

部分的に緊張力を導入した当て板接着鋼部材のはく離抑制効果

名古屋大学 正会員 ○清水 優, 京都大学 正会員 石川 敏之
 京都大学 正会員 服部 篤史, 京都大学 正会員 河野 広隆

1. はじめに

近年, 腐食や疲労によって劣化した鋼部材に対して, 当て板を接着することによる補修方法が行われ始めている. さらに, 当て板にあらかじめ緊張力を導入して鋼部材に接着することで, 鋼部材にプレストレスを導入する補強方法も提案されている. 一方で, 当て板に緊張力を与えて接着すると, 緊張力解放時に当て板端部付近の接着剤層にせん断応力と垂直応力が生じるため, 小さい外力で当て板がはく離する可能性がある. これまでに, 緊張力を導入した当て板のはく離荷重を向上する方法として, 図-1 に示すように当て板端部付近に非緊張部を設ける方法を提案し, 理論解析からその有効性を示している¹⁾. 本研究では, 当て板端部に非緊張部を設けることによるはく離抑制効果を実験的に検証した.

2. 試験体

緊張力の導入には図-2 に示す装置を用いた. 図-2 の装置は長ネジに設置したナットを回転させることによって, 当て板端部から l_n の範囲を除いて緊張ひずみ ε_{pre} を導入できる. 鋼部材に接着したのちに装置を当て板から取外し, 鋼部材にプレストレスを導入した. 図-2 の装置と当て板の結合には, 接着面に凹凸が生じないように皿ネジを用いている. 本試験では, 加工の容易さから, 当て板および母材はいずれも鋼板とした. 母材鋼板が幅 $90 \times$ 厚さ 12mm , 当て板が幅 $50 \times$ 厚さ 4.5mm , 当て板への導入ひずみ 129μ の A シリーズと, 母材鋼板が幅 $50 \times$ 厚さ 12mm , 当て板が幅 $25 \times$ 厚さ 4.5mm , 当て板への導入ひずみ 181μ の B シリーズを用いた. 非緊張部 l_n を設けた A-2- l_n , B-2- l_n に加え, 非緊張部を設けない試験体 A-1 および B-2 も比較として製作した.

3. 緊張力解放によって鋼部材に生じるひずみ

図-3 に, B-2- l_n の緊張力を解放することによって母材鋼板上面に生じるひずみを示している. この図の実線は母材鋼板および当て板のひずみの理論解であり, 次式より求められる.

$$\varepsilon_s(x) = \frac{N_s(x)}{E_s A_s} - \frac{M_s(x)}{E_s I_s} d_s \quad (1)$$

ここに, E_s , A_s および I_s はそれぞれ母材鋼板の弾性係数, 断面積および断面二次モーメント, d_s は母材鋼板の図心軸から上縁までの距離である. また, 母材鋼板の軸力 $N_s(x)$ および曲げモーメント $M_s(x)$ は, 図-4 の当て板接着鋼部材の微小区間の力のつり合いから導出される次式の微分方程式を解くことによって求めた.

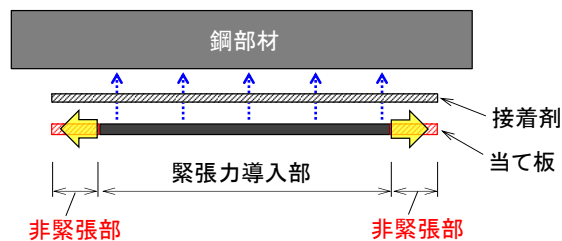


図-1 部分的に緊張力を与えた当て板による鋼部材の補強

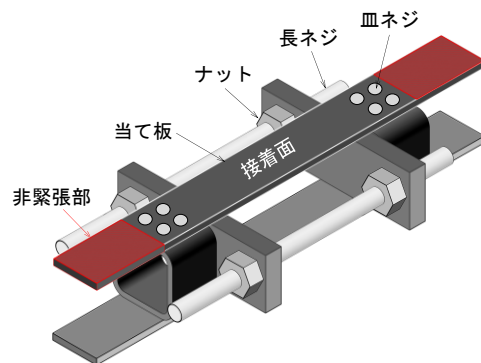


図-2 当て板への緊張力導入装置

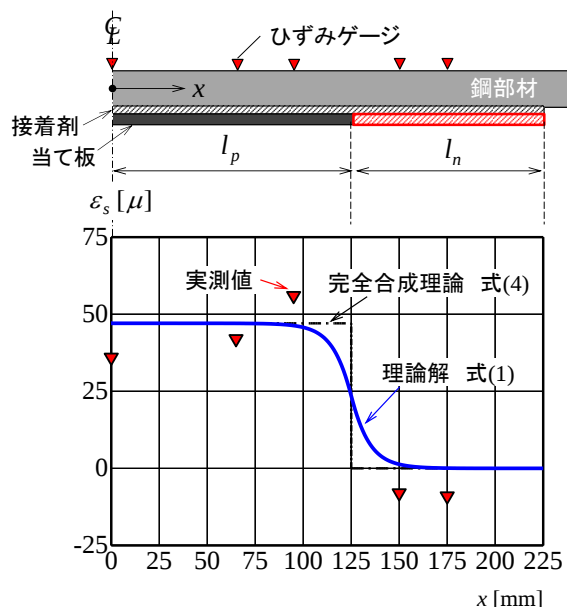


図-3 当て板の緊張力解放による母材鋼板上面のひずみ (B-2- l_n)

キーワード 鋼部材, 当て板, 接着, プレストレス, 緊張力, はく離

連絡先 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町 名古屋大学工学部 9 号館 6 階 627 号室 TEL 052-789-4620

表-1 試験体

試験体	母材鋼板			当て板			接着剤厚さ [mm]	導入ひずみ $\varepsilon_{pre} [\mu]$	非緊張部長さ l_n [mm]
	幅 [mm]	板厚 [mm]	弾性係数 [GPa]	幅 [mm]	板厚 [mm]	弾性係数 [GPa]			
A-1	90	11.6	221.0	50	4.5	197.3	1.02	129	—
A-2-ln				50	4.5				50
B-1	50	11.6	221.0	25	4.5	197.3	1.12	181	—
B-2-ln				25	4.5				100

$$\begin{cases} \frac{d^2 N_s(x)}{dx^2} - c^2 N_s(x) = \frac{G_e b_p}{h} \varepsilon_{pre} & (0 \leq x \leq l_p) \\ \frac{d^2 N_s(x)}{dx^2} - c^2 N_s(x) = 0 & (l_p \leq x \leq l) \end{cases} \quad (2)$$

$$\frac{d^4 V_s(x)}{dx^4} + 4\omega^4 V_s(x) = \frac{E_e b_p}{h} \cdot \frac{J}{E_p I_p} \cdot \frac{dN_s(x)}{dx} \quad (3)$$

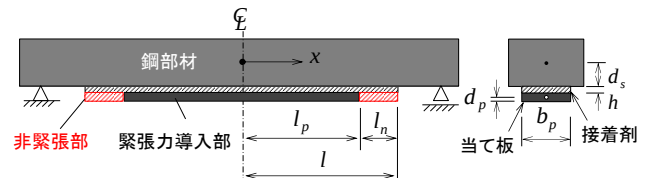


図-4 理論解析に用いる当て板接着鋼部材

ここに、 $c = \sqrt{a^2 b_p G_e / (h K Z_1 E_s I_s)}$ 、 $K = 1 / (1 + Z_1 Z_2 r_s^2 / a^2)$ 、 $Z_1 = 1 + I_p / (n I_s)$ 、 $Z_2 = 1 + n A_s / A_p$ 、 $r_s = \sqrt{I_s / A_s}$ 、 $a = d_s + d_p + h$ 、 $n = E_s / E_p$ 、 $J = d_p - (Z_1 - 1) d_s$ 、 $\omega = \sqrt[4]{b E_e Z_1 / (4 h E_p I_p)}$ 、 x は当て板中央からの距離、 E_p 、 A_p および I_p はそれぞれ当て板の弾性係数、断面積および断面二次モーメント、 d_p は当て板の図心から当て板上縁までの距離、 b_p は当て板の幅、 h 、 G_e および E_e はそれぞれ接着剤の厚さ、せん断弾性係数および弾性係数である。

図-3 から、母材鋼板のひずみの実測値は、理論解析より求まる分布と若干異なっているものの、全体的なひずみ分布の傾向は一致していることがわかる。また、 $0 \leq x \leq l_p$ の区間では、完全合成理論より求められる次式の母材鋼板のひずみとほぼ一致しており、当て板端部付近を除いて緊張力を導入した場合でも、鋼部材へのプレストレス導入効果が得られることがわかる。

$$\varepsilon_s = -\frac{P_{pre}}{E_s A_v} + \frac{M_{pre}}{E_s I_v} d_v \quad (4)$$

ここに、 $P_{pre} = E_s A_p \varepsilon_{pre} / n$ 、 $M_{pre} = P_{pre} a_p$ 、 A_v および I_v は鋼部材と当て板の合成断面の鋼換算断面積および断面二次モーメント、 d_v は合成断面の図心位置から上縁までの距離、 a_p は合成断面の図心位置から当て板図心位置までの距離である。

4. はく離曲げモーメント

当て板端部に非緊張部を設けた試験体と、当て板全体に緊張力を導入して接着した試験体に対して図-5 に示すように、片持ち状態で当て板接着面が曲げ引張側となるように载荷試験を行い、当て板がはく離した時の当て板端部の曲げモーメントを比較した。本試験では、全試験体で母材鋼板が降伏する前に当て板右端からはく離が生じた。当て板がはく離した時の当て板右端位置の作用曲げモーメントを棒グラフで図-

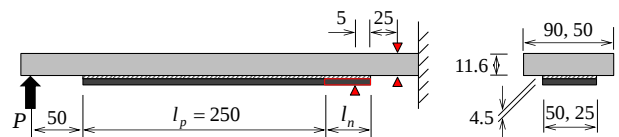


図-5 载荷方法

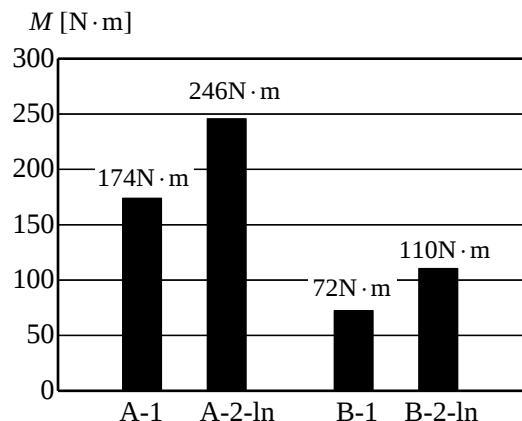


図-6 当て板のはく離曲げモーメント

6 に示す。図-6 から、当て板端部付近に非緊張部を設けた A-2-ln と B-2-ln は、当て板全体に緊張力を与えた A-1 および B-1 よりも、当て板がはく離するときの曲げモーメントが向上していることがわかる。

5. まとめ

緊張力を導入した当て板を鋼部材に接着するとき、当て板端部付近に非緊張部を設けることによって、当て板がはく離するときの曲げモーメントを向上させることができた。また、非緊張部を設けた場合でも、完全合成理論と同等のプレストレスを鋼部材に導入することができた。

参考文献 1)清水 優, 石川敏之, 服部篤史, 河野広隆: プレストレス導入 CFRP 板接着鋼部材のはく離曲げモーメント向上法の提案, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol.67, No.2 (応用力学論文集 Vol.14), pp.I_777-I_784, 2011.