

アスファルト舗装のトップダウン疲労ひび割れに関する検討

福田道路株式会社 (元 土木研究所 交流研究員)	正会員	○渡辺	直利
土木研究所	正会員	井上	直
土木研究所	正会員	久保	和幸

1. はじめに

アスファルト舗装の構造設計を行う上で、舗装の破損形態を把握することは重要である。舗装設計便覧では、これまで用いられてきた経験にもとづく設計方法に加えて、多層弾性理論にもとづいた理論的設計方法が示されている。理論的設計方法では、舗装の構造的な破壊をアスファルト混合物層（以下、アスコン層）の疲労ひび割れと、路床を含めた舗装各層の圧縮変形による永久変形と定義しており、疲労ひび割れについてはアスコン層下面から発生する“ボトムアップ疲労ひび割れ”に限定している。しかし、近年の研究ではボトムアップ疲労ひび割れの他に、アスコン層表面から発生する“トップダウン疲労ひび割れ”の存在が確認されている¹⁾。海外においてはAASHTO(米国州道路行政官協会)のDesign Guide に実際の供用性調査にもとづいたトップダウン疲労ひび割れの疲労破壊基準式が示されている²⁾。

本報告は、トップダウン疲労ひび割れの要因と考えられている、アスコン層表面の引張ひずみを多層弾性解析により計算し、国内における供用性調査の結果を用いて、トップダウン疲労ひび割れが舗装の供用性に与える影響について検討を行ったものである。

2. 検討方法

2.1 ひずみの解析

土木研究所では、昭和 63 年度から全国の一般国道の指定区間を対象に試験舗装区間を設け、舗装の長期供用性に関する調査を行っている。調査箇所は全国 28 箇所、該当路線の舗装計画交通量は $N_6 \sim N_7$ 交通である。本検討においては、調査箇所の舗装断面と現地の温度条件を入力値とし、多層弾性解析ソフト (GAMES) によるひずみの解析を行った。解析モデルを図-1 に、解析における荷重条件、物理定数を表-1 に示す。アスコン層の弾性係数 E_1 、 E_2 は、現地の気温データから舗装体温度を推定し、表-2 に示す関係の近似式より決定した。

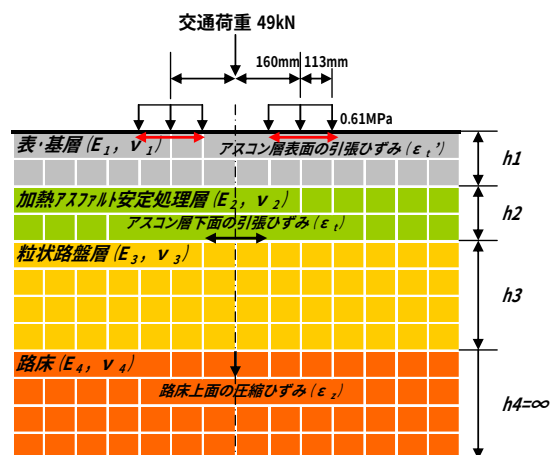


図-1 解析モデル

表-1 解析入力条件一覧

項目	入力値
荷重条件	
・ 載荷モデル	2点載荷
・ 鉛直荷重	24.5kN × 2
・ 解析モデル	4層
物理定数	
・ アスコン層	$E = 600 \sim 12000 \text{ MPa}$, $\nu = 0.35$
・ 粒調碎石	$E = 300 \text{ MPa}$, $\nu = 0.35$
・ クラッシャーラン	$E = 200 \text{ MPa}$, $\nu = 0.35$
・ 路床	$E = \text{FWDたわみ量より推定}$, $\nu = 0.4$

表-2 舗装体温度と弾性係数 E (MPa) の関係※

舗装体温度 (°C)	E_1	E_2
10	9000	6000
15	7000	5000
20	5000	3500
25	3500	2500
30	2500	2000

※舗装設計便覧から引用

2.2 供用性の分析

理論的設計方法にもとづき、49kN 輪荷重 1 回通過あたりの舗装のダメージ (D_a : アスコン層下面, D_a' : アスコン層表面) を算出した。 D_a' は式(1)~(3)に示す AASTHO の疲労破壊基準式を用いて算出した。 D_a 、 D_a' の算出結果から、舗装の累積

$$D_a' = \sum_{i=1}^T \frac{n_i}{N_f} \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$N_f = 0.00432 \cdot k_1' \cdot C \cdot \left(\frac{1}{\epsilon_t'} \right)^{3.9492} \cdot \left(\frac{1}{E} \right)^{1.281} \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$k_1' = \frac{1}{0.01 + \frac{12.0}{1 + e^{(15.676 - 2.8186 \cdot \text{hac})}}} \quad \dots \dots \dots (3)$$

D_a' : ダメージ, T : 区間数, n_i : 区間 i での輪荷重繰返し数, N_f : n_i に対応した許容繰返し数, ϵ_t' : 引張ひずみ, E : 弾性係数, hac: アスコン層の厚さ (inch)

キーワード: 理論的設計方法, 多層弾性理論, トップダウン疲労ひび割れ

連絡先: 〒959-0415 新潟市西蒲区大潟 2031 番地 TEL: 0256-88-5011 FAX: 0256-88-5012

ダメージであるアスコン層表面のトップダウン疲労度, アスコン層下面のボトムアップ疲労度を求め, 実際の路面性状調査結果をもとに舗装の供用性に関する分析を行った。

3. 検討結果

3.1 ひずみの算出結果

解析結果の一例として, 舗装表面温度を変化させた場合のアスコン層表面の引張ひずみ ε_t' の算出結果を図-2に示す。引張ひずみの発生位置は車輪端部であり, 舗装表面温度が高いほど ε_t' の値が大きくなる傾向が見られる。

3.2 供用性の分析結果

試験施工箇所における D_a , D_a' の算出結果を地域別に図-3に示す。 D_a' は年平均気温の低い北海道, 東北, 北陸地域で比較的小さく, D_a の $10^3 \sim 10^6$ 分の1程度となっている。

トップダウン疲労度と, 路面性状調査の分析結果を図-4に示す。トップダウン疲労度の増加に伴い, 縦ひび割れ率が増加する傾向が見られる。特に, トップダウン疲労度 1.0×10^{-6} 以上ではその傾向が顕著に現れており, トップダウン疲労度が縦ひび割れの発生と関係していることが推測される。

ボトムアップ疲労度と亀甲状ひび割れ率関係を図-5に示す。ボトムアップ疲労度の増加に伴い, 亀甲状ひび割れ率が増加する傾向が見られる。縦ひび割れの影響については, 早期に縦ひび割れが発生している箇所ほど, 亀甲状ひび割れの進行が早く, 早期に破壊に至る傾向が見られる。この結果から, トップダウン疲労ひび割れ発生は, ボトムアップ疲労破壊の進行に影響を与えているものと推測される。

4. まとめ

- 1) 多層弾性解析により, アスコン層表面に発生する引張ひずみを計算した結果, 車輪端部で引張ひずみが発生し, 舗装体温度が高いほどひずみの値が大きくなる傾向が見られた。
- 2) 疲労度の計算結果および試験舗装区間の路面性状調査結果から, トップダウン疲労度は縦ひび割れの発生と関係があり, 縦ひび割れが早期に発生している箇所では, ボトムアップ疲労破壊による亀甲状ひび割れが発生し易いことを確認した。

5. おわりに

トップダウン疲労ひび割れについては, アスコン層表面の引張ひずみの他にも, アスファルトの劣化等の様々な要因が発生に影響していると考えられており³⁾, 疲労破壊基準式を導くためにはこれらの影響を把握し, 検討を続けていく必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 東, 吉田, 小森谷, アスファルト舗装の表面ひび割れに関する研究: 第24回日本道路会議一般論文集, p316-p317, 2001.10
- 2) AASHTO DESIGN GUIDE 2002: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2002
- 3) 内田, 黒川, 姫野, 西澤, アスファルト混合物のクラックに対する高温時のヒーリング特性: 土木学会舗装工学論文集, 第7巻, p29-1-p29-11, 2002.12

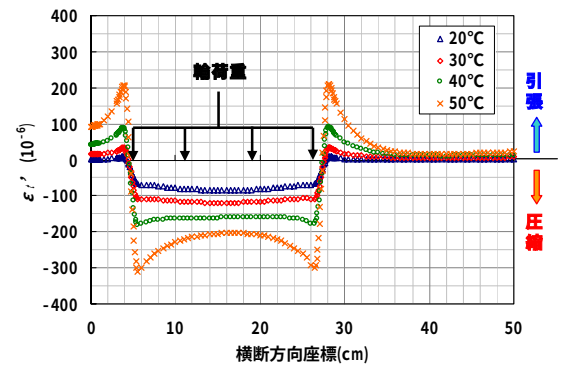


図-2 表面引張ひずみ ε_t' の解析結果

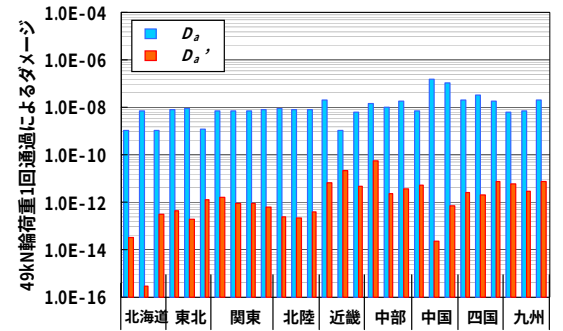


図-3 D_a , D_a' の算出結果

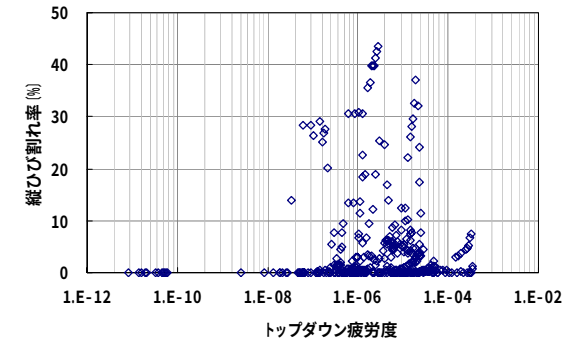


図-4 トップダウン疲労度と縦ひび割れ率の関係

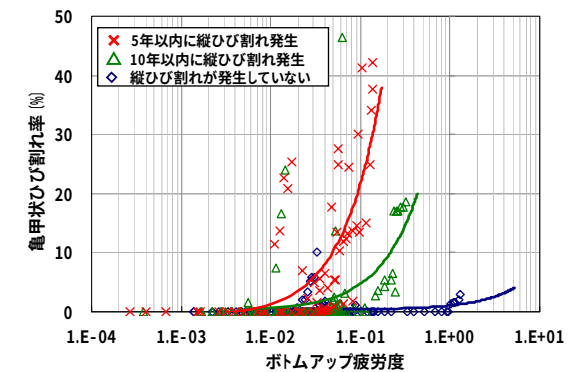


図-5 ボトムアップ疲労度と亀甲状ひび割れ率の関係