

走行車両による鋼道路橋の疲労損傷確率における振動の影響

広島工業大学工学部 正員 中山隆弘 大阪大学工学部 正員 川谷充郎
土本鍛工(株) 車谷真吾 広島工業大学大学院 学生員 ○古岩功三

1. はじめに

近年、交通量の増加と車両の大型化や重量化に伴い、橋梁部材には苛酷な交通荷重が作用するようになった。したがって、橋梁形式によっては今後も疲労損傷が大きな社会的問題になることが予想される。

本研究では、鋼材の疲労寿命には本質的に大きなばらつきが存在することに注目すると共に、走行車両によって生じる橋梁の振動が疲労損傷に及ぼす影響に対する検討がこれまでに十分なされていないことを考え、動的応答解析に基づいて信頼性工学的視点より鋼道路橋の疲労寿命に及ぼす振動の影響について検討した。

2. 疲労損傷確率の算定法

本研究では、まず、川谷らによって開発された動的応答解析プログラムによって鋼道路橋上を走行する単一走行荷重により鋼道路橋部材に発生する変動応力分布を求めた。次に、疲労寿命のばらつきを考慮して、不規則変動応力による橋のライフタイムにおける疲労損傷確率を、打ち切り限界付き修正 Miner 則をベースにして、式(1)と式(2)によって算出した。ただし、今回は、応力振幅と疲労寿命との相関性については考慮していない。

$$D = \sum \frac{n_i}{N_i} \tag{1}$$

$$P_f = P_{rob}[D \geq 1] \tag{2}$$

式(1)における N_i はある一定振幅の変動応力に対する疲労寿命であり、 n_i が実際の作用回数である。言うまでもなく、 N_i を確率量とすれば疲労損傷度も確率量となる。したがって、疲労損傷度が 1 を上回る時に疲労損傷が生じるものと仮定すれば、式(2)によって疲労損傷確率を計算できる。

ただし、特定の形式の溶接継手に対する適切な $S-N$ 曲線や疲労寿命の確率分布とその母数については明確なデータの入手が困難であったため、今回は次に述べる方法を用いた。

まず、 $S-N$ 曲線については、継手形式ごとに決められた各等級に対する $S-N$ 曲線群の中から、設計上安全側の評価を行うために、比較的厳しい等級に対するものを採用した。また、疲労寿命 N_i の確率分布は 2 母数のワイブル分布に従うものとした。さらに、母数は過去の実験データを参考にして疲労寿命の変動係数を仮定し、文献 1) を参考にして設定した。

3. 数値解析例

今回は 1 つのケース・スタディとして、支点近傍に切欠部を有する支間 40m、3 本主桁の単純活荷重合成桁橋を取上げ、疲労損傷解析における着目部位は、図 1 に示すように、円弧状コーナー部におけるウェブと下フランジの溶接部とした。この部分は過去に疲労損傷事例があった部位である。

単一走行荷重（ダンプトラック）による着目部位の変動応力については、対象橋梁を橋長にわたって等断面の棒モデルと仮定し、動的応答解析によって部位近傍の横断面(A-A)の断面力を算定し、さらに、阪神高速道路公団による提案式²⁾によって算出した。

また、単一走行荷重については、図 2 に示すように、実際のダンプトラックの軸数に合わせて、前輪 1 軸、後輪 2 軸を考慮した 2 自由度振動系にモデル化した。対象橋梁の構造諸元を表 1 に、車両の動特性を図 2 に示す。なお、路面凹凸量については、実測されたデータ³⁾を基本量とした。

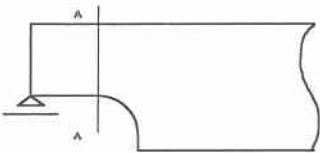


図1 桁端切欠部

表1 対象橋梁の構造諸元		
スパン長	L_b	40.0 (m)
単位長当り重量	m_A	7.708×10^2 (t/m)
ヤング係数比	n	9.516
断面積	A	0.1415 (m ²)
断面2次モーメント	I_z	0.2197 (m ⁴)
減衰定数	1次	0.02536
	2次	0.02536
固有曲げ振動数	1次	2.35 (Hz)
	2次	9.42
	3次	21.19

4. 解析結果

図3に、部位の法線方向応力の動的応答曲線を示す。図には、静的応答値と、準動的応答値とも言える、道路橋示方書による衝撃係数を用いた応答値も併せて示している。(a)は走行車両の時速を30km/h、路面の凹凸量を上述の基本量(ISOの基準に従えば、「良好な路面」)とした場合の結果である。(b)は走行車両の時速を30km/h、路面の凹凸量を基本量の1.3倍とした場合の結果である。

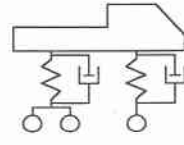


図2 走行車両モデル

表2 走行車両の動的挙動特性	
重量	19.47 (t)
自由度	2
固有振動数	3.3 (Hz)
回転慣性	8.22
減衰定数	0.03

さらに、車両の時速を60km/h、路面の凹凸量を基本量とした場合の結果が(c)に与えられている。

さて、表3に、単一走行荷重の1日の交通量を3,000台、耐用年数を40年、コーナー部の曲率半径を50mm、疲労寿命の変動係数を0.5とし、すみ肉溶接として最も厳しい条件と考えられるH等級に対するS-N曲線に基づいて計算した疲労損傷度 D^* (N_i の平均値を用いた疲労損傷度)と疲労損傷確率 P_f の計算結果を示す。表3(a)、(b)、(c)は、それぞれ図3(a)、(b)、(c)に対応している。

まず、走行車両の時速を30km/h、路面の凹凸量を前述の基本量とした結果である表(a)より、この場合には振動の影響が疲労寿命に現れていないことが分かる。簡便性の故に衝撃係数によって振動の影響を考慮する場合があるが、この結果によれば、その方法ではかなり損傷確率を過大評価することになると言える。しかし、路面の凹凸量を1.3倍にした場合には、表(b)に示すように振動の影響が顕著に現れている。また、この場合には、衝撃係数による評価と本解析結果が一致している。路面凹凸量を基本量とし、車両の走行速度を60km/hとした場合にも全く同様のことが言えることが表3(c)より分かる。いずれの場合も、振動の影響を考慮したときの損傷確率は34.7%、無視した場合は8.36%であり、走行車両によって生じる振動が疲労損傷に影響を与えることが定量的に理解できる。

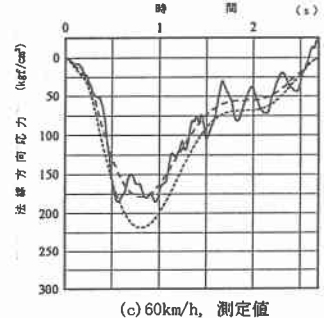
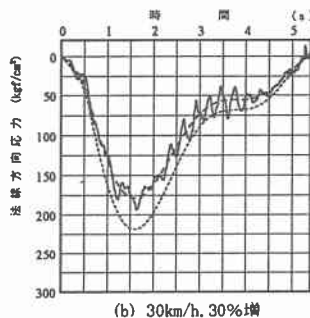
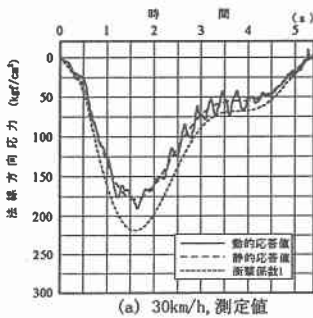


図3 動的応答曲線図

表3 疲労損傷度 D^* と疲労損傷確率 P_f

(a) 30km/h, 測定値		
	D^*	P_f
動的応答値	0.355	8.36 (%)
静的応答値	0.355	8.36

(b) 30km/h, 30%増		
	D^*	P_f
動的応答値	0.754	34.7 (%)
静的応答値	0.355	8.36

(c) 60km/h, 測定値		
	D^*	P_f
動的応答値	0.754	34.7 (%)
静的応答値	0.355	8.36

5. おわりに

単純な解析モデルではあったが、走行車両によって生じる振動が大きい場合には、その影響が疲労損傷確率に及ぶことを定量的に示せた。また、動的な影響を単に衝撃係数によって考慮することの妥当性についても若干の考察を加えた。より実際の状態に近い解析モデルによる疲労寿命評価システムの構築が今後必要であると考えている。

【参考文献】 1) (社)日本鋼構造協会編：鋼構造の疲労設計指針・同解説、技報堂 2) 阪神高速道路公団：鋼桁切欠部の健全度に関する調査研究報告書、1983.3. 3) 川谷充夫・西山誠治：路面凹凸を考慮した道路橋の走行車両による動的応答特性、構工論 Vol.39A、1993.3.