

付属資料 9 JR 社標準列車荷重に対する鋼材の引張疲労強度

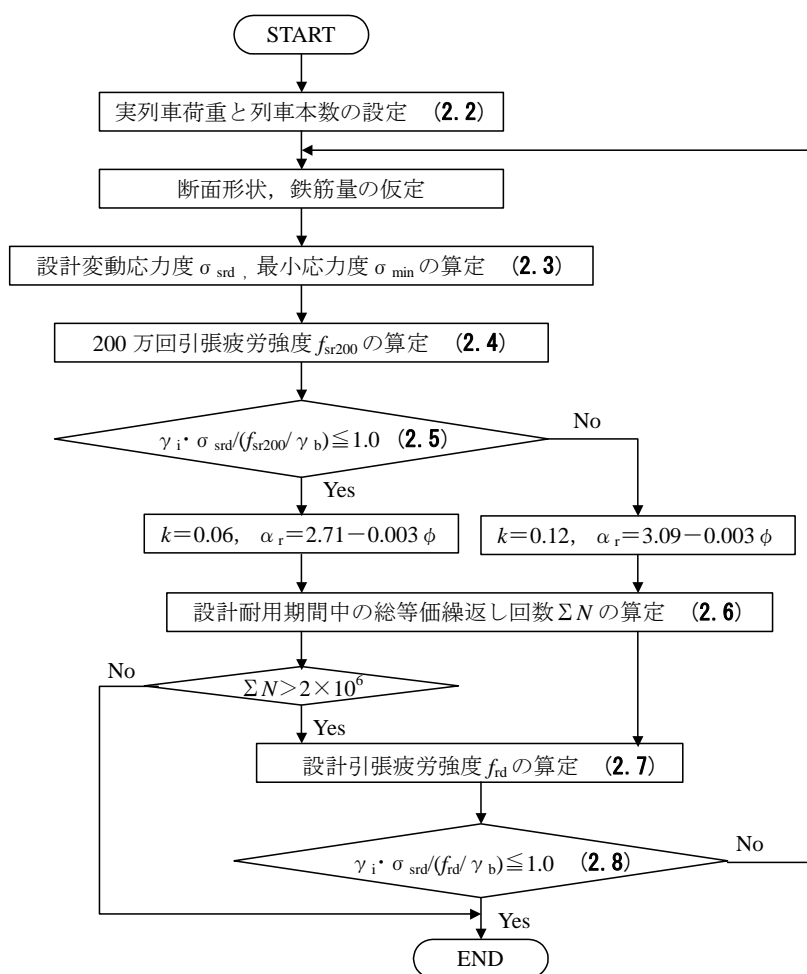
1. まえがき

本標準に従って、JR社標準列車荷重を用いて疲労破壊の照査を行う場合の、鋼材の引張疲労強度を算定する具体的な手法を示す。なお、本付属資料では、便宜的に現在のJR社の代表的な主力列車を実列車荷重として設定したものであるが、実列車荷重が本付属資料と著しく異なる場合は、別途、同様な方法で鋼材の引張疲労強度を算定する必要がある。

2. 疲労破壊の照査方法

2.1 照査の流れ

照査対象の鋼材が異形鉄筋の場合の照査手順を付属図9.1に示す。



付属図 9.1 疲労破壊の照査手順（异形鉄筋）

列車が鉄道構造物上を通過する際に発生する応力はランダムな応答波形となるため、直接、実構造物の照査にS-N線図を用いることはできない。S-N線図を用いて疲労破壊の照査を行うには、ランダムな応答波形を一定応力（断面力）振幅に対する繰返し回数に換算する必要がある。また、同一線区においても、種々の列車形態で運行されているため、照査に用いる標準列車荷重の影響に換算する必要がある。これらの数値計算は、極めて煩雑であるため、本付属資料は、この数値計算を事前に実施し、表として掲載し簡便に疲労破壊の照査を行えるようにしたものである。以下に、疲労破壊の照査方法を具体的に示す。

2.2 実列車荷重と列車本数の設定

一般線、電車専用線、新幹線に区分し、JR社の代表的な実列車荷重を付属表9.1に示すように設定した。新幹線については、軸重の小さい新幹線Ⅰと軸重の大きい新幹線Ⅱの2種類に区分することとした。設定した実列車荷重の軸重および軸配置を付属図9.2に示す。

それぞれ、A列車荷重、B列車荷重の1線・1日当たりの列車本数 j_A 、 j_B を設定する。

付属表 9.1 設定した実列車荷重および換算に用いる標準列車荷重

対象線区	実列車荷重の呼称	実列車の編成および乗車率	標準列車荷重
一般線	A列車荷重	旅客列車：10両編成（100%乗車）	E-17
	B列車荷重	貨物列車：機関車1両＋貨車24両編成（満載）	
電車専用線	A列車荷重	電車列車1：10両編成（100%乗車）	M-18
	B列車荷重	電車列車2：10両編成（250%乗車）	
新幹線Ⅰ	A列車荷重	新幹線列車1：16両編成（100%乗車）	H-16, P-17
	B列車荷重	新幹線列車2：16両編成（250%乗車）	
新幹線Ⅱ	A列車荷重	新幹線列車1：16両編成（100%乗車）	H-21, P-17
	B列車荷重	新幹線列車2：16両編成（250%乗車）	

2.3 設計変動応力度 σ_{srd} と最小応力度 σ_{min} の算定

標準列車荷重による鋼材の設計変動応力度 σ_{srd} および最小応力度 σ_{min} を、「6.3.2.2 疲労破壊の照査に関する構造解析」に示す算定方法により算定する。

鋼材の最小応力度 σ_{min} は、鋼材に生じる最小引張応力度または永久作用による設計応力度で、圧縮応力が生じる場合には一般に0とする。

2.4 疲労寿命 2×10^6 回の引張疲労強度の算定（異形鉄筋）

照査断面に配置した鉄筋の200万回疲労強度 f_{sr200} (N/mm²) を、式 (1) により求める。

$$f_{sr200} = r_1 \cdot \frac{10^{\alpha_r}}{(2 \times 10^6)^k} \cdot \left(1 - \frac{\sigma_{min}}{f_{suk}} \right) / \gamma_s \quad (1)$$

ここに、 $\alpha_r = 3.09 - 0.003 \phi$

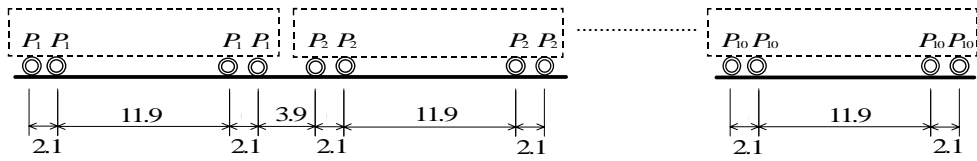
$k = 0.12$

σ_{min} : 鉄筋の最小応力度 (N/mm²)

f_{suk} : 鉄筋の引張強度の特性値 (N/mm²)

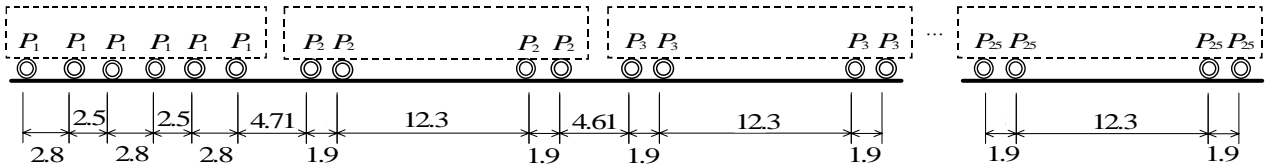
r_1 : 鉄筋の継手、曲げ加工による低減係数（圧接：0.7，曲げ加工：0.65）

γ_s : 鉄筋の材料係数で、一般に1.05としてよい。



旅客列車

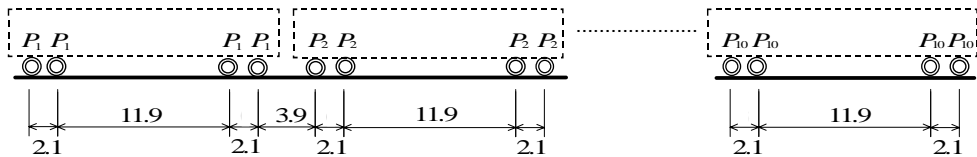
$P_1 = 102$ $P_2 = 126$ $P_3 = 126$ $P_4 = 102$ $P_5 = 102$
 $P_6 = 126$ $P_7 = 110$ $P_8 = 126$ $P_9 = 126$ $P_{10} = 102$



貨物列車

機関車 : $P_1 = 167$ 貨車 : $P_2 \sim P_{25} = 148$

(a) 一般線



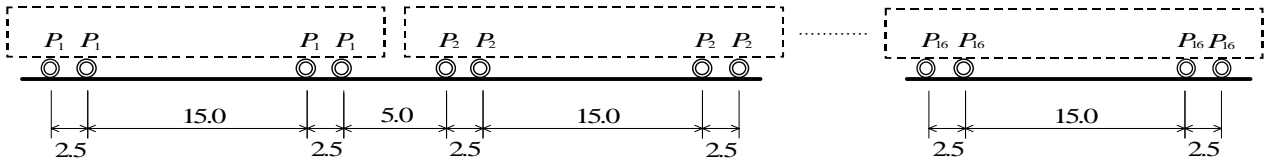
電車列車1 :

$P_1 = 102$ $P_2 = 126$ $P_3 = 126$ $P_4 = 102$ $P_5 = 102$
 $P_6 = 126$ $P_7 = 110$ $P_8 = 126$ $P_9 = 126$ $P_{10} = 102$

電車列車2 :

$P_1 = 133$ $P_2 = 159$ $P_3 = 159$ $P_4 = 133$ $P_5 = 133$
 $P_6 = 159$ $P_7 = 143$ $P_8 = 159$ $P_9 = 159$ $P_{10} = 133$

(b) 電車専用線



新幹線 I

新幹線列車1 :

$P_1 = 109$ $P_2 = 109$ $P_3 = 116$ $P_4 = 109$
 $P_5 = 109$ $P_6 = 116$ $P_7 = 116$ $P_8 = 109$
 $P_9 = 116$ $P_{10} = 109$ $P_{11} = 109$ $P_{12} = 116$
 $P_{13} = 116$ $P_{14} = 116$ $P_{15} = 116$ $P_{16} = 109$

新幹線列車2 :

$P_1 = 133$ $P_2 = 133$ $P_3 = 139$ $P_4 = 133$
 $P_5 = 133$ $P_6 = 139$ $P_7 = 139$ $P_8 = 133$
 $P_9 = 139$ $P_{10} = 133$ $P_{11} = 133$ $P_{12} = 139$
 $P_{13} = 139$ $P_{14} = 139$ $P_{15} = 139$ $P_{16} = 133$

新幹線 II

新幹線列車1 :

$P_1 = 145$ $P_2 = 151$ $P_3 = 160$ $P_4 = 145$
 $P_5 = 145$ $P_6 = 151$ $P_7 = 160$ $P_8 = 151$
 $P_9 = 145$ $P_{10} = 151$ $P_{11} = 160$ $P_{12} = 145$
 $P_{13} = 145$ $P_{14} = 151$ $P_{15} = 160$ $P_{16} = 151$

新幹線列車2 :

$P_1 = 172$ $P_2 = 181$ $P_3 = 188$ $P_4 = 172$
 $P_5 = 172$ $P_6 = 181$ $P_7 = 188$ $P_8 = 181$
 $P_9 = 172$ $P_{10} = 181$ $P_{11} = 188$ $P_{12} = 172$
 $P_{13} = 172$ $P_{14} = 181$ $P_{15} = 188$ $P_{16} = 181$

(c) 新幹線

付属図 9.2 実列車荷重の軸配置 (m) と軸重 (kN)

2.5 S-N線図の係数選択

照査対象の鋼材が異形鉄筋の場合、 σ_{srd} と f_{sr200} の大小関係により、S-N線図の係数を付属表9.2に従い選択する。すなわち、

- ① $\gamma_i \cdot \sigma_{srd}$ が f_{sr200}/γ_b を超える場合は $k=0.12$ 、 $\alpha_r = 3.09 - 0.003\phi$ とし、付属表の $k=0.12$ の値を用いる。
 - ② $\gamma_i \cdot \sigma_{srd}$ が f_{sr200}/γ_b を超えない場合は $k=0.06$ 、 $\alpha_r = 2.71 - 0.003\phi$ とし、付属表の $k=0.06$ の値を用いる。
- 照査対象の鋼材がPC鋼線またはPC鋼より線の場合は、付属表9.2に示した値を用いる。

付属表 9.2 S-N線のパラメーターの設定

S-N線 パラメーター	異形鉄筋		PC鋼線 PC鋼より線
	$\gamma_i \cdot \sigma_{srd}/(f_{sr200}/\gamma_b) \leq 1.0$	$\gamma_i \cdot \sigma_{srd}/(f_{sr200}/\gamma_b) > 1.0$	
α_r	$2.71 - 0.003\phi$	$3.09 - 0.003\phi$	3.6
k	0.06	0.12	0.19

注) ϕ : 照査の対象とする鉄筋の直径 (mm)

σ_{srd} : 鉄筋の設計変動応力度 (N/mm²)

f_{sr200} : 式 (1) で求めた鉄筋の200万回疲労強度 (N/mm²)

2.6 総等価繰返し回数の算定

標準列車荷重換算の総等価繰返し回数 ΣN を式 (2) により算定する。

ここで、式 (2) の計算に必要な N_A 、 N_B および S_A/S_C 、 S_B/S_C は、付属表9.3に示す部材の構造条件等に対して「2.2 実列車荷重と列車本数の設定」により設定した実列車荷重に基づき算定した値を付属表9.4～9.7に示す。なお、表に示されていないスパンに対する各々の値は、直線補間により求めてよい。また、表中の N_A 、 N_B については計算に用いたS-N線の勾配 k の数値別に示してあり、総等価繰返し回数の計算にあたっては「2.5 S-N線図の係数選択」により定めた k に対応した N_A 、 N_B を用いることとする。

$$\Sigma N = 365 \cdot T \cdot j_A \cdot N_A \cdot \left(\frac{S_A}{S_C} \right)^{1/k} + 365 \cdot T \cdot j_B \cdot N_B \cdot \left(\frac{S_B}{S_C} \right)^{1/k} \quad (2)$$

ここに、 T : 設計耐用期間 (年)

S_A/S_C : A列車荷重と標準列車荷重の最大変動断面力比 (付属表による)

S_B/S_C : B列車荷重と標準列車荷重の最大変動断面力比 (付属表による)

S_A 、 S_B : 実列車荷重 (A列車荷重、B列車荷重) による最大変動断面力

S_C : 標準列車荷重による最大変動断面力

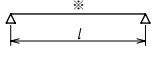
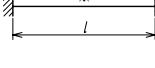
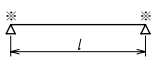
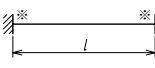
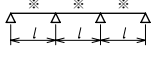
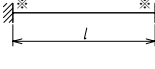
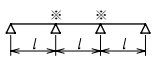
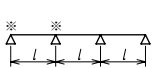
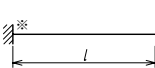
N_A 、 N_B : S_A 、 S_B に対する列車1編成当たりの等価繰返し回数 (回)

j_A 、 j_B : 実列車の1線・1日当たりの本数 (本/日)

k : S-N線図の勾配で、「2.5 S-N線図の係数選択」で定めた値とする。

なお、異形鉄筋の場合で「2.5 S-N線図の係数選択」において $k=0.06$ が選択され、かつ標準列車荷重換算の総等価繰返し回数 ΣN が 2×10^6 回以下となった場合は、以下の照査を省略してよい。

付属表 9.3 部材の構造形式とスパン，断面力の種別と着目点

部材の構造形式	スパン	断面力	着目点	備考	部材の構造形式	スパン	断面力	着目点	備考
単純梁	1~50m	曲げモーメント	スパン中央		両端固定梁	2~15m	曲げモーメント	スパン中央	
		せん断力	支点				せん断力	支点	
ラーメン構造梁	5~30m	曲げモーメント	スパン中央		片持梁	1~10m	せん断力	支点	
			支点					曲げモーメント	支点
		せん断力	支点				せん断力	支点	

注) ※印は着目点を示す。

2.7 設計引張疲労強度の算出

鋼材の設計引張疲労強度 f_{rd} を式 (3) により求める。

$$f_{rd} = r_1 \cdot r_2 \cdot \frac{10^{\alpha_r}}{N^k} \cdot \left(1 - \frac{\sigma_{\min}}{f_{uk}} \right) / \gamma_s \quad (3)$$

ここに、 f_{rd} : 鋼材の設計引張疲労強度 (N/mm²)

α_r, k : 「2.5 S-N線図の係数選択」で定めた値とする。

N : 式 (2) で求めた標準列車荷重換算の総等価繰返し回数 ΣN (回)

σ_{\min} : 鋼材の最小引張応力度 (N/mm²) で、圧縮応力が生じる場合には一般に0とする。

f_{uk} : 鋼材の引張強度の特性値 (N/mm²)

r_1 : 鉄筋の継手，曲げ加工による低減係数 (圧接 : 0.7, 曲げ加工 : 0.65)

r_2 : 複線を支持する部材における荷重負担比による補正係数

$$r_2 = \left(\frac{1}{a^{1/k} + (1-a)^{1/k}} \right)^k \quad (4)$$

a : 当該部材の [1線荷重による最大断面力] / [複線荷重による最大断面力]

なお、複線を支持する部材において列車が同時に荷重する確率が大きい場合には、式 (4) の代わりに式 (5) を用いるのがよい。

$$r_2 = \left[\frac{1}{\{a^{1/k} + (1-a)^{1/k}\} \cdot (1-b) + b} \right]^k \quad (5)$$

b : 複線を支持する部材において列車が同時に荷重する確率

γ_s : 鋼材の材料係数で、一般に1.05としてよい。

2.8 疲労破壊の照査

「7.3.2 曲げモーメント」または「7.3.3 せん断力」により疲労破壊の照査を行う。ただし、複線を支持する部材の場合、設計変動断面力は複線載荷時の値とし、衝撃も考慮して求める。この場合、設計衝撃係数は破壊に関する安全性の照査に用いる値の3/4としてよい。

文 献

- 1) 鎌田卓司，曾我部正道，谷村幸裕，吉田幸司，渡邊忠朋，佐藤 勉：高繰返し領域での疲労照査法に関する研究，鉄道総研報告，Vol.18，No.1，p.13～18，2004.1.
- 2) 石橋忠良，大坪正行，青木桂一：コンクリート構造物の疲労設計，構造物設計資料 No.70，p.3～8，1982.6，同 No.71，p.20～26，1982.9.