

接着接合部の複合応力を考慮した試験装置の作製とその評価

東京都立大学大学院 学生員○清野久美子
宇都宮大学 正会員 タイウィサル 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

わが国では、高度経済成長期に建造された多くの構造物が建設後 50 年以上経過し、腐食や疲労などの損傷が多数報告されている。それらの鋼構造物に対して、既存の補修・補強の接合方法である、溶接接合や高力ボルト接合に加え、簡便な工法として、接着接合のニーズが高まっている。しかしながら、その接着接合部の静的強度の評価方法には幾つかの課題がある。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、二方向の载荷装置を必要とすることなどである。そこで本研究では、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、試験装置を設計・製作し、その評価方法について検討を行った。

2. 試験装置の設計および試験方法

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たものを試験体とした。試験体に複合応力を与えるため、その両端に引張力 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 が生じる構造を採用した。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。試験体を固定支持するために加工を行ったダイセット（金型を精緻に並進移動させる治具）を組み合わせる構造で、センターホールジャッキ（容量：300kN）、パワーレンチ（容量：3000N・m）を取り付け、それぞれ引張力 T 、トルク S を载荷する。ダイセット間に鋼板のスペーサを挟むことで、ダイセット間が固定され、中空円筒の試験体の中心に通した長ボルト（M24）をセンターホールジャッキで緊張することで、試験体に引張力が伝達される。トルクについては、パワーレンチをダイセットに固定し、試験体にパワーレンチの出力角ドライブを差し込み、回転させることで、試験体に純ねじりを与える。試験体の一方を四角柱、もう一方を接着接合部より径の大きい円柱とすることで、試験体をダイセットにはめ込んだ状態で、四角柱側で回転が拘束され、トルクの反力を受ける。もう一方の径の大きい円柱側では、回転自由となり、トルクが導入されるとともに、引張力を受ける場合、固定部となる。

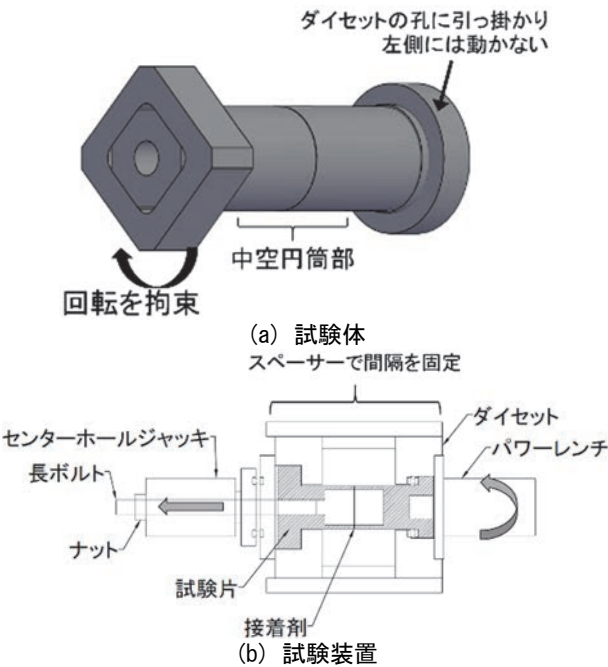


図-1 試験体および試験装置の概略図

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
試験体数	10	7	9	7

表-1 に、载荷条件を示す。荷重 T 、 S の組み合わせは、接着剤に生じる応力の比 (σ_y/τ) が文献 1) の試験条件と同程度の値となるように、4 つの条件を設定した。接着接合部および試験体に生じる応力の評価には、FEM 解析 (Msc. Marc/Mentat2019) を行った。解析結果に基づいて、試験体に与える荷重 T 、 S を評価するためのひずみゲージの位置を決定し、計測値から荷重 T 、 S を評価した。

3. 試験結果および考察

3.1 接着剤のひずみ特性

図-2, 3に, 接着剤に生じる応力-ひずみ曲線を示す. 接着剤に生じるひずみは, 一軸ひずみゲージおよびクリップ型変位計を用いて計測した. 表-2に, 実験結果に基づいた弾性係数を示す. これらの結果から, 弾性係数, せん断弾性係数は, 文献 1)の参照値よりも若干大きいこと, 载荷条件に関わらず, 同程度の値であるが, 最大ひずみは载荷条件により異なることがわかる. 弾性係数は, 解析結果では, 試験体断面の垂直応力は, 円筒外縁部で若干小さくなることから, その影響も考えられた. 一方, 円筒外縁部のせん断応力は理論値とほぼ一致するため, 本試験方法では, 接着接合部のせん断弾性係数は若干高く評価されると考えられた.

3.2 破壊時のせん断応力, 垂直応力の相関関係

すべての試験結果から, 接着不良などによる界面破壊となったものを除いて, 試験体の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, 全ての試験結果を, 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併記している.

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

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

まず, 最大主応力は, 文献 1)の参照値 (110.7MPa) より小さくなり, 34.7MPaとなった. これは, 文献 1)と最大荷重の評価方法が違うためである. また, 载荷条件 T および TS1 では, 強度のばらつきが大きいこと, TS1 では, ほかの载荷条件に比べて強度が小さいことがわかる. TS1 では, 破壊形式が界面破壊となることが多く, 空隙等の接着不良による強度への影響も大きかったため, 垂直応力の比率が高い複合応力下では強度が低くなる傾向があるといえた.

式(2)の数値は, それぞれ $\sigma_{yu}=34.9$, $\tau_u=37.9$, $m=1.2$, $n=1.1$ であった. 相関係数は, 式(1)で 0.895, 式(2)で 0.932 となり, 式(2)による評価の方が相関は良好であった. これは, 図-4 より, せん断応力と垂直応力の関係は, 直線に近いこと, 特に, 载荷条件 TS1 の垂直応力が小さいことが原因と考えられた.

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の試験装置を作製した. その試験結果から, 接着接合部の弾性係数は若干大きく評価されること, 垂直応力は, 引張力の比率が大きい複合応力下では小さく評価され, 接着強度の相関関係は, 直線に近い包絡線となることが確かめられた.

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

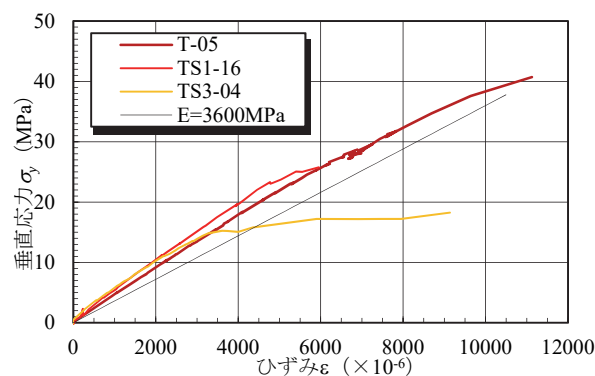


図-2 応力-ひずみ曲線 (引張方向)

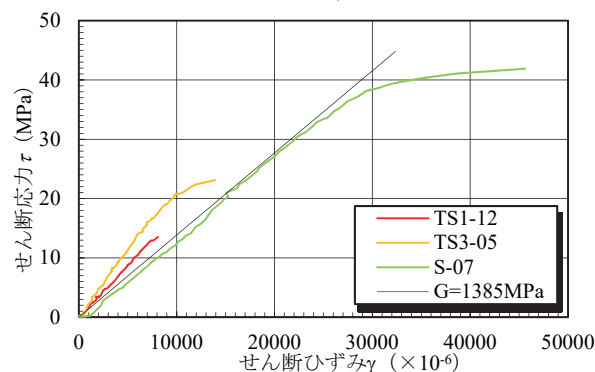


図-3 応力-ひずみ曲線 (せん断方向)

表-2 実験結果に基づいた弾性係数

载荷条件	弾性係数 E(MPa)	せん断弾性係数 G(MPa)
T	4362	-
TS1	4611	2323
TS3	4871	2612
S	-	2034
参照値 1)	3600	1385

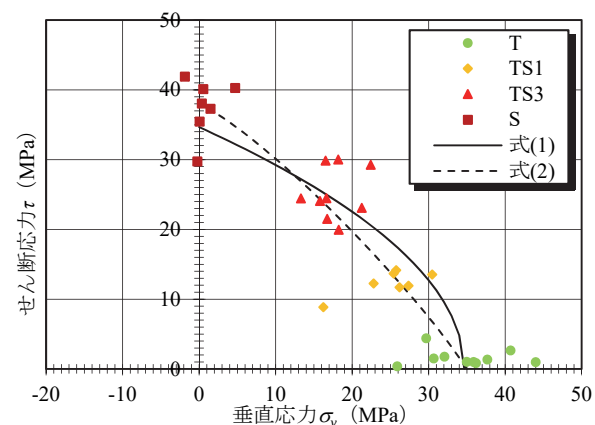


図-4 破壊時のせん断応力と垂直応力の相関関係