

大阪大学工学部 学生員 ○中村圭吾
大阪大学大学院 正会員 大倉一郎
三井造船(株) 正会員 祝 賢治

大阪大学大学院 学生員 福井唯夫
ショーボンド建設(株) 松上泰三

1. はじめに

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た事例は既にあるが、鋼構造物の補修に炭素繊維シートが適用された事例は著者等が知る限りではない。

著者等は、鋼橋に発生した疲労亀裂の補修法として、図-1 に示すように、疲労亀裂の先端にストップホールを設け、その上に炭素繊維シートを付着させることを考えている。炭素繊維シートを鋼板に付着させることに特別な技術や作業足場を必要としないので、この補修法は、溶接や添接板を用いるこれまでの補修法と比べて、非常に経済的である。

本研究は、炭素繊維シートにより、亀裂を有する鋼板の疲労寿命が改善される効果について報告する。

2. 試験片

疲労試験片を図-2 に示す。試験片に用いた鋼材はSS400 である。図-2 (a) は、中央に直径 24.7 mm の円孔を 1 つ設けた試験片である。図-2 (b) は、中央に直径 25 mm の円孔を 2 つ設け、その間を切断した試験片である。これらの試験片の中央部に、長さ 260 mm の炭素繊維シートを板幅前面に貼付けた。炭素繊維シートの貼り方を図-3 に示す。この図は試験片の中央断面である。

炭素繊維シートの繊維方向は、荷重の作用方向と同じである。エポキシ樹脂で含浸させた炭素繊維シートを 1 層ずつ付着させた。これを室温 20℃、湿度 65% で約一ヶ月間養生させた。鋼板、炭素繊維シートおよびエポキシ樹脂の材料特性および鋼板の実測板厚を表-1 に示す。

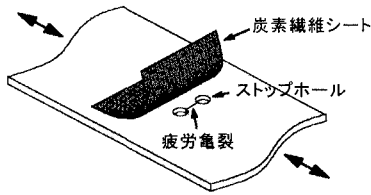
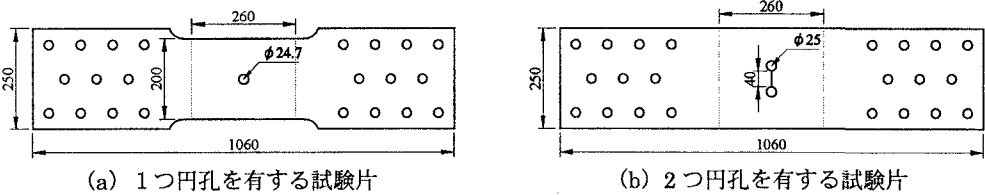


図-1 炭素繊維シートによる補修法

表-1 材料特性

鋼材		材質	SS400
実測板厚 (mm)			9.075
降伏応力 (MPa)	上降伏点		313.8
	下降伏点		300.5
引張強さ (MPa)			435.1
伸び (%)			29.0
ヤング率 (GPa)			204.2
炭素繊維シート			
炭素繊維目付け (g/m ²)			309.5
密度 (g/cm ³)			1.83
1層の換算厚さ (mm)			0.169
引張強さ (MPa)			4020
ヤング率 (GPa)			437.3
エポキシ樹脂			
引張強さ (MPa)			47.6
ヤング率 (GPa)			3.3
ポアソン比			0.4
せん断強さ (MPa)			16.0



(a) 1つ円孔を有する試験片 (b) 2つ円孔を有する試験片

図-2 疲労試験片

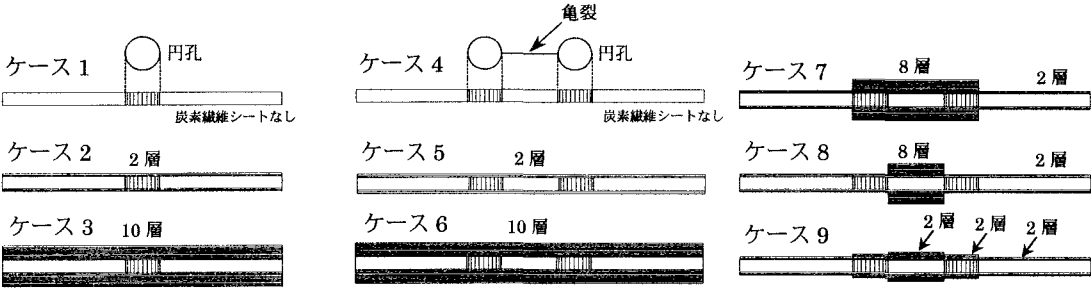


図-3 炭素繊維シートの貼り方

3. 疲労試験の結果

(1) 1つ円孔を有する試験片 試験結果を図-4に示す。図の横軸は繰返し回数で、縦軸は円孔端の応力範囲を降伏応力で基準化したものである。円孔端の応力範囲は次式で推定した。

$$1 \text{ つ円孔を有する試験片 } \sigma_m = 3.131 \sigma_{sn}$$

$$2 \text{ つ円孔を有する試験片 } \sigma_m = 5.622 \sigma_{sn}$$

ここに、 σ_m ：円孔端の応力

σ_{sn} ：荷重を鋼板の総断面積で除した値

図には比較のため、過去の試験結果¹⁾も示してある。

過去の試験結果およびケース1とケース2の比較から分かるように、炭素繊維シートを2層付着させることによって、疲労寿命が大幅に改善される。ケース3が示すように、炭素繊維シートを10層付着させた場合、疲労寿命改善効果は全くなかった。これは、疲労試験開始前の静的荷重において炭素繊維シートが剥離したためである。

(2) 1つ円孔と2つ円孔の比較 ケース1, 2, 4, 5の結果を図-5に示す。ケース2が示すように、1つ円孔を有する鋼板に2層付着させた場合、約15.6倍疲労寿命が改善される。ケース5が示すように、2つ円孔を有する鋼板に2層付着させた場合、約33.5倍疲労寿命が改善される。したがって、1つ円孔を有する鋼板よりも、2つ円孔を有する鋼板の方が、炭素繊維シートによる疲労寿命改善効果が大きいと言える。

(3) 炭素繊維シートの貼り方 試験結果を図-6に示す。 $\Delta\sigma_m/\sqrt{\sigma_Y}$ が43.0のとき、ケース5は252.3万回で疲労亀裂が入らなかったで、 $\Delta\sigma_m/\sqrt{\sigma_Y}$ を48.0に上げた後、32.0万回で疲労亀裂が入った。 $\Delta\sigma_m/\sqrt{\sigma_Y}$ が43.0のとき、ケース6は8.2万回、ケース7は15.3万回、ケース8は39.8万回、ケース9は28.3万回で破断した。したがって、炭素繊維シートを2層付着させることで、疲労寿命が大幅に改善される。ケース6, 7, 8, 9は2層より多い積層数の部分が広いほど、疲労寿命が短くなった。これは、2層より多い積層数の部分は、動的荷重を開始後、ただちに剥離したためである。

4. 結論

厚さ9mm程度の鋼板においては、炭素繊維シートを2層付着させることで、疲労寿命が大幅に改善される。

参考文献

- 1) 大倉一郎, 石川敏之: ストップホールから疲労亀裂の発生を防止する条件, 鋼構造年次論文報告集, 第7巻, pp.181-188, 1999.

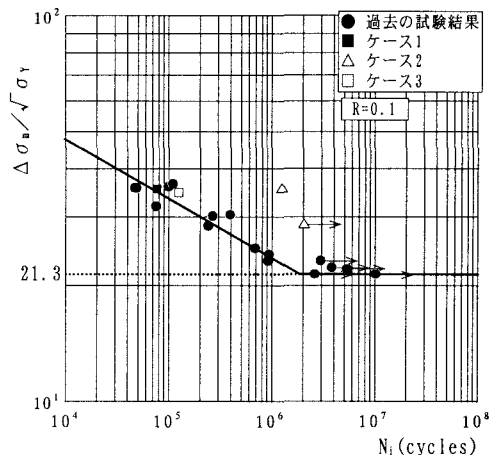


図-4 1つ円孔を有する試験片の結果

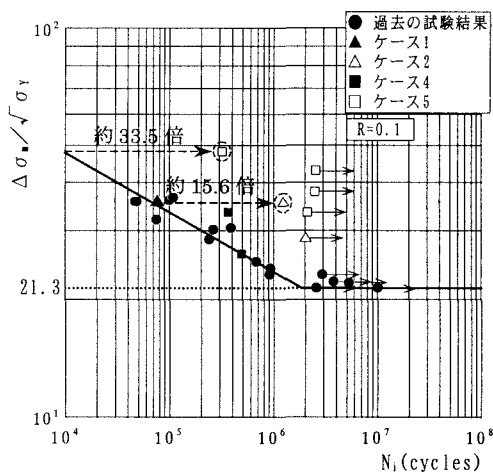


図-5 1つ円孔と2つ円孔の比較

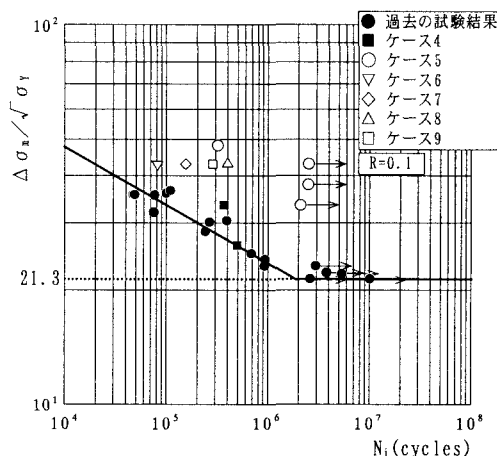


図-6 炭素繊維シートの貼り方