

立命館大学 正員 ○ 伊藤 満
名古屋大学 正員 橋本 晴士

1. まえがき 通常、変断面ばりの塑性設計は、抵抗塑性モーメントに対して、重量最小となる断面を決定し、しかるのち、せん断抵抗、剛性、応力度の検討が行われる。比較的長スパンになった、モン、これらの制限条件に合わない場合は、断面の修正を経験的に行い、条件を満たすような断面とする。えられた断面は、初期の目的の重量最小を与える断面ではなく、適当に補強された断面となり、経済設計であるかどうか不明である。

本論文は、曲げ抵抗、せん断抵抗、たわみ、たわみ制限、応力度制限と同時に考慮した変断面ばりの塑性設計に因しての一つの提案を行うものである。本設計によれば、比較的長スパンになったものの、塑性断面ばりの実用的最小重量設計が可能になる。

2. 抵抗塑性モーメント 図-1に示すような移動線荷重 P 、分布荷重 q 、等分布死荷重 q_0 が作用するスパン連続ばりの設計の対象とする。変断面ばりの塑性設計では、中間支梁モーメント M_B の大きさは、設計に際して任意に選ぶことが可能である。今、 M_B の大きさを P, q, q_0 の係数倍(Δ 倍)、 $M_B = (PL/4 + PL^2/8 + 2BL^2/8) \cdot \Delta$ の形で示すと、ばりに生ずる正の最大曲げモーメント $M_{smax}(x)$ と負の最大曲げモーメント $M_H(x)$ は、次式で示すことができる。

$$\frac{M_{smax}(x)}{PL} = \frac{1}{8} [4(2 + \alpha + \beta)(1 - \frac{x}{L}) - (2 + \alpha + 2\beta)\Delta] (\frac{x}{L})$$

$$\frac{M_H(x)}{PL} = \frac{1}{8} [(2 + \alpha + 2\beta)\Delta + 4\beta(\frac{x}{L} - 1)] (\frac{x}{L}) \quad (1)$$

ここに、 $\alpha = PL/P, \beta = qL/P$ である。本論文の目的は、式(1)の Δ 値を用いて、曲げ、せん断、たわみ、応力度などの制限条件を同時に満たす、最小重量塑性設計を行うことにある。式(1) (図-1)の抵抗塑性モーメント分布と最小面積を有する階段状断面は、分布荷重 q 、 $0 \leq x \leq x_0, x_0 < x \leq a_0, a_0 < x \leq L$ の3区間に分け、各区間内で微分法を用いれば容易に決定できる。ここに、 x_0 は、 $M_{smax}(x)$ の最大点、 a_0 は、 $M_{smax}(x) = M_H(x)$ となる点を示す。すなわち、各区間内の変断面数 n とすれば、各区間について最適階段状位置を求めたとき、各区間の変断面の組合せのうちから面積最小となる階段状断面を選べばよい。この方法によれば、単に微分法を用いただけで、手軽に最適階段状位置を求めることができるので、本設計のように Δ を変数とする場合に便利である。

図-2は、動的計画法(D.P.法)を用いてえられた最適階段状断面位置と、微分法によるものとの比較を示している。放物線状の抵抗塑性モーメント分布は、スパン長 $L=30m$ 、荷重比 $\alpha=2.1, \beta=2.0$ に対して重量最小のみを目的として求めたものである。これに対する実線の階段状断面が、微分法によるもの、破線がD.P.法によるものを示している。微分法による場合、各区間の変断面数は、 $0 \leq x \leq x_0$ で変断面数3、 $x_0 < x \leq a_0$ で2、 $a_0 < x \leq L$ で2の組合せ変断面数 n の3段階状断面の面積を最小にしている。これから、両者とも、ほとんど、同一の結果がえられていることがわかる。

3. 最適断面 図-1のスパン連続ばりにおいて、せん断力の最大値は、式(1)を用いて、 $Q_{max} = [2(2 + \alpha + \beta)]$

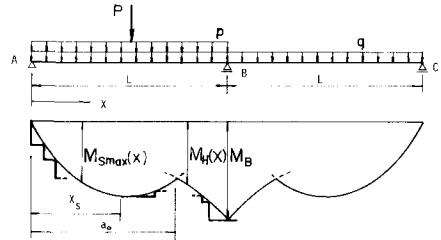


Fig.-1 Resisting Plastic Moment

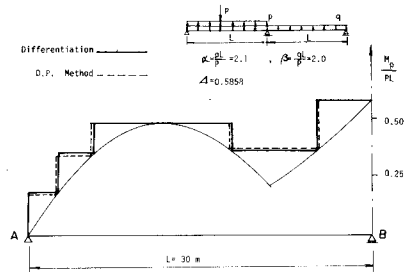


Fig.-2 Stepped Moment Distributions

+ $\frac{1}{8}(\alpha + 2\beta)\Delta$]P で与えられる。日本溶接協会の鋼構造物塑性設計基準²⁾にある、せん断力の規定より、腹板断面面積に対して、次の条件式をうる。

$$\left\{ \frac{1}{2}(2 + \alpha + \beta) + \frac{1}{8}(\alpha + 2\beta)\Delta \right\} \frac{P}{1350} \leq A_w \quad (2)$$

同標準のせん断力による塑性モーメントの低下は、 $q/d_w \geq 1.5$ 、 $0.73 q/d_w - 0.59 \geq A_f/A_w$ のとき考慮しなくともよい。ここに、 q は塑性ヒンジ断面のモーメント、 d_w は桁高、 A_w は腹板断面面積、 A_f は、片側フランジ断面面積を表す。この標準に準拠断面の塑性モーメント M_p は、 $M_p = \sigma_y d_w (A_f + A_w/4)$ 、(σ_y = 降伏点応力強度)、から A_f を消去すると A_w についての次の条件式をうる。

ここに、 x は、塑性ヒンジ断面 ($x = x_s$ 、
あるいは、 $x = L$) を示す。 q_L はヤースビ

$$\frac{M_p(x_s)}{\sigma_y d_w (0.73 q_L/d_w - 0.34)} \leq A_w \quad (3)$$

ンを示し、 $x = x_s$ 断面のとき、 $q_L = [4(2 + \alpha + \beta) - (2 + \alpha + 2\beta)\Delta]^2 / 16 [4(2 + \alpha + \beta) + (2 + \alpha + 2\beta)\Delta]$ 、 $x = L$ 断面のとき、 $q_L = (2 + \alpha + \beta)(2 + \alpha + 2\beta)\Delta / (1 + \alpha + \beta) [4(2 + \alpha + \beta) + (2 + \alpha + 2\beta)\Delta]$ である。また、 $q/d_w \geq 1.5$ から腹板高の条件、 $d_w \geq \frac{2}{3} q_L$ をうる。さらに、腹板の幅厚比制限より $d_w^2/70 \leq A_w$ (4)

をうる。一方、抵抗塑性モーメントに必要なフランジ断面は、次のようにして求める。塑性モーメントの一般式 $M_p(x) = \sigma_y [A_w d_w/4 + A_f(x)(d_w + t(x))]$ に、フランジの板厚制限値 $b/t \leq 17$ から板厚と $t \leq \sqrt{A_f/17}$ を代入すると次式をうる。ここに、 x は支間 A からの距離を示し、 $M_p(x)$ 、 $A_f(x)$ 、 $t(x)$ は、 x の関数として表してある。 $A_f(x)^3 - 17 d_w^2 A_f(x)^2 + 34 (M_p(x)/\sigma_y - A_w d_w/4) d_w A_f(x) - 17 (M_p(x)/\sigma_y - A_w d_w/4) = 0$ (5)

また、せん断による塑性モーメントの低下を考慮して、塑性ヒンジ断面でのフランジ厚は、次式を満足しなければならない。

$$\frac{M_p(x_s) + \sigma_y A_w d_w (0.34 - 0.73 q_L/d_w)}{\sigma_y A_w (0.73 q_L/d_w - 0.59)} \leq t(x_s) \quad (6)$$

このようにして、任意の Δ 値に対して d_w を与えると、式(2)~(6)を用いて必要断面面積が決定されるので、重量が最小となる d_w を求めることができる。図-3は、このようにして求めた桁重量-桁高曲線であり、各 Δ 値に対して重量最小となる d_w が求められている。図-4は、任意の Δ 値に対する桁重量と最大たわみ量と示したものである。実線の $\Delta = 0.47$ より左側が $\delta < \delta_{all}$ 、右側が $\delta > \delta_{all}$ の領域を示す。一実線は、 $\delta > \delta_{all}$ の領域の Δ 値に対して、腹板高を恒布させ、式(1)~(6)をくり返して、 $\delta = \delta_{all}$ としたときの桁重量曲線を示す。これより、最適値は、 $\Delta = 0.50$ ($W = 10.81$ 、 $\sigma_{max} = 1780 \text{ kg/cm}^2$) であることがわかる。また、最小重量のみを設計の目的としたときは、 $\Delta = 0.47$ ($W = 10.19$) である。

4. あとがき 実用的制限条件を満たす変断面ばりの最小重量塑性設計法を示し、最適 Δ 値を求めた。この方法によれば、比較的長スパンになったときの塑性断面ばりの経済設計が可能である。また、現行在延け鉄鋼の橋脚としての適用スパン長も、本方法を用いて、最小重量の更から検討することもできる。

- 参考文献 1) 橋本勝士・伊藤満, 「変断面ばりの塑性設計に関する一考察」土木学会論報標準, M1/85, 1971. 1.
2) 日本溶接協会塑性設計研究委員会, 「鋼構造物塑性設計基準」 1968.

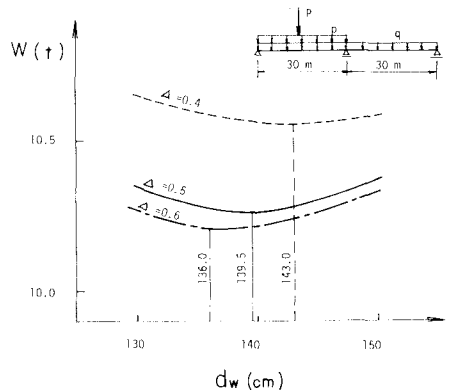


Fig.-3 Structural Weight vs. Web Depth Relationships

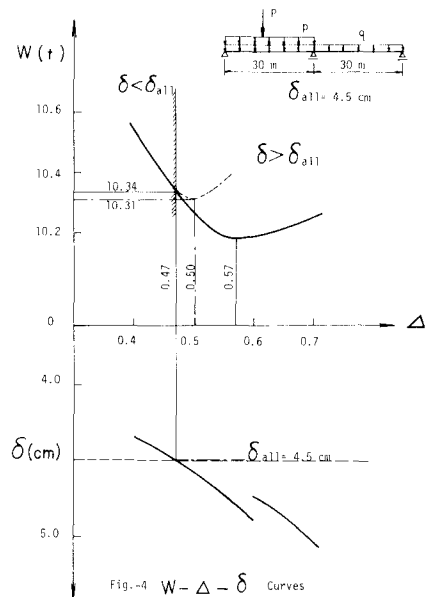


Fig.-4 W - Δ - δ Curves