

吊形式水管橋の非線形解析について

熊本大学 正 員 崎元達郎 熊本大学 正 員 小林一郎
 熊本大学 学生員 三輪清貴 川崎製鉄㈱ 正 員 中村聖三

1. まえがき： 実用されている水管橋ではトラスやアーチ等により補剛されているものが多いが、スパンが大きくなるにつれて補剛構造は複雑なものとならざるをえず、経済性が問題となる。そこで、機能部材(鋼管)などがある程度剛性を有する場合、＜図-1＞に示すようにメインケーブルの他に耐風ケーブルなどの補助ケーブルを併用することにより、構造的安定性が高く極めて軽量かつシンプルな構造が可能となる。本研究では、このような剛性の低い吊形式水管橋についてその幾何学的非線形性を考慮した、初期形状決定問題の一解法を示し、数値解析を試みたので報告する。

2. 解析モデル及び荷重条件： 解析モデルは

＜図-1＞のようなものとし、諸元はスパン150m、メインケーブルサグ15m、耐風ケーブルサグ9m、水管径70cmである。荷重は施工の順序を考慮に入れて、＜図-2＞に示すように次の3段階について連続して行う。

1. 死荷重(自重)の載荷
2. プレストレスの導入
3. 活荷重(水荷重)の載荷

第1段階では耐風ケーブルはないものと考えて、死荷重を載荷する。第2段階では耐風ケーブルを取り付けその両端を自由端としてそこにプレストレスを外力として作用させる。さらに第3段階では耐風ケーブルの両端をアンカーし固定した後、活(水)荷重を載荷する。

3. 解析方法： 本研究では上記の3段階の載荷の後に、水平な水管位置を保つ完成形状になるようにするために、架設時の初期形状を逆算する。まず、水管・メインケーブル及び耐風ケーブルをそれぞれ放物線に近似できると仮定し、さらに水管中央部をHcm持ち上げ、タワー上端をDcm倒し、無応力状態の初期形状を設定する。次に、設定した形状に上記の3段階の荷重を載荷し、水管中央部のたわみh及びタワー上端の水平変位dを求め、次式で誤差関数ERを定義する。

$$ER = F_1(D, H) + F_2(D, H) = \alpha_1 + \alpha_2 \dots \dots \dots (1)$$

ここに、

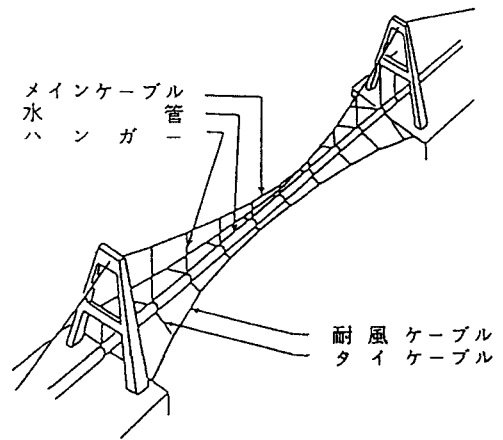
$$F_1(D, H) = (D - d)^2 = \alpha_1 \quad d = f(D, H)$$

$$F_2(D, H) = (H - h)^2 = \alpha_2 \quad h = g(D, H)$$

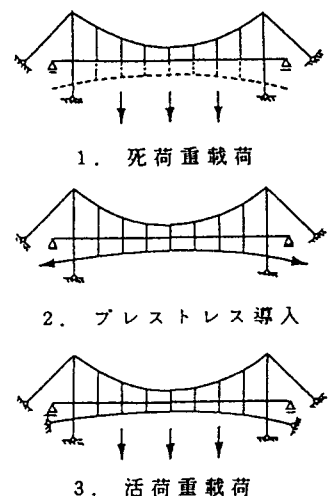
ここで、今与えたD, Hが求めるべき値から微小量($\Delta D, \Delta H$)だけずれていたとすると、

$$D = D^* + \Delta D \quad D^* : \text{真のタワー上端の倒す量}$$

$$H = H^* + \Delta H \quad H^* : \text{真の水管中央部の持ち上げ量}$$



＜図-1＞ 概略図



＜図-2＞ 荷重概念図

となる。つまり、

$$F_1(D, H) = F_1(D^* + \Delta D, H^* + \Delta H) = \alpha_1$$

$$F_2(D, H) = F_2(D^* + \Delta D, H^* + \Delta H) = \alpha_2$$

である。上式をTaylor展開し2次項以上を無視すると次式を得る。

$$F_1(D, H) = F_1^*(D^*, H^*) + \frac{\partial F_1}{\partial D} * \Delta D + \frac{\partial F_1}{\partial H} * \Delta H = \alpha_1$$

$$F_2(D, H) = F_2^*(D^*, H^*) + \frac{\partial F_2}{\partial D} * \Delta D + \frac{\partial F_2}{\partial H} * \Delta H = \alpha_2$$

ここで真値がもった時に $D^*=d, H^*=h$ なので

$$F_1^*(D^*, H^*) = F_2^*(D^*, H^*) = 0$$

となる。すなわち、

$$\begin{bmatrix} P & Q \\ R & S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta D \\ \Delta H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix}$$

$$\therefore \begin{bmatrix} \Delta D \\ \Delta H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P & Q \\ R & S \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix}$$

とかける。ここに、

$$P = \frac{\partial F_1}{\partial D} = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{F_1(D+\delta, H) - F_1(D, H)}{\delta}$$

同様に

$$Q = \frac{\partial F_1}{\partial H}, \quad R = \frac{\partial F_2}{\partial D}, \quad S = \frac{\partial F_2}{\partial H}$$

である。以上のようにして $\Delta D, \Delta H$ を求め $D^*=D-\Delta D, H^*=H-\Delta H$ と修正し、 $ER \leq$ (許容値) になるまで繰り返す。本計算では許容値を仮に1.0cmとした。

なお、構造解析においては、文献2)の非線形計算法を基礎とし、材料的非線形は考慮せず幾何学的非線形のみ考慮するよう簡略化したものを用いた。

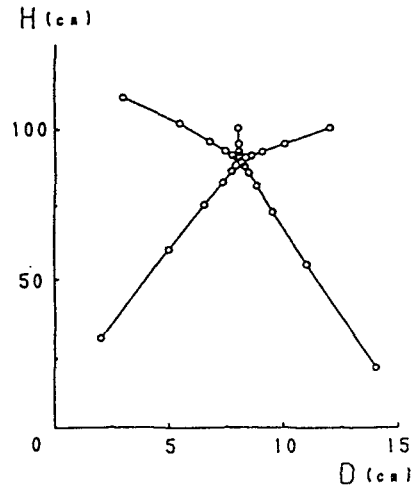
4. 解析結果： 上記の方法を用い、初期値を適当に与えた時の収束状況を<図-3>に示す。図から明

らかなように、どの初期値から始めても1点に収束しており、水管中央部の持ち上げ量 $H=89.8\text{cm}$ 、タワー上端の倒す量 $D=8.1\text{cm}$ という結果になった。しかし、完成形状での水管の形は<図-4>の○で示すように波打っており、目標とする完成形状(水平)との誤差は水管中央部では1.0cm以下であるが、最大で8.3cmあり、無視できない値となっている。そこで、 $ER \leq 1.0$ になった後、水管の節点座標のみをそれぞれ前回のたわみ量だけ持ち上げ、ケーブル類は放物線で近似した初期形状を設定した計算を最後に1回付加した。その結果、水管の完成形状は<図-4>の■で示すようになり、誤差は最大で0.09cmとなり、実用的に十分な結果が得られた。

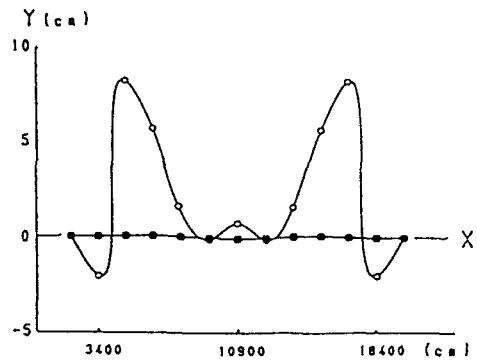
5. あとがき： 2変数の場合、水管の初期形状を放物線で近似しているため、完成形状での水管の形状は<図-4>の○で示すようになり、水平にすることはできない。よって今後は、水管を4次式で近似することにより、3変数での解析を試みるつもりである。

参考文献 1) 渡辺浩他：「つり形式水管橋の非線形…」 第45回年次学術講演概要集 pp. 600-601, 1990. 9

2) 小松・崎元：「Nonlinear Analysis of…」 土木学会論文集 No. 252, pp143-157, 1976. 8



< 図-3 > 収束状況



< 図-4 > 水管の最終形状