

I-82

薄肉箱形断面ばりの弾塑性解析

秋田高専 正員 ○ 堀江 保

秋田大学 正員 薄木征三

1. はじめに

本報告は、曲げを受ける薄肉箱形断面ばりの弾塑性状態に対するせん断変形の影響を検討したものである。スパン長に比べ桁高の高い箱形断面を有するはり曲げを受けた場合、フランジ上の弾性直応力はせん断遅れ現象を呈するため、ウェブとの接合部での最大直応力は、通常のはり理論より得られる値より大きくなる。したがって、弾性限界荷重は、せん断変形を考慮することにより小さくなることが予想される。また、はり理論では全フランジが同時に降伏するのに対しせん断遅れ理論ではウェブとの接合部より徐々に塑性域が広がるものと思われる。ここでは、単純桁を対象に、著者らの展開したせん断変形を考慮した薄肉はり理論¹⁾より求められる弾性限界荷重をはり理論および有効幅より得られる値と比較しせん断変形の影響を検討した。また、弾塑性状態のはりのフランジおよびウェブの塑性域の広がりを求める手順についても考察を加えた。

2. 解析方法および計算例

せん断変形を考慮した弾性はり理論の直応力 σ は次式で与えられる²⁾。

$$\sigma = -E x u_b'' \left\{ 1 + \frac{u_s''}{u_b''} \left(1 - \frac{J_y}{x K_{yy}} B_x \right) \right\} \quad (1),$$

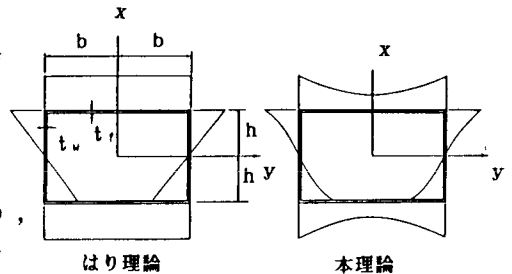


図-1

ここで、 u_b 、 u_s は各々曲げおよびせん断によるたわみを表し、ダッシュは部材軸方向 z に関する微分を表す。 u_b'' 、

u_s'' は桁形式および荷重状態が決まれば任意の z に対して荷重の関数として与えられる。また、 S_x 、 B_x は x に関する座標を表し、 J_y 、 K_{yy} はこれらの座標による断面量で次式のように定義した。

$$S_x = \int_{s_1}^s x t ds, \quad B_x = \int_{s_1}^s S_x / t ds \quad (3) \quad a, b \quad J_y = \int_F x^2 dF, \quad K_{yy} = \int_F x B_x dF \quad (4) \quad a, b$$

これら、 S_x 、 B_x および J_y 、 K_{yy} は横断面形状寸法が決まれば与えられ、箱形断面に対するこれらの値は文献3)に示されている。ここで解析の対象とする荷重は、単純桁の桁中央断面において降伏が始まる荷重から全断面が塑性するまでの荷重である。図-1に降伏が始まる時のはり理論と本理論による直応力の分布を示す。はり理論ではフランジがすべて降伏するのにに対し、本理論では、せん断遅れによりウェブとの接合部より降伏が始まる。これらの荷重範囲をモーメントで表すと $M_y \leq M \leq M_p$ --- (5) となる。ここで、 M_y は弾性限界モーメント、 M_p は全断面塑性モーメントである。これを M_p で正規化することにより各荷重形式について(5)式は次のようになる。

$$\text{等分布} \quad \frac{2(1+3\alpha\beta)}{3(1+2\alpha\beta)} \frac{1}{q_1} \leq \bar{M} \leq 1 \quad \text{集中} \quad \frac{2(1+3\alpha\beta)}{3(1+2\alpha\beta)} \frac{1}{P_1} \leq \bar{M} \leq 1 \quad (6) \quad a, b$$

(6)式において q_1 、 P_1 は次式で与えられるが、はり理論ではそれらが1となる。

$$q_1 = 1 + \frac{2E}{G} \left(\frac{2h}{l} \right)^2 \left(1 - \frac{1}{\cosh kl/2} \right) \frac{(1+15\alpha^3\beta)}{15(1+3\alpha\beta)} \quad \text{--- (7) a}$$

$$P_1 = 1 + \sqrt{\frac{E}{G}} \left(\frac{2h}{l} \right) \tanh \frac{kl}{2} \frac{(1+15\alpha^3\beta)}{3m_2} C_p \quad \text{--- (7) b}$$

(7) 式において次の記号を用いた。

$$C_p = \frac{21m_2^2}{\sqrt{105m_1m_2(5m_1m_3 - 21m_2^2)}} \quad (8) \text{ a}$$

$$m_1 = 1 + 3\alpha\beta$$

$$m_2 = 2 + 10\alpha\beta + 30\alpha^2\beta^2 + 5\alpha^3\beta$$

$$m_3 = 17 + 119\alpha\beta + 315\alpha^2\beta^2$$

$$+ 315\alpha^3\beta^3 + 70\alpha^3\beta + 210\alpha^4\beta^2$$

$$+ 42\alpha^5\beta \text{ --- (8) b-d}$$

$$(kl)^2 = \frac{G}{E} \left(\frac{1}{h} \right)^2 \frac{105m_1m_2}{5m_1m_3 - 21m_2^2} \quad (8) \text{ e}$$

ここで、 $\alpha = b/h$ 、 $\beta = t_f/t_w$ とおいた。
桁中央において降伏がはじまる時の荷重を比較するために M_y/M_p の計算例を示したのが図-2である。図において、(A) は $\alpha = 1.0$ 、(B) は $\alpha = 2.0$ の断面について、スパン長に対する桁高の比 $2h/l$ を横軸にとって示した。図中、破線ははり理論、一点鎖線は有効幅を用いた値、実線および点線はせん断遅れ理論による値を示す。ここで、実線は弾性直応力が降伏応力に達した場合、点線は降伏条件として Von Mises の条件を用いた場合を示す。有効幅による値は

$$\frac{M_y}{M_p} = \frac{2(1 + 3\alpha\beta\psi)}{3(1 + 2\alpha\beta)} \text{ --- (9)}$$

で与えられ、 $\psi = \lambda/b$ は有効幅比を表す。計算には道路橋示方書の有効幅を用いた。等分布荷重、集中荷重とも $2h/l$ の増加に伴いせん断変形の影響により弾性限界モーメントが低下し、その割合は断面形状が扁平である程大きいのがわかる。特に、本理論の集中荷重では $2h/l$ が小さい範囲でもかなりの低下が認められる。また、有効幅を用いた値との比較では等分布荷重ではわずかの差であるが集中荷重ではかなりの差が現れる。

3. 塑性域の広がり

図-3に示すように任意の荷重に対する任意断面位置のフラ

ンジ、ウェブの弾性部分の長さを C_f 、 C_w とおき、図のような応力分布を仮定することにより塑性域の広がり計算できる。その際、(6) 式の範囲で任意の $\bar{M}$ を与え、仮定した応力分布を断面内積分して得られる断面力と外力によるものが等しいという条件より任意の z における C_f 、 C_w が求められる。そして、これらよりある荷重における塑性域の広がり計算できる。

参考文献 1) 稼農、薄木、堀江：せん断変形を考慮した薄肉断面直線ばりの理論、土木学会論文集、No282

2) 堀江、薄木：縦リブを有する箱桁の有効幅について、第39回年次講演会概要集 I-177、1984

3) 堀江、薄木、長谷部、渡辺：曲げを受ける薄肉部材のせん断変形解析、橋梁と基礎、VOL.20, NO.12

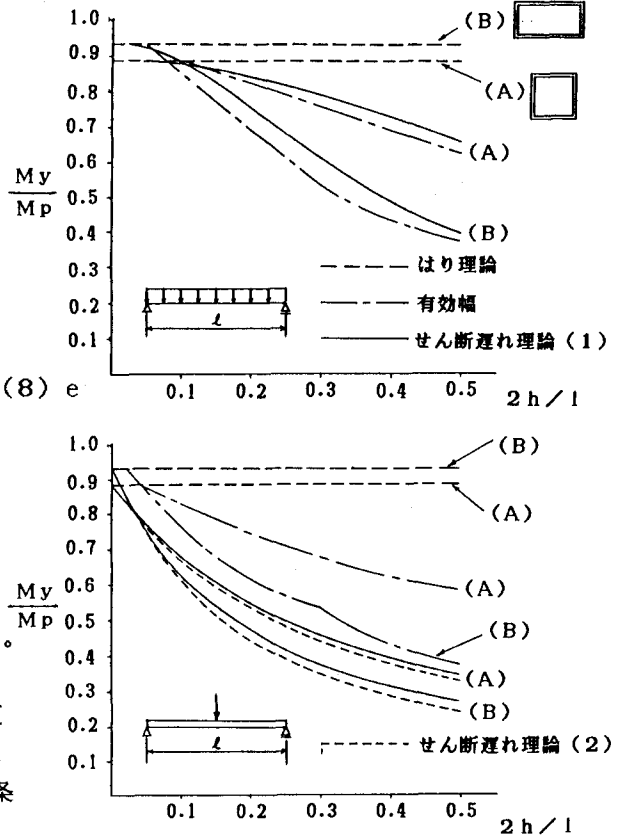


図-2

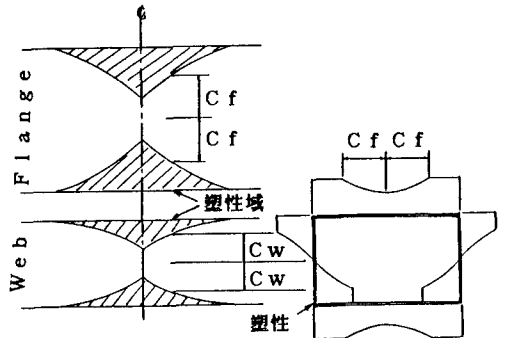


図-3