

断面欠損を有する CFRP 板接着鋼板の接着剤に生じるせん断応力

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○河津 公太
大阪大学大学院工学研究科 正会員 大倉 一郎

1. はじめに

近年、橋梁などの鋼構造物を補修・補強する場合、炭素繊維強化樹脂板（以後、CFRP 板と呼ぶ）が用いられるようになってきた。これまで、CFRP 板による鋼板補強に関する研究は数多くなされているが¹⁾、腐食などによる断面欠損を有する鋼板に対して、CFRP 板による補強に関する研究はあまりない²⁾。本研究は、断面欠損を有する CFRP 板接着鋼板の接着剤に生じるせん断応力の特性を明らかにする。

2. 理論式

図-1 に示すように、CFRP 板が上下に対称に接着された、断面欠損を有する鋼板に引張応力 σ_{sn} が作用している。断面欠損部の接着剤の厚さは健全部のそれに比較して大きいので、断面欠損部の鋼板から CFRP 板に伝達される力は小さいと仮定して、理論式の誘導に際しては、断面欠損部の接着剤の存在を無視する。この様なモデルに対して、文献 1) で導出された微分方程式を解くことにより、次の諸式が与えられる。

$$\sigma_{sd} = \frac{t_s}{t_{sd}} (\xi + A_1) \sigma_{sn} \quad (1)$$

$$\sigma_s = \left[\xi + A_1 \cosh\{c(x-l_d)\} + A_2 \sinh\{c(x-l_d)\} \right] \sigma_{sn} \quad (2)$$

$$\sigma_{cd} = \frac{t_c}{2t_s} \{1 - (\xi + A_1)\} \sigma_{sn} \quad (3)$$

$$\sigma_c = \frac{t_s}{2t_c} [1 - \xi - A_1 \cosh\{c(x-l_d)\} - A_2 \sinh\{c(x-l_d)\}] \sigma_{sn} \quad (4)$$

$$\tau = \frac{ct_s}{2} [A_1 \sinh\{c(x-l_d)\} + A_2 \cosh\{c(x-l_d)\}] \sigma_{sn} \quad (5)$$

$$A_1 = \frac{\frac{1}{\cosh(cl_s)} - cl_d \xi \left(\frac{t_s}{t_{sd}} - 1 \right) \tanh(cl_s)}{\frac{1}{1-\xi} + cl_d \left(\frac{t_s}{t_{sd}} + \frac{\xi}{1-\xi} \right) \tanh(cl_s)}$$

$$A_2 = \frac{1-\xi}{\sinh(cl_s)} - \frac{A_1}{\tanh(cl_s)}$$

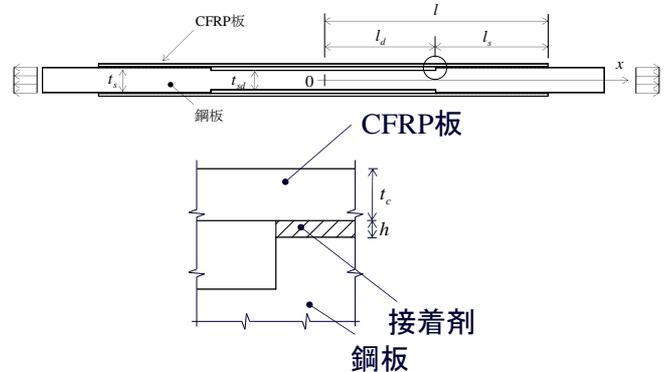


図-1 引張応力を受ける CFRP 板接着鋼板

$$c = \lambda \sqrt{\frac{2}{1-\xi}}, \quad \lambda = \sqrt{\frac{G_g}{E_s t_s h}}, \quad \xi = \frac{E_s t_s}{2E_c t_c + E_s t_s}$$

ここに、 σ_s : 健全部の鋼板応力、 σ_{sd} : 断面欠損部の鋼板応力、 σ_c : 健全部の CFRP 板に生じる応力、 σ_{cd} : 断面欠損部の CFRP 板に生じる応力、 τ : 接着剤に生じるせん断応力、 E_s : 鋼板のヤング率、 t_s : 健全部の鋼板の板厚、 t_{sd} : 断面欠損部の鋼板の板厚、 E_c : CFRP 板のヤング率、 t_c : CFRP 板の板厚、 G_g : 接着剤のせん断弾性係数、 h : 接着剤の厚さ。

3. FEM 解析

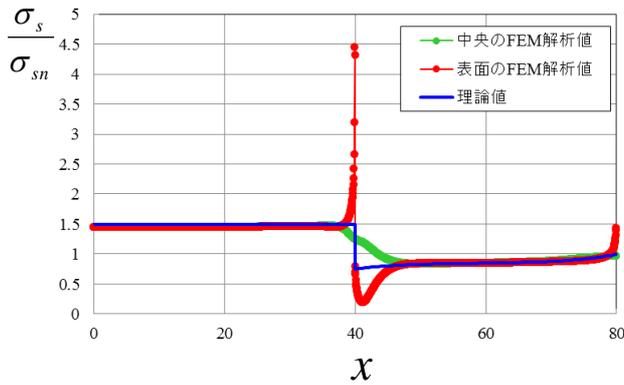
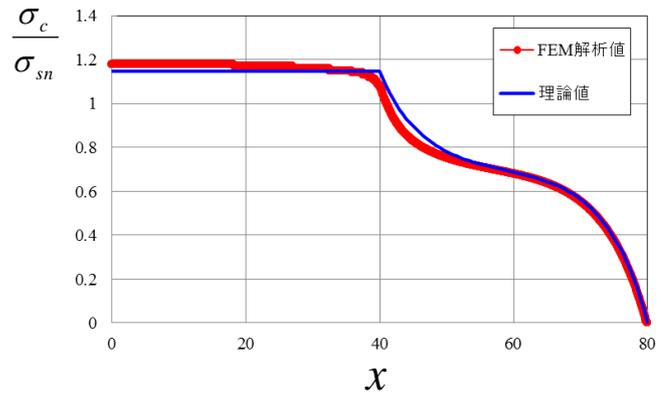
CFRP 板が接着された、断面欠損を有する鋼板の応力を、汎用有限要素解析プログラム DIANA によって調べる。 $t_s=9\text{mm}$ 、 $t_c=1\text{mm}$ 、 $h=0.32\text{mm}$ 、 $l_d=l_s=40\text{mm}$ として、 t_{sd} を変化させる。材料定数を表-1 に示す。鋼板と接着剤に対して 4 節点平面応力要素、CFRP 板に対して 2 節点トラス要素を使用する。接着剤の要素の大きさは $0.04\text{mm} \times 0.04\text{mm}$ である。

表-1 材料定数

鋼板	ヤング率(GPa)	200
	ポアソン比	0.3
CFRP板	ヤング率(GPa)	165
接着剤 (エポキシ樹脂)	ヤング率(GPa)	3.2
	ポアソン比	0.35

キーワード CFRP 板、断面欠損、補修、せん断応力、接着剤

連絡先 〒576-0871 大阪大学吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 TEL06-6879-7620

図-2 σ_s/σ_{sn} 分布($t_{sd}/t_s = 0.5$)図-3 σ_c/σ_{sn} 分布($t_{sd}/t_s = 0.5$)

4. 理論値と FEM 解析値との比較

σ_s/σ_{sn} に関して理論値 [式(1)と(2)] と FEM 解析値との比較を図-2 に示す。鋼板の断面欠損部と健全部の境界で、FEM 解析値の鋼板表面の応力が理論値と大きく異なっている。

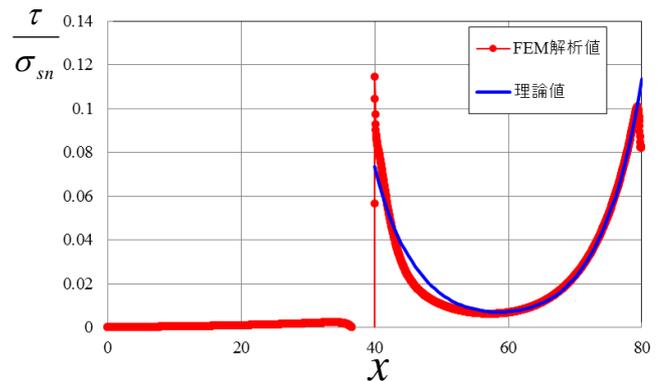
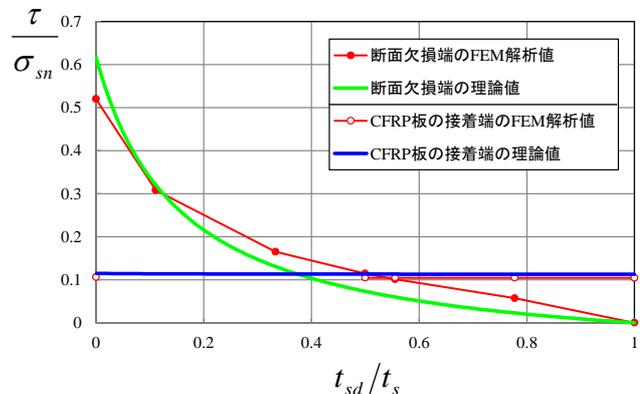
σ_c/σ_{sn} に関して理論値 [式(3)と(4)] と FEM 解析値との比較を図-3 に示す。断面欠損部近傍の健全部で、理論値と FEM 解析値は少し異なるが、これを除いて、理論値は FEM 解析値に合っている。

τ/σ_{sn} に関して理論値 [式(5)] と FEM 解析値との比較を図-4 に示す。FEM 解析値は、鋼板表面の接着剤に生じるせん断応力である。断面欠損部近傍の接着剤に生じる FEM 解析値は理論値よりかなり大きい。理論値は、断面欠損部近傍のせん断応力を正しく評価していない。

断面欠損端および CFRP 板の接着端の接着剤に生じる最大せん断応力 τ/σ_{sn} と t_{sd}/t_s の関係を図-5 に示す。断面欠損端の最大せん断応力は、断面欠損が深くなるに従って増加するが、CFRP 板の接着端の最大せん断応力は、断面欠損の深さに依らず一定である。 t_{sd}/t_s が約 0.5 より大きい場合には、CFRP 板の接着端の最大せん断応力が断面欠損端のそれより大きいが、 t_{sd}/t_s が約 0.5 より小さい場合には、断面欠損端の最大せん断応力が CFRP 板の接着端のそれより大きくなる。

5. 結論

断面欠損が深くなると、断面欠損端の接着剤に生じる最大せん断応力は増加するが、CFRP 板の接着端の最大せん断応力は一定である。 t_{sd}/t_s が約 0.5 より小さくなると、断面欠損端の最大せん断応力が CFRP 板の接着端のそれより大きくなる。

図-4 τ/σ_{sn} 分布($t_{sd}/t_s = 0.5$)図-5 断面欠損端および CFRP 板の接着端の最大 τ/σ_{sn} と t_{sd}/t_s の関係

参考文献

- 1) 大倉一郎, 福井唯夫, 中村圭吾, 松下泰三: 炭素繊維シートによる鋼板応力の低下とはく離せん断応力, 土木学会論文集, No.689/I-57, pp.239-249, 2001.
- 2) 石川敏之, 北根安雄: 断面欠損を有する鋼板の接着補修に必要な CFRP 板の長さおよび板厚の決定方法, 応用力学論文集, Vol.13, pp.911-920, 2010.