

散逸エネルギー理論を用いた疲労破壊規準による鋼床版舗装のひび割れに関する研究

中央大学大学院 学生会員 ○金子真嗣 久保寺貴彦

中央大学理工学部 フェロー

姫野賢治

1.背景

わが国の舗装は主にアスファルト舗装を用い、これは鋼床版を用いた道路橋でも同様である。しかし、繰り返し交通荷重による混合物の曲げ疲労現象が原因と見られるひび割れが発生しており、さらに鋼床版舗装では鋼床版の剛性が低い、リブや桁の接合部で局部的に大きな曲げ変形を生じ、それによって舗装の橋軸方向に縦ひび割れが発生している。これまでの調査によれば、鋼床版舗装の縦ひび割れには、比較的早期に車軸走行部に集中して一定の間隔で平行に表面部から発生すること、この間隔はほぼ縦リブの取り付け位置間隔にほぼ一致すること、縦リブのウェブ接合部ばかりでなくウェブ間や縦リブ間にも生ずることなどの特徴がある。このような鋼床版舗装の縦ひび割れ発生メカニズムの解明には、鋼床版の構造、交通量、温度の関係の把握、交通荷重による舗装の力学的な理解、鋼床版舗装用アスファルト混合物の破壊性状の把握などが必要である。

2.目的

車の走行時の移動荷重がどうアスファルト混合物の疲労破壊に影響を与えるかを調べるために多層弾性理論と有限要素法により静的な各応力を車の進行方向(X 軸方向)1cm 毎に求め、その中で最大応力と最小応力の差を移動荷重の応力と考え、それを解として 1985 年に報告された散逸エネルギー理論を用いたアスファルト混合物の疲労破壊規準を適用して一般舗装と鋼床版舗装の疲労破壊に対する評価をする事を目的とする。

3.解析概要

3.1.一般舗装について

まず、テスト解析として扱い易い一般舗装について考えた。主応力を算出するために多層弾性理論(GAMES)を用いた。多層弾性理論を用いた解析は通常静的解析であるので目的でも述べたように移動荷重をかけた時の各層の応力を知るために本研究では各 3 方向の応力を車の進行方向(X 軸方向)1cm 毎に求め、その中の最大

表-1 一般舗装の材料特性

層番号	弾性係数(MPa)	ポアソン比	層厚(cm)
1	2500	0.35	10.00
2	280	0.35	35.00
3	50	0.35	半無限の深さ

応力と最小応力の差を移動荷重の応力と考え、それらを三次の主応力を求める方程式に代入し主応力を算出した。それらの値を基に疲労破壊規準を用いて舗装を評価する。解析条件としては 5t 輪荷重換算輪数を考慮し ISO 単位を用いて 49kN の輪荷重をかけた。その他の条件を左図に示す。

3.2.鋼床版舗装について

鋼床版舗装では多層弾性理論で扱えないため有限要素法(Nastran)を用いて主応力を算出する。モデルは 1 - rib モデルを解析した。その後の計算は一般舗装と同様である。解析、モデル等の諸条件に関しては以下に示す。

表-2 鋼床版舗装の材料特性

	弾性係数(MPa)	ポアソン比	層厚(cm)
密粒 As	1.18×10^5	0.35	7.5
鋼床版	2.05×10^5	0.30	1.2

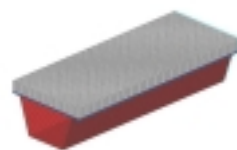


図-1 1 - rib モデル

キーワード 鋼床版舗装, 縦リブ, 散逸エネルギー理論, 多層弾性理論, 温度分布

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科道路研究室 TEL 03-3817-1796

3.3.疲労破壊規準を用いた疲労破壊回数の決定

上記で求めた主応力を用いて散逸エネルギー理論を用いたアスファルト混合物の疲労破壊規準に各値を代入し、疲労破壊回数を決定する。なお三次元軸対称問題の場合、車軸が一軸通過する時にバインダーの粘性成分によってアスファルト混合物層下面で単位体積当たりで散逸するエネルギーは、載荷応力がほぼ正弦波で表される場合、各主応力を用いて、以下のように表すことができる。

$$w_f = \left(\sum_{i=1}^3 \sigma_i^2 - \nu \sum_{i \neq j} \sigma_i \sigma_j \right) \pi \sin \phi / S \quad \dots$$

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$: 主応力 (Pa)

S: アスファルト混合物のスティフネス (Pa)

ν : アスファルト混合物のポアソン比

とし、また位相角 ϕ については粘弾性体の時 $0 \sim \pi/2$,
弾性体の時 0 , 粘性体の時 $\pi/2$ とする。

又、破壊回数については

$$N_f = \left(\frac{1}{a_9} w_f \right)^{\frac{1}{a_{10}}} \quad \dots$$

ここで

$a_9: 149000 \quad a_{10}: -0.419$ とする。

4.解析結果

以上に基づき解析した結果を示すが、本研究ではアスファルト混合物のスティフネスの高低、両状態を考慮するため $S_{mix}=470\text{MPa}, 5.3\text{GPa}$ の 2 つの場合について解析した。またバインダーはストアス 60/80 とする。以下、解析結果の一部を示す。

4.1.一般舗装の解析結果

$S_{mix}=5.3\text{GPa}$ の時 (舗装の表面: $Z=0$ の時)

$\sigma_1=1.62, \sigma_2=1.44, \sigma_3=0.54$ (MPa)

$$w_f = 1.51 \times 10^3 \text{ (J/m}^3\text{)} \quad N_f = 5.7 \times 10^4 \text{ (回)}$$

$S_{mix}=470\text{MPa}$ の時

$\sigma_1=1.62, \sigma_2=1.44, \sigma_3=0.54$ (MPa)

$$w_f = 1.08 \times 10^4 \text{ (J/m}^3\text{)} \quad N_f = 5.2 \times 10^2 \text{ (回)}$$

4.2.鋼床版舗装の解析結果

$S_{mix}=5.3\text{GPa}$ の時 (舗装の表面: $Z=0$ の時)

$\sigma_1=1.42, \sigma_2=1.16, \sigma_3=0.70$ (MPa)

$$w_f = 1.10 \times 10^3 \text{ (J/m}^3\text{)} \quad N_f = 1.2 \times 10^5 \text{ (回)}$$

$S_{mix}=470\text{MPa}$ の時

$\sigma_1=1.42, \sigma_2=1.16, \sigma_3=0.70$ (MPa)

$$w_f = 7.95 \times 10^3 \text{ (J/m}^3\text{)} \quad N_f = 1.1 \times 10^3 \text{ (回)}$$

5.結論

5.1.一般舗装について

多層弾性理論による解析値はアスファルト混合物の単位散逸エネルギーと疲労破壊回数の関係のグラフから確かめられたようにほぼ一直線上に位置し、多層弾性理論による解析結果の信頼性が確認できた。

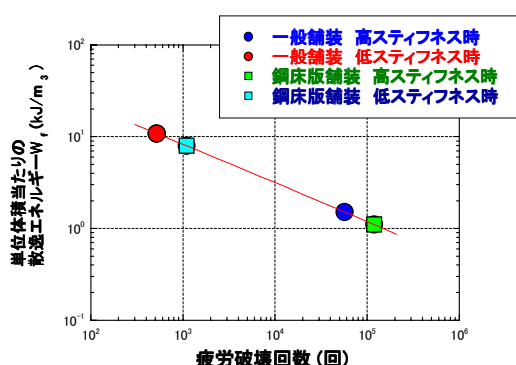


図-2 W_f と N_f の関係

5.2.鋼床版舗装について

有限要素法による解析値も同様に一直線上に位置し、解析結果の信頼性が確認できた。これにより本研究で取り扱ったような有限要素モデルを用いて温度分布による鋼床版舗装のひび割れなど他因子による破壊性状についても推定できると考えられる。