

アスファルト舗装におけるトップダウンクラックの発生メカニズムに関する研究

環境社会基盤工学専攻 交通工学研究室 高橋 将人

1. はじめに

アスファルト舗装における主要な破壊形態は、ひび割れとわだち掘れであり、ひび割れは発生要因や進展メカニズムによっていくつかに分類されている。ひび割れの一種にトップダウンクラックと呼ばれるアスファルトコンクリート（アスコン）層表面から発生し、車両走行方向に形成するものがある。一般に、構造物に上方から荷重が作用した場合、曲げモーメントによって構造物の底面に引張応力が生じるため、底面から上部に向かってひび割れが進展していくものと考えられている。しかしながら、アスファルト舗装においてはこのような一般的概念と異なり、アスファルト層表面からひび割れが発生して下方に進展する場合がある。既往の研究では、トップダウンクラックは実現象から得られた経験的な見識が多く、発生要因や発生メカニズムについての具体的な知見が少ない。

そこで本研究では、トップダウンクラックの発生メカニズムを明らかにすることを目的に、片振り曲げ疲労試験と多層弾性解析から影響因子を考察し、交通荷重によるアスコン層で発生する引張応力について検討した。

2. トップダウンクラックの発生メカニズムの仮定

2.1 トップダウンクラックの発生状況

トップダウンクラックは日向の部分でよく確認されているが、横断用構造物の下等、日陰となる場所ではあまり確認されていない。トップダウンクラックの発生要因として、アスコン層の応力緩和、舗装温度、舗装厚、路盤・路床の支持力が知られているが、これらは経験に基づいたものであり、知見が乏しい。ひび割れは引張応力が働く場合に生じることから、交通荷重のような圧縮作用だけでは生じないはずである。そのため、何らかの要因でアスコン層表面に引張応力が作用しているものと考えられる。

2.2 トップダウンクラックに関する既往の研究

平戸らの研究では、アスファルト混合物の下にゴム版を敷いて行うホイールトラッキング（WT）疲労試験および Push-Pull 試験を実施している¹⁾。WT 疲労試験では、実際のトップダウンクラックのように車両走行方向に形成するひび割れが発生し、再現性が確保された。Push-Pull 試験では、セメントコンクリート（セメコン）とアスコンの2種類の供試体を用いて実施されており、供試体に圧縮ひずみのみが発生するような繰返し荷重が与えられた。セメコンの供試体は、圧縮応力のみが作用しており、弾性的な挙動を示したが、アスコンは圧縮応力と引張応力が作用しており、粘弾性的な挙動を示した。また、試験終了後は供試体中央部からひび割れが発生しており、平戸らはアスコンの応力緩和によってトップダウンクラックが生じると指摘した。

2.3 本研究におけるトップダウンクラックの発生メカニズムの仮定

図-1 に輪荷重作用時および層変形復元時における表・基層内の応力を示す。表・基層は路盤と路床に支持されており、図-1 (a) のように輪荷重が作用した場合は下方向に曲げ変形が生じるが、輪荷重が通過後は路盤・路床の復元作用によってほぼ元の形状に戻る。即ち、輪荷重の除荷後は、図-1 (b) のように表・基層は路盤・路床によって上方向に押し戻される。輪荷重がピークに達した直後には、表・

基層表面に発生した圧縮応力が既に大きく緩和してほぼゼロの状態と仮定すれば、路盤・路床に押し戻される際には輪荷重と逆の曲げ作用となって、表・基層の表面に引張応力が働くはずである。本研究では、この引張応力により表・基層の表面でひび割れが発生すると仮定した。

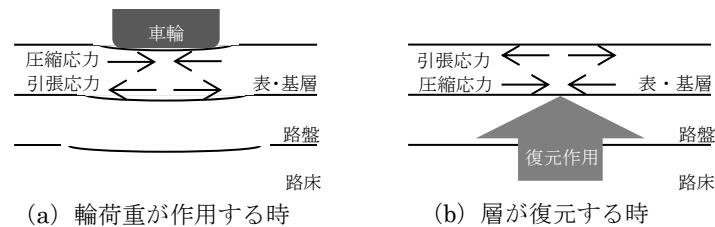


図-1 輪荷重および復元作用による表・基層内の応力

3. 曲げ疲労試験によるアスコンのひび割れ評価

3. 1 試験概要

上記のトップダウンクラックの発生メカニズムの仮定に基づき、輪荷重による表・基層の圧縮作用と路盤・路床による層の復元作用を模した片振りの曲げ疲労試験を実施し、アスコンに圧縮ひずみのみを与えた場合においても供試体にひび割れが発生するか否かについて検討を行った。試験条件を表-1に示す。

表-1 片振り曲げ疲労試験の試験条件

項目	試験条件
荷重方法	両端固定2点荷重
制御方式	ひずみ制御
スパン (mm)	300
試験温度 (°C)	20
荷重周波数 (Hz)	5
荷重波形	sin波
ひずみ振幅(μ)	400

3. 2 使用材料および試験条件

試験に使用した供試体は、表層によく使用される最大骨材粒径 13 mm の密粒度アスファルト混合物である。またバインダとしてはストレートアスファルト 60/80 (StAs) を使用した。骨材配合は既定の中央粒度を目標とし、設計アスファルト量はマーシャル安定度試験を基に 5.7% と設定した。

供試体寸法と作成方法は、舗装調査・試験法便覧 (第 3 分冊) : 「B003 ホイールトラッキング試験方法」の供試体作成方法に準拠した²⁾。型枠はラベリング試験のものを使用し、厚さ 1 cm の鉄板を底に敷き、母材寸法は 400×300×40 mm とした。その後、舗装調査・試験法便覧 (第 3 分冊) : 「B018T アスファルト混合物の曲げ疲労試験方法」に従い³⁾、供試体を 40×40×400 mm の寸法でダイヤモンドカッタにより成形した。

試験では、供試体の表面に圧縮ひずみのみが働くように、荷重方法は片振りとした。また、供試体が

素のままでは底面に引張変形が生じると考えられるため、表・基層の中立軸のように圧縮応力や引張応力が生じない状態と想定し、供試体の底面に FRP シートを貼り付け、底面から発生するひび割れを防止した。

3. 3 試験結果および考察

曲げ疲労試験の結果として、繰返し载荷回数と発生応力の関係を図-2 に示す。データは最大応力と最小応力の絶対値の合計をプロットしている。本試験では、試験初期に見られる応力の変化が緩やかな部分の接線と、試験後半に見られる応力の変化が急な部分の接線を引き、その交点における载荷回数を破壊回数と定義している。破壊回数は試験 1, 試験 2, 試験 3, でそれぞれ 354,000 回, 503,000 回, 779,000 回であった。試験終了後の供試体上部を観察したところ、ひび割れの発生を確認した。

図-3 は供試体に片振りの変形を与えた際の応力とひずみの波形を示している。圧縮ひずみのみの片振りで载荷しているにもかかわらず、圧縮応力と引張応力が作用している。これはアスコン供試体の応力緩和がかなり大きいため、圧縮ひずみがピークを越えた直後に応力がゼロとなり、供試体の変形が元に戻る際に引張応力が発生したものと考えられる。

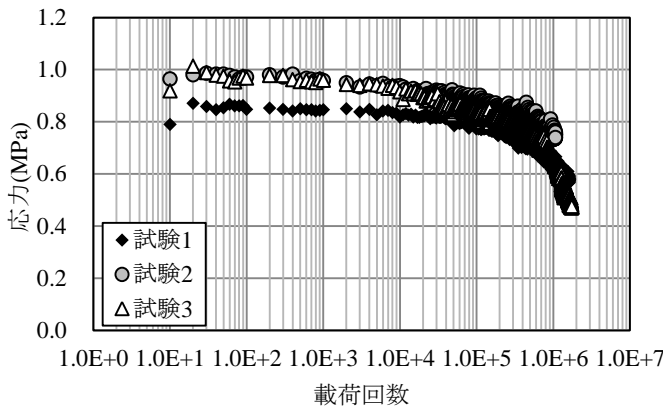


図-2 片振り曲げ疲労試験結果

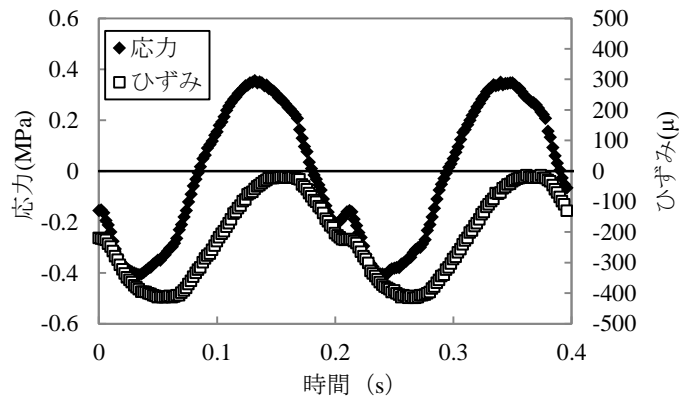


図-3 供試体に作用する応力およびひずみの波形

4. 多層弾性解析による表面引張応力の推定

4. 1 解析概要

多層弾性解析には多層構造解析プログラム GAMES (General Analysis of Multi-layered Elastic System) を使用した⁴⁾。輪荷重によって発生する表・基層底面の引張応力、および路盤・路床が元の形状に戻る復元作用によって発生する表・基層表面の引張応力を推定することで、トップダウンクラックが生じる可能性について検討した。解析条件を表-2 に示す。

表-2 多層弾性解析の解析条件

項目	解析条件
対象とする層	表・基層
層厚のモデル	A 交通, B 交通, C 交通, D 交通
表・基層の表面温度(°C)	0, 20, 40, 60

4. 2 解析結果および考察

本概要には、応力緩和が 100% 生じていると仮定した場合の A 交通, C 交通の舗装構造における解析結果を載せる. 図-4, 図-5 に解析結果を示す. それぞれ輪荷重および復元作用によって表・基層に生じる引張応力の値を算出した.

解析結果では, 温度が高いほど表面および底面とも, 引張応力が小さい. これは, 温度が高いほど弾性係数が小さく, 発生する応力も小さいからである.

A 交通の舗装構造では, 輪荷重によって底面に生じる引張応力と復元作用によって表面に生じる引張応力に大きな差は見られない. そのためトップダウンクラックが発生し易いとは言えない.

C 交通の舗装構造では, 輪荷重によって底面に生じる引張応力が A 交通の舗装構造の解析結果と比べてかなり小さい. これは C 交通の舗装構造には, 上層路盤を表・基層と同様のアスコン材料である瀝青安定処理層としたことにより, 曲げ変形の中立軸が表・基層と瀝青安定処理層の中間付近に位置するためだと考えられる. このことから, 瀝青安定処理層がある舗装では, 輪荷重によって表・基層底面に生じる引張応力よりも, 復元作用によって表・基層表面に生じる引張応力のほうが大きくなるため, トップダウンクラックが発生し易いと考えられる.

路盤の弾性係数を 1/2 倍とした解析結果を図-6 に示す. 路盤の弾性係数が小さい場合は, 輪荷重によって表・基層底面に生じる引張応力より, 復元作用によって表・基層底面に生じる引張応力が大きくなる. そのため, 路盤の支持力が小さい場合はトップダウンクラックが生じ易い条件となる.

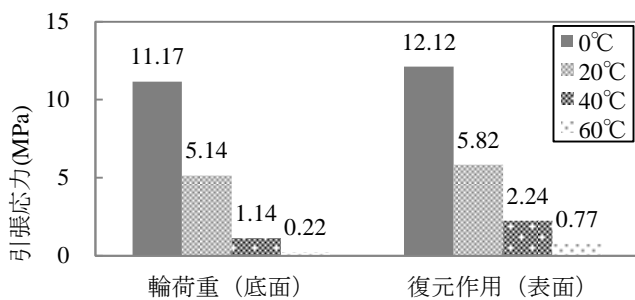


図-4 A 交通の舗装構造

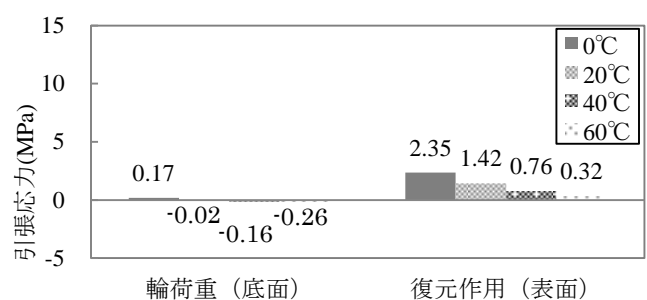


図-5 C 交通の舗装構造

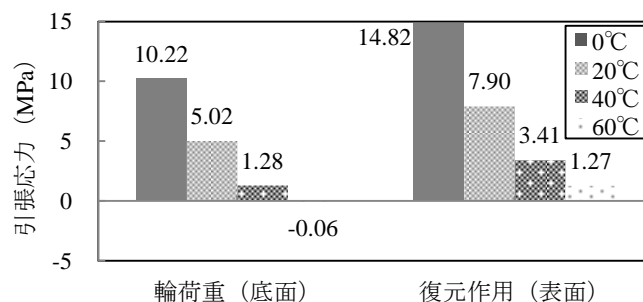


図-6 路盤の弾性係数を 1/2 倍とした A 交通の舗装構造

5. まとめ

アスコン層は応力緩和が大きいことから、輪荷重が通過した除荷の仮定で、舗装に生じた変形が復元する際に、アスコン層の表面で引張応力が生じる。そして、そのダメージが蓄積することによってトップダウンクラックが生じる。また、既存のトップダウンクラックの発生要因について考察したところ、舗装に瀝青安定処理層がある場合、または路盤の支持力が小さい場合に、トップダウンクラックが生じ易いとわかった。

参考文献

- 1) 平戸ほか：応力緩和に着目した表面縦ひび割れの発生メカニズムに関する一検討，舗装 Vol.52, No.6, pp.19-24, 2016.
- 2) (社)日本道路協会：舗装調査・試験法便覧〔第3分冊〕，pp.39-45, 2007.
- 3) (社)日本道路協会：舗装調査・試験法便覧〔第3分冊〕，pp.166-175, 2007.
- 4) 土木学会：多層弾性理論による舗装構造解析入門，舗装工学ライブラリー3, pp.6-49, 2005.3.