかありません。表の価格は 2002 年 12 月にアメリカドルで報告されたものです。
- ⑬ フィンランドとノルウェーでは、厚さ 30mm の混合物の初期費用は、西ヨーロッパ諸国よりも少し安く、5.00 US\$ から 6.70 US\$ です。
- ⑭ 北アメリカの混合物は、SUPERPAVE, SMA, または伝統的な種類の混合物でした (例えば, Class 1 Mix や密粒度摩擦層)。初期費用は 3.00 US\$ から 5.60 US\$ でした。
- ⑮ 開粒度の摩擦層 OGFC (ポーラスアスファルトの表層) はオランダで最も多く使われている混合物で、初期費用は 1 m² あたり 10.00 US\$ (新規工事) から 15.60 US\$ (修繕工事) でした。オランダでは、騒音防止が非常に大きな問題で、そのため、政策として開粒度摩擦層が選ばれています。開粒度摩擦層の使用によって、騒音レベルを 2 から 3 デシベル減らすことが可能で、高価な防音壁の建設の効果と比べても遜色のない効果が得られます。費用の分析においては、開粒度摩擦層の利用は、特に都市部において明白な費用効果的利点があります。

比較経済分析のために、表層として最も広く使われている、1 m² あたりの価格が 8.00 US\$ の厚さ 30mm の SMA を選びました。

期待される寿命

SMA 摩耗層は 5 年から 15 年の寿命が期待されています。低い値は、冬中スパイクタイヤを使っているフィンランドとノルウェーからの報告です。交通量も表層の寿命に大きな影響を与えます。レー

ンのたくさんある道路では、交通量の多いレーン（多くは、低速の重車両用レーン）では、期待される寿命は6年から8年で、交通量の少ないレーンでは、15年以上もちます。

提供されたデータから、提供された推測値を考慮して、経済性評価に使用する期待される寿命の平均値を10年としました。

維持管理戦略

摩耗層の寿命の終わりとは、オーバーレイが必要となったとき、または、表層を打ち換えたときです。摩耗層の寿命は、途中でクラックシールやパッチングなど維持管理戦略をとることで延長されることもよくあります。追加的なもっと大掛かりな管理戦略は、上記の方法ほどは行われませんが、表層シール、シールコートやチップシール処理などがあります。打換えまでまったくなにもしないという戦略もあります。

維持管理戦略は、現場の舗装性能によって異なります。経済比較分析のための戦略は、平均にもとづき、第5章で使用するモデルから得られた維持管理戦略を考慮して選びました。

維持管理費

クラックシール作業の代表的費用は、1レーン1kmあたり1,000 US\$から2,600 US\$と異なり、パッチングの費用は3,000 US\$から10,000 US\$、表層シールまたはチップシールは4,000 US\$から20,000 US\$でした。

維持管理作業のための通行止め期間

クラックシール作業の代表的な通行止め期間は、1レーン1kmあたり0.2日から1.0日と異なり、パッチングの通行止め期間は0.33日から1.0日、表層シールまたはチップシールは0.2日から2.0日でした。

2.2 既存の舗装設計法および破壊規準

表2.2に、交通量、設計方法、摩耗層の期待寿命、当局が使用している平坦性、わだち掘れ、破損、すべり抵抗性に関する破壊規準（failure criteria）を示します。当局の方針も、提供された場合にはあわせて記載してあります。

当局から報告された代表的な設計方法として、Shell方法にもとづいた設計法、アスファルト協会AI、AASHTO、郡の標準、国家標準など、各地域の条件にあった方法が、入手可能なカタログやチャートなどと共に報告されています。ヨーロッパ委員会の運輸総局の「新しいアスファルト舗装設計方法の開発」COST333（1999）は、EU諸国で採用されているすべての舗装設計方法の包括的な概説と

なっています。

設計方法は、交通量、環境、路床土、建設材料の影響を考慮し、構造設計を行います。大部分の設計方法では、設計チャートを用いて、設計あるいは設計の照査を行います。

舗装設計寿命は、ほとんどが 20 年またはそれ以上でした。設計寿命は、摩耗層の期待寿命とは異なり、設計寿命期間の間に表層の更新や打換えが行われます。

他の興味深い情報としては、以下が挙げられます。

- ③ 国際ラフネス指数 (IRI) が、舗装性能および工事の施工品質の測定のために大多数の国でよく使われています。破壊規準となる IRI 値は、道路当局の予算によって異なりますが、報告された破壊規準 IRI 値は 2.2 から 4.4 の範囲で、最も多い回答は 2.4 でした。
- ③ 同様に、補修を開始するわだち掘れ基準として報告されたのは、13mm から 25mm の範囲で、最も多い回答は 15mm でした。
- ③ 50%以上が、設計目的として道路利用者費用を考慮していると回答しました。
- ③ すべり抵抗性は、道路当局共通の判定基準として用いられていて、すべり抵抗の最低値として 0.35 から 0.4 が示されました。
- ③ 2つの道路当局から、摩耗層の水平方向の最大引張ひずみが見られ、そのレベルは 125ms でした。
- ③ 一般的に、騒音対策は定期的には取られていませんでしたが、英国の道路当局では騒音を考慮して、新規道路建設ではコンクリート表層の採用を見合わせる必要があると報告しています。オランダでは、騒音減少は非常に重要な問題です。

表 2.2 既存舗装設計方法および破壊基準

国	交通量			設計方法	期待 寿命 (注) (年)	不 健 全 IRI	基 準 わ だ ち 掘 れ (mm)	破 損 (ひび 割れ) (%)	道 路 利 用 者 費 用 考 慮 の 有 無	備 考
	AADT (k)	ESAL (100 万)	重 車 両 %							
カナダ	32	20	22	郡の方法 AASHTO	15	2.2	15		無	HMA 2750MPa, CBC 200MPa, SB 100MPa, SG 20-75MPa
フランス	25		10	国家標準	8~ 16		15~ 20		有	期待寿命:トラックレーンのみは 8 年
デンマーク	60	5	8	デンマーク 標準	14	3.5	15		無	すべり抵抗性スぺック 0.5
フィンランド	17-45		15	表	5		13		無	HMA のスティフネス係数 3K MPa スパイクタイ使用
ハンガリー	20	18	10	国家標準	7	3.2	14	25	無	
オランダ	55	36	17	オランダ方 式	9	2.5	18	20	有	水平 引張ひずみ 125ms すべり抵抗性スぺック 44SFC
ノルウェー	22	3	15	ノルウェー 方式	5	4	25		無	スパイクタイ使用
ポーランド	20	14	20	カタログ	10	4.4	20	20	有	水平 引張ひずみ 125ms 垂直 275ms
ポルトガル	11	19	15	Shell 方法	15	3.5	15		有	静的クリープ係数>14MPa
スウェーデン	13	25	10	ATB(スウェ ーデン)	13	2.5	17	10	有	すべり抵抗性スぺック 0.4 すべり抵抗性スぺック 0.5
英国	111	106	15	TRL 報告書 LR1132	9	RQI	20	3	有	方針により, 新規コンクリート舗 装なし 疲労式使用, すべり抵抗性 スぺック 0.354SFC
アメリカ	29	13	14	フロリダ道 路局	30	2.4			無	コンクリート, 式
	10	10	15	ミネソタ道 路局	18		13		無	ミネソタ
	129	12	11	AASHTO	10	2.2	14	15	有	コロラド

(注) 摩耗層のみ

2.3 代表的な舗装構造

表 2.3 に、交通量の多い設備舗装工事に用いられる代表的な舗装構造の詳細を示します。ロータリーや重車両操作場など特殊な場所は考慮してありません。データとして、摩耗層の厚さ、舗装構造全体のアスファルトの厚さ、および粒状材全体の厚さが示されています。このデータは経済分析には用いませんが、代表的設計の基準、設計の比較、革新的な高度技術舗装との見積り比較のデータとして、各国の道路当局にとって興味深いものと思われます。

報告された代表的な構造は以下のとおりです。

- 摩耗層の厚さ、概ね 30mm から 40mm
- その下の加熱アスファルト混合物（HMA）層の厚さ、200mm から 240mm
- その下の粒状路盤層の厚さ、300mm から 1.2m

厚いアスファルト層および粒状材層が報告されています。アスファルト層全体の厚さは、150mm から 400mm の範囲で、最も多い回答は 200mm から 270mm でした。粒状材層の厚さは非常に差が大きく、150mm から 2m と報告されています。寒冷地では、凍上によるひび割れや舗装面の荒れを防ぐために、厚い粒状材層を使用します。

構造全体の厚さと比較したアスファルトの厚さの割合は、9%から 75%の範囲で、最も多い回答は 20%から 40%でした。

表 2.3 代表的舗装構造

国	代表的構造 HMA:加熱アスファルト, SMA:ストーンマス チックアスファルト, CBC:砕石路盤, SB:下 層路盤, HB:水硬性材料	摩耗層 の 厚さ (mm)	アスファ ルト層全 体の厚さ (mm)	粒状材 の厚さ (mm)	全 体 の 厚 さ (mm)	構造全体に占め るアスファルト 層の割合	構造等 値 ^注 (CGE)
カナダ	230mmHMA, 150mmCBC, 300mmSB, シット	50	230	450	680	34%	910
フランス	25+40+80mm アスファルト, 270+200mmHB	25	145	470	615	24%	760
デンマーク	250mmSMA, 60mmHMA 基層, 180mmHMA 路盤, 50mm アスファルト, 200mmHMA, 450mmCBC, 150mmHMA, 300mmCBC, 300mmSB, シット	20	260	600	860	30%	1120
		50	200	450	650	31%	850
		50	150	600	750	20%	900
フィンランド	40mmSMA, 厚い粒状材	40	200	2000	2200	9%	2400
ハンガリー	40mmSMA, 160mmHMA, 300mmCBC	40	200	300	500	40%	700
オランダ	50mm ポーラスアスファルト, 350mmHMA, 1m 砂	50	400	1000	1400	29%	1800
ノルウェー	35mmSMA, 185mmHMA, 700mmCBC	35	220	700	920	24%	1140
ポーランド	40mmSMA, 90mmHMA, 140mmCBC, 200mmSB	40	130	340	470	28%	600
ポルトガル	40mmSMA, 230mmHMA, 350mm 粒状材	40	270	350	620	44%	890
スウェーデン	40mmSMA, 200mmHMA, 1m 粒状材	40	240	1000	1240	19%	1480
英国	30mmSMA+HMA+粒状材	30	310	180	490	63%	800
	30mmSMA+HMA+コンクリート	30	390	150	540	72%	930
	30mmSMA+厚い HMA	30	450	150	600	75%	1050
アメリカ	コンクリート, 320mm, 1,200mm 路盤		320	1200	1520	21%	1840

注：構造等値は、アスファルトの厚みの2倍プラス粒状材の厚さ（概算）である。

2.4 既存舗装材料の特徴

表 2.4 にアスファルト舗装構造に用いられる混合物材料のデータを示します。データには、アスファルト量、アスファルトの種類、骨材の粒度、骨材最大粒径、空隙率、締固め条件が含まれます。

アスファルト量は 4.5% から 6.4% となりました。SMA には碎石分が 70% から 80% 含まれ、5% から 8% 細粒分が含まれています。報告された骨材の最大粒径は 19mm で、最も多い回答は 10 から 16mm でした。代表的な混合物の空隙率は、最も多い回答が 4% で、開粒度アスファルトでは 20% と報告されました。アスファルトの種類は針入度 (PG) を用いて記載され、代表的な針入度は 50 から 100 と報告されました。

南ヨーロッパ諸国では、50 から 70PG (Penetration Grade) のアスファルトを用い、北ヨーロッパ諸国では 70 から 100 のアスファルトを用いていました。カナダの PG は 80 から 100 で、北部では 150 から 200 のものが使われていました。アメリカとカナダの一部では、SUPERPAVE 配合用として高性能アスファルト、および通常のものとして 64-22 が報告されています。北部では、58-28 または 58-34 でした。

SMA 用の繊維の利用が報告されています。また、改質アスファルトの利用も記載されていますが、使用を考慮することはまれです。

表 2.4 既存舗装材料の特徴

国	混合の種類	初期費用 (\$/m ²)	厚さ (mm)	アスファルト 量 (%)	最小締固 め (%)	配合割合 碎石/砂/フィ ー	骨材最大粒 径 (mm)	空隙率 (%)	アスファルトの 種類
カナダ	Superpave 密粒度摩擦層	5.50	60	5.6	90.5(Rice)	55/40/5	19	4	PG 64-28 80-100
		3.00	40	4.8	90.5(Rice)	51/49/0	16	6.8	
フランス		3.00	25	5.5		70/27.5/7.5	10	10-18	50/70
デンマーク	SMA TB	5.30	20	5		69/19/7	8		70-100 40-60
		9.50	35	6	95	73/13/8	11	7	
フィンランド	SMA	5.00	40	6.1		91/0/9	16	2.8	80
ハンガリー	SMA	8.00	40	6.4	97	74/14/11	12	4.3	30/60S
オランダ	ポーラスアスファルト	10.60	50	4.5	97	75/20/5	16	20	70-100
ノルウェー	SMA	6.70	35	6.3	98	64/26/11	11	3	70-100
ポーランド	SMA AP	6.94	40	6.2	98	78/11/11	12.8	4	25-50 25-60
		9.20	50	5.7	98	80/15/5	12.8	3	
ポルトガル	SMA	3.44	40	5.5		80/15/5	14	4	50-70
スウェーデン	TSK	3.00	20	5.5			16		70-100
	SMA	6.00	40	6.3			16		70-100
英国	Hitex Superpave	8.61	30	5		72/22/6	14	4 to 8	50 50
		8.15	30	4.7		70/22/8	14	4 to 8	
アメリカ	Superpave SMA	4.90	50	6	92(Rice)		12.5	4	64-34

まとめ

経済分析には、厚さ 30mm を選択しました。舗装摩耗層の初期費用として、敷設する摩耗層アスファルト材料 1 m²あたり 8.00 US\$としました。(報告された中で最も高い値)

ストーンマスチックアスファルト (SMA) と SUPERPAVE が、伝統的既存摩耗層材料として OECD 各国当局が選んだ材料です。

これらの表層材料の期待寿命は、大半が約 10 年と報告されました。

OECD 各国当局が採用している維持管理戦略がいくつかあり、以下のとおりです。

- ④ 打換え、あるいは寿命が尽きるまで、まったく何もしない。
- ④ クラックシールを一回のみ行う。
- ④ クラックシールを一回とパッチングまたはクラックシールをもう一回行う。
- ④ クラックシールを一回ともっとおおがかりな表面・チップシール工事を行う。

クラックシールの典型的な費用は、1 レーン 1km あたり 1,000 US\$から 2,600 US\$の範囲で、パッチングの費用は 1km あたり 3,000 US\$から 10,000 US\$でした。表面・チップシールの費用は 1 レーン 1km あたり 4,000 US\$から 20,000 US\$でした。

通行止め期間は、クラックシールやパッチングでは 0.2 日から 1.0 日、表面・チップシールでは 0.2 日から 2.0 日と報告されました。

参考文献

- ④ PIARC (2003), *A fact finding review of performance specifications in 2002*, PIARC, Paris.
- ④ Transportation Research Board (2001) *Perpetual Bituminous Pavements*, Transportation Research Circular No. 503, December.
- ④ Transportation Research Board (2002) *Assessing and Evaluating Pavements*, Transportation Research Record No. 1806.
- ④ European Commmission Transport Research (1999), *Cost 333 - Development of New Bituminous Pavement Design Method Final Report*, Brussels.

第3章 評価の構成

3.1 序

道路建設から数十年経ち、多くの OECD 加盟国では、一次的な道路交通網が完成し、新しい道路建設の支出が減っています。しかしながら、道路を維持するためにかかる費用は以前より多くなっています。

この報告書では、維持管理が少しで済む、あるいは全く要らないような、本当に長寿命の舗装を実現するための道路舗装技術開発や革新的な素材の可能性について、詳細に考察を行います。

現在の道路維持管理では、相反する二つの必要条件、つまり道路を良いコンディションに保つことと経費を制限することの間に、バランスをとることが必要となっています。一方、道路の定期点検は、長期間にわたり良好な舗装状態を保つためには不可欠なことです。短期の定期点検をやめて費用を削減しても、一般的には結果として全面的な再建設が必要となり、何倍もの損失となります。その一方で、道路維持管理のコストは、多くの国で制限されていて、いつも必要な時に必要な整備ができるというわけではありません。

過去に、道路管理者の多くは、維持管理をするかしないかという、直接的な管理コストに主に焦点をあててきました。しかし、道路補修のタイミングや程度の決定によって、大きな影響があるため、決定する過程を考慮する必要性が増加してきています。その影響の一つに、道路利用者の費用の観点から、道路補修の有無を決定することがありますが、これは結果として道路状態の悪化を招きます。しかしまた、明らかに補修間隔が開いてしまうのも事実です。道路利用者のコストがまったく考慮されなかった時代、道路利用者のコストが考慮されたのは、安全性向上や周辺の混雑緩和という、区間限定の交通規制のみでした。しかし、最近では、維持管理評価や、行われるべき維持管理のタイミングと程度を決定する際に、道路管理者は道路利用者のコストを十分考慮すべきだという要求が増えていきます。

過去 10 年から 15 年以上における研究で、考慮すべきコストが検討されてきました。これらのコストには、自動車運転コスト、事故にかかるコスト、維持管理と再建設にかかるコストが含まれます。OECD の報告書「道路の維持管理と再建設：資金と配分計画」（1994）では、直接の道路管理範囲の寄与や、利用者のコスト、採択された維持管理計画における潜在的な効果が要約されています。これらを図 3.1 に示します。（OECD 報告書から抜粋）

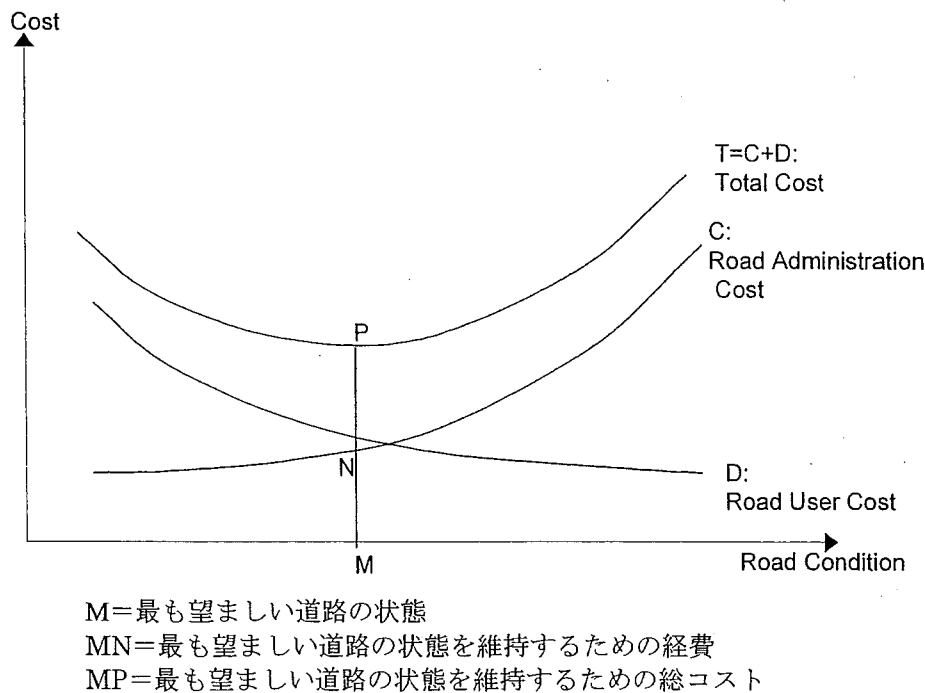


図 3.1 道路の維持修繕の工学的・経済的最適化へのアプローチ（出典：OECD 1994）

この示唆的なグラフから、直接の道路管理のコストを最低限にするということを基本においた道路管理では、維持管理をしばしば行うことが必要となり、その結果、道路利用者により高いコストを負わせ、最良の総コストより少ないとはいえない額になるということがわかります。

影響が大きいということを認識しつつ、かつ道路利用者からの要求に応じて、多くの政府は、道路工事に起因するその他のコストと、道路の適切な混み具合に注意するという道路管理のための必要条件を設定しました。特に交通の激しい道路には、利用者のコストを最小限に抑えるために、オフピークの時間に工事を行うことがしばしば必要となります。もちろん、そのような必要条件は直接の道路計画のコストを増大させることもあり、そのために道路管理の予算が圧迫されます。

長寿命舗装による潜在的な利益と経済成長の可能性に関する最近の研究において、あらゆる種類の推進要因が検討されてきました。与えられたそれらの経済成長は、総コストに依存していて、舗装の性能が十分に改良されたなら、当初の高いコストは正当化されます。長期間にわたり、維持管理と利用者の遅延なども含むコストが減ると、同じく、計画の総コストも減ります。舗装の寿命を通しての総コストの分析が行われた時にのみ、長寿命舗装の利点は現実的に評価されます。寿命全体のコストを計算する方法によって、舗装の寿命における経済推進の総分析が可能となり、改良された舗装の利点の特定ができ、建設全体のコストの評価・検討が可能となります。

以下では、革新的長寿命摩耗層の実現可能性を評価できる、寿命全体のコスト計算に焦点をあてています。資料は、この問題に関しての PIARC の調査にもとづいて、寿命全体のコスト計算の国際的な取り組みを要約しています。この章はそれから、選択する舗装を評価する時に考察すべき要因につい

て論じ、最終的には、摩耗層の性能を見積ることのできる多くのモデルの特定と検討を行います。

3.2 寿命を通してのコスト (Whole Life Cost) – 世界の実績

異なった種類の舗装は、その寿命におけるコストの傾向も異なります。舗装の建設コストは、運用コストよりも高いことが普通です。寿命を通してのコスト分析は、費用が必要なタイミングと範囲を推定し、最もコスト効率のよい舗装種類を選択するために使われます。寿命全体の費用分析では、それらのコストを比較するための標準として、純現在価格 (NPW) か、純現在価値 (NPV) が、将来のコスト評価として使われます。(現在対未来の経費と利益の社会的な価値を反映する)社会的な時間の優先率、または割引率は、基準年以降の将来に発生するコストの額を減少させます。

建設計画の総コストを考慮するのに使われる全寿命コスト計算法は、建築の世界ではすでに確立されています。PIARC (2000a, b) は、舗装の寿命までのコストを、ある程度詳細に検討しています。

PIARC はアメリカ運輸省からの引用として、寿命全体のコスト (ホールライフコスト) に次の定義を使っています。

.....最初のコストとあらかじめ考えられるコスト、たとえば、計画をすべて通しての維持管理、利用者、再建築、復旧作業、修復、再舗装のコストを分析することによって利用可能な計画の総経済的価値を見積もる過程.....

PIARC の報告書では、高速道路の舗装関連計画の総寿命のコストを見積もる様々な技法の使用が検討されています。これらには、計画の始まりから設計、建設、維持管理、最後の処理を通しての道路舗装計画における多くの局面や段階が含まれます。道路当局へのコスト、道路利用者へのコスト、道路事故のコスト、そしてその他の社会的なコストなどのいろいろなものにコストがかかります。

事実、PIARC の報告書は、異なった道路当局により、総寿命のコスト分析を行う時に考えるべき要因を含んでいる、考慮すべきアプローチの仕方に様々な種類があることを示しています。多くの分析に含まれている重要な3つの構成要素は、建設コスト、将来の作業コスト、利用者・社会的なコストです。最後のコストは、おそらく、当局によってもっともバリエーションがあり、それらの決定は、分析のために信頼のおけるデータが入手可能かに関係しています。

社会的なコストは、評価するのが難しいことが多いのですが、維持管理によるエネルギー利用の増加、崩壊、近隣の動産・不動産へのコストなど、これらは(騒音や汚染を増加させるような)環境コストに含むことができます。同じく、分析において、建設や維持管理の後の改善のために、利益も考慮する必要があります。

その他の総寿命のコスト分析に影響を及ぼすたくさんの要因があり、その大部分は地域的に特徴のあるものです。道路や舗装のタイプ、施工、運用機構、利用者のコストの多様性から導くことができる道路の状況からバリエーションを推測することができます。それ以上の違いは、計画を評価する分析の期間や、分析に使われる割引率や、救命価値（残存価値）など、評価のパラメータが国と国の間で異なることが予測されます。

いろいろな国で使われている年間の割引率のバリエーションに注目することは、特に意義があります。率は3から12パーセント（1998年の値）で変化し、年間割引率の分布を示す広範囲な評価は、表3.1に示されています。

表 3.1 主要国で使われている割引率

国	割引率 (%)
カナダ	7
デンマーク	7-8*
フィンランド	5
フランス	8
ハンガリー	10
オランダ	4
ノルウェー	8
ポーランド	8
スウェーデン	4
イギリス	3.5
アメリカ	3.5

*実際の割引率は6%ですが、他の因子を用いると有効な率が7～8%になります。

PIARC の報告書は、いろいろな国で使われている伝統的な道路工事による総寿命コストの評価の期間の長さに、大きな差があることを示しています。異なった評価期間を使っている国の数を表3.2に示しました。

表 3.2 伝統的な道路工事による総寿命コストの評価期間の長さ

	評価期間(年)				
	0-10	11-20	21-30	31-40	>40
新しい建設	国の数				
ーアスファルト	1	14	5	3	0
ーコンクリート	1	4	9	6	0
維持管理					
ーアスファルト	5	10	1	1	0
ーコンクリート	8	4	3	2	0
ネットワークの評価	4	4	4	1	1

3.3 道路の利用者と社会的なコスト

第2章のアンケート調査の回答で、総寿命コスト分析においては、実例の半分だけが間接的なコストや利用者のコストを考慮しています。PIARCの報告書における知見などから、分析に及ぼす利用者コストの影響が交通量の多い道路では大きいということがわかり、この報告書ではその点を考慮しています。

利用者のコストの算入は、特に交通量の多い道路の分析において重要な影響を持っていて、この報告書では考慮されています。交通量が増えると、道路利用者に対する混雑の影響は増大します。道路利用者の時間の価値は大きくなり、遅延コストの影響が道路利用者によって引き起こされ大きくなるため、総寿命コストの分析がより重要になるのです。たとえ、しばしば正確なデータの供給が難しくても、利用者のコストと社会的なコストは考慮されるべきです。もし可能なら、それらには次のものが含まれるべきです。

- ◎ 利用者の遅延コスト

- 道路工事による、工事区間と迂回路を通る利用者への遅れのコスト
- 混雑による利用者への遅れのコスト

- ◎ 車両運転コスト

- 道路工事による運転の遅れによるコスト(特に商業用の車)
- 舗装が劣化するに従って増加する車の装備(特にタイヤ)

- ◎ 事故のコスト

- 道路工事中に増加する交通事故のコスト
- 道路の劣化によって増加する交通事故のコスト
- 道路工事中に起こる、管理作業者の事故のコスト

- ◎ 環境のコスト

- 騒音のコスト(おそらく防音壁のコストに関係しています)
- 汚染のコスト
- エネルギーのコスト
- 不足している主要な骨材のコストや、その他の同様の資材の環境的な見方
- 撤去した資材の廃棄コスト
- 冬の維持管理(凍結防止剤の散布を含みます)
- 植物や野生生物のためのコスト

3.4 評価の構成

革新的摩耗層における経済的な利益を評価するのに最も適していると思われるコストモデルは、異なったタイプのたくさんの道路の種類の評価を認識・考慮し、異なった素材のコストと比較することができなければなりません。モデルには、原則的として次の変数が含まれ、利用者によって変えるこ

とが可能であるべきです：交通の流れ、交通の増加、交通の混乱、舗装の年数、気候、道路利用者のコスト、舗装残りの価値、割引率

経済的な利益は、真の長寿命舗装から来る有利さをもたらすことが必要です。モデルは以下のものから生じる節約額を計算しなくてはなりません。

- ⑤ 道路工事の減少
- ⑥ 混雑の減少と、より少ない維持管理およびより少ない舗装劣化に関連した安全性の改善
- ⑦ 全種のエネルギーの節約、または運転の操作コスト
- ⑧ 他の節約（事故、環境など）

理想的には、モデルは、道路のコンディション記録にもとづいた将来の処理の必要性によって評価できるべきです。それほど精巧ではないモデルは、経験豊かな利用者によって決定され入力されることを将来の維持管理のために考慮すべきです。いずれの場合でも、舗装のコンディションを評価する際には、次のことを考慮する必要があります：ひび割れ、わだち掘れ、すべり抵抗性、構造的な強さ、平坦さ

予算はサービスの最小のレベルでなされるべきで、また、これらは世界中の異なるサービス要求に対して調整可能であるべきです。

その他にも、コストモデルが適切かどうかを評価するのに検討すべき問題があります。それらは絶対欠くことのできないものではありませんが、これらの考察は、ある意味で、分析の一部であると言えます。これらは以下のことを含みます：

- 建設のコスト（現場内と現場外）
- 新しい舗装のタイプの健康または安全の見地（現場内と現場外）
- 新しい舗装を使う上での危険の分析(たとえば、危険な物質の拡散)
- すべての変数に対する一般的な定義
- 感度分析テストでの主要な仮定／変数
- 時間の範囲（少なくとも 30～35 年）

モデルは様々な国で使われるで、この報告書で取り上げられているモデルが、分析のタイプにあっているかどうかのさらなる検討が必要です。それには、異なった国、異なった専門用語、使用言語、ソフトウェアのサポート、利用者へのサポート等への手当が含まれます。これらのいくつかは、上手に作成された利用者への案内またはマニュアルや、要求された異なる入力を許すことのできるようなソフトウェアの柔軟性で対処することが必要かもしれません。

3.5 利用可能な評価モデル

この報告書では、テストされているシナリオにおける、長寿命舗装の経済的見地を分析できるモデルの考察を行う必要があります。これらは世界中で使われている伝統的な摩耗層と共に第5章で述べられている、革新的な長寿命舗装工法と比較されなければなりません。理想的なモデルは、誰にでも入手可能で世界中のどこでもサポートできるものであり、かつ一般的な一貫性を提供し、経験を積んだ利用者にもとづいたものです。たくさんの種類の道路タイプ、コンディション、気候に対応しうることが大切です。

PIARC の報告書では、あらかじめ、いろいろな国で使われているすべてのモデルの寿命コストの詳細について述べているものではないことが論じられています。一般的に、寿命コスト計算を使用している国や機関は、それぞれ独自のモデルを展開させています。その理由の一つは、コンピュータの進歩によるものであると言え、多くの変数の取り扱いが簡単になり、個々の特定された目的にふさわしいコストモデルを開発することも容易になりました。

しかし、いくつかの入手可能なモデルは国際的に使われており、それらのモデルは適切かどうかの、評価が検討されています。検討されているいろいろな寿命コスト計算は付録Aに掲載されており、論じられています。これは、この報告書の目的にかなった完全なリストであると考えてはなりません、調査のコストモデルなのです。この要件は目的にふさわしいモデルを見つけることでした。これら検討されたモデルのうち、二つのモデルについて以下に詳しく述べます。

3.5.1 HDM-4 モデル

HDM-4 モデルは、高速道路の調査と投資選択のための開発と管理のシステムです。これは、世界銀行により提唱されており、PIARC がこれの管理と開発の調整において主要な役割を果たしています。HDM の初期のものは、特に開発途上国に適していましたが、モデルが世界中の道路機関、設計者、出資者の広範な要求に応じることができるよう、最新のバージョンの適用範囲が広げられました。これは当初は特に熱帯地方に合わせていましたが、今では寒冷地にも合うように範囲を広げています。現在では100近くの国が登録しています。

HDM-4 モデルは、新しい開発事業の評価と検討を考慮に入れています。道路および道路網のいずれの分析、また事業を実施した場合の将来の変化を予測するために使用することができ、特別の国や地域のために改良・修正することができます。このモデルは、将来の事業実施およびコストの予測を可能にする広範囲な数学的・論理的モデルをまとめたものです。それはデータと分析の結果を効果的にレポートする機能を提供し、標準のデータベースあるいは表計算ソフトにこれらを出力・保存することができます。

モデルは、当初熱帯地域向けに開発され、最近になって寒冷気候に広げられたので、温度気候の適合性にいくつかの疑問があります。東ヨーロッパの国々での限られた試みでは、HDM-4では、これらの地域の状態についての説明や、舗装の種類と交通の激しい状況を考慮することはできないであろうと考えられています。このモデルは、多くのモジュール（分析に含むことができる非常に多くの要素をカバーして）を備え、非常に強力なモデルであるため、多少厄介なモデルで、比較的直接的な適用に向いていないように見えます。HDM-4は、多くの国で流通していますが、非常に限られた回数使用するものであり、十分に熟練し経験豊かな利用者、また、修正に必要な地域の正しい基礎データを持っている利用者のみが利用するものと考えられています。しかし、それでもなお、HDM-4モデルは国際的に認知されたモデルであり、各種舗装を国際評価するためには有用な情報となります。

3.5.2 UK-SAS/PASI モデル

イギリスのTRLは、既存のモデルのスキーム分析システム（SAS : Scheme Analysis System）モデルを採用し、異なる国々でもその使用を認めています。SASモデルは、英国で幹線道路ネットワーク上の維持管理計画に対する処理の選択の分析や、寿命のコストに十分見合う価値を提供する選択を識別するために使用されます。エクセルの表にもとづいて、この道路開発計画モデルを使って、利用者は、各種の維持管理方法の比較・選択をすることができます。

PASI（Project Analysis System-International）モデルは、TRLによって、国際的な使用に合うようにSASのバリエーションの一つとして開発されたもので、コンクリート舗装にもアスファルト舗装にも適用できます。PASIモデルでは、様々な通貨を用いた表現が可能で、また、利用者は自分の限定的な期間を使用することも可能ですし、自らのメンテナンス処理コストおよび交通管理オプションのコストと出力の割合を適用することもできます。

このモデルでは、時間の遅延、道路の残存価値、異なる高速道路のそれぞれ異なる処理などにもとづいた利用者原価の予算計算もできます。地域の基礎的なデータはすべて入力できますし、入手可能な英国のデータから典型的な値を使用することもできます。モデルは表にもとづいているので、比較的簡単です。利用者は、オプションが検討されている各々の舗装の実際の維持管理体制を記入する必要があります。初期建設コスト、運用コスト、または他の関連するコストや利益のような、分析におけるその他のコストを含むこともできます。それらは、初期の維持費の一部として、あるいは将来、分析期間内にかかるコストとして入力することができます。コストはすべて、検討されている計画の、オプション間のコストのNPVが有効に比較できるように、基準年度と比較されます。

その意図するところは、長寿命舗装の構造層のためのオプションの評価において、ELLPAG計画（第1章を参照）でも同じモデルが使用される、ということです。

3.6 選択されたモデルの適応性および使用

HDM-4 と PASI モデルは、その能力が、上記に議論された評価構成の中で述べられた必要条件を満たすかどうか（できるだけ多く）にもとづいて選択されました。PASI モデルの場合には、入手可能性と、わずかな経験やトレーニングでも、容易に使用できることも必要な点でした。このモデルは、寿命のコストの評価が得られるモデルの例として、この報告書の中で使用しました。モデルを一連の流れとして実行し、かつ同じ方法で例題を分析するように配慮しましたが、これが現実的なアプローチではなかったことがわかりました。モデルを使用した理由および方法に関する詳細な議論は、第5章の中で述べます。

作業内容は、様々な交通および他の変数からなる2つの主要なシナリオを比較し、革新的な摩耗層が経済的に有利となる基準を確立することです。現在の実態を反映して、標準のメンテナンス技術を使った伝統的な表層について、サンプル道路の維持管理内容を確立する必要がありました。これは、第2章の中で報告されているような調査データを入力して行いました。このシナリオのコスト分析は、革新的な表層材を使用して改善した維持管理の概要を考慮しながら、同じ道路を長寿命摩耗層で完成した場合と比較することとしました。いずれの場合も、既存の舗装は、表面の悪化（表面わだち掘れ、ひび割れ、でこぼこ、表層がなくなる）が起これると仮定し、新しい表層が必要であるとしてしました。

分析では、表層関連の維持管理処置のみが扱われ、構造層への注意はなされていないことがわかります。いずれの場合でも、既存の道路構造は十分な強度があり、「長寿命」とされる状態にあり、分析の期間中に再建設する必要がないだろう、という大前提があります。PASI モデルの場合、維持管理の概要は利用者によって定義され、劣化の因果関係とは関係がないため、構造層の状態が無視できるからです。この分析の結果については第5章に記述します。

参考文献

- ⑧ OECD (1994) *Road maintenance and rehabilitation: funding and allocation strategies*, OECD Paris
- ⑨ PIARC (2000a) *Whole Life Costing of Roads - Flexible Pavements*, PIARC, Paris
- ⑩ PIARC (2000b) *Whole Life Costing of Roads - Concrete Pavements*, PIARC, Paris

第4章 長寿命舗装の経済的な実現の可能性

この章は革新的な舗装の経済的な実現の可能性の分析について述べています。分析の目的は、その寿命を通しての維持費の縮小に結びつくか、また、舗装の長寿命化により、革新的な摩耗層の高い原価が償われるかどうかを確かめることです。

第2章のデータを使って、典型的な舗装の維持管理戦略にもとづいて、道路利用者関連コストを考慮しながら、伝統的な舗装のライフコストを評価します。

革新的な長寿命摩耗層の評価は、同じステップで行っています。この場合、評価する寿命全体のコストには、高い初期摩耗層費用と、維持管理費用の削減や利用者遅延コストの削減による、コスト削減が含まれます。

全寿命コストのいずれの費用も、従来のアプローチと比較して、革新的摩耗層のコストの純現在値(NPV)を計算し、現時点との割引として計算します。

4.1 使われているモデル

この分析に選ばれた寿命全体のコストモデルについては、前の章で述べましたが、主に PASI (Project Analysis System-International) モデルを使用しています。HDM-4 モデルは主として車両の運転コストの考察に使われています。使用したモデルの詳細は付録 A に示されています。

4.2 入手可能なデータ

全寿命コストのモデルの正確性や信頼度は、正確に入力されたデータの有用性によって決まります。確固とした結果を得るためには、最初の計算や将来の維持管理の必要性の予想を行うために、最適なデータを使うことが重要です。

第2章では、いろいろな国から得られた摩耗層の費用や、標準的な維持管理方法の費用、維持管理の実施、整備期間に関する最近のデータを検討しました。

第2章で報告されている調査からは詳細が得られなかった多くの変数については、代表的なアプリケーションを利用して、分析に使用する方法や値を計算しました。採択された特定の値や値の範囲は、この章で後述します。

維持管理工事によって、交通の妨害や遅延による道路利用者へのコストが増加します。そのため、こうしたコストは、維持管理工事に関係した全寿命コスト分析の基本的な部分となります。PASI モデルを使った計算のためには、用いた交通規制方法に関係する、維持管理工事期間中の遅延は、コスト

に変換し、コスト全体の評価に包含します。

4.3 分析の基礎

計画例

分析では、構造的にコンディションが良く、表層の取り替えを必要としている、長寿命舗装を建設する前の道路を例として取り上げています。計画は、延長 4km、片側 3 車線の自動車専用道路で、概ね大きな勾配、交差点、カーブのない道路を基本としています。分析は、伝統的な表層処理による舗装と、革新的な長寿命の処理システムの 2 種類の処理方法について、45 年間にわたる評価期間のコスト全体の比較ができるように設計されています。

伝統的な処理

分析に使われているデータは、第 2 章で報告されているアンケートの結果にもとづいています。コストや処理が各国でかなり異なっていますが、分析に使用される値は、多くの国々で現在行われている代表的な処理状況を考慮しています。

表層	30mm (SMA タイプ、または類似品)
表層の打ち換え	30mm 交通の非常に激しいところで 8 年毎、交通の激しいところで 10 年毎
	100mm 交通の非常に激しいところで 16 年毎、交通の激しいところで 20 年毎
コスト	\$8/m ² —30mm 表層の再舗装 (打換え)

表層舗装を取り替える際、現存している表層は、新しい摩耗層に取り替える前に粉砕するか、滑らかにすることが当然だと思われています。アンケートの結果では、多くの国で、大規模な表層再舗装をする前にクラックシールを行い、大規模工事までの期間の延長を図っています。この処理もまた、交通量の少ない道路の分析における維持管理戦略の一つの方法であると考えられます。

革新的な摩耗層

革新的な摩耗層を評価する目的は、道路作業や利用者コストを考慮した際に、コストや革新的な(長寿命)表層舗装が経済的に実行可能となる性能を評価することです。そのような革新的な表層に関する経験が少ないため、推定した性能にもとづいて判断する必要性がありました。試みられた分析は、「もしも...なら」という現時点の期待にもとづいています。

分析に使われている維持管理の方法は次の前提にもとづいています。

革新的な表層のコスト	伝統的な処理のコストの 3 倍または 5 倍
革新的な表装の打ち換えるまでの寿命	30 年から 40 年

そのような摩耗層のコストによる増加を特定の舗装建設費として見る必要があります。例えば片側3車線の高速道路では、舗装建設費は車道1kmあたり総額180万US\$から225万US\$になるでしょう。この評価は、土工、排水、レーンマーク、安全フェンス等の特質は含んでいますが、橋の上部や下部、あるいは橋脚等の構造は含まれていません。

現段階では、そのような表層（摩耗層）は、前述の舗装建設費の約9～12%に相当します。摩耗層コストの3倍増は、舗装建設費の24%以下の増加を意味し、そして表層は建設コストの約30%相当になるでしょう。

もちろん、重交通道路の総建設費は、舗装建設費だけでなく橋やトンネル、土工の数量によって変動します。全体の1kmあたりの平均コストは、これらのコストを計算に入れると1kmあたり315万US\$から360万US\$増加します。これを考慮すると、摩耗層のコストが3倍に増加することは、1kmあたりの高速道路全体の建設費に対して10～15%に相当し、表層が総建設費の5～20%であることに比べて低い印象を持つでしょう。仮に、全く新しい道路計画が検討されることになった場合、構造、用地買収、設計費用およびコミュニケーションを含む全コストを考慮すると、この割合はさらに低くなるでしょう。

維持管理の概要

40年長寿命の革新的な表層

異なった交通レベル—40,000から100,000AADT—を使って分析した維持管理の概要を表4.1に示します。それらは伝統的な表層舗装の経験と、40年寿命の革新的な表層舗装で要求される維持管理の予想にもとづいています。

革新的な表層舗装は「リテクスチャ」という中間の処理を行います。この処理の本質は特定されていませんが、評価期間を通して、すべり抵抗性を許容範囲に維持回復するためとされています。

表 4.1 40年期間中の維持管理計画の比較

交通量：40,000 と 60,000(AADT ¹)				交通量：80,000 と 100,000(AADT ¹)			
伝統的		革新的		伝統的		革新的	
0年	30mm 表層	0年	革新的な表層舗装	0年	30mm 表層	0年	革新的な表層舗装
10年	30mm 表層	20年	リテクスチャ	8年	30mm 表層	15年	リテクスチャ
20年	100mm 表層	40年	革新的な表層舗装	16年	100mm 表層	30年	リテクスチャ
30年	30mm 表層			24年	30mm 表層	40年	革新的な表層舗装
40年	100mm 表層			32年	30mm 表層		
				40年	100mm 表層		

¹ AADT□すべての車両における2方向の毎日の交通の年間の平均

30 年長寿命の高級表層

革新的な表層舗装の寿命が 30 年以下の時の維持管理計画の比較を表 4.2 に示します。

表 4.2 30 年の維持管理計画の比較

交通量：40,000 と 60,000(AADT)		交通量：80,000 と 100,000(AADT)	
0 年	革新的な表層舗装	0 年	革新的な表層舗装
15 年	リテクスチャ	10 年	リテクスチャ
30 年	革新的な表層舗装	20 年	リテクスチャ
44 年	リテクスチャ	30 年	革新的な表層舗装
		40 年	リテクスチャ

クラックシール処理による維持管理

選択的クラックシール処理オプション（伝統的な舗装の打換えの替わり）の維持管理計画を表 4.3 に示します。このオプションは交通量が少ないときにのみ考慮されます。

表 4.3 伝統的な表層舗装のクラックシールオプション

交通量＝40,000 と 60,000AADT のみ

伝統的	
0 年	30mm 表層
5 年	クラックシール
10 年	クラックシール
15 年	30mm
20 年	クラックシール
25 年	クラックシール
30 年	100mm 表層
35 年	クラックシール
40 年	クラックシール
45 年	30mm 表層

4.4 標準的テストケース

試験、分析および NPV（Net Present Value：純現在価値）の比較のために開発された「標準的」テストケースには、以下のパラメータおよび条件が使われています。

革新的な表層舗装のコスト	伝統的な表層舗装の 3 倍のコスト
革新的な表層舗装の寿命	40 年
交通のレベル（AADT）	80,000
重車両の割合	15%
割引率	年 6%
作業の形態	夜間の作業

この「標準的」テストケースは、交通量の増加率や工事の方法（すなわち、維持管理の作業を夜間にするか昼間にするかなど）等の変数による、NPV コストへの影響の検討の基本として使われています。

4.5 変数、仮定と感度試験

もちろん、実際の交通量は道路によって異なり、割引率は OECD の国々の中でも異なります。それぞれの国は異なった経済状況にあり、交通管理体制のような問題に違いがあるでしょう。分析では、異なったシナリオが考慮されており、値の範囲は、それぞれの国で普通に直面する状況を網羅することが保証されるようにしてあります。

感度試験で用いられる変数と試験範囲：

革新的な表層舗装	伝統的な表層舗装の 3 倍のコスト
表層舗装の寿命	30 年と 40 年
交通のレベル (AADT)	40,000, 60,000, 80,000, 100,000
重車両の割合	5%, 10%, 15%, 20%
割引率：	3%, 6%, 8%, 10%

舗装本来の性質のために、舗装性能に影響を与える変数が多く、各国で異なる維持管理方法を用いているため、モデルを使用するために必要なすべてのデータを適切な方法で集めることはできませんでした。以下の記述では、PASI 分析のために仮定を行わなければならなかった地域を明らかにするとともに、用いた値や条件についても説明します。この試験結果の要約は 4.8 節に示します。また、詳細については付録 D を参照してください。

利用者のコスト：維持管理の間の道路工事による遅延や交通妨害などの利用者のコストは、PASI モデルに含まれる索引表から計算されています。索引表は United Kingdom Department for Transport model QUADO (道路工事の待ちと遅延) から作成されたもので、評価にはイギリスでの時間値を使っています。いろいろな国における時間値の調査から、何種類かの車両では、イギリスの値は検討を行っている他の国の範囲の一番下の値であることが指摘されています。時間が長くなると、利用者コストの評価に大きな影響を与え、したがって評価の結果に影響します。将来の検討では、より即したものとなるように、使用する値を調節できるでしょう。

交通管理の整理とコスト：異なる交通管理方法によって、運転者が経験する遅延時間に影響し、利用者の遅延コストに影響します。維持管理中の、その表層処理方法と交通量にもっとも適した交通管理方法を、イギリスの Trunk Road network (幹線道路網) で最近使われている交通管理方法の中から選択しました。基礎的な運用方法は、利用者のコストを計算する際には各国間で著しく変わるようには見えず、ある一つのデータソースから必要なすべてのデータを得て使用することが実用的だと思われます。これによって、異なる処理方法に関連した利用者コストを比較するための一貫性のある基礎が得られます。

工事速度：工事速度を使って各表層舗装処理に有する時間の計算を行い、工事に由来する遅延時間の計算を行いました。伝統的な表層舗装では、それぞれの選択された処理の工事速度は第 2 章の調査の結果にもとづいています。革新的な長寿命舗装については、実物大試験がまだ行われていないので、

工事速度の実際の値は入手不可能でした。そのため、使われている値はこの種の材料での工事の適切な速度評価にもとづいて決めたものです。(付録 B 参照)

工事時間：一日の工事可能な時間から、それぞれの表層舗装を行うのに必要な総時間が決まり、それが道路の利用者へのコストに影響を与えます。そうでないと言及された場合以外、分析では、表層舗装処理がすべて夜間に行われると仮定しています。それは、現在、最も交通の激しい道路での一般的な維持管理方法です。分析は、夜間 8 時間の工事にもとづいて行い、代案は昼間 10 時間の工事です。夜間の工事は、時間が短縮できることに加えて、PASI モデルでは少ない交通量が考慮され、昼間の工事と比較して遅延コストが少ないという結果になりました。「標準」テストケースの、夜間の仕事または昼間の仕事についての NPV の比較を 4.9 節に述べます。さらなる研究では、それらの値の変化に対する NPV の感受性をテストすることができます。

交通量の増加：もし評価期間全体の交通量増加率を一定とすると、交通量の増加の推定を正しく評価することは難しくなります。将来の交通量の増加は多くの要因に影響されます。例えば、世界経済や国内経済、国内の政策などで、そのため国によって異なります。また、増加率は、自家用車から大型トラックまで、車両の種類によっても異なると考えられます。

すべての標準テストケースで、交通量の平均年増加率 1%を使用しました。しかし、分析の最初に重交通道路を検討する場合、高い増加率が使用されれば許容量に問題が生じるかもしれません。例えば、初期日平均車両台数 (AADT) が 100,000 台で増加率が年 2%の道路では、40 年後には 220,000 台の許容量が必要になるでしょう。

ほかの増加率の影響を検討するために、評価期間中の増加率を以下のように設定して標準テストケースでの分析を行いました。

最初の 10 年	年 2%
続く 10 年	年 1.5%
その後	年 1%

残存価値：評価期間の終盤における処理による価値の増加を考慮するために、分析期間の終わりに表層舗装に残った価値を評価することが大切です。PASI モデルでは、表層舗装の寿命の残存年数と関連して、この評価期間の最後に残った価値を見積ります。

4.6 標準テストケースの結果

すでに述べた前提と標準試験の結果から、経済効果を見込める革新的な長寿命舗装実現の可能性は高いです。

標準試験の結果分析は、表 4.4 に記載しました。結果は、各コスト要素によって NPV が決まることを示しています。比較的交通量の多い伝統的な舗装では、初期費用、将来の管理ならびに利用者コストが、現在価値に占める割合が大きくなります。伝統的な舗装と追加長寿命舗装処理した場合の全工程のコストの現在価値には大きな違いがありません。革新的な表面処理の場合、表面処理のための初期費用が高くなりますが、主にその処理によって後の利用者費用が減少して低い NPV となり、結果的に好ましい経済価値が得られます。

世銀 HDM-4 モデルで得られる、車両維持管理面の価値 (VOC) もまた表 4.4 に記載しました。この世銀モデルは、広範囲の舗装状況を分析する場合に適しています。世銀 HDM-4 解析の結果では、各戦略に関連した総 VOC の値が大きくなりました。しかし、この分析で検討している細かな道路条件の変化によっても、この世銀分析からの VOC 値の変化はわずかで、明らかな傾向はあまりありませんでした。

車両維持管理費用に相対的に比重を置くなら、それらの割合を計算に組み込んだり、または値の違いを使用することが適当ですが、今回の表では後者を採用しました。HDM-4 で計算した車両維持管理費用の違いを反映した結果は、2つの選択肢の VOC に明らかな影響を与えませんでした。

分析（それは、各コストの NPV への寄与を示す）の結果は、以下のとおりです。

表 4.4 標準テストケース

表層舗装のコスト	純現在価値 NPV (\$ 000s)	
一因となる要因	伝統的	革新的
初期建設コスト	480.48	1441.44
維持管理の作業	1084.21	282.21
利用者のコスト(遅延)	1278.65	515.90
交通管理コスト	259.04	168.69
残存価値	-43.63	-91.63
総純現在価値 (NPV)	3058.75	2316.61
差額		742.14
差額の百分率		24.3%
HDM-4 の利用者コスト(VOC)	1354.31	1353.81
利用者コストの差額		-0.50
VOC の違いを含めて調整した NPV	3058.75	2316.11

4.7 標準ケースの仮定を変化させたときの結果

標準ケースのうち、いくつかの基本的な設定値を変化させた場合もテストしました。

昼間の補修工事

表 4.5 は、夜間補修工事の割合を下げて、昼間にまわした場合の結果です。ただし、1 日あたり平

均交通量は同じ場合です。昼間の交通量は夜間のそれよりも多いため、より大きな遅れが発生し、利用者コストの著しい増大に結びついています。結果として伝統的ならびにそれに追加長寿命舗装処理を加えた場合は、トータルでの費用が高くなっています。また、昼間の補修工事を増やすほど、革新的表面処理の場合の有利さが増します。以上より、夜間の補修工事を前提とした前述の標準試験の結果は、革新的表面処理の場合の現在価値に対する効果に控えめな評価を与えています。

表 4.5 標準ケースの昼間に補修工事を行った場合

(AADT=80000, 15%重車両, 3 倍のコスト, 40 年寿命, 1%交通増加)

表層舗装のコスト 一因となる要因	純現在価値 NPV (\$ 000s)	
	伝統的	革新的
初期建設コスト	480.48	1441.44
維持管理の作業	1084.21	282.21
利用者のコスト(遅延)	4215.70	1719.68
交通管理コスト	253.50	165.90
残存価値	-43.63	-91.63
総 NPV	5990.26	3517.60
差額		2472.66
差額の百分率		41.3%

交通量増加率設定値の変化

次のポイントとして、交通量増加に関する設定値を変化させました。所与の設定値は、毎年コンスタントに 1%ずつ交通量が増加する設定ですが、ここでは最初の 10 年間は毎年 2%、次の年間は毎年 1.5%、そして次の 10 年間すなわち 20 年目以降は 1%としました。結果は表 4.6 に示しました。

表 4.6 増加率のみ異なる標準テストケース

(AADT=80000, 15%重車両, 3 倍のコスト, 40 年寿命, 夜間作業)

期間	増加率
0-9 年	年 2% 交通の増加
10-19 年	年 1.5% 交通の増加
20 年以上	年 1% 交通の増加

表層舗装のコスト 一因となる要因	純現在価値 NPV (\$ 000s)	
	伝統的	革新的
初期建設コスト	480.48	1441.44
維持管理の作業	1084.21	282.21
利用者のコスト(遅延)	1997.11	766.31
交通管理コスト	258.04	168.69
残存価値	-43.63	-91.63
総 NPV	3777.21	2567.02
差額		1210.19
差額の百分率		32%

高い増加率では革新的な表層舗装の選択は、伝統的な表層舗装に比較して魅力的です。標準の場合からの変更は、夜間の作業から昼間の作業に変わるほど大きくはありませんが、分析では、標準のテストケースの結果が分析においても保守的なアプローチに影響することを再び示唆しています。

クラックシールによる維持管理

上記の分析は、中間の処理として表層のクラックシールを行うということではなく、伝統的な表層舗装を打ち換える維持管理方法に集中して報告されています。もう一方のアプローチは中間処理としてのクラックシール処理を行うことで、この方法は低い交通量にだけ適合している方法です。クラックシール処理の選択は、低い交通量のレベルのために作られたモデルで、わずかの例ですが、考察されて付録Dで示されています。クラックシール処理のコストは、前に考察した伝統的な表層舗装より13%から22%安くなります。しかし、モデル分析の結果からは、主にクラックシール処理ができるような交通量の少ないところでのわずかなケースでのみ、革新的な表層舗装よりもメリットがあるようです。

4.8 感度テストの結果

分析では、いくつかの鍵となるパラメータや仮定の変更による影響を調べました。図4.1～4.4に伝統的な表層舗装に対する革新的な長寿命の表層舗装のコストのNPVのコスト節約のパーセンテージを示しています。濃いゼロの横軸より上の正の値は、長寿命の表層舗装を使用した場合のコストの節約を表わしています。

図4.1は、革新的な表層舗装のコストを伝統的な表層舗装の3倍と仮定して、結果は選んだ割引率に非常に影響されやすいものでした。高い割引率では長寿命摩耗層は交通の激しい道路においてだけ経済的になります。(たとえば、80,000AADT以上付近で)

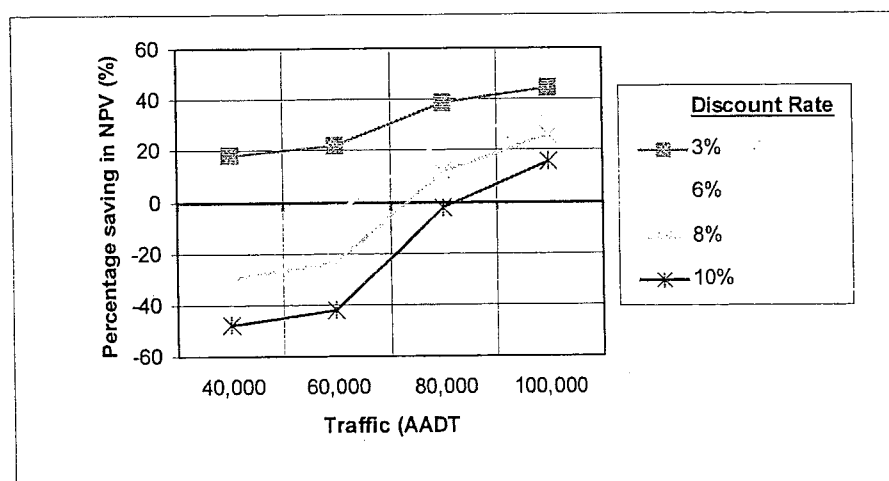


図 4.1 NPV におけるコスト節約のパーセンテージ；3 倍のコスト，重車両 15%，40 年寿命

もし長寿命摩耗層の初期コストが伝統的な表層舗装の5倍なら、割引率のとても低い国で、交通の

激しい道路においては経済的になります。(図 4.2 参照)

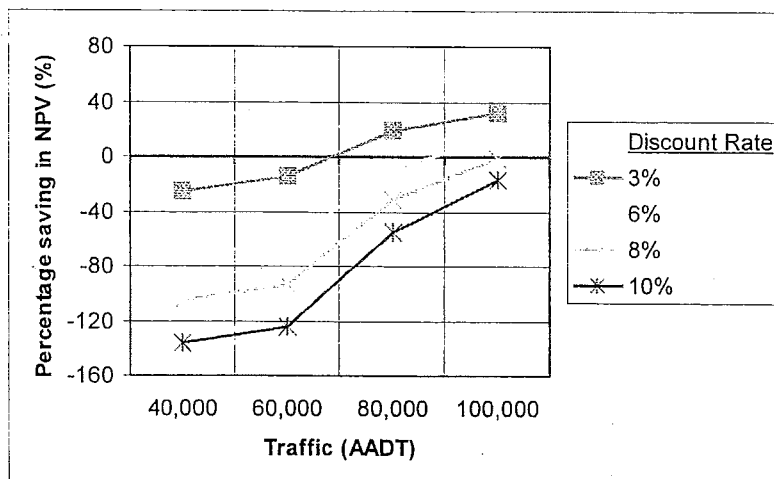


図 4.2 NPV におけるコスト節約のパーセンテージ; 5 倍のコスト, 重車両 15%, 40 年寿命

図 4.3 は摩耗層の有効な寿命を 30 年から 40 年に変えたときの影響を表わしています。伝統的な表層舗装の 3 倍である摩耗層コストの経済的な結果は、舗装が 40 年寿命である時より 30 年寿命である時のほうが有益です。

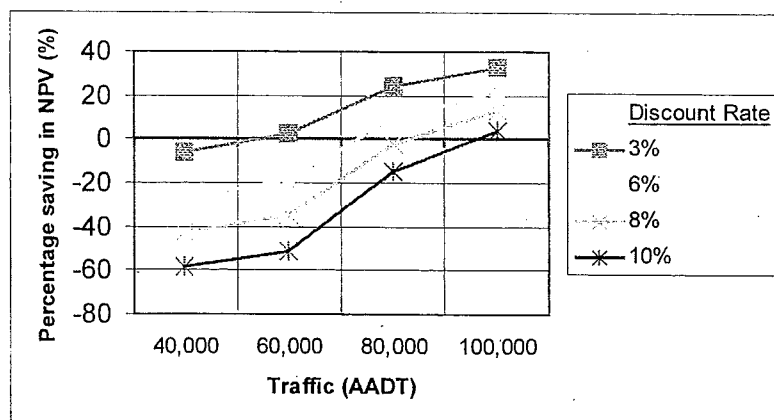


図 4.3 NPV におけるコスト節約のパーセンテージ; 3 倍のコスト, 重車両 15%, 30 年寿命

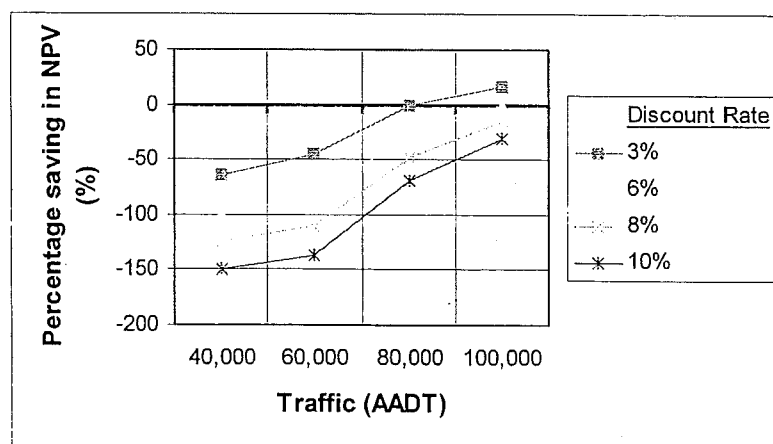


図 4.4 NPV におけるコスト節約のパーセンテージ; 5 倍のコスト, 重車両 15%, 30 年寿命

4.8 節から 4.10 節で論じられている PASI モデルを、変数を変えて運用した際の結果は、付録 D に示されています。付録 D の表は、NPV 図から革新的な表層舗装が経済的である部分に網掛けを付けてあります。これは、予想されたとおり、交通の流れの激しいところと、割引率の低いところで革新的な表層舗装が経済的であるという結果が得られました。

4.9 結果の考察

以上に示された結果から、たくさんのポイントが考えられます。

- 大切なことは、これらの評価を示すような長寿命の摩耗層を施すことは、まだ一般的ではないということを覚えておかなければならないことです。それゆえに、革新的な表層舗装の分析に含まれるコスト、寿命、コンディション、そして維持管理の準備は当然のことと考えなければなりません。しかしながら、分析からは、広く普及するためには新しい摩耗層のコストを下げる必要があります。それによって経済的に実行可能になると示唆されています。これらの材料や実際のコストと性能の開発に関する将来の業務では、ホールライフコストの価値を評価するためのデータが必要となってきます。
- この調査での分析の条件では、交通の流れが比較的激しいか割引率の中くらいか低いかの時だけ、革新的な表層舗装の使用が総寿命コストの便益に結びつきます。便益が増加した主な要因は、道路利用者コストの減少です。一般的に最近の道路計画では、道路の交通が激しい時の、道路の維持管理による利用の中断を減らそうとする傾向にあります。モデルは、結果的にこの傾向とは矛盾しないものです。つまり、長寿命の舗装による革新的な表層舗装の利用は、特に利用者に対する最小の中断という適切な方法を与えることでしょう。
- (AADT が 40,000 の) もっとも交通量が少ないところでは、革新的な表層舗装の NPV は、割引率が 3% の場合のみ経済的になります (図 4.1)。このことから、3% の割引率でこの分析条件の場合、長寿命摩耗層のコスト節約は、40,000 AADT より交通が少ないときに得られると予想されます。しかしこれまでの経験からはそのようなことは考えられないため、今後さらなる調査を行い、結論付ける必要があります。
- 現実的には、表層舗装は重車両の割合が低い時に良いサービスが得られるのに、異なった重車両の割合でありながら、同じ維持管理方法が使われています。
- すべての維持管理処理において、交通の維持管理計画は同じように思われています (交通が激しいまたは軽いと言うわずかの差はありますが)。もう一度繰り返しますが、交通量の選択肢を考慮に入れたさらなる調査をしてこそ、より現実的な実際の交通量に見合った考察ができるのです。

4.10 モデル間の相違

HDM-4 モデルを使用した分析の結果が PASI モデルを再現していても、HDM-4 からは、異なる維持管理方法間の差が非常に小さい結果となりました。これにはいくつかの理由があり、以下に要点をまとめます。

4.3 節で説明しているように、HDM-4 でモデルを作成するための維持管理方法を再現するためには、道路が、IRI 値の小さい、比較的よい状態（HDM-4 に関して）にあると仮定する必要があります。この仮定によって、コストの NPV 結果の差が小さくなりました。HDM-4 モデルを使った検討ではまた、（車両運転コストや旅行時間コストなどの）利用者コストは、伝統的な表層舗装の維持管理計画と革新的な表層舗装計画との間で、ポーランドや他の東欧諸国で見られる、典型的な道路状態にもとづいた伝統的表層舗装の維持管理を行った場合、33 倍にもなりました。これは、この報告書の分析で使われた、IRI が 2.5 の道路ではなく、IRI4.4 の道路に適切な維持管理を検討したためです。これは、車両運転コストを考慮すると、道路全体の状態が分析に及ぼす影響が大きくなることを示します。

4.11 経済的な分析からの結論

上述した仮定を用いた標準的なモデルでは、経済的な分析によって、最初のコストが伝統的な表層舗装の 3 倍程度で、交通量が多い場合に、長寿命摩耗層を用いる経済的メリットがあると示されています。革新的な表層舗装は一般的に、70,000-80,000 AADT 以上の交通量で、経済的なメリットが期待されています。6%以下の割引率では、長寿命摩耗層は 60,000 AADT で、あるいは 40,000～60,000 AADT の間でもメリットがあるかもしれません。

革新的な表層舗装方法では、交通量が増加した場合や割引率が少なくなると、伝統的な表層舗装に比べて、NPV の節約率が増加します。また、分析から、利用者のコストを考慮に入れると、40 年寿命の長寿命摩耗層が経済的になり、道路工事による利用者への妨害を避けることによって大きな利益があることが示されています。

標準テストケース以外の分析や感度試験の結果から、以下の結論も得られました。

- ① 検討したいずれの割引率でも、特に交通の激しい道路（80,000 AADT 以上の）では、なんらかのコスト節約があるでしょう。
- ② 重量の大きい車両のパーセンテージが増加するにしたがって（これによって利用者のコストも高くなりますが）、コスト節約も増大します。これは革新的な表層舗装が、利用者への交通妨害コストを減らすからです。しかし、この分析における、重車両のパーセンテージによる NPV に対する影響は、期待したよりも低いものでした。これは主に、重車両の割合の影響が遅延コストの計算においてのみ考慮されているからです。分析では要求される維持管理の影響が考えられていません。

分析から、長寿命摩耗層に経済的メリットがある場合があることが示されました。また、革新的な

表層方法が全ライフコストの削減にならない場合も多いことが示されました。

分析や図から、例えば、以下のことがわかります。

- ③ 割引率は結果に大きな影響を与え、割引率が 10%だと、交通量の非常に多い場合でのみ、コスト節約が見られます。
- ③ 特に低い割引率（例えば 3%）と交通量の多い場合を除いて、高いコストの舗装（例えば伝統的な表層舗装の 5 倍のコスト）では経済的メリットは期待できません。
- ③ 交通量が一日につき約 60,000 台かそれ以下のとき、革新的な表層舗装は低い割引率（例えば 3%）の場合を除いてその総寿命コストの削減はありません。
- ③ 交通量が一日につき約 40,000 台の時、経験からは、ほとんどの場合でコスト節約がないか、またはたとえコスト節約があったとしても、ほとんど成果をあげないだろうと思われます。

一般的に、分析に使った値や仮定は控えめなものです。用いた仮定のうちいくつかにはまだ議論の余地がありますが、結果は、ある範囲の値において比較的強固であり、わずかに値を変更しても、主な結論が変わることはないでしょう。

分析で検討した道路は、頑丈な構造を持ち、表層舗装も良い状態であると仮定されています。それほど良い状態でなく、でこぼこで、いくつかの東欧の国でみられるような高い IRI 値の道路では、車両の運転コストはもっとはるかに影響力のある要因になります。

4.12 異なる国々への適用

分析の結果から、交通量の多い道路の国では、特に経済的計画実現可能性を評価するために中くらい低い割引率を使用する場合には、革新的な表層舗装には、経済的な効果があることが示されています。

分析は、伝統的処理方法の典型的な値と、革新的な摩耗層のためには推定値（工学の知識にもとづいた）を用いて行っています。したがって、総ライフコストの節約に関してのみ情報が得られます。異なる国々に関しては、

- ③ 交通管理方法などの入力、国ごとに異なります。
- ③ 分析における利用者コストの役割は大きいですが、評価の手法は国々で異なります。
- ③ それぞれの国では、処理コスト、工事速度、交通の流れ、交通管理方法、車両、利用者コストや割引率に関して独自のデータを使って、同様の分析をしなくてはなりません。

確実に、長期の評価期間にわたって現実的なコスト評価を行うために、それぞれの国で、より詳細な分析を行い、当報告書で検討した変数をより詳細に検討することも可能です。より細かい分析には以下が含まれます：

- ◎ 標準のテストケース評価に使われるたったひとつの典型的な値でなく、その国に特有な、伝統的な表層舗装の実際のコストデータを使う
- ◎ 別の交通量や重量車両の割合における、維持管理方法のバリエーション
- ◎ 革新的な表層舗装の工事の結果推定の向上
- ◎ 特に構造のコンディションが悪く、でこぼこでな区間の、革新的な表層舗装の長寿命性能に対する、既存の舗装のコンディションの影響
- ◎ 道路の種類、交通の流れ、割引率および評価期間の範囲を広げた、革新的な表層舗装の詳細な経済的検討
- ◎ 他の交通管理方法への感度、工事方法および工事の時間帯
- ◎ 時間の価値に関する利用者コストや、道路工事による遅延計算への感度

第5章 交通量の多い幹線道路のための次世代舗装

5.1 序

次世代舗装を促進するには、監督、建設業者、使用機関が一致して努力する必要があるでしょう。舗装の長期的な性能維持は3つのことに依存しています。すなわち、良い設計、良い材料、そして良好な施工です。これらのひとつでも失敗すると、寿命の点で大きく損なわれた舗装となり、早い時期での疲労と破損がもたらされるでしょう。

30年、40年、あるいは50年という設計寿命を担った摩耗層を開発するには、研究者の有意義な努力が必要でしょう。現在の性能は短期用に開発された基本設計を基礎としていますので、上のような長寿命の予測を推定するために転用することは、必ずしも適切とは言えません。結局のところ、交通量による荷重と環境による影響の程度を特徴づけ、そして予測するためには、それに適合した手段が必要なのです。舗装の解析で一般的に用いられる、性能を主眼とした機械的試験と、舗装の使用年数による劣化と外気もたらす変化に関わる化学変化と物理的環境条件とを統合することが必要です。

この章では、長寿命の摩耗層に欠かせない厳しい性能属性を満たす可能性のある、様々な舗装材料と系統（システム）を構築するための特徴と方法について考察します。特別な製品に関する議論は、それを推薦する意味ではなく、むしろ性能データの提供への謝意と理解してください。

5.2 関連性のピラミッド

長寿命の摩耗層のために必要な関係性は図5.1のように表せます。ここでの関連性のピラミッドは、材料と設計と施工が形作る伝統的な三角形の関連性に加えて、利用者と機能という局面も含んでいます。

ピラミッドの頂点は社会的問題です。これらには利用者に関連した問題：例えば、快適感、持続性、費用や利便性と、マイカー運転者と利用者当局の展望から生ずる機能面での問題とが含まれます。運転者による性能評価は以下のような事項です。すなわち、

- ① 走行感（運転のしやすさ／平滑さ）
- ① 摩擦
- ① 騒音
- ① 泥や水のはね／しぶき
- ① 反射力 (reflectivity)
- ① 流出化学物質に対する耐性

これらの評価は社会的期待度と気候条件で大きく左右されます。技術者は、上記の条件を直接測定できますが、様々な疲労要因についての判断も必要です。

- ① ひび割れ

- ③ わだち掘れ（長期的な軌跡部分の表面に対する圧迫）
- ③ ラベリング（骨材の損失）
- ③ くぼみ（つなぎ目やひび割れの補修によるでこぼこ）
- ③ スケーリング（コンクリート舗装表面の劣化）
- ③ ポリッシング（表面摩擦抵抗の低下）
- ③ ピッチング（スパイクタイヤによる摩耗）
- ③ 分離（Debonding）と層間はく離（Delaminations）（摩耗層と基層のような二層間における機械的な連続性の損失）

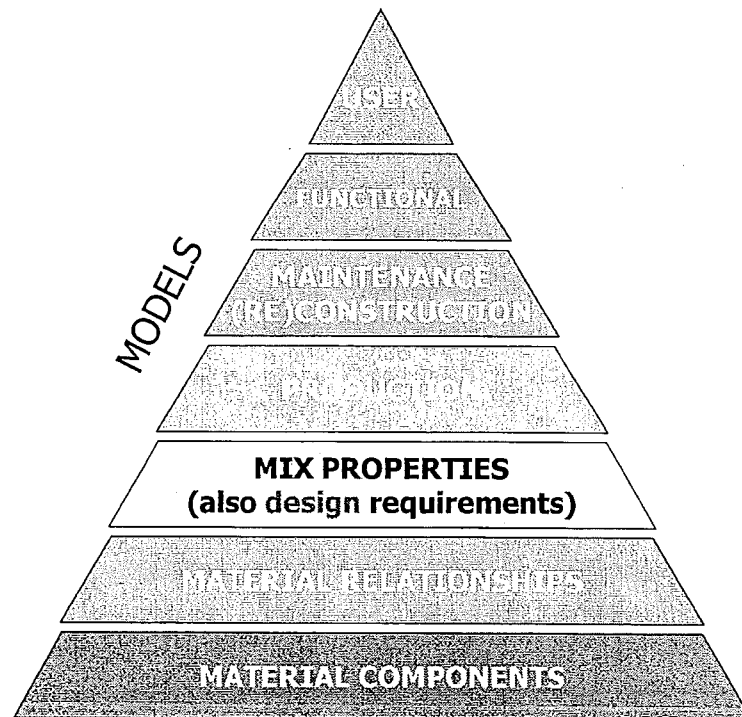


図 5.1 長期的摩耗層に関する概念的関係性ピラミッド

(adapted from J. Th. van der Zwan)

次は、施工者が関係する問題で、舗装の部材生産と施工までの間や維持管理と再施工を通して発生します。施工の際に生じる典型的な問題は、通行制限と安全性（舗装作業者と運転者）の問題は勿論のこと、舗装の厚さ、表面状態、舗設に要する時間（可能ならば硬化時間）、施工方法、舗装環境、荷重制限、地質学的課題を含みます。再施工と維持管理の期間に生じる問題も基本的に同様ですが、しかしながら、留意すべき追加の問題も少しあります。維持の重要な問題点はこうした状況のすべてですが、環境面のみならず、色々なリサイクル方法や修繕の頻度と困難さについても考える必要があります。生産に関する問題は、混合、作業性、運搬、転圧、周囲の環境、温度、時間、そして養生中の荷重制限を含みます。

ピラミッドの次の3つの区画は、設計と舗装材料の選択に関連しています。混合物特性は設計の限界値／要求値に必須な項目であり、強度、費用、温度、作業性、空隙率、係数、そして収縮率を含み

ます。これらの特性の多くは既存の設計方法によって自ずと決まってきます。；例えば、加熱混合するアスファルトは、アメリカの SUPERPAVE の基本設計をもとに、交通量と混合特性に合うように行われます。材料関連では、材料の粒度、容積率、そして粉末度といった要素を含みます。材料の構成要素は、化学組成と物理的・機械的特性に対する影響力によって大きく左右されます。アスファルト系とセメント系の材料、骨材、水、そして合成バインダーに関する例が含まれています。現在使用できる材料や開発段階の材料の種類は多様なので、材料を使用するすべての段階において、健康面への影響を考慮しなければいけません。

ピラミッドの各区画間の内部的な関連性から材料選定を行い、考察を次の段階に進めました。

5.3 性能 (Performance)

第2章でみたように、アスファルト系の舗装では平均5年、そしてセメント系の舗装では20年が経過すると、摩耗層に対して複数の方式での保守を実施していますが、それによって、一つ以上の決定的な機能的要因を幾つかの方法で改善する必要があります。例えば、性能の劣化によって現れた悪影響がすべり抵抗性の低下に限られているならば、表層部分を再構築するだけで構わないかもしれません。一方、過度のわだちができた場合は、摩耗層を一旦砕いて舗装し直すというような、もっと大がかりな維持管理戦略を要するでしょう。

機能的要因のそれぞれについて、時間経過に伴う性能変化を測定してグラフ化する必要があります。道路の劣化が最初に影響する物理的な品質は、走行の質や舗装の平滑さです。すなわち、走行の質が低下しているなら、道路の損傷が進んでいます。このことは、図 5.2 に示してあります。

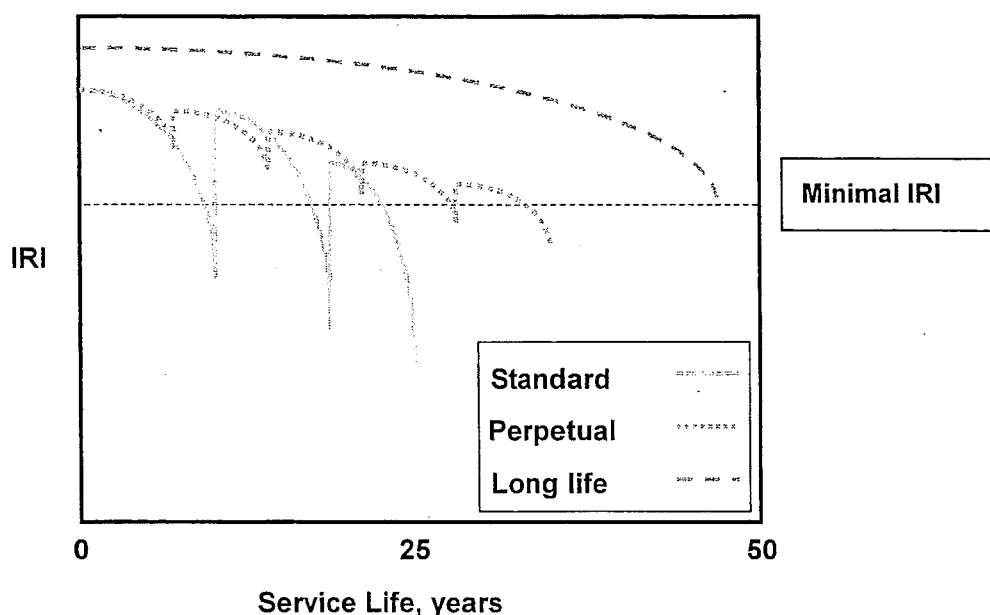


図 5.2 標準的な維持管理の舗装、頻繁な維持管理の舗装および長寿命舗装における供用寿命と IRI（国際ラフネス指数）との関係の概念

維持管理の戦略に則った作業は、初期設定よりも舗装の品質が劣化した時に行われますが、その性能を元々の品質近くに戻すまで向上させる可能性があります。方法によっては、二次的な維持管理を行うことで道路の疲労速度をかえって大きくしてしまうといった悪影響をもたらすかもしれませんが、そうした場合は舗装手段を変更する必要があるかもしれません。

永久的な舗装、あるいは維持戦略の根幹にある概念は、品質の低下が決定的になる前に、予め維持管理を戦略的に行うということです。ここでの鍵は原因を扱うことで、現象を扱うものではありません。この戦略は、ユーザーにより良い走行感をもたらすだけでなく、舗装の寿命をも伸ばすことになるでしょう。長寿命、あるいは問題点の少ない解決策は、先ずはより良く、そしてかなり長い間性能を維持できて、最小限の維持管理を行うだけで済むような、優れた特性を持つ材料を用いることです。すなわち、使用限界と長寿命の終わりを関連付けることが重要になります。

5.4 上質な材料の検討

この章で検討している革新的な材料に着目した多くの情報は、橋面舗装上の摩耗層に使用した際に得られた性能結果を引用したものです。扱っている材料は、従来型のアスファルト舗装やコンクリート舗装に比べるとかなり高価です。それらを橋の舗装に使用する根拠は、以下の要因によります。：長寿命、激しい張力に対する耐久性能、橋梁床版の保護そして見た目への配慮。例えば、舗装の厚さを減少した結果得られる相対強度は、橋の死荷重を減らすことになります。ここに挙げた根拠の多くは長寿命摩耗層にも適用でき、したがって、可能性のある材料としてそれらを検討する価値があると思われます。

舗装用材料はいずれも、アスファルト系、セメント系、複合材、または合成材の4つの主要なカテゴリーの中のひとつに分類することができます。最終産物は、現存するたわみ性舗装や剛性舗装と同等か、あるいは図5.3に示すような中間的ないずれかに類似した特性を持つと思われます。全般的な傾向としては、たわみ性材料では強度を高く、剛性材料の場合には柔軟性を上げようとするものです。

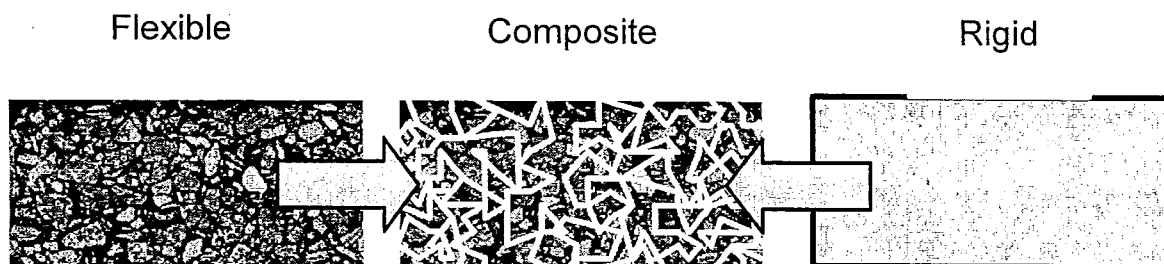


図5.3 様々な舗装用材料の広範囲な分類

5.5 アスファルトバインダー (Flexible Pavements)

改質アスファルトバインダーは多くの異なる工程を経て生産されます。大きくは、ある反応物を加

えて空気の吹きつけによって作られるか、またはポリマーを混合して作られるかに分けられます。長寿命舗装材料として期待される性質を持った材料を作り出すには、バインダーの製造に必須なポリマーを改良しなければ見込みはないので、ここではその点のみを論じます。

アスファルトバインダーのポリマーを改良するには、3つの方法のどれか一つを変える必要があります。ポリマーはバインダーと混合され、バインダーと反応して、あるいは反応性ポリマーにより組織をポリマー化するために使用されます。

混合では、アスファルトバインダーとポリマーを機械的に混ぜる必要があります。SBS（スチレン・ブタジエン・スチレン）のようなエラストマー系のポリマーは、一般にバインダーと相性が良く、アスファルト中に分散します。EVA（エチレン・ビニル・アセテート）やPE（ポリエチレン）のような可塑性のポリマーの多くは層になって分離する傾向があります。したがって、ポリマーが多い領域とアスファルトの多い領域とができ上がります。そうした領域の流動学的性質はお互いにとても異なるので、分離を避けてアスファルト中にポリマーを分散させるには、アスファルト製造の前に、インライン混合や機械攪拌を行う必要があります。

反応したポリマーとは、化学的につながった組織、あるいはアスファルト結合材中の極性（アスファルテン）分子とポリマーが反応した組織です。これは加硫や、ポリマー上の反応性物質の結合を通して達成されます。ポリマーが編み込まれたようになる、あるいはアスファルトに接着するので、結果として、アスファルト中のポリマーの分散がより良くなります。アスファルトの反応性の部分では多くの化学反応が起きるので、編み込まれたような状態となった改質アスファルトは、酸化で劣化した場合でもその進行は緩やかです。これは、現在、ポリマー含有材料の中で最も多く用いられている手法です。

反応性ポリマーは重合反応が継続するタイプです。例として、エポキシアスファルトがあります。（合成結合材は非アスファルト系の例です。）アスファルトの反応性部分のほとんどは、ポリマーと化学結合／架橋結合しています。特に、これらの材料は化学物質や環境要因による攻撃に対して素晴らしい耐久性を示します。これらは広範囲にわたる架橋結合組織なので、長い硬化時間を必要とします。

実験結果と性能は、剛性舗装のそれらに類似していますが、特別な設備と操作が必要です。

混合ポリマーや反応性ポリマーを用いた高ポリマー添加剤は、流動学的、また強度的問題（例えば、永続的な変形とひび割れ）に適切に対応することができますが、老化やはく離、湿気による損傷に伴う化学的問題には対応できません。酸化による劣化に対して、より抵抗性のある SEBS（スチレン・エチレン・ブチレン・スチレン）のような、新しい高価なポリマーもありますが、市場の舗装材としての試験はあまり行われていません。さらに、改質アスファルトの粘性が、既存の舗装用設備では対応できないような、温度、タイミング、混合と成形の厳密な制御を要求するかもしれません。これらの理由から、反応性ポリマーの改良がアスファルトの重要なポイントになるでしょう。

エポキシアスファルト

エポキシアスファルトは、二つの局面を持った熱硬化性の化学物質です。すなわち、低速形成性酸性エポキシ（永続的的局面）と既存のアスファルト（非継続的的局面）との混合です。このバインダーの成分は、既存のアスファルトのバッチ型機械装置で加熱した骨材と混ぜる前に、混和機（パグミル）で予め混合しなければなりません。既存のアスファルト舗装用設備では、マットを設置して成形するという手法がとられています。エポキシアスファルト・コンクリートで表面を被う前に、加熱空気を吹きつけながらより粘性の高いエポキシアスファルトを塗布して、タックコートを行います。舗装材が周辺温度にまで冷えたところで、一旦その舗装は通行可能になりますが、エポキシアスファルトが完全に形づくられるのは、その後の2から6週間を要します。

結合被覆と接着層としての物理・化学的特性は表 5.1, 5.2 に、また、エポキシアスファルト・セメントとしての特性は表 5.3 に表示しました。一度エポキシアスファルト接合が形成されると、その性質は、熱硬化性樹脂のような性質となります。それは既存のアスファルトのようには軟らかくないので、バインダーがブリージングやフラッシュすることはありません。これは、低空隙率（目標空隙率 3%未満）での配合設計を採用した場合の一つの結果であり、これによって不透水性舗装となります。

表 5.1 バインダーとエポキシタックコートの化学的特性 (Gaul 1993)

特性	試験値		試験方法
樹脂成分	バインダー	タックコート	
エポキシ当量	185~192	185~192	ASTM D 1652
粘度, 23°C, Pa/s	10~16	10~16	ASTM D 445
引火点, °C	204	204	ASTM D 92
比重	1.16~1.17	1.16~1.17	ASTM D 1475
形成剤/アスファルト			
酸価, mg KOH/g	44~55	44~55	ASTM D 664
粘度, 99°C, mPa/s	140~250	1.2~1.6	Brookfield HBT
引火点, °C	204	271	ASTM D 92
比重	1.00~1.01	1.00~1.01	ASTM D 1475

この材料の性能履歴は橋の橋梁床版に限ったものです。1967 年より、鋼床版とコンクリート床版上に 50,000 トンを超える荷重が載荷されています。この材料は、-10°C から 33°C までの様々な気候範囲に曝されてきました。最初に実用化されたのは、サン・フランシスコ湾に架かるサン・マテオーヘイワード橋の真っ直ぐな鋼床版上の舗装としてで、1967 年に施工されました。未だに素晴らしい状態を保っており、わずかな劣化がみられるだけです。注目すべきは、その気候がまあまあ良好であり、ほとんど凍結することはない凍結を除去する装置もないということです。舗装は多くの紫外線を受けています。

表 5.2 バインダーとエポキシタックコートの物理的特性 (Gaul 1993)

特性	試験値		試験方法
	バインダー	タックコート	
引張強度, MPa, 23°C, 最小	1.4~2.1	4.8~9.0	ASTM D 412
引張伸長率, %, 23°C, 最小	175~300	175~225	ASTM D 412
吸水率, %, 25°C, 最大	0.3	0.3	ASTM D 570
加熱たわみ温度, °C, (T _g の大まかな測定) Heat Deflection Temperature	-25~0 -29	-18~-15	ASTM D 648

表 5.3 エポキシアスファルトコンクリートの物理的特性 (Gaul 1993)

特性	試験値			試験方法
	初期養生後のエポキシアスファルト	最終養生後のエポキシアスファルト	アスファルト	
マーシャル安定度 kg, 60°C	540~630	3600~6300	1125	ASTM D 1559
フロー値 mm, 60°C	2.0	2.0	2.8	
復元%, 最小	0	60	0	
マーシャル安定度 kg, 204°C		1800	流出	ASTM D 1559
圧縮性能, 25°C				ASTM D 695
強度 MPa	n/a	23.4	n/a	
弾性係数 MPa	n/a	1150	n/a	
たわみ性能, 25°C				ASTM C 293
破断係数 MPa	n/a	4.4	.56	
弾性係数 MPa	n/a	2618	n/a	
最大たわみ mm	n/a	3.8	3.0	
空隙率%	1~2	1~2	3~5	ASTM D 2041

注: n/a=not available

設備の架設を成功させるためには、適切な配合設計と適切な骨材を使用する必要があります。正確な混合比率と混合必要条件を正確に遵守するために、バッチプラントが用いられます。良質な粘着特性を持った結合材として使用するには、骨材の温度制御（143~154°C）と早期締固め（82°C以下になる前に機能が停止したり、66°C以下になる前に回転を止めたりすること）が大きく影響します。

舗装の問題の多くは、こうした材料が高価であることと、敷均しが遅いことに起因します。現在の生産高は1時間あたり60トン程度（1車線を1マイル/8時間労働として）です。遅くしている要因は、計量、混合、そして特に接合材と接着被覆の調合には集中作業が必要な点です。加熱混合プラントのほとんどが連続した生産が可能なドラム型（円筒型）プラントに移行しつつあるのに対して、この工程では、バッチプラント技術（一度に製造できるのは2から4トンという限られた量）を用いています。材料の硬化開始と、十分な量の混合材料を準備できる能力との間には、厳格な時間的調整が存在します。可能な運搬時間は、トラック1台分の積荷の平均的なバッチ温度によって自ずと決まります。温度が116°Cならば、運搬時間の最短は42分で、最長は62分です。127°Cとなると、この幅は35分と43分にまで狭まります。しかも、2から6週間の硬化期間中、エポキシアスファルトは雨水による洗い出しの影響を受けやすいのです。

既存のアスファルト混合材料と比較して、エポキシアスファルトのほうが引張る力には高い抵抗性を示し、そのため非常に疲労しにくいという特徴があります。せん断強度はコンクリートに匹敵するくらい高いので、わだちが発生しにくいという特徴があります。弾性係数は、ポルトランドセメントコンクリート（PCC）のおおよそ 1/10 です。このことは、せん断破壊抵抗性を扶助しています。

正しく施工された場合、下層に敷設した構造と良く接着し、疲労の様相が PCC に類似します。疲労には次のような現象が含まれます。機械的な掘削、火災による点食（車両火災による）、ポットホール、ジョイントの粉砕、そして耐荷力の低下です。加えて、高温による膨張がコンクリートと同じではないために、エポキシと下層構造との間で分離が起こる可能性もあります。

混合プラントで既存のアスファルトを作るのに比べて、加熱混合の製造工程における健康上、また安全上の懸念はわずかに大きくなります。攪拌前の樹脂は、取り扱いに際して相応の注意が必要です。エポキシを準備する人は、個人用の呼吸用防具（マスク類）を用いるべきです。一度攪拌されれば、混合の取り扱い要領と本質的に同じです。タックコートは時間をかけて成形されるために、作業者は長時間有害な煙に曝されることになります。舗装の外観は既存のアスファルトと同じです。

この製品や同じような製品をより発展的に使用するには、時間や载荷レベルによる摩擦の低下を予測できるような構造モデルだけでなく、より適当なすべり試験を開発する必要があります。さらに、特徴的な水はねや騒音を評価するために、より進歩した構造モデルを作ることも必要です。

現在、エポキシアスファルトを製造するための材料費は、1 m²あたり 22 US\$で、バッチプラントの所要経費は、1 m²あたり 11 US\$近くです。そして、設置には 1 m²あたりおよそ 11 US\$かかります。したがって、総費用は 1 m²あたり 44 US\$近くになるでしょう。

5.6 剛性舗装 (Rigid Pavements)

剛性舗装に用いられる材料は大きく、ポルトランドセメントコンクリート（PCC）と高性能セメント系材料（HPCM : High Performance Cementitious Materials）の 2 つに分けられます。

5.6.1 ポルトランドセメントコンクリート (PCC)

既存の舗装材料の中で、PCC 舗装は強度と耐久性に優れています。現在、ホワイトトッピングや非付着オーバーレイが、現行のアスファルト舗装方法と競合できる方法として評価されています。リサイクル率を上げ、単位面積あたりの新しいセメント使用量を削減することによって、初期費用が削減できると思われます。また、プレキャストコンクリートパネルの使用によって、工事期間の短縮および利用者への影響の低減ができます。

しかし、多くの場合、工学的問題よりも社会的問題によって、PCC の利用が制限されます。舗装構

造が硬く、表面のテクスチャも硬いため、騒音が大きくなります。ジョイントがあるため、舗装の滑らかな感じが失われます。平たん性の品質管理向上によって、より滑らかな PCC の生産、ジョイントに起因する騒音の低下が図られています。表面に凹凸をつけ、テクスチャを与えることで、しびきや騒音の低下を図っています。また、別の方法として、PCC を多孔質な舗装にする方法があります。施工当初は、吸水性や消音性が得られますが、孔が土などで詰まってしまうと、消音性能が低減します。フランスでは、騒音を低減するために、厚いポーラス PCC 舗装の施工を試みたことがあります。

PCC を多孔質にするには多くの方法があります。液状化したセメントペーストに、AE 剤を加える方法があります。単粒の骨材を使うのも手です。PCC を多孔質にする 3 番目の方法は、砂量の少ない混合物を使うことです。他にも、多孔質の骨材を使用する、ゴム粒子を加えるなどの方法があります。低スティフネス繊維やポリマーを添加することによって舗装の剛性が下がり、コンクリートの粘性・防振性能が向上します。気泡やゴム粒子の添加によって、騒音が吸収されますが、PCC の弾性係数が低下します。分離や強度低下が大きくなるように、そうしたコンクリートの施工には注意が必要です。

PCC の早期不全には多くの原因があります。以下にいくつか例を挙げます。

- ◎ 舗装の凍結融解
- ◎ 硫酸による被害（内部および外部）
- ◎ アルカリ骨材反応
- ◎ 鉄筋の腐食

舗装技術の工夫や、異なった硬さの骨材を使用することで、すべり抵抗性の向上が得られることがわかっています。

5.6.2 高性能セメント系材料 (HPCM)

このような材料には多くの製品があります。反応性パウダーモルタルと反応性パウダーコンクリートが、現在大規模に検討されている製品です。商品名は MSCC と Cemtec®です。これらは、非常に強度が高く、繊維補強され、スーパー可塑化されたシリカガス系で、セメント材料に要する水量が非常に低いという特徴をもっています。多くの場合、従来の骨材の代わりに粒子の大きさが 150 から 400 μm の非常に細かい砂を使うため、とても均一性が高くなっています。これら材料の市場での主な用途は、舗装材料ではありませんが、高い引張強度、圧縮強度、および非常に低い気孔率から、とても耐久性の高い材料と考えられます。低い気孔率によって、上述した PCC の早期不全の原因の多くが、大きく削減されます。

この製品の最大の問題は、コストが高いことです。これら製品の多くは、通常のコンクリート混合物に比べて 4 倍から 6 倍もの量のスチールファイバー、特殊可塑剤、硬化促進剤などの添加剤を加えます。管理された養生によって、材料の性能を大きく向上できますが、さらに費用が高くなります。したがって、短期に見るととても高価な製品です。セメント材料に比べて水の割合が低いため、粘着

性が高くなるものもあり、ハンドリングや打設が少し難しくなります。HPCM と PCC の組成と特性値の比較を表 5.4 に示します。

表 5.4 一般的な HPCM と PCC の組成と特性値の範囲 (Kosmatka et al/2002)

セメントのタイプ	高性能セメント系材料	ポルトランドセメントコンクリート
水セメント比	< 0.2	< 0.5
異なった繊維の数	1~3	0
繊維量%	11	0
引張強度	8~20 MPa	
圧縮強度	200~230 MPa	80~100 MPa
曲げ強度	40 MPa	7 MPa
破壊靱性 (Fracture toughness)	$30 \times 10^3 \text{ J/m}^2$	$< 1 \times 10^3 \text{ J/m}$
すり減り (Abrasion)	$1.2 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	$275 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

HPCM 複合物の性質の一つに低い浸透性があります。これによって、PCC でよく早期不全を引き起こしている原因を削減あるいはなくすることができそうです。残念ながら、この材料には別の問題があります。問題の中で重要なのは、摩擦および騒音の性能です。セメント複合物の均一性は、分離の問題を解決しますが、舗装のテクスチャもなくなります。これら複合物の非多孔性によって、物理的な性質が向上し、早期不全を防止しますが、騒音や水しぶきのはね上げに関して悪い方向に働きます。したがって、一番上の表面は、騒音、摩擦、水しぶきのはね上げの基準を満たすように改良する必要があります。

HPCM は比較的新しいものです。非常に高い性能と舗装の長寿命化への期待ができますが、まだ多くの研究が必要です。適切な養生条件や比率の特定がこのような材料の発展の鍵になるでしょう。市場をいったん確立してしまえば、この材料コストの低下が期待できます。現在の費用は 1 トンあたり 200 US\$ 程度、あるいは 10mm 厚さの舗装で 1 m²あたり約 5 US\$ です。

5.7 コンポジット舗装 (Composite Pavements)

コンポジットの混合物は、アスファルトとコンクリートの利点を利用するように開発されてきました。コンポジット舗装は、アスファルト混合物のたわみ性と連続性、そしてセメント材料の剛性と耐摩耗性を併せ持っています (Anderton 2000)。

代表的なのは、改質セメントをグラウトした開粒度アスファルト混合物です。多くの製品が市販されています。例えば、Resin Modified Pavement (RMP)、Densiphalt、や Duraphalt などです。

Densiphalt に使われる開粒度混合物は、開粒度摩耗層 OGFC の代表で、アスファルト量を多く有しています。セルロース繊維を使ってダレ (室内で供試体を作製する際や現場で敷均す際に生じる現象) の予防を行うこともあります。Densiphalt では、もっと少量のアスファルト量を用います。これら製品はすべて 25% から 30% の空隙構造となっています。用いるモルタルは PCC に使うものよりもかな

り細かく、そのためぎっしりと詰まり、舗装全体の透水性が低くなります。これによって、すばらしい凍結融解抵抗性が得られ、融氷剤（融雪剤）、油、化学物質に対する耐久性が向上します。

RMP の物理的特性を表 5.5 に示します。アスファルト舗装と比較して、複合体はスティフネス係数が高く、感温性が低く、恒久的変形に対する耐性が高く、疲労性能が高く、ひずみレベルが低くなっています。アスファルトは既存の装置で敷均し、無振動ローラで転圧します。モルタルはアスファルトの上にポンプで送り、人力で敷き広げます。モルタル表面は、表面のテクスチャを向上するために処理することもできます（すべり抵抗性、乗り心地、景観）。

この製品は、オーストラリア、ヨーロッパ、アメリカにおいて、滑走路、道路、港湾での使用に 10 年の歴史があります。現在の費用は、35mm 摩耗層では 1 m²あたり 12~14.50 US\$と推定されます。性能に関しては、新規に建設された舗装は、望ましい摩擦係数よりも小さい傾向にあります。摩擦係数の値は、舗装が摩耗し、マクロテクスチャが発達するにつれてよくなります。長寿命舗装性能に関しては、こうした複合材料は交通量の多い道路に用いられていないため、データがわずかしかなかった。

これらの製品は比較的浸透性がなく、酸化や水による損傷が少ないと思われます。しかし、アスファルトと RMP の樹脂添加剤には SBR が含まれています。いずれも酸化反応を起こしやすいものです。長期の環境への影響も研究する必要がある、脆化や摩耗など、特に表面から生じる破損の検討が必要です。さらに、寒い地域（北欧）や厳しい凍結融解環境への複合材料の長期適用を確認する必要があります。

表 5.5 Densiphalt の物理的特性 (Duvall 2003)

技術的特性	物理的特性	試験方法
圧縮強度	50 MN/m ³ 870 psi (5days) 1500 (25days) 5~7 MPa (1day) 8~12 MPa (28days)	BS 1881
硬化時間	8~12 hrs	EN 196-3
曲げ／引張強度	3.5 MN/m ³ / 507psi	EN 196
弾性係数	8 MN/m ³ 1,160~1,740 psi 10-14 MPa	DWW 94530
凍結／融解抵抗性	0.01 kg/m ³ / 良好	SS 137244 method IIA
不透水性	不透水	DIN 18130
熱膨張係数	12.5×10 ⁻⁶ /°C	EN 1770
耐摩耗性	6-8cm ³ /50cm ²	DIN 52 108
摩擦 (Friction)	up to 0.75	stradographe

5.8 合成バインダー

世界中で様々な合成バインダーが橋梁床版の舗装に用いられています。合成バインダーは、エポキシ、ウレタンエポキシ、アクリルバインダーに分けられます。それらは一般的に床版上に吹き付け、

その薄いフィルムの上に骨材を広げて転圧します。一般に、こうして施工した摩耗層は、かなり薄く、非常に不透水性です。舗装の問題と材料の特徴はエポキシアスファルトに似ています。

よい性能を得るためには、以下のことが必要と思われます。

- ① プライマーと基盤の間がしっかり粘着していること。
- ② 空隙内に流れるように、バインダーの粘性は低くなくてはならない。
- ③ チッピングは丈夫で、高い摩擦特性を有する必要がある。

養生時間を減らすために硬化促進剤が使われます。その時間はエポキシアスファルトと同程度です。つまり、2時間以内でかなりの交通量が通せ、24時間で完全に養生が終わります。大きな違いはただひとつ、合成バインダーは現場で混合でき、「かちかち時計」（“時間に追われる”という意味）の問題は深刻ではありません。

例えば 5mm 以下の骨材を使った薄い摩耗層は、透水性が非常に低く、融氷剤などの化学物質によるダメージ、経年劣化、化学物質散布に高い耐久性を示します。このシステムの期待寿命は 10 年から 20 年です。しかし薄いために、除雪時の除雪車の歯によるダメージを受けやすい欠点があります。

産業界では、どんな舗装温度範囲でも適用可能なように、既存の合成材料を作製、改良できるようになりました。Italgrip はエポキシベースの製品で、各種摩擦特性環境で市販されています。バインダーの薄い膜を既存舗装の表面に広げ、鉄鋼スラグのチップ（1～4mm）をその上に広げます。この製品は、表面にマクロテクスチャを作り、水しぶきや騒音を低減するという利点もあります。この製品は施工が容易で、4～6 時間で施工できます。材料の費用は 1 m²あたり約 20 US\$です。オランダでは、ポーラスな合成摩耗層の試験をしています。そこでは、研究者によって、すべり抵抗性の低下や騒音低減の観察が行われていますが、ポーラス材料の空隙詰まり速度に関する報告はまだなされていません。

合成バインダーの問題は、一般的に施工の際に起きます。現在の配合は、完全に養生が終わるまでは水に弱く、天候の悪いときや厳しい気候の時は、施工を中止する必要があります。プライマーの敷設は、手間と時間がかかります。

5.9 骨材

摩耗層の寿命は、最終的には一番弱い結合によって決まります。事実、骨材の品質はバインダー同様に重要です。それぞれの環境や載荷条件にみあう、硬く、耐久性のある、摩耗に強い骨材が必要です。骨材の粒度や特性は均一でなくてはならず、設計パラメータを満たさなくてはなりません。骨材の形態に関する情報、その強度、ミックススティフネス、反応性に対する影響やバインダーとの反応性に関する情報が必要です。標準骨材試験は、強度（例えば、ロサンゼルスすり減り試験 EN1097-2）、粒度、熱膨張係数、粘着性、摩擦特性などの性能について行われます（Saarela 1993）。

第2章で述べた性能データからも、骨材の重要性は明らかです。スウェーデンの道路では、ノルウェーやフィンランドよりも耐久性の高い骨材を使っています (Jacobson 1997, Gustafson 1997)。骨材の耐久性は、スパイクタイヤが使われる場合、特に重要になります。スパイクタイヤによる摩耗わだち掘れは、寒い地域の主要な舗装劣化のひとつで、特にトラックもスパイクタイヤを履くノルウェーでは深刻です。1990年代半ばのスウェーデンでは、交通量の多い道路 (AADT4,000以上) においては、スパイクタイヤによる摩耗がわだち掘れ全体の大きな原因を占めていました (50~70%) (Gustafson 1997)。高性能表層 (例えば高耐摩耗性骨材を含む SMA 混合物) の使用や軽量スパイクの利用によってスパイクタイヤによる摩耗は大きく軽減しました。スウェーデンの研究によると、今日1冬あたりの全摩耗量は13万トンになります (Jacobson 1997, 1999 and Gustafson 1997)。しかし、アスファルト材料の摩耗量による環境への影響はまだ問題です。スウェーデンでは、摩耗わだち掘れ予測モデルが開発され、有効性が確認されています (Jacobson and Wagberg 1998)。入力パラメータはミックスの性質、スパイクタイヤの交通量、道路形状寸法と気候条件です。

スパイクタイヤによる影響に対する表層の耐久性は、デンマーク以外の北欧の国における、配合設計の最重要パラメータの一つです。以下のパラメータは、摩耗層の耐摩耗性に対する影響が大きいことがわかっています。

- ③ 粗骨材の品質
- ③ 粗骨材の比率
- ③ 骨材の最大粒径
- ③ 車両のスピードやスパイクの質量に関係したスパイクの影響
- ③ スパイクによるすり減りや引掻き
- ③ 湿度と交通量

また、骨材とアスファルトの間の粘着性が低下するにつれ摩耗が増加するという仮説があります。したがって、バインダーも表層の耐摩耗性に大きく影響する可能性があります。硬いアスファルトではなく、軟らかいアスファルトを選択した場合や、常温での試験の際に改質バインダーを用いた場合には、アスファルトの種類によって、密度の高いアスファルト表層の耐摩耗性が向上できる可能性があることが報告されています (Saarela 1993)。しかし、この影響は、SMA 混合物の試験では大きくありませんでしたが、寒い条件 (約-15℃以下) では顕著で、既存のバインダーは脆くなりましたが、改質バインダーは大丈夫でした。耐摩耗性の立場から大事な要素としては、冬季の間ほぼ一定となる湿度の影響があります。アスファルトコンクリートの耐摩耗性は、湿潤条件では大きく下がります。低温でも脆くならないくい合成バインダーを使った、湿潤条件でも高い粘着性を有する高性能表層を使用することによって、表層の耐摩耗性を大きく向上できるかも知れません。

デンマークでは、自然骨材や人工骨材の細かい粒子 (1~3 または 3~5mm) の使用の評価を行っています。合成バインダーの性能試験では、焼成ボーキサイト、石英、電気アーク鋼スラグの3種類の

骨材を使用しています。この中で、焼成ポーキサイトが、最も長い期間、すべり抵抗性を示しました。

ミクロテクスチャの重要性は、PCCにおいて日常的に実証されています。異なった耐久性の骨材を用いてマクロテクスチャを作ることで、骨材の研磨を低減し、表層の摩擦性能を維持します。

5.10 施工

舗装施工と選択

現場では、図 5.4 で示すような連続施工が、断然多い施工方法です。材料は施工現場で加工されます。アスファルト舗装では、冷めたら通行可能になります。しかし、長い養生期間が必要な材料では、図 5.5 などの現場以外での生産が有利です。メリットとしては、次のようなことがあります。

- 舗装機械長さの縮小
- 現場以外の、より安全で管理された環境の作業場での施工が可能
- 施工が速い。養生は最適条件下で、長期にわたる可能性がある。
- 舗装材料のよりよい品質管理。材料の養生は、最適条件下で行える（例えば、配合比率、温度などが管理できる）。完全に養生した材料の敷設となり、養生が足りない材料に比べて応力ひび割れによる損傷の恐れが減る。これは供用されている舗装よりも応力の少ない環境でも起きる。
- プレハブ化によって、現場で起きる可能性のある危険から作業員を守れる。敷設が早いので、交通にさらされることが少なくて済む。排気ガスによる危険は、製造プラントでは効率的に抑制でき、現場での危険性を最低限に抑えられる。

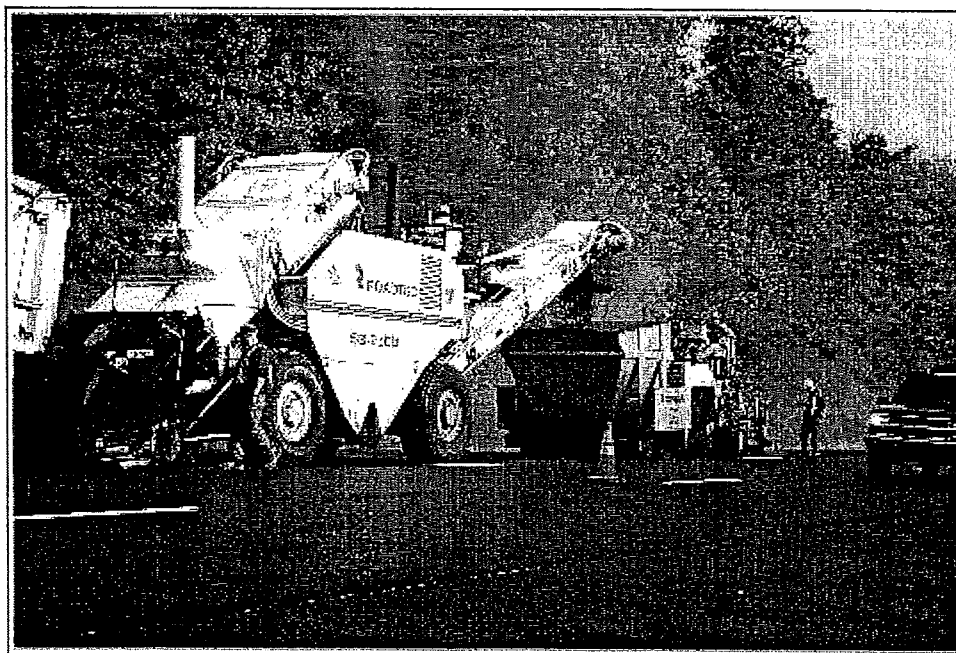


図 5.4 現場アスファルト舗装連続施工

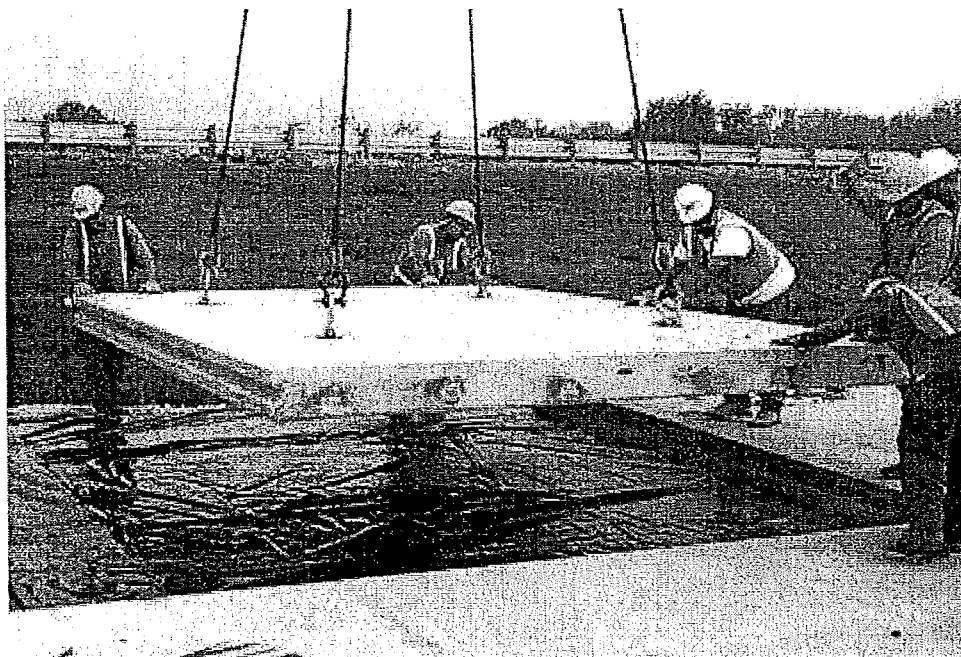


図 5.5 プレハブのコンクリートスラブの敷設

プレハブには、デメリットもあります。費用が高くなり、プレハブ素材は現場で舗装にしっかりと結合する必要があり、結合が複雑になることもあります。

オランダでは、各種の敷設方法を試しています。剛性舗装をスラブで敷設し、たわみ性舗装を連続的に敷設しています。

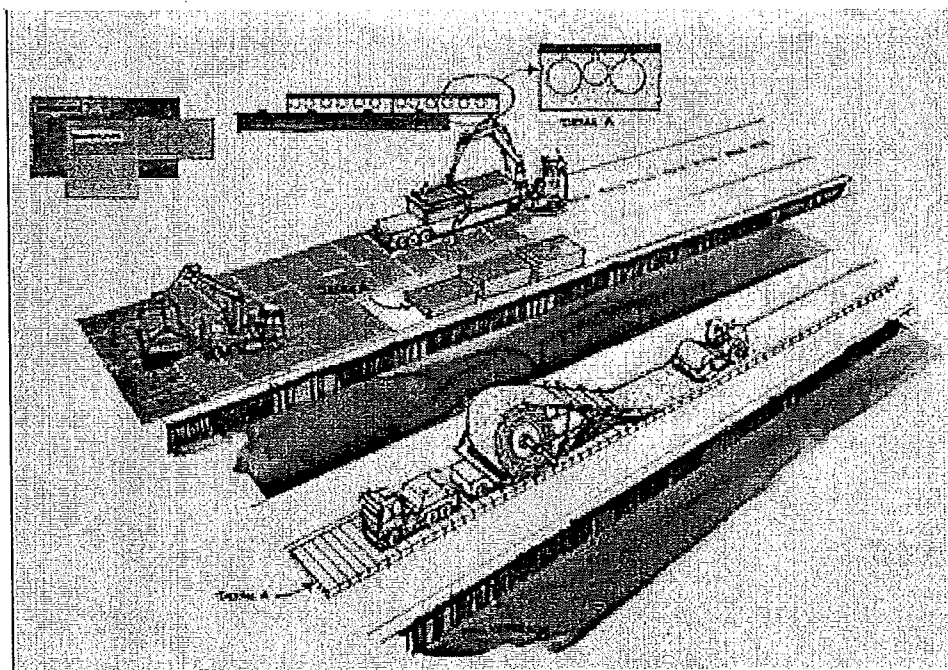


図 5.6 2つのオフサイト建設形式の概念図

5.11 評価

長寿命舗装に用いる材料の選定の前に、多くの要因を考慮する必要があります。例えば、設計、建設、維持の問題や最終利用者などの社会問題です。表 5.6 には、これら基準に関する各種材料の主観的な評価も含まれています。この比較には、高改質アスファルト、改質アスファルト、合成バインダー、アスファルト・セメント・コンポジット、高性能セメント系材料（HPCM）の代表が含まれています。値が小さいほど、その基準の評価が高いことを意味します。

表 5.6 各種材料の比較

基準 材料	たわみ性舗装	< - >		剛性舗装	
	高改質アスファルト	改質アスファルト	合成バインダー	コンポジット	高性能セメント系材料 (HPCM)
設計	1	2	2	2	1
試験	1	2	2	2	1
製造	現場内	現場内・外	現場内・外	現場内	現場外
施工					
複雑度	1	2	2	2	2
速度	1	1～3	1～3	2～3	2～3
容易度	2	2	2	2	2
健康と安全					
作業員の健康	1	2	2	1	1～2
火災の危険性	2	1	1	1	1
こぼれ被害	2	1	1	1	1
維持					
容易度	1	2	2	2	2
予想費用	3	2	2	3	1
利用者基準					
平たん性	1	1～3	1～3	1	1～3
騒音	1	1～2	1～2	2	3
すべり防止性	2	1	1	2	3
水しぶき	1	1	1	2	3
再利用可能性	全量再生可	可能	可能	可能	可能
予想寿命 (年)	15～25	20～30+	20～30+	15～25	40+
費用	2	2～3	3	2	4

注：数値が小さいほど高い評価

高改質アスファルトおよび HPCM の設計や試験の容易度は、それぞれ現行のアスファルト混合物や PCC と同程度と考えられています。他の材料は、いくぶん設計や試験が難しいとされています。コンポジット（複合）法は、開粒度アスファルト混合物の配合設計とグラウトの特性最適化が必要です。改質アスファルトと合成バインダーには、複雑な化学・物理特性関係があります。

たわみ性材料は、現場内での製造が多いと考えられます。改質アスファルトと合成バインダーなど、たわみ性材料との大規模な組合せによって、現場内でも現場外でも製造が容易になると思われます。HPCM は、複雑な養生条件を必要とするため、現場外での製造に限られると思われます。

3つの施工の問題を考慮しています。施工の複雑性（天候、輸送物流など）、速度、そして舗装の容易度です。高改質アスファルトは、現行の加熱アスファルト混合物と同程度の複雑度と速度が期待されています。改質アスファルトと合成バインダーは、タックコートの敷設が必要で、天候と養生時間の管理が必要です。舗装スラブや舗装ロールのオフサイト製造は、複雑度を低減し、施工速度のスピードアップが図れるはずです。複合タイプは、開粒度混合物の施工とその後の空隙へのグラウト詰め
の2段階が必要です。HPCMの養生条件はPCCよりも重要です。養生時間の長い舗装材料の舗装スピードは、オフサイトでの製造によってスピードアップが可能となるでしょう。これら材料の舗装は、現行の方法に比べて若干難しくなると思われます。

健康や安全性の問題は、現行と比べて大きく変わらないと思われます。エポキシや合成樹脂を混ぜるときに、成分を混ぜる作業の際には、作業員は呼吸器具を装備する必要があります。混合が終われば、ガスの危険性は少なくなります。スーパー可塑剤に関する健康被害（もしあれば）はほとんど報告されておらず、HPCMにも同様の注意が必要でしょう。高改質アスファルトをのぞくと、これら材料は燃焼を受けないと思われ、多くの場合、酸やアルカリに耐性があります。

高改質アスファルトの維持は容易でしょうが、高いコストがかかります。この材料の耐久性は、他の材料に比べると劣ると思われ、追加の維持管理や頻繁な維持管理が必要になるかも知れません。複合タイプの耐久性はわかっていなく、追加維持管理が必要かも知れません。他の材料は養生時間が必要で、利用が若干複雑になります。

どの材料からも滑らかな道路が施工でき、利用者の基準を満たします。オフサイトでスラブに製造された材料の場合は、目地ができます。スラブの不適切な敷設や建設後の移動によって、舗装の滑らかさが失われます。騒音は、ポーラスでない剛性材料、特にHPCMではもっと大きな問題です。高改質アスファルトおよび複合舗装では、初期の頃、バインダーやモルタルが摩耗するまで、すべり抵抗性は若干低くなります。HPCMはその均一性から、なんらかの表面テクスチャをつくる必要があります。水しぶきのはね上げも、同じ傾向があります。水しぶきのはね上げは、多孔質でない、均一性の高い材料の問題のようです。

いずれの材料も、ある程度リサイクル可能です。高改質アスファルトは、舗装全体のリサイクルと再利用が可能で、廃品利用価値があります。その他の材料も、PCCやブラックロックのようにリサイクルできます。最終的には路盤や盛土など、下層に使われ、細かいくずは埋立て土になると思われます。

5.12 推奨

長寿命摩耗層の研究に追加することを考慮してもよいと思われる材料候補は、エポキシアスファルトです。フィールドにおけるかなりの量のデータや、各種橋梁床版における性能履歴のデータが入手可能です。特記すべきなのは、1967年にサン・マテオ橋に敷設したエポキシアスファルトが、いまだ

に良好な性能を示していることです。この材料は危険度の低い候補で、本質的に、確立された舗装方法を用いる材料です。

考慮してもよいもう一つの材料は高性能セメント系材料（HPCM）です。すべてのデータは実験室におけるデータですが、特に強度とたわみ性能について、すばらしい特性があります。この製品の欠点は、主に、低い騒音低減性、低い水しぶき低減性、および摩擦特性ですが、マクロテクスチャの向上によって解決できます。解決方法の一つに、Italgripのような、耐久性の高い人工骨材を薄いエポキシ層に広げた製品があります。検討した他の材料に比べて費用はかなり高くなると思われますが、製造量が拡大すれば、安くなることが期待されます。HPCM用のもっと安い可塑剤の開発も、費用低減に効果的です。この材料はリスクの高い選択肢ですが、オフサイトでの製造とスラブ建設を利用する、潜在的に耐久性に優れたものです。他の候補については、総寿命コストと性能の持続が短いことから、あまり魅力的ではないと思われます。

参考文献

- ④ Anderton, G.L., (2000) "Engineering Properties of Resin Modified Pavement (RMP) for Mechanistic Design," US Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center, Report No. ERDC/GL TR-02, March.
- ④ Duvall, D., (2003) Personal Communication.
- ④ Gaul, R.W., (1993) "Epoxy Asphalt Concrete – A Polymer Concrete with 25 Years Experience," SP 166-13, pp.233-251.
- ④ Gustafsson, K, (1997) "Pavement wear from studded tyres – The Swedish solution," Technical Report ISCORD 97, 5th Int. Symposium On Cold Region Development, Anchorage, Alaska 1997.
- ④ Jacobson, T, (1997) "The wear resistance of bituminous mixes to studded tyres – The Swedish experience," Technical Report ISCORD 97, 5th Int. Symposium On Cold Region Development, Anchorage, Alaska.
- ④ Jacobson, T, (1999) "Beläggningsslitage från dubbade fordon" VTI notat 44-1999.
- ④ Jacobson, T and Wågberg, L-G, (1998) "Development of prediction model for pavement wear, wear profile and annual cost," VTI notat 76A-1998.
- ④ Kosmatka, S.H., Kerkhoff, B. and Panarese, W.C., (2002) "Design and Control of Concrete Mixtures," Portland Cement Association, Engineering Bulletin 001, Skokie, IL, pp.358.

- ⑩ Richard, P., and Cheyrezy, M.H., (1993) "Reactive Powder Concretes with high ductility and 200-800 MPa Compressive Strength," ACI Spring Convention, San Francisco.
- ⑩ Saarela, A, (1993) "Asphalt pavements Design," ASTO project, Technical Research Centre of Finland.
- ⑩ Van der Zwan, J. Th. of the Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Dienst Wegen Waterbouwkunde (DWW) the Netherlands.

第6章 概念の展開：長寿命舗装表層の要求技術と解決案評価の指針

この章では、長寿命摩耗層の材料候補の性能を完全に評価するための研究プログラムの指針の定義をします。この章では、「材料」が、(支持とタックコートを含む) 2 層以上の均一あるいは層状の表層そのものを意味することもあります。第6章は次の4つに分けられます。

- ◎ 長寿命表層は、長寿命の構造の上に敷く必要があります。6.1 節では、下層の推測挙動を詳細に述べます。
- ◎ 6.2 節では、長寿命舗装に要求される性能の説明を行います。表層工事の失敗やその原因が詳しく述べられます。
- ◎ こうした情報から、長寿命表層の材料候補の性能評価が可能となります。6.3 節では、労力をさほど必要としない室内実験を紹介します。
- ◎ 6.4 節は、摩耗層の挙動を評価するための研究プログラムに必要とされる事項のまとめを行い、優先順位をつけます。

6.1 研究の内容

この研究の焦点は舗装の摩耗層ですが、どの層も舗装全体の挙動に影響するという認識にたっています。この研究の目的のために、舗装の下層構造層は、長寿命であると仮定します。この節では、構造層の推定挙動の考察を行います。これは、長寿命摩耗層の材料候補の性能評価の試験方法を定義・設計するために必要なものです。

6.1.1 構造層および表層の定義

舗装の構造部分(支持部分)は、舗装のたわみ性能(最大 50cm)に関わる層からなります。自然地盤、路床、下層路盤、上層路盤が含まれます(LCPC-SETRA-USIRF manual, 1997)。

表層は、表面の層からなります。単一の層(摩耗層)の場合もありますし、多くの場合、摩耗層、バインダー層や舗装の構造部分の上部とバインダー層の間のタックコートなど、複数の層の複合になっています。ここでは、主に構造の表層に注目します。

6.1.2 構造層の挙動の仮説

この研究では、構造層は、少なくとも予想される交通量条件では、長寿命支持体として挙動するという大前提を用います。支持体は以下の特徴を有すると仮定します。

- ◎ 交通下の変形は完全に可逆的である。(恒久的な変形は打ち替えを必要とする)
- ◎ 可逆性は弾性的あるいは粘弾性的とし、温度や交通速度によって異なる。変形と荷重の関係は、直線的あるいは非直線的である。

- ◎ 表面は、連続的あるいは非連続的である。
- ◎ 膨張係数に関する仮定が必要。

直線的な弾性挙動を示す支持体に関しては、交通下の挙動は、パラメータ 1 つで表すことができます。単位車輪荷重が通過する際の、支持体の表面における最大水平収縮率(ひずみ) (ϵ_{SCmax}^0) 注です。そのデータは支持体のモデルを作成し、多層弾性プログラムを用いて得ることができますが、舗装表面で通常測定される変形や曲率半径からは直接計算できません。

(注) 単位荷重における曲率半径 R を使って、摩耗層内のひずみ勾配の計算ができます。例えば、必要なら厚い複合表層の場合などに使えます。荷重 P を受けた際の、支持体から高さ Z の距離における摩耗層の最大水平収縮率は以下の式で表されます。

$$\epsilon_{SCmax}(Z) = P (\epsilon_{SCmax}^0 + R_Z)$$

現存する舗装技術は、大きく 3 つのグループを支持層として考慮する必要があります。アスファルト混合物(例えば、たわみ舗装)、ポルトランドセメントコンクリート(剛性舗装上の長寿命摩耗層)と水硬性混合物です。最初のアスファルト混合物は、表面はクラックのない連続したものと仮定できます。後の 2 つは、横方向のジョイントやクラック、場合によっては縦方向のジョイントやクラックを考慮する必要があります。橋梁は 4 番目のケースとして考慮しなくてはなりません。橋の種類により、橋面舗装、特に摩耗層は特別な物理挙動を示すことがあります。

舗装層(支持層と表層)の性質の重要なものとして、温度挙動があります。これには、垂直方向の温度変化に大きな影響を与える拡散特性(例えば、表面熱交換係数)が含まれます。各層の熱膨張挙動は、摩耗層や摩耗層と支持体との接合面に大きな影響を与えます。研究によって、粘弾性の材料が存在すると温度応力を著しく縮小することが可能であることがわかっています。したがって、支持層あるいは摩耗層が粘弾性挙動を示すかどうかを知ることが重要です。

したがって、摩耗層の研究のみならず、その下の支持体のタイプを研究する必要があります。

以下の節では、長寿命摩耗層の特性を評価するための各種規模の試験方法が提案されています。支持体の推定挙動のシミュレーションを行う必要があるものもありますし、最も適した支持層の種類を特定する必要があるものもあります。実物大試験で、実際に支持構造を建設する方法もありますが、室内実験や規模の小さい試験で代替できるものを探する必要があります。

6.2 表層に要求される技術と性能

この節では、舗装表層に要求される技術全般と、長寿命舗装表層の性能向上の必要性をまとめます。また、経年による性能低下の主な原因を詳細に検討します。主要な劣化のメカニズムについても、わかっているものについては考察します。

これらの情報は、新しい長寿命舗装表層敷設方法を評価するのに不可欠です。実験的試験は、特定

された要求事項に関して行う必要がありますし、劣化の原因あるいは不具合の本質（または両方）を再現することを目的とすることができます。

摩耗層と構造層では、要求されるものが大きく異なります。構造層は交通荷重を支え、地盤が許容できるような垂直応力まで低減します。摩耗層は、道路利用者が安全に運転できるような状態をつくり、下層を保護する必要があります。

さらに、摩耗層は、以下に詳しく述べる多くの目的を果たさなくてはなりません。

- ① 建設の実行可能性と品質
- ② 物理的耐久性
- ③ すべり抵抗性、排水性、防音性能など道路利用者からの要求性能
- ④ 定期の補修あるいは寿命の終わりにおける、修繕の可能性、再利用の可能性（長寿命舗装表層の場合でも除外できない）

6.2.1 施工に関する要求事項（作業性、養生、健康、環境）

舗装材料の作業性は、舗装施工に不可欠です。長い延長にわたり、均一な質、均一な厚さ、均一な性能の層が簡単に施工できなくてははいけません。表層は、一般的に厚さが薄く、特性、特に使用特性は道路全体を通してできる限りずっと同じであることが望ましいため、これらの条件は表層の場合最も重要です。

成形性は、アスファルトコンクリートの場合、バランスが大事です。材料を打設するのに十分な成形性があり、かつ施工後に盛り上がりやわだち掘れが起きないように成形性があり過ぎてもいけません。異なった大きさの骨材が分離しないように、混合物の安定性も重要です。

材料によっては（水硬性コンクリート、常温アスファルトなど）、道路を供用する前に、養生時間が必要なものがあり、これも考慮しなければならない制約事項です。それ自体は品質低下要因ではありませんが、内容によっては舗装技術の適用に影響を与えます。

新しい舗装技術にも共通している重要な点は、建設作業員の健康や環境に悪影響を与えないということです。これは、常温アスファルト技術が開発された大きな理由のひとつでした。主に現場施工の場合に問題となる基準です。プレハブ方式では状況が異なるかもしれません。専用の製造工場では現場で起きる問題の多くが解決でき、別の多くの材料の使用が可能となるかも知れません。しかしながら、例えば舗装をよい状態で保管するとか、現場への敷設など、別の問題があるかも知れません。

施工に関する点は、大規模試験など、後の試験段階でさらに研究開発する必要があります。

6.2.2 物理性能と耐久性

いったん建設されると、表層は長期にわたって交通、気候条件などからの荷重に耐えなくてはなりません。表層はまた、舗装構造を（特に雨からの）損傷から守り、構造全体の耐久性を保証しなくてはなりません。

次の節で、長寿命舗装表層が解決すべき、不具合とその原因を詳細に検討します。また、各層の間の接合や支持体との接合についても評価を行います。

わだち掘れ抵抗性

厚いアスファルトの表層は特に、重車両のタイヤの圧力（8MPa 程度）による直接の影響を受け、わだち掘れの危険性があります。この現象は、アスファルトバインダーの粘弾性流動と関連しています（水硬バインダーではみられません）。交通からの繰り返し荷重により、アスファルト混合物の恒久的変形が大きくなります。危険性は、温度が高くなるほど高くなり（バインダーの粘性が下がる）、低速区間で高く（例えば、渋滞しやすい区間）、急カーブ地点やブレーキを踏む地点で高くなります（せん断応力によって悪化）。層の厚さは重要なパラメータで、薄いほどわだち掘れが少ないのです。

長寿命舗装表層は、気候に関係なく、わだち掘れ抵抗性がなくてははいけません。ほとんどの舗装の研究室にはわだち掘れ抵抗性を評価する試験機があり、この試験の実施には問題がありません。

わだち掘れのもう一つの原因は、車輪の通り道の舗装表面が摩耗することです。これは、特にスパイクタイヤを使用する地域では、長寿命舗装表層にとって大きな問題です。

ひび割れ抵抗性

表層のひび割れは、表面の劣化のみならず、舗装構造全体の、特に下層への雨水浸透による劣化をもたらす可能性があるため、防止しなければなりません。ひび割れは、舗装層の摩耗、層間の結合の分離（おそらく交通荷重や過圧により悪化）、耐力低下、構造体内のアイスレンズの形成を引き起こします。

構造層の疲労ひび割れ（下層から上層）は、交通によって引き起こされる引張応力の繰り返しによって起こります。理論上も、交通荷重下で圧縮応力を主に受ける表層だけの問題ではありません。経験からも、たとえ状態のよい健全な構造層の上に敷設された摩耗層にもひどいひび割れが発生するのがわかっています。まだよくわかっていない原因もいくつかあります。ひび割れの主な原因とタイプを以下に示します。

温度ひび割れ

温度ひび割れ（通常横断方向）は、表層でもっとも多くみられるひび割れです。零下の温度によって負の水平変位や引張応力が発生し、それら自然の繰返しによって悪化します。この現象は複雑でまだよくわかっていませんが、以下に関係しています。

- 舗装の厚さ全体にわたる温度分布の変化
- 各層の膨張係数の差
- 支持構造が連続体であるかどうか（例えば、横断・縦断ジョイント）
- 材料の流動学的特性、特にアスファルト混合物など感温性が非常に高い粘弾性材料がある場合
- 材料の引張、材料の温度履歴によっては感温性があることもある

一般的に、材料が硬いほど、温度ひび割れの危険性が高くなります。温度ひび割れは、ポルトランドコンクリート舗装の大きな問題で、横断ジョイントや連続的に鉄筋を設けることで対処しています。その土地の気候条件にもとづいて、適切な硬さのアスファルトを選択することで、抑制することができます。低温における温度ひび割れと高温におけるわだち掘れとで、どちらを重視するかが問題となります。アスファルト材料では、温度変化が大きい地域ほど、設計が難しくなります。

実験室条件での温度ひび割れの研究は、複雑で時間のかかる作業です。特に温度疲労の影響の研究は（多数の温度サイクルのシミュレーションが必要で）、複雑かつ時間のかかる作業です。気候条件と交通荷重の組み合わせが損傷を引き起こすため、実験結果をそのまま現場の舗装材料へ適応することは危険です。過去の経験から入手可能なすべての定性的・定量的情報にもとづいて、評価を行うことが必要となります。実験室試験は主に、膨張係数（支持体との比較）、流動学的特性（弾性か粘弾性、温度感受性）、や熱伝導など、材料の温度挙動調査を目的としています。

リフレクティブクラック

リフレクティブクラックも、表層の傷みの大きな原因です。その特徴は、表層の上向きのひび割れ過程で、一般的に支持体の横断的不連続面から始まります。薄いコンクリート路盤上の半剛性舗装に起こります。上述したように、繰返し交通荷重が主な原因ですが、低温も支持体の不連続面を開くため、表層の引張応力や荷重分散能力の低下など、マイナスの影響があります。

表層の評価を、支持体の性能や接合面状態から完全に切り離すことはできません。不連続支持体は、長寿命舗装表層にとって望ましい構造ではありません。しかしながら、そのような条件を考慮に入れて、ひび割れがある場合の長寿命摩耗層の挙動を研究する必要もあります。6.3 節に、半剛性舗装の挙動や特定のリフレクティブクラック防止策を研究するための装置について記述しています。

上から下へのひび割れ

上から下へのひび割れはよく見られ、主に、わだちからはじまり縦方向に伸びます。これは、温度ひび割れやリフレクティブクラックと異なる現象で、いくつかの説明が試みられていますが、まだ完全にはわかっていません。

上から下へのひび割れは、タイヤからの圧力が舗装上に不均一に分布するためと思われます (De Beer et al., 2002)。これ自体では、舗装構造の数 cm 下へひび割れが広がる理由が説明できませんが、表層の温度勾配による影響がある可能性があります。また、アスファルト混合物の粘弾性挙動によって、車両通過後に舗装表層で起きる水平引張応力によるものという説もあります (Tamagny et al. 2004)。いずれの説にしても、この種の損傷は、長寿命舗装表層の研究において、検討する必要があります。

層のはがれ

複合多層構造においては、当初結合していた層のはがれは、重大な損傷の一つです。はがれが起きる可能性があるのは、支持体と長寿命表層（表層は下層の支持体に連続的に結合していると仮定）の間や、2層複合表層では、バインダー層と摩耗層の間です。

はがれの主な原因は交通で、モード I, II, III^注のはがれが起きる可能性があります。深さ方向の温度差、時間による温度変化、層間への水の浸透（および結露）などによって悪化します。

（注）ひび割れの伝播に関する古典的な専門用語を参照してください。

経年劣化

材料の多くは経年劣化します。主に酸化によって、時間が経つにつれ材料の化学組成が変化します。これにより物性が変化しますが、多くの場合、舗装構造の耐久性の観点からマイナスの変化です。

経年劣化は、アスファルト材料で見られます（アスファルト、特にポリマー改質アスファルトで顕著）。アスファルトは時間が経つにつれ硬くなり、応力緩和性能などが失われます。壊れやすくなり、ひび割れ（原因に関わらず）、はがれ、ラベリングの危険性が増加します (AIPCR-LCPC guide, 1999)。

夏の高温によって、酸化が加速されます^注。紫外線も影響があると思われています。したがって、経年劣化は、主に、酸素や紫外線に直接さらされる表層の問題です。

（注）多くの化学反応はアレニウスの熱力学法則に従い、 $\alpha = Ae^{-k/RT}$ 、ケルビン温度 T によって影響されます。

RTFOT（回転薄膜加熱試験）は、アスファルト材料の経年劣化を、実験室内で、短い時間で評価するために開発された試験方法です。伝統的な材料のケーススタディを行って、RTFOTにおける経年劣化と、現場での経年劣化の関係を検討しました。

経年劣化は、その定義として、特に高い耐久性を有すべき長寿命舗装表層の大きなテーマです。

6.2.3 摩耗層の特定要求性能

摩耗層は、その作用に関連して、特定の要求性能を満たさなければなりません。以下に、安全に交通を通すために必要な性能を述べます。

耐久性が高く、高性能のテクスチャ

道路利用者にとって、濡れた路面がすべりにくいことが特に大事です。伝統的なアスファルトやセメントの摩耗層では、主に含まれる粒状材料比（粒度分布）や粒状材料そのもの（でこぼこになる）によってすべりを防止しています。それはまた、道路表面に様々な大きさ（ μm ～数10cmまで）の幾何学的凹凸をつくり、タイヤとの接触面ですべり抵抗性と排水機能を提供します。ポルトランドセメントコンクリートのスラブでは、施工中に表面の凹凸を増やすために溝を作り、排水性とすべり抵抗性の向上を図っています（Martinez, 1977）。

摩耗層の複雑な形状によってテクスチャが決まり、マイクロテクスチャは粒状材料の粒度で、マクロテクスチャは混合物の大きさです。高いマクロテクスチャは、自動車のタイヤと道路表面の間から大量の水を排水するために必要です。高いマイクロテクスチャは、タイヤが薄い水膜の中を通して、乾いた道路表面と接触できるようにするために必要です。すべり抵抗性は、受ける負荷（交通、気候）にかかわらず、摩耗層の寿命を通して維持されなくてはなりません。

適切な初期使用性能のための要求基準は、伝統的な摩耗層では明らかにされています。また、道路環境（交通や気候）における、こうした性能の発揮および維持は、伝統的な舗装材料ではよくわかっています。

長寿命の性質を有する材料の発見が、長寿命摩耗層開発の鍵となると思われます。そうした材料の耐久性を確立する方法や適切な試験方法の開発は大変な作業です。試験方法の開発を急がなくてはならないというだけでなく、劣化や損傷のメカニズムは多様で複雑なためです。現場で見られる主な劣化は、ラベリング、はく離、摩耗、すり磨き、すべり抵抗性の低下です。

ラベリング、はく離、摩耗は、アスファルト舗装のマクロテクスチャに進行する劣化で、骨材とアスファルトバインダーの間の結合性が失われます。その結果、摩耗層の表面から骨材粒子（ラベリング）やアスファルトバインダー（摩耗）が失われます。これは、いくつかの原因が組み合わさって起

こります。

- ④ 交通荷重、特に接線方向の力（減速域やロータリー）が働く場所
- ④ 降雨
- ④ アスファルトバインダーの経年劣化と硬化
- ④ スパイクタイヤの使用（Torbjorn, 1993）
- ④ 化学物質の散布

高空隙率の摩耗層（例えば、ポーラスアスファルト）では、骨材間の結合が弱く、雨にさらされる面積が多く、経年劣化が起こりやすいため、ラベリングがおきやすくなっています。

すり磨きは、長い間にわたってタイヤとの摩擦によって、車輪が通る部分の粒状のマイクロテクスチャが摩耗して失われることを指します。磨かれた部分はとても滑らかで、光って見えることもあります。極端な場合、帯状にわだちができます。表面摩擦が大きく減少し、すべり抵抗性がなくなるため、事故の危険性が高まります。摩耗層材料の設計においては、すり磨き抵抗性の高い骨材の選択が非常に重要です。その性能を評価するために特別な試験方法が開発されています（Delalande, 1992）。

現在摩耗層に使われている碎石骨材は、一般的に、長寿命舗装表層（特に交通量の多い道路の表層）の骨材としては、すり磨きに対する抵抗性が不足しています。長寿命表層の骨材は、長期にわたり高い性能を維持する必要があるため、おそらく人工的なものとなるでしょう。表面のテクスチャ（マイクロとマクロ両方）も別の方法で作る必要があるかも知れません。

耐久性向上

濡れた路面でもすべり抵抗性を維持し、下層の舗装構造を保護するために、表面の排水性は必要不可欠です。舗装の横断方向の表面は、暴風雨中の水を迅速に排出できるように設計する必要があります。また、特にトラックの多い重交通道路では、濡れた路面からの水のはねあげの減少も重要です。長寿命舗装の設計は、要求性能を満たし、舗装の寿命期間中それを維持する必要があります。

騒音性能

先進国の道路管理当局にとって、特に交通量の多い既存の道路の騒音低減は重要な課題です。こうした道路は、長寿命舗装にふさわしいと考えられるため、長寿命舗装は、高い基準の騒音低減性能を満たす必要があります。長寿命摩耗層の騒音性能を確立する必要があります。道路からの騒音を低減する方法は他にもありますが（防音壁、ヘルムホルツ共振装置など）、道路管理当局の多くは、（PCC摩耗層の使用減少が示すように）低騒音舗装を好みます。

長寿命舗装のその他の特性

定期的な維持管理を最小限に抑えるためには、その他の開発も行う必要があります。例えば、車線のラインも表層と同じ程度に耐久性がなくてはなりません。他の道路標識、設備、緑地帯なども、交通を妨げずに維持管理や清掃が行えるように設計しなくてはなりません。

6.2.4 修繕，維持，リサイクル

最後に、理論的には長寿命舗装は長期間にわたって維持管理の必要はないはずですが、長寿命舗装表層は簡単に補修、打換えができなくてはなりません。予測できない事態（地震や火事）によって、早急に効率よく、かつ、できれば長寿命基準を満たすように、補修しなくてはならない場合も考えられます。例えば、硬い舗装は、簡単に早く修繕できないという理由で、用いていない国があるということとはよく知られています。

最後に、長寿命舗装が、次世代の問題となつてはなりません。寿命が終わった時のリサイクル方法や処理方法についても研究対象として検討しなくてはなりません。

6.3 長寿命舗装表層の候補についての実験的評価

表層の特性を評価する一般的な方法論は、現在ありません。ここでは、候補となるものの問題点の解決策を最もよく評価できる試験を検討します。これによって、この研究のフェイズⅡにおいて十分な実験を行うためのプログラム開発に向けて、いくつかのガイドラインが与えられます。

6.3.1 実験的キャンペーンを定める際に考慮する全般的事項

使用状況

これまでに、長寿命舗装が有効であると考えられる一般的条件として、都市あるいは都市と都市を結ぶ交通量の多い道路であることが明らかになりました。フェイズⅡの最初の作業は、検討しなくてはならない数多いパラメータを定めることになるでしょう。荷重の大きさ（垂直、カーブや勾配区間では横方向も）、支持体の種類、凍結を含む温度、表面の湿潤状態などの、こうしたパラメータは、参加各国で許容されている様々な軸荷重、使用されている舗装構造の種類、勾配やカーブによく使われている設計法などを考慮する必要があります。

入手可能な情報とギャップ

また、候補となっている長寿命舗装表層工法に関する、入手可能なすべての情報を集める作業があります。この作業は第5章ですでに始まっていますが、使用状態と材料の挙動を完全に理解するのは

難しく、知識の欠けた部分を埋めるためには道路所有者からの協力が必要となるでしょう。

評価と開発

試験は、新規材料の性能に関する知識がどれほどあるかによって決まります。この章で述べる試験の多くは、候補材料の性能の評価や長寿命舗装表層にふさわしいかどうかを評価することを目的としています。試験はまた、いくつかの点で耐久性が証明された材料の最適化を図るためにも行えます。そうした試験は、騒音低下や異なる支持構造層への適用など、開発を目的にすることになります。

要求性能レベルの特定

ここで述べる試験の多くは、構造の実際の性能とは間接的にしか関係がありません。したがって、既存の舗装表層材料との比較から、性能基準を設定する必要があります。長寿命材料は、伝統的な処理方法よりもよくなってはなりません。多くの場合で、試験結果と寿命の間の実験的な相関関係が拡大適用可能でなければなりません。

繰返し試験では、通常の繰返し载荷回数における高い性能、あるいは同等の性能が多くの繰返し回数でも保証されるか、いずれかで基準が設定できることに注目してください。

舗装分野で使用する試験の意味

材料の品質を評価するために、舗装分野での試験が多く開発されています。実験室で行える小規模の試験（安い）から、コストも時間もかかる実物大シミュレーションまで、様々な規模のものがあります。以下が、ここで述べる試験のグループです。

- 材料そのものの試験（実験室規模）
- 材料の各成分の試験（実験室規模）
- ミニ加速载荷装置（ALF）を使った小規模シミュレーション試験
- 実際の舗装あるいはALFを使った実物大試験

フェイズⅡでは、実験室試験の開発と実施に焦点を当て、技術の確立を目指します。実物大試験はフェイズⅢで行う予定です。

実験室規模の長寿命舗装表層材料の試験

測定する特性の評価

表 6.1 に、測定する必要のある主な性質と、測定に用いられてきた既存の方法を示します。

表 6.1 舗装の性質と試験

測定する性質	試験方法
材料の機械的弾力応答。交通量や異なった温度における温度差による応力の範囲における応答。 優先順位 1, 現在欠けている情報。	繰り返し載荷試験 可能な装置：複合係数（粘弾性流動）の測定装置 （Nottingham Asphalt Tester） 三軸試験 温度管理
永久ひずみの危険性（高い温度域）	わだち掘れ試験機、温度調節下の三軸試験と繰返し 載荷、ホイールトラッキング試験
疲労の危険性	一軸モードやたわみモードでの繰返し引張圧密載荷 試験試験、間接引張繰返し載荷試験
引張応力（様々な温度域における）に対する抵抗性	一軸引張試験、間接引張試験（Brazilian test/Indirect Tensile Stiffness Modulus）
温度ひずみに対する抵抗性	温度抑制ひずみ試験
温度によるひずみの変化	熱膨張係数の測定
経年劣化	温度と圧力を変えた熱力学容器の使用、酸素ガス、 高湿度、紫外線への暴露（UK Saturated Asphalt Tensile Stiffness test）

舗装の力学では、小さなひずみに対する材料の応答がかなり重要です。弾性、粘弾性、温度粘弾性からは、劣化の危険性に関する重要な情報が得られます。特に、低温における温度クラックの危険性や、高温における恒久的変形の危険性が評価できます。粘弾性によって温度応力が減少するとともに、わだち掘れの危険性が増えるからです。

わだち掘れ試験は、アスファルト混合物の永久変形に対する抵抗性を測るために使われます（図 6.1）。恒久的変形しやすい長寿命表層材料候補の試験にも使われるべきです。特に、材料に粘弾性バインダーが（使用温度において）含まれる場合や、粘弾性バインダーが舗装の硬度に大きな影響を与える（例えば 4cm 以上）場合です。この試験は、薄いエポキシバインダーやポルトランドセメントバインダーベースの混合物には不適です。

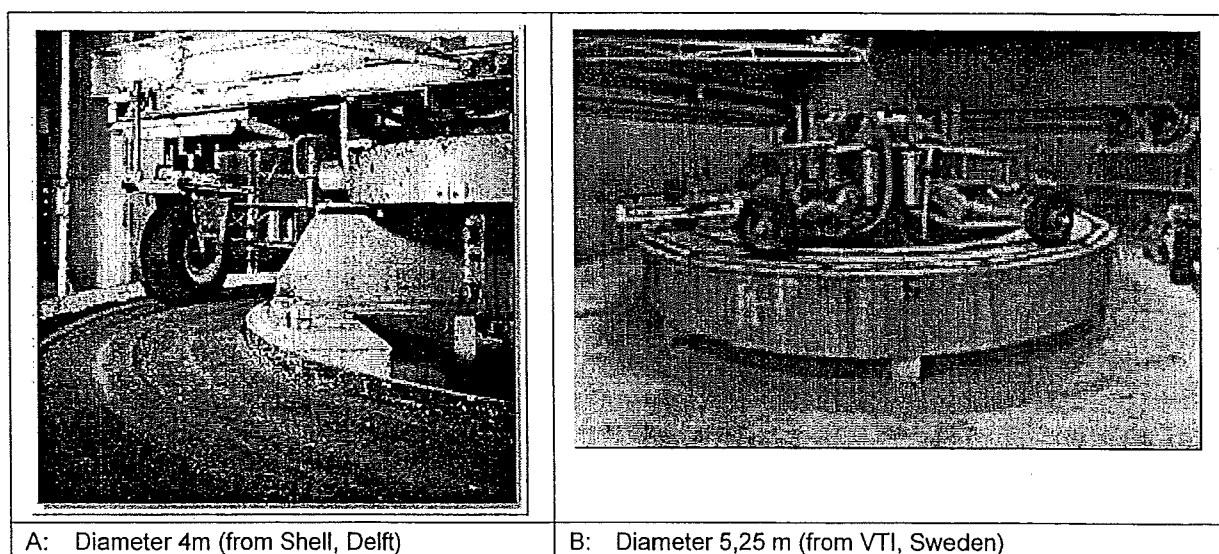


図 6.1 円形わだち掘れ試験機

理論的には、舗装の上層は主に圧密荷重にさらされるため、疲労ひび割れは起こらないはずですが、原因は不明ですが、上から下へのひび割れが報告されています。そのため、長寿命舗装表層の疲労試験を行う必要があり、結果を現在使用している材料の性能と比較する必要があります。

材料の膨張係数も重要なデータで、隣接する材料の膨張係数と比較する必要があります。差が大きく、表層材料が弾性である場合には、ひび割れ、はがれ、舗装の一部のカーリングの危険性があります。特に低温あるいは高温での危険性が高くなります。したがって、弾性材料でデータがまだない場合には、試験を行うことを強く勧めます。

上述の試験は破損の際の最大引張応力の測定にも広げられます。これは、直接引張応力試験や、ブラジリアン試験などの間接的引張応力試験でできます。温度収縮による最大引張応力結果は、材料の耐久性と比較することで、表層が適切に機能する温度範囲を設定できます。

棒状試料の両端における変位をゼロにした温度収縮試験から、温度クラックが起こる条件を明らかにできます。試料が破壊するまで、温度応力を温度に対してプロットする方法です。こうした試験は特に、温度により温度応力とクリープ特性が変化する温度粘弾性材料に対して有効です。

経年劣化試験は、長寿命舗装表層の候補には特に重要です。自動圧力容器（PAV）試験は、アスファルト材料用に確立した試験方法で、ある一定の時間、酸素ガスで圧力を加えたある温度条件下に試料を曝すものです。試験によって、アスファルト混合物の経年劣化が促進されることがわかっており、PAV 試験の時間と実際の舗装の経年劣化の間に、ある関係があることがわかっています。経年劣化の影響は、力学特性（スティフネス、クリープ曲線、最大引張応力など）の経過を通して評価します。経年劣化試験は、アスファルト材料のために開発されたため、長寿命舗装に適用するためには、混合物の化学組成や推定化学反応に応じた改良が必要と思われます。

表面特性の試験

表 6.2 に、主な表層摩耗特性を優先順位の順番にまとめてあります。耐久性を測定するための実験方法も示します。

表 6.2 表面摩耗特性と試験方法

測定する性質	試験方法
支持体からのはがれの危険性	繰り返し載荷下のはがれ試験、例えば2層ビームの試験（候補材料+支持体）、たわみモード
こわれ、はがれ、すべり抵抗性の低下の危険性	摩耗を試験するための小さな回転装置（図 6.2 を参照） 交互接線荷重したの部分トライボロジー試験の使用または開発（図 6.3 を参照） すべり抵抗性測定（Pendulum tester）
化学物質散布への耐久性	主な化学物質散布試験（油、燃料、融氷剤）

交通による摩耗のシミュレーションを行うために、わだち掘れ試験機（図 6.2）を使うことができます。車輪と舗装の接点で接線荷重を載荷できる試験機もあります（Jolivet 1999, Nicholls 1997）。

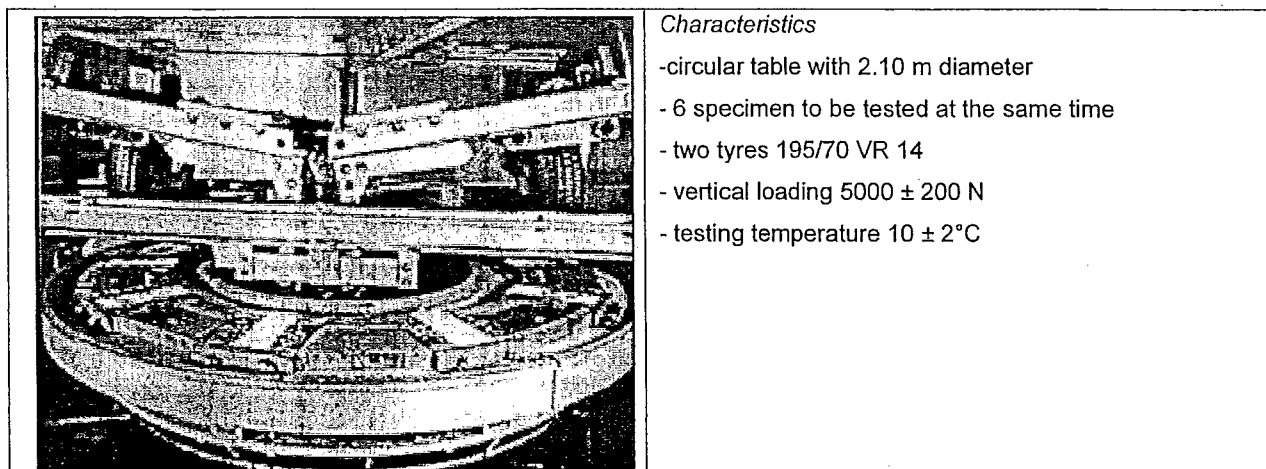
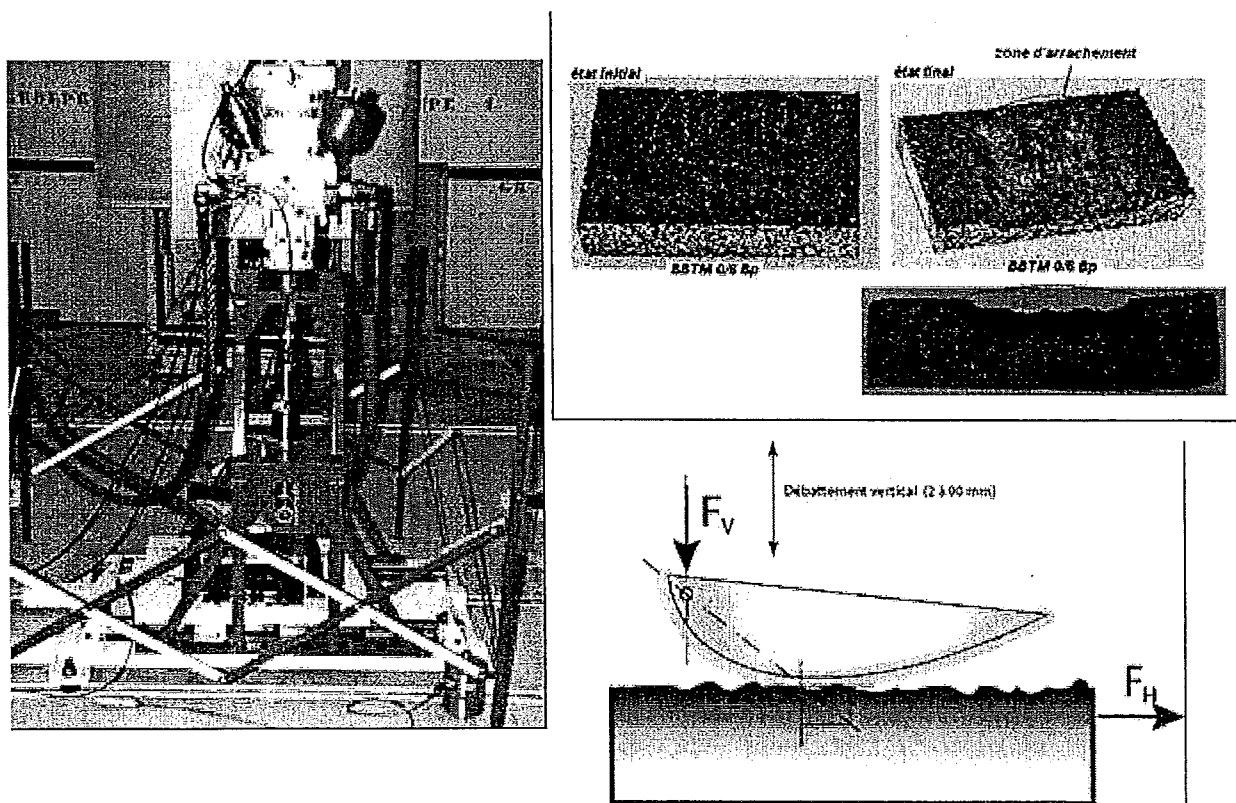


図 6.2 摩耗を試験するための回転装置（英国，TRL）

材料の摩擦特性を測定するための装置は、現在開発中です（図 6.3 参照）。この試験は、材料の表面でおきる摩耗を測定するもので、材料候補の耐久性の検討に有効と思われます。



左：摩耗層材料の摩擦特性を測定するために LCPC で開発された実験装置

右上：アスファルト混合物の摩耗の例

右下：試料と垂直および交互接線荷荷の原理

図 6.3 摩耗層材料のトライボロジー特性を測定するための実験装置

6.3.3 成分レベルの試験

舗装の混合物に含まれる主な成分の特性および相互作用を測定するための試験もあります。例えば、アスファルト混合物の場合には、アスファルトそのもの、バインダー（フィラー+アスファルト）、マスチック（フィラー+砂+アスファルト）、骨材、骨材とバインダーやマスチック間の相互作用（粘着）に関する試験方法が開発されています。

主な材料の特性同士や混合物には、かなりはっきりとした定量的な関係があります。しかし、成分と混合物規模との間の、統計的な関係の検討も多くなされており、混合物の挙動のより深い理解や、舗装材料の改善の指針に貢献しています。例えば、多くの基準・仕様は、正しく配合すれば、最終混合物の品質を保証するようにバインダーと粒状材料が決まっています。

こうした方法は、長寿命舗装表層材料候補の性質を評価するのに非常に有効であると思われます。例えば、エポキシ混合物の利用では、こうした方法で以下の観察ができます。

- ① エポキシの流動特性と経年劣化の研究（可能であれば最適化も）
- ② 長寿命すべり抵抗性を保証するための高仕様粒状材料の研究
- ③ 樹脂と粒状成分の間の粘着特性の最適化

6.3.4 小規模シミュレーション試験

舗装表層への交通のおおよその影響をシミュレーションできる、舗装スラブ上を垂直荷重をかけた車輪が回るような、実験室規模の試験装置が多数あります。わだち掘れ試験機は、昔からアスファルト混合物の永久変形への抵抗性を評価するために使われていますが、この目的にも使用できるかもしれません。（図 6.1）、実際の舗装の反応をシミュレーションするためには、実験方法を改良する必要がありますでしょう。長寿命舗装表層だけでなく、支持体も再現するように、実験スラブを作製する必要がありますということです。使用できる試料の厚さが限られるため、支持体を代替できる、おおむね同等の挙動（剛性）を示すものを探さなくてはなりません。温度変化や降雨などの気候条件もシミュレーション可能ですが、（凍結など）極端な条件を再現するのは禁止せざるを得ないほど高価になると思われます。

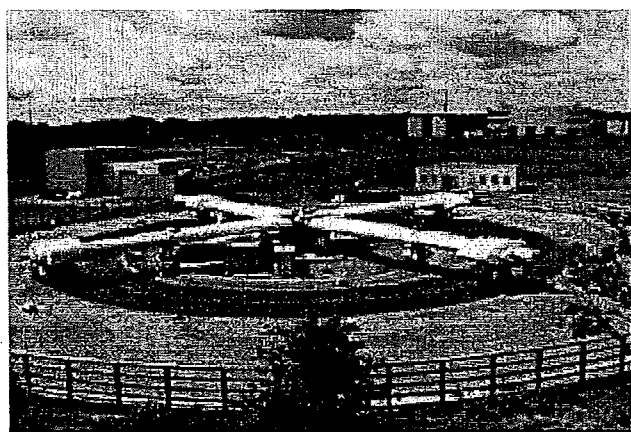
さらに、車輪（移動可能）と実験スラブの間の接触部分に、接線力を加えられる試験装置もあり、表層の摩耗、はがれ、ラベリングの検討が可能です（図 6.2）。

6.3.5 実物大試験

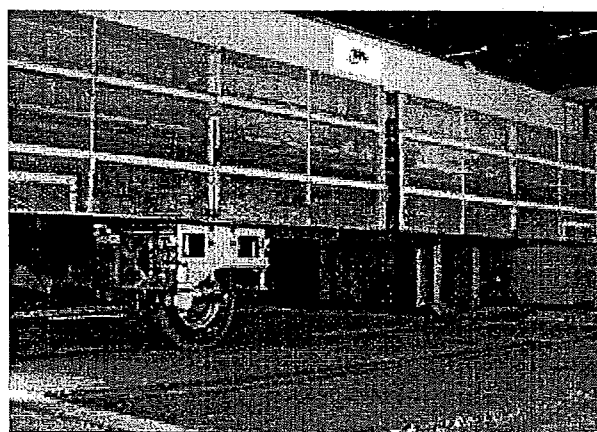
実物大試験からは、交通荷重や他の荷重を受ける際の、現場の材料の挙動に関する非常に有用な情報が得られます。1 台の車両が通過した際に材料がどのように応答するかだけではなく、交通量条件

や気候条件下で長期にわたってどのように応答するかがわかります。時間の経過における主な損傷モードが特定でき、必要な主な整備が明らかになります。さらに、材料の建設や敷設の理解や、問題の推測が可能となります。2種類の実物大試験方法が実用化されています。一つ目は、供用中の道路に、隣接区間と舗装にジョイントのない実験区間を設ける方法です。交通量、気候履歴、ひずみ、応力に関するデータが収集できます。長期観察を行うことで、非常に有用な情報が収集できます。実験区間は、実際の交通量よりも低い設計基準で設計し、損傷の過程を（願わくば現実に即した形で）加速させることで研究を行います。この種の試験はプロジェクトのフェイズⅢで予定されています。

二つ目の実物大試験方法は、主に OECD 加盟国で使われている加速載荷装置（ALF）です（図 6.4 参照）。ALF は加速交通量条件を再現し、その視点から、時間の経過における舗装の性能の変化が予測できるのです。しかし、通常、この種の設備では、気候変化のサイクルや材料の経年劣化を加速することはできません。実物大試験の費用は、主に実験区間の建設、実験装置、事後分析が高価なため、高価です。したがって、通常実物大試験を多く実施することはできません。実物大試験の準備には細心の注意が必要で、詳細に定義された目標が必要です。一般的に、検討できるパラメータの数は限られています。ALF の種類によって、試験の範囲や費用が大きく違います。図 6.4 に異なった種類の 2 台の ALF を示します。同時に異なった構造を試験できる周囲 120m の円形トラックと試験延長がわずか 2m の直線タイプの装置です。



LCPC France circular fatigue carousel (diameter 20m)



TRL United Kingdom linear fatigue machine (length 2m)

図 6.4 異なった 2 種類の加速載荷装置

6.4 フェイズⅡにおける研究プログラムの提案

第 5 章に、エポキシアスファルト摩耗層および高性能セメント系材料（HPCM）舗装の研究に関する提案がより詳しく述べられています。これらの材料や方法は、様々な開発段階にあります。エポキシアスファルトはすでに橋梁の床版に使用されていますし、HPCM に関する情報は実験室データに限られています。フェイズⅡにおいては、以下のステップが必要です。

ステップ1：試料材料および方法の性能に関する入手可能なデータを特定する。

ステップ2：検討する必要がある「まだわかっていない性能」を特定する。

ステップ3：解決すべき性能の弱点を特定する。

ステップ4：参加国の実験室で実施可能な実験室試験を特定する。この章に試験の簡単なリストがあり、表6.3にまとめられている。他にも、ここで考察していない試験方法があるかもしれない。

ステップ5：試験計画をたてる。以下を含む

- － 「まだわかっていない性能」を特定する評価試験
- － 性能の弱点を解決する開発プログラム

ステップ6：試験計画の結果を評価する。別の弱点が明らかになった際には、さらなる開発プログラムが必要となる。

表 6.3 室内試験に関するまとめ

測定する性質	試験方法
材料の機械的弾力応答。交通量や異なった温度における温度差による応力の範囲における応答。 優先順位 1, 現在欠けている情報。	圧力を使った繰返し载荷試験, 複合係数 (粘弾性流動) の測定装置, 間接的引張試験 (ブラジリアン試験 / ITSM), 三軸試験, +温度管理
恒久的ひずみの危険性 (高い温度域)	わだち掘れ試験機, 温度調節下の三軸試験と繰返し载荷, ホイールトラッキング試験
疲労の危険性 (コメントを参照)	一軸モードやたわみモードでの圧力を使った繰返し引張圧密载荷試験試験, 間接引張繰返し载荷試験
引張応力 (様々な温度域における) に対する耐性	一軸引張試験, 間接引張試験
温度ひずみに対する抵抗性	温度抑制ひずみ試験
温度によるひずみの変化	熱膨張係数の測定
経年劣化	温度と圧力を変えた熱力学容器の使用, 酸素ガス (または他のガス), 紫外線への暴露
支持体からのはがれの危険性	繰返し载荷下のはがれ試験, 例えば 2 層ビームの試験 (候補材料+支持体), たわみモード
こわれ, はがれ, すべり抵抗性の低下の危険性	摩耗を試験するための小さな回転装置 (図 6.2 を参照) 交互接線荷重したの部分摩耗試験の使用または開発 (図 6.3 を参照) すべり抵抗性測定 (Pendulum tester)
化学物質散布への耐久性	主な化学物質散布試験 (油, 燃料, 融氷剤)
材料の流動特性	
高仕様粒状物質のすべり抵抗性	
樹脂と粒状物質間の粘着特性の最適化	

参考文献

- ④ AIPCR-LCPC guide (1999) "Use of modified bituminous binders special bitumens and bitumens with additives in road pavements" Report prepared by a working group – technical committee 8 on flexible road, 203.
- ④ De Beer M., C Fisher, F J Jooste (2002) "Evaluation of non-uniform tyre contact stresses on thin asphalt pavements", Ninth international conference on asphalt pavements, August 19-22, 2002, Copenhagen, Denmark.
- ④ Delalande, G. (1992). "The Resistance of Aggregates to Polishing: A Projection Test" (in French). Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées 177: 73-80.
- ④ LCPC-SETRA-USIRF manual (1997) "French Manual Design for pavement structures", technical guide, p 248.
- ④ Jolivet Y. et Malot M. (1999) "Evaluation de la résistance aux efforts tangentiels des enrobés drainants et bétons bitumineux très minces sur le manège Total", Revue Générale des routes et des aéroports, N° 770, 46-50
- ④ Nicholls J.C. (1997) "Laboratory tests on high-friction surfaces for highways", TRL report 176, 36.
- ④ Tamagny P., Wendling L., J.M. Piau (2004) "Cracks in Pavement", Limoges, Rilem Conference 2004.
- ④ Torbjörn J. (1993) "Wear resistance of bituminous mixes to studded tyres - A novel approach to field measurements and correlation with VTI's traffic simulator", 5th Eurobitume Congress, Stockholm, 4.33, 857-861
- ④ Martinez J.E. (1977) "Effects of pavement grooving on friction, braking and vehicle control", Transportation research record 633, pp. 8-13.
- ④ Faure M, Maia A, Achimastos L, Gourdon JL, Corte JF, Marciano Y, Piau JM (1999), "Low-temperature behaviour of hard bitumens: experiments and modelling", AAPT Congress, Chicago, 8-10 mars 1999.

第7章 まとめと結論

7.1 序

このプロジェクトのフェイズ I の研究範囲は、交通量が多く、かなりの割合が重車両という幹線道路の舗装に関する検討でした。こうした道路は、かなりの構造的強度があると考えられていて、今日の定義では長寿命舗装あるいは恒久舗装と呼ばれています。長寿命道路構造に関する問題は、別の国際団体によって検討されているため、この報告書では、高性能摩耗層の研究結果を報告しました。道路の摩耗層は、摩擦性能、排水性能など多くの性能を有している必要があります。現在までにこのプロジェクトでは、長寿命表層に必要とされる材料の特性を検討し、費用と寿命の2つの観点から、金銭価格を決定する基準を特定するために、経済面について検討しました。3つの段階からなるプロジェクトのフェイズ I の研究では、以下の4つの分野に焦点を当てました。

- 既存の材料：どのように利用されているか、道路管理局が用いている維持管理方針の特定
- 新しいバインダーなど新規の材料：性能、特徴および費用
- 経済性の検討：高価な材料でも長期的には経済的である可能性の検討
- 新規材料に要求される技術的性能の検討、および適切な試験方法の検討

7.2 舗装整備の実態の検討

参加各国の舗装整備の実態から、現在使用されている材料、その特性、道路管理局が採用している維持管理方法、材料と維持管理に関わる費用の情報など、貴重な情報が得られました。研究した国々の間には驚くほどの共通点がありました。類似した材料が使われ、費用情報は、引き続いて経済評価をするのに十分共通していました。細かな差から、西ヨーロッパ、北アメリカ、北欧の3つのグループに分けることができました。こうしたグループ内では、表層材料の供給および敷設の費用が同レベルであるだけでなく、類似した維持管理方法を採用していました。

7.3 経済性分析

このプロジェクトでは、利用者費用を考慮すると、初期費用の高い、革新的の長寿命道路表層が、既存の舗装に比べて（ホールライフコストで考えると）経済的に見合うという理論を検討しました。この報告書の第3章では、経済分析で考慮すべき点を吟味したところ、道路利用者費用がいずれの分析においても重要なことが強調されました。交通量の多い道路は、事故、道路工事、交通量オーバーなどで渋滞しやすく、渋滞によって、利用者個人、貨物輸送会社やその顧客など、道路利用者の費用がかさみます。

経済評価の一部として、様々な面が考えられますが、すべてにおいて、満足な分析をするのに十分に正確なデータが得られるかどうかにかかっています。現代のコンピュータを使えば、こうした分析

を行うのは比較的容易で、各種のモデルがあります。第3章では、国際的観点からこの種の分析に必要な事項を検討し、利用可能なモデルをいくつか検討しました。検討は、どの点においても完璧に総合的とは言えませんが、このプロジェクトの観点から各種モデルを考察しました。入手の可能性、利用しやすさ、認知度、データの入手可能性から、2つのモデルが適切と考えられました。世界銀行のHDM-4モデルは、広く使われ、様々な数学的・論理的モジュールからなり、各国用に改良、校正可能です。強力なモデルですので、直接的あるいは簡単な応用には不向きなこともありますし、当報告書で作成・使用した結果の応用は限られていました。分析に用いたもう一つのモデルは、英国の維持管理計画の評価に使われているモデルを発展させたもので、PASIと呼ばれています。

これらのモデルを用いて、伝統的舗装方法および革新的舗装方法のホールライフコストを比較しました。様々な交通量や費用選択の維持管理方法について、いくつかの初期費用の革新的な舗装で検討しました。革新的な舗装の費用が確かかどうかわからないため、伝統的な処理の費用に対する割合としてインプットしました。このように、算出した費用やその増加の程度を比較することで、革新的な舗装が費用の面で効果的であるかを確かめました。

第4章で述べた費用評価では、伝統的な表面処理に比べて、革新的な舗装が経済的に優れたものとなる条件を検討しました。各種費用割引率、交通量削減率などを考慮し、様々な組み合わせを模索しました。結果は、多くの国で、初期費用の高い革新的な長寿命舗装のほうが、伝統的な摩耗層よりも経済的に優れていることが明らかになりました。試みられた感度調査によって次のようなことがわかりました。

- ① 交通量の多い道路（8万AADT以上）で、通常の割引率の効果があると考えられる。
- ② 10%もの高い割引率の効果は、非常に交通量の多い道路のみでみられる。
- ③ 6万AADT程度の交通量の少ない道路では、割引効果は少ない（約3%）。
- ④ 交通量が4万AADTやそれ以下の場合には、ほとんど効果がないと思われる。
- ⑤ 非常に少ない割引効果（例えば3%）や交通量が多くなければ、高価な摩耗層（例えば、伝統的な舗装に比べて5倍もの費用）は経済的效果があるとは思えない。

そのような摩耗層のコストによる増加を特定の舗装建設費として見る必要があります。例えば片側3車線の高速道路では、舗装建設費は車道1kmあたり総額180万US\$から225万US\$になるでしょう。この評価は、土工、排水、レーンマーク、安全フェンス等の特質は含んでいますが、橋の上部や下部、あるいは橋脚等の構造は含まれていません。

現段階では、そのような表層（摩耗層）は、前述の舗装建設費の約9～12%に相当します。摩耗層コストの3倍増は、舗装建設費の24%以下の増加を意味し、そして表層は建設コストの約30%相当になるでしょう。

もちろん、重交通道路の総建設費は、舗装建設費だけでなく橋やトンネル、土工の数量によって変動します。全体の 1km あたりの平均コストは、これらのコストを計算に入れると 1km あたり 315 万 US\$ から 360 万 US\$ 増加します。これを考慮すると、摩耗層のコストが 3 倍に増加することは、1km あたりの高速道路全体の建設費に対して 10～15% に相当し、表層が総建設費の 5～20% であることに比べて低い印象を持つでしょう。仮に、全く新しい道路計画が検討されることになった場合、構造、用地買収、設計費用およびコミュニケーションを含む全コストを考慮すると、この割合はさらに低くなるでしょう。

7.4 革新的舗装材料および技術

第 5 章では、道路舗装用の様々な種類の革新的な材料について入手の可能性と特徴を検討しました。耐久性が高く、すべり抵抗性、水しぶきやはね上げを防止する滑らかさ、金銭的価値効果を生む費用での使用の可能性など、長寿命摩耗層が要求事項を満たす可能性が示されました。検討した舗装の種類多くは、ハイウェイに使用された実績がなく、また橋の上など限られた部分の実績しかありませんでした。橋梁床版上の舗装は、応力やひずみが大きいため、特に耐久性の高い材料が必要なことが多く、伝統的な材料に比べて強度のみでなく柔軟性も求められます。革新的な材料利用への将来のアプローチの一つとして、広い面積にも施工できるように舗装機械を改良あるいは設計しなおして、こうした材料を道路に舗設する方法を開発することが考えられます。

第 5 章の材料の検討から、2 種類の材料が要求事項を満たす可能性があることがわかりました。

- エポキシアスファルト
- 高性能セメント系材料

当プロジェクトのフェイズⅡでは、これら材料の検討をさらに進め、開発作業を実施します。第 2 章で検討した他の材料も、必要な特性を有していますが、評価に必要なデータが不足していました。しかし、こうした材料や他の材料も忘れてはなりません。後の段階で特性を検討するにふさわしい可能性も残されています。

7.5 フェイズⅡに向けて

フェイズⅡとして実施される研究プログラムの指針が、この報告書の第 6 章で設定されました。将来の研究の目的は、材料候補の実際の能力を評価し、長寿命摩耗層として利用可能かを評価することです。

将来の研究では、革新的な舗装に必要な特性をわだち掘れ抵抗性、ひび割れ抵抗性、摩耗抵抗性、はく離抵抗性および耐候性の点から確立します。また、長期研磨、水しぶきのはね上げ防止、騒音低減など、他の重要な問題についても検討します。第 6 章の検討では、必要な基準にスポットライトを

あて、可能な試験プログラムを検討し、実物大試験の重要性や加速载荷試験技術の利用など、試験プログラムに必要な範囲を検討しました。フェイズⅡでは、以下のステップが含まれます。

ステップ1 試料や工程に関して入手可能なすべての性能データを特定する。

ステップ2 試験すべき「まだわかっていない性能」を特定する。

ステップ3 解決すべき性能の弱点を特定する。

ステップ4 当報告書で概要を述べたように、または他の参加国から提案されるように、参加国の研究所で利用できる試験を特定する。

ステップ5 試験プログラムを確立する。これには以下が含まれる。

- － わかっていない性能を特定するアセスメント試験

- － 性能の問題を解決する開発プログラム

ステップ6 試験プログラムの結果を評価する。開発が必要な問題が新たに浮上する可能性あり。

付録A アンケート（たわみ性舗装）

1. 背景

このアンケートで収集した情報は、OECD のプロジェクト「長寿命舗装の技術的な可能性の経済分析」に使用します。必要な情報のみが得られるように質問はできるだけ簡潔で直接的にしました。回答に時間を割いてくださりありがとうございます。このアンケートは貴国の道路当局で施行されている現行か在来の舗装工法で、アスファルト舗装を対象とします。

このアンケートは貴国の道路当局の現行の舗装工法を参考にして、技術面と経済面の情報を供給するのが目的です。正確には表層の舗装層（摩耗層ともいいます）についてお教えてください。表層の舗装層あるいは摩耗層の初期工事費、期待される寿命、施工の予測される維持対策の説明と時期と費用についての質問です。さらに、設計方法、この層に使われる舗装材料、貴国の道路当局の破損基準（わだち掘れ・破損・凹凸など）による舗装の期待される寿命の説明または定義について概要を教えてください。ライフサイクルや全寿命(whole life)の分析を行い、その結果から現行の道路当局の慣行の工法と新開発やより長寿命な可能性のある舗装とを比較します。交通量の多い自動車道によく使われる現行か在来型の舗装について、その表層の舗装層のみについてお答えいただくことに御留意ください。

回答される前に気をつけて欲しいことがあります。摩耗層のみに限定してお答えください。その下の構造層すなわちアスファルト混合物・コンクリートまたは粒状路盤・下層路盤は、実質的な品質・実質的な構造性能であると仮定します。摩耗層のみの設計、材料、経費と期待される寿命について調査します。表面層をより明確に規定するため、舗装の構成要素は、路床土・下層路盤と路盤材の両方か一方・中間舗装層（単層か複層）・表面の摩耗層（または最上層）と仮定します。これは一般的または概念的な設計ですので、厚さが違ったり、示されていない層もあるかもしれません。いずれにしろ、アンケートの目的である摩耗層は一番上の層です。この層には一定の期待される寿命があり、表層のみのイニシャルコストさらにある程度の維持管理が必要であると考えられます。供用寿命を終えると、この層は打換え、またはオーバーレイされるかもしれません。

求めている情報は、貴国の道路当局に特有な事業から得られる可能性があります。原則として、設計が上述した構造に近似したものであるとよいでしょう。調査対象の事業は、交通量の多い幹線道路や複数車線の高速道路などで予想交通量が少なくとも日平均 10,000 台、大型トラックを 15%含むものとします。このような事業では、代表的または高品質の材料と建設技術が使われていると想定されます。その設計では高い構造的性能と排水性が実現されるでしょう。

貴国の道路当局の管轄区域内で工事手段のタイプが今まで述べたものに当てはまると思われる事業についてお答えください。各質問の後にコメントを書くスペースを設けましたので、分析の材料になると思われる情報がありましたら、ご自由にご記入ください。このアンケートは OECD 加盟国に送られます。利用者遅延コストも含めたライフサイクルコストの分析をすることにより、高い技術や別の

舗装材を利用して現在使われている在来の舗装工法に代わる新しい工法を見出せる可能性があります。
回答に時間を使っただき、感謝いたします。

2. 既存の舗装の構造設計

貴国の道路当局の管轄区域内の事業について、先にご説明しました趣旨に沿って、お答えください。

概説／全体像

事業の所在地

事業の概要（例 新設・4車線・××kmの幹線道路，橋梁を2箇所含む）

この事業での舗装構造の概要

この事業で摩耗層に使用されるアスファルト混合物のおよその量（トン）

コメント

気候

気候環境であてはまるところにチェックをしてください。

湿潤／非凍結 ☐ 湿潤／凍結 ☐

乾燥／非凍結 ☐ 乾燥／凍結 ☐

事業地域は凍結融解サイクルに属していますか？

はい ☐ いいえ ☐ 「はい」の場合，一冬に何回？

その事業で気象に関して特に配慮すべきこと，コメント

交通

その事業は重交通対応の設備となるでしょう。以下の項目に回答してください。

一日の平均交通量（ADT）（およそ）

ESALs（概算，1軸あたり80kN相当）

またはESALs（1軸あたり100kN相当を使っている場合）

大型トラックの割合（%）

交通に関して特に配慮すべきこと，コメント

設計基準

舗装を設計するときの手順について概要を教えてください。(例 AASHTO 他)

設計上、疲労ひび割れ（アスファルト層の下側における水平方向の引張ひずみ）を留意しての基準は何を使用していますか？

設計上、構造的変形（路床の最上部での垂直方向の圧縮ひずみ）に留意してはどんな基準を用いていますか？

設計上、弾性スティフネスあるいは弾性係数にどの値を使用しますか？

他にも設計基準があればお教えてください。

設計寿命： 年 ESALs（等価単軸荷重）

破損基準。舗装機能が消滅した時の条件や末期の状態を、以下の観点でお答えください。

国際ラフネス指数(IRI) または別のラフネス基準

わだち掘れ(mm)

疲労(%)

損傷（ひび割れ，熱分解など）

道路利用者のコストを考慮していますか？

はい ☐ いいえ ☐

コンクリートの摩耗層を選択肢として検討していますか？

はい ☐ いいえ ☐

コメント

3. 舗装コスト, 材料, 供用性の要件

あなたが選んだ事業の摩耗層に限定して, 下表の1列目にお答えください。時々使用する違うものや追加する摩耗層混合物があれば, 2列目と3列目にご記入ください。例えば, 第1列に一級の在来の混合物, 第2列に砕石マスチックまたは SUPERPAVE 混合物というように, お願いします。

選んだ混合物の代表的な価格	混合物のタイプまたは名称		
	1	2	3
1m ² 当りの初期建設コスト (US\$) *下の注1を参照ください。			
この事業での層の厚さ(mm)			
重要な情報			
アスファルトのおよその成分			
規定の締固め度			
粒度曲線 (混合物の質量%)			
砕石/砂/フィラー	/ /	/ /	/ /
骨材の最大粒径 (mm)			
規定の空隙率			
スティフネス(わかればレジリエントモデュラス)			
アスファルトのタイプ(浸透性または PG 等級)			
骨材についてのコメント			
使用したポリマー (使用の有無も)			
ポリマーの成分 (結合材があればその質量%)			
繊維の成分 (結合材があればその質量%)			
他の添加物 (ラテックス, ゴムなど具体的に)			
供用性の要件			
わだち掘れ抵抗性 (mm)			
平たん性 (仕様/規定/スペックがあればそれも)			
騒音 (スペックがあればそれも)			
すべり抵抗 (スペックがあればそれも)			

注1 — イニシャルコストはこの調査では重要な要素です。一貫性のため, イニシャルコストに含むのは, アスファルト合材中の材料・ミキシング・輸送・設置の経費だけです。要するに, その中に諸経費込みの建設業者の入札経費を含みますが, 設計費・当局の監督経費・その他事業に付随する経費は含みません。また摩耗層にかかる分のみで下層の構造層の分は含みません。1m²あたりの経費を US ドル換算でお教えてください。

コメント _____

4. 推定補修対策

上の表に記載された摩耗層それぞれについて、推定される工法，時期，およその経費について教えてください。下の表にご記入ください。

合材のタイプ・名称・No.	推定補修工法					注 釈
	推定補修工法	およその時期 (建設後の年数)	供用性の指標 介入の基準 (閾値)		経費 (US\$/車線 km)	作業区域と 期間 (日数/km/車線)
	コード (下表ご参照ください)		コード	数値		
1.						
2.						
3.						
記入例： “在来合材 No 1”	CS	3, 6, 12 年目	suc + stc	≥ 5%	4,000	2
	PA	8	stc	All	10,000	2
	SS	10	ra	10%(of area)	15,000	1.5
	MR	15	ru	≥ 15 mm	28,000	1

推定補修工法	コード
クラックシーリング	CS
パッチング	PA
フォグシーリング	FS
再生	R
スラリーシール	SS
表層チップシールか粗粒のシール Surface chip or graded seal	SDI
薄層オーバーレイ	OV
オーバーレイまたは切削後打換え (供用 寿命時)	MR

供用性の指標	コード
わだち掘れ	ru
すべり摩擦係数	sk
構造的適性 (たわみ)	st
表層のひび割れ	suc
構造的なひび割れ	stc
ラベリング	ra
平たん性(IRI)	lp

付録B ホールライフコストサイクルモデルの検討

Whole Life Cost Cycle Models Considered

モデルの評価

ここに挙げるモデルがすべて適用可能なわけではありません。舗装のホールライフコストのモデルの調査を推進するのに必要でない部分も含まれています。以下のモデルは簡単に入手できたもので、興味に応じて参考情報を用意しました。

HDM-4

HDM-4 は道路の投資対象の調査のためのハイウェイ開発・管理システムです。世界銀行が出資し、PIARC（常設国際道路会議協会）が管理運営および開発事業の調整を行っています。初期の HDM モデルは開発途上国に向けた特別の展開をしていましたが、最近のバージョンでは対象を広げ、世界中の道路当局、設計者、創設者の幅広いニーズを満たしています。以前の適用範囲は熱帯気候のみでしたが、現在は氷結する気候にまで拡張されました。最近では 100 近い国で登録されています。

FHWA—Concrete — PaveSpec3.0

このモデルでは、コンクリート舗装のみを対象として、性能関連仕様を開発するために設計されたソフトウェアの一部として、ホールライフコストの検討ができます。モデルでは、各種仕様のホールライフコストの比較を行うために、異なった維持管理制度の設定が可能です。普通のジョイントがあるコンクリート舗装のみの検討用ですが、利用者コスト（移動にかかる時間、車両運転コスト、事故費用や不快コストなど）も考慮可能で、一定のパーセントに設定できます。将来の費用計算結果を他の結果から分離するのは、難しく思われますし、直接評価を比較するのも難しく思われます。単位はすべて、US\$, inch, feet, mile で表されます。

FHWA —HMA Spec (Flex version of Pave Spec 3)

上記のモデルのたわみ性舗装用バージョンを開発中でしたが、この報告書の作成には間に合いませんでした。

FHWA —LCCA ソフトウェア

エクセルのスプレッドシートにもとづいたこのソフトでは、各方法の費用の差を分析できます。FHWA で最高の結果が得られた、LCCA（ライフサイクルコスト分析）方法にもとづいています。施工中の舗装構造の施工および整備に関する、当局の費用および利用者コストのライフサイクルコストを計算します。ユーザーがおのこの施工費用や整備費用を入力する必要があり、利用者コストの計算は行いません。

舗装の確定的モデルおよび確率的モデルの作成を行い、結果は表や図で出力されます。確率的モデルでは、確率的分布、積算密度関数など、多種の出力がなされます。利用者コストを計算する方法では、一時間ごとの交通需要と道路容量を比較し、交通状況結果の検討を行います。最長 40 年までの分析が可能です。

利用者コストは、アメリカでの経験にもとづいて、標準的な FHWA 方法で計算されます。ユーザー自身が自ら利用者コストを入力しない限り一定です。このソフトはエクセル 2000 が必要で、古いバージョンでは動きません。単位はすべて、US\$, mile, feet, mph (mile per hour) です。すべてのバックグラウンドデータがメートル単位ならば、これら単位を使用する理由は何もありませんが、画面に出てくる単位はアメリカの単位です。別の単位も反映できるようにも変更することができるということがわかっています。ユーザーが維持管理方法、費用、時間などを入力するため、アスファルト、コンクリート舗装いずれも分析できます。

Pav-Eco

ヨーロッパ委員会の第 4 次フレームワークプロジェクトで、舗装のライフサイクルコスト評価の検討、および道路インフラ維持の道路網への新しい接合に対する影響の検討を行いました。特定のモデルは作成されませんでした。普遍的な指針および異なった整備戦略のライフサイクルコストを比較するための枠組みが作られました。このプロジェクトにおける経験と設立されたフレームワークによって、新しいヨーロッパコストモデルの開発作業が始まっています。当報告書作成には間に合いませんでした。

ケベック-TRDI

ケベック州では、TRDI (Texas Research and Development Inc) が開発したホールライフコストモデルを舗装管理システムの一部に使用しています。このソフトは、アメリカでも使っている州があり、ユーザーが自ら処理コストの入力を行い、作業コスト以外のコスト（遅延や利用者コスト）も分析に含まれていますが、アメリカの経験にもとづいて定まった値になっています。このソフトは市販されていて、サポートもよく、ユーザーに優しく使いやすくと報告されています。確定的モデルおよび確率的モデルが使えます。

コロラド

コロラド・アスファルト協会によって開発されたモデル。ユーザーは、維持管理コストを入力し、ユーザー自身が入力したものを含めて、各種維持管理方法から選択できます。利用者コストの分析はできず、交通情報を入力する画面也没有ありません。

アメリカ合衆国アスファルト舗装同盟LCCA ソフトウェア

United States Asphalt Pavement Alliance LCCA Software

このソフトでは、上記の FHWA ソフトと同様のデータの入力が必要です。確定的モデルおよび確率的モデル両方の分析ができますが、FHWA に比べて図の出力は減ります。利用者コストの計算も含まれ、FHWA の原理にもとづいて変更可能ですが、経験が必要です。単位はすべてアメリカの単位で、入力単位がメートル法ならば、出力単位もメートル単位であるべきですが、変更できないように思われます。維持管理方法、コストおよび時間のデータはユーザーが入力するため、アスファルト舗装およびコンクリート舗装いずれも分析でき、時間関係コストを制限するオプションがあるので、コンクリート舗装のためと思われれます。

イギリスのSAS モデル

エクセルのスプレッドシートにもとづいたモデルで、異なる維持管理方法の比較ができます。イギリスのバージョンを改良し、国際利用にふさわしいモデルにアレンジできます。利用者コストの計算、残額の計算や、幹線道路の各車線に異なった処理を施した場合の計算が可能です。その場所のバックグラウンドデータすべての入力ができ、典型的な値として、イギリスでのデータが提供されています。モデルでは、ユーザーが、適切な維持管理の概要、関連費用、工事の速度を入力する必要があり、他の国での適用も可能で、コンクリート舗装とアスファルト舗装のいずれにも使えます。

付録C HDM-4 モデルの適用

HDM-4 のバージョン 1.3 を使って、長寿命摩耗層舗装の経済的利用可能性の推測を行いました。経済分析は、ライフサイクル分析の概念にもとづいて行われ、必要な評価としてプロジェクト分析が選択されました。分析では、主に以下の点を考慮しました。

- ◎ 舗装の性能
- ◎ ライフサイクルにおける劣化予想
- ◎ 維持管理の効果と費用
- ◎ 道路利用者のコストと利益、全輸送コスト
- ◎ 特定維持管理・整備方法の経済指標

この報告書では、「区間」分析モードを特定し、例えば伝統的な摩耗層と革新的の長寿命摩耗層舗装など、2つの異なった工事方法の経済性の比較を行いました。

工事分析は以下の方法・順序で行いました。

- ◎ 工事の説明
 1. 分析する道路の区間：舗装強度の特徴を、各層の厚み、強度係数、路床の CBR から計算した修正構造指数 SNP によって表す。
 2. 車両種を用いた、分析する区間の車両編成
 3. 各年の平均日交通量 (AADT)、交通量編成、各車両種ごとの推測交通量変化：車両種として 6 種類、乗用車、商用車、バス、中型トラック、大型トラック、トレーラーが選択された。
 4. 分析する方法、つまり分析区間の工事に使う方法の特定。
- ◎ 割引率、開始年、分析期間の長さの特定
- ◎ 要求する効果の選択
- ◎ AADT、交通量の増加率、割引率など入力パラメータを変えて、感度分析を行う。使用したパラメータの数値は、PASI モデル分析と同じもの。各方法を用いたときの維持管理工事の間隔は、各交通量クラス (AADT、交通量増加) ごとに求めた。

性能モデルに関する入力データが足りなかったため、一般的な HDM-4 プロジェクト分析方法に若干修正を加えました。一般的なキャリブレーション・ファクター (係数) を用いて、性能モデルの作成を行い、分析する道路区間の気候および環境条件を反映する疲労モデルを作成しました。道路区間に適用可能な工事方法を数種類分析し、各区間で最も費用効率のよい方法を決定しました。

分析では、アンケートの回答からの情報にもとづいた、一道路区間の特徴が含まれています。分析は、2つの方法を用いて行われ、アンケートの回答および合意標準シナリオから得られた、一定の時間間隔、特定の交通量クラスの特定維持管理対策に対して行われました。

選択した性能または疲労状態，対策方法の種類およびもたらされる舗装への効果の介入レベル（限界値）によって，2つの方法のいずれにおいても舗装性能が決まります。キャリブレーション・ファクターは入手できませんでしたが，性能に関する合意情報によって試行錯誤し，最も感度の高いキャリブレーション・ファクターとして初期値1から始まる性能曲線を推測することができました。得られた性能曲線は，各方法の特定の限界値および整備間隔を反映するものでした。平均粗さ（各区間の IRI m/km）を使って，性能シミュレーションの次の段階が適当であるかを確認しました。

一般的に，各道路区間に対して1セットのキャリブレーション・ファクターを定義します。革新的摩耗層による貢献度のシミュレーションを行うために，分析サイクルの最初の年度に見かけ整備工事（ほぼ1の単位費用）を，維持管理工事の一環に含めました。これによって，最初の方法とは異なったキャリブレーション・ファクターのセットを適用することが可能となりました。

4.3 節で述べたように，HDM-4 によって得られた数値からは，表層の種類による VOC の差があまり大きくなく，明らかな傾向は示されませんでした。HDM-4 のモデルによって，分析に使える車両運転費用のデータが得られることを期待していましたが，表 4.4 に示すように，差は小さく，比較分析の結果に影響を与えるものではありませんでした。

初期のモデルの変形には，東ヨーロッパで一般的な条件を使いました。4.10 節で説明したように，大きな IRI 値を使うこの変形モデルでは，予想通り，道路状態が劣化するにつれ，車両運転費用が大きく変わることが示されました。

付録D PASIモデル 入力データと結果

入力データ

PASI モデルを用いた分析に使った仮定

基準年	2003	
評価期間	45 年	
スキーム延長	4km	
交通止め延長	5km	
交通量増加率	1%（表 4.6 の結果をのぞく）	
効果	伝統的舗装 30mm：	600 m ² /hr
	伝統的舗装 100mm：	450 m ² /hr
	革新的舗装	600 m ² /hr
	リテクスチャ	1200 m ² /hr
作業方法	すべての整備工事について夜間工事（表 4.5 の結果を除く）	
費用および効果は作業時間（夜間・昼間）によって影響されないものとする。		

工事中の交通規制は、交通量のレベルに応じて、2 つのうちいずれかを用いることとしました。いずれの交通規制でも、1 車線あるいは 2 車線をセンターラインを越えた、通常逆向きの車線として使われる車線に移し、対向車線とは分離した車線としました。40,000 から 60,000 AADT の交通量レベルでは、工事中、各方向 2 車線ずつとしました。さらに多い交通量では (80,000~100,000 AADT), 2 車線と; 使用している対向車線を 3 車線としました。

NPVの差および費用削減率

革新的舗装＝伝統的舗装の3倍の費用

寿命30年

交通量	40,000					60,000					80,000					100,000				
	5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%
重車両																				
割引率3%																				
伝統的	2362.83	2364.44	2366.08	2367.68	2516.55	2673.68	2833.39	2993.09	4442.12	4839.67	5237.21	5634.79	6846.87	7620.70	8394.52	9168.35				
革新的	2503.49	2504.90	2506.34	2507.77	2587.11	2668.07	2750.90	2833.73	3564.71	3758.78	3952.84	4146.92	4807.36	5205.54	5603.84	6001.93				
差	-140.66	-140.46	-140.26	-140.09	-70.56	-5.61	82.49	159.36	877.41	1080.89	1284.37	1487.87	2039.51	2415.16	2790.69	3186.42				
%	-5.95	-5.94	-5.93	-5.92	-2.80	0.21	2.91	5.32	19.75	22.33	24.52	26.41	29.79	31.69	33.24	34.54				
割引率6%																				
伝統的	1581.32	1582.03	1582.74	1583.46	1654.94	1714.38	1774.62	1834.87	2648.25	2853.50	3058.75	3264.01	4015.35	4439.49	4863.66	5287.82				
革新的	2007.60	2008.10	2008.60	2009.10	2048.84	2077.21	2106.09	2134.95	2550.55	2653.31	2756.05	2858.80	3306.83	3541.03	3775.21	4009.41				
差	-426.28	-426.07	-425.86	-425.64	-393.90	-362.83	-331.47	-300.08	97.70	200.19	302.70	405.21	708.52	898.46	1088.45	1278.41				
%	-26.96	-26.93	-26.91	-26.88	-23.80	-21.16	-18.68	-16.35	-3.69	-7.02	-9.90	-12.41	-17.56	-20.24	-22.38	-24.18				
割引率8%																				
伝統的	1293.49	1293.92	1294.37	1294.81	1344.55	1377.65	1411.17	1444.65	2032.62	2175.74	2318.87	2462.00	3058.19	3370.39	3682.58	3994.78				
革新的	1843.59	1843.85	1844.11	1844.37	1873.94	1889.05	1904.41	1919.74	2217.20	2290.72	2365.25	2437.77	2815.73	2997.81	3179.91	3361.99				
差	-550.10	-549.93	-549.74	-549.56	-529.39	-511.40	-493.24	-475.09	-184.58	-114.98	-46.38	-24.23	-242.46	-372.58	-502.67	-632.79				
%	-42.53	-42.50	-42.47	-42.44	-39.37	-37.12	-34.95	-32.89	-9.08	-5.28	-2.00	-0.98	-7.93	-11.05	-13.65	-15.84				
割引率10%																				
伝統的	1104.99	1105.28	1105.57	1105.85	1143.88	1163.42	1183.13	1202.84	1645.06	1750.88	1856.70	1962.53	2461.82	2706.99	2952.16	3197.35				
革新的	1745.62	1745.77	1745.92	1746.06	1770.53	1779.12	1787.81	1796.51	2017.11	2073.39	2129.68	2185.98	2521.33	2672.77	2824.21	2975.64				
差	-640.63	-640.49	-640.35	-640.21	-626.65	-615.70	-604.68	-593.67	-372.05	-322.51	-272.98	-223.45	-59.51	-34.22	-127.95	-221.71				
%	-57.98	-57.95	-57.92	-57.89	-54.78	-52.92	-51.11	-49.36	-22.62	-18.42	-14.70	-11.39	-4.22	-1.26	-4.33	-6.93				

寿命40年

交通量	40,000					60,000					80,000					100,000				
	5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%
重車両																				
割引率3%																				
伝統的	2362.83	2364.10	2366.10	2367.70	2516.55	2673.70	2833.40	2993.09	4442.12	4839.67	5237.21	5634.79	6846.87	7620.70	8394.50	9168.35				
革新的	1931.06	1931.70	1932.40	1933.04	2019.56	2109.60	2201.50	2293.30	2859.86	3027.76	3195.69	3363.62	3945.54	4306.20	4666.86	5027.53				
差	431.77	432.40	433.70	434.66	496.99	564.10	631.90	699.79	1582.26	1811.91	2041.52	2271.17	2901.33	3314.50	3727.64	4140.82				
%	18.27	18.29	18.33	18.36	19.75	21.10	22.30	23.38	35.62	37.44	38.98	40.31	42.37	43.49	44.41	45.15				
割引率6%																				
伝統的	1581.32	1583.03	1584.74	1586.46	1654.94	1714.40	1774.60	1834.87	2648.25	2853.50	3058.75	3264.01	4015.35	4439.50	4863.70	5287.82				
革新的	1744.55	1744.80	1745.04	1745.29	1786.24	1816.70	1847.90	1879.01	2153.15	2234.89	2316.61	2398.34	2781.01	2979.30	3177.60	3375.95				
差	-163.23	-161.77	-162.30	-161.83	-131.30	-102.30	-73.30	-44.14	495.10	618.61	742.14	865.67	1234.34	1460.20	1686.10	1911.87				
%	-10.32	-10.22	-10.25	-10.22	-7.93	-5.97	-4.13	-2.41	18.70	21.68	24.26	26.52	30.74	32.89	34.67	36.16				
割引率8%																				
伝統的	1293.49	1293.92	1294.37	1294.81	1344.55	1377.65	1411.20	1444.65	2032.62	2175.74	2318.87	2462.00	3058.19	3370.40	3682.60	3994.78				
革新的	1678.25	1678.38	1678.51	1678.64	1708.02	1723.60	1738.40	1755.27	1936.49	1993.53	2050.58	2107.64	2432.14	2584.60	2737.00	2889.40				
差	-384.76	-384.46	-384.14	-383.83	-363.47	-346.00	-327.20	-310.62	96.13	182.21	268.29	354.36	626.05	765.80	905.60	1053.38				
%	-29.75	-29.71	-29.68	-29.64	-27.03	-25.12	-23.19	-21.50	4.73	8.37	11.57	14.39	20.47	23.31	25.68	27.67				
割引率10%																				
伝統的	1104.99	1105.28	1105.57	1105.85	1143.88	1163.40	1183.10	1202.84	1645.06	1750.88	1856.70	1962.53	2461.82	2707.00	2952.20	3197.35				
革新的	1637.75	1637.82	1637.89	1637.97	1661.69	1670.00	1678.50	1687.02	1813.22	1856.83	1900.43	1944.04	2236.27	2364.00	2491.70	2619.35				
差	-532.76	-532.54	-532.32	-532.12	-517.81	-506.60	-495.40	-484.18	-168.16	-105.95	-43.73	-18.49	-225.55	-343.00	-450.50	-578.00				
%	-48.21	-48.18	-48.15	-48.12	-45.27	-43.54	-41.87	-40.25	-10.22	-6.05	-2.36	-0.94	-9.16	-12.67	-15.60	-18.08				

NPVの差および費用削減率

革新的舗装＝伝統的舗装の5倍の費用

寿命30年

交通量		40,000					60,000					80,000					100,000				
		5%	10%	15%	20%		5%	10%	15%	20%		5%	10%	15%	20%		5%	10%	15%	20%	
重車両																					
割引率3%	伝統的	2362.83	2364.44	2366.08	2367.68		2516.55	2673.70	2833.39	2993.09		4442.12	4839.67	5237.21	5634.79		6946.87	7620.70	8394.52	9168.35	
	革新的	3860.36	3861.77	3863.21	3864.64		3943.98	4024.94	4107.77	4190.60		4921.58	5115.65	5309.71	5503.79		6164.23	6562.41	6960.61	7358.80	
	差	-1497.53	-1497.33	-1497.13	-1496.96		-1427.43	-1351.24	-1274.38	-1197.51		-479.46	-275.98	-210.00	-131.00		-682.64	-1058.29	-1433.91	-1809.55	
	%	-63.38	-63.33	-63.27	-63.22		-56.72	-50.54	-44.98	-40.01		-10.79	-5.70	-1.38	-2.32		-9.97	-13.89	-17.08	-19.74	
割引率6%	伝統的	1581.32	1582.03	1582.74	1583.46		1654.94	1714.38	1774.62	1834.87		2648.25	2853.50	3058.75	3264.01		4015.35	4439.49	4863.66	5287.82	
	革新的	3135.87	3136.37	3136.87	3137.37		3177.11	3205.48	3234.36	3263.77		3678.82	3781.58	3884.32	3987.07		4435.10	4669.30	4903.48	5137.68	
	差	-1554.55	-1554.34	-1554.13	-1553.91		-1522.17	-1491.10	-1459.74	-1428.90		-1030.57	-928.08	-825.57	-723.06		-419.75	-229.81	-39.82	150.14	
	%	-98.31	-98.25	-98.19	-98.13		-91.98	-86.98	-82.26	-77.87		-38.92	-32.62	-26.99	-22.15		-10.45	-5.18	-0.82	2.84	
割引率8%	伝統的	1293.49	1293.92	1294.37	1294.81		1344.55	1377.65	1411.17	1444.65		2032.62	2175.74	2318.87	2462.00		3058.19	3370.39	3682.58	3994.78	
	革新的	2900.04	2900.30	2900.56	2900.82		2930.39	2945.50	2960.66	2987.19		3273.65	3347.17	3420.70	3494.22		3872.18	4054.26	4236.36	4418.44	
	差	-1606.55	-1606.38	-1606.19	-1606.01		-1585.84	-1567.85	-1549.69	-1531.54		-1241.03	-1171.43	-1101.83	-1032.22		-813.99	-683.87	-553.78	-423.66	
	%	-124.20	-124.15	-124.09	-124.03		-117.95	-113.81	-109.82	-106.01		-61.06	-53.84	-47.52	-41.93		-26.62	-20.29	-15.04	-10.61	
割引率10%	伝統的	1104.99	1105.28	1105.57	1105.85		1143.88	1163.42	1183.13	1202.84		1645.06	1750.88	1856.70	1962.53		2461.82	2706.99	2952.16	3197.35	
	革新的	2761.65	2761.80	2761.95	2762.09		2786.56	2795.52	2803.84	2812.54		3033.14	3069.42	3145.71	3202.01		3537.36	3688.80	3840.24	3991.67	
	差	-1656.66	-1656.52	-1656.38	-1656.24		-1642.68	-1631.73	-1620.71	-1609.70		-1388.08	-1338.54	-1289.01	-1239.48		-1075.54	-981.81	-888.08	-794.32	
	%	-149.93	-149.87	-149.82	-149.77		-143.61	-140.25	-136.98	-133.82		-84.38	-76.45	-69.42	-63.16		-43.69	-36.27	-30.08	-24.84	

寿命40年

交通量		40,000					60,000					80,000					100,000				
		5%	10%	15%	20%		5%	10%	15%	20%		5%	10%	15%	20%		5%	10%	15%	20%	
割引率3%	重車両																				
	伝統的	2362.83	2364.08	2366.08	2367.70		2516.55	2673.70	2833.40	2993.09		4442.12	4839.67	5237.21	5634.79		6846.87	7602.70	8394.50	9168.35	
	革新的	2964.26	2964.92	2965.58	2966.24		3052.76	3142.80	3234.70	3326.69		3893.06	4060.96	4238.89	4396.00		4978.74	5339.40	5700.10	6060.73	
	差	-601.43	-600.84	-599.50	-598.54		-536.21	-469.10	-401.30	-333.60		-549.06	-778.71	-1008.32	-1238.79		-1868.74	-2263.30	-2694.40	-3107.62	
割引率6%	差	-25.45	-25.42	-25.34	-25.28		-21.31	-17.54	-14.16	-11.15		-12.36	-16.09	-19.25	-21.98		-27.28	-29.77	-32.10	-33.90	
	伝統的	1581.32	1582.03	1582.74	1583.46		1654.94	1714.40	1744.60	1834.87		2648.25	2853.50	3058.75	3264.01		4015.35	4439.50	4863.70	5287.82	
	革新的	2737.82	2738.10	2738.34	2738.59		2779.54	2810.00	2841.20	2872.31		3146.45	3228.19	3309.91	3391.64		3774.31	3972.60	4170.90	4369.25	
	差	-1156.53	-1156.07	-1155.60	-1155.13		-1124.60	-1095.60	-1066.60	-1037.44		-498.20	-374.69	-251.16	-127.63		-241.04	-466.90	-692.80	-918.57	
割引率8%	差	-73.14	-73.08	-73.01	-72.95		-67.95	-63.91	-62.86	-56.54		-18.81	-13.13	-8.21	-3.91		6.00	10.52	14.24	17.37	
	伝統的	1293.49	1293.92	1294.37	1294.81		1344.55	1377.60	1411.20	1444.65		2032.62	2175.74	2318.87	2462.00		3059.19	3370.40	3682.60	3994.78	
	革新的	2657.10	2657.23	2657.36	2657.49		2686.87	2702.40	2718.30	2734.12		2915.34	2972.38	3029.43	3086.49		3410.99	3563.40	3715.80	3868.25	
	差	-1363.61	-1363.31	-1362.99	-1362.68		-1342.32	-1324.80	-1307.10	-1289.47		-882.72	-796.64	-710.56	-624.49		-352.80	-193.00	-33.20	126.53	
割引率10%	差	-105.42	-105.36	-105.30	-105.24		-99.83	-96.17	-92.62	-89.26		-43.43	-36.61	-30.64	-25.37		-11.54	-5.73	-0.90	3.17	
	伝統的	1104.99	1105.28	1105.57	1105.85		1143.88	1163.40	1183.10	1202.84		1645.06	1750.88	1856.70	1962.53		2461.82	2707.00	2952.20	3197.35	
	革新的	2608.40	2608.47	2608.54	2608.62		2632.34	2640.70	2649.50	2657.67		2783.87	2827.48	2871.08	2914.69		3206.92	3334.60	3462.30	3590.02	
	差	-1503.41	-1503.19	-1502.97	-1502.77		-1488.46	-1477.30	-1466.40	-1454.83		-1138.81	-1076.60	-1014.38	-952.16		-745.10	-627.60	-510.10	-392.67	
割引率10%	差	-136.06	-136.00	-135.95	-135.89		-130.12	-126.98	-123.95	-120.95		-69.23	-61.49	-54.63	-48.52		-30.27	-23.18	-17.28	-12.28	
	%																				

クラックシールオプションの結果

寿命40年の40,000と60,000 AADTのみ考慮

伝統的舗装（クラックシールを前提とした）

革新的舗装＝伝統的舗装の3倍の費用

寿命40年

交通量		40,000				60,000			
重車両		5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%
割引率3%	伝統的	1822.84	1826.60	1830.35	1834.12	1997.82	2183.42	2389.85	2596.30
	革新的	1931.06	1931.72	1932.38	1933.04	2019.56	2109.59	2201.55	2293.49
	差	-108.22	-105.12	-102.03	-98.92	-21.74	-73.89	-188.30	-302.81
	%	-5.9	-5.8	-5.6	-5.4	-1.1	-3.4	-7.9	-11.7
割引率6%	伝統的	1237.89	1239.25	1240.55	1241.89	1312.35	1374.81	1443.90	1512.99
	革新的	1744.55	1744.80	1745.04	1745.29	1786.24	1816.75	1847.88	1879.01
	差	-506.65	-505.55	-504.49	-503.40	-473.89	-441.94	-403.98	-366.02
	%	-40.9	-40.8	-40.7	-40.5	-36.1	-32.1	-28.0	-24.2
割引率8%	伝統的	1034.44	1035.18	1035.88	1036.60	1083.48	1115.89	1151.41	1186.95
	革新的	1678.25	1678.38	1678.51	1678.64	1708.02	1723.57	1739.42	1755.27
	差	-643.81	-643.20	-642.63	-642.04	-624.54	-607.68	-588.01	-568.32
	%	-62.2	-62.1	-62.0	-61.9	-57.6	-54.5	-51.1	-47.9
割引率10%	伝統的	906.65	907.07	907.48	907.90	942.98	960.90	980.32	999.78
	革新的	1637.75	1637.82	1637.89	1637.97	1661.69	1670.04	1678.53	1687.02
	差	-731.10	-730.75	-730.41	-730.07	-718.71	-709.14	-698.21	-687.24
	%	-80.6	-80.6	-80.5	-80.4	-76.2	-73.8	-71.2	-68.7

用語集

舗装構造層 *Pavement Structural Layers*

舗装は、路床地盤または岩盤の上に建設された材料の層の組み合わせで、車両を走らせるための構造設備を提供するためのもの。代表的な構造層は摩耗層、表層、上層路盤層および下層路盤層からなる。

摩耗層 *Wearing Course*

摩耗層は、舗装構造の最上層で、車両が走るための表面を提供するもの。わだち掘れ、風化、温度差によるひび割れ、摩耗に耐えるように設計される。摩耗層は、定期的な維持や打ち換えが必要で、下層の構造層は、維持管理の必要が少ないかまったくない長寿命舗装層または永久舗装層と考えられている。

革新的摩耗層 *Advanced Wearing Course*

革新的摩耗層は高度技術材料からなり、耐久性の実質的向上および 30 年以上など期待寿命の実質的延長が可能となる性能を有しているもの。

路盤 *Base (Course)*

路盤は、特定の選別された材料による設計厚さを持った層で、表層材料のすぐ下に、路床地盤あるいは下層路盤材料の上に敷設され、構造性能の強化、荷重の分散、排水、凍結の最大限防止のために施工されるもの。

碎石路盤 (CBC) *Crushed Base Course*

砕いた粒状骨材を材料として敷設された路盤

下層路盤 (SB) *Subbase*

舗装構造内の締め固められた粒状材料の層で、路床地盤の上に敷設され、その上に上層路盤材料が載せられるもの。

路床 (SG) *Subgrade*

粒状下層路盤、路盤、または他の舗装構成層の建設前の道路内の土、基盤。路床は道路建設現場内の材料や埋め戻し材料からなる。

粒状碎石等価値 (CGE) *Crushed Granular Equivalency*

舗装構造の各構成層の貢献度を等価の粒状路盤の厚さで、適切に表現する方法として使われる構造設計用語。CGE は構造等価で、アスファルトの厚さの 2 倍にその下の粒状層全体の厚さを加えたものと同じである。

アスファルト *Bitumen*

アスファルト・セメント。こげ茶から黒色のセメント状の材料で、主要な材料は、自然界から生じ、石油精製の残渣として得られるアスファルトであり、アスファルト混合物のバインダーとして用いられる。

骨材 *Aggregate*

硬く、不活性な鉱物材料で、砂利、砂、碎石、リサイクル材料からなる。

国際ラフネス指数（IRI） *International Roughness Index*

世界銀行の技術報告 No.46 「Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements」に定義されているように、舗装表面の縦断面における舗装の滑らかさの測定値として定義される。

混合物の種類

加熱アスファルト混合物（HMA） *Hot Mix Asphalt*

アスファルト設備内で加熱した状態で骨材とアスファルトバインダーを混合した、品質管理された混合物。舗装機械を用いて道路に敷かれ、優れた舗装性能を保証するために転圧される。加熱アスファルト混合物には、SMA、SUPERPAVE、開粒度摩擦路混合物 OGFC が含まれる。

密粒度摩擦路用混合物（DFC） *Dense Friction Course*

よく利用され、粒度のそろった骨材（混合物全体にわたって粒の大きさがそろった骨材）、砂、およびフィラーを用い、密度の高い、浸透性のない混合物および骨材構造が得られるような、高品質の混合物。

ストーンマトリックスアスファルト／ストーンマスチックアスファルト（SMA）

高品質材料からなるわだち掘れ抵抗性に優れた加熱アスファルト混合物。骨材は方形で硬く、すり減り抵抗性の高い碎石という特徴を有する。混合物はギャップ粒度で、粗骨材、フィラーおよびファイバーなどの添加物が含まれる。ポリマー改質アスファルトまたは比較的硬い非改質のアスファルトを用いて、マトリックスが作られる。この高品質の混合物は、トラックの交通量の多い都市部で非常に効果的である。骨材の骨組みと骨材同士の噛み合わせによって主要な荷重支持性能を得ている。ファイバー、フィラー、ポリマー改質アスファルトまたは比較的硬い非改質のアスファルトからなるマスチックによって混合物の強度が増す。多くの国の道路当局で、この混合物の使用実績があり、ヨーロッパの OECD 加盟国では広く使われている。

SUPERPAVE

SUPERPAVE は、高いわだち掘れ抵抗性を有する混合物で、SMA 同様、骨材によって荷重を支えるため、骨材の含有量が多い。ただし、特徴として、骨材の粒径がより連続的であり、ファイバーは含まれていない。アメリカの SHRP プログラムによって開発された、高品質の加熱混合物「Superior Performing Pavement (SUPERPAVE)」は、品質計画・品質特定した骨材と特定のアスファルト選択方

法、高品質で厳密な混合物設計方法、標準化した手順および設備を用いた、わだち掘れ抵抗性と耐久力のある混合物からなる。

開粒度摩擦路混合物（OGFC） *Open Graded Friction Course*

非常に多孔質のアスファルト混合物で、すべての OECD 国で広く使われ、その利用は特にヨーロッパ諸国で顕著である。ギャップ粒度の高品質混合物で、高空隙により透水性が高く、摩擦性能を維持したまま、騒音、水のはね上げを低減するのに使われる。高度に加工された骨材を用い、アスファルト量および施工条件に十分留意する必要がある。

その他の種類の混合物 *Other additional mix types*

OECD 国から報告されたその他の混合物としては、各国で長期にわたって盛んに用いられた標準混合がある。これらの混合物は、各国の道路当局から「Dense Graded Mix」「Dense Graded Friction Course」「Class 1」「Coarse」「Medium or Fine Mix」と呼ばれている、これらの混合物の種類は、単に加熱アスファルト混合物（HMA）と呼ばれている。各国の道路当局から長年にわたって、耐久力のある種類の混合物として考えられ、ストレートな標準バインダー（改質していないもの）および良好な粒度の骨材からなるという特徴を有する。

維持管理、修繕、舗装寿命の終わり *Maintenance and Rehabilitation and End of Pavement Life*

維持管理 *Maintenance*

維持管理活動は、舗装の構造耐力を増やす必要がなく、滑らかさ、傷み、すべり防止、および外観に関して、表層を本来の状態に回復する手段を指す。定期的な維持管理の処理としては、クラックシール、ポットホール修理、パッチング、はく離修理、スラブ修理、クラックおよびジョイントのシール、フォグシール、排水工事などがある。大きな維持管理工事としては、深いパッチング、チップシール、スラリーシール、マイクロサーフェッシングなどがある。維持管理の処理によって舗装の寿命が数年延長でき、通常 2 年から 5 年だが、約 12 年までの延長も可能である。舗装の摩耗層に関しては、維持管理によって摩耗層の寿命の終わりにはならない。

修繕 *Rehabilitation*

修繕活動は、舗装の寿命を更新、延長するために要求される維持管理技術で、舗装の荒れ、構造本来の状態の損失、あるいは表面の痛みが激しく、舗装の供用性が損なわれる、利用者費用が増加する、あるいは安全性が疑われる場合に用いられる。修繕は、既存の舗装を強化するのにも用いられる。修繕は、舗装の状態がひどく、維持管理手法では費用的にも効果的に舗装を満足な状態に保てないときに必要である。一般的に修繕は、維持管理よりも高価である。修繕後の道路の状態は、道路が最初に建設されたときの状態に戻るとされている。修繕方法としては、オーバーレイ、打換え、現場加熱リサイクル、現場常温リサイクル、再施工、全層打換えなどがある。摩耗層に関しては、修繕によって舗装の寿命が終わり、修繕後には摩耗層の新しい寿命が始まる。

寿命の終わり *End of Life*

摩耗層に関しては、舗装寿命の終わりは、最上層の舗装が修繕、再敷設、撤去、粉碎敷設された時である。

設計寿命 *Design Life*

設計寿命とは、設計の目的に用いられる舗装構造の寿命である。設計寿命には、下層路盤、上層路盤、表層を含む道路構造全体が考慮される。

期待寿命 *Expected Life*

期待寿命とは、表層を修繕するまでの年数である。期待寿命は経験データや、当局の経験にもとづいて決められている。

長寿命舗装 *Long-Life Pavement*

長寿命舗装は、長期にわたり、構造性能および強度を維持する構造を持つ舗装である。荷重抵抗性および耐久性は、層全体によるものである。理論的には、アスファルト舗装の場合には、下層のアスファルト層が疲労抵抗性を与え、中間層がわだち掘れ抵抗性を与え、上層が耐久性の高い摩耗層をつくる。摩耗層は、すべり抵抗性、耐久性、騒音に関する要求性能を備えている。アスファルト層の厚さを増すことによって、わだち掘れや疲労ひび割れが起きないように舗装の設計が可能で、定期的な維持管理や摩耗層を再舗設することで長寿命舗装が可能となる。