

越波量におよぼす消波工の形状について

白石 直文*・豊島 修**・遠藤 泰司***

1. ま え が き

消波工を使用した海岸護岸（堤防）の設計にあたっては、護岸の天端高と消波工の天端高、天端幅の決定が最も重要な問題となる。現在これらは模型実験によって決定される場合が多い。それは、消波工の設置の条件によって、越波防止の効果がきわめて異なり、画一的に断面決定することが困難であることを示している。

いままで、消波工に関する実験は数多く行なわれ、一方では数多くの実験値を整理して、設計の手順を見いだそうとする試みもなされている。たとえば、永井・大坪・遠藤¹⁾は中空N型ブロックの実験結果から、つぎのような関係を提示している。

$$\frac{H_c}{H} + \frac{H_r}{H} = c$$

ここで、 H_c ：護岸の設計潮位からの天端高さ

H_r ：消波工の設計潮位からの天端高さ

H ：設計波高

c ：定数、許容越波量と消波ブロックの特性によって決まる

また、富永²⁾は、豊島・富永・橋本³⁾の実験結果から、波が砕けた後に堤防に当たる場合は、波のうちあげ高は波高、周期に無関係にほぼ設置水深で規定されるとし、越波量もある程度水深で規定されるものと考え、つぎのような関係を類推している。

$$\frac{H_c}{h} + \frac{H_r}{h} = c$$

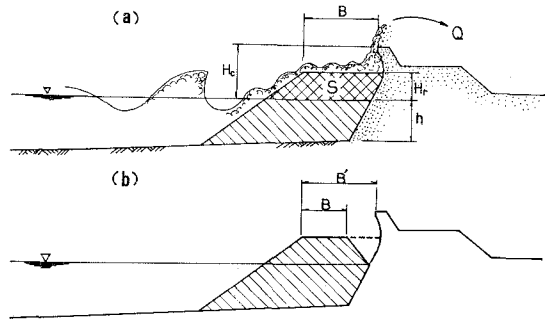
ここで、 h ：堤防の設置水深

著者らは、消波工の大きさと形状が越波量にかなり大きな影響を与えるものと考えられるので、まず、実際に使用されている消波工の実態を調べ、さらに、いままで行なわれた越波に関する模型実験の結果を整理し、消波工の大きさと形状が越波量におよぼす影響について考察を試みた。

2. 消波工と越波量

消波工を使用した海岸護岸と、越波の状況を模式図で示せば図-1 になる。沖合から護岸にうちよせた

図-1 消波工と越波状況の模式図



波は、まず一部が消波工にあたって反射され、消波工の内部に吸収される。さらに一部が消波工の天端上を走り、背後の壁体にあたって反射されあるいは壁体を越えて越波することになる。うちよせた波のエネルギーを消波工が吸収するためには水塊を蓄積し得る容積 S が必要であり、また、波が消波工の上を走らないようにするためにはある程度の消波工の高さ（静水面上） H_r が必要であり、消波工の上を走ってきた水塊をはね返すための壁体の高さ（静水面上） H_c が必要である。ここで、波のエネルギーを吸収する消波工の有効な断面として、静水面上の消波工の容積を考え、これを S ($S=a \cdot s$, a は単位幅, s は消波工の断面積) とした。消波工の断面によっては、図-1 (b) に示したように、消波工と堤体本体との間が離れており、空間のできている断面があるが、このような空間は水塊を蓄積し得る 100% 空げきの有効な消波工と考え、消波工の容積 S の中に加えた。

図-1 および本論文で使用する記号はつぎのとおりである。

h ：静水面からの護岸設置水深

H_0 ：沖波波高（相当沖波波高）

T ：波の周期

B ：消波工の天端幅

H_c ：静水面からの護岸の天端高さ

H_r ：静水面からの消波工の天端高さ

Q ：一周単位幅当りの越波量

$\frac{H_0 L_0}{2\pi}$ ：沖波の一周単位幅当りの岸側へ輸送される水量

S ：単位幅当りの消波工の静水面上の容積 ($S=a \cdot s$, a は単位幅, s は消波工の静水面上の断

* 正会員 工博 日本テトラポッド（株）

** 正会員 建設省河川局海岸課

*** 正会員 日本テトラポッド（株）

表—1 越波状況と相対越波量との関係

越波の状況	無次元越波量 $2\pi Q/H_0L_0$
飛沫がわずかに越える	$0 \sim 1 \times 10^{-3}$
かなりの飛沫が越える。波の実質部分がわずかに越える。	$1 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-3}$
飛沫はげしく越える。波の実質部分もかなり越える。	$5 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-2}$
波の実質部分が激しく越える。	$1 \times 10^{-2} \sim 10^{-1}$

面積)

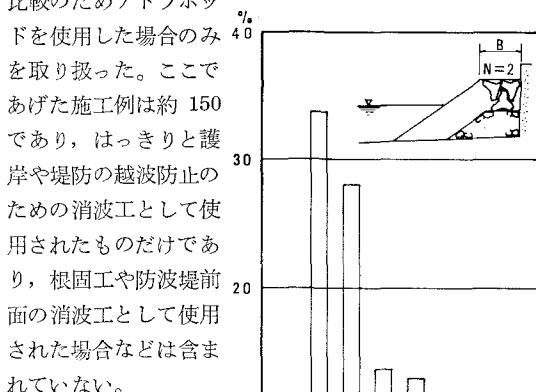
越波をどの程度許容するかは、背後地の状況や排水施設的能力などに関係することはいうまでもない。越波の状況と無次元越波量 $2\pi Q/H_0L_0$ との関係は表—1のように分類されるようである⁴⁾。

したがって、本論文では、実験結果等は、一応 $2\pi Q/H_0L_0 \leq 5 \times 10^{-3}$ を越波許容限界として整理した。

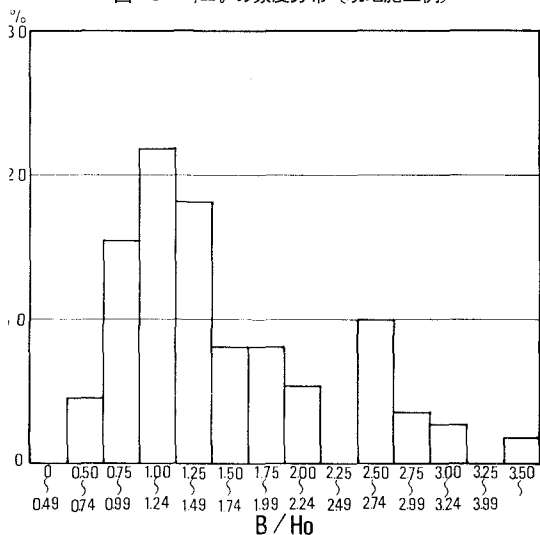
ここで、使用した模型実験のデータはすべてテトラポッドに関するものである(表—2 参照)。

3. 消波工の施工例

施工例は実験値との 図—2 天端上のテトラポッドの列数の頻度分布(現地施工例)



図—2 は消波工天端幅に相当するテトラポッドの個数 N で分類し、その頻度分布を示したものである。これによると、天端幅は

図—3 B/H_0 の頻度分布(現地施工例)

2~3 個並びの場合が多く、全体の 60% 以上を占めている。したがって標準は 2~3 個並びであり、それ以上は特別な場合とみてよい。

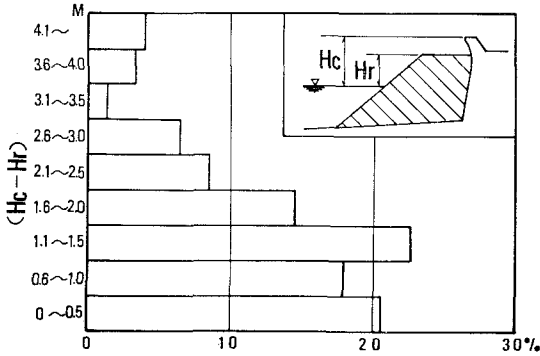
図—3 は天端幅 B と波高 H_0 との比 B/H_0 の頻度分布を示したものである。施工例からみて、 $B/H_0=1.0 \sim 1.25$ が最も頻度が高い。これはおおむねテトラポッドの 2 個並びおよび 3 個並びに相当する。

図—4 は護岸の静水面上の天端高さ H_c と消波工の天端高さ H_r との差 $(H_c - H_r)$ の頻度分布を示したものである。図より $(H_c - H_r)=1.1 \sim 1.5$ m の場合が最も頻度が高く、ついで $0 \sim 0.5$ m, $0.6 \sim 1.0$ m となり、 1.5 m 以下が全体の 60% 以上となる。施工例からは $0.5 \sim 1.5$ m の範囲のものが大部分であり、 1 m 前後を標準として施工しているといえる。

図—5 は護岸と消波工の高さを示すものとして、 $\frac{H_c + H_r}{H_0}$ をとり、 h/H_0 との関係図を示したものである。 $\frac{H_c + H_r}{H_0}$ は $h/H_0=1.0 \sim 2.0$ で最大となり、 $h/H_0 < 1$, $h/H_0 > 3$ の範囲では若干小さくなっている。施工例をその設計波の周期によって区別し、短周期 ($6 \sim 9$ sec), 長周期 (10 sec 以上) に分類すれば、長周期の波を設計

表—2 模型実験一覧表

対象地区	実験者	模型縮尺	海底勾配	周期 (T)	波高 (H_0)	設計高潮位からの水深 (h)	テトラポッドの重量	備考
大分港埋立護岸	東京大学港湾研究室 ⁵⁾	1/25	1/10, 1/25	5~10 sec	3.0 m	3.0~4.6 m	2, 4 t	2 層積
大阪府泉南海岸護岸	京都大学防災研究所 ⁷⁾	1/20	1/30	6.5	2~3	2.50	1	"
高砂港埋立護岸	日本テトラポッド(株) ⁸⁾	1/25	1/60	7.0	2.35~6.9	3.7~5.6	4, 6.3	2 層積, 乱積
別府海岸護岸	日本テトラポッド(株) ⁸⁾	"	1/10	"	1.91~1.61	2.7~4.9	4	2 層積
"	運輸省第四港湾建設局 ¹⁰⁾	1/29.2	1/10, 1/30	"	3.0	1.6~4.8	"	"
松山空港埋立護岸	運輸省第三港湾建設局 ¹¹⁾	1/20	1/100	6.6	3.27~4.80	8.9	"	"
大阪府下海岸護岸	日本テトラポッド(株) ¹²⁾	1/25	1/15	6.5	3.0	3.2	"	"
馬堀海岸埋立護岸	中央大学理工学部 ¹³⁾	"	"	6.0	1.6~5.0	8.0	2	"
阪神海岸護岸	日本テトラポッド(株) ¹⁴⁾	"	1/8	7.0	2.3~3.4	3.6~4.6	4, 6.3	"
神戸港護岸	防災研究協会 ¹⁵⁾	"	1/15	4~10	2.0~4.5	12.3~14.5	12.5	"
消波堤の越波について	東北大学工学部 ¹⁶⁾	"	1/10	6~15	3.0	0~6	4	"
伏木富山海岸堤防	日本テトラポッド(株) ¹⁷⁾	"	1/6	10~12	2.5~10	3.5	4, 8, 16	乱積

図-4 $(H_c - H_r)$ の頻度分布 (現地施工例)

条件とした場合は $h/H_0 = 0 \sim 1.5$ の範囲に集中しており短周期の場合は $h/H_0 > 1.5$ が多いことがわかる。そして、天端幅が3個並び以上は長周期の波の場合に多く、2個並びは短周期の波の場合に多い。長周期の波の場合は3個並び以上が標準であるといえる。また、同一の h/H_0 における $\frac{H_c + H_r}{H_0}$ の値はかなり変動しているが、これは今後現地条件をさらに詳細に分析してみる必要がある。

図-6 は $\frac{H_c + H_r}{h}$ と h/H_0 の関係を示している。全体には 図-5 の場合と同じ傾向を示している。

図-7 は消波工の容積 S と沖波の輸送水量 $\frac{H_0 L_0}{2\pi}$ と

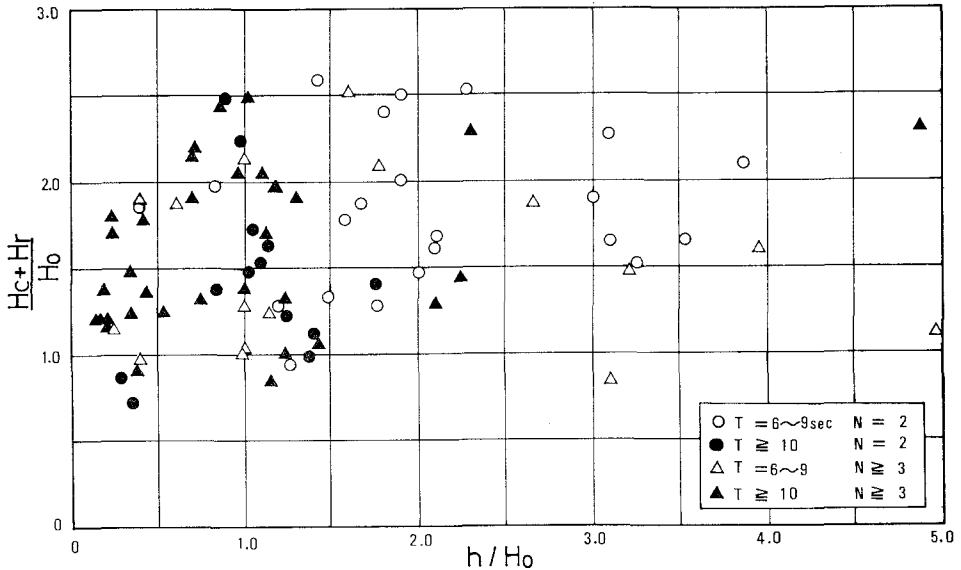
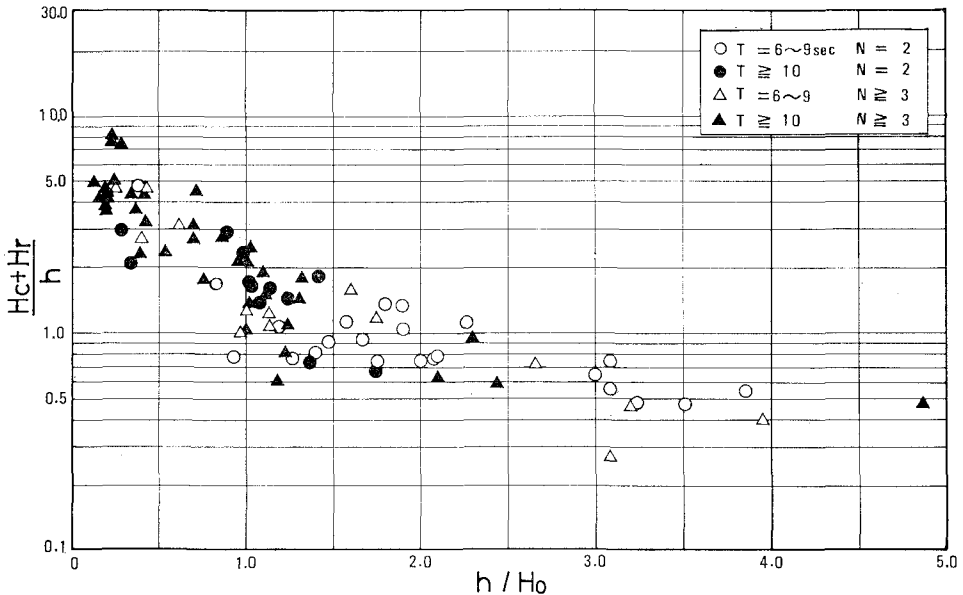
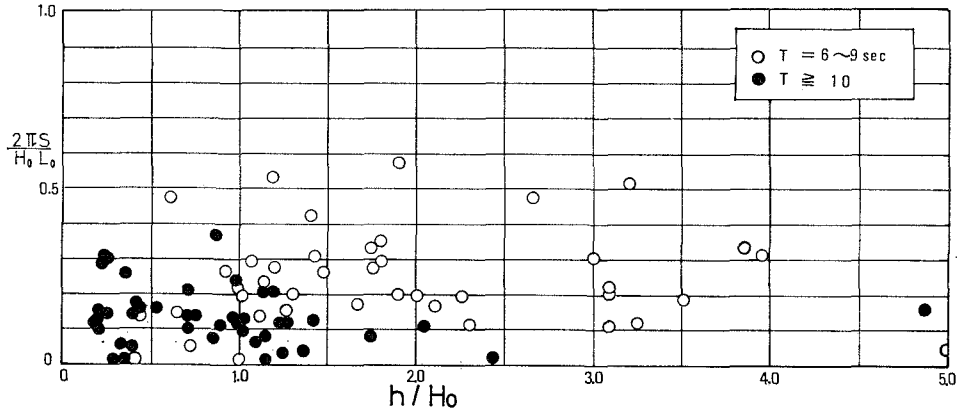
図-5 $\frac{H_c + H_r}{H_0}$ と h/H_0 との関係 (現地施工例)図-6 $\frac{H_c + H_r}{h}$ と h/H_0 との関係 (現地施工例)

図-7 $\frac{2\pi S}{H_0 L_0}$ と h/H_0 との関係 (現地施工例)



の比, $\frac{2\pi S}{H_0 L_0}$ と h/H_0 の関係を示したものである。これによれば, $\frac{2\pi S}{H_0 L_0}$ は最大 0.5 程度であり, 一般に周期の短い波の場合ほど大きく, 10 sec 以上の周期の長い波の場合は一般に小さく, $\frac{2\pi S}{H_0 L_0}$ は 0.3 以下となっている。

以上現地施工例について若干の分析を試みたが, 値の変動がかなり大きい。これは海底勾配や海底地形などの現地の複雑な条件がかみ合っているためと考えられる。したがって, なお詳細に分析してみる必要があり, また, 現地施工例は, 一応越波防止効果をあげているわけであるが, 越波許容の度合などについても考慮する必要がある。

4. 実験結果の分析

いままで行なわれた実験は現地施工例と同様複雑な要素がかみ合っているが, 一応, 単純化して, それぞれの要素について分析してみる。

(1) $\frac{H_c + H_r}{H_0}$ と h/H_0

図-8 は, $2\pi Q/H_0 L_0 = 5 \times 10^{-3}$ を越波許容限界として実験値を整理したものである。これによればほぼ許容限界内に入る $\frac{H_c + H_r}{H_0}$ は点線で示される。この場合, 海底勾配は 1/10, 沖波波形勾配 $H_0/L_0 = 0.02 \sim 0.05$ の範囲内である。また, 波消工の天端幅は 2 個並びであるから, 3 個並び以上の場合, 図中の点線より低くなるはずである。

図-8 $\frac{H_c + H_r}{H_0}$ と h/H_0 との関係 (実験例)

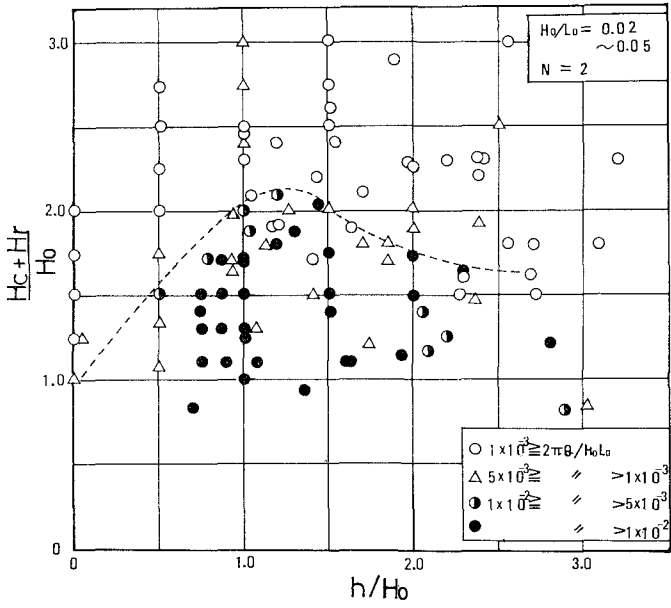


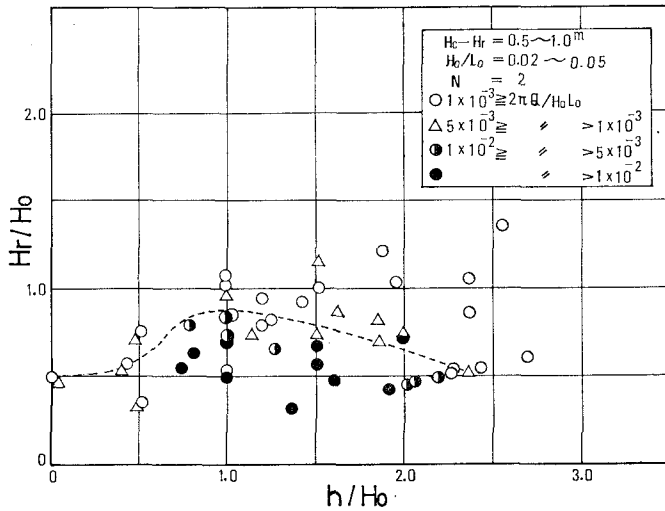
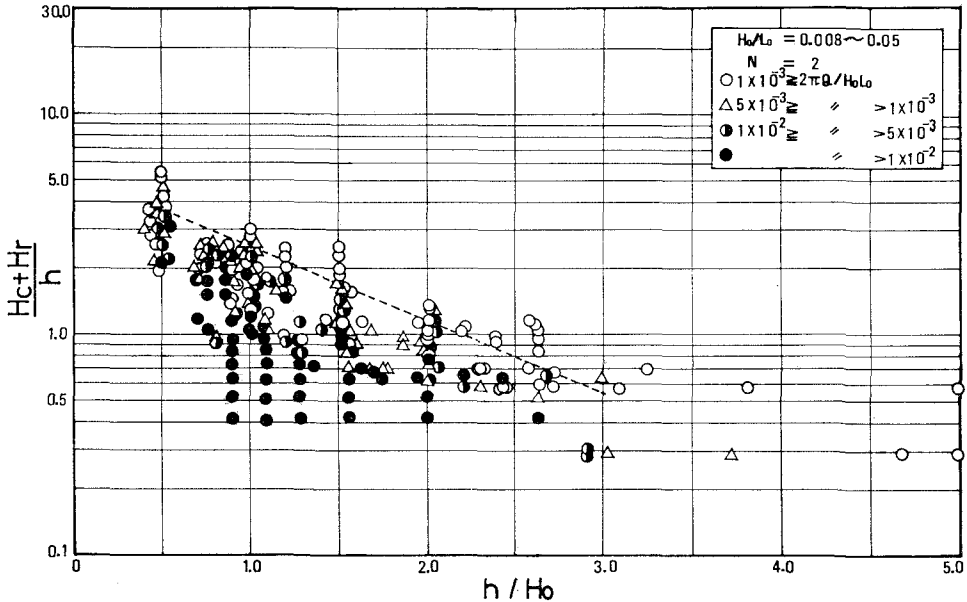
図-9 $(H_c - H_r)$ を一定とした時の消波工の天端高 (実験例)図-10 $\frac{H_c + H_r}{h}$ と h/H_0 との関係 (実験例)

図-9 は H_r/H_0 と h/H_0 との関係を示す。消波工の天端高と背後の護岸の天端高との差 $(H_c - H_r)$ は、現地施工例からみて、0.5~1.5m のものが多い。したがって、 $(H_c - H_r)$ を 0.5~1.0m の範囲とした場合の越波許容限界内となる消波工の天端高を求めるものである。図-9 は 図-8 と同様の傾向を示すものであるが、この図より H_r さえ求めれば概略の天端高を得ることができる。

(2) $\frac{H_c + H_r}{h}$ と h/H_0 との関係

図-10 に示した実験値は $h/H_0 > 0.4$ である。0.5 < $h/H_0 < 3.0$ の範囲内では、越波許容限界は図中の点線によって示される。

(3) $2\pi S/H_0 L_0$ と h/H_0 との関係

図-11 は、実験値を $(H_c - H_r)$ の値によって区別した。 $(H_c - H_r) = 0 \sim 0.2$ m の場合、すなわち、消波工の天端高と護岸の天端高とがほぼ同一の場合、消波工の上を走る波を消波工内に吸収してしまわなければ、越波することになる。したがって、このような場合が最も大きな消波工の容積を必要とする。図-11 (a) によれば、 $2\pi S/H_0 L_0$ は最大 0.4 となり、 $h/H_0 = 0$ の場合に約 0.1 となる。図-11 (b) は、 $(H_c - H_r)$ が 0.5~1.0m の場合である。 $h/H_0 \div 1.0$ 付近では、図-11 (a) の場合と同様 $2\pi S/H_0 L_0$ は 0.4 となる。しかし、 $h/H_0 > 1.5$ の領域では $2\pi S/H_0 L_0$ は小さくなる。これは、消

波工の上を走ってきた水塊が 0.5~1.0 m の高さの壁体により有効に遮断されるものと考えられる。

5. む す び

テトラポッド消波工に関する現地施工例や、いままで行なわれた実験データの分析を試みたが、著者らの当初予想したほどに諸要素の明確な相関を得ることはできなかった。同様の試みをされている方々の研究の一助となれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 永井莊七郎・大坪崇彦・遠藤正男：深い水深における消波堤に関する研究，第 14 回海岸工学講演会講演集，1967.
- 2) 富永正照：海岸構造物の計画について一堤防の越波量と消波工一，海岸実務講義集，全国海岸協会，昭和 43.
- 3) 豊島 修・富永正照・橋本 宏：海岸堤防に関する研究，波のうちあげ高，土木研究所報告，No. 131，昭和 42.
- 4) Shiraishi, N., A. Numata & T. Endo: On the effect of armour block facing on the quantity of wave overtopping, Proc. of 11th Conf. on Coastal Eng., 1968.
- 5), 6) 東京大学工学部土木工学科港湾研究室・大分県新産業都市建設局：大分臨海工業地帯水理模型実験報告書 (I)，昭和 38，(II)，昭和 40.
- 7) 岩垣雄一・島 昭・井上雅夫：泉南海岸堤防の越波に関する模型実験，防災研究協会，昭和 38.9.
- 8) 日本テトラポッド (株)：高砂港埋立護岸水理模型実験報告書，昭和 44.3.
- 9) 日本テトラポッド (株)：別府海岸防波護岸水理模型実験報告書，昭和 44.4.
- 10) 大分県・運輸省第四港湾建設局小倉調査設計事務所：別府港防波護岸模型実験報告書，昭和 39.1.
- 11) 運輸省第三港湾建設局神戸調査設計事務所：松山空港護岸模型実験，昭和 42.12.
- 12) 日本テトラポッド (株)：大阪府下海岸堤防水理模型実験報告書，昭和 42.9.
- 13) 中央大学：馬堀埋立護岸テトラポッド消波工水理模型実験報告書，昭和 43.7.
- 14) 日本テトラポッド (株)：阪神海岸テトラポッド消波工模型実験報告書，昭和 42.11.
- 15) 岩垣雄一・井上雅夫：防波護岸の越波に関する研究報告書，防災研究協会，昭和 41.3.
- 16) 東北大学工学部：消波堤の越波について，昭和 43.8.
- 17) 日本テトラポッド (株)：伏木富山海岸放生津地区海岸護岸水理模型実験報告書，昭和 44.6.

図-11 $\frac{2\pi S}{H_0 L_0}$ と h/H_0 との関係 (実験例)

