

吊橋補剛桁の流體力學的特性

正員 工學博士 平 井 敦*
 准員 小 松 康 二*²
 准員 中 島 彬 博*³
 准員 西 野 滿 男*⁴

内 容 吊橋補剛桁に關する流體力學的特性即ち、揚力係數、抗力係數及びモーメント係數を東大第一工學部の 1.5 m Göttingen 型風洞を使用し之を求め、將來の吊橋の理論的研究並びに設計に對する一資料を提供したものである。

1. 序 言

昭和 15 年 11 月 Tacoma Narrows 橋の破壊以來、吊橋の流體力學的性质に對し注目されて來たが、吊橋補剛桁即ち一般に橋床断面に關する流體力學の諸係數を與へる資料に不足してゐる現況である。米國に於けるこの方面の研究は相當進歩してゐる事と想像されるが、筆者等がこの實驗にとりかゝる迄には此種資料を手にする事が出来なかつた。實驗が半分位進んだ頃に Steinman¹⁾ 氏の研究報告を一讀する機会にめぐまれたが、之は實驗報告そのままでないで、同氏の資料中より我々が理論的方面で必要とする數値を拾ふにはやはり不便がある。

實驗結果を出来る限り詳細に記述する事は紙面の都合上許されないで、結果の曲線のみを紹介し之に簡単な説明を付ける程度にするが、詳しい資料は東大第一工學部土木教室に保管してある。又この報告は單に實驗結果のみにとりかゝる。

この研究は、科學研究費(學研第 8 部)によつた事を附記する。

2. 實驗裝置及び模型

この實驗に使用した風洞は東大第一工學部にある 1.5 m Göttingen 型風洞であるが、實驗に當りては應

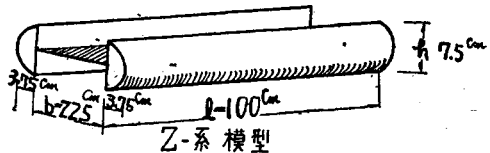
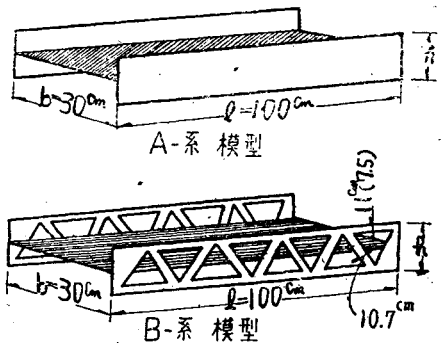
- *1 東京大學助教授 第一工學部 土木工學教室
- *2 横濱市水道局淨水課
- *3 日本鋪道株式會社
- *4 横河橋梁株式會社

1) Proc. A. S. C. E. 1943, Nov., Rigidity and Aerodynamic Stability of Suspension Bridges. D. B. Steinman.

用數學教室近藤次郎氏の御援助を頂いた事を記し、厚く御禮申上げる次第である。

模型は厚さ 2 mm の鋼板を熔接して製作し、表面にはペイントを塗つた。之等は總て横河橋梁製作所の御好意に依るものである。今回行つた實驗に使用した型の型式並びに寸法は圖-1 及 圖-2 表-1 に示す通りで、總計 11 である。

圖-1.



3. 實驗方法

最初 A-1 型に就いて、風速 17.9, 28.0, 及び 34.7 m/sec につき實驗を行つた所、風速の變化による影響は流體力學の諸係數の測定には無視し得られる程度なる事を確めたので、以後の實驗には本風洞として

圖一2.

稱号	断面	h (cm)	b (cm)	h/b	備考
A-1		7.5	30.0	0.25	補剛桁
A-2		4.5	30.0	0.15	"
A-4			30.0	0.00	平板(床のみ)
B-1		7.5	30.0	0.25	補剛トラス
B-2		4.5	30.0	0.15	"
Z-1		7.5	22.5	0.33	Z-2のwebに長さ75cmの角材を取付したもの
Z-2		7.5	22.5	0.33	補剛桁
C-1		7.5	30.0	0.25	A-1のFlangeに開孔
C-2		4.5	30.0	0.15	A-2のFlangeに開孔
C-4			30.0	0.00	A-4のFlangeに開孔
D-1		7.5	30.0	0.25	B-1のFlangeに開孔

但し h は桁高 100 cm とす

最適の風速即ち約 28.5 m/sec の風速で実験を行つた。

迎角の範囲は種々の豫備試験の結果、次の如き場合の読みを取る事にした。0°, 1°, 2°, 3°, 4°, 5°, 6°, 7°, 8°, 10°, 15°, 20°, 23°, 26°, 及び 30° である。

今 L_{10} , L_{20} を夫々風速零の時のある迎角に對する一、第二揚力天秤の読みとし、 L_1 , L_2 をある風速に於ける同一迎角に對する夫々の読みとすれば、全揚力は $(L_1 - L_{10}) + (L_2 - L_{20})$ である故揚力係數 C_l は

$$C_l = \frac{(L_1 - L_{10}) + (L_2 - L_{20})}{qb}$$

但し、 q は空氣密度を ρ とし風速を V とすれば、 $q = 1/2 \rho V^2$ 。抗力係數 C_d は、抗力天秤よりの實測値より初期値、吊線抵抗等を減じ且吊線の張方等に関する修正を行つた後の値を D とすれば、次式で與へられる。*

表一1.

型式	孔面積 m ²	全床面積 m ²	孔面積 全床面積	備考
C-1	0.0076	0.3	0.025	直中に3列に圓孔 ($\phi = 1$ cm) をあける。
C'-1	0.0103	"	0.034	兩側に2列づつ圓孔をあける。
C''-1	0.0179	"	0.06	上記の二者を一緒にしたもの。
C-2	0.0076	"	0.025	真中に3列に圓孔をあける。
C'-2	0.0103	"	0.034	兩側に2列づつ圓孔をあける。
C''-2	0.0179	"	0.06	上記の二者を一緒にしたもの。
C-4	0.0079	"	0.026	真中に2列に圓孔をあける。
C'-4	0.0079	"	0.026	兩側に2列づつ圓孔をあける。
C''-4	0.0158	"	0.053	上記の二者を一緒にしたもの。
D-1	0.0079	"	0.026	真中に2列に圓孔をあける。
D'-1	0.0079	"	0.026	兩側に1列づつ圓孔をあける。
D''-1	0.0158	"	0.053	上記の二者を一緒にしたもの。

$$C_d = \frac{D}{qb}$$

モーメントは断面の中心軸に關するものとし、迎角 ϕ を増加させる様な方向のモーメントを正方向と規定する。モーメント係數 C_m は、

$$C_m = \frac{(L_1 - L_2) \frac{b}{2} \cos \phi + D \frac{b}{2} \sin \phi}{q \cdot b^2}$$

4. 鉸桁を主桁とする補剛桁の特性

前記模型の I 型の Web は、補剛桁の床部を意味し、I 型の Flange は補剛桁を構成する主桁を意味する。従つて前記模型 A-系 及 Z-2 は補剛桁を構成する主桁が鉸桁なる場合に相當し、B-系の模型はトラスの場合に相當する。

補剛桁が鉸桁なる場合、問題は其の桁高 h と橋幅 b との關係であらう。この h/b が流体力学的諸係數に如何なる影響を有するかを實驗的に確める事が、理論的

研究の結果より要請せられてゐる。(論文集参照)

A-系及びZ-2に關する實驗の結果によると揚力係數 C_L は圖-3の如く、A-1及びZ-2に於て C_L に負の部分が現はれる。A-1に於ては迎角 0° より 7° 迄の間、Z-2に於ては 0° より 12° 位までが負となつて居る。A-1に於ては $h/b=0.25$ であるが、この比が小さくなると漸次平板の値に近づく。圖-3には比較の爲、平板の理論値 $C_L=2\pi$ を比較の爲プロットしてある。 C_L が正の部分よりなる h/b の限界値を求めたかつたが、今回の實驗では出来なかつた。 h/b が或値以上になると、I型のFlangeの平面の効果が迎角の小なる範圍では支配的で、迎角が或値になつて漸次Webの部分(橋床に相當)の効果があらはれてくる傾向にある。かくの如きI型斷面に關する理論的研究が應用數學教室の近藤次郎氏の下で目下進められて居る。

猶圖-3より窺はれる事は所謂失速角の値が h/b の増大と共に増大してゐる事である。

抵抗力係數の測定結果は圖-4の如くであるが、側面曝露面積の大なるもの程即ち h/b の大なる程である。

モーメント係數 C_m の測定値は圖-5の如し。

圖-3.

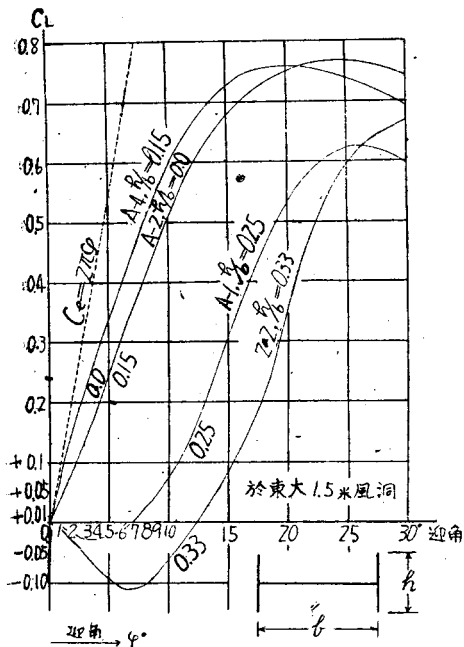
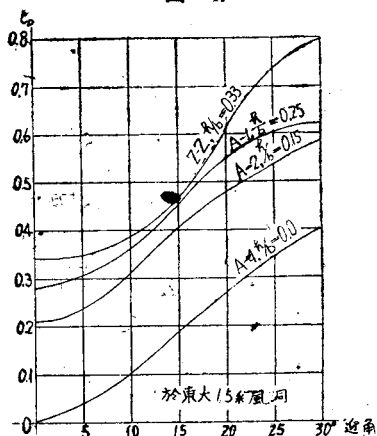


圖-4.



I型のFlangeを有するもの即ち吊橋補剛桁の主桁が板桁なる場合に相當する模型のモーメント係數はこの實驗では總て負となつて居り其値の絕對値は h/b の値が大となるに従ひ大となつて居る。失速角は h/b が小なる程小である。この實驗に於ける h/b の最小のものは平板を除けば $h/b=0.15$ であるが、之と平板 ($h/b=0$) との間の移り變りが如何になるかを更に實驗的に確める必要がある。平板の縁に高欄に相當するものをもうけ、流れを亂した場合のモーメント係數も求める必要がある。

次に床部に開孔する事に依る係數の變化を調べた

圖-5.

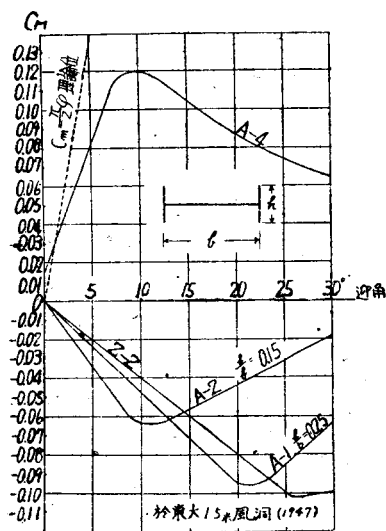


圖-6.

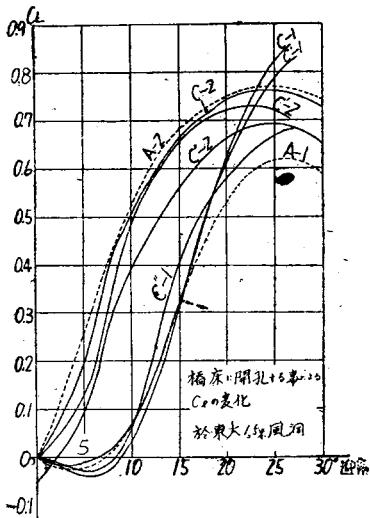


圖-7.

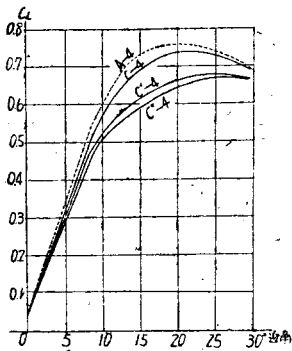


圖-8.

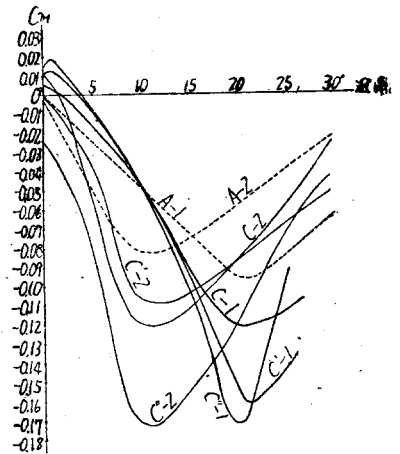


圖-9.

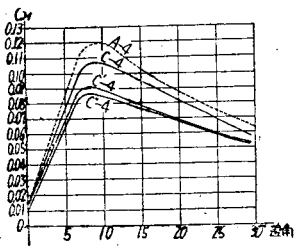


圖-10.

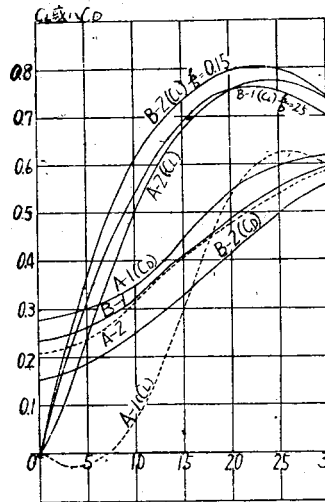


圖-11.

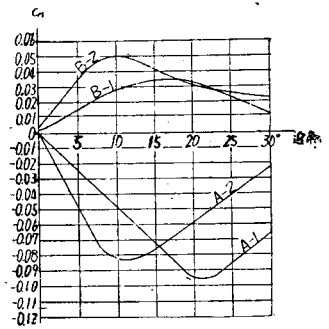


圖-12.

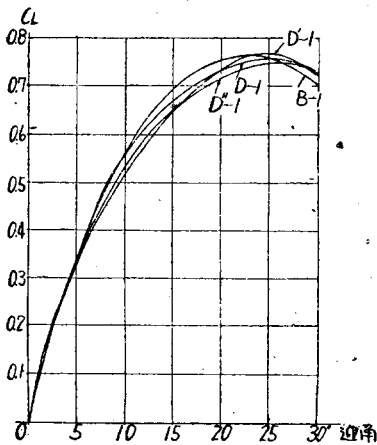


圖-13.

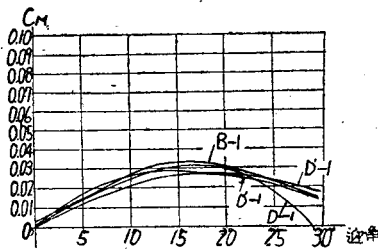
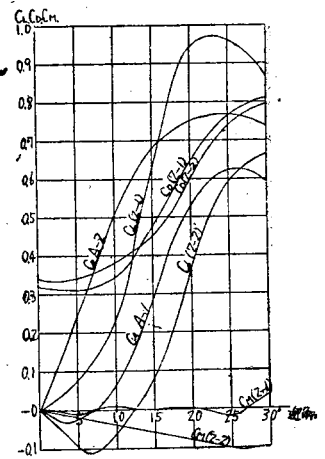


圖-14.



所、揚力係数に於ては 圖-6 に示す如く、迎角 15° 位まではたいした変化は認められない。猶孔の数も比較的少なかつたが、ドリルの仕方が不良で、孔の周囲に凸出部がある爲その抵抗も相當ある様である。圖-7 は平板 A-4 に開孔せる場合である。モーメント係数は 圖-8 の如く、床部の開孔に依り多少の影響を受ける事が認められる。この點は重要な點である故更に再実験を試みたい。圖-9 は平板の場合を示す。

5. トラスを主桁とする補剛桁の特性

圖-10、圖-11 に示す如く、I 型の Flange にトラス型の孔を開けた場合の係数は大體に於て平板の系統に屬する。しかしながら現實の補剛トラスも之と同様か否かは再考を要する問題である。高欄等の影響の爲むしろ板桁の場合の h/b の非常に小さい場合に相當するかも知れず、之點更に実験を進める必要がある。圖-10、圖-11 には比較的便宜上 A-1 及 A-2 の係数を點線で記入した。

床部に開孔する事の影響は 圖-12、圖-13 に見られる如く殆ど影響が現はれない様である。

6. 補剛桁の外側に半圓壩を取付けた断面の特性

I 型断面の Flange の部分に更に半圓壩を取付けた場合の影響を知る爲に Z-1 系の模型につき実験を行った所、圖-14 の如き結果を得た。Z-2 に於ては C_L に負の部分が存在するが Z-1 に於ては負の部分

取除かれて居る。抗力係数 C_d は殆ど變らないが、モーメントはこの実験に關する限り迎角約 20° 位迄は極めて小さく殆ど作用せぬと云つてよく、 20° 以上になつて多少現はれてくるが、この実験は唯一つの場合についてであるから、再調査が望ましい。

7. 結語

以上が大體の実験結果であるが、I 型断面の h/b によつて諸係数の性格が相當變つてくる事が窺はれ、又この Flange に相當する部分に開孔させてトラス型とすれば平板に近よつてくる事がわかる。床部即ち I 型断面の Web に孔をあけても、この実験模型程度の開孔では揚力、抗力及びモーメント係数に關する限りあまり影響がない様であるが、開孔に依り damping coef. に如何なる影響を與へるかは將來行はるべき実験であらう。

東大、近藤一夫教授の御研究に依れば、揚力が負になる場合は理論上其値が不定となるとの事であるが、今回の実験にはダンパーを用ひて測定した爲圖示の如き値が測定結果として現はれたが、之等の點の吟味は今後の問題である。

この報告は、唯特性曲線を示したのみであるが、如何なる断面を撰ぶべきかに就いては論文集に於て改めて取上げる事とする。

(昭 22. 9. 15 受付)

附記、Z-1、諸係数の算出に際しては、所謂翼弦の長さでなく I 型としての高さを用ひての事を附記する。

サイエンス・ダイジェストの發刊

當會に於ては今回、建築學會及び財團法人科學技術弘報會と共同して月刊『サイエンス・ダイジェスト』（土木建築部門）を刊行することになった。本誌は海外の土建關係の文献を翻譯し更に論旨を充分に咀嚼し、平明に説明し尙且つ専門家によつて註釋が施されることになつてゐる。體裁は B 列 5 號版約 32 頁で定價は 38 圓である。希望者は下記の何れかに申込まれたい。

東京都文京區 東京大學第一工學部土木工學教室 高橋正泰（學會囑託） 振替・東京 29769 番

東京都中央區新川 2 の 12、土木學會内 S・D 豫約係 振替・東京 16828 番

（土木學會宛の豫約は 5 冊分又は 10 冊分として下さい）

東京都中央區銀座西 3 の 1、日本建築學會 振替・東京 17187 番

東京都千代田區丸ノ内 3 の 4、日本交通協會第 4 號室科學技術弘報協會 振替・東京 26870 番