

スマートフォンを用いた道路舗装維持管理における ひび割れ率の計測法

寺野聡恭*・小金丸暁**・西川貴文***・佐々木浩****・松田浩***

Measurement Method of Crack Rate in Road Pavement Maintenance Management using Smartphone

by

Sosuke TERANO*, Satoshi KOGANEMARU**, Takafumi NISHIKAWA***,
Hiroshi SASAKI**** and Hiroshi MATSUDA***

Maintenance of road pavement on expressways and national roads is carried out using Maintenance Control Index (MCI), which is evaluated by flatness, crack rate, and plastic flow rutting amount. For measuring flatness, crack rate, and plastic flow rutting amount of the road, it takes a lot of cost using dedicated equipment and vehicles, so it is impossible to carry out to inspect road paving of local governments by using MCI just like highways and national highways. For this reason, measures are required to enable maintenance and management of road pavement at a simple and low cost. In this study, a simple diagnosis of pavement performance was conducted using travel data acquired and stored by the acceleration sensor of the smartphone, and a method of screening the section requiring MCI inspection was presented. Furthermore, we analyzed the image of the road surface image shot by smartphone and verified the calculation method of the crack rate.

Key words: Smartphone, Crack graph, road surface property, Accelerometer

1. はじめに

地方自治体において、道路や橋梁などの交通インフラを適切に維持管理していくことは、地域住民の生活の利便性を確保するだけでなく、防災・減災の面から住民が安心・安全な生活を送るためにも非常に重要な取り組みである。

アスファルト舗装は、路面舗装の主流であり、今後とも使用されることが想定される。一般国道の場合、路面性状評価である舗装の維持管理指数（Maintenance Control Index：以下、MCI と略記）を用いて、路面性状の評価が行われている。一方、約 95%の道路は地方

自治体により管理されているが、少子高齢、人口減少による地方自治体の技術者不足、予算不足などの理由により一般国道と同様に MCI による点検は困難な状況にある。そのため、地方自治体管理の道路の場合、路面損傷の確認は日常の巡回点検時の目視やスケッチ、写真撮影等々で実施されているのが現状である。

目視の場合は、人為的ミスの可能性があり、取得データが定量的でない、緊急時の迅速な状況把握が難しい、スケッチや写真撮影も検査員が画像データを見て損傷度合を判断するため定量的でない、等々の問題が生じるため、MCI よりも効率の良い経済的な手法の

平成30年6月25日受理

* 長崎大学大学院（Graduate School of Engineering）

** 西日本高速道路(株)（West Nippon Expressway Company Ltd），前長崎大学大学院博士前期課程学生

*** システム科学部門（Division of System Science）

**** 株式会社富士通交通・道路データサービス（Fujitsu Traffic & Road Data Service Limited）

確立が急務である¹⁾。しかしながら、MCIによる道路舗装の評価は、平坦性、ひび割れ率、わだち掘れ量により評価され、それに基づく維持管理計画が策定されている。

以上に鑑み、本研究は、市販のスマートフォンを用いて道路パトロール時の道路舗装の劣化状態を定量的に推定するため、これまで用いられているMCIの判定基準に準じた計測・評価法を構築することを最終目的としたものである。平坦性に対してはこれまでの研究によりその有効性が確認されている²⁾。本報告ではスマートフォンで撮影した動画から抜き出した画像から道路のひび割れを抽出することで、道路舗装の劣化状態を定量的に推定するために使用されているMCIのひび割れ率の測定方法と算定法について検討した。既往の算出されたひび割れ率と本計測法を用いて算出されたひび割れ率を比較し、本計測法におけるひび割れ率の精度と有効性についての検証を行った。

2. 道路パトロール支援システム

道路施設の点検は路面性状測定車を用いて路面におけるわだち掘れ、ひび割れ率、平坦性を測定し、評価指数MCI (Maintenance Control Index)により定量的に評価・算定されている。このMCIに基づく点検手法に対し、①測定および解析費用を安価にしたい、②ドライバー視点の舗装評価、③評価延長を短くし局所的な損傷に対応したい、④画像との連携により現地再確認を省力化したい、等々のニーズがある。

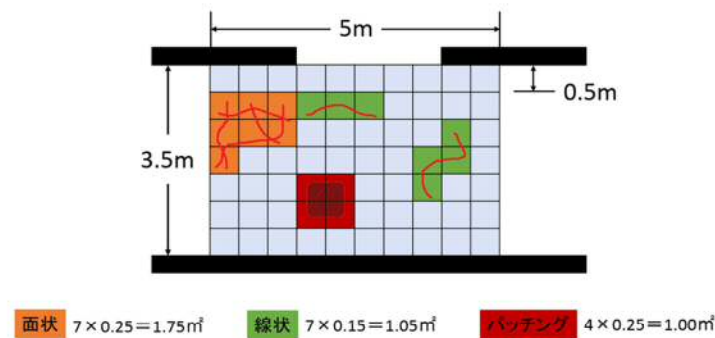
「道路パトロール支援システム」(以下「道パト」と略記)は、富士通株式会社が提供するスマートフォンを用いた道路の劣化推定を行う道路管理システムである。従来まで活用されてきた路面性状評価であるMCIよりも、低コストかつ簡易な作業の実現を目的としている²⁾。道パトによる道路点検システムの概要図を図1に示す。また、一般的にMCIの3要素の解析において、ひび割れ解析に要する時間が、解析時間全体の約7割程度を占めているため、ひび割れの解析時間を短縮することで、路面性状調査がより経済的になることが考えられる。したがって、本研究では、道パトにおけるひび割れ率の計測と算定結果の有効性についての検証を行う。

道パトにおいて、路面性状値である平坦性の有効性が既往の研究で検証されている。一方、多くの地方自治体(長崎県も然り)では、平坦性、ひび割れ率、わだち掘れ量から評価されるMCIによる維持管理を行っているため、ひび割れ率、わだち掘れ量についてひび割れ率も定量的に評価できるシステムを構築する必要がある。MCIにおけるひび割れ率算出方法を図2に示す。ひび割れ率の算定は、図2に示すように、50×50cm²での面状、線状、パッチングにより重み付けて評価されている。



Fig. 1 道路パトロール支援システム (道パト) による道路点検システムの概要図

図 4 に示す。



$$\text{ひび割れ率} = \{(1.75 + 1.05 + 1.00) / (3.5 \times 5)\} \times 100 = 21.7(\%)$$

Fig. 2 ひび割れ率の算出方法

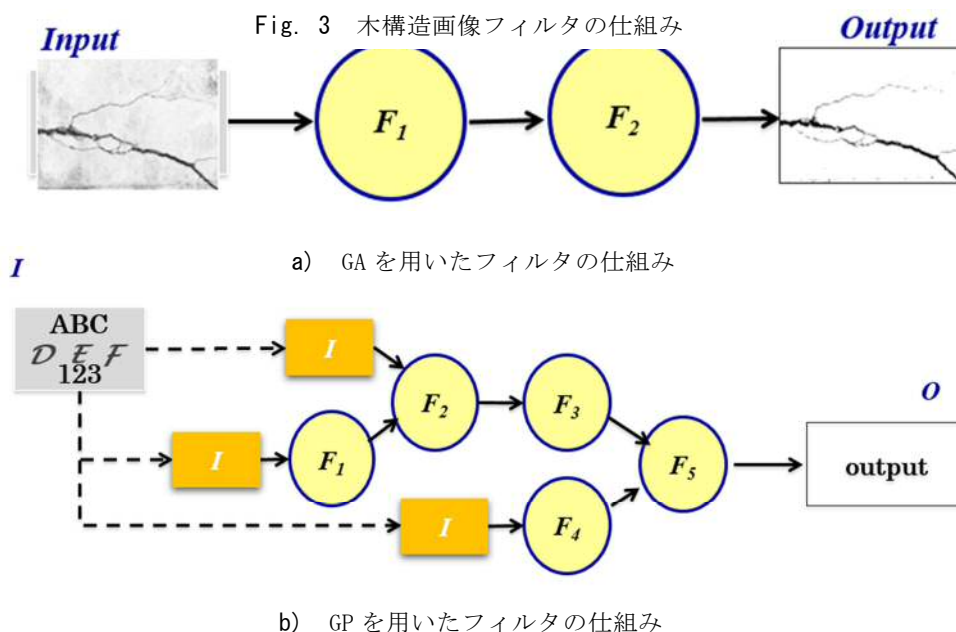
3. 木構造画像フィルタの構築

既往の研究においても道パトにおけるひび割れ率の正当性は検証されてきた³⁾。しかし、その際に使用された木構造状画像フィルタは非高精細画像を教師画像としているが、道パトにおいて十分な結果が得られなかった。そこで、本研究では、道パトで使用される画像に対して適切な抽出結果が得られるように、道パト用の新たな木構造状画像フィルタの構築を行った。フィルタの構築には進化計算の1つであるGP (Genetic Programming) を用いた。GA (Genetic Algorithms) の考え方を応用して、プログラムの自動生成や人工知能 (学習、推論、概念形成等) を実現するものである。GA および GP のフィルタ構造の仕組みを図 3 に示す。適用例を

以上の仕組みを持つフィルタ

を3つ作製した。フィルタの性能を図5に示す。フィルタAは対象領域の平均階調値が高い画像に有効であり、フィルタBは対象領域の平均階調値が低い画像に有効である。フィルタAおよびフィルタBを平均階調値の高い画像と低い画

像に適用させたものを図6, 7に示す。図6, 7より、平均階調値の高い画像の場合、フィルタBは余計なノイズを抽出してしまい、平均階調値に低い画像の場合、フィルタAはフィルタBほどひび割れを抽出できないことが確認できる。厳密な値に関しては、対象領域の平均階調値80以上がフィルタA, 80以下がフィルタBである。また、フィルタCは影などが多く存在し階調値の分散が大きい画像に有効である。



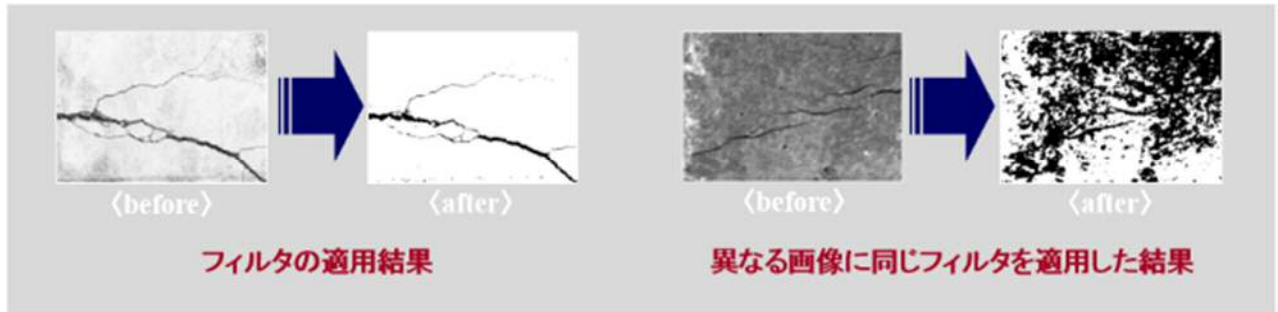


Fig. 4 画像の適用例

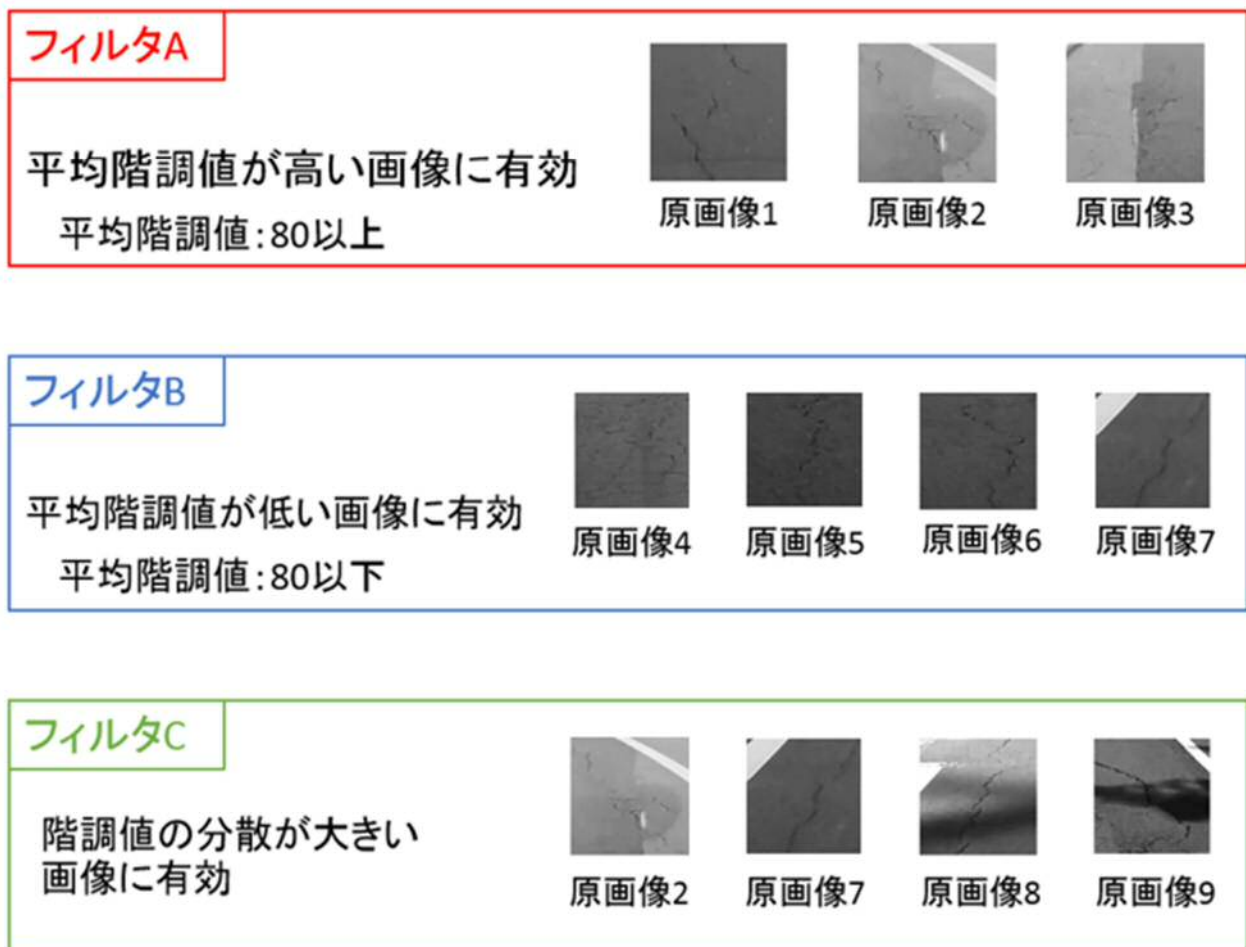


Fig. 5 道パト用のフィルタの性能

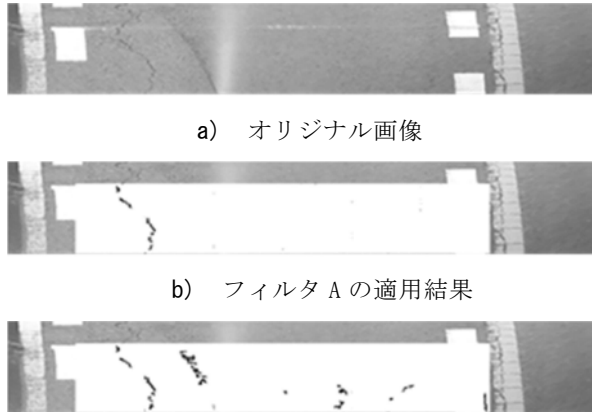


Fig. 6 平均階調値の高い画像

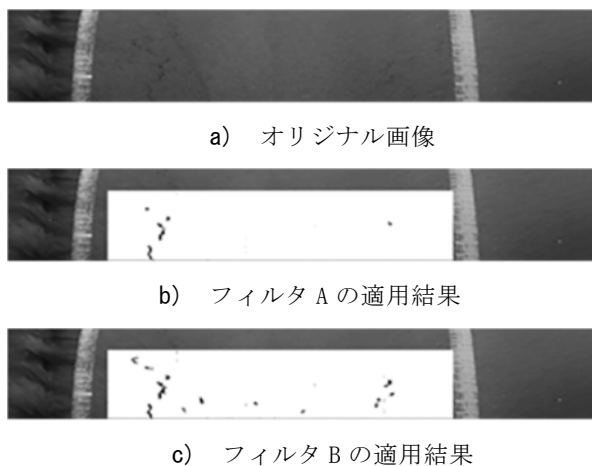


Fig. 7 平均階調値の低い画像のフィルタ適用結果

3. 画像フィルタの適用方法

第既往の研究より、画像にフィルタを適用する際には、一括適用より分割適用を行う方がよりひび割れを抽出できることがわかった。しかし、画像の道路は台形状になっているため、より正確なひび割れ率を算出するには台形補正をする必要があると考えた。そこで、台形補正の方法について述べる。

台形補正をする際には、図 8 に示す台形の場合、①上底を下底に合わせて補正する場合、②下底を上底に合わせて補正する場合のどちらが適切なのか検討しなければならない。図 8 の画像を①、②のパターンに台形補正したものを図 9 に示す。①の場合、最も正確な

情報が得られる手前部分をほぼ未処理で補正するメリットがあり、②の場合、画素を減らして補正するため正確な値を得やすいというメリットがあるため、実際に図 8 の画像を台形補正したものにフィルタの適用を行い検証する。図 10 の結果から、①のパターンがよ



Fig. 8 台形の例

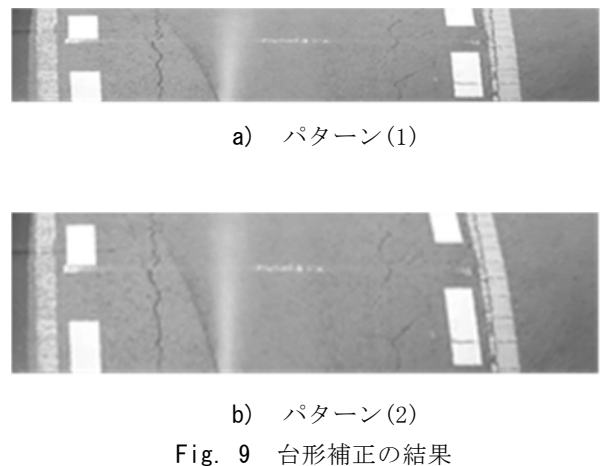
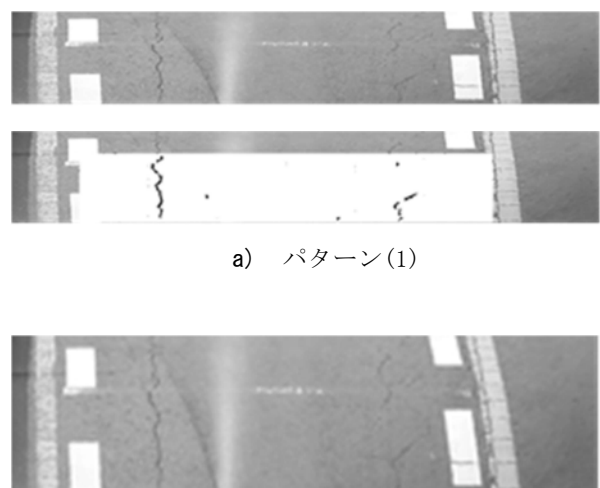


Fig. 9 台形補正の結果





b) パターン(2)

Fig. 10 フィルタの適用結果



Fig. 11 劣化箇所の比較適用

りひび割れを抽出できることがわかった。

4. ひび割れ率の正当性の検証

ひび割れ率の正当性を検証するにあたって、筆者らは前年度までの研究において道パトで算出されたひび割れ率と自信の主観に基づいて算出したひび割れ率の理論値を比較し検証してきた。しかし、それでは正確なひび割れ率の比較にならないため、道パトにおけるひび割れ率の正当性の検証には至らないと考えられる。

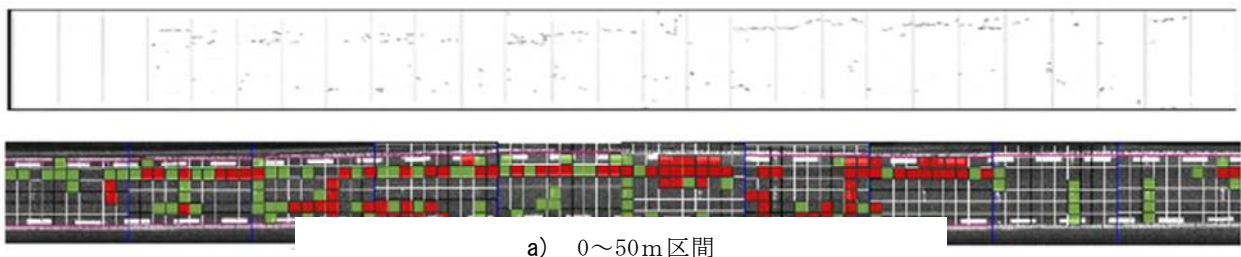
そこで、株式会社パスコより頂いたひび割れ率のデータとの比較を行い、その検証結果について述べる。計測箇所は国道 206 号の下り 15kp~16kp と一般県道 204 号奥ノ平時津線下り 19kp~20kp である。まず、道路の 100m 区間に画像フィルタを適用したものと、株式会社パスコが劣化判定しものを図 11 に示す。2つの道路のそれぞれ 10 区間に図 11 に示したものと同じものを作製し、図 2 に示したひび割れ率の算出方法を用いて、道パトにおけるひび割れ率を算出した。

4.1 MCI の算出法によるひび割れ率の検証

図 2 に示したひび割れ率の算出方法を用いて算出した国道 206 号におけるひび割れ率のグラフを図 12 に、

一般県道 204 号のひび割れ率を図 13 に示す。グラフの横軸に関しては、対称の 1km を 100m 毎の 10 区間に分けたものを表している。図 12 と図 13 から、道パトにおけるひび割れ率はパスコのひび割れ率におよそ半分程度の値となり、差が大きいところでは 2 割程度の値しかとれない区間があった。これは、道パトにおいては目視できるひび割れのみを算出可能である一方で、パスコのひび割れ率は目視では確認できない損傷も含まれているからだと考える。さらに、特に差が大きな区間である国道 206 号の区間 3 と 7 に関しては、平均階調値が極端に低く、ひび割れが検出されにくかったことも原因の 1 つと考えられる。

一方で、パスコのひび割れ率の値が小さい区間ほど道パトとの差が小さくなるという結果も得られた。これは、すべての区間においても一定のノイズを検出しているためだと考えられる。図 12 と図 13 のグラフでは道パトの正当性を検証できないため、パスコにおけるひび割れ率との相関があるかを調べる。道パトとパスコのひび割れ率をそれぞれの平均値で無次元化したものを横軸と縦軸においたグラフを図 14, 15 に示す。図 14, 15 からほぼ 45 度の直線であることがわかる。



a) 0~50m 区間

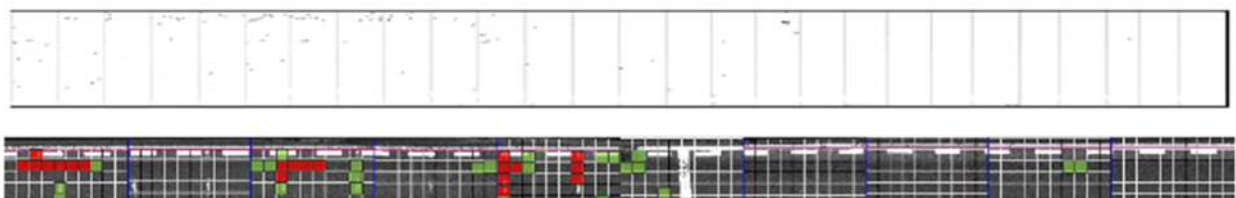


Fig. 14 道パト～パスコにおける相関のグラフ
(国道 206 号)

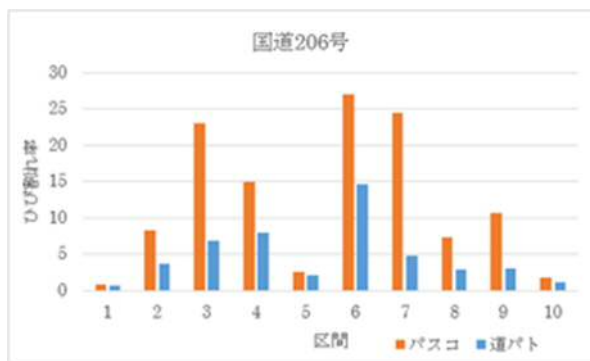


Fig. 12 国道 206 号のひび割れ率

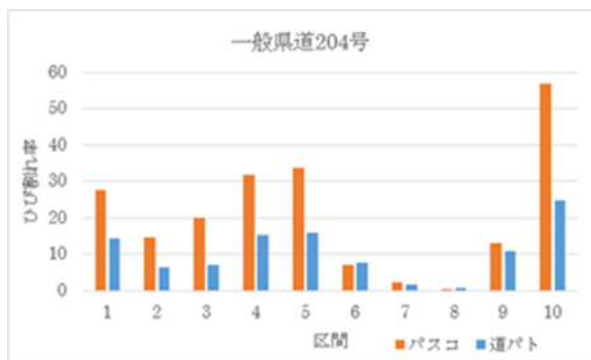


Fig. 13 一般国道 204 号のひび割れ率

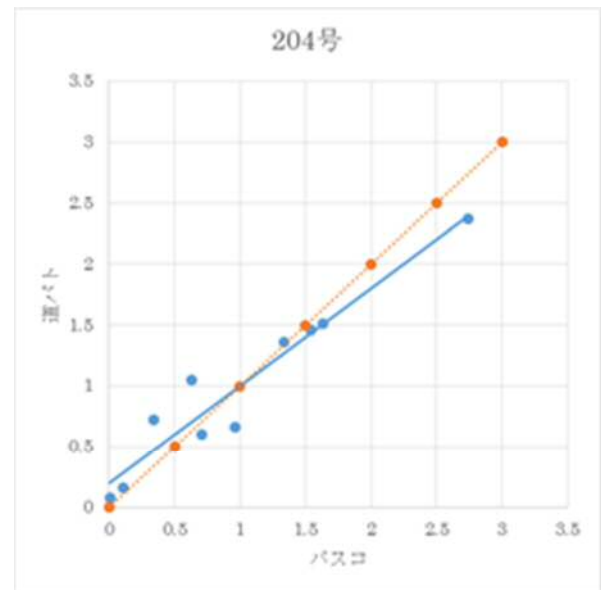


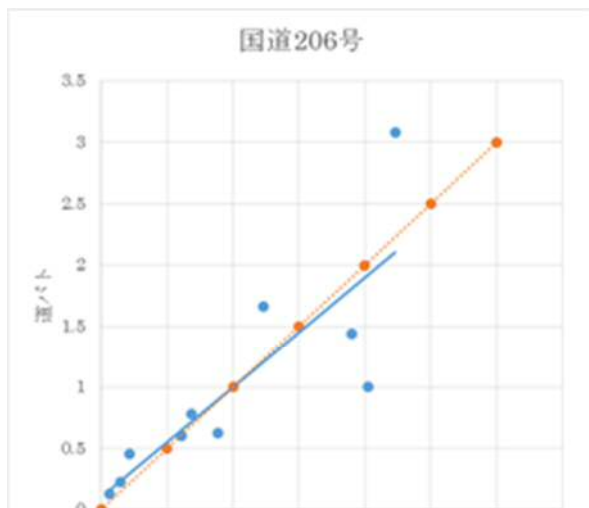
Fig. 15 道パト～パスコにおける相関のグラフ
(一般国道 204 号)

さらに、この2つの値の相関係数を求める。相関係数は式(1)で求められる。相関係数については示方書に従った。2つの道路における相関係数を表1に示す。よって、道パトとパスコのひび割れ率には相関があることが確認できる。

4.2 厳密なひび割れ率の検証

ここで算出したひび割れ率は厳密なひび割れ率ではない。その理由として50 cm×50 cmの格子に少しでもひび割れがあればその格子は損傷箇所として判定される、格子の中に2本以上のひび割れがある場合、何本のひび割れがあっても同じ評価をするといったことが挙げられる。しかし道パトに関しては、下式を用いることでひび割れの面積のみを考慮した純粋なひび割れ率を求めることができる。

この式で算出したひび割れ率を図16に示す。図16



の値とパスコのひび割れ率に相関があれば、道パトにおける厳密なひび割れ率の有効性を示すことができる。相関のグラフを図 17 に、相関係数を表 2 に示す。表 2 からこの 2 つのひび割れ率には相関があることが確認でき、道パトにおけるひび割れ率の有効性を示すことができた。

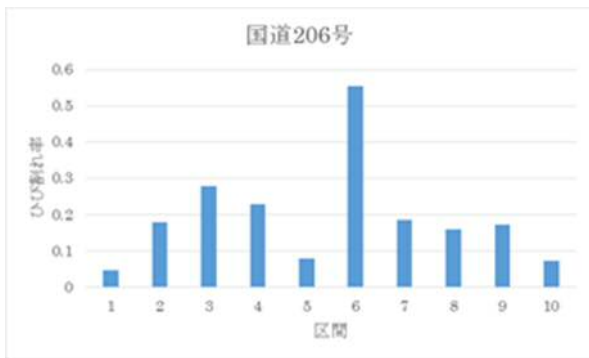
Table 1 2つの道路の相関係数

路線名	国道 206 号	一般県道 204 号
相関係数	0.823763	0.9595772

$$\gamma = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

S_{xy} : xとyの共分散
 S_x : xの標準偏差
 S_y : yの標準偏差
 n : 2変数データ(x, y)の総数
 x_i と y_i : 個々の数値
 \bar{x} と \bar{y} : それぞれの平均値

$$\text{ひび割れ率 (\%)} = \frac{\text{黒画素数 (pixel)}}{\text{全体の画素数 (pixel)}} \times 100 \quad (2)$$



a) 国道 206 号

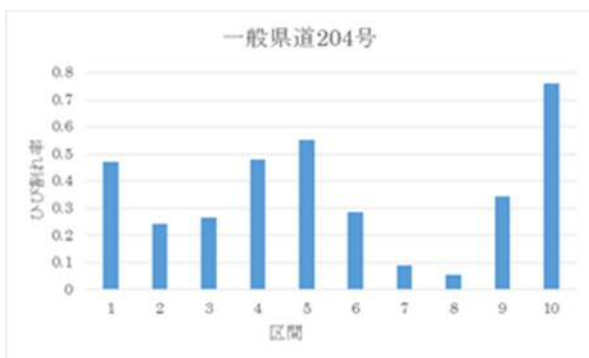
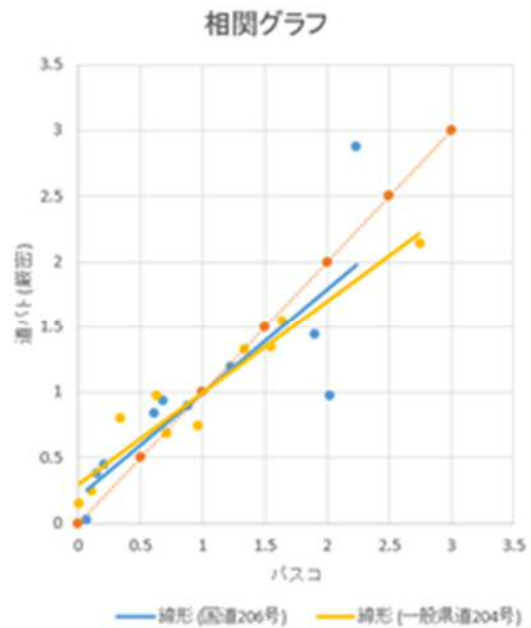


Fig. 16 道パトにおける厳密なひび割れ率のグラフ

b) 一般県道 204 号

Table 2 厳密な道パトのひび割れ率と長崎県のひび割れ率の相関係数

路線名	国道 206 号	一般県道 204 号
相関係数	0.827854	0.961119



5. まとめ

- ・ 若干のノイズは検出してしまうものの、道パトにおける木構造状画像フィルタを構築することができた。
- ・ 画像を台形補正することでより正確なひび割れ率を求めることができ、画像上部を補正する方が下部を補正するより最適な結果を得られることが分かった。
- ・ 道パトにおけるひび割れ率はパスコのひび割れ率の5割程度の値だったが、2つの値には相関があることがわかった。また、道パトではより厳密なひび割れ率を求めることができ、その値もパスコの値との相関があったため、道パトにおけるひび割れ率の有効性を確認できた。

謝辞

本研究は富士通交通・道路データサービス(株)との共同研究で実施した。研究を遂行するにあたり長崎県土木部道路維持課、株式会社パスコから貴重なデータを提供していただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 佐々木博：スマートフォンを活用した新たな舗装維持管理技術，舗装 51(6), pp23-28, 2016
- 2) 中村博康，井原務：道路舗装のひび割れ率の簡易評価手法の検討，舗装, 48, 11, 573, pp12～15, 2013
- 3) 西川貴文，吉田純司，杉山俊幸，斎藤成彦，藤野陽三：木構造状フィルタを用いたコンクリートのクラック抽出のためのロバストな画像処理システム，土木学会論文集A, 63/ 4, pp.599-616, 2007