

複合応力が作用する接着接合部の強度のばらつきの改善と評価について

東京都立大学大学院 学生員○清野久美子, 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

鋼構造物の補修・補強に対して、接着接合のニーズが高まっている。しかしながら、提案されている複合応力下の試験方法では、構造実験を伴い接着端部で応力が集中すること¹⁾、共通の試験体で複数の条件の試験ができないこと、大掛かりな载荷装置を必要とすること²⁾などの課題がある。本研究では、複合応力を受ける鋼部材の接着接合部の簡便な静的強度の評価方法の開発を目的として、設計・製作した試験装置³⁾および試験方法に改善を加えて検討を行い、接着強度の評価を行った。

2. 試験方法および接着方法の改善

過年度に考案した試験装置³⁾は、JIS K 6868-1 に基づいて、中空円筒状の鋼部材同士を突合せて接着接合し作製した試験体の両端に引張力 T 、トルク S を同時に加えることで接着接合面に一様な垂直応力 σ_y およびせん断応力 τ が生じる構造である。中空円筒の部分は、外径 72mm、内径 60mm、その高さは FEM 解析結果に基づいて 50mm とした。図-1 に、試験体および試験装置の概略図を示す。引張力とトルクの载荷にはセンターホールジャッキ、パワーレンチを用いる。表-1 に、過年度と同様の载荷条件を示す。

本研究では、試験体作製時の接着方法を見直し、接着剤の厚さがより均一になるよう改善した。従来の方法では図-1(a)と同じ向きで固定を行っていたが、自重でわずかに傾斜し、上部が厚く、下部が薄くなり接着層の厚さが不均一であった。そのためクランプで挟み込む方法や、鉛直方向に重ね、アルミ製ジャケットで固定する方法(図-2)を用いた。

3. 試験結果および考察

まず接着方法を改善する前後での、接着剤の厚さ計測結果の一例を表-2 に示す。計測は図-3 に示す位置で、4箇所での計測結果および最も厚い位置と薄い位置の差(max-min)を比較した。その結果4箇所の計測位置で厚さの差が最大で0.1mm以下となり、安定した接着が可能となった。

既存の試験結果に、接着不良などによる界面破壊となったものを除いた新規試験結果(载荷条件 T, TS1, S)を加え破壊強度を評価した。

図-4 に、破壊時のせん断応力と垂直応力の相関関係を示す。図中には、既存の試験結果を、最大主応力(式(1))、強度評価式(式(2))に最小二乗法でカーブフィットさせた破壊包絡線を過年度と新規試験結果について併記している。

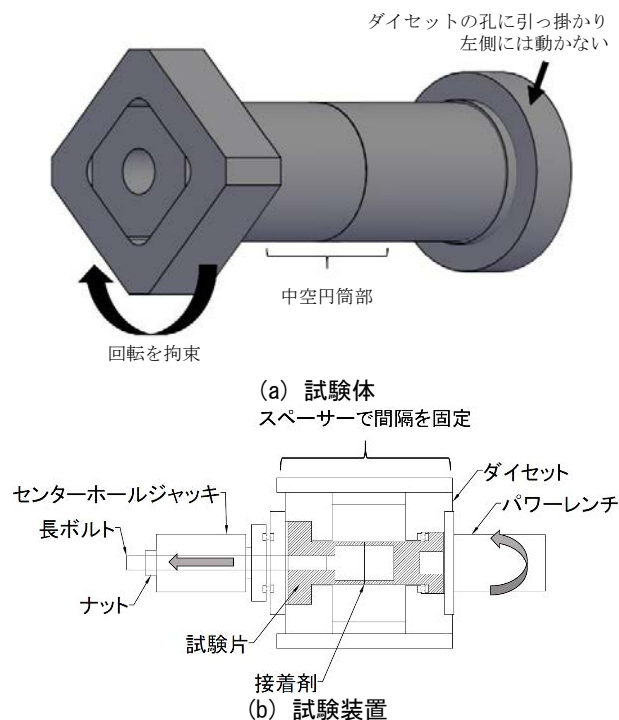


図-1 試験体および試験装置の概略図

表-1 载荷条件

载荷条件名	T	TS1	TS3	S
応力比 (σ_y/τ)	∞	1.88	1.05	0.00
新規試験体数	11	8	0	11

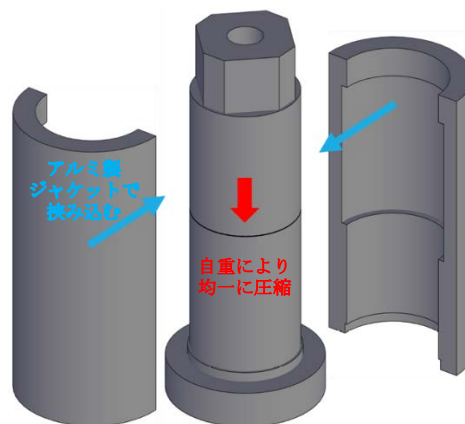


図-2 改善後の接着方法の概念図

キーワード 接着接合, 複合応力, 凝集破壊, 鋼部材, 補修・補強
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)

$$\sigma_{pe} = \frac{\sigma_{ye}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{ye}}{2}\right)^2 + \tau_c^2} \quad (1)$$

$$\left(\frac{\sigma_y}{\sigma_{yu}}\right)^m + \left(\frac{\tau}{\tau_u}\right)^n = 1 \quad (2)$$

まず、全ての荷重条件について、過年度の結果とくらべて、強度が高いこと、強度のばらつきが改善されたことがわかる。表-3に、破壊時の主応力とおよびその変動係数について比較したものを示す。荷重条件 TS1 は、過年度の結果と比べてばらつき改善されたものの、他の荷重条件と比べて、ばらつきは大きい結果となった。複合応力下ではばらつきが大きくなる傾向になることが考えられた。今後、TS3での実験を踏まえてその影響を検討したい。

強度のばらつきが改善されたことに加え、破壊形式の安定化も確認された。図-5に、それぞれの荷重条件で見られた破壊形式の代表例を示す。Tは破断面全体にほぼ一様に接着剤が付着すること、TS1は破断面の半分は厚く、残りは薄く接着剤が付着すること、Sは破断面全体に、めくれ上がるように接着剤が付着することが確認された。特に、TS1の破壊形式は、過年度の試験結果では破壊形式が様々であったものの、本試験では全ての試験体で同じ傾向であった。既往の研究として、多軸試験機を用いて荷重を行う文献2)の引張力を荷重する試験以外で確認された破壊形式と一致した。接着剤層の厚さの均一化によって、試験精度を向上することができたといえた。一方、文献2)では、図-5(b)の破壊形式がトルクのみ荷重した条件でも見られた。また、安定した破壊形式となったが、界面破壊となった試験体も比較的多く確認されたため、追加試験を行ってそれらの原因を検討したい。

4. まとめ

本研究では、複合応力を受ける鋼部材の接着接合部の静的強度を簡便に評価するために作製した試験装置および試験方法の改善を行った。その結果、接着剤の厚さが均一となる試験体の作製が可能であること、厚さが均一であると強度が増加し、ばらつきが低下すること、破壊形式がそれぞれの荷重条件で一定の傾向がみられることが確かめられた。今後の課題としては、荷重条件 TS3 の追加試験やパラメータの追加によって、複合応力下での強度のばらつきの原因究明、試験方法の更なる改善が挙げられる。

参考文献

- 1) 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
- 2) Liu, M., and Dawood, M.: Experimental study and probabilistic bond strengths of adhesively-bonded steel butt joints under mixed-mode loadings, *Engineering Structures*, 172, pp.163–171, 2018.
- 3) 清野久美子，タイウィサル，中村一史，堀井和久：複合応力を受ける接着接合部の静的強度の評価に関する実験的検討，土木学会，第14回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム講演集，pp.5-1–5-8，2021.11

表-2 接着剤の厚さの比較 (mm)

計測位置	1	2	3	4	平均	max-min
改善前	0.575	0.476	0.415	0.586	0.513	0.171
改善後	0.426	0.458	0.423	0.407	0.428	0.051

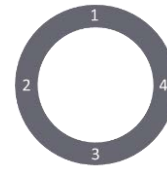


図-3 接着剤の厚さ計測の位置 (断面図)

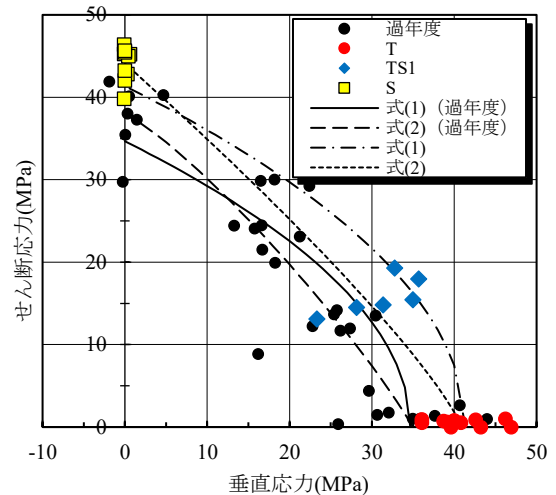


図-4 破壊時のせん断応力と垂直応力の相関関係

表-3 強度およびばらつきの比較

荷重条件	既存の試験結果		新規試験結果	
	破壊時の主応力 (MPa)	変動係数	破壊時の主応力 (MPa)	変動係数
T	34.9	0.145	40.9	0.084
TS1	30.0	0.151	37.7	0.128
TS3	35.6	0.112		
S	37.9	0.106	44.1	0.045



図-5 各荷重条件での破壊形式の一例