

I - 30

長大斜張橋の立体有限変位解析における形状決定

東京都立大学 正員 前田 研一・中村 一史・成田 信之
長岡技術科学大学 正員 林 正・東京都立大学大学院 佐藤 廣直
川田工業 瀬戸内 秀規・鷺鴻池組 大井 孝晃

1. まえがき

中央径間長890mの多々羅大橋の建設が佳境に入った現在, 1,000m級の長大斜張橋時代の到来も間近いとされている。それに伴って非線形の立体有限変位解析法¹⁾を適用する必要性が高まっているが, 断面を決定する際の基本的な設計計算は線形の微小変位解析法により行われ, 有限変位解析法は設計断面力の補正や, 架設計算に用いられるのが一般的で, 今後もその位置付けは大きくは変わらないものと思われる。したがって, 微小変位解析から定められたプレストレスを含む設計張力がケーブルに作用した状態で主桁, 塔が所定の完成形状となるように, 形状決定を行って有限変位解析モデルを作成する必要があるが, その計算手法は平面解析においても確立されているとは言えない。また, 立体解析では, ケーブルに関して, 自重によるサグのみならず, 任意方向荷重による弛緩の影響が考慮されなければならない。本研究は, このような観点から, 長大斜張橋の立体有限変位解析における主桁, 塔, ケーブルの形状決定を簡便かつ十分な精度で実行できる計算手法を提案し, 中央径間長1,000mの試設計例に適用して, その妥当性と有用性を検証したものである。

2. 解析プログラムと形状決定

斜張橋の設計では, 平面骨組解析を経て立体骨組解析に至るのが一般的であり, 平面モデルの構造データに最小限のデータを追加するのみではほぼ自動的に立体モデルに変換できれば, 解析計算の効率化が図られる。また, 厳密とはいえないが, 平面モデルによる計算結果を組み合わせることによって, 実用上十分な精度で立体モデルの形状決定を行えば, 非常に効率的である。そこで, 著者らは, まず, 以下に提案するような形状決定の計算手法を導き, 平面有限解析プログラムに組み込んだ。さらに, 平面モデルにおける構造データとそれによる形状決定結果, および, 最小限の追加データを用いてほぼ自動的に立体モデルを作成でき, 長大斜張橋の立体有限変位解析を実行できる解析プログラムを開発した。

3. 主桁, および, 塔の無応力形状

主桁, 塔の無応力形状については, 橋軸, 鉛直, および, 橋軸直角方向をそれぞれX, Y, Z軸にとり, X-Y平面と, Y-Z平面に分けて形状決定を行うものとした。

(1) X-Y平面(主桁, 塔の座標 X_0 , 主桁の座標 Y_0)

通常の平面解析に対応するものとして, 文献2)に既に提案済であり, ケーブル定着点と主桁中立軸の偏心を考慮できるモデルを対象に, 有限変位解析結果を用いた反復計算により求めることができる。ただし, 例えばA形塔のように塔柱が傾斜し, ケーブルがX-Y平面内でない立体モデルの諸元を基準としている場合は, 塔柱の断面積, 断面2次モーメント, および, 外荷重として作用させるケーブル張力のX, Y方向成分を等価な値に置き換える必要がある。

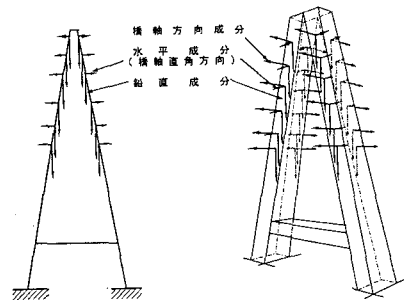


図-1 塔の作用外荷重

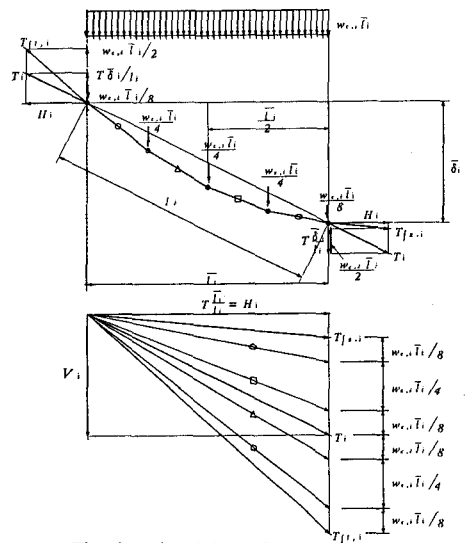


図-2 リンクケーブル

（2）Y-Z平面（塔の座標 Y_0 、 Z_0 — 主桁の座標 Z_0 は完成形状の既定値 Z_c に一致）

主桁については必要ないが、塔面内の無応力形状を定める必要があり、図-1に示すような平面モデルを対象にすれば、文献2)と同様の反復計算により求めることができる。塔の座標 Y_0 に関しては、X-Y平面における形状決定からも得られるが、この平面から得られたものを用いる。ただし、上述の場合とは逆に、平面モデルの諸元を基準としている場合は、傾斜した塔柱の断面積を等価な値に置き換える必要がある。

4. ケーブルの完成形状と無応力長

任意方向荷重によるケーブルの弛緩の影響を考慮するために図-2に示すようなリンクケーブルを考え、自重によるサグを生じた状態で、直線ケーブルによる微小変位解析から定められたプレストレスを含む完成時設計張力の作用状態に適合するように形状決定を行うものとした。図-2は着目したケーブルの主桁側、塔側の両定着点を含む鉛直平面内で描かれたものであり、この図によれば、 T_i を所定の設計張力として力の釣り合いから、各リンク部材の導入張力および中間点の座標 Y_c （ X_c 、 Z_c は等分割で既定値）を求めることができる。したがって、完成時の部材長と導入張力を用いて逆算により、ケーブルを構成する各リンク部材の無応力長を算定できる。ただし、ケーブルがX-Y平面内にはない場合には、設計張力および断面積について、平面モデルと立体モデルとの等価性を満足させる必要がある。なお、ここでは、一本のケーブルを4分割したリンク構造を対象としたが、より精度を高めるために分割数を増やす必要がある場合にも同様の手法で形状決定を行える。また、平面モデルに対応する解析理論としてサグを考慮した放物線ケーブルの計算式³⁾があるが、本手法がそれによる形状決定から得られる完成時平衡状態にも適合していることは明らかである。

5. 試設計例への適用

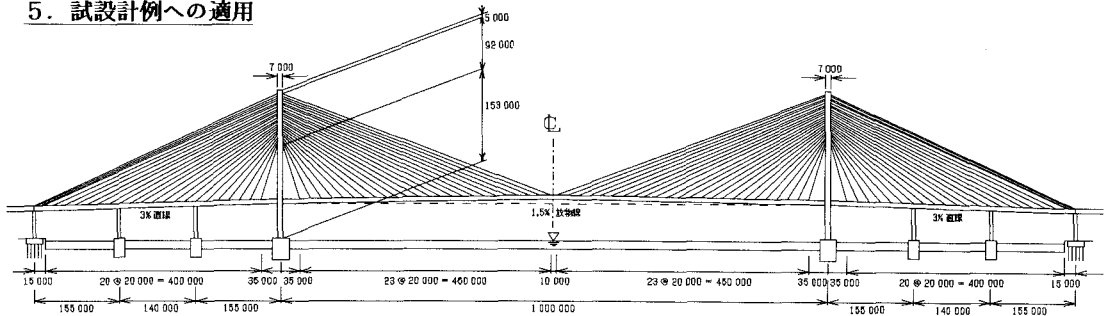


図-3 長大斜張橋(中央径間長1,000m)の一般図

中央径間長1,000mの長大斜張橋の試設計例（図-3参照）⁴⁾への適用結果の一部として、全段のケーブルをリンク構造とした立体有限変位解析モデルの完成時平衡状態、および、A形塔の無応力形状を図-4に示す。ここに、本解析モデルの節点数は1,281、部材数は1,664（直線ケーブルモデルの場合、705節点、896部材）であった。

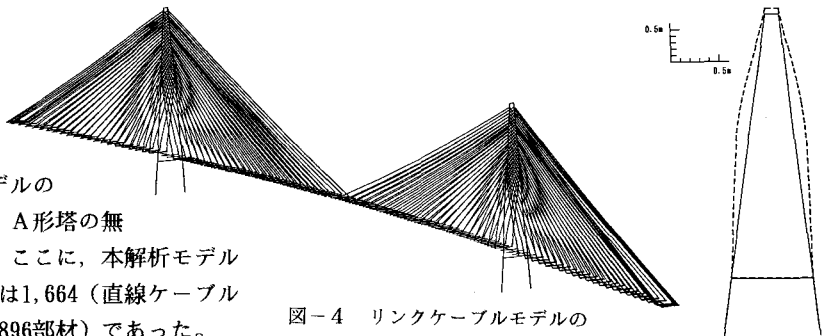


図-4 リンクケーブルモデルの

完成時平衡状態および塔面内の無応力形状

6. あとがき

以上の結果から、提案した形状決定の計算手法の妥当性および有用性が検証され、特有の設計条件を満たし、任意方向荷重によるケーブルの弛緩の影響を考慮した長大斜張橋の立体解析を実用上十分な精度で行えることが確かめられた。最後に、山野長弘氏(川田テクノシステム監)のご協力に対し心より謝意を表したい。

〔参考文献〕 1)前田幸雄・林 正：立体骨組構造物の有限変位解析，土木学会論文報告集，No. 253，1976。 2)前田研一・瀬戸内 秀規・成田信之・今井賢文・保坂俊晃：長大斜張橋の形状決定に関する2、3の考察，土木学会第48回年次学術講演会講演概要集，1993。 3)前田幸雄・林 正・前田研一：サグを考慮したケーブル部材の計算式，土木学会論文報告集，No. 257，1977。 4)星埜正明・宮田利雄：長大斜張橋(支間1,000m)の試設計，橋梁と基礎，建設図書，1990. 2。