

鉛直壁の天端高による部分重複波の水面変動と反射特性について

Variation of Water Surface Displacement and Characteristics of
Wave Reflection of Partial Standing Waves Facing a Vertical Wall.

落 合 実*、 遠 藤 茂 勝*

Minoru Ochiai and Shigekatsu Endo

The phenomenon of wave reflection caused by breakwater with vertical wall in the deeper depth than that of wave breaking point is a non-linear boundary problem, it has been examined experimentally using the water surface displacement in changes of vertical wall height. In order to get the data new digital water level recorder was used to record the water surface displacement and the heights of wave crest and trough from the still water level are obtained respectively.

As the results, it is found that the vertical wall in the water contribute to increase of trough level and the upper vertical wall from still water level contribute to increase of crest level of Partial Standing Wave.

Keywords : (partial standing wave, water surface displacement, reflection coefficient.)

1. まえがき

広い静穏海域の確保を目的として設けられる海域制御構造物の設置水深は、重複波の発生水深領域となるため入射面が鉛直壁である場合には著しい振幅の重複波が発生する。そのため、構造物の前面水域や周辺海域の静穏度を乱す恐れがあるため構造物の設置による周辺海域への影響を考慮する必要がある。

そこで本研究では、構造物の前面海域に影響を及ぼす要因となる構造物からの波の反射のメカニズムについて検討する、目的で、鉛直壁を持つ構造物を対象に、天端高さによる重複波の水面変動量との関連から、鉛直壁面での波の反射特性について検討しようとするものである。

鉛直の不透過壁面のように波の反射の割合の著しい構造物を設置すると非線形性の強い重複波が発生することや、また、それらの影響が水面変動に表れやすいことなどのため、微小振幅波理論に基づくHealyの方法などでは、反射率の推定にも問題があるので、ここでは反射率を検討するに当たり、一様水深の重複波の発生水深領域に、鉛直の不透過壁が設置されている場合の鉛直壁からの反射波による重複波の水面変動に着目し、鉛直壁の重複波への影響を

調べるものである。そのためにここでは、基本となる入射波や重複波の波高を計測するに当たって、単に振幅のみならず静水面を基準とした波のcrest levelとtrough level すなわち、波頂高と波底高にそれぞれ分けて計測し、それらの水位レベルの鉛直壁の天端高さによる変動量から鉛直壁の反射効果や反射特性などの検討を行なった。

2. 反射率について

不透過の鉛直壁面に波が入射し、その波の一部が反射し、うちあげそして越波となって背後水域へ伝達されるとき、その結果として鉛直壁面には部分重複波が生じる。このように鉛直不透過壁面での入射波と反射波による非線形干渉によって生じる重複波は複雑な現象となるため、理論値との整合性も良くなく、反射波高あるいは反射率の算定も十分とは言えない。そこで本研究では、波を単に振幅だけで扱うのではなく、静水面を基準とした波頂高 (crest level) と同じく静水面から測定した波底高 (trough level) に分けて計測することとし、入射波高については、あらかじめ測定した無堤時の入射波の波頂高および波底高を用い、また重複波についても同様

*正会員 日本大学生産工学部土木工学科 (〒275 習志野市泉町1-2-1)

に2つに分けて測定し、それら入射波と重複波の波頂高や波底高をもとに反射波の波頂高および波底高を推算し、それらの値の天端高の変化に対する結果から反射率などを検討しようとするものである。なお、ここでは、鉛直壁面の重複波高と1/2波長ごとに現れる重複波高はほぼ等しく、重複波高の壁面からの距離による違いは認められなかったので、全て鉛直壁面での実験結果によることとした。

本文では前述したように入射波、反射波および重複波について、それぞれ波頂高と波底高に分けて扱うこととし、それぞれ次のように表すものとする。

入射波について

$$\left. \begin{array}{l} \text{波頂高: } \eta_{iu} \\ \text{波底高: } \eta_{id} \\ \text{波高: } H_i = \eta_{iu} + \eta_{id} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

反射波について

$$\left. \begin{array}{l} \text{波頂高: } \eta_{ru} \\ \text{波底高: } \eta_{rd} \\ \text{波高: } H_r = \eta_{ru} + \eta_{rd} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

部分重複波について

$$\left. \begin{array}{l} \text{波頂高: } \eta_{ec} \\ \text{波底高: } \eta_{et} \\ \text{波高: } H_{ocla} = \eta_{ec} + \eta_{et} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

完全重複波について

$$\left. \begin{array}{l} \text{波頂高: } \eta_{emax} \\ \text{波底高: } \eta_{emin} \\ \text{波高: } H_{cla} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

ここで、反射波高については、入射波高と部分重複波高に関する実験結果より次のように求められる。

$$H_r = H_{ocla} - H_i \dots\dots\dots(5)$$

また、反射波の波頂高 η_{ru} および波底高 η_{rd} は次式で示されるものとする。

$$\left. \begin{array}{l} \eta_{ru} = \eta_{ec} - \eta_{iu} \\ \eta_{rd} = \eta_{et} - \eta_{id} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(6)$$

従って反射率 K_r は

$$K_r = H_r / H_i = \eta_{ru} / H_i + \eta_{rd} / H_i \dots\dots\dots(7)$$

で示される。

3. 鉛直壁面での部分重複波の反射特性

鉛直壁面を越波する部分重複波の反射率については、有限振幅重複波理論、Heelyの方法 および完全重複波と部分重複波の波頂高比など¹⁾ をもとに検討してきたが、ここでは、入射波や部分重複波の鉛直壁面での波頂高や波底高などの実験結果などに基づいて重複波水深に設置された鉛直壁面による越波を伴う重複波の反射特性について検討する。

3. 1 部分重複波の波頂高と波底高

鉛直壁の天端高の変化に対する壁面での部分重複波の波頂高と波底高の変動特性については、実験時の入射波高を1つの基準に取った結果などから一応の把握はできたが、ここでは、鉛直壁の高さが波の反射に及ぼす影響を検討するため、波頂高や波底高の入射波のそれぞれに対する増幅率を調べるものとする。それらの結果を示したものが図-1である。

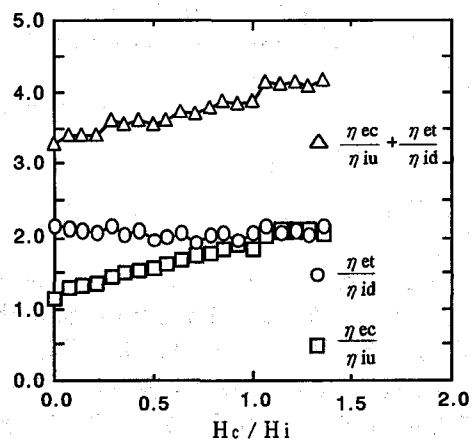


図-1 部分重複波の波頂高と波底高

入射波の波頂高や波底高は、鉛直壁の設置地点であらかじめ測定した無堤時の進行波としてのそれぞれの諸元を用いてまとめた。

この図は横軸に静水面上の天端高 H_c を入射波高 H_i で無次元化した値 H_c/H_i を取り、縦軸にはそれぞれ入射波の諸元である波頂高 η_{iu} および波底高 η_{id} で無次元化した部分重複波の波頂高、波底高で、この結果は入射波の波形勾配が、 $H_i/L=0.059$ のものであるが、天端高 $H_c/H_i=0$ の付近では波頂高は、 $\eta_{ec}/\eta_{iu}=1.2$ 程度となり入射波の波頂高よりわずかに増大しているものの、鉛直壁からの反射の影響は少ないが、鉛直壁の天端高が増大するとともに、壁面からの反射の影響が顕著となり、天端高が高く無越波となる天端高 $H_c/H_i \geq 1.1$ 程度になると波頂高は $\eta_{ec}/\eta_{iu}=2.0 \sim 2.2$ となり、重複波の波頂高が入射波の波頂高の約2倍となり、鉛直壁からの反射による波頂高の増大が裏付けられる。

一方、同様に波底高についても調べてみると天端高が $H_c/H_i = 0$ のとき、すでに波底高は $\eta_{et}/\eta_{id} = 2.2$ となっている。これは天端が低く、静水面にあるときでも入射波の波底高の2倍以上の値となっていて、波底高のみについて考えた場合、すでに十分な反射波が形成され、完全重複状態が形成されている。そして、天端高の増大に対しても波底高の変化は少なく天端高の変化にかかわらずほぼ一定で、越波状態から無越波にいたるまで、波底高の値は入射波の波底高の約2.0倍で、十分な反射状態が維持されていることを示している。すなわち、鉛直壁面での部分重複波においては、静水面を基準として波頂高は静水面から上の部分の鉛直壁に支配され、また波底高は、静水面より下の部分の鉛直壁の作用に支配されるような現象を示していて、ここで対象とした不透過の鉛直壁の場合では静水面以下の水中部分では十分な反射作用が生じているために波底高が著しく増大し crest level より、trough level が極端に低い部分重複波となっているものと考えられる。

また、天端高が静水面と一致しているときに trough level が著しく低下して、入射波高の波底高より大きくなっているのは、鉛直壁の天端が静水面の高さと等しいため、入射波の crest 部分が天端を越える時、流体の一部分が鉛直壁背後へ質量輸送されて水塊が戻らないために、その分の水位低下が生じているものと考えられる。このような現象は天端の高い潜堤の場合にも認められ、著者らの実験では $H_c/H_i = -0.5 \sim -0.7$ 程度の天端高となる潜堤領域でも同様な現象が確認され、この場合は部分重複波の crest level が著しく低下する。このように波頂高の低下や波底高の増大は、流体の質量輸送を伴う現象のために生じると考えられ反射による水位変動のほかに質量輸送に起因する水位変動量が関係すると考えられる。

3. 2 反射波の波頂高、波底高と反射率

反射波の波頂高および波底高は入射波および部分重複波の実験結果より(6)式で求められる。このように部分重複波の波頂高および波底高から入射波の波頂高や波底高を差し引いた値をそれぞれ反射波の波頂高や波底高と考えて、鉛直壁の天端高が変化する場合はそれぞれの変動を示したものが図-2である。この結果は横軸に天端高の無次元量 H_c/H_i をまた縦軸には反射率 H_r/H_i および反射波の波頂高 η_{ru}/H_i 、波底高 η_{rd}/H_i を示した。これらによれば、天端高が低く水面付近に天端がある場合ではやや大きな値をとるものの、天端が十分高く重複波が越波しない場合でも反射波の波底高はほぼ一定値となり、 $\eta_{rd}/H_i \approx 0.4$ 程度となっている。これに対して反

射波の波頂高について調べてみると鉛直壁の天端高が静水面にあるときでは、反射波の波頂高は入射波高の10~15%程度で反射の割合は極めて少なく、振動の大部分は水面以下の鉛直壁からの反射波の影響による波底の振幅の増大によるもので、いわゆる、うちあげ的な現象より越流するような現象になると考えられる。

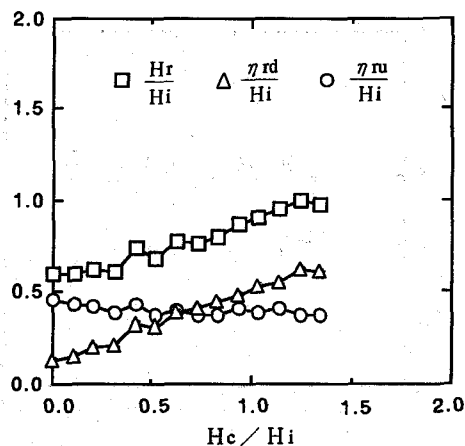


図-2 反射波の波頂高と波底高

また、静水面を基準とした波頂高と波底高の振幅がほぼ等しくなるのは鉛直壁の天端高が $H_c/H_i \approx 0.5$ 程度のときで、入射波の波高の1/2位の天端高になると重複波の振幅の波頂高と波底高がほぼ同じ程度となり、それより天端が高くなると天端高の影響を受けて波頂高のみが増大する傾向にある。そして反射波の波頂高は無越波になると最大に達し、その値は $\eta_{ru}/H_i \approx 0.6$ 程度となり、反射波の波頂高は入射波の約60%そして波底高は同様に約40%程度の値となる。

3. 3 入射波の波頂高、波底高と反射波の波頂高、波底高

鉛直壁からの反射波の割合を支配する要素は鉛直壁の天端高と入射波の特性である。そこで、まず反射波に最も関係する入射波の特性について調べる。本実験で対象とした規則波は入射波周期が $T = 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, 2.0 \text{ sec}$ の5種類の周期を持つ波でそれぞれの周期に対して、3つの波高の異なる波を用い、入射波高 $H_i = 2.80 \sim 13.95 \text{ cm}$ までの合計15種類の波で実験を行なった。入射波の波形勾配は $H_i/L = 0.014 \sim 0.058$ で相対水位深は $h/L = 0.097 \sim 0.167$ である。これらの波について鉛直壁を設置する前にあらかじめその設置地点で測定した波を入射波として、静水面を基準とした波頂高、波底高および振幅を測定した。造波機の波の再現性は周期に対

して1/1000secまでコントロールでき、またデジタル水位データ収録装置の水位測定精度は1/10mmである。そして鉛直壁としては厚さ0.6cmの鋼板を用い、天端高については静水面より無越波に至るまで1.0cm間隔で変化させた。また、入射波高についての波頂高および波底高についてまとめたものが図-3である。

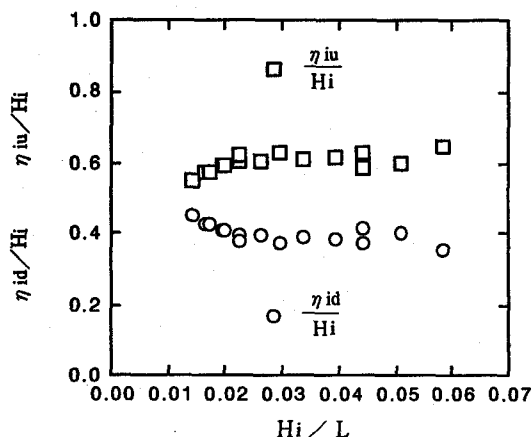


図-3 入射波の波頂高と波底高

この結果は、横軸に入射波の波形勾配 H_i/L をとり、縦軸には入射波の波頂高および波底高を入射波高で無次元化した値を取って示したものである。これによれば、入射波の特性として波形勾配の小さい波では、波頂高と波底高の差は少ないが、入射波波形勾配 $H_i/L=0.02$ より大きい波では全体として波頂高が波底高より大きく、波頂高の入射波高との比は $\eta_{iu}/H_i \approx 0.6$ 、波底高比は $\eta_{id}/H_i \approx 0.4$ 程度の波で静水面上の振幅の方がやや大きい波であった。

このような入射波による反射波の波頂高および波底高の測定結果の1例は図-2に示されているが、天端高のいかに関わらず反射波の波底高は平均で $\eta_{rd}/H_i=0.4$ 程度の値をとり、入射波の波底高の値に一致する。また波頂高も、天端が高く無越波となる時には、 $\eta_{ru}/H_i \approx 0.6 \sim 0.7$ となり入射波の波頂高と一致する。このように、波頂高も波底高も入射波のそれと一致することから、反射波の静水面以下の波底高や完全重複となる無越波時の波頂高は入射波の波頂高や波底高に依存しているものと推察される。従って、入射波の波頂高や波底高が重複波の波頂高や波底高に重要な要素となると考えられる。

特に図-2にみられるように本実験結果では反射波の波底高が天端が極めて低く、静水面付近にある場合でも、天端が高く無越波になる場合でもほとんど変化しないで一定値をとることから、波の反射による重複波の波底高は静水面以上の天端高に関係なく一定で、しかもその反射の割合は常に完全反射

の場合に等しい反射状態になっていると考えられ、重複波の波底高は、図-1より $\eta_{et}/\eta_{id} \approx 2.0$ 、また図-2より $\eta_{rd}/H_i \approx 0.4$ そして入射波の特性より $\eta_{id}/H_i=0.4$ となることを考え合わせるならば、 $\eta_{et}=0.8H_i$ となり、 $\eta_{rd}=0.4H_i$ より完全重複状態と考えられるがその場合でも波底高は波高分まで下がらないことがわかる。

3.4 部分重複波の波頂高および波底高に関する実験式と反射特性

鉛直壁の天端高が静水面より十分高く、重複波が越波しないときの完全重複波に関する実験および天端が低く、天端上を重複波が越波するときの部分重複波に関する実験結果をまとめた結果、重複波の波頂高や波底高について、次のような実験式が得られている。^{2) 3) 4) 5)}

$$\left. \begin{aligned} \eta_{ec} &= 0.65 \eta_{emax} + 0.35 H_c \\ \eta_{et} &= 0.05 H_c + 0.73 H_i \end{aligned} \right\} \dots\dots (8)$$

ただし、 η_{emax} は、天端が十分高く、無越波となる完全重複波の波頂高では次式で示される。

$$\eta_{emax} = [1 + (14.83 \cdot 52.81 h_i/L) \times H_i/L] H_i \dots\dots (9)$$

ここで、 h は鉛直壁の設置水深で L は進行波としての波長、また完全頂複波の波底高 η_{emin} は部分重複波と同じ結果になる。

(8)式で示される部分重複波の波頂高について考えてみると、波頂高は、静水面上の天端高が水面にある場合、すなわち $H_c=0$ のときでは、無越波で完全重複波となる波頂高の65%程度となり、入射波の特性で決まる。そして、静水面上の天端高の波頂高への影響は、静水面上の天端高の35%に相当する分だけ波頂高が増大し、波頂高の変化は鉛直壁の高さの増大による反射率の増加分として天端高によって変化することが示されて入る。

一方、部分重複波の波底高については(8)式によるが入射波の波高と鉛直壁の天端高に関係することが示されるが、天端高の影響としては、その高さの5%程度の効果しかなく、仮に天端高が入射波高程度になって $H_c=H_i$ となった場合でも波底高は入射波高の5%程度増加するだけで波底高に対する天端高の影響は、極めて少なく事実上無視することができるので部分重複波の波底高は、その大部分が入射波によって支配され、波底高は静水面上の天端高には、ほとんど関係なく、むしろ静水面以下の鉛直壁の作用

によって、支配されると考えられる。そして完全重複波となる場合を考えると、(8)式中の完全重複波の波頂高については、 $\eta_{emax} \approx H_i$ 程度と考えられること、また波底高の式の中端高は高くても一波高程度と考えて、 $H_c \approx H_i$ のときに無越波となるのでそれぞれを代入すると(8)式は(9)式のようにおくことができる。

$$\left. \begin{aligned} \eta_{ec} &= 0.65H_i + 0.35H_c \\ \eta_{et} &= 0.05H_i + 0.73H_i \\ &= 0.78H_i \end{aligned} \right\} \dots\dots(10)$$

また、図-3の入射波の特性より、入射波の波頂高 η_{iu} および波底高 η_{id} については次のように示される。

$$\left. \begin{aligned} \eta_{iu} &= (0.60 \sim 0.65) H_i \\ \eta_{id} &= (0.35 \sim 0.40) H_i \end{aligned} \right\} \dots\dots(11)$$

従って、(10)、(11)式より完全重複波の波頂高は鉛直壁への進行波としての入射波の波頂高 $\eta_{iu} = (0.60 \sim 0.65) H_i$ に静水面上の天端高の影響を加えたものと考えることができ、静水面以下の鉛直壁の影響は受けないものと考えられる。また波底高は同様に進行波としての入射波の波底高 $\eta_{id} = (0.35 \sim 0.40) H_i$ のほぼ2倍となっていて、静水面上の天端高には関係なく、入射波高のみに関係し、しかもその値は常に入射波の波底高の約2倍となり、入射波の波底高と同一の波高を持つ反射波の波底とが同じ位相で重複したような効果を示していて、完全反射のような現象を呈している。

3.5 鉛直壁の天端高と反射特性

重複波水深領域におかれた鉛直壁による波の重複現象について検討してきたが、これまでの検討の結果から鉛直壁の波の反射に及ぼす影響は静水面上の鉛直壁の天端高より、むしろ静水面以下にある鉛直壁の部分も波の反射に重要な役割を有していると考えられるので、鉛直壁が静水面以下、どの程度の深さまで影響を及ぼすかについて検討するため、潜堤状態の鉛直壁についても実験を重ね、それらについてまとめたものが図-4である。

この結果は、横軸に静水面を基準とした鉛直壁の天端高を、縦軸には完全重複波の波頂高 η_{emax} で無次元化した波頂高 η_{ec}/η_{emax} 及び同じく完全重複波の波底高 η_{emin} で無次元化した波頂高 η_{et}/η_{emin} を示したものである。横軸のマイナス領域は潜堤状態にあることを意味する。

この結果によれば、鉛直壁の天端高が低く H_c/H_i

$H_i = -0.7 \sim -0.8$ より低い鉛直壁の場合では、重複波の波頂高、波底高は図-3に示した進行波としての入射波の波頂高および波底高の結果とほぼ等しく鉛直壁からの波の反射の影響は認められない。しかし、鉛直壁の天端高が、 $H_c/H_i = -0.5 \sim -0.7$ 程度になると鉛直壁の影響による波頂高及び波底高の変動が認められる。特に重複波の波底高は著しい変動を示し、完全重複波の波底高とほぼ等しい値となるまで増大する。

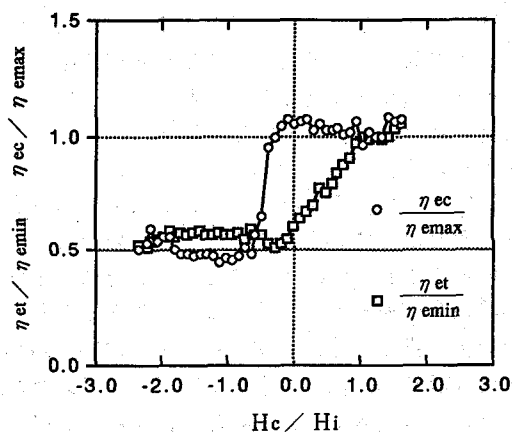


図-4 天端高と水面変動特性

しかし、波頂高は鉛直壁の天端高が $-0.5 \leq H_c/H_i < 0$ の範囲ではまだそれほど著しい変化は認められず、天端高が静水面より低く潜堤領域である場合には鉛直壁の波頂高に対する影響は無いものと考えられる。すなわち潜堤領域の鉛直壁は、まず重複波の波底高に影響を及ぼすことがわかる。

また一方、鉛直壁の天端高が水面より高く $0 \leq H_c/H_i$ の領域では天端高の増大とともに波頂高はほぼ直線的に増大するにもかかわらず、波底高への影響は認められない。

このように天端高が潜堤領域の場合には波底高が著しく変化し、また天端高が静水面より高い場合には波頂高が著しく変化することから、鉛直壁の静水面以下の部分からの波の反射は波底高に影響し、静水面以上の天端の部分からの波の反射は波頂高に影響を及ぼし、鉛直壁による波の反射メカニズムを考える場合、静水面を境とした水中部分の波の反射と静水面上の天端高による波の反射とに分けられ、静水面を境界とした2つの領域に分けて考えることができるものと思われる。

4. 結 論

本論では鉛直な不透過壁が重複波水深領域に設置された場合の壁面に沿う部分重複波の水面変動から

波の反射特性について、入射波の水面変動特性を基準として検討を行なったが、それらの結果を要約すると次のようにまとめられる。

(1) 鉛直壁面に生ずる部分重複波の天端高の増大に対する波頂高の傾向について、入射波の波頂高に対する比をとって調べてみると図-1に示されるように、それらの結果は、天端高の増大とともにほぼ直線的に増大し、天端が高く、無越波状態になると入射波の波頂高の約2倍となる。一方、部分重複波の波底高は鉛直壁の天端高が静水面にあるときでも入射波の波底高の約2倍程度となり、この値は天端高の増大に対してもほとんど変化せず一定値を取り無越波となる完全重複波のときも同じ値となることから波底高は常に完全重複波状態となっているものと考えられる。

(2) 実験では、入射波の条件として波頂高および波底高がわかっているので部分重複波のそれぞれから入射波のそれぞれの値を差し引くことにより反射波の波頂高や波底高を求めることができるので、鉛直壁の天端高の変化に対するそれらの傾向を調べるために入射波の波高に対する無次元量を求めた結果、図-2に示されるように反射波の波頂高は、静水面に天端があるときでは、鉛直壁からの反射作用が少ないため、波頂高はきわめて小さい値となっているが天端高が増大するとともに増大し、無越波状態になると、入射波高の約60%程度の値となる。これに対して反射波の波底高の方は天端高の変化にかかわらず常に一定値となり、入射波高の約40%の値を示す。これは入射波の波底高と同じ量でその上完全重複波となる高い天端のときの値とも一致する。

(3) 入射波の特性としての波頂高や波底高は、図-3に示されるが、入射波高に対する波頂高は、約60~65%であるのに対して波底高は入射波高の35~40%で静水面を基準とした波形としては峰高の方がやや大きい値となる波である。このような結果と(2)で述べた反射波の結果をまとめると鉛直壁の天端が静水面にあるときでも、反射波の波底高は入射波の波底高と等しい値をとり、また無越波状態の完全重複波となる時の反射波高は、入射波高と一致することから考えて、鉛直壁の天端が低い時でも水面下の鉛直壁からの反射の状態は完全反射の状態に近い現象となっているものと考えられる。

(4) 鉛直壁面に生じる部分重複波の波頂高や波底高に関する実験式によれば、鉛直壁の天端高の増大に対して波頂高は入射波の波頂高に静水面上の天端

高の35%を加えた程度の値となり、また波底高は天端高の変化に無関係で入射波高の約80%程度の値となっている。

(5) 本実験で行なった図-4に示す鉛直不透過壁に関する潜堤領域を含んだ実験結果を総合すると重複波の波頂高および波底高が変化し始めるのは、鉛直壁が潜堤領域にあり、天端上水深が入射波高のおよそ0.5波高程度になると鉛直壁からの反射波あるいは流体の波による質量輸送のため影響を受け始め、波頂高は天端高の増大とともに増大していく。また波底高も同様に、天端上水深が0.5波高程度になると鉛直壁の影響を受けるが、その波底高への影響は波頂高に対するよりも著しく顕著で、ほぼ無越波の完全重複波状態の振幅まで達し、鉛直壁の波底高への影響は大きいことがわかる。

以上のことから鉛直壁の入射波に対する影響は波頂高に対するよりも波底高に対する影響が大きく、鉛直壁による波の反射に対する影響は静水面を基準として、水中部分の壁面の影響は波底高に、また静水面以上の天端高の影響は波頂高に表われるので、鉛直壁からの波の反射を考える場合、水中部分の影響と静水面以上の部分の影響に分けて考えることができるものと思われる。

参考文献

- 1) 遠藤、落合：鉛直壁を持つ海域制御構造物の壁面での部分重複波の水面変動と反射率について、海洋開発論文集、Vol.7, pp.19~24, 1991
- 2) 遠藤、落合、三浦：重複波の水面変動特性について、第27回海講論文集、pp.75~79, 1980
- 3) 遠藤、落合、三浦：越波のある場合の重複波の波頂高について、第28回海講論文集、pp.320~324, 1981
- 4) 遠藤、落合、三浦：ステップ型天端を有する海域制御構造物の計画と越波制御機能について、海洋開発論文集、Vol.5, pp.303~308, 1989
- 5) 遠藤、落合、三浦：ステップ型天端を有する海域制御構造物の越波制御機能と反射特性について、海洋開発論文集、Vol.6, pp.137~142, 1990