

1.はじめに

土木の鋼構造物における耐震性能の向上を目的として、鋼材の特性である変形性能（ダクティリティー）を有効に活用して地震エネルギーを吸収し、構造物の致命的な損傷や倒壊を回避する構造システムに関する研究が行われてきた。福山大学における継続的な多くの実験的研究によれば、せん断パネル構造のせん断型塑性リンクは曲げ塑性リンクより地震エネルギーを効果的に吸収することが明らかにされている。

本研究ではハイブリッド型せん断塑性リンクの箱形断面部材に関する繰り返し強度を解析的に求める方法としてパソコンで簡単に解析できる塑性解析法を提案し、その適用性を検討する。

2.ハイブリッド型箱形断面柱の塑性解析

ハイブリッド型せん断塑性リンクの箱形断面部材に関する繰り返し強度を解析的に求める方法としてパソコンで簡単に解析できる塑性解析法を検討する。塑性解析では完全弾塑性型またはバイリニア型の応力－ひずみ関係を仮定する。これに基づいて塑性崩壊断面の応力分布を仮定し、その降伏応力分布に対応する塑性モーメントや塑性せん断力から塑性崩壊荷重を算定する。

低降伏点鋼をウェブに用いるハイブリッド型せん断塑性リンクの場合、軸力、曲げおよびせん断を受ける塑性崩壊断面の応力分布において、フランジおよびリブは軸力や曲げによる応力の分布を仮定し、ウェブには曲げ応力 σ とせん断応力 τ の分布を仮定する。また、ウェブの降伏応力が極端に小さいとき、塑性せん断力に対応する水平力 H_s が塑性モーメントに対応する水平力 H_m と等しくならない場合がある。このような場合、フランジのリブにもせん断応力の分布を仮定する。

本塑性解析ではせん断応力が分布するウェブやフランジリブにおいて軸力や曲げによる応力とせん断応力がミゼスの降伏条件を満足する組み合わせ応力で降伏すると仮定する。以下に本塑性解析において仮定する応力分布について述べる。

(1) ウェブにせん断応力を仮定する場合

ウェブにおいて曲げ応力とせん断応力による組み合わせ応力を仮定する場合、一定軸力のもとに曲げとせん断を受ける箱形断面柱の塑性崩壊断面における応力分布を図-1に示す。

ウェブがSM材の場合、軸力による応力 σ_N は箱形断面の全断面に等分布すると仮定する。ただし、ウェブが低降伏点鋼のLY材およびFLS材の場合、ウェブはフランジやリブより先に降伏することを考慮して、 σ_N はフランジとリブに等分布すると仮定する。

次に、フランジとリブに曲げ応力 σ_f および σ_r を仮定し、ウェブに曲げ応力 σ_w とせん断応力 τ_w による組み合わせ応力を仮定する。ウェブにおける σ_w と τ_w の割合を変化させて、塑性モーメントに対応する

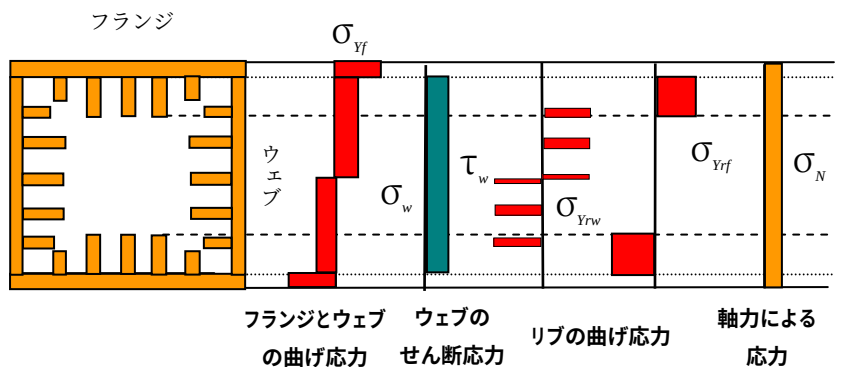


図-1 ウェブにせん断応力を仮定する場合

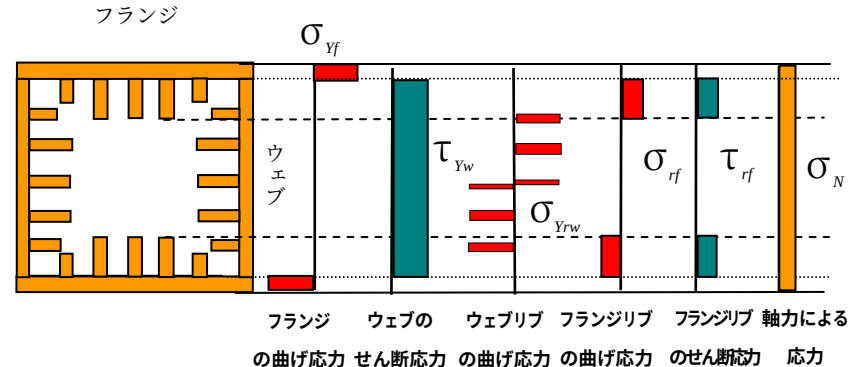


図-2 ウェブとフランジリブにせん断応力を仮定する場合

水平力 H_M と塑性せん断力に対応する水平力 H_S が等しくなる時の水平力が塑性崩壊時の水平荷重 H_U である。

(2) ウェブとフランジリブにせん断応力を仮定する場合

$H_M \neq H_S$ の場合、フランジリブにもせん断応力 τ_{rf} を考慮する。この場合の箱形断面柱の塑性崩壊断面における応力分布を図-2 に示す。ここで、ウェブの全断面に降伏せん断応力 τ_{yw} を仮定した後、フランジリブに曲げ応力 σ_{yf} とせん断応力 τ_{rf} による組み合わせ応力を仮定する。なお、フランジおよびウェブリブにはそれぞれ曲げ応力 σ_{yf} と σ_{ytw} を仮定する。

3. 繰り返し荷重によるひずみ硬化

繰り返し荷重を受ける部材は鋼材が降伏した後にひずみ硬化により強度が増加する。ひずみ硬化はバイリニア型を仮定し、応力-ひずみ曲線における弾性域の傾き E に対する塑性域の傾き E' の比をひずみ硬化係数 E'/E と定義する。ひずみ硬化係数 E'/E は繰り返しせん断試験の結果をもとに検討した。その結果、ひずみ硬化係数 E'/E は SM 材, LY 材および FLS 材に対してそれぞれ 0.04, 0.07, 0.10 に決定した。

4. 塑性解析結果と実験結果の比較および考察

図-3 に供試体に用いられている鋼材の引張試験による応力-ひずみ曲線を示す。塑性解析における塑性崩壊荷重を初期値と呼び、その後ひずみ硬化により一定割合で強度が増加し、座屈等による強度低下は生じないものと仮定する。まず、図-4 に繰り返し曲げを受けるハイブリッド型箱形断面柱の塑性解析結果と実験結果を示す。縦軸は柱の水平荷重 H であり、横軸は柱の頂点の水平変位 δ である。この図から、解析結果は実験の初期値や座屈が生じるまでよく近似する。

ウェブのみにせん断応力を仮定する解析法において、 $H_M \neq H_S$ の場合、フランジリブにもせん断応力を考慮した結果を図-5 に示す。この場合、ウェブのみにせん断応力を仮定する解析法は実験結果よりかなり小さくなる。また、フランジリブにもせん断応力を考慮する解析法は実験結果よりかなり大きくなる。これは、リブにおけるせん断の分担が過大評価されていると考えられる。リブによるせん断の分担は強度増加の 1/2 とすれば、解析結果が実験結果とよく近似する。

図-6 に繰り返しせん断を受けるハイブリッド型箱形断面柱の塑性解析結果と実験結果を示す。この図から、解析結果はウェブの斜張力によりフランジが変形するまで実験結果とよく近似する。

5. まとめ

繰り返し荷重を受ける箱形断面柱の塑性崩壊強度において、簡易塑性解析法は座屈が生じるまで適用性のあることが明らかになった。ただし、曲げが卓越する部材において塑性モーメントに対応する水平力と塑性せん断力に対応する水平力が等しくならない場合、フランジリブもせん断を分担すると仮定し、リブによる強度増加の 1/2 を考慮すればよい。

参考文献

中村雅樹, 上野谷実: 繰り返しせん断を受けるハイブリッド型箱形断面柱の強度および変形性能, 福山大学工学部紀要, 2007-12

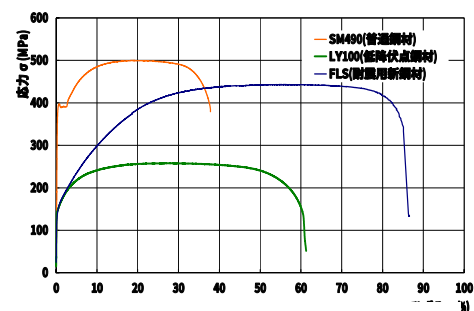


図-3 応力-ひずみ曲線

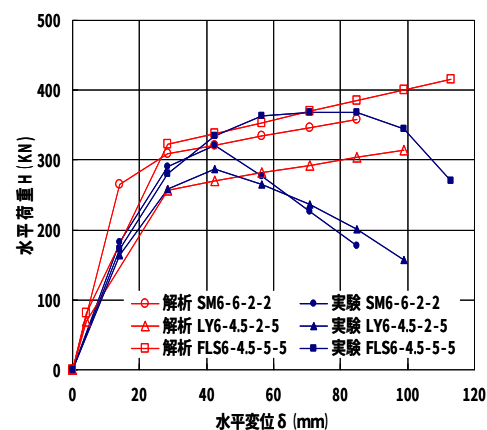


図-4 曲げ載荷

FLS16-3-5-5

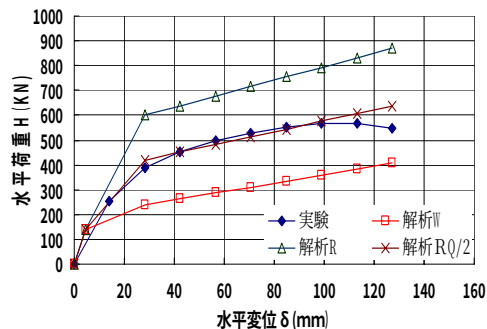


図-5 曲げ載荷(極薄ウェブ)

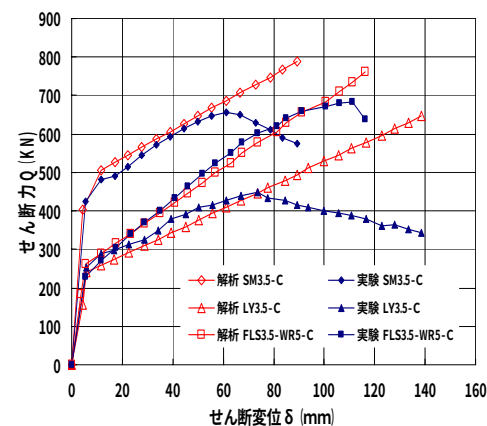


図-6 せん断載荷