

橋脚に関する流体力学的研究 (第1報)

准員 杉 本 修 一*
准員 稻 田 裕**

HYDRO-DYNAMICAL STUDIES OF BRIDGE PIERS (Part 1)

(JSCE Oct. 1950)

Syuichi Sugimoto C.E. Assoc. Member, Yutaka Inada, C.E. Assoc. Member

Synopsis Considering the water flow around bridge piers of various shape as a two-dimensional flow of perfect fluid, the pressure distribution around bridge piers and others were calculated theoretically. These results were ascertained to be very useful for the judgement of the hydraulic characteristics of bridge piers of various shape.

1. 緒 言

橋脚の流水抵抗、前面の背水高並びに周囲の河床洗掘を最小ならしめ、河川工学上から見た橋脚の理想的形状を明かにすべく、従来から多くの研究が行われて来たが、多くは実験を主としたもので、流体力学的解明を要する点が少くない。本文は橋脚の周りの流れを完全流体の2次元ポテンシャル流として計算したもので、計算の方法そのものは新しいものではないが、唯この平凡な計算結果からでも、河床洗掘その他の立場から橋脚形状の優劣を論ずる際の有力な流体力学的根拠を把握できることを明かにしたのである。

2. 橋脚の周りの流れを求める基本式

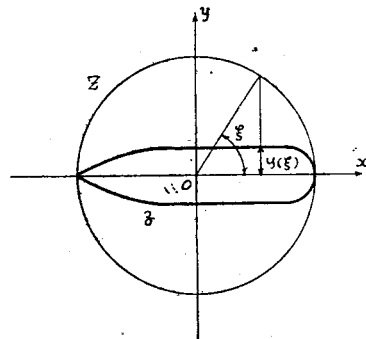
橋脚の水工学上から見た性質を支配する重要な要素の一つとして橋脚周囲の水位の変動が考えられ、橋脚周囲の圧力分布に関係することが極めて多いはずであるから、まず完全流体の2次元ポテンシャル流として守屋博士の方法で圧力分布を求めよう。今Zを橋脚形状の平面とし、橋脚中央を原点とする。次にZ平面上に橋脚の長さ、即ち単位長を直径とし原点に中心を置く円を考え、それが実軸の正の部分と交わる点を橋脚の後端に対応させるとして、この円がZ平面上の橋脚形の写像となる如き函数関係が次式で与えられるものとする。

$$z = C_{-1}Z + C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (C_n/Z^n) \quad \dots (1)$$

こゝに $z = x + iy$, $C_n = A_n + iB_n$, $i = \sqrt{-1}$ ところが上述のZ平面上の円は、 $Z = Re^{i\xi}$, $R = 1/2$ として表わされるから、これを(1)式に入れて橋脚形を求めると、

$$x(\xi) = A_{-1}R \cos \xi - B_{-1}R \sin \xi + A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{A_n}{R^n} \cos n\xi + \frac{B_n}{R^n} \sin n\xi \right) \quad \dots (2)$$

図-1



$$y(\xi) = B_{-1}R \cos \xi + A_{-1}R \sin \xi + B_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{B_n}{R^n} \cos n\xi - \frac{A_n}{R^n} \sin n\xi \right) \quad \dots (3)$$

今橋脚形が $y = F(x)$ (4) で表わされたとし、第1近似として(2)式の代りに $x = R \cos \xi$, $R = 1/2$ (5)

と仮定し、(4)式に代入してyをξの函数で表わし橋脚形がx軸に対し対称であることを考慮し、これを $y = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n\xi$ (6)

なる Fourier 級数に展開すると、(2)、(3)式の各係数は次のように決定される。

$$\left. \begin{aligned} A_{-1}R - A_1/R &= b_1, \quad A_0 = 0, \quad A_1/R = -b_1 \\ + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} + \sum n b_n \right), \quad A_2/R^2 &= -b_2, \\ \dots, \quad A_n/R^n &= -b_n \\ B_i &= 0, \quad (i = -1, 0, 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \right\} \quad \dots (7)$$

Z平面の円の中心は原点に一致しているから、この円に速度 V_0 の一様な流れがx軸とθの角をなして当る時の複素ポテンシャルWは、Γを循環として、

$$W = \left(\frac{1}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} n b_n \right) \left(e^{-i\theta} Z + \frac{e^{i\theta}}{4Z} \right) V_0 + \frac{i\Gamma}{2\pi} \ln 2Z \quad \dots (8)$$

* 文部教官、京都大学工学部土木工学教室
** 建設省河川局水利課

$$\text{こゝに, } \Gamma = 2\pi \left(\frac{1}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} nb_n \right) V_0 \sin \theta \dots\dots\dots (9)$$

このWを用いて橋脚周囲の圧力分布を求めると,

$$\frac{p-p_0}{\frac{1}{2}\rho V_0^2} = 1 - \left[\mp \left\{ \frac{1}{2} \sin \xi + \sum_{n=1}^{\infty} nb_n \sin n\xi \right\} \cos \theta \right. \\ \left. + \left\{ -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \xi + \sum_{n=1}^{\infty} nb_n \cos n\xi \right\} \right. \\ \left. - \sum_{n=1}^{\infty} nb_n \right\} \sin \theta \left. \right]^2 \left\{ \frac{1}{4} \sin^2 \xi + \left(\sum_{n=1}^{\infty} nb_n \cos n\xi \right)^2 \right. \\ \dots\dots\dots (10)$$

上式で複号の+は橋脚の流レに当る側面(上流側と称する), -は流レに当らない方の側面(下流側と称する)を示している。

又橋脚に対しては, 流レに直角に次の力Pが作用する。

$$P = \rho V_0 \Gamma = 2\pi \left(\frac{1}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} nb_n \right) \rho V_0^2 \sin \theta \dots\dots\dots (11)$$

3. 数値計算とその考察

数値計算に用いた橋脚形は図-2 に示す3種としこれらに対する(6)式の Fourier 係数 b_n は, 橋脚長を直径とする半円を36等分した時表-1のようになる。

表-1

| | b_1 | b_2 | b_3 | b_4 | b_5 | b_6 | b_7 | b_9 | b_{11} |
|------|---------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|----------|----------|
| I型 | 0.11403 | — | -0.01443 | — | -0.00771 | — | -0.00006 | -0.00136 | -0.00022 |
| II型 | 0.14494 | — | 0.03055 | — | 0.00514 | — | -0.00161 | -0.00130 | 0.00013 |
| III型 | 0.12935 | 0.02366 | 0.00797 | 0.01463 | -0.00125 | 0.00065 | — | — | — |

図-3, 4, 5 はこれらの数値を用いて計算した圧力分布の3例である。実際の流レがポテンシャル流に近いとみなし得るのは橋脚前半部であるが, この前半部の曲線はI型とIII型とが非常によく似ている。このことは橋脚前半部附近の流レが殆んど前頭部形状のみで定まり, 後頭部形状があまり影響しないことを実証するもので, Engels²⁾, Rehbock³⁾, Keutner⁴⁾, 石原教授が橋脚前頭部附近の著しい洗掘が殆ど前頭部のみの形状に支配されることを実験的に確かめられたことと, 極めて深い関係にあるように思われる。

次に流レが橋脚に傾斜して当る場合, 前頭部における圧力変化は, 先を尖らしたI型及びIII型の方が先のまるいII型より急激であり, 又いずれの橋脚形でも流レに当る側の前頭部附近が流レに当らない側に比べて遙かに急激である。これらの事実も流レが橋脚に斜めに当る場合, 先をまるめた橋脚の方が河床洗掘軽減上好都合であること, 流レに当る側の前頭部附近の洗掘が特に甚だしいことなどを裏書するようである。

なお, 橋脚に作用する力Pを求め, 抵抗係数 C_D

図-2 計算に用いた橋脚形
Fig. 2 Pier forms used in the numerical calculation.

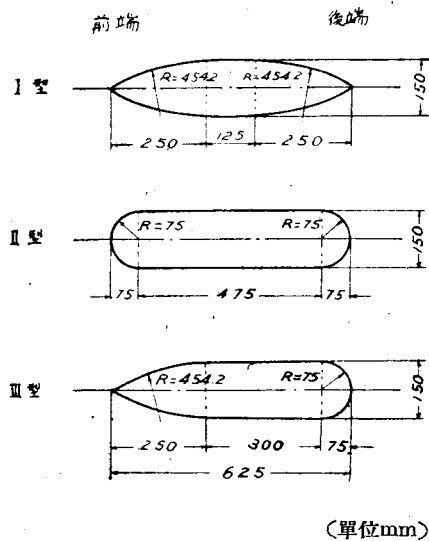


図-6 橋脚の抵抗係数と傾斜角との関係
Fig. 6 Relation between the drag coefficient and slope angle of bridge piers.

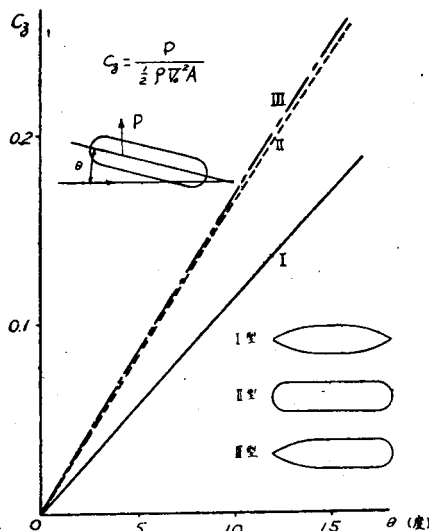


図-3 橋脚周囲の圧力分布 ($\theta=0^\circ$)

Fig. 3 Pressure distributon around bridge piers ($\theta=0^\circ$)

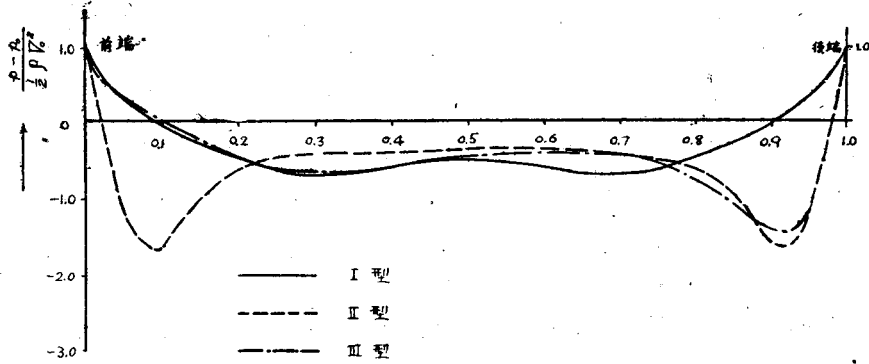


図-4 橋脚周囲の圧力分布 ($\theta=5^\circ$)

Fig.4. Pressure distribution around bridge piers ($\theta=5^\circ$)

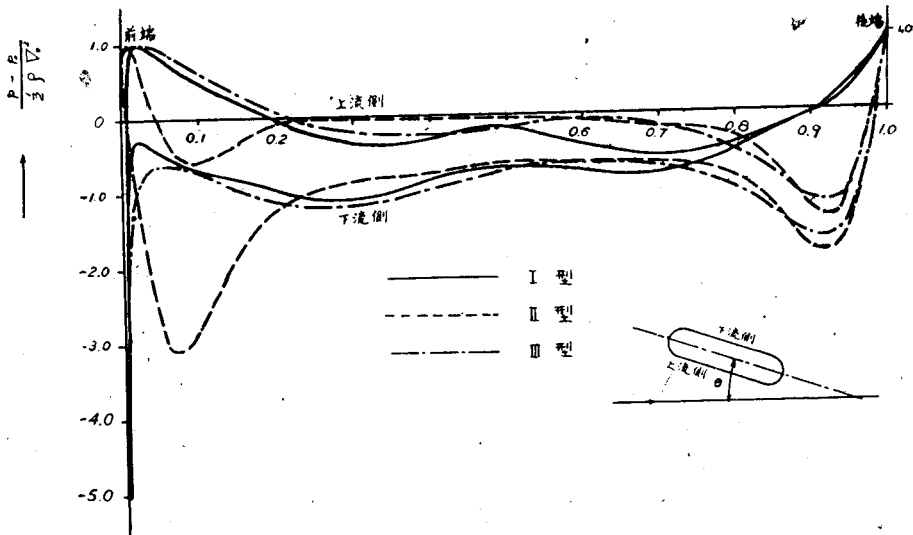
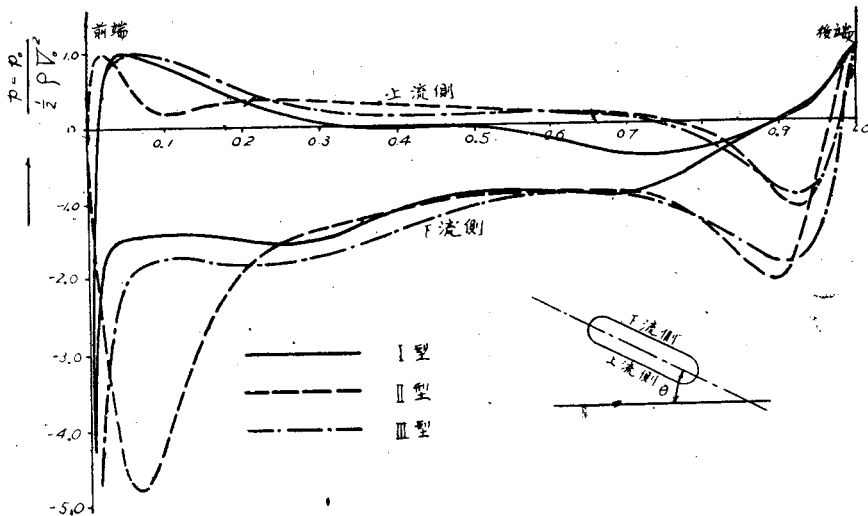


図-5 橋脚周囲の圧力分布 ($\theta=10^\circ$)

(Fig.5. Pressure distributon around bridge piers($\theta=10^\circ$))



$= P/(1/2\rho V_0^2 A)$ (ここに, $A=LH$, L は橋脚長, H は水深) を図-6 に示したが, この係数はⅢ型が最も大きく, 次いでⅡ型, 型Ⅰの順序に小さく, Ⅲ型とⅡ型は殆ど同じでⅠ型より遙かに大きい。実際の $dC_x/d\theta$ はこの計算値よりも小となるであろうが, 定性的には正しいように思われる。このことは, 流れが斜めに当る場合, 前頭部をまるめると洗掘は軽減されても橋脚の受ける力は大きく, 後頭部の形状は前頭部附近の流れの状態には殆んど影響しないが橋脚の受ける力には相当の影響を与えることを示している。いずれも橋脚の流水抵抗を考える際の有力な示唆を与えるものと云つてよい。

4. 結 論

橋脚周囲の圧力分布及び橋脚に働く力を2次元ポテンシャル流として計算した結果, 橋脚周囲の河床洗掘及び橋脚の流水抵抗に及ぼす橋脚の形状及び傾斜角の影響などについての従来の実験的事実を説明する有力な資料を得ることができる。粘性流体や乱流に関する研究は最近大きい発展をみているので, 今後こうした新しい流体力学の立場から橋脚のまはりの流れを深く究明して, 橋脚に関する従来の実験的事実を流体力学的に逐次解明したいと考えている。

本研究は文部省科学研究費による“水理構造物の防災工学的研究”の一部として石原教授御指導のもとに行つたもので, 関係方面に謝意を表する。

文 献

- 1) 守屋富次郎; “任意翼型の一理論”, 日本航空学会誌, 昭16.10, P.1054-1060.
- 3) Engels; “Schutz der Strompfeilerfundamente gegen Unterspülung,” Z.f. Bauwesen, 1894, S. 407-416,
- 3) Th. Rehbock; “Transformations wrought in stream bed by bridge pier of various shape of cross section” and Experiments on the scouring action of the circular piers of a skew railroad bridge across the Wirrent River of the Nürnberg railroad bridge (1921),” Hydraulic Laboratory Practice by J.R.Freeman, 1929, p.135-137.
- 4) Chr. Keutner; “Strömungsvorgänge an Strompfeilern von verschiedenen Grundrissformen und ihre Einwirkung auf die Flusssohle.” Die Bautechnik, 1932, S.161-170.
- 5) 石原藤次郎; “橋脚による河床洗掘に関する実験的研究” 土木学会誌, 昭.13.1, P.23-55; 昭17.9, P.787-821; 昭.17.11, P.1054-1060.

(昭. 24.5.21, 土木学会第5回年次学術講演会にて講演)

コンクリートの単純引張強度と曲ゲ引張強度について

准 員 岡 田 清*

ON THE PURE TENSILE STRENGTH AND THE BENDINGS STRENGTH OF CONCRETE

(JSCE Oct 1950)

Kiyoshi Okada, C. E. Assoc. Member

Synopsis It is very hard to determine the tensile strength of concrete by the tension test, and moreover the results obtained are likely to be not exact. But by adopting some simple assumptions to concrete on the characteristics of the stress-strain relation; that is, (1) parabola and straight line for compression, (2) trapezoid for tension; we can obtain the pure tensile strength as follows from the bending tensile strength which can be determined easily by the bending test

$$(\text{Pure tensile strength}) = \frac{1}{6\rho} \times (\text{Bending tensile strength}),$$

ρ = factor of hair crack moment

1. 前 が き

* 京都大学講師

一般にコンクリートの強度といへばその圧縮強度が意味される如く, コンクリートの引張強度については