

アスファルト舗装の破壊形態とその原因

阿部 頼政



日本大学理工学部土木工学科助教授。昭和45年東京大学大学院博士課程修了，工学博士。職歴：昭和45年東京工業大学助手，昭和47年日本大学理工学部講師を経て現職。趣味：囲碁（4段格），将棋（4段格）。自己紹介：学生時代は，劣等生だったのに，いつのまにか教師になってしまった。しかし，現在は研究生生活を楽しんでいる。連絡先：101東京都千代田区神田駿河台1-8（勤務先）。

1 はじめに

わが国の道路延長は約109万kmあり，現在までにその40%程度が舗装されている。残りの未舗装部分60%はほとんどが地方の生活道路であるから，主要道路に関しては，ほぼ先進国並の水準に達したと言えよう。

舗装はアスファルト舗装とコンクリート舗装の2種に大別されるが，構成比率から見ると前者が93%であるから，大部分がアスファルト舗装であると考えてよい。

アスファルト舗装は，アスファルト舗装要綱¹⁾によって設計される高級舗装と，簡易舗装要綱²⁾によって設計される簡易舗装にわけられる。それぞれの設計寿命は10年および4～5年とされている。舗装延長からみると高級舗装は13万km，簡易舗装は25万kmに及ぶ。設計寿命を考えれば，毎年6万km以上の舗装が破壊することになる。今後，既設舗装の維持修繕が舗装界の中心課題になることは衆目の一致するところであろう。

本文は以上のような背景のもとに，アスファルト舗装（主として高級舗装）の破壊形態とその原因を総括的に紹介しようとするものである。中でも舗装破壊の2大形態とされている“ひび割れ”と“わだち掘れ”については特に詳しく考察したい。

2 アスファルト舗装の構造と機能

アスファルト舗装は図1に示すように路床上に下層路盤，上層路盤，基層および表層の順に構成される。アスファルト舗装要綱に示された各層の機能をまとめると次のようになる。

路盤：これは交通荷重を分散させて安全に路床に伝え

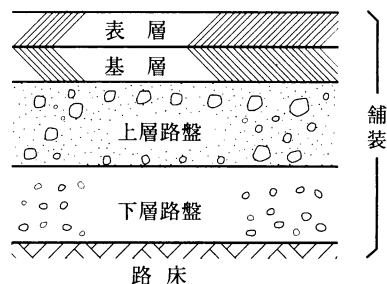


図1 アスファルト舗装の構造

るのに重要な役割を果たす部分である。したがって十分な支持力をもち，しかも耐久性に富む材料を必要な厚さによく締固めたものでなければならない。下層路盤にはクラッシャーラン，切込砂利など比較的安価な現地材料やセメント，石灰などで安定処理した材料が使用され，上層路盤には上記の安定処理材（品質規定は異なる）の他に，れき青安定処理，粒度調整碎石，水硬性粒度調整スラグなどが使用される。

基層：基層は上層路盤の上にあつて，そのおうとつを直し，表層に加わる荷重を均一に路盤に伝達する役割をもっており，通常加熱アスファルト混合物によりつくられる。

表層：表層は舗装の最上部にあつて加熱アスファルト混合物を用いてつくられる。表層は交通車両による摩耗とせん断に抵抗し，平たんですべりにくく，快適な走行ができ，また雨水が下部に浸透するのを防ぐ機能をもつたものでなければならない。

各層の厚さは，交通量と路床土の支持力に応じて決められる。すなわち，交通量が多いほどまた路床土の支持力が小さいほど舗装厚を厚くするわけである。アスファ

ルト舗装要綱に定められた舗装厚の範囲は20～105cm程度である。

簡易舗装はアスファルト舗装要綱によらない簡易な構造の舗装であって、通常表層および路盤から構成され、表層の厚さが一般に3～4cm程度である。また表層材料もストレートアスファルトを使用した加熱アスファルト混合物だけではなく、アスファルト乳剤、カットバックアスファルトを利用した工法が広く用いられている。

3 破壊形態の概要とその原因

舗装の使命は、交通車両が安全にかつ快適に通行できるように路面を提供することにある。したがって、舗装構造がきわめてガッシリしたものであっても、車両の安全性、快適性を損うような欠陥が路面に現れれば、これは一種の破壊と見なされ、何らかの修繕を要することになる。すなわち、舗装の破壊は路面性状に関するものと構造的なものにわけられる。道路維持修繕要綱³⁾では表1のようにアスファルト舗装の破壊を分類している(同要綱では、破壊ではなく“破損”という言葉を使用している。舗装の部分的な損傷を破壊とは呼びにくいのかと思われるが、本文ではすべて破壊としてとり扱うことにする)。

以下、表1の分類にそって考察していくことにする。

3.1 局所的なひびわれ

アスファルト混合物は骨材をアスファルト(重量にして混合物全体の5%程度)で結合したものであるが、混合物の品質、施工の良否によってはひび割れの生じることがある。これは注意して見なければ肉眼ではとらえにくい程度の細かいヘアークラックとはっきり一本の線として見える線状ひび割れと分けられる。この種のひび割れは車両の走行にほとんど影響を与えないが、雨水が浸透すると骨材とアスファルトが分離(はく離と呼ばれる)し、致命的な欠陥につながり易いので早目に乳剤等でシールすることが望ましい。なお、施工継目の開きなど、比較的太目のひび割れはV字型にカットした後、アスファルトモルタルなどでてん充する。いずれにしるこれら局所的なひび割れは、表面的なものであれば応急処置によって簡単に補うことができ、後に述べる構造的なひび割れとは性質を異にする。

3.2 段差

舗装は一般に盛土または切土の上、すなわち土の上に作られるが、交通開放後は、荷重がひん繁に作用するため土の部分を主として、全体が少しずつ沈下(圧密現象)する場合がある。一方、橋梁などの構造物は地下の岩盤に基礎を置くのでこのような沈下はほとんど生じない。そのため、両者の接点、いわゆる取付部には当然段差が生じることになる。なお、これは、その原因から考えて

表1 アスファルト舗装の破損の分類と原因³⁾

破 損 の 分 類		主 な 原 因	
主として路面性状に関する破損	局所的なひび割れ	ベアクラック 線状ひび割れ 縦方向ひび割れ 横方向 施工継目	混合物の品質不良、転圧温度の不適による転圧初期のひび割れ 施工不良、切盛境の不等沈下、基層、路盤のひび割れ 路床路盤支持力の不均一 敷きならし転圧不良
	段 差	構造物付近のおうとつ	路床、路盤、混合物等の転圧不足、地盤の不等沈下等による不陸
	変 形	わだち掘れ 縦断方向のおうとつ コルゲーション くぼみ、寄り フラッシュ	過大な大型車交通、混合物の品質不良 混合物の品質不良、路床路盤の支持力の不均一 プライムコート、タックコートの施工不良 プライムコート、タックコートの施工不良、混合物の品質不良(特にアスファルトの品質不良)
	摩 耗	ラベリング ポリッシング は が れ	除雪後のタイヤチェーン、スパイクタイヤの使用 混合物の骨材品質、混合物の品質不良 混合物の品質不良、転圧不足
	崩 壊	ポットホール は く 離 老 化	混合物の品質不良、転圧不足 骨材とアスファルトの親和力不足、混合物に浸透した水分 混合物のきれ青材料の劣化
	その他	タ イ ヤ 跡 き ず 表 面 ぶ くれ	異常な気温、混合物の品質不良 事故等 混合物の品質不良、表層下の空気の膨張
主として構造に関する破損	全面的なひび割れ	亀甲状ひび割れ	舗装厚さ不足、混合物、路盤、路床の不適、計画以上の交通量の通過、地下水
	その他	噴 泥 凍 上	舗装の厚さ、凍上抑制層厚さの不足、地下水

も明らかのように、路床、路盤、表層をあらかじめ十分転圧することにより、ある程度、防ぐことができる。

段差があると、ここを通行する車は大きな衝撃を受けることになり、二輪車などは大きな事故を起こしやすい。また逆に、車の衝撃力は、舗装はもちろん橋梁などの構造物にも作用して破壊を招き、さらには騒音振動の発生源となって沿道環境の悪化をもたらすことがある。

3.3 変形

路面に現れる変形には次のようなものがある。

- (1) わだち掘れ：道路の横断方向のおうとつで、車輪の通過ひん度の最も高い位置に規則的に生じたへこみをいう(図2)。これについては後に詳述する。
- (2) 縦断方向のおうとつ：道路延長方向の比較的長いおうとつをいう。乗心地に大きな影響を与える。
- (3) コルゲーション：道路延長方向に規則的に生じる周期の比較的短い波状のおうとつ(図3)。ちょうど、洗たく板のような形状である。
- (4) 寄り、くぼみ：舗装表面の局所的な盛り上がりやくぼみである。
- (5) フラッシュ：舗装表面にアスファルトが浸み出し

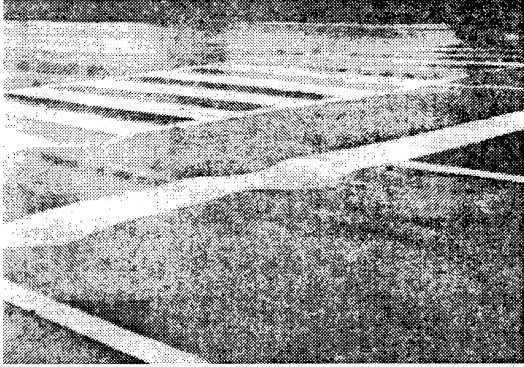


図2 わだち掘れ



図3 コルゲーション

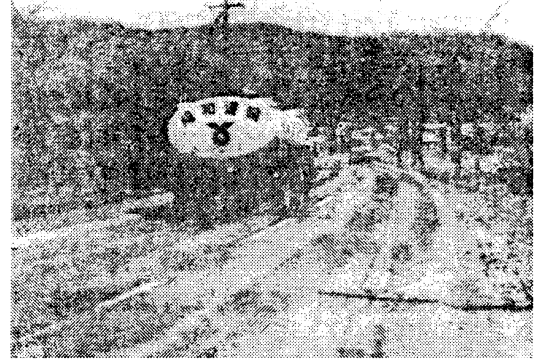
た状態をいう。

以上の変形は、一般に混合物の品質不良、施工の不良などに起因しており、設計・施工を適確に行えば避けることのできるものである。しかし、ひとたび以上のような変形がおこれば、車の走行に危険をもたらすため迅速な手当が必要である。

3.4 摩耗

積雪のある地方では冬期にタイヤチェーンやスパイクタイヤを使用する。路面に積雪がありその雪を車輪が踏み固めて通る場合にはあまり路面は痛まないが、最近は除雪作業が行き届くようになっており、タイヤチェーンやスパイクタイヤが直接路面をたたくケースが多い。このような状態が続くと表面のモルタル分が少しずつづりとりられ、次第に表面が荒くなっていく（ラベリング）。雪どけの水の存在がこの作用を促進させ、結果的には車の軌跡にそって舗装厚が減少し、わだち掘れに似たような横断形状を呈するようになる（図4）。

ポリッシングは、混合物（特に骨材）の品質が不良の場合に起こるもので、舗装表面がすりへり作用を受け、モルタル分と骨材が同じように平滑にすり減り、すべり易くなった状態をいう。ブレーキがききにくくなるため車の走行、特に高速での走行にはきわめて危険となる。



（モルタル分がとれ走行軌跡にそって、白っぽくなっている。）

図4 摩耗

3.5 崩壊

混合物の品質が悪かったり、施工時の転圧が不十分なことなどの原因により、路面の一部分に小穴（ポットホール）の生じることがある。これは舗装にとって致命的な欠陥ではないが、二輪車の走行には非常に危険なので、早急に埋めておく必要がある。

はく離はアスファルト混合物の骨材とアスファルトの接着性がなくなり、骨材がはがれる状態をいうが、これは、混合物に浸透した水に起因することが多い。すなわち、何らかの原因で浸透した水は、アスファルトと骨材を引き離し混合物をもろくする作用を持つからである。

老化とは混合物中のアスファルトが空気に触れて酸化し、硬くもろくなった状態をいう。混合物としては弾力性に乏しくなる。

3.6 全面的なひび割れ

わが国のアスファルト舗装は、この種のひび割れを防ぐように舗装構造を設計してきたと言っても過言ではなろう。アスファルト舗装の破壊のうち、わだち掘れと並んで最も典型的な破壊形態である（図5）。この詳細は4で述べることにする。

3.7 凍上

凍結融解を受ける寒冷地方においては、路床土が凍結して舗装全体を押し上げる場合がある。融解すればまた沈下して元の位置に戻るのであるが、この間に舗装が破壊することもあるため、このような地方では一般に適当

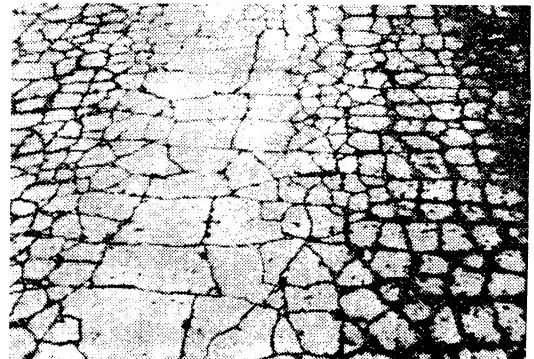


図5 全面的なひび割れ

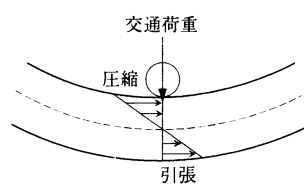
な深さまで路床土を置き換えるなどの方法をとって対処する。

以上に述べた破壊形態は、それぞれの原因から見て2種に大別できよう。すなわち、材料の配合設計や施工に不備な点がなければ、あるいは特殊条件（凍上性など）を考慮すれば避けることのできるものと、車両による繰返し載荷があるかぎり避けることのできないものとのである。前者は、通常材料を使用して通常の施工をすればあまり問題はない。したがって、材料の配合設計や舗装構造の研究は主として後者の破壊に対するものとなる。一般的な舗装の寿命も後者に左右されることはいうまでもない。後者の代表的な破壊形態は、わだち掘れ、ひび割れ（構造的なもの）、摩擦であるが、わが国で最近特に重要視されているわだち掘れとひび割れについて4以下に検討する。

4. ひび割れとわだち掘れ

4.1 ひび割れ

アスファルト舗装に交通荷重が作用すると、アスファルト混合物層（表層、基層、れき青安定処理層）は一体となって図6のように変形すると考えられる。すなわち



中立軸を境として上側は圧縮、下側は引張りとなり、上縁、下縁でそれぞれ最大の圧縮応力、引張り応力が生じ

ると推定される。アスファルト混合物の引張り強度は圧縮強度の1/10程度しかないため（図7）⁴¹⁾、下縁の引張り応力が舗装破壊の主因となる。1回の載荷で破壊することはほとんどないが、10万回、100万回と載荷が繰返されるとアスファルト混合物層は次第に疲労し、その結果として下縁にひび割れが発生する。このひび割れは徐々に進展して上縁

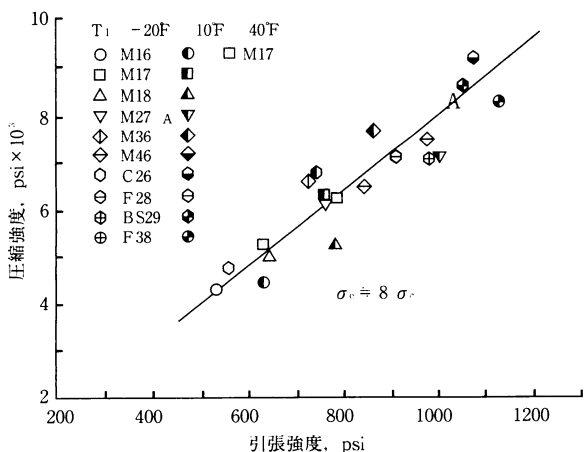


図7 引張強度と圧縮強度の関係 (Monismith)⁴¹⁾

（路面）に到達し線状ひび割れとして観察されるが、さらにこれが進むと何本かの線状ひび割れが結びついて亀甲状ひび割れとなる。

以上が一般的なひび割れ発生の過程である。ひび割れが観測されても当面は車両の走行に支障はないが、雨水が浸透することによってアスファルト混合物はもろくなり、路盤も載荷能力がおとろえて舗装構造全体の破壊につながってしまう。したがってできるだけ早い機械に修繕することが望ましい。

舗装のひび割れは繰返し載荷を受ける材料に共通の疲労破壊であるから、これを避けることは不可能に近い。ただ、材料の選定や配合設計によって寿命を延ばすことは可能であり、多くの研究者によってアスファルト混合物の疲労試験が行われてきた。試験法は一般に曲げ試験が利用されているが、外力を一定応力で与えるか、一定ひずみで与えるかによってアスファルト混合物の挙動はかなり異なった結果を示す。

一定応力 σ による破壊までの繰返し数 N_1 と一定ひずみ ϵ による繰返し数 N_2 の間には一般に次のような関係のあることが多くの研究者によって確認されている。

$$N_1 = K_1 \sigma^{n_1}$$

$$N_2 = K_2 \epsilon^{n_2}$$

これは両対数紙上で N_1 と σ 、 N_2 と ϵ がそれぞれ直線関係にあることを示しており、 n_1 、 n_2 はそれぞれのこの配を表す。 K_1 、 K_2 はアスファルト混合物の性質によって決まる定数である。

このような室内実験結果は、アスファルト混合物のいろいろな種類についてかなり豊富にあるが、まだ舗装の構造設計に確信をもって応用できる段階には達していない。その原因としては、一定応力の試験で N_1 の大きい材料（寿命の長い材料）が一定ひずみの試験では逆に N_2 が小さくなるという室内実験そのものの問題および季節変動、交通荷重のランダムなかかり方など、実現の舗装が受ける環境を実験室で再現するのが難しいことなどがあげられよう。

4.2 わだち掘れ

わだち掘れは、ひび割れのような舗装構造の破壊ではない。単に舗装表面が変形しただけであるが、その影響はきわめて甚大である。なお、海外ではわだち掘れの原因を路床、路盤、表層の変形が総合されて路面にあらわれたとする見方が強いが、わが国ではアスファルト混合物層の流動としてとらえる見方が一般的のようである。

アスファルト混合物は温度が上がるにつれてやわらかくなり、変形しやすくなる。夏期の高温時、わが国の舗装体温度は60℃前後に上がると言われ、厚さ5～6cmの供試体ならば手で容易に折れる程度になる。このような状態の路面を大型車が通れば、車輪直下の混合物は両側

に流動しがちなことは当然であろう。それに、わが国は車線主義（車線がレーンマークによってはっきり区別されている）をとっているため、車輪の軌跡が常に一定しており、混合物の流動はさらに促進される。結果として、路面の横断形状は図8のおうとつができる。このわだち掘れの悪影響としては次のような事項があげられよう。

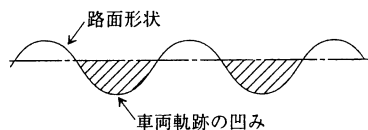


図8 わだち掘れの形状

(1) わだち掘れは大型車の軌跡にそってできるので、乗用車の走行はかなり危険となる。

(2) 雨が降った後は水たまりができることになり、水はねで歩行者などが迷惑する。また、高速の走行ではブレーキのきかなくなるいわゆるハイドロプレーニング現象がおきやすく危険である。

(3) 騒音、振動の原因となる。

わだち掘れの対策としては、アスファルト混合物を変形しにくい品質に改良しようとする、より硬いアスファルトの使用が検討されている。すなわち、従来の針入度60~80、80~100のアスファルトに代わって、建設省関東地方建設局が試みている針入度40~60のアスファルトの使用、さらには、日本アスファルト協会が中心となって開発中のセミブローンアスファルトの使用などである。特に後者は、わが国の路面最高温度(60℃)における粘度を従来のストレートアスファルトの粘度の10倍近くにあげた(約14,000ポアーズ)もので画期的な試みと言えよう。試験舗装施工からまだ一年しかたっていないので、その是非を論ずる段階ではないが、その効果は各方面から期待されている。

4.3 ひび割れとわだち掘れの関係

ひび割れ、わだち掘れはアスファルト舗装の代表的な破壊形態であるが、この両者とも破壊原因がアスファルト混合物の性質に大きく依存することはこれまで述べてきたとおりである。したがって、アスファルト混合物の配合設計において両者を満足させるような配合を作ればよいわけであるが、これが非常にむずかしい問題なのである。

骨材粒度から言えば、密粒度型はひび割れに有利でわだち掘れには不利である。一方、アスファルト量はひび割れには多い方がよく、わだち掘れには少ない方がよい。すなわち、ひび割れとわだち掘れは相反する特性を混合物に要求するため、一方をよくしようと思えば他方が悪くなるという関係にある。アスファルト量について過去をふりかえって見ると、わが国にアスファルト舗装が導入された当時は、アスファルト量をできるだけ多くという傾向があった。昭和35年に改訂された舗装要綱ではこ

れが少ない方向に是正された結果、ひび割れが目立つようになった。この頃、名神高速道路が完成し、ひび割れが主たる原因で後に修繕されることになった。その後、昭和42年の改訂ではアスファルト量が多めになり、この結果、東名高速道路で代表されるようにわだち掘れが主な破壊となってきた。さらに昭和53年の改訂では、またアスファルト量が少なめになるように変更された。この間のアスファルト量の動きを高速道路について図9に示す⁵⁾。適正なアスファルト量をいまだにつかみきれない様子がうかがえるかと思う。

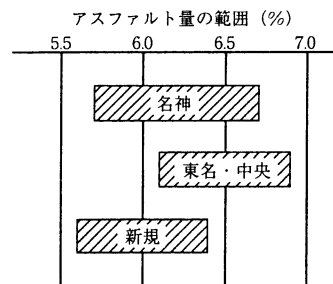


図9 高速道路における設計アスファルト量の変遷

以上は、ひび割れとわだち掘れに限ったアスファルト量の影響であるが、表2のように舗装用混合物として要求される特性から配合設計を見ると、さらに複雑になる⁶⁾。これは、破壊形態のすべてを防ぐことがきわめて困難

表2 必要な性状と配合の関係

配合設計 性状	アスファルト量		骨材配合	
	多	少	密	開
安定性	×	○	○	×
耐久性	○	×	○	×
たわみ性	○	×	×	○
疲労抵抗性	○	×	○	×
すべり抵抗性	×	○	-	-
不透水性	○	×	○	×
引張強度	○	×	○	×

注：○望ましい，×望ましくない。

であり、全体のバランスのとり方が重要であることを示すものであろう。

5 あとがき

アスファルト舗装では、新設舗装の設計よりも既設舗装の維持修繕がはるかに大きな問題となってきている。したがって、破壊形態に応じた補修の計画、工法、材料の検討が今後の大きな課題になると思われる。

参考文献

- 1) 日本道路協会，“アスファルト舗装要綱”(1978)
- 2) 日本道路協会，“簡易舗装要綱”(1975)
- 3) 日本道路協会，“道路維持修繕要綱”(1978)
- 4) Monismith, C.L. et al., "Rheologic Behaviour of Asphalt Concrete" AAPT Vol. 35, (1966)
- 5) 高速道路調査会，“アスファルト舗装路面性状の実態調査に関する解析結果報告書”(1978)
- 6) 阿部頼政，アスファルト混合物の諸性質と配合設計，アスファルト No. 100 (1975)