

埋立地造成に伴ううちあげ高、沿岸流の変化

三井 宏*・筒井茂明**・亀川和正***

1. 序 論

埋立地造成を行なう場合、従来は護岸など構造物自体の安全性に注意が向けられていた。しかし、大規模構造物になれば、隣接海岸での沿岸流、波高、うちあげ高など海況の変化が著しくなり、また、海岸消失の要因ともなるであろうから、海岸災害防止の見地から、これら海況の変化について予知した上で、埋立地などの造成計画・設計を行なう必要がある。

本研究では、このような見地から、一様勾配 1/40 の模型海岸に隅角構造物を設置した場合の実験を行ない、波高、うちあげ高、沿岸流の変化を検討する。

2. 埋立地周辺の波

(1) 水深が一定の場合

一様水深の海域に設置された隅角部周辺の波 f は、幾何光学的波 g 、回折・散乱波 χ により、一般に次式のよう表わされる。

$$f = g + \chi \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、上式は時間因子 $\exp \{i2\pi t/T\}$ を省略した定常解、 T は波の周期、 t は時間である。回折・散乱波に対する一般形¹⁾ は

$$\chi = -C(\alpha, \theta) \cdot \exp \{-i(\rho + \pi/4)\} / \sqrt{\rho} \quad \dots\dots\dots (2)$$

で与えられる。たとえば、内角が $\pi/2$ の単一隅角部に對しては、

$$\chi = -\frac{\sqrt{\frac{2}{3\pi\rho}} \cdot \exp \left\{ -i \left(\rho + \frac{\pi}{4} \right) \right\}}{\left\{ 2 \cdot \cos \frac{2}{3}(\theta \pm \alpha) + 1 \right\}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

となる。ここに、 $k=2\pi/L$ 、 $\rho=kr$ 、 L はその水深における進行波の波長、 (r, θ) は隅角点を原点とする極座標である。式 (1) 右辺の各項それぞれの絶対値をとり合計すれば、一様水深の海域における極大波高 K が以下のよう求められる。

$$K = |g| + |\chi| \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$|\chi| \propto 1/\sqrt{\rho} \quad \dots\dots\dots (5)$$

また、これらの近似式の適用範囲²⁾ は、反射・入射・

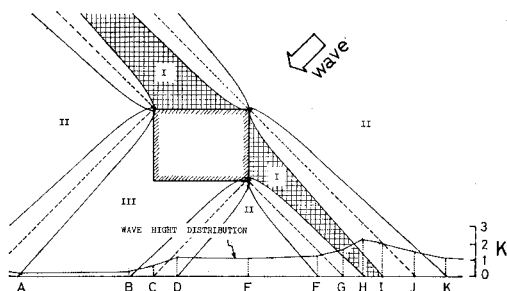


図-1 埋立地造成後の波

回折各領域の境界線を軸とする放物線、

$$\frac{\eta}{L} = \frac{4}{3} \left(\frac{\xi}{L} \right)^2 - \frac{3}{16} \quad \dots\dots\dots (6)$$

の外部および、境界線上である。たとえば、図-1* に示すように AK 沖に埋立地造成を行なった場合を考えてみる。海域を一様水深とすると、式 (6) で表わされる放物線によって海域が図のように分けられる。網目で示した海面 I は入射波と反射波が同時に存在する領域であり、遠く対岸まで影響を及ぼし、船舶の航行に支障をきたすであろう。海面 II は入射波が存在する領域であり、海面 III は幾何光学的影の領域で、回折・散乱波のみが存在する。 AK が海岸線である場合には、区間 DK での波高ひいては、うちあげ高、波圧は造成前より大きくなり、この区間に存在する既設の護岸などはなんらかの補強が必要となるであろう。

(2) 水深が変化する場合 (屈折との組合せ)

水深が変化する海域に幾何光学的波と回折・散乱波が存在する場合には、幾何光学的波の屈折は通常の方法で求め、回折・散乱波の屈折はつぎのようにして求め、重ね合わせればよい。

回折・散乱波の波向線は、隅角点を原点とする放射線であるから、この直交線間隔 b' は原点からの距離 r に比例する。したがって、間隔が b' の地点における回折・散乱波の波高比 K' は次式³⁾ で与えられる。

$$K' = K_0 \sqrt{b_0'/b'} \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここに、添字 0 は一様水深部における基準地点 (たとえば、原点から 1 波長の円周上の地点) における値である。回折・散乱波の屈折図を作って式 (7) により K' を求め、

* 正会員 工博 徳島大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 工修 徳島大学助手 同

*** 学生会員 徳島大学大学院学生

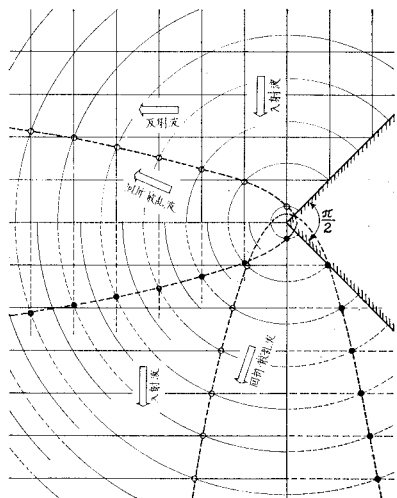


図-2 適用範囲を定める放物線 (水深: 一定)

幾何光学的波と合計すれば、その地点の極大波高が求められる。

適用範囲を定める放物線も水深変化に伴って変形するが、これは次のようにして定めることができる。図-2 は一様水深で、入射角 $\alpha = \pi/4$ の場合の幾何光学的波と回折・散乱波の等位相線 (波峰線) を示したものである⁴⁾。上述の放物線は、反射・入射領域で発生する境界線に最も近い極大波高発生地点を結んでえられる放物線および、入射・回折領域でのこれらの相当地点となっている。したがって、反射・入射領域においては、それぞれ反射波、入射波と回折・散乱波の等位相線との交点 (図中の○印) として求められる。また、入射・回折領域においては、それぞれの領域に、反射波・入射波があるものとしてこれらの等位相線を描き、回折・散乱波のそれとの交点を求めればよい。これらを●印で示す。

以上は、一様水深の場合であるが、水深変化のある場合には、波峰線法などにより波の等位相線を描けば、上述と同様にして適用範囲が定められる。図-3 には、本実験の入射角 $\pi/4$ の場合の放物線の変形後の形を破線で

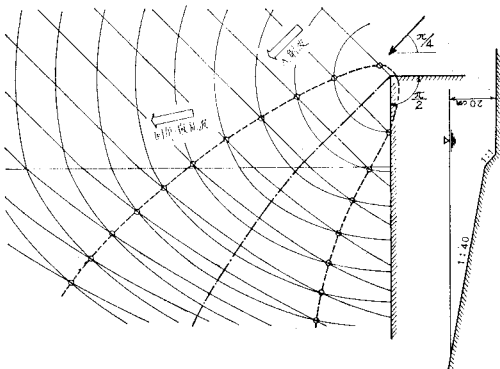


図-3 適用範囲を定める放物線 (一様勾配 1/40)

示してある。

3. 波のうちあげ高

斜面上へのうちあげ高について、Hunt⁵⁾ は次式で示される経験式を提案している。

$$R = C_p \cdot H_0' \cdot \tan \phi \cdot (H_0'/L_0)^{-1/2} \dots\dots\dots (8)$$

ここに、 R はうちあげ高、 C_p は海岸の空げき係数、 H_0' 、 L_0 は相当深海波高および波長、 ϕ は海岸勾配である。Saville の実験結果⁶⁾ のうちで海岸勾配 1/10、1/30 のものと式 (8) とを比較すると 図-4 のようになり、本実験範囲内 ($H_0/L_0 = 0.01 \sim 0.05$) ではよく一致するから、海岸勾配 1/40 の場合にも Hunt の式が成立するものとする。

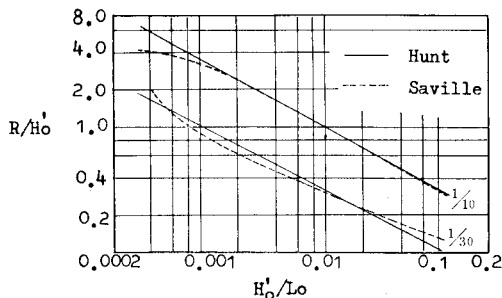


図-4 波のうちあげ高

2. で述べたようにして砕波直前の波高を求め、これから H_0' を求めて式 (8) に代入する。

斜め入射であるから、この砕波直前地点の波は等深線に対してある屈折入射角 β をもっており、式 (8) で求めた R には補正を必要とする。細井・首藤⁷⁾ は一様水深部に 1/2 勾配の堤防を設置してこの減少率を求め、 $\beta = 0^\circ$ すなわち直角入射の場合のうちあげ高に対する各角度でのうちあげ高の比を、入射方向係数 K_β として表示している。

$$R_\beta = K_\beta \cdot R \dots\dots\dots (9)$$

4. 実験*

本実験は、図-5 に示すように一様勾配 1/40 の模型

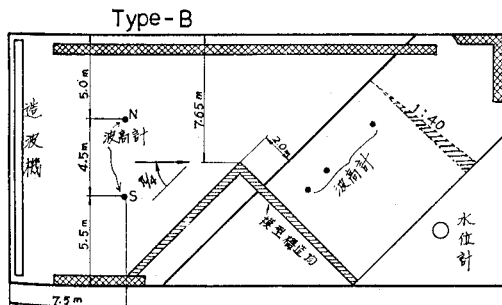


図-5 模型海岸

* 昭 47.5 土木学会中西支部にて一部講演

表-1 実験諸元

Type	入射角 α	水深 h (cm)	周期 T (sec)	波長 L (cm)	入射波高 (cm)			$\bar{H}/L$	H_0/L_0
					N	S	$\bar{H}$		
A		20	0.8	88.7	3.93	3.80	3.87	0.0436	0.0422
		"	1.0	121.2	5.02	4.91	4.97	0.0410	0.0347
		"	1.7	227.0	4.41	4.33	4.37	0.0192	0.0093
B	$\pi/4$	20	0.8	88.7	4.17	4.10	4.14	0.0467	0.0452
		"	1.0	121.2	4.81	5.01	4.91	0.0405	0.0343
		"	1.7	227.0	4.62	3.76	4.19	0.0184	0.0089
C	$3\pi/4$	20	0.8	88.7	3.92	3.63	3.78	0.0426	0.0413
		"	1.0	121.2	4.80	4.82	4.81	0.0397	0.0336
		"	1.7	227.0	4.13	4.47	4.30	0.0189	0.0091

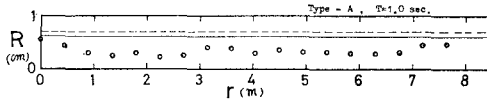


図-6 うちあげ高

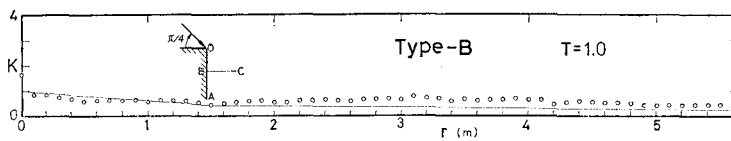


図-7 法線 OA 沿いの波高分布

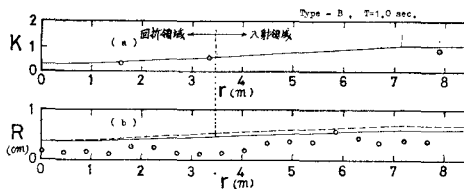


図-8 海岸上での (a) 波高分布および (b) うちあげ高

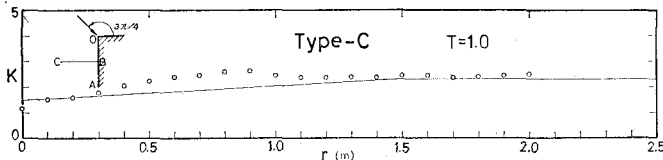


図-9 法線 OA 沿いの波高分布

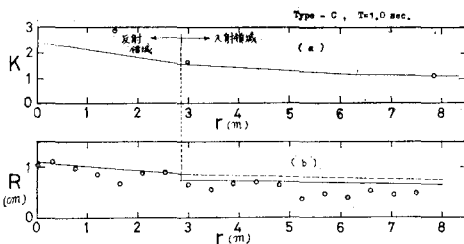


図-10 海岸上での (a) 波高分布および (b) うちあげ高

海岸に内角 $\pi/2$ の隅角部を設置し、構造物法線沿いと海岸上の砕波直前の水深における波高分布およびうちあげ高を求め、さらに、構造物設置前後の沿岸流の変化を調べたもので、それらの一部の結果を図-6~11に示す。実験諸元は表-1のとおりである。ただし、Type A は構造物を設置しない場合であり、B, C における入射角

は一樣水深部にある構造物法線に対する角度である。

図-6 は構造物を設置しない場合のうちあげ高 R (cm) を、横軸に海岸上の基準点からの距離 r (m) をとり表示したものである。図-7 は構造物を設置し、入射角 $\alpha = \pi/4$ の場合の波高分布

を、縦・横軸にそれぞれ、その地点における波高と入射波高の比 K 、構造物法線からの距離 r (m) をとって示したもので、図-8 はこのときの海面上 (砕波直前 BC) における波高分布、うちあげ高を示したものである。また、図-9, 10 は入射角 $\alpha = 3\pi/4$ の場合のこれらの値を示したものである。これら波高分布を示す図中の実線は前述の近似計算による値で、うちあげ高を示す図中の破線は直角入射の場合であり、実線は斜め入射による減衰を考慮した場合のうちあげ高を示したものである。ただし、海岸の空げき係数 $C_p \equiv 1$ とした。

これらの図からわかるように、波高分布については、実験値が近似計算値よりやや大きくなる場合があるが、これは、線形理論で計算したこと、および後述の流れによる波高の増幅作用によるものであろう。うちあげ高については、実験値は近似計算値と等しいか、あるいはそれより小さい値となっている。このように近似計算による波高が実験値より小さい場合でも、うちあげ高についてはよい結果がえられる理由は、砕波直前の波高に対する相当深海波高を線形理論で求め、この値を式 (8) に代入して R を求めたためであろう。これらの図からわかるように、とく

に反射・入射領域に位置する隣接海岸へのうちあげ高は構造物設置前に比してかなり大きくなる。

つぎに、以上の3模型に対する沿岸流の様子を図-11に示す。なお、図中には進行波と重複波の砕波地点を目視により求め、それぞれ、●, ○印で併記してある。同図(b), (c) からわかるように、構造物法線に沿って沖方

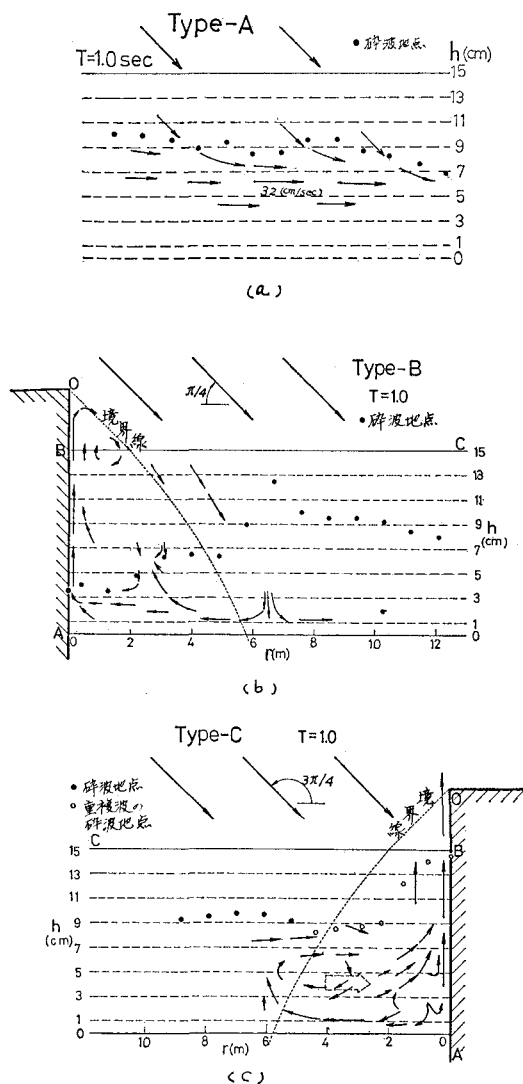


図-11 沿岸流の様子

向に進む流れが生じている。このような波の進行方向と逆方向の流れが発生することにより、法線 OA 沿いの波高は増大される。また、(b) のように境界線付近から左右に分流する流れが認められる。回折・散乱波の進行方

向から考えると、流向はすべて右向きのはずであるが、このように回折領域で左向きの流れとなるのは、入射・回折両領域の wave set-up による水位差が原因と思われる。

5. 結 論

以上から、次のことが結論される。

(1) 回折・散乱波の屈折を考慮して求めた近似計算波高は、流れなどの影響により、実際の波高より小さな値となる可能性があり注意を要する。

(2) うちあげ高については、従来の研究成果を用いて上述のようにして推算しても大過ない値となろう。

(3) 構造物設置により周辺の海域の沿岸流はかなり変化し、とくに、境界線付近では流れが分流する場合がある。また、構造物法線に沿って沖方向に進む流れが生じ、波高増大の一原因ともなる。

最後に、本研究に協力していただいた大阪府庁、新井祥司技師、四国電力 藤枝正夫技師、徳島大学 米崎武夫技官に謝意を表わすとともに、この研究は文部省総合研究費(代表者京都大学 岩垣雄一教授)、文部省特定研究費(代表者北海道大学 尾崎 晃教授)によるものであることを付記する。

参 考 文 献

- 1) 三井 宏・筒井茂明: 海岸構造物不連続部の波高分布について (第5報), 第17回海岸工学講演会論文集, pp. 85~90, 昭 45.
- 2) 三井 宏・筒井茂明・亀川和正: 現場向きの防波堤付近の波高分布推算法, 第18回海岸工学講演会論文集, pp. 71~75, 昭 46.
- 3) 前出 2) に同じ.
- 4) 前出 1) に同じ.
- 5) Bowen, A. J., Inman, D. L. and Simmons, V. P.: Wave 'Set-Down' and Set-up, Journal of Geophysical Research, Vol. 73, No. 8, pp. 2569~2577, 1968.
- 6) たとえば, 土木学会: 水理公式集, 昭和 46 年改訂版, p. 528.
- 7) 細井正延・首藤伸夫: 堤防に斜めに波が入射する場合のうちあげ高について, 第9回海岸工学講演会講演集, pp. 149~152, 昭 37.12.