

I-267 鋼橋細部構造の疲労特性評価の試み

建設省土木研究所 正員 西川和廣

まえがき

近年、道路橋においても疲労損傷の事例が報告される機会が増加しているが、そのほとんどは細部構造の局部的な応力に起因するものである。この種の疲労問題については、局部応力の算出が困難なこともあり、細部構造の選択についての有効な手法は確立されていない。そこで、現在用いられている細部構造の疲労に対する特性の優劣を評価する手法として、供用下における実橋梁の応力頻度測定を応用した方法を試みた。

1. 対象とする細部構造と応力頻度測定の概要

最近比較的損傷例の多いプレートガーダー橋の横桁および対傾構を取付ける垂直補剛材と主桁上フランジとの溶接部を検討の対象とした。通常橋梁の載荷試験では、解析との対応をつけるために重量既知の車両を特定の位置に静的あるいは動的に載せて種々の計測を行うことが多い。しかし、実際の橋梁上を通過する交通のパターンは様々であり、局部的な応力がどのような現象および条件下で最大になるかをこれらの試験結果から推定するのは難しい。あえて交通供用下での応力頻度計測を取上げた理由は、①長期間の計測データにはあらゆる載荷条件が含まれていること、②交通規制や荷重車などの準備が不要なこと、③小型の自動計測装置が開発され応力頻度の計測が非常に容易になったことなどである。今回の試験では、RC床版を有する2径間連続プレートガーダー橋（I形断面8主桁、支間約20m）の横桁および対傾構を取付ける垂直補剛材の上端付近に歪みゲージを貼って計測した（図1）。結果を何等かの形で設計に結びつけるためにリファレンス応力として垂直補剛材位置での主桁下フランジの応力頻度を同時に計測した。

横桁取付け部の細部構造には各種の仕様が存在し、それぞれ疲労に対する特性が異なるものと予想されるが、このほかにも構造にかかわる因子として主桁間隔、床版厚、横桁剛度等、載荷条件にかかわる因子として車種構成等の交通特性などが存在する。細部構造の特性を評価するには、少なくとも交通特性の影響は排除されなければならない。このため1日のうちで全く通過交通の車種構成が異なる3つの時間帯についてそれぞれ計測を行い、交通特性に対する影響の小さい評価指標を見出すことにした。

2. 計測結果および評価指標の設定

3つの時間帯における応力範囲の頻度分布を図2に示す。応力範囲の頻度分布には交通特性により明らかな差があることがわかる。細部構造の特性を表す指標としては、このような頻度分布の違いに左右されないものであることが必要である。ここでは、次の3種について検討の対象とした。

①頻度分布の全データから求められる等価応力範囲： $\Delta \sigma_{eq} = (\sum n_i^3 \times \Delta \sigma_i / N)^{1/3} \dots (1)$

②大型車台数分の上位応力頻度データから得られる等価応力範囲

③計測期間における累積被害： $D = \sum n_i / (C / \Delta \sigma_i)^m \dots (2)$

ここでは仮に $N = 200$ 万回で $\Delta \sigma = 1000$ を通る $m = 3$ のSN線 ($C = 1.26 \times 10^5$) について計算した。

以上のうち①は単純でかつデータの処理が容易であるが、頻度の高い低レベルの応力の影響を受け交通特性による差が生じる可能性がある。これに対し②はデータの処理はやや煩雑であるが、対象とするデータを限定するため交通特性の影響は小さいものと予想される。また③はより疲労損傷に直接的な関連を持つ数値による評価を試みたものである。

3. 評価指標試算値の比較

①～③の指標を垂直補剛材およびリファレンスである主桁下フランジの応力頻度計測データについて計算したものを表1に示す。局部および主桁におけるこれらの数値の比をとることによりそれぞれの時間帯における活荷重の大きさの違いをキャンセルできるものと考えれば、この比はここで対象とした細部構造の特性を表す指標になるはずである。表中3種類の指標の比率を比較すると、交通特性によるばらつきは②の場合

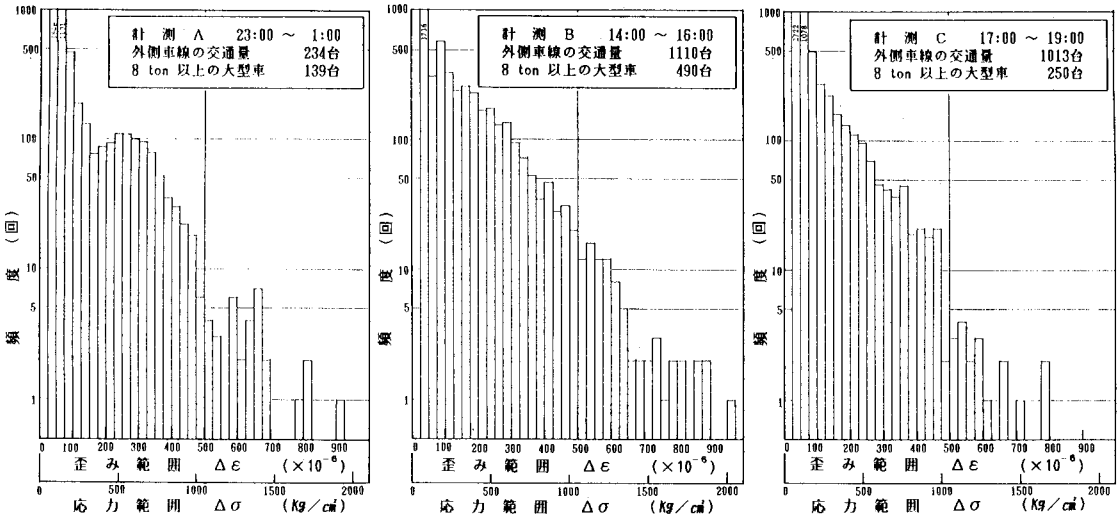


図2 応力範囲の頻度分布 (A) 夜間 (B) 昼間 (C) 通勤時間帯

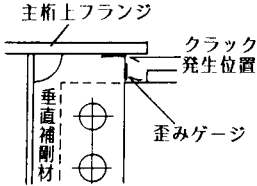
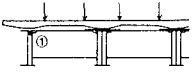
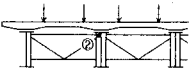
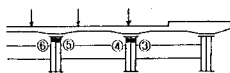
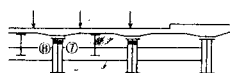
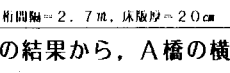


図1 歪み計測位置

表1 評価指標の試算値

応力頻度計測対象位置	横 桁 設 置 位 置			対 傾 構 設 置 位 置		
計 測 時 間 帯	A 23～1:00	B 14～16:00	C 17～19:00	A 23～1:00	B 14～16:00	C 17～19:00
外側車線全交通量(台)	234	1110	1013	234	1110	1013
外側車線大型車交通量(台)	139	490	250	139	490	250
全応力頻度データから求めた等価応力範囲	$\Delta\sigma_{eq}$ 367	$\Delta\sigma_{eq}$ 426	$\Delta\sigma_{eq}$ 331	— —	356	268
	$\Delta\sigma_{ref}$ 146	$\Delta\sigma_{ref}$ 155	$\Delta\sigma_{ref}$ 139	— —	145	124
	比率 2.51	比率 2.75	比率 2.38	— —	2.46	2.16
大型中台数分の上位応力頻度データから求めた等価応力範囲	$\Delta\sigma_{eq}$ 1041	$\Delta\sigma_{eq}$ 937	$\Delta\sigma_{eq}$ 825	— —	684	559
	$\Delta\sigma_{ref}$ 235	$\Delta\sigma_{ref}$ 205	$\Delta\sigma_{ref}$ 190	— —	203	174
	比率 4.43	比率 4.57	比率 4.34	— —	3.37	3.21
計測期間内の累積被害	D 1.60×10^{-4}	D 2.62×10^{-4}	D 1.02×10^{-4}	— —	8.17×10^{-5}	2.34×10^{-5}
$C = 1.26 \times 10^5$	Dref 1.42×10^{-6}	Dref 2.52×10^{-6}	Dref 1.07×10^{-6}	— —	2.35×10^{-6}	9.25×10^{-7}
$m = 3$	比率 112.7	比率 104.0	比率 95.3	— —	34.8	25.3

表2 他の事例との比較

橋梁	測位置	No.	$\frac{\Delta \sigma_{eq}}{\Delta \sigma_{ref}}$	$\Delta \sigma_{ref}$	11大型中交通車 中線数	損傷状況
A		①	4.47	213 kg/cm ²	4050台	損傷あり
		②	3.32	193 kg/cm ²	4050台	損傷あり
		③	1.21	630 kg/cm ²	3980台	損傷なし
		④	1.01	630 kg/cm ²	3980台	損傷なし
1桁間隔=3.3m, 床版厚=19cm						
B		⑤	2.95	333 kg/cm ²	3980台	損傷あり
		⑥	2.28	333 kg/cm ²	3980台	損傷あり
		⑦	1.16	378 kg/cm ²	3980台	縦桁増設
		⑧	0.89	378 kg/cm ²	3980台	縦桁増設
	1桁間隔=2.7m, 床版厚=20cm					

に最も小さく(±2~3%)③の場合に最大(±9~16%)となっている。①のばらつき(±6~8%)も実用上問題になるほど大きくはない。計測を行った橋梁の損傷状態は横桁部の方が対傾構部よりもかなり著しい。②および③では損傷状況に応じた変化が見られるが、①ではこれらの間に有為な差は見られない。以上の結果から総合的に判断して、細部構造の疲労に対する特性を表す指標としては、大型車台数分の上位の応力頻度データから等価応力範囲を算出する方法が最も優れていると考えられる。

4. 他の事例との比較

これまでに計測した応力頻度分布から算出した評価指標の値を表2に示す。この結果から、A橋の横桁取付け構造の方がB橋の場合よりも疲労に対し不利な特性を有していること、リファレンスとの比率が1程度(すなわち主桁程度の応力)であれば損傷は生じていないこと、縦桁増設は比率を低減する効果があることなどがわかる。今後計測データを蓄積してゆくことにより、ここで示した評価指標の実用性を明らかにしてゆきたいと考えている。