

高架桁橋の風荷重に関する実験的研究

AN EXPERIMENTAL STUDY ON WIND LOADS OF
GIRDER BRIDGES

小松 定夫*・田井戸 米好**・坂 田 弘***

By Sadao KOMATSU, Yoneyoshi TAIDO and Hiroshi SAKATA

1. ま え が き

近年、高架桁橋においては高欄上に落下物防護および遮音機能をもつ遮音板が設置されるようになり、また、橋体断面形状自身も多様化してきた。このため、一般橋梁を対象とした現行道路橋示方書¹⁾に明確に指示されていない高架桁橋特有の問題が現実存在する。たとえば、2橋が近接して並列するような場合、2橋に作用する風荷重は、これらが単独状態にある場合と一般に異なるが、現行道路橋示方書では明確な規定がなく、2橋の各橋に単独時の風荷重が載荷されているのが現状である。また、高速道路高架橋において特にしばしば見受けられる、橋面勾配(カント)のある橋、曲線橋および桁形式が異なる橋の風荷重についても明確でない。

このため、本研究では、

- ㉑ 遮音板を高欄上に設置した場合の遮音板および遮音板を含めた橋体の風荷重
- ㉒ 2橋並列状態にある橋体の風荷重
- ㉓ 平面的に曲率を有する橋体の風荷重
- ㉔ 橋面勾配を有する橋体の風荷重
- ㉕ 桁形式と風荷重の関係

などを明らかにするため阪神高速道路の標準形式の桁橋を対象とし、その1/25縮尺模型による風洞実験を行った。上記項目のうち、㉔については、従来、2,3の研究^{2),3)}があるが、これらが遮音板の風荷重に重点が置かれているのに対し、本研究では遮音板を含めた橋体の風荷重にも重点を置き、従来より広い範囲の断面比(幅員/橋高)に対する橋体の抗力係数を調べることにした。

㉕は、2橋並列による風荷重の相互干渉作用を調べることを目的としたものである。従来、並列円柱、円板、

垂直平板等の単純な構造物についての研究例⁴⁾はあるが、これらの結果からは任意の相対位置に並列する桁橋の風荷重が推定できるか否かは明らかでないので、今回、並列桁橋についての実験を行い、この結果から並列桁橋の相対位置と風荷重(抗力)の関係を調べることにした。

㉑, ㉒については、従来研究例がないようで、それぞれ、曲線橋の曲率ならびに橋面勾配の風荷重に及ぼす影響度を調べることを目的とした。

また、㉓については、I桁と箱桁の風荷重を比較し、桁形式による風荷重の違いを調べた。

2. 実験装置および方法

(1) 模 型

阪神高速道路における標準桁橋の構造条件を考慮し、表-1に示すような桁橋を実験の対象とし、これらの1/25縮尺部分模型を使用した。模型の種類を図-1に示す。なお、図-1の曲線橋模型は、20.9°および53.9°の2通りの中心角を有するもので、風洞実験は図-2に示す曲線桁橋の一部分を切り出した模型で行った。な

表-1 実験の対象とした桁橋構造諸元

| | |
|-----------------------------|---|
| 道 路 幅 員 B | 12.5 m, 25 m |
| 遮 音 板 高 h_1 | 0 m, 2 m, 4 m |
| 高 欄 高 h_2 | 1 m |
| 桁 高 h_3 | 2.5 m |
| 橋 面 勾 配* ¹⁾ i | 0%, 10% |
| 桁下面横断勾配* ²⁾ i' | 0%, 10% |
| 曲線半径 R (中心角 2λ) | 80 m (53.9°), 200 m (20.9°) ∞ (0°) |
| 桁 形 式 | I形桁, 箱形桁 |
| 2 橋 並 列 条 件 | 2橋水平間隔 W (橋梁中心点距離) 0 m, 12.5 m, 25 m 2橋鉛直間隔 H (橋梁中心点距離) 0 m, 5.5 m, 10 m |

*¹⁾ 以下「カント」という。 *²⁾ 以下「下面傾斜」という。

* 正会員 工博 大阪大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 阪神高速道路公団 大阪第3建設部長

*** 正会員 工博 三菱重工業(株)長崎造船所 流体力研究室長

表-2 耐風拡散汎用風洞諸元

| 耐風拡散汎用風洞要目 | |
|------------|----------------------------|
| 風洞 | 測定部断面 3m×10m 回転式 |
| 送風機 | 形式 1 段軸流形 |
| | 最大風量 840 m ³ /s |
| | 有効圧力 100 mm/Aq |
| | 風量調整 回転数制御 |
| 電動機 | 形式 サイリスタ電動機 |
| | 出力 1150 kW 510 V |
| | 制御方式 サイクロコンバータ式サイリスタ制御 |

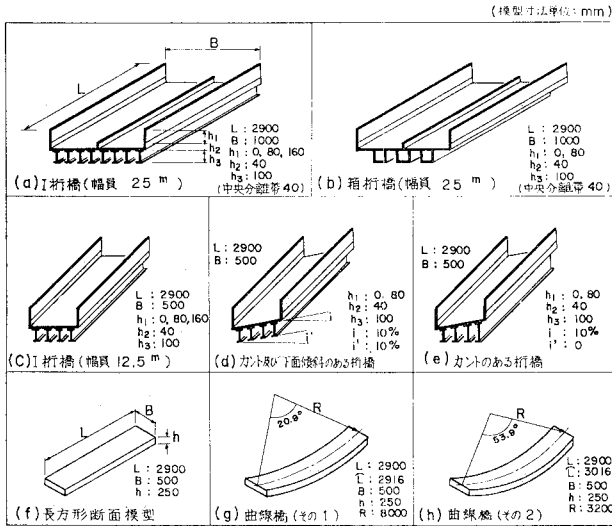


図-1 模型の種類

お、図-2 に示すように、実際の曲線桁橋の両側には隣接桁橋が連続しているので、流れに対するその影響を近似的に再現するために部分模型の端部には端板をつけることにした。

(2) 風洞

三菱重工業(株)長崎研究所の耐風拡散汎用風洞を使

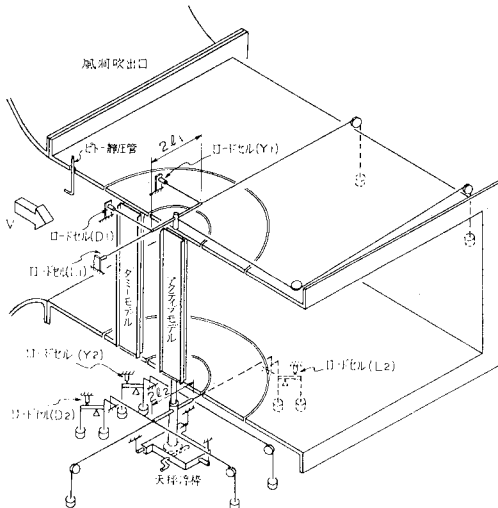


図-3 3分力計測法

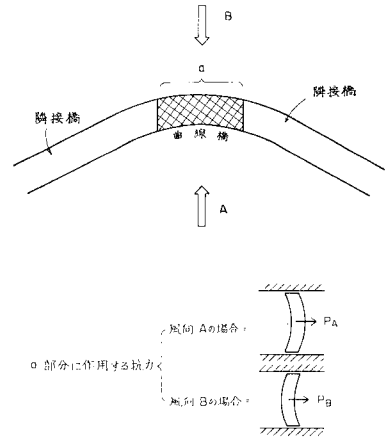


図-2 曲線橋模型の近似化

用した。この風洞の主要目を表-2 に示す。

(3) 3分力実験

桁橋の場合、設計上重要な風荷重は抗力であるが、一般に橋梁の実験では3分力(抗力,揚力,ピッチングモーメント)が計測されるので、この実験でも遮音板を含めた橋体の3分力を図-3 に示す方法で計測した。なお、モーメントの基準点は、桁高の中心線と橋幅の中心線の交点とした。

(4) 遮音板の抗力実験

遮音板の抗力は、遮音板上の圧力を計測し、圧力分布を積分して求めた。遮音板抗力計測法の概念図を図-4 に示した。

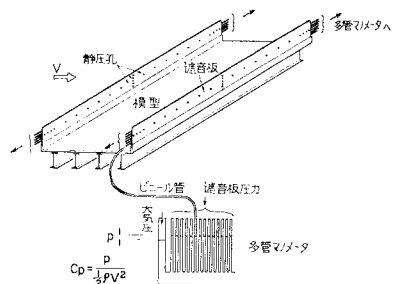


図-4 遮音板抗力計測法

$$C_d = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho V^2}$$

(5) 流線観測実験

橋体および遮音板の風荷重特性を現象面から検討するために、水槽とおがくずを用いて橋体回りの流線を観測した。この実験に使用した模型は縮尺 1/100 (幅員 25 m の場合) と 1/62.5 (幅員 12.5 m の場合) であり、実験時のレイノルズ数は約 2×10^4 である。

3. 実験条件およびデータ整理法

(1) 風の傾斜角 (迎角)

本実験では、実験ケースが多いため、迎角については極力減らすこととした。しかし、橋梁の静的耐風設計の際、迎角をどの範囲まで考慮すべきか確たる根拠がないため、本実験では、 $\alpha = 0^\circ, \pm 3^\circ$ 、一部の実験では $\pm 6^\circ$ でも行った。

(2) 実験風速

3 分力ならびに遮音板抗力実験では、最初に代表例について、風速を $V = 5 \sim 20 \text{ m/s}$ の範囲で変え、レイノルズ数の影響が少ないことを確認した後、以降の実験はすべて $V = 20 \text{ m/s}$ で行った。したがって、実験時レイノルズ数 (代表長: 幅員) は 25 m 幅員桁橋で約 1.4×10^6 、12.5 m 幅員桁橋で約 7×10^5 である。

(3) 実験ケース

単独橋の実験ケースを 表-3、並列橋の実験ケースを 表-4 に示す。

(4) データ整理法

a) 橋体の 3 分力係数

次式により、風軸基準 3 分力係数 (C_{D*}, C_{L*}, C_M) と橋体基準抗力係数 (C_D) を求めた。

表-3 実験ケース (単独橋)

| No | 模型断面形状 | 3分力実験 | 遮音板抗力実験 | 流線観測実験 | 備考 | |
|-----------------------|---------------------------------------|------------------------|---------|--------|----|------|
| 1 | 25 ^m 幅員I桁橋 | $h_1 = 0 \text{ mm}$ | ◎ * | - | ◎ | |
| | | $h_1 = 80 \text{ mm}$ | ◎ | ◎ | - | |
| | | $h_1 = 160 \text{ mm}$ | ◎ * | ◎ * | - | |
| 2 | 12.5 ^m 幅員I桁橋 | $h_1 = 0 \text{ mm}$ | ◎ | - | ◎ | |
| | | $h_1 = 80 \text{ mm}$ | ◎ | ◎ | ◎ | |
| | | $h_1 = 160 \text{ mm}$ | ◎ | ◎ | ◎ | |
| 3 | 12.5 ^m 幅員I桁橋 (10% 傾斜付) | $h_1 = 0 \text{ mm}$ | ◎ | - | - | 風向 A |
| | | $h_1 = 80 \text{ mm}$ | ◎ | ◎ | - | 〃 B |
| | | $h_1 = 80 \text{ mm}$ | ◎ | ◎ | - | 〃 A |
| 4 | 12.5 ^m 幅員I桁橋 (カント付) | $h_1 = 0 \text{ mm}$ | ◎ | - | - | 〃 A |
| | | $h_1 = 80 \text{ mm}$ | ◎ | ◎ | - | 〃 B |
| | | $h_1 = 80 \text{ mm}$ | ◎ | ◎ | - | 〃 A |
| 5 | 25 ^m 幅員箱桁橋 | $h_1 = 0 \text{ mm}$ | ○ | - | ◎ | |
| | | $h_1 = 80 \text{ mm}$ | ○ | ◎ ** | - | |
| 6 | 矩形断面柱 | $R = \infty$ | ○ | - | - | |
| | | $R = 8000 \text{ mm}$ | ○ | - | - | 風向 A |
| | | $R = 8000 \text{ mm}$ | ○ | - | - | 〃 B |
| | | $R = 3200 \text{ mm}$ | ○ | - | - | 〃 A |
| $R = 3200 \text{ mm}$ | ○ | - | - | 〃 B | | |

注1) 3分力、遮音板抗力実験の風速は 20 m/s とした。但し*では $5, 10, 15, 20 \text{ m/s}$ でも行った。
 2) 迎角は◎では $0^\circ, \pm 3^\circ, \pm 6^\circ$ 、○では $0^\circ, \pm 3^\circ$ で行った。
 3) *まではストレイケンガーシ方式による遮音板抗力計測も行った。
 4) 流線観測実験での風速は約 10 m/s である。

表-4 実験ケース（2橋並列）

| No. | 模型状態 | 2橋間隔 (mm) | | 3分力 実験 | 流線観 測実験 |
|-----|------|-----------|--------|-----------|------------|
| | | 水平 (W) | 鉛直 (H) | | |
| 7 | | 500 | 0 | ○ | ○ |
| 8 | | 1000 | 0 | ○ | ○ |
| 9 | | 0 | 220 | ○ | ○ |
| 10 | | 0 | 400 | ○ | ○ |
| 11 | | 500 | 220 | ○ | — |
| 12 | | 500 | 220 | ○ | — |
| 13 | | 500 | 400 | ○ | — |
| 14 | | 500 | 400 | ○ | — |
| 15 | | 1000 | 220 | ○ | — |
| 16 | | 1000 | 220 | ○ | — |
| 17 | | 1000 | 400 | ○ | — |
| 18 | | 1000 | 400 | ○ | — |

注1) 模型は、12.5m幅員1桁橋（遮音板高2m）2体。
 2) 3分力実験での風速は20m/s，迎角は0°，±3°。
 3) 流線観測実験での流速は約10cm/s，迎角は0°。
 4)

抗力係数（風軸基準） $C_{D*} = \frac{P_{D*}}{\frac{1}{2}\rho V^2 hL}$ (1)

抗力係数（橋体軸基準） $C_D = \frac{P_D}{\frac{1}{2}\rho V^2 hL}$ (2)

揚力係数（風軸基準） $C_{L*} = \frac{P_{L*}}{\frac{1}{2}\rho V^2 BL}$ (3)

モーメント係数 $C_M = \frac{M}{\frac{1}{2}\rho V^2 B^2 L}$ (4)

ここに、代表長 h, B, L は、図-5 で定義し、 $\alpha, P_{D*}, P_D, P_{L*}, M$ は、図-6 に示す方向を正とした。

b) 遮音板の抗力係数

マンローメーターで計測した圧力 p を次式

$C_p = \frac{p}{\frac{1}{2}\rho V^2}$ (5)

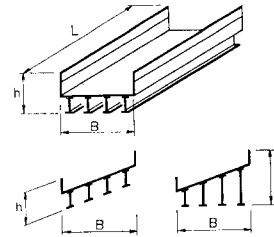


図-5 B, h, L の定義

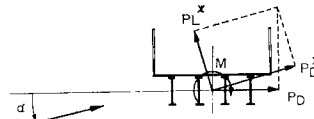


図-6 P_D, P_{D*}, P_{L*}, M の定義

で無次元化し、圧力分布図を作成した。この圧力分布図から次式により遮音板抗力係数 C_{Dp} を求めた。

$C_{Dp} = \frac{\int_0^{h_1} (C_{p\text{前面}} - C_{p\text{後面}}) dx}{h_1}$ (6)

ここに、 h_1 は遮音板の高さである。

4. 実験結果および考察

(1) 流線観測結果

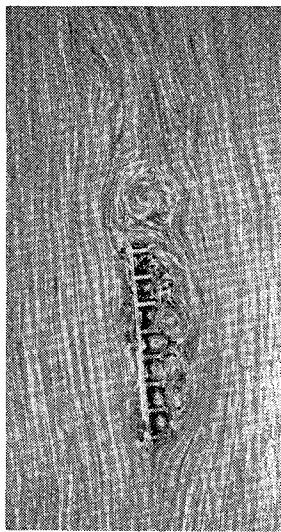
流力特性の傾向を説明する際に、流線観測結果を用いることがあるので、まずこの結果を示す。写真-1~5 は、それぞれ $B/h=7.14, 2.27, 1.67$ の単独 I 桁橋、 $B/h=7.14$ の箱桁橋、 $B/h=2.27$ の並列橋である。

これらの結果から、フローパターンの定性的傾向を調べると以下のような傾向がある。

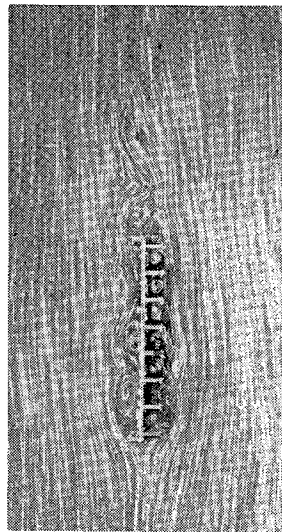
(i) $B/h=7.14$ の I 桁橋の場合（写真-1）： $\alpha=0^\circ$ では、上面、下面ともに、前縁で剝離した流れは、幅員中央付近で再付着しているようであり、 $\alpha=6^\circ$ では、上面が完全に剝離し、 $\alpha=-6^\circ$ では、下面が完全に剝離している。

(ii) $B/h=2.27, 1.67$ の I 桁橋の場合（写真-2, 3）： $\alpha=0^\circ, \pm 6^\circ$ いずれの迎角でも、前縁から完全に剝離しており、再付着はないようである。また、道路面には桁のすぐ下流部に発生する渦とほぼ同程度の大きさの渦が発生している。

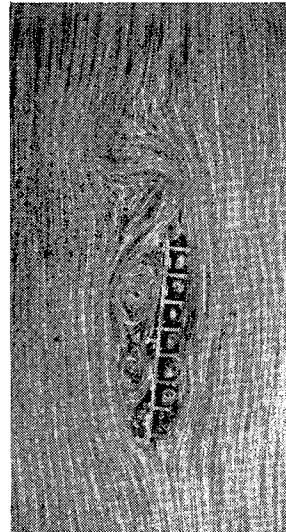
(iii) $B/h=7.14$ の箱桁橋の場合（写真-4）：同じ断面比の I 桁橋に比べ上流側の桁がより後方にあるため、分岐後の流線勾配が小さいようである。特に、 $\alpha=-6^\circ$ では、I 桁橋では下面が完全に剝離しているが、箱桁橋では剝離していないようである。



(a) $\alpha = -6^\circ$

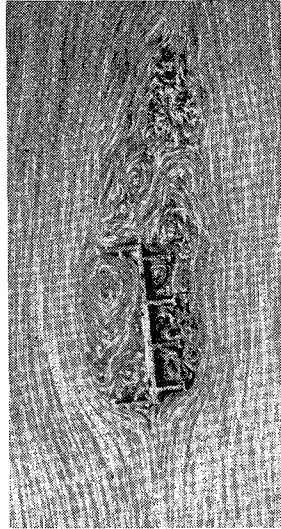


(b) $\alpha = 0^\circ$

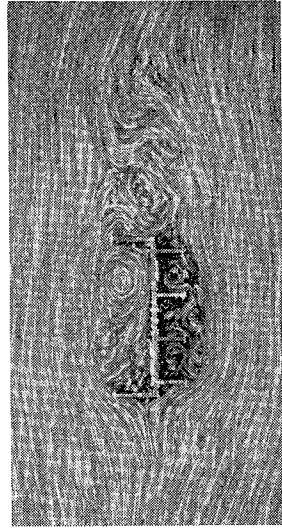


(c) $\alpha = 6^\circ$

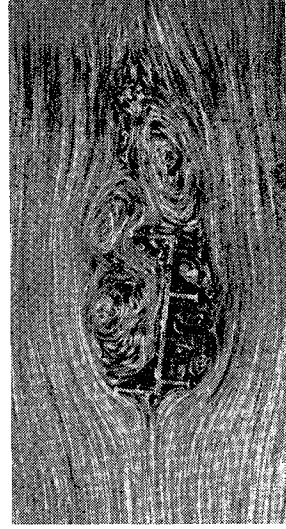
写真-1 25 m 幅員 I 桁橋 ($B/h=7.14$)



(a) $\alpha = -6^\circ$

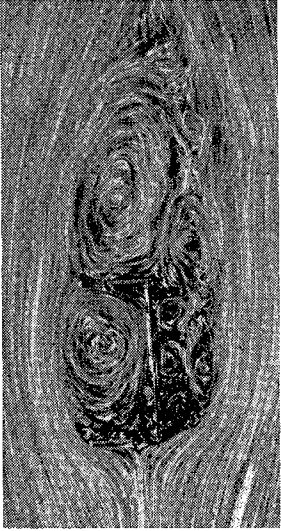


(b) $\alpha = 0^\circ$

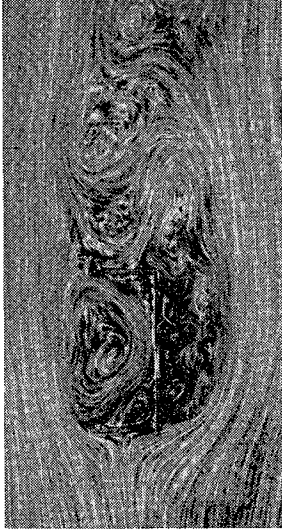


(c) $\alpha = 6^\circ$

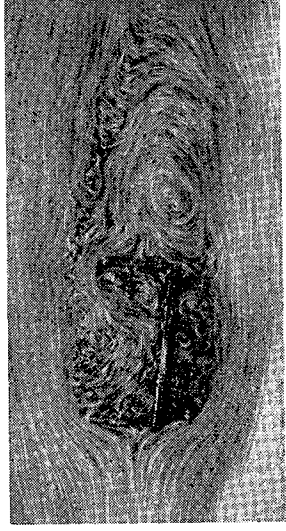
写真-2 12.5 m 幅員 I 桁橋 ($B/h=2.27$)



(a) $\alpha = -6^\circ$

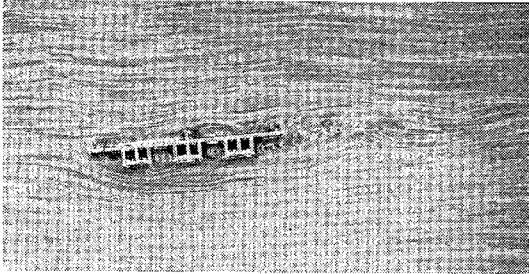
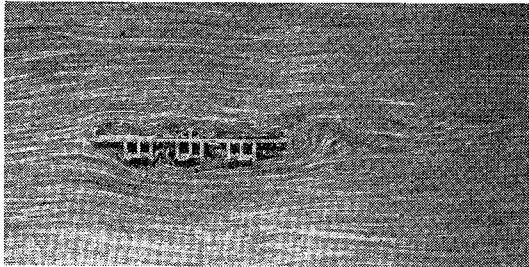
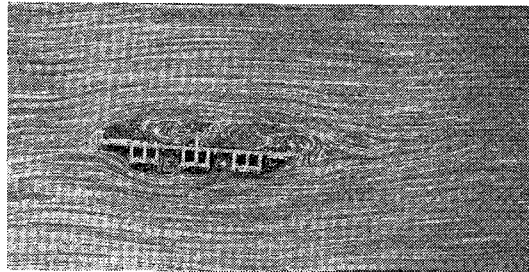


(b) $\alpha = 0^\circ$



(c) $\alpha = 6^\circ$

写真-3 12.5 m 幅員 I 桁橋 ($B/h=1.67$)

(a) $\alpha = -6^\circ$ (b) $\alpha = 0^\circ$ (c) $\alpha = 6^\circ$ 写真-4 25 m 幅員箱桁橋 ($B/h=7.14$)

(iv) 2橋が水平方向に並列した場合で、左右に接した場合(写真-5の(a))：下流側の橋体は完全に上流側橋体の後流内にあり、2橋の中心間隔が幅員の2倍だけ離れた場合(写真-5の(b))，それぞれの橋体の下流側に渦が発生している。また、2橋の間に発生する渦はかなり大きい。

(v) 2橋が上下方向に並列した場合で、上下に接した場合(写真-5の(c))：2橋は一体化し、単独橋に比べ大きな渦が発生している。また、2橋間隔が橋高の1.82倍に離れた場合、2橋それぞれの下流に渦の発生がみられる。

(vi) 単独I桁橋の場合： B/h が7.14→2.27→1.67と小さくなるに従って、後流に発生する渦ならびに道路面上の渦は大きくなっている。

(2) 単独I桁橋の抗力係数

単独I桁橋の抗力係数 C_D 、 C_D^* と迎角 α との関係

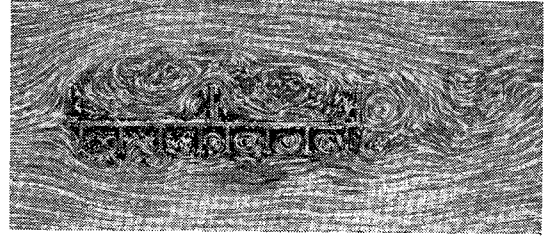
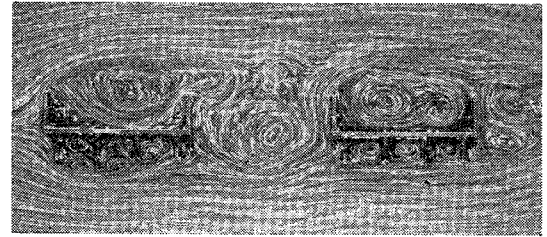
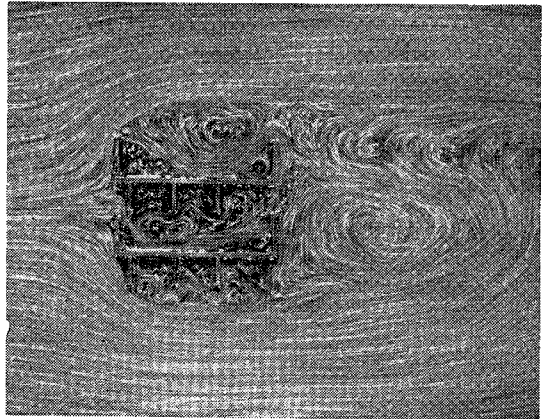
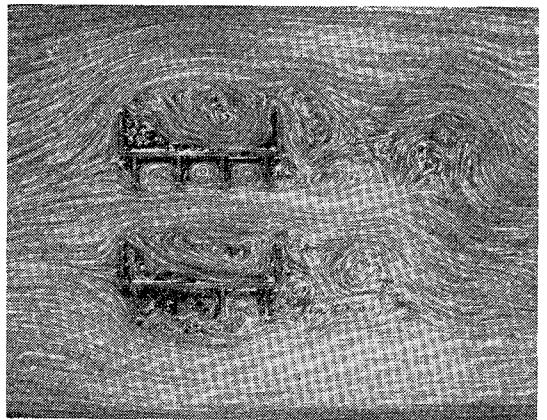
(a) $H/B=1.0, H/h=0$ (b) $W/B=2.0, H/h=0$ (c) $W/B=0, H/h=1.0$ (d) $W/B=0, H/h=1.82$ 写真-5 12.5 m 幅員I桁橋(2橋並列) ($B/h=2.27$)

図-7, 8に示す。また、迎角 $\alpha=0^\circ$ の C_D と断面比 B/h の関係を図-9に示す。なお、図-9には、既存文献

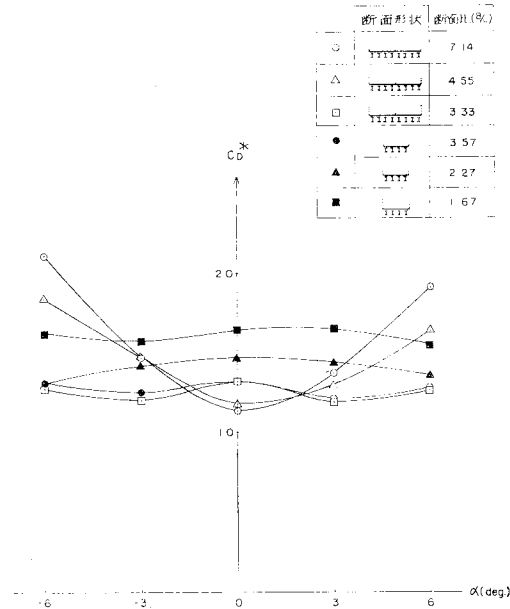


図-7 I 桁橋の抗力試験 (風軸基準)

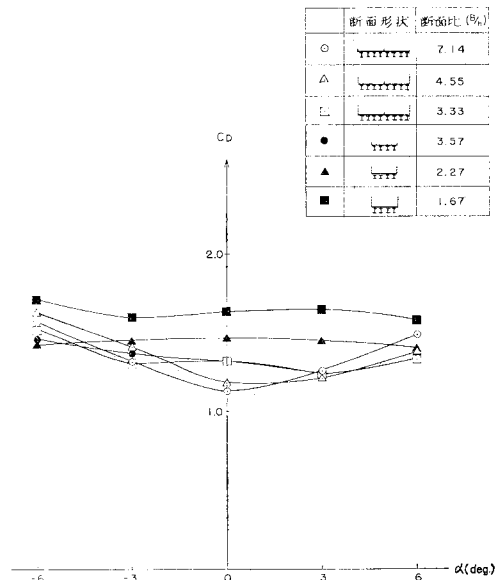


図-8 I 桁橋の抗力係数 (橋体軸基準)

の桁橋ならびに H 形断面の抗力係数^{2), 6)~8)}も参考までに記入した。

これらの結果から、桁橋の抗力係数と断面比および迎角との関係を調べると、次のことがわかる。

(i) 迎角に対する抗力係数の変化率は、断面比によって異なる。

(ii) 迎角 0° の抗力係数は断面比が大きいかほど小さくなる。

これらのことは、前節の (i)~(iii) でも述べたように、断面比によって剝離形態、後流に発生する渦の大きさが異なることが主原因と考えられる。

今回の実験結果および既存データを用いて、断面比および迎角と抗力係数との関係を表す実験式を検討する。

桁橋の抗力係数を断面比と迎角の関数と考え、

$$C_D = C_D(B/h, \alpha) \dots\dots\dots (7)$$

と置く。式 (7) を $\alpha=0^\circ$ 付近で Taylor 展開し、 α^2 以上の項を無視する。さらに、 C_D は 図-7 よりわかるように、 $\alpha=0^\circ$ に関してはほぼ対称であるから、Taylor 展開後の α を $|\alpha|$ に置き換えると、

$$C_D = C_D(B/h, 0) + \left\{ \frac{\partial C_D(B/h, \alpha)}{\partial \alpha} \Big|_{\alpha=0^\circ} \right\} |\alpha| = C_{D_0} \cdot \beta(B/h, \alpha) \dots\dots\dots (8)$$

となる。ただし、 C_{D_0} は $\alpha=0^\circ$ のときの C_D の値で、

$$C_{D_0} = C_D(B/h, 0) \dots\dots\dots (9)$$

であり、また、

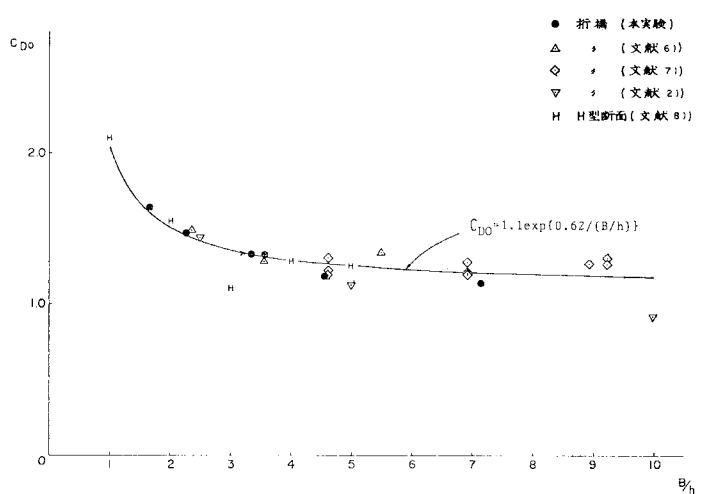


図-9 迎角 0° における I 桁橋および H 形断面の抗力係数

$$\beta(B/h, \alpha) = 1 + \frac{1}{C_{D_0}} \left\{ \frac{\partial C_D(B/h, \alpha)}{\partial \alpha} \Big|_{\alpha=0^\circ} \right\} |\alpha| \dots\dots\dots (10)$$

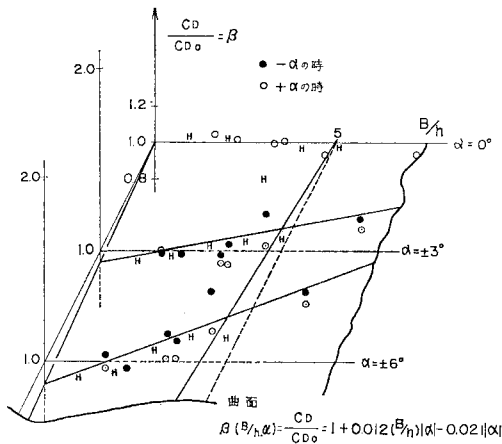
である。

$\alpha=0^\circ$ の場合の C_D の値、すなわち、 C_{D_0} の実験値を 図-9 に示す。実験値の傾向から、 C_{D_0} の実験式として、

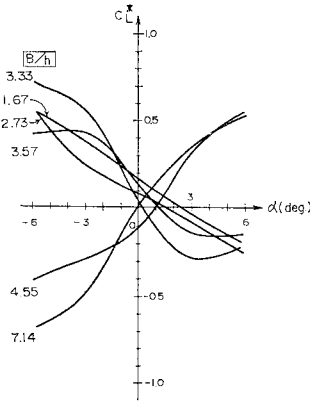
$$C_{D_0} = a \exp \{b/(B/h)\} \dots\dots\dots (11)$$

が採用できると思われる。ただし、 a, b は定数である。本実験および既存データ^{6)~8)}を用い、最小自乗法で a, b を決め、式 (11) に代入すると、

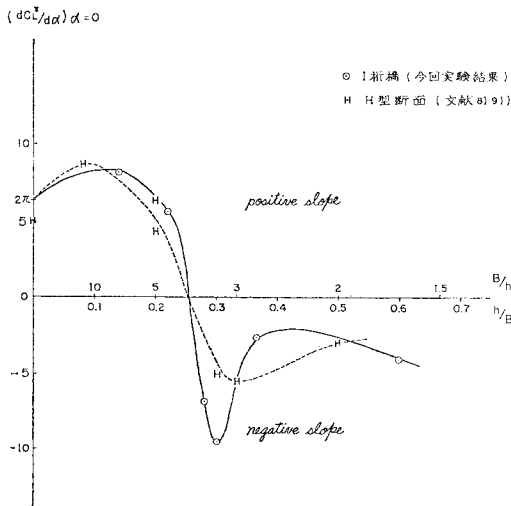
$$C_{D_0} = 1.1 \exp \{0.62/(B/h)\} \dots\dots\dots (12)$$



図一10 抗力係数の迎角と断面比の関係



図一11 I 桁橋の揚力係数



図一12 揚力勾配と断面比の関係

を得る。この式の値を 図一9 中の実線で示す。

実験値との対応は良好と思われる。

次に、式 (10) の右辺の $|\alpha|$ の係数を B/h の多項式に展開し、 B/h の 2 次以上の項を無視すると、

$$\beta(B/h, \alpha) = 1 + c(B/h)|\alpha| + d|\alpha|^2 \dots\dots\dots(13)$$

となる。 $\beta(B/h, \alpha)$ の実験値を 図一10 に示す。

式 (13) の定数 c, d は、式 (13) を 図一10 の実験値と比較し、最小自乗法で求める。その結果、式 (13) は、

$$\beta(B/h, \alpha) = 1 + 0.012(B/h)|\alpha| - 0.021|\alpha|^2 \dots\dots\dots(14)$$

となる。式 (14) は実験値との比較のため 図一10 中に示したが、両者の対応は良好と思われる。

したがって、I 桁橋の抗力係数 C_D は式 (8), (12), (13) より、

$$C_D = 1.1 \exp\{0.62/(B/h)\} \{1 + 0.012(B/h)|\alpha| - 0.021|\alpha|^2\} \dots\dots\dots(15)$$

となる。 C_D の実験値と式 (15) との比較により、実験値 (61 個) に対する式 (15) の標準偏差 σ は、 $\sigma = \pm 0.1$ となった。

(3) 単独 I 桁橋の揚力係数

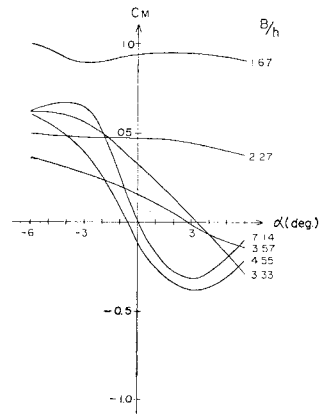
単独 I 桁橋の揚力係数を 図一11、迎角 0° における揚力勾配 ($dC_{L^*}/d\alpha$) を 図一12 に示した。これらの結果から、 $dC_{L^*}/d\alpha$ は B/h が大きい場合は正で、 B/h が小さくなり $B/h \approx 4$ となると急に負になることがわかる。

また、興味深い現象として、 $B/h \approx 10$ 付近で $dC_{L^*}/d\alpha$ が平板の値 (2π) より大きくなることがある。

(4) 単独 I 桁橋のモーメント係数

単独 I 桁橋のモーメント係数を 図一13 に示す。

この結果から、 $B/h = 3.33 \sim 7.14$ で $\alpha = 0^\circ$ 付近のモーメント勾配 ($dC_M/d\alpha$) は負である。これは、模型を幅員中心で風上、風下に分けて考えた場合、風下側の揚力が、風上側の揚力より大きく、揚力の作用中心が模型中



図一13 I 桁橋のモーメント係数

心より風下側にあるためであり、平板の空力特性と逆の特性である。

$B/h = 1.67 \sim 2.27$ では、モーメント係数は遮音板抗力による正のモーメントの割合が大きくなるため、 $-6^\circ \leq \alpha \leq +6^\circ$ の全迎角で正であり、ほぼ一定となっている。

(5) カント (橋面勾配) がある場合の抗力係数

図-14 はカント付桁橋の抗力係数と、これらと同じ断面比 ($B/h_A : h_A$ は高い方の橋高) のカントなし桁橋の抗力係数の推定値を比較したものである。

これらの結果から、カント付桁橋の抗力係数は、高い橋高側から風が作用する場合の方が、低い橋高側から作用する場合よりかなり大きいことがわかる。また、式 (15) による同じ断面比のカントなし桁橋の抗力係数の推定値より大きな値となることもあるが、この推定値に 0.2 を加えた値を超えないようである。

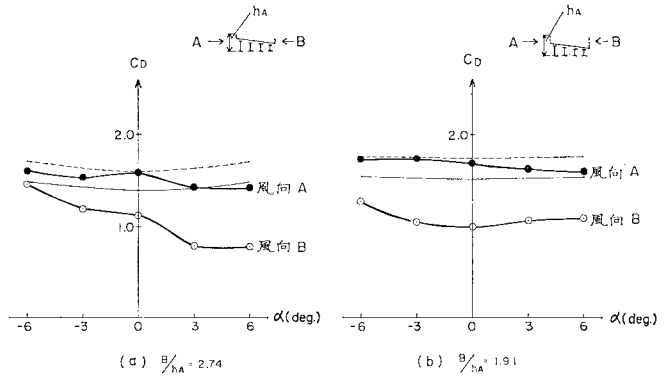
(6) カントおよび下面傾斜がある場合の抗力係数

図-15 に示すようなカント (i) および下面傾斜 (i') がある桁橋に迎角 α の風が作用する場合、これがカントなし桁橋に迎角 ($\alpha \pm i$) の風が作用する場合に対応するかどうかを調べるために、カントおよび下面傾斜付抗力係数とカントなし抗力係数の推定式 (式 (15)) に迎角として ($\alpha \pm i$) を代入した値を比較してみた (図-16)。

この結果、2, 3 点は推定幅からはずれるが、両者の傾向は、ほぼ一致しており、カントおよび下面傾斜付桁橋の抗力係数は、カントなし桁橋の抗力係数推定式 (式 (15)) から概略推定可能であると思われる。

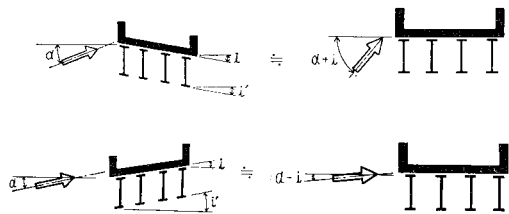
(7) 箱桁橋の抗力係数

箱桁橋の抗力係数を 図-17 に示すが、同じ断面比の I 桁橋に比べ 20~50% 小さい。これは、流線観測結果のところで述べたように、本実験で対象とした箱桁橋は床版張出部が長く、I 桁橋に比べ上流側の桁がより後方にあるため、分岐後の流線勾配が小さく、剝離域すなわち後流幅が狭くなったためと思われる。



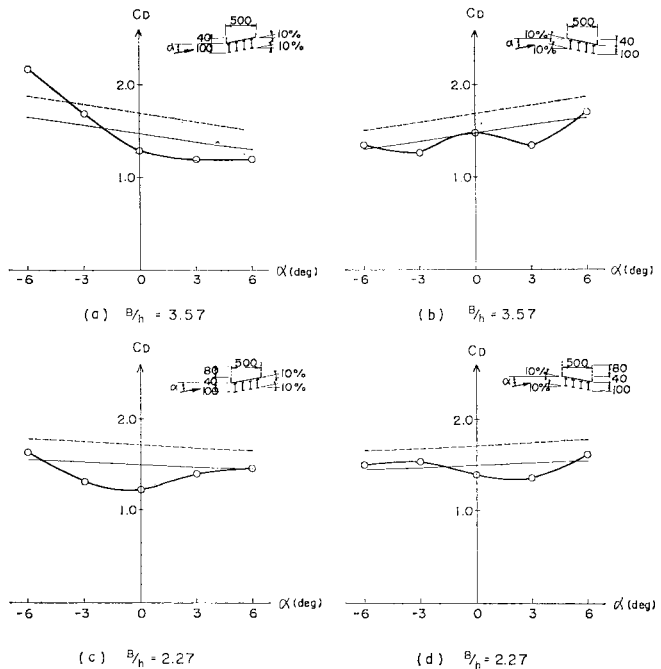
注) ———: 同断面比の式 (15) による推定値
 - - - - -: 同断面比の式 (15) による推定値 + 0.2

図-14 カントがある場合の抗力係数



(a) カントおよび下面傾斜がある桁橋 (b) カントのない桁橋

図-15 カントおよび下面傾斜を迎角で置き換える場合の対応関係



注) ———: 同断面比で 図-15 右図に対応した式 (15) による推定値
 - - - - -: 同断面比が 図-15 右図に対応した式 (15) による推定値 + 0.2

図-16 カントおよび下面傾斜がある場合の抗力係数

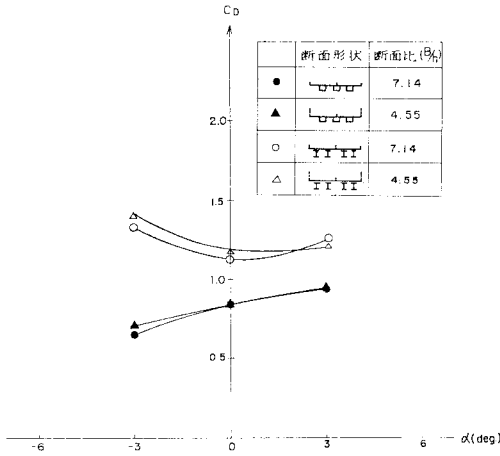


図-17 箱桁橋の抗力係数（橋体軸基準）

しかし、流線観測結果からだけで前述の抗力低減の原因を明らかにすることは困難である。

(8) 並列橋の3分力係数

並列橋については、まず代表2例（2橋が左右および上下に接した場合）の3分力係数を図-18に示す。なお、他の相対位置の3分力係数は紙面の都合で省略する。

これらの結果によれば、2橋が左右に接した場合（ただし、若干の間隙がある）、風上側抗力は単独橋の抗力よりやや大きく、ちなみに、風下側抗力は負の方向（風上方向）に作用する。これは、2橋が隣り合う部分の流れが単独橋の場合と異なるため（写真-2(b)と写真

5(a)を比較されたい）、隣接部分の静圧が低下し、風上側桁は風下側へ、また、風下側桁は風上側へ引かれるためではないと思われる。

また、揚力は風下側の方が大きい。

2橋が上下に接した場合、2橋の抗力はほぼ同程度であり、各橋の抗力は単独橋の約1.5倍であり、2橋の相互干渉によって抗力は増大している。揚力は各橋が互いに反発するような方向に作用する。

次に、抗力係数について、2橋の相互干渉作用を明らかにするため、並列2橋の各橋の抗力係数を C_1 （および C_2 ）、並列2橋の抗力係数の和を C_{12} 、単独橋の抗力係数を C_0 とすると、 C_1/C_0 、 C_{12}/C_0 の関係は図-19、20 となる。ここで、並列2橋のうち一方は、原点にあるものとする。また、これらの値の2橋の相対距離 (W/B , H/h) を座標軸とした等値線図を作成すると図-21、22 のようになる。なお、各抗力係数は単独時の受風面積で無次元化した。この C_1/C_0 の等置線図（図-21）において、破線の領域は相互干渉作用によって単独橋より抗力が低減する領域であり、低減度が最も大きいのは、(W/B , H/h) = (1, 0) の場合、つまり2橋が左右に接する場合の風下側桁橋で、この場合抗力は負の方向へ作用している。

これに対して、実線部は増加する領域で増加度が最も大きいのは、(W/B , H/h) = (0, 1) の場合、つまり2橋が上下に接する場合の下側橋梁で、この場合抗力は約50%増となっている。

また、 C_{12}/C_0 の等値線図（図-22）において、破線の領域は $C_{12}/C_0 < 2$ でやはり相互干渉作用によって抗力

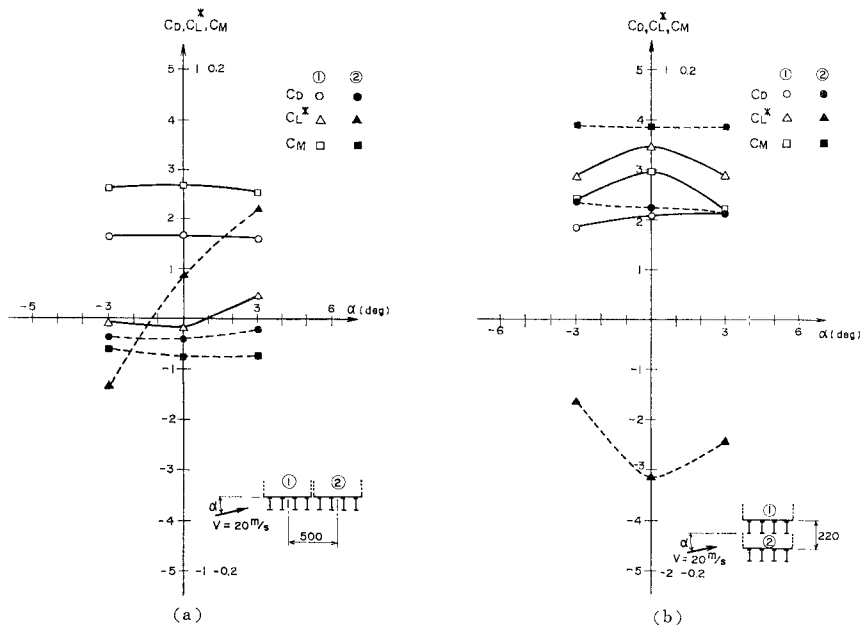


図-18 並列橋3分力係数

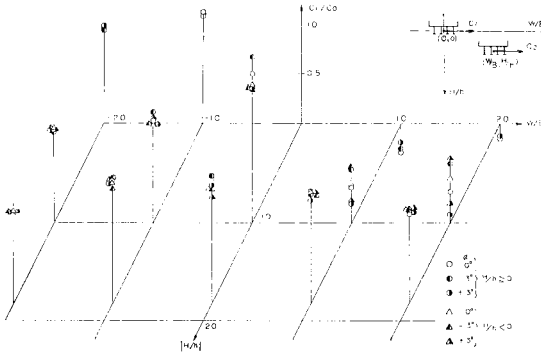


図-19 並列橋抗力係数 (C_1/C_0)

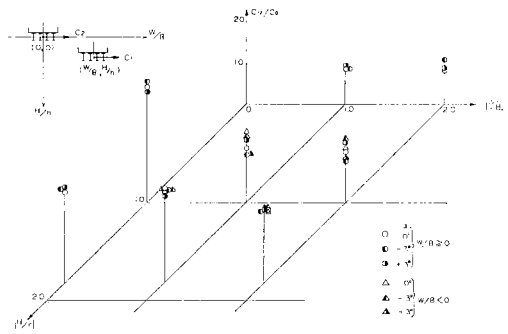


図-20 並列橋抗力係数 (C_{12}/C_0)

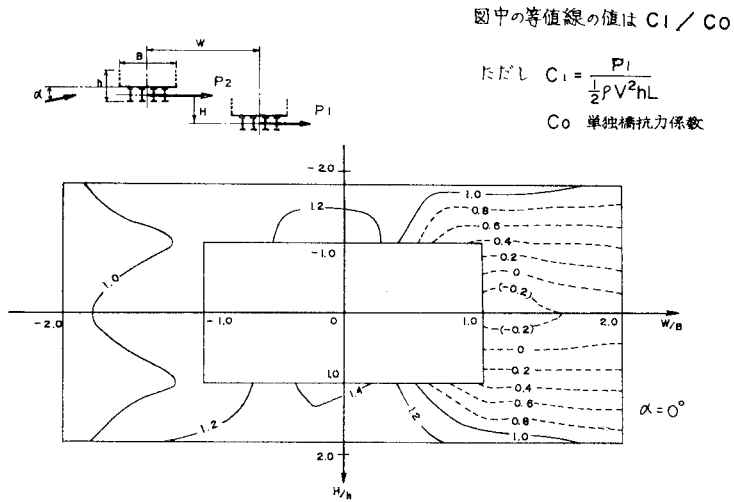


図-21 C_1/C_0 の等値線

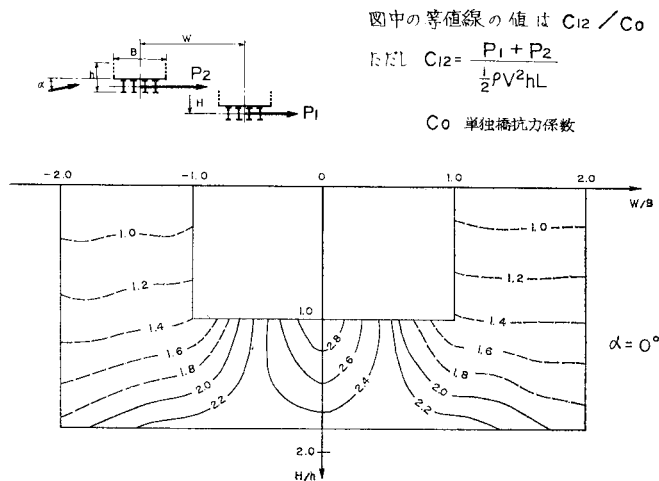


図-22 C_{12}/C_0 の等値線図

が減少する領域であり、 C_{12}/C_0 の最小値は単独橋の抗力より小さいことがわかる。一方、実線部は単独2橋より増加する領域でその最大値は約3となる。

以上のことより、2橋並列時の抗力係数について定性的なことがわかり、本実験で対象とした桁橋に近い条件の桁橋であれば、任意相対位置の並列橋の抗力係数を概略推定できると思われる。

(9) 長方形断面を有する曲線橋の抗力係数

長方形断面を有する直線橋の抗力係数(矩形柱の抗力係数⁸⁾)は、 B/h が2付近より小さい場合は本研究で調べた桁橋の抗力係数と同程度の値を示すが、 B/h が3付近より大となると桁橋より低めの値となる。これは、断面回りの流れが、桁橋ではほとんど剥離した流れになっている(写真-2参照)が、長方形断面では B/h が3付近より大となると流れの再付着が起こるためである¹⁰⁾。

そこで、ここでは桁橋と類似の流れと抗力係数をもった $B/h=2$ の長方形断面に着目し、この断面を有する曲線橋2種と直線橋1種につき風洞実験を行い、抗力係数、中心角、迎角の関係を調べた。

抗力係数と迎角との関係を 図-23、曲線橋抗力係数/直線橋抗力係数($C_{D\lambda}/C_{D0}$)と中心角 2λ との関係を 図-24 に示す。

これらの結果から、ここで実験した中心角などの範囲内では、直線橋の抗力係数よりは曲線橋の抗力係数の方が小さくなる傾向にある。

この傾向は、直線橋で類似の抗力係数と流況を示す B/h が2以下の曲線桁橋でも同様な傾向を示すものと思われる。

(10) 遮音板の抗力係数

遮音板の抗力係数 C_{Dp} と迎角の関係を 図-25、 C_{Dp} と B/h (幅員/橋高)の関係を 図-26 に示す。

これらの結果より、風上側の C_{Dp} は桁橋全体の抗力係数(図-9)と同様に、 B/h の減少とともに大きくなる傾向がある。これは、 B/h が小さくなると、遮音板後面の渦が大きくなり、負圧が増大するためと考えられる。ちなみに、遮音板の背圧係数 C_{pb} (ここでは、風上側遮音板後面中心での値)を B/h に対してプロットすると 図-27 のようになり、 C_{Dp} と同様の傾向を示している。

また、風上側、風下側両者の遮音板抗力係数を合計した値は、図-26に示すような B/h の関係にあり、一方、前項までの結果を踏まえると、流体力学上のマクロ的な観点により設計風荷重としての橋体抗力は、遮音板と桁部を分離することなく、これらを一体とした橋全体の断

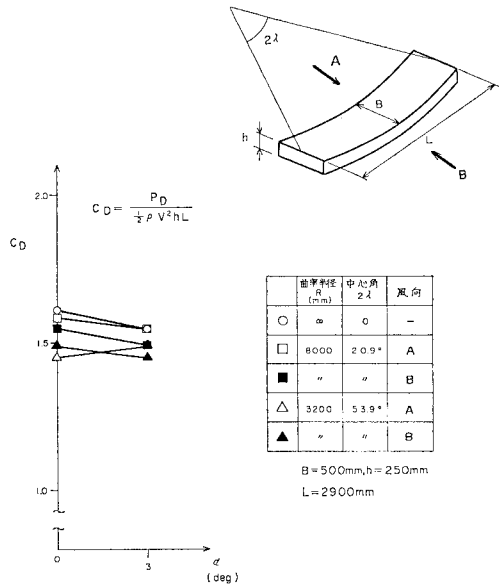


図-23 直線および曲線矩形柱抗力係数

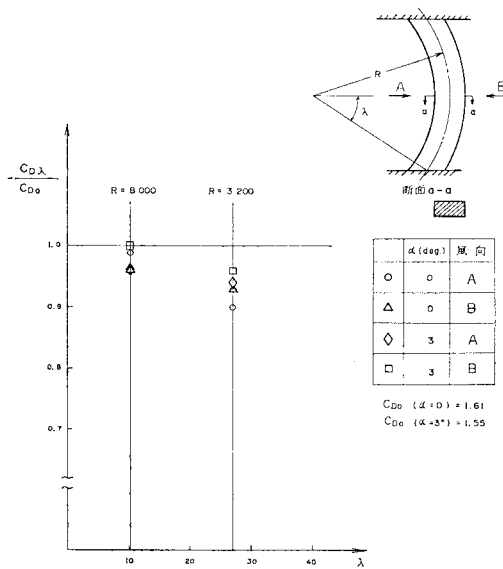


図-24 曲線矩形抗力係数/直線矩形抗力係数

面比(B/h)に対する抗力係数によってよいものと考えられる。

5. まとめ

以上、阪神高速道路の標準形式の桁橋を対象とし、その1/25縮尺模型を用いた風洞実験により、種々の橋体条件での風荷重特性を調べた。

この結果、以下のような成果・結論を得た。

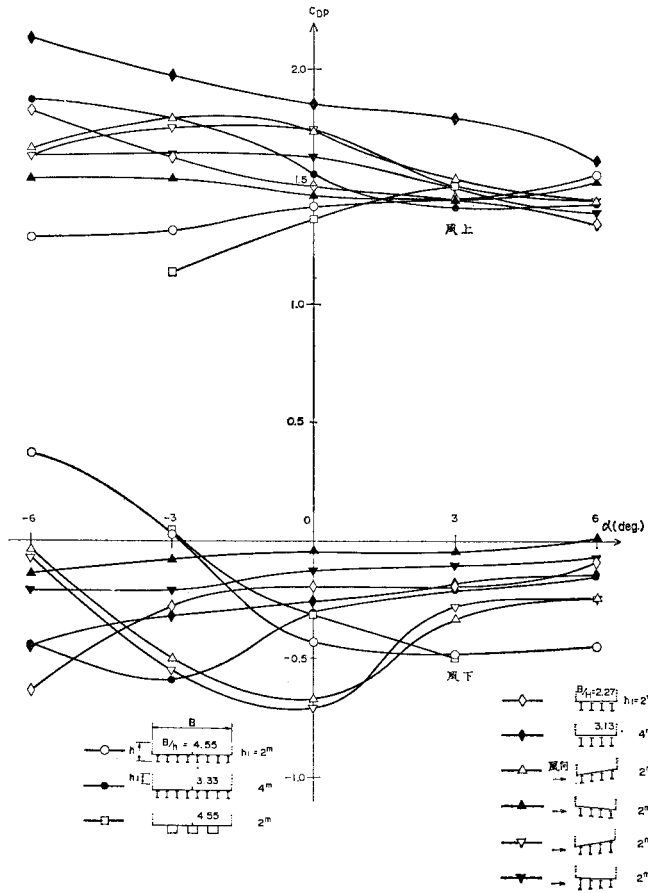


図-25 遮音板抗力係数

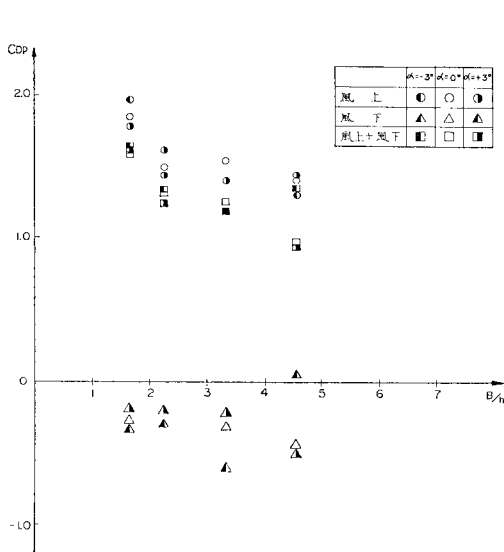


図-26 遮音板抗力係数 C_{DP} と断面比 B/h の関係

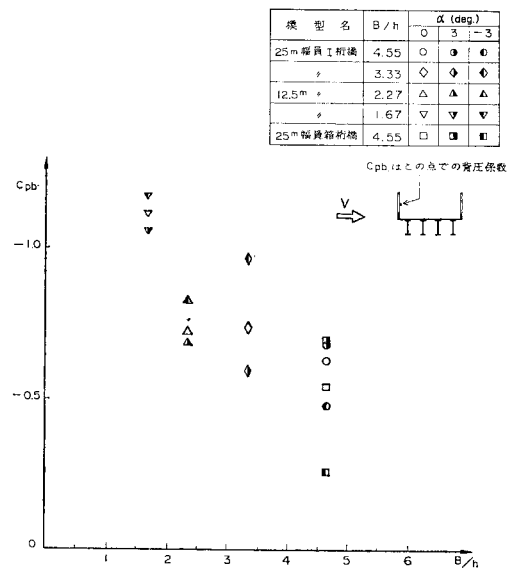


図-27 風上遮音板背圧係数と B/h の関係

(1) 標準 I 桁橋については、迎角と断面比をパラメータとしてプロットした実験値より抗力係数と断面比との関係式を提案した。

(2) 橋面勾配のある I 桁橋の抗力特性は、橋面勾配のない I 桁橋の抗力係数と迎角の関係を基準にして決定できることがわかった。

(3) 2 橋並列橋について、任意相対位置での各橋の抗力を推定するための一資料を得た。

この結果によれば、2 橋の抗力の和の最大値は、2 橋が上下に接するダブルデッキの場合で、単独橋抗力の約 3 倍となり、最小値は、水平方向に接して並んだ場合で、単独橋とほぼ同程度であり、2 橋の相互干渉下での抗力は相対距離により著しく変化することがわかった。

(4) 平面的に曲率のある長方形断面モデルの抗力係数は中心角が $0 \sim 54^\circ$ の範囲では中心角が大きくなるほど、小さくなる傾向がある。曲線桁橋の場合も同様な傾向があるものと思われる。

(5) 高欄上に取り付けられた遮音板の抗力係数は、幅員と遮音板を含む橋高との断面比によって変化することがわかった。

以上、桁橋の耐風設計上有効なデータが得られた。

最後に、本研究を終始ご指導下さった阪神高速道路公

団技術審議会鋼構造分科会の先生方ならびに実験にご協力いただいた阪神高速道路公団の吉川 実氏、中村一平氏、三菱重工業株式会社長崎研究所の渡部洋八郎氏、藤本信弘氏に厚く御礼申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，昭和 55 年 2 月。
- 2) 名古屋高速道路公社：市道高速 2 号防音壁風圧実験報告書，昭和 50 年 3 月。
- 3) 高村 清・平井久義：遮音板の風洞実験について，佐世保重工業技報，昭和 49 年 9 月。
- 4) Hoerner, S.F.: Fluid Dynamic Drag, 1958.
- 5) 本州四国連絡橋公団：本州四国連絡橋耐風設計基準・同解説，1975。
- 6) 千葉静男・伊藤敏一・高井 睿・戸倉 隆：桁橋構造の横構に関する実験的研究（風洞実験），土木学会関西支部年次講演会，昭和 42 年 11 月。
- 7) 釜口展宏・坂田 弘・田中博喜：パイプアーチ橋の風圧抵抗に関する風洞試験，Mitsubishi Technical Bulletin MTBO 10022, April, 1965.
- 8) 中村泰治・溝田武人・吉村 健：矩形および H 型断面柱の空力 3 分力特性について，九州大学応用力学研究所報，第 40 号，昭和 49 年 11 月。
- 9) 岡内 功・伊藤 学・宮内利雄：耐風構造，丸善。
- 10) 中口 博ほか：矩形断面の柱の抗力に関する一実験，航空学会誌，第 16 巻，第 168 号，1968 年 1 月。

(1978.4.24・受付)