

第VI部門

鋼床版デッキとUリブ溶接部に発生した疲労亀裂の炭素繊維集成板を用いた補修・補強

タカラ技研（株）	正会員	○弓倉 啓右
新日本石油（株）		竹村 振一
（株）平設計	正会員	山田 稔
大阪大学名誉教授	正会員	堀川 浩甫

1. はじめに

近年、交通量の多い橋梁を中心として鋼床版に発生した疲労亀裂が報告されている。その中の一つであるデッキプレート（以下、デッキと略する.）と U リブとの縦方向溶接部に発生する疲労亀裂は、自動車の輪荷重が直接載荷されることで、鋼床版を構成する板が局所的な変形挙動を示し、局所的に大きな応力が繰り返し発生することによって疲労損傷につながるものと考えられる。そこで、その溶接部に炭素繊維集成板（以下、CCFP と略する；Consolidated Carbon Fiber Plate）を貼付して補強し、その効果を確認した。

2. 実験の目的

デッキと U リブとの縦方向溶接部には、輪荷重載荷に伴って局所的に大きな曲げモーメントが発生し、その結果、高い曲げ引張応力が発生している。そこで、図 2-1 に示す部位に着目し、デッキと U リブとの縦方向溶接部に炭素繊維を用いた補強材をエポキシ樹脂にて貼付して、疲労亀裂に対する補修・補強の可能性を見出すことを目的に、以下の2点を確認する基礎的実験を行った。

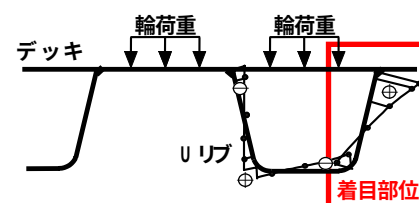


図 2-1 U リブの応力性状

- (1) 亀裂が発生したままの状態、炭素繊維を用いた補強材を貼付した場合の荷重伝達効果を確認する。
- (2) CCFP を貼付することで、溶接部近傍に発生する母材応力度の低減効果を確認する。

3. 実験方法

実験は、機械式材料試験機を用いて、鋼板(SM400A)をデッキと U リブに見立てた形状として組立て、試験機の載荷方向の制約から U リブのウェブが水平となるようにデッキを傾けた（102°）形態とした。供試体形状およびゲージ位置を図 3-1 に示す。

供試体は、デッキと U リブ溶接部（※印溶接部）の脚長を 6mm としたものを供試体 1、亀裂による溶接ビード全損を想定して、溶接なし（仮付け溶接のみ）としたものを供試体 2、さらに溶接脚長不足を想定して脚長 4mm としたものを供試体 3 として合計 3 体製作した。

供試体それぞれの補強状況は、供試体 1 は無補強、供試体 2 は、炭素繊維シート（以下、CF シートと略する.）による貼付補強、供試体 3 は、同一の供試体で、無補強および CCFP 貼付補強の 2 ケースとした。

供試体 2 の補強に用いた CF シートは、300g 目付として、カタログによる物性値は、厚さ 0.143mm、引張強度 1900N/mm^2 、弾性係数 $6.40 \times 10^5\text{N/mm}^2$ であり、含浸用エポキシ樹脂接着剤を用いて 13 層貼付した。また、供試体 3 の補強に用いた CCFP のカタログによる物性値は、厚さ

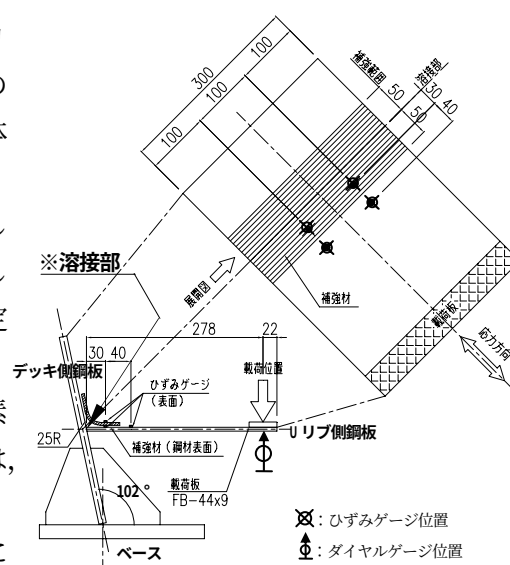


図 3-1 供試体形状図

3.0mm, 引張強度 2350N/mm^2 , 弾性係数 $1.52 \times 10^5\text{N/mm}^2$ であり, エポキシ樹脂接着剤を用いて 1 層貼付した。CCFP は, CF シートを工場にて事前に樹脂を含浸・硬化させたものであり, 供試体 2 に用いた CF シート補強 13 層分を CCFP に換算すると, 厚さ 7.9mm となる。

荷重方法は, U リブ先端付近に載荷板を設置して面載荷とし, 供試体 1 については, ひずみが不安定となる時点を破壊と考え, 破壊に至るまで荷重を載荷してひずみおよび変位を計測し, 供試体 2 は, CF シートが剥離するまで荷重を載荷し, 変位のみを計測した。さらに供試体 3 は, 無補強の状態では荷重を 1.8kN 程度まで載荷して, ひずみおよび変位を測定した後, 一度, 荷重を除荷して, CCFP による貼付補強を施し, CCFP が剥離に至るまで荷重を載荷して, ひずみおよび変位を計測した。

4. 実験結果および考察

実験より得られた荷重－たわみ関係および荷重－ひずみ関係の結果をそれぞれ図 4-1 に示す。

荷重－たわみ関係に着目すると, 図 4-1 a) に示すとおり, 供試体 2 では, デッキと U リブとの縦方向溶接部が溶接されていないにもかかわらず, CF シートによる接着効果が見られるとともに剥離に至るまでの勾配が一定であり, CF シートにより荷重が伝達されていることがわかる。また, 供試体 2 および供試体 3(補強後)では, 大きくたわみが抑制されており, 炭素繊維補強により剛性が増している。これらの値を, 供試体 1 の値と比較すると, 同荷重時においては, 約 40%低減されている。

次に, 荷重－ひずみ関係に着目する。供試体 1 では, 図 4-1 b) に示すとおり, 荷重が 2.0kN に達したあたりから, ひずみにややばらつきが生じ始めた。その後, 荷重に乱れが見られ, 3.0kN 程度に達すると 30mm 位置のひずみ勾配に変化が見られたため, 鋼板表面が降伏域に達したと思われる。

供試体 3 では, 図 4-1 c) に示すとおり, CCFP を貼付して補強することにより溶接部近傍 (30mm 位置) の U リブ側鋼板ひずみが, 補強の前後で大きく低減されている。荷重 1.5kN の時点を例にあげると, 補強前のひずみは約 910μ であるのに対して, 補強後のひずみは約 150μ まで低減されており, 母材に生じる応力が約 84%軽減されている。これは, 荷重の載荷に伴う鋼板と CCFP のひずみが一定の勾配で増加していることから, 母材に生じる応力が, CCFP にも伝達され, 互いに補完しあって荷重に抵抗したためと考えられる。

CCFP の剥離荷重は, 約 2.0kN であったが, この値は, 鋼板(SM400)の規格値上の降伏点強度と同等である。

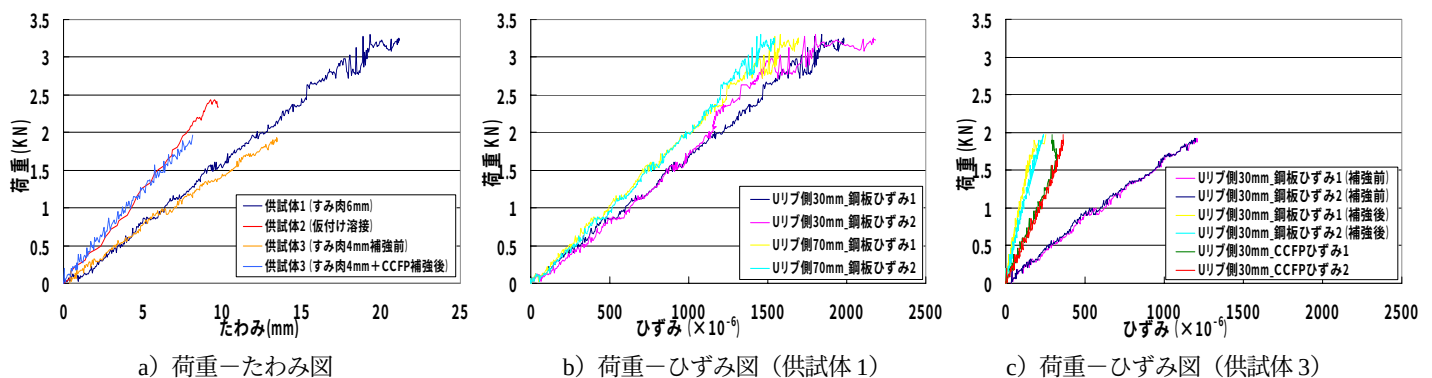


図 4-1 実験結果

5. まとめ

本実験の範囲内で得られた結論を以下に列挙する。

- (1) 炭素繊維を用いた補強材を貼付することにより, 疲労亀裂が発生したままの状態では補強した場合の, 荷重伝達効果を確認した。
- (2) CCFP を貼付することで, 溶接部近傍に発生する母材応力度の低減効果を確認した。これにより, 本実験で着目した部位において, 母材の応力範囲を小さくできることから, 疲労強度の向上が期待できる。