

無補剛吊形式水管橋の骨組形状パラメータがコストに与える影響

COST STUDY OF WATER-PIPELINE SUSPENSION BRIDGES WITH VARIOUS CONFIGURATION PARAMETERS

小林一郎*, 脇長 正**, 中村聖三***, 崎元達郎****, 湯治秀郎*****

by Ichiro KOBAYASHI, Tadashi WAKINAGA, Shozo NAKAMURA, Tatsuro SAKIMOTO and Shuro YUJI

A cost study of water-pipeline suspension bridges with various configuration parameters is studied by full stress design technique. The total cost of cables, towers and anchorages is the objective function. The tower and anchorage are optimized and the cost functions of these structures are formulated in advance. The design variables are cross sectional areas of 4-kinds of cables. The configuration parameters are the main-cable sag ratio, the wind-cable sag ratio, the side-span to main-span ratio and the opening angle of tie-cable. Variation of the total cost of the bridges are investigated by changing these parameters independently.

1. まえがき

一般的な吊橋では、主荷重等の鉛直荷重に対する剛性確保と、架設時、完成時の耐風安定性に対する剛性確保のため、トラス桁や箱桁等の補剛桁が用いられている。一方、水管橋やガス管橋においては、主荷重が等分布荷重であり、水管（ガス管）がある程度の剛性を有することから、管の曲げ剛性を構造物の剛性として活用するとともに、耐風ケーブルを併用することによって、補剛桁を必要としない無補剛吊形式水管橋が考えられる。

これまで、このような無補剛吊形式水管橋に関して、架設時、完成時における構造解析、模型実験などを実施し、本構造の基本的な力学挙動をほぼ明らかにすることができた^{1)～3)}。

一方、本形式水管橋は補剛桁を用いないため、コスト最小となる骨組形状が一般的な吊橋の最適骨組形状と大きく異なることが考えられる。また、本構造にはメインケーブルと耐風ケーブルのアンカーレッジが必要となるが、架橋位置の地形条件によっては、その設置位置に大きな制約を受けることも考えられる。したがって、本構造を経済的に設計するためには、骨組形状を決定する主要なパラメータ(メインケーブルサグ比、

*	工博	熊本大学助教授	工学部土木環境工学科	(〒860 熊本市黒髪2-39-1)
**	工修	川崎製鉄(株)	土木技術部鉄構海洋技術室	(〒100 千代田区内幸町2-2-3)
***	工修	川崎製鉄(株)	鋼構造研究所土木建材研究室	(〒263 千葉市稲毛区長沼町351)
****	工博	熊本大学教授	工学部土木環境工学科	(〒860 熊本市黒髪2-39-1)
*****		川崎製鉄(株)	土木技術部鉄構海洋技術室	(〒100 千代田区内幸町2-2-3)

耐風ケーブルサグ比等)がコストに与える影響を明らかにしておくことが、必要不可欠であると考えられる。

以上の観点より、無補剛吊形式水管橋の骨組形状パラメータがコストに与える影響について検討を行ったので、本論文ではその結果について報告する。

2. 構造解析法の検討

本形式水管橋は図-1に示すように、メインケーブル、耐風ケーブル、ハンガー、タイケーブルより構成されるケーブルネットワーク、メインケーブルおよび耐風ケーブルのアンカーレッジ、水管、主塔からなる構造である。図-2は解析モデルの骨組形状である。ここに、 H_m 、 H_w はそれぞれメインケーブルと耐風ケーブルのサグ、 L_c 、 L_s 、 L_w はそれぞれ主塔間、主塔・メインケーブル定着点間、主塔・耐風ケーブル定着点間の距離、 θ はタイケーブル開き角である。

構造解析は図-3に示すように、①死荷重の載荷(D荷重)、②プレストレスの導入(P荷重)、③活荷重(水荷重)の載荷(L荷重)、④風荷重の載荷(W荷重)の順序で行う。ここで、プレストレスの導入量は風荷重載荷後、風下側の耐風ケーブルに破断強度の5%程度の軸引張力が残留するように決定するものとし、各系に対しては一定値として扱う。

最適設計を行う場合には、最適化計算そのものが非線形解析となるため、構造解析については極力簡便な方法でより正確な部材力あるいは応力度の評価が行えることが望ましい。一方、吊形式橋梁の場合、比較の変形が大きくなるため、一般に幾何学的非線形性を考慮した有限変位解析が用いられる。そこで、ここでは最適設計の前段階として構造解析法(線形解析 or 非線形解析)の違いによる部材力の比較を行い、線形解析の適用性について検討する。すでに、D荷重からL荷重までの3段階の線形解と非線形解の最大部材力にはほとんど差のないこと(最大で6%)が確かめられているので、ここでは風荷重(W荷重)に対する解の比較を行う。

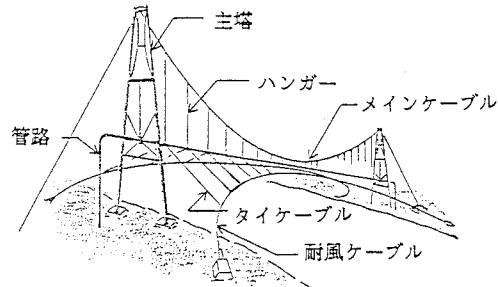


図-1 無補剛吊形式水管橋の構造図

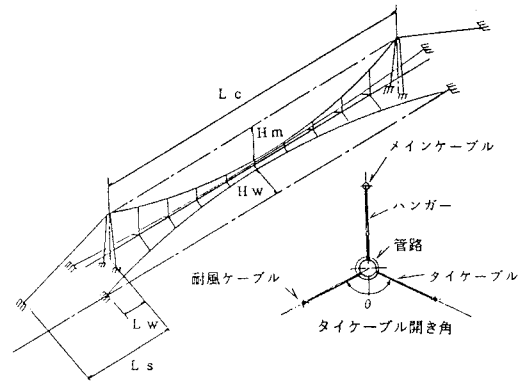


図-2 解析モデルの骨組形状

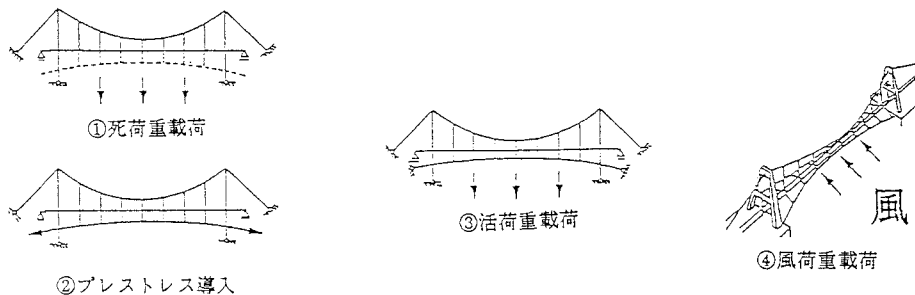
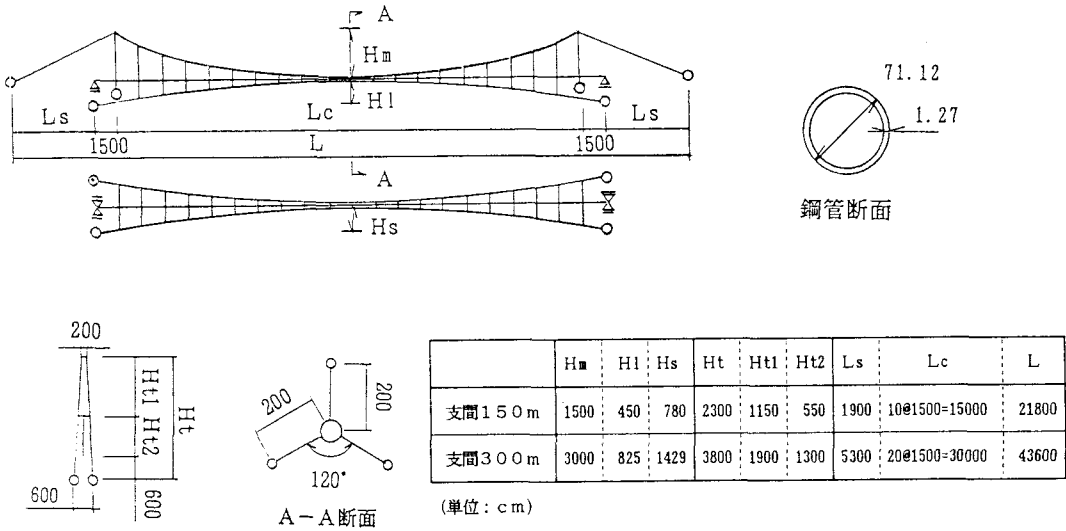


図-3 構造解析の載荷段階

図－４に解析モデルの形状寸法、表－１に解析に用いた各部材の諸元を示す。



図－４ 解析モデルの形状寸法

表－２は支間(Lc)150mと300mの場合における各ケーブルの最大軸力を比較したものである。同表より、メインケーブル、ハンガー、およびタイケーブルについては解析法による差は最大でも6%であり、４段階すべてを線形解析で行っても、最適解にそれほどの差は生じないと思われる。これに対して、耐風ケーブルでは30%近く線形解のほうが大きくなり、非線形解析を行ったほうが合理的な設計になることがわかる。しかしながら、多くのパラメータを変動させつつ非線形構造解析を繰り返し行うことは、計算機の負担になるので、本論文では構造解析には線形解析を用いることとし非線形性の影響の大きい耐風ケーブルの部材力についてのみ、線形解の最大部材力に0.7を乗じて応力制約式をたてることとした。

表－１ 解析モデルの部材諸元

	メイン ケーブル	耐風 ケーブル	ハンガー タイケーブル	管路	主塔
径 (cm)	8.80 9.20	5.20 5.40	2.80 2.80	71.12 71.12	60.96 101.60
単位重量 (kgf/cm)	0.447 0.483	0.106 0.115	0.031 0.031	2.190 2.190	2.340 3.950
破断荷重 (×10 ⁴ kgf)	641.0 701.0	179.0 193.0	53.0 53.0	- -	- -
断面積 (cm ²)	53.60 58.50	12.80 13.80	3.74 3.74	278.70 278.70	298.40 502.70
断面二次モーメント (×10 ⁴ cm ⁴)	- -	- -	- -	17.0 17.0	13.2 62.8
弾性係数 (×10 ⁶ kgf/cm ²)	1.60 1.60	1.40 1.40	1.40 1.40	2.10 2.10	2.10 2.10

(上段: 支間150m、下段: 支間300m)

表－２ 構造解析の結果の比較(単位: t f)

	メインケーブル		耐風ケーブル		ハンガー		タイケーブル	
	線形解	非線形解	線形解	非線形解	線形解	非線形解	線形解	非線形解
W荷重	162.37	166.32	107.65	85.12	10.93	11.23	3.38	3.19
	319.30	329.82	238.53	184.80	10.43	10.69	4.02	4.04
差 (比)	-3.95 (-2.4%)		22.53 (26.5%)		-0.30 (-2.7%)		0.19 (6.0%)	
	-10.52 (-3.2%)		53.72 (23.1%)		-0.26 (-2.4%)		-0.02 (0.5%)	

(上段: 支間150m、下段: 支間300m)

3. ケーブルネットワークの最適化におけるコスト最小設計と全応力設計

2. で述べたように本構造の経済的な設計を行う場合には、幾何学的非線形性を考慮した有限変位解析を行うのが望ましい。最優設計を行う場合に用いられる一般的な最適化計算法も非線形解析であることから、一般的な最適化手法で本構造のケーブルネットワークの最適化を実施することは多大な労力を要することが予想される。したがって、古くから応力制約と部材断面寸法制約のみを有する最適設計問題に対して用いられてきた全応力設計の概念が今回のコスト最小設計に適用可能であれば、計算に要する労力を大きく削減することができると考えられる。ここでは、ケーブルネットワークの最適化におけるコスト最小設計と全応力設計が一致するかどうかについて検討する。

(1) 最適設計問題の設定

1) 設計変数

以下に示す4種類のケーブル断面積のみを考慮することとする。なお、鋼管の断面は計画送水量などから内径が決定されるため、板厚 t を設計変数と考えることもできるが、今回は図-4に示すような断面に固定する。

メインケーブル断面積 A_m	ハンガー断面積 A_h
耐風ケーブル断面積 A_w	タイケーブル断面積 A_t

2) 制約条件

制約条件として、上記4種類のケーブルの最大部材力に制限を設けるものとする。すなわち、各ケーブルの破断荷重を T_s 、発生軸力を N 、安全率を ν 、断面積を A 、許容応力度を σ_s とし、

$$\frac{N}{A} \leq \frac{T_s}{\nu A} = \sigma_s$$

を制約条件とする。

また、前述したように水管の断面の最適設計は行わないが、応力照査を行うこととし、①完成系での合成応力度の照査、②風荷重載荷時の合成応力度の照査を行う。

3) 目的関数

本構造形式は補剛吊橋形式と比較し、上部工の使用鋼重を大幅に低減できるが、ケーブル定着点が増えるためアンカーレッジのコストが増加することになる。このため、目的関数はアンカーレッジのコストも含め、次のように定める。

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \rightarrow \min$$

C_1 、 C_2 、 C_3 はそれぞれ以下のとおりである。ただし、 C_2 と C_3 については、メインケーブルのサグ比、サイドスパンの取付角度などの関数として、あらかじめ最適化を行っておくものとする。なお、以下に示すコスト算出の詳細は付録にまとめて示す。

① ケーブルの総コスト： C_1

$$C_1 = C_m \rho A_m \Sigma l_m + C_w \rho A_w \Sigma l_w + C_h \rho A_h \Sigma l_h + C_t \rho A_t \Sigma l_t$$

ただし、右辺の C_i は材料費、架設費を含む単位重量あたりの単価、 ρ は単位体積重量、 Σl_i はケーブル i の全長である。また、添え字 m 、 w 、 h 、 t はそれぞれメインケーブル、耐風ケーブル、ハンガー、タイケーブルを表す。

② 主塔のコスト： C_2

主塔の形状は、 $L_c=150\text{m}$ のときは主塔の高さが比較的低いため、製作が容易な箱形断面のA型塔(図-5(a))とし、 $L_c=300\text{m}$ のときは主塔高さが高くなることを考慮し、有効座屈長を低減できる円形断面の立体トラス構造(図-5(b))とする。水管位置は常に地上6mとし、塔高が変化した場合の骨組形状は相似形で変化するものとする。

$$C_2 = 2 (C_{21} + C_{22} + C_{23})$$

ここで、

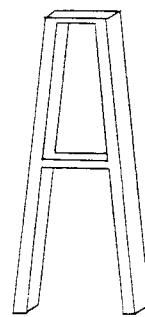
C_{21} ：主塔本体のコスト（メインケーブルサグ比 f_m と塔の鉛直反力 N_v の関数とする。）

C_{22} ：ピン支承のコスト（塔の鉛直反力 N_v より求める。）

C_{23} ：橋台のコスト（土質条件を岩盤と仮定し直接基礎とした場合には鉛直反力 N_v の影響は小さいのでここでは定数とする。）

③ アンカーレッジのコスト： C_3

ここでは、メインケーブルと耐風ケーブルのアンカーレッジの総コストを次式で考える。ただし、メインケーブルのアンカーレッジのコスト C_A はサイドスパン側のメインケーブル軸力 N_s とサイドスパン側のメインケーブルの取り付け角 θ_s の関数とし、耐風ケーブルのアンカーレッジのコスト C_B は取り付け部の耐風ケーブル軸力 N_B と耐風ケーブルの取り付け角 θ_B の関数とする。



(a) 支間150m



(b) 支間300m

$$C_3 = 2 C_A(N_s, \theta_s) + 4 C_B(N_B, \theta_B)$$

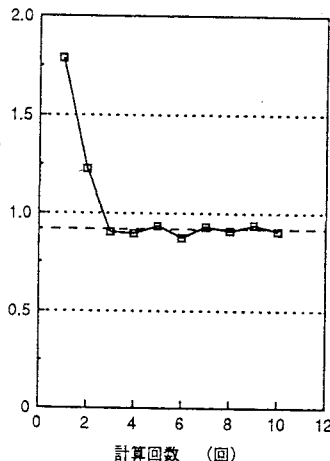
図-5 主塔の形状

(2) コスト最小設計と全応力設計の比較

図-4に示す骨組形状を有する支間300mのモデルについて、ケーブル断面の初期値を2通り（Case A: $A_m=100\text{cm}^2$, $A_w=100\text{cm}^2$ Case B: $A_m=60\text{cm}^2$, $A_w=50\text{cm}^2$ ）に変化させてケーブルネットワークの最適設計を行い、全応力設計との一致性を確認する。なお、最適化計算にはADSプログラムの中の逐次線形計画法を用いた。

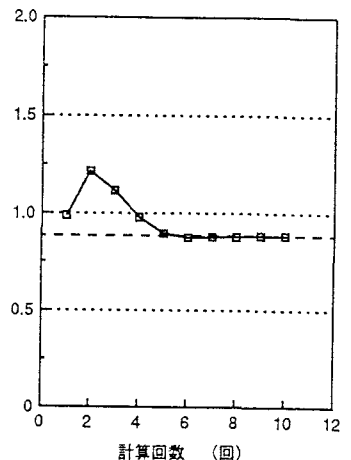
図-6は目的関数の解の収束図であり、図-7は設計変数の内、メインケーブルと耐風ケーブルの断面積の収束状況である。ここで、ケーブルの総コストはCase Bの初期値でのコストを1とした比率で表す。Case Aでは初期値

ケーブルの総コスト



(a) CaseA

ケーブルの総コスト



(b) CaseB

図-6 目的関数の収束状況

が実行可能域にあるため、はじめの3回で急速にケーブル断面積を小さくし、最適解に接近しているのに対し、Case Bでは初期値が実行可能域外にあるため、一旦断面積を大きくし、メインケーブルについては実行可能域外から、耐風ケーブルについては実行可能域から最適解に近づいている。初期値を変えて計算したにも関わらず同じ最適解に収束しているため、この解が全域解であると考えられる。

表-3に最適解における各ケーブルの部材力を示す。すべての部材において、作用応力度は許容応力度とほぼ一致しており、本ケーブルネットワークにおいてはコスト最小設計が全応力設計になっていることがわかる。したがって、各形状パラメータがコストに及ぼす影響の検討では全応力設計によりケーブル断面を決定し、コストの算出を行うこととする。

4. 骨組形状パラメータがコストに与える影響

ここでは、図-2に示す骨組形状を決定するパラメータのうち、以下の4つを独立して変化させた場合についてケーブル断面積の最適値を全応力設計により求め、コストを算出することにより、各パラメータがコストに与える影響を検討する。なお、 $f_m=1/10$ 、 $f_w=1/20$ 、 $r=0.22667(34/150 \text{ or } 68/300)$ 、 $\theta=120^\circ$ のモデルを基本モデルとし、以下の計算例において特記なき場合はこれらの値を用いている。

$$f_m = H_m/L_c : \text{メインケーブルサグ比} \quad f_w = H_w/(L_c + 2L_w) : \text{耐風ケーブルサグ比}$$

$$r = L_a/L_c : \text{スパン比} \quad \theta : \text{タイケーブル開き角}$$

(1) メインケーブルサグ比の影響

図-8にメインケーブルサグ比とコストとの関係を示す。なお、図の縦軸は支間150mのモデルの $H_m=25m$ のアンカーレージのコストを1とした比率で表す。支間150mの場合、総コストに占める主塔の割合が大きいため、極力主塔を低くしたほうが有利となり、サグ比1/15近くでコストが最小となるのに対し、支間300mの場合はケーブルの割合が大きいため、ある程度サグ比を大きくしケーブルコストを下げたほうが有利となり、サグ比1/9付近でコスト最小となることがわかる。また、

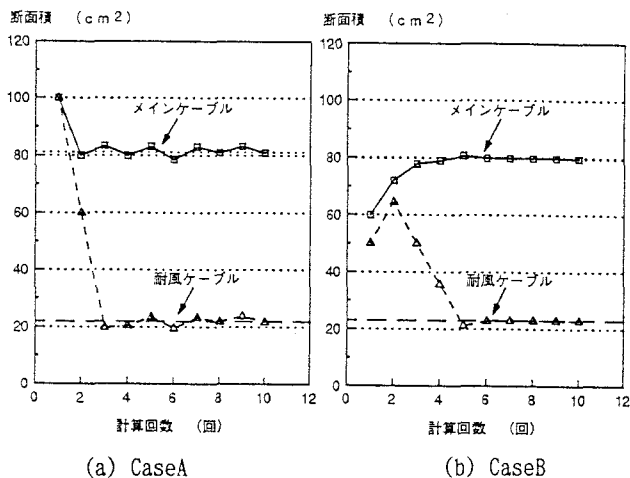


図-7 設計変数の収束状況

表-3 最適解におけるケーブル軸力

	断面積 (cm²)	部材力 (kgf)	応力度 (kgf/cm²)	許容応力度 (kgf/cm²)
メインケーブル	80.8	323.1	3.999	4.000
耐風ケーブル	21.7	202.5	9.333	9.333
ハンガー	3.69	147.6	3.999	4.000
タイケーブル	0.39	3.6	9.311	9.333

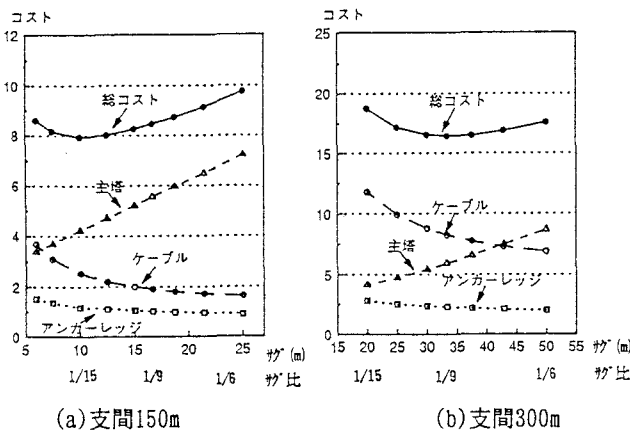


図-8 メインケーブルサグとコストの関係

メインケーブルサグ比を1/15～1/6の範囲で変化させた場合にコストに与える影響は支間150m、支間300mのケースでそれぞれ18%と12%となっており、メインケーブルサグ比がコストに与える影響は比較的大きいといえる。なお、総コストに占めるアンカーレッジの割合は小さく、メインケーブルサグ比に対してあまり敏感ではないため、簡易的に最適サグ比を検討するにはメインケーブルと主塔のみ考慮すれば良いと思われる。

(2) スパン比の影響

図-9、10は支間150mと300mの場合について、メインケーブルのサグ比をそれぞれ1/15、1/9とした場合((1)でコスト最小となったサグ比)のスパン比とコストとの関係を示したものである。また、図-11は塔頂における力のつりあいを示したもので、 N_c 、 N_s はセンタースパン側とサイドスパン側のメインケーブル軸力、 θ_c 、 θ_s はセンタースパン側とサイドスパン側のメインケーブルと主塔のはさむ角である。スパン比の影響に関しても、支間150mの場合と300mの場合とでは明瞭な差が認められる。すなわち、前者ではスパン比はできるだけ大きいほうが望ましく、後者では $r=0.2\sim0.3$ 付近で

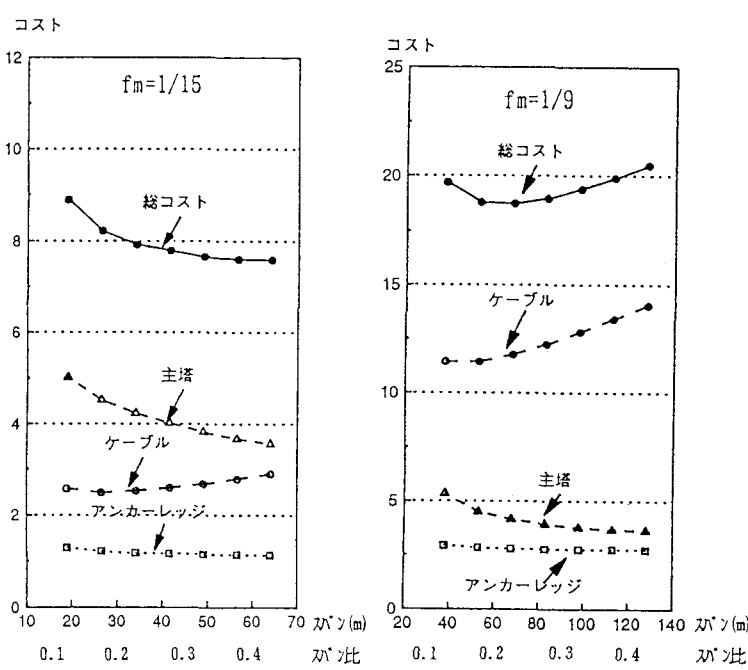


図-9 サイドスパンとコストの関係 (支間150mの場合) 図-10 サイドスパンとコストの関係 (支間300mの場合)

コスト最小となる。これは、サイドスパンを大きくするにつれて N_s が小さくなるのに伴い、主塔に作用する鉛直力が小さくなるため、主塔コストの影響が大きい支間150mの場合はサイドスパンをできるだけ大きくしたほうが、ケーブルコストの影響が大きい支間300mの場合はケーブルのコストをできるだけ抑えたほうが総コストの低減につながるからであると考えられる。また、スパン比を0.1～0.4の範囲で変化させた場合にコストに与える影響は支間150m、300mの場合とも15%程度であり、メインケーブルサグ比と同程度の影響度となっている。

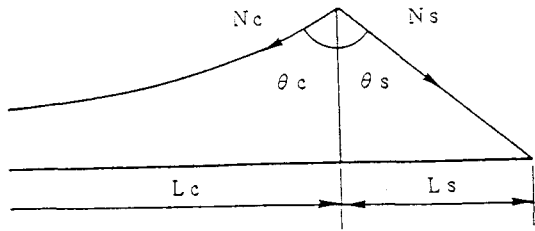


図-11 センタースパンとサイドスパンの関係

今回の計算では、センタースパン側とサイドスパン側でメインケーブルの断面は一定であると仮定しているため、メインケーブルはサイドスパンが小さいと N_s により断面が決定されるのに対し、サイドスパンが大きくなるとサイドスパンに対してほぼ一定値である N_c により断面が決定される。したがって、メインケーブルコストは $N_c=N_s$ すなわち $\theta_c=\theta_s$ となるとき最小となる。

(3) 耐風ケーブルサグ比の影響

図-12に耐風ケーブルサグ比とコストとの関係を示す。ここで、

(a)、(b)は支間150mと300mの場合について、メインケーブルのサグ比をそれぞれ1/15、1/9とした場合である。同図より、耐風ケーブルサグ比が小さくなるほど、僅かではあるがコストが減少しているのがわかる。今回実施したケーブルネットワークの最適化においては、ケーブルコストに占めるメインケーブルおよび耐風ケーブルの割合は、何れのケースもほぼ70%と20%であった。このため、総コストの低減にはメインケーブルの軸力を小さくすることが有効である。耐風ケーブルのサグを大きくすると、耐風安定性上は有効であり、耐風ケーブルの断面積も小さくなるが、導入されるプレストレスの合力がメインケーブルに対して死荷重を増加させる方向に作用するため、メインケーブルの断面積は多少大きめとなり、結果的には僅かながらコスト増となる。しかし、耐風ケーブルサグ比によるコストの変化は小さく、どの値を用いても大差ないと言える。

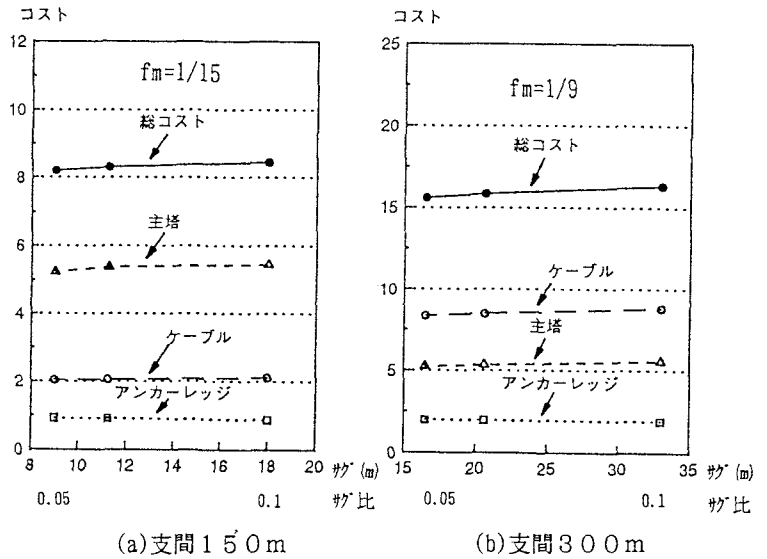


図-12 耐風ケーブルサグとコストの関係

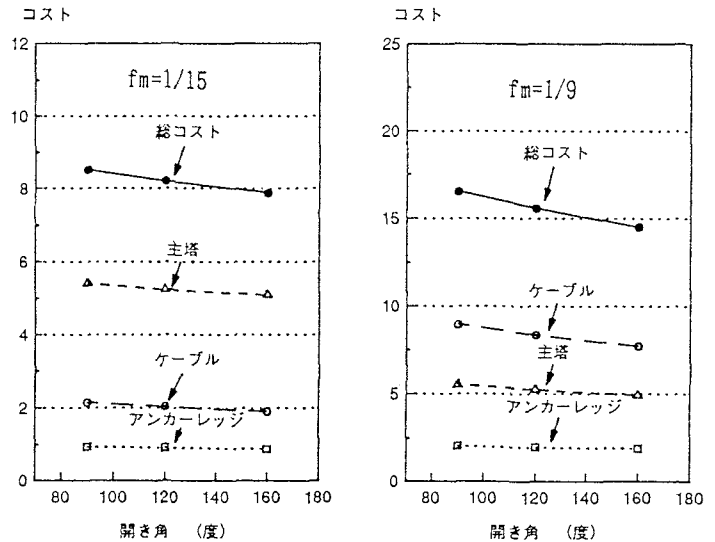


図-13 タイケーブル開き角とコストの関係

(4) タイケーブル開き角の影響

図-13にタイケーブル開き角とコストとの関係を示す。タイケーブル開き角を大きくすることで

メインケーブルに作用する鉛直下向きの力が低減されるため、前節と同じ理由でケーブルコストは180°で最小となることが予想され、総コストも同様の傾向を示している。タイケーブル開き角の変化にともなう耐風ケーブル定着高さの変化がアンカーレッジコストに与える影響は現場の地形条件により異なるため、この結果は普遍性を有するものではないが、アンカーレッジの総コストに占める割合を考えると、図-13の結果はそれほど大きく変化することはないものと思われる。さらに、タイケーブル開き角の変化にともなうコストの変化は、耐風ケーブルサグ比の場合より大きいものの5%程度であり、耐風安定性や施工性などの要因により、解をトレードオフさせることのほうが現実的であるとする。

6. まとめ

支間150mと300mの無補剛吊形式水管橋のモデルに対して、骨組形状パラメータがコストに与える影響を検討した。その結果をまとめて以下に示す。

①メインケーブル、耐風ケーブルなど各ケーブルの断面積を設計変数に、コスト最小設計と全応力設計の比較を行った結果、両者は一致することが確認された。これは、各ケーブルの最大部材力を制約条件にしたことに起因するものと考えられる。

②ケーブルネットワークの最適化にあたっては、構造解析に線形解析と幾何学的非線形解析のどちらを用いるべきかの検討を行った。風荷重載荷時の耐風ケーブル張力のみが、線形解より非線形解のほうが約30%小さくなるが、ケーブルネットワークの総コストに占める耐風ケーブルのコストは20%程度であるため、総コストに与える影響は小さいと考えられ、線形解析で十分評価可能であると思われる。

③目的関数として、ケーブルネットワークのコスト、主塔のコスト、アンカーレッジのコストの総和を用いたが、何れの場合においてもそれぞれの比は支間150mで2.5 : 4 : 1、支間300mで4 : 3 : 1程度であり、アンカーレッジのコストは各種パラメータの変動に対して敏感でなく、骨組形状の最適化においては除外しても良い程度の割合である。また、ケーブルコストに占めるハンガーとタイケーブルのコストの割合は10%程度であるため、今回は検討を行っていないものの、これらの取付間隔がコストに与える影響は小さいものと考えられる。なお、今回は支間150m、支間300mの主塔形式を図-5のように設定したが、主塔形式がコストに与える影響が大きくなることも予想されるため、その設定には注意が必要であると考えられる。

④メインケーブルサグ比がコストに及ぼす影響を検討した。支間150mの場合はケーブルネットワークのコストよりも主塔のコストのほうが大きいいため、できるだけ主塔を低くするほうが良く、サグ比1/15程度でコスト最小となる。これに対して支間300mの場合では、ケーブルネットワークのコストが主塔のコストよりも大きくなるため、メインケーブルのコストを減少させることが総コストの改善につながり、サグ比1/9付近でコスト最小となることがわかった。また、メインケーブルサグ比を1/15～1/6の範囲で変化させた場合にコストに与える影響は支間150m、支間300mのケースでそれぞれ18%と12%であった。

⑤スパン比がコストに及ぼす影響を検討した。その結果、スパン比を0.1～0.4の範囲で変化させた場合にコストに与える影響は支間150m、300mの場合とも15%程度であり、メインケーブルサグ比と同程度の影響度であった。また、主塔のコストの影響が大きい支間150mの場合はサイドスパンをできるだけ大きくしたほうが、ケーブルコストの影響が大きい支間300mの場合はサイドスパンをスパン比 $r=0.2\sim0.3$ に抑えるほうがコストの削減につながる。

⑥耐風ケーブルサグ比をパラメータとしてコスト比較を行った。耐風ケーブルに導入するプレストレス一定という条件のもとでは、プレストレスによるメインケーブル張力の増加を抑えるため、耐風ケーブルサグ比は小さいほど望ましいことがわかった。ただし、耐風ケーブルサグ比の変化による総コストの変化は小さく、コストの観点から決定する必要はないと思われる。

⑦タイケーブル開き角の違いによるコストの比較を行った。今回の試算では開き角 180° のときがコスト的には最小になり、 120° まで小さくすると5%程度のコスト増となる。コストに及ぼす影響はさほど大きくないことと本来開き角は、耐風安定性を増すためのものであることを考えれば、架設地点の状況に応じて決定して良いと考えられる。

上記の内容は、今回設定したコスト試算の仮定のもとでの結果であり、必ずしも普遍性を有するものではないため、個々の架設現場の条件に応じて詳細な検討を実施する必要があることは論を待たない。しかし、ここで得られた結果は、本形式水管橋の基本設計段階で骨組形状を決定する際の基礎資料になるものと考えられる。

<付 録>

以下に、主塔のコストならびにアンカーレッジのコスト算出の詳細を示す。

(1) 主塔のコスト

① 主塔本体のコスト

主塔本体のコストは、メインケーブルサグ比（主塔の高さ）と鉛直反力の関数として主塔断面を決定し、次式により主塔本体のコストを求める。なお、単位重量当たり単価には材料費、製作費、架設費を含むものとする。

$$\text{主塔本体のコスト（円）} = \text{主塔重量（t）} \times \text{単位重量当たり単価（円／t）}$$

② ピン支承のコスト

ピン支承には塔の鉛直反力から決まる規格品を用いるものとし、ピン支承のコストとしては購入費と架設費を考慮する。

③ 橋台のコスト

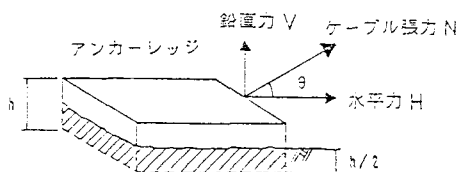
ここでは、橋台の大きさを一定とし、次式により橋台のコストを算出する。なお、単位体積当たり単価には材料費、施工費を考慮する。

$$\text{橋台のコスト（円）} = \text{橋台の容積（m}^3\text{）} \times \text{単位体積当たり単価（円／m}^3\text{）}$$

(2) アンカーレッジのコスト

アンカーレッジは付図－１のような形状のコンクリート構造とする。ケーブル張力：Nとケーブル取付角度： θ の関数となる鉛直力（浮き上がり）：Vに対しては、アンカーレッジの自重により抵抗し、水平力（滑動）：Hに対してはアンカーレッジ前面の土圧とアンカーレッジ底面の摩擦により抵抗するものと考ええる。そして、アンカーレッジの所要断面を算定し、次式よりアンカーレッジのコストを求める。なお、単位体積当たり単価は材料費、施工費を考慮する。

$$\text{アンカーレッジのコスト（円）} = \text{アンカーレッジの容積（m}^3\text{）} \times \text{単位体積当たり単価（円／m}^3\text{）}$$



付図－１ アンカーレッジの構造

<参考文献>

- 1) 水田、湯治、川井：無補剛吊り水管橋の動的応答特性、土木構造・材料論文集、第7号、1992.1
- 2) 崎元、中村、湯治、渡辺：無補剛吊り水管橋の静的挙動、構造工学論文集 Vol.38A、1992.3
- 3) 久保、中原、中村、加藤：無補剛吊形式水管橋の空力的制振法、構造工学論文集 Vol.38A、1992.3

(1992年9月21日受付)