

II-382

流れ場に設置された半球体の水理特性に関する二、三の考察

西松建設(株) 正会員 湊 康裕 水野 晋
西松建設(株) 正会員 西平 福宏 多田 彰秀

1. はじめに: 半球型底設魚礁開発の第一段階として, 本報では, 流れ場に設置された半球体の水理特性について基礎的な検討を加えた。すなわち, まず2種類の半球体模型に作用する流体力を測定し, 半球体の抗力係数および揚力係数を求めた。さらに, 流下中心軸上の鉛直断面内で流速の測定を行い, 流速ベクトル分布および乱れ強度分布等より半球体背後の流況について考察した。

2. 実験概要: 実験は, 全長85m, 幅1m, 高さ1.6mの二次元水路中央に長さ10m, 高さ17cmのマウンドを設置し, その中心部に半球体模型(図-1参照)を固定して行った。半球体は, 直径 $D=20\text{cm}$ の無孔タイプおよび有孔タイプ(図-2参照, 直径3cmの孔を5箇所あけ, 中を仕切る。)の2種類を用いた。流体力の測定は, 表-1に示す条件下で, 3分力計を用いて行った。また, 流速は, 水深40cmの条件で電磁流速計によって40秒間測定された。

3. 抗力係数と揚力係数: 無孔および有孔半球体の抗力係数 C_D および揚力係数 C_L を次式により求めた。

$$F_x = \frac{1}{2} \rho U_m^2 C_D A_x \quad (1) \quad F_z = \frac{1}{2} \rho U_m^2 C_L A_z \quad (2)$$

ここに, F_x, F_z : 流下方向および鉛直方向に作用する流体力, C_D, C_L : 流体力係数, ρ : 水の密度, A_x, A_z : 射影面積, U_m : 断面平均流速である。求めた流体力係数をRe数

($U_m \cdot r / \nu$, $r = D/2$: 半径)で整理して図-3および図-4に

示す。図中の破線は無孔タイプの平均値を示す。本実験の範囲内で C_D は, 有孔, 無孔にかかわらずほぼ一定値(0.37)をとることがわかる。一般に, 定常流中に置かれた球の抗力

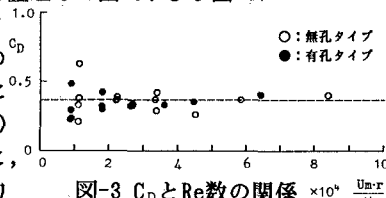
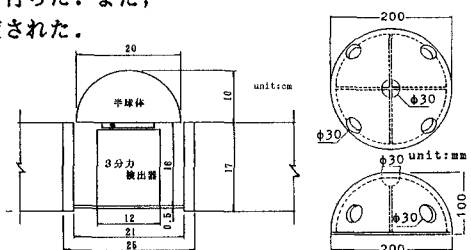
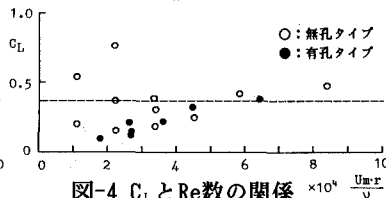
図-3 C_D とRe数の関係 $\times 10^4 \frac{U_m \cdot r}{\nu}$ 

図-1 半球体設置状況 図-2 有孔タイプ

図-4 C_L とRe数の関係 $\times 10^4 \frac{U_m \cdot r}{\nu}$

係数は0.5であり¹⁾, 底面の影響を含む本実験の C_D と単純に比較することはできないが, ほぼ妥当な結果が得られているものと判断される。一方, C_L については, 次のようなことが確認される。すなわち, 無孔タイプの C_L は, ばらつきが大きい。有孔タイプの C_L はRe数の増加に伴い増大し, 無孔タイプの C_L の平均値(0.37)に漸近していく傾向がある。これは, 孔を通過する流れの影響によるものと推測されるが, 厳密な意味での証明はできなかった。

4. 流速分布と乱れ強度分布: 水深40cm, 断面平均流速 $U_m=20$ および40cm/secの場合の半球体近傍の流速分布を図-5に示す。図中のベクトルの大きさは, 各測定点における流速の平均値 $\bar{U}$ を断面平均流速 U_m で無次元化したものである。図より, 半球体背後に流速の”よどみ”が認められる。この領域は, 主流域と区別して反流域と混合域に大別される²⁾。 $U_m=40\text{cm/sec}$ の場合では, $U_m=20\text{cm/sec}$ の場合と比較して, 反流域および混合域が狭くなっている。これは, 射流における流速欠損の回復が常流での回復に比べて速まるという特性³⁾から説明できるものと考えらる。従って, 断面平均流速を増加させることによって主流の影響が半球体背後に強く現れるものと推測される。

次に, 乱れ強度を次式によって定義し, 同ケースについてその分布を示したものが図-6である。

$$V_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (V_i - \bar{V})^2}{N}}, \quad \bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^N V_i}{N}, \quad V_i = \sqrt{U_i^2 + W_i^2} \quad (3)$$

なお, U_i および W_i は, x 方向および z 方向の瞬間流速($U=\bar{U}+u$)である。図-6は, 各測点での変動量 V_d を断面平均流速 U_m で無次元化し, 場所別に示したものである。 $U_m=20\text{cm/sec}$ の場合, 乱れ強度の大きい領域が半球体

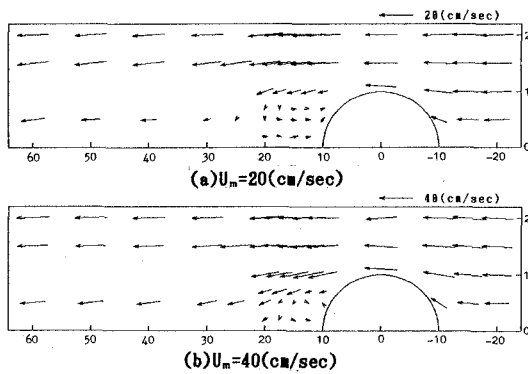


図-5 平均流速のベクトル分布図

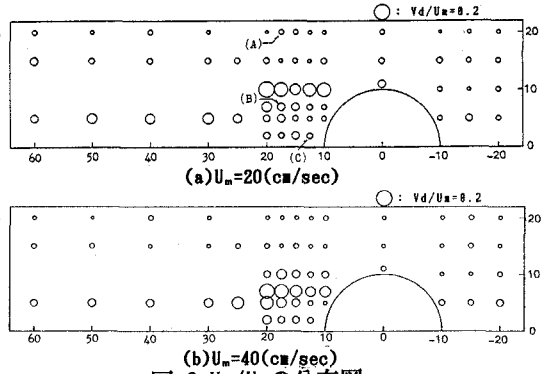


図-6 V_d/U_m の分布図

頂部の高さに出現するのに対し、 $U_m=40\text{cm/sec}$ の場合には、頂部から3cm下で乱れ強度が最大値を示している。さらに、図-5の流速ベクトル分布と対比してみると、混合域に相当する領域で乱れ強度が大きくなっていることがわかる。これらより、断面平均流速の増加とともに、反流域および混合域の領域は減少し、半球体に接近していく傾向がみられる。

5. 自己相関係数：図-6(a)の中に示す3点(A),(B),(C)は、上述の主流域、混合域、反流域を代表する測点である。これらの点における水平方向の流速の時間変化を図-7に示す。(A)点での流速は、断面平均流速とほぼ等しくなっている。一方、(B)点では半球体の影響で断面平均流速の1/2程度まで流速が減少しており、さらにその変動幅も大きい。また、(C)点では流速変動が小さく負の値を示している。すなわち、逆流の発生が認められる。

また、流下方向(x方向)の乱れ速度 $u(t)$ に関する自己相関関数 $C(\tau)$ および自己相関係数 $R(\tau)$ をそれぞれ式(4)および式(5)によって定義する。

$$C(\tau) = \overline{u(t)u(t+\tau)} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} u(t)u(t+\tau) dt \quad (4)$$

$$R(\tau) = \frac{C(\tau)}{C(0)} = \frac{\overline{u(t)u(t+\tau)}}{\overline{u(t)^2}} \quad (5)$$

図-8は、それぞれ上述の3点(A),(B),(C)における自己相関係数を示したものである。混合域に属する(B)点では、5秒程度の周期性をもった流速変動が生じているようである。一方、主流域(A)点および反流域(C)点の結果からは、さほど周期性は認められなかった。

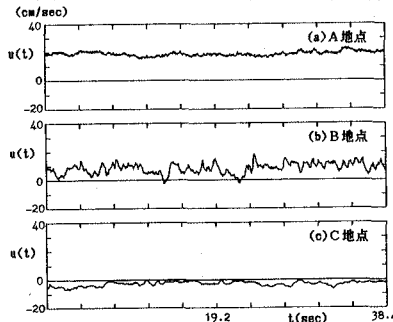


図-7 流速変動の記録例

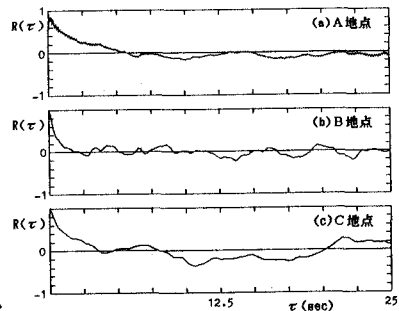


図-8 自己相関係数

4. おわりに：流れ場に設置された半球体の流体力特性および半球体背後の流れ特性を明らかにす

るため、水理実験を行った。流れ場における半球体の C_D および C_L は、 Re 数および有孔、無孔にかかわらずほぼ一定値となった。また、半球体背後の流れは主流域、混合域および反流域の3つに大別され、断面平均流速の増加に伴いそれら領域の大きさが変化することが確認された。さらに、混合域での流速は周期性を有することもわかった。なお、ここで用いた電磁流速計の周波数分解能（最大10Hz）を考慮すれば、乱れ速度に関する事項については、高精度の流速計を用いて再検討する必要があると思われる。

<参考文献> 1)例えば、土木学会水理委員会編：水理公式集，土木学会，pp.522～523，1971。 2)鶴谷広一，松延嘉國，惟住智昭，柳嶋慎一：水中に設置された構造物背後の流れと乱流構造に関する研究，第34回海岸工学講演会論文集，pp.581～585，1987。 3)高橋迪夫：水路床上に存在する半球下流部の流れの構造に関する実験的研究，土木学会論文集，第417号／Ⅱ-13，pp73～82，1990。