

# 「積雪寒冷地における舗装の耐久性向上及び補修に関する研究」(平成19年4月～平成22年3月)

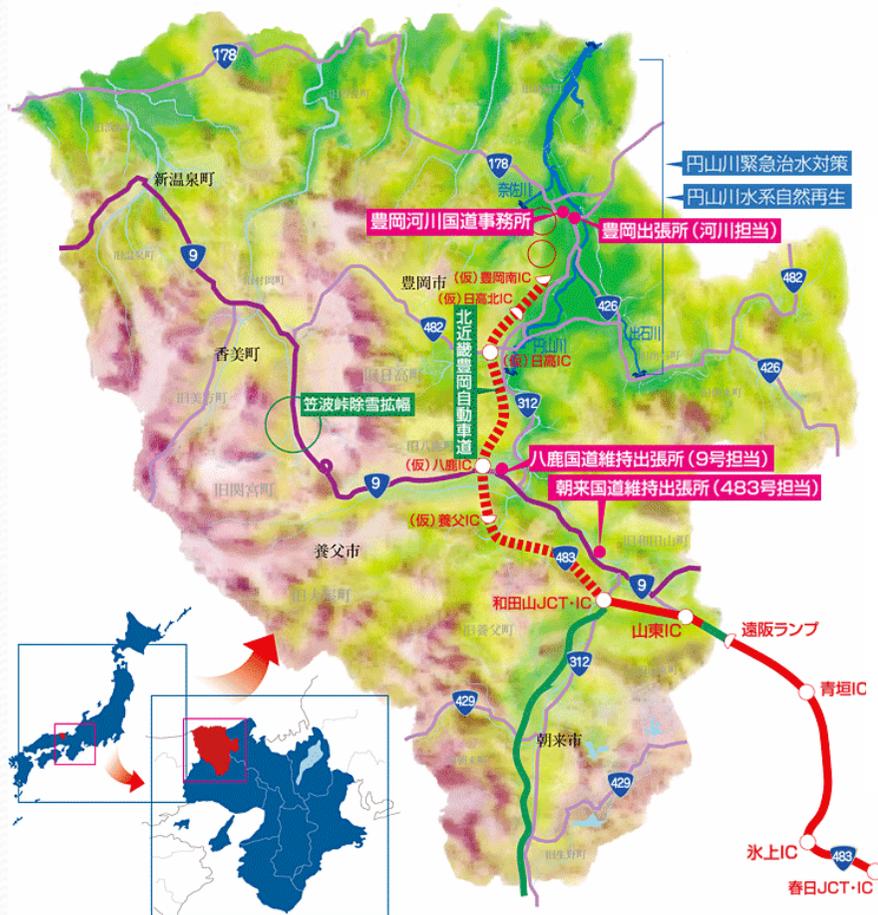
## プロジェクトリーダー

京都大学経営管理大学院 院長 小林潔司

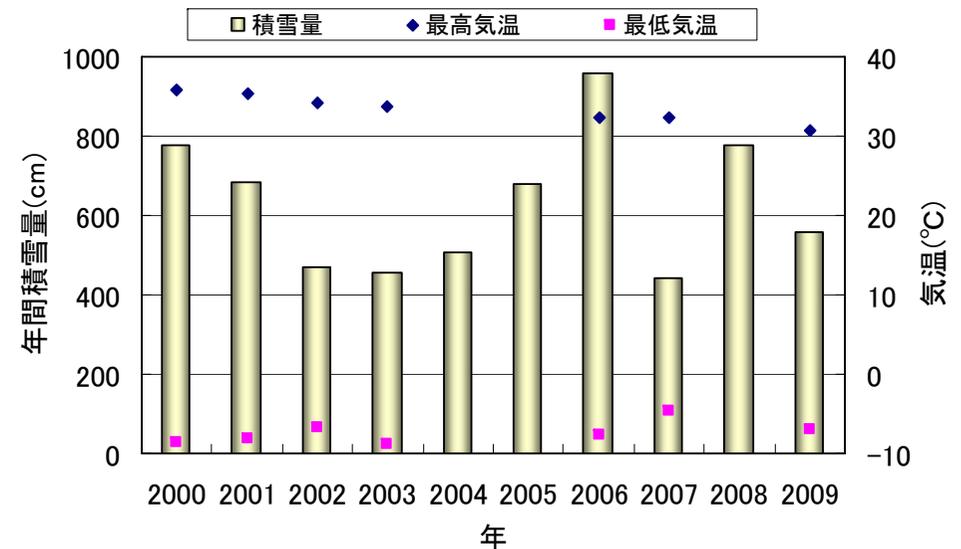
## プロジェクトメンバー

- 産 大林道路（株） 昭和瀝青工業（株） 光工業（株） シンレキ工業（株）  
住友大阪セメント（株） 大成ロテック（株） 日進化成（株）  
ニチレキ（株） 金下建設（株）
- 官 国土交通省近畿地方整備局（道路部、豊岡河川国道事務所）
- 学 京都大学 大阪市立大学 大阪大学

# 本研究対象地域の特徴



兵庫県北部地方 → 豪雪地帯に指定  
(豊岡市, 養父市, 朝来市ほか)



最高気温, 最低気温と年間積雪量の推移(兔和野高原)

気象統計情報(気象庁HP)より

国土交通省近畿地方整備局豊岡河川国道事務所HPより引用  
<http://www.kkr.mlit.go.jp/toyooka/gyoumu/area/area.html>

厳しい環境により舗装が損傷しやすい

# 研究の目的

- 積雪寒冷地の舗装の維持管理手法の構築
  - 補修工法, 材料の評価方法の検討
  - 試験施工, 効果影響の確認のための社会実験方法論の検討
- 舗装材料, 舗装構造の耐久性向上に対する基礎的な知見の取りまとめ

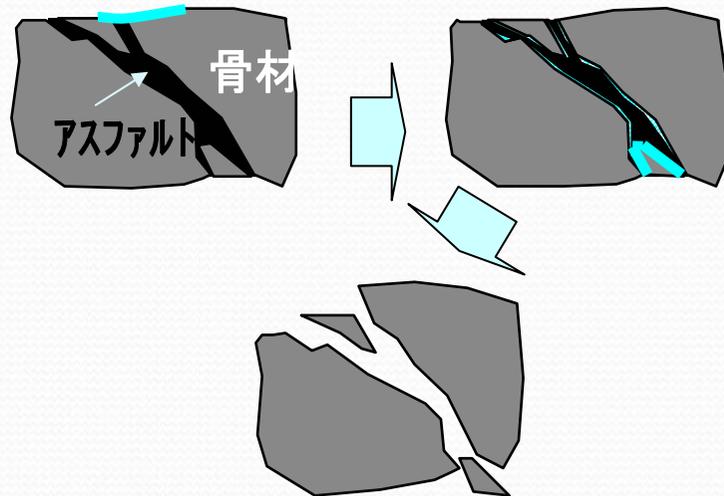
# 本日の報告内容

- ポットホール補修箇所<sup>○</sup>の耐久性分析
- 補修用常温混合物の室内物理性状評価
- 積雪寒冷地に適した舗装材料, 補修工法の検討
- 舗装の劣化速度の異質性評価と検証

# ポットホール補修箇所への耐久性分析

(ポットホール発生メカニズム)

- ① 舗装面が滞水(舗装体に水が浸入)
- ② 骨材のアスファルト被膜に水が浸入
- ③ 骨材の付着力低下(アスファルトのはく離)
- ④ 骨材飛散によりポットホールが発生



## (ポットホール補修方法と課題)



補修前



補修後



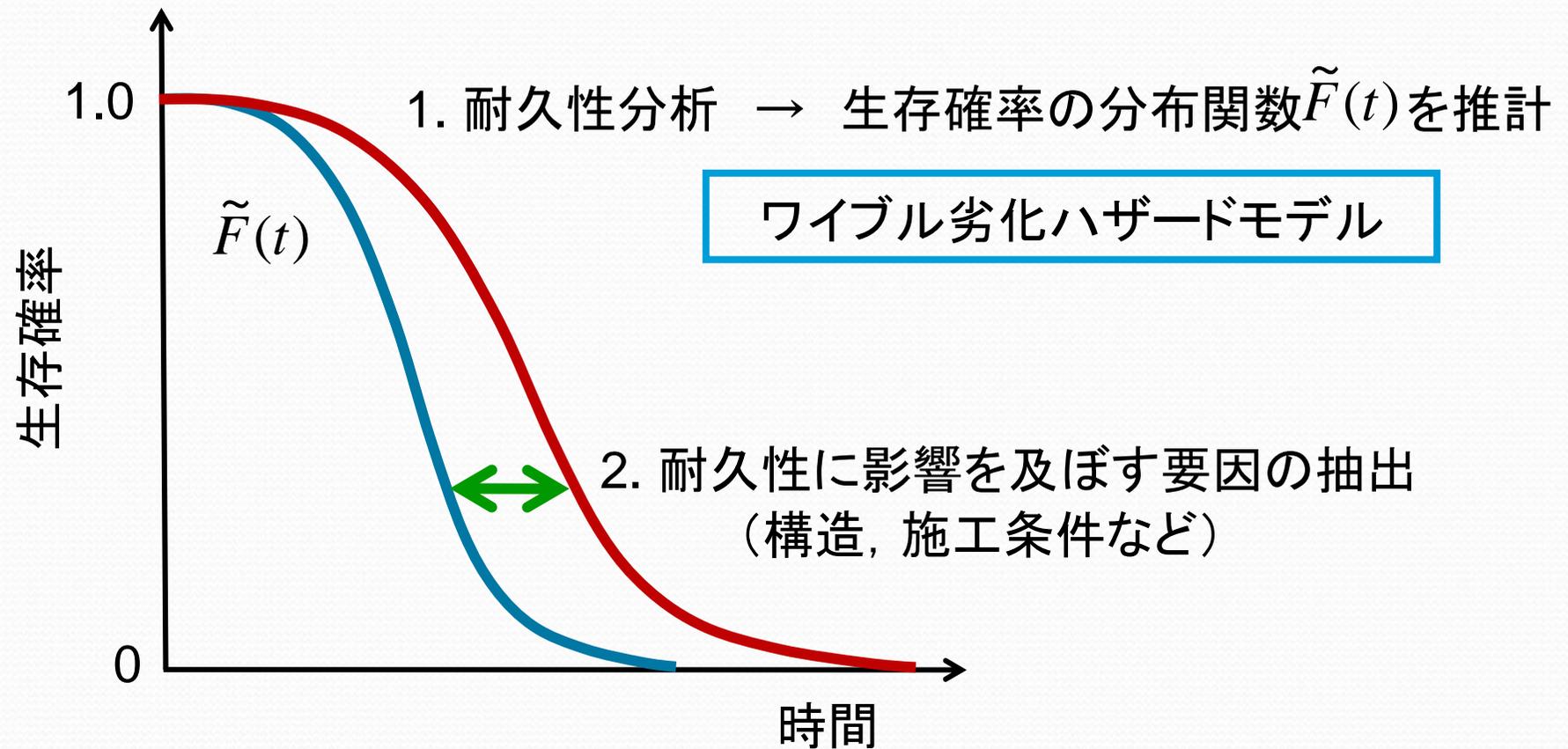
補修箇所の破損

- 厳しい施工・環境条件(降雪, 融雪散水, 低温)で使用
- 限られた施工時間

➡ 常温混合物本来の性能を発揮するまでに至らない?  
積雪寒冷地に適した常温混合物・補修方法は?(課題)

ポットホールの発生条件, 補修条件等を記録した点検データを収集(平成19年6月~平成22年2月)  
補修箇所が破損して再度ポットホールを形成するまでの日数=生存日数として耐久性分析

(ポットホール補修箇所の耐久性分析のながれ)



3. 積雪寒冷地に適した補修工法, 補修材料の開発にむけた基礎検討

# (ポットホール補修箇所の生存確率に影響をおよぼす要因)

## 構造条件

1. 構造物 (CO床版部:0, 土工部:1)
2. 表層材料 (排水性舗装:0, 密粒度舗装:1)
3. 融雪散水装置 (無し:0, 有り:1)
4. 地域 (B地区:0, A地区:1)
5. 車線 (下り:0, 上り:1)
6. 平面線形 (曲線:0 or 直線:1)
7. 横断位置 (非わだち部:0, わだち部:1)
8. ポットホール複数回発生 (1回:0, 2回以上:0)
9. 大型車交通量
10. 舗装の供用期間

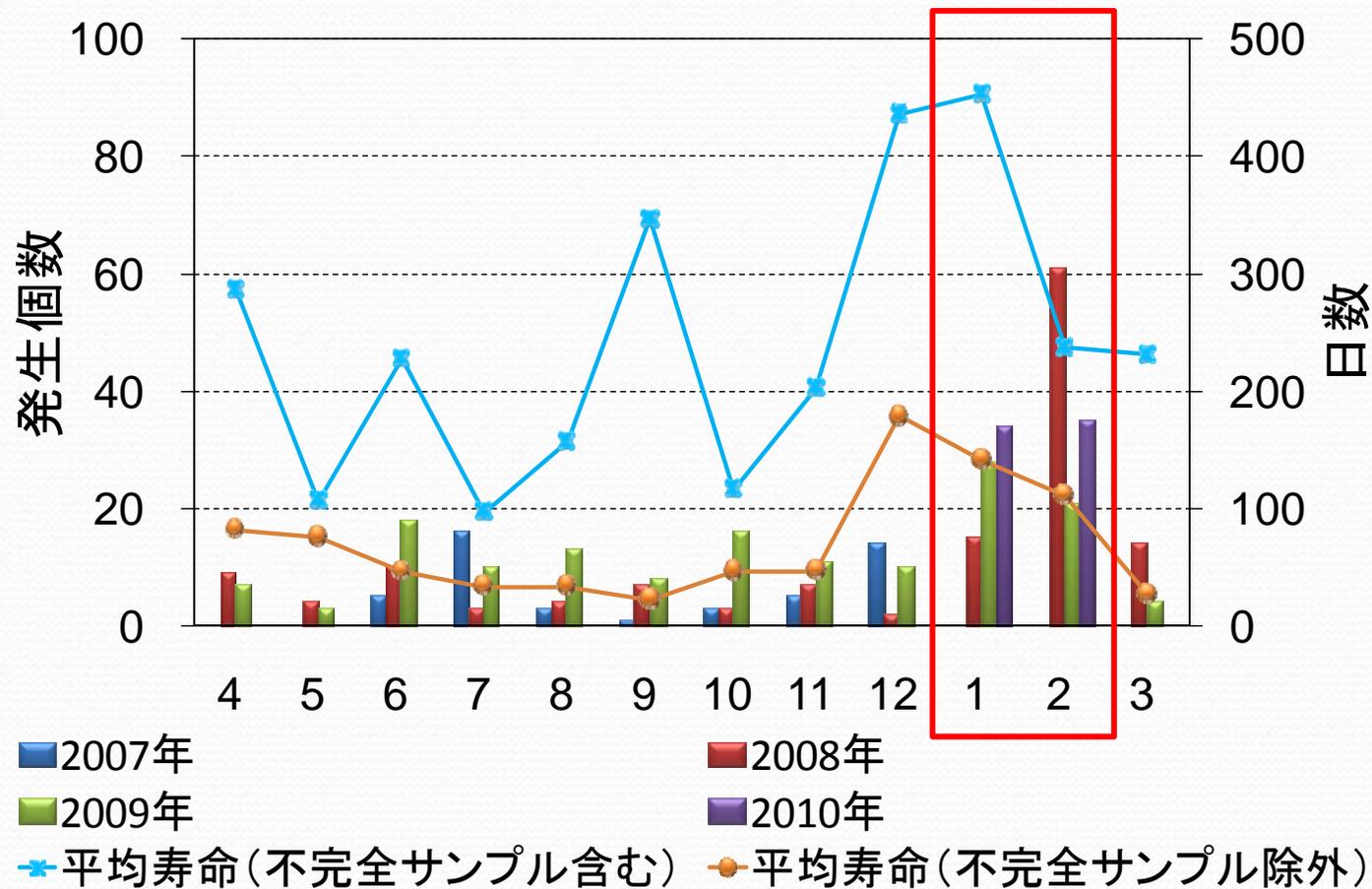
## 施工条件

1. 施工時間
2. ポットホール内の水の有無 (無し:0, 有り:1)
3. ポットホール内の泥の有無 (無し:0, 有り:1)
4. 融雪散水の有無 (無し:0, 有り:1)
5. 混合物の締固め方法 (人力・機械:0, 作業車:1)
6. 混合物の種別 (カットバック以外:0, カットバック:1)
7. 施工時気温

## ポットホール寸法

1. 深さ
2. 面積

# (ポットホール月別発生状況)



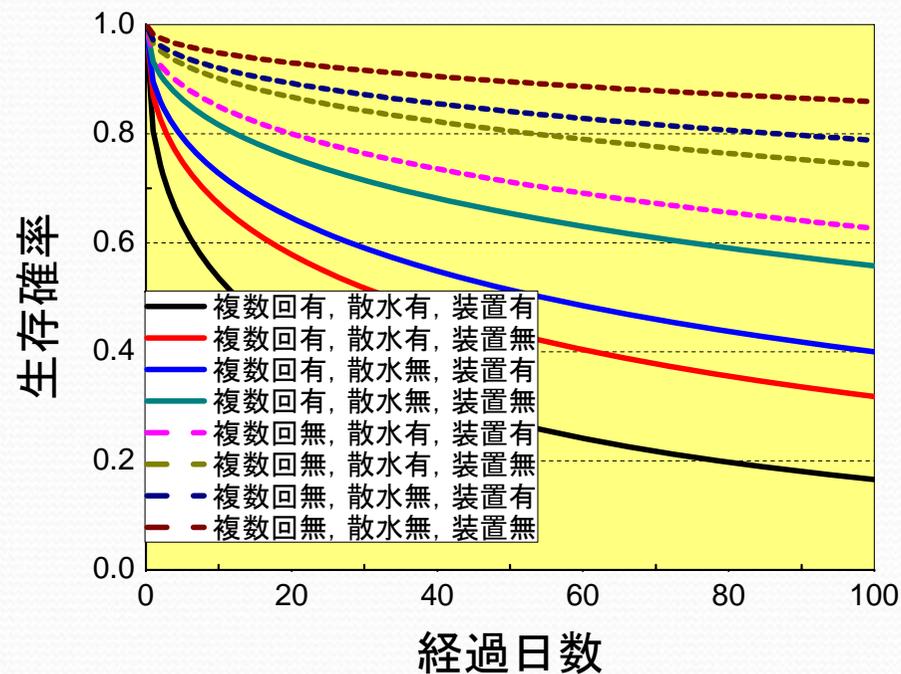
# (ポットホール補修箇所耐久性分析結果-3要素を考慮)

モデル構成: 複数回 & 散水 & 装置 ← 要因

推計結果

	$\alpha$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$
最尤推定値	0.459	-4.00	1.35	0.674	0.450
t-値	17.8	-17.0	8.66	3.50	2.61
AIC	2468.0				

耐久性



# 補修用常温混合物の室内物理性状評価

室内試験の目的→混合物の特性評価ならびに性能要件の設定

- ①骨材の種類(再生, 新規)
- ②骨材の最大粒径(5~13mm)
- ③混合物の種類(密粒, ポーラス)
- ④バインダの種類(カットバックアスファルト, 特殊樹脂・改質アスファルト系)
- ⑤使用条件(全天候型, 温度範囲)

常温混合物に求められる性能(作業性, 耐久性, 耐水性)

破損箇所の状況に応じた常温混合物の選定(適材適所)



ポットホール補修作業の効率アップ, 補修箇所の耐久性向上

(室内試験項目, 混合物の種類と試験条件)

試験名称	評価項目	性能
アスファルト混合物の密度試験	供試体の密度, 空隙率	作業性
マーシャル安定度試験	混合物の安定性, 耐水性	耐水性
一軸圧縮試験	一軸圧縮強さ, 残留強度率	耐久性

種類	バインダ	粒度	最大粒径
A	特殊樹脂・改質アスファルト系	密粒度	13mm
B	カットバックアスファルト系	開粒度	5mm
C	特殊樹脂・改質アスファルト系	開粒度	5mm

	作製温度	保管温度	試験温度
試験条件1	5°C	5°C	5°C
試験条件2	20°C	60°C	5°C

## (室内試験結果)

試験 種別	密度試験		マーシャル安定度試験				一軸圧縮試験			
	供試体 空隙率(%)		マーシャル 安定度(kN)		残留 安定度(%)		一軸圧縮 強さ(MPa)		残留 強度率(%)	
	条件1	条件2	条件1	条件2	条件1	条件2	条件1	条件2	条件1	条件2
混合物A	12.6	10.4	<b>1.08</b>	<b>1.50</b>	<b>95以上</b>	<b>89.7</b>	0.45	1.03	69.6	63.9
混合物B	<b>18.9</b>	<b>17.2</b>	E	1.17	E	0.0	0.24	0.84	70.4	68.4
混合物C	23.9	21.8	E	2.82	E	69.8	<b>0.42</b>	<b>1.77</b>	<b>81.3</b>	<b>81.0</b>

混合物Aは耐水性, Bは作業性, Cは耐久性が高い  
(これらの性能が求められる箇所のポットホール補修に適している)

混合物を加温することで作業性, 耐久性向上が期待できる

## スローガン

- 施工時に水は除去.
- 応急補修は3回を目途に.
- 常温混合物の保温(車内で保管).

# 積雪寒冷地に適した舗装材料・補修工法の検討

- 山間部の積雪量が特に多く、融雪散水装置が稼働
- 夏に暑く、冬は寒い
- 幹線道路の大型車の混入率が高い



- 滞水による舗装のアスファルト被膜のはく離防止
- 舗装の耐流動性向上(夏季), 耐摩耗性向上(冬季)

他の積雪地域における舗装材料の仕様や関連する報文等を照査  
該当する項目を整理して新しい仕様(対象は国道9号)を提案  
補修工事の一部区間で試験施工を実施して耐久性を評価

## (舗装材料の検討)

検討した項目と基準値(抜粋)

項目	詳細
舗装用アスファルト	ポリマー改質アスファルトH型-Fの物理性状を明記
舗装用骨材	物理性状試験の基準値を改訂,追記
改質アスファルト乳剤	タイヤ付着抑制型乳剤の物理性状を明記
各種アスファルト混合物の粒度範囲	耐流動性に優れる(密粒,粗粒度アスコン) 耐摩耗性に優れる(ポラスアスコン)
各種アスファルト混合物の物理性状	基層用混合物の動的安定度, 表層用混合物のラベリング摩耗量を追記

種別 項目	表・基層アスファルト混合物用粗骨材		現行の 基準値	表・基層アスファルト混合物用細骨材		現行の 基準値
	基準値案			基準値案		
	密粒度アスコン	ポラスアスコン		密粒度アスコン	ポラスアスコン	
表乾密度	2.50以上		2.45以上	2.50以上	2.50以上	
吸水量	2.5以下		3.0以下	-	-	
すり減り減量	30.0以下	15.0以下	30.0以下	-	-	
安定性損失量	10.0以下		12.0以下	10.0以下	10.0以下	
粘土・粘土塊	0.25以下		0.25以下	-	-	
軟石量	5.0以下		5.0以下	-	-	
細長・扁平石片	10.0以下	5.0以下	10.0以下	-	-	
はく離抵抗性(ストア)	15.0以下		-	-	-	

## (補修工法に関する検討)

### (方針)

- 従来の工法のなかで、採用頻度の高い工法から選定
- 舗装材料の違いが路面性状の推移に影響する工法を採用

最も実績のある工法は切削オーバーレイ工法

→ 表層のみの補修では既設の基層の影響を受けやすい



その次に実績のある表層・基層切削工法を採用

## 試験施工場所と施工時期

(施工場所) (141kp490~640下り線)密粒度舗装区間

(108kp719~854下り線)排水性舗装区間

(施工時期) 平成21年2月

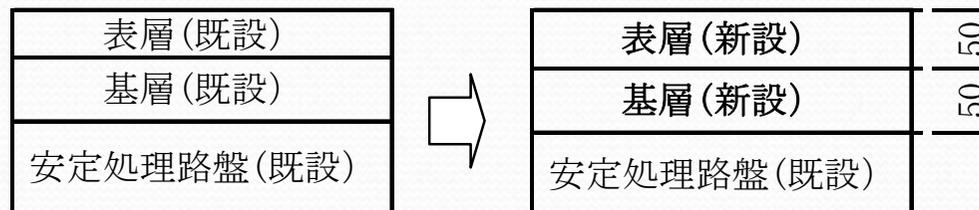


試験施工箇所

# 工区割り

既設 舗装	1工区 (経済性に配慮した舗装材料)	2工区 (過去の実績から耐久性が高いと 思われる舗装材料)	3工区 (一層の耐久性向上が期待できる 舗装材料)	既設 舗装
(表層)	従来の再生密粒度アスコン	従来の改質Ⅱ型密粒度アスコン	骨材厳選改質Ⅱ型密粒度アスコン	
(基層)	従来の再生粗粒度アスコン	従来の改質Ⅱ型再生粗粒度アスコン	骨材厳選改質Ⅱ型粗粒度アスコン	
(表層)	従来のポラスアスコン	従来のポラスアスコン	骨材厳選ポラスアスコン	
(基層)	従来の再生粗粒度アスコン	従来の改質Ⅱ型再生粗粒度アスコン	骨材厳選改質Ⅱ型粗粒度アスコン	

上段:密粒度舗装, 下段:排水性舗装



単位はmm

各工区の延長は約50m, 幅員は約3.5m

ポラスアスコンの目標空隙率は18%

## 調査時期と調査試験項目

事前調査：平成21年1月（室内試験以外の全項目）

第1回追跡調査：平成21年3月（たわみ量調査以外の全項目）

第2回追跡調査：平成21年10月（全項目）

調査試験項目		調査箇所	目的
現地調査	たわみ量	3点/工区	舗装の支持力評価 路面性状の評価 (MCIの算出)
	平たん性	1測線/工区	
	わだち掘れ量	3測線/工区	
	ひび割れ率	3断面/工区	

MCI: Maintenance Control Index (維持管理指数)



たわみ量調査  
(FWD)



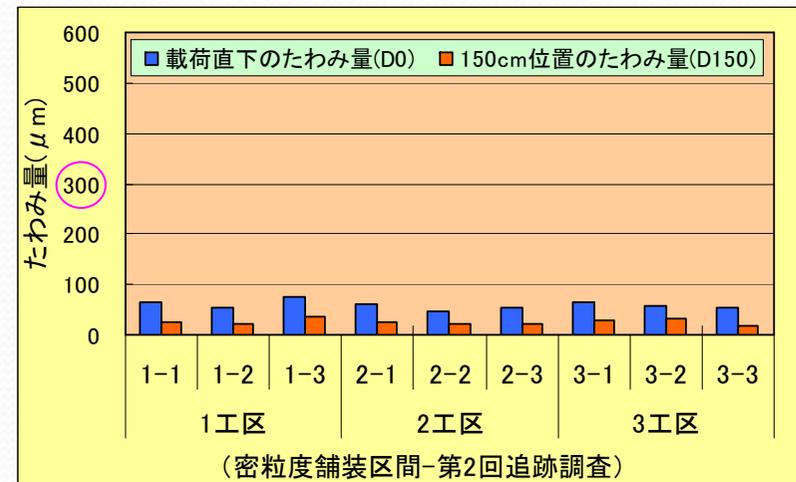
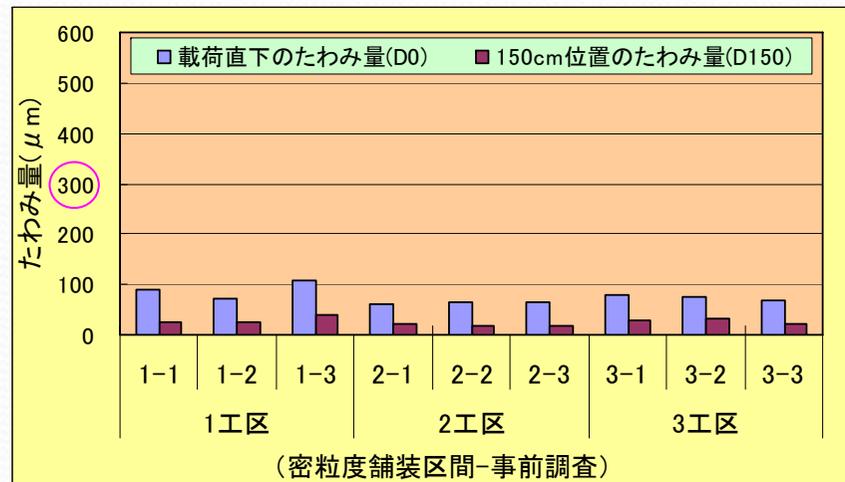
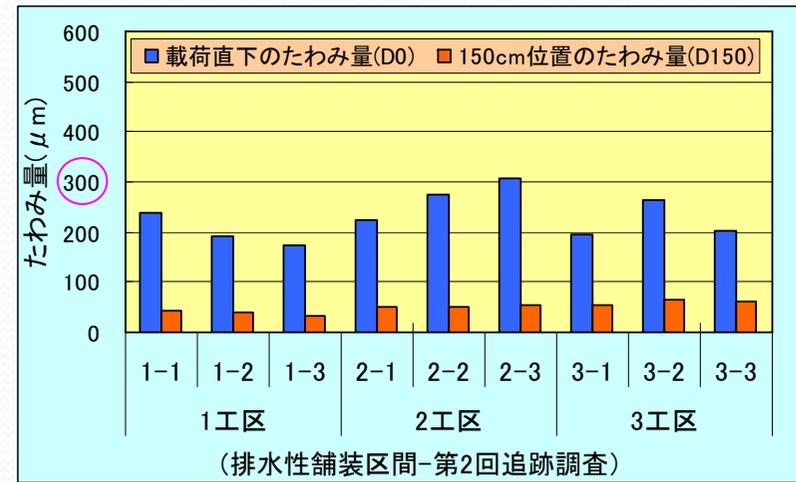
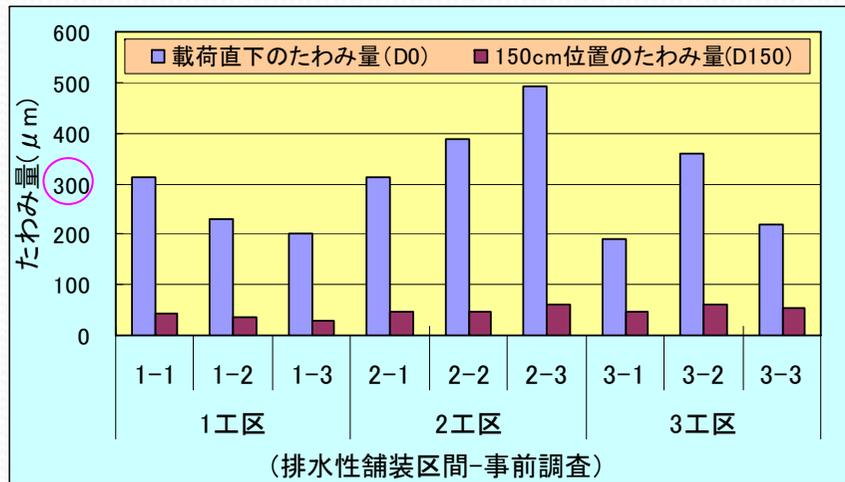
平たん性・わだち掘れ調査  
(小型プロファイラ)



ひび割れ率調査  
(スケッチ法)

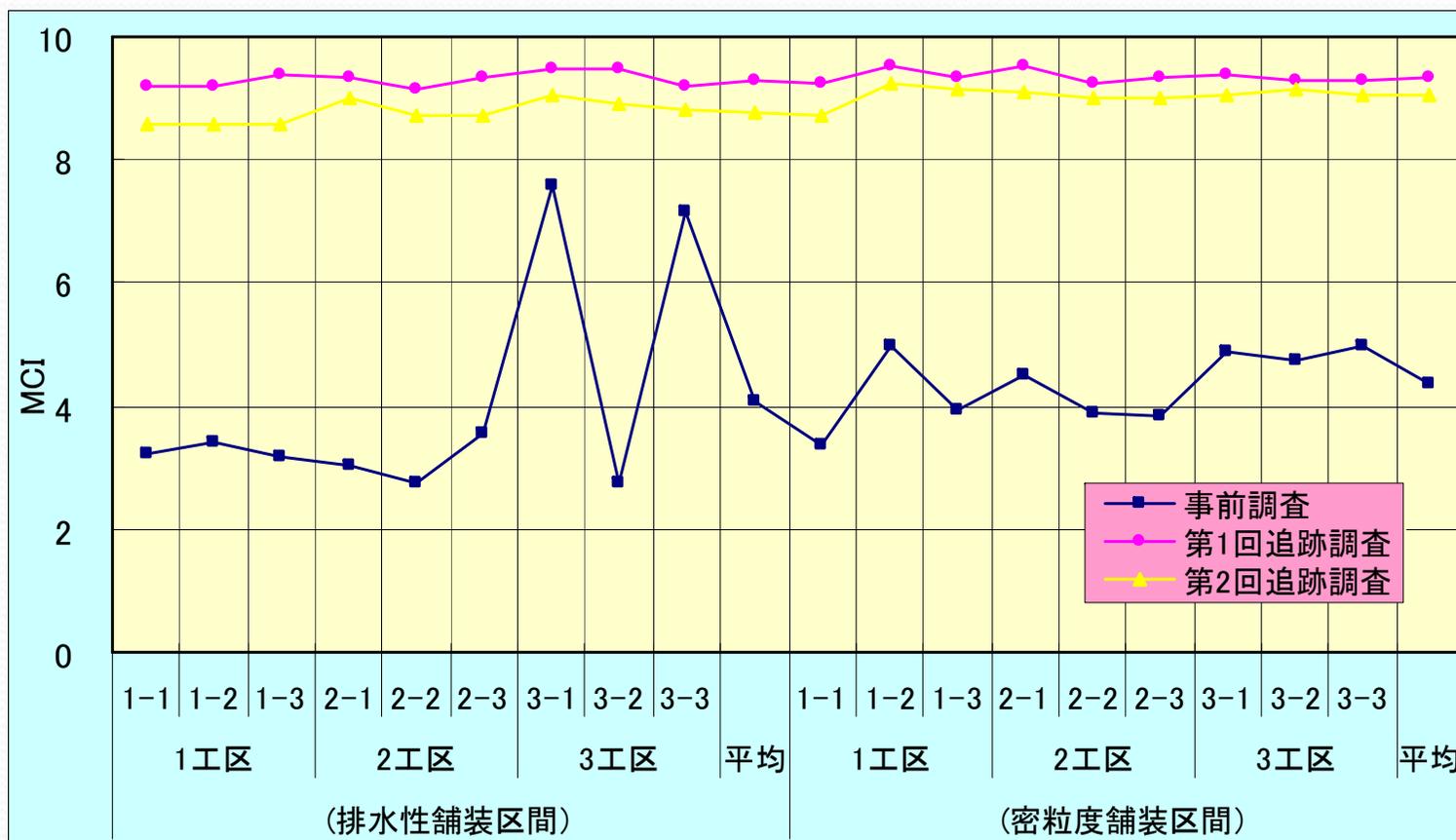
# 調査結果

## ①たわみ量



※たわみ量は全て温度補正值

## ②MCIの比較



## 調査結果のまとめ

### (事前調査)

- ・排水性舗装区間, 密粒度舗装区間共に補修が望ましい箇所を選定
- ・路床の支持力に問題はない(材料以外の劣化要因は小さいと思われる)

### (追跡調査)

- ・施工後のMCIは全ての工区で9以上まで回復
- ・排水性舗装区間は密粒度舗装区間よりも若干MCIが低下している  
(低下の原因はわだち掘れの進行)

材料の違いによる差が現れ始めている

(提案した材料は舗装の耐久性向上に寄与?)

# 舗装の劣化速度の異質性評価と検証

舗装の維持管理における課題 → 少ない予算で効率的に補修して  
サービス水準を維持する

- そのためには、①構造的な破損が生じている箇所を特定する  
②損傷状況に応じた補修工法を正しく選定する ことが重要  
工法選定に必要な情報が全て揃っているとは限らない

(仮定) 路面の劣化速度は基層以下の層の状態に依存



**補修後の路面性状の劣化が早い = 構造的な破損が生じている**

路面性状測定時における補修後経過年数とMCIの関係

全データによる基準  
パフォーマンスカーブ

相対評価

各グループ(種類・構造別)  
パフォーマンスカーブ

パフォーマンスカーブ: 路面の劣化曲線

相対的に劣化が早いグループを選定

# パフォーマンスカーブの推定

路面性状の格付け(レーティング)

健全度	MCIの範囲
1	8以上
2	7以上8未満
3	6以上7未満
4	5以上6未満
5	4以上5未満
6	4未満

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{16} \\ & p_{22} & \cdots & p_{26} \\ & & \ddots & \vdots \\ 0 & & & p_{66} \end{pmatrix}$$

$p_{ij}$ : 1年後に健全度から*j*に推移する確率  
 $\sum_{i=1}^6 p_{ij} = 1 (i > j \text{ のとき } p_{ij} = 0)$

## 混合マルコフ劣化ハザードモデル

補修直後の健全度=1

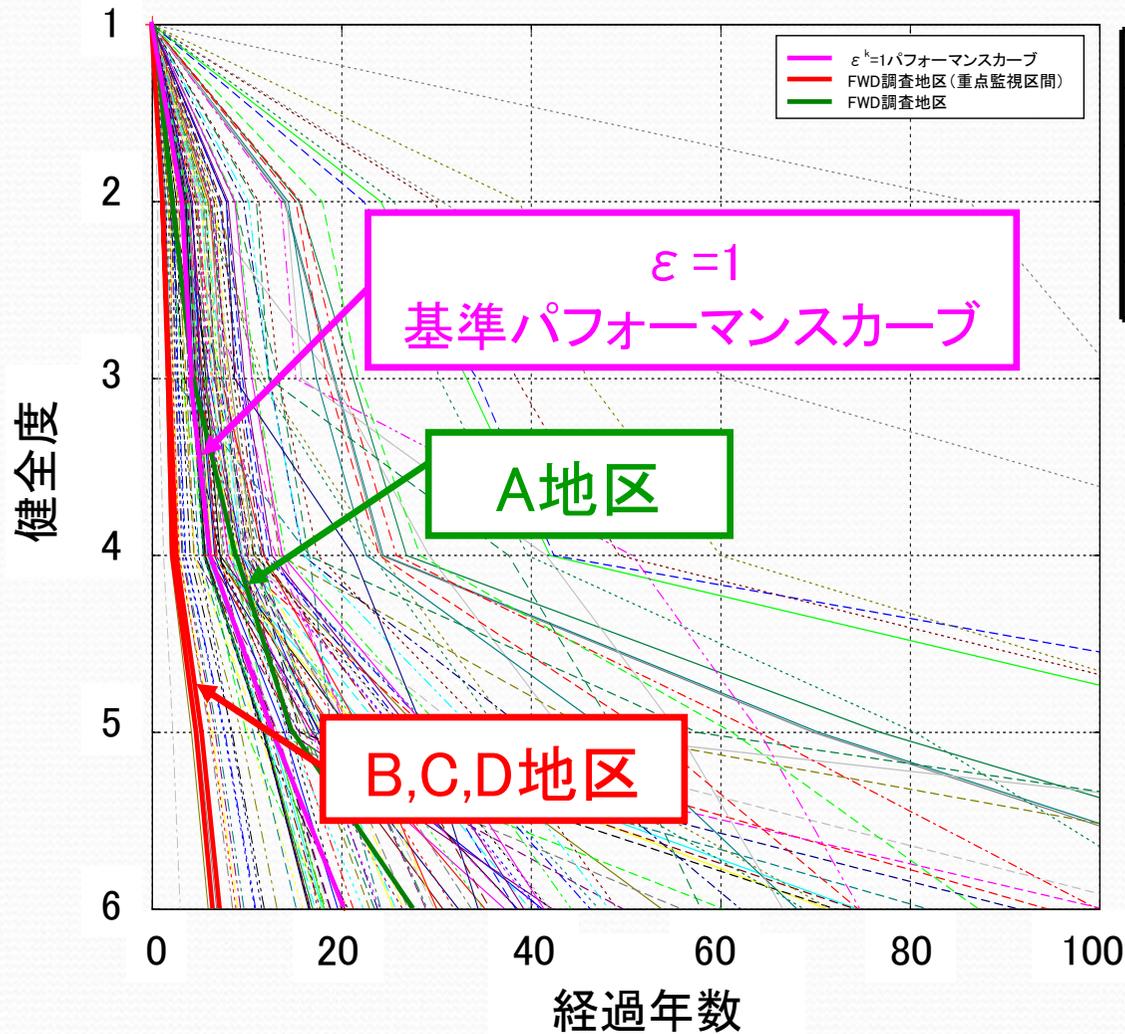
N年後に状態*i*から状態*j*に推移する確率は行列 P のN乗の*ij*成分

$p_{ij}$ を特性変数(舗装の種別, 交通量, 舗装厚)から推定したハザード率  $\lambda$  から導出

特性変数で説明できない異質性  $\varepsilon$  を算出 ( $\varepsilon$  が大きい = 相対的な劣化速度大)

$$\lambda = \tilde{\lambda} \varepsilon$$

# 各グループのパフォーマンスカーブ



グループ	キロポスト	$\varepsilon$
A地区	137kp240~137kp740	0.74
B地区	149kp740~153kp000	2.22
C地区	175kp000~180kp130	2.80
D地区	180kp160~180kp870	2.46

B,C,D地区は  $\varepsilon$  の値が大きい  
(基層下で構造的なダメージを受けている?)

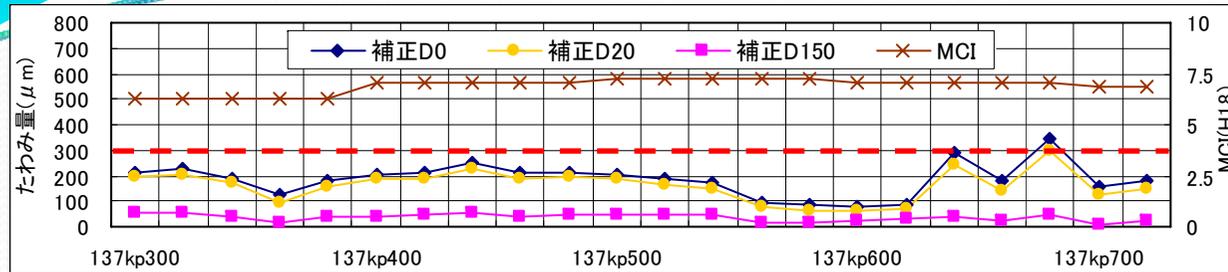
A地区を含む4地区でFWDによる  
たわみ量調査を実施



構造的な破損の有無を確認

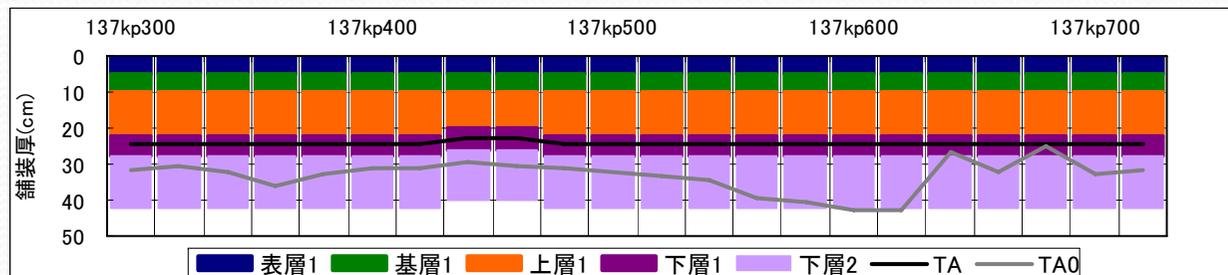
各健全度ランクにとどまる確率 $p_{ii}$ の逆数 = 平均滞在年数

# 調査結果(A地区) $\epsilon = 0.74$

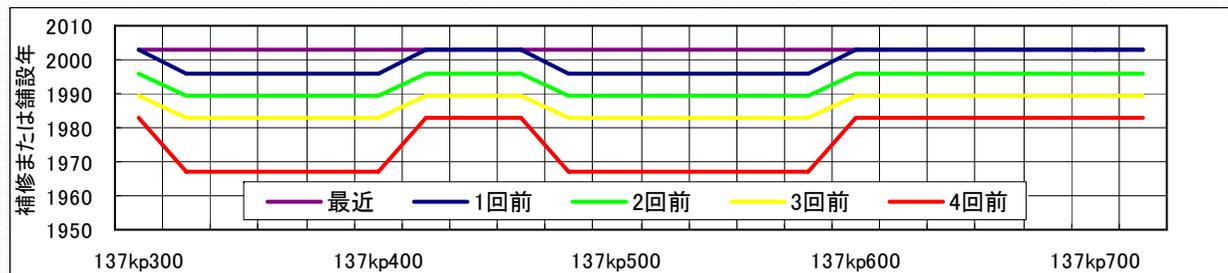


D0は ほぼ基準値以下  
(基準値300  $\mu m$  赤破線)

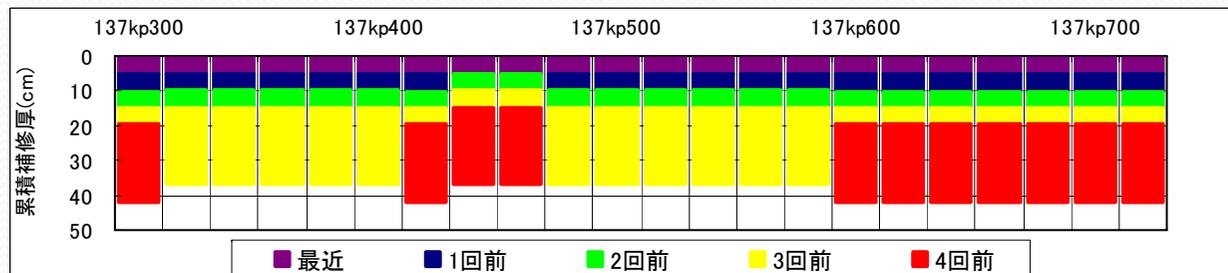
137kp620より終点側で  
D0とD20の差が大きい



$T_{A0}$ (残存TA)は設計時  
の $T_A$ と同程度以上



2002年に複数回補修した  
箇所とたわみ量の大きい  
箇所が一致

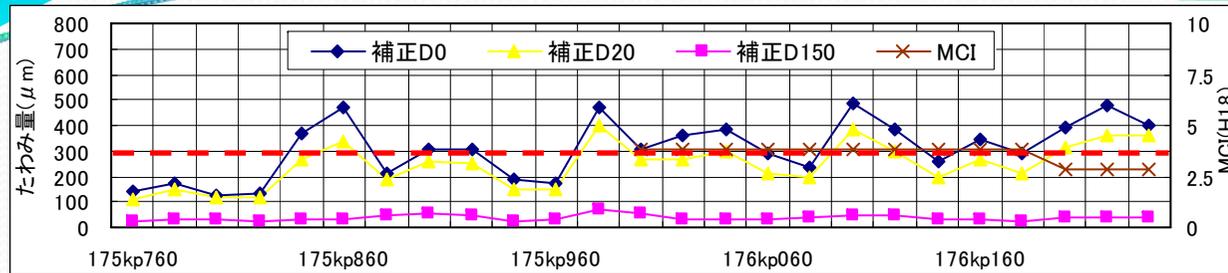


1980年代始めに上層路盤  
打ち換え工法が採用

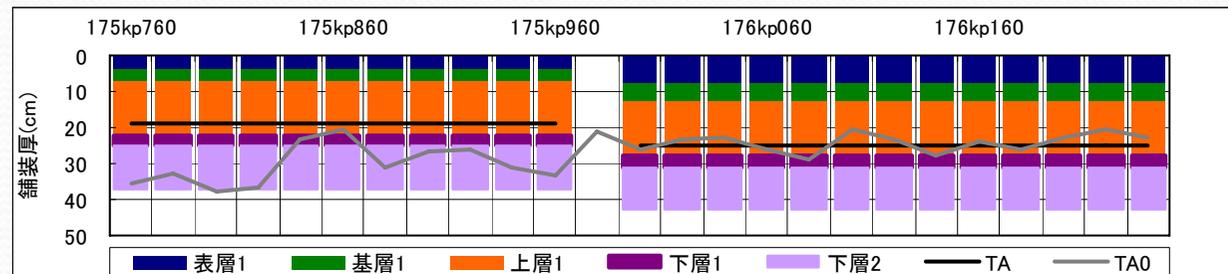
4回前 = 建設年の区間は  
4回前の補修データ無し

舗設年1967年

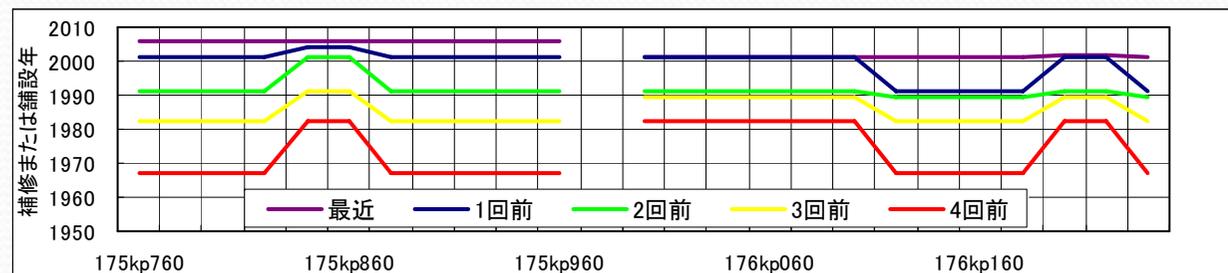
# 調査結果(C地区) $\epsilon = 2.80$



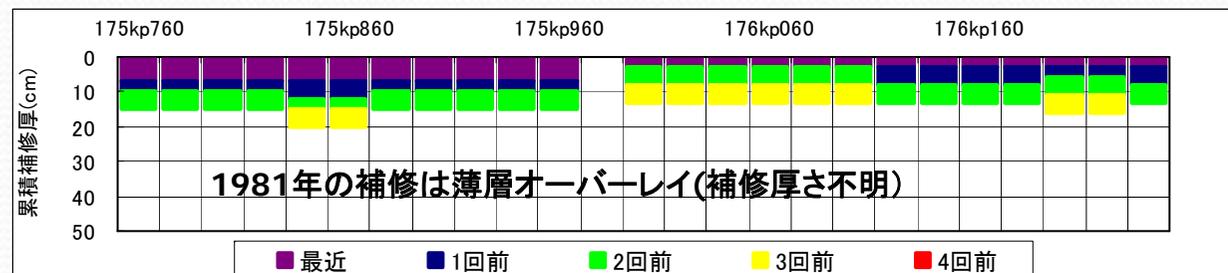
D0とD20の差が全体的に大きい(特に176kp以降)  
D20値も大きい



176kp以降では $T_{A0}$ が $T_A$ を下回っている箇所が多い  
→構造的なダメージ



D0が大きい箇所で修繕を頻繁に行っている



表層のみ修繕が繰り返されている区間が多い

舗設年1967年

(舗装の劣化速度の異質性評価と調査結果から)

- 路面性状データと舗装履歴データ
  - 基層下で損傷が生じていると思われる箇所を抽出
- 損傷箇所でのたわみ量調査を実施
  - 補修履歴をふまえて損傷が生じている層とその原因を特定
- 損傷状況に応じた補修の実施
  - 補修工法の選択ミスの低減

積雪寒冷地における舗装の維持管理の効率向上に寄与

## まとめ

- ・日常的な点検とポットホール補修の最適化のための検討
- ・積雪寒冷地にふさわしい舗装材料の提案
- ・要補修箇所の特特定と補修工法選定の根拠づけ

### {維持管理費の縮減}

調査の予算不足

安価な補修工法の選定を余儀なくされる→日常点検の負担大!?

破損箇所を放置すると走行性がどの程度低下するか

本研究の成果により補修効果がどの程度向上するか(LCCの低減)

**維持管理の重要性を示すことが重要**

長期間の追跡調査による耐久性向上の効果  
対象区間を拡大して同様な効果が得られるか



検証することが  
望ましい