

舗装の深さ方向に生じる劣化メカニズムの検証

日大生産工(院) ○武田 維麻
日大生産工 加納 陽輔

東亜道路工業(株) 楊 晨輝
日大生産工 秋葉 正一

1. はじめに

近年、我が国のインフラは老朽化が進行し維持管理の重要性が増す一方、点検・診断の省力化も強く求められている。道路舗装の破損は、舗装に用いられるアスファルトの劣化が原因の1つであるため、この予測が可能となれば維持管理の助けになると考えられる。

アスファルトの劣化は、製造時に進行する熱劣化と、舗設後に進行する供用劣化に大別される。製造から舗設までは、アスファルトが高温で、かつ空気と広範囲に接触するため、針入度が90～50%まで低下し¹⁾舗設後初期は急速に、やがて緩やかに劣化が進行していくが、いずれも熱、空気（酸素）、光（紫外線）、水を因子とした酸化重合や縮合重合、軽質分の揮発、シネレシスあるいは軽質分の骨材吸着などの不可逆的な化学変化が複合的に進行したものである²⁾。そして、供用劣化は長期にわたる気象や交通の作用により、舗装の浅部と深部、さらに混合物の配合や損傷程度で劣化度合いに差異が生じるとの知見³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾があり、実路における調査結果⁴⁾⁵⁾からもその傾向が報告されている。しかし、この劣化メカニズムに関しては未解明な部分を多く残している。

本研究では供用時におけるアスファルト舗装の劣化メカニズムの解明に向けて、舗装内部の温度分布に着目し、温度の違いが劣化の進行に及ぼす影響を室内促進劣化試験により評価した。また、舗装表面や損傷部から供給される酸素にも着目し、酸素濃度がアスファルトの劣化に及ぼす影響を室内促進劣化試験により評価するとともに、空隙率の異なる2種類の供試体を促進劣化させることで舗装の健全部と非健全部を想定し、それぞれの状態が劣化の進行に及ぼす影響を比較評価した。

2. 温度変化が劣化に及ぼす影響

2. 1 実験概要

2. 1. 1 供試体

供試体の配合をTable 1に、ストレートアスファルト60/80の性状をTable 2に示す。供試体はアスファルトをアスファルトミキサーにより混合後、粒度の影響を防ぐため4.75mmふるい残留分を締固めない状態で促進劣化させた。

Table 1 密粒度アスファルト混合物(13)

の配合比

骨材配合比(%)					O.A.C (%)
6号碎石	7号碎石	砕砂	粗砂	石粉	
34.0	22.0	30.5	7.5	6.0	5.0

Table 2 ストレートアスファルト60/80

の基本性状

密度 g/cm ³	針入度 1/10mm	軟化点 ℃	伸度 cm
1.035	68	47.0	100+

Table 3 促進劣化試験条件

養生温度(℃)	70・90・110
酸素濃度(%)	20（調整なし）
養生日数(日)	最長70（針入度20以下となるまで）

2. 1. 2 促進劣化試験及び評価試験

促進劣化試験の条件をTable 3に示す。各温度条件において針入度が20以下となる日数まで養生した。促進劣化後の試料からアスファルトを抽出・回収し、針入度試験より物理的性状を、赤外分光分析及び組成分析試験より化学的性状を測定した。また、得られた結果からアレニウスプロットを作成し、温度がアスファルトの寿命に及ぼす影響を確認するとともに、試験舗装から舗装内部の温度分布を実測し、深さ方向に生じるダメージを推定した。

2. 2 実験結果

2. 2. 1 酸化劣化に対する影響

養生日数と針入度の関係をFig. 1に、養生日数とCIの関係をFig. 2に示す。針入度の低下、CIの増加とともに初期は急速に、次第に緩やかとなる傾向を確認できた。また、各温度ともに針入度20におけるCIは0.8程度となり、温度は劣化の進行速度のみに影響を及ぼすことを確認した。

2. 2. 2 組成変化に対する影響

構成成分比率をFig. 3に示す。各温度で、劣化の進行とともに芳香族分の減少とレジン分・アスファルテン分の増加といった一般的な傾向がみられた。また、温度の低下によりこの傾向は緩やかとなり、温度は組成変化においても劣化速度のみに影響を及ぼすことを確認した。

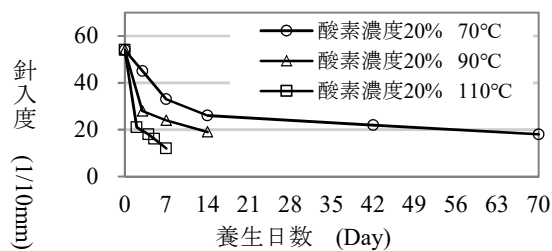


Fig. 1 針入度の変化

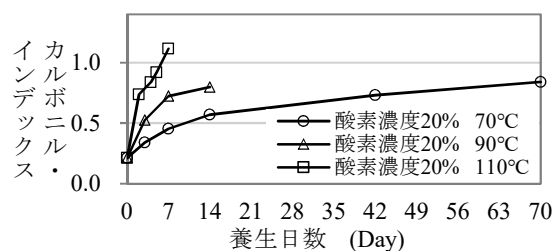


Fig. 2 CIの変化

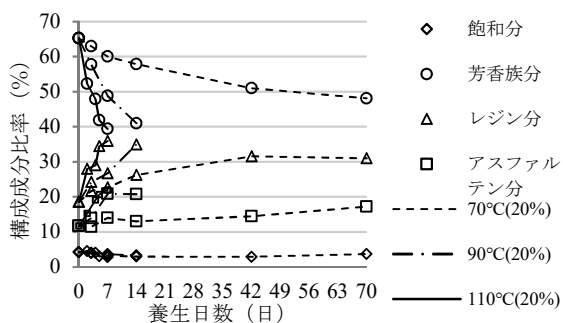


Fig. 3 構成成分比率の変化

2. 2. 3 温度変化が寿命に及ぼす影響

促進劣化試験の結果から、針入度が20となるまでの時間をアスファルトの寿命とし作成したアレニウスプロットをFig. 4に示す。アレニウスプロットが直線を示し、アレニウス則が成り立つことから温度上昇によりアスファルトの寿命が短縮することを確認した。

2. 2. 4 温度分布と劣化の進行

試験舗装より実測した深さ方向ごとの温度の出現数をFig. 5に示す。舗装内部の温度は表面に近づくほど最高温度が高く、浅部は高温側に分布の幅が広がる一方、深部は蓄熱により35℃～45℃の出現数が多いことを確認した。

続いて、深さ方向における温度によるダメージを算出するため、試験舗装と同様の混合物を用いて供試体を作製し促進劣化を行い、アレニウスプロットを作成した。作成したアレニウスプロットをFig. 6に示す。そこから、実測された温度範囲の劣化速度を推定し、深さ方向における各温度の出現数と劣化速度の積を足し合わせてダメージを算出した。求めた深さ方向のダメージをFig. 7に示す。

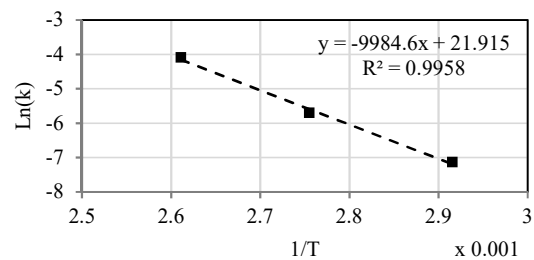


Fig. 4 アレニウスプロット(2. 2. 3)

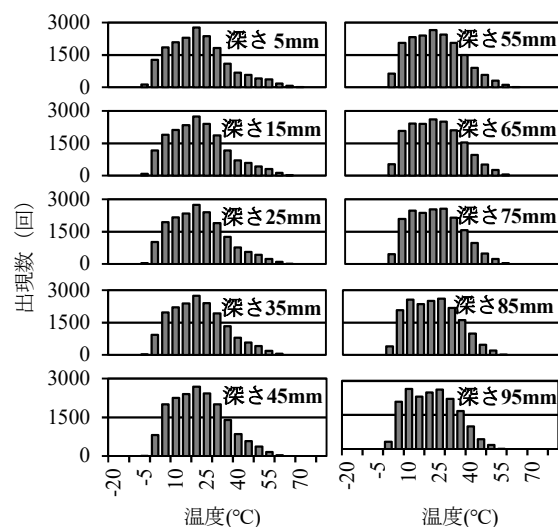


Fig. 5 舗装の深さと温度分布

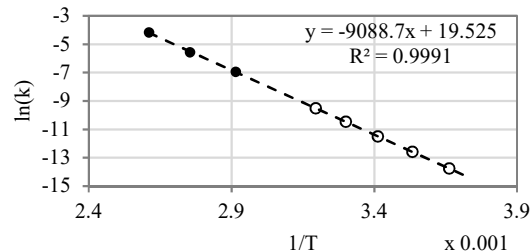


Fig. 6 アレニウスプロット(2. 2. 4)

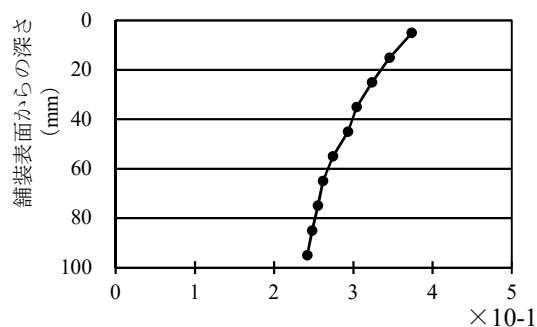


Fig. 7 温度によるダメージ

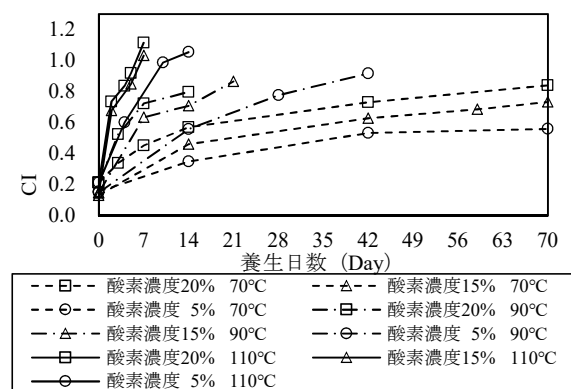
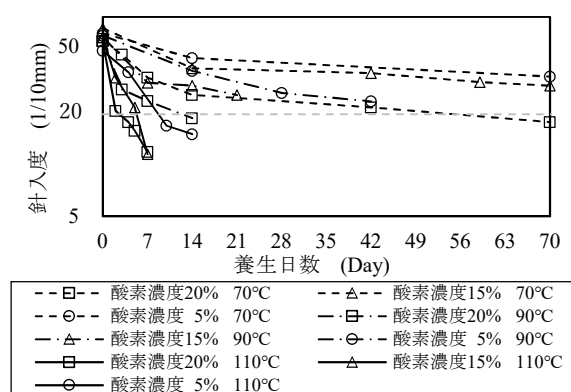
舗装の深さ方向に生じる劣化は表面に近いほど進行する傾向を確認した。今回は温度のみを因子としているが、実際は光や水などの気象作用により、グラフの傾きはより大きくなると考えられる。

Table 4 密粒度アスファルト混合物(13)
の配合比

酸素濃度	骨材配合比 (%)					O.A.C (%)
	6号 碎石	7号 碎石	砕砂	粗砂	石粉	
5%,15%	34.0	22.0	30.5	7.5	6.0	5.6
20%						5.0

Table 5 ストレートアスファルト60/80
の基本性状

酸素濃度	密度 g/cm ³	針入度 1/10mm	軟化点 °C	伸度 cm
5%,15%	1.035	70	47.9	100+
20%	1.035	68	47.0	100+



3. 酸素濃度が劣化に及ぼす影響

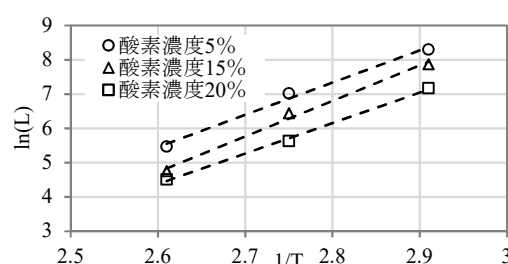
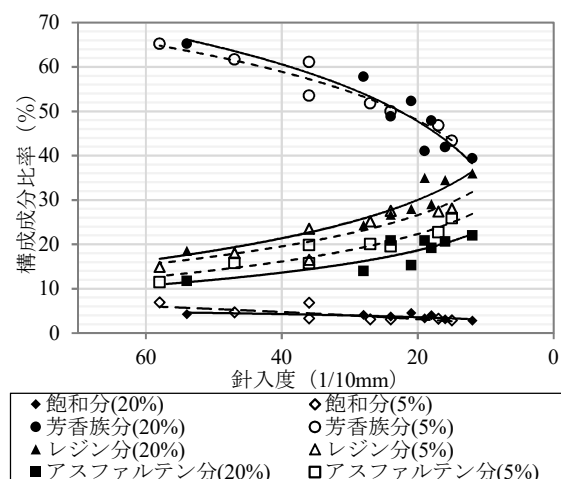
3. 1 実験概要

3. 1. 1 供試体

試験に用いた供試体の配合比をTable 4に、ストレートアスファルト60/80の性状をTable 5に示す。実験では、前章の試験と同様に、加熱・混合後に4.75mmふるいを通過した試料を用いた。

3. 1. 2 促進劣化試験及び評価試験

促進劣化試験では窒素発生装置を用いて酸素濃度を5, 15, 20%に調整した空気を真空乾



燥炉に送り込み、それぞれ70, 90, 110°Cにて針入度が20以下となるまで養生した。促進劣化後の試料からアスファルトを抽出・回収し、針入度試験より物理的性状を、赤外分光分析及び組成分析試験より化学的性状を測定した。また、得られた結果からアレニウスプロットを作成し、酸素濃度とアスファルトの寿命の関係を確認した。

3. 2 実験結果

3. 2. 1 酸化劣化に対する影響

養生日数と針入度の関係をFig. 8に、養生日数とCIの関係をFig. 9に示す。高温かつ酸素濃度が高いほど、針入度の低下とCIの増加が短期間に進行する傾向が見られ、針入度、CIともに養生初期は急激に、徐々に緩やかに変化する傾向となった。また、酸素濃度20%と5%で劣化させたアスファルトの同一針入度におけるCIを比較すると、酸素濃度の低い5%のCIが大きい。このことから、酸素濃度の変化によって酸化の進行に差異が生じる可能性を確認した。

3. 2. 2 組成変化に対する影響

構成成分比率をFig. 10に示す。養生温度、酸素濃度が上昇すると、レジン分が増加し芳香族分が減少する傾向が見られた。また、同じ養生日数、養生温度でも酸素濃度によって構成成分比率が異なり、組成変化にも影響を及ぼす可能性を確認した。

Table 6 WT供試体の空隙率

空隙率	促進劣化させた日数			
	0日	3日	7日	14日
小	5.0%	3.4%	3.3%	3.3%
中		4.3%	4.6%	4.8%
大		5.4%	5.7%	5.8%

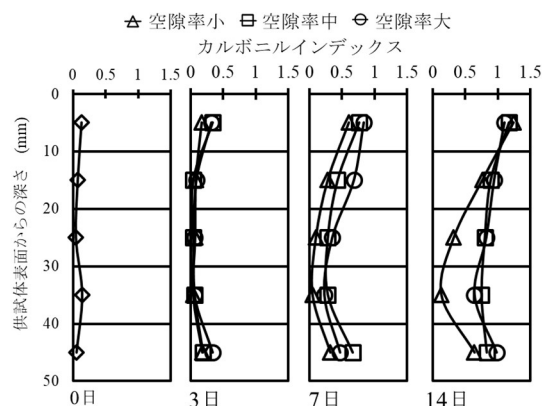


Fig. 12 深さ方向におけるCIの変化

3. 2. 3 アスファルトの寿命と酸素濃度

促進劣化試験に基づき作成したアレニウスプロットをFig. 11に示す。酸素濃度の低下により劣化速度が遅くなる傾向を確認した。このことから、舗装の非健全部では亀裂など損傷部から舗装内部に酸素が供給されることで、健全部と比較して深部まで長期的に劣化が進行する可能性を確認した。

4. 空隙率と深さが劣化に与える影響

4. 1 実験概要

4. 1. 1 供試体

供試体の空隙率をTable 6に示す。供試体は空隙率を3～6%の範囲で3段階に変化させたホイールトラッキング用供試体を使用した。また、促進劣化の際に供試体の型崩れや変形を防ぐために側面をアルミ板で固定し、底部は多孔質なアルミ板で支持することで空気が上下から出入りできる状態にした。

4. 1. 2 促進劣化試験及び評価試験

促進劣化試験は110℃の乾燥炉にて、これまでの結果から表面付近の針入度が20程度となる14日間実施した。また、促進劣化後の供試体は中央部のコアを深さ方向に5等分した試料からそれぞれアスファルトを抽出し、CIを用いて空隙率が劣化に及ぼす影響を確認した。

4. 2 試験結果

養生0, 3, 7, 14日後の結果をFig. 12に示す。供試体の表面と底面は内部と比較し、養生日数の増加とともにCIが大きく増加したが、空隙率による差異は確認できなかった。一方で、内部

では空隙率が高いほどCIが増加した。このことから、交通作用を受けない非走行部は、走行部と比較して空隙率が低下しづらいため舗装内部で酸素との接触面積が大きく、内部の劣化が進行しやすいといえる。

5. まとめ

各検討から得られた知見を以下にまとめる。

- ・深さ方向の劣化は、温度を因子とした場合、表面に近いほど高温となるため大きく進行する可能性がある。
- ・舗装の非健全部では亀裂や隙間から酸素が供給されることにより、舗装の深部まで長期的に劣化が進行する可能性がある。
- ・舗装の非走行部では、車両の交通作用を受けないため空隙率が減少しづらく、アスファルトが酸素と触れる面積が大きいため内部の劣化が進行しやすい可能性がある。

以上のことから、舗装内部の劣化は気象作用や交通作用に加え、混合物層の温度分布や酸素濃度、空隙率の影響により進行速度に差が生じると考えられる。

今後は舗装の長寿命化を実現するために、舗装内部の構造劣化だけでなく材料劣化との相互作用を明らかにし、多様な視点から検討を進めていく必要がある。

参考文献

- 1) 今村敏秀, 永山民男, 前川豊, 鈴木正: アスファルトの熱劣化, 石油学会誌, 第17巻, 第2号, 1974.
- 2) 笠原靖, 植村正, 牛島幸司郎: 供用中におけるアスファルト舗装の老化の研究—アスファルトの劣化に及ぼす路面からの深さの影響—, 石油学会誌, 第18巻, 第1号, 1975.
- 3) 笠原靖, 雑賀義夫, 植村正: 薄膜加熱試験によるアスファルトの熱劣化の検討 (第1報)—アスファルトの熱劣化機構について—, 石油学会誌, 第17巻, 第6号, 1974.
- 4) 平戸利明, 村山雅人, 高橋茂樹, 姫野賢治: 長期供用された高速道路で用いたアスファルトの気象劣化現象に関する調査結果, 土木学会論文集E1, 第70巻, 第3号, 2015.
- 5) 石原佳樹, 東拓生, 久保和幸: 直轄国道における舗装の破損実態調査と早期劣化区間の解消, 土木技術資料, 第58巻, 第8号, 2016.
- 6) 川島陽子, 新田弘之, 西崎到: 供用中のアスファルト舗装表面と内部の劣化度の把握および劣化機構に関する一検討, 土木学会論文集E1, 第72巻, 第3号, 2016.