

炭素繊維プレートを用いた既設鋼桁橋の補強に関する検討

横河ブリッジ 正会員 石井 博典 日鉄コンポジット 正会員 小林 朗
 大阪工業大学 正会員 吉川 紀 長岡技術科学大学 北城 正樹

1.はじめに 平成14年3月に道路橋示方書が改訂され、道路橋においても疲労設計が義務づけられた。しかし、既に架けられた橋梁については建設時に明確な形で疲労設計されていないため、それらの橋梁の疲労評価を行い、適切な補修・補強により延命化することで、合理的に維持管理を進めていく必要がある。既設鋼橋の補強方法としては、溶接もしくは高力ボルトによる補強部材の取付が一般的であるが、溶接については現地の環境から品質の確保が困難である、高力ボルトについては断面欠損が生じるなどの欠点がある。一方、近年ではコンクリート構造物の補強を中心に、接着剤や炭素繊維など新素材の活用が盛んになっており、鋼橋においても一部研究が進められている。接着剤や炭素繊維を用いた補強は、母材にほとんど手を加えないことから、既設橋の延命策として非常に有効な方法になり得ると考えられる。しかし、炭素繊維シートの場合、剛性向上のためには多数の貼り重ねが必要であり、現場での施工性に劣ると考えられた。そこで、本研究では、工場が高弾性炭素繊維シート10層分を1体成型する高弾性炭素繊維シートを開発し、その適用について検討した。

2.面外ガゼットの疲労試験 第一に、面外ガゼット継手の疲労試験を実施した。疲労試験体の概要および補強方法の概要を図-1および表-1に示す。試験体は溶接試験体3体の他、炭素繊維シート補強試験体を2体、炭素繊維プレート補強試験体を1体、合計6体とした。炭素繊維端部における接着剤への負担を軽減するため、炭素繊維は1層ずつ長さを替え、また、炭素繊維プレートは端部にテーパを設けた。

溶接止端部より10mmの位置で測定した各試験体の応力値を表-2に示す。炭素繊維シート、炭素繊維プレート補強試験体では、溶接止端部の応力は25%~30%程度低減することが確認された。疲労試験結果を図-2に示す。溶接継手試験体では、公称応力範囲102N/mm²で疲労試験を実施したところ、繰返し数約100万回~約200万回程度で疲労亀裂が発生した。1体目の炭素繊維シート試験

表-2 静的載荷試験結果例

	発生応力 [N/mm ²]	①との比
①溶接継手試験体	120.6	1.00
②炭素繊維シート	90.0	0.75
③炭素繊維プレート	81.7	0.68

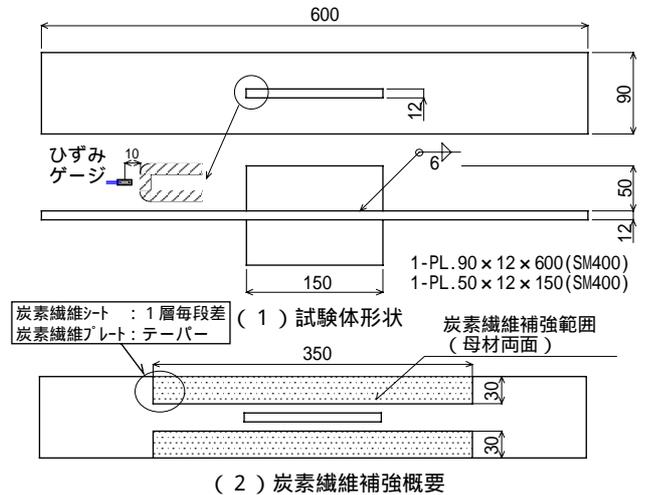
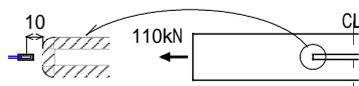


図-1 試験体概要

表-1 炭素繊維の諸元

(1)炭素繊維シート補強の諸元(炭素繊維の純断面積で算定)				
使用材料	設計厚さ mm/層	弾性係数 kN/mm ²	引張強度 N/mm ²	接着層数 (片面)
高弾性炭素繊維	0.143	640	1900	10

(2)炭素繊維プレート補強の諸元(FRPの断面積で算定)				
使用材料	厚さ mm	弾性係数 kN/mm ²	引張強度 N/mm ²	接着枚数 (片面)
高弾性炭素繊維	2.4	380	1130	1

※1枚で高弾性炭素繊維シート10枚分に相当

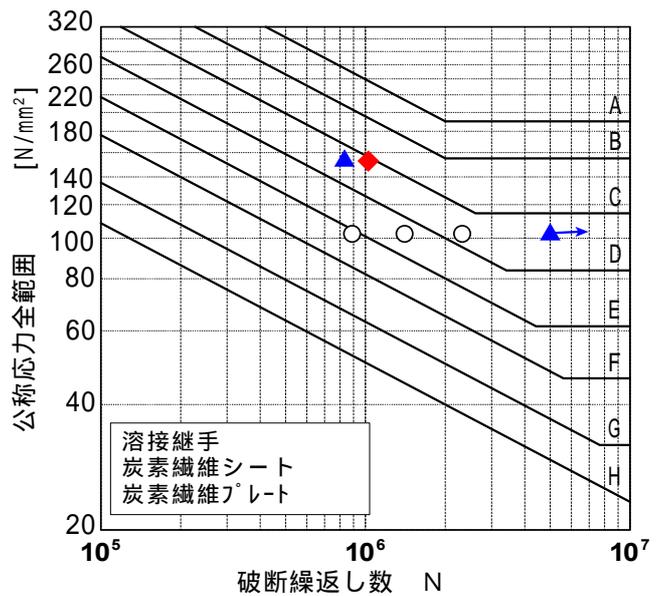


図-2 疲労試験結果

キーワード： 炭素繊維, 疲労, 補強
 連絡先： 〒273-0026 千葉県船橋市山野町2-7番地

Tel 047-435-6161 Fax 047-435-6160

体では、同じく公称応力範囲 102 N/mm^2 で 500 万回まで疲労試験を実施したが疲労亀裂は発生しなかった。そのため、2 体目の炭素繊維シート試験体および炭素繊維プレート試験体では荷重を 1.5 倍として疲労試験を実施した。その結果、いずれも繰り返し数 100 万回程度で疲労亀裂が発生した。

3. 応力低減効果確認試験 疲労試験の結果、炭素繊維シート（10 層）、炭素繊維プレートともに同等の疲労寿命向上効果が得られることが確認できた。現場での施工性を考慮し、以後、炭素繊維プレートに着目した検討を行った。ここでは、炭素繊維プレート厚さ、長さ等が応力低減効果、破壊強度に及ぼす影響を確認するため、図 - 3 に示す試験体を製作し、静的試験を実施した。試験パラメータは表 - 3 に示すとおりとした。

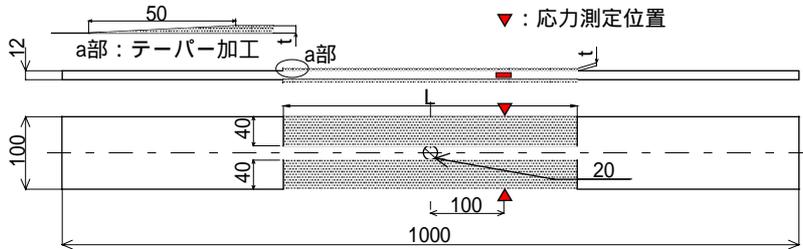


図 - 3 試験体概要

表 - 3 試験パラメータ

No.	名称	t[mm]	L[mm]	層数
TP1	補強なし	—	—	—
TP2	2.4-400-1	2.4	400	1
TP3	3.6-400-1	3.6	400	1
TP4	2.4-600-1	2.4	600	1
TP5	2.4-400-2	2.4	400.600 ^{※1}	2

※1: 1層目と2層目で長さを変更

弾性載荷試験結果を表 - 4 に示す。表中、炭素繊維プレートを全断面有効として換算した理論値を併記した。炭素繊維プレート厚 2.4mm では、理論通りの応力低減効果が得られていることがわかる。一方、炭素繊維プレート厚 3.6mm では、理論通りの応力低減は得られなかった。これは、接着剤への負担が大きく、炭素繊維プレートに力を有効に伝達できなかったためであると考えられる。炭素繊維プレート 2.4mm を 2 層貼り重ねた試験体では、理論値よりは若干劣るものの、最も大きな応力低減効果が得られることがわかった。

表 - 4 静的載荷試験結果例（荷重 100kN）

No.	名称	理論値		実測値	
		応力 [N/mm ²]	TP1との比	応力 [N/mm ²]	TP1との比
TP1	補強なし	83.4	1.00	83.2	1.00
TP2	2.4-400-1	51.8	0.62	53.6	0.64
TP3	3.6-400-1	43.6	0.52	60.4	0.73
TP4	2.4-600-1	51.8	0.62	52.8	0.63
TP5	2.4-400-2	37.6	0.45	45.4	0.55

4. 実橋への適用 ここでは、炭素繊維プレートの実橋への適用について FEM 解析による検討を実施した。FEM 解析モデルを図 - 4 に示す。標準的な合成鋼桁橋の主桁 1 本を取りだし、支間中央部に取り付けられたガセットプレートを補強対象とした。ガセットの上下に 2.4mm の炭素繊維プレートを取り付ける補強方法を仮定した。解析結果を図 - 5 に示す。ガセット先端位置で、炭素繊維プレート 1 層で 34%、2 層では 50% の応力低減が得られることが確認できた。

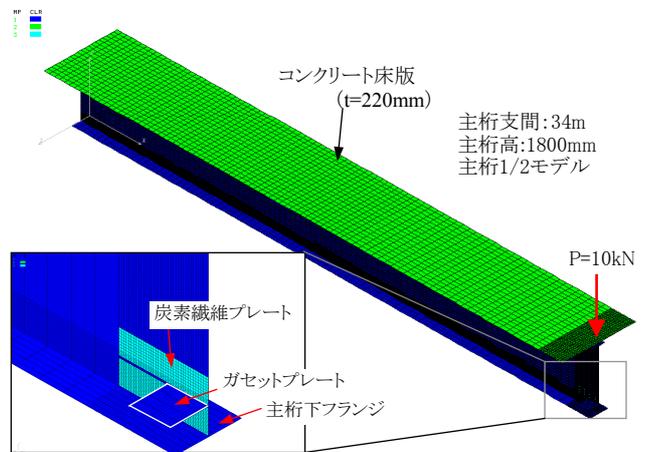


図 - 4 実橋 FEM 解析モデル

5. まとめ 各種試験および FEM 解析により、炭素繊維プレート補強により既設橋において疲労損傷の可能性が指摘されている主桁ウェブ面外ガセット部の疲労寿命を向上できる可能性があることが示された。今後、実橋モデルの試験体や実橋試験施工により、その効果を確認する必要があると考えられる。なお、(株)スリーボンドには、接着剤の提供および技術的な指導を頂きました。ここに記して謝辞とします。

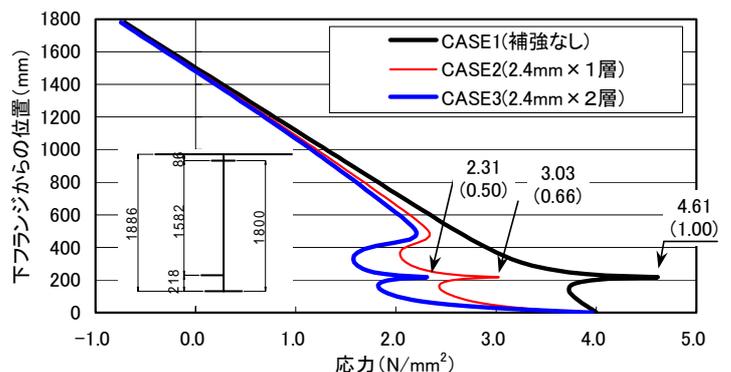


図 - 5 主桁の垂直応力分布（FEM）