

長大斜張橋の主桁の座屈安定照査と終局挙動

日立造船 正会員 穴田洋介
 東京都立大学 正会員 中村一史*
 東京都立大学 フェロー 前田研一

1. まえがき 斜張橋はスパンの長大化にともない、斜ケーブルによる主桁軸力の増大から、主桁断面部材の増厚を強いられ、他の吊形式橋梁との競合性から、適用限界スパンは1,500m程度といわれている。また、曲げと軸力を同時に受ける部材として、主桁および塔の構成部材には座屈安定照査が適用されるが、今後の限界状態設計法への移行を踏まえれば、構造全体系の終局挙動を把握することも不可欠である。そこで、本研究では、適用限界スパンといわれる、中央径間長1,500mの長大斜張橋の試設計例¹⁾を対象として、主桁の座屈安定照査を行い、弾塑性有限変位解析により、長大斜張橋の終局挙動を検討した。

2. 試設計と解析モデル 中央径間長1,500mの長大斜張橋の試設計例¹⁾として、図-1～2に一般図、主桁断面図を、表-1に断面諸元を示す。設計荷重については、本州四国連絡橋公団の基準を準用して、活荷重は表-2に示す値を用い、風荷重は、設計基本風速を37m/sとした。試設計結果のうち、主桁の応力度分布、断面変化および鋼種配置を図-3に示す。図より、塔位置に向かって、増厚により4段階に断面を変化させるとともに、塔付近および中央部では面外風荷重による作用応力が支配的となって、鋼種アップが必要であることが解る。この試設計条件を満足する平面骨組構造解析モデルを作成し、検討を行った。

構成部材うち、主桁とケーブルを弾塑性部材として取り扱い、各鋼種の σ - ϵ 関係を図-5に示すように、構造用鋼材を完全弾塑性体として、また、構造用ケーブル材料をバイリニア型でモデル化した。まず、道路橋示方書に基づく座屈安定照査を行うために、線形座屈固有値解析により座屈固有値を算定した。次に、構造全体系の終局挙動を明らかにするために弾塑性有限変位解析²⁾を行った。なお、荷重条件は、死荷重(D)と活荷重(L)に対して、それぞれの解析で、 $\lambda(D+L)$ および $\alpha(D+L)$ とした。ここに、 λ と α は、それぞれの解析における座屈固有値と荷重パラメータである。また、活荷重の載荷ケースを図-3に示す。

3. 主桁の座屈安定照査 主桁の座屈安定照査結果を活荷重の載荷ケースごとに図-6に示す。図中には、座屈固有値と安定照査式における第1項(軸力項)の値も併記している。これらの図より、まず、座屈固有値、および、照査式の軸力項の値は活荷重載荷ケースによらず同程度で

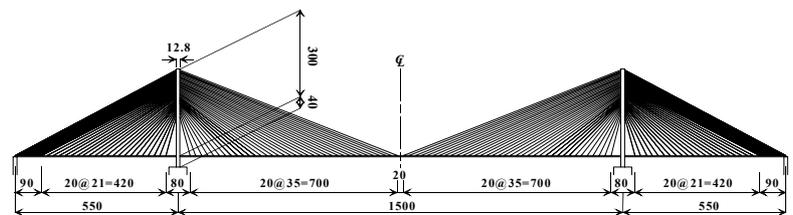


図-1 一般図

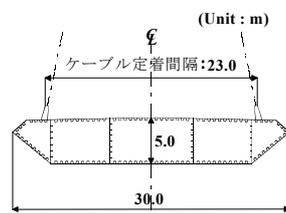


図-2 主桁断面

表-1 断面諸元

断面	主桁(SM490Y~HT690)				主塔(SM570)	
	①	②	③	④	上部	下部
A(m ²)	1.428	1.815	2.104	2.385	1.792	2.240
I _{in} (m ⁴)	6.090	7.832	9.095	10.30	45.44	56.80
I _{out} (m ⁴)	113.7	144.7	166.7	188.7	29.15	36.86
J(m ⁴)	12.22	16.72	19.15	22.99	40.45	67.41
ケーブル(ST1770)						
A(m ²)	0.007502~0.018755					

表-2 設計活荷重

載荷位置	分布荷重強度(kN/m)	集中荷重強度(kN)
中央径間	26.1	995.5
側径間	34.6	971.1

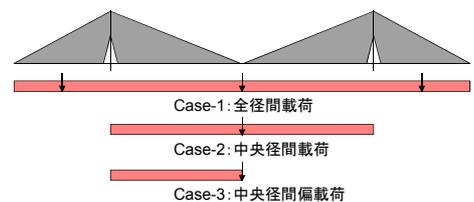


図-3 活荷重の載荷ケース

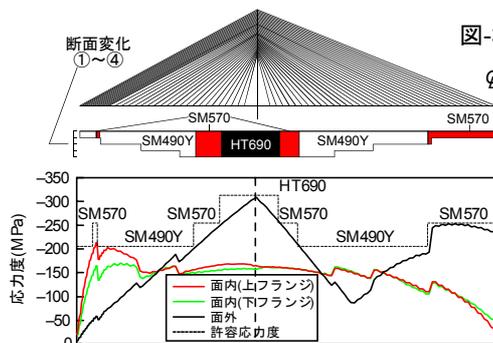


図-3 主桁の応力度照査

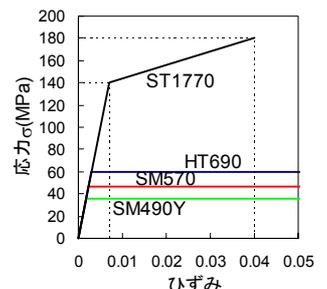


図-5 各鋼種の σ - ϵ 関係

Key Words : 長大斜張橋, 座屈安定照査, 弾塑性有限変位解析, 終局挙動
 連絡先* : 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL. 0426-77-1111 FAX. 0426-77-2772

あること、また、塔に対して非対称な荷重ケースとなる **Case-2**、**Case-3** では、橋端部付近において曲げモーメントの影響により照査値が大きくなっていることが解る。結果として、断面変化点および鋼種変化点で照査値に十分な余裕がないものの、全断面で照査値をほぼ満足していることが確かめられた。

4. 弾塑性有限変位解析結果 解析結果の一部として、**図-7** に荷重変位曲線を、**図-8** に荷重ピーク時における主桁の強度相関式 ($|N|/N_y + |M|/M_y$; N_y , M_y は降伏軸力, 降伏曲げモーメントをそれぞれ表す) による値を、**図-9** に荷重ピーク時の変形図を、活荷重の荷重ケースごとにそれぞれ示す。まず、**図-7** より、荷重パラメータのピーク値 α_{max} は、荷重ケースによらず、2.1 程度であることが解る。図中には、ケーブルあるいは主桁のみを弾塑性部材として検討した結果も併記したが、**Case-1**、**Case-2** では、ケーブルの初期降伏以降の挙動は、ケーブルのみを弾塑性部材とした場合の挙動と一致しており、ケーブルの塑性化の進展が終局挙動に大きな影響を及ぼすことが解る。また、主桁のみを弾塑性部材とした場合には、終局時までほぼ直線的な挙動を示すことが解る。さらに、**図-8** に同時に示した強度相関式の第1項(軸力項)の値は、その分布の傾向は荷重ケースによらないことは、座屈安定照査結果と同様であるが、**図-9** から解るように、中央径間側の上段ケーブルの塑性化の進展にともなって、応力の再配分により主桁に曲げモーメントが作用し、中央径間側の鋼種の低い部分から主桁が塑性化して終局に至ったと考えられる。一方、**Case-3** では、このような一連の傾向は見られなかったが、**図-8** および**図-9** から解るように、ケーブルの塑性化が十分に進展するまえに、橋端部付近の主桁の塑性化が支配的となって、終局に至っていることが解る。

5. あとがき 以上のことから、今回対象とした長大斜張橋の主桁は座屈安定照査を満足すること、および、構造全体系で死荷重と活荷重に対して 2.1 倍程度の耐荷力を保有し、その終局挙動は主にケーブルの塑性化に支配されることが解った。

参考文献

- 1) 野村・中崎・成田・前田・中村：長大吊形式橋梁の構造特性と経済性，構造工学論文集，Vol.44A，1995.3.
- 2) Komatsu, S. and Sakimoto, T: Nonlinear Analysis of Spatial Frames Consisting of Members with Closed Cross-Sections, Proc. of JSCE, No.252, Aug., 1976.

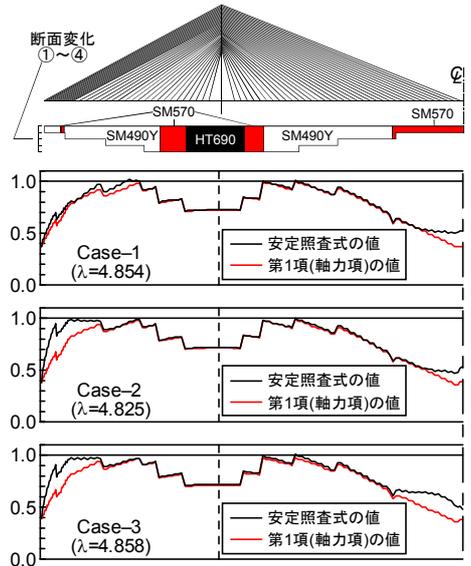


図-6 主桁の座屈安定照査結果

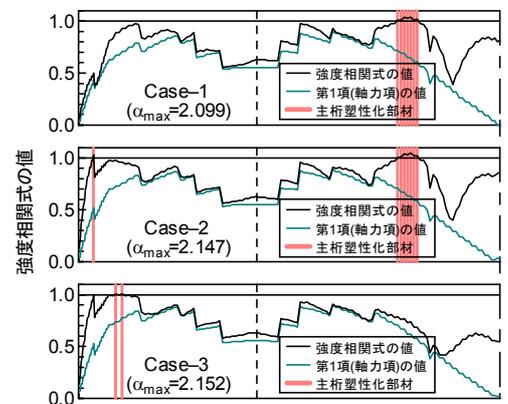


図-8 荷重ピーク時の主桁の強度相関式による値

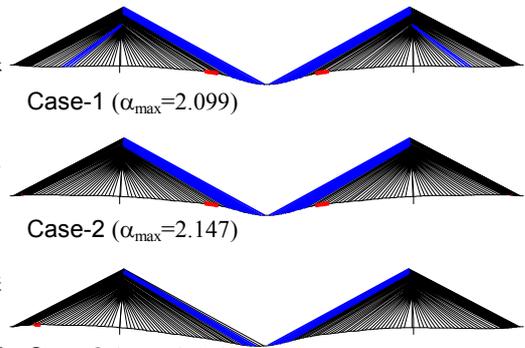


図-9 荷重ピーク時の変形図と塑性化の状況

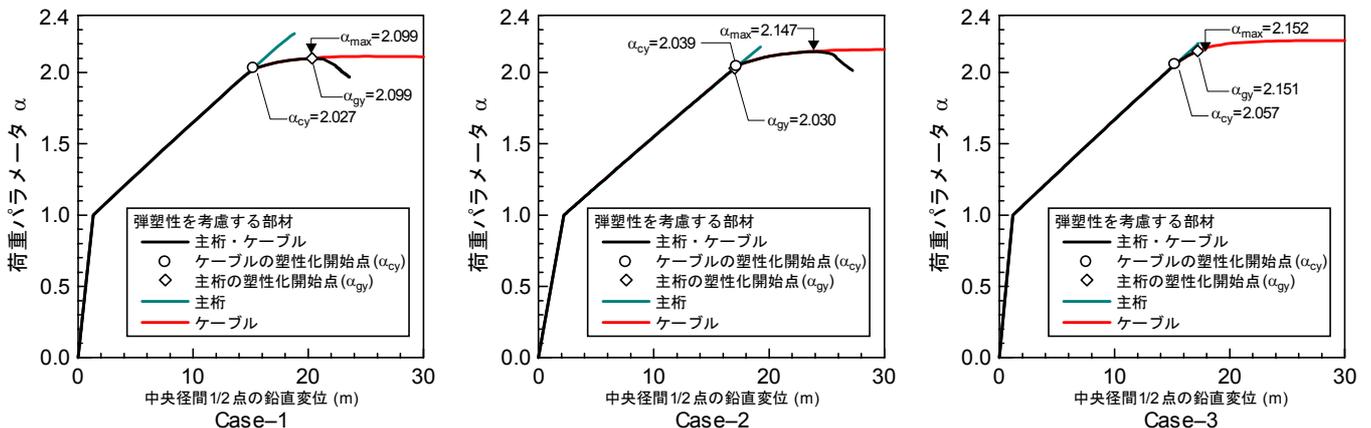


図-7 荷重-変位曲線