

鋼床版デッキプレートー垂直補剛材溶接部の局部応力に関する検討（その2）

日本橋梁建設協会 正会員 ○齊藤史朗 井口進

施工技術総合研究所 正会員 井上一磨 小野秀一

法政大学 正会員 内田大介 東京都立大学 正会員 村越潤

1. はじめに

鋼床版橋梁のデッキプレートと垂直補剛材の溶接部における疲労損傷対策として垂直補剛材上端を切断して応力集中を低減する方法について、前報¹⁾にて実験的に検討した。垂直補剛材上端部の応力性状についての解析的検討はすでに行われているが²⁾、輪荷重の影響範囲やタンデム軸重の影響については明らかにされていない。本報告では、実物大試験体を再現した FEM 解析モデルを用いて垂直補剛材上端部の応力性状を確認し、着目部のホットスポット応力による疲労寿命評価を行う。

2. 解析モデル

実物大試験体を対象とし、着目部の溶接形状を再現した FEM 解析モデル（図1）を作成した。着目部は最小メッシュ 0.1mm のソリッド要素とした。鋼材のヤング率は 200000N/mm²、ポアソン比 0.3 として解析には FEMAP with Simcenter Nastran Ver2019.1 を用いた。载荷試験の载荷ケースに加えてアウトプットを滑らかにするために橋軸方向に 5 ケース追加し、両側のダブルタイヤを载荷する軸载荷の解析を行った。また、タンデム軸重の影響の有無を確認するため、橋軸方向に輪荷重が垂直補剛材直上の载荷のみ、タンデム载荷と片側ダブルタイヤを载荷する輪载荷も行った。

3. 解析結果

3.1 垂直補剛材上端部の応力性状

载荷試験の結果と解析結果の比較の一例として 35mm カットのウェブ側溶接止端 2mm 位置の鉛直方向応力を図2に示す。解析結果と载荷試験の結果を比較したところ、着目部である溶接止端部に近い位置において载荷試験の結果を再現できており、影響線の傾向も一致していることから解析モデルが妥当であると判断した。次に、タンデム载荷、軸载荷および輪载荷による発生応力の比較の一例として 35mm カットのウェブ側溶接止端 2mm 位置の応力を図3に示す。応力が最大となる x=300 位置においてタンデムで-65.9N/mm²、軸载荷で-68.6N/mm²、輪载荷で-67.7N/mm² となり、タンデム軸重の影響はほとんどないことを確認した。また、輪荷重の橋直方向の影響範囲は、概ね x=-1000~1000mm であることを確認した。橋直方向に最も厳しいケース（上端溶接のデッキ側止端と補剛材側止端は x=400 位置、35mm カットと 75mm カットは x=300 位置）における溶接止端 5mm 位置の発生応力の比較を図4に示す。解析においても、上端カットによって応力集中緩和効果を示すことができた。

3.2 疲労寿命評価

疲労寿命評価を行うため、橋直方向の各荷重ケースにおける橋軸方向の影響線からホットスポット応力範囲を算出した。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³⁾と、公称応力的に用いられる溶接止端から 10mm 位置応力、および 0.4t と 1.0t の 2 点を用いたホットスポット応力の 3 種類を用いた。上端溶接のデッキ側止端について、平均応力を考慮しない場合と考慮した場合の結果を図5に示す。ただし、平均応力を考慮した場合の結果は、便宜的にホットスポット応力範囲を道示Ⅱ8.3.3 に示す補正係数で除して整理している。輪荷重の走行位置が箱桁内（x>0mm）の場合、応力比 R<-1 となるため平均応力を考慮すると便宜上ホットスポット応力範囲が小さくなる。上端溶接の補剛材側止端、35mm カットと 75mm カットのウェブ側止端についても平均応力を考慮して算出したホットスポット応

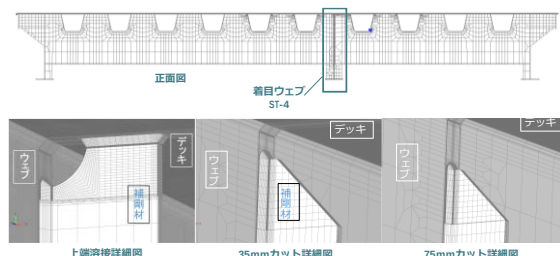


図1 解析モデル

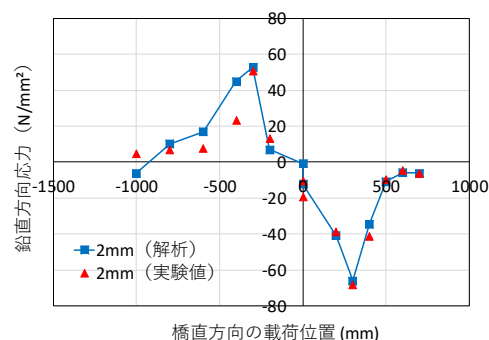


図2 実験値と解析値の比較

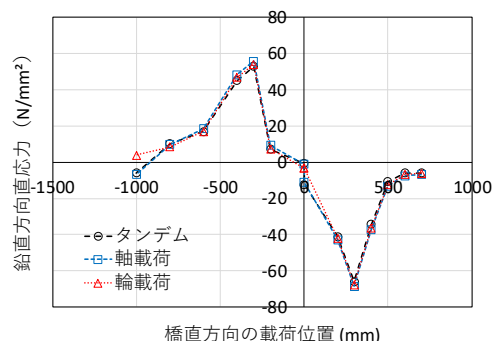


図3 タンデム、軸载荷、輪载荷の比較

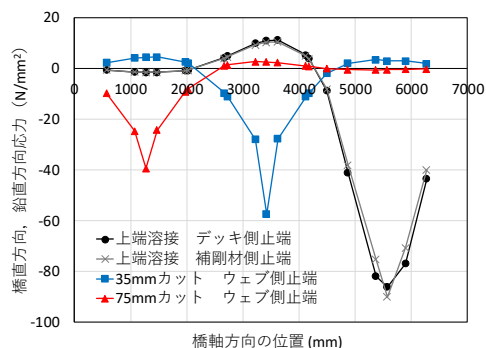


図4 橋軸方向の影響線

キーワード 鋼床版、垂直補剛材、疲労、局部応力、輪荷重

連絡先 日本橋梁建設協会 〒105-0003 東京都港区西新橋 1-6-11 TEL : 03-3507-5225 FAX : 03-3507-5235

力範囲を図 6 に示す。輪荷重の走行位置が箱桁内 ($x>0\text{mm}$) の場合は上端溶接よりも上端カットの方がホットスポット応力範囲は小さくなり、箱桁外 ($x<0\text{mm}$) の場合は上端溶接よりも上端カットの方がホットスポット応力範囲は大きくなる。

次に、算出したホットスポット応力範囲を用いて文献 2) と同様の方法で疲労寿命評価を実施した。すなわち、応力繰返し数にホットスポット応力範囲の 3 乗を乗じた値を疲労被害と定義し、疲労被害の比較による疲労寿命の相対比較を行った。疲労被害の算出では、便宜上、疲労強度曲線の傾きを表す指数 $m=3$ とした。なお、輪荷重の橋直方向の走行位置の頻度分布も考慮した。走行位置の平均位置 μ は、主桁腹板厚中心である 0mm と -300mm (箱桁外の最も厳しい走行位置)、 300mm および 400mm (箱桁内の最も厳しい走行位置) にあるものとし、走行位置のばらつきは標準偏差 $\sigma=150\text{mm}$ の正規分布を仮定した。ここでは、疲労被害の比較による疲労寿命の相対比較を目的としているため、衝撃は考慮していない。

上端溶接、上端カットの疲労被害を算出した結果を表 1, 2 に、ホットスポット応力により同一の疲労強度曲線で評価できると仮定し、上端溶接の疲労寿命を 1 とした場合の上端カットの疲労寿命の倍率を表 3 に示す。輪荷重の走行位置が箱桁内にある場合 ($\mu=0,300,400\text{mm}$) は、上端カット構造によって疲労寿命が概ね 3 倍以上になっている。一方、輪荷重の走行位置が箱桁外にある場合 ($\mu=-300\text{mm}$) には、上端カット構造によって疲労寿命が短くなる。

4. おわりに

実物大載荷試験結果と FEM 解析結果の比較を行い、実大スケールにおける解析モデルの妥当性を確認できた。また、解析結果から溶接止端部に発生する応力の橋軸方向の影響線を作成し、ホットスポット応力範囲による疲労寿命評価を行なった結果、上端カット構造によって大幅に疲労寿命が向上することを確認した。

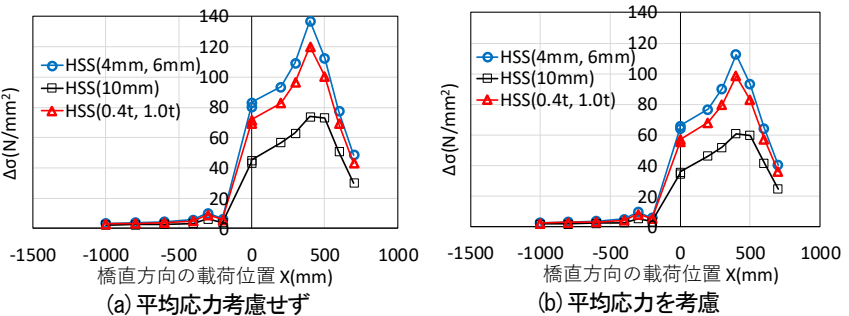


図 5 ホットスポット応力範囲 (上端溶接のデッキ側溶接止端)

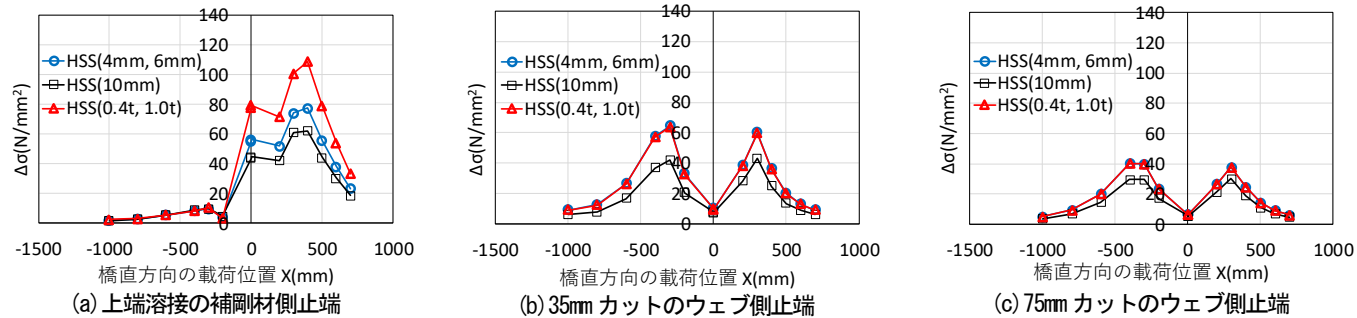


図 6 ホットスポット応力範囲 (平均応力を考慮)

表 1 上端溶接の疲労被害		疲労被害 (1cycle・(N/mm ²) ³)			
		$\mu=-300\text{mm}$	$\mu=0\text{mm}$	$\mu=300\text{mm}$	$\mu=400\text{mm}$
デッキ側止端	HSS(4mm, 6mm)	29555	262970	693806	748769
	HSS(10mm)	4826	48828	136110	150697
	HSS(0.4t, 1.0t)	19141	175941	476469	515839
補剛材側止端	HSS(4mm, 6mm)	18121	129615	273812	267185
	HSS(10mm)	9343	67034	147529	143032
	HSS(0.4t, 1.0t)	49795	353227	726108	717207

表 2 上端カットの疲労被害		疲労被害 (1cycle・(N/mm ²) ³)			
		$\mu=-300\text{mm}$	$\mu=0\text{mm}$	$\mu=300\text{mm}$	$\mu=400\text{mm}$
35mmカットウェブ側止端	HSS(4mm, 6mm)	131645	42192	93050	77921
	HSS(10mm)	35353	13767	34295	28376
	HSS(0.4t, 1.0t)	127352	41043	90812	76012
75mmカットウェブ側止端	HSS(4mm, 6mm)	38075	12583	24926	20739
	HSS(10mm)	15348	5795	12548	10332
	HSS(0.4t, 1.0t)	38210	12608	25003	20809

表 3 上端溶接の疲労寿命を 1 とした場合の上端カットの疲労寿命の倍率		デッキ側止端を 1 とした場合				補剛材側止端を 1 とした場合			
		$\mu=-300\text{mm}$	$\mu=0\text{mm}$	$\mu=300\text{mm}$	$\mu=400\text{mm}$	$\mu=-300\text{mm}$	$\mu=0\text{mm}$	$\mu=300\text{mm}$	$\mu=400\text{mm}$
35mmカット	HSS(4mm, 6mm)	0.2	6.2	7.5	9.6	0.1	3.1	2.9	3.4
	HSS(10mm)	0.1	3.5	4.0	5.3	0.3	4.9	4.3	5.0
	HSS(0.4t, 1.0t)	0.2	4.3	5.2	6.8	0.4	8.6	8.0	9.4
75mmカット	HSS(4mm, 6mm)	0.8	20.9	27.8	36.1	0.5	10.3	11.0	12.9
	HSS(10mm)	0.3	8.4	10.8	14.6	0.6	11.6	11.8	13.8
	HSS(0.4t, 1.0t)	0.5	14.0	19.1	24.8	1.3	28.0	29.0	34.5

参考文献 1)井上一磨, 小野秀一, 齊藤史朗, 林暢彦, 宮山浩太郎, 石川誠, 内田大介, 村越潤: 鋼床版デッキプレート垂直補剛材溶接部の局部応力に関する検討 (その 1), 土木学会第 76 回年次学術講演会, 投稿中, 2021. 2)内田大介, 齊藤史朗, 井口進, 村越潤: 鋼床版垂直補剛材溶接部の局部応力に関する解析的検討, 構造工学論文集, Vol.66A, pp.562-575, 2020. 3)三木千壽, 館石和雄, 山本美博, 宮内政信: 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.