

海岸構造物不連続部の波高分布について (第3報)

三 井 宏*・川 崎 俊 太**

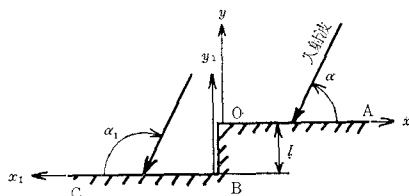
1. 緒 言

この第3報では、海岸・港湾構造物の基本的な法線形状の一つである段違い法線および消波ブロック不連続部沿いの波高分布を模型実験および近似計算により求め、さらに、実際の海岸・港湾構造物においてよく見かけられる複合隅角の法線に沿う波高分布を近似計算により求める。

2. 段違い法線に沿う波高分布***

一定水深上に 図-1 に示す法線をもつ完全反射の壁 AOBC があり、これに振幅 1 の波が角度 α で入射するものとする。ただし、OB 間の距離 l は波長にくらべて小さいものとする。 l が波長にくらべて大きい場合には後述の複合隅角として取り扱う。壁面 OA および BC からの反射波は反射率が等しいが $2l \sin \alpha$ の位相差をもつので、段違い地点付近で散乱波が発生するものと予想される。OA に沿う波高分布を求めるため、OA を半無限防波堤とみなし Sommerfeld の解を応用する。すなわち、 $y=0, x \rightarrow -\infty$ において入射波 $\exp\{ik(x \cos \alpha + y \sin \alpha)\}$ のほかに、BC からの反射波 $\exp\{ik\{x \cos \alpha - (y + 2l) \sin \alpha\}\}$ が存在するので、解を F とし、 $y=0, x > 0$ において $\partial F / \partial y = 0, y=0, x \rightarrow -\infty$ において $F = \exp\{ik(x \cos \alpha + y \sin \alpha)\} + \exp\{ik\{x \cos \alpha - (y + 2l) \sin \alpha\}\}$ として定数を決定するか、または、半無限防波堤 OA に上記の2つの波が同時に入射すると考え、 $\exp\{ik(x \cos \alpha + y \sin \alpha)\}$ の日向の部分(散乱領域)と $\exp\{ik\{x \cos \alpha - (y + 2l) \sin \alpha\}\}$ の蔭の部分(回折領域)の Sommerfeld の解を重ね合わせると、つぎのような OA 前面の波を示す近似解が得られる。

図-1 段違い法線



$$\begin{aligned} F = & f_1(\sigma) \cdot \exp ik(x \cos \alpha + y \sin \alpha) \\ & + f_1(\sigma') \cdot \exp ik(x \cos \alpha - y \sin \alpha) \\ & + f_2(\sigma') \cdot \exp ik\{x \cos \alpha - (y + 2l) \sin \alpha\} \\ & + f_2(\sigma) \cdot \exp ik\{x \cos \alpha + (y - 2l) \sin \alpha\} \\ & \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

$$f_1(\sigma) = 0.5 \pm 0.5(1+i) \int_0^{|\sigma|} \exp\left(-i\frac{\pi}{2}u^2\right) du$$

$$f_2(\sigma) = 0.5 \mp 0.5(1+i) \int_0^{|\sigma|} \exp\left(-i\frac{\pi}{2}u^2\right) du$$

$\sigma > 0$ なら複号の上側をとり、 $\sigma < 0$ なら下側をとる。

$$\sigma = 2\sqrt{\frac{kr}{\pi}} \cos \frac{1}{2}(\theta - \alpha),$$

$$\sigma' = 2\sqrt{\frac{kr}{\pi}} \cos \frac{1}{2}(\theta + \alpha)$$

ここに、 k は $2\pi/L$ 、 L は波長、 r および θ は極座標である。 $\alpha = \pi/2$ の場合の OA 沿い波高分布を求めるため、式 (1) に $y=0, x > 0$ を代入すれば次式が得られる。

$$\begin{aligned} F(x, 0) = & 2f_1(\sigma) + 2f_2(\sigma) \cdot \exp(-i2kl) \\ = & (1+C+S) + (1-C-S)\cos 2kl \\ & - (C-S)\sin 2kl + i\{(C-S) \\ & + (-C+S)\cos 2kl - (1-C-S)\sin 2kl\} \\ & \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

ここに、 C および S は σ を上限とする Fresnel 関数である。

つぎに、BC を半無限防波堤とみなし、B を原点にとり、 x_1 を BC 沿い、 y_1 をそれに直交する座標にとって、前述同様 $y_1=0, x_1 \rightarrow -\infty$ において入射波 $\exp ik(x_1 \cos \alpha_1 + y_1 \sin \alpha_1)$ と反射波 $\exp ik\{x_1 \cos \alpha_1 - (y_1 - 2l) \sin \alpha_1\}$ が存在するという条件により定数を決定すれば、つぎのような BC 前面の波を示す近似解が得られる。

$$\begin{aligned} F = & f_1(\sigma) \cdot \exp ik(x_1 \cos \alpha_1 + y_1 \sin \alpha_1) \\ & + f_1(\sigma') \cdot \exp ik\{x_1 \cos \alpha_1 - y_1 \sin \alpha_1\} \\ & + f_2(\sigma') \cdot \exp ik\{x_1 \cos \alpha_1 - (y_1 - 2l) \sin \alpha_1\} \\ & + f_2(\sigma) \cdot \exp ik\{x_1 \cos \alpha_1 + (y_1 + 2l) \sin \alpha_1\} \\ & \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

$y_1=0, x_1 > 0, \alpha_1 = \pi/2$ を式 (3) に代入すれば、 $\alpha_1 = \pi/2$ に対する BC 沿いの波を示す次式が得られる。

$$\begin{aligned} F(x_1, 0) = & 2f_1(\sigma_1) + 2f_2(\sigma_1) \cdot \exp(i2kl) \\ = & (1+C_1+S_1) + (1-C_1-S_1) \cdot \cos 2kl \\ & + (C_1-S_1) \sin 2kl \end{aligned}$$

* 正会員 工修 徳島大学助教授 工学部土木工学科

** 正会員 工修 日本建設コンサルタント

*** 昭 43. 土木学会中四支部にて一部講演

表-1 段 違 い 法 線 の 実 験 諸 元

		水深 $h=20$ cm					周期 $T=1.00$ sec					波長 $L=121.1$ cm				
		波 高 計 I					波 高 計 II									
l/L		1/8	1/4	3/8	1/2	5/8	1/8	1/4	3/8	1/2	5/8	1/8	1/4	3/8	1/2	5/8
入射波高 H cm	計	5.5	5.19	5.09	5.07	5.15	6.19	5.19	6.03	5.93	6.04	6.19	5.19	6.03	5.93	6.04
	画	5.0	4.89	9.93	4.85	5.01	6.08	6.28	5.88	5.82	5.98	6.08	6.28	5.88	5.82	5.98
		4.5	4.45	4.52	4.60	4.60	5.64	5.32	5.28	5.37	5.47	5.64	5.32	5.28	5.37	5.47
	H	4.0	4.48	4.43	4.47	4.33	4.71	4.81	4.93	4.71	7.74	4.71	4.81	4.93	4.71	7.74

図-2 段違い法線に沿う計算波高

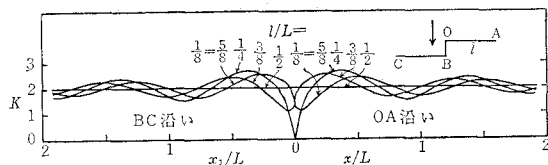
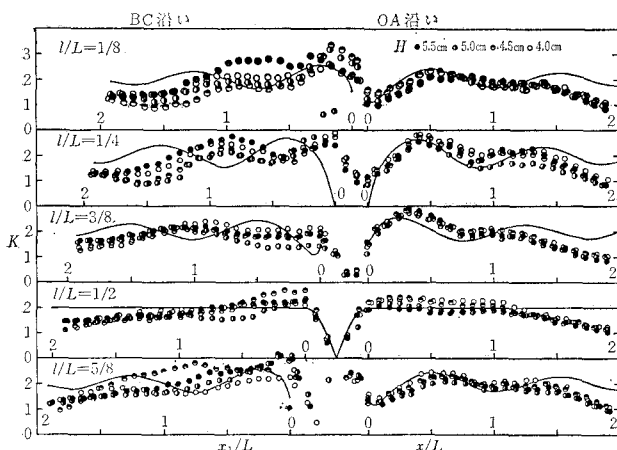


図-3 段違い法線に沿う波高分布



$$+i\{(C_1 - S_1) + (-C_1 + S_1) \cdot \cos 2kl \\ + (1 - C_1 - S_1) \cdot \sin 2kl\} \dots \dots (4)$$

式 (2) および (4) の絶対値をとれば振幅 1 の入射波に対する OA および BC に沿う振幅 K が得られる。これらの計算結果は図-2 に示す。

表-1 に示す諸元により幅 7 m, 長さ 20 m の水槽で行なった模型実験結果を図-3 に示す。OA に沿う波高は計算結果とよく一致しており, l/L が $1/4$ のとき完全重複波高より約 3 割大きい極大波高を生じ, l/L が $1/2$ のとき極大波高を生じない。BC 沿いの波高は計算曲線とほとんど一致しないが, 極大極小波高の値そのものは計算値とよく似た傾向を示している, 実験値と計算値の一致しない原因は, B 点付近で発生する散乱波の位相のとり方にあるものと思われる。

3. 消波ブロック不連続部に沿う波高分布*

第 1 報において $2/3$ 勾配の壁面沿いに捨石を積んだ場合の波高分布について報告したが, ここでは図-4 のよ

うに鉛直壁前面に消波ブロックを積んだ場合を取り扱う。図-5 は幅 0.5 m, 長さ 10 m の 2 次元水路に鉛直壁を置き, その前面に捨石を 2 層の厚さの 3 連ブロックで被覆した消波構造物についての実験結果¹⁾ の一部である。図中の x は鉛直壁からすぐ前面の重複波の節までの距離 (壁面から 3 波長以上離れた地点の節の位置を測定し, 微小振幅波理論の波長 L によりすぐ前面の節の位置に換算したもの) である。実験に使用した水深 h は 20, 30, 40, 50 cm の 4 種類で, ブロック天端幅 l は深海波高 H_0 にほぼ等しくとったもの, 2 倍

図-4 消波ブロック不連続部

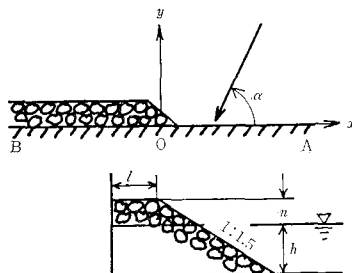
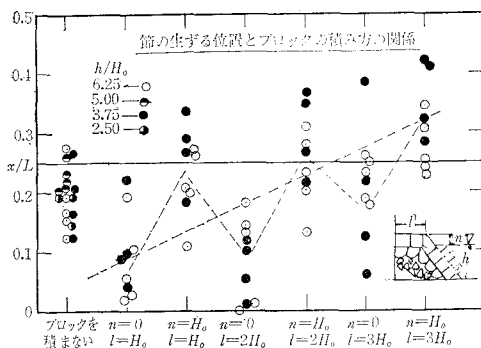


図-5 消波ブロック前面の節の位置



および 3 倍にとったものの 3 種類, 静水面上の天端高 n は 0 および H_0 に等しくとったものの 2 種類, 合計 6 種類の積み方のものについて周期 $T=0.92 \sim 1.60$ sec, 波高 $H=6.0 \sim 8.3$ cm の波をそれぞれの水深において発生させ, x および反射率 r' を測定したものである。図-5 の全体的な傾向としては, $n=0$ に対する x の値は $n=H_0$ に対するものより小さく, また, l が大きくなるにつれ x は少し増加するようである。

* 昭 43. 土木学会中四支部にて一部講演。

図-5の実験結果を参考にし、ここでは簡単にするため、図-4のOAおよびOBからの反射波は位相差がなく、反射率 r' が異なるものとする。前節同様にOAを半無限防波堤とみなし、OB延長上無限遠方において入射波 $\exp ik(x \cos \alpha + y \sin \alpha)$ および反射波 $r' \cdot \exp ik(x \cos \alpha - y \sin \alpha)$ が存在するという条件により、OA前面の波はつぎの式で示される。

$$F = f_1(\sigma) \cdot \exp ik(x \cos \alpha + y \sin \alpha) + f_1(\sigma') \cdot \exp ik(x \cos \alpha - y \sin \alpha) + f_2(\sigma') \cdot r' \cdot \exp ik(x \cos \alpha - y \sin \alpha) + f_2(\sigma) \cdot r' \cdot \exp ik(x \cos \alpha + y \sin \alpha) \dots\dots\dots (5)$$

$\alpha = \pi/2, y=0, x>0$ をこの式に代入すれば、入射角が $\pi/2$ の場合のOA沿いの波を示す次式が得られる。

$$F(x, 0) = 2f_1(\sigma) + 2r' \cdot f_2(\sigma) = 1 + r' + (1 - r')(c + s) + i\{(1 - r')(c - s)\} \dots\dots\dots (6)$$

図-6 消波ブロック不連続部付近の波高分布

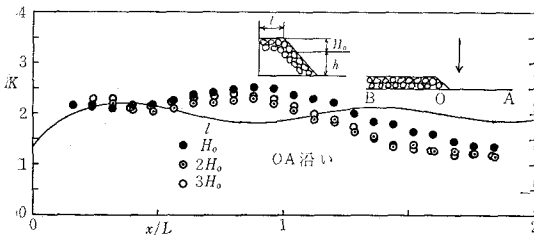


表-2 消波ブロックの実験諸元

水深 $h=20$ cm		周期 $T=1.03$ sec		
天 端 幅 l/H_0		1	2	3
入 射 波 高 H cm		5.1	5.5	5.3

前述の3連ブロック消波構造物についての実験結果から、反射率 r' を0.3としてOA沿いの波高分布 K を求めた計算結果を、模型実験結果とともに図-6に示す。横軸の x は静水面とブロックのり面との交点から測ったOA沿いの距離である。実験諸元は表-2に示すとおりで、図-6の実験に使用したものと同一3連ブロックを前節の実験水槽中に設置して測定したものである。極大波高の値およびその位置の実験値と計算値は一致しないが、この原因は前節同様、わずかの位相のずれを無視したことによるものと思われる。

4. うちあげ高と前面波高

海岸・港湾構造物の高さを設計する場合の参考資料と

$$\omega = \tan^{-1} \frac{\sin k(x \cos \alpha + y \sin \alpha) + \sin k(x \cos \alpha - y \sin \alpha)}{\cos k(x \cos \alpha + y \sin \alpha) + \cos k(x \cos \alpha - y \sin \alpha)} + 2n\pi = kx \cos \alpha + 2n\pi \dots\dots\dots (8)$$

したがって、等位相線は図-9の破線で示すような y 軸に平行な直線となり、法線に平行に三角波が走ることを示すにすぎない。入射波と反射波の成分にわけて考えることのほうが工学的には重要であると思われる。なお、式(7)

図-7 段違い法線におけるうちあげ高と前面波高

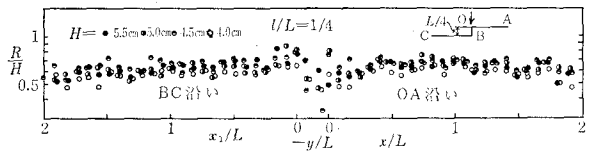
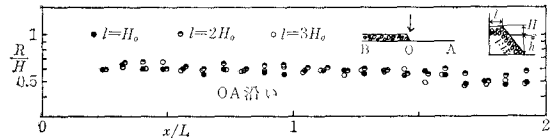


図-8 消波ブロック不連続部におけるうちあげ高と前面波高

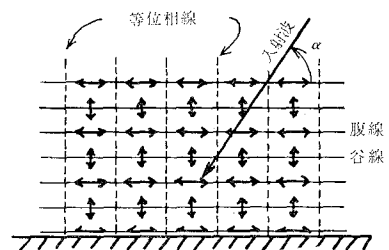


して、前2節における波高分布の測定とともに、うちあげ高の測定も行なった。これらの実験結果はそれぞれ図-7および8に示す。縦軸はうちあげ高 R とその地点における実測の前面波高 H との比である。これらの結果によれば、段違い法線のOB沿いを除き、 R/H の値は0.6~0.65の一定値をとるようである。OB沿いでは節を生じ、波高は小さくなるのでうちあげ高も小さくなり、静水面のとり方により R/H の値は大きく影響を受ける。静水面を実際よりわずかに上側にとったため図-7のOB沿いの R/H の値は過小になったものと考えられる。

5. 隅角部周辺の波高分布

第2報において単純隅角部の法線沿いの波高を求めたが、ここでは航路計画や複合隅角部の設計の参考資料にするため、直角の交角をもつ単純隅角部周辺の波高を計算により求めた。位相の計算はつぎのような理由により行なわなかった。すなわち、たとえば、図-9のような無限直線の完全反射壁に α の角度で波が入射する場合には前面の波は次式で示される。

図-9 無限直線防波堤前面の位相と流速



$$f = \exp ik(x \cos \alpha + y \sin \alpha) + \exp ik(x \cos \alpha - y \sin \alpha) \dots\dots\dots (7)$$

この式の偏角が位相であるから、位相 ω は次式で与えられることになる。

を微分して流速成分 u, v を求めるとつぎようになる。

$$\begin{aligned} u \propto \partial f / \partial x &= ik \cos \alpha \cdot \{ \exp ik(x \cos \alpha + y \sin \alpha) \\ &\quad + \exp ik(x \cos \alpha - y \sin \alpha) \} \\ &= -2 ik \cos \alpha \cdot \cos(ky \sin \alpha) \\ &\quad \times \exp(ikx \cos \alpha) \\ v \propto \partial f / \partial y &= ik \sin \alpha \cdot \{ \exp ik(x \cos \alpha + y \sin \alpha) \\ &\quad - \exp ik(x \cos \alpha - y \sin \alpha) \} \\ &= -2 k \sin \alpha \cdot \sin(ky \sin \alpha) \\ &\quad \times \exp(ikx \cos \alpha) \end{aligned}$$

したがって、図-9 に矢印で示すように、「腹線」 $ky \sin \alpha = n\pi$ において $v=0, u$ は最大となり、「谷線」 $ky \sin \alpha = (n+0.5)\pi$ において $u=0, v$ は最大となる。なお、上式のように流速成分が複素数で表示されている場合には、 u, v が調和振動をしていることを示す。これらのことから、反射壁前面の砂質海底の地形は、峯が壁面に平行な波状になっているものと思われる。

第2報において Stoker の方法により、つぎのような直角交角の単純隅角部周辺の波の解を導いた。

$$\begin{aligned} f &= \frac{4}{3} J_0(\rho) + \frac{8}{3} \sum_{n=1}^{\infty} \exp i \frac{n\pi}{3} \cdot J_{2n/3}(\rho) \\ &\quad \times \cos \frac{2n}{3} \alpha \cdot \cos \frac{2n}{3} \theta \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

ここに、 $\rho = kr$ であり、 r, θ は極座標である。 $\alpha=0$ および $3\pi/2$ の場合にはいずれも、上式の係数 $4/3$ および $8/3$ はそれぞれ $2/3$ および $4/3$ になる。式(9)により、 ρ は 0 から 64 まで 0.5 おきに、 θ は 5° から 265° まで 5° おきに、 α は 0, $\pi/4, \pi/2, 3\pi/4$ の4種類について計算した結果を図-10~14 に示す。なお、第2報と同様に、使用した計算機は TOSBAC 3400 で、Bessel 関数は Goldstein-Thaler の方法により求めた。図-10

図-10 隅角近傍の波高分布 ($\alpha=45^\circ$)

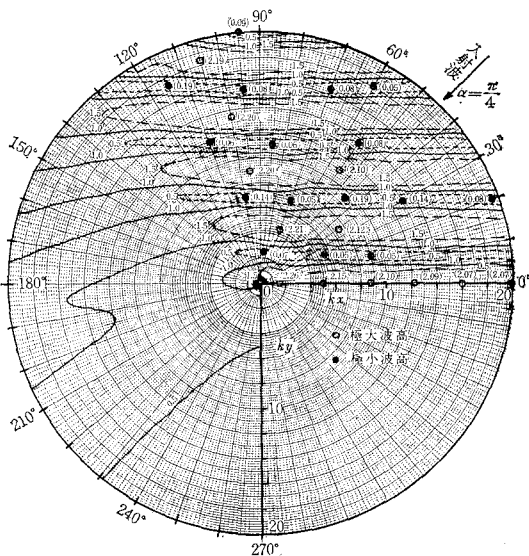


図-11 隅角付近の波高分布 ($\alpha=0^\circ$)

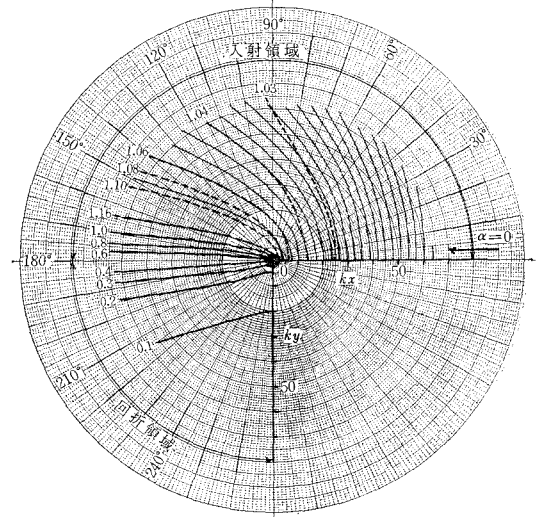


図-12 隅角付近の波高分布 ($\alpha=45^\circ$)

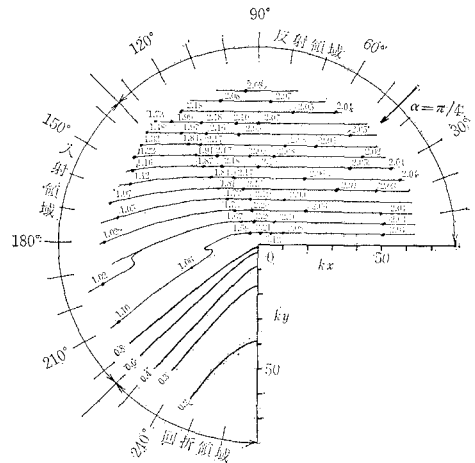


図-13 隅角付近の波高分布 ($\alpha=90^\circ$)

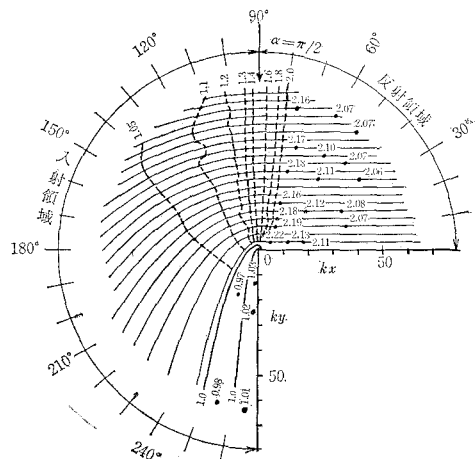
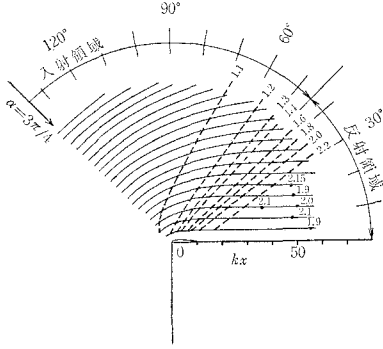


図-14 隅角付近の波高分布
($\alpha=135^\circ$)



$$-2 \exp\{-i/\sqrt{2} \cdot (kx + kl)\} \dots\dots(22)$$

$$\alpha = \pi,$$

$$\begin{aligned} f &= 2f_1 - \exp\{i\rho_2 \cos(\theta_2 - \alpha)\} \\ &\quad - \exp\{-i\rho_2 \cos(\theta_2 + \alpha)\} \\ &= 2f_1 - 2 \cos kx \dots\dots\dots(23) \end{aligned}$$

式 (12)~(23) により, kl は 19 から 28 まで 0.5 おきに变化させ, OA 沿いでは ρ を 0 から 76.5 まで 0.5 おきに, OB 沿いでは $\alpha=0, \pi/4, \pi$ の場合には ρ を 0 から kl まで 0.5 おきに, $\alpha=\pi/2, 3\pi/4$ の場合には 0.1 おきに, BC 沿いでは $\alpha=0, \pi/4, \pi/2$ の場合には ρ を 0 から 76.5 まで 0.5 おきに, $\alpha=3\pi/4, \pi$ の場合には 0.1 おきに波高を計算した。これらの結果は 図-20~26 に示す。

図-20 および 21 は, 最大の極大波高を生じる kl およびその周辺の kl における波高分布を示したもので, いずれも BC からの反射波により生じる重複波の谷に OA が位置するような kl の場合に最大の極大波高を生じ, この計算範囲内では完全重複波高より 35% 大きい極大波高が発生している。図-22 および 23 においては, 散乱波 (回折波) だけにより発生した重複波を OB 沿いにみる事ができる。図-24~26 における破線は極大波高を結ぶ線で, いずれ

も計算範囲内で最大の極大波高を生じる kl およびその周辺の kl における波高分布を示す。

最後に, 図-27 に示すような河幅 l が波長にくらべ

図-22 Z 型法線に沿う波高分布 ($\alpha=0^\circ$)

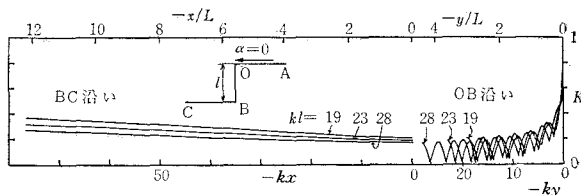


図-23 Z 型法線に沿う波高分布 ($\alpha=45^\circ$)

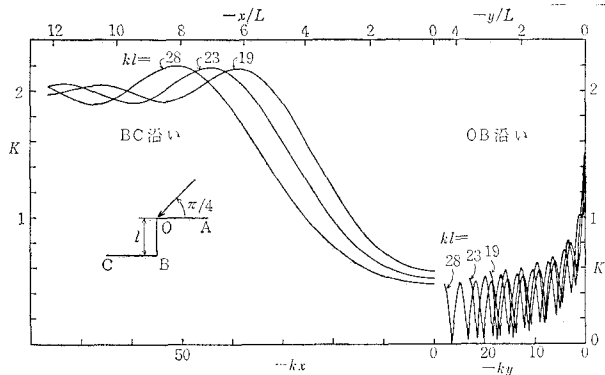


図-24 Z 型法線に沿う波高分布 ($\alpha=90^\circ$)

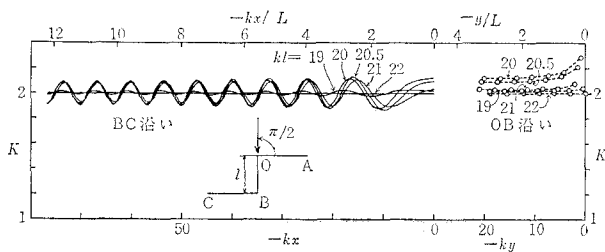


図-25 Z 型法線に沿う波高分布 ($\alpha=135^\circ$)

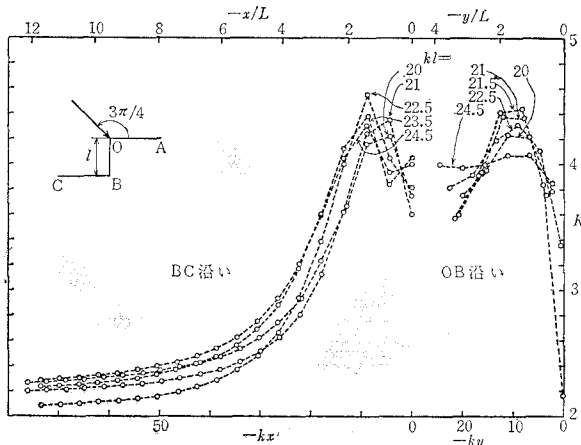


図-20 Z 型法線に沿う波高分布 ($\alpha=90^\circ$)

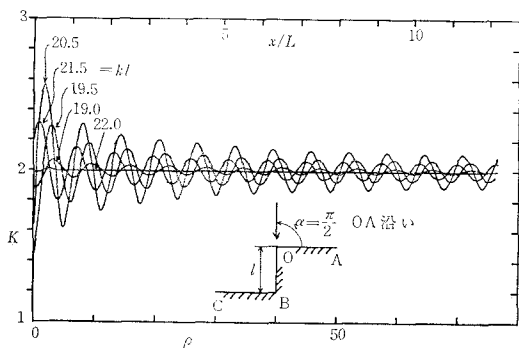


図-21 Z 型法線に沿う波高分布 ($\alpha=135^\circ$)

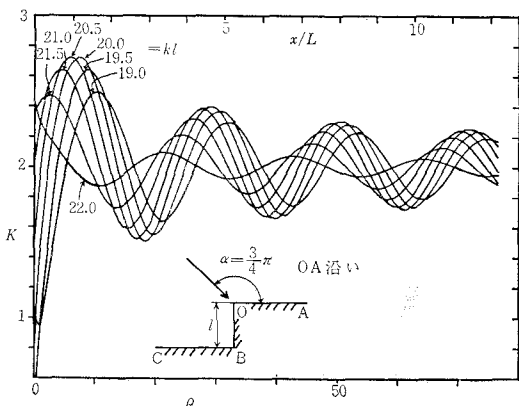


図-26 Z型法線に沿う波高分布
($\alpha=180^\circ$)

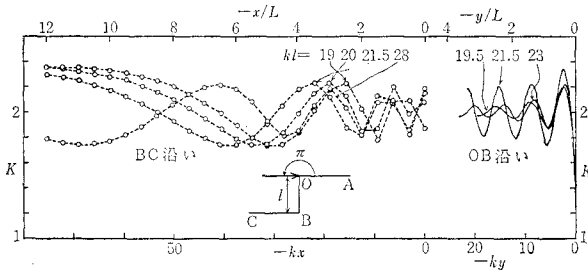
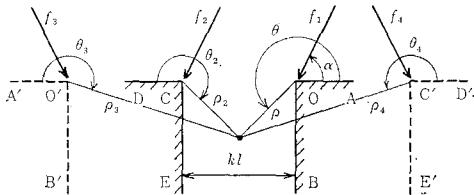


図-27 幅の広い河口



で大きい場合の河道堤防に沿う波高分布を求める。 l が小さい場合については第1報においてすでに求めており、 l が中間の大きさの場合については津波を対象とし、buffer domain法を用いた桃井^{2), 3), 4)}の研究がある。

入射角 α 、振幅1の入射波に対する単純隅角AOB周辺の f_1 は前述と同様であり、これに対し、DCE周辺の解 f_2 は $kl \cos \alpha$ の位相のおくれを考へて

$$f_2 = \left\{ \frac{4}{3} J_0(\rho_2) + \frac{8}{3} \sum_{n=1}^{\infty} \exp i \frac{n\pi}{3} \cdot J_{2n/3}(\rho_2) \times \cos \frac{2n}{3}(\pi - \alpha) \cdot \cos \frac{2n}{3} \theta_2 \right\} \exp(-ikl \cos \alpha)$$

である。CEを鏡面とする鏡像A'O'B'周辺の解 f_3 は

$$f_3 = \frac{4}{3} J_0(\rho_3) + \frac{8}{3} \sum_{n=1}^{\infty} \exp i \frac{n\pi}{3} J_{2n/3}(\rho_3) \times \cos \frac{2n}{3} \alpha \cdot \cos \frac{2n}{3} \theta_3$$

であり、同様にOBを鏡面とする鏡像D'C'E'の解 f_4 は

$$f_4 = \left\{ \frac{3}{4} J_0(\rho_4) + \frac{8}{3} \sum_{n=1}^{\infty} \exp i \frac{n\pi}{3} \cdot J_{2n/3}(\rho_4) \times \cos \frac{2n}{3}(\pi - \alpha) \cdot \cos \frac{2n}{3} \theta_4 \right\} \exp(-ikl \cos \alpha)$$

である。

OB沿いの波高は f_3 を無視して α によりそれぞれつぎのようになる。

$$\alpha = \pi/2, f = f_1 + f_2 + f_4 - 2 \exp \left\{ i \rho_2 \cos \left(\theta_2 - \frac{\pi}{2} \right) \right\} = f_1 + 2 f_2 - 2 \exp(-i \rho) \dots (24)$$

$$\alpha = \pi/4, f = f_1 + 2 f_2 - 2 \exp \{ i \rho_2 \cos(\theta_2 - \alpha_2) - ikl \cos \alpha \} = f_1 + 2 f_2 - 2 \exp(-i \rho / \sqrt{2}) \dots (25)$$

ここに、 $\alpha_2 = \pi - \alpha$, $\theta_2 = 3\pi/2$, $\theta_2 = \theta_4 = \tan^{-1}(\rho/kl) + \pi$, ρ_2

$$= \rho_4 = \sqrt{\rho^2 + (kl)^2} \text{ である。}$$

CE沿いの波高は f_4 を無視してそれぞれつぎのようになる。

$$\alpha = \pi/2,$$

$$f = f_1 + f_2 + f_3 - 2 \exp \left\{ i \rho \cos \left(\theta - \frac{\pi}{2} \right) \right\} = 2 f_1 + f_2 - 2 \exp(-i \rho_2) \dots (26)$$

$$\alpha = \pi/4,$$

$$0 \leq \rho_2 \leq kl,$$

$$f = 2 f_1 + f_3 - 2 \exp \{ i \rho \cos(\theta - \alpha) \}$$

$$kl \leq \rho_2,$$

$$f = 2 f_1 + f_2 - \exp \{ i \rho_2 \cos(\theta_2 - \alpha_2) - ikl \cos \alpha \} - \exp \{ i \rho_2 \cos(\theta_2 + \alpha_2) + ikl \cos \alpha \} = 2 f_1 + f_2 - 2 \exp \{ -i / \sqrt{2} \cdot (kl + \rho_2) \} \dots (27)$$

ここに、

図-28 河道に沿う波高分布
($\alpha=45^\circ$)

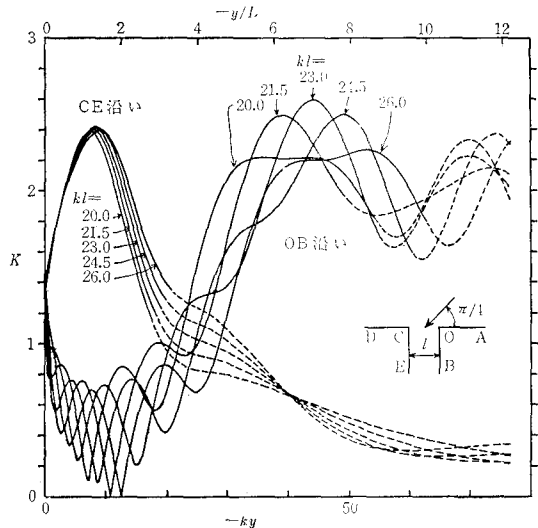
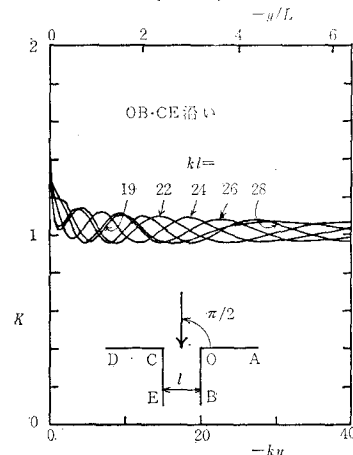


図-29 河道に沿う波高分布
($\alpha=90^\circ$)



$\theta_2 = 3\pi/2$, $\theta = \theta_3 = \tan^{-1}(\rho_2/kL) + \pi$, $\rho = \rho_3 = \sqrt{\rho_2^2 + (kL)^2}$ である。

式 (24) ~ (27) により, kL を 19 から 28 まで 0.5 おきに, ρ_2 を 0 から 76.5 まで 0.5 おきにとって波高を計算した結果は図-28 および 29 に示す。ただし, 2 次以上の鏡像を計算では無視しているのので, これらの図では $\rho = 76.5$ まで表示していない。この計算結果によれば, 河口に斜めに波が入射する場合, 入射波の影響を直接受けない河川堤防においても大きな波高が発生することがあるようである。

7. 結 言

この第3報では, 散乱波が重なって大きな波高を発生する地点が存在することを述べた。現在計画中の幅の広い平面水槽が完成すれば複合隅角よりなる法線に沿う波高分布を模型実験により求める予定である。なお, この

紙面を借りて, 第2報 図-11 に実験結果とともに示した理論曲線は誤りであるので, 同報中の 図-4 を参照して訂正して頂きたいことを報告する。

最後に, この研究に終始ご指導, ご助言を賜った京都大学の石原教授, 岩垣教授, 徳島大学の杉尾教授, 計算にご協力下さった岡山理科大学の一村稔講師, 徳島大学電子計算機室の中平泰男助手, 実験にご協力下さった当時学生 of 村上仁士, 妹尾正雄, 吉川佳男の諸君に厚く感謝するものである。

参 考 文 献

- 1) 三井 宏・川崎俊太: 消波構造物前面の波の特性について, 土木学会年次学術講演会講演概要, 昭 42. p. II-109.
- 2) Momoi, T.: A long wave in the vicinity of an estuary [I], Bulletin of the Earthquake Research Institute, vol. 43, 1965, pp. 291-316.
- 3) 同上 [II], vol. 43, 1965, pp. 459-498.
- 4) 同上 [III], vol. 44, 1966, pp. 1009-1040.