

Ⅱ-45 水圧式波浪計に関する一考察

東京大学工学部 正員 堀川 清司
 東京大学大学院 学生員 ○小 森 修藏
 東京大学工学部 学生員 松田 芳夫

1. 緒 言

現在行なわれている主要な波浪観測法は「波による水圧変化を測定する」ものである。これは、水中圧力変動を測定し水面の波高を推算する方法である。水中圧力を水面波高に換算するための波高補正係数 n については、浜田、光易、長谷により規則波を用いて研究されている。それ以後、方々でその重要性が論じられながらも具体的な研究発表はなされていないようである。我々は、規則波のみならず不規則波についても実験し、従来の水圧式波高計の換算方式について検討を試みてみた。波高補正係数 n は次式で与えられる。

$$n = \frac{H \cosh \frac{2\pi(h-d)}{L}}{H_p \cosh \frac{2\pi h}{L}} \quad \text{----- (1)}$$

ここに H ；水面波高、 H_p ；深さ d で測定された圧力波高、 L ；波長、 h ；水深である。

2. 実験条件

実験に使用した水路は、長さ36 m、巾60 cm、高さ79 cm、の風洞水路であり、水深は常に40 cmとした。水路の一端には1/10勾配に砂を敷き、その上に消波ブロック模型を積み上げて反射波の発生を少なくするように努めた。波発生にはフラッター式造波板と風洞の両方を用い、実験に使用した標準の波高 H 、周期 T 、水圧式波高計受圧面の深さ d 、風速 V は表-1のよう

H cm	T sec	V m/s	d cm
*	*	0	15
5	0.6	5	25
10	1.3	10	30
15	2.0	15	

表-1

である。風速0 m/sの場合を規則波とし、その他の場合を不規則波とした。規則波は、フラッター式造波板で規則的な波を起こし、それに風を吹かせて不規則性を与える。風のみの場合とである。(表中*印) 風速測定にはピトー管を用いた。水圧式波高計の設置は、波が十分発達したと考えられる造波板より23 mのところとした。また受圧面の垂直位置は、深さ $d = 30, 25, 15$ cmの3通りとし、水面波高は抵抗線式波高計を用い、水圧式波高計の真上で測定した。抵抗線式波高計は、一般に使われている2本の抵抗線が張り渡したものであり、水圧式波高計は受圧面積1 cm²の磁歪式のもので、受圧面を1 cm²にし、ポイントゲージでつり下げた。また波形は電磁オッシログラフで同時に記録した。

3. 実験結果と考察

電磁オッシログラフで撮影した結果の例を図-1, 2に掲げた。図-1は規則波、図-2は不規則波の例である。実線で表わしたのが抵抗線式波高計でとらえた水面波形であり、点線の方が水圧式波高計の記録である。この両者は感度が異なるため図から直接に比較検討できないが、おおよその特徴はつかむことができる。すなわち規則波の方は両波形がきわめてよく似ており、山と谷が行儀よく対応している。ところが不規則波の方は水面波

形が複雑に変化しているのに対し、圧力変化の波形は正弦波に近い形で変化している。水面波形がどの程度変化すれば水中圧力に影響が及ぶかは、もちろん圧力計の性能によっても異なるであろうが、たとえば dH/dt , $\int H(t)dt$ 等にはかなり影響を受けているものと思われる。この問題については現在検討中であり、さらに実験を重ねてゆくつもりである。

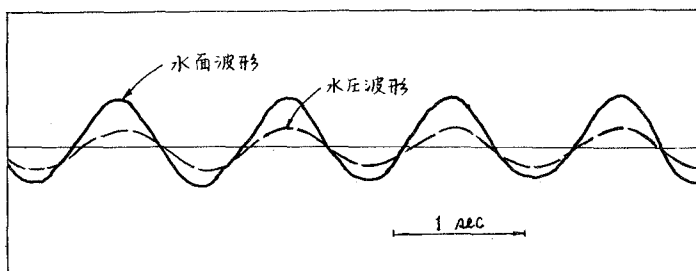


図-1 規則波の例

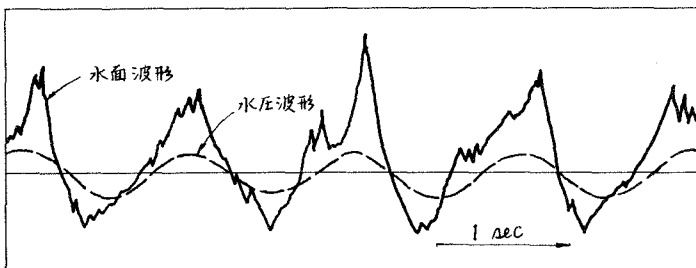


図-2 不規則波の例

1) 規則波の n について

オッシログラフに得られた水面波形、圧力波形からそれぞれの波高を読みとり、 H 、 H_p とし

n を(1)式で計算した。これをプロットしたのが図-3である。縦軸には n 、横軸には d/L とした。この図を見ると d/L の増加に従い n は減少していることがわかる。浜田、光易、長谷は d/L で整理しているが、我々の実験でも $d=30cm$ のものだけプロットし条件を同じくしてみると、浜田らの実験値とほぼ同じようになることがわかった。

n の値は通常1より大きな常文とされ、R. G. Folsomの実験によれば n の平均値は1.07であり Berkeley は1.1を出している。また現地での実測では Seiwell の1.35が有名であり、わが国の十島、柴山、高橋²⁾の観測では、平均1.34を得ている。

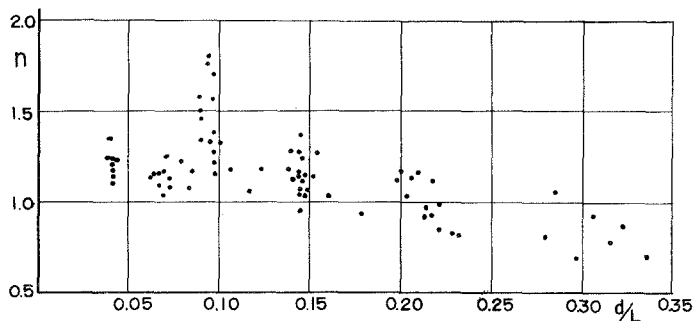


図-3 規則波の n

我々の実験では n の平均値は

1.10程度で、浜田らの平均値1.09とよく一致している。しかしながらこの値は規則的な波のみ適用できるもので、果して不規則波に対してもそのままあてはまるかは問題である。

2) 不規則波の n について

i) 有義波より算出した n

次に不規則波について有義波高を求め、それについて n を算出してみた。有義波高は原則として100波観測して計算したが、一部85波程度のものもある。 n 算出にあたっては見則波の場合と同じく(1)式を用いた。プロットした結果は図-4である。データの数も充分でなく、この図より結論をひきだすのは危険であるが、これを前に求めた図-3と比較べ

てみると、有義波の n の方がばらつきが大きい。しかしながら d/L が大きくなると n が小さくなってゆく傾向は読みとれる。ばらつきが大きいのはいろいろ原因が考えられるが、

- ① 水圧式波高計の性能
- ② 水圧式波高計がとらえる波高の意味

- ③ n は d/L のみの関数ではない

等が主たるものであろう。

圧力計がとらえる波高は受圧面の真上の波高ではなく、ある範囲の平均的なものと考えられる。とすると鋭い波形をもつ一連の波の有義波は抵抗線式波高計では大きく、水圧式波高計では小さく、したがって n は大きくなる。また水圧計の応答も根本的な問題であろう。それに水圧計を入れたための乱れや水粒子の動圧の影響も無視できない。さらに n は d/L のみの関数ではなく、例えば d/L 、 H/L にも影響をうけている。これらについてはさらに検討する必要がある。

有義波から算出した n の平均値は1.28であるが、 d/L が小さいところ、すなわち波長が大きいところでは n の値が1.65程度にまで及んでいる。したがって安全を考慮すれば、 $n = 1.40 \sim 1.50$ が妥当のようである。

ii) 1波対応で算出した n

一連の不規則波の中から任意に波形を選び、圧力波高と水面波高から見かけの周期を使って1波ごとの n を出したのが図-5である。1波ごとの対応になるとさすがに n のちりばりも大きく、0.5~2.0の広きにわたるがそれでも d/L の増加に伴ない n は減少の傾向にある。例えば、 $d/L = 0.25$ 以上では n は1.1を越えることはない。

3) 波高分布

次に、純粋に風だけで発生させた風波の水面波形について波高分布をとってみた。横軸に波高、縦軸にその度数をとったのが図-6である。一般に海で観測される波はRayleigh分布をなすと言われている。図-7は大分県鶴崎での現地観測値から計算した例であるが、まさしくRayleigh分布をしている。ところが実験水路では波高がRayleigh分布でなく、 χ^2 検定を行なったところ、5%の危険率をもって正規分布をなすことがわかった。これはきわめて重要なことであると思われる。海の波を水路で相似させようとしても、波高分布が

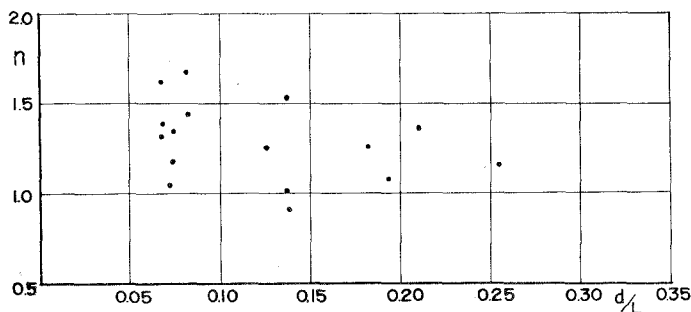


図-4 有義波より算出した n

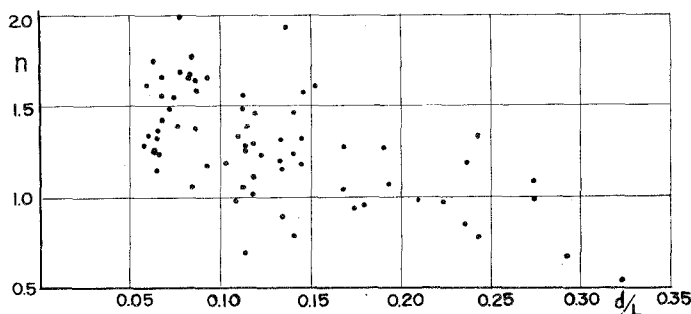


図-5 1波対応で算出した n

異なっていたのではよい実験を期待することが出来ないであらう。図-6を出すにあたって用いた条件は、 $h=40\text{cm}$ 、 $V=5, 10, 15, 22.5$ である。どうしてこのような結果が出たかを検討してみると、

- ① 風洞で起こす風の性質
- ② 海は平面と考えられるが、水路は一方向しかもない。

があげられる。

①について；この実験で用いた風洞は、モーターで送風機をまわし風を起こすものであり、送風機の回転数と送風口面積を一定にすると定速度の風がつくられる。したがって一定の風速下で発達した風波を観測することになる。ところが海の風は常に変化しているし、平均風速何％といったところで大変偏差の大きいものである。このように性格の異なる風によって出来た波の性格が同じであるという保証は伺もないのである。また現地と実験水路とでは Fetch が異なっていることも大きく影響しているだろう。

②について；これは我々が最も興味をもった点である。一般に X, Y が正規分布をなしている時、

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

が Rayleigh 分布をなすことは周知のところである。この事実と、一次元の水路での波高分布が正規分布であり、二次元的な海の波高分布が Rayleigh 分布をなすということと結びついているように思われる。今後さらに実験資料ならびに現地観測資料により検討をするつもりである。

本研究は昭和38年度文部省科学研究費による研究成果の一部であることを付記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 浜田、光易、長谷；“進行波による水底圧力の変動”海岸工学講演会講演集 1955
- 2) 井島、柴山；“波高計による波浪の観測(第2報)”運輸技術研究所報告 1953
- 井島、高橋、中村 “ 同 上 (第3報)” 同 上 1954

