

# 海洋温度差エネルギー利用の研究

(第1報：実験船の洋上設置と冷海水のポンプアップ)

東 昭彦\* ・田中 清裕\*\*  
栗須 正登\*\* ・中根 重勝\*\*\*  
東 勝彦\*\*\*\* ・宇都 幸一\*\*

## Studies on Utilizing of Temperature Difference Energy in the Sea

(The First Report : Fixing the Ship for Experiment in the Sea and Pumping up the Cold Sea Water)

Masato KURISU, Kouichi UTO, Kiyohiro TANAKA

(Department of Mechanical Engineering)

Shigekatu NAKANE

(Fisheries)

Katuhiko HIGASHI

(Department of Electrical Engineering)

Akihiko HIGASHI

(Graduate Student JNR)

Using of Temperature Difference Energy in Japan Sea have been studied. It is experimented that fixing the Ship and Pumping up Cold Water in Japan Sea

- (a) Anchor the Research Ship to the Sea
- (b) The Character of the Pipe for Pumping up
- (c) Relation between the Ship and Pipe Line
- (d) Pressure Loss of the Pipe

### 1. 緒言

近年海洋エネルギー利用に関する研究が数多くみられる。海洋エネルギーとしては波力、潮力、または温度差が考えられ、著者らは東大海洋研究所を初めとす

る数多くの協力のもとで、海洋の温度差エネルギー利用について研究を進め、まず温度差エネルギーを有効に得られる海域についての調査を行い、日本海が最も有効な海域であることを報告した。本報告では日本

---

昭和56年4月28日受理

\*国鉄

\*\*機械工学科

\*\*\*水産学部

\*\*\*\*電気工学科

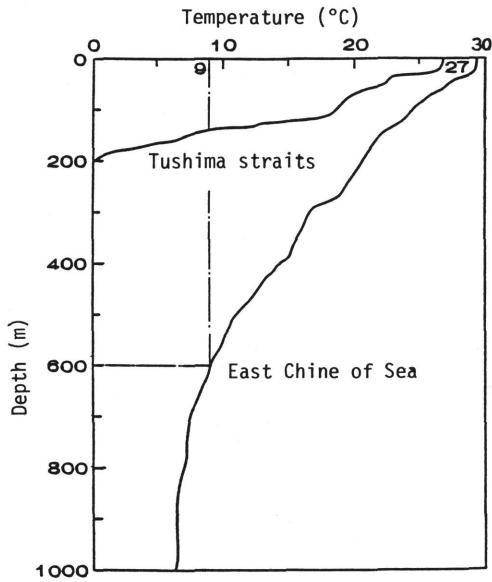


Fig 1. Relation Between Depth and Temperature

海の温度分布調査を基礎として、実験船「かいおう」による冷海水揚水パイプラインの洋上設置を行い、実験船およびパイプラインの設置、また揚水に必要なポンプ動力等について基礎的データを得たので次に述べる。

## 2. 日本海の温度分布

図1に日本海対島附近の海域および東シナ海での水温鉛直分布を示す。縦軸は水深、横軸は水温である。図の9°Cでの比較を行うと対島では約150mであるのに対し、東シナ海では600mにも達しており、東シナ海では800m以上においては全んど温度差がみうけられない。海洋温度差エネルギーは表層の温海水と海底付近の冷海水の温度差を利用するため、冷海水を揚水しなければならない、このためには水深に対する温度勾配が大きく、かつ温海水と冷海水の温度差が大きい対島（日本海）は揚水パイプラインが非常に小規模なものとなり、都合がよい。

## 3. 揚水予備実験

### 3.1 予備実験

日本海の冷海水は調査より水深約200mに存在し、この水深から冷海水を揚水する必要がある、よって200mの揚水実験の一環として40、70および男女群島近海における200mの揚水予備実験を行った。

### 3.2 40m揚水実験

40m揚水実験は昭和55年3月17日長崎湾口付近で行った。揚水パイプとして、口径6インチ、30mフレキシブルパイプを1本用い、実験船として、水産学部鶴水19.9トンを用いた。パイプの下端には6インチのストレーナをもうけ、ストレーナ部分より、海中へ沈める方式をとり、パイプの上端には水中ポンプを取りつけ、キャピレーションをさけるため水深10mにポンプを設置した。ポンプから船上までは4インチビニールホースを用い、海水を導いた。図2にパイプを沈める



Fig 2. Pipe

状況を示す。ポンプおよびパイプラインは船のローリング、ピッチングの影響をさけるため、浮力250kgのフロート2個を用いて設置した。図3にフロートの状況を示す。この実験において次のことが確かめられた。パイプラインやポンプをフロートを用いて設置することは船およびパイプライン間に力を発生させないため有効である。パイプラインを沈める場合に人力によって行なったため設置に時間を要した。

### 3.2 70m揚水実験およびグラフィックソーナー

70m揚水実験は昭和55年5月13～14日、伊王島沖に

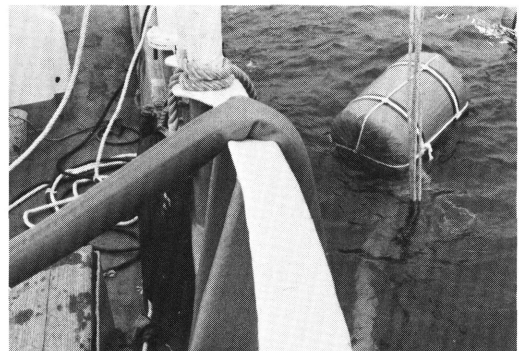


Fig 3. Float of Pipe Line

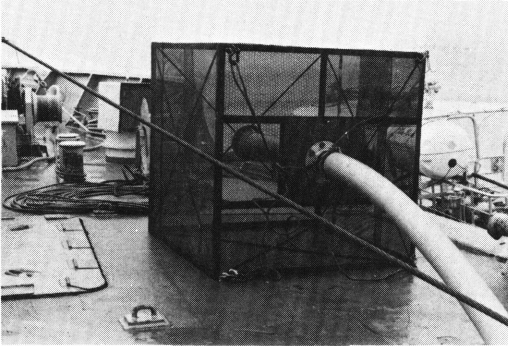


Fig 4. Strainer

て実験船「かいおう」, および水産学部「鶴水」を用いて実験を行った。この実験ではパイプ下端に新たに1.5×1.5×1.5mの大型ストレーナを取りつけた, 図4にストレーナを示す, 揚水パイプは6インチフレキシブルパイプを2本使用し, ポンプより船上までは4インチのフレキシブルパイプを使用した。パイプラインの投入にはストレーナ部分にワイヤを取り付け, 20トン用デリック(船上クレーン)により行った。またパイプラインおよびストレーナの海中での設置状況を調べるため, 鶴水にグラフィックソナーを取りつけて行



Fig 5. Graphic Sonar

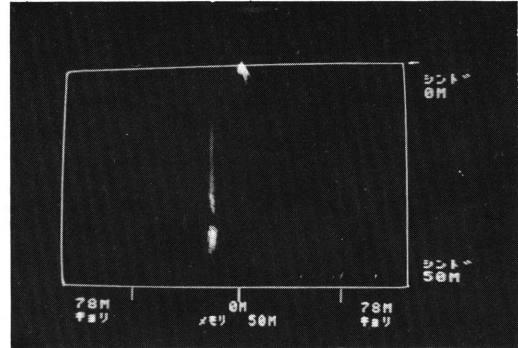


Fig 6. Photograph of Pipe and Strainer by Graphic Sonar

なった。図5にソナーの取付状態を示す。図6は鶴水にとりつけたソナーにより撮影したパイプラインおよびストレーナの状況であり, 中央に鉛直に写っているのがパイプライン, 下端部がストレーナである。図よりパイプラインはほぼ鉛直に設置されていることが確認できた。この実験においては次の事が確かめられた。パイプラインの設置にデリックを用いることは設置時間を大幅に短縮することができ, かつ大型ストレーナはパイプを鉛直に設置する効果も有ることがわかった, しかしながら設置する場合パイプライン自体の自重がかなり有り, パイプライン自体はストレーナの落下と合せて人力で行ったため, 問題を残した。またパイプラインの回収時においてはストレーナの巻上げとパイプの収納の歩長が合わず, パイプがワイヤーに巻き込まれるという事が生じた。

### 3. 3 200m揚水予備実験

200m揚水予備は昭和55年7月2日～5日, 男女群島付近の洋上にて, 実験船「かいおう」および実験船の曳航のため, 水産学部長崎丸の協力を得て行なった。前二回の揚水実験より, パイプラインの設置および収納時の保護および強化, 設置および収納の迅速化, また風波により生ずる実験船とパイプラインの接触の回避を行う事を主目的として実験を行なった。まず設置および収納の迅速化についてはパイプ自体が180mと長くなったため, パイプライン巻取装置を船倉にもうけ, この装置に全てのパイプを巻取った。図7に巻取装置を示す。パイプの保護, 強化については, パイプのフランジ部にワイヤー取付金具を用い, ワイヤーをパイプにそわせ, パイプの自重や, 波によりフロートとパイプライン間に発生する力をワイヤーに加えることにし, またパイプラインの設置, 収納においてもこ

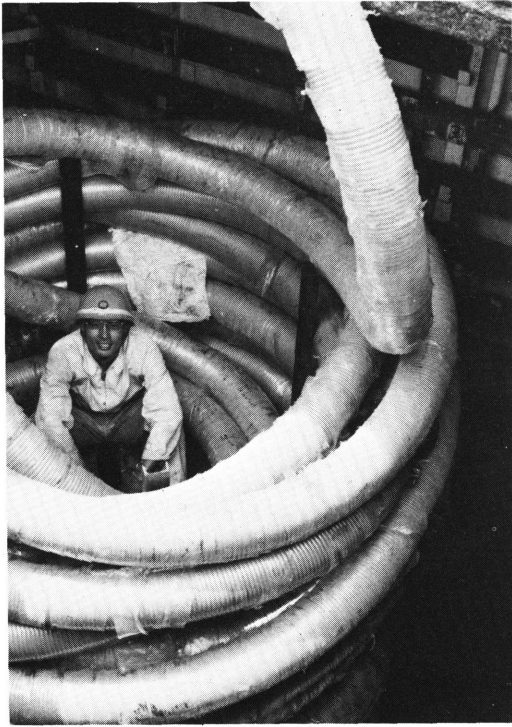


Fig 7. Roller of Pipe

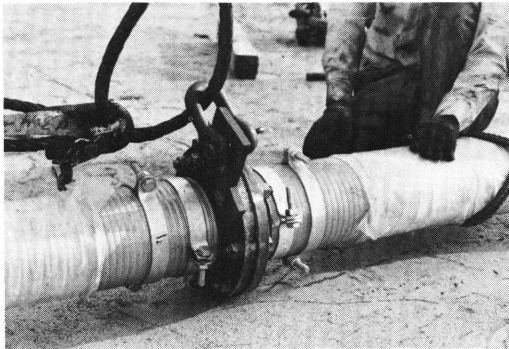


Fig 8. Connector of Flange and Wire

のワイヤーを利用してデリックにより行った。図8にワイヤー取付金具を示す。以上の改良によりパイプラインの設置および収納は約30分で行うことが可能となった。パイプラインはフロートにより設置しており、ほぼ全体が海中に沈んでおりその動きは潮流によって影響を受けると考えられる、しかしながら実験船はアンカーにより碇泊している場合潮流とともに風の影響をもうける、このため両者の動きに差が生じパイプラインのフロートおよび船とフロート間のワイヤーがプロペラ等に接触して大きな支障が生じる、よって新た

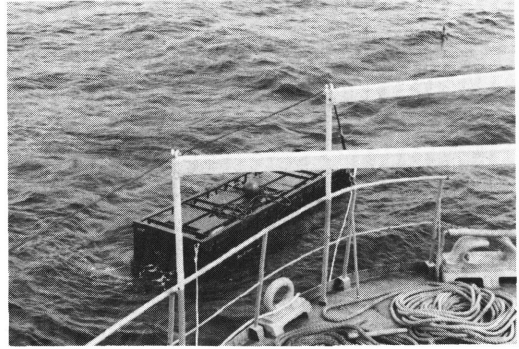


Fig 9. Raft

に浮力約1トンの筏をもうけ、この筏に対する風力を利用し、パイプラインを船体から引きはなすことに成功した。図9に使用した筏を示す。この実験において次のことが確認できた。パイプライン巻取装置の使用およびフランジ間にワイヤーを取りつけることにより、パイプラインの設置、収納の迅速化および保護、強化をはかることが可能となった。筏の使用は特に風の変化が激しい場合に、船とパイプラインの接触をさけるのに効果をもたらした。

#### 4. 本実験

本実験は昭和55年7月22～24日、実験船「かいおう」を用いて、島根県日御碕沖20海里の洋上で行なった。長崎から現地までは、水産学部長崎丸の協力を得た。本実験は温度差エネルギー利用の実験（海水淡水化）を主目的としたものであったが、淡水化については次報で述べる。図10に実験船および冷海水揚水用パイプラインの設置状況を示す。本実験においては実験が長時間にわたるため実験船の洋上設置に対して特に考慮がなされた。概存の碇泊設備では実験海域の水深200mでの碇泊が不可能のため概存のアンカチェーンに600m（水深の約3倍）のワイヤーを連結して用いた。図のような設置方法において実験船およびパイプラインは、風向や潮流に対し、アンカーを中心とするほぼ同心円上を動くこととなり、両者の接触を無くす筏の効果も確認できた。しかしながらアンカーについては季節はずれの強風や、海底との摩擦が少ないワイヤーを使用したこともあり、船が流される事が発生した。また実験における冷海水揚水量は約0.5m<sup>3</sup>/min、海水温度は2°～4℃で、ポンプupについてはほぼ問題のないことが再度確認できた。本実験において次の事が確認できた。船とパイプラインの接触をさけるための筏は特に実験が海上で行うため非常に重要である。風の影響は想像以上に強いいため、アンカー設備の強化

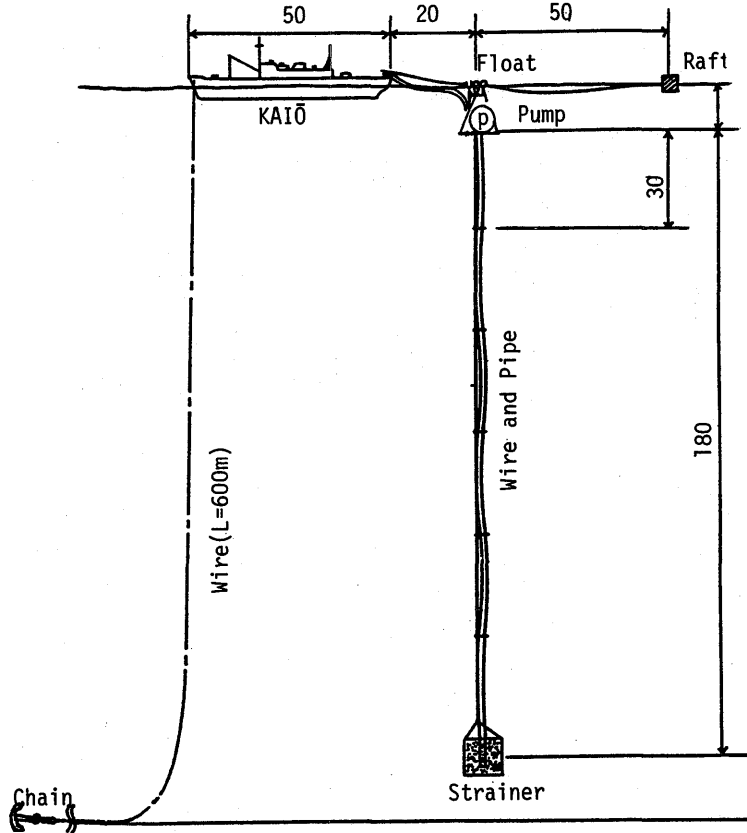


Fig 10. KAIŌ and Pipe Line

が必要である。揚水はほぼ満足に行なわれたが、今回の場合フロートが波とほぼ同じ動きをしたため、パイプラインや最下部のストレーナに流体抵抗がくりかえし加えられたと考えられ、この点について考慮が必要だと考えられる。

5. 揚水用パイプおよびパイプラインの圧力損失

5. 1 揚水用パイプ

冷海水揚水パイプとして軟質塩ビ製のフレキシブルパイプ(トーヨープラスホース製サクションホース)を使用した。表1にパイプの特性を示す。このホースは塩ビ製であるため鉄管に比べ軽量であり、海水による腐食性がなく、冷海水の揚水時における温度上昇を低

減することが出来、かつフレキシブルであるため、海中の水深による潮流より生ずる、曲げや、ねじりに対して応力集中をさけることができ、設置、収納においても専用の巻取機により迅速に行なうことができ、収納に必要な場所もあまり必要でない等の特徴をもって、冷海水を揚水するために非常に有利であった。しかしながら6本のパイプを連結した場合、パイプとフランジの結合部分に応力が集中すると考えられたので、前にのべたようにワイヤーによる補強を行った。

5. 2 揚水パイプラインの圧力損失

海洋温度差エネルギーを得る場合、冷海水は日本海においては水深200mに存在しているため揚水する必

L m	D mm	d mm	W kg/m	Pa		Pmax		Pmin	
				Kg/cm		kg/cm		mmHg	
				20°C		20°C	60°C	20°C	60°C
30	152.4	9.0	5.80	3	12	5	600	400	

Table 1. Parmeters of Pipe

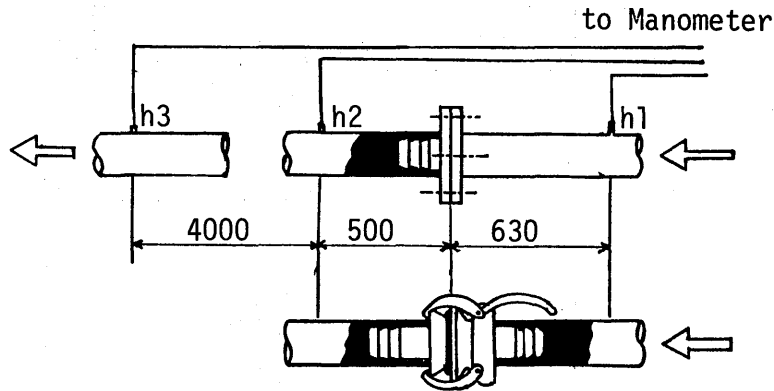


Fig 11. Pressure Loss Equipment for Pipe and Flange

要がある。このために必要な動力はパイプラインの圧力損失であると考えられる。よってストレーナーを含めた圧力損失を測定し、今後揚水量やパイプ口径の変化に共なる動力を推定することを目的としてパイプラインの管摩擦損失係数、フランジおよびストレーナな圧力損失を算出した。またフランジにおいては着脱に便利であるコネクターフランジについてもその係数を求めた。パイプおよびフランジの圧力損失測定方法を図11に示す。図の上方が普通フランジであり接続はボルトで行っている図の下方がコネクタフランジであり雌型のフランジには2個の爪がついておりレバーに

よって接続する形式である。各フランジの圧力損失はマンターにより  $h_1 - h_2$  の圧力差を出し、パイプの長さの圧力損失を補正して求め、パイプ自体の摩擦係数は  $h_2 - h_3$  の圧力差より求めた。水は流体実験室屋上のタンク ( $H \approx 5$  m) より導き、エアの混入を防ぐため、タンクを改良し、かつ測定パイプの両側にはエア抜きを設けた。流量の測定にはベルトン水車用の三角堰を利用した。ストレーナーについては海上実験で使用したストレーナーをそのまま使用する事は、実験上出来かねたので同寸法のストレーナーを新たに木枠で組み立て式で製作した。図12に内部および外部ストレー

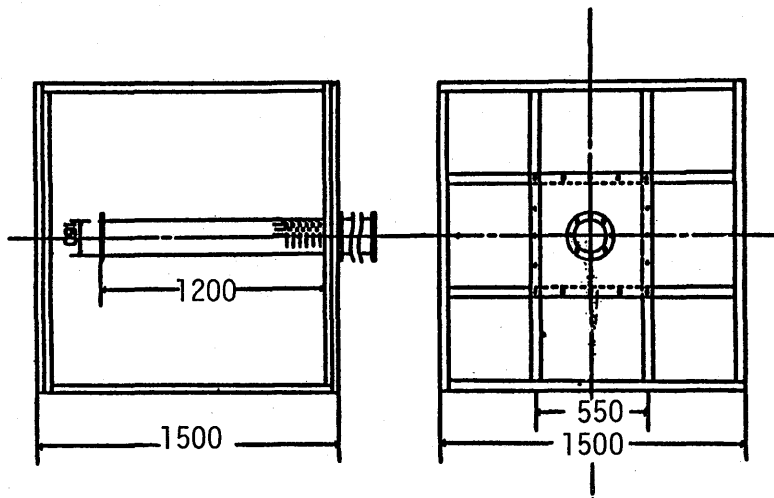


Fig 12. Strainer

ナを示す、ただし内部の6インチストレーナーについてはそのままのものを持ちいた。図13にストレーナ圧力損失測定法を示す。圧力損失は  $h_1$  の圧力が負圧になるため  $h_2$  を水中に設け両者の差圧より、動圧を補正

して求め、ポンプは海洋実験に使用したものを持ち、流量は三角堰を利用した。揚水パイプの摩擦係数  $\lambda$  を表3、普通フランジ、コネクターフランジおよびストレーナの圧力損失係数  $\zeta_1$ ,  $\zeta_2$ ,  $\zeta_3$  を表2、およ

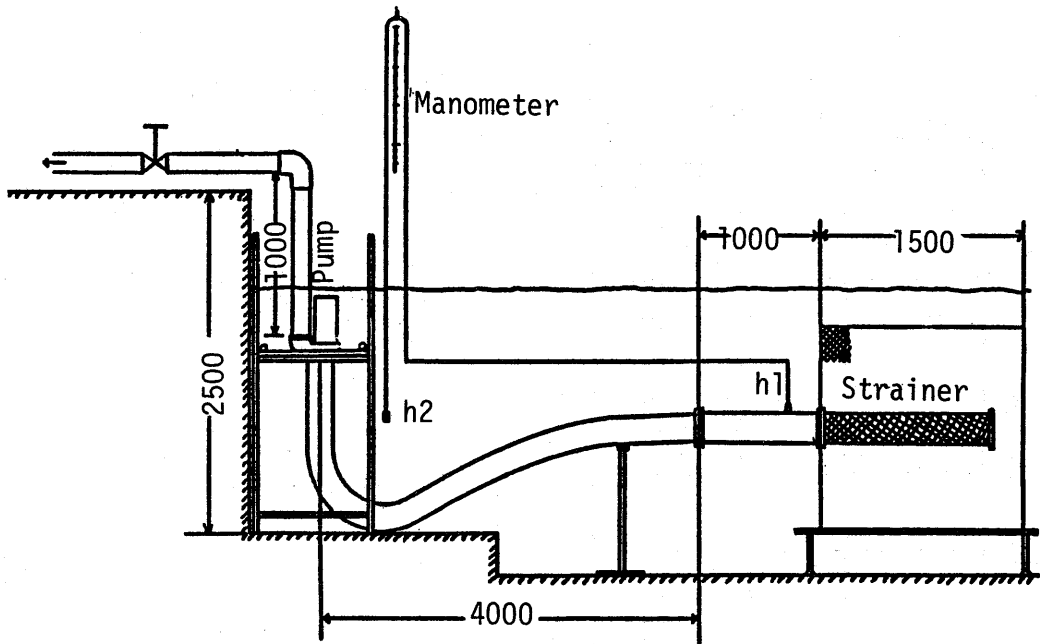


Fig 13. Pressure Loss Equipment for Strainer

	mean	Re x10 <sup>5</sup>
ζ1	0.2573	1.19-1.68
ζ2	0.4957	1.39-1.63
ζ3	1.2678	0.73-1.21

Table 2. Friction Loss of Pipe

No.	Q m <sup>3</sup> /min	V m/sec	λ x 10 <sup>2</sup>	Re x 10 <sup>5</sup>
1	1.575	1.447	1.957	1.68
2	1.491	1.369	1.980	1.59
3	1.383	1.270	2.013	1.48
4	1.262	1.159	2.072	1.35
5	1.110	1.019	2.296	1.19

Table 3. Pressure Loss of Flanges and Strainer

び図15に示す。係数はストレナが一番大きく、コネクタフランジ、フランジの順となっている。コネクタフランジは着脱には便利であるが普通フランジの約2倍であり今後この点を考慮して使用しなければならない。つぎにパイプの摩擦損失を図14に示す、▽点と△点は便覧の滑らかな管、あらい管の係数を示したものであり、揚水パイプの係数は滑らかな管の1.2~1.3倍で小さなものであった。ここで、実験結果より、0℃、2℃および20℃の場合のパイプラインによる総損失ヘッドを、流量1.02m<sup>3</sup>/min (管内流速1m/s)につ

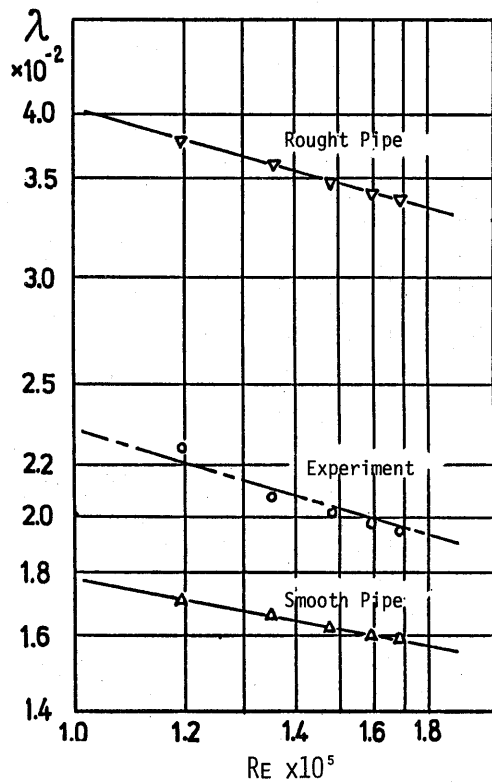


Fig 14. Relation Between λ and Re

いて比較し表4に示す。表より冷海水を揚水する場合約1m<sup>3</sup>/minの場合損失ヘッドは1.5~2mであり、

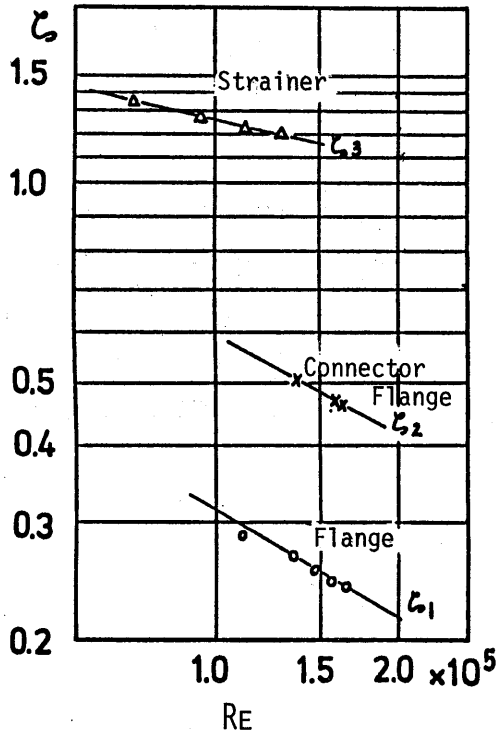


Fig 15. Relation Between  $\zeta$  and Re

Temp °C	$\nu$ $\times 10^{-5}$	$\lambda$	$\zeta_1$	$\zeta_3$	Re $\times 10^5$	H (m)
0	1.792	0.030	0.35	1.35	0.848	2.00
2	1.683	0.025	0.35	1.30	0.903	1.69
20	1.004	0.020	0.25	1.25	1.520	1.21

Table 4. Total Pressure Losss of Pipe Line

非常に少なく、また、損失ヘッドの全んどがパイプによるものであることがわかった。

6. 結 言

以上の実験により次の事が明らかになった。

- i) 揚水パイプについて
  - a) 塩ビ製フレキシブルパイプは海洋実験において、鉄管に比べ、軽量かつ船内に収納する場合有利である。
  - b) 海中に設置した場合、フレキシブルであるため応力集中がなく、腐食性や断熱性に豊む。
  - c) パイプの摩擦係数は滑らかな管の1.2-1.3倍程度であり比較的小さい。
- ii) 実験船およびパイプラインの洋上設置について
  - a) パイプラインと船を独立させることにより両者の応力を無くすことが出来る。このことは洋上の実験において非常に大きなメリットと考えられる。
  - b) パイプラインと船の接触を避けるためには筏を利用することによって可能である。

7. あとがき

海における実験は特に機械科の者にとって新しい体験であり、海洋での実験について多くの事を学ぶことが出来、海の激しさや楽しみを味わうことが出来た。かつ水産学部の方々を初めとする海に対する多くの知識に感服した。

最後に昭和55年の春から夏にかけてなれない海で実験を行った、卒論生の二宮啓彰、市屋義幸、白石幸也、山暈一 広君、本部琴浦和樹枝官に謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本海の流動数値シミュレーション  
「温度境界層の実測について」長大工報 16号市屋、中根、野中、栗須、琴浦。