

群馬高専 正員 平田恭久

1. まえがき

プレートガーダーについては、例えば(1), (2)式のような曲げモーメント M を基準にした最適桁高式(フランジ断面が許容応力度で定まる)が導かれている。(1)式は腹板厚 t が一定の場合であり、(2)式は t が桁高 h に対する幅厚比 r で定まるとした場合である。これに対し、活荷重合成桁(以降は合成桁と略す)では合成前応力度と合成後応力度を重ね合わせるため、最適桁高式を導くことがはるかに困難になり、プレートガーダーのような最適桁高式が示されていないのが現状である。筆者はこの点を打開するため、プレートガーダーとの類似性を考慮して最適桁高式を導き、これと探索結果とを対応させるとにより、最適桁高近似式の係数を定めることにした。

2. 最適桁高式を導く

合成桁には、鋼桁断面にかかる合成前荷重による曲げモーメント M_s 、合成断面にかかる合成後荷重による曲げモーメント M_v の両方が作用する。ここでは単純化のため、① M_s のみが作用する ② M_v のみが作用する 二つの状態を考えるが、①はプレートガーダーと同じである。この二つの状態について、最適桁高が探索可能でかつ最適桁高式を導くことのできる制約条件として、圧縮フランジが最小断面積、引張フランジが許容応力度で定まる $[A_c, \sigma_t]$ を選ぶ。

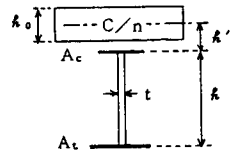


図-1 合成断面

図-1の合成断面でのフランジ断面積 A_c, A_t は(3), (4)式で表される。

床版断面を与件とすると、設計変数は h , t (h の従属変数), A_c, A_t であり、鋼桁断面積 A_s 。最小の点は

$$\begin{aligned} (5) \text{式で定まる。} dA_c \text{ は(6)式 (} dA_t \text{ も} & A_c = \frac{M}{h \cdot \sigma_c} - \frac{t \cdot h}{h' \cdot \sigma_t} \cdot \frac{2}{\sigma_c - \sigma_t} - \frac{C}{h^2} \left\{ \left(1 + \frac{h'}{h} \right)^2 \right. \\ \text{同様)であり、} [A_c, \sigma_t] \text{ の制約条件} & + (1 + \frac{h'}{h}) \frac{\sigma_t}{\sigma_c} + (1 + \frac{\sigma_t}{\sigma_c}) \frac{h_0^2}{h^2} / 12 \left. \right\} \quad (3) \\ \text{より } dA_c = 0 \text{ かつ } d\sigma_t = 0 \text{ なので、} & A_t = \frac{M}{h \cdot \sigma_t} - \frac{t \cdot h}{h' \cdot \sigma_c} \cdot \frac{2}{\sigma_t - \sigma_c} - \frac{C}{h^2} \left\{ \left(\frac{h'}{h} \right)^2 \right. \\ (6) \text{式より } d\sigma_c \text{ が得られる。この } d\sigma_c & + (1 + \frac{h'}{h}) \frac{\sigma_c}{\sigma_t} + (1 + \frac{\sigma_c}{\sigma_t}) \frac{h_0^2}{h^2} / 12 \left. \right\} \quad (4) \\ \text{と } d\sigma_t = 0 \text{ より } dA_t \text{ が得られ、この} & \\ dA_t \text{ を(5)式に代入し、} h \text{ について解く} & \end{aligned}$$

と最適桁高式が導かれる。この最適桁高式はかなり複雑な式であるが、鋼桁断面のみに関する項 A, B と床版の影響を受ける項 C, D に分けると、腹板厚一定の場合は(7)式の形に整理できる。

α_1, β_1 には h を含んでいるので、(7)式は逐次近似式であるが、腹板厚一定での最適桁高はマクロ的には M の平方根に比例するとみなせる。(7)式で $M = M_v$ とすると、 h_1 は M_v のみが作用する場合の最適桁高である。床版がない状態すなわち鋼桁断面では、 $M = M_s$, C 及び $D = 0$ で $\beta_1 = 1$

になり、 h_1 はプレートガーダーでの最適桁高になる。よって、 α_1 は $\{ 2M / (t \sigma_t) \}^{1/2}$ にかかる鋼桁断面の係数、 β_1 は M_v にかかる係数 (M_v を M_s に換算する) と考えられる。

合成桁では M_v と M_s の両方が作用するので、 $M = M_v + M_s$ に対する最適桁高は後述する理由から、近似的に(8)式で表されるとした。幅厚比一定の場合も全く同様にして(9)式で表され、最適桁高はマクロ的には M の立方根に比例するとみなせる。

$$h_1 = \left\{ \frac{3}{2} \cdot \frac{2M}{t \cdot \sigma_t} \right\}^{1/2} \quad (1)$$

$$h_2 = \left\{ \frac{3}{2} \cdot \frac{M \cdot r}{C \sigma_t} \right\}^{1/3} \quad (2)$$

$$h_1 = \left\{ \frac{A}{B} \cdot \frac{2M}{t \cdot \sigma_t} \cdot \frac{1 + C/A}{1 + D/B} \right\}^{1/2} \quad (6)$$

$$h_1 = \alpha_1 \left\{ \frac{2M}{t \cdot \sigma_t} \beta_1 \right\}^{1/2} \quad (7)$$

$$h_1 = \alpha_1 \left\{ \frac{2(M_s + \beta_1 M_v)}{t \cdot \sigma_t} \right\}^{1/2} \quad (8)$$

$$h_2 = \alpha_2 \left\{ \frac{(M_s + \beta_2 M_v) r}{\sigma_t} \right\}^{1/3} \quad (9)$$

3. 探索例の場合

上記2. で $[A_c, \sigma_t]$ の最適桁高式を導き、係数 α, β を説明したが、合成桁での最適桁高式を導くことは一般的には非常に困難である。よって、探索により最適桁高を求め、これより(8), (9)式の係数 α, β を定めることを考える。

$[A_c, \sigma_t]$ の制約条件で M_s のみと M_v のみの両方について、探索を行った結果を図-2に示す。最適桁高は M の平方根または立方根に比例するとみなしてよいこと、床版があるため合成断面の方が桁高が小さくなること分かる。

(8), (9)式で $M_v = 0$ として、 M_s のみの最適桁高 h_s を代入すると α が定まり、 M_v のみの最適桁高 h_v と h_s から β を(10), (11)式のように定める。 α, β は h の関数であるため、(7)式で示した β とは値が若干異なってくる。このようにして定めた α, β を図-3に示す。 α はほぼ一定とみなしてよいが、 β は M の小さい範囲では急激に変化しており、これは床版の影響が強く出るためである。

同じ大きさの曲げモーメントであっても、合成断面の方が桁高が小さくなるので、 M_s と M_v の和を考慮するときには M_v にウエイトを付ける必要があり、これが β である。 M_v を M_s に換算するときの仕組みを、最適桁高曲線を模式化して説明したのが図-4である。 M_v に対する最適桁高 h_v は h_s 曲線では βM_v の点になる。 h_{v1} と h_{s1} の関係より腹板厚一定での β_1 は(10)式になり、同様にして幅厚比一定での β_2 は(11)式になる。 M_s と換算した βM_v に対し、 h_s 曲線の $M_s + \beta M_v$ の点が最適桁高になる。

制約条件によっては、 M_s のみ M_v のみの最適桁高が探索できない場合がある。このケースでは二組みの $M_s + M_v$ を探索すれば α, β が決定できることになるが、 α, β は M_s

, M_v に応じて変動するので、二組みの探索結果のみでは不十分である。このため、最適桁高式の使用範囲を考慮した α, β の決定が必要になり、 M_s のみ M_v のみの探索が可能な場合も含めて、使用範囲の M_s, M_v に対する探索結果から最小二乗法を用いて決定することになる。 α, β に影響を与えるパラメタは $[A_c, \sigma_t]$ の場合、図-1の $A_c, C/n, h', h_0$ であるが、これらの値を変化させて計算または探索により α, β を求めれば、床版断面等の影響を調べることができる。

4. まとめ

$[A_c, \sigma_t]$ の一組みの制約条件を取り上げただけであるが、①合成桁での最適桁高の仕組みを明らかにする ②最適桁高の目安となる近似式を作るという二つの目的がほぼ達成された。他の制約条件についてもここで述べた方法を用いれば、プレートガーダーとの類似性を確かめ、(8), (9)式の最適桁高近似式の係数 α, β を定めることができる。今後は、 α, β に対する床版断面等の影響、 α, β の M に対する依存性等を調べていけば、より適合度の高い近似式を作成することが可能である。

$$\beta_1 = \frac{h_v^2}{h_s^2} \quad (10), \quad \beta_2 = \frac{h_v^3}{h_s^3} \quad (11)$$

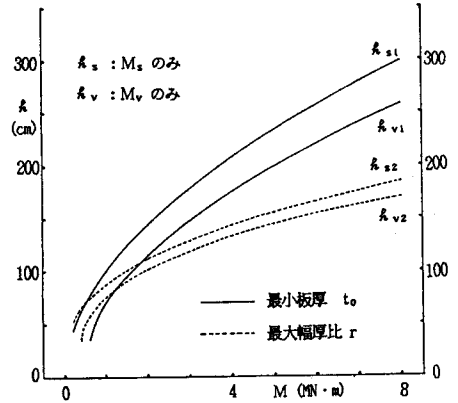


図-2 最適桁高探索例 $[A_c, \sigma_t]$

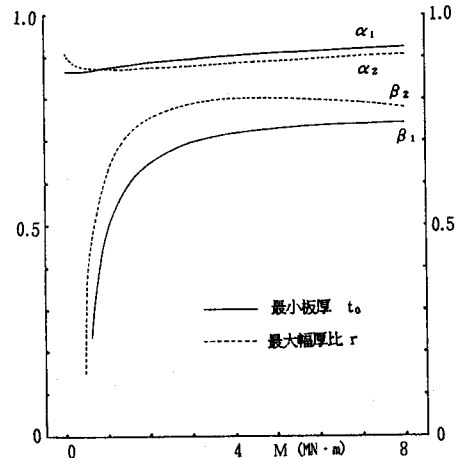


図-3 係数 α, β $[A_c, \sigma_t]$

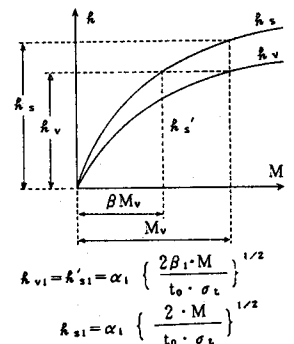


図-4 M_v の換算