

口頭発表 | 第VI部門

2025年9月12日(金) 11:10 ~ 12:30 221 (熊本大学 工学部2号館 (黒髪南キャンパス))

補修・補強(7)

座長：藤井 保也 (大林組)

11:30 ~ 11:40

[VI-1124] 支圧接合用高力ボルトを用いた疲労き裂対策垂直補剛部材の鋳鉄化

*梶田 太一¹、長坂 康史¹、竹渕 敏郎²、中島 悠介²、山下 良³ (1. 川田工業株式会社、2. MKエンジニアリング株式会社、3. ヒノデホールディングス株式会社)

キーワード：疲労亀裂、鋼床版、垂直補剛材、当て板補強、支圧接合用ボルト

鋼床版桁橋のデッキプレートと垂直補剛材との溶接部に発生する疲労き裂対策として、支圧接合用高力ボルトを用いた当て板によるリフトアップ補強工法がある。従来の補強部材は完全溶け込み溶接で製作されているため、品質確保のために超音波探傷試験による非破壊検査が必要である。一方で、鋳鉄化することで溶接が不要となり、非破壊検査を省略できる。また、応力集中部の増厚や角部の曲面成型が比較的容易であり、応力集中を緩和できるため、良好な疲労耐久性が期待できる。本研究では、溶接による部材接合を必要としない鋳鉄補強材に改良を加え、その補強効果および効果の持続性を確認するため、解析的検証と疲労試験を実施した。

支圧接合用高力ボルトを用いた疲労き裂対策垂直補剛部材の鋳鉄化

川田工業(株) ○梶田太一, 長坂康史
MK エンジニアリング(株) 竹渕敏郎, 中島悠介
ヒノデホールディングス (株) 山下良

1. はじめに

近年, 鋼床版桁橋の垂直補剛材とデッキプレートの溶接止端部における疲労き裂の発生が多く報告されている. この疲労き裂に対する対策として, 我々は支圧接合ボルトを用いたリフトアップ工法 (図-1) を提案し, 実橋梁の垂直補剛材部に施工して応力の低減効果を確認してきた^{1~4)}. 本研究では溶接による部材接合を必要としない鋳鉄型補強材に改良を加え, その補強効果および効果の持続性を確認するための解析的検証と疲労試験を実施した.

2. 補強部材について

従来の溶接型補強部材と鋳鉄型補強部材を写真-1 に示す. 従来の溶接型補強部材は L 材にリブを完全溶込み溶接で製作しており, 品質確保のため超音波探傷試験による非破壊検査が必要となる. 一方で, 鋳鉄化することで溶接が不要となり, 非破壊検査を省略できる. また, 応力集中部の増厚や角部の曲面成型が比較的容易であり, 応力集中を緩和できるため, 良好な疲労耐久性が期待できると考えた. さらに, 一度鋳型を作成することで同じ形状の部材を繰り返し製造できるため, 標準化による経済的メリットにも期待できる. なお材質は, 従来の溶接型補強部材には SS400 を, 鋳鉄型補強部材には製造性を考慮し球状黒鉛鋳鉄 (FDC600) を採用した. 材料特性の比較を表 1 に示す.

3. 解析的検討

図-2 に有限要素モデルを示す. 疲労試験体の対称性を考慮した 1/8 モデルとして, 境界条件は対称切断面において法線方向変位成分を拘束し, 補剛部材の接触面は剛結条件と, ボルト部のみで剛結した接触条件とした. 補剛材と載荷位置は過去の解析結果²⁾ から, 溶接止端部の応力が最大となる U リブ上の垂直補剛材側とした. U リブおよび垂直補剛材の溶接止端部間におけるミーゼス応力を図-3 示す. また, 垂直補剛材溶接止端部の応力の低減効果を図-4 に示す. 鋳鉄型補強部材は, 従来の溶接型補強部材と同程度であった.

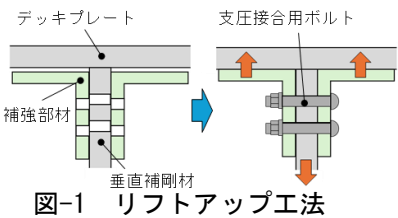
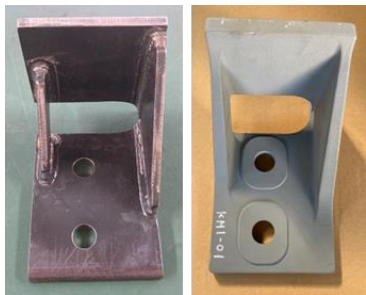


図-1 リフトアップ工法



a) 溶接型 b) 鋳鉄型

写真-1 補強部材

表-1 材料特性 (JIS参照)

	降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	伸び率 (%)	ヤング率 (GPa)
SS400	205MPa 以上	330~430 MPa	25% 以上	200GPa
FCD600	360MPa 以上	600MPa 以上	2% 以上	170GPa

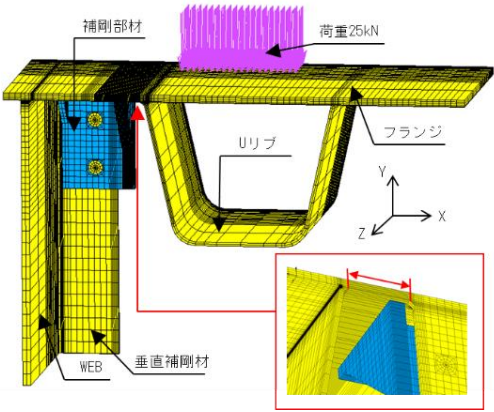


図-2 有限要素解析モデル

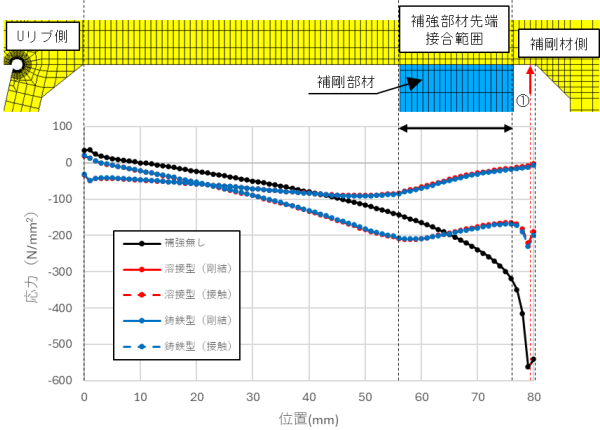


図-3 溶接止端部間の解析結果

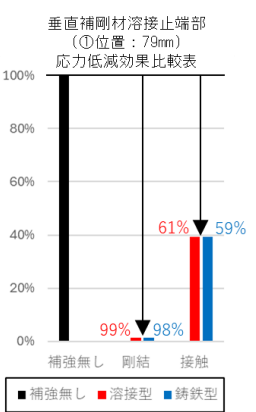


図-4 低減効果

キーワード 疲労き裂, 鋼床板, 垂直補剛材, 当て板補強, 支圧接合用ボルト, ひずみ計測
連絡先 〒170-0003 東京都豊島区駒込 3-3-20 駒込トリオビル 10 階
川田工業株式会社 橋梁事業部 開発部 TEL (03-5961-5001)

4. 疲労試験の試験体概要

本工法は、垂直補剛材上端から張出した形で当て板補強をするため、近接するトラフリブへの影響が懸念された。そのため、従来の溶接型補強部材で応力低減効果と補強部材本体の疲労強度に加え、補強による近接トラフリブへの影響を検証してきた²⁾。したがって、鋳鉄型補強部材においても、図-5示すトラフリブ付き試験体による疲労試験を実施し、その補強効果および本体の疲労強度について確認する。

試験体の寸法は文献 1) に同じである。同図にひずみゲージの位置を併せて示す。疲労試験の試験対象箇所となる垂直補剛材の回し溶接に対し、止端部からデッキ側 (VF) および垂直補剛材側 (VK) から 5mm の位置、トラフリブ側 (UU, UF) も同様にひずみゲージを貼付した。

5. 疲労試験

疲労試験の荷重は、静的載荷時のひずみゲージ値(VK, VF)が 800~1000 μ 程度となる 31kN (イニシャル値: 1 kN) に対し、疲労試験での振幅を考慮した荷重範囲を $\Delta P=25\text{kN}$ (6~31kN) として載荷を実施した。疲労試験中のひずみ範囲の変化を図-6、従来の補強材との比較を表-2 に示す。補強後 200 万回の載荷で、コバ面側(VK)ではひずみ範囲の変化は殆どなく、フランジ側(VF)で約 5%程度のひずみ低減率に変化がみられるものの、載荷終盤でその変化は小さく、補強効果の持続性を確認できた。トラフ側に貼付したひずみゲージ(UU, UF)についても、当て板補強によりひずみが低減しており、鋳鉄型補強部材を用いた本疲労試験範囲内では、本工法によりトラフリブが十分に補強されたと言える。図-7 に各補強部材の疲労試験における低減効果の推移を示す。各比較部位のいずれも従来の溶接型補強部材と同程度の低減効果となることが確認された。

参考文献

- 1) 穴見ら：支圧接合用高力ボルトを用いた鋼床版垂直補剛材上端の当て板補修，構造工学論文集 Vol.65A，2019.3.
- 2) 佐々木ら：鋼床版垂直補剛材上端部当て板補強によるデッキートラフリップ溶接部への影響，第 74 回次学術講演会，I-213，2019.9
- 3) 長谷川ら：鋼床版桁の垂直補剛材疲労き裂部へのリフトアップ補強工法による応力低減効果（その 1）（実橋における荷重者を用いた載荷試験），第 79 回年次学術講演会，I-98，2024.9
- 4) 荒井ら：鋼床版桁の垂直補剛材疲労き裂部へのリフトアップ補強工法による応力低減効果（その 2）（溶接止端間隔の違いによる解析的検討），第 79 回年次学術講演会，I-99，2024.9

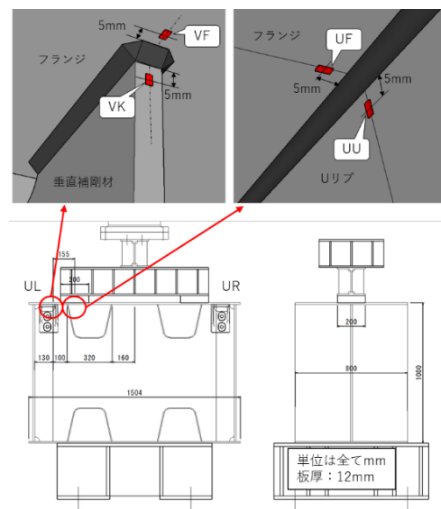


図-5 疲労試験体

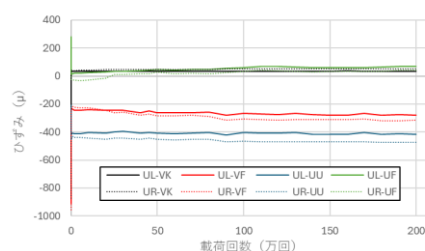


図-6 疲労試験結果

表-2 補強部材比較表

		補強前		補強後		試験終了		
		ひずみ 範囲(A)	ひずみ 範囲(B)	ひずみ 低減率	ひずみ 範囲(C)	ひずみ 低減率		
垂直補剛材側	重直補剛材側回し溶接止端部から5mm(VK)							
	溶接型	UL	-1263	27	97.9%	-10	99	
		UR	-1141	6	99.5%	14	98.8	
	鋳鉄型	UL	-856	30	96.4%	32	96.2	
		UR	-770	41	95.3%	52	94.0	
	フランジ側回し溶接止端部から5mm(VF)							
	溶接型	UL	-1544	-484	68.7%	-685	55.6	
		UR	-1320	-200	84.8%	-362	72.6	
鋳鉄型	UL	-910	-235	74.2%	-279	69.3		
	UR	-953	-246	74.2%	-317	66.8		
トラフリップ側	トラフリップ側の溶接止端部から5mm(UU)							
	溶接型	UL	232	132	43.1%	131	43.5	
		UR	259	134	48.3%	149	42.5	
	鋳鉄型	UL	149	81	45.9%	102	31.8	
		UR	192	108	43.6%	122	36.6	
	フランジ側の溶接止端部から5mm(UF)							
	溶接型	UL	375	2	99.5%	42	88.8	
		UR	371	2	99.5%	56	84.9	
鋳鉄型	UL	279	12	95.6%	69	75.1		
	UR	258	-26	90.0%	43	83.4		
低減率は1-(B/AまたはC/A)の絶対値×100%と定義								

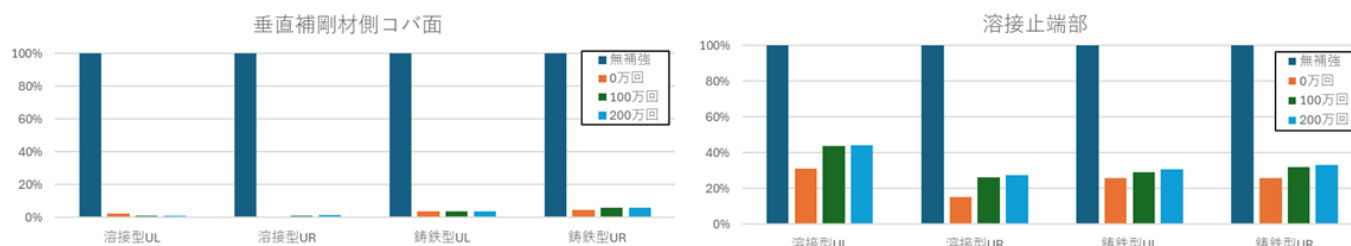


図-7 各疲労試験の推移