

CFRP 板の片側接着による疲労き裂の補修効果

首都大学東京大学院 学生員○林 帆・北章太郎・姜 威

首都大学東京 正会員 中村一史*・フェロー 前田研一

明星大学 正会員 鈴木博之 東京鐵骨橋梁・フェロー 入部孝夫

新日本石油 伊原啓裕

1. はじめに

多くの鋼橋で、交通量の増加、老朽化などの影響による疲労損傷が発生しており、効果的な補修工法が求められている。その中で、著者らは炭素繊維強化樹脂板（以下、CFRP板と呼ぶ）を用いた補修に関する検討を行ってきた¹⁾。簡単な工法であるため、応急的な対策として期待されている。本研究では、作業が片側からに制限されるケースを想定して、貫通き裂に対してCFRP板の片側接着による補修効果に着目し、実験的な検討を行った。

2. 試験片と実験条件

検討対象としたき裂モデルは有限幅板中の片側き裂であり、用いた試験片を図-1に示す。予き裂として平鋼板の側面から長さ5mm、幅0.2mmのソーカットを導入した。

表-1に、鋼板、CFRP板、エポキシ樹脂接着剤の機械的性質を示す。本研究では、次の3つのシリーズについて疲労試験を行った。

- (a) N：補修を行わないもの。
- (b) S：CFRP板を片側に貼付して補修を行ったもの。
- (c) D：CFRP板を両側に貼付して補修を行ったもの。

ここでは最小応力 $\sigma_{\min}$ を5MPaに固定して、応力範囲 $\Delta\sigma_{\max}$ を50, 70MPaと設定し、载荷速度は18Hzとした。

Nについては、予き裂から破壊まで疲労試験を行った。

SとDについては、まず、疲労試験により、初期き裂長さ a を約25mmまで発生させた後、鋼板の片側あるいは両側にCFRP板をエポキシ樹脂接着剤で貼付し、40℃で養生を行った。さらに、養生後、破壊まで疲労試験を行った。

CFRP板（片側あたり：200×1.2×37.5mm×2枚）の接着には、エポキシ樹脂接着剤を用い、接着層厚についてはガラスビーズを用いて0.4mmに管理した。

疲労き裂の進展を比較するために、Nではクラックゲージを貼付してき裂長さを計測した。Sでは適切な間隔でビーチマークを導入した。また、Dではひずみゲージを用いたCFRP板貼付域の疲労き裂のモニタリング²⁾によりき裂長さを特定した。さらに、応力分布を比較するために、き裂の進展が予測される延長線上のCFRP板あるいは鋼板に、ひずみゲージを設置した。Sシリーズにおけるひずみゲージの設置位置を図-2に示す。

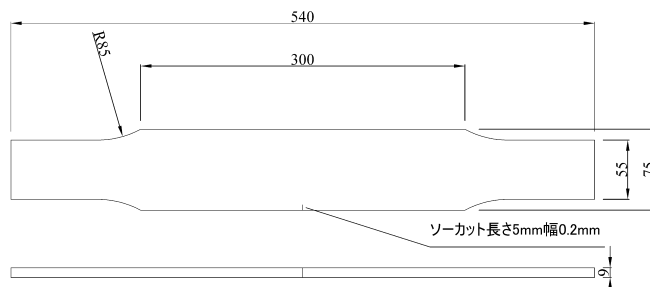


図-1 試験片図

表-1 機械的性質

	鋼板 (SM400)	CFRP板	エポキシ樹脂 接着剤
降伏点 (MPa)	282.3	—	—
引張強度 (MPa)	428.2	3195	30
破断伸び (%)	28.5	—	—
弾性係数 (GPa)	205.8	185	2.3(圧縮)

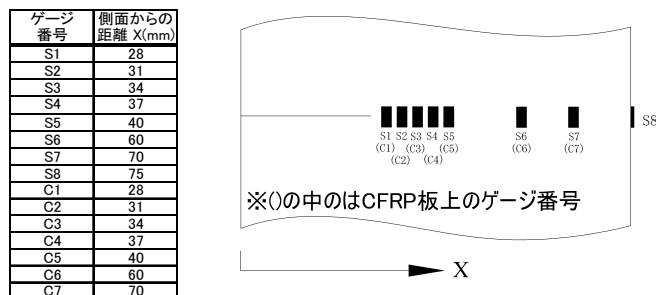


図-2 Sシリーズにおけるひずみゲージ設置位置

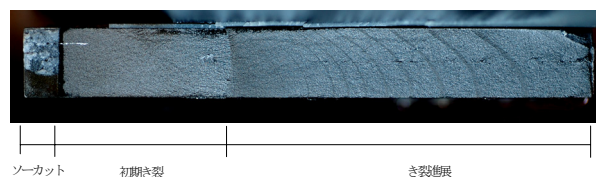


写真-1 Sシリーズにおける破断面のビーチマークの一例

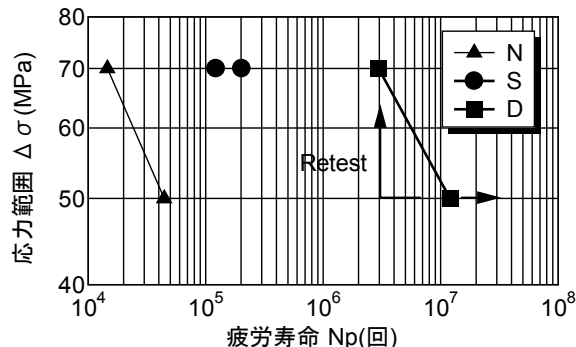


図-3 S-N線図

Key Words : CFRP 板, 疲労き裂, 応急補修, 片側接着

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL.042-677-1111 内線(4564)

実験では、動ひずみ測定器を用いて、疲労試験中の最大ひずみを1秒間隔で計測した。

3. 実験結果と考察

図-3に、すべての実験シリーズのS-N線図を示す。まず、Dにおける応力範囲50MPaでは、1200万回でもき裂の進展は見られず、疲労限と考えられた。さらに、応力範囲を70MPaとして再試験したところで、約300万回で破断した。Sについては、Dほど補修効果が高くないものの、Nに対して約10倍程度、疲労寿命が改善されることが解った。

また、図-4に、き裂長さと繰返し回数の関係を示す。Dでは、破断までき裂進展速度が低くなっていること、また、Sにおいても補修直後では、き裂進展速度が抑えられていることが解る。図-5には同様にNとSを比較して示す。補修した側(S_c)と補修しない側(S_n)の進展速度が異なることが解り、Nと比較すれば、補修しない側の進展速度も低下していることが確かめられた。

さらに、図-6に、き裂長さが約25mmにおける応力分布を示す。Nでは、き裂進展に伴うき裂先端の応力集中と板の面内曲げ影響を強く受けて、応力分布に大きな勾配を生じていることが解る。Dでは、き裂の先端ではCFRPの応力が高くなるが、全体的に面内曲げの影響が抑えられているといえた。一方、Sについては、補修した側では、DよりCFRP板の応力が低くなるものの、補修しない側の鋼板の応力はNに比べて、応力が抑えられていることが解る。しかしながら、両側で大きな応力差を生じていることから面外曲げの影響も大きいことが確かめられた。図-7にき裂長さが約30mmにおける応力分布を示す。図-6と同様の傾向を示しているが、Sでは面外曲げの影響がより顕著になっていることが解る。したがって、片側接着による補修では、写真-1に示したようなき裂の進展挙動となるものと考えられた。

4. まとめ

以上、検討した範囲からは、CFRP板を片側接着した場合、両側接着に比べて補修効果はかなり低くなるものの、有意な疲労寿命の改善が認められた。今後は、片側接着による補修の適用範囲を明確にするために、実験条件をパラメータとした疲労試験を行って、実験データを蓄積する予定である。

なお、本研究の一部は(財)海洋架橋・橋梁調査会の橋梁技術に関する研究開発助成を受けて実施したものである。

参考文献

- 1) 中村一史, 諸井敬嘉, 鈴木博之, 前田研一, 入部孝夫: 溶接継手部に発生した疲労き裂の積層CFRP板による補修効果, 鋼構造年次論文報告集, 第13巻, 日本鋼構造協会, pp. 89-96, 2005. 11.
- 2) 中村一史, 山谷佑介, 前田研一, 鈴木博之, 入部孝夫: ひずみゲージを用いたCFRP板貼付域の疲労き裂のモニタリング, 鋼構造年次論文報告集, 第15巻, 日本鋼構造協会, pp. 439-446, 2007. 11.

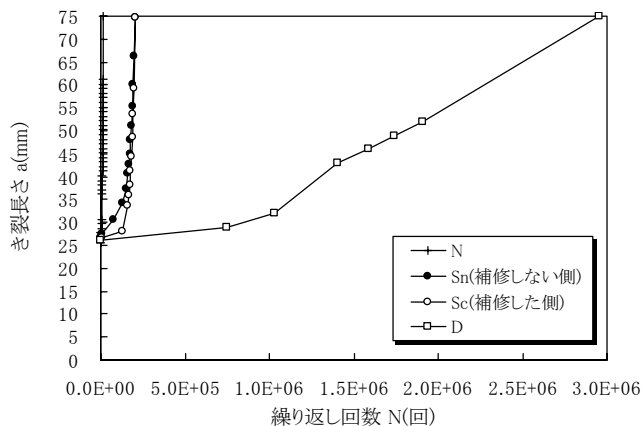


図-4 き裂長さと繰返し回数の関係

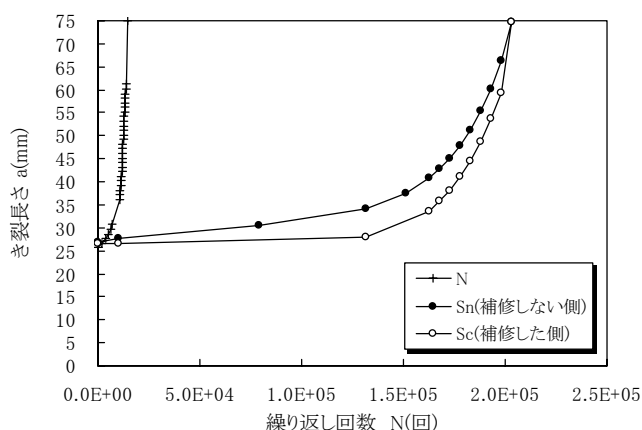


図-5 NとSにおけるき裂長さと繰返し回数の関係

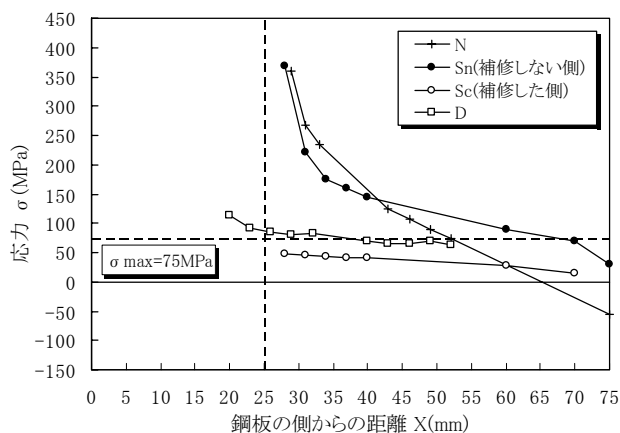


図-6 き裂長さが約25mmにおける応力分布

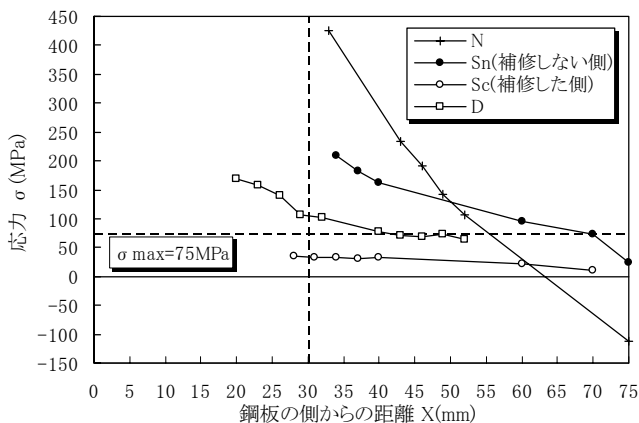


図-7 き裂長さが約30mmにおける応力分布