

# 港 湾 技 研 資 料

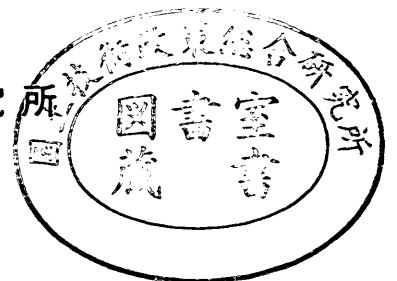
TECHNICAL NOTE OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No.215      June 1975

投錨試験における錨の貫入量

中   山   茂   雄  
清   宮           理

運輸省港湾技術研究所



# 投錨試験における錨の貫入量

## 目 次

要 旨 .....	3
1. ま え が き .....	3
2. 海底パイプラインの概要 .....	3
3. 海底パイプラインの埋設深さと投錨試験 .....	4
3.1 埋設深さ決定の手順 .....	4
3.2 投錨試験 .....	5
3.3 錨の貫入量と埋設深さ .....	6
4. 錨の貫入量に対する要因 .....	7
4.1 錨の海底接地速度 .....	7
4.2 錨の貫入量と海底地質 .....	11
4.3 錨の走錨の影響 .....	14
5. 必要な埋設深さの推定 .....	15
6. 埋設深さ決定における問題点 .....	16
7. あ と が き .....	18
8. 謝 辞 .....	18
9. 参 考 文 献 .....	18

## Depth of penetration of anchors into seabottom through anchoring tests

Shigeo NAKAYAMA \*

Osamu KIYOMIYA \*\*

### Synopsis

Submarine pipelines should be buried to protect from damage by ships' anchors. It is a very important and difficult problem for submarine pipelines to determine the burial depth reasonably. On determining the burial depth, firstly there needs estimating the depth of penetration of anchors.

This document provides the depth of penetration of anchors into silty or sandy seabottom referring to the past anchoring tests. After describing the relating items for estimating the depth of penetration of anchors such as the anchor size and weight from the vessel size, the dropping velocity of anchor on the seabottom, the value of penetrating depth of anchors is calculated. And the value considering penetrating and dragging depth is summarized.

---

\* Senior Research Engineer, Structures Division

\*\* Member of the Subaqueous Tunnels and Pipelines Laboratory, Structures Division

# 投 錨 試 験 に お け る 錨 の 貫 入 量

中 山 茂 雄 \*  
清 宮 理 \*\*

## 要 旨

本文は、海底パイプラインの建設を実施するに当たり、そのパイプラインの安全性の確保に関して、最も重要な埋設深さを決める過程において、埋設深さと密接な関係を持つ船舶の投錨時の錨の海底での貫入量について、過去に実施された試験結果を参考資料として取りまとめたものである。

錨の貫入量については、錨の海底での接地速度の把握が必要であり、この海底接地速度の推定を簡便な方法によって行ない、海底パイプラインを設置する海域の条件に応じて、最小限度必要と思われる投錨に対して必要な埋設深さの算定を行なうと共に今後の錨の貫入量に関する実験の方法について若干の言及を行なった。

## 1. ま え が き

海底パイプラインは、既に我国では主としてシーバースから陸上に至る原油荷役用パイプラインとして数多く設置されている。我国の海底パイプラインは、このような形態のパイプラインを軸として技術的な発展をとげたのである。現在では、原油のみならず、ガス（LNG、LPG）、上水道の輸送に使用されているが、高密度の海上交通、陸上交通を考えれば、海底パイプラインの重要性は、増々高まってくると思われる。従って石油パイプライン事業法（昭和47年法律第105号）に基づく、技術基準省令および告示の制定により明らかにされた海底パイプラインの建設における技術的諸問題は早急に解決されなければならないであろう。

海底パイプラインの設計・施工については広範囲の技術が要求され、施工上の問題として、敷設方法、溶接などが重要となっている。設計においては、我国の海底パイプラインの一大特徴であるその安全上必要とする適切な埋設深さについて、未だ基準的な考え方を導入するに至っていない。我国の様な狭い国土では、欧米における様に単にパイプを海底に露出して敷設するだけでは安全ではないことは言うまでもなく、船舶が仮に海底パイプライン路線上に投錨し、走錨を行なっても、パイプに何ら損傷を与えることのない深さに埋設しなければならないことが基本的に要求される。本文はこの点について、近い将来埋設深さの基準化を行なう際の資料を提供することを目的として、過去の海底パイプライン建設計画において実施された船舶の錨の海底での貫入量に関する試験（以下投錨試験という）を主たる資料として、錨の海底での接地速度、錨の貫入量および投錨試験の方法な

どについて取りまとめたものである。

## 2. 海底パイプラインの概要

我国における海底パイプラインは、離島への飲料水供給用として、昭和30年頃より建設されるようになったと言われているが、本文が対象とするシーバースから陸上に向かって敷設される、いわゆる原油荷役用海底パイプラインは、シーバースの建設需要が立ち上がりつつあった、昭和38～39年頃から多く敷設されるようになった。この原油荷役用海底パイプラインは、従来の飲料水用海底パイプラインと異なり、敷設距離は長くはないが、大量輸送に供するため、敷設するパイプの直径が大きく、敷設技術もより新しいものの開発が要求され、海底パイプラインに関する技術開発もこの時期を契機に一段と発展した。

現在、原油荷役用海底パイプラインは計画中のものを含めると30数箇所あり、敷設パイプの総延長も140kmにも達している。表-1に主な原油荷役用海底パイプラインの現況を示す。海底パイプライン1本当りの敷設距離は、シーバースからの原油荷役用と言うことでもあり、

表-1 主要な海底パイプライン

場 所	管 径 (インチ)	敷設距離 (m)	敷設最大水深 (m)	埋設最大深さ (m)
苫小牧	48	3,200	24.0	2.0
新 潟	14	11,200		(計画)
千 葉	48	9,950	27.0	4.0
名古屋	56	8,700	29.0	3.0
宇 部	48	11,300	23.0	2.0
沖 縄	42	4,400	21.0	2.0
"	56	2,700	40.0	3.0(計画)

\* 構造部 地震防災主任研究官

\*\* 構造部 沈埋構造研究室

長大に渡るものは少なく、平均すると 3,000 m 前後であり 5,000 m 程度の海底パイプラインは長大なものに属する。敷設距離が最大のものは、11 km で昭和 45 年に完成したものである。管径は、原油の荷役能率を上げるために大口径のパイプを用いる例が多く、直径が 40 インチ（約 1 m）、あるいは最近では、海外でも未だ敷設例の少ない直径 56 インチ（約 1.4 m）のパイプの敷設が行なわれている。海底パイプラインの敷設個所の水深では、-20 ~ -25 m が多いが、これはシーバースを利用する船舶の吃水と関連性が大である。原油荷役用以外の海底パイプラインでは飲料水用の海底パイプラインにおいて -55 m という施工例があるが、原油荷役用のみに限って考えると、原油輸送用タンカーの大型化も、現在の需要では 50 万重量トンクラスであり、その場合必要とされるバース水深は 30 数 m 位になるので海底パイプラインを敷設する最大水深も我国ではおおよそ 40 m 程度が最大になると予想される。諸外国での海底パイプライン<sup>2)</sup>は、海底油田、ガス田からの生産ラインとして利用される例が多く、メキシコ湾、ペルシャ湾などに数多く敷設されており、最近では北海で数多くの海底パイプラインの建設および計画が進められている。この海底油田にかかわる海底パイプラインは、管径は比較的中小口径となるが、敷設水深および敷設距離は、我国と比較すると桁違いに規模が大きい。例えば北海における海底パイプラインの計画の中には、敷設水深が 150 m 前後、敷設距離が 300 km のものがある。すでに述べたように、我国の海底パイプラインは、海底下に埋設しなければならないことになっているが、既設の原油荷役用海底パイプラインの埋設深さについて見ると図 - 1、埋戻しに使用する材料について見れば図 - 2 の様になっている。原油荷役用以外の海底パイプラインをすべて含めると異なった傾向を示すことは明らかと思

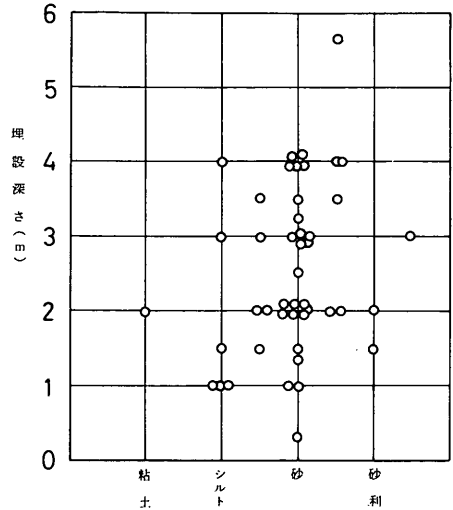


図 - 2 海底パイプラインの埋戻し材料

われるが、実施例として海底パイプラインの基本計画策定上参考となろう。

海底パイプラインは陸上のパイプラインと異なり、一坦パイプを敷設すると、ラインパイプの補修、修理、保守点検などを行なうことに非常に困難を伴うので、パイプの損傷については、十分な対策を講じなければならない。海底パイプラインは、パイプに損傷が生ずることのない様、また他から損傷を受けない様な状態にしておくことが必要である。図 - 1 で示される埋設深さはとりもなおさず、海底パイプラインの安全性を示すパラメータと考えられよう。

### 3. 海底パイプラインの埋設深さと投錨試験

#### 3.1 埋設深さ決定の手順

海底パイプラインの埋設深さの決定についての考え方は、海底パイプラインの安全性の確保という点から海底パイプラインを敷設する予定の海域付近を航行する船舶が、緊急時に投錨し、パイプライン上に錨を落下してもパイプに直接的な損傷を与えない深さを確保することから出発しなければならない。次いで、錨の走錨による影響、錨の衝撃荷重の影響、海底面の洗掘の影響および浚渫における余掘などを考慮した余裕深さを加え、所要の埋設深さを決定することになる。従って、海底パイプラインを敷設する予定の海域を航行すると予想される船舶の最大船型を把握し、その船舶が積載する錨がどの程度

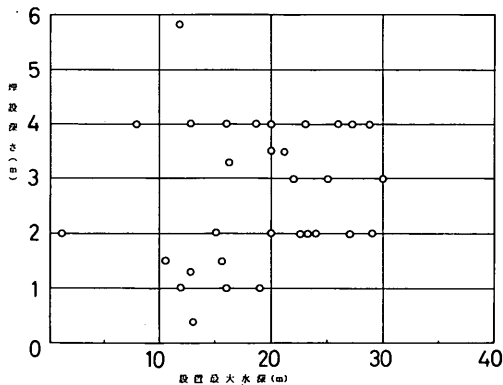


図 - 1 海底パイプラインの埋設深さ

海底に貫入するかを把握することが重要な課題となってくる。以上の事柄について、簡単な手順を示すと図-3のもの<sup>4)</sup>が考えられる。

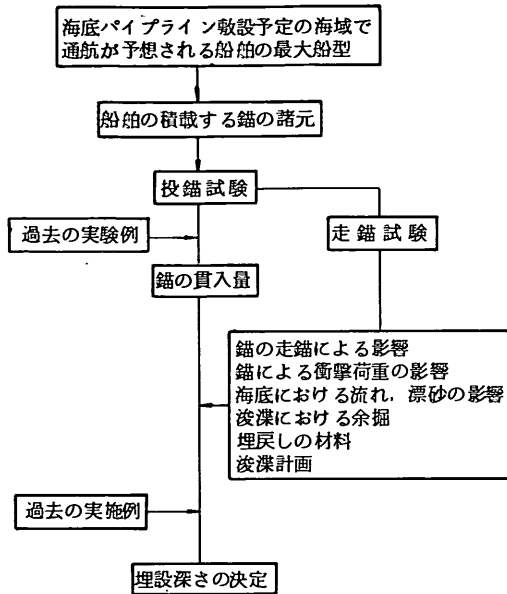


図-3 埋設深さ決定の手順

### 3.2 投錨試験

海底パイプラインの埋設深さについては、錨の貫入量が大きくなるとウェイトを占める。錨の貫入量測定のための試験は、その方法に多少の問題はあるが、海底パイプライン敷設に際して以前から実施されていたものである。

近年の油送用タンカーの大型化に伴ってこの投錨試験も大規模化せざるを得ず、例えば20~30万重量トンクラスの船舶が通航する場合には、同船型の積載する錨の重量は20トン前後にもなる。この錨が海底に落下すると想定において投錨試験を行なうことになり、従来よく用いられていた実船による試験、あるいはクレーン船による試験などによる方法では実施が不可能になって来ている。この点を解決するための方法として採用されるのが陸上における試験であるが、以下それぞれの試験方法について述べることにする。

第1の方法は、海底パイプラインを敷設する予定の海域において通航すると予想される最大船型の船舶を実際に用いて、海底パイプライン敷設予定路線上に投錨させて、貫入量を測定する方法であり、最も実証的な試験である。(以下、実船による投錨試験という)

第2の方法は、実船の代替として、クレーン船等を用

いて、対象とする船舶が積載する実物の錨を投下させる方法である。(以下、非実船による投錨試験という)

第3の方法は、実船の調達および錨の調達も困難な超大型船を対象としたもので、陸上に海底パイプライン敷設予定の海底地盤を再現させ、実物の錨に替る模型の錨を落下させて貫入量を測定する方法である。(以下、陸上における投錨試験という)

これらの試験をまとめると表-2のようになる。それぞれの試験は、海底パイプラインの規模に応じて、適宜選択されているが、実際に行なわれた試験のうち資料が入手出来た22例について、その概略を紹介する。<sup>5)~9)</sup>

表-2 投錨試験の方法

試験方法	試験場所	使用機器	使用錨
実船による試験	海上	実船	実物
非実船による試験	海上	クレーン船	実物
陸上における試験	陸上	クレーン	模型

#### (1) 実船による投錨試験

22例のうち5例がこの方法によっているが、海底パイプライン敷設の目的で行なったのは3例である。実船の調達が困難であることから、実施された試験も規模は大きくない。試験方法としては、錨に予め測深用のワイヤーを取付けておき、投錨と同時にワイヤーも投入する。潜水夫により測深用ワイヤーを測定することによって貫入量を把握し、同時に錨の貫入状況を調査する。水深測定は音探装置などによって行なう。

#### (2) 非実船による投錨試験

これは、図-4、および写真-1の様な要領で行なうものであるが、22例中11例はこの方法によっており、最もよく用いられる方法である。錨を落下して後の貫入量の測定などについては、実船による投錨試験と同様である。

#### (3) 陸上における投錨試験

22例中6例がこの方法によっているが、総じて、使用する錨の重量は大きい。図-5に各試験方法と試験を行

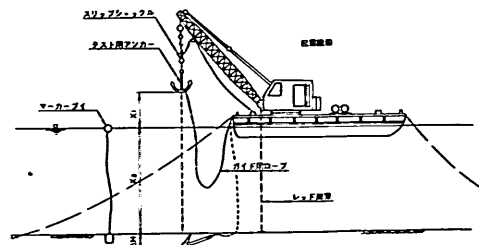


図-4 非実船による投錨試験

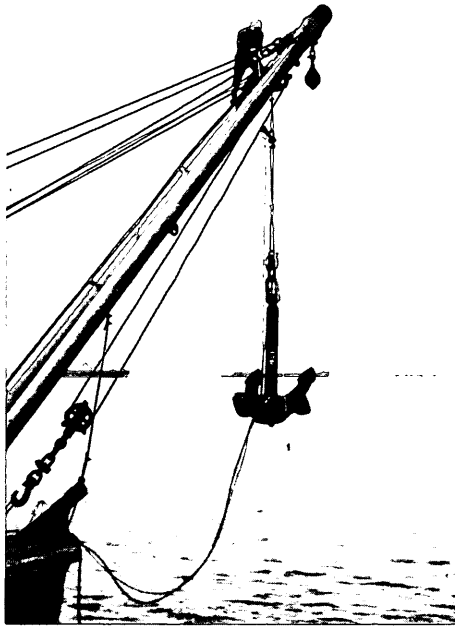


写真-1 非実船による投錨試験(錨の重量 1.75 t)

なっただちの使用した最大の錨の重量を示しているが、この方法は、前述の2つの試験方法が取れないおよそ錨の重量が20トン以上になる場合に適応している。図-6、7および写真-2に、試験の要領を示す。この試験方法によると、錨の貫入量の測定が正確であり、また図-6にもあるようにパイプを実際に埋設して、パイプに働く衝撃応力の測定も行なえる。

それぞれの試験において、錨の重量は2~3種類、錨の落下高さも種々変化させ錨の貫入量の測定を行なっている。

### 3.3 錨の貫入量と埋設深さ

錨の貫入量が把握出来たととしても、3.1で述べた様にしてその値がそのまま海底パイプラインの埋設深さとなる訳ではない。種々の要因を検討し、余裕深さとしての必要

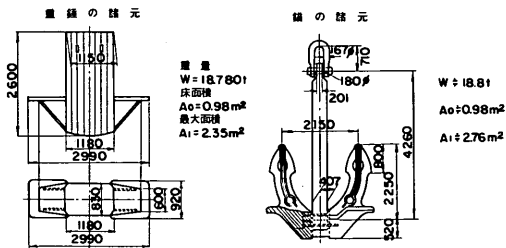


図-7 模型錨の例<sup>8)</sup>

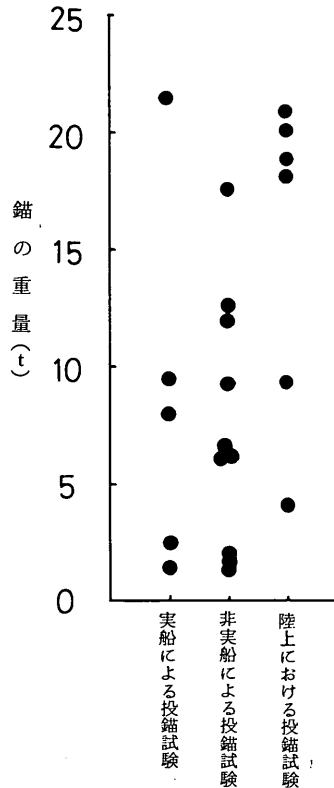


図-5 各試験方法と錨の重量

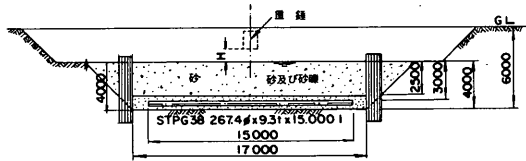


図-6 陸上における投錨試験<sup>8)</sup>



写真-2 陸上における投錨試験(錨重量 20 t)

値を判断しなければならない。3.1における、錨の走錨による影響、衝撃荷重の影響などについて定量的な把握は、過去の試験例からは出来ないが、投錨試験を行なって埋設深さを決定した海底パイプラインについて、埋設深さと錨の貫入量の差を余裕深さと考えると、表-3に示す様になる。余裕深さとして1m以下のものもあれば

3m以上のものもあり、また海底地質および埋戻し材料による差異も統一的ではない。結局は現段階では余裕深さを定量的に把握する方法がないので、海底パイプラインの埋設深さとの関連で、技術者が適宜判断しているということになろう。表-3で掲げている10例では余裕深さは平均すると1.8m程度である。

表-3 錨の貫入量と埋設深さ

投錨試験による錨の貫入量 $\Delta H$ (m)	海底パイプラインの埋設深さ H (m)	余裕深さ $H - \Delta H$ (m)	地底地質	埋戻し材料	試験に用いた錨の重量 (t)
0.05 ~ 0.75	2.0	1.25 ~ 1.95	砂	砂	0.5, 1.0, 1.5
0.5 ~ 0.71	4.0	3.29 ~ 3.50	(陸上試験)	砂	18.8
0.4 ~ 0.84	3.0	2.16 ~ 2.60	シルト, 砂	砂礫, 砂	12.5
0.25 ~ 1.76	2.4	0.64 ~ 2.15	シルト, 砂	砂	1.75, 3.41, 6.0
0.5 ~ 1.75	3.0	1.25 ~ 2.50	(陸上試験)	砂	20.9
0.9 ~ 1.9	4.0	2.10 ~ 3.10	(陸上試験)	砂	8.8, 14.8, 20.0
1.46	2.0	0.54	砂質シルト	砂	2.0
2.20	4.0	1.80	シルト	碎石, 砂	8.0
1.88 ~ 2.65	4.0	1.35 ~ 2.12	シルト質粘土	砂, 土丹	0.5, 1.0, 3.0, 6.0
3.0 ~ 3.03	3.5	0.47 ~ 0.50	シルト	砂礫, 粘土	9.7

#### 4. 錨の貫入量に対する要因

埋設深さに対して支配的な位置を占める錨の投錨による貫入量は、直接的には3.2における試験方法によって測定される。海底パイプラインの規模によって試験条件が自ずから決まってくるが、一般的には錨の貫入量に対して、錨の重量・形状・寸法、空中落下高さ、水深、海底地質が関係すると考えられる。錨の貫入量が錨の持つエネルギーと関係するならば、最も重要な点は錨の海底接地時の速度であろう。次節よりそれぞれの要因について触れることとする。

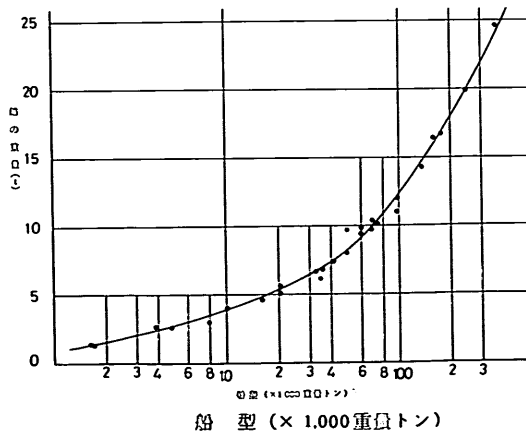


図-8 船型と錨の重量

#### 4.1 錨の海底接地速度

##### 4.1.1 錨の諸元

船舶の積載する錨は船舶設備規程の定めるところに従って、その積載数に応じ一定数、一定量以上の錨、錨鎖等を備えることになっている。錨の種類は用途によって種々の型式があるが、基本的にはストックレス・アンカーとストック・アンカーに区別される。詳細な点については関係書に譲るとして、海底パイプラインを考える場

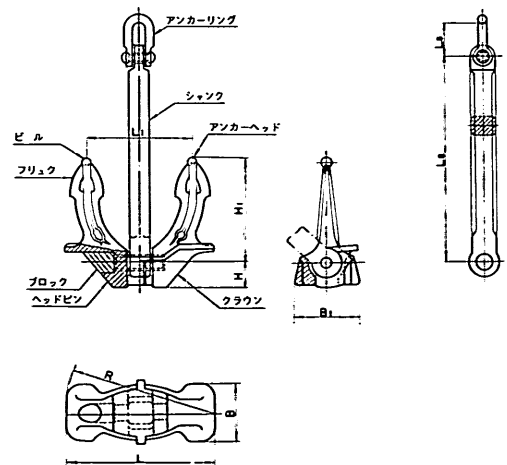


図-9 JISによるストックレス・アンカーの形状



合には、船舶が積載する種々の錨の中でも船首に備える一番大型の大錨と呼ばれるものを対象とすることが必要であろう。この船舶の積載する錨の重量について実績によれば、積載する錨の重量と船舶の重量トンの関係は図-8によって与えられる。

積載する錨の形状については、一般にストックレス・アンカーと考へてもよいと思われ、ストックレス・アンカーについては、日本工業規格 JIS F3301 に重量および形状寸法に関する規定があり、図-9 および表-4 にそれを示す。

表-4 JIS型ストックレス・アンカーの主な寸法

(単位mm)

呼び重量(t)	LおよびR	B	H	H <sub>1</sub>	L <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>
0.300	700	300	131	570	540	331	1,080	179
0.660	1,000	390	170	740	710	430	1,400	234
1.020	1,160	452	197	860	820	500	1,620	272
2.100	1,470	570	250	1,090	1,040	640	2,060	344
3.060	1,670	650	284	1,240	1,180	720	2,340	391
4.050	1,830	710	311	1,350	1,290	790	2,560	429
4.890	1,950	760	332	1,440	1,380	840	2,730	455
6.000	2,090	820	355	1,540	1,480	900	2,930	489
7.800	2,280	890	388	1,680	1,610	980	3,190	530
9.900	2,470	960	420	1,820	1,740	1,060	3,460	580
11.100	2,570	1,000	437	1,900	1,820	1,100	3,600	600
12.900	2,690	1,050	457	1,990	1,900	1,160	3,770	630
15.000	2,840	1,110	483	2,100	2,000	1,220	3,980	660
16.700	2,940	1,150	500	2,170	2,080	1,260	4,120	690
18.500	3,040	1,190	520	2,250	2,150	1,310	4,260	710

錨の重量および形状寸法に次いで、海底接地速度に影響を与えるものは、錨の投影面積である。錨の水中での落下運動、および海底接地後の貫入運動において、錨の底部の投影面積が、例えば、錨の落下速度との関連で無視出来ない事項となる。しかし、錨の底部は図-9 および写真-3にも示される様に複雑な形状を呈し、投影面積としていかなる値を採るべきかは、実証的な資料がないので判断出来ない。ここでは、簡単なために図-9で示される、 $B \times L$ の値を投影面積と考へる。錨の重量との関係において示すと図-10によって与えられる。

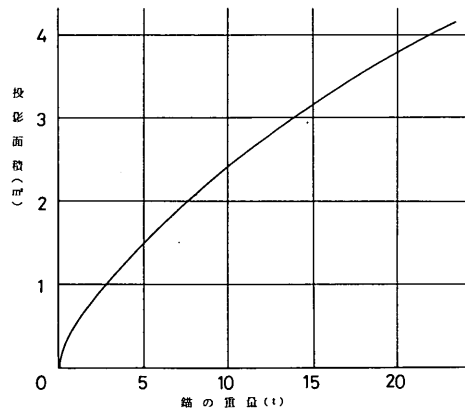


図-10 錨の重量と投影面積

#### 4.1.2 錨の落下速度

錨を投錨する場合には、方法としてウィンドラス・ブレーキをかけながら投錨する制動落下とウィンドラス・ブレーキをかけずに投錨する無制動落下の2通りがあるが、海底接地速度が最大になる場合を想定しなければならないので、当然無制動落下の場合を考へる必要がある。

非実船による投錨試験および陸上における投錨試験では、海底接地速度の推定が試験の重要項目となり、実測

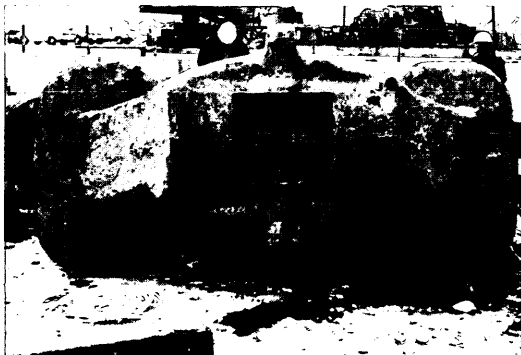


写真-3 錨の底部(重量18.0t)

値などを参考にしている場合が多いが、実測値そのもののデータ集積も余り多くはない。錨の落下速度についてその落下における影響因子として、錨の重量、錨鎖の重量、揚錨材のはずみ車の慣性モーメントおよびウィンドラス・ブレーキのトルクなどを考慮し、無制動落下の場合についての運動方程式により、理論的に落下速度を求め、実測値との比較において良好な結果を得ているものもあるが、ここでは簡便な方法として次にあげる考え方により、錨の海底接地速度の算定を行なった。

無制動落下の場合においても、錨は錨鎖の抵抗を受けることになるが、錨鎖がない錨単独の自由落下を考えると、図-11に示す記号を用いて錨の水面での速度は、 $v = \sqrt{2gx_1}$  となる。ここで錨鎖の抵抗を考慮する為に錨鎖の有無による錨の水面での速度の差異を見ると、図-12に示されるように、錨鎖がある場合の錨の水面での速度は、自由落下の場合と較べて小さくなる。錨鎖のある場合の錨の落下速度の実測値と比較すると図-13の様になり、表-5による計算結果では、両者の比は0.5~0.7と判断される。従って錨鎖のある場合 — 実際の錨の落下現象 — における錨の水面での速度は、表-5で与えられる比の値を、錨鎖による抵抗係数と考え  $v = \sqrt{2gx_1}$  の自由落下速度に乗じて式-1で与えるものとしてよいと思われる。

$$v_a = \alpha \sqrt{2gx_1} \quad (1)$$

ここで  $v_a$ : 錨の水面での速度 (m/sec)

$\alpha$ : 錨鎖による抵抗係数

(表-5より0.6とする)

$g$ : 重力加速度 (9.8 m/sec<sup>2</sup>)

$x_1$ : 錨の空中落下高さ (m)

次に海中での錨は、錨の落下速度の2乗に比例する抵抗力を受けるものとする。運動方程式は式-2によって与えられる。

空中落下高さ (m)	錨の接水速度 (m/sec)		比
	実測値	式-1による値	
2	4.1	6.3	0.656
3	4.8	7.7	0.626
4	5.4	8.9	0.610
5	6.0	9.9	0.607
6	6.5	10.8	0.602
7	6.9	11.7	0.589
8	7.3	12.5	0.584
9	7.7	13.3	0.579
10	8.1	14.0	0.571

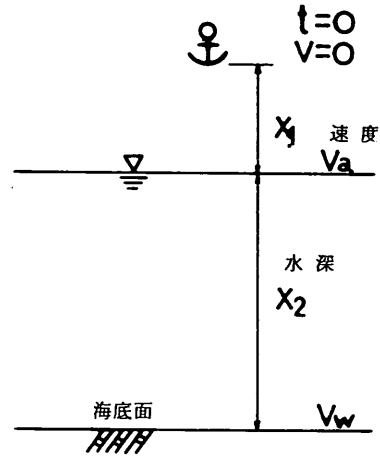


図-11 錨の落下

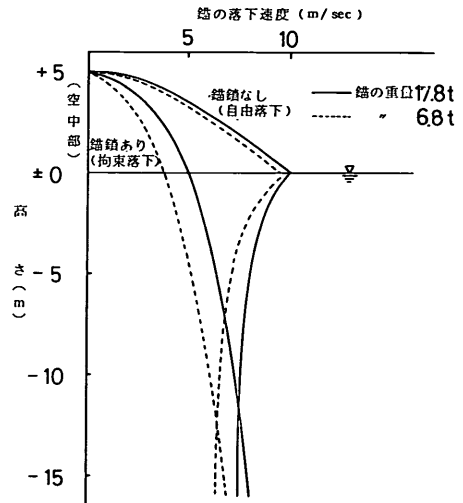


図-12 錨の自由落下と拘束落下

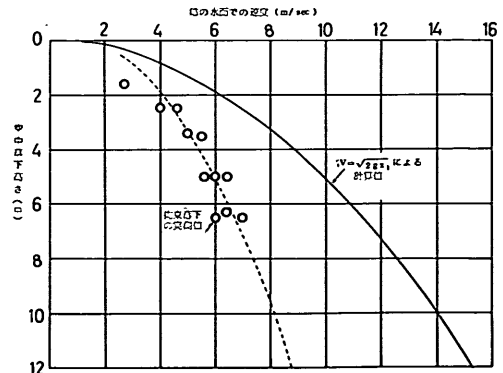


図-13 錨の空中落下速度

$$m \frac{dv}{dt} = W - \frac{w_0}{w_s} W - \frac{1}{2} \frac{w_0}{g} \cdot C_D \cdot S \cdot v^2 \quad (2)$$

ここで  $m$ : 錨の質量 ( $\text{kg} \cdot \text{sec}^2 / \text{m}$ )

$v$ : 錨の海中での落下速度 ( $\text{m} / \text{sec}$ )

$W$ : 錨の重量 ( $\text{kg}$ )

$w_0$ : 海水の単位体積重量 ( $\text{kg} / \text{m}^3$ )

$w_s$ : 錨の単位体積重量 ( $\text{kg} / \text{m}^3$ )

$C_D$ : 抗力係数 (1.2 とする。)

$S$ : 錨の投影面積 ( $\text{m}^2$ )

式-2を解くにおいて  $dv/dt=0$  即ち、錨の落下速度が一定となる。いわゆる平衡速度に達する条件を考えると、式-2で  $dv/dt=0$  とした時の速度を  $v_c$  とすれば、式-3によって与えられる。

$$v_c = \sqrt{\frac{(1 - \frac{w_0}{w_s})g}{\frac{w_0}{2W} \cdot C_D \cdot S}} \quad (3)$$

$(1 - \frac{w_0}{w_s})g = A$ ,  $\frac{w_0}{2W} \cdot C_D \cdot S = B$  と置くと、錨の平衡速度は  $v_c = \sqrt{\frac{A}{B}}$  で表現され、錨の諸元による固有の値となる。式-2を解く場合、式-1で与えられる錨の水面での速度  $v_a$  と平衡速度  $v_c$  との大小関係により解が異なってくる。また、空中での錨の落下速度については錨鎖の抵抗を考慮に入れたが、海水中では図-12に示される様に、錨鎖の有無が顕著に現われていないので、錨鎖については考慮しないこととしている。

$v_a < v_c$  の場合式-2より、錨の落下速度  $v$ 、落下距離  $x$ 、落下時間  $t$  は、それぞれ式-4、5、6で与えられることになる。

$$v = \sqrt{\frac{A}{B}} \tanh \sqrt{AB} (t - C_1) \quad (4)$$

$$x = \frac{1}{B} \ln \cosh \sqrt{AB} (t - C_1) + C_2 \quad (5)$$

$$t = \frac{1}{\sqrt{AB}} \cosh^{-1} \exp\{B(x - C_2)\} + C_1 \quad (6)$$

初期条件として、 $t=0$  即ち水面での条件として、 $v=v_a$ 、 $x=0$  とすれば、比例常数  $C_1$ 、 $C_2$  は次の様に与えられる。

$$C_1 = -\frac{1}{\sqrt{AB}} \tanh^{-1} \sqrt{\frac{B}{A}} \cdot v_a$$

$$C_2 = -\frac{1}{B} \ln \cosh \sqrt{AB} (-C_1)$$

式-1により錨の水面での速度  $v_a$  を求め、式-6の落下距離  $x$  を水深とすることによって落下時間  $t$  を求め、式-4に代入すれば、錨の海底での接地速度が求められることになる。

同様に  $v_a > v_c$  の場合には、式-7、8、9によって与えられるので、同様の方法により、錨の海底での接地速度が求められる。

$$v = \sqrt{\frac{A}{B}} \coth \sqrt{AB} (t - C_1) \quad (7)$$

$$x = \frac{1}{B} \ln |\sinh \sqrt{AB} (t - C_1)| + C_2 \quad (8)$$

$$t = \frac{1}{\sqrt{AB}} \sinh^{-1} \exp\{B(x - C_2)\} + C_1 \quad (9)$$

比例常数は、初期条件を  $t=0$  において  $v=v_a$ 、 $x=0$  とすることによって、次によって与えられる。

$$C_1 = -\frac{1}{\sqrt{AB}} \coth^{-1} \sqrt{\frac{B}{A}} \cdot v_a$$

$$C_2 = -\frac{1}{B} \ln |\sinh \sqrt{AB} \cdot (-C_1)|$$

次に錨の落下条件は、錨の貫入量が錨の落下速度と比例するならば、空中落下高さは高く、水深は深い場合を想定すればよいのであるが、船舶の積載する錨ということで、通航船舶の必要最小限の水深、および錨の水面からの位置を考慮する必要があり、無制限に大きな値を考慮することは意味がないであろう。通常、錨の位置は図-14で示される様であり、錨の落下位置も図-14の  $h_1$  を考えるのが妥当である。さらにこの  $h_1$  は、船舶の満載時、バラスト時によって異なるので、これらを船型毎に図示すると  $h_1$  は図-15の様になり、錨の空中落下高さは図-15で与えられるものを考えればよいことになる。同船型においても、 $h_1$  の大きいものは、バラスト時でありこれを最終的な錨の空中落下高さとしてもよいと判断される。また必要とする最小限の水深は図-15に併記している吃水を読み取ることによって求められる。

以上を総合すれば、錨の落下条件として図-8により

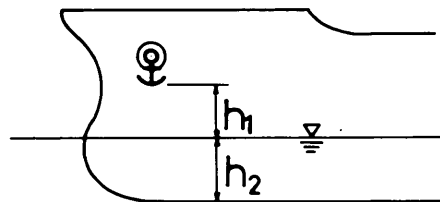


図-14 錨の落下高さ

表-6 船舶海の錨の落下条件

船型 (1,000重量トン)	錨の重量 (t)	投影面積 (m <sup>2</sup> )	空中高さ (m)	必要最小水深 (m)
10	4	1.30	4.4	5.2
20	5.4	1.58	5.2	5.8
30	6.4	1.76	5.8	6.3
40	7.3	1.93	6.4	6.7
50	8.2	2.10	7.0	7.0
60	9.0	2.23	7.4	7.2
70	10.0	2.40	7.9	7.4
80	10.9	2.55	8.4	7.6
90	11.6	2.65	8.8	7.8
100	12.4	2.77	9.2	8.0
150	15.5	3.21	11.0	8.8
200	18.0	3.55	12.8	9.6
250	20.0	3.80	14.2	10.4
300	22.0	4.02	15.6	11.0

対象とする船型の積載する錨の重量が、図-10より錨の投影面積が、図-15より錨の空中高さおよび必要最小限の水深が求められることになる。それらを参考に列挙すると表-6となる。

表-6の条件によって、先に述べた方法により錨の海底接地速度の算定を行なうと図-16の結果が得られる。計算を行なう際に、形状による抵抗抗係数の決定の必要性があるが、ここでは $C_D=1.2$ として計算した。図-16によれば、錨の海底接地速度は、或る水深以上では一定となる結果となっている。この一定値は、計算方法の途中で述べた平衡速度 $v_c$ であり、この計算方法によれば、錨は海水中ですぐに平衡速度に達してしまうことを意味している。錨の海底接地速度についての実測値は余り存在しないが、実測値と以上の計算方法による計算値を比較したものが表-7である。計算値の方が最大で約20%大きな値を示している。海底接地速度は錨の貫入量に対する大きな要因であり、海底接地速度はエネルギーとしては2乗で錨の貫入量に影響を与えるのでより精度の高い接地速度の把握が必要であるが、計算値の方がすべて大きな値を得るので、錨の貫入量に対しては安全側の結果となり、図-16による値を使用して十分と思われる。

#### 4.2 錨の貫入量と海底地質

錨の貫入量そのものを過去の投錨試験により見ると、基本的な整理として図-17によるものが得られる。図-17では、錨の落下条件についての考慮がされていないが、錨の重量が大きくなる程、錨の貫入量も増大して行く傾向がはっきり読み取れる。錨の貫入量は海底地質を砂質系地質とシルト系地質の区分に分層しているが、

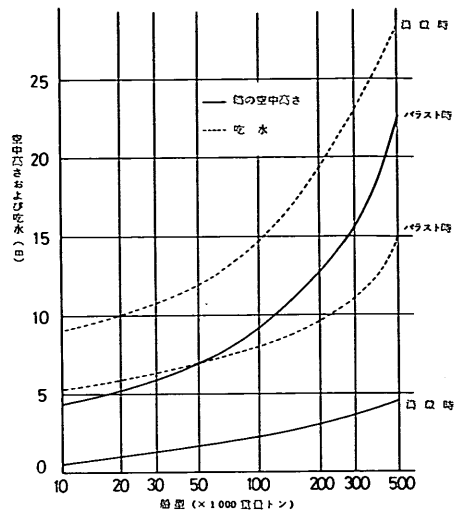


図-15 錨の落下条件

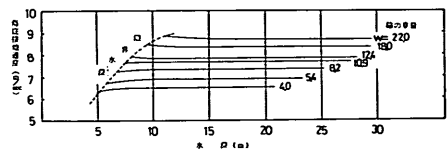


図-16 錨の海底接地速度

表-7 錨の海底接地速度の比較

実測の条件				4.1による計算値 (m/sec)	計算値 実測値
錨の重量 (t)	空中高さ (m)	水深 (m)	海底接地速度 (m/sec)		
17.8	6.3	19.5	8.2	8.36	1.02
17.8	5.0	19.5	8.0	8.35	1.04
16.1	5.0	17.2	7.6	8.21	1.08
16.1	2.5	17.2	7.2	8.20	1.14
16.1	0	17.2	6.9	8.18	1.19
6.84	6.5	17.0	6.9	7.12	1.03
6.84	3.4	17.0	6.8	7.11	1.05
6.84	0	17.0	6.0	7.11	1.19
1.26	1.6	17.7	4.5	5.33	1.18
1.26	0	17.7	4.5	5.33	1.18

明確に錨の貫入量は異なっていることが判る。この場合砂質系地質には、陸上における投錨試験を含んでいるので注意が必要である。錨の重量が現在、最大級に近い20 t前後のものにおいて錨の貫入量は、シルト系地質で5 m程度、砂質系地質で2 m程度である。図中、この種の資料であったR. J. Brown<sup>10)</sup>によるデータを併記している。このデータの条件としては、錨はストックレス・タイプ、

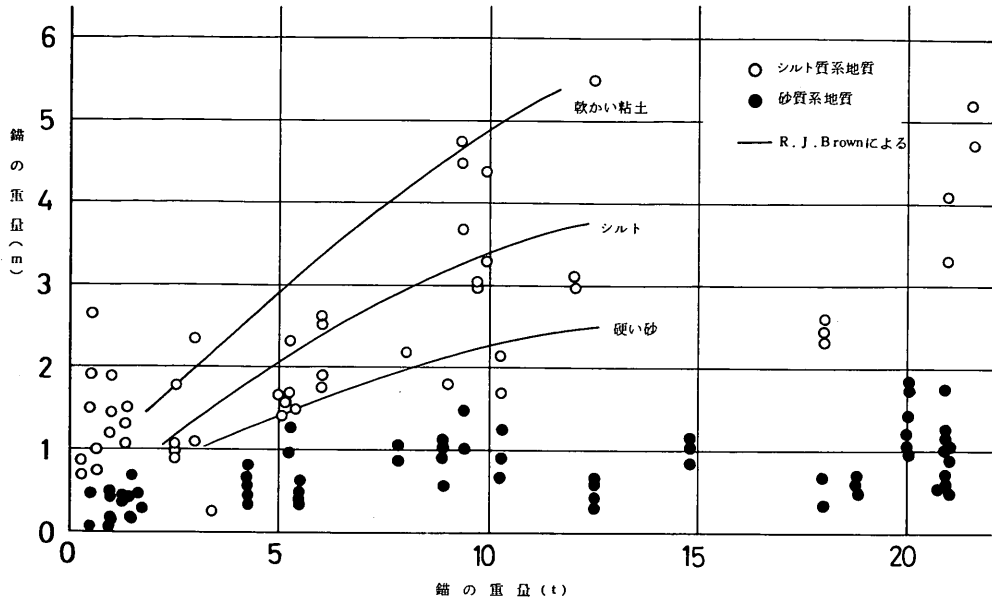


図-17 錨の貫入量

水深は15mとされているが、詳細なことは不明である。筆者の推察であるが、R. J. Brownのデータには、錨の走錨による喰い込み量が含まれているので、今回のデータより大きな値をとっているものと思われる。

ここで、図-17による値を基に、錨の貫入量が錨の持つエネルギーと相関するものと仮定し、各投錨試験では海底接地速度の実測値がないので4.1で述べた海底接地速度の計算法を用いて整理すると、図-18および図-19となる。図-18は、縦軸に錨の貫入量を、横軸に錨が海底接地時に持つエネルギーを表示し、図-19では、横軸に錨の単位面積当りのエネルギーを表示している。図-17では、陸上における投錨試験の結果は砂質系地質として処理したが、図-18、19では、陸上における投錨試験のデータは区分した。本来、海底地質条件は、海底地質の性状毎に例えばN値などをパラメータにして整理すべきであるが、データの出所である各投錨試験が統一的な手法を取っていないので、整理する上での制約条件となっている。この整理方法によれば、比較的傾向がはっきりし、特に図-19では、錨の貫入量と単位面積当りの接地エネルギーとの間かなりの相関性があることが判る。図-19では陸上における投錨試験(砂質系地盤)と海上における砂質系地盤での投錨試験を区分しており、明確に陸上における投錨試験での貫入量が大きな値となっているのが判る。これに対しては、基本的に海上と陸上と

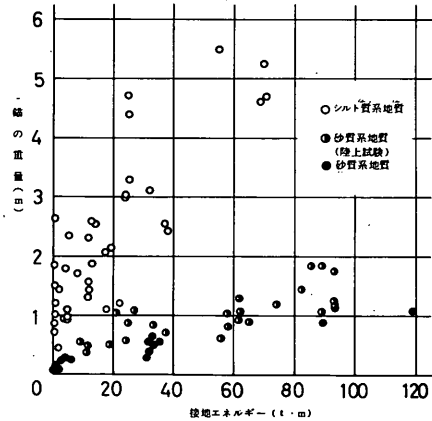


図-18 錨の接地エネルギーと錨の貫入量

では落下条件が異なることによる結果と言えるが、陸上における投錨試験の場合には錨を落下させるに当って必ず錨の底部を下向きにして落下させることが出来、貫入量としても、この状態での測定を行なっている。これに対し、海上における投錨試験では、潜水夫等の調査による錨の貫入状態が一定しておらず、アンカー・リングから貫入したり、横向きに貫入したりしていると思われる場合が多い。これは錨鎖による影響であろうが、貫

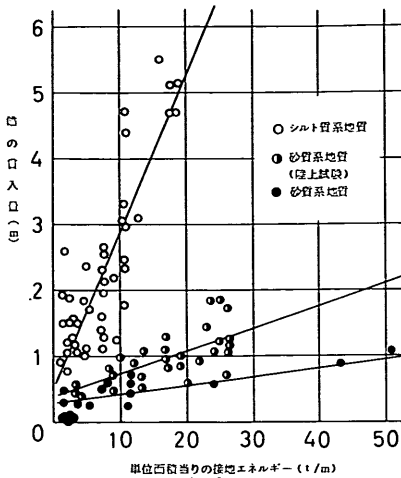


図-19 錨の単位面積当り接地エネルギーと錨の貫入量

入量としては、錨が底部から貫入する場合より小さな値になるであろうことは容易に推察出来る。従ってこれらの差異が図-19における差となって表われていると考えてよいであろう。図-19において、最も簡単な方法として最小二乗法により、直線回帰を行なうと、シルト系地質では式-10、砂質系地質（陸上におけるデータを対象）では式-11が得られる。

$$\text{シルト系地質} \quad \Delta H = 0.520 + 0.235 \frac{E_s}{S} \quad (10)$$

$$\text{砂質系地質} \quad \Delta H = 0.382 + 0.0348 \frac{E_s}{S} \quad (11)$$

ここで  $\Delta H$ : 錨の貫入量 (m)

$E_s$ : 錨の海底接地エネルギー (t · m)

$S$ : 錨の投影面積 (m<sup>2</sup>)

直線回帰の相関性などの問題が残されているが、大まかな錨の貫入量推定には十分と思われる。表-6の条件に対し、式-10および式-11によって錨の貫入量を推定したものが表-8である。

錨の海底への貫入についての機構を掘り下げるためには、投錨試験において海底地質の物理試験等を綿密に行なう必要がある。資料整理に利用した投錨試験の中には、 $N$ 値の測定、物理試験等を行なっているものもあるが、統一的手法には欠けている。式-10、11で錨の貫入量の推定を行なうことは出来るが、例えば海底地質の性状による貫入量の差異は、シルト系、砂質系の区分だけでは将来共利価値が薄いであろう。ここで貫入量についての理論的な考え方の1つを紹介する。物体の地盤への貫入については、地盤を弾性体と仮定し、2つの物体が

表-8 錨の貫入量の推定値

錨の重量 (t)	錨の貫入量 (m)	
	シルト系地質	砂質系地質
4.0	1.87	0.58
5.4	2.21	0.63
8.2	2.69	0.70
10.9	3.15	0.77
12.4	3.39	0.81
18.0	4.20	0.93
22.0	4.83	1.02

衝突する現象と考えるもの、物体即ち錨の持つ運動エネルギーと地盤の極限支持力との関係を求めるもの、あるいは機械基礎の振動による残留沈下によるものなどが掲げられる。いずれの方法でも現段階では実測値との比較が不可能であるので、比較的簡単な衝突による現象を用いることとする。

弾性体間の衝突現象として、Hertzの衝突理論に対するA.E.H.Loveの解法によると、2つの弾性体が衝突する時の物体間の圧力 $P$ は式-12で表わされる。

$$\frac{d}{dt} \left( m_1 \frac{m_2 X}{m_1 + m_2} \right) = -P \quad (12)$$

ここで  $t$ : 衝突の時間 (sec)

$m_1, m_2$ : それぞれの物体の質量 (t · sec<sup>2</sup>/m)

$X$ : 2物体の相対変位 (m)

$P$ : 2物体間に生ずる圧力 (t)

$X$ と $P$ の関係により、式-13が得られる。

$$P = k \cdot x^{3/2} \quad (13)$$

ここで  $k$ : 比例常数

この $P$ が衝撃力、 $x$ が錨の貫入現象を弾性変形の現象と仮設した場合の地盤の変形量と考えられる。Hertzの理論によると、半径 $r_1, r_2$ の2つの球の場合には $K$ および $x$ は式-14、15で与えられる。

$$K = \frac{4}{3\pi} \left( \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} \right)^{1/2} \cdot \frac{1}{\theta_1 + \theta_2} \quad (14)$$

$$x = \left[ \frac{15\pi v^2 (\theta_1 + \theta_2) m_1 \cdot m_2}{16 (m_1 + m_2)} \right]^{2/5} \left( \frac{r_1 + r_2}{r_1 r_2} \right)^{1/5} \quad (15)$$

ここで  $v$ : 衝突速度 (m/sec)

$$\theta_i = \frac{(1 - \nu_i)^2}{\pi v_i^2 \rho_i (1 - 2\nu_i)} \quad (i = 1, 2)$$

$v$ : 弾性波の伝播速度 (m/sec)

$$v^2 = \frac{\lambda + 2\mu}{\rho}$$

$\rho$ : 物体の密度 (t · sec<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)

$\nu$ : 物体のポアソン比

$\lambda, \mu$  : ラーメの定数

ラーメの定数には、ヤング係数  $E$ 、せん断弾性係数  $G$ 、ポアソン比  $\nu$  の間に次の関係がある。

$$E = \frac{\mu(3\lambda + 2\mu)}{\lambda + \mu} \quad G = \mu \quad \nu = \frac{\lambda}{2(\lambda + \mu)}$$

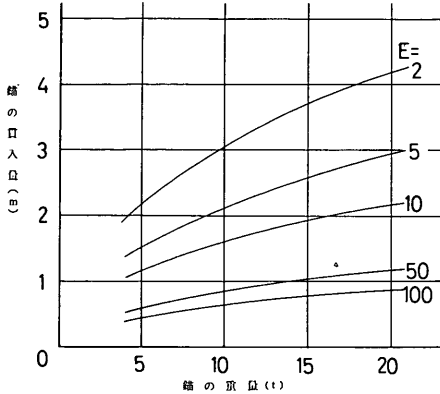


図-20 錨の貫入量

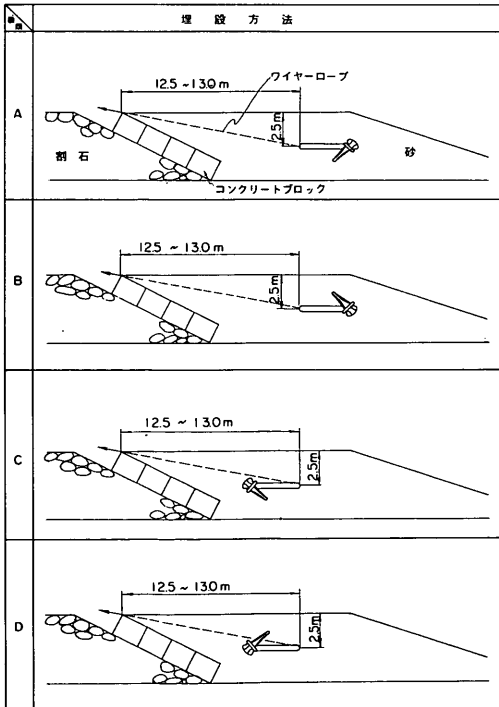


図-21 錨の引張試験<sup>7)</sup>

第1の物体(錨)については、 $\theta_2$ の値が $10^{-8}$ 程度になるので $\theta_1=0$ と考え、第2の物体(地盤)については、半径 $r_2$ 、質量 $m_2$ は無限度と考え、式-14、15は次の様に与えられる。

$$K = \frac{4}{3\pi} r_1^{1/2} \cdot \frac{1}{\theta_2} \quad (16)$$

$$x = \left[ \frac{15\pi\nu^2 \cdot \theta_2 m_1}{16} \right]^{2/5} \cdot \left( \frac{1}{r_1} \right)^{1/5} \quad (17)$$

式-17より錨の貫入量が求まることになる。地盤によってポアソン比は異なるが、今、 $\nu_2=0.45$ とすると、 $\theta_2=0.254E^{-1}$ となり、 $r_1$ を錨の重量に対する等価半径として式-17を整理すると式-18が得られる。

$$x = 0.371 \nu^{4/5} \cdot E^{-2/5} \cdot W^{1/5} \quad (18)$$

$\nu$ は錨の海底接地速度で、地盤のヤング係数によって錨の貫入現象を弾性変形の現象と仮定した場合の地盤の変形量が表示出来ることになる。ヤング係数をパラメーターにすることは、海底地盤での測定に困難であるが、図-20および図-17を比較すればよく傾向が一致していることが判り、今後の有益な解析方法となろう。同様に錨の海底での衝撃力  $P$  は式-19によって表わされる。

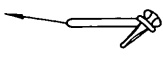
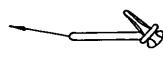
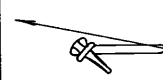

$$P = 0.297 \nu^{6/5} \cdot W^{2/5} \cdot E^{3/5}$$

### 4.3 錨の走錨による影響

錨の投錨による貫入量についての検討を行ってきたが、実際の錨は投錨後、船舶によって牽引され、いわゆる走錨することになる。海底パイプラインの埋設深さに対してこの現象を無視することは危険であると言えよう。なぜならば、走錨によって錨がさらに喰い込むことが考えられ投錨による貫入量に対する配慮だけでは危険側となるからである。しかし、錨の把駐力そのものを検討することはあっても、錨の走錨時の挙動については実験方法も定まらないこともあって解明されていない。過去の投錨試験においても走錨試験を行なっている例は数少なく、定量的なものは取り難いが、比較的参考になるものとしての結果を掲げておく。運輸省第二港湾建設局が昭和47年10月に行なった錨の引張試験<sup>7)</sup>では、図-21の様に錨を種々の状態で埋設し、引張った場合の錨の挙動を調べている。走錨状況の結果を表-9に示す。Aの状態が抵抗力最大であるが、錨はワイヤーロープに引張られて徐々に上昇して行くことが観察されている。しかし、錨が移動する瞬間に、地盤内にさらに喰い込むかどうかという点では不明である。

また、北海の海底油田から陸上へパイプラインを敷設する際、錨によるパイプの損傷についての対策を講ずる

表 - 9 錨の引張試験結果<sup>7)</sup>

種類	埋設方法	走錨状況
A		図の形のまま走錨し、抵抗力は最大である。7.80t および4.23tの場合はアンカーヘッド先端が最上段のコンクリートブロック下縁に引っかかり、ブロックを少し移動させた。1.33tの場合は引っかからなかった。また9.41tの場合は引っかかる前に引張を上げる。
B		図の形のまま走錨し、コンクリートブロックに達しても引っかかることなく、その上面を乗り越えた。
C		まずシャングが起こされ続いてアンカーヘッドも起こされてケースBの形となるため、走錨状況はケースBと同じである。
D		この場合もケースCと同じようにシャングとアンカーヘッドが起こされてケースDの形で走錨する。

ため、<sup>2)</sup> 我国と同様の研究を行なっているが、それによると、走錨時のストックレス・アンカーの挙動を次の様に述べている。但し、条件としては、砂地盤で錨は海底地盤上に爪を下向きにして置かれている状態から走錨することとなっている。「錨がその把駐力を越えてさらに引張られると、徐々に錨は回転運動を起し、ついには爪を上向きにした状態になる。」この時の経過を図-22に示すが、図中の2の状態が錨の最大喰い込み量と言える。また重量29トンのストックレス・アンカーの喰い込み量は、2.0~2.5 mで、引張りを受けた場合の最大喰い込み量は2.5~3.0 mであるとしている。この考察では、錨を投錨した後走錨を行なったのではないので、本文で言う走錨による影響とは一致するとは言い難いが、走錨による影響をこの現象と結びつける場合には、図-22から判断して、安全側に表-4のアンカー・ヘッドの幅Lの1/2を考えるとよいであろう。

### 5. 必要なる埋設深さ

埋設深さに対して、錨の投錨による貫入量および錨の走錨による喰い込み量の或る程度の把握が可能となったが、残る要因は未だ次に掲げるものがある。

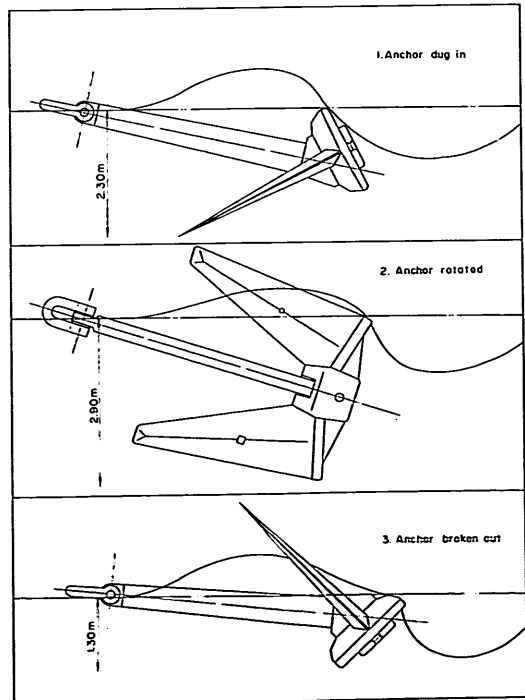


図-22 走錨による錨の挙動<sup>2)</sup>



- (1) 錨の投錨による衝撃の影響
- (2) 流れによる海底洗掘の影響
- (3) 埋戻し材料による影響
- (4) 浚渫の余掘の影響

錨の投錨による衝撃の影響については、パイプに発生する衝撃応力がパイプの許容応力度以内に納まる様に考えておけばよいことになる。逆に許容応力度から必要な余裕深さを算定することにもなる。陸上のガス等の埋設管に対して、自動車荷重による応力の研究は相当進められているが、水で飽和された地盤、即ち海底下での埋設管に対して検討された例は、陸上における投錨試験において行なわれているのみである。この種の試験結果によると、パイプの許容応力度の40%程度の最大衝撃応力が発生している場合もある。しかし、衝撃応力と衝撃に対して安全であるという必要な深さを結びつけることは出来ない。この点について、昭和50年度に当研究所において実験を行なう予定である。

流れによる海底洗掘量については、海底パイプラインの敷設箇所として、計画段階で海底洗掘など変化の多い箇所は避けなければならないことになっているので厳密に言えば考慮する必要もない事項と言えるが、第一段階として既設の海底パイプラインにおいて敷設後の海底面がどのように変化しているかを今後、実測を行なって明らかにしなければならない。

埋戻しの材料については、海底地質より良好な材料を用いれば、錨の貫入量に対してより安全側になることは十分考えられる。埋戻し材料の種別が、錨の貫入量にどの程度影響するかは、全くの未解決事項と言えるので、実験等により明らかにしなければならない。

海底パイプラインを敷設する場合にパイプを敷設溝に設置するため浚渫を行なうが、現在の浚渫の精度から30cm程度の余掘量を見込んでおけばよいと考えられる。

最終的な埋設深さは以上の要因を定量的に把握し、余裕深さとして、錨の貫入量に加えた値となるが、数値として把握出来る錨の貫入量、走錨による喰い込み量の2つの要因について考えれば、海底パイプライン敷設予定海域を通る最大船舶に対しての必要な埋設深さは表-10のようになる。走錨による錨の喰い込み量については、比較的安全側の値であると考えられるので、表-10で与えられる値を現段階での海底パイプラインの必要な埋設深さの目安値と考えてもよいと思われる。他の要因が定性的、定量的に把握された段階でより合理的な埋設深さの基準が決定されるであろう。

表-10 埋設深さの推定値

船型 1,000重量トン	錨の重量 (t)	錨の貫入量 (m)	走錨による喰い込み量 (m)	埋設深さ (m)
10	40	1.87	0.9	2.77
		0.58	0.9	1.48
20	5.4	2.21	1.0	3.21
		0.63	1.0	1.63
50	8.2	2.69	1.16	3.85
		0.70	1.16	1.76
80	10.9	3.15	1.26	4.41
		0.77	1.26	2.03
100	12.4	3.39	1.33	4.72
		0.81	1.33	2.14
200	18.0	4.20	1.50	5.70
		0.93	1.50	2.43
300	22.0	4.83	1.59	6.42
		1.02	1.59	2.61

(註) 上段 シルト系地質  
下段 砂質系地質

## 5. 埋設深さ決定における問題点

前章まで述べてきたように、海底パイプラインの埋設深さの決定において重要なものは、投錨試験であることが判った。前章でおおよその埋設深さの算定を行なったが、完全に解明されたものではなく、いわば埋設深さの下限値を示すものと言えよう。また、今回対象としている海底地質がシルト質系および砂質系の2種であり、現実の海底パイプラインは、例えばシルト質系地質の場合には、良質の砂等で埋戻すことが常識化している。この場合の必要な埋設深さは、表-10で求めたケースのいずれにも該当せず、砂で埋戻すという理由で砂質系地盤の値を採用することは後で述べるが、走錨に対しての配慮に欠けることとなり、このケースについては別途検討が必要となろう。従って、今後の海底パイプラインの建設に当たっても、投錨試験等の必要性が残ってくると思われる。3.2において、現在行なわれている試験について述べたが、それぞれの方法において若干の問題が残っていると思われる。

実船による試験は、錨の貫入量測定について最も理想的な条件で行なえる方法であることは言うまでもない。しかし、この試験方法では、海底パイプラインの敷設予定海域において最も厳しい条件下——バラスト状態でかつ無制動落下——での試験が実船を長時間拘束するという点から容易ではない。従って試験を行なうケースも限られてくる場合が多いという欠点がある。また、貫入量の測定においても潜水夫によらざるを得ず、軟弱な海底地質ではどの面を海底面とするのかの判断が難しいと思われる。現状での測定方法を音波探査等のより信頼性の

高い測定法にすることによって解決されると思われる。

非実船による投錨試験については、錨の落下させる空中での高さの決定に問題があると思われる。しかし、この点については、図-15に示されている空中高さを考慮して行なえばよいし、錨の自由落下の問題も安全側の値を得るということで処理出来よう。錨の貫入量の測定については、実船による試験と同様の問題が残されている。

陸上における投錨試験については、重量の大きな錨の試験に対しては有効な方法であるが、次の様な問題点が残されている。

- (1) 海底地盤を陸上に再現させるに当って軟弱地盤は実験上再現が不可能であること。従って、軟弱地盤に対しては、パイプ敷設後の完成断面、即ち埋戻し材料に砂等の良好な材料を使用した状態で実験を行なわざるを得ないこと。
- (2) (1)で言う模型地盤で行なった試験では、錨の貫入量そのものについては、より实际的であるが、海底パイプライン路線の周囲に投錨され、かつ走錨した場合の評価が困難であること。
- (3) 錨の落下が、完全な空中における自由落下になるため、錨の接地速度の算定に際し、実船での錨の海底接地速度の把握が必要となること。

以上の様な点については、(1)および(2)に対しては、必ず走錨試験もしくは走錨に対する検討を行なうこと、また、(3)についても必ず海底接地速度の実測値を求めることによって処理出来るであろう。一方、この方法による試験では錨の貫入量が極めて正確に測定出来るし、試験のケース数も容易に増すことが出来る特徴がある。また錨の衝撃荷重に対するパイプに発生する衝撃応力も測定出来、埋設深さに対する安全性の検討材料の提供にも役立てうる。

以上3つの方法について主なる問題点を表示すると、表-11となり、試験方法は一長一短である。海底パイプラインの規模に対して、実船あるいは錨の調達の是非などの制限条件があり、3.2で言うようにおのずから試験方法が限定されてしまうのはいたし方ないことであろう。

ここで投錨試験の方法自体が埋設深さに対してどのような影響を与えるか考えて見る。実船にせよあるいは非

表-11 試験方法の比較

	落下高さ	海底条件	貫入量測定
実船による投錨試験	○	○	×
非実船	△	○	×
陸上における	×	×	○

(注) ○精度が高い。 ×精度が低い

実船にせよ、海上で行なう試験では対象とする海底地盤は手を加えない現地地盤である。従って、試験の結果得られた貫入量の値を基本とし、埋設深さを決定する方法を取っている限り、投錨に対しては勿論、海底パイプラインの付近に落下する錨の走錨に対しても安全だと考えることが出来る。ただこの場合においても埋戻しの材料に良好なものを使用するからと、意図して埋設深さを浅くした場合には別の問題を提起することになる。陸上における試験では既に述べた如く、海底現地地盤ではなく、良好な埋戻し材料を用いた設計断面での試験であるため、仮に海底地盤がシルト質の軟弱な地質であった場合、海底パイプライン周辺のその軟弱な地質に錨が投錨されると、陸上における投錨試験で得られた錨の貫入量より大きな値になり、走錨が行なわれれば、錨はパイプより下方に存在することになるので、錨によるパイプへの影響が十分に考えられる状態が発生する可能性が大きい。錨の走錨における挙動が明確になれば、それに対処する方法、また適切な投錨試験の方法も考慮出来るが、陸上に

表-12 投錨試験に必要な項目

対象船型	トン数、吃水(満載時、バラスト時)、錨の位置から水面までの高さ
錨	形状、重量
落下条件	空中高さ、水深、錨の海底接地速度
海底条件	地質(表層、下層)、N値
錨の貫入	貫入量、貫入状態、走錨時の錨の挙動

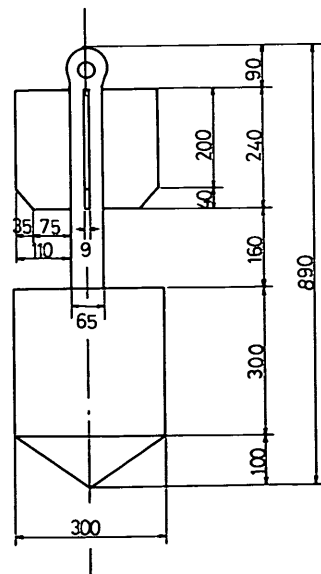


図-23 標準錨・重さ200kg(単位cm)

おける投錨試験では、走錨による影響が埋設深さに対して与えるものは相当大きいと思われる。従って必ず走錨に対する検証を別途加える必要が出てくる。

前章で推定した埋設深さの値をより一層合理的なものとするためには、今後の投錨試験において一定の成果を求めることが最も確実な手段であろう。表-12に掲げる項目は投錨試験を行なうに当たっての最小限必要なものであると思われる。さらに試験の場所、回数と言った点については、少なく共、海底パイプライン敷設予定路線上の海底地質の大きな変化のある箇所毎に試験を行ない、1箇所当たりも3回程度の貫入量の測定を行なうことが必要となろう。

これらの投錨試験は、特に陸上における投錨試験では試験が大規模になり、海底パイプラインの安全性の決め手になる試験ではあるが、多大の労力と時間を必要とする。将来埋設深さの基準値が決められたとしても、安全性の確認の意味での何らかの試験は必要となるが、その場合には、図-23に示す様な標準錘を用いて試験を行ない確認するという方法が実用的であろう。図-23に示すものは、運輸省第二港湾建設局が試験を実施した時に用いた錘であり、埋設深さの基準値を早急に決める意味でも、今後、投錨試験を行なう際に合せて標準錘による試験を行なうことが必要となってくると思われる。

## 7. あとがき

海底パイプラインの埋設深さについて、投錨試験における錘の貫入量を中心に、取りまとめたが、整理分析も表面的に終わってしまったことはいなめない。埋設深さにおける錘の貫入量については、或る程度の方向づけが出来たと思うが、他の要因については問題の提起のみに終り、今後、実験によって解決出来るものは早急に行なわなければならないと思われる。幸いにも海底パイプラインについては、重大事故が発生しておらず、はからずもその安全性を確かめられている訳であるが、より一層の安全性の確保と言うことから本文がその一翼を担うことが出来れば幸いである。

(1975年3月31日受付)

## 8. 謝 辞

本文を取りまとめるに当たって使用した資料の殆んどは海底パイプラインに関連する企業より提供をいただいたものである。それぞれ貴重なる資料の提供を受けたのでここで深甚の謝意を表す次第である。

## 参 考 文 献

- 1) 運輸省港湾局編：石油シーバース調査報告書 昭和46年10月
  - 2) 清塚 昇：海底パイプライン敷設の歴史と現状 OCEAN AGE Vol.7 No2 (1975) PP21~27
  - 3) 中山茂雄：海底パイプラインの技術基準 OCEAN AGE Vol.7 No2 (1975) PP55~58
  - 4) 中山茂雄：海域設置について 配管 Vol.9 No3 (1974) PP37~41
  - 5) 清塚 昇：シーバースの海底配管 配管 Vol.5 No9 (1970) PP7~16
  - 6) 運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所：投錨および引張試験結果報告書 昭和47年9月
  - 7) 運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所：実船による投錨および走錨試験結果報告書 昭和47年10月
  - 8) 河本 清：海底パイプラインの落錘実験 川崎製鉄技報 Vol.6 No1 (1974) PP78~89
  - 9) 運輸省第二港湾建設局：投錨試験並びに成果整理解析委託報告書 昭和49年3月
  - 10) R.J. Brown : How deep should an off-shore line be buried for protection ? The Oil and Gas Journal october 11, 1971 PP90~97
  - 11) 土木学会編：土木技術者のための振動便覧 PP320~324
  - 12) J.Koster : digging in of anchors into the bottom of the North Sea delft hydraulics laboratory No129 June 1974 17 PP
- (投錨試験に関する資料は未発表資料であるので、資料名は省略している。)

港湾技研資料 No. 215

1975・6

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 株式会社 美巧社  
支店 東京都文京区西片1-15-19  
シャトー文京310号  
本社 高松市多賀町1丁目8-10

Published by the Port and Harbour Research Institute  
Nagase, Yokosuka, Japan .