

フランジ剛性を考慮した曲線桁腹板の非線形挙動

広島大学 工学部 正会員 大村 裕
 広島大学 工学部 正会員 藤井 堅
 川田工業(株) 正会員 岡野有彦
 広島大学 工学部 学生会員 平尾克之

1. まえがき

曲線桁は幾何学的非線形性の強い挙動を呈し、とくに荷重の小さな段階から断面変形(腹板面外変位・フランジねじれ角)を生じ、その力学的性状は極めて複雑である。そのため、断面変形挙動の把握および耐荷力の推定等、未だ十分な解明がなされていないのが現状である。従来、曲線桁の腹板パネルのみを取り出し、曲線桁の断面変形と腹板の面外変位としてとらえた解析例は多数見受けられる^(1,2)。しかしながら、これらの解析ではフランジが腹板の挙動に及ぼす影響を考慮することは困難であり、フランジ剛性を考慮した曲線桁腹板の非線形挙動を解明することが望まれる。そこで、本研究では、フランジに扇形板要素、腹板に円筒シェル要素を用い、板・シェル構造とした解析を行い、腹板のみならずフランジをも考慮した断面変形挙動の解明を試みた。なお、解析にあたっては、幾何学的非線形性を考慮した増分理論による有限要素法を用いた。

2. 解析方法

いま、鉛直補剛材の剛度が十分であれば、補剛材接合部での断面変形は無視しうるものと考えられる。従って、左右の鉛直補剛材で挟まれた1区画を取り出しこれを基本形とみなして解析対象とした。このとき、この解析区画と隣接する区画との境界部での変位の適合性も考慮し、区画の両端の断面では梁理論の変位場仮定と満足することが望ましいと考えられる。そこで、端断面の節点の変位および荷重を梁理論の変位場仮定に基づき、せん断中心の変位・荷重で表現し、端断面に関する要素の剛性行列を変換する方法を採用した。この方法により、任意の断面力状態に対応した解析が可能となり、また境界条件の導入も容易となっている。

本研究では、Fig-1に示す境界条件を用い、荷重条件としては、中央断面で曲げモーメントのみ発生するように一端で曲げモーメント、他端で曲げモーメントとねじりモーメントを作用させることにした。解析モデルの選定に際しては、曲率パラメータ($\alpha = R^2 \sqrt{1-\nu^2} / R t_w$)とフランジ剛性(フランジ幅厚比 b/t_f)が断面変形挙動に及ぼす影響に注目するため、曲率半径およびフランジ幅厚比のみを変化させ、他の諸量はすべて一定とした。すなわち、桁高 $h=120\text{cm}$ 、ウェブアスベクトル比 $Rd/A=1$ 、ウェブ幅厚比 $t_w/t_w=300$ ($t_w=0.4\text{cm}$)、フランジ・ウェブ面積比 $A_{tf}/A_w=1$ とし、曲率半径 R を30, 60, 100, 200, 300 m, フランジ幅厚比 b/t_f を2, 6, 9, 17, 24と変化させた。

なお、解析モデルは、略号C30-300-17($R=30\text{m}$, $t_w/t_w=300$, $b/t_f=17$)を用いて表すことにする。また、腹板パネルのみを取り出した解析と併せて示しており、C30-300-SS, C30-300-FSは、それぞれ非載荷辺単純支持、非載荷辺固定支持を表している。

3. 解析結果と考察

Fig-2, 3は、それぞれ $R=30\text{m}$, $R=100\text{m}$ で b/t_f を変化させた場合の中央断面における $\alpha = \frac{\pi}{4}$ (圧縮側), $\alpha = \frac{\pi}{4}$ (引張側)点の腹板面外変位であり、同様、Fig-5, 6は圧縮フランジのねじれ角である。また、Fig-4は、 $b/t_f=17$

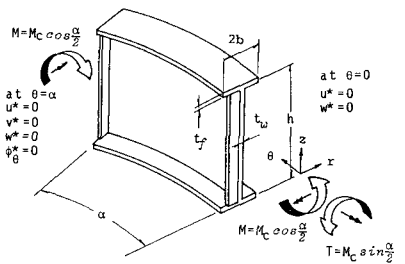


Fig-1. 荷重および境界条件

で R を変化した場合の腹板面外変位である。これらの断面変形量はすべて、上下フランジと腹板の接合線が Z 軸となす角度を桁のねじれ角とし、これに対応する変位を補正した値である。また、荷重は座屈係数 $k = \frac{Mc}{I} \cdot \frac{R^3}{2} \cdot \frac{t_w}{R \cdot D_w}$ (Mc : 中央断面 Z の曲げモーメント, D_w : 腹板の板剛度) を用いて表している。

Fig-2, 3, 5, 6 では、腹板のみを取り出した解析では、腹板面外変位・フランジねじれ角とも荷重の増加に伴い、途中から変位が急激に減少を始めている。これは、腹板面外変位が圧縮側で周方向に正弦半波(1次モード)から、中央部が凹む正弦1.5波(3次モード)に移行するためである。腹板のみを対象とした解析ではこのような現象がなくなり曲率半径の大きい場合にも認められた。

一方、フランジを考慮した解析でこのような現象が認められたのは、C30-300-9, C30-300-17 の比較的曲率半径の小さい場合であり、SS FS に比べてそれほど明確には現れなかった。これは、圧縮フランジの非線形挙動によるフランジねじれ角により、腹板面外変位が3次モードに移行しにくくなるためと考えられる。また、Fig-5 から、C30-300-24 のケースでは、圧縮フランジのねじれ角は途中から急激に増加し、フランジねじれ座屈現象が現れていることがわかる。そして、Fig-2

はこれに大きく影響を受け、腹板面外変位も急増しており、フランジの非線形挙動の影響が極めて大きいことがわかる。

Fig-4 から、 $R > 60m$ のケースで Fig-4. 荷重一面外変位曲線 ($\theta = \alpha/2, b/t_f = 17$)

圧縮側腹板面外変位が $k \geq 40$ から急激に増加する現象が認められる。これは、FS の腹板の曲げ座屈荷重 $k_{cr} = 39.7$ に対応しており、腹板の座屈現象が現れていると考えられる。一方、 $R < 60m$ のケースではこの現象は明確には現れず、荷重の初期の段階から非線形性の強い挙動である。

また、Fig-5, 6 から、フランジ幅厚比 b/t_f は、圧縮フランジのねじれ座屈現象に大きく関係することがわかる。

以上のことから、荷重が大きくなるとフランジの非線形挙動あるいはフランジねじれ座屈現象が現れ、これが腹板の挙動に大きく影響することがわかる。

- (参考文献) 1) 三上ら、土木学会論文報告集、299号
2) 倉岡ら、土木学会論文報告集、315号
3) 藤井ら、広島大学工学部研究報告、31巻

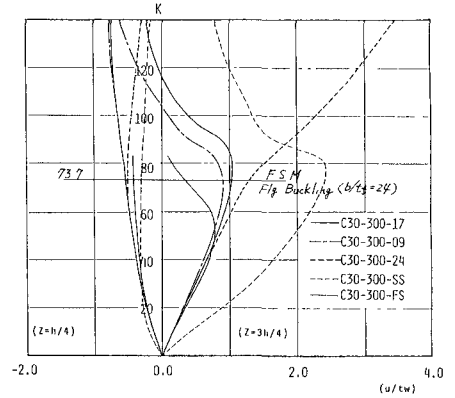


Fig-2. 荷重一面外変位曲線 ($\theta = \alpha/2, R=30m$)

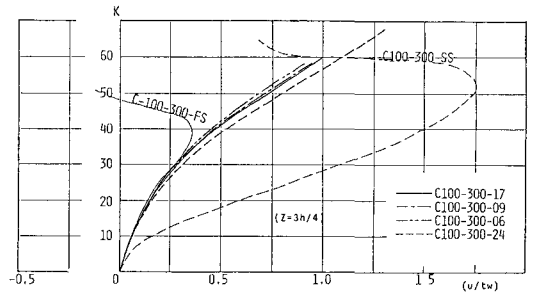


Fig-3. 荷重一面外変位曲線 ($\theta = \alpha/2, R=100m$)

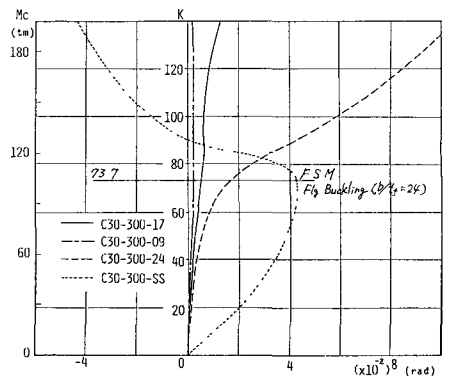


Fig-5. 荷重フランジねじれ角曲線 ($\theta = \alpha/2, R=30m$)

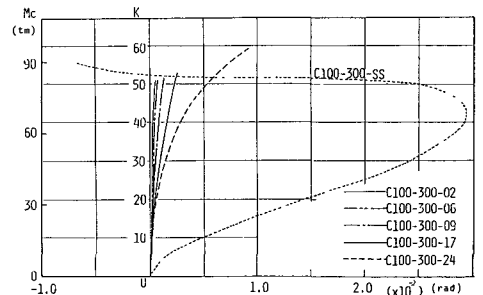


Fig-6. 荷重フランジねじれ角曲線 ($\theta = \alpha/2, R=100m$)