

上端カットした鋼床版垂直補剛材の引張応力下における疲労強度

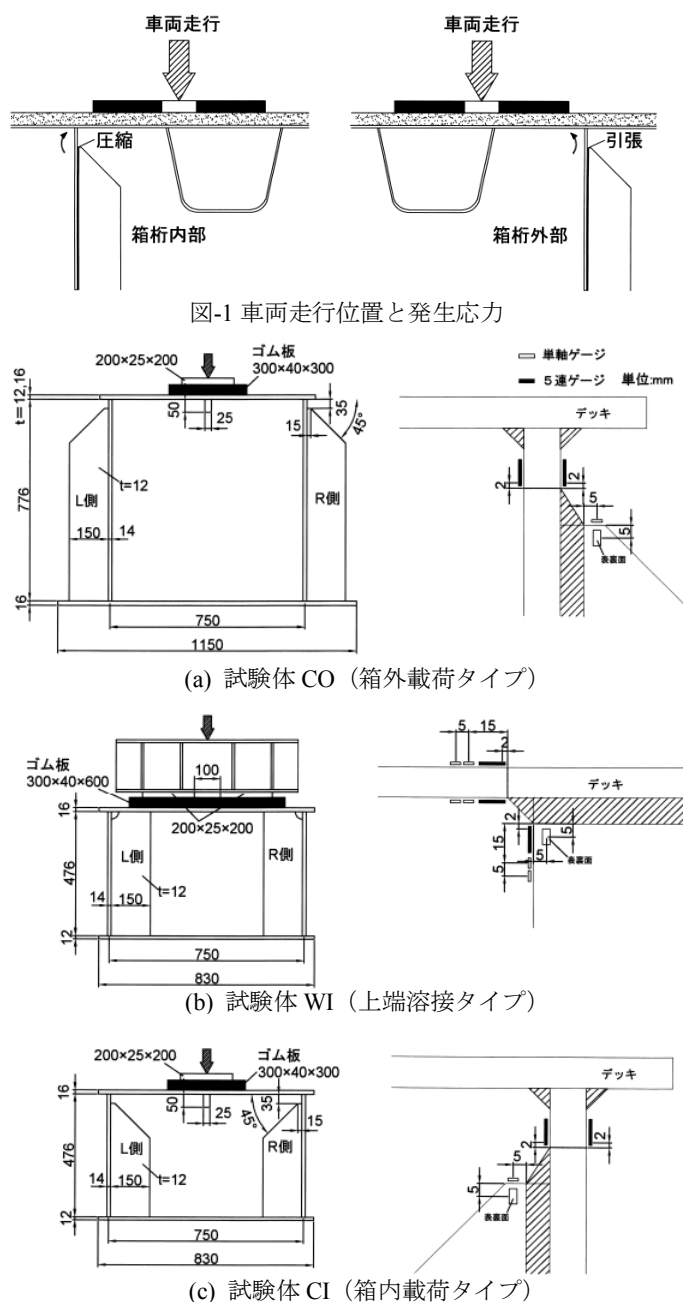
法政大学 正会員 ○内田大介 首都大学東京 正会員 村越潤, 学生会員 松永涼馬
(一社) 日本橋梁建設協会 正会員 齊藤史朗, 井口進

1. はじめに

鋼床版のデッキプレート（以下、デッキ）と主桁の垂直補剛材（以下、補剛材）溶接部の疲労き裂については、これまでに種々の検討が行われている¹⁾。当該部位の、新設橋梁の疲労耐久性向上策の一つとして、補剛材の上端をカットし、デッキプレートと溶接しない構造（以下、上端カット構造）も提案されている。この構造は鋼床版の横桁リブまたは横桁に対する標準構造として道路橋示方書に示されている構造であるが、主桁の補剛材に適用された事例もある。著者らは、上端カット構造の主桁への適用に向け、各種構造パラメータが溶接止端部の局部応力へ及ぼす影響や、補剛機能に関する解析的検討を実施してきた^{2),3)}。そして、局部応力については上端カットを施した場合に、輪の橋軸直角方向の走行位置が箱桁内部の場合には圧縮応力、箱桁外部の場合には引張応力が卓越することを確認した（図-1）²⁾。さらに、箱桁内部の輪の走行を模擬した疲労試験を実施し、上端カット構造は上端溶接構造と比較して疲労強度が高いことを確認した⁴⁾。本研究では、箱桁外部の輪の走行を模擬、すなわち垂直補剛材溶接部が引張応力下にある場合の疲労試験を実施し、疲労性状を確認するとともに、上端カット構造の疲労強度評価方法について検討を行う。

2. 試験体

疲労試験体は、デッキ厚 12mm と 16mm の箱桁外部走行を模擬した CO 試験体各 2 体に加え、比較のためのデッキ厚 16mm の上端溶接の WI 試験体と箱桁内部走行を模擬した CI 試験体各 1 体の合計 6 体である。図-2 に疲労試験体とひずみ計測位置を示す。試験体の奥行きは 600mm で中央断面の左右に補剛材を設置した。鋼種は SM400A である。試験体形状及び荷重荷重方法は、実橋においてダブルタイヤを荷重した場合の、垂直補剛材上端の応力性状を再現できるように決定した。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）²⁾と試験体モデルを対象に、MSC NASTRAN2014 を用いた弾性有限要素解析を行い、き裂発生部位（CO, CI 試験体はウェブ側止端部、WI 試験体はデッキ側止端部）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。例えば、CO, CI 試験体ではデッキ下面にリブ板を設置し、WI 試験体では輪荷重によるデッキ側の板曲げ応力と垂直補剛材の圧縮応力を再現するため、荷重梁を介して 2 点荷重としている。



キーワード 鋼床版, 垂直補剛材, 疲労強度, 上端カット

連絡先 〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33 法政大学デザイン工学部 TEL : 03-5228-1453

3. 疲労試験

疲労試験では 5,000 回毎に溶接止端近傍の動ひずみを計測してひずみ範囲の変化をモニタリングするとともに、50,000 回程度毎に磁粉探傷試験(MT)を行い、表面き裂の水平投影長さが 40mm 以上となるまで载荷を行った。試験荷重は载荷速度を 0.5~5.5Hz, 下限荷重を 1kN とし、荷重範囲は夏場の実橋における 100kN のダブルタイヤ载荷を基本として決定した。荷重範囲と疲労試験結果の一覧を表-1 に示す。表中の試験体記号の後の数字はデッキ厚と試験体番号を示し、ひずみ範囲 5%低下は母材(CO,CI 試験体はウェブ, WI 試験体はデッキ)側止端から 2mm 位置のひずみゲージの計測結果である。また、母材進展時とは、回し部に沿って進展したき裂が左右のいずれかで母材に進展した時点を表す。図-3 に MT の試験結果の一例を示す。なお、CO 試験体ではウェブ側の溶接止端からき裂が発生し、WI 試験体では、R 側はデッキ側止端部からき裂が発生したが、L 側は溶接ルートの未溶着部からき裂が発生し、母材進展までの寿命が長くなった。また、いずれの試験体も表面き裂長さ 40mm の段階ではき裂が母材を貫通することはなかった。なお、荷重を小さめに設定した CI 試験体ではき裂の発生を確認できなかった。

4. 疲労強度評価

局部応力の評価にも適するとされる止端 4mm と 6mm の 2 点を用いたホットスポット応力⁵⁾と、公称応力的に用いられる場合もある、母材の溶接止端から 10mm 位置のひずみから算出した応力で整理した疲労試験結果を図-4 に示す。疲労寿命はひずみ範囲の 5%低下はばらつきが大きく、母材進展時と表面き裂長さ 40mm のいずれかが考えられたが、安全側の評価となる前者とした。なお、溶接ルート部からき裂が発生した WI 試験体 L 側の結果は除外している。また、図中には文献 4) の CI 試験体と WI 試験体の結果も示している。

ホットスポット応力で整理した結果は CO,CI 試験体の結果のばらつきは小さいが、WI 試験体の結果のばらつきが大きく、全ての試験結果を 1 つの疲労強度曲線で評価すると、CO,CI 試験体に対して安全側の評価となることがわかる。溶接止端から 10mm 位置での評価は、3 種類の試験体で疲労強度が異なり、疲労強度曲線の $m=3$ として 200 万回疲労強度を算出すると、CO 試験体で 69.9N/mm², WI 試験体で 44.0N/mm², CI 試験体で 85.3N/mm² となった。ここで、WI,CI 試験体の疲労試験は完全な圧縮応力下の試験である。CI 試験体の 200 万回疲労強度は平均応力の影響⁶⁾を考慮して 1.3 で除すと、65.6N/mm² と CO 試験体と近い値となり、上端カット施した CO,CI 試験体は一本の疲労設計曲線で整理できる可能性があることがわかる。

表-1 疲労試験結果一覧

試験体	荷重範囲(kN)	载荷速度(Hz)	寿命($\times 10^4$ 回)		
			ひずみ範囲 5%低下	母材進展時	表面き裂長 40mm
CO12-1	L側 13.1 (100kN相当)	0.5~5	7	92	325
			15.5	196	505
CO12-2	L側 16.4 (125kN相当)	5.5	85.0	265	400
			32.5	205	395
CO16-1	L側 12.1 (100kN相当)	5	83.5	315	910
			188.5	480	940
CO16-2	L側 15.1 (125kN相当)	5~5.5	23.5	220	645
			14	220	675
WI16-1	L側 59.1 (100kN相当)	5	112	210	345
			3.5	70	145
CI16-1	L側 14.1 (84.3kN相当)	0.6~5.5	>1065	>1065	>1065
			>1065	>1065	>1065

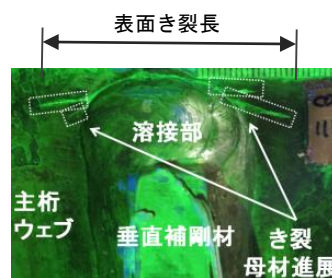


図-3 MT 写真の一例(CO-16-1 L 側)

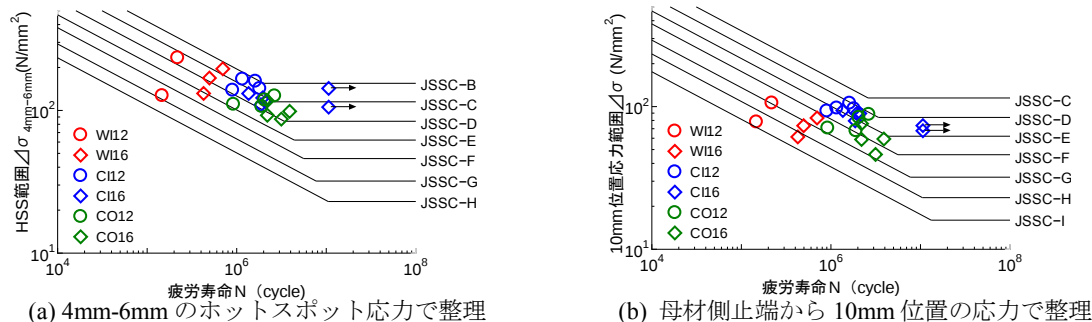


図-4 疲労試験結果

参考文献

- 1) 土木学会：鋼床版の疲労，2010.12.
- 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) 齊藤ほか：鋼床版垂直補剛材上端部のギャップ量が補剛機能に与える影響，土木学会第 60 回年次学術講演会概要集，I-544，2016.9.
- 4) 松永ほか：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，土木学会第 63 回年次学術講演会概要集，2019.9.
- 5) 三木ほか：局部応力を基準とした疲労評価手法に関する一考察，構造工学論文集，第 38-3 巻，pp.1055-1062，1992.3.
- 6) 日本道路協会：道路橋示方書・解説 II 鋼橋・鋼部材編，2017.11.