

電力中央研究所 正会員 ○田中寛好
 同 上 同 上 小森修蔵
 同 上 同 上 和田 明

1. まえかき

砕波帯内に温排水が放出される場合、その拡散範囲を予測するにあたっては、現象の素過程を理解し砕波に伴う海浜流や段波さらには砕波帯外の不規則波浪が温排水拡散過程に及ぼす影響を把握することが不可欠であるが、まず大局的に温排水拡散範囲面積と砕波条件あるいは砕波帯内拡散係数との関係についての知見を得ておくことは工学的に重要である。本報告では、図-1 に示す福島第一原子力発電所地先海域を対象とし、流量68.5 m^3/s (1+2号機分)で環境水温より8.8 $^{\circ}\text{C}$ 高い温排水を放出した場合の拡散面積が、砕波帯幅、砕波周期の変化によってどのような影響を受けるかを規則波を用いて実験的に検討し、あわせて砕波帯内の沖岸方向拡散係数ならびに沿岸方向移流拡散係数と温排水の拡散面積とが深い関係で論じ得るのかどうかと考察する。また、平均的には同じ砕波エネルギーを有する規則波と不規則波作用下の砕波帯内拡散係数を比較検討している。

2. 実験方法

実験に使用した水槽は、長さ50 m 、幅22.6 m 、高さ1.5 m の平面水槽であり、外海波浪実験設備を有する。水槽の一端には造波機が設置してあり、他端には図-1 に示す海底地形が縮尺 $1/150$ (20 $\text{m} \times 13.3\text{m}$)で製作されている。表層の水温測定は、約90本のサーミスタ水温計と拡散実験用自動記録処

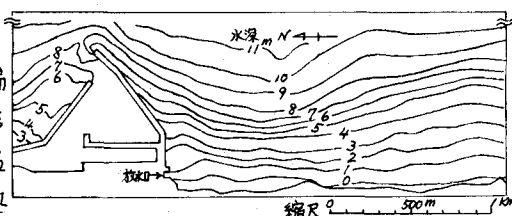


図-1 実験に用いた海底地形図

理装置を用いて同時に実施し、各測定点における水温上昇値より水温の平面分布を求めた。砕波波高は抵抗線式波高計により求め、砕波帯幅は海底に描いたメッシュから目視観測によって得た。従来、比較的小スケールの拡散係数は染料可視範囲の時間的变化率あるいはいくつかの固定点での濃度の時間的变化から求める場合が多かったが、砕波帯内のように複雑な流れが存在したり拡散範囲の水深が一様でないような場所では、染料濃度がガウス分布を示さないことや水粒子の到達確率と染料濃度とが対応しにくいこともあって、染料による方法では精度があまり期待できない。そこで、本実験では、水粒子の運動にはほぼ完全に追従し得る浮子 (直径5 mm) を製作し、それを砕波帯内に1個ずつ計100回投入してそれぞれの時間的な位置の変化をとらえ、その位置の統計的分散の時間的变化率から拡散係数を求めた。

3. 実験結果および考察

上記の方法に従って実験を行った結果、次のような知見が得られた。(結果はすべて原型に換算した値)

(1) 大局的にいえば、温排水の拡散面積は主に砕波帯幅 (砕波波高と強く関連) によって支配され、波の周期にはそれほど強く依存しないことがわかる。特に、砕波帯幅が100~200 m の間では拡散面積が砕波帯幅によって敏感に影響を受ける。少し詳細にみれば、砕波帯幅が広く拡散範囲の大部分が砕波帯内におさまるような場合は、非常に周期の長い波が作用している時に限って拡散面積が若干大きくなる傾向がうかがえる。(図-2)

(2) 表-1 に示す拡散係数は、海浜流系統全体を含む規模のものではなく主に砕波による段波と沿岸流の作用する砕波帯内に限った場合のもので、定常に達した後の平均値を採用している。拡散係数は点源投入によって求めており、投入直後は沖岸方向、沿岸方向とも乱れによる拡散が支配的であるが、沿岸方向は時間とともに沿岸流によるシアア効果加わって拡散係数は大きくなる。沖岸方向拡散係数 K_y は1~2分で定常に達してしまうが、沿岸方向移流拡散係数 K_x は定常に達するのに少なくとも10分程度は要する。 K_x はせいぜい離岸流間隔程度、 K_y は

砕波帯幅程度の拡散スケールを対象としている。

(3) 砕波帯幅がほぼ同じであれば K_x の周期によるばらつきは小さい。ただし、ケースVの K_x がケースIII, IVに比べて小さいのは、離岸流間隔が小さいため砕波帯内で沿岸流によるシア効果と十分受けないうちに砕波帯外へ水粒子が流出するからであろう。(表-1)

(4) K_y は砕波帯幅、周期ともに強く依存する。(1)の後半で述べたことは、波の周期が長くなると K_y がかなり小さくなることと関連するようである。(表-1)

(5) 大局的にいえば、拡散係数が大きくなれば拡散面積は小さくなるが、拡散範囲が比較的小さく砕波帯内にほぼおさまる場合には、拡散面積との相関は K_x よりも K_y の方が強いようである。本実験では水平方向のみの拡散係数に注目したが、砕波帯内においては、非常に小さいスケールながらも水深方向に温度を均一化する役目を行なう鉛直拡散も重要な要素となり得よう。(表-1)

(6) 規則波作用下と不規則波作用下の拡散面積を比較検討したところ有意な差は認められなかったが、 K_x に関しては規則波の方が若干大きく、 K_y に関しては逆に不規則波の方が少し大きめの傾向がみられた。規則波は不規則波に比べて沿岸流が定常的で平均流速が大きいために、シア効果が明確であること、および水粒子がその強い流れに引き込まれるような形となることにより沖岸方向への拡散が制約されること等が原因と思われる。(表-1)

(7) 本実験で得られた K_y をInman et alおよびHarris et alの算定式による結果と比較したが、いずれの算定式によるものとも一致しなかった。Inman et alの値より1オーダー小さく、Harris et alの値の数倍大きい結果を得ている。(表-1)

(8) K_x , K_y の時間的变化の一例を示したのが図-3であり、(2)で述べたように K_y は拡散スケールが小さいこともあって定常に達する時間は小さいが、 K_x は定常まで多少時間を要するのが認められる。投入後180秒後のデータは質量輸送が卓越している場合のものであり、 K_y の方が K_x よりも大きくなっている。また、 K_x が定常に達した以降の約730秒後には離岸流の影響を受けはじめており、 K_x は若干小さく、 K_y は離岸流によるシア効果が働いて非常に大きな値を呈している。

以上を総合すると、拡散範囲は主に砕波帯幅によって影響を受け、通常問題となる1~3℃上昇範囲の面積は砕波帯幅が大きくなるに従って小さくなること、また拡散範囲が砕波帯内にほぼおさまるような場合は、拡散面積と沖岸方向拡散係数とはかなり良い相関を示すこと等が結論づけられる。

最後に、実験に際し御協力頂いた電力技術整備株式会社の竹内出氏に心から謝意を表する次第である。

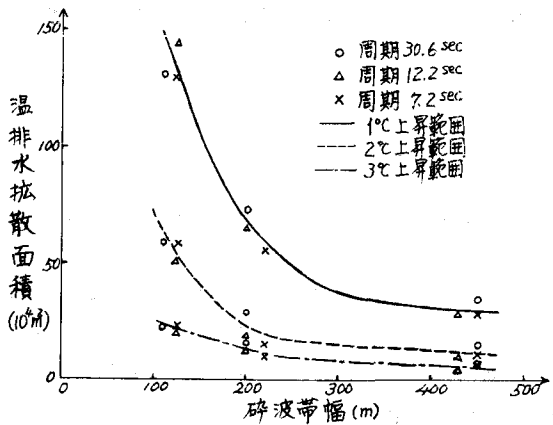


図-2 砕波帯幅、砕波周期と温排水拡散面積との関係

表-1 波浪条件・温排水拡散面積・砕波帯内拡散係数の相互関係

ケース	波浪条件	温排水 拡散面積 (10 ⁴ m ²)	砕波帯内拡散係数 (10 ⁴ cm ² /s)		
			Inman et al	Harris et al	本実験結果
I	H _b = 5.7 m	1℃ up 33.5			K _x = 67.6
	T = 30.6 sec	2℃ up 14.2			
	X _b = 450 m	3℃ up 6.4	K _y = 83.8	K _y = 1.06	K _y = 7.2
II	H _b = 5.1 m	1℃ up 27.9			K _x = 73.8
	T = 12.2 sec	2℃ up 8.7			
	X _b = 450 m	3℃ up 4.2	K _y = 79.8	K _y = 2.13	K _y = 20.2
III	H _b = 2.7 m	1℃ up 22.6			K _x = 33.7
	T = 30.6 sec	2℃ up 22.1			
	X _b = 200 m	3℃ up 16.6	K _y = 17.6	K _y = 0.24	K _y = 0.8
IV	H _b = 2.2 m	1℃ up 65.1			K _x = 32.2
	T = 2.2 sec	2℃ up 18.0			
	X _b = 220 m	3℃ up 12.2	K _y = 36.1	K _y = 0.40	K _y = 2.9
V	H _b = 2.3 m	1℃ up 55.5			K _x = 15.4
	T = 7.2 sec	2℃ up 14.6			
	X _b = 220 m	3℃ up 8.9	K _y = 70.3	K _y = 0.67	K _y = 3.4
VI	H _b = 3.7 m	1℃ up 37.7			K _x = 52.7
	T = 13.0 sec	2℃ up 14.2			
	X _b = 330 m	3℃ up 2.3	K _y = 93.9	K _y = 1.05	K _y = 4.6
VII	不規則波	1℃ up 44.4			K _x = 41.1
	平均値0.72と同一	2℃ up 12.3			
		3℃ up 6.0	K _y = 93.9	K _y = 1.05	K _y = 6.6

H_b: 砕波波高 T: 砕波周期 X_b: 砕波帯幅
K_x: 沿岸方向移流拡散係数 K_y: 沖岸方向拡散係数

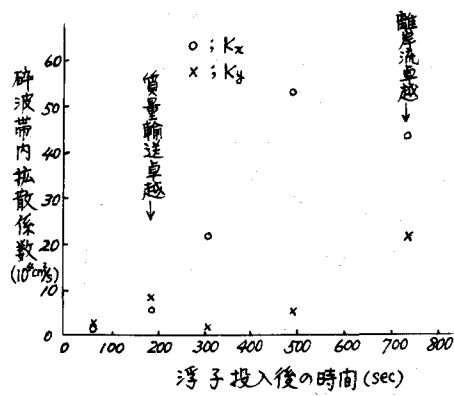


図-3 砕波帯内拡散係数の時間的变化の一例