

繰返しせん断を受けるプレートガーダーパネルの強度と変形能

福山大学 フェロ 福本 晴士 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
(株)宮本工務設計事務所 正会員 ○山元 孝郎

1. まえがき

本研究は門形鋼製橋脚構造に過大な地震力が交番に作用する場合、横梁の耐荷力と塑性変形能を解析的に調べようとするものである。一般に土木構造物に用いられる鋼板は薄く、過大な力が作用した場合、座屈を伴った変形をする。解析は汎用非線形解析ソフト MARC を用いて、繰返し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、ウェブパネルのアスペクト比が耐荷力や変形能に与える影響について検討した。解析には、福山大学で行われている載荷実験モデル¹⁾の値を用いた。

2. 解析方法

福山大学で行われている実験の載荷状態を図-1 に示す。解析ではこれを図-2 に示すようにモデル化した。解析モデルはウェブ幅 b と高さ h は $800 \times 800 \text{mm}$ 、フランジ幅 b_f と厚さ f_w は $300 \times 12 \text{mm}$ とし、これを 2 つならべた 2 パネルとした。ここで便宜上、左側ウェブパネルを A パネル、右側ウェブパネルを B パネルと呼ぶ。アスペクト比を変化させた場合、中央側から A パネルを A1, A2, B パネルを B1, B2 と呼ぶ。ウェブパネルの要素分割は 16×16 要素とし、4 節点 6 自由度の四辺形厚肉シェル要素を使用した。解析はアスペクト比の異なる LY3-10（アスペクト比 1）、LY3-05（アスペクト比 1/2）および LY3-03（アスペクト比 1/3）の 3 種類のプレートガーダーについて行った。図-3 に低降伏点鋼材 LY100 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。表-1 に材料の特性を示す。構成側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。繰返し載荷の基本変位は図-4 に示すようにせん断による対角線方向の変位とした。ウェブのせん断応力が降伏する時の対角線方向の変位を降伏せん断変位 δ_y と呼ぶ。この降伏せん断変位は降伏せん断応力 τ_y に対するウェブ対角線方向変位の差、すなわち $\delta_y = \ell_1 - \ell_2$ を求め、 $+1 \delta_y, -1 \delta_y, +2 \delta_y, -2 \delta_y, +3 \delta_y, \dots$ と漸増するように載荷点に強制変位を与えた。せん断変位の概念図を図-5 に示す。降伏せん断変位 δ_y は式(3)より算出すると、 $\delta_y=1.04 \text{mm}$ となる。

$$\tau_y = \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} \quad (1) \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (2) \quad \delta_y = \frac{\sqrt{2} b \tau_y}{G} \quad (3) \quad Q_p = \tau_y b t_w \quad (4)$$

ここに、 σ_y ：降伏応力、 τ_y ：降伏せん断応力、 G ：せん断弾性係数、 Q_p ：塑性せん断力である。

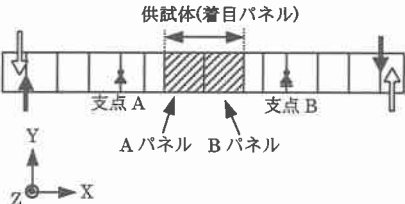


図-1 載荷状態

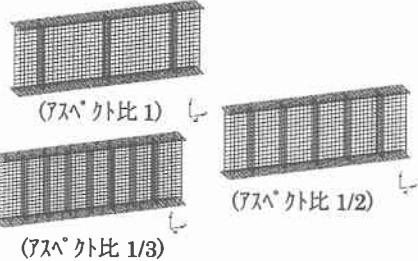


図-2 解析モデル

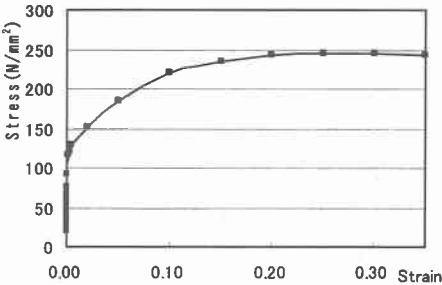


図-3 低降伏点鋼 LY100 の応力-ひずみ曲線

表-1 材料特性

部材	鋼種	降伏応力 $\sigma_y(\text{MPa})$	引張り強さ $\sigma_u(\text{MPa})$
ウェブ	LY100	122	246
フランジ	SM400	286	436

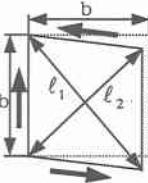


図-4 せん断変位

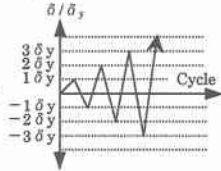


図-5 繰返し変位

3. 解析結果と考察

図-6、図-7に解析モデルLY3-10, LY3-05およびLY3-03の低降伏点鋼ウェブパネルのヒステリシスループ、荷重・面外たわみ曲線を示す。LY3-10において、プラスの δ_y からマイナスの δ_y に変わる途中、マイナスの δ_y からプラスの δ_y に変わる途中に荷重があまり変化せず、せん断変位のみが変化するところがある。ここでは座屈し、その後モードの逆転によって面外たわみが複雑に変化する。さらにせん断変形が進むと、後座屈領域に入り、その後斜張力作用により耐力が増加して最大値に達する。繰り返し回数が増えると、各サイクルの最大耐力は一定値に収束するような傾向を示す。アスペクト比が小さくなるとこの付近のループが比較的安定して、繰り返し載荷時のエネルギー吸収量が優れているものと思われる。また、ひずみ硬化の影響により繰り返し耐力も大きく上昇している。図-7において、LY3-10が大きくたわみを生じ、LY3-05はわずかにたわみを生じ、LY3-03はほとんどたわみを生じていないことから、アスペクト比が小さくなると座屈は生じにくいと考えられる。各解析モデルの $+10\delta_y$ のときの耐力を無次元せん断力 Q/Q_p で比較するとLY3-10, LY3-05およびLY3-03がそれぞれ1.05, 1.68 および 1.68 となり、アスペクト比の変化に対して座屈の生じにくいLY3-05とLY3-03は耐力がかなり上昇している。次に図-8にエネルギー吸収量を示す。これを見ると2サイクル以降10サイクルまで傾きがほぼ一定のままエネルギー吸収量が増加している。エネルギー吸収量を比較してみると、10サイクルのときLY3-10, およびLY3-03がそれぞれ11.7kNm, 35.2kNmおよび36.3kNmであり、アスペクト比が小さくなるとそれに伴ってエネルギー吸収量が増加している。これはアスペクト比が小さくなると座屈による面外たわみの影響が小さくなるためと思われる。LY3-05のエネルギー吸収量は、座屈が生じない $9\delta_y$ までLY3-03よりやや大きい。が、 $9\delta_y$ から面外たわみが急増しているため $10\delta_y$ 以後はLY3-03より小さくなるものと推測される。

4. まとめ

本研究は低降伏点鋼腹板を有するプレートガーダーが繰り返しせん断を受けるときの弾塑性有限変位解析を汎用非線形解析ソフト MARC によって行い、その耐力、変形挙動、変形能の検討を行った。せん断変位が $10\delta_y$ まで解析した結果以下のことが明らかになった。

- (1)耐力は、座屈の生じにくいアスペクト比の小さいモデルがひずみ硬化によって著しく上昇する。
- (2)エネルギー吸収量は座屈の生じにくいアスペクト比の小さいモデルが、ひずみ硬化の影響による耐力の上昇を受けて著しく大きくなる。

参考文献 1)福本湧士, 他:繰り返しせん断を受けるプレートガーダーパネル耐力と変形能に関する実験, 第52回土木学会 中国支部研究発表会発表概要集, 2000 2)MARC K7 マニュアル A~E 編

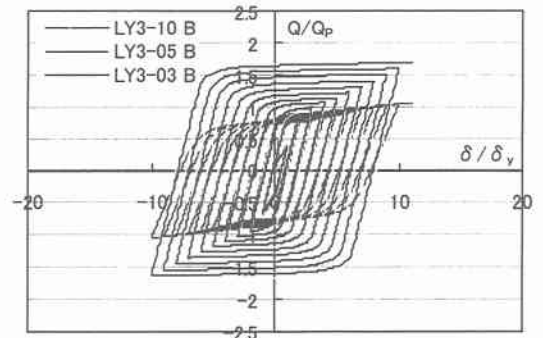


図-6 荷重・せん断変位履歴曲線

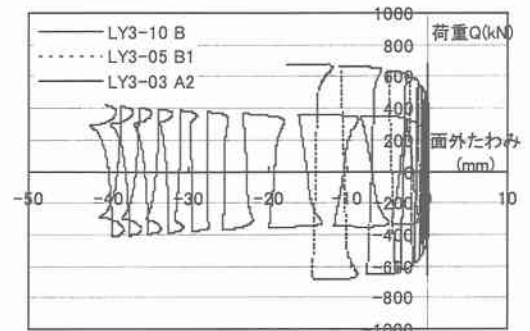


図-7 荷重・面外たわみ曲線

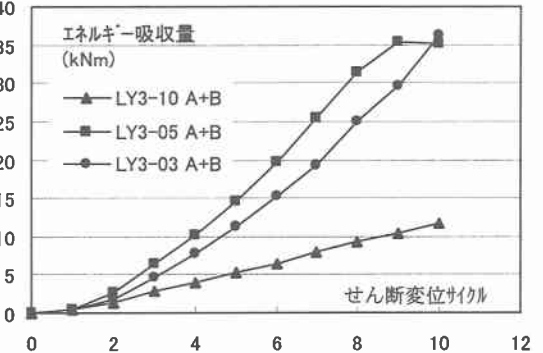


図-8 エネルギー吸収量