

薄木征三 共著  
長谷部薫

## “二次の変位場理論に基づく薄肉断面ばりの局所 および全体座屈解析”への討議

(土木学会論文集, 第344号 / I-1・1984年4月掲載)

▶ 討議者 (Discussion)

三上市蔵 (関西大学)

By Ichizou MIKAMI

薄肉ばりの局所座屈および全体座屈を統一して取り扱う理論を展開されており、特に計算に手数を要しない解法であり、興味深く読みました。以下に討議をしたためます。

(1) 薄肉断面のはりおよび桁に関して、板要素の変形を考慮に入れた全体座屈や、板要素の局所座屈と全体座屈との相関、板要素の連成座屈などの研究は、著者が引用された論文のほかにも、多くの研究者によってなされています。Scheer<sup>12)</sup>, Protte<sup>13)</sup>, 筆者<sup>14)~21)</sup>, 吉田<sup>22)</sup>, 福本・久保<sup>23), 24)</sup>の論文がそれです。この件については著者が引用している文献10)に対する討議<sup>25)</sup>の中で述べてあります。

(2) 局所座屈と全体座屈の連成を考慮した座屈理論は望ましいものですが、問題点もあります。Fig. 9の実線は Fig. 5~Fig. 8の結果を模式的に描いたものです。著者が示した計算例では、圧縮フランジの幅厚比が局所座屈を生じないように小さく選ばれています。そのため、考えられる座屈形状は2つで、①フランジのねじり拘束を受けて、腹板が局所座屈する場合と、②Baslerのいう圧縮フランジの水平座屈で、はりが横倒れ座屈する場合です。②の場合は腹板の変形が横倒れ座屈に影響を与えます。

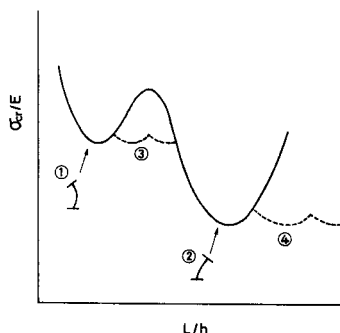


Fig. 9 Typical buckling curve.

圧縮フランジの局所座屈を考えなくてよい断面の場合、上記2種の座屈を把握できれば十分です。しかし、圧縮フランジの幅厚比が大きい場合、弾性座屈を解析し、最小固有値を求めている限り、圧縮フランジの板としての局所座屈をとらえてしまいます。これが桁の強度と強く関連する場合は別ですが、この座屈をとらえたくない場合があります。そのような場合、すべての板要素を変形するものとして扱うのではなく、フランジを棒部材として扱う方法が有意義になります。

(3) 著者は式(72)において

$$\alpha = u \sin(\pi z/L) \dots \dots \dots (72)$$

なる半波長形の座屈モードを仮定しています。このため Fig. 9の実線のような解が得られています。しかし、正しくは

$$\alpha = u \sin(m\pi z/L) \dots \dots \dots (79)$$

と仮定すべきで、こうすると2半波、3半波、…の座屈モードに対する解が得られ、それらの最小をとると Fig. 9の点線③④のようになります。座屈現象を純粋に論ずるために  $m=1$  のモードを用いたものとも考えられますが、やはり、生じる座屈モードについて論ずるべきと思います。

### 参考文献

- 12) Scheer, J. : Zum Problem der Gesamtstabilität von einfach-symmetrischen I-Trägern, *Der Stahlbau*, Vol. 28, No. 5, pp. 113~126 and No. 6, pp. 165~171, 1959.
- 13) Protte, W. : Ein Beitrag zum Problem der Gesamtstabilität querausgesteifer Träger im Kippbereich, *Der Stahlbau*, Vol. 30, No. 4, pp. 103~113, 1961.
- 14) 小西一郎・米沢 博・三上市蔵：プレートガーダーの曲げ弾性座屈, 土木学会論文集, No. 143, pp. 1~8, 1967.
- 15) Yonezawa, H. and Mikami, I. : Elastic Buckling of Plate Girders from Pure Bending, *Jour. of Engineering Mechanics*, ASCE, Vol. 94, No. EM 1, pp. 211~224,

1968.

16) Yonezawa, H. and Mikami, I. : Elastic Buckling of Plate Girders under Pure Bending (On the Primary and Local Bucklings of Stiffened Plates), *Proc. of 17th Japan National Congress for Applied Mechanics*, pp.166~169, 1967.

17) 三上市蔵：曲げを受ける薄肉断面げたの座屈に関する研究，名古屋大学提出学位論文，1972.

18) Takeda, H., Mikami, I. and Yonezawa, H. : Elastic Lateral Buckling of Plate Girders, *Theoretical and Applied Mechanics*, Univ. of Tokyo Press, Vol.24, pp.343~355, 1974.

19) Mikami, I. and Yonezawa, H. : Inelastic Buckling of Plate Girders with Transverse Stiffeners under Bending, *Technology Reports of Kansai Univ.*, No. 24, pp.293~307, 1983.

20) 三上市蔵・赤松洋一・武田八郎：純曲げを受ける薄肉 I

断面曲がり桁の局部座屈と連成座屈，土木学会論文報告集，No.230, pp.45~54, 1974.

21) Mikami, I., Kobayashi, K. and Yonezawa, H. : Inelastic Coupled Buckling of Vertically Curved I-Girders under Pure Bending, *Technology Reports of Kansai Univ.*, No.16, pp.141~154, 1975.

22) 吉田 博：H形鋼柱の局部座屈と曲げ座屈の連成座屈強度，土木学会論文報告集，No.243, pp.19~32, 1975.

23) 福本啓士・久保全弘：U形断面桁の横倒れ座屈強度，土木学会論文報告集，No.264, pp.17~32, 1977.

24) 久保全弘：鋼薄肉断面桁の曲げによる横倒れ座屈強度と耐荷力に関する研究，名古屋大学提出学位論文，1980.

25) Mikami, I. and Yonezawa, H. : Discussion to "Local, Distortional, and Lateral Buckling of I-Beams," by G. J. Hancock, *Jour. of Structural Division, ASCE*, Vol.105, No. ST11, pp.2475~2476, 1979.

(1984. 8. 3・受付)

▶回答者 (Closure)

薄木 征三・長谷部 薫 (秋田大学)

By Seizo USUKI and Kaoru HASEBE

本論文に興味をもたれ、討議まで頂いたことに対してまずお礼を申し上げます。討議事項ごとに回答させて頂くとともに、本論文で説明が不十分であった点についても合わせて補足説明いたします。

(1) 薄肉断面のはりの局部および全体座屈の連成を扱った研究に討議者の指摘する参考文献(12)~(25)があることは当方の認識不足によるものであります。しかしこれらは、I形桁とプレートガーターを扱っているのが大部分であり、これらの文献の解析手法では、一般的形状をもつ薄肉断面のはりの連成座屈を扱うには限界があると考えられる。本論文は論文題名からもおわかりのようにいまいし汎用性のある解析法であり、しかも少ない自由度で議論できることに特徴を有するものです。

またこれら参考文献で曲げによる連成座屈を扱っているものでは、曲げによる座屈直前のはり軸線のたわみ、もしくは曲率の変化を考慮しているものはありません。

(2) 論文では座屈モードは示しませんでした、これは座屈応力  $\sigma_{cr}/E$  の値が文献(7)の Hancock による有限帯板法と良好な一致をみましたのでモード形状を省いたものです。論文の Fig.5 と 6 をまとめ、さらに座屈モードを記入したものを Fig.10 として示します。

Fig.5 の断面を section 1, Fig.6 のそれを section 2 とします。前者のフランジの幅厚比  $b/t_f$  は 10.1, 後者はその 2 倍であり、他の寸法比は同じです。

討議者の指摘する Fig.9 の①は Fig.10 にも①として記入してあります。その他のモードは A, C, D と図中に記入してあります。なお、論文の式(41)の上に述べているようにフランジは断面剛の仮定を設けております。

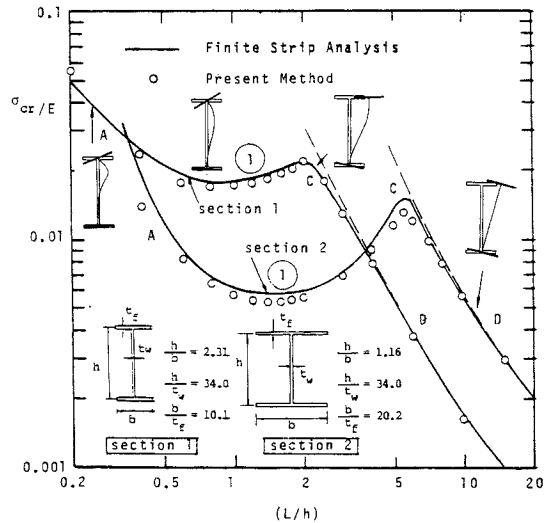


Fig.10 Buckling Stress Versus Beam Length for I-Beams.

Fig.10 の①では討議者の指摘する座屈モードと似てはいますが、フランジと腹板の役割は正反対であり、圧縮側のウェブの拘束を受けた、フランジのねじれ座屈の様相を呈しております。また点Cではフランジの水平方向への移動が顕著であり、点①と横倒れ座屈域Dとの中間モードということで、Hancock が distortional buckling とよんでいるモードです。討議者のいう Fig.9 の②や④の座屈値は本論文では得られません。これは②では、下フランジの動きが、ポニートラスのように完全固定とした場合に得られる結果と思われる。このような人為的な拘束を与えなければ、Fig.10 に示すように、

モードDの横倒れ座屈が $L/h$ が大きいかほど支配的になるのは明らかです。

討議者の指摘する①のモードは、ウェブの幅厚比が通常のプレートガーターのように大きい場合に観察されると思われ、本論文のように $h/t_w=34.0$ 程度では上述のように圧縮フランジのねじれ座屈が支配的になるものかと思われま

す。なお前述のようにフランジは断面剛と仮定しましたので、論文のFig.4のように各フランジを2枚の板要素に分ける必要はなく、下フランジでは節線3から4へ座屈軸 $s$ と $n$ は一貫させてよいことがわかりましたので申し添えます。

(3) ご指摘のように式(79)を用いますと、ある与えられた部材長さ $L/h$ に対する最小座屈応力が得られることと思います。ただ④のモードについては、(2)で述べたように、ほとんど断面変形を伴わない横座屈が支配的になると考えられます。

論文のFig.8からもわかるように、座屈直前のI形ばりの強軸まわりの曲率を考慮すると、座屈応力はFig.8の断面に対して11%低下し、これはFig.9の極大値(③の上の部分)を11%低下させたことになるものの、③の最小座屈応力にはほとんど影響しないということがいえるかと思

(1984.11.22・受付)