

セパレータが積層された炭素繊維シートによる鋼桁の補強効果の確認実験

○(株)浅沼組 正会員 森山 保彦
(株)ケー・エフ・シー 正会員 松島 太司
阪神高速道路(株) 正会員 青木 康素 高田 佳彦

1. はじめに

本研究では鋼材の疲労対策の一手法として、高目付の炭素繊維を一度に施工可能な連続繊維シートを貼付けて補強する工法に着目し、その補強効果を連続載荷試験および剥離試験により確認した。

2. 当該連続繊維シートの特徴

本研究で用いた炭素繊維シートは、セパレータに連続繊維をステッチにより縫い付け製作する。セパレータにより接着剤と含浸剤を分離することで低粘度の含浸剤使用が可能となり 1 層目付量を大きくでき、施工効率が飛躍的に向上する。

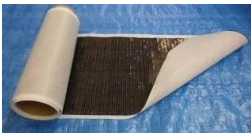


写真-1 シート外観



写真-2 縫い付け

【材料面】①シートと補強対象を強固に接着。②柔軟性が高い。③高目付（最大 2400g/m²）を 1 層で施工。

【施工面】①容易に鋼材と密着。②高い追従性で隅角部、湾曲部にも容易に接着。③脱泡不要。④工程短縮および危険な上向き作業を低減。⑤アクリル樹脂、他の補強材（アラミド繊維・高弾性繊維等）も適用可能。

3. 実験内容と結果

載荷試験は図-1 に示すとおり 3 点曲げにより載荷する。事前の静的載荷試験での下フランジ中央のひずみ低減率は 1 層張り補強で 13%，2 層張り補強で 21%であった。連続載荷試験では補強効果の持続性確認のため、当該シート 1 層で補強した H 形鋼試験体（SS400 300×300×10/15）で 200 万回連続載荷を行った。前後で静的載荷試験（許容応力 140N/mm² まで）を実施した。剥離試験では下フランジ下縁が降伏ひずみに達する荷重（降伏荷重）まで静的載荷試験を行い剥離の挙動について確認した。

①連続載荷試験

連続載荷において目標とした応力度は、多主鈑桁橋での実橋計測で得られた最大応力度（57～75N/mm²）とし、荷重振幅は初期応力約 10N/mm² 片押しでのプレ載荷試験で安定して目標応力度に達した振幅を採用した（表-1）。表-2 に示すとおり連続載荷試験前後の載荷試験結果から、相対たわみの変化はほぼなく、200 万回の連続載荷試験による、曲げに対する補強効果の長期耐久性を確認した。

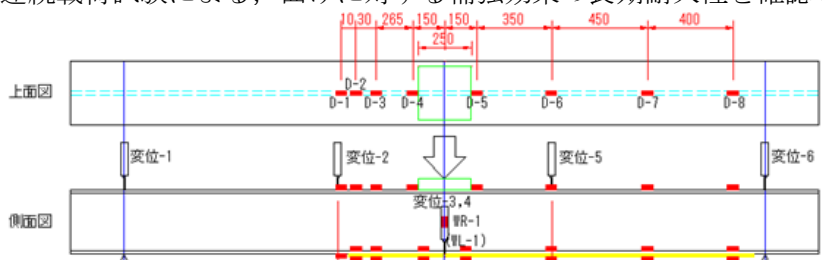


図-1 ゲージ設置位置

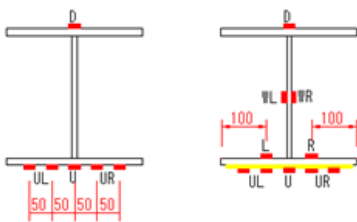


表-1 連続載荷試験計画値と実測値

	設定目標値	実施	備考
最大荷重 (kN)	101～133	128.7	M=193.05kN・m
最小荷重 (kN)	—	33.4	キャリブレーションにより設定
最小荷重振幅 (kN)	—	88.8	実橋での応力計測値から設定
振動数 (Hz)	2～3	3	
最大ひずみ (μ)	278～366	368～378	E=205000N/mm2仮定
最大変位 (mm)	2.7	2.87	設定値: H28年度実験結果参考
応力度 (kN/mm ²)	57～75	83.9	目標値: 阪神高速道路実測値参考

表-2 連続載荷試験前後の載荷試験結果

	荷重 (kN)	中央変位 (mm)	支点平均 (mm)	相対たわみ (mm)	中央部ひずみ	
					U4(μ)	U5(μ)
前	50	1.45	-0.65	0.8	151	112
	100	2.35	-0.77	1.58	293	217
	150	3.24	-0.9	2.34	438	324
	200	4.13	-1.03	3.1	582	429
	50	1.33	-0.58	0.75	144	106
後	100	2.27	-0.72	1.56	289	216
	150	3.16	-0.82	2.35	434	327
	200	4.06	-0.92	3.15	582	437

キーワード : 連続繊維シート, 鋼構造の補強, 高目付量, 曲げ補強, 予防保全, 剥離試験

連絡先 〒556-0017 大阪府大阪市浪速区湊町 1-2-3 (株) 浅沼組 本社土木事業本部 TEL 06-6585-5500

②剥離試験

連続載荷試験後の試験体に対し、降伏荷重まで静的載荷試験を行い、剥離の挙動等を確認した。試験に際し、シート端部の曲げモーメントが大きくなるよう、載荷点を端部から 300mm の位置とした。

連続繊維シート端部から 5mm の位置のひずみゲージ U2, 35mm の位置の U3, 連続繊維シート端部外側の鋼材部の U1 (U1~U3 それぞれ左右 100mm の位置に UL, UR を設置) の荷重ひずみ曲線を、荷重サイクル毎に分けたグラフを図-3, 4 に示す。連続繊維シートの端部に近い U2, UL2, UR2 では鋼板から炭素繊維シートに十分なひずみ伝達が生じていないため、ひずみ値は小さい値を示している。今回の剥離試験においては 50kN 程度の載荷の初期段階でひずみの増加が停滞している。これは、連続載荷試験での効果確認試験（連続載荷試験前での曲げ試験：鋼材許容応力度内で最大荷重 200kN）においても同様の状態であった（図-5）。図-5 より、UR2 では最も小さい 50kN 付近からひずみの増加が停滞している。また、0~200kN のサイクルでは全てのひずみで停滞または減少が見られる。この段階で UL2 では 170kN 付近においてひずみの減少が発生している。以上から、最端部（端部から 5mm）では剥離試験前で、剥離はしていないものの接着剤層で何らかの変状が生じていた可能性があると考えられ、その段階での載荷重は約 50kN~170kN と推測する。端部から 35mm まで剥離の進展した段階での載荷重は 450kN と推測される。

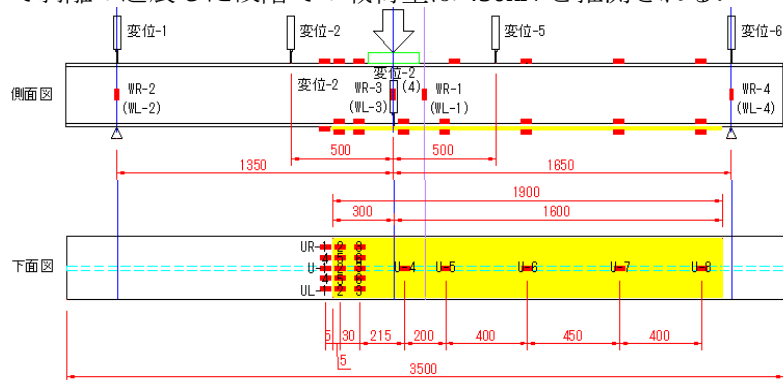


図-2 ゲージ設置と載荷位置

表-3 剥離試験結果

	荷重 (kN)	中央変位 (mm)	支点平均 (mm)	相対たわみ (mm)	端部ひずみ		
					UR6(μ)	U3(μ)	UL6(μ)
剥離 試験	100	2.43	-0.83	1.6	134	134	130
	200	4.31	-1.15	3.16	259	258	245
	250	5.19	-1.28	3.91	319	316	300
	300	6.1	-1.4	4.7	381	375	356
	450	8.88	-1.8	7.08	479	468	452
	570	11.03	-2.05	8.98	375	259	447

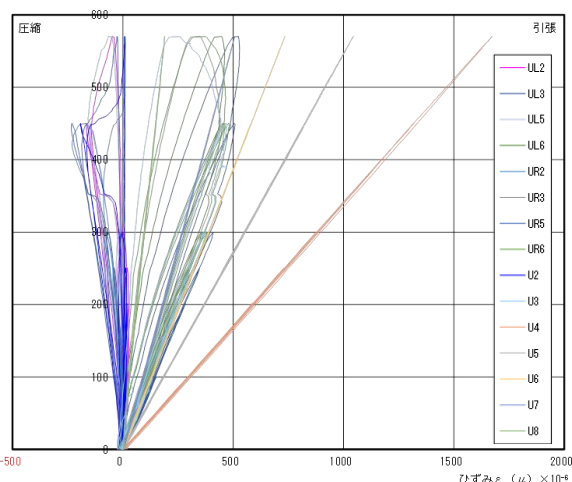


図-3 荷重ひずみ曲線

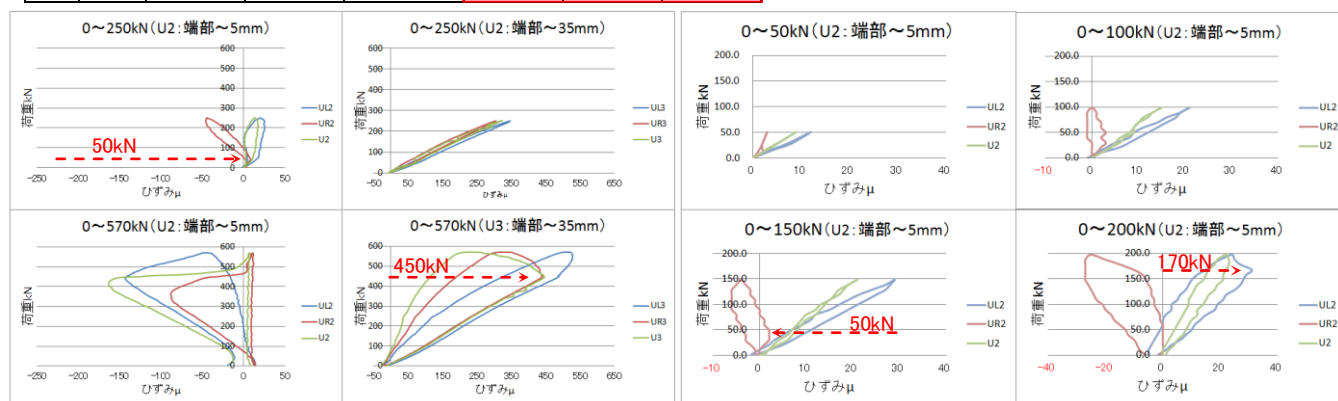


図-4 荷重ひずみ曲線（剥離試験：端部）

図-5 荷重ひずみ曲線（連続載荷試験前の曲げ試験：端部）

5. おわりに

200 万回の連続載荷試験後においても補強効果は変わらなかった。さらに剥離試験において許容応力付近の載荷でも急激な剥離の発生がないことが確認されたが、剥離に関する限界値等は把握できなかった。これまでの室内試験結果を基に、現在供用中の実橋で試験施工を行い、施工性確認、応力低減効果の確認を実施しており、この結果については機会を得て報告したい。