

鋼床版垂直補剛材上端部の疲労き裂の進展性状と疲労強度

首都大学東京 学生会員 ○亀谷倫太郎

法政大学 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 井口進

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

鋼床版橋の垂直補剛材上端とデッキプレート間の溶接部の疲労については、これまで損傷原因や対策に関する実験・解析的検討が行われており、一耐久性向上策として垂直補剛材上端部を斜めに切断した構造が提案されている(例えば¹⁾)。一方で、その耐久性の向上効果に関して実験的に十分に検証されているわけではない。本文では、補剛材上端部の構造や応力状態を模擬した試験体の疲労試験を実施し、疲労性状について検討した結果を報告する。

2. 試験体

図-1 に試験体、荷重方法及びひずみ計測位置を示す。試験体は、上端部を溶接した構造(現行構造 WI)と上端部をカットした構造(改良構造 CI)の2タイプである。デッキ厚は12, 16mmの2種類であり、デッキと垂直補剛材上端の取り合いを模擬した奥行き830mmの試験体(鋼種 SM400A)である。溶接はCO₂半自動溶接で、フラックス入りワイヤ(JISX3313: 耐力 501N/mm², 引張強さ 590N/mm², 伸び 24%)を使用している。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($E=500\text{N/mm}^2$, $\nu=0.35$))²⁾と試験体のき裂発生部位(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、止端部の主応力の大きさとその近傍の応力分布が一致するように設定している。以下では、これまで疲労試験を実施した6試験体(表-1 参照)の結果を示す。

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($E=500\text{N/mm}^2$, $\nu=0.35$))²⁾と試験体のき裂発生部位(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、止端部の主応力の大きさとその近傍の応力分布が一致するように設定している。以下では、これまで疲労試験を実施した6試験体(表-1 参照)の結果を示す。

3. 試験方法

荷重方法は図-1 に示した通りである。母材側回し溶接止端から2mm位置より5連ゲージ(ゲージ長1mm)を、CIタイプ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、止端近傍の応力値(解析値)を基本に、試験体での計測値と比較し、両者の違いを補正して設定した。CI12, CI16では、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

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) Email: kametani-rintaro@ed.tmu.ac.jp

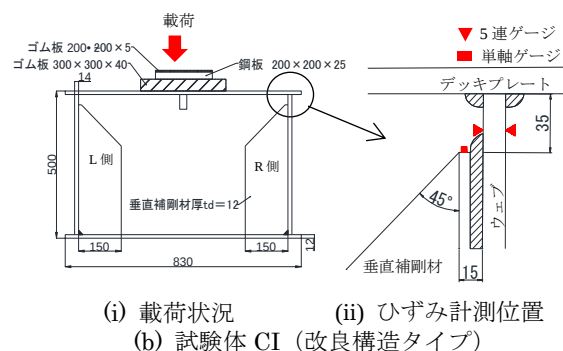
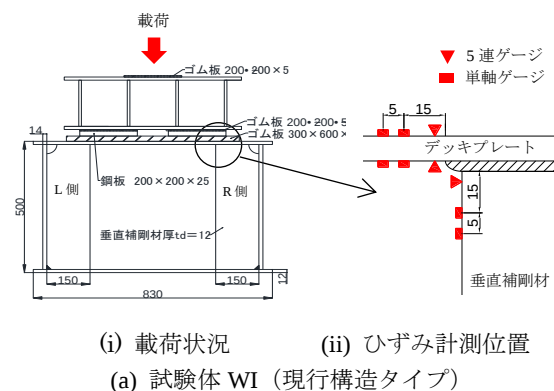


図-1 試験体、荷重方法及び計測位置

表-1 試験体と試験結果一覧

試験体	荷重範囲 (kN)	き裂発生箇所 (止端部)	荷重回数 (×10 ⁴ 回)			
			ひずみ範囲 5%低下時	母材進展時	載荷終了時	載荷終了時のき裂長
WI12-T1	72.4	デッキ側, 補剛材側	6.0	14.7	42.4	74mm
		デッキ側, 補剛材側	4.6	21.9		71mm
WI16-T1	71.9	デッキ側	16.5	42.7	200.00	75mm
		デッキ側	18.7	49.6		73mm
CI12-T1	18.4	ウェブ側	6.5	11.6	222.3	79mm
		ウェブ側	14.0	90		66mm
CI12-T2	17.1	ウェブ側	29.6	161.7	201.0	44mm
		ウェブ側	33.8	180.6		38mm
CI16-T1	18.2	ウェブ側	12.5	210	407.5	95mm
		ウェブ側, 補剛材側	21.1	186.8		80mm
CI16-T2	18.2	ウェブ側	92.6	195.1	200.8	33mm
		ウェブ側	9.2	136		46mm

とともに、特に CI12-T2, CI16-T2 では、約 2 万回毎に磁粉探傷試験(MT)を行い、表面き裂の進展性状を観察した。

4. き裂の進展性状

表-1 に各試験体のき裂発生箇所と、母材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。以下、初期のき裂発生状況を詳細に調査した CI12-T2, CI16-T2 の結果を中心に説明する。

図-2 に止端部から離れ、表面き裂が母材内に進展(左右両側)した状況を示す。現行構造 WI ではデッキ側、改良構造 CI ではウェブ側の回し溶接止端部からき裂が発生し、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-3 に止端に沿った進展初期のき裂長(図中水平方向投影長さ)とひずみの関係を示す。CI12-T2, CI16-T2 では、MT により複数箇所からのき裂発生を確認している。部位によって差はみられたが、ひずみ範囲が 5%程度低下した時点ではき裂長さは 1~3mm 前後であった。また、き裂の合体時においてひずみ範囲の低下の度合いに変化がみられた。図-4 に CI16-T2 を例に、載荷終了時までの、載荷回数とき裂長とひずみドロップとの関係を示す。母材進展前後において L 側左側(図中 L-L と記載)では一旦き裂の進展は遅くなったが、R 側では変化なく母材内に進展していった。L 側では 195.1 万回(L-L), R 側では 114.5 万回(R-L)と 136 万回(R-L)でき裂の母材進展を確認できた。なお、L 側ではき裂の進展が停滞しているが、ひずみ範囲は下がっていた。き裂深さに関して、CI12-T1, CI16-T1 については、き裂破面観察を実施しており、母材き裂進展時のき裂深さ a (板厚方向)は 6~7mm(アスペクト比 $a/b=0.3\sim0.4$)であり、ウェブ厚(14mm)の 50%程度であった。 a/b はき裂長とともに増加していったが、母材内進展後は低下する傾向がみられた。

5. 疲労強度

図-5 にき裂が母材内に進展した時点の応力範囲とまわし溶接部の載荷回数の関係を示す。図中には、各疲労強度等級の疲労設計曲線³⁾も示す。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⁾。WI タイプでは H 等級の直線以下であるのに対し、CI タイプでは F 等級の直線上付近に位置しており、疲労強度の違いを確認できる。また、図-6 に傾き $m=3$ と仮定した場合に、各種手法で整理した 200 万回疲労強度を示す。いずれの参照応力においても CI タイプは上方にあり強度向上が確認できる。参照応力としては CI タイプでは比較的まとまっているが、WI タイプでは止端 10mm(位置応力)を除き、いずれの方法でも依然としてばらつきがみられる。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、現行構造と比較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。本研究の一部は(一財)首都高速道路技術センターの研究開発助成(平成 29~30 年度)として実施した。

参考文献

- 1) 山本ほか：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.

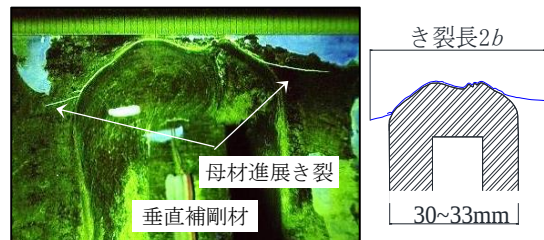


図-2 溶接部の磁粉探傷結果
(CI16-T2 R 側:200.8 万回時)

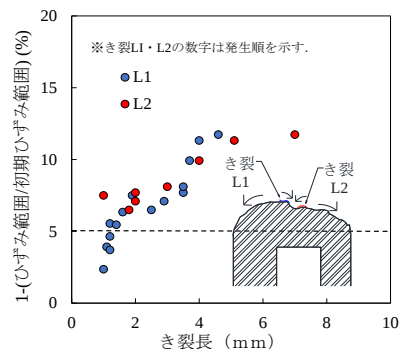


図-3 き裂長とひずみドロップの関係
(CI16-T2 L 側)

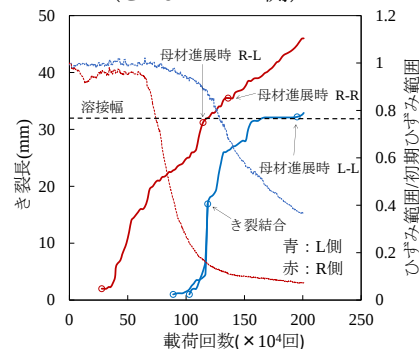


図-4 載荷回数とき裂長，
ひずみ範囲の関係 (CI16-T2)

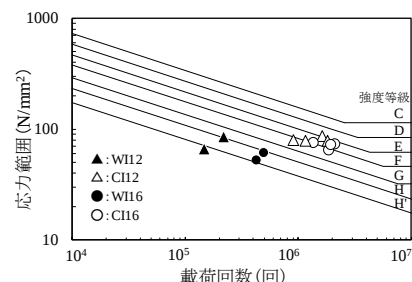


図-5 載荷回数と応力範囲の関係
(止端から 10mm 位置の応力範囲で整理)

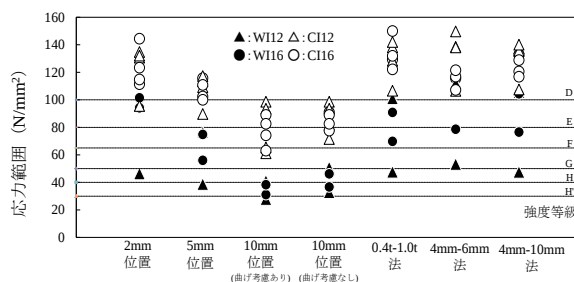


図-6 参照応力範囲別の 200 万回疲労強度