

有限会社スピリア

SUPERIOR.INC

# 車枠強度計算書作成方法

自動二輪車

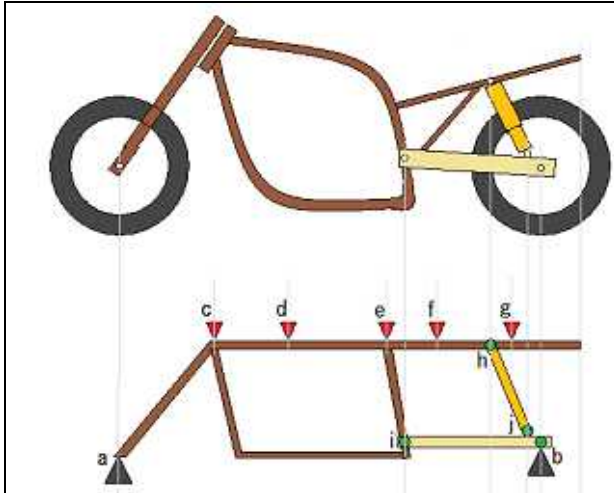
Yasuhisa Hishikawa

不許複製

2008

## 自動二輪車の車枠強度計算書の作成方法

現在流通されている自動二輪車のフレームには、ダブルクレードルタイプ、ツインスパータイプ、バックボーンタイプなど様々なタイプのものがあるが、どのような形状になっても、フレームにかかる荷重は大まかな意味で変わらないといえることができる。



左図はダブルクレードルタイプで、リアのサスペンションがマルチタイプのフレームのモデル図であるが、これを簡素化し各部にかかる荷重、反力等を示したものが、左図中下部のモデル図とする。

この図中、上方から下方へ向かってかかる荷重を赤の印で記載し、下方から上方への反力を黒の印にて記載し、解説を以下に記す。

### (1) 各部の荷重並びに反力

a: フロント車軸中心部反力

反力 a の算出方法

wf: 空車時前軸荷重 (車検証より前軸重)

wr: 空車時後軸荷重 (車検証より後軸重)

1: 前軸より前側シート中心 f までの距離 a - f 間 (実測値)

2: 前軸より後側シート中心 g までの距離 a - g 間 (実測値)

L: ホイールベース a - b 間距離 (実測値)

Wf: 積車時前軸重 (計算により算出)

Wr: 積車時後軸重 (計算により算出)

W: 車輦総重量

$$Wr = \left[ (1 \times 55 + 2 \times 55) \div L \right] + wr$$

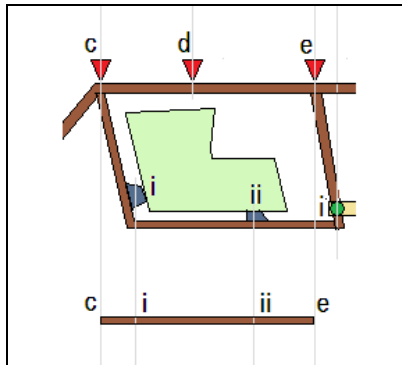
$$Wf = W - Wr$$

$$a = Wf$$

b: リア車軸中心部反力

$$b = Wr$$

c: エンジンやミッションなどc-i間のフレーム下部で支える荷重の重量の前側部分の重量



エンジン、ミッション等を固定している取り付け用ステーにかかる重量をそれぞれ、  
とすると、cにかかる重量とeにかかる重量  
のそれぞれの算出方法は以下の通りとなる。  
ただし、c-i間の距離を、c-e間をy、c-e間をzと、することとする。  
、それぞれの重量は推定値で可。

また、c, d, e, f, gのそれぞれにかかる重量は以下の数式に合致しなければならないので、各部の推定値を記入するときその配分を考慮して記入しなければならない。

前項aより

$$W = (c + d + e + f + g)$$

$$e = [(x \times i) + (y \times ii)] \div z$$

$$c = (W + e) - e$$

d: フレーム上部にかかる重量

燃料タンクの取り付けステーなど、フレーム上部（メインフレーム）にかかる荷重点を計測あるいは推測により記入する。

図中では1個所で記載しているが、実際の車輛をもとに複数個所存在する場合はその各部の推定値と距離を記載する。

この時もc項で赤色にて記載されている数式の条件に当てはまらなければならないので、各部の重量の割合を考慮して推定値を設定する必要がある。

e: フレーム下部で支える重量の後側荷重

c項にてすでに算出されているため、その数値を使用する。

f: 前側シートにかかる重量

乗員1名を55kgとして計算し、その他の荷重がある場合はそれも含めた数値。

g: 後側シートにかかる重量

乗員1名を55kgとして計算し、その他の荷重がある場合はそれも含めた数値。

h: スプリングを介して実際にフレームにかかる反力

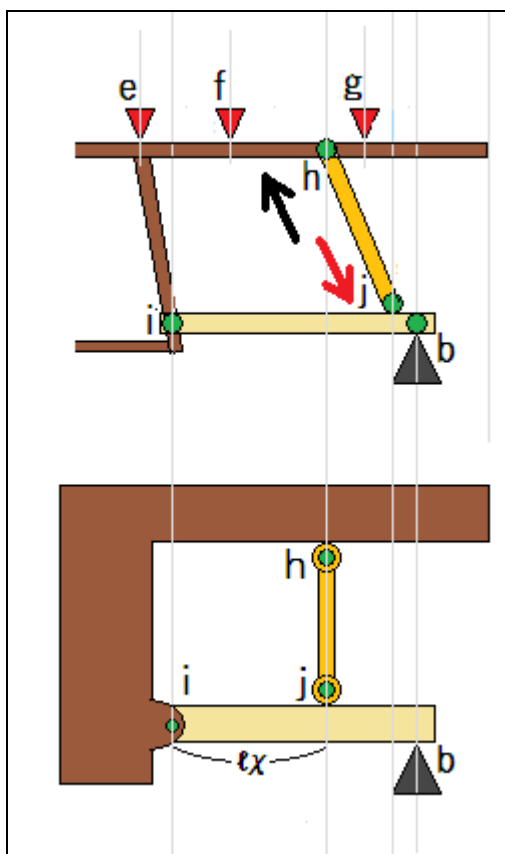
スイングアーム項にて解説

i : スイングアームピボット部分  
スイングアーム項にて解説

j : リアショック取り付け部分  
スイングアーム項にて解説

その他: 上記以外であっても重量が 10 kgを超えるものに関しては都度追加すること。

## ( 2 ) スイングアーム部分の解説



既に前項の b にて、b にかかる反力は算出されているが、b にかかっている反力がそのままフレーム部分の h にかかっているかという点、この部分はこの原理により、b と全く同じ数値の反力がかかっているわけではない。例えば、i から j までの距離 が 側に近くなればなるほど、b の数値よりも値が大きくなっていくこととなる。これは、静的荷重によりバランスがとれていることを考えると、十分に理解することができ、また通常マルチスプリング形状のリアサスペンションを持つ車輻の場合、h の垂線と j の垂線のオフセット量がそれほど大きくないため、このオフセットによる減少分は無視することができる。

ここで、h に関する反力の算出方法として以下の数式をあてはめることができる。

h: フレーム部分にかかる反力  
: スイングアームピボット部からスプリング取り付け位置までの距離  
: スイングアームピボット部と後軸中心までの距離  
b: 後軸反力

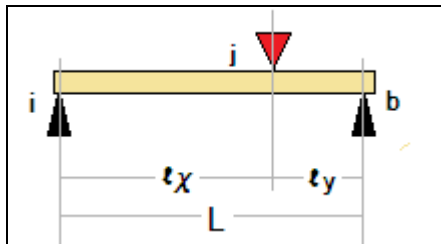
$$h = \frac{b}{e_x} \times b$$

となる。

以上のことより、h の垂線と j の垂線のオフセット量は無視するものとする、

h にかかる反力は上記の数式により算出することができる。

ここで蛇足ながらスイングアームの強度計算の算出方法を解説することとする。



左図をスイングアームの梁モデル図とすると、静的状態でバランスがとれている事となる。

この時、h にかかる重荷重と j にかかる荷重は力の向きこそ違えど、同じ荷重と

なる。

j にかかる荷重はスイングアーム全長の L を x と y に二分する部分に集中的にかかる荷重であるため、最大の曲げモーメント Mmax は x もしくは y のどちらか長い方と j にかかる積にて表すことができる。

上図の場合では x の方が長いため、

$$M_{\max}(\text{kg} \cdot \text{mm}) = j(\text{kg}) \times x(\text{mm})$$

と、なる。

最大曲げモーメントが算出されたならば、続いて最大曲げ応力  $\sigma_{\max}$  の算出となる。

最大曲げ応力  $\sigma_{\max}$  は

$$\sigma_{\max} = M_{\max} \div Z \text{ にて算出される。}$$

この時の Z は、最大曲げモーメント発生地点(上図の場合は j 地点)のスイングアームの断面係数で、断面係数は最大曲げモーメント発生地点の断面図より算出される。

断面係数 Z の算出方法は、巻末の資料に添付しているため、この項ではその算出方法を割愛させていただく事とする。

なお、スイングアーム自体が、片持ち式である場合はこの算式でよいのだが、車輛中心線に対して左右対称に製作されている、いわゆる両持ちタイプのスイングアームの場合、j にかかる荷重を左右 2 か所にて受け持つこととなるため、単純に断面係数 Z を 2 倍して算出することとなる。

これによって算出された最大曲げ応力  $\sigma_{\max}$  より、安全率 f を算出していく。

ここで、使用されている材料の諸元表が必要となるが、通常は「日本規格協会」から発売されている「JIS ハンドブック」の「鉄鋼」(ステンレス・鉄など)や、「非鉄」(アルミ・ジュラルミンなど)の該当材料の諸元部分をコピーして強度計算書に添付するが、最近ではインターネットの普及により、各材料の諸元がネット上でも簡単に入手できるようになったため、それらを印刷して添付するケースも出てきている。

ただし、この場合はデータの改ざん等の防止のため、担当検査員が確認のため、当該ホームページ等を閲覧できるよう、ページアドレス等を残さなくてはならない。

ここで例として S45C の角パイプを上げると、

S45C

引っ張り強度      b      686N/mm<sup>2</sup>

降伏点                      490N/mm<sup>2</sup>

となるが、通常強度計算上では重力の単位として N ではなく kg を使用するため、単位の換算が必要となる。

N から kg への換算方法は  $N \div 9.806$  によって算出するため、

引っ張り強度      b      686N/mm<sup>2</sup>      69.96 kg/mm<sup>2</sup>

降伏点                      490N/mm<sup>2</sup>      49.97 kg/mm<sup>2</sup>

となる。

これより安全率 f は 現在、法改定により下記公式の  $\sigma$  は  $2.5\sigma$  となります。

破壊安全率      fb      =      b ÷      >1.6

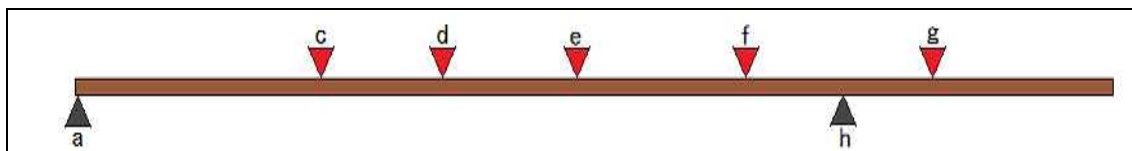
降伏安全率      f      =      ÷      >1.3

にて算出されるが、破壊安全率 fb は、1.6 以上の数値が必要となり、降伏安全率 f は、1.3 以上の数値が無ければ、機械的に強度を満たしていないこととなるため、対応する部分の補強等、断面係数を向上させる旨の加工が必要となってくる。通常自動車の強度計算書においては、破壊安全率、降伏安全率はそれぞれ 1.6 と 1.3 が使用される。

また、モノサスなどリアがマルチスプリングでない場合も、スプリングの反力がリンクなどを介してフレーム部分に固定される位置をリア側の反力とする。

### (3)車枠強度計算書の算出方法

今まで解説してきたことをもとに、さらに梁としてのモデル図を簡単に記載すると以下のようになる。



上記図において、反力が a と h になっているのはリア側のサスペンション形状がリンクとなって反力発生位置とその荷重がそれぞれ b の地点から変更となっており、直接フレーム部分に作用する点が、スプリングの上部取り付け位置となるため、h を使用することとしている。

これを車輛前方より距離の近い順に並べて、反力は荷重の方向が異なるため、マイナスの符号をつけるとすると、

		向き
1	a	-
2	c	+
3	d	+
4	e	+
5	f	+
6	h	-
7	g	+

となる。

これをさらに荷重並びに反力の数値(kg)を符号の後部に記載し、a点からの距離を記載する。

		向きと荷重	a点からの距離
1	a	- a(kg)	0mm
2	c	+ c(kg)	(a ~ c)mm
3	d	+ d(kg)	(a ~ d)mm
4	e	+ e(kg)	(a ~ e)mm
5	f	+ f(kg)	(a ~ f)mm
6	h	- h(kg)	(a ~ h)mm
7	g	+ g(kg)	(a ~ g)mm

となる。

さらにせん断力と区間距離を計算する。

		向きと荷重	a点からの距離	せん断力	区間距離
1	a	- a(kg)	0mm		
				- a(kg)・・	- 0・・
2	c	+ c(kg)	(a ~ c)mm・・		
				+c(kg)・・	- ・・
3	d	+ d(kg)	(a ~ d)mm・・		
				+d(kg)・・	- ・・
4	e	+ e(kg)	(a ~ e)mm・・		
				+e(kg)・・	- ・・
5	f	+ f(kg)	(a ~ f)mm・・		
				+f(kg)・・	- ・・
6	h	- h(kg)	(a ~ h)mm・・		
				h(kg)・・	- ・・
7	g	+ g(kg)	(a ~ g)mm・・		

これで得た数値より区間モーメントと曲げモーメントを算出する。

せん断力	区間距離	区間モーメント	曲げモーメント
			0 … (25)
- a(kg)・・・	- 0・・・	× …	(25)+(19) … (26)
+c(kg)・・・	- …	× …	(26)+(20) … (27)
+d(kg)・・・	- …	× … (21)	(27)+(21) … (28)
+e(kg)・・・	- …	× … (22)	(28)+(22) … (29)
+f(kg)・・・	- …	× … (23)	(29)+(23) … (30)
h(kg)・・・	- …	× … (24)	(30)+(24)

これにより算出した曲げモーメント欄より、正・負を問わず数値の最大の物を最大曲げモーメント Mmax とし、その発生地点は上記表の最左欄を見ると最大曲げモーメント発生地点が a,c,d,e,f,g,h のいずれの場所で発生しているかを知ることができる。

最大曲げモーメント Mmax 発生地点が判明したら、その部分のフレームの断面を調べ、断面係数 Z を算出する。(算出方法は巻末資料の断面係数の公式を参照)

断面係数 Z が判明したら最大曲げ応力 max の算出となるが、ここではスイングアームの時に算出した方法と多少異なるものとなる。

通常自動車のフレーム部分は静的荷重のみではなく、走行時の様々な衝撃等に耐えなければならないため、安全率によるセーフティマージンのみならず、負荷倍数 n というものを付加することにより、さらなる強度的余裕を持っている。

負荷倍数 n は定数で、n = 2.5 とされ、これは最大曲げモーメント Mmax に乗じられる。

また、最大曲げモーメント Mmax 発生地点のフレーム部分が車輻中心線に対して、左右対称に複数ある場合は、その対象となる数だけフレームの断面係数に乗じることとする。

よって最大曲げ応力 max は

$$\max = [n(2.5) \times M_{\max}] \div [Z \times (\text{フレームの本数})]$$

と、なる。



最大曲げ応力  $\sigma_{max}$  が算出されたならば、あとは先に開設したスイングアームの強度計算の手法と同様に、材料の諸元を添付し安全率を算出していく工程となる。

安全率は既に負荷倍数を乗じてかなりのマージンがとられてはいるが、ここでも破壊安全率は 1.6 以上、降伏安全率に至っては 1.3 以上の数値が必要となる。

これらの計算上、安全率を満たされないようであれば、該当する部分に十分な補強等を施さなければならない。

一般的に、反力間の荷重が多くなれば多くなるほど、また密集すれば密集するほど安全率は低下する方向に移行し、断面係数の数値が高くなれば高くなるほど、安全率は向上する方向に移行する。

断面係数に関して言えば、長方形や楕円形の断面をもつ鋼材は、同じ形状であっても荷重がかかる方向に対して縦長に使用した方が、断面係数が向上する傾向にある。

これは割り箸を割らずに平たい状態で折る場合と縦長の状態にして折る場合とを考えれば容易に想像がつくことで、強度不足となったフレームの補強の場合なども、上下部分に厚物の板を溶接等するよりも、側部に抱き合わせて溶接等をした方が、断面係数の向上を容易に図れることを意味する。

今回、この算出法にて車枠の強度計算の手法を解説するにあたり例として挙げたものは、その内容の複雑化により混乱を招くのを防ぐ目的で、フレームの全てが同じ断面形状の物と仮定したものであり、実際の現場においては荷重点の各部でフレームの形状が異なっている事が通常であるため、最大曲げモーメントを算出しそれにより安全率を導き出すほかに、最大曲げモーメント発生場所と違う形状をしたフレーム部分の荷重点においても、安全率を算出するのが一般的である。

これらの似た様な計算を何度も繰り返し行うのは非常に労力を要するため、付録としてマイクロソフト社のエクセルによる「車枠モーメント計算書」を添付する。

このプログラムに関しては取扱説明書などは用意されていないが、今まで解説してきたことを理解できたのであれば、その使用法に戸惑うことはない物と思われるため、割愛させていただく事とした。

当該小冊子を含め、「車枠モーメント計算書」は、すべての著作権を有限会社スピリアにて所有しているため、複製もしくは二次配布等の行為が行われた場合、損害賠償等を請求する可能性があるものとする。

番号	断面	A	I	Z
1		$bh$	$\frac{1}{12}bh^3$	$\frac{1}{6}bh^2$
2		$b(h_2 - h_1)$	$\frac{1}{12}(bh_2^3 - bh_1^3)$	$\frac{1}{6} \frac{b(h_2^3 - h_1^3)}{h_2}$
3		$b^3$	$\frac{1}{12}b^3$	$\frac{1}{6}b^2$
4		$b^2 - h_1^2$	$\frac{1}{12}(bh^3 - h_1^3)$	$\frac{1}{6} \frac{b^2 - h_1^2}{h_2}$
5		$b^2$	$\frac{1}{12}b^3$	$\frac{\sqrt{2}}{12}b^2$
6		$b^2 - h_1^2$	$\frac{1}{12}(bh^3 - h_1^3)$	$\frac{\sqrt{2}}{12} \frac{b^2 - h_1^2}{h_2}$
7		$\frac{1}{2}bh$	$\frac{1}{36}bh^3$	$a_1 = \frac{2}{3}h, a_2 = \frac{1}{3}h$ $Z_1 = \frac{1}{24}bh^2, Z_2 = \frac{1}{12}bh^2$
8		$b(b + \frac{1}{2}b_1)$	$\frac{6b^3 + 6bb_1 + b_1^3}{36(2b + b_1)}$	$a_1 = \frac{1}{3} \frac{3b + 2b_1}{2b + b_1}h$ $Z_1 = \frac{6b^3 + 6bb_1 + b_1^3}{12(3b + 2b_1)}h^2$

番号	断面	A	I	Z
9		$A = b_1h_1 - b_2h_2$ $I = \frac{1}{12}(b_1h_1^3 - b_2h_2^3)$ $Z = \frac{1}{6} \frac{b_1h_1^3 - b_2h_2^3}{h_2}$		
10		$A = b_1h_1 + b_2h_2$ $I = \frac{1}{12}(b_1h_1^3 + b_2h_2^3)$ $Z = \frac{1}{6} \frac{b_1h_1^3 + b_2h_2^3}{h_2}$		
11		$A = b_1h_1 + b_2h_2$ $I = \frac{1}{3}(b_1h_1^3 - b_2h_2^3 + b_2h_2^3)$ $Z = \frac{1}{6} \frac{b_1h_1^3 + b_2h_2^3}{h_2}$		
12		$\frac{\pi}{4}d^2$	$\frac{\pi}{64}d^4$	$\frac{\pi}{32}d^3$
13		$\frac{\pi}{4}(d_1^2 - d_2^2)$	$\frac{\pi}{64}(d_1^4 - d_2^4)$	$\frac{\pi}{32} \frac{d_1^4 - d_2^4}{d_2} \approx 0.8d_2^3$ ( $d_1/d_2$ の値を代入して計算)
14		$\frac{\pi}{2}r^2$	$\left(\frac{\pi}{8} - \frac{8}{3\pi}\right)r^4$ $= 0.1098r^4$	$a_1 = 0.5766r$ $a_2 = 0.4244r$ $Z_1 = 0.1908r^3$ $Z_2 = 0.2587r^3$
15		$\pi ab$	$\frac{\pi}{4}a^3b$	$\frac{\pi}{4}a^3b$

A = 断面図  
I = 断面二次モーメント  
Z = 断面係数