

(株)	宮地鉄工所	正員	後藤 茂夫
(株)	宮地鉄工所	正員	○新村 祐南
(株)	宮地鉄工所	正員	和田 忠治

1. まえがき

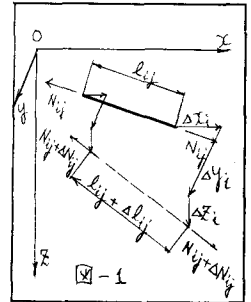
本文は、構造系全体に可換性が大きいと考えられている多径間吊橋の内、5径間吊橋について、補剛構築架設途上の未完成吊橋系に生ずる静力学的変形及び応力特性を、主として架設順序の差異という点から調査した結果を発表するものであり、併せて、長大吊橋補剛構の新しい架設工法の一つである逐次剛結工法の5径間吊橋への可能性を定量的数値によって確認したものである。解析理論の内容は、基本的には筆者等が既に発表した、非線形有限変形法による大変形法理論を用いている。

2. 基礎理論

変形前に軸端力 N_{ij} を生じて釣合っていた部材 ij が、付加荷重により変形し、軸端力が $N_{ij} + \Delta N_{ij}$ と変化して新たな釣合状態に達したものとす。先行荷重による初期釣合の系から、付加荷重を加えた新たな釣合の系へと移行する間に、部材 ij に蓄えられる全ポテンシャルエネルギー Λ_{ij} は、

$$\Lambda_{ij} = \Delta U_{ij} + \tilde{U}_{ij} - (\tilde{\Pi}_{ij} + \Delta \Pi_{ij}) \quad \text{--- (1)}$$

- ここで ΔU_{ij} : 付加応力によるひずみエネルギー
- \tilde{U}_{ij} : 先行応力と付加ひずみによる内部仕事
- $\Delta \Pi_{ij}$: 増加軸端力のポテンシャル損失
- $\tilde{\Pi}_{ij}$: 先行軸端力のポテンシャル損失



と表わすことができる。従って軸力部材の場合は、

$$\Lambda_{ij} = \Delta N_{ij}^2 / 2F_{ij} + N_{ij} \Delta l_{ij} - \Delta \alpha_{ij}^* (D_{ij} + \Delta D_{ij}) \quad \text{--- (2)}$$

が得られる。ここで、部材 ij に関する定数を $E A_{ij}$: 伸び剛性, l_{0ij} : 基準温度、無応力時の部材長, Δl_{tij} : 温度変化による自由膨張時の伸び量 とおけば

- $F_{ij} = E A_{ij} / l_{0ij}$
- ΔN_{ij} : 付加荷重による部材力の増分
- Δl_{ij} : 部材 ij の変形による伸び
- $\Delta \alpha_{ij}^*$: 〃 相対変位ベクトルを転置したもの
- D_{ij} : 〃 と端における先行軸端力ベクトル
- ΔD_{ij} : 〃 と端における軸端力の増分ベクトル

変形後の構造系も新たな釣合状態にある為、 Λ_{ij} は極値を示し、従って次式が成立する。

$$\frac{\partial \Lambda_{ij}}{\partial \Delta \alpha_{ij}^*} = \frac{\partial \Delta l_{ij}}{\partial \Delta \alpha_{ij}^*} (N_{ij} + \Delta N_{ij}) - (D_{ij} + \Delta D_{ij}) = 0 \quad \text{--- (3)}$$

上式より、大変形法の剛性マトリックスを構成する Unit Equation として次式が導かれる。

$$\left\{ F_{ij} k_{ij} \alpha_{ij} \alpha_{ij}^* + \mu_{ij} (e - \kappa_{ij} \alpha_{ij} \alpha_{ij}^*) + \frac{F_{ij} - \mu_{ij}}{2 l_{ij}} \kappa_{ij} \alpha_{ij} \Delta \alpha_{ij}^* \right\} \Delta \alpha_{ij}^* = \Delta D_{ij} + \Delta D_{t ij} \quad \text{--- (4)}$$

ここで

$$K_{ij} = \frac{2k_{ij}}{2k_{ij} + k_{ij}} = 1 - \frac{\omega_{ij}^2}{4} + \frac{\omega_{ij}^4}{8} - \frac{5}{64}\omega_{ij}^6 + \frac{7}{128}\omega_{ij}^8 - \frac{21}{512}\omega_{ij}^{10}$$

$$\mu_{ij} = \frac{N_{ij} + \tan \alpha_{ij}}{k_{ij} + \alpha_{ij}} \quad (\text{部材カパラメーター})$$

α_{ij} = 部材 ij の方向余弦ベクトル
 e_{ij} : 3行3列の単位マトリックス

3. 逐次剛結工法の意義

一般に吊橋補剛構の架設は、主ケーブルとそれに取付けられたケーブルバンド及びハンガーロープが既に架設完了した状態よりはじめられる。補剛構を設計目的に合致した理想的な完成形状及び応力状態に仕上げる為に、架設上留意すべき点は、

- (1) 架設段階における主ケーブル及び補剛構の構造変形量や塔頂の変位量が少なくなる様な補剛構の架設順序を選ぶ。
- (2) 架設途中の部分補剛構に生ずる架設応力の量がなるべく小さく、しかも耐風安定性のある安全性の高い架設工法を選ぶ。
- (3) 補剛構閉合時に必要な架設応力の量を正確に把握し、施工上技術的困難さを伴わない応力導入方法をとること
- (4) 工期が短縮でき、より経済性の高い工法を選ぶ。

などがあげられる。

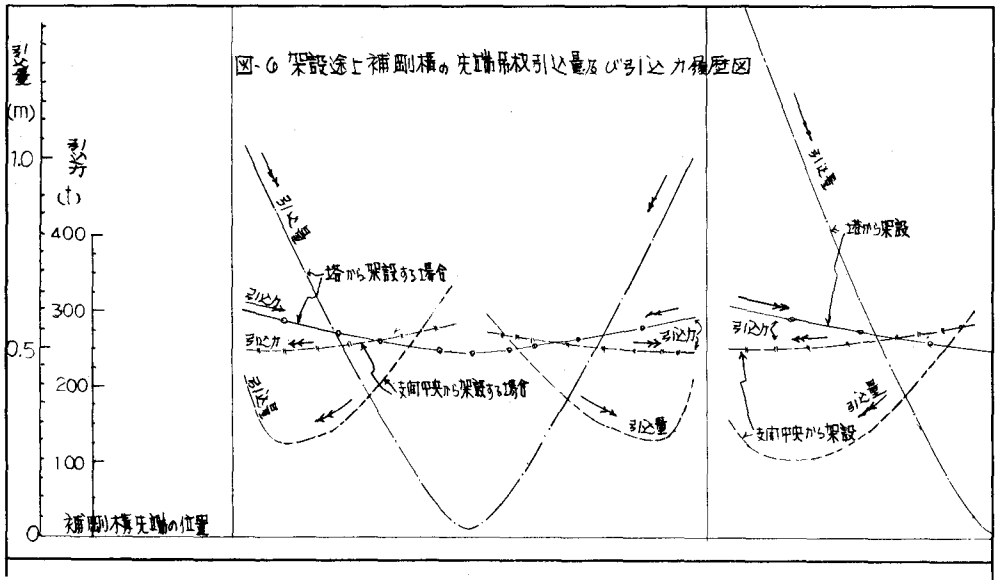
さて従来諸外国で行われて来た長大吊橋補剛構の一般的な架設工法は、2~3格間の小ブロックを吊钩へ取付け、接合可能な個所だけ接合し、その後架設が進行し接合可能な時点にその継手を剛結する方法が多くとられてきた。然しながらこの方法は、我国の様には架設時期に台風や突風が避けられない自然条件の厳しい場所では、接合部分は風などの外力に対して非常に不安定な状態にあり、耐風安定性に不安がある。更に継手の接合を短期間に行なわねばならない為、施工管理が難しくなり、接合精度を悪化させるという欠点を持つことになる。従って我国の様な自然環境下での長大吊橋架設を考えると、部材ブロックを吊钩へ取付ける前に既架設の補剛構へ剛結し、その後吊钩を引込むという逐次剛結工法による補剛構架設工法が有利となる。この場合は、架設途中の補剛構が剛性を有する状態のままに架設進行可能となるので、耐風性能が向上し、安全性の高い施工が可能となる。

又、逐次剛結途中で接合部添掛孔の管理をすればよく、施工管理が容易となり、従って製作精度を高くすれば、必然的に架設精度も高めることができる。本工法は、筆者等の解析手法によって、既に関門橋補剛構架設に應用されているが、この考え方を多径間吊橋(5径間)に適用した場合の、吊橋変形・応力特性を調査した結果を以下に示す。

4. 計算結果

入力データ

主ケーブル断面積 $A_C = 1.2619 \text{ m}^2$, 弾性係数 $E_C = 20 \times 10^6 \text{ t/m}^2$, ハンガー断面積 $A_H = 0.078816 \text{ m}^2$
 弾性係数 $E_H = 20 \times 10^6 \text{ t/m}^2$, 補剛構断面二次モーメント $I_1 = 3.24 \text{ m}^4$ (側径間), $I_2 = 3.483 \text{ m}^4$ (中間), $I_3 = 3.650 \text{ m}^4$ (中央),
 弾性係数 $E_q = 21 \times 10^6 \text{ t/m}^2$
 荷重強度 閉合前補剛構死荷重 7.131 t/m , ケーブル自重 0.842 t/m , 閉合後死荷重 3.660 t/m



5. 結論

- (1) 多径間吊橋の内、5径間吊橋について、補剛橋架設途上の未完成吊橋に生ずる静力学的変形及び応力性状を架設順序の相異という点から調査した結果、構造系全体にわたってバランスよく架設すれば、架設に伴う鋼重増加や施工性を損うことなく、充分安全に逐次剛縮工法による施工が可能であることを力学的見地から立証した。
- (2) 架設順序については、塔から張出す場合、径間中央から張出す場合と実際立った差異は認められなかったが、構造系全体のバランスという点から、全径間同時に着工するケースか、才2,3径間を先行して、しかる後に塔より張出すケースが力学的には望ましいが、このことは、必要架設機軸を増加させることになり、全体として経済的であるかどうかは、別の見地から検討すべき問題であろう。
- (3) 架設に伴う機軸重量や、架設しようとする単位ブロックの重量は、変形及び応力性状に影響がある。従って設計時点に於て、実際の施工計画まで含めた充分なる検討がなされねばならぬことは言うまでもないが、特に逐次剛縮工法をとる場合には、主ケーブル、ハンガーの仕上り精度が、吊橋全体の仕上り精度に支配的要素となるので、構造物全体の設計思想を統一し且つ厳密な解析理論を用いなければならぬ。
- (4) 架設途上の塔頂における水平力及び水平変位量は、どの架設順序でも大差なく、その量は少ない。

6. 参考文献

- (1) 後藤茂夫 “有限変形法による吊橋の解法” 土木学会論文集 156 (1968-8月)
- (2) “有限変形法に関する2,3の考察” 163 (1969-3月)
- (3) 後藤和由前田 “吊橋架設時における不安定架橋の大変形解析” 土木学会第26回年次学術講演会集(分冊156)
- (4) 後藤・新村・羽根 “無次軸梁柱に對するマッシュウエークの解析” (P.56)
- (5) 後藤・大西・大槻・新村 “非線形有限変形法(大変形法)によるトラスの大変形解析とその応用プログラム” 土木学会論文集 194 (1971-10月)