

材料強度設計No.11

知能機械システム工学科

坂本東男

Sakamoto.haruo@kochi-tech.ac.jp

教員室A429、TEL:0887-57-2317

研究室A213、TEL:57-2243

講義内容(No.11)-設計規格

- 1 .鉄道車両用車軸の規格-JIS E-4501
- 2 .鉄道車両用台車枠の規格JIS E-4207
- 3 .鋼構造物の疲労設計指針
-日本鋼構造協会

JIS E4501 (鉄道車両用車軸)

日本工業規格

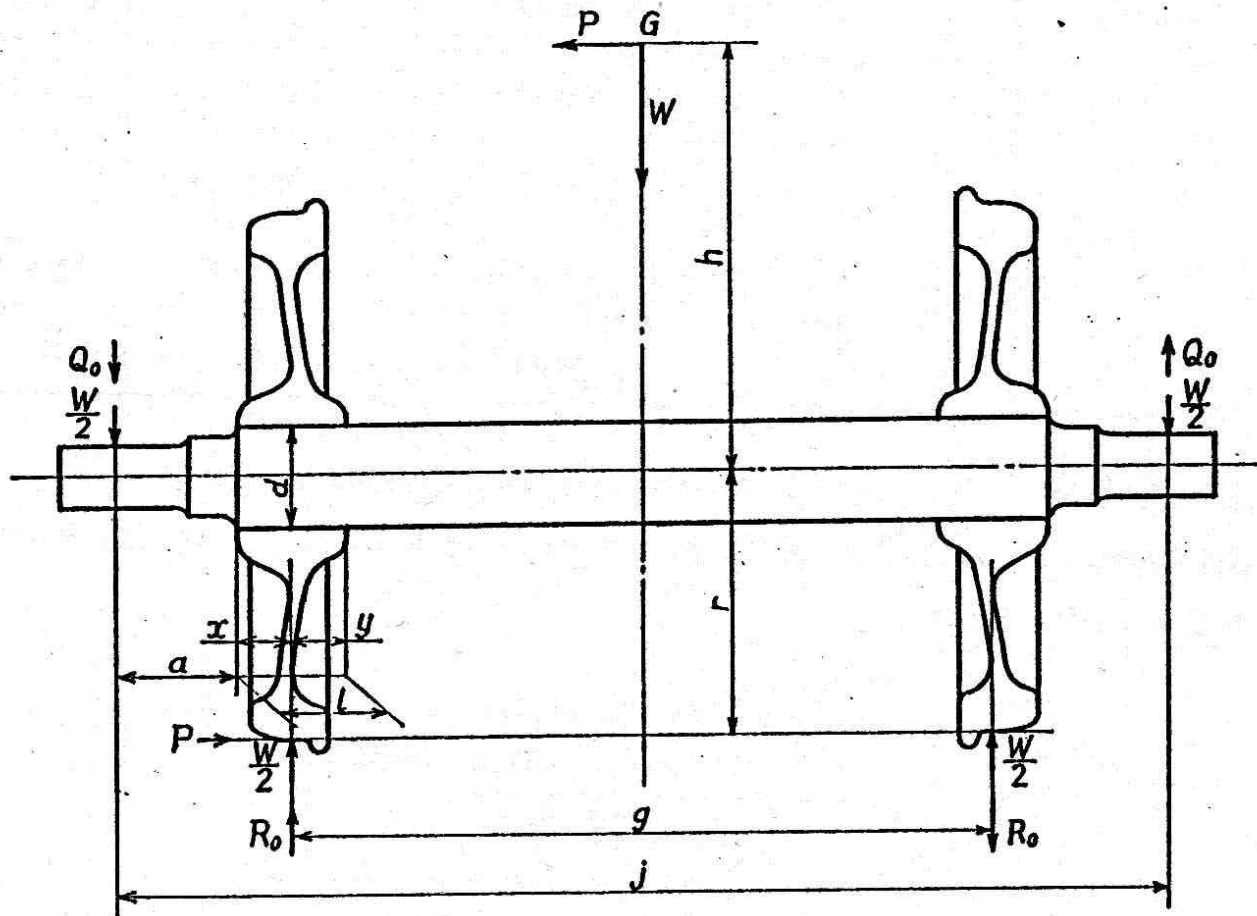
JIS

鉄道車両用車軸の強度設計方法

E 4501-1996

Strength Design Methods of Axles for Railway Rolling Stock

車軸への荷重



備考 図中の記号は、表1と対応する。

モーメントと応力

$$M_1 = \frac{j - g}{4} W \dots\dots\dots$$

$$M_2 = \alpha_V \cdot M_1 \dots\dots\dots$$

$$M_3 = P \cdot r + Q_0(\alpha + l) - R_0 \cdot y \dots\dots\dots$$

$$\sigma_b = \frac{m(M_1 + M_2 + M_3)}{Z} \dots\dots\dots$$

$$n = \frac{\sigma_{Wb}}{\sigma_b} \dots\dots\dots$$

記号続き

ただし、 $Q_0 = \frac{h}{j} P$

$$R_0 = \frac{h+r}{g} P$$

$$P = \alpha_L \cdot W$$

$$y = \alpha + l - \frac{j-g}{2}$$

$$l = x + y$$

上下、左右の付加割合

表 2 上下付加力及び水平力の一軸上の重量に対する割合

鉄道システム	適用区分	V km/h	α_V	α_L
システム 1	—	150 を超え 280 以下	$0.0027V$	$0.030+0.00085V$
システム 2	A	60 を超え 130 以下	$0.0027V$	$0.040+0.0012V$
		60 以下	0.16	0.11
	B	60 を超え 130 以下	$0.0052V$	$0.060+0.0018V$
		60 以下	0.31	0.17

車軸の疲労限度 (許容応力) 4 種が新幹線用車軸

表 3

単位 kgf/mm²{MPa}

車軸の種類	σ_{wb}
1 種	10.0 {98.1}
2 種	10.5 {103}
3 種	11.0 {108}
4 種	15.0 {147}

記号の意味

量記号	量記号の意味	単位
a	ジャーナル中心から車輪ボス外側端面までの距離	mm
d	輪座径	mm
g	車輪踏面間距離	mm
h	車輪中心線から車両重心までの高さ	mm
j	ジャーナル中心間距離	mm
l	車輪ボスの長さ	mm
r	車輪踏面半径	mm
Z	輪座断面係数	mm ³
P	水平力	kgf {N}
Q_0	水平力によってジャーナル上加わる垂直力	kgf {N}
R_0	水平力によって踏面上に加わる垂直力	kgf {N}
W	一軸上の重量	kgf {N}

記号の意味 (続き)

W	一軸上の重量	kgf {N}
M_1	一軸上の重量によって輪座に生じる曲げモーメント	kgf・mm {mN・m}
M_2	上下付加力によって輪座に加わる曲げモーメント	kgf・mm {mN・m}
M_3	水平力によって輪座ボス内側に生じる曲げモーメント	kgf・mm {mN・m}
σ_b	車輪ボス内側の輪座に生じる応力	kgf/mm ² {MPa}
σ_{wb}	輪座の疲れに対する許容応力	kgf/mm ² {MPa}
α_L	水平力の一軸上の重量に対する割合	—
α_V	上下振動加速度による上下付加力の一軸上の重量に対する割合	—
m	車軸の用途による応力の割増係数	—
n	疲れ安全率	—
G	車両重心	—
V	使用最高速度	km/h

JIS E4207-鉄道車両用台車枠

日本工業規格

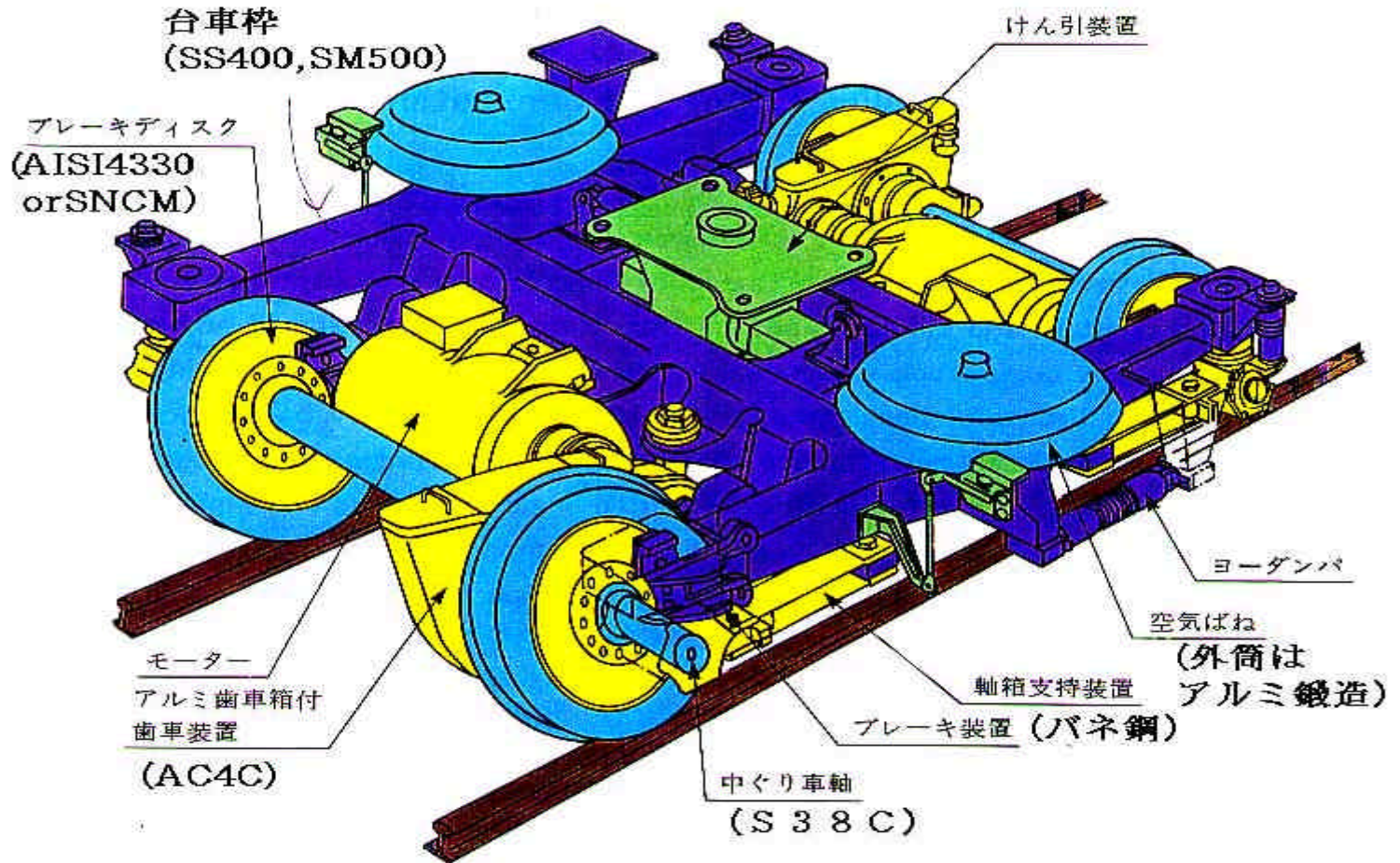
JIS

鉄道車両用台車枠の設計通則

E 4207-1981

General Rules for Design of Truck Frames
for Railway Rolling Stock

台車の一例



第1図 一台車構造

荷重 (静的荷重)

3.1 負荷荷重条件 負荷荷重条件は、次による。

(1) 静荷重 静荷重は、車両が停止した状態で台車枠にかかる荷重とし、式(1)による。

$$W = W_1 + W_2 + W_3 \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 W : 台車枠にかかる静荷重 (kgf) [N]

W_1 : 1台車が負担する車体の質量による荷重 (kgf) [N]

W_2 : 1台車が負担する表1の積載質量による荷重 (kgf) [N]

W_3 : 台車枠及び台車枠部品の質量による荷重 (kgf) [N]

積載質量

表 1 積載質量

区 分		摘 要
旅客車		乗客 ⁽¹⁾ 、乗務員、水、燃料、砂、蓄電池、食料（食堂車）、荷物（荷物車）
機関車		乗務員、水、燃料、砂、蓄電池、荷物
貨物車	一般貨物車	貨物 ⁽²⁾
	タンク車	積載物 ⁽³⁾

注 (1) 定員質量の1倍から3倍までの間の質量

(2) 最大質量の1.1倍の質量

(3) 最大質量

動的荷重 (付加荷重)

表 2 動荷重

区分	種類	荷重	摘要(例)	
上下方向	静荷重の上下振動による荷重	$(0.2 \sim 0.5) \times W^{(1)}$	—	
	取付部品の振動による荷重	側ばり取付部品	$(1 \sim 2) \times L_p^{(2)}$	ブレーキ部品
		横ばり取付部品	$(3 \sim 5) \times L_p^{(2)}$	主電動機, 駆動装置
		端ばり取付部品	$(5 \sim 10) \times L_p^{(2)}$	ブレーキ部品, 排障器
	駆動による荷重	$(0.2 \sim 0.4) \times L_a^{(3)}$	—	
制動による荷重	$p^{(4)} \times f^{(5)}$	—		
左右方向	左右振動による荷重, 遠心力による荷重	$(0.2 \sim 0.3) \times W^{(1)}$	—	
	取付部品の振動による荷重	$(2 \sim 4) \times L_p^{(2)}$	主電動機, ブレーキ部品	
前後方向	前後振動による荷重, けん引力による荷重	$(0.2 \sim 0.4) \times W^{(1)}$	—	
	取付部品の振動による荷重	$(1 \sim 3) \times L_p^{(2)}$	主電動機, ブレーキ部品	
	制動による荷重	$p^{(4)}$	—	
ねじり	カントの低減などによるねじり荷重	1台車の対角車輪位置で, 水平に対する変位を10~15mmとした場合の静荷重によるねじり荷重	—	

- 注 (1) 台車枠にかかる静荷重
 (2) 取付部品の質量による荷重
 (3) 軸重
 (4) 制輪子押付力
 (5) 制輪子と車輪踏面, ブレーキディスクとの摩擦係数

応力の算出

(b) 変動応力 変動応力は、動荷重による応力を合成したものとし、式(2)による。

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \dots + \sigma_n^2} \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 σ_a : 変動応力 (kgf/mm²) (MPa)

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_n$: 動荷重の、種類ごとの計算応力 (kgf/mm²) (MPa)

ただし、片振りとなる動荷重による応力は、その $\frac{1}{2}$ の応力を用いて合成し、式(3)による。

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \dots + \left(\frac{a_1}{2}\right)^2 + \dots + a_n^2} \dots\dots\dots(3)$$

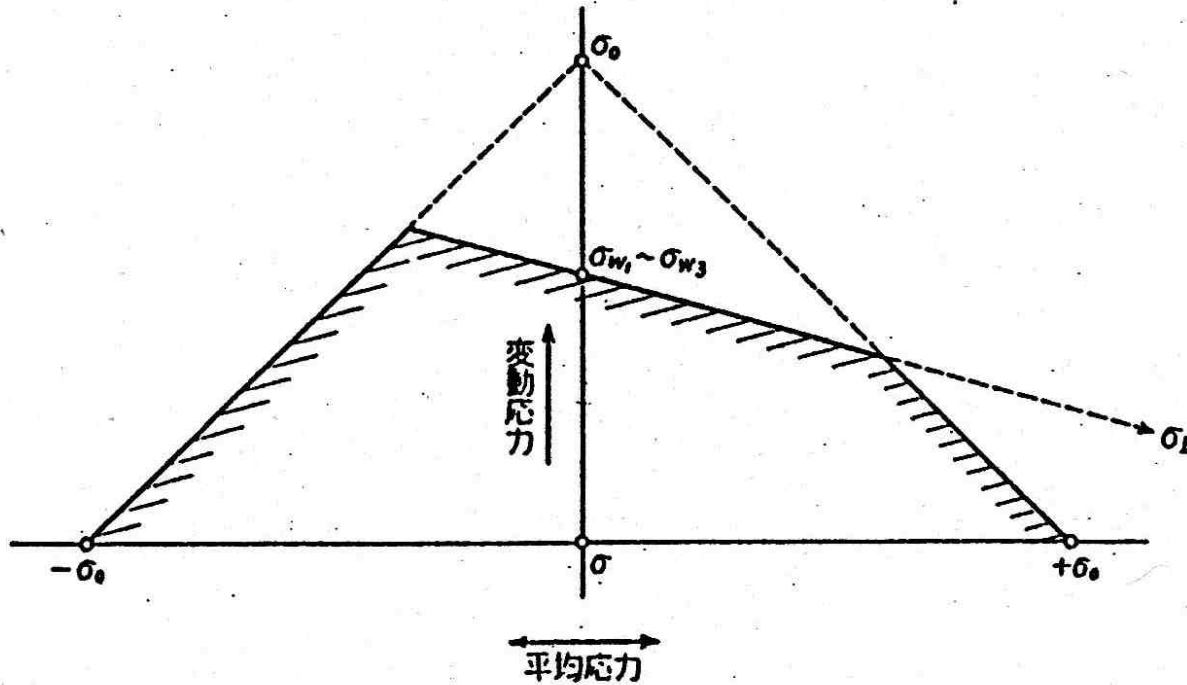
ここに、 σ_a : 変動応力 (kgf/mm²) (MPa)

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_n$: 動荷重の種類ごとの計算応力 (kgf/mm²) (MPa)

a_1 : 片振りとなる動荷重による計算応力 (kgf/mm²) (MPa)

応力限界図

図 1 応力限界図



ここに、 σ_B ：材料の引張強さ (kgf/mm²) [MPa]

σ_0 ：材料の降伏に対する許容応力 (kgf/mm²) [MPa]

$\sigma_{w1} \sim \sigma_{w3}$ ：疲れ許容応力 (kgf/mm²) [MPa]

主な材料の引張強さ (σ_B)、降伏点 (σ_S) 及び 疲れ許容応力 ($\sigma_{w1} \sim \sigma_{w3}$) は、表 3 による。

許容応力

表 3 主な材料の引張強さ、降伏点及び疲れ許容応力

単位 kgf/mm²(MPa)

区 分		材料の種類	JIS G 3101 の SS 41	JIS G 3106 の SM 41	JIS G 3114 の SMA 50
		材料の引張強さ (σ_B)			41 (402)
材料の降伏点 (σ_S)			24 (235)		36 (353)
材料の降伏に対する許容応力 (σ_a)			21 (206)		31 (304)
疲れ許容 応 力	材 料 (σ_{W1})		14 (137)		16 (157)
	溶接部	仕上げない場合 (σ_{W2})	7 (69)		
		仕上げる場合 (σ_{W3})	11 (108)		

鋼構造物の疲労設計指針

鋼構造物の疲労設計指針・同解説

指針・解説 / 設計例 / 資料編

[社] 日本鋼構造協会 編

継ぎ手の種類

表 4.4 継手の強度等級分類

継 手 の 種 類		強度等級 ($\Delta\sigma_f$)	備 考
1. 帯 板	(1) 表面および端面, 機械仕上げ(あらし 50 s 以下)	A (190)	
	(2) 黒皮付き, ガス切断線(あらし 100 s 以下)	B (155)	
	(3) 黒皮付き, ガス切断線(著しい条痕は除去)	C (125)	
2. 形 鋼	(1) 黒皮付き	B (155)	
	(2) 黒皮付き, ガス切断線(あらし 100 s 以下)	B (155)	
	(3) 黒皮付き, ガス切断線(著しい条痕は除去)	C (125)	
3. シームレス管	B (155)		
4. 円孔を有する母材 (純断面応力, 実断面応力)	C (125)		
5. フィレット付きの切抜きガセットを有する母材	(1) $1/5 \leq r/d$ 切断面のあらし 50 s 以下	B (155)	
	(2) $1/10 \leq r/d < 1/5$ 切断面のあらし 50 s 以下	C (125)	
	(3) $1/5 \leq r/d$ 切断面のあらし 100 s 以下	C (125)	
	(4) $1/10 \leq r/d < 1/5$ 切断面のあらし 100 s 以下	D (100)	
6. 高力ボルト摩擦接合継手の母材 (総断面応力)	(1) $1 \leq n_b \leq 4$	B (155)	
	(2) $5 \leq n_b \leq 15$	C (125)	
	(3) $16 \leq n_b$	D (100)	
7. 高力ボルト支圧接合継手の母材 ($n_b \leq 4$, 純断面応力)	B (155)		
8. 検算対象方向の応力を伝えない高力ボルト締め孔を有する母材 (純断面応力)	B (155)		

n_b : 応力方向のボルト本数
 ※(4, 6, 7, 8) 孔を押抜きせん断で加工した場合には強度等級を1ランク下げる。

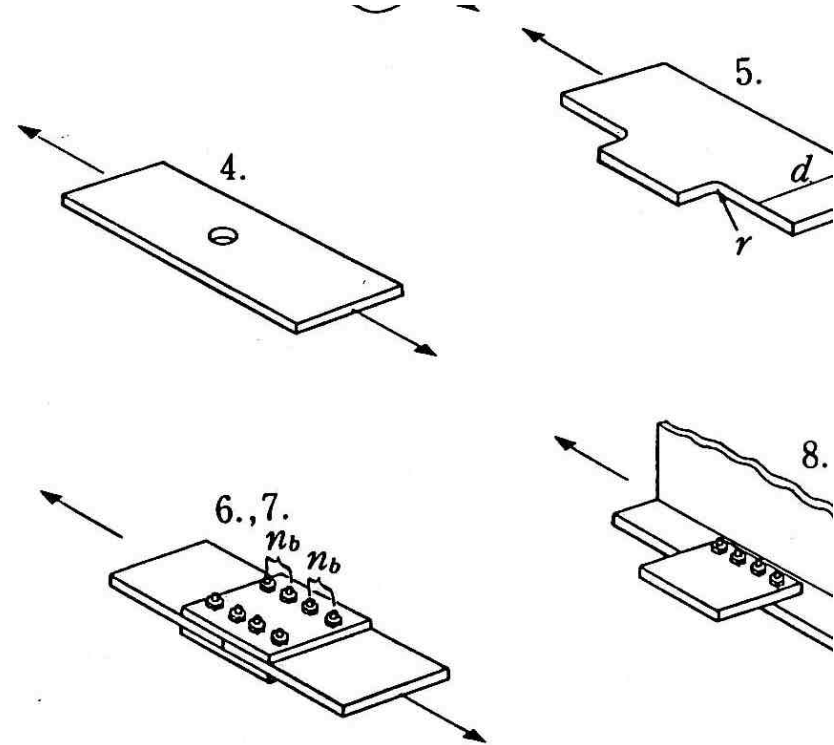
継ぎ手の種類 (拡大)

(a) 非溶接継手

継 手 の 種 類		強度等級 ($\Delta\sigma_f$)	備
1. 帯	板	(1) 表面および端面, 機械仕上げ(あかさ 50 s 以下)	
		(2) 黒皮付き, ガス切断縁(あかさ 100 s 以下)	
		(3) 黒皮付き, ガス切断縁(著しい条痕は除去)	
2. 形	鋼	(1) 黒皮付き	
		(2) 黒皮付き, ガス切断縁(あかさ 100 s 以下)	
		(3) 黒皮付き, ガス切断縁(著しい条痕は除去)	
3. シームレス管		B (155)	
4. 円孔を有する母材 (純断面応力, 実断面応力)		C (125)	

継ぎ手の種類 (拡大) 続き

5. フィレット付きの切抜きガセットを有する母材	(1) $1/5 \leq r/d$ 切断面のあらさ 50 s 以下	B (155)
	(2) $1/10 \leq r/d < 1/5$ 切断面のあらさ 50 s 以下	C (125)
	(3) $1/5 \leq r/d$ 切断面のあらさ 100 s 以下	C (125)
	(4) $1/10 \leq r/d < 1/5$ 切断面のあらさ 100 s 以下	D (100)
6. 高力ボルト摩擦接合継手の母材 (総断面応力)	(1) $1 \leq n_b \leq 4$	B (155)
	(2) $5 \leq n_b \leq 15$	C (125)
	(3) $16 \leq n_b$	D (100)
7. 高力ボルト支圧接合継手の母材 ($n_b \leq 4$, 純断面応力)		B (155)
8. 検算対象方向の応力を伝えない高力ボルト締め孔を有する母材 (純断面応力)		B (155)

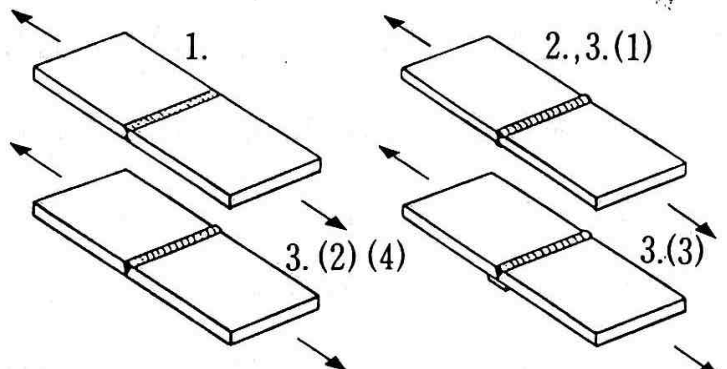


n_b : 応力方向のボルト本数

※(4, 6, 7, 8) 孔を押抜きせん断で加工した場合には強
を1ランク下げる。

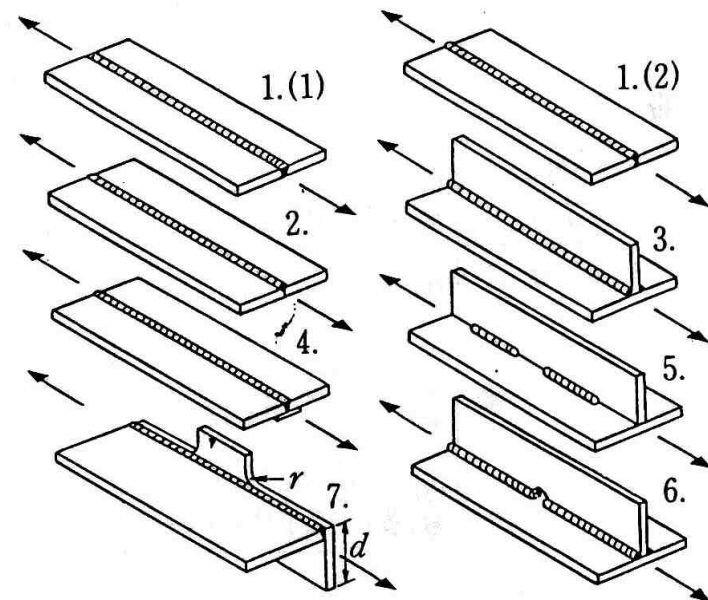
継ぎ手の種類 (拡大) 続き

(b) 横突合せ溶接継手

継手の種類		強度等級 ($\Delta\sigma_f$)	備考
1. 余盛削除した継手		B (155)	 <p>※ 完全溶込み溶接で、溶接部が健全であることを前提とする。 ※ 継手部にテーパが付く場合には、その勾配を1/5以下とする。 ※ 深さ0.5 mm以上のアンダーカットは除去する。 ※ (1., 2.)仕上げはアンダーカットが残らないように行う。仕上げの方向は応力の方向と平行とする。</p>
2. 止端仕上げした継手		C (125)	
3. 非仕上げ継手	(1) 両面溶接	D (100)	
	(2) 良好な形状の裏波を有する片面溶接	D (100)	
	(3) 裏当て金付き片面溶接	F (65)	
	(4) 裏面の形状を確かめることのできない片面溶接	F (65)	

継ぎ手の種類 (拡大) 続き

(c) 縦方向溶接継手

継 手 の 種 類		強度等級 ($\Delta\sigma_f$)	備 考
1. 完全溶込み溶接継手 (溶接部が健全であることを前提とする)	(1) 余盛削除	B (155)	 <p>※ (1.(2), 2., 3.) 棒継ぎにより生じたビード表面の著しい凸凹は除去する。 ※ (2., 3.)内在する欠陥(ブローホールなどの丸味を帯びたもの)の幅が1.5 mm, 高さが4 mmを超えないことが確かめられた場合には, 強度等級をCとすることができる。</p>
	(2) 非仕上げ	C (125)	
2. 部分溶込み溶接継手		D (100)	
3. すみ肉溶接継手		D (100)	
4. 裏当て金付き溶接継手		E (80)	
5. 断続する溶接継手		E (80)	
6. スカラップを含む溶接継手		G (50)	
7. 切抜きガセットの フィレット部に接する溶接	(1) $1/5 \leq r/d$	D (100)	
	(2) $1/10 \leq r/d < 1/5$	E (80)	

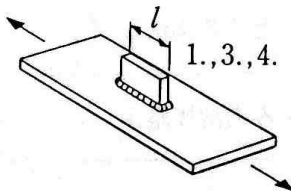
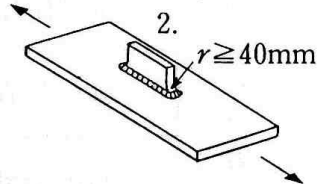
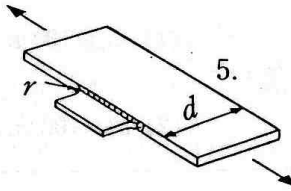
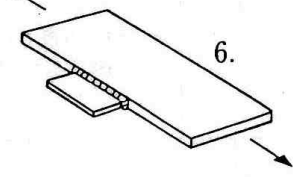
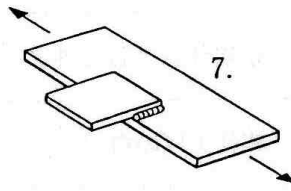
継ぎ手の種類 (拡大) 続き

(d) 十字溶接継手

継手の種類		強度等級 ($\Delta\sigma_f$)	備考
荷重非伝達型	1. 滑らかな止端を有するすみ肉溶接継手	D (100)	
	2. 止端仕上げしたすみ肉溶接継手	D (100)	
	3. 非仕上げのすみ肉溶接継手	E (80)	
	4. 溶接の始終点を含むすみ肉溶接継手	E (80)	
	5. 中空断面部材をすみ肉溶接した継手	(1) $d_0 \leq 100$ mm F (65) (2) $d_0 > 100$ mm G (50)	
荷重	6. 完全溶込み溶接	(1) 滑らかな止端を有する継手	D (100)
		(2) 止端仕上げした継手	D (100)
		(3) 非仕上げの継手	E (80)
		(4) 中空断面部材(片面溶接)	F (65)

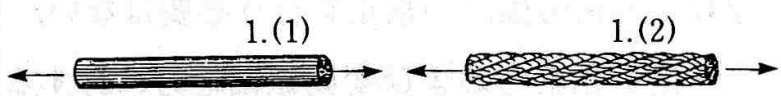
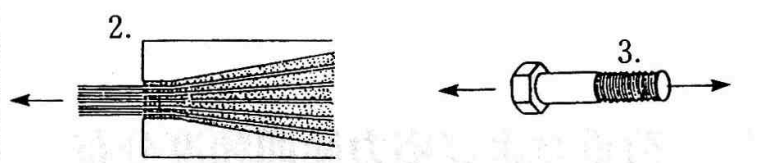
継ぎ手の種類 (拡大) 続き

(e) ガセット溶接継手 (付加板を溶接した継手を含む)

継手の種類		強度等級 ($\Delta\sigma_f$)	備考		
面外ガセット	1. ガセットをすみ肉あるいは開先溶接した継手 ($l \leq 100$ mm)	(1) 止端仕上げ	E (80)	 	
		(2) 非仕上げ	F (65)		
	2. フィレットを有するガセットを開先溶接した継手 (フィレット部仕上げ)	E (80)			
	3. ガセットをすみ肉溶接した継手 ($l > 100$ mm)	G (50)			
	4. ガセットを開先溶接した継手 ($l > 100$ mm)	(1) 止端仕上げ	F (65)		 
		(2) 非仕上げ	G (50)		
面内ガセット	5. フィレットを有するガセットを開先溶接した継手 (フィレット部仕上げ)	(1) $1/3 \leq r/d$	D (100)		
		(2) $1/5 \leq r/d < 1/3$	E (80)		
		(3) $1/10 \leq r/d < 1/5$	F (65)		
	6. ガセットを開先溶接した継手	(1) 止端仕上げ	G (50)		
(2) 非仕上げ		H (40)			
7. 重ねガセット継手の母材		H (40)	<p>※ (1.(1), 2., 4.(1), 5., 6.(1)) 仕上げはアンダーカットが残らないように行う。グラインダーで仕上げる場合には仕上げの方向を応力の方向と平行とする。</p> <p>※ (1.(2), 3., 4.(2), 6.(2), 7.) 深さ 0.5 mm 以上のアンダーカットは除去する。</p>		

ケーブルおよび高力ボルト

(g) ケーブルおよび高力ボルト

継手の種類		強度等級 ($\Delta\sigma_f$)	備考
1. ケーブル本体	(1) 平行線	K 1 (270)	
	(2) ロープ	K 2 (200)	
2. ケーブル定着部	(1) 平行線新定着法	K 1 (270)	
	(2) 平行線亜鉛鋳込み	K 2 (200)	
	(3) ロープ亜鉛鋳込み	K 3 (150)	
3. 高力ボルト	(1) 転造	K 4 (65)	<p>※ (2. (1)) 新定着法とはケーブル本体と同程度の疲労強度を有する定着部構造とする工法である。</p>
	(2) 切削	K 5 (50)	

疲労設計曲線

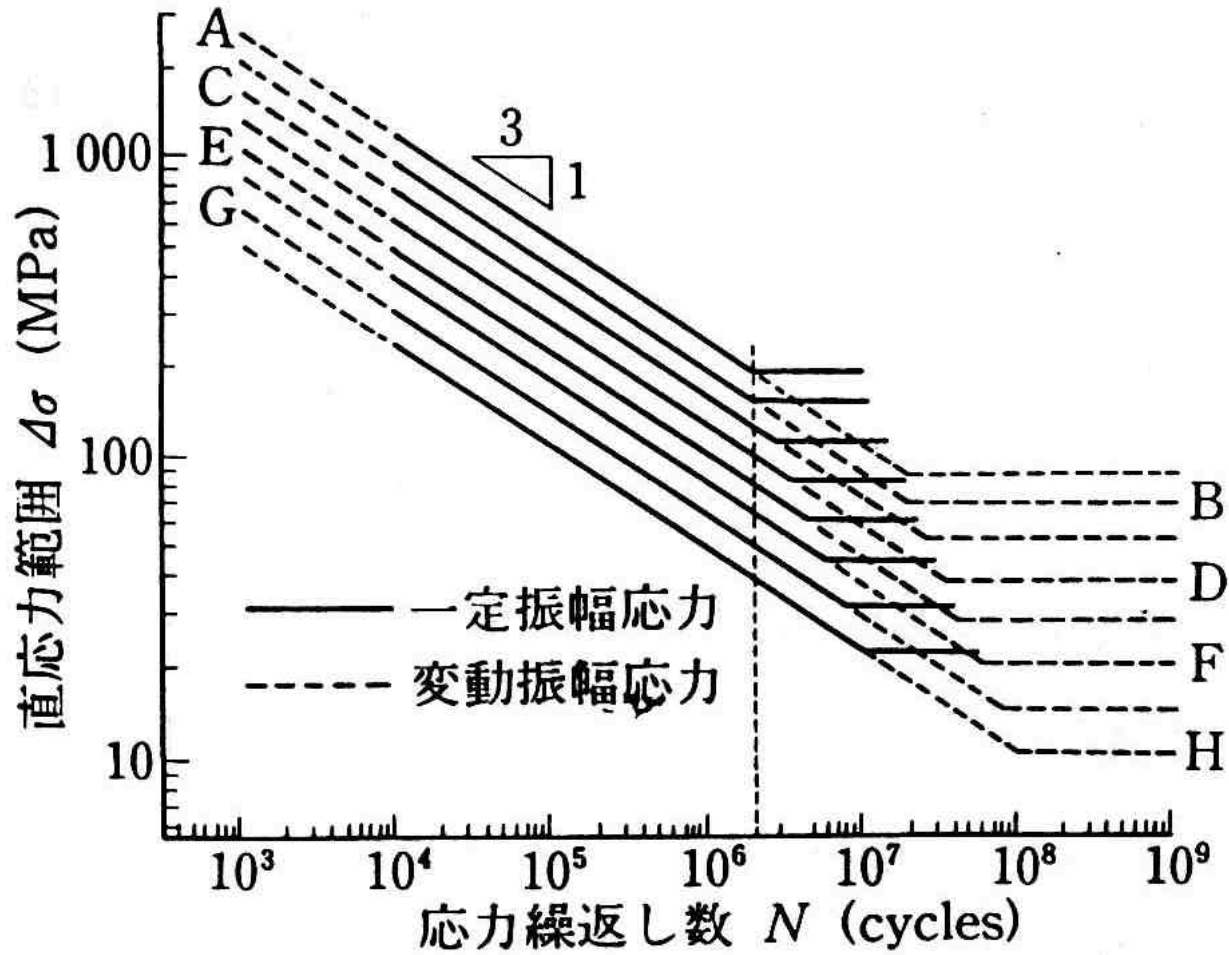


図 4.1 疲労設計曲線 (直応力を受ける継手)

疲労設計曲線-続き

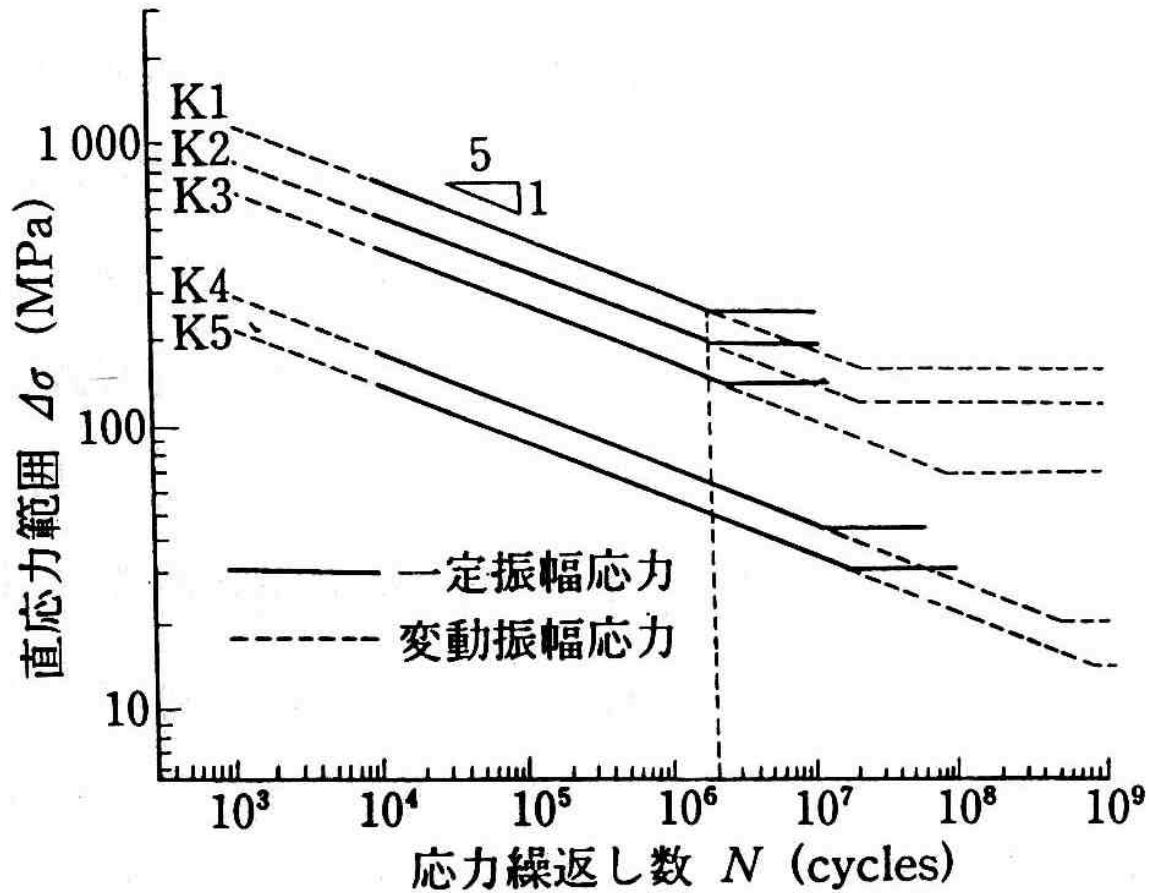


図 4.2 疲労設計曲線 (直応力を受けるケーブルおよび高力ボルト)

疲労設計曲線-続き

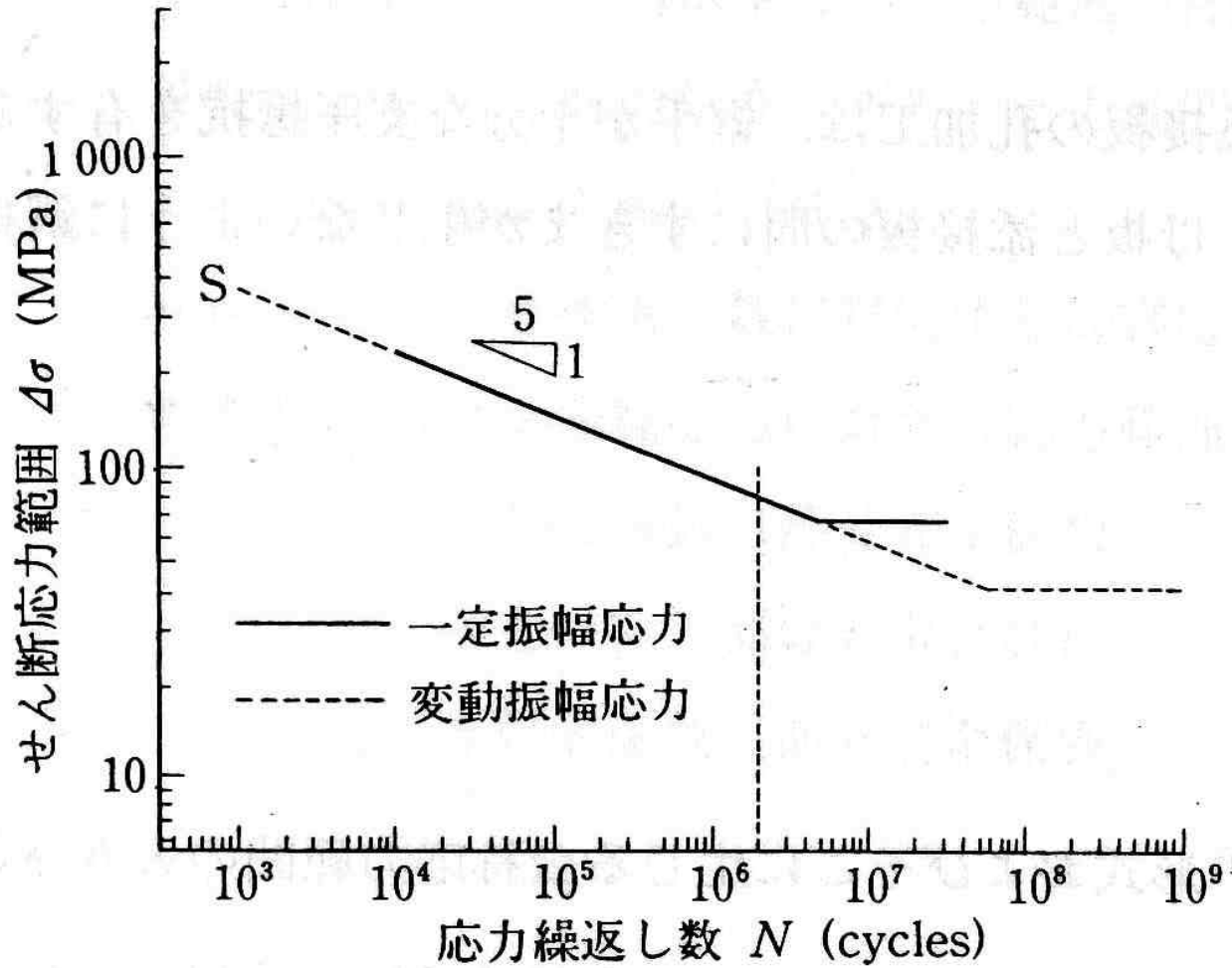


図 4.3 疲労設計曲線 (せん断応力を受ける継手)

基本許容応力範囲

表 4.1 基本許容応力範囲（直応力を受ける継手） $m=3$

強度等級		応力範囲の打切り限界 (MPa)	
名称	2×10^6 回基本許容 応力範囲 $\Delta\sigma_f$ (MPa)	一定振幅応力 $\Delta\sigma_{ce}$ (N)*	変動振幅応力 $\Delta\sigma_{ve}$ (N)*
A	190	190 (2.0×10^6)	88 (2.0×10^7)
B	155	155 (2.0×10^6)	72 (2.0×10^7)
C	125	115 (2.6×10^6)	53 (2.6×10^7)
D	100	84 (3.4×10^6)	39 (3.4×10^7)
E	80	62 (4.4×10^6)	29 (4.4×10^7)
F	65	46 (5.6×10^6)	21 (5.6×10^7)
G	50	32 (7.7×10^6)	15 (7.7×10^7)
H	40	23 (1.0×10^7)	11 (1.0×10^8)

基本許容応力範囲-続き

表 4.2 基本許容応力範囲

(直応力を受けるケーブルおよび高力ボルト) $m=5$

強度等級		応力範囲の打切り限界 (MPa)	
名称	2×10^6 回基本許容 応力範囲 $\Delta\sigma_f$ (MPa)	一定振幅応力 $\Delta\sigma_{ce}$ (N)*	変動振幅応力 $\Delta\sigma_{ve}$ (N)*
K 1	270	270 (2.0×10^6)	170 (2.0×10^7)
K 2	200	200 (2.0×10^6)	126 (2.0×10^7)
K 3	150	148 (2.1×10^6)	68 (1.0×10^8)
K 4	65	46 (1.1×10^7)	21 (5.7×10^8)
K 5	50	32 (1.9×10^7)	15 (8.2×10^8)

表 4.3 基本許容応力範囲 (せん断応力を受ける継手) $m=5$

強度等級		応力範囲の打切り限界 (MPa)	
名称	2×10^6 回基本許容 応力範囲 $\Delta\tau_f$ (MPa)	一定振幅応力 $\Delta\tau_{ce}$ (N)*	変動振幅応力 $\Delta\tau_{ve}$ (N)*
S	80	67 (5.0×10^6)	42 (5.0×10^7)

* ()内 N の値は、同欄に示す応力範囲の値に対する応力繰返し数のおおよその値であり、参考値にすぎない。

許容応力線図を決めた元データ

-平均値から標準偏差の2倍を引いた線-97.72%非破壊確率

