

薄肉箱型断面げた補強のためのパラメーターを もちいた隔壁配置決定について

矢島 鎧 司*

Design of Diaphragms in Thin-walled Box-Girders by Parametric Analysis

SOHJI YAJIMA*

Synopsis: At first the equation of Vlasov (Wlassow) which today means a big progress in solving the problems of thin-walled elastic beams, is taken into account and symplified. Then the exact equation and the symplified equation are compaired with each other. The terms of the differential equation are constructed by the stiffnesses of the cross section of the box girders, from which the parameters are derived. It is now possible to calculate the profildeformation in solving the problem by the symplified equation instead of the calculation with comlicated exact equation. While placing the diaphragms in a section of a box girder, these parameters are then warranting close enough probabilities if the symplified equation can be used.

要旨: ウラソフにより誘導された薄肉閉断面ばりの微分方程式を用い、その式の簡略化を考察する簡略化式と厳密式との比較を行う際に、パラメーターを用いる。このパラメーターは、薄肉閉断面ばりの長さや、断面の寸法、材料定数によって決定されるものである。厳密式との比較の結果、パラメーターは、簡略化式の適用範囲を明確にすることを示す。このため、今まで複雑な計算により求められていた薄肉箱型断面をもつはりの断面形状の変化を考慮した計算を容易にした。又、断面形状の変化を取りあつかっているために、その変化を隔壁により拘束した場合の影響も簡略化され、隔壁の配置設計に際しての有用な資料となっている。

1. 概 説

薄肉構造部材の問題点は、主にねじり荷重が、かかった場合における挙動の解析にある。ねじり荷重の作用下で、部材の縦方向へ断面は、そるが、その時に拘束がなければ、垂直応力については、考慮しない。これは、いわゆる St. Venant の理論である。断面のそりを拘束すると、当然に垂直応力が生じてくる。一般に、偏心荷重(一般ねじり荷重)は、純ねじり荷重と、ずれゆがみ荷重 (Distorsion) に分解される。このずれゆがみは、断面が変形することによって生じてくるものである。今まで、この断面変形についての研究発表は、数多く、おこなわれて

* 電子計算機センター専任講師 工学博士
Lecturer, Computer Center, Dr. of Engineering

きた。そこでとりあつかわれている断面変形は、断面がヒンジで結合構成されているものの変形としている。これは、すなわち、断面変形が生じたのちでも、断面を構成する部材の中心線は、直線のままであるという仮定になりたっている。このことは、薄肉断面のとりあつかいにおける膜理論に相当している。もしも、断面を構成する部材が、節点で剛に結合されている場合には、板 (Platte) の曲げ効果が生じてくる。これら2つの変形に加えて、もう1つせん断変形を、一緒にして断面変形としてとりあつかうことにしている¹⁾。

断面変形を考慮した箱型断面げたの微分方程式は、弾性支承上のけたの微分方程式と同じ形をもっている。弾性支承上のけたの微分方程式における曲げ剛性、曲げねじり剛性で、けたにかかる水平力を、ねじり剛性で、弾性ばね係数を、断面変形に抵抗する剛性におきかえてやれば、断面変形を考慮した薄肉ばりの微分方程式を得る²⁾。文献4)では、多数の隔壁により、箱型断面げたを補強してある場合には、膜理論により計算できるとしている。この簡単な計算仮定を満足させるためには、今まで、むやみにたくさんの数の補強隔壁を入れて、断面変形をおこさないようにして成立させていた。この論文では、隔壁の取りあつかいと、その設置について論じようとするものである。英国の Merrison 委員会は、箱型断面げたの設計における隔壁のとりあつかいについて、その規準となるものを提案している³⁾。この提案は、しかしながら、非常に複雑な計算式をとめない、その上、計算上の仮定などについては、ふれていない。坂井、長井の箱型断面げたへの隔壁の影響計算では、ねじれ変形を考慮しない膜理論を出発点として微分方程式を使用している⁴⁾。そこでは、実際に設計される場合に立って、隔壁の間隔の最大と最小長を提案している。更に、断面変形により生じるその応力と、曲げ応力との比較から、隔壁の間隔を出している。それゆえ、箱型断面げたの支間長、長くなれば、曲げ応力が大きくなる、それに従って、それと比較する断面変形により生じるそり応力も大きく許容することができるようになり、隔壁間隔も大きくする事ができる。それとは、反対に、隔壁を用いて断面変形を拘束すれば、その拘束力としてバイモーメントが生じてくる。それゆえに Kristek は、断面変形を拘束することにより生じるバイモーメントが最大の場合に、その隔壁の間隔長を最適していると提案している⁵⁾。西野、長谷川、名取は、文献8)の中で断面変形の中で、板の曲げが占める部分は、非常に小さく無視できる程度であるとしているが、その具体的な数値については、何ら言及していない。箱型断面の一般ねじり荷重作用下において生じる断面変形は、その断面の寸法に大きく依存している。以上に掲げた文献では、この点について考慮されていない。断面寸法と断面変形との間の関係については、文献9), 10) で、パラメーターを定義し、その性質を論じている。このパラメーターは、断面寸法及び断面を構成する材料の性質より求められるものであり、この論文では、このパラメーターを用いて隔壁の配置決定を行う方法、その他、応用可能な点について述べようとするものである。箱型断面に関する Wlassow

論文：薄肉箱型断面げた補強のためのパラメーターをもちいた隔壁配置決定について
の微分方程式を、基本式として用いる。

2. 基本式の導入

2.1 箱型断面げたの微分方程式

Wlassow は、断面変形を考慮した閉断面薄肉ばかりの微分方程式を立てている¹⁾。この微分方程式系は、箱型断面ばりの場合には、

$$-aU'' - b_1U - b_2\theta' - b_1\kappa' = \bar{B} \quad (1)$$

$$b_2U' + b_1\theta'' - b_2\kappa'' = \bar{H} \quad (2)$$

$$b_1U' + b_2\theta'' - b_1\kappa'' - c\kappa = \bar{Q} \quad (3)$$

ここで

$$a = \frac{1}{24} Ed_1^2 d_2^2 (F_1 - F_2) \quad (4)$$

$$b_1 = \frac{1}{2} G(d_1^2 F_2 + d_2^2 F_1) \quad (5)$$

$$b_2 = \frac{1}{2} G(-d_1^2 F_2 + d_2^2 F_1) \quad (6)$$

$$c = \frac{96}{d_1^3 + d_2^3} EJ_1 + EJ_2 \quad (7)$$

$$J_1 = \frac{\delta_1^3}{12} \quad (8)$$

$$J_2 = \frac{\delta_2^3}{12} \quad (9)$$

$$F_1 = d_1\delta_1 \quad (10)$$

$$F_2 = d_2\delta_2 \quad (11)$$

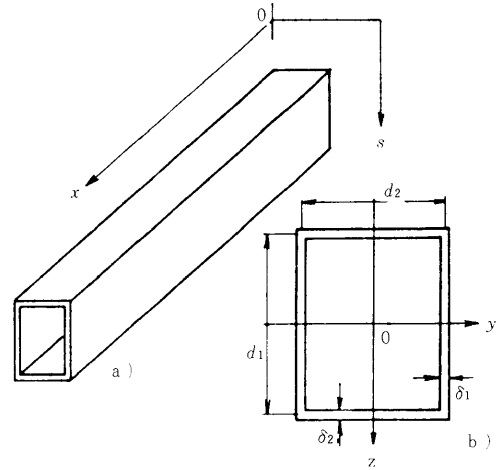


図-1

寸法記号については、図-1に示してある。変形 U は、そり、 θ は、ねじり角、 κ は、断面変形を表わす。荷重項は、外荷重の合成値である。Wlassow は、式(1)―(3)を、合成して、ある変形関数 f を使い、斉次の場合に

$$\frac{a}{c} (b_1^2 - b_2^2) f^{VI} - ab_1 f^{IV} + (b_1^2 - b_2^2) f'' = 0 \quad (12)$$

又は

$$f^{VI} - 2r^2 f^{IV} + s^4 f'' = 0 \quad (13)$$

ここで

$$r^2 = \frac{b_1 c}{2(b_1^2 - b_2^2)}, \quad s^4 = \frac{c}{a} \quad (14)$$

と表現している。ここでは、断面変形 κ についてのみ注目して、微分方程式 (1)―(3) を κ について、組み立てなおすと

$$a\kappa^{IV} - a \frac{b_1}{b_1^2 - b_2^2} c\kappa'' + c\kappa = 0 \quad (15)$$

ここで

$$\begin{aligned} a & \quad \text{そり剛性} \\ \frac{b_1^2 - b_2^2}{b_1} & \quad \text{ねじり剛性} \\ c & \quad \text{断面変形のうち板の曲げに対応する剛性} \end{aligned}$$

(14)式を用いて、(15)式を、書き換えれば、

$$\kappa^{IV} - r^2\kappa'' + s^4\kappa = 0 \quad (16)$$

この微分方程式は、弾性支承上のはりの微分方程式と同じ形をもっている。

2.2 パラメーター

式(16)の第2項は、断面変形に対応する剛性とねじり剛性に対応する剛性との比になっている。ここで、けたの長さを l として、パラメーター ξ を、次のように定義する。

$$\xi = \sqrt{2r^2} l = \sqrt{\frac{b_1 c}{b_1^2 - b_2^2}} l \quad (17)$$

式(16)の第3項は、断面変形に対応する剛性 c と曲げねじり剛性 a との比である。この a は、図-2のそり関数を用いることにより計算される。パラメーター η を、 ξ と同様に次のように定義する

$$\eta = \sqrt[4]{s^4} l = \sqrt[4]{\frac{c}{a}} l \quad (18)$$

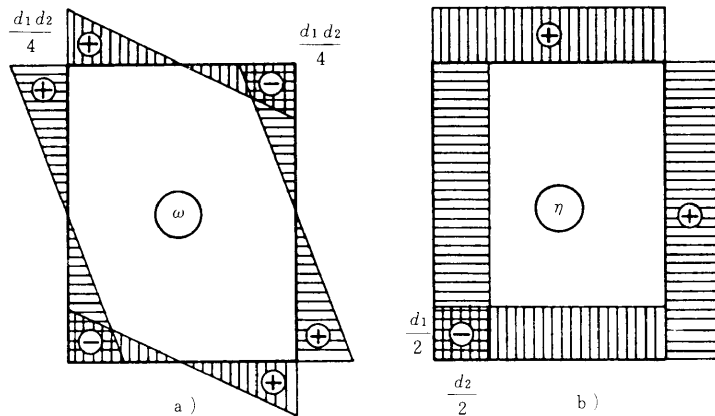


図-2

論文：薄肉箱型断面げた補強のためのパラメーターをもちいた隔壁配置決定について

このパラメーター η については、文献 9) において基本的な性質が述べられている。もう一つ新しいパラメーターを定義する、これは、ねじれ剛性とそり剛性の関係を表わすもので

$$\zeta = \frac{\eta^2}{\xi} = \sqrt{\frac{b_1^2 - b_2^2}{ab_1}} l \quad (19)$$

このパラメーターは、St. Venant のねじりと曲げねじりとの間の関係を示すもので、日本道路橋示方書において、使用されているものと同じものである。Kollbrunner と Basler は、 $d = l/\zeta$ を characteristic length として名づけ、報告を行っている¹¹⁾。

ここで、まったく新しいパラメーターを導入する、これは、断面の性質のみを表わすためにはりの長さ l を消去したものであり

$$\lambda = \frac{\eta}{\xi} = \sqrt{\sqrt{\frac{c}{a}} \frac{cb_1}{b_1^2 - b_2^2}} \quad (20)$$

図-3 は、断面の幅と厚み、又は、高さと厚みの間の関係を示したものである。縦軸には、パラメーター λ を、横軸は、厚みと高さ又は幅の比をとっている。 $\delta_2/d_2 = 1/2$ は、充実断面を表わすものである。点線で示したものは、全断面で厚みと幅又は高さが等しい場合を表している。例えば厚みと幅又は高さの比が $1/10$ 場合には、 λ の値は 2.58 になることがわかる。即ち、このパラメーター λ は、断面の寸法の性質を表わすものである。橋りょう構造物に非常によく使用される箱型断面の場合には、パラメーター λ は、7 ~ 13 の間にくるものが殆どである。

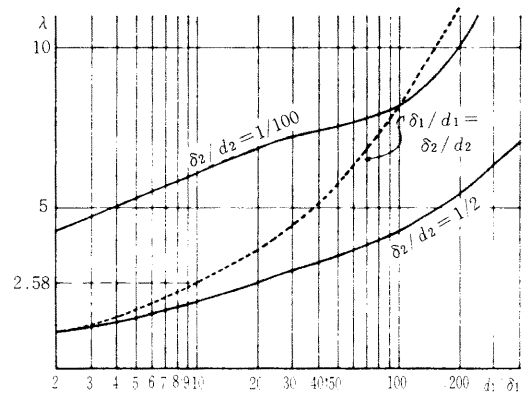


図-3

2.3 パラメーターとバイモーメント

ここでは、断面変形荷重を起こす荷重の作用下における箱型断面げたの挙動についての計算結果を示すものである。まず第一に、計算に用いた境界条件 (Randbedingung) を表-1 に示す。a) は、自由端であり、断面力は 0 である。b) は、ねじり角だけを拘束する Gabel 支承である。c) は、固定端であり、すべての変位は 0 である。d) は、Gabel 支承に加えて、端隔壁が入

a)		$H = 0$ $B = 0$ $\phi = 0$	c)		$\kappa = 0$ $\psi = 0$ $\theta = 0$
b)		$\theta = 0$ $B = 0$ $\phi = 0$	d)		$\kappa = 0$ $\theta = 0$ $B = 0$

表-1

っている場合を示す。荷重の大きさは 1
 として箱型断面げたの支間中央に載荷さ
 れているとする。

すでに、文献10)において、断面変形 κ
 とパラメーター η の関係は詳しく報告が
 なされている。ここでは、バイモーメン
 トとパラメーター η の関係に注目するこ
 とにする。図-4 においては、境界条件
 d) をもつ曲線で $\eta = 2.6$ の時にバイモー
 メントは最大値をとることがわかる。 B

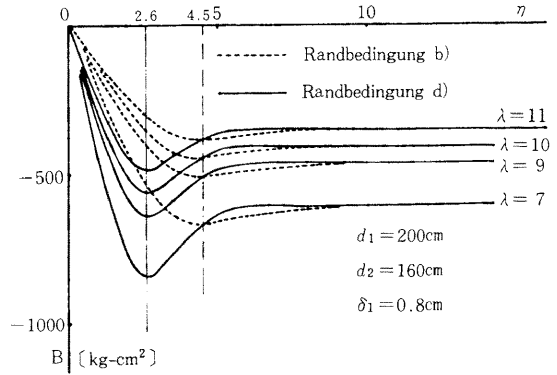


図-4

の値は、 $\eta = 7.0$ 附近まで値の減少がみられる。それ以後は、 B の値は、定数のままになる。
 境界条件 b) と d) をもつ 2 つの曲線は、 $\eta = 4.5$ 附近でぶつかるのがわかる。d) は、隔壁によ
 り端部を補強しているものである。境界条件 d) の曲線は、だいたいにおいて境界条件 b) をも
 つ曲線の下側を通っている。このことは、バイモーメント B は、断面変形を拘束することによ
 って生じた拘束力として増加しているということを意味している。その他に、図-4 は、端隔
 壁の効果の最大は $\eta = 2.6$ の場合である、即ち、バイモーメントが、最大の値に到達する場合
 に隔壁の効果は最大になるということである。

3. パラメーターと式の簡単化

3.1 係数 c の省略

微分方程式(15)において、断面変形に対応する剛性を無視すれば、

$$a\kappa^{IV} = 0 \quad (21)$$

これは、すなわち、箱型断面ばりを、膜理論により計算するという事になる。断面は、どこに
 も断面内で作用する曲げに抵抗する剛性をもっていないことを意味している。曲げねじり剛性
 a を曲げ剛性 EI で断面変形 κ をたわみ v で置きかえると、周知のはり曲げの式

$$EI v^{IV} = 0 \quad (22)$$

となる。

微分方程式(1)―(3)において、断面変形に対応する剛性 c を消去してやれば、

$$aU'' - b_1U - b_2\theta' - b_1\kappa' = 0 \quad (23)$$

$$b_2U' - b_1\theta'' - b_2\kappa'' = 0 \quad (24)$$

$$b_1U' - b_2\theta'' - b_1\kappa'' = 0 \quad (25)$$

この微分方程式系は、膜理論を満たしていることになる。この解については、文献(4)を参照

されたい。

3.2 セン断変形の無視

ここで、断面変形を考慮しているといっても $\theta(x) \equiv 0$ すなわち $h = 0$ (図-26) の場合も考えられないことはない。すなわち、板の曲げ剛性は、考慮に入っているということである。式(1), (2), (3)より θ の部分、すなわち $h = 0$ とすれば

$$aU'' - b_1U - b_1\kappa' = 0 \quad (26)$$

$$b_1U' - b_2\kappa'' - c\kappa = 0 \quad (27)$$

$GF_1 \rightarrow \infty, GF_2 \rightarrow \infty$ の場合に式(5), (6)よりせん断変形を無視した箱型断面をもつはりの式を得る。

a は、有限な値であり、 $b_1 \rightarrow \infty$ とすれば(26)式より

$$U = -\kappa' \quad (28)$$

式(26)を x で1回微分を行い式(27)に加えれば

$$aU''' - c\kappa = 0 \quad (29)$$

そして式(28)より

$$\kappa^{IV} + \frac{c}{a}\kappa = 0 \quad (30)$$

この式が、せん断変形を無視した、断面変形可能な断面の式である。

3.3 簡単化した式とパラメーター

3.1ですでに述べたように、式(21)は、曲げの式と同じ形をしている。境界条件 d) では、断面変形は、

$$\kappa = \frac{1}{48a}x^3 \quad (31)$$

この関係より、図-5には、 η と κ の関係を図示している。横軸に η 、縦軸に κ を与えて、式(31)により計算した結果、厳密な計算式による結果を併せて表わしている。せん断変形を無視した膜理論の結果と Wlassow による厳密式とでは $\eta = 1.5 \sim 2.0$ までは、等しい値をもつ。 η 値が大きくなれば、式(31)の曲線は、厳密

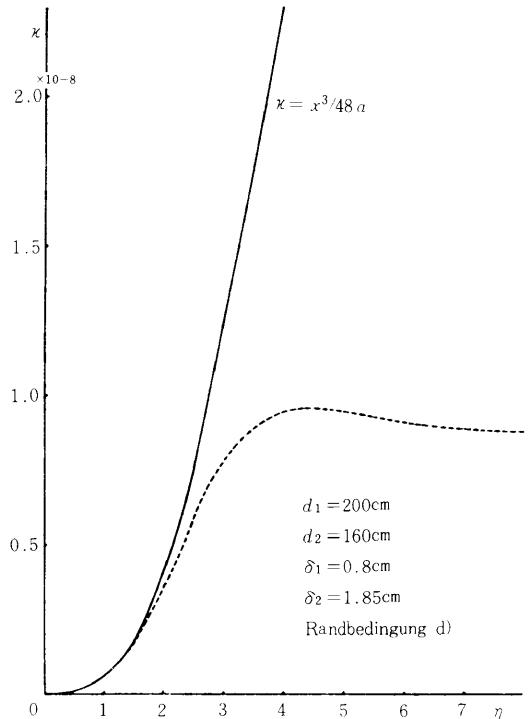


図-5

値とかなりはなれてゆくことがわかる。

すなわち、 $\eta = 1.5 \sim 2.0$ までは、せん断変形を無視した膜理論でも有効であるということである。膜理論では、せん断変形を考慮しているが、せん断変形を無視した場合とそれほどの違いはない。

板曲げの影響を見る場合、及び、せん断変形の無視の場合の箱型断面ばりをみる場合に、図-6 は、有用である、図-6 は、板曲げの投割を示している。板曲げの剛性は、より長い軸長の場合、又は、より大きい η -値の場合に大きな影響をもつということが、わかる。もしも、板曲げの部分を省略してしまうと、断面変

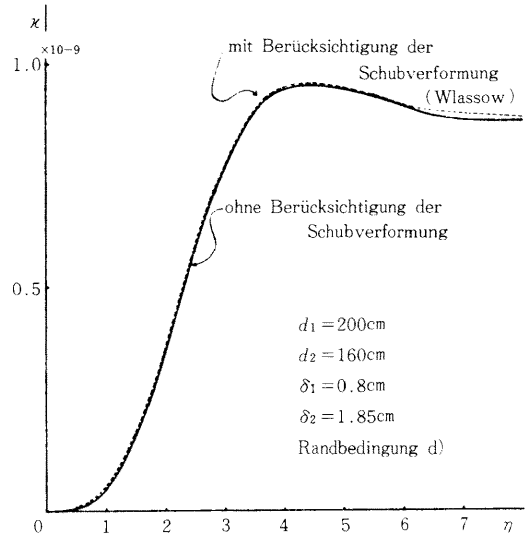


図-6

形の曲線は、より長いけたの場合には、急角度で増大していってしまう（図-5）。 κ の値は、 η の値が小さい時には、全く違った傾向を示している。 $\eta = 3$ 以上では、Wlassow の厳密式とせん断変形無視のもとでその計算とでは99%の一致を見ている。すなわち、せん断変形の無視での計算は、厳密計算と非常に近い近似性もっていることになる。 η と κ の値が、両方とも小さい場合には、相異があると述べたが、 κ の値が、そもそも小さく、問題にならない程度である。

今まで、断面変形と単純化された式との関係を見てきたが、ここでは、パイモーメントと近似法の間の関係を見てみることにする。パイモーメントの計算を近似式で求めることができる

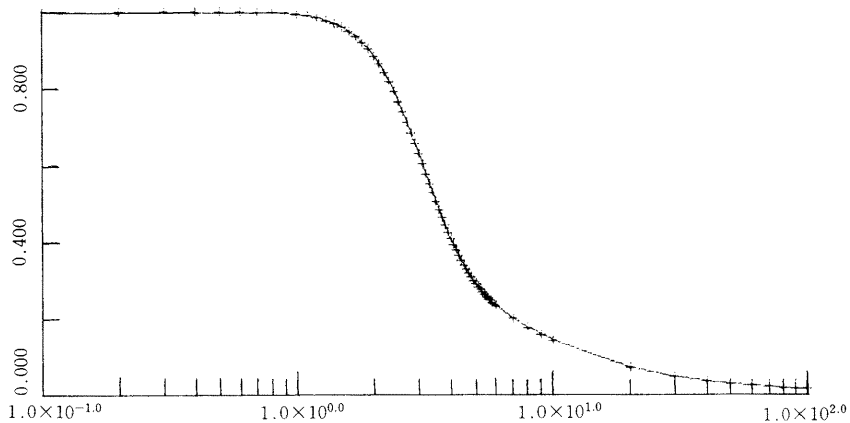


図-7

論文：薄肉箱型断面げた補強のためのパラメーターをもちいた隔壁配置決定について

ことは、非常に便利なことになる。

せん断変形を考慮しない膜理論により計算されたバイモーメント B_M は、集中横方向バイモーメント荷重 Q により

表-2

$\eta \backslash \lambda$	1	2	3	4	5	6	7	$\eta \backslash \lambda$	8	9	10	11	12	13	14
0,1	100	100	100	100	100	100	100	0,1	100	100	100	100	100	100	100
0,5	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	0,5	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9
1,0	99,0	99,1	99,1	99,1	99,1	99,1	99,1	1,0	99,0	99,1	99,1	99,1	99,1	99,1	99,1
1,5	95,7	95,8	95,8	95,8	95,9	95,9	95,9	1,5	95,7	95,8	95,8	95,8	95,9	95,9	95,9
2,0	88,2	88,2	88,3	88,3	88,4	88,4	88,4	2,0	88,2	88,2	88,3	88,3	88,4	88,4	88,4
2,5	76,3	76,4	76,5	76,5	76,6	76,6	76,6	2,5	76,3	76,4	76,5	76,5	76,6	76,6	76,6
3,0	62,7	62,8	62,9	62,9	63,0	63,0	63,0	3,0	62,7	62,8	62,9	62,9	63,0	63,0	63,0
3,5	50,4	50,5	50,5	50,5	50,6	50,6	50,6	3,5	50,4	50,5	50,5	50,5	50,6	50,6	50,6
4,0	40,8	40,8	40,9	40,9	40,9	40,9	40,9	4,0	40,8	40,8	40,9	40,9	40,9	40,9	40,9
4,5	33,9	33,9	33,9	34,0	34,0	34,0	34,0	4,5	33,9	33,9	33,9	33,9	34,0	34,0	34,0
5,0	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	5,0	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1
5,5	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7	5,5	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7
6,0	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	6,0	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2
7,0	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	7,0	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8
8,0	17,4	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	8,0	17,4	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
9,0	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	9,0	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6
10,0	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	10,0	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1
20,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	20,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
30,0	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	30,0	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
40,0	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	40,0	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
50,0	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	50,0	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
60,0	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	60,0	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
70,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	70,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

$\eta \backslash \lambda$	15	16	17	18	19	20
0,1	100	100	100	100	100	100
0,5	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9
1,0	99,1	99,1	99,1	99,1	99,2	99,2
1,5	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9
2,0	88,4	88,4	88,5	88,5	88,5	88,5
2,5	76,6	76,6	76,7	76,7	76,7	76,7
3,0	63,0	63,0	63,0	63,0	63,0	63,0
3,5	50,6	50,6	50,6	50,6	50,6	50,6
4,0	40,9	40,9	40,9	40,9	41,0	41,0
4,5	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0
5,0	29,1	29,1	29,2	29,2	29,2	29,2
5,5	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7
6,0	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2
7,0	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8
8,0	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
9,0	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6
10,0	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1
20,0	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1
30,0	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
40,0	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
50,0	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
60,0	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
70,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

$$B_M = \frac{Ql}{4} \quad (32)$$

曲げ棒と相似して、バイモーメントは、式(15)での第1項に相当していることになる。まず第1に、厳密式によって計算されたバイモーメント B_w と曲げ棒と相似して計算したバイモーメントの間の関係について考える。この関係は、図-7 にパラメーター η を用いて示してある。2.2章で説明を行ったように、パラメーター η は、幾何学的な寸法、すなわち断面寸法と材料定数によりできている。図-7 は、 $\lambda = 3$ より成立して、1本の曲線により表わすことができる。 $\lambda = 2, 3, 4$ の附近では、 η の値が大きくなるといくらか相異がみられる。グラフでは、その相違が明確でないので表-2 にそれを示した。Wlassow は、「薄肉」の定義として、 $\delta/d=1/10$ の関係より薄いものとしている。もしも、箱型断面のウェブとウェブ厚、フランジとフランジ厚を同時に1/10とすれば、 λ の値は、図-3 より2.58となり、おおまかに薄肉の定義を $\lambda = 3$ より大きな値をもつものを、そのように名付けるとすることができる。

$\eta = 1$ の場合には、なんのためらいもなく膜理論を使用することができる(図-7)。もしも η が1よりも大きい場合には、板曲げが及ぼす影響というものが無視できなくなってくる。すなわち、これを言いかえれば、長い薄肉のはりでは、板曲げの影響が無視できなくなってくる。

4. 隔壁の設計

図-7 は、前章で述べたことのほかに、隔壁(断面変形を拘束する境界条件)の距離が、短かければ、バイモーメント又はその応力が低下するということも示している。ここで特に、 $\eta = 2.6$ 附近では、直線的に減少している様子がわかる。隔壁の作用は、集中荷重が直接にその上にある場合に一番効果があることからわかるように、分布荷重よりも、集中荷重に大きな影響をもっている。実際問題、曲りばりの場合を除けば、偏心分布荷重は、それほど多くはない。断面変形により生ずるそり応力の減少を企くろんで、すなわち、曲げによって生ずる応力と、断面変形によって生ずるそり応力の比較によりその減少を云々するのであるが、隔壁の配置を決定しようとするれば、隔壁の間隔は、かなり密にする必要が生ずる。箱型断面ばりの断面寸法は、その決定を行う際に非常に重要な要因となる。ここでは、そり応力を求める簡単な計算方法を提案する。そして、その方法の使用範囲を明確にする。

4.1 隔壁の間隔

まず第1に、隔壁の間隔 l_Q を

$$l_Q = \sqrt[4]{\frac{a}{c}} \quad (33)$$

論文：薄肉箱型断面げた補強のためのパラメーターをもちいた隔壁配置決定について

とする，そこでは， η は 1 より小さくなっていることになる。それゆえに，簡略計算は，有効となる。一般に，箱げたの設計において，箱型断面は，曲げによって決定されるのが普通である。応力によって箱型断面げたの隔壁間隔を決定するために，曲げ応力とそり応力を比較する必要がある。曲げモーメント M により生じる応力 σ_M は

$$\sigma_M = \frac{M}{J_x} y \quad (34)$$

で表わされる。そこで

$$J_x = \frac{1}{6} (3d_1^2 d_2 \delta_2 + d_1^3 \delta_1) \quad (35)$$

$$M = \frac{Pl}{4} \quad (36)$$

P は，支間中央に載荷された集中荷重の大きさである。同様に，バイモーメント B_M により，生じるそり応力 σ_B は，

$$\sigma_B = -\frac{EB_M}{a} \omega \quad (37)$$

a は，ここで式(4)と図2a)に表わされたそり関数 ω で表わされるものである。パラメーター η が小さければ，断面変形集中荷重 Q の作用下で，バイモーメントは，

$$B_M = -\frac{Ql_Q}{4} \quad (38)$$

この式は，だいたい $\eta = 1.0$ まで有効である。次にここで，そり応力の大きさを曲げモーメントによって生ずる曲げ応力の 4% 以下であると仮定すれば，

$$\frac{\sigma_B}{\sigma_M} \leq 100.4 \quad (39)$$

もしも，荷重 P が，箱型断面げたに偏心して作用していれば，断面変形横方向バイモーメントは，次のように表わされる。

$$Q = \frac{Pd_2}{2} \quad (40)$$

次に，これらの表現を，用いて(39)を書き換えれば，

$$\frac{\sigma_B}{\sigma_M} = \frac{l_Q}{l} \frac{EJ_x}{a} \frac{d_2^2}{4} \leq 100.4 \quad (41)$$

ここで， l は，箱型断面げたの全スパン長であるが， l_Q は，隣りあう隔壁が作る間隔であることに注意をする必要がある。式(41)より，最小間隔は，

$$l_Q \leq 100A \frac{a}{EJ_x} \frac{4}{d_2^2} l \quad (42)$$

長さ l_Q は、式からわかるように、箱型断面げたの幾何学的な寸法に大きな関係をもっている。もしも、箱型断面げたの全長 l が、非常に大きい場合には、隔壁間隔が、非常に大きくなり、逆に小さい場合には、小さくなる。この方法は、坂井らにより提案⁶⁾ されているが、以上のような欠点があり、完全なものとはいえない。ゆえに、文献6) では、最大、最小間隔を、他の構造的な要素から決定しなければならず、隔壁本来の効果を十分に発揮することを防げられる場合も考えられる。

4.2 箱型断面げたの断面内におけるそり応力の計算

式(33)により、配置された隔壁は、バイモーメントが、荷重 Q により次のように表現されて、

$$B = \frac{Ql_Q}{4} \quad (43)$$

簡単に、計算を行えるようにしている。この式は、単純ばりの曲げモーメントの式と同じ形をしている。連続ばりの場合と比較すれば、当然、この式より計算した値は、安全側に立っている。ここで、この式を用いて、そり応力を計算すれば、

$$\sigma_B = \frac{1}{16} \frac{Ql_Q}{a} d_1 d_2 \quad (44)$$

5. 結 語

パラメーターを用いることにより、ここでは隔壁の配置を、明確に、簡単に表現することができる。すでに、隔壁の配置等について、文献6) などに研究が発表されているが、その有効範囲、その根拠を明確にしていない。これを補足する形で、ここでは、隔壁の配置の計算方法を提案したものである。これは、断面変形をとりあつかう微分方程式より出発して、その各項の意味を把握し、それらの果している役割を分析した結果である。各項から計算したパラメーターで用いたために、微分方程式を簡略化した場合の適用範囲を容易に示すことができた。特にパラメーター η と λ は、重要な役割をもっている。 λ は、断面の幾何学的な性質を、表わし、パラメーター η は、隔壁の配置を決定する際に、非常に便利な役割を果している。これらのパラメーターにより、隔壁の配置の決定、及びそれに附随する計算を簡単化し、その根拠を与えている。

最後に、国土館大学工学部電気工学科森岡望助教授および技術職員野田雅美氏に、Plotter を用いた対数グラフの作製に際し、心よくプログラフを提供していただいたことに感謝します。

論文：薄肉箱型断面げた補強のためのパラメーターをもちいた隔壁配置決定について

また、これらの研究は、早稲田大学理工学部土木工学科平嶋政治教授により有益な助言を得て筆者の博士課程時より進められたものであり、その研究進行中には、当時、同教授研究室大学院生であった新潟鉄工五味裕君に多大な助力を得られたことに対しても感謝の意を表わします。

(1979年9月28日 受理)

6. 文 献

- 1) Wlassow, W. S.: Dünnwandige Elastische Stäbe, Band 1, VEB-Verlag, Berlin, 1964.
- 2) Wright, R. N., S. R. Abdel-Samad und A. R. Robinson: BEF analogy for analysis of box girders, Proc. of ASCE, ST 7, S. 1719-1743, 1968.
- 3) Schardt, R. und H. Okur: Hilfswerte für die Lösung der Differentialgleichung $a y^{IV}(x) - b y''(x) + cy(x) = p(x)$, Der Stahlbau, Heft 1, s. 6-17, 1971.
- 4) 奥村敏恵, 坂井藤一: 箱型ばりの断面変形と中間ダイアフラムの影響, 土木学会論文報告集, No. 190, S. 23-36, 1971.
- 5) Department of the Environment Scottish Development Department Welsh Office: Inquiry into the design and method of erection of steel box girders bridges, Report of the Committee Merison Interim Design Rules, Her Majesty's Stationary Office, London, 1973.
- 6) 坂井藤一, 長井正嗣: A recommendation on the design of intermediate diaphragms in steel box girder bridges, 土木学会論文報告集, No. 261, 1977.
- 7) Kristek, V.: Tapered box girders of deformable cross section, Proc. of ASCE, ST 8, S. 1761-1763, 1970.
- 8) 西野文雄, 長谷川彰夫, 名取悦郎: 断面変形とせん断変形を考慮した長方形薄肉断面はりの理論, 土木学会論文報告集, No. 248, S. 25-40, 1976.
- 9) Hirashima, M. und S. Yajima: Beitrag zur Berechnung der Querschnittsverformung und des Einflusses des Querschottes unter der Biegetorsionsbelastung an Hand des Parameters-Verfahrens, Bullten of Science and Engineering Research Laboratory Waseda University, No. 75, S. 58-68, 1976.
- 10) Hirashima, M und S. Yajima: Beitrag zur Berechnung von Querschotten in Hohlkastenträgern, Proc. of JSCE, No. 264, S. 113-123, 1977.
- 11) Kollbrunner, C. F. und K. Basler: Torsion in Structures, An Engineering Approach, Springer-Verlag, Berlin, 1969.