

1. 緒言

国鉄では本州四国連絡橋の主径間に用いる橋脚として、水深 $h = 50 \text{ m}$ の海中に直径 $D = 80 \text{ m}$ に及ぶ超大な円形橋脚を計画案の1つとして考えている。愚論橋脚が海底地盤中に固定されてしまえば橋脚に働く流体力はこれに働く他の外力、特に地震力に比して問題にならなくなるが、その施工段階においては、流体力は橋脚を支持する構造物を設計するに当っては重要な意味をもってくる。橋脚に働く流体力としては、主として波力と潮流の動水圧力が考えられるが、水深に比してその直径が非常に大きい円柱の流体力は、従来の細い円柱に対するそれとは異った特性を示すことが考えられる。

本研究は潮流の中における超大円形橋脚の抵抗特性を模型実験によって明らかにせんとするものである。

2. 超大円柱の抵抗に関する基礎的考察

2次元定常流れにおける無限長さの円柱の抵抗係数に関しては多くの研究があり、既によく知られていることがらである。また Reynolds 数が 10^4 以上における円柱の抵抗係数は我々が海岸構造物等を設計するに際してしばしば必要とされるものであるが、最近 Re 数が大きい範囲における抵抗係数に関する研究が Blumberg and Rigg⁽¹⁾ によって発表されている。

さてここで従来の2次元流れにおける無限円柱の抵抗とは異って、自由水面をもった流れにおける円柱の抵抗に関する一般的考察を行ってみる。従来考えられてきた無限円柱の抵抗は Re 数が大きい範囲においては、主として形状抵抗、或いは圧力抵抗と呼ばれ、物体の周りの圧力分布の不均衡に基因する抵抗である。しかし自由水面を考慮しなければならない流れにおいては、圧力抵抗の外に自由水面の影響、すなわち造波抵抗を考慮しなければならない。この場合全抗力 F_0 は、

$$F_0 = F_p + F_w \quad (1) \quad \text{で表わされる。式中 } F_p = \text{形状抵抗または圧力抵抗 (Pressure resistance), } F_w = \text{造波抵抗 (Wave making resistance) である。いま図-1において、全抗力 } F_0 \text{ は}$$

円柱の直径 D 、円柱の吃水 h_d 、物体に働く流れの平均流速 U_m 、水深 h 、水の密度 ρ 、水の動粘性係数 ν 、重力の加速度 g に関係すると考えられる。故に

$$F_0 = f(D, U_m, \rho, h, h_d, g, \nu) \quad (2)$$

独立変量として D, U_m, ρ をとり、次元解析を行うと次の関係が成り立つ。

$$\phi(F_0/\rho U_m^2 D^2, h/D, h_d/D, U_m^2/Dg, D\nu/\mu) = 0 \quad (3)$$

第1項と第3項を組合わせると、

$$\phi(F_0/\rho U_m^2 D h_d, h/D, h_d/D, U_m^2/Dg, D\nu/\mu) = 0 \quad (4)$$

が得られる。ここに $D h_d$ は円柱の受圧面積 A に等しく、また $U_m \sqrt{Dg} = Fr$ 、 $D\nu/\mu = Re$ であるから、結局 F_0 の関水形は次式で与えられる。

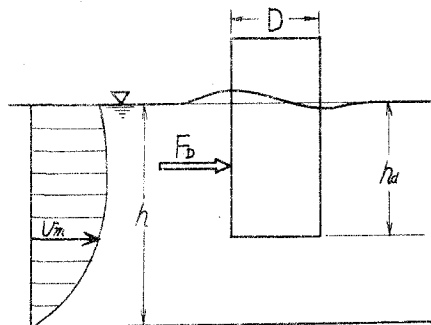


図-1 自由水面をもつ円柱に働く抗力

$$F_0 / \frac{1}{2} \rho A V_m^2 = \phi(h/D, h_u/D, Fr, Re) \quad (5)$$

すなわち自由水面をもつ流れの中の円柱に働く全抗力 F_0 は、 Fr 数と Re 数に関係し、さらに相対水深 (h/D)、相対吃水 (h_u/D) に関係することがわかる。 Fr 数及び Re 数に関係する力は、それぞれ(1)式に示す造波抵抗 F_w 及び圧力抵抗 F_p に他ならない。円柱を水底に定着した場合は、 $h_u = h$ であるから(5)式より抵抗係数 C_D は、

$$C_D = F_0 / \frac{1}{2} \rho A V_m^2 = \phi(h/D, Fr, Re) \quad (6)$$

で与えられる。直径に比して水深が非常に大きい場合には、全抗力に対する造波抵抗の影響は小さく抵抗係数 C_D は Re 数のみの関数となる。

3. 実験結果及び考察

実験は水路幅 2.2 m、深さ 0.8 m、有効長さ 38 m の開水路で行われ、縮尺 1/100 の橋脚模型(円筒)に働く全抗力を strain gage を利用した簡単な moment 計によって測定した。流れの流速は photo transistor 型 propeller 流速計によって橋脚模型(直径 80 cm、および 60 cm)の前面から 1.5 ~ 20 m 上流の断面における横断分布および鉛直分布を測定した。写真-1 は直径 80 cm の円形橋脚の実験写真である。現在までに行った実験結果を図-2 に示す。

この実験は $Re = (1.45 \sim 1.66) \times 10^5 \div$ 一定、 $Fr = 0.084 \sim 0.145 \div$ 一定の範囲で行われたので、 Re 数及び Fr 数が全抗力に及ぼす影響を知ることはできないが、相対水深 (h/D) 及び相対吃水 (h_u/D) の影響を知ることができる。先ず全抗力に対する相対水深 (h/D) の影響について考察する。図-2 において直径 $D = 80$ cm 及び 60 cm の円柱の抵抗係数は相対水深 (h/D) が同じ値 ($h/D = 0.64$) のときにはほぼ同じ値を示しているが、水深 $h (= 51$ cm) を同じにして $D = 80$ cm 及び 60 cm の抵抗係数を調べると、相対水深が小さい方 ($D = 80$ cm : $h/D = 0.64$, $D = 60$ cm : $h/D = 0.847$) が抵抗係数は

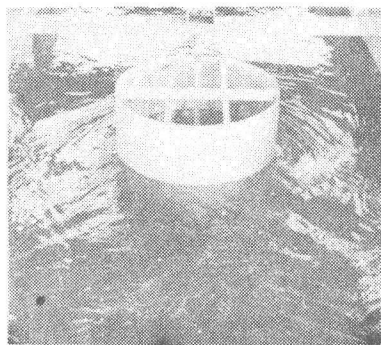


写真-1 実験状況

大きくなっている。 Re 数が一定であるので、この増大は造波抵抗の増大に基因するものであって、水深が直径に比して小さくなってくると全抗力に対する造波抵抗の占める割合が大きくなっていくことを示している。次に相対吃水 (h_u/D) の影響を考える。円柱底部が水底に達しないで、円柱下部に流れがある場合は(5)式より相対水深 (h/D) の外に相対吃水 (h_u/D) が関係する。一般に物体の周囲の流れが3次元流れを示すと圧力抵抗は減少することが知られているので、 (h_u/D) の変化は主として圧力抵抗の変化に関係すると考えられる。図-2 において、抵抗係数は (h_u/D) の変化によってかなり顕著に変わっている。これは円柱下部にも流れが存在しうするため、円柱によって流れの運動を妨げようとする性質が減少し、円柱前面と背面との圧力差が少くなるため圧力抵抗が減少することが支配的な因子である。

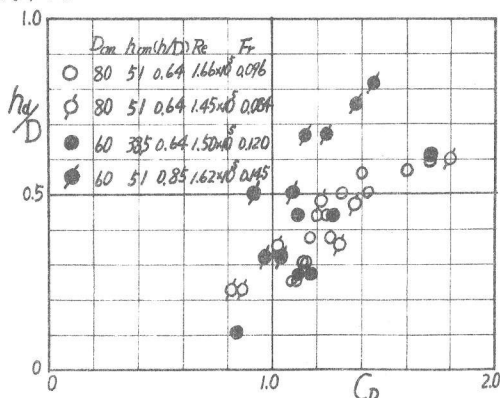


図-2. 相対吃水と抵抗係数の関係

(1) Blumberg, R. and Rigg, A.N.: Hydrodynamic Drag at Super Critical Reynolds Numbers, presented at ASME meeting, Petroleum Session.
(2) 神元五郎: 水力学Ⅱ など。