

# 波浪利用による海水導流について

中村 充\*・乃万俊文\*・萩野静也\*\*・坂下 薫\*\*\*

## 1. 緒 言

岩手県北部の種市海岸には軟岩の岩棚(D.L.+0.30m)が発達しているが、そこには雑海藻が散在するだけで漁業生産は低いままに放置されていた。この岩棚の水産的開発をはかるため、ここに干潮時にも干出ししない部分を設け水産生物に棲所を賦与する計画がある。具体的には幅 3~4m、深さ 0.6m 程度の溝を掘り、コンブ、ワカメを繁茂させ、アワビ、ウニを増やそうという増殖事業を計画している。しかし、水産生物の棲所としては、単に干出ししないことの外に水温維持、栄養塩補給などの目的で海水の流動が必要である。その大きさ等は対象とする水産生物(対象種)によって定まる。

ここでは海水流動のためのエネルギーを外海に常時存在するうねりに求め、これを鉛直および水平方向に収束させ水の滞積、波のうちあげ等により海水流動をおこさせようとするものである(勿論沖に大きな波のある場合は、海水流動は十二分に行われる)。

そのため図-1に示すような構造を溝入口に設ける。このような狭さくによって波のエネルギーは碎波点までは収束させられ海水の滞積、越流がおこる。この場合の碎波点の位置、碎波高、越流水深など越流量に関係する諸要素はこれまでの海岸工学研究で一応その成果は得られて

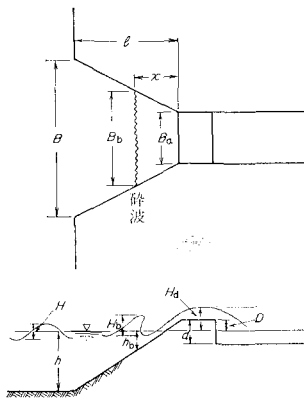


図-1 エネルギーの収束と碎波

いる。しかし、ここではそれらを総合しての応用という立場から水理模型実験を行い流量算定式を得、また、現地調査において海藻の繁茂している場合の粗度係数を実測し、計画設計に一貫性をもたせた。

今回は斜面勾配 1:10 の場合について報告する。

## 2. 実験の方法

実験は幅 2.4m×長さ 30m×深さ 1.0m の造波水槽で斜面勾配 1:10 とし、水平狭さく  $B/Ba$ 、堰上げ高  $D$  を変化させて行った。溝は基本的に幅 1.0m とし水平狭さくによっては堰部の幅員のみをしぼった。

造波水槽の一端に設置したフラップ型造波機(5P<sub>3</sub>)で波をおこすと、入射波は斜面上で碎波し堰を越流し、溝を流下し水槽のもう一方の端に設けた計量槽に入る。測定項目は、

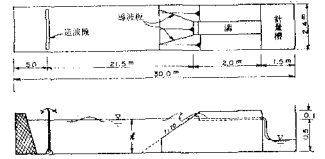


図-2 実験水槽模式図

入射波諸元、碎波諸元、越流水位  $H_a$ 、越流量  $q_c$  などで、波は容量型波高計で、越流水位は堰上に同型波高計を設置して、また、越流量は計量槽の水位差から計算して求めた。なお、碎波点については造波機の周期およびストロークをセットした後予備テストで碎波位置を確かめここに波高計を設置した。

実験の組み合わせは次のとおりである。

波高 $H$	0.75~5.4 (cm)	前面水深 $h$	(50), 53, 54.5 (cm)
周期 $T$	2 ~2.65 (sec)	堰高 $d$	(0), 5 (cm)
波長 $L$	3.02~5.47 (m)	堰上げ高 $D$	0.5, 2 (cm)
$H/L$	0.0016~0.0141	水平狭さく $B/Ba$	1, 2, 4, 6

## 3. 実験結果およびその考察

実験において碎波点は入射条件以外に水平狭さくによっても移動し、狭さくが大きくなるにつれて碎波水深は大きくなる。堰を越流した波は孤立波状で徐々にその波高を減衰させながら溝を進行する。このことは後述するように海藻の繁茂した現地溝とは異なる。

### (1) 碎波条件およびその特性

鉛直および水平方向に狭さくを受ける場合の波高変化は碎波点まではグリーンの定理と同様に沖測を通過する入射波エネルギーと碎波点を通過するエネルギーは等しいとして、

$$\frac{w}{8} H^2 B C_G = \frac{w}{8} H_b^2 B_b C_{Gb} \dots\dots\dots (1)$$

\* 正会員 農業土木試験場水産土木部  
 \*\* 農業土木試験場水産土木部  
 \*\*\* 岩手県漁業振興課

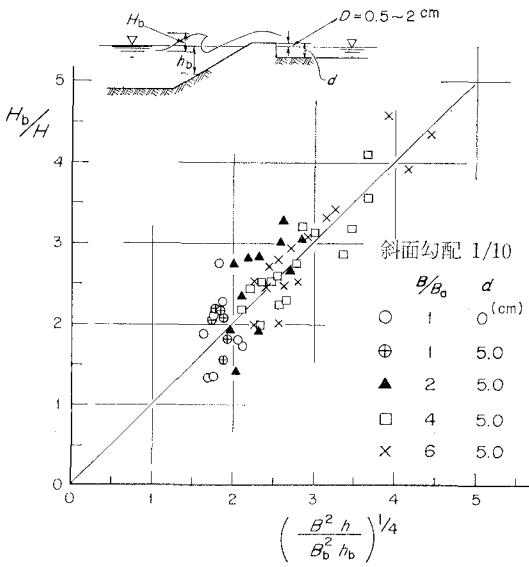


図-3 砕波条件

ここに、 $H, H_b$ : 入射および砕波波高、 $C_G, C_{Gb}$ : 入射および砕波のエネルギー輸送速度、相対水深  $h/L$  が小さいとき  $C_G = \sqrt{gh}$ 、 $C_{Gb} = \sqrt{gh_b}$ 、 $B, B_b$ : 狭さく始点開口幅および砕波点幅、 $w$ : 水の単位容積重量、 $g$ : 重力の加速度、

式(1)から式(2)を得る。

$$\frac{H_b}{H} = \left( \frac{B^2 h}{B_b^2 h_b} \right)^{1/4} \dots\dots\dots (2)$$

これは図-3によってほぼ満足されていることがわかる。

砕波水深と砕波高の関係は  $H_b/L$  の小さい範囲 ( $< 1.0 \times 10^{-2}$ ) では孤立波理論に近いが、その値が大きくなるとこれよりも小さくなる。そこで  $H_b/L$  の小さい

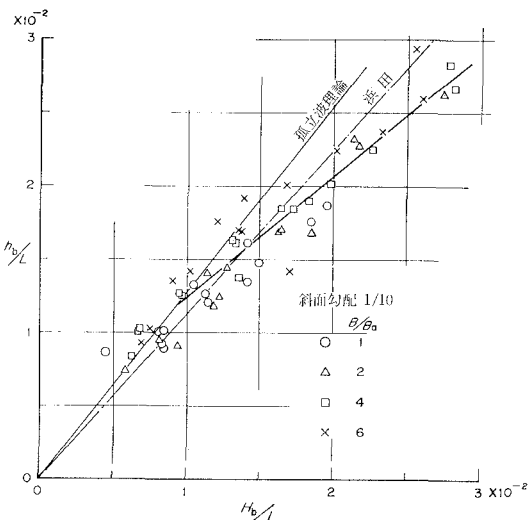


図-4  $h_b/L$  と  $H_b/L$  の関係

範囲では孤立波理論、大きい所では別の一次式に近似できるとして実験データを解析して式(3)を得た。

$$\left. \begin{aligned} H_b/L < 0.01 \quad h_b = 1.28 H_b \\ H_b/L \geq 0.01 \quad h_b/L = 0.83 H_b/L + 0.0042 \end{aligned} \right\} (3)$$

この関係を図-4に示す。図には浜田<sup>2)</sup>の式も示してあるが、この実験の範囲では直線近似の方が誤差が少ないようである。

図-5は実験の中から水平狭さくのない場合を抜き出して新砕波指標<sup>3)</sup>と比較したものである。図において新指標の実線以外は著者らが合田の論文<sup>3)</sup>42頁図-4のデータ、中村ら<sup>4)</sup>のデータおよび今回実験のデータをもとに描いたものである。

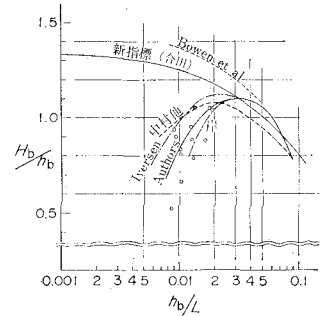


図-5  $H_b/h_b$  と  $h_b/L$  の関係 (斜面勾配 1/10 の場合)

これから斜面勾配

1/10の場合、 $h_b/L = 0.03$ 付近で  $H_b/h_b$  が最大 ( $\approx 1.1$ ) となるといえる。その原因は斜面勾配が 1/10 では打上げ波と戻り流れとの干渉によるものと考えられる。

(2) 越流水位

砕波直後における段波状波峰先端における鉛直面と堰

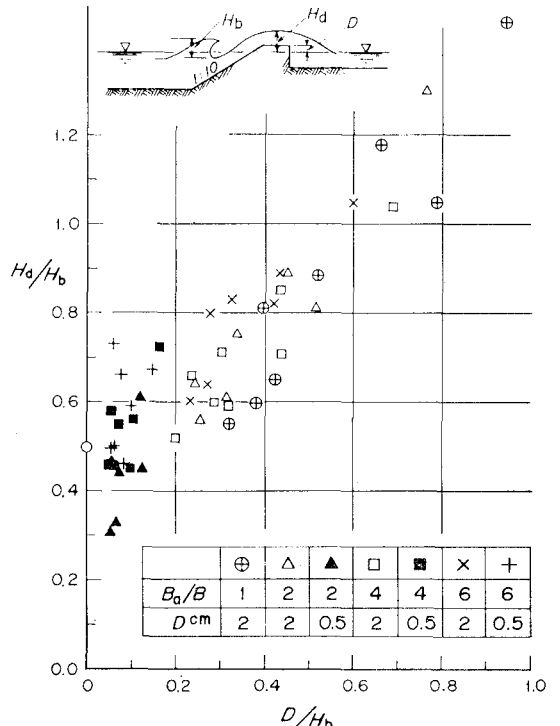


図-6 越流水位と堰上げ高

頂における鉛直面とを検査面にとって運動量を考察すると越流水深  $(H_a - D)$  は碎波高に關係する。これを示したのが 図-6 である。図においてばらつきは多いが、越流水位  $H_a$  は水平狭さくによって少し増加させられるようである。しかしその程度はそう大きいものでない。

(3) 越流量

堰上を水深  $0 \sim (H_a - D)$  と周期的に変化しながら越流し、溝においては孤立波として波高を減衰させながら進行する。堰の平均越流量は単位幅当り、

$$q_e = \bar{u}(H_a - D) \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 $\bar{u}$  は平均越流速で次式で与えられる。

$$\bar{u} = \beta K \sqrt{g(H_a - D)} \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 $\beta$  は堰上の最大流速に対する平均流速比で

$$\left. \begin{aligned} \beta &= \frac{1}{T} \int_0^T \frac{u}{u_{\max}} dt \\ u_{\max} &= K \sqrt{g(H_a - D)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

$K$  は水平床上で前面水深  $0$  の場合  $K=1.75$  である。

式 (4), (5) から

$$q_e = \beta K \sqrt{g(H_a - D)^3} \dots\dots\dots (7)$$

式 (7) に関する実験値を図示すると 図-7 のようになり、図より、

$$\beta K = 0.3 \dots\dots\dots (8)$$

を得る。

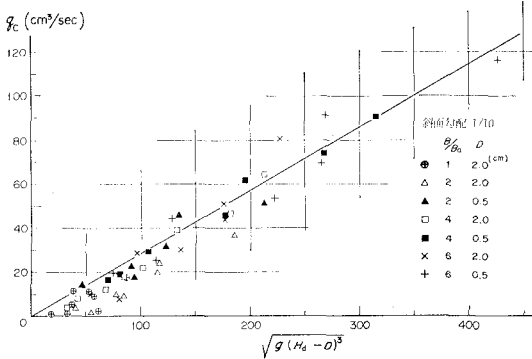


図-7 越流量と堰頂水深

4. 現地への応用

現地において溝は波の入射方向に取入口を向けて 20 ~ 30 m 間隔に掘られ、それぞれの溝は水位上昇の起こらない静穏な箇所にて開口部を持つ排水路に接続される。この排水路の受持つ溝数は各溝の合計流量と流路長によって決定する。実際はほぼ 7 ~ 8 本である。溝および排水路において所要流速を得よう動水勾配を与えるが、その水位差は堰上げ高  $D$  とする。また各溝と排水路との接続部における水頭を最上流溝と排水口とを結ぶ動水勾配と合致さすよう各溝の  $D$  を計算する。すなわち、設計計算は生物的要求から溝内の流速が与えられ、この

流速を得るための取入口における所要水頭として堰上げ高さ  $D$  を定める。他方この  $D$  の条件下において所要流量が越流するための波の狭さくの規模を静穏時の設計波に対して定めるのである。

水産増殖の場として開発利用する溝部の長さは 100 ~ 150 m である。このような水路網の計画設計に際しては対象とする海藻が密生したときの水路の粗度係数を知る必要がある。同地区大浜で試験的に掘削した溝にコンブが最大限に密生した時の調査において、マンニングの粗度係数の平均値は 0.093 であった。調査は水位のレベル測量および流速測定を行い、最大値で一例を示すと動水勾配  $i=2.6 \text{ cm}/52.5 \text{ m}=1/2020$ 、平均流速  $\bar{u}=10.7 \text{ cm/sec}$ 、 $n=0.110$  であった。また、コンブ密生の場合溝内における流れの状態は、粗度の小さい水槽実験の孤立波の進行という形ではなく、直ちに一様流となっていた。

このようにまず水路における水理計算から所要水位差が求まる。これを堰上げ高  $D$  とする。また溝内所要流速および水深から所要流量  $q_e$  は求まる。 $D$  と  $q_e$  が求まると式 (7) から所要越流水位  $H_a$  が式 (9) のように求まる。

$$H_a = \sqrt[3]{\frac{1}{g} \left( \frac{q_e}{K\beta} \right)^2} + D \dots\dots\dots (9)$$

$H_a$  および  $D$  がわかると 図-6 から所要碎波高  $H_b$  が求まる。

さらに  $H_b$  を式 (3) に代入して  $h_b$  が求まる。これらを式 (2) に代入して  $B/B_b$  が求まる。

図-1 において、

$$\begin{aligned} \frac{h_b}{h} &= \frac{x}{l} = \frac{B_b - B_a}{B - B_a} \\ \therefore \frac{B}{B_a} &= \frac{1 - \frac{h_b}{h}}{\frac{B_b}{B} - \frac{h_b}{h}} \dots\dots\dots (10) \end{aligned}$$

として狭さくの割合が求まる。

5. 結 言

ここでは平磯の水産の開発利用に資するため波浪利用による海水流動について過去の研究蓄積を利用する立場に実験的検討を加えて設計計算法を求めた。

また、ここでは斜面勾配を 1/10 として斜面上で碎波が起こってから打ち上げる場合のみを検証したが、今後は斜面勾配が急で碎波の起こらない場合、さらに排水路末端の構造を、波を利用して吸出すような構造にすることについても検討中であるが、これらについては次の機会にゆずる。

最後に、現地調査について岩手県水産試験場九戸分場および宿戸漁業協同組合の皆様にご協力頂いた。ここに感謝します。

## 参 考 文 献

- 1) 土木学会編：水理公式集（昭和46年改訂版）第5編海岸・港湾編，（1973）。
  - 2) Hamada, T.: Breakers and beach erosion, Transportation Tech. Res. Inst., Ministry of Transportation, No. 1, 1951.
  - 3) 合田良実：碎波指標の整理について，土木学会論文報告集第180号，pp. 39~49（1970.8）。
  - 4) 中村 充・白石英彦・佐々木泰雄：碎波による波の変形に関する研究—単一コウ配および潜堤について—，農業土木試験場報告第5号，（1967）。
  - 5) 福井芳朗・中村 充・白石英彦・佐々木泰雄：堤防の津波対策に関する水理学的研究，農業土木試験場報告第1号，（1963）。
-