

## 板曲げを受ける接着接合部の疲労耐久性に関する実験的検討

東京都立大学大学院 学生会員 ○高橋京祐, 正会員 中村一史  
宇都宮大学 正会員 タイウィサル コニシ 正会員 堀井久一

### 1. はじめに

鋼部材の補修・補強では、追加部材による応力集中がないこと、対策後の疲労耐久性への期待などから、鋼板やCFRPを接着する当て板接着の適用が進んでいる。接着接合部のはく離を精度よく評価することが課題であり、研究が多く行われている。ただし、疲労耐久性に関する研究事例は少なく、疲労設計に用いる基準が規定されていないのが現状である。そこで本研究では、板曲げ疲労試験を行うことで、曲げ作用による接着接合部の疲労耐久性を評価するとともに、引張荷重に基づいた疲労試験の結果<sup>1)</sup>(S-N線図)と比較し、疲労強度を作用力に依存せずに統一的に評価することを目的として実験的な検討を行った。

### 2. 実験の概要

本研究では、静的試験時のはく離時の主応力に対する疲労試験時の主応力範囲の比と繰返し回数で整理を行い、疲労耐久性の評価を行うことから、静的試験と疲労試験の両方を行うこととした。試験体は、鋼板(SM490Y)に当て板(SM490Y)をエポキシ樹脂接着剤(E258R)で接着したものとし、ガラスビーズを用いて接着厚さが0.4mm程度になるよう調節した。図-1、表-1に、試験体の寸法、材料物性値をそれぞれ示す。

静的試験は精密万能試験機(Shimadzu AutoGraph AG-100)を用いて変位制御で行い、载荷速度を3mm/minとし、はく離が30mmまで進展するまで载荷を行った。

疲労試験は振動疲労試験機<sup>2)</sup>を用いて行った。図-2に、セットアップ図を示す。本装置には荷重のフィードバック制御がないため、試験体のひずみを計測することで当て板端部に生じる応力範囲を算出した。試験パラメータは、当て板端部に生じる主応力範囲がはく離時の主応力の25~80%となるように、当て板端部での応力範囲を60, 70, 90, 115, 140, 160, 180MPaと設定した。疲労試験の条件は、室温(8~16℃)、応力比 $R=0.1$ 、载荷速度15Hzとし、2/1000秒間隔で载荷中のひずみを動ひずみ測定装置(キーエンス, NR-600)で計測した。

はく離の評価方法として、当て板側面の端部から5mm位置に当て板、母材間の接着剤を跨いでひずみゲージ(ゲージ長3mm)を設置し、接着剤に生じる垂直ひずみを計測してはく離を定義した。また、一部の試験体では、端部から15, 30, 50, 70mmの位置にひずみゲージを設置し、はく離の進展を観測した。

### 3. 試験結果と考察

静的試験結果の一部として、表-2に、各位置におけるはく離時の主応力を示す。試験結果から、はく離時の主応力を114.0MPaとした。また、はく離長さが長くなるほど、はく離先端の作用力

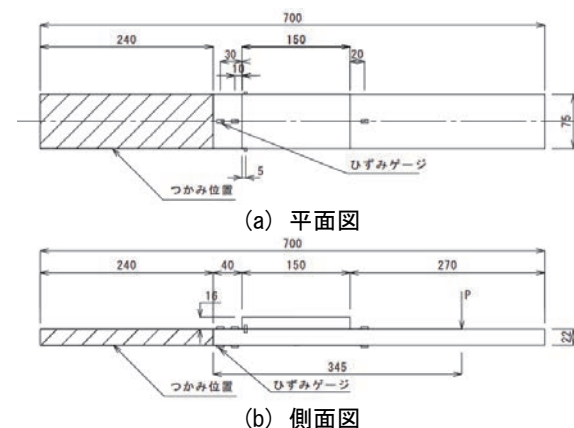


図-1 試験体の寸法

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)
当て板 (SM490Y)	204.7	0.30	377.1	557.2
母材 (SM490Y)	202.5	0.29	379.5	545.4
接着剤 (E258R)	3.6	0.34	-	33

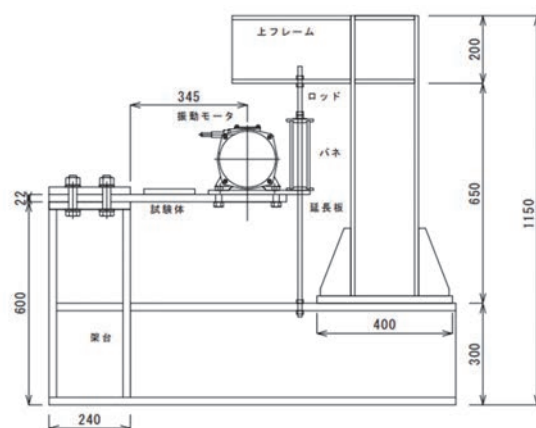


図-2 疲労試験のセットアップ図

表-2 静的試験の結果

試験体番号	はく離時の主応力 (MPa)		
	5mm位置	15mm位置	30mm位置
1	119.0	122.5	131.2
2	111.9	118.9	125.0
3	111.1	120.5	126.9
平均値	114.0	120.6	127.7

キーワード 当て板接着, 曲げ, はく離, 疲労, 補修

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 東京都立大学 TEL.042-677-1111 内線(4564)

が小さくなるため、その時の荷重から算出される主応力が大きくなること、試験体ごとのばらつきも少ないことがわかる。なお、図を略したが、はく離時の破壊形式は凝集破壊であった。

次に、疲労試験の結果を示す。図-3に、計測した接着剤のひずみ振幅の最大値と繰返し回数の関係を示す。なお、計測したひずみはゲージ長(3mm)の一部であるため接着剤の厚さでひずみを補正した。図より、繰返し回数の増加とともにひずみ振幅が上昇すること、また、ひずみの値が増加し続けて、急上昇し計測不能になることがわかる。このひずみの急変部ではく離が生じることがマイクロスコープによる観察から確かめられている。本検討では、ひずみの値が急上昇したときの繰返し回数をはく離発生時と定義した。表-3に、各はく離長さに対する繰返し回数を示す。なお、図を略したが、疲労試験における接着接合部の破壊形式は、すべての試験体で凝集破壊であった。

図-4、図-5に、静的試験時のはく離時の主応力 $\sigma_{pe\_db}$ に対する疲労試験時の主応力範囲 $\Delta\sigma_{pe}$ の比( $\Delta\sigma_{pe}/\sigma_{pe\_db}$ )とはく離長さ5, 30mmまでの繰返し回数 $N$ の関係をそれぞれ示す。図中には、引張载荷の疲労試験による事例りを併記し、比較を行った。

図より、はく離長さが5mm, 30mmまでの両方で、引張载荷の疲労試験のデータと同じ傾向であることがわかる。さらに、引張载荷の疲労試験結果の95%信頼区間に、曲げ载荷に対する疲労試験結果のデータが収まっていることから、比較した二つの疲労試験結果は、文献1)で提案された疲労強度の評価式で、はく離に対する疲労寿命を評価できることが確かめられた。なお、曲げ疲労試験では、 $\Delta\sigma_{pe}/\sigma_{pe\_db}=0.22$ のとき、1000万回の繰返し荷重を与えても初期はく離が発生しなかったため、疲労限とした。その後、同じ条件で試験を再開したところ、約1900万回で初期はく離が見られた。また、初期はく離時の繰返し回数は、応力が小さくなると、ばらつきが大きくなる傾向が見られた。

4. まとめ

本検討では、接着接合部の疲労耐久性を評価する目的で疲労試験を行いS-N線図で整理を行った。その結果、初期はく離(5mm)と進展寿命の両方において精度よく評価することができた。また、引張荷重による研究例と比較したところ同様の傾向が見られ、作用力に依存せず接着接合部の疲労強度を評価できると考えられる。今後、ほかの接着剤についても試験を行い、接着剤の種類によらない疲労強度を評価できるかどうかを検討したい。

参考文献

- 1) タイウイサル, 中村一史, 堀井久一: 当て板がエポキシ樹脂で接着された鋼板の接着接合部の疲労強度の評価, 土木学会, 構造工学論文集, Vol.74A, pp.56-66, 2018.3.
- 2) 山田健太郎, 小藺江朋亮, 小塩達也: 垂直補剛材と鋼床版デッキプレートのおすみ肉溶接の曲げ疲労試験, 鋼構造論文集, Vol.14, No.55, pp.1-8, 2007.

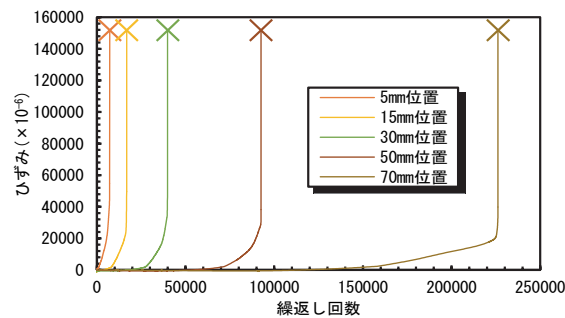


図-3 ひずみ振幅と繰返し回数の関係 (試験体 No. 14)

表-3 各はく離長さに対する繰返し回数 (cycles)

No.	$\Delta\sigma_{pe}$ (MPa)	$\Delta\sigma_{pe}/\sigma_{pe\_db}$	繰返し回数 (cycles)				
			5mm	15mm	30mm	50mm	70mm
2	82.4	0.72	910	-	-	-	-
3	31.9	0.28	2967683	-	-	-	-
4	65.3	0.57	10031	-	-	-	-
5	43.9	0.39	187645	-	-	-	-
6	87.2	0.76	377	-	-	-	-
7	60.2	0.53	29248	62271	183327	-	-
8	51.6	0.45	247363	702470	1767342	-	-
9	37.7	0.33	4817297	-	-	-	-
10	44.4	0.39	501433	2169061	5054443	-	-
11	54.1	0.47	28655	55013	129463	315082	1100668
12	76.6	0.67	1383	5607	14033	32912	63641
13	76.6	0.67	1446	6873	16879	31492	77108
14	63.0	0.55	6839	25371	44681	92558	226206
15	63.8	0.56	4799	14897	35785	74112	135106
16	53.0	0.47	17058	82345	171478	381192	905887
17	87.0	0.76	457	529	1864	6018	32637
19	30.0	0.26	8100262	10000000	10000000	10000000	10000000
20	25.2	0.22	19330752	-	-	-	-

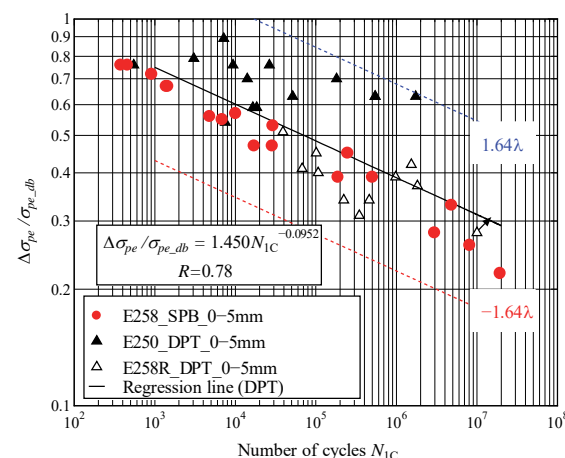


図-4 はく離長さ5mmまで(初期はく離)の疲労寿命

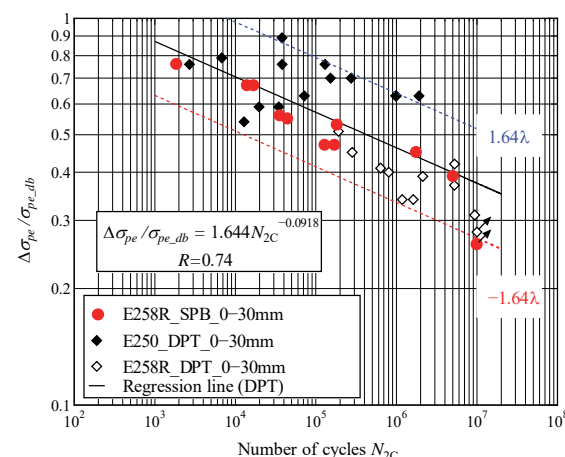


図-5 はく離長さ30mmまでの疲労寿命