

繰り返しせん断荷重を受ける普通鋼プレートガーダーの変形能

福山大学 工藤 福本 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)北川鉄工所 正会員 ○春園嘉英

1. まえがき

本研究は鋼製橋脚構造に過大な地震力が交番に作用する場合の塑性変形性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、繰り返しせん断荷重が作用する普通鋼プレートガーダーの弾塑性有限変位解析を行い、その耐荷力および変形挙動などから変形能の評価を行った。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 t は $800 \times 800\text{mm}$ 、フランジの幅 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。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。解析はウェブの厚さの異なる SM1, SM2 および SM3 の3種類のプレートガーダーについて行った。表-1 にウェブ厚 t_w および初期たわみの最大値を示す。また表-2 に材料の特性を示す。

繰り返し載荷の基本変位は図-3 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-4 に示す。降伏せん断変位 δ_y は式(1)、(2)、(3)、(4)より算出した。

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

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、 ν ：ポアソン比、 Q_y ：降伏せん断力である。

3. 解析結果と考察

解析モデル SM1 のヒステリシスループを図-5 に示す。 $+1\delta_y$ から $-1\delta_y$ までせん断変位に対して曲線は、ほぼ直線的に推移している。そして $+2\delta_y$ で耐荷力が最大になる。プラスの δ_y からマイナスの δ_y になる

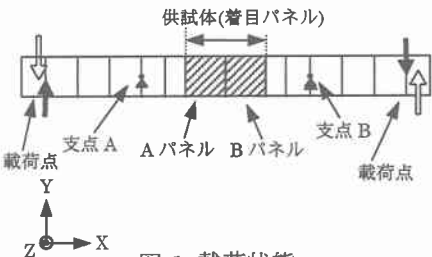


図-1 載荷状態

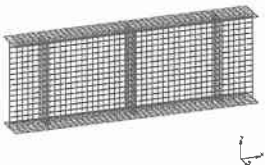


図-2 解析モデル

表-1 ウェブ厚と初期タワミ 単位:mm

モデル	SM1	SM2	SM3
ウェブ厚	4.01	5.06	6.72
初期タワミ	A B	A B	A B
	2.01 -1.48	-0.83 -1.14	-0.75 -0.04

表-2 材料特性

モデル	降伏応力 $\sigma_y(\text{MPa})$	引張り強さ $\sigma_u(\text{MPa})$	ポアソン比 ν	ヤング率 $E(\text{GPa})$
SM1, SM2	288	412	0.29	193
SM3	299	421	0.28	196

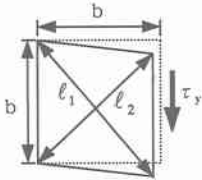


図-3 せん断変位

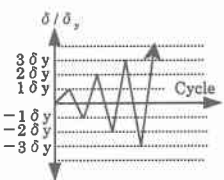


図-4 繰り返し変位

途中、マイナスの δ_y からプラスの δ_y に変わる途中で荷重が上下に変化しながら、せん断変位のみが変化することがある。ここでは座屈モードの逆転によって面外たわみが複雑に変化する。これはエネルギー吸収に不利となる。さらにせん断変形が進むと、後座屈領域に入り、耐荷力が増加して最大値に達する。繰り返し荷重が進むと各サイクルの最大耐荷力は一定値に収束するような傾向を示し、また各サイクルの最大耐荷力は単調荷重の耐荷力よりわずかに少ない値となる。図-6 に解析モデル SM1, SM2 および SM3 の普通鋼プレートガーダーのヒステリシスループを示す。これを見るとウェブ厚が薄いほど、座屈モードの逆転部分でループは、荷重が一定のまま変位のみが複雑に変化する。ウェブが厚くなるとこの付近のループが比較的安定して、繰り返し荷重時のエネルギー吸収能が優れているものと思われる。また、ウェブ厚が増すとしたがって繰り返し耐荷力も上昇している。各解析モデルの $+5\delta_y$ のときの耐荷力を無次元せん断力 Q/Q_y で比較すると SM1, SM2 および SM3 がそれぞれ 0.712, 0.729 および 0.754 となり、ウェブ厚の増加に対して耐荷力がかなり上昇している。次に図-7 にエネルギー吸収量を示す。これを見ると $2\delta_y$ 以降 $5\delta_y$ 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ウェブ厚で除して単位ウェブ厚あたりのエネルギー吸収量を比較してみると、 $5\delta_y$ のとき SM1, SM2 および SM3 それぞれ 2.08kN, 2.11kN および 2.57kN であり、ウェブ厚が増すとそれに伴ってエネルギー吸収量が増加している。これはウェブが厚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。

4. まとめ

本研究は汎用非線形解析ソフト MARC を用いて普通鋼プレートガーダーに繰り返しせん断変位を与えたときの弾塑性有限変位解析を行い、その耐荷力、変形挙動、変形性能の検討を行った。その結果以下のことが明らかになった。

- (1) 普通鋼プレートガーダーのヒステリシスループはサイクルのはじめにピーク荷重をとり、その後一定の荷重に収束する。収束する耐荷力はウェブが厚くなるほど上昇する。
- (2) 単位ウェブ厚あたりのエネルギー吸収量は座屈が生じにくいウェブの厚いモデルほど優れている。

謝辞 本研究を実施するにあたり、平成 10 年度の文部省科学技術研究費・基盤研究 B(2)の補助を受けた。ここに記して、謝意を表します。

参考文献 1) 福本 啓士, 他: 普通鋼プレートガーダーの繰り返し荷重実験, 土木学会 中国支部研究発表会 論文集, 1999 2) MARC K7 マニュアル A~E 編

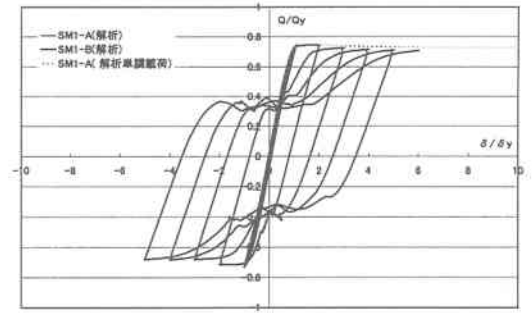


図-5 SM1 荷重-せん断変位履歴曲線

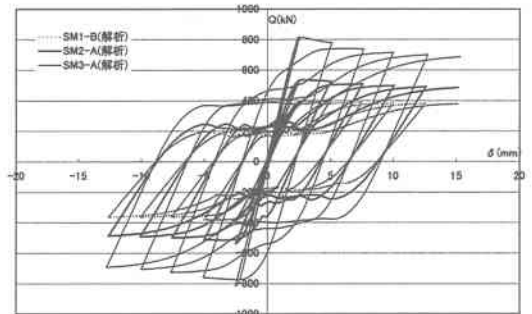


図-6 SM 荷重-せん断変位履歴曲線

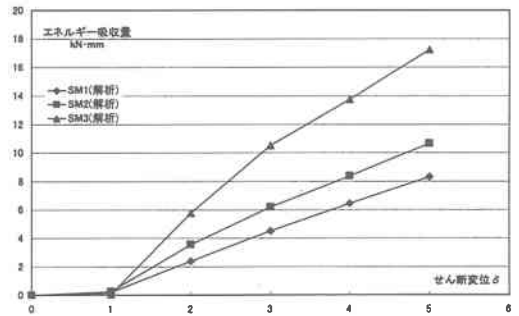


図-7 エネルギー吸収量