

東洋大学 正会員 ○ 新近泰生

東洋大学 正会員 小泉 淳

1. まえかき

薄板を構成して作られる薄肉構造物では、その薄板面内に局部的に集中荷重をうける場合には、その載荷位置に補剛材を設置することが設計上規定されている。たとえば、プレートガーター支点反力上の鉛直補剛材あるいはボックスガーター支点上のダイヤフラム等はその一例である。しかしながら、とくに構造物の架設段階においては、補剛材位置以外の場所にモカナりの大きな集中荷重をうけるような場合が考えられ、通常の設計荷重で設計された構造では局部的に降伏あるいは破壊を招く恐れがある。本研究ではプレートガーターをとりあげ、腹板に補剛材がない位置において、腹板面内方向にフランジ上に集中荷重をうける場合の腹板の強度について述べるものである。

2. 筆者等による載荷実験の概要

Fig. 1に示すようなプレートガーター腹板1ハネルの供試体の製作し、それを載荷装置(200トン万能試験機)ベッド上に据付け、パネル中に終上のフランジに集中荷重 P を作用させた。供試体の材質は、フランジ、腹板とそれに軟鋼(SS41)である。供試体の上フランジの幅 b_f と厚さ t_f および腹板厚さ t_w はTable 1に記されている。Table 1においてG1~5のTest Girderが筆者等の載荷実験における供試体である。荷重点付近の腹板の局部応力状態を調べるために、三軸ひずみゲージを腹板の表裏に貼付し、腹板の降伏状態に到る過程でのひずみ状態を把握した。

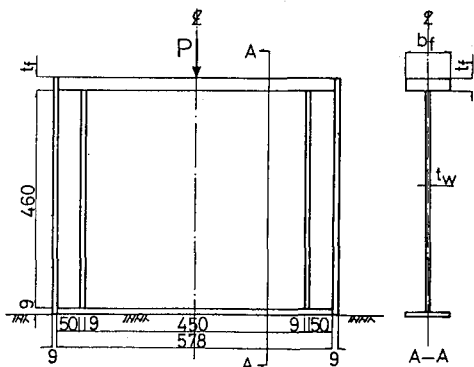


Fig. 1 筆者等による載荷実験

このような載荷方法を採用した理由は、桁としての応力状態の影響を除くためである。

3. 筆者等およびBergfelt等¹⁾による載荷実験の結果とそれらの検討

2.で述べた筆者等の載荷実験の結果およびBergfelt等による載荷実験のうち、集中荷重の場合に相当する結果をTable 1に示す。Table 1においてB1, 3, ...などのTest GirderはBergfelt等による載荷実験の供試体である。表中の t_{fi} は等価フランジ厚さを示す²⁾(表下の欄外を参照)。 I_{fe} はフランジ断面の中主軸に關する断面二次モーメントを表わしている($I_{fe} = b_f t_f^3 / 12$)。なお、フランジの幅厚比はここでは $b_f / t_f = 25$ を基準としている。幅厚比 b_f / t_f が25と異なる場合に對しては、フランジ厚さ t_{fi} を $b_f / t_f = 25$ に對応する等価フランジ厚さ t_{fi} に換算している。 P_u は破壊荷重を示し、 σ_w は腹板の降伏応力度を表わす。

破壊荷重 P_u を $\sigma_w t_w^2$ で除して無次元し、これらと t_{fi} / t_w との關係を圖に表わすとFig. 2のようになる。

Table 1 供試体の寸法と破壊荷重 P_u

TEST GIRDER	t_w (mm)	b_f (mm)	t_f (mm)	t_{fi} * (mm)	t_f / t_w	P_u (tf)	$P_u / \sigma_w t_w^2$
G 1	9	140	9	7.99	0.89	49.0	25.2
G 2	9	140	18	13.44	1.49	56.8	29.2
G 3	6	94	6	5.34	0.89	17.7	20.5
G 4	6	94	13	9.53	1.59	25.0	28.9
G 5	6	94	25	15.57	2.60	32.4	37.5
B 1	3.26	150	6.1	6.07	1.86	9.70	27.5
B 3	3.26	200	8.5	8.37	2.57	10.75	30.4
B 5	3.26	250	10.1	10.07	3.09	12.30	34.8
B 7	3.26	250	11.9	11.39	3.49	12.85	36.4
B 9	3.26	300	15.3	14.40	4.42	15.43	43.7
B 15	2	100	10	7.95	3.98	5.60	46.7
B 17	2	100	12	9.12	4.56	5.60	46.3
B 21	3.40	250	10	10.00	2.94	11.37	34.4

$$* t_{fi} = \sqrt{12 I_{fi} / 25} = t_f \sqrt{b_f / 25 t_f}$$

筆者等の実験は、 t_{fi}/t_w が比較的小さい範囲($t_{fi}/t_w=1\sim 2.5$)にあり、一方、Bergfelt等の実験は比較的大きい範囲($t_{fi}/t_w=2\sim 4.5$)にある。Bergfeltは文献2)において、 t_{fi}/t_w が1~2より大きい範囲で、 $P_u/\bar{\sigma}_w t_w^2 \sqrt{\bar{\sigma}_w \cdot E}$ (E は腹板のヤング率)と t_{fi}/t_w との関係が一次式で表わされることを理論的に誘導している。ここでは、 $P_u/\bar{\sigma}_w t_w^2$ と t_{fi}/t_w との関係を一次式で相関し、実験値13例より最小自乗法によって実験式を求めると次式が得られる。

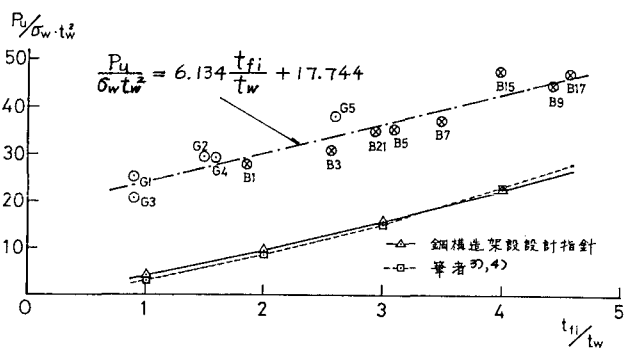


Fig.2 破壊荷重 $P_u/\bar{\sigma}_w t_w^2$ と t_{fi}/t_w との関係

$$\frac{P_u}{\bar{\sigma}_w t_w^2} = 6.134 \frac{t_{fi}}{t_w} + 17.744 \quad \text{---(1)}$$

4. 荷重点付近における腹板の局部応力状態

Bergfeltは文献2)において、荷重点付近の腹板の局部応力状態を次のように述べている。 $t_f/t_w < 1\sim 2$ の比較的に腹板面内方向のフランジ曲げ剛性が小さい場合は、腹板は荷重点直下で局部的に降伏し、荷重が増加するにつれて降伏領域が拡大して荷重点付近の腹板が塑性変形を走り、場合によっては同時に局部的に不安定現象を示す。一方、 $t_f/t_w > 2$ の比較的にフランジ曲げ剛性が大きい場合は、腹板が局部的に降伏する以前に局部座屈する可能性がある。

筆者等の載荷実験においては($t_f/t_w < 2.5$)、腹板の局部的降伏が先行し(破壊荷重の $1/3\sim 1/4$ の荷重段階で)、局部座屈現象は破壊荷重に近い領域で発生していた。筆者等はフランジに集中荷重をうける場合の腹板の局部応力を弾性理論により求めている^{3), 4)}。このより、フランジ幅厚比 b_f/t_f が25の場合について、荷重点直下の腹板におけるミーゼスの相当応力 $\bar{\sigma}_M$ を求め、 $P/\bar{\sigma}_M t_w^2$ と t_f/t_w との関係で整理したものがFig.2の破線(---)で示されている。 $\bar{\sigma}_M = \bar{\sigma}_w$ とすれば、荷重 P は腹板の降伏荷重 P_y となる。

鋼構造架設計指針⁵⁾によれば、荷重点付近の腹板の局部座屈応力 $\bar{\sigma}$ は以下のように与えられる。

$$\bar{\sigma} = - \frac{2P}{\pi t_w^2 \left(\frac{t_f}{t_w} \right) \left(1.5527 \sqrt[3]{\frac{t_f}{t_w}} + 1 \right)} \quad \text{---(2)}$$

上式より $P/\bar{\sigma} t_w^2$ と t_f/t_w との関係を求め図に示したものがFig.2の実線(—)である。破線と実線の両曲線は $t_{fi}/t_w = 1\sim 4$ の範囲ではほぼ一致していて、指針が局部座屈応力度として規定されているが、 $t_{fi}/t_w < 4$ の範囲では、結果的には局部座屈の影響は入っていないと考えられる。

5. おわりに

Fig.2の曲線により腹板の限界応力が規定され、この曲線と破壊荷重 P_u との間が残留強度となる。この残留強度は $t_{fi}/t_w = 1\sim 4$ の範囲内では略一定で、 $2.0 \bar{\sigma}_w t_w^2$ 程度の大きさとなっている。

最後に、筆者等の実験は、本学の卒業論文として行われたものであることを付記し、関係諸君に謝意を表します。

参考文献

- 1) Roberts, T.M. and K.C. Rockey: A Mechanism solution for predicting the collapse loads of slender plate girders when subjected to in-plane patch loading, Proc. I.C.E., 1979.
- 2) Bergfelt, A.: The behavior and design of slender webs under partial edge loading, In Steel plated structures, P.J. Dowling et al. (eds), Crosby Lockwood Staples, 1976.
- 3) 新延泰生: フランジに集中荷重をうける腹板の局部応力について, 東洋大工学部研究報告, 1979.
- 4) 小泉淳, 新延泰生: フランジに集中荷重をうける腹板の局部応力について(その2), 東洋大工学部研究報告, 1980.
- 5) 土木学会: 鋼構造架設計指針, 1978.