

13. 潜水船救難装置の研究 —ガイド索方式に関する理論研究—

高川 真一*¹ 坂倉 勝海*¹ 徳永 三伍*¹
岡田 光豊*¹ 加藤 洋*¹ 對馬 克己*¹

現在、開発建造が進められている2,000 m潜水調査船は、調査能力は、もちろん、安全性にも重点を置いて設計されている。しかし、万一の事故が全く考えられないわけではないので、本研究では浮上不能事故が発生した場合の救難方法として、最も簡便で、即応性のあるガイド索方式について検討を行った。この方式は、潜水船が事故時に救難ブイを浮上させ、支援母船はこのブイを回収し、ブイから出ている細い索をガイドとし、索に沿って丈夫な揚収索を下して潜水船と結合させ、水面まで揚収するものである。この方式について、種々検討した結果、潮流があまり大きくなると、揚収不能になるが、ある程度小さければ、潜水船と支援母船との相対距離を適当な範囲内におさめることによって回収が可能であり、機材の選定を適当にすれば、この範囲は広くなって、回収がより容易に行えることがわかった。

Study on a Rescue System for a Submersible, a Theoretical Study on the Guide Rope Type

Shinichi Takagawa*², Katsumi Sakakura*², Sango Tokunaga*²,
Mitsutoyo Okada*², Hiroshi Katoh*², Katsumi Tsushima*²

The 2,000 m Deep Submergence Research Vehicle (DSV-2K) is designed laying emphasis not only on its research capabilities, but also on the safety factor.

However, we cannot foresee every type of danger that exists at the ocean bottom. Therefore, in this study we investigated the guide rope type of emergency rescue system, for the case where the DSV-2K cannot ascend from the ocean bottom, as the simplest and quickest most reliable system.

The general concept of the guide rope type is as follows.

When the DSV-2K cannot ascend from ocean bottom, it releases a rescue buoy. The support ship retrieves this buoy, and by using a thin rope which is released from this buoy to the DSV-2K as a guide, the strong retrieval rope is let go down along side this guide rope. Next, the mating at the end of the retrieval rope mates with the DSV-2K. The retrieval rope is then wound up and the DSV-2K is retrieved.

*¹ 深海開発技術部

*² Deep Sea Technology Department

Through this study, it was found that when the current was strong, it became impossible to retrieve the DSV-2K. However, when the current was rather weak, it became possible to retrieve the DSV-2K by keeping the relative distance between it and the support ship at some distance. Also, by adequately selecting the ropes and mating device the distance became extended and the retrieval work became easier.

1. ま え が き

現在、海洋科学技術センターでは昭和56年（1981年）度完成をめざし、水深2,000 mまで潜入可能な深海潜水調査船を開発建造中である。

この2,000 m潜水調査船（以下“DSV-2K”と略称する）の設計思想の一つとして、安全性に重点が置かれている。このことは同程度の水深まで潜入し、救助する能力のある潜水船や他の機器を有しないわが国の現状において、とりわけ重要であるので、DSV-2Kには万一、事故が発生した際にも自力浮上が可能のように、二重系も含め、種々の冗長性を持たせる等、安全をはかっている。

しかし潜水船の運航に関して、事故に遭遇して自力浮上が困難になる危険性があるということを常に念頭においておかなければならない。

事故が発生し、万一、浮上できない事態になり、外部から救出する必要が生じた場合には、救難作業は、まず事故潜水船の沈座位置確認があり、次に回収という過程になる。

まず、位置の確認を行うには、音響機器による方法等、いろいろ考えられるが、最も単純明解な方法として、諸外国のいくつかの潜水船で用いられているマーカーブイ方式²⁾が考えられる。これは事故潜水船から細いロープのついたブイを離脱浮上させるものであり、洋上船舶によって、このブイを回収し、ロープを辿れば、事故潜水船に達するというものである。DSV-2Kにおいても、この方式を採用することにしている。

さてブイが回収されて事故潜水船の位置が確認されると、次は事故潜水船の回収という過程に移る。この方法には無人潜水船や有人潜水船の使用等が考えられる。その他、最も簡便で即応性の高い方法として、回収されたブイについている細いロープをガイドとし、丈夫なロープをつけた回収

用金物をこの細いロープに沿って下し、事故潜水船と嵌合させ、回収するという方法がある。この方式を採用している潜水船²⁾もいくつかある。

しかし、この方式は現場の潮流や使用するロープや金物等、各種の要素によって、その有効性が大きく左右されるものであり、これらの諸要素と、この方式の有効性との関連についてはまだ明確にされていないのが実情である。

そこで、本研究ではこの方式（以下“ガイド索方式”と称する）が潮流や機材等、各種の要素との関連で、どの程度有効であるか検討することとした。

なお、本研究で検討したガイド索方式の概念を図1に示す。

2. 基本的考え方

2.1 機器構成

本研究で、対象とするガイド索方式の救難方法には、次のような機器で構成される。

(1) 救難ブイ：

潜水船に装備し、浮上不能事故発生時、潜水船から内部操作によって離脱浮上させる。このブイは浮上する際、内部に巻込まれている細い索（ガイド索）を巻出しながら浮上する。

(2) ガイド索：

救難ブイに装填されており、救難ブイ回収後、張力をかけて潜水船と回収船との間に張り渡し、(5)の自動嵌合式回収用金物(♀)がこれに沿って降下し、沈没体にとりつけられた(4)の回収用金物(♂)と嵌合する。

(3) 定張力装置：

回収船は波によって動揺し、また風や潮流によって移動する。したがって沈座して静止している潜水船と静止し得ない回収船との間にガイド索を張り渡すには、回収船の動揺、

移動に応じてガイド索の繰出し、巻取りが行われなければならない。この定張力装置は、ガイド索を強く張り渡すように一定の張力を与えながら回収船の動揺に応じて、ガイド索の繰出し、巻取りを行う装置である。

(4) 回収用金物(δ)：

これはガイド索の下端に取付けられ、潜水船に結合されているものであり、ガイド索を伝って降下してきた(5)の自動嵌合式回収用金物(♀)と嵌合するものである。自動嵌合の機構上の関係からδ型³⁾になっている。以下“金物(δ)”と略称する。

(5) 自動嵌合式回収用金物(♀)：

これは(6)の揚収索の先端に取りつけられ、ガイド索を伝って降下して行き、金物(δ)と自動嵌合するものである。構造は嵌合部と中空の柱状部からなり、柱状部内をガイド索が通る。以下“金物(♀)”と略称する。

(6) 揚収索：

これは先端が金物(♀)と接続し、回収船から繰出された金物(♀)と(δ)が嵌合したのち、巻取って潜水船を海面まで引上げるものである。

(7) 揚収索ウインチ：

これは揚収索の繰出し、巻取りを行うものである。

(8) トランスポンダ：

これは潜水船と回収船の相対位置関係を知るためのものである。この装置は潜水船の潜航に先立って投入され、潜水船の位置出しに用いられるものであり、事故発生時に上述の目的で使用される。

(9) ラムテンショナ：

これは吊揚時に母船の動揺によって揚収索に過大な荷重がかかるものを防ぐものである。

(10) 仮置ブイ：

これは水面付近まで引上げた潜水船を支援母船の専用揚収装置に結合するまでの間、一時的に繋いでおくブイである。

(11) 揚収索リール：

3,000 m程度もある長い揚収索を回収船上にコンパクトに設置しておくためのリールである。

これらの機器を組合わせた救難装置として全体システムを図2に示す。

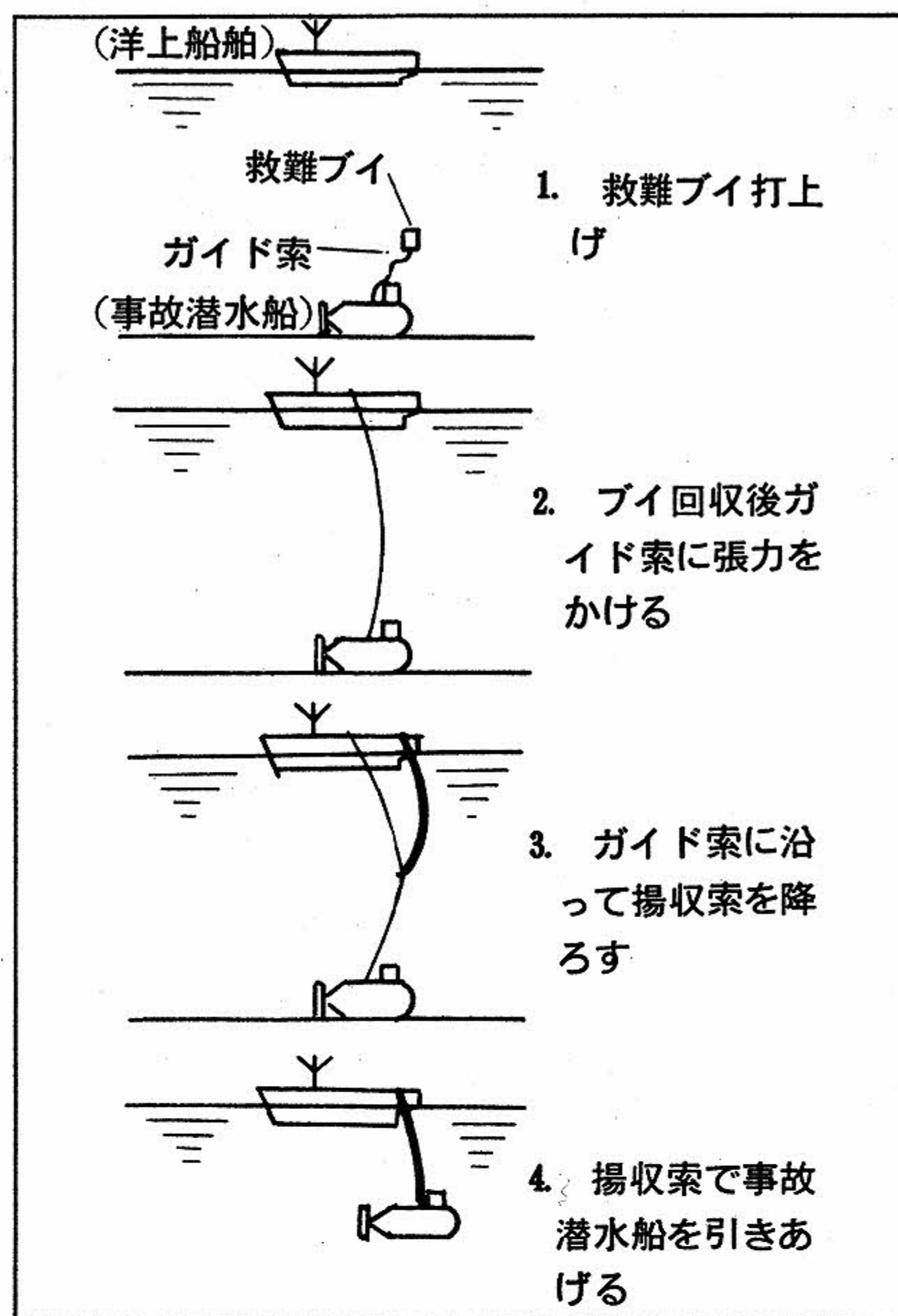


図1 ガイド索方式の概念図

Concept drawing of guide rope type rescue system

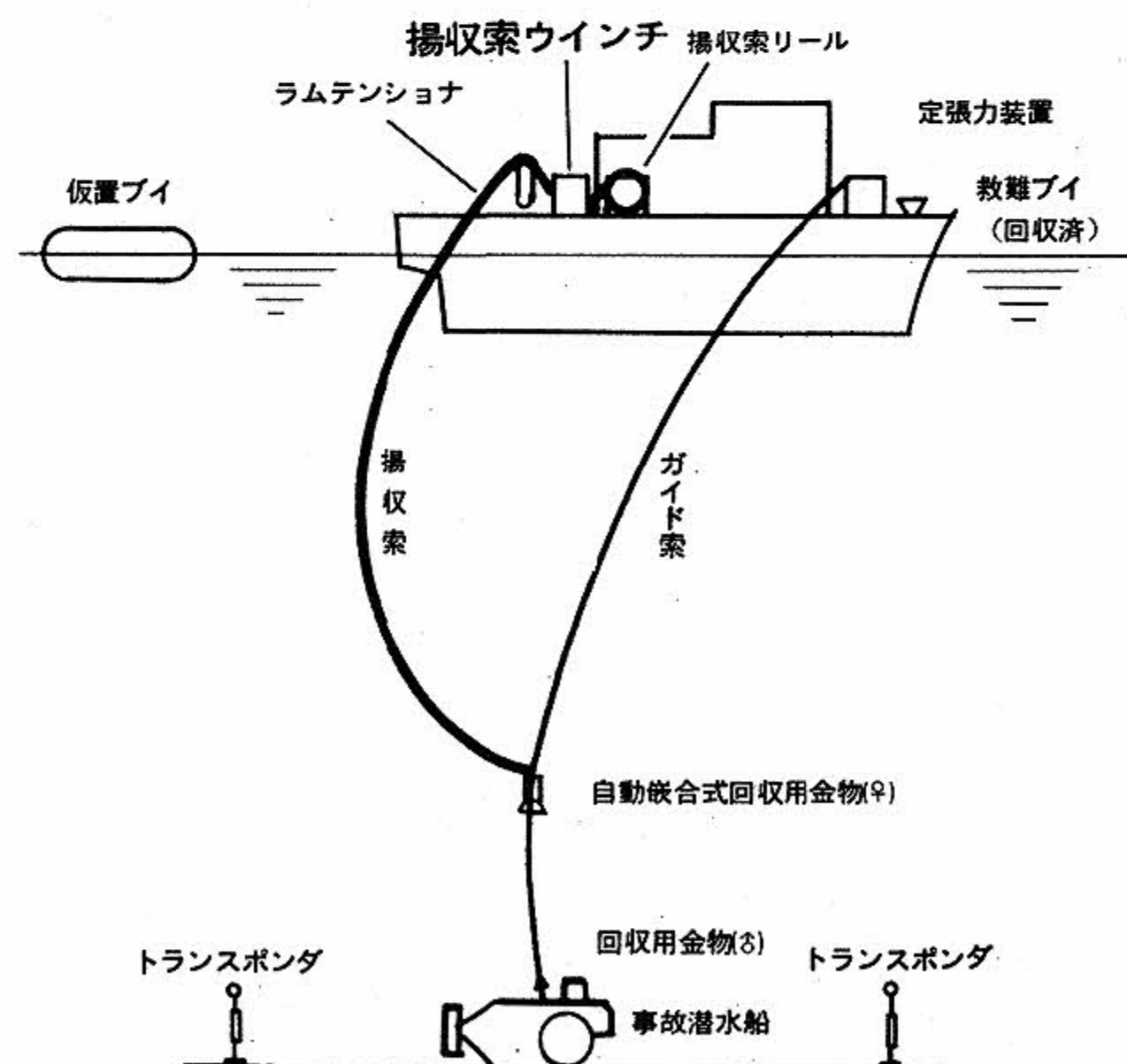


図2 救難装置全体システム

Total system of rescue equipment

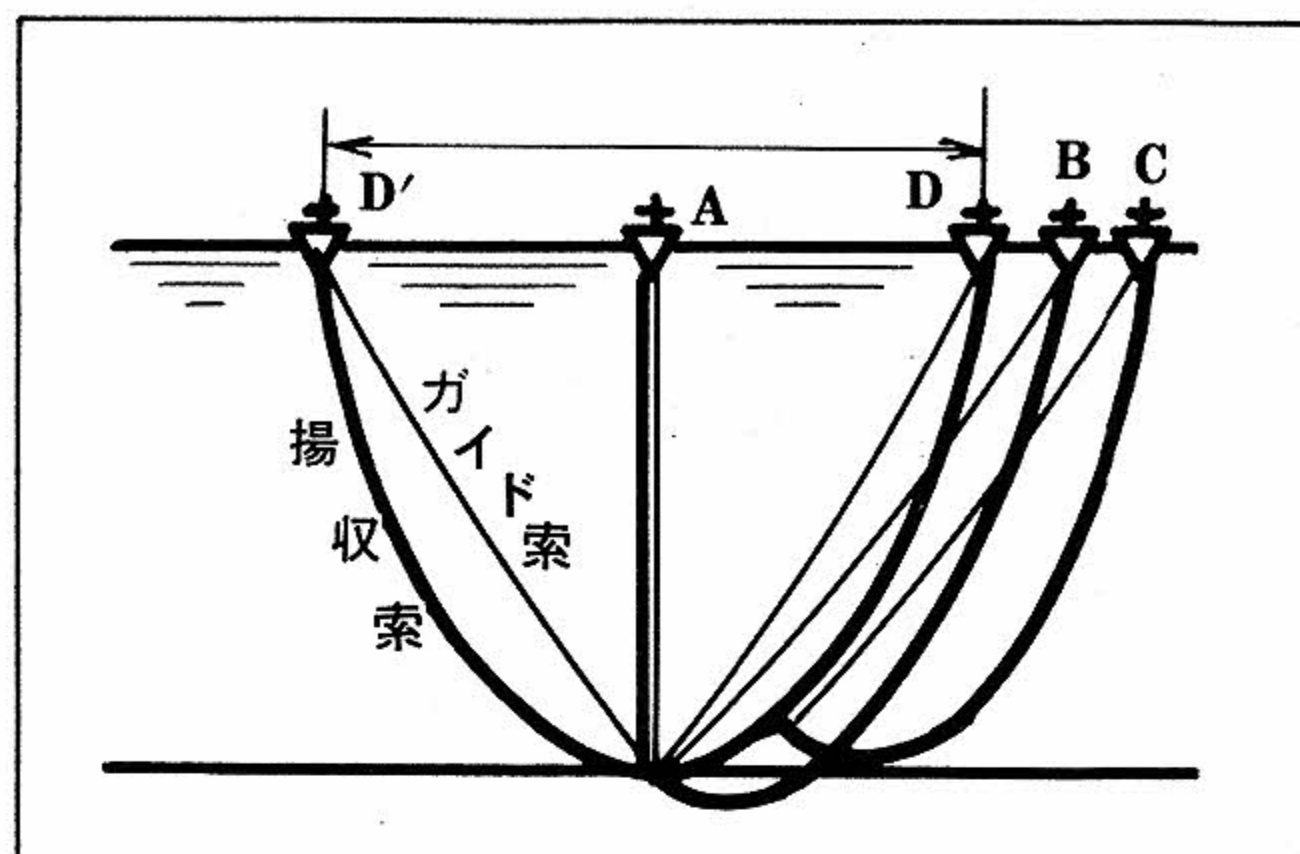


図3 無潮流下のカテナリ形状と操船領域
Caterary and operation region under no-current

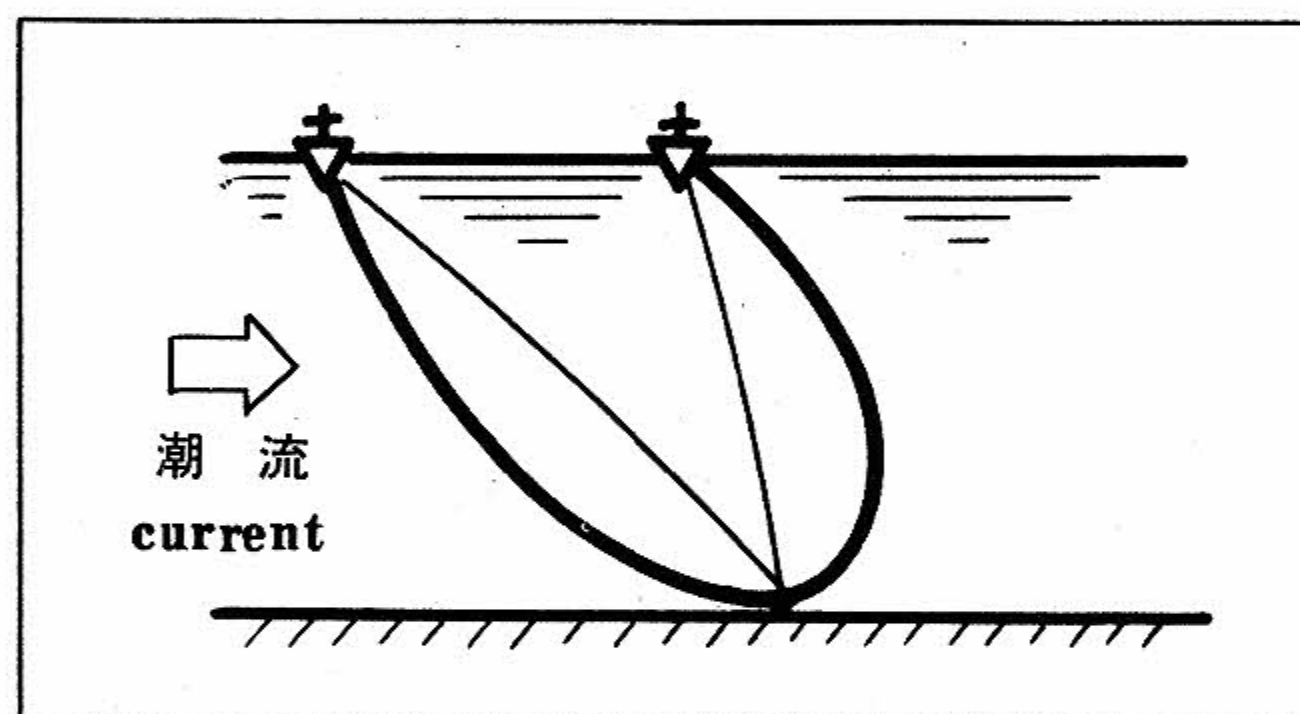


図4 潮流下のカテナリ形状と操船領域
Caterary and operation region under current

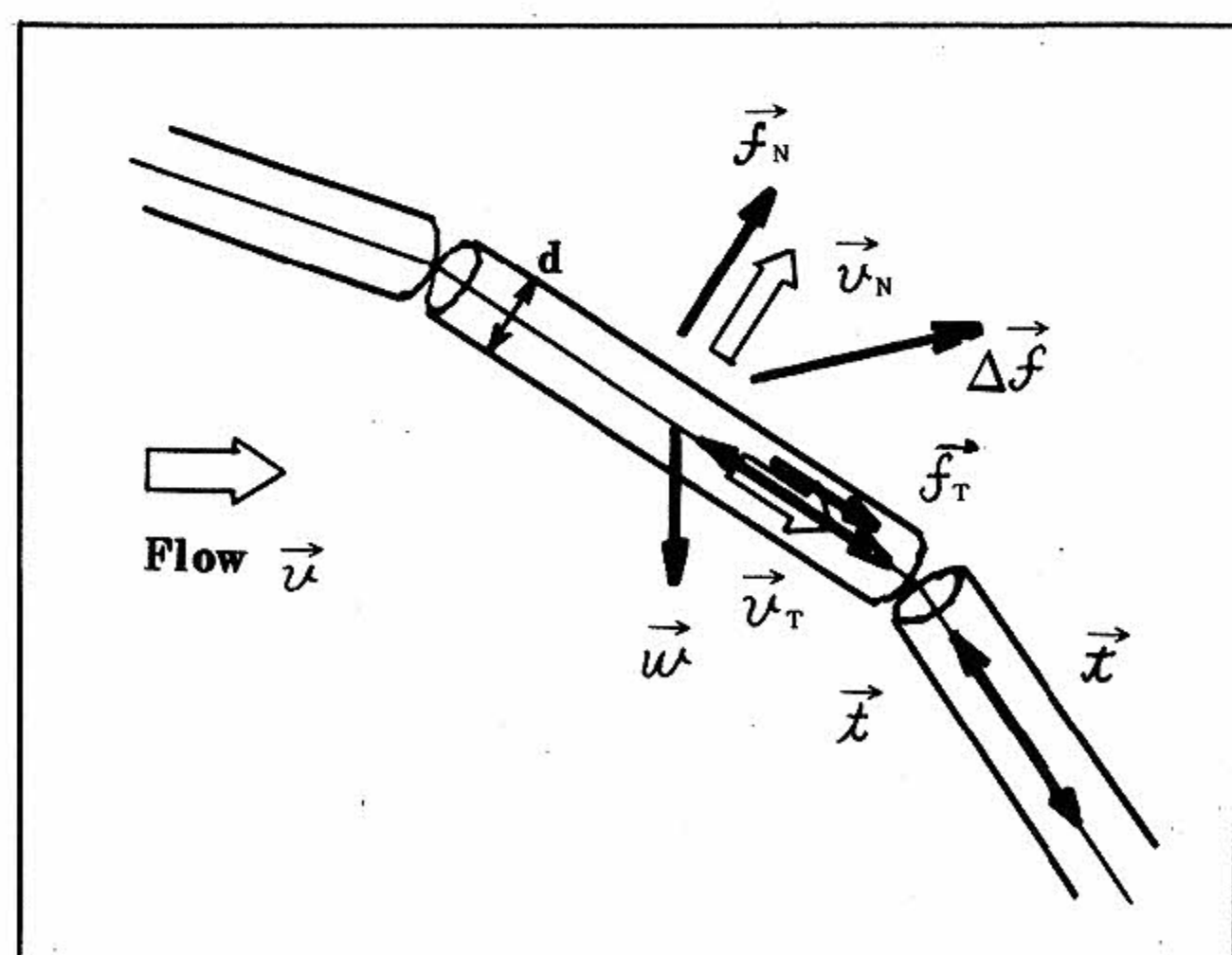


図5 カテナリの計算法
Calculation method of caterary

2.2 回収船の位置すべき範囲（操船領域の条件）

前述の回収装置では，図3に示すように，潮流が全くない場合には，潜水船の直上で回収作業を行えば，金物(♀)は問題なく降下して金物(♂)と嵌合すると考えられる（図中のAの場合）。しかし，ある程度離れた場所で回収作業を行うと，揚収索は金物(♀)よりも下方にたるとでしまい，繰出すにつれ，ある時点から海底を這うようになってしまい（図中のBの場合），海底との摩擦やひっかかりによって金物(♀)が金物(♂)に向かって進行しえなくなることが考えられる。また金物(♀)とガイド索との摩擦によって金物(♂)へ向って進行しえなくなる（図中のCの場合）ことが考えられる。

これらのことから潜水船の直上からある程度離れたところに，揚収索がたるむことなく，金物(♀)が金物(♂)に向かって進行する位置（図中のDおよびD'）があると考えられる。したがって，DとD'の間に回収船の位置を保持すれば，金物(♀)は揚収索が垂下することなく，金物(♂)に向かって進行し，嵌合すると考えられる。

一方，流れがある場合には，これらの各点はおのおの流速に応じて変化すると考えられる。したがって各点は流速依存性があると考えられる（図4参照）。

このことから本研究では，流速の変化と共に，この領域がどのように変化して行くかを調べることを一つの目的とした。

さらに，このガイド索方式では，ガイド索に一定の張力をかけ，潜水船と回収船との間に張り渡すものであるが，特に流速が大きな場合にはガイド索にける張力ガイド索の受ける流体力に負けてしまい，ある位置よりも上流からはガイド索を張り渡すことができなくなる。また，この位置は流速が増すに従って上流から下流に移動すると考えられる。したがってこのことから，ガイド索方式の流速に関する使用限度が与えられることになる。

以上のことから，本研究では，ガイド索方式による救難作業で回収船の位置すべき操船領域は，次の条件を満たすものであると考えることとし，この領域を救難作業に最も容易とするため，索径や張力等をどのように選ばよいかを検討することにした。

- (1) ガイド索が沈没体と回収船の間の張り渡せる領域であること。
- (2) 金物(♀)がガイド索を伝って金物(♂)のところまで降下しうる領域であること。
- (3) 揚収索が海底面より垂下がない領域であること。

3. 基礎式

揚収索の降下状態を調べるには、基本的には時間の項を入れた動力学で取扱うべきものである。しかし、この状態を動力学で取扱うことはきわめて困難であるので、本研究では各時点で準静的に釣合がなり立っているものと考え、一連の準静的な釣合から揚収索の降下状態がなり立っているものと考えて検討していく。

3.1 懸垂線 (図5参照)

水中に張られた索は、流体力と重力によって懸垂線を描く。この懸垂線を求めるに当って次の方法³⁾を用いた。

すなわち、索を長さ $\Delta \ell$ の円柱要素に分割し、流れ $\vec{v}$ を索の接線方向成分 $\vec{v}_T$ と法線方向成分 $\vec{v}_N$

とに分解し ($\vec{v} = \vec{v}_T + \vec{v}_N$)、索は $\vec{v}_T$, $\vec{v}_N$ によって各々の方向に $\vec{f}_T$, $\vec{f}_N$ の力を受け、これによって索要素 $\Delta \ell$ の受ける力の変化分 $\Delta \vec{F}$ は、

$$\Delta \vec{F} = \vec{f}_T + \vec{f}_N + \vec{w} \dots\dots\dots(1)$$

$$\vec{f}_T = \frac{1}{2} C_N \rho_w \vec{v}_T | \vec{v}_T | d \cdot \Delta \ell \dots\dots(2)$$

$$\vec{f}_N = \frac{1}{2} C_N \rho_w \vec{v}_N | \vec{v}_N | \pi d \Delta \ell \dots\dots(3)$$

ここで, $C_N = 1.2$, $G = 0.05$

$\vec{w}$: 索要素 $\Delta \ell$ 当りの索の水中重量,

ρ_w : 流体の密度,

d : 索の直径

となり、隣の索要素の張力 $\vec{T}'$ は、

$$\vec{T}' = \vec{T} - \Delta \vec{F} \dots\dots\dots(4)$$

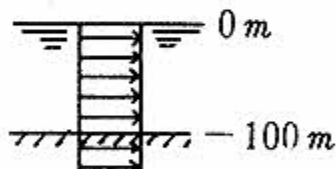
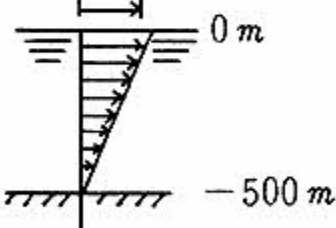
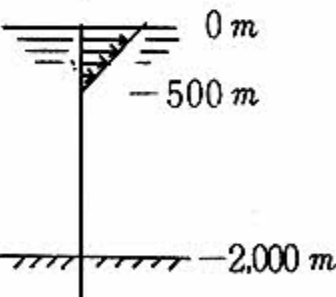
となり、その勾配は $\vec{T}'$ の勾配と等しくなるというものである。

3.2 金物(♀)付近での力の釣合 (図6参照)

金物(♀)の受ける流体力は索全体の受ける流体力から見るとほとんどゼロであり、実質的に点とみなして良いので、金物(♀)付近での力の釣合を考える際には流体力を考えずに静的に釣合っているものとする。このときの釣合式は 次のようになる。

表1 対象とする水深と潮流分布

Model current distributions and depths

水 深	潮 流 分 布	
100 m	均一流	
500 m	三角分布流	
2000 m	一部三角分布流	

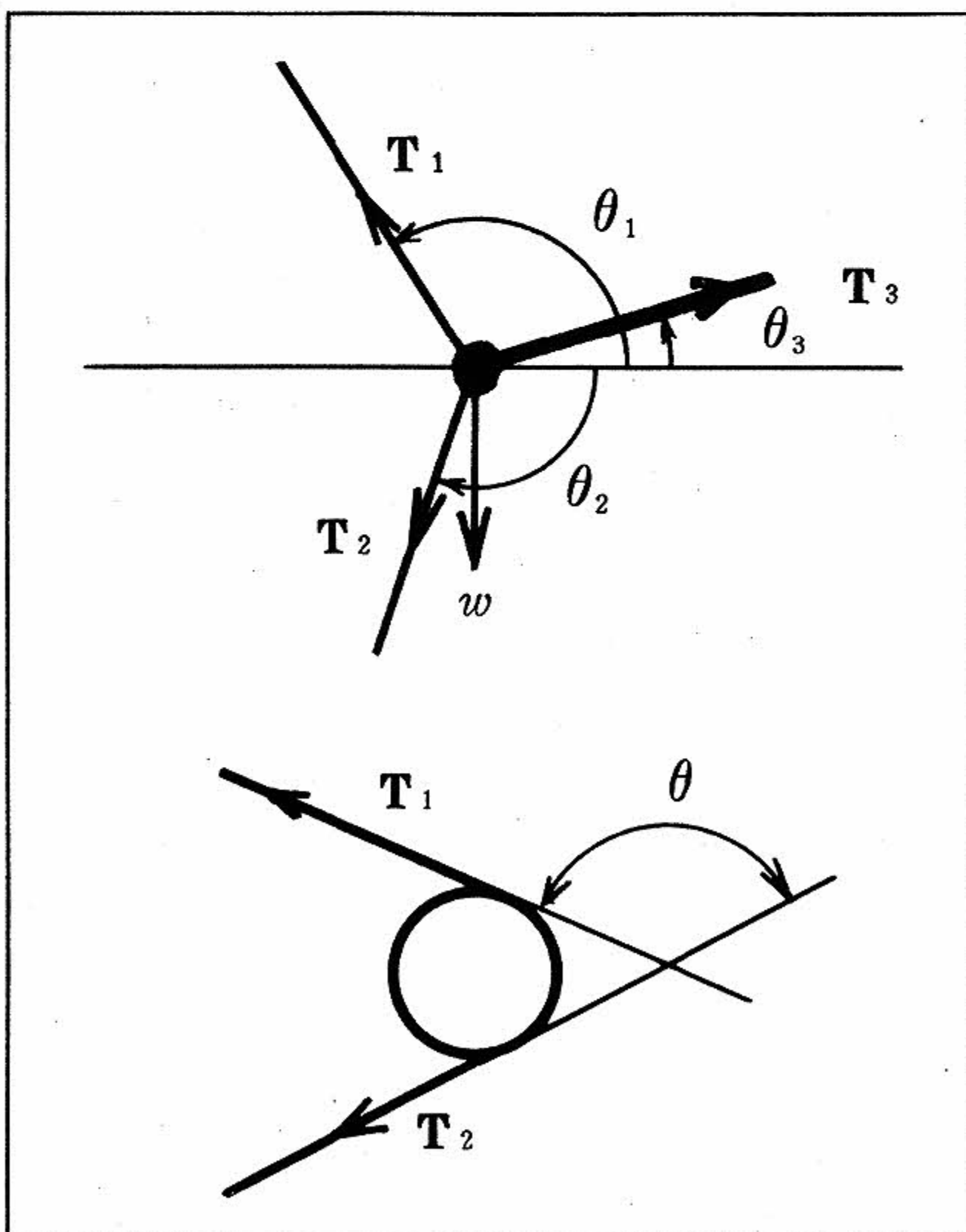


図6 金物付近での力の釣合

Force ballance around mating device

鉛直方向釣合式；

$$T_1 \sin \theta_1 + T_2 \sin \theta_2 + T_3 \sin \theta_3 = W \dots\dots (5)$$

水平方向釣合式；

$$T_1 \cos \theta_1 + T_2 \cos \theta_2 + T_3 \cos \theta_3 = 0 \dots\dots (6)$$

索と金物(♀)との摩擦式はアイテルワインの式より、

$$T_2 = T_1 \exp\{-\mu(\pi - \theta_1 + \theta_2)\} \dots\dots\dots (7)$$

μ ：摩擦係数

この(5)式、(6)式および(7)式の3式によって T_1 、 θ_1 、 θ_2 および W が与えられると、 T_2 、 T_3 および θ_3 が求められる。

4. 操船領域の求め方

以下に“2.2回収船の位置すべき範囲”で示した3条件によって操船領域を求める。

操船領域は次の9個のパラメータによって決定される。

- (1) 深度
- (2) 潮流状態
- (3) ガイド索張力
- (4) ガイド索種
- (5) ガイド索径
- (6) 揚収索種

- (7) 揚収索径
- (8) 金物(♀)重量
- (9) 摩擦係数

これらのうち、(1)と(2)は事故現場の状として与えられるものであり、他のパラメータと異なって人為的に変えられるものではない。

そこで深度と潮流分布については表1に示すようなモデルを考えることとする。

4.1 ガイド索を張り渡せる領域

ガイド索には水面で一定の張力がかけられているので、水面における勾配を与えれば、ガイド索の懸垂線形状は一義的に定まる。しかし、勾配が小さい場合はガイド索は海底に達せず上方に向かって行ってしまうが、ある程度勾配が大きくなると海底に達するようになる。この限界としてガイド索の張り渡せる領域（ガイド索存在限）が与えられる。

その計算結果を図7に示す。

一般に下流側の限界はきわめて遠方になるため、実質的には考慮する必要はなく、この図には上流側の限界のみを示す。

この図から明らかなように、ガイド索存在上限は流速が速くなると、急激に下流の方へ移動する。

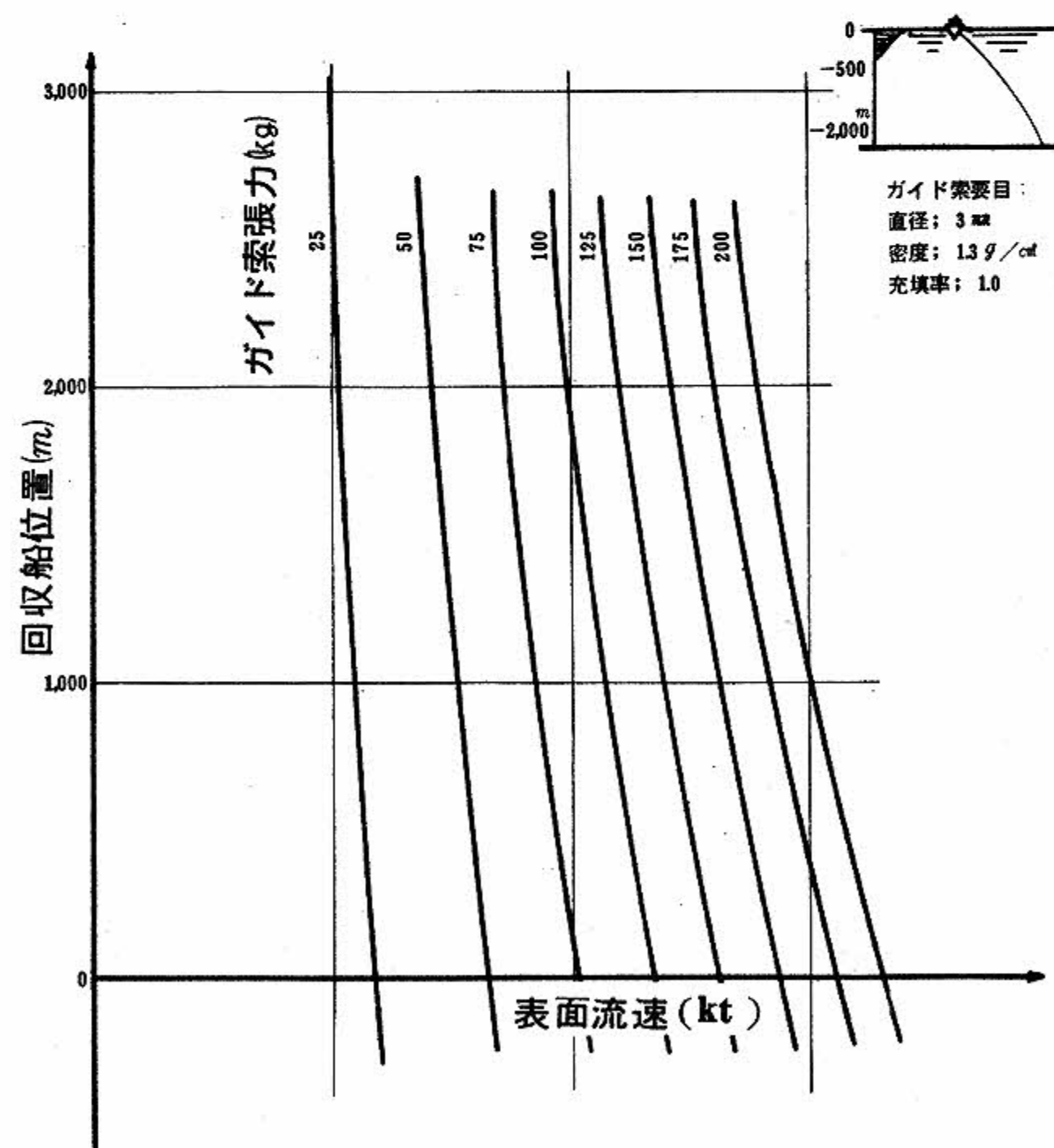


図7 案内索存在上限
Upper limit for guide rope

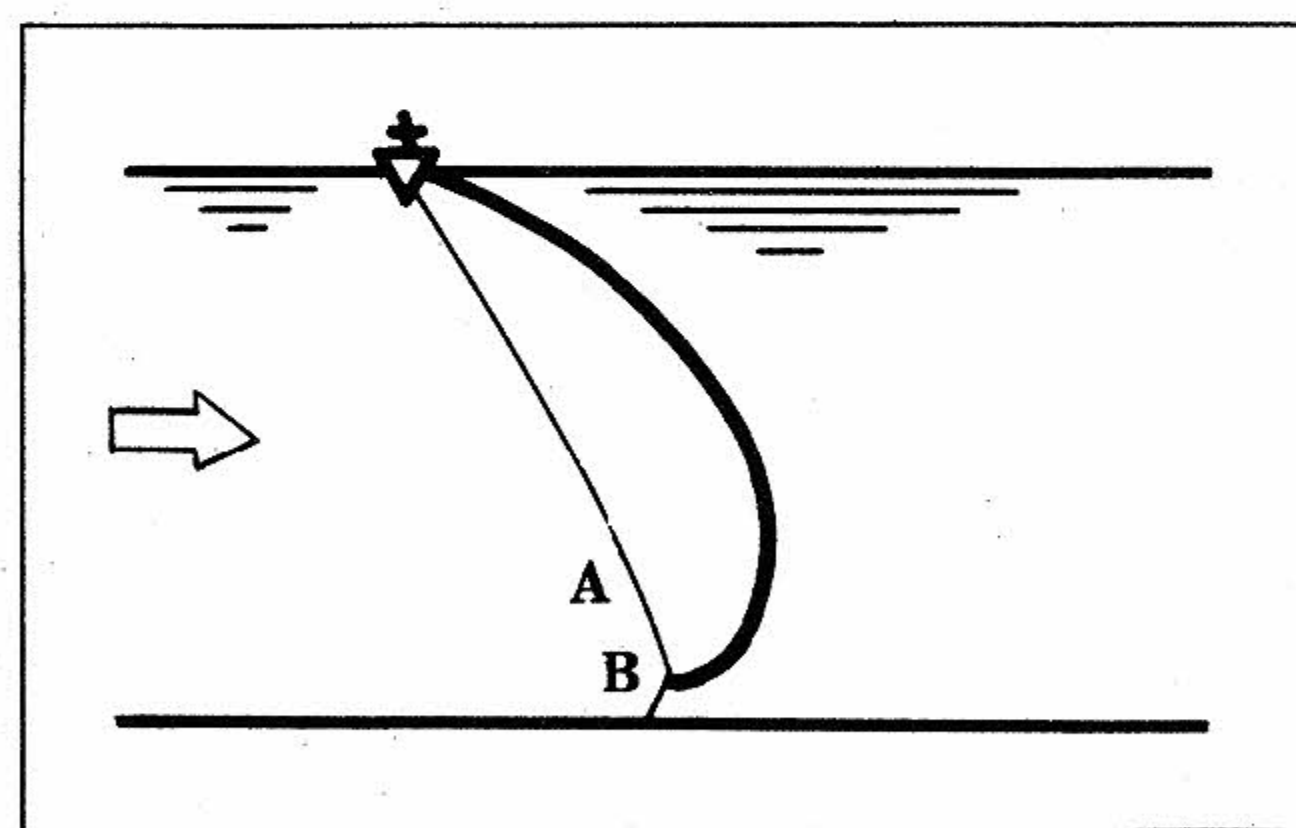


図8 嵌合寸前のカテナリ
Catenary immediately before mating

したがって、この曲線の勾配がきわめて大きい
ため、この限界はガイド索の張力に対する最大流速
を与えるものと解することが妥当である。

また同図には種々の張力に対するガイド索存在
限を示したがこれからもわかるように張力を大き
くすると最大流速も大きくなり、したがって本ガ
イド索方式の使用範囲は広くなるといえる。

(注) 充填率 = $4 \sum si / \pi D^2$

ここで、D:索の直径, si:繊維質の断面積

4.2 両金物の近接状態における懸垂線形状

両金物の近接状態におけるガイド索および揚収
索の懸垂線形状を模式的に図8に示す。

このような形状を求めるに当っては、近接条件
として金物(♀)から金物(♂)に至るガイド索の長さ
を無限小とし、張力と方向だけを持つものとする。

また、回収作業では回収船上でガイド索と揚収
索とを操作するので、海面における両索の位置は
一致しなければならない。これを求めるため、図
8のB部の角度をいろいろ変えて海面で両索が一
致するように求める。

図9は回収船の位置をいろいろ変えた場合の両
索の懸垂線形状を示す。

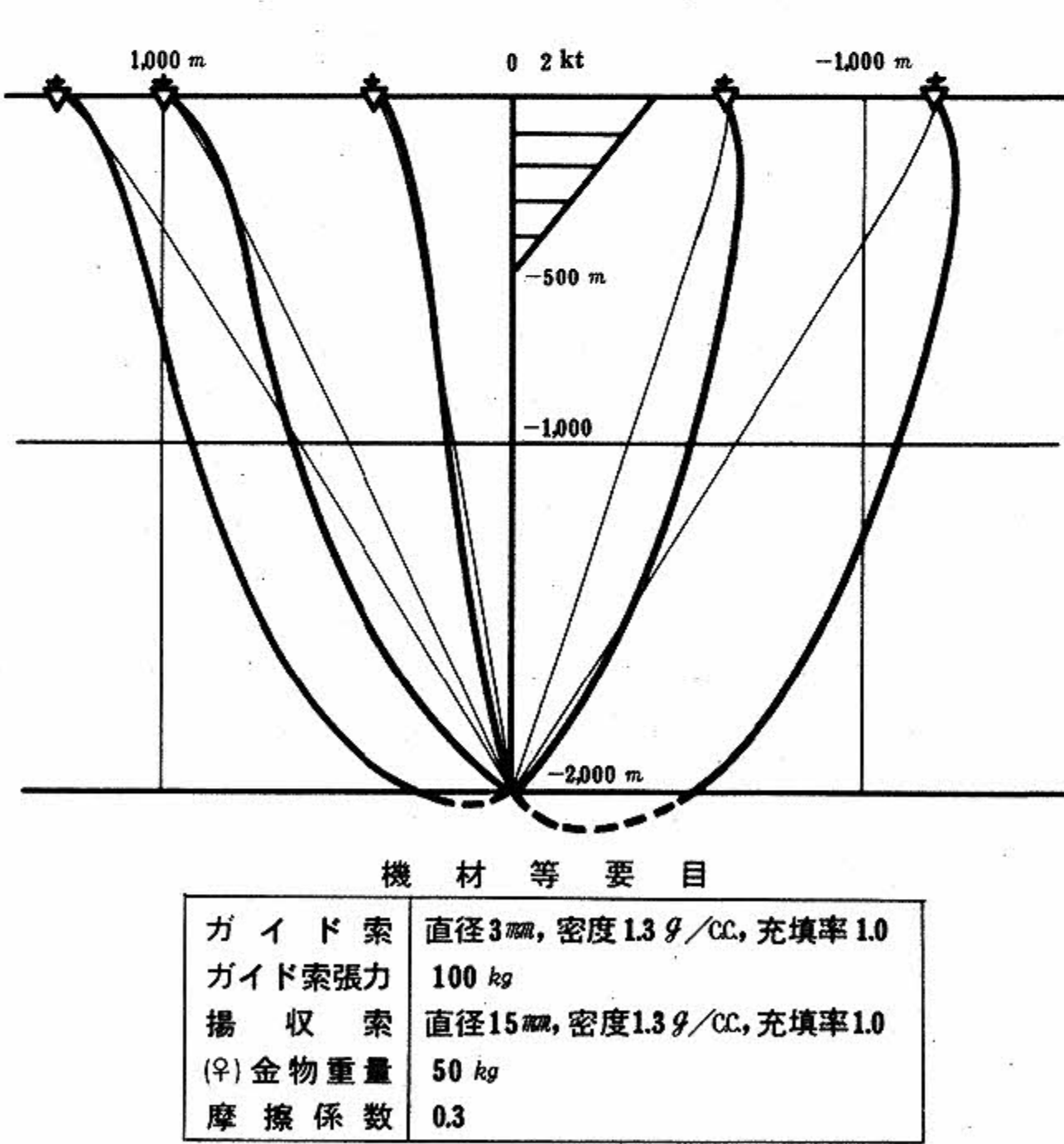


図 9 回収船の位置とカテナリ形状
Caterary configurations and positions
ship of rescue

4.3 両金物が結合しうる操船領域

両索の懸垂線形状を求めるには、前述のように、
図8のB部分の角度をいろいろ変える。

ここでこの角度を0から2πまで、1回転させ
て考えると、各々の角度に対して揚収索の海面に
おける位置が求められ、この位置は角度に対して
最大値並びに最小値を有する周期2πの周期関数
となる。

したがって回収船の位置が、この最大—最小区
間をはずれると、金物は結合しえないことになり、
操船領域はこの最大—最小の区間内に限られる。

4.4 揚収索が海底付近で垂下がない条件

この条件を求めるには、前節の区間の限界状態
を調べ、この状態で、すでに垂下がっていないか
ば、特に求める必要はないが、垂下がおれば
図8のB部分の角度を変え、揚収索が垂下がら
ないような回収船の位置を求める。

4.5 操船領域の具体例

前述の方法で操船領域がどのようなになるかを適
切な状態を仮定して求めた。
その結果を図10、図11および図12に示す。これ
らの図から例えば表記の条件下では2,000 mの水

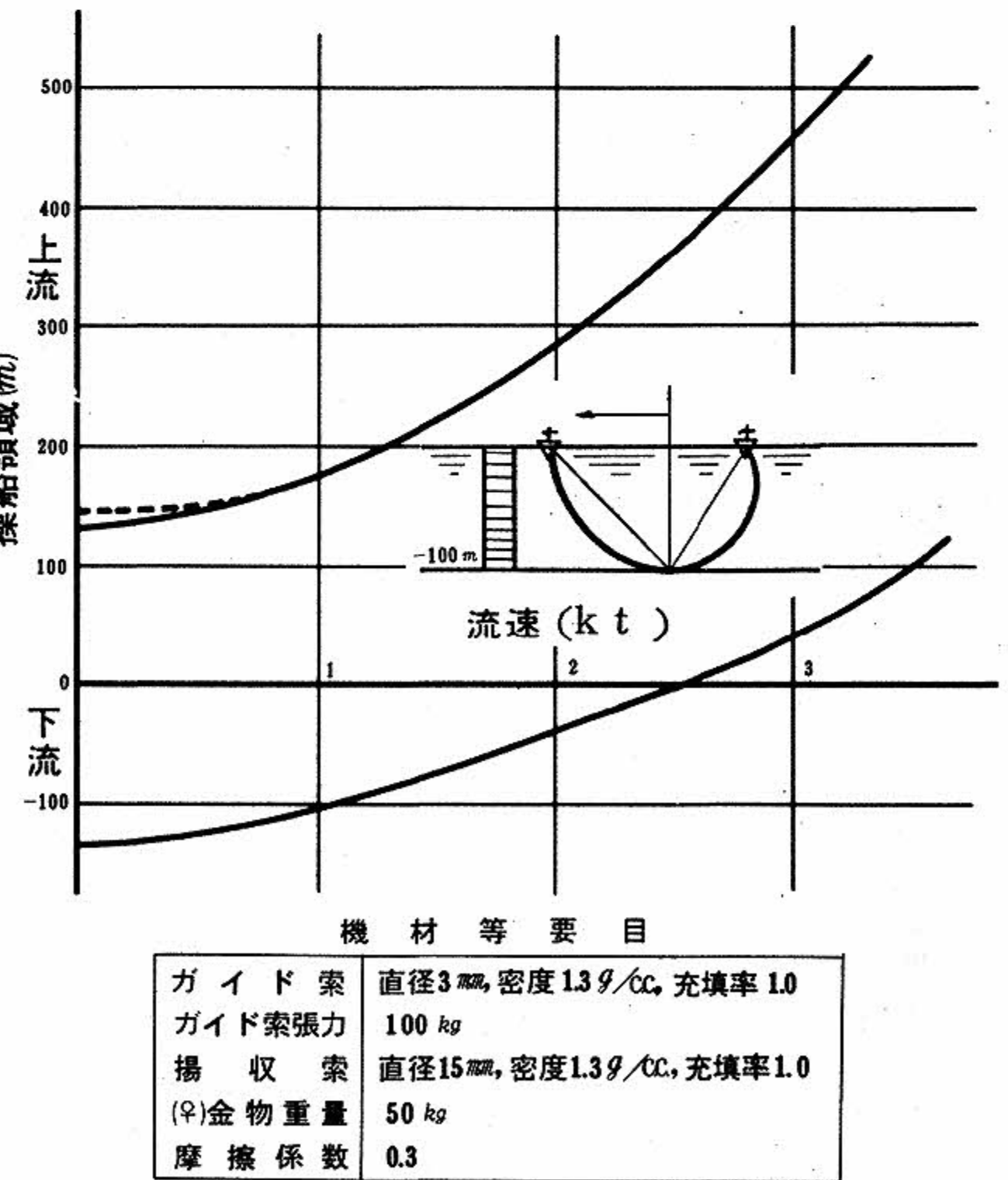
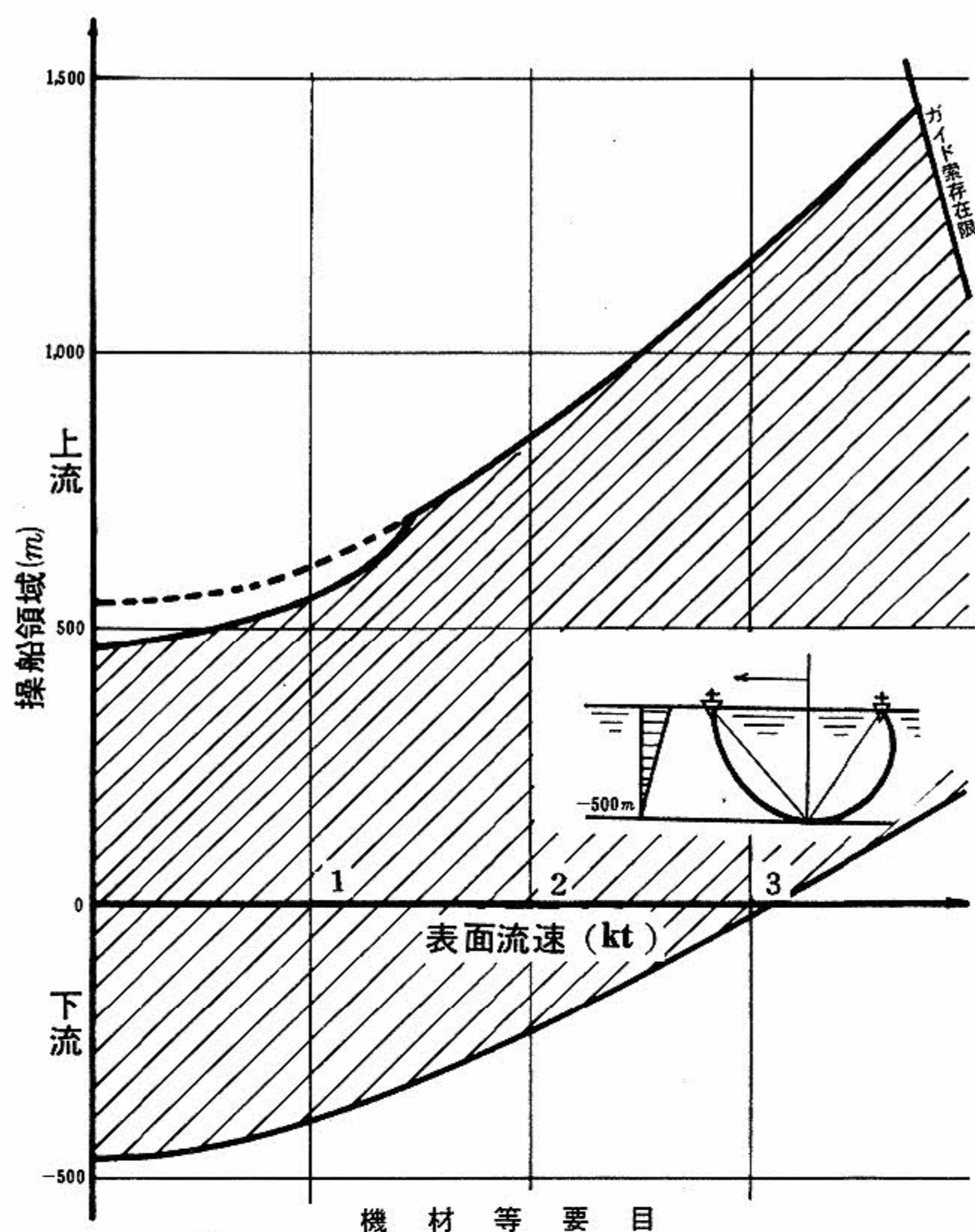


図10 操船領域 (深度 100 m)
Operation region (depth 100 m)



ガイド索	直径3mm, 密度1.3g/cc, 充填率1.0
ガイド索張力	100 kg
揚収索	直径15mm, 密度1.3g/cc, 充填率1.0
⊕金物重量	50 kg
摩擦係数	0.3

図11 操船領域 (深度 500 m)
Operation region (depth 500 m)

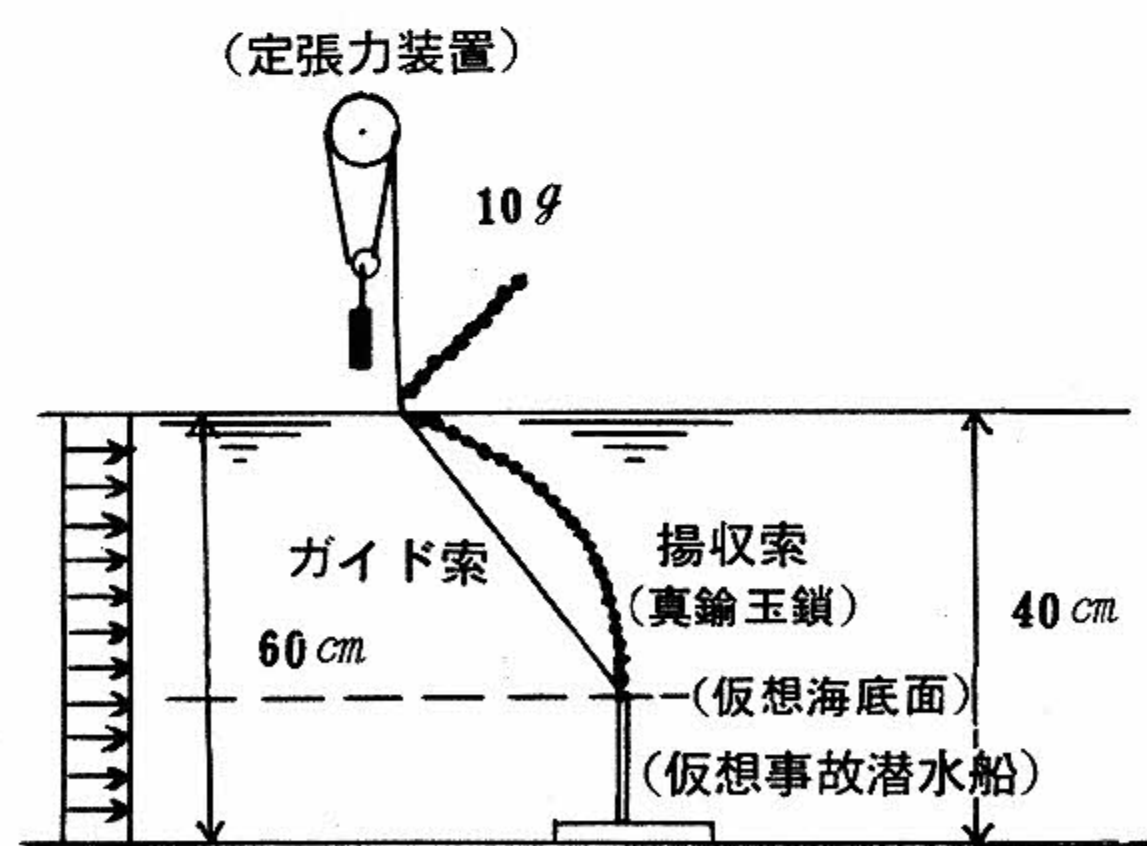
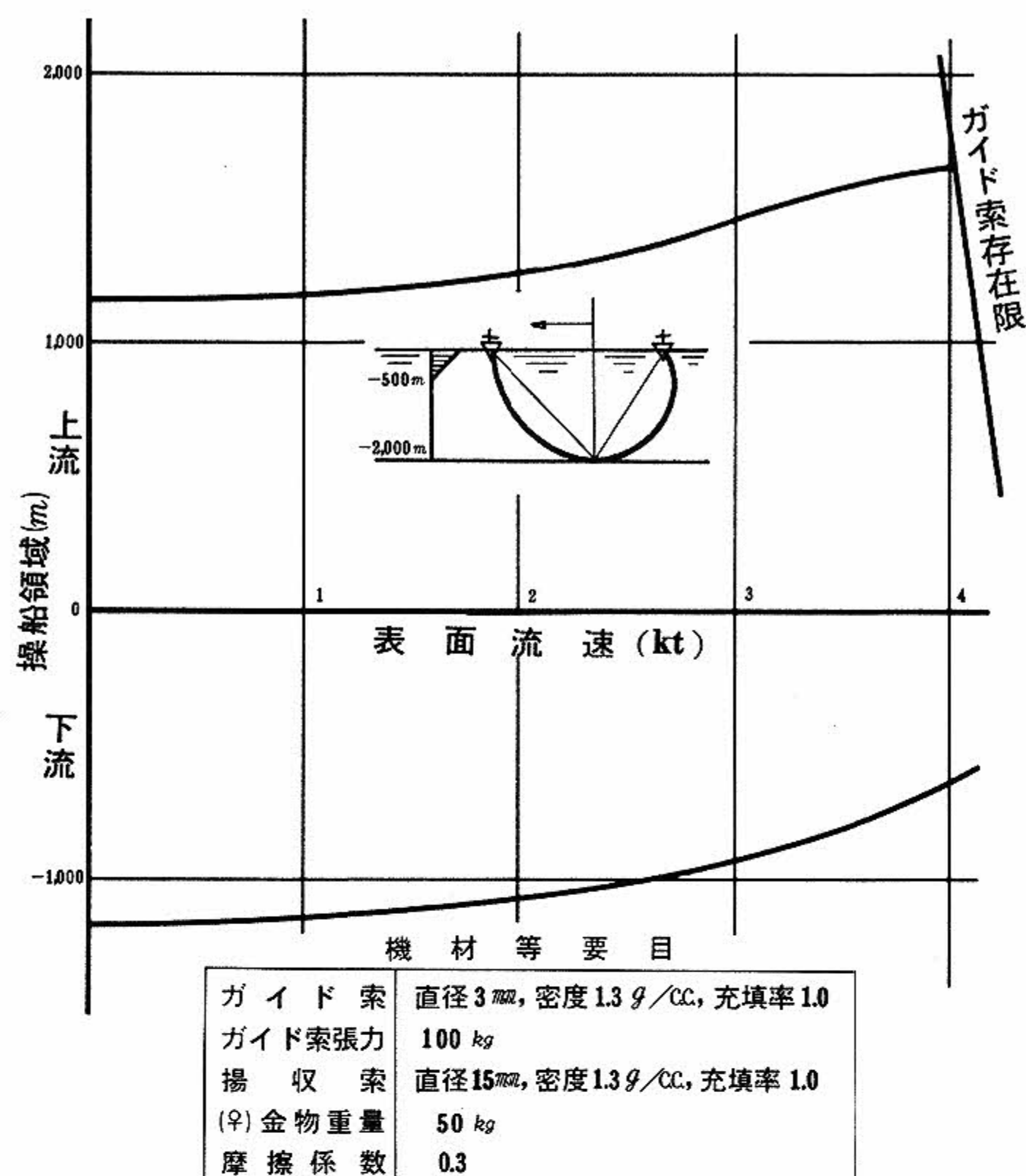
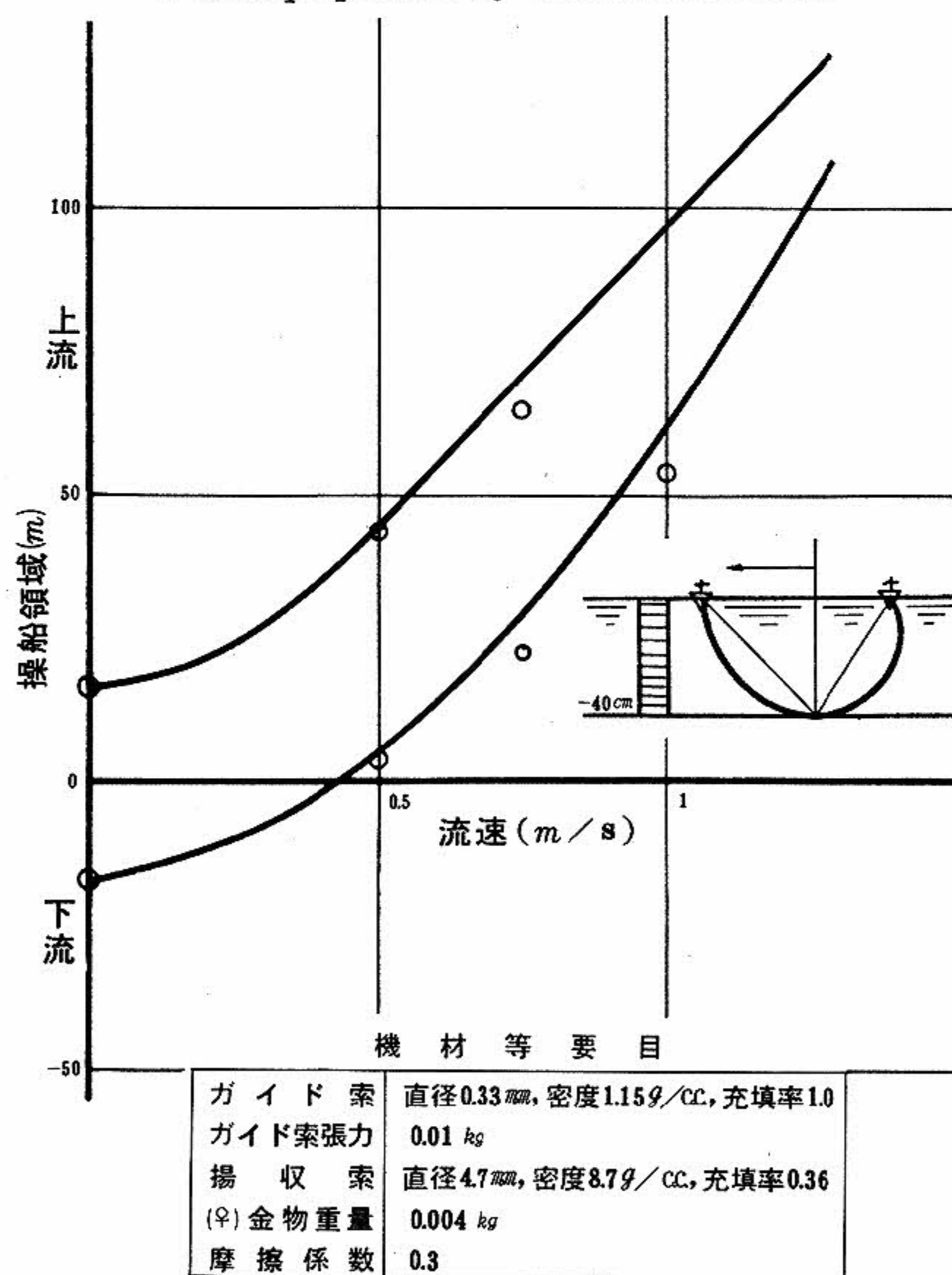


図12 操船領域 (深度 2,000 m)
Operation region (depth 2,000 m)



ガイド索	直径3mm, 密度1.3g/cc, 充填率1.0
ガイド索張力	100 kg
揚収索	直径15mm, 密度1.3g/cc, 充填率1.0
⊕金物重量	50 kg
摩擦係数	0.3

図13 回流水槽による実験装置
Test equipment by circulation tank



ガイド索	直径0.33mm, 密度1.15g/cc, 充填率1.0
ガイド索張力	0.01 kg
揚収索	直径4.7mm, 密度8.7g/cc, 充填率0.36
⊕金物重量	0.004 kg
摩擦係数	0.3

図14 回流水槽実験結果
Test results by circulating tank

深で表面流速が2 kt の場合、回収船を沈没潜水船の直上から上流側へ1,260 m、下流側へ1,070 mの範囲内におさめると金物(♀)は揚収索を海底上にひきずることなく金物(♂)と結合するといえる。

5. 計算手法確認のための水槽実験

前章の計算手法を確認するため、海洋科学技術センター所有の回流水槽を用いた実験と比較した。実験装置は、図13に示すように、水槽内に沈めた沈没体と、その先端に取りつけられ水面のプーリーを介して動滑車ー重錘からなる定張力装置に入る0.33 mmφのナイロン繊維のガイド索および4.7 mmφ 真鍮玉鎖の揚収索ならびに4 gの真鍮製金物(♀)からなる。

実験結果と計算値との比較を図14に示す。この図から低速域での両者の一致はかなり良く、高速

域では実験値が計算値よりも下流側に出てくるが、全体としての一致は比較的良く、この計算手法は十分使用できると考えられる。

6. 各パラメータの操船領域に及ぼす影響

操船領域は、“4. 操船領域の求め方”で述べたように、9個のパラメータが定まれば、一義的に定まる。ここでは人為的に変えることのできる7個のパラメータについて回収作業が最も容易となるようにするため、各パラメータの操船領域におよぼす影響を調べ、各パラメータの最適値を求めることとする。

なお、対象としている潜水船は最大潜航深度2,000 mであるので、計算は主として2,000 mで行っている。

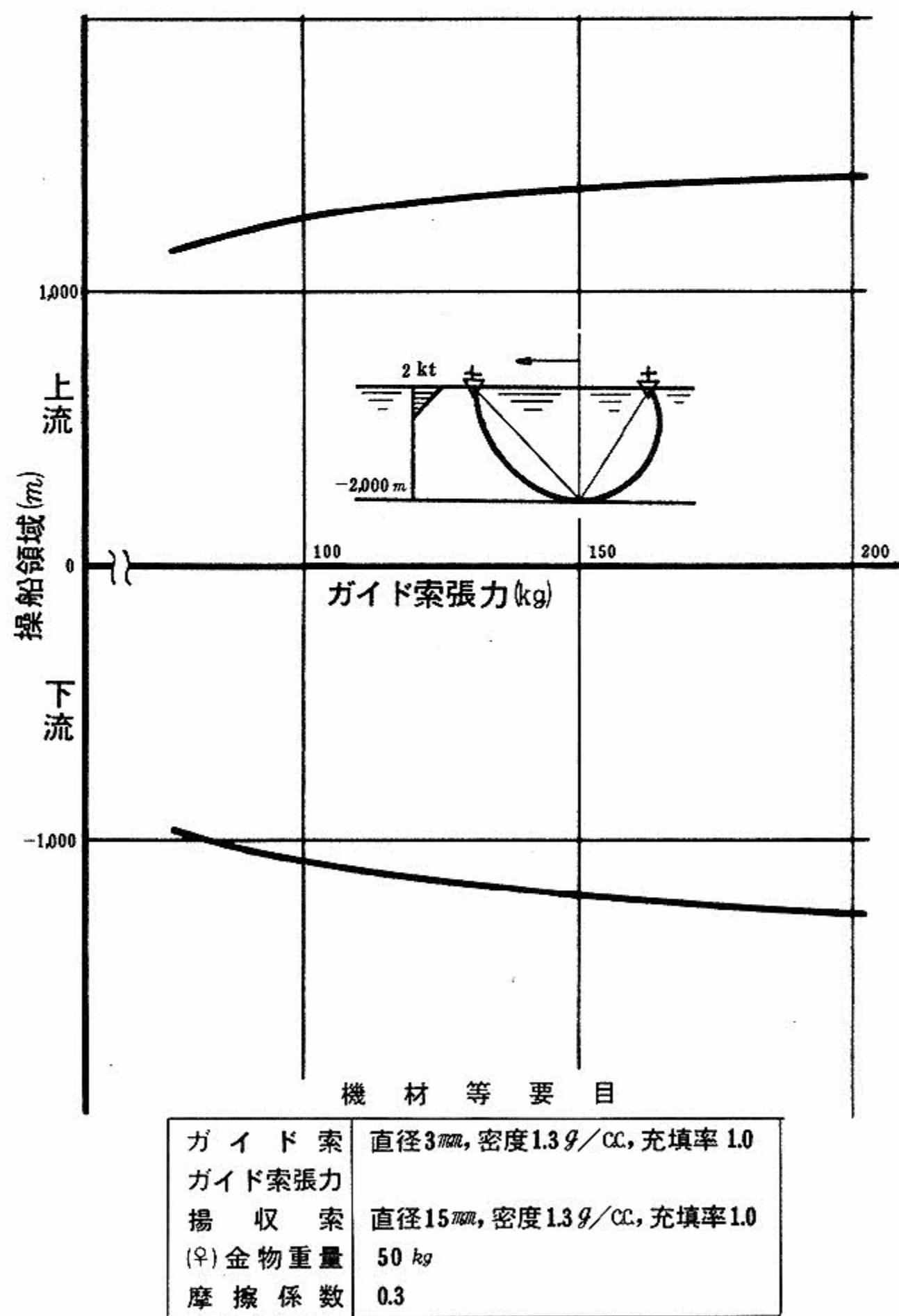


図15 ガイド索張力による操船領域の変化
Deviations of operation region
by tension of guide rope

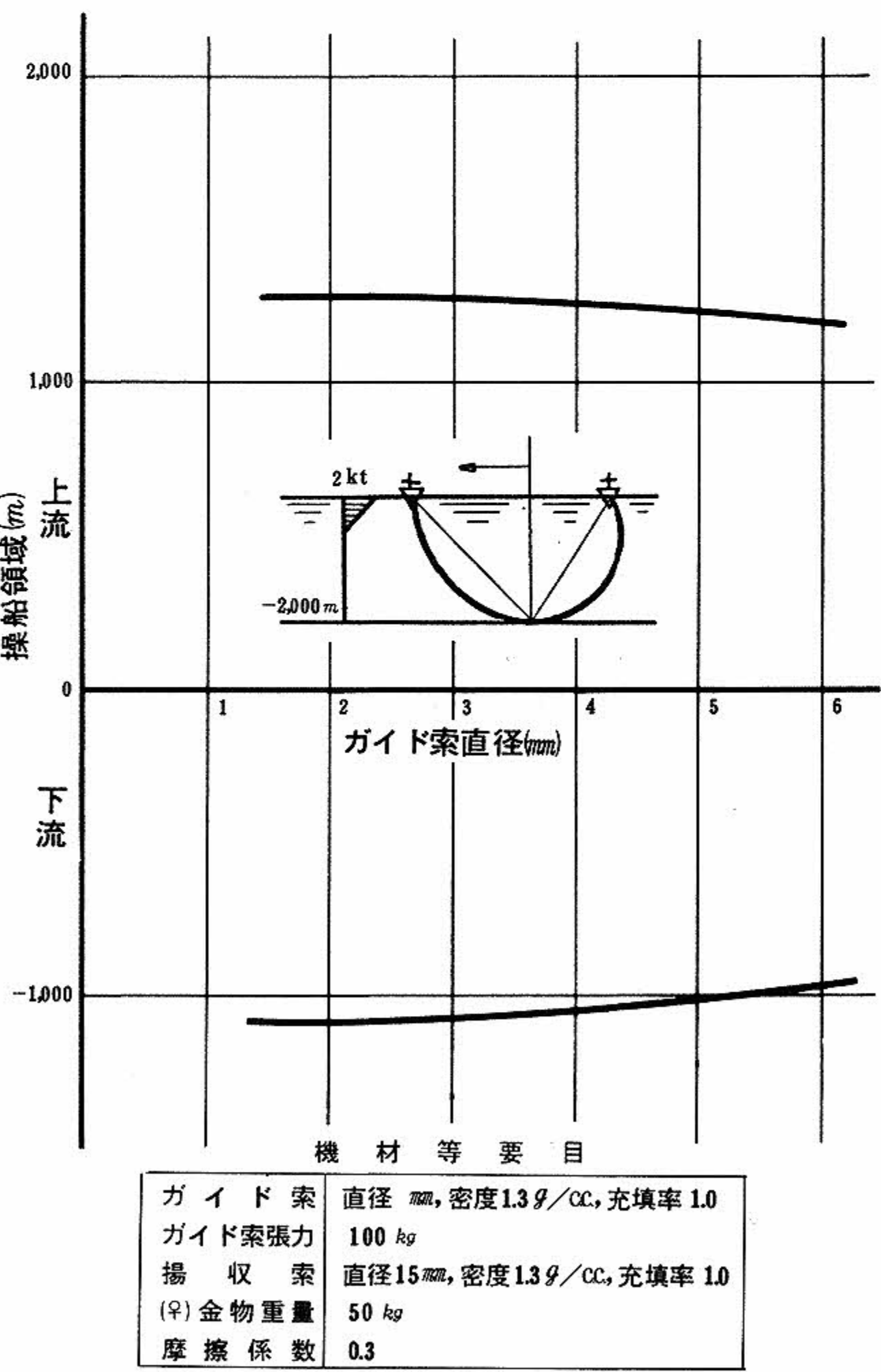


図16 ガイド索直径による操船領域の変化
Deviation of operation region
by diameter of guide rope

6.1 評価基準

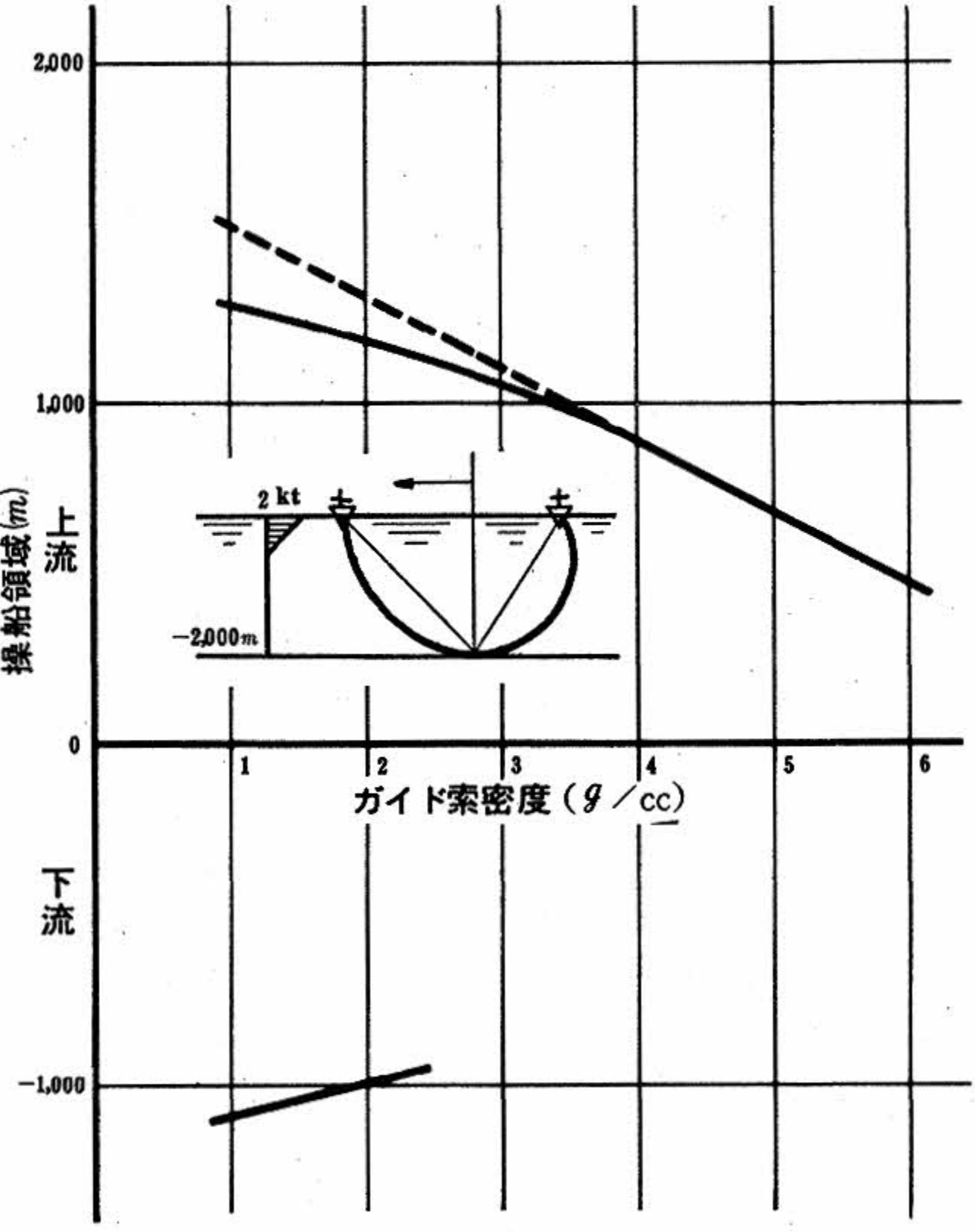
パラメータの影響を調べて最適値を選ぶには、その評価基準をはっきりしておかねばならない。

評価基準は端的に言えば、回収作業が最も容易にできることである。しかし、実際の海域では深度別に流速分布をはかることはきわめて困難であり、流速分布を十分に把握せず、回収作業を行うことが多いと考えられる。

したがって通常は流れに関係なく潜水船の直上で行うことが多いと考えられる。さらに回収船は静止はできず、音響航法装置や電波航法装置によってできるだけ位置保持にはつとめるが、風や波、潮流によって漂流するので、操船領域はこの漂流量を十分補償するに足る広いものである必要がある。

したがって評価基準として、

- (1) 操船領域ができるだけ広いこと



機 材 等 要 目	
ガイド索	直径 3 mm, 密度 9 / cc, 充填率 1.0
ガイド索張力	100 kg
揚 収 索	直径 15 mm, 密度 1.3 g / cc, 充填率 1.0
(♀) 金物重量	50 kg
摩 擦 係 数	0.3

図 17 ガイド索密度による操船領域の変化
Deviation of operation region
by density of guide rope

- (2) 特に下流側の操船領域が広いことを考えることとする。

6.2 ガイド索張力の影響

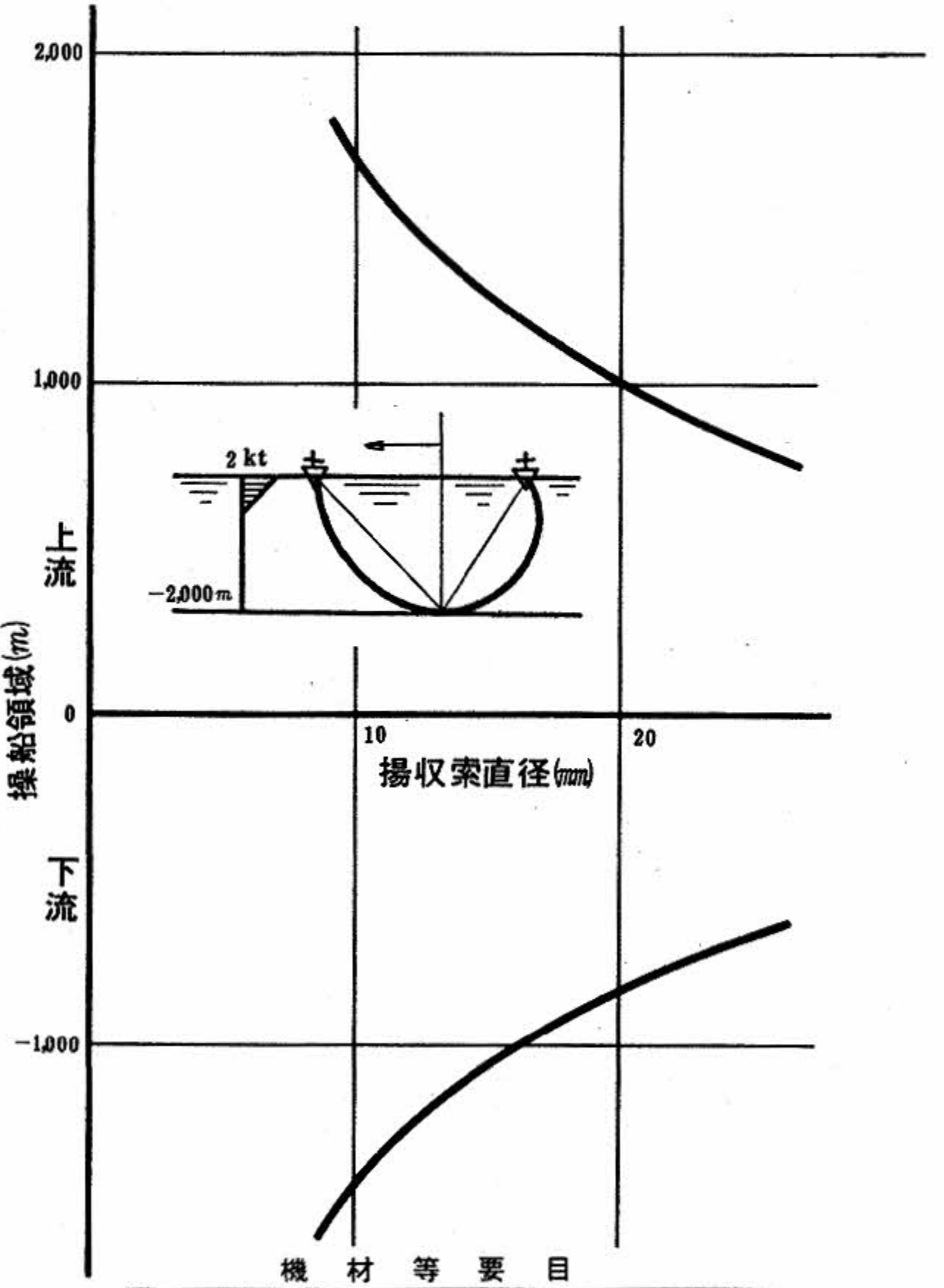
これについては“4.1 ガイド索を張り渡せる領域”で、張力が大きい程、速い流速状態で、ガイド索を張りわたせることを述べた。

ここでは張力の操船領域に対する影響を調べた。その計算結果を図15に示す。この図によれば張力を大きくする程、操船領域は漸増することがわかる。

したがってガイド索張力は流速、操船領域の両面から大きい方が良いといえる。

6.3 ガイド索の直径および密度の影響

その計算結果を図16および図17に示す。この図からわかるように、ガイド索の直径は細い程操船領域は広くなり有利であると言えるが、



機 材 等 要 目	
ガイド索	直径 3 mm, 密度 1.3 g / cc, 充填率 1.0
ガイド索張力	100 kg
揚 収 索	直径 mm, 密度 1.3 g / cc, 充填率 1.0
(♀) 金物重量	50 kg
摩 擦 係 数	0.3

図 18 揚収索直径による操船領域の変化
Deviation of operation region
by diameter of retrieval rope

とりたてて有利という程の差はなく、むしろ変わらないと言った方が良いでしょう。一方、密度については明らかに小さい方が良いでしょう。

- これらのことから、次のことがいえる。
- (1) ガイド索の直径は数mm程度ではほとんど影響はない。
 - (2) ガイド索の密度はできるだけ小さいものを選ぶ必要がある。

6.4 揚収索の直径および密度の影響
 計算結果を図18および図19に示す。
 この図からわかるように、揚収索の直径が大きくなる程、操船領域は狭くなり、逆に細くなる程

広くなることがわかる。一方、揚収索密度については、海水密度に近くなる程操船領域は急激に広くなり、逆に大きくなると、きわめて狭くなることがわかる。

これらのことから、揚収索には、できる限り細いものとし、かつ密度の小さいものを使用することが必要と考えられる。

6.5 金物(♀)とガイド索の摩擦係数の影響
 その計算結果を図20に示す。この図から、摩擦係数を小さくする程、操船領域が広くなることがわかる。

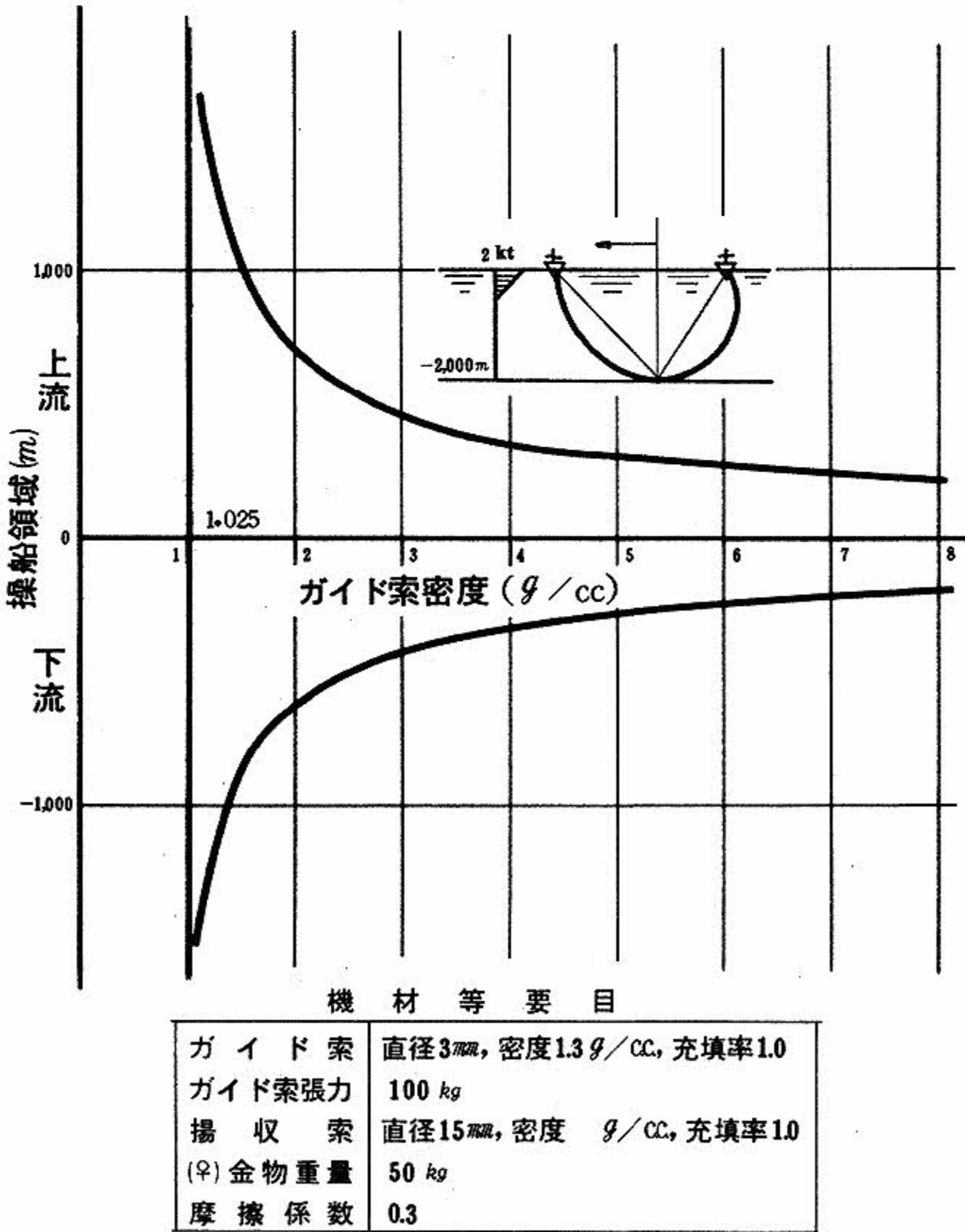


図19 揚収索密度の操船領域の変化
 Deviation of operation range
 by density of retrieval rope

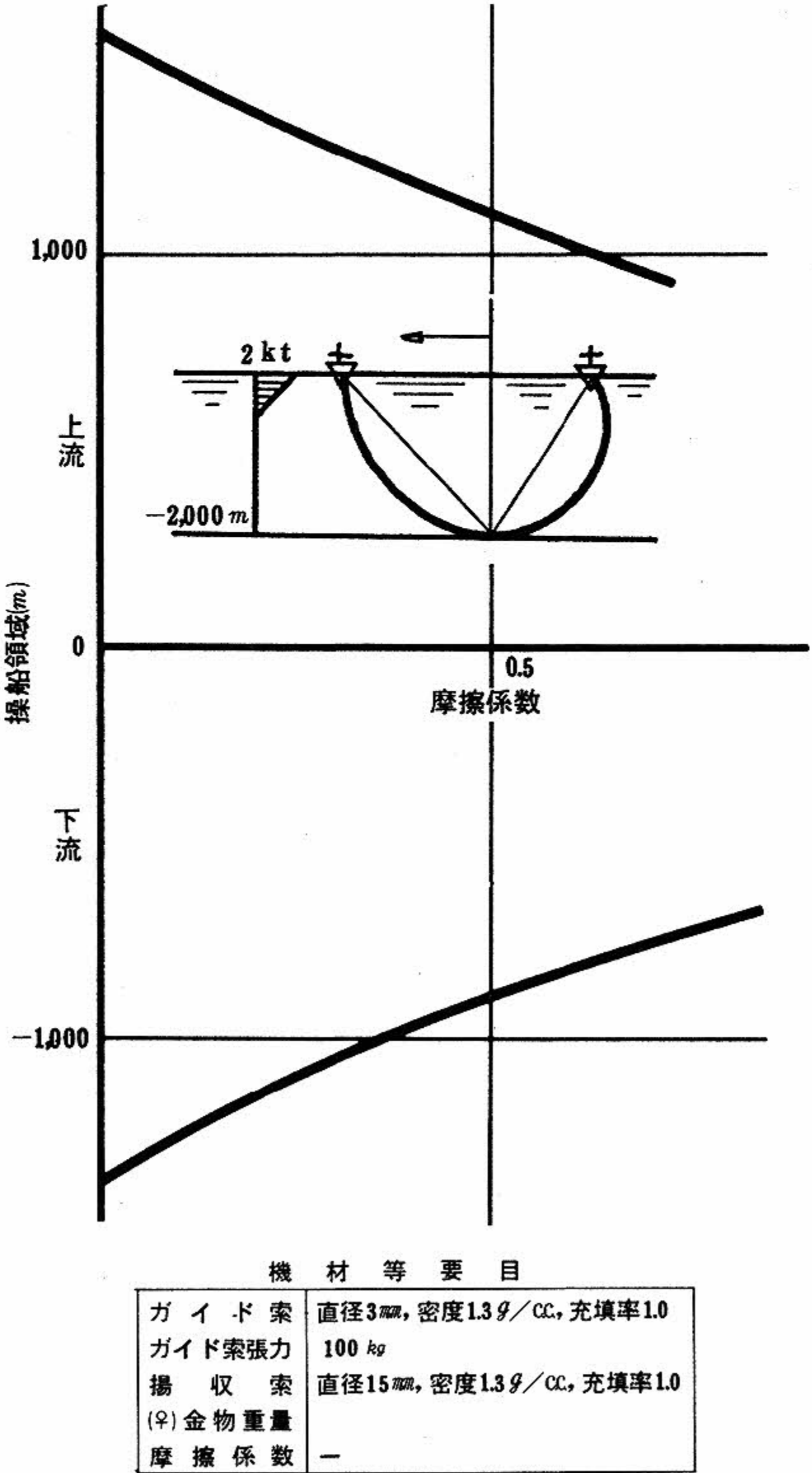


図20 摩擦係数による操船領域の変化
 Deviation of operation region
 by friction coefficient

6.6 金物(♀)重量の影響

金物(♀)重量の最適値が使用状況によって、どの程度変化するか調べた。

その影響を与える因子として、流速、揚収索径、ガイド索張力および深度が考えられるので、これらについて計算した。

その計算結果を図21、図22、図23および図24に示す。

これらの図から、金物(♀)重量の最適値は流速および揚収索径が増加するにつれ、次第に増加する傾向にあるが、その変化はそれ程、大きくなく、深度の変化に対しても変化はほとんどない。また

ガイド索張力に対しても張力の約 $\frac{1}{2}$ 程度が最適値となっている。これらのことから金物(♀)重量としては流速、揚収索径および深度にかかわらず、ガイド索張力の約 $\frac{1}{2}$ 程度の重量にするのが最適と考えられる。

6.7 金物(♀)の形状、重量分布

前述の計算は金物(♀)を質点と考え、形状等は特に考慮していなかった。しかし、金物(♀)が金物(♂)と結合する直前の状態では形状および重量分布が大きな影響を与える。

金物(♀)の設計上、主要要素には嵌合機構のほか、重量、ガイド索との摩擦係数、形状、重量分布等

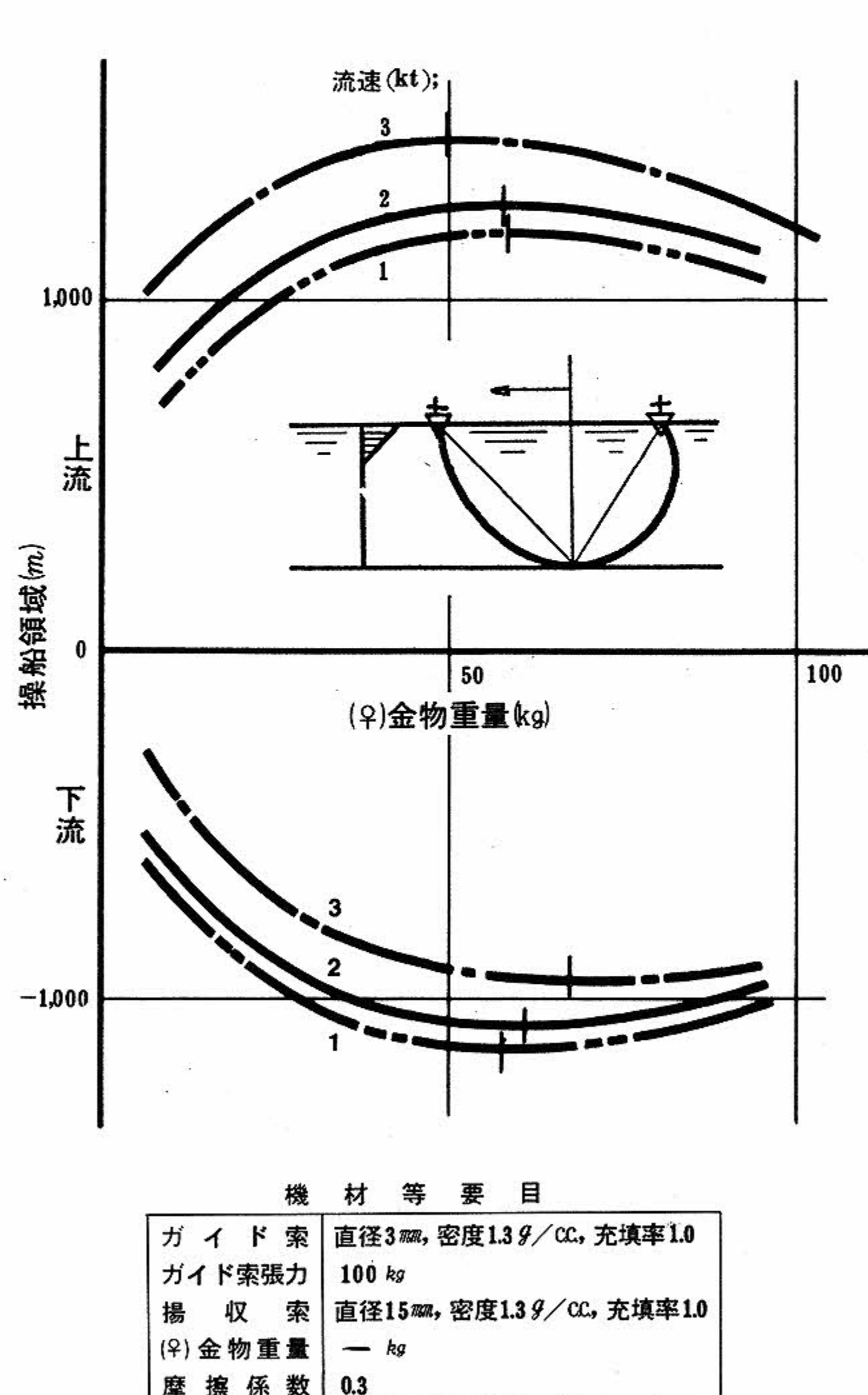


図21 ♀金物重量による操船領域の変化
I：流速パラメータ

Deviation of operation region by weight of female mating device (I current parameter)

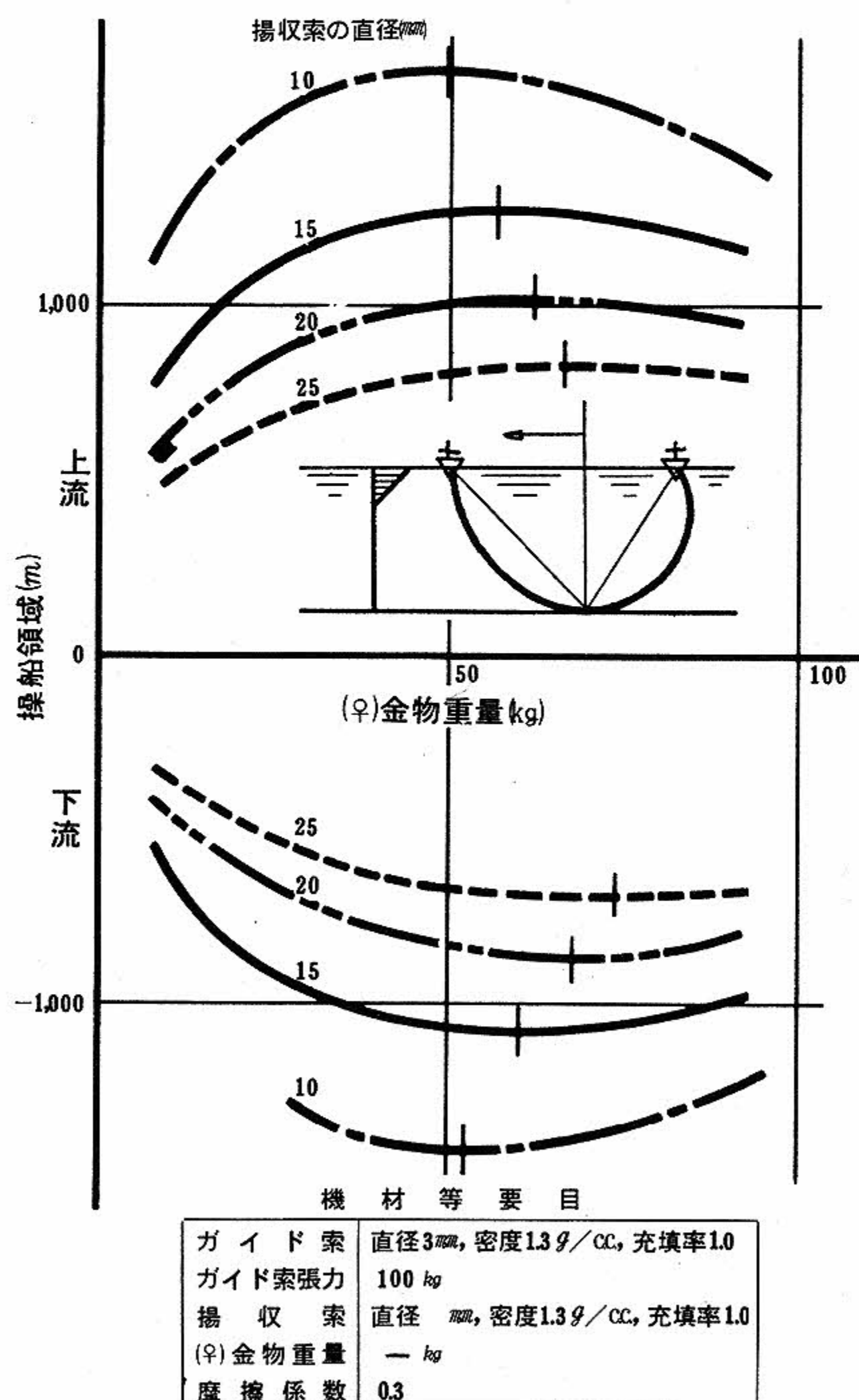


図22 ♀金物重量による操船領域の変化
II：揚収索直径パラメータ

Deviation of operation region by weight of female mating device (II parameter; diameter of rescue rope)

があげられる。このうち重量と摩擦係数について、さきに述べたとおりである。

摩擦係数について、索と金物(♀)の接触部にコーティングを施してもそれ程大きく変化しないので、摩擦係数を小さくするには接触部にプーリーを挿入するのが適切と考えられる。また索と金物(♀)とが直接接触しないように、金物(♀)に適切な長さの胴部を設け、この胴部にプーリーを2個設けるのが適当である。

重量分布は、両金物の近接状態で嵌合が容易に行われることが必要である。その時の金物(♀)の相対姿勢を図25によって考える。

図中の(A)では両金物が正面から相対しているときであり、(B)では嵌合部でガイド索が屈曲してお

れば、嵌合が困難であることを示す。(♀)金物の重量分布との関連でいえば、胴部後端に重量の集中分布があれば、(A)のようになり、嵌合部に集中分布があれば、(B)のようになる。

したがって重力分布としては、金物(♀)の重心位置ができるだけ、胴部後端になるようにする必要があるといえる。

6.8 諸因子の操作領域に及ぼす影響

以上のことをまとめると、次のようになる。

- (1) ガイド索にかける張力はできる限り大きくする
- (2) ガイド索の素材はできるだけ軽いものとする
- (3) 揚収索の直径はできる限り小さいものとする

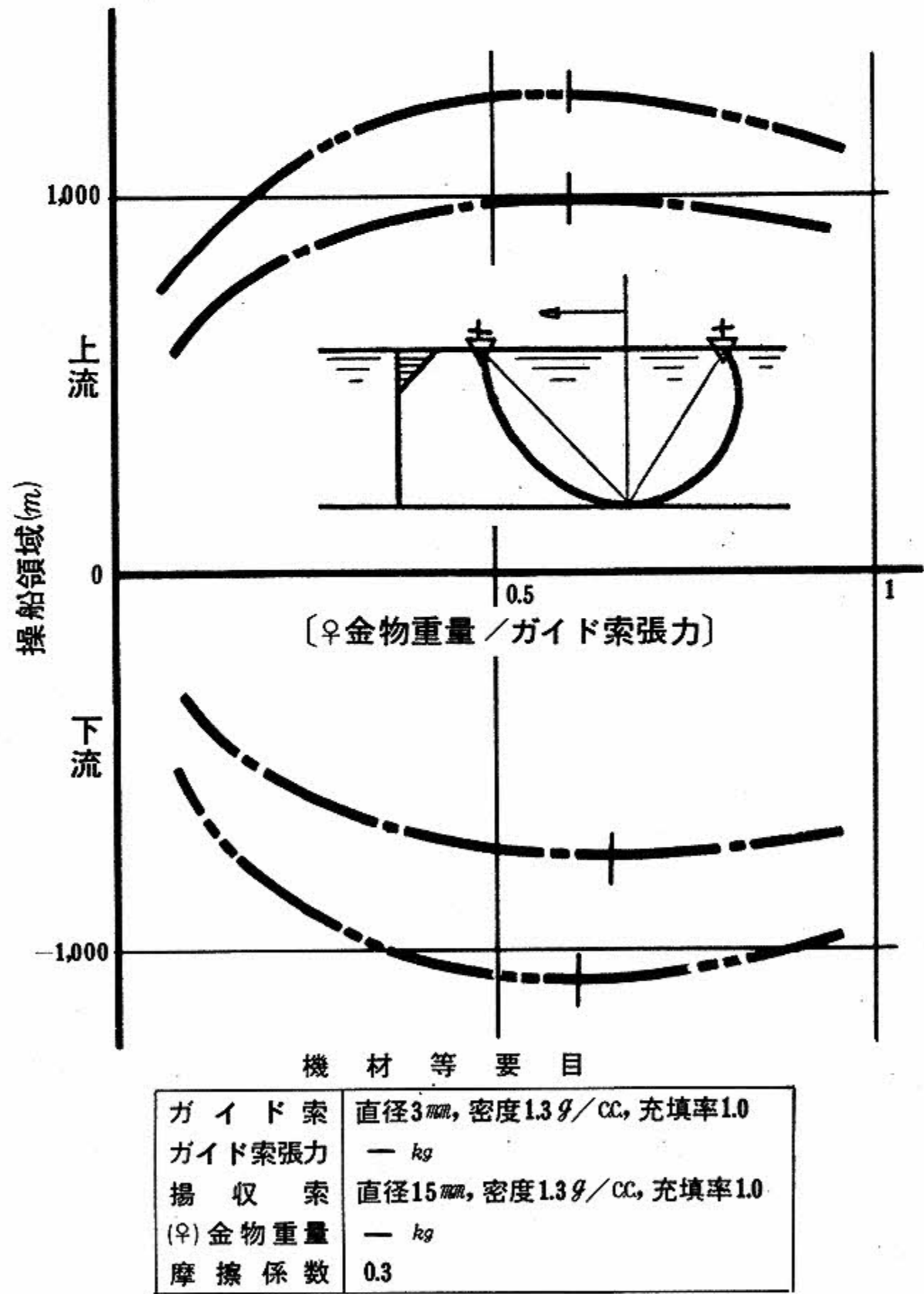


図 23 ♀金物重量による操船領域の変化
Ⅲ：ガイド索張力パラメータ

Deviation of operation region by weight of female mating device (III parameter; tension of guide rope)

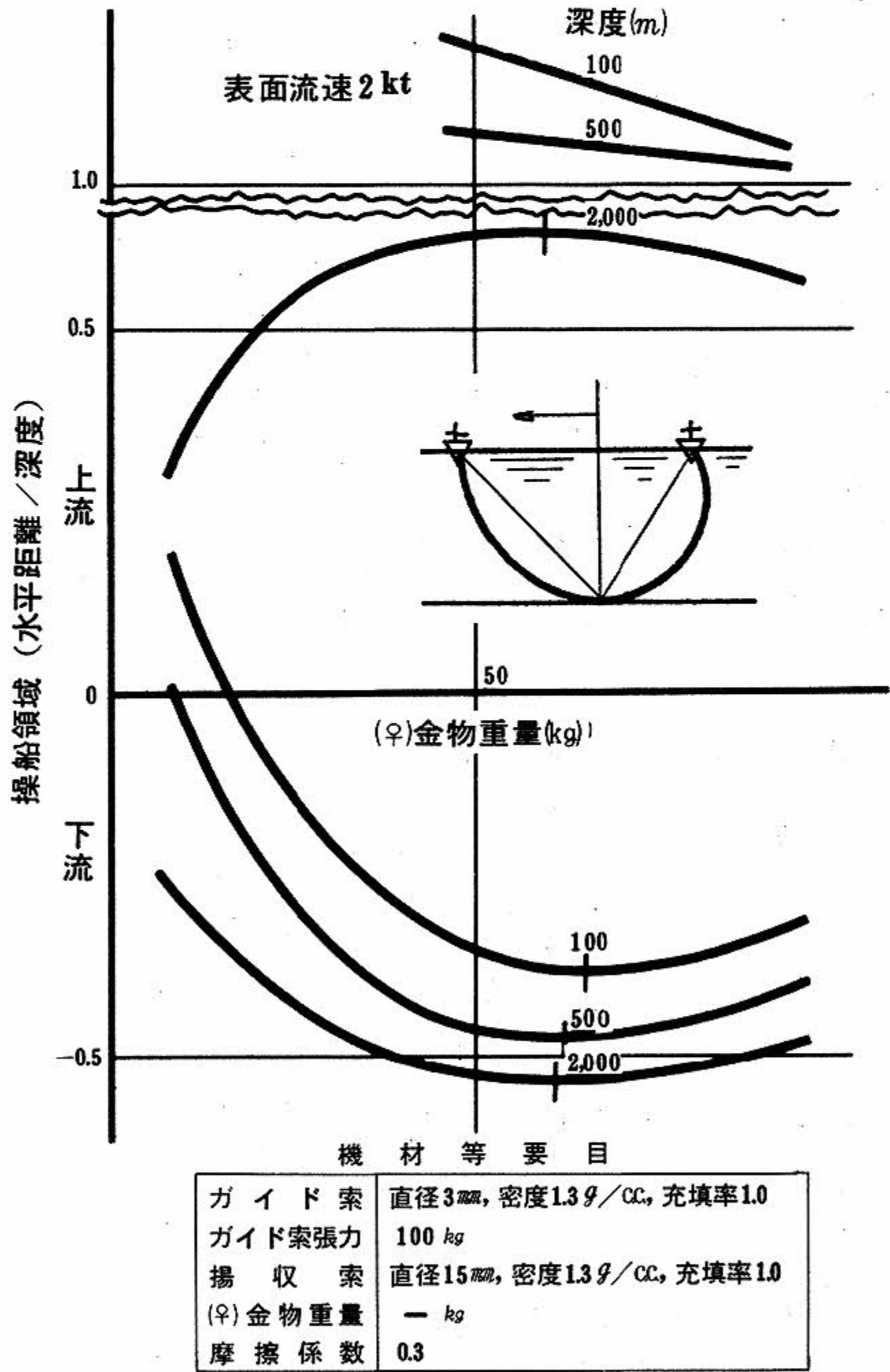


図 24 ♀金物重量による操船領域の変化
Ⅳ：深度パラメータ

Deviation of operation region by weight of female mating device (IV parameter; depth)

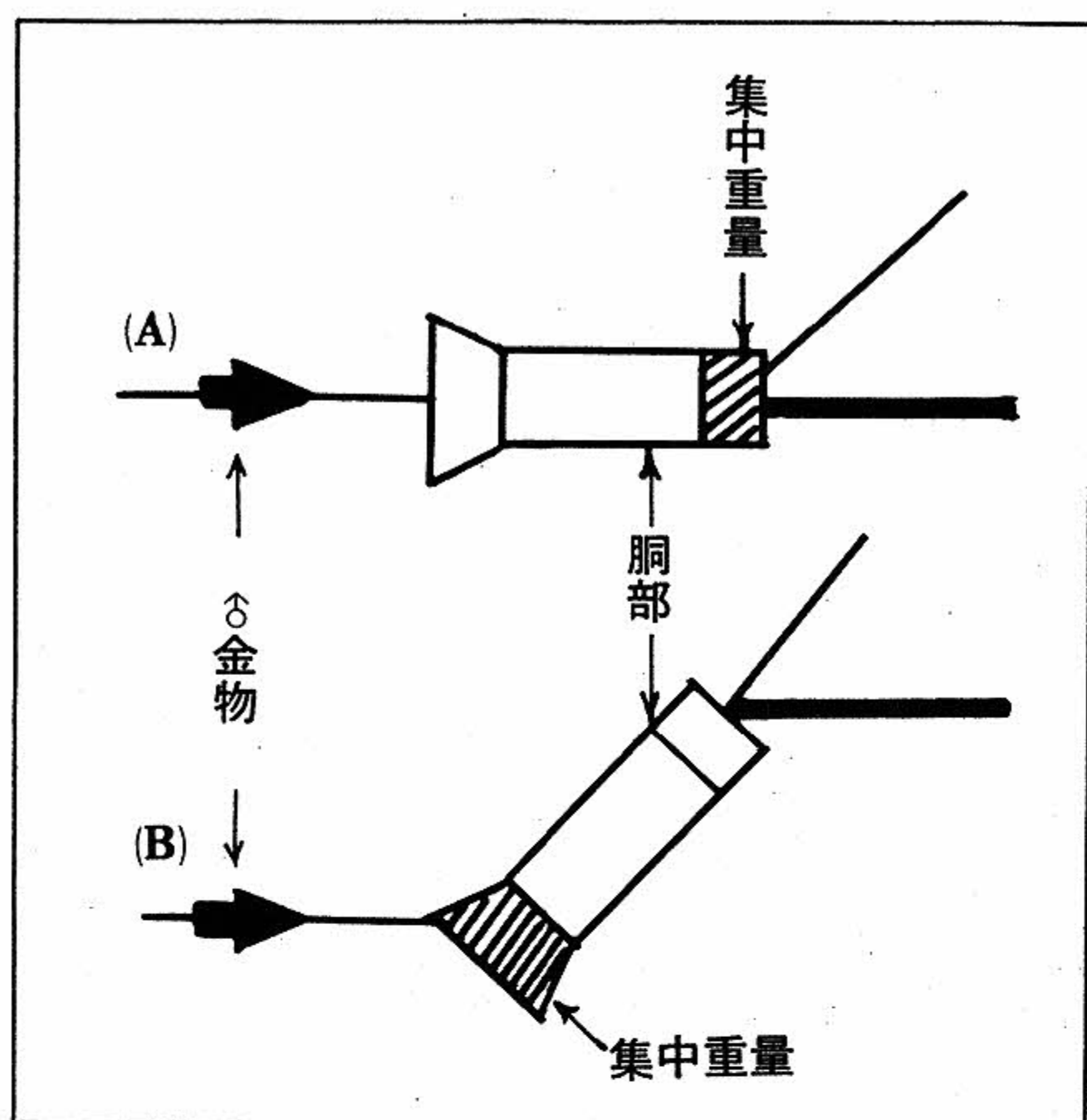


図25 ♀金物の重量分布

Weight distribution of female mating device

る

- (4) 揚収索の素材はできるだけ軽いものとする
- (5) 金物(♀)とガイド索との摩擦係数はできるだけ小さくする必要があり、そのためにプーリーを挿入することが適切と考えられる。
- (6) 金物(♀)重量はガイド索張力の約 $\frac{1}{2}$ 程度が適切である
- (7) 金物(♀)は嵌合部に胴部をつけた形状とし、重量分布はこの胴部後端に集中重量が分布するようにする

7. 実索における比較

以上の検討結果は市販されていない架空のモデル索による比較検討である。

例えば充填率として実際にはありえない1.0という数値を用いたり、索の破断強度を考慮することなく、ガイド索張力を与えたりしてきた。

ここでは前述の検討結果をふまえ、市販されている実際の索ではどのようなものを用いればよいかを検討する。

なお、比較検討する索種として、ナイロンエイトロープ、ケブラ繊維を用いたフィリストラン索および鋼索をとりあげることとし、表2に各種索の特性を示す。

7.1 ガイド索

ガイド索に要求される性能には、つぎのものがある

- (1) できる限り密度が小さいこと
- (2) できる限り破断強度が大きいこと
- (3) できる限り細いものであること

救難ブイにコンパクトに装填するためである。

これらの要件から、ガイド索の候補として、ナイロン索とケブラ索にしばらくられる。密度は両者程度の差であれば、あまり顕著な差はなく(図15参照)、直径もほとんど影響を与えないから、主要な因子は破断強度となる。破断強度はケブラ索はナイロン索よりも数倍大きいことからガイド索としてはケブラ索の方が良いといえるので、ガイド索として2.9 mmφのフィリストラン索(破断荷重810kg)を考え、張力として安全率を6以上とって100 kgとする。

7.1 揚収索

揚収索に要求される性能とし、次のものがある。

- (1) できる限り密度が小さいこと
- (2) できる限り細いこと
- (3) 沈没体を吊り上げるに足る十分な強度を有すること

DSV-2 Kには内容積約300 ℓの耐圧容器を4個有している¹⁾ので、これら全部を浸水したとすれば、水中重量の増加は約1.2tとなるので、余裕をみて水中重量を2tとし、必要な索径を考えれば、安全率を6以上として12t以上の破断力が索に必要となる。

この程度の索をナイロンとケブラで比較すると、ナイロンエイトロープは26mmφで12.6t、フィリストラン索は14.8 mmφで12.6tとなり、ナイロンでは比重は小さいが直径が大きくなり、ケブラでは逆に上記(1)と(2)とが相反し、簡単に一方のみを有利とすることはできない。そこで両者の操船領域を比較して優劣を比較した。その計算結果を図26に示す。

これによってケブラ索の方がナイロン索よりも操船領域が広くとれ、有利であるといえる。

以上、述べたようにガイド索、揚収索共ケブラ索が良いといえる。

これを基に実索を用いた場合の種々の深度における操船領域の流速依存性を図27、図28および29に示す。

表2 各種索の比較
Comparison of ropes

ナイロン8ロープ				フィリストランロープ				ワイヤロープ (6×7)			
直径	重量	破断力	充填率	直径	重量	破断力	充填率	直径	重量	破断力	充填率
mm	kg/km	t		mm	kg/km	t		mm	kg/km	t	
3	6.45	0.27	0.79	1.7	3	0.34	1.0	3.15	37	0.6	0.52
4	9.65	0.39	0.68	2.9	75	0.81	0.87	4	59	0.97	0.52
10	62	2.1	0.69	5.8	27	27	0.79	10	371	6.06	0.52
12	90.5	3.16	0.70	8.4	54	54	0.75	12	534	8.73	0.52
14	123	4.22	0.69	11.4	72	7.9	0.54	14	727	11.9	0.53
16	155.5	5.24	0.67	14.8	141	12.6	0.63	16	950	15.5	0.52
20	243	7.99	0.67	16.5	171	16.0	0.62	20	1,480	24.2	0.52
26	405	12.6	0.66	21.6	277	25.0	0.58	26	2,510	41.0	0.51
30	555	17.0	0.68	25.4	388	35.0	0.59	30	3,340	54.5	0.52

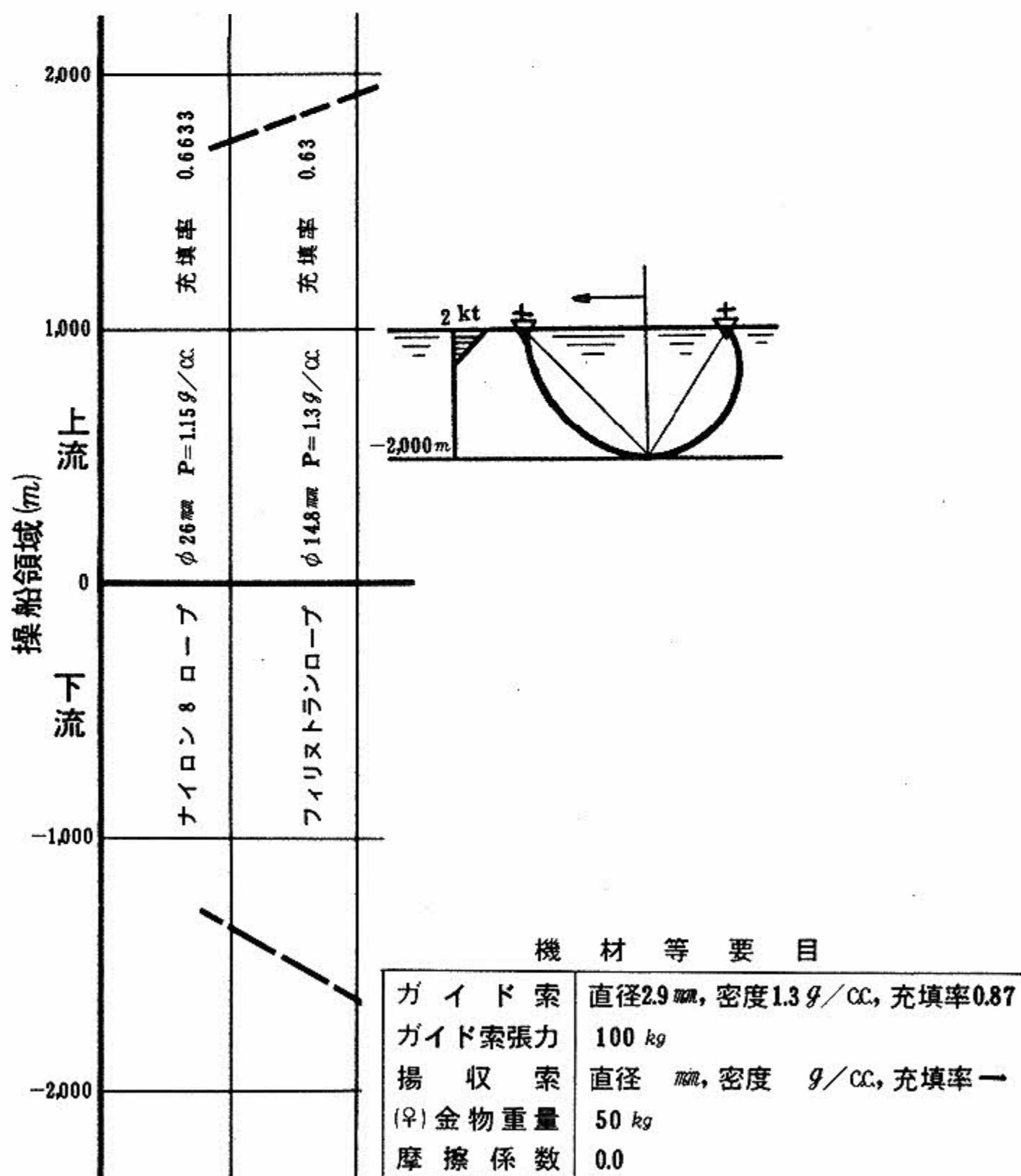


図26 ナイロン8ロープとフィリストランロープの比索

Comparison between Nylon 8 rope and Philistran rope

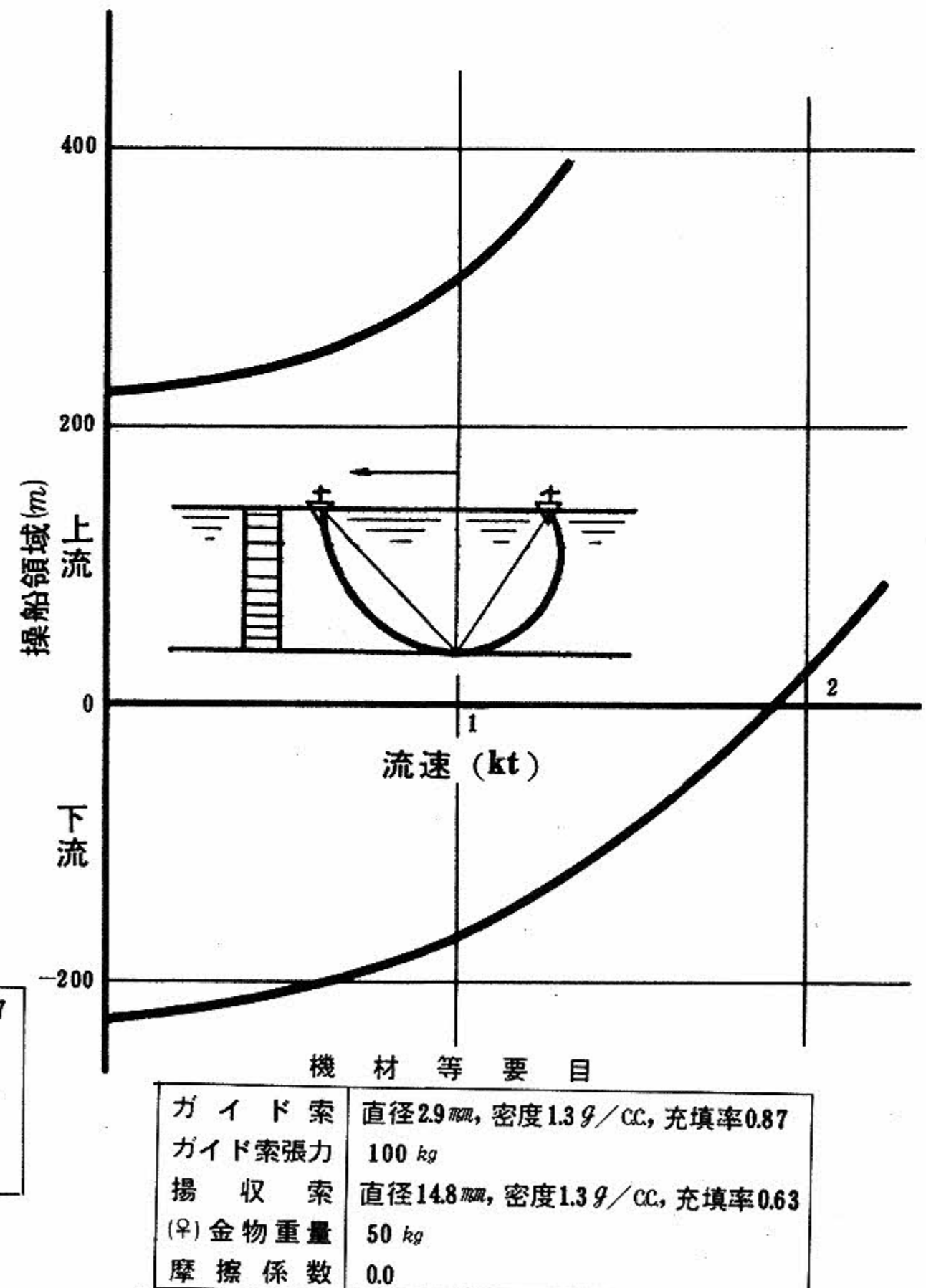


図27 実索による操船領域 (深度 100 m)

Operation region by real ropes (depth 100 m)

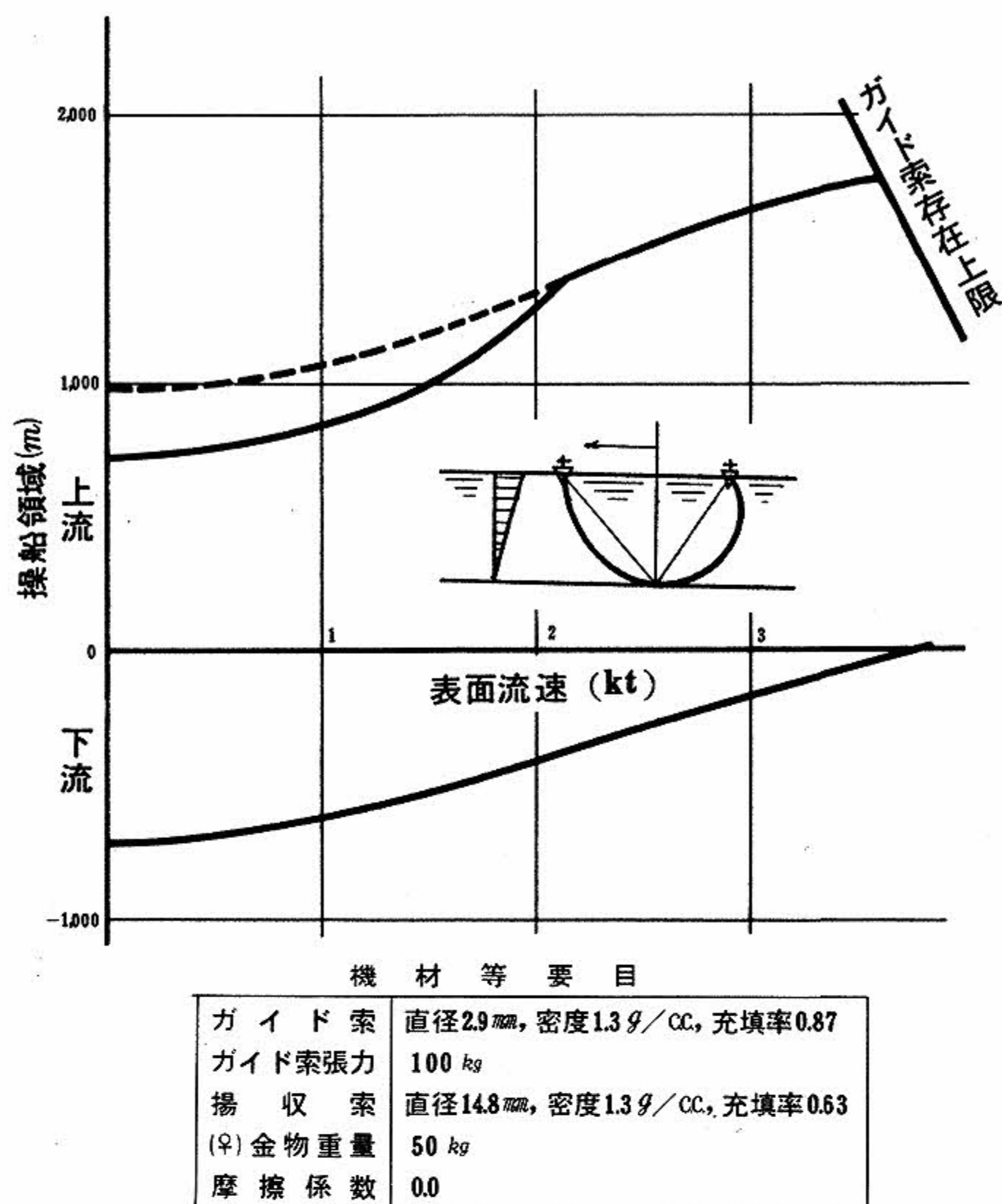


図28 実索による操船領域 (深度 500 m)

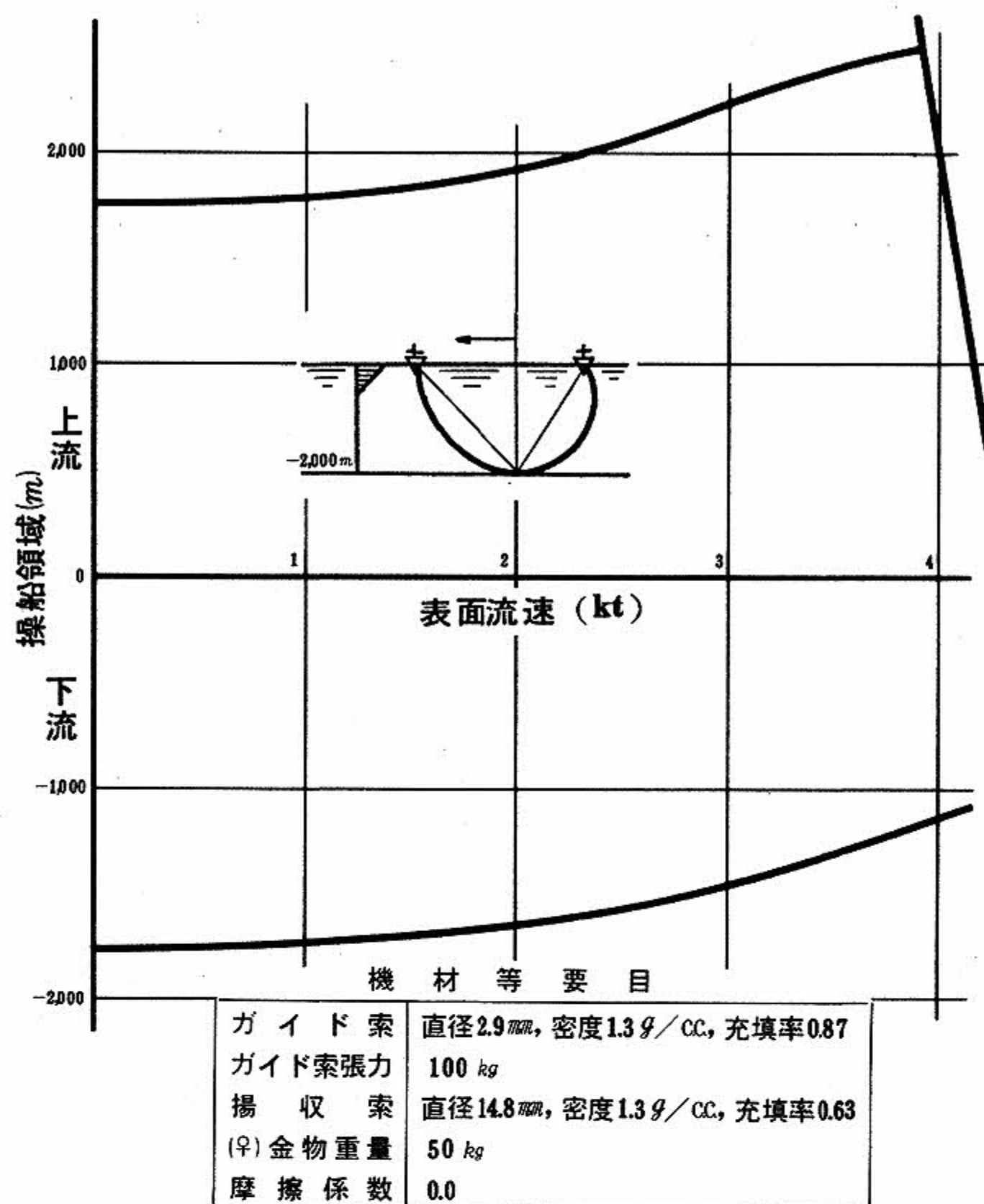


図29 実索による操船領域 (深度 2,000 m)

8. あとがき

以上の検討の結果, ガイド索方式による事故潜水船の救難は, 流速があまり大きくなると回収不能となるが, 適当な範囲内では索種や直径, 金物の重量や形状, ガイド索張力等を適切に選ぶことによって操船領域も広くなり, 回収作業が容易に行え, またある程度大きな潮流下でも救難作業が行えることがわかった。また実際にDSV-2Kに装備される救難ブイならびに事故が発生した際に想像される最大の必要引揚力等を考慮した実際の索による検討でも, 操船領域はかなり広くとれ, 回収作業が容易であることが計算上, 明らかとなった。

今後, 海上実験で, ガイド索方式の有効性を確認したのち, この簡便で, 即応性のある, この方式の救難装置をDSV-2Kの支援母船に搭載する予定でいる。また, この装置を装備することによって, 本来, 安全に設計されているDSV-2Kシステムの安全性をさらに向上させることが可能であると考えられる。

またこのガイド索方式は, 事故潜水船の救難にとどまらず, 海底に沈座する漁礁や他の構造物等の回収にも使用できるものであり, その方面での活用が期待できる。

文 献

- (1) 高川真一, 徳永三伍, 岡田光豊, 1979, “潜水船の安全性に関する一考察”, JAMSTECTR (3) 1.
- (2) Busby, F.R., “Manned Submersibles” (1976), Office of the Oceanographer of the Navy
- (3) 徳永三伍, 高川真一, 1978, “潜水船等の浮体回収用金物の模型試験” JAMSTECTR (2) 27.
- (4) Eames, M.C., “Steady State Theory of Towing Cables”, Quarterly Transaction RINA 110 (2) (1968)