

二重潜堤碎石の流水による安定性について

Stability of Armor Stones on Doubly Placed Submerged Breakwaters Due to Ice Floes Action in Wave Field.

早川知子・北村泰介・佐藤正樹・木下千里・渡部靖憲・佐伯 浩

T.Hayakawa*, T.Kitamura**, M.Sato***, C.Kinosita****, Y.Watanabe****, H.Saeki****

It is clarified that doubly placed submerged break waters reduce the incident wave height effectively where the tidal range is small.

Coastal structures constructed in Ohotoku Sea coast of Hokkaido have been attacked by water waves and drifting ice floes. In this paper, the authors clarified the stability of armor stones on doubly placed submerged breakwaters which are attacked by waves and ice floes through systematic experiments.

1. はじめに

現在、海岸保全施設としては、景観性、親水性、耐久性等から人工リーフあるいは人工リーフと緩傾斜護岸の組合せが望ましいとの方向に向かっている。しかし、人工リーフは建設費が高いこと、施工期間が長いこと、広範囲の水域を占有することなどから漁民の同意を得にくいなどの欠点がある。そのような欠点を克服するため、著者等は、新たに二重潜堤構造の海岸保全施設を提案し、その水理機能に関する系統的な実験からその妥当性を確認した(佐藤ら, 1992)。しかし、この二重潜堤を北海道沿岸オホーツク海に建設する場合には、流水の影響を考慮しなければならない。

本研究は、二重潜堤近傍の流水の運動形態、波浪と流水共存場での二重潜堤近傍の流水の運動形態、波浪と流水共存場での二重潜堤の安定性および、遊水部の水産生物への流水の影響等を実験により明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

二重潜堤を海岸保全としての施設と水産資源増大のための施設と位置付けるならば、十分な消波機能を有する必要がある。これまでの二重潜堤の系統的な実験結果により、潜堤間隔は広くまた天端水深は、1/30～1/40の縮尺で4 cm以下が望ましいとの結論を得ている。そこで図-1に示す長さ24.0 m、幅1.0 m、高さ1.0 mの2次元造波水路において、実験可能な模型として図-2のような二重潜堤断面により実験を行った。両潜堤の天端幅は20.0 cmとし、沖側潜堤の沖側法勾配はブロック等の安定性を考慮して1:3と1:1.5とし、他の法勾配は1:1とした。被覆には1/30の縮尺で実規模3.8 tに相当する、1個平均140 gの割石を用い、各設置水深、各波高および各周期について、波のみによって割石が飛散しないことを確認した。また天端水深は0, 2, 4 cmとし、それぞれ的水深は13.0, 15.0, 17.0 cmとした。波の周期は日本海とオホーツク海の波浪条件を考慮して1.10秒と1.83秒としたが、これはフルードの相似則に基づいた1/30縮尺で、現地では6秒と10秒に相当する。波高に関して

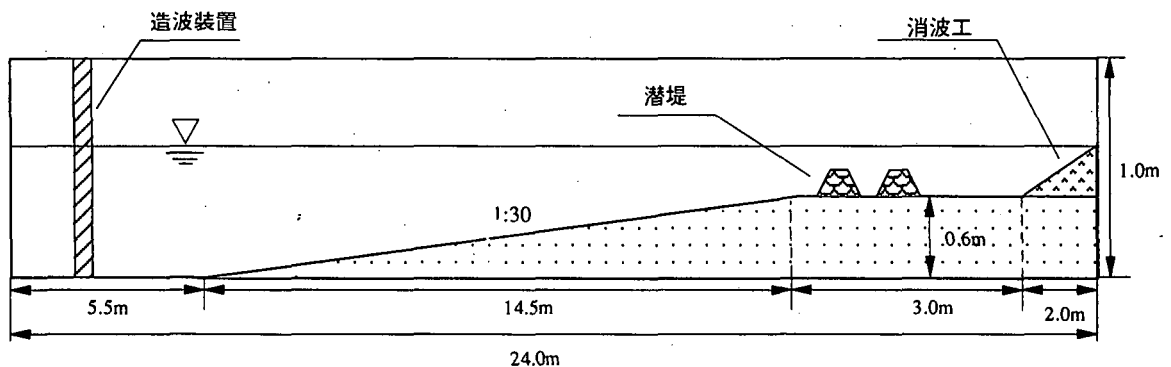


図-1 実験装置

- * 株式会社エコニクス
 ** 正会員 北王コンサルタント株式会社
 *** 正会員 株式会社西村組
 **** 正会員 北海道大学大学院工学部研究科沿岸海洋工学 (001 札幌市北区北15条西8丁目)

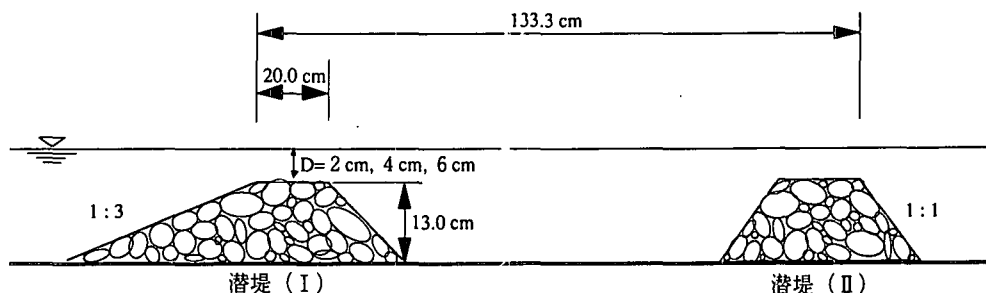


図-2 二重潜堤の模型概略図

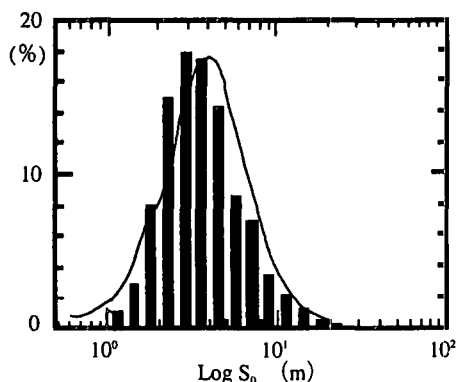


図-3 流水の頻度分布と指数正規分布
(宇登呂海岸)

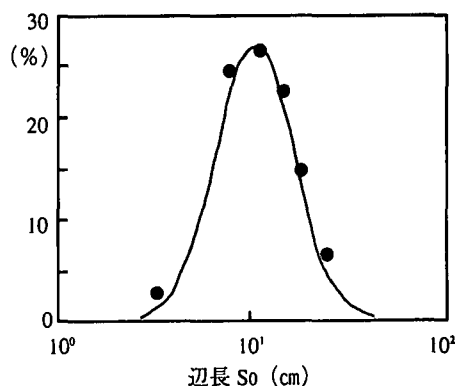


図-4 模型氷の頻度分布

は、冬期オホーツク海においては海面が流水で覆われると波高が減衰することと、二重潜堤の設置水深が浅いことから2 cm～9 cmを実験波高として選択した。これは現地換算で60 cm～270 cmに相当する。また、実験に用いた流水の模型については、国松等(1993)の宇登呂海岸オホーツク海の北海道沿岸部の氷盤の大きさおよび厚さの調査結果に基づいて形状および辺長を決定した(図-3)。図中、矩型とした時の換算辺長を S_0 とする。実験に用いた模型氷は辺長を3, 7, 10, 13, 16, 21.7 cm(図-4)とする矩型で、厚さは辺長21.7 cmの模型氷のみ1.6 cm, 3.2 cm, 4.8 cmでその他の辺長の模型氷は1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9 cmとした。まず、流水の個々の氷盤の大きさや厚さが二重潜堤に与える影響を知るために、上記の模型氷1個を潜堤Ⅰから十分に離れた沖側に投入し、3分間での越氷の有無、潜堤に用いた割石の破壊および飛散状態を調べた。これを実験Ⅰとする。なお模型氷盤の材質は比重0.9のポリプロピレン板で、海水と比較して弾性率が大きく、潜堤材料に用いた割石との衝撃力が大きくなるため、まわりをビニールテープで巻き、衝撃力が小さくなるようにしたが、実際の流水に比べて設計上安全側の実験結果となる。次に実験Ⅰと同様の辺長で、厚さが辺長3 cmの場合は1 cm、他の辺長の模型氷は2 cmとし、3 cm～21.7 cmの氷盤の数の比率を3, 25, 27, 23, 15および7%として、総数182個の模擬氷盤の実験を行い、二重潜堤近傍の堆積状態、割石の破壊および飛散状態を調べた。これを実験Ⅱとする。

3. 結果および考察

3.1 個々の流水の影響について

図-5は模型氷の辺長と厚さを変化させた場合の越氷の有無を調べた一例である。実験は同一条件で5回ずつ行い、沖側潜堤(以下、潜堤Ⅰとする)を越えない場合を×、潜堤Ⅰ上で停止した場合を△、越えた場合を○、岸側潜堤(以下、潜堤Ⅱとする)上で停止した場合を▲、潜堤Ⅰ,Ⅱを越えた場合を●とし、そのなかで優占する越氷状態を代表値とした。図中で、 D は潜堤の天端水深、 H_0 は沖波波高、 t は氷厚、 S_0 は矩型氷盤の辺長、 L_0 は沖波波長である。前述したように、同一条件で5回の実験を行った。本ケースの場合、破線より上の範囲では、潜堤Ⅰ,Ⅱとも越氷し、実線より下の範囲では潜堤Ⅰを氷盤は越えることができないことを示している。また、同一条件で5回実験を行ったが再現性は極めて高いといえる。

図-6は、図-5で示した方法で決定した代表値を用い、流水の移動、越氷制御と二重潜堤における割石の飛散限界を示したものである。図中、横軸に天端水深 D と沖合波高 H_0 の和を模型氷厚 t で除したものを、縦軸に模型氷重量 W_i を割石平均重量 W_s で除したものをとった。記号は図-5で決定した代表値を示し、記号の右肩に5回の実験で飛散した割石数の平均値を示した。

(1) 周期の効果について(周期 $T=1.83\text{sec}$ と 1.10sec)

図-6(a), (b)に示した周期1.83秒と周期1.10秒の結果について比較する。両条件とも潜堤Ⅰの沖側法勾配が1:3で天端水深 D が0 cmである。図中、実線で囲まれる領域が潜堤Ⅰを越えない範囲で、破線で囲まれる領域が両潜堤を越える領域である。図から明らかなように、周期の短い方が潜堤の流水移動制御効果が大きい。ま

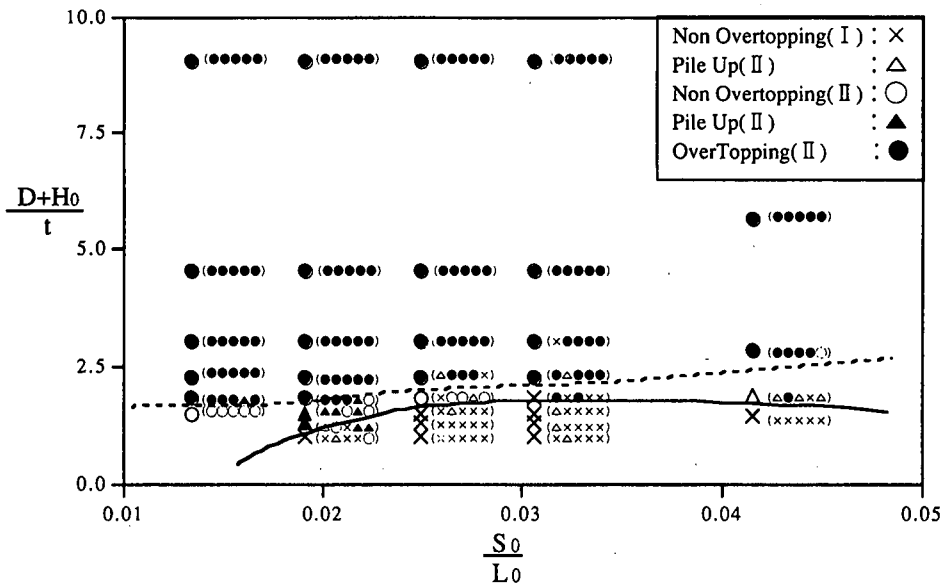


図-5 超氷特性 ($T=1.83s$, $D=0cm$)

た周期が長い方が制御範囲が狭く、割石の被害については周期の短い方が大きい。これは周期の大きい方が反射率が大きいので氷盤が重複波にのった動きをしたためだと思われる。また、割石の被害を受ける範囲は、氷盤を浸入制御できる範囲にほぼ一致している。これは潜堤法面にそって氷盤が運動する時、特に引き波の際に氷盤が下がる時、割石にひかかり、石を落下させるからである。

図-6 (c) と (d) に示した周期 1.83 秒と周期 1.10 秒の結果は、両条件とも法勾配が 1 : 1.5、 $D=0cm$ である。この結果も図-6 (a), (b) と同様であった。

(2) 法勾配の効果について (1 : 1.5 と 1 : 3)

- $D=0cm$, 波形勾配 $H_0/L_0=0.017$ の場合 ($T=1.83sec$)

図-6 (a) と (c) を比較すると移動制御範囲に関しては法勾配 1 : 1.5 と 1 : 3 で殆ど差がないが、若干 1.5 の方が制御効果がよい。また、完全な制御範囲で割石の飛散がみられ、 $(D+H_0)/t$ が小さく、 W_i/W_s が大きい程顕著である。

- $D=0cm$, $H_0/L_0=0.048$ の場合 ($T=1.10sec$)

図-6 (b) と (d) を比較すると氷盤の移動制御効果は 1 : 1.5 の方が良いが大きな差は認められなかった。I, II の潜堤を越える範囲ではブロックの被害がなかった。また $H_0/L_0=0.017$ と同様に $(H_0+D)/t$ が小さく W_i/W_s が大きい程ブロックの被害が大きくなるが、一方制御効果は高くなる。

(3) 天端水深の効果について ($D=0, 2, 4cm$ 無次元天端水深 $D/H_0=0, 0.22, 0.44$)

- $T=1.83, H_0/L_0=0.048$ の場合

同一周期 ($T=1.83sec$)、同一法勾配 (1 : 3) の図-6 (a), (e) と (f) を比較すると D/H_0 が 0.22 以下 ($D \leq 2.0cm$) の場合、移動制御範囲が広いが被害が大きくなる。一方、 $D/H_0=0.44$ ($D=4cm$) の場合は逆に $(D+H_0)/t$ が大きい程制御される。これは氷盤が潜堤 I の前面に形成される重複波にのり、潜堤に近づけない状態になっているからである。割石の被害は D/H_0 が 0.22 以上で殆どなく、 D/H_0 が 0 になると急激に大きくなる。これより天端水深が小さいほど移動制御効果が高く海岸保全のためには良いが、一方ブロックの被害は大きくなり安定性が悪くなるといえる。

- $T=1.10, H_0/L_0=0.0086$ の場合

図-6 (b), (j) と (k) を比較すると D/H_0 が 0 のとき $(D+H_0)/t$ が小さい方に移動制御効果がみられるがブロックの安定性は悪い。また D/H_0 が 0.22 以上の場合は $(D+H_0)/t$ が大きい方にも制御可能範囲が出現する。

- $T=1.83, H_0/L_0=0.0086$ の場合

図-6 (g), (h) と (i) を比較すると D/H_0 が 0.44 以上の場合 $(D+H_0)/t$ が大きい程、移動制御効果がよく、重複波の影響が示唆される。また D/H_0 が 0 の場合は移動制御範囲が大きい。被覆ブロックの被害については D/H_0 が 0.44 以上で安定し、 D/H_0 が 0 で被害は大きくなる。

以上、天端水深が小さくなる程、ブロックの安定性が悪くなるのは波長のみの場合と一致する。

3.2 流水の二重潜堤近傍の堆積および越氷状況について

以上、単独の氷盤の越氷状況とそれによる潜堤に用いられている割石の安定性について述べてきたが、ここ

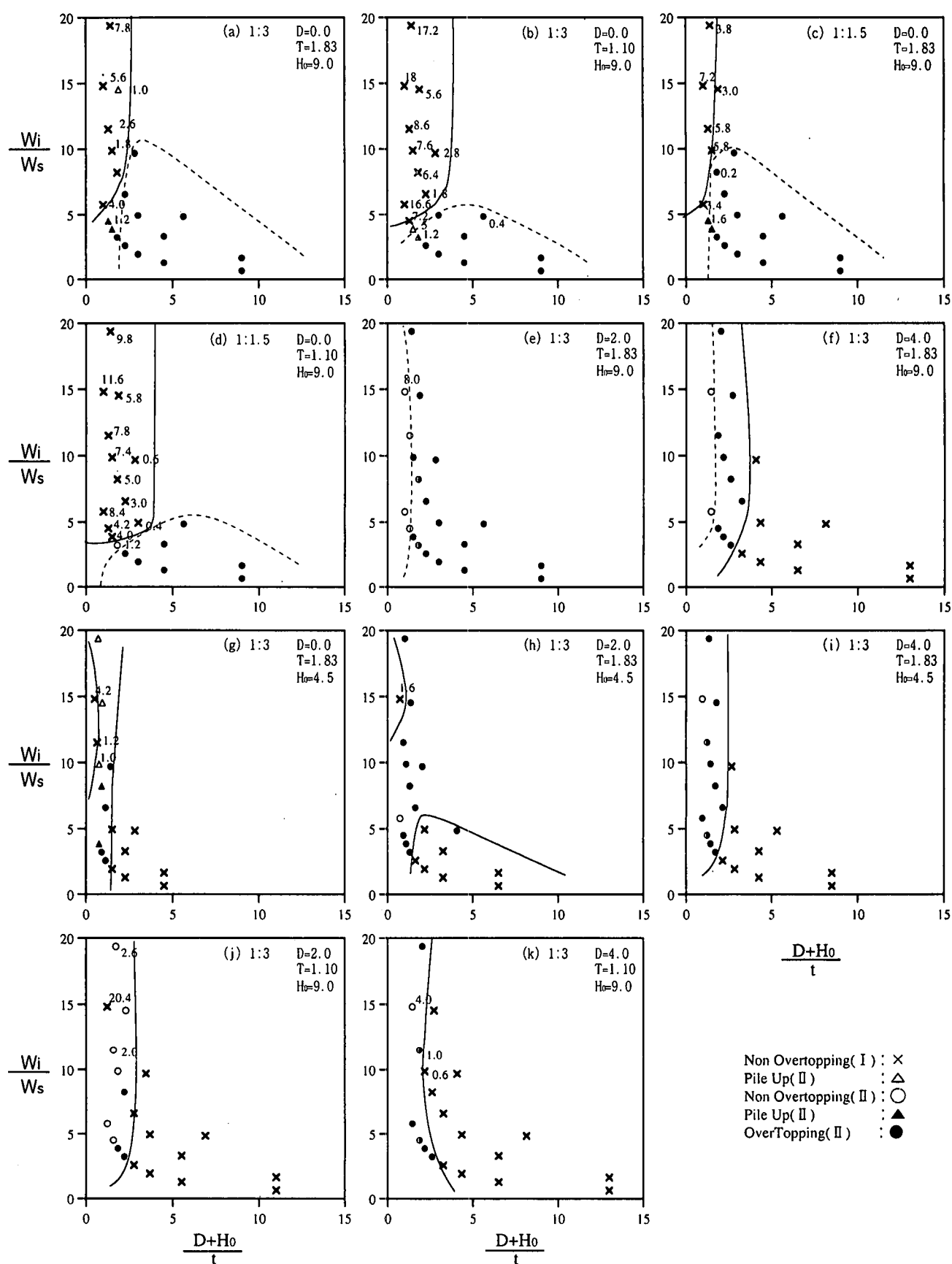


図-6 氷盤の越氷範囲と制御範囲

$T = 1.83 \text{ (sec)}$
 $D = 0.0 \text{ (cm)}$

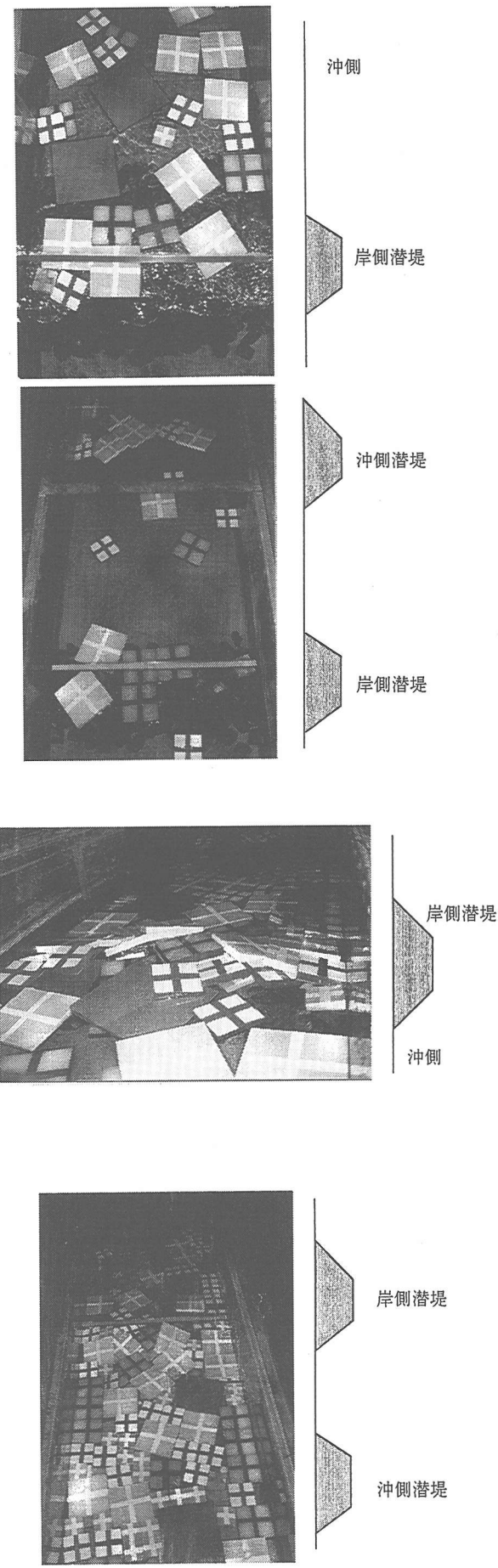
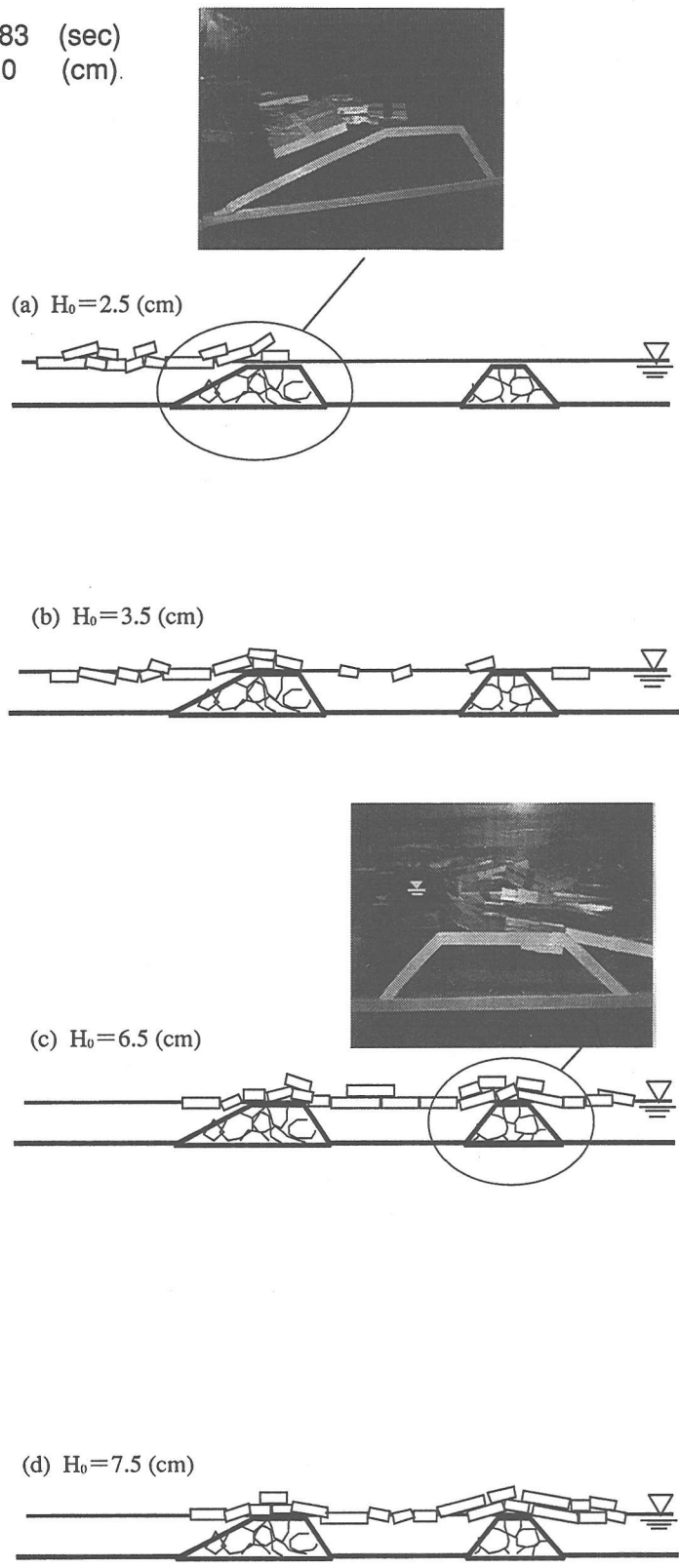


図-7 流水群の二重潜堤超氷状況概略図

では流水群の潜堤上への堆積 (Pile up) と越水 (Overtopping) 状況の実験結果について述べる。本実験においては、前述したように、実際の氷盤の大きさ、厚さの調査結果に基づいて、それにより模型氷を作製して実験を行った。その一例を図 7 に示す。これは周期が 1.83sec で天端水深 D が 0 cm、法勾配が 1 : 3、沖波波高 H_0 を 2.5, 3.5, 6.5 それに 7.5 cm と変化させたものである。 $H_0=2.5$ cm の場合 (図-7 (a))、6 つの辺長の氷 (3.0, 7.5, 10.0, 13.0, 16.0, 21.7 cm) いずれも潜堤 I を越えることはできなかった。これは、比較的大きな氷が潜堤 I 上に Pile up するため、それが背後の氷盤の侵入を防いでいた。

次に沖合波高 H_0 が 3.5 cm の場合 (図-7 (b)) 辺長 S_0 が 13 cm 以下のものについては、潜堤 I を越えて一部岸側に侵入したが、中規模の辺長の氷 (7.5, 10.0, 16.0 cm) が潜堤 I の上に Pile up した後は氷の侵入は停止した。

次に沖合波高 6.5 cm の場合には、全ての辺長の氷が潜堤 I を越え、潜堤 II の背後 (岸側) を埋めつくし、さらに両潜堤間も埋めつくす状態であった。この結果は沖波波高が 7.5 cm の時も同様であった。つまり、沖合波高が 6.5 cm 程度より大きくなると、氷盤群に作用する波の漂流水のため、氷盤は沖から岸側に押されることになり、両潜堤間および潜堤 II の背後を埋めつくすまで侵入を続けることになり、単独の氷盤の場合より、潜堤を越えやすいことになる。但し、この潜堤間および潜堤背後の氷盤は波浪による漂流力によって岸側に押されている状態であるため、潜堤 I の背後の個々の氷盤の鉛直方向、水平方向の動きは極めて小さいことが明らかとなった。これは、この水域に存在する水産資源に大きな影響を与えないことを意味している。

4. 結論

- (1) 実験 I の個々の氷盤を用いた実験で、同一の法勾配で同一の天端水深の場合、周期は短い方が潜堤の流水の移動制御効果が高いが割石の被害が大きい。
- (2) 実験 I において同一の周期で同一の天端水深の場合、法勾配は 1 : 3 より 1 : 5 の方が若干移動制御効果が高い。
- (3) 実験 I において同一周期、同一法勾配の場合、天端水深が小さいほど移動制御効果が高いが、被覆ブロックの被害が大きくなり安定性が悪くなる。
- (4) 実験 II の複数個の氷盤を用いた実験では、沖波波高が約 6.5 cm 以上で全ての氷盤が沖側潜堤を越水する。また、越水した氷盤の鉛直方向、水平方向の動きは極めて小さい。

この二重潜堤は、潜堤間に割石を投入してコンブやウニ等の漁場として有効に利用することが、その開発の目的の 1 つとなっている。一般にオホーツク海沿岸のコンブやウニ等の被害の原因は、波浪により運動する氷盤によって、コンブが岩礁より削り取られたり、ウニが圧死したり坊主になるといわれているが、二重潜堤を設置すると潜堤間および潜堤 II の背後の氷盤の動きはほとんどなく、ましてや氷盤が海底に接することも全く観察されなかった。

よって、著者等が開発した二重潜堤は、潮位差の小さい海岸であれば、海岸保全機能は通常の人工リーフと同程度が期待され、さらに砂浜海岸では、潜堤間に割石等を投入することにより、水産資源の生産向上に寄与でき、流水の被害も著しく軽減することが可能なことが明らかとなった。

参考文献

- 1) 国松 靖, 原 文宏, 高橋良正, 佐伯 浩, 榎 国夫, 今泉 章: オホーツク海沿岸部の流水氷の大きさに関する研究, 海洋開発論文集, vol.9, pp.95-100, 1993
- 2) 水野雄三, 六本木宏一, 佐伯 浩, 秋原真哉, 堺 茂樹: 海水の人工リーフに及ぼす影響に関する研究, 海洋開発論文集, vol.8, pp.165-169, 1992
- 3) 佐藤正樹, 川合邦宏, 北村泰介, 宮部秀一, 佐伯 浩: 二重潜堤による波高減衰効果に関する実験的研究, 海洋開発論文集, vol.12, pp.273-278, 1992
- 4) 早川知子, 木下千里, 佐藤正樹, 北村泰介, 渡部靖憲, 佐伯 浩: 二重潜堤の流水による安定性について, 寒地技術論文・報告集, vol.12 (1), pp.583-590, 1996