

I-54 局所荷重を受ける桁の耐力

——— 載荷幅が広い場合の崩壊モデルと曲げモーメントおよびせん断力の影響 ———

(株) 神戸製鋼所 正員 ○ 滝本哲四郎

(株) 神戸製鋼所 正員 森脇 良一

1. まえがき 桁に局所荷重が作用する場合としては、例えば、橋梁架設法のひとつである送り出し工法においてローラ上を桁が通過する場合や、まくらぎを直接うける縦桁などいくつか考えられる。このような局所荷重に対し、桁がどの程度の座屈強度や耐力を有するかについて、著者らはこれまでいくつかの報告^(1,2)を行なった。今回の報告は、局所荷重の載荷幅が、垂直補剛材の間隔に近いような広幅の場合の崩壊モデルについて述べ、次いで、曲げモーメントやせん断力の存在により、局所荷重に対する桁の耐力がどの程度低下するかについて、検討した結果を報告するものである。

2. 載荷幅の広い場合の崩壊モデル 載荷幅が、垂直補剛材間隔にはほぼ等しいような載荷条件における桁の耐力実験例としては、Ostapenko の実験がある。載荷条件の一例を図.1に、桁の崩壊時に腹板に発生した塑性関節線を図.2の破線に示す。図.2より、フランジを含めた桁の崩壊モデルとして、図.3のごときメカニズムの状態を考えることができる。このメカニズムの状態で、外力仕事の増分と内部ひずみエネルギーの増分とを等しいと置くことによって、桁の局所荷重に対する耐力 R_u は、次式で与えられる。

$$R_u = P_{cr} + \frac{1}{R} \left[\frac{4M_f}{\beta_3} + \frac{\{8\beta^* + 4C_0(1 - \bar{\sigma}_{pcr}^2/\sigma_{yw}^2) - 4\eta\} M_w}{2\alpha_0 \cos \theta} \right] \quad (1)$$

ここに、 α 、 C_0 その他の記号の意味は文献(1)と同じである。ただし、式(1)の中の R 、 β^* 、 η 、 θ 、 β_3 はそれぞれ次式で与えられる。

$$R = (a - \beta_3 - \beta^{*2}/\beta_3)/C_0 \quad (2) \quad \beta^* = 0.5(a - C_0) \quad (3)$$

$$\eta = \{2\beta^* + C_0(1 - \bar{\sigma}_{pcr}^2/\sigma_{yw}^2)\} / (1 + 2\alpha_0 \cos \theta \cdot R/t_w) \quad (4)$$

$$\theta = \sin^{-1} \{1 - M_f \beta_3 / (12EI_f \alpha_0)\} \quad (5) \quad \beta_3 = \alpha_0 \quad (6)$$

また、 α_0 は図.3に示すごとく、腹板に生じる塑性関節線間の距離であり、文献(1)と同様に次式で与えられる。

$$\alpha_0 = d t_w \sigma^* / (18 t^* \sigma_{yf}) + 0.13 C_0 \quad (7)$$

ところで、式(7)で計算される α_0 をもとにして、塑性関節線を描くと、図.2中の実線となり、実験結果(破線)とほぼ一致し、式(7)の妥当性が知られる。

3. 載荷幅による崩壊形式の変化 局所荷重の載荷幅 C_0 と垂直補剛材間隔 a および桁の諸寸法によって、崩壊形式として図.4に示すごとく4つのパターン(I)、(II)、(III)、(IV)が考えられる。(I)は、垂直補剛材間隔が、載荷幅に比べ相当大である場合、(II)はそれより載荷幅が大となり、フランジの塑性ヒンジが垂直補剛材の位置に発生する場合、(III)はさらに載荷幅が大となり、載荷幅の範囲内にフランジの塑性ヒンジが生じる場合、(IV)は(III)の特殊な

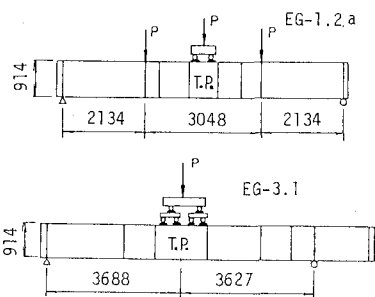


図.1 Ostapenko の実験の載荷条件例



図.2 腹板での塑性関節線

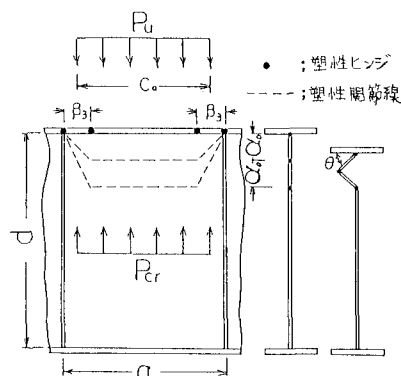


図.3 崩壊モデル

場合で、垂直補剛材の間隔がせまくなり、フランジの塑性ヒンジが中央にできる場合である。図4には、各崩壊形式の判別条件式を示している。条件式中の

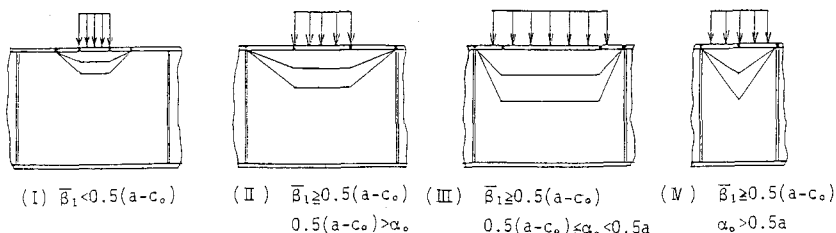


図4 載荷幅の大小による崩壊形式と判別条件式

$\bar{\beta}_1$ は、次式で与えられるものである。 $\bar{\beta}_1$ は式の上で文献1)の式(13)で与えられる β_1 と同じである。

$$\bar{\beta}_1 = \sqrt{M_f \alpha_0 \cos \theta / M_w}, \quad \theta = \cos^{-1} \{2\xi / (1 + \xi^2)\}, \quad \xi = 4EM_w t_f / (\sigma_y f M_f) \quad \text{----- (8)}$$

これらの崩壊形式のうち、(I)と(II)が文献1)で取扱ったもの、(III)が本報告前節で述べたものである。(IV)の崩壊形式に対する耐荷力 P_u は、式(1)~(6)において、 $\alpha_0 = 0.5a$ として求めることができる。

4. 曲げモーメントとせん断力の影響 曲げモーメント M やせん断力 Q の存在により、腹板の座屈強度も低下し、フランジや腹板の塑性モーメントも低下する。これらの影響は複雑にからみあい、腹板の座屈前後でその影響の仕方も変わることが実験的にも認められる。しかしながら、本報告では次のごとき耐荷力相関式を仮定する。すなわち、次式を満足する局所荷重 P 、曲げモーメント M 、せん断力 Q が同時に作用したときに桁が崩壊するとした。

$$\left(\frac{P}{P_u}\right)^2 + \left(\frac{M}{M_u}\right)^m + \left(\frac{Q}{Q_u}\right)^n = 1 \quad \text{----- (9)}$$

ここに、 P_u, M_u, Q_u は局所荷重、曲げモーメント、せん断力がそれぞれ単独で作用するときの桁の耐荷力である。

いま、局所荷重 P が支配的な場合を考えて、 M_u, Q_u の近似値として、

$$M_u = Z \cdot \sigma_y f \quad ; \quad \text{桁のフランジ降伏モーメント} \quad \text{----- (10)}$$

$$Q_u = d t_w \sigma_{yw} / \sqrt{3} \quad ; \quad \text{腹板の塑性せん断力} \quad \text{----- (11)}$$

を採用し、指数 l, m, n に対して次式を仮定して、Ostapenkoの実験²⁾

$$l = m = n = 2 \quad \text{----- (12)}$$

9体および著者らの実験桁2体(C-1, C-2)の実験値 P_u^E と計算値 P_u^C (式(9)を満足する P の値)との比較を表.1に示す。さらに、文献1)で扱った実験桁91体と今回の11体を含めた102体について、改めて耐荷力実験値と式(9)による計算値 P_u^C との比 P_u^E/P_u^C を求めた。その統計量を表.2に示す。

式(9)~(12)の仮定には議論の余地があるが、簡明な式のわりには実験結果をよく言い表わしているといえる。

5. あとがき 載荷幅が比較的に広い場合の耐荷力算定式を提示するとともに、載荷幅や垂直補剛材間隔によって起こる崩壊形式とその判別条件式を示した。また、曲げモーメントとせん断力と局所荷重との耐荷力相関式を提示し、実験値と比較してその推定精度を検討した。

表.1 実験値との比較

実験桁 No.	応力比		P_u^E (ton)	P_u^E/P_u^C
	σ_b/σ_p	τ/σ_p		
EG-1.1	0.820	0.406	22.5	1.086
EG-1.2	3.820	0.406	12.7	1.105
EG-1.3	2.440	0.406	16.6	1.088
EG-1.4	1.100	0.406	18.6	0.936
EG-2.1	4.500	0.615	13.6	1.066
EG-2.3	1.370	0.615	20.9	1.189
EG-2.4	1.220	0.615	19.7	1.114
EG-3.1	1.900	0.809	20.4	1.190
EG-3.2	3.190	0.809	17.2	1.086
C-1	3.607	0.418	82.5	0.981
C-2	5.877	0.460	62.5	1.094
P_u^E/P_u^C の平均値			$\bar{x} = 1.085$	
標準偏差			$\sigma_x = 0.072$	

表.2 102体の P_u^E/P_u^C の統計量

計算式	平均値	標準偏差
式(9) σ^* $M=Q=0$	0.980	0.130
式(9)	1.046	0.097

- 《文献》 1) 森脇・滝本・三村；「局所荷重を受ける桁の耐荷力」，土木学会論文報告集，才339号，1983年，11月
 2) 森脇・滝本・三村；「局所荷重をうける桁の載荷実験」，第37回土木学会年次大会概要集，I-181，1982年
 3) T.W.Bossert, A.Ostapenko; Buckling and Ultimate Loads for Plate Girder Web Plate under Edge Loading, Fritz Engineering Lab., Report No.319.1, 1967
 4) T.M.Roberts, C.K.Chong; Collapse of Plate Girders under Edge Loading, Proc.of ASCE, ST8, 1981