

I-A176 炭素繊維シートが付着された鋼板の力学特性と疲労強度

大阪大学大学院 学生員 福井唯夫 大阪大学大学院 正会員 大倉一郎
 大阪大学大学院 正会員 大西弘志 北海道開発庁 齊藤智和
 ショーボンド建設㈱ 池上洋一 ショーボンド建設㈱ 正会員 小牟禮健一

1. はじめに

最近、コンクリート構造物の補修に炭素繊維シートが適用され、効果があることが報告されている。しかし鋼構造物の補修に炭素繊維シートが適用された事例はまだない。そこで本研究では、鋼橋に発生する疲労亀裂を炭素繊維シートで補修することの可能性を明らかにするために、以下の引張試験と疲労試験を行った。

2. 試験片

試験片を図-1に示す。引張試験片として鋼板の中央を切断してないもの（連続試験片）と中央を切断したもの（切断試験片）の2種類を用意した。疲労試験片においては鋼板の中央に直径24.7mmの円孔が開けられている。鋼板、炭素繊維シートおよびエポキシ樹脂の材料特性を表-1に示す。試験片の各面に炭素繊維シートを2層付着させた場合と10層付着させた場合を考慮した。幅40mmの連続試験片に対しては全長Lが90mm、135mm、180mmの3つの異なる長さの炭素繊維シートを付着させた。

3. 引張試験

連続試験片の公称応力 σ_n とひずみ ε_s の関係を図-2に示す。 σ_{sy} 、 ε_{sy} はそれぞれ鋼板の降伏応力と降伏ひずみである。炭素繊維シートを付着させても鋼板の降伏応力が変わっていないので、降伏応力以上の領域において炭素繊維シートの効果はない。弾性域において2層付着より10層付着の方が σ_n と ε_s の関係の傾きが大きくなっている。したがって炭素繊維シートの積層数が増えることによって、鋼板のひずみを抑制する効果が大きくなる。しかし10層付着の場合、降伏応力の約90%で炭素繊維シートが剥離した。10層付着させた連続試験片において、炭素繊維シートが剥離した時の公称応力 σ_n と l ($l=L/2$)の関係を図-3に示す。炭素繊維シートの付着長さと付着幅による違いはない。炭素繊維シートを10層付着させた連続試験片と切断試験片の鋼板側

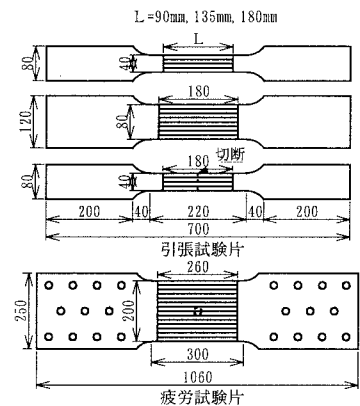
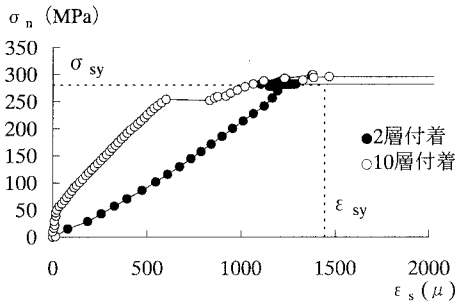
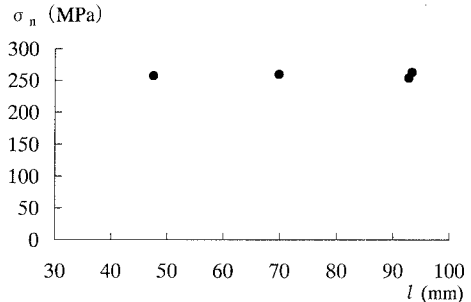


図-1 試験片

表-1 材料特性

鋼材		
	引張試験片	疲労試験片
材質	SS400	SS400
降伏応力(MPa)	279.8	273.7
引張強さ(MPa)	428.2	415.7
伸び(%)	31	29.7
ヤング率(GPa)	209.2	200.5
炭素繊維シート		
引張強さ(MPa)	4020	
ヤング率(GPa)	437.3	
1層の換算厚さ(mm)	0.169	
エポキシ樹脂		
引張強さ(MPa)	40.0	
ヤング率(GPa)	3.174	
ポアソン比	0.35	

図-2 σ_n と ε_s の関係 [連続試験片]図-3 σ_n と l の関係 [連続試験片]

炭素繊維シート、鋼板、合成作用、疲労

〒565-0871 吹田市山田丘 2-1 TEL 06-6879-7620 FAX 06-6879-7621

面のひずみ分布を図-4に示す。点線は公称ひずみである。連続試験片では付着区間中央部でひずみが最も小さく、端部に向かって徐々に増加している。切断試験片では切断部から端部に向かってひずみが急増している。

連続試験片の付着区間中央部において、炭素繊維シートが完全合成で鋼板に付着していると仮定した場合、鋼板の応力低減率 ξ_0 が次式で与えられる。

$$\xi_0 = \frac{E_s t_s}{2E_c t_c + E_s t_s} \quad (1)$$

E_s, E_c : それぞれ鋼板と炭素繊維シートのヤング率

t_s, t_c : それぞれ鋼板の厚さと炭素繊維シートの換算厚さ

2層付着に対して $\xi_0 = 0.8602$, 10層付着に対して $\xi_0 = 0.5517$ である。実際の鋼板の応力低減率は次式で計算される。

$$\xi = \frac{\Delta \varepsilon_s}{\Delta \varepsilon_{sn}} \quad (2)$$

$\Delta \varepsilon_s$: 炭素繊維シート付着区間中央部の鋼板のひずみ

$\Delta \varepsilon_{sn}$: 公称ひずみ

炭素繊維シートと鋼板の合成の程度を次式で評価する。

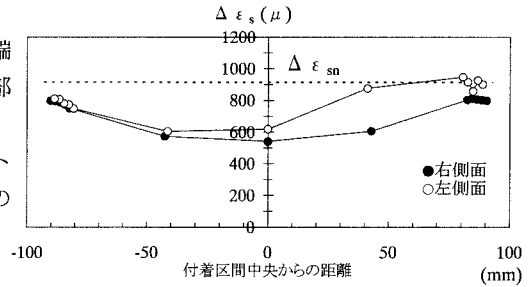
$$\eta = \frac{\xi}{\xi_0} \quad (3)$$

完全合成の場合 $\eta = 1$ である。 η と l の関係を図-5に示す。

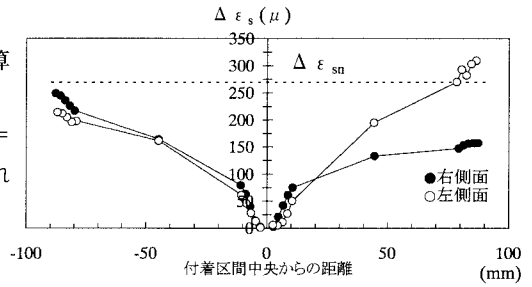
2層付着の場合は完全合成であるが、10層付着の場合は完全合成ではない。10層付着の場合、付着長さが長くなるに従って完全合成に近づく。2層付着、10層付着とも付着幅による違いはない。

4. 疲労試験

試験結果を図-6に示す。炭素繊維シートを2層付着させた場合、応力範囲が $\Delta \sigma_n = 151.2 \text{ MPa}$ において203.4万回で疲労亀裂が発生しなかったので、応力範囲を $\Delta \sigma_n = 186.4 \text{ MPa}$ に上げて疲労試験を行った。この場合109.6万回で円孔縁から疲労亀裂が発生した。このように2層付着させることによって、円孔を有する鋼板の疲労寿命を大幅に改善できる。炭素繊維シートを10層付着させた場合、疲労試験開始前に行った静的载荷において上限の応力 $\sigma_{n, \max} = 201.6 \text{ MPa}$ の約60%で円孔付近から炭素繊維シートが剥離した。したがって10層付着させることによる効果はなかった。



(a) 連続試験片 [$\Delta \sigma_n = 191.0 \text{ MPa}$]



(b) 切断試験片 [$\Delta \sigma_n = 56.4 \text{ MPa}$]

図-4 鋼板側面のひずみ分布 [10層付着]

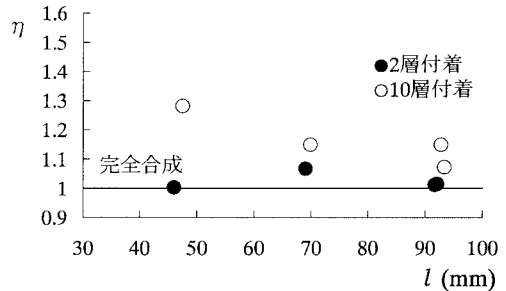


図-5 η と l の関係 [連続試験片]

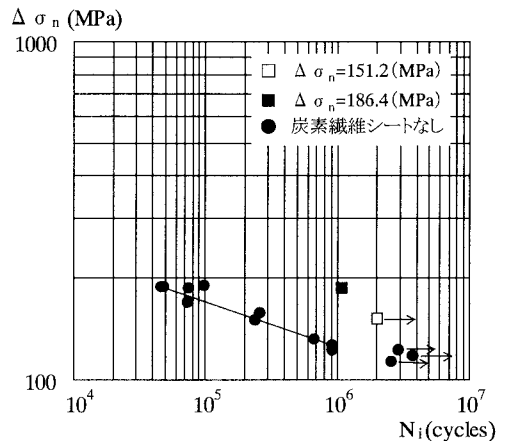


図-6 S-N 曲線