

主ケーブル2次応力の簡易計算法と超長大橋への適用

首都大学東京大学院 学生員 矢作慎平
首都大学東京 フェロー 前田研一・正会員 中村一史*

1. まえがき

次世代の新しい吊形式橋梁の一つとして、著者らは、従来の斜張橋と吊橋を組み合わせ、それぞれの長所を生かし短所を補い合う合理的な構造システムである超長大斜張吊橋を提案している¹⁾。その実現性を確かめるために、架設時における構造特性や主ケーブルに発生する2次応力を明らかにしてきたが²⁾、これらの解析方法は、全体構造系から部材を除去することによる解体計算に基づくものであった。本研究では、主ケーブルの架設時挙動や2次応力特性をより簡便なモデル化により解析する方法を提案し、その妥当性を超長大橋の斜張吊橋および吊橋に適用して、解体計算、および、架設の順番を考慮した組立計算により検証する。

2. 主ケーブル2次応力の簡易計算法と解析手順

ここでは、簡易モデルを用いた解体計算と組立計算の2つの簡易計算法を提案する。それらの解析手順を図-1にフローチャートで示す。まず、全体構造系モデルにおける完成時の状態から部材を除去する解体計算(I)により、各架設ステップに応じた塔頂変位、ハンガー張力を抽出する。この時の解析は1次応力解析である。

次に、解析モデルを簡易化するために、1本のケーブルモデル（以下、簡易モデルと呼ぶ）を用いる。この簡易モデルで完成時の状態を作成し、(I)の解体計算で求められた各架設ステップに応じた塔頂変位およびハンガー張力を等価節点力に置換したものをを用いて、解体計算による2次応力解析を行う(II)。

一方、簡易モデルを用いて、組立計算を行う場合には、フリーケーブル時の状態のケーブルモデルを作成し、(I)の解体計算で求められた各架設ステップに応じた塔頂変位、ハンガー張力を用いて組立計算を行う(III)。この時、各架設ステップに応じたハンガー張力成分に相当する等価節点力の載荷および逆方向の塔頂変位を考慮する。ここで、組立計算では、図-2に示すように、フリーケーブル時から開始するため、完成時に、塔頂に固定されたサドル形状の角度を、フリーケーブル時に表現するために、塔頂部の節点に回転変位を与える必要がある。

3. 超長大吊形式橋梁への適用例

3.1 解析モデルと解析条件

中央径間長 2,500m の長大吊形式橋梁を対象とし、図-3に示すように、斜張区間と吊区間の区間長比1:1の斜張吊橋と、従来形式である吊橋を比較検討した。架設条件として、主桁パネルの増加に伴う架設ステップを斜張吊橋では

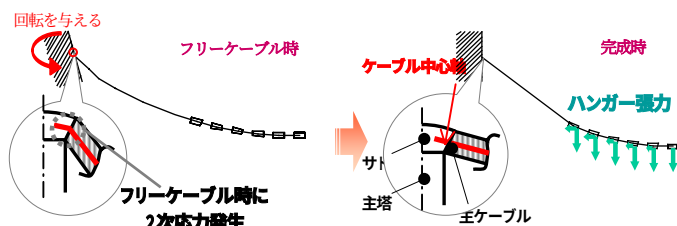


図-2 簡易モデルによる組立計算の概略図

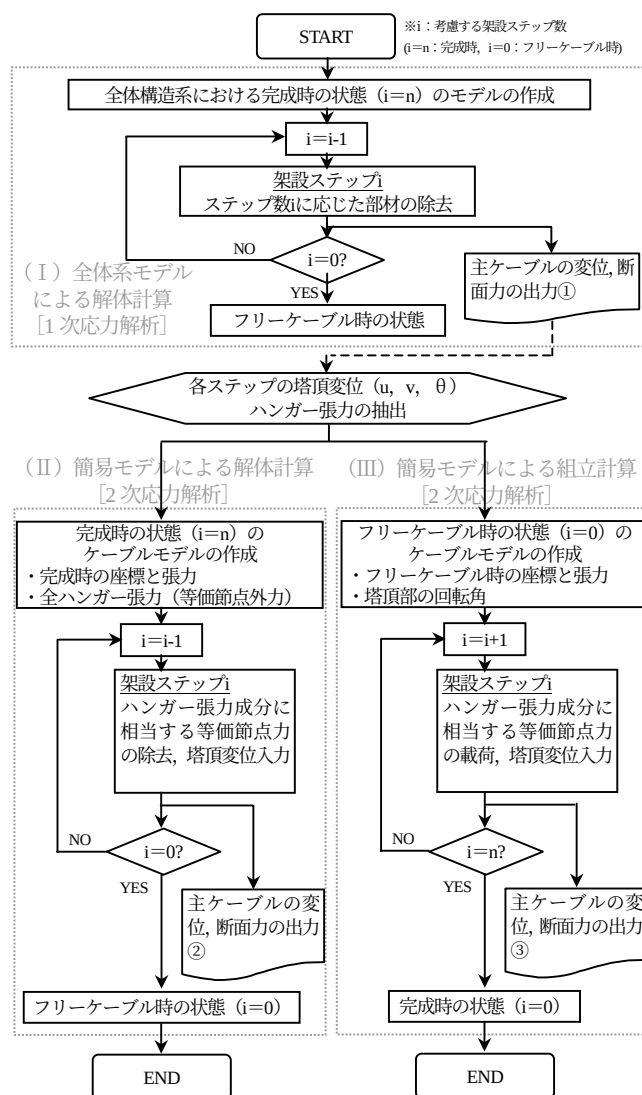


図-1 解析フローチャート

Key Words：超長大橋梁，2次応力，架設系，解体計算，組立計算

*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

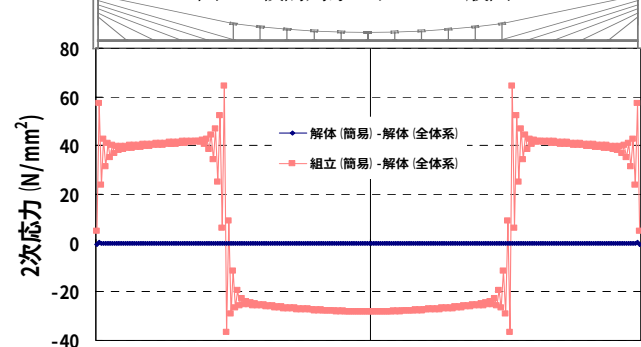
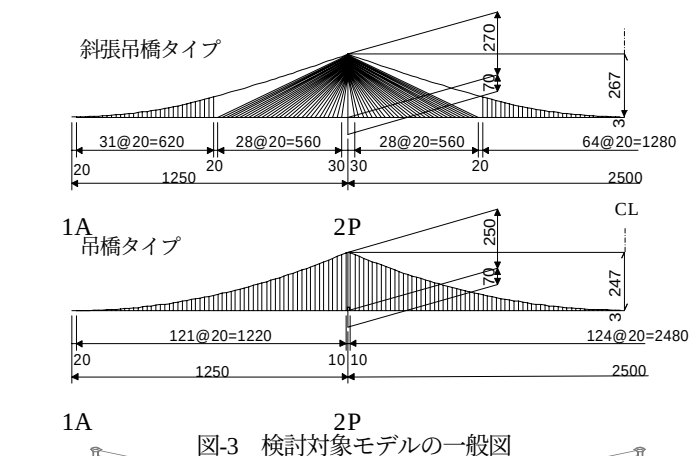


図-5 フリーケーブル時の各解析モデルにおける主ケーブル上縁に生じる 2 次応力の全体構造系モデルとの比較

6 段階、吊橋では 7 段階設定し、各ステップに応じた荷重条件を考慮した。解析には、架設時の主ケーブルの 2 次応力を含む最大張力を把握するため、塔頂サドルとケーブルバンドを剛体とみなし、バンド間で剛結される主ケーブル断面の偏差応力および各素線の曲率変化に伴う 2 次曲げモーメントによって生じる応力を 2 次応力と定義し、主ケーブルの 2 次応力解析を行った。

3.2 主ケーブルに発生する 2 次応力の評価

まず、超長大斜張吊橋モデルを数値計算例として簡易モデルによる解体計算、組立計算の 2 次応力解析結果（図-1 中の出力②、③）と、全体構造系モデルで行った解体計算による 2 次応力解析結果の比較により、簡易計算法の妥当性を検証する。その結果として、図-4 にフリーケーブル時の各モデルにおける主ケーブル上縁に生じる 2 次応力を、図-5 に全体構造系モデルからの 2 次応力の差を比較して示す。図-4 より、2 次応力は、解体計算では全体構造系モデルと簡易モデルとで一致していることが解る。また、組立計算については、図-5 より、塔頂部では一致しているが、それ以外では約 30～60 N/mm² の差異が生じている。フリーケーブル時において、組立計算では、図-4 より塔頂付近以外のケーブルバンド部では、2 次応力が発生しないのに対し、解体計算では、2 次応力が発生している。これは、フリーケーブル時において、通常、バンドの締め付けが行われるため、組立計算における結果の方がより現実的な挙動を表現していると考えられる。解体計算ではこれらの挙動が考慮されないことから、この点においては組立計算を用いて検討する必要があるといえる。なお、図を略したが、これらすべてのケースにおいて変形特性と 1 次応力特性では良い一致が見られたことから、簡易モデルによる解体計算および組立計算の妥当性を検証することができた。

最後に、簡易ケーブルモデルを用い、組立計算に基づいて解析を行った結果として、各架設ステップで発生する 2 次応力と 1 次応力を合わせた応力について、吊橋タイプと比較して図-6 に示す。このように、各架設ステップにおける 2 次応力を含む応力状態の変化が、斜張吊橋と吊橋で異なる挙動も適切に評価できることが確かめられた。

4. まとめ

全体構造系モデルと簡易モデルによる解体計算で 2 次応力特性に一致がみられたことから、簡易モデルによる計算法の妥当性を検証することができた。また、サドル形状やケーブルバンドの角度を考慮できる組立計算の計算法を提案し、その妥当性と有用性を示した。さらに、斜張吊橋と吊橋で主ケーブルの 2 次応力特性が異なる挙動も適切に評価できることが確かめられた。

- 参考文献** 1) 前田幸雄, 林正, 前田研一: 主ケーブルの 2 次応力を考慮した吊橋の有限変位解析, 土木学会論文報告集, 第 315 号, 1981.11.
2) 勝村真由, 前田研一, 中村一史: 超長大斜張吊橋架設系の 2 次応力解析, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 第 59 回, 第 1 部, 1-528, pp.1053-1054, 2004.9.

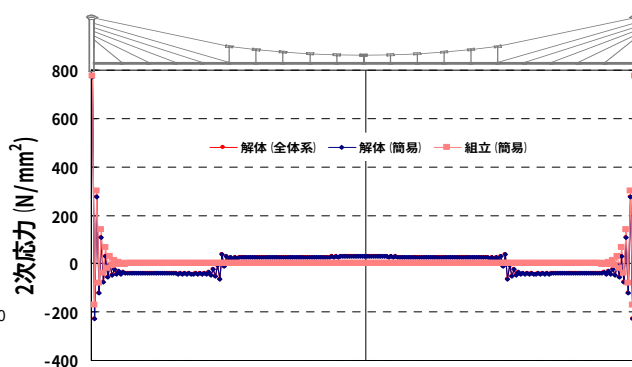


図-4 各モデルの主ケーブル上縁に生じる 2 次応力

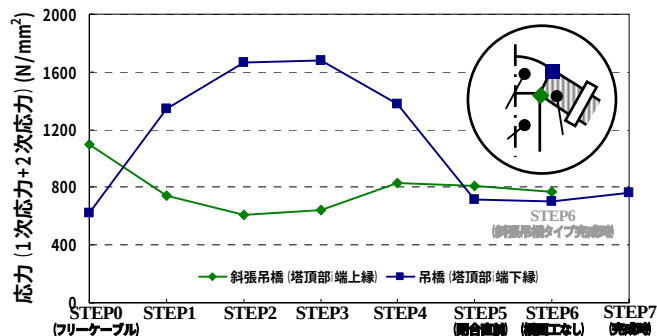


図-6 各着目点に生じる応力（1 次+2 次）