

箱桁橋鋼床版の疲労照査

FATIGUE ASSESSMENT OF ORTHOTROPIC STEEL DECKS
OF BOX GIRDER BRIDGE

長谷川和正*, 近藤明雅**, 山田健太郎***, 石崎 浩****

By Kazumasa Hasegawa, Akimasa Kondo, Kentaro Yamada and Hiroshi Ishizaki

Fatigue crackings were observed recently in the orthotropic steel decks of box girder bridges subjected to extremely heavy traffic. Case study was carried out on fatigue of the orthotropic steel decks of box girder bridges by using the Miner's cumulative damage theory. Influence surfaces of the bending moment at the points of interest were analyzed by grid theory. The stress waves were computed for various trucks passing on the bridge deck. From these stress waves, stress ranges and number of cycles were counted using the rain flow counting method. Cumulative fatigue damages were calculated for various welded details.

1. まえがき

鋼床版は、自重が軽く自動車輪荷重を直接支持する構造のため、繰返し応力・回数が大きく、疲労に対する配慮が必要とされる。事実、英国の Severn 橋等では鋼床版に多数の疲労きれつが発見されたと言う報告がある¹⁾。

わが国でも、道路橋の疲労損傷例が報告されはじめ、現在各所でその実態調査が行われている。現段階では疲労損傷の報告が多いとは言えないが、疲労損傷が応力の繰返し数の増加とともに進展すると言う特性を考えると、今後ますます損傷例が増えるものと予想される。また、荷重の実態調査も進められているが、これは大型化する自動車荷重や交通量の増大を示すものである。例えば、阪神高速道路公団が1983年に行った実態調査²⁾では、車両重量 370kN(37.8ton) の大型トラックや 670kN(68.4ton) のトレーラーなどが報告されており、設計荷重を上回る重車両の実態が改めて確認された。大都市周辺の国道や高速道路では、1日1車線当りの交通量が30,000台、大型車混入率が30%を越えると言う報告もある。

これらの状況をうけ、道路橋の設計基準に疲労設計の規定を設ける国が増えつつある³⁾が、活荷重応力の占める割合が大きい鋼床版に対して明確に疲労照査方法を規定している基準が無いのが現状である。

-
- * 工修 三菱重工業(株) 横浜製作所(横浜市中区錦町)
 - ** 工博 名城大学講師 理工学部土木工学科(名古屋市天白区塩釜口)
 - *** Ph.D 名古屋大学教授 工学部土木工学科(名古屋市千種区不老町)
 - **** 阪神高速道路公団 工務部(大阪市東区北久太郎町)

そこで、本報告は、ケーススタディとして、鋼床版箱桁橋を格子解析により応力解析し、溶接継手部の累積疲労損傷度を求めて鋼床版の疲労に対する安全性を検討したものである。

2. 鋼床版の疲労設計

鋼床版に対する疲労の照査法としては、以下に示すような方法が考えられる。

(1) 道路橋示方書の疲労に関する規定を用いる方法

道路橋示方書⁴⁾（以下道示と略す）における鋼床版の疲労に関する規定は、200 万回程度の繰返しに対して疲労亀裂が発生しないような応力振幅を許容応力として与えている。したがって、現状の疲労設計では、直交異方性版理論⁵⁾によって求められた縦リブ各部の設計作用応力が、この許容応力以下となるような照査を行うにとどまっている。この方法は、設計時の照査が簡便であるが、最近の重交通の実態を考慮すると、200 万回疲労強度で照査することが必ずしも疲労亀裂が発生しないことを保証するものではないと考えられる。従って、特に大型車両が高頻度で作用する場合には、実働荷重を考慮した疲労照査が不可欠であると思われる。

(2) 疲労照査用の荷重による照査

実働荷重を考慮する疲労照査の方法として、まず第一に実働荷重と同一の疲労寿命を与えるような単一あるいは複数のモデル荷重を設定し、それによって疲労の照査を行う。モデル荷重の設定には、実測の荷重分布とその頻度が必要とされるとともに、今後の交通体系の変化も加味する必要があると思われる。モデル荷重は、静的な設計荷重（例えば T-20 とか TT-43）の係数倍（仮りに α とする）として与えると、設計時に算出された応力から簡単に疲労照査用応力が算出できるため便利である。係数 α は、大型車を対象に求められるが、その大型車の車種別の頻度や着目する部材の影響線長などが関係してくると思われる。また、設計大型車数（日大型車交通量）を想定し、設計 S-N 線図から寿命を求めることができる。ちなみに、都市内高速道路の実測例から想定した T-20 に対する係数 α は、部材によって異なるが 0.5~0.65 であった⁹⁾。そのときの荷重のパターンは Table 2 に示すもので 1 車線当りの大型車が約 5000 台であった。

(3) 荷重毎に発生応力と頻度を計算する方法

より精密な方法として、実測荷重を橋梁上（鋼床版上）に走行させ、発生応力範囲とその頻度を、レインフロー法などでカウントし、マイナー則等を用いて疲労寿命を算出する。実測あるいは予測される荷重が車種別に精度よく与えられる必要があり、また計算が複雑なため、設計時の照査には適さないが、適切な S-N 線図が与えられた場合には最も精度の良い寿命予測ができると思われる。

また、荷重分布等が与えられた場合には、モンテカルロシミュレーションを用いて、複数車両の同時載荷を含めた実際の荷重による応力波形をシミュレートできるため、応用範囲は広いと思われる。

(4) 実測の応力頻度分布の計測結果を用いる方法

最近になって実橋の実働応力頻度分布の実測がヒストグラムレコーダーを用いて比較的容易にできるようになったため、実測値を用いた疲労寿命の推定が可能になった。実鋼床版の疲労寿命推定例⁹⁾を見ると、計算の仮定や交通量などが異なるものの主構造部材に比較して短い寿命が推定されており、今後の鋼床版の改善に対する資料として利用できると思われる。

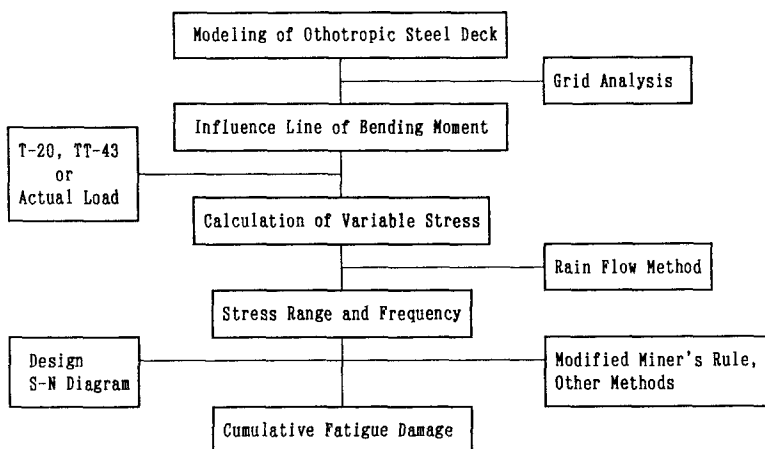


Fig. 1 Flow Chart of Fatigue Assessment

3. 箱桁橋鋼床版の疲労照査

(1) 疲労照査の概要

鋼構造部材の疲労損傷に影響を及ぼす基本的な要因には、作用応力範囲の大きさ、その繰り返し回数および継手形式がある。疲労設計ではこれらの要因を考慮して設計寿命期間内に疲労損傷が生じないように疲労照査を行う。

その手順を Fig.1 にフローチャートで示す。まず、疲労照査の対象とする構造物の継手部に生ずる応力を格子桁解析により求め、応力範囲と繰り返し回数を計算する。この場合、実際の橋梁に生じる応力は一定振幅ではなく不規則に変動するためレインフロー法により変動応力範囲の読み取りを行う。

次に、継手の疲れ強さの特性から対応する設計 S-N 線図を選び、修正マイナー則等を適用して疲れに対する累積損傷度の算定を行い安全性を確かめる。

(2) 箱桁橋鋼床版の構造解析

疲労照査の対象としたのは、阪神高速道路公団の「鋼床版箱桁標準設計」⁷⁾ に示される支間 72m、片側 2 車線往復 4 車線を支持する閉断面縦リブを有する 2 主桁並列鋼床版箱桁橋である。

Fig.2 に示すように横桁で区切られた橋軸方向 12m

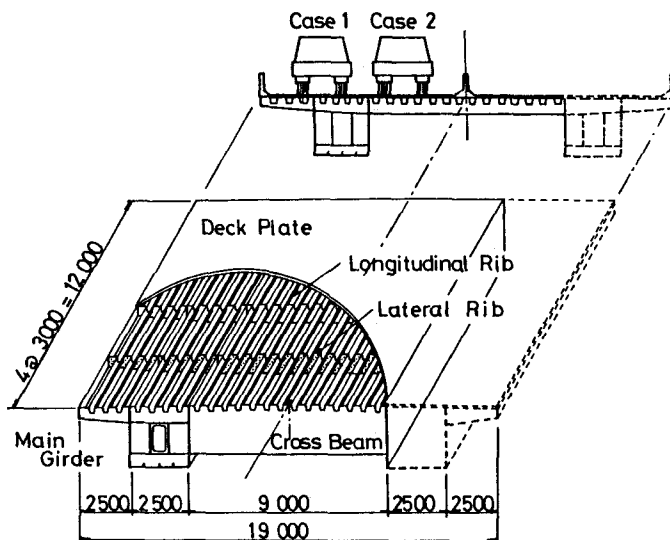


Fig. 2 Analytical Model of Box Girder Bridge with Orthotropic Steel Deck

(横リブ間隔 3m×4)、橋軸直角方向14m の鋼床版を取り出して格子桁解析を行い、着目点の曲げモーメントの影響面を求めた。

格子桁解析を行うにあたり、次のような仮定を設けた。

- 1) 鋼床版は、Uリブと横リブ、横桁および主桁より成る格子桁である。
- 2) 主桁内部の鋼床版も考慮するため、主桁を二つに分割し各々ウェブで代表させた。その際、断面2次モーメントおよびねじり定数は、主桁全体について計算したものを2等分して各々の断面諸量として与えた。
- 3) 断面諸量の計算の際に用いる有効幅は、道示の算出式によった。ただし、Uリブの内部に関しては、閉断面リブとしての性質を重視するため全断面有効とした。
- 4) 鋼床版の支持条件は横リブ(または横桁)と主桁ウェブとの交点で単純支持とした。
- 5) 荷重は片側の車線とし、非載荷側の主桁内部張り出し部については、ほとんど影響がないものと考えこれを除外した。
- 6) 各部材の中立軸の違いは考慮しない。

(3) 疲労照査を行った溶接継手

疲労照査は、Fig.3に示すように、Uリブとデッキプレートとの接合部(①)、Uリブと横リブ腹板との接合部(②、③、③'、④、④')、デッキプレートと横リブ腹板との接合部(⑤)および主桁腹板と横リブ下フランジとの接合部(⑥)を解析の対象とした。照査を行う際考慮する応力の作用方向は①および②が橋軸方向、③～⑥が橋軸直角方向であり、図中にその方向を矢印で示した。上記6個所の溶接部は、欧州鋼構造協会連合(ECCS)疲労設計指針⁸⁾に従い、次に示すような継手分類の設計S-N線図を用いた。継手分類に用いられる数字は、200 万回疲労強度(MPa)である。

着目点	継手形式	継手分類
①	長手方向の連続すみ肉溶接(片面)	100
②	荷重非伝達型で応力に直角方向の付加物の溶接	80
③ ④	荷重伝達型のすみ肉溶接(止端き裂)	71
③' ④'	荷重伝達型のすみ肉溶接(ルートき裂)	36
⑤	スカーラップ位置での連続溶接の端部	71
⑥	荷重伝達型の完全溶け込み溶接	71

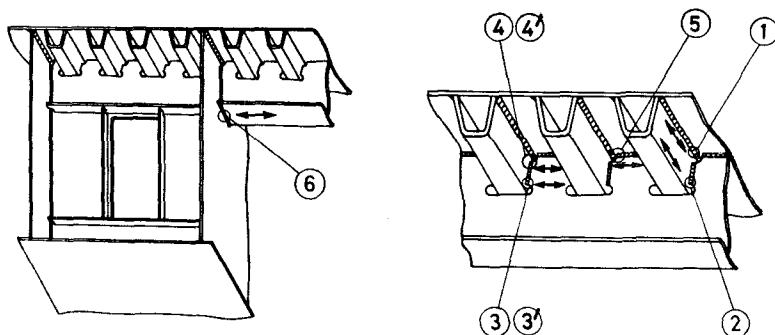


Fig. 3 Typical Welded Joints for Fatigue Assessment

なお、各々の溶接継手を代表する着目点は、T-20 を鋼床版上で移動させ、そのときに生じる曲げモーメントの最大値と最小値の差が最も大きくなる個所を選んだ。また、応力は梁理論によるものを用い、スカラーアップなどによる応力集中の影響は考慮しなかった。

(4) 応力波形の計算仮定

道示に規定されている T-20 および TT-43を解析の対象とする鋼床版上で移動させ、格子桁解析で求められた曲げモーメントの影響面を使用して着目点に生じる曲げ応力度の時間的变化を求めた。

荷重を移動させるにあたり、次のことを仮定した。

- 1) 輪荷重はすべて集中荷重とし、衝撃は考慮しない。
- 2) 実際の床版上での走行車線を想定し、荷重はその車線の中央を走行する。また、車線内での走行位置のばらつきは考慮しない。
- 3) 対象床版の橋軸方向の長さが 12mと短いため、2台連行して走行する場合は無いものとする。
- 4) 橋軸直角方向に2台並行して走行する状態は考えないで、走行車線を走行する場合 (case 1) と追越し車線を走行する場合 (case 2) の2種類について照査した。

(5) 設計 S-N 線図

設計 S-N 線図は、Fig.4 に示す3種類を用いた。

- I: 全ての応力範囲について傾き $m=3$ の S-N 線図を用いる (修正マイナー則)。
- II: 疲労限度以下の応力範囲については傾き $m=5$ の S-N 線図を用いる
- III: IIの直線で、カットオフ限度以下の応力範囲は考慮しない

長寿命域における疲労試験は、その数が少なく、この領域での S-N 線図の取り扱いが明確でないのが現状である。ECCSでは、長寿命域での応力範囲を考慮する必要がある場合、設計 S-N 線図の扱いとして2つの考え方を示している。これは、本研究における S-N 線図 I および III に相当する。

累積損傷度 D は次式によって求めた。一般に損傷度が $D=1$ となったとき破壊が生じると仮定する。

$$D = \sum_{i=1}^k n_i / N_i \quad (1)$$

ここに、 N_i はある応力範囲 σ_{ri} が作用して破壊に至るまでの繰返し回数で、 n_i は σ_{ri} の作用繰返し数、 k は応力範囲 σ_{ri} の数である。

4. 設計活荷重 (T-20, TT-43) による疲労照査

(1) 応力波形

計算で求めた応力波形の代表例を Fig.5.6 に示す。

Fig.5 は横リブに発生する応力波形で、T-20 では大き

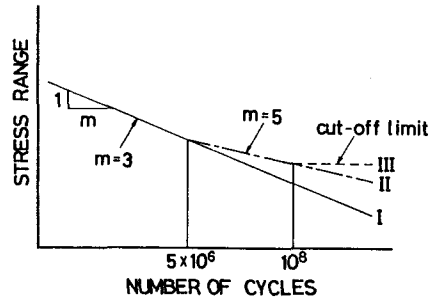


Fig. 4 S-N Diagram Used for the Present Fatigue Damage Analysis

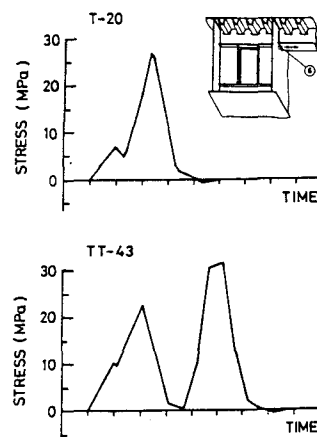


Fig. 5 Stress Waves due to Model Traffics (Lateral Rib)

な応力の波が1つであるのに対して、TT-43 ではそれが2つになっている。これは、曲げモーメントの橋軸方向の影響範囲が約 6mで、T-20 は車軸間隔が 4m でこれよりも狭く、車両全体が一つの荷重として作用しているのに対し、TT-43 は前後輪の間が7.8m と広く、前2輪、後2輪がそれぞれ単独で作用しているためである。

Fig.6 は縦リブのもので、車軸が横リブの上を通過する毎に正負の値が交互にでている。これは、横リブ間隔が 3m のため T-20 においても前後輪がそれぞれ単独で影響を与えている。TT-43 では前2輪の間隔が 3.25m と広いため、負の半波長の応力の波形が T-20 の場合より1つ多い。

(2) 疲労損傷度

疲労損傷度を計算するにあたり、設計寿命を50年、交通量として、T-20 または TT-43 が1日1車線当り4260台と仮定した。この交通量は1日1車線当り30,000台で大型車混入率14.2%を仮定したことになる。なお、大型車混入率は実測値²⁾を用いた。以上のようにして求めた設計寿命50年間の累積損傷度をTable 1 に示す。

走行車線別で見ると、Case 1 (走行車線) は Case 2 (追越し車線) に比べ、橋梁に与える疲労損傷度は $1/10^{-3}$ 以下とはるかに小さいため、以後の考察は Case2 において行うものとする。

全ての継手において、TT-43 の方が T-20 の 2~2.5倍の疲労損傷度を与えている。これは応力波形の項でも述べたように、作用応力の大きさは両者の間にそれほどの大きな差はないが、曲げモーメントの影響線長と車軸間隔との関係から、TT-43 の場合に繰り返し数あるいは応力範囲が増大することになり、疲労損傷度はその分大きくなる。

継手 ⑥ に着目してみると、疲労損傷度が他の継手と比べ、非常に大き

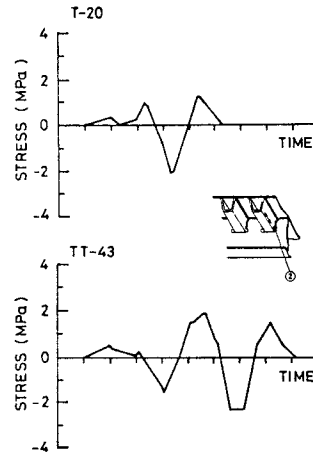


Fig. 6 Stress Waves due to Model Traffics (Longitudinal Rib)

Table 1 Computed Fatigue Damage for Design Loads

Joint No.	Joint Classification (ECCS)	S-N Diagram	Fatigue Damage during 50 Years (4260/day/lane)		
			T-20		TT-43
			Case 1	Case 2	Case 2
①	100	I	no	no	no
		II	no	no	no
		III	0.0	0.0	0.0
②	80	I	no	3.0×10^{-3}	6.6×10^{-3}
		II	no	no	no
		III	0.0	0.0	0.0
③	71	I	no	no	no
		II	no	no	no
		III	0.0	0.0	0.0
③'	36	I	no	no	1.2×10^{-3}
		II	no	no	no
		III	0.0	0.0	0.0
④	71	I	no	3.4×10^{-3}	7.2×10^{-3}
		II	no	no	no
		III	0.0	0.0	0.0
④'	36	I	no	4.2×10^{-2}	9.1×10^{-2}
		II	no	no	2.1×10^{-3}
		III	0.0	0.0	0.0
⑤	71	I	no	6.0×10^{-3}	1.3×10^{-2}
		II	no	no	no
		III	0.0	0.0	0.0
⑥	71	I	no	2.33	4.96
		II	no	0.65	1.66
		III	0.0	0.0	1.40

no : Fatigue Damage less than 10^{-3} is considered no Fatigue Cracking Condition.

な値となっている。特にS-N線図Ⅰを用いると、T-20、TT-43ともに1.0を超えており、設計寿命中に疲労亀裂が生じることになる。この継手は、主桁ウェブ側にダイアフラムがあり、そこに横リブが溶接接合されたところである。主桁は曲げ剛性、ねじり剛性ともに横リブよりかなり高い。このような剛性の高いところに剛性の低いものが溶接接合された箇所では疲労き裂が発生し易いことは、以前から指摘されてきたが、今回の照査においてもこのことが確かめられた。従って、このような箇所に溶接継手を設ける場合には、疲労に対して十分な対策を構ずる必要がある。

Table 2 Classification of Vehicles Passing on the Hanshin Expressway

Traffic Classification		Daily Traffic	Percentage
Large Vehicle	2 axles	1,630	2.3 %
	Tandem axle	3 axles(1)	4,928
		3 axles(2)	2,019
		4 axles	152
	Trailer	1,565	2.2 %
	Total	10,292	14.2 %
Middle Vehicle		12,913	17.8 %
Car		49,189	67.9 %
Total		72,394	100.0 %

5. 実働荷重による疲労照査

(1) 実働荷重のモデル化

荷重のモデル化には、1982年に阪神高速道路公団によって測定された24時間のデータ (Table 2) を用いた。測定された車両総台数は約72,000台であり、大型車混入率は14.2%であった。測定された車両総重量の最大値は2軸車で236kN(24.1ton)、3軸車で370kN(37.8ton)、トレーラーで670kN(68.4ton)であり、設計荷重 T-20 の車重196kN(20ton)をこす車両は3軸車で約38%、トレーラーでは約49%である。また T T-43 の車重421kN(43ton)をこすトレーラーは約5%であった。

この測定結果を 1) 2軸、2) 3軸(1)、3) 3軸(2)、4) 4軸および 5) トレーラーに分類し、それぞれの自動車荷重の車重頻度分布から次式を用いて平均重量Wを求めた。

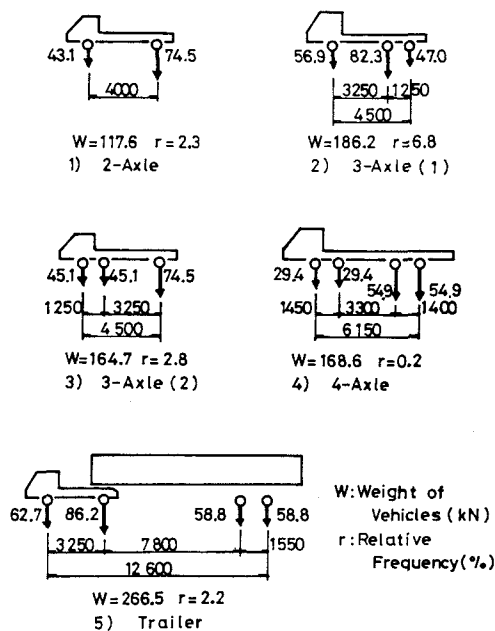


Fig. 7 Average Trucks According to Service Loading

$$W = \sum (f_i \cdot W_i^m)^{1/m} \quad (2)$$

ここに、 W_i は測定された車重で、 f_i はその相対頻度である。ここでS-N線図の傾き $m=3$ をもちいると、いわゆる修正マイナー則を用いた場合の平均荷重となる。この車重 W を、平均的な軸重比で各車軸に分配しその 1/2 を輪重とした。Fig.7 には得られた各車軸と軸距および全交通量に対する混入率を示す。この平均荷重は、設計S-N線図Ⅰを用いたときのみ平均荷重としての意味をもつが、ここでは便宜上S-N線図Ⅱ,Ⅲにもこの荷重を用いた。

(2) 疲労損傷度

設計寿命を50年、1日1車線あたりの交通量30,000台で車種別の混入率は Table 2 に従うものとして設計寿命期間中の疲労損傷度を計算した。その結果を Table 3 示す。大型車両の車種別にみると、全ての継手において、3軸車(1)とトレーラー荷重が与える疲労損傷度が大きい。これは、3軸車(1)の混入率が他の荷重に比べて高いこと、トレーラーの重量が大きいことによる。

Table 3 Computed Fatigue Damage due to Each Average Trucks Simulating Service Loads measured by Hanshin Expressway

Joint No.	S-N Diagram	Fatigue Damage during 50 years (30,000/day/lane)						Model Load (kN)
		2 axles (2.3%)	3 axles(1) (6.8%)	3 axles(2) (2.8%)	4 axles (0.2%)	Trailer (2.2%)	Total (14.2%)	
①	I	6.7×10^{-7}	4.3×10^{-6}	8.4×10^{-7}	2.2×10^{-7}	3.7×10^{-6}	9.7×10^{-6}	110
	II	2.2×10^{-11}	2.9×10^{-10}	2.5×10^{-11}	1.8×10^{-11}	3.2×10^{-10}	6.8×10^{-10}	
	III	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
②	I	3.5×10^{-5}	2.3×10^{-4}	4.5×10^{-5}	1.2×10^{-5}	2.0×10^{-4}	5.2×10^{-4}	110
	II	1.7×10^{-8}	2.2×10^{-7}	1.9×10^{-8}	1.4×10^{-8}	2.5×10^{-7}	5.2×10^{-7}	
	III	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
③	I	9.6×10^{-7}	1.1×10^{-5}	1.5×10^{-6}	2.1×10^{-7}	3.6×10^{-6}	1.7×10^{-5}	144
	II	5.0×10^{-11}	1.3×10^{-9}	9.8×10^{-11}	2.1×10^{-11}	3.0×10^{-10}	1.8×10^{-9}	
	III	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
③'	I	1.2×10^{-5}	1.3×10^{-4}	1.9×10^{-5}	2.7×10^{-6}	4.5×10^{-5}	2.1×10^{-4}	143
	II	3.4×10^{-9}	9.0×10^{-8}	6.6×10^{-9}	1.4×10^{-9}	2.0×10^{-8}	1.2×10^{-7}	
	III	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
④	I	7.6×10^{-5}	8.3×10^{-4}	1.2×10^{-4}	1.7×10^{-5}	2.9×10^{-4}	1.3×10^{-3}	142
	II	7.3×10^{-8}	1.9×10^{-6}	1.4×10^{-7}	3.0×10^{-8}	4.3×10^{-7}	2.6×10^{-6}	
	III	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
④'	I	9.5×10^{-4}	1.0×10^{-2}	1.5×10^{-3}	2.1×10^{-4}	3.6×10^{-3}	1.6×10^{-2}	142
	II	4.9×10^{-6}	1.3×10^{-4}	9.6×10^{-6}	2.0×10^{-6}	2.9×10^{-5}	1.8×10^{-4}	
	III	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
⑤	I	1.3×10^{-4}	1.5×10^{-3}	2.2×10^{-4}	2.2×10^{-7}	5.1×10^{-4}	2.4×10^{-3}	144
	II	1.9×10^{-7}	5.0×10^{-6}	3.7×10^{-7}	1.8×10^{-11}	1.1×10^{-6}	6.7×10^{-6}	
	III	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
⑥	I	0.04	0.43	0.06	7.2×10^{-3}	0.14	0.64	127
	II	2.6×10^{-3}	0.06	4.5×10^{-3}	7.3×10^{-4}	0.01	0.08	
	III	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

() : Relative Frequency

継手別では、継手⑥の損傷度が他の継手と比べ大きな値となっている。これは、T-20 およびTT-43 で照査した場合と同じである。しかし疲労損傷度は実測値より求めた平均荷重を用いると最大でも 0.64 で、1.0 を越えない。すなわち、設計寿命中に疲労き裂が生じないことになる。

(3) モデル荷重

平均荷重と T-20 による疲労損傷度を比較すると、S-N 線図Ⅰを用いた場合の平均荷重による疲労損傷度は T-20 による損傷度のおよそ 16～40% であり、S-N 線図Ⅱを用いた場合はおよそ 5～21% である。

平均荷重による疲労損傷度と等しくなるようなモデル荷重 (T-20 で、軸距、輪距、軸重比を変えず、車両重量のみを変化させた荷重) を、S-N 線図Ⅰの場合について算定すると、Table 3 に示すように 110～145kN となる。これは T-20 の 54～74% に相当する。

6. 日交通量、大型車混入率による疲労損傷度

横リブと主桁ウェブとの溶接継手 (継手⑥) の実働荷重による疲労損傷度に基づき、日交通量および大型車混入率が変化した場合の疲労損傷度の違いを調べた。設計寿命は 50 年とし、日交通量および大型車混入率が変化してもモデル化したそれぞれの自動車荷重の車重頻度分布の形状、混入率は変化しないと仮定した。設計 S-N 線図は、Fig.4 のⅠを用いた。得られた結果を

Fig.8 に示す。1 車線当りの交通量が 10,000 台の場合には、大型車混入率が 40% を越えても疲労の累積損傷度は 1.0 以下で疲労き裂は発生しない。しかし日交通量が 20,000 台の場合には大型車混入率が 33% 程度で、30,000 台では 22% 程度で累積損傷度が 1.0 に達する。

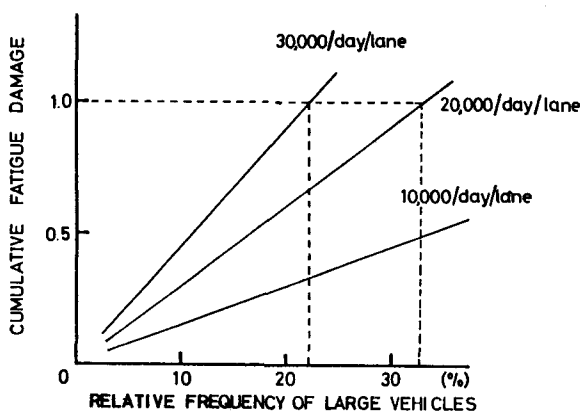


Fig. 8 Effect Relative Frequency of Truck on Cumulative Fatigue Damage

7. まとめ

ケーススタディとして、鋼床版箱桁橋をモデル化して格子桁解析を行い、その部材力の影響面を求め、各種の継手の疲労照査を行った。照査の対象としたのは、阪神高速道路公団の「鋼床版箱げた標準設計・図面」に示される、支間 72m の 2 主桁橋である。この橋梁の上に道路橋示方書の設計活荷重および阪神高速道路公団による実測荷重をモデル化した平均荷重を走行させ、各着目点における応力波形を求めた。得られた応力波形からレインフロー法により、応力範囲およびその繰り返し数を算出した。さらに修正マイナー則等に基づき疲労損傷度を求め、疲労照査を行った。得られた結果をまとめると次のようである。

1. 解析の対象とした鋼床版箱桁橋では、箱桁上にある走行車線より両箱桁の中間に位置する追越し車線を走行した場合に鋼床版の疲労損傷度が大きい。
2. 主桁腹板と横リブ下フランジとの溶接接合部では、設計寿命期間内に疲労き裂が発生する可能性がある。このように主桁内部にダイヤフラムを有し剛性の高いところに比較的剛性の低い部材を溶接するような場合には疲労に対して十分な対策を施す必要がある。

3. 阪神高速道路での実測荷重をモデルした平均荷重による疲労照査では、T-20 および TT-43 による照査で設計寿命期間内に疲労損傷度が1.0以上となった個所でも損傷度は1.0をこえなかった。しかし、日交通量及び大型車混入率が今後増加する場合には、疲労き裂が発生する可能性がある。

4. TT-43 の方が T-20 の2～2.5倍の疲労損傷度を与える。これは、発生する応力の大きさは両者とも大差はないが、着目する部材の曲げモーメントの影響線長と車軸間隔との関係から、TT-43 による応力範囲の繰り返し回数あるいは応力範囲の大きさが T-20 の場合より増大するためである。

実働荷重と T-20 による疲労損傷度の比は0.16～0.40であり、モデル荷重としてT-20荷重の車両重量を110～145kN と考えて照査すると実働荷重を用いて算定した疲労損傷度と同程度となる。

謝辞

本研究をまとめるにあたり、寺田博昌氏（横河橋梁製作所）および平林直文氏（名古屋市）には貴重な助言を頂いた。ここに記して厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) Cuninghame, J.K.: Strengthening fatigue prone details in a steel bridge deck, International Conference on Fatigue of Welded Constructions, Brighton, April 7-9, 1987
- 2) 阪神高速道路公団：阪神高速道路における活荷重実態調査と荷重評価のための解析, 活荷重分科会報告, 第2編, 第4編, 1984
- 3) British Standards Institution: Steel, concrete and composite bridges, Part 10, Code of Practice for Fatigue, 1980
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編, Ⅱ鋼橋編）, 丸善, 1980
- 5) 国広哲男, 藤原稔：直交異方性版理論による鋼床版実用計算法, 土木研究所報告 No.137, 1969
- 6) 藤原稔 他：鋼床版縦リブと横リブの交差部の疲労強度に関する検討, 土木学会第43回年次学術講演会概要集, 1988
- 7) 阪神高速道路公団：鋼床版箱げた標準設計・図面, 1983.3.
- 8) EUROPEAN CONVENTION FOR CONSTRUCTIONAL STEELWORK: ECCS Recommendations For the Fatigue Design of Steel Structures, 1985
- 9) 平林直文：実働荷重を考慮した道路橋鋼床版の疲労照査, 名古屋大学工学研究科修士論文, 1987

(1988年10月12日受付)