

円弧形を有する波型鋼板ウェブ桁の構造特性に関する研究

金沢工業大学大学院 学生員 田辺 義博 金沢工業大学 正会員 本田 秀行

1. まえがき プレートガーダーの横倒れ座屈に対しては中間対傾構を、せん断座屈に対しては垂直補剛材を適切に配置するのが原則となっている。補剛材配置に関するこのような原則を変えるものとして、ウェブ自体のせん断強度を高めることによって垂直補剛材などの補剛材をなくすことも一つのアイデアである。すなわち、薄いウェブを材料の有するせん断応力の降伏点まで耐えられるようにウェブのせん断強度を高めて座屈変形を防止するため、ウェブを面外方向に波型などの形状に加工することが考えられる。このような波型ウェブを有する桁が波型鋼板ウェブ桁と言われ、わが国でも古くから考案されていた。この波型鋼板ウェブ桁のせん断強度が高いことによって補剛材の配置とその溶接の必要がないため、桁作成時での作業省力化や疲労寿命の面で通常のプレートガーダーより有利であり、最近、各国とも構造部材としての使用が試みられている。また、ウェブに波型鋼板を用いたPC箱桁橋は、波型鋼板のアコーディオン効果により、上下コンクリートフランジへのプレストレスの導入が効果的に行え、合理的な複合PC橋梁としての位置を確立しつつあり、中規模支間の連続桁橋では一般的なPC箱桁橋に比べて、自重を25%程度軽減できると言われている¹⁾。そこで、本研究では、従来の研究で得た知見を基に、ウェブの形状を直線形状(通常のプレートガーダー)、台形形状、円弧形状の3桁に対する静的、および動的解析を行い、構造特性の相違について検討を行っている。

2. 解析モデル 本研究で用いた桁は、秋葉・本田²⁾が使用した波型鋼板ウェブ桁を参考にした寸法(SS400)である。それらを図-1に示す。桁とともに、桁長6000mm、フランジ幅80mm、フランジ厚6mm、ウェブ高300mm、ウェブ厚3.2mmである。また、材料特性としては、ヤング率 $2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 、ポアソン比0.3、せん断弾性係数 $8.1 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 、単位体積当りの重量が 7.85 tf/m^3 の等方性線形弾性体にモデル化した。

3次元の自動要素分割として、本研究ではMSC/PATRANを用いた。また、本研究で用いた各桁とも板厚が薄くて要素が薄くなるためシェルの支配方程式において変位の固定が生じ、面外、面内などの固有値が大きすぎるなどの解析結果の信頼性にかける場合もある。その対応策として、中間に節点を設ける8節点シェル要素のモデルで検討を行った。

3. 固有値解析 モデル化した桁の数値計算は、MSC/NASTRANで行った。そして3次元固有値解析は、Lanczos法を用いた。Lanczos法は、一般的に最も信頼度が高く、効率も良く、中規模から大規模問題に対して有効な固有値計算の一つであることからこの計算法を用いている。プレートガーダー、台形形状、円弧形状それぞれの固有振動数を表-1に示す。各桁を比較すると、面内の1次固有振動数はプレートガーダーの方が若干大きい値となっている。面外の1次と2次の固有振動数は各桁ともほぼ同じ値を示しているが、3次振動以降の高次振動においては波型鋼板ウェブ桁(なかでも台形形状)の方が大きい値になっている。ねじれ振動については、波型鋼板ウェブ桁の両方が大きい値を示している。

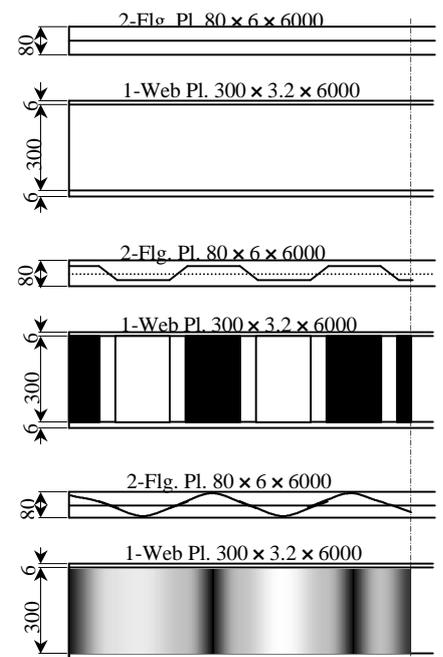


図-1 各桁の解析モデル

(上からプレートガーダー、台形形状、円弧形状)

表-1 各桁の固有振動数 (Hz)

振動次数	振動モード	波型ウェブ桁					
		プレートガーダー		台形形状		円弧形状	
		解析値	理論値	解析値	理論値	解析値	理論値
1	面外1次	3.650	3.651	3.684	3.900	3.635	3.900
2	ねじれ1次	7.094	-	7.549	-	7.510	-
3	面外2次	14.529	14.604	14.736	15.586	14.530	15.586
4	ねじれ2次	20.796	-	21.612	-	21.451	-
5	面内1次	26.990	27.775	24.550	23.459	23.992	23.459
6	面外3次	32.050	32.859	33.129	35.069	32.655	35.069
7	ねじれ3次	42.797	-	44.072	-	43.721	-
8	面外4次	54.137	58.416	58.744	62.344	57.922	62.344
9	ねじれ4次	73.198	-	75.168	-	74.607	-
10	面外5次	76.298	91.275	91.170	97.413	89.782	97.413

波型鋼板ウェブ、円弧形

4. 静的解析 4-1. 変位 図-2は、支間長 1/2 点での各桁の変位を示している。一般に、波型鋼板ウェブ桁はプレートガーダーよりも変位が大きく、面内（鉛直）方向の曲げ剛性が小さい傾向にある。プレートガーダーの解析値と理論値は若干の差異が生じている。この原因として、拘束条件や要素数が起因していると考えられる。一方、波型鋼板ウェブ桁の解析値と理論値を比較すると、台形形状の場合は若干の差が認められるが、円弧形状の場合、両者はよく一致している。

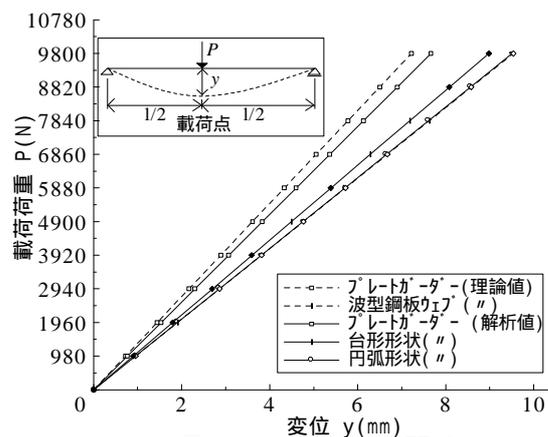


図-2 荷重 - 変位関係

4-2. 曲げ応力 図-3は、載荷荷重 7840N(800kgf)におけるプレートガーダーおよび波型鋼板ウェブ桁の曲げ応力分布を示している。一般に、波型鋼板ウェブ桁はプレートガーダーと異なり、ウェブに曲げ応力が生じない特徴が認められる。波型鋼板ウェブ桁では、台形、円弧形状の A-A 断面において、フランジとウェブの接合部付近に応力が生じているが、フランジとウェブの中心接点である B-B 断面では、両桁ともほとんど応力が生じていない。

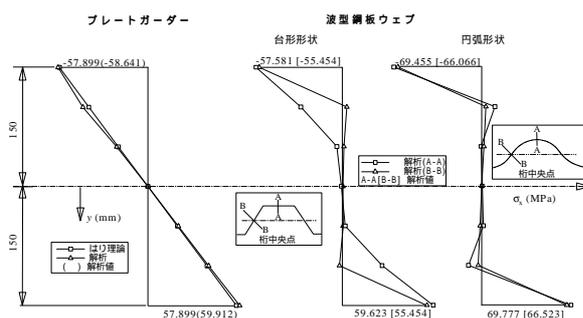


図-3 各桁の曲げ応力分布

4-3. せん断応力 図-4は、載荷荷重 7840N(800kgf)におけるプレートガーダーおよび波型鋼板ウェブ桁のせん断応力分布を示している。なお、この応力分布の断面位置は桁の 1/6 点である。プレートガーダーは、理論どおりウェブの中心で最大値を示しているが、理論値と解析値の間に若干の差異が認められる。一方、波型鋼板ウェブ桁は、一般にウェブでの応力が均一になる傾向がある。同図においてもその傾向が顕著に現れている。

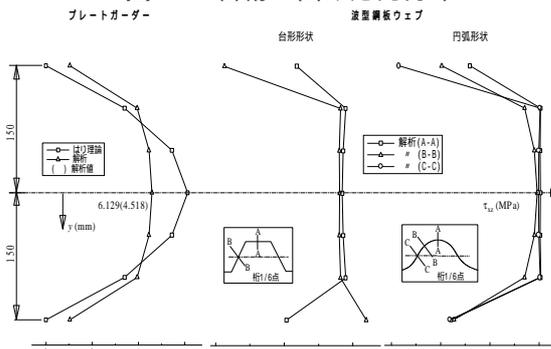


図-4 各桁のせん断応力分布

5. あとがき 各桁の静的・動的特性の相違を理論、解析の両面から検討した結果、次の事項が挙げられる。動的特性については、波型鋼板ウェブ桁の方がプレートガーダーよりも面内（鉛直）方向の曲げ剛性が小さい傾向にあると言える。また、波型鋼板ウェブ桁の面外方向の固有振動数は、工学的に同程度であると考えた方が妥当である。静的特性については、動的特性と同様に波型鋼板ウェブ桁の方がプレートガーダーよりも面内（鉛直）方向の曲げ剛性が小さい傾向にある。また、曲げ応力に関しては、波型鋼板ウェブ桁では、ウェブにほとんど応力が生じていない。従って、波型鋼板ウェブ桁のウェブの設計では、プレートガーダーと異なり、曲げ応力を無視して、せん断応力だけで応力照査が可能であると考えられる。台形、円弧の両形状の静的変位に関して、円弧形状の方が台形形状と比較して変位は大きい。また、両形状の曲げ応力に関しては、円弧形状の方が台形形状よりも大きな応力を生じているが、円弧形状の方が A-A 断面と B-B 断面では曲げ応力分布の差異が少なくなり、より実用に供する形状であると推測される。両形状のせん断応力については、波型鋼板ウェブ桁はウェブでの応力が均一になることが認められる。しかし、応力を求める箇所の断面位置によりその分布が多少変動することを確認しているため、この点について検討していく必要があると考える。

【参考文献】 1) 上平謙二, 上神久雄, 本田秀行, 園田恵一郎: 波型鋼板を有する PC 箱桁橋のせん断およびねじり特性に関する研究, プレストレストコンクリート, Vol.40, No.3, pp.16~25, 1998年5月. 2) 秋葉徹, 本田秀行: 波型鋼板桁の3次元固有値解析に関する基礎的研究, 鋼構造年次論文報告集第1巻, pp.329~336, 1993年7月. 3) 田中浩: 波型鋼板桁の静的および動的挙動特性に関する基礎的研究, 金沢工業大学大学院修士論文, pp.6~81, 1996年3月.