

佐友重機械 正頁 北原 俊男
 〃 〃 〇山本 孝雄

1. まえがき

吊橋の架橋に際しては、耐風性、耐震性、架設方法等、種々の検討が行われる。これらの中で、計画形状の確保または完成状態の諸断面力の把握に関する検討は、部材製作精度の決定または形状管理の基礎資料として今後重要性を増すものとする。しかし、この種の問題に関する研究は文献(2)~(5)に見られる程度である。筆者らは、この種の問題に関する資料作成を目的として、吊橋形成時に生じる誤差に起因する補剛桁の断面力・変位と部材精度の関係について検討を加えたので次の点について報告する。

- (1) 応力法による吊橋有限変形解析とその誤差解析への適用
- (2) 数値解析による田島大橋を中心とする部材製作精度と補剛桁断面力・変位の関係

2. 理論解析の概要と適用法

ここに述べる解析方法は、文献(1)に発表された方法に、次のような機能を加えたものである。

- (1) タワーの有限変形の考慮
- (2) 連続補剛桁吊橋への拡張
- (3) 補剛桁変断面および桁折れ角の考慮

さて、任意径間に対して、図-1のような解析モデルを考へるならば、各部材要素の断面力は導入された不静定力Fの関数として表わされる。

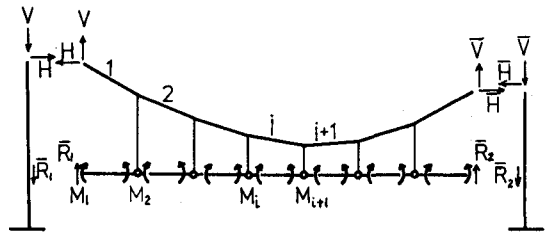


図-1 解析モデル図

この不静定力Fは、不静定力導入個所の部材の連続条件から求められる。

条件1 ケーブルが塔頂点にて連続するためには、ケーブル部材要素の長さのベクトル成分(x_i, y_i)の和が両側塔頂点の位置ベクトル成分の差に等しくなければならない。

条件2 不静定力モーメント導入点では、桁の曲げ変形の連続性が保たれなければならない。

上記条件にて不静定次数に相当するn次元の連立方程式(1)が作成される。そして、増分をマトリックス表示すると(2)式となる。(1)式は非線形方程式であり、一般に繰り返し計算によって解が求められる。筆者らは、この計算にNewton Raphson Methodを適用している。なお詳しくは文献(1), (6)を参照されたら。

$$f_i(F) = D_i \text{ ----- (1)} \quad \left[\frac{\partial f}{\partial F} \right] [\delta F] = [\delta D_i] \text{ または } [K] [\delta F] = [\delta D] \text{ ----- (2)}$$

誤差解析への適用においては

- (a) 吊橋完成時に補剛桁断面力が零となるようなケーブル形状および部材を設置する。設置された構造は、(1)式を満足する。なお、死荷重はケーブル格点と補剛桁格点に集中荷重として作用させている。
- (b) (a)で設置した構造は、いずれの構成要素が変っても(1)式を満足しなくなる。この原理を応用して誤差を発生させる。たとえば、部材長を変えたり、桁折れ角を変えたりする。
- (c) 誤差を考えた構造が(1)式を満足するように収束計算によって不静定力Fを求める。

3. 誤差要因

吊橋完成時に補剛桁断面力は零に、補剛桁形状は計画形状に設置することが理想であるが、各種の誤差が影響して現実では不可能である。筆者らは、完成時の補剛桁断面力・変位に影響を与える誤差要因として、補剛桁

折れ角誤差、吊桁長誤差、タワー・リンク設置誤差、サグ設定誤差(測定誤差と温度推定誤差)、タワー・トップ水平移動誤差、吊構造部死荷重誤差およびケーブル形状仮定誤差を考えている。その他、ケーブル弾性係数の誤差、解析モデル化の誤差、タワー・トップ高さの誤差等考えられるが一応検討の対象から除外した。本論では、これらの要因中で、数値計算成果が得られここに報告の対象となった要因についてのみ簡略に筆者らの考え方を述べる。

- (1) 補剛桁の折れ角誤差: この誤差は大きく製作誤差と架設誤差の二つに分けられる。前者の誤差は避けられない誤差であり、後者の誤差は経験を重ねるならば除去可能な誤差と避けられない誤差に区別される。補剛桁をその構造特有のユニットにモデル化して考えると、避けられない誤差は誤差伝播の法則によってユニット接合部を1変数とした、 n 個の独立誤差として表わされる。計算対象の誤差量は、製作誤差のみ考へ文献(5)より $\pm 3.16/9000 = 0.000351$ (rad.)が妥当な値と考へ採用した。
- (2) 吊桁長誤差: この誤差も製作誤差と架設誤差の二つに分けられ、それぞれ避けられない誤差として誤差伝播法則によつて吊桁を1変数として n 個の独立誤差として表わされる。誤差量は $\sqrt{(1/5000)^2 + 5^2}$ (ただし、 l は吊桁長)を考へた。
- (3) 吊構造部死荷重誤差: この誤差は鋼床版および舗装の重量誤差によるもので、計算誤差量は文献(4)より $\pm 1.4\%$ を採用した。
- (4) タワー・リンク設置誤差: この誤差は製作誤差と架設誤差に分けられ、それぞれ避けられない誤差として取り扱うべき性質のものである。計算誤差量は両者合せて、 ± 10 mmと考へた。

数値計算にあつては、本田連絡橋梁の1つ因島大橋を対象の中心とした。因島大橋の解析モデル図を図-2に、また構造諸元を表-1に示す。なお、文献(4)との比較を行うために3種類のモデル吊橋について吊桁長誤差による曲げモーメントを算出した。文献(4)より吊桁長誤差は、平均値0mm標準偏差を1mmとして、2 σ の値を採用し、 4 mm(トラス高)を各折れ角誤差として与えた。モデル吊橋の構造諸元を表-2に付記する。

4. 数値計算結果

補剛桁の各ユニットジョイントに単独で折れ角が生じた場合の補剛桁の曲げモーメント図を図-3に、各吊桁に単独で吊桁長誤差が生じた場合の補剛桁の曲げモーメント図を図-4に示す。折れ角誤差による補剛桁の曲げモーメントの影響値は広範囲に及ぶが、吊桁長誤差の場合には、わずかなパネルに過ぎない。死荷重誤差を際して各誤差を確率誤差としてとらえたときの補剛桁の曲げモーメント図、変位図をそれぞれ図-5,6に示す。曲げモーメントに関しては折れ角誤差が支配的要素であり、変位に

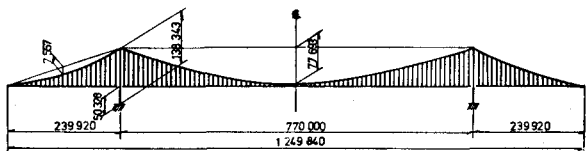


図-2 因島大橋 解析モデル図

	補剛桁の 断面の寸法	補剛桁の ユニット数	吊桁の 断面の寸法	ケーブル 断面の寸法	ケーブル 断面の寸法	トラス高	吊桁-補剛桁 間の距離	吊桁-補剛桁 間の距離
中央区間	2,5198 mm	39	10,78 mm	10,283 mm	0,2287 m ²	9,00 m	0,0114 m	2,828 m ²
側区間	1,8653 mm	12	10,80 mm					

* 諸数値はいずれも片側値を示す

表-1 因島大橋解析モデル構造諸元

が支配的と言えらる。なお、吊桁長誤差による補剛桁の変位への影響ならびに各誤差のせん断力への影響は無視しうるほどのものであった。つぎに3タイプのモデル吊橋に対しては、中央

	主塔間	側塔間	トラス高	吊桁 断面の寸法	補剛トラス断面の曲げモーメント			吊桁トラスユニット		吊桁の 断面の寸法	吊桁- 補剛桁 間の距離	タワー 断面の寸法	タワー- 補剛桁 間の距離	タワー 断面の寸法	
					$c=0.01$	$c=0.015$	$c=0.019$	中央区間	側区間						
吊橋 A	250 m	625 m	3125 m	1000 mm	0.3935 m ²	0.2116 m ²	0.1319 m ²	0.0275 m ²	38	9	3.2 m ²	0.0025 m	0.3 m	40 m	0.3 m ²
吊橋 B	700	175	875	11800	4.6438	2.4974	1.5565	0.28	35	9	13.4857	0.0238	1.08	115	3.0
吊橋 C	1100	275	1375	31500	12.3967	6.6667	4.1551	0.77	42	10	22.9091	0.0594	1.88	170	9.0

* 諸数値はいずれも片側値を示す

表-2 モデル吊橋構造諸元

径間中央点の折れ角誤差による曲げモーメント値を確率誤差として算出し図-7に示す。文献(4)においては支間長700mを越えるあたりで本結果よりいすれも曲げモーメント値が大きくなっているが、この相違は本解析手法が吊橋を骨組構造としてとらえた有限変形理論によるのに対し、文献の方は吊橋を1枚の膜としてとらえた線形化撓度理論によるためであると考えられるが、今後さらに詳細な検討が必要であると思われる。なお、以上の計算においては、誤差量が小さいうちは各断面力ともほぼ線形性が成立しており、たまた確率変数としての誤差の把握は妥当と解される。

5. あとがき

以上、吊橋の製作・架設誤差は、一般にその原因が複雑多岐にわたっており、一意的に把握できないものが多いと考えられるが、補剛桁に与える影響分析という観点から考察を加えてみた。結果的には、本研究により文献(2)~(5)に述べられていることがある程度裏付けられ、また吊橋を骨組としてとらえることにより各誤差要素の具体的な影響値も明確になったものと考えている。今後とも誤差要因の分析と誤差量の把握を行い、さらに充実したものになりたいと思っているが、この小論が1つの参考資料となれば幸いである。なお、本数値計算にあたってはIBMS-370M 158を使用した。またCPU使用量は1ケース2~3秒であった。

参考文献

- (1) A. Jennings & J. E. Meirs; "Static Analysis of Suspension Bridges" Proc. of A.S.C.E, ST11 1972
- (2) 長谷川、菅、原田:「吊橋に導入される誤差について」
第25回年次学術講演会
- (3) 長谷川、原田:「補剛トラスの部材長誤差による吊橋の変位・応力について」土木学会論文報告集 第229号
- (4) 長谷川、原田、飯田:「吊橋の製作施工誤差による変位・応力」
橋梁と基礎 第9巻1号
- (5) 日本橋梁建設協会:「製作・架設(許容)誤差とその要因分析」
長大橋の技術調査研究(その4)
- (6) 大庭、太田、北原:「長大吊橋解析手法とその適用例」

佐友重機械
技報
第23巻69号
掲載予定

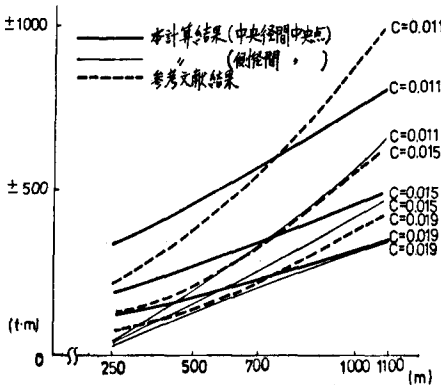


図-7 補剛桁曲げモーメント図



図-3 折れ角誤差による補剛桁曲げモーメント図

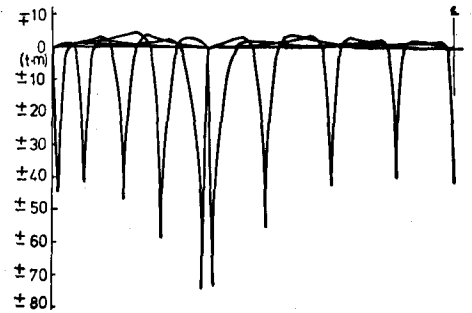


図-4 吊橋長誤差による補剛桁曲げモーメント図

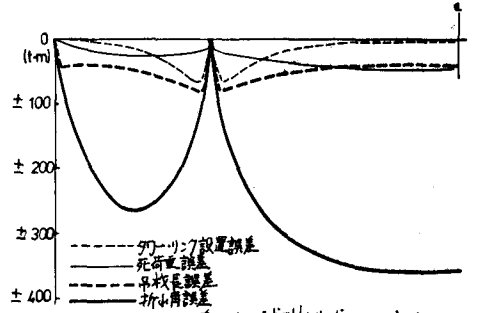


図-5 各誤差による補剛桁曲げモーメント図

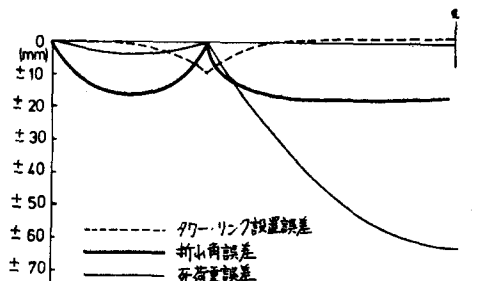


図-6 各誤差による補剛桁変位図