

I. まえがき

鉄道橋では比較的設計荷重に近い荷重強度を持つ列車荷重が常時通過し、したがって大きな応力の変動を多数回受けるので、設計上も疲労強度に対する考慮が古くから注意深くはらわれてきており、応力が変動する場合の許容応力は200万回の繰り返しに対する疲労強度を目安に定められている。これは1列車について1回の載荷と考えて良ければ、1日100列車程度の列車回数ならば約50年の寿命を期待できる程度のものである。

しかし東海道新幹線のように電車だけが通る線路で、設計も電車荷重に対して行なわれる場合には、必ずしも1編成について1回の載荷と考えることが正しくなくなり、しかも1編成当りの疲労被害が、橋りょうの支間によつて左右されることが予想されるので、その関係を或る程度まで明らかにすることを目的として試算を試み、多少の結果を得たので報告する。

II. 計算上の仮定

現在、複雑な時間的変動をする応力波形に対して適確でしかも実用的な疲労寿命算定法が確立されているとはいひ難く、どの方法を採用したにしても結果には相当の誤差を覚悟しなければならない。したがってここでは表記の関係について目安を得ることに焦点を絞り、できるだけ単純化した仮定によつて検討を行ない、この研究の半1歩とすることにした。用いた仮定は次のとおりである。

1. S-N線図は両対数目盛方眼紙上の直線であらわされる。ここでは簡単のため、疲労限の存在は無視する。

2. 設計許容応力度は、ちょうど200万回繰返し疲労強度と一致するように定められているものとする。

3. 橋りょう上を列車が通過する場合の実応力波形は、単純計算によつて求められる波形と正しく一致し、応力の値も計算値と一致する。

4. この計算では衝撃率の影響を考えないが、最大応力度は完全に許容応力度と一致するものとする。

5. 疲労寿命には、応力波形の時間的な変動の速度は関係がない。

6. 疲労寿命を左右するものは応力振巾であつて、平均応力度の影響は無視して良い。

7. 複雑な波形を持つ変動応力は、白石の方法¹⁾によつて片振応力の頻度分布に換算して良い(図-1参照)。

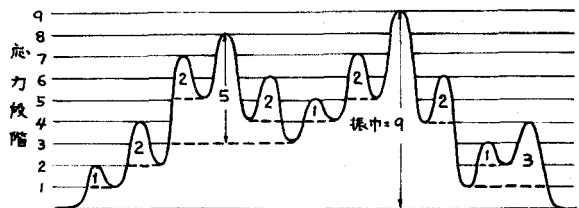


図-1 白石の方法による頻度の数え方

8. 片振の応力頻度分布が与えられた場合には、Minorの法則によつて疲労寿命が求められる。
9. 通過する列車はすべて同一の編成を持ち、軸重配置と軸配置はたがひにひとしい。
10. 列車速度の影響は、ここでは無視する。

III. 疲労寿命の計算方法

1. 応力波形の計算

列車が通過する場合の応力波形は、単位荷重による影響線に連行する集中荷重を適すことによつて得られるが、影響線が折れ線であらわされる場合には、求められる波形はそのどれかの折れ点にどの軸荷が一致した場合に折れ点の生じる折れ形状のものとなるべきであるから、計算はそのような折れ点のすべてを定めることに帰着する。これは最も原始的な方法であるが、この方法によれば必要なすべての極値を見失なうことがない。

2. 頻度分布への換算

前項で求めた波形の最初の折れ点の値を W_1 とし、 i 番目の折れ点の値を W_i とする。最初の W_1 と最後の W_m の値は必ずしもゼロであると考えて良い。この数列 W の順序を入れ替えることは許されないが、この中から極値でないものは不必要であるから、 W_{i-1} , W_i , W_{i+1} をくらべて W_i が中間値であれば取り除く。このようにしてでき上った数列 A は初めの値 A_1 と最後の値 A_m がゼロで、その間は一つおきに極大値と極小値の並んでいる数列になっている。これが1列車分の極値数列である。

一般には数列 A の中には負の値を持つ要素が含まれていると考えねばならず、この場合には A_1 と A_m は必ずしも相次いで通過する列車による応力波形をつなげた場合にも極値と見なせるかどうか判らない。そこで A を2つつなぎ合わせ、その中の最少値から出発して1週期分の数列をとり出してから A_1 と A_m が極値でなければ取り除き、さらに全要素にその最少値の絶対値を加えると、新しい数列 B が得られる。この数列の要素の数は必ずしも奇数であり、 B_1 と B_s がゼロであるほか、どの要素の値も負ではない。

この数列の中で、あるゼロなる要素 B_i とその次のゼロ B_r との間には、必ずしも少なくとも一つの最大値 B_k が存在する。この B_i と B_k , および B_k と B_r の間のそれぞれについて、もし他の要素が存在すればそれは一つ以上の極小値を含んでいるから、その間の総ての要素からその間の最少値を差し引くものとする。この過程を全数列に対して繰り返して実施すれば、数列 B は奇数番目がすべてゼロで偶数番目に正の値を持つ数列 C に変換される。この数列の偶数項が1列車分について換算した片振応力振をあらわす。

3. 疲労被害の算定

衆知のごとく、Minorの法則は $S-N$ 線図の1点 (S_i , N_i) に相当する応力 S_i の繰り返し数が n_i であるとし、発生したすべての応力について疲労被害を加え合わせ、

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = \sum n_i D_i = 1$$

となつたときに疲労破壊が生じるものとするのである。ここで S_i なる応力に対する1回の被害度 D_i は、 S_i なる応力の繰返しに対する被害度 D_0 との間に次の関係を持つ。

$$D_i = D_0 (S_i / S_0)^{1/k}$$

ここに(-K)がS-N線図の勾配をあらわす。

そこで第項で求めた数値Cの中の最大値に相当する振中の被害度を200万分の1とし、他の要素のおよぼす被害度はこれを基準にしてすべて上式で計算し、これをすべて加え合わせれば、これが1列車による疲労被害IDである。したがって疲労破壊を生じるまでに通過する列車数 N' は

$$N' = \frac{200 \times 10^4}{ID}$$

で与えられる。

なお最大応力度が疲労許容応力度のF倍であるものとするれば、その場合の寿命期間列車回数 N_F は

$$\log N_F = \log N' - \frac{1}{K} \log F$$

であたえられるから、支間と列車回数 N' の関係を対数方眼紙上に記しておけば、必要なFの値に対しては図上で平行に曲線を移動するだけで容易に換算ができる。

IV. 計算結果

1. 計算を行なった影響線

計算は単純支持の梁の中央点における曲げモーメントの影響線を対象にしたものと、同じ梁の4分の1点のせん断力について行なった。

2. 列車荷重

曲げモーメントについては次の4種類の列車について計算した。

- イ) 東海道新幹線設計用P荷重(12両編成)
- ロ) 東海道新幹線営業用旅客電車荷重(12両編成)
- ハ) 東海道新幹線設計用N荷重(30両編成)
- ニ) 試算用K-18荷重(重連のK-18荷重に、平均軸重が6 ton/mになるように軸を配置した1車長10 m 4軸の車両列30両が牽引された架空の列車)

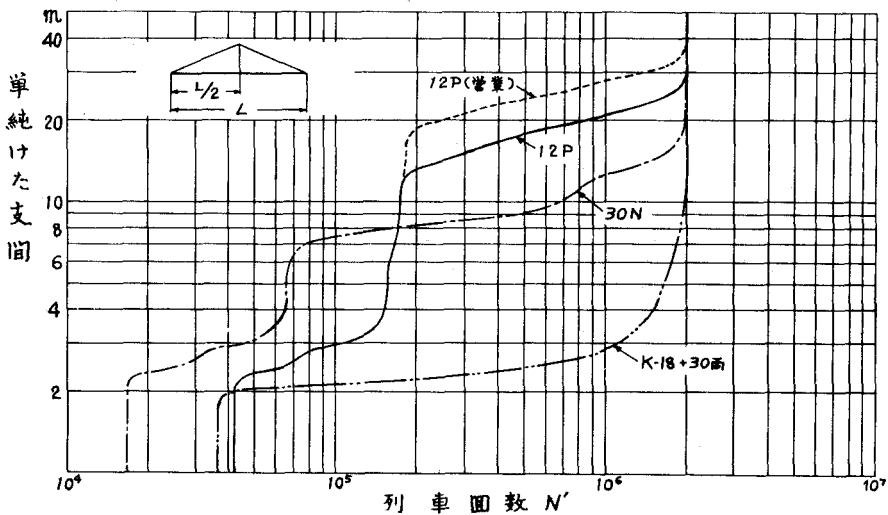


図-2 支間と寿命期間列車回数 N' の関係

3. 結果による所見

曲げモーメントに対する計算結果を図-2に例示した。この図から見出されることとしては、次のようなものが挙げられよう。

イ) 機関車荷重の場合には、単純けた支間が4mを越えれば後続車両の軸数が多くても、ほぼ1列車1回の繰り返しと考えるべく、支間が3mでもたまたま1列車2回以下の繰り返しにしか相当しない。
ロ) 電車荷重では、1車両長にそれと隣接する両側の車両の1ボギー分の2軸を両側に加えた長さにひとしいか、またはそれより長い支間を有する橋りように対しては1列車1回の荷重の繰り返しと見なして良い。このことは、疲労寿命に関する限り車体長さを長くすることが必ずしも有利でないことを意味するが、荷重が分散されることによる最大応力の低下と見做べて判断されなければならないであらう。

ハ) 電車荷重であつて、支間が4mより長く、最長軸距より短い橋りようでは、1ボギー群ごとに1回の荷重の繰り返しがおきるものと考えて大差が無い。

ニ) 列車荷重の種類に如何にかかわらず、支間が2m以下の橋りようでは1軸について1回の荷重の繰り返しがあるものと考えなければならない。

なお、せん断応力の影響線について計算した結果は上記の結果と多少相異し、曲げモーメントについて得られた結果より少ない列車回数を示した。

V. レールとまくら木の剛性による荷重配分の影響

レールの曲げ剛性はケタの曲げ剛性にくらべて小さく無視できるが、マクラ木の剛性が大きくないために軸重が数本のマクラ木に配分されることは良く知られている現象である。しかもに設計上はその影響を考えないで計算するのが普通であるから、荷重配分の影響だけでも実応力度は設計応力度よりも相当小さくなるのである。

そこで軸重が軸直下のマクラ木を含み5本のマクラ木に三角形状に分布するものと仮定して略算を行なつて見た結果によれば、その影響による応力減少にともなう寿命増加は支間が短いほど大きく1m前後では僅に100倍を超えることが知られた。したがつて前節(二)の結果にもかわらず、逆に極端に短い橋りよう(ケタ)の疲労寿命は、電車荷重の場合、中間程度の支間のものより遙かに長くなる。

VI. あとがき

ここでは極めて問題を単純化して扱つたため、寿命期間列車回数値は恐らく実際とはかなりかけ離れているものと思われる。とりわけ、この種の問題では必然的に取り扱わなければならない統計的な諸量をすべて無視しているが、この点については実橋に対する実測結果などを加味して今後補足しなければならないものと考えている。

1) 「材料の疲労に関するシンポジウム」 溶接学会, 1966年2月8日, p. 47