

散逸エネルギー理論を用いた鋼床版舗装の表面縦ひび割れの解析

前田道路株式会社 ○正会員 田中正典
中央大学理工学部 フェロー会員 姫野賢治

1. はじめに

鋼床版舗装とは、縦リブ及び横リブにより補強された鋼床版の上に施工された舗装である。一般的に床版の上にグースアスファルト舗装のような不透水層を設け、その上に表層として改質アスファルト層を敷いた二層構造となっている。鋼床版舗装における重要な問題点は、橋軸方向に比較的早期に表面ひび割れが発生することである。この縦ひび割れは、主に車輪走行位置付近に顕著に現れる事から、交通荷重の繰り返しによる疲労破壊であると予測することができる。そこで本研究では、実際にひび割れの発生している橋梁舗装について、その構造を忠実に再現し、舗装の局所的な変形を考慮する事の出来るプログラムを用いて構造解析を行い、アスファルト混合物の疲労破壊基準である散逸エネルギー理論を適用し、ひび割れ発生の原因を探る事を目的とした。

2. 構造解析

2-1. 解析プログラム

今回解析に用いたのは、帯板要素（Strip element）と角柱要素（Prism element）を接着要素（Link element）で結合したSLPE（Strip-Link-Prism Element）モデルに基づいたFEMプログラム、SLPEプログラムを使用する事で構造解析を行った。帯板要素は、平板の曲げ変形をモデル化した要素であり、デッキプレート、縦リブを含む鋼床版全体の構造を細かく考慮することが可能である。また、角柱要素は舗装を代表し、8節点の要素なので、厚さ方向の変形を含む局所的な変形を表現することができる。また接着要素は、帯板要素と角柱要素を接合する役割を持っており、ちょうどデッキプレートと舗装の間に施される接着層の機能をモデル化することになる。このSLPEプログラムでは、荷重に橋軸方向の座標を与える事によって、動的荷重を考慮することが可能であるため、本研究では動的荷重を対象に解析を行った。

2-2. 解析対象

本研究では、埼玉県戸田市の国道298号線、荒川を渡る区間に架けられた上下線並列の等径間斜張橋である幸魂大橋の第二橋（四径間連続鋼箱桁橋）について、内回り方向におけるひび割れ発生箇所を解析の対象とした。断面図に基づいて箱桁のある部分を、SLPEモデルに基づいた要素に分割した。

2-3. 解析概要

表面縦ひび割れは、車輪走行部直下に顕著に現れることから、本研究では舗装表面のひび割れ位置について、荷重位置の変化によるひずみ、応力の変化及び散逸エネルギーの比較を行なった。また、舗装表面と、表層と基層との境界面及びデッキプレートと基層の境界面について散逸エネルギーの違いを調べた。

3. 散逸エネルギー理論

粘弾性体の位相角は $0 \sim \pi/2$ である。一般に、粘性を持った物体に外力が加わり、内部に周期的な応力と周期的な応力及び位相角 ϕ だけずれたひずみ

$$\sigma = \sigma_0 \sin \omega \cdot t \quad , \quad \varepsilon = \varepsilon_0 \sin(\omega \cdot t - \phi)$$

とが生じた場合に、外力が物体に対して一周単位体積当りになす仕事量は、以下の式で与えられる。

$$\omega_0 = \pi \sigma_0 \varepsilon_0 \sin \phi$$

キーワード：鋼床版舗装、表面縦ひび割れ、疲労破壊、散逸エネルギー、SLPEモデル

〒141-8665 東京都品川区大崎1丁目11-3 前田道路株式会社 Tel 03-5487-0011（代表）

ω_0 : 一周期単位体積当りの仕事量 $[J/m^3]$, ε_0 : ひずみ振幅, σ_0 : 応力振幅 $[Pa]$

ω : 周波数 $[Hz]$, t : 時間 $[s]$

この外力からの仕事は物体内部の減衰要素により一周期単位体積当りに散逸されるエネルギーの量と一致する。よってこれを単位散逸エネルギーと呼ぶ。

4. 解析結果

4-1. 荷重位置の変化による影響

荷重位置を変化させたときの、それぞれの位置のひび割れ発生箇所における単位散逸エネルギーを図1に示す。

ひび割れ発生位置における散逸エネルギーは荷重位置に影響を受ける。今回解析を行った構造では、荷重位置8及び荷重位置9において大きな散逸エネルギーが発生していた。この位置は、タイヤの左側約6cmの場所がひび割れ直上にある場合であった。また、対称的に、タイヤの右側約6cmがひび割れ位置にくる場合も比較的散逸エネルギーが高い値を示した。散逸エネルギーは荷重位置の微妙な変化によって異なることがわかった。また、いずれのケースにおいても、ひび割れ発生箇所では引張りひずみは生じていなかった。

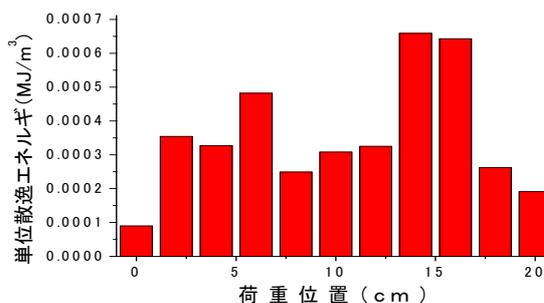


図1. 荷重位置による散逸エネルギーの変化

4-2. 舗装の境界面についての検討

多層弾性理論などの従来の破壊モデルにおいては、荷重がかかると表層と基層の境界面において引張りひずみが生じ、表層下部からひび割れが発生して表面まで進展するという考え方が一般的であった。しかし鋼床版における縦ひび割れの場合、ひび割れは表面から舗装下部に向かって発展し、従来の力学的モデルではこの表面からのひび割れを説明することは出来なかった。そこで、ひび割れ位置における舗装表面、表層と基層の境界面、及び基層とデッキプレートとの境界面について、それぞれ散逸エネルギーを計算し、比較を行なうことにした。結果を図2に示す。

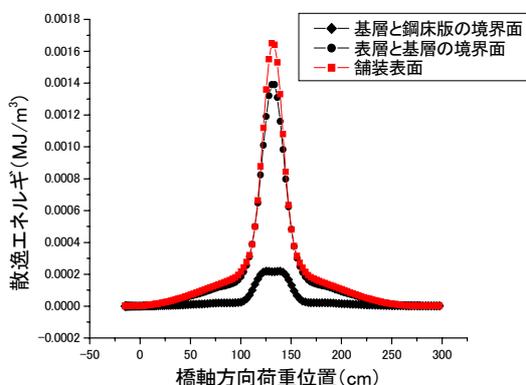


図2. 舗装境界面における散逸エネルギーの比較

その結果、引張りひずみによりひび割れが生じるとされてきた表層と基層の境界面よりも舗装表面の散逸エネルギーの方が高い、もしくは同等のエネルギーが生じている事が明らかになった。これは、舗装表面から疲労破壊が起きる事を表す。これは横断方向のいずれの荷重位置においても同様の結果を示した。

5. 結論

散逸エネルギーは荷重直下において高い値となる。今回解析を行った橋梁において、舗装表面の縦ひび割れは荷重直下に生じていることから、ひび割れは引張りひずみによるものではなく、疲労破壊によるものであると推測される。

参考文献

- 1) 姫野賢治, 渡辺隆, 竹井邦彦, 勝呂太: 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基準, 東工大土木工学科研究報告 No.35(Dec,1985)
- 2) 西澤辰男: 帯板要素と角柱要素を結合した鋼床版舗装構造解析モデルの開発, 土木学会舗装工学論文第四巻(Dec,1999)