

立命館大学大学院 学生員 ○安田 雅文

立命館大学理工学部 正会員 野阪 克義

立命館大学理工学部 正会員 伊藤 満

1. はじめに

通常のプレートガーダーにおいて、ウェブ幅厚比が大きなホモジニアス桁は、斜張力場作用によりせん断座屈した後もせん断耐荷力を増加させることが Basler によって報告されている¹⁾。そのため、AASHTO ではホモジニアス桁に対して斜張力場作用を考慮した終局強度を用いている²⁾。しかし、ハイブリッド桁に対しては、斜張力場作用を認めておらず、終局せん断強度はせん断座屈強度に制限されている²⁾。その理由は、ハイブリッド桁はせん断と曲げの組み合わせ荷重のもとではフランジよりウェブ上下端が先に降伏し、このウェブの部分的降伏が斜張力場の形成にどのような影響を及ぼすのか未だ明らかにされていないためである。本研究は、組み合わせ荷重を受けるハイブリッド桁の座屈および終局強度を FEM 解析により求め、斜張力場作用が存在するか否かを検討することを目的としている。

2. 解析方法・条件および解析モデル概要

解析には汎用非線形構造解析プログラム MARC を使用した³⁾。要素は四辺形厚肉線形シェル要素(要素タイプ 75)を用い、要素分割は各モデルともほぼ同じ大きさ・形状になるように行った。解析モデルは中央集中荷重の単純ばりとし、スパン中央での上フランジ上端に一樣な変位を与えることにより荷重した。支点は、一端をフランジ幅全体にわたり X、Y、Z 方向に固定、もう一端を Y、Z 方向に固定した。横補剛間隔は垂直補剛材間隔 a と等しくし、Y 方向のみを固定した。また材料特性は、弾塑性ひずみ硬化域を考慮したテトラリニアール応力 - ひずみ曲線を用いた。解析モデルの一例を図.1 に示す。

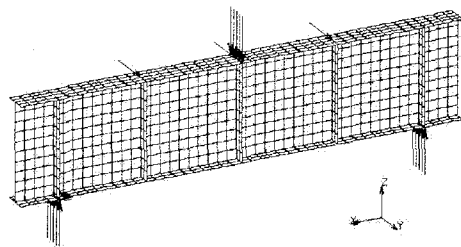


図.1 解析モデル一例

解析モデルは、ホモジニアス桁(HO)、HO 桁とフランジ鋼材が同じで降伏応力比 γ (=ウェブ鋼材の降伏応力度 / フランジ鋼材の降伏応力度) = 0.67 のハイブリッド桁(HY(1))、 $\gamma = 0.33$ のハイブリッド桁(HY(2))の3種類とした。端パネル以外のパネルのアスペクト比 α (= a / D_w) をすべて 1 とし、換算幅厚比 λ_s (= (D_w / t_w)

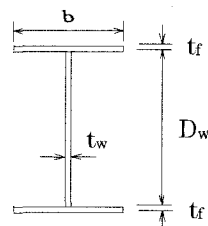


図.2 モデル断面図

$\sqrt{\tau_y 12 (1 - \nu^2) / (k \pi^2 E)}$) がおよそ 0.8 から 1.7 になるようにウェブ幅厚比を 10 間隔に変化させモデルを作製した(τ_y はウェブ鋼材のせん断降伏応力、 k はせん断座屈係数)。

その結果、表.1 のように合計 28 体のモデルに対して解析を行った。ウェブ幅厚比は D_w を一定とし、 t_w を変化させることにより変化させた。フランジによる枠組み作用を等しくするため、フランジ断面は $b = 125 \text{ mm}$ 、 $t_r = 12.5 \text{ mm}$ に統一し、断面は 2 軸対称 I 形断面とした(図.2 参照)。初期不整としてはウェブの初期たわみを考慮し、最大初期たわみ値を $D_w / 500$ として、隣り合うパネルで逆方向にたわむよう $\sin$ 曲線で与えた。また、曲げより少しせん断が支配的な荷重の組み合わせ ($P_{p(M)} / P_{p(V)} = 1.1$) となるよう、モデルのスパン長を変化させた ($P_{p(M)}$ は全塑性モーメント M_p に達するときの荷重、 $P_{p(V)}$ は塑性せん断力 V_p に達するときの荷重)。

表.1 ウェブ幅厚比範囲とモデル数

解析モデル	ウェブ幅厚比範囲	モデル数
HOシリーズ	$D_w / t_w = 60 \sim 120$	7
HY(1)シリーズ	$D_w / t_w = 80 \sim 150$	9
HY(2)シリーズ	$D_w / t_w = 100 \sim 210$	12

3. 解析結果および考察

せん断座屈強度 τ_{cr}^a 及び終局せん断強度 τ_u^a のそれぞれについて、 λ_s との関係を図示すると図.3 及び図.4 のようになる（上付き文字 a は解析値）。なお、図.3 は AASHTO に示されている純せん断を受ける場合の τ_{cr}^{th} 、図.4 は AASHTO においてホモジニアス桁に対して示されている曲げの影響を考慮した τ_u^{th} を併せて示す（上付き文字 th は理論値）。

図.3 より、 γ が小さいものの方が τ_{cr}^a/τ_y は小さいことがわかる。これは、同じ λ_s では γ が小さいほど曲げによる理論ウェブ座屈強度 M_{cr}^{th} が小さく、HY(2)ではせん断による理論ウェブ座屈強度 V_{cr}^{th} に達する前に M_{cr}^{th} を上回ったためと考えられる。例えば、 $\lambda_s \approx 1.13$ の 3 モデルについて M_{cr}^{th} に対するウェブ座屈時の曲げモーメント M_{cr}^a の比を示すと、HO は 0.80、HY(1)は 0.96、HY(2)は 1.33 となっており、HY(2)ではウェブ座屈時に M_{cr}^{th} を大きく上回っていることがわかる。

γ の低下による τ_{cr}^a/τ_y の低下にはパネル内の曲げモーメント分布の違いも影響していると考えられる。本解析ではフランジ断面を統一し、 $P_p(M)/P_p(V)=1.1$ としたため、 γ が小さい供試体ほどスパン長が長く、パネル内で曲げモーメントが一様分布に近くなった。

図.4 より、 τ_u^a/τ_y は γ による差はそれほど大きくはなく、すべて理論値を上回った。 τ_u^a/τ_y に差がなかったことは、同じ λ_s では、 τ_u^a 時において、 τ_{cr}^a 時のようなウェブ内の応力分布の違いが見られなかったこと、崩壊形式が似ていたこと等から妥当な結果と考えられる。

後座屈強度を比較するため、 τ_u^a/τ_{cr}^a と λ_s の関係を図示すると図.5 のようになる。同図より、 γ が小さいもののほうが座屈後の耐荷力上昇率が大きく、ハイブリッド桁においても後座屈強度を有していることがわかる。

4. おわりに

ハイブリッド桁に対しても、ホモジニアス桁と同様に斜張力場作用が存在し、後座屈強度が期待できるか否かを FEM 解析モデルを用いて検討を行った。本解析の範囲内では、現行の AASHTO 規定はハイブリッド桁に対して安全側すぎる傾向にあり、ハイブリッド桁のせん断耐荷力に対する新しい予測式が必要であると考えられる。今回の解析では、解析の簡略化を行うにあたり初期不整としてはウェブの初期たわみのみを考慮した。しかし、実構造物には残留応力等さまざまな初期不整が存在し、これらが構造物の強度に与える影響は大きいことも考えられるため、今後それらについてさらに検討を行う予定である。

参考文献

- 1) K. Basler : Strength of Plate Girder in Shear, Proceedings of ASCE, Vol. 87, ST 7, 1961, pp.151-180
- 2) AASHTO : LRFD Bridge Design Specifications, Second Edition, 1998
- 3) 日本マーク株式会社 : MARC プログラム, ユーザーズマニュアル, vol. A~vol. E, 2001

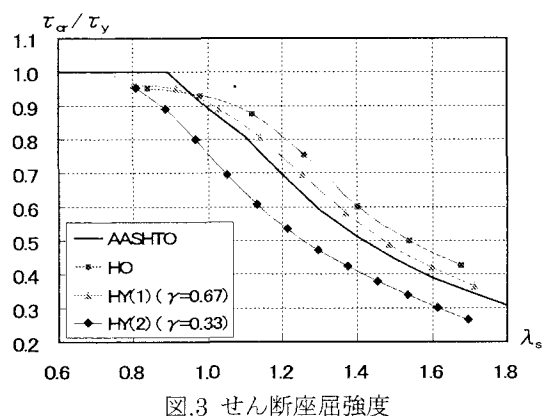


図.3 せん断座屈強度

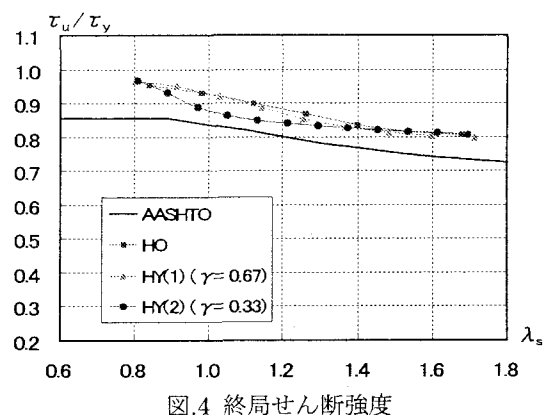


図.4 終局せん断強度

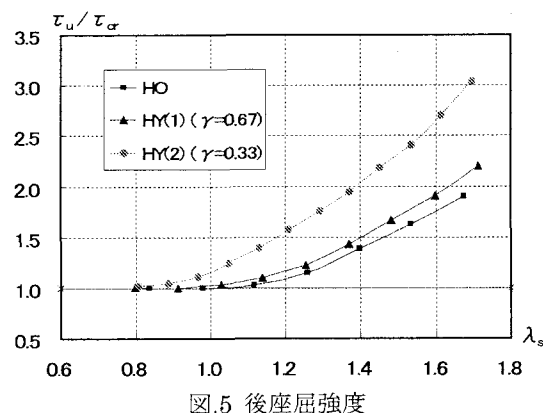


図.5 後座屈強度