

## 舗装工学特別講義

# 舗装材料と舗装調査技術

～時代の要請と技術開発～

ニチレキ(株)河野恭一

## 講義概要

舗装材料:アスファルト乳剤  
改質アスファルト

舗装調査(路面性状調査、舗装構造調査)  
について

技術の変遷と現状、今後に期待することなど  
私見を交えて紹介

アスファルト:その量は、わずか5%  
されど5%

5%の世界であらゆる挑戦  
アス量、アス性状改善、骨材と水と、  
舗装機能・性能とアス など

舗装調査:線の下の方持ち  
そして、水先案内人(ツ-ル)

地道な調査と膨大なデ-タ処理 線の下の方持ち  
調査結果の活用 水先案内人  
(調査結果分析による将来予測、舗装管理支援システム運用)

## 1. アスファルト乳剤

- 時代の要請と技術開発 -

1. アスファルト乳剤とは
2. アスファルト乳剤の歴史
3. アスファルト乳剤工法の現状
4. アスファルト乳剤への期待
5. 展望

## なぜ乳剤にするのか

アスファルトは常温で半固体  
使用(散布、混合)するためには、粘性の低下が必要

### 方法

- ・加熱溶解する 加熱混合物
- ・揮発性溶剤を加える カットバック
- ・乳化する **アスファルト乳剤**

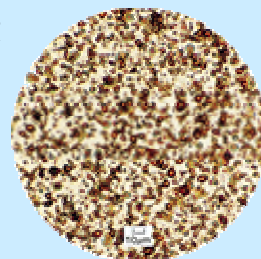
## 1. アスファルト乳剤とは

界面活性剤を用いて、  
水中にアスファルトの微  
粒子を分散させたもの  
界面活性剤



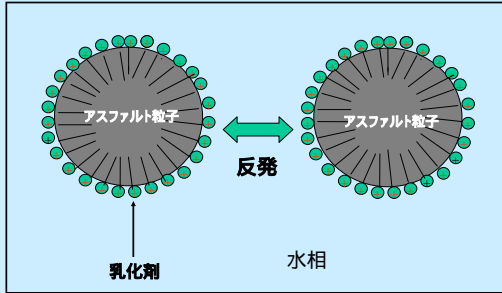
- ・同一分子内に親水基と親油基を有し、水と油の界面張力を大幅に低下させる物質
- ・親水基の極性により、カチオン、アニオン、ノニオンに分類

乳剤の顕微鏡写真

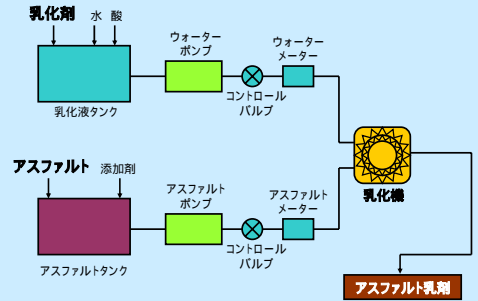


乳化粒子径 一般に2~3 μm

## カチオン系乳剤粒子 (水中での安定化)



## アスファルト乳剤の製造工程



## 2. アスファルト乳剤の歴史

- 明治39年 米、カールマンが特許取得
- 大正15年 東京市、米よりクレイタイプ乳剤を輸入
- 昭和 3年 東京市、直営で乳剤製造開始
- 昭和25年 乳剤舗装、失業対策事業に採用
- 昭和35年 我が国初、カチオン乳剤の開発
- 昭和39年 特殊改良第四種事業が施行
- 昭和50年代 路上再生CAE路盤工法始まる
- 昭和62年 路上再生路盤工法技術指針(案)発行
- 昭和63年 舗装要綱にゴム入り乳剤が記述
- 平成 5年頃 マイクロサーフェシング 始まる

## 昭和30年代の乳剤舗装

- 浸透式マカダム、エンジンスプレヤによる乳剤散布。



## 昭和30年代の乳剤舗装

- 骨材散布
- 箕に碎石を入れ、正確に正方形となるよう散布する。まさに職人技。



## 昭和30年代の乳剤舗装

- 乳剤混合物のプラント
- ベルトコンベアで各骨材をミキサに供給し、乳剤と混合する。



## 昭和30年代の乳剤舗装

- 中央混合方式で製造された乳剤混合物



## 昭和30年代の乳剤舗装

- ロードスタビライザによる路上混合式工法(昭和30年代)
- 砂利道の耐久性向上に寄与。簡易舗装工法として全国的に普及。



## 昭和30年代の乳剤舗装

- 東京都の常混プラント
- 東京オリンピック(S39)に向け、中央混合式乳剤混合物が、都内で施工された。



## 昭和30年代の乳剤舗装

- 中央混合式乳剤混合物の施工状況
- アスファルトフィニッシャーでの敷きならし、ローラ転圧など、現在の加熱混合物とほぼ同等の体制。

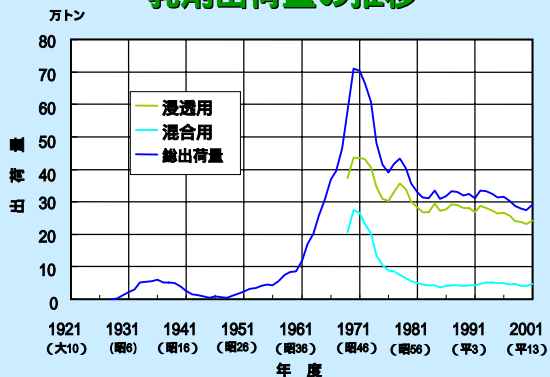


## 昭和30年代の乳剤舗装

- 昭和38年当時のスラリーシール
- 当時のものは、現在のような急硬性タイプではなく、施工後、長時間の養生が必要であった。

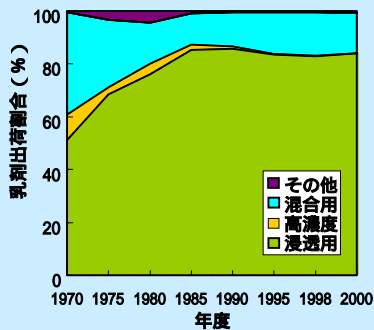


## 乳剤出荷量の推移



### 3. アスファルト乳剤工法の現状

プライムコート・タックコート

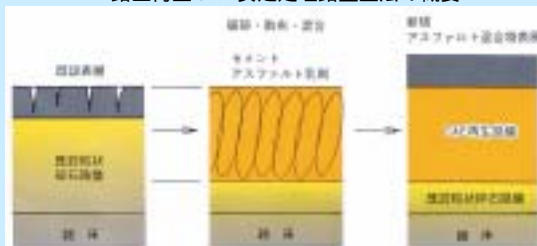


プライムコート、タックコートに使用される浸透用乳剤が全体の8割を占めている。

### 3. アスファルト乳剤工法の現状

現位置リサイクリング工法(その1)

路上再生CAE安定処理路盤工法の概要



路上再生CAE安定処理路盤工法の施工状況



### 3. アスファルト乳剤工法の現状

現位置リサイクリング工法(その2)

常温路上表層再生工法の施工状況



### 3. アスファルト乳剤工法の現状

表面処理工法(シールコート・アーマーコート)

- 軽交通、砂利道の表面処理、褥層に適用
- 予防的維持として期待されるも、耐久性の面から本格展開には至らず。



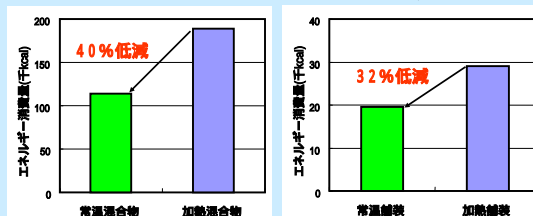
### 4. アスファルト乳剤への期待

乳剤舗装の省エネルギー効果

密粒度混合物、舗装での比較

混合物1ton当たり

厚さ5cm、1m<sup>2</sup>当たり



出典: (社)日本アスファルト乳剤協会 アスファルト乳剤 一般的な性質とその応用より

## 4. アスファルト乳剤への期待

新たな乳剤(改質アスファルト乳剤)

- 既存の乳剤工法は、耐久性向上が課題
  - ストアス乳剤での限界
- 課題解決のため、改質乳剤を開発
  - 耐久性、接着性が向上
  - ポリマ種により、様々な機能付与が可能
  - 乳剤としての新規用途が拡大

## 改質アスファルト乳剤の実用例

新たなタックコート(その1)

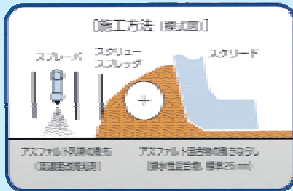
乳剤散布装置付きアスファルトフィニッシャ



## 乳剤散布装置付きアスファルトフィニッシャ

専用の改質乳剤を使用

施工方法の概要と施工状況



施工方法



施工状況

## 改質アスファルト乳剤の実用例

新たなタックコート(その2)

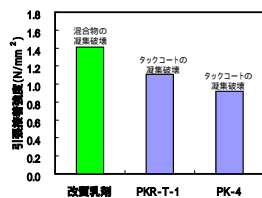
ベタツキを抑制した改質乳剤の散布状況



## ベタツキを抑制した改質乳剤の特徴



タイヤへの付着抑制状況



接着強度の比較

## 改質アスファルト乳剤の実用例

鋼床版舗装へのマイクロサーフェシングの適用



## 改質アスファルト乳剤の実用例

新たなチップシール工法

乳剤・骨材同時散布マシン



## 新たなチップシール工法の路面



## 5. 展 望

プリベンティブメンテナンス

・マイクロサーフェシング、チップシールの活用

新たな乳剤舗装への取り組み

・改質乳剤混合物など

## . 改質アスファルト

- 時代の要請と技術開発 -

1. 改質アスファルトとは
2. 改質アスファルトの変遷
3. 要請高まる改質アスファルト
4. 展 望

## 1. 改質アスファルトとは

・ストレートアスファルトに改質材を添加し、性能を向上

・改質材

NR, SBR, EEA, EVA, SIS SBS主流

・改質アスファルトの種類(マイクロ構造)

改質 型, 改質 型(アスファルト連続相)

高粘度改質アスファルト(ポリマ連続相)

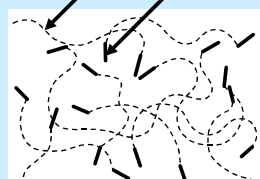
## 1. 改質アスファルトとは

改質材のメカニズム

S B S

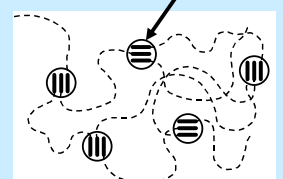
・ポリスチレンメインの温度変化

ポリブタジエン ポリスチレン



施工温度領域

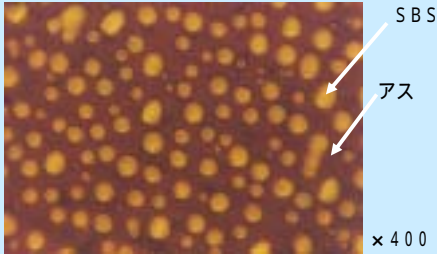
ポリスチレンメイン



供用温度領域

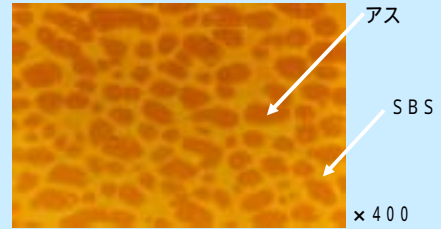
# 1. 改質アスファルトには

- ・改質 型, 改質 型  
アスファルト連続相タイプ
- ・アス中にポリマが補強材として点在



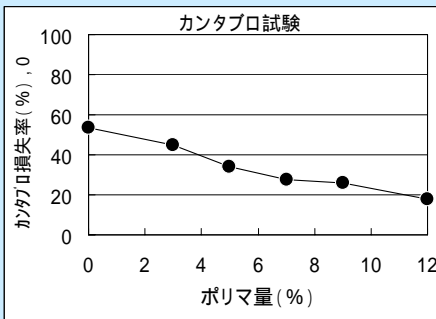
# 1. 改質アスファルトには

- ・一般高粘度改質アス, 高耐久性高粘度改質  
ポリマ連続相タイプ
- ・ポリマ中にアスが点在, アスは増量材
- ・SBSが膨潤, 相転換



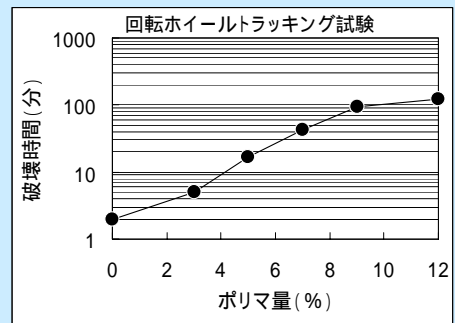
## ポリマ濃度と混合物性能

- ・ポリマ濃度の増加 骨材飛散抵抗性向上



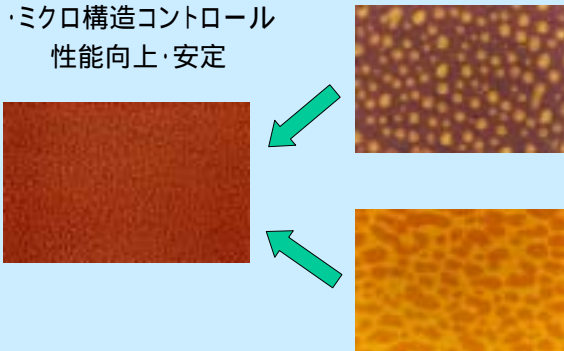
## ポリマ濃度と混合物性能

- ・ポリマ濃度の増加 ねじれ抵抗性向上



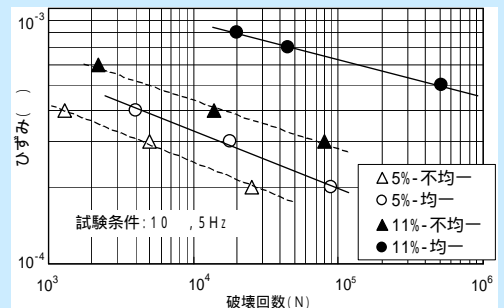
## マイクロ構造と性能(1)

- ・マイクロ構造コントロール  
性能向上・安定



## マイクロ構造と性能(2)

- ・均一微細分散 飛躍的に性能向上



## 改質アスの新たな評価試験

- ・混合物性状との相関性
- ・あらゆるミクロ構造への適用性  
(アス連続からポリマ連続まで)
- ・タフテナから曲げ試験へ さらなる評価法の進歩



## 2. 改質アスファルトの変遷

西暦(年号)	内 容	改質アスファルト	改質材	ミクロ構造
1986(昭 51)	フランス、ゴム添加の試み			
1991(昭 56)	米国、合成ゴムラテックス			
1992(昭 57)	東京都:天然ゴム粉末、 神戸市:貴ゴム			
1994(昭 59)	北海道開発局、天然ゴム粉末、国道36号			
1995(昭 60)	北海道大学、ゴム入りアス本格的な研究開始			
1996(昭 61)	天然ゴム、アスファルトマスターバッチを商品化、天然ゴム入りアスファルトの市販を開始	ゴム入りアスファルト	NR SBR	アスファルト 連続相
1996(昭 61)	札幌市で輸入SBRラテックスを使用して試験施工を実施(ブランドミックスタイプ)			
1996(昭 61)	建設省道路局が千葉県でSBRラテックスを使用して試験舗装を実施 東名高速道路で大々的にゴム入りアスファルトを使用(ブレミックス、ブランドミックス)			
1997(昭 62)	北海道開発局、ゴム入りアス使用認定 東京都、ゴム入りアス大規模試験舗装 樹膠入りアスファルトの市販を開始	樹膠入りアスファルト ゴム・樹膠入りアスファルト	EVA, EEA SBR SIS	
1997(昭 62)	東京都 樹膠入りアスファルトを震動防止舗装として採用			
1997(昭 62)	本四橋面舗装基準案	本邦改質 舗	CR	
1998(昭 63)	ゴムアス協会	本邦1号	SBR	
1999(昭 64)	排水性舗装本格化・橋面舗装用改質アスファルト普及	付帯修繕改質アスファルト 高粘度改質アスファルト		
1999(昭 64)	長寿命舗装、コンポジット舗装	断面交通用改質アスファルト		
1999(昭 64)	再生骨材、重交通道路の表層への適用	再生用改質アスファルト	SBS	ポリマー 連続相
1997(昭 62)	バスレーンのカラー化など、カラー舗装本格化	カラーバンダー		
1998(昭 63)	排水性舗装の高耐久化、寒冷地への拡大	寒冷地用高粘度改質アスファルト		
2000(昭 65)	性能規定発注はじまる	高耐久用高粘度改質アスファルト		

## ゴム入りアスファルト

- ・1950~1970年
- ・低品質アスファルトの性能改善  
舗装用アスファルトへ改善
- ・ストレートアスファルトの性能向上  
骨材把握力  
低温時の脆性改善  
耐摩耗
- ・NR, SBR



## わだち掘れ対策

- ・1970年代
- ・モータリゼーション  
自動車保有台数増加  
車両大型化
- ・わだち掘れ顕在化
- ・ゴムから樹脂へ  
ひび割れ  
SBSへ(80年代~)



## 本四架橋プロジェクト

- ・1977年  
本四橋面舗装基準案
- ・鋼床版舗装用改質アスファルト開発
- ・橋面防水の必要性  
鋼床版:ゲースアス  
RC床版:シート防水



## 鋼床版舗装用改質アスファルト

- ・鋼床版特有の局部変形、たわみ性への追従性
- ・リップ、ウェブ上のひび割れ抑制
- ・ライフサイクル  
疲労破壊抵抗性





## 橋面舗装のはく離対策

- ・1980年代後半～  
橋面舗装のはく離顕在化
- ・水, 温度, 荷重
- ・付着性改善改質アスファルト開発
- ・排水対策の重要性



## 超重交通用改質アスファルト

- ・1990年代  
長寿命舗装, コンポジット舗装
- ・超重交通用改質アスファルト開発
- ・表層の機能持続  
改質 型よりも塑性変形抵抗性向上



## カラー舗装

- ・1990年代  
カラー舗装本格化  
バスレーンカラー化  
景観整備事業の普及
- ・カラー舗装用バインダ開発
- ・歩道用
- ・重交通用
- ・排水性舗装用



## 排水性舗装用改質アスファルト

- ・1990年代  
排水性舗装本格化  
交通安全  
低騒音舗装
- ・高粘度改質アスの改良  
骨材飛散抵抗性向上



## 3. 要請高まる改質アスファルト

性能規定化と改質アスファルト

- ・タイヤ路面騒音規定  
小粒径, 整粒骨材
- ・空隙つぶれ, 耐流動性低下
- ↓
- ・高耐久性高粘度改質アスへ

回転ホイールラッキング試験



高耐久型



一般高粘度

## 回転ホイール試験後の供試体



高耐久型



一般高粘度

### 3. 要請高まる改質アスファルト

#### 舗装技術基準と改質アスファルト

- ・塑性変形輪数規定, 疲労破壊輪数規定
- 改質 型, 型 超重交通用改質アス
- ・設計施工の自由度増大
- 強度等に応じて1以上の等値換算係数が設定可能
- 舗装厚さの低減, コスト縮減への方策
- 設定方法は?

### 4. 展 望

耐油型高粘度改質アスファルト  
都市圏に多い油による排水性舗装破損  
排水性舗装の耐油性付与

中温化  
ストアスと同等の温度で混合物製造・施工  
さらに低い温度領域へ

### 舗装調査技術

- 時代の要請と技術開発 -

1. 時代要請に応じた調査・評価技術
2. 最近の舗装調査技術
3. 調査結果の活用技術

### 1. 時代要請に応じた調査・評価技術

- (1) 路面性状調査
- (2) FWD調査
- (3) 空洞調査

### 調査技術の進化

	従来(アナログ)	現在(デジタル)	時代要請
ひびわれ	・スケッチ法	路面性状測定車: (3要素同時測定)	・作業者の安全性確保
わだち掘れ	・横断プロファイルメータ ・直定規他	・非接触測定	・路上規制作業の低減
平坦性	・3mプロファイルメータ ・3m直定規	・大量、高速測定 ・迅速な解析システム	・舗装ストックの定量評価 ・維持管理の効率化
たわみ量	・平板載荷 ・ペンケルマンビーム	FWD: ・衝撃荷重によるたわみの自動測定 ・表層/路盤/路床の健全度評価	・測定の効率性 ・荷重車手配の困難 ・理論的設計の高度化 ・疲労破壊輪数に相当する性能検証
空洞調査・構造調査	・開削、ボーリング ・手押しハンディレーダ	舗装構造探査車: ・レーザ非破壊調査 ・高速測定45Km/h	・舗装構造の非開削調査 ・陥没事故の未然防止 (社会的要請)

### (1) 路面性状調査

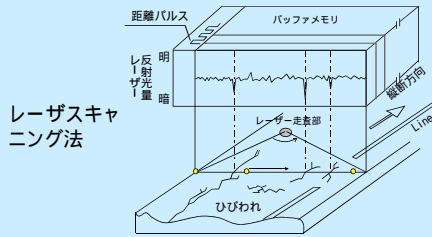
各社の路面性状測定車



測定速度: 40 ~ 100 km/h

測定項目: ひびわれ、わだち掘れ、平坦性 / 3要素同時測定

## ひびわれ測定原理

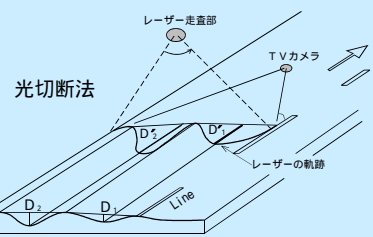


主な仕様:

ひびわれ	
計測方式	レーザースキャニング方式 レーザ-光検出器
計測速度	0 - 60 km/h
計測範囲	最大幅員 4m
精度および許容範囲	幅1mm以上のひびわれ検出



## わだち掘れ測定原理

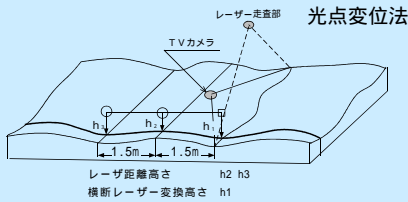


主な仕様:

わだち掘れ	
計測方式	レーザ-ビデオ光切断法 レーザ-CCDカメラ
計測速度	0 - 60 km/h
計測範囲	最大幅員 4m
精度および許容範囲	±3mm(横断プロフィールメータ比)

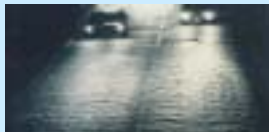


## 平坦性の測定原理



主な仕様:

平坦性	
計測方式	レーザ-ビデオ光点変位法 半導体レーザ-光点変位法
計測速度	0 - 60 km/h
計測範囲	1測線 (OWP)
精度および許容範囲	±30% (縦断プロフィールメータ比)



## 路面性状と維持管理指数(MCI)

< MCI算出方法及び評価区分 >

$$MCI = 10 - 1.48C^{0.3} - 0.29D^{0.7} - 0.47 \dots (1式)$$

$$MCI_0 = 10 - 1.51C^{0.3} - 0.30D^{0.7} \dots (2式)$$

$$MCI_1 = 10 - 2.23C^{0.3} \dots (3式)$$

$$MCI_2 = 10 - 0.54D^{0.7} \dots (4式)$$

ここに、C:ひびわれ率 (%)

D:わだち掘れ量 (mm)

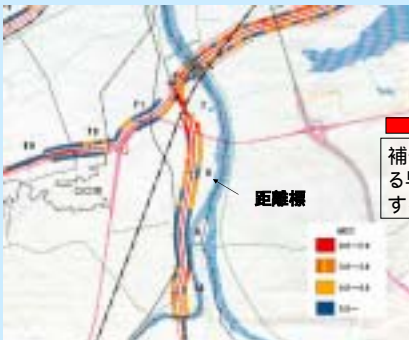
:平坦性 (mm)

MCI:維持管理指数(1式) ~ (4式)の最小値

MCIと管理水準

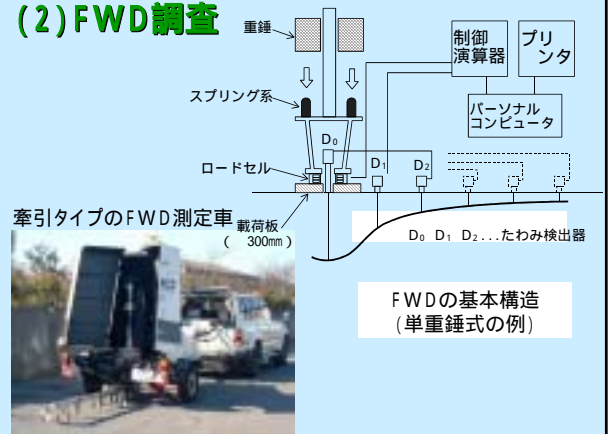
MCI	管理水準
5以上	補修の必要なし(望ましい管理水準)
3 - 5	補修が必要
3以下	早急に補修が必要

## MCI区分の路線図



補修計画に反映する早急に補修を要する箇所の評価図

## (2) FWD調査



FWDの基本構造 (単重錘式の例)

## FWDの構造評価

### 調査目的:



### 構造評価の アプローチ:

- ・たわみデータそのものを用いて従来の設計法(TA法)に対応した評価法(道路保全技術センター運用マニュアル参照)
- ・ある構造モデルを設定して、力学的な弾性係数を逆解析によって推定し、理論的な設計方法に対応した評価法(土木学会FWD運用の手引きを参照)

## (3) 路面下空洞(舗装構造)探査車



【仕様】

- 探査速度：最高 45km
- 探査深度：路面下 1.5m
- 探査幅：1.7m ~ 2.35m
- 探査能力：縦×横×厚さ  
(m) 0.5×0.5×0.1  
以上の空洞



7基のアンテナ搭載

## スコープ調査



### 探査フロー

探査車による計測

データ解析

メッシュ調査

スコープ調査



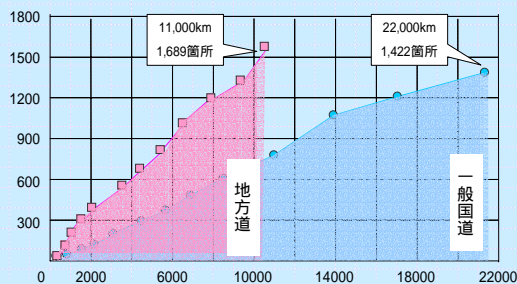
東京都銀座の道路陥没  
(昭和63年)

直径5m 深さ1.5mに渡り陥没

## 国道・地方道別調査実績(保全センター調査分)

100km当りの  
空洞発見数

一般国道：約 6箇所  
地方道(都市内)：約 15箇所



## 2. 最近の舗装調査技術

### A: 車道

- (1) タイヤ/路面騒音測定
- (2) すべり抵抗測定・テクスチャ測定装置
- (3) 乗り心地測定

### B: 自転車歩行者道

- (4) 段差・路面形状測定

### (1) タイヤ / 路面騒音測定車

各種測定車

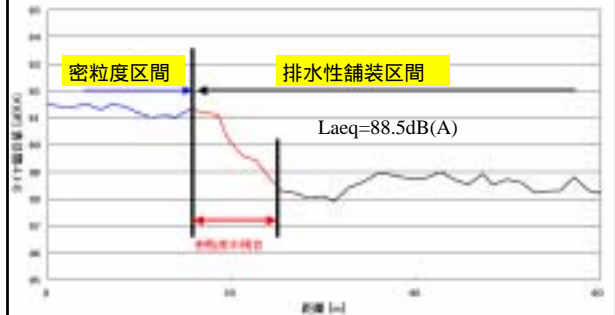


集音マイク

特殊タイヤ

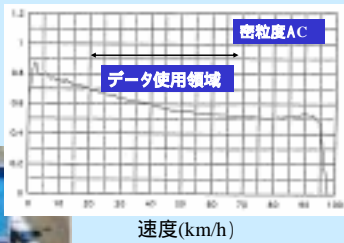
測定速度: 50km/h

### 騒音データの測定結果例 (密粒度 排水性舗装)



### (2)-1 すべり抵抗測定(DFテスター)

すべり  
摩擦係数



速度(km/h)

ASTM E-1911-98規格

### (2)-2 テクスチャ測定装置(MTM)



きめ深さ(SMTD): 10m単位に集計評価(英国製)

### (2)-3 テクスチャ測定装置(CTM)



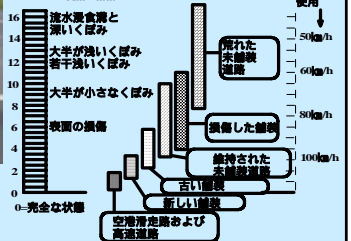
DFテスターと同一円周上のテクスチャーを測定、  
データ間隔約0.2mm

### (3) 乗り心地測定(ポータル凹凸測定機)

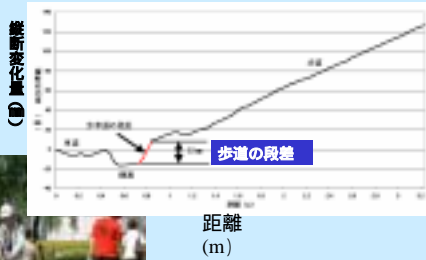


IRI: 国際ラフネス指数

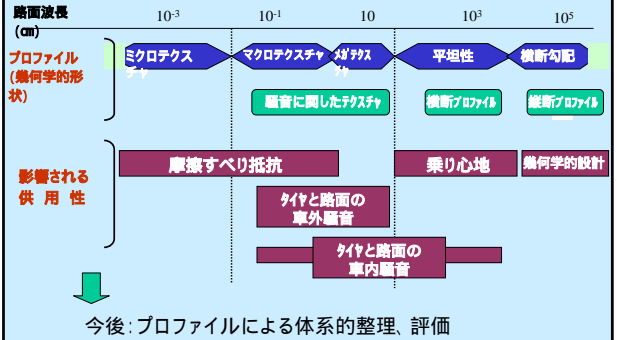
IRI=mm/km=mm/m



### (4) 段差・形状測定(自転車・歩行者道)



### すべり、騒音、乗り心地をプロフィールで関連づけて評価 (PIARCによる分類)



## 3. 調査結果の活用技術

- (1) 舗装管理支援システム (国土交通省)
- (2) 活用技術の今後の展開

### (1) 舗装管理支援システム (国土交通省)

背景: 増大するメンテナンス、社会的要請の高度化  
計画的・効率的なメンテナンス

路面性状、補修履歴データなど舗装に関わる調査データを効率的に一元管理することによって、維持管理業務をサポートする事を目的に「舗装管理支援システム」を開発、運用

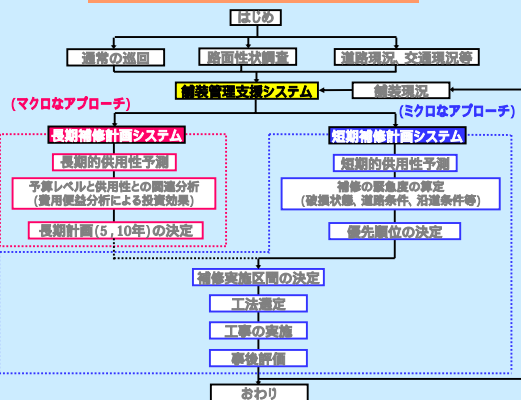
#### 業務的活用

- ・舗装現況の把握
- ・日常管理
- ・補修箇所を選定
- ・補修計画の立案

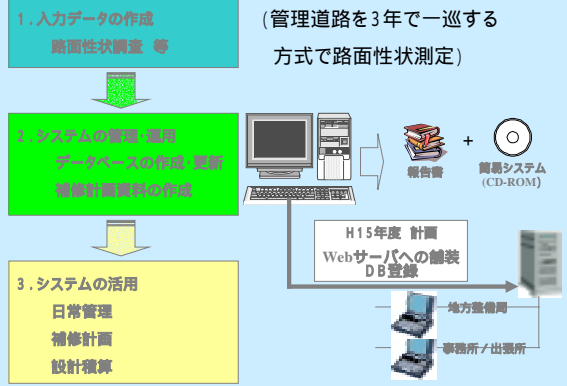
#### 試行的活用

- ・補修の需要予測
- ・ライフサイクルコストによる投資効果の算定等

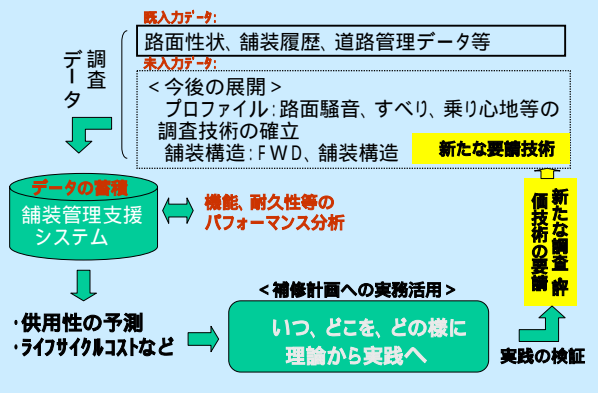
### 舗装管理支援システムの機能フロー



### 舗装管理支援システムの運用手順



## (2) 調査技術の今後の展開



## おわりに

### ・材料開発・評価技術開発の視点

#### ト-タル思考へ

橋面舗装: 防水~舗装構成~導水処理~地覆防水  
水に対するト-タル思考

改質:(表層 表層基層 舗装構造全体で考える)

#### 他分野からの技術導入

顧客は車から人へ

人を顧客にしてきた他分野(化粧品、家庭用品など)

### ・調査技術・評価技術開発の視点

#### 車道中心から歩道の評価へ

歩行者・車いすからみた路面性状