

I-22 圧延H形鋼の曲げ疲労強度について

名古屋大学 正員 菊池 洋一

名古屋大学 学生員 ○ 山田健太郎

名古屋大学 学生員 神谷 周浩

1. 概説 圧延H形鋼には、圧延後の不均一冷却に起因する残留応力が存在しており、この残留応力が、桁の曲げ挙動に与える影響が検討されてきている⁽²⁾。本研究は、圧延H形鋼のキャンバー加工法を検討し、実際に圧延H形鋼にキャンバーをつけた場合の残留応力の変化、静的挙動、疲労挙動について検討したものである。このうち静的曲げ挙動と残留応力については、先に示した。⁽¹⁾すなわちキャンバー加工された桁は、残留応力分布が変わるが、いずれも耐荷力は全塑性モーメント M_p を越えたことを示した。ここでは同じ曲げ試験体を用いて、疲労試験を行なったので、その結果を報告する。

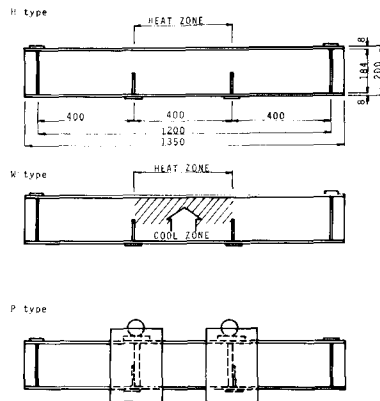


図-1 キャンバー加工

2. 疲労試験体と試験方法 使用した断面は、 $H-200 \times 100 \times 5.5$

$\times 8$ で、材質は SS50 である。この断面を、スパン 1200 mm、三等分点二点載荷の曲げ試験体加工して、次の三種類のキャンバー加工を行なった。すなわち図-1に示すように、(1)熱加工(Hタイプ)、(2)熱+水加工(Wタイプ)、(3)プレス加工(Pタイプ)である。熱加工桁(Hタイプ)は、下フランジの中央パネルを、2本のひずみ取り用バーナーで加熱し、室温で冷却したものである。

熱+水加工桁(Wタイプ)は、熱加工桁と同様に加熱した後、温度勾配を増加させる方向へ、水で冷却したものである。プレス加工桁(Pタイプ)は、中央パネルに降伏曲げモーメント M_y を越えるプレス荷重を与えて塑性変形させたものであり、キャンバー量は熱加工桁と等しくなるように制御した。プレス加工の際、プレスする点でのフランジおよびウェブの局部変形を防止するため、板厚 22 mm の載荷板と、ウェブの変形防止わくを使用した。

疲労試験は、上記三種類のキャンバー加工桁と、無加工桁(Nタイプ)、残留応力除去焼鈍桁(NAタイプ)を加えた合計5つのタイプについて実験を行なった。なお疲労試験は、アムスラー型 100 t 両振疲労試験機に載荷桁を取りつけて行ない、くり返し数は毎分 250 回とした。

3. 疲労クラックの分類 圧延H形鋼の疲労試験で発生したクラックは、破断面を観察して次のように4種類に分類できた。その概観を図-2に示す。

(1). St-タイプのクラック；載荷点下のスチフナーの取付溶接止端部から発生したクラックで、N-タイプの桁で2例見られた。他の試験体は、すべてこの部分をグラインダーで仕上げたので、この部分からのクラックの発生は見られなかった。

(2). Fe-タイプのクラック；これと次に述べる Fe-タイプが、圧延H形鋼桁に発生する特有のクラックである。Fe-タイプのクラックは、引張フランジの中央部すなわちフランジ・ウェブ交点付近で発生したもので、応力集中による貝殻状の明瞭なクラックの開始点の見られない破断面を

示したものである。

(3). Fe-タイプのクラック；Fe-タイプのクラックと同じく明瞭なクラックの開始点を持たないクラックであってフランジの端部から発生しているものである。

(4). Sp-タイプのクラック；これは不用意に作られたアークストライクやスパッタの部分で応力集中を生じて、貝殻状の破断面を示したものである。本試験では、材質がSS50と比較的溶接に敏感な材料であったため5例見られたがいずれも疲労寿命が下がっている。

溶接組立桁では、一般にフランジ・ウェブ交点の溶接部から、またはフランジ端部のガス切断線から、クラックが発生し、いずれの場合も明瞭なクラックの開始点が見られる。

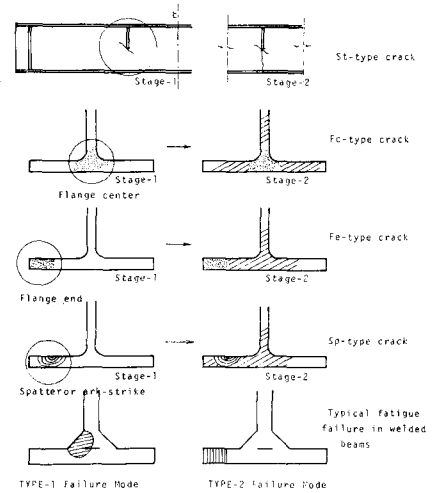


図-2 クラックの種類

したがって上記の Fe-タイプと Fe-タイプのクラックが、圧延H形鋼特有の疲労破壊と考えられる。一般に応力集中のみられない試験体の疲労寿命は、応力集中のあるもののそれより長いと考えられる。すなわち圧延H形鋼の疲労強度の高いことは、溶接に比較して応力集中を生ずる要素の少ないことが要因の1つと考えられる。なお Fisher⁽⁴⁾らの実験では、この Fe-タイプと Fe-タイプのクラックに相当する破壊の他に、両振動荷による載荷点からのクラックと、木製のスティフナーの接触面からのクラックが報告されている。

4. 残留応力と疲労クラック

各タイプの試験桁について、疲労試験前の残留応力分布と、200万

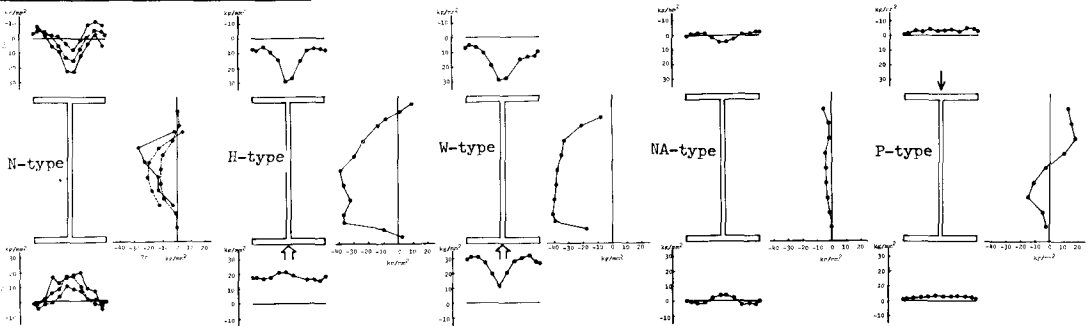


図-3 疲労試験前に存在する残留応力分布

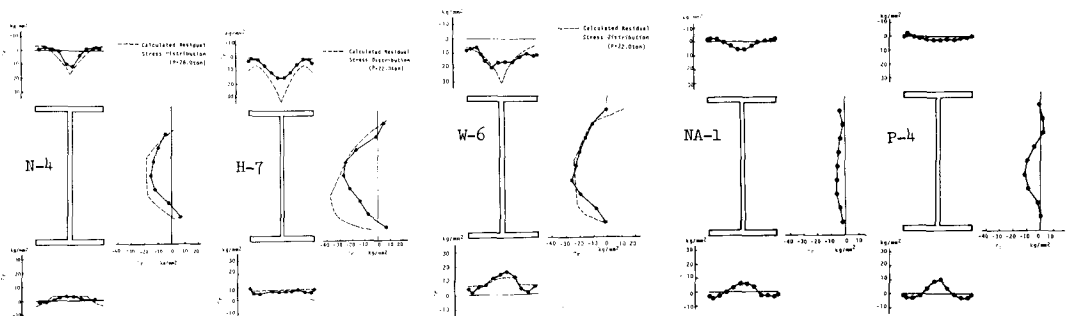


図-4 各タイプの200万回のくり返し載荷に耐えたものの残留応力分布

回のくり返し載荷に耐えたものの残留応力分布を測定した。各試験桁の初期の残留応力分布を、図-3に示す。また200万回のくり返し載荷に耐えたものの残留応力分布を、図-4に示す。図からわかるように、200万回くり返し載荷後の残留応力は、N-タイプ、H-タイプ、W-タイプで、引張フランジにおける減少が著しい。これは作用荷重が比較的高く、作用応力と残留応力の和が降伏点を越えたために、応力の再配分が生じたためと考えられる。この残留応力の再配分は、くり返し載荷の才1回目の載荷で生じたと考えられる。すなわちこの残留応力が、疲労試験中に桁に存在していた残留応力を示している。

次に、試験中に存在する残留応力が、疲労クラックの発生に与える影響を検討した。前述の圧延H形鋼特有のクラックであるFc-タイプとFe-タイプのクラックについて、存在する残留応力とともに示すと、図-5のようになる。圧延H形鋼のように、表面が全て圧延された面をもつ断面の曲げ疲労試験では、クラックは、フランジ端部から発生すると思われるが、フランジ中央部から発生したクラックも多く見られた。

図-5に見られるように、クラックの発生点には、他の部分より高い引張残留応力が存在することから、圧延H形鋼特有のクラックの発生には、存在する残留応力の影響があるのではないかと考えられる。

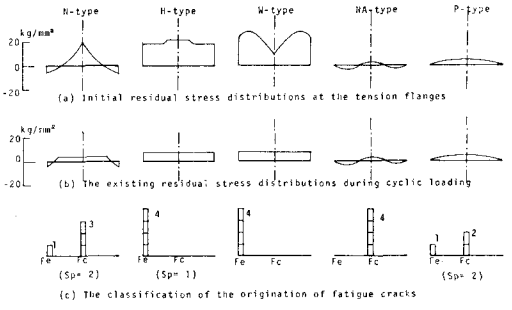


図-5 残留応力とクラックの発生

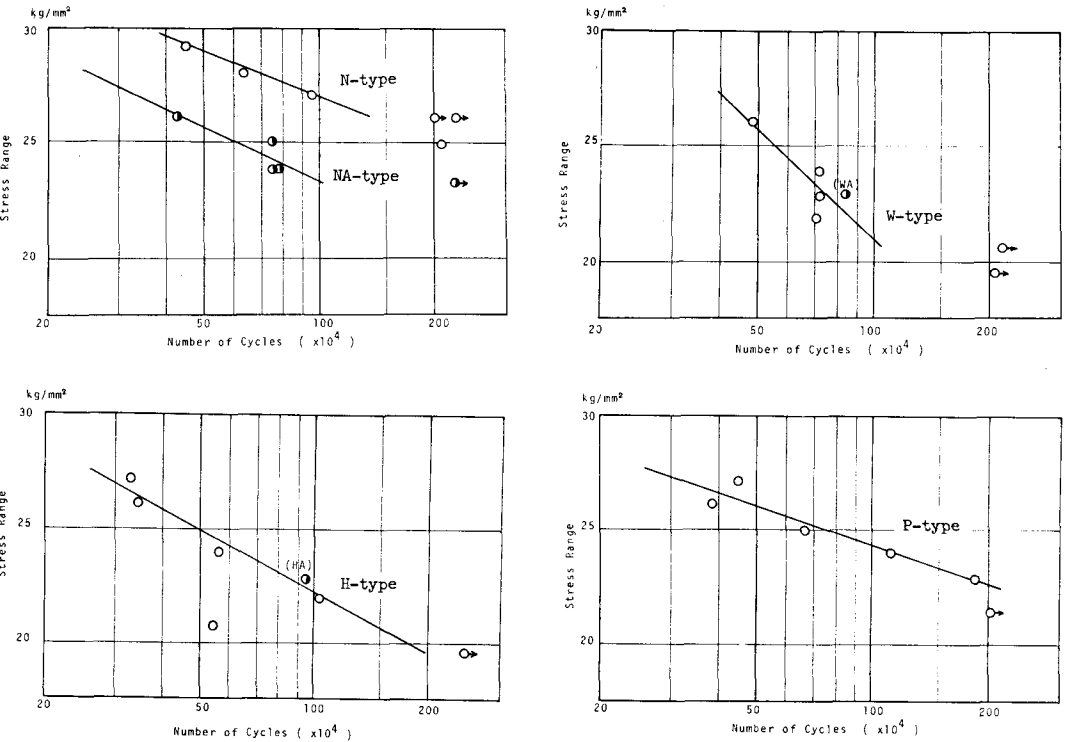


図-6 圧延H形鋼桁およびキャンバー加工桁のS-N曲線

5. 圧延H形鋼の疲労強度

(1). S-N 曲線 本試験では、下限荷重を $4t$ (フランジ応力 4.35 kg/mm^2) に定めて、S-N 曲線を求めた。各タイプの桁の疲労試験結果を、図-6 に示す。ここで縦軸は応力範囲をとり、横軸はくり返し数の対数をとった。この図から、圧延H形鋼のキャンバー加工および残留応力除去焼鈍処理は、疲労強度を低下させることがわかる。200万回疲労強度を、200万回のくり返し載荷に耐えた供試体の応力で考えると、表-1 のようになる。

表-1 200万回疲労強度

タイプ	最大応力 kg/mm^2	最小応力 kg/mm^2	応力範囲 kg/mm^2
N-type	30.45	4.35	26.10
NA-type	27.65	4.35	23.30
H-type	24.05	4.35	19.70
W-type	24.95	4.35	20.60
P-type	26.95	4.35	22.60

(2). 耐久限度線図 前述の 200万回疲労強度を、縦軸に最大応力をとり横軸に最小応力をとった耐久限度線図 (図-7) に示す。図-7 では、引張試験片による母材、十字溶接継手、縦ヒート溶接継手の疲労試験結果を黒丸で示し、その引張破断強度と直線で結んだ。圧延H形鋼桁は、溶接組立断面の一部と考えられる溶接継手より高い疲労強度を持つと考えられる。また残留応力の疲労強度に与える影響は、一般に平均応力として考えることができる。そこで前述の存在する残留応力の影響を 200万回疲労強度に加えて、耐久限度線図上にプロットすると、

図-8 のようになる。耐久限度線図上で引張破断強度と疲労強度は直線関係にあると考えて直線で結んでみると、N-タイプ以外の桁の疲労強度は、ほぼ直線上にあることがわかる。すなわち、圧延H形鋼のキャンバー加工による疲労強度の低下の割合が、主に残留応力の存在によるものであると推定される。また逆に無加工桁 (N-タイプ) の疲労強度の高いのは、圧延時に表面に圧縮残留応力が発生して疲労に有利に作用したのではないかとと思われる。

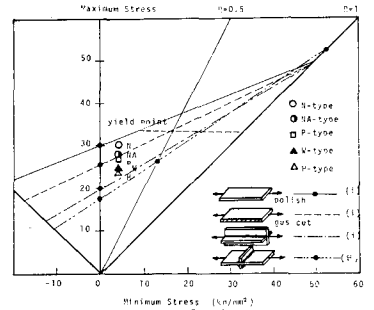


図-7 耐久限度線図

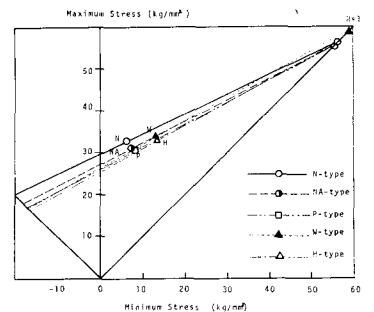


図-8 耐久限度線図 (残留応力を考慮)

6. まとめ 圧延H形鋼桁 ($H-200 \times 100 \times 5.5 \times 8$) とそのキャンバー加工桁について、曲げ疲労挙動を調べた。この結果圧延H形鋼桁およびキャンバー加工桁の疲労強度は、同程度の断面の溶接組立桁の疲労強度より高いことがわかった。これは圧延H形鋼には、応力集中や疲労の核になる溶接部分を持たないことが、その理由であろう。また圧延H形鋼のキャンバー加工を三種類行なったが、疲労強度の低下は比較的少く、またこの疲労強度の低下が主に存在する残留応力の影響によるものと推測される。

最後に本研究に用いた供試体の製作およびキャンバー加工に、日本車輛大江工場の絶大な御協力をいただいたことを付記して感謝の意を表わしたい。

- [参] (1) 菊池, 山田 他 「圧延H形鋼の加工法による残留応力について」 土木学会中部支部研究発表会 昭和46年2月
 (2) 西野, 奥村 「大型圧延H形鋼の曲げ性状」 土木学会第25回年次学術講演会講演集 昭和45年11月
 (3) 菊池, 山田, 宇田 「高張力鋼溶接H形桁の疲労挙動」 土木学会第25回年次学術講演会講演集 昭和45年11月
 (4) Fisher, J.W. and Frank, K.H. "Effect of Weldments on the Fatigue Strength of Steel Beams" NCHRP Report 102

Highway Research Board.