

既設鋼床版のビード貫通き裂の発生要因に関する一考察

阪神高速技術(株) 正会員 ○高村 義行
 阪神高速道路(株) 正会員 杉山 裕樹
 阪神高速道路(株) 正会員 徳増 健

1. はじめに

近年、鋼床版には数多くの疲労き裂が報告されている。中でも、デッキプレートとUリブとの溶接ビードが貫通するき裂は、デッキ本体への過度の進展が懸念される。しかし、このビード貫通き裂の発生および進展メカニズムは未だ明確になっていない。しかし、文献¹⁾によれば、溶接部を詳細にモデル化したFEM解析によって、軸載荷によるデッキのたわみ変形とそれに追従するUリブ腹板の面外変形が、ルート部の発生応力に影響を与えることが報告されている。

そこで、Uリブ溶接部近傍における発生応力と変形挙動を把握することを目的とした実橋載荷試験を実施し、その結果からルート部応力を推定した分析と考察を行ったので報告する。

2. 実橋載荷試験結果の概要

実橋はU9とU12にビード貫通き裂が多数発生しており、き裂要因を分析するため、このU12に着目した実橋載荷試験を実施した。図-1に示すCASE-1~CASE-7位置に後前軸が載荷したときのU12右側溶接部近傍のUリブ応力およびルート部内側の開閉量を図-2に示す。

CASE-1では、内側に引張、外側に圧縮応力が生じており、Uリブ内側に引張応力が生じる曲げの影響が大きい。一方、CASE-2~4では、内側外側とも圧縮応力が生じており、軸圧縮力の影響が大きい。また、CASE-5~7では、CASE-1と反対に内側に圧縮応力が生じる曲げの影響が大きい。ただし、ルート部内側の開閉量は、全ての載荷ケースで閉じる方向の変形を示しており、特にCASE-3~5の開閉量が大きい。

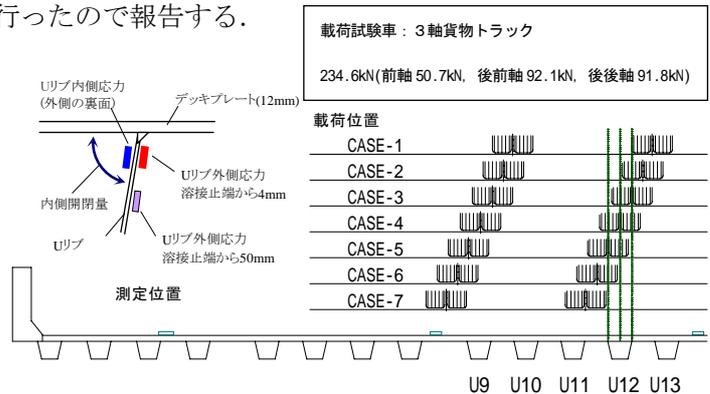


図-1 後軸載荷位置および測定位置

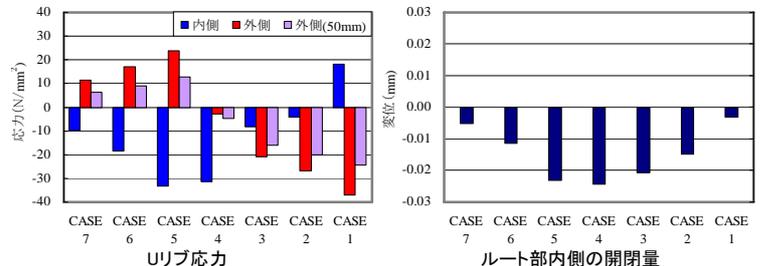


図-2 実橋載荷試験結果(U12右側溶接部・後前軸載荷時)

3. ルート部応力の推定

ルート部応力の推定には、曲げによる影響と軸力による影響を分けた評価が必要であると考えた。まず、溶接部近傍のUリブ応力(図-3の測点a)を式(1)および式(2)に示すように、曲げ応力と軸応力に分けることとした。

[Uリブ曲げ応力] $\sigma_a = (\sigma_{a,in} - \sigma_{a,out}) / 2$ ---(1) [Uリブ軸応力] $\sigma_{a,N} = \sigma_{a,out} + \sigma_a$ ---(2)

ルート部応力は、図-3の測点aと測点bのモーメント比ならびにUリブ厚とのど厚の比を考慮して、曲げ応力と軸応力をそれぞれ式(3)および式(4)より算定した。この算定方法を評価方法①とする。

[曲げ応力] $\sigma_{r,M} = \left\{ \sigma_a + \frac{l_r + l_a}{l_b - l_a} (\sigma_a - \sigma_b) \right\} \left(\frac{t_u}{t_r} \right)^2$ ---(3) [軸応力] $\sigma_{r,N} = \sigma_{a,N} \left(\frac{t_u}{t_r} \right)$ ---(4)

ここに、 l_r : 脚長(7mm), l_a : 溶接止端から測点aまでの距離(4mm), l_b : 溶接止端から測点bまでの距離(50mm), σ_b : 測点bの曲げ応力(= $\sigma_{a,out} - \sigma_{a,N}$), t_u : Uリブ厚(6mm), t_r : のど厚(5mm)とする。

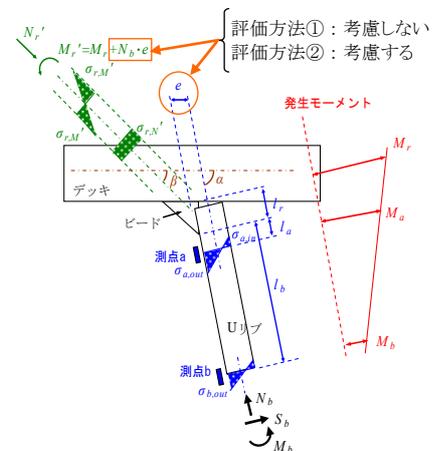


図-3 ルート部応力算定モデル

キーワード 鋼床版, Uリブ, ビード貫通き裂, 実橋載荷試験, ルート部応力推定

連絡先 〒550-0005 大阪市西区西本町1丁目4番1号 阪神高速技術(株)調査点検課 TEL 06-6110-7200

次に、軸載荷により生じる軸力が、Uリブ中立軸とビード中立軸が偏心していることにより曲げを生じさせると仮定したものを評価方法②として、式(5)および式(6)より算定する。

[曲げ応力]
$$\sigma_{r,M}' = \sigma_{r,M} + e\sigma_{a,N} \left(\frac{6t_u}{t_r^2} \right) \quad \text{---(5)}$$

[軸応力]
$$\sigma_{r,N}' = \sigma_{a,N} \left(\frac{t_u}{t_r} \right) \cos(\alpha - \beta) - (\sigma_a - \sigma_b) \frac{t_u^2}{6(l_b - l_a)t_r} \sin(\alpha - \beta) \quad \text{---(6)}$$

ここに、 e : Uリブとビード中立軸との偏心量(溶込み量 25%を想定して 3.5mm とする), α : Uリブとデッキの内角(77.5°), β : ビード中立軸線とデッキとの内角(53.7°)とする。

これら、2つの方法により算定した後軸載荷時における U12 右側溶接部のルート部応力を図-4 に示す。

評価方法①による曲げ応力は、CASE-1 で 44N/mm² の引張応力が生じ、CASE-5 は 45N/mm² の圧縮応力が生じた。一方、評価方法②では全載荷ケースで圧縮応力となり、CASE-4 で最大 107N/mm² となった。これは、ルート部内側の変形が、全載荷ケースで閉口変形となる状況と一致している。

4. ビード貫通き裂の発生の評価

載荷ケースに対する前軸および後軸通過時のルート部応力範囲から算定した疲労強度(D 等級)と、実測した大型トラックの通行頻度(n_{20} , 20年間分, 図-5)を考慮し、損傷度(D)として評価を行った(式(7)). なお、疲労強度算定時の応力範囲は、文献²⁾を参考に曲げ応力を 0.8 倍として算出した(式(8)).

$$D = \sum_{CASE-X} \frac{n_{20}}{N} \quad \text{---(7)} \quad N = \frac{2 \times 10^6 \times (100)^3}{(\Delta\sigma_{r,N} + 0.8\Delta\sigma_{r,M})^3} \quad \text{---(8)}$$

また、各 Uリブのルート部応力範囲は、全て計測していないため、U12 の左右溶接部近傍の測定結果から算出した応力範囲を適用した。

評価結果をまとめる際、き裂が発生している U12 右の損傷度を 1 とし、各 Uリブの損傷度を比で現わしたグラフを図-6 に示す。

評価方法①では、CASE-1 のような Uリブに対して偏心載荷される曲げの影響が大きく、U9(右), U10(左), U12(右)および U13(左)が同程度の値となった。一方、評価方法②では、CASE-3,4 のような溶接部直上載荷時の軸力による偏心曲げの影響が大きく、U9(右)と U12(右)が突出してき裂を生じやすい結果となった。載荷試験を実施した実橋は、U9 右側および U12 右側、すなわち大型トラックの最頻通過位置直下の溶接部に、ビード貫通き裂が確認されている。

したがって、評価方法②による評価の方が、実橋のき裂発生状況と同様の傾向を示す結果となった。

5. まとめ

実橋載荷試験の結果に基づいて、Uリブに発生する応力を曲げと軸力による応力に分け、さらに、軸力の偏心曲げによる圧縮応力を考慮してルート部応力を算定した。この算定結果に交通特性を考慮して損傷度評価を行うと、実橋のき裂発生状況と同様の傾向を示す結果が得られた。

このことから、ビード貫通き裂の発生要因として、溶接部直上の載荷時に発生する軸圧縮力による偏心曲げの影響が大きいものと考えられる。

参考文献

- 1) ルートを起点に発生進展するき裂に着目した既設鋼床版の応力解析, 構造工学論文集, Vol.56A, 2010.3.
- 2) 鋼構造物の疲労設計指針・同解説, 日本鋼構造協会 1993.4.

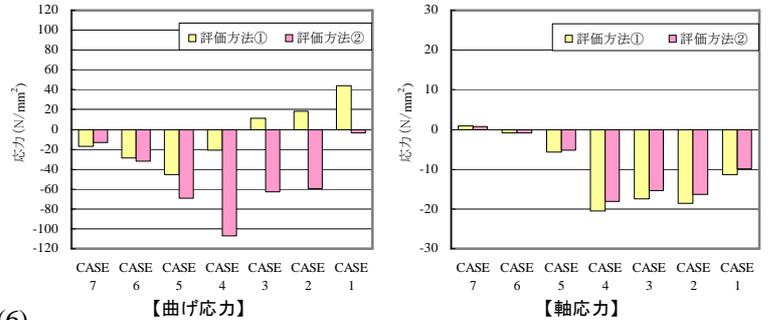


図-4 右側溶接部のルート部応力算定結果

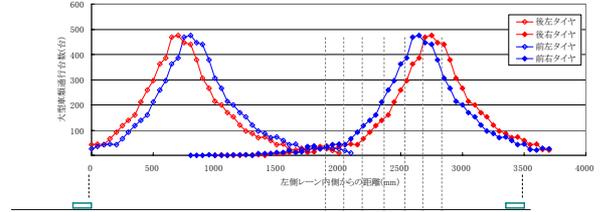
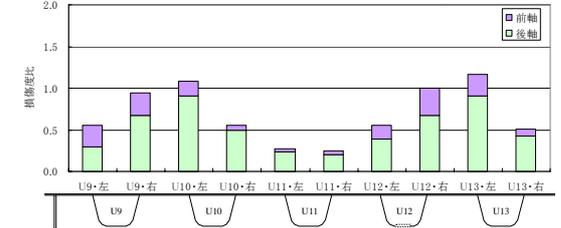
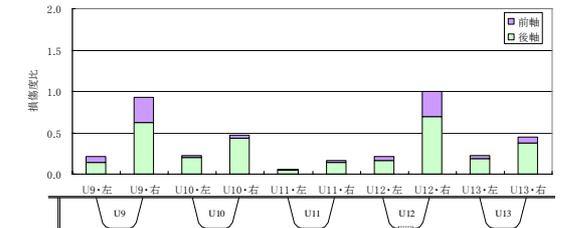


図-5 大型トラックの通行頻度(72時間)



(a) 評価方法①による結果



(b) 評価方法②による結果

図-6 評価結果