

I-206 道路橋の疲労寿命の一推定法(その2)

金沢大学工学部 ○正員 小堀為雄

コロンビア大学 正員 森塚正宣

金沢大学工学部 学生員 奥 哲夫

われわれは、前回道路橋の疲労寿命の推定法のひとつを提案し、主として理論的展開を行なったが、今回はその応用として、ある既設道路橋の疲労寿命の推定を行なってみた。なお参考までに前回の報告の項目をつぎに挙げる。

1. きえがき
2. 走行自動車による道路橋の動的応答
3. 交通流と橋梁の疲労寿命について
 - 3-1. 交通流の性質と自動車列模型の確率
 - 3-2. 疲労寿命の推定
 - 3-3. 1年間に起生するある応力振幅の回数 n_j の計算法
4. 数値計算例

計算のひとつとして、図-1に示す合成桁橋の疲労寿命を計算する。計算には金沢大学電子計算機FACOM 230-25/35を用いたが、容量の不足から計算はつぎのプログラムに分けて行なった。

Pro. 1 初期条件の計算

Pro. 2 路面の凹凸のシミュレーション

Pro. 3 応力頻度分布表の作成

Pro. 4 疲労寿命の推定

4-1. 橋梁および交通流について

表-1に本計算に使用したデータを示す。

4-2. 初期条件

図-2の橋-自動車系の運動方程式を解くには、橋桁および自動車に関する初期条件、 $y(0, x)$, $\dot{y}(0, x)$, $z_i(0, x)$, $\dot{z}_{Ti}(0, x)$ が明らかでなければならない。ここに、 $y(0, x)$, $\dot{y}(0, x)$ は考えている自動車が橋梁に入る際にすでに橋桁が振動しているときの橋桁の動たわみとその鉛直速度であり橋桁の動たわみは次式で表わされる。

$$y(t, x) = \sum_k g_k \sin \frac{k\pi x}{L} \quad (1)$$

ここに g_k は橋桁の k 次モードの一般座標である。

自動車の初期条件($z_i, \dot{z}_{Ti}$)については、自動車の取付道路上の走行を考慮し、また橋梁の入口の

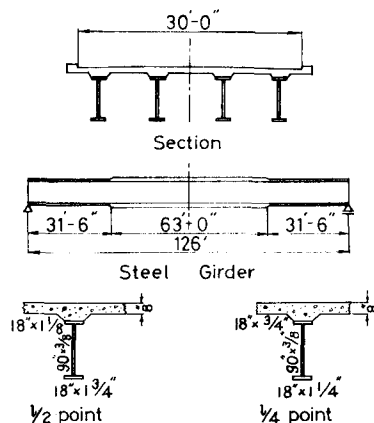


Fig.1 Used Bridge for Example

Table 1 Data of Bridge and Vehicle

BRIDGE				
Length of Span		126 ft		
Effective Width		30 ft		
Number of Stringer		4		
Moment of Inertia I (One Stringer)		$2.655 \times 10^5 \text{ in}^4$		
Undamped natural frequencies	1 st.	α^* 3.402	b^{**} 3.186	c^{***} 3.453 cps
	2 nd.	13.608	12.744	13.812 "
	3 rd.	30.618	28.674	31.077 "
	4 th.	54.432	50.976	55.248 "

* α : 図-1のガーダーで計算した値

** b : 1/4点の断面が全スパンに一樣にあるとしたガーダーで計算したもの

*** c : 1/2点の断面が全スパンに一樣にあるとしたガーダーで計算したもの

VEHICLE		
Total weight	heavy light	142 kip(全体の1/2) 72 kip(全体の20%)
Upper mass/Lower mass		10
Mass-spring parameter	upper system lower system	3.5 cps 13.0 cps
Damping factor	upper system lower system	0.01 0.05
Undamped natural frequencies (system)	1 st. 2 nd.	2.7 cps 17.0 cps

ジョイントの凹凸を路面凹凸の瞬間的な突起と考え、デルタ関数としてつぎのように考える。

$$y_0(t) = A_1 \delta(t) \quad (2)$$

ここに A_1 は衝撃の大きさを表わすパラメーター(in-sec)であり、表-2は路面凹凸のパラメーターが、1倍、4倍、10倍のときのそれぞれの初期条件の値である(図-3)。なお、取付道路の路面凹凸は次節のシミュレーション法から求める。

4-3. 橋面の凹凸

パワースペクトル密度 $S_0(\Omega)$ をもった路面の凹凸はつぎのような方法でシミュレートされる。すなわちシミュレートされた路面の凹凸を

$$y_0(t) = A \sum \cos(\omega_n t + \phi_n) \quad (3)$$

と仮定し、 A は

$$A = \sqrt{2/N \int_0^\infty S_0(\Omega) d\Omega} \quad (4)$$

で表わされ、 Ω は路面凹凸の周波数(サイクル/m)、 ω_n と ϕ_n は確率変数である。

一般に凹凸のパワースペクトラムは図-3から

$$S_0(\Omega) = a_0 \Omega^{n_0} \quad (5)$$

として表わされ、本計算では、パラメーターによりつぎの a 、 b 、 c で表わされるパワースペクトラムをとり、路面についてシミュレーションを行なう。

凹凸a.(図-3のa)

$$\left. \begin{aligned} S_0(\Omega) &= 0.4 \left(\frac{\Omega}{\Omega_1}\right)^0 \quad (\Omega = 0 \sim \Omega_1) \\ S_0(\Omega) &= 0.4 \left(\frac{\Omega}{\Omega_1}\right)^{-2} \quad (\Omega = \Omega_1 \sim \infty) \end{aligned} \right\} (6-a)$$

凹凸b.(図-3のb)

$$\left. \begin{aligned} S_0(\Omega) &= 1.6 \left(\frac{\Omega}{\Omega_1}\right)^0 \quad (\Omega = 0 \sim \Omega_1) \\ S_0(\Omega) &= 1.6 \left(\frac{\Omega}{\Omega_1}\right)^{-2} \quad (\Omega = \Omega_1 \sim \infty) \end{aligned} \right\} (6-b)$$

凹凸c.(図-3のc)

$$\left. \begin{aligned} S_0(\Omega) &= 4.0 \left(\frac{\Omega}{\Omega_1}\right)^0 \quad (\Omega = 0 \sim \Omega_1) \\ S_0(\Omega) &= 4.0 \left(\frac{\Omega}{\Omega_1}\right)^{-2} \quad (\Omega = \Omega_1 \sim \infty) \end{aligned} \right\} (6-c)$$

ここに Ω_1 はパワースペクトラムの折れ点の周波数を示し、ここでは 0.05 1/m をとる。

以下に以上の3つの場合についてのそれぞれの路面凹凸を示す。

4-4. S-N曲線

つぎに疲労寿命推定に欠くことのできないものに材料のS-N曲線がある。以下に若干この研究に

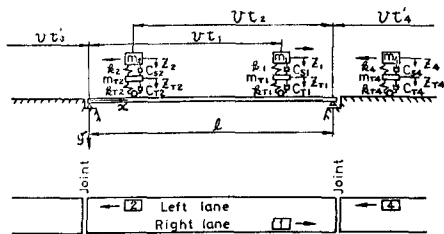


Fig. 2 Vehicles - Bridge System

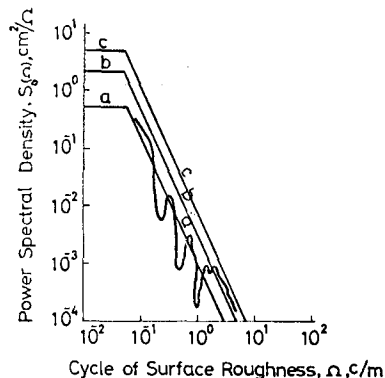


Fig. 3 Power Spectral Density of Surface Roughness

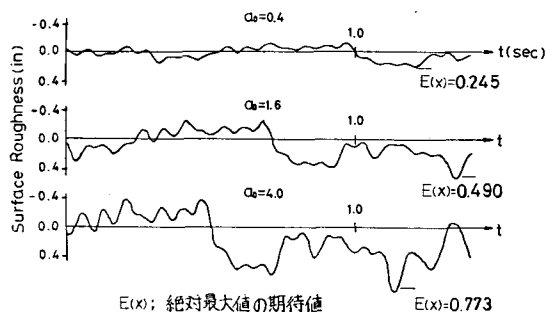


Fig. 4 Surface Roughness

Table. 2 Initial Condition

a	0.4(Eq. 6-a)	1.6(Eq. 6-b)	4.0(Eq. 6-c)
$Z_i(0)$ (in)	0.026	0.051	0.080
$\dot{Z}_i(0)$ (in/sec)	-7.678	-15.355	-24.278
$Z_{Ti}(0)$ (in)	-0.004	-0.008	-0.013
$\dot{Z}_{Ti}(0)$ (in/sec)	259.870	256.590	253.027

用いた曲線について述べる。

さて、S-N曲線は材料や使用されている場所等によって異なり、その値についてはこれまで多くの研究がなされ、現在もその研究が継続されているがここでは一例としてよく用いられる指数型曲線式を用いる。

ここでは Tung の報告書^{2), 3)} で用いられている式 (7) と、Fisher⁴⁾ が示した式 (8) を用いる。

$$N = CS^{-b} \quad (7)$$

ここに、N は材料が破断に至る繰返し数、S は応力振幅、b、C は材料に關係する定数でここでは、 $b = 4.18$ 、 $C = 0.24 \times 10^{12}$ をとった。

また Fisher は多くの実験結果より

$$\log N = 6.827 - 0.0620 S_r - 0.0056 S_{min} \pm 0.180 \quad (8)$$

を提案している。

ここに、 S_{min} は最小動応力、 S_r はその応力波の振幅 ($= S_{max} - S_{min}$ 、 S_{max} は最大動応力) であり、 $\log N < 6$ 、以上は $N = \infty$ とする。

4-5. 自動車列模型の確率

表-3 に自動車列模型の載荷状態の各 case についての確率を示す。

4-6. 1 case の動的応答と応力振幅頻度表

表-3 に示されるうち、1 case の動的応答と応力振幅頻度表を図-5、表-4 に示す。

このような応力振幅頻度表をもとに前回の3節に従って道路橋の疲労寿命を求めることができる。

Table 3 各載荷状態とその確率

載荷状態の 記号	自動車の数	Right Lane	Left Lane	1年間の 発生頻度
1	0			0.15133×10^1
2	1	*		0.12407×10^2
3	2	††		0.25430×10^2
4	3	†††		0.34748×10^2
5	4	††††		0.35610×10^2
6	2	i	†	0.25430×10^2
7	3	†††	†	0.10424×10^2
8	4	††††	†	0.16244×10^2
9	5	†††††	†	0.4597×10^2
10	4	†††	†††	0.10683×10^2
11	5	††††	†††	0.2994×10^2
12	6	†††††	†††	0.29919×10^2
13	6	††††	††††	0.8946×10^2
14	7	†††††	††††	0.4088×10^2
15	8	††††††	†††††	0.20948×10^2

(a) 各載荷状態

記号	パターン	確率
1.	†	0.95238
2.	††	0.04762
1.	†††	0.90703
2.	†††	0.09070
3.	††††	0.00227
1.	†††††	0.86384
2.	†††††	0.12958
3.	†††††	0.00648
4.	††††††	0.00011
1.	†††††††	0.82270
2.	†††††††	0.16454
3.	†††††††	0.01234
4.	††††††††	0.00041
5.	†††††††††	0.00001

R: 普通トラック車 (確率 20/21)
H: 大型重車 (確率 1/21)

(b) 各車線別載荷台数と車線別パターンに対する確率

5. 結 語

以上前回の報告¹⁾にあわせ本報告に、道路橋の疲労寿命の一推定法を述べたが、交通荷重列の分布、S-N曲線の採用など、まだまだ残された問題点も多く、これらの解明は今後の研究を待たねばならない。さらに、橋面の凹凸のスペクトラムおよび入口の凹凸や橋および車の振動特性も調査されるならば、この研究で行なった方法で十分実用に供しうる疲労寿命の推定は可能である。

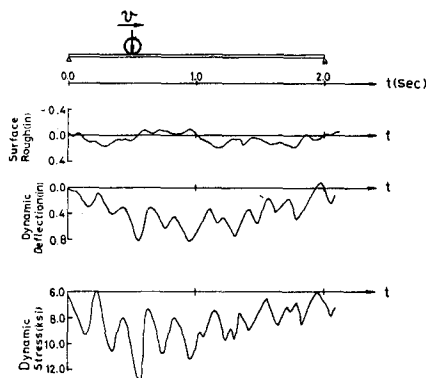


Fig. 5 Example of Dynamic Response of Highway Bridge due to Random Vehicles

Table. 4 応力頻度表

	0.0	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0	13.5	15.0	16.5
0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.0	0	0	0	0	20	18	6	9	0	0	0	0
7.5	0	0	0	0	0	5	19	8	6	4	0	0
9.0	0	0	0	0	0	0	1	5	0	0	0	0
10.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

MAX. STRESS = 12.990 (KSI)

MIN. STRESS = 5.889 (KSI)

6. 参 考 文 献

- (1) 小堀・篠塚;「道路橋の疲労寿命の一推定法」, 第25回年次学術講演会 P. 197
- (2) C.C. Tung; 「Random Response of Highway Bridges to Vehicle Loads」
Journal of the Engineering Mechanics Division ASCE, Vol. 93,
No. EM5, Oct. 1967 P77~94
- (3) C.C. Tung; 「Life Expectancy of Highway Bridges to Vehicle Load」
ASCE, Anual Meeting and National Meeting on Structural Engi-
neering Louisville Ky. April. 14-18. 1969.
- (4) J.W. Fisher and I.M. Viest; 「Fatigue Life of Bridge Beams Subjected
to Controlled Trac Traffic」, Contribution to the Prepared
Discussion II d.p. 497-510. IABSE. 1964. in Lisbon.
- (5) T. Kobori, M. Shinozuka; 「Fatigue Life of Simple Bridges」;
A Sensitivity Study, NSF-GK3858 Technical Report No. 8,
Columbia University, in Print.