

技術ノート

キーワード

プレートガーダ
水平補剛材
腹板
設計プレートガーダの腹板の
設計に関する一考察

A Consideration on Web Plate Planning of Plate Girder

小笠原 照夫*
Teruo OGASAWARA

1. まえがき

道路橋示方書(昭和55年2月, 以下道示と称す)では, プレートガーダの腹板に関して, 上下対称断面に曲げモーメントが作用する場合(純曲げ状態)を対象に, 腹板の最小厚, 水平補剛材の取り付け位置および垂直補剛材間隔の照査について規準を定めている。

一般的には, 圧縮側フランジに許容応力度の低減が生じたりするため, 引張縁応力が大きくなる傾向にあり, 安全側(図-1参照)の設計となる。しかし, 連続鋼床版桁橋の中間支点近傍(上下非対称断面を有する桁)や, ラーメン橋・斜張橋など(曲げモーメントと同時に軸圧縮力が作用する桁)のように, 腹板の圧縮領域が引張領域よりも広い場合には, そのまま道示の規準を適用することが危険となる場合もある。

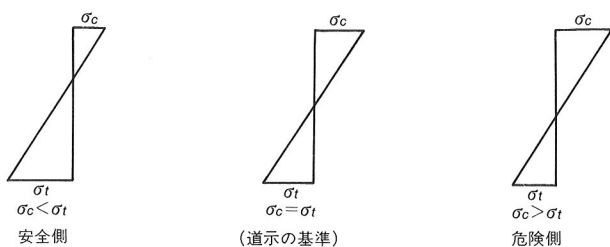


図-1 腹板応力分布

本文では, 道示の考え方に従って, 上記ケースの設計方法と照査方法について若干の考察を行う。

2. 道示の考え方

道示に示されているプレートガーダの腹板の最小厚と水平補剛材の取り付け位置は, 次の式により純曲げ状態

を対象にして決定されている。

$$\frac{1+\psi}{2} \cdot \frac{\sigma_c}{\sigma_{cr}} + \frac{1-\psi}{2} \cdot \left(\frac{\sigma_c}{\sigma_{cr}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}} \right)^2 = 1 \quad \dots\dots\dots(1)$$

(1)式は, 純圧縮と純曲げと純せん断との組み合わせ応力を受ける板の座屈照査式であり, プレートガーダの腹板の設計においては, これに座屈安全率 V_B と, 座屈パラメータ R を用いて(2)式のように表すことができる。

$$\frac{1+\psi}{4} \cdot \frac{V_B \cdot \sigma_c}{\sigma_{cr}} + \sqrt{\left(\frac{3-\psi}{4} \cdot \frac{V_B \cdot \sigma_c}{\sigma_{cr}} \right)^2 + \left(\frac{V_B \cdot \tau}{\tau_{cr}} \right)^2} = R^2 \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここで

$$\psi = \frac{\sigma_1}{\sigma}, \quad \eta = \frac{\tau}{\sigma}$$

であり, σ は大きい方の縁圧縮応力度である。

また, 座屈安全率 V_B は

$$V_B = 1.25 + (0.30 + 0.15\psi) e^{-4.3\eta} \geq 1.25$$

座屈パラメータ R は

$$R = 0.90 - 0.10\psi$$

であり,

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{cr} &= k\sigma \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{t}{b} \right)^2 \\ \tau_{cr} &= k\tau \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{t}{b} \right)^2 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(3)$$

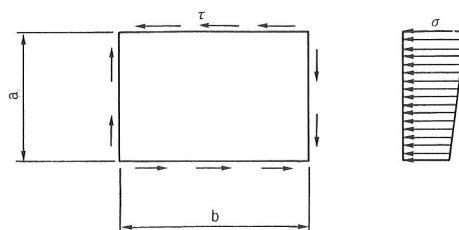


図-2 単一パネルの応力図

*川田工業(株)技術本部設計部設計課

である。

(3)式中の $k\sigma$ と $k\tau$ は座屈係数であり、ドイツの規定であるDIN4114を準用する。

よって、(3)式を(2)式に代入して幅厚比 b/t について解くと、

$$\left(\frac{t}{b}\right)^2 \geq \frac{\nu_B \cdot \sigma_c}{(1378 \cdot R)^2} \left\{ \frac{1+\psi}{4k\sigma} + \sqrt{\left(\frac{3-\psi}{4k\sigma}\right)^2 + \left(\frac{\eta}{k\tau}\right)^2} \right\} \dots (4)$$

となり、道示8.4の解説に示されているプレートガーダの腹板の単一パネル(フランジもしくは水平補剛材と垂直補剛材によって囲まれた部分)の座屈照査式を得ることができる。

ここに、水平補剛材および垂直補剛材は座屈の節となるように定められていることにより、各単一パネルの中で最小の座屈強度が腹板の有する座屈強度となる。

したがって、プレートガーダの腹板についても、圧縮補剛材と同様に各種応力状態において、道示の考え方に従った照査を行うことが可能である。

3. 腹板の最小厚および水平補剛材の取り付け位置に関する考察

ここでは、まず水平補剛材を1段設ける場合において、各種応力勾配 ψ における水平補剛材取り付け位置 λ と、腹板の幅厚比 b/t との関係をグラフにしてみる(図-2参照)。なお、このグラフは、腹板の緑圧縮応力度が許容引張応力度に等しいと仮定したものであり、せん断応力度は無視している。

図中、右上がりの曲線は圧縮側フランジと水平補剛材によって囲まれたパネルの λ と b/t との関係、右下がりの曲線は引張側フランジと水平補剛材によって囲まれたパネルの λ と b/t との関係である。

図-3からわかるように、右上がりの曲線と右下がりの曲線の交差する位置に水平補剛材を設けることが、腹板厚を最小にし、最も経済的な配置といえる。また、応力勾配 $\psi = -1.0$ (純曲げ状態)に着目してみると、最も経済的となる位置は0.2付近となっており、道示の規準に一致している。

ここで、今回の考察の目的である、応力勾配と腹板の最小厚および水平補剛材の取り付け位置に着目した概略値を表-1に示す。

表-1 水平補剛材の取り付け位置(λ)と幅厚比(b/t)との関係(水平補剛材1段の概略値)

	SS41			SM50Y			SM58		
ψ	-1.0	0.0	1.0	-1.0	0.0	1.0	-1.0	0.0	1.0
b/t	260	145	90	220	120	75	190	105	65
λ	0.2	0.36	0.5	0.2	0.36	0.5	0.2	0.36	0.5

注) ψ : 腹板の上下縁の応力比 b/t : 腹板の幅厚比
 λ : 水平補剛材の取り付け位置

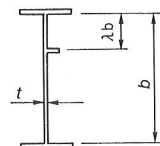
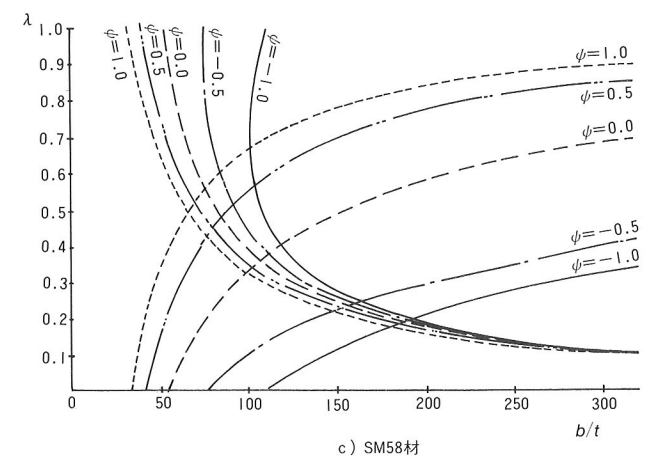
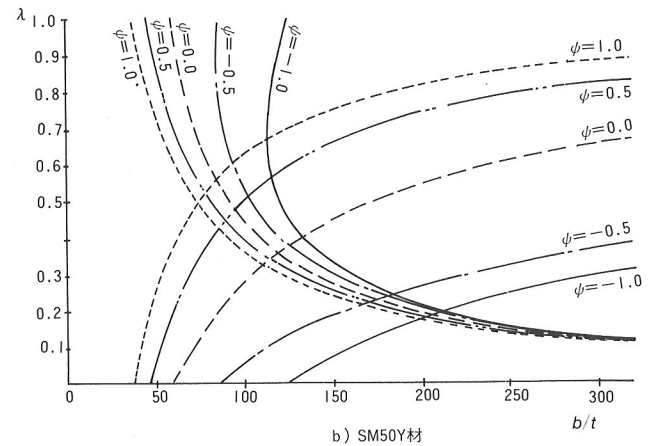
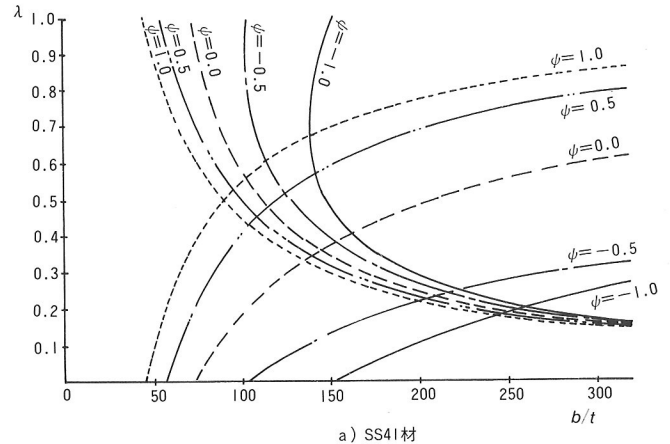


図-3 水平補剛材の取付け位置(λ)と幅厚比(b/t)との関係(水平補剛材1段)

また、 λ と b/t の関係については、水平補剛材の経済的な配置になりうる付近において比較的敏感になっている。すなわち、応力勾配 ψ は、腹板の幅厚比 b/t および水

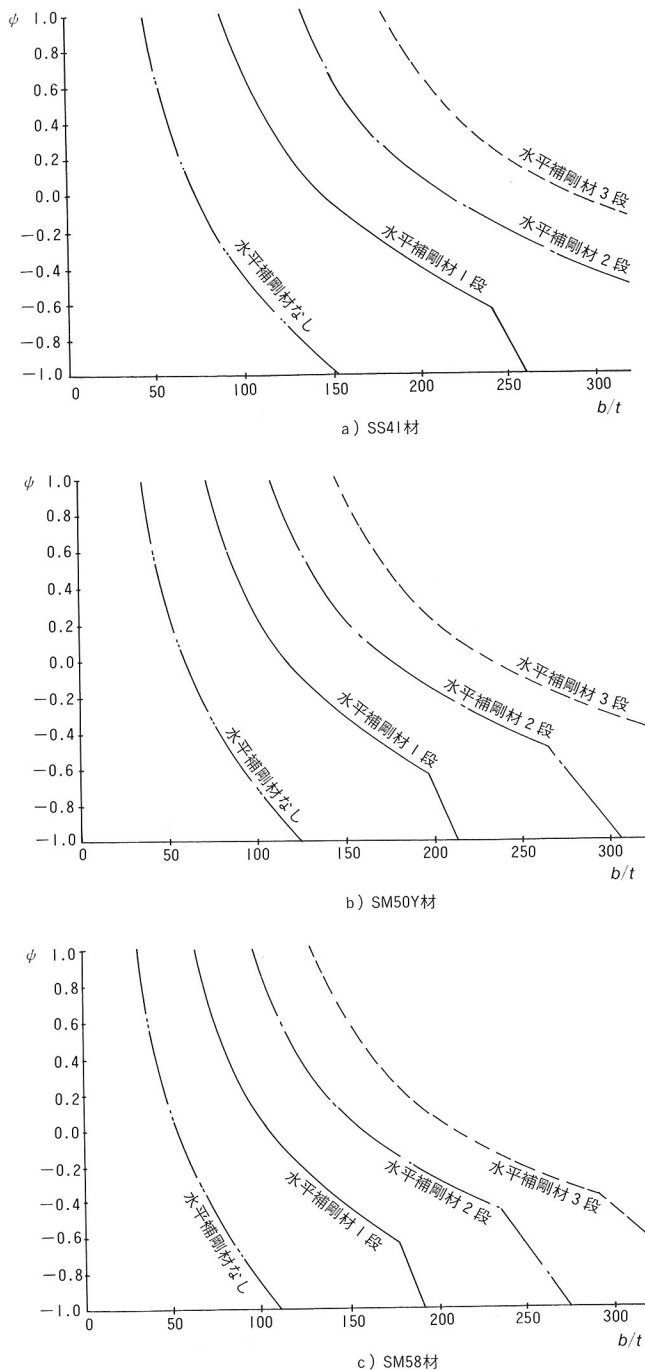


図-4 応力勾配(ψ)と幅厚比(b/t)との関係

水平補剛材の取り付け位置 λ に大きな影響を与えることになり、応力勾配を無視した水平補剛材の配置は、かなり不経済、あるいは危険な設計となりうる。

次に、応力勾配による幅厚比および水平補剛材の取り付け位置について述べる。

まず、図-4に応力勾配 ψ と幅厚比 b/t との関係について、水平補剛材のないものから3段配置までを対象にグラフ化してみる。図中、水平補剛材を配置し、応力勾配の低い範囲において直線的な線が表れているのは、水平補剛材と引張側フランジによって囲まれたパネルの座屈係数が一定値となるのが、主な原因のようである。

また、図-5に水平補剛材の取り付け位置 λ と応力勾配

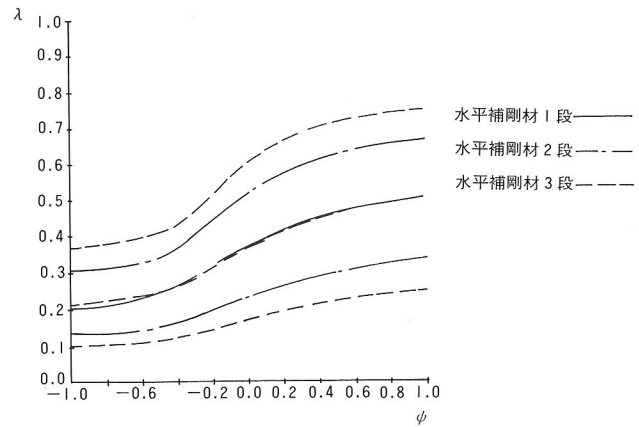


図-5 水平補剛材の取り付け位置(λ)と応力勾配(ψ)との関係

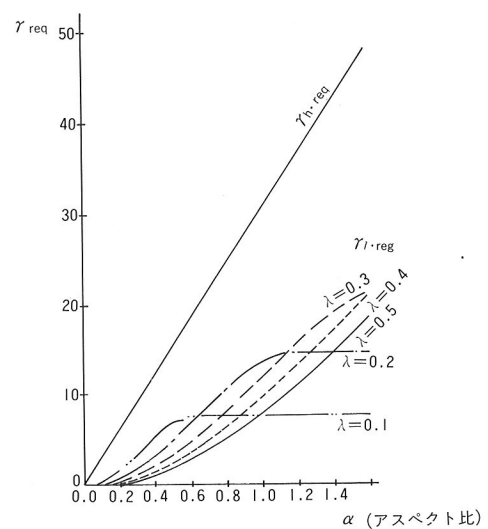


図-6 補剛材の必要剛比(γ)の比較

との関係を、図-4と同様に水平補剛材3段配置までを対象にグラフ化してみる。

図-4, 5から明らかなように、応力勾配の低い範囲(図-4の直線的な線の範囲)においては、水平補剛材の取り付け位置および幅厚比ともに比較的影響が小さいようであるが、水平補剛材を多段配置にするにつれて、その影響が大きくなる傾向にある。また、水平補剛材を設けた場合で、応力勾配が $-0.5 \sim 0.5$ 前後の範囲において、水平補剛材の取り付け位置および幅厚比ともに影響が大きくなっている。

次に、水平補剛材を任意の位置に設ける場合の水平補剛材の必要剛比 γ について、道示3.2.4の補剛材の規準と比較を行ってみる(図-6参照)。

ただし、道示3.2.4の規準は、等間隔に配置された補剛材を有する補剛板を直交異方性板として扱っていることから、単純に、道示3.2.4の規準により「補剛板の座屈の節となるような剛度を与えればよい」とはいえないが、参考までに腹板を補剛板にモデル化し、比較を行ってみることとする。

ここに、道示3.2.4の補剛材の必要剛度は、

$$I_l \geq \frac{bt^3}{11} \cdot \gamma_{l,req}$$

であり、水平補剛材としての必要剛度は

$$I_h \geq \frac{bt^3}{11} \cdot \gamma_{h,req}$$

である。なお、補剛材については $\delta_l=0.1$ とし、 $\gamma_{l,req}$ についてはそのまま比較ができるように、腹板の板幅 b について補正を行った値である。

図-6より、水平補剛材としての必要剛度を満足していれば、水平補剛材を任意に配置しても問題はないように思われる。

4. 垂直補剛材間隔の照査に関する考察

道示の垂直補剛材間隔の照査に用いられている基本式は、垂直応力とせん断応力とが同時に作用する場合の座屈の照査式として、次式を用いている。

$$\left(\frac{\sigma_c}{\sigma_{cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2 = \left(\frac{1}{\nu_B}\right)^2 \dots\dots\dots(5)$$

(5)式は、(1)式に $\psi=-1$ を代入することにより得られすなわち(1)式において純曲げ状態を対象にした、フランジもしくは水平補剛材と垂直補剛材とによって囲まれたパネルの座屈照査式である。

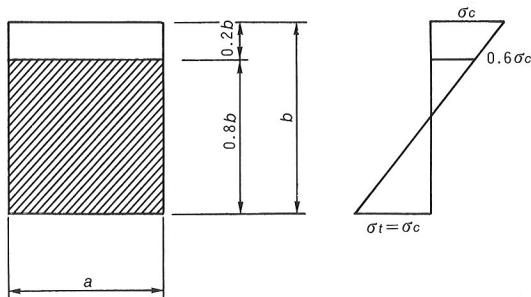


図-7 水平補剛材を1段用いる場合

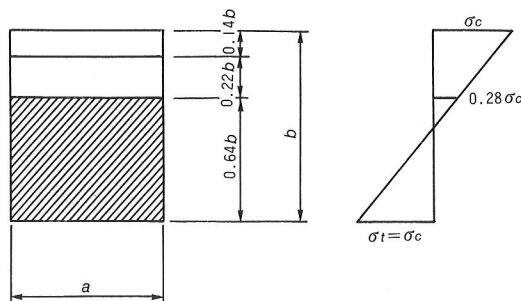


図-8 水平補剛材を2段用いる場合

となり、図-7、図-8の斜線部を照査することから、 σ にそのパネルの縁圧縮応力と $\nu_B=1.25$ 、DIN4114の座屈係数を代入することにより、道示の規準を導くことができる。

したがって、(1)式を用いれば水平補剛材を任意の位置に設けても、同様に照査することができる。

5. あとがき

今回、プレートガーダの腹板について、応力勾配との関係から多少の考察を行ったが、腹板の圧縮領域が引張領域よりも広い場合には、実際の設計において、それを考慮する必要があると考えられる。また、道示において純曲げ状態($\psi=-1.0$)を対象に規準を定めているということは、応力勾配がそれ以下の場合を対象に、設計業務の煩雑さをなくすために定めていると解釈すべきであり、応力勾配が -1.0 より大きい場合には、危険な設計となりうるのである。

最後に、今回はプレートガーダの腹板の設計について、垂直応力だけを対象にしてグラフを作成したが、同時にせん断応力を考慮した場合や、圧縮補剛板との関係をまとめることが必要であると考えている。

また、(3)式を(5)式に代入して整理すると、

$$\nu_B^2 \left(\frac{b}{100t}\right)^4 \left\{ \left(\frac{\sigma}{190k\sigma}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{190k\tau}\right)^2 \right\} \leq 1$$