# 鋼床版垂直補剛材における上端カットによる疲労強度の向上効果

首都大学東京	学生会員	○松永涼馬
首都大学東京	正会員	村越潤
首都大学東京	学生会員	亀谷倫太郎
首都大学東京	正会員	岸祐介

#### 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 検討が数多く行われており、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<sup>例えば1)</sup>.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,載荷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 CO<sub>2</sub>半自動 溶接で、フラックス入りワイヤ(JISX3313:耐力 501N/mm<sup>2</sup>,引 張強さ 590N/mm<sup>2</sup>,伸び 24%)を使用している.寸法形状及び荷 重載荷方法は、実橋において、輪荷重(100kN のダブルタイヤを 模擬)が載荷した時の、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/mm<sup>2</sup>, *v*=0.35))<sup>2)</sup>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.

	法政大学	正会員	内田大介
(一社)	日本橋梁建設協会	正会員	井口進
(一社)	日本橋梁建設協会	正会員	齊藤史朗





図-1 試験体,載荷方法及び計測位置

表-1 試験体と試験結果一覧

試験体		荷重 + 刻邓仕齒正	キ刻発生協正	載荷回数(×10 <sup>4</sup> 回)			
		範囲 (kN)	(止端部)	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
WI12-1	L側	72.4	デッキ側,補剛材側	6.0	14.7	42.4	74mm
	R側		デッキ側、補剛材側	4.6	21.9		71mm
WI16 2	L側 71.0	デッキ側	16.5	36	200.00	75mm	
willo-2 R側	R側	/1.9	デッキ側	18.7	40.8	200.00	73mm
CI12-1	CI12-1 <u>L側</u> R側 18	18.4	ウェブ側	6.5	11.6	222.3	79mm
C112-1			ウェブ側	14.0	90		66mm
CI12-2 L/則 R側	17.1	ウェブ側	29.6	127.7	201.0	44mm	
		ウェブ側	33.8	94.8		38mm	
CI16-2 上側 R側	L側	18.2	ウェブ側	12.5	210	407.5	95mm
	R側		ウェブ側,補剛材側	21.1	186.8		80mm
CI16-3	L側	18.2	ウェブ側 <sup>※</sup>	92.6	195.1	200.8	33mm
	R側		ウェブ側 <sup>※</sup>	9.2	114.5		46mm
*ルート部からのき裂も確認							

### 3. 試験方法

載荷方法は図-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.載荷速度は 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: matsunaga-ryoma@ed.tmu.ac.jp

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. 止端に沿った進展初期の き裂については複数箇所からの発生を確認している.また,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. 図-3 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=0.3~0.4)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-4 にき裂が母材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<sup>3)</sup>も示 す. 応力範囲は、母材側の溶接止端から 10mm 位置のひずみ計測値と している.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-5 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. なお、母材側の溶接止端から 10mm 位 置に関しては、表裏のひずみ計測値を基に、面外曲げの影響を考 慮した値(膜成分に曲げ成分の4/5を加えた値)も合わせて示し ている<sup>4)</sup>. 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 位置の応力範囲によ る場合を除き、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







図-5 参照応力範囲別の 200 万回疲労強度

造の場合,現行構造と比較して発生応力自体が低い<sup>33</sup>ことから,疲労耐久性の向上効果が期待できると言える. 著者らは改良構造に関して、CIタイプの他に、箱桁外に輪荷重が載荷した場合を模擬し、垂直補剛材溶接部が引 張応力下にある場合の試験体(CO タイプ)についても疲労試験を実施しており、これら一連の結果より上端カット 構造の耐久性向上効果をとりまとめる予定である.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.

 $(N/mm^2)$ 

範囲

化力

#### 参考文献

<sup>1)</sup> 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.

<sup>2)</sup> 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.

<sup>3)</sup>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.