

第 5 章 本体構造物の照査

5.1 本体構造物の架設応力

本体構造物の設計時に計算された応力と実際の架設工法、架設順序等を考慮したときに生ずる応力とが異なる場合には、本体構造物の設計を照査し、十分安全を確認しなければならない。

この場合、架設時にのみ作用する応力については、4.3「許容応力度」を用いて照査してよい。架設時の応力が完成後も作用し続ける場合には、本体構造物の完成後の応力は架設応力を加えたものとし、架設時の許容応力の割増しを行わない本体構造物の設計許容応力度に対して照査しなければならない。

【解 説】 架設時に本体構造物に生ずる応力は、本体構造物の構造、架設工法や架設順序等により、架設時にのみ作用し、完成後には作用しないものと、架設時に作用し始め完成後も作用し続けるものとに分けられる。

架設時にのみ作用する応力に対しては 4.3 許容応力度で照査し、必要に応じて架設工法の一部を変更したり、本体構造物を補強したりする必要がある。

架設時の応力が完成後も作用し続ける場合には、本体構造物の完成後の応力は本体構造物の設計基準に従って、照査しなければならない。

本体構造物の架設応力は設計時点で照査し、必要に応じて架設工法の変更や、補強を行うのが望ましいが、実際は架設計画が完了してから設計を行う時間的余裕がとれなかったり、設計完了後に架設計画を変更せざるを得ない場合等もあるので、このような場合には本体構造物の照査を行うものとする。

5.2 吊金具取付部

吊金具の取付部の検討にあたっては、引張荷重に対して吊金具と本体構造物との継手部および、本体構造物内部の応力度に対して照査しなければならない。

【解 説】 吊金具取付部で、忘れがちであり最も問題となるのは、吊金具直下の上フランジ、ウェブ間のすみ肉溶接部であるので、吊金具と本体構造物との継手部と同様の注意を払う必要がある。

以下に照査の方法を示す。

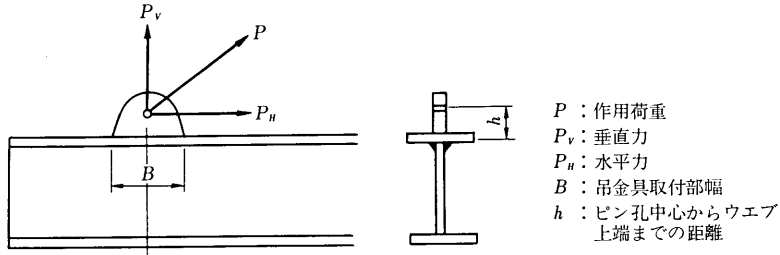


図 5.2.1

曲げモーメントとせん断力を同時にうける溶接部においては、応力度の照査を次式により行う。

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_a} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a} \right)^2 \leq 1.2 \dots\dots\dots (5.2.1)$$

$$\sigma = \frac{P_v}{\Sigma a \cdot B} \pm \frac{P_H \cdot h}{I} \cdot \frac{B}{2}, \quad \tau = \frac{P_H}{\Sigma a \cdot B} \dots\dots\dots (5.2.2)$$

- ここに、 σ : 曲げ縁応力度 (kg/cm²)
- τ : せん断応力度 (kg/cm²)
- σ_a : 許容引張応力度 (kg/cm²)
- τ_a : 許容せん断応力度 (kg/cm²)
- B : 吊金具取付部幅 (cm)
- a : のど厚 (cm)

I : のど厚を接合面に展開した断面のその中立軸まわりの断面2次モーメント (cm⁴)

なお、 σ および τ は、それぞれ σ_a および τ_a を越えてはならない。

すみ肉溶接部の応力度を照査する場合、4.3において許容引張応力度 σ_a が定められていないが、のど厚方向に引張および圧縮応力が作用する場合は、許容せん断応力 τ_a と同じ値を用いるものとする。

一般に吊点部は、引張力をうける荷重集中点であるため適切な補強を行い力を分散する必要がある。たとえば

図 5.2.2 のように吊金具直下に補剛材がないと、フランジおよびフランジとウェブのすみ肉溶接部に過大な応力が発生するとともに、フランジに変形が残留するおそれがある。このような場合は、後述するように補剛材を配置しなければならない。また、吊金具取付部は応力が集中しやすいので特に重要な大型の吊金具では次のような配慮が必要である。

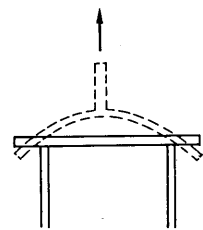


図 5.2.2

また、応力集中を避けるためなめらかな形状とするのが望ましい (図 5.2.3) 。

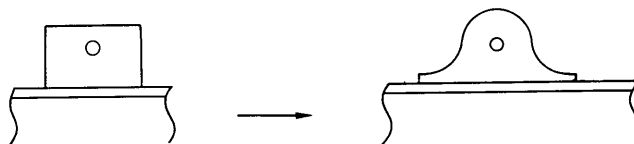


図 5.2.3

補強の方法は力の方向や大きさによって異なるが、補強の例を示せば図 5.2.4、図 5.2.5 のようなものが考えられる。

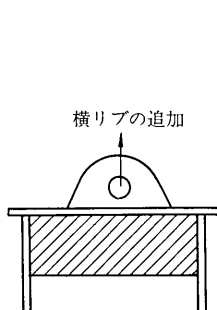


図 5.2.4

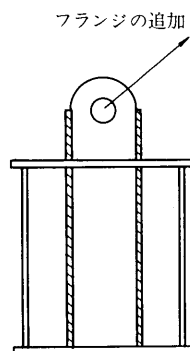


図 5.2.5

また、吊金具の形状や力の方向によって局部的な曲げモーメントや応力集中を生ずるので注意が必要である。補強によって、

- 1) 熱影響による材質の硬化や強度の低下。
- 2) 取付時や撤去時の割れ、余盛過大による応力集中、疲労強度の低下。
- 3) 部材の性状（断面積、曲げ、ねじり剛度）が設計時の性状と著しく異なってしまう。

等の問題が発生するおそれがあるため注意を要する。

5.3 仮支点部

ベント、ステージングの受点およびジャッキアップ点などの仮支点部については、本体構造物が座屈、圧壊および局部変形を生じないように照査しなければならない。

【解 説】 仮支点部については、すくなくとも次の 2 つの応力度の計算を行う必要がある。

- 1) 部材の仮支点断面（断面 A）の曲げ応力度およびせん断応力度。
- 2) 圧縮力をうける柱としての腹板の応力度。
 - (イ) 補剛材が腹板の両側にある場合
 - ・腹板の有効幅 $l \leq 24 t_w$
 - ・補剛材の有効幅 B は受点の幅以下として照査しなければならない。
 - ・全有効断面積は補剛材の断面積の 1.7 倍を越えてはならない。
 - (ロ) 補剛材が片側にある場合
 - ・腹板の有効幅 $l \leq 24 t_w$
 - ・全有効断面積は補剛材の断面積の 1.7 倍を越えてはならない。

圧縮力 R と偏心曲げモーメント $R \cdot a$ をうける部材として、関連する設計基準に従って照査しなければならない。

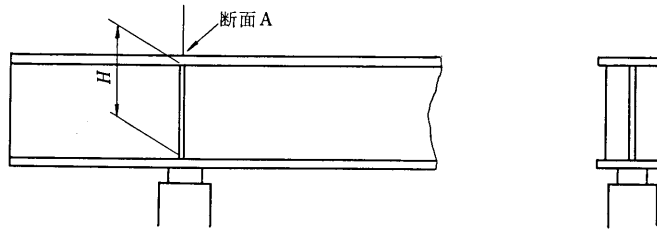


図 5.3.1

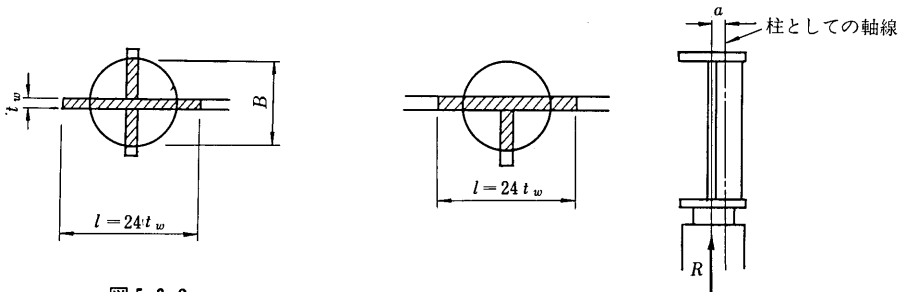


図 5.3.2

図 5.3.3

(イ)、(ロ)の柱の有効座屈長は $1/2$ とする。

1) は受点位置が部材の最大断面位置でなかったり、引張フランジが圧縮応力をうけることもあるので、部材の曲げとせん断応力度を照査する目的のものである。

2) は受点部の腹板を圧縮力をうける柱として照査する目的のものである。補剛材は腹板中心線の両側に設けるのが望ましいので、片側補剛材の場合には部材の軸線と荷重の作用線との偏心を考慮することとした。

有効座屈長は腹板に作用する圧縮応力分布を腹板高さに沿って三角形と仮定し腹板高さの $1/2$ とした

腹板パネルの座屈照査については、一般に架設時の荷重は鋼重のみで完成後の荷重に比べてかなり小さく、腹板の座屈耐力に余裕があるので、特に規定しなかった。したがって、前述の仮定が成立しないような構造物の場合、たとえば、

- 1) 架設時の荷重と完成後の荷重が等しい。
- 2) 腹板の板厚が薄い。
- 3) 桁高が高い。

ような場合には関連する設計基準に従って照査しなければならない。

5.4 ローラー上の腹板

ローラーを使って構造物を移動させる場合には、ローラー上の腹板の局部圧縮による座屈応力度について照査しなければならない。

【解 説】 ローラー上の腹板の局部圧縮による座屈応力度は次式によって照査してよい。

$$\sigma_x = \frac{2P}{\pi t_w x} \dots\dots\dots (5.4.1)$$

ここに、 σ_x : ウェブの座屈応力度

P : ローラー支点の反力

t_w : 腹板の板厚

x : $x_1 + d$

d : $1.65 \left(\frac{I_F}{t_w/2} \right)^{1/3}$

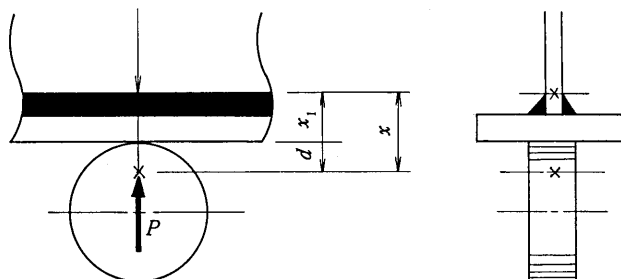


図 5.4.1

I_F : 下フランジの水平軸に関する断面2次モーメント。ただしフランジの有効幅はフランジ厚の5倍以下とする。

上式による場合、鋼材の許容応力度は、

SS 41, SM 41	1800	kg/cm ²
SM 50	2400	"
SM 53	2700	"
SM 58	3450	"

とする。

以上は、国鉄構造物設計資料No. 2「縦取架設ローラー支点のチェック」によっており、過去の使用実績から妥当と考えられる。

許容応力度については、鋼材の比例限度としてしたが、これは支点反力 P が計算どおりに作用することが前提であり、不均等反力が作用する場合には、支点反力は少くとも1.2倍とするのがよい。

計算応力度が許容応力度を越えた場合の補強方法には、次のような方法がある。

- 1) 腹板を厚くする。
- 2) 下フランジを厚くする。
- 3) 下フランジにカバープレートまたはI形鋼等を取付ける。
- 4) ローラーの径を増す。
- 5) ローラーの数を増したり、ボギー型式を用いる。

5.5 I形断面桁の仮置、吊上げ

I形断面桁を仮置、吊上げをする場合は、横倒れ座屈に対して照査しなければならない。

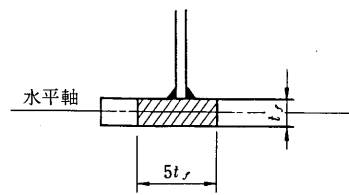


図 5.4.2

【解説】 I 形断面桁は、水平曲げ剛度、ねじり剛度が低いために、1本だけで仮置する場合、あるいは吊上げる場合には横倒れ座屈を生じ易い。安全に架設するためには、下記の支持条件を満足する状態で施工するのがよい。

表 5.5.1

中間部	$l_s/b_u \leq 70$
片持部	$l_c/b_l \leq 35$

ここに、 b_u : 上フランジ最小幅
 b_l : 下フランジ最小幅
 l_s, l_c : 図 5.5.1 に示す支持間隔

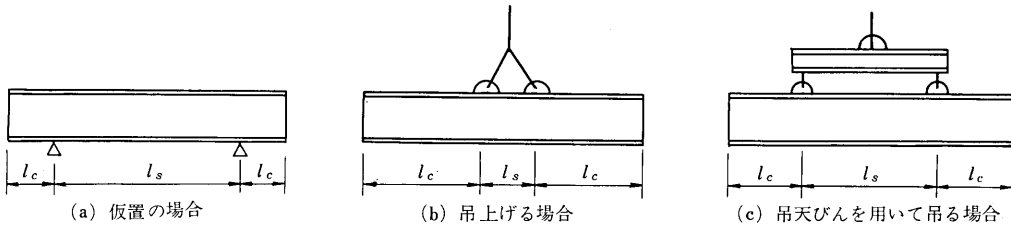


図 5.5.1

図 5.5.2 に示すように一軸対称な I 形断面部材が両端で単純支持された場合の弾性理論による横倒れ座屈の限界モーメントは、文献 1), 2), 3), 4) から、式 (5.5.1) で示される。

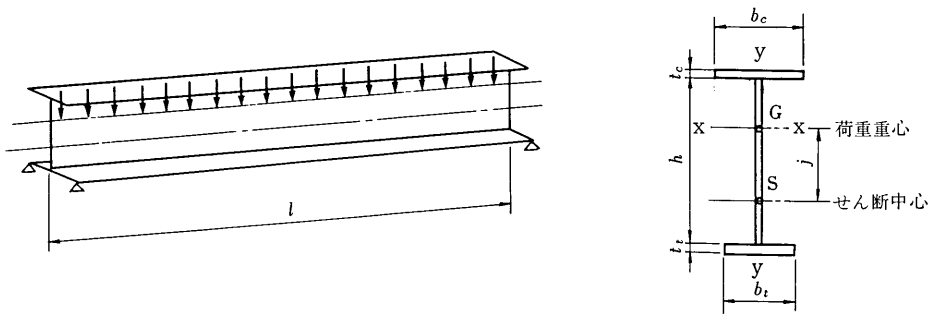


図 5.5.2

$$M_{cr} = \alpha \cdot \frac{\pi}{l} \cdot \left\{ \sqrt{E \cdot I_y \cdot G \cdot K + E^2 \cdot I_y \cdot C_w \cdot \frac{\pi^2}{l^2} + E^2 \cdot I_y^2 \cdot \frac{\pi^2}{l^2} \cdot j^2} + E \cdot I_y \cdot \frac{\pi}{l} \cdot j \right\} \quad (5.5.1)$$

$$j = e + \frac{1}{2I_x} \int_A y(x^2 + y^2) dA \doteq \frac{h(I_c - I_t)}{2 I_y} \quad (5.5.2)$$

- ここに、 $\alpha = 1.13$: 等分布荷重の換算係数
 $E = 2.1 \times 10^6$: 弾性係数 (kg/cm²)
 $G = 8.1 \times 10^5$: せん断弾性係数 (kg/cm²)
 $I_y = I_c + I_t$: Y 軸まわりの断面 2 次モーメント (cm⁴)
 $I_c = t_c \cdot b_c^3 / 12$: 圧縮フランジ Y 軸まわりの断面 2 次モーメント (cm⁴)

$$\begin{aligned}
 I_t &= t_t \cdot b^3 \cdot t / 12 && : \text{引張フランジY軸まわりの断面2次モーメント (cm}^4\text{)} \\
 K &\doteq \frac{1}{3} \Sigma b \cdot t^3 && : \text{純ねじり定数 (cm}^4\text{)} \\
 C_w &\doteq \frac{I_c \cdot I_t}{I_c \cdot I_t} \cdot h^2 && : \text{曲げねじり定数 (cm}^6\text{)} \\
 l &&& : \text{支間長 (cm)}
 \end{aligned}$$

単純支持で仮置された各種のI形桁について、上記の式によって横倒れ座屈曲げモーメントを照査した結果、支間長と圧縮フランジ幅の比 (l/b) が70以下では、座屈の安全率は十分であった。また、片持部分に対しては座屈換算長が約2倍になるので、(l/b)の制限の1/2としたものである。

これに対して吊上げの場合は吊点でねじれ角の変形、および吊具の高さ支持点間隔、吊材の傾斜角などの影響によって異なる(文献5)。

両端で吊上げた場合は、座屈の限界モーメントは式(5.5.1)よりも低い。しかし、吊上げ方法は図5.5.1(b)に示すのが一般的であり、その場合の座屈曲げモーメントは曲げモーメントの分布が、正と負とに反曲するため式(5.5.1)よりも高くなる。

図5.5.1での吊上げ点の間隔は($l_c : l_g : l_c = 1 : 2 : 1$)のときに横倒れ座屈に対して最も強く、中央部分がこれより長いときは中央点の上フランジで、また、中央部分がこれより短いときは、張出部の下フランジで座屈を生じやすい。

したがって、特に細長い部材を吊上げる場合には、図5.5.1(c)のように吊天びんなどを用いて、中央部分を広くして吊るのがよい。

曲線桁の場合には自重によってねじり荷重が生じるので、まっすぐな桁よりも更に横倒れ座屈を生じやすいので、この規定の最大間隔以内であっても十分に注意しなければならない。

横倒れ座屈防止策としては図5.5.3のような方法がある。

またI形桁を単独に仮置する場合は風によって転倒しないように、必要に応じて処置しなければならない。

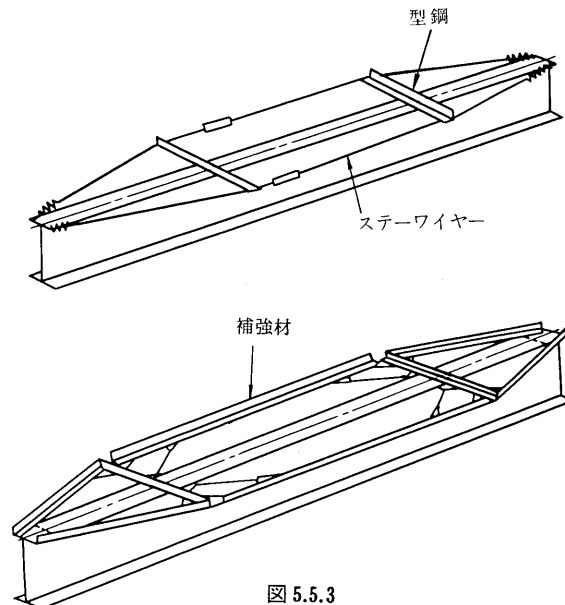


図 5.5.3

5.6 架設中にのみ圧縮力をうける部材の補強

架設中にのみ圧縮力をうける部材は、架設の各段階についてその部材力を検討し、圧縮部材として設計しなければならない。

【解 説】 架設中に一時的に圧縮力をうける部材の設計は、通常、圧縮材として設計されることが少ないので、架設にあたっては注意が必要である。

圧縮材としての設計はそれぞれの基準に従って行うものとする。しかし、これらの規定によらない場合は、適正な方法によりその耐荷力を算定し安全性を確かめなければならない。参考として完成系についての関連規定の項目をあげれば以下ようになる。

架設中にのみ圧縮力をうける部材は、その応力が第4章に示される許容応力度以内でなければならないが、このことは、軸力部材では軸圧縮座屈に対して、また、曲げ部材では横倒れ座屈に対して定められた安全率を満足することを示している。

表 5.6.1 各基準・示方書の圧縮規定
(章または節の番号の一覧表)

規 定 の 内 容	道路橋示方書 (鋼橋編 昭和47年)	DIN 4114
部材の細長比の制限	10.2.4	7
軸力と曲げモーメントをうける部材	3.3 3.6	
圧縮力をうける部材の板厚	3.2	9
補剛された板	3.4	9
腹板厚と補剛材	3.4, 8.5, 8.6	16 17
荷重集中点の補剛材	8.7	
組合せ部材	3.5	
ポニートラスの上弦材	10.8	12

しかしながら、部材の耐荷力は、これらの座屈以外にフランジの局部座屈、補剛板の座屈、ウェブの曲げ座屈などの各種の座屈現象あるいは不安定現象のうち最も低い強度によって決まる。これらの座屈強度は、部材の寸法比や補剛材の寸法や配置などに密接な関係があり、完成系の示方書あるいは基準では圧縮部材の規定、補剛材の規定等が定められている。したがって、完成時に圧縮力をうける部材では、設計の段階においてこれらの規定を満足して設計されるので、各種の座屈現象に対する安全性は満足されている。

しかし、架設時のみ圧縮力をうける部材では、これらの座屈現象に対する配慮がなされなかったり、不十分であったりすることが多く、このために事故に至った例も少なくない。このような意味から架設中にのみ圧縮力をうける部材に対しても完成系の示方書(規準)等の圧縮部材の関連規定、補剛材の関連規定に準じて設計するのを原則とした。

5.7 全体座屈の防止

架設中の構造物は全体座屈に対して十分に安全でなければならない。U形断面構造あるいは上横構を省いた開断面構造物のように開断面状態をとり、圧縮応力をうける部分が横方向に拘束されていない細長い構造物では全体としての横倒れ座屈に注意しなければならない。

【解 説】 架設中の構造物は、横構や対傾構が取付けられていない状態や、床版コンクリートが硬化していない状態など、立体的な構造系としては不十分な状態のまま荷重をうけることがある。

また、合成桁などでは完成時には床版が横荷重に対して抵抗するので上横構を省略することが多いが、床版コンクリートの硬化前にはその効果が期待できないので、開断面構造系のまま荷重をうけることになる。そのため架設中の各段階に対して、各部材の応力度、座屈に対する安全性のほか、構造物全体が立体的な構造系として安定であることを確かめなければならない。

図 5.7.1 の(a), (b)に示すような開断面合成箱桁や、(c)に示すような 2 本の I 形主桁と下横構とで構成された U 型断面合成桁構造では、腹板間隔に比べ支間が長くなると、全体的なねじれ剛度が小さいために、コンクリート打設中に曲げねじれ変形を生じたり、全体的な横倒れ座屈によって崩壊した例もあり、新しい問題として橋梁関係では注目されてきている。

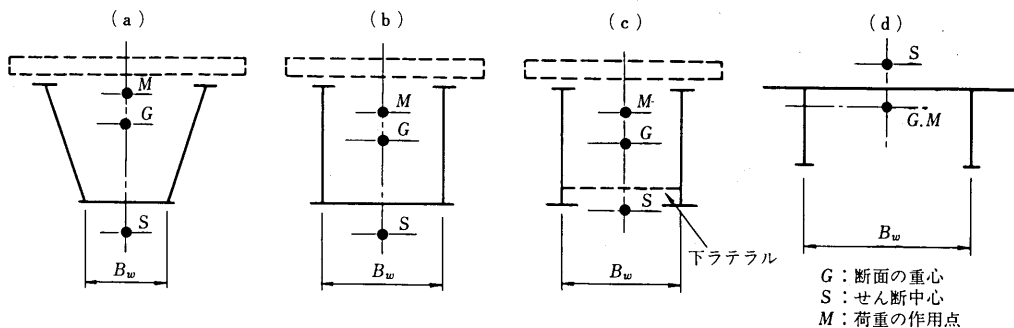


図 5.7.1

全体的な横倒れ座屈の安全性に及ぼす要因は以下のようなものである。

(1) 支間・腹板間隔の比 (l/B_w)

横倒れ座屈に対しては支間と腹板間隔の比の影響が支配的であり、(l/B_w) が大きいほど安全率が低くなる。鋼鉄道橋設計標準では ($l/B_w \leq 20.0$) の規定があり、この範囲内では全体的な横倒れ座屈に対して安全性が確かめられている。

他の構造物に対してもこの数値は全体座屈の安全性の一応の目安と考えられる。

(2) 使用材料

高張力鋼材を使用する場合には、構造全体がより細長い構造となり、全体座屈の安全率が低くなる。

(3) 荷重の大きさ

活荷重に比べ死荷重の割合の大きい場合には架設時の安全率が低くなるので十分に注意しなければならない。

(4) 断面形状

断面形状は幅に比べて桁高の高いものほど、垂直曲げ剛度に対する水平曲げ剛度、およびねじり剛度が小さいので安

全率が低い。また、座屈強度は図 5.7.1 に示すように、せん断中心 (S) の位置に比べ荷重の作用点 (M) が高いほど、低くなるので、一般的には (a) が最も座屈しやすく、(b)、(c) の順に座屈に対する安全性が増す。(b) のような π 形断面構造物は水平曲げ剛度が大きいので横倒れ座屈の安全性は一般に高いが、桁高の高い断面が特に大きな負の曲げモーメントをうける場合には注意しなければならない。

(5) 閉断面構造

閉断面構造物や I 形主桁と上、下横構で構成される構造物は、ねじり剛度が高いので、一般に全体座屈に対して安全である。

したがって、細長い閉断面構造物の補強対策としては上下横構を設けて、閉断面構造系とすることが非常に有効である。この架設用の横構の断面はトラスの 2 次部材の最大細長比 ($l/r \leq 150$) から決定することができる。

参 考 文 献

- 1) J. W. Clark and H. N. Hill : Lateral Buckling of Beams and Girders, Trans. ASCE, Vol. , 127, 1962
- 2) G. Winter : Lateral Stability of Unsymmetrical I-Beams and Trusses in Bending, Trans. ASCE, Vol. 108, 1943
- 3) H. N. Hill, : Lateral Stability of Unsymmetrical I-Beams, J. Aero. Sci, Vol. 9, No. 5, 1942
- 4) 福本昤士 : プレートガーダーのフランジの曲げ圧縮強度, 橋梁と基礎, 1972 年 8 月号.
- 5) 福本昤士・山崎康嗣 : 吊上げ時の I 形ばりの横倒れ安定について, 土木学会論文報告集, 第 259 号, 1977 年 3 月
- 6) 福本昤士・久保全弘 : U 形断面桁の横倒れ座屈強度, 土木学会論文報告書, 第 264 号, 1977 年 8 月.