

UHPFRC を用いた橋梁床版の補修・補強工法における界面の付着疲労試験

鹿島建設(株) 正会員 ○松田有加 横田祐起 渡邊有寿 一宮利通
中日本高速道路(株) 正会員 牧田 通 服部雅史

1. はじめに

超高性能繊維補強セメント系複合材料（以下、UHPFRC）を橋梁床版の上面に現場打ちすることによる補修・補強工法の開発を進めている。これまで、UHPFRC と既設床版界面（鋼床版および RC 床版）との一体性評価を目的とし、引張付着疲労試験を実施してきた¹⁾。本稿では、これに続くものとして、鋼床版上面への施工を想定した接着剤使用量、およびプライマー塗布をパラメータとした付着疲労試験（引張、せん断）の結果と、コンクリート床版を対象としたせん断付着疲労試験の結果について報告する。

2. 引張付着疲労試験

2.1 試験概要

引張疲労付着試験は既報¹⁾と同じ方法で行った。試験体はショットブラストで表面処理を行った鋼板に接着剤 A¹⁾²⁾を塗布した後、UHPFRC を打ち込み、40℃で封緘養生することで製作した。なお、既報では標準塗布量 1.4kg/m²とした検討を行ったが、実施工では UHPFRC の流動により床版上の接着剤が押し流され、塗布厚が確保できないまま UHPFRC 内に混ざり込む恐れが想定されるため、塗布量は過去の同種の知見³⁾から 0.4kg/m²とした。また、ショットブラスト後の鋼床版上面の防錆を兼ねたプライマー塗布の有無もパラメータとした。試験開始時の UHPFRC の圧縮強度はプライマー有りの試験体が 184.4N/mm²、無しが 182.8N/mm²であった。

2.2 試験結果

試験結果を表-1、図-1 に示す。試験結果の「载荷回数 N」は試験体が破壊するまで载荷した疲労荷重の繰り返し回数であり、試験体の破壊は「ひび割れが進展し試験体が完全に 2 つに切り離された状態」と定義した。図-1 には文献⁴⁾に記載される疲労試験結果の統計処理方法に基づいて導出した SN 曲線を示した。また、同図には接着剤 A を 1.4kg/m²塗布した既報の結果を併せて示した。塗布量 0.4kg/m²は 1.4kg/m²の静的引張強度 $f_b(4.44\text{N/mm}^2)$ の半分程度の値となったが、引張応力範囲 $\Delta\sigma$ を f_b で標準化した値 $S(\Delta\sigma/f_b)$ に対する载荷回数 N は同程度であった。一方、接着剤に加えてプライマーを塗布した試験体は、 f_b , S に対する N とともに塗布量 1.4kg/m²と同程度であった。

3. せん断付着疲労試験

3.1 試験概要

試験の概要を図-2 に示す。試験は、構成する 2 種の材料のうち一方を、固定用治具にボルト固定し、もう一方の上面に载荷用鋼板を介して加力することで界面に一面せん断力を与えた。表-2 に示すように疲労応力はすべて下

表-1 引張付着疲労試験結果の一覧（鋼板と UHPFRC）

No.	基盤材料	界面の接着剤	界面のプライマー	静的引張強度 Fb (N/mm ²)	引張応力範囲 Δσ (N/mm ²)	疲労応力 (N/mm ²) 下限 上限		載荷回数 N (回)	
4-1	鋼板	接着剤A 0.4kg/m ²	○	3.41	0.5・fb	1.71	0.1	1.81	200000
4-2					0.55・fb	1.88	0.1	1.98	479669
4-3					0.6・fb	2.05	0.1	2.15	58161
4-4					0.65・fb	2.22	0.1	2.32	43262
4-5					0.675・fb	2.30	0.1	2.40	77
4-6					0.7・fb	2.39	0.1	2.49	14
5-1			-	2.19	0.5・fb	1.10	0.1	1.20	200000
5-2					0.55・fb	1.20	0.1	1.30	597369
5-3					0.6・fb	1.31	0.1	1.41	618543
5-4					0.65・fb	1.42	0.1	1.52	1193281
5-5					0.7・fb	1.53	0.1	1.63	35598
5-6					0.75・fb	1.64	0.1	1.74	13
5-6(2)					0.75・fb	1.64	0.1	1.74	2986

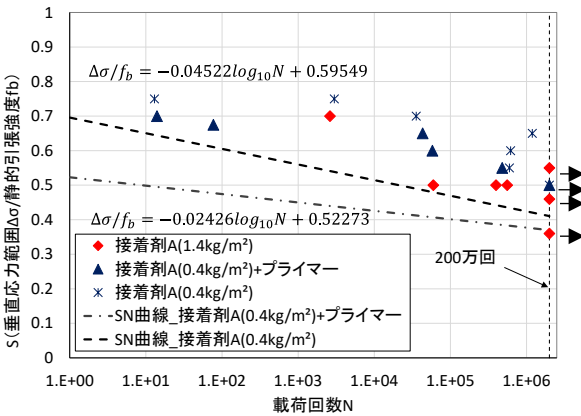
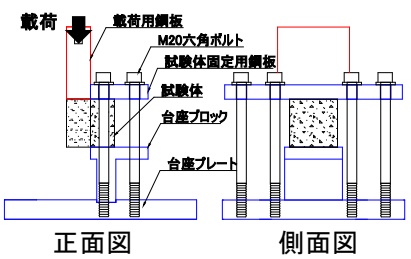
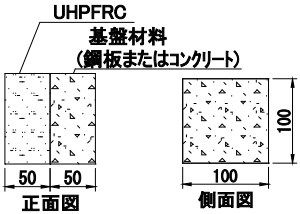


図-1 引張付着疲労試験結果



(a) 試験装置



(b) 試験体

図-2 せん断付着疲労試験概要

キーワード：大規模更新・修繕，橋梁床版，打替え・補強，超高性能繊維補強セメント系複合材料，疲労付着特性
連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-489-6729

限値を 0.1N/mm^2 とし、先行して実施した静的試験の結果を基に疲労応力の上限值と下限値の差、すなわちせん断応力範囲 $\Delta\sigma$ を定めた。

鋼板を基盤材料とした試験体は、前述の引張付着疲労試験での結果を踏まえた条件（接着剤 0.4kg/m^2 、プライマー塗布）とした。なお、コンクリートを基盤材料とした試験体は、界面の接着剤 A 塗布の有無をパラメータとした。UHPFRC の養生条件は前述の試験と同様である。また、試験体のコンクリートならびに UHPFRC の圧縮強度も表-2 に併せて示す。

3.2 試験結果

せん断付着疲労試験の結果を表-2 および図-3 に示す。図-3 には、SN 曲線⁴⁾も併せて示した。白抜きのプロットは、载荷回数 N が 200 万回に到達したのに対して応力範囲を増加させて再度载荷した延長ケースであり、200 万回载荷による損傷の累積は無いと想定して SN 曲線の導出に使用した。

図-3(a) に示すように、鋼板を基盤材料としたケースは、引張付着疲労強度と比較して結果のばらつきが大きい。その要因として、静的強度 f_s 自体のばらつきに加え、载荷によって界面に作用するせん断応力に偏りがあった可能性もある。

図-3(b) に示すように、コンクリートを基盤材料としたケースでは接着剤の有無に関わらず S と N の関係が概ね同じ傾向であったため、本工法におけるコンクリート床版の界面は、接着剤の有無に関わらず、すべてのケースの結果を用いて導出した SN 曲線で評価可能であると考えられる。

4. おわりに

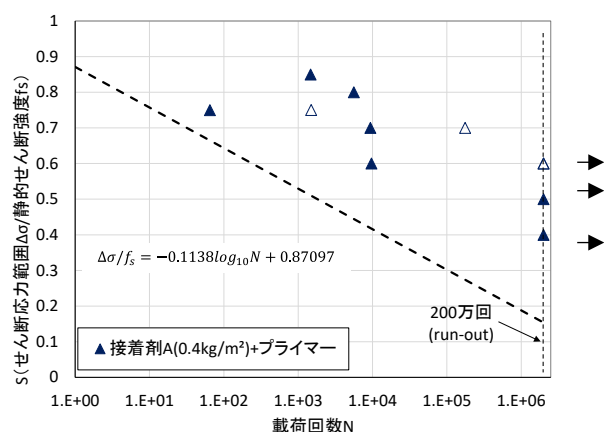
UHPFRC と既設床版界面の付着疲労試験を実施し、結果を統計的に評価した SN 曲線を導出した。今後は、実構造物の界面で発生する応力の大きさを考慮した上で、床版の性能照査における導出した SN 曲線の妥当性の検証を進めていく。

参考文献

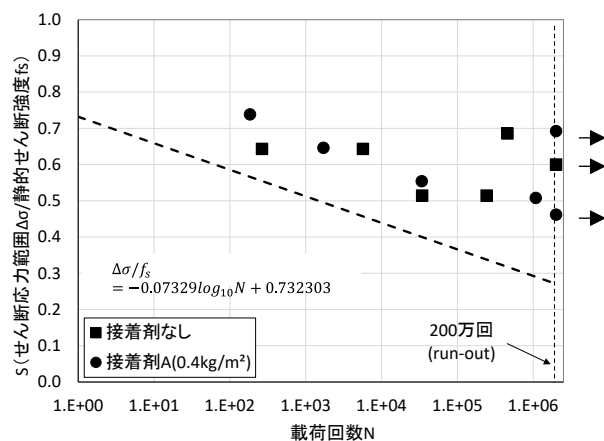
- 1) 松田ら：UHPFRC による橋梁床版の補修・補強方法における界面の引張疲労付着試験，土木学会第 74 回年次学術講演会 講演概要集，V-57，2019。
- 2) 児玉ら：エポキシ樹脂の機械塗布による付着オーバーレイ工法の実用化に関する研究，土木学会論文集，Vol.65，No.4，pp.501-515，2009。
- 3) 青山ら：超高強度ひずみ硬化型セメント系複合材料（UHP-SHCC）を用いたコンクリート床版増厚工法に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.37，No.1，pp.1645-1650，2015。
- 4) Hobbacher A.：Recommendations for fatigue design of welded joints and components，International Institute of Welding (IIW)，IIW document IIW-1823-07 ex XIII-2151r4-07/XV-1254r4-07，2008，pp.501-515，2009

表-2 せん断疲労付着試験結果の一覧

No.	基盤材料	界面の接着剤	界面のプライマー	静的せん断強度 f _s (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²) コンクリート	UHPFRC	せん断応力範囲 Δσ (N/mm ²)	疲労応力 (N/mm ²) 下限	上限	載荷回数 N(回)	
1-1	鋼板	接着剤A 0.4kg/m ²	○	6.81	-	184.6	0.4・f _s	2.72	0.1	2.82	2000000
1-2							0.5・f _s	3.41	0.1	3.51	2000000
1-3							0.6・f _s	4.09	0.1	4.19	9681
1-4							0.7・f _s	4.77	0.1	4.87	9346
1-5							0.75・f _s	5.11	0.1	5.21	65
1-6							0.8・f _s	5.45	0.1	5.55	5597
1-7							0.85・f _s	5.79	0.1	5.89	1470
1-1延長							0.6・f _s	4.09	0.1	4.19	2000000
1-2延長							0.6・f _s	4.09	0.1	4.19	2000000
1-1再延長							0.7・f _s	4.77	0.1	4.87	176551
1-2再延長							0.75・f _s	5.11	0.1	5.21	1500
2-1	無し		-	5.47	63.6	161.2	0.6・f _s	3.28	0.1	3.38	242832
2-1(2)							0.6・f _s	3.28	0.1	3.38	34380
2-2							0.7・f _s	3.83	0.1	3.93	2000000
2-3							0.75・f _s	4.10	0.1	4.20	266
2-3(2)							0.75・f _s	4.10	0.1	4.20	5693
2-4							0.8・f _s	4.38	0.1	4.48	457391
3-1							0.40・f _s	2.95	0.1	3.05	2000000
3-2							0.44・f _s	3.24	0.1	3.34	1081109
3-3							0.48・f _s	3.53	0.1	3.63	33854
3-4							0.57・f _s	4.12	0.1	4.22	1715
3-5							0.61・f _s	4.42	0.1	4.52	2000000
3-6	0.65・f _s	4.71	0.1	4.81	185						



(a) 鋼板と UHPFRC



(b) コンクリートと UHPFRC

図-3 せん断付着疲労試験結果