

早稲田大学理工学部	学生会員	○ 表 輝 幸
早稲田大学理工学研究科	学生会員	末 武 蔵 崇
早稲田大学理工学部	正 会 員	平 嶋 政 治
早稲田大学理工学部	正 会 員	依 田 照 彦

1. まえがき

道路橋に曲線桁が使用される機会が最近増加し、それに伴ってI形曲線桁に関する研究の必要性が増大している。I形曲線桁の耐荷性能を正確に把握するため、最近ではウェブのみならずフランジも含めた全体的な構造解析がなされるようになってきた^{1),2)}。さらに、ウェブの幅厚比を大きくしたい場合には、水平補剛材を取り付けなければならないので、水平補剛材の桁全体に及ぼす影響も詳細に検討する価値があると思われる。Culver, Dymらは文献3)において、水平補剛材が取り付けられたウェブパネルの設計公式を提案しているが、その桁の非線形挙動を明確にするには至っていない。

本報告では、垂直補剛材で換されたI形曲線桁の一区間に水平補剛材を配置し、無補剛のモデルとの比較からフランジやウェブの変形挙動における両者の差を明らかにするとともに、水平補剛材を曲率中心に向か、内側に配置した場合と外側に配置した場合とで、桁の挙動がどのように変化するかを定量的に調べた。

2. 解析手法

解析手法としてHerrmannの混合法⁴⁾を用いTotal Lagrangian approachに従って、要素方程式を誘導した。非線形計算に対しては、増分法と修正Newton-Raphson法を組み合わせる収束計算を行った。収束計算は不平衡力が与えられた荷重の1.0(%)以下になるまで実施した。なお、Herrmannの混合法では曲げモーメントを未知パラメータとして用いているので、フランジとウェブや水平補剛材とウェブの接合部のように、モーメントが不連続になる部分での要素マトリックスの重ね合わせに若干の工夫が必要となる。本報告では、接合部における曲げモーメントの平衡条件と付帯条件とみなしてLagrangeの乗数法を適用し、いわゆる“条件付き停留値問題”に帰着させることで接合部における問題点の解決を計った。

3. 解析モデル

解析対象とした水平補剛材付きI形曲線桁の1パネルを図1に示す。モデルの寸法は、曲率半径： $R = 100[m]$ 、中心角： $\theta = 0.022[rad]$ 、桁高： $h = 220[cm]$ 、アスペクト比： $R/h = 1.0$ 、ウェブ厚： $t_w = 1.0[cm]$ 、フランジ幅： $b_f = 60.0[cm]$ 、フランジ厚： $t_f = 1.5, 2.5[cm]$ とした。水平補剛材については、片側に一段のみ配置し突出幅： $a = 13.0[cm]$ 、厚さ $t_r = 1.0[cm]$ とし、圧縮フランジから $0.2h$ の位置の内側あるいは外側に取り付けた。材料定数はYoung率 $E = 2.1 \times 10^4 [kg/cm^2]$ 、Poisson比 $\nu = 0.3$ である。荷重条件はフランジ部一様、ウェブ部で線形分布する応力を与えて曲げを作用させるものとし、モデル端部の境界条件は単純支持(面外変位と曲げモーメントを零とした。なお、数値計算はパネルの対称性を利用してパネル右半分について実施した。

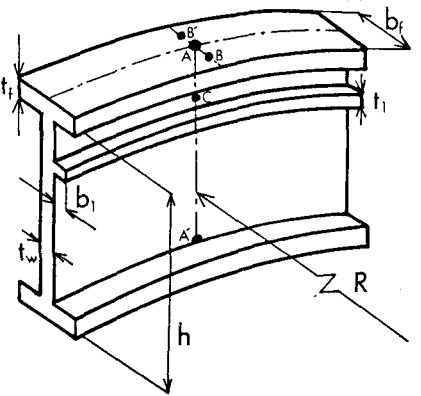


図1. 解析モデル

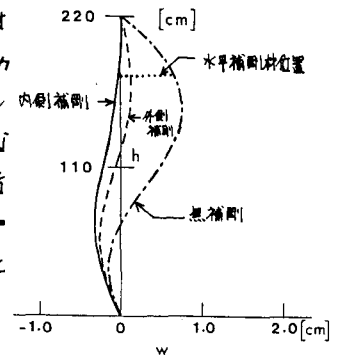


図2. 面外変位モード

(A-A'辺, $\sigma_y = 1000 [kg/cm^2]$)

4. 結果及び考察

図2～7に解析結果を示す。図2, 3はフランジ端部に作用する応力 $\sigma = 1000, 3000 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ におけるA-A'辺のそれぞれの面外変位モードである。この図から水平補剛材を配置すると、無補剛の場合に比べてウェブパネルの圧縮領域における変位が極端に小さくなり、引張領域の変位が逆に卓越してくることがわかる。水平補剛材を内側に配置した場合と外側に配置した場合と比較すると、ウェブ圧縮領域におけるモードに差違がみられ、外側に配置した場合は無補剛のモデルに近いモードを示している。図4, 5は圧縮フランジ中央部のB-B'辺の回転挙動を示している。この図から、 $t_f = 1.5 \text{ (cm)}$ の場合水平補剛材が配置されると $\sigma = 2400 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ 付近で圧縮フランジがねじれ座屈を起こすが、 $t_f = 2.5 \text{ (cm)}$ では荷重レベルが増大してもフランジはほとんど変形しないことがわかる。特に水平補剛材を内側に配置した場合は変形が小さい。図6及び図7には、これらのモデルについて $t_f = 1.5 \text{ (cm)}$ 及び $t_f = 2.5 \text{ (cm)}$ の場合のC点(図1)の面外変位挙動が示されている。この図から無補剛の場合は荷重レベルが低い段階から強い非線形挙動が現われ、水平補剛材を設けた場合の変位に比べて無補剛の場合の変位はかなり大きくなっていることがわかる。さらに図6, 7において、 $\sigma = 2000 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ を超えたところで、変位が急に増加する部分が認められる。これは、C点を通る長手方向の変形モードを観察するとこの荷重レベルの付近でモードが5次から9次に移行していることから、圧縮フランジと水平補剛材に挟まれたウェブ部分が局部的に座屈を起こしていることが原因と考えられる。

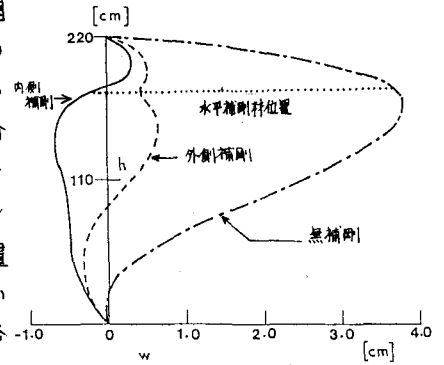


図3. 面外変位モード
(A-A'辺, $\sigma = 3000 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$)

5. まとめ

(1) 水平補剛材を内側に配置するか外側に配置するかにより、マウェブの変形モード及びフランジの回転挙動は大きく変化する。

(2) 水平補剛材の取付け面は、接合性を考えると外側に配置した方が望ましいとされているが、フランジ厚が十分であれば内側に配置することで、より効果的に圧縮フランジ及びウェブ圧縮領域の変形を抑えることができる。

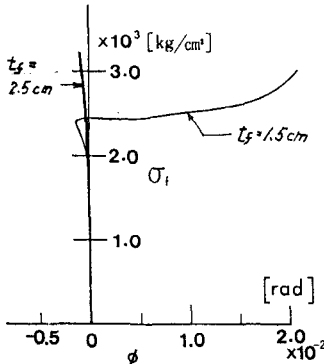


図4. 圧縮フランジの回転挙動
(B-B'辺, 内側に補剛材)

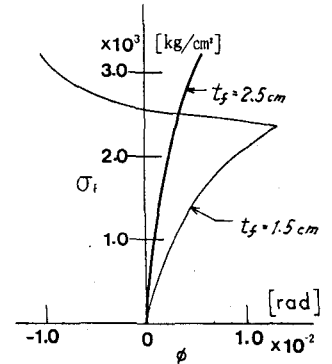


図5. 圧縮フランジの回転挙動
(B-B'辺, 外側に補剛材)

参考文献

1) 藤澤・豊西: 曲げを受けるI形断面弾性曲線プレートカーターの有限変位挙動について, 土木学会論文集(英文), 1984-10

2) 藤井・文村: フランジ剛性の影響を考慮した曲線鋼腹板の非線形挙動, 土木学会論文集(英文), 1985-4

3) Culver, C.G., Dym, C.L. and Veldin, T.: Web slenderness requirements for curved girders, Proc. ASCE, Vol. 10, No. 573, pp 417-430, Mar., 1973

4) 和田・池, 他: 混合鋼系を用いた板かくの弾性力による幾何学的非線形解析, 日本機械学会論文集(A), 1980-4

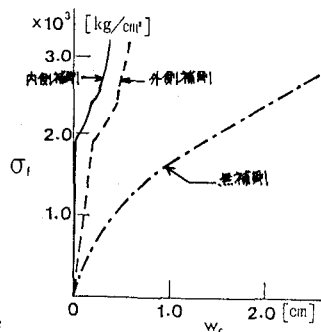


図6. C点の面外変位挙動
($t_f = 1.5 \text{ (cm)}$)

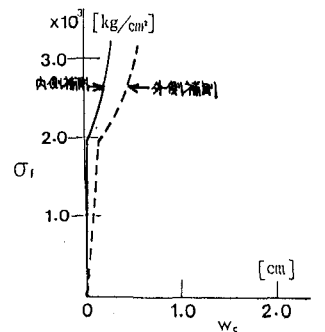


図7. C点の面外変位挙動
($t_f = 2.5 \text{ (cm)}$)