

ケーブルの弛緩を考慮した長大斜張橋の座屈有限変位解析

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 栃木県 中田 聡

1. まえがき 長大化の一途を辿る吊形式橋梁において、その構造系全体の耐荷力照査には各種様々な方法が採られている。本研究は、座屈固有値解析との対比を考へて、長大斜張橋の漸増荷重による弾性有限変位解析に適用する漸増プレストレス¹⁾の合理的な処理法を提案し、中央径間長1,000mの試設計例を対象とした解析結果から、その妥当性と有用性、および、ケーブルの弛緩の影響について検討したものである。

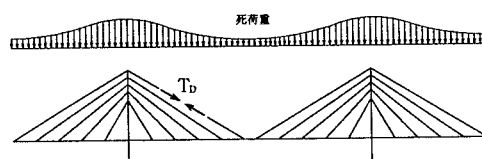
2. 漸増プレストレスの処理法 斜張橋のケーブルの完成時設計張力は、一般に図-1の(a)のモデルと載荷状態による張力 T_0 と(b)による T_{ps} (プレストレス)の和で与えられる。文献2)には、この特有の設計条件を完成形状で完全に満たす立体有限変位解析を実行するため、ケーブルの無応力長 l_{c0} (完成長 l_c 、弛緩の影響を考慮できるリンクケーブルの場合は無応力形状も)と、主桁、主塔の無応力形状を算定する形状決定法が示されている。実際の計算では、決定された主桁、主塔の無応力形状の座標の入力によって、ケーブルの初期長 l_{c1} が定まることから、調整長 $\Delta l_c = l_{c0} - l_{c1}$ を付加して無応力長 l_{c0} に一致させる必要がある。

(a)死荷重載荷モデル

この調整長 Δl_c を付加しない状態での死荷重载荷による張力が T_D に対応することから、 Δl_c の付加による張力の変化が T_{ps} に対応することになる。従って、 Δl_c を荷重データの一つとして取扱えば、荷重パラメータ α に関して通常の荷重と同様にプレストレスを漸増できることになる。荷重増分から変位増分に移行する場合も、 α の値の変化に換算して荷重を制御すればよい。プログラム修正は計算ルーチンの根幹には関係なく、温度荷重に換算して初期長を調整すれば汎用コードでも対処可能である。

3. 解析プログラムと解析条件 Total Lagrangian表示の移動座標系(Co-rotational Method)で剛体回転を除去でき、座屈後の挙動も追跡できる文献²⁾における解析プログラムに上述の処理法を組み込み、計算に用いた。解析対象には、図-2に示す中央径間長1,000mの試設例³⁾を参考に、表-1の断面諸元を有する立体モデルを、A形またはH形の主塔、および、直線ケーブルモデルまたは弛緩の影響を考慮するために全

(a)死荷重載荷モデル



(b) プレストレス算定モデル

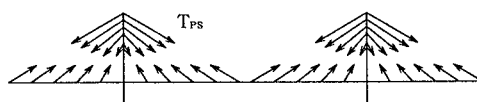


図-1 完成時設計張力

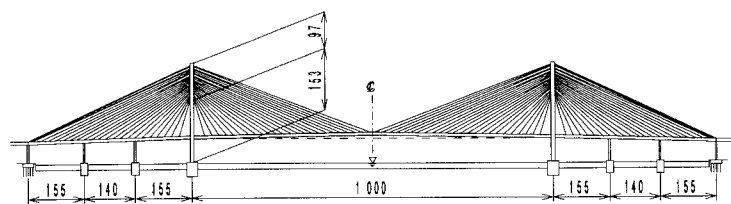


図-2 試設計例の一般図

表-2 荷重組合わせ条件

case	荷重条件
case a)	α (D+PS)
case b)	α (D+PS+L)
case c)	α (D+L)
case d)	(D+PS) + α (L)
case e)	(D+PS) + α (W)

D : 死荷重
PS: プレストレス
L : 活荷重
W : 風荷重
 α : 荷重パラメータ

表一 1 断面諸元

	A形塔を有するケーブル		H形塔を有するケーブル	
	主 桁	主 塔	主桁	主 塔
A (m ²)	1.58	1.24 3.30	1.58	1.23 3.26
J (m ⁴)	6.4	12.0 20.0	6.4	12.0 20.0
I y (m ⁴)	150	10.20 24.40	150	10.16 24.31
I z (m ⁴)	2.66	11.99 45.22	2.66	11.86 44.72
E (t/m ²)	21000000	21000000	21000000	21000000
G (t/m ²)	8100000	8100000	8100000	8100000
	ケーブル		ケーブル	
A (m ²)	0.006278 0.01343		0.006275 0.01343	
E (t/m ²)	20000000		20000000	

段のケーブルを4分割したリンクケーブルモデルを組合わせ、4種類作成した。荷重の種類は死荷重、プレストレス、活荷重⁴⁾、および、風荷重(基本風速 40m/sec)⁵⁾とし、表-2に示すように、case a) ~ e) の5ケースの組合わせを考え、荷重パラメータ α を原則として計算不能になるまで漸増させることとした。

4. 解析結果とその考察 解析結果の一部として、case a) ~ c) での α と無応力形状を基準とした中央径間1/2点の主桁鉛直変位との関係を図-3に、case d), e) での完成形状を基準とした同じ点の主桁鉛直変位または面外変位との関係を図-4に、case e) でのA形主塔の2モデルの終局時変形状態を図-5に示す。

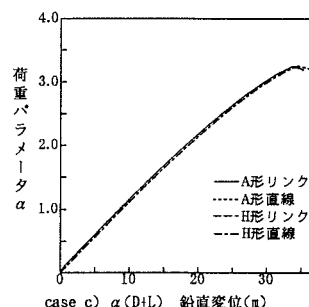
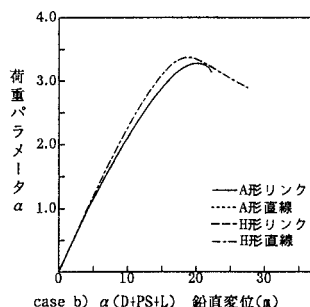
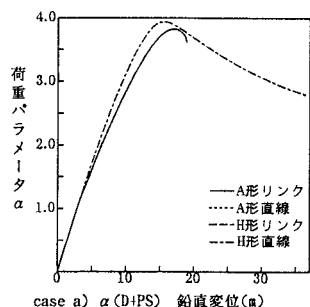


図-3 無応力形状を基準とした中央径間1/2点の主桁変位

図-3から、荷重-変位曲線は特にプレストレスを含まないcase c)の場合に大きく異なるが、 α_{max} の値には、若干小さくなる傾向がみられるものの、大きな差異のないことが解る。剛度を等価にしたことにより塔形状による差異はなく、ケーブルの弛緩の影響も小さい。また、ここでは図を省略し、検討の余地もあるが、case c)の場合、終局に近づくとき変形のバランスを崩し、構造全体が非対称に変形して計算不能になる現象がみられた。

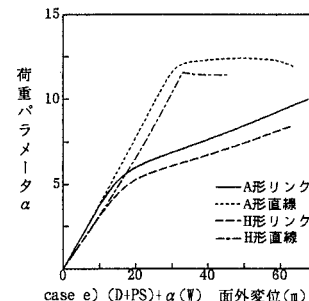
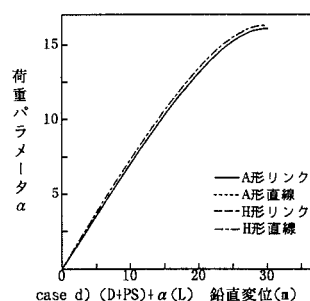


図-4 完成形状を基準とした中央径間1/2点の主桁変位

図-4からは、まず、case d)の α_{max} の値は当然大きい、無応力形状と完成形状との差を加えれば、 α_{max} 時の鉛直変位はcase c)と大差ないことが解る。一方、case e)の漸増風荷重載荷の場合、塔形状による差異を無視できないこと、および、 $\alpha=1.0$ では殆どなかったケーブルの弛緩の影響が、 α の増加に伴って急激に顕著になって、大きく異なる荷重-変位曲線を描き、危険側になることが解る。図-5からは、終局時の変形モードが異なることも解る。

(1)リンクケーブルモデル
case e)

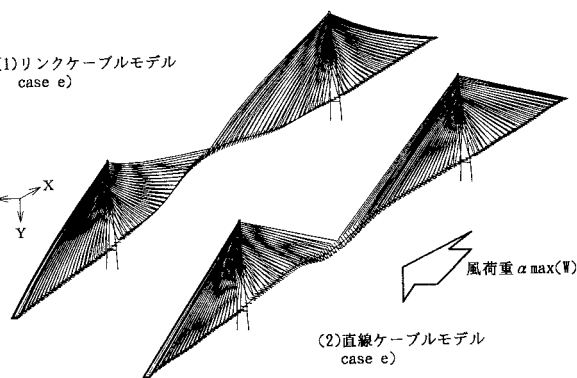


図-5 A形塔モデルの終局状態における変形図

5. あとがき 検討の結果、提案した吊形式橋梁特有の漸増プレストレスの処理法が合理的かつ有用であることを検証できた。また、長大斜張橋におけるケーブルの弛緩の影響が、風荷重載荷時、終局に至る荷重-変位曲線を大きく変化させ、ここでは危険側となることが解り、十分な配慮を必要とすることを指摘できた。最後に、川田テリシステム 山野長弘氏の主に解析プログラムへの支援に対し、心より謝意を表したい。

[参考文献] 1)北田・野口・丹生・狩野:鋼斜張橋の耐荷力解析におけるプレストレスの取扱いに関する一考察, 構造工学における数値解析法シンポジウム論文集, Vol. 18, 1994. 2)前田・林・瀬戸内・中村・成田:長大斜張橋の立体有限変位解析, 構造工学論文集Vol. 41A, 1995. 3)星埜・宮田:長大斜張橋(支間1,000m)の試設計, 橋梁と基礎, 1990. 2. 4)本州四国連絡橋公団:上部構造設計基準・同解説, 昭和55年6月. 5)本州四国連絡橋公団:耐風設計基準(1993)・同解説, 平成6年3月.