

アスファルト舗装のひび割れに関する新たな評価指標の提案

渡邊一弘* 久保和幸**

1. はじめに

アスファルト舗装の路面性状調査における主要な評価指標は、ひび割れ率、平坦性及びわだち掘れ量である。これらは、幹線道路においては一般的に路面性状測定車（図-1）を用いて路面性状データとして高速取得され、舗装の管理をしていく上で活用されている。しかし、いずれも路面の状態に関する情報であるため、舗装の構造的健全度を直接的に把握することはできず、その把握のためには交通規制を伴うFWD（Falling Weight Deflectometer）* たわみ量調査（写真-1）のような詳細調査がなされているのが現状である。舗装を効率的に管理していくには、高速取得可能な路面性状データからその構造的健全度を把握することが求められる。

路面性状の中でもひび割れに関して、その進行過程のうち主要なものの一つは、通過車輪による

繰返し载荷の過程を経て一本の疲労ひび割れから亀甲状ひび割れに至るものである。よって、路面性状のうち舗装の構造的健全度と関係が深いのはひび割れと考



写真-1 FWDの例

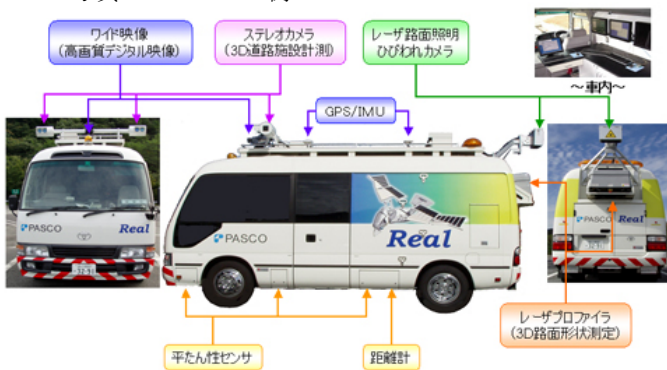


図-1 路面性状測定車の例 ((株) パスコHPより)

えられる。一方、ひび割れに関する現状の評価指標であるひび割れ率¹⁾は、縦横0.5m区画のメッシュ内に2本以上ひび割れがあると評価に差異が生じず、亀甲状ひび割れに至るひび割れの進行による舗装の構造的健全度に関して適切に評価出来ない可能性がある。

本稿は、国内の舗装の約95%以上を占める²⁾アスファルト舗装を対象にして、ひび割れ率、平坦性及びわだち掘れ量の中で幹線道路においてひび割れ率が舗装の構造的健全度と関連が高いことを確認し、さらに密粒度舗装を対象にひび割れに関する新たな評価指標について実道調査を行った結果を報告するとともに、それらを踏まえてアスファルト舗装のひび割れに関する新たな評価指標を提案するものである。

2. 各指標と構造的健全度の関係調査

2.1 調査内容

関東地方近辺の幹線道路にて、密粒度舗装及び排水性舗装を対象に、ひび割れ率、平坦性 (σ) 及びわだち掘れ量と舗装の構造的健全度の関係について調査を行った。調査項目は表-1に示すとおりである。

調査区間は路面性状の水準が適度に分散するように選定し、一般的な評価単位の延長である1車線100m単位とし、密粒度舗装で4路線16区間、排水性舗装で7路線14区間とした。区間内でひび割れスケッチ等路面性状調査及びFWDたわみ量調査（外側車輪通過部（OWP）を基本として1区間5～8载荷点）を行った。たわみ量は温度補正³⁾を行っている。FWD計測機器の構成は図-2に示

表-1 調査項目

| 種別 | 測定項目 | 試験方法 | 備考 |
|-----------|------------|--------------------------|------------------|
| 路面性状 | ひび割れ | 舗装調査・試験法便覧 ¹⁾ | スケッチによる方法 |
| | わだち掘れ量 | | 横断プロフィールメータによる方法 |
| | 平坦性 | | 3mプロフィールメータによる方法 |
| 構造的な健全度評価 | FWDによるたわみ量 | | |

A Suggestion of a New Evaluation Index about the Crack on Asphalt Pavement

*土木用語解説：FWD（Falling Weight Deflectometer）

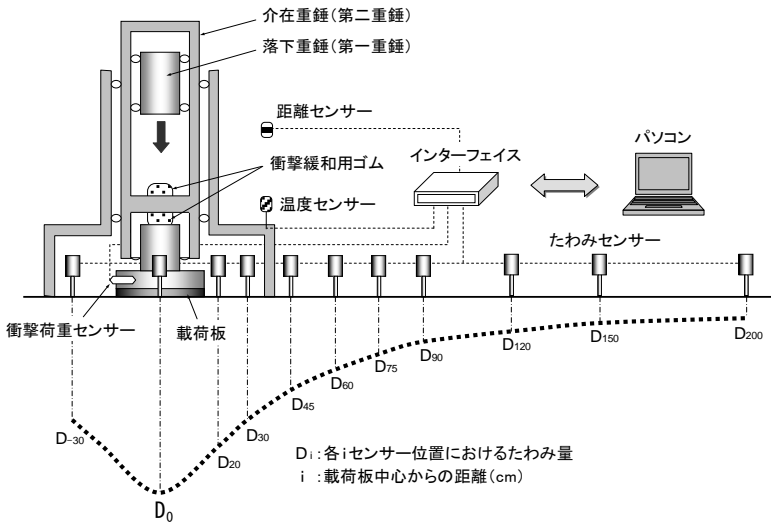


図-2 FWD計測機器の構成

すとおりであり、衝撃荷重を舗装路面に作用させた時の載荷点直下からのたわみ形状を複数個のたわみセンサーと通じて測定することにより、舗装各層の構造評価を行うものである⁴⁾。

舗装の構造的健全度を示す指標は、アスファルト混合物（以下、「アスコン」という。）層の弾性係数Eとし、区間内のEの平均をとることとした。なお、Eは式-1より算出される⁵⁾。

$$E = 2,352 \times (D_0 - D_{20})^{-1.25} / h \quad (\text{式-1})$$

ここで、E : アスコン層弾性係数[MPa]

h : アスコン層厚[cm]

D₀ : 載荷点中心のたわみ量[mm]

D₂₀ : 載荷点中心から20cmのたわみ量 [mm]

2.2 調査結果

路面性状と舗装の構造的健全度の関係について、密粒度舗装における調査結果を図-3に示す。

舗装の構造的健全度との相関が高いのはひび割れ率であり、ひび割れ率が大きくなるとEが小さくなる傾向にある。排水性舗装における調査結果も同様であった。この傾向は、舗装の劣化及び交

通荷重の繰返し載荷に伴いひび割れが進行し、舗装の構造的健全度が低下していくと説明できる。一方、わだち掘れ量は、アスコンの強度の他、温度履歴や塑性体としての挙動等の影響を、また、平坦性は、路面の段差、路盤や路床の状態の影響等を受けるため、舗装の構造的健全度との相関がひび割れ率ほど高くならないといえる。

以上より、路面性状の中でもひび割れに着目することにより、舗装の構造的健全度を評価できる可能性があることが分かった。

3. ひび割れの形態・質に着目した指標

ひび割れに関する現在の評価指標は1.で述べたとおりひび割れ率であり、縦横0.5m区画のメッシュに路面を分割し、メッシュ内にひび割れが1本あれば当該メッシュの60%、2本以上あれば100%として面積換算することにより算出される。これは人力での調査を前提としており、その点ではデータ整理が容易であるメリットがある¹⁾。しかし、区画内の表面ひび割れ本数のみを対象としていること、路面性状測定車による計測の普及、及び画像取得・処理精度の向上といった技術の進展も踏まえると、主に以下の課題が挙げられる。

- ひび割れを線としてのみとらえており、ひび割れの幅（開口幅）が考慮されていない。
- 1区画にひび割れが2本以上あれば何本あろうと評価は変わらず、無数にひび割れの入った亀甲状クラックでも1区画内ではひび割れ2本と同様の評価となる。
- ひび割れ図を描いても、各区画への分割、1区画内のひび割れ本数を集計するといった手間がかかる。特に、路面性状測定車による計測により高速の画像取得が可能な下での負担は

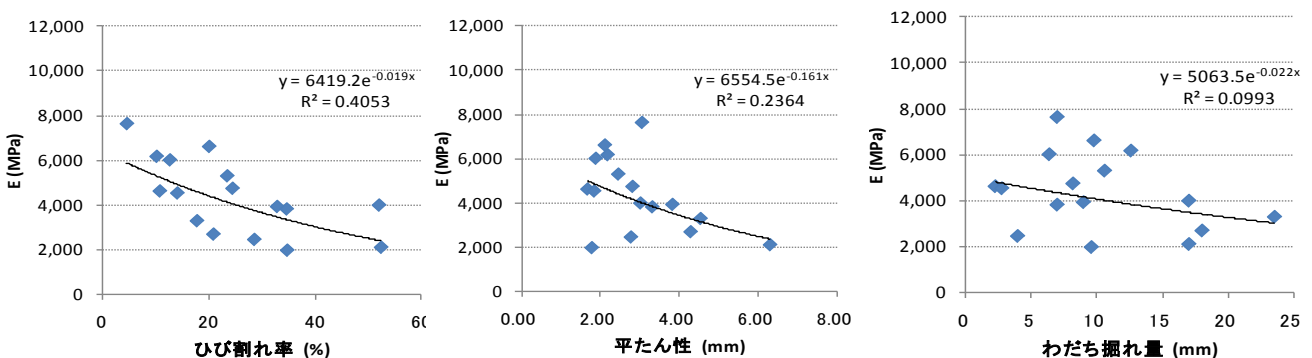


図-3 密粒度舗装における路面性状とアスコン層弾性係数の関係

大きい。

- ・区画の設定位置によって、区画内のひび割れ本数の判読に差異が生じる。

そこで、図-4に示すようなひび割れの詳細スケッチを行うことにより、ひび割れの形態・質に関する情報を含む新たな評価指標案を以下のとおり設定することが考えられる。

3.1 ひび割れ平均幅

ひび割れの幅という属性を持たせるため、調査区間内のひび割れ平均幅[mm]を算出する。ひび割れの幅は、深さ方向に変化するが、調査の現実性を踏まえ、路面（表面）における幅とする。

ひび割れ平均幅

$$= \frac{\sum \text{ひび割れ幅}}{\text{ひび割れ本数 (分類・分割後)}}$$

3.2 単位面積あたりひび割れ延長

亀甲状クラックのように多数入ったひび割れを評価する方法の一つとして、ひび割れ総延長を調査区間面積で除算したのものが、これを単位面積あたりひび割れ延長[m/m²]とする。

単位面積あたりひび割れ延長

$$= \frac{\text{ひび割れ延長累計}}{\text{調査区間面積}}$$

3.3 単位面積あたりひび割れ面積

前項までに示すとおりひび割れの幅と延長という属性を取得し、それぞれのひび割れ幅ごとに当該ひび割れの延長を乗ずることにより、ひび割れ面積[m²]が算出可能となる。これを調査区間面積で除算したものを、単位面積あたりひび割れ面積[m²/m²]とする。この指標は、ひび割れの幅と延長という2つの指標を加味したものとなる。

単位面積あたりひび割れ面積

$$= \frac{\sum (\text{ひび割れ幅} \times \text{ひび割れ延長})}{\text{調査区間面積}}$$

3.4 ひび割れ交点密度

舗装のひび割れの進展過程は、主に車両進行方向の1本のひび割れから派生を繰り返し、最終的には亀甲状に至るものである。つまり、ひび割れの進展と共にひび割れ同士の交点が増えることになり、指標としてはひび割れ交点密度[個/m²]が考えられる。なお、この指標は交点をカウントすることがベースであり、他の指標に比べ把握しやすい特長を有すると考えられる。

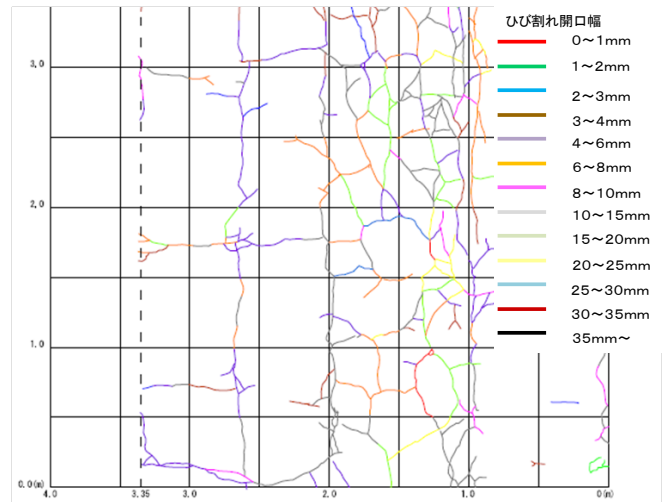


図-4 ひび割れの詳細スケッチ

$$\text{ひび割れ交点密度} = \frac{\text{ひび割れ交点数}}{\text{調査区間面積}}$$

3.5 ひび割れ縦横比

前項のひび割れの進展過程を踏まえると、ひび割れの向きに着目することも有用であり、指標としてはひび割れ縦横比[無次元]が考えられる。縦ひび割れと横ひび割れの境界は、車両進行方向45°とする。なお、この指標はひび割れ延長ベースと面積ベースの2種類が考えられる。

$$\text{ひび割れ縦横比} = \frac{\text{縦ひび割れ延長 (又は面積)}}{\text{横ひび割れ延長 (又は面積)}}$$

4. ひび割れ各指標と構造的健全度関係調査

4.1 調査概要

調査対象候補として、関東近辺の直轄国道を対象とし、事前踏査を踏まえひび割れの形態が様々である5路線（国道4, 17, 18, 20, 139号）の各100m区間を抽出した。なお、ひび割れに関する詳細調査を行うため、空隙を有するためひび割れの幅等の確認が難しい排水性舗装は対象外とし、密粒度舗装を対象としている。

調査単位延長としては、ひび割れの詳細調査を行うため、2.に示した調査以上に区間内の構造的健全度が出来るだけ均一となるよう10m（1車線）単位とし、事前調査で抽出した各々の100m区間の中で、ひび割れ率が適度に分布するよう4箇所10m区間を選定した（5路線計20カ所）。

4.2 ひび割れの各指標の把握手法

各調査区間において、目視によるスケッチ法¹⁾によりひび割れ度合いを測定した。その際に、ク

ラックスケール等を用いて路面における幅を計測・記録し、1mm未満、1～2、2～3、3～4、4～6、6～8、8～10、10mmを越えて5mm毎の範囲で分類・分割し（図-4参照）、3.1～5に示す指標について把握した。FWDたわみ量測定位置は区間内でOWP2点、外側・内側車輪通過位置の中間（BWP）1点とし、2と同様にアスコン層の健全性を示すEの算出に加え、ひび割れに関する詳細調査を通じて得ることができる様々な指標の適用可能性を幅広く検証すべく、路盤以下を含めた舗装全体の構造的健全度を示しうるD₀と各指標の関係も整理した。

4.3 調査結果とひび割れに関する新指標の提案

ひび割れの各指標及び構造的健全度に関する調査結果をそれぞれ表-2に示す。但し、国道18号の調査区間番号No.9、10のBWPにおけるEを算出すると120,000及び45,000MPaで、「舗装設計便覧」で示される範囲（600～12,000MPa）から大きく外れ、局所的な埋設物の影響等が想定され、データを棄却している。

各指標について図-5のように相関関係を整理したところ、E及びD₀との相関が従来指標のひび割れ率より高いのは、ひび割れ単位面積あたり延長

であった。また、ひび割れ交点密度についてもアスコン層の健全性を示すEとの相関は従来指標と同等であるものの、路盤以下を含めた舗装全体の構造的健全度を示しうるD₀との相関は従来指標より高かった。それぞれの相関係数を表-3に示す。これらの指標が舗装の構造的健全度をより的確に示しうる指標であると言える。

表-3 各指標とE、D₀の相関係数

| | Eとの相関係数 | D ₀ との相関係数 |
|--|---------|-----------------------|
| ひび割れ率(%) (従来指標) | 0.65 | 0.41 |
| ひび割れ平均幅(mm) | 0.26 | 0.08 |
| 単位面積あたりひび割れ延長(m ² /m ²) | 0.71 | 0.74 |
| 単位面積あたりひび割れ面積(m ² /m ²) | 0.47 | 0.19 |
| ひび割れ交点密度(点/m ²) | 0.63 | 0.83 |
| ひび割れ延長の縦横比(延長 ^h -ス) | 0.06 | 0.17 |
| ひび割れ面積の縦横比(面積 ^h -ス) | 0.29 | 0.07 |

5. まとめ

本調査を通じ、以下のことが言える。

- 1) 幹線道路においては、路面性状の中でもひび割れ率が舗装の構造的健全度との関連が高い。
- 2) ひび割れの形態・質に着目し、より適切に構造的健全度を評価しうる新たな指標として、単位面積あたりひび割れ延長、ひび割れ交点密度が挙げられる。

今後は、画像処理を通じたひび割れの自動判別・集計等ひび割れに関する調査方法の合理化に向けた検討を行っていく必要がある。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：舗装調査・試験法便覧（第1分冊）、2007
- 2) 国土交通省道路局：道路統計年報2009、pp.15、2009
- 3) (財)道路保全技術センター：活用しよう！FWD、2005
- 4) 渡邊一弘：舗装のマネジメントの取組に関する一考察、土木技術、Vol.65、No.1、pp.36～42、2010年1月
- 5) 阿部長門ほか：たわみ評価指標に基づく舗装の構造評価、土木学会論文集、No.460、V-18、1993

表-2 調査結果

| 路線 | 調査区間番号 | ひび割れに関する各指標 | | | | | | アスコン層弾性係数E平均(MPa) | たわみ量D ₀ 平均(μm) | |
|--------|--------|-------------|---------|------------------------------|--|-------------------------|--|-------------------|---------------------------|-----|
| | | 率(従来指標)(%) | 平均幅(mm) | 単位面積あたり延長(m/m ²) | 単位面積あたり面積[m ² /m ²] | 交点密度(個/m ²) | 縦横比(延長 ^h -ス / 面積 ^h -ス) | | | |
| 国道4号 | No.1 | 82.8 | 8.6 | 5.45 | 4.50 | 20.3 | 1.59 | 1.44 | 3,779 | 460 |
| | No.2 | 35.5 | 3.2 | 1.09 | 0.36 | 0.7 | 1.66 | 2.56 | 8,414 | 234 |
| | No.3 | 62.7 | 3.4 | 2.34 | 0.77 | 3.5 | 1.42 | 1.68 | 6,107 | 249 |
| | No.4 | 52.3 | 3.1 | 1.53 | 0.48 | 1.8 | 1.72 | 2.11 | 8,239 | 240 |
| 国道17号 | No.5 | 4.9 | 2.2 | 0.10 | 0.02 | 0.2 | 0.85 | 0.91 | 6,187 | 307 |
| | No.6 | 21.0 | 2.0 | 0.44 | 0.10 | 0.6 | 0.59 | 0.66 | 5,428 | 323 |
| | No.7 | 55.3 | 1.9 | 1.40 | 0.31 | 2.5 | 0.67 | 0.47 | 5,041 | 367 |
| | No.8 | 76.5 | 2.6 | 2.53 | 0.69 | 4.8 | 0.88 | 0.85 | 2,696 | 439 |
| 国道18号 | No.9 | 90.4 | 6.6 | 5.48 | 3.42 | 19.8 | 1.04 | 0.99 | 2,338 | 509 |
| | No.10 | 83.8 | 3.2 | 3.63 | 1.20 | 8.8 | 0.73 | 0.62 | 4,795 | 436 |
| | No.11 | 78.2 | 2.1 | 2.81 | 0.62 | 3.6 | 0.90 | 0.66 | 4,783 | 333 |
| 国道20号 | No.12 | 68.3 | 2.2 | 1.16 | 0.29 | 0.9 | 0.64 | 0.46 | 6,491 | 149 |
| | No.13 | 78.5 | 1.5 | 5.42 | 0.84 | 21.6 | 1.60 | 1.38 | 3,019 | 750 |
| | No.14 | 67.3 | 1.0 | 3.56 | 0.33 | 12.6 | 1.27 | 1.11 | 2,299 | 609 |
| | No.15 | 91.4 | 1.4 | 7.98 | 1.08 | 29.6 | 1.33 | 1.41 | 1,983 | 739 |
| 国道139号 | No.16 | 49.9 | 0.9 | 3.38 | 0.29 | 15.5 | 0.93 | 0.87 | 2,481 | 693 |
| | No.17 | 96.7 | 8.3 | 4.69 | 4.11 | 9.9 | 1.66 | 1.45 | 2,584 | 445 |
| | No.18 | 93.4 | 7.3 | 4.44 | 3.24 | 8.6 | 1.53 | 1.00 | 2,509 | 453 |
| | No.19 | 83.8 | 5.5 | 3.34 | 2.10 | 4.4 | 1.60 | 1.60 | 2,704 | 420 |
| | No.20 | 89.0 | 5.5 | 2.83 | 1.65 | 3.0 | 1.21 | 1.26 | 2,547 | 490 |

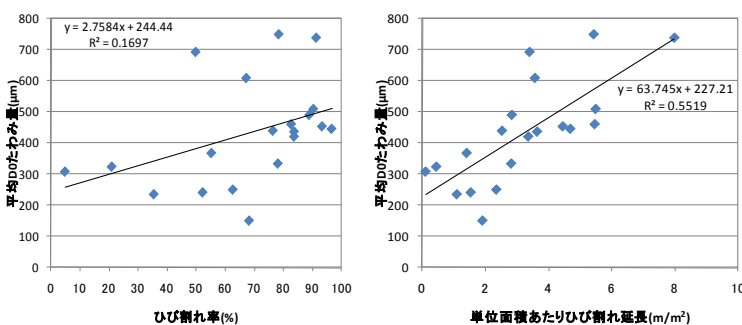
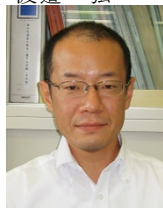


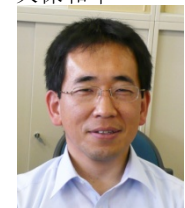
図-5 従来指標と新指標の相関状況の比較例

渡邊一弘*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所道路技術
研究グループ舗装チーム
主任研究員
Kazuhiro WATANABE

久保和幸**



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所道路技術
研究グループ舗装チーム
上席研究員
Kazuyuki KUBO