

クノイド波に関する実験的研究

京都大学防災研究所 正員 工博 岩垣雄一

京都大学大学院 学生員 細見昌彦

1. 緒言: 従来, クノイド波に関しては Korteweg-de Vries, Keulegan-Patterson, Keller および Laitone らの理論的な研究があり, さうに Wiegel は波高, 水深, 波長あるいは周期を与えて, その波形および波速を求めるグラフを作っているが, 理論結果として上述の前三者のものを用いたため第1近似にもとづいて計算したものとなり, また平均水深と波の谷からの水深とが混同しているという欠点がある。これに対して岩垣は, Laitone の理論解を用い, 波形こう配, 波形, 波速および波長を求める図表を作成した。^{1), 2)} 本研究の目的は岩垣が与えた図表を用いてクノイド波の理論値を算出し, これと実験値とを比較, 検討することであり, ここではまず波速と水位の時間的变化を取扱った。

2. 実験装置および方法: 実験は幅50cm, 深さ65cm, 長さ63mの鉄製水槽の一端にフラッター式造波機とフィルターを取りつけ, 造波機から約30mはなれた位置に3m間隔で二つの波高計を設置した。そしてペン書きオシシロで両位置の水位の時間的变化と電接時計による $1/5$ sec のタイムマークを記録させた。この記録から, 造波機始動後の数波と水槽端からかえってくる反射後の波は除去して, 各波の峯を対応させ, 波が二つの波高計の間を進むに要する時間を読みとり, 波速を算出した。なお, 実験値としてはこれらの平均値を採用した。

3. 実験結果とその考察: クノイド波の第2近似の波速 C_2 は次式であらわされる。

$$\frac{C_2}{\sqrt{gh}} = \left(1 - \frac{\delta_2 H}{h}\right)^{1/2} \left[1 + \frac{1}{1 - (\delta_2 H)(H/h)} \frac{H}{h} \frac{1}{k^2} \left(\frac{1}{2} - \frac{E}{K}\right) + \left\{ \frac{1}{1 - (\delta_2 H)(H/h)} \right\}^2 \left(\frac{H}{h} \right)^2 \frac{1}{k^4} \left\{ \frac{E}{K} \left(\frac{E}{K} + \frac{3}{4} k^2 - 1 \right) - \left(\frac{k^4 + 14k^2 - 9}{40} \right) \right\} \right] \quad \dots (1)$$

ここに, h は水路底から静水面までの深さ, H は波高, K, E はそれぞれ第1種および第2種の完全

な円積分, k は Jacobi のだ円関数の母数, δ_2 は波の谷と静水面との距離の第2近似値である。式(1)から結局 $C_2/\sqrt{gh}$ は h/H をパラメータとする $T_2\sqrt{\frac{g}{h}}$ の関数として表わされる。図-1-a, 図-1-b および図-1-c は $T_2\sqrt{\frac{g}{h}}$ を一定にして波高 H を変化させた場合の $C_2/\sqrt{gh}$ と h/H との関係を示したものである。図-1-a においては, $h/H \geq 10$ の範囲で実験値は理論曲線とほぼ一致しているが, $h/H < 10$ の範囲では実験値の方が理論値より小さく微小振巾波の波速にかなり近づいている。図-1-b においては水深が17.71cmと小さく, 造波機の特

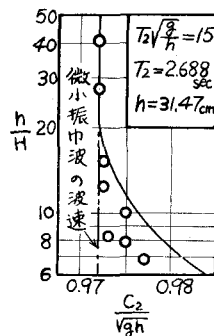


図-1-a $\frac{h}{H}$ と $\frac{C_2}{\sqrt{gh}}$ との関係

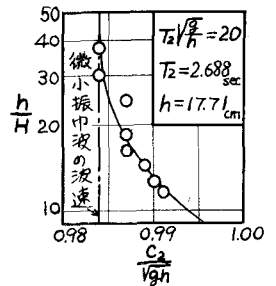


図-1-b $\frac{h}{H}$ と $\frac{C_2}{\sqrt{gh}}$ との関係

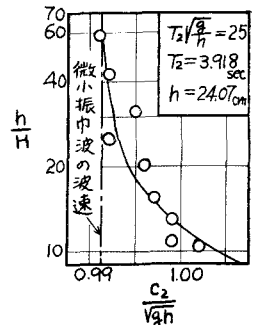


図-1-c $\frac{h}{H}$ と $\frac{C_2}{\sqrt{gh}}$ との関係

性的ため $h/H \leq 11$ の範囲では実験値がえられてないが、 $h/H > 11$ の範囲ではほぼ完全に理論値と一致している。図-1-c でも $h/H = 10 \sim 11$ の範囲では実験値の方がわずかに小さい。これらのことから、ほぼ $h/H < 11$ の範囲では $T\sqrt{g/H}$ の値が小さくなると実験値はクノイド波の波速より小さくなり微小振中波の波速にかなり近づくようである。つぎに波形については、その第1近似、第2近似式はそれぞれ

$$\frac{\eta_1}{H} = cn^2(v, k) \quad \dots (2)$$

$$\frac{\eta_2}{H} = cn^2(v, k) - \frac{3}{4} \frac{H}{h_t} cn^2(v, k) \{1 - cn^2(v, k)\} \quad \dots (3)$$

となる。ここに、 η_1 、 η_2 はそれぞれ第1近似、第2近似の波の谷から水面までの距離、 h_t は波の谷からの水深、 cn は Jacobi のだ円関数であり、 $v = 2\pi x/L$ である。そして $k=1$ の場合にえられる孤立波の波形を媒介として、第1近似および第2近似の波形を与える図表が与えられている。図-2-a および図-2-b は、これらの図表から求めた理論曲線と、

水位の時間的変化の記録(横軸に x/L のかわりに t/T が、縦軸に η/H がとってある)とを比較したものの一例である。なお、図-2-b においては第1近似と第2近似との差が2%以下であるため、前者のみが示してある。図-2-a では、実験における静水面の位置が理論より求められたものより低い位置にあられ、また全体的に理論曲線と比べて峯の部分とはがり、谷の部分は平坦である。この傾向は $T\sqrt{g/H} = 25$ の場合にもあらわれている。これはおそらく造波機の実験によるものとおもわれる。図-2-b では、クノイド波の理論波形と正弦波形との差がかなり小さくなっている。

実験値は静水面の位置に関しては理論値と一致し、波形については右半分はクノイド波の第1近似とよく一致しているが、左半分は逆に正弦波に近い。

以上、 $T\sqrt{g/H}$ の値が15, 20, 25 の場合の波速と波形について述べたが、 $T\sqrt{g/H}$ の値を大きくし、 h/H の値を小さくすればするほど、クノイド波としての特性が明確にあらわれる。

しかし、現在のフラッター式造波機では水深を小さくすると波高が激減するので、この欠点を除去するため、現在ピストン式造波機を製作中であり、講演時にはこれによる実験結果をも合わせて発表する予定である。

参考文献

- 1) 京都大学防災研究所年報 NO.7, 1964, pp. 373~386.
- 2) " NO.8, 1965, pp. 343~351.

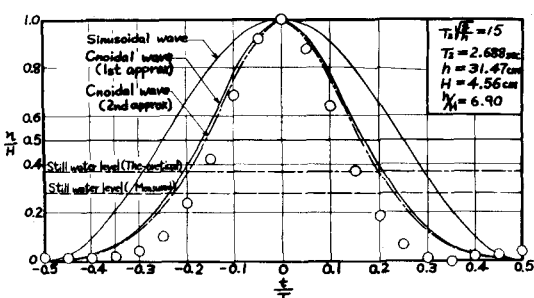


図-2-a 水位の時間的変化

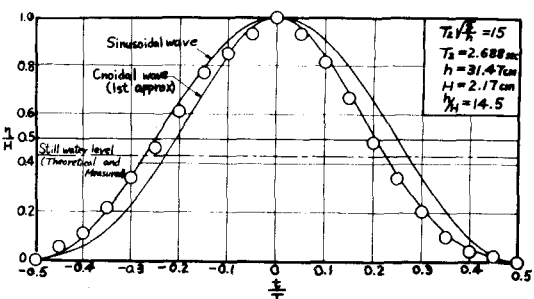


図-2-b 水位の時間的変化