

低降伏点鋼腹板を有するプレートガーダーのせん断強度解析

福山大学 正会員 上野谷 実 福山大学 正会員 中村 雅樹
日本鋼管(株) 山本 定弘 福山大学大学院 学生会員○福嶋 正直

1. まえがき

門形鋼製橋脚に地震力が作用する場合、繰り返し作用するせん断力により鋼製橋脚の横ばりウェブの数パネルに形成される斜張力場を積極的に利用して、大きな塑性変形性能を発揮できるような構造システムを新たに開発しようとするものである。本研究は汎用非線形解析ソフト MARC を用いてせん断力が作用する低降伏点鋼腹板を有するプレートガーダーの弾塑性有限変位解析を行い、プレートガーダーの後座屈挙動と塑性崩壊現象を解明しようとするものである。

2. 解析方法

解析は、福山大学で行われている荷重実験モデルをについて行う。実験の荷重状態を図-1 に示す。プレートガーダーは図-2 に示すようにモデル化した。解析に使用した要素は、4 節点 6 自由度の四辺形厚肉シェル要素である。腹板の要素分割は座屈モードを考慮できるように 16×16 分割とした。解析モデルの寸法を表-1 に示す。解析モデルはウェブの 2 パネルに低降伏点鋼材 (LY100)、フランジおよび垂直補剛材に普通鋼材 (SM400) を用いる。ここで便宜上、左側ウェブパネルをパネル A、右側ウェブパネルをパネル B と呼ぶ。図-3 に低降伏点鋼材 LY100 と普通鋼材 SM400 の応力-ひずみ曲線を示す。低降伏点鋼は降伏応力が普通鋼の 1/2 以下であり降伏後の塑性流れがなく、直ちにひずみ硬化が始まるなど普通鋼とは異なる材料特性を有する。解析に用いた最大初期たわみは、実験のパネル中央付近の測定値であり、パネル A で -2.92mm 、パネル B で -2.99mm である。波形はパネル中央で最大となるような二重正弦波形で与えている。表-2 に材料の特性を示す。構成則は等方硬化則を使用し、弾性域ではヤング率 $E=200\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ とした。せん断変位は純せん断を受けるパネルがせん断変形し、図-4 に示すようにパネルが降伏に至るときの対角線方向変位の差 ($\ell_1 - \ell_2$) を 1 パネルの降伏せん断変位 δ_{y0} とした。

3. 解析結果と考察

図-5 にせん断力-せん断変位曲線を示す。図-5 では 0.2% 耐力の降伏応力による塑性せん断力 $Q_p=175\text{kN}$ によって無次元化している。座屈強度と最大耐荷力について FEM 解析結果と実験結果を比較する。表-3 に座屈強度と最大耐荷力について FEM 解析結果と実験結果を示す。座屈強度において、解析値は実験値をパネル A で約 1 %、

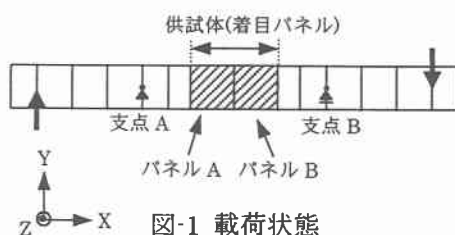


図-1 荷重状態

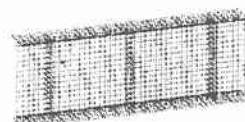


図-2 解析モデル

表-1 解析モデルの形状寸法 単位:mm

ウェブ			
パネル幅	パネル高	板厚	幅厚比
800	800	3.6	222
フランジ		スチフナー	
板幅	板厚	板幅	板厚
300	12	10	8

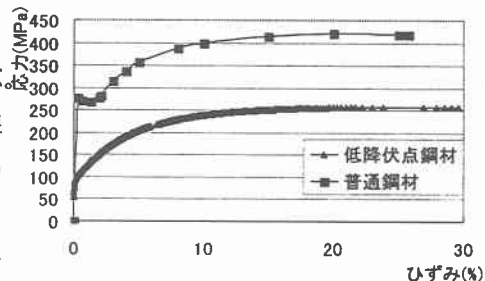


図-3 応力-ひずみ曲線

表-2 材料特性

モデル	降伏応力 ① $\sigma_y(\text{MPa})$	降伏応力 ② $\sigma_y(\text{MPa})$	引張強さ $\sigma_u(\text{MPa})$
LY100	54	105	246
SM400	286	286	436

①解析の降伏応力 ②0.2%耐力

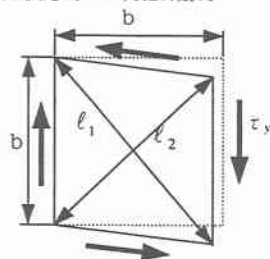


図-4 せん断変位

パネル B で約 6 % 上回るが、よい近似である。本研究は降伏応力として線形限界の値を採用する等、材料特性は引張試験結果を忠実に表わしている。それゆえ、面外たわみが比較的小さく、面内変形の材料特性が支配的と考えられる座屈において良く近似したと思われる。最大耐荷力は、解析値がパネル A、B とともに約 20 % 上回る。

図-6 の白い部分は、最大耐荷力時の上フランジの構成要素 11 層のうち 3 層の降伏域である。上から順に 1 層目、6 層目、11 層目である。座屈後、耐荷力の上昇が始まると、フランジの上下面から降伏が始まる。そして、中央のスチフナーと片側のフランジ端から 2/3 付近で全層に降伏が広がり、塑性域がフランジを貫通して、塑性ヒンジが形成されるとき最大耐荷力に達する。解析結果が実験結果より高くなる理由としてフランジとウェブの溶接による残留応力が考えられる。本研究では残留応力を考慮していないため解析結果が高くなったと思われる。最大耐荷力でのせん断変位は解析で $165 \delta_y$ 、実験で $117 \delta_y$ である。解析は実験より約 40 % 大きい。解析の場合、フランジの降伏が実験より遅く、耐荷力が大きくなり、パネルのせん断変形が大きくなったと考えられる。最大耐荷力を越えてからせん断変位が $250 \delta_y$ ぐらいになると荷重が急激に下がる。これは降伏が全層に大きく拡大し、フランジがウェブの斜張力場作用のアンカーとしての役目を果せなくなり、耐荷力が低下を始めたと考えられる。この現象が両パネルで起きると耐荷力は急激に低下する。

図-7 にせん断力-面外たわみ曲線を示す。解析の面外たわみはそれぞれのパネル中央の値をウェブの板厚で無次元化している。最大耐荷力における面外たわみは解析で $-14.4 t_w$ 、実験で $-10.8 t_w$ である。実験の面外たわみの減少はフランジが過度に変形する事によってたわみの頂点が移動するために起こる。面外たわみは座屈荷重までよく近似するが、最大耐荷力では解析の面外たわみが実験より約 40 % 大きい。これは解析のせん断変位が実験より大きいので、パネルのせん断変形が大きくなり、面外たわみも大きくなったと考えられる。

4. まとめ

本研究は FEM 解析により、実験では捕らえることの出来なかったプレートガーダーの後座屈挙動や塑性崩壊現象の解明を試みた。解析結果および実験結果との比較から次の事が明らかになった。座屈荷重は解析によりよい近似で推定できる。

- 1) 座屈後、耐荷力の上昇が始まると、上下フランジの両面から降伏が始まる。そして、片側のフランジ端から 2/3 付近で降伏が全層に広がり、塑性ヒンジが形成されるとき最大耐荷力に達する。
- 2) 降伏がフランジの全層に大きく拡大すると、フランジは斜張力場作用のアンカーとしての役目を果せなくなり、耐荷力が低下を始める。この現象が両パネルで起きると耐荷力は急激に低下する。

なお、本研究は福山大学ハイテク・リサーチ・センター「構造物の耐震性能向上に関する研究」の一部である。

表-3 荷重-せん断変位曲線

	解析結果 Q/Q_p	実験結果 Q/Q_p	実験結果 解析結果
座屈荷重	0.74	0.73	0.99
最大耐荷力	1.38	1.14	0.83

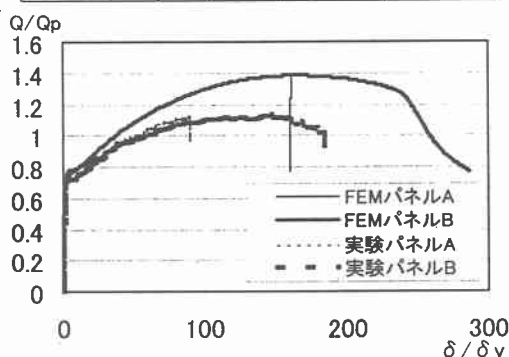


図-5 荷重-せん断変位曲線

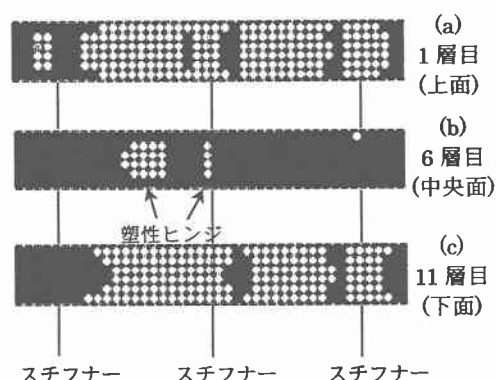


図-6 最大耐荷力におけるフランジの降伏域

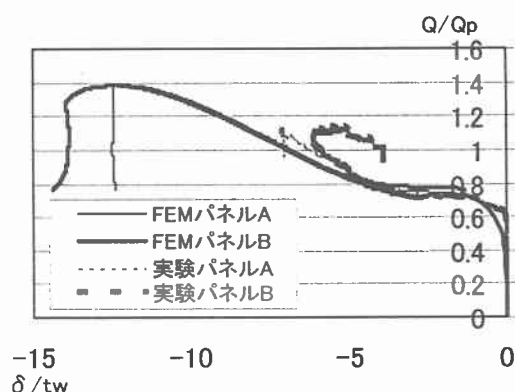


図-7 ウェブの荷重-面外たわみ曲線