

鋼床版箱桁橋の端ダイヤフラムに生じた疲労き裂に関する一考察

首都高速道路 正会員 増井 隆
川田工業 正会員 町田文孝
川田工業 正会員 大石隆宏

川田工業 正会員○溝江慶久
川田工業 正会員 勝俣 盛
川田工業 正会員 石川 誠

1. まえがき

首都高速道路の単純鋼床版箱桁橋において、端ダイヤフラムの垂直補剛材上端に、き裂が多数発見された(図-1)。これらのき裂は、まわし溶接止端を起点としてウェブ母材に進展する傾向があった(図-2)。さらに現場踏査より、き裂発生箇所は走行車線、輪位置および溶接ビード形状との相関が乏しく、かつ製作時に溶接欠陥が生じにくいディテールであることがわかった。一方、一般車両供用下で行った簡易的な動ひずみ計測から、ウェブギャップでは鉛直方向の面外曲げ応力の交番が認められた。したがって、当該き裂はこの応力の繰り返しで発生した疲労損傷と推察できた。しかし、応力を誘起する変形挙動が不明であり、その原因の究明が求められた。

そこで、補修補強のために、実橋での応力計測および FEM 解析により、き裂の発生原因を検討した。本文は、この応力計測結果の概要およびその結果から推測した原因について報告するものである。

2. 静的载荷試験

ウェブギャップの応力特性を把握する目的で、夜間に第1走行車線を規制して静的载荷試験を行った。試験では、帯内において車重量 245N の3軸試験車両1台を低速走行(約 10km/h)させて、载荷位置-ひずみ値の関係を調査した(図-4)。計測に際しては、ウェブギャップ上下部の箱内面と箱外面にロゼットゲージを貼付し、ひずみ成分を分析した(図-3)。なお、溶接止端の局部応力を除くため、貼付位置はウェブ板厚 16mm を考慮して溶接止端から 40mm 離れた。

試験車両の右側前輪が U5 リブ直上载荷(ケース 1)の計測結果の事例を図-5 に示す。いずれの計測箇所も、試験車両が START(F7)を通過してから、ひずみ値が変動し始め、支間中央を過ぎた付近(F3-F4 間)で 9ch と 14ch が最大に、10ch と 13ch が最小になることがわかる。また、GOAL 近傍(F1-r1 間)ではひずみの交番が認められる。

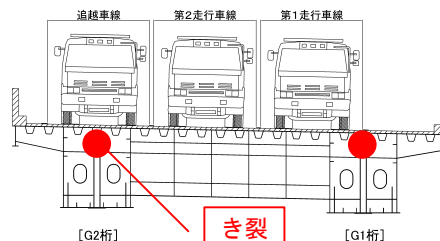


図-1 き裂発生箇所

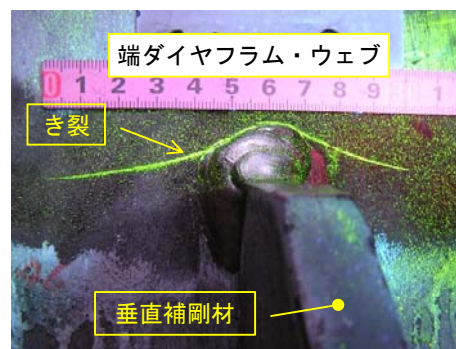


図-2 き裂の外観

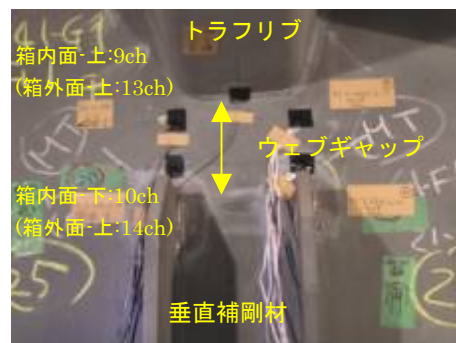
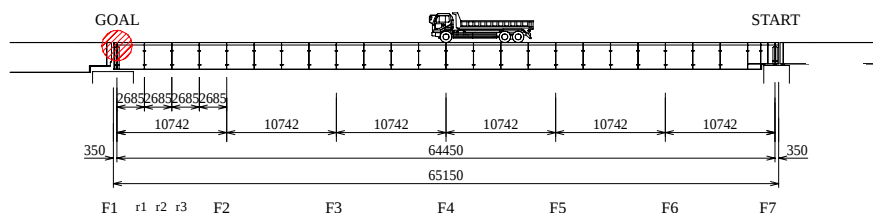
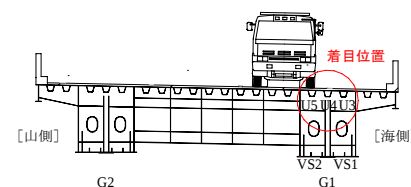


図-3 ひずみ計測箇所



(a)計測ポイント



(b)着目断面

図-4 実橋走行試験

キーワード: 鋼床版, 疲労き裂, ウェブギャップ, 応力計測, 応力聴診器

〒114-8562 東京都北区滝野川 1-3-1

TEL03-3915-3301 FAX03-3915-4327

この結果から、ウェブギャップのひずみは主構作用力と輪重の影響を受けるが、主構作用力の影響が著しいことがわかる。また、データ分析により、箱内面と箱外面で発生ひずみの正負が異なること、その曲げの方向がウェブギャップの上部と下部で異なることを明らかにした(図-6)。この応力特性は、試験車両の左右前輪が主桁ウェブ直上载荷(ケース2)や、左前輪がU4リブ直上载荷(ケース3)の計測結果も同様の傾向であり、ケース1との差異が少なかった。また、図-6からわかるように、鉛直方向応力の膜成分は曲げ成分と比較して、その増分がわずかであることから、膜成分が疲労損傷を誘発する主要因とは言い難い。

計測データと解析データの照査により、桁端部の変形挙動は図-7に示すとおりと推測した。主桁のたわみ変形のように、主桁作用が著しい場合は、垂直補剛材が全体変形に追随できず、ウェブギャップは上下部で角折れが生じる。一方、支点直近の横リブ間走行時のように、輪荷重の影響が著しい場合は、垂直補剛材が支点となり、同様の挙動を示す。

3. 動的载荷試験

本橋の振動モードと動ひずみの相関を把握する目的で、先述した試験車両1台を一般車両供用下で高速走行(約80km/h)させる動的载荷試験を行った。図-8に示した主桁位置の鉛直加速度のスペクトル応答解析により、振動モードを同定した。

これより、各鉛直加速度はいずれも約1.5Hzと約3.0Hzで卓越することが判明した。さらに、前者は鉛直加速度が同位相で挙動するたわみ1次モードであり、後者はG1桁とG2桁の鉛直加速度が逆位相するねじれ1次モードであることがわかった。

ウェブギャップのひずみスペクトルに着目すると、ピークは0.5Hz以下の低い周波数であった。試験車両が本橋梁の通過に要する時間は約3秒であり、このときのひずみ変動は主構作用力の影響が著しい。また、約1.5Hzや約3.0Hzにおいても小さなピークが認められたことから、当該き裂は主構作用力(振幅が大きく、振動数が低い)と橋梁振動(振幅が小さく、振動数が高い)が練成した面外曲げ応力の繰り返しにより発生したものと推定した。

4. あとがき

一般的に、公称面内応力で 50N/mm^2 以上になるとストップホールの効果が期待できない¹⁾。本橋は、一般車両供用下で载荷重量245Nに対して発生応力が 20N/mm^2 程度であった。したがって、応急対応としてストップホール孔明が有効であるが、恒久的な対策としては、端部箱桁の断面剛性の向上が必要と考える。

【参考文献】1)太田、深沢：橋と鋼，建設図書，2002年2月。

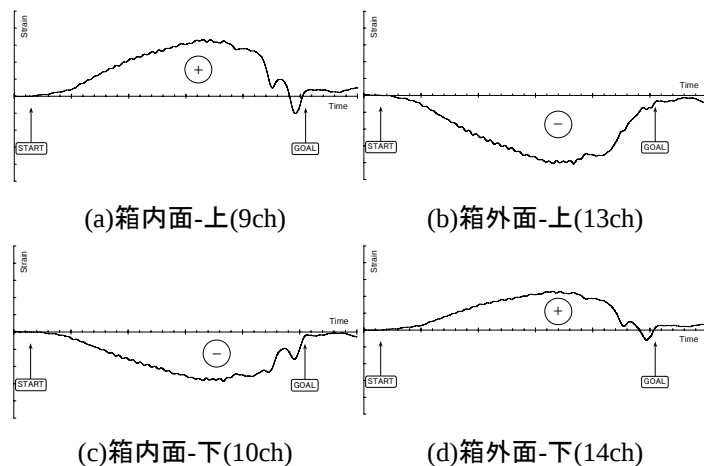
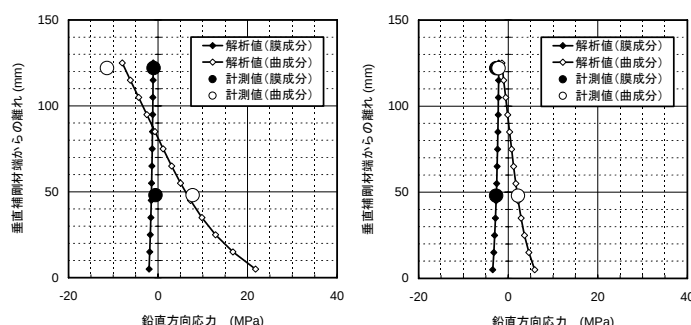


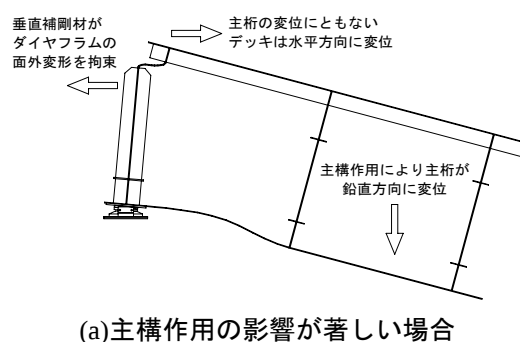
図-5 ウェブギャップのひずみ変動



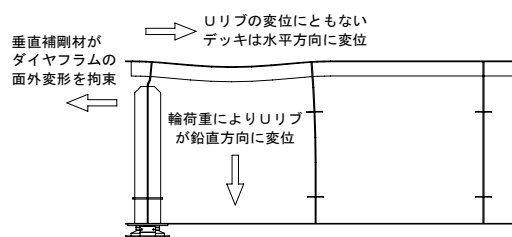
(a)支間中央通過時

(b)F1-r1 間通過時

図-6 ウェブギャップの鉛直方向応力成分



(a)主構作用の影響が著しい場合



(b)輪荷重の影響が著しい場合

図-7 き裂発生メカニズム

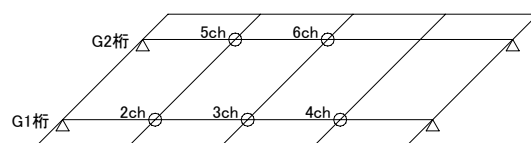


図-8 鉛直加速度の計測箇所