

長岡技術科学大学 学生員 中山康士
 長岡技術科学大学 正 員 長井正嗣
 (株) 栗本鐵工所 正 員 赤尾圭二
 (株) 栗本鐵工所 正 員 寺西 功

1. まえがき

斜張橋は益々長大化の傾向にあり、部材とくに主桁に発生する応力度の正確な評価が重要となる。具体的に説明すると、はり理論による軸力と曲げの応力度に着目すれば、支間が 500 ～ 600m (SM400 材) 以上で、また 800 ～ 900m (SM490Y 材) 以上では主桁の板厚が応力で決定されることになり (それ以下の支間では最少板厚がアクティブな条件となる)、したがって不均一応力を含んだ応力の正確な評価がとくに重要となってくる。

さて、斜張橋の設計にあたり、不均一応力の一つとしてシヤーラグ (せん断遅れ) 応力があり、一般に考慮されている。桁橋では曲げモーメントの分布に応じて等価支間長が定義できて、有効幅の概念を用いることによってこの応力度の評価が可能となる。一方、斜張橋では、桁がケーブルで弾性的に支持されていることに起因して、等価支間長の定義が困難となり有効幅の概念が利用できないといった問題が生じる。そのため、シヤーラグ解析を行うことになるが、最初にはり理論による骨組モデルでの解析が必要となる。

箱桁のシヤーラグ解析では、上、下フランジの変位モード形として放物線または 4 次関数が用いられる。ところで、斜張橋の主桁は斜め方向に配置されたケーブルで支持されることから、ケーブル張力の水平分力が集中力として導入され応力分布は複雑となり、しかも定着位置や様式によっても分布は変化する。この応力を F E M で対応するには多くの要素分割を必要とし、全体解析に持ち込むのは得策と考えられない。また、実施設計にあたり、この応力集中の簡易設計式が既に提案されている。

本文では、箱桁に新たにトラス要素を追加して、以上の水平分力を受け持たせることとし、主桁の軸力と曲げ成分を分離した F E M 解法を提案する。そして、一軸対称の 3 室箱桁を主桁とする斜張橋に適用し、分離法の妥当性を骨組モデルの計算結果と比較して明らかにする。

本手法を用いることにより、荷重分布が与えられれば、シヤーラグ解析が可能となり、実務上も有益と考える。

2. 基礎理論

主桁 (箱桁) はフランジ要素と腹板要素を集成して箱要素とする。図 - 1 に箱断面の自由度を示す。フランジ 1 枚 (腹板間) の断面内自由度は 4 で、橋軸方向に 3 (板中央でシヤーラグを考慮する)、橋軸直角方向に 1 (板の橋軸直角のひずみとポアソン比を無視する) である。フランジには通常縦リブが配置される。本方法では、軸力と曲げ成分を分離して扱うため、リブの偏心取り付けによる断面 2 次モーメントがほぼ正確に評価できることになる。また、腹板の断面内自由度は 3 で橋軸方向 2、直角方向 1 である。

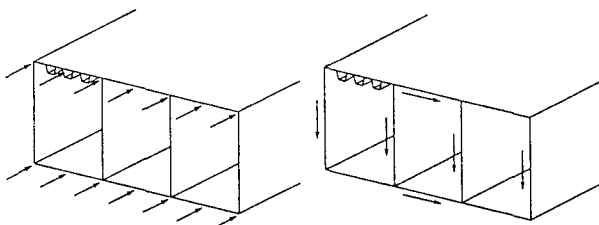


図 - 1 多室箱桁の自由度

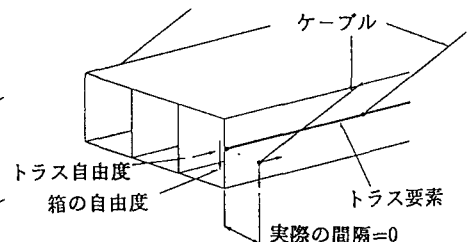


図 - 2 自由度の対応

トラス要素 (断面積は箱桁断面積の 1/2) を両側腹板に沿って配置し、その剛性マトリックスは箱要素と独立にたしこまれる。箱桁要素の剛性マトリックスとトラスの剛性マトリックスはケーブル要素 (トラス要素) の剛性マトリックス (立体的場合、 6×6) を介して連成することになる (図 - 2 参照)。

塔は通常のはり (1 節点あたり 6 自由度) 要素でモデル化する。また、斜張橋の支承条件としてしばしば橋軸方向に弾性拘束が採用される。バネ (トラス) 要素を用い箱桁に沿って追加配置したトラス要素と結合して対応する。

3. 数値計算例

図 - 3 に斜張橋の側面形状を示す。箱桁断面は幅 8.7m、高さ 2.5m で、塔とともに諸元を表 - 1 に示す。中央径間内と両側径間に等分布荷重 (1.95tf/m) を満載した状態 (case1, case2) の計算結果を比較する。なお、本計算に先立ち、橋軸方向に荷重載荷した場合の結果を比較した (両橋端部で箱桁に沿って配置したトラスに圧縮力が生じるように荷重載荷し、桁の軸方向変形に伴う曲げ変形を比較検討する)。たわみ、張力、軸力、曲げモーメント、反力ともにより一致を示すことが確認できている。

図 - 4 はたわみの比較、表 - 2 はケーブル張力の比較であるが、両者はよい一致を示すことがわかる。

図 - 5、図 - 6 に曲げ応力の比較結果を示す。図中、直線がはり理論による値で、両者はよい一致を示しているといえる。

4. まとめ

斜張橋主桁の軸力と曲げ成分を分離する FEM 解析手法を提案し、曲げによるシャーラグ応力の解析例を示した。また、本分離法の妥当性を確認した。

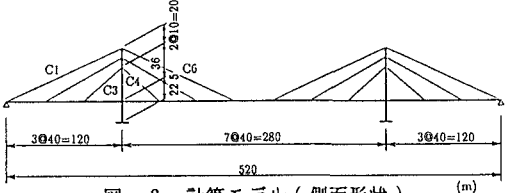


図 - 3 計算モデル (側面形状)

表 - 1 主桁、塔の断面諸量 (1 橋当り)

	主桁	主塔
断面積 (m^2)	0.460	0.24
断面 2 次モーメント (m^4)	0.525	0.16

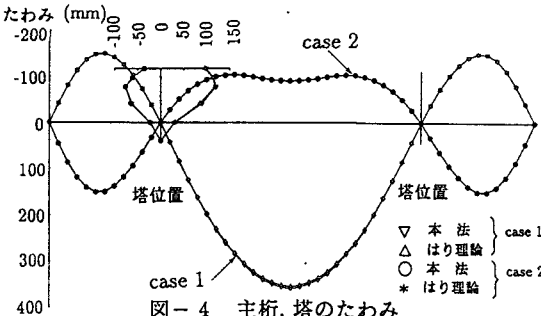


図 - 4 主桁、塔のたわみ

表 - 2 ケーブル張力 (tf)

	case1		case2	
	本法	はり理論	本法	はり理論
C1	281.0	280.7	- 113.8	- 113.4
C2	91.7	92.7	61.5	60.8
C3	- 4.6	- 4.8	106.3	106.2
C4	98.9	98.7	5.5	5.1
C5	158.5	158.6	7.3	7.3
C6	180.6	180.9	- 21.7	- 21.7

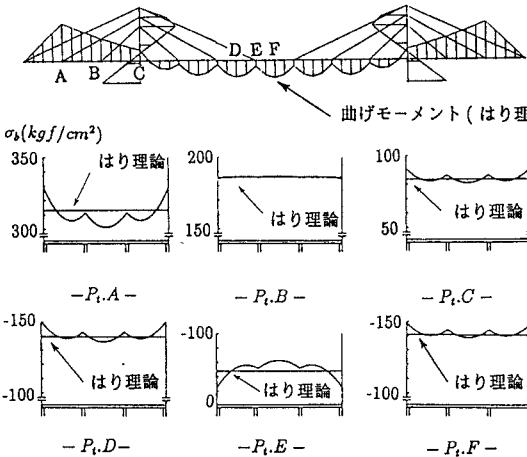


図 - 5 フランジの垂直応力分布 (荷重 case1)

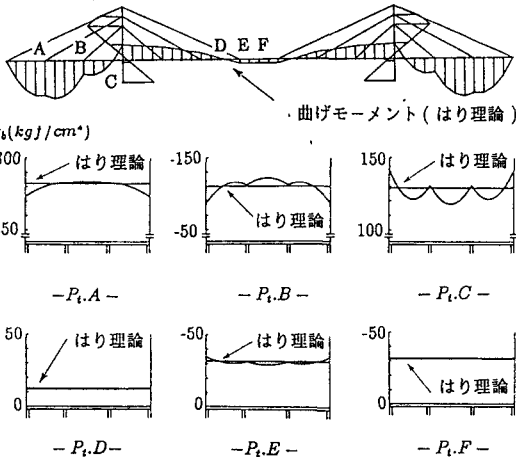


図 - 6 フランジの垂直応力分布 (荷重 case2)