

# 各種の防波堤隅角部の波浪特性に関する研究

松本輝寿\*・永井康平\*\*・吉木健二\*\*・武智雅敏\*\*

## 1. まえがき

防波堤の平面形の計画においては、入港船舶への横波防止、港内静穏域の拡大、あるいは建設費の節約などの目的で隅角部が設けられることが多い。この場合、単に直線的に折り曲げる法線ばかりでなく、平面的にも断面的にもさまざまな構造を工夫できよう。このような観点から、まず各種の防波堤隅角部の波浪特性を把握するために、実態調査、模型実験、現地観測、理論解析を行ってきた。今回は実験を中心に成果の一部を報告する。

## 2. 隅角部を有する防波堤の類別

現実に施工されている防波堤隅角部(開角度  $\beta < 180^\circ$ )の法線は、たとえば 図-1 のようなものである。すなわち I. 直線型隅角、II. 曲線型隅角、III. 開口型隅角に大別され、それぞれ断面的に直立(以下添字  $u$  で表す)と消波(異型ブロック又は石積使用、添字  $a$  で表す)構造に分けられる。運輸省第三港湾建設局管内におけるこれらの類別施工数(計画中のものを含む)の分布は、図-2 のとおりである。直線型が圧倒的に多く約 91%、うち約 1/4 が消波構造を採用している。開角度からみると 115 度未満のものはなく、120 度ないし 150 度程度に多く分布している。

これらの隅角部の波浪特性に関しては、直線型では三井他<sup>1)</sup>、開口型については田中<sup>2)</sup>が半無限堤について理論解析している。ここで興味もたれるのは、曲線型隅角防波堤の場合とそれらを消波構造(特に近年話題の直立消波構造<sup>3)</sup>)とした場合の隅角部周辺の波浪特性の改善効果である。そこで以下において、これらの各種防波堤構造での反射波特性を実験的に比較検討してみた。

## 3. 模型実験の概要

実験は、1) 直立消波構造(カナダ政府特許権所有の穴あきケーソン<sup>4)</sup>)の反射特性をみる断面実験およびその斜め入射波の反射特性をみる平面実験と、2) 上記各種隅角部法線型での直立完全反射および直立消波構造で

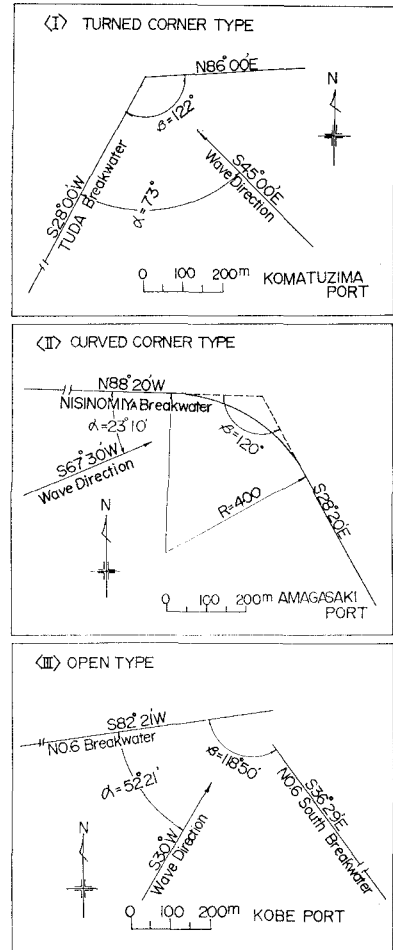


図-1 隅角部をもつ防波堤の例

の堤体前面波高分布特性をみる平面実験に分けて行った。

### (1) 実験装置

断面実験に用いた水路および平面実験に用いた水槽は、神戸調査設計事務所の 図-3 の規模のものである。造波機は両者共フラッター型(前者の造波可能周期 0.5~5.0 sec, 最大波高 40 cm, 後者は 0.5~2.6 sec, 25 cm)である。平面水槽の両側壁にはフィルムくずを入れた消波籠を設置した。波形測定は容量式波高計で行った。

\* 正会員 運輸省第三港湾建設局次長

\*\* 正会員 運輸省第三港湾建設局 神戸調査設計事務所

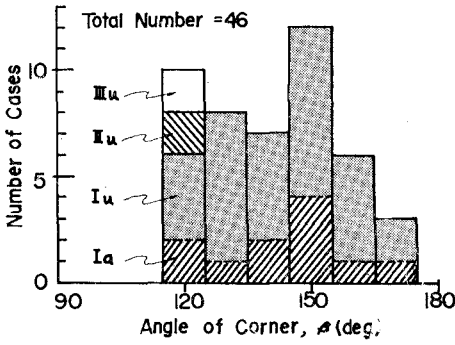


図-2 隅角防波堤の類別採用頻度 (第三港建管内)

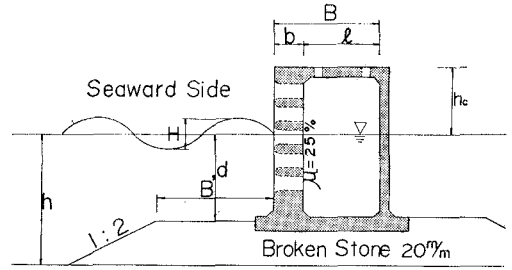


図-4 穴あきケーソン堤の2次元実験断面

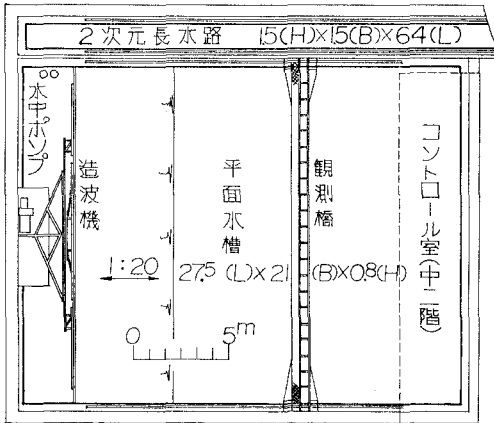


図-3 実験水路および水槽 (単位 m)

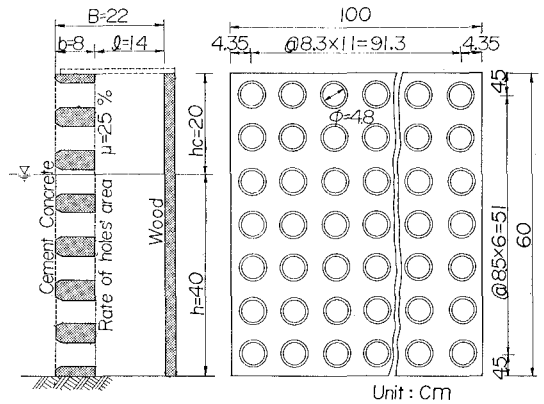
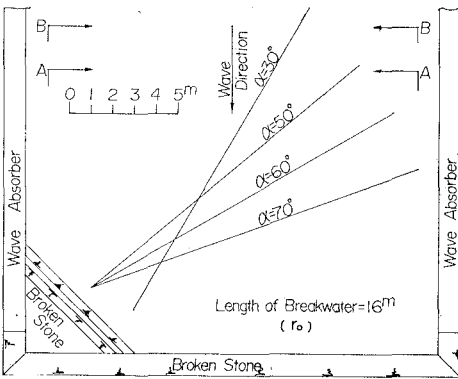
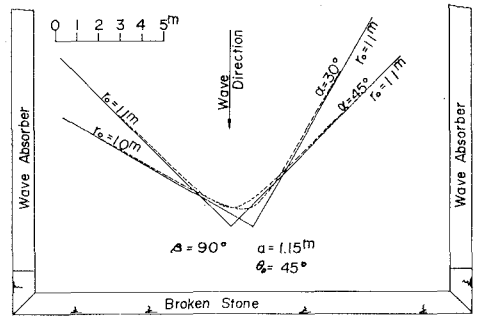


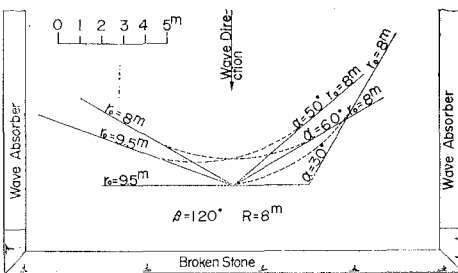
図-5 直立消波堤の平面実験用穴あきケーソン



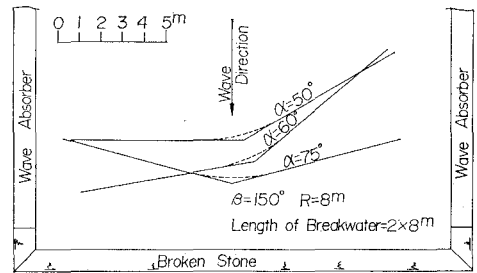
(1) 入射波の検定および斜め入射波の反射



(3) 開角度  $\beta=90^\circ$  の場合



(2) 開角度  $\beta=120^\circ$  の場合



(4) 開角度  $\beta=150^\circ$  の場合

図-6 平面水槽実験における模型防波堤配置

(2) 防波堤模型およびその配置

断面実験の穴あきケーソン模型は、現実の防波堤およびカナダ Quebec 州 Baie Comeau の岸壁<sup>4)</sup>、鹿島港の護岸等を参考にし、図-4 の記号で、前壁の空隙率  $\mu = 25\%$ 、 $b = 5\text{ m}$ 、 $l = 5, 6.5, 8, 10\text{ m}$ 、 $B' = 12\text{ m}$ 、 $h = 16.7\text{ m}$ 、 $h_c = 4.3\text{ m}$ 、 $d = 11.7\text{ m}$  を模型で 1/30 に縮尺した。

一方、平面実験の消波堤に採用したケーソンは、水深 20 m を想定し、縮尺 1/50 とした図-5 のものである。直立完全反射堤は板で製作した。模型の配置は図-6 に示す入射角  $\alpha$  および防波堤開角度  $\beta$  で行った。円弧型隅角の半径  $R$  は 400 m (現地) とし、直立消波堤の実験は図中 (1) および (2)  $\beta = 120^\circ$  (開口堤を除く) の場合についてだけ実施した。(3)  $\beta = 90^\circ$  では、直線型と

$$x = a \cosh \xi \cos \theta, \quad y = a \sinh \xi \sin \theta \quad \dots (1)$$

で表わされる双曲線の  $a = 58\text{ m}$  (現地)、 $\theta = \theta_0 = 45^\circ$ 、 $\xi = -\infty \sim +\infty$  で決められる曲線型を用いた。

(3) 入射波とその検定

実験にはすべて規則波を用い、反射率  $K_R$  は Healy の方法で求めた。現象は Froude の相似則に従うものと

し、入射波 (現地) は、断面実験で波高  $H_I = 3, 4.5, 6\text{ m}$ 、周期  $T = 5.0, 6.5, 8.0, 10.0, 12.0, 14.0\text{ sec}$  とした。平面実験では  $H_I = 3\text{ m}$ 、 $T = 8\text{ sec}$  を用い、図-6 (1) に示す A 断面で図 (1), (2)、B 断面で (3), (4) の実験の入射波高を決定した。その結果は図-7 のとおり、側壁消波籠による回折効果があるため、実験入射波高としては図中の点線で示した値を用いた。なお、微小振幅波の波長を  $L$  とすると図-5 の消波堤断面は、 $B/L = 0.125$  ( $l/L = 0.08$ ) であることに注意されたい。

4. 模型実験の結果

(1) 穴あきケーソン堤の反射特性

実験はすべて重複波領域であるので、図-4 あるいはそれを単純化した図-5 の断面の堤体による波の反射は、前壁の空隙と遊水部での摩擦や乱流によるエネルギー損失と前後壁での反射波の入射波との位相差による干渉により、少なくともみかけ上は直立壁よりもかなり低減されると期待できる。実際、直角入射波に対する図-4 の穴あきケーソン堤の反射率  $K_R$  は、図-8 (1), (2) に示すとおり、1 以下であり、特定の堤体幅波長比すなわち  $B/L = 0.125$  ( $l/L = 0.08$ ) では  $K_R = 0.2 \sim 0.3$  まで落ちることがわかる (なお、本図の波長  $L$  は有限振幅波として波高による波長増大を考慮したものを用いている<sup>5)</sup>)。相対水深あるいは波形勾配による  $K_R$  への影響は、はっきりと読み取ることができない。ただ本実験に採用した波は防波堤の設計に即した実際の値であり、この範囲では  $K_R$  は明らかに堤体幅によって一つの最低域をもち、かつ  $B/L$  を指標とするのがよいと判断される。このように  $B/L$  によって極端な  $K_R$  の低領域が存在することは、井島他<sup>8)</sup> の理論の適応性を示すものであ

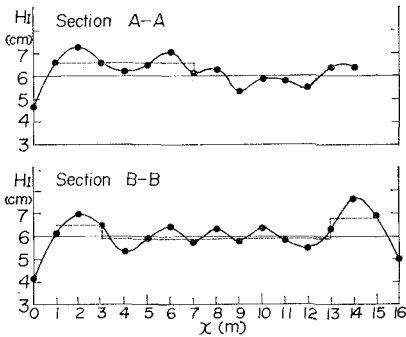
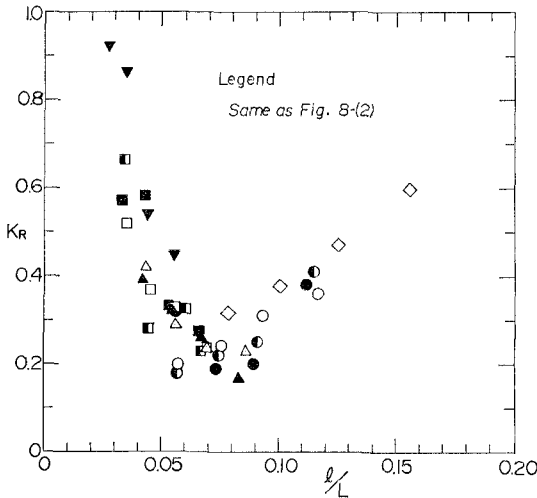
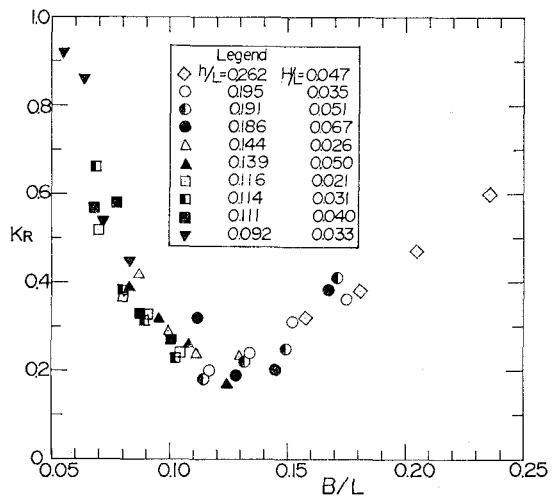


図-7 平面水槽の入射波の設定



(1)



(2)

図-8 穴あきケーソン堤の直角入射波での反射率 (断面実験)

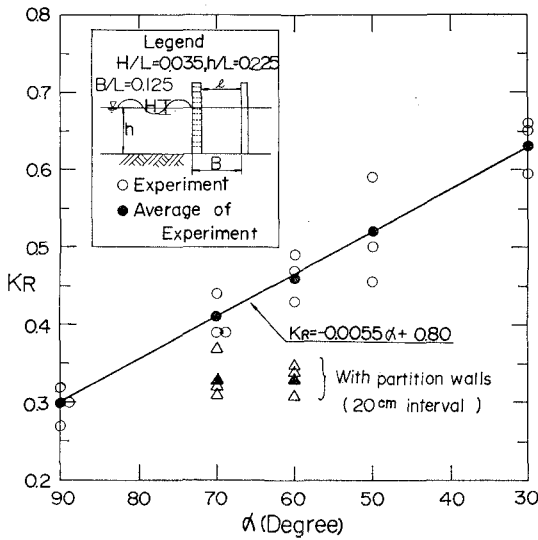


図-9 穴あきケーソン堤の斜め入射波での反射率

り、それは上記入射波の位相差による見かけの波形の相殺効果がエネルギー損失効果よりも卓越していることを意味すると考えられる。したがって防波堤前面海域に潜在的な反射波のエネルギーの発現に注意が必要であろう。なお、井島他の理論解との比較は、Darcyの流れの仮定の問題、特に抵抗係数の選定が困難なこと等から行えなかった。

次に“最適”遊水幅  $B/L=0.125$  をもつ 図-5 の穴あきケーソン堤を 図-6(1) のように配置し、斜め入射波の反射率を求めたのが 図-9 である。これより反射率  $K_R$  は入射角  $\alpha$  (度) とほとんど線型の関係

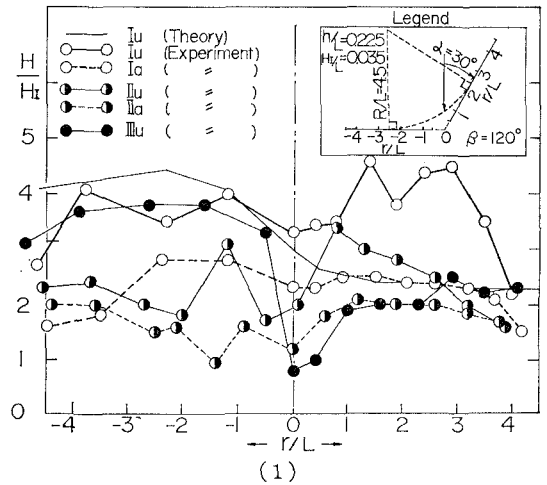
$$K_R = -0.0055 \alpha + 0.80 \dots\dots\dots (2)$$

にあることがわかった。すなわち斜め入射になるほど、波が遊水部に入りにくくなり、上記穴あきケーソンの特徴が薄らぐためと判断される。ただし、上の実験はケーソンに隔壁を全く設けない場合で、10m (模型で 20cm) ごとに隔壁を設けると図に示したとおり、若干  $K_R$  の低下が生じる。これも隔壁が遊水部の効果を助成するためである。

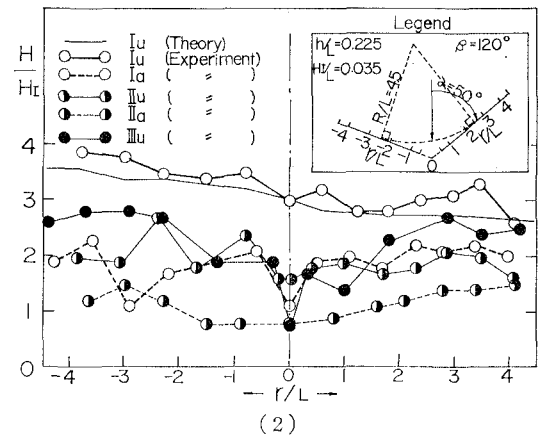
(2) 各種隅角防波堤の前面波高分布の比較

すでに 3. で述べた実験方法に従い、堤体前壁法線沿い (対称点で距離  $r=0$ 、堤端で  $r=r_0$ ) の波高分布特性を調べた。なお、直立消波堤には堤端部も含め隔壁は設けなかった。開口型の開口幅は  $r=\pm L/2$  までとした。

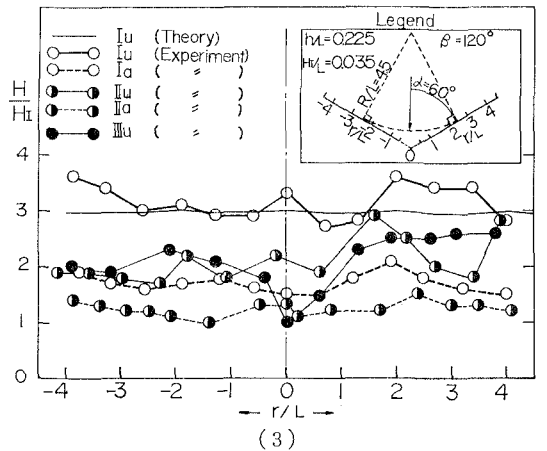
まず開角度  $\beta=120^\circ$  の場合の結果は 図-10(1)~(3) のとおりである。ただし測点は波高分布の極大値だけをとらえたものである。波高  $H$  は入射波の合成された値で、 $H/H_t$  は波高の増幅率を意味している。  $I_u$  (Theory) は三井による理論値<sup>1)</sup> である。これより、完全反射の直線型隅角堤  $I_u$  と比べ、円弧を用いた  $II_u$  では前面波高



(1)



(2)



(3)

図-10 各種隅角部の波高の包絡線分布 ( $\beta=120^\circ$ )

分布がかなり平滑化され、たとえば隅角点で波高はおよそ 40% 低減すること、円弧型を穴あきケーソン構造  $II_u$  にするとそれより更に約 40% 低下できること等がわかる。一方開口堤  $III_u$  も  $II_u$  と比べ開口端近傍で 40~50% 低減される。ただしこの場合には防波堤背後への波の回折が許されることに配慮する必要がある。な

お、 $I_u$  で実験値と理論曲線が合わない点、(3)で波高分布が対称でない点などの原因は3.(3)で述べた入射波の特性と堤体が有限長であること等の影響と判断される。

次に  $\beta=150^\circ$  の場合の堤体前面沿いの波高分布を図一11に示した。直線型  $I_u$  では実験値は理論値に比較的沿った波高分布をしている。しかし円弧型  $II_u$  にしても全体的にほとんど波高分布特性が変わらない。これは開角度が広いため、法線形の影響が少ないからであろう。

最後に  $\beta=90^\circ$  では図一12に示すような前面波高分布が得られた。 $I_u$  型の実験値と理論値の差は上述の理由によるものである。ここでも双曲線型  $II_u$  の反射特性改

善効果は一部を除き期待できない。これは中心部の曲率が大きいことに一半の理由があると考えられる。

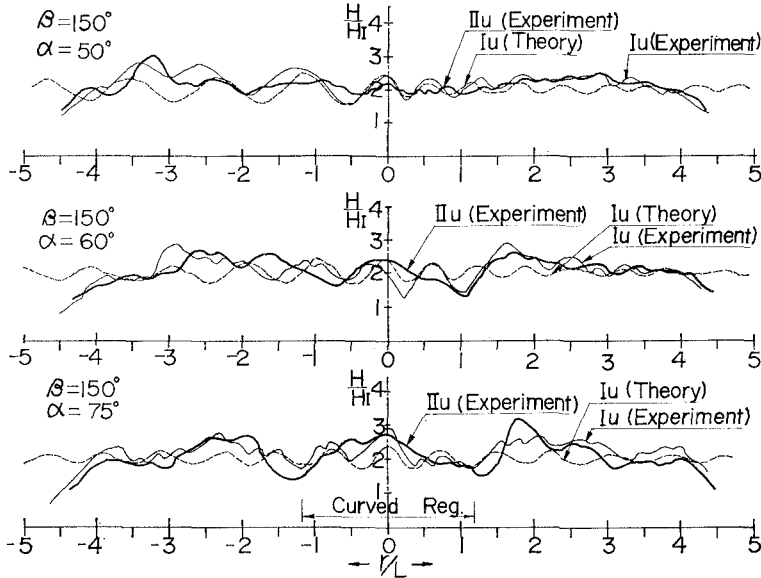
5. あとがき

防波堤としての穴あきケーソンに関しては、現実の波では周期も波向も分散をもつので、多層式あるいは最適空隙率の採用について、また前後壁にかかる同時波圧の問題等についての技術的検討が今後に残されている。

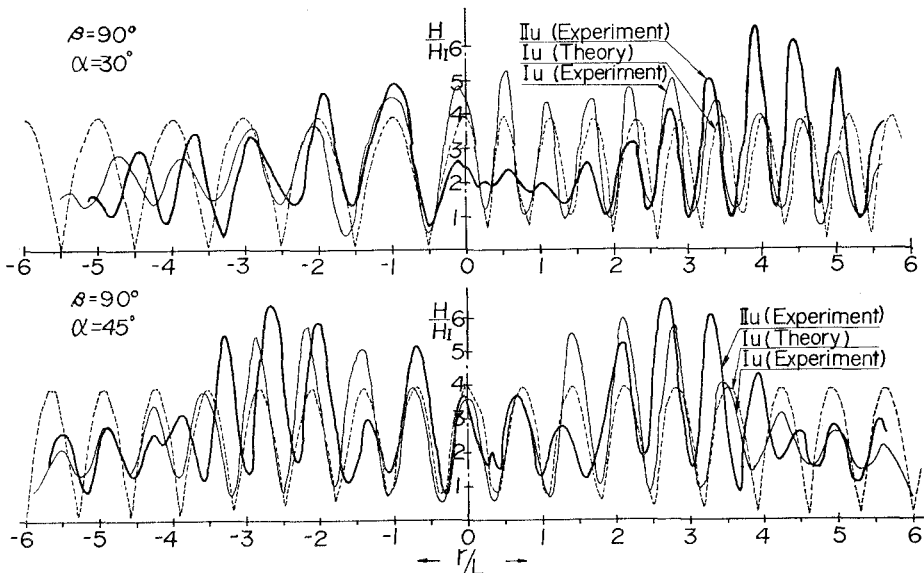
隅角部の法線形としては、開角度が広い程良いが、120度程度では直線型よりも円弧型の方が少なくとも堤体にとっては有利と判断され、その理論的裏づけが望まれる。

参考文献

- 1) 三井 宏・村上仁士：海岸構造物不連続部の波高分布について（第2報）—隅角部付近の波高分布—，第14回海講，1967，pp. 53~59.
- 2) Tanaka, K.: On the Distribution of Waves in Harbour, *Tech. Rep. Osaka Univ.*, Vol. 3, No. 81, 1953.
- 3) 井島武士他：遊水部をもつ直立消波防波堤と護岸，第19回海講，1972，pp. 185~192.
- 4) U.S. Army: Shore Protection, Planning and Design, *Tech. Rep. C.E.R.C.*, No. 4, 3rd. ed., 1966, p. 348.
- 5) 合田良実・竹田英章：海の波の波長および波速の計算表，港湾技研資料，No. 12, 1964, p. 4.



図一11 直立防波堤隅角部の波高分布 ( $\beta=150^\circ$ )



図一12 直立防波堤隅角部の波高分布 ( $\beta=90^\circ$ )