

# 繰返し荷重を受ける鋼部材の 累積疲労損傷度による照査法

斉藤 雅充\* 小林 裕介\* 杉本 一朗\*

## Fatigue Design with Cumulative Fatigue Damage for Members of Steel Bridge

Masamichi SAITO Yusuke KOBAYASHI Ichiro SUGIMOTO

Fatigue design will be updated in the revised design standards for railway steel bridges. The new proposed method gives more accurate verification of fatigue strength of steel members by calculating cumulative fatigue damage directly. This is because the fatigue limit and structural systems other than simple girder can be considered in the calculation process of the cumulative fatigue damage. This paper describes the details of the proposed fatigue design method and shows examples of design computation by this method.

キーワード：累積疲労損傷度，疲労設計，繰返し荷重，応力範囲の打ち切り限界，鋼橋

### 1. はじめに

鋼鉄道橋で用いられている従来の疲労設計では、疲労限による照査を行い、必要に応じて繰返し数の影響を考慮した照査を行う方法によっている<sup>1)</sup>。繰返し数の影響を考慮した照査は、「対象としている継手の累積疲労損傷度が1.0を超えない」ことを照査の目的として、累積疲労損傷度をベースとしている。ただし、累積疲労損傷度を計算する手間を避けるため、累積疲労損傷度を計算しなくても最大応力範囲に繰返し数を考慮した係数を乗じた結果を照査すればよいように、照査方法が工夫されている。

この従来の照査方法は、基本的に累積疲労損傷度によって照査した結果と同様になるように定められており、計算を簡略化できる利点を有している。一方で、簡略化するために数多くの条件を限定して繰返し数を考慮した係数を定めているので、適用範囲が非常に狭いものとなっている。特に影響線形状については、単純桁の支間中央に着目したものしか考慮されていないため、連続桁やトラスの弦材・斜材はもとより、単純桁の支間中央以外において適用した場合には本来の照査で得べき結果と大きく異なる場合がある。しかしながら実設計では、いかなる影響線を有する部材においても、現状の繰返し数を考慮した係数によって照査しているのが実状である。

複数の列車荷重が載荷される橋梁では、個々の列車荷重の疲労に対するダメージを累積する必要があるが、現状の繰返し数を考慮した係数では、一つの列車荷重しか考慮できないといった問題もある。また、EA 荷重、M 荷重、NP 荷重の設計荷重は考慮されているが、それらと軸配置

が異なる場合は、上記係数を適用することができない。

このような課題に対応するため、今回改訂する標準では、近年のコンピュータの劇的な計算能力の向上により、累積疲労損傷度の計算が容易になったことを考慮し、繰返し数の影響を考慮した疲労の照査において、累積疲労損傷度そのものを算出して照査する方法を採用することとする。これにより、多種多様な条件下においても精緻に疲労を照査することが可能になる。

累積疲労損傷度を用いて照査する場合、応力範囲の打ち切り限界を考慮できることも利点として挙げられる。従来の照査方法では、疲労に影響を及ぼさないレベルの応力範囲についても照査の計算に含んでいたため、安全側の設計であるものの、不経済な設計結果を与える場合があった。累積疲労損傷度を用いた照査では、疲労に影響を及ぼさない応力範囲を無視して照査することができるため、設計結果は必然的に経済的なものとなる。今回改訂の設計標準では、現在供用されている橋梁の実情を踏まえて、設計耐用期間を60年から100年に拡大する。したがって、より経済的な設計が求められることとなり、応力範囲の打ち切り限界を考慮できることは、この設計耐用期間の拡大に対しても大きな利点となる。

本稿では、改訂する設計標準における累積疲労損傷度を直接計算する疲労照査方法を示す。また、本照査法を用いて試設計を行い、特に、応力範囲の打ち切り限界を考慮した場合の設計の有効性について示す。

### 2. 従来の設計方法

#### 2.1 従来の設計方法の概要

繰返し数の影響を考慮した照査では累積疲労損傷度が

\* 構造物技術研究部（鋼・複合構造）

特集：鋼・合成構造物の設計技術

1.0 以下であることを確認するのが照査の目的となっている。累積疲労損傷度とは、図1に示すように  $\Delta\sigma_i$  の応力範囲が  $n_i$  回繰返されたときに、以下の式(1)で計算される  $D$  であり、1.0 となったときに疲労破壊が生じるとした指標である。

$$D = \sum_i \left( \frac{n_i}{N_i} \right) \quad (1)$$

$N_i$  は、 $\Delta\sigma_i$  が一定振幅で繰返されたときの疲労寿命であり、図2に示す疲労強度等級ごとの疲労設計曲線 A～G から求められる。この累積疲労損傷度は、以下の線形累積被害則に基づいている<sup>2)</sup>。

- ① ある応力レベルにおける疲労損傷の進行は、その応力のみにより一義的に決まり、しかも線形に累積する。
- ② 各応力レベルにおける疲労損傷の総和が一定値に達すると疲労破壊する。

従来の設計では、累積疲労損傷度を算出するために必要な、応力範囲  $\Delta\sigma_i$  の繰返し数  $n_i$  や、疲労寿命  $N_i$  の算定の煩雑さを避けるため、最大応力範囲と繰返し数を考慮した係数を用いて、式(2)に示す照査式により照査を行っていた。

$$\frac{\Delta\sigma_{\max} \times f_1}{\Delta\sigma_{fd}} \leq 1.0 \quad (2)$$

ここで、 $\Delta\sigma_{\max}$  は最大応力範囲、 $f_1$  は2.2節に示す繰返し数を考慮した係数、 $\Delta\sigma_{fd}$  は200万回基本疲労許容応力範囲である。200万回基本疲労許容応力範囲とは、疲労寿命が200万回となる一定振幅の応力範囲であり、図2に示した疲労設計曲線から得られる。実際の照査では、さらに複雑な荷重を考慮した係数、板厚に関する補正係数、平均応力に関する係数が乗じられる。

2.2 繰返し数を考慮した係数

式(2)の分子は、式(1)で求まる設計耐用期間中の累積疲労損傷度と同等の疲労を、200万回の繰返し数で与えるとした場合の等価応力範囲であり、式(2)は、結果として累積疲労損傷度が1.0以下であることを確認することと同義となっている。等価応力範囲とは、変動する振幅応力と同じ繰返し数で等価な疲労被害を与える一定振幅の応力範囲を表す。

このような照査を可能にしているのが、繰返し数を考慮した係数  $f_1$  であり、1列車が通過した時に部材に生じる最大応力範囲に乗じる係数となっている。係数  $f_1$  の詳細な導入<sup>1)</sup> は省略するが、以下の式(3)で求めることができる。

$$f_1 = \left( n_{eq} \times \frac{n_i}{2 \times 10^6} \right)^{1/m} \quad (3)$$

ここで、 $n_{eq}$  は等価繰返し数、 $n_i$  は設計耐用期間中の列車本数、 $m$  は疲労設計曲線の傾きを表し、垂直応力については  $m=3$ 、せん断応力については  $m=5$  である。ここ

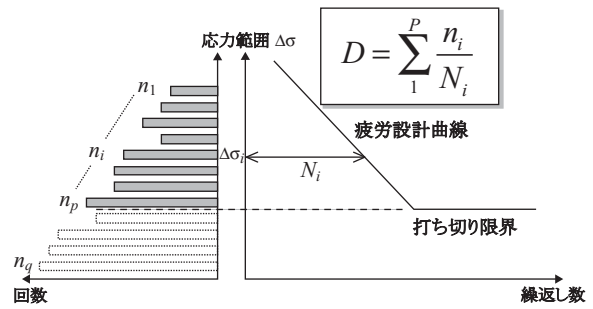


図1 打ち切り限界を考慮した累積疲労損傷度

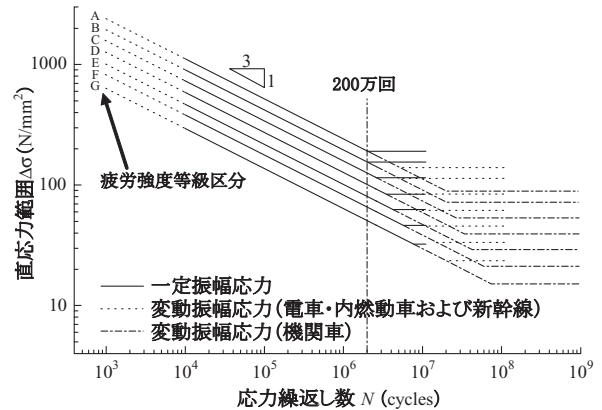


図2 疲労設計曲線（垂直応力を受ける継手）

表1 繰返し数を考慮した係数  $f_1$  (EA 荷重, 垂直応力)

L (m)	L < 5	5 ≤ L < 8	8 ≤ L < 14	14 ≤ L < 20	20 ≤ L
標準通過トン数					
20 万 MN 以上	2.17	2.17 ~ 1.45	1.45 ~ 1.05	1.05 ~ 1.00	1.00
10 万 MN 以上 20 万 MN 未満	1.61	1.61 ~ 1.07	1.07 ~ 0.78	0.78 ~ 0.74	0.74
5 万 MN 以上 10 万 MN 未満	1.28	1.28 ~ 0.86	0.86 ~ 0.62	0.62 ~ 0.59	0.59
5 万 MN 未満	1.28	1.28 ~ 0.86	0.86 ~ 0.62	0.62 ~ 0.59	0.59

注) 1. L は同符号の影響線の基線長とする。  
2. 中間値は直線補間法により求めるものとする。

という等価繰返し数  $n_{eq}$  とは、1列車が通過した時に部材が被る疲労を、その時の最大応力範囲に相当する一定振幅応力によって与える場合の繰返し数を表す。

従来の照査において用いられてきた繰返し数を考慮した係数  $f_1$  の1例として、機関車荷重 (EA 荷重) の垂直応力に対する値を表1に示す。設計標準には、表1以外にも、機関車荷重のせん断応力に対する値、電車・内燃動車荷重 (M 荷重)、新幹線荷重 (NP 荷重) のそれぞれ垂直応力とせん断応力に対する値が示されている。

2.3 従来の設計方法における問題点

式(3)で示した式における等価繰返し数は、照査着目箇所の影響線形状と列車荷重の軸配置に依存して決まる。ただし、影響線形状自体は、構造形式、着目箇所、部材長さによって千差万別である。本来は、構造形式、着

目箇所別に表1に示す表が与えられるべきであるが、全ての条件を考慮した場合には、係数 $f_1$ を与える一覧表が膨大になってしまう。このため、従来の設計で用いられてきた係数 $f_1$ の等価繰返し数は、単純桁の支間中央に着目した場合の影響線によって全て算出されており、部材長さのみに応じた値が用いられている。

単純桁において、着目箇所を支間中央、支間4分の1点、支間8分の1点としたときの等価繰返し数の比較を図3に示す。図の縦軸は、支間中央の等価繰返し数に対する支間4分の1点および8分の1点の等価繰返し数の割合を示している。E荷重では部材長さが30mを、M荷重では部材長さが50mを超えると、値は1.0に収束する。したがって、支間中央以外の着目箇所に対しても、支間中央の等価繰返し数を適用して問題ないことになる。しかし上記より短い部材長さでは、例えば支間の8分の1点では、E荷重で最大2倍、M荷重で最大1.6倍程度と、支間中央における等価繰返し数とは大きく異なった値となっていることが分かる。

着目箇所の他に、構造形式についても同様のことが言え、例えば連続桁に対して単純桁の等価繰返し数を適用すると、照査の精度を落とす結果となる。

列車荷重については基本的な3タイプの設計荷重を満足しているものの、軸配置の異なる列車の場合は、同様に異なった等価繰返し数を与えることとなる。また、複数種類の列車荷重が混在する線区の橋梁では、疲労の照査を行う場合、個々の列車が与える疲労を個別に求め、その総和によって評価すべきであるが、現状で与えられている係数 $f_1$ では1列車単体による照査しかできない。

### 3. 累積疲労損傷度による照査

#### 3.1 累積疲労損傷度による照査の導入と利点

繰返し数を考慮した係数を導入した当時、累積疲労損傷度の計算を行うためには、手軽に利用することが困難であったワークステーションなどの計算機を必要としていた。それ故、ある程度の照査精度を落としてでも、手計算によって疲労設計を可能にしているという点で、従来の照査方法は優れた手法であったと言える。しかしながら、今日のパソコン等の普及の現状を鑑みれば、累積疲労損傷度の計算は至極簡単であり、膨大な係数 $f_1$ の一覧表を用いることが優れた手法とは言い難い。

以上のことから、改訂する設計標準では、累積疲労損傷度を用いて照査することを標準とした。これにより、前記のいかなる条件であっても、精緻な照査が可能になることに加え、設計標準が性能規定化された中で、より自由度の高い照査も可能となる。

大きな利点としては、変動振幅応力に対する応力範囲の打ち切り限界を考慮して設計することが可能になった

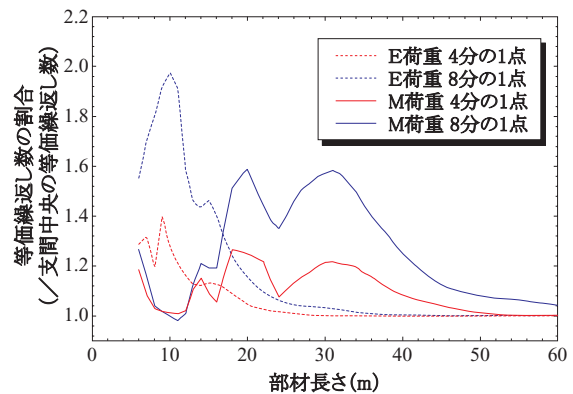


図3 等価繰返し数の比較

表2 応力範囲の打ち切り限界（垂直応力を受ける継手）

区分	一定振幅応力 (N/mm <sup>2</sup> )	変動振幅応力 (N/mm <sup>2</sup> )	
		機関車荷重	電車・内燃動車荷重 および新幹線荷重
A	190.0	88.0	139.0
B	155.0	72.0	113.5
C	115.0	53.0	84.0
D	84.0	39.0	61.5
E	62.0	29.0	45.5
F	46.0	21.0	33.5
G	32.0	15.0	23.5

ことも挙げられる。変動振幅応力に対する応力範囲の打ち切り限界とは、この値以下の応力範囲成分は疲労損傷に寄与しないと考慮してよい応力範囲の限界値である。図2に示した設計曲線（グラフ上では対数軸のため直線）が、水平に折れ曲がる箇所の応力範囲である（表2参照、以降“打ち切り限界”と呼ぶ）。

式(1)による累積疲労損傷度を算出する過程では、打ち切り限界以下の応力範囲成分は計上する必要がないため、図1に示すように $\Delta\sigma_i$ 成分に対応する繰返し数のうち、 $n_1 \sim n_p$ のみの和を求めればよい。一方で、従来の照査方法では打ち切り限界を考慮できていなかったため、疲労損傷に寄与しない応力範囲成分に対応する繰返し数 $n_{p+1} \sim n_q$ も累積疲労損傷度に計上していた。このため、1列車通過時の変動応力に打ち切り限界以下の応力範囲成分を多く含む場合は、累積疲労損傷度の値が不必要に大きくなり、設計結果として不経済な部材断面を与えることとなっていた。

本照査方法は、平成19年に発刊した鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編 鋼・合成構造物）の個別検査にも導入しており、経年した橋梁部材の疲労の照査にも適用可能であり、汎用性が高いものとなっている。

以降、累積疲労損傷度の算出方法、およびそれを用いた照査方法について記す。

#### 3.2 設計応答値の算定

累積疲労損傷度による疲労の照査では、1列車が通過

特集：鋼・合成構造物の設計技術

した時の照査箇所が生じる応力範囲とその繰返し数をもって設計応答値としている。この二つの値を求めるには、主に影響線載荷による変動応力の算定と、応力頻度解析を行う。

3.2.1 変動応力の算定

影響線載荷による変動応力は、照査箇所に対する影響線に、列車荷重を移動載荷することにより算定する。具体的には、図4に示すように各軸重によって生じる応力和  $\Delta\sigma_j$  を求める。この時に、列車荷重の移動ピッチ ( $j$  番目と  $j+1$  番目の列車荷重の位置の差) は、算定した変動応力波形においてピーク値が再現できる程度にする必要がある。図5に、2径間連続桁においてE-17荷重を影響線載荷した結果を示す。

E荷重は重連の機関車とそれに続く貨車を想定しており、貨車は一般に等分布荷重として設計に用いられるが、繰返し数を考慮した疲労の照査では、軸ごとに生じる応力振幅の繰返しを考慮する必要があるため、図4のように貨車はU-13.3が23両連なったものとして離散化している。また、単純桁では影響線の基線長が11m以下の場合、A荷重の方が最大応力を生じさせるが、繰返し数を考慮すればE荷重の方が疲労に対する影響が大きい荷重となるため、繰返し数を考慮した疲労の照査では影響線の基線長によらずE荷重を用いる。

上記のようにして算出したモーメント波形から、衝撃などを考慮して、断面剛性を用いて変動応力を算出する。このときの衝撃は、従来の設計と同様に平均的なものを考慮して、衝撃係数の3/4を用いてよい。また、骨組解析や格子解析によって算出した変動応力は、実際の橋梁部材で生じる応力よりも高いことが認められているため<sup>3)</sup>、変動応力に補正係数として0.85を乗じてよい。

複線桁における同時載荷の影響は、同時載荷係数を用いて考慮することが可能である<sup>4)</sup>。したがって、同時に複線に列車を影響線載荷する必要はなく、各線にそれぞれ列車を載荷して求めた変動応力に対し、複線同時載荷係数を乗じることによって、同時載荷の影響を考慮する。また、設計荷重を複数考えている場合は、それぞれの荷重について影響線載荷し、変動応力を求めておく。

3.2.2 応力頻度解析

1列車の変動応力から、応力範囲  $\Delta\sigma_i$  および  $\Delta\tau_i$  に対応する繰返し数  $n_i$  を求める手法には様々な手法が提案されているが、今回改訂の設計標準ではレインフロー法を基本としている。以下、レインフロー法について説明する。

図6(a)に示すように、変動応力波形において極値が  $\sigma_a, \sigma_b, \sigma_c, \sigma_d$  の順にあらわれるとき、

$$\sigma_a \leq \sigma_c \leq \sigma_b \leq \sigma_d \quad \text{もしくは} \quad \sigma_a \geq \sigma_c \geq \sigma_b \geq \sigma_d$$

の条件を満たせば  $|\sigma_b - \sigma_c|$  を応力範囲として計数し、図6(b)のように変動応力波形から  $\sigma_b, \sigma_c$  を削除する。こ

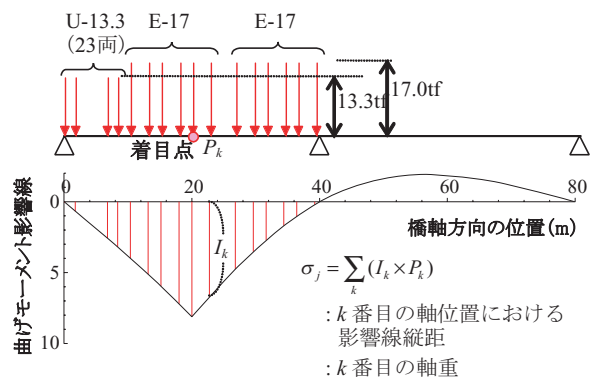


図4 2径間連続桁の影響線載荷 ( $j$  番目の応力)

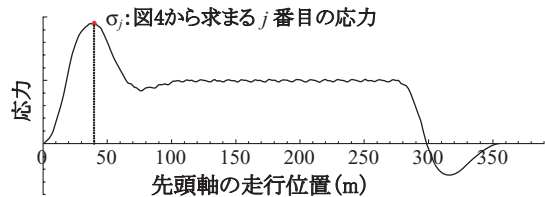


図5 応力波形 (2径間連続桁, E-17 荷重)

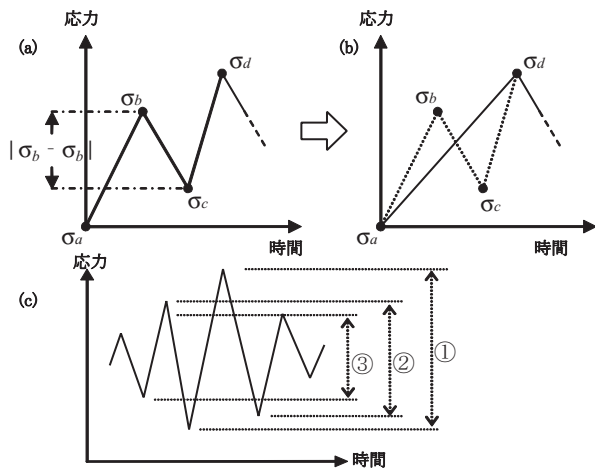


図6 レインフロー法

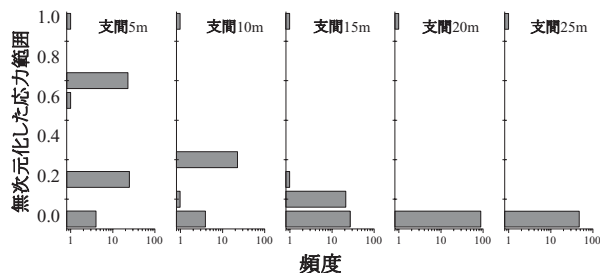


図7 無次元化した応力範囲の頻度 (単純桁, E-17 荷重)

の作業を繰返し行なうと、最後に図6(c)に示す漸増・漸減波形が残るが、最大の極値と最小の極値の差(①)、2番目に大きい極値と2番目に小さい極値との差(②)・・・と計数すればよい。

単純桁に対してE-17荷重を影響線載荷して求めた変動応力について、レインフロー法によって応力頻度解析した結果を、支間ごとに図7に示す。縦軸は、応力範囲を最大応力範囲で除した、無次元化した応力範囲で示し

ている。また、横軸は頻度で、対数軸となっている。

支間が15m以下では、幾つかの種類の応力範囲が計数されているが、20mを超えると、最大応力範囲が1回と、最大応力範囲の10分の1以下の応力範囲が多数という結果になる。これは、支間が短い場合は、軸が通過するごとに独立した応力峰を生じるが、支間が長くなるにつれて、応力峰の裾野が広くなり、隣合う応力峰同士が重なり合っていくことによって個々の軸の影響が小さくなり、1列車全体による最大応力振幅が1回生じるためである。

M荷重においても同様の傾向があり、単純桁については支間が30mを超えるくらいから、個々の軸の影響は極めて小さくなる。

垂直応力に対しては、疲労は応力範囲の3乗に比例して累積するので、最大応力範囲の10分の1以下の応力範囲は累積疲労損傷度に殆ど寄与しない。したがって、単純桁で設計荷重をE荷重としたときは支間20m以上において、M荷重としたときは支間が30m以上において、最大応力範囲が1回生じた時のことを考えれば良いことになる。

### 3.3 累積疲労損傷度の算出および照査

累積疲労損傷度の算出は、前述の式(1)によって行う。分子の $n_i$ は前節の応力頻度解析によって算定した応力範囲 $\Delta\sigma_i$ 、もしくは $\Delta\tau_i$ の設計耐用期間中における繰返し数であり、分母の $N_i$ は応力範囲 $\Delta\sigma_i$ 、もしくは $\Delta\tau_i$ の疲労寿命である。この疲労寿命は、図2に示した疲労設計曲線から求める。疲労設計曲線は以下の式で表わされる。

$$\Delta\sigma_i^m \cdot N_i = C_0 \quad (4)$$

$$\Delta\tau_i^m \cdot N_i = D_0 \quad (5)$$

ここで、 $C_0$ および $D_0$ は疲労設計曲線を表すための定数で、200万回基本疲労許容応力範囲 $\Delta\sigma_{fd}$ 、 $\Delta\tau_{fd}$ を用いて次式で表わされる。

$$C_0 = 2 \times 10^6 (\Delta\sigma_{fd} \cdot C_R \cdot C_t)^m \quad (6)$$

$$D_0 = 2 \times 10^6 \cdot \Delta\tau_{fd}^m \quad (7)$$

$C_R$ は平均応力による補正係数、 $C_t$ は板厚に関する補正係数であり、打ち切り限界についても本補正係数を乗じるものとしている。なお、図2に示した疲労設計曲線は、各種継手に対する疲労試験結果の下限值（もしくはそれに相当する非超過確率97.7%の疲労強度）によって定められたものであるため、200万回基本疲労許容応力範囲と打ち切り限界は、材料係数および部材係数を含んだ値となっている。ここで、材料係数とは材料強度のばらつきを考慮するための係数であり、部材係数は材料同士を組み合わせた部材について、施工上等の不確実性を考慮するための係数である。

式(4)と(5)によって得られた疲労寿命をもとに、式(1)によって累積疲労損傷度を算出し、その値が1.0以下であることを確認すれば照査となる。照査では、構造物係数を考慮する必要があるが、繰返し数を考慮した耐疲労

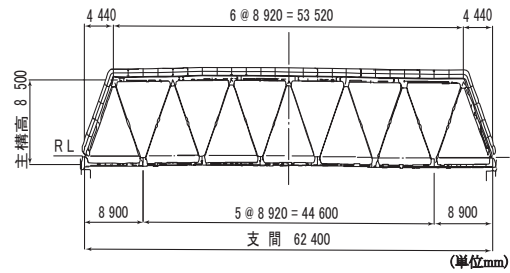


図8 試設計の対象としたトラス橋梁の側面図

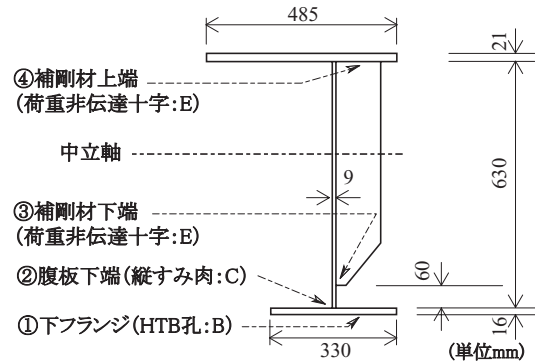


図9 試設計の対象とした縦桁断面と照査溶接継手

表3 設計条件

形式	単線下路トラス
線路	線形：直線 勾配：水平
設計荷重	EA-17
設計速度	130km/h
線路等級	在来鉄道4級線

性の照査では、一般に構造物係数を1.0とする。ここで構造物係数とは、構造物の重要度、構造物が限界状態に至った場合の社会的影響などを考慮するための係数である。

設計において複数タイプの列車荷重を考えている場合は、累積疲労損傷度が線形累積被害則に基づいているため、列車荷重タイプごとに累積疲労損傷度を算出し、その総和を用いて照査することができる。

## 4. 累積疲労損傷度を用いた照査による試設計

本章では、累積疲労損傷度を用いた照査による試設計の一例を示すとともに、従来の照査方法で設計した場合の結果と比較する。

試設計は、図8に示すトラス橋梁の中間縦桁支間中央を対象とした。断面形状と疲労の照査部位を図9に、その他の設計条件を表3に示す。なお、本試設計では疲労限による照査は行っていない。

E-17荷重を影響線載荷して求めた変動応力と、その応力頻度解析結果を、それぞれ図10と表4に示す。表4でハッチングされている応力範囲が、打ち切り限界以下の応力範囲であり、累積疲労損傷度を算出する上で計数しない応力範囲である。なお、縦桁の変動応力は、本来

特集：鋼・合成構造物の設計技術

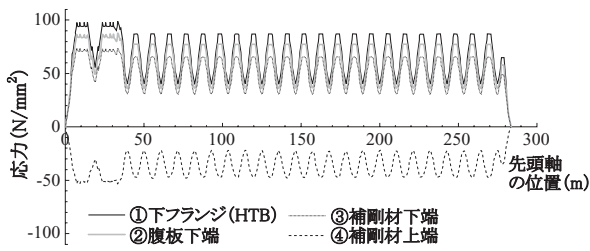


図10 縦桁支間中央における照査部位の変動応力

表4 応力範囲の頻度解析結果 (N/mm²)

①下フランジ B等級	②腹板下端 C等級	③補剛材下端 E等級	④補剛材上端 E等級	回数
2.30	1.95	1.65	1.19	1
3.89	3.45	2.92	2.11	8
7.99	7.10	6.01	4.33	1
24.42	21.68	18.36	13.24	1
41.85	37.16	31.46	22.68	1
46.51	41.30	34.97	25.21	22
99.22	88.10	74.56	53.78	1

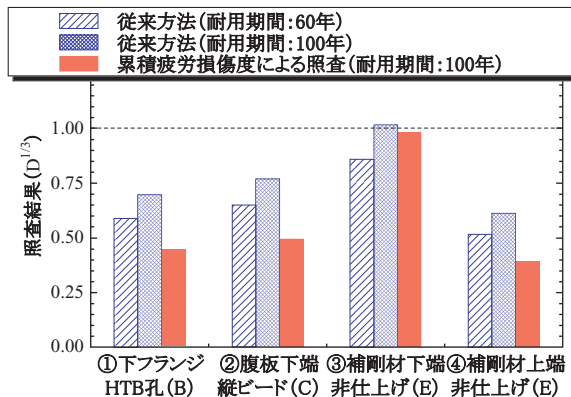


図11 照査結果

横桁間隔を支間とする連続縦桁として求めることが望ましいが、打ち切り限界の有無による照査結果を従来の照査方法と単純に比較するため、縦桁を単純桁の影響線を用いて解析し、変動応力を0.9倍している<sup>1)</sup>。

照査結果を図11に示す。図11には、従来の照査方法で照査した場合の設計耐用期間60年、および100年に対する結果も示している。なお、累積疲労損傷度で照査を行った場合、従来の最大応力範囲を用いた照査と次元が異なり、照査結果が3乗された値となるため、ここでは累積疲労損傷度による照査結果を1/3乗し、次元を統一して示している。

①下フランジのHTB孔、②ウェブ下端の縦すみ肉溶接、④補剛材上端の荷重非伝達溶接継手に対する照査では、従来の方法で設計耐用期間を60年として照査した場合よりも、累積疲労損傷度を用いた方法で設計耐用期間を100年として照査した方が、照査結果は小さいものとなっている。これは、表4に示すように、貨車の軸によって生じている22回の応力範囲が、全て打ち切り限界以下の応力範囲であり、累積疲労損傷度に計数されていないことによる。

本設計例は、従来の照査方法を用いて設計耐用期間60年を目安に設計された橋梁である。従来の照査方法では設計耐用年数を100年とした場合に、③補剛材下端において照査を満足しておらず、断面剛性を見直す必要が出てしまう。一方、今回提案した累積疲労損傷度による照査では、疲労に影響のない応力範囲を無視することで、そのままの設計でも設計耐用期間を100年とすることができ、より経済的であることが分かる。

なお、このように打ち切り限界を考慮した場合に照査結果が大きく変わるのには、設計対象の断面剛性や継手の強度等級区分にもよるが、E荷重の場合には支間が5m～15m程度、M荷重の場合には15m～30m程度の範囲である。これは3.2.2で述べたように、これ以上の支間では打ち切られる応力範囲が非常に小さく、応力範囲を打ち切った場合とそうでない場合でさほど影響がでないことが理由である。一方、上記の支間より短い場合は、殆どの応力範囲が打ち切り限界以上にあるためである。

## 5. まとめ

本稿では、繰返し数を考慮した疲労の照査における従来の照査方法の問題点を示した上で、今回改訂される設計標準で採用している累積疲労損傷度による照査方法を示した。累積疲労損傷度を算出することにより、打ち切り限界以下の応力範囲を無視した設計が可能であり、試験設計においてその経済性を示した。また、いかなる影響線形状や軸配置の列車も考慮することができるため、より精緻に照査を行うことも可能となっている。なお、今回の改訂は従来の照査方法の使用を妨げるものではなく、繰返し数を考慮した係数 $f_1$ を算定した条件と大きく異なる設計条件においては、従来の照査方法を用いてもよいことを付記しておく。

## 謝辞

本検討は、国土交通省からの委託を受けて実施した「鉄道技術基準整備のための調査研究」の一環として行ったものである。ここに記して謝意を表す。

## 文献

- 1) 国土交通省監修、鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物、2000
- 2) 社団法人日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説、技報堂出版、1993
- 3) 土木学会：鋼鉄道橋設計標準解説、1970
- 4) 小林裕介、杉本一朗：鋼橋の複線同時載荷確率を考慮した疲労照査法、鉄道総研報告、2009