

京橋メンテック(株) 正会員 ○並木 宏徳
大鉄工業(株) 正会員 山口 善彰
明星大学 正会員 鈴木 博之

レールテック(株) 正会員 松本 健太郎
大鉄工業(株) 正会員 鳥山 正吾

1. はじめに

鋼桁の補強に炭素繊維強化プラスチック複合材料(以下 CFRP と呼ぶ)を用いた場合、CFRP の線膨張係数は鋼材のそれに比し工学的にゼロと見なし得るほど小さいので気温の変化に伴い大きな温度応力が発生することが知られており、著者らは鋼部材軸方向補強における温度応力の大きさを容易に計算できる式を提案¹⁾している。更に提案式を用いて CFRP 補強した際の温度応力により被補強部材の疲労寿命がどのような影響を受けるかについて検討を加え、活荷重が一定とみなしうる使用条件においては温度応力の繰り返しが活荷重に重畳して作用しても、被補強部材の疲労寿命の低下は僅かであることを見出している²⁾。

一方、過積載荷重が橋桁の疲労寿命に大きい影響を与えることが小塩などの研究³⁾により明らかにされている。橋梁部材の疲労寿命の計算において用いられるレンジペア法、あるいはレインフロー法の計算において、温度応力が一定の活荷重に重畳される場合と、大きな過積載荷重に重畳される場合とでは疲労損傷度の大きさが異なる。

本報告では過積載荷重が作用する場合、温度応力が被補強鋼部材の疲労損傷度を及ぼす影響を試算し、CFRP 補強を実際の橋梁に適用する場合の定量的評価方法について検討した。

2. 年間気温変化の評価

表 1. 年間気温変化の累計

CFRP 補強された鋼桁の年間温度変化を疲労寿命の評価に用いるための定量化を試みる。

一日の気温変化は最高気温と最低気温の間をおおむねサイン波のように 1 サイクルの波として変動することが多い。そこで、一日の最高、最低気温を変動範囲とする 1 つの波と考える。次に、月間の温度変化は月間の最高、最低温度の 1 サイクルが毎日の気温変化の波に重畳していると考え、年間の温度変化についても同様に考えて、東京都の平成 20 年 4 月から翌年 3 月までの一年間の気温変化について集計した結果が表 1 である。

一方道路橋示方書では鋼桁の温度変化を平均気温 20℃の場合 -10℃から 50℃まで 60℃の温度変化を考慮するように定めている。これは鋼桁の温度変化が気温変化より大きいことを考慮したものである。以下の検討において、気温変化のパターンと鋼桁の温度変化のパターンとがほぼ一致すると考えて、鋼桁の温度変化量は表 1 の気温差の 1.7 倍として計算することとする。

2. CFRP 補強された鋼桁の温度応力と疲労損傷度

鋼桁を CFRP で軸方向補強した場合、 α を鋼桁の線膨張係数、 ΔT を温度変化量とした時、CFRP 補強された鋼桁に発生する温度応力 σ_T は次式で示される¹⁾。

気温差 (°C)	頻度 (回/日)	頻度 (回/月)	頻度 (回/年)
35.5			1
22.5		2	
21.5			
20.5			
19.5		2	
18.5		1	
17.5			
16.5	0	1	
15.5	1	4	
14.5	1		
13.5	0	2	
12.5	2		
11.5	9		
10.5	12		
9.5	26		
8.5	56		
7.5	54		
6.5	55		
5.5	57		
4.5	38		
3.5	37		
2.5	12		
1.5	5		
頻度累計	365	12	1

A_s および A_c を鋼桁および CFRP の断面積、 E_c 、 E_s を CFRP および鋼の弾性係数、CFRP の等価断面積比 $\lambda = A_c E_c / A E_s$ と置くと、鋼桁に発生する温度応力は $\sigma_T = \lambda \Delta T E_s / (1 + \lambda)$

$\lambda = 0.3$ の場合を例に取って、温度応力による疲労被害の増加をレンジペア法により計算する。レンジペア法によるカウントによると、温度応力は一日に作用する活荷重による応力変動の波の内、極大となる波に重畳する。

鋼桁の疲労強度等級を D 等級と仮定し、活荷重の極大荷重による極大応力範囲が $\sigma_e = 100 \text{ N/mm}^2$ およびその 4 倍の 400 N/mm^2 が作用する場合について、最大気温差 35.5°C が作用した時の疲労損傷度は表 2 の通りとなる。

4 倍の過積載があると、疲労損傷度は 64 倍となるが、同時に温度応力の重畳効果も増大する。

図 1 および 2 に、疲労損傷度を計算した結果を纏めて示す。

破線は極大荷重による疲労損傷度、一点鎖線は極大荷重に温度応力が重畳した時の疲労損傷度である。全疲労損傷度は両者の差だけ増大し、実線で示すように、極大荷重が大となるほど全疲労損傷度も増大する。極大荷重は無制限に増大することは無く、小塩等によると過積載車両によって疲労損傷度の 2 分 1 が生じていることが示されている。図の縦軸の値が 0.5 に相当する全疲労損傷度は、 $\lambda = 0.3$ の時、1.027(D 等級)、1.055(G 等級)、 $\lambda = 0.5$ の時、1.040(D 等級)、1.082(G 等級)となっており、最大でも 8.2%の増加に留まる。なお極大荷重による極大応力範囲はそれぞれの等級の 200 万回基本許容応力範囲の 3.75 倍となっている。

3. まとめ

軸方向に CFRP 補強された鋼桁に温度応力が作用する時、作用荷重が一定の時には疲労被害は僅かであることが既に示されている。しかし実際の橋梁においては過積載荷重が作用し、これに温度応力が重畳した場合疲労損傷度が増大する恐れがある。東京都における気温変化パターンをベースにした温度応力が重畳した場合の疲労損傷度を計算した結果、被補強部材の疲労強度等級が低いほど、CFRP 補強断面積比が大きいほど疲労損傷度が増加するが、実際の CFRP 補強において最も厳しい条件と考えられる G 等級の鋼桁を CFRP 等価断面積比 $\lambda = 0.5$ の場合においても疲労損傷度の増加は 8.2%に留まることを明らかにした。

参考文献

- 1) 神蘭卓海他：CFRP 補強された引張り鋼部材の温度変化の影響、土木学会 65 回年次学術講演会，pp861-862，2010 年 9 月
- 2) 岡本陽介他：鋼部材を CFRP 補強することによる疲労寿命に及ぼす気温変化の影響 土木学会 65 回年次学術講演会，pp865-866，2010 年 9 月
- 3) 小塩達也他：BWIM による大型車両の実態調査と橋梁の疲労損傷度評価、構造工学論文集、pp.1055-1062, Vol. 48A(2002 年 3 月)

表 2. 過積載および温度変動の有無による疲労損傷度の差異

気温 ($^\circ\text{C}$)	温度変動 ($^\circ\text{C}$)	σ_T (N/mm^2)	$\sigma + \sigma_T$ (N/mm^2)	N_f ($\times 10^6$)	疲労損傷度 ($\times 10^6$)
	0	0.00	100.00	2.0000	0.500
35.5	60.35	33.44	133.44	0.8418	1.188
	0	0.00	400.00	0.0313	32.000
35.5	60.35	33.44	433.44	0.0246	40.714

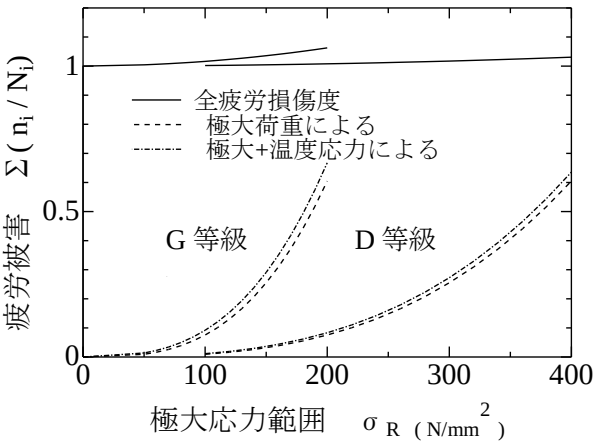


図 1. 過積載荷重による疲労被害($\lambda = 0.3$)

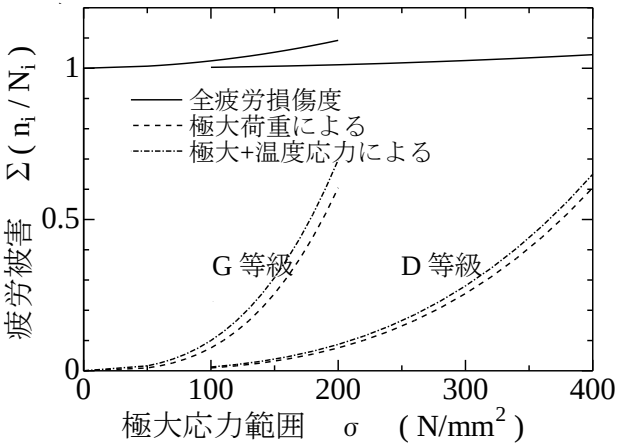


図 2. 過積載荷重による疲労被害($\lambda = 0.5$)