

CFRP被覆による切欠き鋼板の疲労寿命改善効果

広島工業大学 正員○村中 昭典 広島工業大学 正員 皆田 理
三菱重工業(株) 正員 梶本 勝也 三菱重工業(株) 正員 村井 亮介

1. はじめに

現在、供用中の鋼橋は交通量、並びに重車両の増大により過酷な環境に置かれているため、供用年数と共に各種の損傷が報告されている¹⁾。その大半は疲労損傷であり、中でも主桁と対傾構、横構、横桁との取合部に多く発生しており、定期的な点検や補修・補強が必要となっている。

疲労損傷に対しては種々の補修が行われているが、疲労亀裂の一時的進展防止の目的で適用されるのがストップホール工法(高力ボルト併用)である。これは、疲労亀裂の発生箇所によっては削孔が困難な場合やボルトの締めつけが困難な場合など施工が容易でない場合も生じ得る。

そこで、本研究は疲労亀裂発生部位の応急対策工法として施工が比較的容易なCFRP樹脂被覆による疲労寿命改善について基礎的試験結果に基づき検討を加えたものである。

2. 供試体、及び試験要領

図-1にCFRP樹脂被覆による切欠き鋼板の疲労寿命向上効果を把握する目的で作製した試験片の形状・寸法を示したものである。鋼板中央に応力集中率の異なる5種類の切欠きを有する試験片である(表-1参照)。表-2に使用鋼板の機械的性質を示す。図-1に示す試験片のうち3種類の応力集中率を有する試験片($K_t=2.2, 3.3, 11.3$)について、試験開始に先立ちCFRP樹脂被覆を施した。図-2は面内ガセット継手の溶接止端部から発生した疲労亀裂の寿命改善効果を検討する目的で作製した供試体の形状・寸法を示す。表-3にガセット継手に使用した鋼板の機械的性質を示す。溶接止端部より発生した疲労亀裂が約5mm進展した時点で繰返し載荷を一時停止し、亀裂先端部に5mmのドリル穴を削孔した。その後試験を再開し亀裂部周辺に供試体両面の接着せん断強度が作用荷重以上となるようにCFRPをエポキシ樹脂被覆した。亀裂先端部を削孔することによって亀裂面への樹脂の含侵が容易となる。図-1, 2に示す供試体のCFRPの接着方法は供試体の両面をエポキシ樹脂により、Carbon Fiberを接着し、室内で1週間養生した後疲労試験を実施した。疲労試験は部分片振り引張試験で10~30Hzで実施した。

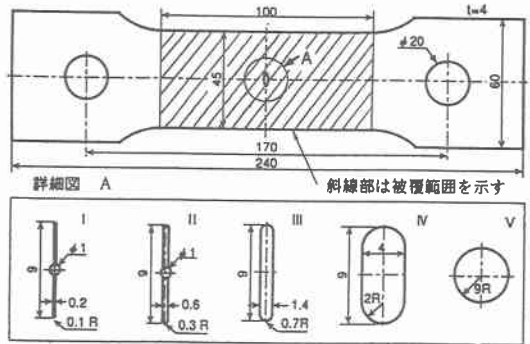


図-1 中央切欠き試験片の形状・寸法

表-1 中央切欠きの応力集中率

Type	I	II	III	IV	V
ノッチの半径 ρ (mm)	0.1	0.3	0.7	2.0	9.0
応力集中率 K_t	11.3	7.0	4.9	3.3	2.2

表-2 中央切欠き試験片の機械的性質

	機 械 的 性 質		
鋼種	降伏点 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)
S25C	255	408	35

表-3 ガセット継手の機械的性質

	機 械 的 性 質		
鋼種	降伏点 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)
SM490	453	539	23

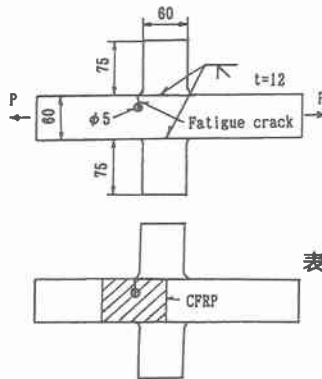


図-2 ガセット継手の形状・寸法

3. 試験結果、及び考察

図-3はCFRP樹脂被覆効果の確認を行った疲労試験結果を示したものである。同図に示すように、各S-N

線の高応力レベルでは、CFRP樹脂被覆による疲労寿命効果は小さい。しかしながら、低応力レベルにおいて疲労寿命効果は5～20倍程度となり、CFRP樹脂被覆の効果が明瞭に表れる。これは、CFRP樹脂被覆による応力緩和と接着剤が疲労亀裂先端の開口変位を抑制するくさび効果とによるものと考えられる。

図-4にガセット継手の疲労試験結果を示す。同図に示すように作用応力147MPaにおいて無被覆に比してCFRP被覆の疲労寿命は約45倍程度向上している。また、接着剤被覆の疲労寿命についても無被覆に比して約3倍程度の疲労寿命の向上が見られた。

また、図中には孔による疲労寿命の影響を確認するためにその疲労試験結果も併記してある。これを見ると孔による疲労寿命は無被覆のそれ比して約4倍程度であることがわかる。これを考慮してもCFRP樹脂被覆による疲労寿命の向上は顕著なものである。CFRP樹脂被覆の疲労寿命は、疲労亀裂先端に孔を設け疲労亀裂面に接着剤を含ませたこととCFRPによる作用応力の緩和による相乗効果によるものと考えられる。

次に、 $K_t=11.3$ 、及び3.3を有する中央切欠き試験片の応力緩和効果の確認のため、疲労破面を走査顕微鏡で観察し、Fractography解析を行った。なお、ストライエーション間隔 ΔS と応力拡大係数 ΔK とは次式の関係が成立するものと仮定する²⁾。

$$\Delta S = 9.4 \times (1 - \nu^2) \times (\Delta K / E)^2$$

ここで、 E ：ヤング係数、 ν ：ポアソン比

$$\Delta K = 1.12 \times \Delta \sigma \times F \sqrt{\pi a}$$

ここで、 F ：切欠き形状による補正係数 ($= \sqrt{\sec \frac{\pi a}{2}}$)

$\Delta \sigma$ ：作用応力

a ：亀裂深さ

上式より求めた結果を表-4に示す。同表に示すように、 $K_t=11.3$ 、及び3.3の中央切欠き試験片とも被覆前後で応力緩和効果が確認された。両供試体の平均応力緩和率は約20%程度であった。

4. あとがき

本研究で得られた試験結果より、CFRP樹脂被覆による部材応力の緩和効果は極めて大きいことが明らかとなり、鋼構造物の補強、並びに疲労損傷に対する簡易的補修法として有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 三木、坂野ら：鋼橋の疲労損傷事例のデータベースの構築とその分析、土木学会論文集、第319号、1982、PP403～410。
- 2) 北川、小寺：フラクトグラフィ、培風館、1977、PP79～123。

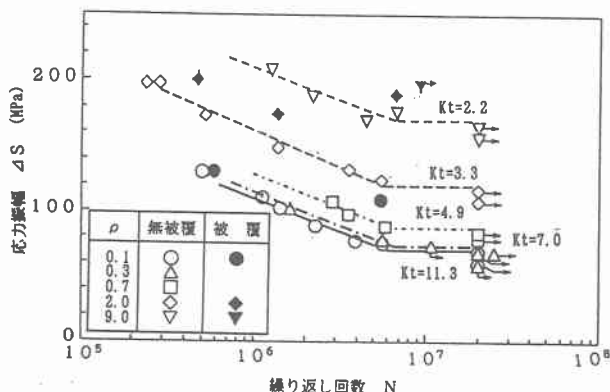


図-3 S-N_f関係 (中央切欠き)

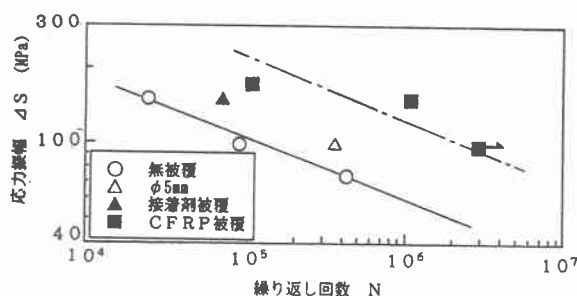


図-4 S-N_f関係 (ガセット継手)

表-4 CFRP樹脂被覆による応力緩和率

	$K_t=11.3$	$K_t=3.3$
公称応力 (MPa)	10.78	17.78
無被覆 (MPa)	平均 11.50	平均 16.61
CFRP被覆 (MPa)	平均 9.52	平均 12.85
応力緩和率 (%)	17.2	22.6