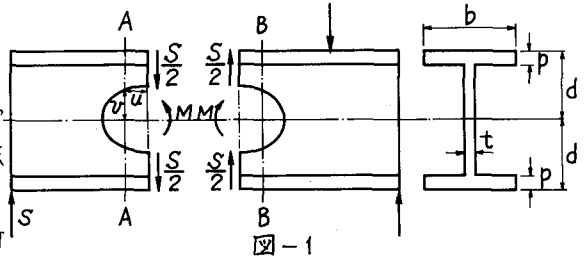


広島大学工学部 正員 大村 裕  
 広島大学工学部 正員 〇工野谷 実  
 広島大学大学院 学員 大谷 真一

1. まえがき

孔を有するH形はりに関する従来の極限解析は、High Shear (孔の中心断面においてせん断-曲げモーメント比  $S/M$  が大きい荷重状態) の場合、実験結果との近似が劣化する<sup>(1)</sup>と報告されている。ここでは、従来の解析法が High Shear のとき無視しているフランジ部分のせん断応力を考慮する解析法を示すとともに、従来の解析法および実験結果<sup>(2,4)</sup>と比較する。



2. 極限解析法

有孔はりの極限解析の前提条件および計算手順は、文献(2)にゆき、ここでは省略する。

解法(1)

図-1の任意断面A-Aが降伏するときの応力分布を下界の定理により図-2のように仮定する。このときの断面力と応力のつりあいは次のようになる。

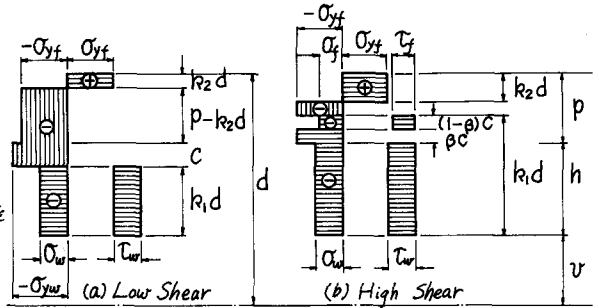


図-2 断面A-Aで仮定する解法(1)の応力分布

Low Shear ( $k_2 d \leq h$ ) の場合

$$M = \sigma_{yw} [2abc(p - k_2d) + tC(d - p + v + k_1d)]$$

$$S = 2\tau_w t k_1 d, \quad \sigma_{yf} b k_2 d = \sigma_w t k_1 d, \quad \sigma_w^2 + 3\tau_w^2 = \sigma_{yw}^2$$

$$a.5 S u = \sigma_{yf} b k_2 d \{d - v - a.5(k_1 + k_2)d\}$$

上式より  $S, \tau_w, \sigma_w$  を消去し、 $k_2$  に関する4次方程式を解いて、塑性モーメント  $M/M_{p0}$  および塑性せん断力  $S/S_{p0}$  を求める。こゝに  $M_{p0}, S_{p0}$  は無孔はりに対する全塑性モーメントおよび全塑性せん断力で次式で表わされる。

$$M_{p0} = \sigma_{yw} [\alpha b p (2d - p) + t(d - p)^2], \quad \alpha = \sigma_{yf} / \sigma_{yw} \quad (2)$$

$$S_{p0} = \frac{2}{3} \sigma_{yw} [t(d - p) + \alpha b p] \quad (3)$$

High Shear ( $k_1 d \geq h$ ) の場合

$$M = \sigma_{yf} b (p - C - k_2 d)(d + v + k_1 d - k_2 d), \quad \sigma_w^2 + 3\tau_w^2 = \sigma_{yw}^2$$

$$S = 2[\tau_w t h + \tau_f b C (1 - \beta)], \quad \sigma_f^2 + 3\tau_f^2 = \sigma_{yf}^2$$

$$\sigma_{yf} b k_2 d = \sigma_{yf} b \beta C + \sigma_f b (1 - \beta) C + \sigma_w t h$$

$$a.5 S u = \sigma_{yf} b k_2 d (d - 0.5 k_2 d) - \sigma_f b (1 - \beta) C \{d - p + 0.5(1 - \beta) C\} - \sigma_w t h (a.5 h + v)$$

$$\therefore \alpha = \frac{\sigma_{yf}}{\sigma_{yw}} = \frac{\sigma_f}{\sigma_w} = \frac{\tau_f}{\tau_w}, \quad \beta = 1 - [1 - (t/b - 1)^2]^{1/2}$$

High Shear のとき 図-2(b) のようにフランジ内の一部  $((1 - \beta)C)$  にせん断応力  $\tau_f$  の存在を仮定する。

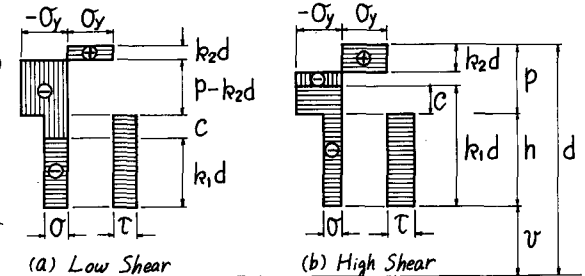
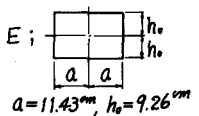
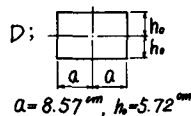
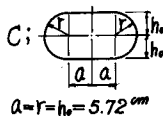


図-3 断面A-Aで仮定する解法(2)の応力分布

表 1

実験	孔形 <sup>(*)</sup>	d (cm)	b (cm)	p (cm)	t (cm)	$\sigma_{yf} (\frac{kg}{cm^2})$	$\sigma_{yw} (\frac{kg}{cm^2})$	$\frac{I}{d}$ or $\frac{h}{d}$
A <sup>(2)</sup>	円形	5.01	4.97	0.59	0.42	3000	3000	0.2, 0.8, 0.8
B <sup>(3)</sup>	円形	10.32	13.34	0.82	0.63	3289	3693	0.554
C <sup>(3)</sup>	抜中円形	10.29	13.34	0.79	0.61	3147	3466	0.554
D <sup>(3)</sup>	矩形	10.28	13.34	0.79	0.62	3150	3505	0.554
E <sup>(4)</sup>	矩形	20.17	18.11	1.07	0.78	2472	2857	0.459

(\*) A; 円孔の半径  $r = 1.0, 2.0, 3.0$  mm B; 円孔の半径  $r = 5.72$  mm



解法(2)

Redwood<sup>(1)</sup>によつて提案された解析法で、せん断力はウエブのみで受け持つ(図-3のような応力分布を仮定している)。また、フランジとウエブの引張降伏応力が異なる場合は述べていない。

Low Shear ( $k_1d \leq h$ ) の場合

$$M = \sigma_y b (p - k_2 d) (2d - p - k_2 d) + \sigma_t c (h + 2v + k_1 d), \quad S = 2 \tau t h$$

$$0.5 S u = \sigma_y b k_2 d (d - v - 0.5 k_1 d - 0.5 k_2 d)$$

$$\sigma_y b k_2 d = \sigma_t k_1 d, \quad \sigma^2 + 3 \tau^2 = \sigma_y^2$$

High Shear ( $k_1d \geq h$ ) の場合

$$M = \sigma_y b (p - c - k_2 d) (2d - p + c - k_2 d), \quad S = 2 \tau t h$$

$$0.5 S u = \sigma_y b k_2 d (d - 0.5 k_2 d) - \sigma_y b c (h + 0.5 c + v) - \sigma_t h (0.5 h + v)$$

$$\sigma_y b k_2 d = \sigma_y b c + \sigma_t h, \quad \sigma^2 + 3 \tau^2 = \sigma_y^2$$

解法(3)

Bower<sup>(4)</sup>によつて提案された解析法で、Low Shear における応力分布は解法(1)と全く同一であるが High Shear ( $k_1d > h$ ) におけるせん断力の増加は考慮していないので相互作用曲線 (Interaction Curve) は直線となる。

3. 解析結果と実験結果の比較

解析結果と比較する実験値は文献(1)(4)より引用した。各実験はりの特性は、表-1に示すとおりであり、実験値および解析結果の相互作用曲線は図-4~6を示す。図-4において解法(1)は、実験値との差異が15%以下と比較的良好な近似を示している。解法(2)、(3)は High Shear において実験値との差異が大きく、 $S/S_{po}$  軸上で21%~29%ほど実験値より小さくなっている。同様の傾向が実験Bにおいてもみられる。ところが、図-5,6において明らかのように実験C, D, Eのように抜中円孔および矩形孔の場合、解法(1)が他の解法よりやや近似がよいが、大きな差異は認められない。これは降伏断面の位置が、抜中円孔も矩形孔も孔中心より遠ざかるためフレネール作用が強まり曲げの卓越した崩壊形式になるためと考えられる。従つてフレネール作用のあまり顕著でない円孔の場合にフランジのせん断力分担を考慮する必要のある。

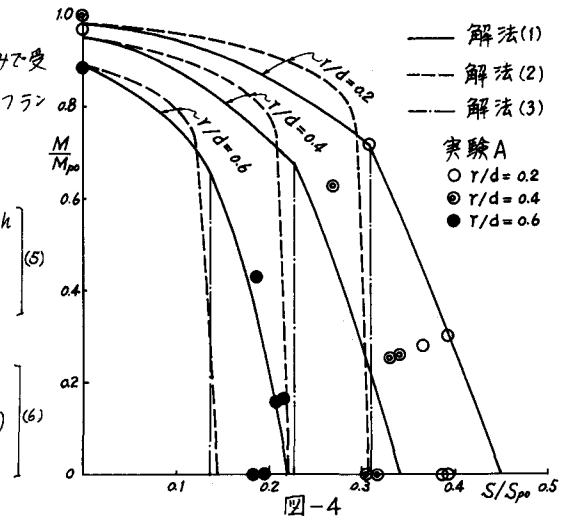


図-4

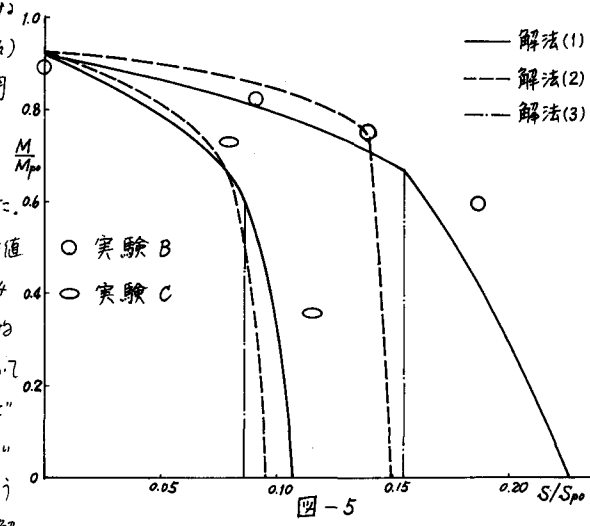


図-5

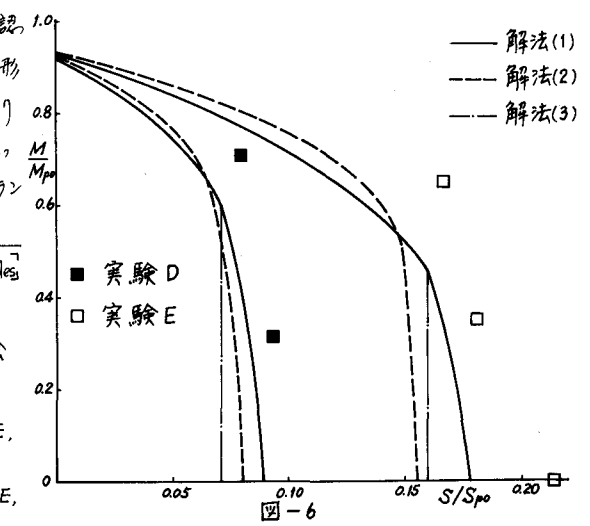


図-6

(1) R.G.Redwood, 「The Strength of Steel Beams with Unreinforced Web Holes」  
Civil Engineering and Public Works Reviews, June, 1969.

(2) 大村裕, 上野裕実, 「円孔を有するH形ばりの耐荷力」, 土木学会  
第27回年次学術講演概要集, 昭和47年, 10月

(3) R.G.Redwood, 「Beam Tests with Unreinforced Web Openings」, ASCE,  
vol. 94, No. ST1, January, 1968

(4) J.E.Bower, 「Ultimate Strength of Beams with Rectangular Holes」, ASCE,  
vol. 94, No. ST6, June, 1968