

タイヤ軌跡分布を考慮した疲労評価手法の検討

阪神高速道路管理技術センター 正会員 ○高田 佳彦
 阪神高速道路株式会社 正会員 田畑 晶子

1. はじめに

既設鋼床版には、デッキプレート貫通き裂など多様なき裂損傷が発見されているが、これらのき裂は、点検結果などからタイヤの通過する近傍に集中する傾向がある。鋼床版の疲労損傷は、輪荷重による部材の局部的な曲げ変形に伴う応力が主要因であると考えられる¹⁾が、この応力は荷重の大きさとその位置の大きく依存する。鋼床版は輪荷重を直接支持し、载荷に伴う影響面は隣接する縦リブとその周辺と小さく、タイヤ軌跡分布の影響を大きく受ける。応力頻度計測では荷重頻度と走行位置を反映した応力性状を把握できるが、実橋に幅広く実施するには経済的に困難である。そこで、既知のタイヤ軌跡分布データおよび応力情報から、鋼床版の応力性状を反映した疲労評価手法を検討し、鋼床版の疲労損傷に与える影響について評価を行った。

2. 等価応力範囲の定義

変動振幅応力と同じ繰返し数で、等価な疲労被害を与える応力として、等価応力範囲 $\Delta\sigma_e$ は線形被害側により以下の式で与えられる。

$$\Delta\sigma_e = \sqrt[m]{\sum \Delta\sigma_i^m \cdot n_i / \sum n_i} \quad (1)$$

$\Delta\sigma_i$: 継手に作用する応力範囲 (MPa)

n_i : 応力範囲の繰返し数

m : 疲労設計曲線の勾配で $m = 3$

走行タイヤの通過位置 x は、正規分布にしたがうことが知られており、その確率密度関数は、平均 μ および分散 σ^2 により次式で与えられる。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

図-1 は鋼床版橋の走行タイヤの軌跡分布の頻度計測結果であるが²⁾、この軌跡分布を考慮した等価応力範囲 $\Delta\sigma_{eL_x}$ を検討する。

(1)式における応力範囲の繰返し数のかわりに、(2)式の確率密度関数を用いると、

$$\sum n_i \cong \int_0^{3250} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx = 1 \quad (3)$$

より、以下の式が与えられる。

$$\Delta\sigma_{eL_x} = \left[\int_0^{3250} \left\{ \Delta\sigma_{L_x}(x + L_x - \mu) \right\}^3 \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \right]^{1/3} \quad (4)$$

なお、積分範囲は車線幅としている。ここに図-1 に示すように L_x : 車線左側レーンマーク端から着目溶接部までの距離(図では、Uリブ縦溶接線)

μ : 車線左側レーンマーク端から走行車線のタイヤ最頻度位置(タイヤ中心)までの距離

$\Delta\sigma_{L_x}(x)$: タイヤ位置: x において、 L_x に位置する着目溶接部に作用する応力範囲

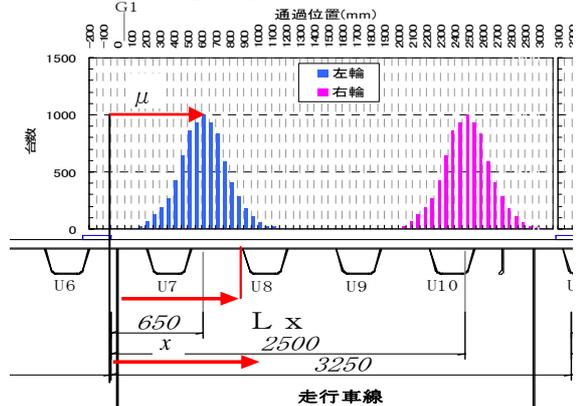


図-1 タイヤ軌跡とUリブ縦溶接線位置の概念

3. 継手に作用する応力範囲

(1) 測定方法

作用応力範囲は、試験体による载荷実験やFEM解析により求めることができるが、本検討では実橋で測定された応力を用いた。文献 3)において阪神高速道路湾岸線における表-1 に示す鋼床版橋の走行車線直下の箱桁内で実働応力測定が行われており、その計測値を用いた。検討対象は、デッキとUリブとの溶接部(以下、縦溶接線という)、およびUリブ突合せ部とし、図-2 にひずみゲージの設置位置を示す。測定断面は、Uリブと横リブとの交差部(以下、交差部という)、Uリブ支間中央(以下、支間部という)を対象とした。

表-1 鋼床版橋の構造諸元

形式	4径間連続鋼床版2箱橋
規模	支間:58.1+82.2+58.1+55.1m, 幅員:13.7m, 3車線(上下線分離構造)
時期	供用:平成6年4月, 竣工:平成6年3月
鋼床版諸元	デッキプレート厚 $t=12$ mm, Uリブ厚 $t=6$ mm 横リブ間隔 $L=2.4$ m(計測箇所)
舗装厚	$t=80$ mm(表層 $t=35$ mm, 基層 $t=45$ mm)

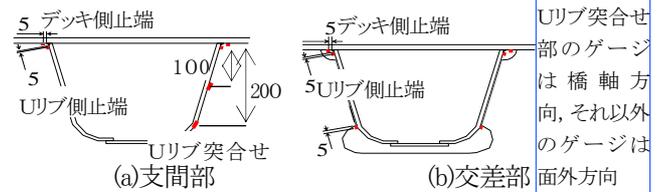


図-2 ひずみゲージ設置位置

測定は、車線規制下で重量調整した総重量 241.2kN(前輪

キーワード 鋼床版, 疲労き裂, タイヤ軌跡分布, 等価応力範囲, 正規分布

連絡先 〒542-0062 大阪市中央区南本町4-5-7 東亜ビル2F (財)阪神高速道路管理技術センター tel 06-6244-6031

67kN, 前後輪 89.3kN, 後後輪 84.9kN)の大型3軸トラックを、時速2km程度の低速走行し、図-3のように発生応力の応答波形から最大応力と最小応力の差から応力範囲を求めた。計測時のアスファルト(表層)の温度は、平均15.0°Cであった。

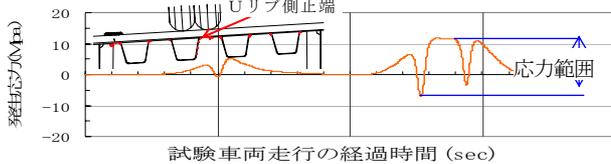


図-3 試験車両走行により着目ゲージに発生する応力波形

(2) 影響線載荷に伴う応力範囲測定結果

図-4は着目UリブであるU4における縦溶接線のデッキ側およびUリブ側の応力範囲を、横断方向の走行位置に対して整理した結果である。(a)支間部において、左右のゲージを比較すると、デッキ側Uリブ側共応力範囲はほぼ等しく対称に分布している。右側の応力範囲は、デッキ側(DR)は着目縦溶接線直下で最大23.6MPa、Uリブ側(UR)は隣接溶接線直下で最大33.5MPaである。車両走行に伴い、車軸載荷による局所変形に加えて、図-3でも明らかであるが鋼床版の比較的広い範囲の変位に誘起される応力が発生している。

一方、(b)交差部では、デッキ側(DR)の方が高く、左側の縦溶接線で最大21.5MPa、Uリブ側(UR)は着目縦溶接線直下で最大16.1MPaである。

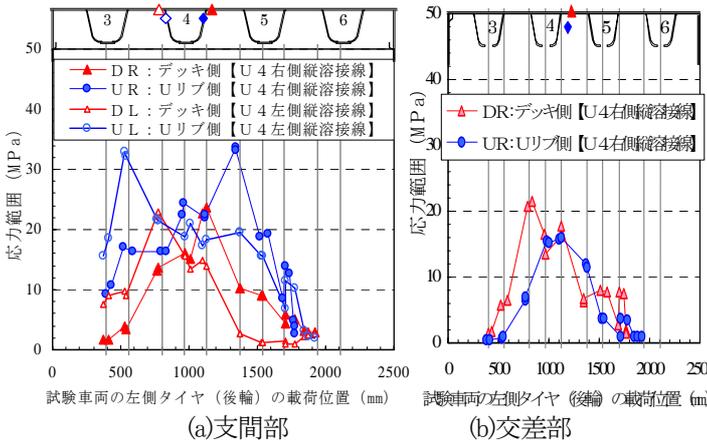


図-4 横断方向の走行位置に対する縦溶接線の応力範囲

4. 等価応力範囲の算出

(1) 数値積分

前述した式(4)を参照して、実測で得られた応力範囲に対して等価応力範囲を計算した。図-5は、図-3と同様の載荷で求めたUリブ突合せ部に対するタイヤ軌跡の確率密度関数の重ね合わせ積分の概念図である。上記で求めた応力範囲の分布を関数 $(\Delta\sigma_x(x))$ として、その3乗とタイヤ軌跡の確率密度関数の積をx方向に数値積分する。その結果、着目溶接位置に対して、タイヤ最頻度位置: μ の関数として等価応力範囲が算出できる。

(2) 計算結果

図-6は、図-4の縦溶接線の応力範囲に対して算出した、左側タイヤの最頻度位置における等価応力範囲である。図-4と同様デッキ側Uリブ側共ほぼ等しく対称に分布している。(a)支間部における等価応力範囲の最大値は、DRで18.1MPa、URで24.6MPaと、応力範囲に対してそれぞれ77%、73%とタイヤ軌跡

の分布により低下している。一方、(b)支間部では、等価応力範囲は、最大値がDRで17.4MPa、URで14.2MPaと、応力範囲に対してそれぞれ81%、88%と支間部より高いが、これは、交差部では応力範囲が高い区間は着目する縦溶接線を含むUリブ幅近傍と狭く、タイヤ軌跡分布による低減効果が低いからである。

Uリブ突合せ部については、図-5の応力範囲に対して算出した等価応力範囲の最大値は、h位置で27.4MPa、h/2位置で17.1MPaと、応力範囲に対してそれぞれ91%、96%で、それらの差が極めて小さくなっている。このように、載荷位置に対する応力範囲の性状は、疲労への影響が大きいことが明らかである。

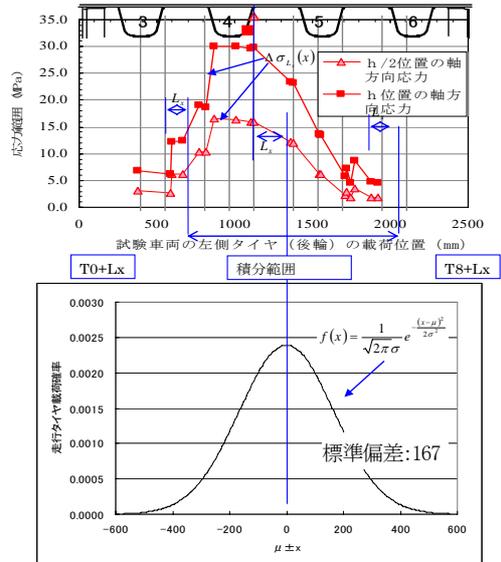


図-5 Uリブ突合せ部の軸方向の応力範囲に対するタイヤ軌跡の確率密度関数の重ね合わせ積分の概念図

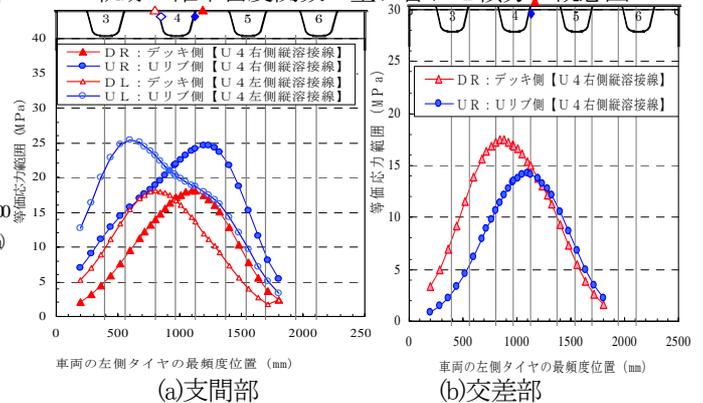


図-6 タイヤ最頻度位置に対する縦溶接線の等価応力範囲

5. 最後に

鋼床版の疲労評価において、タイヤ軌跡分布を考慮することで信頼性および精度向上が図れる。実鋼床版橋において、累積交通量のデータ、車線におけるタイヤ軌跡が推定できれば、FEM解析および応力測定結果を用いることで、実橋の疲労損傷に対する累積損傷度の算出や疲労評価が可能になる。

参考文献

1)三木, 菅沼, 富澤, 町田文孝:鋼床版箱桁のデッキプレート近傍に発生した疲労損傷の原因, 土木学会論文集, No.780/ I-70, pp.57-69, 2005.1. 2)高田, 木代, 中島, 薄井:BWIMを応用した実働荷重と走行位置が鋼床版の疲労損傷に与える影響検討, 構造工学論文集, Vol.55A, 2009.4. 3)高田, 中島, 青木:ポリマーセメント舗装による実橋の既設鋼床版の疲労対策効果の検討:土木学会第5回道路橋床版シンポジウム講演論文集, pp.99-104, 2008.6.