

鋼床版鉛直スティフナー上端部 UIT 処理による残留応力変化調査

阪神高速道路株式会社

中島 隆

(財) 阪神高速道路管理技術センター

正会員

高田佳彦

新日本製鐵(株)

正会員

○松岡和巳

新日本製鐵(株)

正会員

冨永知徳

1. はじめに

現在、鋼床版桁を中心に疲労損傷が多数発見されており、その予防保全対策の開発が急務となっている。その中で図1に示す鉛直スティフナー上端部は、路面からの輪荷重に直接さらされるために主に圧縮方向に応力が作用するにもかかわらず、多数の疲労損傷が生じている。つまり、これは溶接時に発生した大きな引張残留応力の影響が大きいと考えられるディテールである。そのため、残留応力状態を改善することが出来れば、疲労損傷を予防できる可能性が高い構造と考えられた。

そこで近年、残留応力状態を改善し、疲労性能を向上することができる手法として注目されている超音波衝撃処理¹⁾ (Ultrasonic Impact Treatment, 以降UITと略す) に着目し、それをこのディテールの疲労損傷に対する予防保全方法として適用することを考え、その現場適用試験を行った。

この現場適用試験において、(1)鉛直スティフナー上端部に実際導入されている残留応力の調査、(2)UITによって圧縮残留応力が導入されていることの確認、ということを目的に現場における残留応力の計測をUIT処理前後に実施した。このような供用中の実橋梁での、しかも、鋼床版の残留応力の計測結果は世界的にも例が無いためその結果を報告する。

2. 残留応力測定方法

残留応力測定にはX線応力測定装置を用いた。ひずみゲージなどの多くの応力測定方法が初期をゼロとした相対応力を計測するものであると異なり、X線応力測定はX線回折法によって金属材料表面の絶対応力を計測することができる。これは、相対応力を計測する手法で対象物の残留応力を計測しようとする、ひずみゲージによる切り出し法など、対象物の破壊を伴う方法を取らざるを得なくなってしまうが、供用中の橋梁構造物でそのような方法は取れないためである。また、X線応力測定はひずみゲージと比較すると、最も疲労性能に影響を及ぼすと考えられている金属最表面の、それも止端近傍の2~3mm四方のごく小さな領域での計測を実施することができるため、疲労性能調査目的の残留応力計測への適合性が高い。

計測に用いたX線応力測定装置は、フィンランド stresstech 社の Xstress3000 およびその G2 ゴニオメーターについて、さらに現場性を高めるための改造を施した装置である。Xstress3000 本体(高圧発生機)が20kg弱、対象物にX線を照射する部分であるゴニオメーターは1ユニット10kg以下で、磁石によって橋梁本体にどんな姿勢でも取り付くことが可能であり、また、XY ステージを備えているので計測位置の正確な調整が可能である。今回は計測にφ2mm コリメーターを用いた、つまり、おおよそその領域における橋軸直角方向の平均応力が計測された。(少しX線が広がって照射されるため、正確には直径2mmよりも若干大きくなる)なお、この機器により照射されるX線はごく微弱であり、紙も透過しないほどの強度であるので(X線の透過ではなく反射を計測するため強度を要しない)、橋梁路面上や道路周辺への影響は無い。

X線応力計測はUITの処理前後に実施した。ただし、UITによって導入された残留応力が、さらに交通荷重によって変化する可能性を考慮し、UIT処理実施後約1日の時間において処理後の計測を行っている。そのため夜間に通行する過積載車両の影響はある程度考慮されていると考えられる。

図2に計測位置の模式図を示す。止端の近傍を5点計測し、残留応力の分布状況を確認している。計測領域については、金属表面に塑性変形を入れないように薬品で塗装を除去し、さらに、塗装時に行われるショットブラスト(いわゆるショットピーニングと同じような影響を鋼材表面にどうしても与えてしまう。通常はその影響深さは表面から300μm程度である)の影響を除去するために、図3に示すように深さ約350μmまで電解研磨で鋼材最表面を除去した。

3. 計測結果

計測状況の写真を図4に示す. このように鋼床版のデッキプレートに取り付き, 鉛直リブの上端部の計測を行った. まず, 交通振動等の影響の有無を確認するために, 同じ箇所について3回計測を行った. その結果, 3度とも同じ値が得られたため, 交通振動の影響は無いものと確認し, それ以降は各部位1回のみの計測とした. (1回の計測に約2分程度を要する)

計測結果を, 図5に示す. これより, 溶接ままの状態での止端の近傍では150~250MPaほどの大きな引張り残留応力が計測された. 一方, UIT 後(図6に処理後の止端状況の写真を示す)では全て圧縮状態となり, 大きいところでは-300MPa程度となった. 中央部で, 溶接前は小さめに, UIT 後では大きめに計測値が出ているのは, ビードの近傍に計測部を寄せすぎたために, 形状が平面的ではないビードの影響が出てしまった(広がったX線が少しビード部に当たってしまった)可能性が考えられる.

4. おわりに

UIT 処理前後でのX線応力測定によって, 鋼床版鉛直スティフナー上端部には200MPa前後の大きな引張り残留応力が存在している場合があること. また, UIT 処理によって, その残留応力を大きな圧縮状態に変化させることが可能なことが確認された. 処理対象ディテールを圧縮残留応力状態にすることによって, 疲労性能が飛躍的に向上することが期待できる.

参考文献

[1] 富永, 松岡, 佐藤: 補修溶接を施した既設クレーンランウェイガーダーの超音波衝撃処理による疲労寿命向上, 鋼構造論文集, Vo.14, No.55, pp.47-58, 2007.9.

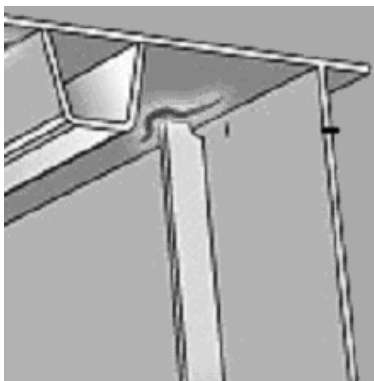


図1 鋼床版鉛直スティフナー
上端部疲労損傷模式図

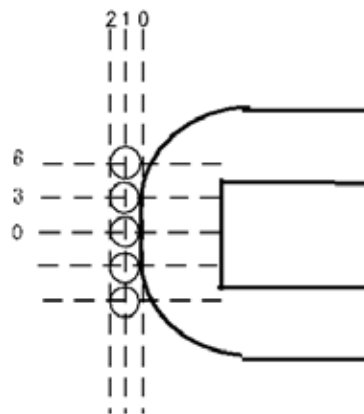


図2 応力測定位置



図3 計測部下地処理状況



図4 X線応力計測状況
(Xstress3000, G2 改ゴニオメータ)

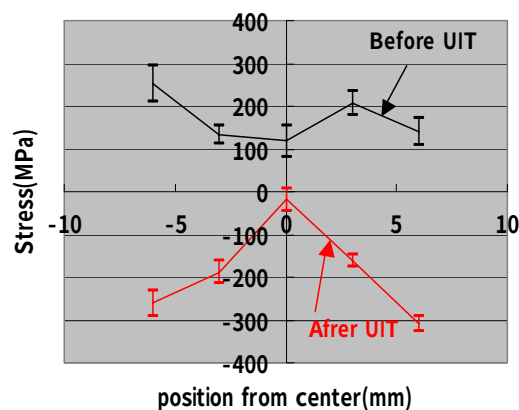


図5 X線応力計測結果(分布)



図6 UIT 処理後止端状況