

10.4 舗装の管理目標設定手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 17～平 21

担当チーム：道路技術研究グループ（舗装）

研究担当者：久保和幸、渡邊一弘、綾部孝之

【要旨】

本研究は、舗装の管理目標を設定するための技術的根拠を明らかにし、地域の実情に応じた舗装の管理目標設定手法をとりまとめることを目的としている。20年度までの研究により、路面性状の中でも特にひび割れと舗装の構造的健全度に関連性があることを把握しており、21年度は、ひび割れの形態に着目し、それと舗装の構造的健全度の関係を調査した。その結果、ひび割れ長さに着目することにより舗装の構造的健全度をより適切に評価しうることが分かり、新たな評価指標として「単位面積あたりひび割れ延長」を提案した。同時に、ひび割れに関する現状の調査・評価方法における課題を整理し、当該指標を含めた調査の合理化に向けた検討を行い、新たな測定手法に関して概念を提示した。

キーワード：舗装、管理目標、構造的健全度、ひび割れ、評価指標、路面性状調査

1. はじめに

道路資産を良好な状態に維持していくために必要な維持・修繕・更新に関わる経費は、今後増加していくことが予測され、予算的制約から道路資産を効率的に管理することが社会的要請となっている。道路資産を効率的に管理するためには、その状態の的確な把握が必要であるとともに、「管理目標」を設定することが重要となる。しかしながら、舗装の管理目標を設定するための技術的な根拠が必ずしも明確になっていない。

本研究では、道路管理者が管理目標を検討する際の参考となるよう、ユーザーサービスの視点と道路資産の保全の視点から、舗装の管理目標設定のための技術的根拠を明らかにすることを目的としている。これまで、ユーザーサービスの視点から、舗装の性能指標が道路利用者に与える影響についての関係を把握するとともに、道路資産の保全の視点から、密粒度舗装及び排水性舗装を対象に道路管理者が舗装管理の指標として利用している路面性状と舗装の構造的健全度の関連性に関する検討を行い、路面性状の中でも特にひび割れ率と舗装の構造的健全度の関連が高いことが分かっている。

21年度は、これまでの成果を踏まえ、密粒度舗装を対象として、ひび割れの質や形態に着目し、舗装の構造的健全度をより適切に評価可能な新たな指標について検討を行った。同時に、ひび割れに関する現状の路面性状調査における課題を整理し、調査の合理化に向けた検討を行った。

2. ひび割れに関する現状の評価方法と課題

2.1 現状の評価方法

現状の評価方法は、「ひび割れ率」という指標が用いら

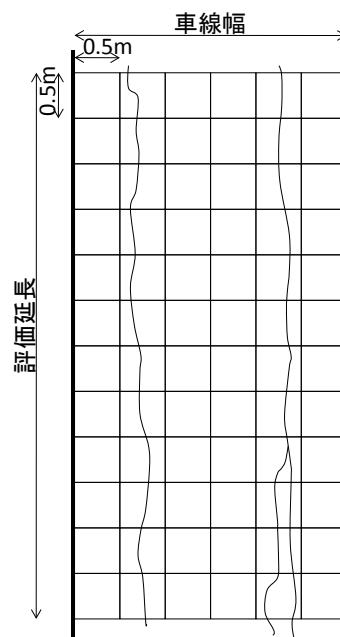


図-1 ひび割れの例

れている¹⁾。アスファルト舗装路面におけるひび割れ率算出の基本的な考え方は、路面を縦横 0.5m のます目に区画割りし、一つの区画の中にひび割れが1本だけあれば6割、2本以上あれば10割として面積換算して、路面に対する面積比を算出するものである。例えば、図-1のように典型的な疲労ひび割れであれば、区画総数72 (18m²) に対して、ひび割れがない区画数は48 (12m²) ひび割れが1本通過している区画数は20 (5m²)、ひび割れが2本通過している区画数は4 (1m²) であり、

$$\text{ひび割れ率} = \frac{5 \times 0.6 + 1 \times 1.0}{18} = 22.0(\%)$$

と評価される。

2.2 課題

現状の評価方法は、人力（目視・スケッチ）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⁾が、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²⁾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を踏まえると、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。
- ・路面に現れるひび割れを対象としており、当該ひび割れの深さ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うる¹⁾。

3. ひび割れの形態と構造的健全度の関係調査

3.1 ひび割れの形態を示す新たな指標案

前節に示す課題を踏まえ、ひび割れの形態を示す新たな指標案を次項以下に提示する。なお、前節に示した課題のうち、ひび割れの深さについては、個別にコア採取により把握する以外の手段が現時点では考えられず、効率的な評価方法が想定しえないので、本検討ではひび割れ深さの情報を加味した指標案としては設定しなかった。

3.1.1 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、深さ方向に変化しうるが、調査の現実性を踏まえ、路面（表面）における幅とした。ひび割れの幅情報は、目視によるスケッチ法¹⁾によりひび割れを把握する際、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（写真-1）し、1mm未滿、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・分割した（図-1）。分類・分割後のひび割れ本数に対するひび割れ幅の平均をひび割れ平均幅とする。

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



写真-1 ひび割れの幅の記録

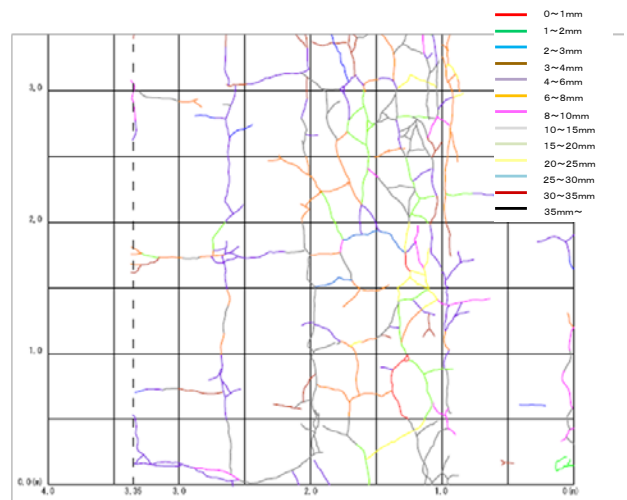


図-1 ひび割れの幅毎の分類例

3.1.2 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ものがあり、これを単位面積あたりひび割れ延長[m/m²]とする。

$$\text{単位面積あたりひび割れ延長} = \frac{\text{ひび割れ延長累計}}{\text{調査区間面積}}$$

3.1.3 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

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

3.1.4 ひび割れ交点密度

舗装のひび割れの進展は、初期の段階ではある範囲に1本現れ、その後、紫外線等によるアスファルトの劣化の進行と共に車輪の繰返し载荷の影響を受け、当該ひび割れの延伸と共に、そこから派生した新たなひび割れの発生、或いは別途発生したひび割れと交わるなどして、いずれ亀甲状クラックに進展すると考えられる。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、この指標はひび割れ同士の交わる数をカウントすることがベースであり、他の指標案と比べると目視観察及び把握しやすい特長を有する(写真-1参照)。

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

3.1.5 ひび割れ縦横比

舗装の設計にあたっては、破壊形態としてのひび割れに関する必須の性能指標として、疲労ひび割れを念頭においた疲労破壊輪数が設定されている³⁾。前項に示す舗装のひび割れの進展過程を踏まえると、疲労ひび割れの場合、初期の段階では輪荷重の通過する縦断方向にひび割れが発生し、そのうち横断方向にひび割れが入り始めることになる。つまり、ひび割れの進展と共に全ひび割れの中でも縦ひび割れの占める割合が小さくなり、指標としては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°とした。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。

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

3.2 調査方法

3.2.1 調査概要

実道において調査区間を設定し、舗装のひび割れの形態に関する情報の収集及び舗装の構造的健全度の把握を行った。それらの相関を調べることにより、ひび割れの形態と構造的健全度の関係を把握することとした。

3.2.2 調査区間の抽出

調査区間は、車輪の繰返し载荷によるひび割れが発生している幹線道路を念頭におき、関東近辺の直轄国道を対象とした。

事前調査として、関東地方整備局より路面性状データの貸与を受け、密粒度アスファルト舗装、一般部(土工

部)、ひび割れ20%程度以上及びシール注入工法・パッチング未実施の区間を選定し、現地踏査を踏まえて、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100m区間を抽出した。

調査単位延長としては、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箇所の10m区間を選定した。

これらにより、5路線計20カ所の調査区間を抽出した。

3.2.3 ひび割れの各指標案の把握手法

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(写真-1)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-1)、3.1.1~5に示す指標について把握した。

併せて、当該指標を含めた調査の合理化に向けた検討を行うため、路面性状測定車によるひび割れ度合いを測定¹⁾するとともに、市販のデジタルカメラを用いて縦横0.5m区間ごとに路面の静止画像取得を行った。

3.2.4 構造的健全度の把握方法

各10mの調査区間において、FWD(Falling Weight Deflectometer)によるたわみ量測定⁴⁾を行った。測定点は、外側車輪通過位置(OWP)で2点、外側車輪通過位置と内側車輪通過位置の中間(BWP)で1点の計3点(図-2)である。なお、測定時の実測路面温度と調査区間近傍のアメダス観測地の気温データをもとに、载荷点中心のたわみ量(D₀)及び载荷点中心から20cmのたわみ量(D₂₀)について、舗装体温度が20°Cの時の値に温度補正を行っている⁵⁾。

構造的健全度は、路床を含めた舗装全体の支持力を反映したたわみ量D₀(3点平均)及びアスコン層(以下、「アスコン層」という。)の弾性係数(E)を式-1のとおり算出⁶⁾することにより、把握した。

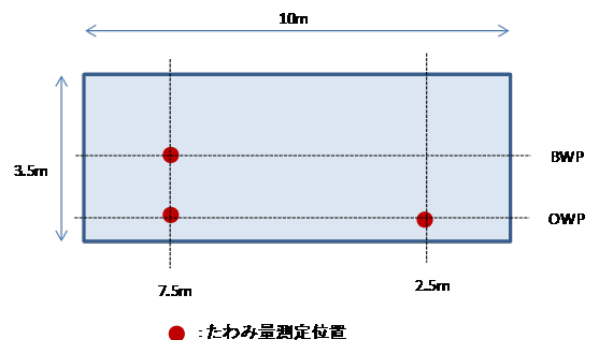


図-2 調査区間内の FWD たわみ量測定位置

表-2 調査結果（ひび割れの各指標）

路線	調査 区間 番号	ひび割れに関する各指標						
		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 へース	面積 へース
国道 4号	No.1	82.8	8.6	5.45	4.50	20.3	1.59	1.44
	No.2	35.5	3.2	1.09	0.36	0.7	1.66	2.56
	No.3	62.7	3.4	2.34	0.77	3.5	1.42	1.68
	No.4	52.3	3.1	1.53	0.48	1.8	1.72	2.11
国道 17号	No.5	4.9	2.2	0.10	0.02	0.2	0.85	0.91
	No.6	21.0	2.0	0.44	0.10	0.6	0.59	0.66
	No.7	55.3	1.9	1.40	0.31	2.5	0.67	0.47
国道 18号	No.8	76.5	2.6	2.53	0.69	4.8	0.88	0.85
	No.9	90.4	6.6	5.48	3.42	19.8	1.04	0.99
	No.10	83.8	3.2	3.63	1.20	8.8	0.73	0.62
国道 20号	No.11	78.2	2.1	2.81	0.62	3.6	0.90	0.66
	No.12	68.3	2.2	1.16	0.29	0.9	0.64	0.46
国道 139号	No.13	78.5	1.5	5.42	0.84	21.6	1.60	1.38
	No.14	67.3	1.0	3.56	0.33	12.6	1.27	1.11
	No.15	91.4	1.4	7.98	1.08	29.6	1.33	1.41
	No.16	49.9	0.9	3.38	0.29	15.5	0.93	0.87
国道 139号	No.17	96.7	8.3	4.69	4.11	9.9	1.66	1.45
	No.18	93.4	7.3	4.44	3.24	8.6	1.53	1.00
	No.19	83.8	5.5	3.34	2.10	4.4	1.60	1.60
	No.20	89.0	5.5	2.83	1.65	3.0	1.21	1.26

表-3 調査結果（構造的健全度）

路線	調査 区間 番号	たわみ量(μm) (OWPは2点平均)				たわみ量 D0 平均 (μm)	アスコン層 弾性係数E 平均 (MPa)
		D0		D20			
		OWP	BWP	OWP	BWP		
国道 4号	No.1	417	548	370	450	460	3,779
	No.2	241	221	207	193	234	8,414
	No.3	248	251	208	213	249	6,107
	No.4	232	258	203	215	240	8,239
国道 17号	No.5	346	229	299	205	307	6,187
	No.6	369	232	310	207	323	5,428
	No.7	430	243	359	218	367	5,041
	No.8	494	329	414	276	439	2,696
国道 18号	No.9	509	(195)	432	(192)	509	2,338
	No.10	436	(291)	374	(284)	436	4,795
	No.11	363	272	312	240	333	4,783
	No.12	163	121	115	100	149	6,491
国道 20号	No.13	860	532	735	478	750	3,019
	No.14	690	446	536	379	609	2,299
	No.15	824	570	683	480	739	1,983
	No.16	752	576	647	488	693	2,481
国道 139号	No.17	458	421	382	357	445	2,584
	No.18	469	421	394	353	453	2,509
	No.19	435	390	370	340	420	2,704
	No.20	516	440	437	416	490	2,547

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

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]

なお、アスコン層厚を含む舗装構成の確認及びトップダウンクラックかボトムアップクラックの判別のため、調査区間内又はその近傍でコア抜き調査も併せて実施した。

3.3 調査結果

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、3に示す。但し、国道18号の2区間（調査区間番号No.9、10）においては、BWPにおける弾性係数Eが120,000及び45,000MPaで、区間内のOWPにおけるそれと大きくずれること及び「舗装設計便覧」で示される一例の範囲（600～12,000MPa）⁷⁾から大きく外れ、局所的な埋設物の影響等が想定されるため、BWP1点のデータを棄却している。

ひび割れの各指標及び構造的健全度に関する相関関係の整理例を図-3、4に示す。このように、いずれの指標についても相関関係を整理したところ、路床を含めた舗装全体の支持力を反映したたわみ量D₀（3点平均）及びアスコン層弾性係数E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。

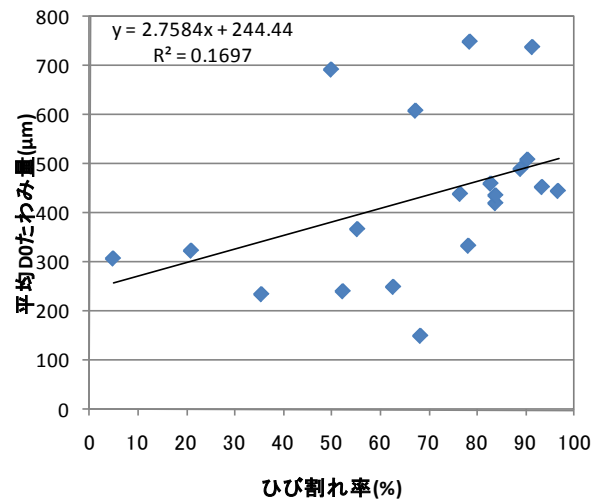


図-3 D₀たわみ量との相関整理例（ひび割れ率）

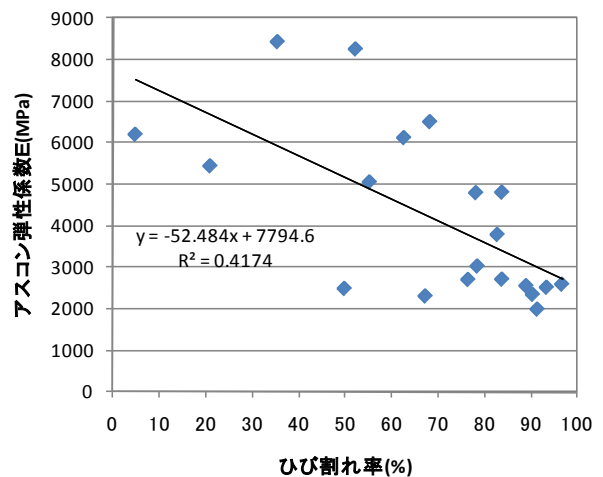


図-4 弾性係数Eとの相関整理例（ひび割れ率）

それぞれの相関係数 R を表-4 に示す。ひび割れ単位面積あたり延長と D₀ 及び E の相関は図 5、6 のとおりである。

表-4 各指標と構造的健全度の相関係数

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

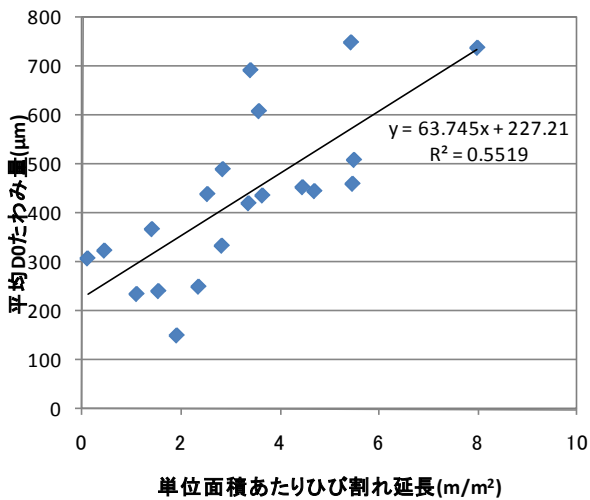


図-5 単位面積あたりひび割れ延長と D₀ の相関関係

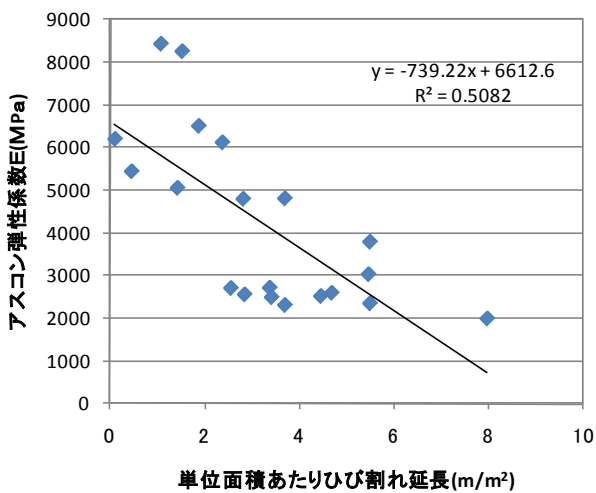


図-6 単位面積あたりひび割れ延長と E の相関関係

以上より、舗装の構造的健全度をより適切に評価出来る指標として、単位面積あたりひび割れ延長という新たな指標が提案出来る。また、ひび割れの交点密度という指標も、3.1.4 で述べたとおり、目視観察及び把握しやすい特長を有するという観点からも、有効な指標と考えられる。なお、ひび割れの幅や面積といった幅の情報を付加した指標について相関関係がない結果であったが、表面での幅の情報しか把握出来ないこと、またその表面の幅についても骨材ごと飛散するかしないかなど、その開き具合も多様であり、一律に情報を入手することが困難であったことが考えられる。

コア採取によるひび割れ観察によるひび割れ起点の確認結果は、すべてのコアがトップダウンクラック又は不明となり、多くはトップダウンクラックであった。不明と分類したものは、アスコン層を貫通しているもの、或いは表面から剥離が確認出来たアスファルト安定処理層等の層間まで貫通しているものである。

4. 新たな指標案に対する調査手法の検討

4.1 路面性状測定車による画像と静止画像の比較

一般的な測定方法であるレーザスキャニング法を用いた路面性状測定車で取得される画像と、市販のデジタルカメラにより 0.5m 区画毎に取得した静止画像の比較例を図-7、8 に示す。同区間におけるスケッチ法によるひび割れ図を図-9 に示す。現状の指標 (ひび割れ率) が、

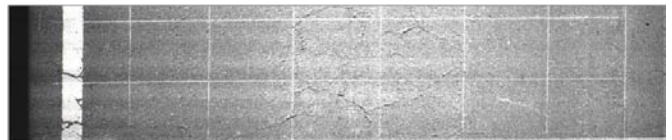


図-7 路面性状測定車でひび割れ率算出の元となる画像



図-8 図-7 と同区間における静止画像 (デジタルカメラ)

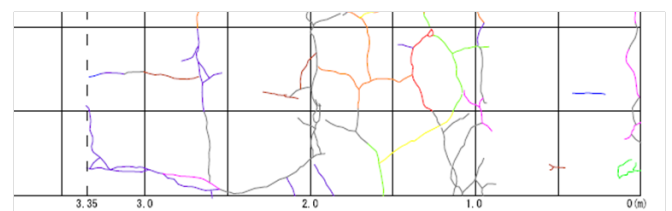


図-9 図-7 と同区間におけるスケッチ法によるひび割れ図

区画内のメッシュ本数を数えることが基本であり、路面性状測定車によるひび割れ検出における解像度の目安は、路面状の幅 1mm のひび割れを検出できることが目安とされている¹⁾ ことから、ひび割れ延長を同画像から把握することは図-7 からも困難と考えられる。一方、市販のデジタルカメラは毎年のように高性能化されており、焦点と照度、光の角度に気をつければ、図-8 からも十分にひび割れ延長の情報を取得することが図-9 との比較より可能と考えられる。

4.2 ひび割れに関する調査の合理化に向けた検討

前節より市販のデジタルカメラによりひび割れ延長を含むひび割れに関する詳細情報が取得可能であったことから、デジタルカメラを用いた調査方法を検討した。

ひび割れの検出は、取得される画像の濃淡で判別することから、ひび割れ方向は任意であり、光を当てる角度が複数方向必要となる。そこで、図-10 の構成による箱形の装置を製作し、光の当たり具合を制御しながら線上に配置したデジタルカメラによる断続的に画像取得することが考えられる。同図の測定①と②による画像を組み合わせれば、図-8 のような画像が連続的に取得でき、ひび割れ位置を示す濃淡も鮮明に判別することが可能となる。ひび割れを示す濃淡が鮮明に取得できれば、画像を CAD ソフトに取り込む等を行うことにより、現在人力に頼っているひび割れ判別を相当程度自動化出来るものと考えられる。同時に、ひび割れ延長を含む各指標の効率的な集計にも資することが出来る。

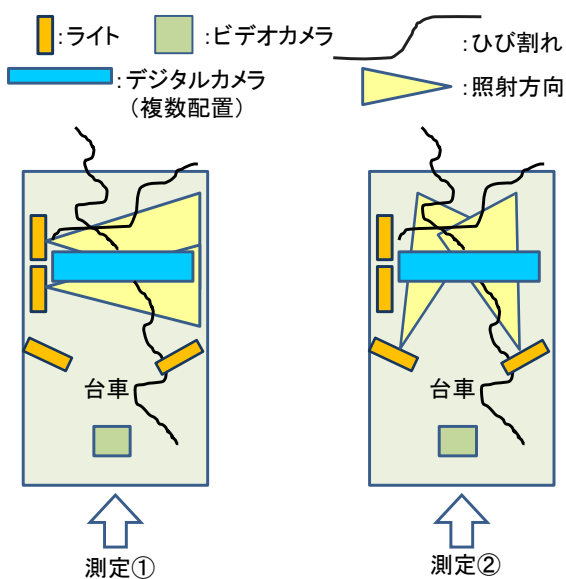


図-10 ひび割れに関する新しい測定方法

5. まとめ

本年度得られた成果をまとめると以下のとおりである。
 (1)舗装のひび割れに関する現状の指標（ひび割れ率）について、その特徴と調査の合理化を念頭においた課題について整理した。

(2)ひび割れ率以上に舗装の構造的健全度との相関が高い新たな指標「単位面積あたりひび割れ延長」を提案した。また、調査の合理化の観点から優位である「ひび割れ交点密度」についても、舗装の構造的健全度との相関が認められた。

(3)ひび割れに関する調査の合理化を目的とした新たな測定方法の概念を提案した。

今後の課題としては、提案したひび割れに関する新たな指標について、幹線道路以外も対象としてデータを蓄積するとともに、概念として提案した新たな調査方法の具体化に取り組んでいくことが必要と考えられる。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧 第一分冊、pp.[1]157-166、2007年6月
- 2) 渡邊：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
- 3) (社) 日本道路協会：舗装の構造に関する技術基準・同解説、pp.36-38、2001年7月
- 4) (社) 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧 第一分冊、pp.[1]234-240、2007年6月
- 5) (財) 道路保全技術センター：活用しよう！FWD、pp.21-22、2005年3月
- 6) 阿部ほか：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、pp.41-48、1993年2月
- 7) (社) 日本道路協会：舗装設計便覧、pp.117、2006年2月

A STUDY ON INSTITUTION OF RATIONAL PAVEMENT MANAGEMENT INDEX

Budget : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2005-2009

Research Team : Road Technology Research
Group(Pavement)

Author : KUBO Kazuyuki

WATANABE Kazuhiro

AYABE Takayuki

Abstract : "Cracking ratio" is usually used as an index to evaluate structural strength of each existing pavement. However, this index is now regarded to have less relation to structural strength. In this study, "total crack length in certain area" was found to have higher relation to structural strength.

Key words : pavement, pavement management, structural strength, crack, evaluation index, road surface investigation