

I - A132 長大斜張橋の初期不整の影響が及ぼす弾性分岐座屈挙動について

東京都 正会員 平野 和志
 東京都立大学 正会員 中村 一史・前田 研一・成田 信之
 長岡技術科学大学 正会員 林 正

1. まえがき 斜張橋の耐荷力はその長大化に伴って、主桁軸力が増大することから軸圧縮力が支配的な座屈安定性が問題となる。文献 1) では、長大斜張橋を対象に弾性範囲内で種々の座屈安定解析を行って、荷重および構造系の対称性の条件下では荷重条件に関わらず、基本的には対称変形で屈服現象を生じて終局となるが、終局付近に分岐点と非対称変形を呈する分岐経路の存在を明らかにしている。本論文では初期不整がこの弾性分岐座屈挙動に与える影響を明らかにすることを目的としている。初期不整は比較的影響の大きいと思われる製作誤差による初期不整を想定し、忠実な形状決定によって得られた初期形状(無応力形状)を変化させてこれらを考慮した。

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²⁾ (図-1)を用いた。解析モデルには、主桁を魚骨モデル、斜張ケーブルを全段 4 等分割したリンクケーブルモデルへモデル化し、斜張橋特有の設計条件を満足する立体有限変位解析モデルを用いた。表-1 に断面諸元を示す。また、有限変位解析における主桁の無応力形状と完成形状の鉛直高度(両端支点: 0m)を図-2 に示す。この図は、無応力形状に所定の死荷重とプレストレス(D+PS)の作用によって 2.7m 程度変位して完成形状となることを示している。無応力形状に初期不整(図中は後述の逆対称モード)を含んでいる場合(太い波線)、完成時に所定の形状条件を満足できず、太い実線が示すように初期たわみを生じる。このように厳密な解析によって形状決定された解析モデルの無応力形状に製作誤差に対応する初期不整を与え、(D+PS)に荷重パラメータを乗じた逐次増分荷重を作用させて、弾性有限変位解析により特異点を含む分岐経路および後座屈挙動を探索した。なお、主桁の水平方向の支持条件による効果も検討し、主桁両端における弾性支持の有無によってバネありおよびバネなしモデルと呼び、バネ定数を 1,000tf/m とした。

3. 初期不整 考慮した初期不整は 2 種類であり、完成系(D+PS)に対する線形化座屈固有値解析結果(表-2)から、最低次の逆対称座屈モードと最低次の対称座屈モードの相似形を初期不整として採用した。図-3、4 にバネなしおよびバネありモデルへ導入した初期不整を示す。

なお、バネなしモデルにおける最低時の座屈モードは遊動円木モードであるが、主桁の鉛直成分は図-3 a)からわかるように逆対称モードである。

また、初期不整の大きさとしては、中央径間長 1,000m に対して無応力形状に初期不整の最大値 1.0m を与えるケースを 1/1000 と表せば、それに加えて 1/2,000, 1/3,000, 1/10,000, 1/100,000 の 4 ケース、計 5 ケースを設定し、初期不整の大きさが及ぼす影響についても検討した。

4. 解析結果とその考察 解析結果の一部として、図-5、6 にバネなしおよびバネありモデルにおける終局付近の荷重-変位曲線を、図-7、8 に両モデルにおける初期不整の導入量と特異点の荷重パラメータの関係をそれぞれ示す。

まず、図-5 a)より、バネなしモデルに対して遊動円木モードの初期不整を与えた場合、全ケース

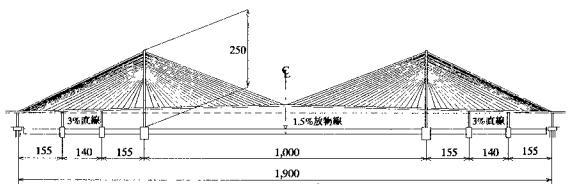


図-1 試設計モデルの一般図

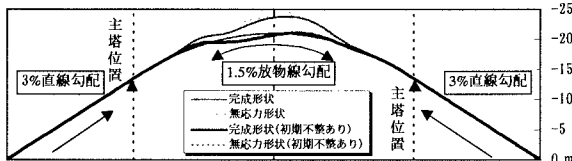


図-2 初期たわみを考慮した無応力形状と完成形状の鉛直高度

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	

表-2 線形化座屈固有値解析結果

次数	バネなしモデル		バネありモデル	
	固有値	モード	固有値	モード
1st	2.725855	遊動円木(逆対称)	3.729254	逆対称
2nd	3.809403	逆対称	3.836538	対称
3rd	3.836493	対称	3.848800	対称

Key Words : 長大斜張橋, 初期不整, 弾性有限変位解析, 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

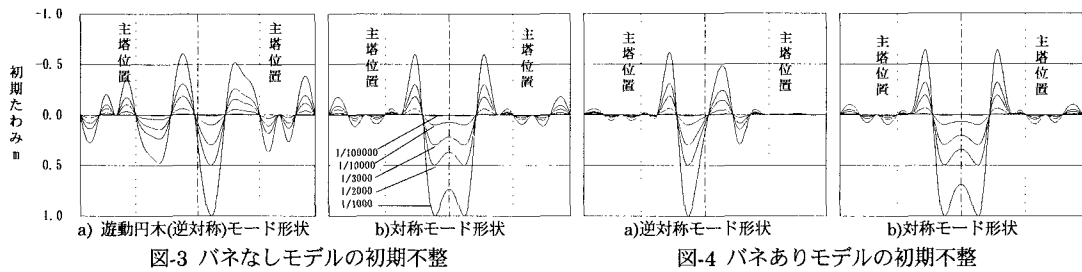
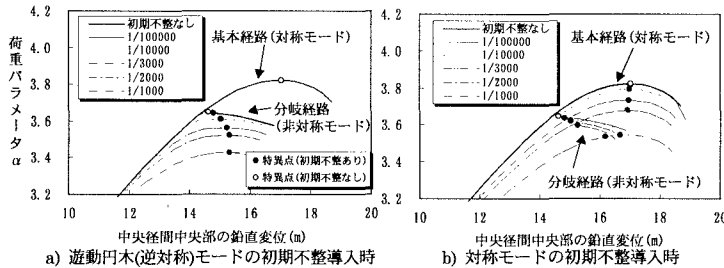


図-3 バネなしモデルの初期不整

図-4 バネありモデルの初期不整



a) 遊動円木(逆対称)モードの初期不整導入時

b) 対称モードの初期不整導入時

図-5 バネなしモデルにおける終局付近の荷重-変位曲線

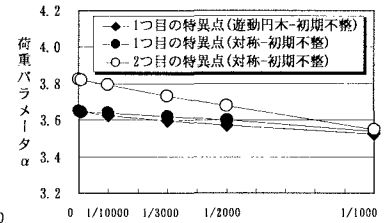
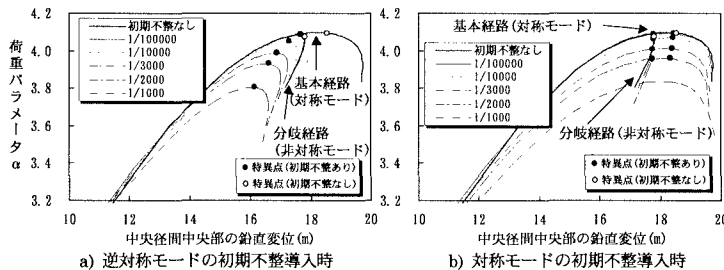


図-7 初期不整の導入量と特異点の荷重パラメータの関係(バネなしモデル)



a) 逆対称モードの初期不整導入時

b) 対称モードの初期不整導入時

図-6 バネありモデルにおける終局付近の荷重-変位曲線

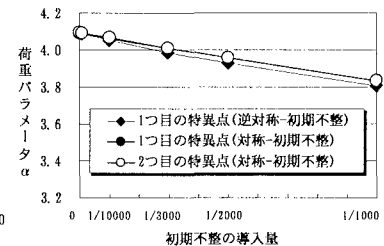


図-8 初期不整の導入量と特異点の荷重パラメータの関係(バネありモデル)

において特異点は1つのみ探索され、太い実線で示した初期不整のない場合に対応する対称モードの基本経路および2つ目の特異点は探索されなかった。また、初期不整を与えた全ケースで、初期不整のない場合の分岐点を越えることはなく、初期不整のない場合の非対称モードの分岐経路へ漸近するような終局挙動を示し、その漸近の傾向は初期不整の大きさが小さいほど強いことがわかった。このただ一つの特異点は荷重パラメータ α の極大点に一致することから屈服点に対応するが、終局時の変形モードは、初期不整の非対称性が大きく影響し、非対称モードの変形形状を呈した。この傾向は、図-6 a)に示すようにバネありモデルにおいても同様であった。

次に、図-5 b) および 6 b)より、バネなしおよびバネありモデルに対して、対称モードの初期不整を与えた場合、全ケースにおいて特異点は2つずつ探索された。太い実線で示した初期不整のない場合と同様に、1つ目と2つ目の特異点はそれぞれ分岐点、屈服点に対応すること、および、非対称モードの分岐経路の存在を確認できた。さらに、各特異点における荷重パラメータ α の値は、初期不整のない場合に比べて小さくなることがわかった。

一方、図7および8からは、荷重パラメータ α の値と初期不整の導入量とが直線的に比例することがわかる。なお、図を略したが、バネなしモデルに対して表-2の2次の逆対称モードを初期不整として同様の解析を行った結果、初期不整の大きさによらずに非対称モードの分岐経路に近接することがわかっていてる。

5.あとがき 無応力形状に製作誤差に対応する初期不整を考慮した長大斜張橋の有限変位解析モデルを用いて弾性範囲内での座屈安定解析を行った結果、分岐経路および基本経路に対して、各々に対応する最低次の座屈モードが終局挙動に支配的であること、および、分岐点および屈服点の荷重は初期不整の大きさに比例的に依存することがわかった。なお、弾塑性領域まで考慮した場合の解析結果については文献3)を参照されたい。

【参考文献】 1) 中村・前田・林・成田：長大斜張橋の座屈安定解析に関する2,3の考察，構造工学論文集，Vol.44A，土木学会，1998.3. 2) 星埜・宮田：長大斜張橋(支間1,000m)の試設計、橋梁と基礎、1990.2. 3) 師山・紺野・前田・中村・成田・林：長大斜張橋の初期不整を考慮した弾塑性有限変位解析，土木学会 第53回年次学術講演会講演概要集(Ⅰ)，1998.10.