

既設鋼道路橋の疲労照査に関する検討

阪神高速道路（株） 正会員 ○田畑 晶子, 小林 寛, 原田 潤
（株）総合技術コンサルタント 正会員 明田 修, 西川 敦士

1. はじめに

疲労設計導入前に架橋された鋼道路橋では、主桁と横桁との交差部など疲労強度等級の低い継手において、主桁ウェブを破断するき裂など、落橋に繋がりがかねない重大な損傷がしている。そのため、平成27年に事業化した特定更新等工事では、こうした継手に対する対策（補強、予防保全）が求められており、これら鋼道路橋の性能評価とその対策優先度の検討が不可欠である。そこで、本稿では、別報¹⁾で述べた疲労対策優先度が高いと想定される橋梁形式から対象橋梁を抽出し、構造解析に基づく疲労照査と応力頻度測定による疲労照査を実施し、対策を必要とする対象部位について検討した。

2. 構造解析に基づく照査方法

構造解析に基づく疲労照査は、疲労設計指針²⁾を元に阪神高速道路の実荷重特性を反映して作成した手引き（案）³⁾（表1）に基づき、実態交通量を用いて実施した。図1には、対象とする疲労照査箇所を示す。照査に用いた日大型車交通量は、供用開始から現在（H23年度時点）までの対象橋梁位置での累積大型車交通量を供用日数で除した値とした。

3. 実応力に基づく照査方法

対象橋梁の応力頻度測定は平成27年12月の土日を除く連続72時間（3日間）で実施した。測定点については、応力変動を考慮して、単純桁は径間中央近傍、連続桁は径間中央点及び測径間1/4点近傍に着目した。ひずみゲージは、公称応力度による主桁断面内応力分布を得るため、腹板上縁付近と中央に片側1枚、及び下フランジに左右各1枚とした（図2）。

4. 対象橋梁

今回対象とした橋梁は別報¹⁾で検討した疲労対策優先度が最も高いと想定されるグループ（Ⅰ，Ⅱ）より抽出し、「鋼床版Ⅰ桁」（単純，連続）、「鋼単純合成Ⅰ桁」及び「連続非合成Ⅰ桁」とした。表2に対象橋梁を示す。

表 1 疲労照査の手引き（案）

阪神高速道路鋼桁の疲労照査の手引き（案）			
疲労設計荷重	T 荷重：200 kN		
変動応力の算出方法	三次元 FEM 解析あるいは骨組解析または格子解析による。非合成桁に対しては合成桁として応力を算出する。		
T 荷重補正係数 γ_{T1}	簡便な疲労照査（最大応力範囲の照査）は、疲労設計指針の係数を用いる。累積疲労損傷度の算出では、T 荷重補正係数は一定値 3.0（代表荷重：200kN×3.0≒60tf）と設定し、それを用いて変動応力を算出する。		
同時載荷係数 γ_{T2}	・影響線が正負交番する場合は 1.05 とする。 ・正負交番しない影響線形状を有する場合		
	$L_{B2} \leq 50m$	$50m < L_{B2}$	
	$ADTT_{SL1} \leq 2000$	1.0	1.0
	$2000 < ADTT_{SL1}$	1.1	1.1
衝撃係数	疲労設計指針どおり		
構造解析係数 γ_a	疲労設計指針どおり		
交通量の偏り係数	疲労設計指針どおり		
頻度補正係数 γ_n	湾岸線、神戸線、松原線の活荷重実態調査結果より、全路線に対し 0.02 とする。		

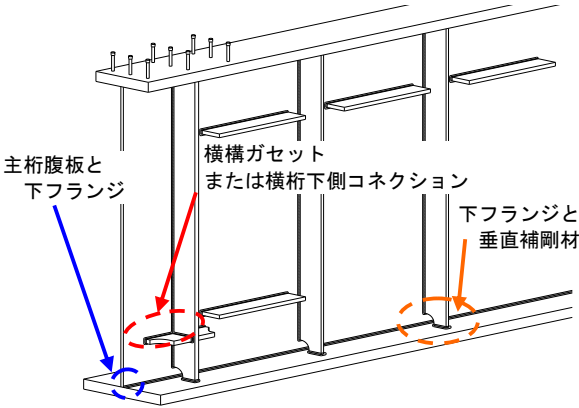


図 1 疲労照査対象継手の例

表 2 疲労照査対象橋梁

橋梁形式と構造形式	竣工年度	着目径間	径間長 (m)	幅員 (m)	桁高 (m)	最大主桁間隔 (m)	日大型車交通量 (台/日・方向)		使用鋼材	主桁本数	設計荷重
							下り	上り			
単純鋼床版Ⅰ桁	1996年		23.0	17.6	1.50	2.94	15,790	13,454	SM490Y	6	B活
3 径間連続鋼床版Ⅰ桁	1996年	1	25.0	18.0	1.60	3.02	16,771	14,785	SM490Y	6	B活
		2	25.0	18.0	1.60	3.02			SM490Y	6	
		3	25.0	18.0	1.60	3.02			SM490Y	6	
鋼 3 径間連続非合成Ⅰ桁	1965年	1	25.0	18.0	1.30	3.02	14,450	13,491	HT590	6	TL-20
		2	25.0	17.9	1.30	2.98			HT590	6	
		3	25.0	17.8	1.30	2.94			HT590	6	
鋼単純合成Ⅰ桁	1967年		25.0	17.7	1.40	2.98	13,788	12,282	SM570	6	TL-20

キーワード 鋼道路橋, 疲労照査, 応力頻度計測, 疲労寿命

連絡先 〒552-0006 大阪市港区石田 3-1-25 T E L 06-6576-3881

5. 照査結果

表 3, 表 4 には, 例として 3 径間連続鋼床版 I 桁及び 3 径間連続非合成 I 桁について, 応力頻度測定結果と手引き (案) による照査結果を示す. 以下には, 着目部位 (継手) ごとに考察する.

(1) 下フランジと腹板【D 等級】

手引き (案) による疲労照査では疲労寿命が 100 年以下 (G1 桁で 11 ~40 年) であるが, 応力頻度測定結果より, 実働荷重による最大応力範囲は一定振幅応力 $\Delta\sigma_{ce}=84\text{N/mm}^2$ の高々 70% 程度以下であり, 約 1.4 倍の安全余裕をもって疲労照査を満足した. また, 一定振幅応力の照査に係らず実働荷重による疲労寿命を算出すると, いずれも 1000 年~ ∞ 年の値となり, 十分な安全余裕をもって疲労照査を満足した.

(2) 下フランジと垂直補剛材【E 等級】

手引き (案) による疲労照査では疲労寿命が 100 年以下 (G1 桁で 6~20 年) であるが, 応力頻度測定結果より, 実働荷重による最大応力範囲では全て一定振幅応力 $\Delta\sigma_{ce}=62\text{N/mm}^2$ 以下となり, 疲労照査を満足した. また, 一定振幅応力の照査に係らず実働荷重による疲労寿命を算出すると, 最も厳しい G1 桁で 100~300 年程度, その他では 1000 年以上となり, 全て疲労照査を満足した.

(3) 横桁・横構ガセット【G 等級】

手引き (案) による疲労照査では疲労寿命が外/内桁において 100 年以下 (3~35 年) であり, 応力頻度測定結果においても, 疲労照査を満足しない箇所が存在し, 満足する箇所においても安全余裕は少ないことがわかった. 当該部位は, 応力集中や板曲げの影響を受けることから, 疲労寿命のばらつきが大きいこと, また, 既に疲労損傷の事例が報告されていることを踏まえ, 当該部位に対しては, 対策 (補強, 予防保全) の実施が適切と考えられる.

6. まとめと今後の課題

本稿では, 重交通路線で疲労危険度の高い橋梁に対する疲労照査を実施し, 対策の必要な対象部位として横桁・横構ガセット【G 等級】を抽出した. 当該部位の対策にはピーニングや局部当て板等が有効と考えられ, これらの実用性について引き続き検討する予定である. また, 手引き (案) による疲労照査結果は, 応力頻度測定結果に比べて疲労寿命が短い結果となり, 解析モデルや頻度補正係数等の精度向上も課題と考えている.

参考文献: 1)原田, 田畑ら: 既設鋼道路橋の疲労対策優先度に関する検討, 土木学会第 71 回年次学術講演会概要集 (投稿中), 2016.9 2)鋼道路橋の疲労設計指針, (社)日本道路協会, H14.3 3)藤林, 西岡ら: 既設鋼桁の疲労照査法に関する検討, 土木学会第 71 回年次学術講演会概要集 (投稿中), 2016.9

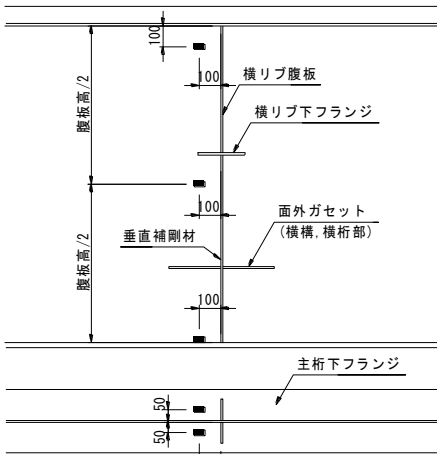


図 2 ひずみゲージ位置の例

表 3 照査結果例 (3 径間連続鋼床版 I 桁橋)

着目部位 疲労強度等級	項 目	中央径間中央点近傍		
		G1桁	G2桁	G3桁
下フランジと腹板 【D等級】 $\Delta\sigma_{ce} = 84 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\sigma_{ve} = 39 \text{ N/mm}^2$	最大応力範囲 (N/mm ²)	測定結果 53.0	41.0	38.0
	手引き (案)	130.8	84.3	76.5
	疲労寿命 (年)	測定結果 ∞ (1061)	∞ (12587)	∞
	手引き (案)	11	32	∞
下フランジ と垂直補剛材 【E等級】 $\Delta\sigma_{ce} = 62 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\sigma_{ve} = 29 \text{ N/mm}^2$	最大応力範囲 (N/mm ²)	測定結果 53.0	41.0	38.0
	手引き (案)	130.8	84.3	76.5
	疲労寿命 (年)	測定結果 ∞ (124)	∞ (1422)	∞ (8707)
	手引き (案)	6	16	30
横桁コネクション ・横構ガセット 【G等級】 $\Delta\sigma_{ce} = 32 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\sigma_{ve} = 15 \text{ N/mm}^2$	最大応力範囲 (N/mm ²)	測定結果 41.0	32.0	29.0
	手引き (案)	98.9	62.7	57.7
	疲労寿命 (年)	測定結果 31	∞ (123)	∞ (420)
	手引き (案)	3	10	17

表 4 照査結果例 (3 径間連続非合成 I 桁橋)

着目部位 疲労強度等級	項 目	中央径間中央点近傍		
		G1桁	G2桁	G3桁
下フランジと腹板 【D等級】 $\Delta\sigma_{ce} = 84 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\sigma_{ve} = 39 \text{ N/mm}^2$	最大応力範囲 (N/mm ²)	測定結果 59.9	46.0	35.0
	手引き (案)	88.9	62.3	58.7
	疲労寿命 (年)	測定結果 ∞ (3256)	∞ (139213)	∞
	手引き (案)	40	∞	∞
下フランジ と垂直補剛材 【E等級】 $\Delta\sigma_{ce} = 62 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\sigma_{ve} = 29 \text{ N/mm}^2$	最大応力範囲 (N/mm ²)	測定結果 59.9	46.0	35.0
	手引き (案)	88.9	62.3	58.7
	疲労寿命 (年)	測定結果 ∞ (265)	∞ (3335)	∞ (20331)
	手引き (案)	20	43	∞
横桁コネクション ・横構ガセット 【G等級】 $\Delta\sigma_{ce} = 32 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\sigma_{ve} = 15 \text{ N/mm}^2$	最大応力範囲 (N/mm ²)	測定結果 51.0	50.0	測定なし
	手引き (案)	74.7	52.2	49.2
	疲労寿命 (年)	測定結果 35	70	測定なし
	手引き (案)	8	18	35