

I-40

純曲げ鋼桁の横倒れ耐荷力に関する数値計算

大阪府立工業高等専門学校 正員 ○日笠隆司

1. まえがき I-プレートガーダーの純曲げ横倒れ耐荷力は設計等における基準強度の1つとして重要であり、多くの研究がされている。現在までの研究は座屈理論及び横ねじり理論が主流であり、また、実験は両端単純支持の純曲げが困難であるので、2点荷重によって行われている。本文は有限要素法によって、両端単純支持鋼桁の純曲げ弾塑性挙動を計算し、各種の境界条件の影響を検討するとともに、ウェブの幾何学的非線形性や垂直補剛材の影響及び初期不整(ウェブのはらみ、フランジの通りやねじれ等の初期たわみ及び溶接残留応力度)についても若干の数値計算例により考察したものである。

図-1 座標系と純曲げ荷重モデル

2. 数値計算 計算に用いた有限要素法¹⁾は次のとおりである。①Reissner-Mindlinモデルによる四辺形のアソパラメトリック要素(ガウスの数値積分はウェブ面内4点、フランジ・スティフナー面内は2点、板厚方向は6点、但し、面外せん断応力度の項は面内1点とし、この項のみ常に弾性とする)。②塑性流れ理論を用いた増分法(各増分ステップ毎にNewton-Raphson法を用い、このステップ内で、繰り返し剛性マトリックスを算出し、新たに求めた節点変位増分による残差節点力ベクトルを収束させる)。③ひずみは微小ひずみとし、 x, y, z に関する2次の幾何学的非線形ひずみまでを採用。

図-1に座標系と純曲げ荷重モデルを示す。桁端の純曲げはウェブに強制変位を与えることにより発生させる。単純支持端のウェブは弱点となるので、端部の 0.037ℓ を増厚により補強したもの(a)と端部に垂直補剛材を取り付けたもの(b)タイプの2種のモデルを用いる。なお、桁端のフランジの幅中央に集中強制変位を与えることにより、フランジ面内モーメントを0としている。このフランジの集中変位の影響を取り除くため、(a)ではウェブと同様、端部を増厚し、(b)では桁端の上下フランジのみに剛体を付加している。図-2に荷重及び拘束変位の各種タイプの概略を示す。Aタイプは通常の純曲げであり、Bはモーメント荷重(a)タイプの桁端の補強の影響を比較するためのものである。C, Dは代表的な荷重実験をモデル化したものである。桁断面は4種(40キロ鋼、

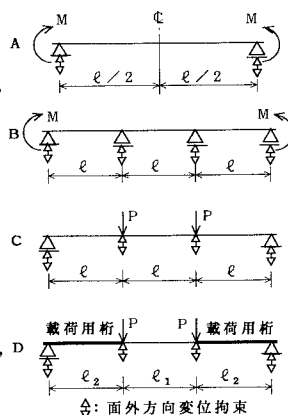


表-1 解析モデルの桁断面

No.	2-Flg. R	b*tr. Web R	h*tw
M1	2-Flg. R	550*32, Web R	1500*10
M2	2-Flg. R	400*32, Web R	1600*11
M3	2-Flg. R	300*22, Web R	1600*11
M4	2-Flg. R	250*19, Web R	1500*10

弾性係数 $2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 、ポアソン比0.3、降伏点応力度 $=2400 \times (1 + 0.01 \times \text{相当塑性ひずみ}) \text{ kgf/cm}^2$ とし、表-1に示す。図-3は初期不整をモデル化したものである。なお、ウェブに溶接残留応力度を導入すると、ウェブのはらみ及びフランジ残留応力度が変化すること、及び耐荷力に与えるウェブ残留応力度の影響は小さいことを考慮し、

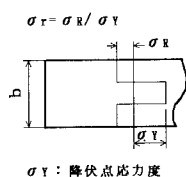


図-3 初期不整

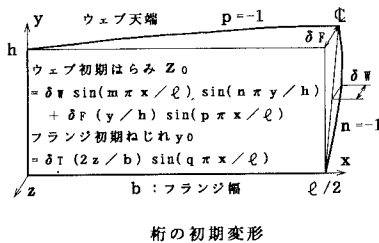


図-3 初期不整

フランジのみに矩形分布の残留応力度を入力する。初期変形はウェブのはらみ、フランジの通り及びねじれ変形をサイン波形でモデル化して導入する。m, n, p, qはサイン半波形の数であり、 $\delta_w, \delta_F, \delta_T$ はその変形の最大値である。また、下フランジの通りは耐荷力に殆ど影響を与えないので0とする。B, C, Dタイプの上フランジの通りを図-4に示す。なお、Dにはコサインの1波形を用いる。純曲げ载荷の桁端補強の影響について図-5に示す。点線はM1断面、実線はM4断面であり、同一の初期不整に対する耐荷力を曲げモーメントで示す。純曲げ(a)の1スパン(Aタイプ)は○印、3スパン(B)は×印である。両断面とも2倍の補

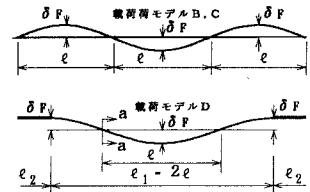


図-4 フランジの通り

強のとき、A, Bタイプはほぼ一致している。△印は桁端のy軸まわりを固定とした場合である。なお、●印はDタイプ(図-2, 4参照)であり、载荷桁断面の板厚及び弾性係数は中央断面の10倍とする。y軸まわり固定に相当するので、単純支持と対応させるため中央スパンを2倍とする。Dタイプも2倍補強の○, ×印とほぼ一致している。桁の横倒れに対しても柱の座屈係数の概念が適用できることを示す。これは载荷桁を使用したときの従来データ処理(1/2スパン単純支持桁に換算)の根拠を実証するものである。また、A-(b)タイプ(1スパン、载荷端を垂直補剛材で補強した純曲げ)も2倍補強の○, ×印とほぼ一致している。M1, M4断面に用いた垂直補剛材は各々V.Stif. R300*10*1500, 200*10*1500mmである。このような程度の補剛材による桁端ウェブの補強は純曲げ耐荷力には影響を与えないことが分かる。図-6にDタイプのM4の断面a-a(図-4参照)におけるウェブのx軸方向の変位を示す。各荷重段階におけるウェブ断面の直線性は常に成り立っており、強制変位による純曲げ载荷の妥当性を示すものである。

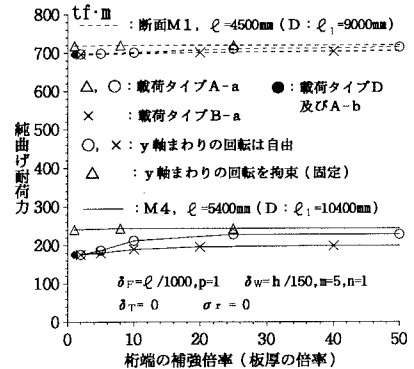


図-5 桁端の補強及び载荷条件

図-7に同一初期不整(同図参照)における断面M1~4, A-(b)タイプの純曲げ横倒れ耐荷力を無次元化して示す。基準強度曲線は同一の安全率で示したものである。また、残留応力が0のとき、ウェブにはらみ変形を生じさせないとき(横ねじり理論、ウェブの初期はらみも0)、中間垂直補剛材を4枚片側に取付けたとき(4-V.Stif. R M1:100*10*1500, M2:100*10*1600, M3:100*10*1600, M4:100*10*1500mm)、及びCタイプについても同様に示す。

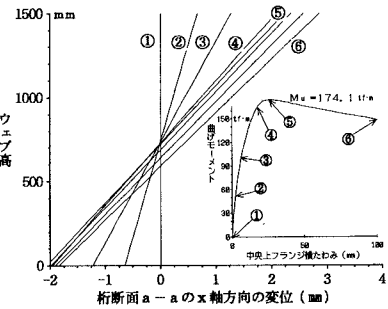


図-6 断面a-aのウェブの変位

4. 結び 初期不整のある数例の鋼桁の純曲げ横倒れ耐荷力を有限要素法で計算し、以下のことを明らかにした。

- 1) 桁端y軸まわり固定の桁をその1/2スパンの同単純支持桁に換算する従来のデータ処理は妥当である。
- 2) ウェブの変形を考慮すると横ねじり理論より低下す。フランジ残留応力度 $\sigma_r=0.5$ のときの低下は0.03~0.10であり、無次元座屈パラメータ $\alpha=\sqrt{M_y/M_{cr}}$ が小さいほどその差は大きい。なお、 $\sigma_r=0$ では約0.03の低下である。また、中間補剛材(片側に4枚取付)の効果は少なく0.01~0.02高である。
- 3) 単純支持3等分2点载荷Cタイプは純曲げ载荷Aタイプより0.10~0.12高めとなる。

参考文献 1) 日笠, 上田, 村川: 構造工学論文集, Vol. 39A, PP63~70, 1993.

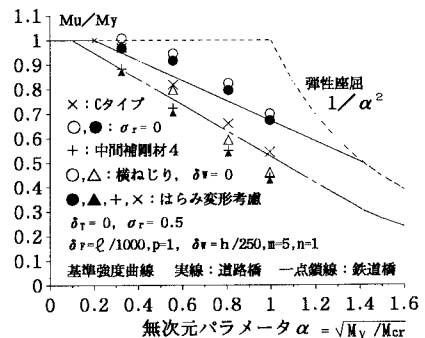


図-7 無次元耐荷力