

応力比を考慮した接着接合部の疲労強度に関する実験的検討

宇都宮大学 学生員 ○長田結名 正会員 タイウィサル 正会員 藤倉修一 学生員 金澤悠太
 東京都立大学 正会員 中村一史 コニシ 正会員 堀井久一

1. はじめに

近年、橋梁の補修・補強工法として、損傷箇所に接着剤で当て板を付着して強度回復を図る当て板接着工法が注目されている。しかし、自動車の通行等の外的要因によって接着接合部に繰返し荷重が作用すると、疲労により接着層内部にはく離が生じることがあるため、現状では実用化に至っていない。そこで、接着接合部の疲労強度が検討されているが、応力比（最小応力と最大応力の比）に着目した研究事例は少ない。実際の橋梁では様々な応力比で繰返し荷重が作用するため、応力比を考慮した疲労試験を実施する必要がある。本研究では、応力比を考慮した接着接合部の疲労強度を明らかにすることを目的に、片面に当て板が接着された片持ち状の鋼材に対して曲げ疲労試験を実施した。

2. 試験概要

図-1 に、接着接合部試験体の寸法とひずみゲージの貼付位置を示す。直径 0.4mm のガラスビーズで接着剤の厚さを管理しながら、母材となる鋼材に当て板を接着した。接着剤は、コニシ E258R を用い、40℃の温度で 24 時間以上の養生を行った。その後、接着接合部を滑らかに仕上げた。なお、表-1 に材料物性値を示す。

本研究では、はく離時の主応力 σ_{pe_db} に対する主応力範囲 $\Delta\sigma_{pe}$ の比（以下、主応力比 $\Delta\sigma_{pe}/\sigma_{pe_db}$ ）と繰返し回数との関係で、接着接合部の疲労強度を評価した。はく離時の接着接合部の主応力は静的曲げ試験によって評価し²⁾、この結果、 $\sigma_{pe_db}=199.6\text{MPa}$ となった。

曲げ疲労試験においては、簡易型振動疲労試験機を用いて実施した。図-2 に、疲労試験のセットアップ図を示す。本試験装置は、振動モータ内のおもりが回転する時の遠心力によって試験体に繰返し荷重が作用する仕組みとなっている³⁾。

表-2 に実験シリーズを示す。応力比 R は、図-2 に表記されているバネを調整して予荷重を与えることで設定し、0.1、0.3、0.5 の 3 ケースで実施した。載荷荷重は、接着接合部に生じる曲げ応力範囲 $\Delta\sigma$ を設定し、おもりの偏心位置を変えることで調整した。接着接合部に生じる主応力範囲は、試験体に貼り付けたひずみゲージの計測値から算出した。載荷中のひずみは、動ひずみ測定器（東京測器研究所、TMR-311）を用いて 1/1000 秒間隔で測定した。モータの振動数はすべて 15Hz とした。

はく離を評価するために、0.05mm エナメル線を試験体の側面(A

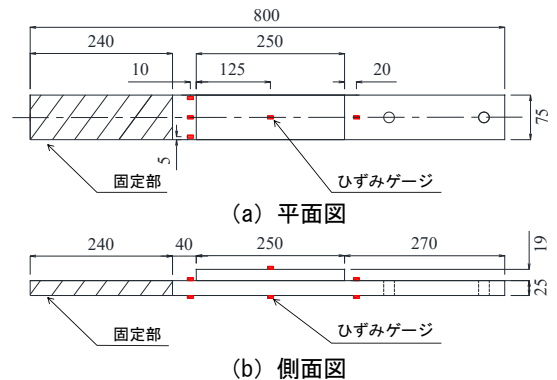


図-1 接着接合部試験体

表-1 材料物性値

材料	弾性係数 (GPa)	ポアソン比	降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)
母材 (SS400)	205	0.30	277	436
当て板 (SS400)	205	0.30	283	444
接着剤 (E258R)	3.6	0.34	-	33

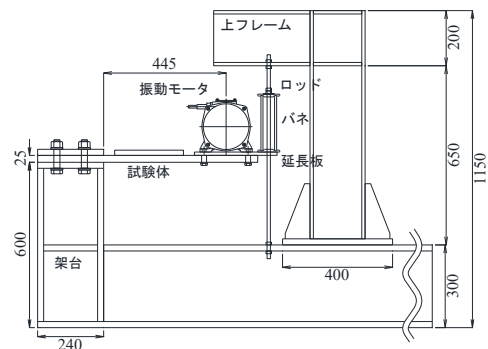


図-2 疲労試験のセットアップ

表-2 実験シリーズ

応力比 R	当て板端部の曲げ応力範囲	主応力範囲 $\Delta\sigma_{pe}$ (MPa)
	$\Delta\sigma$ (MPa)	
0.1	50, 60, 65, 150, 200	34.8~139.2
0.3	65, 100, 150	45.2~104.4
0.5	65, 85, 100	45.2~69.6

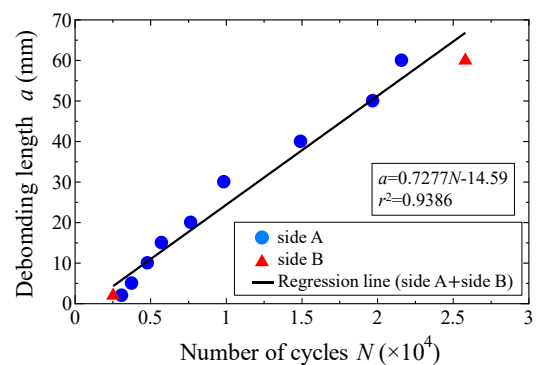


図-3 はく離長さ と 繰返し回数 の関係 (R5S85)

キーワード 接着接合部、応力比、疲労強度、曲げ作用、はく離進展

〒 321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学地域デザイン科学部社会基盤デザイン学科 TEL.028-689-6227

面)に接着端部から2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60mmの位置に設置した。また、はく離が一定に進展していることを確認するためにもう片側の側面(B面)には接着端部から2, 30, 60mmの位置にエナメル線を設置した。エナメル線は熱電耐温度データロガー(T&D, MCR-4TC)に接続し、エナメル線が断線して計測不能になった時点の繰返し回数を抽出した。熱電耐温度データロガーは、0.2~2秒間隔で測定した。

3. 試験結果

図-3にははく離長さとの繰返し回数との関係の一例を示す。図より、はく離進展はほぼ一定で線形挙動となることがわかる。また、両側面のはく離はほぼ同等に進展していることが確認できた。回帰直線から、初期疲労寿命 N_1 (0~2mm)、疲労寿命 N_2 (0~60mm) および進展寿命 N_3 (2~60mm) を算出した。表-3に、全試験体におけるそれぞれの繰返し回数を示す。曲げ応力範囲 $\Delta\sigma$ が大きい R1S200 試験体 ($\Delta\sigma_{pe}/\sigma_{pe_db}=0.75$) は、バネの調整が困難となり応力比 $R=0.07$ での実施となった。R1S50 試験体 ($\Delta\sigma_{pe}/\sigma_{pe_db}=0.13$) は、1000万回の繰返し荷重を与えても初期はく離しなかったことから疲労限とした。

図-4, 図-5, 図-6に、主応力比 $\Delta\sigma_{pe}/\sigma_{pe_db}$ とそれぞれの算出した初期疲労寿命 N_1 、疲労寿命 N_2 および進展寿命 N_3 の関係 (S-N 線図) を示す。図より、初期疲労寿命 N_1 、疲労寿命 N_2 および進展寿命 N_3 は主応力比と繰返し回数の関係から、本検討で行った範囲の応力比 ($R=0.07 \sim 0.50$) に関わらず一定の線形で評価することが可能である。ただし、初期疲労寿命 N_1 に関して、主応力比が大きいと応力比によってばらつきが大きくなる傾向が見られる。

4. まとめ

本検討では、応力比に着目して接着接合部の疲労強度を評価する目的で疲労試験を行い、はく離長さとの繰返し荷重の関係および S-N 線図で整理を行った。その結果、主応力比 $\Delta\sigma_{pe}/\sigma_{pe_db}$ と繰返し回数の関係で接着接合部の疲労強度を評価すると、今回の実験で行った応力比 $R=0.07 \sim 0.5$ のとき、疲労寿命および進展寿命は応力比によらず一定の線形で評価することが可能である。また、主応力比 $\Delta\sigma_{pe}/\sigma_{pe_db}$ を 0.13 以下とすれば、十分な疲労耐久性 (1000万回) が確保できる。今後は、本検討で実施していない応力比での疲労試験を行いたい。

参考文献

- 1) 岡秀樹, 成田量一, 秋庭義明, 田中啓介: ガラス短繊維強化PBT樹脂材料の低サイクル疲労特性, 日本材料学会, 材料, Vol.55, No.10, pp.951-957, 2007.10
- 2) 複合構造委員会編: FRP接着による構造物の補修・補強指針 (案), 複合構造シリーズ09, 土木学会, 2018.7
- 3) 山田聡, 渡辺直起, 山田健太郎, 小塩達也: 簡易型振動疲労試験機の開発と適用試験, トピー鉄構技報, No.24, pp.15-22, 2008.6

表-3 はく離長さに対する繰返し回数

試験体	応力比 R	主応力比 $\Delta\sigma_{pe}/\sigma_{pe_db}$	繰返し回数 (cycles)		
			N_1 (0~2mm)	N_2 (0~60mm)	N_3 (2~60mm)
R1S200	0.07	0.75	84	1,305	1,221
R1S150	0.10	0.50	153	14,037	13,884
R1S65	0.13	0.24	316,079	1,009,444	693,365
R1S65	0.10	0.20	267,656	809,054	541,398
R1S60	0.10	0.16	5,016,083	5,939,650	923,567
R1S50	0.10	0.13	10,000,000	10,000,000	-
R3S150	0.28	0.55	126	1,471	1,346
R3S100	0.30	0.37	14,451	60,560	46,109
R3S65	0.30	0.30	60,612	699,027	638,415
R5S100	0.50	0.34	96	7,405	7,309
R5S85	0.50	0.33	2,081	21,818	19,737
R5S65	0.50	0.21	227,979	1,025,010	797,032

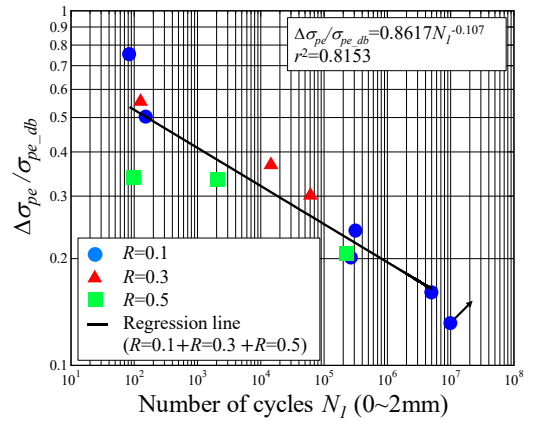


図-4 はく離長さ 2mm までの初期疲労寿命

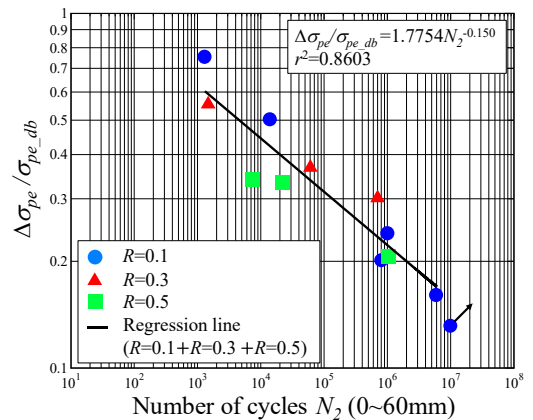


図-5 はく離長さ 60mm までの疲労寿命

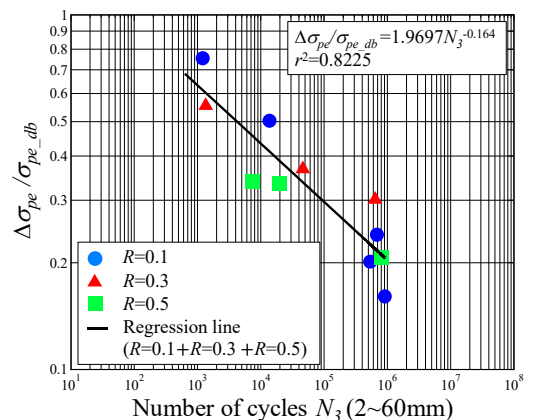


図-6 はく離長さ 2 から 60mm までの進展寿命