

# アスファルト

第52巻 第225号 平成21年10月発行

## 225

### 特集・低炭素社会とアスファルト舗装

低炭素社会に向けた社会資本のためのライフ・サイクル・アセスメント (LCA)	曾根真理	1
低炭素社会に寄与する我が国のアスファルト舗装技術	(社)日本道路協会 舗装委員会 環境・再生利用小委員会	5
海外における低炭素社会に寄与するアスファルト舗装技術	(社)日本道路建設業協会 海外技術部会	11
中温化技術の適用事例	(社)日本道路建設業協会 技術及び施工管理部会	15
セミホット型アスファルト混合物	常温舗装技術研究会	20
アスファルト乳剤を用いた常温工法のCO <sub>2</sub> 排出量について	(社)日本アスファルト乳剤協会 技術委員会	25
アスファルト混合物のリサイクル技術の現状	加納孝志・佐々木 巖・新田弘之・川上篤史	30
重交通路線における路上路盤再生工法の試行	河野成弘・青山昌二	34
アスファルトプラントにおける低炭素課題に対する技術的取組み	(社)日本アスファルト合材協会 技術委員会	38

### <アスファルト舗装技術研究グループ・第57回報告>

	佐々木 巖	43
アメリカにおけるアスファルト舗装表面の破損状況の分類および補修工法	奥山元晴・鎌田 修・高馬克治	
	鈴木 徹・東本 崇	44
<統計資料>石油アスファルト需給統計資料		67

## ASPHALT

一般社団法人 日本アスファルト協会  
THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION

平素は当協会並びに機関紙「アスファルト」をご愛顧賜りまして誠にありがとうございます。  
当協会は「アスファルト利用技術の向上に関する事業を行い、アスファルトに関連する産業の健全な発展に寄与する事」を目的とし、その観点から「**投稿原稿**」を募集しております。研究者の皆様、技術者の皆様に限らず幅広い方からの投稿を賜り、アスファルト利用技術の深化を側面から支援して参りたいと存じますので、よろしくお願ひ申し上げます。

なお、ご投稿頂ける場合は巻末に記載の問い合わせ先までご一報頂ければ幸甚でございます。

一般社団法人日本アスファルト協会 大木 俊太郎



## 第88回 アスファルトゼミナール開催のご案内

一般社団法人 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 一般社団法人 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、一般社団法人 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22年2月4日(木)～2月5日(金)
5. 開催場所 イズミティ 21 (仙台市泉文化創造センター)  
〒981-3133 宮城県仙台市泉区泉中央2-18-1 ☎022-375-3101
6. 内 容 裏面「プログラム」をご覧ください。
7. 申込方法 平成22年1月29日(金)までに、下記ホームページの申し込みフォームよりお申し込み下さい。  
<http://www.askyo.jp/activity/seminar.html>  
折返し(3日程度)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 出光アスファルト株式会社  
総務部 山本 幸夫まで ☎03-5273-1031 (代)
10. 参加費 無料
11. 参加人数 300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. CPD認定 社団法人土木学会の継続教育(CPD)プログラムとして認定されました。  
認定番号 JSCE09-0604 7.3単位
13. 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22年2月4日(木)～2月5日(金)

### 開催場所

イズミティ 21

〒981-3133

宮城県仙台市泉区泉中央2-18-1

☎022-375-3101

### 会場案内図

- 市営地下鉄・泉中央方面行き15分  
「泉中央駅」下車、北三番出口より
- バス停「地下鉄泉中央駅」下車、徒歩5分

# プログラム

## －活かせ新技術－

**第1日目** 平成22年2月4日(木) 13:00~17:35

(敬略称)

1. 挨拶 13:00 ~ 13:05

一般社団法人日本アスファルト協会  
ゼミナール委員長

山 川 浩

2. 挨拶 13:05 ~ 13:20

一般社団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. 新技術と入札契約制度 13:20 ~ 14:20

国土交通省

大臣官房技術調査課 建設技術調整官

石 原 康 弘

(休憩 14:20 ~ 14:25)

4. 情報化施工 14:25 ~ 15:25

国土交通省

総合政策局 建設施工企画課 企画専門官 小野寺 誠 一

(休憩 15:25 ~ 15:30)

5. 新技術と性能評価法 15:30 ~ 16:30

独立行政法人土木研究所 道路技術研究グループ 寺 田 剛

(休憩 16:30 ~ 16:35)

6. 舗装の技術開発の動向 16:35 ~ 17:35

社団法人日本道路建設業協会 技術委員 井 原 務

**第2日目** 平成22年2月5日(金) 9:30~12:40

7. 平成22年度道路予算 9:30 ~ 10:30

国土交通省 道路局 道路経済調査室長 七 條 牧 生

(休憩 10:30 ~ 10:35)

8. アスファルト乳剤の応用技術 10:35 ~ 11:35

社団法人日本アスファルト乳剤協会 技術委員 菅 野 幸 浩

(休憩 11:35 ~ 11:40)

9. ポリマー改質アスファルトの技術動向 11:40 ~ 12:40

一般社団法人日本改質アスファルト協会 技術委員 渡 辺 雅 倫

(※講師は都合で変更になる場合があります)

# 低炭素社会に向けた社会資本のための ライフ・サイクル・アセスメント (LCA)

(Life Cycle Assessment (LCA) for Greenhouse Gas Reduction from infrastructure)

曾根 真理\*

国土技術政策総合研究所は、総合技術開発プロジェクトとして「社会資本のライフ・サイクルをとおした環境評価技術の開発」(平成20～22年度)を社団法人土木学会と協力して実施しています。研究成果はグリーン調達制度や総合評価入札制度に利用することを今のところ想定しています。本稿はこのプロジェクトの進捗状況について報告を行うものです。

## 1. 地球温暖化問題の深刻さ

### 1.1 頭では解っても行動できない

地球温暖化防止は世界的な解決課題になっています。世界各国で盛んに問題可決のための議論が行われていますが、依然として地球温暖化の原因となる温室効果ガスは地球全体で増え続けており、問題解決の方向には向かっていません。問題解決が難しい理由はいくつかあります。

まず、問題が大規模すぎて個人の努力が結果に結びつきにくいという点です。また、被害を実感できないという点も理由の一つです。被害を実感できなければ対策を行う気が起きません。もう一つ、被害は将来に発生するので現代には深刻な被害をもたらすかわからないという点もあります。

これらの結果、「自分が対策をして、役に立たないし、自分の生きている間には何も深刻なことは起きないのではないか。」と考えてしまいます。

### 1.2 市民・企業・政府が協力して取り組むべき

公害・自然破壊など従来型の環境問題は原因者がある程度はつきりしていました。ところが、温室効果ガスの削減の対象は、全ての市民・企業・政府が一体となって取り組まなければなりません。

政府による規制や補助金だけでなく、市民・企業が主体性を持って行動する必要があります。主体性を持って行動するためには、定性的目標ではなく、具体的な目標値がある方が望ましいです。

ところが、社会資本整備の場合には定量的な評価方

法が定まっていないため具体的な目標を立てることができません。

### 1.3 環境問題の変化に対応した評価

従来の環境問題は自然破壊や公害が中心であり、現在の環境影響評価制度(図-1の上)は各ライフ・ステージにおける環境負荷が基準値を超えるかどうかの問題でした。これに対して、近年は地球温暖化防止や循環型社会の形成といった持続可能性にかかわる問題の重要性が増しています。また、社会資本管理の中心も新規建設から維持管理に移動しつつあります。

こうした状況の持続可能性評価は、維持管理段階も含めたライフ・ステージの環境負荷の総和が問題となっています。

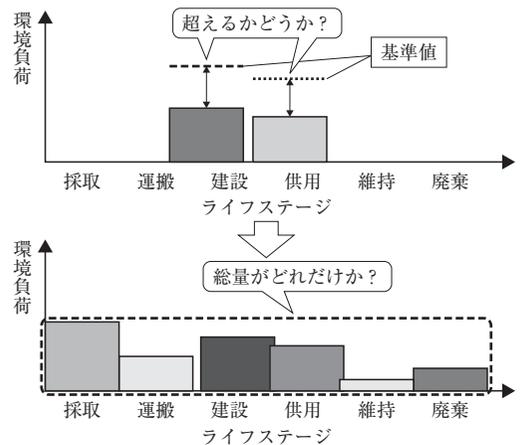


図-1 環境影響評価の方法

\*そね しんり 国土交通省 国土技術政策総合研究所 環境研究部 道路環境研究室

## 2. LCAの目的

### 2.1 排出源からカーボンフットプリントへ

現在、温室効果ガス削減策は基本的には直接排出源対策が基本になっています。しかし、電力については直接排出源対策だけではなく、電力を使用する側にも対策を求めています(図-2)。

電力と同様に、建設業についても資材利用者としての対策を求める必要があると考えています。建設業からの排出を建設機械などの直接排出と考えれば日本全体の1%程度の排出にしかなりません(図-3)。しかし、電力と同様にセメント、鋼材などの資材負荷を需要側に割り当てると大きな値となります(図-4)。

例えば、コンクリート橋を作る場合、発生する温室効果ガスの大部分はセメント由来です。セメント会社は材料を工夫したり設備投資を行ったりすることで、セメントの単位重量あたりの温室効果ガス削減の取り組みを行うことはできます。

しかし、セメント製造量(=供給量)の調整や、出荷

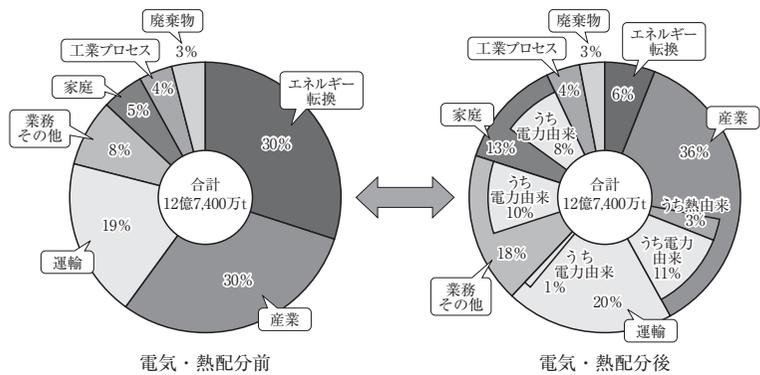


図-2 電力では供給者から需要者に配分している  
(出典：平成20年版環境・循環型社会白書)

するセメントの種類を変更することは難しいです。セメントの使用量やセメントの種類を決めるのは需要側だからです。こうした場合に需要側の努力を促す必要が出てきます。

### 2.2 他分野で進むLCA

現在工業製品分野では需要側に判断を促すことを目的に、ライフ・サイクル・アセスメント(LCA)の結果を表示することが一般化しつつあります(図-5)。また、建築分野でも設計段階においてLCAの考え方を取り入れるためのCASBEEが実施されつつあります(図-6)。

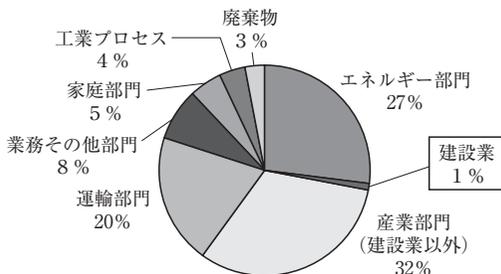


図-3 建設業の負荷に資材分を含めない場合  
(2000年温室効果ガスインベントリオフィスデータより)

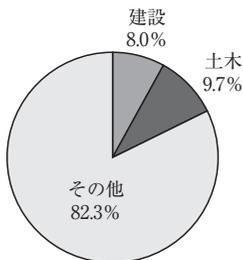


図-4 建設業の負荷に資材分を含める場合  
(2000年温室効果ガスインベントリオフィスデータ、国立環境研究所3EID、総務省産業連関表より国総研が作成)



図-5 工業製品のLCA結果の表示例

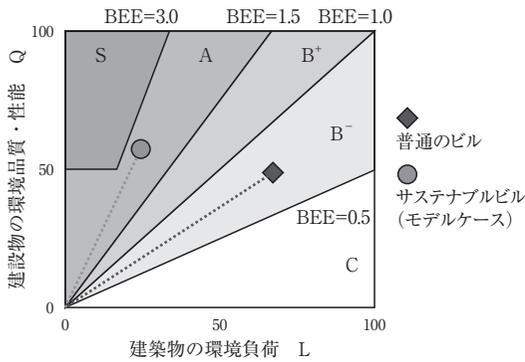


図-6 建築分野でのCASBEE

こうした状況を踏まえると、社会資本整備においても需要側の対策促進のためにLCAを実施することが求められてくると考えています。

### 3. 検討内容

以上の課題に対応するため、現在国土交通省は総合技術開発プロジェクトとして「社会資本のライフ・サイクルをととした環境評価技術の開発」(平成20~22年度)を社団法人土木学会と協力して実施しています。このプロジェクトの具体的な開発目標は以下の通りです。

#### 3.1 国家インベントリと整合のとれたデータベース作成

LCAを行うためには、建設資材の環境負荷に関する基礎データがそろっていることが前提になります。資材毎の環境負荷の基礎データを集めたものを環境負荷原単位インベントリ・データ・ベース (以下IDB) と呼びます。IDBで現在広く活用されているのは、有名なものに国立環境研究所の3EID、日本建築学会の1995年表によるデータなどがあります。この度の開発研究では社会資本用に従来のIDBを改良したものを作成します。

従来のIDBは産業連関表による環境負荷配分を基本としてきました。しかし、産業連関表による配分は基本的に取引金額による配分であるため、工場などにおける資材、エネルギー使用量などの積み上

げによるデータと数値が合わないことが多くあります。このため、積み上げによる値と、我が国全体の排出量との間に整合がとれなくなってしまいます。この度開発するIDBは、国全体の排出量と各工場からの排出量との間で整合がとれたものとなることを目的の一つとしています。これにより、ミクロレベルからマクロレベルまで整合性のある取り組みが可能になります(図-7)。

#### 3.2 様々な段階で利用可能なLCA計算手法の確立

今後LCAは構想段階から維持管理段階まで様々な段階で適用されることが予想されます(図-8)。また、持続可能な社会実現のためにはLCAの普及が必要であると考えています。LCAを様々な段階で幅広く活用できるようにするためには、次の2点が重要であるとと考えています。

①要求に応じた精度

②可能な限り簡便な計算手法

以上の2点を満たすために数値の要求水準と簡便さのバランスをとる必要があると考えています。また、現状のLCA技術は、境界条件の設定方法、環境負荷の配分方法など根本をなす部分について多くの課題を残しています。今後、これらの課題を一つ一つ解決していくことも重要であると考えています。

#### 3.3 建設リサイクルは地球温暖化防止に貢献するか?

従来、建設系のリサイクルは廃棄物最終処分場の延命化には貢献しても、運搬距離やリサイクル・プロセスで二酸化炭素が発生するため地球温暖化防止には逆効果を与えると考えられてきました。

しかし、本プロジェクトでの知見などにより、徐々

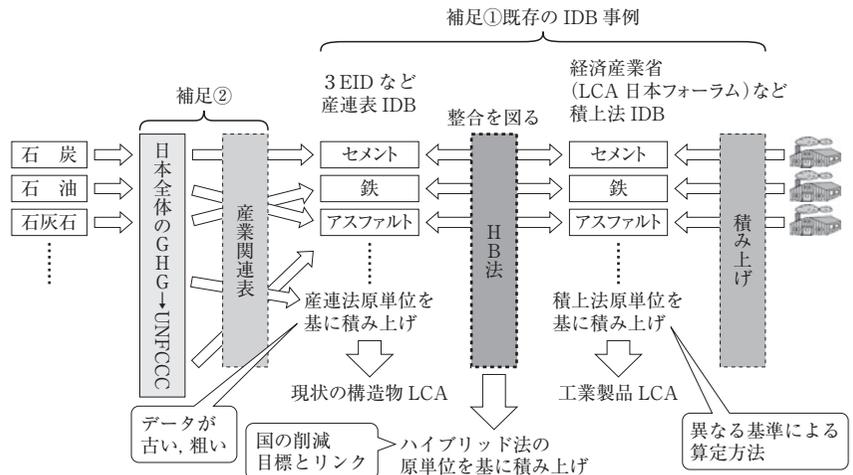


図-7 インベントリ・データ・ベースの開発

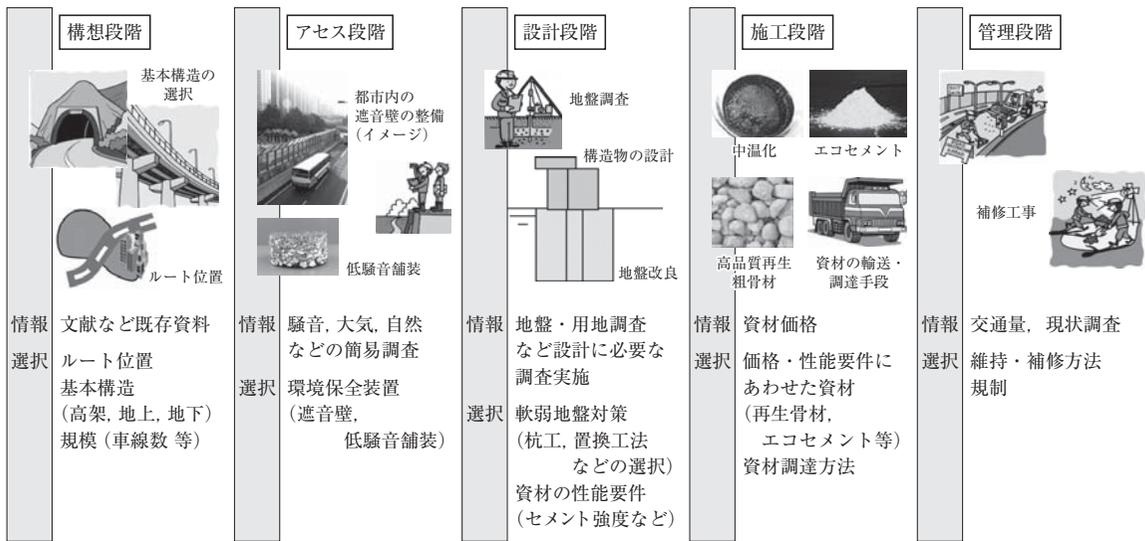


図-8 様々な段階でのLCA

にその考え方も変わってきています。ライフ・サイクル・アセスメント手法に基づいてきちんと評価を行えば、As・Co塊のリサイクルが二酸化炭素削減に資する可能性が出てきました。

#### 4. 開発目標

##### 4.1 開発課題

本プロジェクトのLCA手法に必要な課題は以下のとおりと考えています。

- ①持続可能性の実現という目標に向かっていること。
- ②環境影響評価政策指標として適切に使用できること。
- ③構造物全体から部材・資材まで含めた評価システム全体で整合が取れていること。
- ④評価漏れがないこと。

##### 4.2 開発イメージ

具体的には、産業連関法と積み上げ法の長所、短所を検討した上で、LCA算出の基礎となるIDBの開発を行う。また、IDBを基にしたLCA計算手法の確立を行うことにしています。

以上の開発を行った結果として材料から構造物までの環境負荷を評価することを目標としています(図-9)。

##### 4.3 具体的施策への反映

LCA手法の完成度、社会的情勢などもふまえてなければならぬため流動的ではありますが、現在のところ社会資本LCAの活用先は以下の3つを想定しています。

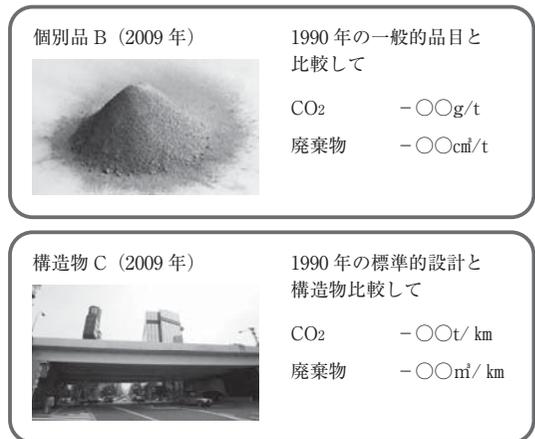


図-9 LCAシステムのイメージ

- ①グリーン調達制度の評価基準
- ②総合評価入札制度
- ③建設リサイクルの適切な評価

これらにより、社会資本整備に携わる方々が地球温暖化問題に取り組むための具体的な数値目標を設定できることになると考えています。

#### 5. おわりに

持続可能性に関する評価は、社会資本を評価する上で今後重要性を増すことが予想されます。本プロジェクトにより社会資本が適切に評価できるよう、シンポジウムや学会などを通じて皆様から幅広い意見を頂きながら開発に臨むこととしています。

# 低炭素社会に寄与する我が国のアスファルト舗装技術

(Asphalt Pavement Technology toward Low-carbon Society)

(社)日本道路協会 舗装委員会 環境・再生利用小委員会

地球温暖化防止のために低炭素社会の実現が求められているが、目標達成のためにはより一層のCO<sub>2</sub>排出削減が必要である。舗装分野においても、製造温度低減技術、CO<sub>2</sub>削減型装置の導入など、低炭素社会の形成に寄与する様々な舗装技術が開発されている。社団法人日本道路協会舗装委員会環境・再生利用小委員会では「環境に配慮した舗装技術に関するガイドブック」を発刊したところであるが、本文ではその中から低炭素社会に寄与が期待できるCO<sub>2</sub>排出抑制機能を有する舗装技術について紹介する。

## 1. はじめに

地球温暖化は年々進行しており、温室効果ガス排出の削減が強く求められている。特にCO<sub>2</sub>に対してはチーム・マイナス6%など、京都議定書目標達成に向けての努力が行われている。しかし現状は2007年で9%増と、目標の6%減を達成するためには、より一層の努力により、低炭素社会を実現することが必要である。

わが国では省エネルギーに古くから取り組んできた結果、CO<sub>2</sub>排出を大幅に削減できる特定分野はなく、全分野で削減していくことが必要である。CO<sub>2</sub>全排出量の2.5%程度を占める道路関連事業でもさらに削減が必要であり、特に舗装では主に加熱アスファルト混合物を使用することから、CO<sub>2</sub>排出量が多いというイメージもあり、より一層の削減が必要である。

舗装分野では、製造温度低減技術、CO<sub>2</sub>削減型装置の導入など、低炭素社会の形成に寄与する舗装技術が開発されている。これらの技術をはじめ環境に対応した技術が様々な開発されていることを踏まえ、社団法人日本道路協会舗装委員会環境・再生利用小委員会では「環境に配慮した舗装技術に関するガイドブック」を発刊したところであるが、本文ではその中から低炭素社会への寄与が期待できるCO<sub>2</sub>排出抑制機能を有する舗装技術について紹介する。

## 2. 舗装とCO<sub>2</sub>の係わり

舗装においてCO<sub>2</sub>は、図-1に示すような各段階から排出される。CO<sub>2</sub>排出削減を考えるとき、図にある

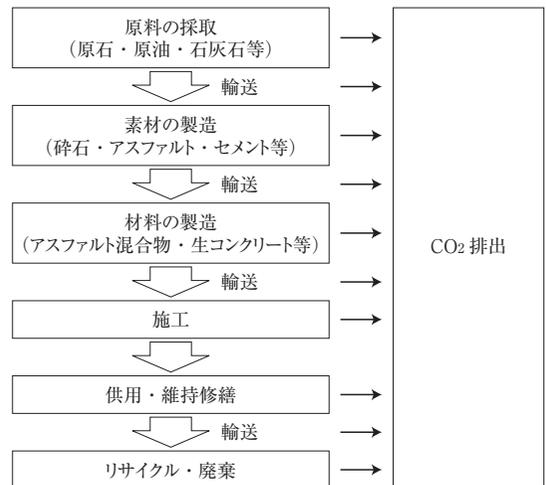


図-1 舗装工事におけるCO<sub>2</sub>排出の概念<sup>1)</sup>

ように原油や石灰石などの原料の採取に始まり、材料の製造、施工、運搬、廃棄・リサイクルに至るまで全ての段階を網羅して削減を考える必要がある。これは、例えば材料製造時のCO<sub>2</sub>が減少してもCO<sub>2</sub>排出量が大きい素材を多用してはCO<sub>2</sub>削減にはつながらないことのように、全体をみていないとCO<sub>2</sub>削減は実現できないことによる。

## 3. CO<sub>2</sub>排出抑制機能を有する舗装の概要

CO<sub>2</sub>排出抑制機能を有する舗装とは、基本的には、一般的な舗装技術と比べ、原料の採取時から廃棄までのトータルのCO<sub>2</sub>排出量が少ないものを指す。これらの舗装技術には、建設段階でのCO<sub>2</sub>排出削減を目指し

たもの、維持・管理段階を含めライフサイクル全体でのCO<sub>2</sub>削減を目指したものなど、様々なものが含まれる。これらの舗装技術を図-2に示す。

例えば、建設段階でのCO<sub>2</sub>排出量が少ない舗装技術には、アスファルト混合物の製造時に加熱温度が低い、もしくは使用材料の加熱が必要ないものやリサイクル材を利用したもの、さらには使用材料が少ない工法などがある。また、維持・修繕段階のCO<sub>2</sub>排出が少なくなり、解体までの期間が長くなることにより、トータルでのCO<sub>2</sub>排出が少ない舗装技術には長寿命化技術がある。加えて製造・施工技術としてプラントでの対策、施工技術での対策がある。

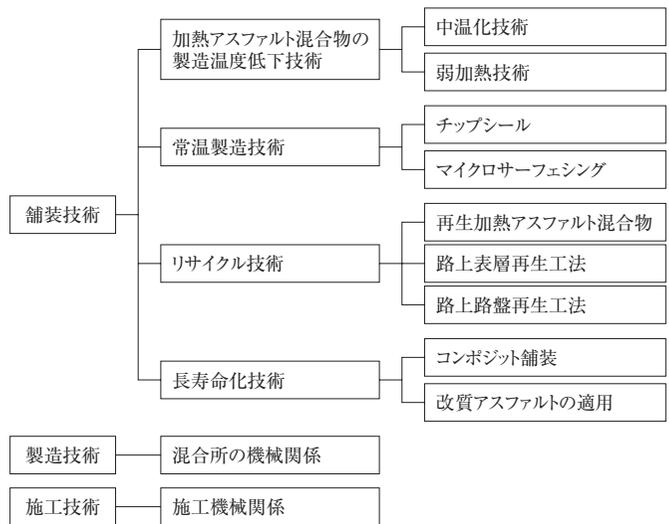


図-2 CO<sub>2</sub>排出抑制機能を有する舗装関係技術

#### 4. CO<sub>2</sub>排出量の評価方法

CO<sub>2</sub>排出量の評価は、ライフサイクルを通じたCO<sub>2</sub>排出量(Life Cycle CO<sub>2</sub>: LCCO<sub>2</sub>)評価が基本となる。LCCO<sub>2</sub>は、様々な環境影響を総合的に扱うLCA(Life Cycle Assessment)の一部であり、CO<sub>2</sub>による環境影響評価を対象とする。LCAの基本的事項は既に「ISO14040シリーズ」として国際標準化され、そのままJIS Q14040シリーズとなっている。

CO<sub>2</sub>排出量を直接的に計測することは困難な場合が多く、通常は燃料や資材の消費量から求める。一般的には式①<sup>1)</sup>に示す建設段階や維持管理段階、リサイクル・廃棄段階のそれぞれについてCO<sub>2</sub>排出原単位を用いることによって求められる。

CO<sub>2</sub>排出量 =

$$\begin{aligned} & \Sigma \{(\text{燃料等使用量}) \times (\text{燃料等 CO}_2 \text{ 原単位})\} \\ & + \Sigma \{(\text{材料等使用量}) \times (\text{材料等 CO}_2 \text{ 原単位})\} \\ & + \Sigma \{(\text{機械等稼働時間}) \times (\text{時間当たり現場償却分 CO}_2 \text{ 原単位})\} \dots\dots\dots \text{式①} \end{aligned}$$

#### 5. CO<sub>2</sub>排出量を削減する舗装技術

アスファルト混合物の原単位の内訳を参考文献<sup>2)</sup>、<sup>3)</sup>、<sup>4)</sup>を基に算出すると図-3のようになる。これは、資源の採取からアスファルトプラントの練り落としまでのCO<sub>2</sub>排出量を表したものである。この図で比率の高い部分での排出削減対策は効果的であり、複数部分に対応すればさらに効果が大きくなる。この図には施工や材料運搬などが入っていないが、これらの段階に

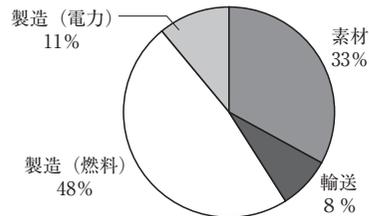


図-3 密粒度アスファルト混合物の原単位(49.8kg-CO<sub>2</sub>/t)の内訳

においても削減を図れば、より大きな効果が得られる。

#### 5.1 加熱アスファルト混合物の製造温度低下技術

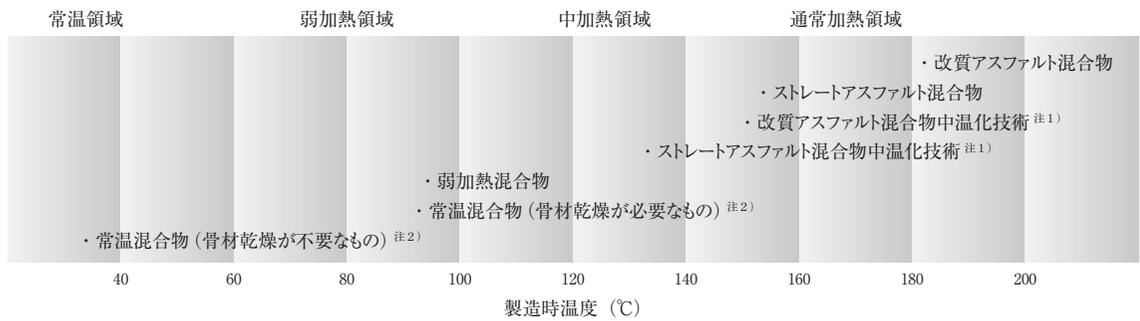
##### (1) 中温化技術

中温化技術は、加熱アスファルト混合物(以下、加熱混合物)の製造温度を30℃程度低下させたものであり、通常の加熱混合物と同様に製造、施工を行う。各種混合物の製造時の温度領域と対応技術は図-4に示すとおりであり、現在実用化されている中温化技術を表-1に示す。

中温化技術によるCO<sub>2</sub>の排出削減量は、骨材の加熱時に消費する燃料によるものが大部分である。図-5に混合物製造温度の低下によるCO<sub>2</sub>削減効果の試算例を示す。これより、混合物の製造温度を160℃から130℃に低下させた場合、CO<sub>2</sub>排出量は約15%削減できる。

##### (2) 弱加熱技術

弱加熱技術は、60～100℃程度で加熱混合物を製造するもので、混合物製造時に水を添加し、これを潤滑剤とする技術が実用化されている。



注1) 類似のもので施工性改善のための技術(通常加熱領域)のものは含まない。 注2) 常温混合物は、骨材の乾燥などのための加熱が必要なものと不要なものがある。

図-4 製造時の温度領域と対応技術<sup>1)</sup>

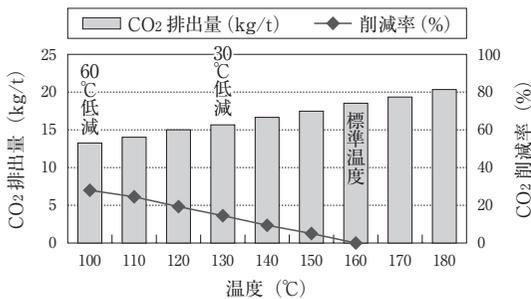


図-5 混合物温度の低減によるプラントにおけるCO<sub>2</sub>削減効果

表-1 実用化されている中温化技術

種類	技術の概要
発泡剤	発泡剤に、発泡時間制御の助剤を添加し、微細な泡を発生させる。製造時の混合性と、舗設時締固め性を向上させる。
フォームド	アスファルトに少量の水を添加して泡状化するフォームドアスファルト技術を応用したもので、混合性を向上させるとともに舗設時にも締固め性を向上させる。
粘度調整	製造時にアスファルトの組成分子量分布を調整する成分調整剤を添加し、混合および舗設時のアスファルトの粘度を低下させ、混合性および施工性を向上させたもの。

製造は、海外の事例のように専用プラントを用いるか、既存アスファルトプラントに加水装置もしくは過熱水蒸気発生装置を付加する必要がある。図-6に、既存アスファルトプラントに加水装置を付加した場合

の製造工程を示す。

運搬時には、シートを2重掛けにするなどして混合物中の水分の蒸発を抑える。施工は通常の加熱アスファルト混合物と同様に行うが、混合物中の水分がベアリングとして機能し、締固めが容易になるため、締固め機械の簡略化および小型化が可能となる。

混合物中の水分が蒸発することにより強度が発現し、施工後2時間程度(冬期は3時間程度)の養生で交通開放が可能となるが、最終強度に達するには1週間程度(冬期は2週間程度)必要である。

骨材を乾燥させる必要がないことから、通常の加熱アスファルト混合物に比べCO<sub>2</sub>排出量を、混合物製造時には表-2に示すように約44%、施工時には約42%削減できると試算されている。

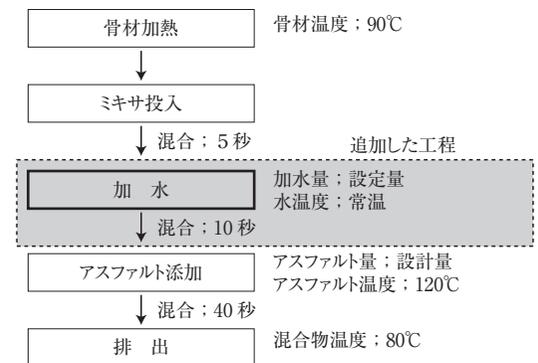


図-6 加水装置を付加した場合の製造工程<sup>1)</sup>

表-2 製造時のCO<sub>2</sub>排出量<sup>5)</sup>

混合物の種類	骨材加熱温度(°C)	A重油消費量(L/t)	CO <sub>2</sub> 排出係数(kg-C/L)	CO <sub>2</sub> 排出量(kg-C/L)	削減率(%)
加熱アスファルト混合物	163	10.5	0.7357	7.72	-
弱加熱混合物	90	5.9	0.7357	4.34	43.8

## 5.2 常温製造技術

アスファルト乳剤を用いた舗装であり、予防的維持補修工法のチップシールと重交通へも対応可能なマイクロサーフェッシングがある。材料を加熱する必要がなく、各材料の使用量が少ないことに加え、必要な施工機械も少ないことから、資材製造、運搬および施工時のCO<sub>2</sub>排出量を削減できる。

マイクロサーフェッシングは図-7に示すように、使用材料を車両後部のミキサーで混合後、スプレッダボックスにてスラリー状混合物を既設路面上に薄く敷きならす。敷きならした混合物は、乳剤の分解を確認した後、必要に応じてタイヤローラで転圧する。

強度は乳剤の分解により発現するが、養生時間は気象条件等によっても異なり、施工完了後2～3時間程度が必要となる。

CO<sub>2</sub>排出量は、加熱細粒度アスファルト混合物によるオーバーレイと比べ、資材の製造、運搬、施工段階で約50%削減されているとの試算<sup>7)</sup>がある。

## 5.3 リサイクル技術

リサイクル技術には、再生骨材を用いてアスファルト混合所で製造する再生加熱アスファルト混合物、既設アスファルト舗装を現道にて加熱、再生を行う路上表層再生工法、既設アスファルト舗装を現道にて路盤材として用いる路上路盤再生工法がある。

CO<sub>2</sub>排出量は図-8に示すように、再生骨材混入率60%の再生混合物の場合、新規材料のみを使用した加熱混合物に比べ約18%削減。また、路上表層再生工法

- ① 骨材ホッパー
- ② セメントホッパー
- ③ 分解調整剤タンク
- ④ 計量された骨材
- ⑤ 計量されたセメント
- ⑥ 計量された改質アスファルト乳剤
- ⑦ 計量された分解調整剤と添加水
- ⑧ 二軸バグミルミキサ
- ⑨ 製造されたスラリー状混合物
- ⑩ スプレッダボックス
- ⑪ 均一に敷きならされた混合物

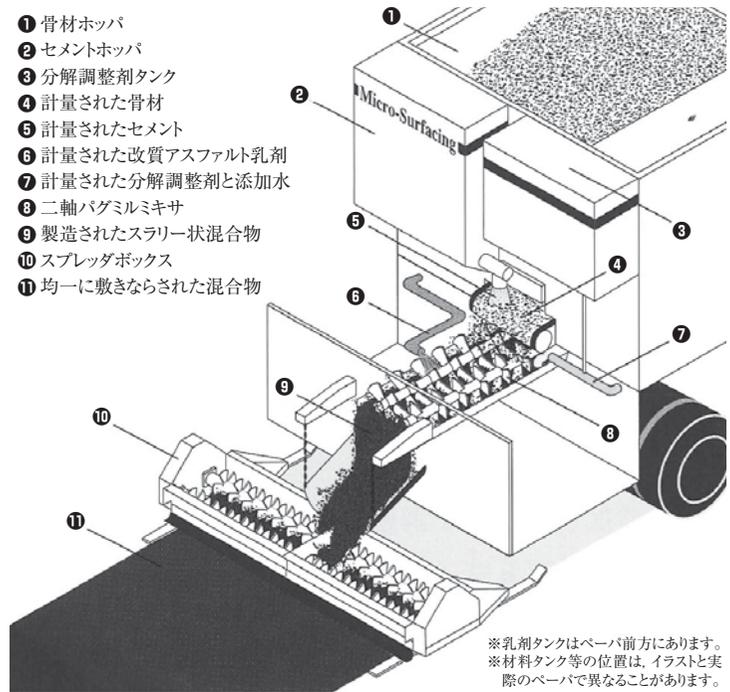


図-7 施工機械の概念<sup>6)</sup>

(リミックス)は新規加熱混合物による切削オーバーレイ工法に比べて約22%、再生加熱混合物(再生骨材配合率60%)による切削オーバーレイ工法に比べて約5%削減できると試算されている<sup>1)</sup>。なお、路上表層再生工法では、施工機械が一樣ではなく、機種によってCO<sub>2</sub>排出量は大きく影響を受けるため、CO<sub>2</sub>削減を目的として利用する場合には、機種の選定が非常に重要となる。

路上路盤再生工法(既設舗装10cm混合しセメント・瀝青安定処理路盤構築後、表層5cmオーバーレイ)のCO<sub>2</sub>排出量は、図-9によれば新規材料のみを使用した瀝青安定処理路盤を構築した場合に比べ約54%削減

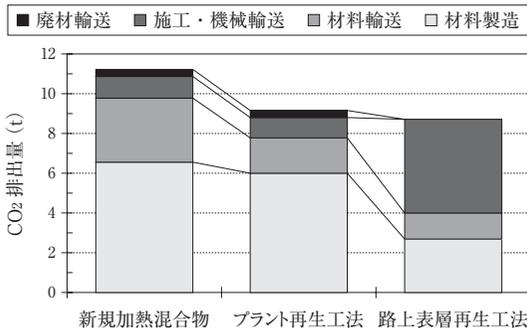


図-8 再生工法によるCO<sub>2</sub>排出量の試算例<sup>1)</sup>

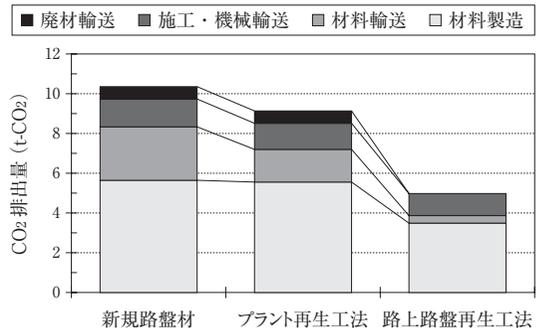


図-9 路上路盤再生工法によるCO<sub>2</sub>排出量の試算例<sup>1)</sup>

減、再生加熱混合物を使用した瀝青安定処理路盤を構築した場合に比べ約48%削減できるとされている。

#### 5.4 CO<sub>2</sub>排出抑制に寄与する製造技術

アスファルト混合所では、図-10に示すように各種の機械設備の稼働や使用材料の加熱・保温、材料運搬用重機の稼働により電力や燃料などが消費され、CO<sub>2</sub>などの大気汚染物質、臭気、騒音・振動などが発生し、周辺の環境へ負荷を与えることとなる。これらの負荷の大部分は対応すべき要因が明確に示されていることから、表-3に示すように特定の要因への対応を行うことによって環境へ与える負荷を軽減できる場合が多い。

CO<sub>2</sub>は、化石燃料の燃焼や電力の使用によって排出される。そのため、燃料の消費量や電力使用量を計測し、式②により排出量を算出する。

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量 (kg-CO}_2) =$$

$$\text{燃料} \cdot \text{電力使用量 (L or kWh)}$$

$$\times \text{各燃料の原単位 (kg-CO}_2) / (\text{L or kWh}) \dots\dots \text{式②}$$

#### 5.5 CO<sub>2</sub>排出抑制に寄与する施工技術

舗装工事では、工種に応じて様々な建設機械や材料が使用され、排気ガスや騒音・振動、臭気が周辺に排出される。その排出量の多くは建設機械によって消費される燃料によることから、環境負荷を軽減させるためには、主に消費量を削減する対応策が取られる。

またCO<sub>2</sub>は混合所と同様、式②により排出量を算出する。

各施工技術の概要を表-4に示す。また、環境性能例としてディーゼルエンジン式とバッテリー式油圧ショベルの比較を表-5に示す。

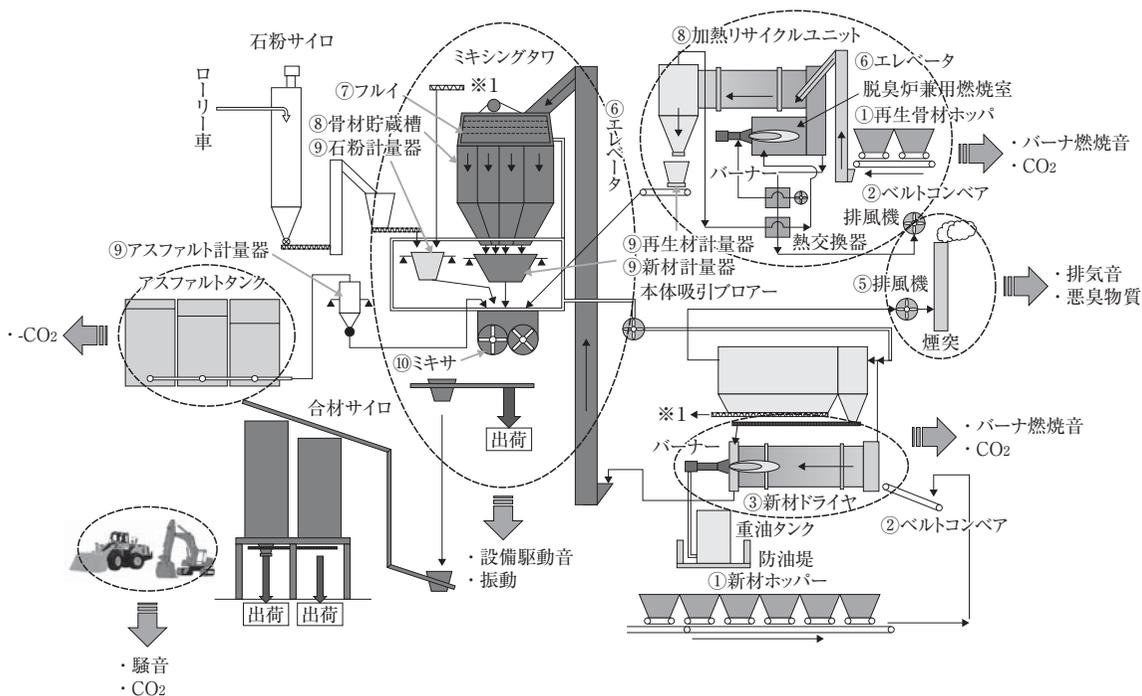


図-10 アスファルト混合所の概要と環境への影響<sup>1)</sup>

表-3 CO<sub>2</sub>排出抑制に寄与するアスファルト混合物製造技術の概要

製造技術		製造技術概要とCO <sub>2</sub> 削減量
骨材加熱装置	バーナ	熱源、燃焼装置の効率向上により約1.3kg-CO <sub>2</sub> を削減。 燃料の重油から都市ガスへの変更で約23%を削減。
	ドライヤ	ドラムの内部に装着された「羽根」形状の工夫による加熱効率の向上により約2.7kg-CO <sub>2</sub> を削減。
アスファルト貯蔵装置		ヒータ制御方法の改良などにより消費電力を削減し、約1.5kg-CO <sub>2</sub> /基を削減。
排風機		インバータ制御を用いた排風機回転数の最適化により電気使用量の約30%を削減。
スキップエレベータ		再生骨材用スキップエレベータの省略により0.2kg-CO <sub>2</sub> /tを削減。

表-4 CO<sub>2</sub>排出抑制に寄与する施工技術の概要

施工技術	施工技術の概要
エンジン回転数制御技術	作業強度に応じてエンジンの回転数を抑制し、燃料消費量を削減する。
駆動技術	動力源をモータとし、電力により駆動させることによりCO <sub>2</sub> などを削減。(表-5参照)
施工の効率化(3Dコントロール)	GPS(Global Positioning System)などを利用することで作業効率を向上させることにより燃料消費量の35%を削減と試算。
省エネ運転	ローアイドル状態時のエンジン停止により、CO <sub>2</sub> 排出量を2%削減。エンジン回転を定格の60~75%とすることにより燃料消費の約9%を削減。

## 6. おわりに

CO<sub>2</sub>排出抑制をはじめ、環境への負荷を軽減させる機能を有する様々な舗装が開発されているものの、それらの適用については参考となる資料が充分とは言えない状況にあった。そのため、舗装委員会環境・再生利用小委員会では、この様な舗装の普及の一助となるように「環境に配慮した舗装技術に関するガイドブック」をとりまとめた。ガイドブックでは、今回取り扱わなかった環境に配慮した舗装技術が多数掲載されている。また、効果やコストなど一覧表としてまとめ、工法の比較検討もしやすく構成している。こちらも是非一読いただければと思う。

文責：増山幸衛(世紀東急工業株)

新田弘之((独)土木研究所 つくば中央研究所)

### — 参考文献 —

- 1) 日本道路協会：環境に配慮した舗装技術に関するガイドブック, 2009.6
- 2) 日本道路協会：舗装性能評価法 別冊-必要に応じて定める性能指標の評価法編-, 2008.2
- 3) 新田, 川上, 西崎：舗装材料の生産に関する環境

表-5 ディーゼルエンジン式とバッテリー式油圧ショベルの環境性能の比較例<sup>1)</sup>

項目	削減率
CO <sub>2</sub> 排出量 <sup>*1</sup>	約50%
NO <sub>x</sub> 排出量 <sup>*1</sup>	95%以上
PM排出量 <sup>*1</sup>	100%
騒音レベル <sup>*2</sup>	9 dB

※1 バッテリー式油圧ショベルを稼働させるための電力を発電所で発電した場合の排出量

※2 国土交通省低騒音型建設機械制度の騒音基準値との比較

負荷原単位について、第11回北陸道路舗装会議、C-16, 2009

- 4) 環境省, 経済産業省：温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル, ver.2.3, 2008.5
- 5) 江向, 竹内, 小梁川, 牧：セミホット型アスファルト混合物の農道への適用に関する研究, 東京農大農学集報, Vol.49 No.3, pp.125-130, 2004
- 6) 日本アスファルト乳剤協会：アスファルト乳剤の基礎と応用技術, 2006.2
- 7) 建設省土木研究所：常温型舗装利用技術マニュアル(案), 土木研究所資料 第3473号, 1997.5

# 海外における低炭素社会に寄与するアスファルト舗装技術

(Technology of asphalt pavement contributing to Low Carbon Society in Europe and the U.S.)

(社)日本道路建設業協会 海外技術部会

海外における低炭素社会に寄与するアスファルト舗装技術として Warm Mix Asphalt (WMA) が注目されている。1990年代後半に、ドイツでは添加材方式、ノルウェーではフォームド方式による WMA が開発された<sup>1)</sup>。2008年5月にコペンハーゲンで行われた第4回E&E国際会議では、「省エネルギーと低温化技術」として WMA が主要テーマにあげられた。米国では、2004年に初めて WMA が施工されてから、既に WMA として50万トン以上製造しており<sup>2)</sup>、2008年11月には WMA 単独の国際会議として WARM MIX CONFERENCE がテネシー州で行われ、その関心の高さが伺える。さらに、全米アスファルト協会 (NAPA) としては、今後5年間で全米におけるアスファルト舗装の大部分を WMA によることを目標としている。

ここでは、欧米で利用される WMA 技術について報告する。

## 1. はじめに

地球環境保全の国際的な取組みの中で、既に気候変動枠組み条約に基づく京都議定書の第一約束期間 (2008～2012年) に入っており、我が国でも、国や地方自治体をはじめ多くの機関が、温室効果ガスのひとつである二酸化炭素の排出抑制対策に取り組んでいる。

アスファルト混合物の施工に関する二酸化炭素削減技術は、ライフサイクル分析 (LCA) をツールとして、骨材入手から維持修繕を含めた二酸化炭素排出量に関連する項目を抽出し、その影響度を数値化することにより検証している<sup>1)</sup>。

近年では特にアスファルト混合物の製造温度を低減する技術が注目され、Warm Mix Asphalt (WMA) として既に実用化されている<sup>2), 3)</sup>。

## 2. WMA について

ヨーロッパアスファルト舗装協会 (EAPA) では、アスファルト混合物を製造温度により表-1に示す4つに分類している<sup>1)</sup>。

通常の加熱温度により製造される Hot Mix Asphalt (HMA)、これより30℃程度製造温度が低い WMA、100℃以下で加熱されて製造される Half-Warm Mix Asphalt (HWMA)、そして骨材を加熱せずに製造する常温混合物である Cold Mix Asphalt (CMA) である。

表-1 製造温度によるアスファルト混合物の分類

Cold Mix Asphalt (CMA)	加熱していない骨材とアスファルト乳剤あるいはフォームドアスファルトを使用してアスファルト混合物を製造する。
Half-Warm Mix Asphalt (HWMA)	概ね70～100℃に加熱した骨材を使用してアスファルト混合物を製造する。
Warm Mix Asphalt (WMA)	概ね100～140℃に加熱した骨材を使用してアスファルト混合物を製造する。
Hot Mix Asphalt (HMA)	概ね120～190℃でアスファルト混合物を製造する。

## 3. WMA 技術の種類

アスファルト混合物の製造温度を下げるための技術は、様々なものが開発されているが、ここでは、アメリカ連邦道路局が行った欧州の WMA に関する視察結果報告書<sup>4)</sup> および全米アスファルト協会から出版されている WMA 資料<sup>5), 6)</sup> に紹介されている内容をもとに WMA 技術の概要を紹介する。

### 3.1 有機系添加剤の利用

有機系添加剤は、通常 WAX や脂肪酸アミドなどをアスファルト混合物あるいは直接アスファルトに添加して利用される。添加剤の種類により異なるが、WAX をアスファルトに添加することにより、融点以上の温度領域のアスファルト粘度を低下させることが可能となり、施工温度を下げるができる。このため、

WAXを使用する場合は供用する温度よりも高い融点である添加剤を選定する必要がある。

### 3.2 化学系添加剤の利用

化学系添加剤は、アスファルトの粘度を変化させず、アスファルトと骨材の付着性を改善する界面活性剤である。この効果により、温度が低くても所定の締固め特性が得られる。

これらは一般的に85～145℃で効果が得られるとされており、アスファルト混合物の製造温度を概ね30℃下げることができるとしている。

### 3.3 フォームド技術の利用

フォームド技術は、混合物製造工程において加熱したアスファルトに少量の水あるいは水分を含む添加剤を添加することにより泡を含むアスファルトを発生させ、物理的にアスファルトの粘度を低減する。水は加熱されて水蒸気となり、アスファルトの容積を上昇させ、短期間の粘度が低下するが、冷却されると普通のアスファルトとして作用する。

### 3.4 アスファルト乳剤の利用

高濃度アスファルト乳剤を80℃程度に加熱してアスファルト混合物を製造する技術であり、最終的に100℃以下となることからHWMA技術に利用される。

### 3.5 まとめ

これらの技術を用いることにより使用する混合物にもよるが、アスファルト混合物の製造温度を概ね20～30℃、アスファルト乳剤を用いる技術では50～60℃低減することができる。この事から、アスファルト乳剤を用いる技術のほうが製造温度を低減する効果が高いが、強度発現までに時間がかかるためHMAプラントが近隣にない地区に限定された採用となっている。

表-2にアメリカ連邦道路局が行った欧州のWMAに関する視察結果報告書で紹介されている技術を示す。

## 4. WMA技術の利点

WMA技術を用いることにより、地球環境保全の観点から、温室効果ガス発生量の削減が期待される。この効果は、多くの要因により変化するため現場条件により異なる。これまでの調査結果では、WMAを用いることにより通常のHMAと比較してCO<sub>2</sub>では20～40%、SO<sub>2</sub>では20～35%、VOCでは50%、COでは10～30%そしてNO<sub>x</sub>では60～70%排出量を低減することができるとしている。さらに、粒子状物質(PM)の発生量では20～55%削減されるとしている<sup>1)</sup>。

このほかに製造や施工時の利点として、以下のもの

があげられる。

- ①燃料消費量の低減
- ②遠隔地や寒冷地などアスファルト混合物の施工温度が下がりやすい条件での作業性の確保
- ③交通開放までの時間短縮
- ④製造設備の延命化
- ⑤作業や工事現場の近隣住民に対する作業環境の改善

## 5. WMA技術の課題

WMA技術を普及させていくために、全米アスファルト協会では以下の研究が必要としている。

### 5.1 WMAにおける配合設計

WMA技術を用いることにより、アスファルト混合物の締固め温度を下げるのが可能となる。この締固め温度をどの程度下げてよいかについて室内試験により予測する必要がある。また、アスファルト混合物の締固め特性が変わることにより、最適アスファルト量が変わる可能性があるが、これまでのWMA技術では最適アスファルト量を通常のHMAと同じとしている。これは、最適アスファルト量を下げることによる長期供用性の低下を懸念しているためである。

もう一つ懸念として、アスファルトの種類を選定がある。WMA技術を用いることによりアスファルトの熱劣化は抑制される。通常パフォーマンスグレードでは、交通条件に加えオリジナルバインダのスティフネス、RTFOT後のスティフネスおよびPAV後のクリープスティフネスなどに基づいてアスファルトを選定している。ここには、製造・施工時のバインダの熱劣化を加味しているため、予期される熱劣化が与えられなければ、当初設定したスティフネスが得られず、わだち掘れ抵抗性が低下する懸念がある。しかしながら、これまで実施したWMAの試験施工ではHMAと同等以上のわだち掘れ抵抗性が得られていると報告されている。

### 5.2 長期供用性

WMAは欧米において様々な交通条件に適用されているが、まだ供用年数はそれほど長くはない。米国で最も長く供用されているWMAを用いた舗装は未だ3～4年しか経過していないが、これまでの調査では、HMAと同等以上のわだち掘れ抵抗性を有していると報告されている。

また、WMA技術では、骨材を100℃以上に加熱し骨材表面の水分は乾燥されるが、内部に残存する水分に

表-2 WMA 技術の一覧<sup>7)</sup> (一部加筆修正)

WMAの 種類	添加材や製法	開発企業	添加物	プラント製造温度 (℃)	現在までの 概算製造量
有機 (ワックス) 添加物をアスファルトまたは混合物に加える方法					
WMA	Sasobit (Fischer-Tropsch ワックス)	Sasol	ドイツではアスファルト質量比で平均2.5% アメリカでは添加物が少なく1.0~1.5%	様々あり, HMAから20~30℃ 低減 <sup>※1</sup>	世界中で1,000 万トン以上
WMA	Asphaltan-B (Montan ワックス)	Romanta	ドイツではアスファルト質量比で平均2.5%	様々あり, HMAから20~30℃ 低減 <sup>※1</sup>	不明
WMA	Licomont BS 100 (添加物) またはSübit (アスファルト) (脂肪酸アミド)	Clariant	アスファルト質量比で3%程度	様々あり, HMAから20~30℃ 低減 <sup>※1</sup>	32万2,500 m <sup>3</sup> 以上 (1994年以降)
WMA	3E LTまたはEcoflex (特許製品)	Colas	使用する	様々あり, HMAから30~40℃ 低減 <sup>※1</sup>	不明
アスファルトを発泡させる方法					
WMA	Aspha-min (ゼオライト)	Eurovia MHI	混合物質量比で0.3%程度	様々あり, HMAから20~30℃ 低減 <sup>※1</sup>	30万トン程度
HWMA	ECOMAC (常温混合物を敷きならし前に加熱)	Screg	使用する タイプおよび使用量は不明	敷きならし時で45℃ 程度	数回 試験施工を実施
HWMA	LEA, EBE, EBT (一部の骨材による発泡)	LEACO, Fairco, および EIFFAGE Travaux Publics	被膜および接着に必要なアスファルトに対する質量比0.2~0.5%	100℃以下	10万トン以上
HWMA	LEAB <sup>®</sup> (直接アスファルトの添加剤により発泡させる)	BAM	泡を攪拌し, 被膜を助長し, 附着を促進させるためにアスファルト質量比で0.1%	90℃	7つの事業で 実施
HWMA	LTアスファルト (ワーカビリティを維持するため, 吸湿性のフィラーを添加してアスファルトを発泡させる)	Nynas	吸湿性のフィラーを0.5~1.0%	90℃	不明
WMA	WAM-Foam (軟らかいアスファルトで被膜した後に発泡した硬いアスファルトを加える)	Kolo Veidekke Shell Bitumen <sup>※2</sup> , BP <sup>※3</sup>	必ずしも必要ではない。 界面活性剤を特定のアスファルトの発泡を容易にするために加えたり, はく離防止剤を軟らかいアスファルトに加えることができる。	110~120℃	6万トン以上
アメリカの新しい技術					
WMA HWMA	Evotherm <sup>TM</sup> (エマルジョンで加熱骨材を被膜する)	Mead-Westvaco	使用する	85~115℃	1万7,000トン 以上
WMA	Double-Barrel Green	Astec	必ずしも必要ではない。 はく離防止剤を通常のHMAと同様に加えることがある	116~135℃	4,000トン以上
WMA	Advera (ゼオライト)	PQ Corporation	混合物質量比0.25%程度	様々あり, HMAから20~30℃ 低減 <sup>※1</sup>	1万トン以上
WMA	不明	Mathy Construction	希釈した界面活性剤を使用	110℃	試験施工のみ

- ※1 ドイツの指針では, アスファルトのスティフネスにより130~170℃を推奨  
 ※2 アメリカを除き全世界に特許権がある  
 ※3 アメリカに特許権がある

よるはく離が懸念されている。実際に室内試験において, 引張強度比がHMAと比較して低下していることが報告されている。しかし, この原因は供試体製造時の熱劣化が少ないためと考えられており, WMAを用

いた実施における試験結果では, はく離現象は見られていない。

HWMAは, 骨材の加熱温度が100℃以下であるため, 水への影響を十分に加味する必要があり, 適用範囲を

交通量の少ない場所に限定している。

一方で、WMAのメリットとして、製造温度が低い  
ためアスファルトの熱劣化が抑えられ、ひび割れ抵抗  
性が向上することが期待されている。

### 5.3 材料の認証システム

WMAを将来にわたり普及させるためには、開発さ  
れた新技術に対する評価、認証を行う評価システムを  
確立する必要がある。ドイツやフランスでは、新技術  
に対する認証基準を定めている。

ドイツでは、新技術を活用する際に、室内試験と複  
数の試験施工を実施する。試験施工は最低500mとし、  
交通条件の厳しい重交通路線で供用性能を評価する。  
また、建設業者のリスクを軽減するために試験施工の  
構造条件は変更される。

フランスでは、仏道路安全技術研究所（STERA）が  
新技術に対する評価を行っている。新技術に対する評  
価は、建設業者と道路管理者で3年間評価される。最  
終的な評価が良好であれば、STERAから証明書が与  
えられる。

米国におけるWMAの評価では、わだち掘れ抵抗性、  
水に対する抵抗性およびひび割れ抵抗性に関する評価  
試験が要求されるが、舗装の完全な性能予測ではなく、  
早期破壊や壊滅的な状況を引き起こす危険性について  
判定することを目的としている。

### 5.4 WMAによる効果の定量化

WMA技術には、添加剤の使用あるいは特殊な製造  
装置の使用などが必要となり、これらにかかるコスト  
と製造時の燃料消費量や電力消費量の軽減効果との経  
済比較を行う必要がある。このほかに、WMA技術の  
メリットとして、二酸化炭素排出量の削減や作業環境  
の改善効果についても十分考慮する必要がある。

しかし、これらの経済比較には、長期供用性能を確  
認した上で評価する必要がある。

### 5.5 WMA技術におけるRAPの利用

WMA技術を用いることにより、アスファルト混合  
物の温度が低下しても締固めが可能であることから、  
アスファルト舗装廃材（RAP）の配合率を高められる  
可能性がある。また、RAPを使用する場合、新骨材の  
温度を製造温度よりも高い温度に設定する必要がある  
が、WMA技術を用いて製造温度が下げられれば、新  
骨材の加熱温度を下げる事が出来る。さらに、製造  
時のアスファルトの熱劣化が抑制されることから、将

来的には品質面においてもRAPの配合率の上昇が見  
込まれる。反面、WMAを再生骨材として利用する場合、  
再生アスファルト混合物性状への影響が懸念される。

### 5.6 製造装置

WMAの製造装置は、これまでも調査されており、  
HMAとWMAを分けて製造することが可能なもの  
となっている。

今後、WMAがさらに普及すれば、WMAの製造に  
適したプラント設備の改良が必要となるが、舗設機械  
の改良が必要となるWMA技術は望ましくない。

## 6. おわりに

わが国においても欧州とほぼ同時期にWMA技術  
が検討されているが、欧米諸国と比較するとまだそ  
れほど普及していない。全米アスファルト協会では、  
WMA技術をアスファルト舗装50年以上の歴史で飛  
躍的な発明のひとつになりうるとして、技術開発を進  
めている。

WMA技術は、アスファルト舗装工事における地球  
環境問題に対する一助となることが期待され、各国が  
共通課題として研究開発を進めており、グローバルな  
情報交換が求められる。

文責：平戸利明（東亜道路工業株）

### — 参考文献 —

- 1) EAPA, EUROBITUME : Environmental Impacts and Fuel Efficiency of Road Pavements, Industry Report, 2004.3
- 2) EAPA : The use of Warm Mix Asphalt, EAPA Position Paper, 2009.6
- 3) <http://www.ctaa.ca/cupga2008/Dangelo%20matt hew%20corrigan%20WMA%20status%20CUPGA.ppt>
- 4) FHWA : Warm-Mix Asphalt: European Practice, Report No.FHWA-PL-08-007, 2008.2
- 5) NAPA : Warm-Mix Asphalt: Best Practices, Quality Improvement Series 125, 2007.12
- 6) NAPA : Warm-Mix Asphalt: Contractors' Experiences, Information Series 134, 2008.6
- 7) (社)日本道路建設業協会 技術委員会 海外技術部会 : Warm-Mix Asphalt ヨーロッパの事例-3, 道路建設, No714, pp39-40, 2009.7

# 中温化技術の適用事例

(Practical examples of Warm-Mixed Asphalt Technology)

(社)日本道路建設業協会 技術及び施工管理部会

中温化技術は、CO<sub>2</sub>の排出抑制と省エネルギーを目的に、加熱アスファルト混合物の温度を通常よりも約30℃程度低下させて製造・施工する技術である。一般に、加熱アスファルト混合物の温度を低下させることは、混合性や施工性の低下が危惧されるが、この技術はそれらの問題を解決する方法として開発されたものである。本稿では、中温化技術の概要と既報の文献をもとに適用目的毎の主な事例とその効果などについて紹介する。

## 1. はじめに

近年、環境問題、とりわけ地球温暖化抑制に対するCO<sub>2</sub>排出量の削減への取り組みは、各分野においてますます重要になってきている。我が国の全産業のうちで土木分野からのCO<sub>2</sub>排出量は約1割であり、中でも道路事業からのものが約25%と高い比率を占めている<sup>1)</sup>。舗装の分野では、CO<sub>2</sub>排出量の削減をはじめとする環境負荷軽減のための研究開発が積極的に行われ、その一つとして加熱アスファルト混合物の製造・施工温度を低減する中温化技術が開発され、実用化されている。この技術を適用すれば、製造時のCO<sub>2</sub>排出量を削減する効果の他にも、補修での早期交通開放も期待でき、また、通常温度で適用して高い締固め性を確保すれば、寒冷期や橋面舗装等での施工性の改善も図れる。

ここでは、これまでに開発されている各種の中温化技術の概要と、CO<sub>2</sub>排出量の削減を中心に早期交通開放や寒冷期の施工性改善などを目的とした主な適用事例について既報の文献をもとに紹介する。

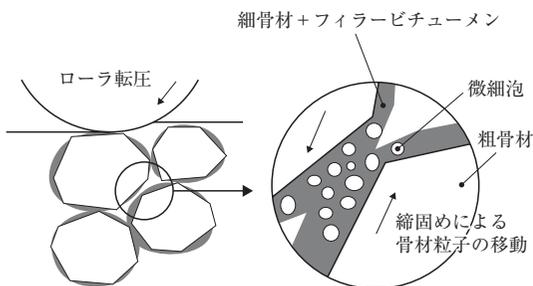


図-1 発泡系のメカニズムの概念<sup>2)</sup>

## 2. 中温化技術の概要

### 2.1 中温化技術のメカニズム

中温化技術には数種の方法があり、それぞれ専用の特殊添加剤が用いられ、その適用によって得られるメカニズムの違いにより、発泡系、粘弾性調整系及び滑剤系などがある。

#### (1) 発泡系

発泡系の特殊添加剤は、アスファルトモルタル内に微細泡を発生・分散させ、その働きによって製造時の混合性と舗設時の締固め性（ベアリング効果）を向上させるものである（図-1）。

#### (2) 粘弾性調整系

粘弾性調整系の特殊添加剤は、常温において固体的性状を示し、一定の温度以上になると急激に液体として作用するもので、高温域（製造・施工温度領域）でのアスファルト混合物の粘弾性を調整し、混合物の製造・施工温度を低下させるものである（図-2）。

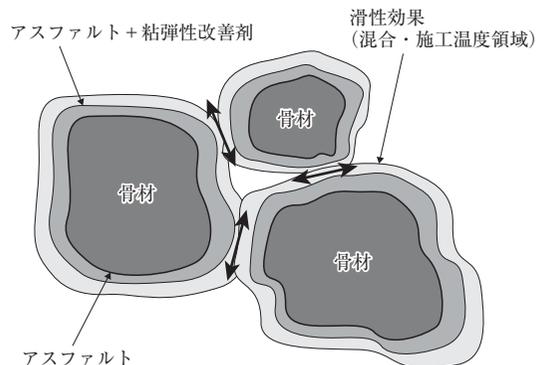


図-2 粘弾性調整系のメカニズムの概念<sup>2)</sup>

粘弾性調整系には他に、アスファルトと同様の組成の特殊添加剤を使用し、高温域でのアスファルト混合物のコンシステンシを調整し、混合物の製造・施工温度を低下させるものもある(図-3)。

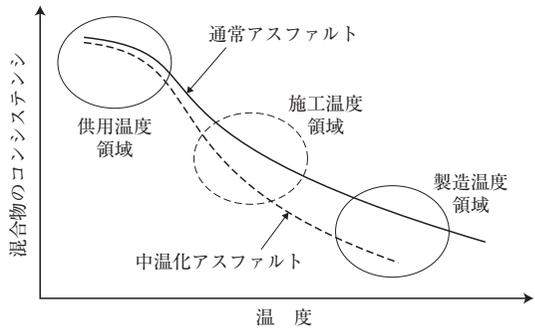


図-3 粘弾性調整系(コンシステンシ)の概念<sup>2)</sup>

(3) 滑剤系

滑剤系の特殊添加剤は、アスファルト粘度への影響がほとんどなく、アスファルト及び骨材界面における潤滑を高めるもので、その滑性効果によって混合性と締固め性を向上させるものである(図-4)。

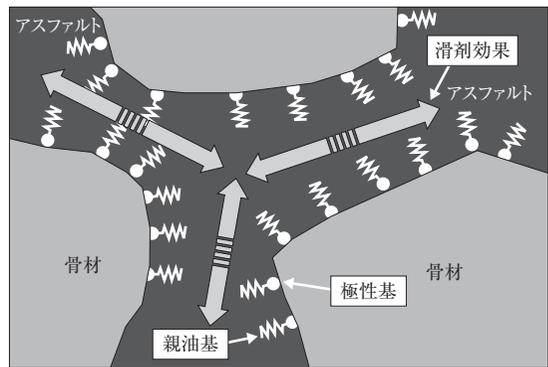


図-4 滑剤系のメカニズムの概念<sup>2)</sup>

2.2 適用効果

中温化技術を適用した場合の主な効果をまとめると以下のとおりである。

(1) CO<sub>2</sub>排出量削減

加熱アスファルト混合物の混合温度を低くすることで燃料消費量が低減し、製造時のCO<sub>2</sub>排出量を削減できる。また、通常温度で適用した混合物を使用すれば、施工時の転圧機械編成の簡略化が図れ、燃料消費量が低減して舗設時のCO<sub>2</sub>排出量を削減できる。

(2) 早期交通開放(交通規制時間の短縮)

交通規制を伴う補修工事では、温度低減による効果から交通開放までの規制時間の短縮ができる。また、特に厚層や夏期の施工においては、初期わだちの抑制が図れ、さらには交通渋滞の緩和も期待できる。

(3) 寒冷期等における施工性改善

製造温度を通常と同一として適用することで、より高い締固め性が得られるので、寒冷期施工における良好な施工性の確保や、舗設許容時間の拡大が図れ、また、敷きならし後の急激な温度低下が懸念される橋面舗装や薄層舗装においては、所要の締固め度の確保に有効である。

3. CO<sub>2</sub>排出量削減を目的とした適用事例

ここでは、プラントにおける製造時のCO<sub>2</sub>削減と、

通常と同一の温度で適用して施工における機械編成を簡略化した場合の舗設時のCO<sub>2</sub>削減の効果を検討した事例を紹介する。

(1) 製造時のCO<sub>2</sub>削減

はじめの事例は、切削オーバーレイ工事(t = 5 cm)において、通常の方法で製造した従来合材と、それよりも30℃低下させた中温化合材を使用し、プラントにおける燃料使用量からCO<sub>2</sub>排出量を算出して削減効果を検証したものであり、中温化合材の使用でCO<sub>2</sub>排出量が14.6%削減できたとしている(表-1)<sup>3)</sup>。

表-1 合材製造におけるCO<sub>2</sub>排出量測定結果<sup>3)</sup>

合材種類	施工場所	施工日	燃料使用量(ℓ)	CO <sub>2</sub> 排出量(t)	合材製造量(t)	合材 t 当り CO <sub>2</sub> 排出量 (kg/t)	
						測定値	平均
従来合材	道瀬	3.24 AM	1,650	3.7173	160	23.233	22.528
		2.26 AM	1,395	3.1427	145	21.674	
	中里	3.1 AM	1,379	3.1068	137	22.677	
	計			4,424	9.9668	442	-
中温化合材	道瀬	3.24 PM	1,064	2.3969	120	19.974	19.237 (-14.6%)
		2.26 PM	1,512	3.4063	185	18.412	
	中里	3.1 PM	1,201	2.7056	140	19.326	
	計			3,777	8.5088	445	-

また、他の事例では、切削オーバーレイ工事（ $t = 5\text{ cm}$ 、一部 $5\text{ cm} \times 4\text{ 層}$ ）において、従来合材とそれよりも $30^\circ\text{C}$ と $50^\circ\text{C}$ 低下させた中温化合材を使用して検証しており、 $\text{CO}_2$ 排出量は $30^\circ\text{C}$ 低減の場合で $20.1\%$ 、 $50^\circ\text{C}$ 低減の場合で $32.0\%$ の削減効果があったとしている（表-2）<sup>4)</sup>。

なお、いずれの工事でも、従来合材と中温化合材を使用した箇所とも同程度の締固め度が得られている。

#### (2) 舗設時の $\text{CO}_2$ 削減

この事例は、製造温度を通常と同一にし、中温化技術による高い締固め効果を利用して施工における舗設機械編成の簡略化を図ったものであり、稼働のための燃料消費量から舗設時の $\text{CO}_2$ 排出量の削減について検証している。この例では、転圧をマカダムローラとタイヤローラの2台編成から4 tonコンバインドローラ1台にすることで、舗設時の $\text{CO}_2$ 排出量を約 $53\%$ 削減できたとしている（表-3）<sup>5)</sup>。

### 4. 早期交通開放を目的とした適用事例

ここでは、道路および空港滑走路の補修工事において中温化技術を早期交通開放の目的として適用した事例を紹介する。なお、このような事例では、製造時の $\text{CO}_2$ 排出量の削減にもつながっている。

#### (1) 道路の補修工事における適用事例

道路での事例は、切削オーバーレイ工事（ $t =$ 表層 $4\text{ cm} +$ 基層 $10\text{ cm}$ ）において、 $30^\circ\text{C}$ 低下させた中温化工区と通常温度の標準工区を設け、舗設開始からの舗装体の内部温度を熱電対で測定し、早期交通開放について検討を行っている。この例では、外気温が $30^\circ\text{C}$ 程度であり、表層の内部温度が $60^\circ\text{C}$ に低下するまでの時間差が約 $70$ 分あり（図-5）、中温化技術は養生時間の短縮に有効で、初期わだちの発生もみられなかったとしている<sup>6)</sup>。

#### (2) 滑走路の厚層打換え工事における適用事例

この事例は、空港滑走路の補修において、全層 $42\text{ cm}$ の带状厚層打換えと平均厚 $16\text{ cm}$ の全面切削オーバーレイに中温化技術を適用したものであり、夜

間の厳しい時間制約のもとで舗設し、翌朝からの早期開放を目的とした我が国初の工事である。本工事では、外気温が $15^\circ\text{C}$ 程度であり、シックリフト工法による $30^\circ\text{C}$ 低減の大粒径アスコンの他に、表・基層にも $30^\circ\text{C}$ および $50^\circ\text{C}$ 低減の2種類の中温化混合物が用いられている。特に荷重条件が厳しい航空機のタイヤが接触する走行部や滑走路端部には、 $50^\circ\text{C}$ 低減した中温化混合物を用い、これと散水冷却を組み合わせることで供用開始時の舗装表面の温度を $50^\circ\text{C}$ 以下にすることができたとしている（図-6）。また、何れの中温化混合物でも舗装体締固め度と平坦性は規格を満足している<sup>7)</sup>。

表-2 重油使用量および $\text{CO}_2$ 排出量の削減率<sup>4)</sup>

条件	混合温度 ( $^\circ\text{C}$ )	製造数量 (t)	重油使用量 ( $\ell/\text{t}$ )	$\text{CO}_2$ 排出量 ( $\text{kg-C}/\text{t}$ )	$\text{CO}_2$ 削減率 (%)
1	160	443	7.5	5.52	0.0
2	130	243	6.0	4.41	20.1
3	110	63	5.1	3.75	32.0

注) 骨材含水比:  $4.4\%$ 、重油 $\text{CO}_2$ 排出原単位:  $0.7357\text{ (kg-C}/\ell)$

表-3 舗設機械編成による燃料消費率の比較<sup>5)</sup>

舗設機械の種類	試算値		施工形態	
	燃料消費量 ( $\ell/\text{h}$ )	$\text{CO}_2$ 排出量 ( $\text{kg}/\text{h}$ )	通常編成	編成削減
アスファルトフィニッシャー	5.5	15.7	○	○
マカダムローラ	5.8	16.6	○	
タイヤローラ	7.2	20.6	○	
4 tonコンバインドローラ	3.2	9.1		○
			燃料消費量 = $18.5\text{ }\ell/\text{h}$	$8.7\text{ }\ell/\text{h}$
			$\text{CO}_2$ 排出量 = $52.9\text{ kg}/\text{h}$	$24.8\text{ kg}/\text{h}$

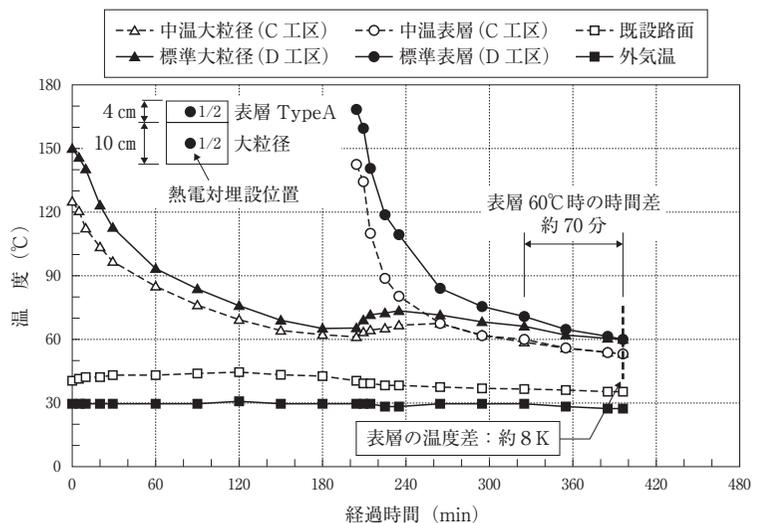


図-5 舗装体内部温度の経時変化<sup>6)</sup>

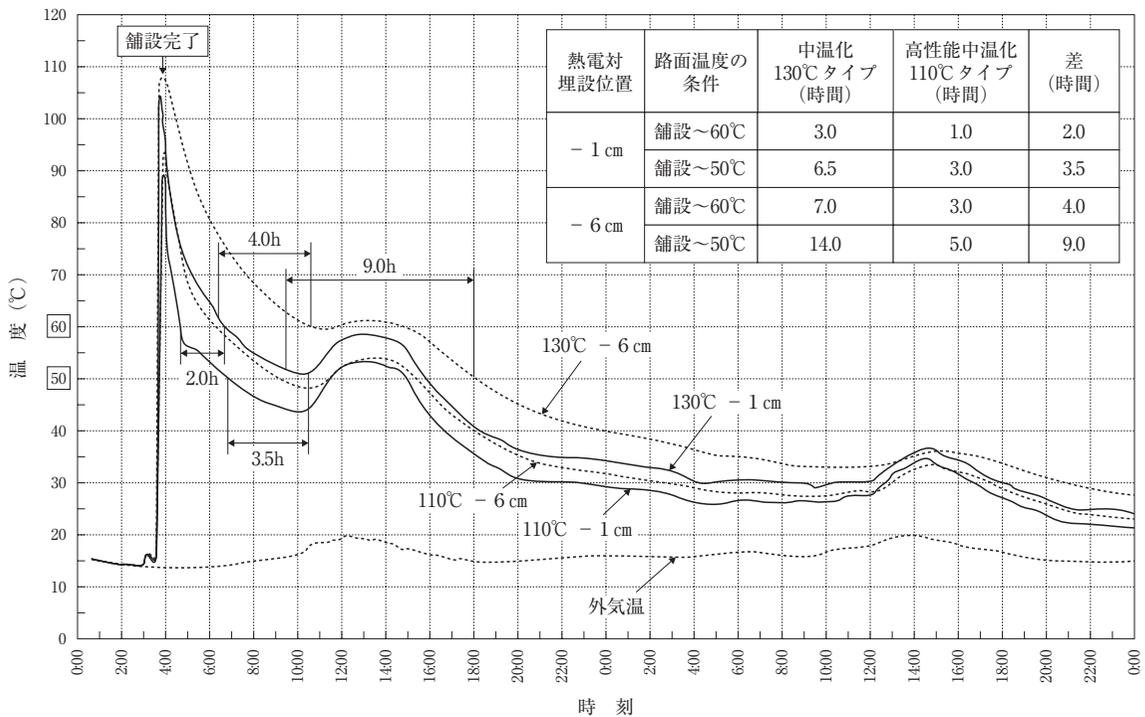


図-6 内部温度の降下状況<sup>7)</sup>

### 5. 寒冷期の施工性の改善を目的とした適用事例

寒冷期施工における締固め度の確保は非常に重要であり、これまでは、出荷温度を通常よりもやや高めにしたり、転圧作業を工夫したりするなどの対応が一般的にとられてきている。ここでは、中温化技術を通常の製造温度で適用し、締固め性向上効果を利用した寒冷期施工の事例を紹介する。

はじめの事例は、コンジョット舗装の中間層 (t = 3cm) に用いる 5mm トップの碎石マスチック混合物に中温化技術を用いたものであり、寒冷期の施工で、かつ施工厚が 3cm における所要締固め度の確保を目的としている。施工では、混合物の敷きならし直後から急激な温度低下が認められたが(表-4)、施工性が阻害されることはなく、また、切取り供試体の締固め度は 98.7% の結果が得られている<sup>8)</sup>。

表-4 温度測定結果<sup>8)</sup>

項目	温度(℃)
出荷温度	175～185
敷きならし温度	160～170
転圧開始温度	116～135
外気温	5程度

次の事例は、冬期での温度管理が難しいとされる排水性混合物に中温化技術を適用し、品質確保について検討を行ったものである。寒冷期施工においては、品質確保のための敷きならし温度の規格値 (140℃以上) を確保できない場合があった(図-7)が、中温化技術を適用すれば排水性混合物の締固め性が向上され、初転圧温度が 130℃ 程度以上で所要の品質が確保できたとしている。この検討を踏まえて中温化技術を適用した「排水性舗装の寒冷期施工(案)」(北海道開発局道路建設課事務連絡)が作成されている<sup>9)</sup>。

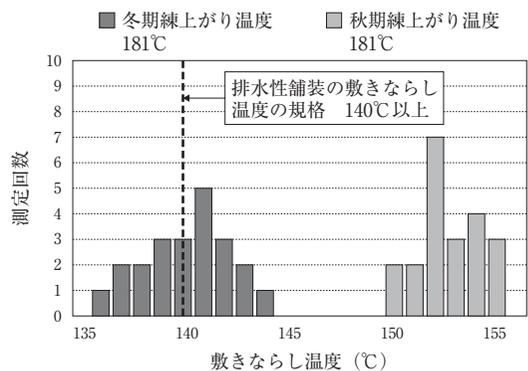


図-7 敷きならし温度の比較<sup>9)</sup>

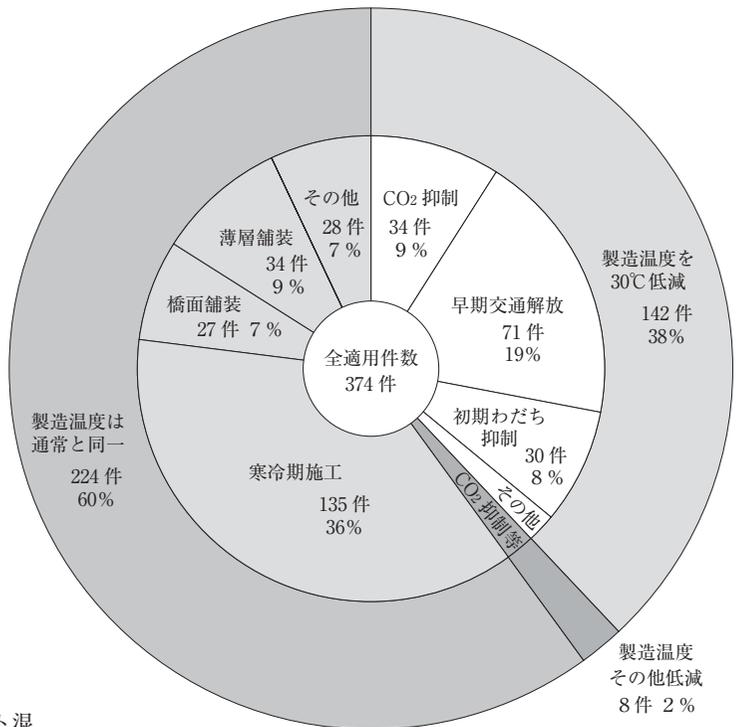
## 6. 施工実績等

我が国における中温化技術を用いた施工実績は、概ね300万㎡程度（道路建設業協会の調査平成21年6月）である。適用目的ごとの件数は図-8に示す通りであり、製造温度を低減してCO<sub>2</sub>排出量の抑制や早期交通開放等を目的としたものが全体の4割であり、製造温度を通常と同一として寒冷期や橋面舗装の施工性改善等を目的としたものが6割である。

このように、中温化技術は幅広い用途で使われているが、CO<sub>2</sub>排出量の抑制を目的とした適用件数はまだ少ない現状にある。プラントにおける製造温度を通常よりも30℃低減すればCO<sub>2</sub>排出量は約15%削減できることを考えれば、仮に、我が国における加熱アスファルト混合物の年間製造量（平成19年度では約5,440万t）の全部では、おおよそ15万tのCO<sub>2</sub>排出量を削減することが期待できる。

## 7. おわりに

地球温暖化への対策は喫緊の課題であり、低炭素社会の実現に向けた舗装分野からの取り組みも更に進めて行く必要がある。ここで紹介した中温化技術は、加熱アスファルト混合物製造時のCO<sub>2</sub>排出量を削減する



製造温度その他低減：例えば20℃低減等を指す

図-8 中温化技術の目的ごとの施工件数

ために有効であり、地球温暖化抑制の観点からこれまで以上に活用が図られることを期待している。

最後に本稿を取りまとめるに当たり、多くの文献を引用させて頂いた関係機関・各位には御了解を願うとともに深く謝意を表します。

文責：井原 務（株NIPPO）

## 参考文献

- 1) ㈱日本道路協会：環境改善を目指した舗装技術（2004年度版），2005.3, P7
- 2) ㈱日本道路建設業協会：環境保全を目指した低炭素アスファルト舗装，2009, P3
- 3) 志賀勝宏，秋田文生：CO<sub>2</sub>削減等を目的とした中温化材材による試験施工の調査結果，第23回日本道路会議一般論文集，P154
- 4) 市岡孝夫，森嶋洋幸，小林良太：粘弾性状を改善したアスファルト混合物の開発と中温化技術への応用，道路建設，No.643, 2001.8, P30
- 5) 吉中保，根本信行：環境保全を指向した加熱アスファルト舗装の中温化技術，アスファルト，vol.40, No.195, 1998.4, P17
- 6) 小林芳則，貫井武，吉中保：アスファルト舗装の切削オーバーレイにおける交通開放温度抑制に関する一検討，第22回日本道路会議一般論文集，P402
- 7) 池上啓一，松谷明典：大粒径中温化アスコンを使用した滑走路改良について，第46回北海道開発局技術研究発表論文集，2003.2
- 8) 海老澤秀治，坂本康文，佐々木雅之，五傳木一：ケミカルフォームドアスファルトを用いた中温化技術，舗装，vol.35, No.10, 2000.10, P19
- 9) 田高淳：（独）土木研究所寒地土木研究所における積雪寒冷地の舗装技術の研究，アスファルト，vol.50, No.221, 2007.4, P7

# セミホット型アスファルト混合物

(Semi-hot Asphalt Mixture)

常温舗装技術研究会

近年、地球温暖化に対する取り組みは国際的に重要な課題であり、わが国の舗装分野においても、環境に配慮した混合物や工法の開発が図られている。特にアスファルト混合物の製造時の温度を下げたCO<sub>2</sub>排出量を低減する技術開発が推進されている。

このような状況を踏まえ、常温舗装技術研究会では、フィンランドの常温舗装技術を応用し、80℃以下で製造および施工が可能な弱加熱技術「セミホット型アスファルト混合物」の開発を行い、これまで製造試験や全国7カ所で試験施工を行い、供用性能等を確認し、従来の加熱工法より製造・施工時のCO<sub>2</sub>排出量を大幅に削減できることが確認した。

本文では、セミホット型アスファルト混合物の特徴・性状、環境性能および供用性について報告するものである。

## 1. はじめに

近年、地球温暖化対策は国際的な広がりを見せており、1997年12月には地球温暖化防止京都会議が開催され、世界規模で温室効果ガスの排出抑制が図られることとなった。わが国の舗装分野においても、これを契機に環境に配慮した混合物や工法が開発されるようになり、特にアスファルト混合物の製造時の温度を下げ、CO<sub>2</sub>排出量を低減する技術の開発が盛んに行われるようになった。

このような状況を踏まえ、常温舗装技術研究会ではフィンランドの常温舗装技術を応用し、わが国の気象・交通条件などに適した、80℃以下で製造および施工が可能な弱加熱技術<sup>1)</sup>「セミホット型アスファルト混合物」の開発を1999年から始め、2000～2002年に気象・交通条件の違う全国7カ所で試験施工を行い、供用性能を確認してきた<sup>2), 3), 4), 5)</sup>。

本文では、フィンランドにおける常温舗装技術を基に、その技術を応用し、開発したセミホット型アスファルト混合物の概要および適用事例を報告する。

## 2. フィンランドにおける常温舗装技術

フィンランドでは、限られた予算内でできる限り多くの道路を一定以上のレベルに維持するため、1960年代初めに交通量の比較的小さい道路を対象とした「オ

イルドグラベル」がスウェーデンから導入された。その後、オールドグラベルのアスファルトに含まれる揮発成分による大気汚染が懸念されたほか、交通環境も変わり、さらなる耐久性の向上が望まれたことなどから、1990年代初めに有害な揮発成分を含まない低粘度の特殊アスファルトの使用と、混合時に水を添加し混合・施工性を向上させた「ソフトアスファルト混合物<sup>6)</sup>」が開発された。

ソフトアスファルト混合物は、表-1に示すように適用する交通量と使用するアスファルトの粘度により「Cold-type」と「Warm-type」に分類され、Cold-typeは10～40℃で、Warm-typeは40～80℃で製造される。

製造は、加水と加熱を同時に行えるスチーム加熱装置を備えた専用プラントを開発している。写真-1の専用プラントは、加熱に過熱水蒸気を用いるため、骨材加熱時の熱交換効率が高く、Warm-typeは通常のドライヤ加熱方式を使用した加熱アスファルト混合物

表-1 ソフトアスファルト混合物のタイプ

混合物タイプ	Cold-type	Warm-type
混合温度(℃)	10～40	40～80
交通量(台/日)	<1,500	<3,000 <4,000 (As 乳剤)
As 高温動粘度 (mm <sup>2</sup> /s)	60℃	1,000～4,000
	135℃	— 50～100



写真-1 スチーム加熱式専用プラント

(製造温度145℃)と比較して、CO<sub>2</sub>排出量で50%以上の削減を可能としている。

供用性は、Warm-typeは、交通量3,000台/日・両方向程度までの箇所に適用が可能で、施工後3時間程度で交通開放可能な強度を発現し、1週間程度で最終強度に達する。

現在では、フィンランドにおけるソフトアスファルト混合物の適用箇所は年々増えており、特に北部地域においては、全アスファルト舗装の約40%まで適用されるに至っている。

### 3. 開発したセミホット型アスファルト混合物

#### 3.1 特徴

セミホット型アスファルト混合物(以下、セミホット混合物)は、製造工程において低粘度の特殊アスファルトを使用すること、混合時に水を添加することを特徴とする。混合物製造時に添加された水は、混合物中で潤滑剤として作用するため、適度な含水比を保つことにより、混合物の温度が常温に低下しても施工が可能である。また、セミホット混合物は、従来の常温混合物にみられるアスファルト乳剤の分解やアスファルトに含まれる成分の揮発ではなく、混合物中の水分が蒸発することによって強度発現する。

以下にセミホット混合物の主な特徴を示す。

- ①特殊アスファルトは、大気を汚染する揮発成分を含まない。
- ②地域発生骨材を使用することができる。
- ③通常のアスファルト混合所を一部改造することで製造可能である。
- ④水膜を形成するための水分は、骨材を加熱した後で添加する。
- ⑤80℃程度で製造可能であるため、通常のアスファルト混合所を一部改造し製造した場合でも、加熱アスファルト混合物に比べ、発生するCO<sub>2</sub>排出量が40%程度削減できる。

⑥水による被膜が潤滑剤として機能するため、混合物温度が常温に低下しても施工できる。

⑦締固めに適する温度範囲が広く、締固めが容易であり、小型ローラで所定の品質が得られる。

#### 3.2 配合設計

配合設計は、簡易舗装要綱<sup>7)</sup>の常温混合式工法に準じて行なうが、当混合物の混合性および施工性は、混合物中に適度な水分が存在することで確保される。したがって、配合設計時にも混合物中の水分量について考慮する必要がある。以下に、セミホット混合物の配合設計方法を示す。

##### (1) アスファルト量の決定

設計アスファルト量の決定は、混合物の粒度から設計アスファルト量を便宜的に求められる簡易舗装要綱の常温混合式工法のカットバックアスファルト量を求める算定式①に準じて行う。乗じる0.7は、特殊アスファルトが揮発分を含んでいないことから、カットバックアスファルトを用いた場合の蒸発残留分を70%と仮定して定めたものである。

$$P = (0.02a + 0.09b + 0.22c) \times 0.7 \dots\dots\dots \text{①}$$

ここに、

P : 混合物重量に対するアスファルトの質量百分率

a : 2.36mmふるいに残留する骨材の質量百分率

b : 2.36mmふるいを通過し、0.074mmふるいに残留する骨材の質量百分率

c : 0.074mmふるいを通過する骨材の質量百分率

##### (2) 水分量の決定

水分量は、混合時に加える水の量を変化させ、供試体作製時の混合物に残留する水分量(含水比)と目視観察による混合性およびマーシャル安定度の関係から判断して決定する。



写真-2 製造直後のセミホット型アスファルト混合物(写真の白煙は、水蒸気)

### 3.3 製造・運搬

#### (1) 製造・運搬

製造は、フィンランドの事例のように専用プラントを用いるか、既存アスファルト混合所を利用する。なお、既存アスファルト混合所を利用する場合は、過熱水蒸気発生装置もしくは写真-3のような加水装置を付加する必要がある。既存アスファルト混合所に加水装置を付加した場合の製造工程を図-1に、混合物性状例を表-2示す。

また、運搬は通常のダンプトラックにより行なう。運搬中は、混合物中の水分の蒸発を抑えるため、シートを2重掛けにするなどの配慮が必要である。また、製造時の水分量により可使時間のある程度調節するこ

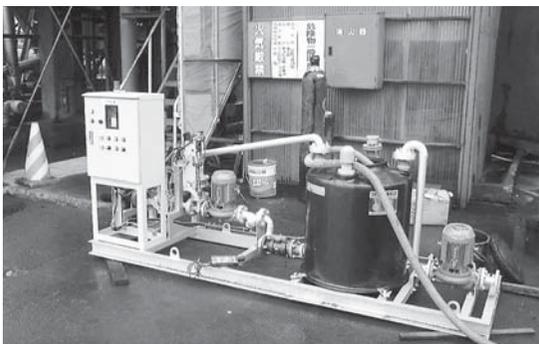


写真-3 加水装置

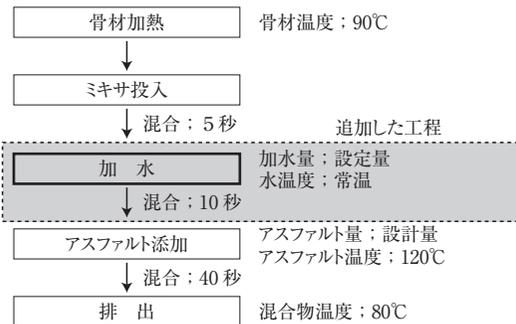


図-1 加水装置を付加した場合の製造工程

表-2 混合物性状例

項目	室内製造	混合所製造
粒度	密粒(13)	密粒(13)
混合物練上がり温度(°C)	80	69
アスファルト量(%)	4.3	4.3
水分量(%)	4.0	4.5
マーシャル安定度(kN)	6.0	4.3
フロー値(1/10mm)	22	23

とも可能である。

#### (2) 製造時のCO<sub>2</sub>排出量

アスファルト混合物の製造に伴って消費される燃料は、骨材加熱用バーナーの燃焼によるものが大部分であり、燃料の消費量は骨材加熱温度に比例する。表-3は、アスファルト混合所における製造時の加熱燃料消費量(A重油使用量)を測定し、燃焼時に発生するCO<sub>2</sub>排出量を試算した結果である。

これよりセミホット混合物は、混合性の向上により、骨材加熱温度を加熱混合物より70°C程度低くできるため、加熱混合物と比較してCO<sub>2</sub>排出量が約44%少なくなることを確認した。

表-3 製造時のCO<sub>2</sub>排出量

混合物	加熱	セミホット
骨材加熱温度(°C)	163	90
A重油消費量(ℓ/t)	10.5	5.9
CO <sub>2</sub> 排出係数(kg-C/ℓ)	0.7357	0.7357
CO <sub>2</sub> 排出量*(kg-C/ℓ)	7.72	4.34
削減率(%)	-	43.8

※混合物1t製造時

### 3.4 施工

#### (1) 施工性

図-2は、加熱混合物とセミホット混合物の施工時の温度測定例を示したものである。なお、施工機械編成は、表-4に示すとおりで、セミホット混合物の転圧機械は4tコンバインドローラのみである。セミホット混合物は、加熱混合物より施工温度が70~80°C程度低い温度で施工を行ったが、締固め度(施工管理基準=94%以上)は99.8%であり、加熱混合物の99.7%と同程度であった。

これらのことから、セミホット混合物は、加水効果により施工性が飛躍的に向上しており、また実際の施

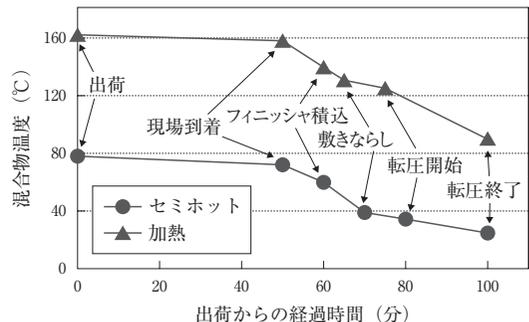


図-2 混合物温度と経過時間の関係

表-4 施工機械編成と施工時のCO<sub>2</sub>排出量

工種	機械種類	転圧回数 (往復：回)	軽油消費量 (ℓ)	CO <sub>2</sub> 排出係数 (kg-C/ℓ)	加熱		セミホット				
					編成	CO <sub>2</sub> 排出量 (kg-C/ℓ)	編成	CO <sub>2</sub> 排出量 (kg-C/ℓ)	削減率 (%)		
敷きならし	アスファルトフィニッシャ	-	2.71	0.7212	●	1.95	4.35	●	1.95	251	42.3
転圧	10tマカダムローラ	2	1.60	0.7212	●	1.15		-	-		
	15tタイヤローラ	2	1.73	0.7212	●	1.25		-	-		
	4tコンバインドローラ	2	0.77	0.7212	-	-		●	0.56		

工現場に於いて転圧機械を簡略化・小型化して施工を行っても、十分な品質が得られることが確認された。

(2) 施工時のCO<sub>2</sub>排出量試算結果

表-4は、施工機械の燃料消費量(軽油使用量)を測定し、機械稼働時のCO<sub>2</sub>排出量を試算した結果である。

これよりセミホット混合物は、施工性の向上に伴い、転圧機械の簡略・小型化が可能となり、CO<sub>2</sub>排出量を約42%削減できることを確認した。

表-5 施工事例①の概要

施工箇所	栃木県下都賀郡岩舟町 町道
交通量	30～40台/時間・両方向
混合物種類	密粒(13)
加水量/アスファルト量	6%/4.3%
施工時期	平成12年7月
天候/気温	晴れ/34～36℃
運搬/施工時間	約2時間/約1時間

4. 施工事例

4.1 施工事例①「夏季施工」<sup>2)</sup>

セミホット混合物は、運搬中や施工中に混合物中の水分量が適正量以下になると、施工性や混合物性状が低下することが懸念される。そのため、本事例は夏季における施工性および供用性を確認することを目的に実施した。施工概要を表-5に、施工条件および締固め度を表-6に、追跡調査結果を表-7に示す。

これより、気温が30℃を超える真夏において、製造

表-6 施工事例①の施工条件および締固め度

工区	1工区	2工区	
施工延長(m)	45	45	
施工幅員(m)	3.8		
転圧回数	9tタンDEMローラ	3	1
	3tタイヤローラ	2	2
敷きならし～転圧温度(℃)	56～48	58～50	
締固め度(%)	100.4	100.0	

から施工終了まで約3時間(運搬2時間、施工1時間)を要しているが、締固め度は約100%となり、良好な施工性を有することが確認できた。

また、FWD測定結果から算出した等値換算係数は、供用3ヶ月で1以上となり、以後は経過時間と共に増加する傾向が見られた。わだち掘れ量については、施工後3年経過した時点では、初期状態とほぼ変わらず、施工後9年が経過している現在の路面状況は、良好な状態を維持している。

4.2 施工事例②「長距離運搬」<sup>5)</sup>

セミホット混合物は、製造時の水分量により、可使用時間を調整することが可能であることから、本事例は長距離運搬時の施工性および供用性を確認することを目的に実施した。施工概要を表-8に、施工条件および締固め度を表-9に、追跡調査結果を表-10に示す。

これより、セミホット混合物は適量の水分を保持していれば、4時間程度の長距離運搬や、転圧温度が30℃前後となる厳しい条件下にお



写真-4 施工事例①の施工状況

表-7 施工事例①の追跡調査結果

測定項目	位置	調査時期				
		直後	1ヶ月後	3ヶ月後	1年後	3年後
わだち掘れ量 (mm)	R	2	2	2	2	3
	L	1	1	1	1	2
等値換算係数 <sup>*</sup>	センター	-	0.71	1.09	1.11	1.43

\* (施工後の残存 T<sub>A</sub> - 既設舗装の残存 T<sub>A</sub>) / 施工厚

表-8 施工事例②の概要

施工箇所	北海道中川郡中川町 国道40号
交通量	800台/日・方向(大型車4割)
混合物種類	密粒(13)
加水量/アスファルト量	4%/4.2%
施工時期	平成14年8月
天候/気温	曇り後晴れ/20~23℃
運搬時間/距離	約4時間/170km

表-9 施工事例②の施工条件および締固め度

施工延長(m)	70	
施工幅員(m)	5.5	
転圧回数	3tタンDEMローラ	2
	4tコンバインドローラ	1
敷きならし~転圧温度(℃)	41~29	
締固め度(%)	97.3	

表-10 施工事例②の追跡調査結果

測定項目	工区	調査時期					
		交通開放直前	1日後	7日後	1ヶ月後	6ヶ月後	1年後
平坦性(mm)	加熱	0.64	0.69	0.53	-	0.64	-
	セミホット	1.43	1.34	1.31	-	1.43	-
すべり抵抗(BPN)	加熱	82	-	72	65	70	-
	セミホット	79	-	82	63	73	-
わだち掘れ量(mm)	加熱	-	-	1.8	2.9	3.4	4.3
	セミホット	-	-	2.0	2.9	3.4	4.4



写真-5 施工事例②の施工状況

いても締固めが容易で、十分な品質を確保できることが確認された。

また、供用性については施工後1年が経過した時点では、加熱混合物と同等な性状を維持していることを追跡調査により確認している。現在では、施工後7年が経過しているが骨材飛散やひびわれの発生も無く、良好な状態を維持している。

これらのことから、セミホット混合物は積雪寒冷地の気象・交通条件にも適用可能であることが確認できた。

## 5. おわりに

フィンランドの常温舗装技術を応用し、わが国の諸条件に適合するように開発した弱加熱技術「セミホット型アスファルト混合物」は、これまでの検討結果より、混合物中の水分を調整することにより、可使時間

の調整や60℃以下の施工が可能であり、従来の加熱工法より製造・施工時のCO<sub>2</sub>排出量を大幅に削減できることが確認された。また、現在の製造方法は、既存アスファルト混合所に加水装置を付加する暫定方法であるが、過熱水蒸気加熱装置や専用プラントを用いることにより、さらにCO<sub>2</sub>排出量を低減出来る見込みである。今後も低炭素社会の実現に寄与する舗装工法にするため、

さらなる性能の向上および普及を図る所存である。

なお、本文は大林道路(株)、鹿島道路(株)、世紀東急工業(株)、大成ロテック(株)、前田道路(株)の5社により構成される常温舗装技術研究会における開発成果をとりまとめたものである。

文責：江向俊文(前田道路(株))

## — 参考文献 —

- 1) 日本道路協会：環境に配慮した舗装技術に関するガイドブック(2009年度版), pp.68-79, 2009.6
- 2) 加納：環境に配慮した新しい常温アスファルト混合物, 舗装, Vol.36, No.11, pp.15-19, 2001.11
- 3) 小関, 石川, 小池：セミホット型アスファルト混合物の試験施工, 第9回北陸道路会議技術論文集, pp.73-76, 2003.6
- 4) 加納, 小島, 菊池：セミホット型混合物の軽交通路線への適用例, 第25回日本道路会議, pp.338-339, 2003.11
- 5) 吉井, 岳本, 安倍, 鈴木, 江向：積雪寒冷地におけるセミホット型アスファルト混合物の適用に関する検討, 土木学会舗装工学講演論文集 第8集, pp.1-7, 2003.12
- 6) FINNISH ASPHALT SPECIFICATIONS : FINNISH PAVEMENT TECHNOLOGY ADVISORY COUNCIL, 1995
- 7) 日本道路協会：簡易舗装要綱, 1979

# アスファルト乳剤を用いた常温工法のCO<sub>2</sub>排出量について

(An Amount of CO<sub>2</sub> emission that Cold Pavement System using Asphalt Emulsion)

(社)日本アスファルト乳剤協会 技術委員会

アスファルト乳剤は、常温混合物の製造や浸透式工法、スタビライザ工法等の多くの用途に使用され、簡易舗装の表・基層や高級舗装の瀝青安定処理路盤として戦後復興期の道路舗装工事には欠くことのできない材料であった。しかしながら、現在の用途は、プライムコート、タックコートやセメント・乳剤安定処理に限られている。

近年、世界的に地球環境保全の機運が高まる中、乳剤はCO<sub>2</sub>やヒュームの排出量が少ないことから再び脚光を浴びようとしている。道路建設において乳剤を用いた工法が適応できる工種についてCO<sub>2</sub>排出量の試算を行い乳剤の有意性を検討した。

## 1. まえがき

1997年地球環境温暖化防止を目指した京都議定書(CO<sub>2</sub>を含む6種類の温室効果ガス排出削減義務)が採択され、2004年にロシアが批准したことで批准国55ヶ国以上、排出量55%以上をクリアしたため、2005年2月に発効となり、我が国は1990年比で6%の削減義務を課せられることになった。これを受け、日本政府は2020年までに1990年比の25%減の方針を打ち出し、温室効果ガス排出量の抑制を重要施策の一つとして挙げている。

現在の道路舗装は、温室効果ガス(以下、CO<sub>2</sub>)を多く排出する加熱アスファルト混合物(以下、加熱混合物)を用いた工法や技術が主流である。したがって、排出量を抑制するため中温化技術やリサイクル技術の

開発が進められているものの、舗装工事を施工するたびに多量のエネルギーを消費しCO<sub>2</sub>を排出しているのが現状である。

一方、舗装材料の中でもアスファルト乳剤(以下、乳剤)を用いた常温混合物や常温工法は骨材等を加熱する必要がないためCO<sub>2</sub>排出量抑制に有効であるとされている。

本文では、地球環境保全に有効な舗装材料として再確認され始めた乳剤を用いた常温混合物や常温工法のCO<sub>2</sub>排出量の試算結果を報告するものである。

## 2. アスファルト乳剤の生産量の推移

日本の乳剤の生産量は図-1に示すように1970年の71万トンをピークに年々減少し、近年は加熱アス

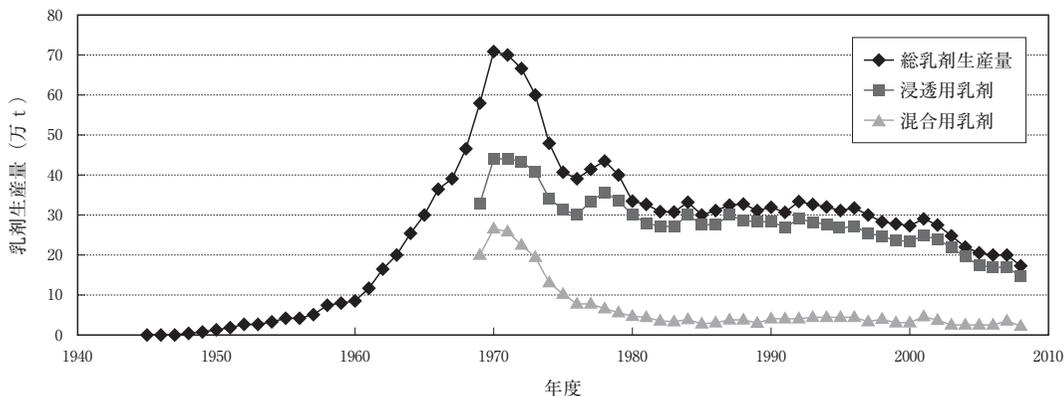


図-1 わが国の乳剤生産量の推移

ファルトプラントの定置化、新設舗装工事の減少、公共事業費の削減により、2008年の生産量は17万トンと最盛期の4分の1以下となっている。

乳剤のうち浸透用乳剤は1970年頃には推定で年間生産量の60%に相当する約25万トンが浸透式工法に使用され、簡易舗装の整備に大きく貢献していたが、現在はタックコート、プライムコートが主な用途となっている。

混合用乳剤も常温混合物の製造に用いられ最盛期には年間20万トン以上生産され、日本の舗装率アップに大きく貢献したが、現在はセメント・乳剤安定処理路盤（以下、CAE工法）用に数万トン生産されているだけである。

### 3. CO<sub>2</sub>排出量抑制機能を有する舗装技術

アスファルト舗装に関するCO<sub>2</sub>排出量抑制機能を有する技術は、製造温度低下技術、常温製造技術、リサイクル技術、超寿命化技術等があり、多くの技術が検討・開発されている。乳剤を使用したCO<sub>2</sub>排出量抑制機能を有する舗装技術は表-1に示すとおりである。

### 4. CO<sub>2</sub>排出量の試算

CO<sub>2</sub>排出量の試算は、乳剤を使用したCO<sub>2</sub>排出量抑制機能を有する工法をアスファルト舗装の新設、維持修繕および予防的維持修繕工事へ適用した場合を想定して行った。

#### 4.1 新設舗装工事への適用

乳剤を用いた常温工法は昭和42年の旧アスファルト舗装要綱（以下、旧舗装要綱）の改訂に伴い表・基層用材料から削除され、瀝青安定処理と浸透式工法のみが上層路盤材料として採用されていた。しかし63年の改訂では浸透式工法も旧舗装要綱から削除された。

ここでは、乳剤を用いた瀝青安定処理と浸透式工法が上路盤材料として認められている旧舗装要綱（50年改訂版）と瀝青安定処理のみが上層路盤材料として認められている舗装設計施工指針の2種類の設計法に基づき舗装構成を設定し、CO<sub>2</sub>排出量の試算を行った。

##### (1) 旧舗装要綱の設計法による新設舗装

昭和50年度版旧舗装要綱の設計法に基づき、設計CBR = 6、交通量区分：B交通の条件で各種の舗装構成を設計し、CO<sub>2</sub>排出量の試算を行った。舗装構成、使用材料および試算結果は、表-2に示すとおりである。

表-1 CO<sub>2</sub>排出量抑制機能を有する乳剤工法

種別	工法名	適応交通量	適用工種	備考
新設に対応	スタビライザ工法	小	路盤	乳剤を用いた瀝青安定処理
	常温プラント混合式工法	小	表層、基層、路盤	改質乳剤を用いれば、交通量の多い表・基層に対応可能、プラント混合CAE路盤も含む
	OGEM工法	小	表層	開粒度型乳剤混合物
	浸透式工法	小	表層、路盤	4～5層仕上げ
維持修繕に対応	チップシール工法	小	表層上	既設舗装の機能的損傷に適用
	スラリーシール工法	小	表層上	
	マイクロサーフェシング工法	多	表層上	
	常温路上表層再生工法	小	表層、基層	既設舗装の構造的損傷に適用
	路上再生CAE工法	多	路盤	

表-2 舗装構成、使用材料およびCO<sub>2</sub>排出量試算結果（単位：kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>）

工法の種類	粒状工法	C処理工法	常温工法①	常温工法②	加熱工法	
舗装構成	表層	密粒アスコン：5				
	基層	粗粒アスコン：5				
	上層路盤	粒調碎石：10	C処理*1：15	浸透式：12	常温路盤*2：10	加熱路盤*3：10
	上層路盤			粒調碎石：15	粒調碎石：15	粒調碎石：10
	下層路盤	切込碎石：30	切込碎石：31	切込碎石：17	切込碎石：17	切込碎石：18
CO <sub>2</sub> 排出量	27.4	29.8	23.9	25.2	30.5	

注) ※1：セメント安定処理路盤 ※2：乳剤を用いた瀝青安定処理路盤 ※3：加熱瀝青安定処理路盤  
舗装構成内の数値は施工厚（単位：cm）

建設に伴うCO<sub>2</sub>排出量は、上層路盤に浸透式工法を採用した常温工法①が一番少なく、次が乳剤を用いた常温瀝青安定処理路盤（以下、常温安定処理路盤）を採用した常温工法②である。加熱アスファルトを用いた加熱瀝青安定処理路盤（以下、加熱安定処理路盤）を採用した加熱工法の排出量は、常温工法①に比べ約28%多い試算結果となった。セメント安定処理路盤（以下、セメント処理路盤）を上層路盤に採用したC処理工法は、セメント自体のCO<sub>2</sub>排出量が大きいため、また粒状路盤材を用いた粒状工法は、B交通区分の設計では表・基層厚が10cm以上必要となるため、CO<sub>2</sub>の排出量が多い加熱混合物を10cm分使用することになり排出量が多い試算結果となっている。

#### (2) 舗装設計施工指針の設計法による新設舗装

舗装設計施工指針の設計法による新設舗装のCO<sub>2</sub>排出量を試算するため、設計CBR = 4、交通量区分N<sub>5</sub>、信頼性90%の設計条件で舗装設計便覧「各種材料を使用した場合の設計例」に示されている舗装構成を設定した。ただし上層路盤に常温安定処理路盤を使用した常温工法の舗装構成は除く。

上・下層路盤とも粒状路盤を用いた粒状工法、上層路盤にセメント処理路盤を用いたC処理工法、常温安定処理路盤を用いた常温工法と加熱安定処理路盤を用いた加熱工法の舗装構成、使用材料およびCO<sub>2</sub>排出量の試算結果は表-3に示すとおりである。

舗装設計施工指針では、等値換算係数を加熱安定処理路盤が0.8、常温安定処理路盤が0.55、粒調砕石が

0.35と規定しているため、常温工法および粒状工法は舗装厚が厚くなっているが、加熱工法に比べ両工法とも、CO<sub>2</sub>排出量を約15%抑制できる試算結果となった。

C処理工法は、セメント自体のCO<sub>2</sub>排出量が多いこと、さらに加熱混合物を表・基層に採用していることから排出量は加熱工法より多くなる計算結果となった。

#### 4.2 維持修繕工事への適用

##### (1) 常温路上表層再生工法を用いた修繕

わだち掘れやクラック等が発生した既設舗装や下水道復旧跡の修繕工事に常温路上表層再生工法、加熱路上表層再生工法および切削オーバーレイ工法を適用した場合のCO<sub>2</sub>排出量の試算を行った。ただし、路上表層再生工法はリフォーム方式とした。工法の概要とCO<sub>2</sub>排出量試算結果を表-4に示す。

既設舗装の破碎と同時に乳剤を添加・混合し再生する常温路上表層再生工法のCO<sub>2</sub>排出量は、加熱路上表層再生工法の45.3%、切削オーバーレイの29.6%と極端に少ないことが判る。

##### (2) 路上再生CAE工法を用いた修繕

近年、既設舗装の維持工事や凍上災害復旧工事に乳剤を用いた路上再生CAE工法が採用される工事が多いことから、同工法を用いた修繕工事のCO<sub>2</sub>排出量の試算を行った。

・既設舗装構成：既設アスファルト舗装は、旧舗装要綱の設計法にしたがい設計CBR = 4、交通量区分：A交通の設計条件を満足する表層（加熱混合物）5cm + 上層路盤（粒調砕石）20cm + 下層路盤（切

表-3 舗装構成、使用材料およびCO<sub>2</sub>排出量試算結果（単位：kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>）

工法の種類	粒状工法	C処理工法	常温工法	加熱工法	
舗装構成	表層	密粒アスコン：5			
	基層	粗粒アスコン：5			
	上層路盤	粒調砕石：15	C処理 <sup>*1</sup> ：15	常温路盤 <sup>*2</sup> ：10	加熱路盤 <sup>*3</sup> ：9
	上層路盤			粒調砕石：15	粒調砕石：13
	下層路盤	切込砕石：35	切込砕石：25	切込砕石：33	切込砕石：30
CO <sub>2</sub> 排出量	29.4	36.6	29.5	34.6	

注) ※1：セメント安定処理路盤 ※2：乳剤を用いた瀝青安定処理路盤 ※3：加熱瀝青安定処理路盤  
舗装構成内の数値は施工厚（単位：cm）

表-4 工法の概要とCO<sub>2</sub>排出量試算結果

工法の種類	施工厚 (cm)	主な施工機械	CO <sub>2</sub> 排出量 (kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	備考
常温路上表層再生工法	4	ミリングリサイクラ	2.9	乳剤添加量：4%
加熱路上表層再生工法	4	路面ヒータ、路上表層再生機（リペーパー）	6.4	添加剤および吸油材無添加
切削オーバーレイ工法	4	切削機、AF	9.8	密粒混合物

込碎石) 25cmの舗装構成とし、修繕時のクラック率は35%以上、残存 $T_A$  ( $T_{A0}$ )は10.25と仮定した。

・修繕時の舗装構成：修繕時の設計条件は、設計 $CBR = 4$ 、交通量区分 $N_4$ 、信頼性90%、路面の嵩上げが不可能と仮定し、上層路盤に路上再生CAE工法と加熱安定処理路盤を採用した舗装構成を以下のa)、b)に示すように設定した。

a) 路上再生CAE工法を用いた常温工法は、既設舗装5cmを掘削後、路上再生CAE路盤13cmを構築し、その上に新規の表層5cmを舗設する

b) 加熱安定処理路盤を用いた加熱工法は、既設表層5cmと既設上層路盤の上部10cmを掘削後、新規の加熱安定処理路盤10cmと表層5cmを舗設する

・試算結果：常温工法および加熱工法の $CO_2$ 排出量は、それぞれ $22.2kg-CO_2/m^2$ 、 $25.8kg-CO_2/m^2$ であった。上層路盤に路上再生CAE路盤を用いた方が、加熱安定処理路盤を用いるより $CO_2$ 排出量を約15%抑制することが期待できる。

#### 4.3 予防的維持修繕工事へ適用

ライフサイクルを考慮した予防的維持工事における $CO_2$ 排出量の試算は、供用性能履歴<sup>1), 2)</sup>が明らかとなっているマイクロサーフェシング(以下、MS)工法を用いた常温工法と加熱路上表層再生工法(リミックス方式)を用いた加熱工法①および切削オーバーレイ工法を用いた加熱工法②について行った。

各工法の維持修繕時期や修繕方法の設定条件および

$CO_2$ 排出量の試算結果は、表-5に示すとおりである。

予防的維持修繕工事にMS工法を用いた常温工法は、供用10~30年間の維持修繕工事で加熱路上表層再生工法を用いた加熱工法①より65%以上、切削オーバーレイ工法を用いた加熱工法②より43%以上の $CO_2$ 排出量を抑制できるものと考えられる。

#### 5. 考察

昭和50年度以降の旧舗装要綱および舗装設計施工指針では、乳剤を用いた工法は、上層路盤に使用する常温安定処理とCAE安定処理(プラント混合および路上再生)路盤に限られているため、乳剤を用いた工法を一般の新設舗装に組み入れられることは殆ど無くなった。しかしながら新設舗装で交通量区分 $N_5$ の舗装構成で上層路盤を常温安定処理路盤を用いて構築した場合、同じ上層路盤を加熱安定処理路盤で構築した場合に比べ層厚は厚くなるが $CO_2$ 排出量は15%程度少ない。また旧舗装要綱の昭和63年度の改訂で削除された浸透式工法も、排出量を20%以上抑制できることが今回の試算で確認された。 $CO_2$ 排出量抑制工法としては有効であるため、今後、本工法を再検討する必要があるのではないかとと思われる。

さらに、新設舗装で交通量区分 $N_5$ (旧B交通区分)の設計では、 $CO_2$ の排出量が少ない粒状材料のみで路盤を構築した場合でも、表・基層厚が10cm以上と規定されていることから $CO_2$ の排出量は上層路盤に常温安定処理路盤を用いた場合と同程度となった。ただし、交通区分が小さい場合(加熱混合物が表層5cmの

表-5 各予防的維持修繕工法の設定条件および $CO_2$ 排出量試算結果

項目	設定条件		$CO_2$ 排出量 kg- $CO_2/m^2$
	建設後30年		
大型交通量, 混入率	1,000台/日・方向・車線, 20%		
常温工法(MS工法) (修繕目標MCI: 5)	1回目, 10年目	MS工法2層(8mm+7mm)	14.3
	2回目, 17年目	MS工法2層(8mm+7mm)	
	3回目, 24年目	切削: 2cm, MS工法2層(8mm+7mm)	
加熱工法①(路上表層再生工法) (修繕目標MCI: 5)	1回目, 10年目	リミックス(既設: 3cm+新材: 2cm)	41.3
	2回目, 14.5年目	切削: 2cm, リミックス(既設: 3cm+新材: 2cm)	
	3回目, 19年目	同上	
	4回目, 23.5年目	同上	
	5回目, 28年目	同上	
加熱工法②(切削オーバーレイ工法) (修繕目標MCI: 4)	1回目, 10年目	切削: 3cm, オーバーレイ: 5cm	25.1
	2回目, 19年目	切削: 5cm, オーバーレイ: 5cm	
	3回目, 28年目	同上	

み)は、粒状工法の方が排出量は少ない試算結果となる。設計条件により排出量に差が出ることに留意する必要がある。

路上表層再生工法にリミックス、リペーブ方式があることは知られているが、路上表層再生工法技術指針(案)には、注意書きにリフォーム方式の記述がある。舗装の修繕工事に、常温路上再生工法の処理厚4cmのリフォーム方式を採用すれば、修繕方法として広く採用されている切削オーバーレイ(4cm)より約70%CO<sub>2</sub>の排出量を削減できる。しかしながら本工法は海外での実績は多いが、国内では施工機械も数台しかなく、実績も殆どない状況であるが、海外からの技術導入も含め今後の研究開発を大いに期待したい工法である。

修繕工事において、路面の嵩上げが可能であれば、加熱混合物によるオーバーレイ工法が、廉価で施工も容易でさらにCO<sub>2</sub>排出量も少なく最適な工法であるが、嵩上げが不可能な条件下では、近年凍上災害復旧工事等で施工実績が増えてきた路上再生CAE工法が、CO<sub>2</sub>排出量を抑制できる試算結果となった。施工現場の条件によっては、今後CO<sub>2</sub>の排出量を抑制できる修繕工法として有効な工法と考えられる。

予防的維持修繕工事にMS工法を採用した場合、修繕工法としては一般的な路上表層再生工法や切削オーバーレイ工法に比べ、大幅にCO<sub>2</sub>排出量を削減できる結果となった。また、ライフサイクルコストの試算結果でも、他の2工法に比べ優位性が確認されている。

## 6. あとがき

従来のアスファルト舗装の建設時や維持修繕時における工法の選定は、長い間培われてきた経験や建設費、工期等を基準として行われてきており、加熱混合物を主体に設計されている。

今回試算した結果では、条件によっては乳剤を用いた常温工法が加熱混合物を用いた加熱工法よりCO<sub>2</sub>排出量を大幅に削減できることが判明した。地球温暖化防止、省資源・省エネルギーが叫ばれている昨今、工法の選定に当たっては地球環境の保全を考慮した選定基準を設けることも必要と考えられる。

また近年、入札方式も性能規定方式、総合評価落札方式へと移行し、平成20年3月に出版された舗装性能評価法別冊にはCO<sub>2</sub>排出量低減値の算定方法が示されている、低騒音やわだち掘れ等の舗装の性能を規定するだけでなく地球環境の保全を目的とした性能も入札時の評価規定に組み入れる時期が来ているのではないかと思われる。

文責：武田 雄(日本道路株)

### — 参考文献 —

- 1) 環境にやさしいマイクロサーフェンシング工法の維持修繕への適用性、あすふあるとにゅうざい、2005-1
- 2) 路上表層再生工法：舗装の管理水準と維持修繕工法に関する総合的研究、技術研究報告会、昭和61年10月

# アスファルト混合物のリサイクル技術の現状

(The Current Status of the Recycling Technology of Asphalt Mixtures)

加納 孝志\*・佐々木 巖\*\*・新田 弘之\*\*\*・川上 篤史\*\*\*\*

アスファルト・コンクリート塊のリサイクルは1980年代から本格的に行われ、近年では出荷されるアスファルト混合物の多くを再生アスファルト混合物が占めるようになってきている。リサイクル技術は、CO<sub>2</sub>排出抑制も期待され、今後ますます利用が進むことと思われる。しかし、複数回の再生利用や、ポリマー改質アスファルトの利用の増加などを原因として、舗装発生材に含まれるアスファルトの針入度が低下する傾向にあり、今後、再生アスファルト混合物に使用できるアスファルト・コンクリート塊が減少するおそれがある。

本報では、アスファルト混合物のリサイクルの現状と課題について整理するとともに、現在行っている試験施工等の検討結果について紹介する。

## 1. はじめに

舗装発生材の再利用のための技術開発の歴史は古く、1970年代前半にはすでに始まっている。その後、技術図書の整備も行われ、舗装発生材の再生利用技術の普及が図られてきた。その結果、現在のアスファルト・コンクリート塊（以下、アスファルト塊）の再資源化率は99%に達している<sup>1)</sup>。

また、舗装発生材のリサイクル技術は、CO<sub>2</sub>排出抑制技術としても期待され、すでに報告している<sup>2), 3)</sup>とおり、一定の効果が期待できるものと評価されている。

今後も舗装発生材の再利用は進んでいくことが予想されるが、一方では、アスファルト塊を破碎または解砕し分級した骨材であるアスファルトコンクリート再生骨材（以下、再生骨材）に含まれるアスファルト（以下、旧アスファルト）の針入度の低下が近年みられ、新たな課題も発生してきている。

旧アスファルトの針入度低下の原因としては、二つ考えられる。一つは、再利用技術の普及により、複数回繰り返して再生利用された舗装発生材が増加したこと、もう一つは、舗装の高耐久化、多機能化のために

熱可塑性エラストマ等のポリマーを添加したポリマー改質アスファルト（以下、改質アスファルト）の使用機会が増加したことである。

このままでは、再生アスファルト混合物に利用できるアスファルト塊が減少していくことにもなりかねず、早急な対応が求められている。本報では、アスファルト混合物のリサイクルに係わる現状について整理するとともに、旧アスファルトの針入度低下の問題に対して取り組んでいる研究の状況、試験施工の結果などについて紹介する。

## 2. 再生アスファルト混合物の現状

### 2.1 再生アスファルト混合物の出荷量

アスファルト塊の再生利用技術の普及により、アスファルト混合物（以下、混合物）に占める再生混合物の割合は増加している。図-1に新規混合物と再生混合物の製造量の推移を示すが、再生混合物の製造割合は1998年に50%に達して以降も増加を続け、2008年には73%を占めるようになってきている<sup>4)</sup>。ここで、アスファルト舗装の表層の更新周期を10年と仮定した場合、2008年以降に発生するアスファルト塊の半分以上

\*かのう たかし（独）土木研究所 道路技術研究グループ（舗装） 主任研究員

\*\*\*ささき いわお（独）土木研究所 材料地盤研究グループ（新材料） 主任研究員

\*\*\*にった ひろゆき（独）土木研究所 材料地盤研究グループ（新材料） 主任研究員

\*\*\*\*かわかみ あつし（独）土木研究所 道路技術研究グループ（舗装） 研究員

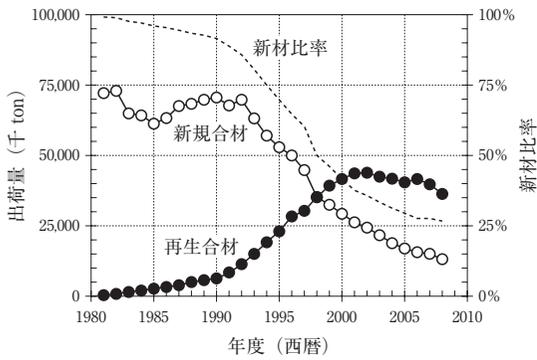


図-1 アスファルト混合物の製造量の推移<sup>4)</sup>

は、過去に一度以上再生されたものとなる。今後は複数回繰り返して再生利用された再生骨材が増加することから、旧アスファルトの針入度の低下が懸念されている。

### 2.2 再生骨材の旧アスファルトの針入度

平成16年から19年にかけて、北海道を除く全国の中間処理施設より採取した再生骨材の旧アスファルトの針入度を調査した結果を図-2に示す。図から、旧アスファルトの針入度が20未満となる割合は、約27%となった。

これは、前述の通り、再生利用技術の普及により複数回繰り返して再生利用された再生骨材が増加していることに加え、改質アスファルトが使用された再生骨材の増加が原因と考えられる。全混合物に占める改質アスファルトを使用した混合物の製造割合は1996年度の約7%から増加し続け、2008年度には約14%に達している<sup>4)</sup>。今後も改質アスファルトの使用機会は増加するものと考えられることから、今後さらに旧アスファルトの低針入度化が進み、再生混合物に利用できる再生骨材が減少するものと考えられる。

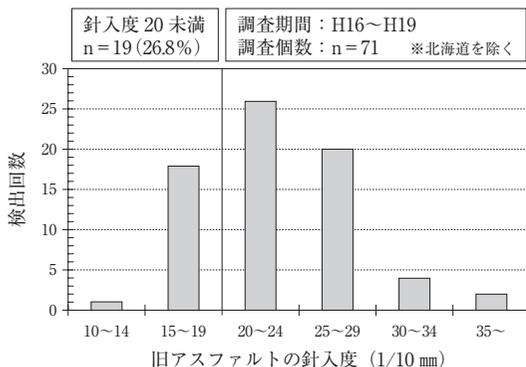


図-2 再生骨材の旧アスファルトの針入度の調査結果

## 3. 針入度が20未満の再生骨材を使用した舗装の耐久性評価<sup>5)</sup>

### 3.1 概要

ストレートアスファルトが使用され、旧アスファルトの針入度が20未満の再生骨材（以下、低針入度再生骨材）の適用性や耐久性、ならびに配合率の上限を確認することを目的に、土木研究所と日本アスファルト合材協会は共同で土木研究所構内の舗装走行実験場に試験舗装を構築し、実大車両による促進載荷を行って供用性状を確認した。

低針入度再生骨材は、土木研究所構内（針入度15）およびつくば市内の道路（針入度18）から採取した。この低針入度再生骨材を用いて再生骨材配合率が60%の工区と、100%（低針入度再生骨材に再生用添加材のみ添加）の工区および新規材料を用いた工区を構築し、舗装走行実験場において、49kN換算輪数で130万輪（N5交通量で13年分に相当）までの走行試験を実施した。使用した材料の種類および構造は図-3の通りとした。

再生密粒度 (13) 低針入度再生骨材 100%	再生密粒度 (13) 低針入度再生骨材 60%	密粒度 (13)	5 cm
再生粗粒度 (20)	再生粗粒度 (20)	再生粗粒度 (20)	8 cm
M-30	M-30	M-30	17 cm
C-40	C-40	C-40	40~45 cm

図-3 使用材料および舗装構造

### 3.2 耐久性試験結果

図-4にわだち掘れ量の測定結果を、図-5に抜き取りコアによる各工区の表・基層厚さの測定結果を示す。図-4から、低針入度再生骨材を使用した工区は新規混合物の工区に比べ、夏季に大きな横断凹凸量の変化が確認された。また図-5から、低針入度再生骨材を使用した工区は、新規混合物工区に比べ表層の流動が大きいことが確認できた。これは、劣化の進んだ

アスファルトに再生用添加剤として軟質なオイルを多量に使用したため、再生アスファルトの品質が舗装用アスファルトとしてのバランスを欠いたことが原因と考えられる。再生混合物の評価は疲労抵抗性を確保することに注目が向きがちであるが、塑性変形抵抗性についても品質基準の整備が必要であると考えられる。

#### 4. 密粒系舗装発生材とポーラスアスファルト舗装発生材の混合材を用いた再生ポーラスアスファルト舗装の長期耐久性の評価

##### 4.1 概要

ポーラスアスファルト混合物には、通常の混合物とは異なった材料や配合が用いられているため、一般的な再生方法での対応では再生利用が困難である。また、ポーラスアスファルト舗装発生材には発生元の混合物と再生先の混合物により様々な組合せがあり、これまでに表-1に示す組み合わせについての検討が各方面で行われている<sup>2)</sup>。以下では、これらのうち、表層のポーラスアスファルト混合物と基層の密粒度混合物を2層同時に切削し混合された状態の再生骨材（以下、混合再生骨材）を利用した再生ポーラスアスファルト舗装の検討事例（表-1の網掛け部）を紹介する。

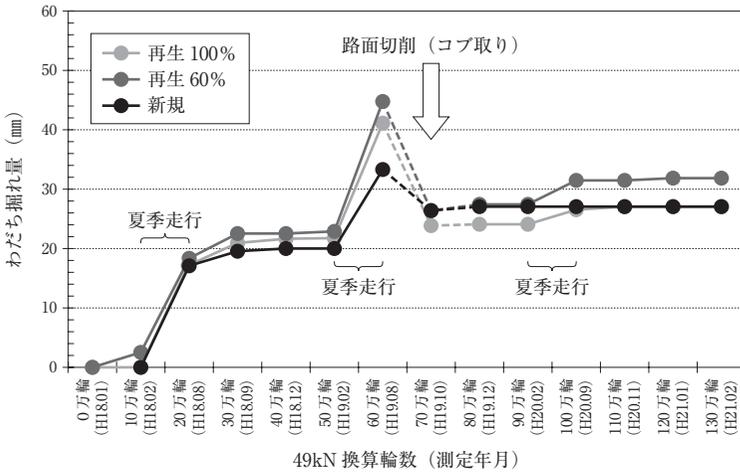


図-4 わだち掘れ量測定結果

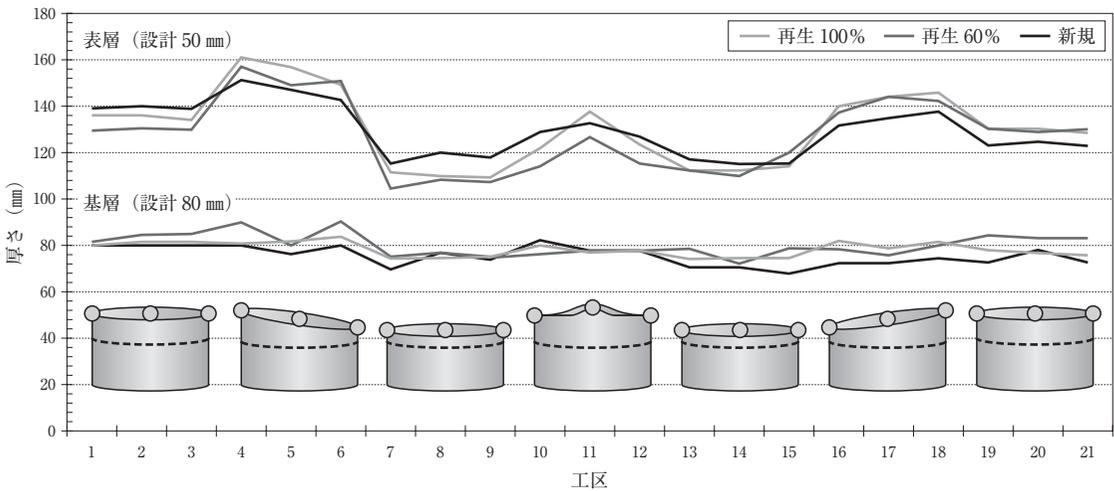


図-5 抜き取りコアによる表・基層厚さの測定結果 (ダブルタイヤによる外側わだち部の状況)

表-1 発生元材および再生先ごとの試験舗装事例<sup>2)</sup>

発生材の種類	利用先	
	密粒度タイプ再生舗装	ポーラスタイプ再生舗装
密粒系舗装発生材	【一般化済み】	近畿地整・中国地整など
ポーラスアスファルト舗装発生材	北陸地整・九州地整, 東京都など	東北地整, 関東地整, 近畿地整, 中国地整, 高速道路など
密粒系舗装発生材とポーラスアスファルト舗装発生材の混合材	東京都など	茨城県 (国道408号: 土研前)

## 4.2 調査結果<sup>6)</sup>

図-6に示す再生ポーラスアスファルト舗装を構築し、路面性状およびタイヤ近接音について測定した。浸透水量の測定結果を図-7に、タイヤ近接音の測定結果を図-8に示す。図から、いずれの工区も多少の機能低下を生じているものの、比較工区である新規ポーラスアスファルト舗装と同程度の性能を保持している。また、わだち掘れ、平坦性などの他の項目についても良好な状態を維持しており、混合再生骨材を利用した再生ポーラスアスファルト舗装の耐久性に問題はないと考えている。

## 5. おわりに

アスファルト塊を再生混合物として利用した場合にはCO<sub>2</sub>の発生抑制が期待できるものの、現状ではアスファルト塊が再生混合物として再利用される割合は5割程度にとどまり、それ以外は路盤材等に利用されている<sup>7)</sup>。CO<sub>2</sub>排出抑制の観点からもアスファルト塊を再生混合物として利用する率を高めていく必要がある。そのためには低針入度再生骨材をより有効に使用するための研究をさらに進めるほか、繰り返しの再生利用を前提とした再生骨材の利用方法について検討する必要がある。

### — 参考文献 —

- 1) 国土交通省：平成17年度建設副産物実態調査結果について，2005.12
- 2) 新田弘之：ポーラスアスファルト混合物の再生技術，アスファルト，Vol.51，No.224，2008.10
- 3) 例えば，川上篤史，新田弘之，加納孝志，久保和幸：舗装再生工法の環境負荷評価について，土木学会舗装工学論文集，第13巻，2008.12
- 4) (社)日本アスファルト合材協会：アスファルト合材統計年報（昭和56年度～平成20年度）
- 5) (独)土木研究所：アスファルト舗装の再生利用に

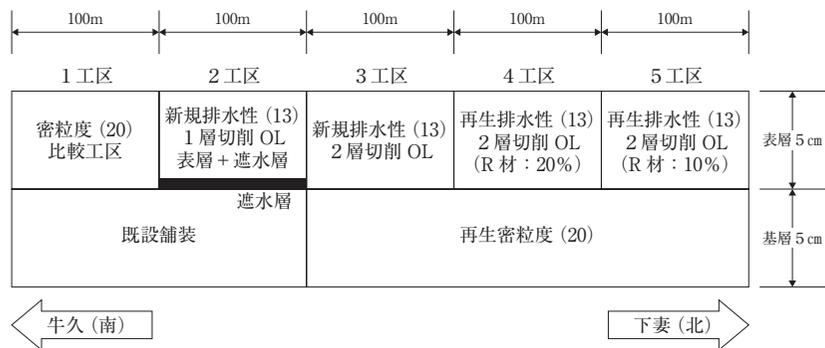


図-6 施工した再生混合物種と舗装構造

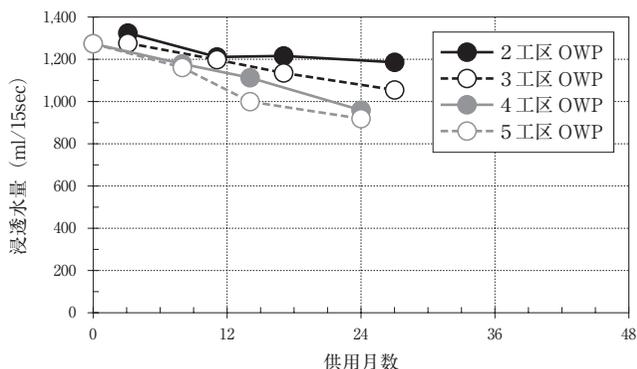


図-7 浸透水量測定結果

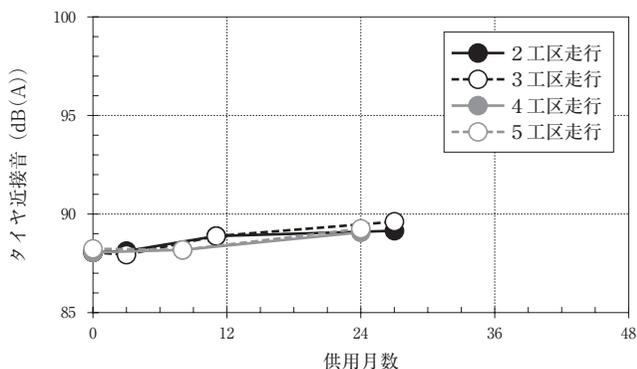


図-8 タイヤ近接音測定結果

関する共同研究中間報告書，共同研究報告書第387号，2008.12

- 6) 加納孝志，佐々木巖，久保和幸：再生排水性舗装の供用性調査，第28回日本道路会議論文集，2009.10（投稿中）
- 7) 国土交通省総合政策局：建設リサイクルに関する今後の動向，2005.10

# 重交通路線における路上路盤再生工法の試行 [名神高速道路 関ヶ原IC～八日市IC間]

(Trial of In-place Base Course Recycling Methods under Heavy Traffic)  
[Meishin Expressway between Sekigahara IC and Youkaichi IC]

河野成弘\*・青山昌二\*\*

## 1. はじめに

名神高速道路 関ヶ原～八日市間(図-1)は、山岳区間に位置し、2万台/日を越える大型車交通量を担っている。1964年の供用から45年が経過したことによる老朽化に加え、山から注す湧水や排水性舗装化による基層以下への雨水の浸透などに起因すると思われるポットホールやポンピング現象が頻発している。安全で快適な高速走行を確保するためには、抜本的な補修を行う必要があると判断した。しかし、従来の日々交通開放する工事規制では、下層路盤(粒状路盤)までの打ち換えは施工時間に制限があるため、昼夜連続車線規制を実施することとした。この工事条件下で、施工能力に優れ、下層路盤を含めた補修工法を検討した結果、フォームドアスファルトによる路上路盤再生工法(以下「FA工法」という)(写真-1)を採用した。FA工法は、既設の粒状路盤をその場で再



図-1 位置図

利用できるので、施工時間の短縮と資源の有効活用を兼ね備えた環境負荷の少ない舗装技術としても期待ができる。本文は、重交通下の高速道路において、最初となる路上路盤再生工法の試行を紹介するものである。

## 2. 舗装の損傷実態

### 2.1 過去の舗装履歴

名神高速道路では、CBR設計法を採用していたため、開通当時のアスファルト混合物厚さは10cmと薄いものであった。このため、走行車線にひび割れが集中的に発生したことから、1971年からオーバーレイ工が繰り返して実施された。その後、1999年より表層の排水性機能化のため、表層・基層(10cm)の補修を実施してきた(図-2)。



写真-1 フォームドスタビライザによる施工

\*かわの しげひろ 中日本高速道路(株) 名古屋支社 技術検査部

\*\*あおやま しょうじ 中日本高速道路(株) 名古屋支社 彦根保全・サービスセンター

単位：cm

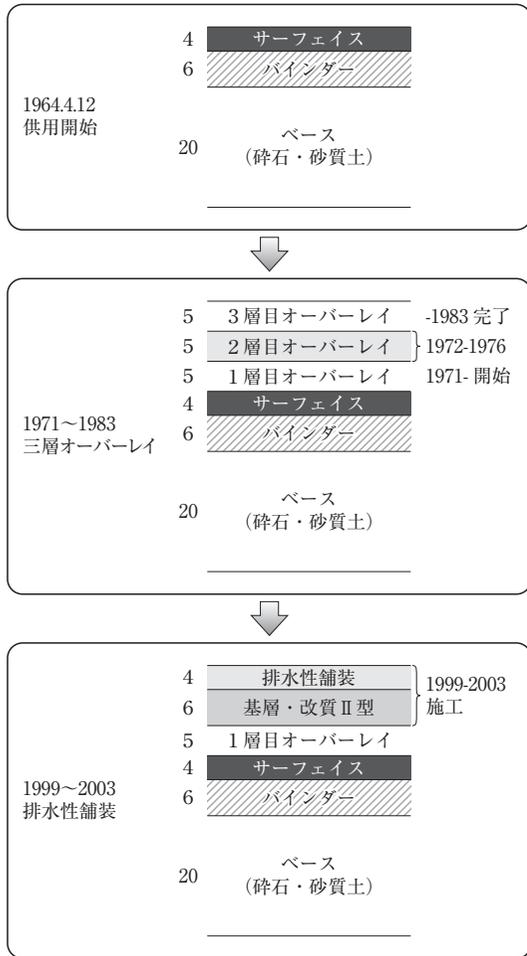


図-2 舗装構成

当該区間では、表層、基層の打ち換えを実施しても、比較的早期にポットホールやポンピング現象が発生したことから、FWDによる現地調査などを実施し、舗装体の構造状態を評価することとした。

## 2.2 FWD調査

当該路線における舗装構造の損傷状態を定量的に把握するためFWDによる調査を実施した。なお、FWDによる舗装構造の健全度評価は、阿部ら<sup>1)</sup>により提案された表-1に示す損傷レベルの定義に基づき実施した。評価の結果を図-3に示す。

本データは、当該路線にて2005年から2008年に測定したFWD測定データ(3,437データ)を表-1の損傷レベルに区分して示している。当該路線の67%が基層以下を含む損傷を示すLV2~LV4であり、構造的な損傷レベルが高いことを確認した。各損傷レベルに

表-1 損傷レベルの定義

損傷レベル	FWD損傷率	損傷状態
LV 0 (健全)	0%未満	新設時と同程度の構造強度がある健全なレベル
LV 1	0%~30%未満	表層部分のみの損傷
LV 2	30%~60%未満	表層+基層程度までの損傷
LV 3	60%~100%未満	As層(表層+基層+アス安層)全体に及ぶ損傷
LV 4 (構造破壊)	100%以上	舗装体(As層+下層路盤)の構造的破壊

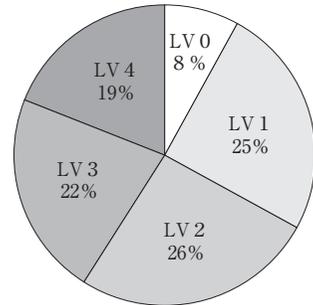


図-3 損傷レベルの割合

おける最大たわみ量(以下「D<sub>0</sub>たわみ」という)を図-4に示す。損傷レベルが高くなるにつれ、たわみ量が増加していることが確認できる。また、LV4のD<sub>0</sub>たわみは、相対的に高い値を示しており、下層路盤を含む損傷が進行している影響によるものと考えられる。

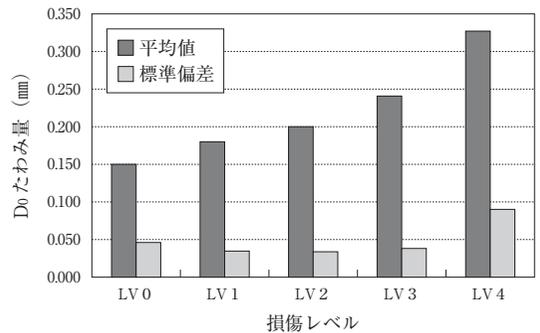


図-4 損傷レベルごとのたわみ量

## 2.3 開削調査

FWD調査の結果と路面の損傷状況(写真-2)を基に路面の損傷が著しい箇所について開削調査を実施した(写真-3, 4)。その結果、旧表層・基層におけるクラックの発生や既設路盤の滞水が確認されたことから、補修に関しては、路盤からの全層改良を基本として実施する必要があると判断した。



写真-2 路面の損傷状況



写真-3 開削調査状況①



写真-4 開削調査状況②

スファルト安定処理工 ( $t = 10\text{ cm}$ ), 基層工 ( $t = 6\text{ cm}$ ), 表層工 ( $t = 4\text{ cm}$ ) を順次行った。

路上路盤再生工の補修断面を図-5に示す。2008年の名神集中工事では、路上路盤再生工法 (FA工法) を主体として5月12日~16日, 5月19日~23日の10日間で延長約5.8km, 施工面積約20,000 $\text{ m}^2$ を実施した (写真-5)。



写真-5 FA工法の施工状況

### 3. 対策工法・施工

路盤までの厚さ40cm (アスファルト層 (20cm) + 路盤 (20cm)) の補修工法として、当初40cm全層を切削搬出する方法が計画された。しかし、供用中の路線では、安全性と施工性の確保に限界があるため、昼夜連続規制のなかで施工可能な工法を検討した。その結果、現地の舗装材 (路盤材) をその場で再利用できるメリットと施工時間の短縮を図ることができる路上路盤再生工法を採用した。

また、コストの面で最も効果的な路上路盤再生工法を究明するため、フォームドアスファルトを添加するFA工法、セメント添加フォームドアスファルト工法 (以下「CFA工法」という) の2つを試験的に施工した。

施工は、先ずアスファルト層 (表層・基層・アスファルト安定処理) の切削を行い、FA工法又はCFA工法 ( $t = 20\text{ cm}$ ) を行う。その後、ア

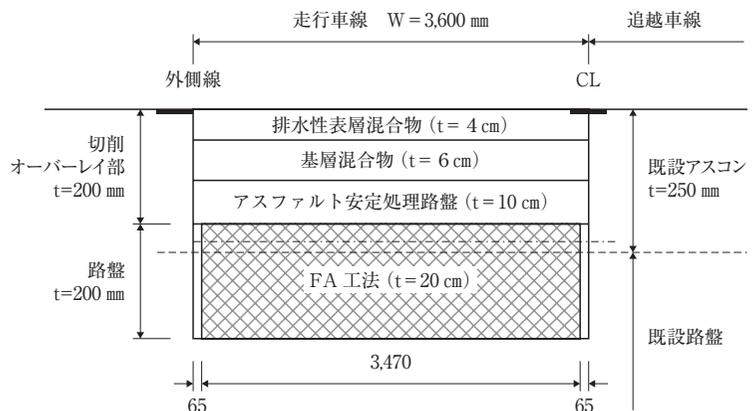


図-5 路上路盤再生工の補修断面

#### 4. フォームドアスファルトの概要

FA工法は、高温（液状）のアスファルトに一定の条件下で水蒸気等を添加して微細な泡を生じさせ、アスファルトの容積を膨張させることによりアスファルトのもつ粘性を減少させ、混合作業を容易にするものである（図-6）<sup>2)</sup>。

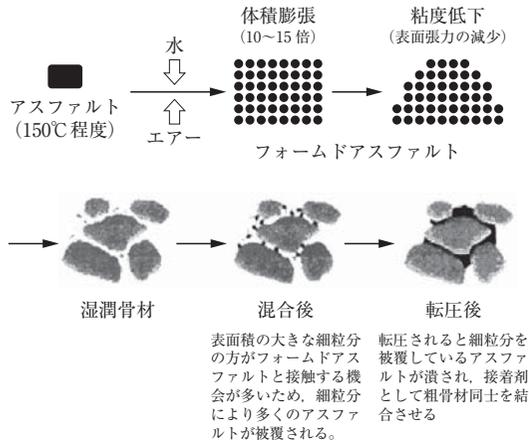


図-6 常温フォームド混合物の模式図<sup>2)</sup>

#### 5. 補修効果の評価

FA工法及びCFA工法による補修効果を評価するため、同位置にて施工前及び施工後の一定期間を経過した時点のFWD測定を行い、たわみの推移を調べた。また、高速道路で施工する一般的な補修工法である表層切削オーバーレイ工法（以下「切削OL（Su）」という）及び表基層切削オーバーレイ工（以下「切削OL（SuBi）」という）の施工区間を設け補修効果を比較した。各補修工法におけるD<sub>0</sub>たわみ量の平均値を図-7に示す。

全ての補修工法が補修前に測定したたわみ量と比べ

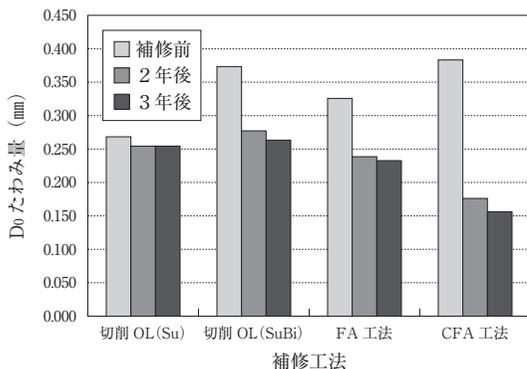


図-7 補修前後のたわみの推移

低下していることが確認できる。ただし、切削OL（Su）については、補修前後のたわみの差が小さいことから補修効果が低かったものと考えられる。その他の工法については補修効果によりたわみを低減することができており、特にCFA工法が最もたわみ低減効果が高かったと考えられる。

#### 6. CO<sub>2</sub>削減効果の試算

今回実施している路上路盤再生工法（CFA工法）と路盤からの置き換えを実施した場合のCO<sub>2</sub>削減効果について試算した結果、100㎡当り15.3t・c（▲25%）の削減（図-8）が図れ、2008年の舗装補修工事の全施工面積が20千㎡であることから、3,060t・cの削減効果が試算される。また、削減効果の78%は取壊し工のうちの路盤廃材処理によるものであり、これによってCO<sub>2</sub>削減効果が確認された。

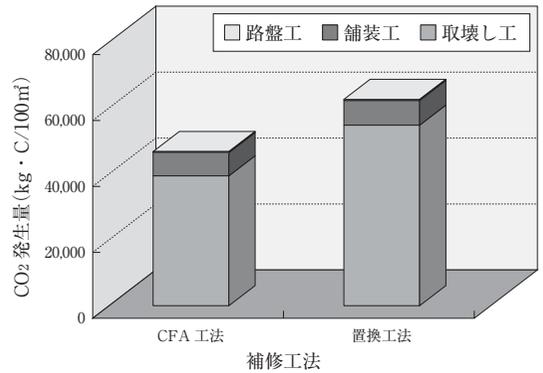


図-8 CO<sub>2</sub>削減効果

#### 7. おわりに

2007年に日本の高速道路で初めて採用した路上路盤再生工法（FA工法及びCFA工法）による舗装全層補修を実施した箇所では、損傷が再発している箇所は無く、現在は良好な状態である。また、更なるCO<sub>2</sub>削減を考えた新たな舗装補修技術についても検討を行っていききたい。

#### 参考文献

- 1) 阿部勝義, 神谷恵三, 佐藤和正: 高速道路舗装の構造的損傷に関する一考察, 舗装工学論文集, 第9集, pp.177-183, 2004.
- 2) 岩原廣彦, 海老澤秀治, 坂本康文, 谷本昇: フォームドスタビ混合物の性状および適用事例, 舗装 vol.33 No.10, pp.9-15, 1998.

# アスファルトプラントにおける 低炭素課題に対する技術的取組み

(Technical Approaches to Tackle Low-Carbon Issues at Hot Mix Asphalt Plants)

(社)日本アスファルト合材協会 技術委員会

本報告は、アスファルトプラントにおける省エネルギー対応の低炭素化技術の適用事例等を紹介したものである。合材製造事業におけるCO<sub>2</sub>排出量の現状（2007年度）では、CO<sub>2</sub>排出総量は、基準年度（1990年度）に対して21%削減となっているが、CO<sub>2</sub>原単位では増加している。

プラントにおける低炭素化技術への取組みでは、合材製造装置等のハード面での主な対応および製造方法等のソフト面での主な対応について記述している。

合材製造時のCO<sub>2</sub>排出量は、アスファルト舗装工事全体のCO<sub>2</sub>排出量の概ね65%を、アスファルト等の素材製造を加算すると概ね85%を占めていることから、今後とも合材製造事業においては、合材製造装置等のハード面および製造方法等のソフト面での低炭素化技術を継続するとともに、中温化合材等の低炭素化技術によりCO<sub>2</sub>排出の原単位の削減に努めなければならない。

## 1. はじめに

(社)日本アスファルト合材協会（以下、日合協）は、昭和49年に設立した「日本アスファルト合材協会連合会」を前身とし、加熱アスファルト混合物（以下、合材）の安定供給、品質の確保、製造業の健全なる発展および製造技術の向上を目的に昭和60年7月に設立された合材製造事業者からなる団体である。

日合協では、アスファルトコンクリート塊の再生利用の実用化と普及の取組みによる資源循環型社会構築への寄与や合材製造時の二酸化炭素（以下、CO<sub>2</sub>）排出抑制に関する低炭素化技術の適用の運動等の技術的課題に積極的に取り組んでいる。

ここでは、後者の合材製造時のCO<sub>2</sub>排出抑制に対する取組み、すなわちアスファルトプラント（以下、プラント）における省エネルギー（合材製造t当たりの化石燃料消費量、リットル/t（以下、燃費）および合材製造t当たりの電力使用量、kwh/t（以下、電力量）の削減）対応の低炭素化技術の適用事例等を紹介する。

## 2. 合材製造事業におけるCO<sub>2</sub>排出量の現状

合材を製造するプラントでは、①アスファルト、碎石、アスファルトコンクリート塊を資源化した再生骨材等の材料の加熱・保温、②ミキサー、ドライヤー等

の機械設備の稼働、③材料や製品を運搬するダンプトラック等の重機の稼働、等で重油、軽油、都市ガス等の化石燃料や電力が消費されCO<sub>2</sub>が排出される。ちなみに、合材を1t製造するために2008年度<sup>1)</sup>においては、①での燃費が9.9リットル/t、②での電力量が11.4kwh/tが消費されている。

### 2.1 合材製造数量とCO<sub>2</sub>排出総量の推移

日合協環境委員会では、「アスファルト合材産業における環境自主行動計画」（1999年11月）において、具体的な努力目標数値として「合材・再生骨材・再生路盤材の製造およびそれらの製品の工場から現場までの運搬過程で発生するCO<sub>2</sub>を、1990年度を基準として2010年までに6%削減できるように努力する。」を明記した。

この行動計画の期中である2007年度のCO<sub>2</sub>排出総量は、195万トンと基準年度（1990年度）の247.6万トンに対して21%の削減となっている。

これは、自主行動計画の取組み成果に加えて、合材製造数量が基準年度である1990年が約7,680万トンで、2007年度では約5,500万トンと28%減少している生産規模の縮小に起因すると考える（図-1参照）。CO<sub>2</sub>排出総量は、生産規模の縮小傾向が継続すると予測されることから、今後とも減少していくものと推定

される。

ちなみに、CO<sub>2</sub>排出総量は、①合材製造加熱：重油、②合材製造加熱：電力、③合材運搬ダンプ：軽油、④合材製造重機：軽油、⑤再生骨材製造：電力、⑥再生骨材製造重機：軽油、⑦再生路盤材運搬ダンプ：軽油の7つの工程でのCO<sub>2</sub>排出量の合計であり、排出係数を重油：2.70kg・CO<sub>2</sub>/リットル、電力：0.33kg・CO<sub>2</sub>/kwh、軽油：2.64kg・CO<sub>2</sub>/リットルとして算出している。

## 2.2 CO<sub>2</sub>原単位とプラント稼働率

CO<sub>2</sub>排出総量を合材製造数量で除した値であるCO<sub>2</sub>原単位（以下、CO<sub>2</sub>原単位）は、基準年度の1990年度の32.24kg・CO<sub>2</sub>/tに対して、2007年度では35.61kg・CO<sub>2</sub>/tと約10%増加している（図-2参照）。

これは、合材プラントの稼働率が58.1%から46.6%に低下していることに起因し、合材が二次製品のように作り置きできないため、プラントでの合材製造が断続運転となり、省エネルギー対応をしているにもかかわらず、燃費および電力量が期待どおりの削減とならなかったためと考える。

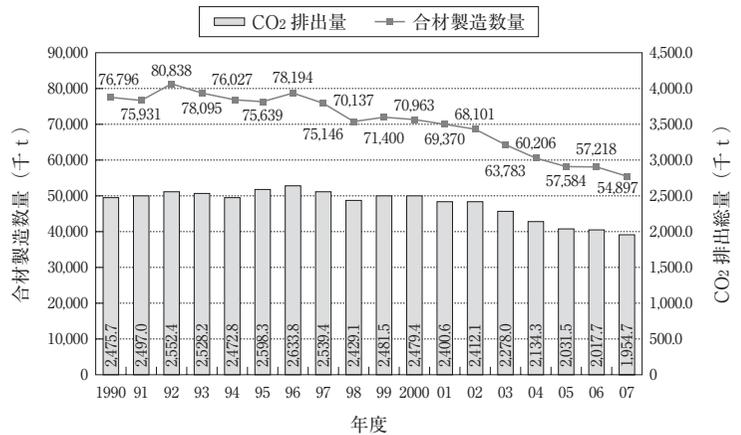


図-1 合材製造数量とCO<sub>2</sub>排出総量の推移

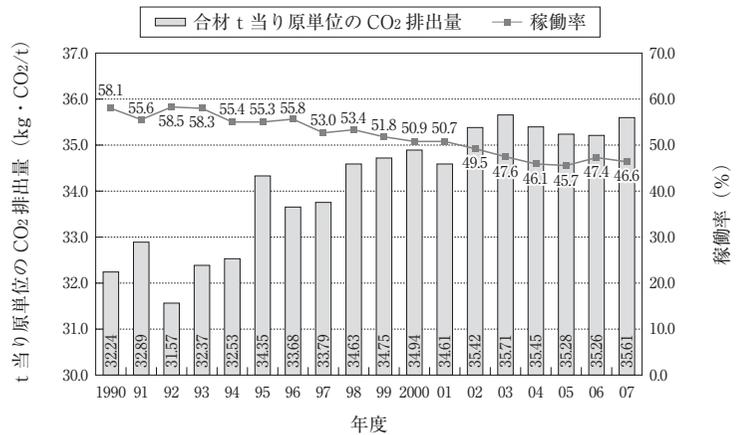


図-2 CO<sub>2</sub>原単位とプラント稼働率

## 3. プラントにおける低炭素化技術への取り組み

プラントにおいては、合材製造加熱、合材製造重機、合材運搬、再生骨材製造および再生路盤材運搬の工程で排出するCO<sub>2</sub>原単位が2007年度実績で35.61kg・CO<sub>2</sub>/tである。このうち、合材製造加熱の工程だけでCO<sub>2</sub>原単位の概ね80%を排出している。

つまり、プラントにおける低炭素化技術は、合材製造時における消費エネルギーの削減、すなわちプラント製造装置等での燃費削減と電力量削減に着目した、合材製造装置等のハード面での対応および製造方法等のソフト面での対応を主体として取り組んでいる。

### 3.1 合材製造装置等のハード面での主な対応

合材製造装置等のハード面での対応している主な装置は、①燃焼装置であるバーナの高性能化、②乾燥装置である新材ドライヤの熱交換効率の向上、③アスファルトタンクの保温・温度制御の高度化、④排風機・送風機等のモータインバータ化である（図-3参照）。

#### (1) 燃焼装置であるバーナの高性能化

燃焼に必要な空気は熱損失の原因となるが一般的なバーナは、燃料の完全燃焼を確実にするため実空気を理論空気量で除した値である空気比が1.5～2.0で設定されていることが多い。

最近では、空気比の低減化、燃焼幅の拡大および低出力時の温度制御等の高性能のバーナが開発・実用化されている（写真-1参照）。

これら対応により燃費が0.5リットル/t程度（CO<sub>2</sub>原単位で1.4kg・CO<sub>2</sub>/t）削減されることが実証されている<sup>2)</sup>。

#### (2) 乾燥装置である新材ドライヤの熱交換効率の向上

燃費は、ドライヤでの熱交換効率により支配される。例えば、含水比5%の骨材を15℃から175℃まで乾燥加熱した場合、ドライヤ効率を10%向上させると燃費が約1～1.5リットル/t（2.7kg・CO<sub>2</sub>/t～4.0kg・CO<sub>2</sub>/t）

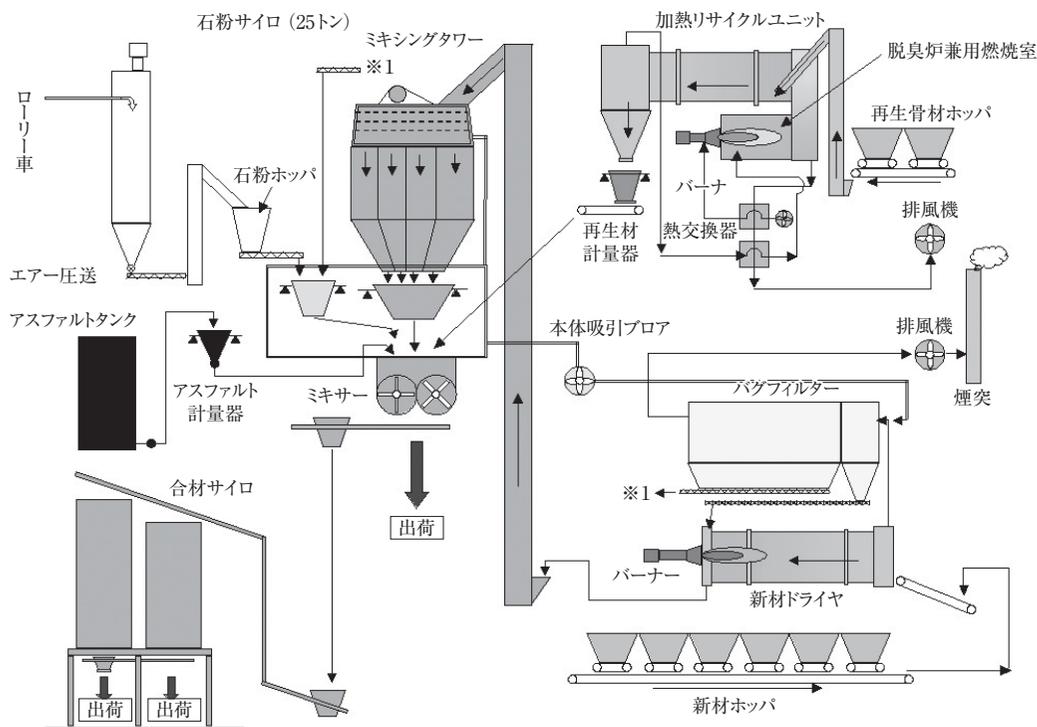


図-3 併設加熱混合方式のプラント製造装置のフローシートの一例<sup>2)</sup>

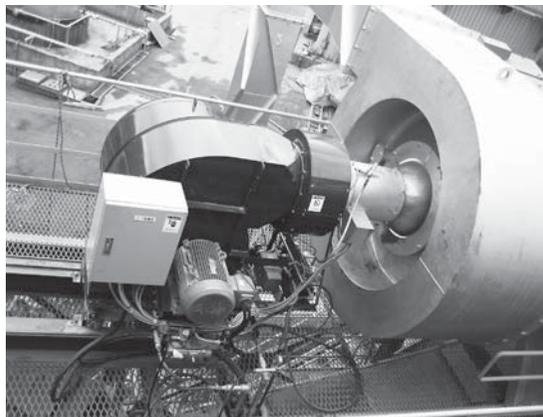


写真-1 燃焼装置であるバーナーの高性能化の一例

削減できる(図-4参照)。

ドライヤの熱交換効率の向上策としては、ドライヤ内部に設置されているフライト(かき上げ羽根)の改良化や骨材滞留時間の増加等の工夫がされている。

### (3) アスファルトタンクの保温・温度制御の高度化

高温のアスファルトを貯蔵するアスファルトタンクでは、攪拌装置によるアスファルト温度均一化や保温材の増厚、過加熱を防止するための温度制御装置等

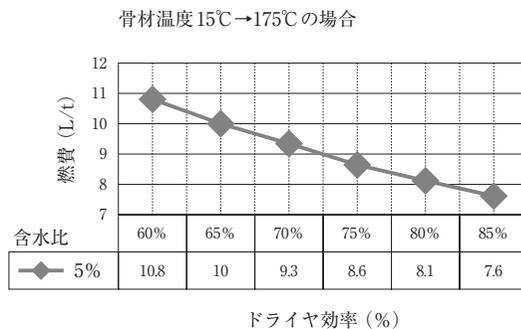


図-4 ドライヤ効率と燃費との関係

により電力量の削減が図られている。これによる削減効果は、アスファルトタンク一基当たり約1.5kg・CO<sub>2</sub>期待できるとの報告<sup>2)</sup>がある。

### (4) 排風機・送風機等のモータインバータ化

乾燥装置であるドライヤから発生する排気ガス量は、骨材の水分量によって大きく増減する。この排気量の制御は、モータ回転数が一定であるためにダンパの開閉による風量調整の機械式ダンパ制御が一般的であり、この場合は電力量のロスが大きい。

モータの回転数が可変でき、製造に必要な最低回転

数で運転できるインバータ化により、機械式ダンパ制御に比べ約30%の電力量削減が期待できる<sup>2)</sup>。インバータ化は、コンプレッサーや合材搬送装置のウインチモータでも採用されている。

### 3.2 製造方法等のソフト面での主な対応

プラント製造方法等のソフト面での対応で燃費削減と電力量削減は、骨材の含水比低減、適切な骨材温度の確保およびプラント連続運転の確保によって、ほぼ期待どおりの効果が得られる。

#### (1) 主な対応の効果

##### ① 骨材の含水比低減

条件をドライヤ効率80%、骨材温度を15℃から175℃までの上昇とした場合、燃費は、骨材含水比が1%低減すると0.8リットル/t (2.2kg・CO<sub>2</sub>/t) 削減できる(図-5参照)。ちなみに、骨材含水比が0%での燃費は、4リットル/tといわれている。

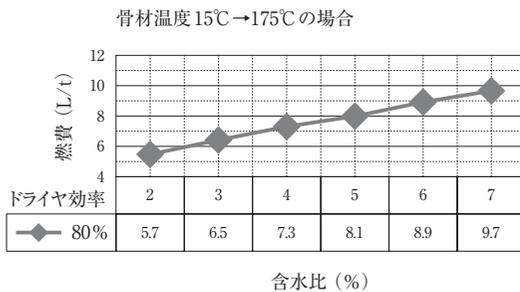


図-5 骨材含水比と燃費との関係

##### ② 適切な骨材加熱温度の確保による効果

条件をドライヤ効率80%、骨材含水比を3%、5%、7%とした場合、適切な骨材温度が155℃で、これが165℃になると燃費は、概ね0.3リットル/t (0.8kg・CO<sub>2</sub>/t) 増加する(図-6参照)。

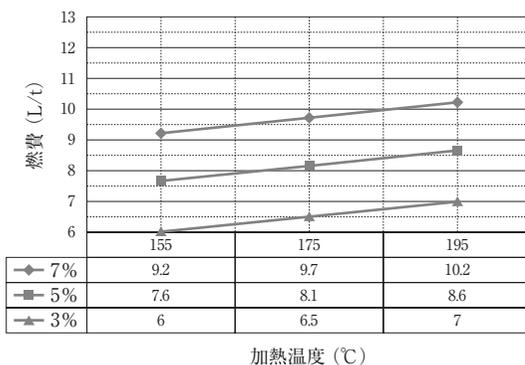


図-6 骨材加熱温度と燃費との関係

##### ③ プラント連続運転の確保による効果

###### 1) プラント連続運転と燃費

燃費は、日出荷量が多い(稼働率が高い)と低下する。(図-7参照)

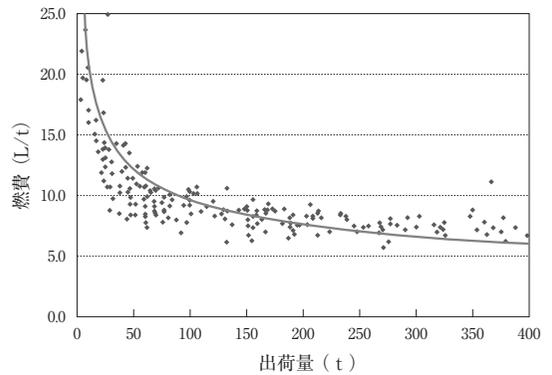


図-7 日出荷量と燃費との関係

#### (2) 主な対応策

主な対応策については、日合協の省エネ運転マニュアル<sup>3)</sup>を参考として記述する。

##### ① 骨材の含水比低減

使用骨材は、吸水率や含水比が小さいものとし、ストックヤードの排水勾配や排水設備を適切なものとする(写真-2、写真-3参照)。

##### ② 適切な骨材加熱温度の確保

季節、合材種類、運搬距離および舗設現場の状況を勘案して適切な骨材加熱温度を設定する(写真-4参照)。

##### ③ プラント連続運転の確保

プラントの連続運転をするためには、ホットビンや合材サイロの活用、適切な出荷管理が必要となる。



写真-2 使用材料の含水比低減

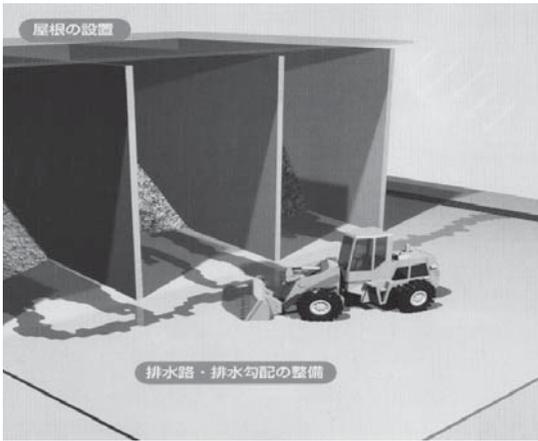


写真-3 スtockヤードでの排水

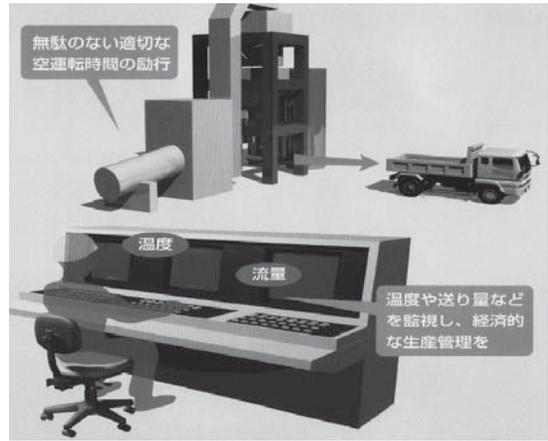


写真-4 適切な骨材加熱温度

#### 4. おわりに

アスファルト舗装におけるCO<sub>2</sub>排出量について川上<sup>4)</sup>らは、図-8のような試算結果の報告をしている。これによるとケース②(切削オーバーレイ：延長200m、幅員6.5m、3cm切削、5cmオーバーレイ)で、合材製造時のCO<sub>2</sub>排出量は、アスファルト舗装工事全体のCO<sub>2</sub>排出量の概ね65%を、アスファルト等の素材製造を加算すると概ね85%を占めていることが分かる。

このように合材製造においては、アスファルト舗装工事で排出されるCO<sub>2</sub>の殆どを占めているといっても過言ではない。

また、2008年4月に施行された「エネルギーの使用の合理化に関する法律」の改正では、エネルギー管理指定工場(熱と電気を合算した使用量が一定規模以上のプラント)となった場合には、エネルギー管理士の選任・届け出とともに、CO<sub>2</sub>削減計画書およびエネルギー消費等の報告義務が課せられた。

今後とも合材製造事業においては、合材製造装置等のハード面および製造方法等のソフト面での低炭素化技術を継続するとともに、中温化合材等の低炭素化技術によりCO<sub>2</sub>排出の原単位の削減に努めなければならない。

最後に、本報告ではプラントメーカーである(株)日工様、田中鉄工(株)様ならびにニッポメックス(株)様のカタログ

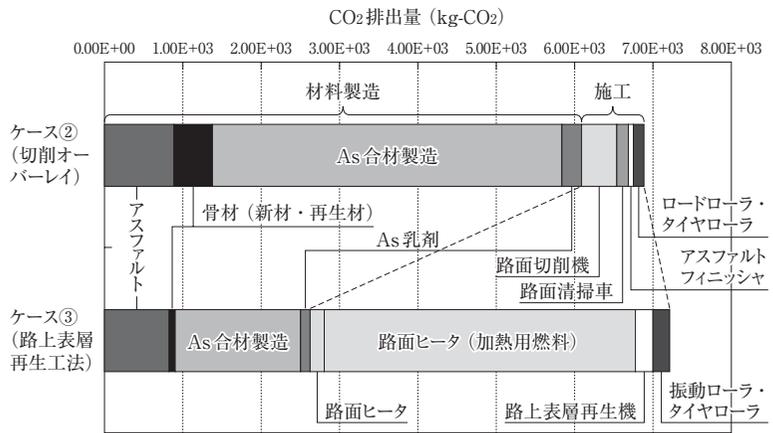


図-8 アスファルト舗装工事でのCO<sub>2</sub>排出量の試算

等の技術資料のデータ等を参考として採用した部分があります。各社様に対して、紙面をお借りし、ここに御礼申し上げます。

文責：貫井 武(株NIPPO)

#### 参考文献

- 1) アスファルト合材統計年報：(社)日本アスファルト合材協会、平成20年度
- 2) (社)日本道路協会：環境に配慮した舗装技術に関するガイドブック、平成21年6月
- 3) (社)日本アスファルト合材協会：アスファルト合材工場の省エネ運転マニュアル、平成17年3月
- 4) 川上篤史、新田弘之、加納孝志、久保和幸：舗装再生工法の環境負荷評価について、舗装工学論文集第13巻、2008.12

## アメリカにおけるアスファルト舗装表面の 破損状況の分類および補修工法

今回のアスファルト舗装技術研究グループ報告は、米国LTPPの成果からまとめられた、舗装の維持に関するマニュアルの紹介です。舗装の破損分類が詳しく述べられているとともに、維持工法とその耐久性までが紹介されています。

わが国にも維持修繕要綱があるものの、発刊から長期間が経過しています。国土交通省においては、近年、予防的修繕に関する施策を通して維持修繕の最適化をはかるための取り組みを進めています。維持修繕の時代と言われて久しいですが、実データをもとにしたLCC等により工法選定を最適化し、マニュアル化等により効率化して管理を進めてゆく必要があります。

ところで、政権交代をはじめとした昨今の業界展望から、公共投資の減少に伴う構造変革の予測もあり、更なる人員の絞り込みを迫られる可能性があります。学や官の研究調査部門も、残念ながら拠点や研究者は減少傾向にあります。一方で、まもってゆくべき資産

は多く、技術者の資質や工夫に求められるものはより大きく幅広くなっていると言えます。

研究グループの活動は、アスファルト舗装技術を様々な角度からレビューして紹介すること、ならびに、その調査活動を通して、特に若手技術者を対象とした研究者の育成をはかることを主眼としています。前者については、本誌を主な成果公表の場としてきましたが、アスファルト誌の発行は今号より年1回となりました。今後は、成果報告のとりまとめに到るまでのプロセス、つまり多読と議論をより充実できると捉え、後者の役割がより増えると考えています。

文献輪読や人的ネットワーク構築による知識の開拓を通して研究者の資質向上をはかる役割に重点を移しながら、時代の要請にあった調査研究活動を続けてゆきたいと思います。今後ともよろしくご指導ご鞭撻の程お願い致します。

(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新材料チーム

綾部孝之 独立行政法人土木研究所舗装チーム  
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)関東支社  
岩岡宏美 世紀東急工業(株)技術研究所  
岩塚浩二 (株)パスコ道路センター  
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  
加納孝志 独立行政法人土木研究所舗装チーム  
壁下俊介 ニチレキ(株)技術研究所  
鎌田 修 鹿島道路(株)技術研究所  
岸田正憲 (株)パスコ道路センター  
高馬克治 ニチレキ(株)東京支店

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  
庄嶋芳卓 西日本地研(株)  
芹田美佳 前田道路(株)技術部技術課  
達増康隆 鹿島道路(株)技術研究所  
常松直志 日本道路(株)技術研究所  
東本 崇 大林道路(株)技術研究所  
長尾敏之 日本道路(株)技術研究所  
西山大三 (株)NIPPO技術研究所  
芳賀潤一 鹿島道路(株)技術研究所  
平川一成 大成ロテック(株)技術研究所  
森石一志 大林道路(株)技術研究所

計25名

# アメリカにおけるアスファルト舗装表面の 破損状況の分類および補修工法

奥山元晴\*                      鎌田 修\*\*                      高馬克治\*\*\*  
鈴木 徹\*\*\*\*                      東 本 崇\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

我が国は、1960年代の高度経済成長期にモータリゼーションに拍車がかかり、それに伴い急激に道路整備が行われてきた。舗装率については、1970年には15%程度であったものが約30年後には76.4%と大幅に増加した。

また、現在では道路総延長は1,256,000kmを越えて道路ストックの増大、および交通量の増大、車両の大型化等による舗装の損傷が、維持修繕の総量をますます増やしている。更に、アスファルト舗装については、舗装の割合が1960年頃は7割程度であったものが、現在は9割を占め主流となっている。こうした維持修繕の重要性が高まる中で我が国のアスファルト舗装では、道路の構造的な破損に至るまでの維持修繕として応急的な補修としてクラック補修やポットホール補修等様々な取り組みが行われている。

また、アメリカにおいても1980年代道路の機能が著しく低下し、悪路や欠陥橋梁の増加によって経済的・社会的に大きな損失をもたらした「荒廃するアメリカ」を教訓として、維持修繕に対して積極的に取り組みがなされるようになった。

それにより、アメリカでは、アスファルト舗装の破損状況の分類やアスファルト舗装の補修方法がマニュアル化され利用されている。

今回は、アメリカでLong-Term Pavement Performance (以下、LTPP：長期供用性研究計画)の調査結果等を基にして作成された、維持修繕に関する3つの報告書(マニュアル)を紹介する。

この報告書は、以下の章立てで構成されており、その概要については表-1に示す通りである。

## 1. はじめに

2. Federal Highway Administration (以下、FHWA)におけるアスファルト舗装表面の破損状況の分類

3. アスファルト舗装のクラックシーリングとひび割れ充填材料および補修方法の施工マニュアル

4. アスファルト舗装のポットホール補修における材料および施工マニュアル

5. まとめ

6. おわりに

## 2. FHWAにおけるアスファルト舗装表面の破損状況の分類

本節ではアスファルトやコンクリートをオーバーレイしたものも含むアスファルトコンクリート表層を対象とする。それぞれの破損は以下の項目に分ける。

- A. ひび割れ
- B. パッチング, ポットホール
- C. 表面変形
- D. 表面破損
- E. 種々の破損

表-2に破損の種類と測定単位を示す。各破損には、その進行状況によって警告段階が示されている。

### 2.1 ひび割れ

ここでは以下の破損について述べる。

- (1) 疲労ひび割れ
- (2) ブロック型ひび割れ
- (3) 端部ひび割れ

\*おくやま もとはる ニチレキ(株) 道路エンジニアリング部

\*\*かまだ おさむ 鹿島道路(株) 生産技術本部 技術研究所

\*\*\*こうま かつじ ニチレキ(株) 東京支店 千葉営業所

\*\*\*\*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

表-1 各マニュアルの概要

各マニュアルの題目	概要
①DISTRESS IDENTIFICATION MANUAL (FHWA-RD-03-031): FHWAにおけるアスファルト舗装表面の破損状況の分類	1987年にLTPPプログラムが開発され、以来20年間、アメリカや他の国は舗装や気候、交通量などのデータを採取した。この報告は、統一した破壊形態の調査結果をまとめたものである。
②Materials and Procedures for Sealing and Filling Cracks in Asphalt-Surfaced Pavements Manual of Practice (FHWA-RD-99-147): アスファルト舗装のクラックシーリングとひび割れ充填材料および補修方法の施工マニュアル	現在のひび割れ処理の設計、施工において、The Strategic Highway Research Program (以下、SHRP) タイミング、クラック処理と費用対効果等について述べている。FHWAは、ひび割れ処理の有効性の調査を進めてきた。ひび割れ処理のモニタリングと評価はLTPPのもとで行われた。このマニュアルは、クラック処理のタイミング、クラック処理と費用対効果等について述べている。
③Materials and Procedures for Repair of Potholes in Asphalt-Surfaced Pavements Manual of Practice (FHWA-RD-99-168): アスファルト舗装のポットホール補修における材料および施工マニュアル	SHRP H-106での補修に関する研究やFHWAにおいてポットホール補修を用いた試験施工での長期モニタリングによって検討がなされた。このマニュアルは、これら2つの最新の研究や現場データと高速道路局の仕様・基準を組み合わせたものである。このマニュアルには、ポットホール補修の計画から最適な工法の選定、設計、施工、耐久性の調査結果および補修の種類による費用対効果について示されている。

表-2 破損の種類と測定単位

破損の分類	測定の単位	定義された破損の警告段階
A. ひび割れ 1. 疲労ひび割れ 2. ブロック型ひび割れ 3. 端部ひび割れ 4a. 車両通行による縦ひび割れ 4b. 車両通行でない縦ひび割れ 5. ジョイント部分のリフレクションクラック 6. 横断ひび割れ	m m m m m 測定できない 測定できない 数, m	有り 有り 有り 有り 有り 適用なし 適用なし 有り
B. パッチング、ポットホール 7. パッチング/パッチングの劣化 8. ポットホール	数, m <sup>2</sup> 数, m <sup>2</sup>	有り 有り
C. 表面変形 9. わだち掘れ 10. コルゲーション	mm 数, m <sup>2</sup>	無し 無し
D. 表面破損 11. プリージング 12. 骨材のすりみかき 13. ラベリング	m <sup>2</sup> m <sup>2</sup> m <sup>2</sup>	無し 無し 無し
E. 種々の破損 14. レーンから路肩での陥没 15. 水のプリージングとポンピング	測定できない 数, m	適用なし 無し

低：ひび割れが全く、あるいはほとんど繋がっていない箇所。ひび割れ面からはく離しておらず、塞がった状態であり、ポンピングは起きていない。

中：ひび割れの結合が最終段階を形付けようとしている箇所。ひび割れ面のはく離がわずかに起きて、ひびわれが塞がっている可能性がある箇所。ポンピングは起きていない。

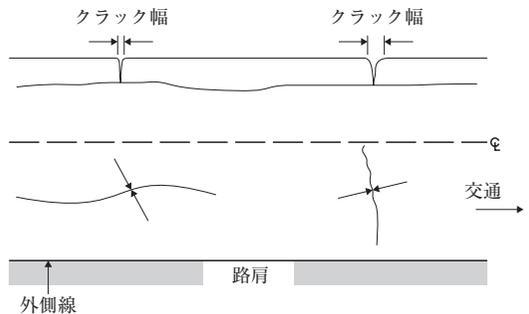


図-1 疲労ひび割れの概略図

- (4) 車両通行による縦ひび割れ、車両通行ではない縦ひび割れ
- (5) ジョイント部のリフレクションクラック
- (6) 横断ひび割れ

(1) 疲労ひび割れ

疲労ひび割れは、繰返し交通荷重がかかる箇所が発生する。進行の初期段階でひび割れが結びつくものと言える。多くの方向や鋭角部分に進行し、通常長さ0.3m以下である。最終段階では小さなワイヤー状やアリゲーター模様になる。警告段階は以下の様に分けられている。

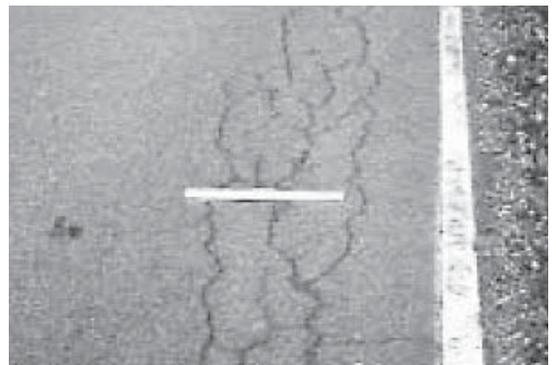


写真-1 「中」疲労ひび割れの一例

高：ひび割れが最終段階を形取り、繋がったひび割れ面のはく離が定常的にあるはいくつか発生している箇所。交通荷重がかかった場合、ひびわれ片は動く可能性があり、クラックは塞がっており、ポンピングがおきている可能性がある箇所。



写真-2 「高」疲労ひび割れの一例



写真-3 「低」ブロックひび割れの一例



写真-4 「高」ブロックひび割れの一例

(2) ブロックひび割れ

長方形であり、大きさは0.1㎡～10㎡程度である。警告段階は以下の様に分けられている。

低：ひび割れ深さが6mm以下である。または良い状態でシール材を使用できて深さが分からない状態。

中：ひび割れ深さが6mm以上、19mm以下である。あるいはひび割れ深さが6mm以下であり、低位のひび割れが隣接した状態。

高：ひび割れ深さが19mm以上。あるいはひび割れ深さが19mm以下で定常的に高位のひび割れが隣接した状態。

測定方法としては、各段階での該当エリアの面積を測定する。もし破壊がブロック型ひび割れエリア内ならば、疲労ひび割れに見なされてブロック型ひび割れの面積は減少する。

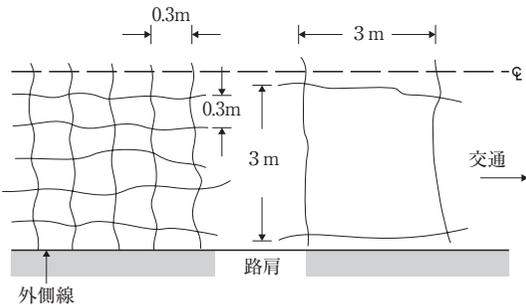


図-2 ブロックひび割れ概要図

(3) 端部ひび割れ

未舗装の路肩がある舗装でのみ発生する。三日月形のひび割れや舗装端部0.6m以内で連続的に舗装端部を交差するひび割れ、路肩近辺で発生するひび割れがある。車両通行外部や舗装端部から0.6m以内の長さのひび割れを含んでいる。各警告段階は以下のように分けられている。

低：ひび割れが発生しておらず、材料の損失がない。

中：ひび割れがいくつか発生し、舗装の影響要因の長さの10%以下が損失した状態。

高：ひび割れが明確に発生し、舗装の影響要因の長さの10%以上が損失した状態。

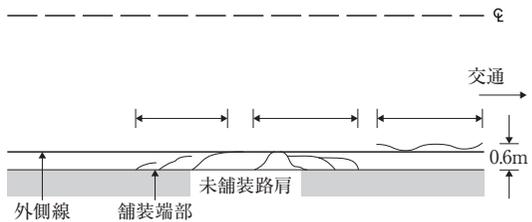


図-3 端部ひび割れ概要図

測定方法としては、各段階で影響を受けた舗装端部の長さを測定する。端部ひび割れの結合した数量はその断面の長さを超えてはならない。



写真-5 「低」端部ひび割れの一例

#### (4) 縦ひび割れ

主として舗装のセンターラインに平行に発生する。警告段階は以下のように分けられている。

低：ひび割れ深さが6mm以内。または、良い状態にシール材でシーリングされている状態。

中：ひび割れ深さが6mm以上、19mm以下である。あるいはひび割れ深さが6mm以下であり、低位のひび割れが隣接した状態。

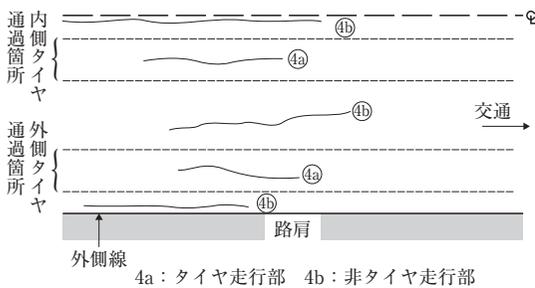


図-4 縦ひび割れ概略図



写真-6 「中」縦ひび割れの一例

高：ひび割れ深さが19mm以上。あるいはひび割れ深さが19mm以下で定期的に高位のひび割れが隣接した状態。

測定方法は、各警告レベルにおいて、縦ひび割れの長さを測る。各警告レベルにおいてシーリングされて良い状態にある長さも測定する。

縦ひび割れは、車両通行による疲労破壊に分類される場合もある。曲がりくねった縦ひび割れや数多く発生している箇所では疲労破壊に分類される。



写真-7 「高」縦ひび割れの一例

#### (5) ジョイント部のリフレクションクラック

コンクリート舗装上の表層にアスファルト舗装をオーバーレイした箇所のひび割れである。警告段階は以下のように分けられている。

低：ひび割れ深さが6mm以内。または、良い状態でシール材を使用して深さが分からない状態。

中：ひび割れ深さが6mm以上、19mm以下である。あるいはひび割れ深さが6mm以下であり、低位のひび割れが隣接した状態。

高：ひび割れ深さが19mm以上。あるいはひび割れ深さが19mm以下で定期的に高位のひび割れが隣接した状態。

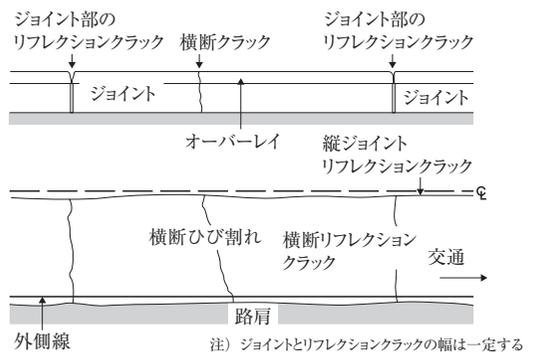


図-5 リフレクションクラック概略図

測定方法としては、縦ひび割れを測定する、あるいは横断ひび割れを測定する。

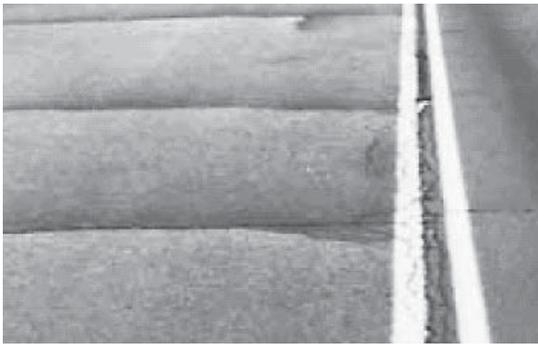


写真-8 「高」リフレクションクラックの一例

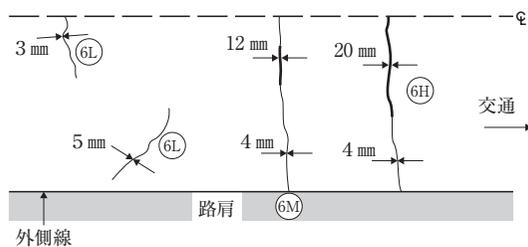
(6) 横断ひび割れ

主に舗装のセンターラインに垂直なひび割れである。警告段階は以下のように分けられている。

- 低：ひび割れ深さが6 mm以内。または、良い状態でシール材を使用できて深さが分からない状態。
- 中：ひび割れ深さが6 mm以上, 19mm以下である。あるいはひび割れ深さが6 mm以下であり、低位のひび割れが隣接した状態。
- 高：ひび割れ深さが19mm以上。あるいはひび割れ深さが19mm以下で定常的に高位のひび割れが隣接した状態。

各警告段階における横断ひび割れの数と長さを記録する。ひび割れ全長の現時点での少なくとも10%に当たる最高の警告段階で全体の横断ひび割れを評価する。ひび割れ長さの記録は全体の長さとし、警告段階は少なくとも10%が最も高いとされる段階とする。

もし、横断ひび割れが疲労ひび割れの箇所を通った場合は、疲労ひび割れの箇所は長さに含まない。ひび割れは横断ひび割れ単独として扱い、長さを減じる。0.3m以下の長さのひび割れは記録に含まない。



※10%の「高」段階のひび割れまたは全くひび割れ長がそれ以上の場合  
6L: 「低」段階横断ひび割れ

図-6 横断ひび割れ概略図



写真-9 「中」横断ひび割れの一例



写真-10 「高」横断ひび割れの一例

2.2 パッチング/パッチングの劣化

パッチングが0.1 m<sup>2</sup>以上の場合は、取り除き、舗装を個別に構築した後に特別な材料で置き換える。各警告段階は以下のように分けられている。

- 低：わだち掘れ深さが6 mm以内。ポンピングが起きていない状態。
- 中：わだち掘れ深さが6 mm以上, 12mm以下である。ポンピングが起きていない状態。
- 高：わだち掘れ深さが12mm以上。あるいはその間でパッチングが他の異なるパッチングが加えられている箇所。ポンピングの発生の可能性がある。

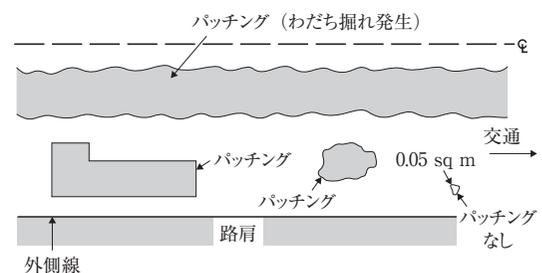


図-7 パッチング劣化概略図

測定方法としては、各警告段階において、パッチングの数や面積を記録する。パッチングの境界部の破損は、パッチングに分類される。わだち掘れがパッチングの周囲や内部に発生する場合もある。



写真-11 「中」パッチング劣化の一例



写真-12 「高」パッチング劣化の一例

測定方法としては、ポットホールの数および各警告段階に相当する面積を記録する。ポットホールの深さは舗装表面に現れている最大深さである。また、ポットホールが疲労ひび割れの発生エリア内で発生する場合は、疲労破壊のエリアはポットホールとして判断する。



写真-13 「中」ポットホールの一例



写真-14 「高」ポットホールの一例

### 2.3 ポットホール

球形のポットホールは様々な大きさがある。最小の寸法は直径150mmとする。各警告段階は以下のように分けられている。

低：深さ25mm以下

中：深さ25mm以上、50mm以下

高：深さ50mm以上

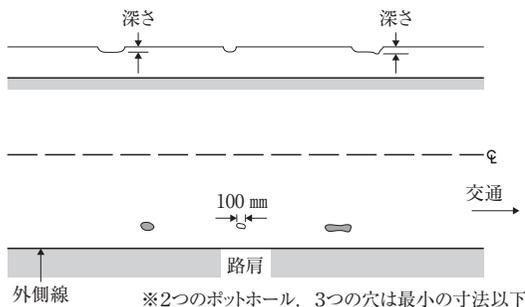


図-8 ポットホール概略図

### 2.4 わだち掘れ

わだち掘れは車両通行の縦断方向に発生する。

警告段階の適用はできない。警告段階分けよりもより正確で再現性がよいことから、測定を実施して記録することが望まれる。

測定方法としては、最大わだち掘れ量をmm単位まで

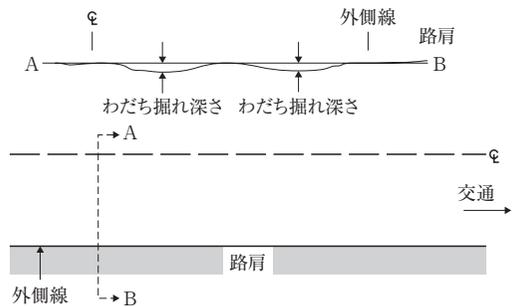


図-9 わだち掘れ概略図

記録する。車両通行部を15.25m間隔で、端部の1.2m垂直方向から測定する。



写真-15 わだち掘れの一例



写真-16 わだち掘れに滞水している一例

## 2.5 コルゲーション (Shoving)

コルゲーションは舗装の縦断方向に特定のエリアで舗装表面に発生する。一般的に乗り物のブレーキや加速によって発生し、通常は丘やカーブ、あるいは交差点で発生する。これもまた、垂直方向の変形を思い浮かべるかもしれない。

警告段階の適用はできない。しかし、乗り心地におけるコルゲーションの影響を反映することによって、段階は定義することが可能である。測定方法としては、発生数や面積の記録を行う。

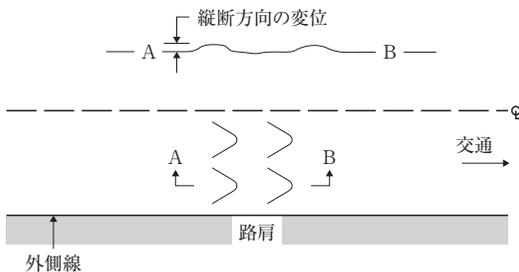


図-10 コルゲーション概略図



写真-17 コルゲーションの一例

## 2.6 プリージング

プリージングは、通常は車両の通過位置で発生する。通過位置の表面は相対的に舗装の他の部分から変色したり、浮き上がったアスファルトによって表面のきめ粗さが損失したり、浮き上がったアスファルトの光り具合によって骨材が暗く見えたり、相対的に表面が鈍のような感触になる場合がある。

警告段階の適用はできない。プリージングの発生は、混合物の潜在的な性状の問題に起因する。

測定方法としては、面積や範囲を記録する。



写真-18 プリージングの一例



写真-19 プリージングの一例

## 2.7 骨材のすりみがき

ポリッシング（骨材のすりみがき）は、表面のバインダがなくなり、粗骨材がさらけ出された状態を言う。警告段階の適用はできない。しかし、ポリッシングは表面の摩擦の減少に相関がある可能性がある。

測定方法としては、面積や範囲を記録する。

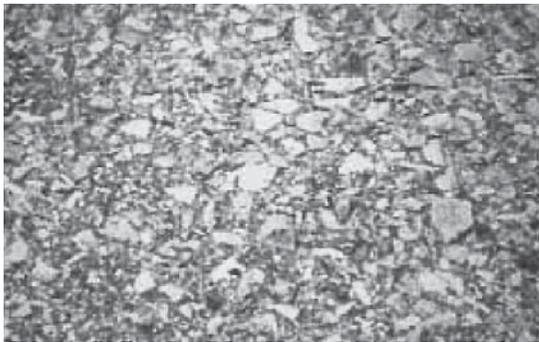


写真-20 骨材のすりみがきの一例

## 2.8 ラベリング

舗装表面の剥がれは骨材の飛散やアスファルトモルタルのはく脱によって起こる。ラベリングの範囲としては、細骨材の飛散から粗骨材の飛散までである。最終

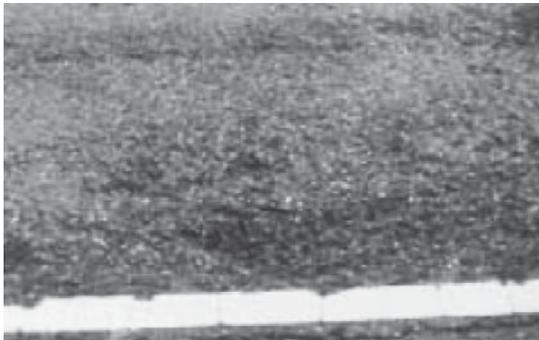


写真-21 ラベリングの一例

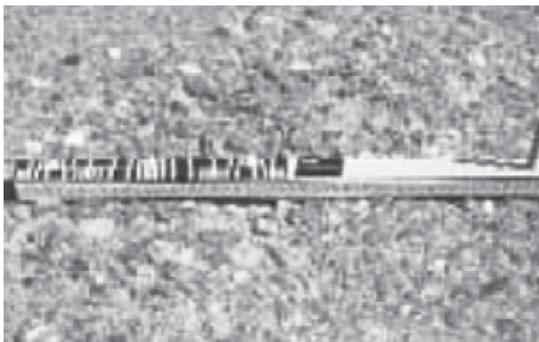


写真-22 ラベリングの一例

的には表面を著しく粗くしたり、小孔を発生させる。

警告段階は適用はできない。測定方法は発生面積を記録する。

## 2.9 レーンから路肩での陥没

走行車線の表面と外側の路肩で評価が異なる。主に車道部と路肩で異なる舗装材料を用いた場合に起きる。

警告段階は適用できない。破損の程度は測定を行った条件によって定義できる。しかし、それを決めるには多くの繰り返し測定が必要なため、より多くの測定記録が必要である。LTPPには測定方法がない。



写真-23 路肩陥没の一例

## 2.10 水のブリージングとポンピング

水のしみ出しや噴出が舗装下部からひび割れを通して発生する。幾つかの場合は、支持層や表面の破損部から吸い上げられた細粒分の残分が舗装表面に蓄積される。

ブリージングやポンピングの変化量は湿度により変化するので警告段階は設定できない。

測定方法としては、ブリージングやポンピングの件数を記録し、最小長さを1 mとして影響を受けた長さを測定する。ブリージングとポンピングを合わせた長さは試験区域の長さを超えないものとする。



写真-24 ブリージングの一例



写真-25 ポンピングの一例

### 3. アスファルト舗装のクラックシーリングとひび割れ充填材料および補修方法マニュアル

舗装におけるシーリングとひび割れ補修は、一般的な維持補修作業である。水や非圧縮性の物質の進入を防ぐため、また、隣接の舗装を補強するために特別の材料をひび割れの中あるいは上に用いる。現在のひび割れ処理の設計、施工について、SHRPとFHWAはひび割れ処理の有効性の調査を進めてきた。ひび割れ処理のモニタリングと評価はLTPPのもとで行われた。このマニュアル（FHWA-RD-99-147）は、クラック処理のタイミングやクラック処理方法および費用対効果等について示している。

#### 3.1 ひび割れ処理プログラムの段階および維持修繕方法の決定

図-11にひび割れ処理プログラムの段階を示す。8段階あり、これらに従いひび割れ補修を行う。

ひび割れ箇所の補修方法は表-3に示す維持修繕方法決定のガイドラインに従い決定する。

表-3 維持修繕方法決定ガイドライン

ひび割れ密度	平均のエッジ損傷レベル（ひび割れ長%）		
	少（0～25）	普通（26～50）	多（51～100）
少	処置なし	処置なしかひび割れ処理	ひび割れ修繕
普通	ひび割れ処理	ひび割れ処理	ひび割れ修繕
多	表面処理	表面処理	修繕

ここで、ひび割れ処理とひび割れ修繕の違いは、前者はシーリングや充填により直接ひび割れの処理をすることであり、後者は損傷が激しいひび割れをパッチングで修繕することである。

写真-26は表面処理を行うべき破損状況を示し、写真-27は横断ひび割れをシーリングするべきである破

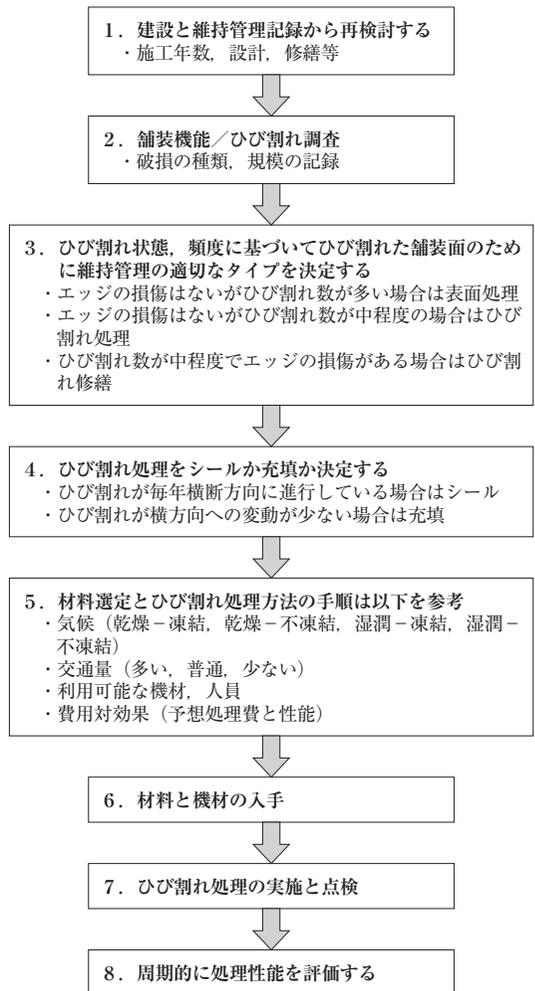


図-11 ひび割れ処理プログラムの段階

損状況を写真-28はひび割れ修繕を行うべき破損状況、写真-29は縦断ひび割れ箇所を充填すべき破損状況を示している。



写真-26 表面処理候補箇所



写真-27 横断ひび割れシーリング候補箇所



写真-28 ひび割れ修繕候補箇所



写真-29 縦断ひび割れ充填候補箇所

て比較的小さな動きしか生じないひび割れ。一般的に3mm未満の動き)中に一般的な処理材料を充填することである。

ひび割れシーリングは予防的維持管理手法であり、理想的には、春や秋のように適度な寒さ(7~18℃)の時に行うのが望ましい。新しく発生したひび割れはシールされることによって、エッジの損傷部分(二次ひび割れ、はがれ)を最小限に抑えることができる。一般的にアスファルト舗装では横断方向にサーマルクラックが施工後2~7年後に発生するのに対して、コンクリート版上へのアスファルトオーバーレイでは、横断方向にリフレクションクラックが1~3年後に発生する。

表-4はシーリングまたは充填処理するかの判断基準を示している。シーリング材、充填材料は、現在、様々な特性を持ったひび割れ処理材料が市場にでている。

それらの配合と製造プロセスによれば、ひび割れ補修材料は3系統に分類される。常温型熱可塑性瀝青材料としてアスファルト乳剤系のリキッドアスファルトとポリマー改質アスファルト乳剤があり、加熱型熱可

### 3.2 シーリングと充填の目的および選択

ひび割れシーリングは特別な処理材料を水や非圧縮性の物質の進入を防ぐため、動きのあるひび割れ(Working cracks: 温度変化や交通荷重によって動くひび割れ。一般的に3mm以上の動き)中または上に配置することであり、ひび割れ充填は水の進入を防ぐことおよび隣接した舗装の補強のために動きのないひび割れ(Non-working cracks: 温度変化や交通荷重によ

表-4 シーリング、充填の判断基準

クラックの特徴	クラック処理方法	
	ひび割れシーリング	ひび割れ注入
幅, mm	5~19	5~25
エッジの損傷	最小	中程度
(例えばスポール*のような二次ひび割れ)	ひび割れ長の25%以下	ひび割れ長の50%以下
年間水平移動, mm	3mm以上	3mm以下
ひび割れタイプ	横断サーマルクラック	縦断リフレクションクラック
	横断リフレクションクラック	縦断コールドジョイントクラック
	縦断リフレクションクラック	縦断エッジクラック
	縦断コールドジョイントクラック	等間隔のブロッククラック

\*スポール: 初期ひび割れに沿って生じるアスコンのはがれ

塑性瀝青材料としてアスファルトセメント，繊維補強アスファルト，アスファルトラバー，弾力性アスファルトおよびローモデュラスアスファルトがある。熱硬化性材料としてセルフレベリングシリコンがある。

これらの材料の種類を表-5に示す。また，材料の特性をまとめたものを表-6に示す。

### 3.3 ひび割れシーリング，充填の処理方法

シーリングと充填の処理方法を図-12に示す。図中のAはフラッシュフィル型という処理方法で，単に材料をひび割れに流し込み，余分な材料をこそげ取るものである。

D, F, H, JおよびKは溝切り型という処理方法である。材料を充填しやすくするため，ひび割れ箇所を溝切りにしてその中に材料をあふれ気味かまたはわずかに舗装面より低くなるように流し込む方法である。

また，オーバーバンド型という処理方法があり，こ

れは溝切りしていないひび割れの中および上に材料を流し込み，あふれた材料をスキージ（写真-30参照）でバンド型に仕上げる方法で，単純バンドエード型となる。しごき込まずにそのままにしたものが，図中のCのキャップド型となる。



写真-30 U型に仕上げるスキージ

表-5 ひび割れ補修材料の種類

材料種類	仕様	好ましい適用	費用範囲 \$/kg
①アスファルト乳剤	ASTM D 977, AASHTO M 140 ASTM D 2397, AASHTO M 208	充填	0.15～0.30
②アスファルトセメント	ASTM D 3381, AASHTO M 20 AASHTO M 226	充填	0.15～0.30
③繊維補強アスファルト	製造メーカー仕様	充填	0.35～0.60
④ポリマー改質アスファルト	ASTM D 977, AASHTO M 140 ASTM D 2397, AASHTO M 208	充填 (シールも可能)	0.80～1.20
⑤アスファルトラバー	ステート仕様, ASTM D 5078	シール (充填も可能)	0.45～0.65
⑥弾力性アスファルト	ASTM D 1190, AASHTO M 173 Fed SS-S-164	シール	0.55～0.85
	ASTM D 3405, AASHTO M 301 Fed SS-S-1401	シール	0.65～1.10
⑦ローモデュラス弾力性アスファルト	ステート修正, ASTM D 3405仕様	シール	0.75～1.40
⑧セルフレベリングシリコン	ASTM D 5893	シール	5.75～6.75

表-6 材料種類と特性

特性	材料種類 (表-3, 4に対応)							
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
応急処置 (短期)	可			可				良
早くて簡単	可	良	良	可	良	良	良	
短期養生		良	良		良	良	良	可
接着性	良	良	可	可	可	可	可	可
密実性					可	可	可	良
軟化抵抗性 (フロー)				可	可	可	良	良
たわみ性				可	可	可	良	良
弾力性				可	可	可	可	良
老化/風化抵抗性						可	可	良
磨耗抵抗性					可	良	可	

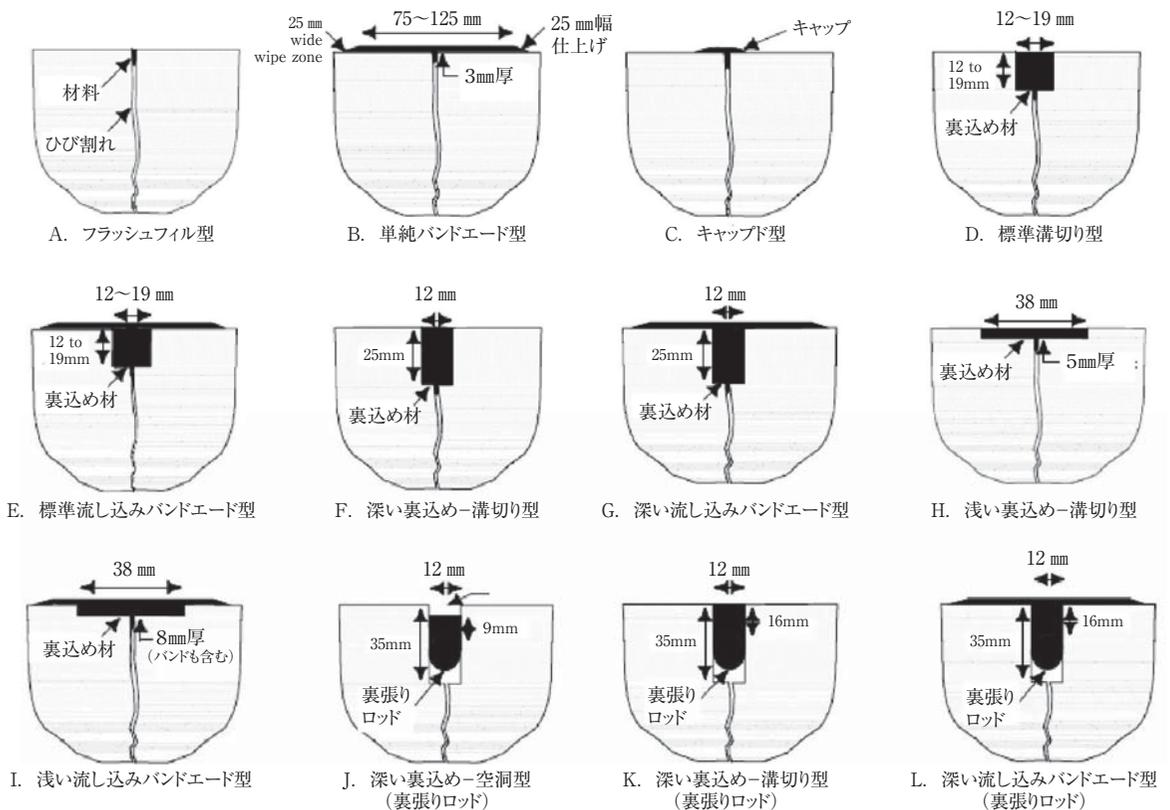


図-12 各種処理方法

材料投入方法はひび割れの中に直接材料を入れる場合とひび割れを溝切りし、3側面の接着を防ぐよう、材料投入の前に溝の底に接着防止の裏込め材をおく場合がある。溝のタイプとしては溝切りしない場合とラウターあるいはソーで均一な溝を形成するタイプがある。しごき取り、あるいは仕上げの方法はくぼませる、あふれさせる、ふたをするおよびバンドエード式の4種類である。溝切りおよびオーバーハンドの寸法はほぼ全てのシーリングまたは充填作業はひび割れ溝に直接材料を流し込むが(図-12のA~I)、時にはポリウレタン製の裏込め棒のような接着防止材料がシールする前に動きのあるひび割れ溝の底に設置される(図-12のJ~L)。この裏込め棒はシーリング材が施工の際に、底面に流れ込むことを防ぐとともに、溝の周辺と3面で接着しないようにすることにより、シーリング材の供用性能が良くなる。

### 3.4 ひび割れ処理機械性能と特徴

表-7にひび割れ処理機械の特徴を示す。写真-31~35にひび割れ処理機械を使用した補修状況を示す。

表-7 ひび割れ処理機械の特徴

操 作	機械の種類	特 徴
クラック カッティング	垂直スピンドル ローター	鋭利なカーバイド(炭素補強) チップやダイヤモンドローラー ビットのみ仕様
	回転式インパクト ローター	鋭利なカーバイド(炭素補強) チップのみ仕様
	ランダム クラックソー	かなり真っ直ぐなひび割れに 使用
ひび割れ 清掃/乾燥	ブローア	プラスト速度(60 to 100 m/s)
	エア コンプレッサー	油分、水分フィルター装備 圧力最小600kPa 流量最小0.07 m <sup>3</sup> /s 速度最小990m/s
	ホットエアランス	速度最小990m/s 温度最小1,370℃ 舗装面に非接触 高性能 速度最小915m/s 温度最小1,650℃

### 3.5 ひび割れ処理箇所供用寿命

本論では、損傷などに関して、数多くの評価が行なわれた。これらの結果を踏まえて、図-13に示す図を活用して供用寿命を判定することができる。ここでは、ひび割れ補修後の補修箇所供用寿命が75%または50%



写真-31 ロータリーインパクトラウター



写真-32 ダイヤモンドブレードクラックスー



写真-33 圧縮空気によるブラスト



写真-34 加熱空気ランス



写真-35 サンドブラスト

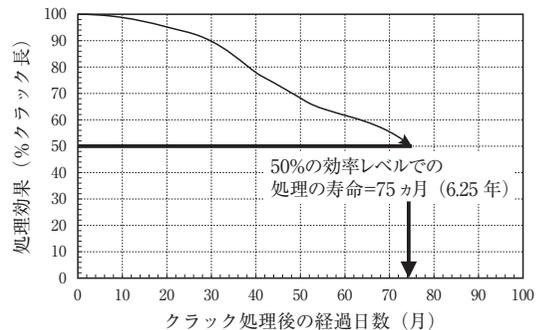


図-13 供用日数と処理効果の関係

の効率レベルになるまでの時間を供用寿命と定義する。

すなわち、処理後のひび割れ箇所の供用寿命は処理したひび割れ延長の25%が損傷した時点（健全部75%）で寿命として今後の処置を講ずる策を考えなければならない。ここで、効率レベルというのは単に破損レベルを100%から差し引いたものである。

すなわち、全体で25%が破損していれば75%の全体効率であるということになる。図-13を例にとれば、損傷が50%（破損レベル50%）の場合の効率レベルは100-50で50%であり、その時の供用年数は75ヶ月（6.25年）となる。このような関係図から再処理をするか否

かまたは将来の再処理の時期を推定するのに役立つ。

### 3.6 費用対効果

費用対効果は表-8に示す費用対効果算出シートで計算する。例えば横断ひび割れの処理に対して表-9に示すような2つの選択肢（オプション）があるとする。表中の処理方法の名称の後に示している記号は図-12に示した処理方法の記号に対応している。これらの各費用等を表-8で示したシートにそって費用を算出すると表-10となる。供用寿命が長くひび割れ1m処理する年平均コストはオプション2の方が低価格になるのでオプション2を選択することになる。

表-8 費用対効果算出シート

A. 材料の購入費および運賃	\$	/kg
B. 処理延長に対する使用量		kg/m
C. 人件費, 機械損料	\$	/日
D. 日当たり施工量		m/日
E. 道路利用者損失費	\$	/日
F. 施工単価 F=(A×B)+(C/D)+(E/D)	\$	/m
G. 金利, 利率		%
H. 推定サービスライフ		年
I. 年平均コスト G × (1 + G) H I=F × (1 + G) H - 1	\$	/m

表-9 各材料に関する費用等の条件

	オプション1	オプション2
使用材料	アスファルトラバー	ローモデュラスアスファルトラバー
密度(kg/m <sup>3</sup> )	1,140	1,070
処理方法	標準 バンドエイド型:E	浅い バンドエイド型:I
材料費:運賃(\$/kg)	1.43	1.9
日当たり施工量(m/日)	762	915
推定サービスライフ(年)	3	5
損失率(%)	15	
労務費(\$/日)	\$ 120/日 × 10人	
一般管理費(\$/日)	\$ 200	
機械費(\$/日)	\$ 500	
道路利用者損失費(\$/日)	\$ 2,000	

表-10 費用対効果の比較

	オプション1		オプション2	
A. 材料の購入費および運賃	\$	1.43 /kg	\$	1.9 /kg
B. 処理延長に対する使用量		0.62 kg/m		0.61 kg/m
C. 人件費, 機械損料	\$	1,900 /日	\$	1,900 /日
D. 日当たり施工量		762 m/日		915 m/日
E. 道路利用者損失費	\$	2,000 /日	\$	2,000 /日
F. 施工単価 F=(A×B)+(C/D)+(E/D)	\$	6.00 /m	\$	5.42 /m
G. 金利, 利率		5.0 %		5.0 %
H. 推定サービスライフ		3 年		5 年
I. 年平均コスト G × (1 + G) H I=F × (1 + G) H - 1	\$	2.2 /m	\$	1.25 /m

ポットホール補修は、通常、大きく分けて2つの期間に行われる。1つ目は、気温が低く既設路面は凍り春先の雪解けで凍結融解が繰り返されるような期間で、一般的に厳しい現場条件化での緊急補修である。2つ目は、凍結融解を受けない春のような場合で、暖かい乾燥した時期に定期的なメンテナンス作業として行われる。

また、ポットホール補修は、いかなる気候条件でも施工を行うことが可能であり気温38℃～-18℃まで行われる。一般的には、補修

材料と施工方法は気候条件や交通条件に左右されずほぼ同じである。

ただし、ポットホール補修は、簡易で緊急的な修繕であり永久的な修理ではない。図-15にポットホール補修の段階を示す。

#### 4.2 ポットホール補修の必要性

ポットホール補修の実施決定は次のような要因に影響を受ける。

- 交通量
- 予定された修繕工事までの時間
- 人・設備・材料の有用性
- 一般通行者からの苦情

ポットホール補修は、ポットホールが自動車の走行安全性および乗り心地を損なった場合に必要となる。

また、補修は、気象条件に関係なく自動車の走行安

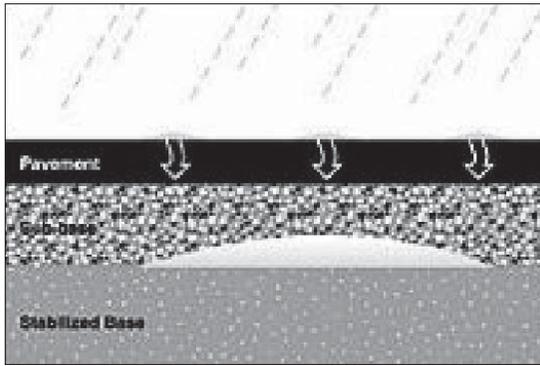
#### 4. アスファルト舗装のポットホール補修における材料および施工マニュアル

##### 4.1 ポットホール補修

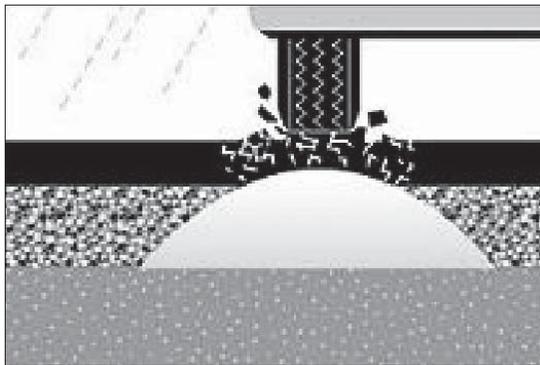
ポットホールは、表層アスファルト舗装の局所的な破損であり、その結果、路盤を破損する。これは、湿気、凍結融解作用、交通および不十分な日常の維持管理、あるいはこれらの要因のある組み合わせによって発生する。

これらの作用によって弱められた舗装の一部が、交通作用で舗装が部分的に破損して穴を残すものである。図-14は、ポットホール破損の一例である。

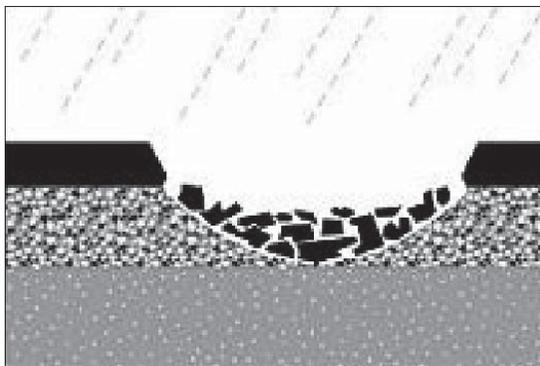
舗装の表層に最低6インチ(15.24cm)の幅で様々な寸法のボール形をしている穴をポットホールとして定義する。生活道路から高速道路まで広範囲の交通条件で発生し、一般的にパッチング補修が実施される。



降水・融雪・氷水は舗装で亀裂に浸透して、基層で溜まる。



極寒の気候の中で、集まっている水は凍って膨張する。そして、交通応力が舗装面にある場合も、上へ舗装を押し。



舗装の解氷時、水が広がることによってつくられた空間まで崩れる。繰り返しの交通でポットホールの縁を壊して、より大きくなる。

図-14 ポットホール破損の一例

全性や乗り心地を損なう場合にはパッチングを行うための決定に考慮する。特に、高速道路では、ポットホールの発生は危険を伴うので補修の必要がある。

#### 4.3 補修の立案と設計

ポットホールにパッチングを行う場合の主な要素は、材料選定と補修工法である。補修作業の費用対効果は、材料、労働者、機材の費用に大きく影響を受ける。

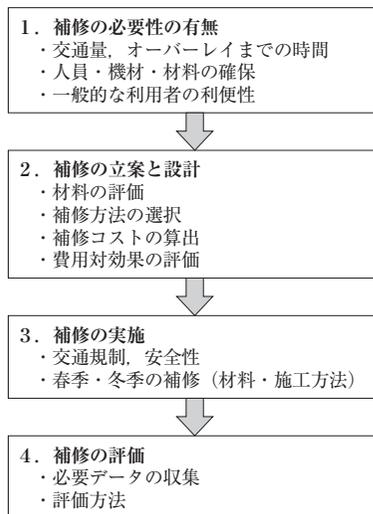


図-15 ポットホール補修の段階

アスファルト舗装のポットホール補修に使用される材料は、表-11に示すように3つのタイプの常温合材に分類される。

ポットホールの補修において、道路管理者の仕様に従って生産された常温合材を使用する場合、材料の品質には骨材とバインダの適合性試験を確認する。

また、すでに混合物となった常温合材を購入して使用する場合、材料を受け入れるための試験を行う必要がある。常温合材の品質確認方法としては、表-12の方法がある。

ここでは、表-12の試験項目の中で日本国内ではあまり紹介されていないと思われるものについて、以下に詳しく紹介する。

表-11 常温合材の分類

	特 徴	品質確認方法
常温合材 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アスファルトプラントで製造可能</li> <li>・一般的に入手可能な骨材とバインダを使用</li> <li>・耐久性より生産性に重点をおく</li> </ul>	-
常温合材 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>・仕様に定められた常温合材</li> <li>・骨材とバインダは基準がある</li> <li>・使用前に適合性テストを行う</li> </ul>	バインダーと骨材の適合性試験 ・付着度 (適合性) 試験 ・はく離試験 ・ダレ試験
常温合材 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>・特殊バインダを使用する</li> <li>・配合設計および骨材、混合物の品質管理が行われる</li> <li>・袋や缶に詰められて、貯蔵可能である</li> </ul>	受入試験 ・作業性試験 ・粘着性試験

表-12 常温合材の品質確認試験

品質確認	試験項目	内容
適合性試験	付着度(混合性)試験	骨材とバインダを混合して被膜90%以上の最低アスファルト量を求める
	はく離試験	混合物を60℃で16~18時間水浸後に、振動させてはく離率を測定する
	ダレ試験	混合物を皿の上に60℃で24時間入れ、4%未満で最大のアスファルト量を求める
受入試験	作業性試験	貫入計を使用して、4℃での混合物の作業性を評価する。貫入計の値3以下が合格、4以上は不合格
	粘着性試験	粘着性試験機を使用して混合物の粘着性を評価する。60%以上残存すると合格

#### 4.4 ポットホール補修材料の評価試験

##### (1) 適合性試験

常温合材の製造は、バインダと骨材を混合する場合に以下の評価基準がある。

- ①様々な気候条件で貯蔵された場合でも骨材をよく被膜してはがれない。
- ②貯蔵後も良好な作業性を有する。ただし、貯蔵箇所が屋外の場合は、アスファルトが硬くなるのに従い、作業性は低下すると予想される。しかし、骨材表面のバインダは、施工のとき表面の膜を破ると、再び使用可能なように内側のバインダが硬くなるのを防ぐ。
- ③施工箇所に残存する必要がある。

このようにバインダと骨材の組み合わせが適しているかを評価するために、付着試験、はく離試験、ダレ試験がある。この中で、はく離試験方法について詳しく述べる。

##### ・はく離試験

- ①約1,100gの骨材サンプルを5個準備する。サンプルを60℃に加熱する。
- ②付着試験で得られた最小値から始めて、表-13のIとGの欄に骨材とアスファルトの正確な質量を記録する。残りのサンプルは0.5%づつバインダ量を増加させる。
- ③それぞれのサンプルが90%以上被膜されているかを確

認する。

- ④混合物をおよそ取り除いて室温に冷やしてから、混合物を約100gサンプリングする。ダレ試験のために各サンプルからの残りの1,000gは別にする。
  - ⑤混合物100gを1Lの蒸留水で満たされる瓶に入れる。16~18時間60℃のオープンへ瓶を入れる。
  - ⑥加熱後に約5秒間、瓶を振動させる。次に、水で洗い流し混合物を吸い取り紙の上に広げる。
  - ⑦はく離試験を行った混合物の被膜を測定する。
- 表-13のKとLの欄に被膜された骨材の割合を記録する。被膜が90%以上である最小のアスファルト量を記録し、試験を実施する技術者は、被膜率が許容範囲内であるか判断する。

以上の試験を行うことで、最適なアスファルト量は、付着試験とはく離試験により算出された値は下限値、ダレ試験によって上限値が求められる。

これらの試験手順は、最適なアスファルト量のおよその考え方を示している。付着、はく離およびダレ試験に関しては、現場で供用性が不十分なバインダと骨材の組み合わせを特定する意図がある。

しかしながら、それぞれの試験の位置づけは、材料が実際の現場の補修で満足な供用性を確保できるかは保証出来ない。

##### (2) 受入試験

常温合材を受け入れる機関は、混合物の試験表で購入する材料を確認し、試験により現場で材料が十分な供用性があるかを確認する必要がある。受入のために

表-13 はく離試験データシート

乳剤の蒸発残留分： \_\_\_\_\_ (R)

付着度試験での最低アスファルト量 \_\_\_\_\_ (F)

(G) 骨材の質量 (g)	(H) 設計乳剤量 (g)	(I) 実測乳剤 (g)	(J) アスファルト含有量 (%) (I/G) × 100 × R	被覆率	
				(K) 初期	(L) 最終
	$G \times [F / (100 \times R)]$				
	$G \times [(F + 0.5) / (100 \times R)]$				
	$G \times [(F + 1.0) / (100 \times R)]$				
	$G \times [(F + 1.5) / (100 \times R)]$				
	$G \times [(F + 2.0) / (100 \times R)]$				
	$G \times [(F + 2.5) / (100 \times R)]$				
	$G \times [(F + 3.0) / (100 \times R)]$				

はく離試験の最低アスファルト量： \_\_\_\_\_ (M)

は、常温混合物の重要な2つの性状を示す作業性と粘着性試験がある。これらの試験は、材料の耐久性の評価ではなく、むしろそれらは受け入れた常温混合物の中に不十分なものがないかを確認する。

以下に、作業性試験方法について詳しく述べる。

・作業性

この試験は、図-16に示すように作業性ボックス、簡易式ペネトロメータ（一般的に土質試験用）、ペネトロメータアダプタが必要である。

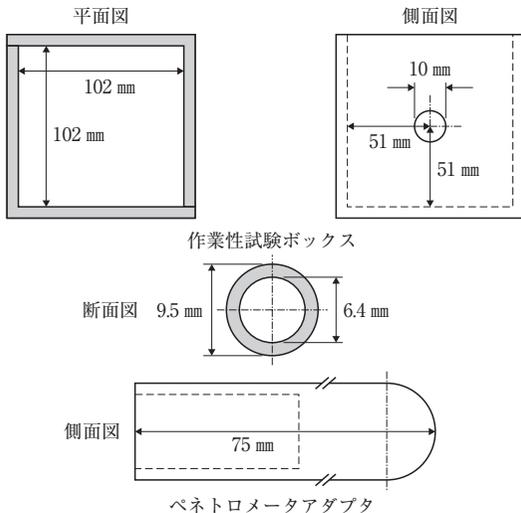


図-16 作業性試験装置

表-14 試験装置の仕様

装置	仕様
作業性ボックス	一辺102mm正方形、側面に10mmの1つの穴
ペネトロメータ	TYLe Sontest CL 700-A型、0~53t/㎡(目盛りが6.4mmの直径まで)
ペネトロメータアダプタ	直径を9.5mmまで増加させる

- ①約2500gの混合物を3個のサンプルとして用意し、4℃に冷やす。
- ②冷却した混合物を作業性ボックスの中に置く。材料を箱に詰め込まないで、緩く混合物を箱に入れる。
- ③ボックスの側面の穴にアダプタ付きペネトロメータを通す。作業性の計測値として最大の抵抗を記録する。
- ④すべての3個のサンプルのためにステップ②と③を繰り返す。すべてのサンプルのための平均したworkability測定について計算する。

平均したペネトロメータの値は3~4の間であると考えられる。4より大きい値は作業性が悪いとされる。3以下が作業性を満足する最低値であると推定される。

4.5 ポットホール補修材料の種類

ポットホール補修に使用される3種類の常温合材において、アメリカで使用されている主な製品の特徴の一例を紹介する。

(1) Local Materials (常温合材1)

Local Materialは、常温合材1に分類されて現地発生材料を使用して製造され、ポットホール修理作業を日常メンテナンスする道路管理者によって施工されるものである。これらの材料は、丸く、表乾状態骨材と非常に粘度の低いバインダで混合された安価な常温合材である。

しかしながら、場合によっては地方の道路管理者は、安価材料よりもむしろ高品質で、特殊な常温合材を使用する。この常温合材の費用は、約16\$/tから約100\$/tまでである。

(2) PennDOT485・PennDOT486 (常温合材2)

PennDOT485・PennDOT486は、常温合材2に分類され、アメリカのペンシルバニア運輸省のアスファルトプラントによって製造されるものである。これらは、仕様を十分に満足するアスファルトバインダと添加剤および鋭角で硬質な骨材を使用している。また、再生骨材に付着している残アスファルトの割合の指標に応じて、骨材との組み合わせのための等級分けがされている。

さらに、実際に混合された材料の受入試験が、追加要件として指定されている。この常温合材の材料費は約35\$/tである。

また、PennDOT486は、PennDOT485と同じ方法で製造される。PennDOT485との主な違いは、ポリプロピレンかポリエステル系繊維の添加である。この常温合材の材料費は約40\$/tである。

(3) UPM High-Performannce Cold Mix, Perma-Patch, QPR2000 (常温合材3)

UPM High-Performannce Cold Mix, Perma-Patch, QPR2000は常温合材3に分類される。この合材は、指定された特殊なバインダと骨材を使用する。製造には通常のアスファルトプラントが使用可能である。

プラントの骨材を使用する場合は、現地発生材料の仕様を決定するために、試験混合を行い品質が満足しているか確認する必要がある。この常温合材の材料費

は約75 \$ /tである。また、QPR2000は2つのグレードがある。温暖な気候用と低温期用である。

(4) その他 (スプレーインジェクション)

スプレーインジェクションは、材料に砕砂とアスファルト乳剤使用する。この2つの材料は、パッチングするときにスプレーインジェクション装置によって混合される。骨材は、一般に9.5mmトップの単粒骨材で、乳剤は、装置のタンク中で約60℃まで加熱される。

この費用は、装置の寿命をもとに計算されるか、または施工業者によって指定された単価によって決まる。平均的なトラックおよびトレヤユニットの価格は3万5,000 \$で、単一の車台ユニットが最大10万 \$である。スプレーインジェクション作業のための1日あたりの費用は約700 \$ ~1000 \$である。

4.6 施工方法

代表的な施工方法を表-15に示す。

表-15 施工方法

施工方法	特徴	労務+ 機器費用
スローアンドゴー	ポットホールに材料を投げ込むのみ	
スローアンドロール	材料をポットホールに入れ(水、埃は気にせず)、トラックのタイヤで4~8回転	445 \$ /day
スプレーインジェクション	水や埃を除去し、アスファルトと骨材をポットホールに散布して、表面に砂を散布	975 \$ /day
半永久型	水や埃を除去し、周縁部を直角にカッティング、常温混合物を入れてローラまたは振動コンパクターで転圧	800 \$ /day
エッジシール	投げ込みとトラック転圧後、アスファルト乳剤によるタックコートと砂で周縁部をシール	

(1) スローアンドゴー

スローアンドゴーは、ポットホール補修に一般的に利用される施工方法で、材料をポットホールに投げ込み、転圧は交通荷重に任せて直ぐに次の箇所へ移動する。

(2) スローアンドロール

スローアンドゴーとの違いは転圧を行う点である。

- 手順① 材料の配置 (ポットホールに水やゴミがあっても構わない)
- 手順② 転圧 (トラック用タイヤを使用して転圧する)
- 手順③ 余盛りの確認 (舗装表面から3~6mm程度の凸面になっていること)
- 手順④ 移動 (次のポットホールへ移動)
- 手順⑤ 交通開放 (規制内から撤去完了後)



写真-36 材料の配置



写真-37 パッチングの転圧

(3) 半永久型

半永久的な補修工法は、ポットホールの補修に最も良い方法の1つと考えられるが、作業コストが高く、他の工法より生産性が低い。

- 手順① 清掃 (ポットホールから水とゴミを除去)
- 手順② 側面処理 (ポットホールのエッジを垂直にする)
- 手順③ 材料の配置



写真-38 舗装をカッターで側面処理



写真-39 コールドミルマシーンで側面処理



写真-40 振動プレートコンパクタ

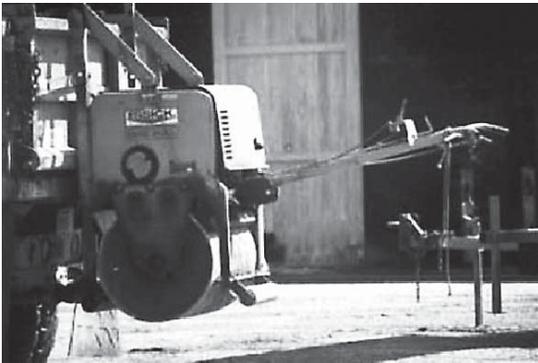


写真-41 単一ドラム振動ローラ

手順④ 転圧（パッチング範囲より小さな装置を用いる）

手順⑤ 交通開放（規制内から撤去完了後）

#### (4) スプレーインジェクション

この方法は、高価な機材を用いるが生産性が高く、材料費も抑えることができ、転圧を必要としない。

手順① 清掃（ポットホールから水とゴミを除去）

手順② スプレー（ポットホール側面と底面にタックコートのスプレーする）

手順③ 材料の配置（ポットホールにアスファルトと骨材を吹き付ける）

手順④ パッチングカバー（骨材の層でパッチングをカバーする）

手順⑤ 交通開放（規制内から撤去完了後）



写真-42 トラックとトレーラーユニット



写真-43 スプレーインジェクション装置

#### (5) エッジシール

パッチングのエッジに水が浸透するのを防ぎ、周囲の舗装と接着させることができるが、生産性が低い。

手順① 材料の配置（ポットホールに水やゴミがあっても構わない）

手順② 転圧（トラック用タイヤを使用して転圧する）

手順③ 余盛りの確認（舗装表面から3～6mm程度の凸面になっていること）

手順④ 移動（次のポットホールへ移動）

手順⑤ エッジ処理（養生後、パッチングと舗装表面の境目にアスファルト質のタック材料の帯を置く）

手順⑥ わだち防止（タック材料上の砂の層は車両によるわだちを防ぐ）

手順⑦ 交通開放（規制内から撤去完了後）

#### 4.7 施工上の留意事項

ポットホール補修は、補修の耐久性を高めるために冬場と春先での施工準備や施工方法に注意が必要である。

##### (1) 冬季の補修

一般的に、積雪寒冷地での冬季施工は雪の溶融期間に行われる。冬季施工の目的は、できる限り迅速に自動車の走行安全と乗り心地を回復することである。

また、冬場に施工された材料は、春に施工されたものより耐久性が短いために以下に示すような点に留意して施工し、耐久性を伸ばす必要がある。

##### ① 材料

冬季の補修は、水がポットホールにある場合が多いために骨材には品質の良いものを使用し、バインダにははく離防止剤が添加されていることが必要不可欠である。

また、混合物の作業性は、低温下でも取り扱いやすく締固めやすいことが重要である。

##### ② 施工方法の選択

通常、冬季の現場条件でパッチングする場合は、半永久型の補修を実施するだけの時間的な余裕はない。

冬季は、高耐久な材料を使用してスローアンドロールで補修すると費用対効果に優れている。そこで注意すべき点は、高耐久な材料を使用してトラック等で十分に転圧してから交通開放することである。しかし、転圧が不十分な場合は早期の破損の原因となる。

##### (2) 春季の補修

春季の施工は、凍結融解作用が無く、気候条件が良かったため、冬季に施工されたものより耐久性が長いことが推測される。現場施工の調査結果からも2～4週間もつことが確認されている。

春季施工の目的は、パッチング箇所が周囲の舗装と同程度に耐久性があることである。これにより、施工回数、機材、材料を低減できるため、トータルコストを削減できる。

##### ① 材料

春季に使用される材料は、冬季のように高耐久なものだけでなく現場補修の経験や費用対効果の計算から最適なものを選択すべきである。また、春季は冬季に適用されるすべての材料を使用可能である。しかしながら、冬場を越えて貯蔵される材料は、幅広い温度範囲で施工されることを考慮しておく必要が

ある。例えば、非常に低温で使用可能な材料は、バインダが軟質で高温での使用が不可能な場合が多い。バインダにアスファルト乳剤を使用したものは、温度により急速な分解するため冬場の材料より分解の遅い配合でよいとされている。

##### ② 施工方法の選択

春季の補修は、スプレーインジェクション、スローアンドロール、半永久型またはエッジシールで行われる。基準となるのは、費用対効果および機材や労働者の手配である。半永久型やエッジシールは、いくつかの例外を除いて費用対効果の面から非現実的である。

また、スローアンドロールは最適な手法である。最近の研究結果から、高品質な材料を適用した場合は、耐久性が優れているという報告がある。

#### 4.8 耐久性の比較

施工方法は、補修の耐久性に大きく影響を与えていると言われている。そこで、各種の補修材料と補修方法との組み合わせのどれが最も経済性のよいかを明らかにするために、現場試験が行われた。この試験は1991年3月から1992年2月までにアメリカからカナダにかけての8つの試験区間で1,250カ所のポットホールパッチングが行われた。気候条件は、湿潤-凍結、乾燥-凍結、湿潤-不凍結、乾燥-不凍結地域の4種類であった。

その後、供用性の観察が1993年3月まではSHRPで、それ以降はLTPPに引き継がれ、最終調査は1995年の11月に行われた。その現場を調査した結果が図-17である。スローアンドロールや他の施工方法に比べて、スプレーインジェクション、エッジシール、半永久型は、耐久性が長いことが現場のデータからも確認されている。

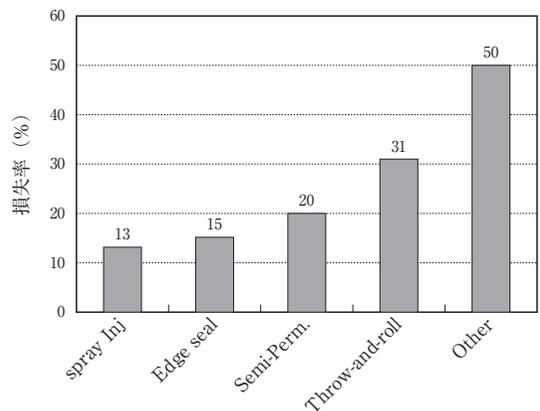


図-17 施工方法と損失率

また、材料と耐久性の関係は、図-18に示す通りLocal（常温合材1）より、選定され管理した骨材やバインダを使用した材料の方の耐久性がより長いことも示されている。

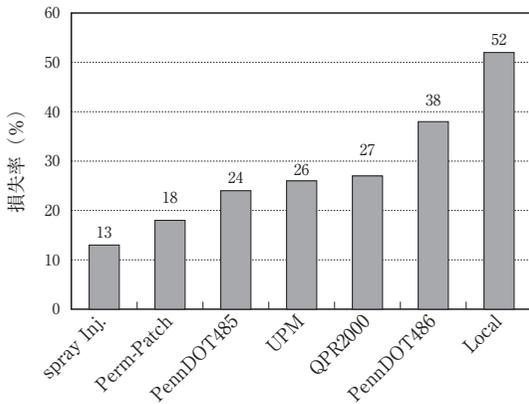


図-18 材料と損失率

#### 4.9 供用性評価・費用対効果

##### (1) 補修のコスト

ポットホール補修のコストは、主に表-16に示す材料・労働者・設備（機材）の3つである。その他、スプレーインジェクションは注入機が必要である。

表-16 補修のコスト

項目	内容	
材料	補修作業のコストに最も重要な要因の1つである。材料の性能が施工全体のコストに影響を与える。	
労働者	スローアンドロール、エッジシール	施工：2名（投入・転圧） 交通誘導員：1名
	半永久型	施工：4名 交通誘導員：1名
設備（機材）	シャベル、レーキ 材料および機材運搬トラック 転圧機械（プレート、ローラー等） コンプレッサー（路面清掃用） 切削機、カッター等 交通整理トラック、案内板	

##### (2) 費用対効果

ポットホール補修作業を評価するためには、図-19（次頁）のワークシートを使用して補修作業のコストを計算することができる。ワークシートを完成するための必要なデータは、道路管理者等からほとんど入手することが可能である。

ここで、もっとも推定するのが難しいのが「パッチングの残存率」であり、舗装の状態、材料の品質、気候の影響、作業員の能力および補修の出来栄がすべてこ

の値に影響を与える。

##### (3) 補修材料の供用性評価

補修材料の耐久性を評価は、道路管理者が最低1年以上は現場を監視する必要がある。定期的に補修の状況を監視することで表-17のような供用時のデータが収集される。

図-20は、3種類の補修材A、B、Cのパッチングの残存率を表した曲線である。3種類の材料は72週後の残存率は同じである。しかし、供用時のデータから材料Bは、最も残存率が高いのでA、Cに比較して最も寿命の長い補修材であると言える。

また、材料Bの残存率は表-18のワークシートおよび計算式を使用することにより算出することができる。

表-17 補修材の供用性データ

時間(週) (T <sub>T</sub> )	補修箇所 (R <sub>IP</sub> )	補修失敗 (R <sub>F</sub> )	オーバーレイにより失った補修 (R <sub>L</sub> )	残存率 (P <sub>SURV</sub> )
0 (Inst.)	30	0	0	100
4	26	2	0	93
10	26	2	2	93
16	24	3	3	89
30	20	7	3	74
40	19	8	3	70
52	15	10	5	60

$$P_{SURV} = \{R_{IP} / (R_F + R_{IP})\} \times 100$$

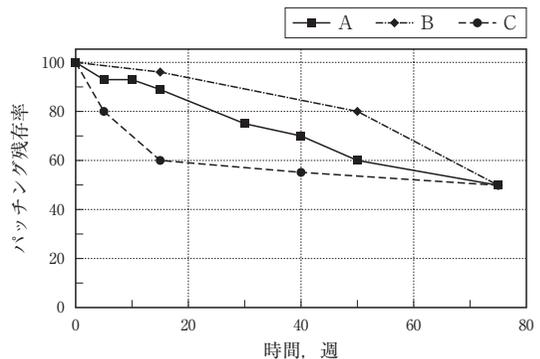


図-20 補修材の残存率曲線

#### 4.10 補修材の寿命の予測

標準的な補修材料の寿命の予測は、補修作業のコストの影響と表-19のワークシートを使用して計算される。寿命の予測には、補修材の供用期間を監視する必要がある。また、補修箇所がオーバーレイされた場合は計算されない。ワークシートで算出された補修材の標準的な寿命は、38.6週であった。

<b>材料費用</b>			
(A) 材料購入コスト	材料購入または生産する費用（運送費は除く）	_____	\$/metric ton
(B) 材料運搬コスト	生産場所から備蓄場所への運搬費用	_____	\$/metric ton
(C) 材料使用量	1年分のポットホール補修に必要とした材料総量	_____	metric tons
<b>人件費</b>			
(D) 作業員数	作業員の数、交通整理員の数含まない	_____	
(E) 1人当たりの賃金	作業員の費用	_____	\$/day
(F) 交通誘導員数	交通整理作業員の数、パッチング作業員が行う場合は0	_____	
(G) 1人当たりの賃金	交通誘導員の費用	_____	\$/day
(H) 監督者の日当	道路管理者や監督者費用	_____	\$/day
<b>機材経費</b>			
(I) 材料運搬トラック	現場までの材料運搬費用	_____	\$/day
(J) 交通整理トラック	交通誘導費用	_____	\$/day
(K) 準備機器	補修材料を施工準備のすべての機材スローアンドロールまたはスプレ	_____	\$/day
(L) 転圧機械	材料トラックの使用は0	_____	\$/day
(M) 特殊トラック	準備品、転圧機械を輸送するための費用	_____	\$/day
(N) 特殊機械	スプレー注入機等の特殊な機材費	_____	\$/day
<b>利用者費用</b>			
(O) 利用者遅れ費用	補修作業による道路利用者の遅延費用	_____	\$/day
(P) 総材料費	$[(A + B) \times C]$	_____	\$
(Q) 総人件費	$[(D \times E) + (F \times G) + H]$	_____	\$/day
(R) 総機材費	$[I + J + K + L + M + N]$	_____	\$/day
(S) 平均日施工量	1日にパッチング作業可能な量	_____	metric tons/day
(T) 1日施工能力	$[C + S]$	_____	day
(U) 全ての利用者、労働者、機材費用	$[(O + Q + R) \times T]$	_____	\$
(V) 全ての労働者、機材費用	$[(Q + R) \times T]$	_____	\$
(W) 利用者費用を含めた総パッチング費用	$(P + U)$	_____	\$
(X) 利用者費用を除いた総パッチング費用	$(P + V)$	_____	\$
(Y) 推定される残存率	パッチング材の耐久年数。値は数ヶ月	_____	months
(Z) 分析期間	費用対効果分析期間、一般に3年と5年	_____	months
(AA) 利用者費用を含めた費用対効果	$[W \times (Z + Y)]$	_____	\$
(BB) 利用者費用を除いた費用対効果	$[X \times (Z + Y)]$	_____	\$
(CC) 利用者費用を含めたポットホールの大きさあたりのコスト	$[AA \times (2.0 + C)]$	_____	\$/m <sup>2</sup>
(DD) 利用者費用を除いたポットホールの大きさあたりのコスト	$[BB \times (2.0 + C)]$	_____	\$/m <sup>2</sup>

図-19 費用算出ワークシート

表-18 補修材の残存率算出ワークシート

No.	時間 (週間) (T)	残存率 (Psurv)	平均 残存量 (Pavg)	時間 間隔 (Tt)	部分的な 領域 (Apart)	全領域 (Atot)
0	0	100				
1	4	93	96.5	4	386	400
2	10	93	93	6	558	600
3	16	89	91	6	546	600
4	30	74	81.5	14	1141	1400
5	40	70	72	10	720	1000
6	52	60	65	12	780	1200
7						
8						
9						
			合 計		4131	5200

Patch Survival Rate (Sapart) / (Satot) × 100 = **79.4**

$$Pavg = (Psurv(I) + Psurv(I + 1)) / 2$$

$$Tt = T(I + 1) - T(I)$$

$$Apart = Pavg \times Tt$$

$$Atot = Tt \times 100$$

表-19 寿命の予測

(A) 時 間 (週間)	(B) 現時点で の残存率 (Si)	(C) この時点で の損失率 (Fi)	(D) 新たな損失 (Fi-1-Fi)	(A × D)
0	30	0	2	0
4	28	2	0	0
10	26	2	1	10
16	24	3	4	64
30	20	7	1	30
40	19	8	2	80
52	15	10	15*	780
合 計			25	964

※最後の調査に残存した数 平均寿命 = (964/25) = 38.6 weeks  
調査期間 = 52 weeks

## 5. まとめ

アスファルト舗装表面の破損状況の分類については、破損の状況と警告段階を写真や図表を使って分かりやすく記述してある。これらは、現在、日本の舗装に置き換えても十分に適用可能である有用な情報が多く記載されているものである。

また、アスファルト舗装のクラックシーリングとひび割れ充填材料および補修方法とポットホール補修における材料および施工マニュアルは、設計・計画から材料、工法、手順および費用対効果・調査まで写真や表で詳しく紹介されている。

アスファルト舗装表面に用いる補修材の供用寿命を明らかにした研究結果を基に作成したものであり、より経済的な維持管理、道路作業者が交通の危険にさらされるのを少なくし、維持作業による交通渋滞の解消を可能にする一助になるものと考えられる。

## 6. おわりに

現在、我が国は、厳しい道路財政事情や既存の道路ストックが老朽化する傾向の中にあつて、アスファルト舗装の破損も増加すると予想される。

このような状況の中で、舗装の破損状態を正確に把握して、最適な補修（クラックシールやポットホール補修等）を行うことは、トータルコストの縮減および道路利用者の安全や快適性を守っていくために重要であると考えられる。

しかし、今回紹介した3つのような詳細なマニュアルは、まだ国内には無いようである。

よって、これらのマニュアルは、今後日本のアスファルト舗装の維持管理を実施していく上で、非常に参考になる資料であると思われる。

## — 参考文献 —

- 1) John S.Miller and William Y.Bellinger : DISTRESS IDENTIFICATION MANUAL (FHWA-RD-03-031) , 2003.6
- 2) K.L. Smith and A.R. Romine : Materials and Procedures for Sealing and Filling Cracks in Asphalt-Surfaced Pavements Manual of Practice (FHWA-RD-99-147)
- 3) T.P. Wilson and A.R. Romine : Materials and Procedures for Repair of Potholes in Asphalt-Surfaced Pavements Manual of Practice (FHWA-RD-99-168)
- 4) Thomas P. Wilson A. Russell Romine : Innovative Materials Development and Testing Volume 2 : Pothole Repair (SHRP-H-353) , 1993.10
- 5) Tom Kuennen : The Pothole Patching Playbook, the Better Roads Magazine, 2004.2

<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	項 目	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
19 年 度		242	4,974	( 91.5)	0	5,216	3,243	( 96.1)	71	3,243	224	3,467
20.	7 月	246	417	( 95.6)	0	663	194	( 89.9)	27	194	267	461
	8 月	267	403	( 87.4)	0	669	200	( 81.6)	20	200	275	475
	9 月	275	407	( 92.5)	0	682	278	( 97.5)	8	278	236	513
	7～9月	246	1,227	( 91.8)	0	1,472	671	( 90.1)	55	671	236	907
	10月	236	365	( 95.8)	9	610	207	( 70.0)	8	207	243	450
	11月	243	390	( 95.8)	7	641	229	( 74.7)	4	229	258	487
	12月	258	398	( 78.0)	4	660	216	( 67.2)	11	216	258	474
	10～12月	236	1,153	( 90.2)	20	1,408	651	( 70.6)	24	651	258	909
21.	1 月	258	407	( 98.5)	18	683	236	(112.2)	13	236	257	493
	2 月	257	404	( 89.5)	11	671	250	( 86.6)	4	250	262	512
	3 月	262	430	( 91.4)	9	701	300	( 77.3)	13	300	247	547
	1～3月	258	1,241	( 93.0)	38	1,536	786	( 88.6)	30	786	247	1,033
20 年 度		224	4,694	( 94.4)	58	4,976	2,735	( 84.3)	181	2,735	247	2,981
21.	4 月	247	324	( 85.6)	4	574	192	( 96.3)	25	192	264	456
	5 月	264	313	( 90.1)	7	584	182	( 92.7)	32	182	248	430
	6 月	248	311	( 89.3)	7	567	227	( 98.9)	25	227	197	424
	4～6月	247	948	( 88.3)	18	1,212	601	( 96.1)	82	601	197	798

2. 石油アスファルト内需実績(品種別明細)

(単位:千t)

年 度	項 目	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		
19 年 度		2,200	158	762	3,120	124	3,243	96.9	119.4	90.7	96.2	94.6	96.1
20.	7 月	109	12	63	185	9	194	85.0	140.3	90.3	89.2	109.2	89.9
	8 月	115	10	67	191	8	200	76.6	87.0	89.6	81.2	90.5	81.6
	9 月	183	12	70	266	12	278	97.2	96.9	97.4	97.2	104.9	97.5
	7～9月	407	35	200	642	30	671	87.2	104.9	92.4	89.6	101.6	90.1
	10月	132	10	56	198	9	207	64.9	64.5	84.7	69.5	83.9	70.0
	11月	153	11	56	220	9	229	71.5	61.8	89.0	74.6	76.4	74.7
	12月	143	9	57	210	6	216	63.9	62.7	81.6	67.8	51.9	71.1
	10～12月	428	30	169	627	24	651	66.7	62.9	85.0	70.6	70.2	70.6
21.	1 月	154	9	64	227	9	236	128.3	72.3	93.0	112.9	97.0	112.2
	2 月	183	12	47	243	7	250	94.1	71.5	70.6	87.1	73.3	86.6
	3 月	237	13	45	295	5	300	74.6	62.9	115.2	78.1	48.7	77.3
	1～3月	575	34	156	765	22	786	90.8	68.1	89.4	89.2	71.8	88.6
20 年 度		1,768	140	725	2,633	101	2,734	80.4	88.8	95.1	84.4	81.9	84.3
21.	4 月	143	9	30	183	9	192	128.3	86.6	44.4	95.5	115.1	96.3
	5 月	124	9	41	174	7	182	117.3	61.6	61.2	92.8	89.4	92.7
	6 月	174	6	36	217	10	227	124.0	44.2	56.3	98.9	99.5	98.9
	4～6月	442	25	108	575	26	601	123.4	62.0	53.7	95.9	101.0	96.1

[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)

一般社団法人 日本アスファルト協会会員

社 名	住 所	電 話
-----	-----	-----

(平成21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) 3138
コスモ石油株式会社	(105-8528) 港区芝浦1-1-1	03 (3798) 3112
三共油化工業株式会社	(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) 6455
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) 9134

[ディーラー]

● 東北

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3-4-33	03 (3587) 1500
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	(104-0032) 中央区八丁堀3-3-5	03 (3551) 8011
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) 豊島区巣鴨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
出光アスファルト株式会社	(169-0072) 新宿区大久保2-3-4	03 (5273) 1031

一般社団法人 日本アスファルト協会会員

社名	住所	電話
----	----	----

● 近畿・中国

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5-8-3	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	(760-0065) 高松市朝日町4-17-1	087 (811) 6231

編集顧問

多田宏行

編集委員

委員長：中村俊行	津崎英二郎	姫野賢治
安崎裕 鈴木秀夫	根本信行	峰岸順一
神谷恵三 住谷義治	野村健一郎	吉村啓之
栗谷川裕造 田井文夫	半野久光	
下田哲也 田中真志		

アスファルト 第225号

平成21年10月発行

一般社団法人 日本アスファルト協会

☎ 105-8528 東京都港区芝浦1-1-1

コスモ石油株式会社 広域販売部内

TEL 03-3798-3112

問い合わせ先

・出光興産株式会社 販売部

津崎 英二郎

TEL 03-3213-3138

・株式会社ジャパンエナジー 産業販売部

田中 真志

TEL 03-5573-6455

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.52 No.225 OCTOBER 2009

Published by **THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION**

一般社団法人 日本アスファルト協会 ホームページ <http://www.askyo.jp/>