

東京工業大学大学院 学生員 鈴木研司
東京工業大学工学部 正 員 福岡捷二
東京工業大学工学部 正 員 角田 学

1. はじめに ゆるやかに幅の変化する貯水池の内部段波内の流れは、図-1に示すように中央部付近で順流、側壁付近で逆流となり、一様幅貯水池の内部段波と比べて著しく複雑になる。^{1), 2)}本研究では、三次元内部段波の全体的な挙動を簡単なモデルで把握するために、一次元運動量方程式と連続方程式を用いて解析を行ない、実験結果の説明を試みる。また、二次元内部段波についてもあわせて検討する。実験装置および方法は第27回水講と同じである。

2. 解析 (1) 解析に用いる仮定: 図-1のように段波フロント部の前後で断面Ⅰ, Ⅱを設定し、段波の波高および潮上速度の変化について解析を行なう。この際、実験に基づき以下の仮定を用いる。1° 内部段波の形状は幅方向に一様であり、段波前面の厚さ δ に関わらず一定、上部波高 h_u 、下部波高 h_e 、潮上速度 C は x のみの関数とする。2° 圧力分布は静水圧分布をなす。3° 周囲水の段波への混入は無視する。4° 界面抵抗、側壁の摩擦抵抗は無視する。
(2) 基本方程式: C とともに移動する座標系において、運動量方程式を次のように表わすものとする。

$$\iint_{II} \rho_a (v_2 + C)^2 dy dz - \iint_I \rho_a (v_1 + C)^2 dy dz = F_x \quad \text{--- ①}$$

ここで F_x は断面Ⅰ, Ⅱにかかる圧力、および側壁からの圧力の総和の x 方向成分である。また、連続方程式は

$$\iint_I v_1 dy dz - \iint_{II} v_2 dy dz = C \cdot (h_u + h_e) \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2}{2} \quad \text{--- ②}$$

となる。さらに鉛直方向のつりあい関係から

$$\int \rho_a dz = (\rho_1 h_u + \rho_2 h_e) \cdot \frac{d + h_u + h_e}{h_u + h_e} \quad \text{--- ③}$$

が得られる。

(3) 計算結果: 以上の三式①, ②, ③に実験より得られた流速分布、密度分布を与えて C, h_u, h_e の x 方向の変化について解く。図-2の(a), (b)は段波の前後で測られた任意の水平面上の x 方向の流速分布をその水平面内の最大流速で無次元化したものである。これより v_1, v_2 は次の分布形を持つことがわかる。

$$\frac{v_1(x, y, z)}{v_{1max}} = \cos(\pi \frac{y}{\bar{y}}) \quad \text{--- ④}$$

$$\frac{v_2(x, y, z)}{v_{2max}} = a_1 + a_2 \cos(\frac{\pi}{2} \frac{y}{\bar{y}}) + a_3 \cos(\pi \frac{y}{\bar{y}}) + a_4 \cos(\frac{3\pi}{2} \frac{y}{\bar{y}}) \quad \text{--- ⑤}$$

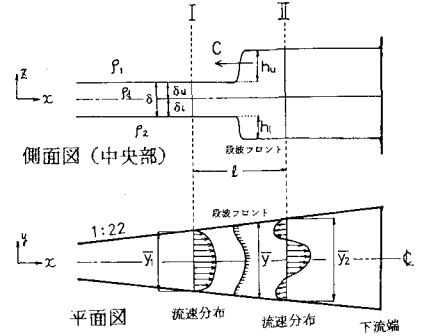
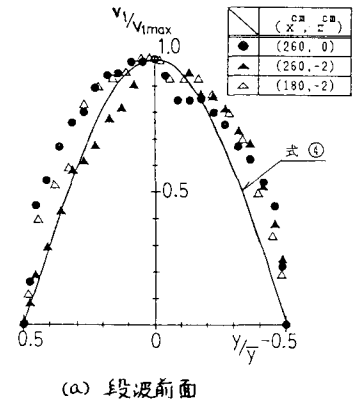
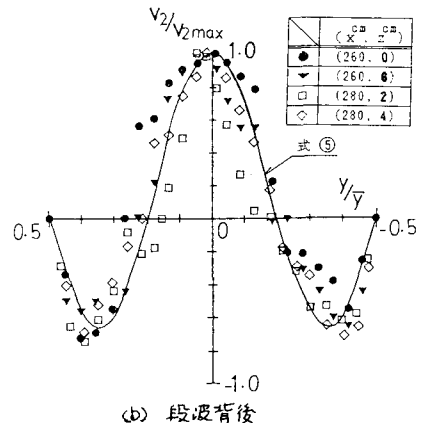


図-1. 三次元内部段波



(a) 段波前面



(b) 段波背後

図-2 水平面内無次元流速分布

a_1, a_2, a_3, a_4 は実測流速分布より得られる定数である。(ここでは $a_1 = -240, a_2 = 380, a_3 = -180, a_4 = 40$ とする) さらに式④、⑤の v_{1max}, v_{2max} の水深方向の変化はそれぞれ図-3 (a)、(b) のようになり、次式で近似できる。

$$\begin{cases} v_{1max} = \alpha(x) \cos\left(\frac{\pi}{2} \frac{z}{\delta_u}\right) & 0 \leq z \leq \delta_u \\ v_{1max} = \alpha(x) \cos\left(\frac{\pi}{2} \frac{z}{\delta_e}\right) & -\delta_e \leq z \leq 0 \end{cases} \quad \text{--- ⑥}$$

$$\begin{cases} v_{2max} = \beta(x) \cos\left(\frac{\pi}{2} \frac{z}{\delta_u + h_u}\right) & 0 \leq z \leq \delta_u + h_u \\ v_{2max} = \beta(x) \cos\left(\frac{\pi}{2} \frac{z}{\delta_e + h_e}\right) & -\delta_e - h_e \leq z \leq 0 \end{cases} \quad \text{--- ⑦}$$

式⑥、⑦の α, β は x の関数である。断面 I の諸量 δ, α が与えられているとき、II の断面の諸量 β, h_u, h_e を求める。実験によると、段波前後の流量 Q_1, Q_2 は段波フロント部が翹上してもそれぞれほぼ不変であることが確かめられているので、この関係も用いる。

密度は水深方向には直線分布、幅方向には一様である。計算にはこの他、断面 I と II の間の長さ l も必要となるため、ここでは実験から妥当と思われる値を与えた ($l = 30 \text{ cm}$)

段波の上部波高 h_u と翹上速度 C について求めた計算結果と実験値を図-4 (a)、(b) に示す。計算値は実験値と重なっているとはいえない。この主要な原因として、1) 与えた流速分布形の精度が必ずしも十分でないこと、2) 波高 h_u と h_e の大小関係が、解析では密度条件から $h_u = h_e$ となるのに対し、実験では底面の存在と自由水面の存在から $h_u > h_e$ となっていること、3) 側壁の抵抗力を考慮していないこと、などが挙げられる。新縮水路での内部段波の挙動、特に段波内部の流動は複雑であるが、解析はかなり単純化して扱った。このことを考えると、得られた値のオーダーは妥当なものである。今後は、上述の問題点を考慮した解析を行なう必要がある。

(4) 一様幅野水池内の内部段波の解析: 以上の解析を一様幅の野水池内の内部段波に適用した。幅の変化がないため、¹⁾ 流速は幅方向に一様で逆流も生じず、段波形状は一定を保つ。三次元内部段波の場合より、解析はかなり簡単になり、流速の水深方向の変化を図-3 と同様の $\cos$ 形で与えて解いた。計算結果と実験値を図-5 (a)、(b) に示す。放水を行なう場合、行なわない場合、いずれの計算値も実験値とよく適合していることがわかる。

(参考文献)

- 1) 福岡、稲葉、角田：第27回水理講演会論文集 1983
- 2) 角田、福岡、稲葉：第38回年次講演会論文集 1983

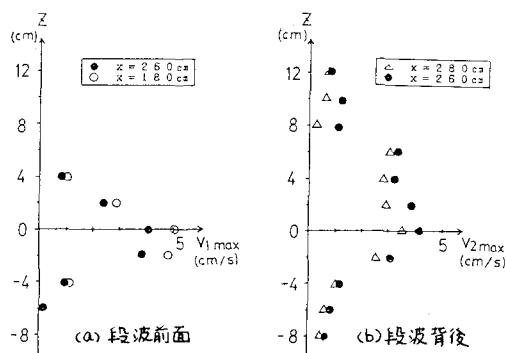


図-3. 最大流速の水深方向の変化

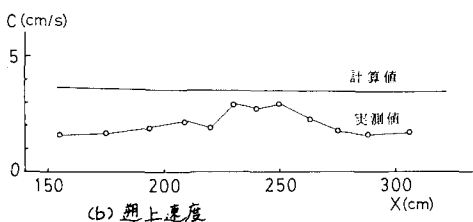
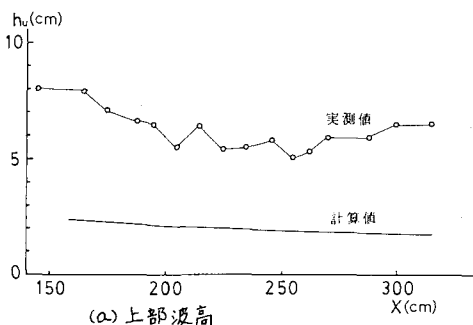


図-4. 三次元内部段波の波高、翹上速度

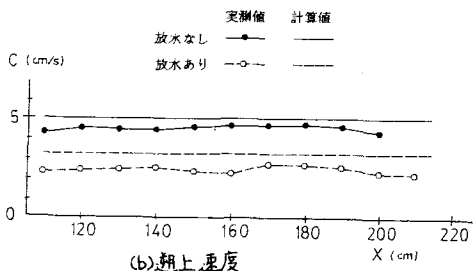
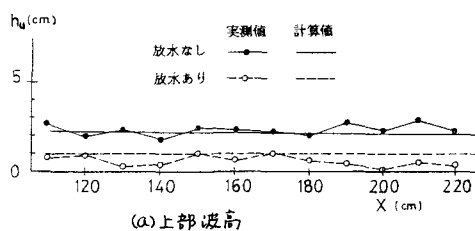


図-5. 二次元内部段波の波高、翹上速度