

積雪寒冷地における舗装の耐久性向上 と補修に関する研究

研究期間 平成19年4月～平成22年3月

プロジェクトリーダー

京都大学大学院工学研究科/経営管理大学院 教授 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

2009.05.29

積雪寒冷地におけるポットホール用 常温補修合材の耐久性分析

ポットホール事例



- 交通事故等の発生
- 道路管理に対する瑕疵責任

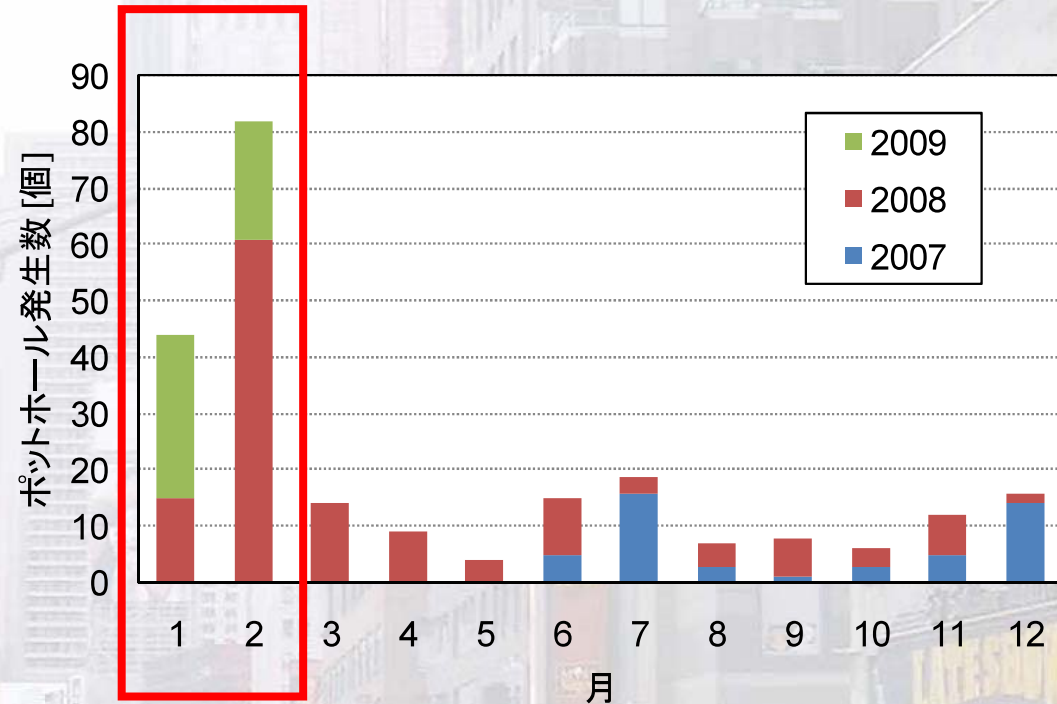
ポットホールの発生メカニズム

- 1) 降雨, 降雪, 融雪散水などにより, 舗装表面に滞水した水がひび割れなどのき裂が発生した箇所から舗装体に侵入する.
- 2) 繰り返し作用する交通荷重により, 滞水した水が骨材とアスファルトモルタルの間に侵入する.
- 3) これに伴って, 舗装が時間の経過とともに結合力を失い, 骨材が剥離し, 最終的に破損する.



水浸ホイールトラッキング試験
(鎌田・山田, 2001.)

積雪寒冷地におけるポットホール発生状況



- 積雪量が多い.
- 融雪散水装置の設置.

ポットホール用常温補修合材



使用前



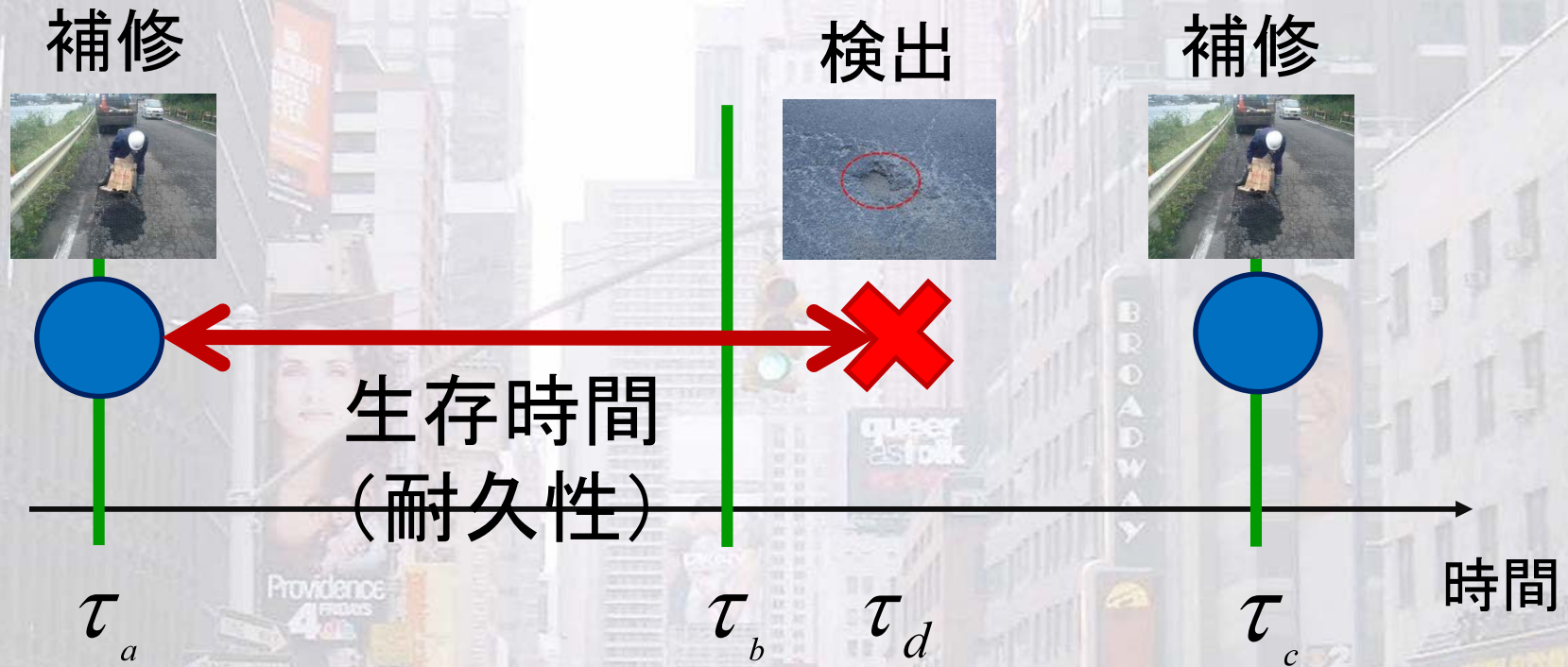
使用后



- 厳しい環境条件（降雪，融雪散水，低温）の下で使用。
- 施工時間の限定的。

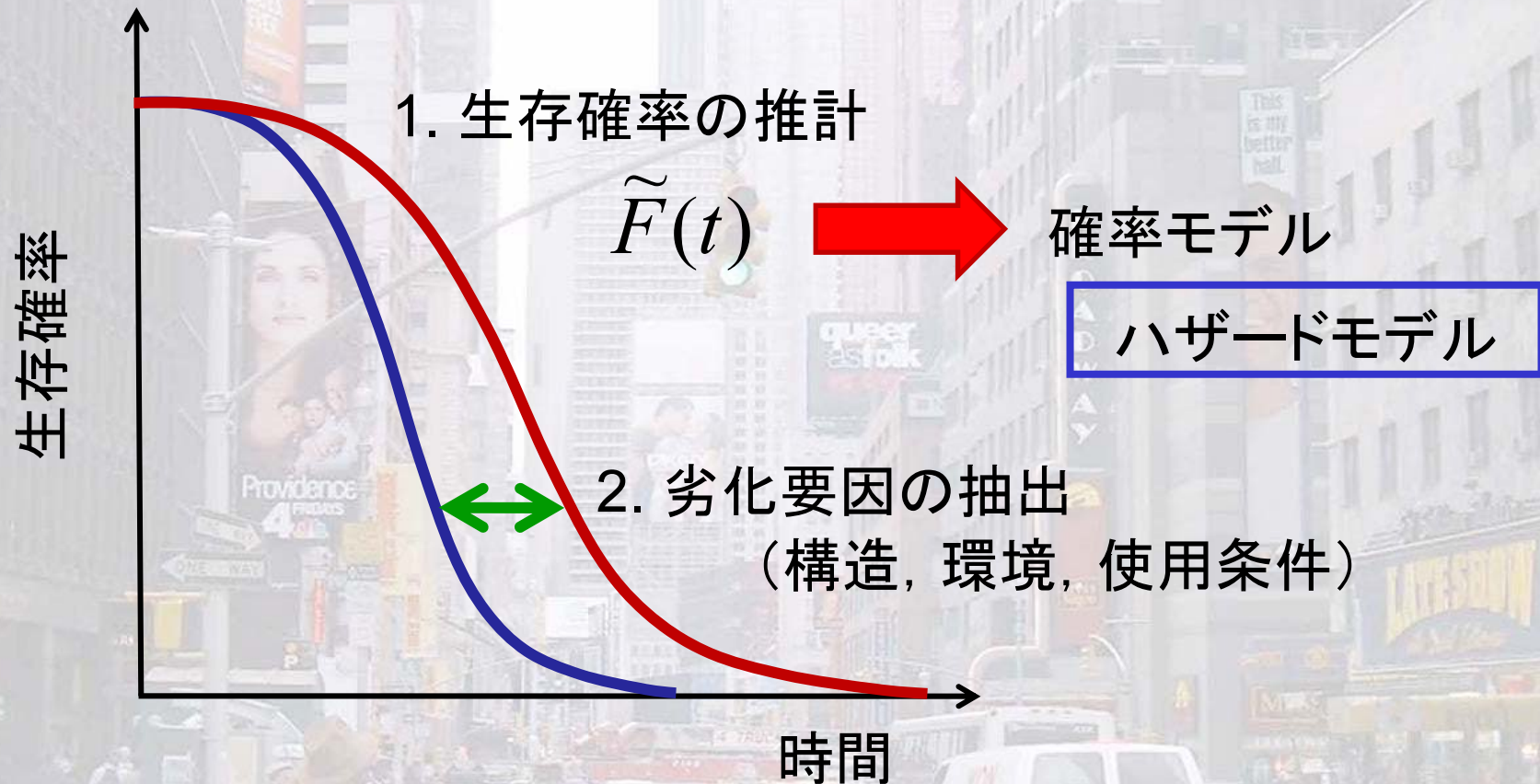
➡ 補修合材本来の性能を発揮するまでに至らない？

利用可能な情報



- 点検データには, 不確実性が介在
- 利用可能なデータが限定的
(点検データ+台帳データ)

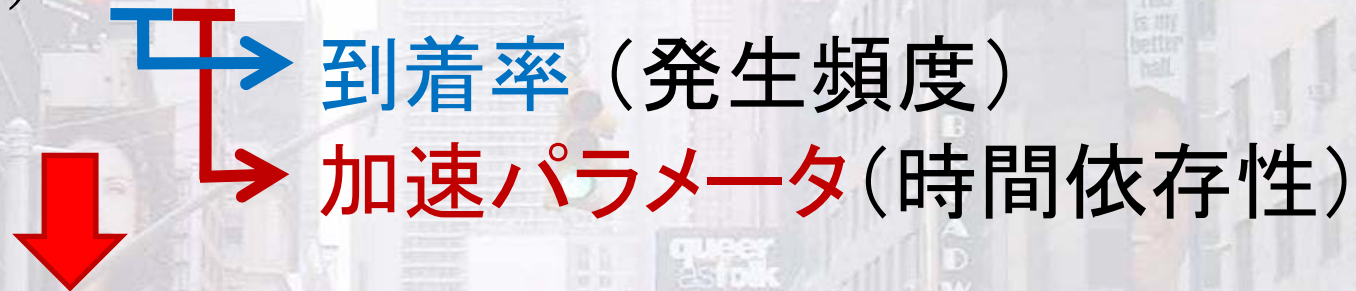
統計的劣化予測手法



ワイブル劣化ハザードモデル

ハザード関数: 劣化速度を表す

$$\lambda(t) = \theta \alpha t^{\alpha-1}$$



確率密度関数

$$f(t) = \theta \alpha t^{\alpha-1} \exp(-\theta t^\alpha)$$

生存確率関数

$$\tilde{F}(t) = \exp(-\theta t^\alpha)$$

ハザードモデルの推計

目視点検データ

剥離状態:
(有 or 無)
二値情報

$$\lambda(t) = \theta \alpha t^{\alpha-1}$$

$$\theta = x_1 \beta_1 + x_2 \beta_2 + \Lambda x_M \beta_M$$

基礎情報
(台張システムから)

○: 未知
パラメータ

最尤法による未知パラメータの推計

時間 t_i におけるサンプル i の条件付き確率

$$\lambda(t_i) = f(t_i)^{d_i} \tilde{F}(t_i)^{1-d_i}$$

$$d_i \begin{cases} =1; \text{剥離} \\ =0; \text{健全} \end{cases} \quad \rightarrow \quad \text{日常点検により獲得}$$

尤度関数

$$L = \prod_{i=1}^n \lambda(t_i) = \prod_{i=1}^n f(t_i)^{d_i} \tilde{F}(t_i)^{1-d_i}$$

$$\lambda(t) = \theta \alpha t^{\alpha-1}$$

$$\theta = x_1 \beta_1 + x_2 \beta_2 + \Lambda x_M \beta_M$$

補修合材の耐久性に影響を及ぼす要因1

構造および環境条件

1. ポットホールの**複数回発生**の有無 (有: $x_2=1$, 無: $x_2=0$)

$$\theta = x_1\beta_1 + x_2\beta_2$$

2. ポットホールの**面積**
3. ポットホールの**深さ**
4. **カットバック系** or 非**カットバック系**
5. **融雪散水装置**の有無
6. 構造物(**土工部**, **CO床版部**)
7. 表層材料(**密粒** or **排水性**)
8. **縦断勾配**
9. **平面線形**
10. **大型車交通量**

補修合材の耐久性に影響を及ぼす要因2

作業・施工条件

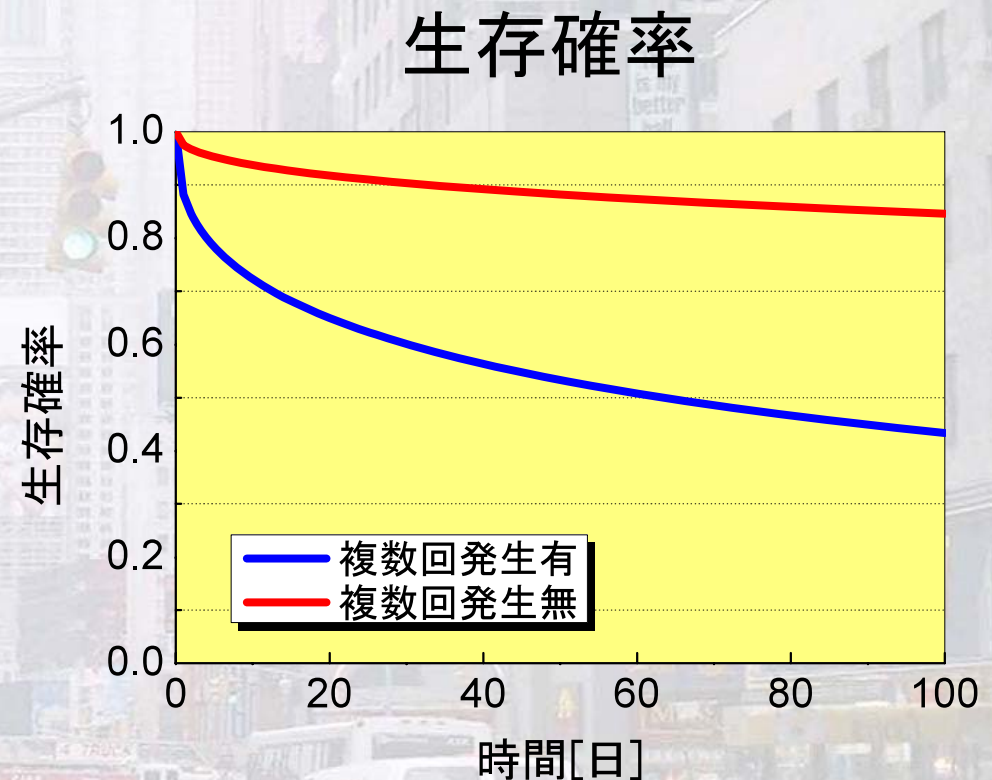
1. ポットホール内の**水の除去**
2. ポットホール内の**泥の除去**
3. **締め固め方法**(人力・機械 or 作業車)
4. 施工時**天気**
5. 施工**時間**

補修合材の耐久性(1要因のみを考慮)

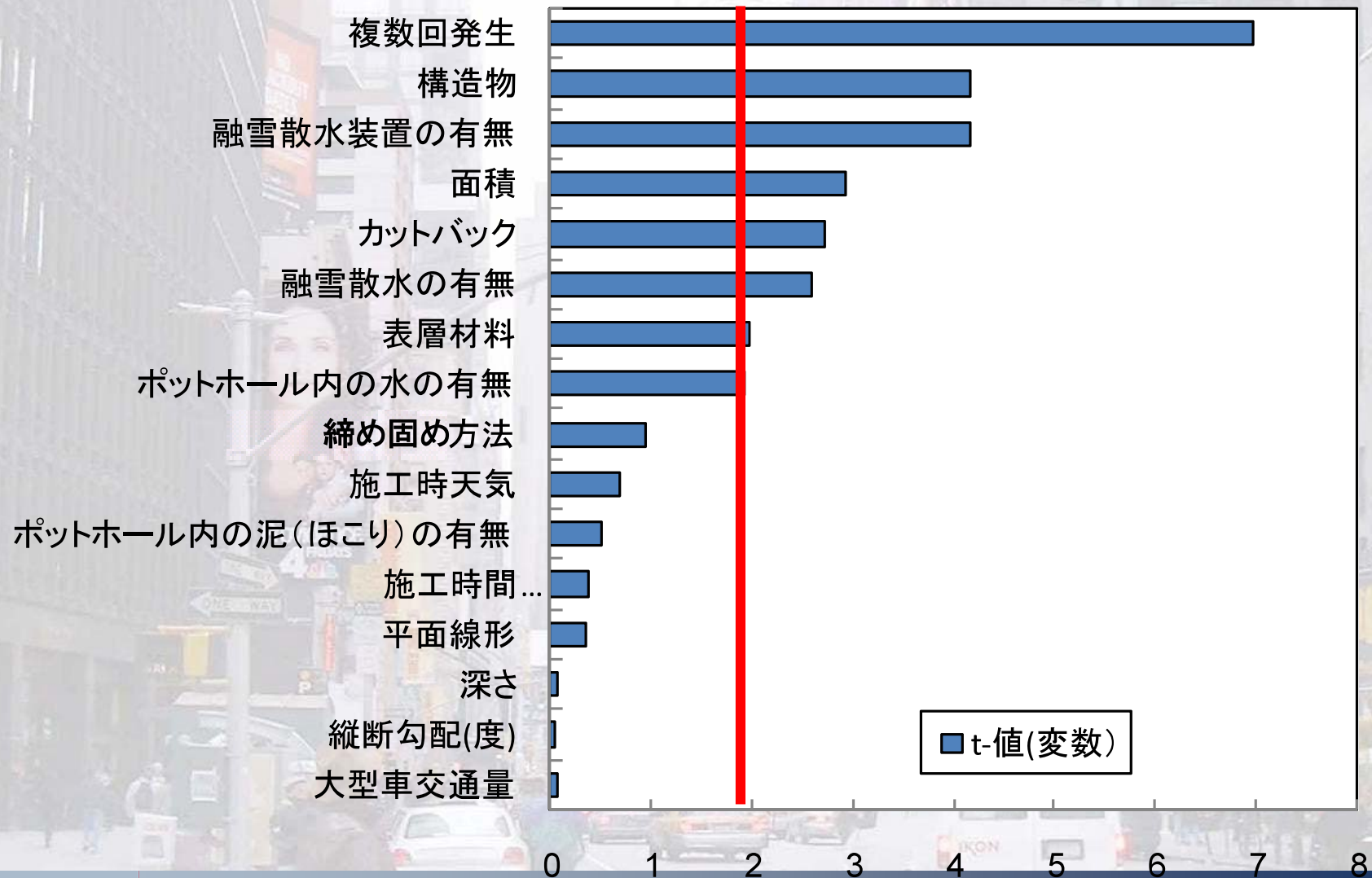
ポットホールの複数回発生の有無

推計結果

	α	β_1	β_2
最尤推定値	0.411	-3.68	1.61
t-値	10.5	-13.3	6.97
AIC	989.7		



各要因とt-値(説明力)の関係

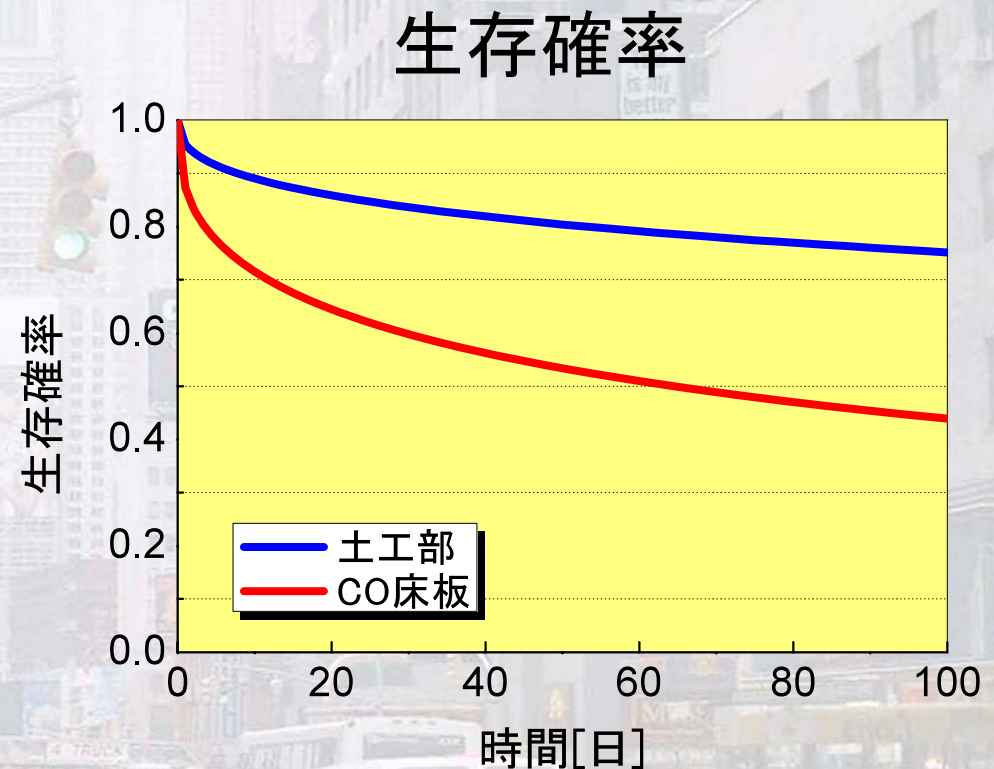


補修合材の耐久性(1要因のみを考慮)

構造物(土工部 or CO床版部)

推計結果

	α	β_1	β_2
最尤推定値	0.390	-1.99	-1.06
t-値	10.4	-7.11	-4.44
AIC	1,026.1		

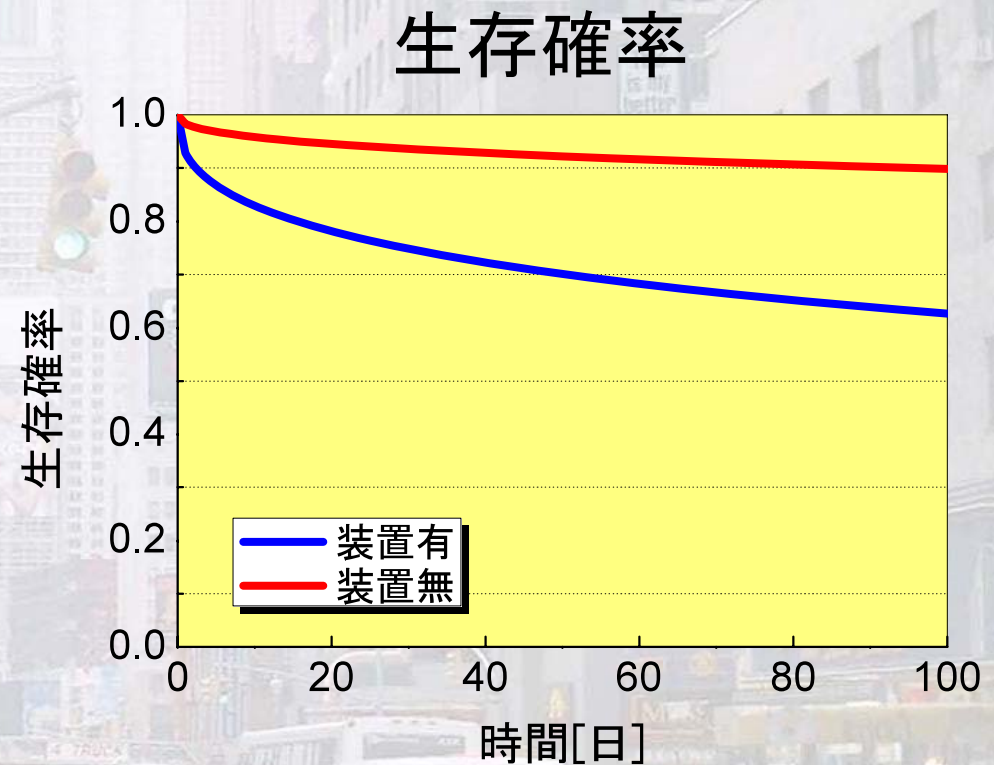


補修合材の耐久性(1要因のみを考慮)

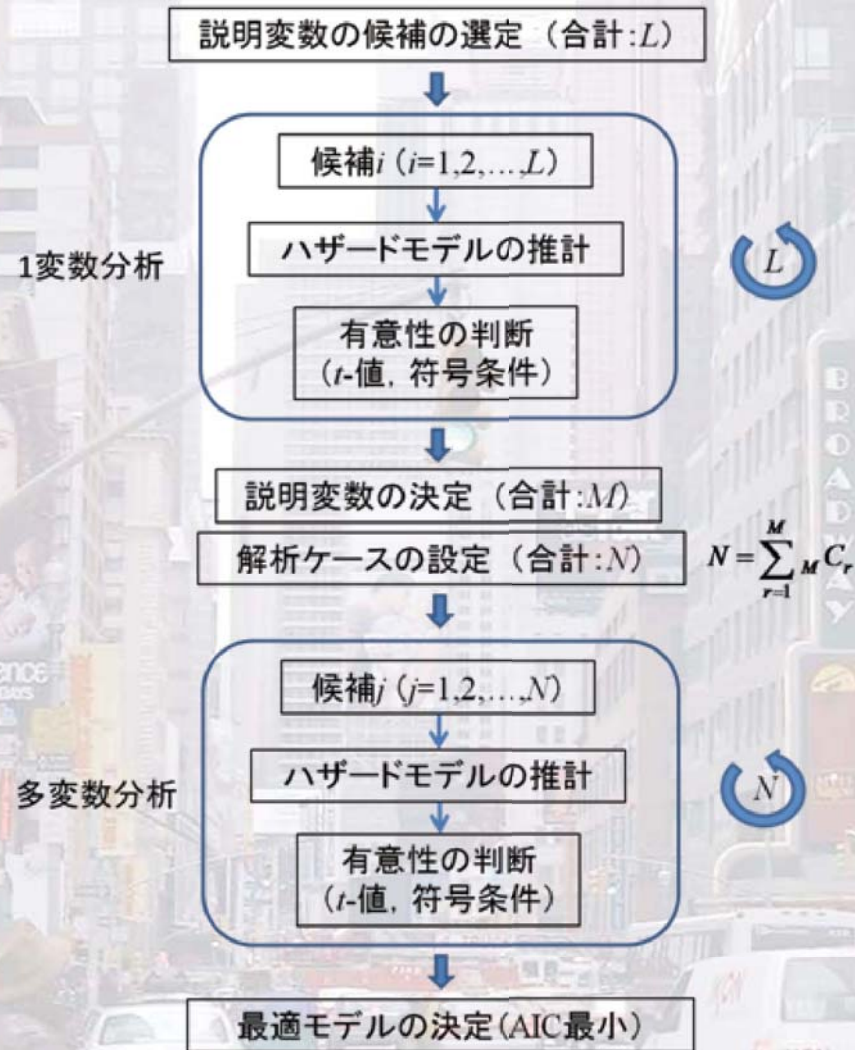
融雪散水装置の有無

推計結果

	α	β_1	β_2
最尤推定値	0.398	-4.07	1.47
t-値	10.4	-10.3	4.16
AIC	1,015.6		



耐久性評価の最適モデル決定法



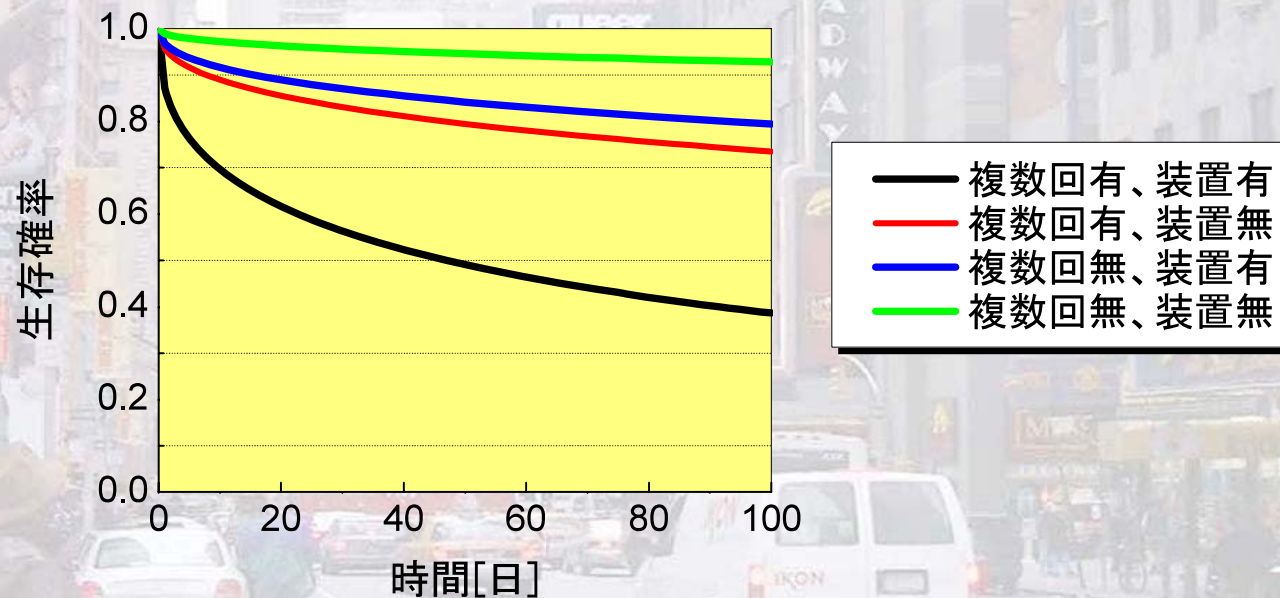
補修合材の耐久性(2要因を考慮)

モデル構成: 複数回発生の有無 & 融雪散水装置の有無

推計結果

	α	β_1	β_2	β_3
最尤推定値	0.420	-4.54	1.42	1.13
t-値	10.6	-11.0	6.06	3.14
AIC	978.9			

生存確率



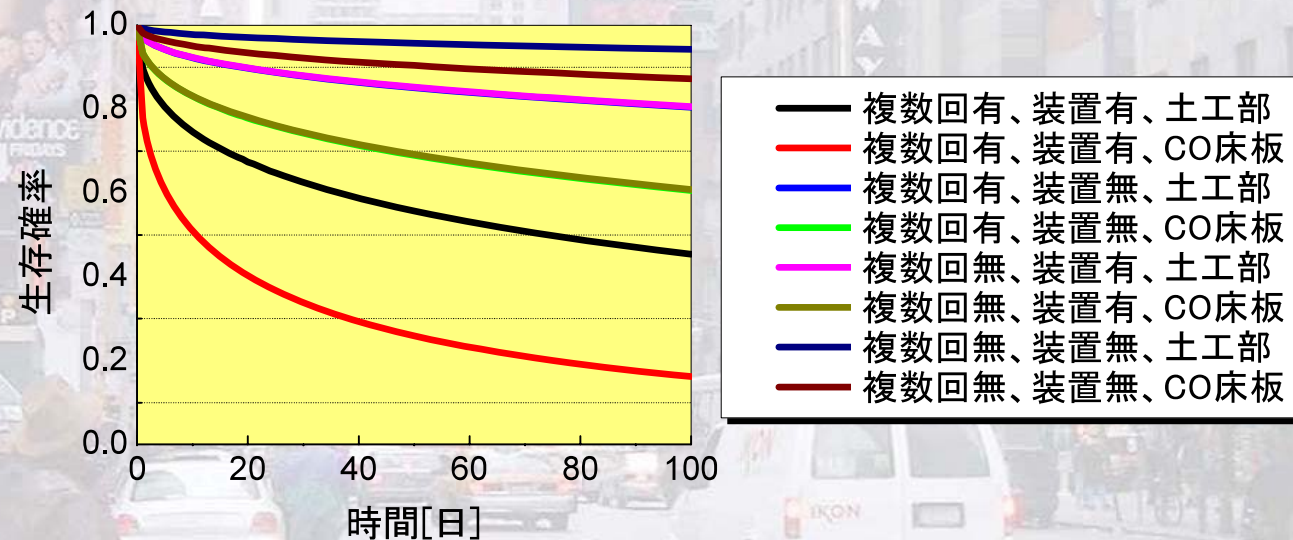
補修合材の耐久性(3要因を考慮)

モデル構成: 複数回 & 装置 & 構造物

推計結果

	α	β_1	B_2	β_3	β_4
最尤推定値	0.431	-3.98	1.30	1.29	-0.836
t-値	10.7	-8.91	5.49	3.57	-3.19
AIC	972.0				

生存確率



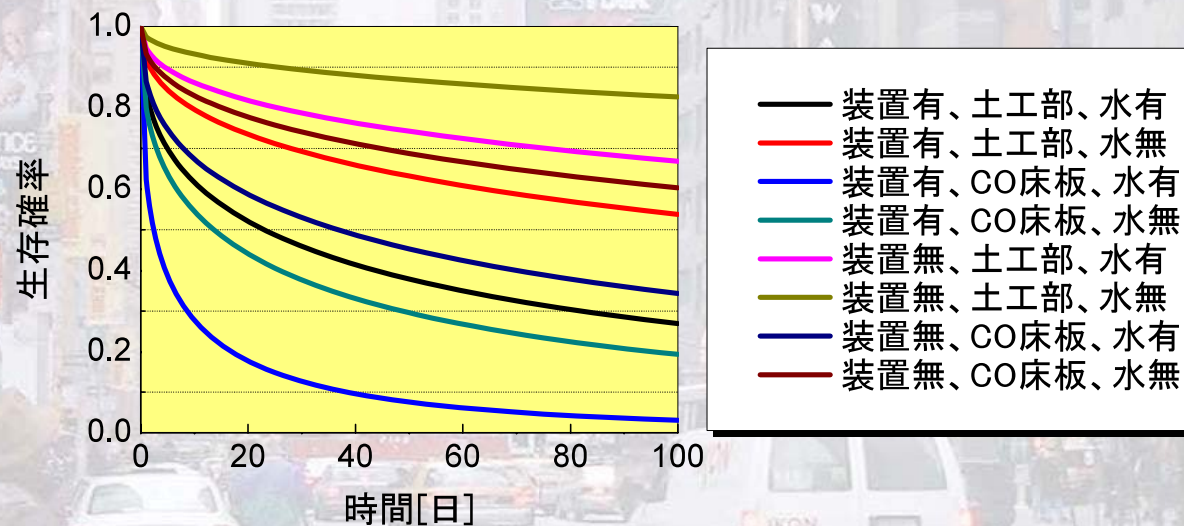
補修合材の耐久性(4要因を考慮)

モデル構成: 複数回 & 装置 & 構造物 & 水

推計結果

	α	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
最尤推定値	0.434	-4.14	1.46	1.18	-0.977	0.750
t-値	10.9	-9.28	6.04	3.24	-3.68	3.13
AIC	964.6					

生存確率
(複数回:有)



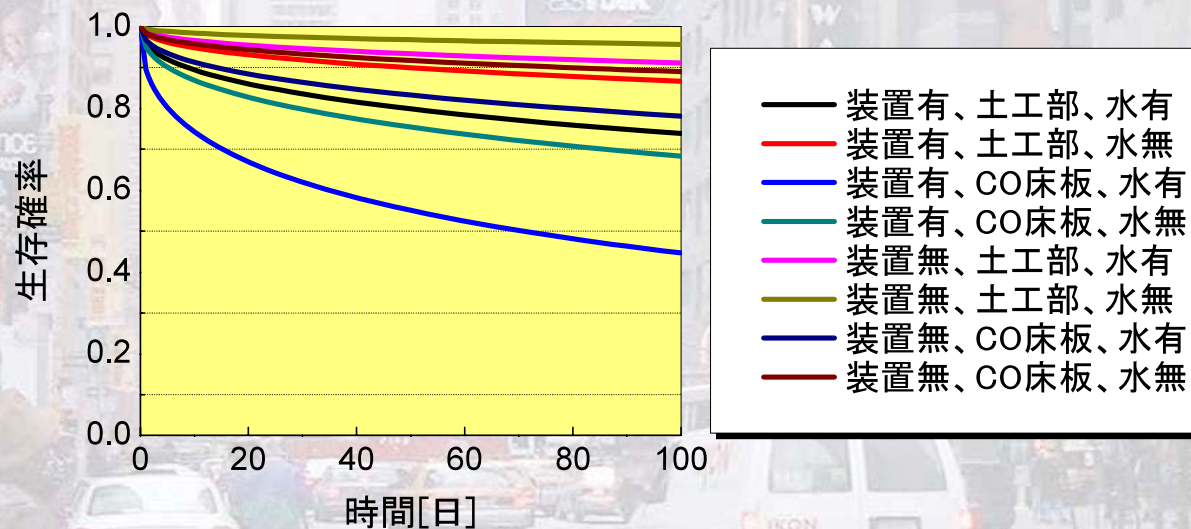
補修合材の耐久性(4要因を考慮)

モデル構成: 複数回 & 装置 & 構造物 & 水

推計結果

	α	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
最尤推定値	0.434	-4.14	1.46	1.18	-0.977	0.750
t-値	10.9	-9.28	6.04	3.24	-3.68	3.13
AIC	964.6					

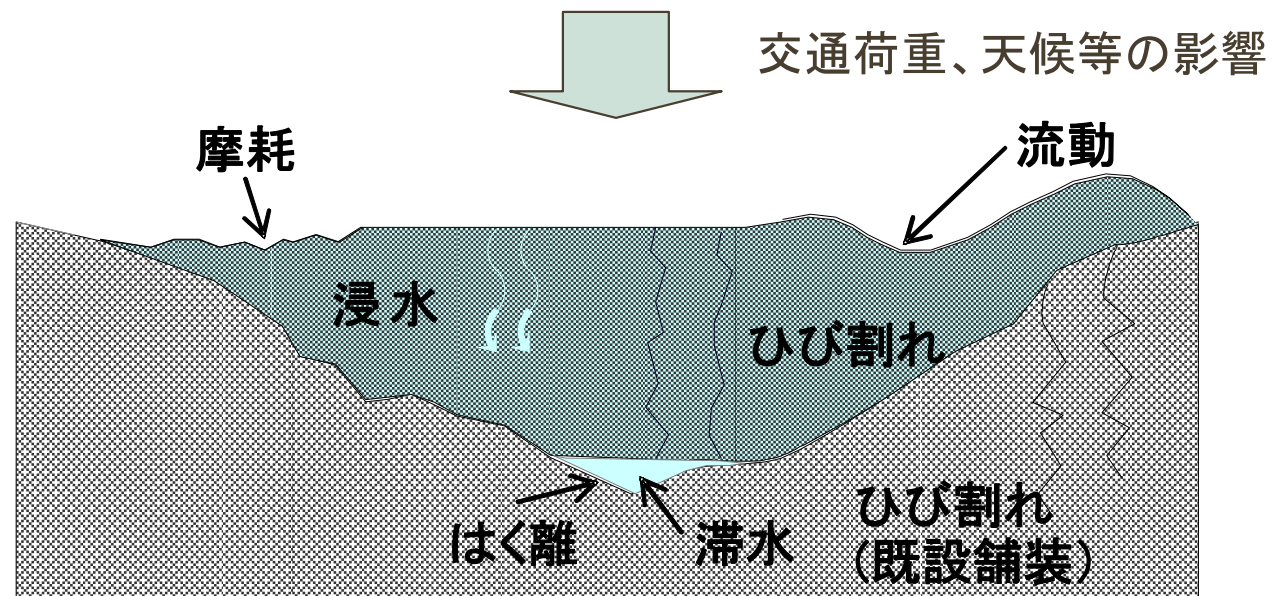
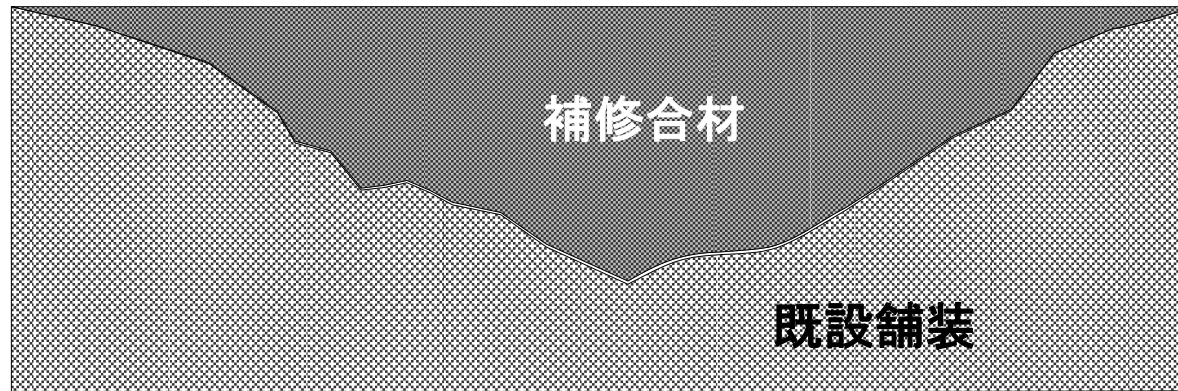
生存確率
(複数回: 無)



補修合材を用いた室内試験

- 補修合材の物性を数値で表現
(材料の優劣を決めるものではない)
- 補修箇所損壊と関連のある物性を把握
(締固め易さ、耐久性、付着性等)
- 交通量、道路構造、地域特性に適した材料を選定するための基準
- 実績の少ない新規材料の適性評価

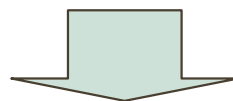
ホットホール補修箇所での破損原因



室内試験の評価項目と破損形態

試験名称	評価項目	対応する破損形態など
ジャイレトリ試験機による締固め試験	作業性	締固め不足
一軸圧縮試験	残留強度率 他	交通荷重による変形全般
付着強度試験	付着強度	摩耗、既設舗装からの剥がれ
ホイールトラッキング試験	圧密変形量	流動 等

現在、室内試験の条件や基準値は明確に示されていない



主に当プロジェクトの試験施工で性能が確認された材料を用いて室内試験を実施し、基準設定の基礎資料とする

材料の種類と試験条件

種別	材料のタイプ
常温混合物型 (6種類)	カットバックアスファルト系
	特殊樹脂・硬質アスファルト系
硬化反応型 (2種類)	アスファルト系
	セメントモルタル系

供試体の作製条件: 5°C (積雪寒冷地での作業を想定)

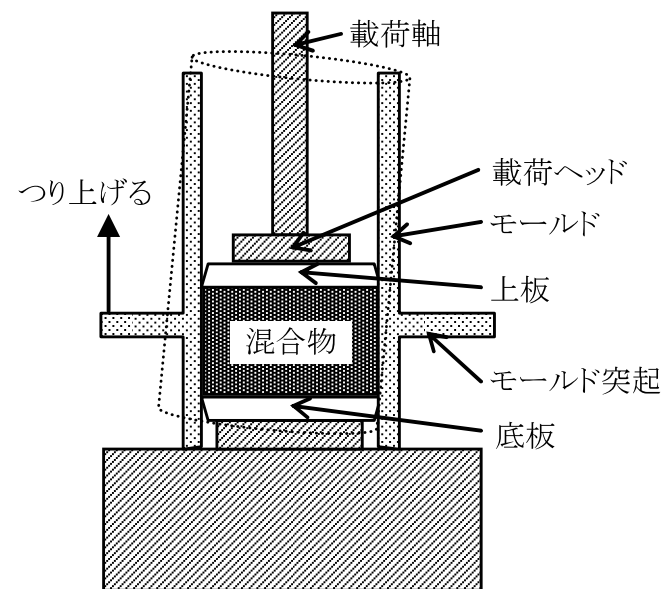
養生条件: 空中及び水浸 (いずれも5°C-同上)

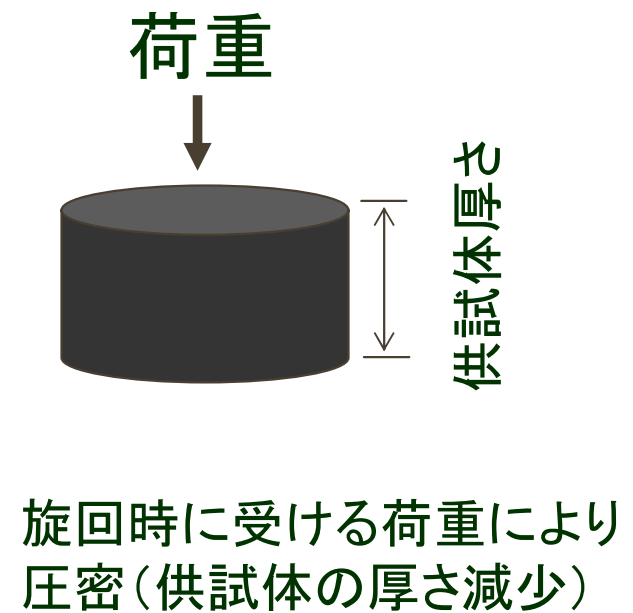
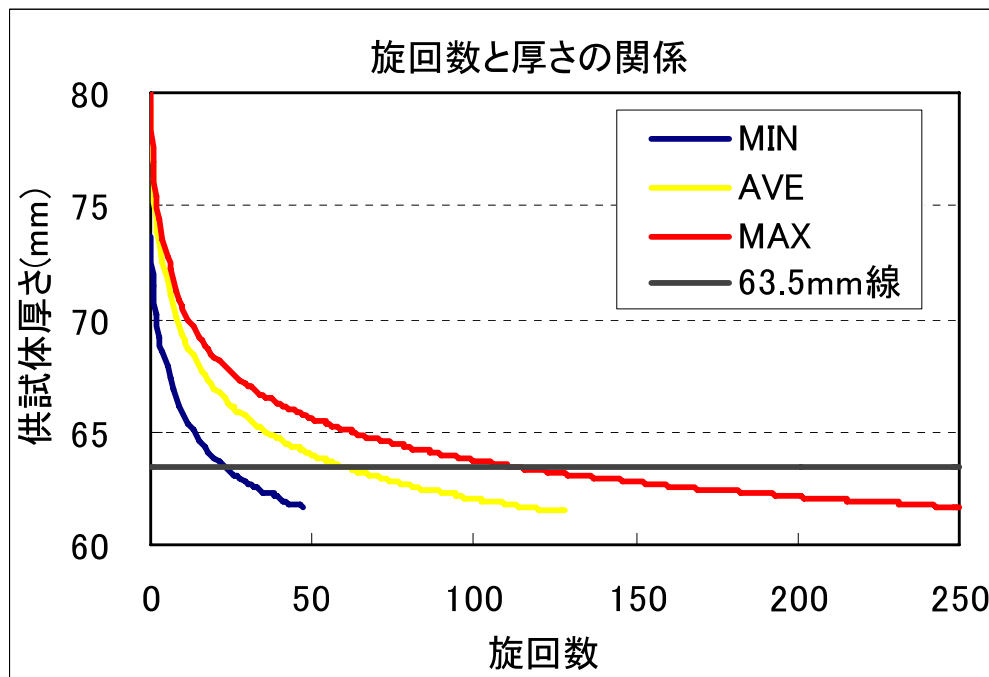
試験温度: 5°C (一部を除く)

ジャイロリー試験機によるアスファルト混合物の締固め試験方法

- ・計量した混合物※をモールド内へ投入する
- ・投入した混合物に垂直方向の荷重を加える
- ・モールド突起部を掴んでいるローラがモールドを傾けながら回転する
- ・ニーディング作用により混合物を締固める(車両による締固めに近い機構)

※直径100mm,厚さ63.5mm,5°C密度で計量

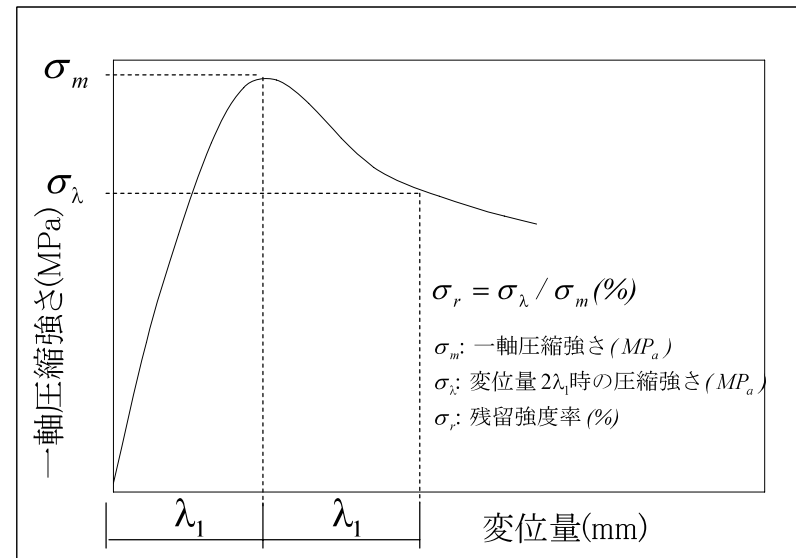


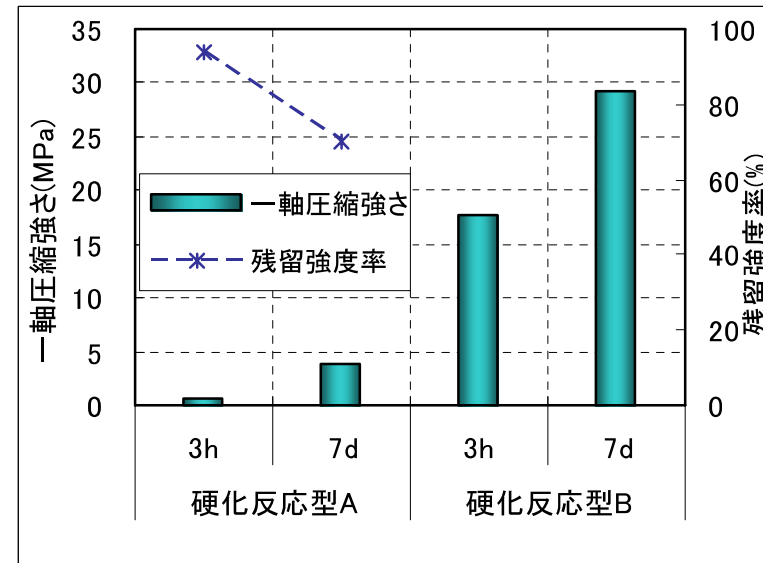
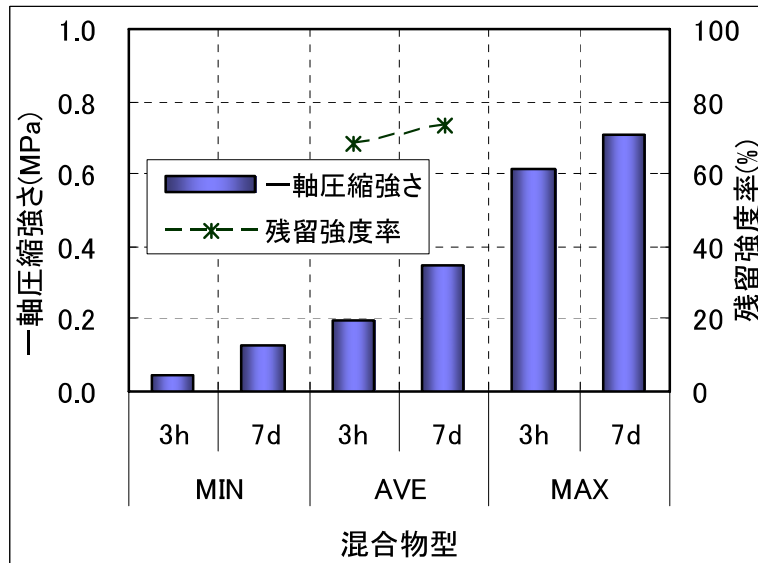


混合物の収まり易さ、アスファルトの粘度が関係

一軸圧縮試験

- 供試体（厚さ68mm, 直径100mm）を作製する
- 供試体に載荷速度1mm/minで載荷する
- 最大の載荷強さと変位量を記録する
- 引き続き最大の載荷強さ時の2倍の変位量まで記録する
(残留強度率の算出)





3h: 作製後3時間で試験、7d: 7日間養生後に試験

全ての材料で時間の経過と共に一軸圧縮強さが向上

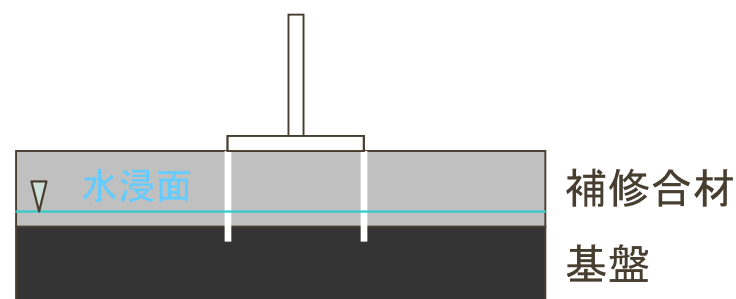
強度そのものは加熱混合物の10%以下(混合物型)

締固め易い材料が必ずしも圧縮強さが大きいわけではない

耐久性は残留強度率と関係？

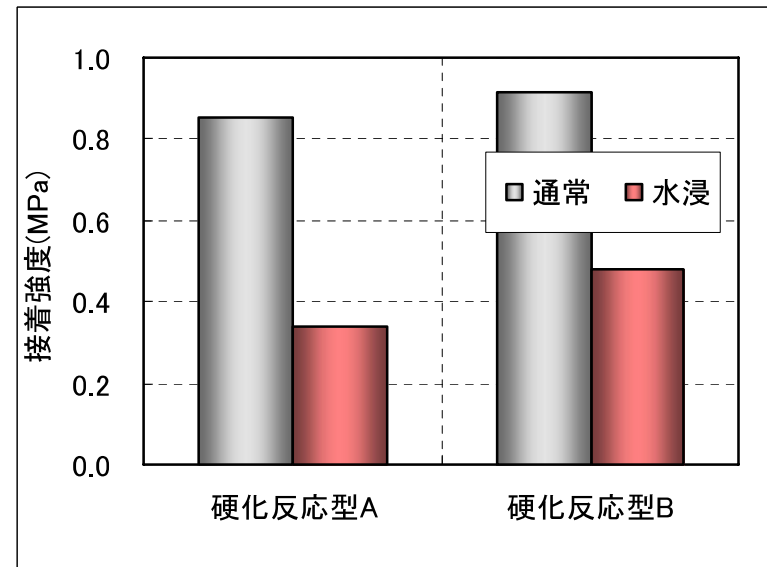
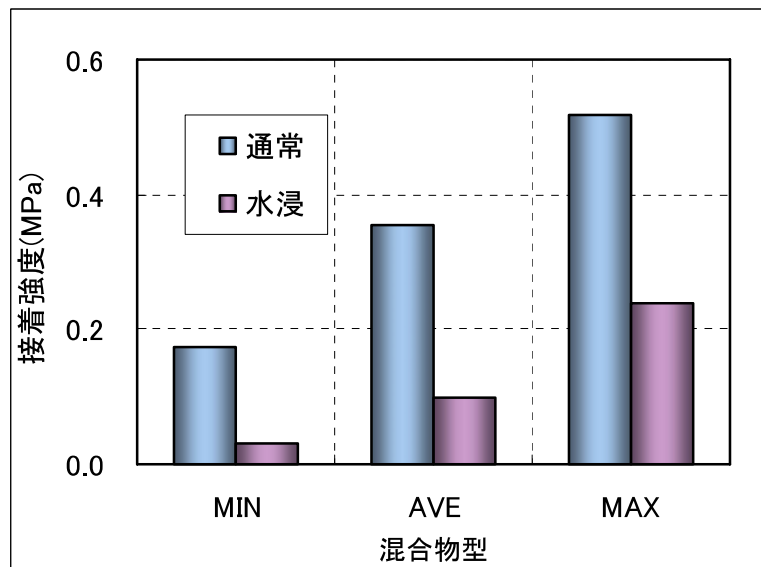
付着試験

- 基板の上に供試体（30×30×5cm）を作製する
- コア切断機を用いて直径100mmの切り込みを基盤まで入れる
- 接着板を珪酸系接着剤で常温混合物層に貼り付ける
- ハンドルを回して接着板を引き上げ、荷重計の最大値を読む



引張接着強度が高いほど既設
舗装からの剥がれが生じにくい

引張接着強度＝最大荷重/接地面積

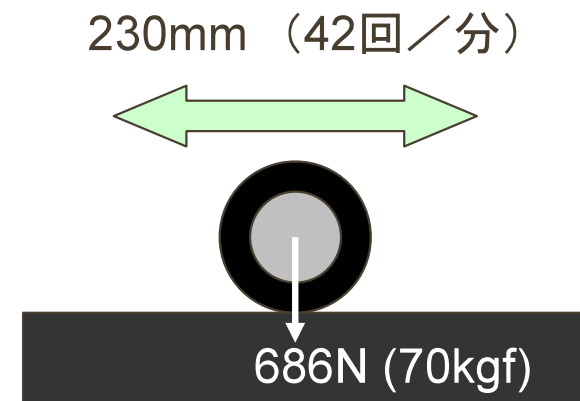


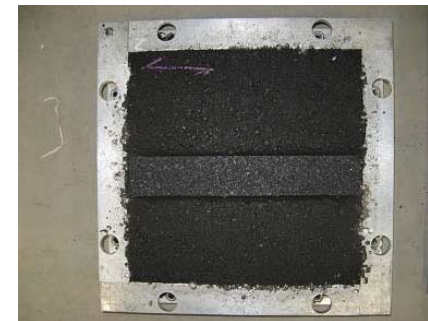
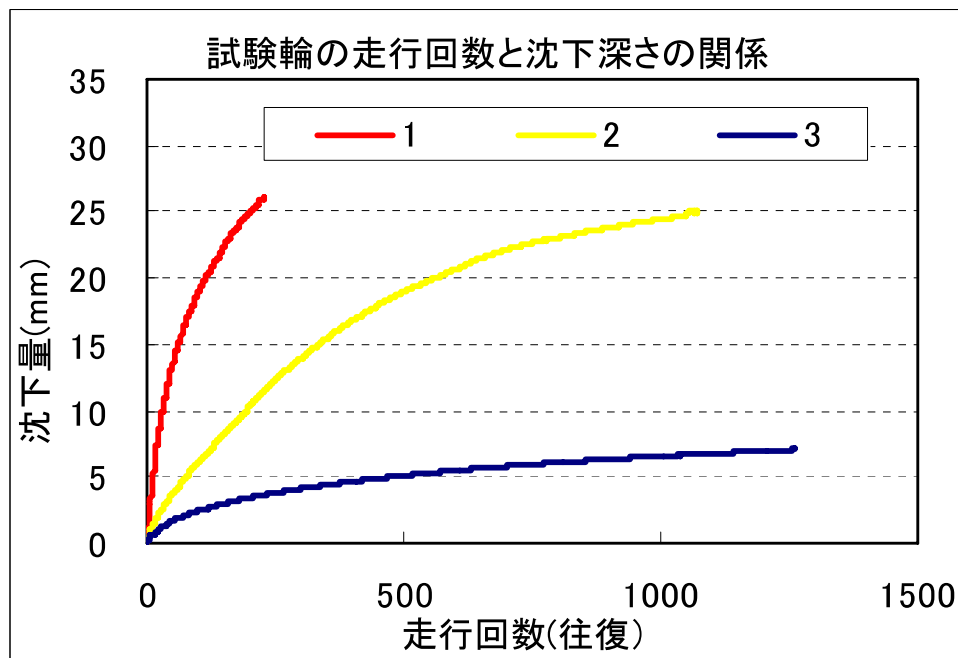
水浸条件では、ほとんどの材料で接着強度半分以下
(補修後の水の有無に左右)



ホイールトラッキング試験

- ・所定の密度となるように30×30×5cmの供試体を作製する
- ・作製後、5°Cに調節された恒温槽で30分以上養生を行う
- ・室温でホイールトラッキング試験を実施する(室内温度は10°C前後)
- ・沈下量が20mmに達するまでの走行回数・沈下量を計測する





骨材の最大粒径の大きい補修合材の沈下量 小
 (粒径が大きいほど骨材飛散は生じやすい)

室内試験結果から

- ・補修合材の耐久性は施工後の時間の経過と共に向上
- ・施工時または養生初期に水に触れると耐久性が著しく低下（一部の材料除く）
- ・作業性が良い材料＝耐久性が高いとは必ずしも言えない（バインダの種類、骨材の最大粒径が関係）

注 作業性に関係なく締固め不足が生じた場合は、確実に耐久性は低下する

補修箇所での耐久性分析の結果とほぼ同じ傾向

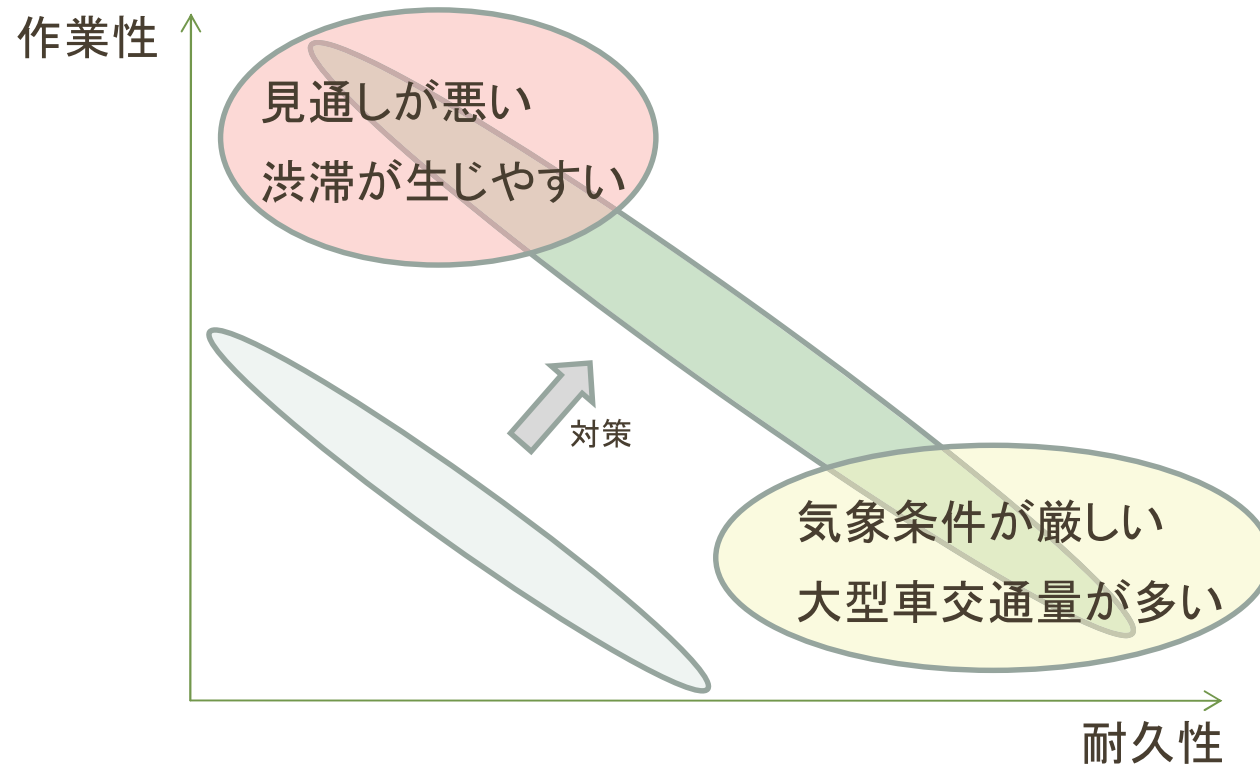
補修箇所耐久性向上のために

- 水の影響を抑えるためには、何が必要か？
- 既存の材料を用いて耐久性を高める方法は？
- 施工後どれだけ経過すれば耐久性が向上するか？
- 補修合材の適用箇所と室内試験の物性の推奨値？

室内試験や現地の補修作業で検証中

低温時(10°C以下)に補修合材を保温(20°C程度)して作業性の低下を防ぐ
養生期間、養生温度と各試験の物性値との関係から材料の適性を評価する
その他(耐久性分析:ポットホール内の水の除去、締め固め方法など)

地理的条件と要求性能



作業性：作業時間、(交通開放までの)養生時間、締め固め易さ？

↑↓トレードオフ!?

耐久性：耐摩耗性、耐流動性、耐水性

積雪寒冷地に適した舗装の提案(試験施工)

①工法・構造の選定(最も採用数の多い補修工法)

②試験施工場所の選定

- ・①の工法・構造による補修が望ましい箇所
- ・舗装の劣化が短期間で進んでいない箇所

③使用材料の選定

- ・経過年数とMCIの関係から推奨される材料
- ・経済的な材料と性能を重視した新材料

④評価項目の設定(追跡調査の試験項目)

- ・路面性状、支持力
- ・はく離抵抗性(積雪寒冷地における舗装劣化要因)

試験施工の概要

(施工場所) 関宮地区(密粒度舗装)、野間地区(排水性舗装)

(施工時期) 平成21年2月下旬の2日間

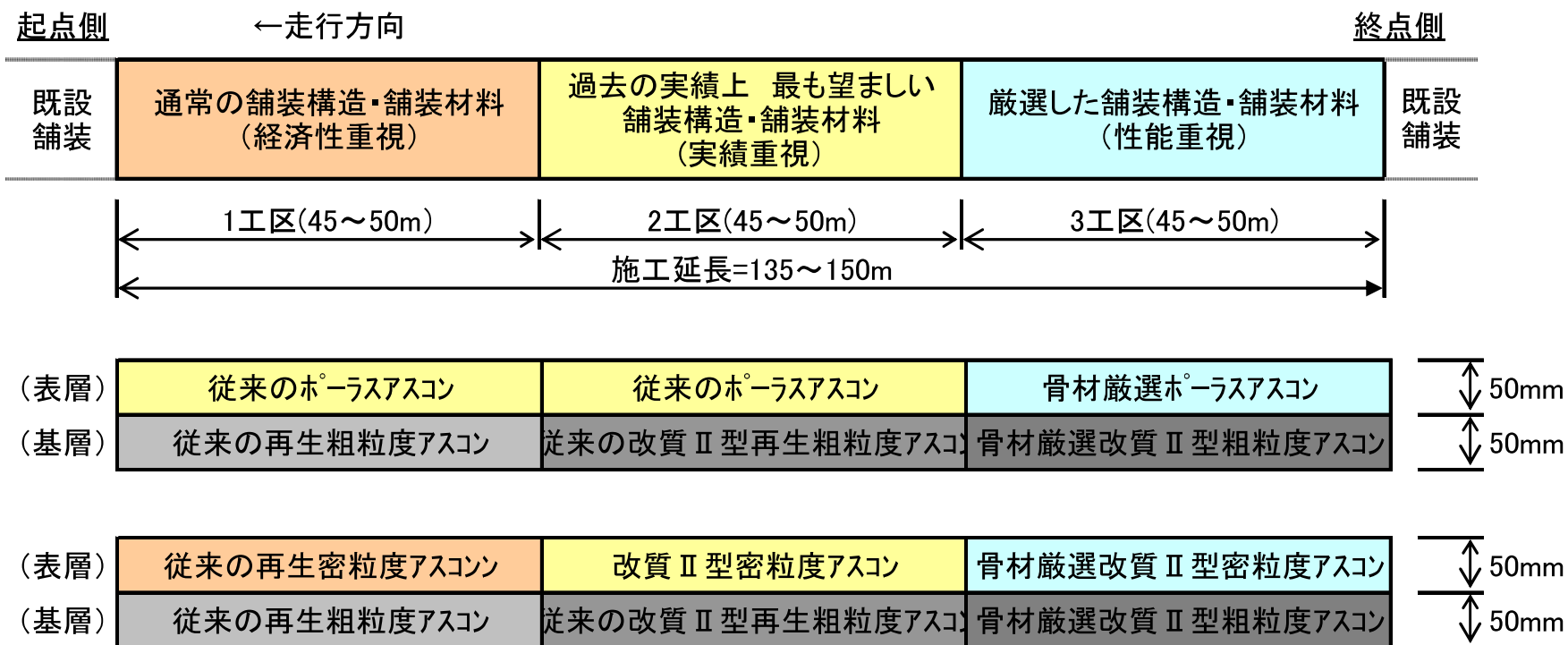
(施工延長) 約150m

(補修工法) 表層・基層切削オーバーレイ



試験施工箇所

工区割りと使用材料

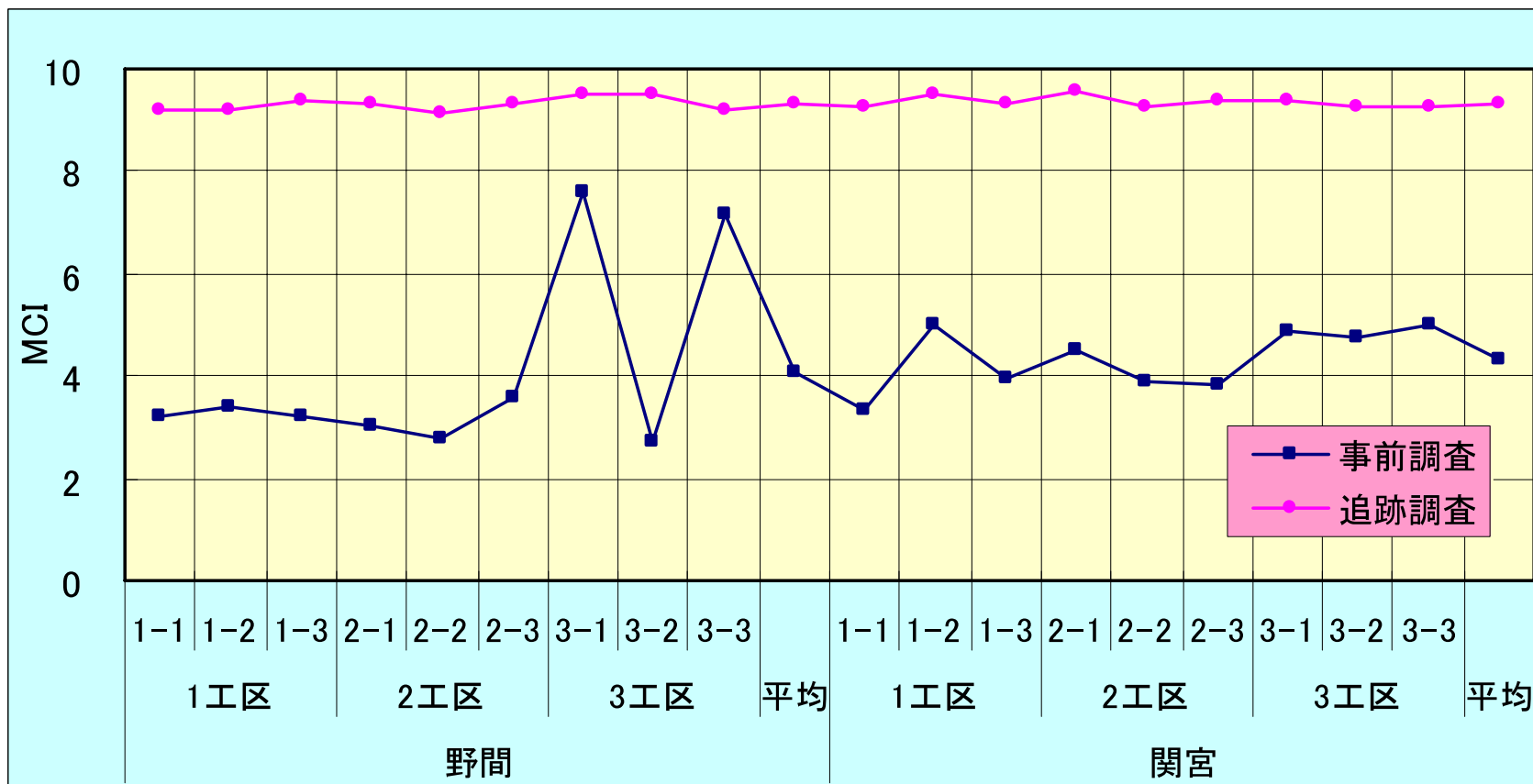


上段:排水性舗装(野間地区), 下段:密粒度舗装(関宮地区)

試験施工の調査項目

調査項目	調査箇所	目的
平たん性	1測線	路面性状の評価 (MCIの算出)
わだち掘れ量	3測線/工区	
ひび割れ率	3断面/工区	
たわみ量	3点/工区	路床の支持力評価
供試体密度	6個/工区	締固め度の確認
修正ロットマン試験		混合物のはく離抵抗性

路面調査結果(一例)



路面調査結果まとめ

(試験施工前)

- ・野間、関宮地区共にMCIの平均値が5以下
- ・野間では路肩部の滞水に起因する基層下の流動または圧密、関宮ではタイヤチェーンが原因と思われる摩耗が発生

積雪寒冷地の典型的な要補修箇所を試験施工に選定

(試験施工直後)

- ・野間、関宮地区共に補修後のMCIは9以上まで回復
- ・想定していたキメ深さ、舗装厚で舗装路面を構築

試験施工により期待した路面性状に回復

引き続き 経過観察を実施して有用性を検証

