

I-39 両端固定ヒンジ支承を有する I 断面鋼桁の曲げ弾塑性挙動について

室蘭工業大学 正員 ○中村作太郎
室蘭工業大学 正員 志村 政雄

1. 緒言

I断面鋼桁模型の両端を固定ヒンジ支持とし、中央2点集中線荷重載荷によりその曲げ極限強度及び曲げ弾塑性挙動を追求し、理論計算値と比較したほか、先に研究済みの両端単純支持の場合とも比較吟味し、その差異について考察を行なったものである。

2. 模型実験

(1). 断面寸法とゲージの位置

実験に用いた模型桁の断面はH型钢を用いた Wide Flange を有する I 断面で、その断面寸法及びゲージの位置は、図-1 の通りである。

(2). 使用鋼材の種類

SS-41: 一般構造用圧延鋼材で、その機械的性質その他は JIS 規格通りのもの、FCM-41: SM-41 に対する耐侯性鋼材で、溶接構造用圧延鋼材としての機械的性質を有しており、溶接性は SM-41 に対する JIS 規格通りのもの。いずれも富士製鉄 K. K (現新日鉄 K. K) の規格品である。

(3). 実験に用いた機器

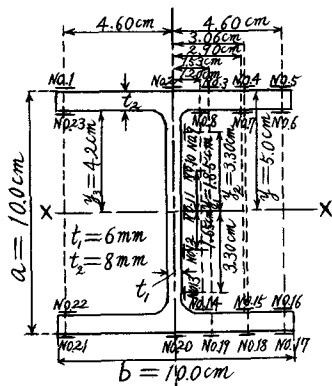
万能試験機: RH-100 型, 最大力量 100 t; X-Y レコーダー; ストレインメーター: SM-4J 抵抗線静定歪測定器, SM-60AT 抵抗線静定歪測定器, DPM-E 型抵抗線動的歪測定器; スイッチボックス SS-24J; ストレインゲージ: KL-20A5 (Gauge length 20 mm, Resistance $\Omega 117.5 \pm 0.3$, Gauge factor $2.06 \pm 1\%$), KP-10-A1 (Gauge length 10 mm, Resistance $\Omega 120.0 \pm 0.3$, Gauge factor $2.03 \pm 1\%$); ダイアルゲージ: 精度 1/100 mm

(4). 実験方法

両端固定ヒンジ支承の構造は、図-2 の NO.1 及び NO.2 の通り2種類のを製作・使用した。

模型桁は SS-41 のもの2本, FCM-41 のもの2本ずつ使用し、支承構造の異なる NO.1 及び NO.2 のそれぞれに対し、各1本ずつについて試験した。

各模型を1本ずつ万能試験機 (RH-100 型) の載荷台の上に載せ、図-2 に示



Gauge: No.1 ~ No.23

図-1 断面寸法及びゲージの位置

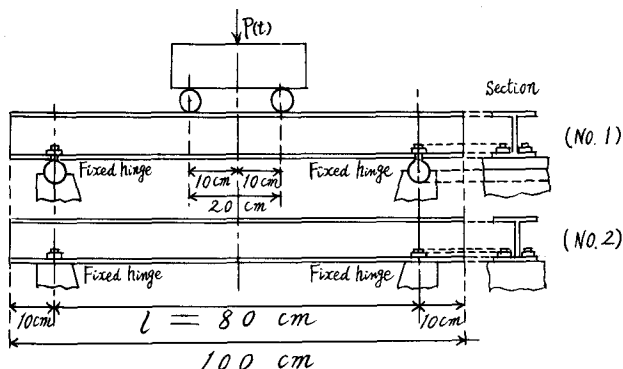


図-2 両端固定ヒンジ I 断面鋼桁の載荷・支持方法

す支持方法（両端固定ヒンジ支承 NO.1 及び NO.2 の2種類）及び載荷方法（中央2点集中線荷重載荷）により，荷重を逐次増加し極限荷重に至るまで各 Gauge の歪と支間中央点及び両支点部のたわみを測定した。

(5). 測定結果の処理

極限荷重より支間中央断面における終局強度を求めたほか，支間中央断面・支間1/4点断面・支点部断面における上・下フランジ及びウェブプレート的主要点（Gaugeの位置）の弾塑性挙動としての荷重-歪曲線，各断面における弾性限度以内の断面応力度分布，支間中央点における極限荷重に至るまでの荷重-たわみ曲線などを求めた。

3. 理論解式

(1). 弾性解式

図-3に示すように，両端固定ヒンジ支承を有する桁が中央2点集中線荷重を受ける場合の弾性曲げ解式を挙げれば，

(1)~(6)の通りである。

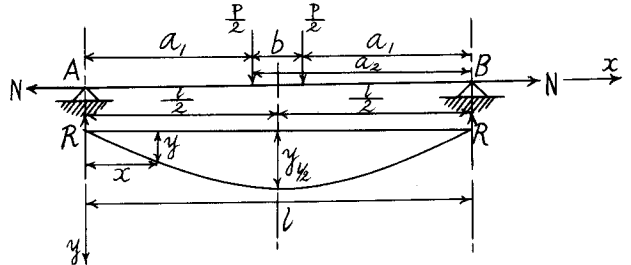


図-3 中央2点集中線荷重を受ける両端固定ヒンジ桁

1). 反力・たわみ角

$$\text{反力 } R = R_1 + R_2 = P/2, \text{ たわみ角 } \varphi = (\varphi_1 + \varphi_2) = (Pl^2/8KI)(f_1 + f_2)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ここに, } f_1 &= \omega^{-2} \left\{ \sinh 2\varepsilon \omega + \cosh 2\varepsilon \omega - \sinh 2(2-\varepsilon)\omega - \cosh 2(2-\varepsilon)\omega \right\} / (\sinh 4\omega + \cosh 4\omega - 1) + 1 - \varepsilon \\ f_2 &= \omega^{-2} \left\{ \sinh 2(1-\varepsilon)\omega + \cosh 2(1-\varepsilon)\omega - \sinh 2(1+\varepsilon)\omega - \cosh 2(1+\varepsilon)\omega \right\} / (\sinh 4\omega + \cosh 4\omega - 1) + \varepsilon \\ 0 < \varepsilon < +1 \end{aligned} \right\} \text{---(1)}$$

2). たわみ

$$\left. \begin{aligned} \text{任意点のたわみ, } y &= (1/\varepsilon) \left\{ (P/2N) \{ \xi x - \sinh \xi x \} + (\varphi_1 + \varphi_2) \sinh \xi x \right\} \text{---} 0 \leq x \leq a \\ y &= (1/\varepsilon) \left\{ (P/2N) \{ \xi x - \sinh \xi x + \xi(l-x) - \sinh \xi(l-x) \} + \varphi_2 \{ \sinh \xi(l-x) + \sinh \xi(l-x) \} \right\} \text{---} a \leq x \leq (a+b) \\ y &= (1/\varepsilon) \left\{ (P/2N) \{ \xi(l-x) - \sinh \xi(l-x) \} + (\varphi_1 + \varphi_2) \sinh \xi(l-x) \right\} \text{---} (a+b) \leq x \leq l \end{aligned} \right\} \text{---(2)}$$

$$\text{支間中央点のたわみ } y_{\delta/2} = (1/\varepsilon) \left\{ (P/2N) \{ \xi(l/2) - \sinh \xi(l/2) \} + (\varphi_1 + \varphi_2) \sinh \xi(l/2) \right\}$$

3). 曲げモーメント

$$\left. \begin{aligned} \text{任意点の曲げモーメント, } M_x &= (1/\varepsilon) \sinh \xi x \{ P/2 - N(\varphi_1 + \varphi_2) \} \text{---} 0 \leq x \leq a \\ M_x &= (1/\varepsilon) \{ \sinh \xi x + \sinh \xi(l-x) \} \{ (P/2) \varepsilon - N \varphi_2 \} \text{---} a \leq x \leq (a+b) \\ M_x &= (1/\varepsilon) \sinh \xi(l-x) \{ P/2 - N(\varphi_1 + \varphi_2) \} \text{---} (a+b) \leq x \leq l \end{aligned} \right\} \text{---(3)}$$

$$\text{支間中央点の曲げモーメント } M_{\delta/2} = (1/\varepsilon) \sinh \xi(l/2) \{ P/2 - N(\varphi_1 + \varphi_2) \}$$

4). セン断力

$$\text{任意点のせん断力, } Q_x = P/2 \text{---} 0 \leq x \leq a, \quad Q_x = -P/2 \text{---} (a+b) \leq x \leq l \text{---(4)}$$

5). 軸張力

片側単点集中線荷重のみが載荷された場合の軸張力を求める解式

$$\left. \begin{aligned} \sum_{n=1}^{\infty} \{ 2KI R_n \varphi_n^2 f_1(\kappa_n) - R_n^2 \varphi_n^2 f_2(\kappa_n) - K I^2 \varphi_n^2 f_3(\kappa_n) \} &= 4LK I^3 / A, \text{ ただし, } f_1(\kappa_n) = (1/\kappa_n^4) \{ \sinh 2\kappa_n / 2\kappa_n - 1 \\ &- \cosh \kappa_n + \sinh \kappa_n / \kappa_n \}, f_2(\kappa_n) = (1/\kappa_n^6) \{ \sinh 2\kappa_n / 2\kappa_n + 2 \sinh \kappa_n / \kappa_n - 2 \cosh \kappa_n - 1 \}, f_3(\kappa_n) = (1/\kappa_n^8) \{ \sinh 2\kappa_n \kappa_n - 1 \} \end{aligned} \right\} \text{---(5)}$$

6). 曲げ応力度・せん断応力度

$$\left. \begin{aligned} \text{任意点の曲げ応力度 } \sigma_x &= \pm M_x y / I = \pm M_x / S \quad (+: \text{引張応力度}, -: \text{圧縮応力度}) \\ \text{任意点のせん断応力度 } \tau_{yx} &= (Q_x / 2EI) \int_y y dF \quad (Q_x \text{の記号に関係なく引張応力度}) \end{aligned} \right\} \text{----- (6)}$$

ここに、 I : 断面二次モーメント, S : 断面係数, $2I$: y における断面幅

(2). 塑性解式

曲げと軸張力を同時に受ける I 断面鋼桁において、中立軸が Web plate 内にある場合の従来用いられて
いる解式を示せば、次の通りである。

$$\text{軸力 } N = \int_A \sigma_x dA = \sigma_y (2w y_0), \text{ 降伏軸力 } N_{yc} = \sigma_y (A_f + A_w), N / N_{yc} = 2 y_0 / d_w (1 + A_f / A_w) \text{----- (7)}$$

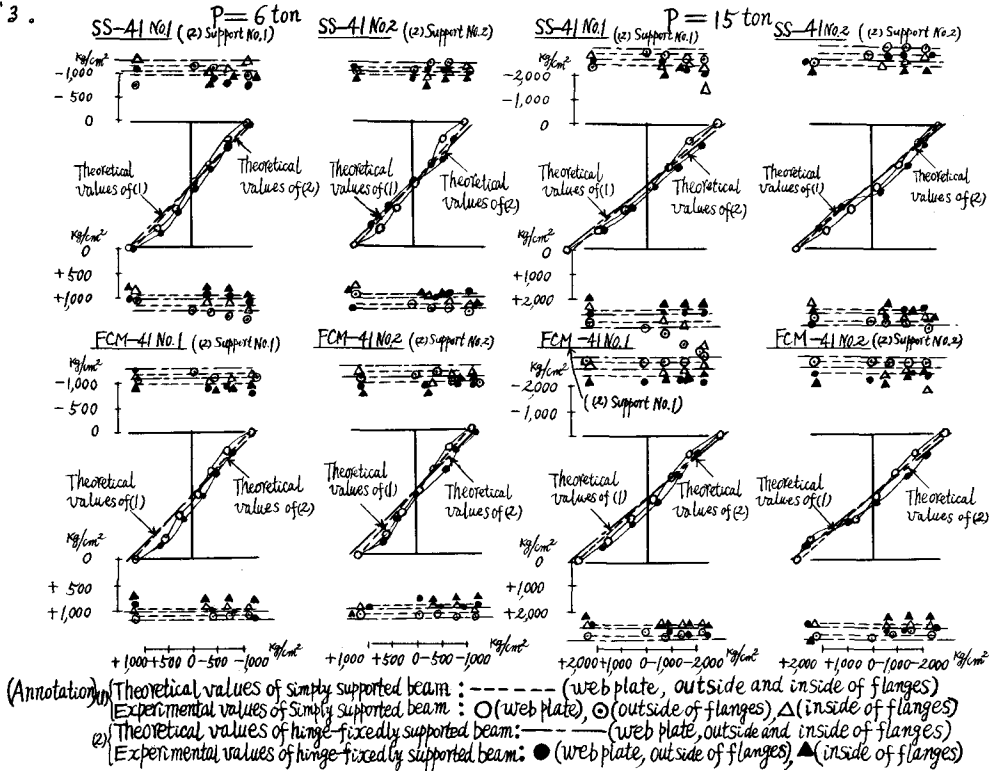
$$\text{塑性モーメント } M_{pc} = \int_A \sigma_y dF = \sigma_y (A_f d_f / 2 + A_w d_w / 4 - b y_0^2), M_p = \sigma_y (A_f d_f / 2 + A_w d_w / 4) \left. \begin{aligned} M_{pc} &= M_p - \sigma_y b y_0^2 \text{ または, } M_{pc} / M_p = 1 - b y_0^2 / Z \text{ ただし, } M_p: \text{単桁の塑性} \\ \text{モーメント, } M_{pc} / M_p &= 1 - \{ (N / N_{pc}) (1 + A_f / A_w) \}^2 \{ 1 / (1 + 2 A_f d_f / A_w d_w) \} \end{aligned} \right\} \text{----- (8)}$$

弾性理論から推定し、弾塑性領域における I 断面鋼桁の断面応力度は、塑性断面係数を Z とすれば
次式によって与えられる。 $\sigma_y = N_p / (A_f + A_w) \pm M_{pc} / Z \text{----- (9)}$

なお、(7)~(9)式において、 d_f : 上・下フランジ中心間距離, d_w : 上・下フランジ内側間隔, A_w : 腹
板の断面積, A_f : 上・下フランジ断面積合計, y_0 : 中立軸と中心線との間隔, σ_y : 塑性応力度

4. 比較考察

支間中央点、支間 1/4 点及び支点部における弾性領域内の曲げ応力度分布、弾性領域より塑性領域
までの荷重-たわみ曲線・主要点の荷重-歪曲線、極限応力度など求めたが、支間中央点のもののみ
あげる。



図一四 支間中央断面における弾性領域内の曲げ応力度(σ_x)の分布 (荷重 $P=6, 15t$)

図-4は支間中央断面における弾性領域内の曲げ応力度分布を示し、図-5は支間中央点の極限荷重に至る弾性及び塑性領域における荷重-たわみ曲線であり、図-6は支間中央断面の主要点 (No.2, No.5) における極限荷重に至る弾性及び塑性領域の荷重-歪曲線を示したものである。その他の図は紙面の関係で割愛したが講演当日発表の予定である。

求めた各グラフより考察してみ

ると次の結果が得られる。

(1). 支間の割に断面が大きいのので、軸張力は余り大きくなく、単純支持桁との差異が割合小さかった。

(2). 両端固定ヒンジ桁の支承部の構造を No.1 及び No.2 の二種類用いたが、No.2 の支承の方が両端固定ヒンジとしての効果を発揮し、理論値との差異も少なかった。

(3). 支間中央点・支間 $1/4$ 点における各現象は弾性領域以内では、ほぼ理論計算値と近接する傾向にあったが、支点部においては弾性領域以内においても、種々理論値との差異を示した。

(4). 塑性領域に入ってから各現象は理論結果と間にかなりの差異を示したが、その概略的傾向においては一致している。

(5). 実験の降伏荷重から極限荷重に至る過程は理論的過程と傾向がほぼ一致している。

(6). 両端固定ヒンジ桁の軸張力については、支間に対する断面積の比を種々変えて実験を行なえば、更に興味ある結果が得られるものと思う。

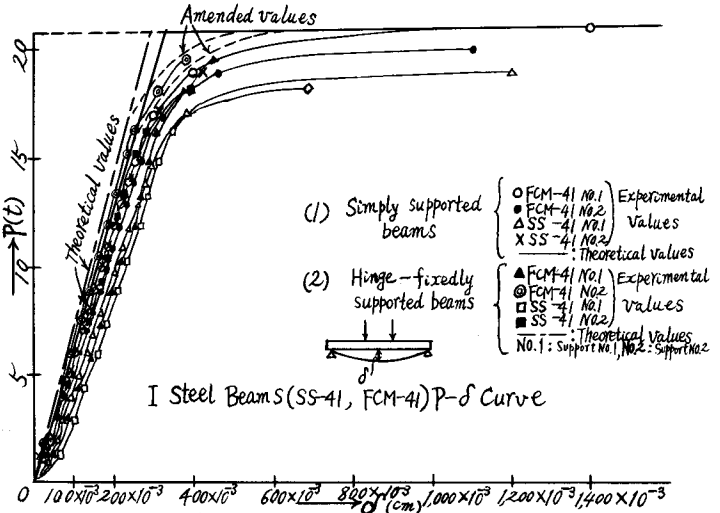


図-5 支間中央点の弾性及び塑性領域における荷重-たわみ曲線

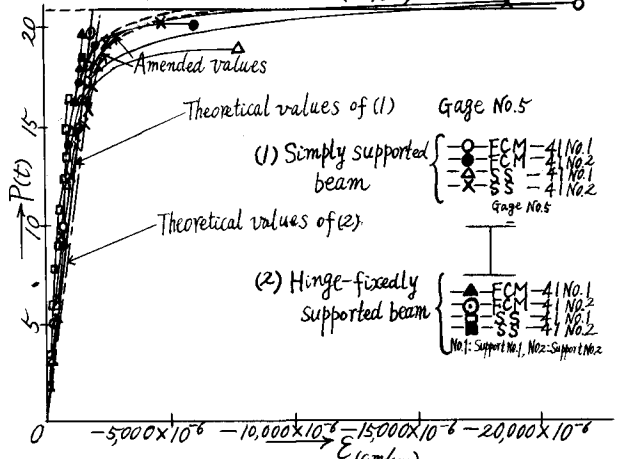
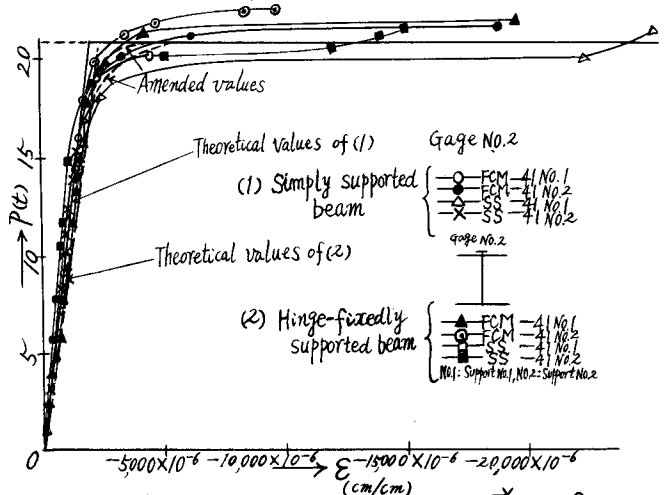


図-6 支間中央断面主要点 (No.2, No.5) の弾性・塑性領域の荷重-歪曲線