

鋼部材の座屈耐力（座屈長の選定）

2008.11.27

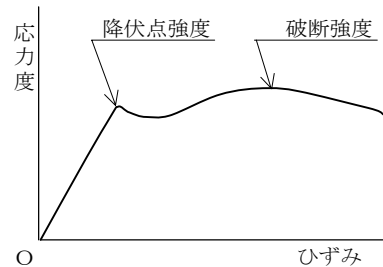
S. T.

1. はじめに

鋼は素材的には引張にも圧縮にもほぼ同程度の強さを有するが、部材となると引張と圧縮が同強度とは言い難い。それは、圧縮に対しては座屈と言う現象があるからである。この座屈耐力については諸基準に規定される場所であるが、これらを摘要するに当たっての座屈長の選定に難解なところが見受けられるので、事例を挙げて理解を促すものである。

2. 素材の強度

右図：「応力・ひずみ曲線」に示すように、鋼は降伏点を境としてその性状が一変する。この降伏点強度自体は材質によって大きく異なるので用途・部位に応じて材質を選択するのが設計の一業務でもある。通常の設計では降伏点強度をそのまま用いるのではなく、安全率を見込んで荷重・材質・解析法の誤差ならびに疲労破壊の防止に備える。



単位：N/mm²

材質	降伏点強度	基本許容応力度	安全率
SM400	235	140	1.68
SM490	315	185	1.70
SM490Y	355	210	1.69
SM570	450	255	1.76

左表に、代表的な材質の板厚40mm以下の強度等を示す。ただし許容応力度及び安全率は道路橋示方書で規定されているものである。

3. 部材の強度

3.1 引張材

対象とする部材が直線であるならば、荷重荷重によって形状が大きく変わる事がないので、部材としての強度は断面積に比例する（たとえ部材が曲がっていても曲がり（部材反り）によって発生する曲げモーメントは別途応力を求めればよい）。

3.2 圧縮材

部材が圧縮作用を受けると降伏点応力度に達する前に大きく変形し、部材としての機能を失うことがある。これが「座屈」という現象で、部材を構成する板材の変形を局部座屈、部材そのものの変形を全体座屈という。座屈の現象は部材/荷重の不均一性（初期ひずみ： $f=l/1000$ 、残留応力： $r=0.3\sim 0.7$ ）等に起因するものであるから、真直線・純粋軸力でも実験してもこの強度を確認することは出来ない。通常の製作精度・部材構成を考えた中での規定値であるから、部材精度などに特別な配慮がなされたものではないことありうる。

4. 柱の有効座屈長

3.(2)で示した条件のもと、基本的な支持形式に対する許容応力度を求めるための算定式が鋼道示 3.2.1 に規定されているが、実構造物部材の支持形式はさまざまである。構造物の設計に際しては、構造物が有する性状を理解したうえで、鋼道示表-解 3.2.2 (右図)を活用すると良い。

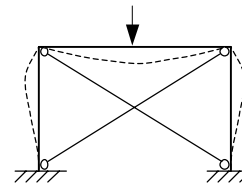
表-解 3.2.2 柱の有効座屈長 L: 部材長 (mm)

	1	2	3	4	5	6
座屈形が点線のような場合						
β の理論値	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
β の推奨値	0.65	0.8	1.2	1.0	2.1	2.0

5. 実構造物の支持条件

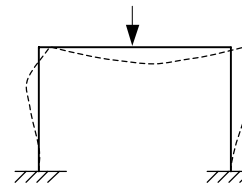
5.1 面内荷重に対して

① プレースを有するラーメン脚



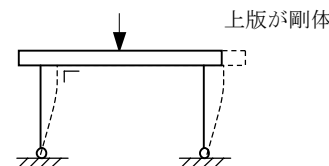
			面内	面外
支持条件	上端	回転拘束	Elastic	Free
		移動拘束	Rigid	Free
	下端	回転拘束	Rigid	Rigid
		移動拘束	Rigid	Rigid
梁変形の影響			有り	有り
有効座屈長： l			0.6h	1.5h

② 門形ラーメン脚



			面内	面外
支持条件	上端	回転拘束	Free	Free
		移動拘束	Free	Free
	下端	回転拘束	Rigid	Rigid
		移動拘束	Rigid	Rigid
梁変形の影響			有り	有り
有効座屈長： l			1.5h	1.5h

③ 机の脚

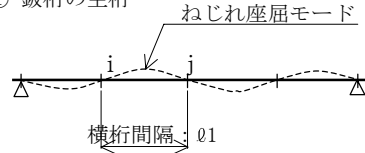


			面内	面外
支持条件	上端	回転拘束	Rigid	Rigid
		移動拘束	Rigid	Rigid
	下端	回転拘束	Free	Free
		移動拘束	Free	Free
上版の変形			なし	なし
有効座屈長： l			2.0h	2.0h

5.2 面外荷重に対して

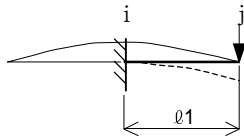
面外方向の荷重に対しては部材に軸力が生じないが、強軸・弱軸のある部材では強軸方向に載荷するケースにおいてねじれ座屈を生じることがある。これに対する規定が曲げ圧縮応力度に対する規定であり軸力の場合と同じく鋼道示3.2.2に規定されるが、そこに用いる有効座屈長を整理しておく。

① 鈹桁の主桁



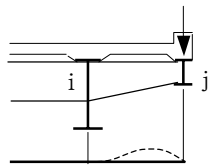
		i 端	j 端
支持条件	回転拘束	Free	Free
	相対変位	なし	
有効座屈長: ℓ		$\ell = \ell_1$	

② 単純ブラケット



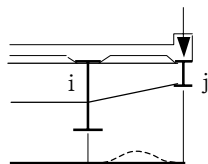
		i 端	j 端
支持条件	回転拘束	Rigid	Free
	相対変位	有り	
有効座屈長: ℓ		$\ell = 2 \ell_1$	

③ 床版支持ブラケット (腹板連結)



		i 端	j 端
支持条件	回転拘束	Rigid	Free
	相対変位	なし	
有効座屈長: ℓ		$\ell = 0.7 \ell_1$	

④ 床版支持ブラケット (腹板・フランジ連結)



		i 端	j 端
支持条件	回転拘束	Rigid	Rigid
	相対変位	なし	
有効座屈長: ℓ		$\ell = 0.5 \ell_1$	

③ 注意

上記座屈長の説明では下端を完全固定とした事例を述べているが、下端が土中にあつたり、弾性ブラケット上に固定されている場合には、その拘束度を考慮して座屈長を定めなければならない。

5.3 防風柵の柱への応用

① 基本荷重に対する有効座屈長

部材の座屈耐力は部材両端の支持条件と荷重の大きさのみならず、荷重のふくらみが影響する。下図 -a のように部材を挟んで作用する集中荷重と分布荷重が釣合うとき、まさに分布荷重を受ける単純桁の半分の形状を現しており、座屈長を高さの2倍とすることに何のためらいもない。

しかし b 図のように、おなじ下端モーメントを生じる場合でも、途中の作用力が減じられると座屈耐力の減少は抑えられる。ただ現実には、5.2 のブラケットの設計に見られるように「安全側の対処」として、座屈長に $2h$ を用いるのが一般的である。

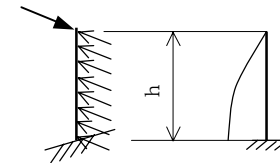


図-a 曲げモーメントが放物線
 $\ell = 2h$

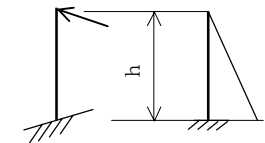


図-b 曲げモーメントが直線
 $\ell < 2h$

② 分布荷重に対する有効座屈長

鋼道示 3.2.1 (ex. $a=140-2.4(\ell/b-4.5)$) および鋼標準 5.2.2 (ex. $c_u=f-1.34(F \cdot \ell/b-9)$) は、座屈耐力が ℓ に比例して減ずることを示している。つまり、梁の全高に分布する荷重と総荷重を荷重中心に作用させた場合の座屈耐力は等しい。

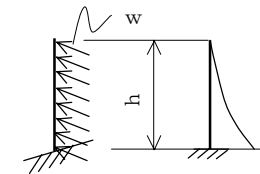


図-c 曲げモーメントが放物線
 $\ell < h$

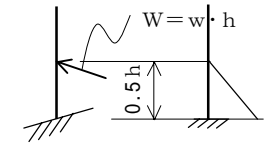
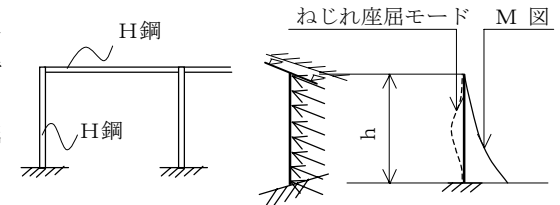


図-d 曲げモーメントが直線
 $\ell < h$

これを右図のように柱天端を H 鋼あるいは溝形鋼で繋いで柱部材の回転を拘束すると右図のように、上記有効座屈長: ℓ はさらに半減する。



$\ell < h/2$