

アスファルト

第50巻 第222号 平成19年10月発行

222

特集・舗装の補修

特集にあたって	中村 俊行	1
直轄国道の舗装における「予防的修繕」工法の導入について	久保 和幸	2
東京都における「舗装補修の現状と課題」	吉澤 一之	7
三重県における舗装補修に関する取組について	中平 弘	13
静岡市土木構造物健全化計画（舗装編）について	望月 満・山形 麻弓	18
NEXCOにおける舗装補修の現状と課題	川村 和将・神谷 恵三	25
首都高速道路における舗装補修の現況と課題	半野 久光・大久保高秀	31
空港における舗装補修の現状と課題	八谷 好高	39
補修に関する主な試験法	稲垣 竜興・光谷 修平・新田 弘之	45
補修工事の環境対策	光谷 修平・橋本 修治	49

<アスファルト舗装技術研究グループ・第54回報告>

改質アスファルトに対応するためのSUPERPAVE®規格の改定	佐々木 徹	54
市岡 孝夫・井 真宏・伊藤 大輔 岩岡 宏美・鎌田 義秋・高馬 克治 鈴木 徹・東本 崇・焼山 明生		55
<統計資料>石油アスファルト需給統計資料		76

ASPHALT

有限責任中間法人 日本アスファルト協会
THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION

第86回 アスファルトゼミナール開催のご案内

有限責任中間法人 日本アスファルト協会

拝啓 時下ますますご清栄の段、お慶び申し上げます。

当協会主催の「アスファルトゼミナール」を下記要領にて開催致します。

皆様、お誘い合わせの上ご参加くださいます様お願い申し上げます。

敬 具

記

1. 主 催 有限責任中間法人 日本アスファルト協会
2. 協 賛 社団法人 日本アスファルト乳剤協会、日本改質アスファルト協会
3. 後 援 国土交通省、社団法人 日本道路建設業協会、社団法人 日本アスファルト合材協会
4. 開催月日 平成20年2月14日(木)～2月15日(金)
5. 開催場所 パシフィコ横浜
〒220-0012 神奈川県横浜市西区みなとみらい1-1-1 ☎045-221-2155
6. 内 容 裏面「プログラム」をご覧ください。
7. 申込方法 平成20年2月1日までに、下記ホームページより、申し込みフォームを使用してお申し込み下さい。
http://www.askyo.jp/zemi_form.html
折返し(7日以内) E-mailにて参加受講券をお送りいたします。
8. 申込問合せ キュービシステム株式会社 アスゼミ担当 村井まで
☎03-5256-0051 E-mail: asphalt@qbs.co.jp
9. 内容問合せ コスモ石油販売株式会社コスモアスファルトカンパニー
企画部 保康一郎・今井 優喜まで ☎03-6710-1640(代)
10. 参加費 無料
11. 参加人数 350名(締切日以前でも定員になり次第締め切らせていただきます。)
12. その他 当日の参加受付はできませんので、必ず上記方法でお申し込み下さい。



開催日時

平成20年2月14日(木)～2月15日(金)

開催場所

パシフィコ横浜
〒220-0012
神奈川県横浜市西区みなとみらい1-1-1
☎045-221-2155

■会場案内図

- みなとみらい線 みなとみらい駅より徒歩3分
- JR線・市営地下鉄 桜木町駅より
徒歩12分、バスで7分、タクシーで5分
- 横浜駅より
タクシーで7分、シーバス(船)で10分

プログラム

ーアスファルト舗装の将来ー

第1日目 平成20年2月14日(木) 13:30~17:40

(敬略称)

1. 挨拶 13:30 ~ 13:35

有限責任中間法人日本アスファルト協会
ゼミナール委員長

薬師寺 想平

2. 挨拶 13:35 ~ 13:50

有限責任中間法人日本アスファルト協会
アスファルト舗装技術委員長

矢野 善章

3. アスファルトの需給と今後の動向 13:50 ~ 14:50

昭和シェル石油株式会社 技術商品部

野木 克義

(休憩 14:50 ~ 14:55)

4. アスファルト混合物の新たな配合設計 (スーパーペーブの現状) 14:55 ~ 16:15

長岡技術科学大学 准教授

高橋 修

(休憩 16:15 ~ 16:20)

5. 公共事業を取り巻く現状と課題 16:20 ~ 17:40

国土交通省 大臣官房技術調査課 建設技術調整官 笹森 秀樹

第2日目 平成20年2月15日(金) 9:30~12:40

6. 平成20年度道路予算 9:30 ~ 10:30

国土交通省 道路局 企画課 道路経済調査室長 縄田 正

(休憩 10:30 ~ 10:35)

7. アスファルト乳剤の今後の展望 10:35 ~ 11:35

社団法人日本アスファルト乳剤協会 技術委員 荒尾 慶文

(休憩 11:35 ~ 11:40)

8. ポリマー改質アスファルトの将来展望 11:40 ~ 12:40

日本改質アスファルト協会

深代 勝弘

(※講師は都合で変更になる場合があります)

特集にあたって

中村 俊行

道路交通情報通信システムセンター 常務理事

舗装は道路等の表面に位置しており、交通荷重に直接さらされて大きな応力やひずみが生じること、日照や降雨の影響を受けて材料の劣化が促進されことなどにより、破損が生じやすい構造物であるといえる。いったん破損が生じると、ひびわれから舗装体内に水が浸入し路盤・路床を弱体化したり、わだちにあわせて車両が走行するようになってわだち掘れが促進される等、急速に破損が拡大するという特性がある。このため、舗装の供用後に長期にわたって良好な路面性状を保っていくためには、日常的に路面性状を把握しておくとともに、適切な時期に適切な補修を行うことが必要となる。

舗装の補修に対する社会的要請としては、財政状況の厳しい中での「効率的な舗装ストックの管理」、沿道や交通への影響を少なくする「路上工事の縮減」、環境への影響を軽減する「環境負荷の少ない工事の施工」等が考えられる。

「効率的な舗装ストックの管理」を行うためには、舗装をどの水準で管理するのか（管理目標）を道路の性格・地域条件等を踏まえて各道路管理者が検討し、決めていくことが前提となる。この管理目標に基づいて舗装の状況を的確に把握し、以降の供用性の推移を予測するとともに、どのタイミングでどのような管理行為を実施するのかを判断する。今後は、舗装の管理目標がどのようなサービスの提供に相当するのか、さらにはコストとの関係を利用者に説明し、合意を得ていくことが必要となるであろう。

さらに「効率的な舗装ストックの管理」のためには、適切な維持修繕工法の選定が重要である。従来アスファルト舗装の修繕工法としては、切削オーバーレイ工法が一般的に採用されているが、ライフサイクルコストの考え方を踏まえた舗装マネジメントにより、適切な維持修繕工法を選定することが必要である。なお、この際には個々の区間での補修計画と合わせて、事務所単位、管理区間全体での舗装の戦略的なストックマネジメントの検討が併せて行われるべきである。

「路上工事の縮減」に寄与する舗装補修技術について

では、長寿命化舗装、工期短縮工法、予防的維持工法等が考えられる。長寿命化舗装は、従来の舗装よりも設計期間を長期で取ることで、補修の頻度や内容を軽減することを目的とした舗装であり、コンポジット舗装が代表的な工法例である。工期短縮工法は、施工時間、養生時間を短縮することによって工期を短縮する技術であり、2層同時舗設工法、中温化技術、大粒径アスファルト混合物などが採用されている。予防的維持工法は、舗装路面の性能低下を遅延させることを目的として行う維持工法であり、マイクロサーフェシング、スラリーシール、チップシール工法などが行われている。

さらに「路上工事の縮減」については、上記の補修技術以外に、工事期間の短縮を目的とした道路管理者と工事実施者との契約による取り組みがあげられる。イギリス等で行われてきているレーンレンタルが有名で、工事期間短縮のインセンティブとして落札者決定と工期に対するボーナス、課金の考え方が一般的である。日本においても、総合評価落札方式が普及してきており、路上工事の期間短縮を技術提案とする入札方式が行われている。

「環境負荷低減」は補修のみでなく舗装全体に対する要請であるが、特に補修工事においては沿道、交通に与える影響が大きいため十分な対応が求められる。前述の長寿命化舗装は環境負荷の低減にも寄与する舗装である。また、沿道環境からは補修工事の低騒音化・低振動化や臭気の低減などを意図した工法や建設機械の採用などが益々重要になる。さらには、補修工事におけるリサイクルや廃棄物の減量化にも配慮する必要がある。

今回の特集では、主として各道路管理者の舗装補修への取り組みを予算、施工量、破損の内容、工法の決め方、舗装マネジメントおよび今後の課題等の面から取り上げたものである。今後さらに舗装工事における補修の比率が高まっていく中で、社会的要請に応える舗装の補修を行っていくための一助となることを祈念するものである。

直轄国道の舗装における「予防的修繕」工法の導入について

(An Introduction of Preventive Maintenance in National Highways)

久保和幸*

直轄国道の管理延長は約2万kmに及び、舗装の効率的な管理は重要なテーマとなっている。一方、最近の道路事業の予算は減少の一途をたどっており、舗装のみならず橋梁やトンネルといった道路構造物全体を如何に効率よく維持管理するかは、健全な道路ネットワークを確保するための喫緊の課題である。本報文では、直轄国道における舗装工事のコスト縮減の方策として導入された「予防的修繕」工法について、その概要ならびに課題を示す。

1. はじめに

道路構造物の老朽化等を背景として、道路構造物を良好な状態に維持していくために必要な維持・修繕・更新に関わる費用は、今後急速に増加していくことが予測されている。このため、道路構造物を効率的に管理していくことが社会的要請となっている。

国土交通省が直轄国道として管理している舗装道路は延長約2万kmに及び、舗装の効率的な管理は重要なテーマの一つである。

図-1に(株)日本アスファルト合材協会が調査した発注機関別のアスファルト合材出荷量の経年変化を示す。平成13年度の合材出荷量が全体で7,000万トン近くあったのに対し、平成17年度には約5,800万トンと、8割程度に低下していることが分かる。また、事業個所を国道に限定した場合、平成13年度の出荷量が900

万トン以上であるのに対し、平成17年度は600万トン程度となっており、その低減割合は2/3以下である。

舗装工事においては、「管理の時代」が叫ばれてから久しく、既に補修（維持修繕）費が新設費を上回っている。舗装（路面）の補修は大きくは路面の性能回復を目的とした維持と舗装の構造的強度を回復する修繕に分類され、直轄国道においても維持と修繕を組み合わせて実施されてきた。

国土交通省では平成18年度より、舗装のさらなる延命およびコスト縮減を図る観点から、切削オーバーレイなどの修繕工法を行う前に、従来の維持工法の施工精度を高め、「予防的修繕」工法として導入しており、以下にその概要について説明をする。

2. 予防的修繕とは

舗装の補修に用いる工法として、シーラ材注入等の舗装の構造的な強度の低下を遅延させる効果が期待されるものがあるが、一般的に維持に分類され、直轄国道の管理においても維持工事として実施されてきた。

これらの工法は、修繕のように舗装強度の復旧を図ることは出来ないが、修繕工法に比べ安価であるとともに、定量的な効果の検証は行われていないものの舗装寿命に対する延命効果が期待できる。

このようなことから、直轄国道の舗装管理においては、従来「維持」として位置づけられていた舗装補修のうち、修繕候補区間（※）において切削オーバーレイ等の修繕工法に代わり、舗装のさらなる延命及び

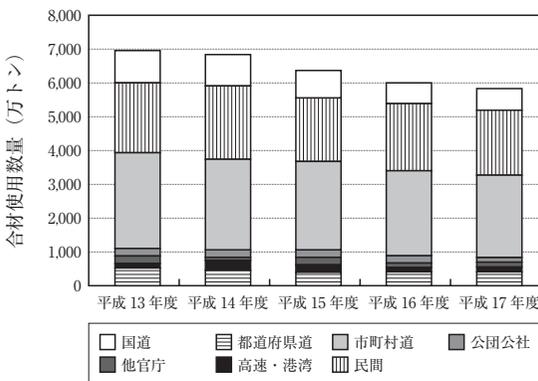


図-1 アスファルト合材の発注機関別出荷量

*くぼ かずゆき 独立行政法人土木研究所 道路技術研究グループ舗装チーム 首席研究員

舗装補修のコスト削減を図るために、シール注入工法、切削工法、局部打換え等を組み合わせて実施する補修を「予防的修繕」と定義し、アスファルト舗装の修繕候補区間のうち、「予防的修繕」を適用できる箇所にあつては、これを実施することとした。

ここで紹介する手引き（案）は、直轄国道における舗装管理の現場において、上記を実施するにあつての参考となるよう工法選定の目安、「予防的修繕」工法の要点等をまとめたものであり、今後、直轄国道の修繕候補区間における舗装の補修は、この方針に沿って試行的に実施していくこととした。

※修繕候補区間：わだち掘れ量もしくはひび割れ率がある一定レベルを超え、「予防的修繕」もしくは切削オーバーレイなどの修繕を実施すべきと判断される区間

3. 手引き（案）の概要

以下に、手引き案の概要を紹介する。

(1) 修繕候補区間の選定と工法選定の基本的な流れ

修繕候補区間の選定と工法選定の基本的な流れを図-2に示す。

図-2の各事項の考え方については、3.(2)以降に記述するが、これまで直轄国道の舗装の修繕をどのような判断で行うかについて、これまでは各道路を管理する国道事務所などの現場での個別の判断に委ねられていたが、図-2に示す流れにより初めて直轄国道において全国共通の修繕工事の考え方が示されたと言える。

実際にクラックシールが、後述するマニュアルで想定している3年以上の機能の持続性があるのかなど、検証すべき課題は多いが、従来、各地整が国土交通本省に対して実施する予算要求の基礎資料としての位置付けが主であった路面性状調査結果を、個別個所の実務に関連付けるなど、従来位置付けが曖昧であった調査から計画・施工までの流れを明らかにしたという点では、この予防的修繕の導入は画期的であると言える。

(2) 修繕候補区間の選定

修繕候補区間については、日常パトロール・路面性状調査等を踏まえ適切に設定（概ね100m以上）することとし、当面の目安は以下のとおりである。

1) 密粒度舗装の修繕候補区間選定の目安

ひび割れ率30%以上、もしくは、わだち掘れ量30mm以上の区間を選定する。

なお、上記により選定された区間と区間の間に挟

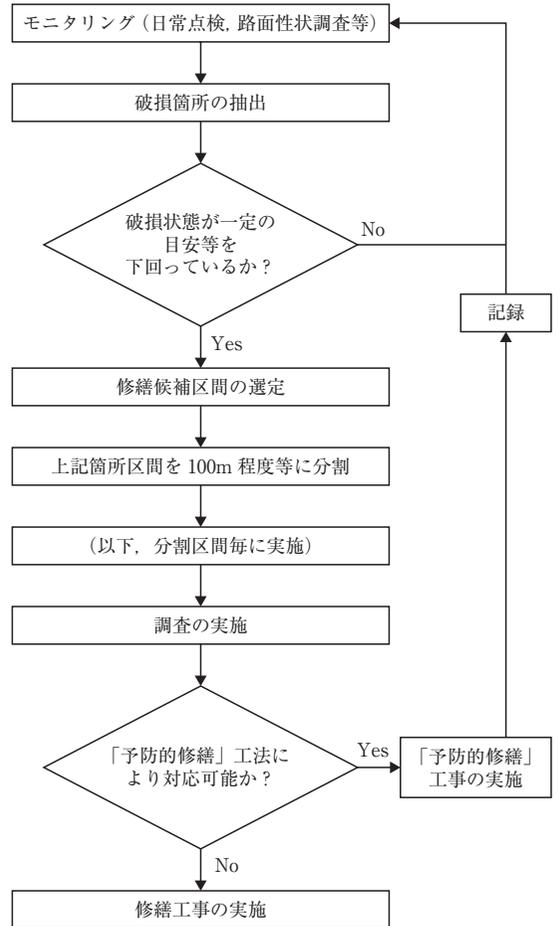


図-2 修繕候補区間の選定と工法選定の基本的な流れ

まれた100～200mの区間については、ひび割れ率が10%以上もしくはわだち掘れ量が20mm以上であれば、既選定区間とあわせて修繕候補区間とする。

従来、舗装の補修の目安としてはわだち掘れ量、ひび割れ率、平坦性から算出されるMCI（舗装管理指数）が広く直轄国道で用いられてきたが、わだち掘れに起因する修繕なのか、ひび割れに起因する修繕なのかを明確にするため、それぞれを単指標で評価することとした。

図-3に密粒度舗装における修繕候補区間の選定基準を示す。MCIが3.5以下の区間にほぼ相当するが、単指標であるため、わだち掘れとひび割れの両方が同時に起こった場合、MCIが3.0程度の路面でも修繕しないこととなる。ただし、事前の調査の結果、多くの直轄国道では両方が同時に発生しておらず、わだち掘れもしくはひび割れのいずれかが卓越するケースがほとんどであった。

2) 排水性舗装の修繕候補区間選定の目安

修繕候補区間の選定の目安として、ひび割れ率35%以上、もしくは、わだち掘れ量35mm以上の区間を選定する(図-4参照)。

なお、排水性舗装の修繕候補区間選定の目安を密

粒度舗装のひび割れ率30%、わだち掘れ量30mmをそれぞれ35%、35mmとしている。

これは、排水性舗装については効果的な「予防的修繕」工法が確立されていないことから、(4)で示す通り、排水性舗装の修繕候補区間における補修は、

切削オーバーレイ等の従来の修繕工法の適用が基本となるためである。

(3) 調査

修繕候補区間については、一定の区間毎に分割して、徒歩・目視等により破損の状態(種類、程度、広がり等)を的確に把握(必要に応じて計測)することとし、後述する工法の選定にあたっては、分割された区間毎に検討することを基本とした。

(4) 計画(工法選定の目安)

密粒舗装の修繕候補区間において、補修工法を選定する場合の、目安となる路面性状を図-5に示す。舗装の破損状態の形態は様々であり、工法選定にあたっては、現場における技術的な判断が重要であるとの認識から、目安として示した数値は参考値であり、各現場の技術者が現場の条件に適した工法選定を実施することが重要である。

修繕候補区間のうち、従来の修繕工法を適用しない区間(「予防的修繕」工法適用区間:後述の1)参照)において、舗装寿命の延命やコスト縮減等を図る工法には様々なものがある。工法選定の目安は、このうちの代表的な工法であるアスファルト系シール材注入工法(以下、シール材注入工法、写真-1参照)と切削工法(こぶ取り)の適用を念頭においている。

しかし、シール材注入工法については、一般的にその適用はひび割れ幅10(～15mm)程度以下が望ましく、また、切削工法について

わだち掘れ量 ひび割れ率	0 mm以上 10 mm未満	10 mm以上 20 mm未満	20 mm以上 30 mm未満	30 mm以上 35 mm未満	35 mm以上 40 mm未満	40 mm以上
0%以上 10%未満						
10%以上 20%未満						
20%以上 30%未満						
30%以上 35%未満				修繕候補区間		
35%以上 40%未満						
40%以上						

図-3 密粒度舗装における修繕候補区間

わだち掘れ量 ひび割れ率	0 mm以上 10 mm未満	10 mm以上 20 mm未満	20 mm以上 30 mm未満	30 mm以上 35 mm未満	35 mm以上 40 mm未満	40 mm以上
0%以上 10%未満						
10%以上 20%未満						
20%以上 30%未満						
30%以上 35%未満						
35%以上 40%未満					修繕候補区間	
40%以上						

図-4 排水性舗装における修繕候補区間

わだち掘れ量 ひび割れ率	0 mm以上 10 mm未満	10 mm以上 20 mm未満	20 mm以上 30 mm未満	30 mm以上 35 mm未満	35 mm以上 40 mm未満	40 mm以上
0%以上 10%未満				切削工法 ②		
10%以上 20%未満						
20%以上 30%未満						
30%以上 35%未満	シール材注入工法 ③			シール材注入工法+切削工法 ④		
35%以上 40%未満						
40%以上	修繕工法適用区間(切削オーバーレイ等) ①					

□ 修繕候補区間 ▤ 予防的修繕工法適用区間

図-5 工法選定の目安(密粒度舗装)



写真-1 シール材注入工法

も、現場条件によっては路面排水等に影響を与えることがある等、全ての「予防的修繕」工法適用区間に適用できる工法ではない。

したがって、「予防的修繕」工法適用区間において、舗装の延命やコスト削減を図る観点からシール材注入工法や切削工法の採用が適当でないと考えられる場合は、現場の状況に応じた補修方法の検討を行い、適切な工法を選定することが重要である。

1) 密粒度舗装の工法選定の目安

a) 修繕工法適用区間 (図-5の①の範囲)

切削オーバーレイ等の従来の修繕工法の適用を基本とする。

これは、わだち掘れ量40mm以上の区間は、道路幅員全幅にわだち掘れの影響が広がり、舗装版としての耐荷力を失い、部分的な手当が困難であることが想定され、また、ひび割れ率40%以上の区間は、亀甲状クラックが多くの部分で発生していること等が想定され、「予防的修繕」による対応が困難であると考えられるためである。

b) 「予防的修繕」工法適用区間 (図-5の②ならびに③、④の範囲)

修繕候補区間は、ひび割れ率によらずわだち掘れ30mm以上の区間及び、わだち掘れ量によらずひび割れ率30%以上の区間を選定する。

修繕候補区間に選定された箇所については、一定程度劣化が進行した箇所であることを踏まえ、同箇所のうち、わだち掘れ量30mm未満、あるいは、ひび割れ率30%未満の箇所についても、舗装の延命化等の観点から、「予防的修繕」工法による対応が可能と考えられる箇所については、同工法の適

用を図ることとした。

なお、わだち掘れ量20mm未満の区間においては、切削工法を実施するとかえって路面を荒らすことが懸念されるため、同工法の適用の目安をわだち掘れ量20mm以上とした。また、ひび割れ率10%未満の区間においては、ひび割れ幅が狭いことが多く、シール材注入が困難であることが想定されるため、シール材注入工法の適用の目安をひび割れ率10%以上とした。

2) 排水性舗装の工法選定の目安

排水性舗装については切削オーバーレイ等の従来の修繕工法の適用を基本とする。

排水性舗装は密粒度舗装と比べ、特に表層部分の材料や機能等が異なり、破損形態も異なるため、密粒度舗装で適用している「予防的修繕」工法が排水性舗装には適さない、あるいは十分な効果を期待できないケースが多いと考えられる。このようなこともあり、排水性舗装についての効果的な「予防的修繕」工法は確立されていないため、本手引き(案)では、「予防的修繕」工法の適用については示していない。

なお、「予防的修繕」工法を各現場で既に実施し、舗装の延命等について所要の効果が認められている工法については、現場毎の状況に応じて実施することとしている。

(5) 「予防的修繕」工事の実施

「予防的修繕」工事は、修繕候補区間全面に対して実施することとしている。

「予防的修繕」の意義は従来の維持作業とは異なり、従来、切削オーバーレイ等の修繕工法で対応してきた修繕候補区間において、こうした修繕工法に代わるものとして実施するものであり、従来の維持作業のように局所的な破損を補修するのではなく、修繕候補区間全体を「予防的修繕」により補修することを前提としている。

したがって、修繕候補区間内で発生している軽微なわだち掘れやひび割れに対しても可能な限り「予防的修繕」を実施する。なお、「予防的修繕」を行う区間であっても、局所的な重度の破損については必要に応じて修繕工法を採用する。

また、舗装が一定程度劣化した修繕候補区間において、同工法を適用し、舗装の延命等によるコスト削減を図るためには、一定期間(3年程度以上)同工法の効果を持続させることが求められ、適切な施工管理により、所要の性能の確保を図ることが必要である。

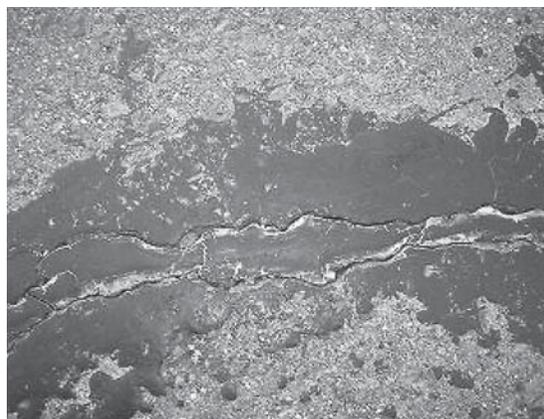
(6) 記録

工法選定にあたっては、工事履歴は重要な情報となる。これまで、今回位置づけた「予防的修繕」に関する工法については、従来維持工事として位置づけられてきたこともあり、修繕工法の記録のように、施工履歴が工法選定時に活用できるような形で記録されていないケースが多い。

工法選定をより適切に実施するためには、「予防的修繕」も含めた工事履歴を把握することが必要であることから、直轄国道の舗装管理に運用されている舗装管理支援システムなどに修繕候補箇所において実施した施工内容を積極的に記録していくこととした。

(7) 管理

「予防的修繕」の施工後の管理においては、シール材の破損、切削面の破損等の施工箇所の状態及び新たなひび割れの発生、わだち掘れの進行等の舗装の状態に留意する必要がある。道路巡回等においては、こうした点に特に留意して点検するとともに、変状（写真－2参照）が確認された場合には、近接目視、路面性状の計測等により状態を確認し、必要に応じて、「予防的修繕」工法の繰り返し施工、修繕工法の適用等を検討することとした。



写真－2 シール材が破損した状態

4. 今後の課題

クラックシールについては、従来、維持工事として位置付けられていたために、契約も単価契約で、その施工量に応じて支払いが行われるだけであった。したがって、クラックシールの耐久性などに注意が払われることもほとんど無かった。今回、クラックシールが予防的修繕工法として位置付けられることにより、その性能について改めて注目を集めるようになった。

これまで、クラックシール用の材料としての規格は平成13年度に刊行された「舗装施工便覧」に加熱型注入材の品質の標準が示されるまで、アスファルト舗装に関しては何も規定されていなかった。しかしながら、予防的修繕工法としてコスト縮減を目指すためには、その耐久性を検証するとともに、耐久性を保証する品質規格も必要となってくる。現在、土木研究所では各地方整備局で実施された予防的修繕工事について、いくつかのパイロット区間を設定し、国土交通省と連携して追跡調査を行うとともに、クラックシール材の品質規格の提案に向け、室内試験と促進載荷試験を実施しているところである。

路面切削については、修繕工事と位置付けることに若干違和感はあるが、今後の追跡調査によりその耐久性(?)を改めて検証する。

5. おわりに

「予防的修繕」に関わる各工法は、一般的には、路面の性能の回復や舗装の構造的な強度低下を遅延する効果が期待されるものであるが、我が国にあっては、その定量的な効果について、これまで十分な検証がされていないのが現状である。こうしたことも踏まえて、前述したとおり、本手引き（案）に沿った舗装補修を、試行的に実施していくこととなった。

今後、「予防的修繕」により補修された直轄国道の箇所について、施工状態や効果の持続性等の経年的な追跡調査を実施し、この調査結果を踏まえて必要に応じ本手引き（案）は見直される予定である。

東京都における「舗装補修の現状と課題」

(Present condition and problem of pavement repair)

吉澤 一之*

舗装は、交通荷重、気象の変化など、外的作用を常に受け続けることにより供用性が漸次低下し、維持補修を怠ると構造的強度の急激な低下も招くこととなるため、常時、舗装の状態を把握し、適切な対応を行わなければならない。

近年、予算の制約や沿道環境対策など各種課題が顕在化してきている中で、東京都における環境負荷低減やヒートアイランド対策等も考慮した舗装補修の現状、新たな取組みについて述べる。

1. 道路における維持管理の現状

1.1 過去10年間の予算と道路管理規模の推移

平成18年4月現在、東京都知事管理道路は、延長2,234km、面積39,191千㎡である。東京都における道路の維持補修関係予算は、図-1のとおり、平成9年度をピークとして年々減少傾向にあり、平成18年度予算では、平成9年度の約57%まで減少している。

一方、道路延長及び面積は、若干の増減はあるものの僅かながら増加傾向にある。

そのため、限られた維持補修予算のなかでこれまで整備蓄積されてきた道路施設を一定の水準で管理するためにコスト縮減や補修工法の工夫など、様々な努力を継続している。

1.2 維持管理体制

東京都（以下、「都」という）における舗装の維持補修は、業務を執行する組織や予算体系から「応急修理」「維持」「補修」に大別し、迅速かつ柔軟な対応をとることとしている。

維持補修の手順及び「応急修理」「維持」「補修」の概要と代表的な補修工法との関係については図-2及び表-1に示すとおりである。

維持補修の区分のうち「応急修理」とは、道路巡回点検中や地元住民等からの発見・通報を受け、迅速に安全対策を施すものであり、主にパッチングや穴埋めなどである。作業は、直営もしくは、請負（単価契約）により行っている。

「維持」とは、わだち掘れ箇所のごぶ取りなど、応急

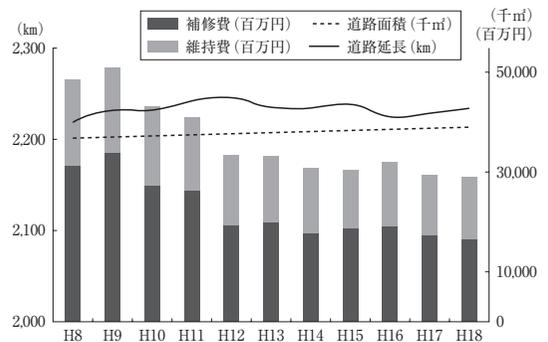


図-1 道路延長及び面積と予算規模の推移

表-1 維持補修と代表的な工法¹⁾

応急修理	直営作業	パッチング	表面処理	充填	切削	路上表層再生	オーバーレイ	切削打換え	部分断面打換え	路上路盤再生	全断面打換え
維持	単価契約										
補修	総価契約										

修理で対応しきれないような安全対策や極小規模な切削、舗装の打換えなどを行うものであり、路面性状の保持、若干の向上を目的として、請負（単価契約）により行っている。

「補修」は、舗装の構造的強化や低騒音舗装などの環境に配慮した舗装への転換等を目的として、請負（総価契約）による「路面補修工事」として実施している。設計等に際しては、長期経済性や環境負荷、一般交通への影響等も考慮することとしている。

*よしざわ かずゆき 東京都建設局道路管理部保全課

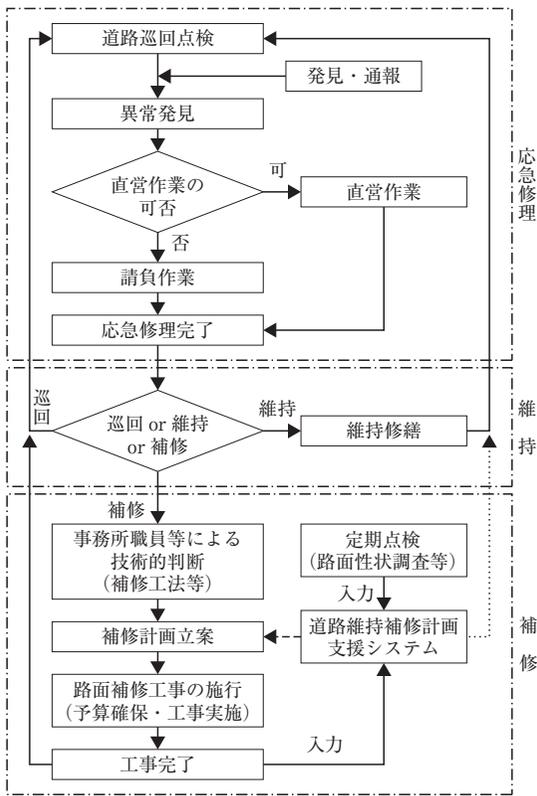


図-2 維持補修の手順¹⁾

なお、都でいう「補修」は、国土交通省においては修繕に該当する。

1.3 アスファルト舗装の破損原因及び対応工法

アスファルト舗装の破損には、路面性状に関する機能的破損と構造に関する構造的破損がある。(表-2) 構造的破損とは、舗装強度の低下に起因する破損であり、路床、路盤層にまで破損が及ぶ場合が多く、応急修理では対策が不十分となるため、「補修」で対応している。

また、機能的破損とは、舗装強度の低下に起因しない破損であり、表層・基層のアスファルト混合物層のみに破損がとどまる場合が多く、様々な変状を生じるため、「応急修理」から「補修」に至るまで、広範かつ多角的な対応を行っている。

都道のうち区部においては、低騒音舗装となるところが多く、破損の形態としては、ポットホールやわだち掘れ、線状ひびわれが多い。特にポットホールは、低騒音舗装の構造的な特性上、短期間で拡大する（主に縦断方向）可能性が高く、管理瑕疵に直結する危険性もはらんでいるため、早急な「応急修理」が必須である。

また、多摩部では密粒度アスファルト舗装となるところが多く、破損の形態としては、わだち掘れや線状ひびわれが主である。都道におけるわだち掘れは、アスファルト混合物の高温度時側方流動（塑性変形）が主な原因であるため、耐流動性の高い材料を使用した「補修」を行っている。

維持補修における工法選択は、舗装の破損状況や周辺状況などに対する現場技術者の目視観察や路面性状調査、舗装構造調査の結果を総合的かつ技術的、経験的判断により、有効な対策をとることとしている。

2. 舗装補修工事の現状

2.1 道路維持補修計画支援システム^{2) 3)}

道路維持補修計画支援システム（以下、「システム」という）は、都における舗装管理システムとして平成9年度から導入され、道路舗装に関する各種情報を効率よく管理するものであり、基本フローは図-3に示すとおりである。

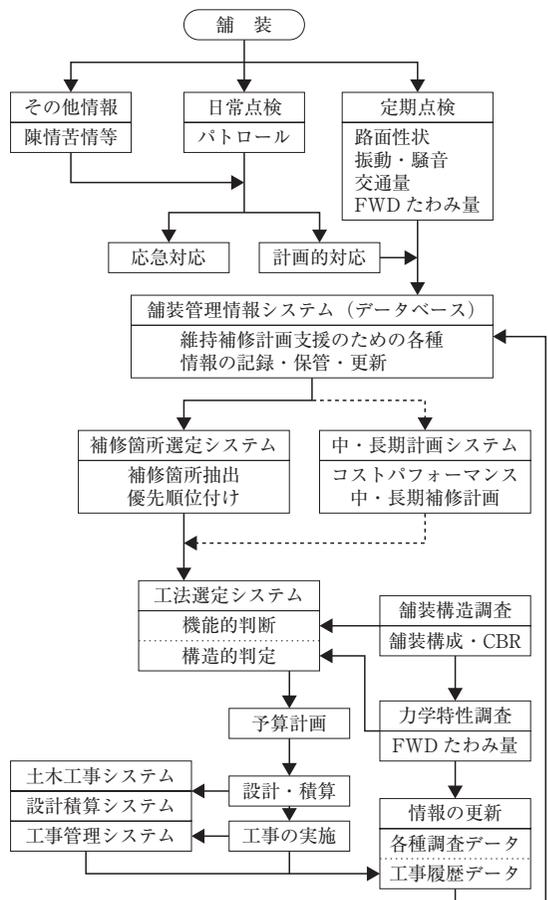


図-3 道路維持補修計画支援システムの基本フロー³⁾

表-2 アスファルト舗装の破損原因の分類と対応工法¹⁾

破損の種類		主な原因	維持補修の代表工法	
主に路面性状に関する破損	局所的ひびわれ	ヘアクラック	混合物の品質不良 転圧温度不相当	<ul style="list-style-type: none"> ・ひびわれ充填 ・シールコート ・Vカット+アスファルトモルタル充填 ・切削打換え(局部的) ・路上表層再生工法
		線上ひびわれ	施工不良 切盛境の不等沈下 基層・路盤のひびわれ	
		縦方向ひびわれ	路床路盤支持力の不均一	
		横方向ひびわれ		
		施工継ぎ目ひびわれ	敷均し転圧不良	
	段差	構造物付近凹凸	路床路盤混合物の転圧不足 地盤の不等沈下等による不陸	<ul style="list-style-type: none"> ・パッチング ・切削打換え(局部的)
	変形	わだち掘れ	過大な大型車交通 混合物の品質不良	<ul style="list-style-type: none"> ・瘤取り ・切削打換え ・部分断面打換え ・全断面打換え ・路上表層再生工法 ・路上路盤再生工法
		縦断方向凹凸	混合物の品質不良 路床路盤の支持力不均一	<ul style="list-style-type: none"> ・パッチング ・瘤取り ・切削打換え(局部的)
		コルゲーション、くぼみ、寄り	プライムコート、タックコートの施工不良	
		フラッシュ	プライムコート、タックコートの施工不良 混合物の品質不良	・碎石、粗砂の散布
	摩耗	ラベリング	除雪後のタイヤチェーン使用	<ul style="list-style-type: none"> ・パッチング ・オーバーレイ ・路上表層再生工法
		ポリッシング	混合物の品質不良	・シールコート
		はがれ	混合物の品質不良 転圧不足	<ul style="list-style-type: none"> ・パッチング ・切削打換え(局部的)
	崩壊	ポットホール	混合物の品質不良 転圧不足	<ul style="list-style-type: none"> ・パッチング ・切削打換え(局部的)
		剥離	骨材とアスファルトの親和力不足 混合物に浸透した水分による飛散	<ul style="list-style-type: none"> ・シールコート ・スラリーシール
老化		混合物歴背材料の劣化	・オーバーレイ	
主に構造に関する破損	全面的ひびわれ	舗装厚不足 混合物、路盤路床の不適合 計画交通量超過 地下水の影響	<ul style="list-style-type: none"> ・表面処理 ・オーバーレイ ・切削打換え ・部分断面打換え ・全断面打換え ・路上路盤再生工法 	
	その他	噴泥凍上	<ul style="list-style-type: none"> ・全断面打換え ・充填 ・排水施設整備 ・地下水対策 	

システムの基本となる舗装の定期点検は、路面性状自動計測車を用いて、ひびわれ、わだち掘れ、平坦性を3年サイクルで測定、その結果をシステムに反映し、日常点検や路面補修工事施行における判断指標のひとつとして維持補修計画立案等に活用している。

また、システムで示している補修工法は、定期点検の路面性状調査において、構造的破損と想定されるもののうち、補修の優先順位の高いものから、構造的評価をFWD (Falling Weight Deflectometer) を用いたたわみ量調査を行い、その結果から選定している。

システムでデータベース化され、検索可能な主な情報は、「路面性状調査結果」「道路交通振動調査結果」「騒音調査結果」「道路構成調査」「舗装構造調査結果」「交通量調査結果」などである。

2.2 各種舗装技術の適用と補修サイクル

都の道路は、より円滑な交通流を確保するため道路網の整備が進められ、それに伴うモータリゼーション進展による交通の大型化、高速化、量の拡大が図られてきた反面、沿道における生活環境の悪化などの問題が顕在化してきている。

そこで、舗装の基本的性能（安全、円滑、快適など）の維持・確保はもとより、道路利用者、沿道住民などに配慮した道路交通騒音対策や環境負荷低減対策、ヒートアイランド対策などに対し、効果的な対応を行うため、平成16年「今後の道路舗装整備（車道）の進め方」を策定し、車道舗装に関する基本的な考え方を整理した。その概念は図-4のとおりである。

補修サイクルについては、車道の管理面積（平成19年度は23,320千㎡）を当該年度の車道における路面補修工事の施工規模で除したものを補修サイクルとしており、過去10年の補修サイクルは表-3のとおりである。

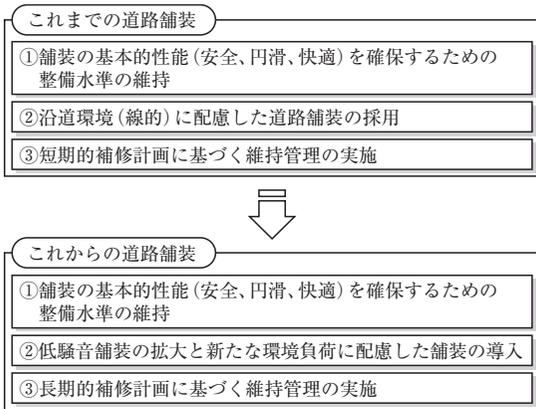


図-4 今後の道路舗装整備（車道）の進め方

路面補修工事の計画策定や補修工法決定においては、舗装の破損状況の程度や周辺状況確認に加え、道路維持補修支援システムから導き出された補修工法を参考にして、経済性等も考慮し補修工法（主に切削打換え、部分断面打換え、全断面打換え）を決定している。

近年は道路交通振動対策や低騒音舗装の更新、環境に配慮した舗装への転換などを比較的広い範囲で行うため、切削打換えの比率が高くなっている。図-5に示すとおり、区部においては補修工事の約85%が切削打換えとなっている。

また、舗装におけるライフサイクルの概念については、図-6に示すように、ある程度の周期で切削打換え→部分断面打換え→全断面打換えを行うことが供用サービス面・構造保全面において理想であるが、実際

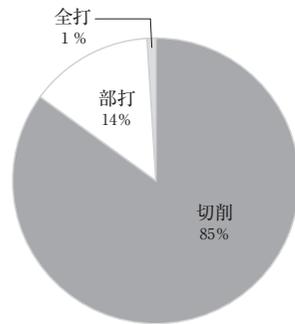


図-5 補修工法別構成図（区部）

表-3 過去10年間の補修サイクル

年度	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19
補修規模（千㎡）	1,696	1,714	1,116	1,235	1,087	1,194	1,193	1,176	1,095	1,095
補修サイクル	14	14	21	19	21	20	20	20	21	21

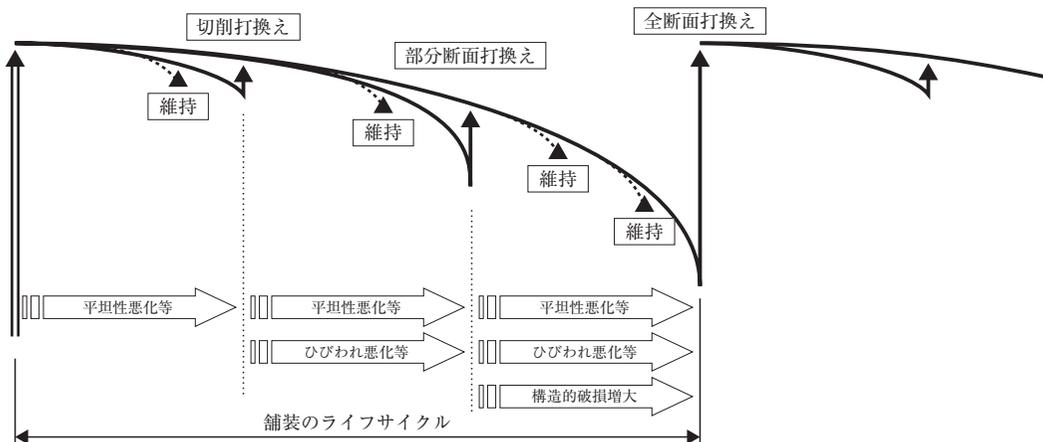


図-6 舗装のライフサイクル概念図

は破損の著しい箇所のみ部分断面打換えとし、その周囲を切削打換えに止める局所的な緊急避難的対応を行っているところが多い。

2.3 環境配慮型舗装への転換

環境に配慮した各種の舗装技術は、「今後の道路舗装整備（車道）の進め方」の概念（図-4）のうち「低騒音舗装の拡大と新たな環境負荷に配慮した舗装の導入」において、適用地域や各種舗装技術の特性を考慮した体系を構築し、きめ細やかな道路舗装の整備・転換を目指している。

現在取り組んでいる舗装技術は以下のとおりであり、平成19年度の区部における各舗装種類別の路面補修工事予定面積の構成は図-7及び図-8のとおりである。

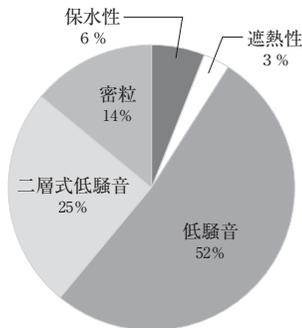


図-7 舗装種類別内訳 (H19区部)

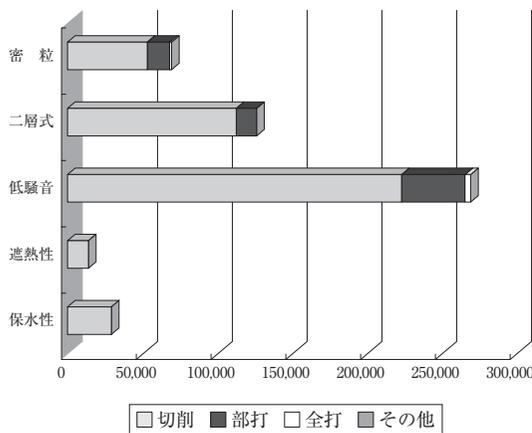


図-8 舗装種類別、補修工法別内訳 (H19区部)

2.3.1 二層式低騒音舗装⁴⁾

都では、「東京都内における道路沿道環境対策基本方針（東京都道路沿道環境対策検討会）」に基づき、騒音の実態、沿道利用の状況等からみて早急に総合対策

を講ずべき道路として選定した道路区間を「優先的対策道路区間」としている。優先的対策道路区間においては、騒音対策を優先的に実施することとし、現行の低騒音舗装より騒音低減効果の高い二層式低騒音舗装を適用することとしている。

都における二層式低騒音舗装は、騒音低減効果や耐流動性、耐摩耗性など、都独自の研究の結果、二層となる表層でアスファルト混合物の粒径を変えて使用することとし、上層部は高耐久性ポリマー改質アスファルトH型をバインダとするポーラスアスファルト混合物（骨材最大粒径5mm、空隙率は20%程度）厚さ2cmを標準とし、下層部はポリマー改質アスファルトH型をバインダとするポーラスアスファルト混合物（骨材最大粒径13mm、空隙率20%程度）厚さ5cmを標準としている。

平成19年度の路面補修工事（区部）のうち約52%が低騒音舗装、約25%が二層式低騒音舗装となり、補修工法としては約85%が切削打換えである。

2.3.2 保水性舗装⁵⁾

保水性舗装は、舗装体内に水分を吸水保水する機能を有する舗装であり、都では「優先的対策道路区間」及び「夜間環境基準超過区間（DID地区内の夜間における騒音レベルが環境基準を超過している道路をいう）」を除くヒートアイランド対策が必要とされる地域において優先的に適用することとし、「保水性舗装（車道）設計・施工要領（案）」により設計、材料、施工・品質管理及び出来形管理を行っている。

保水機能を有する表層部は、「保水材」と「母体となるアスファルト混合物（以下、「母体アスファルト混合物」という）からなり、「保水材」は、水、結合材（セメント）、石粉体などを主体とした保水パウダー、減水剤、凝結遅延剤などを配合したものであり、「母体アスファルト混合物」には、ポリマー改質アスファルトH型をバインダとするポーラスアスファルト混合物を用いることとしている。

保水機能を有する表層の構造は、調査研究の結果、保水材の吸収しやすさや路面の排水性能等を考慮し、原則として厚さ10cm、保水材75%浸透程度で、上層に空隙層を設けた構造としている。なお、表層は、上下2層とし、上層部厚さ4cm（骨材最大粒径13mm、目標空隙率21%程度）、下層部厚さ6cm（骨材最大粒径20mm、目標空隙率23%程度）としている。

平成19年度は路面補修工事（区部）のうち約6%が保水性舗装である。

2.3.3 車道透水性舗装

道路冠水常襲箇所など、雨水を舗装下へ浸透させ、雨水の流出抑制を図る必要がある箇所や水循環による環境改善を必要とする箇所において、地質や地盤、地下埋設物等を勘案し、L交通やA交通の交通量の少ない区画道路には車道透水性舗装を適用することとしている。

3. 新たな取り組みと今後の課題

3.1 道路アセットマネジメントによる補修計画の立案と予防保全型管理への転換⁶⁾

都における道路施設は、東京オリンピックや高度経済成長期などを中心に整備されたものが多く、今後一斉に更新時期を迎えることが想定されており、橋梁をはじめとする各種道路施設における損傷や更新工事等は、住民生活に多大な影響を与えることとなる。特に環状七号線や環状八号線などの主要幹線道路は、首都圏の物流にも大きく寄与しており、これまでの対症療法型維持管理を継続していくことによる社会的損失は非常に大きなものとなることが推察される。

都では、平成16年度より道路アセットマネジメントの導入を開始し、都民からの税金を道路等の整備や補修等に効率的、効果的かつ最適に投入する「よりよい公共サービスの提供」を目指し、これまでの対症療法型管理から予防保全型管理への転換に向けた取り組みを行っている。

アセットマネジメントでは、各種道路施設を資産として捉え、それぞれの劣化予測を科学的に行い、道路全体の工事等による影響を最小とし、道路資産としての価値が最大となるよう最適シミュレーションを繰り返し、正味現在価値法(NPV: Net Present Value)による計画策定を目指している。

とりわけ舗装においては、3年サイクルで行っている定期点検結果や地域、路線特性を考慮して解析し、わだち掘れやひび割れなどに対応する16種類の劣化予測式を新たに構築し、総合的な劣化予測とともに長期供用型の舗装技術や橋梁等の修繕計画をも取り込んだ30年間の中長期計画の策定を行うこととしている。

さらに、より効果的なマネジメントへの発展を図るため、本計画を柱としたPDCAサイクルの確立に向け、新たな取り組みを開始している。

3.2 新たな舗装体系の構築と環境配慮型舗装の機能回復

二層式低騒音舗装や保水性舗装など、開発されてから歴史の浅い舗装技術は、今後解決すべき課題を順次克服しながら、技術水準の向上を図っていくこととなる。

その際、これまで体系化された各種舗装技術も含め、総合的な舗装体系を新たに構築していく必要がある。

また、低騒音舗装は、都道における標準的な道路交通騒音対策として適用されているが、その機能回復における技術的指標、基準が不明確であり、新たな環境配慮型舗装も含め、機能確保・回復手法が大きな課題となっている。

今後、様々な舗装が適用されてくる中でどのような機能回復を、どのような時期に、どのような技術基準で行っていくかを明確にするとともに着実に実行していかなければならない。

4. あとがき

道路は、東京の交通流を支える都市基盤としてだけでなく、災害時の延焼遮断帯や各種ライフラインの埋設空間、地下鉄の軌道空間などとして住民生活に深く密接している多用途な都市基盤である。

これまで整備蓄積されてきた道路資産を今後も良好な状態で保全し、道路利用者や沿道の方々に良好な環境を提供し続けていくことが管理者としての責務と認識している。

歴史を積み重ねていく道路資産に対し、最小のコストで最大の効果が生み出される維持管理、舗装補修を永続的に実施していけるよう先進的に取り組んでいきたい。

—— 参考文献 ——

- 1) 東京都建設局：平成18年度道路工事設計基準
- 2) 東京都建設局道路管理部：舗装管理マニュアル(案)、平成7年4月
- 3) 峰岸順一：東京都における道路維持補修計画支援システム、Vol.41, No.198(1999年)
- 4) 東京都建設局道路管理部：二層式低騒音舗装(車道)設計・施工要領(案)
- 5) 東京都建設局道路管理部：保水性舗装(車道)設計・施工要領(案)
- 6) JACIC情報85, 2007, Vol.22, No.1

三重県における舗装補修に関する取組について

(Mie prefectural commitment to pavement repair)

中 平 弘*

公共土木施設の多くは高度成長期に集中的に建設され、それら施設の老朽化が進行することにより、今後、維持更新の需要が急速に高まることが予想されるが、一方では公共事業予算が年々縮減され、また、利用者のニーズの多様化により求められるサービスレベルが高くなっているなど、維持管理を取り巻く環境はますます厳しくなっている。

このような時代に対応するため、効率的・効果的な維持管理手法が求められており、国土交通省を始め各自治体では、道路施設を資産としてとらえ、将来の需要予測を行いながら計画的な維持補修を行う、いわゆる「アセットマネジメント」の構築に取り組んでいる。

本稿では、三重県における、新しいアセットマネジメントの考え方による維持管理手法の確立に向けた取組を紹介する。

1. 舗装の現状

道路は、我々の経済活動や日常生活に欠くことのできない、最も基本かつ重要な社会資本となっている。また、モータリゼーションが発達した現代において、舗装の整備不良は、交通の安全や走行性（乗り心地）の低下だけでなく、環境負荷の増大や経済損失につながり、舗装を良好に維持することは管理者にとって非常に重要なことである。

三重県は、日本列島のほぼ中央、紀伊半島の東側に位置し、県土は中部圏と近畿圏にまたがり、名古屋、大阪という二大都市圏の結節点ともなっている。

大阪と名古屋を結ぶ西名阪自動車道とそれに接続する名阪国道、東名阪自動車道が東西を、また、南北には、近畿自動車道伊勢線・紀勢線や国道42号、国道23号が主要な交通を支えている。

一方、県管理道路については、それら主要な交通網を補完するように存在しており、工場地帯から高速道路

へのアクセス道路のように、大型車交通量が多い道路から、日交通量が少ない山間部の道路まで、多様な道路を管理している。

道路の延長は、図-1のとおり、平成2年度に約3,300kmであったものが、道路の新設や市町村道からの県道昇格などにより、平成18年度現在で、約3,505kmになり、16年間で約205km、1.06倍に増加しており、その約96%がアスファルトかコンクリートにより舗装されている。

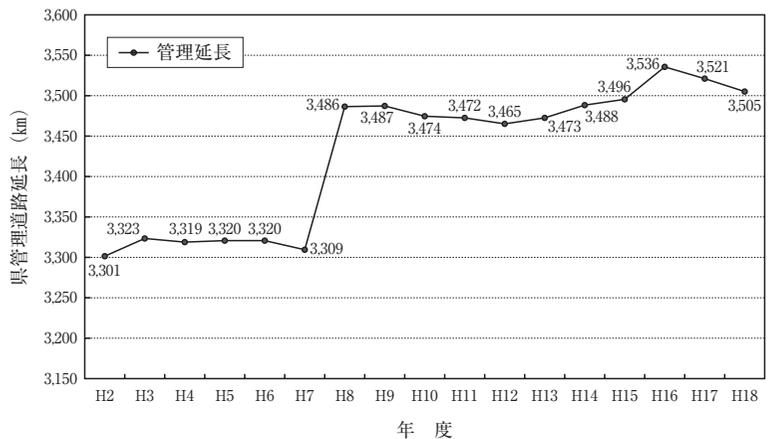


図-1 三重県の道路管理延長の推移

*なかひら ひろむ 三重県県土整備部維持管理室施設維持グループ 副室長

また、三重県では、過去からMCI調査を実施しており、平成元年度から平成18年度までのMCIの平均値は5.2から6.2の間で推移しており、平成18年度末で5.4となっている。

このMCI調査については、国道については、平成元年度から調査を開始し、県道については、平成10年度から調査を行っており、道路のひび割れ率、わだち掘れ、および平坦性を測定し、路面状況の把握に努めているところである。

調査方法については、本来であれば、管理する全ての区間を、毎年調査できれば精度の高い調査結果が得られるが、決して安価ではない調査費用のため、全県を3ブロックに分け、1年に1ブロック調査し、その他の2ブロックについては、劣化予測式によりMCI値を算出している。

2. 現状の舗装管理水準

現状の舗装管理水準は、三重県の総合計画である「県民しあわせプラン」において、主要な幹線道路（県管理国道と主要地方道）の維持管理指数（MCI）の平均値を5以上に保持することとして、県民に公表しているところである。

しかし、この水準設定は、前述したとおり県管理国道と主要地方道のみを対象とし、その他の道路については管理水準が無く、また、主要な道路であっても交通量が少ない道路が本県には多く存在していることから、後述するが、新たな管理水準の設定に取り組む必要がある。

3. 予算の推移

本県の舗装補修予算について紹介する。過去10年間の舗装補修予算は図-2のとおりであり、平成9年度の33億円をピークに減少し、平成14年には19億円となった。平成16年には29億円まで回復したものの、その後再び減少し、平成18年度には23億円となっている。

本来であれば、舗装は毎年一定量の補修が必要であ

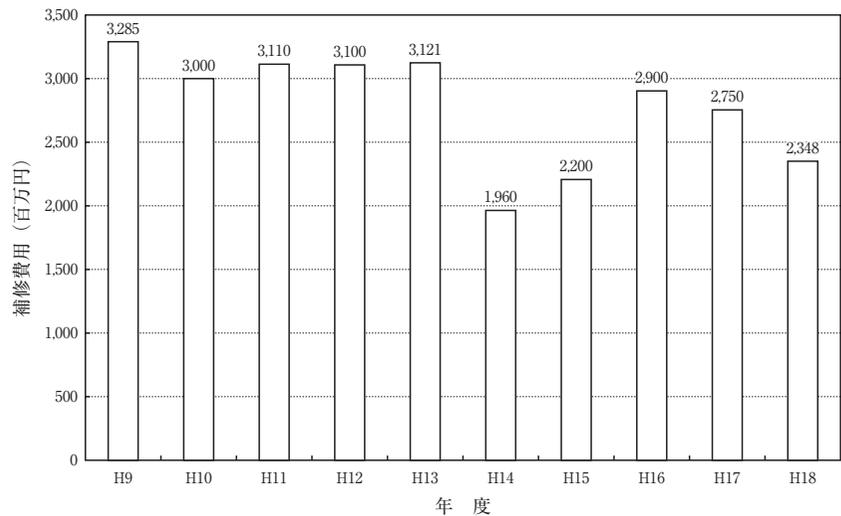


図-2 三重県の舗装補修予算の推移

るため、年度によって予算が大きく変わることは好ましくないが、県の財政状況に伴う予算シーリングに影響を受ける結果となり、舗装補修費用の減少傾向が続いている。

4. 補修の現状

このように予算が減少していく状況の中、現場では、必要な舗装補修が実施できず、写真-1のとおり、ひび割れやわだち掘れが顕著になっている区間があり、これらはパトロールにより点検し、損傷が発見された場合は、常温混合材による応急補修を実施することになる。しかしながら、このような状況で大雨等の影響により路盤等に水が浸入すれば、写真-2のように、路面にポットホールが多発し、道路利用者の安全を脅かすことになる。

また、舗装補修の採用工法の割合について、過去11年間のデータが図-3であるが、損傷路面に対して、抜本的な対策を実施する、打ち換え工法の採用率について、個々の現場条件の違いがあり、一概には言えない部分があると思われるが、平成8年度には、約13%実施していたものが、予算が減少している近年については、その採用率は約6%と半減している。それに対して、表面の軽度な損傷の補修に適するオーバーレイ工法の採用については、平成8年度に62%であったものが、平成18年度には72%と増加している。これについては、重度の損傷が少なくなっているとは考えにくく、安価な工法で補修延長を延ばそうとした結果が現れている可能性がある。



写真-1 路面の損傷



写真-2 降雨により発生したポットホール

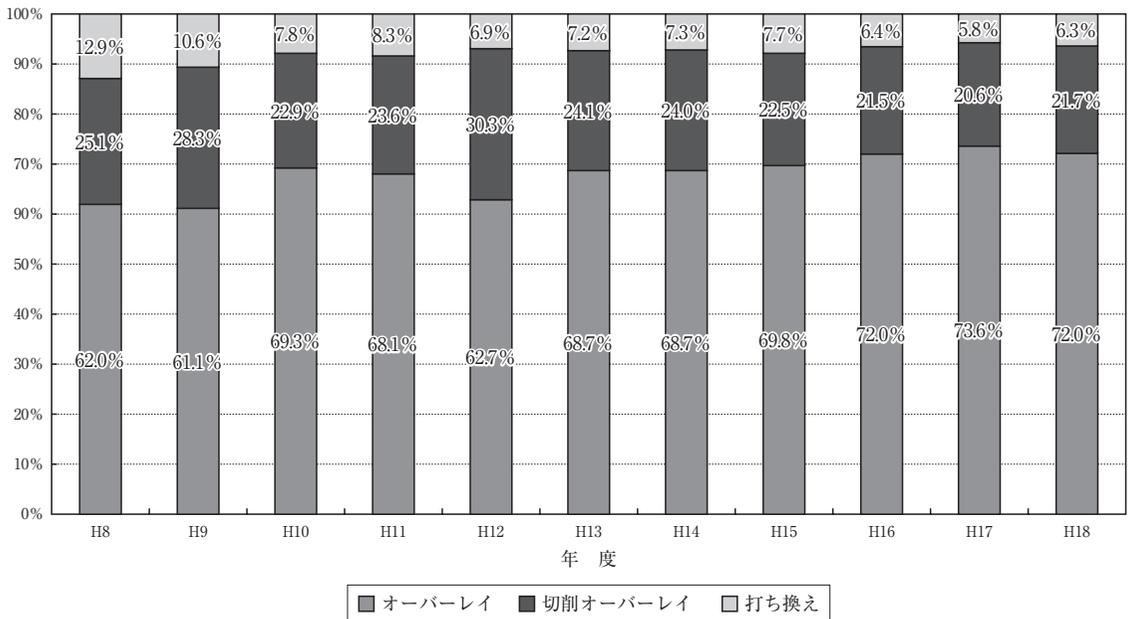


図-3 補修工事における補修工法の割合

現場でそうせざるを得ない状況は、次のデータからも推測できる。予算の減少との因果関係は不明であるが、図-4のとおり、過去3年間の県管理道路で発生した路面の不全による管理瑕疵事故件数は、平成16年度の年間2件から、平成18年度は16件に増加している。

このような状況を改善するため、これまでの「事後補修」的な対応から、限られた予算でいかに道路利用者に安全を提供できるか、将来の需要予測に基づいた計画的な維持補修、いわゆる「アセットマネジメント」の考え方を取り入れた、舗装維持管理基本計画の策定に取り組むことになった。

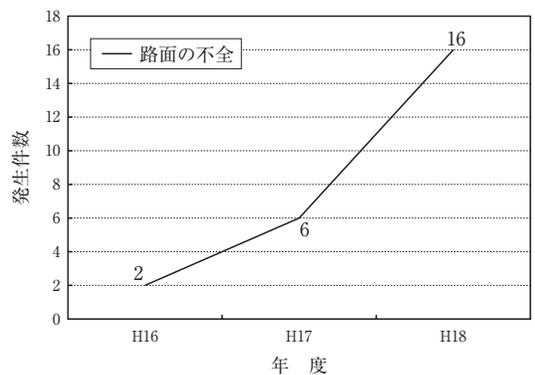


図-4 路面の不全による管理瑕疵事故発生件数

5. 1次モデルの構築

「アセットマネジメント」を行うためには、管理する施設の現状を把握し、それを基に補修ストックの将来予測を行うが、幸いなことに、三重県では、前述したとおり、過去からのMCI値が電子データとして整備されており、将来予測を行うシミュレーションシステムの構築ができれば、すぐにでも補修需要予測は可能な環境にあった。

そこで、下記①～⑥の条件により将来の需要予測を検討できるシステムを構築した。

- ①管理目標は、全路線の平均MCI 5.0を満足させる。
- ②予測する単位は、100mとして、約35,000区間。
- ③新設の供用開始時点および補修後のMCIは9.0と設定。
- ④補修工法は損傷の程度（MIC値）によりオーバーレイ、切削オーバーレイ、打ち換えを選択する。
- ⑤MCIの低下量を1年で0.2。
- ⑥交通量は平成11年道路交通センサスデータ（昼間12時間）を使用、全区間の昼夜率は1.4とし交通量の変動は考えない。

以上の条件から、LCC（補修費用+利用者費用）最小化を目的として補修工法・補修時期を算出した結果、本県の全路線を平均MCI5.0以上に保つ年間必要額は、約44億円と試算された。

しかしながら、この算出された事業費は、現実との乖離が大きく、この結果を基に維持管理基本計画を策定することはできなかった。

この、1次モデルでの問題点として、シミュレーションでは県管理道路全体を、平均MCIの値が5.0以上となるように検討しているが、実際の路線は図-5のように市街地等で交通量の多い区間、山間地等で交通量の少ない区間、幹線道路で大型車の多い区間等があるなど、それぞれ路線の区間ごとに異なった性格を持っていることから、全てを同一の管理水準として管理するのではなく、路線の重要性を考慮し、一定区間ごとにそれぞれにあった管理水準を設定する必要がある。

このため、本県では、次のステップとして、これまでの平均MCI5.0以上としていた管理水準を、実際の

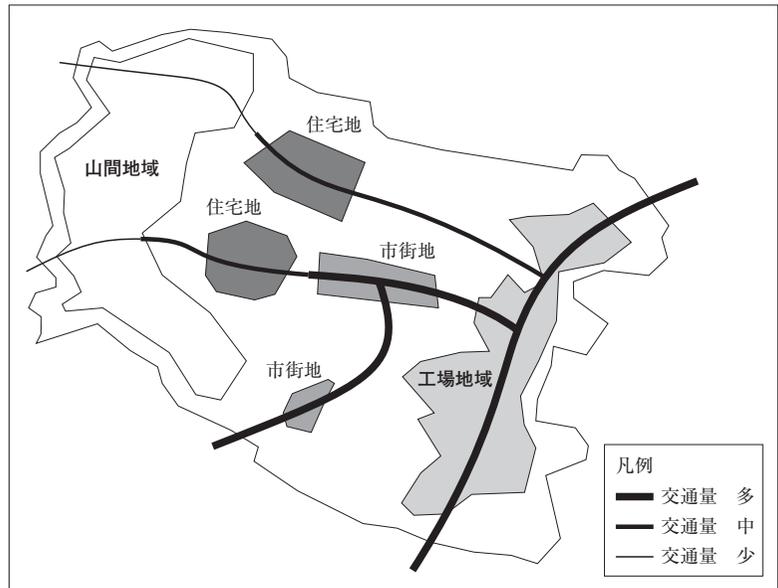


図-5 交通量から考える区分設定例

現場にあったものに設定し直し、シミュレーションシステムの将来予測の精度を上げることを目標に、2次モデルの構築に取りかかることとなる。

6. 2次モデルの構築

まず、管理水準の見直しについて、現場にあったものに見直すためには、実際に現場で維持業務に携わり、道路の状況を熟知している職員の参加が不可欠であることから県内に10箇所ある建設事務所の保全課職員を集めて、ワーキンググループにおいて管理水準の見直し作業に着手した。（写真-3）

本稿を執筆している7月時点では、現在進行形で検討を行っているため、詳細な記述ができない事をお許



写真-3 ワーキンググループでの検討

しいただきたいが、おおよそ以下のような検討を実施している。

今後も引き続き緊縮財政が予測される中、限られた予算で効率的・効果的に道路利用者の安全を確保するために、路線種別や地域特性等、路線の重要度に応じて、管理水準にメリハリを付けた維持管理への移行が不可欠であると考え、路線の区分分けをする。路線の重要度区分の考え方について、例えば表-1に示すように、舗装に与える影響の大きい大型交通量に着目し、管理水準を設定することが考えられる。大型車交通量の多い路線では、損傷の進行が早いことから、ひび割れが顕著になる前に、予防保全を実施しなければならないと考え、このような区間については、管理水準として、あるMCI値以上になるよう路面を管理することや、交通量が少ないその他の路線では、管理瑕疵事故が発生しないように穴ほこ等がない舗装面の管理のみを行うことなどが考えられる。また本県のように都市部から山間部へ続く路線が多い場合、同一路線であっても場所により交通量は大きく変わるため、区間の設定は、路線でなく同一の性格を持った区間とするなどの検討が必要である。

次に、シミュレーションシステムの予測精度向上について、2次モデルでは、ワーキンググループで検討した、管理区分ごとに管理水準を設定可能とし、MCIの低下度は、三重県が過去からMCI調査を実施してきたデータをもとに、三重県版劣化予測式を採用することとした。

これらの検討結果を基に、道路舗装に関する維持管理基本計画を策定し、実際の現場で試行を行いながら、さらに精度の高いモデルの構築を検討したいと考えている。

表-1 管理区分の設定例

管理区分	交通量	管理水準	補修のタイミング	点検手法
I	多	快適な走行性	予防保全	パトロール 路面性状調査 (頻度 多)
II	中	穴ほこがない	事後補修	パトロール 路面性状調査 (頻度 少)
III	少	穴ほこがない	事後補修 必要最小限	パトロール (頻度 少)

7. 今後の課題

今後の検討課題として、舗装補修は、一定規模の工事ばかりではなく、急に発生したポットホールへの対応や、舗装の打継ぎ目や、マンホール蓋などの占用物件の段差による振動や騒音などの苦情対応が多い。これらは、現在のMCIを基にした管理水準では対応できないことから、今後、これらの舗装管理上重要な要素をどのようにシミュレーションに反映していくかが課題である。このため、道路は常にパトロールにより路面の状態を把握すると共に、適正な状態に保つことが不可欠である。

また、維持管理に携わる発注者側の要望であるが、今後ますます公共事業を取り巻く環境は厳しくなる。このような状況でも適切な道路の維持管理を実施するために、それに対応した維持補修工法の開発も重要であると考えている。

今まで1回目の補修としてオーバーレイが実施できた場所でも、縁端部で舗装の段差ができることから、バイクや自転車が転倒する可能性があり危険であるとして、切削オーバーレイを選択せざるを得ない状況でも、非常に薄く高耐久性の表面对策が実施できれば、補修工法の選択の幅が広がると考える。

自動車が道路を利用する限り、舗装は損傷し補修が必要となる。財政状況が厳しい今、道路管理者は新しい補修工法を求めている。今後とも補修のニーズにあった製品開発を続けていただければ幸いです。本稿を閉じることにします。

8. おわりに

現在、伊勢神宮では、社殿を造り替えてご神体を新宮へ遷(うつ)す20年に一度の大祭、「式年遷宮」の真っ最中で、平成25年の遷宮に向けていろいろな行事が行われています。

また、伊勢神宮から和歌山県に通じる「熊野古道」が平成16年に世界遺産に登録され、ハイキングコースも整備されています。

志摩地方では、リアス式海岸や伊勢エビやアワビなど、見るところ食べるところがいっぱいです。

三重県の道路舗装管理の確認に合わせてぜひお立ち寄りください。

静岡市土木構造物健全化計画（舗装編）について

(Healthy making Shizuoka City engineering works structure plan (chapter of pavement))

望月 満*・山形 麻弓**

アメリカでは、1930年代のニューディール政策により大量に建設された道路構造物の高齢化が進み、1980年初頭に発生した悪路や欠陥橋梁により、経済的・社会的に大きな損失をもたらした所謂「荒廃するアメリカ」といわれる深刻な社会現象が生じた。わが日本国においては、昭和30年代に始まる高度成長期以降に社会基盤の整備を行ってきたストックの多くが更新の時代を迎えつつある。

一方、橋梁などの土木施設が急激に更新の時期を迎え、合理的かつ効率的な維持・保全が課題となっている本市は、平成17年4月に全国14番目の政令指定都市となり、国道（指定区間外）から生活道路まで3,000km余を管理し、膨大な維持・補修ストックを抱えていることから、「アセットマネジメント」や「予防医学」的な概念を取り入れた土木構造物の健全化計画の策定に着手しているところである。平成18年度までに調査検討した内容について報告する。

1. はじめに

平成17年4月に全国で14番目の政令指定都市「静岡市」が誕生した。平成18年3月31日には蒲原町と合併し、最終的には県から指定区間外の国道及び県道の管理の移管を受け、国県道から市道（生活道路）まで総計3,000km超を管理することになり、政令指定都市の有利性である国道から生活道路までを一元管理できるメリットを最大限に活かした維持管理手法の導入が求められている。

また、本市は、高度成長期に建設したインフラの多くが時代の経過とともに老朽化し、急激な維持・更新費の増大が予想されている。しかしながら、財政事情は依然として厳しい状況下であり、効果的で効率的な管理への転換が求められているが、現状の道路構造物の管理は、壊れたら直す、作り直すという「対症治療」的な維持管理である。その結果、偶発的な補修箇所の増加や道路瑕疵による事故の頻発化によるリスクが増すなど弊害が顕在化してきた。

そこで、土木施設を資産として痛む前に手を加え、出来るだけ長持ちをさせ運用する「アセットマネジメント」の概念や病気になるように日頃から予防する

「予防医学」的な概念を取り入れた「静岡市土木構造物健全化計画（橋梁編・舗装編）（以下「健全化計画」という。）を漸次策定に着手しているところである。特に舗装の破損は、道路利用者の安全の損失に直結し又市民の補修ニーズも高いことから、平成17年4月の政令市移行と同時に健全化計画（舗装編）の策定に着手し、平成20年4月より運用を図る予定である。

2. 道路の資産現況及び課題

2.1 路線種別調査

本市の管理する道路は、図-1の路線種別路線延長に示す通り、交通量5万台（内3,860台/日大型・一方方向）が通過する国道150号をはじめとする3路線52kmの国道から恒常的に軽車両程度しか利用しない市道まで総計約9,645路線3,023km（平成18年4月1日現在）¹⁾と多岐に渡っている。このことは、本市にとって市町村道を管理している市町村、県道を管理している都道府県及び重車両が多い直轄国道を管理している国が抱えている維持管理上の課題が包括的に潜在していること示している。

図-2の市管理の交通区分別の道路種別延長に示す

*もちづき みつる 静岡市役所建設局 道路部 道路保全課 副主幹

**やまがた まゆみ 静岡市役所建設局 道路部 道路保全課 技師

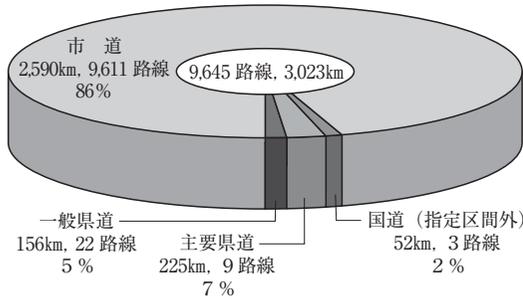


図-1 路線種別延長

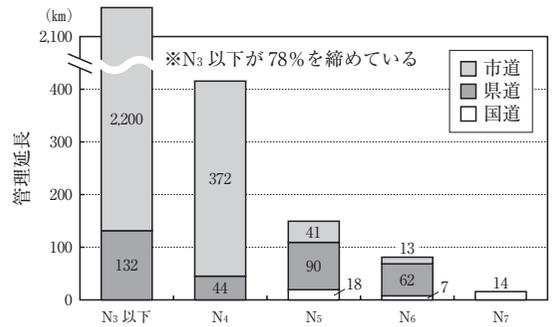


図-2 市管理の交通区分別の道路種別延長

市道において、交通量区分N₆相当の路線もあり、県道においても、N₃相当以下の路線区間を有していることから、従来の国道・県道・市道の枠組みにとらわれない新たな管理区分が必要となる。

2.2 舗装補修の変遷

現在、市が管理して交通量が多い主要幹線道路である国道（指定区間外）・県道計約433kmは、平成17年3月まで静岡県が一定の管理水準を保持し維持管理を行ってきた。図-3に示すように舗装補修は既に3度のピークを迎えている。簡易舗装が主であった昭和46年を中心とする「新設A」、

高度成長期の昭和50年を中心とする「新設B」、バブル経済期の「新設C」である。「新設A」は、既に概ね18年が経過した昭和62年頃に補修し、「新設B」は概ね平成7年頃に補修している。この頃は、土木費が潤沢にあり計画的に舗装補修が推進できたと推測される。しかしながら、バブル経済の崩壊と共に舗装に係る予算確保がままならなくなったことから、第2回目の「補修A」箇所の補修ストックが大量に残置されているのと同時に簡易舗装構成の表面処理の補修であることも懸念材料である。

一方、図-4の市道の舗装補修の変遷からも、本市道においても県から移管された国県道と同様に昭和30年代から急激に舗装整備が始まり、昭和60年代初頭までに3回のピークがあり、概ね15年間隔で舗装補修の「山」があることがわ

かる。国県道との相違は、平成のバブル経済期崩壊後も舗装新設が継続していることである。これは、土地利用のために整備が事業化されることに起因していると考えられる。このことから、舗装ストックは今後確実に増加すると推察される。以上を整理すると、昭和30年代に建設した舗装については既にバブル経済の

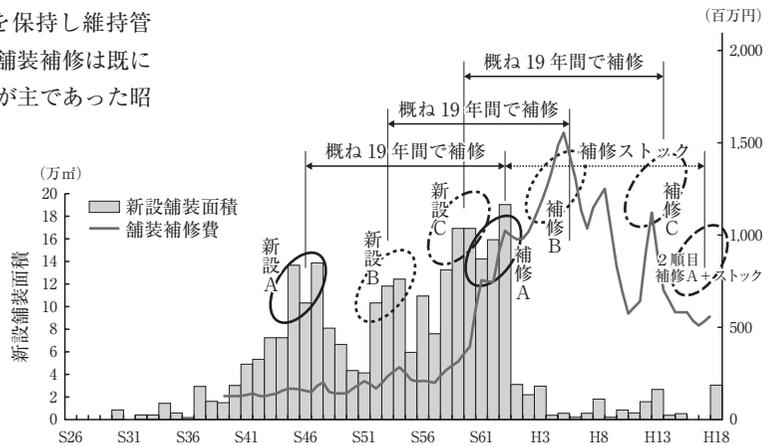


図-3 市内の国県道の舗装補修の変遷

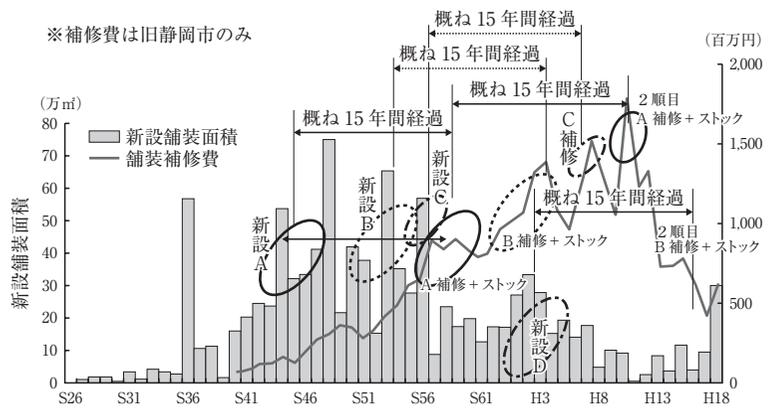


図-4 市道の舗装補修の変遷

補修費潤沢期に第1回目の補修と合致したため表面処理的な補修ができたが、2順目又は3順目の補修時期が到来している今、財政負担が大きな課題となる。

2.3 舗装補修のストックの把握

健全化計画の策定に際し、舗装補修トータルストック及び健全度を把握する必要がある。そこで、市内全域の道路を路面計測車による路面性状の3要素の測定又は路面画像撮影車等によるひび割れ調査を実施した。図-5の市内の路面性状値に示すとおり、現状の舗装水準(MCI値)は極めて由由しい状態とはいえない。これは、図-3及び図-4に示すとおり、バブル経済期まで適切な補修事業費の確保ができた証と推察できる。なお、補修対象となるMCI値4以下²⁾の433kmを補修するためには、国・県・市道合わせて96億円程度と試算した。また、MCI値4~5の大量の補修対象予備軍(国県道95km, 市道791km, 合計886km)が、数年以内にはMCI値4を下回ることが想定できることから、事前の対応策が必要不可欠となる。

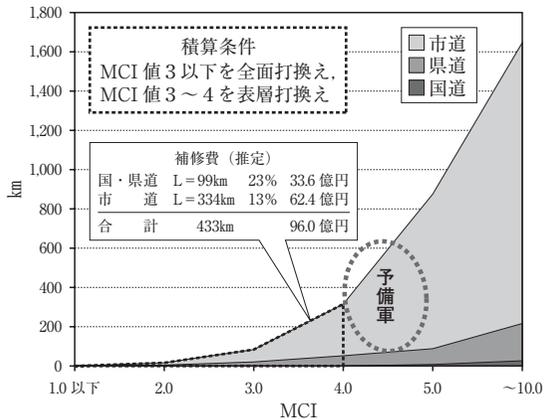


図-5 市内の路面性状値

2.4 路面性状値と舗設経年との関係

県から移管された国県道は、過去継続的に路面性状調査を実施していた。この過去の路面性状値の膨大なデータをサンプリングし、今回測定した路面性状値(ひび割れ率)の相関について解析した。図-6、図-7から、①オーバーレイや局部的な打換えが必要となるひび割れ率20%³⁾、②全面的な打換えが必要となるひび割れ率30%³⁾となる経年数は、12年~21年程度となっている。MCIによる道路舗装の維持・修繕基準によると補修が必要となるMCI値4.0²⁾となる舗設経過年数は19年程度となることから本市の国県道路の舗装補修耐用期間は19年間程度と推察できる。こ

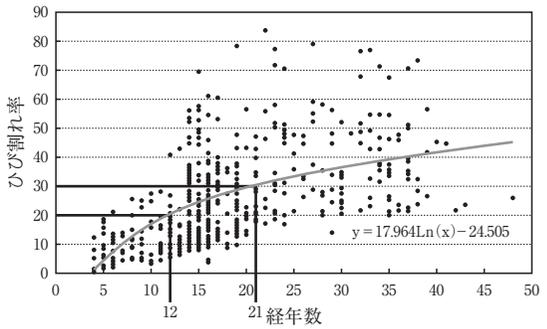


図-6 経年数とひび割れ率との関係

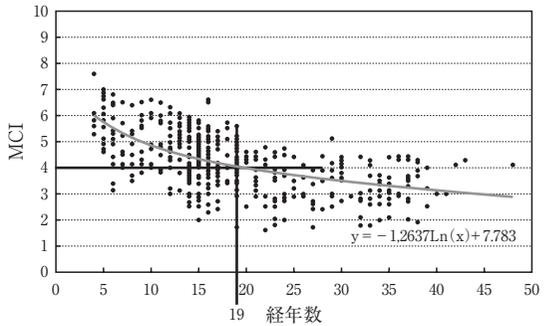


図-7 経年数とMCIとの関係

れは、「図-3 市内の国県道の舗装補修の変遷」の過去の補修周期とはほぼ一致している。

また、図-6 経年数とひび割れ率との関係のサンプリング標本にかなりのバラツキがあるが、これは舗設後の利用形態の変化に伴う交通量の増加などの外的な要因や舗装厚の不足、施工不良や適切な補修の不作為などが考えられる。これらの不健全な破損リスク(通常有すべき舗装の寿命以下で破損する)の要因が排除できれば、精度の高い劣化予測式の設定が可能となり、将来の補修シミュレーションの構築が可能となるのと同時に不測の補修コストの低減が図れると期待できる。

2.5 補修費用の簡易的なシミュレーション

上記の「2.2 舗装補修の変遷及び2.4 路面性状値と舗設経年との関係」から得られた国県道及び市道の補修サイクルと交通区分毎の標準舗装構成による補修費を考慮し、将来予測を行った。図-8の将来必要となる補修費をシミュレーションした結果は、平成18年度補正予算の実積 国・県・市計10.56億円に対し、ピークの平成33年度には54億円となりH18年度予算の実に5倍の予算が必要となる。但し、算出の基礎となる工法は、切削オーバーレイなどの最低限の表面打換工

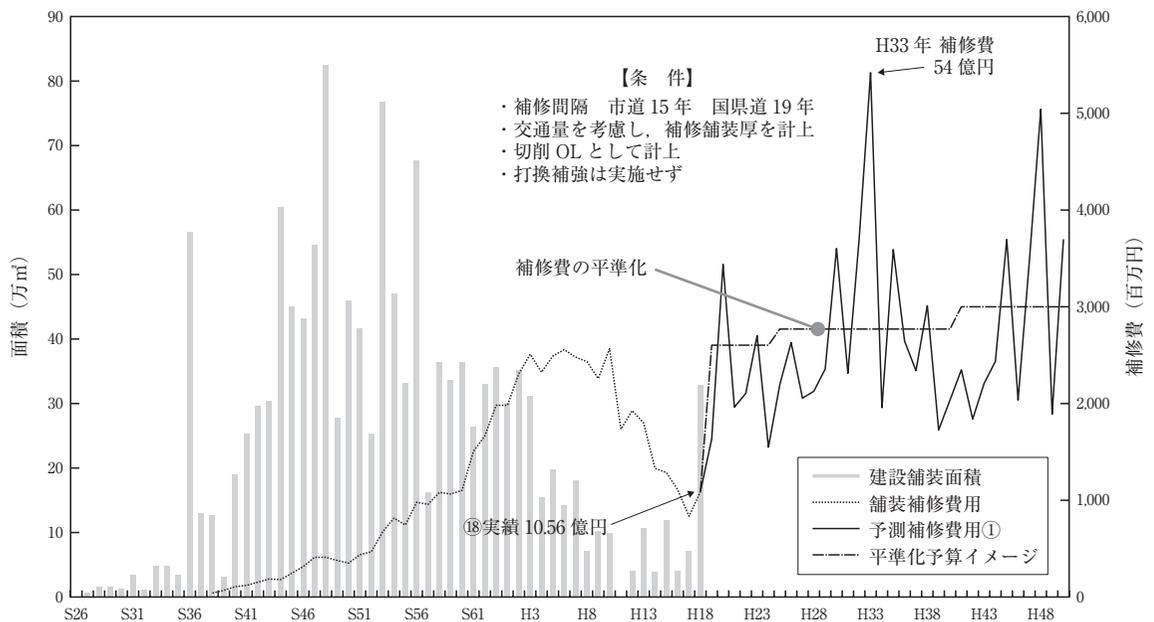


図-8 補修ストック(市道+国道)将来予測

法など路面更新を基本としている。今後は、2順目又は3順目の補修となるため、疲労などを考慮し路盤までの全面打換工法(舗装の更新)の比重が高くなるのが推察されるため、更にコストアップが想定できる。

なお、シミュレーション結果は、過去の補修履歴から推定した概算である。最も経済的な予算を導き出すと年度毎に凹凸が生じる。事業の性格上あまりに大きな変位は他の事業に及ぼす影響が大きくなるため、平準化することも必要となる。今後は、適切な予算執行するためには、交通区分毎・設置年次から帰帰分析し、算出した精度の高い劣化予測式を用いて、区間別の損傷度や地点別CBRなど膨大な情報を基に補修ストックをシミュレートするシステムの開発に着手したい。

3. 静岡市土木構造物健全化計画(舗装編)の概要

3.1 計画の概要

以上の課題を踏まえて、既存の舗装寿命の延命化を図るため「予防的維持」を導入し、同時に舗装を資産群として見立て資産を有効活用する「アセットマネジメント」の手法を取り入れた実効性が高い健全化計画(舗装編)に着手しているところである。全体の構成は、第1編基本方針、第2編健全化プラン(ガイドライン)、第3編アクションプログラム、第4編舗装設計・施工・管理マニュアルの4編を予定している。

なお、策定中の「基本方針(案)」を外部の有識者に

よる「静岡市土木施設健全化計画(舗装編)策定委員会(以下「策定委員会」という。)に諮り、技術的な助言を受ける予定である。したがって、現時点(H19.8月末)では委員会が開催されていないため、以下は、案として骨子のみ報告する。

3.2.1 計画のポイント(案)

(1) 予防的維持の導入

現在、昭和20年初頭は53歳と短命であった日本人女性の平均寿命は、85歳超で22年間長寿世界一である。これは、日本人女性の特異体質でなく、図-9に示した予防医学⁴⁾が功を奏したことは周知の事実である。舗装にもこのような概念を取り入れた「予防的維持」を取り入れることにより、長寿命化を図るとともにコスト縮減が図れることになる。

(2) アセットマネジメントの導入

舗装を資産群としてとらえ、状態を定量的に把握・評価し、中長期的な予測を行うとともに、予算的制約の下で、最適な補修時期・工法を選定する。また、バイパスなどの新設や大規模補修時には、道路構造物の建設費、供用後の維持費と修繕費、更新費や、渋滞損失や環境影響などを費用化した外部費を考慮し、図-10⁶⁾の示す長期的なライフサイクルコストを対象とし、ある一定期間の評価期間を設定して、それらの合計費用を最小化することを目的とした設計・施工法を導入する。

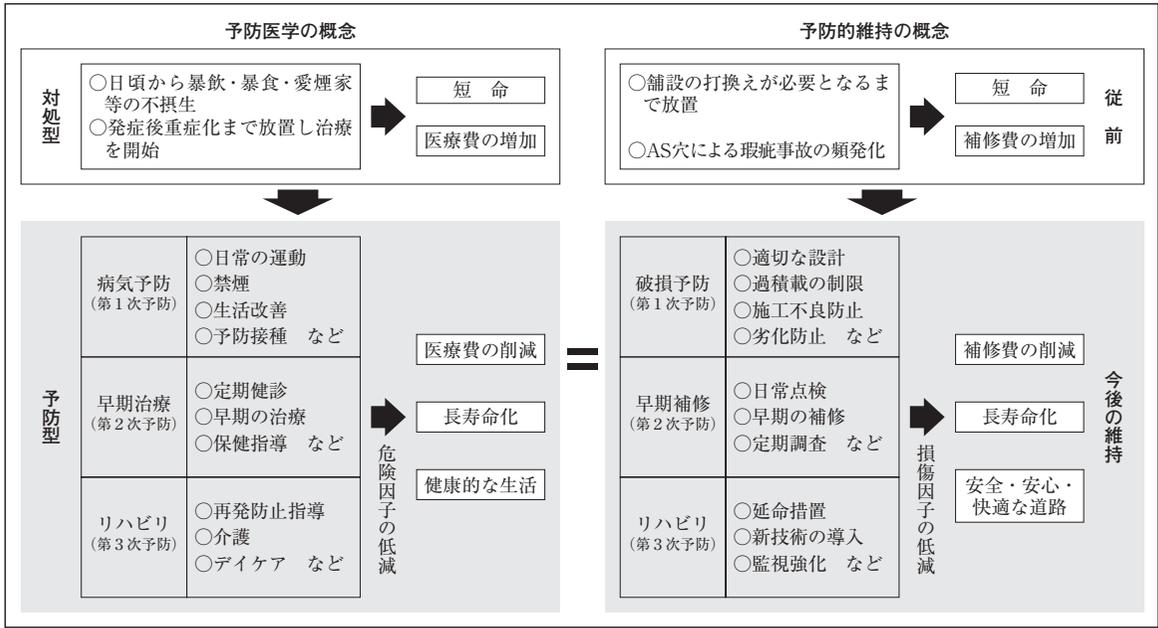


図-9 予防医学と予防的維持

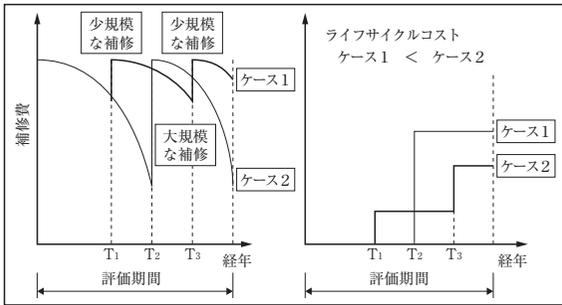


図-10 LCC導入のイメージ

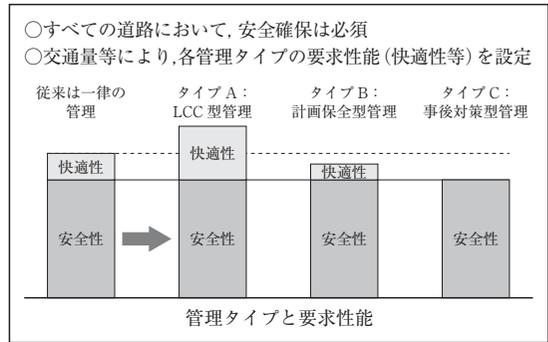


図-11 3つの道路管理区分の考え方

(3) その他

- ①わかりやすい目標を設定し、市民と共に舗装資産の運用を行う。
- ②技術力を強化しコスト縮減を図ると共に環境配慮型の維持管理を目指す。
- ③NPM (New Public Management) の手法を活用し、舗装管理の効率的・効果的な運営を図る。
- ④市民との協働や他機関と連携により維持管理を図る。

3.2.2 具体的な管理水準(案)

ネットワークの建設時と現在では、道路利用形態や交通区分が大幅に変化していることから、「国・県道」と「市道」という枠組みから「道路利用形態別」で管理したほうが、効率的・効果的な維持管理がなされると考えられる。そこで、図-11 3つの管理区分の考

え方に示すとおり、管理道路を①常に高い水準で管理し、安全性・快適性を確保しライフサイクルコストの最小化を図る路線【LCC型管理路線】、②路面性状が低下し安全が損なわれる前に計画的に保全する【計画保全型路線】、③小型道路区分相当で急激な損傷リスクが少ない路線は、構造破壊まで達する寸前に補修することにより補修コストの最小化を図る【事後対策型路線】として設定した。

3.2.3 補修工法(案)

アセットマネジメントの舗装管理では、期待する供用性能を設定した期間、保持させなければならない。それには、適切な構造及び工法を選択することが必要となる。従前の画一的な補修工法、図-12に示す切削オーバーレイや舗装打換えなど単純に選択すること

は望ましくない。補修の目的を明確にし、それに対応した補修構造や補修工法を選定することが必要である。また、最近、バインダーの改良、高性能乳剤、新工法の開発や高性能の施工機械が開発されている。これは、単に低品位な品質の材料を使用するとか厚さを薄くする等の方策ではなく、従来工法と新工法と併用（例：オーバーレイ＋クラック抑制）することにより適用範囲を拡大し、従来工法のコスト縮減代替工法としての設定を行う。また、設計条件、設計期間、信頼度などを他の計画（道路改良、埋設物件の補修、区画整理等）の供用期間を個別具体的に設定し、設計の多様化を図る必要がある。

3.2.4 モニタリング

図-13 モニタリング調査に示すとおり、①舗装の破損の特徴や進行過程を把握、②路面状況と構造的評価、③ひび割れ状況と構造評価などを目的に、交通区分・交差点・線形毎に市内125箇所の路面性状調査・FWD試験・コア抜き観察及び3.2.3 補修工法(案)で示した工法を検証するために、継続的にモニタリング調査を実施している。なお、長期的にモニタリングを行い、得られた知見を補修マニュアルに反映する予定である。

3.2.3 補修工法(案)で示した工法を検証するために、継続的にモニタリング調査を実施している。なお、長期的にモニタリングを行い、得られた知見を補修マニュアルに反映する予定である。

3.2.5 システム構築

図-14 舗装管理台帳システム（イメージ）は、舗装新設時のデータ及び舗装の履歴を蓄積することにより、最適な設計方法・補修のタイミングなど補修計画の立案・管理の支援が可能となる。従前の路面性状調査の結果は紙ベースでの利用であったため、利用方法が限定されていたが、GISを利用することにより視覚的に路面状況を把握できる。更に様々な道路管理に活用できる総合的な維持管理システムを構築する。

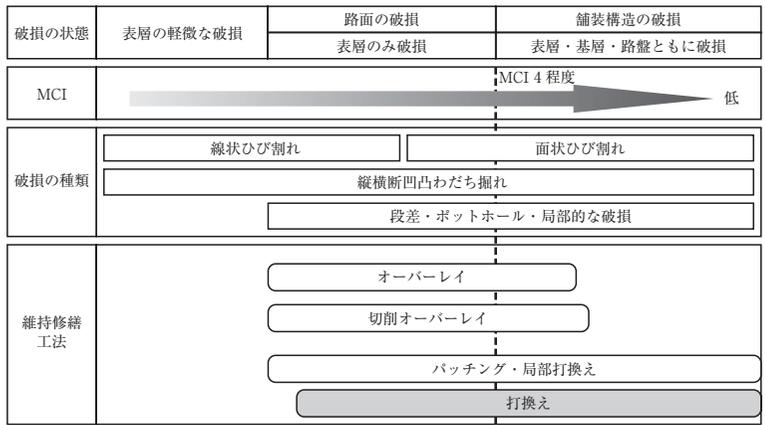


図-12 従前の補修工法

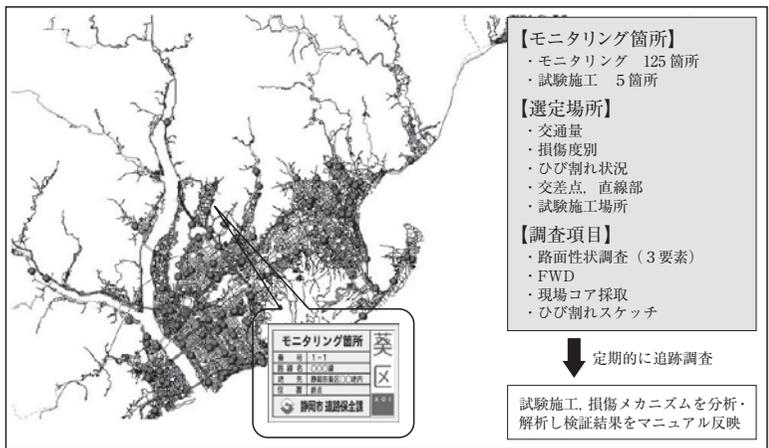


図-13 モニタリング調査

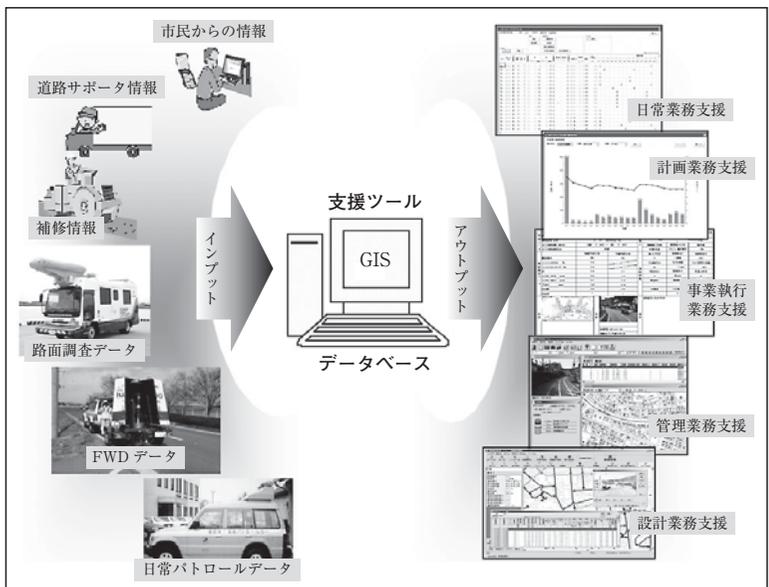


図-14 舗装管理台帳システム（イメージ）

4. 今後のスケジュール

平成17年度から調査検討してきた項目については、職員の舗装技術の強化、モデル試験施工、追跡調査、各種技術基準・施工マニュアル類の策定を目的に道路部内の若手有志10数名で設置した「アセットマネジメント研究会」で取りまとめた。この案に対し、「産・官・学」の第三者の有識者が、実効性、最新の動向、最先端の舗装技術の適用の可否など平成20年3月末を目途に審議を尽くしていただくことになっている。

【資料収集】 H17年度 6月～
<input type="checkbox"/> 路線種別の交通量調査 <input type="checkbox"/> 道路現況調査（幅員・利用状況等） <input type="checkbox"/> 過去マスターデータ変換
【現況の把握・分析】 H18年度
<input type="checkbox"/> 試験施工の追跡 <input type="checkbox"/> 管理水準の細分化 <input type="checkbox"/> 路面性状調査（全路線） <input type="checkbox"/> 定点観測 <input type="checkbox"/> モニタリング区間のFWD <input type="checkbox"/> 新工法の適用範囲調査 <input type="checkbox"/> 人材育成（勉強会） <input checked="" type="checkbox"/> 指針策定に着手
【総括】 H20年 3月末を目途
<input type="checkbox"/> 指針、ガイドライン策定予定 <input type="checkbox"/> データベース構築 <input type="checkbox"/> 試験施工追跡調査 <input type="checkbox"/> マニュアルを漸次整備する

学識経験者による審議
H19.9月～H20.3月

図-15 健全化計画（舗装編）策定スケジュール
（H19.8月末現在）

5. まとめ

現時点までに調査した結果を整理すると下記のとおりとなる。

- ①本市は、舗装整備率が高く既に第1回目の補修期が昭和の後半から平成の初頭のバブル経済期（土木費が潤沢期）と重なっていたため社会問題に発展してこなかった。今後は、公共事業に対する風当たりが厳しい中、莫大な更新費用を要する橋梁及び補修2順目以降の舗装補修期が同時に到来する。

- ②今後の適切な管理計画を策定する際に、管理目標、管理水準、補修時期、補修工法によって大幅に事業費の増減が生じる。客観的な数値基準や設計基準などをどのように設定できるかが今後の課題となる。
- ③舗装の損傷原因は、走行輪の繰返疲労破壊及び紫外線劣化、温度収縮などの対策が難しい「一般的な破損」及び混合物の品質不良や施工不良など改善が可能な「人為的な破損」がある。アセットマネジメントを導入するには、「人為的な破損リスク」が発生しない技術向上やチェック体制づくりが必要である。
- ④維持補修工法の技術革新は古くて新しい問題である。新工法の適用の可否やモニタリングによる追跡結果を蓄積するなど、得られた知見をフィードバックする仕組み創りが必要である。
- ⑤実効性あるアセットマネジメントは、職員の技術力の向上もさることながら、地域住民へのアカウントビリティも必要である。

6. おわりに

今秋に開催される策定委員会による審議結果を踏まえ20年度末までに計画を取りまとめ、効率的・効果的な道路管理に取り組んでいくことになる。この稿を通じ、これから補修計画の策定を計画している自治体や舗装技術者に多少でも参考にしていただければ幸いである。また、委員会でご意見をいただいた最終的な指針や運用後の成果については、積極的に情報を発信し、維持管理に携わっている職員の技術の底上げ及び道路利用者へのアカウントビリティに努めて参りたいと考えている。

— 参考文献 —

- 1) 静岡県道路保全室：静岡県道路現況調査
- 2) 土木学会：舗装標準示方書（2007年制定）
- 3) 日本道路協会編：道路維持修繕要綱（昭和53年7月）
- 4) ハーバード大学 Leavell教授ほか
- 5) 国土交通省HP

NEXCOにおける舗装補修の現状と課題

(Current status and Issues of pavement repairs in NEXCO)

川村和将*・神谷恵三**

長期供用の高速道路が増えるとともに老朽化が進行しており、舗装においても、表層だけではなく、下層の損傷も見られるようになってきている。これに対し、NEXCOでは、舗装の構造的な損傷を評価する指標にFWD損傷率を用いて、舗装の補修計画を立てている。また、高機能舗装に見られるようになった基層の損傷についても、水によるアスファルトのはく離を評価する試験を開発し、補修計画に生かしている。これまでの開発成果のうち、大粒径アスファルト混合物の取組み、並びに、効率的な補修計画の視点から、舗装マネジメントシステムに関する取組みについて紹介する。

1. はじめに

東日本高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社、西日本高速道路株式会社（以下、「NEXCO」という）が管理する高速道路の延長は、約7,300km（2006年4月1日現在）を超えており、開通以来、30年以上経過した道路が高速道路全体の20%以上に達している。高速道路の老朽化の進行とともに、舗装においても、表層だけでなく、下層まで損傷が進んでいる箇所も見られる。

一方、日本道路公団時代から進めてきた高機能舗装（排水性舗装）は、平成17年度末には高速道路舗装面積の60%を占めるまでになっている。その結果、従来の密粒度アスファルト混合物の表層では雨水に曝されることがなかった基層が、水の影響を受け、早期に損傷するケースが見られるようになった。

NEXCOは、それらの損傷状況をコア採取による物性試験やFWDなどにより調査し、舗装の健全度を評価している。本稿では、損傷の評価手法、補修に関する新たな取組み等を紹介する。

2. 舗装の損傷形態

2.1 基層の水による脆弱化

平成17年度に実施した舗装補修工事における、補修前後のアスファルト混合物について調査したところ、補修対象混合物は、80%以上が密粒度アスファルト混

合物であるが、20%弱は高機能舗装用混合物であった。高機能舗装を本格的に導入したのは、平成10年からであるが、既に高機能舗装の補修が始まりつつある。高機能舗装を補修した際の補修原因割合を図-1に示す。表層の高機能舗装が原因で補修した例は20%程度しかなく、70%は基層のはく離やひびわれが原因で補修している。このように、高機能舗装化により基層が水に曝され、骨材とアスファルトのはく離することで脆弱化し、補修に至るケースが多々ある。基層の脆弱化は、写真-1のように砂分が路面に噴出した場合や局部的に流動した場合には、容易に損傷を判断できるが、表面からは分からないのが通常である。そのため、基層の補修計画を立てることができず、表層を切削したときに、基層の損傷を確認し、急遽、補修することになる。

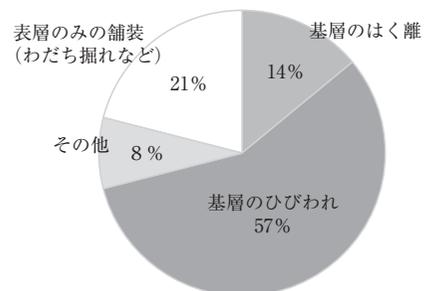


図-1 高機能舗装の補修原因

*かわむら かずまさ (株)高速道路総合技術研究所 道路研究部 舗装研究室 主任研究員

**かみや けいぞう (株)高速道路総合技術研究所 道路研究部 舗装研究室 室長



写真-1 砂分が噴出した状況（ポンピング現象）

2.2 ひびわれ

高機能舗装の施工実績が多くなるに従い、高速道路のわだち掘れ量の平均値は小さくなってきている。しかしながら、その反面、ひびわれが目立ち始めた。ひびわれの主な発生原因には、前述の高機能舗装下の基層の脆弱化があるが、密粒度舗装区間においてもアスファルトの劣化や構造的な疲労などが原因でひびわれが発生している。写真-2は密粒度舗装においてひびわれが発生した路面状況である。ひびわれが発生した場合、耐久性の低下を防ぐために、早期に調査を行い適切な補修を行う必要がある。



写真-2 密粒度舗装におけるひびわれ発生状況

2.3 骨材飛散

高機能舗装には、積雪寒冷地を中心に、一般地域の重交通路線においても、冬期の交通規制に伴うチェーン装着走行などの打撃・摩耗作用により、骨材飛散等の損傷が発生している。写真-3は飛散した骨材が路肩に溜まっている状況である。高速道路本線におけるチェーン装着走行による高機能舗装の損傷は、写真-4：上段に示すように、アスファルトモルタルや粗骨

材の摩耗や飛散に加え、粗骨材の破碎が顕著に生じている特徴がある。このように骨材が破碎されている状況では、ノーマルタイヤでの走行でも骨材が細粒化して飛散し（写真-4：下段）、さらに損傷が進行すると考えられる。¹⁾



写真-3 路肩に骨材が散在している状況

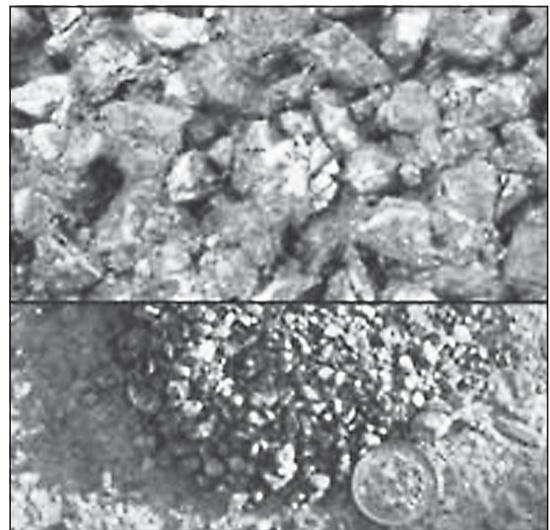


写真-4 磨耗した高機能舗装の表面

3. 損傷評価手法

損傷に対して適切な補修を行うには、損傷状況を的確に把握することが重要である。以下にNEXCOが取り組んでいる損傷評価手法について紹介する。

3.1 基層のはく離抵抗性の評価

既往のはく離抵抗性を評価する試験（静的のはく離試験、水浸マーシャル安定度試験、水浸ホイールトラッキング試験）は、材料や新規のアスファルト混合物を対象としているものであり、既設アスファルト混合物のはく離抵抗性を評価する方法として標準的なものはない。

基層のはく離は、上面から生じていることから、現地切り取り供試体を用いて、現場同様に基層上面から水を透し、はく離を促進させ、はく離抵抗性を評価する方法を考えた。はく離の促進には図-2に示す加圧透水試験機を用いた。この試験機は、土の三軸圧縮試験同様に供試体側面をゴムスリーブを介して水の側圧(側圧>透水圧)で拘束するものであり、従来の加圧透水試験機のように供試体とモールドの間をアスファルトシールする必要がないことから、加圧透水試験後の供試体を取り出し強度試験が行える特長を有する。なお、水浸マーシャル安定度試験や水浸ホイールトラック試験と同様に、透水圧と側圧の水温を60℃に保持できるように改造した。はく離の評価は、25℃の圧裂試験による加圧はく離促進試験後の圧裂強度(残留圧裂強度)とはく離促進を行わない標準の圧裂強度に対する残留圧裂強度の比(残留圧裂強度比)及び圧裂試験後の供試体断面のはく離状況により行うこととした。既設基層混合物のはく離抵抗性を評価するには、標準圧裂強度、残留圧裂強度、残留圧裂強度比の基準値を設定する必要がある。そこで、高機能舗装化後に局部流動などの損傷が生じた現場(図-3の凡例:(高))と密粒度舗装の現場(図-3の凡例:(密))で、目視では損傷の見られない個所の現場切り取り供試

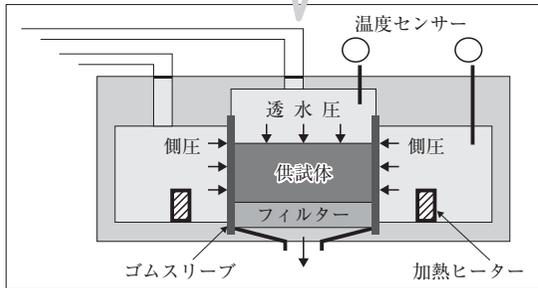
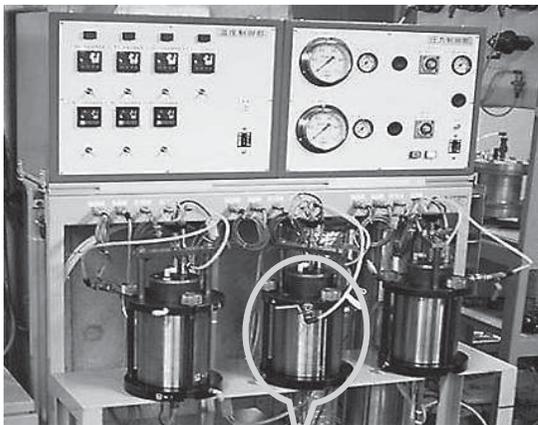


図-2 加圧はく離促進試験機

体を用い、加圧はく離促進試験を実施した。その結果を図-3に示す。図中にプロットした塗り潰しマークは、圧裂試験後の供試体破断面にはく離が見られたものである。白抜きマークは、はく離が見られなかったものである。供試体破断面のはく離の有無および標準圧裂強度と残留圧裂強度の関係から、危険エリアを図中に示した。残留圧裂強度が0.78N/mm以下であれば、残留圧裂強度比が100%であっても、供試体破断面にはく離が見られる。また、残留圧裂強度が0.78N/mmから0.90N/mmの間は、残留圧裂強度比が80%を超える部分のデータがなく、80%以下では供試体破断面にはく離が見られることから、これを危険エリアとし、この境界線を暫定的な評価基準値とした。²⁾

NEXCOでは高機能舗装に補修する場合には、あらかじめコアを抜き、加圧はく離促進試験を実施し、結果が危険エリアに該当した時は、基層も併せて補修することとしている。

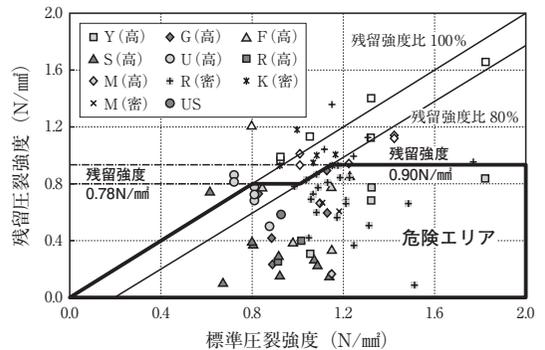


図-3 基層の耐久性評価

3.2 舗装の健全度評価

NEXCOはFWDを用いて舗装のたわみ量を測定し、舗装の構造的損傷を評価している。評価にはFWD損傷率と荷版直下のたわみ量(D0)をもちいており、FWD損傷率は図-4と式(1)に定義される。FWD測定時のD0が建設直後に得られるような構造的健全時のD0以下であればFWD損傷率は0%、構造的損傷時(アスファルト安定処理上層路盤まで打換えが必要と判断される状態)と同じ場合にはFWD損傷率は100%となり、その中間的な損傷程度についても定量的に示すことが可能である。³⁾

$$\text{FWD損傷率 (\%)} = \Delta L / L_{D0} \times 100 \quad (1)$$

ここに、

ΔL : FWD測定時のD0と構造的健全時のD0の差

L_{D0} : 構造的損傷時のD0と構造的健全時のD0の差

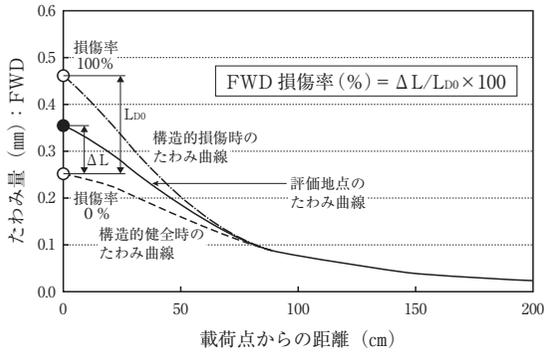
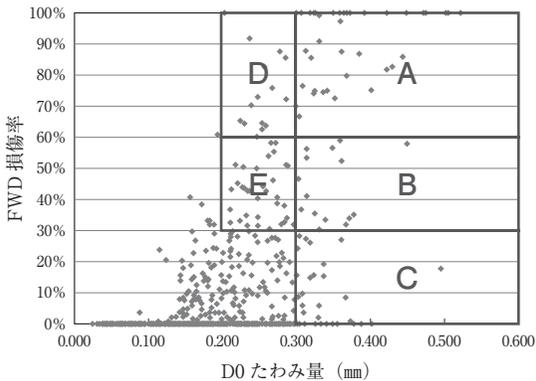


図-4 FWD損傷率の定義

このFWD損傷率とD0から図-5に示すように損傷レベル(A~E)を判定し、補修工法の選定資料としている。例えば、ある損傷した舗装のFWD損傷率が80%、D0が0.4mmであったとすると、損傷レベルはAになり、アスファルト混合物層全層の打換えが必要な損傷であると判定している。

今後も、FWDによるたわみ測定と現地におけるコア採取により損傷レベルを調査し、損傷判定精度の向上を図っていきたい。



A: As層全層ひびわれ, B: As層基層までひびわれ,
C: As層アススペースまでひびわれ, D, E: 要注意

図-5 FWD損傷率とたわみ量による損傷レベル判定

4. 補修に関する新たな取組み

4.1 大粒径混合物の配合設計

前述の損傷レベルAのようにひびわれの損傷がアスファルト混合物層全層に及んでいる場合、補修対象範囲を同一材料で厚層により一括して施工することができれば、交通規制下での施工時間の短縮など作業の効率化を図ることができる。しかし、NEXCOが管理する高速道路は、表層を高機能舗装とすることが標準となっているため、舗装の耐久性を高めるには高機能舗装直下の層の水密性、はく離抵抗性が重要となる。

そこで、高機能舗装下でも施工可能な大粒径混合物の水密性に着目した配合の検討を行っている。

水密性を評価するために、水浸ホイールトラッキング試験によるはく離面積率及び、透水係数に着目して検討を行った。その結果、図-6のとおり、はく離面積率とアスファルト容積率はほぼ反比例の関係が見られ、アスファルト容積率を大きくすることによりはく離抵抗性が増すことが分かった。参考までにDSの値も示すが、基層よりも大きく、耐流動性は問題ない。また、図-7のとおり混合物の透水係数と表面粗さの関係から、表面のきめ深さを浅くすることにより透水係数を低く抑えられる可能性のあることが分かった。配合設計におけるアスファルト量は一般に質量の比率で表現するが、水密性を考慮した配合設計においては、アスファルト量を混合物の構成しているアスファルトの比率、すなわち見掛け上のアスファルト量を表現するアスファルト容積率が重要であると言える。

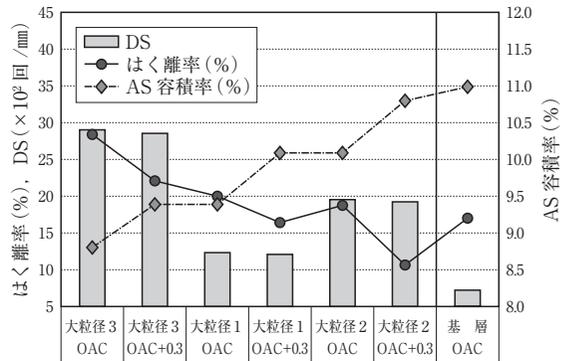


図-6 大粒径混合物のはく離試験結果

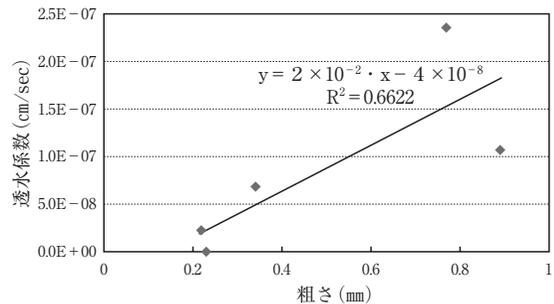


図-7 透水係数と表面粗さの関係

4.2 高機能舗装の骨材飛散対策

2章で述べた積雪寒冷地域におけるチェーンによる骨材飛散は、放っておくと更に進行する恐れがあるため、飛散を抑制する補修技術の開発が望まれている。

高機能舗装の損傷抑制に寄与する補修工法は、①補修後において排水機能等を大幅に低下させることなく②破碎された骨材の飛散を抑制する効果を有し③補修作業時に長時間の交通規制等を必要としないことが望ましい。そこで、アスファルト乳剤系または樹脂系材料を損傷した高機能舗装表面に散布する表面保護工法（以下「保護工」）の適用性を日本アスファルト乳剤協会、排水性トップコート研究会と共同で検討した。

材料には、改質アスファルト乳剤2種、アクリル樹脂3種を用いた。乳剤は駐車場の骨材飛散対策に使用実績があるものと本検討のために新たに試作したものである。樹脂は交差点などの骨材飛散対策として実績があるものや試作したものをを用いた。

交通荷重に対する耐久性及び機能性を確認するために、高速道路総合技術研究所（以下、「NEXCO総研」という）所有の回転式舗装試験機（以下「シミュレーター」という）を使って促進載荷試験を行った。保護工の施工に先立って、供試体に高機能舗装混合物（空隙率20%）の損傷状況（粗骨材の破碎）を再現する必要があるが、大型車シングルタイヤにチェーンを装着し供試体上を走行させることで対応した。試験は、表-1に示す試験条件により、常温での骨材飛散抑制効果を評価（条件I）した後、低温での摩耗抵抗性を評価（条件II）した。

実路での保護工の骨材飛散抑制効果を検証する目的で、平成16年6月、関越自動車道（下り線）湯沢IC付近の土工部に、図-8に示す工区割りで試験施工を実施した。施工箇所の高機能舗装（空隙率17%、最大粒径20mm）は、平成15年に補修工事で更新されたものであり、試験施工時点で約8ヶ月程度と比較的短い供用履歴であるにも係らず、冬期間のチェーン装着走行等の影響を受け、写真-3と同様な損傷が見受けられる状況であった。

各工法のシミュレーター試験における走行試験前からのわだち掘れ進行量及び試験施工箇所における施工直後から追跡調査（11ヶ月経過）時までのわだち掘れ進行量を図-9に示す。乳剤I（散布量：0.6L/m²）と

表-1 シミュレーター試験の条件

項目	条件(I)	条件(II)
タイヤ種	大型ノーマルシングル	大型チェーンシングル
載荷重	kN 24.5	
速度	km/h 80	20
路面表面温度	℃ 常温	
シフト	mm ±100	
路面状況	乾燥状態	
通過輪数(累計)	~18.0万	18.0~18.1万

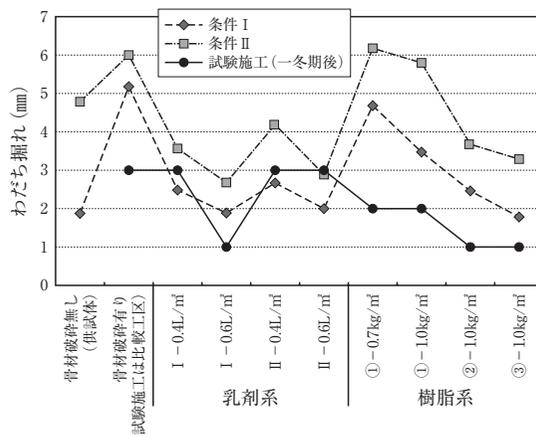


図-9 わだち掘れ進行量

樹脂③（1.0kg/m²）は、他工区に比べいずれの試験においても良好な結果であり、骨材飛散に伴う損傷の進行抑制に効果が認められる。¹⁾

今後は、損傷抑制効果の持続性などを検証していく必要がある。

5. 舗装マネジメントシステム

NEXCOにおける舗装マネジメントシステム（以下「PMS」という）は、高速道路の保全業務におけるRIMS（道路保全情報システム）の業務処理系システムの1つとして、高速道路の建設及び管理段階で発生する膨大な舗装工事に関するデータを、効率的に蓄積・加工するとともに、定期的に測定される路面性状データから現状や経年変化の把握及び将来の予測等を行い、

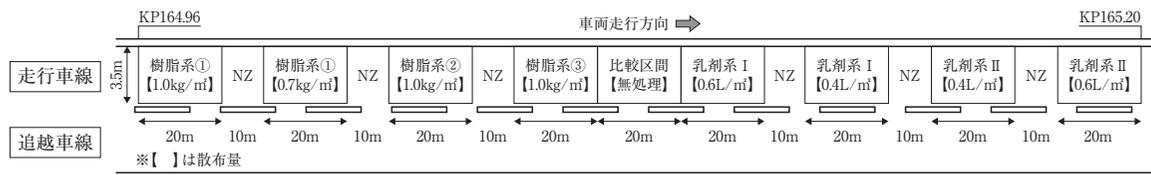


図-8 試験施工の工区割

経済的な修繕工法や効果的な修繕計画の策定を支援するためのシステムである。

図-10に示すように、舗装のデータについては、距離・車線・舗装構成の3次元データに、修繕履歴を加えた4次元のデータを管理していく必要がある。これら多次元のデータを正確かつ効率的に作成・更新し管理していくため、図-11に示すようなレイヤ（階層）構造を採用している。具体的には、PMSは一度作成されたデータは組織が変更しても原データは変更しないというデータベース構造を持つ。このため、それぞれの階層で履歴情報を管理できるテーブルを設け、現況データと一つ前の履歴データとを関連付けることにより、過去の履歴を追跡できる構造としている。

PMSは、道路管理者が効率的な維持修繕計画等を策定するための支援システムであり、今後の路面管理に必要なシステムツールである。

またPMSは、道路管理者が補修計画策定等のための資料を提供するためのツールであるが、舗装データを蓄積・集計して中長期的視野に立った合理的な舗装管理を実現するためにシステムを充実させていくことは重要なことであると考えている。

6. 今後の課題

高速道路の安全、快適な走行環境の確保に高機能舗装は効果を上げてきた。しかし、基層の脆弱化や積雪寒冷地域における骨材飛散など、高機能舗装の短所も指摘されている。積雪寒冷地域では、高機能舗装のような表面きめ深さを持ち、内部は緻密なハイブリッ

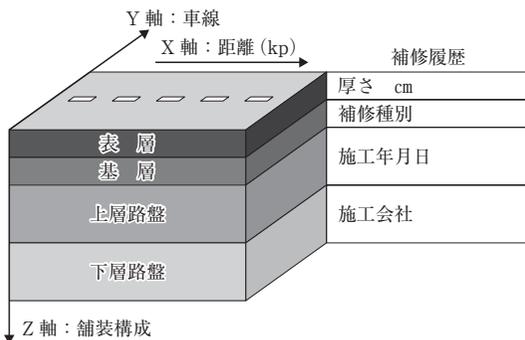


図-10 PMSの舗装構成図

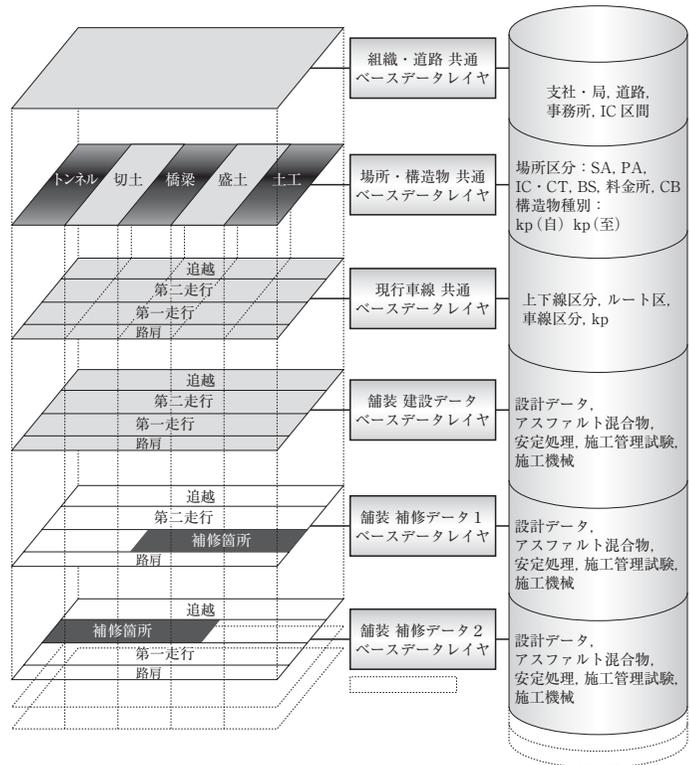


図-11 PMSのレイヤー

ド舗装を採用し、磨耗に対する耐久性を向上させる試みを行っている。また、基層の脆弱化対策についても、現在は打換える方法が採用されているが、費用がかさむことから、基層を補修せずに、雨水を基層に侵入させない方法が望まれ、ハイブリッド舗装の適用を検討している。

この他にも、高機能舗装のリサイクル技術、コンクリート舗装の効率的な補修技術など環境保全や効率的な補修を目的とした技術開発が要求されており、NEXCO 総研は鋭意研究を進めているところである。

参考文献

- 1) 松本大二郎, 菅野宏, 橋本修治, 高速道路における高機能舗装の損傷抑制工法について, 第10回北陸道路会議技術報文集, 2006年6月, p58
- 2) 本松資朗, 神谷恵三, 松本大二郎, 既設基層混合物のはく離抵抗性の評価方法に関する研究, 第26回日本道路会議論文集, 2005年, No. 20081
- 3) 阿部勝義, 神谷恵三, 佐藤正和, 高速道路舗装の構造的損傷に関する一考察, 舗装工學論文集, 第9巻, 2004年12月, p177

首都高速道路における舗装補修の現況と課題

(Pavement Management at Metropolitan Expressway)

半野久光*・大久保高秀**

首都高速道路の舗装は、そのほとんどが橋梁等の構造物であることから、いわゆる橋面舗装でポラスアスファルト混合物を使用した高機能舗装を標準としている。

維持管理では、車上からの週3回程度の巡回点検と年1回の舗装機器点検を行い、その結果に基づき舗装の補修（緊急補修、応急補修及び打換え補修）を行っている。

舗装打換えは夜間施工により実施しているが、最近では品質向上等のため休日24時間で集中的に工事を行う方法も採用している。

さらに首都高速道路では、舗装の維持管理をより合理的・効率的なものとするため、点検結果を定量化して評価し維持補修計画を立案、マネジメント可能なアセットマネジメントシステムを活用している。

1. はじめに

1962年の供用開始以来、首都高速道路は首都圏のみならず全国の社会経済活動を支える交通の大動脈として機能し続けている。現在では、その供用延長は286.8km、通行台数は1日約116万台、年間では約4億台、利用者数は1日約200万人に達しており、必要不可欠な交通インフラとなっている（図-1）。

総延長のうち供用後30年以上の区間が、約4割と非常に高齢化が進んでおり、また、交通量も多く高速道路上での補修工事に時間的な制約があるなど、舗装や床版など構造物を維持管理するうえで大きな特徴がある。

弊社は、2005年10月から株式会社となったが、道路関係公団の民営化の主旨を踏まえ首都高速道路を合理的・効率的に維持管理することが社会的な要請となっている。

2. 首都高速道路の現況

2.1 舗装の現況

首都高速道路の総延長は約287km（2007年8月現在）であり、そのうち高架区間が約8割を占め、トンネル・半地下区間は約12%で、土工区間は僅かに5%程度である（図-2）。その結果、首都高速道路の舗装は大多数が橋面舗装という特徴がある。

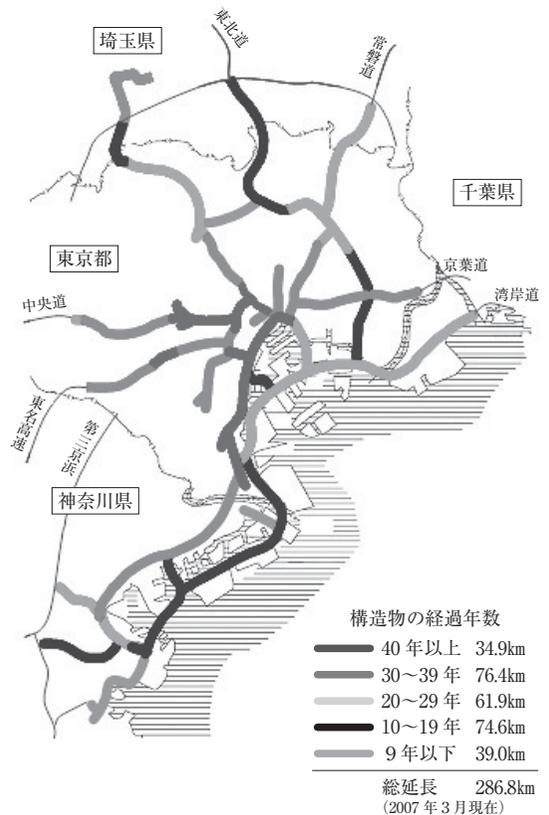


図-1 首都高速道路のネットワークと構造物経過年数

*はんの ひさみつ 首都高速道路(株) 技術管理室 設計技術グループ

**おおくば たかひで 首都高速道路(株) 保全・交通部 保全企画グループ

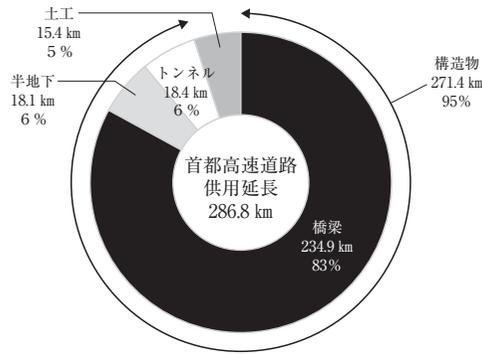
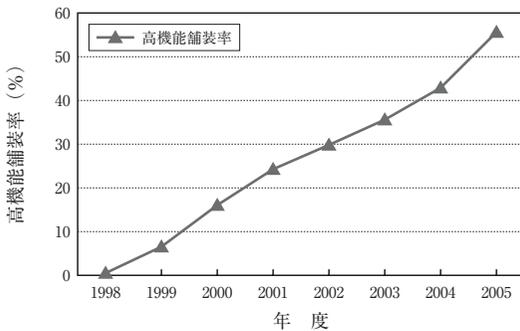


図-2 首都高速道路における構造物比率

首都高速道路の橋面舗装は、供用開始当時は表層に密粒度アスファルト混合物を使用していた。しかし、交通量の増大に伴い、わだち掘れによる舗装の損傷が顕著となり、1978年に耐流動対策として骨材の噛み合わせ強度に期待した粗粒度ギャップアスファルト混合物を表層に使用することとなった。その後、さらなる耐流動対策として改質アスファルトに着目し、1994年からセミブローンアスファルト (AC-100) を全面採用することとなった。しかし、舗装に対する要求性能も多様化し、耐久性確保といった観点の他に低騒音対策、雨天時の走行安全性の確保と言った性能も求めら



※高機能舗装率は、2004年末時点の供用延長 (286.8km) に対する比率である。

図-3 高機能舗装率の推移

れ、1999年からはポラスアスファルト混合物を用いた高機能舗装を標準とした。また、土工部についても、1999年の湾岸線5期の供用から高機能舗装を採用しており現在に至っている。

既設路線に関しても、1996年に首都高速5号線の約400m区間に初めて高機能舗装を施工して以来、通常舗装から高機能舗装への改善を実施している。2005年度時点では、図-3に示すように全体の約6割が高機能舗装に更新されている。また、一方では首都高速道路における舗装補修費用は、図-4に示すように供用延長及び交通量の増加と共に増大してきており、今後の効率的な維持管理計画が必要となってきている。

2.2 舗装構造

首都高速道路の橋面舗装は、表-1に示す舗装を標準としている。コンクリート床版上の舗装は、表層に最大粒径13mmのポラスアスファルト混合物を用いており、厚さは4cmで空隙率は20%としている。基層には透水性の小さいポリマー改質アスファルトII型を用いた密粒度アスファルト混合物 (最大粒径13mm) を用いている。

舗装構成は、図-5に示すように表層4cm (全層8cm) としており、床版防水は施工時間及びコストの観点から加熱アスファルト塗膜防水としている。なお、

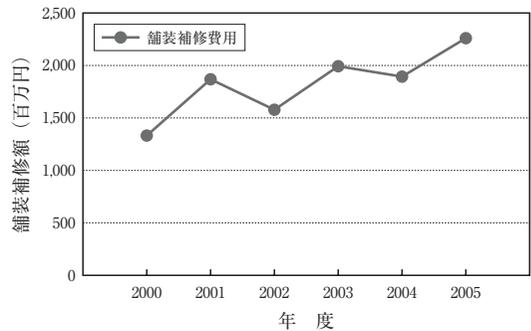


図-4 舗装補修費用の推移

表-1 舗装構成

適用箇所		構造種別	舗装材料	
車道部	高架橋	コンクリート床版	表層	ポラスアスファルト混合物 (13) (ポリマー改質アスファルトH型)
			基層	密粒度アスファルト混合物 (13) (ポリマー改質アスファルトII型)
		鋼床版	表層	ポラスアスファルト混合物 (13) (鋼床版用ポリマー改質アスファルトH型)
			基層	グースアスファルト混合物 (13) (硬質アスファルト)
料金所付近	高架橋	コンクリート床版	表層	開粒度アスファルト混合物 (13) + 浸透用セメントミルク (ストレートアスファルト40-60)
			基層	粗粒度アスファルト混合物 (20) (ストレートアスファルト40-60)
		鋼床版	表層	開粒度アスファルト混合物 (13) + 浸透用セメントミルク (ストレートアスファルト40-60)
			基層	グースアスファルト混合物 (13) (硬質アスファルト)

高機能舗装への更新や打換え補修時に床版の損傷が見られる場合は、防水効果が薄れるため浸透型樹脂防水と加熱アスファルト塗膜防水の二重防水としている。

また、コンクリート床版部の伸縮継手の前後1 m区間は、半たわみ舗装として表層に浸透ミルクを散布することとした。この箇所は表基層とも転圧不足になりがちであり、伸縮継手の後打ちコンクリート部分との剛性の違いにより路面上の段差が生じやすいため処置である。

鋼床版上の場合、表層に鋼床版用改質アスファルトを用いたポーラスアスファルト混合物を用いており、基層はグースアスファルト混合物を用いている。

舗装構成は、図-6に示すようにコンクリート床版上と同様に表層4 cmとしている。但し、高機能舗装に更新する場合は表層のみ打換えることが多く、基層の

グースアスファルト上に加熱アスファルト塗膜防水を行うこととしている。これは基層に劣化が見られたり、表層パッチングにより基層が局部的に撤去されている場合が多いための処置である。

料金所付近の舗装は、表層3 cmの開粒度アスファルト混合物（最大骨材粒径13 mm）を用いた半たわみ舗装としており、鋼床版部は基層にグースアスファルト混合物を使用している。なお、半たわみ舗装のすべり抵抗の規格値は、DFテスターを用いた計測値 $\mu_{80} \geq 0.35$ としている。これは、従来のポータブルテスターによる計測値の精度が悪いことから、現場において大型すべり抵抗試験車とポータブルテスター及びDFテスターによる3者の比較試験を行い、その結果、大型すべり抵抗試験車とDFテスターによる測定値が非常に良い相関が見られたので、このように規定している。

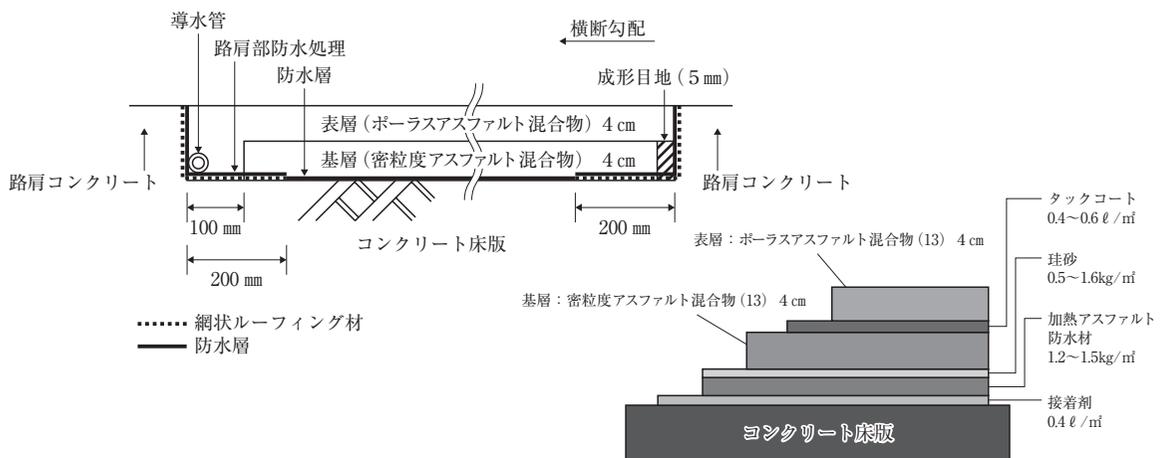


図-5 コンクリート床版上の舗装構成

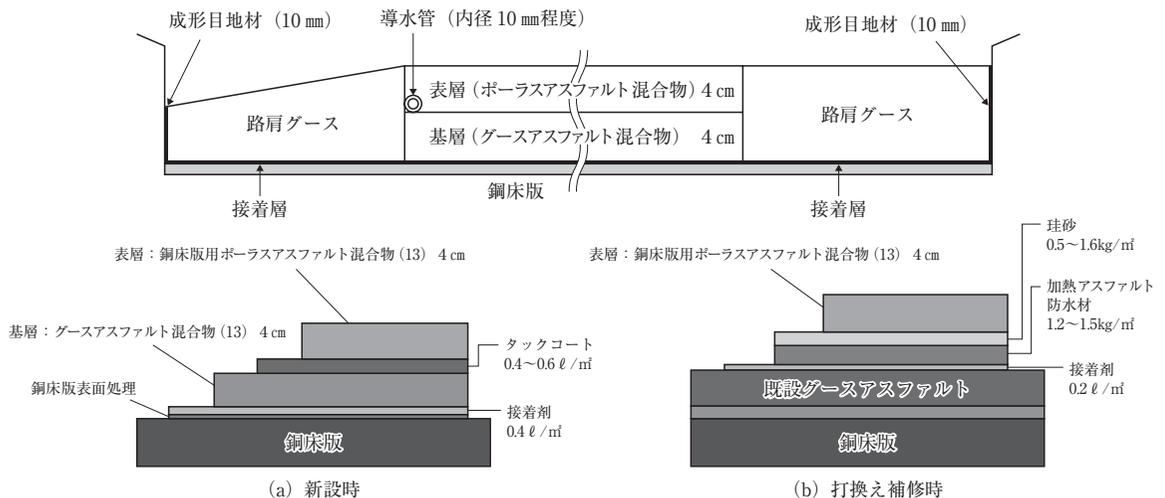


図-6 鋼床版上の舗装構成

3. 舗装の維持管理

3.1 舗装の点検

舗装の点検は、「日常点検」「舗装機器点検（定期点検）」の2種類の点検を行っている。

「日常点検」は、路面の異状を検出する目的で行うものであり、パトロールカーでの点検員による点検が2～3回/週、交通管理員による点検が10回/1日（1回/2～4時間）の頻度で実施されている。日常点検により発見された損傷の代表例を写真-1～3に示す。

「舗装機器点検」は、舗装の損傷データ収集のために行うものであり、路面性状測定車を用いて、出入口を



写真-1 わだち掘れの例



写真-2 ひび割れの例



写真-3 ポットホールの例

除く全路線を対象に1回/2年実施している。この点検では、「わだち掘れ量（最大と平均）」と「ひび割れ率（最大と平均）」を測定し、径間単位で集計、算出するもので（ただし土工部では100m単位）、同時に路面写真も撮影している。この結果により各指標が打換え基準値以上となる径間を抽出し、補修の対象としている。

3.2 舗装の補修

舗装補修は、上記の点検により発見された損傷に対して実施している。補修としては、大別すると緊急補修、応急補修及び本補修としての打換え補修に分類される。

(1) 緊急補修

緊急補修の実施は、第三者に影響を及ぼすような損傷に対応するものであり、主としてポットホールの穴埋めが多い。特に、ポットホールは放置すると走行中の車両のタイヤがパンクする等の事故の発生頻度が高く、利用者の安全性を確保するためにも速やかに補修する体制としている。そのため、昼夜を問わず直ちに補修する体制としている。また、ポットホールは雨天時に発生する確率が高いため、弊社では雨天時の路面点検を強化しており、ポットホールに対して直ちに補修している（写真-4）。



写真-4 穴埋め施工状況

補修材料としては、高速道路上を交通規制しての作業となるため、出来るだけ短時間で補修が可能となるようにアスファルト系の常温合材を使用することとしている。しかし、首都高速道路のように重交通路線では、耐用期間は1ヶ月程度なので、緊急補修後に応急補修もしくは本補修（打換え補修）を実施している。

(2) 応急補修

応急補修の実施は、路面に損傷は見られるが緊急性が無い場合や補修規模が小さい場合等に対応している。主として路面のコブや伸縮継手部付近の段差、及び鋼

床版上の線状クラック等の損傷に対応している。路面のコブに対しては部分的な切削を行い、伸縮継手部付近の段差については、車両通過時の騒音抑制と振動防止のため、段差が大きい場合は常温合材による穴埋めを行い、小さい場合は薄層舗装による段差修正工を実施している(写真-5)。



写真-5 段差修正工

また、ポットホールの中には、はく離面積が1㎡以上にも達する箇所が発生することもある。このような場合は、応急補修として加熱合材でパッチングを行うこととしている。パッチングは一般に密粒度アスファルト混合物を使用しており、施工は1車線規制を行い、小さな振動ローラによる一層仕上げで行う場合が多い(写真-6)。



写真-6 パッチング

(3) 打換え補修

打換え補修は、路面のわだち掘れ及びひび割れによる損傷に対応して実施しており、補修の目安としては、年1回実施している舗装機器点検により得られるわだち掘れ量とひび割れ率のデータから判断している。補修の範囲は1車線毎に伸縮継手間単位としている。

打換え補修は、基本的に全層打換えでポーラスアスファルト混合物を用いた高機能舗装に打換えている(舗装構成は2.2を参考)。しかし、打換え範囲が非常に小規模な場合や片側車線だけの場合は、高機能舗装を用いずに、従来の粗粒度ギャップアスファルト混合物(舗装厚3cm,最大骨材粒径13mm)と粗粒度アスファルト混合物(舗装厚5cm,最大骨材粒径20mm)による舗装構成を用いている。また、打換え面積が小規模な場合、使用するアスファルトは材料供給の面からストレートアスファルトを用いることとしている(写真-7)。



写真-7 舗装打ち換え

鋼床版の場合は、基層のグースアスファルト撤去時の騒音や施工時間が制約となるため表層だけの打換えが多い。高機能舗装に改善する場合も表層打換えで実施している。

首都高速道路における補修工事は、交通量の少ない夜間に実施することを基本としている。これは路線毎の交通量を勘案して定めた路線方向別に曜日を指定し、夜間21時から工事を開始する「曜日指定方式」と呼ばれる方式である。

特に舗装打換え工事は、夜間21時から交通規制を開始し翌朝6時に交通開放する時間帯で表層までの作業を終了させている。さらに、周辺住民への環境を配慮し、騒音の出る舗装剥取り工は23時までに終了することにしており、非常に時間工程の厳しい施工である。舗装打換え工事の1日当たりの標準的な時間工程を表-2に示す。このような状況から、1日の施工可能範囲にも制約があり、床版防水も加熱アスファルト塗膜防水としている。

また、料金所付近の半たわみ舗装の打換えにおいても、養生時間短縮のため散布する浸透ミルクに超速硬タイプの浸透ミルクを使用することとしている。これも上記の厳しい時間制約の理由によるものである。

表-2 舗装打換えの標準工程

工種	作業時間	21:00	22:00	23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00
交通規制	30分	■									
舗装剥ぎ取り工	90分		■	■	■						
路肩部分撤去工	40分			■	■						
排水枳孔明工	40分			■	■						
床版防水工	120分			■	■	■	■				
基層工	100分				■	■	■	■			
導水管設置工, 段差部舗装工	50分						■	■			
タックコート工	30分							■	■		
表層工	165分								■	■	■
跡片付け	20分									■	■
交通規制解除	30分										■

最近では、この厳しい制約条件を緩和する方法も実施してきている。その方法は休日24時間連続して1車線を規制し、高速道路上で補修工事を行う「休日集中工事方式」である。

この方式は、舗装打換え補修の他、伸縮継手を減らすノージョイント化工事や、区画線及びガードレール補修工事などを集中的に実施するものである。これにより、工事渋滞の削減や伸縮継手をなくすノージョイント化による走行性の改善、周辺住民への騒音・振動の低減が図ることが出来るという長所がある。

平成19年5月には、高速3号渋谷線の用賀料金所付近から三軒茶屋までの区間において、日曜日の早朝から翌月曜日の早朝まで24時間連続1車線規制による集中工事を実施している。(写真-8)



写真-8 集中工事 (高速3号渋谷線用賀料金所付近)

4. 舗装マネジメントシステムについて

4.1 アセットマネジメントシステムの考え方

舗装や床版などの構造物の維持管理については、限られた予算において合理的・効率的に行う必要があるため、弊社では、①予防保全の考え方を取り入れた

適切な維持管理レベルの保持、②維持管理の優先順位を定量的に決定する評価手法の確立を目標として、アセットマネジメントの手法を適用した維持管理システム構築の検討を進めている。

図-7にシステムの骨格を示す。

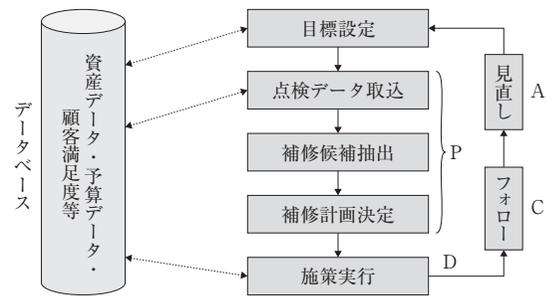


図-7 アセットマネジメントのスケルトン

以下に舗装を例にその概要を示す。

4.2 舗装マネジメントシステムの概要

舗装マネジメントシステムは、図-8のフローに示すとおり、以下の3項目から成り立っている。

(1) 点検結果の定量評価 (レーティング)

舗装の評価指標としては、路面点検車により、評価区間毎に平均わだち掘れ量 (d1: mm)、最大わだち掘れ量 (d2: mm)、ひび割れ率 (w1: %) 及び最大ひび割れ率 (w2: %) の4指標が数値で定量的に把握されており、これらを評価指標としている。

わだち掘れ量とひび割れ率については、弊社舗装補修の運用規定に準じて維持管理水準を設定し、その結果に基づき舗装の損傷状況 (健全度) を評価している。具体的には評価ブロック毎にPerformance Index値 (以下、PI値) を表-4のレーティング表より求め、そのPI値を基に当該ブロックの舗装状態を定量評価してい

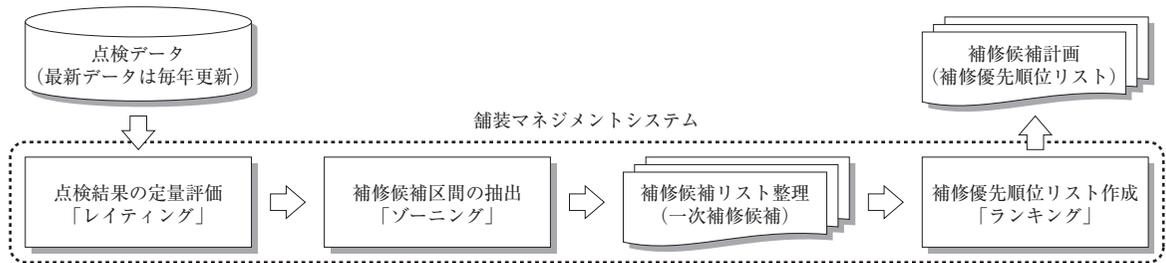


図-8 舗装マネジメントシステムのフロー

る。点検結果の判定区分、レイティング値については表-3、4に示すとおりである。

PI値の算定は、各指標のうち最も厳しい値を評価ブロックの総合PI値（総合評価値）としている。

なお、各指標のPI値の境界値は、随時、システム上は変更可能としている。

(2) 補修候補区間の抽出（ゾーニング）

補修候補区間のゾーニングとは、算出された評価値（PI値）を基に連続する補修候補箇所を選定し、1つの評価単位として抽出・整理するものである。

舗装補修工事は、連続した区間を集約して施工する

方が効率的であるため、不良区間に挟まれた一部良好区間も補修対象としてゾーニングするものとしている。

手順としては、各路線の起点側から車線毎にゾーニングを実施し、まず基本条件を満足する区間を全て抽出し（一次選定）、その後最適なケースを決定（二次選定）するという2段階で構成している（図-9、10）。

(3) 優先順位リスト作成（ランキング）

ランキングとは、レイティング、ゾーニングにより抽出された補修候補箇所について、補修効果が高い箇所が優先されるように補修箇所の優先順位を選定するものである。

表-3 舗装の点検結果の判定基準

判定ランク	A	B	C	D
対応	要緊急対応	要対応	対応不要	異常なし
基本概念	構造物全体の安全性に影響のある損傷	対応が必要な損傷	次回点検時まで対応が必要ない損傷	異常なし（点検実施の事実を記録に残す）
わだち掘れ	①損傷が著しく、交通に支障が生じる可能性がある場合	平均わだち掘れ量が20mm以上の場合	平均わだち掘れ量が20mm未満の場合	損傷などが無い
ひび割れ	②局所的なひび割れが著しく、舗装のはく離によって第三者被害を引き起こす可能性がある場合	累積ひび割れ率が20%以上の場合	累積ひび割れ率が20%未満の場合	

表-4 舗装レイティング表

判定ランク	対応区分	平均わだち掘れ量 d1 (mm)	最大わだち掘れ量 d2 (mm)	ひび割れ率 w1 (%)	最大ひび割れ率 w2 (%)	PI値
B1	早期補修	25以上	30以上	25以上	-	0.5
		20～25	25～30	20～25	25～30	1.0
B2	要補修	19～20	23～25	19～20	23～25	1.5
		18～19	20～23	18～19	20～23	2.0
C1	要監視	17～18	18～20	17～18	18～20	2.5
		16～17	16～18	16～17	16～18	3.0
		14～16	14～16	14～16	14～16	3.5
C2	定期監視	12～14	12～14	12～14	12～14	4.0
		10～12	10～12	10～12	10～12	4.5
D	健全	10未満	10未満	10未満	10未満	5.0

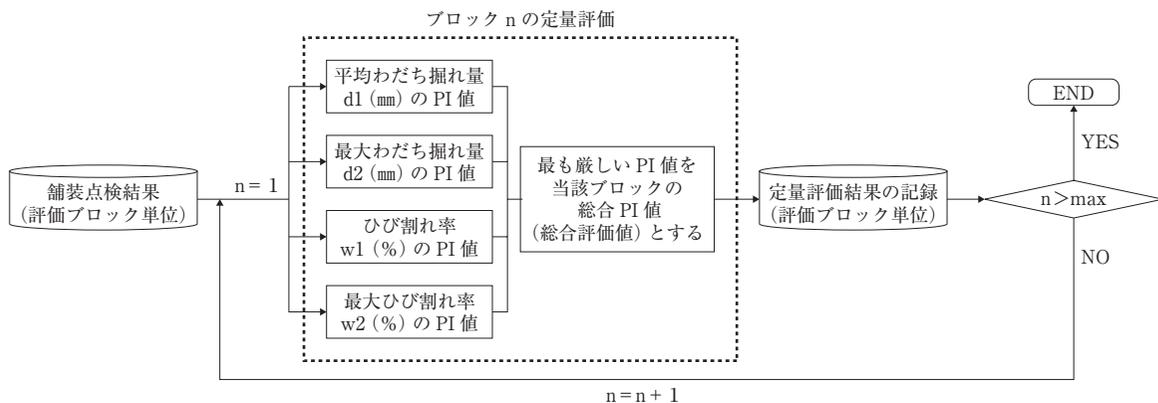


図-9 舗装レイティングのフロー

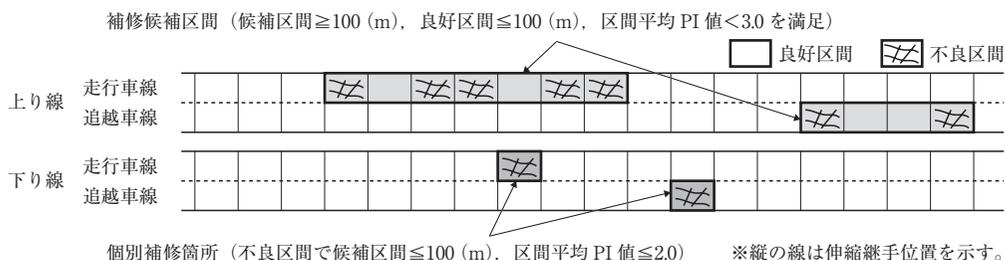


図-10 舗装ゾーニングのイメージ

優先順位については、次式により算出される優先度指数（以下、PR 値）により選定する。なお PR 値は補修前の PI 値が 1 のときに 100 となるように定め、数値が大きいほど補修優先度が高いことを示す。

優先度指数 (PR 値)

$$= \{ (\text{補修後の PI 値}) - (\text{補修前の PI 値}) + 1 \} \times 100 / (\text{補修後の PI 値})$$

注) ただし、補修後の PI 値を 10 とする

本システムはパソコンにて操作可能としており、点検年次などの条件設定を行った後、補修の必要な箇所を図面表示や補修優先順位リストが自動計算により表示できるようになっている (図-11)。

5. おわりに

首都高速道路の舗装は、車両の荷重を直接受け、車両走行の安全性・快適性に直接関わる施設であり、また、沿道環境を保全する上でも、さらに床版などの構造物の保全に対しても重要な役割を担っている。

首都高速道路の舗装は橋面舗装が主体であり、その補修に際しては工事時間の制約があるなど厳しい条件下にある。

舗装を含む首都高速道路の施設を今後とも健全に保つため、ムダのない維持管理計画を策定すべくアセットマネジメントシステムの研究・開発を進めるとともに、より耐久性の高い舗装材料の開発を進めていきたい。



No 1 システム立ち上げ画面

No 2 路線図全体画面

No 3 舗装マネジメントレイティング結果表示

図-11 舗装マネジメントシステムの画面例

空港における舗装補修の現状と課題

(Current Practices and Problems of Rehabilitation Works at Airport Pavements)

八谷 好高*

本稿では空港舗装の補修について紹介している。まず、わが国の空港における民間用空港と空港整備に関わる予算について示した後、現行の舗装補修システムの概要を紹介している。その中では、PRIによる舗装表面性状評価に基づく補修必要性評価結果として現時点におけるものと20年前との比較、ならびにFWDを使用した舗装構造評価の方法と供用中の空港舗装への適用事例を示している。さらに、地震力が作用することによりひび割れが生じた場合、ならびに損傷の進行が著しく早い事例のうちプリスタリングが生じた場合について補修方法を紹介している。

1. まえがき

空港舗装の補修について、現行の補修システムの概要について説明したあと、これでは把握しきれない破損に対する補修事例について紹介する。

2. わが国の空港整備の状況

わが国における空港数は30年前と比べると、40程度増加しており、2005年では第一種空港が5、第二種空港が26、第三種空港が56箇所となっている。このほかの共用飛行場を含めると、空港は図-1に示すよう



図-1 わが国の民間用飛行場

に、大都市圏からの遠隔地にはほぼ県ごとに設けられている(場合によっては複数)ほか、主要な離島にも設置されている。同様に、滑走路総延長も増加しており、1970年と比較すると2005年では2倍を超えるまでになっている。

これらの空港では、空港整備計画を策定した上で整備が進められている。これは1967年に第一次空港整備5箇年計画が開始されて以来、第七次空港整備7箇年計画を経て、2003年からは社会資本整備重点計画に組み込まれて、現在まで継続されている。図-2には年度別の空港整備事業費(歳出)を示している。これには空港の整備に係わるもののほか環境対策や航空保安施設整備に係わるものも含まれているので、図中には空港整備に係わるものだけの分、すなわち空港整備事

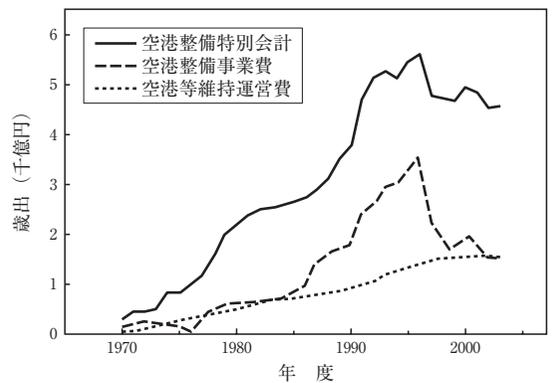


図-2 空港整備特別会計の推移

*はちや よしたか 独立行政法人 港湾空港技術研究所 地盤・構造部長

業費と空港等維持運営費についても示してある。空港整備特別会計は1990年代半ばまで増加していたが、その後わずかに減少に転じている。空港整備事業費は空港大規模プロジェクトの推進に代表されるように、1980年代半ばから10年ほど急増した後、減少に転じたのに比べ、空港等維持運営費は既存の空港施設の維持管理の重要性の高まりを反映して着実に増加している。

3. 空港舗装の補修システム

3.1 空港舗装補修の基本方針

空港のみならず、舗装においては、繰返し作用する交通荷重や気象等の履歴によって舗装表面や舗装構造に損傷が生じてくることは避けられない。これが進行して、舗装としての所要の性能が維持できなくなると、性能回復の手当てを行うことが必要となる。

空港舗装が破損した場合には舗装を供用しながら補修する方法をとらざるを得ないことが多い。そのために、既設舗装の荷重や気象作用等による破損や劣化の程度の判定法と、それらに基づく舗装の補修の必要性の判断基準および補修の設計の方法等が整備されている。また、大型航空機の導入に対応できるように、より大きな航空機を設計荷重とする場合の既存舗装の評価および舗装強度を増強するためのオーバーレイ等の設計の手法等も整備されている。

補修時期の決定、破損原因のおおよその想定および補修工法の選定は、舗装の破損状況を十分に把握することによって可能になると考えている。舗装の破損調査は、舗装表面の調査と舗装構造の材質、強度等を調査する構造の調査に分けることができる。表面の調査では破損そのものを把握し、構造の調査では破損原因の推定、破損の進行状況の概略的な把握をする。図-3には、これを具体化した補修システムのフローを示している。

空港舗装の補修システムの基本方針は、まず舗装の表面性状の評価により補修の必要性の判断を行い、これにより補修が必要となったものについて必要に応じて舗装構造の評価を行い、構造上問題があるかどうかを判断し、これらに基づき適切な補修方法を選定し、最後にそれぞれの補修工法の設計を行う流れである。補修が必要とならない場合でも、維持作業が必要となる場合がある。ここでは、補修とは日常的な手入れでは及ばないほどの損傷の修理や施設の更新を、維持とは舗装の機能を保持するために行う日常的手入れや軽微な修理を意味する。

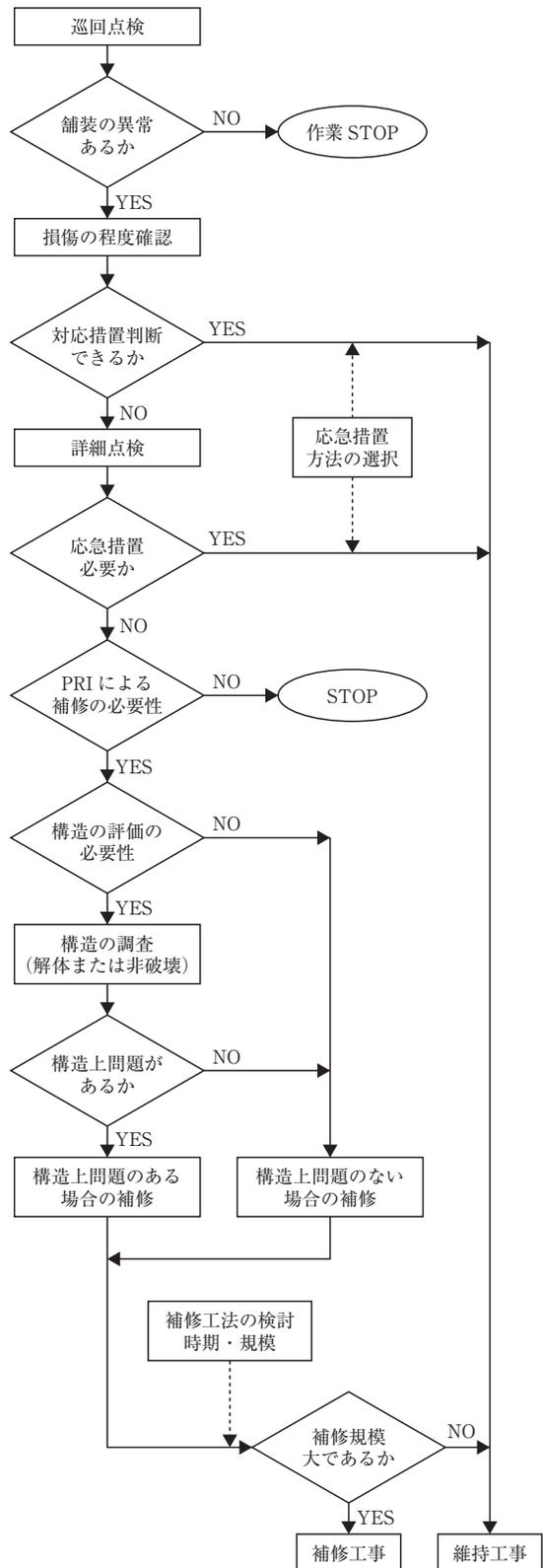


図-3 空港舗装の補修のフロー

3.2 舗装破損評価

舗装破損状況の定量化手法としては、PRI (Pavement Rehabilitation Index) が用いられている¹⁾。PRIは次式により計算され、補修の時期は、このPRIの値によって、A(必要なし)、B(近い将来必要になる)、C(早急に必要である)の3ランクに分けられる(評価の規準値は表-1)。

表-1 PRIによる補修必要性の評価

舗装区域	評 価		
	A	B	C
滑走路	8.0以上	3.8以上 8.0未満	3.8未満
誘導路	6.9以上	3.0以上 6.9未満	3.0未満
エプロン	5.9以上	0以上 5.9未満	0未満

注) A: 補修の必要なし
 B: 近いうちの補修が望ましい
 C: できるだけ早急に補修の必要がある

$$PRI = 10 - 0.450CR - 0.0511RD - 0.655SV \quad (1)$$

ここに、

CR: ひびわれ率 (%、=ひびわれ面積/区画面積)

RD: わだちぼれ (mm, 最大値)

SV: 平坦性 (mm, 3mプロフィロメータによる標準偏差)

この方法による空港舗装の表面性状の調査は25年ほど前から実施されている。以下では、これにより蓄積されたデータに基づき、表面性状の現状と20年ほど前の調査結果との比較について紹介する。

表-2には、最新の調査結果をまとめてある(調査時期は1998~2002年、調査空港数は23である)。PRIの平均値は全体で7.43であるが、滑走路と誘導路では違いが見られ、滑走路では7.99、誘導路では7.12と異なっている。ひび割れ率、わだち掘れ量、平坦性の3種類の破損のいずれをみても、誘導路のほうが滑走路に比べると状況は悪く、この結果が上記のPRIの値に反映されている。

表-1に示した基準に従って補修の必要性を判定した結果を図-4にまとめた。滑走路ではA(補修は必

要ない)に評価されるものが全体の6割程度で、残りではB(近いうちの補修が望ましい)となっている。これに対して、誘導路では7割近くがAと、補修が必要とされる場合は少ないが、C(早急に補修の必要がある)と判定される場合もわずかながら見られる。上記のように、PRIの値自体では誘導路のほうが小さかったが、補修の必要性に関する判定基準が滑走路と誘導路で異なることが、このような結果につながっている。

この調査結果を1985~1987年に行われた調査結果と比較した(調査対象空港は24)。PRIに基づく補修の必要性について図-5にまとめた。滑走路、誘導路とも、前回の調査から見るとAと判定される範囲が10ポイント以上減少し、その分Bと判定される範囲が増加していることがわかる。ただし、Cと判定される範囲については前回と今回の調査で違いがなく、誘導路で2%程度が該当するだけである。この結果、20年間に補修の必要性が増加していることが明らかとなった。

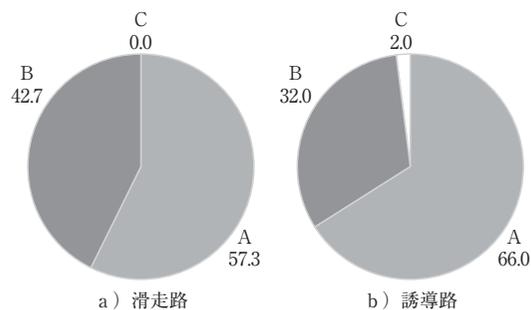


図-4 現状における補修必要性の判定結果

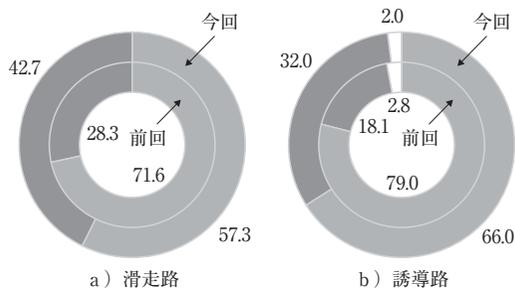


図-5 前回と今回の調査結果の比較

表-2 表面性状の現状

施設	ひび割れ (%)			目地開き (%)	ひび割れ率* (%)	パッチング (%)	わだち掘れ量 (mm)	平坦性 (mm)	PRI
	網状	線状(縦)	線状(横)						
全体	0.19	0.51	0.24	0.15	1.09	0.04	16.78	1.88	7.43
滑走路	0.08	0.33	0.07	0.04	0.52	0.04	14.37	1.60	7.99
誘導路	0.25	0.61	0.33	0.20	1.40	0.04	18.10	2.03	7.12

※ひび割れと目地開きの合計

3.3 舗装構造評価

空港アスファルト舗装の構造評価は、FWDを用いた非破壊法である²⁾。具体的には、そのフローを図-6に示すように、FWD最大たわみに注目した概略評価とアスファルト混合物層ならびに路床のひずみに注目した詳細評価の2つから構成される。

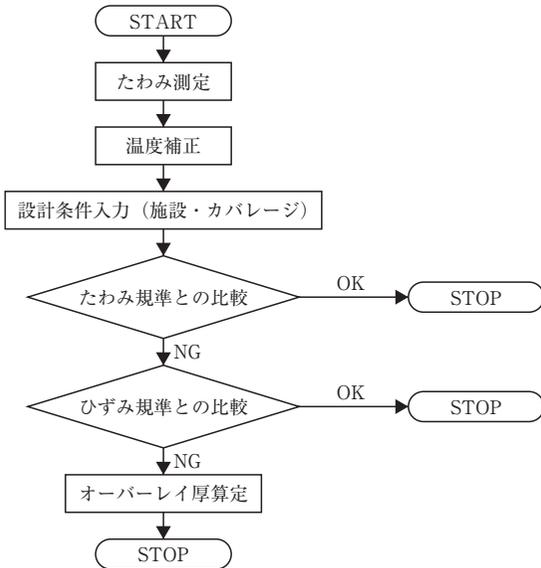


図-6 構造評価法のフロー

最大たわみ (D_0) に基づく方法では、まず実測値を標準状態、すなわち荷重200kN、アスファルト混合物層の代表温度20℃のものに補正する。そして、設計図書を参考にして路床CBRを推定した上で、この補正たわみを規準値と照合することによって舗装構造状態を判断する。この場合、ひずみに基づく方法における逆解析結果を用いれば、調査時点における路床CBRの値が推定できるので、より現実に即した評価が可能となる。

ひずみに基づく方法では、実測たわみ曲線を逆解析

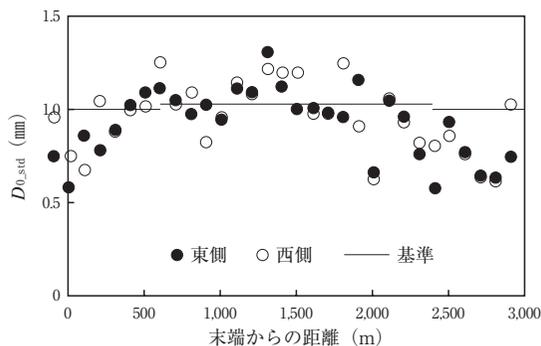


図-7 標準化された最大たわみの分布

することによって舗装各層の力学定数を推定し、アスファルト混合物層の弾性係数を環境条件(温度)ならびに交通荷重条件に応じた標準状態のものに変換した上で、アスファルト混合物層下面水平ひずみ、路床上面垂直ひずみ (ϵ_r, ϵ_v) を算出する。そして、環境条件(路床の設計CBR)を考慮に入れて規準値と照合する。その結果、得られたひずみの値が規準値を超える場合には、オーバーレイ厚とひずみの関係を求めることによって、オーバーレイ厚が算定可能となる。

この方法により、供用開始後比較的早期に損傷が見られた空港滑走路の構造評価を行った結果を以下に示す。

対象とした舗装は、設計荷重がLA-1、設計カバレッジが20,000回、路床の設計CBRが10%であり、その層構成は16cm厚の表・基層、24cm厚の粒度調整砕石上層路盤(滑走路両端から600mの範囲は30cm厚)、40cm厚の水硬性粒度調整スラグ下層路盤である。FWDによるたわみ測定は、滑走路中心線から左右に5m離れた位置を縦断方向に100m間隔で夜間に実施した(以下の図では東側、西側と表記)。

図-7には、荷重ならびにアスファルト混合物層温度を標準状態の場合に換算した D_0 (D_{0_std}) の滑走路縦断方向分布状況である。滑走路両端部分の舗装が厚くなっていることが反映されて、 D_{0_std} はその部分で小さな値となっている。CBR10%時の規準値と比較すると、滑走路両端部分については比較的良好な状態であると判定されるものの、滑走路中間部にあつては規準値を超える場合もあることから構造上の問題が懸念される。

ひずみ規準に基づく構造評価結果として、この舗装を設計カバレッジ20,000回に対応可能な構造とするためのオーバーレイ厚を計算した。その状況を図-8に示すように、必要オーバーレイ厚 (h_{oi}) は滑走路全体では平均で120mm程度となるが、中間部においては200mmを超えることがわかる。

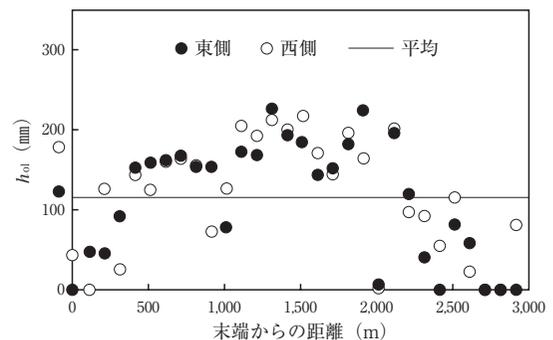


図-8 必要オーバーレイ厚の分布

4. 現行システムによらない補修の事例

3. で示した補修システムによれば、ある程度の余裕をもって将来の補修計画を立案・実行可能となる。これに対して、損傷の進行が著しく早い場合や地震力が作用した場合などにはこのシステムは適用できない。以下では、その事例を二つ紹介する。

4.1 地震によるひび割れの補修

大地震により空港アスファルト舗装はときとして大きな被害を受け、ある空港の事例では、液状化は生じていないものの、滑走路ならびに誘導路において横断方向のひび割れが生じた³⁾。このひび割れについては以下に示す3度に分けて補修が行われている。

- ① 応急措置
- ② 復旧工事
- ③ 本格的補修工事

まず、地震直後に実施された応急措置では、ひび割れをふさぐために加熱アスファルト系注入材料が充填された（シーリング）。その後実施された復旧工事では、幅が比較的大きいひび割れに対してその左右2mにわたって、厚さ100mmの部分を切削し、表層50mmを密粒度アスファルト混合物、基層50mmを粗粒度アスファルト混合物により打換える工法（パッチング）が採られた。このとき、幅が比較的小さいひび割れについては上記と同様のアスファルト材料が充填された（シーリング）。そして、最終的には本格的補修工事として、舗装全面にわたって上層50mmの密粒度アスファルト混合物、下層40mmの粗粒度アスファルト混合物によるオーバーレイがなされた（オーバーレイ）。

この舗装を対象として、ひび割れの程度の構造評価方法ならびにひび割れ補修方法の効果を明らかにするために、地震発生後2年間にわたって、FWDによるたわみ測定を継続して行った。この調査は、主として幅が大ききひび割れを対象に20箇所程度で行った。また、その時期は、震災直後、応急措置後、復旧工事（一部本格的補修工事）後である。

地震直後の調査結果からは、健全部とひび割れ部のたわみをみると、 D_0 （載荷板中心）においては両者の差が著しく大きいものの、 D_{45} （載荷板中心から45cm離れ）

表-3 推定されたひび割れ深さ

箇所	たわみ差		ひび割れ到達層	箇所	たわみ差		ひび割れ到達層
	D_{250}	D_{45}			D_{250}	D_{45}	
1	無	有	路盤	10	無	無	表・基層
2	有	有	路床	11	有	有	路床
3	有	有	路床	12	有	有	路床
4	有	有	路床	13	無	有	路盤
5	無	有	路盤	14	無	有	路盤
6	有	有	路床	15	無	有	路盤
7	無	有	路盤	16	無	有	路盤
8	無	有	路盤	17	有	有	路床
9	有	有	路床				

ではそれが小さくなり、そして D_{250} （載荷板中心から250cm離れ）ではほとんど差がみられないものが多いなっていることがわかった。これらのたわみに対して、ひび割れが入った深さを判定した結果をまとめた表-3からは、調査したひび割れのほとんどは、表・基層を貫通して路盤に到達しており、しかもその半数近くは路床にまで達していることがわかる。その反面、表・基層で留まっているものはほとんどないこともわかる。

上記3種類のひび割れ補修工法の効果についてたわみの値に注目して検討した。この場合、測定時の温度の影響を受けるため、年は異なるものの、月が同一の2月におけるデータを使った。調査結果は、健全部に対するひび割れ部におけるたわみの比を、補修前と補修後とで対比する形で表した。図-9、図-10はそれぞれ、 D_0 、 D_{250} を用いたものである。 D_{250} に比べて、 D_0 では補修後の値が補修前よりも小さくなっている、すなわちひび割れ部と健全部でのたわみの差が小さくなっていることがわかる。また、これらの図からは、工法による補修効果の違いが明確になっている。特に、舗装の浅い部分をも含んだ構造状態を表す指標である D_0 においては、オーバーレイ、パッチングの補

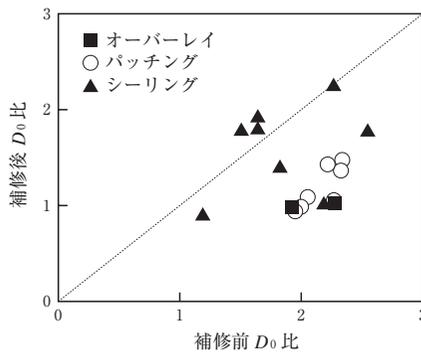


図-9 補修による D_0 の変化

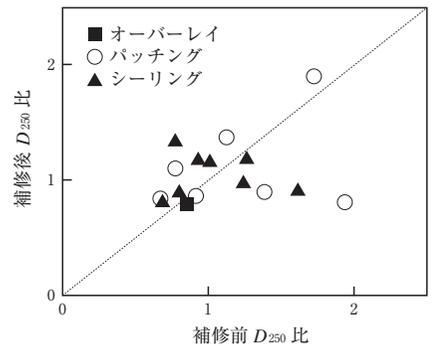


図-10 補修による D_{250} の変化

修によってたわみ比が大幅に低下しており、しかも箇所による違いもあまりないことがわかる。このことから、オーバーレイならびにパッチングにおいては、補修の効果が非常に大きい反面、シーリングについては補修の効果はみられないと判断される。

4.2 プリスタリングの補修

供用中の空港舗装では、近年プリスタリング現象の発生がときどき報告される⁴⁾。この場合、プリスタリングには至らないが、アスファルト混合物層の層間剥離も多くみられている。これらが原因で舗装表面に剥れが生ずるのは、航空機により水平荷重が作用する箇所である。

プリスタリングの発生メカニズムは、航空機の繰返し載荷に伴い表層アスファルト混合物の空隙率が低下し、舗装内に残留している水分が夏季の高温下で蒸気化して、不透気化した表層を押し上げると推定されている。このような状況下で表層と基層の接着が弱くなっていた箇所に水平荷重が作用することで、表層材が剥離したものと考えられる。

プリスタリングに対する補修において採るべき対策は、以下に示す、1層施工厚の厚層化、混合物の耐久性向上、施工法の改善が考えられる。これらを取り込んで実施した補修工事の事例として、切削オーバーレイの断面を図-11に示す。

(1) 1層施工厚の厚層化

空港アスファルト舗装の表層は最大粒径20mmもしくは13mmの密粒度アスファルト混合物であり、1層施工厚は4~7cmと規定されている。これに従うと、施工上の弱点となる深さ方向の施工界面を多く作ることになるばかりか、表・基層界面での温度が高くなるため、1層施工厚を最大8cmとすることにより対処している。その際には、ゴム入りアスファルト乳剤の適用、乳剤の加温、既設舗装切削面の加熱といった工夫を施している。

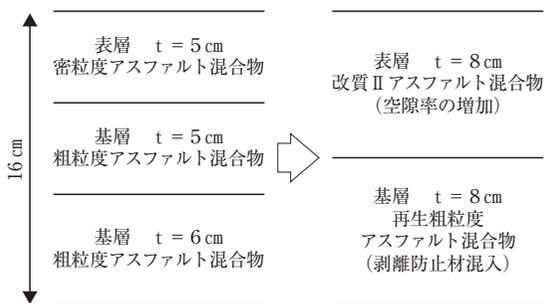


図-11 切削オーバーレイの断面

(2) 混合物の耐久性向上

アスファルト混合物については、耐久性向上を図るための工夫を施している。具体的には、基層以下への最大粒径30mmのいわゆる大粒径骨材の適用、表層への改質アスファルトII型の適用を図った。また、表層に用いるアスファルト混合物の空隙率を通常より1%程度高くして通気性を確保したり、基層に剥離防止材を混入するといった対策も採っている。

(3) 施工法の改善

供用中の空港の補修となるため、最終便の運行終了から翌朝の管理者による点検までの限られた時間内に全補修作業を完了する必要がある。そのため、アスファルト混合物に対する中温化技術の適用、施工目地のホットジョイント施工を行っている。

5. あとがき

以上、空港舗装の補修に関して取りまとめた。わが国の空港では滑走路が一本しかない場合がほとんどであるため、オーバーレイ、打換えといった補修工事を行う場合には夜間にならざるを得ず、設計、施工の両面で十分なものが行えているとは必ずしも言えないおそれがある。さらなる努力が必要である。また、交通条件のみならず、環境条件の変化、さらには利用者の舗装に対して要求する性能の変化によっては、新たな事態への対応も必要となろう。

独立行政法人港湾空港技術研究所では、空港の高質化を目指して今後も空港舗装に関する研究を精力的に行っていく所存である。

— 参考文献 —

- 1) 八谷好高, 早野公敏, 竹内 康, 今西健治, 坪川将丈: 空港アスファルト舗装の表面性状の実態, 土木学会舗装工学論文集, 第11巻, 2006.12, pp.147-154.
- 2) 八谷好高, 高橋 修, 坪川将丈: FWDによる空港アスファルト舗装の非破壊構造評価, 土木学会論文集, No.662/V-49, 2000.11, pp.169-183.
- 3) 八谷好高, 殷 建軍, 秋元恵一: 地震により空港アスファルト舗装に生じた破損の評価と応急復旧方策, 土木学会論文集, No.613/V-42, 1999.2, pp.211-223.
- 4) 久保 宏, 八谷好高, 長田雅人, 平尾利文, 浜 昌志: 最近の空港アスファルト舗装の損傷と改良工法について, 土木学会舗装工学論文集, 第9巻, 2004.12, pp.35-40.

補修に関する主な試験法

(Method of examination concerning repair of pavement)

稲垣竜興*・光谷修平**・新田弘之***

従来、わが国における舗装の試験法は新設工事を対象としたものを中心に整備されてきた。このため、本格的な維持・管理の時代を迎えた現在、舗装の補修に関する試験法の整備が急がれている。補修は、経年的な劣化を予想して計画的に実施するものと、局部的に発生する破損に対処するものに大別される。本稿では、(社)日本道路協会発刊による「舗装調査・試験法便覧」を参考に補修に関する主な試験法を紹介する。

1. はじめに

舗装は供用期間の経過に伴い劣化し破損する。舗装路面を効率的に維持・管理するためには、補修の時期の設定と方法の選択が重要となる。補修の時期と方法を計画するためには、路面性状の劣化、局部的に発生する破損、舗装体の疲労の程度と、破損の原因を特定するための調査が必要となり(図-1参照)、その目的と状況に応じて種々の試験を組み合わせて実施することとなる。

調査の結果は情報として、時や場所や測定者を問わず、同質のものは同じ数値で表される必要がある。そ

のため、例えば(社)日本道路協会発刊の「舗装調査・試験法便覧」では「試験法」としてわが国において標準的に利用できる試験の方法の詳細を示している。そこで試験法の詳細はそれらの図書を参照いただくとして、本稿では、舗装路面の補修に関する主な試験法の利用とその考え方を述べるものとする。

2. 路面の性状の供用劣化

舗装路面の性状は、車の乗り心地の向上や騒音・振動の抑制等、舗装に求める機能の良否に直結する。一般に舗装の劣化は、雨や日光に曝され、自動車の荷重

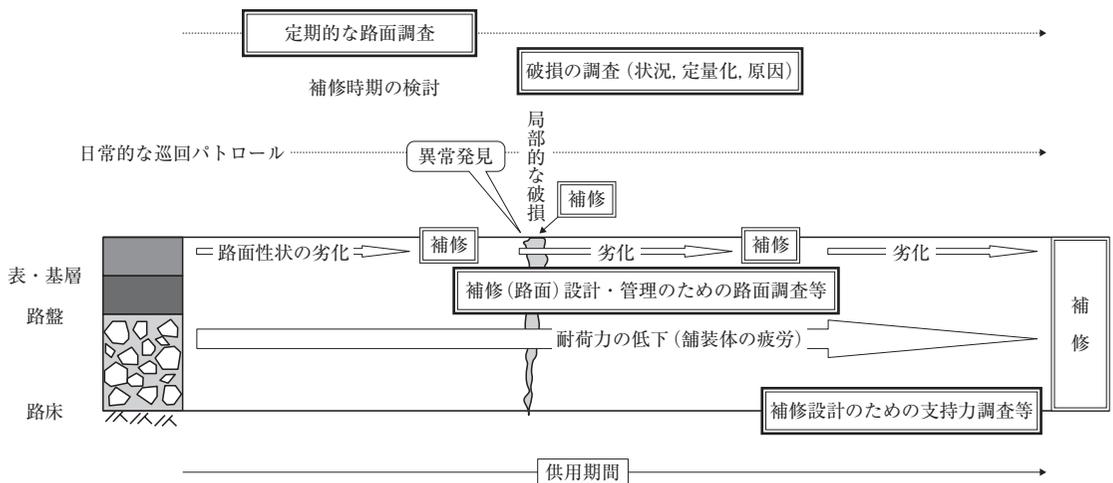


図-1 供用期間の経過に伴う舗装の補修と調査の関係

*いながき たつおき (社)日本道路協会 舗装委員会舗装性能評価小委員会 委員長

**みつたに しゅうへい (社)日本道路協会 舗装委員会舗装性能評価小委員会 幹事長

***itta ひろゆき (社)日本道路協会 舗装委員会舗装性能評価小委員会 試験法便覧WG長

等の外力が直接作用する路面付近から進行する。このため、舗装が構造的には十分余命がある時点で、路面が所定の性状を保てなくなる場合が多く、路面を構成する表層（状況に応じて基層を含む）部分のみを切削オーバーレイや路上表層再生工法等により補修することとなる。（合理性で考えれば、そのサイクルの整数倍を全層打換えによる舗装の構造的な補修のサイクルと一致させられれば理想的である。）

(1) わだち掘れと平坦性

一般の舗装の場合、路面性状の劣化は、'わだち掘れ'や'平坦性'の悪化といった縦・横方向の凹凸となって現れる。管理する路線に観測区間を設けて、路面の'わだち掘れ'や'平坦性'を定期的に調査し、累積交通量によるパフォーマンスカーブを作成すれば路面の総合的な補修計画が立てやすい。

従来、路面の'わだち掘れ'は横断プロファイラで、'平坦性'は3mプロフィールメータ等で計測してきた。これらの試験法は、交通規制を要するため、現在では交通規制を要さない路面性状測定車（写真-1参照）による試験法も採用されるようになってきている。

(2) すべり抵抗

路面の'すべり抵抗'が不足すると、安全な制動に支



写真-1 路面性状測定車

障をきたし、さらに大きく不足すると駆動に必要な路面から反力が十分に得られずタイヤの横滑りなども発生する。舗装路面がポリッシングなどにより、所要の'すべり抵抗'を有さなくなった場合の対処としては、シールやプラストによる表面処理あるいは薄層舗装で補修する方法がある。供用路線の舗装路面の'すべり抵抗'の調査には交通規制を要さないすべり抵抗測定車による試験法が適当である。ただし一般的にすべりが問題となった事例は多くはなく、定期的な調査は限定的に実施されている。

(3) 透水量とタイヤ路面騒音

特定の機能を付加した舗装の場合、路面性状の劣化とともにその機能の低下を調査する試験法が必要となる。例えば'透水量'の大きさと雨天の自動車走行の安全性の向上を図り、且つ'タイヤ路面騒音'を低減して沿道環境の保全を図る排水性舗装の場合は、空隙が塵埃により詰まることでその機能が低下する。排水性舗装の機能の補修には、専用の機能回復装置が用いられる。

'透水量'の調査は現場透水量試験器を使う試験法により実施される場合が多い。この試験法は交通規制を要するものの、試験が比較的短時間に狭い範囲で完了する利点がある。

'タイヤ路面騒音'の調査には、図-2に示す構成で測定する試験法等が用いられている。

3. 舗装の構造的な破壊

舗装が供用され続けることで構造的に破壊して車両の荷重を支えられない状態に達した場合、打換えて補修することとなる。

(1) ひび割れ率

わが国では舗装の構造的な寿命を、通行車両の輪荷の繰り返しにより舗装体が疲労破壊を来すまでとし、49kN輪荷重に換算した累積輪荷重で設計する。

舗装の疲労破壊は、舗装路面上のひび割れとなって現れる。ひび割れの進行を定期的に調査する試験法には、前出、路面性状測定車を用いて'ひび割れ率'（コンクリート舗装の場合は'ひび割れ度'）を測定する方法が用いられる。測定値の変化を数式化することで、計画的な補修が可能となる。

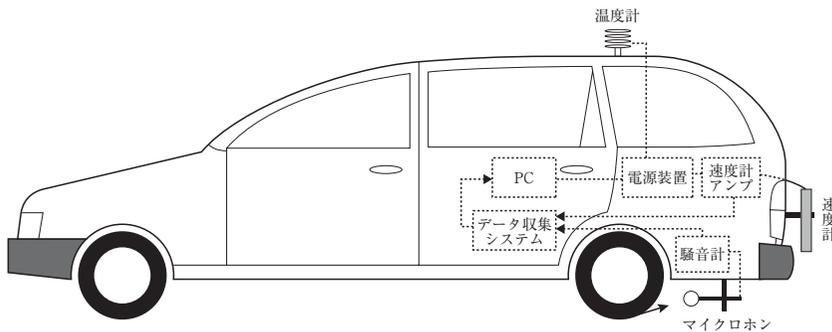


図-2 普通タイヤによる測定装置の構成例

(2) FWDによるたわみ量

舗装体の疲労の蓄積や内部から発達するひび割れの状態は、舗装路面上に現れるまで確認できない。そこで舗装体の内部の状態を非破壊で調査できるFWDによる‘たわみ量’の試験法が提案されている。ただし、この方法は結果の分析に経験を要するので留意が必要である。

4. 局所的な破損

4.1 程度の把握と原因調査

舗装が前述のような経年的な劣化ではなく、当初の想定より早い時期に局所的な破損を来たした場合、補修の時期と方法を決定するためには、その程度を把握するとともに、その原因を特定する必要がある。

以下、ポットホールの場合を例として、その試験法を列記する。

(1) ポットホールの規模

舗装路面の穴‘ポットホール’は、その位置や大きさによっては、二輪車の転倒や四輪車でもタイヤのバーストの原因となる。安全確保上、緊急に補修しなければならない場合が多いことから常温混合物を用いるなどした応急的なパッチングの要否を即時に判断する必要がある。

‘ポットホール’の規模を測定する試験法は図-3のように示されている。

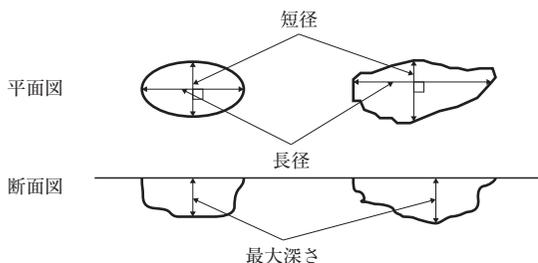


図-3 ポットホールの測定方法

(2) 簡易調査

ポットホールの原因は、多種多様である。まず、発生箇所の状況を目視による観察や簡単な触診、発生までの経緯の問診のような簡易調査である程度絞り込む必要がある。

例えばアスファルト舗装の場合、交通事故や停車車両のオイルドロップなどによるカットバックが原因となる場合が多く、オイルの影響を受けた範囲(面、深さとも)を取り除いてから補修しなければならない。その範囲は、新しい破損の場合は路面にオイル分が残

されているので目視のみでも判別しやすいが、時間がたつと見分けがつきにくくなる。尖った金属などによる触診で結合状態を確認するかオイル臭などで判断する等の簡易調査を要する。

また、タックコートの不具合などによる層間剥離が原因となって発生するポットホールの場合、木づちなどによる打音の差を聴く簡易調査でその範囲を把握することができる。なるべくアスファルトが硬くなる寒い時期に実施すると判りやすい。

(3) 赤外線サーモグラフィ

路面からは判別し難い舗装体内の層間剥離や滞水は、ポットホールの原因となる。

舗装体内の変調を非破壊で調査する試験法には、赤外線サーモグラフィによる測定がある。層間剥離を来たしている舗装は熱伝達が小さくなるので、温度変化の大きな時の路面温度が周囲と異なったものとなる。また、滞水箇所は潜熱輸送他により雨が上がった直後から乾燥していく過程の路面温度が周囲と異なったものとなる。路面の温度分布を赤外線サーモグラフィで観測することで、これら破損の兆候を把握でき、早めの手当てを行う目安になる。測定は、図-4に示すように高所作業車等を用いてなるべく高い位置から測定した方が精度がよく、解析しやすい。

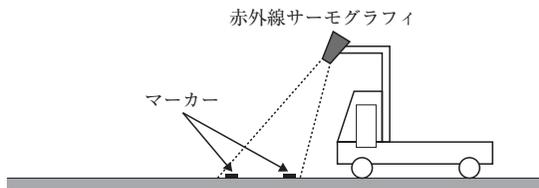


図-4 高所作業車を用いた測定のイメージ

(4) 開削調査

1つのロット(工事単位、施工日等)にポットホールが連続して発生するような場合、使用した混合物(アスファルト混合物の他、セメントコンクリートやレジンコンクリートも基本的には同様)の品質不良や締固め不足など施工不良が原因となっている場合がある。こうした場合は舗装体のサンプルをコアの状態で切り取り、密度(場合によっては最大密度を合わせて)を測定して、締固め度を確認するとともに、抽出試験によりアスファルト量や骨材粒度を分析することになる。この際、調査は破損箇所だけではなく、同一ロット内の正常な状態の箇所からも採取して比較する必要がある。

一般の舗装を切削オーバーレイで排水性舗装へ改良

した箇所において、基層部となる既設舗装のアスファルトがはく離して結合力を失いポットホールを生ずる場合がある。これは、既設の基層部分の水密性・耐水性が不足しており表層部分が密粒度混合物から排水性舗装に変わったことで、直接水が作用するようになり剥離破壊することが原因である。このような工事においては、予め基層部のコアを切取り、耐水性を試験しておく必要がある。

4.2 補修の管理

局所的な破損に対する補修の品質管理手法は、その規模に見合った効率性等から標準化の途上にある。以下にアスファルト舗装のひび割れをクラックシーリングにより補修する場合を例として紹介する。

(1) 浸透性

クラックシーリングによる補修の目的は、基本的に割れた舗装体同士を接着するのではなく、割れ目をシールすることで舗装体内への浸水を防止し、浸水による剥離破壊の発生を予防することにある。このため、遮水効果を持続できる厚さ（深さ）まで浸透させる必要があり、使用する注入材には、幅が5mm～15mm程度の比較的広いひび割れには、加熱注入タイプの瀝青材やゴム・樹脂系のものを用い、5mm未満の狭いひび割れには、浸透性に優れた常温2液混合型の樹脂材料を用いる。（なお、注入前にはひび割れ面の清掃を十分に行うことが前提となる。）

注入材の浸透性は、ガラス板（図-5参照）による隙間に注入した浸透深さで試験する。

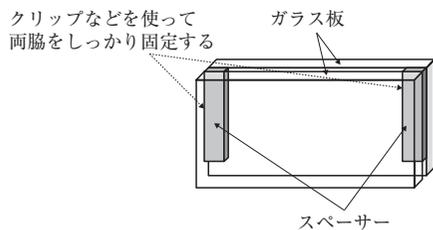


図-5 浸透性試験の器具の概観

(2) 浸透深さ

注入施工後の浸透深さは写真-2に示すように針（アスファルトの針入度試験用の針等）を刺して確認する。

(3) 接着性

加熱注入した瀝青系の注入材が、舗装体との接着不測により供用後に剥がれる場合がある。注入後の接着性は写真-3に示すようにばね式手はかりを用いた引張試験により確認する。

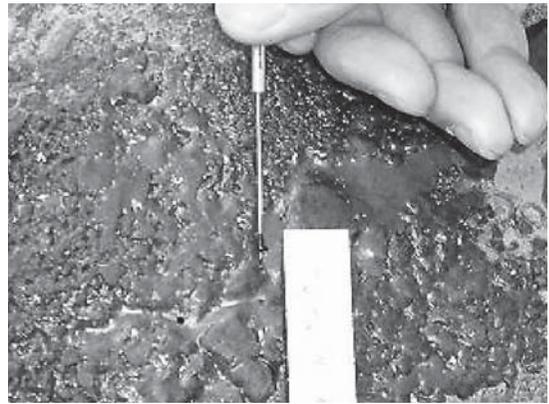


写真-2 針による浸透深さの測定



写真-3 ばね式手はかりによる引張接着試験

5. おわりに

舗装の補修は、舗装路面に現れる様々な兆候を的確に判断して、その対応を決定しなければならず、経験と勘による高い技能を要する難しい作業である。

道路の整備が進み、かつ供用年数の長い路線が増えてくると、管理する範囲が拡大し、対応しなければならない件数も増加する。

このため、管理、調査、計画、実施の分業化が進み、従来以上に各担当間で交換する情報の質の標準化が求められることから、試験法の確立が重要となる。

他方、補修方法や補修材料の開発・改良も各方面で進められている。既に示されている試験法を活用して情報交換を進めるとともに、必要な試験法の整備を引き続き進める必要がある。

(社)日本道路協会 舗装委員会 性能評価小委員会においては、調査・試験法のブラッシュアップに取り組んでいる。皆様からの情報、ご意見をお寄せいただければ幸いです。

補修工事の環境対策

(Environmental measures in repair construction of pavement)

光 谷 修 平*・橋 本 修 治**

環境保全が最重要視される時代にあつて、道路舗装も構築（新設・補修工事）、構造、供用、それぞれの側面で環境対策への対応がなされている。この内、舗装を構築する工事は、補修工事が多くを占めるようになり、供用路線の機能を環境への負荷を最小限に抑えつつ維持・回復させる工夫がなされている。本項ではオフロード法の施行や低騒音・低振動型機械の認定制度等、使用機械の改良に関わる環境対策と、工事時間や規模を縮小して環境への負荷を減ずるような環境対策等についてその概要を紹介する。

1. はじめに

現代社会において、環境保全は最もプライオリティが高い命題の1つである。生活環境の向上をもたらす舗装の整備に対しても、その構築（新設・補修工事）や構造あるいは供用により発生・起因する様々な環境への負荷を軽減するよう社会的な要望が高まっている（図-1参照）。

国土交通省から平成13年に示された「舗装の構造に関する技術基準」においては、舗装の構造の原則の1つとして、「舗装の構造の決定に当たっては、道路の存する地域の状況、沿道の土地利用の状況及び自動車交通を勘案して、当該舗装の構造に起因する環境への負荷を軽減するよう努めるものとする。また、舗装発生材及び他産業再生資材の使用等リサイクルの推進に努めるものとする。」とされている。

ここにいう舗装の構造に起因する環境への負荷には雨水が地下へ浸透しなくなることや地面の熱収支が変化することなどが挙げられる。その対策として前者には透水性舗装が、後者には保水性舗装や遮熱性舗装といった技術が開発され、その採用実績も増加している。また、リサイクルの推進に関しては、舗装発生材の殆ど100%が再生利用されている他、他産業資材の再生利用

についてもいろいろなプロジェクトレベルで積極的な取り組みがなされている。

他方、舗装の供用時、自動車交通による環境負荷を舗装により軽減する技術の開発にも積極的な取り組みとその成果が得られている。例えば、低騒音舗装、低振動舗装、NOx除去舗装等が挙げられ、特に低騒音舗装の採用実績は順調に増加しており、都市部の沿道騒音を2～5 dB (LAeq) 低減する効果を示している。

本稿では、近年は補修が主体となった舗装工事による環境負荷の軽減に関して、実施されている環境対策を紹介する。

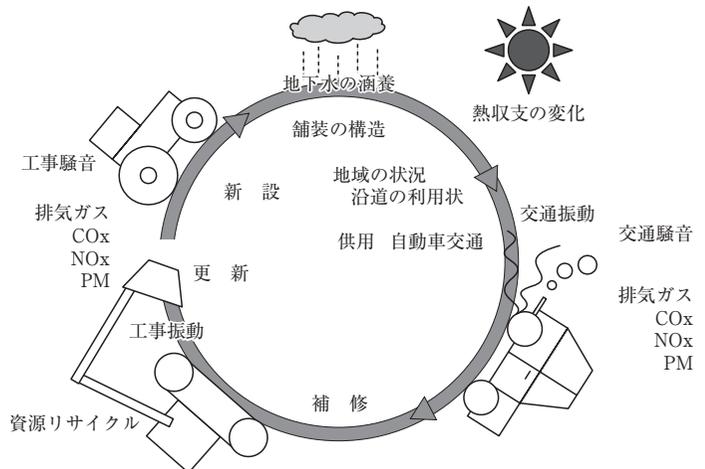


図-1 舗装のライフサイクルと環境への負荷

*みつたに しゅうへい (社)日本道路建設業協会 技術委員会 技術政策情報部会 委員

**はしもと しゅうじ (社)日本道路建設業協会 技術委員会 技術政策情報部会 部長

2. 対策の概要

舗装の補修工事による代表的な環境負荷として、騒音と振動及び排出ガスが挙げられる。これらを軽減するための対策には、環境負荷の少ない機械を使用するとともに、省エネ・省時間に結びつく補修工法を選択することから取り組むこととなる。

2.1 使用機械の選択

(1) 騒音と振動

騒音や振動は、その発生源に近い場所の生活環境を悪化させる要素であり、環境基準により規制されている。

国土交通省は工事による騒音と振動の発生を抑制するため、昭和51年に「建設工事に伴う騒音振動対策技術指針」を策定し、建設工事の計画、設計、施工の各段階において起業者及び施工者が考慮すべき技術的対策の基本方針を示した。これに基づき、昭和58年に機種毎、出力毎に騒音基準値を満足した建設機械を「低騒音型建設機械」として型式指定する制度が開始され、平成9年には基準の見直しが行われた。表-1に基準

値を示す。昭和58年の基準値は四方向騒音のエネルギー平均で規定していたのに対して、平成9年に改定された基準値は全方向から測定する音源の音響パワーレベルが用いられている。写真-1にこの指定を受けた建設機械の例を示す。

平成9年には「低振動型建設機械」の型式指定(表-2参照)も開始されている。

機械メーカーによる重機類の騒音や振動を低減する技術の開発は、その発生源となる機械各部位(例えばエンジンの燃焼方式、動力を伝達する機械系統、クーリングファン、各種カバー類、タイヤやクローラ他)の挙動等を分析して、個々且つ総合的に取り組まれている。これらの技術の詳細については機械の専門家による説明に委ねるところであるが、施工者にもその差が理解しやすい改良として路面切削機の進歩がある。写真-2に示すように切削ドラムにビットを密に配置することにより、打撃力が軽減され、作業騒音、振動とも大幅に軽減されている。

表-1 低騒音型建設機械の基準値

機種	機関出力 kW	基準値	
		昭和58年 dB(A)	平成9年 dB
バックホウ	$P < 55$	70	99
	$55 \leq P < 103$	73	104
	$103 \leq P < 206$	76	106
	$206 \leq P$	79	106
トラクターショベル	$P < 55$	73	102
	$55 \leq P < 103$	76	104
	$103 \leq P$	79	107
ブルドーザ	$P < 55$	73	102
	$55 \leq P < 103$	76	105
	$103 \leq P$	79	105
アスファルト フィニッシャー	$P < 55$	73	101
	$55 \leq P < 103$	76	103
	$103 \leq P$	79	107
ロードローラ タイヤローラ 振動ローラ	$P < 55$	73	101
	$55 \leq P$	76	104
クローラクレーン		70	100

表-2 低振動型建設機械の基準値

機種	諸元	基準値(dB)
パイプロハンマ	最大起振力 245kN以上	70
	最大起振力 246kN未満	65
バックホウ	標準バケット山積(平積)容量 0.50(0.4)m ³ 以上	55



写真-1 超低騒音型建設機械の指定を受けたバックホウの例(写真提供：コマツ)
(低騒音型の基準値から6dB引いた値より静かな機械は超低騒音型として指定される)

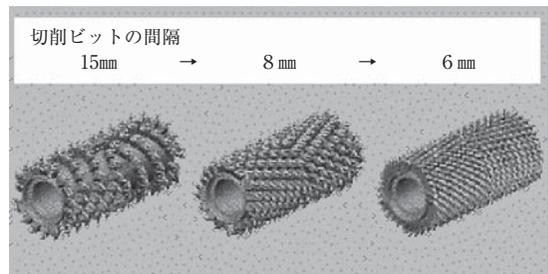


写真-2 路面切削機の切削ドラムの改良(写真提供：ヴィルトゲンジャパン(株))

(2) 排出ガス

舗装の補修工事に使用する建設機械を含む自動車の排気ガスは、大気汚染の原因の1つとして沿道環境を阻害するばかりではなく、CO₂のように蓄積されることで地球規模の環境破壊へ結びつくことも懸念されるものもある。自動車の排出ガス及び燃料については、大気汚染防止法に基づき逐次規制を強化してきている。建設機械は一般にディーゼルエンジンを動力源としている。例としてディーゼル重量車（車両総重量2.5t超）のNO_x排気量の規制強化の推移を図-2に示す。

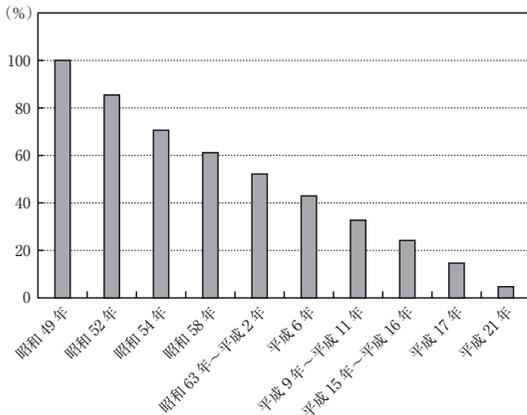


図-2 昭和49年時を100%としたNO_x排気量の規制強化の推移¹⁾

次頁表-3に建設機械の排出ガス規制の変遷を年譜で整理した。国土交通省は平成3年度から排出ガス対策を施した建設機械を「排出ガス対策型建設機械」として指定する制度を導入するとともに、平成8年度から同省発注工事に対する排出ガス対策型建設機械使用の原則化への取り組みを開始、多くの地方公共団体でも準用されるようになった²⁾。平成15年度からは、建設機械の内、車番を取得して公道を走行可能な特殊自動車（オンロード車）については、道路運送車両法による排出ガス規制の対象となった。また、平成17年5月には公道を走行しない特殊自動車に対する新たな排出ガス規制を行う「特定特殊自動車排出ガスの規制等に関する法律」（以下、「オフロード法」という）が公布された。これを受けて国土交通省は、排出ガス対策型建設機械の指定基準を第3次基準に改めた新たな制度を平成18年3月から施行している。写真-3、4に同基準を満たした建設機械の例を、写真-5に同基準を満たしていることを表示するステッカーを示す。

排出ガスを基準以下に抑えるエンジンの開発・生産

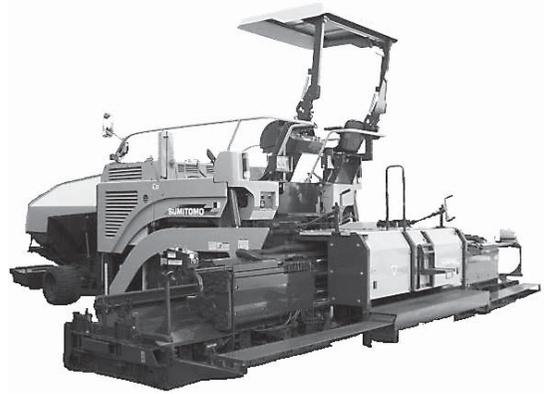


写真-3 排出ガス第3次基準に適合するアスファルトフィニッシャの例（写真提供：住友建機販売株）

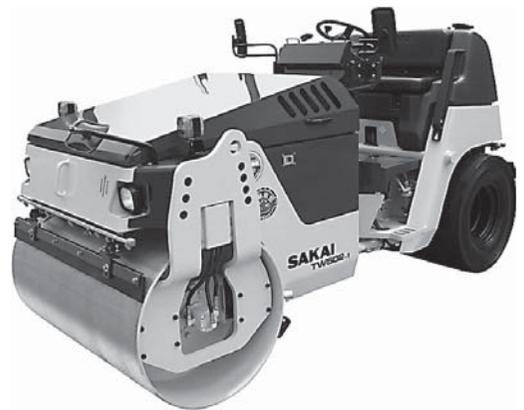


写真-4 排出ガス第3次基準に適合するコンバインドローラの例（写真提供：酒井重工業株）



特定特殊自動車
排出ガス基準
適合車

写真-5 排出ガス基準適合車の表示ステッカー

に関する説明は、やはり別途機械の専門家に委ねたい。

施工者の役割としては、①排出ガス基準適合ラベルが付された基準適合車を使用し、②適切な点検整備を実施し、③その記録を保管・管理し、④適性な燃料を使って⑤常に排出量の低減を意識して作業する。といったこととなる。

表-3 建設機械の排出ガス規制の変遷

平成 3 年	建設機械に関する技術指針制定	建設機械の排出ガス基準値（第1次基準値）					
平成 8 年	（直轄工事における使用原則化開始）	対象物質	HC	NOx	CO	黒煙	
		出力区分	g/kWh	g/kWh	g/kWh	%	
		7.5~15kW 未満	2.4	12.4	5.7	50	
		15~30kW 未満	1.9	10.5	5.7	50	
		30~272kW 以下	1.3	9.2	5.0	50	
平成 13 年		建設機械の排出ガス基準値（第2次基準値）					
平成 15 年	道路運送車両法 オンロード車の排ガス規制開始	対象物質	HC	NOx	CO	PM	黒煙
		出力区分	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	%
		8~19kW 未満	1.5	9.0	5.0	0.8	40
		19~37kW 未満	1.5	8.0	5.0	0.8	40
		37~75kW 未満	1.3	7.0	5.0	0.4	40
平成 17 年	オフロード法公布	75~130kW 未満	1.0	6.0	5.0	0.3	40
		130~560kW 未満	1.0	6.0	3.5	0.2	40
		平成 18 年	オンロード，オフロード同一の基準値	建設機械の排出ガス基準値（第3次基準値）			
現在に至る		対象物質	NMHC+NOx (g/kWh)		CO	PM	黒煙
		出力区分	HC	NOx			
			g/kWh	g/kWh			
		8~19kW 未満	7.5		5.0	0.8	40
		19~37kW 未満	1.0	6.0	5.0	0.4	40
		37~56kW 未満	0.7	4.0	5.0	0.3	35
		56~75kW 未満	0.7	4.0	5.0	0.25	30
		75~130kW 未満	0.4	3.6	5.0	0.2	25
130~560kW 未満	0.4	3.6	3.5	0.17	25		

また、舗装の補修工事においてこれら建設機械類とは別にガス類を大量に排出するアスファルトプラントにおいても、その抑制対策として例えば燃費を5~8%削減する省エネバーナー（写真-6参照）の開発や、混合物の製造温度を30℃程度下げる中温化技術の活用が図られているところである。

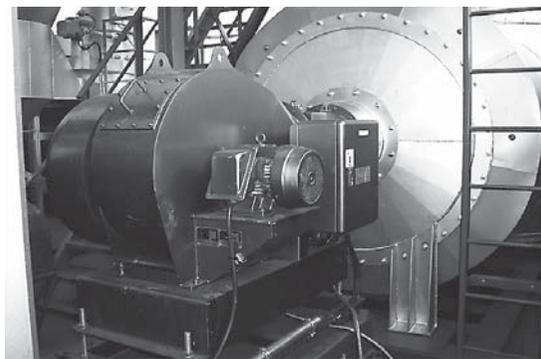


写真-6 As合材プラントの省エネバーナー
（写真提供：日工株）

2.2 補修方法からの対策

補修方法からの環境対策としては、

- ①舗装の破損を予防して補修を減らす。
- ②補修は必要最小限の範囲に限定する。
- ③補修に要する施工時間を短縮する。
- ④再生工法により、排出ガス他を減量する。

といった方法が考えられる。

(1) 予防的な補修工法の活用

舗装の破損を予防する補修工法にはクラックシーリングやマイクロサーフェシングが挙げられる。予防的な補修工法は、一般の補修工法と比べ、機械構成も小規模で作業時間も短くて済むため、環境への負荷が小さい工法といえる。舗装の機能が明確に損なわれる程度にまで破損した舗装を補修する工事は、大規模にならざるを得ず、環境への負荷も大きくなる。舗装に破損の兆候が認められた時点で、破損の進行を抑制する予防的な補修工法を適切に適用すれば、補修工事が減少して環境への負荷の軽減に結びつく。

(2) 局所的な補修工法での対処

パッチングや段差修正等で舗装の破損を必要最小限の範囲に限定して補修すれば、単純に作業規模が小さい分、作業に伴う騒音、振動、排出ガスが軽減される。また交通規制の範囲と時間が圧縮されるため、通行車両の工事渋滞が少なく、一般車による環境への負荷も小さくなる。さらに使用材料が少量となることから加熱工程を要さない常温混合物を利用する 경우가多く、当然のことながら加熱に伴う排出ガスの発生が抑制される。ただし、路面がつぎはぎ的な様相を呈するので、美観的な問題と細かな段差ができることによる振動・騒音の増加に注意が必要である。

(3) 工程や交通規制時間の短縮

補修断面はそのままに、補修工程を短縮する工法として例えばシックリフト工法が挙げられる。供用路線の舗装を全層打換えで補修する場合、各層毎に進める一般的な方法を用いると層数だけ同様の作業を繰り返すこととなり、環境への負荷もこれに比例して増加する。シックリフト工法を応用して全層を一括で施工すれば作業回数が減るので工事によるエネルギー消費や交通規制時間は大幅に短縮され工事による環境への負荷も軽減される。

(4) 再生工法の活用

補修の対象となる既設舗装を再生利用する路上路盤再生工法や路上表層再生工法は使用材料を大幅に減ずるため、省資源の他、材料の製造、運搬に関わる環境への負荷が大幅に軽減される。

(5) 事後的な対策

発生した負荷の影響を軽減させる対策としては、

① 遮蔽による拡散の抑制

騒音の発生源を防音板や防音シートで囲む方法（最近では携帯型の防音版も開発されている。）や集塵装置を発生源の近くに配置して大気中へ排出されるPM類を除去する方法（バリケードに取り付けて

囲い込むように配置する装置も開発されている）など、周囲への拡散を抑制するような方法を採用する。

② 作業時間帯の選定

材料運搬の経路や時間帯を工夫して、これに要する時間を短縮すれば、運搬による環境への負荷が軽減される。

3. おわりに

現代社会において交通や物資の流通を担う自動車の存在価値は大きく、その円滑な走行のための舗装は不可欠である。舗装には車の走行に対する負荷を軽減し走行効率を上げ、結果的に1台の車の単位距離あたりの排出ガスを減量する効果もある。また、路面の凹凸を小さくすることで車の走行振動や騒音の発生量を抑制する。舗装は元来自動車が走行することによる環境への負荷を抑制する重要な役割を担っている。

一方、既に供用されている路線の舗装の補修工事は、たとえその環境保全機能を持続させるためのものであっても、その時点においては、工事規制による交通渋滞と作業する建設機械が、騒音、振動、排出ガスを増加させ、環境に対する負荷となる。

本稿で紹介した他にも環境の保全を命題として、グリーン購入（調達）等、法令や制度の整備が進む今日、重要なことは、道路管理者と補修工事の施工者、あるいは舗装の利用者も含め、舗装の役割と環境への影響を正しく認識し、機能の維持に必要な負荷を最も小さくする方法を選定していくことにある。その為には、従来以上に技術面の開発・改良が重要になるものとする。

— 参考文献 —

- 1) 平成19年版環境・循環型社会白書、環境省、2007年7月
- 2) 建設の施工企画7、公道を走行しない特殊自動車に対する排出ガス規制、清水純、2005年7月

改質アスファルトに対応するためのSUPERPAVE[®]規格の改定

今回のアスファルト舗装技術研究グループ報告は、SUPERPAVE規格を改質アスファルトに対応させるための調査研究の概要です。

米国では、アスファルトバインダの品質試験法および規格が1990年代にSHRPにより開発されました。PGグレードと呼ばれるその品質規格はすでに全米のほとんどの地域で運用され、舗装用アスファルトは当該規格により市場で取引されています。

ところが、改質アスファルトの性能や施工条件を適切に評価できないことが課題としてあげられており、改質アスファルトへの対応を主眼とした規格改定が進められています。気象条件ばかりでなく、交通条件や舗装構造、あるいは貯蔵安定性や施工温度など、改質アスファルトの特性を考慮した検討がなされているよ

うです。今回の報告は、その調査研究の成果の一つであるNCHRPレポートを中心に、関連情報を調査してとりまとめたものです。

欧州においてもアスファルトバインダの品質規格の見直しが進められており、ストレートアスファルトと改質アスファルトを一元的に評価できるような試験方法および材料規格の策定が検討されています。

日本のアスファルト規格についても、基礎的な検討作業は地道に進められてきていますが、これらの知見等を参考に調査を進めてゆく必要があると考えます。研究グループでは、海外文献の紹介を中心に、引き続き調査を続けてゆく予定にしています。

(研究グループ代表幹事：佐々木巖)

アスファルト舗装技術研究グループ名簿

佐々木巖 独立行政法人土木研究所舗装チーム

峰岸順一 東京都土木技術センター技術調査課
阿部長門 東亜道路工業(株)技術開発部
井 真宏 西日本地研(株)
市岡孝夫 前田道路(株)技術部技術課
伊藤大輔 大成ロテック(株)技術研究所
岩岡宏美 世紀東急工業(株)技術研究所
岩塚浩二 (株)バスコ道路センター
岩永真和 鹿島道路(株)技術研究所
大場拓也 東亜道路工業(株)技術研究所
奥山元晴 ニチレキ(株)道路エンジニアリング部
鬼倉一展 鹿島道路(株)技術研究所
加納孝志 独立行政法人土木研究所舗装チーム
鎌田 修 鹿島道路(株)技術研究所
鎌田孝行 常盤工業(株)技術研究所
岸田正憲 (株)バスコ道路センター
高馬克治 ニチレキ(株)研究開発センター

小柴朋広 世紀東急工業(株)技術研究所
清水泰成 前田道路(株)技術研究所
鈴木 徹 大林道路(株)技術研究所
鈴木秀夫 昭和シェル石油(株)アスファルト課
千石剛史 東京舗装工業(株)技術研究所
達増康隆 鹿島道路(株)技術研究所
千原正規 日本道路(株)技術研究所
塚越智浩 常盤工業(株)技術研究所
東本 崇 大林道路(株)技術研究所
野木克義 昭和シェル石油(株)アスファルト課
平川一成 大成ロテック(株)技術研究所
増山幸衛 世紀東急工業(株)技術研究所
森石一志 大林道路(株)技術研究所
森嶋洋幸 前田道路(株)技術本部技術研究所
焼山明生 日進化成(株)技術研究所開発グループ

計32名

改質アスファルトに対応するためのSUPERPAVE[®]規格の改定

市岡孝夫* 井真宏** 伊藤大輔***
 岩岡宏美**** 鎌田義秋***** 高馬克治*****
 鈴木徹***** 東本崇***** 焼山明生*****

1. はじめに

現在、米国においても増大する交通量への対応や舗装の長寿命化を意図して、日本と同様に改質アスファルトの適用が増加してきている。

しかし、これまでのSUPERPAVEは改質アスファルトに対応できていなかったことから、その性状を正しく評価しパフォーマンスグレード (PG) に組み入れるため、規格ならびに試験方法を改訂して、新たな規格および試験方法として導入しようとする取組みが進められている。

本報告では、この取組みに関して、NCHRP Report 459「Characterization of Modified Asphalt Binders in SUPERPAVE Mix Design(SUPERPAVE 配合設計における改質アスファルトの特性)」¹⁾を中心に、新しく提案された試験方法および規格を紹介する。

表-1に、NCHRP Report 459の目次を示す。

2. 米国における改質アスファルトの現状

米国の改質アスファルト協会 (AMAP: Association of Modified Asphalt Producers) の資料²⁾をもとに、米国における改質アスファルトの現状を紹介する。

米国における改質アスファルトには、表-2に示す改質剤の種類からも分かるように、オイルなどでカットバックしたカットバックアスファルトやブローンアスファルトおよびゴム粉などを添加したものも含まれているものの、日本と同様にSBSやSBRラテックスが改質剤として広く使われていることが分かる。

参考として、日本のポリマー改質アスファルトの出荷割合を図-1に示す。日本においては、主にポーラ

表-1 NCHRP Report 459の目次

第一章	はじめに
1.1	問題提起
1.2	目的
1.3	研究計画の詳細
1.4	目的と研究計画
第二章	研究成果
2.1	改質剤の種類
2.2	SUPERPAVE バインダ規格と試験方法による問題点
2.3	予備調査から得られた成果
2.4	改質アスファルトの分類
2.5	改質アスファルトの特徴
2.6	混合物のレオロジー的挙動に与える改質アスファルトの影響
2.7	混合物のわだち掘れ特性に与える改質アスファルトの影響
2.8	混合物の疲労特性に与える改質アスファルトの影響
2.9	混合物の低温クリープおよび疲労特性に与える改質アスファルトの影響
2.10	改質アスファルトの混合・締固め温度
第三章	解説, 評価, 適用
3.1	アスファルトの分類
3.2	改質アスファルトの種類と用途
3.3	現行のSUPERPAVE バインダ規格と試験方法では分類が困難
3.4	バインダと混合物特性の関係
3.5	現行のSUPERPAVE バインダ規格の改訂
3.6	バインダグレードレベル
3.7	QC/QA 手法の変更
3.8	混合物試験方法の変更
第四章	結論と提案
4.1	総説
4.2	提案
付録	
付録A	配合設計の概要
付録B	アドバイザリーグループ
付録C	改質アスファルトの室内評価試験方法
C-I	PATによる微粒子状添加剤の含有量試験方法
C-II	LAST装置を使用した貯蔵安定性試験方法
C-III	回転粘度計を用いたアスファルトの低せん断粘度 (LSV) の測定方法
C-IV	DSRによるアスファルトのわだち掘れ抵抗性評価試験方法
C-V	DSRによるアスファルトの疲労寿命評価試験方法
C-VI	破壊時の応力およびひずみによる限界クラック発生温度の評価方法
C-VII	膨張計によるアスファルトの温度体積変化およびガラス転移点 (TVGT) 測定試験方法
付録D	改質アスファルトの調査結果
付録E	現行のAASHTO規格の改訂案

*いちおか たかお 前田道路(株)技術部

**い まさひろ 西日本地研(株)開発研究室

***いとう だいすけ 大成ロテック(株)関東支社

****いわおか ひろみ 世紀東急工業(株)技術研究所

*****かまた よしあき ニチレキ(株)

*****こうま かつじ ニチレキ(株)技術研究所

*****すずき とおる 大林道路(株)技術研究所

*****とうもと たかし 大林道路(株)技術研究所

*****やきやま あきお 日進化成(株)技術研究所

表-2 改質剤の種類（米国，2005年）

改質剤の種類	使用量（複数回答）
SBS	80%
SB	45%
SBR ラテックス	45%
EVA など他のポリマー	19%
オイルなど	12%
GTR など	16%
PPA	16%
ブローンなど	13%

※ 32州の関係機関へのアンケート調査結果によるもの

スアスファルトに使用されるH型が最も多く製造されている。

米国のAMAPが各州の行政当局者に向けて行ったアンケート調査をもとに集計したのから改質アスファルトの製造量を見ると、全米の合計製造数量ではないが、日本と同様に需要は増加しており、2005年の改質アスファルトの製造数量は、表-3に示すように、全アスファルトに対して26%となっている。

表-3 日米の改質アスファルトの製造数量比較（2005年）

品名	日本	米国
全アスファルトの製造数量 (t)	2,523,220	7,795,831
改質アスファルトの製造数量 (t)	344,020	2,023,512
全アスファルトに占める改質アスファルトの比率 (%)	13.6	26.0

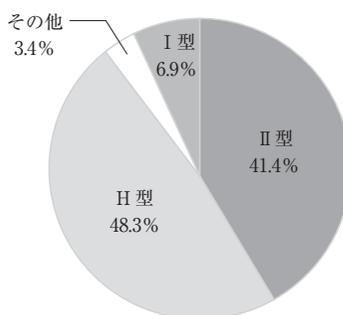
※米国の製造数量は、32州の機関へのアンケート調査結果によるもの

3. SHRPの概要^{3), 4), 5)}

米国の道路網は経済が繁栄を誇っていた1950年代に莫大な予算が投じられて建設が進められ、1970年代に入った時点で州間道路のネットワークはほぼ完成段階に達した。

しかし、1973年のオイルショック後の景気低迷の中で、道路管理のための予算や研究のための投資が不足し、道路網の荒廃を招いた。これが、いわゆる「荒廃するアメリカ」と言われた時期であった。

このような背景のもとで、1982年10月連邦道路局(FHWA)が、道路の設計、管理、保全技術を向上させるために、集中的な研究投資を行うことを目的として、NRC (National Research Council：全米学術会議)の下に設立されたのがSHRP (Strategic Highway Research Program)である。



注) プレミックスアスファルトのみの値

図-1 改質アスファルトの出荷割合（日本，2005年）

SHRPは、総額1億5,000万ドル（約200億円）の予算で1987年から5年間の期限付きで実施された。研究課題の選定にあたっての優先順位の決定方法として9つの判定基準を満足して、なおかつ重要度のきわめて高い課題として「アスファルト」、「舗装の長期供用性」、「維持の費用対効果」、「コンクリート橋梁の保護対策」、「セメントコンクリート」、「雪氷対策」の6つが選ばれた。ここでは、この6つの研究課題の中で「アスファルト」に絞って以下に概要を述べる。

3.1 目的

計画された当初、米国では約120種類の原油がアスファルト用として使用されており、各地域や機関の様々な規格に合わせて生産されていた。それらのアスファルトは、異なった供用性を示すことが広く認知されていたが、品質の良否を判断する方法が十分ではなかった。そこで、アスファルトとアスファルト混合物の化学的、物理的性質について研究を行い舗装の供用性を改善することを目的として研究が実施された。

研究の具体的な内容は次のとおりである。

- ①アスファルトの性質を明確にして規格を整備する。
- ②試験方法、測定方法を改良する。
- ③アスファルトと舗装の供用性の関係を明らかにする。
- ④舗装材料として望ましいアスファルト特性を分析する。
- ⑤モデルとなるべきアスファルトを開発する。

3.2 SHRPで得られた成果

「アスファルト」の研究課題に関する成果は表-4に示すとおりであり、アスファルトおよびアスファルト混合物に関する材料規格、試験方法、混合物の配合設計方法および供用性評価方法などとして定められている。

表-4 「アスファルト」関連研究成果の一覧

1001	バインダー仕様
1002	曲げビーム流体計
1004	抽出・回収試験
1005	低温度直接引張試験
1006	高温度粘度試験
1007	動的セン断流体計
1009	バインダークロマトグラフィー法
1010	バインダー製造者のガイド
1011	混合物仕様
1012	SUPERPAVE ソフトウェア
1013	アスファルトの吸着力試験
1014	ジャイレトリリー式転圧試験
1015	回転鉄輪による転圧試験
1017	セン断変形試験
1019	混合物の曲げ疲労寿命試験
1021	温度応力拘束試験
1024	環境コンディショニング試験
1025	短期劣化試験
1026	修正Rice試験
1030	長期劣化試験

※表中の数字は、SHRP研究成果のカタログNo(目録)

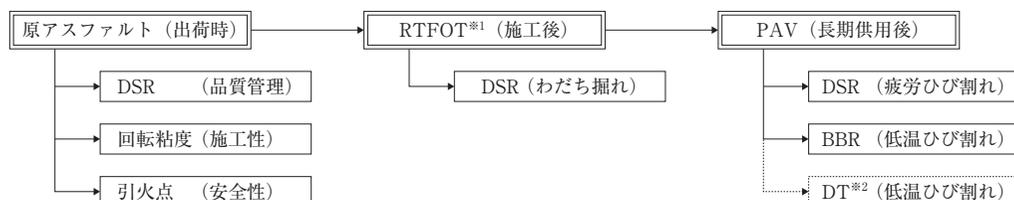
SHRPでは、これら舗装用バインダーの新しい仕様および配合設計法を総称してSUPERPAVE® (Superior Performance Pavement) と名付けている。

3.3 決定されたアスファルトの仕様

従来、舗装設計時におけるアスファルトの選定には、針入度や60℃粘度が用いられてきたが、SHRPでは実際の現場におけるパフォーマンスと直接関係のある粘弾性を基本とするPG (Performance Grade) と呼ばれる指標を用いている。このPGは実際に供用される地域の舗装体温度によって決定され、特性の評価には、レオロジー的測定と劣化試験を組み合わせている。

アスファルトは、PGごとに異なる温度条件で試験が行われ、供用性能が評価される。バインダーに関する試験としては、引火点試験、RTFOT (回転薄膜加熱試験)、PAV (加圧劣化試験)、DSR (Dynamic Shear Rheometer)、BBR (Bending Beam Rheometer)、DT (Direct Tension Test) が採用されている。

試験の流れは、図-2に示すとおりである。



※1 TFOT で代用してもよい。

※2 BBR において $m \geq 0.30$, $300\text{MPa} \leq S \leq 600\text{MPa}$ の場合について行う。

図-2 SHRP試験のフロー

日本においては、アスファルトの品質規格と舗装の供用性に着目して定められたこれらの試験の導入についての検討が行われてきた。独立行政法人土木研究所を中心として、調査が行われた結果、1994年にバインダー関連の試験機、1996年に混合物関係の試験機が導入された。その後もSUPERPAVEの理解が進み、試験方法の有効性の確認や部分的な利用が行われ、現在では、一部の試験方法は、「舗装調査・試験法便覧」(社)日本道路協会、平成19年6月)⁶⁾に掲載されている。

3.4 SHRPの課題

SUPERPAVE導入当初からの課題として、混合物の評価試験、供用性の確認、PG選定のための舗装温度モデル、改質アスファルトへの対応、SUPERPAVEの根本的な技術的問題などについて解決されていないことが挙げられていた。

そのため、政府関連機関によって改質アスファルトに対し、主に試験方法の検討が行われてきた。

以下にこれまでの主な取り組み状況を示す。

① RTFOT (回転式薄膜加熱試験)

アスファルト混合物製造時の加熱劣化をシミュレートした薄膜加熱試験は、TFOT (薄膜加熱試験) もしくはRTFOTのどちらか選択できるとしていたが、改質アスファルトの場合はRTFOTが適当であることが分かった。

さらに、高粘度改質アスファルトへの対応も検討している。

② DSR (Dynamic Shear Rheometer)

DSRの代替法としてメルトフローを用いた検討や測定精度向上のためパラレルプレート径を変更する検討がFHWAで実施された。

③ DTT (Direct Tension Test)

精度向上のためFHWAでは、DTT試験の従来の空気浴、縦型のものから、液浴、横型の試験機を提案した。さらに、試験片保持部は従来のプラスチック製から金属製に変更された。

4. SUPERPAVE 配合設計における改質アスファルトの特性の紹介 (NCHRP Report 459)

前述のようなSHRPの現状に対し、FHWAとしても「現時点では完璧なものではなく、いくつかの問題がある」と報告している。しかしながら、FHWAはSUPERPAVEが国際基準になることを期待しており、AASHTOらと共にNCHRP Report等への後援を行っている。その一例として、改質アスファルトに携わるすべての技術者（州道路機関の材料技術者および改質アスファルトメーカー等）にとって有用なものであると考えられるNCHRP Reportを紹介する。

4.1 研究の背景

本報告書は、改質アスファルトへのAASHTO MP1「アスファルトバインダの性能仕様書」の適用性評価について、アメリカ連邦道路庁（FHWA）とアメリカ全州道路輸送行政官協会（AASHTO）後援のもとで、ウィスコンシン大学のH.U.パヒア氏、アーバン大学のD.I.ハンソン氏およびアスファルト協会（AI）のR.M.アンダーソン氏等によってなされた研究結果を取りまとめたものである。

改質アスファルトは、使用温度範囲のグレードを最低・最高側に広げ、超重交通や大型車が低速走行する交通量が多い舗装のような特に厳しい状況に対応するために開発されたものである。この改質アスファルトは、ストレートアスファルトに様々な材料を改質剤として添加したもので、エラストマーは、SB（スチレンブタジエン）、SBS（スチレンブタジエンスチレン共重合体）が幅広く利用されている。

この他にも、ポリスチレンやEVA（エチレンビニルアセテレート）のようなプラストマー、石灰水和物、硫黄、ギルソナイト、廃タイヤからのクランプラバーも改質材として使用されている。さらには、ストレートアスファルトの製造工程におけるブローイングや蒸気蒸留も改質の一例である。

これらのバインダのコストは、アスファルト舗装の施工における全コストの大部分を占めており、かつ改質アスファルトのコストは、改質材の種類に大きく依存されるため、一般的にストレートアスファルトの1.5～2.0倍程度と高くなる。これにより、アスファルト舗装に係わるコストを10～20%増加させることとなる。

これらの増加コストは、改質アスファルトが舗装のパフォーマンスを改善することで妥当となる。

1987～1993年に行われたSHRPプログラムでは、ストレートアスファルトのみの研究であり、改質アス

ファルトに対するSUPERPAVE®の適用性は確認されていない。

実際には、AASHTO MP1に従ってグレード分けされた改質アスファルトは、ストレートアスファルトと比較して性能が向上していることは明白である。そのため、改質アスファルトのユーザーおよび生産者は、現行の仕様書や試験方法を変更し、改質効果によるパフォーマンス向上効果を確認していく必要がある。

しかし、改質アスファルトの貯蔵安定性、SUPERPAVEの劣化方法への適用性および供用性に及ぼす影響などの知識の欠如と混合および締固め温度を決定するための手順の欠如といった重大な課題が残っている。

そこで、SUPERPAVEのバインダおよび混合物試験法の改質アスファルトへの適用性を確認することを目的として、NCHRP Project 9-10“Superpave Protocols for Modified Asphalt Binders（改質アスファルトに対するSUPERPAVE規格）”が開始された。これら試験法が適用できない場合、改質アスファルトとそれを含んだ加熱アスファルト混合物の性状を評価するために、SUPERPAVE試験法およびSHRPアスファルト研究計画によって開発された規格限界、基準およびモデルの修正が必要となる。

そこで、第一段階として改質アスファルトへのSUPERPAVEレオロジー規格の適用性を評価するために、選択した50セットのバインダのレオロジー特性の評価を実施した結果、大多数の改質アスファルトにおいて、現行のSUPERPAVE規格（AASHTO MP1, “Standard Specifications for Performance Graded Asphalt Binder”）の適用が限界であることが明らかとなった。また、改質アスファルトは、通行車両の速度、交通量そして舗装構造によって変化する応力・ひずみレベルに伴って、非常に感度が変化する事が最終的にわかった。

このような改質アスファルトの挙動に関する知見に基づいて、7種類の改質アスファルトと36種類の混合物のレオロジー特性および破壊特性について、SHRPによって開発されたバインダ試験機を使用して試験手法を修正することにより評価した。

試験結果から、現行のAASHTO MP1規格のパラメータでは、混合物の損傷に関連する改質アスファルトのランク付けができないことがわかった。非線形粘弾性およびエネルギー散逸の概念は、より効果的にバインダと混合物の挙動を関連づけることができるパラメータとして詳細に研究され、その結果、バインダの

損傷挙動に関する性状評価が必要であり、AASHTO MP1 プロトコルを修正することにより現行の試験装置を使ってその評価が可能であることがわかった。

上記の考え方の妥当性の確認および規格基準の決定のためには、フィールド試験が今後必要である。

4.2 検討内容

4.2.1 検討目的

本プロジェクトの目的は、以下のとおりである。

- ① SUPERPAVE アスファルト試験を改質アスファルトに適用するための修正方法の提案
- ② SUPERPAVE 混合物のパフォーマンス試験を、改質アスファルトを使用した混合物に適用する場合の問題の特定

4.2.2 検討課題

本研究は、11の作業課題（タスク）に分けて実施された。検討のフローを図-3に示す。なお、主なタスクの検討内容を以降に示す。

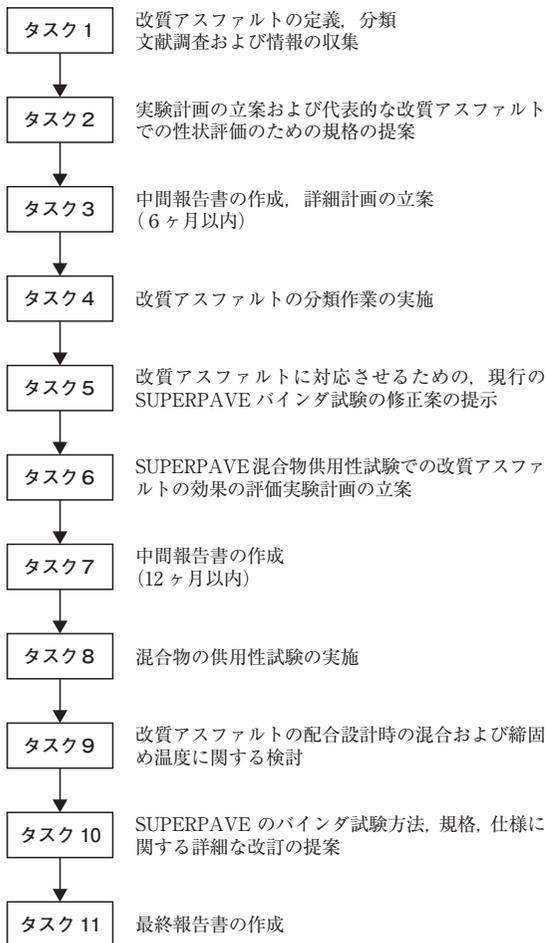


図-3 作業課題（タスク）

①タスク4：改質アスファルトの分類

タスク4におけるサブタスクは、以下に示すとおりである。

- ・タスク4A：単一（simple）改質アスファルトの性状評価
- ・タスク4B：複合（complex）改質アスファルトの性状評価
- ・タスク4SS：改質アスファルトの特性を評価するための特別な検討
 - サブタスク4SS1：微粒子状添加剤の大きさと濃度の影響
 - サブタスク4SS2：添加剤の熱劣化性測定試験
 - サブタスク4SS3：PAV試験時の酸化劣化の影響を分離するための試験
 - サブタスク4SS4：添加剤の材料分離性測定のための試験

第2段階の試験計画には、既存の文献調査後に選択した17種類の一般的な改質剤が含まれている。表-5に改質アスファルトの性状を評価するために使用した試験プロトコルを示す。

舗装材料の研究において温度は重要な変数であるため、本プロジェクトでは高温（HT）、中温（IT）および低温（LT）の3水準の舗装温度を使用した。

本報告書では、HTとLTはAASHTO MP1の値と定義した。ITはPAV劣化バインダのDSR試験値が試験条件10rad/s (1.59Hz)のとき $G^*\sin \delta = 5,000\text{kPa}$ となる温度と定義した。

②タスク8：混合物の供用性試験

タスク8では、以下に示す2つの仮定に基づいて試験を実施した。

- ・バインダと混合物間のレオロジー特性および破壊特性は、バインダの組成または添加剤の種類に依存しない。
- ・バインダ規格で使用される規格パラメータ（修正された現行のフォーマットにおける）は、混合物設計において供用性を精度良く予測することができる。

タスク8において使用した材料および配合を表-6に示す。また、使用したアスファルトの種類を表-7に示す。なお、骨材の種類は、AI（全米アスファルト協会）の標準骨材であるケンタッキー中央部の石灰岩砕石と、NCAT（アメリカアスファルト技術センター）研究所の標準骨材であるアラバマの砂利である。粒度は粗粒度および細粒度で、両粒度とも

表-5 改質バイнда評価のための試験方法と指標

項目	指標	試験方法	試験条件
1. 微粒子の容積	75 μ mふるいに残留する微粒子の体積百分率	トルエン溶剤を用いたふるい試験	湿潤状態でのふるい試験
バイндаの0.075mm残留微粒子容積が2%以上ならば、バイндаは「シンプル」の規定に当てはまらない。			
2. ひずみ依存性	G*, δ の変化, 2%/30%	DSR (AASHTO TP5-93)	2種類の温度 (高温と中温)
G*もしくは δ が2~15%の間で10%以上変化するならば、バイндаは「シンプル」の規格に当てはまらない。			
3. 機械的作業性 (シキソトロピー)	G*, δ の変化, 10/1000サイクル	DSR (AASHTO TP5-93)	2種類の温度 (高温と中温)
G*もしくは δ が5~950回転の間で10%以上変化するならば、バイндаは「シンプル」の規格に当てはまらない。			
バイндаが「シンプル」の規格である上記3つの評価基準を全て満足していたならば、以下の試験を続けて行う。			
4. 分離抵抗性	G*と δ に基づく分離係数Ks	新しい短期劣化試験/条件	分離試験 (攪拌機と気体を使用) 165°Cで48時間
5. 改質材の熱劣化	G*と δ に基づく劣化係数Kd	新しい短期劣化試験/条件	熱劣化試験 (攪拌機と気体を使用) 165°Cで48時間
6. 品質規定項目	①G* (ω), $\sin \delta$ (ω)	DSR (AASHTO TP5-93) RTFO (AASHTO T240) または他の短期間劣化方法や条件	平行円盤治具を使用 短期劣化前後で3試験温度
	②S (t), m (t)	BBR (AASHTO TP1-93) PAV (AASHTO PP1-93) または他の長期間劣化方法や条件	長期劣化前後で3試験温度
	③破壊時の応力/ひずみ	DDT (AASHTO TP3-93) PAV (AASHTO PP1-93) または他の長期間劣化方法や条件	長期劣化前後で3試験温度
	④温度-粘度図 せん断速度依存性	ASTM D4402	適切な粘度スピンドルを使用 3つの温度と3つのせん断速度
7. 時間-温度のシフトファクタ	log (aT) と温度, G*, S (t), 破壊ひずみ	統計モデルを使用し計算する	周波数スイープ, クリープ曲線, DTTのデータを使用
8. 短期劣化試験	G* (ω), $\sin \delta$ (ω)	上記4.1のデータを使用 新しい短期劣化試験方法	新しい短期劣化試験方法
9. 長期劣化試験	①G* (ω), $\sin \delta$ (ω) ②S (t), m (t) ③応力/破壊ひずみ	上記4.2と4.3のデータを使用	PAV試験 (改質材の熱劣化における空気の有無を評価)

DSR: ダイナミックシアレオメータ試験 BBR: ペンディング・ビーム・レオメータ試験 G*: 複素弾性率 PAV: 加圧劣化試験
RTFO: 回転薄膜加熱試験 DTT: ダイレクトテンション試験 δ : 位相角,

表-6 使用した材料および配合 (タスク8)

項目	水準
骨材供給源/角張り	2 (石灰石碎石, 砂利)
混合物粒度	2 (粗粒度, 細粒度)
アスファルト量	1 (OAC)
アスファルトの種類	9 (フェーズ2の結果に基づく)
合計	36配合

表-7 使用したアスファルトの種類 (タスク8)

	PG82 + IT + LT	PGHT + 23 + LT	PGHT + IT - 40
エラストマー	PG82-22 SBS Radial (84.4°C)	PG82-22 SBR LMW (22.7°C)	PG-58-40 SB Di-block (-39.0°C)
プラストマー	PG82-22 PE Stabilized (83.6°C)	PG76-22 Ethylene Terpoly (23.0°C)	PG58-40 SBS Linear (-39.0°C)
加工品	PG82-22 Steam Distilled (84.0°C)	PG76-22 Oxidized (24.1°C)	PG52-40 Oxidized (-43.3°C)

最大粒径は12.5mmである。SUPERPAVE容積配合設計法 (PG70-22 Boscanベースアスファルト, 設計旋回数96回, 空隙率4.0%)で決定した設計アスファルト量において試験を実施した。

試験温度は, 高温 (HT), 中温 (IT), 低温 (LT) の3水準である。それぞれの温度範囲で, モデュラスと破壊 (損傷) 特性を測定する試験を実施した。HT範

囲で, せん断試験機 (SST) を使用して一定高さにおける繰返しせん断 (RSCH) と一定高さにおける周波数掃引 (FSCH) 試験を実施した。試験条件は, 研究チームが導入した新しい考えを評価するために修正した。

FSCH試験は, 6, IT, 40, 46, 52°Cで実施した。現行の載荷周波数に30Hzを追加し, 各温度の載荷周波数は30, 10, 5, 2, 1, 0.5, 0.2, 0.1, 0.05, 0.02, 0.01Hzとした。

さらに、各温度で4種類のせん断ひずみレベル(0.01(標準), 0.04, 0.07, 0.1%)で試験を実施した。周波数、温度およびひずみレベルに対する複素せん断モデュラスと位相角の平均値の依存性を検証した。複素せん断モデュラス(G^*)と位相角を使用して、粘性項(G'')と弾性項(G')が算出できる。複素せん断モデュラスを比較することによって、混合物の高温におけるスティフネスの相対的な比較が可能となる。

バインダのPGと改質タイプが4種類の混合物のレオロジー特性におよぼす影響を評価するために、収集したデータにより、実施した分析を以下に示す:

- ・各温度条件, 周波数条件, ひずみ条件におけるバインダの G^* 値と混合物の G^* 値の関係の定量化。
- ・混合物の温度・周波数・ひずみ依存性の定量化およびバインダのそれとの比較。
- ・バインダおよび混合物のマスターカーブの作成およびバインダの改質とPGが混合物のレオロジー挙動におよぼす影響の確認。

IT範囲において、PGの中間温度および6℃でのレオロジー特性を評価するためにFSCH試験を実施した。また、破壊特性の評価のために、ビーム疲労(AASHTO TP8)試験で設定したひずみレベルにおいて、PGの中間温度で実施した。

LT範囲において、IDTがAASHTO TP9の推奨温度である0, -10, -20℃で実施した。追加の載荷時間として1,000秒をすべてのクリープ試験で採用した。破壊時のひずみを推定するために破壊試験時の時間を測定した。

③タスク9: 混合・締固め温度に関する検討

タスク9の目的は、NCHRPプロジェクト9-7で開発されたQC/QAに対する改質アスファルトの影響を評価することと共に、SUPERPAVE配合設計法の混合および締固め温度要求事項の改質アスファルトへの適用についての評価および修正である。

SUPERPAVEジャイレトリーコンパクタによる現行の標準方法では、混合温度の範囲を未劣化アスファルトの粘度が $0.17 \pm 0.02 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ になる温度、締固め温度の範囲を粘度が $0.28 \pm 0.03 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ になる温度に規定しているが、本プロジェクトで試験した改質アスファルトの場合、温度が非常に高くならないとこのような粘度にはならない。

過加熱は、劣化と改質剤の品質の低下につながるため、SUPERPAVEの締固め手法に及ぼす粘度レベルの影響を評価することが必要となる。

タスク4Aとタスク4Bで得られた粘度試験の結果を使用して、改質アスファルトの粘度が混合物の密度に及ぼす影響を評価するための実験計画を、以下に示す仮定に基づいて設定した:

- ・アスファルトの粘度レベルが、 $0.17 \pm 0.02 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ (現行のSUPERPAVE手法および他の配合設計法で要求されている)より大きくても効果的に骨材に被覆する。
- ・アスファルトの粘度レベルが、 $0.28 \pm 0.03 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ (現行のSUPERPAVE手法および他の配合設計法で要求されている)より大きくても、SUPERPAVEジャイレトリーコンパクタでは効果的に締固めることができる。

本実験の材料および条件とその水準を表-8に示す。

表-8 使用した材料および配合

項目	水準
骨材	2種類(石灰岩碎石, 砂利)
混合物粒度	2種類(粗粒度, 細粒度)
アスファルト量	1種類(OAC)
混合温度	3種類 (比較, 比較+15℃, 比較+30℃)
締固め温度	3種類 (比較, 比較+15℃, 比較+30℃)
アスファルトの種類	7種類 ①PG70-22 Boscan ベースアスファルト(比較) ②PG82-22 SBS ラジアル型 (エラストマー1) ③PG82-22 SBR (LMW) (エラストマー2) ④PG82-22 PE (プラストマー1) ⑤PG76-22 ethylene terpoly (プラストマー2) ⑥PG82-22消石灰 (微粒子添加剤) ⑦PG82-22ゴム粒子 (微粒子添加剤)

ASTM D2489に記述された方法で混合温度に及ぼす改質剤の影響を評価した。骨材に完全に被覆するのに必要な時間は、各ミキサーそれぞれについて繰返し測定により記録した。

締固め温度に及ぼす改質剤の影響を評価するために、SUPERPAVEジャイレトリーコンパクタ標準法を使用した。

主要な応答変数は、容積特性(N_{mi} , N_{des} および N_{max} 時の空隙率)とした。空隙率が4%になる旋回数も分析における主要な応答とした。

④タスク10：SUPERPAVE規格の改訂

タスク10の目的は、以下のAASHTO規格に必要な修正を加えることであった。

- ・ AASHTO Superpave asphalt binder tests, standards, and specifications.
- ・ AASHTO MP2 “Standard Specification for Superpave Volumetric (Level I) Design” ; AASHTO PP28 “Standard Practice for Superpave Volumetric (Level I) Design for Hot-Mix Asphalt (HMA)” ;AASHTO PP5 “Standard Practice for Laboratory Evaluation of Modified Asphalt Binders.”
- ・ NCHRP Project 9-7 QC/QA practice as it relates to modified asphalt binders.
- ・ Any additional protocols for Superpave asphalt binder tests (as necessary) for modified binders in AASHTO format.

タスク10のサブタスクを以下に示す。

- ・ タスク10A：直接引張りおよびガラス転移点

このタスクの目的は、改質アスファルトのひび割れ特性評価グループによって開発された最新のプロトコルの適用性の評価である。本プロジェクトのタスク4で試験された改質アスファルトの破壊特性は、TRBによって開発された最新の直接引張り試験法によって測定した。ガラス転移点(Tg)はSHRP-A 002Aプロジェクトで使用されたオリジナルの試験法で測定した。

- ・ タスク10B：限定されたフィールドでの検証

このタスクの目的は、フィールドにおける試験の実施である。

- ・ タスク10C：内部のアドバイザーグループ

タスク10で期待される成果は、SUPERPAVEバインダ規格を改質アスファルトに適用するために必要な修正を加えることであった。

この最終報告書は、プロジェクトのタスク8,9,10で得られた結果と知見に集中しており、それ以前のタスクの重要な結果については概要を記述している。

4.3 研究成果

4.3.1 改質アスファルト規格の現状

改質剤の種類は多数あるのに対し、AASHTO MPIでは分類が雑であった。そこで本検討は、SUPERPAVEのバインダ試験への適用が困難なものに対し、性状を判別することを目的として実施した。

現状の仕様では考慮されていない改質アスファルトの性状を以下に示す。

- ・ 改質アスファルトの貯蔵安定性
- ・ 粘度のせん断速度の依存
- ・ レオロジー応答のひずみ依存
- ・ 力学的影響
- ・ 荷重速度依存と時間温度等価

また、官・民・学に改質アスファルトおよびその混合物についてアンケート調査を行った結果、どの機関からも現行のSUPREPAVEに満足しないという内容の回答が寄せられている。

4.3.2 改質アスファルトの分類

SUPERPAVEではバインダの分類方法として「シンプル(単一)」と「コンプレックス(複合)」という分類を用いていた。この分類方法は、改質剤の有無や種類を分類することが困難であることから、「シンプル」のみを分類する規格を定めたものである。この分類を行う時に用いたのが微粒子の添加量試験(PAT: Particulate Additive Test)であったが、以下に示す規格に反するものをすべて「コンプレックス」と分類するだけのものではなかった。

- ・ PATにより求めた75 μ mに残留する添加剤量が、2%以下である。
- ・ HMAの一般的な混合および締め固め温度で長期間(2日以上)貯蔵しても安定している。
- ・ 応力ひずみの変化が、混合物の密度または舗装構造に対し敏感でない。
- ・ 交通量を想定した繰返し荷重に敏感でない。

しかし、3と4を定義することは困難であったため、この分類方法を実施するよりも、貯蔵安定性の低いバインダを単に「コンプレックス」とすることで分類をしていた。

したがって、3と4の評価も規格試験に組み込むことにより、「シンプル」-「コンプレックス」というバインダの分類自体が不要となる。

4.3.3 新しく提案された試験方法

全てのバインダを、PGシステムに適用するために、種別と添加物量試験(PAT)そして貯蔵安定性試験(LAST)による方法を採用した。さらに、回転式薄膜加熱試験(AASHTO T240)の修正を行った。

①PAT試験(Particulate Additive Test)

現行のSUPERPAVE試験では、微粒子の最小粒径は、250 μ mとして定義されていたが、アスファルト混合物では75 μ mより大きな粒子は骨材の一部と考えられるので75 μ mのメッシュを用いている。試験器の構成を図-4および写真-1に示す。

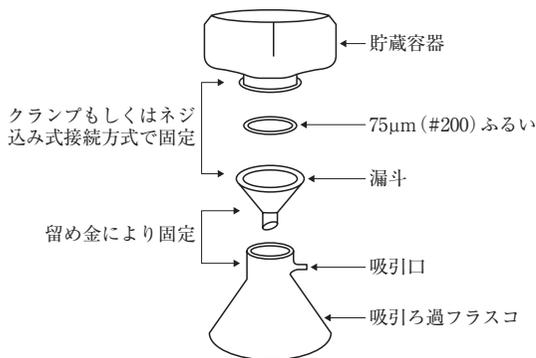


図-4 PAT装置



写真-1 PAT装置

試験は、以下の手順で行う。

- 1) アスファルトをフラスコに移し溶剤を使用し、試料が容器に付着しなくなるまで希釈、攪拌する。
- 2) 真空濾過装置中のふるいにより、吸引濾過を行う。
- 3) 濾液が無色になるまで濾過を続け、残留試料を遠心分離機にかける。
- 4) 微粒子の最終質量と初期質量から、容積百分率を算出する。

PAT試験で用いるn-オクタンとトルエンは基礎実験によりアスファルトに溶解するほとんどの添加物を判別することができる溶剤であることが明らか

となっていたため、これを選択することとした。

②貯蔵安定性試験 (LAST)

改質アスファルトの貯蔵安定度を評価する試験は、屋外アスファルトの備蓄用貯蔵タンクが対象であり、以下の因子の評価を考慮した。

- ・160～180℃での高温 (HT) 貯蔵時間の延長による影響
 - ・改質アスファルトの機械攪拌による影響
 - ・温度と回転数の関係を考慮した供用性能への影響
- タンク内はアスファルトを均一な温度で維持するために、連続攪拌を行っており均質な状態である。また、プラントではプロペラを内蔵した鉛直のタンクが、均一性を維持するのに推奨されている。このような背景から考案された試験機を以下に示す。

LAST装置と呼ばれるこの装置は、一定温度を維持するために、内部に温度制御装置と容器中央にある2枚のプロペラを制御する装置を持つものである。400mlの試料を使用でき、容器の上と下からピペットを使用して、試料の抜き取りが定期的に行える。図-5および写真-2にLAST装置を示す。

アスファルトの貯蔵安定性は、分離比 (Rs) と劣化比 (Rd) という2つの指標で評価される。

分離比 (Rs) は、容器の上下部から採取した試料の応答比 (G^* , δ またはその組合せ) によって求まる。

劣化比 (Rd) は、任意の貯蔵時間での上下部の応答の平均値と初期応答の比によって求まる。

LAST装置の評価をするために、試験を行った結果を以下に示す。RsとRdの値は、改質剤の種類、ベースアスファルト、レオロジー試験温度、およびレオロジー要素によって様々であることがわかった。したがって、Rsは改質剤やバインダの品質と関連せずに多様化することから、品質や種別を予測できな

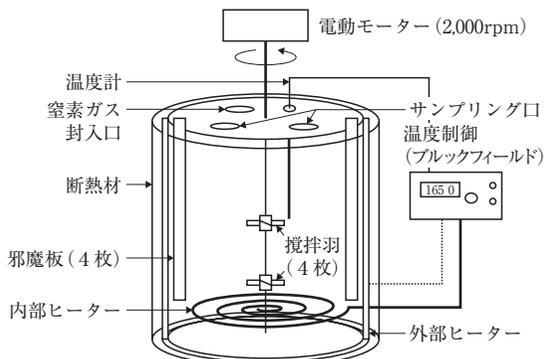


図-5 LAST装置



写真-2 LAST装置

いことが明らかとなった。

また、ある改質アスファルトでは（例えば、ポリエチレンなど）、攪拌を行うと長期間において分離を防止できることがわかり、静置条件で分離が起こったからといって不適格とすべきでないことも明らかとなった。

さらに、攪拌条件として高速（2000rpm）攪拌を行った場合、バインダにより高速攪拌が反応を促進させたり、劣化させたりすることも明らかとなった。

③回転式薄膜加熱試験の修正

改質アスファルトは粘性が高いため、試験中にガラスびんの壁面に付着して回転しないという問題があった。このため、アスファルトの薄膜にせん断力を作用させ、壁面への付着を抑制するために、鉄球および鋼棒を用いることを試みた。数種類の条件で試験を行った結果、直径6.35mm、長さ127mmの鋼棒を用いた場合が最もアスファルト単体への劣化の影響が最小であり、改質アスファルトに対する効果も有効であった。これにより、修正RTFOTで改質アスファルトを効果的に劣化させることができた。

④DSRとBBRによる評価

1) 改質アスファルトの速度依存

改質アスファルトの速度依存性を求めるために、

限界温度 ($G^* \sin \delta = 5,000 \text{kPa}$ などの仕様書の要求を満足する温度)の測定を行った。

その結果、HT（高温）において周波数を1桁増減させるとバインダを約20℃上昇下降させた場合と同程度の影響があることがわかった。ただし、速度による影響はバインダにより特有である。また、スティフネス (S) より m 値のほうが限界温度に与える影響が大きい。

2) 改質アスファルトの交通量(疲労)依存

改質アスファルトに対する繰返し荷重の影響をHTとITで測定した。その結果、ひずみレベルの疲労周期は G^* に影響を及ぼすことがわかった。また、アスファルト(単体)と改質アスファルトを区別でき、改質剤の種類による G^* の変化を示すことができた。混合物が高いひずみを受けた時、疲労挙動の大部分は改質アスファルトが担っていると考えられる。

3) 舗装構造(ひずみ依存性)の影響

舗装の供用性に関して、改質アスファルトの舗装構造に対する依存性を調べた結果を以下に示す。

HTでは、ひずみ依存と改質アスファルトの品質または種類には傾向がないが、ITではバインダの種類で依存性を示した。 G^* と δ の比は、限界温度に非常に敏感であるが、全てのバインダで同じではないことから、改質アスファルトを特徴付け、低機能なバインダを区別することができた。

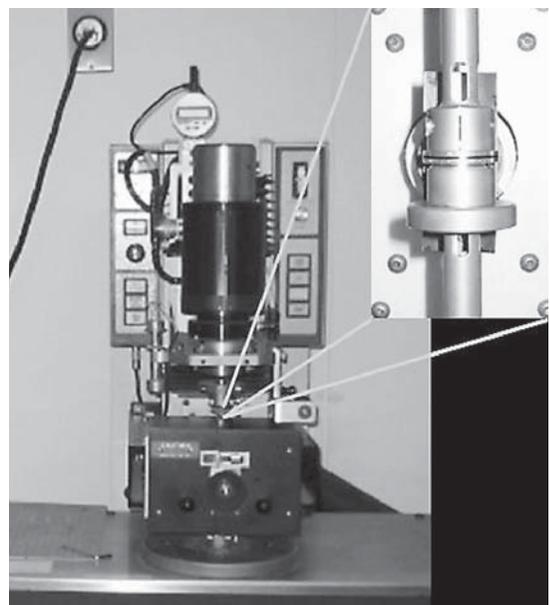


写真-3 ダイナミックシエアレオメーター (DSR)

⑤膨張計を用いた体積変化とガラス転移点(Thermal Volumetric and Glass Transition)の特性評価

BBR試験に加えDT試験と共に新しく考えられたガラス転移点試験は、改質アスファルトの低温時の性能を把握するために用いるものである。

DT試験は、各温度に対するひずみ速度を求め、BBR試験により得られる時間温度遷移関数を用いて、DT試験データの補間をすることにより、時間一破断応力・破断ひずみの破壊曲線が得られる。

しかし、クラック発生温度を評価するためには、改質アスファルトの冷却速度(温度勾配)の影響を考慮に入れなければならない。このため、ガラス転移温度を求めることにより、改質アスファルトの熱特性を把握する必要がある。ガラス転移温度の測定は、 $-70\sim 40^{\circ}\text{C}$ の間で温度を関数として体積の変化率を求めるものである。以下にその推定式を示す。

$$v = C_v + \alpha_g(T - T_g) + R(\alpha_l - \alpha_g) \cdot \ln\{1 + \exp[(T - T_g)/R]\}$$

ここで、 T_g ：ガラス転移温度

α_g ：ガラス転移温度以下の収縮係数

α_l ：ガラス転移温度以上の収縮係数

v ：体積変化率

C_v ：定数

R ：体積変化率に応じた定数

上式により、改質アスファルトの熱特性を定量的に評価することができ、その熱特性は、限界クラック温度として示される。なお、この時のひずみは、同じPGでも異なる結果を示し、時間一破断応力・破断ひずみの破壊曲線は改質剤の種類に依存し、冷却速度がクラック発生温度に影響を与えることもわかった。

しかし、改質アスファルトの種類や破壊特性の結果が多様化していることから、クラック発生温度の違いによる改質アスファルトの性能評価は、固有値データによるリスクを含む評価となってしまう。

現行のSUPERPAVEに、クリープと破壊特性の相関関係があるが、本検討結果により、相関係数が低く、データにバラツキがあることが確認できた。クラック温度や破断ひずみの限界温度についても同様の傾向が得られた。

したがって、改質アスファルトのクリープ特性と破壊特性の間に理論的な関係はあるが、優れた相関関係は無いことが分かった。

アスファルトを改質することで、ガラス転移温度

には、明確な変化が見られ、特に低温域を改質することでこの温度を低下させられることが分かった。しかし、改質方法(改質剤の種類)によるバラツキが大きいことから、全体を一般化して考えることが難しいことも確認ができた。

4.3.4 混合物の粘弾性状に与える改質アスファルトの影響

本検討は、改質アスファルトがアスファルト混合物の流動抵抗性に与える影響について評価するために実施したもので、具体的には、交通速度、ひずみ、舗装温度などを考慮して試験条件の見直しを目的として実施したものである。バインダと混合物の関係を定量化するため、9種類の改質アスファルト混合物について比較した。

①流動抵抗性に関する骨材特性の影響

FSCH(周波数掃引)試験により、改質アスファルト混合物は、流動抵抗性に対し、改質剤と特にひずみレベルが大きく影響を与えることが明らかとなった。

試験材料は、4種類の骨材配合(石灰岩粗粒、石灰岩細粒、れき粗粒、れき細粒)と改質アスファルトPG82-22を用いた。

混合物の G^* に対するバインダの G^* の関係は、直線(傾き0.5)で示される。骨材粒度の影響は少なく、粗粒度や細粒度の相関性は高い。混合物およびバインダのひずみレベルは、粒度よりも骨材の種類に大きく影響され、石灰岩ではれき質より傾きが大きいことから、粗面の骨材がバインダ性状に大きく影響を与えると考えられる。

②混合物に対する改質アスファルトの影響

図-6は、FSCH試験により得られた9種類のバインダの G^* に関するひずみ測定結果を示したものであり、ひずみと改質アスファルトの関係について以下のことが明らかとなった。

- ・混合物の G^* は、対数グラフでバインダの G^* の一次関数で示され、傾きは0.5の関係が得られている。
- ・切片は改質アスファルトのひずみレベルに依存し、ひずみが大きい程、混合物はバインダの G^* に敏感である。
- ・改質剤の種類の違いによる混合物の G^* は、ひずみが大きい時に変動が大きいことがわかる。なお、骨材は改質剤およびひずみレベルに対して影響が小さい。

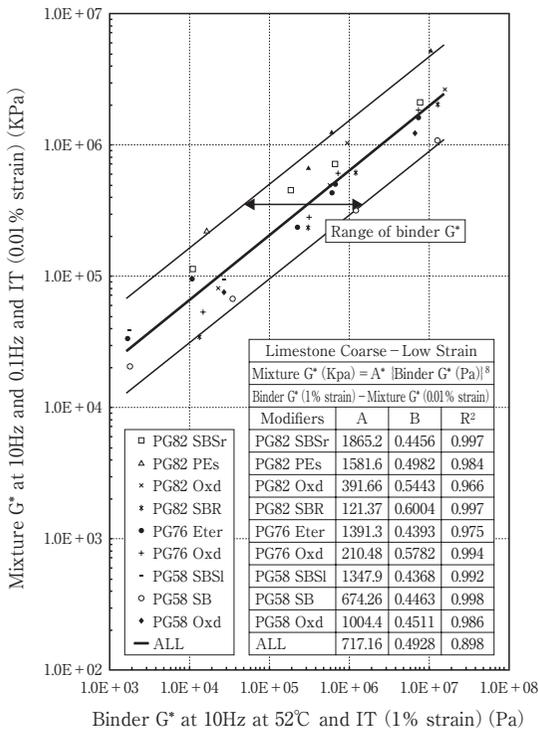


図-6 G^* に関するひずみ測定結果

③温度と振動数による混合物特性の鋭敏性

FSCH試験より、温度、交通速度、ひずみの影響および鋭敏性を評価できる。一例として36種類の混合物で52°Cと46°Cでの G' 、 G'' を求め、周波数は0.1Hz、10Hzにて測定した。周波数の影響は、図-7に示すように中温域で評価した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ・バインダの種類によって、周波数と温度の影響が異なり、温度および周波数に関する鋭敏性は、バインダより混合物の方が低い。
- ・温度領域について、ITの周波数の影響は、HTほど高くない。
- ・バインダの粘弾性により、HTによる混合物には大きな影響を与えないようである。
- ・52°Cにおいて、 G' と G'' の相対的变化は、バインダの粘弾性と類似しており、鋭敏ではない。
- ・ITについては、混合物であっても周波数に敏感である。

4.3.5 混合物のマスターカーブ

マスターカーブは、室内において粘弾性材料の基本的な流動特性を示し、温度と周波数により推定できた。

これにより、アスファルト混合物とバインダを特徴付ける数学的モデルを開発した。これは、複素弾性率マスターカーブ、位相角マスターカーブ、温度シフトファクターおよびひずみシフトファクターにより、4つの方程式で構成される。

1種類の骨材または位相カーブが温度とひずみの両方を説明するため、「マスターカーブ」と呼ばれる。図-8は、バインダと混合物のマスターカーブの例である。

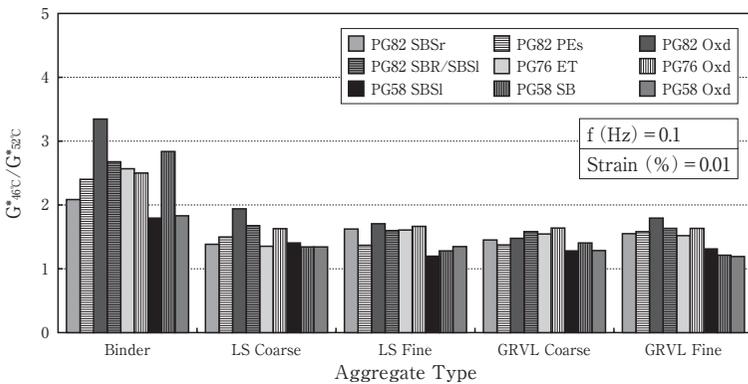


図-7 中温域での周波数の影響

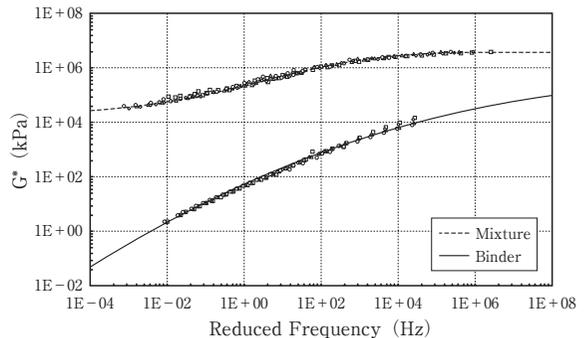
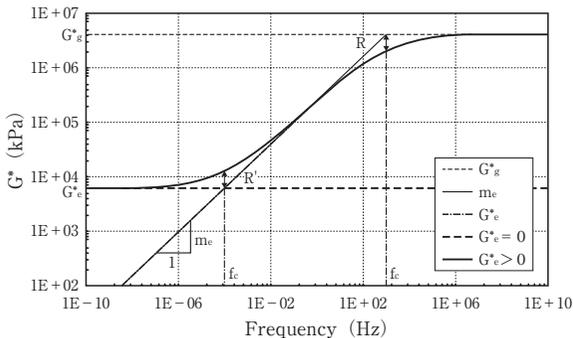


図-8 バインダと混合物のマスターカーブの例

G'' は、混合物のせん断による最小モデュラスを示す近似係数となる。また、 G' は、混合物のモデュラスに最も寄与する超短波長LTSで代表されるせん断の最大近似値である。fcは弾性率 G' が粘性率 G'' とほぼ等しい周波数を示す位置の要因であり、fcが高い時は位相角が高く総合的に粘弾性要素であることを示す。

図-9は、1種類の骨材(石灰岩)を用い、改質剤の異なる3種類の改質アスファルトを用いて作製した混合物(粗粒度アスコン)のマスターカーブである。混合物の流動的マスターカーブの初期解析において、骨材、バインダ、温度、周波数およびひずみに影響を受けることが明らかとなった。

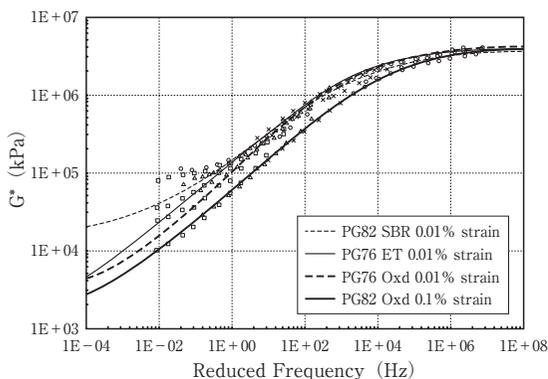


図-9 G^* のマスターカーブ(石灰岩粗粒度)

図-10は、バインダおよび骨材の種類の違いがR値に与える影響を示したものである。これより、全ての要因に対して、バインダと骨材の相互作用の影響があることが分かる。

粗粒度は、細粒度より高いR値を与えるが、改質タイプに関する傾向を測定するのは難しい。また、砂利は、石灰岩骨材に比べて限界周波数fcが高い傾向があ

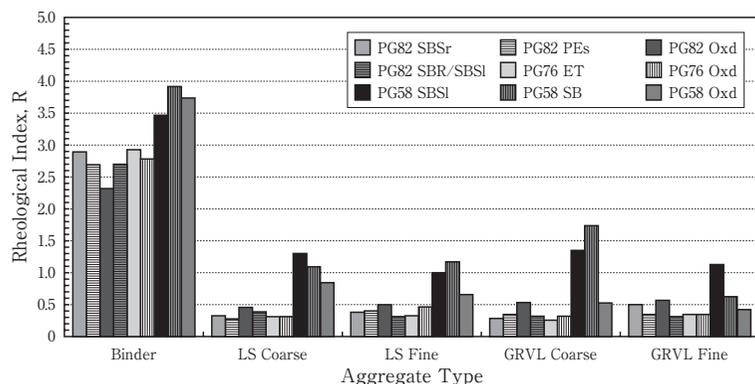


図-10 R値に与えるバインダ、骨材の影響

る。バインダと骨材の相互作用が重要であり、バインダfcは、容易に混合物fcに反映されない。一般に係数 Gg^* は、バインダの特性や骨材特性に敏感ではない。均衡係数 Ge^* 値は、混合物が広範囲に異なることを示す。アスファルトと骨材の相互関係は、複雑であり、バインダと骨材の影響に関して単純に分けられない。

しかしながら、温度とひずみの影響は判断できる。舗装の性能における交通の影響、舗装温度、舗装構造の検討において、マスターカーブの概念を用いることは、交通速度、ひずみレベル、舗装温度における仕様を作成する上で有効な手段であるといえる。

4.3.6 わだち掘れに対する改質アスファルトの効果

アスファルト混合物のわだち掘れに対する改質アスファルトの効果を評価するために、AASHTO TP7に規定されているRSCH(高さ制御の繰返しせん断)試験を実施した。当初の試験条件(試験温度58°C、せん断応力68kPa)では、明確な永久ひずみが発生しなかった。

バインダの繰返しクリープ試験は、改質アスファルトの損傷挙動を測定するために新しく開発された試験であり、DSRを使用し一定荷重の繰返しサイクルの下で永久変形へのバインダの抵抗力を直接測定する方法である。

①混合物のわだち掘れの挙動

RSCH試験の一例として、2種類のバインダと4種類の骨材を用いて行った結果、PG76とPG58バインダの間に、初期変形と永久変形において同様の傾向が確認できた。これにより、改質アスファルトのグレードの影響は、骨材種類の影響と同様に小さい。むしろ角張っている石灰骨材が特に影響し、粒度の違いより大きい。

②バインダのわだち掘れへの効果

繰返しクリープ試験の結果、バインダは、舗装体最高設計温度の範囲では、単に50%を超える非常に高い変形レベルに敏感であることを示した。載荷時間1s、休止時間9sの条件で3個のPG82の繰返しクリープ試験より、 $G'/\sin \delta$ パラメータでも求められなかった永久残留変形がわかる。エラストマーバインダ(SBSr)は、クリープ試験によると高い回復を示すため、それ程変形しない。

また、可塑性バインダ(PE)は酸化劣化バインダ(Oxd)より高い回

復を示す。これらの結果は、これら材料の分子構造に関連すると推測される。さらに、混合物試験の評価とバインダクリープ試験の評価は、永久残留変形率の条件と一致する。

③ わだち掘れ抵抗性のパラメータの選択

PG82とPG76の5個のバインダといくつかの温度で試験を行った。結果の分析は、わだち掘れ抵抗性に対するバインダの影響について、60分未満、100サイクルで信頼性の高い予測が可能である。

④ 仕様パラメータの誘導

繰返しクリープ試験の分析を基に、クリープーリカバリー試験は、バインダの永久残留変形の予測と混合物のわだち掘れ抵抗性の関係がわかる。試験は、既存のDSR試験機を使用できるが、必要な特性値を得るために特別なソフトウェアが必要である。また、クリープ挙動が正確に予測でき、周期的に載荷試験を行うことでレオロジカルモデルを求められる。わだち掘れ抵抗性に新しいパラメータを求めるために、粘弾性に基づく研究を継続した。バインダの繰返しクリープデータは、バインダの二次クリープ率が載荷サイクル数の簡単な一次関数であった。

⑤ 混合物の供用性との相関関係

RSCH試験で測定される混合物の永久残留変形速度は、バインダの永久残留変形速度に相関がある。混合物試験では、繰返し回数の関数として、変形の対数のモデルから予測された。バインダ試験の場合、繰返し回数の関数として変形の直線的な対数グラフから予測できる。新しいバインダのわだち掘れ抵抗性のパラメータは、この相関関係の半分以下であった。

⑥ わだち掘れ抵抗性に関する研究結果

わだち掘れ抵抗性に関する分析結果を、以下に述べる。

- ・ PGの異なる改質アスファルトの効果は、骨材粒度の影響と同等である。また、角張った石灰岩骨材の場合は粒度の変更よりも影響が大きい。
- ・ 室内実験で得られる混合物のわだち掘れ抵抗性は、同じPGのバインダでも必ずしも同じではない。バインダは、RSCH試験で測定された同じ骨材の混合物のわだち掘れ抵抗性とは異なる。
- ・ バインダパラメータ $G^*/\sin \delta$ とわだち掘れ抵抗性の相関関係は非常に小さい。このパラメータは、現場で繰返し載荷される交通荷重においても良好な相関を示さないことが試験から分かった。パラメータは、わだち掘れ抵抗性の評価に

において永久残留流動の説明に有効であるか不明である。

- ・ バインダの繰返しクリープ試験は、永久残留変形のバインダ抵抗を予測するために導入できる。クリープスティフネス (G_v) の粘着性のバインダの永久残留変形率の指標で仕様パラメータとして提案できる。
- ・ G_v と混合物のわだち掘れ抵抗性の間の相関関係は、特定の骨材の場合には高いが、別の骨材では低かった。これは、骨材の影響とバインダ特性との相互作用が非常に複雑であることによる。 G_v もしくは他のバインダ性状の正確性を評価するために、バインダ性状を切り離して考えることは、非常に難しい。
- ・ 現在のバインダ評価試験と比較して、バインダの永久変形を測定できる繰返しクリープ試験方法により、舗装のわだち掘れにバインダ特性を関連させて評価することができるようになった。

4.3.7 混合物の疲労特性に与える改質アスファルトの影響

ITでは、FSCH試験および曲げ疲労試験を実施した。試験方法は、AASHTO TP7 (FSCH) およびTP8 (曲げ疲労) に記載されている。

このセクションでは、混合物の疲労破壊におけるバインダの役割を評価するために提案したいくつかの新しいバインダ試験についても記載している。

① 混合物の曲げ疲労試験結果

曲げ疲労供試体は、ニーディングによって作製した空隙率 $7.0 \pm 0.5\%$ のものを準備した。その後、すべての混合物は、短時間劣化試験 (135°C , 4時間) にかけて。

疲労試験では、曲げ供試体 (長さ380mm, 高さ50mm, 幅63mm) を、 $250 \sim 750\mu\text{m}$ の初期制御ひずみ、周波数10Hzで試験を開始し、50サイクル後、初期スティフネスを算出した。その後、ひずみ量を調整し、最低10,000サイクルまで載荷した。

試験の結果は、繰返し載荷に対する曲げスティフネスの曲線で表し、各混合物に対して3組の供試体を使用した。疲労試験は、PGの中間温度 (例えば、1.59Hzで $G^*\sin \delta = 500\text{kPa}$ となる温度) で実施した。

表-9は、試験に用いたバインダと試験温度の種類を示したものである。この表には、PAV劣化試験後に1.59Hzにおいて求めた $G^*\sin \delta$ の値も併記している。

表-9 試験に用いたバインダと温度の種類

Binder	PG 82 SBSr	PG 82 PEs	PG 82 SD	PG 82 SBR	PG 76 ET	PG 76 Oxd	PG 58 SBSI	PG 58 SB	PG 58 Oxd
Test Temp [°C]	24	27	32	23	23	25	0	7	0
G* $\sin \delta$ at 1.59 Hz (PAV) [kPa]	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
G* $\sin \delta$ at 10 Hz (RTFO) [kPa]	6040	6230	9320	10100	7550	7580	6800	7130	7540

②新しいバインダの疲労試験の開発

既存の仕様では、G* $\sin \delta$ が疲労特性の評価に使用されている。この疲労指標は、粘弾性理論における散逸エネルギーの考え方に基づいて選定されている。しかし、この考え方は「破壊は、ひずみが制御された状態で薄い舗装において発生する」という非常に限られた仮定をもとにしたものである。

疲労は、アスファルト舗装における最も複雑な破壊現象である。多くの人は混合物の問題だと考えている一方、多くの研究者は、これは舗装の構造的な問題であると考えている。この疲労クラックは、バインダで発生して伝搬していくと考えられているため、バインダに関連した破壊は、バインダの仕様で管理する必要がある。

図-11および図-12に示すように、G* $\sin \delta$ と混合物の疲労の相関係数が低いのは、小さいひずみで線形粘弾性の範囲内で試験を実施していることに起因していると考えられる。

③疲労試験のまとめ

疲労に関する試験から得られた知見を以下に示す。

- ・混合物の疲労寿命は、アスファルトの改質タイプに大きく影響を受ける。同一種類の骨材を用いた場合、エラストマー改質アスファルトは、本研究で使用した他の種類のバインダより、より長い疲労寿命を有している。
- ・疲労寿命は、骨材の種類にも影響を受ける。例えば、石灰岩の場合、細粒度は、粗粒度と比較して、疲労寿命が短い。また、碎石の場合には、反

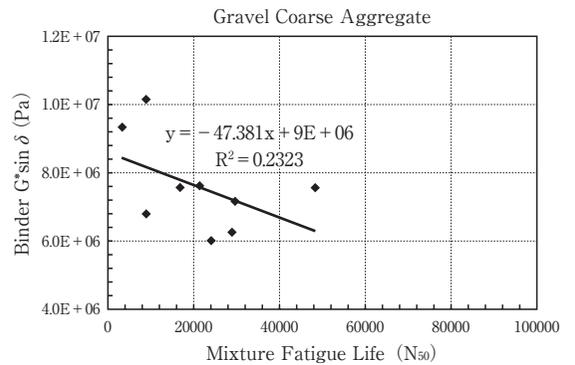
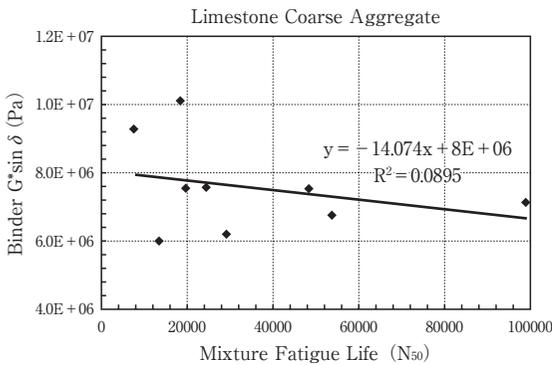


図-11 G* $\sin \delta$ と混合物の疲労特性の関係 (10Hz, PGの中間温度)

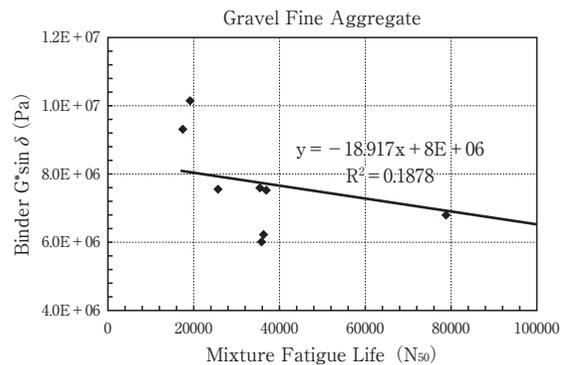
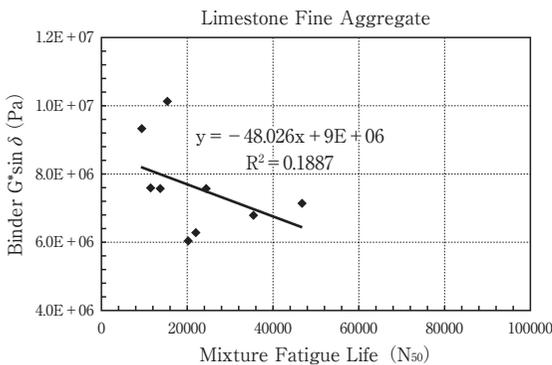


図-12 G* $\sin \delta$ と混合物の疲労特性の関係 (10Hz, グレードの中間温度)

対の傾向を示し、粗粒度は、細粒度と比べて疲労寿命が短い。

- ・混合物の疲労寿命と現在のバインダ疲労抵抗性の指標 $G \sin \delta$ の関係の収集は不足している。混合物疲労寿命とバインダの粘弾性特性の関係を決定する現実的な新しいバインダの疲労抵抗性試験が求められている。
- ・時間-スリプ試験は、バインダの疲労抵抗性評価に関して信頼性の高い試験である。
- ・散逸エネルギー比を用いる方法は、結果の影響を明らかにする幾何学であるが、適正な試験条件を選択することによる、このアプローチは有用性のある結果を混合物の性能との相関性の高い結果を得ることができる。

4.3.8 混合物の低温クリープと疲労特性に与える改質アスファルトの影響

このセクションでは、混合物の低温クリープと疲労特性に関するアスファルトの役割の研究結果を記述する。この結果は、バインダのクリープ反応と混合物のクリープ反応を直接的に比較するために使われる。また、バインダの温度と破壊特性に与える改質剤の影響と混合物のクリープと破壊特性に与える改質剤の効果についても検討している。LTsにおける混合物試験は、若干修正したIDT標準試験によりおこなった。バインダ試験は、クリープ測定には曲げレオメータを、破壊特性に対してはDT試験を、また温度特性に対してはガラス転移点装置を適用した。

破壊時のひずみとクリープ特性、破壊特性、温度特性を用いたバインダの破壊時の応力を測定するために、新しい試験方法を開発した。その方法は、バインダのガラス転移点を測定するために導入した。

これらの方法は、結果的に混合物の温度クラックにおけるバインダの役割、バインダと混合物の性能における改質剤の影響評価を可能とした。

①バインダと混合物のクリープ特性の関係

クリープデータを用いて、BBR試験で求めたバインダに対する解析結果から得られた知見は、以下に示すとおりである。

- ・骨材の種類に大きく影響される。
- ・砂利は、明らかに石灰岩より高い値を示す。
- ・曲線の傾き (B) は、骨材に大きく影響を受ける。傾きの変動幅は、各骨材の平均で0.404～0.565である。石灰岩を用いた混合物の傾きは、砕石を用いた混合物のものより、明らかに低い。細

粒度と粗粒度を比較するとわずかに低い。骨材の種類の方が、粒度よりも明らかに重要である。

- ・バインダの改質タイプの影響は、所定のグレード同士においては、重要ではない。しかし、グレードの違いは、重要である。影響は、PG XX-40に対してより重要である。これらの結果に基づいて、改質の効果は、無視できないことが分かる。

②バインダの破壊特性と混合物の破壊特性の関係

混合物の破壊特性における改質アスファルトの役割を評価するために、混合物のIDT強度試験の結果をDTTで測定したバインダの破壊特性と比較した。混合物とバインダ双方に対する破壊データ（破壊応力や破壊ひずみ）は、0℃のもので比較した。

混合物の破壊応力と破壊ひずみは、すべての混合物において0、-10、-20℃の3温度で採取した。しかし、バインダ試験では、PGごとで指定されている温度で実施した。バインダの試験温度での破壊応力および破壊ひずみを混合物の試験温度に変換する必要がある。

バインダ特性については、下式で表される既存の破壊応力と破壊ひずみのマスターカーブにより求めた。

$$\sigma_f \frac{T_0}{T} = \frac{s_0}{1 + \{[\log(\xi_f + s_1) - s_2]/s_3\}^2}$$

③低温特性に関する研究から得られた知見

低温特性に関する研究から得られた知見は、以下のとおりである。

- ・バインダのクリープ特性は、混合物のクリープ特性に反映される。混合物のクリープにおけるバインダの役割は、比較的改質材の種類と関係がない。骨材の材質は、バインダと混合物のクリープ特性の間の関係に影響を与える重要な要素である。骨材の粒度は、材質よりも重要ではない。
- ・混合物破壊応力と破壊ひずみは、骨材特性との関係はあまりない。これはバインダの破壊ひずみとあまり関係がないのと同様である。しかし、混合物とバインダの疲労特性の間には、あまり高い相関性がないといえる。
- ・混合物の破壊ひずみの範囲は、バインダの破壊ひずみの約10分の1である。混合物のひずみは、バインダの範囲と比較して大変狭い範囲で変化している。このことから、バインダの破壊ひずみは、混合物の破壊ひずみに対しては、大して重要でないといえる。

4.3.9 改質アスファルトの混合・締固め温度

本検討は、HMAに使用する改質アスファルトの混合と締固めの粘度についての条件を評価し、また改訂するために行ったものである。

まず、改質アスファルトの粘度特性に着目し、室内にて未改質アスファルトと比較し、混合物としたときの混合と締固めについての検討を行った。

①粘度特性

混合と締固めの粘度条件として、AASHTO T 308では165℃以上でPG70、76および82の改質アスファルトについては規定されていない。本試験では、その改質アスファルトを使用する。ブルックフィールド粘度計を使用し、混合温度165℃、回転数20rpm、PG82～52間の改質アスファルトのサンプルについてまとめた。

データから、せん断速度がバイндаの働きにかなりの影響を与えるので、最適な混合と締固め温度は、せん断速度の依存を考える必要がある。またデータの分析から、せん断速度は温度の関数であることが明らかとなった。

②粘度レベルと混合物の空隙率が混合物に与える影響

粘度の空隙に与える影響をまとめた。この結果は、空隙率の低下と回転数の関係が、バイнда粘度の対数の関数であることを述べている。また、空隙率は、改質アスファルトのせん断に影響されることがわかった。

③締固め時のせん断速度の評価

ジャイレトリーコンパクタによる鉛直ひずみは、アスファルト混合物に一定圧力を与え、はじめは高いひずみで、後に回転数に必要に応じて指数関数的に低くなる。

ジャイレトリーコンパクタによるたわみ曲線から締固めのひずみ率を算出できる。粗骨材とPG82の改質アスファルトの混合物供試体で0～130回転まで締め固める時のひずみの変化率をまとめた。

ジャイレトリーコンパクタによる鉛直方向のひずみから、アスファルト混合物に粗骨材として砂岩を使用することで、Cross-Willsonモデルにより、空隙率が評価できる。

④ゼロせん断粘度の目標値の設定

SUPERPAVEシステムの粘度測定は、一般の回転粘度計を選定した。ゼロせん断粘度(ZSV)は、混合と締固め温度を推定するのに必要とされる。最適な

ZSVを決定するために各条件にて密度を行った。密度の測定結果から空隙率が比較できる。改質アスファルトと標準との空隙率の最大差は1.1%である。

3種の骨材では、改質アスファルトに対する空隙率は0.2%以内であった。特に砂利細骨材と石灰岩粗骨材は他の骨材より効果が高い。

⑤ZSVをせん断粘度に置換

ゼロせん断粘度を予測するのに複雑であるが、Internal AdvisoryグループとExpert Taskグループの提案に基づきプロセスを簡素化した。このゼロせん断理論を活用することで混合温度と締固め温度と同じ結果を得ることができた。

⑥粘度測定の見易化

混合と締固め温度を測定する過程を簡素化するために、現在活用されている20rpmで評価した。せん断率6.8Hzの低せん断速度ですべてのバイндаの混合と締固め粘度を求めた。

ZSV限界から得られる混合温度と締固め温度におけるバイнда粘度をまとめた。回転粘度計を活用し、スピンドル27と6.8Hzのせん断率で測定する粘度データからそれら温度は求めることができた。

⑦混合温度の評価

改質アスファルトの粘度増加で各骨材の被覆にどのような影響があるか評価した。試験は、2段階に分け、第1段階ではベースアスファルトの粘度の効果を研究し、第2段階では4種類の改質アスファルトの効果を研究した。被覆の度合いは骨材粒度または温度よりミキサータイプに依存する。ホバートベーカーミキサーは従来のバケットミキサーより被覆効果が高い。ミキサータイプは被覆に最も効果があるが温度低下に伴い、被覆度合いは減少する。

締固めは、アスファルトと骨材を混合しせん断速度で示すのがよいが、せん断速度を測定することは難しい。締固め粘度の選定手順を低せん断粘度と温度と互換性があるようにすることによって、手法を簡易化できる。

得られた結果から、混合温度は締固めのために決定される低せん断粘度から相殺される粘度に基づいて決定される。

⑧混合と締固めの研究結果のまとめ

混合および締固めに関する知見は、以下のとおりである。

- ・ AASHTO T 308で規定されている現在の混合温度と締固め温度の条件は、165℃以上に加熱しな

い限り、PG70、76、82の改質アスファルトに合致しない。

- ・ジャイレトリーコンパクタを使用して作製した供試体の密度を測定した結果、要求される密度に対して、 $0.28 \pm 0.03 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ の粘度が要求されることの根拠が無いことが明らかとなった。つまり目標とする密度は、より高い粘度でも十分に得られることが明らかとなった。
- ・改質アスファルトは、室内および現場での締固めで通常適用されている温度においては、明らかに非ニュートン流体である。この非ニュートン流体には、多くの現象モデルがある。
- ・締固めデータの収集により、ジャイレトリーコンパクタで得られた空隙率レベルにおける粘度の影響が明らかとなった。空隙率と回転数との関係は、バインダ粘度の対数で直線回帰できる。また、回帰式の傾きは、バインダと骨材特性に強く影響される。
- ・ジャイレトリーコンパクタでの最終締固め段階は、バインダの低せん断粘度によって評価できる。この結果は、異なるバインダでの統計的分析結果からも裏付けられる。
- ・低せん断速度が測定する粘度であるという考えが必要である。どのバインダでも許容可能な締固め温度で $3.0 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ のZSVで被覆データが得られる。各アスファルトからベーカーリーおよびパケットミキサーで3分間の混合試験を低せん断速度で行った。同じバインダにかかわらず、空隙は活用されると予想される。
- ・適用範囲内で締固め温度を保つために、 0.001 (1/s) で $6.0 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ の粘度を締固めの目標値とすることを提案する。混合物の体積特性の軽微な変化で、粘度の増加による高い締固め温度の課題を解決できることが期待できる。

5. まとめ

本研究により得られた成果を以下にまとめて示す。

5.1 一般的な成果

- ・アスファルトに改質剤を添加することにより、舗装の供用性の向上に貢献する。主な州道路機関では、舗装の供用性を改善するために、改質アスファルトの使用を計画している。
- ・道路機関が直面している主な難問の一つに、改質アスファルトの品質を確実にする信頼性の高い標準

方法が欠如していることが挙げられる。現行のAASHTO MP1に記載されているバインダ試験と規格では、供用性に依存したバインダのランク付けと選定において信頼性に欠ける。

- ・現行のAASHTOバインダ規格の信頼性を高めるための改訂は、貯蔵安定性や混合・締固め温度の変化などを用いて改質添加剤の素材を確定する試験方法も含まれるべきである。
- ・舗装の供用性と従来のSUPERPAVEバインダ試験装置を用いて測定される破損に関連したバインダの特性との相関性の高めるために、線形粘弾性理論に基づいた既存のパラメータ (G^* と $\sin \delta$)を見直す必要がある。

本研究では、舗装の供用性のグレードを正しく評価するためには、走行速度、交通量および舗装構造を直接的に反映することの必要性を示した。

- ・混合物は、バインダ単体よりも舗装温度、交通速度の影響を受ける。この減少した敏感性から、異なる気候および交通条件で使用しているPGの数を減らすことを検討する必要がある。
- ・バインダと混合物は、舗装構造のファクターと関連している応力もしくはひずみの変化に敏感である。この影響は、骨材形状や粒度などの他の一般的な要因よりも重要である。バインダのPGなどの混合物材料の選定は、舗装構造を考慮に入れることで改善することができる。
- ・バインダの仕様書によって、どの程度の試験を要求する必要があるかを定めることは困難である。多様化する産業界のニーズに対応し、改善したPGシステムの実施を容易にするためには、気候、交通条件および舗装構造に基づいたマルチバインダグレードシステムを採用する必要がある。州道路局は、有効な情報源に基づいた適正なレベルの選定が可能となる。マルチレベルシステムは、すでにSUPERPAVE混合物分析手法に採用されており、NCHRPプロジェクト1-37Aで開発された2002舗装設計ガイドの一部として採用される予定となっている。

5.2 現行SUPERPAVEの改訂案

改質アスファルトに対応したSUPERPAVE規格の見直しにより提案された項目を以下にまとめて示す。

5.2.1 バインダのパラメータ

バインダ試験として、以下のパラメータおよび試験方法が提案された。

- ①混合物のわだち掘れ：DSRによるクリープスティフネスの粘性要素として定義される G_v （原文の付録C-IV参照）
- ②混合物の疲労：DSRによるクラックの進展するサイクル数として定義される N_p （原文の付録C-V参照）
- ③膨張計を用いた体積変化とガラス転移点(Thermal Volumetric and Glass Transition)の特性評価：冷却速度を考慮に入れた（原文の付録C-VI参照）

5.2.2 新たなバイнда試験

新たなバイнда試験として、以下の試験が提案された。

- ①PAT試験 (particulate additive test)：微粒子(75 μ m以上)の含有量試験(原文の付録C-I参照)
- ②貯蔵安定性試験 (Storage stability Test)：室内貯蔵タンクでの長期保存性に関する試験（原文の付録C-II参照）
- ③回転粘度計による低せん断粘度 (Low Shear Viscosity)：混合および締固め温度の決定（原文の付録C-III参照）

5.2.3 バイндаグレード

PGとして、以下の3段階の水準を提案した。

- ①レベルI：気候条件のみ考慮するもの
- ②レベルII：気候条件に交通条件を加えたもの
- ③レベルIII：気候条件、交通条件、舗装構造のすべてを考慮するもの

5.2.4 混合物試験

改質アスファルトを用いた混合物の供用性試験として、下記の試験が有効であるが、試験条件（高温化、高応力化）や繰返し回数の延長など試験方法の一部修正が必要である。

- ①一定高さ周波数掃引試験
(Frequency Sweep at Constant Height)
- ②一定高さ繰返しせん断試験
(Repeated Shear at Constant Height)
- ③ビーム疲労試験 (beam fatigue test)

5.2.5 現行AASHTO基準の見直し

以下の現行のASSHTO基準の見直しが提案された。また、図-13に選別試験のフローチャートを示す。

MPI, MP1a-2000 PGの仕様

- TP1 BBR (Bending Beam Rheometer) によるアスファルトの曲げクリープスティフネス試験
- TP3 アスファルトのDT (Direct Tension) 試験
- TP5 DSR (Dynamic Shear Rheometer) によるアスファルトのレオロジー特性試験

- TP7 SST (Simple Shear Test) によるアスファルト混合物の永久変形および疲労クラック特性の評価
- TP9 間接引張り試験によるアスファルト混合物のクリープ追従性および強度試験
- TP48 回転粘度計によるアスファルトの粘度測定方法

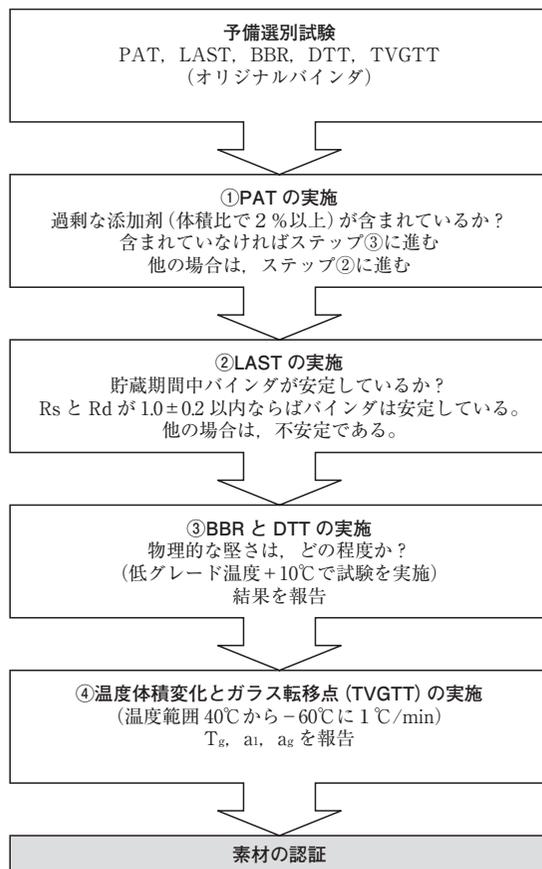


図-13 選別試験フローチャート

5.3 今後の検討課題

本プロジェクトにおいて、研究の及んだ範囲は、時間と資金に限りがあったため、完全に網羅されていないわけではない。将来の研究において、下記の意見が役立つはずである。

5.3.1 改質アスファルトの使用に伴う環境に与える影響

石油精製品であるオイルの種類は、アスファルト中に含まれる添加剤の効果を高めるため、もしくは安定性を向上させるために溶剤もしくは作業性改善材として使用されている。また、ベースアスファルトを軟化させ、PGの低温要求事項を満足させるためにも使

われている。これらオイルのいくつかは、沸点が低く、製造および施工時の蒸発量を増加させることができる。このため、短期および長期の環境への影響を把握することが重要である。

5.3.2 水に対する感受性に与える改質剤の影響

添加剤により改質されたアスファルトは、混合物の耐水性能を変化させることができる。しかし、どの程度改善もしくは悪化させるのかについては、明らかとなっていないため、今後更なる検討が必要である。加えて、混合物の耐水性を簡易的に評価できる試験方法を開発することにより、バインダの選定過程を改善することができる。

5.3.3 現場検証

AASHTO MPI の改訂案は、バインダおよび混合物に対する室内データを用いて検証した理論的な考え方に基づいている。これらの改定案を検証するために、現場での更なる検証が必要となる。また、気候、交通条件および舗装構造に対する適正な品質確保を確実にするために妥当性のある基準値を決定することも重要である。要求される検証事項は、以下に示すとおりである。

①混合・締め温度の検証

低せん断粘度の使用は、SUPERPAVE ジャイレトリコンパクタを用いた締め固めに対して正当な温度を与えることを示した。しかし、データの収集は、たった4種類の混合物で限られており、現場での検証は行われていない。この経験は、混合物の種類と現場検証を行っていく必要がある。室内検証および現場検証の2つの段階を含む検証計画の立案を提案する。

室内検証に際して、実際に改質アスファルトを使用している多くの州道路局とHMA舗設業者が協力する必要がある。低せん断粘度を評価するための方法について訓練する必要があり、バインダの粘度と混合物密度に対するデータに基づいて標準化していく必要がある。多くの種類の骨材およびバインダグレードで作製した混合物データをもとにデータベースを構築する必要がある。バインダおよび混合物のエキスパートタスクグループから研究チームもしくはサブタスクグループを選抜して専門の組織を作る必要がある。

現場検証に際しては、プロジェクトの数は、設定温度における転圧回数と密度の関係を適正に評価するために選定されなければならない。プロジェクトでは、室内検証において選定された異なる種類のバ

インダおよび骨材を用いる必要がある。各プロジェクトにおいては、いくつかのセクションが室内検証から選定された低せん断粘度値の範囲に基づいて異なる温度で締め固める必要がある。これらのプロジェクトにおいては、ローラの特性が注意深く管理され、体積特性は、一貫して保持される必要がある。プロジェクトからのルーズサンプルで室内で締め固めジャイレトリコンパクタとの関係も把握する必要がある。

室内および現場データを分析することにより、室内および現場で得られた密度と粘度特性の相関性を検証することができる。これらの関係は、室内および現場での混合および締め固めに対するガイドラインを作成することに使える。

②バインダパラメータ (G_v , N_p) の検証

このプロジェクトにおいて、バインダと混合物のわだち掘れおよび疲労クラックを関連づける最良の方法は、わだち掘れに対してはバインダの繰返しクリープ試験が、疲労に対してはバインダ-時間掃引試験によってバインダの破損特性を測定することであることを示した。これらのパラメータに対する現場検証計画は、次の二つの項目を含んでいる必要がある。一つ目は、既存の試験工区および既存のデータに焦点を当てることである。二つ目は、将来のプロジェクトに焦点を当てることである。

一つ目に関しては、これまでの試験施工工区において供用性データ、舗装、気象データ、交通データ、オリジナルバインダ、混合物に関するデータを収集して整理する必要がある。また、施工時のQC/QAデータの収集も重要である。質問票は、重要なデータセットをもれなく回答できるように作成すべきである。質問票の集計結果は、データセットもしくは試験施工工区の選定に使われる。バインダと混合物は、供用中の現場状況（温度、交通量、舗装構造）を想定した条件でわだち掘れおよび疲労試験に課せられる。ある場合には、複数の温度と交通速度は、累積破損をシミュレートし、状態の履歴に関連させなければならない。この取り組みは、NCHRP Project9-19「Superpave Support and Performance Models Management」のタスクCと協調して実施することが望ましい。

二つ目に関しては、新しいプロジェクトは、多種類の添加剤で改質したバインダと主な地域を網羅するために、全国レベルで実施することが望ましい。

加えて、促進載荷試験機もこの計画に盛り込む必要がある。データ収集計画は、一つ目と同様に、以下の4つの要因を加味する必要がある。

- ・舗装温度履歴
- ・供用中の交通状態
- ・舗装構造特性と予想される季節変動
- ・施工時のデータと混合物体積変化

全ての試みは、広範囲の温度、交通量、構造条件を網羅する必要がある。少なくとも、温度は4つの温度グレード間隔(24℃)が必要で、交通速度は高速走行速度、都市内走行速度を含んでいる必要がある。交通量は、25万～1,000万 ESALs(等価単軸荷重)である必要がある。舗装構造は、構造係数が4.0～8.0の間である必要がある。

データ分析は、新しいバインダパラメータの信頼性の検証と温度、交通、構造状態に基づいた規格値を確立することに焦点を当てる必要がある。

③低温クラックに対するパラメータの検証

本研究により、以下の4つの概念から改質アスファルト低温性能は、明らかに異なっていることが明らかとなった。

- ・破壊時のひずみ
- ・破壊時の応力
- ・温度-体積特性
- ・温度-粘度特性

ひずみおよび応力に基づいたクラック発生温度を含む低温クラックパラメータは、バインダと混合物の特性に関連したものである。将来の研究においては、バインダの破壊特性と混合物の破壊特性の間関係の把握が有用であることを理解しておく必要がある。この範囲は、アスファルト舗装の温度応力クラックの推定は、つながりが薄いことを考慮に入れる必要がある。これらの関係の室内検証は、多くの骨材、バインダ、冷却速度、温度の種類を用いることに基づいている必要がある。現場検証は、いくつかの異なる地域(極低温もしくは早い冷却速度)の施工箇所を含んでいる必要がある。一般計画は、わだち掘れと疲労パラメータに対する計画と同様に同様のアプローチに従うべきである。一つの部分は、既設の試験施工工区もしくはデータに焦点を当て、二つ目の部分は、将来計画に焦点を当てる必要がある。以下の要因の広範囲の評価を含んでいる必要がある。

- ・上記でリストアップしたバインダ特性
- ・混合物体積特性

- ・舗装温度履歴と太陽放射量などの季節変動
- ・施工時のデータと混合物の体積変化

データ分析は、バインダ特性の各グループに対する敏感性分析を含む必要がある。加えて、適正な限界値を決定し、信頼性を損なうことなく簡素化していく必要がある。データは、要求されたグレードを選定するため、あるいは現在のグレードの数を減らすために使われるべきである。これには、舗装の熱保持能力と骨材の影響を低減させることも含まれている。

6. おわりに

本報告は、米国における改質アスファルトの評価に関する取組みを紹介したものである。

我が国においても、ポーラスアスファルト舗装をはじめとした高機能(多機能)舗装の普及により、今や改質アスファルトの一年間の出荷量は、34万t(2005年度)を越えており、世界に誇る「改質大国」となっている。

しかし、既存の試験方法(針入度試験、60℃粘度、タフネス・テナシティ試験など)では、改質アスファルトの性状を、正しく評価できないことは、周知の事実となっている。

今回の米国の取組みは、今後の我が国における改質アスファルトの開発や評価に関して非常に有用なものであると考えられる。

— 参考文献 —

- 1) Characterization of Modified Asphalt Binders in SUPERPAVE Mix Design, NCHRP Report 459, 2001
- 2) Modified Asphalt Market Survey 2005-2006, the Association of Modified Asphalt Producer Meeting, February 14, 2006
- 3) 神谷恵三：米国におけるSHRPとその研究成果(上)、高速道路と自動車、第36巻、第10号、1993年10月、P61～71
- 4) 神谷恵三：米国におけるSHRPとその研究成果(下)、高速道路と自動車、第36巻、第11号、1993年11月、P46～52
- 5) 坂本浩行他：特集SHRP、アスファルト、Vol.42, No.201(1999年)
- 6) (社)日本道路協会：舗装調査・試験法便覧[第2分冊] 第Ⅲ章試験編、1. 舗装用素材 [2] - 264, - A059・2 SHRP試験フロー

<統計資料>

1. 石油アスファルト需給実績 (総括表)

(単位：千 t)

年 度	供 給					需 要					
	期初在庫	生 産	対前年 度比 (%)	輸入	合 計	販 売 (内需)	対前年 度比 (%)	輸出	小 計	期末在庫	合計
17 年 度	250	5,373	(94.7)	0	5,623	3,342	(90.5)	411	3,754	231	3,984
18. 7 月	222	413	(100.4)	0	635	210	(97.7)	29	239	235	473
8 月	235	511	(136.3)	0	746	268	(109.3)	36	304	258	562
9 月	258	424	(85.5)	7	689	301	(96.0)	23	324	227	551
7～9 月	222	1,347	(105.2)	7	1,576	778	(100.7)	88	866	227	1,093
10 月	227	440	(95.7)	0	667	289	(108.5)	18	307	208	515
11 月	208	474	(96.0)	0	682	317	(97.5)	3	319	207	526
12 月	207	531	(107.0)	9	747	329	(108.6)	7	336	239	575
10～12 月	227	1,446	(99.7)	9	1,681	934	(104.6)	28	962	239	1,201
19. 1 月	239	468	(112.8)	10	717	287	(136.0)	13	300	246	546
2 月	246	481	(98.5)	0	728	308	(106.9)	13	321	244	565
3 月	244	616	(96.9)	0	860	423	(90.9)	13	436	242	678
1～3 月	239	1,565	(101.7)	10	1,814	1,018	(105.5)	38	1,057	242	1,299
18 年 度	231	5,435	(101.2)	26	5,691	3,373	(100.9)	281	3,654	242	3,897
19. 4 月	242	359	(90.6)	10	611	225	(109.3)	33	258	262	520
5 月	262	290	(93.6)	0	552	218	(118.8)	35	253	238	491
6 月	238	376	(101.2)	0	614	246	(96.8)	30	276	235	510
4～6 月	242	1,025	(95.1)	10	1,277	688	(107.1)	98	786	235	1,021

2. 石油アスファルト内需実績 (品種別明細)

(単位：千 t)

年 度	内 需 量						対 前 年 度 比					
	ストレート・アスファルト				ブローン アスファ ルト	合 計	ストレート・アスファルト				ブローン アスファ ルト	合 計
	道路用	工業用	燃焼用	計			道路用	工業用	燃焼用	計		
17 年 度	2,374	126	717	3,217	125	3,342	82.9	105.4	127.9	90.8	83.6	90.5
18. 7 月	120	9	72	202	8	210	90.9	100.3	113.3	98.3	84.9	97.7
8 月	165	9	84	258	10	268	105.7	100.9	119.3	109.6	101.0	109.3
9 月	195	10	82	288	13	301	84.8	103.6	122.0	93.6	235.5	96.0
7～9 月	481	28	238	747	31	778	92.7	101.7	118.3	99.9	124.2	100.7
10 月	186	10	82	278	11	289	102.7	88.2	128.3	108.4	108.8	108.5
11 月	215	12	77	303	13	317	89.3	88.1	130.5	97.0	112.4	97.5
12 月	225	11	82	318	10	329	103.9	103.3	127.7	109.2	94.1	108.6
10～12 月	627	32	241	900	34	934	98.1	92.8	128.8	104.5	105.3	104.6
19. 1 月	188	10	77	275	12	287	141.8	102.4	131.1	136.8	119.4	136.0
2 月	215	13	69	297	11	308	105.3	95.5	114.4	106.8	109.4	106.9
3 月	322	16	75	414	10	423	83.8	105.7	139.1	91.1	81.8	90.9
1～3 月	725	39	222	985	33	1,018	100.5	101.3	127.8	105.6	102.4	105.5
18 年 度	2,270	132	840	3,243	131	3,373	95.6	105.3	117.2	100.8	104.2	100.9
19. 4 月	149	9	58	216	9	225	112.7	108.9	103.4	109.9	96.7	109.3
5 月	136	10	62	208	10	218	109.8	79.3	167.0	119.9	100.6	118.8
6 月	173	7	53	234	12	246	95.7	57.2	115.3	97.4	86.6	96.8
4～6 月	459	26	173	658	31	688	104.8	78.2	124.2	107.8	93.7	107.1

[注] (1) 内需量合計は、石油連盟発行「石油資料月報」より引用。

(2) 道路用ストレート・アスファルト = 内需量合計 - (ブローンアスファルト + 燃焼用アスファルト + 工業用ストレート・アスファルト)

有限責任中間法人 日本アスファルト協会会員

社 名	住 所	電 話
-----	-----	-----

(平成 18 年 9 月 1 日現在)

[メーカー]

出光興産株式会社	(100-8321) 千代田区丸の内 3-1-1	03 (3213) 3134
コスモ石油株式会社	(105-8528) 港区芝浦 1-1-1	03 (3798) 3874
三共油工業株式会社	(103-0025) 中央区日本橋茅場町 1-7-7	03 (5847) 2611
株式会社ジャパンエナジー	(105-8407) 港区虎ノ門 2-10-1	03 (5573) 6000
昭和シェル石油株式会社	(135-8074) 港区台場 2-3-2	03 (5531) 5765
新日本石油株式会社	(105-8412) 港区西新橋 1-3-12	03 (3502) 9122

[ディーラー]

● 東北

株式会社男鹿興業社	(010-0511) 男鹿市船川港船川字海岸通り 1-18-2	0185 (23) 3293
カメイ株式会社	(980-0803) 仙台市青葉区国分町 3-1-18	022 (264) 6111

● 関東

株式会社アスカ	(106-0032) 港区六本木 7-3-3	03 (5772) 1505
伊藤忠エネクス株式会社	(153-8655) 目黒区目黒 1-24-12	03 (5436) 8211
エムシー・エネルギー株式会社	(100-0011) 千代田区内幸町 1-3-3	03 (5251) 0961
コスモ石油販売株式会社	(140-0002) 品川区東品川 2-2-20	03 (6710) 1640
コスモアスファルトカンパニー		
関東礦油エネルギー株式会社	(107-0051) 港区元赤坂 1-1-8	03 (5474) 8511
株式会社ジェイエック	(103-0028) 中央区八重洲 1-2-1	03 (3272) 3471
竹中産業株式会社	(101-0044) 千代田区鍛冶町 1-5-5	03 (3251) 0185
日東商事株式会社	(170-0002) 豊島区巢鴨 4-22-23	03 (3915) 7151
丸紅エネルギー株式会社	(101-8322) 千代田区神田駿河台 2-2	03 (3293) 4171
ユニ石油株式会社	(107-0051) 港区元赤坂 1-7-8	03 (3796) 6616

● 中部

鈴与商事株式会社清水支店	(424-8703) 静岡市清水区入船町 11-1	0543 (54) 3322
松村物産株式会社	(920-8538) 金沢市広岡 2-1-27	076 (221) 6121

有限責任中間法人 日本アスファルト協会会員

社 名	住 所	電 話
-----	-----	-----

● 近畿・中国

出光アスファルト株式会社	(531-0071) 大阪市北区中津6-3-11	06 (6442) 0031
三徳商事株式会社	(532-0033) 大阪市淀川区新高4-1-3	06 (6394) 1551
昭和瀝青工業株式会社	(670-0935) 姫路市北条口4-26	0792 (26) 2611
千代田瀝青株式会社	(530-0044) 大阪市北区東天満2-10-17	06 (6358) 5531
富士商株式会社	(756-8501) 山陽小野田市稲荷町10-23	0836 (81) 1111
株式会社松宮物産	(522-0021) 彦根市幸町32	0749 (23) 1608
横田瀝青興業株式会社	(672-8057) 姫路市飾磨区細江995	0792 (33) 0555

● 四国・九州

今別府産業株式会社	(890-0072) 鹿児島市新栄町15-7	0992 (56) 4111
三協商事株式会社	(770-0941) 徳島市万代町5-8	0886 (53) 5131
西岡商事株式会社	(764-0002) 仲多度郡多度津町家中3-1	0877 (33) 1001
平和石油株式会社高松支店	(760-0017) 高松市番町5-6-26	0878 (31) 7255

編集顧問	編集委員
多田宏行	委員長：中村俊行 安崎裕 下田哲也 武田将人 峰岸順一 神谷恵三 白鳥明 根本信行 森久保道生 栗谷川裕造 住谷義治 野村健一郎 吉村啓之 小島逸平 田井文夫 姫野賢治

アスファルト 第222号

平成19年10月発行

有限責任中間法人 日本アスファルト協会

☎ 135-8074 東京都港区台場2-3-2

昭和シェル石油株式会社 技術商品部内

問い合わせ先

・コスモ石油株式会社 広域販売部 武田 将人

TEL 03-3798-3112

・昭和シェル石油株式会社 中央研究所 森久保 道生

TEL 046-285-0829

印刷所 キュービシステム株式会社

☎ 101-0041 東京都千代田区神田須田町1-12-6

マルコビル4F TEL 03-5256-0051

Vol.50 No.222 OCTOBER 2007

Published by **THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION**

有限責任中間法人 日本アスファルト協会 ホームページ <http://www.askyo.jp/>