

I-53 斜張橋主桁耐力評価に着目した E_f 法の適用と設計法に関する一考察

長岡技術科学大学 正 員 ○ 長井 正嗣
三井造船(株) 正 員 浅野 浩一

1. まえがき

斜張橋は最近になって急速に長大化する傾向にあり、支間 500~600m クラスの建設と同時に、ノルマンディー橋、多々羅大橋と 900m 近い斜張橋も建設中で、いずれ 1000m クラスへの突入が予想される。

著者らは以前より斜張橋の長大化達成に関する検討を行ない、支間 800~900m クラスまでは、これまで支間 300~400m で用いてきた断面(4車線用の幅が 20m 前後、桁高さ 2.5~3.5m、最小板厚構成、SM490Y 材使用を前提)でもって設計が可能であることを示唆した。この予測は、建設中のノルマンディー橋の主桁断面をみればわかるように、妥当であったことがわかる。一方、支間がそれ以上になると面内、面外の耐力を確保する最適断面(桁高のアップ、意図的拡幅、局所的増厚といった対策で、鋼重増につながる)の開発が最重要課題になることを指摘した。つまり、桁の耐力を合理的に評価することが極めて重要となる。

さて、斜張橋の主桁耐力評価については明確な設計法が見あらず、実務者を悩ます問題となっており、その確立が課題と考える。ところで、例えば 4 車線相当の幅をもち、支間 500m 以下で箱断面を用いれば、圧縮軸力による最大応力も小さく、その支間領域での弾性座屈解析からも塔の座屈が先行する結果が示されている。したがって、ある支間と桁の面内剛性の組合せのもとでは主桁の座屈照査は不要ではないかといった疑問も生じる。

本文では、以上の問題に対応する 1 ステップとして、 E_f 法に着目し 2~3 の検討を行なった結果を報告するとともに、設計法について考察を加える。

2. 桁軸力分布、桁断面積、 E_f 値に仮定を設けた検討

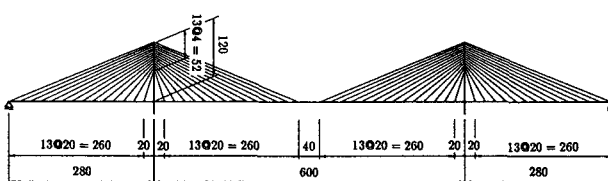
図-1 に示す支間 600m の 3 径間連続斜張橋を対象に 4 室の矩形箱断面桁(桁幅 20m)の面内断面 2 次モーメントを変化させて検討を行なう。桁は全長等断面で等材質(SM490Y)とする。また、板の局部座屈は生じないものとする。荷重の大きさとして、死荷重(D)は $20tf/m$ で断面形に関係なく一定とし、活荷重(L)は $3.8tf/m$ とする。固有値解析では、死荷重載荷時の軸力(N)に対して倍率(λ ; $N_{CR} = \lambda N$)を計算する。別途、全径間に荷重を満載させた計算を行なったが、両者から得られる N_{CR} はほぼ同じであった。橋軸方向に最初の座屈が生じないように橋端には橋軸方向バネ(別途試算した)を配置している。さらに、最初の横(桁の面外)方向の座屈が生じないかを照査するために立体解析を行なっている。

次に、設けた仮定を説明する。

[仮定 1] 安全側の考えとして、主桁の軸力分布を塔位置の最大軸力(死荷重時)を用いて全径間一定とする。 E_f は全径間一定となる。

[仮定 2] 主桁断面積が軸力分布に応じて減少していると考え。つまり、圧縮軸力による応力は全径間一定と考える。但し、断面 2 次モーメントは全径間一定のままとする。この場合も E_f は全径間一定となる。

[仮定 3] E_f 法の適用上、部材断面毎に E_f の値を変化させる。修正 E_f 法と呼ばれている。

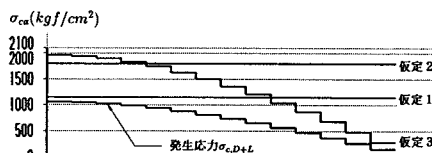


桁高 (h:m)	断面2次モーメント ($I:m^4$)
1.0	0.2063
1.5	0.4781
2.0	0.8500
2.5	1.3477
3.0	1.9688

図-1 解析モデルの側面形状と桁の断面2次モーメント

図-2に桁高さ2mの結果を示す。あわせて、D+Lによる発生圧縮応力を示す。なお、他の断面についても同様の傾向が得られている。[仮定1]による許容応力度はかなり小さい値になっている。 E_f 法の適用上の問題はないと考えるが、面内剛性の小さい支間中央部にも大きな軸力を作用させているため、かなり安全側となる。但し、この方法では最小の耐力が得られていると考えられるため、もし作用応力度がこの方法で得られる許容応力度以下であれば十分安全と考えられる。つまり、桁高さ2mの断面でも600mクラスの斜張橋には適用可能である（但し、面内の耐力のみに着目）ことを示している。[仮定2]と[仮定3]の比較では、[仮定2]の塔位置の許容応力度が多少小さくなる。[仮定3]では、よく知られているように、軸力の小さい支間中央部で小さな許容応力度が得られる（有効座屈長法の矛盾点として指摘されている）。しかし、発生応力(D+L)との比 σ_c/σ_{ca} は全径間で一定となる結果が得られた。[仮定2]の場合も同様で、比の値はやや大きいものの全径間で一定となる。これらより、3

つの仮定のうちでは、[仮定3]でもって対応してよいと考えられる。ただし、軸力と曲げモーメントの相関式を照査に用いる場合、軸力が小さく曲げモーメントの最大の位置で耐力が支配される矛盾が生じる。ただ、長大マルチケーブル斜張橋では、 σ_b/σ_{ba} の比は高々0.2程度のため極端に安全側になるとは考えられない。

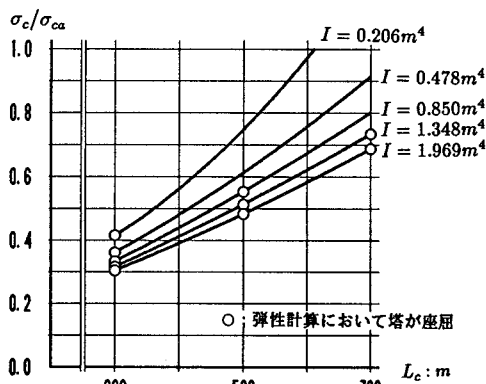

 図-2 σ_{ca} の分布

3. 桁の支持条件、荷重載荷の影響

[仮定3]の方法を用い、2.のモデルで側径間に中間橋脚を設けた場合の検討を行なった。座屈が塔の近傍で生じることから、両者の差異は小さいものとなった。次に、D+L(中央径間のみに荷重)における軸力について検討を行なった。これは、中央径間内のみ荷重を作用させると、側径間内の軸力分布が一定となって、全径間に荷重を作用させた場合より側径間内の軸力は厳しくなる点に着目したものである。断面2次モーメントの小さい断面(桁高さ1m)でこの影響がみられたが、その他のモデルでは荷重載荷法の影響は見られなかった。ただし、D+ λ L(λ :荷重倍率)で照査を行なうことを前提とすれば、今後さらに検討の余地があると考えられる。

4. 設計法に関する考察

別途行なった、支間300,500,700mモデルでの計算([仮定3]を用いて σ_{ca} を計算し σ_c/σ_{ca} を求める、支間/4点の曲げ応力(幾何学的非線形の影響を考慮)から σ_b/σ_{ba} を計算し両者の合計をプロットする)結果を図-3に示す。これより、支間700mでも桁高さ1.5mの断面でもって設計の可能性(ただし、面内の耐力のみに着目)が予想される。このように、ある支間以下で一定の面内剛性を確保すれば、主桁の座屈照査が不要になると考えられる。その場合、 λ (荷重倍率)=1.7に対する幾何学的非線形(線形化有限変位解析で十分と考えられる)でもって応力照査(σ_{ca})を行なえばよいことになる。また、1つの方法として、塔位置に着目して、($\sigma_c/\sigma_{ca} + \sigma_b/\sigma_{ba} < 1.0$)を照査すればよいと考えられる。


 図-3 応力照査の一試算例(修正 E_f 法)

5. 今後の課題

斜張橋の基本特性を考慮しつつ主桁の設計法について一考察を行なった。圧縮軸力を受ける桁の座屈強度が[仮定3]の E_f 法でもって正しく評価できているかが課題として残った。また、1000mを超える長大橋では桁が変断面になることは避けられないため、この点も今後の課題となった。