

複数管による冷排水水中噴流特性に関する研究

東海大学大学院
東海大学海洋学部
中部電力(株)
(株)大星測量設計
日産建設(株)

磯部 純
正会員 和田 明
正会員 服部孝之
川島祐二
佐藤拓史

1. はじめに : 常圧下-162℃の液体状態である液化天然ガス(LNG)は、LNG基地で海水によって気化された後、発電用燃料等に使用されている。この気化する際に使用された海水は、取水温度より約4℃低い冷排水となる。冷排水を海域に単独で放流する場合、周辺の海域環境に何らかの影響を与えることが懸念されるため、周辺海域の海水と速やかに混合希釈させる必要がある。本研究では、冷排水における水中放流実験を実施し、放水管1本当たりの放水流量を一定にして、放水管2、3本の場合の放水管設置間隔(以後 L/D とする)並びに初期条件を変化させた場合、噴流の混合希釈特性にどのような影響を与えるかを検討したものである。

2. 実験装置及び実験方法 : 実験装置は、図-1に示す2次元水槽(幅:2m, 高さ:1m, 長さ:12.1m)を使用し、主に冷水供給装置・流量計からなる給水装置及び水槽内の水位を一定に保持するために設けた取水装置から構成されている。模型縮尺はフルードの相似則に基づいて縮尺1/70の無歪み模型とした。実験条件は、静止水域の単層とし、取放水温度差を $\Delta T_0 = -4^\circ\text{C}$ とした。表-1に、実験ケースを示し、図-2には放水管断面図(H :全水深、 H_1 :水面からノズル中心までの水深、 H_2 :ノズル中心から底面までの距離)を示す。また、図-3に複数放水管の設置位置例を示す。なお、水温は、サーミスタ水温計で計測した。

表-1 実験ケースおよび条件

CASE NO.	Q (cc・本)	U ₀ (cm/s)	D (cm)	θ (°)	N (本)	L/D	Fr ₀	Re ₀
A1	73.2	23.3	2.0	15	1	-	1.9	$\times$ 1.0
A2-5					2	5		
A2-10						10		
A2-20						20		
A2-30						30		
A3-5					3	5		
A3-10						10		
A3-15						15		
A3-20						20		
B1	47.6	14.4	1.0	10	1	-	4.7	$\times$ 1.0
B2-7					2	7		
B2-11						11		
B2-21						21		
B2-29						29		
B3-5					3	5		
B3-10						10		
B3-15						15		
B3-20						20		

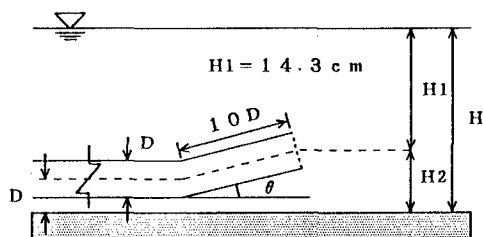


図-2 放水管断面図

Q: 放水流量, U_0 : 放水流速, L/D : 放水管設置間隔,
N: 放水管本数, θ : 放水管勾配角度, D: 放水口管径,
Fr₀: 放出内部フルード数, Re₀: 放出レイノルズ数.

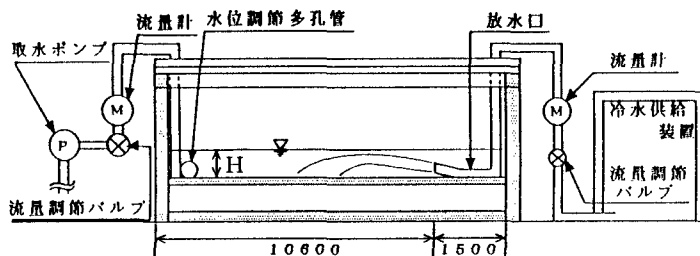


図-1 実験装置の概要

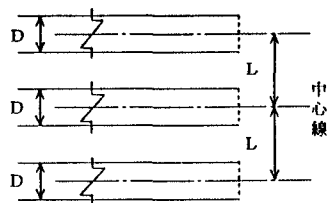


図-3 複数放水管設置例
(N=3本の場合)

3. 実験結果及び考察 : 図-4、5、6に水温低減率を示す。縦軸は水温低減率 ($\Delta T_{\max} / \Delta T_0$) を、横軸は放水管先端からの流下距離 (L) を示す。 $\Delta T_{\max}$ は、中心噴流の T_a (周囲水の水温) と T_m (噴流中心軸の水温) の差 ΔT の最大値を、また、 ΔT_0 は、 T_a と T_0 (放水管出口水温) の差をそれぞれ示す。図-4は $Fr_0=19$ における水温低減率を示す。この場合、 $L=40$ cmにおいて水温低減率は $N=2$ 本で0.25、 $N=3$ 本で0.3を示す。図-5は $Fr_0=47$ による水温低減率を示す。同様に $L=40$ cmにおける水温低減率は $N=2$ 本で0.22、 $N=3$ 本で0.24を示す。図-4、5から、 Fr_0 が大きくなる程若干ではあるが、水温低減率の向上がみられる。図-6は $D=2.0$ cmの場合の $N=1$ 本と $N=3$ 本を比較したものを示す。図より、 L/D の値が大きくなるに従い、 $N=1$ 本の水温低減率に近づく傾向が見られる。図-7は水温拡散範囲比較図を示す。縦軸に A_p/A_s 、横軸に L/D を示す。 A_s は、放水管本数1本における水温低減率0.2の拡散面積、 A_p は、放水管本数が複数の場合における水温低減率0.2の拡散面積を示す。 $N=2$ 本の場合、 A_p/A_s の値が2~3に、 $N=3$ 本の場合、同様に3~4の範囲に入っていれば、噴流の相互干渉が小さいと考えると、 $D=2.0$ cm ($Fr_0=19$) の場合、 $L/D=30$ 以上で、 $D=1.4$ cm ($Fr_0=47$) の場合、 $L/D=7$ 以上で相互干渉の影響は受けないと考えられ、 Fr_0 が大きくなる程 L/D が小さくなる事が推定される。同様に、 $N=3$ 本、 $D=1.4$ cmの場合、 $L/D=1.0$ 以上で相互干渉の影響を受けなくなっている。

4. まとめ : 以上のような実験条件から、以下の結論を得た。① $N=2$ 本、3本の場合、 L/D の値が大きくなるに従い周囲水からの連行加入が増大し、混合希釈がより良くなる。② $D=1.4$ cmと $D=2.0$ cmの場合を比較すると内部フルード数が大きい $D=1.4$ cmの方が効果的な希釈が期待できる。

<参考文献>

1) 片野尚明・河野博美・和田明・鈴木慶一・田中一彦: 冷排水噴流の重力拡散特性に関する実験的検討、電力中央研究所、No. 378560、1979。2) 加藤正進・和田明: 水理模型実験手法による温排水拡散予測に関する研究、電力中央研究所、No. 381018、pp. 70~72、1981。3) 加藤秀樹・和田明・服部孝之・川島祐二・深谷一紀: 冷排水による水中噴流特性の研究、土木学会中部支部平成5年度研究発表会講演概要集、pp. 203, 204、1994。

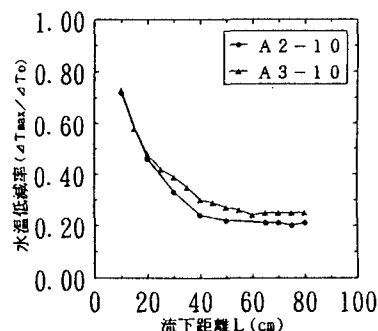


図-4 水温低減率

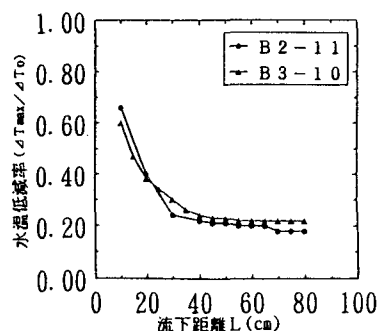


図-5 水温低減率

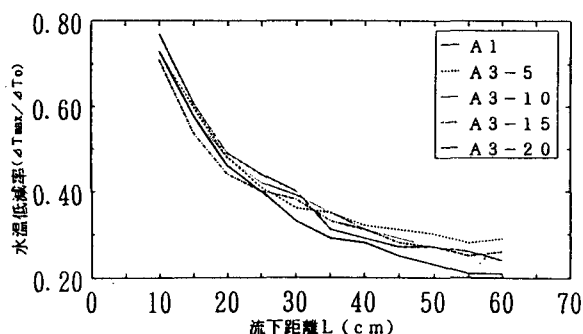


図-6 水温低減率

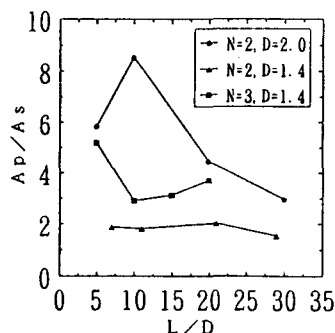


図-7 水温拡散範囲比較図