

1. はじめに

日本の橋梁設計にはおもに許容応力度設計法が用いられているが、近年構造物に要求される性能そのものを評価しようとする性能照査型設計法への移行が検討されている。そのため今後は、技術者自身が構造物の性能を十分に理解し利用者に提供することが重要となってくる。また、安全性が確認されれば、ウェブに低強度鋼を用いたハイブリッド桁の使用も可能となると考えられる。本研究では、曲げ耐荷力に影響を与える要因をパラメータとしてハイブリッド I 形桁の有限要素解析を行い、耐荷力性状について考察し、さらに既存の曲げ耐荷力式との比較・検討も行った。

2. 解析概要

2. 1. 解析モデル

解析モデル概略図を図-1 に示す。载荷形式は単純梁への 2 点载荷とし、表-1 のパラメータを基準として以下に示す局部座屈と横ねじれ座屈の幅厚比パラメータから断面を決定した。フランジには SM570 材、ウェブには SM490Y 材または SM400 材を使用している。

a) 局部座屈幅厚比パラメータ

ウェブおよびフランジの幅厚比パラメータ ( $R_w$ ,  $R_f$ ) は表-2 に示す値とした。ウェブ厚を変化させる際はフランジで局部座屈が発生しないよう  $R_f=0.45$ 、フランジ厚を変化させる際はウェブで局部座屈が発生しないよう  $R_w=0.4$  と定めた。0.55, 0.5 は全塑性モーメントに達し塑性ヒンジの回転によって応力再分配が考慮できる値、0.6 は全塑性モーメントに達するが塑性ヒンジの回転は許容できない値、0.7 は道路橋示方書で定義されている弾性座屈の変化点となっている。

b) 横ねじれ座屈パラメータ

横ねじれ座屈は固定点間距離 ( $L_b$ ) に影響されるため、 $L_b$  を変化させ表-3 に示す横ねじれ座屈パラメータ ( $R_{lt}$ ) を設定した。非弾性横ねじれ座屈領域として道路橋示方書より  $R_{lt}=0.2$ 、AASHTO LRFD において全塑性モーメントまたは降伏モーメントに達することができるとされている値 ( $L_p$ ,  $L_r$ ) をもとに決定した。

2. 2. 解析方法

解析には汎用有限要素解析プログラム MARC を使用し、4 節点シェル要素を用いた。解析モデルの要素分割はウェブ高さ方向に 60 分割、フランジ幅方向に 12 分割し、橋軸方向は要素の一边が 50mm となるように分割した。強制変位を鉛直方向に与え、回転支点と移動支点では、橋軸+鉛直方向および鉛直方向のみの変位を拘束した。固定点間距離(横補剛間隔)は、横ねじれ座屈パラメータを満足する範囲で、各モデルで公称曲げ強度が一定となるような位置に設けた。材料特性に関しては弾性-完全塑性を仮定、ヤング係数は  $200,000 \text{ N/mm}^2$  とした。初期変形として、ウェブ初期面外たわみの最大値が道路橋示方書の制限値  $D/250$  となるようすべてのモデルに正弦波形をテストパネルに与えた。残留応力は過去の残留応力試験結果を参考に決定した。

表-1 供試体のおもなパラメータ

ウェブ高 D (mm)	フランジ幅 bfc (mm)	$F_{yf}$ ( $\text{N/mm}^2$ )	$F_{yw}$ ( $\text{N/mm}^2$ )
3000	600	430	355 235

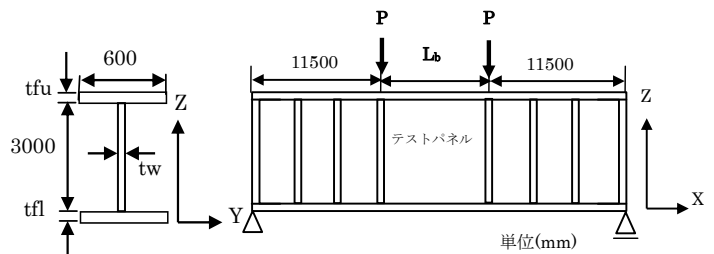


図-1 解析モデル概略図

表-2 幅厚比パラメータ一覧

		幅厚比パラメータの値					
ウェブ $R_w$	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	
フランジ $R_f$	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2

表-3 横ねじれ座屈パラメータ一覧

$L_b$ の算出基準	非弾性	$L_b < L_p$	$L_b = \frac{L_p + L_r}{2}$	$L_b = L_r$
$R_{lt}$	0.2	0.3	0.8	1.2~1.3

### 3. 解析結果および考察

横軸に  $R_w$  または  $R_f$  をとり整理したグラフを図-2~4 に示す。縦軸は、解析結果から得られた最大曲げモーメント  $M_0$  を、ウェブの局部降伏を考慮したフランジ降伏曲げモーメント  $M_y$  (図-2) , ウェブ降伏モーメント  $M_{yw}$  (図-3) , および AASHTO の曲げ耐荷力式より算出した  $M_{mn}$  (図-4) で無次元化した値とした。解析結果は横ねじれ座屈パラメータ  $R_{lt}$  を用いて分類している (図-5) 。図-2 にはオイラーの座屈公式とその 0.5 倍の値を黒線、赤線で示している。

図-2 より、ハイブリッド桁において  $M_y$  を基準として耐荷力を整理できることが分かる。また、 $R_{lt}=0.3\sim 0.8$  の間で横ねじれ座屈の影響が顕著になり耐荷力が低下することも分かる。

ウェブ厚のみ変化させた場合、 $R_w$  が大きい領域ではウェブの局部座屈で耐荷力が決まると考えられたが、解析結果ではフランジ降伏モーメント近くまで耐荷力が上昇しており、最終的にはフランジ局部座屈で耐荷力が決定されていると考えられる。 $M_{yw}$  で無次元化した場合 (図-3) にはほとんどが 1.0 を越えており、 $M_y$  より大きな耐荷力を有していることから分かる。ただし、 $F_{yw}=235N/mm^2$  の場合には、 $M_y$  で無次元化した際の傾向が異なるので注意が必要である。

次に、AASHTO の曲げ耐荷力式との比較を行うと (図-4) , 横補剛間隔を考慮した式であるためか、フランジ幅厚比を変化させた場合には、全般的に安全側となっている。しかし、 $R_f$  が大きい領域では、耐荷力が局部座屈応力度で制限され過度に安全側の値となっている。ウェブ厚を変化させた場合には、ウェブの局部座屈の影響を考慮するパラメータの違いにより、ウェブ鋼材の降伏応力によって耐荷力式の精度に違いがあることが分かった。

### 4. おわりに

本研究成果より、ハイブリッド桁でもホモジニアス桁と同様にフランジ降伏モーメントで耐荷力を整理できることが分かった。ただし、ウェブ鋼材とフランジ鋼材との降伏応力度の比率により多少傾向が異なることから、この点においてさらに検討が必要である。さらに、局部座屈と横ねじれ座屈の連成をどのように耐荷力式に考慮していくかも重要であり、今後検討を行っていく予定である。

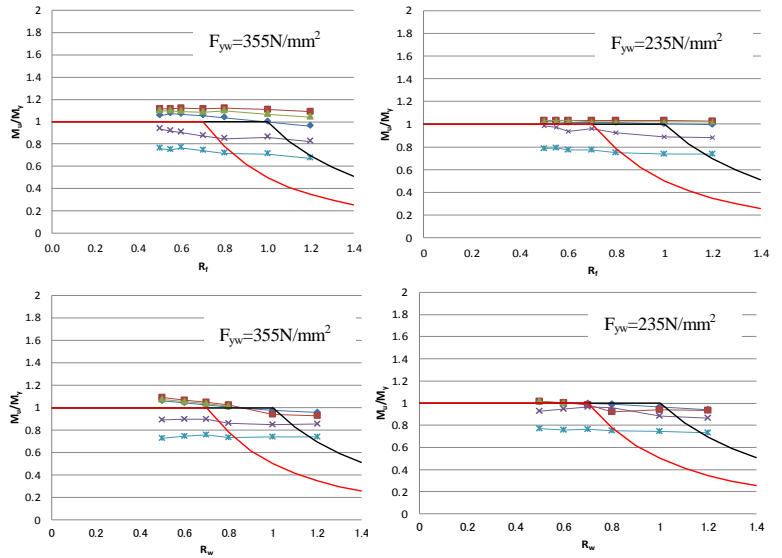


図-2  $M_y$  による耐荷力の整理

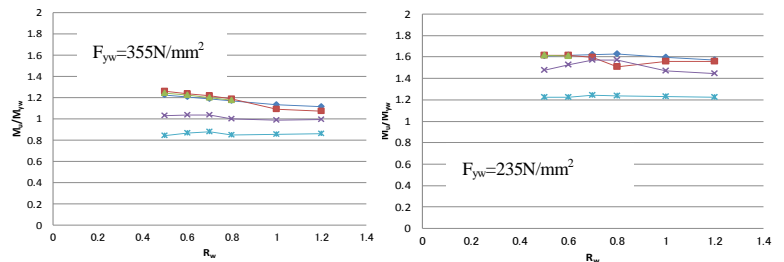


図-3  $M_{yw}$  による耐荷力の整理 (ウェブ厚変化のみ)

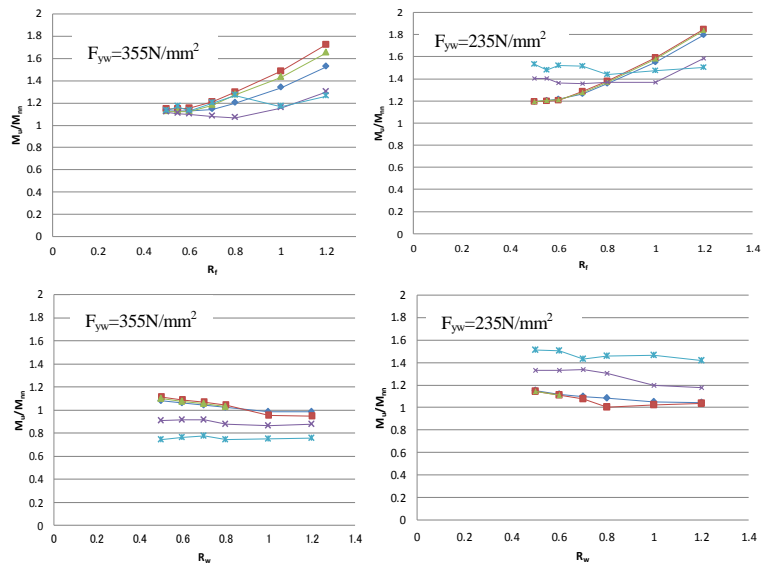


図-4 曲げ耐荷力式 (AASHTO LRFD) との比較

- ◆  $Lb=3000$
- $R_{lt}=0.2$
- ▲  $R_{lt}=0.3$
- ×  $R_{lt}=0.8$
- ※  $R_{lt}=1.2\sim 1.3$

図-5  $R_{lt}$  による分類