

鋼床版垂直補剛材上端部の疲労性状に関する実験的検討

首都大学東京	学生会員	○松永涼馬	(一社) 日本橋梁建設協会	正会員	内田大介
首都大学東京	正会員	村越潤	(一社) 日本橋梁建設協会	正会員	林暢彦
首都大学東京	正会員	岸祐介	(一社) 日本橋梁建設協会	正会員	齊藤史朗

1. はじめに

鋼床版橋の溶接部各部に疲労損傷の発生が報告されており、その一部位に主桁に取り付く垂直補剛材の上端とデッキプレートとの溶接部が挙げられる。これまでも損傷原因や対策に関する実験・解析的検討が行われ、耐久性向上策の一つとして垂直補剛材上端部を切断した構造が提案されている(例えば1)が、耐久性に関して十分に検証されているわけではない。本文では、同構造の疲労耐久性の向上効果を明らかにすることを目的として、垂直補剛材上端部の構造を模擬した小型試験体の疲労試験を実施し疲労挙動について検討した結果を報告する。

2. 試験体

図-1, 2 に試験体と荷重方法の概要及びひずみ計測位置を示す。試験体は、現行構造である上端部を溶接した構造(WI) (図-1 参照), 改良構造である上端部をカットした構造(CI) (図-2 参照) の2種類である。デッキプレートと垂直補剛材上端の取り合いを模擬した奥行き 500mm の試験体であり、鋼種は

SM400A である。溶接は CO₂ 半自動溶接で、JISX3313 によるフラックス入りワイヤ (耐力 501N/mm², 引張強さ 590 N/mm² 伸び 24%) を使用した。寸法形状及び荷重荷重方法は、実橋において、輪荷重 (100kN のダブルタイヤを模擬) が荷重した時の、垂直補剛材上端の応力性状を再現できるように設定している。具体的には、実橋モデル (舗装厚 80mm, 舗装は弾性体として夏場を想定 (E=500N/mm², ν=0.35))²⁾ と試験体モデルのき裂発生部位 (WI はデッキ側止端部, CI はウェブ側止端部) を対象に、NX NASTRAN Ver.7 によるソリッド要素を用いた弾性有限要素解析を行い、主応力の大きさ・方向が一致するように設定している。例えば、試験体 WI では輪荷重によるデッキ側の板曲げ応力と垂直補剛材側の圧縮応力を再現するため、試験体諸元を設定し、荷重梁を介して 2 点荷重としている。以下では、これまで試験を行った 3 試験体 WI12, WI16, CI12 (ここで、12, 16 はデッキ厚 (mm)) の結果を示す。

3. 試験方法

疲労試験における荷重方法は図-1, 2 に示した通りである。母材側返し溶接止端から 2mm 位置より 5 連ゲージ (ゲージ長 1mm) を、CI12 では補剛材側止端から 5mm 位置に単軸ゲージ (ゲージ長 1mm) を貼付した。荷重速度は 5Hz, 下限荷重を 1.0kN を基本とした。荷重範囲は、解析により求めた止端近傍の応力値を基本に、試験体での計測値を比較し、両者の違いを補正して設定した。CI12 については、ウェブ側の溶接止端 2mm 位置を基準にして、ひずみ計測値 (L 側と R 側の平均値) を試験体モデルの解析値に合わせるように荷重範囲を設定した。WI12, WI16 についても同様であるが、着目箇所がデッキ側止端と補剛材側止端と 2 箇所あり、本試験では補剛材側止端 2mm 位置の計測値を解析値に合わせた。疲労試験中は、き裂発生・進展の監視のため、止端から 2mm 位置の動ひずみ計測を行いひずみ範囲の変化を調べるとともに、適宜磁粉探傷試験 (MT) を行い、表面き裂を検出した。

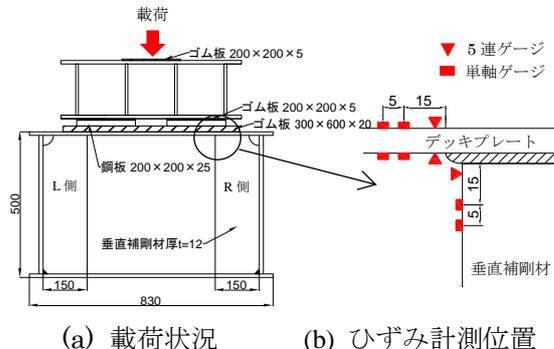


図-1 試験体 WI (現行構造タイプ) 概要

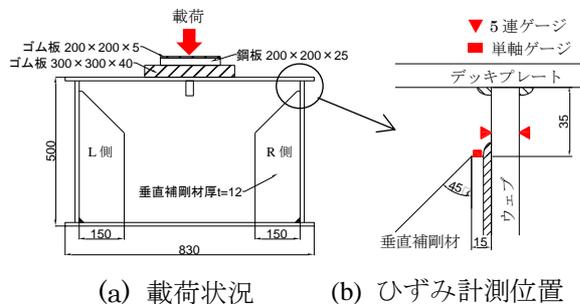


図-2 試験体 CI (改良構造タイプ) 概要

キーワード 鋼床版, 垂直補剛材上端部, 疲労, き裂, 改良構造

連絡先 〒192-0364 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL 042-677-1111 内線(4562) E-mail:matsunaga-ryoma@ed.tmu.ac.jp

4. 試験結果と考察

表-1 に各試験体のき裂発生箇所と、母材内に進展したき裂に着目し、ひずみ範囲 5%低下時及び母材進展時の載荷回数を示す。図-3 に MT による、表面き裂が母材 (WI12,16 ではデッキ内,CI12 ではウェブ内) に進展した時点のき裂の状況を示す。現行構造 WI12,WI16 では、き裂は回し溶接のデッキ側止端先端に発生し、止端に沿って進展していき、その後母材内に進展した。改良構造 CI12 においても、同様に、ウェブの回し溶接のウェブ側止端先端に発生・進展し、母材内に進展した。図-4 に WI16 について、載荷回数とき裂長 (図中水平方向投影長さ) の関係を示す。なお、随時 MT を行っていたが、検出が難しかった回数部分は破線で示している。なお、いずれの試験体も、き裂発生側の回し溶接止端のひずみ範囲が 5~19 万回時には 5%低下しており、これらの時点ではき裂が発生していたものと推察される。き裂は回し溶接の止端に沿ってある程度進展した後、き裂の途中から枝分かれするか、もしくは先端から母材内に進展した。

図-5 に母材側の溶接止端からのき裂に着目し、応力範囲と母材内に進展するまでの載荷回数の関係を示す。図中には、道路橋示方書³⁾に規定される各疲労強度等級の疲労設計曲線も示している。同図(a)の応力範囲は、母材側の溶接止端から 10mm 位置の表裏のひずみ計測値を基に、膜成分に曲げ成分の 4/5 を加えた値としている⁴⁾。WI12,WI16 では H 等級の直線以下であるのに対し、CI12 では F 等級の直線上付近に位置しており、両者の疲労強度の違いを確認できる。同図(b)の応力範囲は、母材側の溶接止端近傍のひずみ計測値を基に、 $0.4t-1.0t$ (t : 板厚) で二点外挿したホットスポット応力⁴⁾としている。同図(a)と比較して、依然としてばらつきは見られ、現行構造 WI の方が疲労強度が同等程度もしくは低い傾向にある。なお、実橋モデルの解析では、同じ輪荷重載荷において、改良構造の場合、現行構造に対して発生応力自体が低い³⁾ことから、疲労耐久性の向上効果が期待できると言える。

5. まとめ

改良構造は、現行構造に対して、母材側回し溶接止端より 10mm 位置のひずみ計測値で整理した場合、2 等級程度の疲労強度の差が見られた。疲労強度評価の参照応力については、WI, CI を同等に整理できるかどうかも含めて今後の課題である。

参考文献

- 1) 山本, 斉藤, 川畑ほか: 鋼床板のデッキプレートと垂直補剛材溶接部の改良ディテールの局部応力の検討, 土木学会第 60 回年次学術講演会概要集, CS10-014, 2005.9.
- 2) 内田ほか: 鋼床版垂直補剛材上端部の応力性状に関する解析的検討, 土木学会第 60 回年次学術講演会概要集, I-543, 2016.9., 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋・鋼部材編, 2017.11., 4) 日本鋼構造協会: 鋼構造物の疲労設計指針・同解説, 2012 年改定版, 2012.6., 5) Hobbacher, A.: Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components, IIW document, XIII-2151r1-07/XV-1254r1-07, 2007.3.

表-1 き裂発生部位と母材側き裂の発生状況

試験体	荷重範囲 (kN)	き裂発生箇所 (止端部)	載荷回数 ($\times 10^4$ 回)	
			ひずみ範囲 5%低下時	母材進展時 (き裂長)
WI12	72.4	L側	7.0	14.7(30mm)
		R側	5.2	21.9(31mm)
WI16	71.9	L側	17.0	36.0(31mm)
		R側	19.0	40.8(28mm)
CI12	18.4	L側	6.5	11.6(30mm)
		R側	14.0	90.0(27mm)

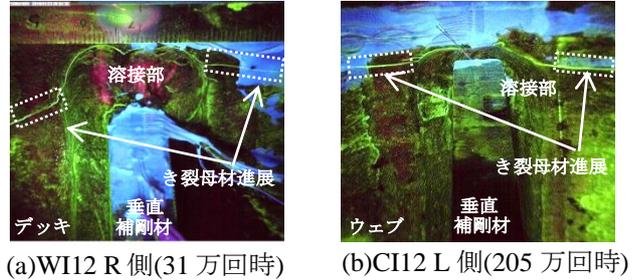


図-3 溶接部の磁粉探傷試験結果

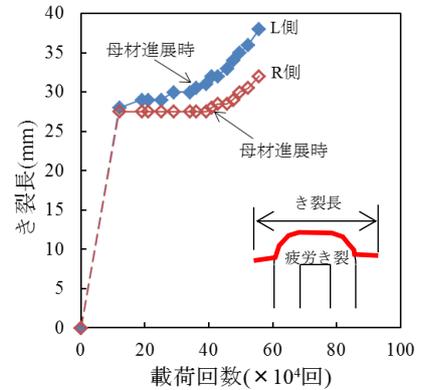
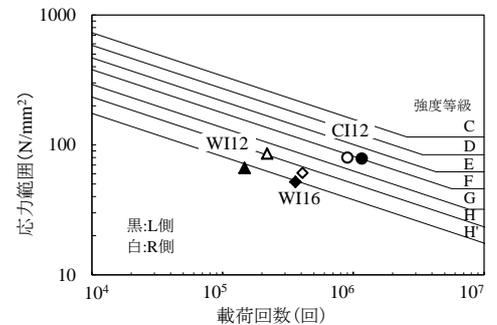
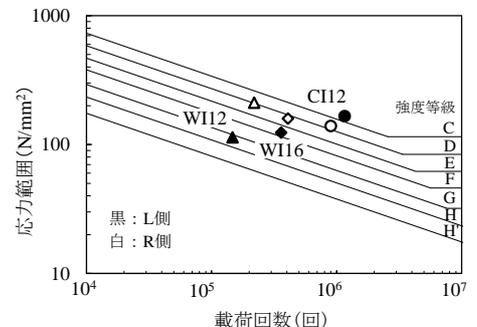


図-4 載荷回数とき裂長の関係(WI16)



(a) 止端から 10mm 位置の応力範囲で整理



(b) 2 点法によるホットスポット応力範囲で整理

図-5 き裂母材進展時の載荷回数と応力範囲の関係