

大阪市立大学工学部 正 員 工博 永井 莊七郎

大阪市立大学工学部 正 員 工修 小田 一純

大阪市立大学大学院 学生員 ○倉田 克彦

1. 緒言

潮流の激しい海中に超大な橋脚を建設すると、その近傍における流況はかなり乱され、付近を航行する小型船舶および橋脚を建設する際の作業船の操船上、大きな影響をおよぼすと考えられる。本論文は建設省および日本鉄道建設公団が計画している、本州四国連絡橋の矩形および円形橋脚の模型実験によって、その近傍における流速分布および後流の流況について調べた結果を纏めたものである。

2. 実験設備および方法

実験は幅2.2m、深さ0.8m、長さ40mのモルタル仕上げの開水路で行ない、橋脚の模型として、直径16.5, 20, 40, 80cmの円柱、20cm×20cmおよび14.5cm×25.5cmの矩形柱を用いた。橋脚周囲の流速分布はフォトランジスター型流速計を用いて測定し、橋脚背後の流況を観察するため、蛍光塗料を塗布した浮子を流し、その流跡線を写真撮影した。

3. 橋脚周囲の流速分布

i) 円形橋脚周囲の流速分布

一般に水は、粘性の影響は境界層内でのみ大きく、それ以外では非常に小さく、理想流体として扱うことが出来る。図-1のように、間隔Bの固体壁間を一樣な流速Uで流れている流れの中央に置かれた直径Dなる円柱の周りに生ずる流れの速度ポテンシャル ϕ は次式で与えられる。

$$\phi = U \cdot x + \frac{\pi C}{B} \frac{\sinh \frac{2\pi x}{B}}{\cosh \frac{2\pi x}{B} - \cos \frac{2\pi y}{B}} \quad (1)$$

ここに

$$C = \frac{UD^2}{4} \quad (\text{二重吹出しの強さ})$$

したがって円柱側部($x=0$)における x 方向の速度成分 $u_{x=0}$ は次式のようにになる。

$$u_{x=0} = U \left(1 + \frac{2\pi^2 C}{B^2} \frac{1}{1 - \cos \frac{2\pi y}{B}} \right) \quad (2)$$

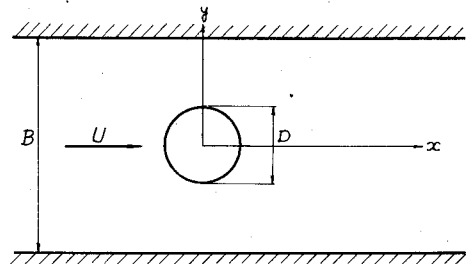


図-1 幅Bなる水路中に置かれた円柱

直径 $D=20, 40$ および 80 cmの円柱側部($x=0$)の流速分布について、二次元ポテンシャル流理論と実

験結果とを比較すると図-2の如くである。この結果によれば、(2)式より計算した値と実験値とは比較的よく一致している。したがって剣離点より上流側の円柱周囲の流速を知るには、二次元ポテンシャル

流理論を用いればよいと言える。

ii) 矩形橋脚周囲の流速分布

矩形橋脚周囲の流速分布については、理論的に未だ詳細な検討は行なっていないが、流速の最大は流れの集中が生じる橋脚前面の隅角部付近に起こると考えられる。二次元ポテンシャル流理論では、橋脚前面のような角を曲がる流れは、その角において速度は無限大となる。しかし実際の流れでは、境界層の剝離によって、そのようなことは起らず、速度は有限な値となり、流れは角の部分より下流では巻込んで渦を形成する。

実験結果によると、橋脚前面隅角部での流線方向の流速は、橋脚上流の平均流速の1.3~1.4倍程度であった。

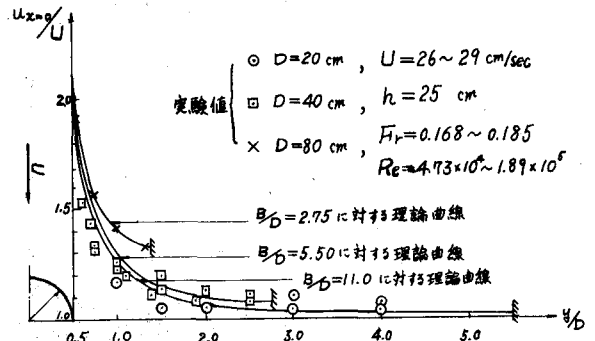


図-2 円柱側部($x=0$)の流速分布

4. 橋脚背後の後流域

流れの中に置かれた物体背後には、境界層の剝離によって、渦を伴った複雑な流れを呈する後流域が生じる。この物体背後の流れは、それぞれの流況の特徴によって図-3に示すように、はばるつの領域A, B, Cにわけられる。

A: 渦の影響が大きく、逆流をも生じている領域,

B: 渦の拡散領域で、 y 方向に x 方向の速度成分 u が増加していく領域,

C: 渦の影響はほとんどなく、 x 方向の速度成分 u が前面の一樣流速 U に等しい領域

領域AとBとを併せて後流域と名づけることが出来る。

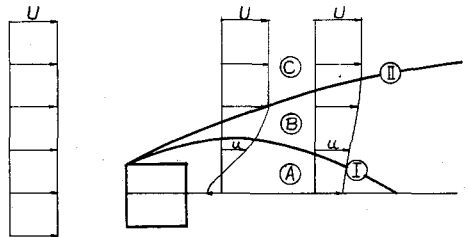


図-3 物体背後の流れ

曲線Iおよび曲線IIはそれぞれ領域Aと領域Bとの、および領域Bと領域Cとの境界を表わし、実験において次のように決定した。

曲線I: 流速測定記録, 流速分布図および写真撮影の結果より定めた。

曲線II: 流速分布図の $u/U = 1.0$ の点および写真撮影の結果の両者を考慮して定めた。

境界線I, IIは正確には定め難いが、模型実験により図-4のような結果を得た。

円形橋脚の場合は直径を、矩形橋脚の場合は橋脚前面の D とすれば、円形橋脚の場合は、橋脚前面より後方へ約 $6.5D$ 、両側方へ各々約 $2.0D$ 以上、正方形橋脚の場合は、橋脚前面より後方へ約 $8.5D$ 、両側方へ各々約 $3.0D$ 以上、矩形橋脚($L/D \approx 1.8$, L : 橋脚長さ, D : 橋脚前面幅)の場合には、橋脚前面より後方へ約 $7.0D$ 、両側方へ各々約 $2.5D$ 以上橋脚から離れると、渦の影響はかなり小さ

くなるようである。

図-5に橋脚背後の流況の一例を示す。
 図-4の中での曲線Ⅲは、(3)式に示す不連続流理論における自由流線を表す曲線⁽¹⁾である。

$$\left. \begin{aligned} x &= -\frac{D}{\pi+4} \left[\sec\theta \tan\theta - \log \left| \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2}\right) \right| \right] \\ y &= \frac{2D}{\pi+4} \left(\sec\theta + \frac{\pi}{4} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ここに

D: 図-6に示される平板の幅

θ : 図-6に示される平板と自由流線上の点とを結ぶ直線とのなす角
 $-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq 0$

不連続流理論においては、自由流線の内側は、静止流体によって満たされている死水領域と仮定している。しかしこの仮定は実際の現象には合わないので、死水領域は複雑な流れを呈する後流域を表わし、自由流線が後流域の境界になると考え、自由流線と実験より得られた曲線Ⅱとを比較した。

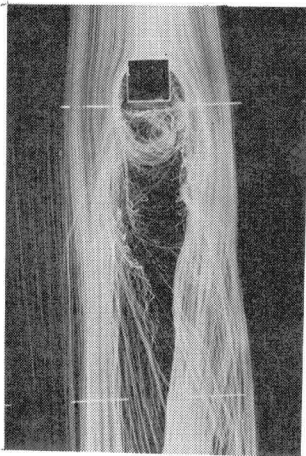


図-5 正方形橋脚背後の流況

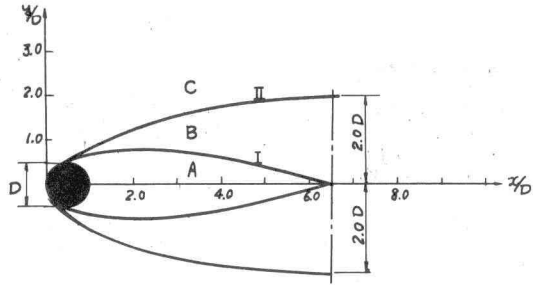
$D=20 \text{ cm}$

$U=16.8 \text{ cm/sec}$

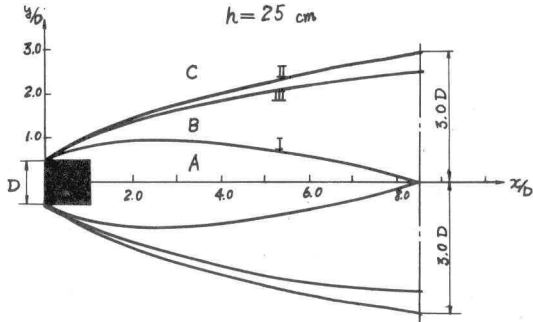
$Fr=0.11$

$Re=3.4 \times 10^4$

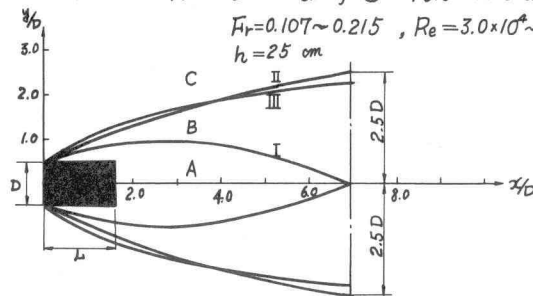
$h=25 \text{ cm}$



a. 円形橋脚 $D=16.5, 40 \text{ cm}$, $U=16.8 \sim 33.8 \text{ cm/sec}$
 $Fr=0.107 \sim 0.215$, $Re=3.0 \times 10^4 \sim 5.9 \times 10^4$
 $h=25 \text{ cm}$



b. 正方形橋脚 $D=20 \text{ cm}$, $U=16.8 \sim 33.8 \text{ cm/sec}$
 $Fr=0.107 \sim 0.215$, $Re=3.0 \times 10^4 \sim 5.9 \times 10^4$
 $h=25 \text{ cm}$



c. 矩形橋脚 $D=14 \text{ cm}$, $L=25.5 \text{ cm}$, $U=19.3 \sim 33.3 \text{ cm/sec}$
 $Fr=0.096 \sim 0.170$, $Re=2.54 \times 10^4 \sim 4.38 \times 10^4$
 $h=24 \sim 42 \text{ cm}$

図-4 橋脚背後の後流域

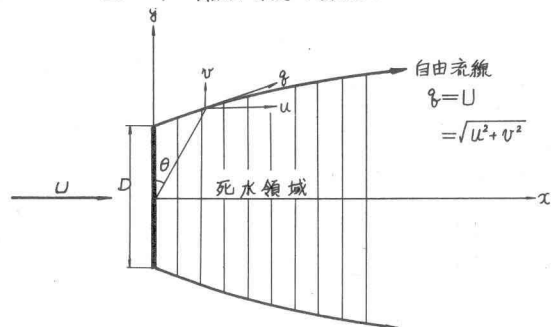


図-6 不連続流理論における自由流線

曲線Ⅱと曲線Ⅲとは実験の範囲内では比較的よく一致した。次に自由流線上の α 方向の速度成分 u と実験値とを比較したものを表-1に示す。表-1によれば、計算値と実験値とは、橋脚の近くを除いてよく一致している。

表-1 自由流線上の流速の比較 (矩形橋脚 $L=25.5\text{ cm}$, $D=14\text{ cm}$ の場合)

x/D	0.91		4.68		10.5		18.9		25.1	
	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値
u/U	1.23	0.92	0.97	0.98	0.97	0.99	0.98	0.99	0.98	1.00

$$U = 19.3 \sim 33.3 \text{ cm sec}, h = 24 \sim 42 \text{ cm}$$

$$Fr = 0.096 \sim 0.170$$

これらの結果から、矩形橋脚については、橋脚前面の隅角部より生じる渦を伴った後流域の境界として、不連続流理論における自由流線を用いてもよいのではないかと考えられる。

5. 考察

後流域の大きさは、レイノルズ数 Re に関係するものであるから、模型実験の結果を Re のかなり大きい現地に適用する場合に問題が残されている。 Re の大きい範囲における流況については、今後現地における実測等によって検討する予定である。

参考文献

- 1) Hydrodynamics, P.88, H.Lamb, 1932