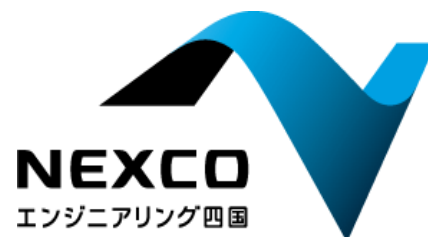


# 簡易路面調査 (スマートイーグル) による 路面管理手法の提案

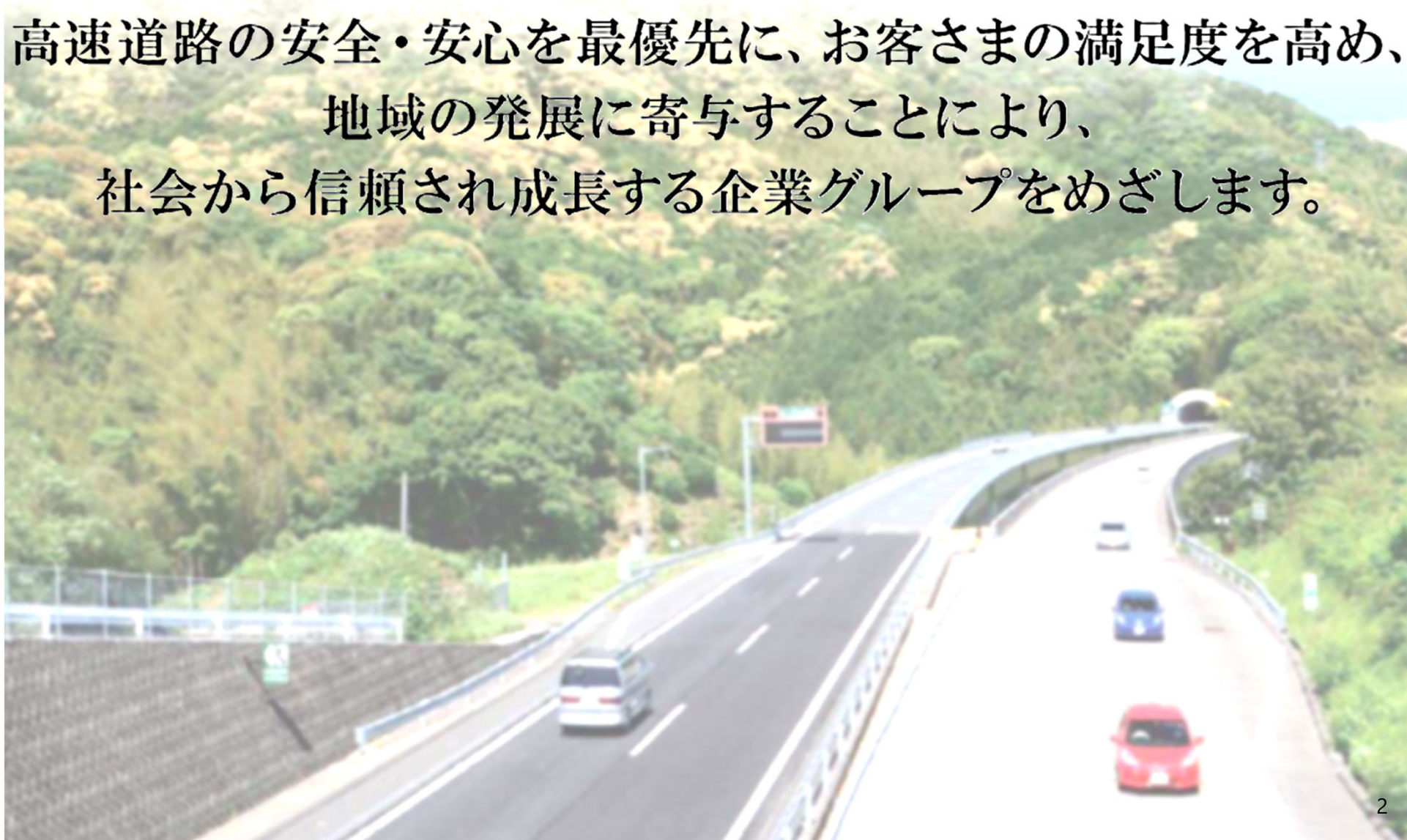
---

西日本高速道路エンジニアリング四国(株)  
土木技術部 土木技術課 橋爪 謙治



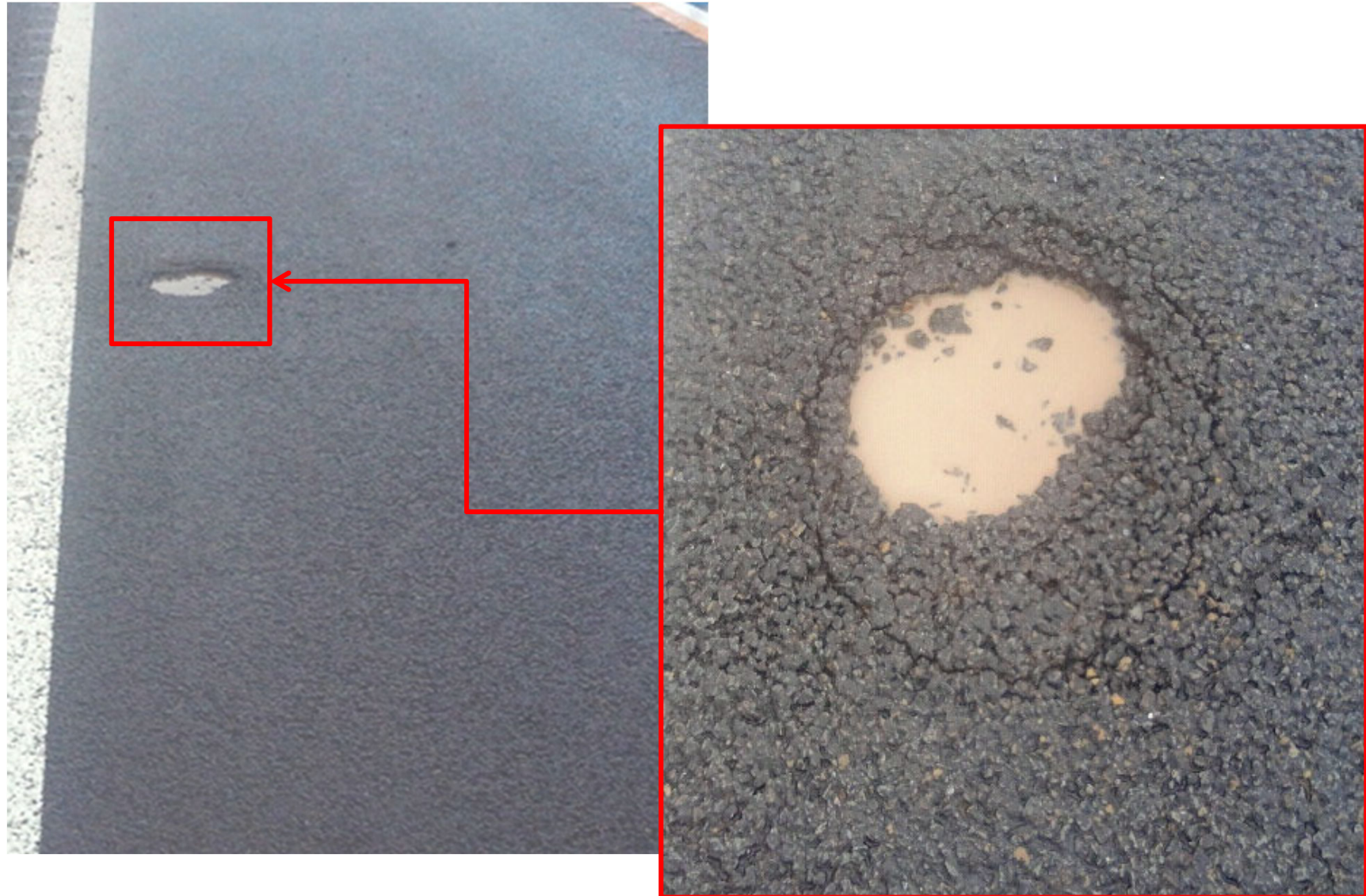
## グループ理念

私たちはリスクマネジメントを徹底し、  
高速道路の安全・安心を最優先に、お客さまの満足度を高め、  
地域の発展に寄与することにより、  
社会から信頼され成長する企業グループをめざします。



# 路面管理のリスク事象 ポットホール

---



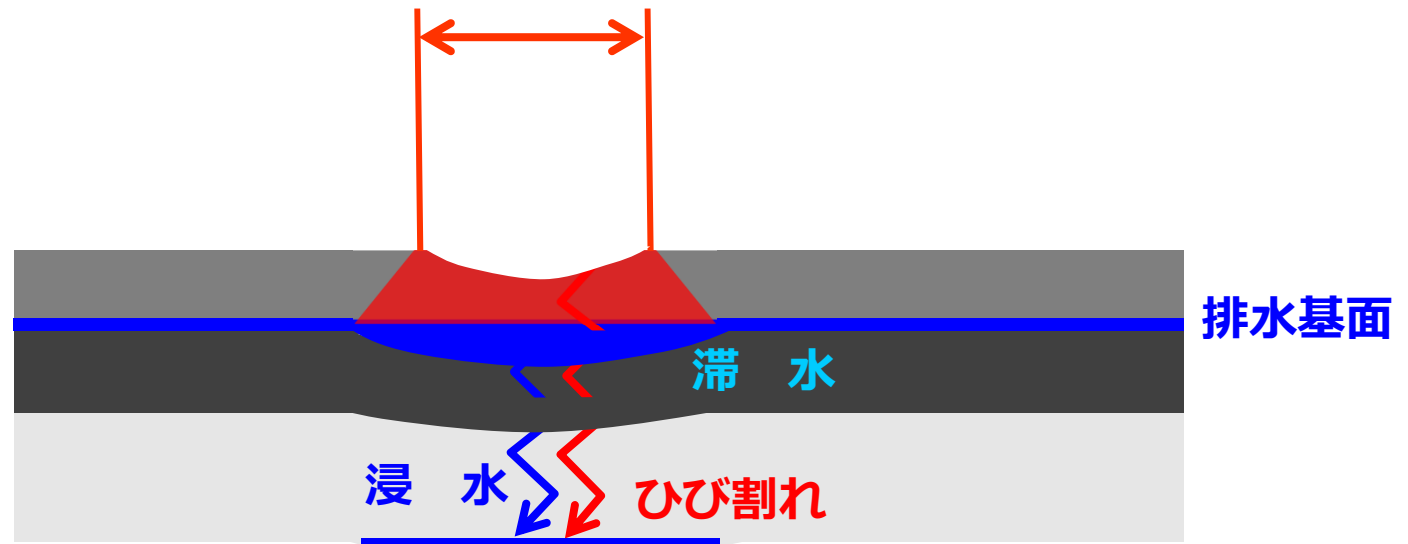
# 高機能舗装 I 型の損傷形態

局所的な沈下領域が表面化

表層：排水性舗装  
⇒高機能舗装 I 型

基 層

路 盤



高機能舗装 I 型のポットホール発生前兆は  
水溜り部である**局所沈下領域**の発現

# 発表の流れ

---

目的：高機能舗装 I 型の**ポットホール発生を未然に防ぐ**こと

## 路面管理の課題

- 路面性状調査の調査頻度について

## 開発したシステムの紹介

- 簡易路面調査システム「スマートイーグル」

## 路面管理方法の検討

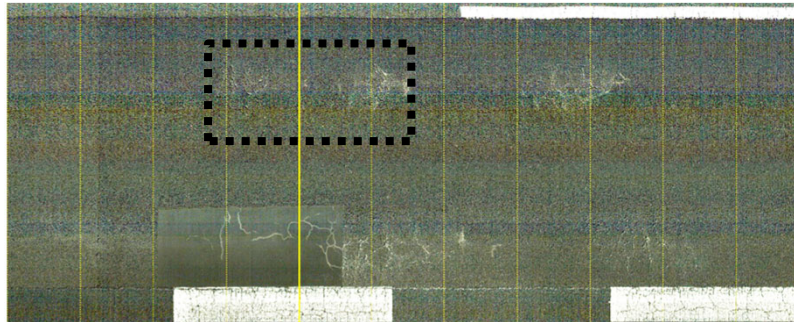
- 路面定期測定による劣化特性の把握

## 運用方法と今後の展開

- 試行導入に向けた本システムによる運用

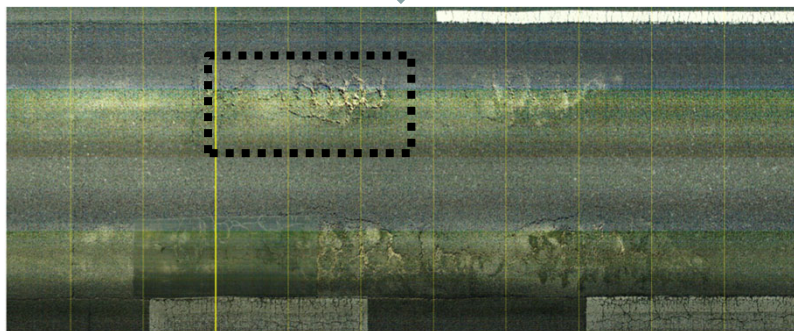
# 高機能舗装 I 型のポットホール発生事象

可視画像

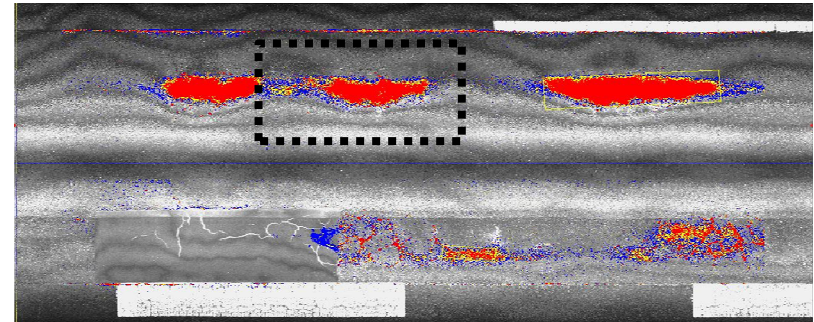


1ヶ月後

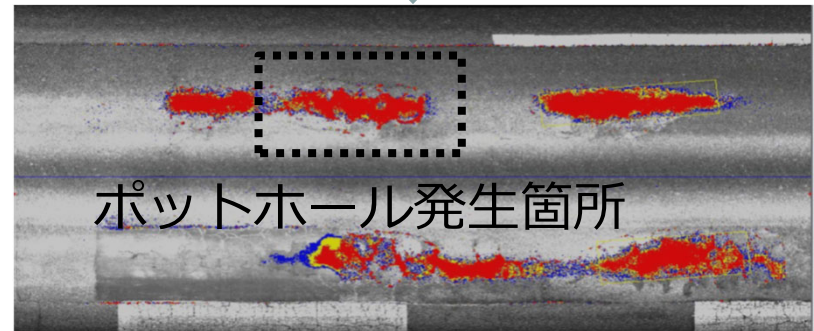
応急処置  
直前



高さ画像 (赤色 : 沈下量大)



3ヶ月後



路面に変状が現れてから**短期間**で  
ポットホール発生

## 路面管理の現状

### ①路面性状調査



調査頻度

3年に1回（四国）

### ②日常点検（車上点検）



調査頻度

5日/2週（四国）

（交通量に応じ頻度設定）

【現状】 日常点検でポットホール発見 → 応急処置  
⇒ **事後保全**となっている

## 簡易路面調査システム「スマートイーグル」を開発

- ✓ 製作コストが安価（路面形状計測×1セット、IRI計測×1セット、GPS）
- ✓ 簡易法で全自動で解析、解析コストが安い
- ✓ 頻度を上げることで、損傷箇所を未然にキャッチ

- ・ひび割れ率・わだち掘れ量用  
路面形状計測ユニット
- ・GPS測位装置



IRI用路面形状  
計測ユニット



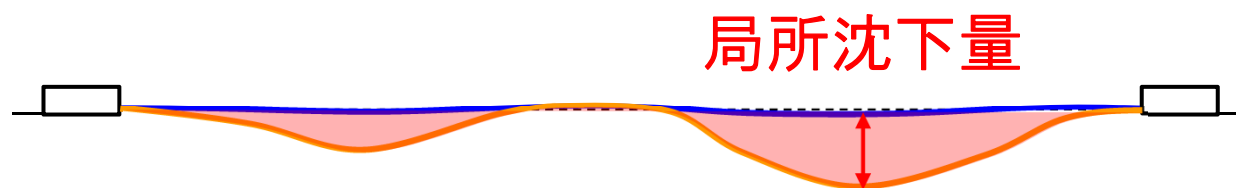


## スマートイーグル 自動解析可能な評価指標

評価指標	本システムの解析値
ひび割れ率	路面高さよりひび割れ検出（簡易法）
わだち掘れ量	横断路面形状よりわだち量を算出（簡易法）
I R I	縦断路面形状より I R I を算出
局所沈下量	代表わだち掘れに対する局所沈下量（簡易法）
M P D	縦断路面形状より M P D を算出（簡易法）

ポットホール発生の予測今回着目した評価指標 ⇒ **局所沈下量 & M P D**

# 局所沈下量



代表路面形状

前後10mの最大わだち掘れ量の中央値

— (マイナス)

対象地点の路面形状

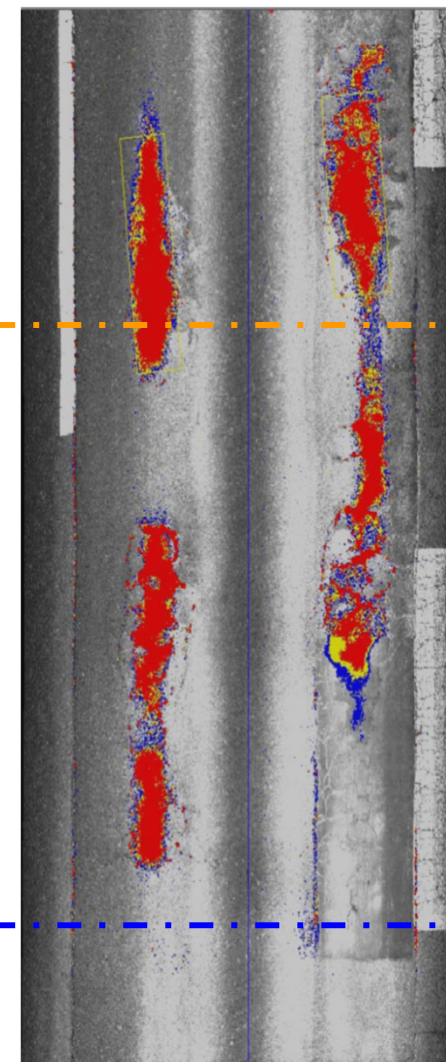
評価地点のわだち掘れ量

=

局所沈下量

評価地点における相対的な局所沈下量

高さ画像

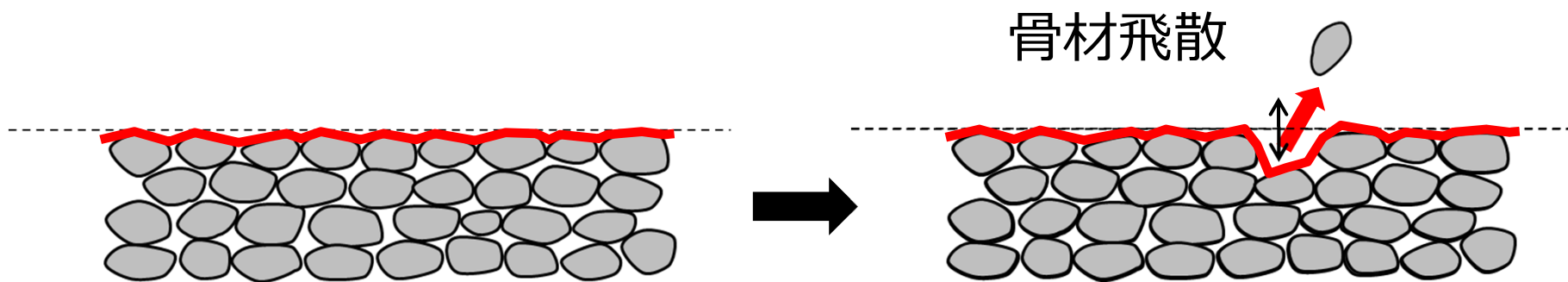


M P D

平均プロファイル深さ  
(**M**ean **P**rofile **D**epth)



骨材の飛散度



M P D の値が大


ポットホール発生の要因であるひび割れの進行性も示している

# スマートイーグルによる路面定期測定

## 定期測定を実施

測定区間：27 km（高機能舗装 I 型）

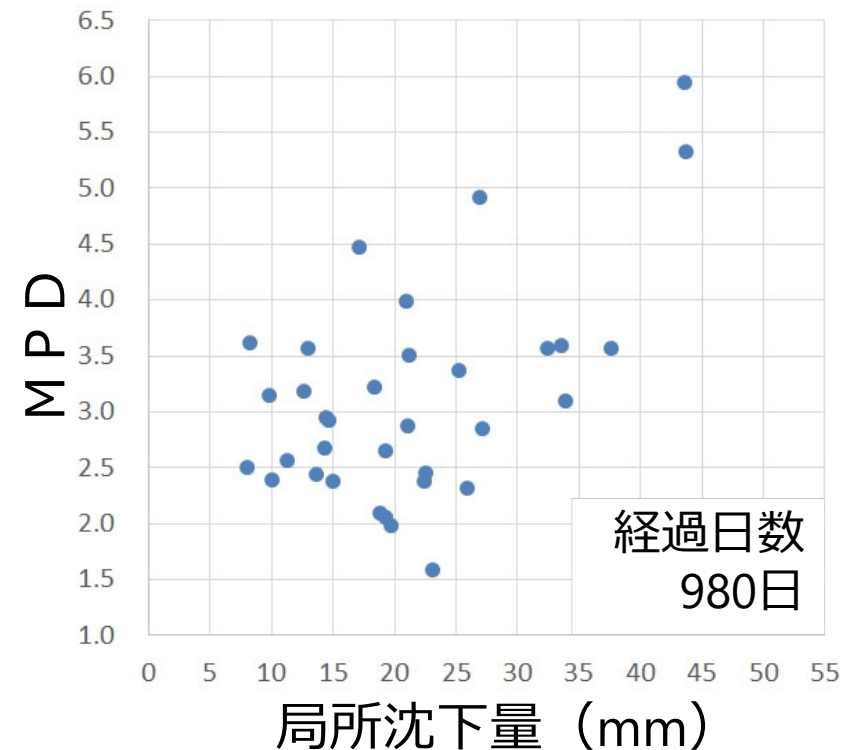
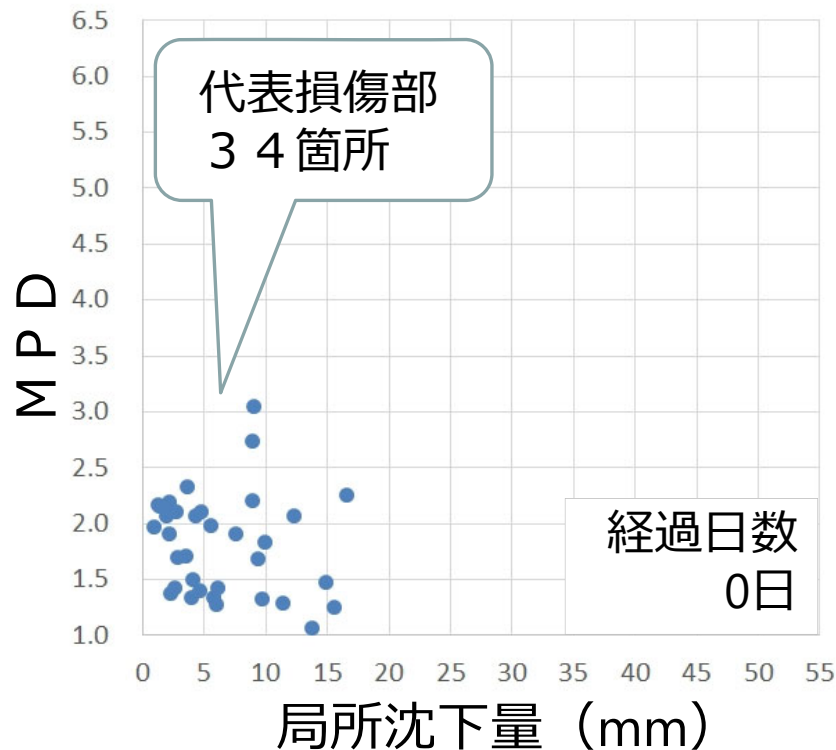
測定項目：局所沈下量  
MPD

測定期間：2015/06/10 ~ 2018/02/16  
  
(980日)

※  
2017年11月以前はスマートイーグル開発前であるため、  
従来のイーグル測定データを準用

## 定期測定結果

経過日数ごとに損傷箇所の「局所沈下量」と「MPD」を散布図にプロット（代表損傷部 3 4 箇所）

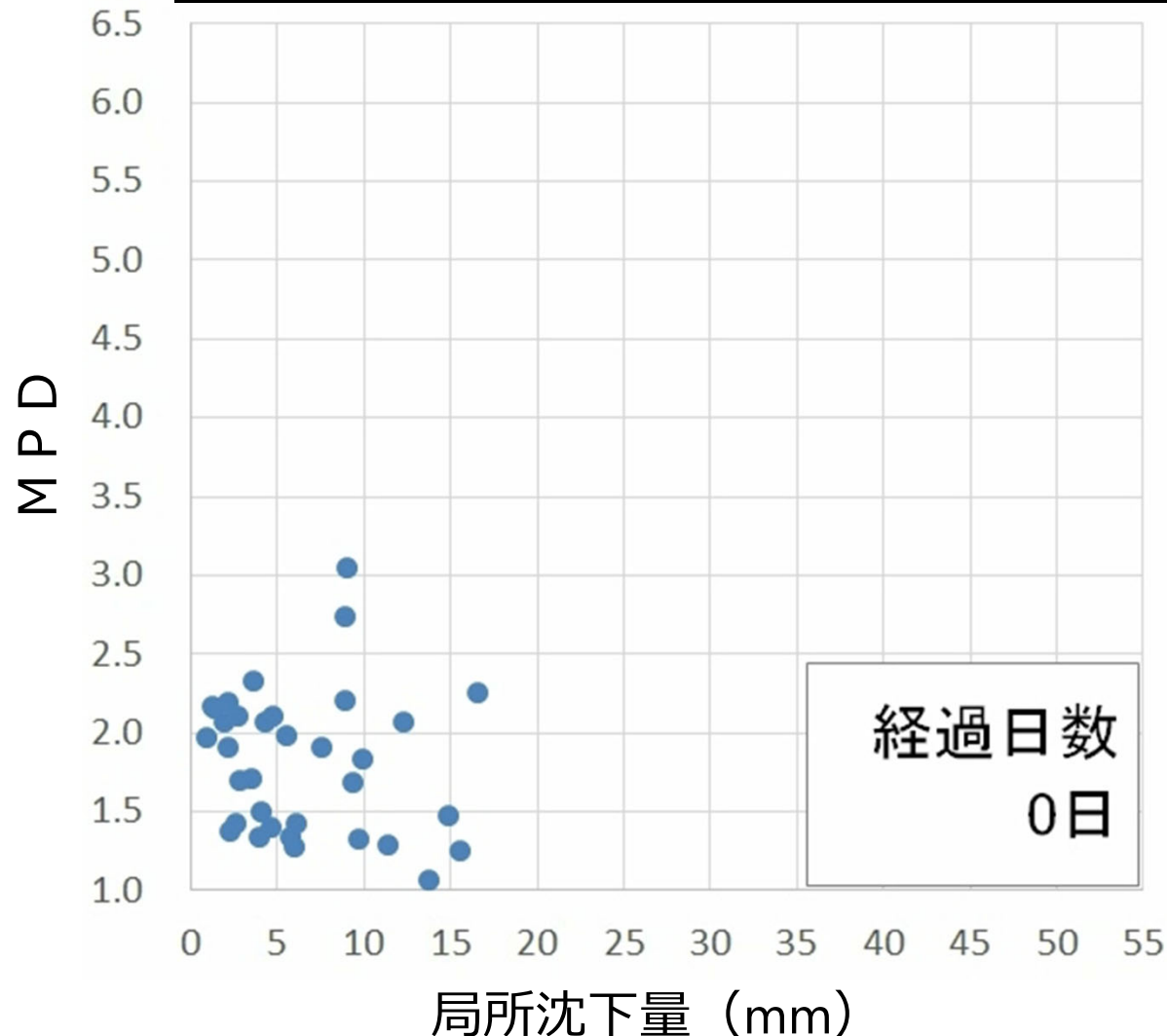


日数の経過とともに変化するプロットの動きに特徴が見られた

→ **危険サイン・劣化特性の把握が可能か**

## 定期測定結果（局所沈下量とMPDの推移）

代表損傷部 3 4 箇所の変化（0日～980日）



経過日数が  
浅いときは  
変化は小さい

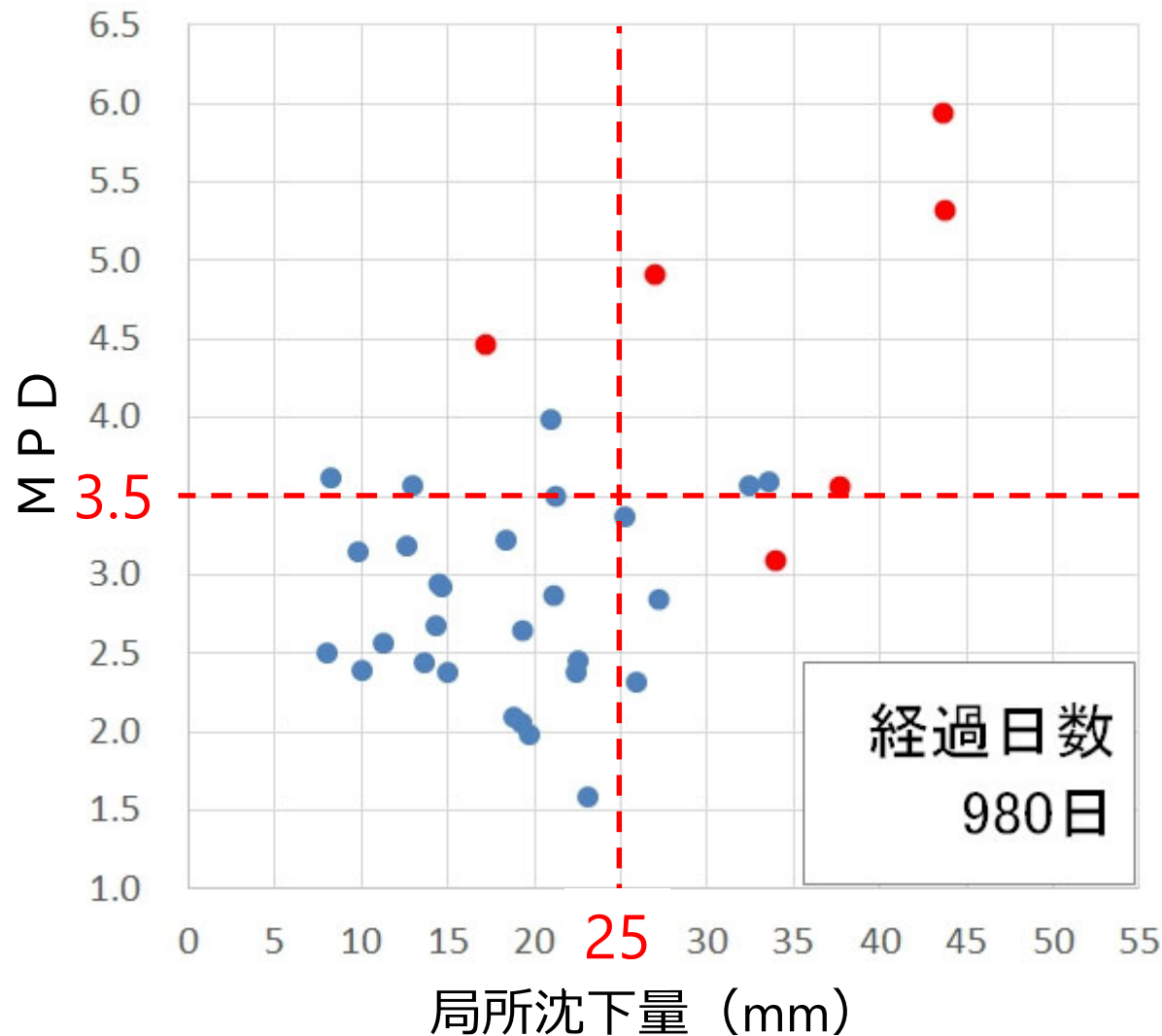


徐々に変化が  
大きくなる

ポットホール  
発生の前兆

(凡例: ● )  
急激な進展が  
見られた損傷

## 定期測定結果（局所沈下量とMPDの推移）



## 【参考値】

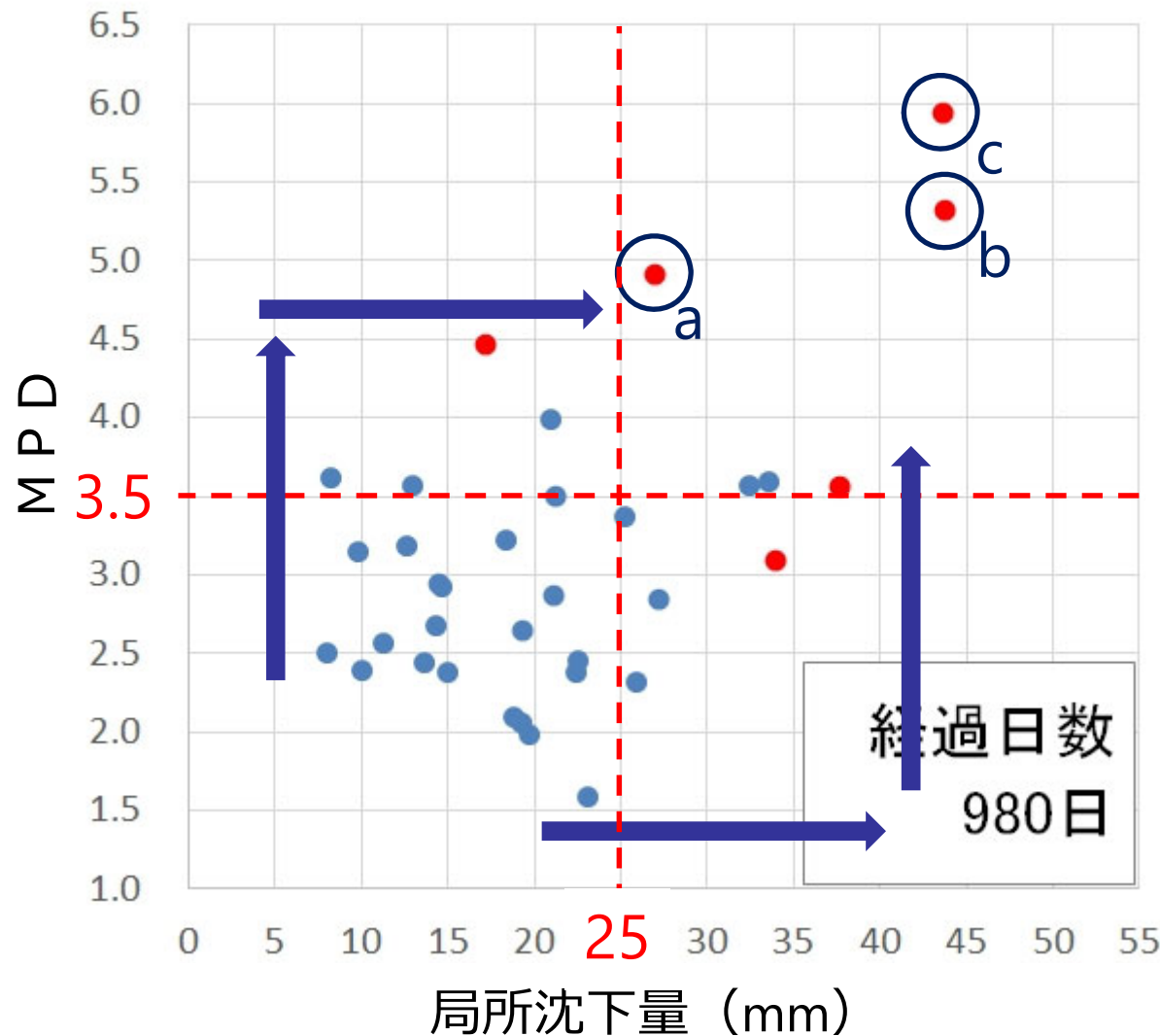
- ・ 局所沈下量  
25mm以上

NEXCO調査要領  
補修目標値  
わだち掘れ25mm

- ・ MPD  
3.5以上

ポットホール発生リスク閾値  
「排水性舗装の劣化  
特性に応じた評価指  
標の提案」第32回日  
本道路会議

## 定期測定結果（局所沈下量とMPDの推移）



## 【参考値】

- ・ 局所沈下量  
25mm以上

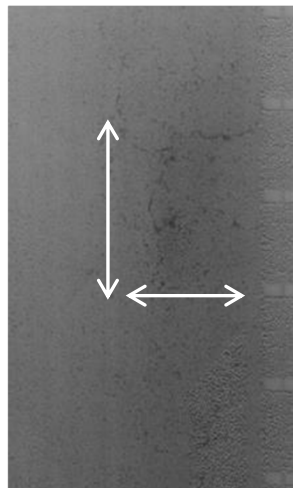
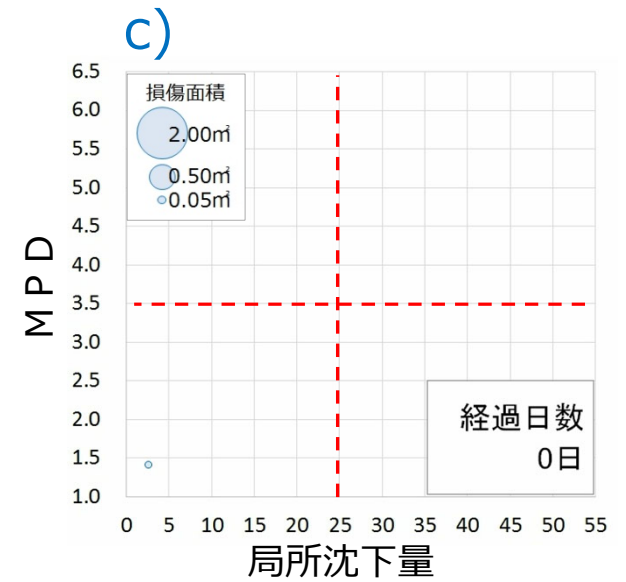
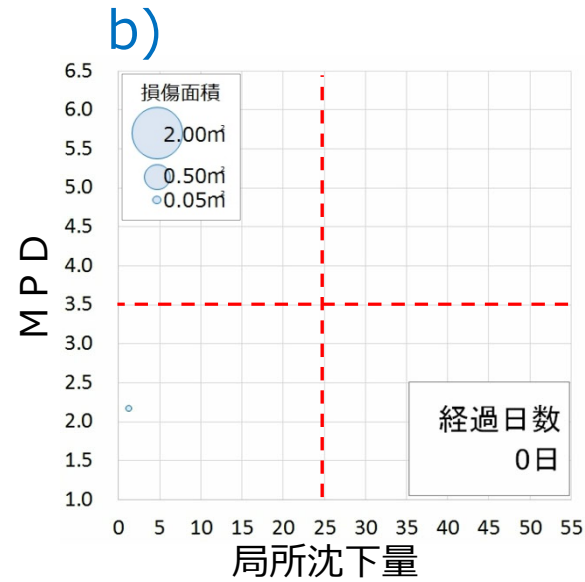
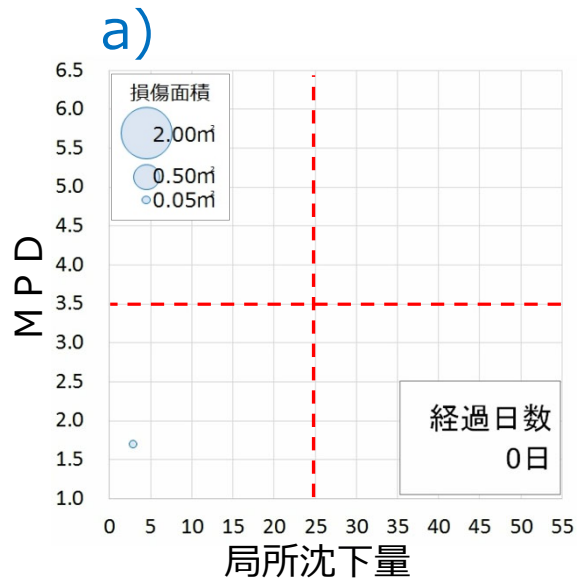
NEXCO調査要領  
補修目標値  
わだち掘れ25mm

- ・ MPD  
3.5以上

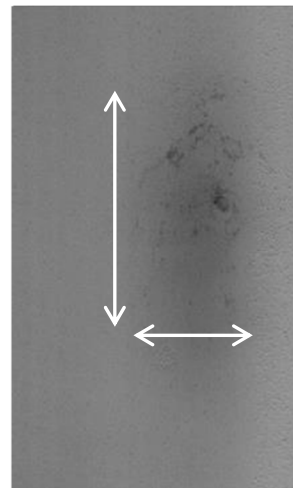
ポットホール発生リスク閾値  
「排水性舗装の劣化  
特性に応じた評価指  
標の提案」第32回日  
本道路会議



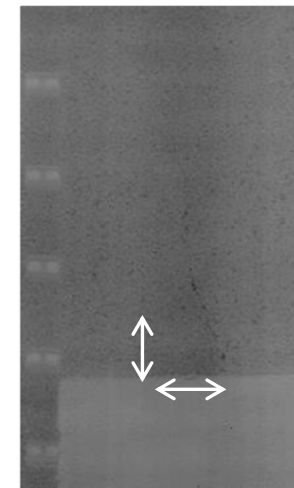
# 劣化タイプ別の局所沈下量とMPDの推移



損傷面積  
0.12m<sup>2</sup>

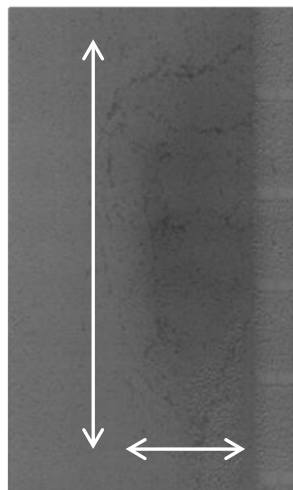
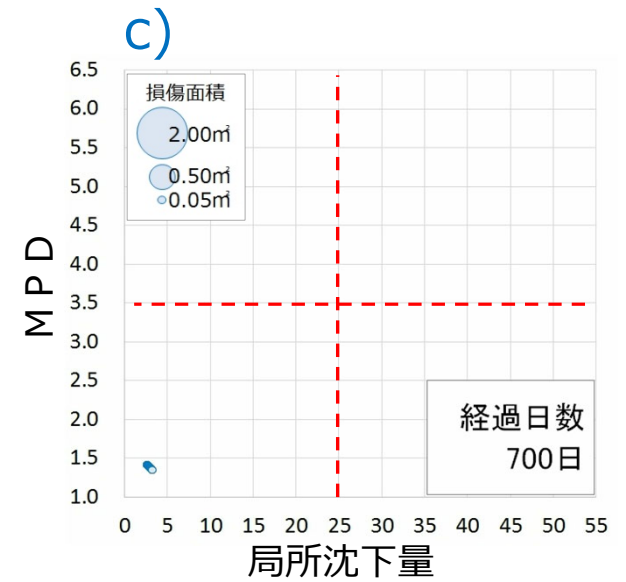
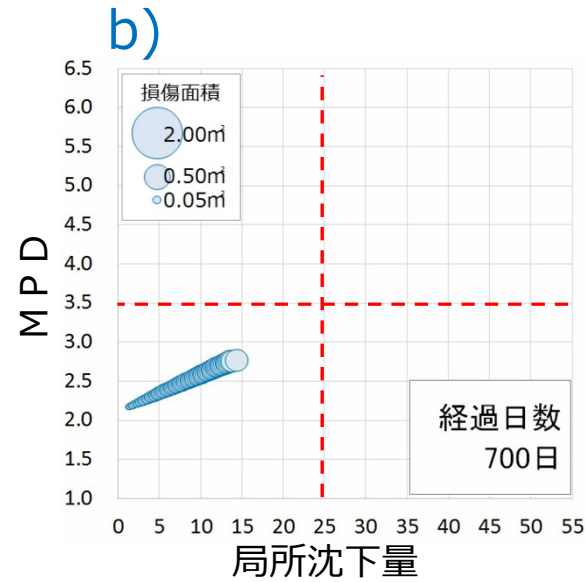
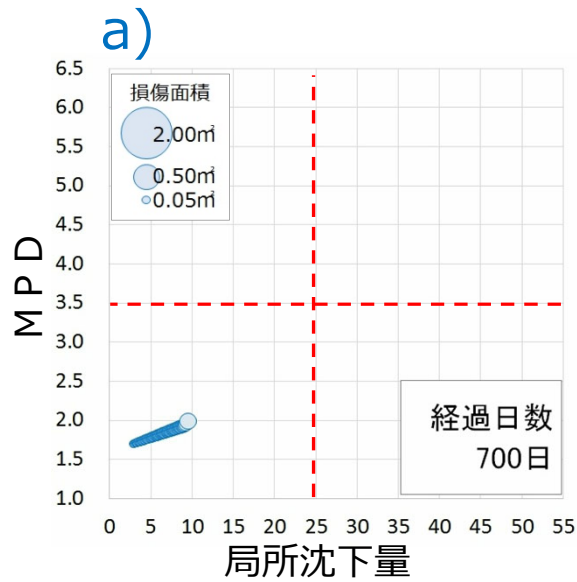


損傷面積  
0.60m<sup>2</sup>

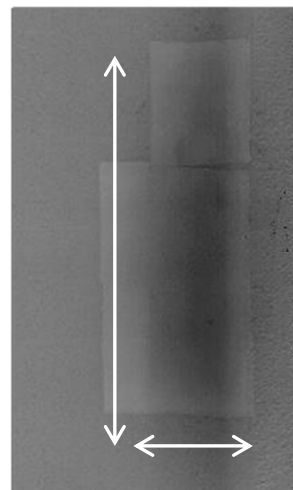


損傷面積  
0.04m<sup>2</sup>

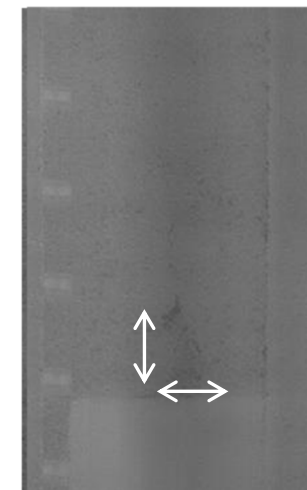
# 劣化タイプ別の局所沈下量とMPDの推移



損傷面積  
1.28m<sup>2</sup>

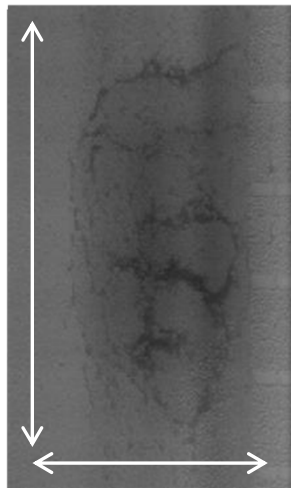
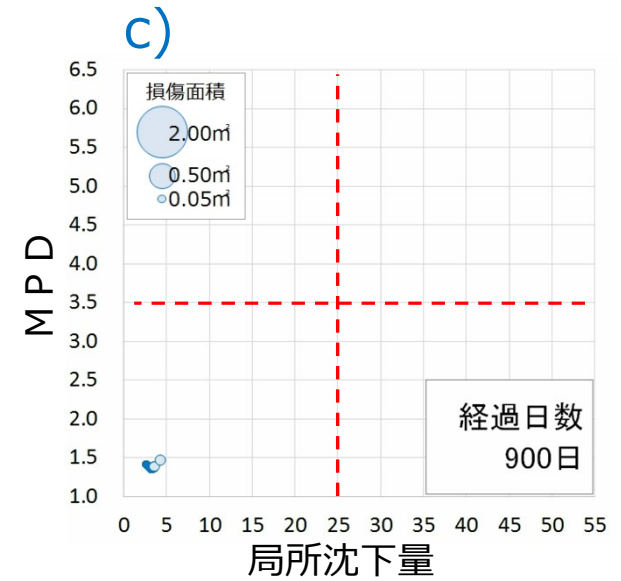
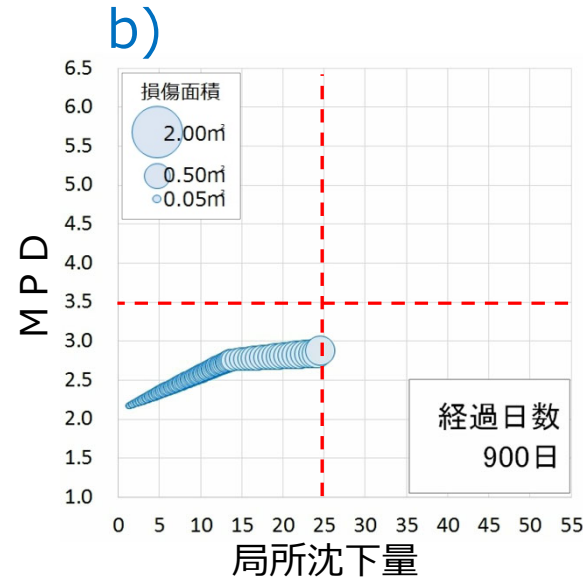
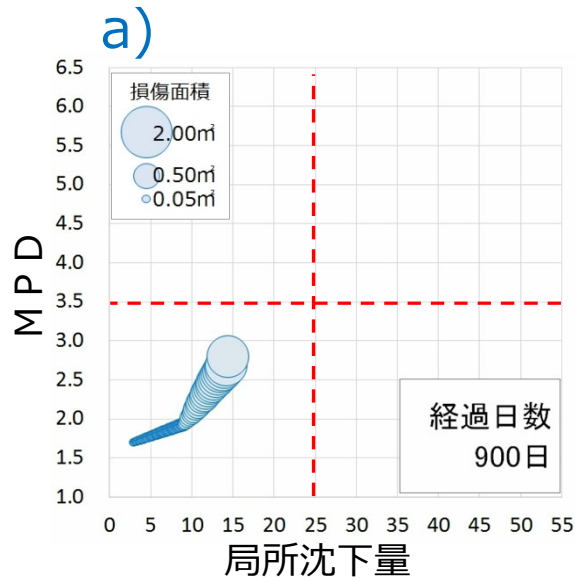


損傷面積  
1.08m<sup>2</sup>

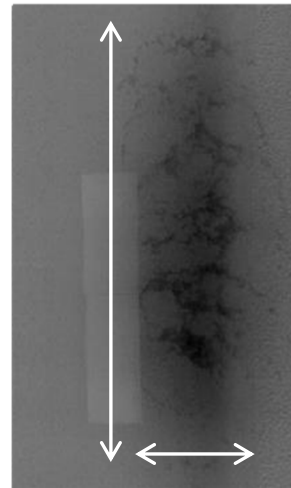


損傷面積  
0.08m<sup>2</sup>

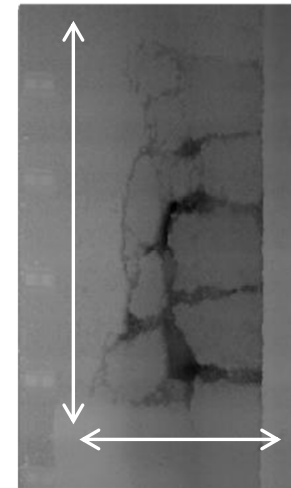
# 劣化タイプ別の局所沈下量とMPDの推移



損傷面積  
2.00m<sup>2</sup>

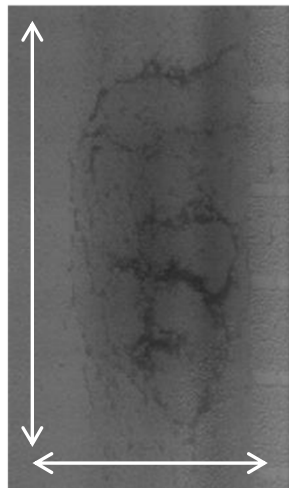
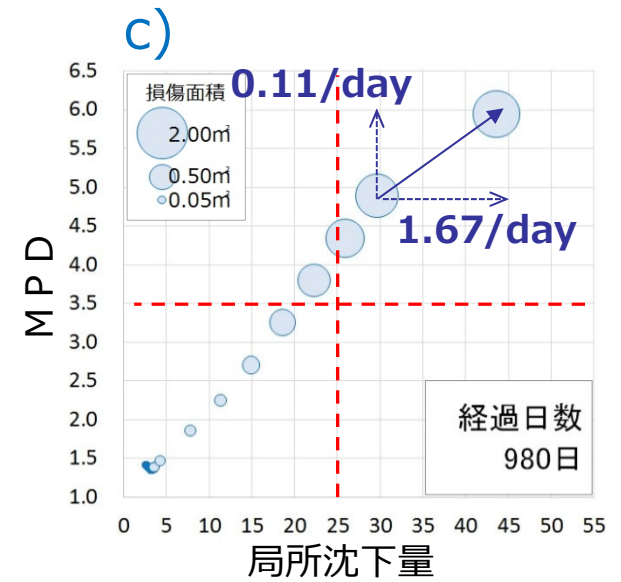
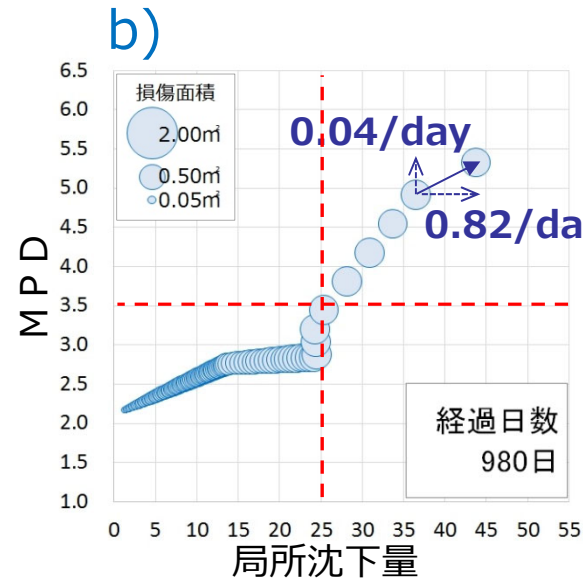
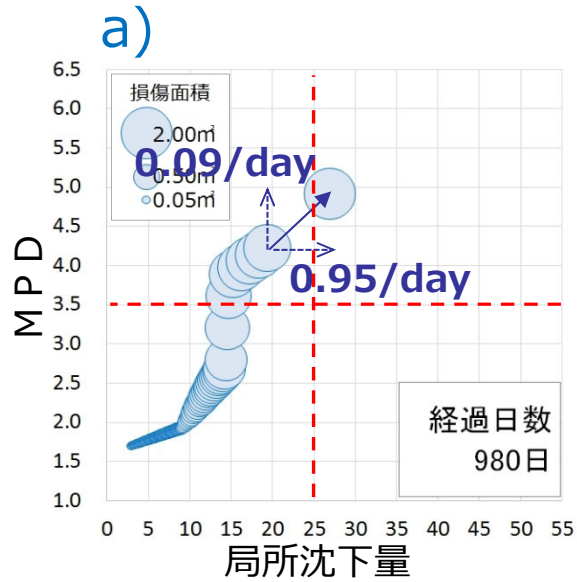


損傷面積  
1.08m<sup>2</sup>

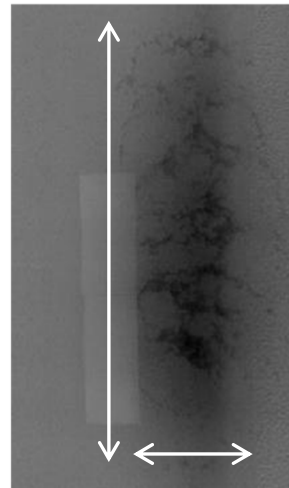


損傷面積  
1.80m<sup>2</sup>

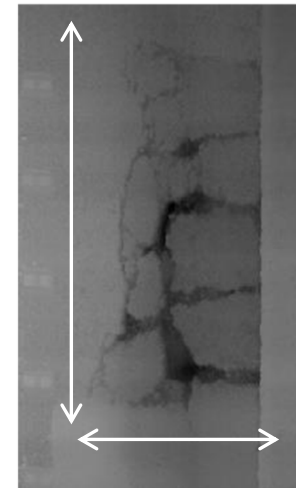
# 劣化タイプ別の局所沈下量とMPDの推移



損傷面積  
2.00m<sup>2</sup>



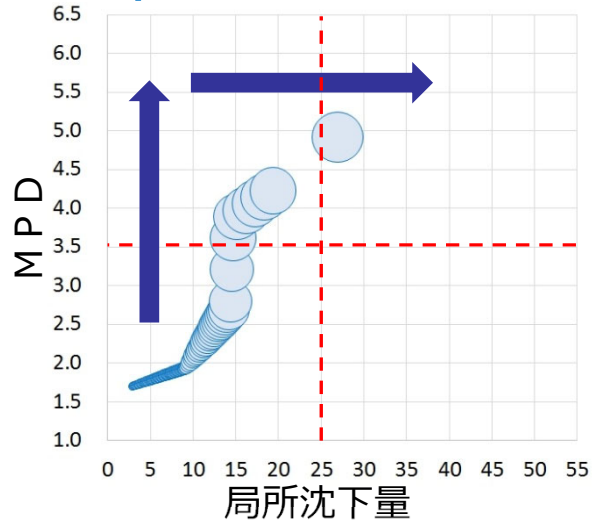
損傷面積  
1.08m<sup>2</sup>



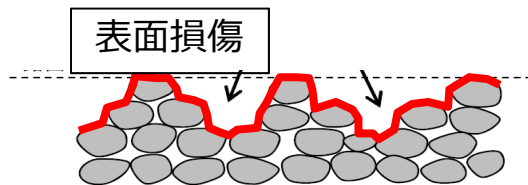
損傷面積  
1.80m<sup>2</sup>

# 劣化タイプ別の局所沈下量とMPDの推移

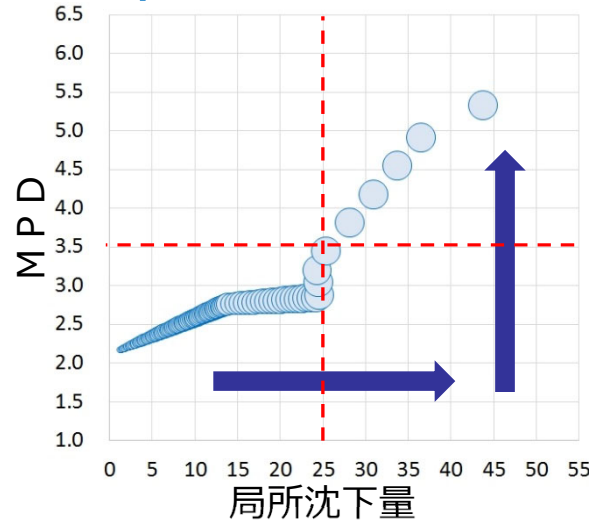
a) 表面損傷型



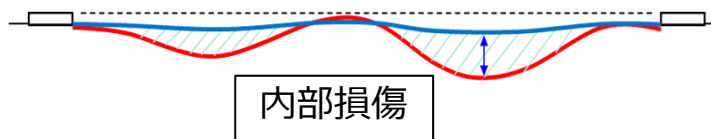
MPD増加先行



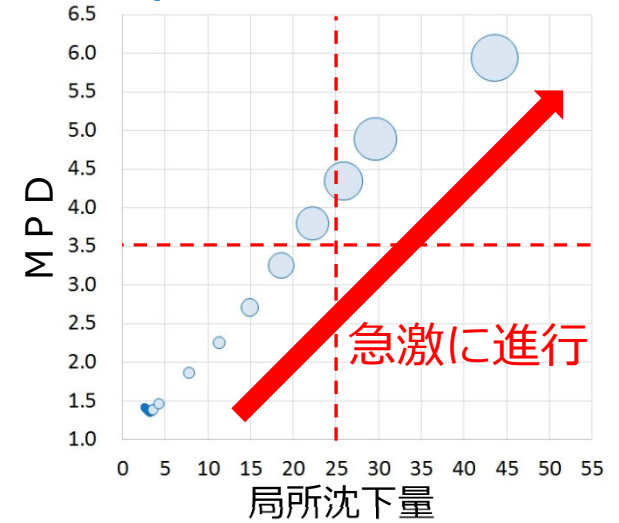
b) 内部損傷型



局所沈下量増加先行



c) 複合損傷型



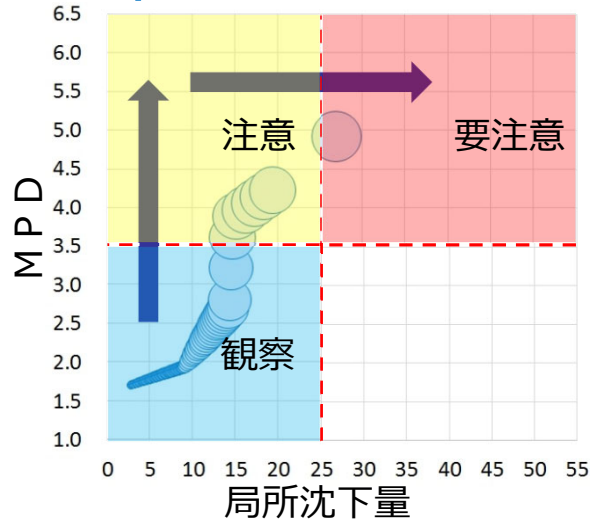
MPD・局所沈下量  
同時進行

【緊急】

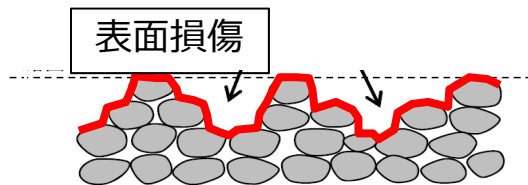
局所沈下量：1mm/day  
MPD：0.1/day

# 劣化タイプに応じた路面管理手法

a) 表面損傷型



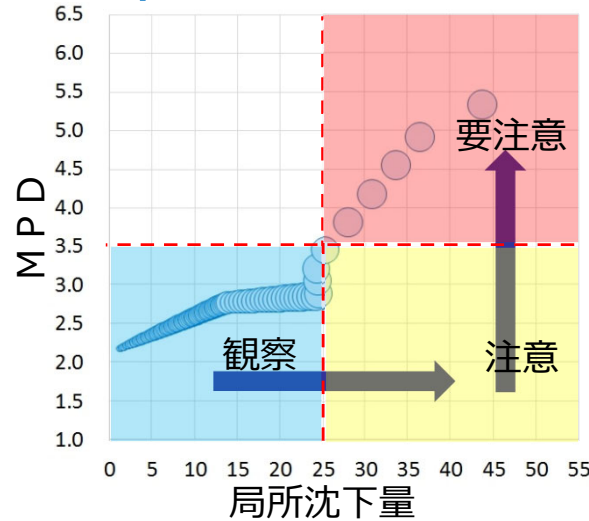
MPD 増加先行



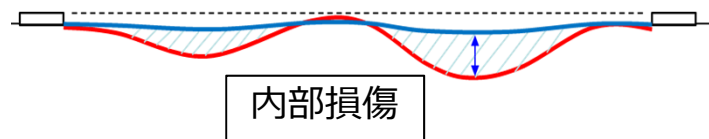
補修工法

- ・クラックシール
- ・表面処理工法

b) 内部損傷型



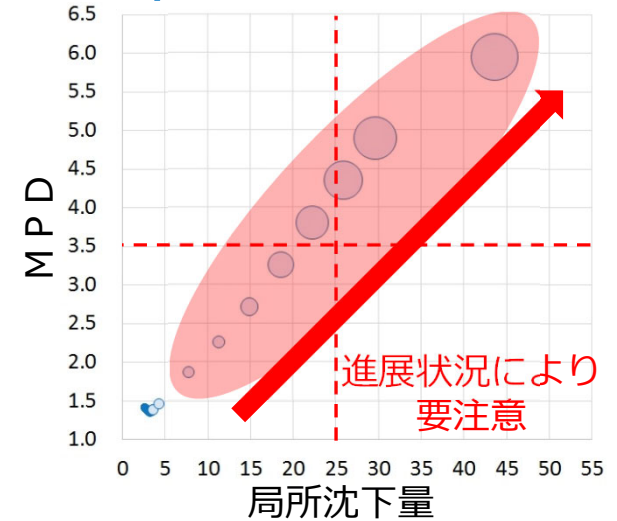
局所沈下量増加先行



補修工法

- ・部分打換工
- ・切削オーバーレイ

c) 複合損傷型



MPD・局所沈下量  
同時進行

【緊急】

- 局所沈下量：1mm/day
- MPD：0.1/day

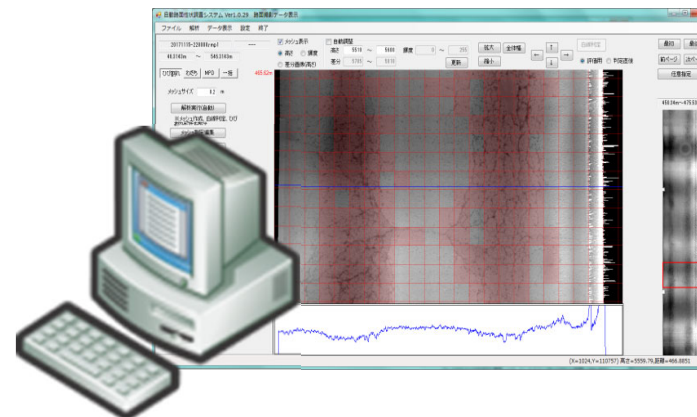
補修工法

- ・部分打換工
- ・切削オーバーレイ

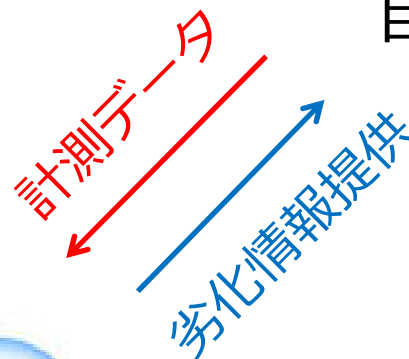
# スマートイーグルによる路面管理の運用方法の提案



スマートイーグルを搭載した車両  
(将来的には日常点検車に搭載)



自動解析



クラウドサーバー

# スマートイーグルによる路面管理の運用方法の提案

## 定期測定





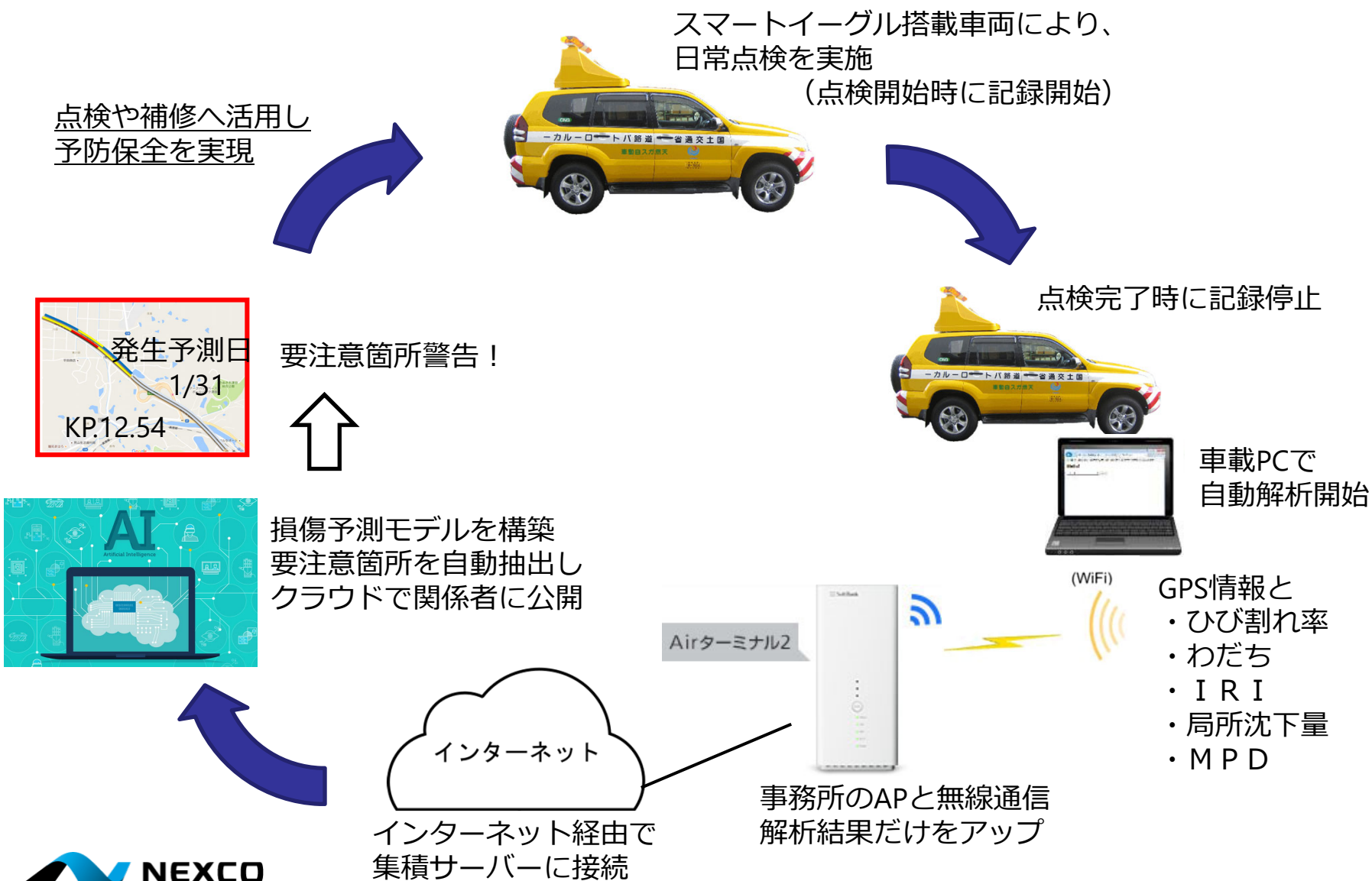
---

ご清聴ありがとうございました

# 參考資料

---

# 将来像 測定から解析までの流れ



# スマートイーグルによる解析例

## 【測定結果出力例】

「ひび割れ率」 「わだち掘れ量」 「IRI」 100m毎の測定結果

距離(自)	距離(至)	KP(自)	KP(至)	ひび割れ率 (%)	わだち掘れ量 (mm)	IRI (m/km)
13678.18m	13778.06m	142.0KP	142.1KP	9.43	5.89	1.98
13778.06m	13877.67m	142.1KP	142.2KP	13.50	18.75	2.46
13877.67m	13976.79m	142.2KP	142.3KP	6.41	4.74	1.64
13976.79m	14076.03m	142.3KP	142.4KP	6.08	6.23	2.46
14076.03m	14173.53m	142.4KP	142.5KP	9.20	3.40	2.30
14173.53m	14271.32m	142.5KP	142.6KP	13.24	11.37	2.08
14271.32m	14370.42m	142.6KP	142.7KP	5.24	7.66	2.77
14370.42m	14467.89m	142.7KP	142.8KP	12.40	4.98	1.97
14467.89m	14567.71m	142.8KP	142.9KP	16.37	4.56	2.38
14567.71m	14666.05m	142.9KP	143.0KP	12.18	6.33	2.14

測点 (位置情報)

測定結果



自動計算した結果をCSV形式で出力可能

# スマートイーグルによる解析例

## 【測定結果例】

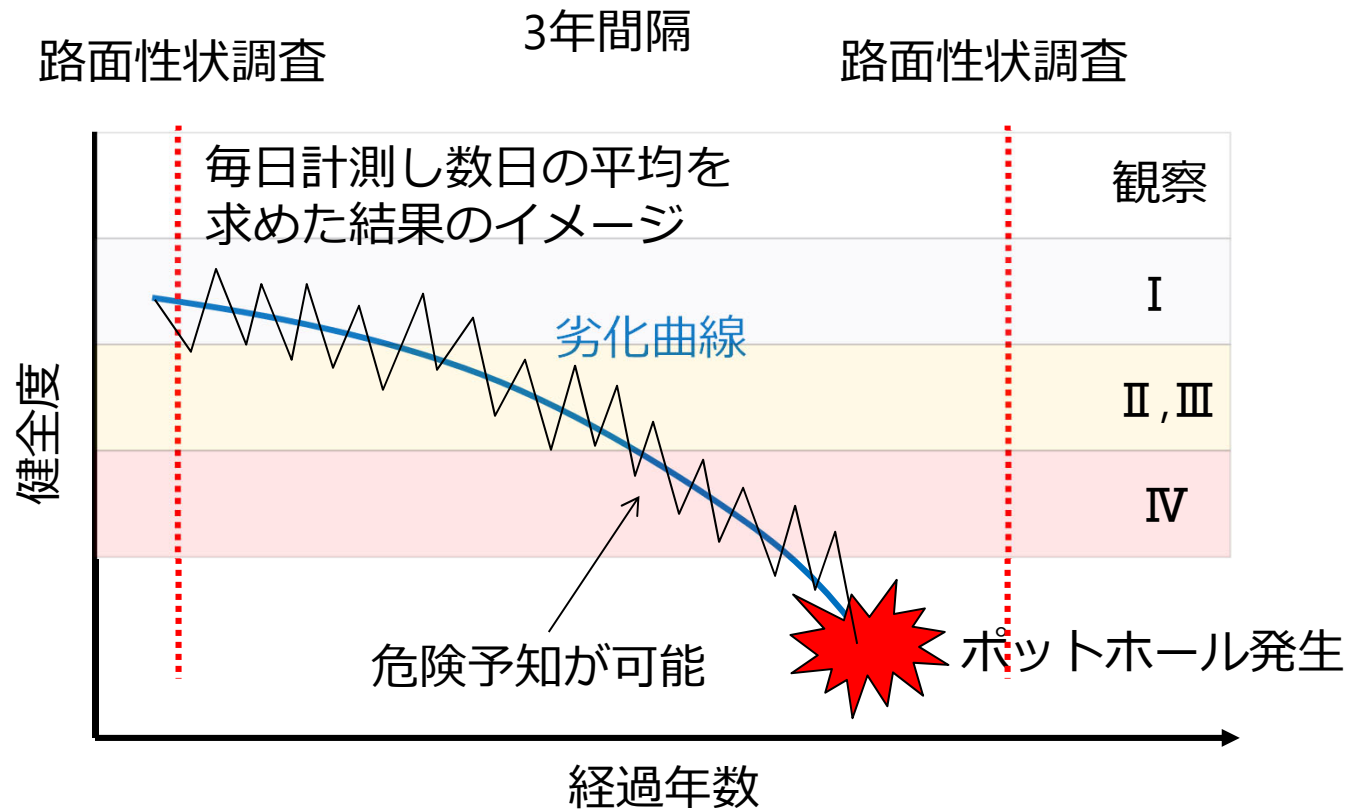
### ①ひび割れ率

測定区間：10km 100m毎のひび割れ率



# 測定頻度を上げた場合のグレード判定

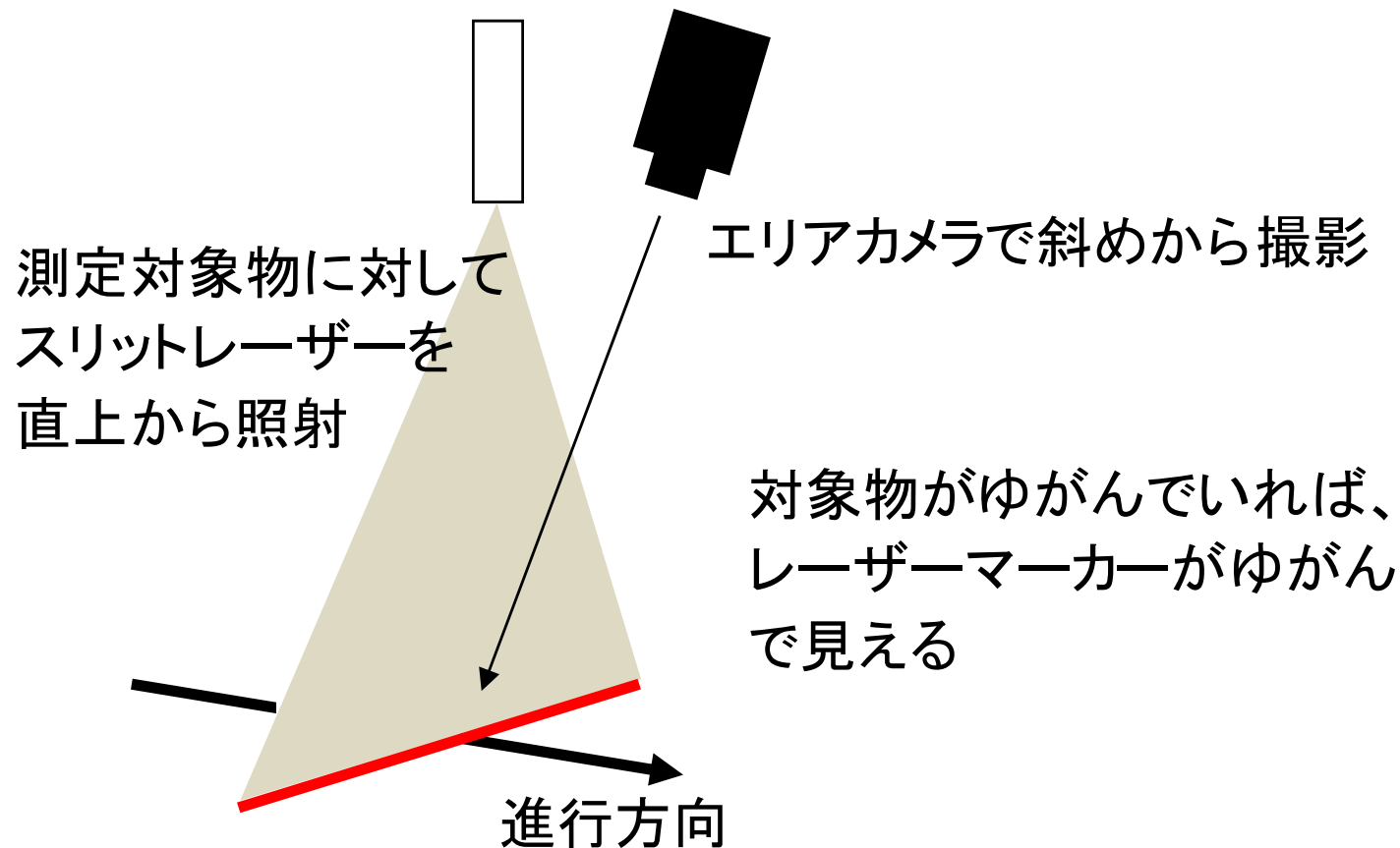
- 多少誤差があっても、劣化の傾向は把握可能



**毎日の測定データの積み上げにより  
路面性状調査実施前の損傷発生を予測可能**

# 高さ情報の取得原理

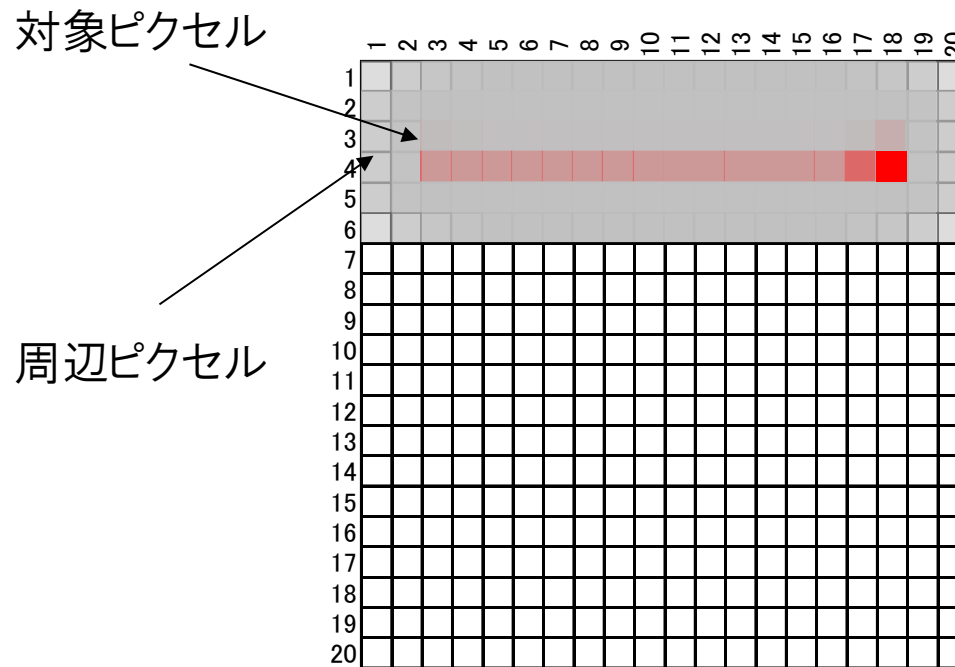
## 【原理】 光切断法を用いた横断形状測定



**スリットレーザーを直角に配置**

# 高さ情報による損傷推移

沈下領域可視化のため画像処理を実施



$$g(i, j) = f(i, j) - u(i, j)$$

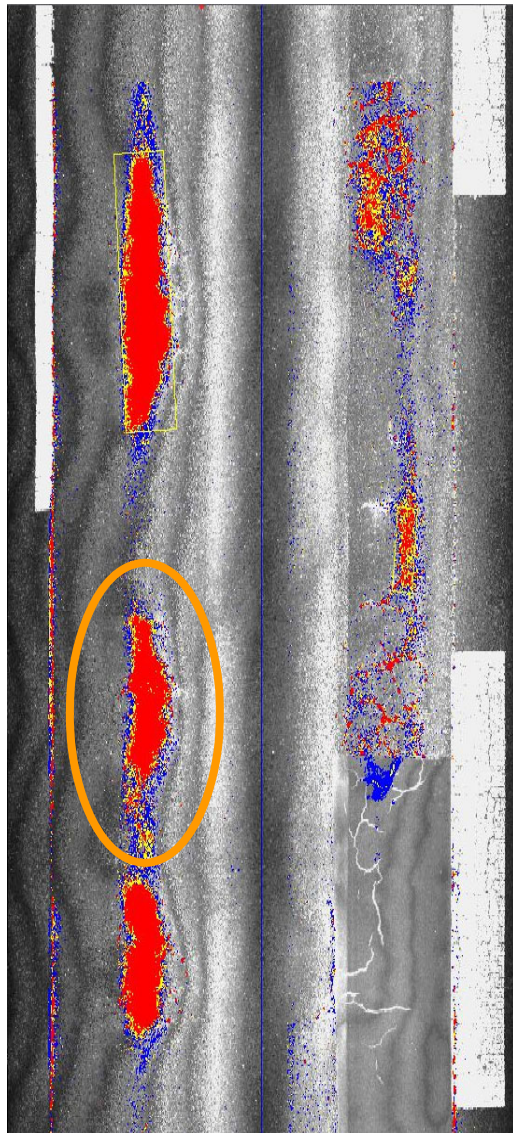
$$u(i, j) = \frac{1}{(2n+1)^2} \sum_{l=-n}^n \sum_{k=-n}^n f(i+k, j+l)$$

**強調指標:**

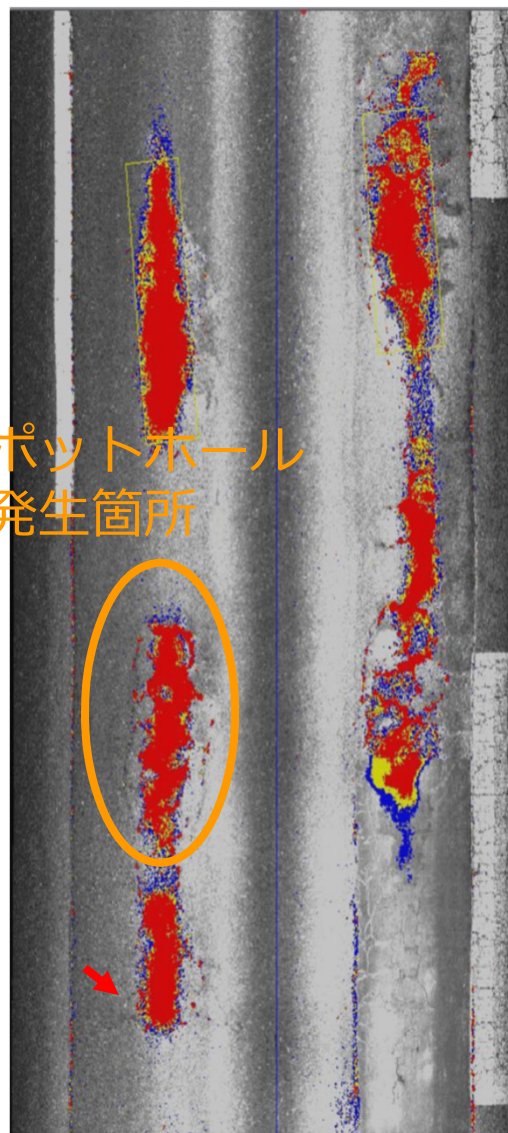
対象ピクセル高さー周辺ピクセル平均高さ



# 高さ情報による損傷推移



平成25年10月



ポットホール  
発生箇所

平成26年1月

## 色凡例

赤 : 15mm以上

黄 : 15~10mm

青 : 10~5mm

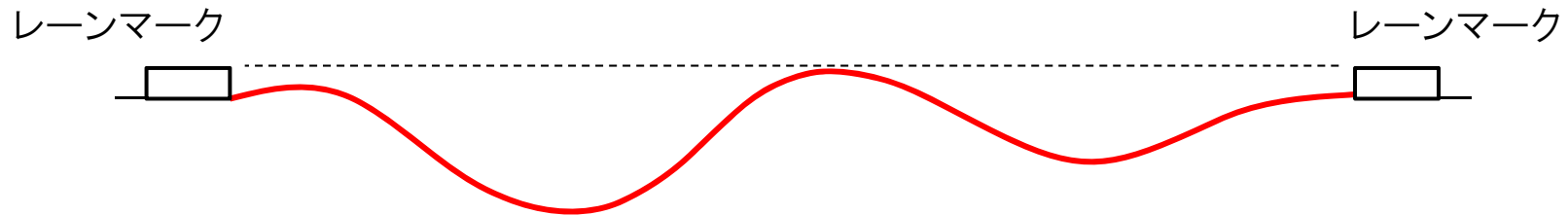
局所的な沈下は  
測定当初から存在



ポットホール発生の  
先行指標となる

# 従来の評価指標

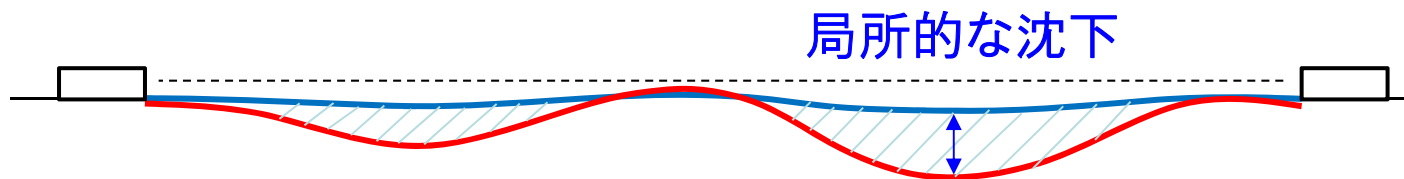
## 【従来のわだち掘れ評価】



わだちが全体的に大きい区間の評価に適している

## 【高機能舗装 I 型の場合】

耐流動性に優れる = わだち掘れが生じにくい



わだちは小さくとも、局所わだち量は大きい

⇒ポットホール発生につながる可能性有り ⇒危険

# 骨材飛散の状況

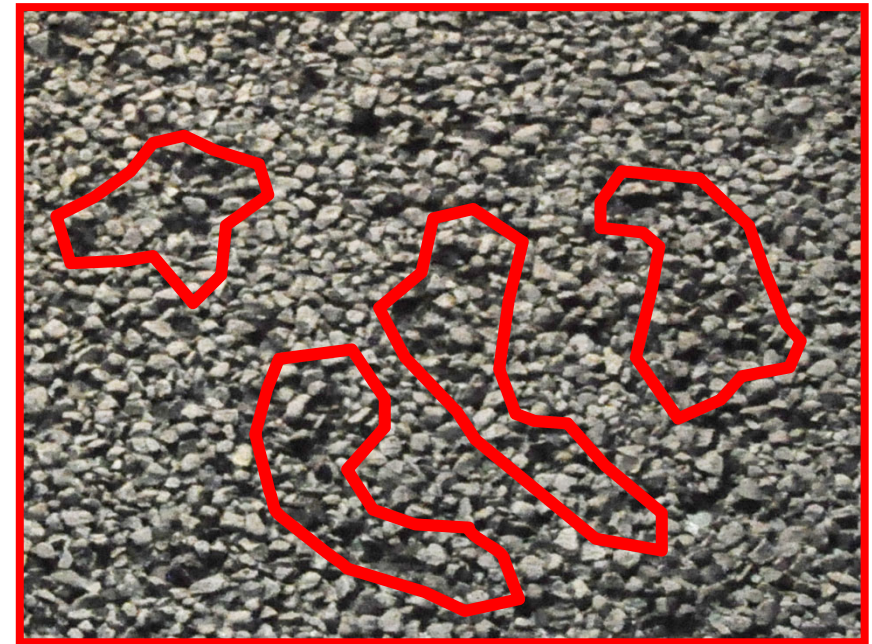
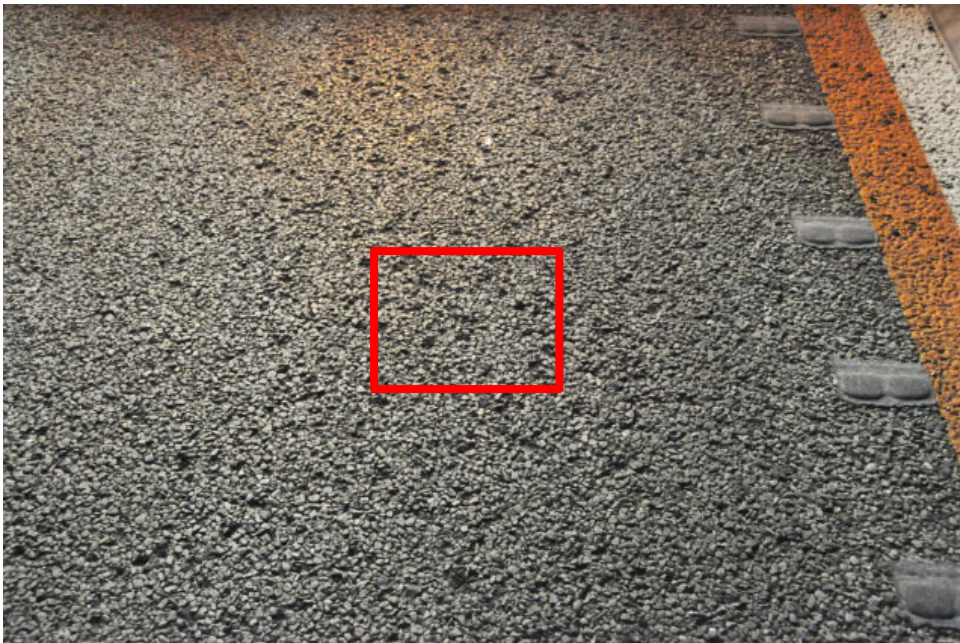
---

- 排水性舗装の普及により増加

- (1) 走行騒音の増加

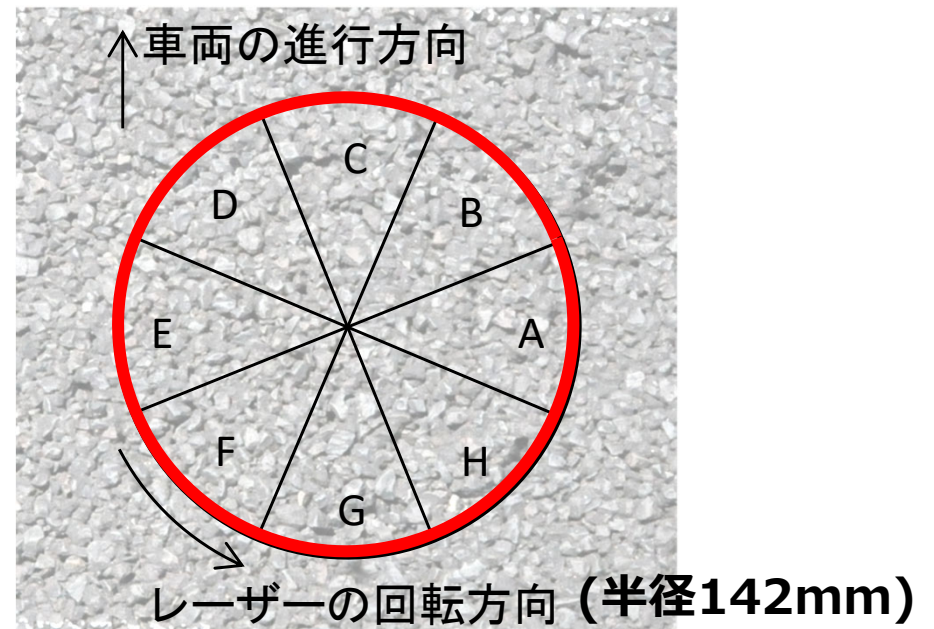
- (2) 快適性減少

⇒ 定量的な評価手法が確立されていない



# MPDの測定

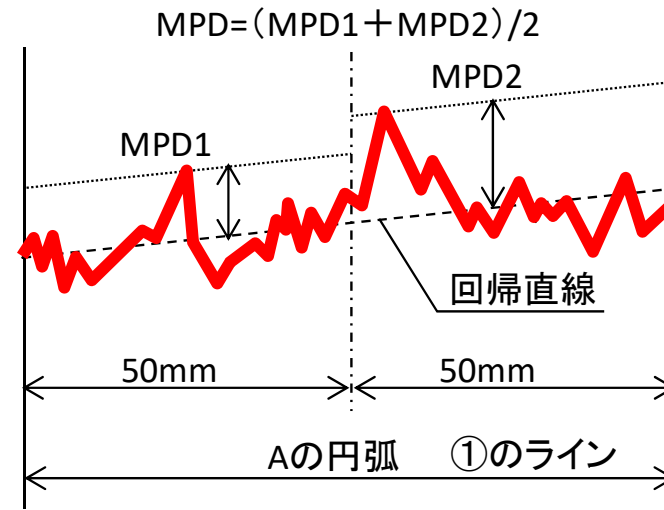
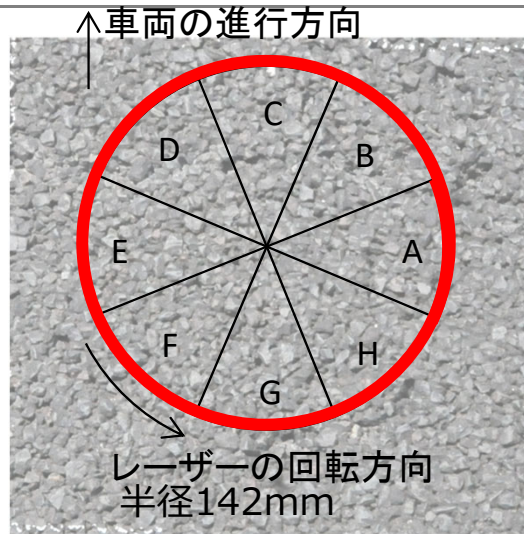
- CTメーター（回転式テクスチャーメーター）で測定が一般的



- 計測には、1分程度の静置が必要
- 局所的に計測、連続的・面的な調査は困難

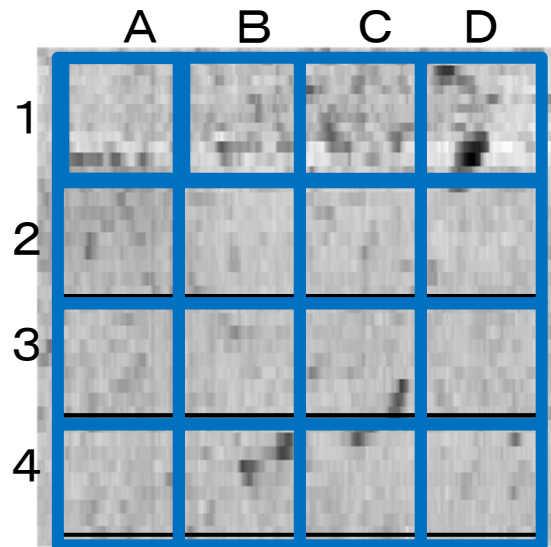
# スマートイーグルでのMPD計測

CTメータによるMPD算出手順

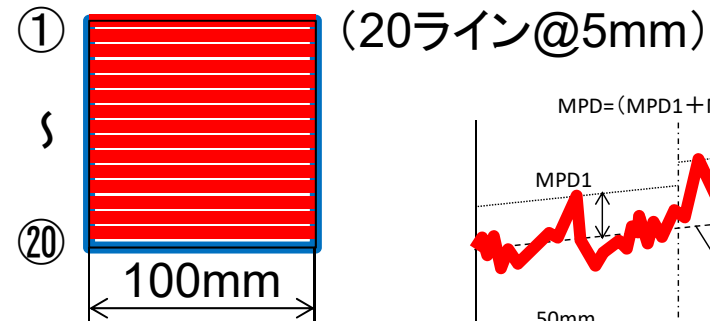


A~Hを平均してMPDを算出

路面性状車両  
(イーグル)  
によるMPD  
算出手順



□400 × 400mm



STEP.1

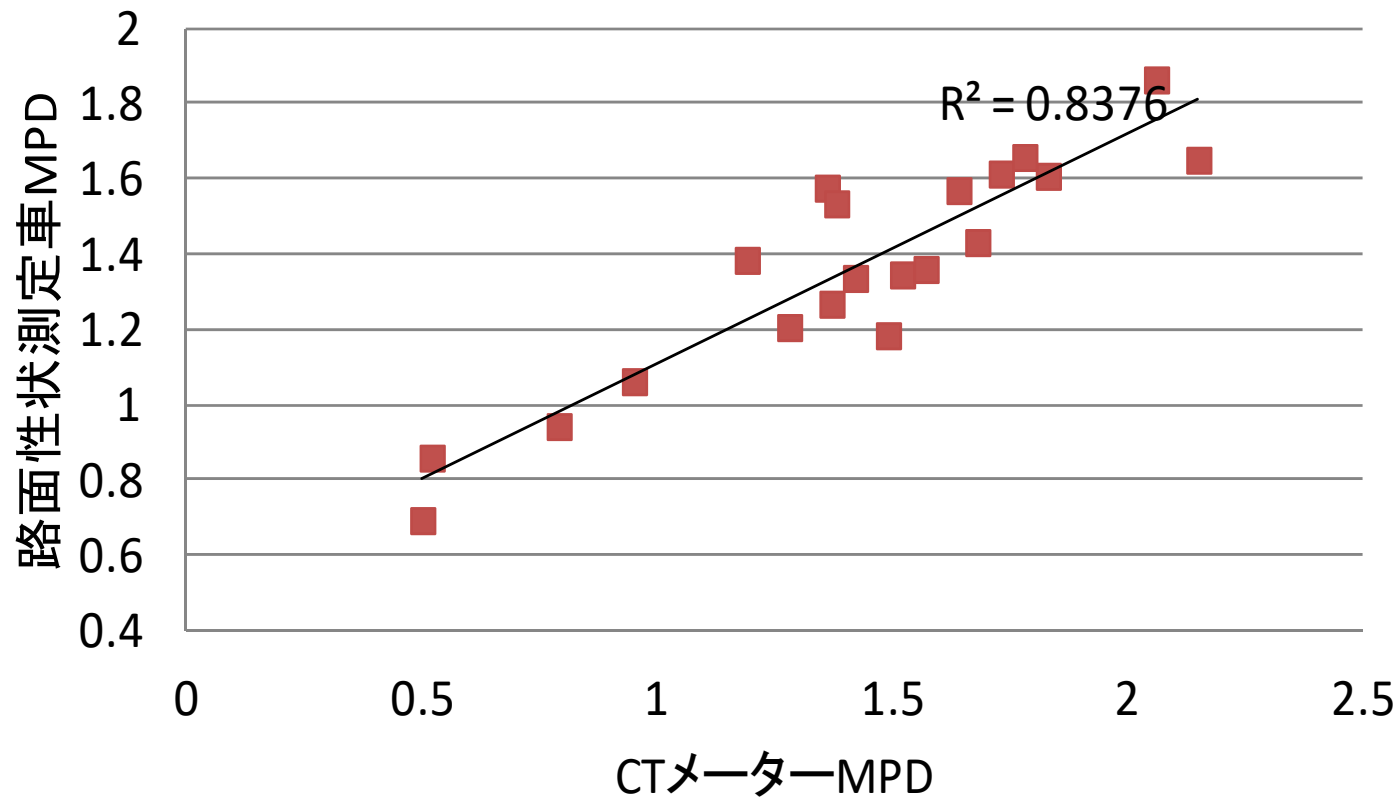
①~⑳の平均MPD=ブロックのMPD

STEP.2

A1~D4の各ブロックのMPDを平均して  
□400 × 400mmのエリアのMPDとする

# スマートイーグルで計測したMPDの精度

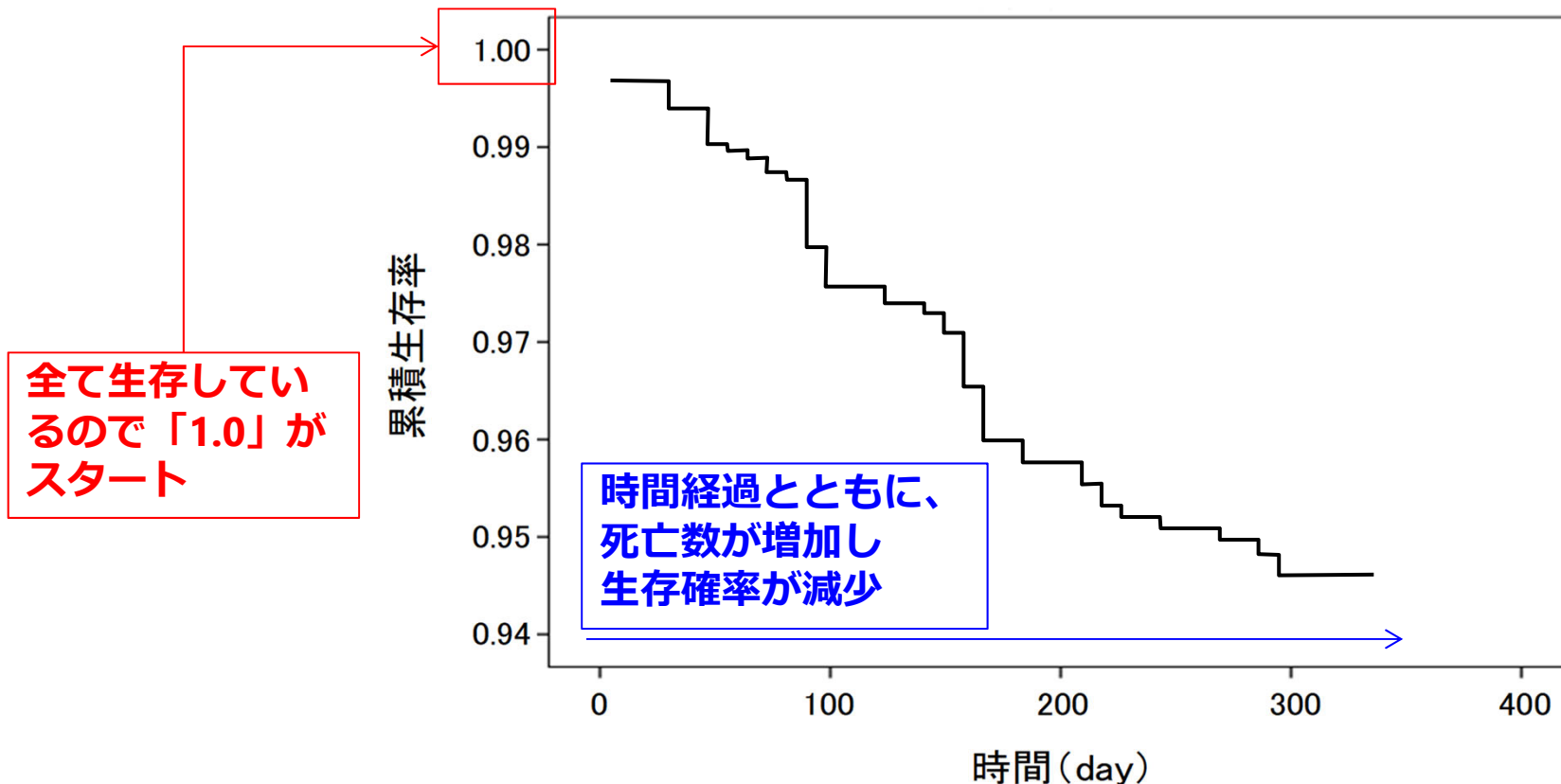
- CTメーターのMPDと路面性状調査のMPDには非常に高い相関が見られる



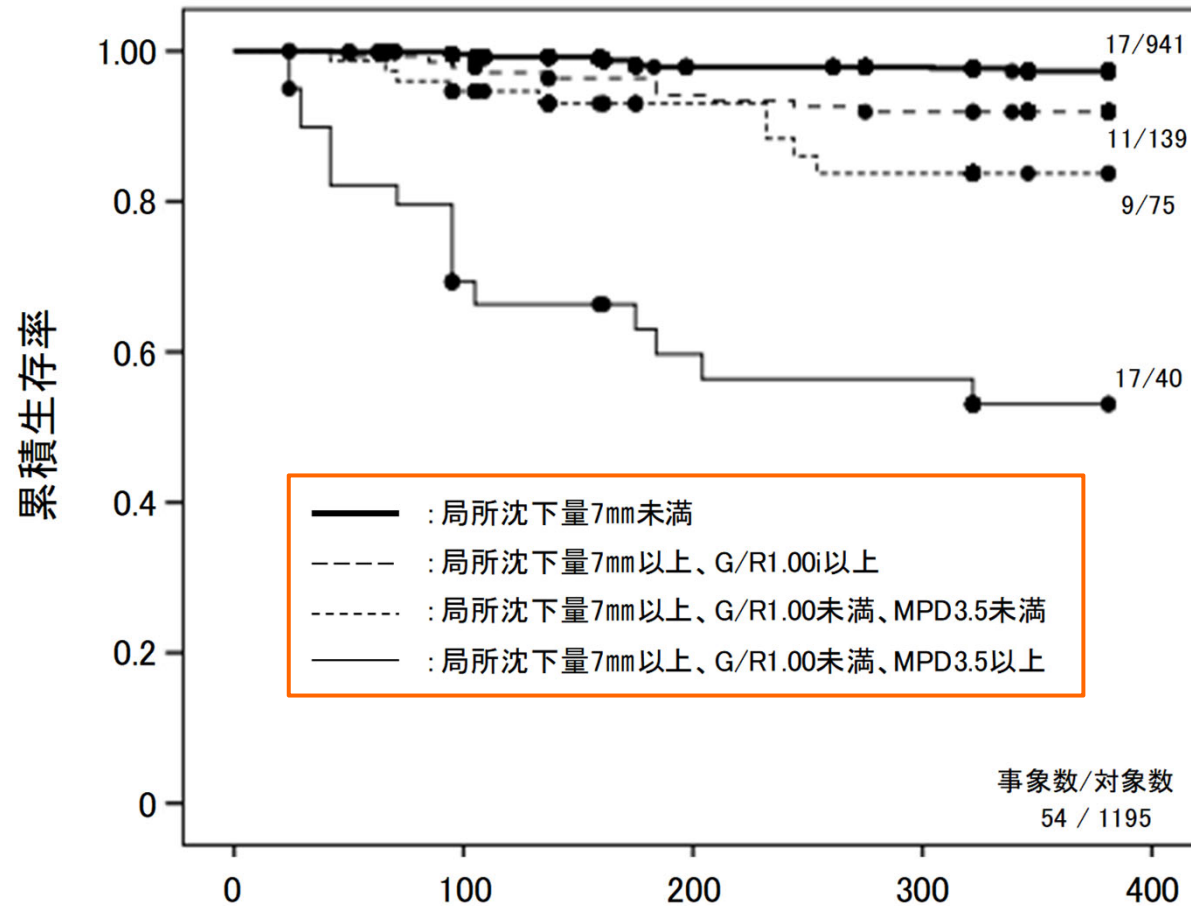
## 生存時間解析 ②カプランマイヤー法

### カプランマイヤー法 (Kaplan Meier Survival Curves)

- 「死亡」「生存」など2値のアウトカムの時間の経過に伴うリスクの推移を考慮して解析するときによく用いられる（医療分野の臨床評価など）
- 生存関数  $S(t)$  により「**生存確率**」を求める方法



# 生存曲線の推定結果

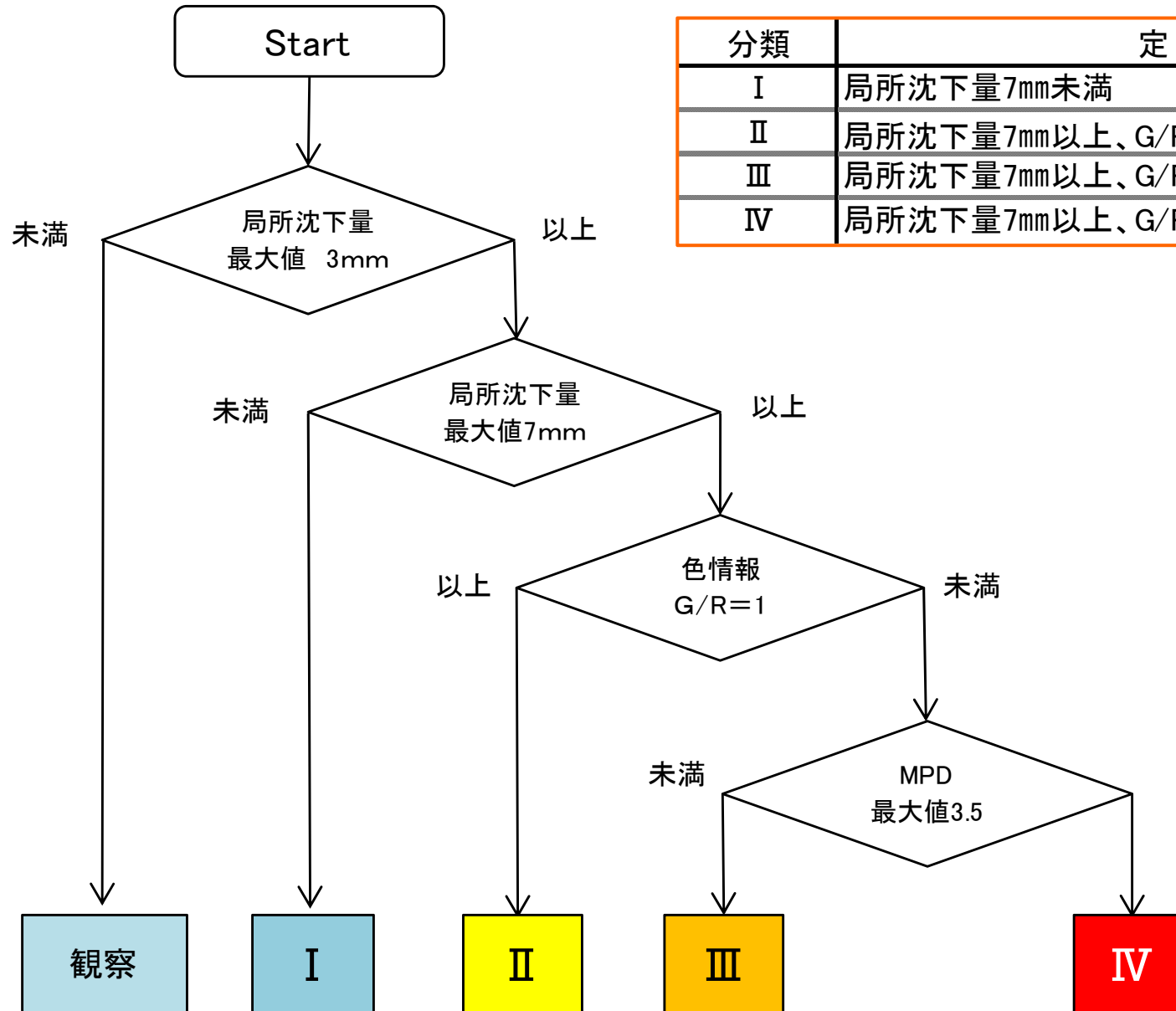


検 定	カイ 2 乗	自由度	有意確率
Log Rank (Mantel-Cox)	200.369	3	.000
Breslow (Generalized Wilcoxon)	211.907	3	.000
Tarone-Ware	209.031	3	.000

生存曲線は経過時点の生存率が明瞭となり、点検や補修の優先付けに寄与



## 分析結果に基づく劣化因子による定量化フロー



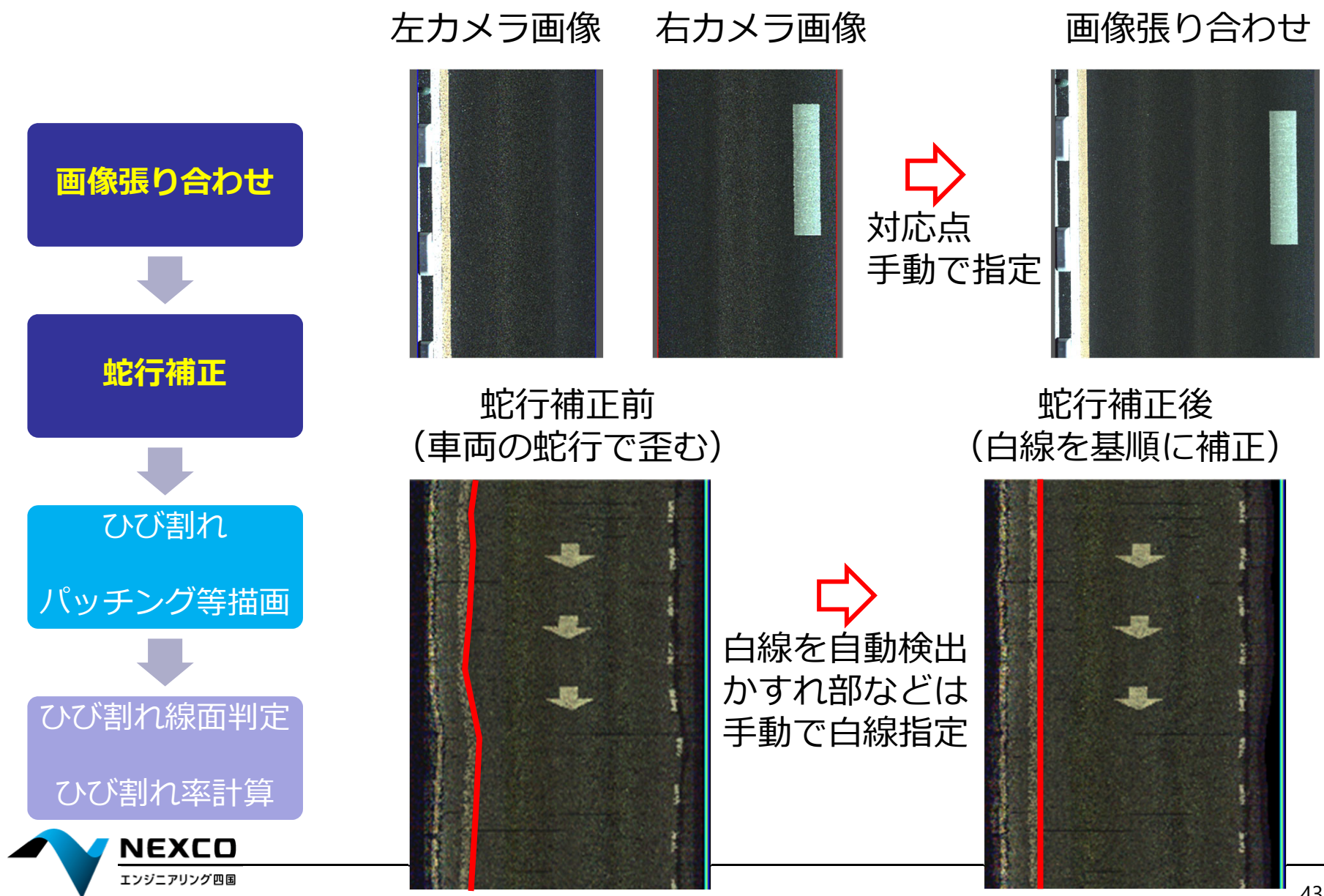
分類	定義
I	局所沈下量7mm未満
II	局所沈下量7mm以上、G/R1.00以上
III	局所沈下量7mm以上、G/R1.00未満、MPD3.5未満
IV	局所沈下量7mm以上、G/R1.00未満、MPD3.5以上

### 3. 解析方法の比較

- 路面性状で精度を求めると手動作業が発生
- 簡易手法によることで、全自動化

項目	イーグル（路面性状調査）	スマートイーグル（簡易法）
ひび割れ率	<b>手動</b> 蛇行補正 <b>手動</b> ひび描画 自動 ひび割れ率計算	蛇行補正せず ひび有りエリア比率で推定
わだち	<b>手動</b> 蛇行補正 自動 わだち計算	蛇行補正せず 白線位置推定、わだち計算
IRI	自動 IRI解析	自動 IRI解析（イーグルと同じ）
ポットホール予測	計測頻度が粗く <b><u>予測不可能</u></b>	予測可能

# 4. イーグルの解析作業 (1)

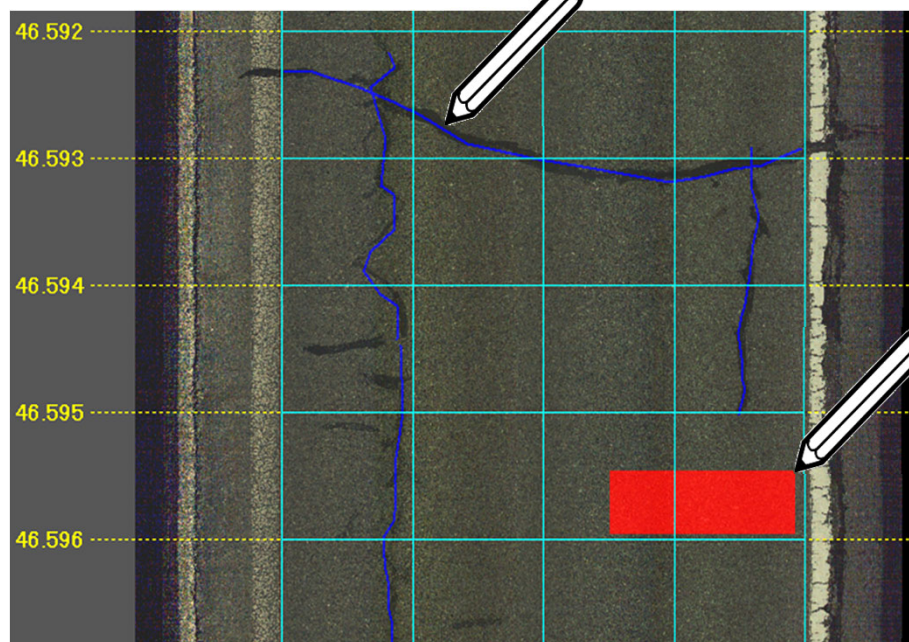


## 4. イーグルの解析作業 (2)

### ひび割れ検出例



### ひび割れを手動で描画



パッチング領域を  
手動で指定

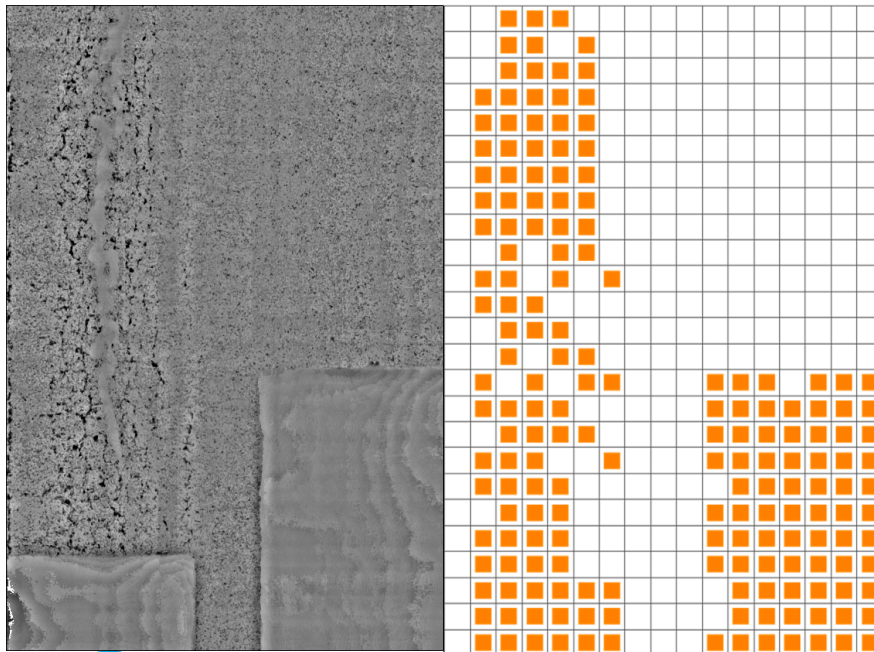


ひび割れ描画後は、自動的に線面判定。  
ひび割れ率も自動的に計算。  
計算結果をエクセルで集計し報告書作成

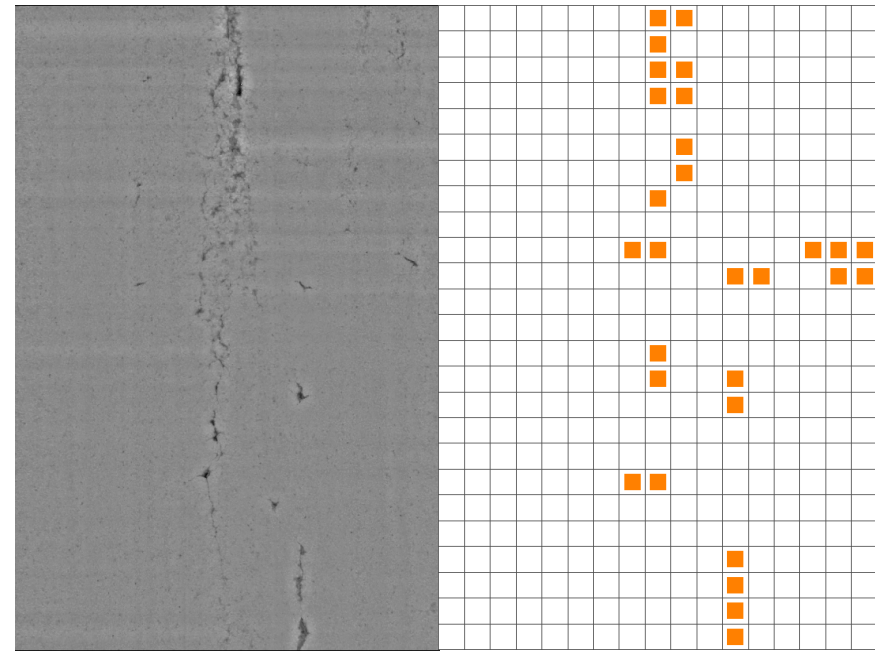
# 5. 全自動ひびわれ評価法の精度検証 (1)

- 路面高さによる、密粒及び高機能のひび割れ等の検出
  - 移動平均により路面のわだちを除去  
⇒Medianフィルタでばらつき除去 (高機能のみ)
  - 20cmメッシュ作成
  - 閾値によりひび割れ、クラックシール、パッチングを判定

**高機能舗装**



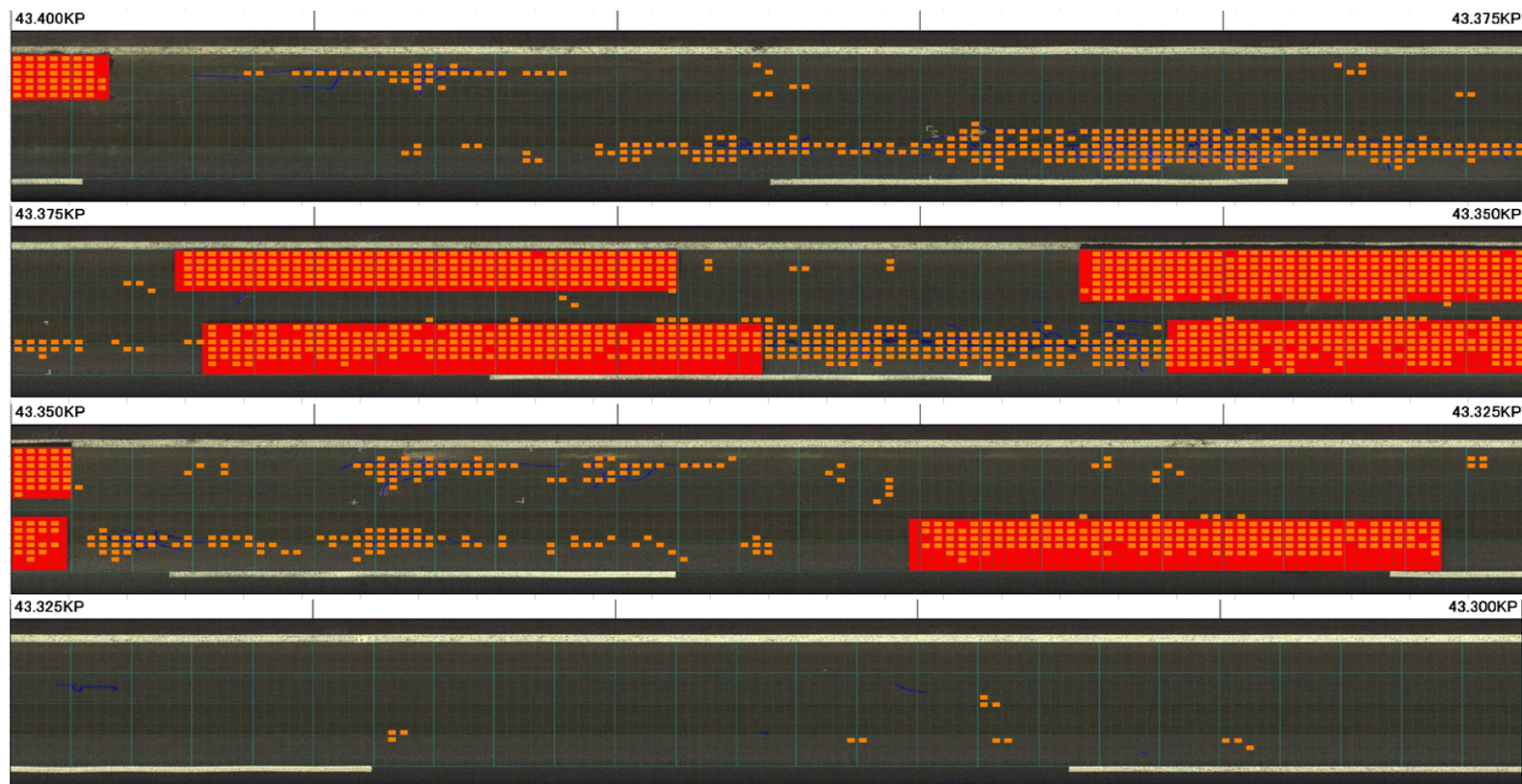
**密粒舗装**



■ → ひび割れ、クラックシール、パッチングと判定した箇所

## 5. 全自動ひびわれ評価法の精度検証 (2)

手動による描画と自動簡易検出の精度検証



手動によるひび割れ描画に簡易検出結果を重ねた結果



**手動描画とほぼ一致していることを確認**

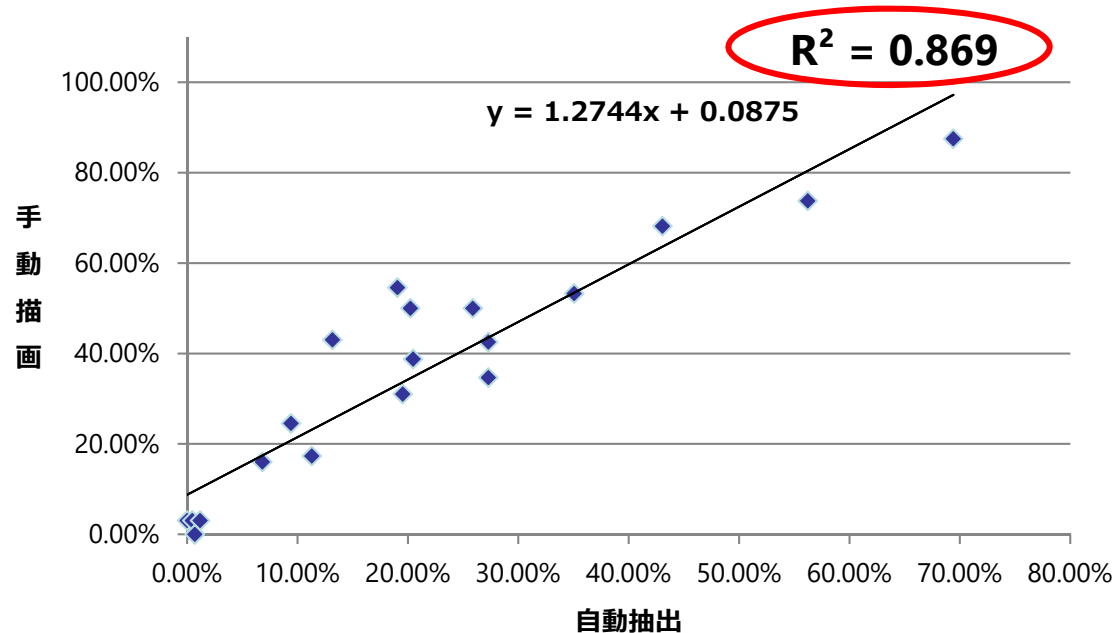
# 5. 全自動ひびわれ評価法の精度検証 (3)

5m毎にひび割れ率を算出→相関の確認

算出方法

- 手動描画 →ネクスコ試験法に従う
- 自動簡易検出 →ひび割れ判定メッシュ数/425 (5m総メッシュ数)

ひび割れ自動抽出精度 **高い相関を確認**



**完全自動の簡易法でも、ひび割れ率を推定可能**

**ひび割れ評価の手動処理が不要**