

名古屋大学 正 福本 秀士 石川 高専 正○前川 幸次  
 名古屋大学 正 伊藤 義人 松尾 橋梁 正 浅里 芳行

1. まえがき

横ねじれ座屈現象は、曲げを受けるI形断面部材の耐荷力を決める要素として重要なものである。すなわち、構造設計における圧縮フランジの許容曲げ応力度は、横ねじれ座屈に関する多くの実験的および理論的研究により提案された基準強度式を基に決められている。通常、桁の横ねじれ座屈強度は桁両端において断面の両主軸まわりの曲げおよびねじれに対して単純支持された桁に、強軸まわりに一様曲げが作用するときを基準とし、モーメント勾配があるときは、弾性座屈解をもとに求められた修正係数により補正している。これらの基礎となった実験の多くは2点荷重曲げにより一様曲げを受けるスパン中央部の拘束点間に注目している。しかし非弾性域におけるモーメント勾配の影響を考慮した横ねじれ座屈の研究はほとんどなく、本研究では、理想的な支承およびブレース機構を有する治具を用い、モーメント勾配の影響に着目した溶接I形桁の横ねじれ耐荷力実験を行ったのでその概要を報告する。

2. 実験内容

試験桁は、材質がSS41で、垂直補剛材を持つ、実橋の約1/3スケールのプレートガーダー(I-520 X 110 X 4.3 X 8.0)であり、その断面寸法は、桁の横ねじれ強度に注目するため、圧縮フランジの局部座屈、および腹板の曲げ座屈が早期に発生しないように選んだ。また、製作過程で生ずる桁の曲がりおよび腹板のたわみに対してはそれぞれプレス矯正および点加熱矯正を施した。実験は本研究の主目的であるモーメント勾配による横ねじれ耐荷力への影響を検討するために、表-1に示すような2種類の荷重形態を用いた。試験桁GA~GDではスパン中央で、また、試験桁GE~GHではスパンの3等分点で等しい集中荷重を作用させ、支点および載荷点では面外変形を拘束した。すなわち、図-1のように、試験桁両端および載荷点では横ねじれ変形を防止するために、上フランジ上に溶接した鋼棒にブレース装置を取り付け、これを試験桁両側のフレームに固定した。また、下フランジ側ではシュー、ソールプレートおよび載荷棒にV溝および円錐孔を掘り鋼球をはめ込んだ。これにより桁両端では面内変形および面外変形に対して単純支持を満足し、載荷点では鉛直変位は自由に、水平横変位およびねじりだけを拘束することになる。1点載荷の場合は左右二つの拘束点間要素が横ねじれ座屈に対して両端単純支持され片曲げを受ける桁に対応し、2点載荷の場合は中央の拘束点間要素が一様曲げを受ける桁に対応する。中間垂直補剛材は等間隔で片側配置することを原則とし、載荷点には板厚10mmの垂直補剛材を両側に溶接し、これを鉛直下方へ引張ることで載荷した。曲げ試験の他に、材料試験、初期たわみおよび残留応力の測定も行った。

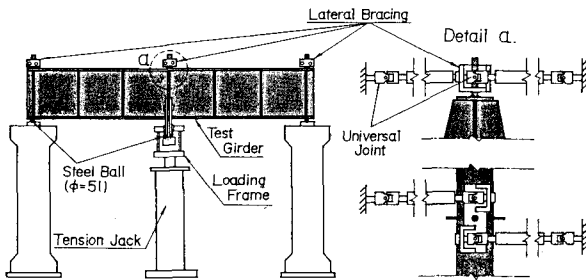


図-1 実験装置

表-1 実験計画

| Test Girders | Segment Length L (mm) | Panel Length a (mm) | Aspect Ratio a/h | Loading and Boundary Conditions                |
|--------------|-----------------------|---------------------|------------------|--|
| G A          | 1 500                 | 750                 | 1.49             | In-Plane<br>Out-of-Plane<br>Vertical Stiffener |
| G B          | 2 000                 | 667                 | 1.32             |  |
| G C          | 3 000                 | 750                 | 1.49             |  |
| G D          | 3 500                 | 700                 | 1.39             |  |
| G E          | 1 000                 | 500                 | 0.99             | In-Plane<br>Out-of-Plane<br>Vertical Stiffener |
| G F          | 1 500                 | 750                 | 1.49             |  |
| G G          | 2 000                 | 667                 | 1.32             |  |
| G H          | 2 500                 | 625                 | 1.24             |  |

### 3. 実験結果および考察

材料試験の結果、フランジの降伏点応力  $\sigma_{YF} = 270 \text{ MPa}$ 、腹板の降伏点応力  $\sigma_{YW} = 320 \text{ MPa}$  および、弾性係数  $E = 215 \text{ GPa}$  が得られた。また、残留応力は試験桁 GA と同一寸法で製作された桁を用い、3つの断面で測定した。その結果、腹板では点加熱矯正の影響で乱れており、3断面とも腹板中央部の残留応力の値は小さく、フランジではフランジ縁端の溶断と腹板結合部の溶接の両方の影響を受けた残留応力分布となっていた（当日示す）。

図-2は桁GCの荷重-変形関係を示し、圧縮フランジの水平変位およびスパン中央の鉛直たわみの実測値がプロットされている。一点鎖線はせん断力を考慮したスパン中央の鉛直たわみの理論値を表わし、低い荷重段階における理論値と実験値はよく一致している。また、圧縮フランジの水平変位から、ほぼ分岐形座屈が認められ、中間横拘束点での十分な拘束効果が確保できている。他の試験桁についても同様な荷重-変形挙動が得られた。図-3は各試験桁の圧縮フランジの初期横たわみおよび最高荷重に対する付加水平変位を示している。それぞれ製作許容値  $l_0/1000$  で無次元化されており、初期横たわみは試験装置にセットして整置する前の測定値であるが、桁GA, GCおよびGEの付加変位は初期たわみによる影響が明瞭である。写真-1に崩壊した試験桁の状況を示す。圧縮フランジのねじれを伴う水平座屈および腹板の変形を確認することができ、崩壊形式としては圧縮フランジの水平座屈が卓越していた。図-4では、縦軸には実験値の最大曲げモーメント  $M_U$  を全塑性モーメント  $M_P$  で無次元化したものを、横軸には修正細長比  $\bar{\lambda}$  を用いている。 $\bar{\lambda}$  には荷重形態および境界条件を考慮した弾性座屈モーメント  $M_E$  を用いているので、弾性座屈曲線はこの条件の違いにかかわらず図中の一点鎖線で表わされる。本実験値を表わす記号  $\Delta$  および記号  $\circ$  はそれぞれ片曲げを受ける桁（1点載荷）および一様曲げを受ける桁（2点載荷）の耐荷力に対応し、それらは非弾性域で明確な差を生じている。同様な荷重形態で行われた圧延ばりの実験値<sup>1)</sup>（記号  $\blacktriangle$  および  $\bullet$ ）からも同様な結果が得られている。図中に

示した実線および破線は、非弾性有限変位解析<sup>2)</sup>による横ねじれ耐荷力曲線であり、実験値と極めてよく一致している。詳細は当日説明する。

1) Dux, P.F. & Kitipornchai, S.: Inelastic Beam Buckling Experiment, Report No. CE24, University of Queensland, May, 1981.

2) 前川・他：曲率の影響を考慮した薄肉曲線桁の有限変位解析，土木学会中部支部講演概要集，1984年3月。

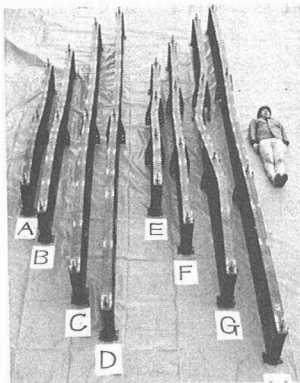


写真-1  
横ねじれ座屈モード

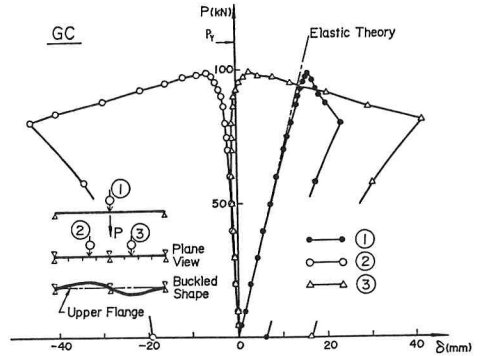


図-2 荷重-変形曲線（桁GC）

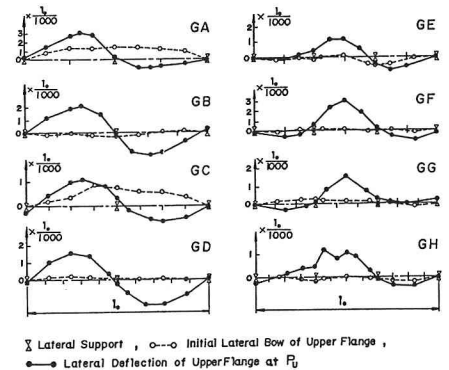


図-3 圧縮フランジの初期たわみおよび付加変位

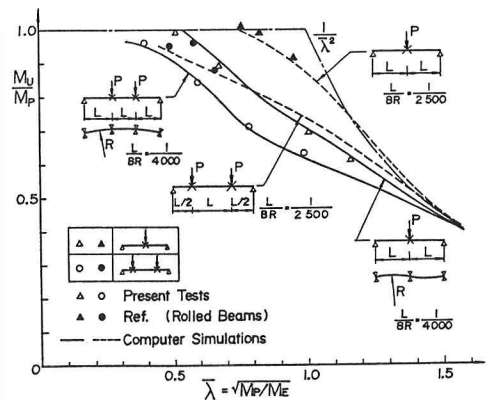


図-4 実験値および解析値