

名古屋工業大学 正員 細井 正延

名古屋工業大学 学生員 ○坪田 幸雄

1. はじめに

岸壁などから陸上に遡上した段波状津波が、石油タンク群や家屋密集地帯などの障害物を通過する際にみられる顕著な現象の一つに、障害物による水面のせき上げがある。密集したタンク群等において、このようなせき上げ現象が起こることは、構造的にみても非常に危険なことである。しかし、せき上げによる水面上昇高を、非定常計算により算出するのは困難である。そこで、本論文においては、定常計算による水面上昇高算出の一解法を示すとともに、若干の考察を加えることとする。

2. 実験方法

実験は、長さ7.5 m、幅30 cm、高さ40 cmの両面ガラス張り二次元水平水路を用いて行なった。水路の上流側より1.55 mの位置にゲートを設け、ゲートより下流3 m付近にタンク群を模した鋼管パイプを図-2に示すように配置した。津波は、ゲート上流側だけに水を溜め、ゲートを瞬時に引き上げることにより発生させた。ゲート上流側の貯留水深 ΔH = 7, 9, 11, 13, 15 cmの各々に対し、パイプの列数を4列及び7列として実験を行なった。波高の測定は、図-1に示す位置に二極容量式波高計を設置し、電磁オシログラフに接続して記録した。

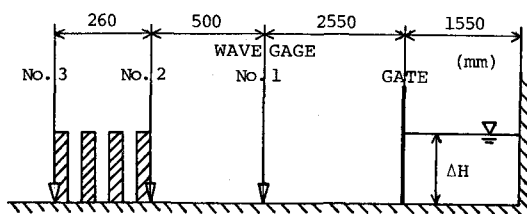


図-1 実験装置 (4列)

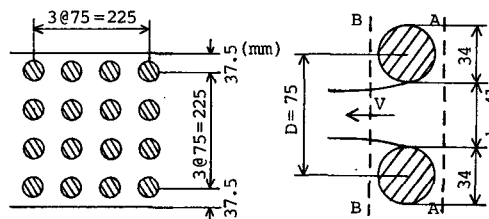


図-2 パイプ配置図 (4列)

3. 実験結果及び考察

一連の実験を通じて、入射段波の波高のピーク H 、障害物前面での波高のピーク H_0 及び障害物通過直後の波高のピーク H_1 が、ほぼ同時刻に現われ、また障害物前面においては、せき上げられた水面が、段波状になって上流へ反射していく現象が認められた。以上の事を考慮し、ピーク時には、図-3に示すII断面より下流側では定常的狀態になっているものと仮定した。その他に、摩擦による損失は無視し、障害物は全体を一つとみなす、と仮定して式の誘導を行なった。

図-3のI-II断面においては、物動座標系を考え、連続の式及び運動量方程式として、

$$H(U+C_0) = H_0(U_0+C_0) = q_r \quad \text{--- (1)}$$

$$\rho g_r \{ (U_0+C_0) - (U+C_0) \} = \frac{1}{2} \rho g (H^2 - H_0^2) \quad \text{--- (2)}$$

II-III断面における連続の式及びBernoulliの式として、

$$H_0 U_0 = H_1 U_1 \quad \text{--- (3)}$$

$$\frac{U_0^2}{2g} + H_0 = \frac{U_1^2}{2g} + H_1 + C_0 \frac{U_0^2}{2g} \quad \text{--- (4)}$$

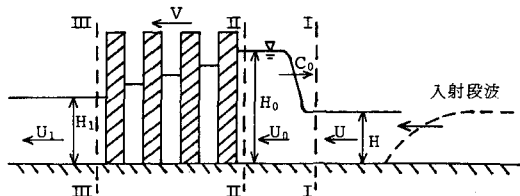


図-3 諸記号

また、図-2のA-B断面における連続の式及び障害物の間から噴出する噴流の速度 V は、

$$DH_0U_0 = C_c b H_1 V \quad \text{--- (5)}$$

$$V = C_v \sqrt{\frac{2g(H_0 - H_1)}{1 - (C_c \frac{b}{D} \frac{H_1}{H_0})^2}} \quad \text{--- (6)}$$

ここに、 C_c :収縮係数、 C_v :流速係数、 C_D :障害物による抵抗係数

(1)~(6)式だけでは、入射段波の波高 H と流速 U を与えても、障害物前面での波高 H_0 を求めることはできない。そこで、 $H_0/H = \alpha$ 、 $H_1/H = \beta$ とおくと、(3)~(6)式より、

$$\left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^2 = \left(\frac{H_0}{H_1}\right)^2 = \frac{(C_c \frac{b}{D})^2 + (C_c C_v \frac{b}{D})^2 (C_D - 1)}{1 - (C_c C_v \frac{b}{D})^2} \quad \text{--- (7)}$$

という関係が得られる。一方、実験で得られた H_0, H_1 を用いて β/α を計算すると、図-4に示すように入射フルード数 Fr とは無関係にほぼ一定となる(4列で $\beta/\alpha \div 0.606$ 、7列で $\beta/\alpha \div 0.598$)。よって、(7)式より C_D の値も一定となり($C_c = 1.00, C_v = 1.00$ とすると、4列で $C_D = 6.385$ 、7列で $C_D = 6.554$)、障害物の配置により C_D の値は決定されることになる。そこで、 $\beta/\alpha = A$ とおくと、(1)~(6)式より、

$$\alpha^6 + K_1 \alpha^5 + K_2 \alpha^4 + K_3 \alpha^3 + K_4 \alpha^2 + K_5 \alpha + K_6 = 0 \quad \text{--- (8)}$$

$$K_1 = -2 - 8R$$

ここで、

$$K_2 = 16R^2 + 8R - 4Fr^2 - 1$$

$$K_3 = 4 - 16R \cdot Fr^2 + 4Fr^2 + 8R$$

$$K_4 = 4Fr^4 - 1 + 4Fr^2 - 8R$$

$$K_5 = -2 - 4Fr^2, \quad K_6 = 1$$

$$\begin{cases} R = \frac{(1-A)(C_c C_v \frac{b}{D} A)^2}{1 - (C_c \frac{b}{D} A)^2} \\ Fr = \frac{U}{\sqrt{gH}} \end{cases}$$

となる。したがって、実験で得られた β/α の値を用い、入射段波の波高 H 及び流速 U を与えれば、(8)式より α が求まり、障害物前面での波高 H_0 及び障害物通過直後の波高 H_1 も求まる。図-5.a, bには、4列の場合の H_0, H_1 の計算値 H_{th} と実験値 H_{ex} の比較が示してある。この図からわかるように、実験値は計算値より17%程小さくなっている。これは、非定常流を定常流として計算したためと思われるが、計算値が安全側へ偏っているので、障害物による津波の水面上昇高を算出するための方法と考えてよいであろう。

以上述べたように、非定常流である津波においては、障害物前後の波高の比 H_1/H_0 が一定になることが確認でき、また定常計算により、障害物による津波の水面上昇高をある程度算定できることがわかった。しかし、今回行なった2種類の配列については、両者の間に明確な差違が認められなかったため、今後さらに配列の異なる実験を行なって検討する必要がある。また、著者らは上記の実験に引き続いて、障害物通過後の段波の性状に関する実験及び三次元水路における同様の実験を行なったが、紙面の都合上、これらの結果は次の機会に発表する予定である。

最後に、実験及びデータ整理に、熱心に協力された研究生の渡辺伸彦君に、謝意を表します。

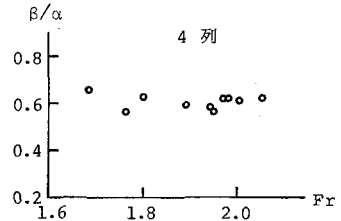


図-4 Fr と β/α の関係

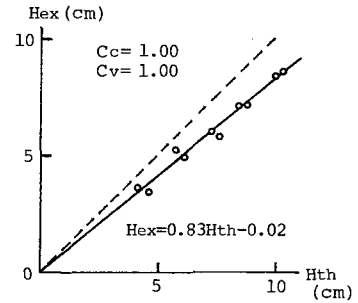


図-5.a 計算値と実験値の比較 (H_0)

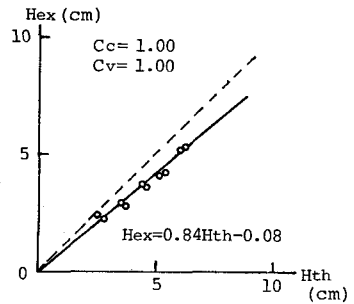


図-5.b 計算値と実験値の比較 (H_1)