

円形有孔材の引張耐力に関する研究

日大生産工（学部） ○加藤千博

日大生産工 小松 博

日大生産工 福島暁男

1. まえがき

鋼構造物において、筋かい等の引張材の材端接合部は一般的にボルトを用いた接合法がとられている。しかしこのボルト等によるファスナ接合では、母材はボルト孔のために断面が欠損し、応力伝達は断面欠損分（孔径×母材板厚）を差し引いた有効断面積により行われることから、引張材の降伏耐力・最大耐力および伸び能力に大きな影響を与える。一方設計においては引張材を保有耐力接合とすることにより、ボルト孔による断面欠損の耐力への影響を考慮する必要がなくなる。

本研究は、過去の震害による引張筋かい材のボルト孔部での破断に鑑み、有孔材の力学的性状を基礎的に調べるため、平鋼および山形鋼を対象として引張実験を行った。試験体に設けたボルト孔により断面欠損した部材の最大耐力・降伏耐力・降伏比・伸び率を測定し、孔の数・孔の配列の違いなどによる差異を調べるとともに、併せて無孔材との対比に基づき、その影響を明確にすることを目的とする。

2. 試験体

平鋼の引張実験では図 - 1 に示す様に厚さ 6mm、幅(w)50mm の平鋼から切り出した試験片（SS400）を用いた。図 - 2 に示す試験体の孔径（D）は 6mm とし、単一孔・縦配列孔・横配列孔・千鳥配列孔の 4 種類、また縁端距離の 3 種類とピッチの 3 種類とを組み合わせ、同一形状で各 2 体ずつとし、比較のため無孔材についても行った。

山形鋼の引張実験で使用する鋼材は、L - 40 × 40 × 3（SS400）である。また、山形鋼は試験機に直接セットすることが出来ないために図 - 3 に示すように山形鋼の重心位置を考慮し、直径

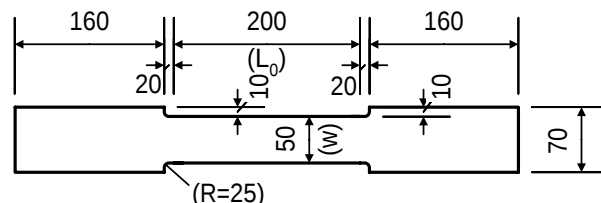


図 - 1 平鋼引張試験体詳細

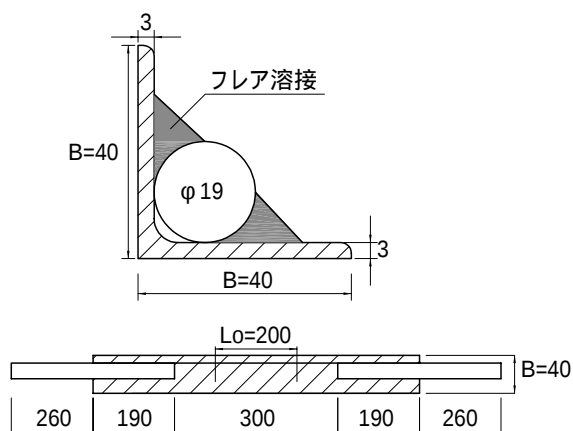
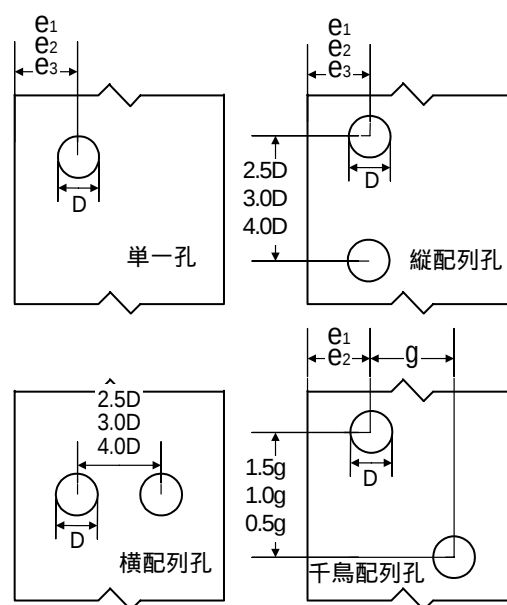


図 - 2 山形鋼引張試験体



$e_1=12.5\text{mm}(d/4)$ $e_2=16.0\text{mm}$ (規定最小縁端距離)
 $e_3=25.0\text{mm}(d/2)$ 孔径 $D = 6\text{mm}$

図 - 3 平鋼試験体孔配列詳細

19mm の丸鋼を端部にフレア溶接したものを試験体とする。図 - 4 に縁端距離・ピッチの詳細等の試験体形状を示す。試験体の孔径(D)は、6mm で、単一孔・縦配列孔・横配列孔・千鳥配列孔の 4 種類である。また縁端距離の 3 種類とピッチの 3 種類を組み合わせ、各 2 体ずつ計 32 本とし、併せて比較のため無孔材についても実験を行った。

3. 実験方法

平鋼の引張実験では図 - 1 に示す試験体に対し 1000kN 万能試験機を用いて引張試験を行った。この時の载荷速度は、弾性範囲内において定速応力(V1)を 10N/mm²/s ,次いで塑性域に入り定速ひずみ(V2)を 20%/min ,歪硬化域に入り試験体の伸びが 8%に達した時に定速ラムストローク(V3)を 30mm/min として破断するまで载荷し続けた。変位の測定は標点距離を $L_0 = 200\text{mm}$ として、その間の伸びを変位計により測定した。また垂直ひずみの測定は単軸ゲ - ジを用い、孔の位置を考慮した 3 ヶ所に材軸方向の横配列になるように貼付した。ただし、中心に孔がある場合は両脇に 2 ヶ所とした。

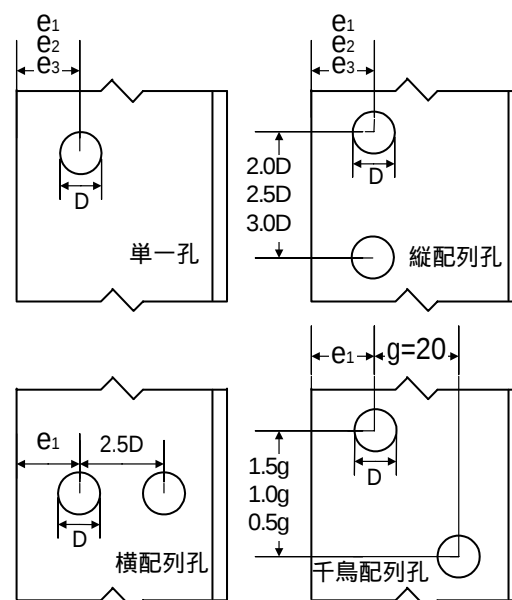
山形鋼の引張実験は平鋼と同様に 1000KN 万能試験機を用いて行った。载荷速度は定速応力(V1)を 7.5N/mm²/s , 定速ひずみ(V2)を 7.5%/min , 定速ラムストローク(V3)を 25mm/min とし破断するまで载荷した。標点距離は $L_0 = 200\text{mm}$ で、その間に変位計を取り付け変位の測定を行った。また垂直ひずみの測定は単軸ゲ - ジを用い、各フランジ 3 ヶ所に横配列になるように貼付した。

4. 平鋼の引張実験結果および考察

実験結果として図 - 5 に荷重 - 変位関係を示す。図より変形能力は無孔材・縦配列孔・単一孔・千鳥配列孔・横配列孔の順に小さくなっている。これは破断線に基づいた有効断面積に起因するものである。単一孔と縦配列孔では有効断面積は同じであるが、縦配列孔は孔数が多いため各孔でそれぞれ伸びたことが要因である。しかし無孔材に比べると縦配列孔は 1/2 以下の伸び能力であり、その他の有孔材は 1/3 以下という結果から、靱性の

確保が必要な場合には設計上は十分な有孔断面積をとる必要があろう。

図 - 6(a)~(e)は有孔材の最大耐力、上位・下位降伏点、降伏比および伸び率を無孔材との比率で表したものである。



単一	縁端距離 $e_1=10\text{mm}$ $e_2=18\text{mm}$ $e_3=25\text{mm}$
縦孔	縁端距離 $e_1=10\text{mm}$ $e_2=18\text{mm}$ $e_3=25\text{mm}$ ピッチ 2.0D 2.5D 3.0D
横孔	縁端距離 $e_1=10\text{mm}$ ピッチ 2.5D
千鳥	縁端距離 $e_1=10\text{mm}$ ピッチ 0.5g 1.0g 1.5g

縁端距離 $e_1=10.0\text{mm}$ (B/4), $e_2=18\text{mm}$ (B-22)はゲージ線上のため基準の縁端距離, $e_3=25\text{mm}$ はボルト打ちが可能な最大の縁端距離とした。
ピッチの数値は孔径Dに乘したものとす。(基準ピッチ 2.5D)
ピッチの数値はゲージ間隔(g)に乘したものとす。

図 - 4 山形鋼試験体孔配列詳細

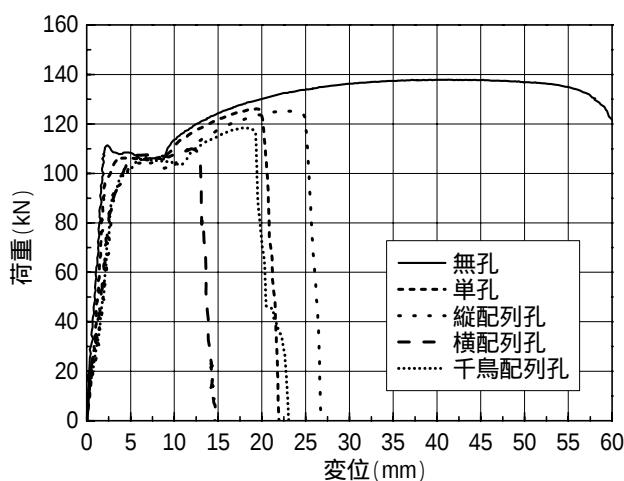


図 - 5 平鋼試験体荷重—変形関係

図 - 6(a)では、単一孔の縁端距離について比較を行った。縁端距離が長くなると最大耐力は若干上がる傾向にあり、降伏比は逆に下がっている。

図 - 6(b)では、ピッチを鋼構造設計基準¹⁾で定められている 2.5D とした縦配列孔の縁端距離について比較を行った。単一孔と同様、縁端距離が長くなる程最大耐力は若干上がる傾向にあった。

図 - 6(c)では、試験体の中心に配された縦配列孔のピッチの違いについて比較を行った。最大耐力・降伏耐力は変化なく、降伏比はピッチが広がるほど若干上がる傾向にあり、伸び率は下がった。

図 - 6(d)では、横配列孔のピッチの違いについて比較を行った。ピッチが広がるほど降伏比は下がった。つまり、縁端距離が短くなるほど降伏比が大きくなり、設計においてはピッチよりも縁端距離を重要視する必要がある。

図 - 6(e)では、千鳥配列のピッチの違いについて比較を行った。1.5g の伸び率は 2 つの孔それぞれで破断が起きたため伸び長さの測定が不能のため図には示していない。最大耐力はピッチが短い程小さくなることから降伏比は大きくなり、伸び率は小さくなった。

全体を通して、まず縁端距離が同じ単一孔と縦配列孔とでは、孔数は違うが有効断面積は同じであることから、耐力はほぼ同じ値を示した。同じ有効断面積で比較すると、千鳥配列孔のピッチが 1.5g と縦配列孔とでは、耐力はほぼ同じ値を示した。また千鳥配列孔のピッチが 0.5g と横配列孔とでは、耐力はほぼ同じであるが、伸び率は横配列孔の方が小さくなった。これらは破断線を縫う距離の影響に起因するものである。

無孔材と比較すると、有孔材の降伏耐力は孔配列の差異による違いはないが、最大耐力は単一孔・縦配列孔・千鳥配列孔は 10%、横配列孔は 20% 下がり、有効断面積の影響が顕著に現れた。

5. 山形鋼の引張実験結果および考察

図 - 7 に山形鋼試験体の荷重 - 変位関係を示す。変形能力の傾向は平鋼と同様となっている。有効断面積が同じである単一孔と縦配列孔で比較すると、降伏耐力・最大耐力・降伏比はほぼ同等と

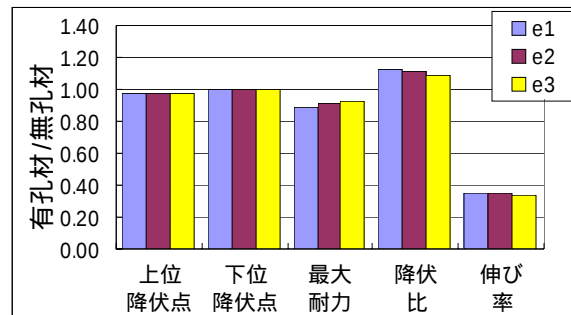


図 - 6(a) 単一孔の縁端距離比較

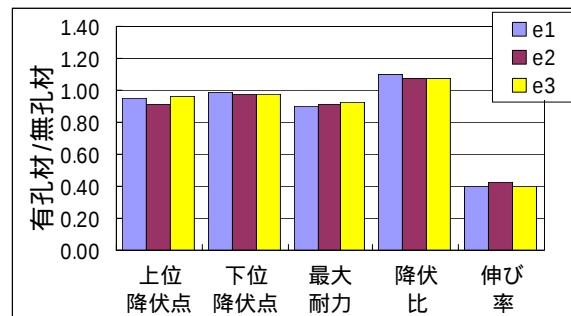


図 - 6(b) 縦配列孔の縁端距離比較

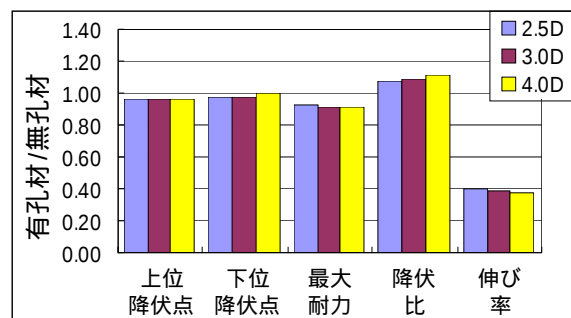


図 - 6(c) 縦配列孔のピッチ比較

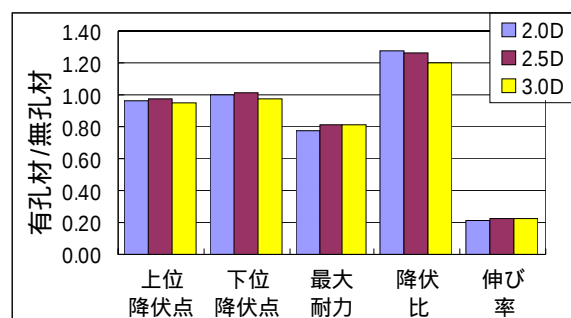


図 - 6(d) 横配列孔のピッチ比較

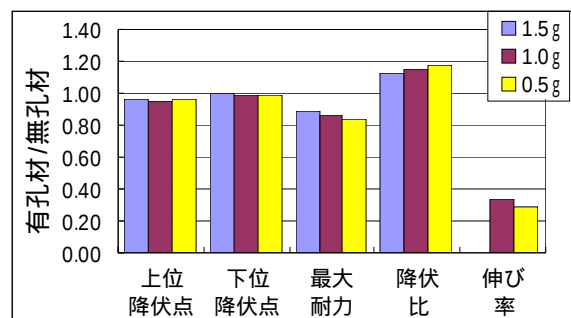


図 - 6(e) 千鳥配列孔のピッチ比較

なり、伸び率では単一孔に対し縦配列孔の方が大きくなっている。特に縁端距離が等しい単一孔と縦配列孔の比較では顕著である。これは、破断に至る過程において単一孔は一つの孔のみが伸びているのに対し、縦配列孔は、双方の孔が伸びているためである。

図 - 8(a)・(b)では単一孔・縦配列孔の縁端距離の比較を行った。これより縁端距離が大きくなるほど最大耐力・伸び率は上がり、降伏比は下がる傾向にあった。

図 - 8(c)では縦配列孔のピッチの比較を行った。最大耐力・降伏比・伸び率は、ピッチに関わらずほぼ同等の結果となった。ボルト孔のピッチは2.5D 以上と鋼構造設計規準¹⁾で定められているが、基準以下である2.0D においても変化がなかったことから、同一ゲ - ジ線上の場合には基準の2.5D に対し形状的には2.0D でも可能であった。

図 - 8(d)では千鳥配列孔のピッチの比較を行った。最大耐力はピッチが広がるほど上がり、降伏比は下がる傾向にあった。しかし、降伏耐力・伸び率では法則性がみられなかった。

6. まとめ

本研究は、引張材として平鋼と山形鋼を対象に引張実験によりボルト孔を想定した有孔材の縁端距離とピッチの関係を導きだした。変形能力は無孔材に対し有孔材は明らかに低く、横配列孔あるいは千鳥配列孔では無孔材の約30%に過ぎない。

以上のことから保有耐力接合として設計を行

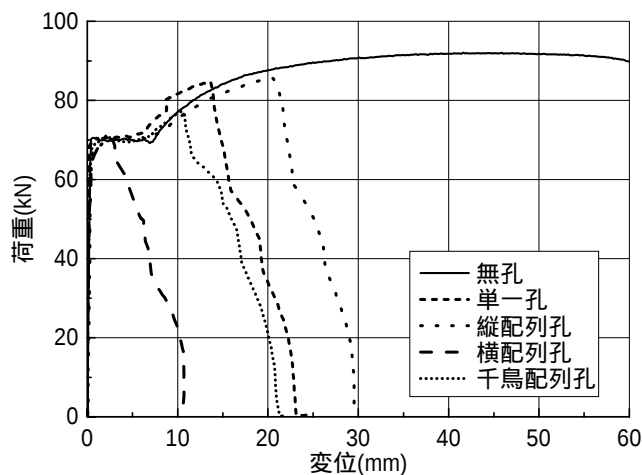


図 - 7 山形鋼試験体荷重—変形関係

ったとしても、十分に骨組の靱性が必要な場合には、引張材材端接合部における伸び率低下の影響を考え設計に部材の伸びに関する規定を設ける必要があると考える。なお引き続き、ボルトを配置した場合の研究を現在進めている。

【参考文献】

1) 日本建築学会，鋼構造設計規準，2005

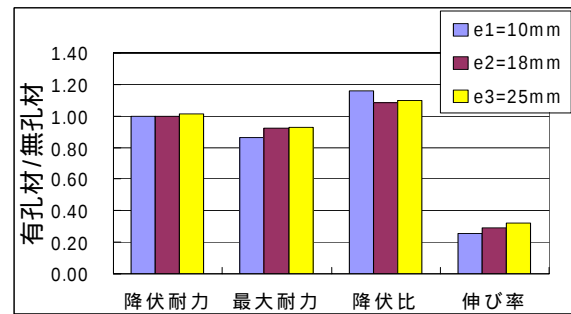


図 - 8(a) 単一孔縁端距離比較

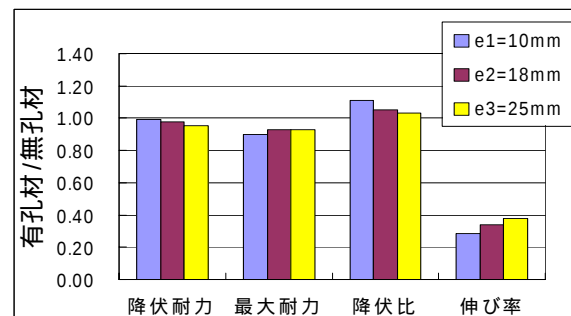


図 - 8(b) 縦配列縁端距離比較 (ピッチ 2.5D)

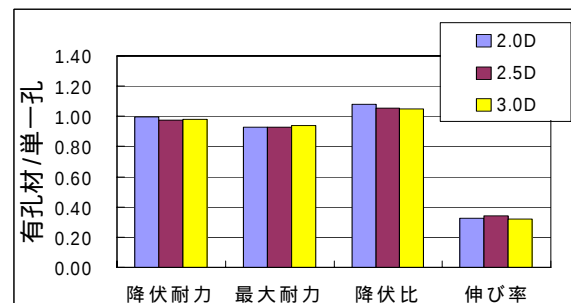


図 - 8(c) 縦配列ピッチ比較 (e2=18mm)

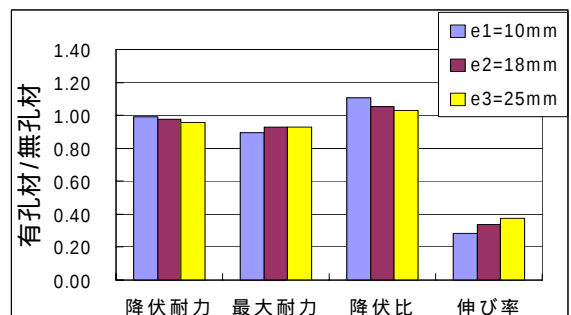


図 - 8(d) 千鳥配列ピッチ比較