

1.-13 断面形状変化地帯付近の波高分布について

○ 徳島大学工学部 正員 工修 三井 宏
日本建設コンサルタント 正員 工修 川崎 俊太

本研究は、図-1に示す消波ブロック堤のような吸収性の構造物と波を完全に反射する鉛直壁とが隣接する場合、および、図-2に示す鉛直型の法線が段違い状になっている場合の壁面沿いの波高分布を求め、波のうすあげ高や波圧などの設計基礎資料をえることを目的とするものである。

これらの構造物法線に対する理論的取り扱い、半無限防波堤に対する Sommerfeld の解を応用したもので、したがって、実際の場合には砕波を生じない深い一定水深の海底に建設された構造物を対象とすることになる。図-1の法線に波が入射する場合の理論的模型を図-3に示す。図-3において、OAは波を完全に反射する半無限防波堤、 e^{iky} は原型における振幅1の入射波 ($k = 2\pi/\lambda$, λ はその水深における波長)、 $r e^{-iky}$ は振幅 r で y の正方向に進行する仮想入射波 (原型では消波ブロック前面における反射率 r , 位相のずれ 0 の反射波) である。入射波 e^{iky} および $r e^{-iky}$ の半無限防波堤 OA に対するそれぞれの Sommerfeld の解が求まり、これらを合計すれば図-1の構造物周辺の波高分布を示すつぎの近似解がえられる。

$$F = f_1(\sigma) \cdot e^{iky} + f_1(\sigma') \cdot e^{-iky} + f_2(\sigma) \cdot r \cdot e^{iky} + f_2(\sigma') \cdot r \cdot e^{-iky} \quad (1)$$

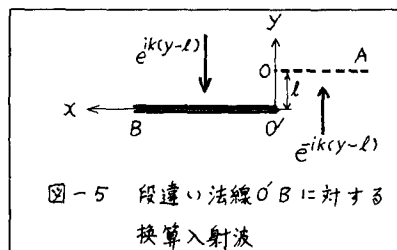
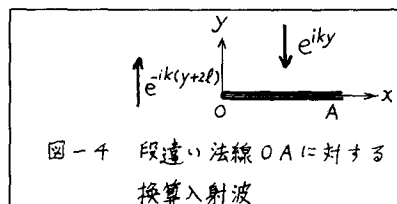
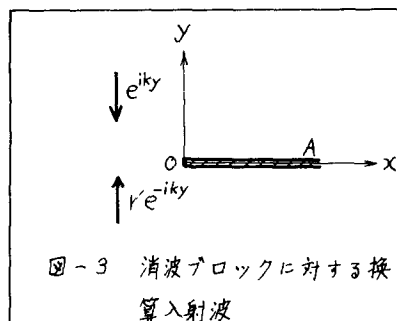
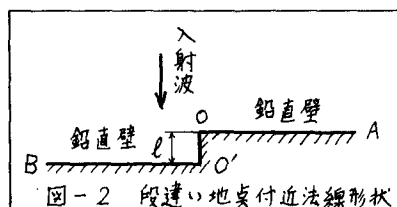
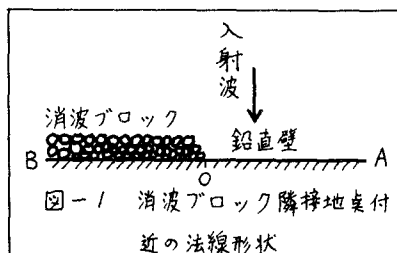
$$\text{ここに、} f_1(\sigma) = 0.5 \pm 0.5(1+i) \int_0^{|\sigma|} e^{-i\frac{\pi}{2}u} du$$

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

上式の複号は $\sigma > 0$ なら上、 $\sigma < 0$ なら下の符号をとる。

$$\sigma = 2\sqrt{\frac{kx}{\pi}} \cos \frac{1}{2}(\theta - \frac{\pi}{2}), \quad \sigma' = 2\sqrt{\frac{kx}{\pi}} \cos \frac{1}{2}(\theta + \frac{\pi}{2})$$

r , θ は x , y の極座標表示である。(1)式第1項は y の負方向に進む入射波、第2項はこの入射波の OA による反射波、第3項は y の正方向に進む入射波、第4項はこの入射波の OA による反射波を示す。(1)式は振動を複素表示したものであるから、全体の絶対値をとれば振幅、偏角をとれば



位相がえられる。(1)式において $x > 0, y = 0$ ($r = x, \theta = 0$) とおき、絶対値をとれば次式のような OA 前面沿いの波高分布 K (前面沿いの波高を入射波高で割った値) がえられる。

$$K = |F(x, 0)| = \sqrt{\{(1+r) + (1-r)(C+S)\}^2 + \{(1-r)(C-S)\}^2} \quad (2)$$

ここに、 C および S は Fresnel 関数である。

図-2 に示す原型の OA 沿いの波高分布は図-4 に示す入射波を考える。前述の場合には入射波 e^{iky} に対し OB による反射波は位相のずれが 0 で反射率を r' としたが、この場合には、入射波 e^{iky} に対し、OB による反射波は位相のずれが -2ℓ で反射率を 1 とする。前述と同様にして Sommerfeld の解を重ね合わせ絶対値をとれば次式に示す OA 前面沿いの近似解がえられる。

$$K = |F(x, 0)| = \sqrt{\{(1+C+S) + \cos 2k\ell(1-C-S) - \sin 2k\ell(C-S)\}^2 + \{(C-S) - \cos 2k\ell(C-S) - \sin 2k\ell(1-C-S)\}^2} \quad (3)$$

ここに、 C および S の上限値である σ, σ' の値は (2) 式と同じで、 $\sigma = \sigma' = \sqrt{\frac{2kx}{\pi}}$ である。

OB 沿いの波高分布の理論模型は3種類を考へられるが、ここでは図-5 に示す模型によつた。すなわち、原型における入射波は OA に対するものより位相が遅れるため $e^{ik(y-\ell)}$ とし、この入射波と重ねて OA で重ね波の腹を生じるように入射波 $e^{-ik(y-\ell)}$ を考へ、さらに OA より右側の擾乱波を重ねて所要の解とし、前述と同様にして OB 前面沿いの波高分布を求めると次式のようになる。

$$K = \sqrt{\{\cos k\ell(-1+C_1+S_1) + \sin k\ell(2C-2S+C_1'-2S_1') + \cos 3k\ell(1-C_1-S_1) + \sin 3k\ell(-C_1+S_1)\}^2 + \{\cos k\ell(C_1-S_1) + \sin k\ell(3-2C-2S-C_1-S_1-2C_1'-2S_1') + \cos 3k\ell(-C_1+S_1) + \sin 3k\ell(-1+C_1+S_1)\}^2} \quad (4)$$

ここに、 C, S はそれぞれ上述同様 $\sigma = \sigma' = \sqrt{\frac{2kx}{\pi}}$ を上限とし、 C_1, S_1 は $\sigma_1 = 2\sqrt{\frac{k}{\pi}} \sqrt{x_1 + \ell^2} \cos \frac{1}{2} \left(\left| \tan^{-1} \frac{\ell}{x} \right| + \frac{\pi}{2} \right)$ を上限とし、 C_1', S_1' は $\sigma_1' = 2\sqrt{\frac{k}{\pi}} \sqrt{x_1 + \ell^2} \cos \frac{1}{2} \left(\left| \tan^{-1} \frac{\ell}{x} \right| + \frac{3}{2}\pi \right)$ を上限とする Fresnel 関数である。

(2) 式に $r' = 0.3$ を代入して消波堤隣接部 OA 沿いの波高分布を求めた計算結果は図-6 に示す。この計算において位相のずれが 0、反射率 $r' = 0.3$ を採用したのは、前年のこの講演会において発表した3連ブロック (水平底上の鉛直壁前面にのりこう配 $2/3$ 、天端幅 $2H_0$ 、静水面上天端高 H_0 の諸元で積んだ消波堤) の実験結果によるものである。同じ断面をもつ消波堤の隣接鉛直壁面 OA 沿いの平面水槽における実験結果を同図に示す。実験諸元を示すと、平面水槽の諸元は幅 7^m 、長さ 20^m 、水深

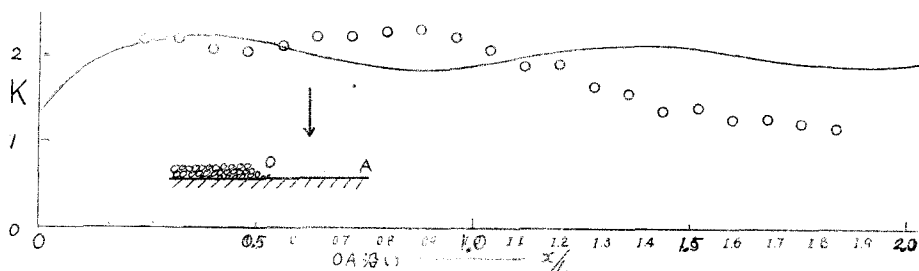


図-6 消波堤隣接鉛直壁沿いの波高分布

20cmで、波の諸元は波高約5cm、周期1秒前後である。

図-2に示けるOAおよびOB沿いの波高分布を与える式(3)および(4)に $l = L/4$ を代入した結果を図-7に示し、 $l = L/2$ を代入した結果を図-8に示す。図-6と同じ実験諸元を用いたそれぞれに対応する実験結果も図に示す。

(図-8)

図-6～8の結果によれば、段違い距離 l が $L/2$ の場合にのみ、実験結果と計算結果とはよく一致している。この場合には擾乱波が発生していないので、無限に長い直線状法線をもつ構造物と同じように取り扱ってよいことがわかる。図-6、7では、いずれも擾乱波が発生し、無限直線状法線前面の波高よりも大きい波高が発生するようである。実験値と計算値とを比較すると、図-7の段違い法線OA沿いではよく一致しているのであるが、OB沿いおよび図-6の鉛直壁沿いでは一致しておらず、実験値と計算値とでは擾乱波の位相が約 $1/2$ 波長だけずれているようである。このように実験値と計算値が一致しない原因は、消波ブロック隣接地底および段違い地底において、計算で仮定しなかった擾乱波が発生し、それが海側から見てへこんでいる方の法線方向に伝播するためと考えられる。

海岸・港湾構造物の計画において、断面形状や法線形状を急変させると反射率や位相を急変して擾乱波(散乱波)が発生し、急変地底付近で異常に大きい波高を生じる。この結果、構造物に対する波圧、波の打ちあげ高、のり先洗掘量などが増加することになる。

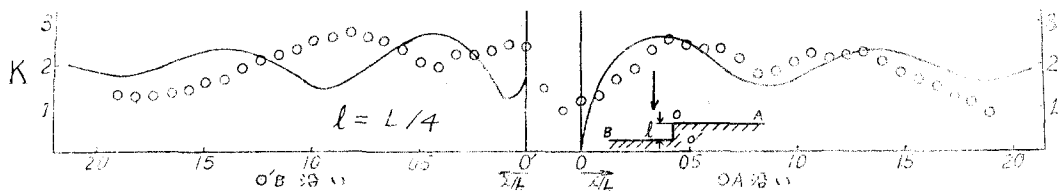


図-7 段違い鉛直壁沿いの波高分布($l = L/4$)

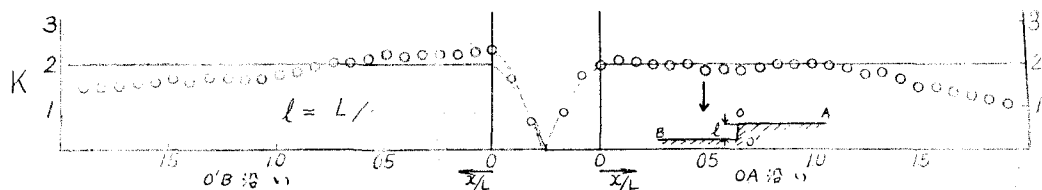


図-8 段違い鉛直壁沿いの波高分布($l = L/2$)