

I-27 超長大径間吊橋(中央径間3,000m級)の設計試案

室蘭工業大学 正員 中村作太郎

1. 緒言

世界における最長径間の吊橋としては、米国の Gordon Gate 橋の中央径間 1281.6 m, 側径間 342.9 m を筆頭に、Mackinac 橋の中央径間 1158.2 m, 側径間 543.64 m などがある。また、我が国では、架設実現はされなかったが、下関～門司間に、中央径間 720 m, 側径間 280 m の吊橋が計画設計された。しかし、何れも、中央径間は 1500 m 以内であり、3,000 m を越える超長大径間の吊橋は、そう簡単には架設実現されそうにもない。筆者は、図-1、図-2 のような中央径間 3,008 m, 側径間 1,024 m の吊橋の設計試案を試み、その架設実現可能性の有無について、力学的に吟味検討した。

2. 設計の概要

図-1、図-2 の通り、塔柱中心間 $l' = 3,008.0 \text{ m}$, 補剛桁支間(主径間) $l = 3,000.0 \text{ m}$, 全(側径間) $l_s = 1,005.0 \text{ m}$, 補剛桁格子距離 $a = 30 \text{ m}$, 側径間支間 $l'_s = 1,024.0 \text{ m}$, 矢高 $f = 300 \text{ m}$, 補剛構ワーレントラスの高さ $h = 18.0 \text{ m}$, 幅員 $b = 58.50 \text{ m}$, 吊材間隔 $\beta = 15.0 \text{ m}$ とし、橋の型式は二鉋補剛吊橋で、道路一等橋 6 車線および鉄道 KS-18 荷重複々線を同時に通過せしめ得るよう設計した。

使用材料としては、主ケーブルに亜鉛鍍鋼線の Parallel

wire cable, 吊材には複撚索, 補剛構, 縦桁, 横桁には高抗張力鋼(Hi-Stren Steel), 床版鉄筋には $\sigma_{ca} = 1,400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ SS41, 塔には Ducol Steel, アンカ―ブロックには重力式コンクリート $\sigma_{ca} = 40 \sim 60 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ を用いた。

3. 力学的の吟味検討

主ケーブルの水平張力の応力解析には、Selberg の示した影響線による撓度理論計算法を用い、死荷重および活荷重による水平引張力の合計 $\Sigma H = 64,593 \text{ t}$, 全最大張力 $\Sigma T =$

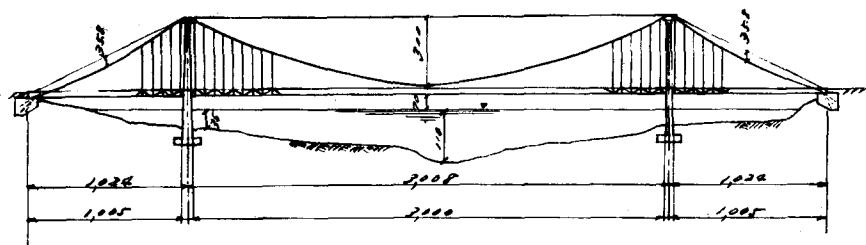


図-1 吊橋の側面図

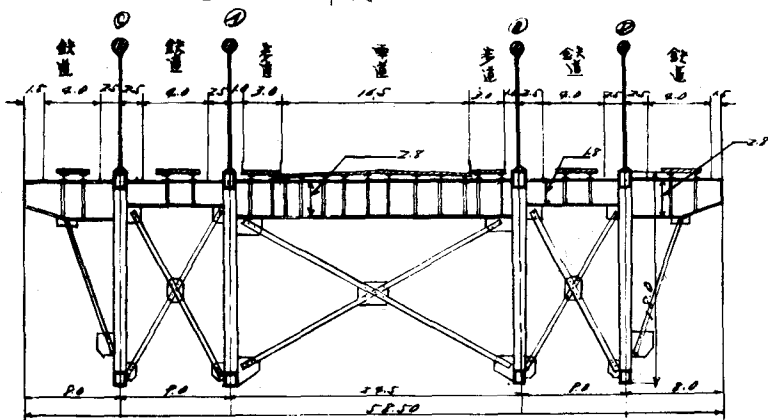


図-2 吊橋の横断面図

65255 t, 最大曲げモーメント $\Sigma M = 19874.93 \text{ t-m}$ を得た。これに対し、ケーブルの所要断面積を計算すれば、 $F_c = 13,962 \text{ cm}^2$ となり、4mm素線400本ストラッド数300本を使用した。すなわち Parallel wire cable の断面積は $15,072 \text{ cm}^2$ で、直径は 138.6 cm となり抗張力 $70,442 \text{ t}$ となる。また、吊材の応張力は 258.374 t で Round Stranded rope を用いると37本線6捻共心のものが適当であり、鋼索直径 78 mm となる。

また、補剛構のワーレントラスの各部材について挫屈荷重を計算した結果、安全率は上弦材で2.0、下弦材で2.4、斜材で2.1、鉛直材で3.5となり充分安全であった。塔は横荷重と鉛直荷重を同時に受ける3径間3層ラーメンとして解き、柱断面には複合集成の箱型断面を用いた。すなわち、外側の柱は8箱桁の複合集成断面を一様に用い、内側の柱は上層に8箱桁、中層に12箱桁、下層に16箱桁の複合集成断面をそれぞれ用いた。また、横梁ストラットにはトラスを用い、塔の材料としてはすべて Ducol Steel を使用した。

更に、塔全体としての安定計算として、風荷重による検査、地震時、平常時における検査を廣範囲に渡って行い、コンクリート基礎の幅と深さを決定した。

最後に、吊橋の風荷重による安定問題、特に補剛構の振り振動について吟味検討した。すなわち、振り振動に対し平井博士の誘導した限界風速の解式
$$v_{\infty}^2 = \frac{120}{\gamma} \sqrt{\frac{EJ \cdot GK}{(\mu C_d \rho b l^3)^2}} \dots (1)$$
 [ここに、 v_{∞} : 限界風速 (m/sec)、 $EJ = EI + \frac{l^2}{2\pi^2} H$ (換算撓み剛性)で、 $n=2$ 中央一節点振動に対するもの)、 $GK = \frac{\pi^2 b^2}{l^2} EJ$ (補剛構撓み剛性)、 μ : 係数で、 $n=2$ に対し $\mu^2 = 1 + \frac{\sqrt{128}}{4\pi^2} \frac{S}{C_d}$ 、 C_d : 補剛構の抵抗係数、 $S = \left(\frac{dC_d}{d\phi}\right)_{\phi=0}$ 、 C_l : 補剛構の揚力係数、 ρ : 空気密度 ($\rho = 0.125 \text{ kg-sec}^2/\text{m}^4$)、 γ : 安全率 (2~3)、 b : 左右ケーブルの間隔] によって計算した結果、4本のケーブルが1体となつて働くと考え、安全率1とすれば $v_{\infty} = 67.04 \text{ m/sec}$ 、安全率2とすれば $v_{\infty} = 47.40 \text{ m/sec}$ が得られる。すなわち、新 Tacoma 橋において、安全率2に対し、限界風速 $v_{\infty} = 50 \text{ m/sec}$ となつてゐるのに略近い結果となる。

次に、補剛構に高抗張力鋼を用いる代りに、高强度アルミニウム合金を用いて見れば、死荷重の軽減により、水平引張力の合計は $\Sigma H = 47,636 \text{ t}$ 、最大水平引張力 $\Sigma T = 48,90 \text{ t}$ 、最大曲げモーメント $\Sigma M = 29,858 \text{ t-m}$ となり、主ケーブルの所要断面積 $10,450 \text{ cm}^2$ で、Parallel wire cable の断面積 $11,350 \text{ cm}^2$ を用いれば、ケーブルの直径 120.2 cm となり抗張力 $52,500 \text{ t}$ になる。また、吊材の応張力も減少し、 191.0 t となり、Round Strand rope 37本線6捻共心で鋼索の直径 65 mm で充分である。しかし、アルミニウム合金を補剛構に用いる事は、現今においてはまだ種々の問題があり無理であると思う。

4. 結言

以上の如く風荷重による振り振動を考慮すれば、図-2のような總幅員 58.50 m の断面が必要であり、道路一等橋6車線と鉄道KS-18荷重複々線を4本の主ケーブルに平等に荷重配分するように、道路、鉄道の配置並びに断面を決定しなければならない。本吊橋の横断面はこれらの事項を充分考慮の上決定したものである。架設の問題又は、何といつても、 400 m の高さを有する塔の施工と中央径間約 $3,000 \text{ m}$ に渡るケーブルの架設にかかつてゐる云う事が出来る。しかし、補剛構、縦桁、横桁に抗高張力鋼を使用し、塔にはデュコー鋼を用いれば、更に種々の研究問題が残るとしても、架設実現可能であると考えらる。