

一軸引張を受ける片面当て板接着鋼板のはく離評価

関西大学 学生員 ○水谷 壮志 正会員 石川 敏之

1. はじめに

近年、損傷した鋼部材への補修工法として、鋼板や FRP を用いた当て板接着補修が適用され始めている¹⁾。接着補修では、当て板を鋼部材に接着剤で貼り合わせるだけでよく、ボルト孔を設けないため、部材への応力集中やそれに伴う断面欠損が生じず、場合によっては供用しながら短期間で施工できるなどの利点がある。しかし、当て板接着補修の問題点として、鋼部材が降伏する前に当て板がはく離する場合があることが報告されている¹⁾。したがって、事前にはく離の防止に対する照査を行う必要がある。

海外では、はく離を照査する基準として当て板端部の接着剤に生じる主応力が用いられている。一方、エネルギー開放率を用いた当て板のはく離照査手法を示しているガイドラインもある。

著者らは、片面接着鋼板が一軸引張を受ける場合において数値解析を用い、はく離の照査に用いる接着剤に生じるせん断応力および垂直応力を導出している²⁾。

本研究では、片面当て板接着鋼板の一軸引張試験を行い、数値解析によるせん断応力および垂直応力を用いて、はく離に対する照査を行う。

2. 試験概要

(1) 試験体

試験体の寸法およびひずみゲージの設置位置を図-1 に示す。ひずみゲージの設置位置は鋼板の幅方向中央である。当て板の厚さは 9mm で、主板の厚さは 9mm および 12mm とした。これらの鋼板の幅は 50mm である。試験体は各 1 体製作した。試験体に用いた鋼板および接着剤の材料定数を表-1 に示す。鋼板はブラスト処理が施されており、板厚が 9mm および 12mm の鋼板の算術平均粗さ R_a はそ

れぞれ $6.8\mu\text{m}$ および $5.3\mu\text{m}$ であった。接合面の脱脂を行った後に主板に接着剤を塗布し、当て板を圧着した。接着剤の圧着後は 20°C の部屋で 24 時間養生し、 35°C に設定した乾燥炉で 12 時間養生した。

(2) 試験方法

一軸引張試験には最大引張荷重 $1,000\text{kN}$ の万能試験機を用いた。各試験体で目視により接着剤のはく離が確認できた段階で载荷を終了した。この試験では、定着部が剛となるため不静定構造となる。

3. 試験結果

(1) ひずみ分布

例として図-2 に载荷荷重 20kN における F-12-9-150-100 のひずみ分布を示す。図には数値解析により算出した主板および当て板の上面または下面のひずみも示している。実験値および数値解析値のひずみ分布がおおむね一致していることがわかる。また、主板の上面および下面のひずみ分布から、無補強部においても曲げモーメントが生じている

表-1 材料定数

(a) 鋼板

鋼種	板厚 [mm]	降伏応力 [N/mm ²]	引張強度 [N/mm ²]	破断伸び [%]
SM490YA	9	500	552	17
SM490YA	12	467	534	20

(b) 接着剤

圧縮降伏応力 [kN/mm ²]	圧縮弾性率 [kN/mm ²]	引張せん断強度 [N/mm ²]
70 以上	6.5	14 以上

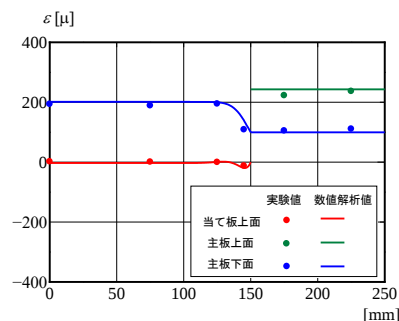


図-2 ひずみ分布

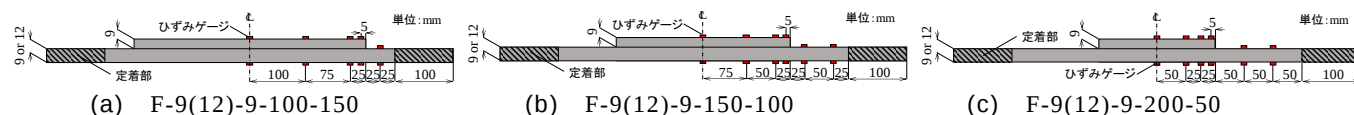


図-1 試験体の寸法およびひずみゲージ測定位置

キーワード 片面接着, はく離, 主応力, エネルギー開放率
連絡先 〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 Tel : 06-6368-0926

ことがわかる．他の試験体においても同様の結果が得られた．

(2) はく離の評価

片面当て板接着鋼板に対してはく離の評価手法として提案されている主応力およびエネルギー開放率による評価を行う．

当て板端部の接着剤に生じる主応力 σ_p は、当て板端部の接着剤に生じるせん断応力 τ および垂直応力 σ_y により次式で与える．

$$\sigma_p = \frac{\sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_y}{2}\right)^2 + \tau^2} \quad (1)$$

また、エネルギー開放率は当て板端部の接着剤から微小なはく離が生じることによる接着剤のひずみエネルギーの変化から、エネルギー開放率はモード別に次式で与えられる．

$$G_I = \begin{cases} \frac{h}{2E_e} \sigma_y^2 & (\sigma_y \geq 0) \\ 0 & (\sigma_y < 0) \end{cases} \quad (2), \quad G_{II} = \frac{h}{2G_e} \tau^2 \quad (3)$$

E_e および G_e はそれぞれ接着剤のヤング係数またはせん断性係数であり、 h は接着厚さである．全エネルギー開放率 G_T は各モードの和 ($G_T = G_I + G_{II}$) で与えられる．

エネルギー開放率の計算には系全体のひずみエネルギーから算出される簡易式¹⁾もあり、次式で表される．

$$G = \frac{1}{2bE_s} \left\{ \left(\frac{1}{A_s} - \frac{1}{A_v} \right) P^2 + \left(\frac{M_{cr}^2}{I_s} - \frac{M_{vcr}^2}{I_v} \right) \right\} \quad (4)$$

A_s , A_v , I_s , I_v は主板または合成断面の面積および断面 2 次モーメントであり、 E_s は鋼板のヤング係数である．また、 M_{cr} , M_{vcr} は主板または合成断面におけるはく離先端に作用する曲げモーメントである．

一軸引張試験から得られる各試験体のはく離荷重を用い数値解析により接着剤に生じるせん断応力および垂直応力を算出し、主応力およびエネルギー開放率を求める．得られた結果を表-2 に示す．

また、図-3 にはく離荷重における接着剤に生じるせん断応力および垂直応力の関係を示す．この図には本研究と同じ接着剤を用いて行われたダブルラップ接着接合継手での引張試験³⁾および片持状態の当て板接着鋼板の曲げ試験⁴⁾の結果も示している．図中に示す実線および破線の曲線は、文献3), 4)の試験体に対して得られた主応力 σ_p またはエネルギー開放率 G_T をそれぞれ平均して与えた破壊基準線である．一軸引張試験より得られる接着剤のせん断応力および垂直応力の関係は破壊基準線の周りにプロットすることができ、はく離防止の照査に主応力およびエネルギー開放率が利用できると考えられる．

4. おわりに

本研究では一軸引張を受ける片面当て板接着鋼板のはく離試験を実施した．その結果、はく離防止の照査として主応力およびエネルギー開放率が利用できると考えられる．

参考文献

- 1) 土木学会 複合構造委員会：FRP 部材の接合及び鋼と FRP の接着接合に関する最先端技術，複合構造レポート 09, 2013.
- 2) 水谷壮志，石川敏之：一軸引張を受ける片面当て板接着鋼板の力学特性，土木学会関西支部年次学術講演会，2017. (印刷中)
- 3) 清水優，石川敏之，堀井久一，服部篤史，河野広隆：当て板接着された突合せ鋼板のはく離強度の評価，鋼構造論文集，第 22 巻，第 86 号，pp.1-11, 2015.
- 4) Shimizu, M., Ishikawa, T., Hattori, A., and Kawano, H., Failure Criteria for Debonding of Patch Plate Bonded on-to Steel Members Subjected to Bending, Journal of JSCE, Vol.2, pp.310-322, 2014.

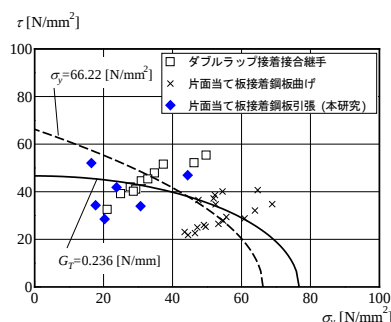


図-3 接着剤に生じるせん断応力および垂直応力の関係

表-2 はく離指標

	h [mm]	P [kN]	σ_y [N/mm ²]	τ [N/mm ²]	σ_p [N/mm ²]	G_I [N/mm]	G_{II} [N/mm]	G_T [N/mm]	G [N/mm]
F-9-9-100-150	0.35	102.0	16.45	52.07	60.93	0.0073	0.1971	0.2043	0.2160
F-9-9-150-100	0.57	89.2	23.76	41.87	55.40	0.0248	0.2075	0.2323	0.2456
F-9-9-200-50	0.48	48.9	30.72	33.94	52.61	0.0348	0.1148	0.1497	0.1531
F-12-9-100-150	0.89	131	17.69	34.33	44.30	0.0214	0.2178	0.2393	0.2610
F-12-9-150-100	0.51	67.5	20.30	28.52	40.42	0.0162	0.0861	0.1023	0.1058
F-12-9-200-50	0.83	106.8	44.39	46.95	74.13	0.1258	0.3800	0.5058	0.5167