

阪神高速道路公団 正員 加藤修吾 神田正孝
 (株)横河橋梁製作所 正員○松本好生 寺田博昌

1. まえがき

別に報告したように、重交通の都市内高架道路橋（単純合成桁，支間27m，5本主桁）について，一般車両通行時の動的ひずみ測定を実施し，全供用期間（14年）にわたるひずみ振幅頻度の推定を行ない，疲労検討の資料を得た。本文では，これらの資料をもとに，計測各部における疲労被害の計算を行ない，あわせて着目部位の疲労強度の推定および必要疲労強度の算定を行なったので，その結果について報告する。

2. 疲労被害の計算

(1) 計算方法

疲労被害の計算は，マイナー則に基づくこととし，次式により行なった。ここで作用応力は応力全振幅を考慮した。

$$F_d = \sum \frac{n_i}{N} = \left(\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_n}{N_n} \right) \quad (1)$$

$n_1, n_2, \dots, n_n$: 与えられた応力レンジにおける推定繰返し数

$N_1, N_2, \dots, N_n$: 基本疲労強度線図において，対応する応力レンジのもとで破壊に致る繰返し数

上式における応力振幅繰返し数 n_i は，図-2に示すひずみ振幅一累加頻度推定結果を用いて式(2)より求めた。

$$n_i = (n'_i - n'_{i+1}) \times N' \quad (2)$$

n'_i, n'_{i+1} : 各応力レンジにおける累加頻度推定値
 (1稼働単位当り)

N' : 着目期間中における稼働単位数 (3400回)

(2) 基本疲労強度

疲労設計の対象とした部位は，図-1に示す対傾構，分配横桁の溶接止端部および分配横桁のR欠き部である。これらの各部位について基本疲労強度を定めなければならない。今回，基本疲労強度は鋼鉄道橋設計標準（以下JNR），日本鋼構造協会疲労設計指針（JSSC），BS5400 Part 10（BS）の3規準に従うこととした。

すみ肉溶接止端部については，十字すみ肉継手と等価と仮定し，それぞれの規準より適合する疲労強度線図を選定した。図-3に各規準の基本疲労強度線図を示す。ここで基本疲労強度の応力範囲 σ_0 は一般部に作用する公称応力に相当する。実測ひずみは溶接止端より7mmの位置の値であり，溶接ビードの影響を受けていることが考えられたが，簡単なモデルで試験を行なった結果，この位置ではほぼ公称応力に等しい値が得られたので，測定ひずみの補正を行なわなかった。

リップのスカラップ部については母材孔明き部の疲労強度と等価と考え，各基準から相当基本疲労強度線図を選んだ（図-4）。ここで，JNR，JSSCでは，その基本疲労強度は公称応力 σ_0 により規定

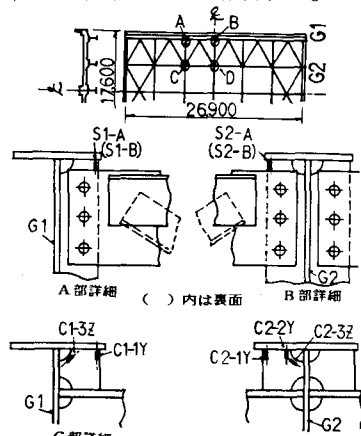


図-1 着目位置

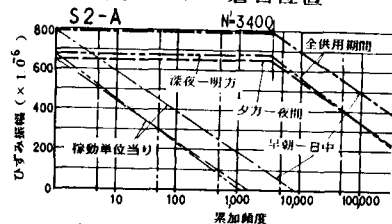


図-2 ひずみ振幅一累加頻度推定値

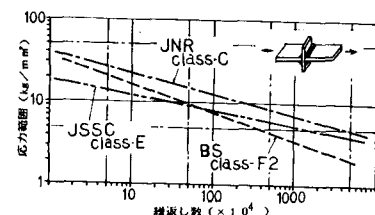


図-3 すみ肉溶接止端部基本強度

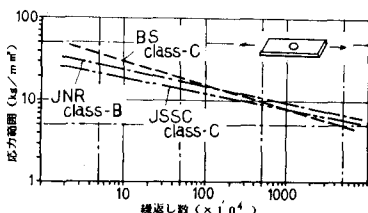


図-4 母材R欠き部基本強度

されているのに対し、BSにおいてはR欠きによる応力集中（円孔の場合 $K=2.4$ ）を考慮したき裂発生源における応力 $\sigma_c = K \cdot \sigma_0$ により規定されている。これらの点より実測応力は、それぞれ以下の補正をほどこし、基本疲労強度線図との比較を行なうこととした。

JNR, JSSC --- $\sigma_0 = \sigma_m / K_m$

BS --- $\sigma_c = \sigma_m \times K / K_m$

σ_m : 実測応力

K_m : 実測点での応力集中係数

K : BSにおける円孔に対する応力集中係数

(3) 計算結果

式(1)および基本疲労強度線図を用い、各時間帯別の疲労被害の算定を行なつた。計算ひずみステップは、 $\sum \frac{n}{N}$ を測定ひずみ 10μ ごとにとめることとした。ただし、BSでの計算においては、マイナー和を計算する場合、1000万回時間強度 σ_0 より小さい応力範囲 σ_f の繰返し数は、規定のつとり $(\sigma_f / \sigma_0)^2$ に比例して減少させている。主要点のマイナー和の計算結果を各基準ごと表-1に示す。

3. 疲労被害に対する検討

測定橋梁の対傾構取付けすみ肉溶接部測点 (S2-A, S2-B) および分配横桁すみ肉溶接部測点 (C1-1Y, C2-1Y) のマイナー和計算結果は、BS, JSSCにおいて $F_d > 1$, JNRにおいて $F_d < 1$ であつた。このような部位については、すでに疲労損傷事例が報告されている。そこで、疲労強度線図の勾配をJNRの式と等しいとし ($m=4$)、現時点におけるS2-A, C2-1Y点のマイナー和が、 $\sum \frac{n}{N} = 1$ となる疲労強度線図を想定し、このようなすみ肉溶接部の疲労強度を推定してみた。推定結果を式-3, 4, 図-5に示す。

対傾構部: $\text{Log } \sigma_f = -\frac{1}{4} \text{Log } N + 2.5025$ — (3)

(S2-A) 200万回強度 $\sigma_{200} = 8.5 \text{ kg/mm}^2$

分配横桁部: $\text{Log } \sigma_f = -\frac{1}{4} \text{Log } N + 2.5561$ — (4)

(C2-1Y) 200万回強度 $\sigma_{200} = 9.6 \text{ kg/mm}^2$

次に溶接止端部の疲労き裂の発生を防ぐために必要な疲労強度を、耐用年数50年、日当り交通量(下り線)46,000台としてもとめた。その結果を式-5, 6, 図-5に示す。

対傾構部: $\text{Log } \sigma_f = -\frac{1}{4} \text{Log } N + 2.6758$ — (5)

(S2-A) 200万回強度 $\sigma_{200} = 12.6 \text{ kg/mm}^2$

分配横桁部: $\text{Log } \sigma_f = -\frac{1}{4} \text{Log } N + 2.7295$ — (6)

(C2-1Y) 200万回強度 $\sigma_{200} = 14.3 \text{ kg/mm}^2$

このように、着目すみ肉溶接部は高い疲労強度を必要としており、止端部仕上げ等の努力で、疲労強度を上記クラスまで確実に引き上げることは困難であり、過大な応力振幅そのものを防ぐ方向での検討が必要と考えられる。

また、リブスカラップ部 (C2-3Z) についても、BSによるとマイナー和 $\sum \frac{n}{N} = 0.6$ と比較的大きな値を示している。これらリブスカラップ部でのき裂発生例も報告されており、母材切欠き部も溶接近傍に位置する場合は、設計、製作上十分な注意が必要と考えられる。

〔参考文献〕

1) 実測データを基とした道路橋疲労強度検討のための作用応力頻度の推定, 昭年59年度 土木学会概要集

2) 道路橋における疲労問題と補修, 補強 西川和廣, 橋梁と基礎 Vol 17, №8 1983年

表-1. マイナー和計算結果

着目点	時間帯	BS 5400		JSSC		JNR	
		個々	合計	個々	合計	個々	合計
対傾構部	S1-A	A 0.047		0.007		0.004	
		B 0.006	0.062	0.001	0.009	0.001	0.006
		C 0.009		0.001		0.001	
	S1-B	A 0.925		0.638		0.115	
		B 0.104	1.175	0.045	0.764	0.011	0.143
		C 0.146		0.081		0.017	
分配横桁部	S2-A	A 2.129	2.896	2.327		0.308	
		B 0.389		0.378	3.160	0.055	0.421
		C 0.378		0.455		0.058	
	S2-B	A 1.331		1.468		0.194	
		B 0.144	1.704	0.079	1.778	0.017	0.244
		C 0.229		0.231		0.033	
止端部	C1-1Y	A 2.216	2.998	2.505		0.325	
		B 0.380		0.434	3.428	0.057	0.444
		C 0.402		0.489		0.062	
	C2-1Y	A 2.717	4.064	4.683		0.465	
		B 0.759		1.077	6.785	0.122	0.590
		C 0.588		1.030		0.103	
R欠き部	C2-2Y	A 0.031	0.044	0.004		0.003	
		B 0.004		0	0.005	0	0.004
		C 0.009		0.001		0.001	
	C1-3Z	A 0.020		0.002		0.002	
		B 0.003	0.031	0	0.0002	0	0.0002
		C 0.005		0		0	
	C2-3Z	A 0.477		0.011		0.006	
		B 0.074	0.653	0.001	0.015	0.001	0.008
		C 0.102		0.003		0.001	

A: 早朝一日中, B: 夕方一夜間, C: 深夜一明力

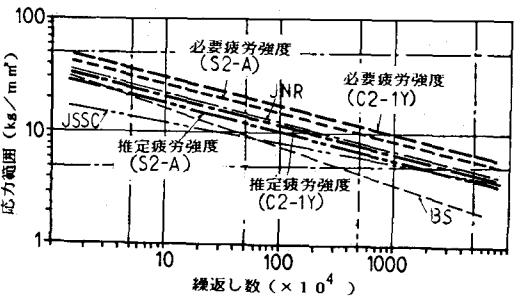


図-5. 疲労強度推定結果