

つり形式水管橋の幾何学的非線形挙動について

熊本大学工学部 正 員 崎元達郎 熊本大学工学部 正 員 小林一郎
 学生員 渡辺 浩 川崎製鉄(株) 正 員 湯治秀郎

1. まえがき： 現在、水管橋の多くはトラス等により補剛されるものが多い。しかし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。一方諸外国、特にカナダでは<図-1>に示すような無補剛で長スパンを渡ることのできるつり形式の水管橋について実施例が見られるが、我が国ではまだ見あたらない。補剛トラスをもたないつり形式の水管橋は幾何学的非線形性や耐風・耐震安定性が問題になるとと思われる。よってここでは我が国での設計・施行の可能性を検討するためにその静的な幾何学的非線形性に着目し、その挙動解析と形状決定問題を主に検討したので報告する。

2. 解析モデル： 解析モデルとしては<図-1>のようなものとする。水管には補剛を設けずハンガーロープにより直接ケーブルに固定する。またメインケーブルのほかに水管の両側下方に1本ずつ耐風ケーブルを設け、耐風安定性を高めるものとする。さらにこの耐風ケーブルには、荷重・風に対する剛性を高めるために、所定量のプレストレスを施工時に導入する。<図-2>は、平面図及び側面図である。主な諸元としては代表的な一例として次の値を考える。

スパン・・・・・・・・・・150m

メインケーブルサグ・・・・15m

耐風ケーブルサグ・・・・・・9m

耐風ケーブル張り角・・・・120°

水管径・・・・・・・・・・70cm

導入プレストレス量・・・・30tf

3. 荷重条件及び計算方法： 計算は施工の順序を考慮に入れて、次の4段階について連続して行なう。

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
4. 風荷重の載荷

第1段階では耐風ケーブルはないものとする。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力を外力として作用させる。さらに第3段階以降は耐風ケーブルの両端をアンカーし固定するものとする。

また、本研究では第3段階までの載荷によって<図-2>の完成形状になるようにするために、架設時の

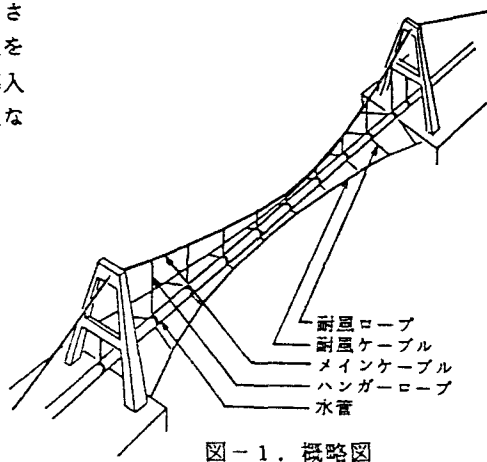


図-1. 概略図

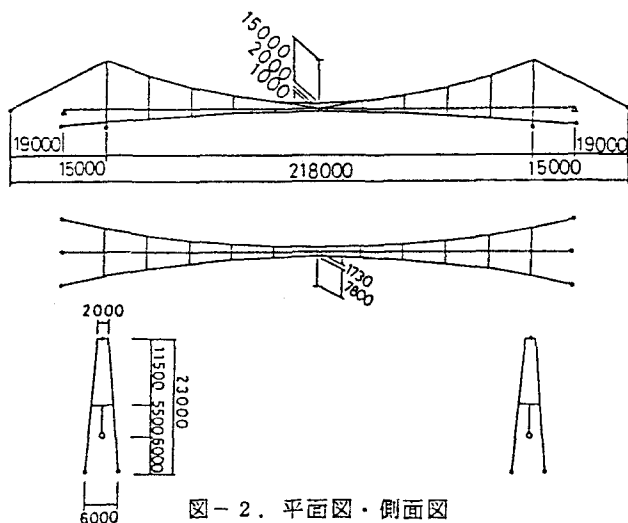


図-2. 平面図・側面図

初期形状を逆算する。その方法としては以下のようにした。

1. 第1段階から第3段階まで計算する

2. 水管の中央部を1で求めたたわみ分だけかさ上げし、ケーブル等の座標も計算し直し再び第1段階から第3段階まで計算する

3. 水管中央部のかさ上げ量とたわみ量が等しくなるまで2を繰り返す。

なお、計算プログラムは文献1)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. 計算結果： 前述の方法を用いると水管中央部のかさ上げ量は88.7cmとなった。すなわち第1段階では33.4cm、第2段階では8.7cm、第3段階では55.4cmたわんで完成形状となる。またこのときの中央部の座標の計算値と目標値との誤差は、耐風ケーブルでは水平方向、鉛直方向ともに2cm、メインケーブル及び水管ではほぼ0cmとすることができた。

第4段階終了後のケーブルおよび水管の中央部での鉛直方向の変位は、いずれも向上きにメインケーブルで10.7cm、水管で12.4cm、耐風ケーブルで22.8cmであった。一方、耐風ケーブルおよび水管の水平方向の変位は<図-3>のとおりである。中央部の変位は水管は233.9cm、耐風ケーブルの風上側で228.7cm、風下側で240.5cmであった。

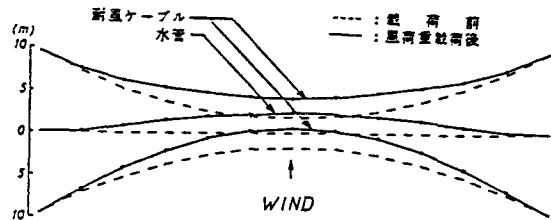


図-3. 水管・耐風ケーブルの水平方向変位

各段階でのケーブルに働く最大の軸力は<表-1>のとおりである。これによると耐風ケーブルのプレストレスが活荷重の載荷によって減少する様子、また風荷重の載荷によって風上側の耐風ケーブルの軸引っ張りが増加し、風下側の耐風ケーブルの軸引っ張りが減少する様子がよくわかる。

また風上側の耐風ケーブルの軸力が破断強度の約60%に達しており、安全率を3とするためには、線形計算にもとづいた初期設計の結果に対して部材断面の変更が必要であると思われる。

一方、水管に働く応力は、主に風荷重による水平方向の横曲げによるものであるが、中央部では532.2 kg/cm²、端部で2482.9 kg/cm²であった。これによると端部での水平方向の回転を拘束すると応力度的に厳しくなるので、回転を許すエキスパンションジョイントを使用する場合を含めた検討が必要である。

5. 今後の課題： とりあえずスパンの150mは固定した上で、メインケーブルサグ・耐風ケーブルサグ・耐風ケーブル張り角の3つのパラメータについて14個のモデルを設定し、その幾何学的線形挙動及び設計・施工の可能性について比較・検討を行なう予定である。

参考文献 小松・崎元：「Nonlinear Analysis of Spatial Frames...」

土木学会論文集 No. 252, pp143-157, 1976. 8

荷重段階 着目部材	各段階におけるケーブル軸力 及び破断荷重との比				破断 荷重
	1	2	3	4	
メインケーブル	56.01 (8.8)	70.65 (11.0)	155.48 (24.3)	161.11 (25.1)	641
ハンガーロープ	5.03 (9.5)	6.61 (12.5)	16.77 (31.6)	16.00 (30.2)	53
耐風ケーブル(風下)	—	30.00 (28.3)	26.94 (25.4)	6.00 (5.7)	106
(風上)	—	30.00 (28.3)	26.94 (25.4)	59.44 (56.1)	106
耐風ロープ(風下)	—	1.10 (2.1)	1.10 (2.1)	0.52 (1.0)	53
(風上)	—	1.10 (2.1)	1.10 (2.1)	2.37 (4.5)	53