

I-53

I形断面骨組構造のそり拘束について

北海道大学大学院工学研究科 正 員 平沢秀之
 北海道大学工学部 学 生 員 田上優介
 北海道大学大学院工学研究科 フェロー 林川俊郎
 北海道大学大学院工学研究科 フェロー 佐藤浩一

1. はじめに

棒部材がねじりを受けるとき、その横断面は部材軸回りに回転する他に、一般に部材軸方向にも変位する。ねじり問題はこの軸方向変位が拘束されない場合、または拘束される場合に対してそれぞれ純ねじり(単純ねじり、St.-Venantのねじり)と、そりねじり(曲げねじり、そり拘束ねじり)に分類される^{1),2)}。この軸方向変位(そり)が拘束されるかどうかは、部材端部の境界条件あるいは載荷方法によって異なる。また境界条件や載荷方法に関わらず、断面の形状によっては例えば円形断面やT形断面のように軸方向変位が生じなく、純ねじりの状態となる場合もある³⁾。

ところで鋼構造物には格子桁橋や曲線橋等ねじりが作用する構造物が多数存在する。これらの構造物を構成する骨組部材はI形断面を有するものが多い。個々のI形断面部材はその両端部が溶接またはボルトで他の部材と剛に連結され、軸方向変位は拘束されているため、そりねじりが実現されている。このような構造物をはり要素を用いた有限要素法で解析するには、通常そりねじりを考慮した剛性マトリックスが用いられる⁴⁾。この解析によればそり拘束によって生じる軸方向の垂直応力(そり応力)も、断面力として求めたそりモーメントから計算することができる。

実際の構造部材の連結部においては、例えば格子桁の主桁-横桁連結部を考えたとき、主桁と横桁の桁高が同じ、すなわち横桁の上下フランジが主桁の上下フランジに連結する場合では、横桁のそりはほぼ完全に拘束される。したがってそりねじりを考慮した剛性マトリックスを用いる骨組構造解析は、精度よい解を算出する。しかしながら通常は横桁の桁高の方が主桁より小さく、横桁のフランジは主桁の腹板に連結されていることが多い。このような場合横桁のそりは主桁の腹板の面外変形を引き起こし、そり拘束の度合いが低下すると考えられる。そこで本研究ではこの骨組構造部材の連結部におけるそり変形に着目し、シェル要素を用いた詳細な有限要素法による数値計算を行い、連結部におけるそり拘束の程度を調べることにした。更にそり拘束の低下が他部材へのそり応力の伝達にどの程度影響するかについても検討を行っている。

2. 薄肉はり理論によるそり変形とそり応力

薄肉I形断面を有するはりがねじりを受ける場合について考える。はりの断面内の任意の点は面内方向及び面外方向に変位を生じる。はりの部材軸をx軸、断面の主軸をy、z軸とするとねじりによる面外方向変位すなわちそりは式(1)のように表わすことができる。

$$u(x, y, z) = \frac{d\varphi(x)}{dx} \omega(y, z) \quad (1)$$

ここで $u(x, y, z)$ 、 $\varphi(x)$ はそれぞれそり、ねじり角であり $\omega(y, z)$ はそり関数である。

次に、はりに生じる断面力について考えると、断面内にはねじりモーメントと同時にそりモーメント(バイモーメント)が発生する。断面形状を2軸対称のI形とすると、このそりモーメントにより上下フ

Restraint of warping in framed structures with I shaped cross section

by Hideyuki HIRASAWA, Yusuke TAGAMI, Toshiro HAYASHIKAWA and Koichi SATO

レンジ面内には図-1のように大きさが等しく向きが反対の一对のモーメント M_f が働き、上下フランジ面内にはそり応力が発生する。腹板内にはねじりモーメントによるせん断力が生じるが、そりモーメントによる垂直応力は発生しない。フランジに発生するそり応力を σ_w とおくと σ_w は式(2)により求めることができる。

$$\sigma_w = \frac{W}{C_w} \omega(y, z) \quad (2)$$

ここで W, C_w はそれぞれそりモーメント、そりねじり定数である。したがってはり理論からそり応力を算出するにはそりモーメント W をまず求め、式(2)より σ_w を計算することができる。

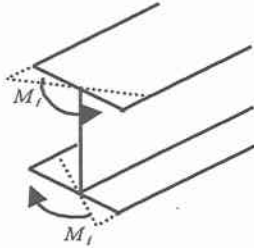


図-1 そり応力

3. 解析モデル

本研究では、図-2の格子桁のようなねじりを伝達する主桁、横桁からなる構造系を対象として、骨組部材の連結部におけるそり変形と他部材へのそりモーメントの伝達を調べようとするものである。モデル化に際しては連結部を有する部分モデル(図-2○印)を採用した。解析方法は以下のような2通りの手法を用いた。

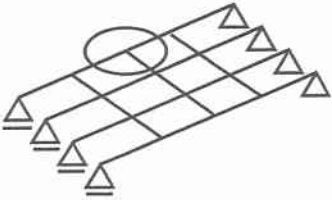


図-2 格子桁

解析法1: そりねじりを考慮したはり要素による有限要素法

解析法2: 4節点アイソパラメトリックシェル要素による有限要素法

解析法1に対するモデルは図-3の通りで、境界条件は主桁端部は固定端、横桁端部は自由端で、この自由端に100[kN・m]のねじりモーメントを作用させる。断面寸法は表-1の通りである。解析モデルは横桁高さが1000[mm]のモデルA、及び3000[mm]のモデルBの2通りを設定した。解析法2に対するモデルは、解析法1と同様であるが外力は100[kN・m]のねじりモーメントと等価となるような偶力を与えている(図-4)。また、断面寸法は主桁腹板の板厚によるそり拘束の影響を調べるために、表-1のように t の値を10,15,20,25[mm]の4通り設定した。なお、各モデルの節点数と要素数を表-2に示す。

表-1 断面寸法

	主桁	横桁	[mm]
モデル A			
解析法 1	$t=25$ $H=1000$	$t=25$ $H=3000$	
解析法 2	$t=10,15,20,25$ $H=1000$	$t=25$ $H=3000$	

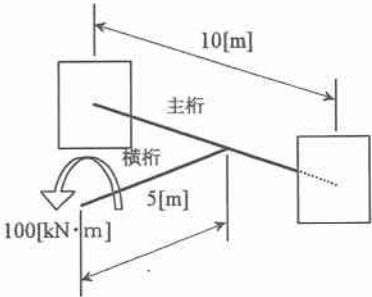
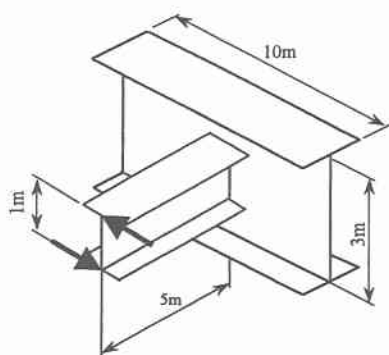


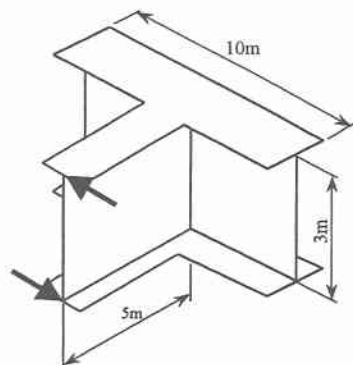
図-3 はり要素モデル(A,B)

表-2 各モデルの節点数と分割数

		節点数	要素数
解析法 1	モデル A	135	134
	モデル B	135	134
解析法 2	モデル A	7175	8512
	モデル B	8073	8592



(a)モデル A



(b)モデル B

図-4 シェル要素モデル

4. 数値計算結果

以上のケースについて計算し、フランジのそり変形及びそり応力を求めた。これらの結果を用いて解析方法の違いや、主桁の腹板の板厚がそり変形やそり応力に及ぼす影響について検討した。

4.1 連結部のそり変形とそり応力

横桁と主桁の連結部における横桁上フランジのそり変形を図-5に示す。

解析方法について見ると、モデルBの場合では両解析方法による違いはほとんどなく、変形はきわめて小さい。したがってモデルBのような連結方法では、そりはほぼ完全に拘束され、はり要素による解析でも良い結果を与えることが分かる。しかしながら、モデルAの場合では、解析法1と解析法2(●印)の結果が大きく異なっている。はり要素では連結部のそり変形を正確に算出できないことが分かる。

板厚の違いについて見ると、モデルAの結果より、 t を薄くするにつれ、そり変形が増大しているのが明らかである。したがって、主桁の腹板厚は横桁のそり変形に対して影響が大きいと言える。

次に横桁と主桁の連結部における横桁上フランジのそり応力を図-6に示す。

モデルBの結果から両解析法の違いはほとんどなく、応力分布はほぼ直線的な分布形状

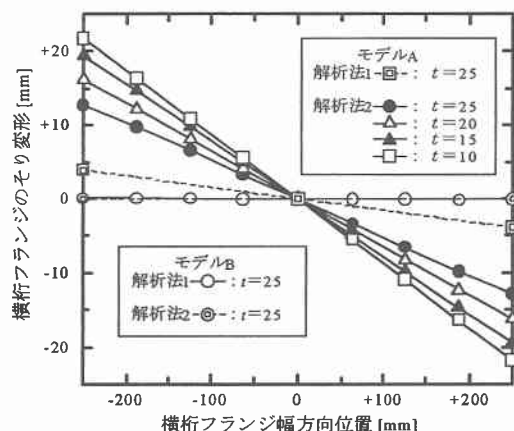


図-5 横桁連結部におけるそり変形

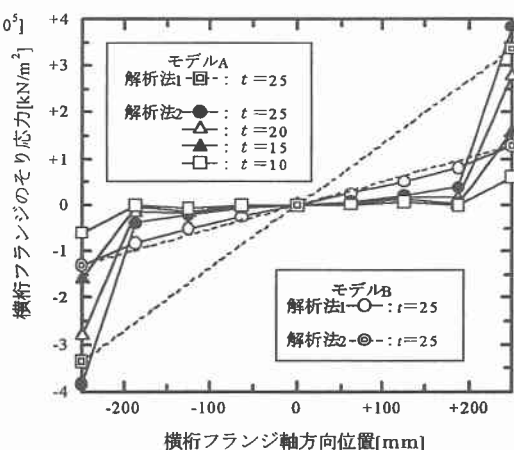


図-6 横桁連結部におけるそり応力

を示している。したがって、モデルBのような連結状態ではそり変形の結果と同様、はり要素による解析でも精度の良い結果を得ることができる。しかしモデルAでは解析法2より直線的な分布形状とはならず、はり要素による結果と大きく異なる。また、モデルAではフランジの両端部のそり応力が極端に大きくなっている。これはこの両端部が接続している主桁腹板に引張応力場を発生させ、その反作用が横桁フランジ端部に生じるためと考えられる。さらに板厚の違いについては、 t の値が小さいほどそり応力が小さくなっており、連結部の拘束が低下していることが分かる。

4.2 主桁へ伝達されるそり応力

ここでは連結部での横桁のそり応力が主桁に伝達され、主桁の固定端でどのような分布となるかを調べる。図-7は固定端における主桁上フランジの応力分布である。モデルA、B共に解析法1の方がそり応力を過大に算出していることが示されている。また、板厚の違いに関しては板厚が薄いほどそり応力は小さくなっており、連結部におけるそり応力の傾向と同じである。

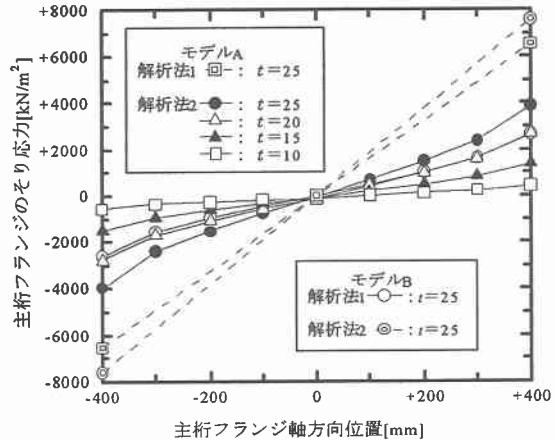


図-7 主桁フランジのそり応力

5. おわりに

本研究では、主桁と横桁からなる簡単な骨組モデルを作成し、横桁連結部におけるそり変形とそり応力、及び主桁固定端でのそり応力について調べた。連結方法は異なる桁高を有する2通りの桁高を用い、また主桁腹板の板厚を種々に変化させた解析を行った。さらに解析方法も骨組解析法と詳細なFEMの2通りを比較した。その結果、連結部において主桁と横桁の桁高が同じ場合では、横桁のそり変形はほぼ拘束され、そり変形とそり応力に関して、はり要素でも十分精度のよい値が得られた。しかし横桁の上下フランジが主桁の腹板に連結されるモデルの場合は、はり要素を用いた解析では精度の良い値は得られなかった。またこのモデルでは横桁のそり変形が生じその大きさは主桁腹板が薄いほど大きくなることが確かめられた。さらにそり応力は直線分布とならず、フランジ端部で応力集中が見られた。したがってこれらの結果よりそりねじりを受ける薄肉構造物を解析するには連結状態や部材の板厚を適切に評価し、解析方法も適した方法を選択する必要がある。

参考文献

- 1) 高岡宣善：構造部材のねじり解析、共立出版、1974.
- 2) V. Z. Vlasov (奥村敏恵 外共訳)：薄肉弾性ばりの理論、技報堂、1967.
- 3) 藤谷義信：薄肉はり構造解析、培風館、1990.
- 4) 鷲津久一郎、宮本博、山田嘉昭、山本善之、川井忠彦編：有限要素法ハンドブック I 基礎編、培風館、1981.