

I-10 主塔の座屈変形に着目した長径間吊橋の立体有限変位解析に関する2, 3の考察

川田テクノシステム(株) 正員 山野 長弘

長岡技術科学大学 正員 林 正

川田工業(株) 正員 前田研一・内海 靖・勝俣 盛

1. まえがき 明石海峡大橋を頂点としたわが国における吊橋の長大化の歴史とともに、設計、架設計算に適用される解析法も大きく変遷してきた。このような状況の下、著者らは、従来は汎用非線形解析プログラムによる解析が主であった立体有限変位解析の分野において、補剛トラスを忠実に立体トラスモデルに置き換えた全橋モデルを対象とする場合でも、明石海峡大橋級の長径間吊橋の完成系、および、任意の架設系における解析計算をパソコン、あるいは、ワークステーションで実行できる解析プログラムを独自に開発した¹⁾。本解析プログラムには、立体解析特有の主塔の形状決定計算法や、有限回転を考慮した解式^{2), 3)}をより一般的な形で誘導し直したものなどが組込まれ、吊橋独特の設計条件を完全に満足し、かつ、安定な収束性を有する解析計算の実行が可能である。

文献1)においては、明石海峡大橋の計画段階での諸元⁴⁾を参考にした各種モデルを対象に、死荷重(D)に加えて活荷重(L)、あるいは、風荷重(W)を載荷した完成系、および、架設時荷重(ER)、あるいは、架設時風荷重(W_{ER})を載荷した架設系(補剛桁を約50%、主塔から両側に張出し架設した系)の解析計算を実行し、計算法や解式の妥当性、および、解析プログラムの有用性を検証している。しかしながら、設計荷重載荷の範囲内では変形はそれ程大きくはなく、非線形性も比較的小さかったことから、非線形性の高い状態における安定な収束性については十分検討できたとはいえない。そこで、本報告では、吊橋主塔の座屈変形に着目した全橋モデルの完成系の解析計算を実行し、本解析プログラムの主塔耐荷力解析⁵⁾への適用の可能性、および、極限状態に至るまでの収束性に関して2, 3の考察を加えた結果について報告する。

2. 解析目的と内容

吊橋主塔の耐荷力解析は、今日においても、全体系の解析では弾性有限変位解析が行なわれ、荷重倍率を増加させて得られる各々の状態での塔頂の鉛直反力(V)と橋軸あるいは橋軸直角方向変位(δ)の関係などを用いて、主塔のみの部分構造系を対象に弾塑性有限変位解析が行なわれるのが一般的である。これは、全体系の弾塑性有限変位解析を極限状態まで実行するには膨大な計算量を必要とすること、および、上述の手法によっても実用上十分な精度で安全な設計が可能であるからである。したがって、この手法における全体系の弾性有限変位解析に本解析プログラムはそのまま適用でき、その収束性の高さによっては演算時間がかなり短縮され、より効率的な解析計算が可能である。

また、斜張橋主塔の耐荷力解析では既に全体系の弾塑性有限変位解析が行われており、将来、吊橋主塔に関しても同様の解析によるより厳密な検討が必要となる場合も十分に考えられる。

このような場合
に、

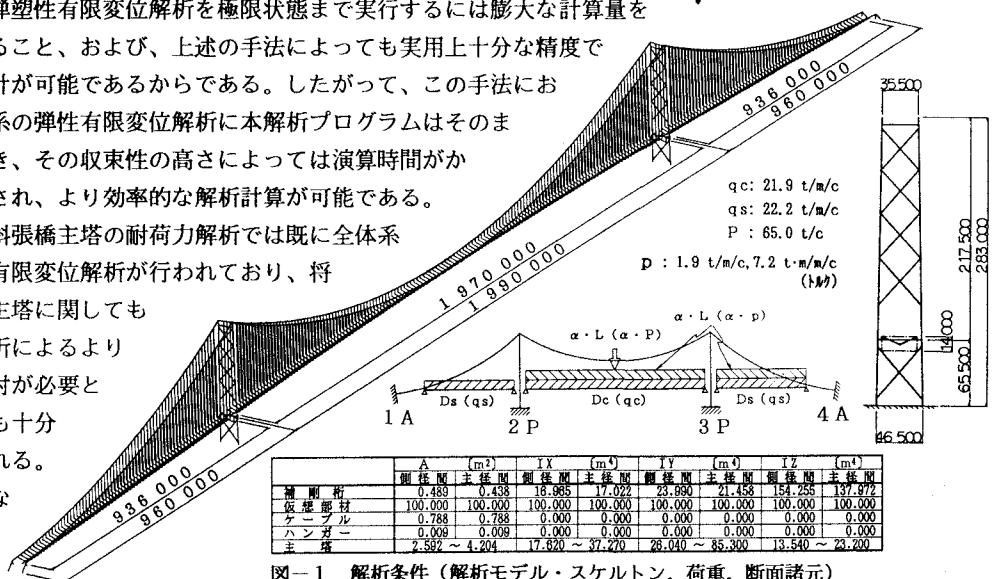


図-1 解析条件(解析モデル・スケルトン、荷重、断面諸元)

本解析プログラムは、降伏域の進展を考慮した任意閉断面を有する骨組部材の解式を組み込む必要があるが、座標変換に関してはそのまま適用できる。したがって、弾性座屈は実橋主塔では起こり得ない現象であるが、極限状態に至るまでの弾性有限変位解析を実行し、その収束性を把握しておくことは、本解析プログラムで新たに組み込まれた有限回転を考慮した座標変換に関する解式の有効性の範囲を確かめる上で重要である。

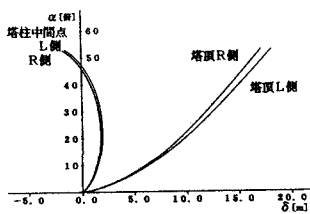
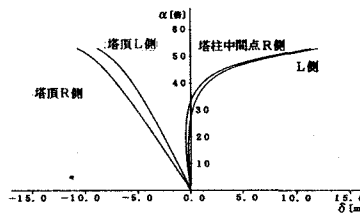
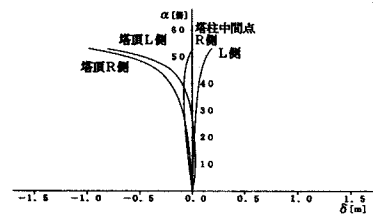
このような観点から、図-1に示すように、立体全橋モデルを対象に弾性有限変位解析を実行し、載荷荷重 $D + \alpha L$ の荷重倍率 α を1.0から順次増加させて、反復計算が未収束となる状態まで計算を行った。なお、NASTRAN によって α に対応する全体系の座屈固有値も求めた。

3. 計算結果と考察 計算結果の一部を図-2～5、および、表-1, 2に示す。ここに、トルクはL荷重のトルク成分、ステイはセンターステイとエンドステイである。また、計算には NEC・EWS4800/30を用い、許容収束誤差は 10^{-3} m 、 10^{-2} ton とした。

表-1 座屈固有値 (NASTRAN)

トルク	ステイ	2 P	3 P
有	有	73.1	61.2
有	無	57.7 ^(a)	56.4
無	有	80.1	63.5
無	無	79.8	63.5

(注) 主塔と補剛桁の変位成分が連成した解

図-2 2P主塔の橋軸方向変位
(トルク有、ステイ有)図-3 3P主塔の橋軸方向変位
(トルク有、ステイ有)図-4 3P主塔の橋軸直角方向変位
(トルク有、ステイ有)

これらの計算結果からは、次のようなことがいえた。まず、今回の解析計算は橋軸方向の弾性座屈変形に着目したものであったが、3P側主塔の $\alpha - \delta$ 曲線がかなり傾いた状態 ($\alpha=50$) でも、収束回数は5～6回で初期の状態とほとんど同じであり、その後、急激に収束性が悪化して未収束となることがわかった。しかし、この未収束の状態はほぼ極限状態に達しており、本解析プログラムに組み込まれた解式の妥当性、および、有効性は十分であるといえた。また、極限状態に近い状態では、左右の塔柱の変位差や、橋軸直角方向変位に関しても無視できないこと、および、NASTRAN の解析では、ステイがない場合に、主塔変位成分が支配的な解の他、主塔と補剛桁の変位成分が連成した解が得られ、固有値にも影響がみられることなどもわかった。

4. あとがき 今回の計算では初期たわみを考慮しなかったために、3P側の主塔が2P側よりも先に座屈した。この初期たわみを考慮した解析計算についても、現在、実行中である。

[参考文献]

- 1) 林 正・前田研一・増井由春・内海 靖・山野長弘：長径間吊橋の立体有限変位解析，構造工学論文集，Vol.37A，1991。
- 2) 前田幸雄・林 正：立体骨組構造の有限変位解析，土木学会論文報告集，No.253，1976。
- 3) 前田幸雄・林 正：充実曲線材の有限変位理論，構造工学論文集，Vol.32A，1986。
- 4) 保田雅彦・平原伸幸：明石海峡大橋補剛桁の耐風性（中間報告），本四技報，Vol.13，No52，1989。
- 5) 本州四国連絡橋公団：吊橋主塔設計要領・同解説，海洋架橋調査会，1989年4月。

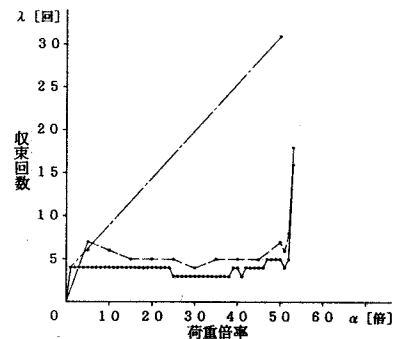
図-5 各増分ステップの収束回数
(トルク有、ステイ有)

表-2 3P主塔中間点の橋軸方向変位 (m)

トルク	ステイ	塔柱	$\alpha=1.0$	$\alpha=2.0$	$\alpha=3.0$	$\alpha=4.0$	$\alpha=5.0$
有	有	L	-0.395	-0.543	-0.284	1.107	7.376
		R	-0.185	-0.184	0.178	1.604	7.961
有	無	L	-0.407	-0.572	-0.320	0.985	7.002
		R	-0.156	-0.183	0.152	1.506	7.590
無	有	L	-0.282	-0.367	-0.047	1.350	7.651
		R	-0.282	-0.367	-0.047	1.350	7.651
無	無	L	-0.284	-0.380	-0.088	1.240	7.280
		R	-0.284	-0.380	-0.088	1.240	7.280