

大口径柱体に作用する波力に関する研究 (1)

—— 波圧分布と水位変動特性について ——

土 屋 義 人・山 口 正 隆

STUDIES ON WAVE FORCES EXERTED ON LARGE CYLINDRICAL PILES (1)

—— Characteristics of the Distribution of Wave Pressure and
the Variation of Water Level ——

By Yoshito TSUCHIYA and Masataka YAMAGUCHI

Synopsis

As a first step to clarify the wave forces on large cylindrical piles, some experiments on the characteristics of vertical and horizontal distribution of wave pressure and variation of water level along the piles were carried out.

Compared between the theoretic curves of them computed from the diffraction wave theory and experimental results including the results of other researchers, it was concluded that this theory predicts relatively well the experimental results at phase of wave crest for wave pressure in the case of large value of h/H_0 except for small deviation from them where h is the water depth and H_0 is the incident wave height, but that the correspondence for wave pressure at phase of wave trough and variation of water level is poor.

1. 緒 言

円柱に作用する波力は、円柱の径が波長にくらべて小さい場合、円柱による波の変形を無視して、Morison 以来抗力と質量力の線型和として表わされているが、円柱の径が大きくなって波長に比較しうる大きになると、上述の仮定が不適当になり、波力を計算する場合、円柱による波の変形の影響を無視できなくなる。この問題は、水の粘性を無視したポテンシャル理論で円柱による波の回折問題として取り扱われ、Lamb¹⁾, Wiener, Havelock, MacCamy および Fuchs²⁾, Reid, Bonnefille および Germain³⁾, Laird⁴⁾ らによって計算や実験が行われてきた。これらの結果について、簡単に述べてみよう。

円柱による回折問題は、Lamb および Wiener により述べられているように、光学や音響学で扱われたものであるが、波動運動の場合にも若干の変形をすれば、この理論が成立することを指摘したのは Havelock や MacCamy および Fuchs である。MacCamy および Fuchs は浅海域における円柱による回折理論の解を導くとともに、円柱周囲の波圧分布式を積分することにより大口径の円柱に作用する全波力および全モーメントを計算した。この式は微小振幅波理論に基づくものであるから、静水面上の波圧分布については考慮されておらず、波高が大きい場合に妥当であるか疑問である。またかれらは、この式を改良して静水面上の波圧分布を考慮しているが、静水面上の波の高さは進行波として微小振幅波理論を用いているため、補正の方法に若干問題があると思われる。つぎに、Reid は MacCamy らの全波力式から質量係数を求め、円柱の径と波長の比 D/L の値が小さいときは質量係数 $C_M=2.0$ にほぼ近い値を与えるが、 D/L の値が増大するとともに、急激に質量係数が減少することを示し、波による円柱の回折効果を考慮しなければならない D/L の

値を 0.1 としたが、この実験的な検証はなされていないようである。

一方, Laird は大口径の円柱に作用する波圧分布および円柱周辺の水位変動に関する若干の実験を行ない, Wiener および MacCamy らの理論解との比較より, 鉛直波圧分布の実験値は MacCamy らの与えた双曲線関数よりかなり急激に水深とともに減少することを示したが, 後述するように, この結果の妥当性は疑わしいように思われる。

Bonnefille および Germain は, 円柱周辺の水位変動 および全波力についての 実験を行ない, 理論解との比較より円柱周辺の水位変動の実験値は理論曲線よりかなり大きくなることを示すとともに, 全波力について簡単な半理論式を与えているが詳細は不明である。また最近では, 1970 年の国際海岸工学会議において波と流れが共存する場合の大口径の円柱に作用する波力の問題が実験的に扱われているが, 回折理論による理論解はあまり実験値と対応せず, 次元解析的に全波力の算定式が与えられているようである。さらに, 大口径の円柱に作用する波圧特性の大規模な実験が永井らにより行なわれているが, 実験値が理論解と比較されていないので, その結果がどの程度理論に対する妥当性を示しているかわからない。

以上述べたように, 大口径の円柱に作用する波力については若干の研究が行なわれてきたが, 小口径の円柱の場合のそれに比べ, 研究例が少なく, 十分な成果が得られていないように思われる。そこで, 本研究では大口径の円柱に作用する波力を解明するための第 1 段階として, 大口径円柱に作用する波圧分布および円柱周辺の水位変動に関する実験を行ない, 他の研究者の結果をも含めて, これらの実験結果と回折理論との比較より, 理論の妥当性を検討しようとするものである。

2. 円柱による波の回折理論

円柱による回折作用をうけた 円柱周辺の水位変動 η および水中の任意点の圧力 p は Fig. 1 のような極座標表示をとると, 第 1 次近似解では入射波と回折波の線型和として, つぎのように表わされる。

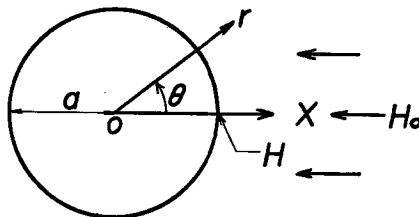


Fig. 1 Definition sketch of co-ordinate system.

$$\eta = (H_0/2) e^{-i\sigma t} \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n i^n \{J_n(kr) + \alpha_n H_n^{(2)}(kr)\} \cos n\theta, \quad \varepsilon_n = \begin{cases} 1 & (n=0) \\ 2 & (n \geq 1) \end{cases} \quad (1)$$

$$p/\rho g = (H_0/2) \{\cosh k(h+z)/\cosh kh\} e^{-i\sigma t} \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n i^n \{J_n(kr) + \alpha_n H_n^{(2)}(kr)\} \cos n\theta - z \quad (2)$$

$$\alpha_0 = -J_1(ka)/H_1^{(2)}(ka), \quad \alpha_n = \{nJ_n(ka) - kaJ_{n+1}(ka)\} / \{nH_n^{(2)}(ka) - kaH_{n+1}^{(2)}(ka)\}, \quad n \geq 1 \quad (3)$$

ここに, H_0 : 入射波高, $\sigma = 2\pi/T$, T : 周期, $k = 2\pi/L$, L : 波長, a : 円柱の半径 ($= D/2$), z : 静水面から鉛直上方にとった座標, ρg : 水の単位体積重量, $i = \sqrt{-1}$, J_n : 第 1 種 Bessel 関数, および $H_n^{(2)}$: 第 2 種 Hankel 関数である。また, 円柱壁面における水位変動および圧力は $r=a$ において, 上式を若干変形することにより次式で与えられる。

$$\eta = (H_0/2) \{-2i/\pi ka\} e^{-i\sigma t} \sum_{n=0}^{\infty} \alpha_n i^n \cos n\theta / H_n^{(2)'}(ka) \quad (4)$$

$$p/\rho g = (H_0/2) \{-2i/\pi ka\} \{\cosh k(h+z)/\cosh kh\} e^{-i\sigma t} \sum_{n=0}^{\infty} \alpha_n i^n \cos n\theta / H_n^{(2)'}(ka) - z \quad (5)$$

ここに、“'”は r に関する微分を示す。

3. 実験装置および実験方法

実験は宇治川水理実験所にある長さ 20 m, 幅 3 m, 深さ 70 cm のプランジャー式造波機を備えた波圧実験用水槽を用いて行なった。実験装置は Fig. 2 に示すように造波機側の水槽端より 11.0 m の地点に波圧計ねじ込み用の孔のあいた円柱を取り付け、また円柱周辺の水槽側壁および水槽の他端には反射波を防ぐため消波装置を設置したものであり、波圧は円柱に取り付けた数個の波圧計により、また入射波高は造波機より

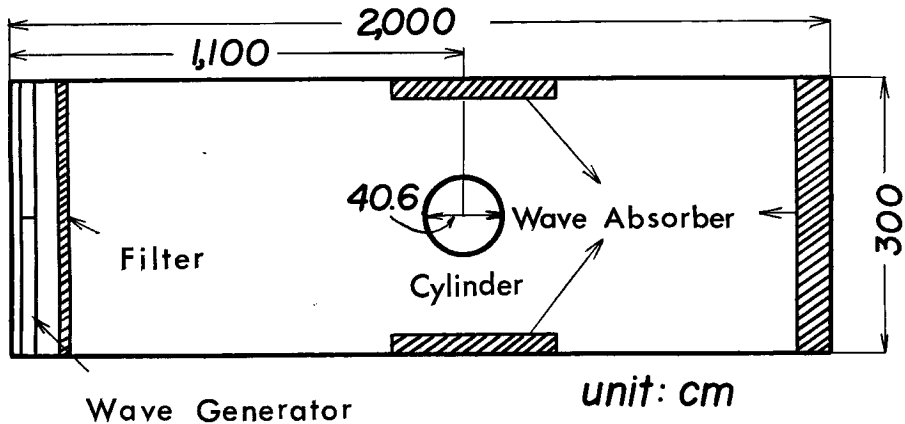


Fig. 2 Schematic sketch of wave water tank used.

約 5.0 m の位置で、壁面波高は円柱前面の $\theta=0$ の位置で電気抵抗線式波高計によって測定した。使用した円柱は直径 $D=40.6$ cm および 24.2 cm である。

3.1 波圧分布の実験

鉛直波圧分布の実験では、 $\theta=0$ の位置で鉛直方向に数個の波圧計を取り付け、波圧の時間的变化とともに入射波高および $\theta=0$ における壁面波高を記録させた。一方、水平波圧分布の実験では、 $z=-10.0$ cm の位置で水平方向に 5 個の波圧計を取り付け、波高を数種変化させて水平同時波圧分布を測定した。しかし、 $D=24.2$ cm の場合には波圧計を水平方向に同時に取り付けることができなかったため、 $\theta=0$ につねに波高計を設置して波圧記録の位相の相互関係が見失なわれないように注意しながら、鉛直方向に取り付けた 5 個の波圧計を $\pi/4$ ごとにまわすことにより、水平波圧を測定した。実験資料の解析にあたっては、いずれの場合も反射波の影響のできるだけ小さい 4~5 波を選んでその平均値を用いた。なお、実験に用いた波の特性を Table 1 に示す。

Table 1 Wave characteristics and water depth used in the experiments.

T sec	h cm	D cm	H_0 cm
0.8	40.0	40.6	0.95~ 9.25
1.0	40.0	40.6	0.73~ 9.32
1.2	40.0	40.6	1.41~10.04
0.8	40.0	24.2	1.26~ 9.70
1.0	40.0	24.2	1.00~ 9.95
1.2	40.0	24.2	1.39~ 9.50

3.2 円柱周囲の水位変動に関する実験

円柱に沿う水位変動はペンキで 2×4 cm のメッシュを入れた円柱を 16 mm 撮影機 2 台を用いて撮影することにより、また円柱周囲の水位変動は長さ 2.5 cm の 10 cm 角材にほぼ 5 cm 間隔でさし込んだ波高測定棒を 16 mm 撮影機で撮影することにより測定した。なお、記録は水槽壁面および水槽端による反射の影響のできるだけ小さい 2~3 波を解析してその平均値を用いた。

4. 実験結果および考察

4.1 鉛直波圧分布に関する実験結果

a) **Generated waves** の特性: 実験に際して、まず問題になったのは使用した水槽が短かいため、入射波高の測定位置と円柱との距離が十分にとれなかったことである。両者の距離があまり短かいと円柱による回折波が入射波に加わり、見掛け上入射波高が大きくなって波圧記録の解析の誤差の原因となる。そこで、造波機始動時からの入射波高の変化を調べてみよう。**Fig. 3** は造波機始動後の波の発生状況を示すもので、

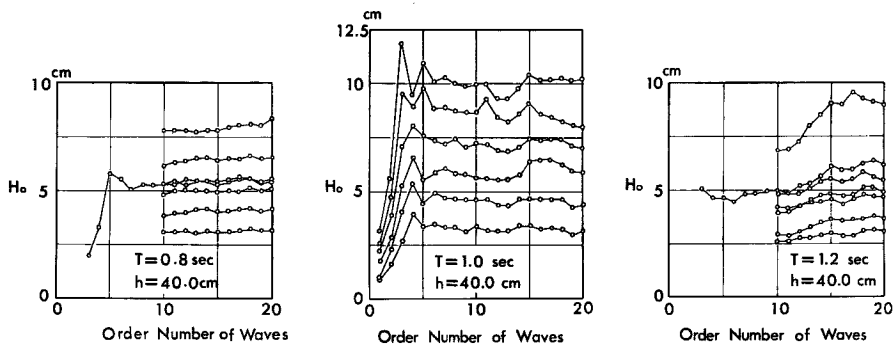


Fig. 3 Relation between generated waves and order number of waves.

横軸には造波機始動後の波の数、縦軸には入射波高を用いている。**Fig. 3**によれば、造波機により起こされた第1波が長波の速度で伝播するものとする、入射波高記録の6~7波目にその反射波が記録されるはずであるが、その波は分散してしまい、記録の上ではわからず15波目ぐらいまでほぼ一定の波高をとり、見掛け上は円柱による回折波が記録されていないようである。一方、円柱前面の波高記録を見ると、ほぼ7波目ぐらいから定常な波形が得られていたので、記録の解析では若干回折波の影響が入っているかもしれないが、8~15波目の間の4~5波の平均値を入射波高として用いることにした。また、回折波は円柱より全方向に発散されるものであるが、水槽側壁での反射波は消波装置により完全に吸収されるものと仮定して実験を進めた。

b) 無次元波圧強度 $p/\rho g H_0$ の h/H_0 による変化: **Fig. 4** は $\theta=0$ に波の峰がきたときの $\theta=0$ での無次元波圧強度 $p/\rho g H_0$ の h/H_0 による変化を示したもので、太い実線は回折理論によるものである。**Fig. 4 (a)** および **(d)** は $T=0.8$ sec の場合であるが、これらの図を見ると、 h/H_0 の値が大きいところでは理論曲線に比較的近い値を与えるが、 h/H_0 の値が小さくなるにつれて、理論曲線からのへだたりが顕著になる。これは、この場合の波の特性は浅海波であるが、深海波に近い波形こう配の大きな波であり、重複波の場合と同様に双峯型の波圧波形が現われるためである。この双峯型の波圧現象は、重複波の場合には非線型波の現象として説明されており、円柱の場合も同様と考えられるので、この現象の理論的解析のためには回折理論の非線型解の展開が必要である。また、 h/H_0 の値がきわめて大きいときには実験値は理論曲線よりかなり大きくでているが、この原因の1つとして波圧および入射波高そのものが小さく、測定および読みとり誤差が入ったためと考えられるが、詳細はわからない。さらに、 $T=1.0$ および 1.2 sec の場合のように

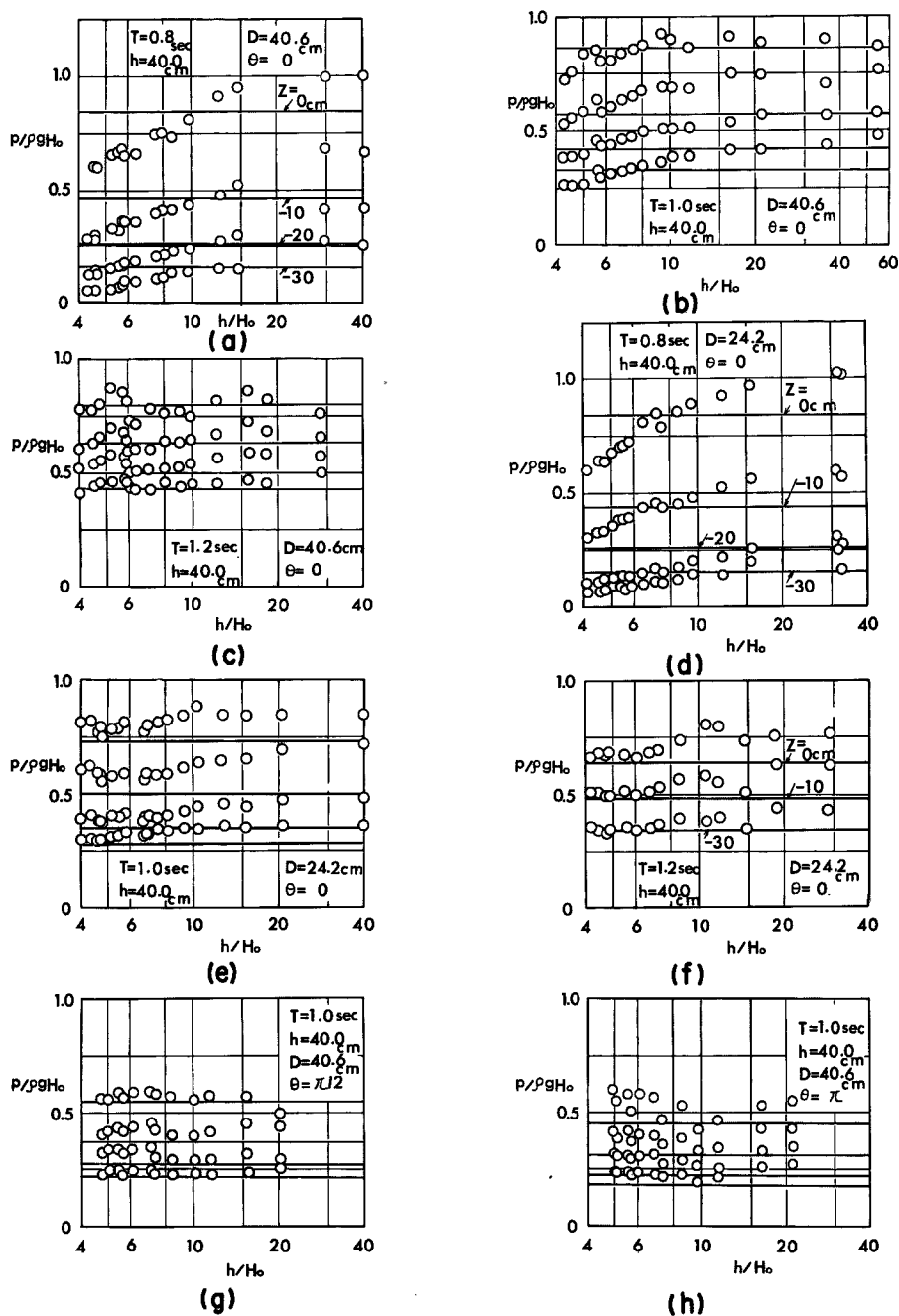


Fig. 4 Comparison between theoretical curves of wave pressure on vertical cylinder at phase of wave crest and experimental values.

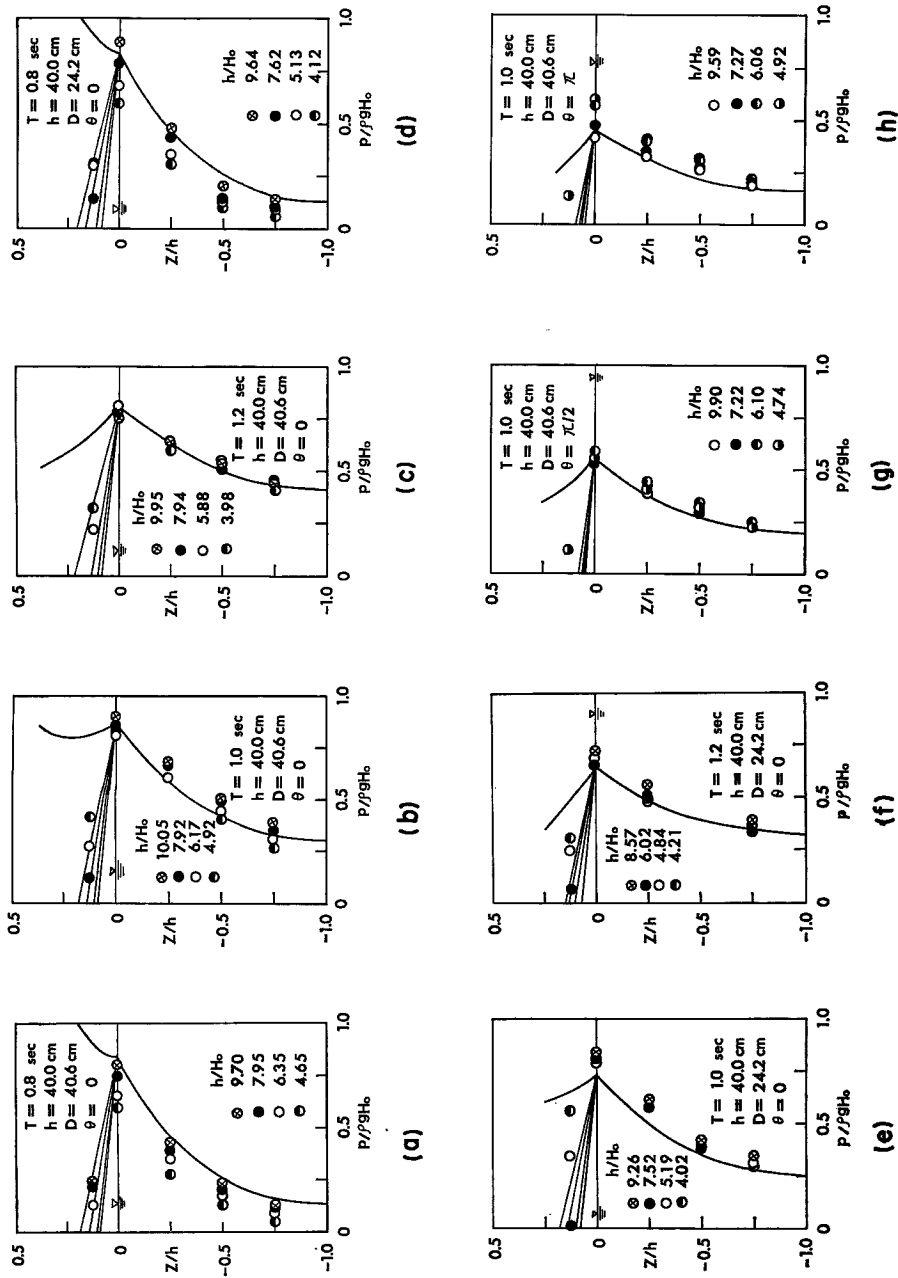


Fig. 5 Comparison between theoretical curves of vertical wave pressure distribution on vertical cylinder at phase of wave crest and experimental values.

周期が長くなるにつれ、今回の実験の範囲内ではほぼ一定値をとって波形こう配にはほぼ関係しなくなり、理論曲線との対応は悪くない。これは周期が長くなるにつれ、同じ波高でも相対的に波形こう配が小さく、波の非線型性が小さくなるためであろう。したがって、波高がさらに大きい場合には $T=0.8 \text{ sec}$ の場合と同様に双峯型の波圧波形が見られるはずである。(g) および (h) は $\theta=\pi/2$ および π の位置に波の峯ができたときの $\theta=\pi/2$ および π における $p/\rho g H_0$ の h/H_0 による変化であり、理論曲線と実験値の対応は比較的良好である。

c) 波圧の鉛直分布: Fig. 5 は $\theta=0$ の位置に波の峯がきたときの同時波圧の鉛直分布を示すものである。図中の太い実線は理論曲線を示す。また理論曲線は微小振幅波理論によるものであるから、静水面上では適用できない。そこで静水面上の波圧分布に対しては理論の計算値とは別に、水位変動の最大値と $z/h=0$ における $p/\rho g H_0$ との値を結ぶことによって得られる三角形の波圧分布が作用するものとして細い実線で示した。これらの図によれば、いずれの場合も実験値と理論曲線との対応は比較的良好。 $T=0.8 \text{ sec}$ の場合には b) で述べた波圧波形の双峯性のため、波高の増大につれ理論曲線よりかなり小さくなっているが、他の波の条件の場合には波形こう配の影響がそれほど現われていない。また、波の周期が長くなるにつれて、より浅海域の波に近づき、波圧の鉛直分布が水深とともに急速に減少している分布から一様な分布に近づくのは当然のこととしても、Laird が著者と同様の実験を行なって、波圧の鉛直分布は微小振幅波理論で表わされた双曲線関数によるものより急激に減少すると述べていることとは異なり、著者の実験値ではいずれの場合も絶対値を別にすれば、鉛直分布形状は双曲線関数でよく表現される。(g) および (h) は $\theta=\pi/2$ および π におけるものであり、 $\theta=\pi/2$ の場合には理論曲線とよく一致しているが、 $\theta=\pi$ の場合には理論曲線に比べて、若干大きくでているようである。

d) 鉛直波圧分布の時間的な変化: Fig. 6 は鉛直同時波圧分布の時間的な変化を示し、それぞれの場合について波高を大小 2 種類変えている。横軸は時間 t 、縦軸は波圧強度 p を表わす。これらの図よりつぎのことがわかる。すなわち、波高が小さいときには見掛け上理論曲線と実験値とは比較的良好一致しているが、 $T=0.8$ および 1.0 sec の場合、波の谷の部分では実験値の方がかなり大きくでている。これは次節で述べるように、理論が入射波高と壁面波高との関係を正しく表現していないためである。一方、 $T=1.2 \text{ sec}$ の場合には波高が小さいあいだは波の谷の部分でも両者はよく一致するが、波高の大きい場合には、いずれの場合も実験値は理論曲線から離れるようになり、 $T=0.8$ および 1.0 sec の場合には双峯型の波圧波形が顕著に現われている。また (g) および (h) は $\theta=\pi/2$ および π におけるものであり、波高の小さい場合の実験値は $\theta=0$ の場合に比べて若干非対称になっているが、理論曲線との対応は良好。しかし波高が大きくなると、波高がかなり非対称になり、その絶対値の対応も悪くなっている。とくに、 $\theta=\pi/2$ の場合には $z=0 \text{ cm}$ での波圧波形のピーク時と他の位置でのそれとが異なっている。これは水槽側面からの反射波によるものか、あるいは現象そのものの本質的な特性かはわからない。

4.2 水平波圧分布に関する実験結果

a) 水平波圧分布: Fig. 7 は波圧強度の水平分布を示すものである。図中の記号で $p_{\theta p}$ は波の位相にかかわらず、それぞれ θ の位置に波の峯がきたときの水平波圧であり、 p_e は $\theta=0$ の位置に波の峯がきたときの同時水平波圧である。(したがって $p_{\theta p}$ の場合には壁面波高の θ による変化に対応するものであろうし、 p_e の場合には壁面での水位変動の同時分布に対応するものであろう。) まず $p_{\theta p}$ についてはくりかえし述べたように $T=0.8 \text{ sec}$ の場合には波高が大きいと、波圧波形の双峯性のため、実験値が小さくでているが、それを除けば全体的には理論曲線と実験値との対応は比較的良好である。同様のことは p_e についてもうかがえるが、とくに p_e の場合は位相の関係が考慮されていることに注意すべきである。

b) 水平同時波圧の時間的な変化: Fig. 8 は水平同時波圧の時間的な変化を示すものであり、 $D=40.6 \text{ cm}$ の場合には大小 2 種類の波高について、 $D=24.2 \text{ cm}$ の場合には同じ波高で 2 つの波圧計設置位置について示されている。これらの図によれば、波高のあまり大きくないときには、波の谷付近を除けば、水平同時波圧の時間的な変化の実験値は $\theta=3\pi/4$ および π の位置でピークの位置が理論曲線より若干ずれているも

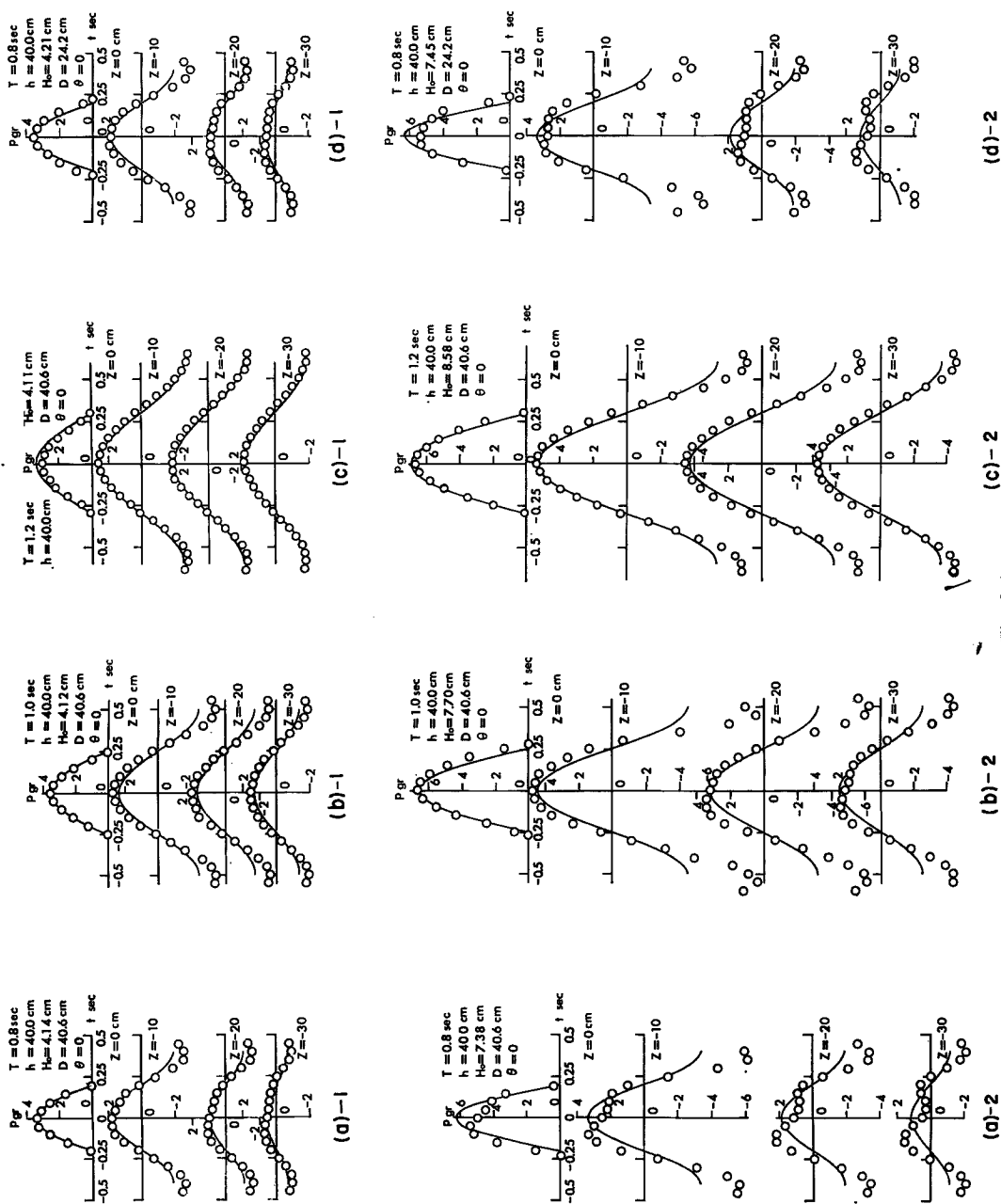


Fig. 6-1

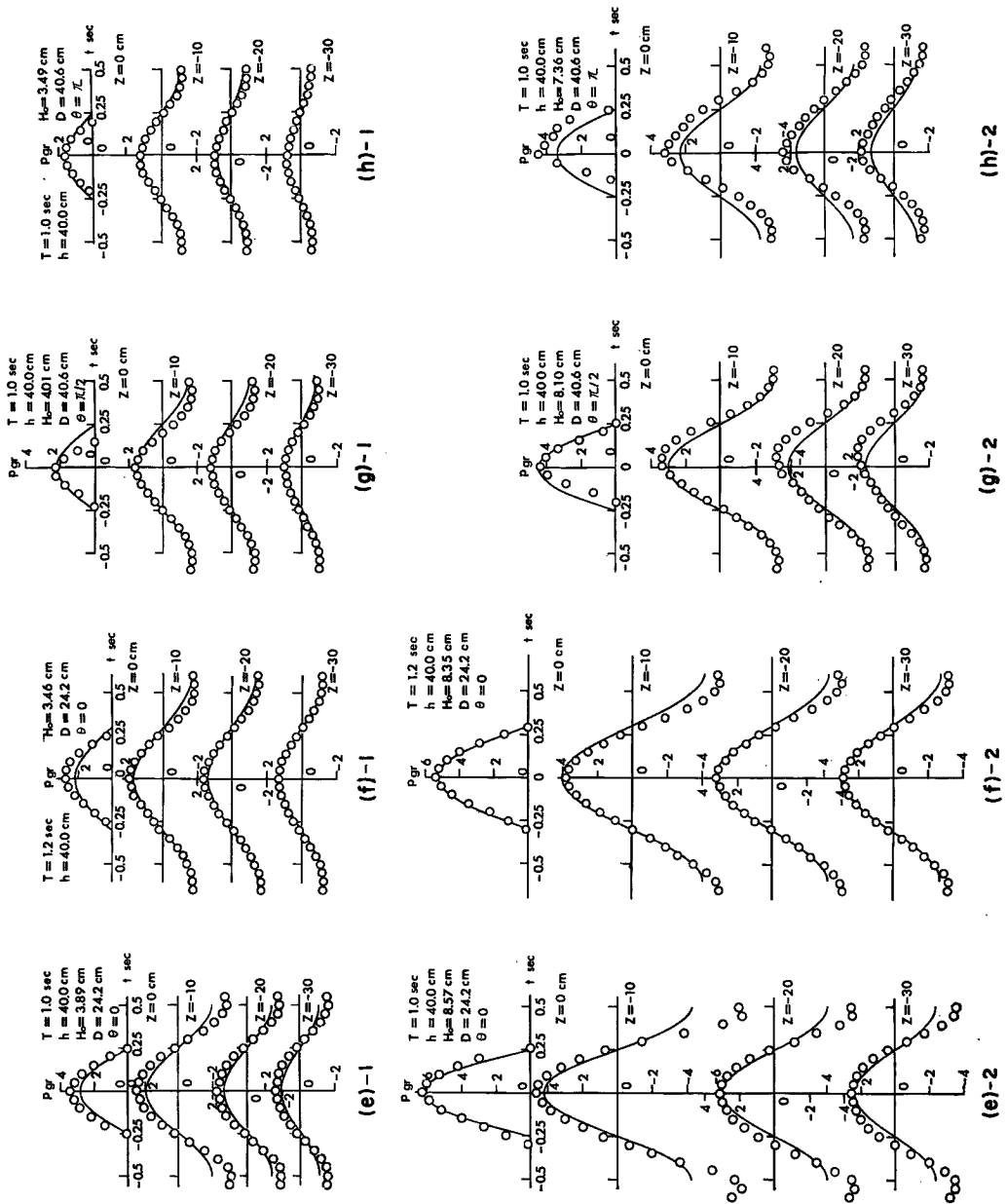


Fig. 6-2

Fig. 6 Comparison between theoretical curves of time variation of vertical wave pressure on vertical cylinder and experimental values.

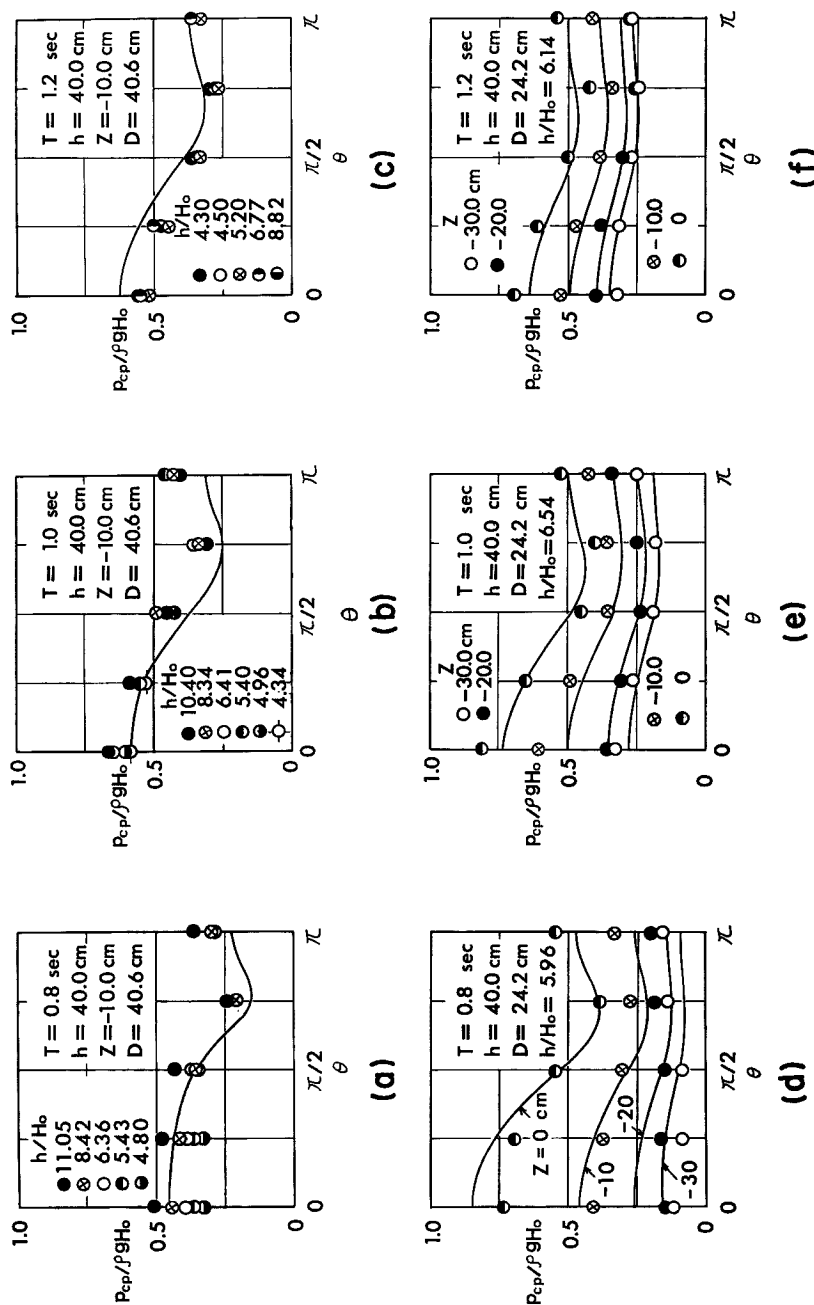


Fig. 7-1

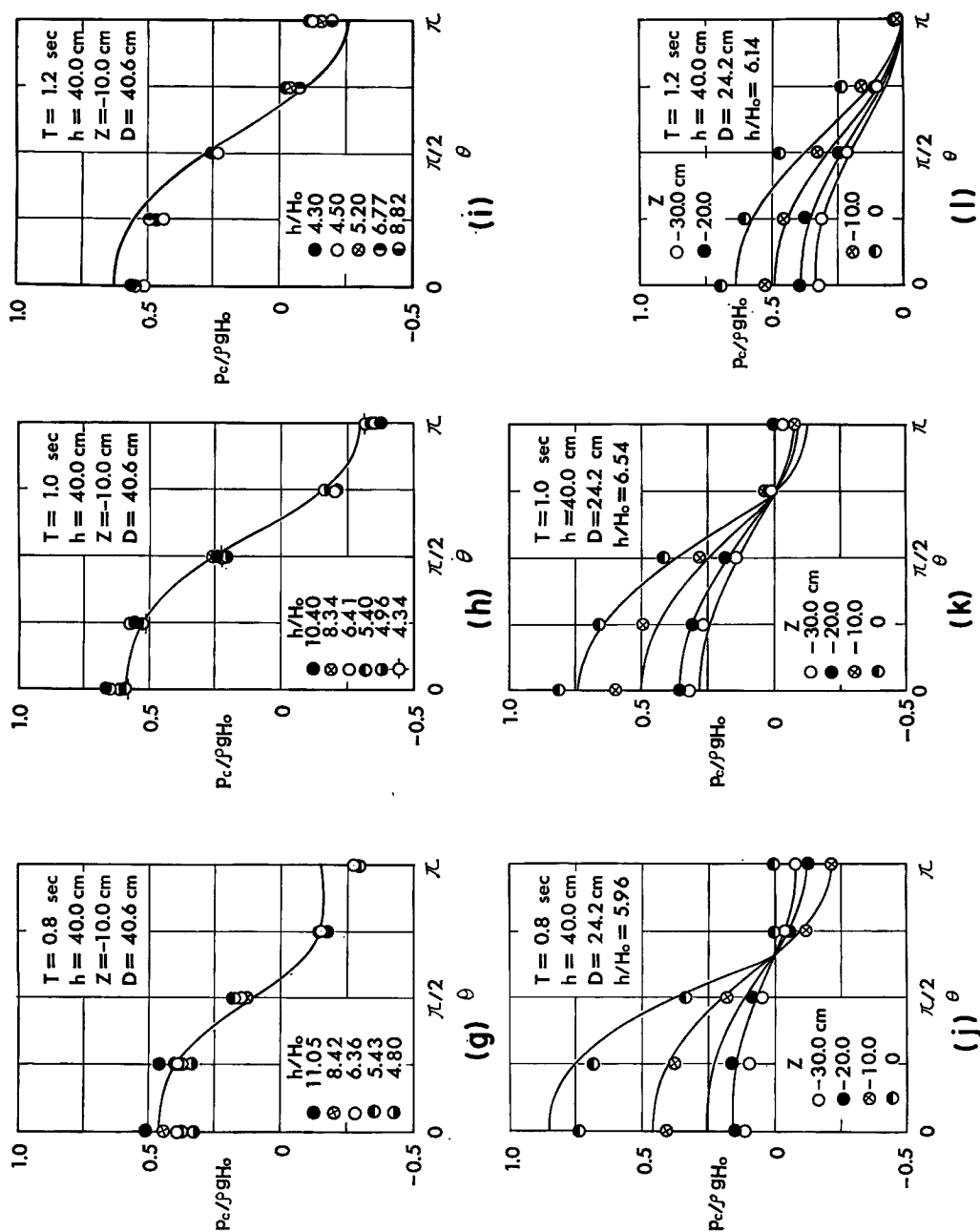


Fig. 7-2

Fig. 7 Comparison between theoretical curves of horizontal wave pressure distribution at phase of wave crest and experimental values.

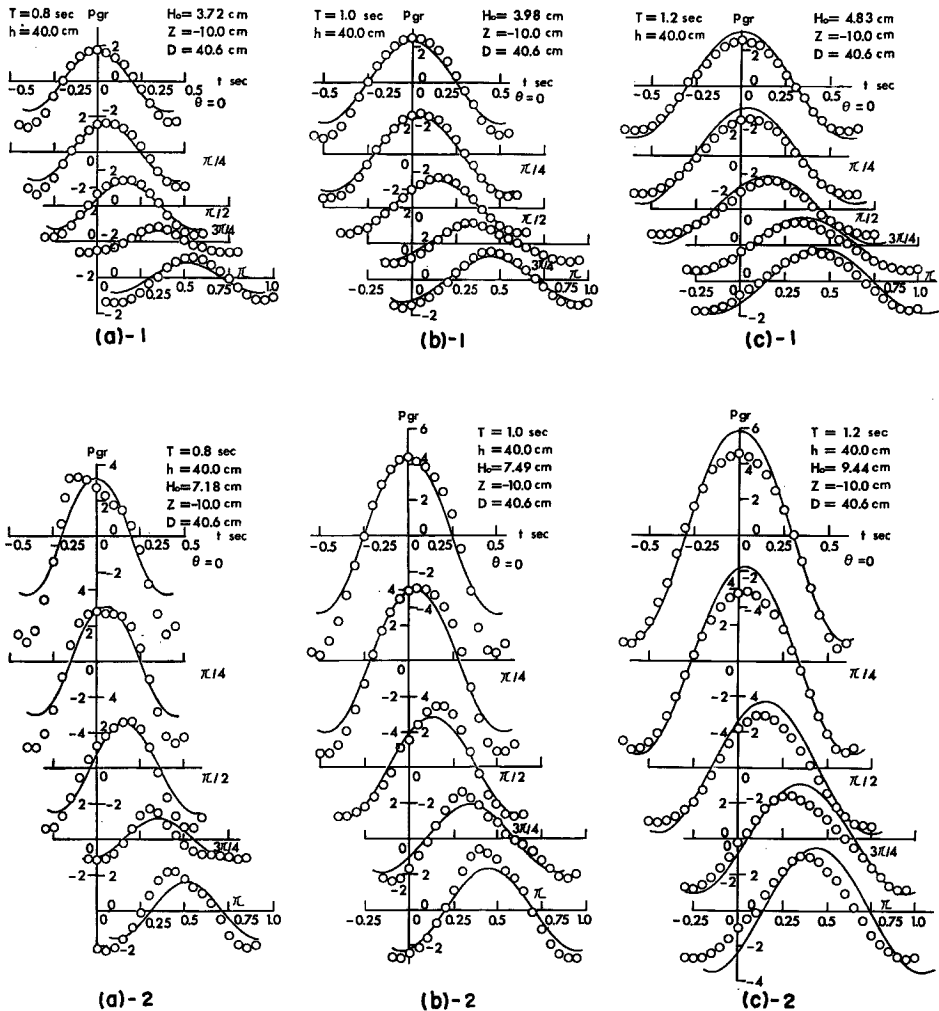


Fig. 8-1

のもあるが、理論曲線と比較的よく一致している。しかし、波高が増大すると両者の対応が悪くなって $\theta = 3\pi/4$ および π でのピークの位置の理論曲線からのずれが大きくなり、波高が著しく非対称になっている。この理由としては、波高の増大による波長の増大、側壁よりの反射波の増加および理論では水の粘性が無視されていることなどによると思われる。また $T = 0.8$ sec の場合どちらの径の円柱に対しても円柱前面付近で、波形が非対称になっているが、双峯型の波圧波形が見られる。この双峯型の波圧波形は波圧計の設置水深の深い場合に、より明確に見いだされ、 $\theta = \pi/2$ においてさえも非対称であるが、双峯型の波圧波形が現われている。このことは重複波の場合と同様に水深の大きいところほど双峯型の波圧波形が現われやすいことを示すもので、円柱前面付近の波の運動の場の性質は重複波のそれにかかなり近いようである。

4.3 円柱周辺の水位変動

a) 入射波高と壁面波高の関係: Fig. 9 は波圧分布の測定の際に得られた入射波高と $\theta = 0$ での壁面波高との関係を示すもので、図中の太い実線および点線はそれぞれ $D = 40.6$ および 24.2 cm の場合の理論曲

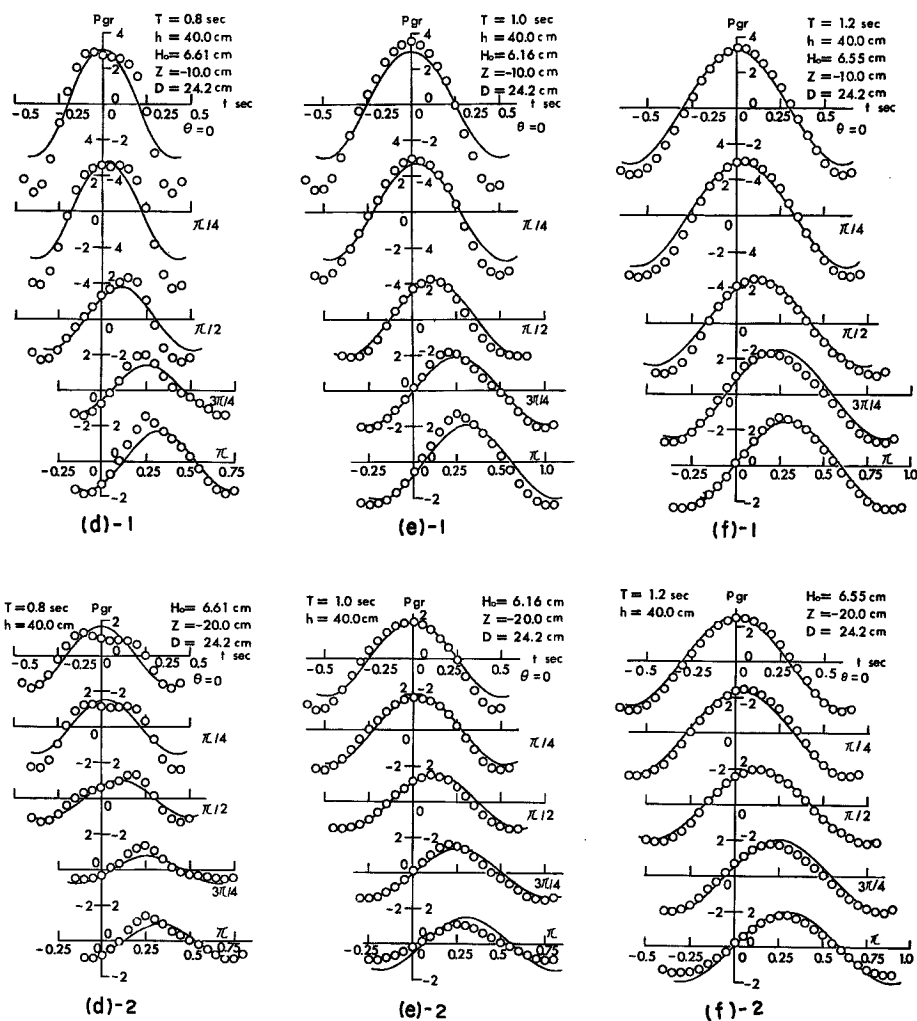
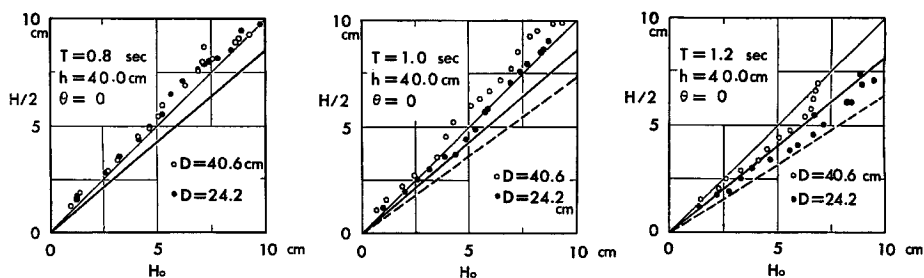


Fig. 8-2

Fig. 8 Comparison between theoretical curves of time variation of horizontal wave pressure on vertical cylinder and experimental values.

Fig. 9 Relation between incident wave height and wave height at $\theta=0$ on vertical cylinder.

線であり、細い実線は完全反射を表わすものである。これらの図によれば、 $T=0.8$ および 1.0 sec の場合いずれの径の円柱に対しても、壁面波高が入射波高の 2 倍もしくはそれ以上になっていて理論曲線とかなり離れている。また、この 2 つの図で $T=1.0 \text{ sec}$, $D=24.2 \text{ cm}$ の場合を除けば、 D/L の値はほぼ $0.2 < D/L < 0.4$ の範囲にあるが、このときの壁面波高の入射波高に対する関係はほとんど変わっていない。ところで、この壁面波高が入射波高の 2 倍以上になる現象は重複波の場合、有限振幅波理論より明らかなように、入射波と反射波との非線型干渉によるものと説明されており、円柱の場合にも同様のことが考えられるものと思われる。一方、 $T=1.2 \text{ sec}$ の場合には波高があまり大きくない間は両者の対応は比較的よいようである。

b) 水位の時間的変化: Fig. 10 は $\theta=0$ における円柱壁面での水位の時間的な変化を示したものであり、入射波高に対する壁面波高の関係が **a)** で述べたように理論で与えられるものより大きくなるので、水位の時間的な変化についても、当然のことながら両者の対応はよくない。ただ、 D/L の値が減少するにつれて、実験値と理論曲線との対応はよくなっているように思われる。

c) 円柱壁に沿う水位変動: Fig. 11 はメッシュを入れた円柱を 16 mm 撮影機で撮影して測定した円柱壁に沿う水位変動の分布を示すものである。図中の c , n および t は $\theta=0$ において、水位が最大、0 および最小になるときの記録を解析したことを意味する。この場合、実験の途中で一台の撮影機が故障したので、円柱の後面については解析されていないものも含まれている。これらの図から明らかなように、理論曲線は円柱壁に沿う水位変動の様子を定性的にはよく説明するが、その絶対値を問題にすれば、前述の $\theta=0$ のところばかりでなく、円柱の周囲全体にわたって実験値に比べて小さい値を与えており、これが波圧の実験の場合に理論曲線と実験値との間に若干のへだたりがあることの原因の 1 つである。しかし、よく注意してみると、波高の比較的小さいあいだは、 D/L の値の減少とともに理論曲線に近づき、 $T=1.2 \text{ sec}$ の場合にはいずれの径に対しても両者は比較的よく一致している。この結果は回折理論から予想されるものと逆の傾向にあり、十分納得がいかないが、実験装置の制約もあり、詳細は不明である。ただ、この原因の 1 つとして理論では無視されている非線型干渉は D/L の値が大きいほど著しいことが考えられる。

以上は著者らの結果であるが、円柱壁に沿う水位変動については他の研究者より若干の結果が発表されており、これらの結果を検討してみよう。Fig. 12 は Laird, Bonnefille および永井らによる入波波高と円柱壁に沿う波高との関係を示すものである。ここで図中の小円および Fig. 12 (b) の点線が実験値である。これらの実験結果では D/L の値が $0.2 < D/L < 1.4$ ときわめて広範囲にわたっているが、Laird のものを除き、理論曲線と実験値との対応はあまりよくなく、Bonnefille や永井らの結果の一部には $\theta=0$ の壁面波高が入射波高の 2 倍ないしそれ以上という著者らと同様の結果が現われている。また Laird の結果は理論との対応が比較的よいが、波圧分布との対応はあまりよくないことから考えて、どの程度の信頼性があるか不明である。

d) 円柱近傍の水位変動: Fig. 13 は $\theta=0$ の位置で入射波の方向と平行に約 150 cm 離れた地点までの円柱近傍の水位変動を示し、(a) は著者らの結果で $\theta=0$ で波の峯と谷がきたときの水位変動である。また (b) は Bonnefille らによる波高変化の結果である。これらの図によれば、理論曲線は実験値とあまり一致していないが、円柱からの距離の増大とともに水位変動がしだいに減少する様子を定性的にはよく説明していることがわかる。

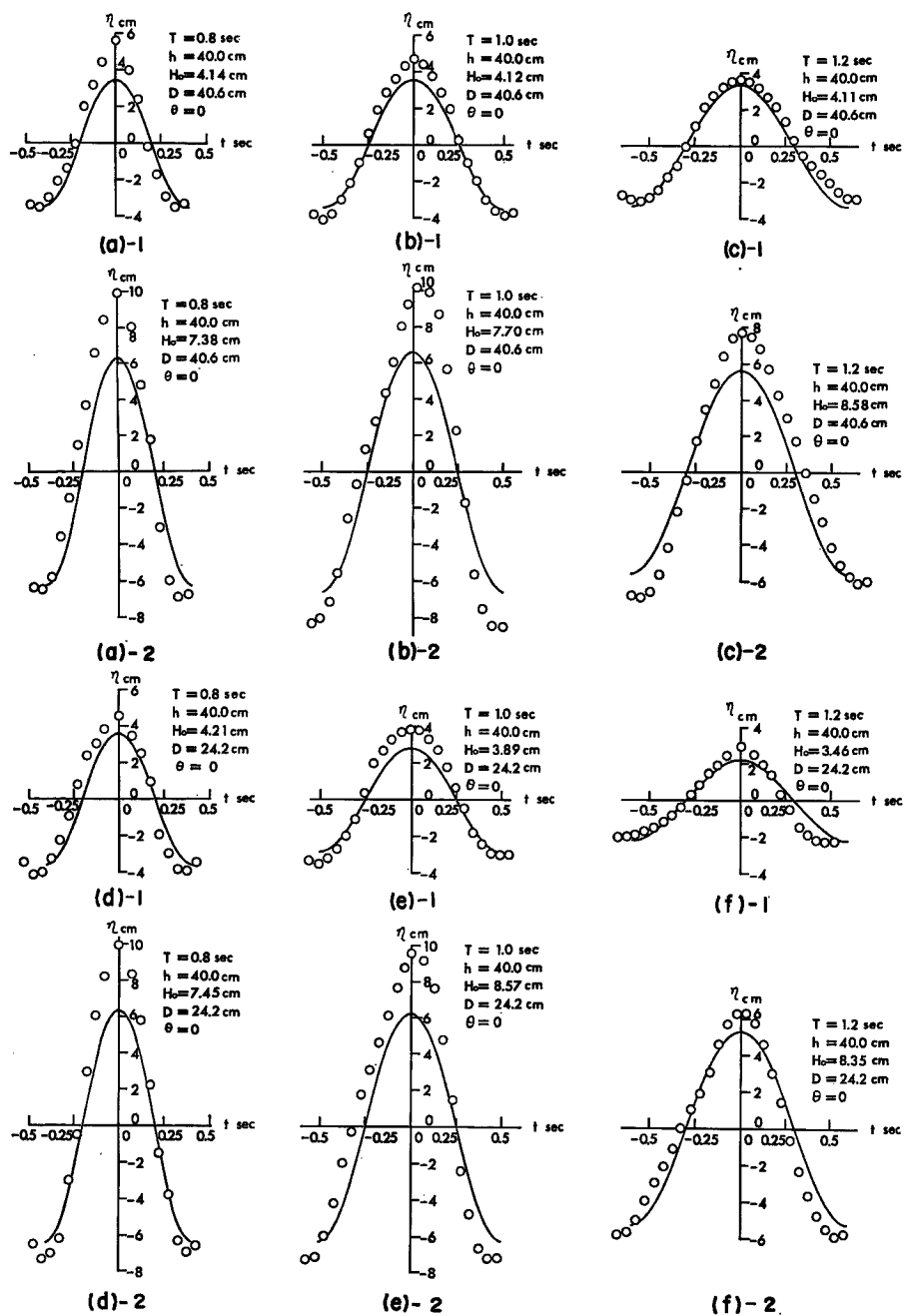


Fig. 10 Comparison between theoretical curves of time variation in water level at $\theta = 0$ on vertical cylinder and experimental values.

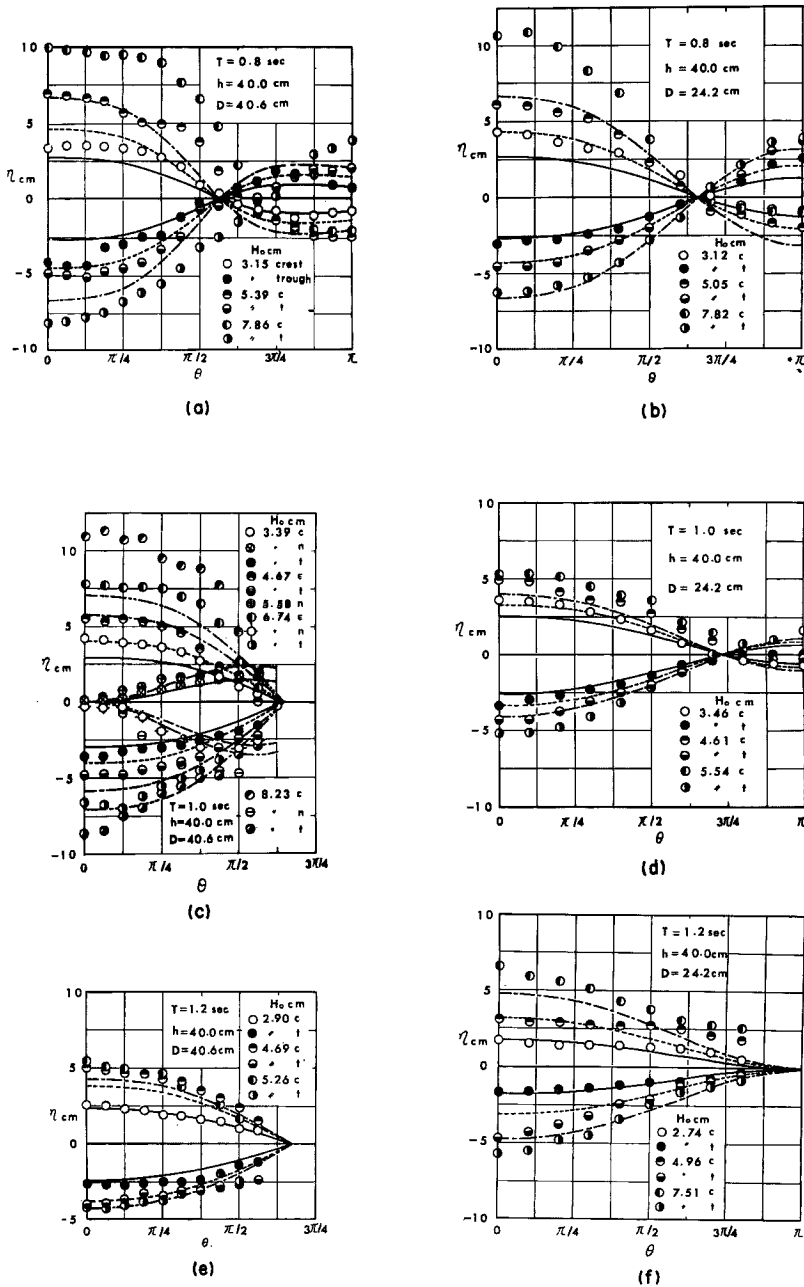


Fig. 11 Comparison between theoretical curves of spacial variation in water level along vertical cylinder at phase of wave crest and wave trough at $\theta=0$ and experimental values.

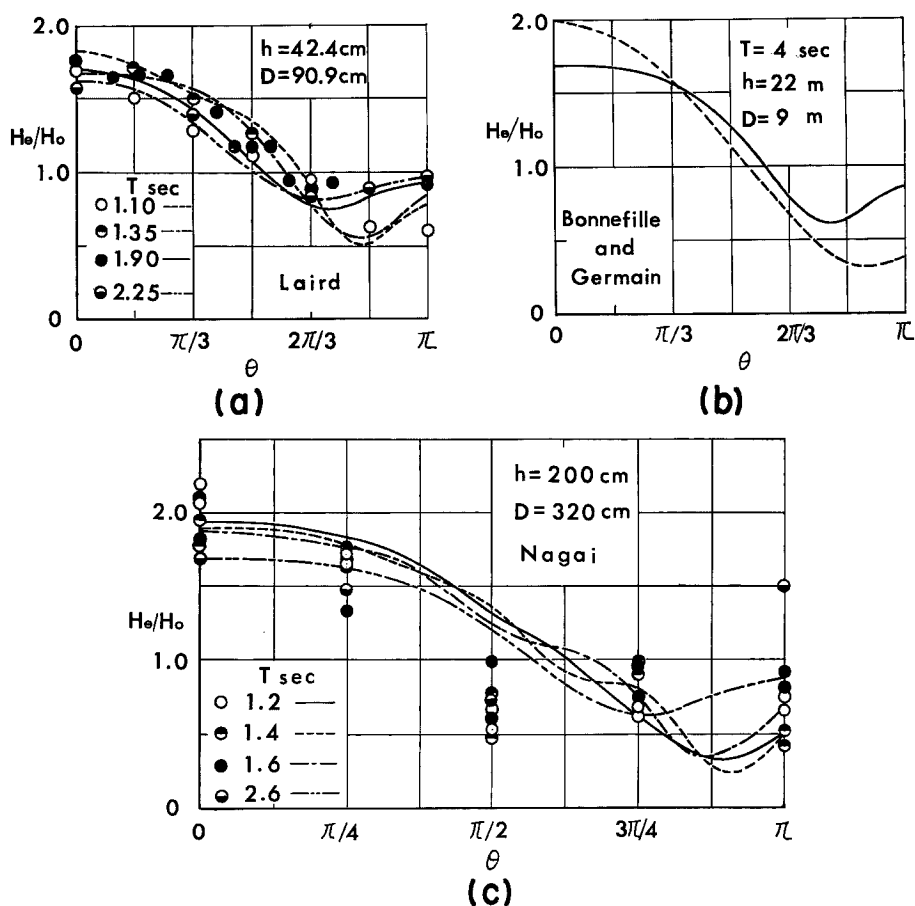


Fig. 12 Comparison between theoretical curves of spacial distribution of wave height along vertical cylinder and experimental values.

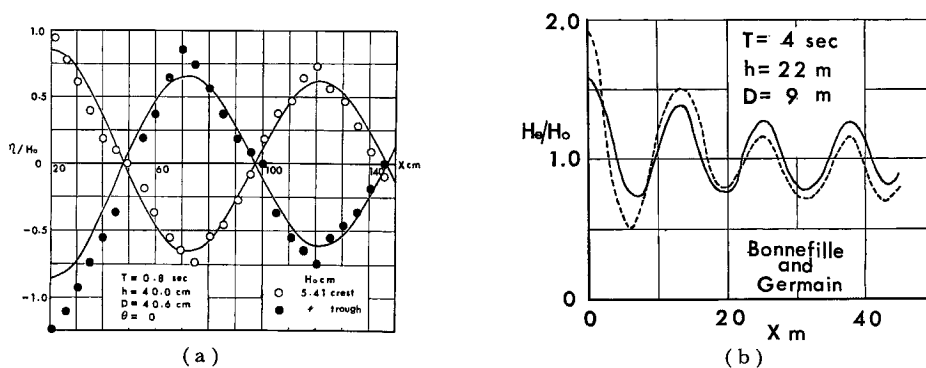


Fig. 13 Comparison between theoretical curves of spacial variation in water level in front of vertical cylinder and experimental values.

5. 結 語

本研究においては、大口径の円柱に作用する波力を解明するための第 1 段階として、円柱に作用する波圧分布および水位変動についての実験を行ない、円柱による波の回折理論とを比較することによって、つぎの結果を得た。

(1) 波圧分布について各観点から実験値と理論曲線とを比較することにより、入射波高があまり大きくないときには無次元波圧強度 $p/\rho g H_0$ は h/H_0 の値にかかわらずほぼ一定値をとり、若干のへだたりはあるにせよ、理論との対応は比較的よいが、波高が増大するにつれ、非線型現象である双峯型の波圧波形が円柱前面付近に現われ、これらの現象の解析には非線型の回折理論が必要であること、Laird によれば、波圧の鉛直分布は双曲線関数で与えられるものよりかなり急激に減少する傾向であると指摘されているが、著者らの実験では波圧の鉛直分布は定性的にはきわめてよく双曲線関数で表示されることおよび円柱の後面付近の波圧波形が理論によって与えられるように時間的に対称な形でなく非対称であって、波高が増大するほど、この傾向は著しいことが明らかになった。

(2) 入射波高と $\theta=0$ での壁面波高の関係を理論曲線と比較した結果、 D/L の値が比較的大きな場合には、壁面波高は入射波高の 2 倍以上になり、理論曲線で与えられる値よりもかなり大きくなるが、 D/L の値の減少とともに入射波高の小さい範囲では理論とよく一致するようになること、また円柱壁に沿う水位変動の分布も理論曲線よりかなり大きくなるが、 D/L の値の減少とともに同様の傾向がうかがえ、これが円柱に作用する波圧分布の実験値の理論曲線からのへだたりの原因の 1 つであることおよび円柱近傍の水位変動はこの理論で定性的には説明できることがわかった。

以上が本研究によって得られた成果であるが、今後入射波高と壁面波高の関係をより詳細に解析していくとともに、大口径の円柱に作用する全波力についても検討を加えていくつもりである。

最後に本研究にあたり、貴重な資料の提供をいただいた大阪市大永井荘七郎教授および小田一紀講師に深く謝意を表明するとともに、実験および資料の解析に大いに助力願った若築 K. K. 佐久間隆司氏および海岸研究室の方がたに謝意を表する。なお、本研究の数値計算はすべて京都大学大型計算機センターの FACOM 230-60 を使用したことを明記するとともに、本研究は文部省科学研究費（代表者北大尾崎晃教授）による研究の一部であることを付記する。

参 考 文 献

- 1) Lamb, H.: Hydrodynamics, Dover Publication, 6th Ed., 1932, pp. 529-531.
- 2) MacCamy, R. C. and R. A. Fuchs.: Wave Forces on Piles, A Diffraction Theory, Tech. Mem., No. 69, B. E. B., 1954, pp. 1-17.
- 3) Bonnefille, R. and P. Germain: Wave Action on Isolated Vertical Cylinders of Large Dimension, I. A. H. R., Congress, London, 1963, pp. 311-318.
- 4) Laird, A. D. K.: A Model Study of Wave Action on a Cylindrical Island, Trans. A. G. U., Vol. 36, No. 2, 1955, pp. 279-285.