

H形鋼 (フランジ+ウェブ) の無開先深溶込み溶接における溶接部強度評価

—その3— 最大耐力の評価

有限要素法	溶接部	応力集中
平面応力場	平面歪場	最大耐力

正会員	○越智健之*1	同	岩下 勉*2
同	山下良平*3	同	丸岡義臣*4
同	吉永克寧*5		

1 はじめに

有限要素法の解析により、深い溶込みのある溶接部に関して応力の分布状態と変形が集中する部分が判明した。これらの結果に基づき、ここでは既往の研究を参照して、耐力の評価方法について検討した結果を報告する。

2 z方向に形状を変化させた数値解析

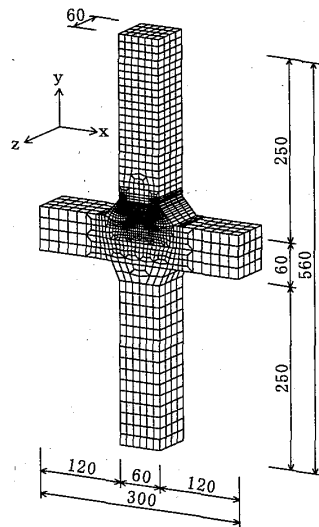


図1 立体モデル (mm)

今回の実験では、素材が高強度であることと試験機の容量などの関係から、板厚に対して溶接幅方向 (図1中 z 軸方向) の寸法が小さい。そのために、実験結果と立体要素による解析結果は平面応力の解析結果に近いものになったと考えられる。ところが、溶接部はその形状から、一般的には平面歪場を仮定して耐力を評価されている。また、溶接部の実験は、幅が可能な限り広い試験体が用いられ、たとえば、文献<sup>2)</sup>の実験では板厚 (ウェブの x 方向) と幅 (ウェブの z 方向) の比率が 2 であるのに対して、今回の実験は 0.4 である。

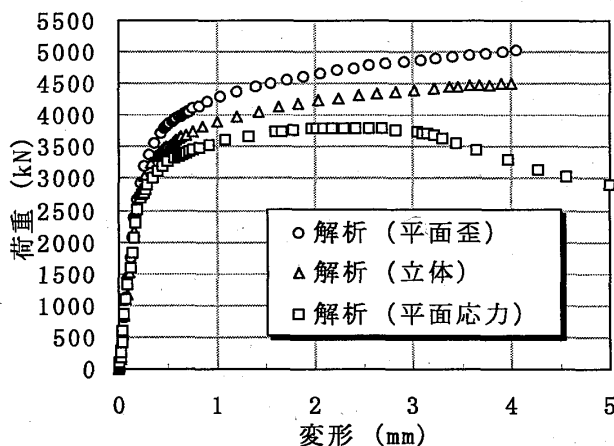


図2 解析結果の比較

そこで 1F1 の立体要素モデルに対して、板厚と幅の比率が 2 として、図1に示すように対称性から z 方向を 1/2 の 60mm とした立体モデルの解析を行った。

図2に平面歪要素と平面応力要素の解析結果を立体モデルの幅に合わせて換算した結果と立体モデルの解析結果を示す。立体モデルの解析結果は降伏を始めた変形が小さい領域では、平面応力場の解析結果に近いが、変形が大きくなると平面歪場の解析結果に近づいている。立体要素の解析結果は、その2で示した実験結果や幅の異なる立体要素の解析結果よりも他の解析結果と比較して荷重は高くなり、平面歪要素の結果に近づいているが、その差は小さくなく、平面歪場になっているとは言えない。

3 最大耐力

溶込みの深い場合の耐力評価には、開先のある隅肉溶接<sup>2)</sup>と同様の取り扱いができるものと考えられる。また、隅肉溶接に対して用いられた方法<sup>3)</sup>は、平面応力場と平面歪場の比較が可能であるので、今回の実験結果に対して有効な手段であると考えられる。

今回の実験は溶接部に対して単純に引張力を加えたものである。文献<sup>2)</sup>の方法は最小のど厚に対して、溶接金属部の引張強さ( $\sigma_w$ )を乗じたものになる。

すなわち、文献<sup>3)</sup>に変数の表現を合すると(1)式の関係が得られる。

$$\frac{P_1}{(bl \tan \alpha) \sigma_w} = \cos \alpha \quad (1)$$

ただし、 $\tan \alpha = Hw/HF$ , b: 試験体の幅,

$$l \tan \alpha = hw + Hw$$

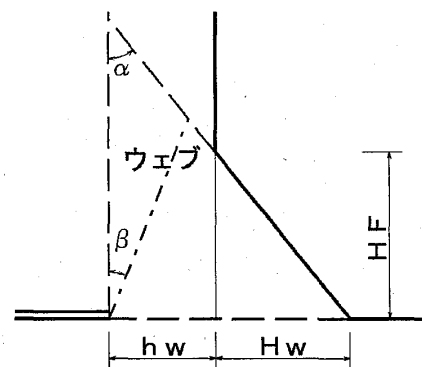


図3 機構と形状の関係

一方、文献<sup>3)</sup>の方法は、形状に対して耐力が最小となるように、塑性変形を集中させる破壊線は形状によって変化する。また、溶接部の最大耐力は文献<sup>3)4)</sup>にあるように降伏強さを引張強さに置き換える。そのために、図3に示す破線に囲まれた部分に対して、無次元化した最大耐力は角度 $\alpha$ のみの関数となる。

試験体の溶接部の形状を実測した結果から、文献<sup>3)</sup>に従って予測される耐力を求めた。その計算過程において、ここでの形状では角度 $\beta$ が小さいために、溶接金属内ではなく、図3の一点鎖線で示すようにウェブ内に破断機構を生じる結果となった。これは、文献<sup>3)</sup>は基本的に三角断面を評価の対象としており、深い溶込がある場合に対して、ウェブ断面に機構を生じることは不適切である。そこで、図4に示すように、溶接のルートと止端を結ぶ線に機構が生じることを仮定する。

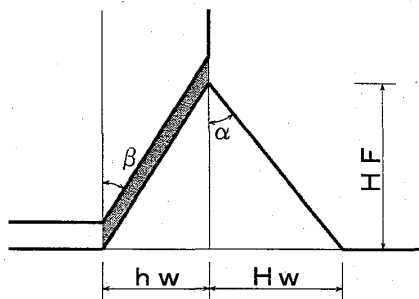


図4 破壊機構

すなわち、角度 $\beta$ を消去できなくて、平面応力場では(2)式となる。

$$\frac{P_2}{(bl \tan \alpha) \sigma_u} = \frac{\sqrt{1+3 \tan^2 \beta}}{\sqrt{3}(\tan \beta + \tan \alpha)} \quad (2)$$

ただし、 $\tan \beta = hw / HF$ である。

平面歪場では(3)式となる。

$$\frac{P_3}{(bl \tan \alpha) \sigma_u} = \frac{\sqrt{1+4 \tan^2 \beta}}{\sqrt{3}(\tan \beta + \tan \alpha)} \quad (3)$$

これらの仮定から、破壊線の形状はその1の実験結果と一致することになる。

実験の最大耐力( $P_e$ )と(1)~(3)式の計算値および実験の最大耐力に対する計算値の比率を表1に示す。また、実験の最大耐力とそれぞれの計算値の関係を図5に比較する。図5において○印が(1)式、□印が(2)式および△印が(3)式に対応する。

表1および図5によれば、実験の最大耐力に対して(1)~(3)式の相関は高く、平均的に(1)式は実験値よりも1割以上高い値であり、(2)式は実験値よりも1割程度低い値

であり、(3)式は実験値よりも若干低い結果であるが、これらの数式の中で最も実験の最大耐力と一致している。

表1 最大耐力の比較

試験	$P_e$	$P_1$	$\frac{P_1}{P_e}$	$P_2$	$\frac{P_2}{P_e}$	$P_3$	$\frac{P_3}{P_e}$
	(kN)	(kN)		(kN)		(kN)	
1F1	766	880	1.15	677	0.884	741	0.967
1F2	781	895	1.15	696	0.892	762	0.976
2F1	742	839	1.13	644	0.868	700	0.942
2F2	727	855	1.18	657	0.904	712	0.980
3F1	742	873	1.18	670	0.902	727	0.979
3F2	747	864	1.16	667	0.893	724	0.970

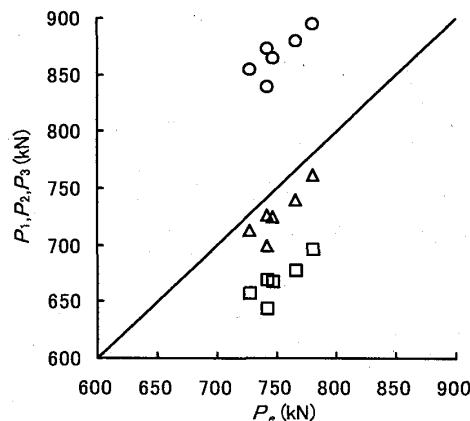


図5 実験の最大耐力と計算値の比較

ただし、これらは今回の実験を対象にした計算結果であり、角度 $\alpha$ が変化した場合には、開先のない隅肉溶接と同様の破壊機構となる可能性がある。

#### 4 まとめ

サブマージアーク溶接による溶込の深い溶接部に対して、溶接部が破断する実験を行った。また、その形状に対して有限要素法を用いて種々の考察を行った。さらに、既往の研究に基づいて、溶接部の最大耐力の評価方法について比較を行った。

#### 参考文献

- 1) 吉永克寧, 丸岡義臣, 越智健之: アンダーマッチングによるH形鋼(フランジ+ウェブ)の無開先溶接による最適溶接施工法の確立, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp.819-820, 2003.9
- 2) 杉山竹彦, 伊藤均, 宮尾俊明, 中村信行, 石村博, 岡本晴仁: 斜方開先隅肉溶接継目の引張実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp.767-768, 2001.9
- 3) 井上一郎: 建築鋼構造の理論と設計, 京都大学学術出版会, 第2部 7.2節, 2003.8
- 4) 井上一郎, 吹田啓一郎, 安井信行: 斜方隅肉溶接継目の破壊機構と最大耐力, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp.765-766, 2001.9

\*1 熊本大学

\*2 有明工業高等専門学校

\*1 Kumamoto Univ.

\*2 Ariake National College of Technology

\*3 熊本大学大学院

\*4 丸岡義臣技術研究所

\*3 Graduate School, Kumamoto Univ. \*4 Maruoka Architectural

\*5 永井製作所

Engineering Institute \*5 Nagai Steel Works