

I - A 282

長大斜張橋の座屈特性に及ぼす主桁の初期たわみの影響と荷重の載荷位置

NKK 正会員 紺野 誠
 東京都立大学大学院 学生員 師山 裕
 東京都立大学 正会員 中村一史・前田研一
 長岡技術科学大学 正会員 林 正

1. はじめに 近年、限界状態設計法への移行を念頭に置いて、吊形式橋梁を含む鋼構造物の終局強度に着目した弾性有限変位解析、および、弾塑性有限変位解析に基づく種々の実用的な設計法の提案が活発になっている¹⁾。本論文は、弾性有限変位解析に基づく設計法の一つである等価初期不整法における初期たわみに塑性化の影響も含めることを目指し、座屈固有モードを基にした主桁の初期たわみ形状とその大きさが座屈特性に及ぼす影響を把握することを目的としたものである。

2. 解析モデルと解析条件 解析対象には、側径間に 3%直線勾配、中央径間に 1.5%放物線勾配を持ち、中央径間長 1,000m を有する長大斜張橋の試設計モデル(図-1)を用いた。解析モデルには、主桁を魚骨モデル、斜張ケーブルを単一の直線軸力部材へモデル化し、斜張橋特有の設計条件を満足する立体的有限変位解析モデルを用いた。表-1 に断面諸元を示す。荷重条件には、完成系(死荷重+プレストレス)に活荷重を加えた(D+PS+L)を基本荷重として検討を行った。活荷重は本州四国連絡橋公団による基準²⁾を準用して算定し、その載荷位置による影響も検討対象とした。活荷重の載荷位置を変えた事前検討から、その差異は終局強度に及ぼす影響は小さかったが、終局時に及ぼす影響が比較的大きかった載荷条件についての結果を示す。すなわち、図-2 に示すような 2 つの載荷条件、全径間載荷の case-a、および、主塔位置での主桁軸力に着目した影響線載荷の case-b を採用した。

この(D+PS+L)に荷重パラメータを乗じた逐次増分荷重を作用させて、解析法として、まず、簡易弾塑性有限変位解析によって、塑性化の影響を考慮した耐荷力を予測するとともに、後述する初期たわみを導入した弾性有限変位解析を適用して、特異点を含む分岐経路及び後座屈挙動³⁾を探索した。さらに、初期たわみを導入した線形化座屈固有値解析を実施して、(D+PS+L)に対する固有値と荷重パラメータの相関関係を検討した。

3. 等価初期たわみ (D+PS+L)に対する線形化座屈固有値解析による固有モードの相似形状を初期たわみとして採用した。形状の選択として、最低次の固有モード以外にも着目したが、高次の固有モードほど終局挙動に及ぼす影響は小さくなることから、ここでは図-3 に示すように、最低次の逆対称モードのみを用いた。

また、初期たわみの大きさとして、中央支間 1,000m に対して最大値±0.1m の主桁の鉛直方向成分を付加するケースを 1/10,000 とせば、それに 1/2,000、1/1,000、および、1/500 の 3 ケースを加えた、計 4 ケースを設定し、その大きさが及ぼす影響についても検討した。なお、上述のように、等価初期たわみに塑性化の影響も含めることを目指すことから、簡易弾塑性解析結果を参照して、1/500 の大きさまで初期たわみを拡張して考慮することとした。

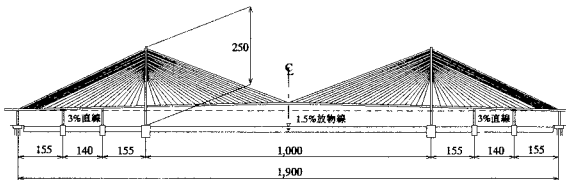


図-1 試設計モデルの一般図

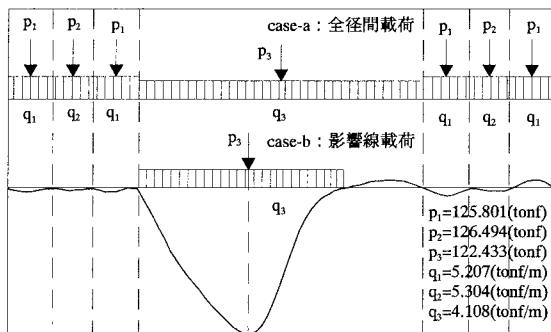


図-2 活荷重の載荷ケース

表-1 断面諸元

	主桁	主塔
A(m ²)	1.58	1.24~3.30
J(m ⁴)	6.4	12.0~20.0
Iy(m ⁴)	150	10.20~24.40
Iz(m ⁴)	2.66	11.99~45.22
ケーブル		
A(m ²)	0.006278~0.01343	

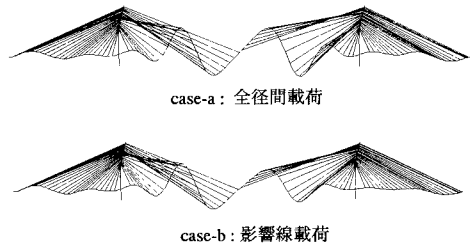


図-3 座屈固有モード

Key Words : 長大斜張橋, 弾性有限変位解析, 座屈固有値解析, 初期不整, 特異点

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

4. 解析結果とその考察 解析結果の一部として、図-4 および 5 に活荷重を全径間載荷(case-a)、および、影響線載荷(case-b)した場合における終局付近の荷重-変位曲線を、図-6 および 7 に、両ケースにおける特異点での荷重パラメータおよび線形化座屈固有値解析による固有値と初期たわみの大きさの関係をそれぞれ示す。

まず、図-4 より、逆対称モードの初期たわみ導入時の荷重-変位曲線は、1/10,000 の初期たわみを導入した場合、初期たわみのない場合の経路に最も漸近し、その導入量が大きくなるのにもよって、荷重-変位曲線が低下する傾向があることが解る。また、1/10,000 以外は荷重-変位曲線が単調増加となることから特異点は探索されなくなった。この 1/10,000 での特異点は変形モードが非対称の屈服点であり、分岐点やその分岐経路は探索されなかった。そこで、図中には、屈服点に代わる指標として、初期たわみなしの場合の弾性有限変位解析により探索された屈服点から垂直線を降ろし、初期たわみの大きさ別の荷重-変位曲線との交点も付記している。

この傾向は、図-5 で示した case-b においても同様であり、載荷位置の差異が終局挙動に及ぼす影響は少ないことが解る。したがって、対象としている活荷重は大きさや対称性の点で異なることから、直接的な対比は出来ないが、荷重パラメータという指標に対する安全率を考えると、両者の差異は小さいと思われる。

また、これらの図に、簡易弾塑性有限変位解析による結果も波線で併記し、部材の塑性化が始まった点を塑性化開始点として□で、演算不可能となる直前の点を塑性化ピーク点として■で示した。これより、図-4 および 5 から、両ケースともに、簡易弾塑性有限変位解析で得られた経路は、弾性有限変位解析で得られた初期たわみのない場合の経路にほぼ一致し、塑性化はおよそ $\alpha=2.6$ 付近で始まり、ピークに達する点は $\alpha=2.7$ 程度であることが解る。したがって、塑性化を考慮した耐力力評価に関しても載荷位置の差異が及ぼす影響は小さいといえる。

次に、図-6 および 7 より、初期たわみの導入量が大きくなるのに従って、特異点は探索されなくなったが、上述した特異点に代わる指標を設定することで荷重-変位曲線の低減を評価すれば、初期たわみの導入量とその荷重パラメータの値はほぼ直線的に比例し、導入量が大きくなるのに伴い荷重パラメータの値は低下する傾向を把握でき、1/500 程度の初期たわみを導入した場合、塑性化ピーク点の荷重パラメータに近づくことが解る。

一方、座屈固有値に着目すると、塑性化ピーク点に対応する初期たわみの導入量は、case-a において 1/1,000、case-b において 1/2,000 と差異を生じるが、両ケースとも初期たわみの導入量が大きくなるのに従って、固有値もほぼ直線的に低下することが解る。また、その低下の度合いは弾性有限変位解析結果より線形化座屈固有値解析結果の方が顕著であるといえる。

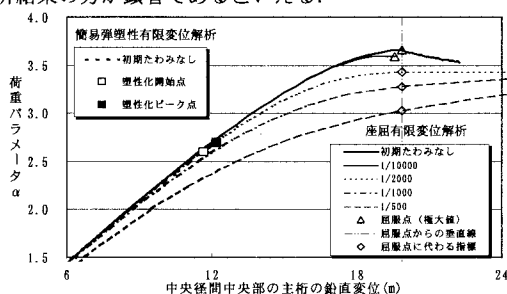


図-4 case-a における荷重-変位曲線

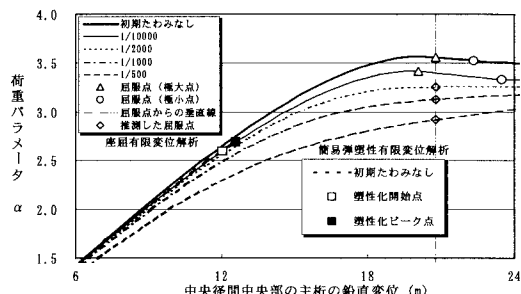
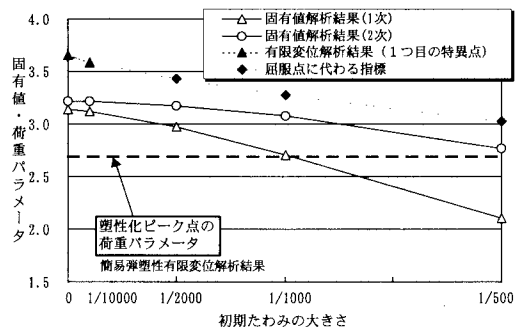


図-5 case-b における荷重-変位曲線

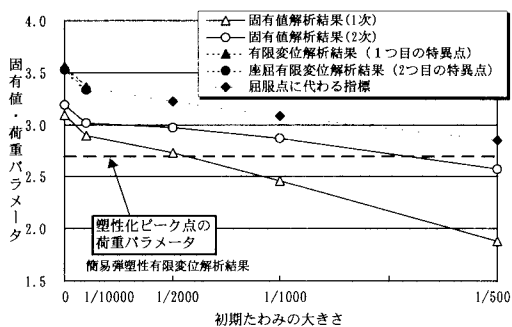


図-6 case-a の固有値・荷重パラメータと初期たわみの大きさ 図-7 case-b の固有値・荷重パラメータと初期たわみの大きさ

5. あとがき ゆえに、塑性化の影響を考慮した初期たわみの導入が座屈有限変位解析および線形化座屈固有値解析ともに可能であるといえる。また、塔に各々異なる量をとった初期たわみを導入した場合についても、今後、検討する必要がある。

参考文献

- 1) 土木学会：鋼構造物の終局強度と設計、鋼構造シリーズ 6, 1994. 2) 中村・前田・紺野・林・成田：長大斜張橋の分岐座屈特性に及ぼす主桁の初期たわみの影響、構造工學論文集、土木学会、Vol.45A, 1999.3. 3) 本州四国連絡橋公団：上部構造設計基準、本州四国連絡橋公団、1989.4.