

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：12201

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2021～2022

課題番号：21K20442

研究課題名（和文）板曲げを受ける接着接合部の疲労強度の評価と疲労設計法の提案

研究課題名（英文）Evaluation of fatigue strength in adhesively bonded joints under plate bending and proposal of fatigue design method

研究代表者

THAY VISAL (THAY, VISAL)

宇都宮大学・地域デザイン科学部・助教

研究者番号：90903667

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、接着接合部の静的強度、接着接合部の疲労強度を実験的に検討し、接着接合部の疲労強度を一般化し、接着接合部の設計法を提案する。接着接合部のはく離時の静的強度は、静的曲げ試験で評価し、その結果を示した。接着接合部の疲労強度の評価には、振動型疲労試験機を用いて曲げ疲労試験を行った。その結果、主応力比（はく離時の主応力に対する主応力範囲の比）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、本研究で検討した応力比において、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。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、応力比に依存しない疲労強度の評価方法を提案する点にある。この提案した手法に基づいた接着接合部の疲労強度の評価方法を確立すれば、当て板接着工法による既設鋼構造物の補修・補強技術の開発・普及に貢献するだけでなく、構造物の維持管理の領域や自動車や航空機等の機械分野への応用の可能性も広がり、技術的なインパクトも高いと考える。

研究成果の概要（英文）：This research focuses on the establishment of repair or strengthening method of steel structures by externally bonded patch plates. The bending static tests and bending fatigue tests of adhesively bonded joints were conducted and the fatigue life is evaluated. The bending fatigue tests were conducted, varying the applied stress ranges and the stress ratio, the ratio of minimum and maximum stress of fatigue test. The result indicates that the fatigue life of adhesively bonded joints can be evaluated in the function of principal stress ratio, the ratio of principal stress range against principal stress at debonding by the bending test, with constant linearity regardless of the stress ratio.

研究分野：土木工学・構造工学・維持管理工学

キーワード：接着接合部 疲労強度 疲労設計法 応力比 静的強度 主応力 はく離 曲げ作用

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、橋梁の補修・補強工法として、損傷箇所に着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。これまで接着接合部の疲労強度について検討されてきたが、応力比(最小応力と最大応力の比)の違い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による繰返し荷重が作用するため、応力比の違いを考慮して疲労試験を実施する必要がある。

2. 研究の目的

本研究は、当て板接着工法による鋼構造物の補修・補強において、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曲げ疲労試験を実施した。

3. 研究の方法

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。接着剤には、コニシ E258R を用い、40°C 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  $\sigma_{pe\_db}$  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、この結果、 $\sigma_{pe\_db}=199.6\text{MPa}$  となった。

曲げ疲労試験は、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に生じる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。

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。载荷荷重は、接着接合部に生じる曲げ応力範囲  $\Delta\sigma_s$  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。载荷中のひずみは、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、本試験では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、0.2~2.0 秒間隔で測定した。

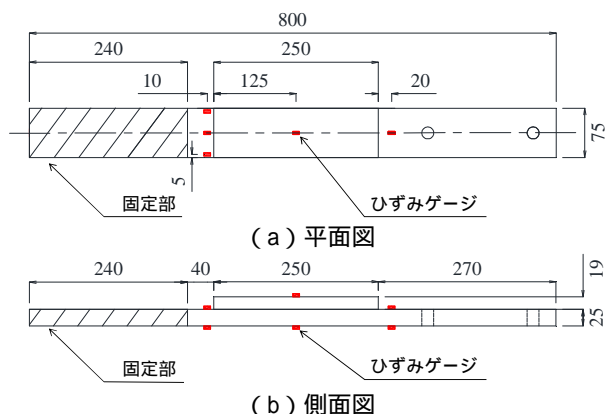


図-1 接着接合部試験体

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

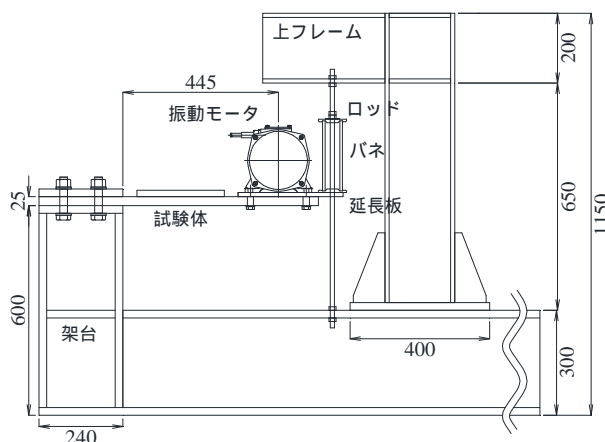


図-2 疲労試験のセットアップ

表-2 実験シリーズ

応力比 $R$	当て板端部の曲げ応力範囲 $\Delta\sigma_s$ (MPa)	主応力範囲 $\Delta\sigma_{pe}$ (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

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

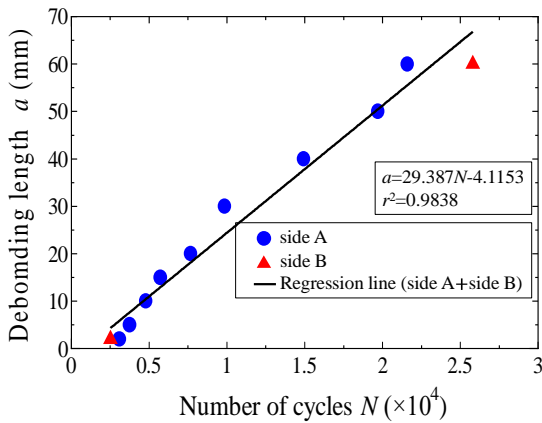


図-3 はく離長さ と 繰返し回数 の関係 (R5S85)

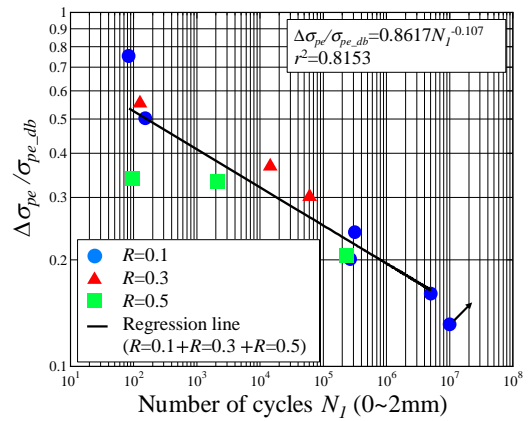


図-4 はく離長さ 2mm までの初期疲労寿命

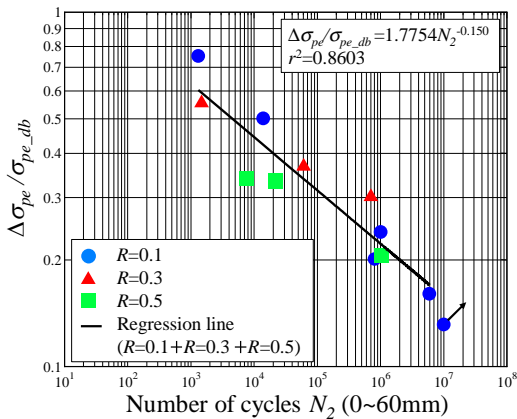


図-6 はく離長さ 2 から 60mm までの進展寿命

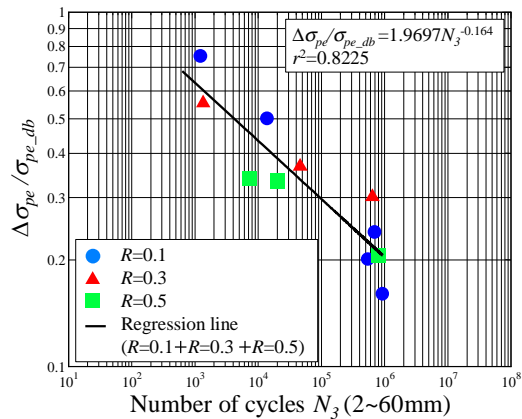


図-5 はく離長さ 60mm までの疲労寿命

#### 4. 研究成果

図-3 に、はく離長さ と 繰返し回数 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、両側面のはく離がほぼ同等に進展していることが確認できた。また、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  $\Delta\sigma_s$  が大きい R1S200 試験体 ( $\Delta\sigma_{pe}/\sigma_{pe\_db} = 0.75$ ) は、バネの調整が困難であったため、応力比  $R=0.07$  で実施した。また、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が生じ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  $N_3$  のそれぞれの関係 ( $S-N$  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内では、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  $N_1$  に関しては、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確認された。

本検討では、応力比の違いに着目して接着接合部の疲労強度を評価するために疲労試験を実施し、はく離長さと繰返し荷重の関係および  $S-N$  線図で整理した。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、本実験で検討した応力比  $R=0.07 \sim 0.50$  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  $\Delta\sigma_{pe}/\sigma_{pe\_db}$  が 0.13 以下のときには、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、疲労試験を行う必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 長田結名, タイウィサル, 藤倉修一, 金澤悠太, 中村一史, 堀井久一
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第50回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 金澤悠太, タイウィサル, 藤倉修一, 長田結名, 中村一史, 堀井久一
2. 発表標題 応力比を考慮した接着接合部の疲労耐久性に関する評価
3. 学会等名 土木学会第78回年次学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Visal Thay, Yuna Osada, Yuta Kanazawa, Shuichi Fujikura, Hitoshi Nakamura, Hisakazu Horii
2. 発表標題 Experimental study on bending fatigue strength of adhesively bonded joints
3. 学会等名 Transportation Infrastructure and Sustainable Development (TISDIC 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------