

○金沢大学工学部 正員 小堀為雄  
三菱重工神戸造船所 正員 奥 哲夫

## 1. まえがき

繰り返される荷重によって構造物は破壊するであろうということは相当古くから言われていた。しかし、その要因は何であるかということになると明確でない。軽量で高度の耐久性を要求される航空機で疲労に関する研究が特に進められている。橋梁工学の分野では、京都大学の小西教授を中心とした、構造用鋼材（特に高張力鋼の溶接・高張力ボルト継手）に関する研究が進められ、最近になって、鉄道技研の伊藤氏による実働電車荷重による鉄道橋の疲労<sup>1)</sup>、また道路橋では、小西教授や著者らの研究が発表されてきた。これらの研究からわかることは、実際橋の破壊には長期間を要すること、作用する荷重はまったく不規則で予測しがたく、さらには動的外力であること、構造物としての疲労は極部破壊が多いことや長年月の間の気候による部材の強度低下など様々な要因を含んでいることがわかる。今回はこれらの研究を中心に紹介し、われわれの考え方や方法について述べる。

## 2. 疲労破壊に及ぼす要因について

疲労強度に及ぼす各種要因については今までになされた研究より、残留応力、切欠効果、腐食、寸法効果等が考えられるが、その中でも疲労寿命に及ぼす影響が大きいと思われる切欠効果と腐食について述べる。

### 2.1 切欠効果による影響

リベット孔やボルト孔など構造部材には何らかの形で切欠がある。切欠の部分には応力集中があり一般に強度低下が考えられる。それについて行なわれた一実験をFig. 1 に示す。この図は軟鋼のS-N曲線で、切欠がある場合とない場合で、S-N曲線は交差し、Nが小さい時切欠のある方が疲労強度が大きく、Nが大きくなると切欠のある方が疲労強度は小さい。耐久限度は切欠のある方が小さくなっている。

### 2.2 腐食による影響

金属材料が腐食されると、疲労破壊は低下するが、腐食されながら繰り返し荷重を受けると、疲労強度の低下がさらに著しい。

腐食するであろうような状態で $\sigma_c$ の応力で試験し、N回で破壊したとして、いまこのN回で破壊する常時の状態（腐食しない）での疲労強度を $\sigma$ とすると、これらの間に、

$$K \sigma_c = \sigma(N) \quad (1)$$

ここに、Kの値は実験的に求めるのであるが、その値は

$$K = 1 + a \log(bt + 1) \quad (2)$$

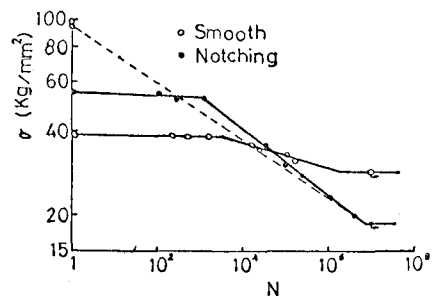


Fig. 1 S-N Curve of 0.1% C Steel

とあらわされると考えられている。このKを腐食効果という。このKについては暴露時間や構造物が置かれる環境(塗装さびの管理状態も含む)に影響される。

### 3. 応力振幅の採り方による疲労寿命の比較

S-N曲線は最も大きく疲労寿命に影響を及ぼすものであり、その応力振幅の採り方が重要なポイントになる。ここではTungの式とFisherの式の両式を用いてFig-2, 3, 4, 5のような応力振幅を考えそれによる疲労寿命を比較してみた。(Table-1)

M (n/hr/lane)	K (Eqs. 6-7, 6-8)	34		170		340		S-N Curve
		1	2	1	2	1	2	
A	Condition 1	$9.6 \times 10^4$	$1.1 \times 10^6$	$2.0 \times 10^2$	$4.7 \times 10^4$	$9.1 \times 10^2$	$1.2 \times 10^4$	Fig. 2
	" 2	$7.6 \times 10^4$	$9.2 \times 10^5$	$1.4 \times 10^3$	$3.8 \times 10^4$	$7.2 \times 10^2$	$9.6 \times 10^3$	
	" 3	$3.1 \times 10^4$	$3.6 \times 10^3$	$6.0 \times 10^2$	$1.5 \times 10^4$	$3.1 \times 10^2$	$3.0 \times 10^3$	
	" 4	$2.5 \times 10^3$	$3.0 \times 10^2$	$5.0 \times 10^2$	$9.1 \times 10^3$	$2.7 \times 10^2$	$3.3 \times 10^3$	
	" 5	$2.4 \times 10^4$	$3.0 \times 10^5$	$5.0 \times 10^2$	$9.1 \times 10^3$	$2.5 \times 10^2$	$3.1 \times 10^3$	
B	Condition 1	$5.9 \times 10^4$	$7.3 \times 10^4$	$1.1 \times 10^2$	$3.0 \times 10^2$	$4.9 \times 10^2$	$9.1 \times 10^4$	Fig. 3
	" 2	$5.1 \times 10^4$	$6.3 \times 10^3$	$9.6 \times 10^2$	$2.6 \times 10^2$	$4.4 \times 10^2$	$6.5 \times 10^4$	
	" 3	$1.2 \times 10^4$	$1.5 \times 10^3$	$2.1 \times 10^2$	$6.0 \times 10^2$	$9.1 \times 10^2$	$1.5 \times 10^4$	
	" 4	$1.1 \times 10^4$	$1.5 \times 10^4$	$2.0 \times 10^2$	$5.9 \times 10^4$	$9.0 \times 10^2$	$1.5 \times 10^4$	
	" 5	$1.0 \times 10^4$	$1.2 \times 10^3$	$1.8 \times 10^2$	$5.1 \times 10^4$	$7.6 \times 10^2$	$1.3 \times 10^4$	
C	Condition 1	$4.0 \times 10^{-20} \sim 9.0 \times 10^4$	$4.9 \times 10^2 \sim 1.1 \times 10^4$	$8.0 \sim 1.9 \times 10^2$	$1.7 \times 10^2 \sim 4.0 \times 10^3$	$4.0 \sim 9.0$	$4.5 \times 10^{-1.0} \sim 1.0 \times 10^4$	Fig. 4
	" 2	$4.0 \times 10^{-20} \sim 10 \times 10^4$	$4.9 \times 10^2 \sim 1.0 \times 10^4$	$8.0 \sim 1.9 \times 10^2$	$1.7 \times 10^2 \sim 4.0 \times 10^3$	$4.0 \sim 9.0$	$4.5 \times 10^{-1.0} \sim 1.0 \times 10^4$	
	" 3	$28 \times 10^{-60} \sim 6.0 \times 10^4$	$3.7 \times 10^2 \sim 9.0 \times 10^3$	$6.0 \sim 1.3 \times 10^2$	$1.2 \times 10^2 \sim 2.8 \times 10^3$	$3.0 \sim 6.0$	$3.2 \times 10^{-7.3} \sim 1.0 \times 10^4$	
	" 4	$28 \times 10^{-60} \sim 1.0 \times 10^4$	$3.2 \times 10^2 \sim 7.3 \times 10^3$	$5.0 \sim 1.3 \times 10^2$	$1.2 \times 10^2 \sim 2.7 \times 10^3$	$3.0 \sim 6.0$	$3.0 \times 10^{-7.0} \sim 1.0 \times 10^4$	
	" 5	$2.6 \times 10^{-60} \sim 1.0 \times 10^4$	$3.2 \times 10^2 \sim 7.3 \times 10^3$	$5.0 \sim 1.3 \times 10^2$	$1.2 \times 10^2 \sim 2.7 \times 10^3$	$3.0 \sim 6.0$	$3.0 \times 10^{-7.0} \sim 1.0 \times 10^4$	
D	Condition 1	$1.2 \times 10^{-5.0} \sim 5.0 \times 10^2$	$1.2 \times 10^2 \sim 4.8 \times 10^4$	$3.0 \sim 1.1 \times 10^2$	$6.0 \times 10^{-2.8} \sim 2.8 \times 10^3$	$1.0 \sim 5.7 \times 10$	$1.5 \times 10^{-7.1} \sim 1.0 \times 10^4$	Fig. 5
	" 2	$1.0 \times 10^{-4.7} \sim 1.0 \times 10^2$	$1.2 \times 10^2 \sim 5.8 \times 10^4$	$2.0 \sim 3.0 \times 10^2$	$5.0 \times 10^{-2.4} \sim 2.4 \times 10^3$	$1.0 \sim 4.0 \times 10$	$1.3 \times 10^{-6.0} \sim 1.0 \times 10^4$	
	" 3	$3.0 \sim 1.1 \times 10^2$	$3.2 \times 10^2 \sim 1.3 \times 10^4$	$1.0 \sim 2.1 \times 10^2$	$1.3 \times 10^{-5.2} \sim 5.2 \times 10^3$	$1.0 \sim 1.0 \times 10$	$3.0 \sim 1.3 \times 10^4$	
	" 4	$3.0 \sim 1.1 \times 10^2$	$3.2 \times 10^2 \sim 1.3 \times 10^4$	$1.0 \sim 2.1 \times 10^2$	$1.3 \times 10^{-5.2} \sim 5.2 \times 10^3$	$1.0 \sim 1.0 \times 10$	$3.0 \sim 1.3 \times 10^4$	
	" 5	$2.0 \sim 9.0 \times 10$	$3.0 \times 10^2 \sim 1.1 \times 10^4$	$1.0 \sim 1.8 \times 10^2$	$1.2 \times 10^{-4.5} \sim 4.5 \times 10^3$	$1.0 \sim 9.0$	$3.0 \sim 1.2 \times 10^4$	

Condition	1	2	3	4	5
Impact A (in-sec)	0.00	0.00	0.04	0.04	0.04
Surface Roughness	non	(a)	non	(a)	(b)

Table. 1 Fatigue Life (Years)

### 4. 実軸荷重に対する橋梁の疲労寿命

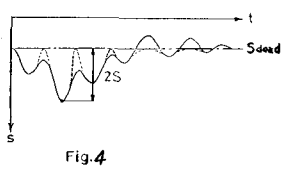
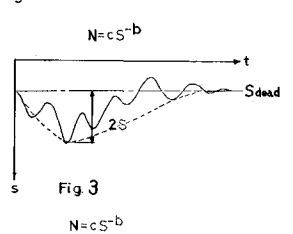
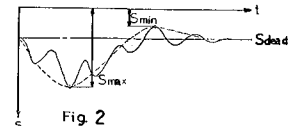
われわれは昭和45・46年度年次講演会で交通流のランダム性を統計的に考慮した一種のシミュレーション法による道路橋の疲労寿命推定法を発表した。また、小西、竹村氏は道路橋の疲労寿命推定にモンテカルロ法を提案した。いずれの方法をとっても応力頻度から橋梁の疲労寿命を推定すると、1000~500年のオーダーとなる。このことから第2節であげた種々の要因を考慮して計算を行なっているが、係数その他でいかなる値を用いるべきか、Dataの不足から今試算中である。

また、交通流のランダム性について、マイナーの法則にさらに荷重の載荷順序が関係することも考えられることから、金沢大学に昨年設置されたサーボパルシを用いた大型構造物疲労試験機を用いて実験を続ける。

### 5. 参考文献

- 1) 小西、竹村；走行荷重による道路橋の疲労寿命推定に関する確率統計的研究，第18回橋梁・構造工学研究発表会（昭46）
- 2) 小堀、篠塚、奥；道路橋の疲労寿命の一推定法（その1・2），25.6回土木学会年次学術講演会
- 3) M. Shinozuka, T Kobori；Fatigue Analysis of Highway Bridges, Technical of Report 8, Columbia University, 1971.

$$\log N = 6.827 - 0.062 S_r - 0.0056 S_{min} \pm 0.18$$



$$\log N = 6.827 - 0.062 S_r - 0.0056 S_{min} \pm 0.18$$

