

# 舗装における資源・環境問題、 延命・長寿命化への取り組み

大阪市立大学名誉教授 山田 優

## 今日の話の内容

### 「舗装における資源・環境問題、延命・長寿命化への取り組み」

1. 関西の砂資源問題への対応
2. アスファルトの供給不安への対応
3. 舗装工事での作業環境問題への対応
4. 維持保全時代への対応

# 1. 関西の砂資源問題への対応

## 近畿地方の骨材資源について

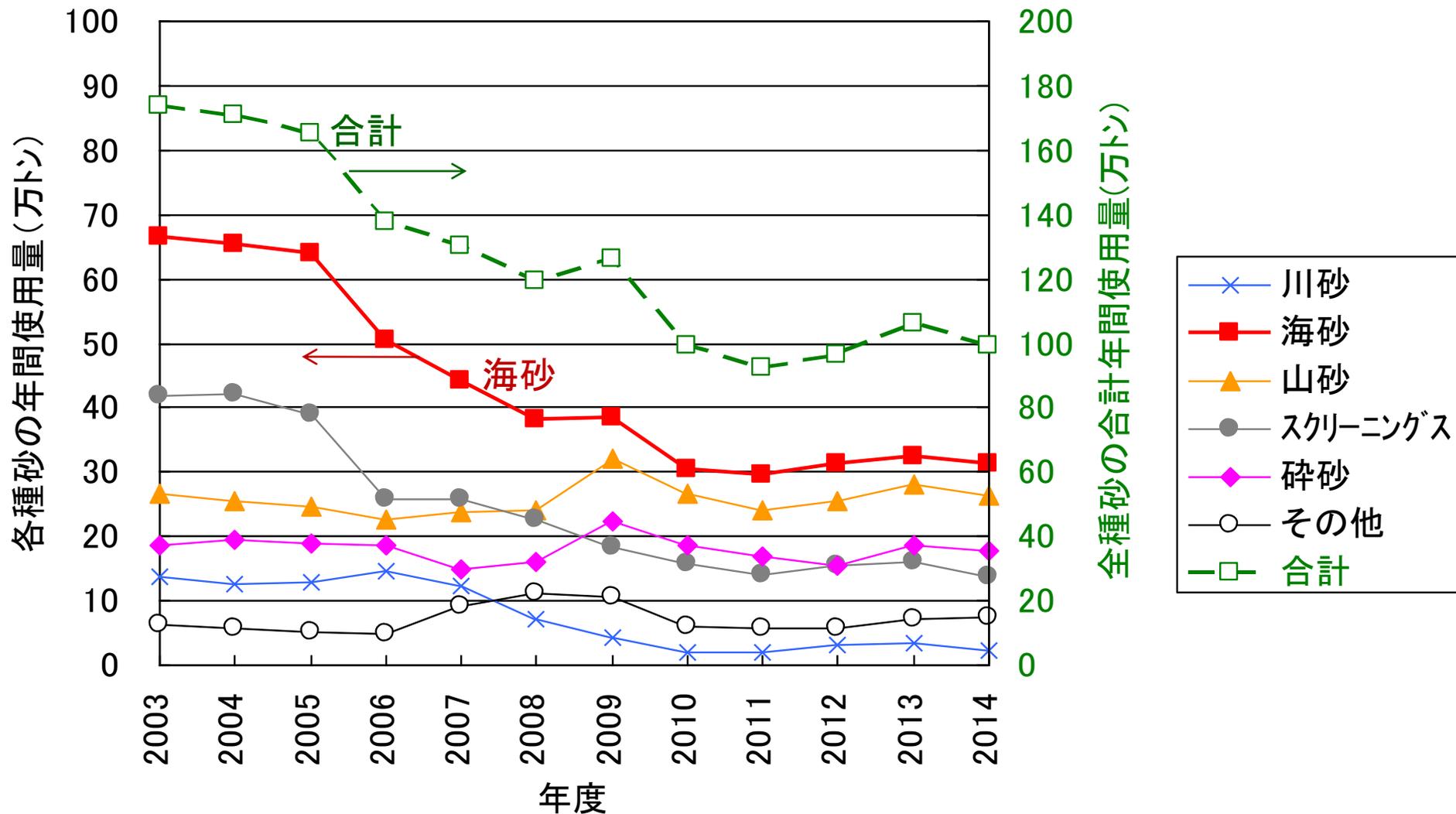
(産業技術総合研究所 地圏資源循環研究部門  
の2005年度 骨材資源調査報告書より)

**砂利資源**: 九頭竜川や近江盆地の河川などの中～下流部、京都府の城陽市周辺の丘陵地を除けば、極小規模な川砂利・陸砂利が点在するのみであり、**砂利資源に乏しい**。

**碎石資源**: 大局的には碎石資源は極めて豊富である。ただし、これらの多くは山間部にあり、必ずしも容易に利用できるというわけではない。

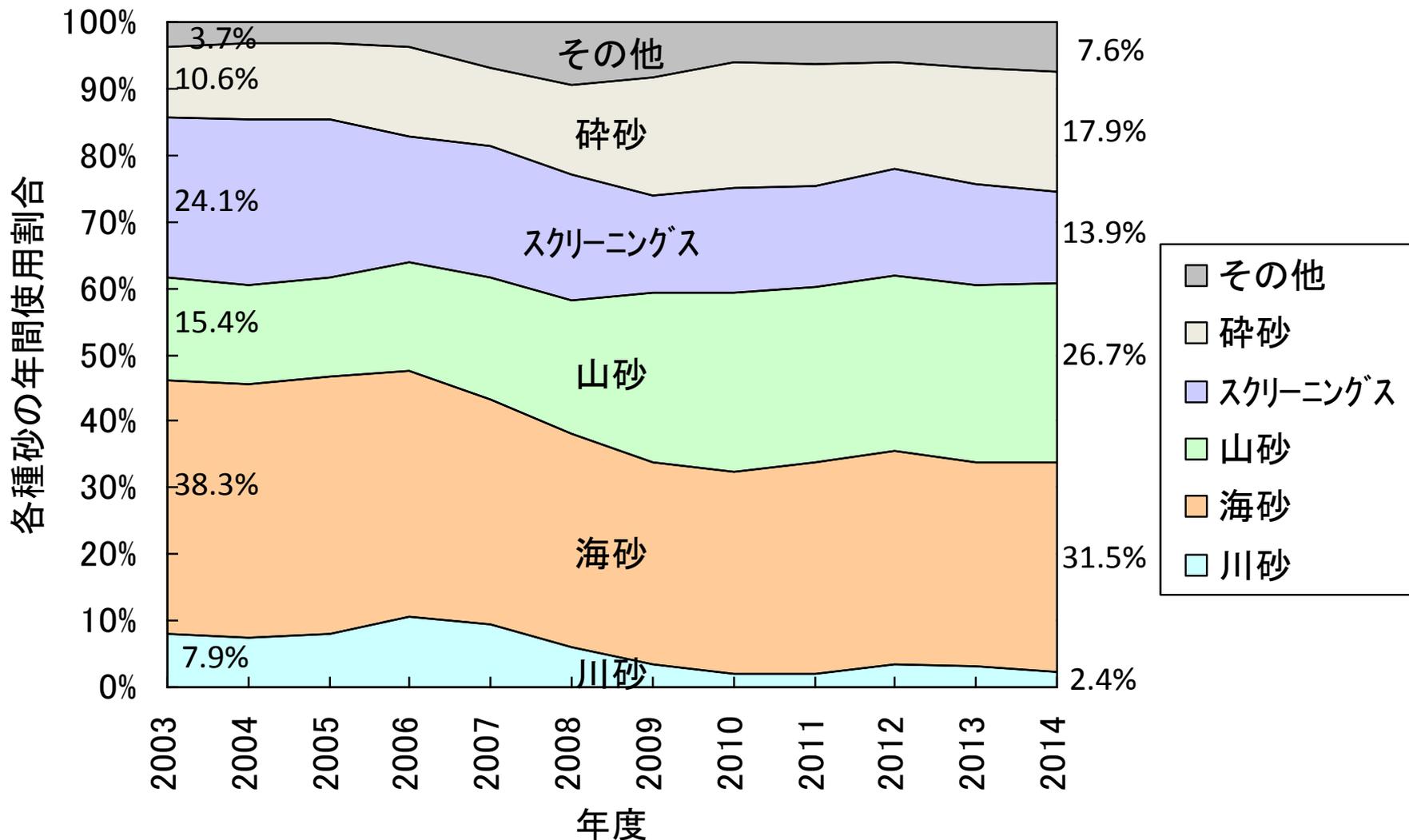
## 関西における舗装用骨材の状況

- ・全国的に、アスファルト混合物の骨材には粗骨材に**碎石**、細骨材に**天然砂**を使用してきた。
- ・しかし関西では、碎石資源については余裕があるが、天然砂資源については従来から不足していて、細骨材には**海砂**を使用してきた。
- ・ところが、瀬戸内海における海砂採取が禁止され、遠い九州からの海砂を使用するようになった。その九州産海砂も、採取規制が強化されている。
- ・2007以降、**中国からの天然砂**の輸入も禁止された。
- ・このような背景から、近隣で調達可能な**山砂**と**砕砂**の使用割合が増加するとともに、**副産物**の利用も多くなっている。



## 近畿地方の合材工場における細骨材使用量の推移

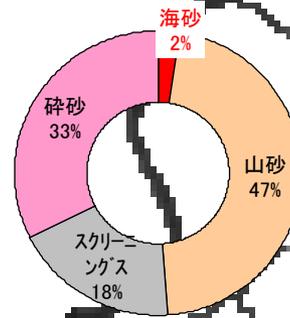
(日本アスファルト合材協会近畿地区連絡協議会調査結果より)



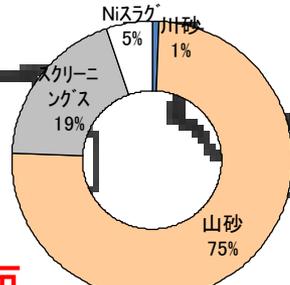
## 近畿地方の合材工場における細骨材使用割合の推移

(日本アスファルト合材協会近畿地区連絡協議会調査結果より)

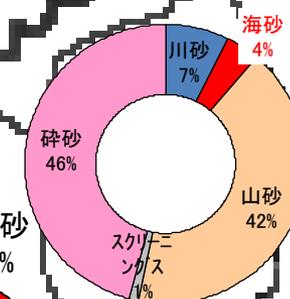
京都府  
7工場  
11万トン



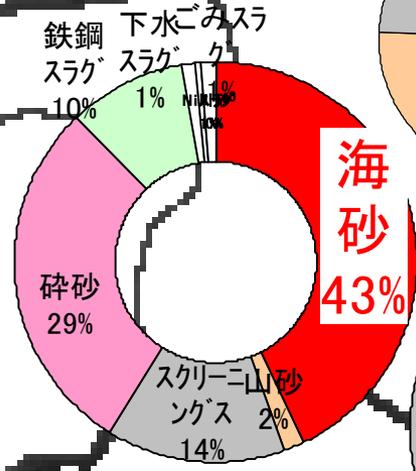
福井県  
11工場  
11万トン



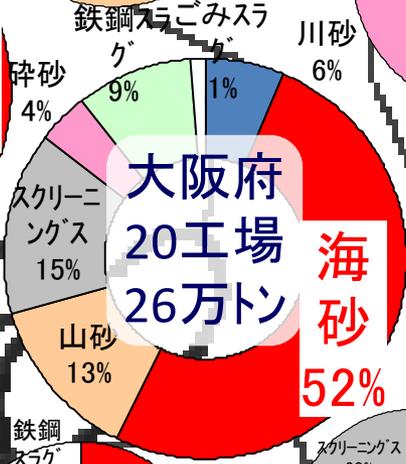
滋賀県  
10工場  
9万トン



兵庫県  
26工場  
27万トン



大阪府  
20工場  
26万トン



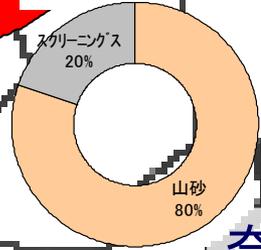
近畿各府県別、  
合材工場における  
細骨材使用割合

(和歌山県以外  
2014年度)

和歌山県  
5工場  
7万トン



奈良県  
5工場  
7万トン



(2009年度)

## 海砂の産地（2015年度、海砂使用30工場中）

- ・ 佐賀県（唐津） 11工場
- ・ 山口県（下関） 8工場
- ・ 福岡県（北九州） 5工場
- ・ 長崎県（壱岐） 5工場
- ・ 愛媛県（今治） 1工場

## その他（天然砂・スクリーングス・砕砂以外の副産物細骨材）の内容 （2015年度、近畿地方89工場中、その他細骨材使用21工場）

- |                      |      |                                |
|----------------------|------|--------------------------------|
| ・ 鉄鋼スラグ砂（高炉水砕）       | 10工場 | 鉄鋼スラグ砂と<br>下水スラグ砂の<br>両方使用：2工場 |
| ・ 下水汚泥溶融スラグ砂         | 3工場  |                                |
| ・ ごみ溶融スラグ砂           | 3工場  |                                |
| ・ フェロニッケルスラグ砂（ナスサンド） | 5工場  |                                |
| ・ コンクリート再生砂          | 1工場  |                                |
| ・ その他再生砂             | 1工場  |                                |

# 2008-2010年度 新都市社会技術融合創造研究会で、 産学官共同研究プロジェクト

(産:17社/団体、学:4大学、官:近畿地整ほか4自治体)

## 「舗装用骨材資源の有効利用に関する研究」を実施

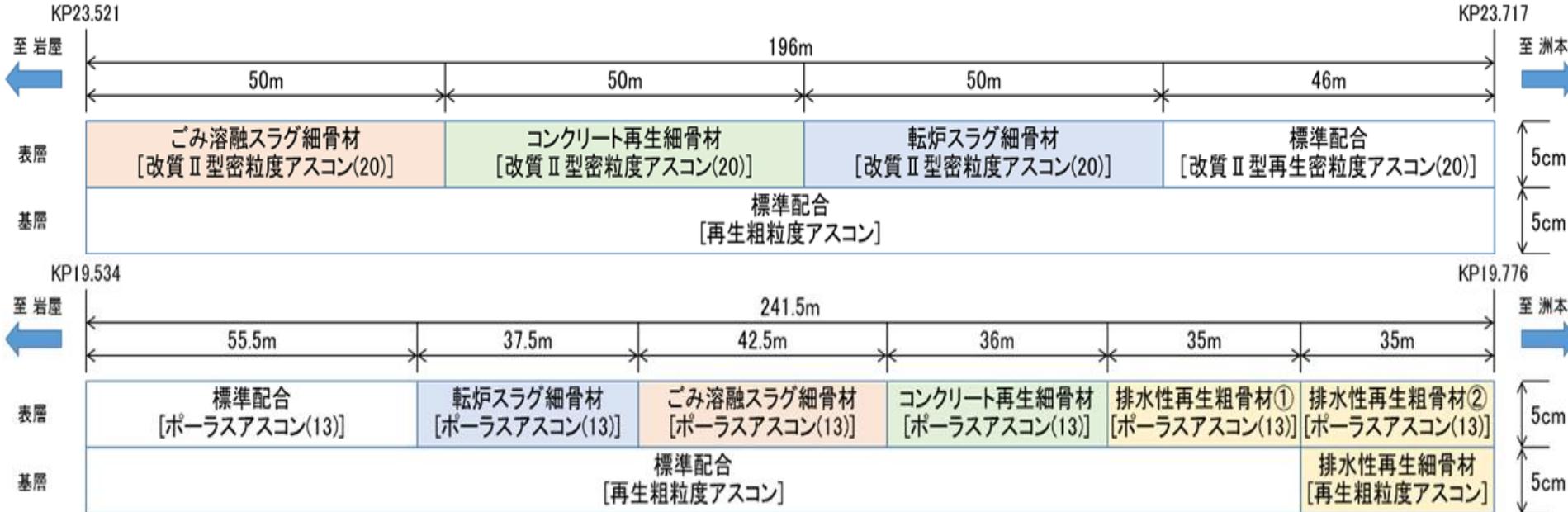
### 研究の目的

近畿、特に阪神地区の天然砂不足への対応、資源の有効利用、環境保全の観点から、種々の骨材資源の活用を検討し、舗装用骨材の安定供給・品質管理策を提案する。

### 研究対象とした副産物骨材資源

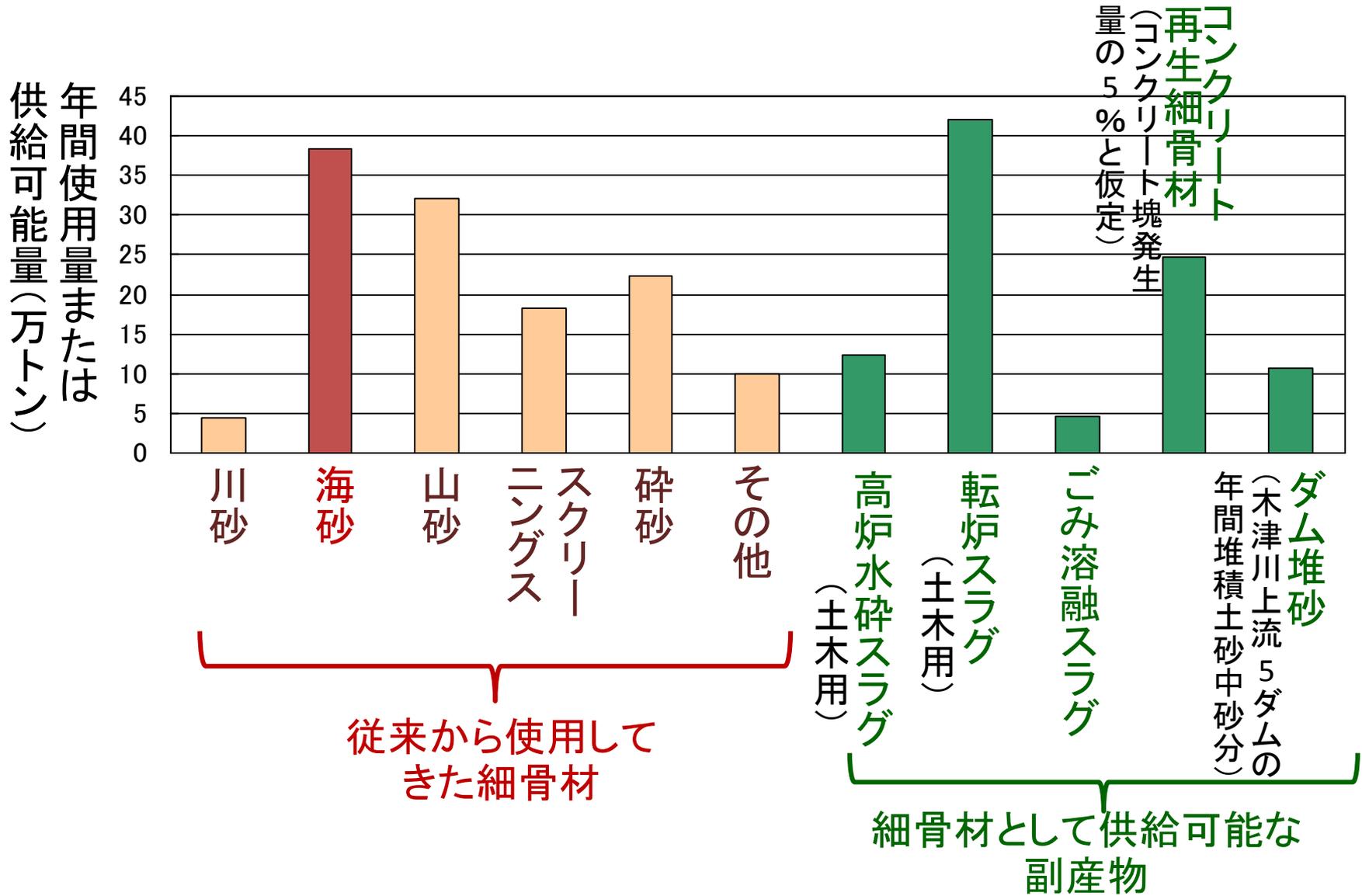
- ・鉄鋼スラグ(特に、転炉スラグ)
- ・ごみ・下水汚泥の溶融スラグ
- ・アスファルト再生骨材
- ・コンクリート再生骨材
- ・ダム堆砂

# 研究対象とした副産物細骨材を、 国道28号(下り線)切削オーバーレイ工 事で密粒度混合物(2009年2月)と ポーラス混合物(同年11月)に適用実験



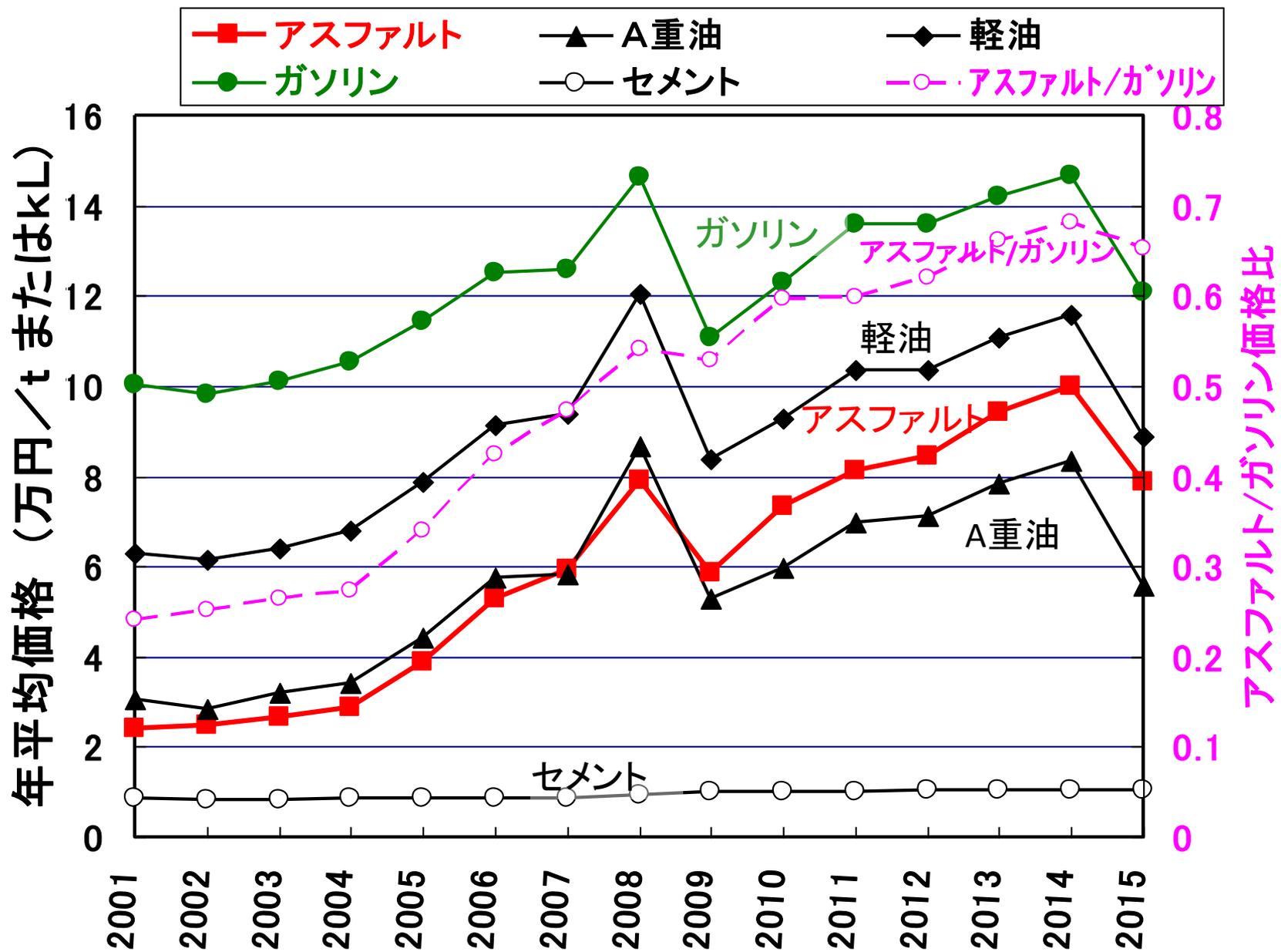
5年後の追跡試験結果を、  
藤森(奥村組土木興業)ら：土木学会年次講  
演会(2016)で報告





近畿地区におけるアスファルト合材プラントで使用してきた細骨材の量と細骨材として供給が可能と考えられる副産物の量(2009年度当時)

## 2. アスファルトの供給不安への対応



## アスファルト価格の高騰状況

本図は「建設物価」掲載記事を基に作成

石油メーカーからのアスファルトの供給は続く、しかし、相対的価格（たとえば、ガソリンに対する価格比）は上昇し続けるであろう。

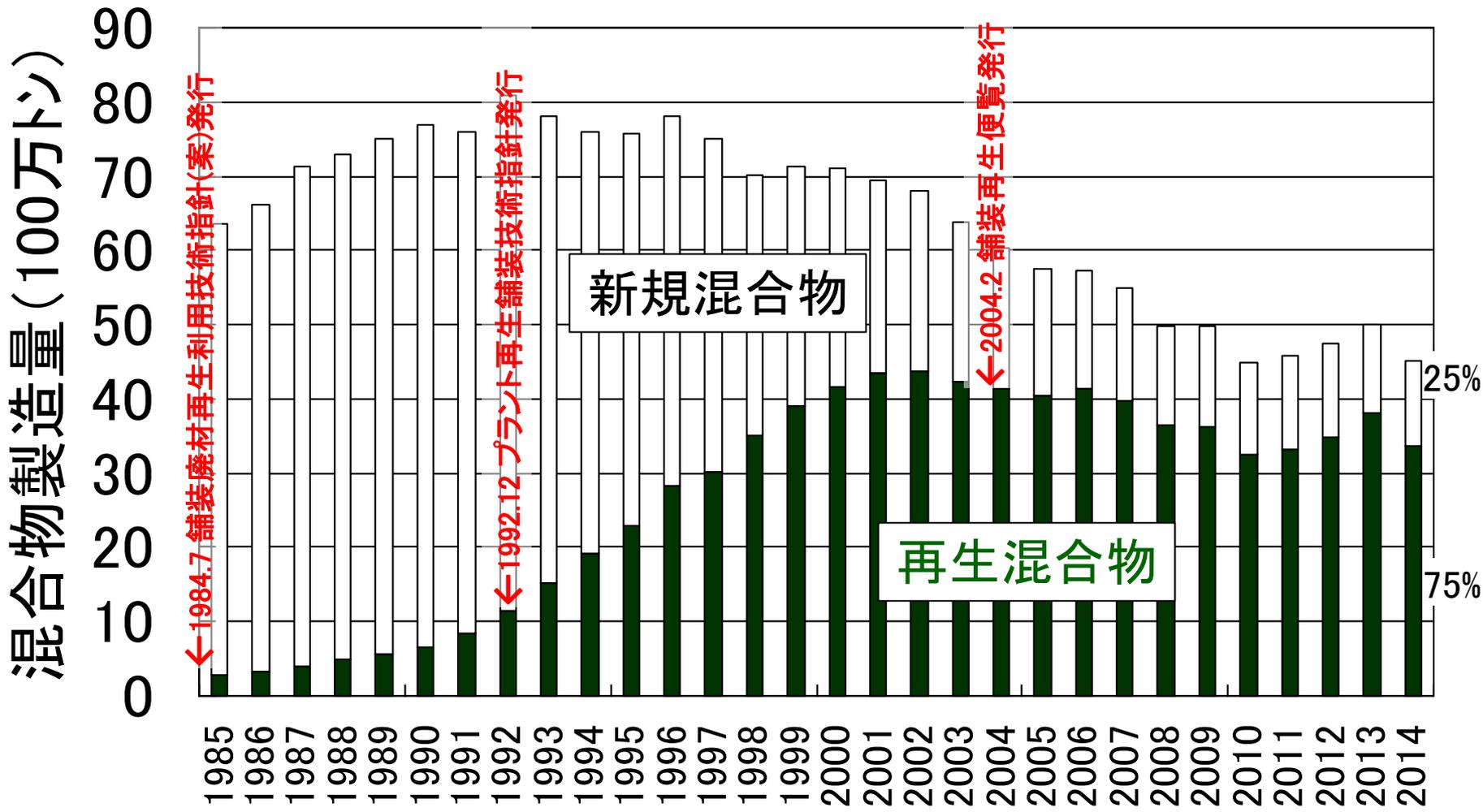
そのような将来の「アスファルトの供給不安」への対応として

- ① アスファルトの繰返し利用（リサイクル）
- ② アスファルト以外の材料による舗装、  
コンクリート舗装の採用

が考えられる。

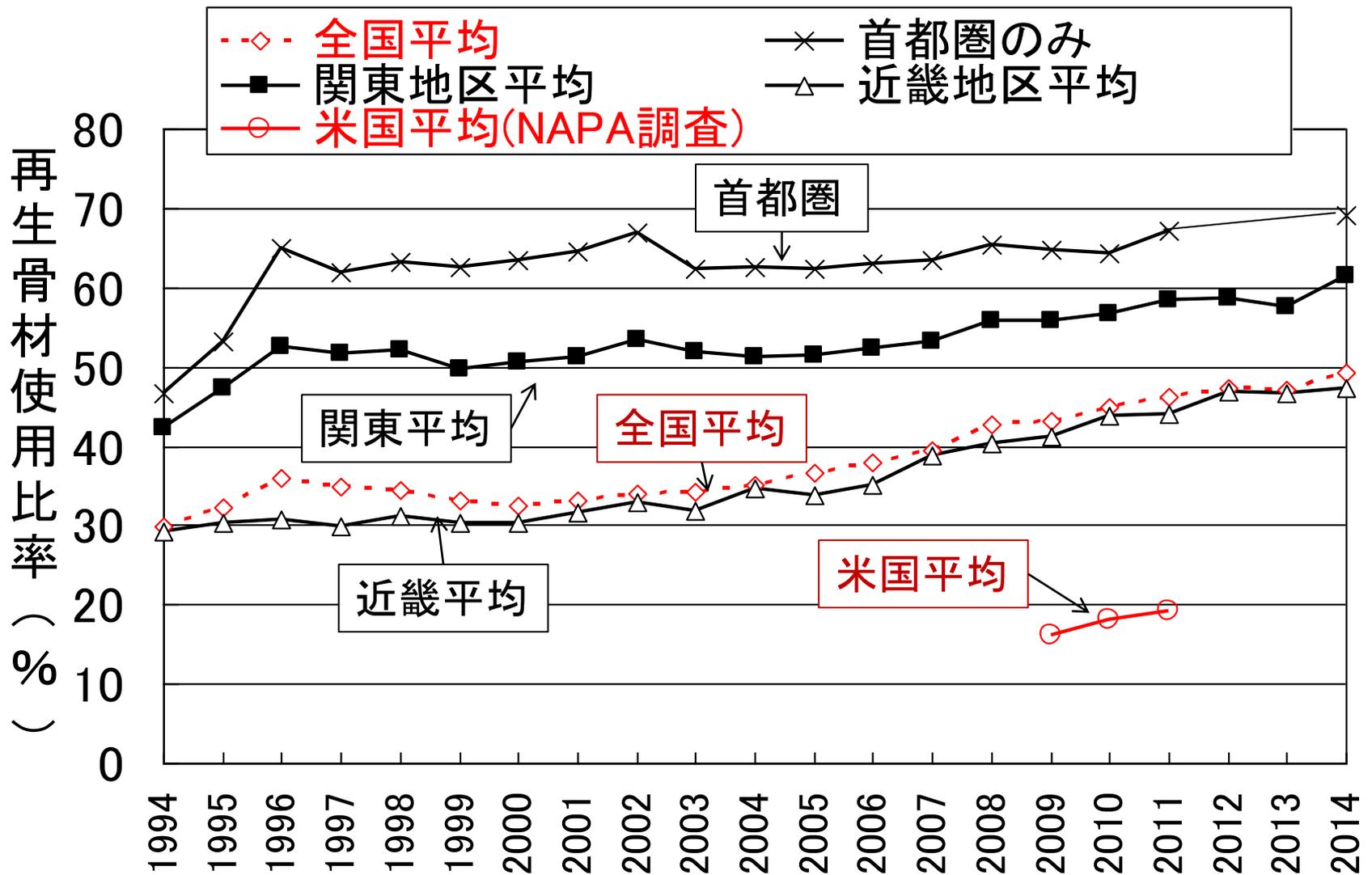
# 対応策① アスファルトリサイクル

■ 再生混合物 □ 新規混合物



## 再生アスファルト混合物製造数量の推移(全国)

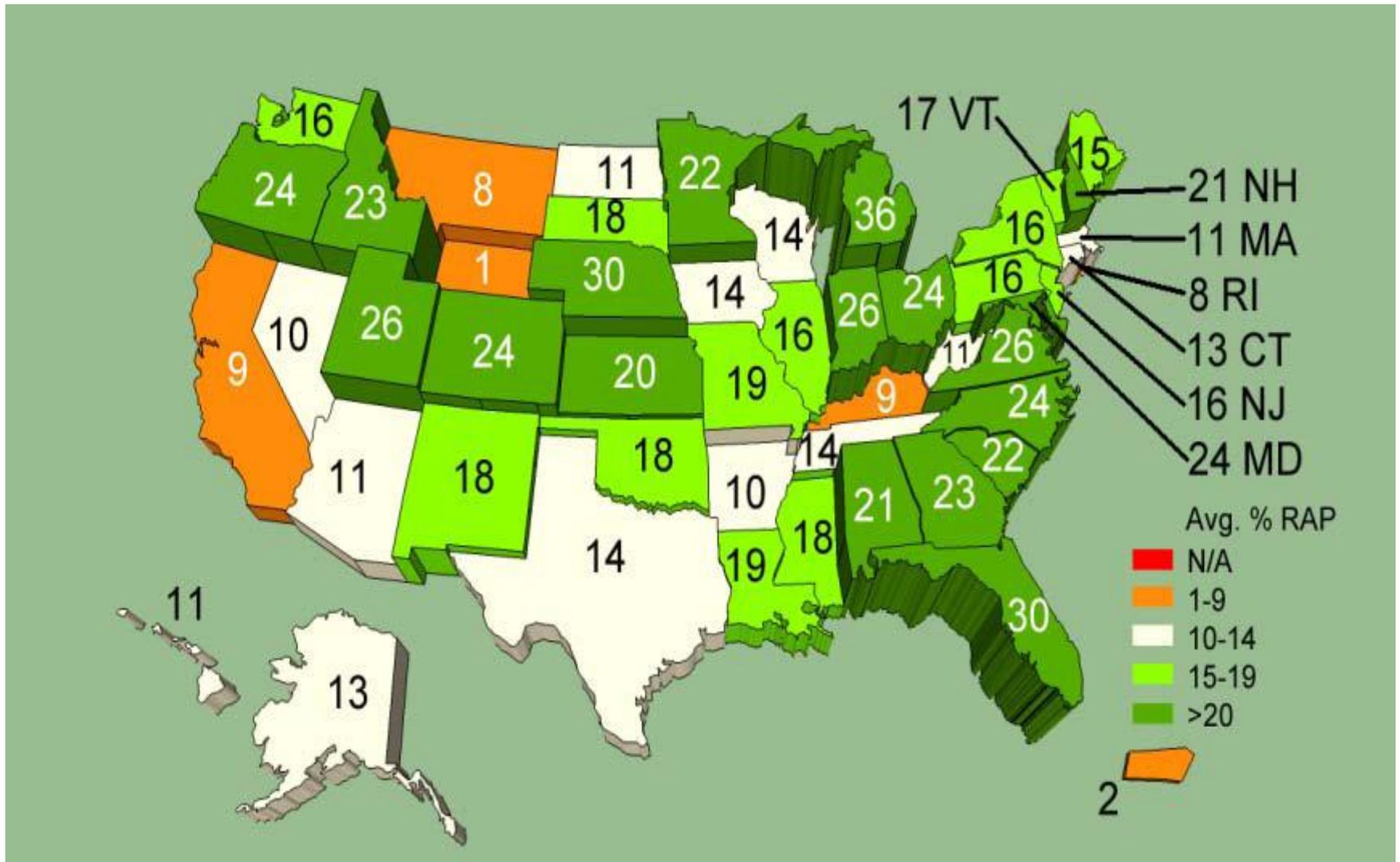
(日本アスファルト合材協会集計)



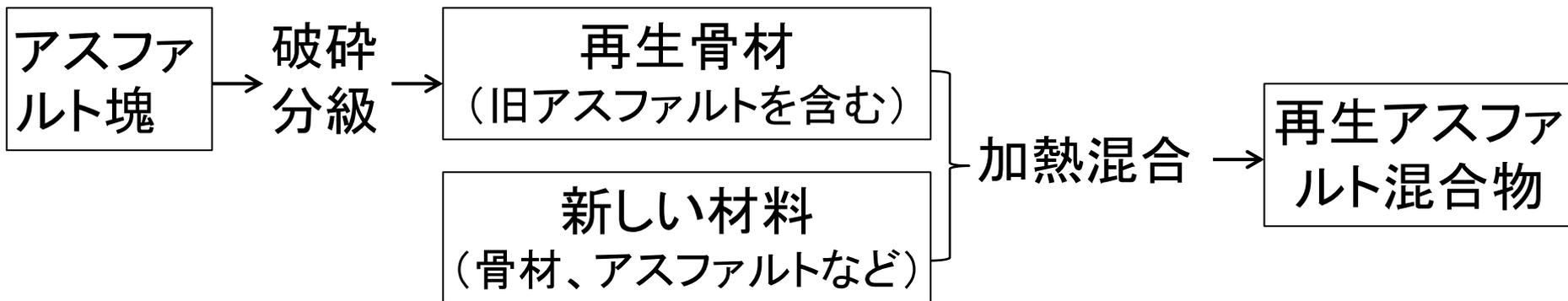
## 再生アスファルト混合物への再生骨材使用比率の推移

(日本アスファルト合材協会調査結果から)

(米国平均は、NAPA(米国アスファルト舗装協会)調査結果から)



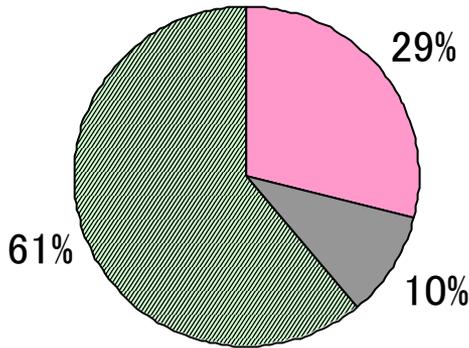
米国各州での平均再生骨材使用比率(%)  
 (2011年、NAPA (米国アスファルト舗装協会) 調査)



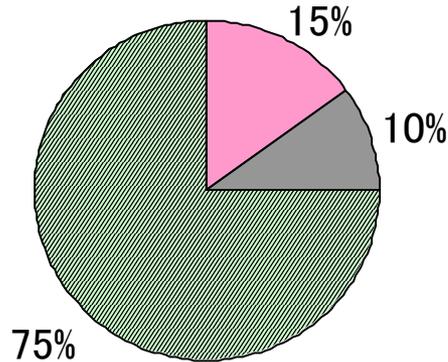
## 再生骨材使用比率が高くなると、 再生アスファルト混合物の品質上、懸念されること

1. 再生骨材中の老化した旧アスファルトの影響で、**ひび割れ**が生じやすくないか。
2. 再生骨材中の原骨材粒度の変動により、**粒度の調整が不確実**にならないか。
3. 旧アスファルトと新アスファルトとが十分にブレンドされず、アスファルトバイнда層の力学的性質や膜厚が**不均一**にならないか。

Fatigue Cracking  
疲労ひび割れ



Longitudinal Cracking  
縦線状ひび割れ



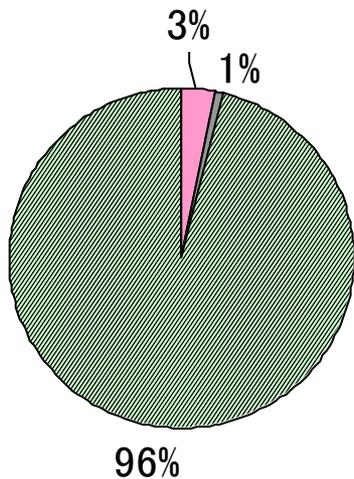
■ Virgin performed significantly better than RAP  
■ RAP performed significantly better than Virgin  
■ Difference between Virgin and RAP insignificant

←バージンが再生より供用性能がよい

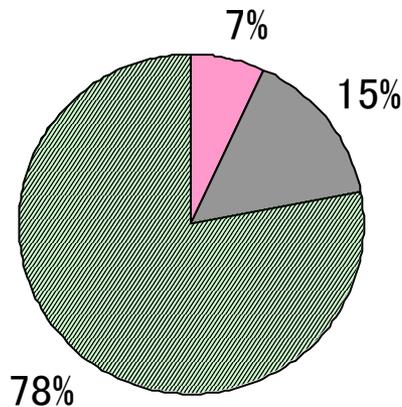
←再生がバージンより供用性能がよい

←バージンと再生の供用性能に違いがない

Block Cracking  
ブロック状ひび割れ



Raveling  
ラベリング(骨材飛散等)



米国での舗装長期供用性能調査データに基づく新規(バージン)混合物とRAP(再生)混合物の比較例

(West R. et al. : Journal of TRB, No.2208, 2011, pp.82-89)

注) RAP: Reclaimed Asphalt Pavement、「アスファルト再生骨材」のこと  
(18の州で1989~1998に施工のVirginと30%RAPの舗装データの分析結果)

「再生骨材の混入がアスファルト混合物の供用性能に及ぼす影響について」  
イリノイ大学・イリノイ州の共同研究

## 間接引張試験による 引張強度と再生骨材混入率 との関係例 →

引用文献:

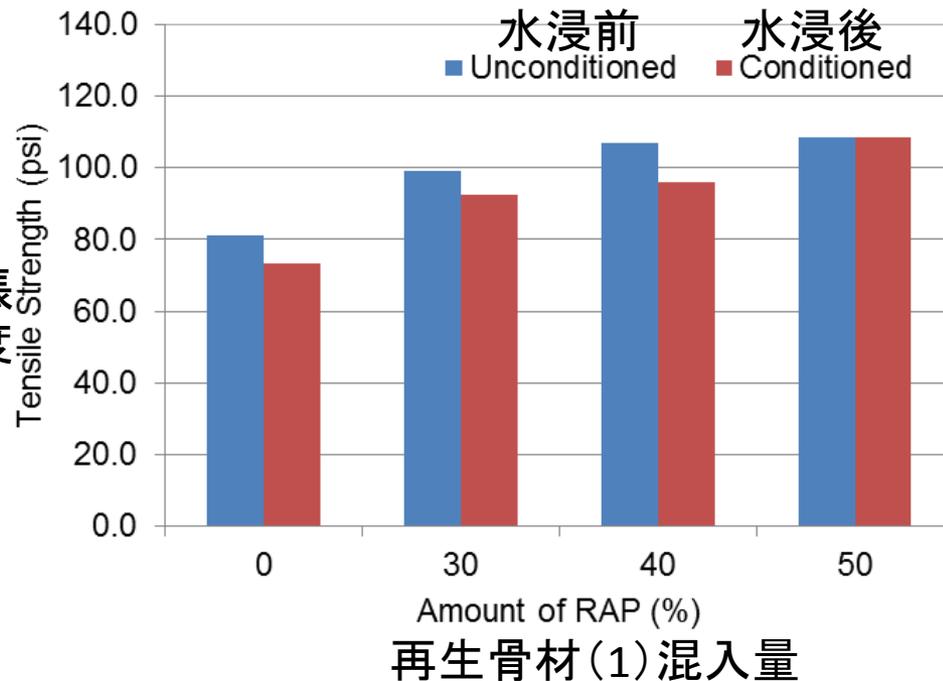
Imad L. Al-Qadi et al.: Impact of high RAP content on structural and performance properties of asphalt mixtures, Research Report FHWA-ICT-12-002, 2012.

注)

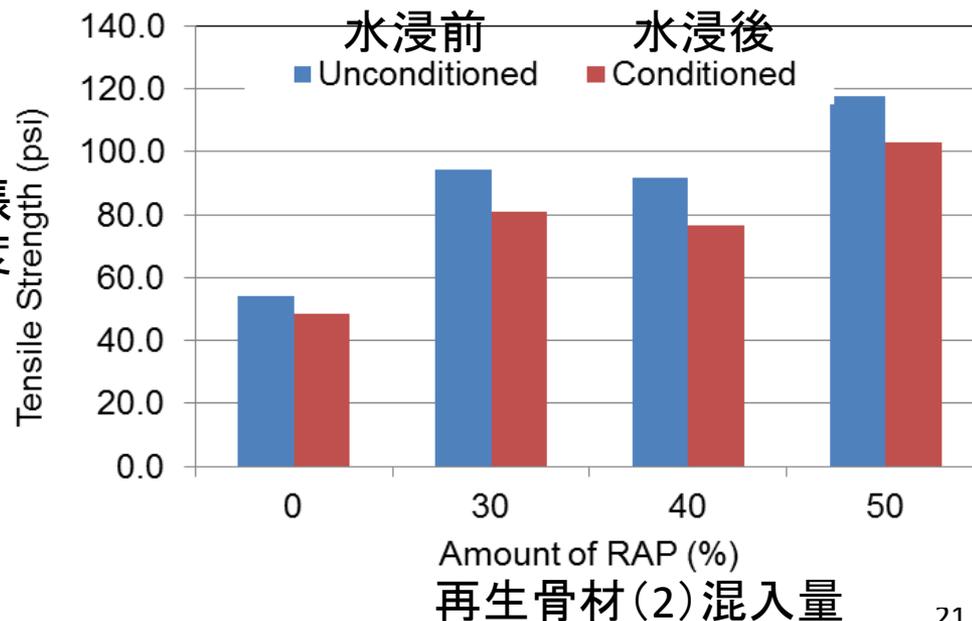
RAP: Reclaimed Asphalt Pavement  
:「アスファルト再生骨材」のこと

再生骨材1、再生骨材2:原料のアス  
ファルト塊が異なる。

引張  
強度



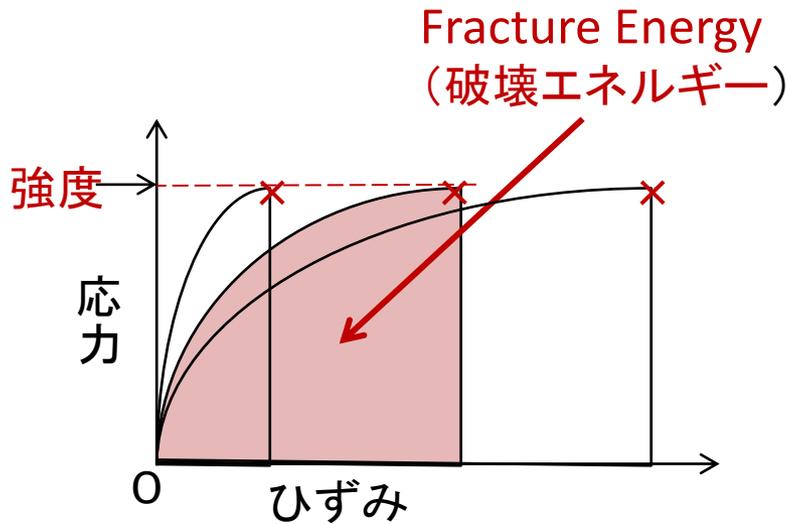
引張  
強度



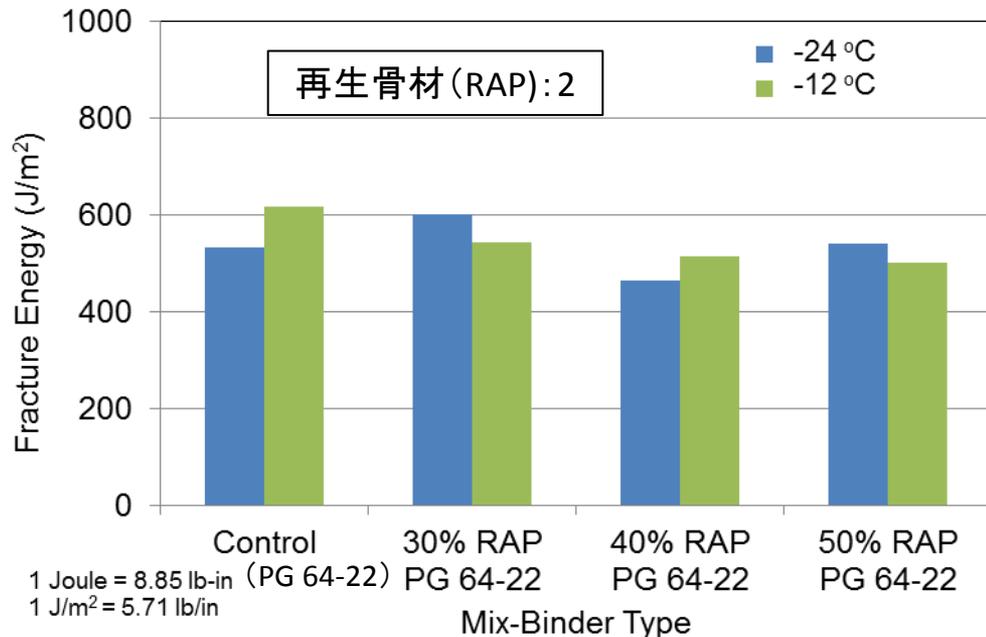
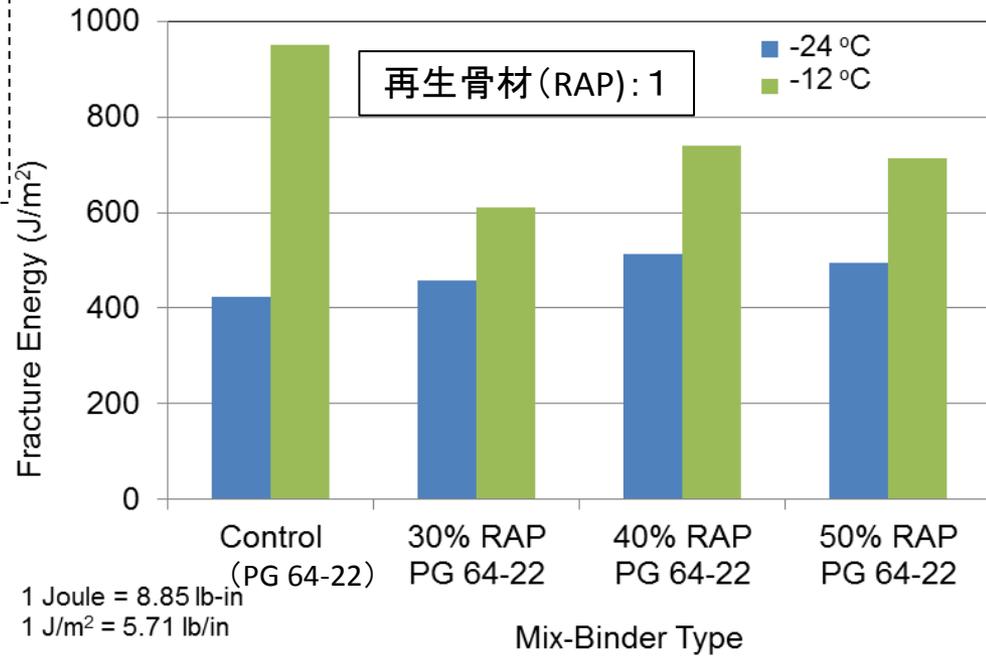
「再生骨材の混入がアスファルト混合物の供用性能に及ぼす影響について」  
イリノイ大学・イリノイ州の共同研究

## 間接引張試験による Fracture Energy (破壊エネルギー)と再生骨材混入率との 関係例 →

引用文献: 前出



応力・ひずみ曲線



「再生骨材の混入がアスファルト混合物の供用性能に及ぼす影響について」  
イリノイ大学・イリノイ州の共同研究

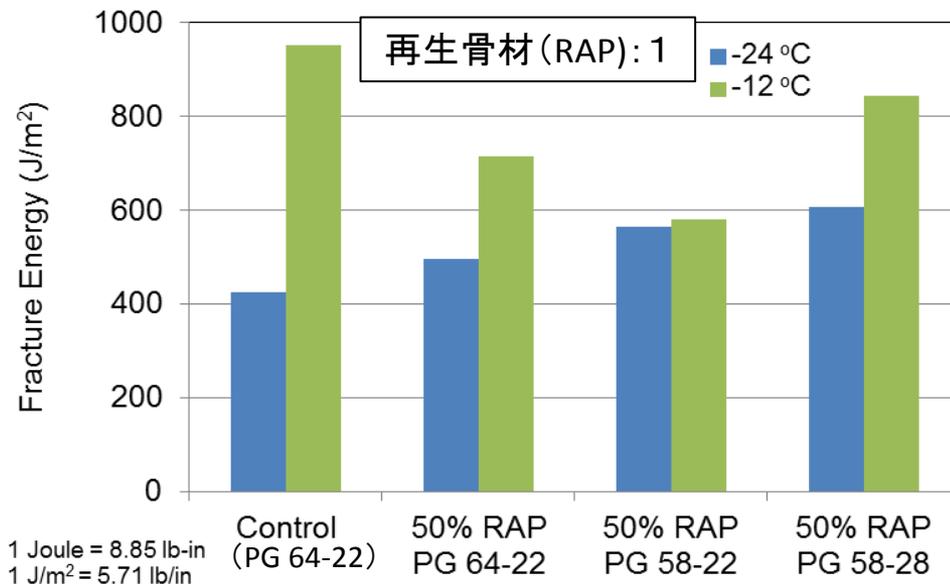
## 間接引張試験による Fracture Energy (破壊エネルギー)に及ぼす新規アスファルトグレード(PG)の効果 →

PG: Performance Grade

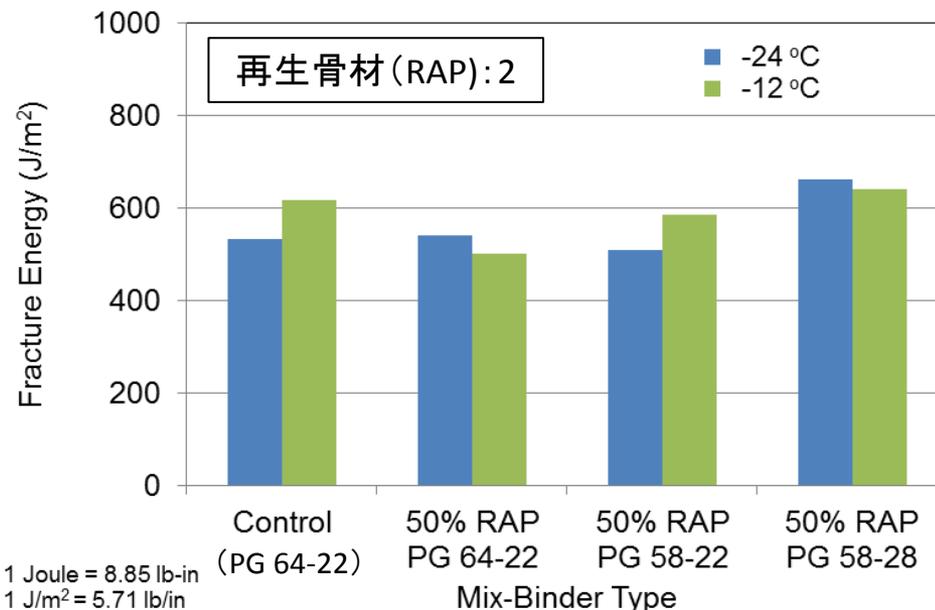
64, 58: 上限温度(わだち掘れに関係)

22, 28: 下限マイナス温度(低温ひび割れに関係)

引用文献: 前出



混合する新規アスファルトバインダのグレード



混合する新規アスファルトバインダのグレード

「再生骨材の混入がアスファルト混合物の供用性能に及ぼす影響について」  
イリノイ大学・イリノイ州の共同研究

## ホイールトラッキング試験によるわだち掘れ深さと再生骨材混入率との関係例 →

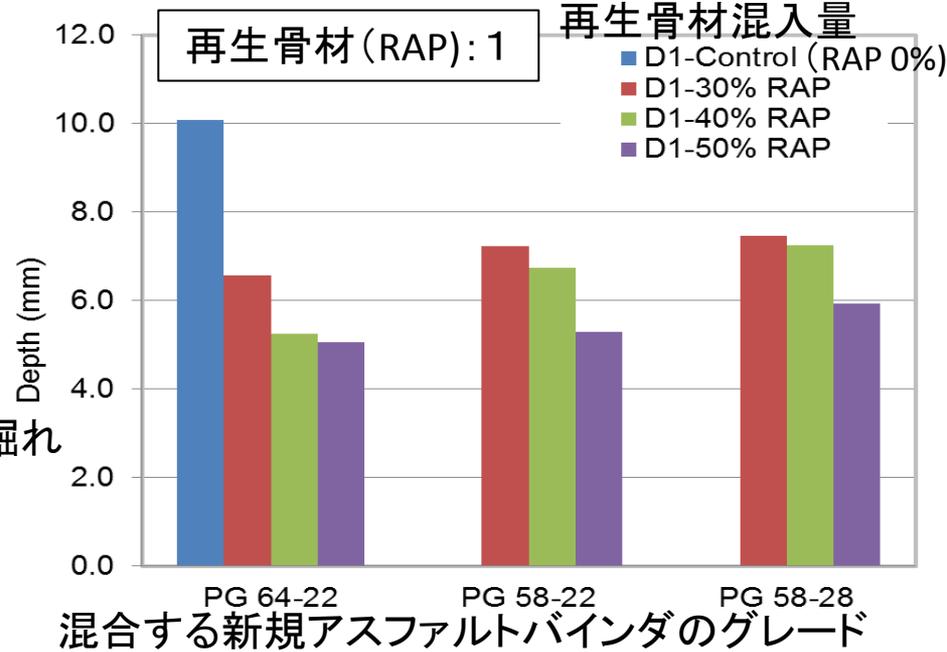
わだち掘れ  
深さ

引用文献：前出

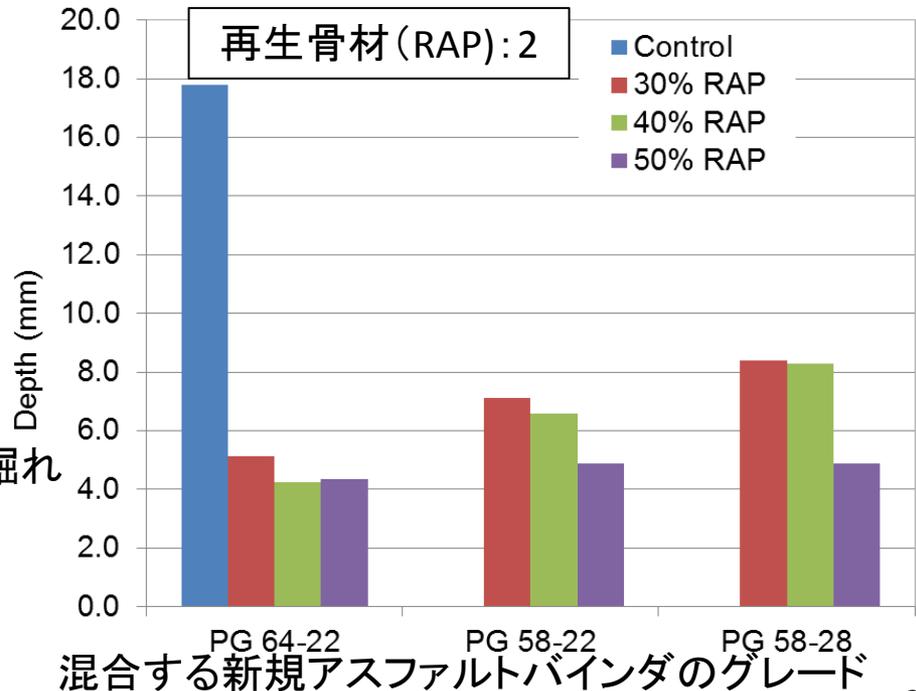
PG: Performance Grade

64, 58: 上限温度(わだち掘れに関係)

22, 28: 下限マイナス温度(低温ひび割れに関係)



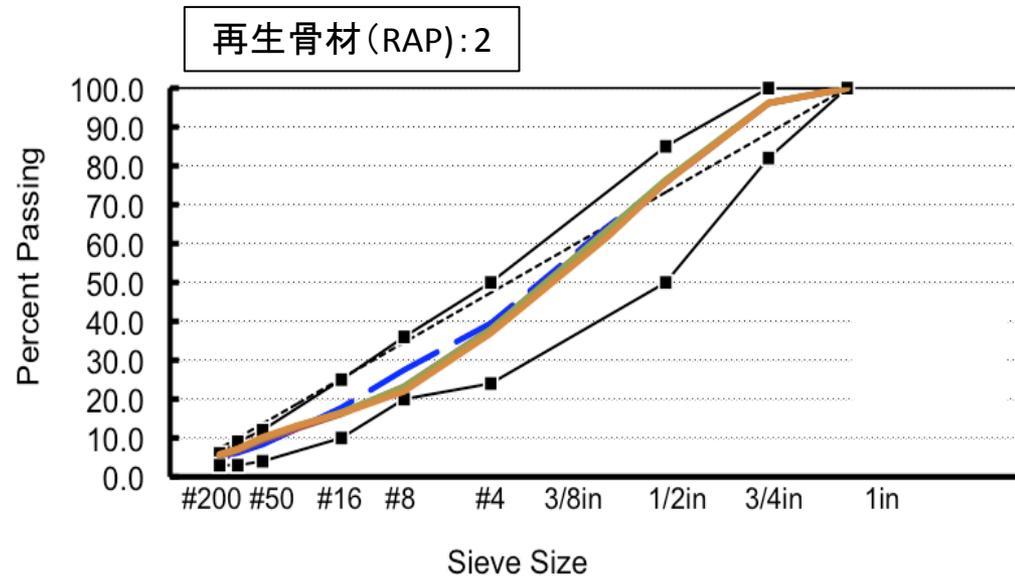
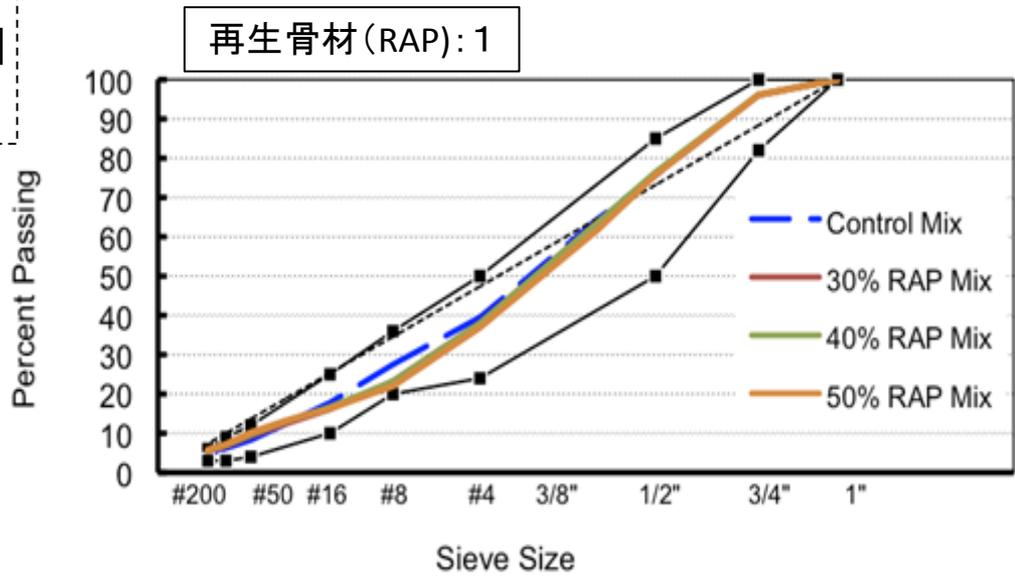
わだち掘れ  
深さ



「再生骨材の混入がアスファルト混合物の供用性能に及ぼす影響について」  
 イリノイ大学・イリノイ州の共同研究

再生アスファルト混合物の  
 抽出骨材粒度に及ぼす  
 再生骨材混入率の影響 →

引用文献：前出



老化した  
旧アスファルト

再生骨材

原骨材

新しいアスファルト

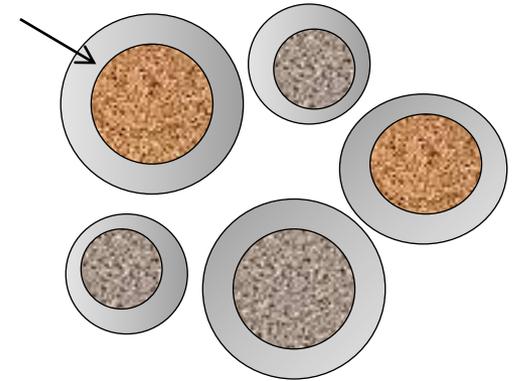
新しい骨材

すべての骨材が  
新旧ブレンドされた  
アスファルトで被覆

加熱混合により、  
新旧アスファルトが、  
接触→拡散

旧アスファルトとブレンドさ  
れない新アスファルトが存  
在する可能性  
(これは問題にならない?)

再生骨材の  
使用比率が  
低い場合



再生骨材の  
使用比率が  
高い場合

再生アスファルト混合物中で想定さ  
れる新旧アスファルトのブレンド状況

新アスファルトとブレンドさ  
れない旧アスファルトが存  
在したり、膜厚が不均一に  
なる可能性  
(これは問題になる?)

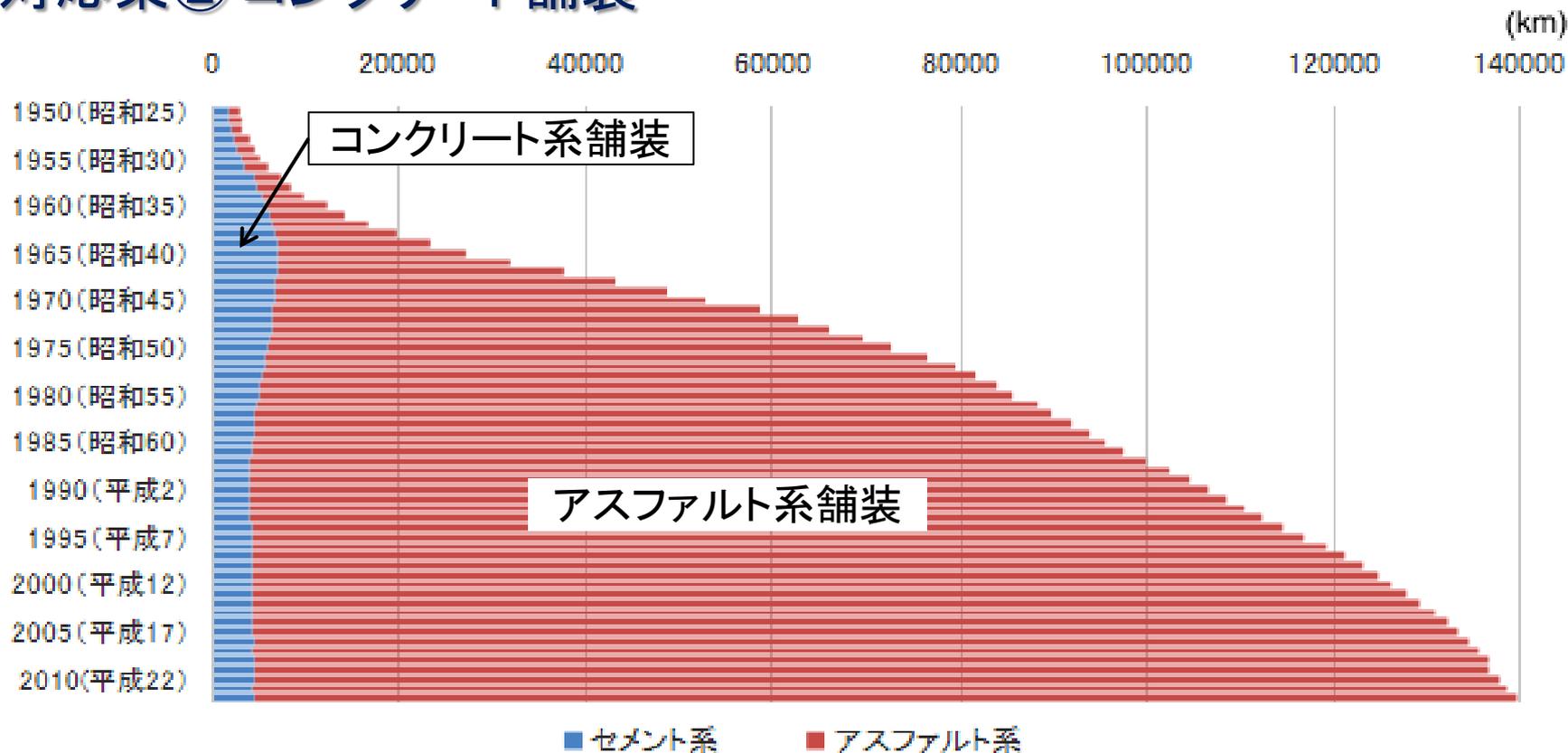
## アスファルト再生骨材の使用比率について

- 再生骨材使用比率が低い(25%程度未満)場合は、舗装の供用性能に大きな問題が生じていないが、高くなりすぎると問題となる可能性がある。
- 米国では、25%以上を“High RAP Content”と定義し、40, 50%にしたときの影響を調査研究中である。
- わが国は、すでに50%を超えるケースが多い。
- 早急に、調査研究を行い、その是非を確認する必要がある。
- アスファルト塊の排出量は、現状、全アスファルト混合物使用量の40%程度(2012年度)であるので、再生骨材使用比率を例えば50%程度以下とする制限を設けてもよいのでは。

# 高速道路等、高規格道路でのアスファルトリサイクルについて

- すべての道路でリサイクルが要求される時代？
- 品質、特に耐久性を確保するリサイクルが必要
- まずは、舗装材の耐久性を評価する方法の確立
  - 舗装材の耐久性とは、
  - それを評価する指標、試験方法、基準
  - 特にアスファルトの力学特性の評価が重要
- その評価方法に基づくリサイクル技術の選択
  - アスファルト再生骨材の品質と使用比率
  - 再生アスファルト混合物の品質目標
- 米国のSUPERPAVEが参考になる？  
(SUPERior PERforming PAVements: 優れた供用性能舗装に関するSHRPの成果)
- 舗装の長期供用性能の追跡調査が必要

## 対応策② コンクリート舗装



注 都道府県道以上の道路（簡易舗装、未舗装は含まない） 出典は道路統計年報2012

### アスファルト舗装とコンクリート舗装の舗装延長 (都道府県道以上の幹線道路－簡易舗装・未舗装を除く－)

アスファルト舗装が、昭和30年代以降急激に増加しているのに対し、コンクリート舗装は、ほとんど延長を伸ばしていない。コンクリート舗装の寿命が長いことを考慮すれば、幹線道路の整備において、コンクリート舗装の工事件数は、ほとんど増えていないと考えられる。



環境負荷の軽減や維持管理の合理化などのために、今、コンクリート舗装が求められています。

我が国におけるコンクリート舗装の実績は、欧米に比較して著しく低い普及率です。  
また、原油価格の高騰や環境問題の面からも、今こそ、コンクリート舗装の普及率向上がなされるべきだと考えます。  
コンクリート舗装の持つ長所などを理解し、その特性を生かして適所に活用、普及を図る必要があります。

## コンクリート舗装の長所

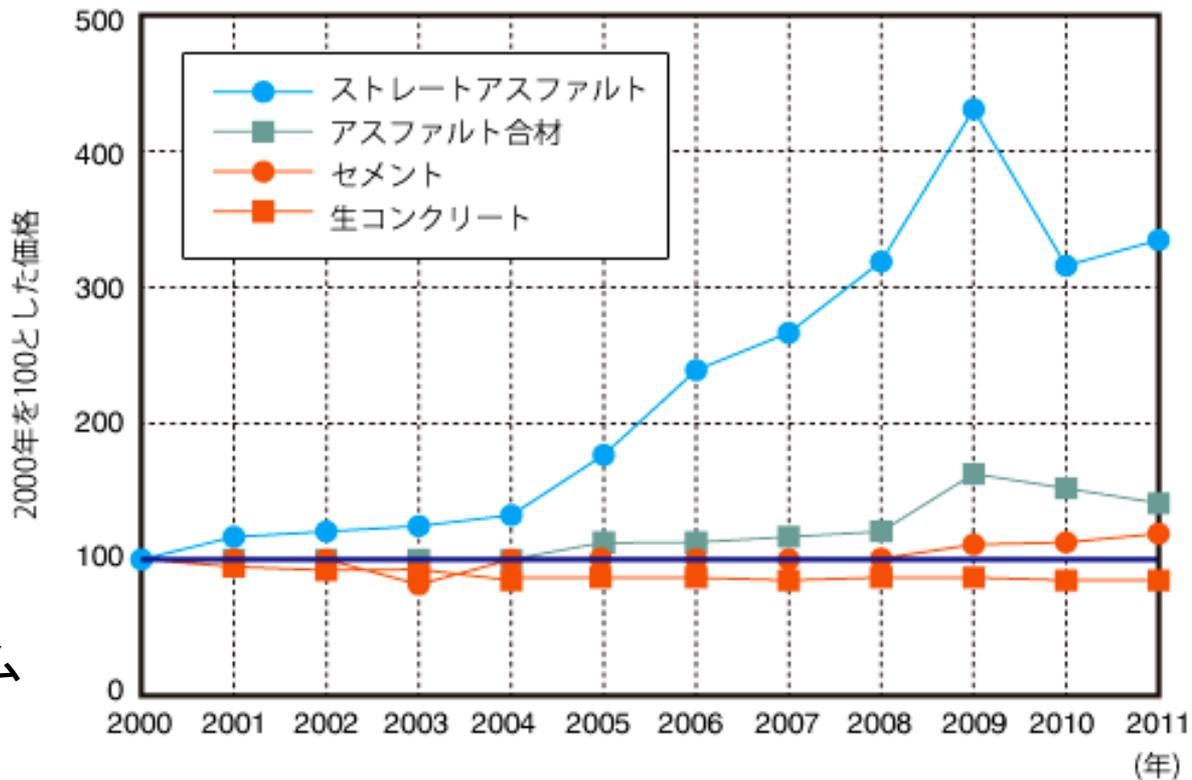
1. ライフサイクルコスト
2. 高い耐久性
3. 路面温度の低減
4. 大型車の燃料向上
5. 材料の安定供給
6. 廃棄物の有効利用

- アスファルト舗装の課題
  - ・原油価格の変動を受けやすい。
  - ・安定供給は産油国次第
  - ・生成技術の向上で残渣しない。

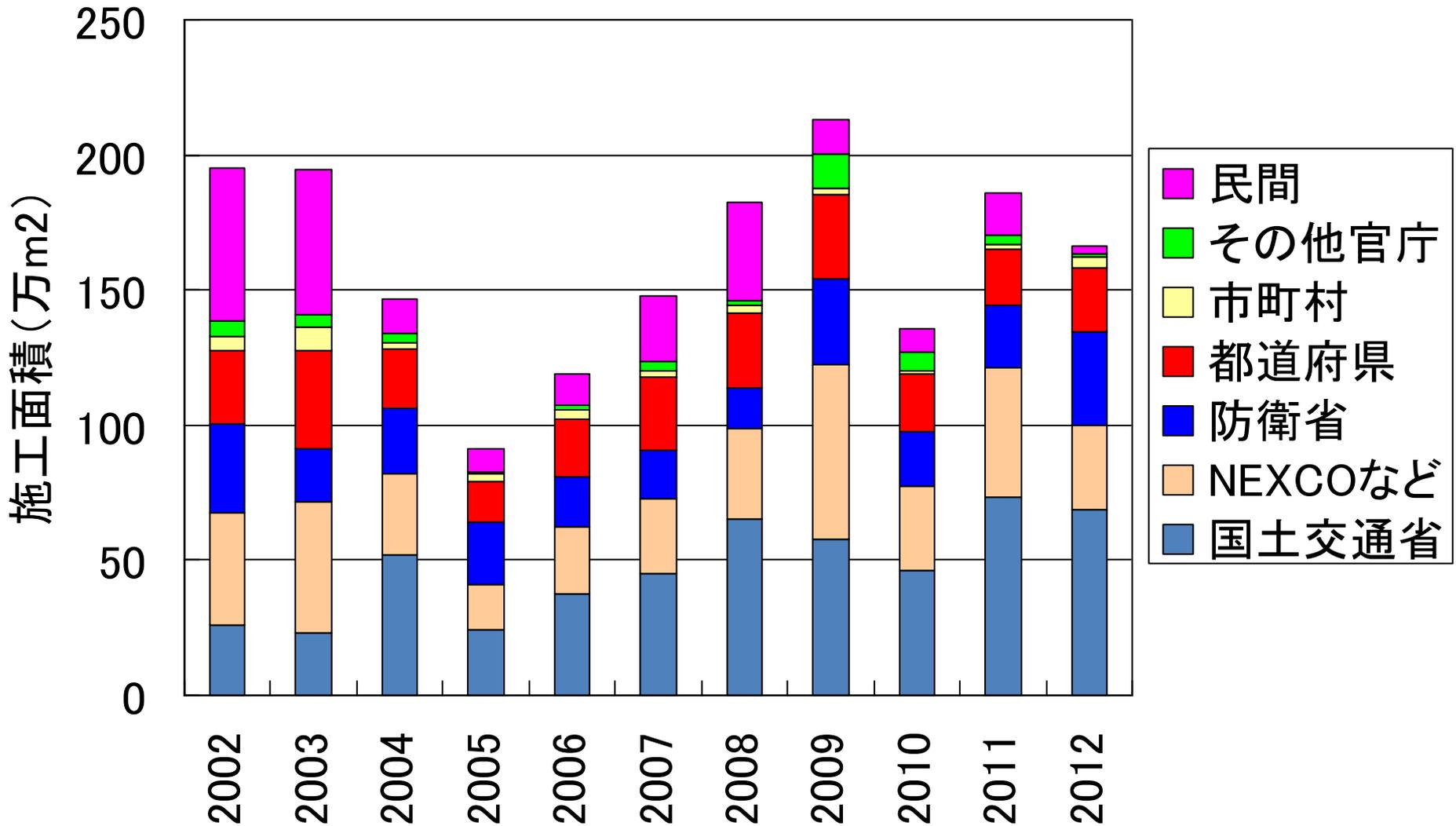
基盤材料として将来的にリスクが大きい。



### 舗装材料の価格対比



セメント協会ホームページより抜粋



## コンクリート舗装の施工実績（発注機関別）

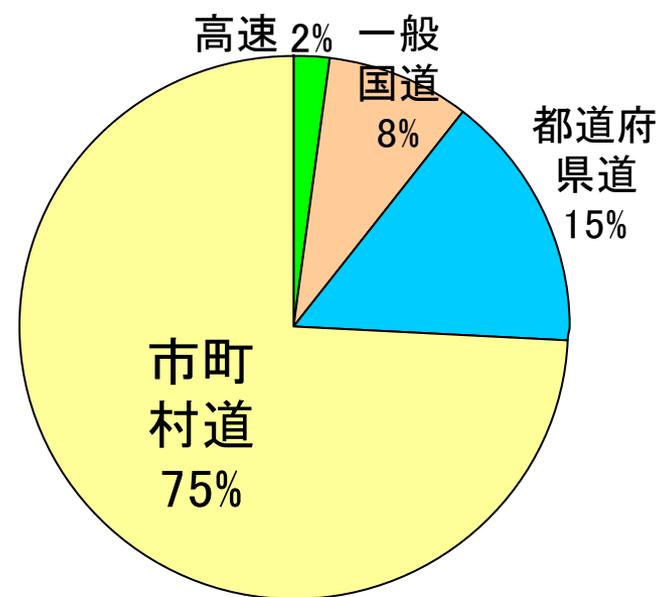
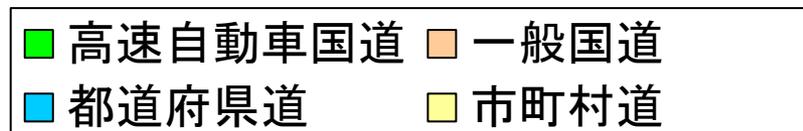
（日本道路建設業協会統計資料より、  
構成会社15社のデータ、施工面積1,500m<sup>2</sup>以上）

コンクリート舗装も、僅かながら採用されつつある。  
しかし、依然、不十分である。

それは何故か？

最も大きな理由は、初期コストがアスファルト舗装に比べて高いことではないか。

高速道路や幹線道路だけでなく、大きな面積を占める市町村道でも採用されやすいよう、低コスト(アスファルト舗装と同程度)で施工できるコンクリート舗装が必要である。



「道路種別」別  
車道部面積の割合

AASHO道路試験で、同じ寿命  
( $p=2.5$ になるまでの交通量)と  
なったアスファルト舗装とコンク  
リート舗装の例  
(路床のCBR=3)



アスファルト混合物	10cm
上層路盤(碎石)	15cm
下層路盤 (砂・砂利混合物)	45cm

断面1:アスファルト舗装  
(N5交通、 $T_A=26.5$ 相当)

コンクリート版	17cm
路盤(砂・砂利混合物)	7.5cm

断面2:コンクリート舗装

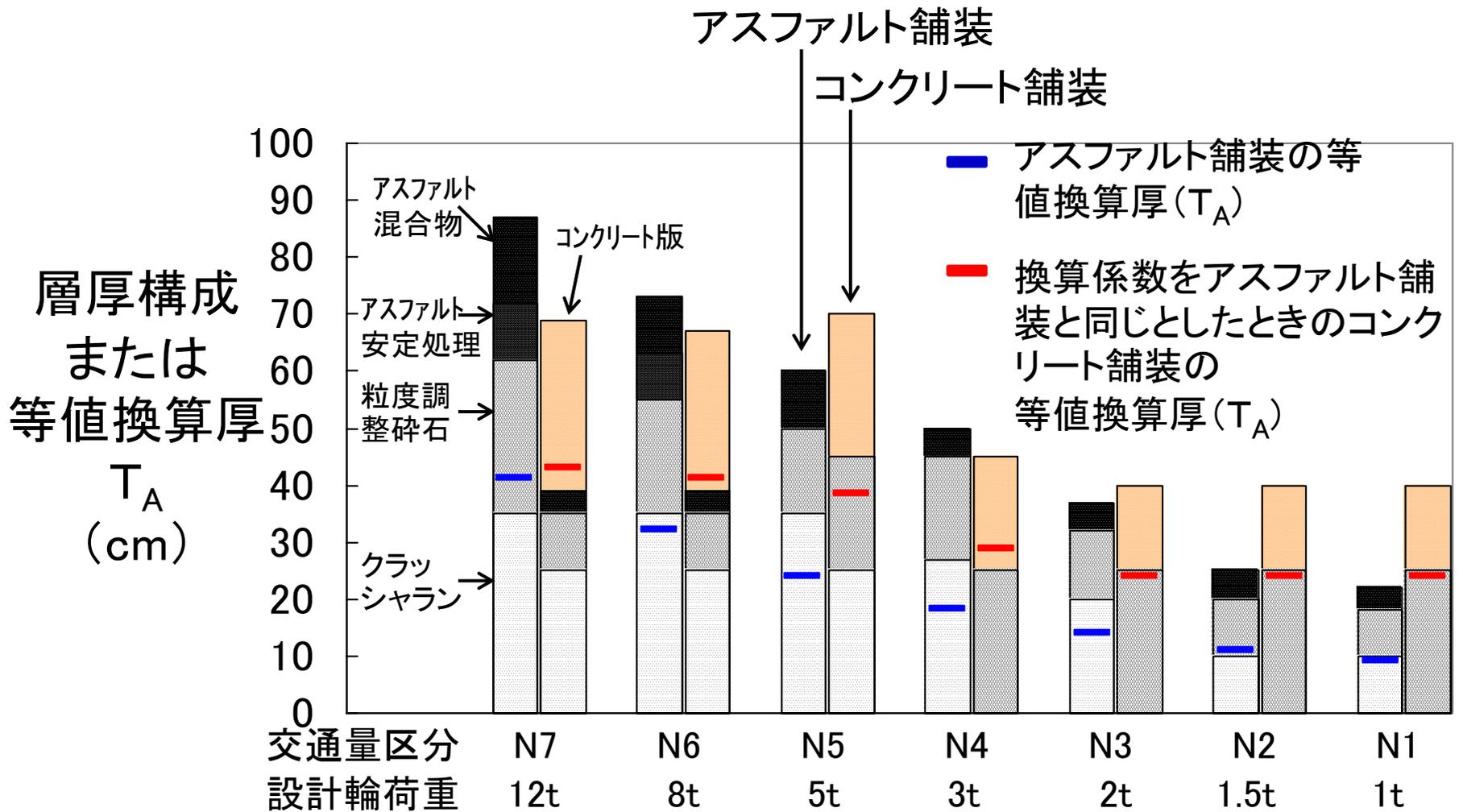
我が国の現設計法によ  
るコンクリート舗装の構  
造例(N5交通、路床の  
設計CBR=3)



コンクリート版	25cm
上層路盤 (セメント安定処理)	20cm
下層路盤 (クラッシュラン)	25cm

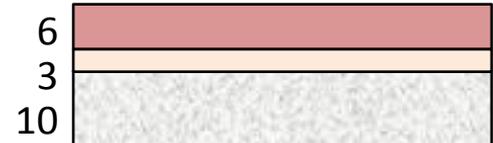
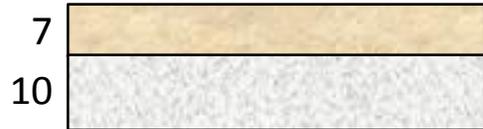
断面3:コンクリート舗装

## アスファルト舗装とコンクリート舗装の断面寸法比較

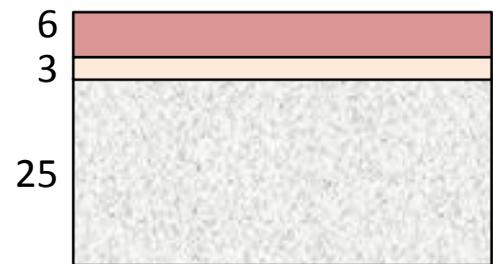
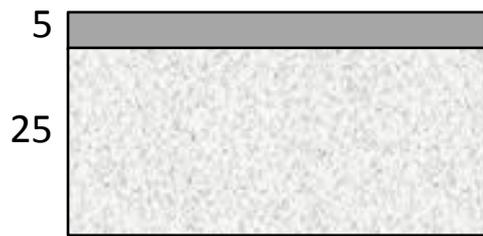


我が国の現設計法に基づいた  
アスファルト舗装とコンクリート舗装の層厚構成例  
および必要等値換算厚の比較(路床の設計CBR=4)

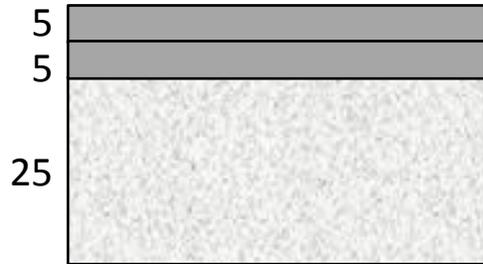
歩道および  
自転車道



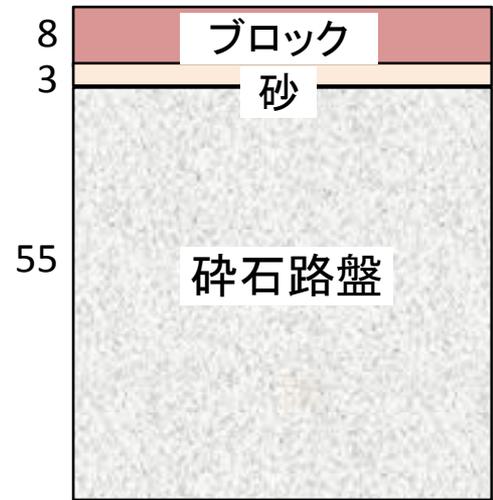
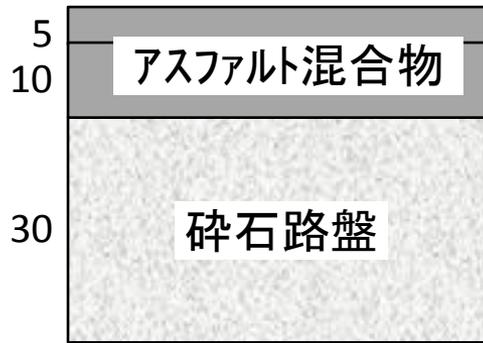
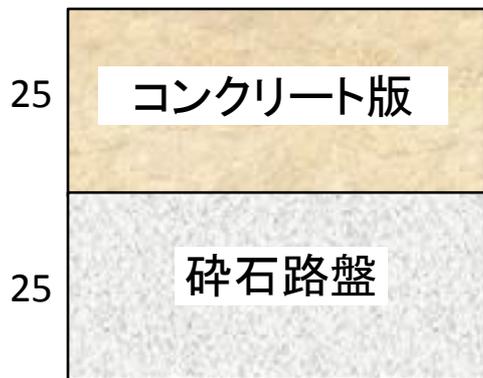
I種：  
乗用・小型  
貨物自動車  
乗り入れ部



II種：  
普通  
貨物自動車  
乗り入れ部



III種：  
大型及中型  
貨物自動車  
乗り入れ部



コンクリート舗装

アスファルト舗装

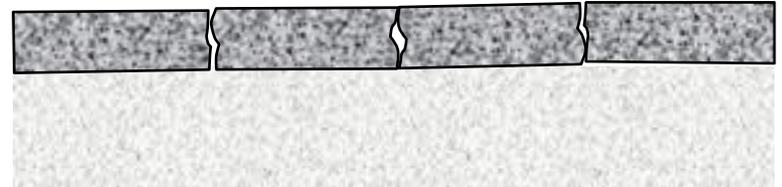
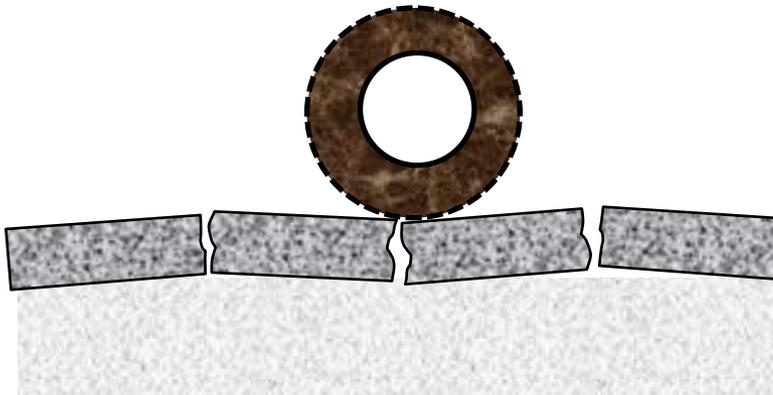
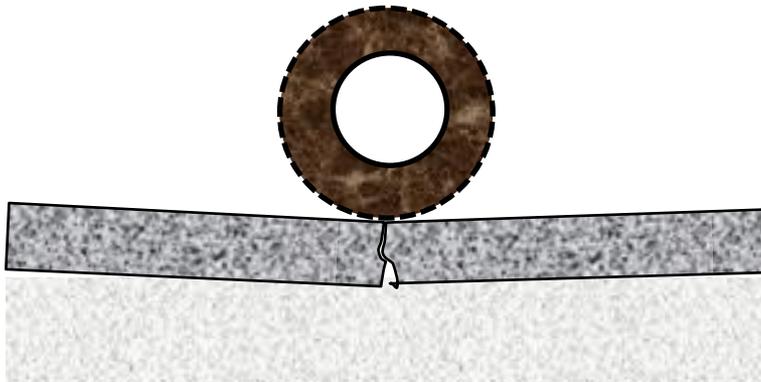
インターロッキングブロック舗装<sup>36</sup>

歩道舗装の断面寸法比較  
(近畿地方整備局 設計便覧より)

(単位:cm)

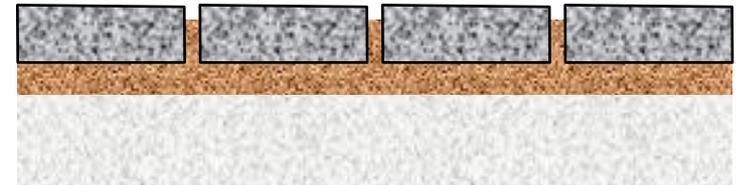
# 版厚の小さなコンクリート舗装

ひび割れの増加により、たわみ性舗装化



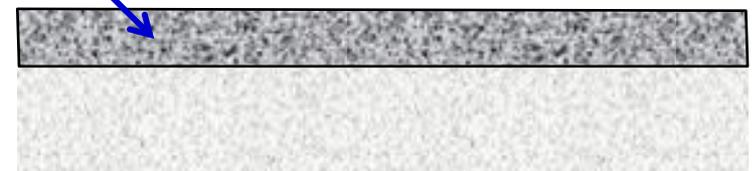
たわみ性コンクリート舗装？

||



インターロッキングブロック舗装

たわみ性のコンクリートは存在するか？



存在するのであれば、少ない目地でコンクリート舗装が可能  
(たわみ性コンクリート舗装)

## 剛性舗装 (rigid pavement)

表面部分を剛性の大きい材料で造り、その材料の曲げ強度で輪荷重に抵抗するような舗装、普通は、コンクリート舗装のことをいう。

## たわみ性舗装 (flexible pavement)

主として瀝青材料を用いて造られた舗装をいい、各層に用いる材料の剛性は比較的低く、輪荷重による路面のたわみ量は一般に大きく、許容たわみ量も大きい。

以上、「道路舗装用語の解説(1980)」記載の要約

簡単に言えば、

剛性舗装: コンクリート版の曲げ剛性に頼る舗装

たわみ性舗装: 層の曲げ剛性に頼らず、全体で荷重を支持する舗装 (路盤の役割を重視)

## 舗装の構成材料・工法による分類例（山田の私案）

曲げ剛性依存度による大分類	主構成層の材料・工法による分類		
	中分類	小分類	
剛性舗装	コンクリート舗装	普通コンクリート版	
		連続鉄筋コンクリート版	
		転圧コンクリート版	
		コンポジット舗装	
	その他	？	
たわみ性舗装	アスファルト舗装	密粒度系	
		(密粒度系)アスファルト混合物	
		グースアスファルト混合物	
		砕石マスチック混合物	
	開粒度系	その他(ロード、大粒径など)	
		ポーラスアスファルト混合物	
		保水性舗装	
		半たわみ性舗装	
	セメント系舗装	ブロック舗装	コンクリート平板、ILB など
		非ブロック舗装	たわみ性コンクリート？
その他		樹脂混合物など	

# フロリダ大学で アスファルト再生骨材の 舗装用コンクリートへの適用性を研究

(参考文献)

Mang Tia et al. : Use of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP, アスファルト再生骨材) in Concrete Pavement Slabs, FDOT Project BDK75 977-34, Final Report (Oct.2012)

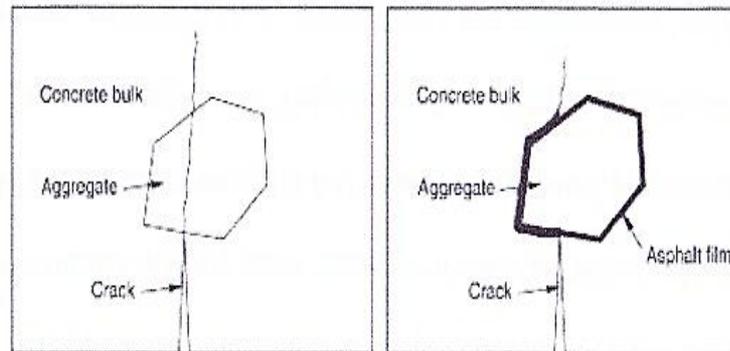
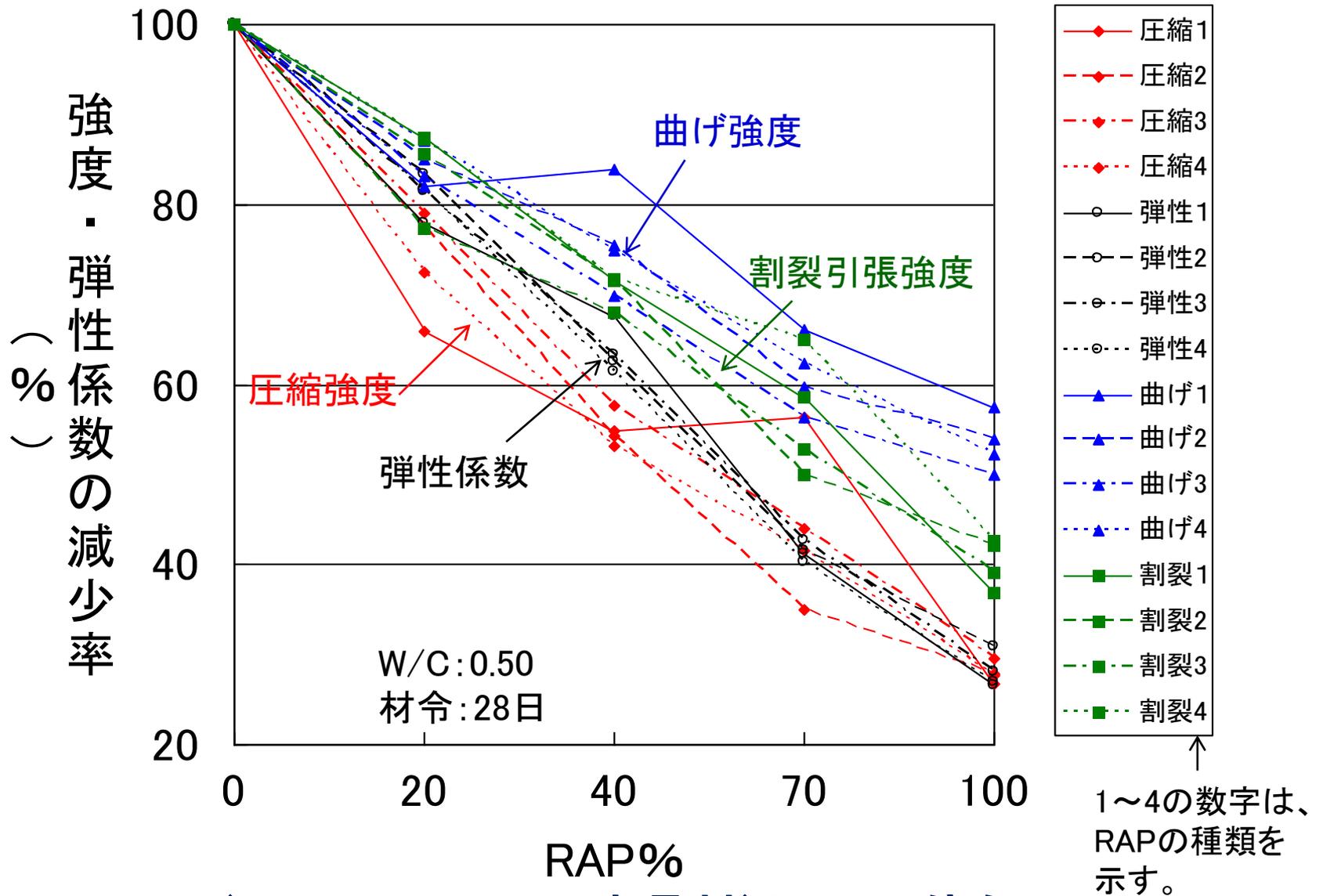


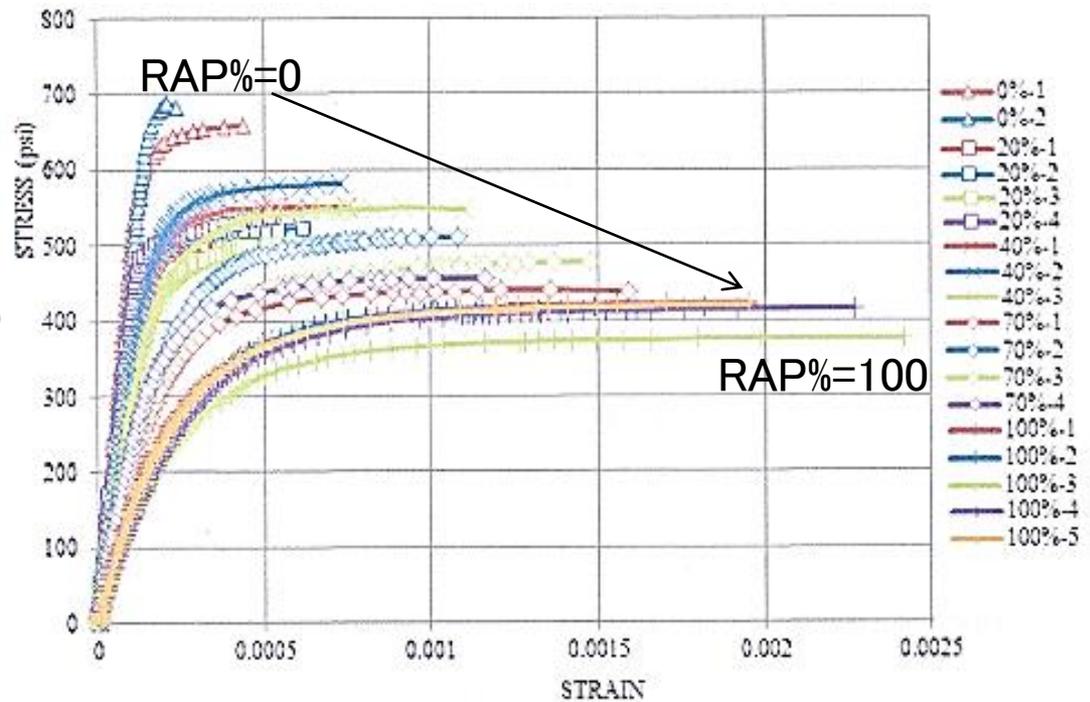
Figure 2-15. Propagation of crack through aggregate with and without asphalt film (Huang, et al. 2006)

アスファルト膜の有無とクラック進行



**RAP (アスファルト再生骨材) 混入に伴う  
各種強度・弾性係数の減少率**  
(フロリダ大学の実験データから)

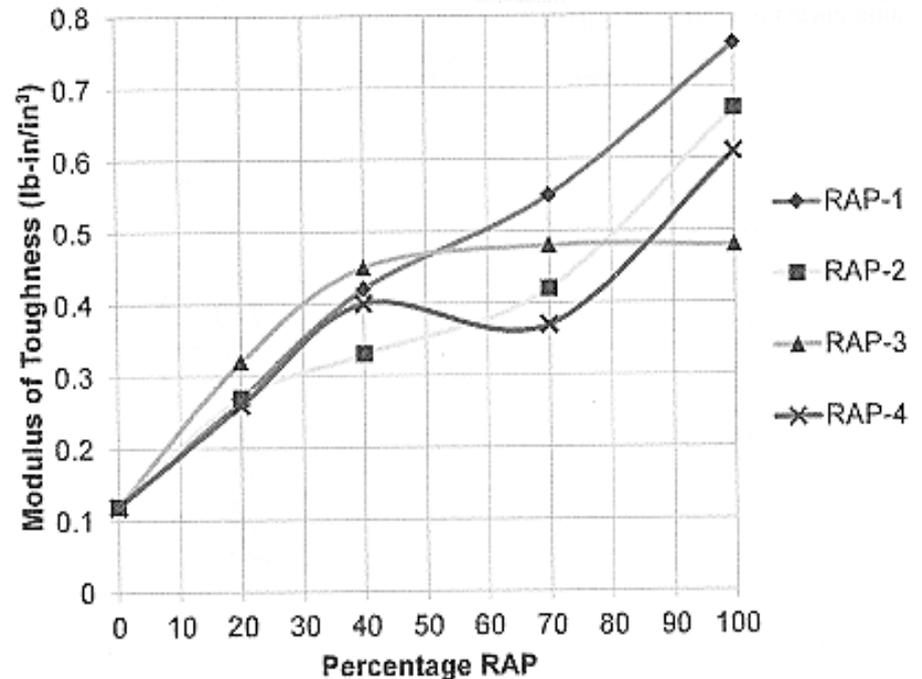
RAP含有コンクリート(材令90日)  
の曲げ試験における  
応力・ひずみ曲線



RAP含有コンクリート(材令90日)  
のタフネス係数



このRAP使用によるタフネス係  
数の増加を活かして経済的コン  
クリート舗装ができないか？



### 3. 舗装工事での作業環境問題への対応

# 関西道路研究会「道路環境問題研究会」2015.6発足

目的：文献調査および専門家から講演を聴き、道路における環境問題の現状を把握し、研究課題を整理する。

研究範囲：

## 1)道路(の存在)による環境問題

- ・騒音、振動、自動車排気ガスなど、車による問題
- ・構造物による熱環境、地下水などに係る問題

## 2)道路建設(工事、材料など)に係る問題

- ・道路工事に伴う沿道環境および工事作業環境
- ・材料の安全性、リサイクルなどの問題

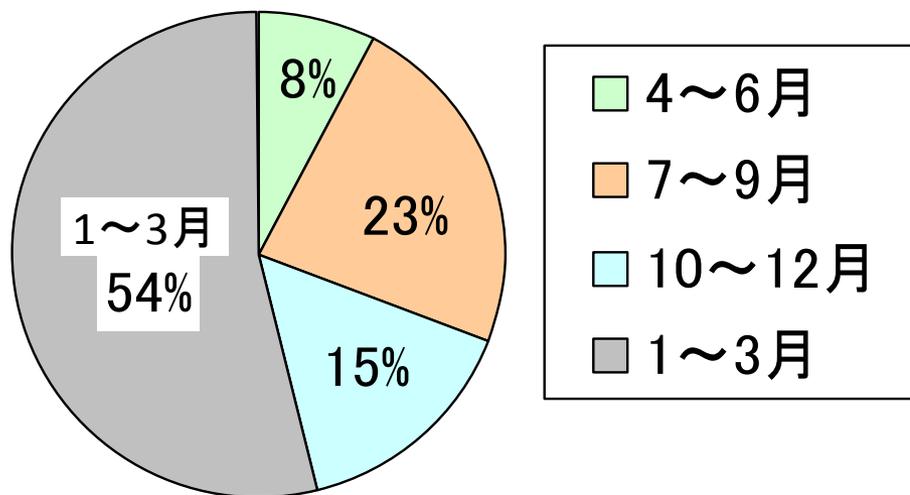
## 3)道路、街の緑化、景観問題、交通弱者対策

- ・沿道、公園の緑化、景観
- ・歩道、駐車場等の舗装での緑化(草系舗装)、足にやさしい舗装など

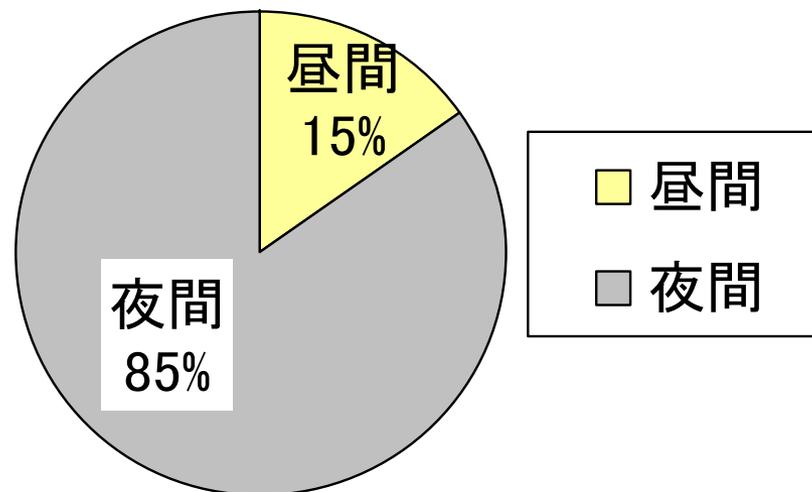
アスファルト舗装工事で、  
各種役割を持つ作業員達の作業環境の改善が必要

## 最優先 要改善検討事項

1. 夜間工事等、時間的拘束・不規則性
2. アスファルト・エミッション問題



施工時期



施工時間帯

**交差点を含む舗装工事の施工時期および施工時間帯**  
 (2012年度交差点舗装に関する産学官共同研究報告書から)

# いま、欧米でアスファルトエミッション問題が浮上

アスファルトは、石油の蒸留残留分であるが、少量の揮発性、半揮発性の有機化合物が残っていて、加熱、攪拌で、解放される。

→ Asphalt Emissions (アスファルト排気)

これまで、アスファルトの吸入や皮膚曝露と、肺癌リスクとの関連、喫煙やコールタール曝露の場合のような癌発病率増加について、確かな証拠はない、とされてきた。

しかし、IARCは2013年発行のモノグラフで「アスファルトおよびその道路舗装工事での排気への職業的曝露は“**人に発癌性の可能性も**”(Group 2B)」という結論を下した。

IARC: International Agency for Research on Cancer  
(癌に関する研究のための国際的機関)

我が国でも、調査を開始。

## IARCによる「人における発癌性(carcinogenicity)」の分類

Group 1 :The agent is carcinogenic to humans.

Group 2A :The agent is probably carcinogenic to humans.

Group 2B :The agent is possibly carcinogenic to humans.

Group 3 :The agent is not classifiable as to its carcinogenicity to humans.

Group 4 :The agent is probably not carcinogenic to humans.

Agent  
: 化学物質  
carcinogenic  
: 発癌性

舗装工事中のストレートアスファルトおよび、それらのエミッションへの職業上曝露についてのIARCの評価は、

1985年 (Volume 35) : Group 3



2013年 (Volume 103) : Group 2B

米国のNCHRP (National Cooperative Highway Research Program :  
全米協同道路研究計画) のプロジェクト9-47A で  
Worker Exposure (作業者曝露) 調査

各舗装工事現場 (インディアナとニューヨーク) で、  
Worker Breathing Zone Sample (作業者が吸い込むことが  
できるゾーンのアスファルトエミッション試料) の採取、分析

分析項目

・全サンプルについて

Total Organic Matter (全有機物量:TOM) を測定

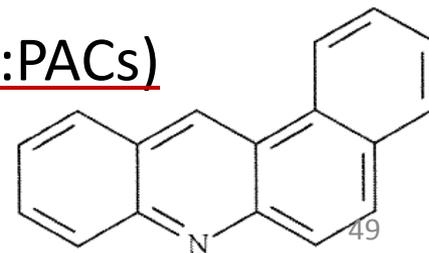
(ベンゼン可溶分率:BSFは、検出限界以下)

・各サイトで、最も高いTOMを示したサンプルについて

Polycyclic Aromatic Compounds (多環芳香族化合物:PACs)

の検定

PACの例→



## 調査対象作業者

- Paver Operater  
(舗設機の運転者)
- Screedman  
(敷均し装置係)
- Roller Operater  
(ローラの運転者)
- Raker/Labour  
(レーキ係/助手)

それらの作業者が、  
吸着剤入りチューブを2本、装着

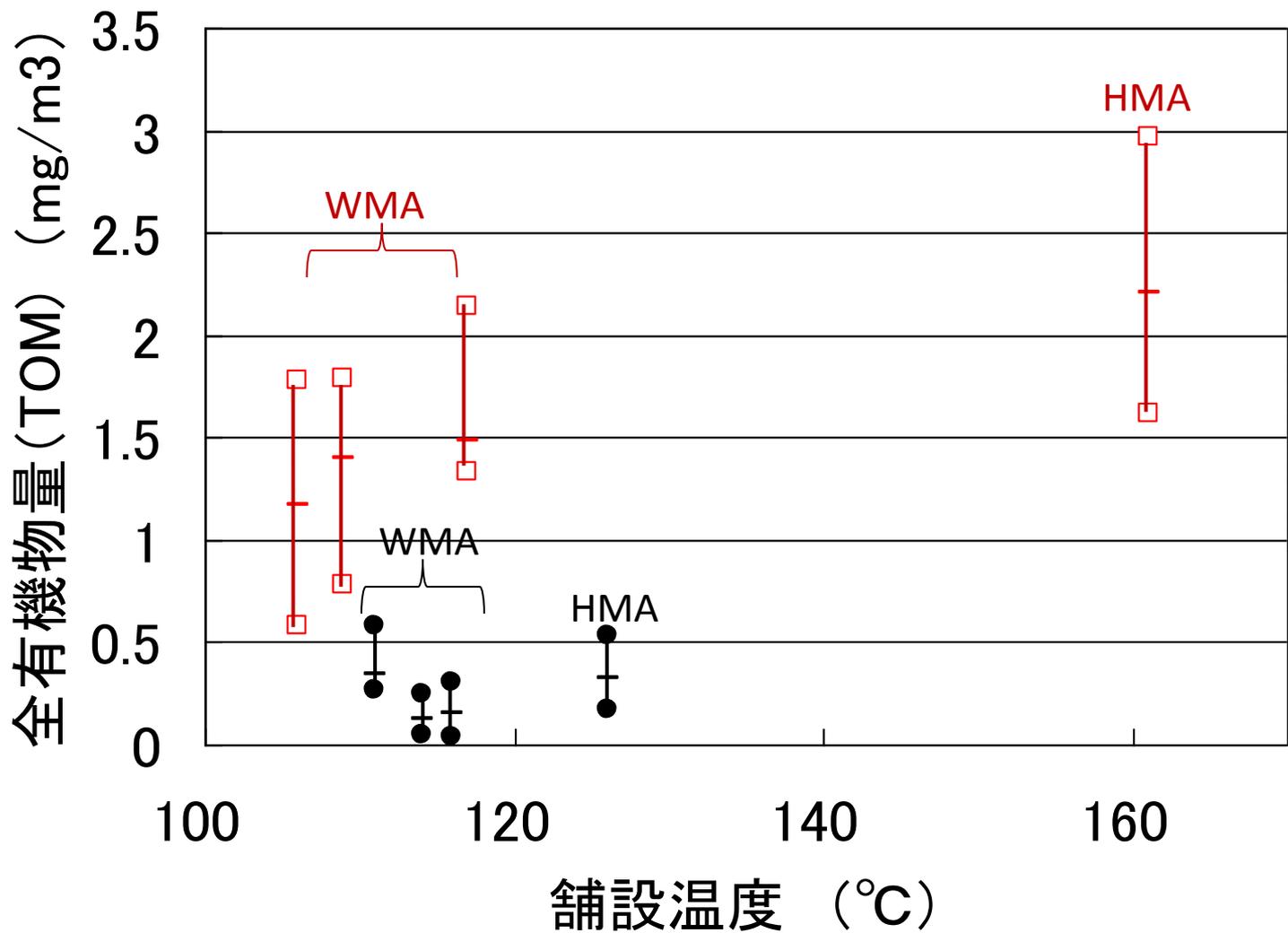
- 吸着剤: XAD-2、+活性炭
- 吸引速度: 2.0 L/min
- 工事終了後、溶剤(ジクロロメタン)  
で抽出して分析へ



道路舗装工事での作業者達



サンプラーを装着した作業者

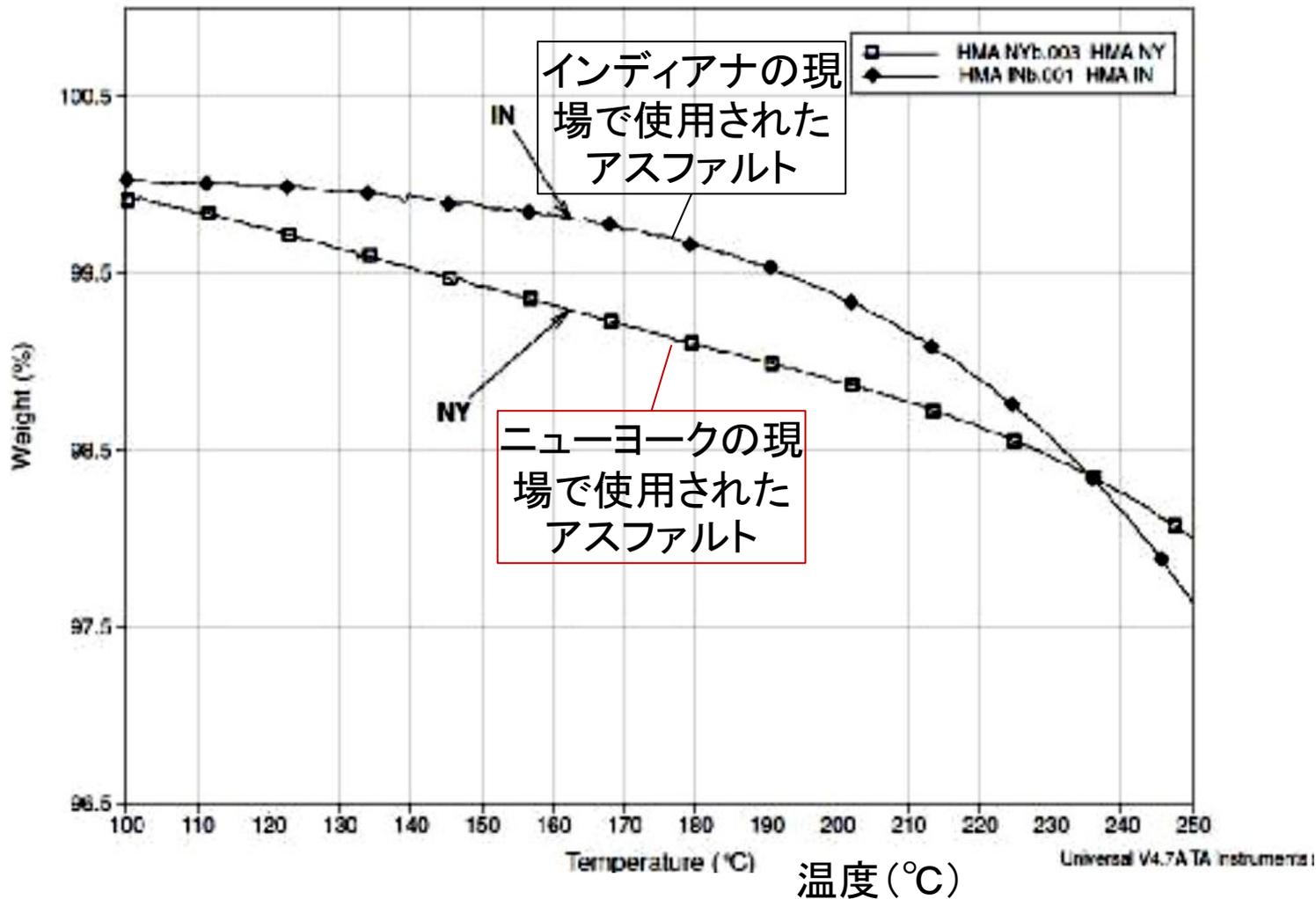


□: ニューヨーク州での例  
 ●: インディアナ州での例、  
 (アスファルトの原油が異なる。)

## アスファルト・エミッション中の全有機物量の測定例

(NCHRTレポートのデータから作成)

重量



## アスファルトバインダの熱重量測定結果

(NCHRTレポートから引用)

多環芳香族化合物名  
(ベンゼン環数)

検出限界  
0.06~0.11

インディアナ州での採取試料

WMA-3  
WMA-2  
WMA-1  
HMA

検出限界  
0.06~0.07

ニューヨーク州での採取試料

WMA-6  
WMA-5  
WMA-4  
HMA

Pyrene (4)  
Fluoranthene (3+)  
Phenanthrene (3)  
Anthracene (3)  
Fluorene (2+)  
Dibenzothiophene (2+)  
Acenaphthylene (2+)  
Acenaphthene (2+)  
Naphthalene (2)  
Benzothiophene (1+)

0 2 4 6  
 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

0 2 4 6  
 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

高い全有機物量(TOM)であったサンプル中の多環芳香族化合物(PACs)の検出結果 (NCHRTレポートのデータから作成)

## NCHRPの調査結果から

現状、アスファルトによる癌リスクは立証されないが、喉の炎症への影響は明らか。アスファルトの使用温度を下げること(中温化技術の採用)が望ましい。

中温化技術の採用は、全有機物量(TOM)を少なくとも30%程度低減させる。

使用するアスファルト(特に、原油の違い)により、評価結果が異なる。

我が国でも、使用しているアスファルト、合材製造および施工条件において作業者が吸引するアスファルトエミッションを試験してみる必要がある。

**中温化技術**とは、  
アスファルト混合物の製造から舗設までの各温  
度を低下させる一連の舗装技術

従来の加熱アスファルト混合物  
Hot-Mix Asphalt (HMA)  
製造温度：140～160°C程度

中温化アスファルト混合物  
Warm-Mix Asphalt (WMA)  
製造温度：100～140°C程度

# 中温化の方法

## 1)発泡系

水分や発泡剤を用いて、加熱アスファルト中で発泡させ、ベアリング効果によりアスファルトの混合性、締固めやすさを高める。

## 2)粘弾性調整系

発泡剤以外の添加剤を用いて、アスファルトの高温域（製造・施工温度領域）での粘弾性を調整し、混合物の製造・施工温度を低下させる。低温域（供用温度領域）では、無添加の場合と変わらない。

## 3)滑剤系（界面活性剤系）

界面活性剤を用いて、アスファルトおよび骨材界面の潤滑性を高める。舗設後は、潤滑効果はなくなる。

## 4. 維持保全時代への対応

高速道路を含む多くの道路で、排水性舗装が一般的となった。

- ・この種の舗装の表層に使用されている混合物は、ポーラスであるが、多量のポリマーを複合させたアスファルトを使用しているため、わだち掘れは生じにくい。
- ・しかし、交差点部など、強いねじり作用をうける路面では、骨材飛散が生じやすい。
- ・壊れ始めると、急速に崩壊する。
- ・基層上面にまで雨水が浸透するため、基層および表層との接着層の水分抵抗性が弱いと表層と基層の分離、基層混合物中アスファルトの離脱（ストリップング）が生じやすい。

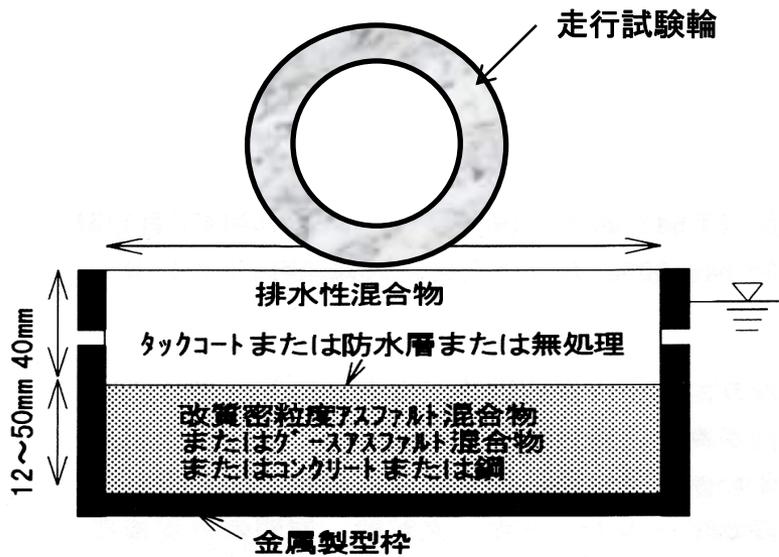


図-2 水浸ホイールトラッキング試験の供試体の構造

試験温度：60℃  
 輪荷重：686N(70kgf)  
 走行速度、距離：41往復/min, 280mm  
 トラバース速度、幅：100mm/min, 250mm

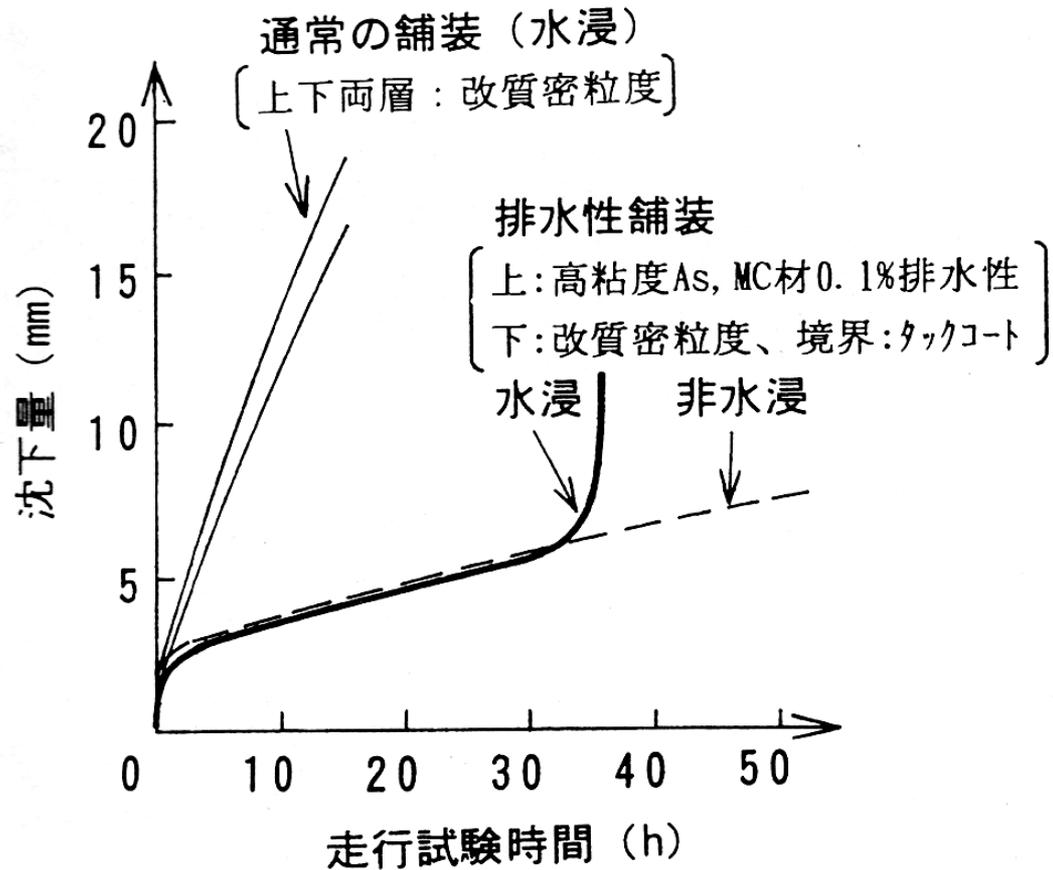


図-4 沈下量－走行試験時間曲線

## 橋梁床版上舗装の水浸ホイールトラッキング試験

(山端一浩ら：土木学会論文集, No. 606/V-41, 21-29, 1998)

最近のアスファルト舗装では、わだち掘れは生じにくく、破壊は線状クラックから始まることが多い。  
しかも、Top-Down Cracking（クラックが表面で発生し下方に進行すること）が多い。

## トップ・ダウン・クラックの発生原因

1. トラック・タイヤによる高い表面水平引張応力  
（広いベースのタイヤと高い膨張圧の影響）
2. 温度応力  
（アスファルトの老化・硬化が温度応力を増幅）
3. 路面の温度上昇に伴う混合物スチフネスの低下  
（トラック・タイヤのエッジ近くに大きな引張ひずみ）

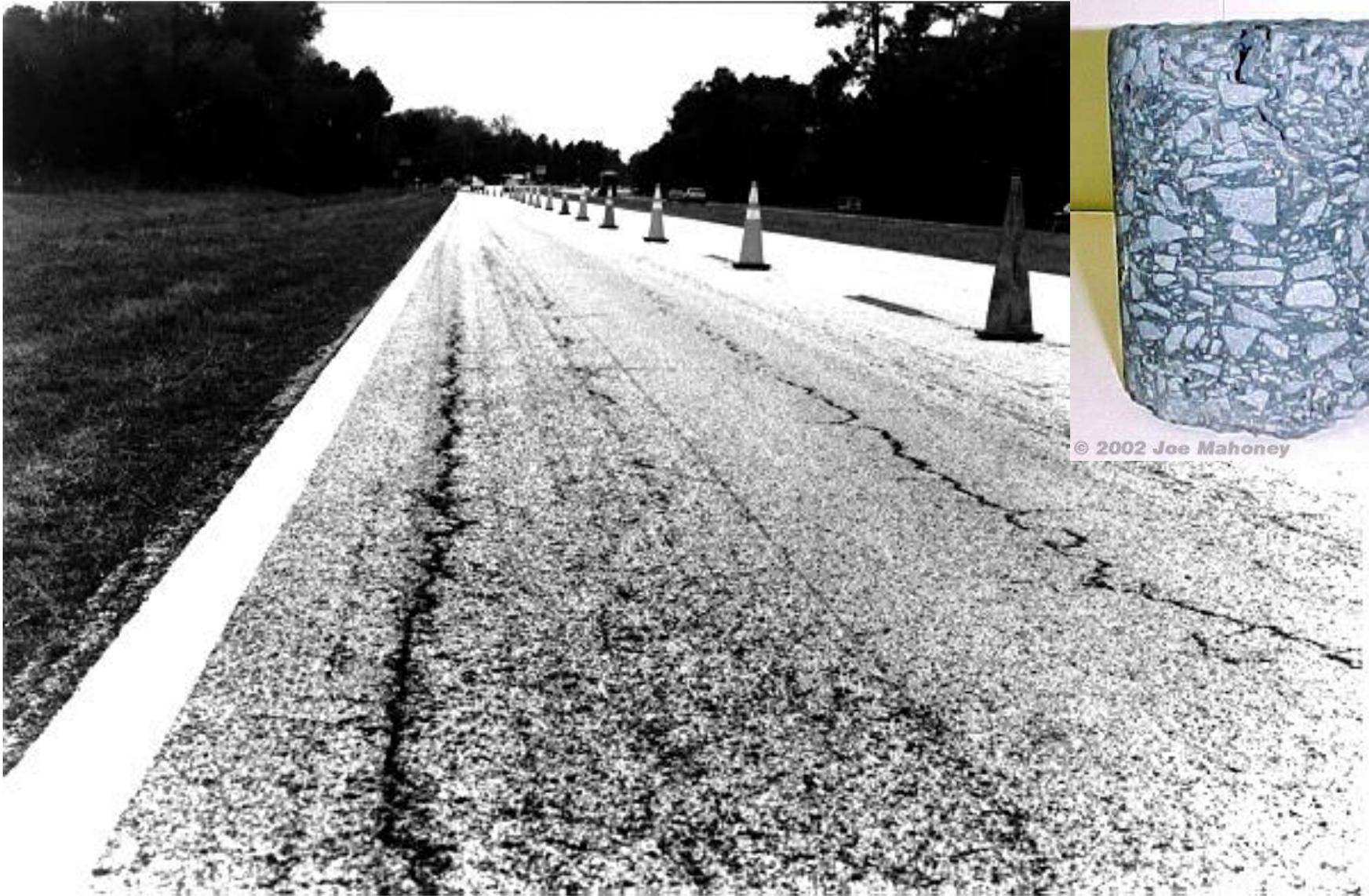


Figure 1. View of Lane Exhibiting Visible **Top-Down Longitudinal Cracks** in the Wheel Paths (L. A. Myers, and R. Rogue, AAPT, 71, 2002)

維持保全がしやすい高耐久性舗装として、

1. 高耐久型アスファルトの採用

・高耐久型改質アスファルト

・ねじれ抵抗性改善型改質アスファルト

2. 基層と表層、その他、アスファルト混合物層間の接着・遮水性能強化

・厚層舗装

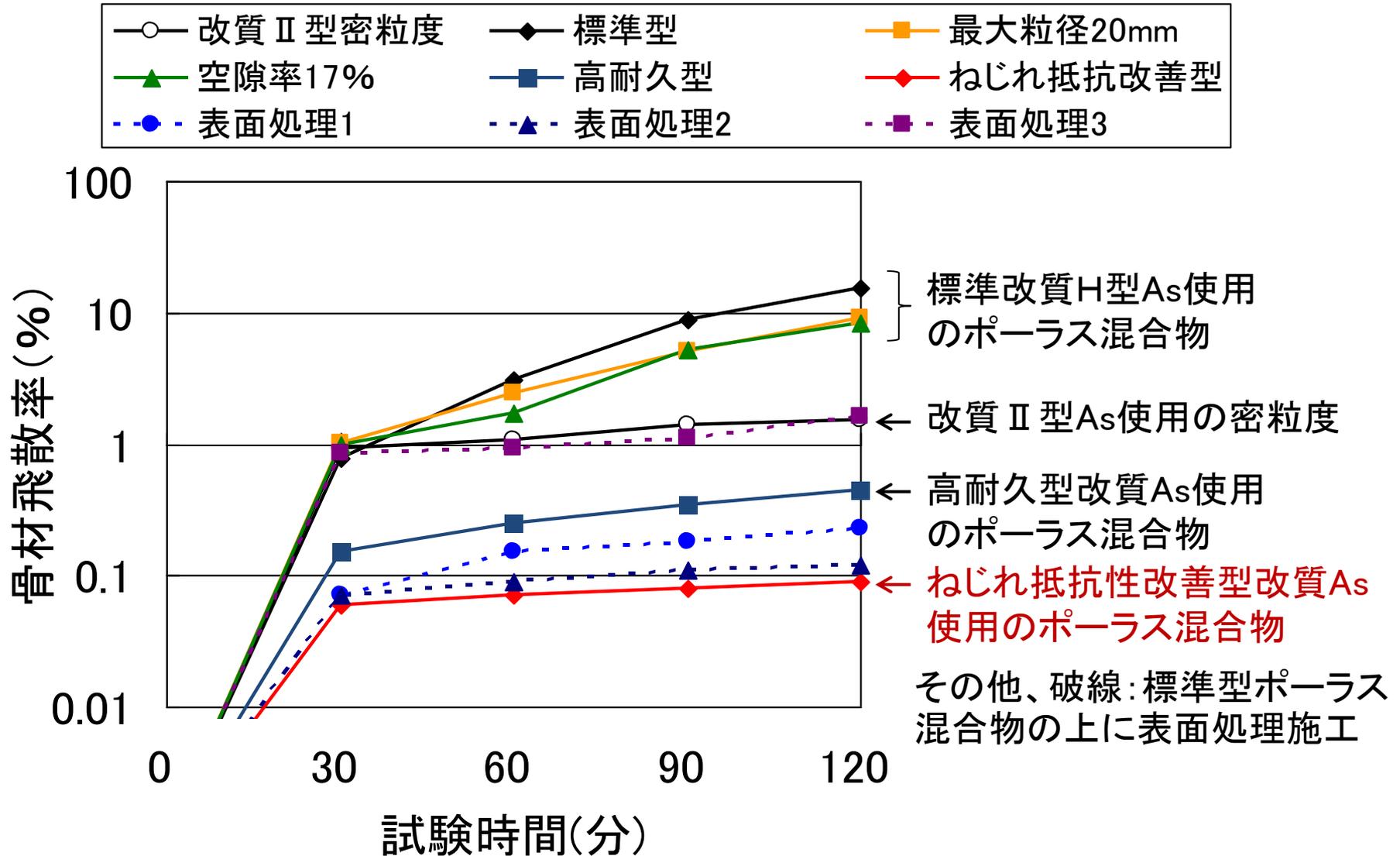
・遮水型排水性舗装

(あるいは、3. コンクリート舗装の採用)

がある。

それらの効果(費用対効果)が検討されねばならない。

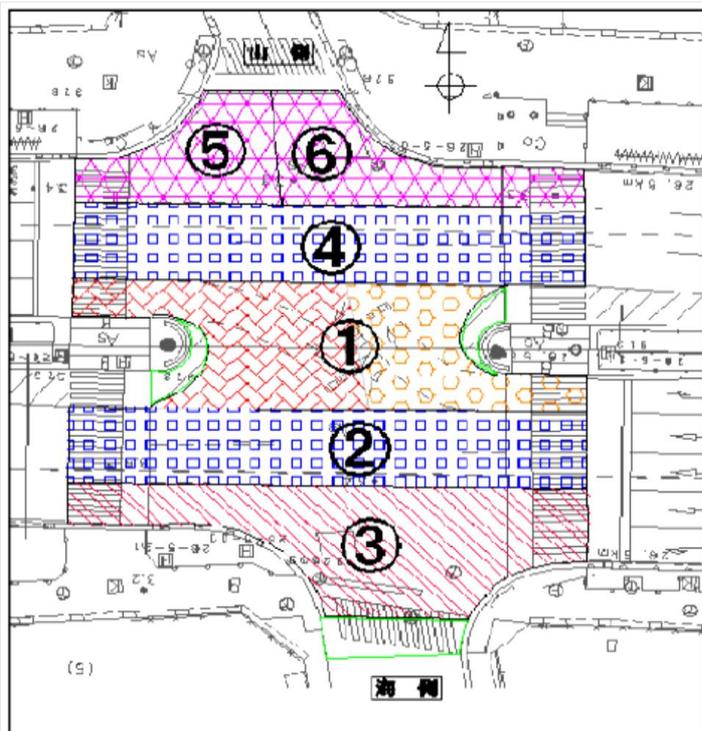
# ねじれ抵抗性改善改質アスファルトの効果



## ポーラスアスファルト混合物のねじり骨材飛散率試験結果例

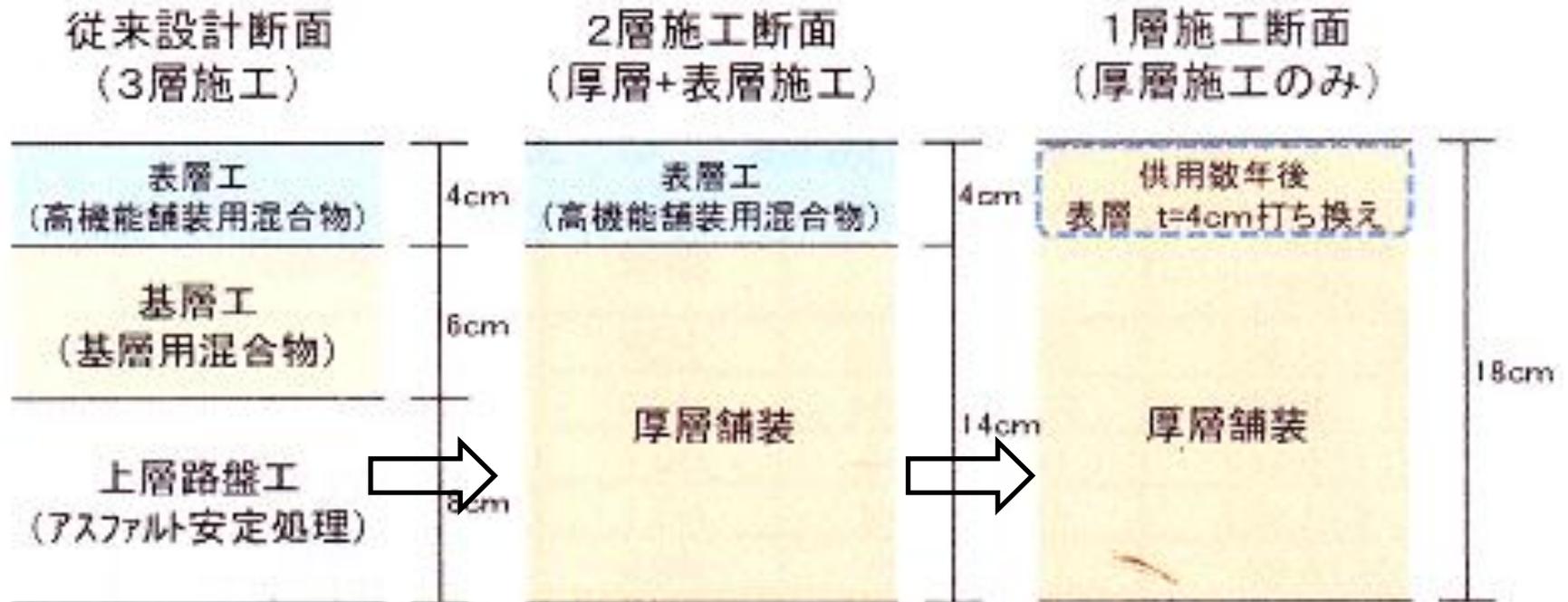
(新都市社会技術融合創造研究会 研究プロジェクト2012年度活動報告より)

新都市社会技術融合創造研究会  
産学官共同研究プロジェクト  
(2011～2013年度)で2013年10月  
国道43号東御影交差点にて  
ねじれ抵抗性改善型改質アス  
ファルトを含む5種類の工法・材料  
が施工された。



施工箇所	ポーラス混合物表層の工法・材料
②と④	通常のポーラス混合物 (標準型改質アスファルトH)
⑤と⑥	混合物に、 <u>ねじれ抵抗改善型改質アスファルト</u> 使用
③	⑤⑥と同じ混合物の表面を 透水性樹脂モルタルで処理
①の東側	②④と同じ混合物表面に 樹脂系トップコート
①の西側	②④と同じ混合物表面にアスファ ルト乳剤系トップコート

# 厚層舗装の例



## 従来の舗装と厚層舗装の断面

(本松ら(西日本高速)・金田(NIPPO):第30回日本道路会議(2013)から)

これらは、現行の舗装構造設計法での寿命評価は同等、しかし、同じ品質で層境界(打継ぎ目)を無くせば、明らかに長寿命化のために有利

# 遮水型排水性舗装の例 (遮水性排水性舗装工法研究会HPより)

(Porous Surface Mastic Asphalt Course)

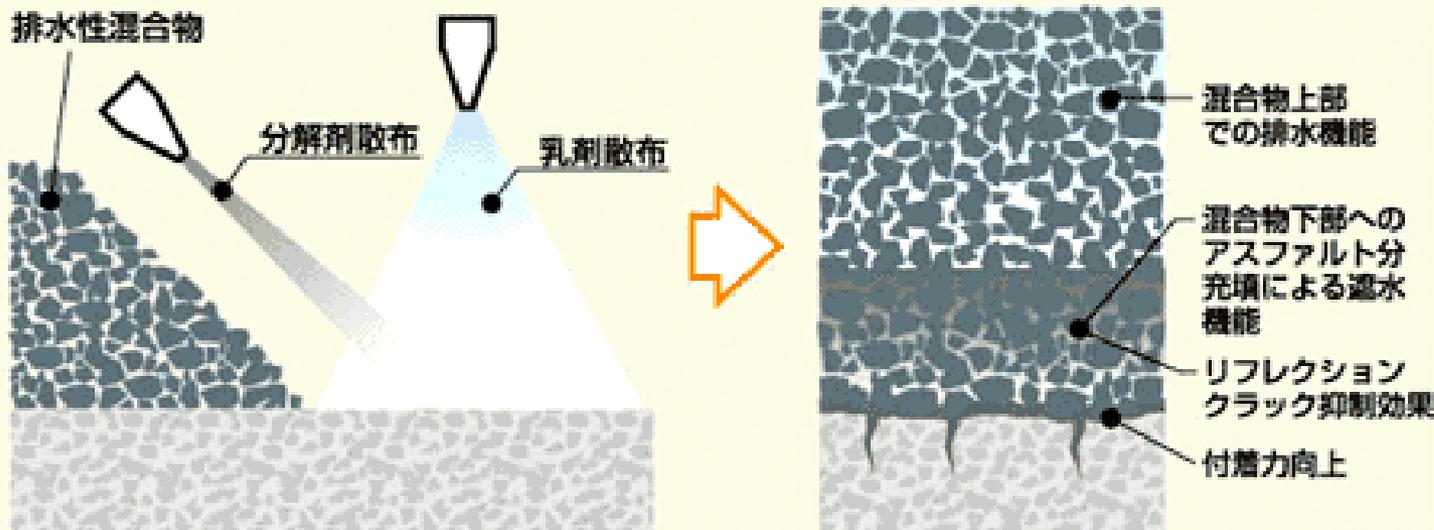
特許第3070737号  
特許第4537155号  
NETIS:KT-040084-V

**POSMAC** Porous Surface Mastic Asphalt Course

遮水型排水性舗装工法研究会

遮水型排水性舗装は、乳剤散布装置付アスファルトフィニッシャ(SPAF)で高濃度改質アスファルト乳剤(カチオンGS-C)を多量に均一散布し、即時分解させると同時に排水性混合物を舗設します。

散布された乳剤は、老化した既設路面の微細なクラックの処理や基層との接着といったタックコート本来の目的に加え、新しく舗設した排水性混合物の下面から浸透し、乳剤中のアスファルト分が混合物の下部の空隙を充填し遮水層を形成します。これにより、表層下部にはアスファルトリッチな遮水層が形成され、耐久性を向上させます。さらに、この部分は応力緩和層として働き、既設路面からのリフレクションクラックの抑制効果が期待できます。

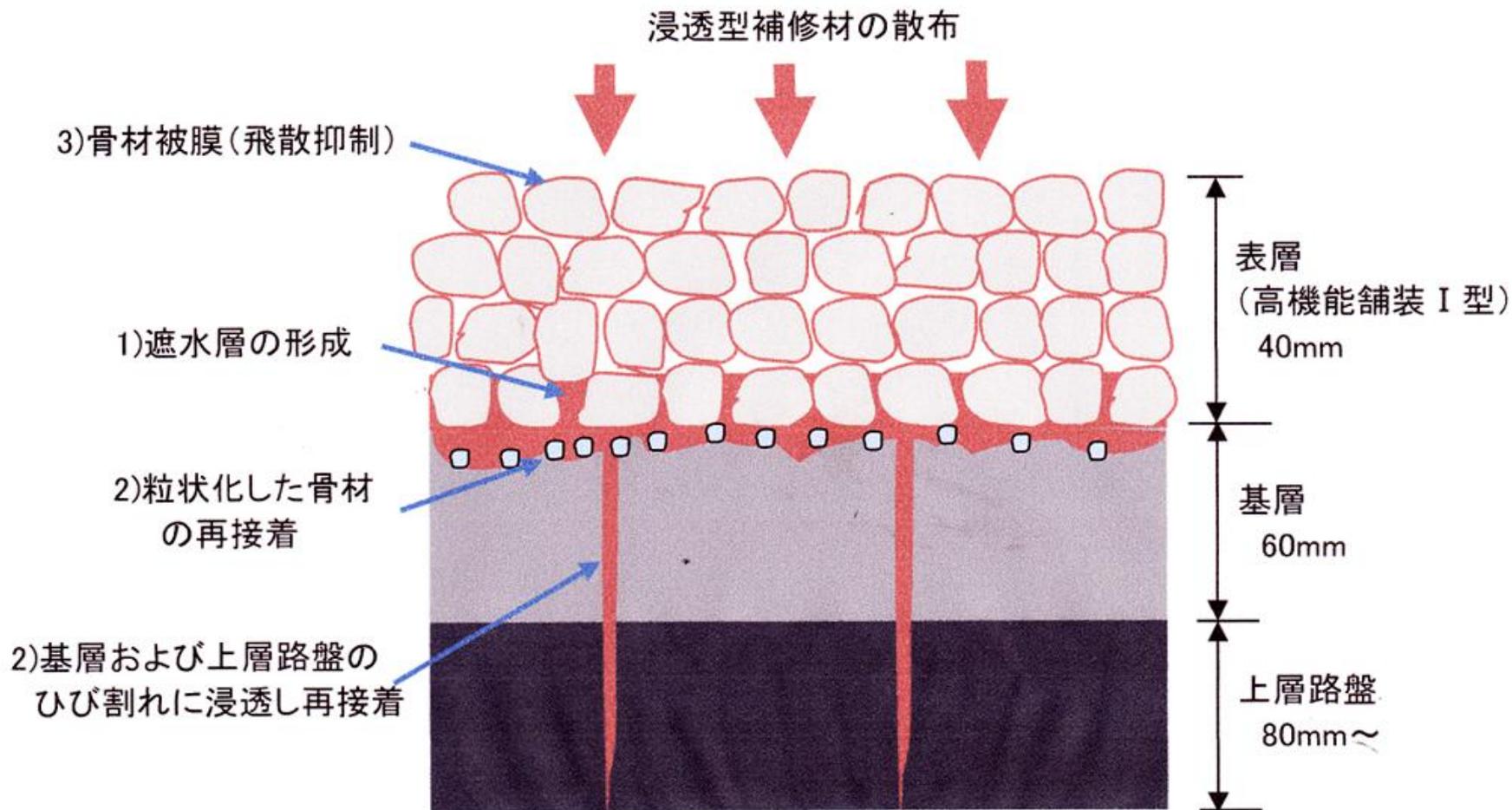


【連続的な施工】

【路上での仕上がり】

POSMACの概念図

# 既設排水性舗装の遮水型化の例



浸透型補修材散布・注入による排水性舗装の補修工法例

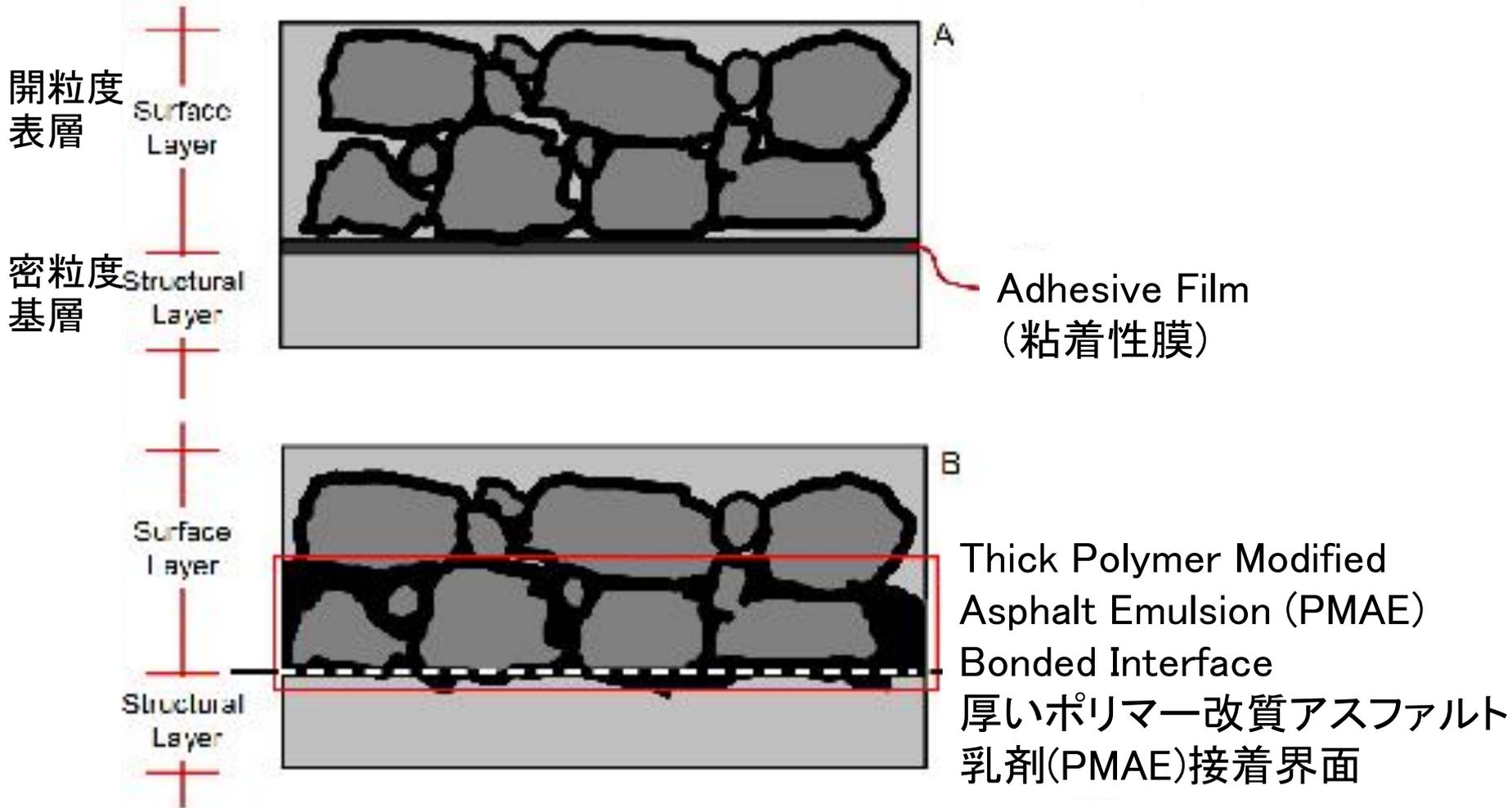
(第31回日本道路会議(2015), 3153,

大原・本松(西日本高速道路)・上坂(昭和瀝青工業)らの論文より)

# 遮水型化の効果検討例

(Y. Chen et al.(Univ. of Florida): Effect of Interface Condition Characteristics on Open-Graded Friction Course Top-Down Cracking Performance, J of AAPT, 2012)

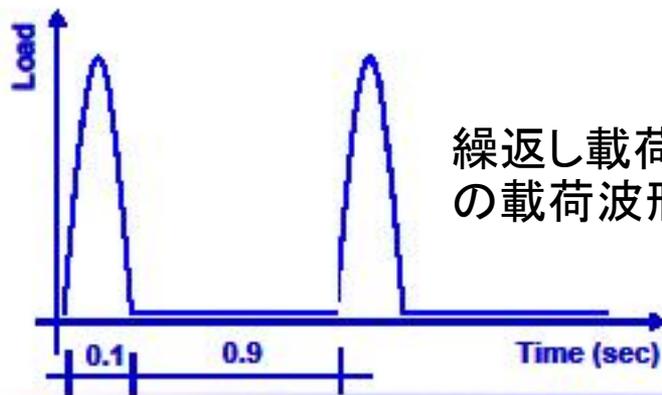
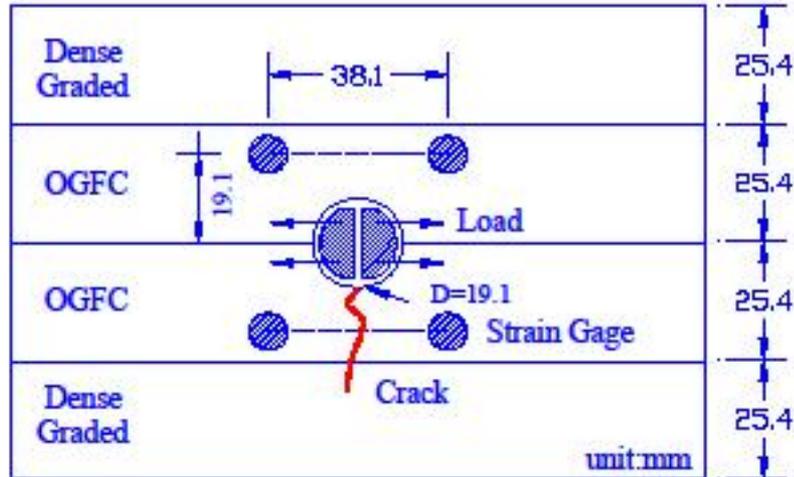
Open-Graded Friction Course(OGFC) : 開粒度表層



従来型タックコート(上)とPMAE界面(下)

# 複合供試体界面割裂試験 CSIC Test Method

(Composite Specimen Interface Cracking)



繰返し载荷の場合の  
载荷波形



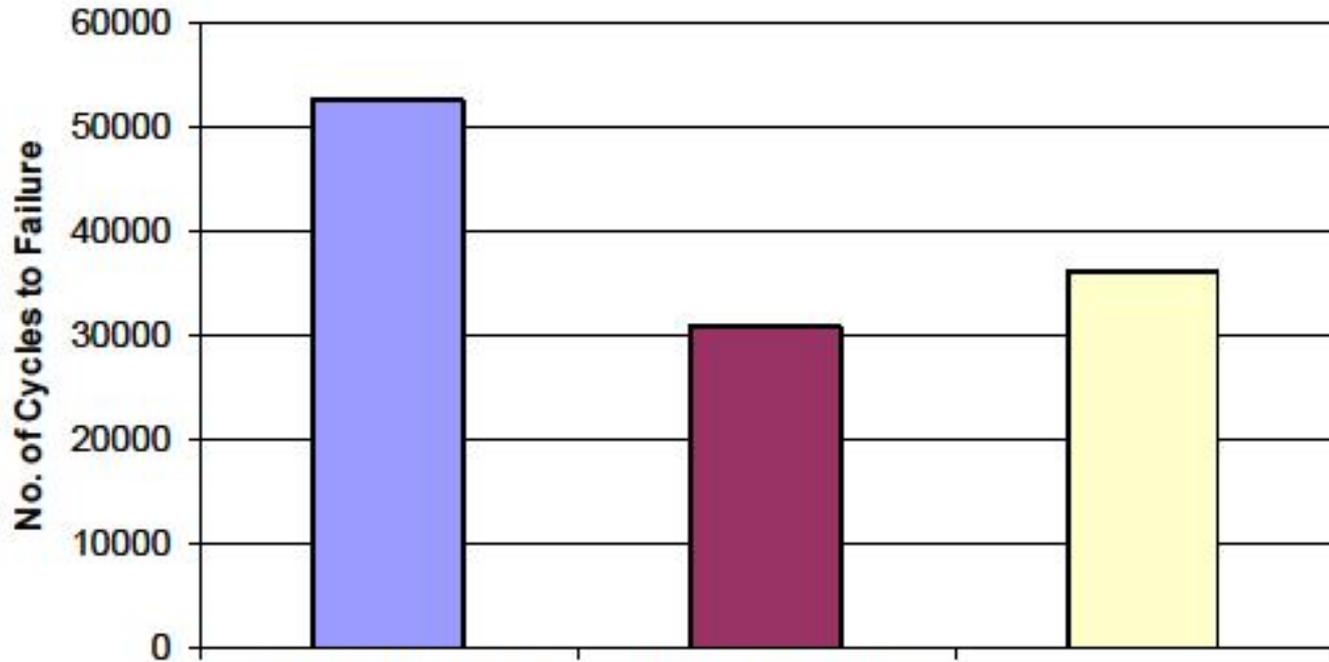
10/12/2010

複合供試体の繰返し載荷試験の結果

Top-down Cracking

繰返し荷重 : 570 lb(2535.5 N)

破壊までの繰返し回数



OGFC on Dense with PMAE (1.35 L/m<sup>2</sup>)  
 表層: 開粒度  
 タックコート: 1.35L/m<sup>2</sup>  
 (PMAE)  
 基層: 密粒度

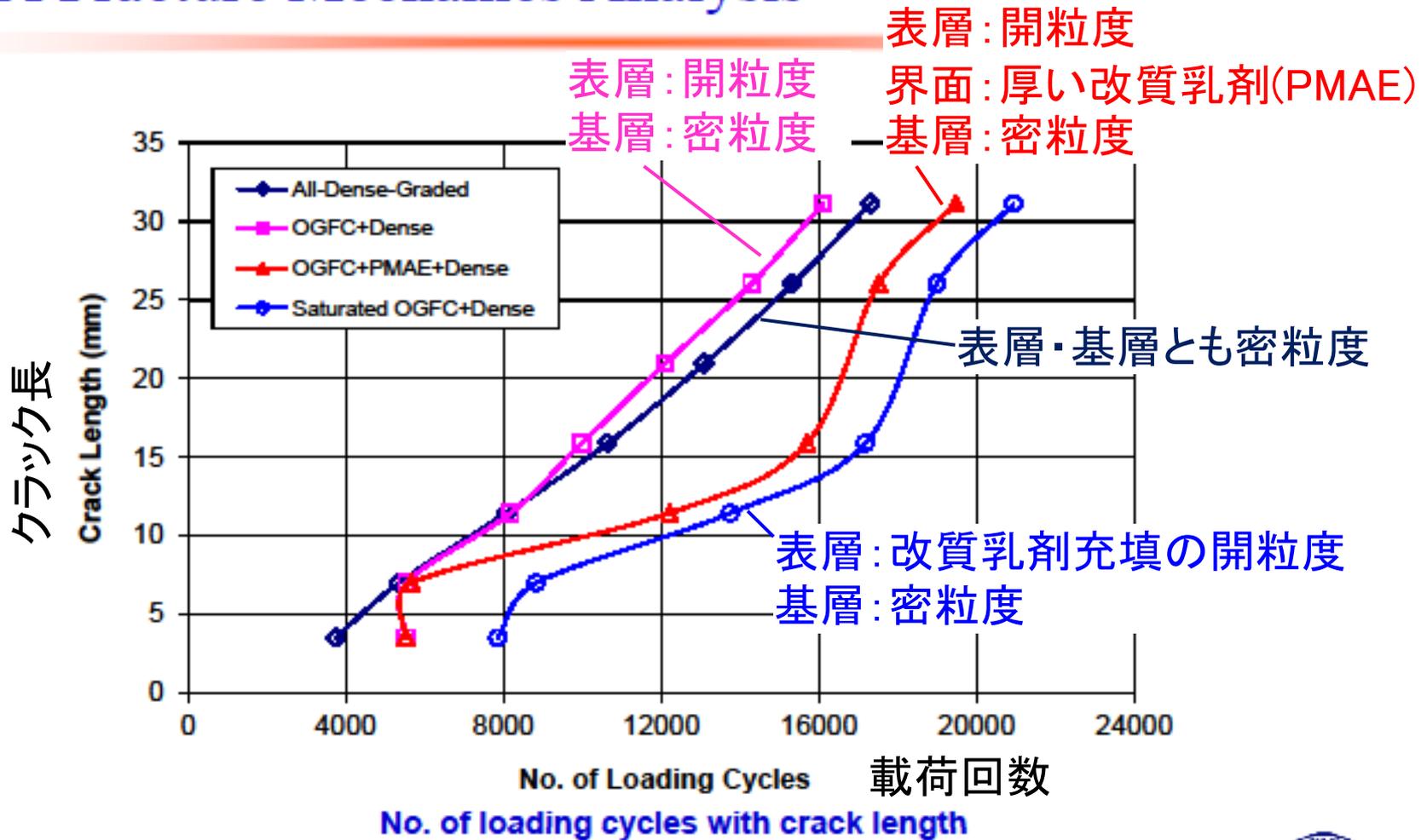
OGFC on Dense with Conventional Tack (0.2025 L/m<sup>2</sup>)  
 表層: 開粒度  
 タックコート: 0.2025L/m<sup>2</sup>  
 (従来型)  
 基層: 密粒度

All-Dense-Graded  
 表層・基層とも  
 密粒度



# HMA破壊力学による クラック進行についての解析結果

## HMA Fracture Mechanics Analysis



厳しい資源・環境問題への対応の中、  
延命・長寿命化への取り組みは続く  
舗装技術のさらなる発展を期待！

**E N D**