

# 鋼箱桁橋のフランジ有効幅に関する基礎的研究

堀 江 保

Fundamental Study on the Effective Flange Width of Steel Box-Girder Bridge

YASUSHI HORIE

(昭和55年10月31日受理)

The longitudinal bending stresses in a flange of many beams with wide flanges are markedly affected by shear lag. It is known that the parts of the flanges at a distance from the web do not take their full share in resisting bending moment due to the shear lag, and the beam is weaker than the elementary theory of bending indicates. To account for the effect of shear lag in calculating stresses in a design of such wide flange beams, it is the usual practice by adopting an effective width concept. This concept, in which the actual width of each flange  $b$  is replaced by a reduced width  $\lambda$ , enable to obtain the correct value of maximum bending stress in a flange from the elementary theory, where  $\lambda$  is called the effective width.

The effective width of a girder flange depends on the width to length ratio, arrangement of supports, type of load, shape of cross section, dimensions of cross section. Several investigators said that one of the most significant parameters influencing the effective width is the flange width to span length,  $b/\ell$ . However, in recent study, it is pointed out that other parameters except  $b/\ell$  should be taken into account.

We have attempted to formulate a satisfactory modified beam theory for thin-walled members with shear deformation, and proposed method of analysis can be extended to analyze the shear lag. In this paper, the basic equations for effective width are derived by means of present theory and according to calculating results, it becomes clear that only effective widths for use in the region of a concentrated load are dependent on the cross-sectional dimensions of a girder.

## 1. はじめに

鉛直荷重により曲げを受ける箱桁のフランジ上軸方向応力は、フランジ面内のせん断変形により一般に shear-lag 現象を呈する。このため、広幅フランジ桁等の設計において従来の初等はり理論を適用すると、全フランジ断面が曲げモーメントに対して十分に抵抗できず、実際の桁は考えているものより弱くなってしまう。

この shear-lag 現象を設計に取り入れるために最も簡便な方法として、通常、有効幅の概念が用いられる。有効幅とは、実際のフランジ上軸応力分布面積と等しくなるよう実際の最大応力値に乗すべき仮想フランジ幅と定義され、有効幅を  $\lambda$ 、箱形断面のウェブ間距離の半分を  $b$  としたとき、それらの比  $\psi = \lambda/b$  で表現する場合が多い(図-1参照)。 $\psi$  は有効幅比と呼ばれ、その定義式より、最大応力に対す

る平均応力の比と解釈できる。有効幅の概念は、shear-lag を考慮したうえでかつ初等理論を用いて断面設計を行なおうというものである。そのためには、厳密理論等による実情の応力分布より有効幅比  $\psi$  を算定しておく必要がある。そして、実際のフランジ幅をより小さい仮想幅  $\psi \cdot b$  で置換した断面の断面2次モーメントを求め、それに対し従来の初等はり理論を適用することにより、shear-lag を考慮した最大応力の正確な値を求めることができる。

本報告は、現示方書の有効幅に関する規定を補う合理的提案式を目標とする基礎的研究の観点より、著者らが展開した理論<sup>1)</sup>より簡単な設定モデルに対し有効幅理論式の誘導を試みたものである。

本文では、はじめに、最近の有効に関する研究において取り上げられた有効幅に影響を及ぼす諸因子を列挙し、我国の現示方書<sup>2)</sup>における問題点を指摘する。そして、特にウェブ寸法の影響を表わすパラ

メーターの規定への導入の必要性を示す。次に有効幅理論式を誘導し、E.Reissnerの理論式との比較により本理論式の特長を述べ、さらに、本理論により得られる有効幅の計算結果に2・3の考察を加える。最後に簡単な鋼製模型桁の実験結果を示し、本理論との比較を行なう。軸方向応力の実測値と理論計算値がよく一致することより本理論の信頼度が高められたものと思われる。

2. 有効幅に影響を及ぼす諸因子

鋼箱桁橋のフランジ有効幅に影響を及ぼす因子と考えられる主なものを列挙するとつぎのようになる<sup>3)</sup>

- i) 支間長ℓに対する片側フランジ幅bの比b/ℓ
- ii) 桁の支持条件
- iii) 荷重状態
- iv) 横断面形状
- v) 横断面寸法

i)のb/ℓは、文献<sup>4)</sup>で指摘されて以来、数々の研究により確認され、この種の研究では必ず用いられる有効幅に対する最も重要なパラメーターと考えられる。ここで、片側フランジ幅とは、ウェブ間距離の半分、あるいは突出部のウェブから自由縁までの距離である。ii)は桁形式に相当し、単純桁、片持ち桁、連続桁等が考えられるが、等価支間長の概念を導入し、一般に単純桁の有効幅を他の桁形式に利用する手法がとられる。すなわち、片持ち部においてはその支間の2倍を、また、連続桁においては任意の曲げモーメントゼロの点の区間を等価支間長とし、単純桁に対する有効幅を用いる。iii)については、分布荷重あるいは集中荷重が作用した場合、その応力分布形状が異なるための考慮である。shear-lagが、せん断変形により生じることから、集中荷重載荷点等では、その影響が顕著であることが予想される。一般に、橋の設計において考えられる荷重の多くは等分布荷重と近似されるが、連続桁の中間支点部等では、反力としてのかなりの集中荷重の影響が考えられるため、集中荷重についての規定も必要であると思われる。iv)の断面形状については、突出部のない簡単な基本的桁の有効幅を他の断面形状をもつ桁の有効幅算定に用いることが提案<sup>4)</sup>されて以来、種々の断面形状に対する有限要素解析等の結果より、その手法の一般的正確性が確認されている。しかし、最近になって、突出部の有効幅は基本桁部分のその値より約15%小さいことが指摘され<sup>5)</sup>、英国で発表され

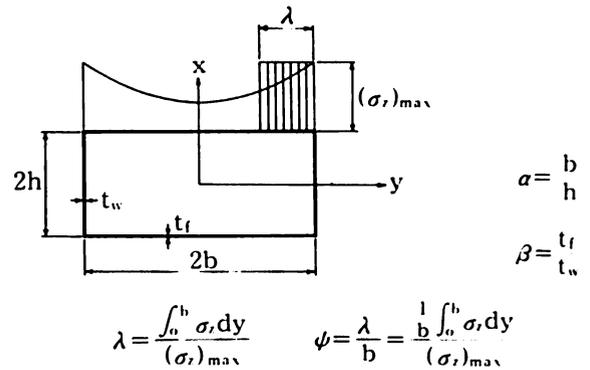


図1 基本断面形と有効幅定義式

た暫定設計製作基準<sup>6)</sup>(Interim Design and Workmanship Rules, 以下IDRの略称を用いる)の規定には、この影響が含まれている。また、v)の横断面寸法については、ウェブの曲げ剛性がフランジ有効幅に影響を及ぼすという研究報告<sup>7)</sup>、さらに、ウェブ寸法の影響を有効幅の規定に取り入れた研究<sup>8)</sup>等がある。著者らの方法による計算でも、特に集中荷重載荷点で、ウェブ寸法の変化に伴ないb/ℓを一定としても有効幅がかなり変化するという結果が得られたことを本文に示す。

我国の現示方書では、上記のi)~iii)に関連し、各種の桁形式に対し等価支間長を定め、曲げモーメント分布形状が三角形か放物線かにより区別しb/ℓの関数として有効幅比ψを規定している。本規定は、著名な福田氏の研究<sup>9)</sup>にもとづく理論値より求められたものであるが、特に三角形分布に対する規定に対し、我々の研究を含め、かなり低目の有効幅が得られており、検討する余地があるように思われる。さらに、iv)v)について、示方書ではいっさい触れられておらず、最近の種々の研究およびIDRの規定との比較検討は、十分価値があるものと思われる。また、有効幅の支間方向変化に関し、規定では各々の支間中央の値を全長にわたって用い、支点上とそれらの間の区間は簡単に直線で近似しているが、合理的規定にするには再検討の必要があると思われる。

本文では、現示方書の種々の問題点のうち、特にウェブ寸法の影響に注目し検討した結果を報告する。解析モデルとしては、単室箱形の単純支持桁に等分布荷重および中央に集中荷重が作用した場合を設定し、最大曲げ応力の生じるはり中央の有効幅理論式を示した。

3. 有効幅表示式

ここでは、軸応力分布理論式より、有効幅の定義に従って誘導した有効幅比の理論式を示す。その際 E.Reissner の理論より求められた表示式との比較によって本理論式の特長を述べ、有効幅比の表示式中に、 $b/l$  の他にウェブ寸法を表わすパラメーターが含まれることを示す。解析の対象とした設定モデルのうち、等分布荷重がはり全長にわたって作用した場合を CASE(A) とし、集中荷重がはり中央に作用した場合を CASE(B) とする。

(1) 軸応力理論式

図-1 に示した単室箱形断面を有する桁の上フランジの軸応力分布は次式となる。

$$\sigma_x = -Ehu_b'' \left[ 1 + \frac{u_s''}{u_b''} \left( 1 - \frac{J_y}{hK_{yy}} B_x \right) \right] \quad (1)$$

ここで、 $J_y$  は断面 2 次モーメントであり、 $K_{yy}$  は新断面諸量で次式のように定義した。

$$K_{yy} = \int_F X \cdot B_x dF \quad \text{-----}(2)$$

(1)式および(2)式において用いられた  $B_x$  は、本理論の誘導過程で現われる  $X$  に関する座標で、次式のように表わされる。

$$B_x = \int_0^S \frac{S_x}{t} ds \quad S_x = S_{x0} - \frac{\oint \frac{1}{t} S_{x0} ds}{\oint \frac{1}{t} ds} \quad \text{-----}(3)_{a-c}$$

$$S_{x0} = \int_{s1}^S X \cdot t ds$$

上式中、 $S$  は薄肉部材中心線に沿った座標で、 $t$  は各々の薄肉材の板厚である。 $X$  はフランジ上で一定値なので、(3)式の定義より  $B_x$  は  $X$  に関する 2 次曲線となり、この  $B_x$  項により shear-lag が求められる。

一方、E.Reissner の理論軸応力分布は次式のように与えられる。

$$\sigma_x = -Ehu_b'' \left[ 1 + \frac{u_s''}{u_b''} \left\{ 1 - \frac{3J_y}{2J_y^f} \left( 1 - \frac{y^2}{b^2} \right) \right\} \right] \quad \text{-----}(4)$$

ここで、 $J_y$  は本法と同様に断面 2 次モーメントを表わし、 $J_y^f$  はフランジ部分のみの断面 2 次モーメントである。

Reissner は、フランジ上で放物線分布する軸応力を仮定しているが、本法の  $B_x$  がそれに対応する。(1)式および(4)式において、 $u_b$  が曲げによるたわみ、 $u_s$  は各々の理論におけるせん断変形によるたわみで、プライムは  $Z$  に関する微分を表わす。

(2) 有効幅表示式

前述の軸応力式を有効幅の定義式に代入し、有効幅比として表示すると、各々の理論に対し次式のように整理できる。

$$\psi = 1 + \frac{\frac{b^2 J_y}{3K_{yy}} \cdot \frac{u_s''}{u_b''}}{1 + \frac{u_s''}{u_b''} \left( 1 - \frac{J_y}{hK_{yy}} B_{x1} \right)} \quad \text{[本理論] -----}(5)$$

$$\psi = 1 - \frac{\frac{J_y}{J_y^f} \cdot \frac{u_s''}{u_b''}}{1 + \frac{u_s''}{u_b''}} \quad \text{[Reissner の理論] -----}(6)$$

(5)式において、 $B_{x1}$  は  $y = b$  における  $B_x$  の値である。

本理論で得られるひずみ成分を仮想仕事の原理に代入して導かれる基礎微分方程式と境界条件式は、Reissner が誘導した式と、その中に含まれるパラメーターの定義は異なるがまったく一致する。この微分方程式を解き、各々の CASE の境界条件より、たわみ式が求められ<sup>10)</sup>、(5)式あるいは(6)式に含まれる  $u_s''/u_b''$  は、はりの中央において各々次式のように表わされる。

$$\text{CASE(A)} \quad \frac{u_s''}{u_b''} = \frac{8(n-1)}{(kl)^2} \left( 1 - \frac{1}{\cosh \frac{kl}{2}} \right) \quad \text{-----}(7)$$

$$\text{CASE(B)} \quad \frac{u_s''}{u_b''} = \frac{2(n-1)}{(kl)} \tanh \frac{kl}{2} \quad \text{-----}(8)$$

上式は、前述のように本理論および Reissner の理論において共通のものであるが、パラメーター  $n$  および  $k$  の定義式は異なり、本理論では次式となる。

$$n = \frac{1}{1 - \frac{K_{yy}^2}{J_y R_{yy}}} \quad k^2 = \frac{G}{E} n \frac{D_{yy}}{R_{yy}} \quad \text{-----}(9)_{a, b}$$

ここで、 $D_{yy}$ 、 $R_{yy}$  は(2)式と同様に本理論で新しく定義した断面諸量で、 $X$  に関する座標によって次式の

ように表わされる。

$$D_{yy} = \int_F \frac{S_x^2}{t^2} dF \quad R_{yy} = \int_F B_x^2 dF \quad \dots\dots(10)a, b$$

一方、Reissnerの理論における n と k は次式のように与えられる。

$$n = \frac{1}{1 - \frac{5J_y^f}{6J_y}} \quad k^2 = \frac{G}{E} n \frac{5}{2b^2} \quad \dots\dots(11)a, b$$

各理論の n と k を用い、(7)式を(5)式あるいは(6)式に代入すると CASE(A) の有効幅比は次式のように求められる。

$$\psi = 1 - \frac{1}{\frac{3G}{8E} \left(\frac{\ell}{b}\right)^2 C_1 + \frac{1 + 15\alpha^3\beta}{5\alpha^2(1 + 3\alpha\beta)}} \quad \text{[本理論]} \quad \dots\dots(12)$$

$$\psi = 1 - \frac{1}{\frac{3G}{8E} \left(\frac{\ell}{b}\right)^2 C_1 + \frac{3\gamma}{1 + 3\gamma}} \quad \text{[Reissner の理論]} \quad \dots\dots(13)$$

上式において、C<sub>1</sub> は次式とおいた。

$$C_1 = \frac{1}{1 - \frac{1}{\cosh \frac{k\ell}{2}}} \quad \dots\dots(14)$$

また、CASE(B) の有効幅比は、同様にして(8)式より次式のようになる。

$$\psi = 1 - \frac{1}{\frac{3}{2\sqrt{G}} \left(\frac{\ell}{b}\right) C_2 + \frac{1 + 15\alpha^3\beta}{5\alpha^2(1 + 3\alpha\beta)}} \quad \text{[本理論]} \quad \dots\dots(15)$$

$$\psi = 1 - \frac{1}{\frac{3}{2\sqrt{G}} \left(\frac{\ell}{b}\right) C_2' + \frac{3\gamma}{1 + 3\gamma}} \quad \text{[Reissner の理論]} \quad \dots\dots(16)$$

(15)式において、C<sub>2</sub> は次式とした。

$$C_2 = \frac{1}{\alpha} \sqrt{\left(\frac{\overline{C}_3}{21\overline{C}_2} - \frac{\overline{C}_2}{5\overline{C}_1}\right)} \frac{1}{\tanh \frac{k\ell}{2}}$$

$$\begin{aligned} \overline{C}_1 &= 1 + 3\alpha\beta & \overline{C}_2 &= 2 + 10\alpha\beta + 15\alpha^2\beta^2 + 5\alpha^3\beta \\ \overline{C}_3 &= 17 + 119\alpha\beta + 315\alpha^2\beta^2 + 315\alpha^3\beta^3 + 70\alpha^4\beta \\ &\quad + 210\alpha^4\beta^2 + 42\alpha^5\beta \quad \dots\dots(17)a-d \end{aligned}$$

また、(16)式の C<sub>2</sub>' は次式とおいた。

$$C_2' = \sqrt{\frac{2 + \gamma}{5(1 + 3\gamma)}} \frac{1}{\tanh \frac{k\ell}{2}} \quad \dots\dots(18)$$

本理論における(12)式および(15)式の α, β は、各々ウェブとフランジの長さの比および板厚比を表わすパラメーター (図-1 参照) で、これらをフランジに対するウェブ寸法の影響と考えると、ψ は、b/ℓ の他にウェブ寸法に関するパラメーターに関係するといえる。また、(13)式、(16)式の γ は、ウェブ断面積を F<sub>w</sub>、フランジ断面積を F<sub>f</sub> としたとき、それらの比として定義したもので、α および β によって次式のように表わされる。

$$\gamma = \frac{F_f}{F_w} = \alpha \cdot \beta \quad \dots\dots(19)$$

#### 4. 数 値 計 算 例

前項の有効幅比の理論式をみてわかるように、有効幅比は、b/ℓ のパラメーターの他に α, β あるいは γ を含み、ウェブ寸法の影響が作用するものと予想される。ここでは、CASE(A) および CASE(B) 各々について、数値計算例による両理論および示方書の規定との比較を試み、理論式を参照しながら検討を加える。計算において、パラメーター α および β は実用的な単室箱形として、α = 1 ~ 3, β = 1 ~ 6 の範囲に限定した。

##### (1) CASE(A) の場合

CASE(A) の場合の本理論と Reissner の理論との比較、およびそれらと示方書の λ<sub>L</sub> (曲げモーメント分布が放物線分布に相当) との比較を示したのが図-2 である。本理論の場合、その計算値の差が最も大きい α, β の組合せに対する結果を示した。一方、Reissner の理論より得られる計算値は、ほぼ 1 本の曲線で表わせる。同図より、b/ℓ が小さいうちは両理論とも 1 本の曲線になり、b/ℓ が大きくなるに伴ない本理論において α, β による違いが現われることが認められる。このことは、(12)式および、(13)式の理論式をみてもわかる。すなわち、b/ℓ が小さいときは、式中第 2 項の分母第 1 項に支配され、α, β の

鋼桁橋のフランジ有効幅に関する基礎的研究

項あるいは  $\gamma$  が含まれる第 2 項を無視しても有効幅比には影響なく、 $b/\ell$  が大きくなるに従い第 2 項の影響が現われるといえる。

図-2の結果において、本理論により計算される  $\lambda/b$  の差は、最大の場合で 0.06 程度であり、実用面からすれば、 $\alpha, \beta$  による影響は無視してよいと思われる。すなわち、CASE(A) の場合は、設計における簡便性より、パラメーター  $b/\ell$  のみで有効幅を表示してよいといえる。さらに、 $\lambda_L$  と本理論値および Reissner の理論値とを比較してもそれ程大きな差はなく、しかも、 $\lambda_L$  は両理論値より安全側にあるので、CASE(A) の場合については、現示方書の規定で十分であると思われる。

(2) CASE(B) の場合

一方、CASE(B) の場合は、理論式を構成するパラメーターの検討により、CASE(A) に比べ、 $\alpha, \beta$  あるいは  $\gamma$  の影響がかなり現われるものと予想される。例えば、(12)式と(15)式に分母第 2 項を比較した場合、前者よりも後者の方が  $b/\ell$  の支配度が弱く、さらに前者が  $b/\ell$  のみで支えられるのに対し、後者では  $b/\ell$  の他に  $C_2$  という  $\alpha, \beta$  の関数が含まれる。種々の数値計算例においても、 $\psi$  値は、 $b/\ell$  を一定としても  $\alpha, \beta$  により変化するという結果が得られ、CASE(B) の有効幅は、 $b/\ell$  のみによって決められないものと思われる。

図-3は、本理論と Reissner 理論の比較、およびそれらと示方書の  $\lambda_s$  (曲モーメントが三角形分布に相当) との比較を示す 1 計算例である。本理論の特長を Reissner 理論との比較によって示すために、 $\gamma$  が一定値となる  $\alpha, \beta$  の場合を対象とした。すなわち、(10)式より Reissner 理論では、 $\gamma$  を一定とすると 1 本の  $\psi \sim b/\ell$  曲線しか得られないが、本理論では、 $\gamma$  が一定となる  $\alpha, \beta$  の組合せに対し異なった曲線が得られる。IDR の規定<sup>6)</sup>では、集中荷重載荷点における  $\psi$  値をこの  $\gamma$  の値によって補正するよう提案しているが、 $\gamma$  が一定ということは、図-3に示される 2 種類の断面寸法を有する桁を同等とみなすことになり、本理論より得られる結果からもこの規定には、問題があるように思われる。折板理論による研究報告<sup>11)</sup>でも、この点に関し、IDR の規定は合理的でないと指摘している。

前述のように、CASE(B) の場合、本理論ではウェブ寸法が  $\psi$  値にかなりの影響を及ぼし、また、図-3の場合に限らず、本理論より計算される  $\psi$  値は  $\lambda_s$  よりかなり小さい値を示すという結果からも、現示

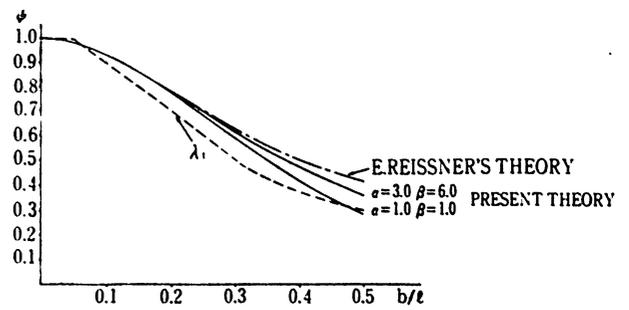


図 2 CASE(A) の有効幅比

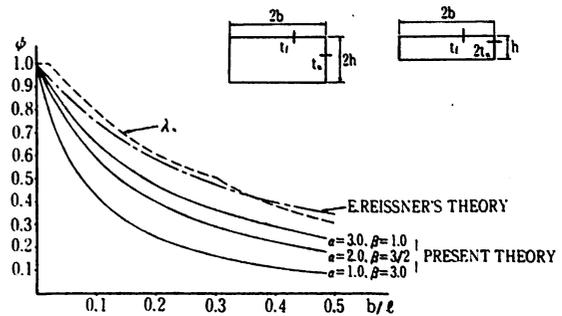


図 3 CASE(B) の有効幅比 ( $\gamma = 3.0$  の場合)

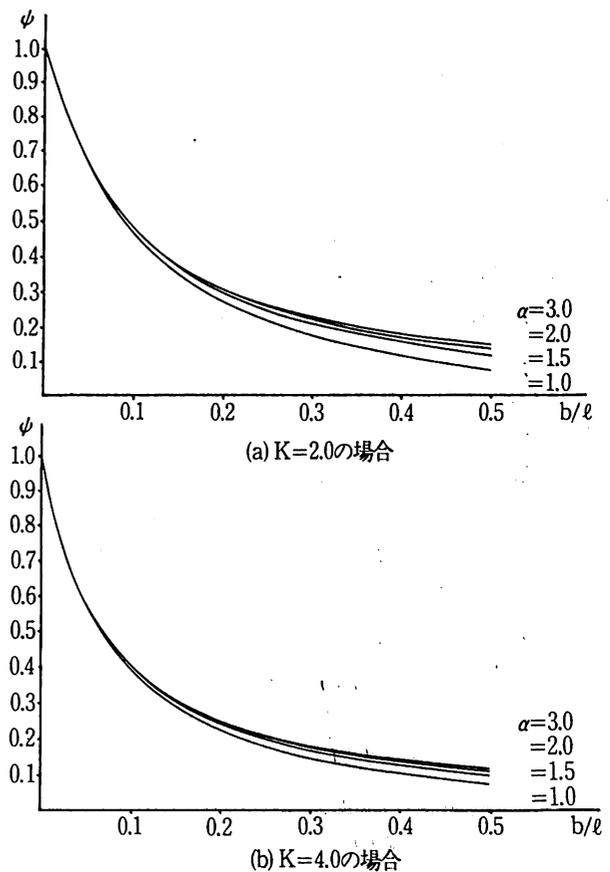


図 4 パラメーター K の検討

方書には、検討の余地があるように思われる。図-4は、現示方書のウェブ寸法の影響に関する補正を検討するために行なった1例である。図は、本理論における $\alpha$ および $\beta$ の影響を同時に考慮するために、 $K = \beta/\alpha$ という簡単なパラメーターをとって計算した場合である。(a)、(b)の場合とも $b/l$ が小さい範囲では、ほぼ1本の曲線となり、また $\alpha$ が大きくなるにつれてある1つの曲線に収束するものと思われる。さらに、(a)と(b)を比較した場合、 $K$ が大きくなるに従がいその傾向が強まるといえる。これより、実用面においてはなお検討の余地があるが、 $K$ がウェブ寸法を表わす1つのパラメーターとなるように思われる。

5. 模型桁による実験

前項の有効幅の計算で使用した本理論の応力分布式を検証するため、簡単な鋼製模型桁を作製し静的載荷試験を行なった結果を報告する。

(1) 実験概要

実験に用いた模型桁は、図-5(a)に示す寸法をもつチャンネル断面桁とし、両端単純支持とした。載荷は、万能試験機により行ない、同図に示すように桁中央に鋼棒を配し集中荷重とした。板厚はフランジ部分3.2mmに対しウェブ部分を6.0mmと厚くし、フランジ上でshear-lagが顕著に現われるようにした。さらに、ダイヤフラムは、断面形不変の仮定に従うよう桁長の十等分位置に密に配置した。また、ひずみ測定点は、桁中央およびその近傍、そして軸方向の応力変化を知るために図-5(b)に示す位置とし、総数58点とした。すなわち、中央断面では、フランジの幅方向に10分割、ウェブ高さ方向に5分割、また桁長の $1/20$ だけ離れた近傍断面では、フランジを4分割、ウェブを2分割、そして片側スパンの10分割断面のフランジ中央と両縁端部とした。模型桁作製後、桁寸法を正確に測定し、スパン長 $l = 793.0\text{mm}$ 、また、断面寸法は、フランジ $148.4 \times 3.2$ 、ウェブ $76.7 \times 6.0$ とし理論計算値を求めた。なお、模型桁と同種の材料試験片で引張試験を行ない、 $E = 2.0 \times 10^6 \text{kg/cm}^2$ 、 $G = 7.6 \times 1.0^5 \text{kg/cm}^2$ の材料定数が得られた。

(2) 実験結果および考察

図-6は、 $P = 1.26\text{t}$ の場合の桁中央断面における実測値および理論値を示したものである。図には、

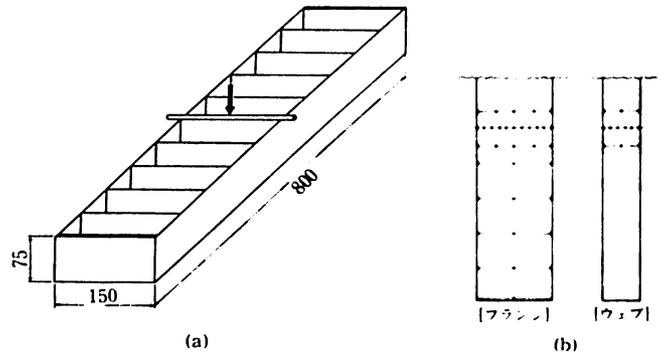


図5 模型桁およびひずみ測定位置

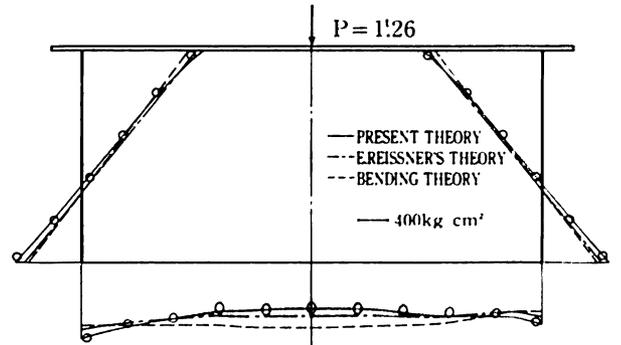


図6 載荷点での応力分布

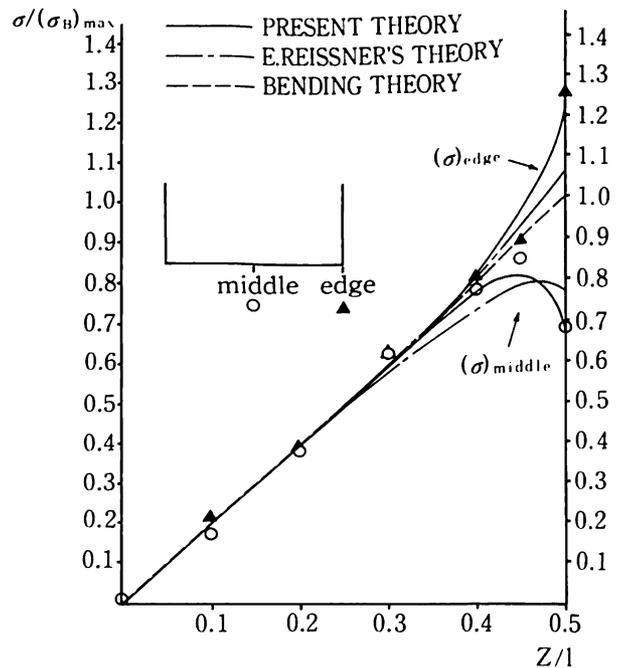


図7 応力値の軸方向変化

本理論の他 Reissner の理論値および従来の初等曲げ理論による計算値も示した。本理論値は、Reissner の理論値よりいくらか顕著に shear-lag を示し、丸印で示す実測値は本理論に近い傾向を示した。

図-7は、応力分布の軸方向変化を比較したもの

## 鋼箱桁橋のフランジ有効幅に関する基礎的研究

である。各応力値は、初等はり理論の最大応力値、すなわち、はり中央の応力値で無次元化してある。図において、実線、1点鎖線、破線は各々本理論、Reissner理論、従来の曲げ理論による計算値を示し、実測値は、フランジ中央で丸印、縁端部で三角印とした。図-6と同様に、はり中央においては、本理論の場合、断面内の最大応力と最小応力の差が明白に現われ、実測値とよく一致するのが認められる。また、応力計算値の軸方向変化に関する、本理論とReissner理論の違いは、本理論では中央からわずかに離れるとすぐに従来の理論に一致するのに対し、Reissner理論の方は、shear-lagの影響が広範囲におよぶということである。実測値は、はり中央から桁長の $\frac{1}{10}$ 離れた断面でもう従来の曲げ理論に一致している。これよりshear-lagは、載荷点のごく近傍でのみ現われることがわかる。

以上の実験より、実測応力値が本理論に近い傾向を示し、特に、載荷点における最大応力値を評価する場合の信頼性が確かめられたものと思われる。

## 6. ま と め

本文では、現示方書の有効幅に関する規定に対し集中荷重載荷点の $\psi$ 値は、 $b/l$ の他にウェブ寸法の影響が含まれるため、その規定への導入が必要であることを示した。その1例として、簡単なKというパラメーターによる表示を試みたが、設計への適用面からいえば、Kを含んだ補正式の誘導等、なお詳細な検討を要し、また、Kにかわるより合理的なパラメーターの存在についても検討すべき余地があると思われる。

英国のIDRの規定<sup>13)</sup>は、かなり詳細なものであり、実用面の簡易性にやや乏しいが、有効幅に影響を及ぼす種々の因子に検討を加えている点に、興味があるものと思われる。以下にIDRの規定の概略を述べ、2、3の考察を加える。

(1)規定の骨格……有効幅の定義において、突出部の $\psi$ 値は基本部分より15%低減させるものとしている。 $\psi$ 値は単純桁に集中荷重あるいは等分布荷重が作用した場合について区別し、さらにフランジ部の補剛材の影響を考慮し、 $b/l$ に対して表示している。そして、表の値以外は直線補間で求めるものとしている。これを設計に適用すると、かなり面倒なものとなり、簡易性の面からは、我国の示方書のように $\psi$ 値を式で与えた方がよいと思われる。

(2)種々の補正……第1に集中荷重載荷点において $\psi$ 値にある係数を乗じて補正するよう規定されている。この係数は本文で用いた $\gamma$ の関数になっているが、前述のように本理論の結果とは相反し、検討すべきであると思われる。さらに、規定では、任意の位置に集中荷重が作用する場合の載荷点での補正、および任意の荷重の組合せに対する補正が式で示されている。

(3)他の桁形式……連続桁等単純はり以外の桁形式の場合は、等価スパンの概念により単純はりの $\psi$ 値を用いるものとしている。示方書とは、等価スパンの取り方に若干違いがあり検討を要する。

(4)支間方向変化……示方書とIDRの支間方向変化に関する相異点は、IDRでは支間中央および支点上の他に支間の4等分点の $\psi$ 値を定め、それらの間を直線補間によって求める点にある。これに関しては、IDRの方が実情に合った規定といえる。

(5)応力とたわみの区別……現示方書では、応力およびたわみを計算する際、同様の規定を用いるものとしているが、IDRでは応力に関しては上述の $\psi$ 値を用い、たわみに関しては、支間全長にわたって一定値をとるよう区別している。たわみに及ぼすせん断変形の影響が支間方向に沿ってそれ程変化しないことより、IDRの方が合理的であると思われる。

本文、あるいはIDRの規定はすべて直線桁を対象としているが、曲線桁を対象とした有効幅に関する研究<sup>12)</sup>もみられる。しかしながら、実用範囲では、直線桁の有効幅を準用してよいとの結論に達していることより、直線桁の有効幅に関し合理的な規定を設けておけばよいものと思われる。

本理論は、あくまでもはり理論としての簡易性を有しており、また実験値との比較においてもその理論応力値の妥当性が確かめられたことより、有効幅の概念を併用した簡便で合理的な設計への適用が期待できるものと思われる。

最後に本研究を行なうにあたり御指導頂きました秋田大学鉱山学部稼農知徳教授に心から感謝の意を表する次第です。また、実験を行なうにあたり協力頂いた本校土木工学科7期卒業生安藤昭範君(現在電々公社勤務)に厚く感謝します。

参 考 文 献

- 1) 稼農, 薄木, 堀江: せん断変形を考慮した薄肉断面直線ばりの理論, 土木学会論文報告集, No.282 pp. 1~13, 1977-2.
- 2) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, II 鋼橋編, pp. 213~216, 1980-2.
- 3) Moffatt, K.R., and Dowling, P.J.: British Shear Lag Rules for Composite Girders, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 104, ST 7, pp. 1123~1130, July, 1978.
- 4) 近藤, 小松, 中井: 鋼床板桁橋の有効幅に関する研究, 土木学会論文報告集, No.86, pp. 1~19, 1962-10.
- 5) Moffatt, K.R., and Dowling, P.J.: Parametric Study on the Shear Lag Phenomenon in Steel Box Girder Bridge, CESLIC Report BG17, Civil Engineering Structures Laboratory, Imperial College of Science and Technology, London, England, 1972.
- 6) 関西道路研究会, 道路橋調査委員会, 耐荷力小委員会: 鋼箱桁橋の設計に関する調査研究 (No.3), 橋梁, pp. 50~53, 1978-5.  
(これは, 1973年, 英国のMerrison 委員会が提出した報告書の Appendix I にある IDR の規定の解説のうち, 有効幅に関する項目である。)
- 7) 葦澤, 芳村: 床版有効幅に関する検討, 土木学会北海道支部論文報告集, pp. 1~6, 1980-2, 札幌。
- 8) 山村, 成岡: フランジ有効幅に関する最近の研究の展望, 橋梁と基礎, pp. 5~11, 1973-5.  
(この文献の中にある P. Klement の研究。)
- 9) Fukuda, T.: Ein Beitrag zur Lösung der mitwirkenden Breite, Report of the Institute of Industrial Science, The Univ. of Tokyo, Vol. 12, No.5, pp. 212~258, 1963.
- 10) 堀江: 曲げを受ける薄肉部材のせん断変形解析, 秋田高専研究紀要第14号, pp. 74~80, 1979-2.
- 11) 葦澤, 芳村: 床版有効幅における主桁の剛性の影響, 第34回年次学術講演会概要集第1部, 1-93, pp. 185~186, 1979-10.
- 12) 芳村, 葦澤: 折板理論解析による曲線桁橋の床版応力と有効幅について, 土木学会論文報告集, No.233, pp. 45~54, 1975-1.
- 13) 鋼箱桁橋の設計に関する調査研究と題し“橋梁” 1978年3月号より連載中で, 上記6)はその有効幅に関する項であるが, 他に実設計への適用例がある。