

極厚板を有するプレートガーダーの終局曲げ強度

広島大学大学院 学生会員 ○入川 充夫
 広島大学大学院 正会員 藤井 堅
 広島大学大学院 フェロー会員 中村 秀治

1. 背景と目的

Basler ら¹⁾によれば、プレートガーダーの曲げ崩壊は、圧縮フランジの水平座屈（横ねじれ座屈）、ねじれ座屈、垂直座屈の3つの崩壊形式により決定される。道路橋示方書²⁾では、水平補剛材のない場合、ウェブ幅厚比を152と定めている。ウェブ幅厚比152ではフランジの鉛直方向への座屈に対し、ウェブが十分な支持ができるため、フランジ垂直座屈崩壊は起こりえないものと考えられている。

平成8年の道路橋示方書²⁾の改定により、橋梁に利用できる鋼板の最大板厚は50mmから100mmまで許容され、少数主桁橋梁などでは、70mm以上の極厚フランジが使用されている。このように極厚フランジを使用する場合、ウェブがフランジの座屈に対し十分支持できず、フランジ垂直座屈崩壊が起こる危険性が高まる。

またプレートガーダーの曲げ耐力推定式については、過去に幾つか提案されているが、フランジ垂直座屈の発生メカニズムについては明らかにされておらず、耐力推定式はなお検討すべき問題点が残されている。

本研究では極厚フランジを有するプレートガーダーの曲げ崩壊について、終局挙動を解析的に調べ、フランジ垂直座屈防止の観点よりウェブ幅厚比制限について検討する。また、解析結果より既存の曲げ耐力理論の検証を行う。

2. プレートガーダーの曲げ強度解析

3次元FEM解析を用いて弾塑性非線形解析を行い、フランジ板厚、ウェブ板厚、ウェブ縦横比を変化させたプレートガーダーについての曲げ崩壊形式、終局曲げ強度を求めた。Fig.1に解析モデルとその境界条件を示す。解析モデルはフランジ幅を800mm、桁高を2000mmとし、垂直補剛材を片側にのみ2本配置している。要素は、8節点アイソパラメトリックシェル要素を用い、100mm等間隔メッシュになるよう要素分割を行った。荷重は、曲げによるx軸方向応力を等価節点力に置き換え、辺e,f上の節点に節点荷重として与えた。なお、桁の両端には剛体要素を取り付けた。鋼材の材料定数は、降伏応力 $\sigma_y=235.2(\text{MPa})$ 、弾性係数 $E=2.06 \times 10^5(\text{N/mm}^2)$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ とし、降伏後の接線係数は $E'=E/250(\text{N/mm}^2)$ とし、降伏判定にはMisesの降伏条件を用いた。またフランジ、ウェブパネルには初期変位、残留応力を与えた。

Fig.2(a)にフランジ板厚30mm、ウェブ幅厚比400の解析モデル、Fig.2(b)にフランジ板厚100mm、ウェブ幅厚比152の解析モデルの変形図を示す。フランジ板厚30mmの従来の断面を持つプレートガーダーでは、ウェブ幅厚比400と非常にウェブが薄い場合でも、フランジ垂直座屈による崩壊が見られない。これに対し、板

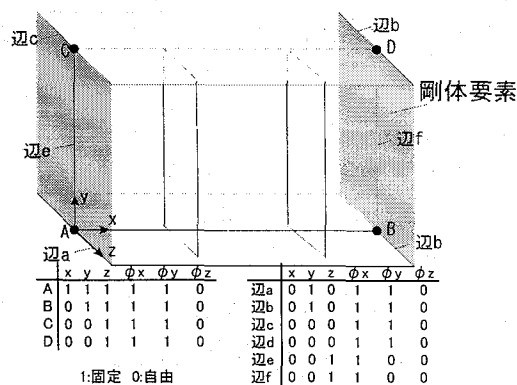


Fig.1 解析モデルと境界条件

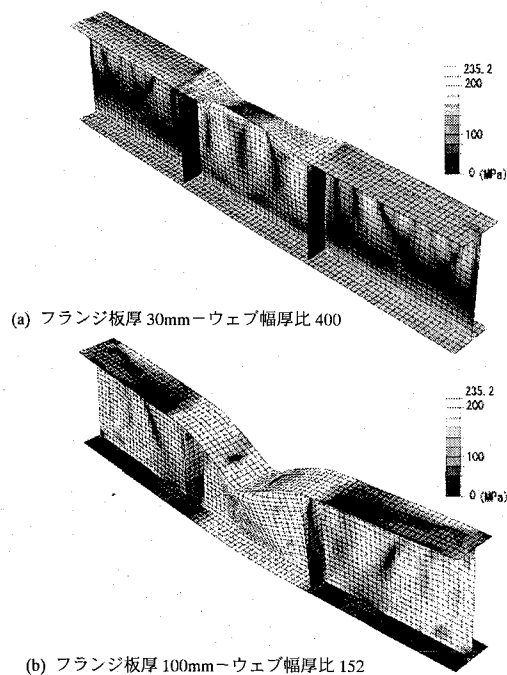


Fig.2 解析モデル変形

Table 1 解析モデル崩壊形式

ウェブ幅厚比 フランジ板厚(mm)	100	152	200	300	400
100	④	③	③	③	③
66	④	①+③	①+③	③	③
50	④	④	①+③	③	③
40	④	④	①+③	③	③
30	④	④	①	①	①
26	④	①	①	①	①

①：フランジねじれ座屈 ②：フランジ水平座屈
 ③：フランジ垂直座屈 ④：圧縮フランジの降伏

厚 100mm の極厚フランジを用いた場合では、ウェブ幅厚比 152 と比較的ウェブ板厚が大きな場合でも、フランジ垂直座屈崩壊が起きた。またウェブ縦横比 1.5 の解析モデルにおける、フランジ板厚、ウェブ幅厚比の変化に対する崩壊形式を Table1 に示す。Table1 からフランジ板厚が大きくなることにより、フランジ垂直座屈崩壊の危険性が高まることがわかる。

次にフランジ板厚が 100mm の解析モデルにおいて、ウェブ縦横比を 0.6, 1.0, 1.5 と変えて解析を行ったところ、いずれの解析モデルについてもウェブ幅厚比 152 でフランジ垂直座屈による崩壊が生じた。また、Fig. 3 に示す、ウェブ縦横比と曲げ耐力の関係より、ウェブ縦横比が大きくなり、垂直補剛材間隔が広がるにつれ、曲げ耐力の低下が見られた。

4. 曲げ耐力算定値との比較

フランジ板厚 100mm の解析モデルにおける、解析値と basler¹⁾、西野³⁾、三上の曲げ耐力算定値の比較を Fig. 4 に示す。それぞれの算定値は、解析値に対して、ある程度の精度で曲げ耐力を推定している。ここで、basler¹⁾の曲げ耐力理論は、ウェブ縦横比の変化に対し曲げ耐力は一定値となると考えているのに対し、解析結果は Fig. 3 よりウェブ縦横比が大きくなるにつれて曲げ耐力の低下が見られる。西野³⁾の理論では、フランジ垂直座屈をフランジとウェブの有効幅から形成される T 形柱の座屈とみなしている。この理論は、単純化された算定式であるため、設計面では有効な理論と思われる。しかし、西野³⁾の理論ではウェブ有効幅はフランジ・ウェブ面積比より決定されるとしている。これに対し、本研究ではウェブの有効幅はフランジ、ウェブの曲げ剛性が大きく影響すると考え、解析結果よりウェブ・フランジ面積比、フランジ突出脚幅厚比から決定されるウェブ有効幅を次式で提案する。

$$h_e/h = 6 \cdot (A_w/A_f)^{-0.636} \cdot (b_f/z_{tf})^{0.83}$$

Fig. 5 にフランジ板厚 100mm、ウェブ縦横比 1.5 のプレートガーダーについて、解析値、西野による曲げ耐力算定値、提案式より求めた曲げ耐力を比較する。Fig. 5 よりウェブ幅厚比が大きく、フランジ垂直座屈による崩壊が顕著に表れる範囲では、西野³⁾の曲げ耐力算定式に比べ、提案式は良い精度で解析値を評価している。

5. 結果と考察

100mm の板厚のフランジを用いた場合、ウェブ縦横比 0.6, 1.0, 1.5 のいずれの解析モデルにおいても、道路橋示方書に定められるウェブ幅厚比 152 でフランジ垂直座屈が生じ、終局曲げモーメントは降伏モーメントに達していなかった。このことから、極厚フランジを用いる場合には、フランジ垂直座屈防止の観点より、ウェブ幅厚比制限を定める必要があると思われる。

また、既存の曲げ耐力算定式は、解析値に対し、近い値であったものの、Basler¹⁾については理論誘導に問題があると思われ、西野³⁾については、極厚フランジを用いる場合、ウェブ有効幅の決定に改善の必要性が見られ、本研究では独自のウェブ有効幅算定式を提案した。

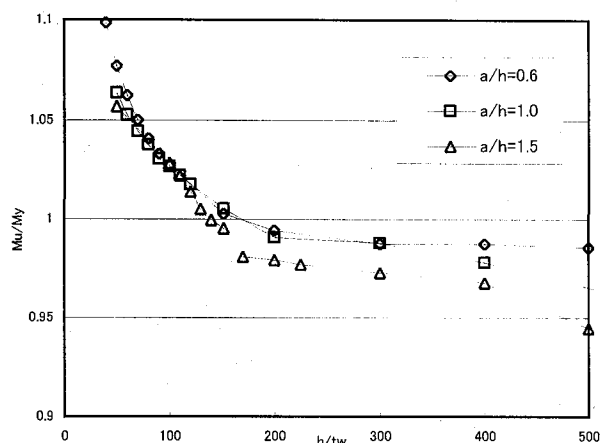


Fig.3 ウェブ縦横比と曲げ耐力

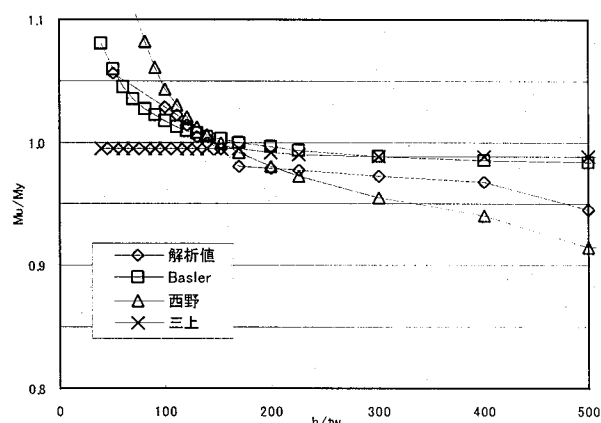


Fig.4 解析値と曲げ耐力算定値

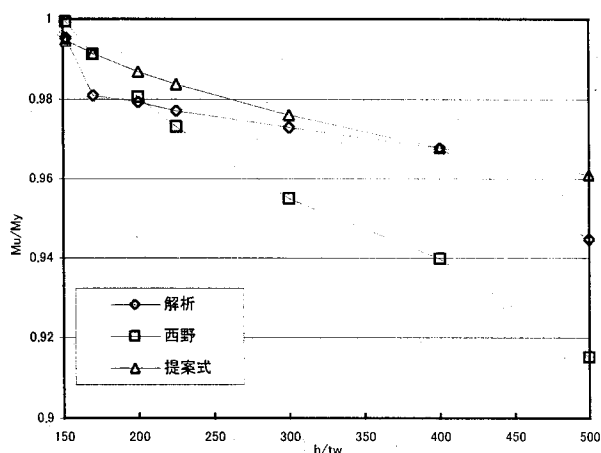


Fig.5 曲げ耐力比較

参考文献

- 1) Basler, K. and Thurlimann, B.: STRENGTH OF PLATE GIRDERS IN BENDING, Proc. of ASCE, Vol. 87, No. ST6, pp. 153-181, Aug., 1961.
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編，II 鋼橋編，平成 14 年
- 3) 長谷川彰夫・西野文雄・奥村敏恵：水平補剛材を有するプレートガーダーの曲げ耐力実験，土木学会論文報告集，第 234 号，pp. 33~44, Feb, 1975