

有限振幅重複波に関する基礎的研究 (3)

—越波のある場合の波圧に関する実験—

土屋 義人・山口 正 隆

BASIC STUDIES ON THE FINITE AMPLITUDE STANDING WAVES (3)

—Experiments on the Wave Pressure of Finite Amplitude
Standing Waves Accompanying the Wave Overtopping—

By *Yoshito* TSUCHIYA and *Masataka* YAMAGUCHI

Synopsis

This paper deals with the characteristics of wave pressure of finite amplitude standing waves accompanying the wave overtopping on a vertical seawall.

Compared between the theoretical curves of wave pressure by the finite amplitude standing wave theories and the experimental results on the pressure characteristics of waves accompanying the wave overtopping, it was concluded that, if the reduction of wave height at wall by wave overtopping is estimated, the finite amplitude standing wave theories are applicable for the estimation of wave pressure of standing waves on a wall in the case where the wave overtopping exists, except for the relatively large value of H/H_c , where H is the amplitude in water level variation at wall and H_c the crest height of wall.

In addition, the data of the rate of wave overtopping obtained by the authors are compared with those by others and considered.

1. 緒 言

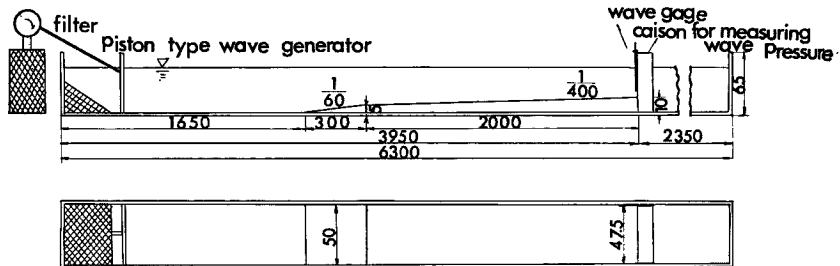
せつ動法を用いて求められた有限振幅波理論には、この理論の近似性からして当然その物理現象に対する適用範囲が存在すると考え、第1報¹⁾においては、自由表面での2つの非線型境界条件、すなわち自由表面における水粒子の運動を規定する kinematic な条件と Bernoulli の定理から自由表面の圧力が一定であることを示す dynamic な条件に対する適合性について考察した。すなわち、各近似度の非線型解がこれらの条件をどの程度満足するかについて、波の諸特性に対して詳細に数値計算を行ない、 $T\sqrt{g/h}$ の値 (T : 周期、 h : 水深および g : 重力の加速度) の比較的小さい場合でも、 h/H の値 (H : 波高の1/2) が小さくなれば、せつ動解の近似度を高めても、境界条件に対する非線型解の適合性が改善されず、一般に $T\sqrt{g/h}$ の値が大きくなるにつれて、その適合性を改善できなくなる限界の h/H の値が大きくなることを示した。このことから有限振幅波理論の適用限界の存在を明らかにし、逐次近似を進めるにしたがって境界条件に対する適合誤差が小さくなる領域を示す図表を提案した。ついで、これらの理論の妥当性を検討し、その適用限界を明らかにするため、第2報²⁾およびそののちの報告³⁾において、 $6 \leq T\sqrt{g/h} \leq 20$ の範囲で重複波に対しては、波圧の鉛直分布、水位、波圧の時間的変化および平均水面上の波の峯高、また進行波に対しては、水

位の時間的变化, 波速および平均水面上の波の峯高などに関する詳細な実験を行ない, 理論曲線とそれらの実験結果との比較を行なって, 重複波の場合には有限振幅定常長波の第2近似解を加えて, 有限振幅重複波の各近似理論の重複波波圧に対する適用限界を図示し, 現在の近似理論解では波圧現象を十分に説明しえない領域の存在することを示した。

さて, 今回の第3報では, 重複波の変形の問題として, 天端高が低く重複波が防波堤を越波することにより波圧特性がどのように変化するかを調べ, 壁面に形成される波動運動を完全重複波とみなして, 有限振幅重複波理論との比較を行なって, 越波を伴なう重複波の波圧現象がどの程度説明しうるかを詳細に考察し, また同時に重複波の越波特性について検討するつもりである。

2. 実験装置および実験方法

実験装置は第2報と同様のものを用いたが, 前報では波高のきわめて大きい波が得られなかったので, 水槽に 1/60 (3 m) および 1/400 (20 m) のきわめて傾斜のゆるいこう配の床を設けて, 波が変形せずに十分波高の大きい波が得られるようにした。その概略図を Fig. 1 に示す。また実験は越波のない重複波の場合と越波のある場合を交互に行ない, 造波機近くの一様水深部での水位変化, 壁面での水位および波圧変化を測定したが, とくに越波のある場合には, 同時にケーソンに取り付けた越波量を測定するための小さな水槽によって, それぞれの波に対する越波量を測定した。なお, 用いた実験波の特性は Table 1 に示すとおりである。



unit : cm

Fig. 1 Schematic sketch of water wave tank used.

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

$T\sqrt{g/h}$	Wave period T (sec)	Water depth h (cm)	Crest height of seawall H_e (cm)	Amplitude of standing waves H (cm)
8	1.143	20.0	5.0	10.50~4.91
	1.429	20.0	5.0	12.38~4.40
	1.336	17.5	2.5	9.87~2.89
10	1.336	17.5	5.0	9.70~4.60
	1.336	17.5	7.5	8.53~5.26
	1.237	15.0	5.0	8.58~4.50
12	1.604	17.5	5.0	9.22~3.70
14	1.732	15.0	5.0	9.58~4.01
16	1.979	15.0	5.0	9.12~3.39
18	2.033	12.5	5.0	8.28~3.04

3. 実験結果に対する考察

(1) 越波のある場合の重複波の諸特性

a) 静水面上の波の峯高：Fig. 2 は $T\sqrt{g/h}$ の値が8~18の場合について、静水面上の波の峯高 η_0 と波高との関係を図示して、第1報で述べた有限振幅重複波の理論曲線と比較したものである。図中の一点さ線は第4次近似解、実線は第3次近似解、二点さ線は第2次近似解および細い実線は首藤⁴⁾により求められた有限振幅の定常長波の第2次近似解であり、白丸は重複波が越波せず、ほぼ完全重複波とみなせる場合を示し、またその他は天端（天端高 H_c ）を越えて重複波が越波する場合の実験値である。この場合、 H は越波の有無によらず、壁面における水位変動の振幅に相当するものであり、周期その他の条件を同一にしたとき、越波のある場合は越波のない場合より波高が減少するため、実験値の位置は横軸の右側に移動して図示されることになる。これらの結果から、つぎのことが明らかにされる。

(i) $T\sqrt{g/h}=8$ の場合 実験値は前報と同様に理論曲線より若干小さくなる傾向がでており、この傾向は合田⁵⁾の実験においてもうかがえる。とくに、越波のある場合、 $h/H > 2.5$ では越波のない場合の実験値より小さくなっているが、より越波量の多い $h/H < 2.5$ では越波のない場合のそれと同じ傾向を示すことから考えれば、この原因を越波に帰するのは困難であるように思われる。

(ii) $T\sqrt{g/h}=10$ の場合 天端高を5ケース変化させたが、実験値の散らばりが大きいために、越波のあるときの静水面上の波の峯高に対する天端高の影響ははっきりとわからない。また、越波のない場合にくらべて、実験値はほぼ同じか、あるいは波高が増大して越波量が多くなると、若干小さくなる傾向を示しているように考えられる。

(iii) $T\sqrt{g/h}=12, 14, 16$ および18の場合 越波のないときには第3次および第4次近似解または定常長波第2次近似解と比較的よく一致している。また、越波のある場合には、今回の実験の天端高の範囲では、越波のない場合の実験値と同じ傾向を示しており、越波量の増大する h/H の値の小さい領域でも、その傾向はほとんど変わらない。

以上、(i)、(ii) および (iii) から、静水面上の波の峯高に関しては、越波による波高の減少量を考慮すれば、便宜的に完全重複波とみなすことができると考えられる。

b) 鉛直同時波圧分布：Fig. 3 は、波の峯がきたときの同時波圧の無次元量 $p/\rho g H$ の鉛直分布を示したものである。図中の実線は第4次近似解をあらわす。Fig. 3 から、つぎのことがわかる。

(i) Fig. 3 (a) は $T\sqrt{g/h}=8$ のときに越波の有無による波圧変化を検討しようとするものであるが、図によれば、天端高にくらべ、かなり波高が増加しても越波による波高の減少を考慮すればきわだった波圧変化は見られず、完全重複波の理論曲線と比較的よく一致している。

(ii) (b) は $T\sqrt{g/h}=10$ のときに波圧分布に対する天端高の影響を示したものであるが、今回の実験の天端高の範囲では、その変化の範囲が小さいため、波圧分布にあまり影響がみられず、理論曲線とほぼ一致している。ただ、 $H_c/h=0.143$ のときには、波高にくらべ、天端高がかなり低くなっており、波圧分布の実験値は、越波による波高の減少量を考慮しても理論曲線より小さくなっている。

(iii) (c) の $T\sqrt{g/h}=16$ のように周期が長くなると、波高が大きい場合には理論曲線と実験値が一致しなくなるのは第2報に示したことであるが、今回の実験においても同様のことがうかがえる。また、越波の有無による波圧変化については、両者の実験値はほとんど変わらず、越波の影響は見かけ上現れない。

つぎに、各測定点での波の峯に対応する $p/\rho g H$ と h/H との関係を示したのが Fig. 4 である。図中の点線は第1次近似解であり、ほかの曲線は Fig. 2 と同じである。Fig. 5 から、つぎのことが見出される。

(i) $T\sqrt{g/h}=8$ の場合 波高のあまり大きくない領域では越波の有無にかかわらず、第4次近似解の理論曲線との対応がきわめてよい。しかし、天端高にくらべ波高が増大し、碎波波高近くになると、壁面での波高の減少を考慮しても越波のない場合より若干実験値が小さくでている。これは越波量の増加のため、波

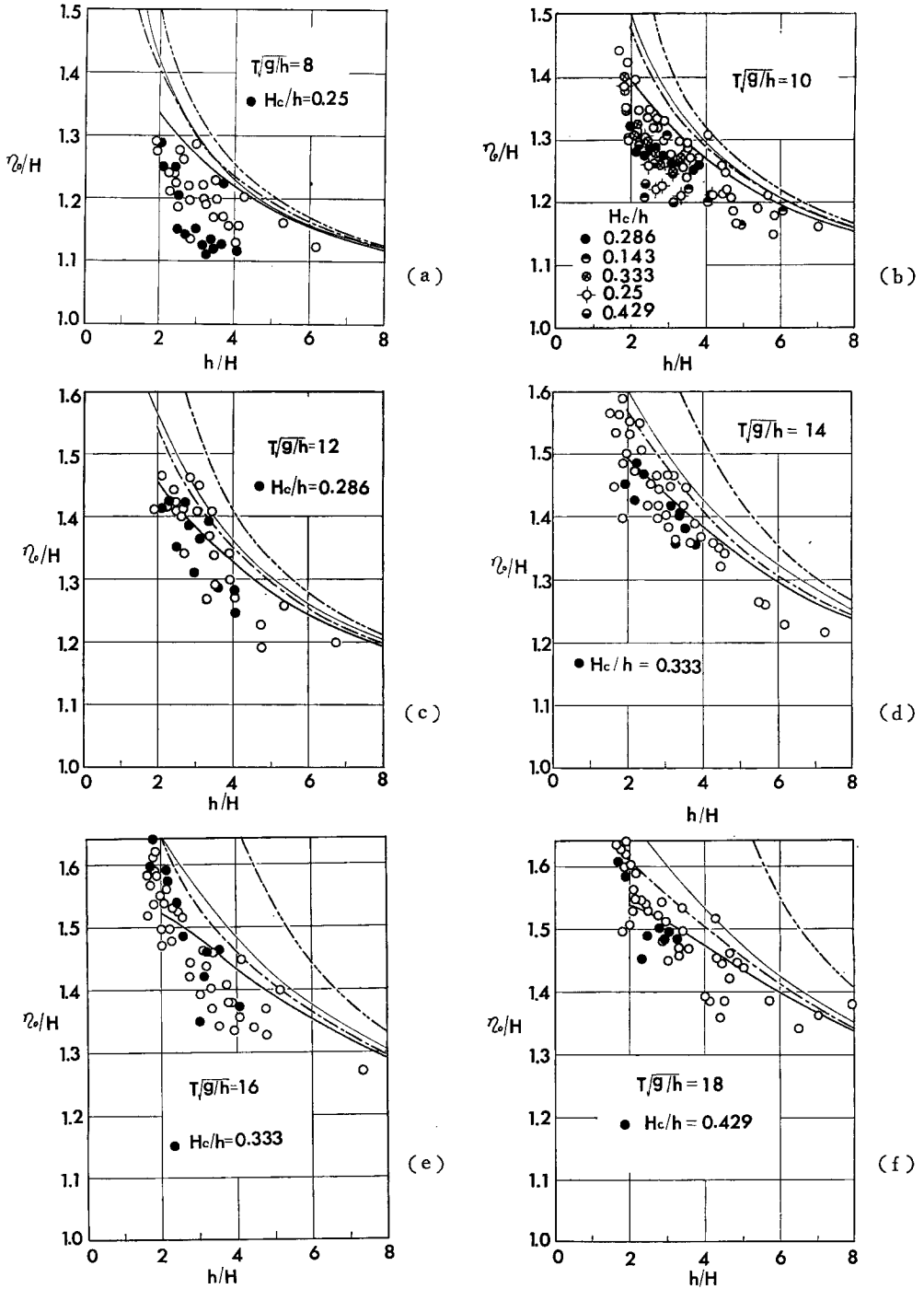


Fig. 2 Comparison between theoretical curves of wave crest height above still water level and experimental values in the case where wave overtopping exists.

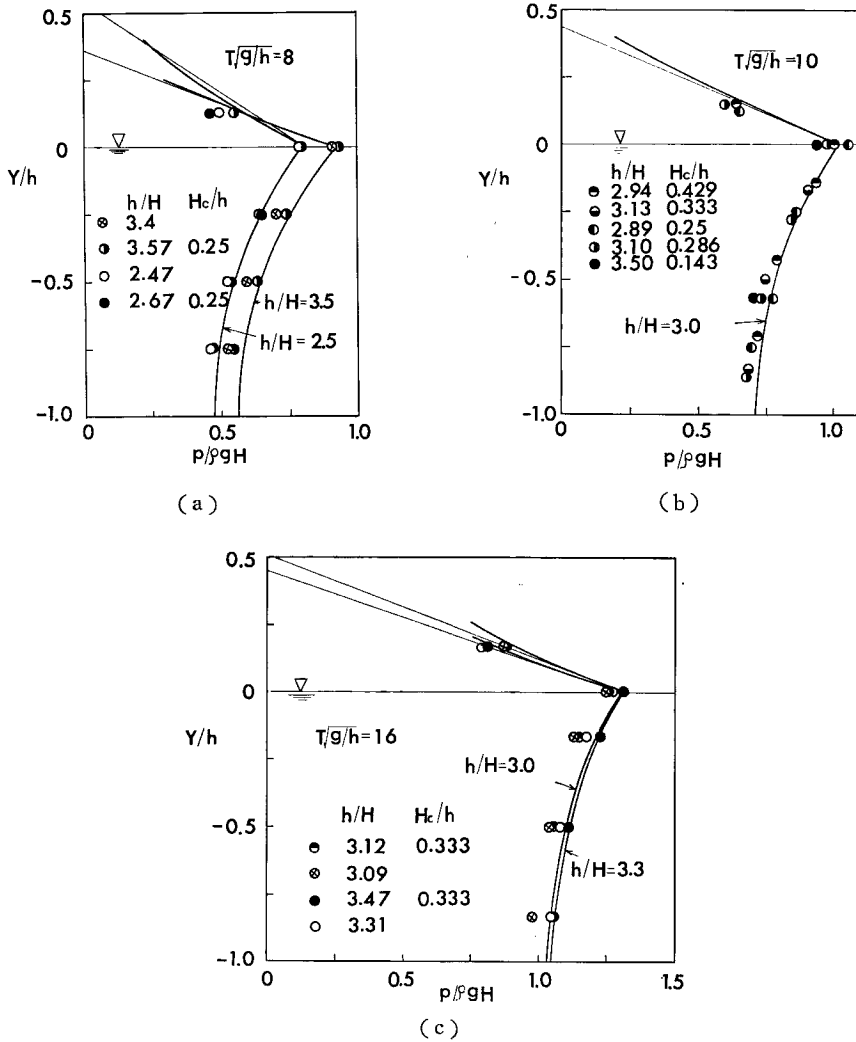


Fig. 3 Comparison between theoretical curves of vertical distribution of wave pressure on wall at wave crest and experimental values in the case where wave overtopping exists.

動の場の性質が重複波的なものから部分重複波的なものに変化したためと思われる。

(ii) $T\sqrt{g/h}=10$ のときには、(i)と同様のことがうかがえるが、とくに (b)-1 を見ると、つぎのことに気づく。すなわち、越波のある場合の波圧は h/H の値の大きいときには越波のない場合のそれにくらべても変わらないが、 h/H の値が減少すれば、前者にくらべ、後者は小さくなる。しかも、その傾向の現われる限界の h/H の値は、無次元天端高 H_c/h の値が小さいときには大きくなっている。このことは越波の場合と同様に、 H_c/H が越波による波圧の減少を支配する重要なパラメーターであることを示しているものと思われるが、この点に関しては実験の制約上十分な考察が行なえなかった。

(iii) $T\sqrt{g/h}=12, 14, 16$ および 18 と次第に長周期になるにつれて、越波の有無にかかわらず、有限振幅重複波理論の適用限界が現われて、実験値との適合性が悪くなり、しかもその限界の h/H の値は $T\sqrt{g/h}$

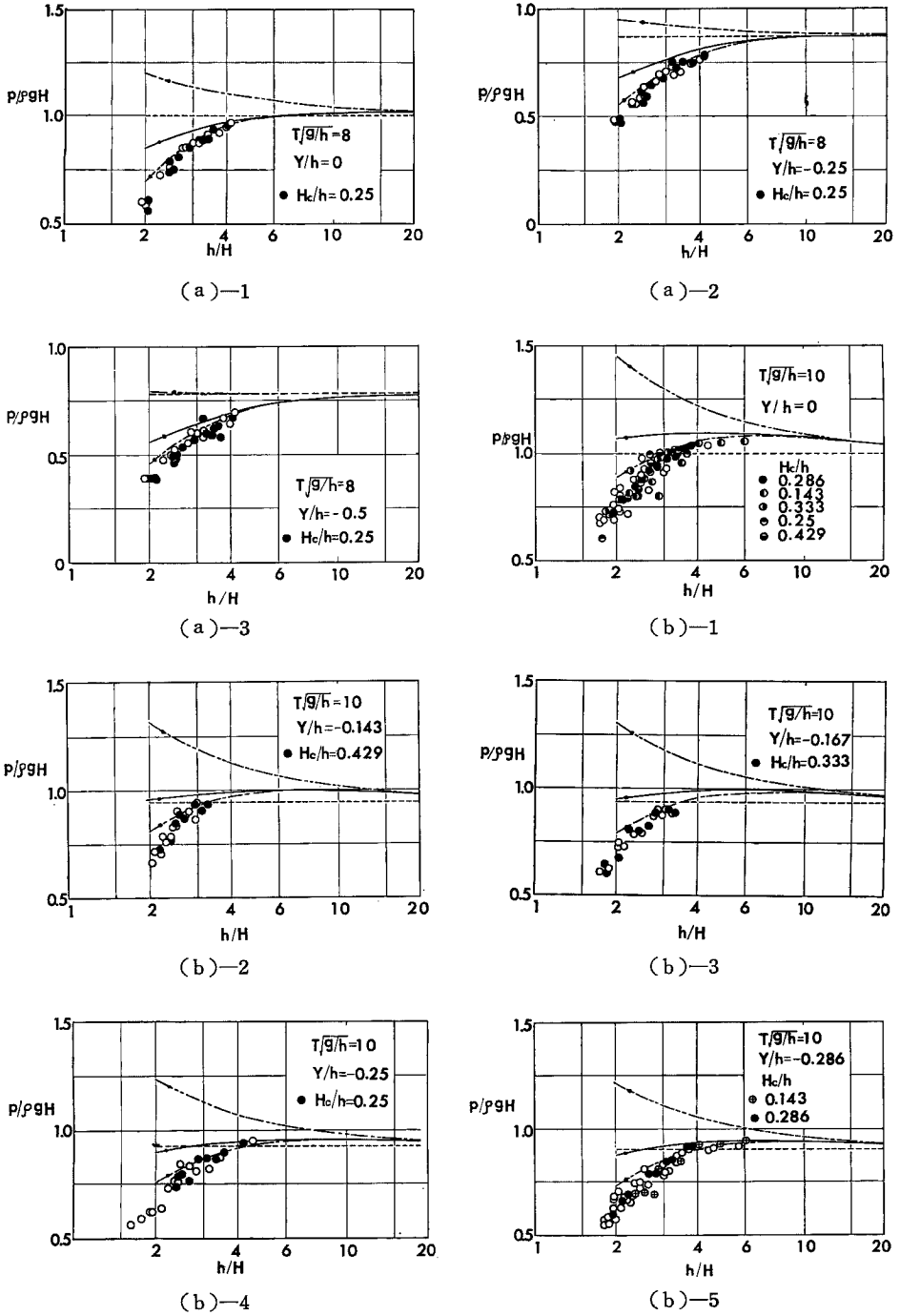


Fig. 4 Comparison between theoretical curves of wave pressure at a point on wall, at wave crest, and experimental values in the case where wave overturning exists.

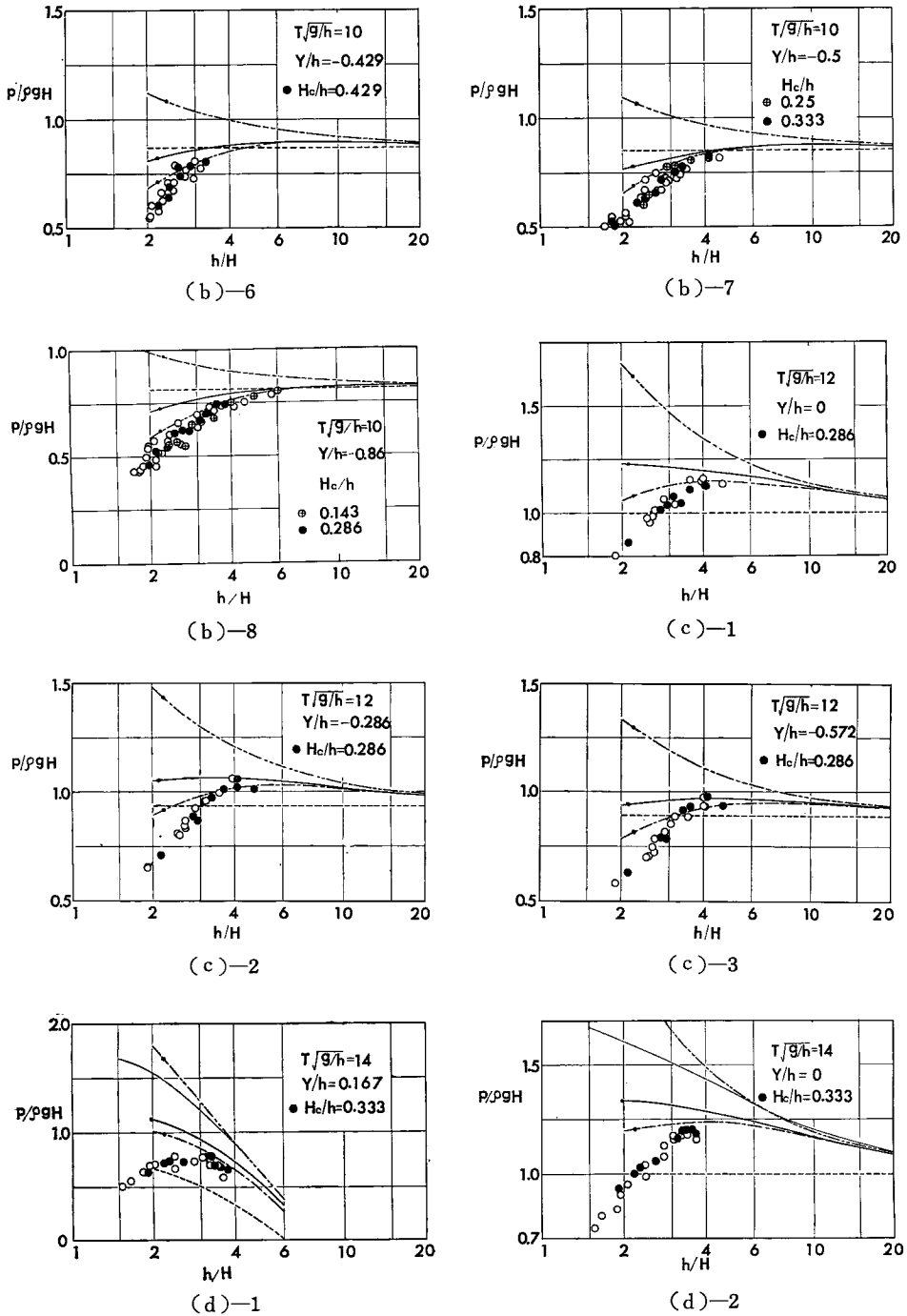
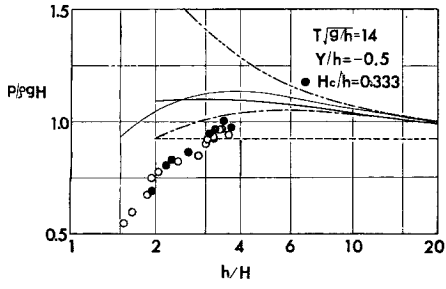
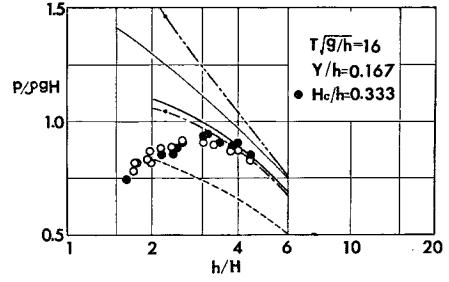


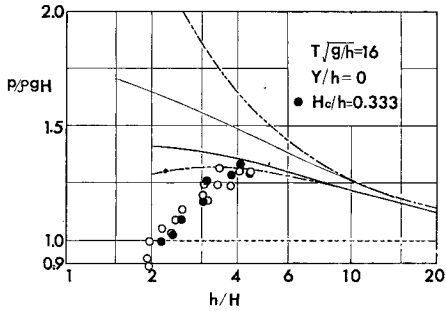
Fig. 4 Comparison between theoretical curves of wave pressure at a point on wall, at wave crest, and experimental values in the case where wave overtopping exists.



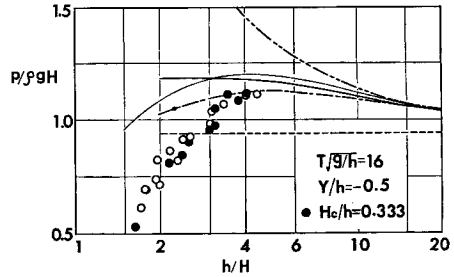
(d)-3



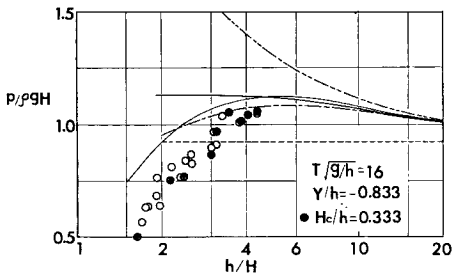
(e)-1



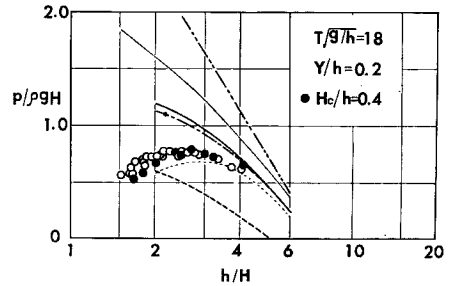
(e)-2



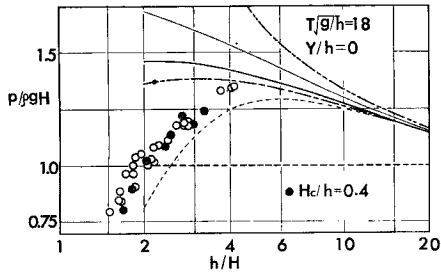
(e)-3



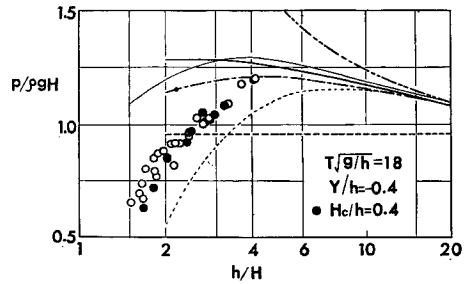
(e)-4



(f)-1



(f)-2



(f)-3

Fig. 4 Comparison between theoretical curves of wave pressure at a point on wall, at wave crest, and experimental values in the case where wave overtopping exists.

の値が増加するほど、大きくなっている。また、越波に伴う波圧の減少については (i) および (ii) で述べたことがうかがえる。

なお、 $T\sqrt{g/h} \geq 14$ のように長周期の重複波に対し、適合性がよいと期待される定常長波の第2近似解の妥当性について若干の検討を加えてみよう。

さて、これらの図によれば、定常長波の理論曲線は実験値よりかなり大きな値を与えている。しかしよく注意してみると、これらの実験値は水深の大きい部分では、 $T\sqrt{g/h}$ の値が増大するにつれて理論曲線に近づき、その傾向が一致するようになる。これは定常長波の第2近似解の表面圧力残差は大きい、水深の大きい部分ではその影響が小さいことに帰因していると思われる。そこで、これらの残差を何らかの方法で補正すれば、現象に対する適合性が改善されるのでないかと考え、 $T\sqrt{g/h}=18$ の場合に合田の方法で修正した定常長波の第2近似解を求め、細い点線で示したが、理論曲線の全体的傾向は実験値のそれとほぼ同じであるが、絶対値は実験値よりかなり小さくなっていて、境界条件に対する適合性の悪い解に対してこのような補正を行なってもあまり意味がなく、現象の適確な説明には境界条件に対する適合性のよりよい高次の解が必要であるという結果がえられた。

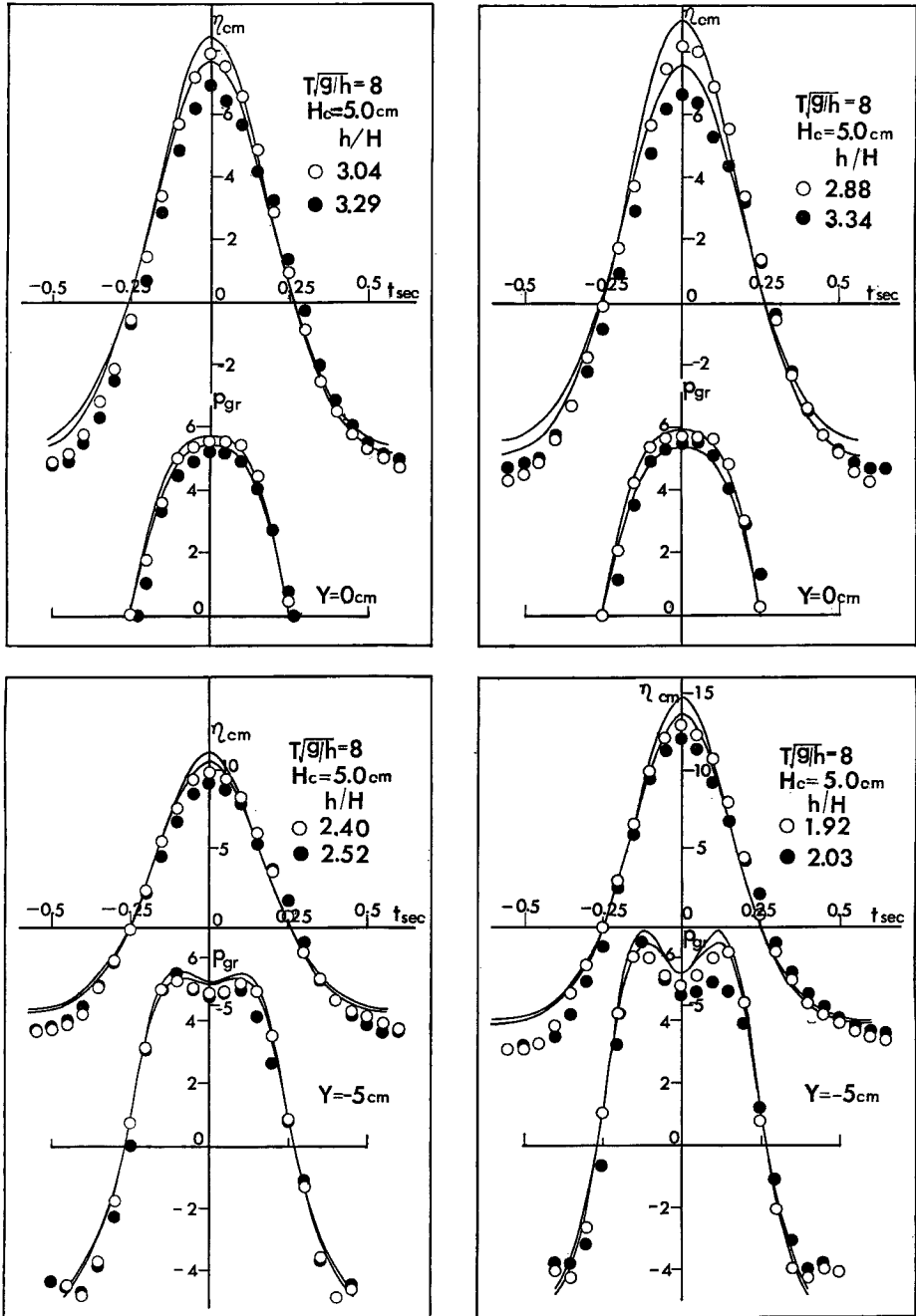
c) 水位および波圧の時間的変化：Fig. 5 は波の周期や水深などの水理特性が同一の波について、越波する場合と越波しない場合の壁面での水位および波圧の時間的変化を示したもので、図中の実線は第4次近似解、点線は定常長波の第2近似解であり、白丸および黒丸は越波のない場合とある場合に相当する。さて、これらの図よりつぎのことが指摘される。

(i) (a) は $T\sqrt{g/h}=8$ の場合で天端高 $H_e=5$ cm のときに波高の増大に伴い、越波によって水位および波圧の時間的変化がどのように変わるかを示すものである。この結果によれば、水位変化については、越波の有無にかかわらず、完全重複波として扱えば、実験値と理論曲線との対応は比較的良好、また越波を伴う場合の水位変化は越波を伴わない場合のそれに比べ、波の峯ばかりでなく、波の谷の部分でも若干減少している。波圧変化については、一般に実験値と理論曲線とはよく一致しているが、波高がかなり大きくなると、実験値と理論曲線との対応が悪くなり、越波のある場合には、双峯型波圧波形の第2のピークがくずれて非対称の波形が現われる。しかも、その傾向は波高が大きくなるほど著しく、とくに碎波近くのきわめて波高の大きい場合には、波の峯での波圧強度の絶対値は越波のない場合より小さいが、波圧波形のピークでの波圧強度の絶対値は、越波のない場合のそれよりも大きくなり、このような記録は他のケースの場合にもしばしばえられた。また、この場合、水位の記録もこの図ではよくわからないが若干ひずんでいて、対称性が失なわれていたことを付記しておく。

(ii) (b) は $T\sqrt{g/h}=10$ の場合に波圧に対する天端高の影響を調べるために、2種類の天端高について水位および波圧変化を示したものであり、天端高の大きい場合にはこの周期に対し、越波の有無によらず、実験値と理論曲線の対応はほぼついている。しかし、天端高が低くなると、越波のある場合、水位変化は理論曲線との対応はつづが、波圧変化については、(i) で述べた波圧波形の非対称性が現われ、このことから天端高と波高の関係が越波時の波圧現象に対し重要な因子であることが推論される。

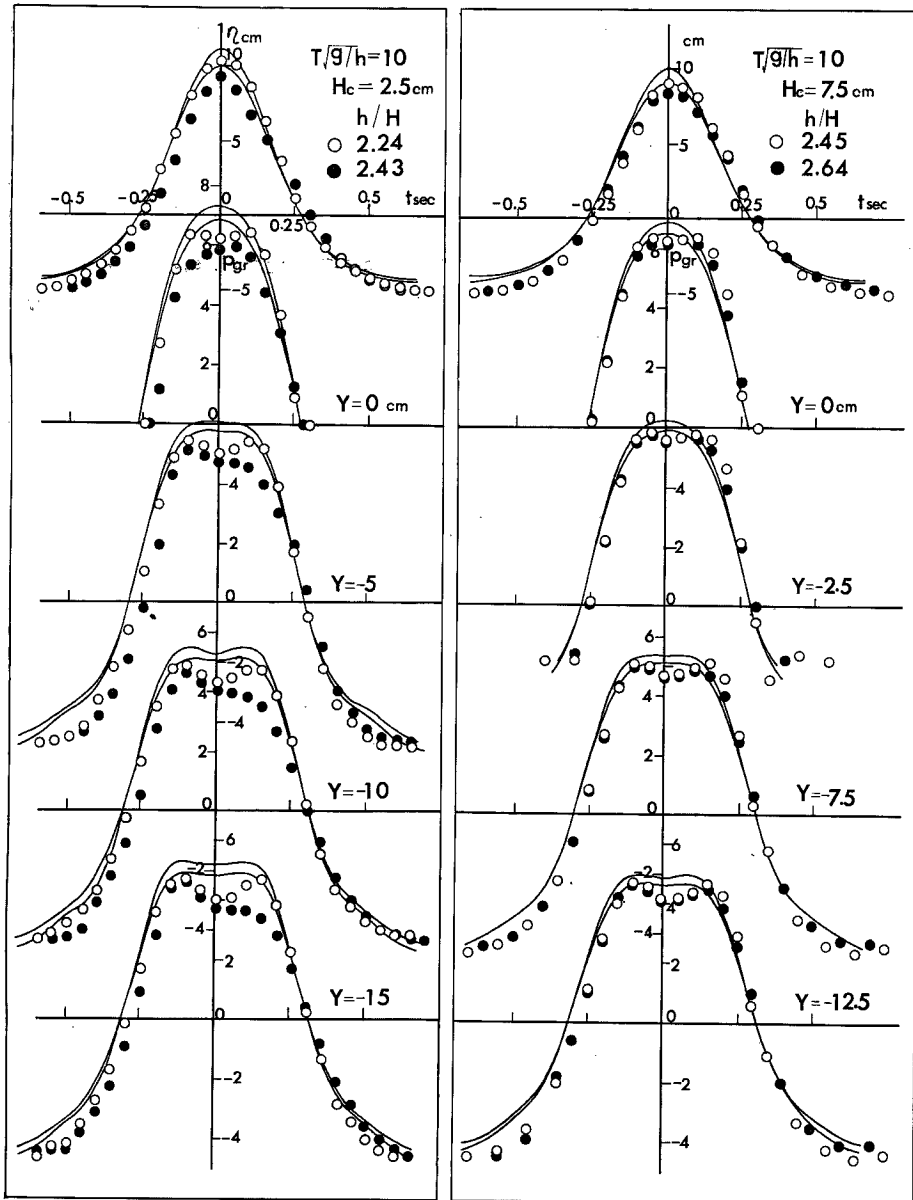
(iii) (c) の $T\sqrt{g/h}=14$ 場合のように、周期が長くなると、理論の近似度が悪く、波の谷の近傍にひずみが現われ、実験値との対応がつかなくなるのは第2報で述べたとおりであるが、このことは越波のある場合にもあてはまり、実験値は理論曲線より小さくでている。この傾向は $T\sqrt{g/h}=18$ になるとさらに著しく、波形全体も実験値と一致しなくなり、水位変化の波形は定常長波の第2近似解に近くなる。しかし、波圧波形については定常長波の第2近似解は表面圧力の残差が大きいため、実験値に比べ過大な値を与えている。また、これらの図に示す実験条件では、 $T\sqrt{g/h}=14$ および 18 の場合とも波圧の絶対値の減少量はそれほど大きくない。

d) 壁面における波高の減少：すでに繰り返し述べたように、同一条件の波でも越波のある場合には、越波のない場合に比べて波高が減少する。そこで、この越波による波高の減少量を評価するため、無次元量 H'/H_e と H/H_e の関係を示したものが Fig. 6 である。ここに、 H' は越波のある場合の壁面における水



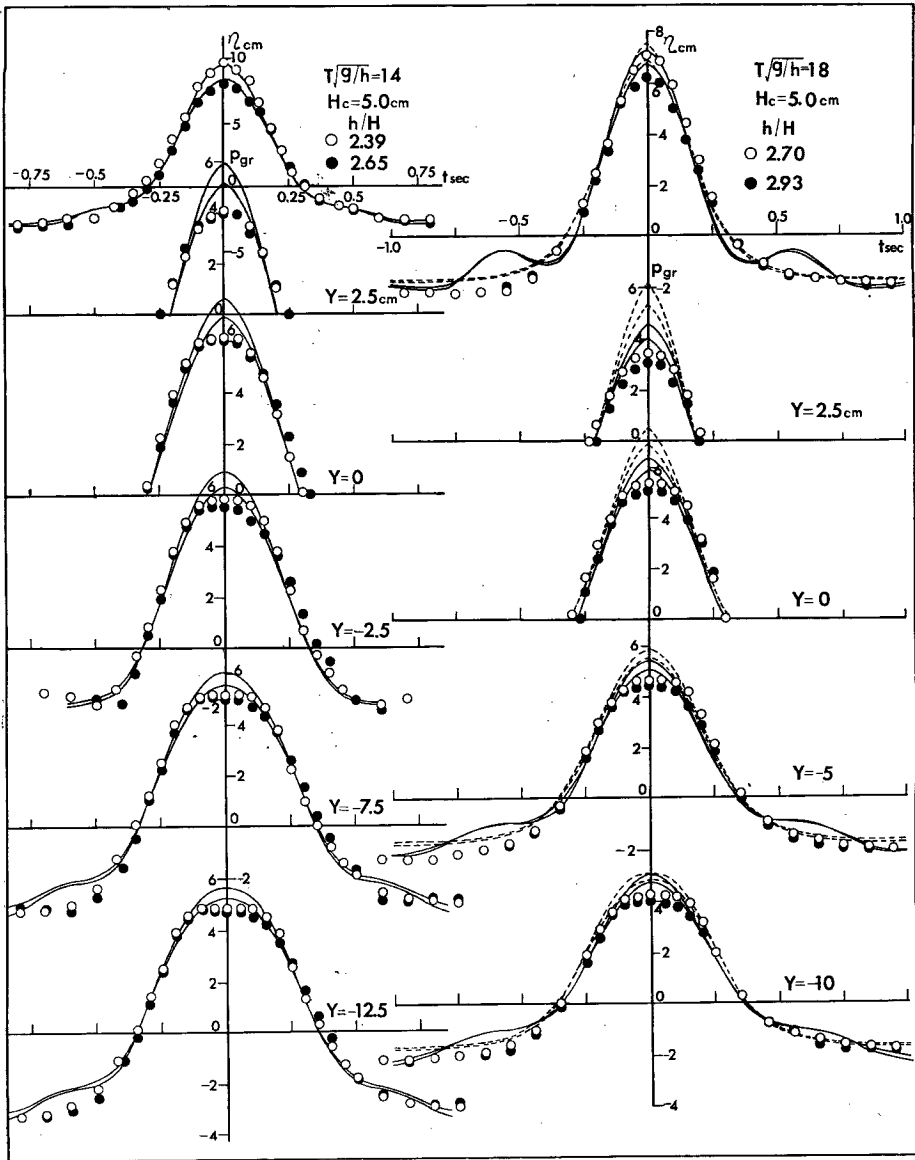
(a)

Fig. 5 Comparison between theoretical curves of time variation in water level at wall and wave pressure on wall and experimental values in the case where wave overtopping exists.



(b)

Fig. 5 Comparison between theoretical curves of time variation in water level at wall and wave pressure on wall and experimental values in the case where wave overtopping exists.



(c)

Fig. 5 Comparison between theoretical curves of time variation in water level at wall and wave pressure on wall and experimental values in the case where wave overtopping exists.

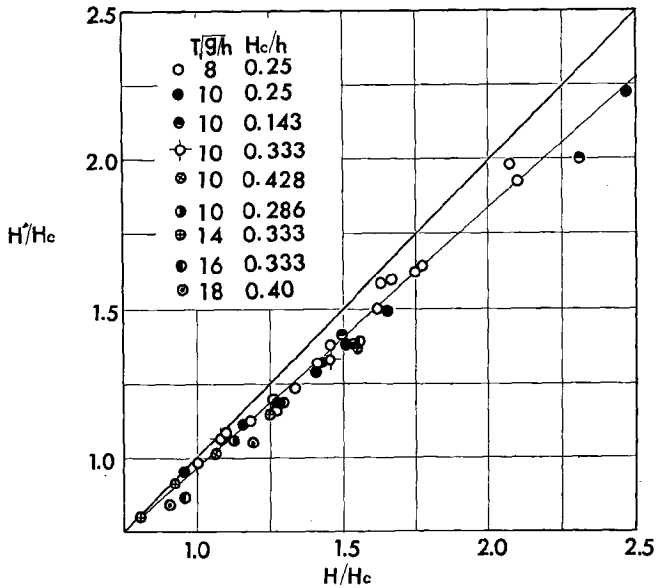


Fig. 6 Relation between relative amplitude in water level variation at wall H'/H_c and that in the case where wave overtopping exists H/H_c .

位変動の振幅であり、越波のない場合のそれと区別するため、とくに H' と記号したものである。

さて、この図に示したような無次元量を用いると、越波による波高減少は全体的にほぼ図中の細い実線で表わされるが、実験値の散らばりのため、周期の影響ははっきり見出されない。その結果、越波に伴う波高減少量は波高と天端高の比 H/H_c によって支配されることがわかる。

以上、越波のある場合の波圧に関しては、前報で著者らが調べた有限振幅重複波理論の適用範囲内では、 H/H_c の値があまり大きくないかぎり、越波による波高の減少を Fig. 6 にしたがって考慮することにより、便宜的ではあるが、有限振幅重複波の理論解によりある程度の特性を解明しようと考えられる。しかしながら、こういった問題の本質的な解明には、たとえば壁面近傍の波形など波動の場の性質を詳細に検討する必要がある。

(2) 越波量に対する考察

越波のあるときの波圧の実験に際して、重複波領域における鉛直壁の場合の越波量の若干の資料がえられたので、これを従来の資料と比較し、その特性を明らかにしよう。

越波に関してはわが国では京大防災研での一連の研究^{6),7)}を始めとして、主として実験的研究が行なわれ、越波機構の解明に対して幾多のすぐれた成果をあげてきた。しかしながら、これらの結果の整理の仕方は、著者らの場合のような副次的な実験では、実験条件の対応が十分につかず、系統的な比較が行なえない。そこで、著者らの実験条件の場合でも、適切に比較検討できる資料として、合田⁸⁾が従来の越波量に関する多くの資料を整理して提案した規則波に対する直立護岸の越波流量曲線図を用いることにした。

さて、Fig. 7 は単位時間単位幅あたりの越波量の無次元量 $q/\sqrt{2gh^3}$ と沖波波高の無次元量 H_0/h の関係で資料を整理したものであり、図中の $H_c/h=0.2, 0.25, \dots$ に対して示した曲線は、合田により与えられた越波流量曲線のうち、重複波領域に相当するものを図示したものである。(a) は $T\sqrt{g/h}$ の値が同一の場合に対して、無次元天端高 H_c/h の越波量に対する影響を調べたものであるが、合田の越波流量曲線との対応は比較的良好で、当然のことながら、重複波領域では、天端高が低いほど越波量は増大している。つ

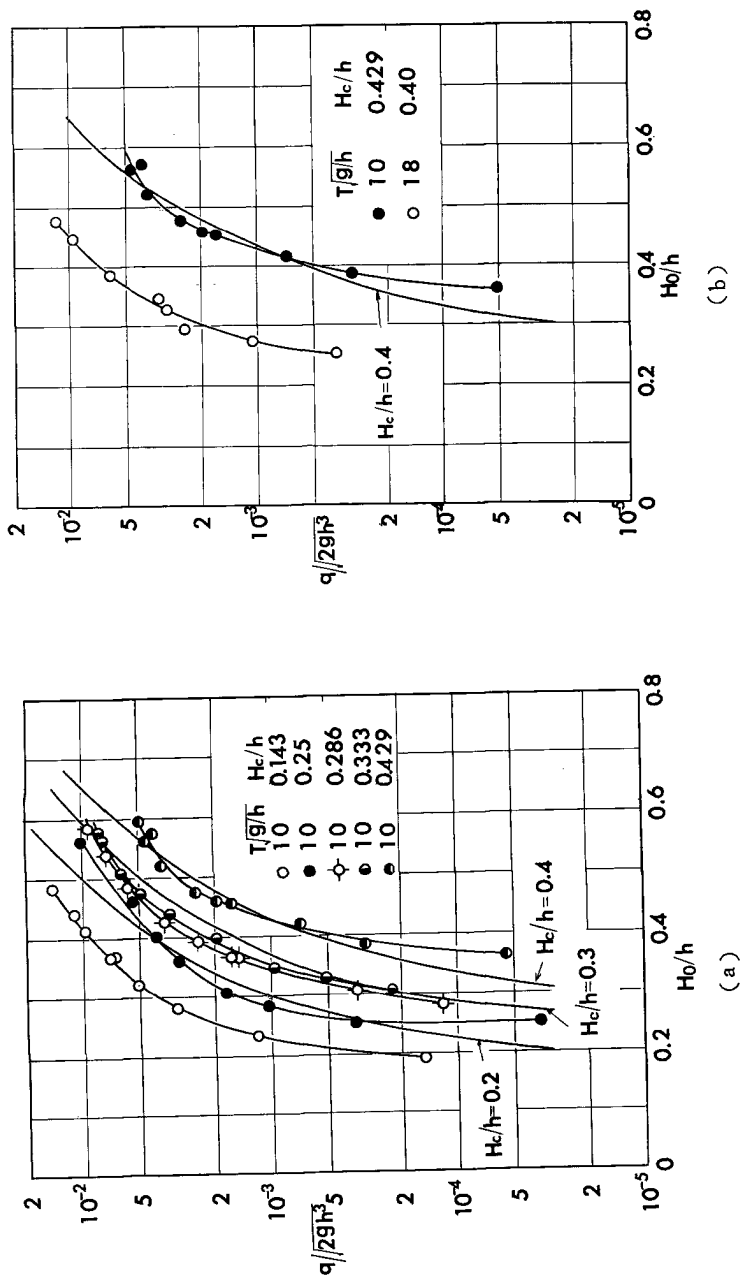


Fig. 7 Relation between dimensionless rate of wave overtopping $q/\sqrt{2g}h^3$ and relative wave height in deep water H_0/h with a parameter of relative height of seawall H_c/h and that of dimensionless wave period $T\sqrt{g}/h$.

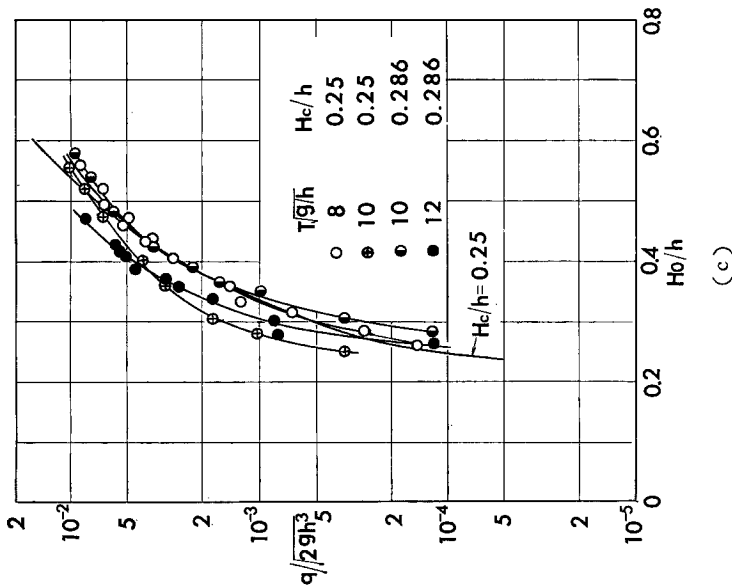
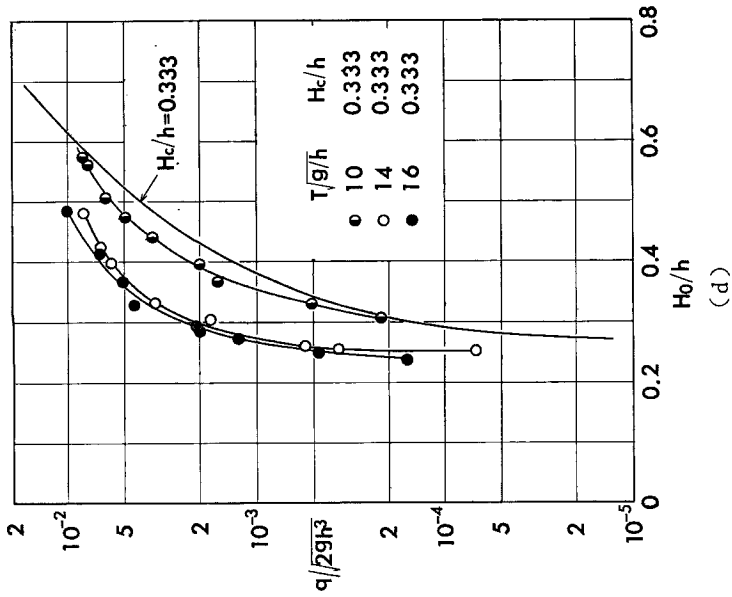


Fig. 7 Relation between dimensionless rate of wave overtopping $q/\sqrt{2g}h^3$ and relative wave height in deep water H_0/h with a parameter of relative height of seawall H_c/h and that of dimensionless wave period $T\sqrt{g}/h$.

ぎに、(b)、(c)および(d)は無次元天端高がほぼ同一の場合に越波量に対する周期の影響を示すものである。合田は越波流量曲線の作成にあたり、 $H_0/L_0 > 0.01$ (L_0 : 沖波波長)の条件を設けると、周期の影響が実験値のばらつきにかくれてしまい、明瞭な差がないとして、隣接する曲線の幅程度のばらつきを含めて越波量に対する周期の影響を無視している。このことは、著者の実験においてもほぼあてはまり、 $T\sqrt{g/h} \leq 12$ では $H_0/L_0 > 0.01$ となっており、越波流量曲線との対応は比較的よいが、(b)および(d)のように $T\sqrt{g/h} \geq 14$ および $H_0/L_0 < 0.015$ では、周期の影響が顕著になり、周期の増大とともに越波量が増大し、周期が長い場合の越波量の算定には、この周期の影響を考慮する必要がある。以上著者の実験において、合田により提案された規則波に対する直立護岸の越波流量曲線は、重複波領域では、周期が長い波の場合を除いては妥当な結果を与えることが確認された。

4. 結 語

本研究では、越波のある場合の重複波圧に関する実験を行ない、静水面上の波の峯高、波の峯における壁面での波圧強度ならびに水位および波圧の時間的変化について、実験値と有限振幅重複波理論による理論曲線とを比較し、また同時に本実験よりえられた越波量の資料を従来の資料と比較検討することによって、つぎの結論をえた。

(i) 静水面上の波の峯高に関しては、 $T\sqrt{g/h} = 8$ および 10 のとき、越波のある場合の実験値は、越波による波高減少を考慮しても越波のない場合のそれに比べ若干小さくなるが、 $T\sqrt{g/h} \geq 12$ のときには、越波による波高の減少を考慮すれば、有限振幅重複波の理論曲線とよく一致する。

(ii) 越波のないときの波圧に関しては、 h/H の値が小さくなると、理論の近似度の不足のため、理論曲線は実験値と一致しなくなり、その限界の h/H の値は、 $T\sqrt{g/h}$ の値が増加するほど大きくなり、各近似度の有限振幅重複波理論にはそれぞれ適用限界が存在する。また、クノイド波の干渉より導かれた定常長波の第2近似解は、水位については実験値の対応がつくが、波圧については $T\sqrt{g/h}$ の値が大きくなっても、表面圧力の残差が大きいため、実験値にくらべ過大な値を与えるという前回の⁹⁾結果が再確認された。

(iii) 越波のある場合の波圧は、越波のない場合のそれに比べて、その絶対値は減少するが、越波による波高の減少を考慮すれば、越波のない場合の実験値とほぼ同じ傾向をもつようになり、その適用範囲内では、有限振幅重複波理論が適用できる。しかし、 h/H の値が小さくなり、しかも H_c/h の値が小さい場合には、壁前面における波動の場の性質が重複波的なものから部分重複波的なものに変化するため、越波による波高の減少量を考慮しても十分現象を説明できず、条件によっては双峯型の波圧波形がくずれて非対称な波圧波形が現われ、波圧の時間曲線の極大値が越波しない場合のそれより大きくなる場合があり、越波のあるときの波圧変化に対しては、 H/H_c が重要なパラメーターであることを指摘した。しかし、今回の実験ではこの点に関し、十分な議論は展開できなかった。

(iv) 越波による波高の減少量は実験の範囲内では周期に関係なく H/H_c によって決定される。したがって、実用上越波のある場合の波圧を便宜的に求めるには、 H/H_c の大きい場合を除いて Fig. 6 を用いて H/H_c より H'/H_c を求め、波高を $2H'$ とし、有限振幅重複波理論より計算すればよい。

(v) 越波量に関しては、合田により提案された越波流量曲線と著者らの実験値との対応は比較的よいが、 $T\sqrt{g/h} \geq 14$ および $H_0/L_0 < 0.015$ 程度の範囲になると、越波量が周期のより短かい場合に比べてかなり増大し、周期の影響を無視することはできない。

以上が本研究によってえられた結果であるが、今後、本実験で十分検討できなかった越波時の波動の場の性質や越波のある場合の波圧に対する重要なパラメーターである H/H_c の特性などを追求してゆきたい。

最後に、実験および図面の作成に協力していただいた海岸災害部門の諸氏に謝意を表明するとともに、この研究は文部省特定研究費(代表者: 北大尾崎教授)による研究成果の一部であることを付記する。なお、計算はすべて京大計算機センターの KDC-II を使用した。

参 考 文 献

- 1) 土屋義人・山口正隆：有限振幅重複波に関する基礎的研究（1）—せつ動解の境界条件の適合性について—，京都大学防災研究所年報，第12号B，昭44，pp.585～605.
- 2) 土屋義人・山口正隆：有限振幅重複波に関する基礎的研究（2）—せつ動解の適合性に関する実験—，京都大学防災研究所年報，第12号B，昭44，pp.607～631.
- 3) 土屋義人・山口正隆：有限振幅重複波理論による波圧の適用限界について（2），土木学会関西支部年次学術講演会講演概要，昭44，II—34.
- 4) 首藤伸夫：有限振幅の定常長波，第15回海岸工学講演会講演集，昭43，pp.212～219.
- 5) 合田良実・柿崎秀作：有限振幅重複波ならびにその波圧に関する研究，運輸省港湾技術研究所報告，第5巻10号，昭41，pp.1～50.
- 6) 石原藤次郎・岩垣雄一・三井宏：海岸堤防の越波防止効果について，第4回海岸工学講演会講演集，昭32，pp.99～109.
- 7) Iwagaki, Y., Y. Tsuchiya and M. Inoue: On the Effect of Wind on Wave Overtopping on Vertical Seawalls, Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Vol. 16, Part 1, No.105, 1966, pp.11～30.
- 8) 合田良実・竹田英章：不規則波に対する護岸の期待越波流量について，第15回海岸工学講演会講演集，昭43，pp.259～265.