

I-A41

ピン定着横締め方式ケーブルバンドに関する解析的研究

長 大 正会員 〇近藤 磨舒
国際建設技術協会 正会員 奥田 基
(前 本四公団)

本州四国連絡橋公団 河口 浩二
長 大 正会員 山崎 武文

1. はじめに

本州四国連絡橋の明石海峡大橋では、ハンガーロープ材料として従来のCFRC型のストランドロープに替えてPWSケーブルを採用し、それに伴いケーブルバンドも従来の鞍掛け方式の替わりに、ピン定着方式ケーブルバンドを採用した^{1)・2)・3)}。ピン定着方式ケーブルバンドには、縦締め方式（来島大橋で採用）と横締め方式があるが、本橋はハンガー張力が大きいことや桁側定着がトラス弦材であることを考慮して、橋軸直角方向に2本のハンガーを配するダブルハンガーとしたため、ケーブルバンドも横締め方式を採用した^{1)・4)}。

橋軸直角方向のダブルハンガーにピン定着横締め方式ケーブルバンドを採用した長大吊橋はほとんどなく、その力学性状には不明確な点が多く、本橋に適用するに当たって下記のような問題点が考えられた^{1)・4)}。

- ①ハンガー張力の方向とボルト配置の方向が同一でなく、バンドやボルトの応力・変形挙動が複雑である。
- ②ハンガー張力の作用により上下のボルト軸力が増減するが、その程度が不明である。
- ③長大吊橋であるため、暴風時にケーブルと補剛桁との間に橋軸直角方向の大きな相対変位が生じ、バンド本体とピンプレートとの接点部には大きな曲げ応力が発生し、安全性に問題がある。

これらの問題点を解明するため、本研究では設計に先立って、ピン定着横締め方式ケーブルバンドについて2次元有限要素法による解析を行い、ケーブルバンドおよびボルトの力学性状を把握し、設計に配慮すべき項目について考察した。

2. ケーブルバンド構造

ピン定着横締め方式ケーブルバンド構造を、図-1に示す。

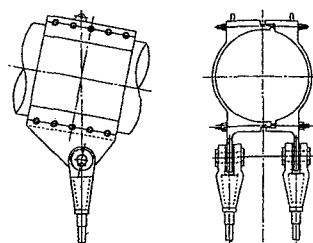


図-1 ケーブルバンド構造

3. 解析方法

3.1 解析モデルおよび着目点

解析モデルは、図-2に示すようにケーブルの中心に支点を置き、ケーブルを棒要素で評価し、支点とバンドの間に棒要素を配置する解析モデルとした。またバンド応力着目点はa～dの4点、バンド変位着目点は上端、下端の2点とした。

3.2 ケーブルの弾性係数

ケーブルを棒要素で評価した場合の弾性係数は、大鳴門橋のケーブルバンド架設時に測定したバンド内圧と弾性係数のグラフより想定した。バンド内圧（ $p \approx 62 \text{ kgf/cm}^2$ ）に相当するケーブルの弾性係数は $35,000 \text{ kgf/cm}^2$ 程度であるが、弾性係数が小さいほどバンド応力が大きくなるため、バンド内圧が低い場合の弾性係数 $5,000 \text{ kgf/cm}^2$ の2種類で解析を行った。

3.3 水平力に対する支点条件

暴風時の水平力に対する支点条件として、バンドに作用する水平力をケーブルに伝達するという考え方で、ケーブル上下のバンド端部に水平バネを設けて、回転力に対して抵抗させるモデルとした。

水平支点バネ定数として $K=500 \text{ tf/m}$ 、 $1,000 \text{ tf/m}$ 、 $2,000 \text{ tf/m}$ の3種類についてパラメトリック解析を行った。

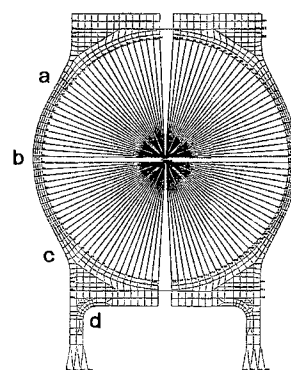


図-2 解析モデルと着目点

〔キーワード〕 ピン定着横締め方式ケーブルバンド、有限要素法、ケーブルの弾性係数、導入ボルト軸力

〔連絡先〕 〒103-0014 東京都中央区日本橋蛸殻町1-20-4 TEL 03-3639-3440 FAX 03-3639-4695

3.4 荷重強度

ケーブルバンドに作用するハンガー張力は、ダブルハンガーを忠実に評価した吊橋全体系立体骨組モデルに対する線形化有限変形解析^{1), 2), 3)}により求めた最大値とし、常時荷重は1ハンガー当り145tonf、暴風時荷重は、図-3に示すような鉛直・水平荷重とした。

3.5 導入ボルト軸力

導入ボルト軸力は、降伏点応力度の75%（M42、約72tonf）を温度変化に換算して入力した。

3.6 材料および強度⁵⁾

ケーブルバンドの材料はSCW480を用いた。降伏点応力度は $\sigma_y=2,800\text{kgf/cm}^2$ 、許容応力度は軸力に対しては σ 、軸力と曲げに対しては 1.2σ （ $=3,360\text{kgf/cm}^2$ ）とした。

ボルトの材料はSCM435を用い、降伏点応力度は $\sigma_y=8,000\text{kgf/cm}^2$ とした。

4. 解析結果と考察

解析結果を表-1に示す。これに基づいて各項目ごとに結果の考察を行う。

図-3 暴風時荷重

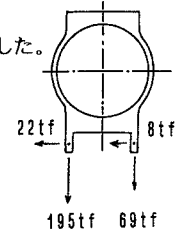


表-1 解析結果

ケーブル 弾性係数	荷 重 状 態	①常時応力度 kgf/cm^2				②鉛直変位 mm			③ボルト付加張力 tf/本		④暴風時最大応力度 kgf/cm^2		
		a	b	c	d	上 端	下 端	合 計	上 側	下 側	K=500tf/m	1,000	2,000
5,000 kgf/cm^2	ボルト軸力導入時	2,264	1,680	2,171	7	6.0	6.0	12.0	—	—	—	—	—
	ハンガー張力作用時	2,491	1,353	2,824	345	7.4	3.1	10.5	+14.3	-9.9	2,925	2,909	2,867
35,000 kgf/cm^2	ボルト軸力導入時	1,374	883	1,364	7	0.9	0.9	1.8	—	—	—	—	—
	ハンガー張力作用時	1,658	910	1,689	345	1.1	0.6	1.7	+12.7	-11.5	—	—	—

4.1 ケーブルバンド応力

ケーブルバンド応力は、主要板厚38mm、ケーブルの弾性係数5,000 kgf/cm^2 とした最も厳しい条件で、最大応力度が2,824 kgf/cm^2 （pt.c）となり、降伏点応力度 σ_y を若干オーバーするが、弾性係数が35,000 kgf/cm^2 のケースでは最大応力度が1,689 kgf/cm^2 （pt.c）となっており、安全性に問題ないことが確認できた。

4.2 ケーブルバンド変位

ケーブルバンド変位は、主要板厚38mm、ケーブルの弾性係数5,000 kgf/cm^2 のケースで、ボルト軸力導入時の上下端合計最大変位量が12mmという結果が得られた。これは空隙率に換算すると16.1%で、仮定値（スキューズ後の空隙率）18%に対する減少量が1.9%程度であり、過去の施工実績より許容範囲内であると判断した⁵⁾。

4.3 ボルト軸力の変動

ボルト軸力の変動は、ボルト軸力導入後にハンガー張力を作用させると、バンド上側のボルト軸力が13~14tonf/本程度増加し、下側ボルト軸力は10~11tonf/本程度減少した。

上側ボルトの付加軸力は、ボルト降伏点応力度 σ_y の約15%に相当する値であることが判明した。

4.4 暴風時のケーブルバンド応力

暴風時のケーブルバンド応力は、ケーブルの弾性係数を5,000 kgf/cm^2 とした安全側のケースで解析したが、水平支点バネ定数（K）による差異は2%程度で、ほとんど影響がなかった。

最大応力度は2,925 kgf/cm^2 （ $<1.2\sigma_y$ ）で、暴風時に対する増厚等の特別な配慮は必要ないことが確認できた。

5. おわりに

本研究で解明された結果を配慮して設計を行い、製作段階では実験や3次元有限要素法による解析により設計の妥当性を検証した¹⁾。今後は、4月に完成した明石海峡大橋の実橋計測によるさらなる検証が望まれる。

最後に、本論文執筆に際してご指導戴いた北大大学院工学研究科佐藤浩一教授に感謝の意を表します。

- 【参考文献】 1) 河口浩二・飯永健：明石海峡大橋のバンド・ハンガー構造（その1）、本四技報 VOL. 18, No. 70, pp. 22~28, 1994. 4 2) 近藤清舒・奥田 基・河口浩二・山崎武文：長大吊橋のPWSハンガーのガスト応答解析による累積疲労調査、第52回土木学会年次学術講演会概要集第1部（A）、pp. 510~511, 1997. 9 3) 近藤清舒・奥田 基・河口浩二・山崎武文：長大吊橋ハンガーシステムの設計法について、剛構造年次論文報告集第5巻、pp. 31~38, 1997. 11 4) 大橋治一：ピン定置ケーブルバンドの構造特性、本四技報 VOL. 17, No. 67, pp. 22~32, 1993. 7 5) ケーブルバンド設計要領、昭和53年3月、本州四国連絡橋公団