

I-22 軸圧縮を受ける波形断面部材の力学的挙動に関する研究

愛媛大学工学部 正員 大賀 水田生
愛媛大学大学院 学生員 ○米田 伸樹
新居浜市役所 学生員 藤田 宏紀

1. はじめに

波形鋼板を桁のウェブに用いる試みは、1920年代にヨーロッパではすでに行われていた。その後、1980年代にはフランスで橋梁に初めて適用された。我が国においても、1990年代に橋梁への適用が試みられた。現在では施工中あるいは計画中のものを含めるとかなりの数となっている。

ところで、波形断面部材をプレートガーダ橋のウェブとして使用する特徴としては、①波形構造は波形に加工された特別な形状を持つため、アコーディオンのような蛇腹構造となり、波の方向に柔軟に変形する性質を有する。②ウェブを波形にすることにより、普通の平面的なウェブと比較して面外剛性を大きくすることができる。③PC橋においてウェブを軽量の波形鋼板に置き換えることによって、自重の大幅な軽減が図れる。④ウェブを波形断面構造とすることによって垂直補剛材を省略できる、などが挙げられる。波型断面の形状については、台形波形、正弦波形、矩形波形、三角波形、半円波形等様々な波形形状の部材が実際の構造物に使用されているが、現在我が国の橋梁のウェブとして使用されているのは台形波形のみである。

そこで本研究では、図1に示すような台形形状を有する波形断面部材（以下、台形断面部材）および図2に示すような正弦波形断面部材（以下、SIN形断面部材）について、座屈強度および座屈時の変形モードについての考察を行うとともに、軸圧縮を受けるSIN形断面部材および台形断面部材のFEM耐荷力解析を行い、断面高さが耐荷力および変形性状に及ぼす影響について比較・検討を行う。

2. 解析方法

本研究では、伝達マトリックス法による座屈解析法および非線形FEM耐荷力解析法を用いている。①伝達マトリックス法による座屈解析では、格間伝達および座標変換マトリックスを用いて、薄肉断面部材の右端の初期状態量を左端まで伝達さし、両端の境界条件を考慮することにより座屈条件式を得る。さらに、座屈荷重を用いて再び格間伝達マトリックスを作成し、伝達操作を行うことにより、座屈荷重に対応する変形モードが決定される。②本研究での非線形FEM耐荷力解析では、9節点を有するアイソパラメトリックシェル要素を用いており、解析では幾何学的非線形および材料学的非線形を考慮している。荷重載荷方法としては、実際の荷重を与えるのではなく、端部に変位を与える強制変位法を用いている。

3. 解析モデル

SIN形断面部材および台形断面部材の断面諸量を表1に示すように一定とし、部材両端($y=0, B$)での境界条件は両端単純支持および両端自由とした。台形断面部材の断面高さは、実際に建設されている橋梁の波形鋼板ウェブを参考に上下サブパネル幅を $b=30\text{cm}$ に固定し、断面の高さ h を変化させている。一方、SIN形断面部材については、半波長の長さ($b_s=56\text{cm}$)を固定し、パネル中心角 θ を変えることにより断面の高さ h を変化させている。

4. 解析結果

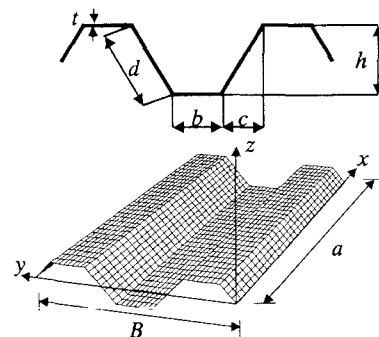


図1 台形断面部材

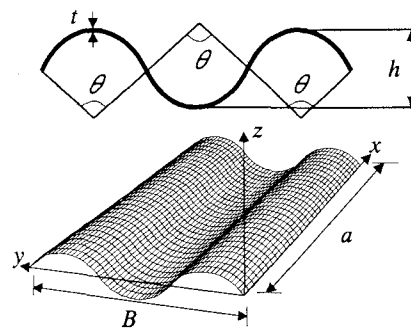


図2 SIN形断面部材

表1 断面諸量

断面高さ h (cm)	0.0~50.0
パネル厚 t (cm)	0.8
上下サブパネル幅 b (cm)	30
全体幅 B (cm)	168
降伏応力 s_y (kgf/cm ²)	4600
ヤング係数 E (kgf/cm ²)	2100000
ポアソン比 ν	0.3

1) 軸圧縮を受ける波形断面部材の座屈強度

軸圧縮を受ける波形断面部材の線形座屈挙動を明らかにするために、まず線形座屈解析を行い、部材の線形座屈強度についての検討を行う。

両端単純支持波形断面部材 図3および図4は座屈係数曲線を示しており、図7は断面高ささと座屈係数の関係を示している。断面高さが低い場合は、SIN形断面部材および台形断面部材いずれにおいても、部材長が短い範囲では局部座屈を生じ、座屈強度が一定となっているが、部材長が長くなると全体座屈を生じるようになり、部材長の増大に伴い座屈強度が著しく低下する傾向を示す。SIN形断面部材の座屈強度は、いずれの部材長においても断面高さの増大とともに大きくなっているのに対し、台形断面部材では、断面高さがある大きさに達すると逆に座屈強度が低下する傾向を示している。

両端自由波形断面部材 図5および図6は座屈係数曲線を示しており、図8は断面高ささと座屈係数の関係を示している。断面高さが低い場合は、両端単純支持の場合と同じような挙動を示している。両端自由での局部座屈から全体座屈へ移行する部材長は、両端単純の場合に比較して小さくなっており、全体座屈がより支配的となっている。SIN形断面部材の座屈強度は、両端単純支持波形断面部材と同様、いずれの部材長においても断面高さの増大とともに大きくなっているが、台形断面部材では、断面高さがある大きさに達すると逆に低下する傾向を示している。

2) 軸圧縮を受ける波形断面部材の耐力力

軸圧縮を受ける波形断面部材の非線形座屈挙動を明らかにするために、FEM耐力力解析を行い、耐力力についての検討を行った。

両端単純支持波形断面部材 図9(a),(b)は断面高ささと座屈係数の関係を示している。SIN形断面部材では、断面高さが高くなるとともに、耐力力は増加しているが、台形断面部材では、断面高さがある値に達すると、逆に耐力力が低減する傾向を示している。SIN形断面部材の耐力力は、断面高さが小さい範囲 ($h/b=0.33$) では、台形断面部材と比較して小さくなっているが、断面高さが大きくなると ($h/b>0.67$)、台形断面部材に比較して大きくなっており、この傾向は断面高さの増大とともに顕著となっている。

両端自由波形断面部材 図10(a),(b)は断面高ささと座屈係数の関係を示している。SIN形断面部材では、両端単純支持波形断面部材と同じような挙動を示しているが、台形断面部材では、いずれの部材長においてもある断面高さでピーク値を示している ($a/b=5.6$ の場合 $h/b=0.67$ 、 $a/b=28.0$ の場合 $h/b=1.00$)。SIN形断面部材の耐力力は、断面高さが小さい範囲 ($h/b=0.33, 0.67$) では、台形断面部材と比較して小さくなっているが、断面高さが大きくなると ($h/b>1.00$)、台形断面部材に比較して大きくなっており、この傾向は断面高さの増大とともに顕著となっている。

5. まとめ

本研究では、軸圧縮を受ける波形断面部材の力学的挙動について断面高さを変化させ検討を行った。その結果、SIN形断面部材においては、断面高さの増大とともに耐力力が大きくなるが、台形断面部材においては、断面高さがある大きさに達すると逆に耐力力が低下することが明らかになった。

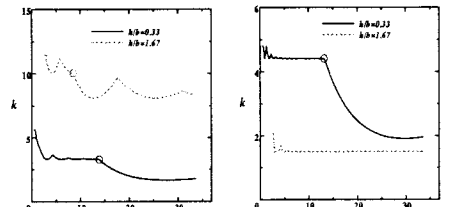


図3 SIN形断面部材

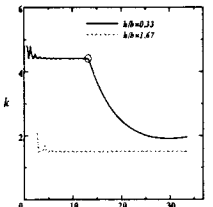


図4 台形断面部材

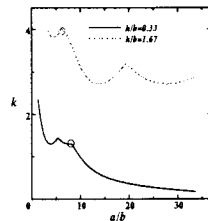


図5 SIN形断面部材

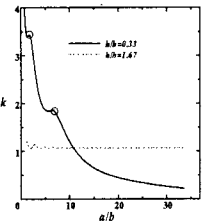


図6 台形断面部材

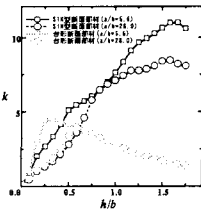


図7 両端単純支持

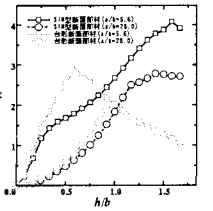


図8 両端自由

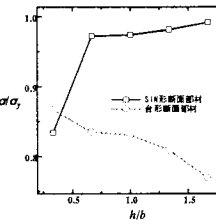


図9(a) 両端単純支持
($a/b=5.6$)

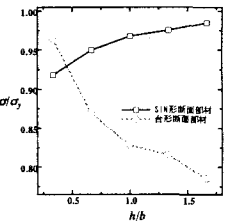


図9(b) 両端単純支持
($a/b=28.0$)

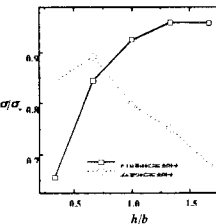


図10(a) 両端自由
($a/b=5.6$)

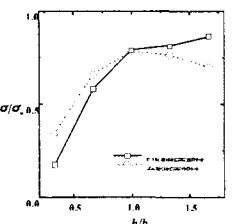


図10(b) 両端自由
($a/b=28.0$)