

弛緩係留法による係留力特性 (第2報) — 中間シンカーの形状・寸法等の影響 —

續 辰之介^{*1} 浮田 基信^{*2}

海洋構造物の多点係留では安全性のため中間シンカーを使用するのが通例である。中間シンカー及びさらに重錐を付加したものについて、水中重量及びチェーンの長さとの係留特性の関係は前報で明らかにしたが、この場合、シンカーの形状、寸法は無視して質点として扱った。

しかし、張力がごく小さい領域では、シンカーの形状による違いが存在することに着目して、代表的な形状として棒型、吊鐘型、箱型及びフレキシブル型について、それぞれ寸法を変化させて、一連の比較計算を行った。また、チェーンの摩耗に係があると考えられるチェーンのシンカー結合部の相対角度も調べた。

その結果、シンカーの形状、寸法だけでなくチェーンの取付位置も張力の小さい領域で係留特性や結合部の相対角度に顕著な変化を与えることがわかった。

キーワード：係留，中間シンカー，海洋構造物，設計

Characteristics of Various Slack Mooring Systems (II) — Effects of Shape, Size, and Point of Connection of the Intermediate Sinkers —

Tatsunosuke TSUZUKU^{*3} Motonobu UKITA^{*4}

For the purpose of improving the safety of multipoint mooring of offshore structures, intermediate sinkers are adopted widely recently. The problems related to weight of sinkers and length of chains from the top to the sinker were studied in the previous paper in which sinkers were treated as points having weight but no dimensions.

In this paper, four types of sinkers with variation of size as well as position of connection with chains are studied by a series of calculations.

Both shape and dimension, and also position of connection, have not a small effect on the characteristic curves of mooring systems. Effects are conspicuous especially in the region of weak horizontal tension, and being considered significant

^{*1} 海洋開発研究部

^{*2} 海洋開発研究部(元)

^{*3} Marine Research and Development Department

^{*4} Marine Research and Development Department (ex)

in decision of initial tension and so on of mooring systems.

Key word: Mooring, Intermediate Sinker, Offshore Structure, Design

1. はじめに

海洋構造物の係留には多点係留方式が用いられることが多いが、その多くは中間シンカーが採用されている。

係留系の計算の基本は、定常外力（潮流、風及び波浪漂流力）に見合う係留力を発揮するまで構造物は変位し、その上で波浪の変動外力によって変動変位したとき係留ラインの張力が破断に対して十分な安全率を保つようにすることである。シンカー等を有しない単なるチェーンのみの係留では、大きい外力を受ける大型構造物には対処が困難である。

中間シンカーまたはさらにウェイトを組み合わせた係留系に対しては、シンカーやウェイトの水中重量及びそれらまでのチェーンの長さのいろいろな組み合わせに対する係留特性曲線を作成し前報で報告した¹⁾。しかしこれらのシンカー、ウェイトは重量のみ有する質点として扱ったものであった。

破断との関係を検討する場合の計算にはそれだけで充分と考えられるが、係留の安全性確保のためにはほかにも検討すべき項目がある。

まず、変位を適正に限定する必要がある。これは、隣接する他の構造物などとの間隔を維持する目的のほかに、反対側の係留系—例えば沖側に対して岸側—の水平張力がゼロになってチェーンが塊にならないようにするためである。変位を限定するには、係留系の特性を充分把握した上で適正な初期水平張力を設定する必要がある。

次に、摩耗や疲労の問題がある。外力によって構造物が運動するとき、係留系の局部に急激な衝撃が加わることは避けるべきである。また、局部において部材間の相対運動（角度変位）が過大になることも好ましくない。

これらのことを考慮しながら、シンカーの形状寸法をいろいろと変えて、係留系の特性に関する

一連の比較計算を行った。代表的な形状としては棒型、吊鐘型、箱型及びフシキシブル型を選択した。各型式の比較が容易なように水中重量その他の条件を揃えるほか、同じ型式の中で寸法影響も検討した。計算結果と比較すると、形状、寸法及び結合法のわずかの差が、とくに水平張力の低い領域で、係留特性、結合点における相対角度変化などに大きな影響を与えている。これらの結果は係留系の初期水平張力の適正化など、安全性の向上に資することができると思われる。

2. シンカーの形状・寸法

今回検討したシンカーの形状・寸法などは以下のとおりである（図1）。

2.1 棒型（以下、LSという）

細長い棒状のシンカーとして長さのみ考慮する。計算には長さ $0.1h$ (h は水深) $0.2h$ の2種とし水中重量 W は同じ $10 \times wh$ (w はチェーンの単位長さ当りの水中重量)、チェーンの長さはそれぞれ $1.2h$ 及び $1.15h$ とした。以下も同じように、チェーンの上端からシンカーの重心までの長さは $1.25h$ に揃えて計算する。

2.2 フレキシブル型 (FS)

シンカーの長さ、チェーンの長さ、重量等すべてLSの場合と同一とした。計算式ではシンカーも一種のチェーンとして扱ったが、この場合の単位長さ当りの水中重量 w_2 は $100w$ 及び $50w$ となる。

2.3 吊鐘型 (HS)

シンカーの高さを考慮し、水平方向の長さは無視する。高さは $0.02h$ 、 $0.04h$ 及び 0 の3種とし、チェーンの長さはすべて $1.25h$ 、水中重量 W は $10wh$ である。

2.4 箱型 (Box)

長さと高さを有する長方体で通常のコンクリートブロックを想定したものである。チェーンの取

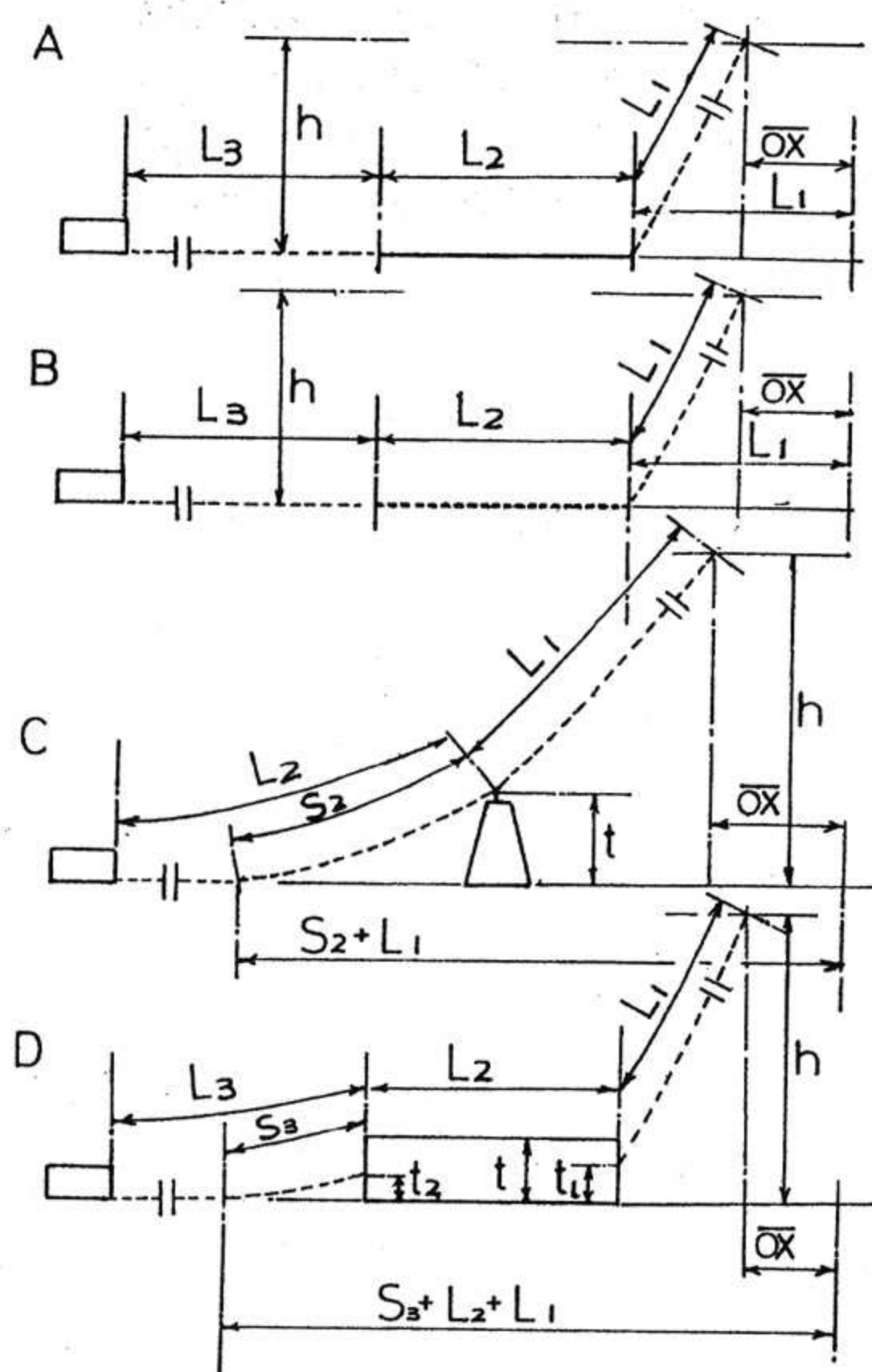


図1 検討したシンカーの型式4種の概略図
Fig1 Outline of the 4 types of sinker studied in this paper

り付け位置は前後の壁面の上端，下端の組み合せの4種について計算した。重心は縦断面の重心にあるものとしている。

3. 計算方法

3.1 概要

計算の基本式は前報に掲げたカテナリに関する諸式であるが，力及びモーメントの釣合の式が加わっている。

海底面は水平・平坦で摩擦はないものとしている。シンカーからアンカーまでのチェーンは充分長い（約3h以上）ものとして扱っている。計算には，その部のチェーンが示すカテナリの長さが求められるので，それが実際のチェーンの長さよりも長くなればアンカーに垂直力が掛かり始めるのでアンカーの安全性の検討対象になるが，本報告では図示する範囲においては特性曲線に大きな

相違はない。

3.2 記号

L_1 : チェーンの上端の着力点からシンカーまでの長さ。

L_2 : L_1 に続くシンカーの長さ。

L_3 : シンカーからアンカーまでのチェーンの長さ。

h : 水深。ただし，本報告ではチェーン上端着力点の海底からの高さを h とする。

w : チェーンの単位長さ当り水中重量。

W : シンカーの水中重量

S : カテナリの長さ。添字は L の添字と一致させるのを原則としたが例外もある。

$\overline{OX}$: チェーン及びシンカーを海底に一直線に延ばした先端と，チェーンの上端着力点との間の水平距離。上端着力点の絶対位置を示す一つの手段として利用した。

T : 引張張力。

H : 張力の水平成分。

V : 張力の垂直成分。

a : H/w

ϕ : チェーンが上端において水平となす角度。

ϕ_0 : チェーンのシンカーへの結合端における傾斜角。

θ : 棒状及び箱型の場合の傾斜角。

本報告では前報と同様，長さの次元のものは h ，力に関するものは wh で除して無次元化した数値を用いて計算を進め，必要に応じて有次元の式を使用する。

3.3 棒状シンカー (LS)

水平力 H の増大に伴って4つの段階がある。

① L_1 の一部に接地部がある範囲。

$$L_1 > S_1 = \sqrt{h^2 + 2ah}, \text{ すなわち } a < \frac{L_1^2 - h^2}{2h}$$

② a が上記の限界を超えてシンカーは着底のままの状態。チェーンのシンカー取り付け部の張力の垂直部分を V_0 とすると， $W/2 > V_0 > 0$ の範囲である。

③ $V_0 > W/2$ となり，シンカーの一端が上がった状態。シンカーの傾き角度 θ は0から次第に大きくなる。

④ $V_0 > W$ でシンカーが完全に離底後。計算式は

図1 (1) のB点及びC点の周りのモーメントの釣合の式を用いる。

③及び④の計算式は、ここでは省略するが後で箱型で計算法の一例を示すので利用できる。

3.4 フレキシブルシンカー (FS)

シンカーが、少なくともそれを含む鉛直平面内で自由に曲がりうるものとし、計算としては単位長さ当たり水中重量 w が異なる3種のチェーンの組み合わせとして扱っている。水平力の変化によって次の段階がある。

- ① L_1 の一部に接地部がある。
- ② L_2 (フレキシブルシンカー) の一部が海底を離れる。この場合、 L_2 は剛体でないので、3.3における③の段階は存在しない。
- ③ シンカーが全体的に離底。

計算法は省略するが、①、②は L_1 、③では L_2 の部分について下端が水平になるまで曲線を延長して、カテナリの公式を組み合わせればよい。

3.5 吊鐘型シンカー (HS)

シンカーの高さを考慮した計算で、一点でシンカーを吊る点の海底からの高さを t とする。水平力の変化によって4つの段階がある。

- ① L_1 の一部に接地部がある。
- ② L_1 が完全に離底し、下端の高さが t よりも小さい。②の限界は、吊り点(c)においてチェーンが水平になることで、

$$a = \frac{L_1^2 - (h-t)^2}{2(h-t)} \quad \text{で求められる。}$$

- ③ L_2 に上向きの垂直力 V_0 が掛かる。HSの場合には L_3 の一部にカテナリができて下方に向く垂直力 V_3 が存在する。③は $V_0 \leq W + V_3$ の限度内になる。

計算法は、他の場合と同じく、着底中の計算法が利用できるが、見掛けの水深は $h-t$ であるので判別を明かにしておく必要がある。

- ④ $V_0 > W + V_3$ で、完全にシンカーは離底する。これからは、前報で示したPS (シンカーを質点として扱った) において、シンカーが海底から t 以上持ち上がった状態と同じになる。

3.6 箱型 (シンカーの長さと高さを考慮した場合, Box)

長さと高さを有する立体的なブロックシンカー

において、前後端部にチェーンの付着点がある場合を想定した。係留系の状態は、チェーンの付着点の高さがある場合と、ない場合とで異なる。高さがなければ前述のLSと同様に扱うが、高さのある場合には次のような段階がある。

- ① L_1 に接地部がある。
- ② 接地部はないが、上向きの垂直力がシンカーに働かない。

この二つの段階は吊鐘型とはほぼ同じであるが、シンカーの後端 (アンカー側) の高さは必ずしも前端とは限らない。

- ③ シンカーは着底のままであるが、垂直力が掛かっている。次の段階、すなわち一端が持ち上がるのは、LSの場合は $V_0 > W/2$ で決められたが、Boxの場合はシンカー前後のチェーンの水平力のモーメントを考慮しなければならない。

- ④ シンカーの一端が離底。シンカーの水平となす角度を θ ごとに条件を満たす a を見いだすような反復計算を行う。図2 (a) のB点の周りの釣合の式から、

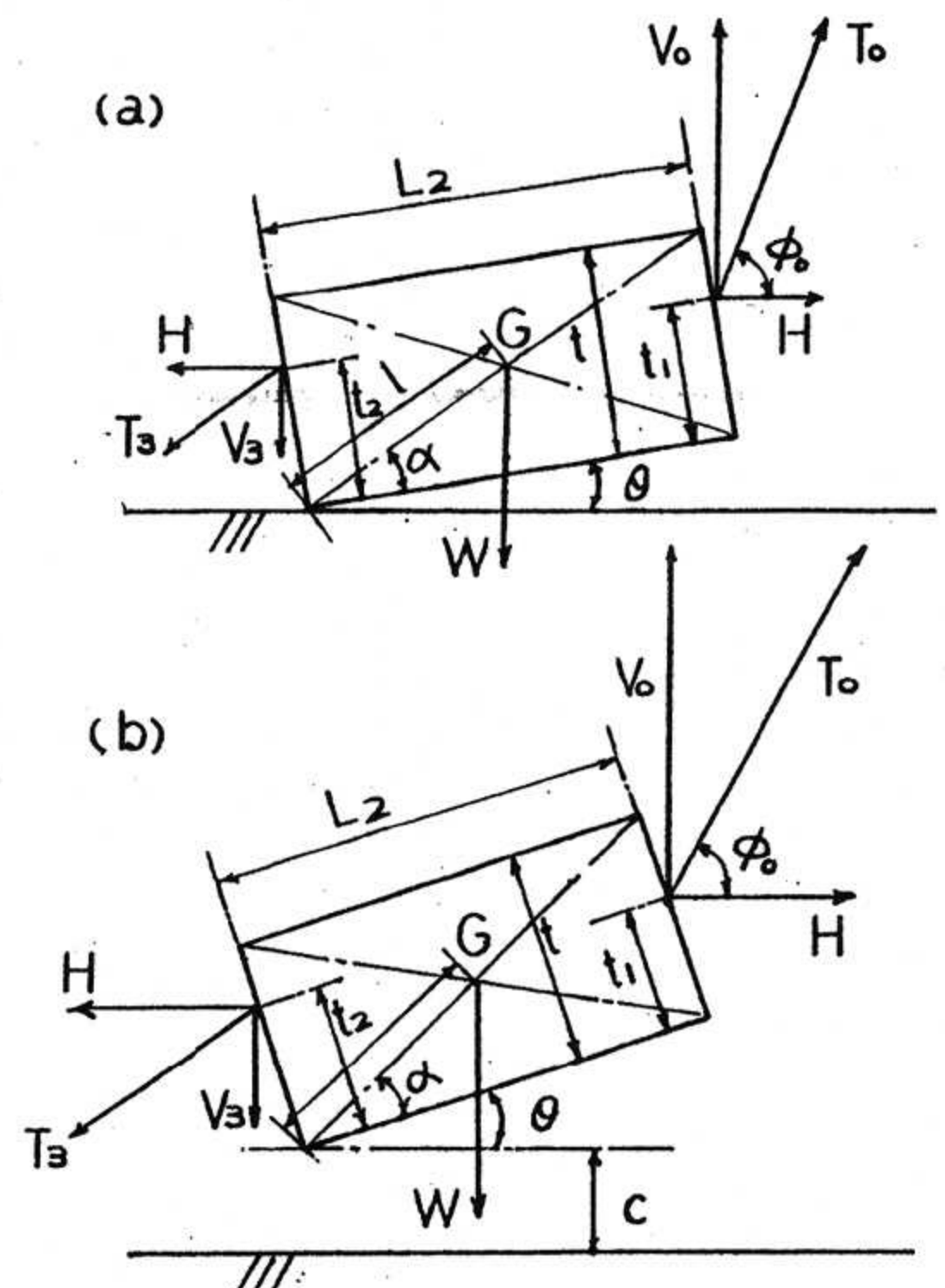


図2 箱型シンカーの力の釣合と諸記号

Fig 2 Symbols and balance of forces in the case of box sinker

$$V_0 = \frac{Wl \cos \alpha + H(t_1 - t_2) + (HL_2 - Wl \sin \alpha - V_3 t_2) \tan \theta}{L_2 - (t_1 - t_2) \tan \theta} \quad \dots\dots\dots(1)$$

ただし、 $\alpha = \tan^{-1} t/L$, $l = \frac{1}{2} \sqrt{L_2^2 + t^2}$ である。

⑤ シンカー全体が離底。図2 (b)に示すように、下端が海底から c だけ離れている。この場合、重心の回りのモーメントの釣り合いのから θ を求めると、

$$\tan \theta = \frac{(V_0 + V_3)l \cos \alpha - 2Hl \sin \alpha + H(t - t_1 + t_2)}{(V_0 + V_3)l \sin \alpha - 2Hl \cos \alpha - V_0(t - t_1) - V_3 t_2} \quad \dots\dots\dots(2)$$

4. 係留特性曲線

水平距離 $\overline{ox}$ に対する水平力 H 及びチェーン上端の角度 ϕ を図3以下に示す。

4.1 棒状シンカー

図3は L_2/h を0, 及び0.2, それらに対する L_1/h をそれぞれ1.25, 1.2, 及び1.15として

$\overline{ox}$ に対する a/h 及び ϕ を比較したものである。

a/h が立ち上がる位置は、 L_1/h によって決まり、 L_1/h の増大とともに右方に移る。途中の段はシンカーの一端が離底するときに生じる。全体が離底した後の曲線はほとんど等しくなる。 $L_2=0$ はシンカーを質点と考えた前報の結果にはかならない。またシンカーの長さ L_2 が大きいほど、曲線の全体的な傾斜が緩くなる。

4.2 フレキシブルシンカー

図4はフレキシブルシンカーの長さ L_2 を、 $L_2/h=0.1$ 及び1.2 (L_1/h はそれぞれ1.25及び1.15でシンカーの重心位置は同じ) の場合を比較したものである。曲線全体が滑らかになっている。とくに、シンカーの長い0.2 h の場合は傾斜が緩やかで変化が小さい。

4.3 吊鐘型シンカー

図5は吊鐘シンカーの高さの水深との比 t/h が0, 0.02, 及び0.04の3つの場合を示すが、シンカーなしのカテナリのみの場合を付記した。

$t/h=0$ は、前報の質点シンカーに相当する。

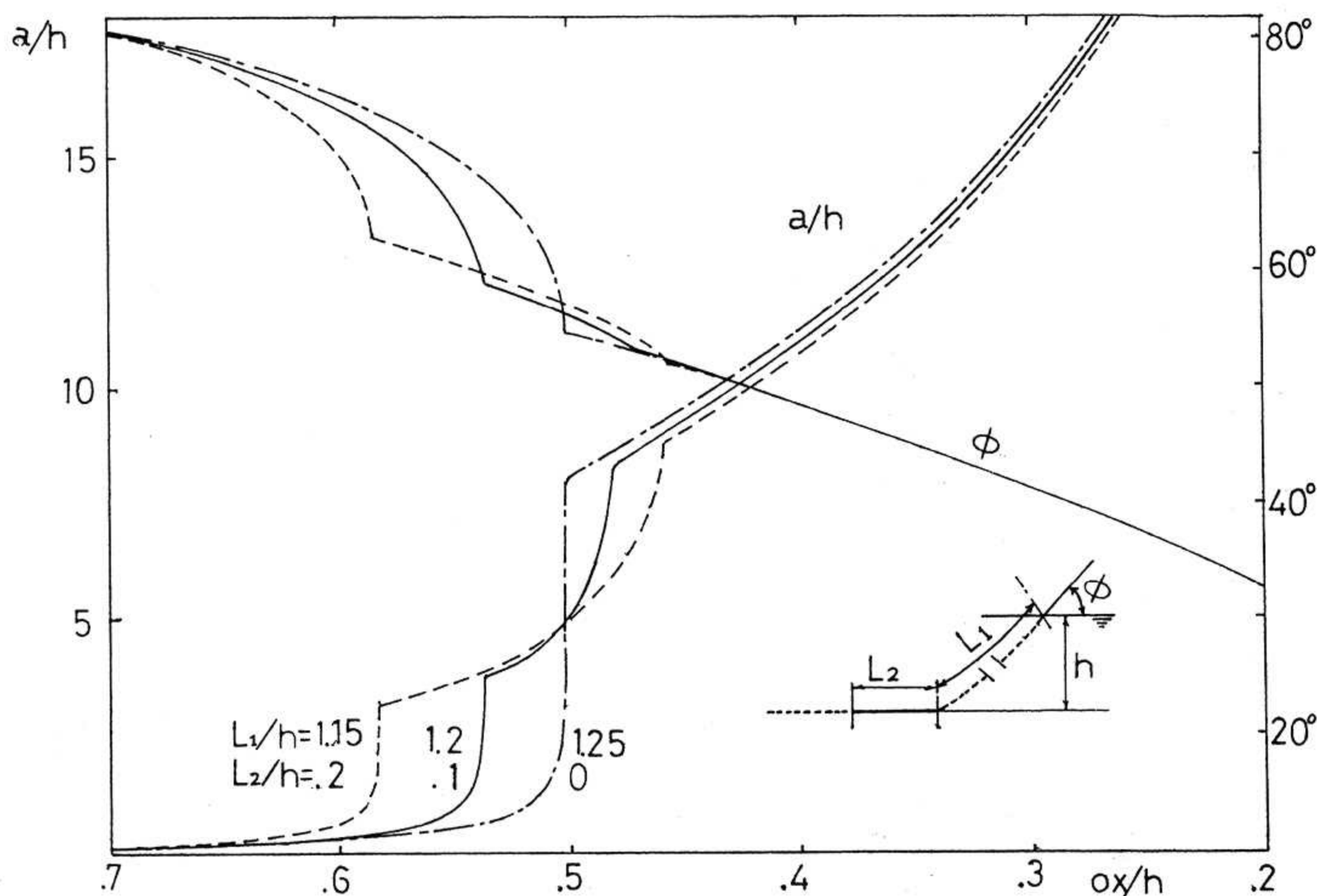


図3 棒型シンカーの係留特性

Fig 3 Characteristic curves (Bar type)

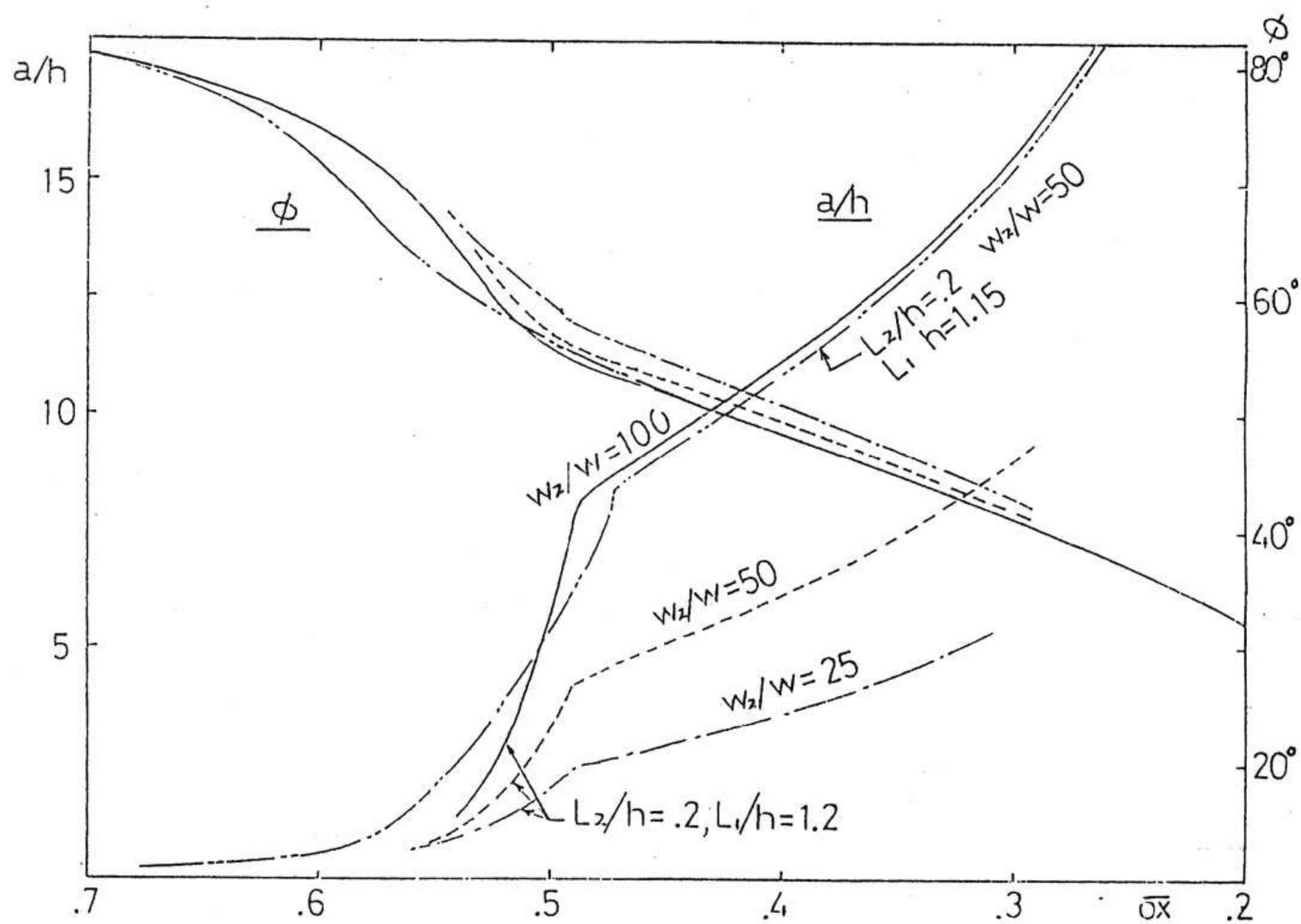


図4 フレキシブルシンカーの係留特性

Fig 4 Characteristic curves (Flexible sinker)

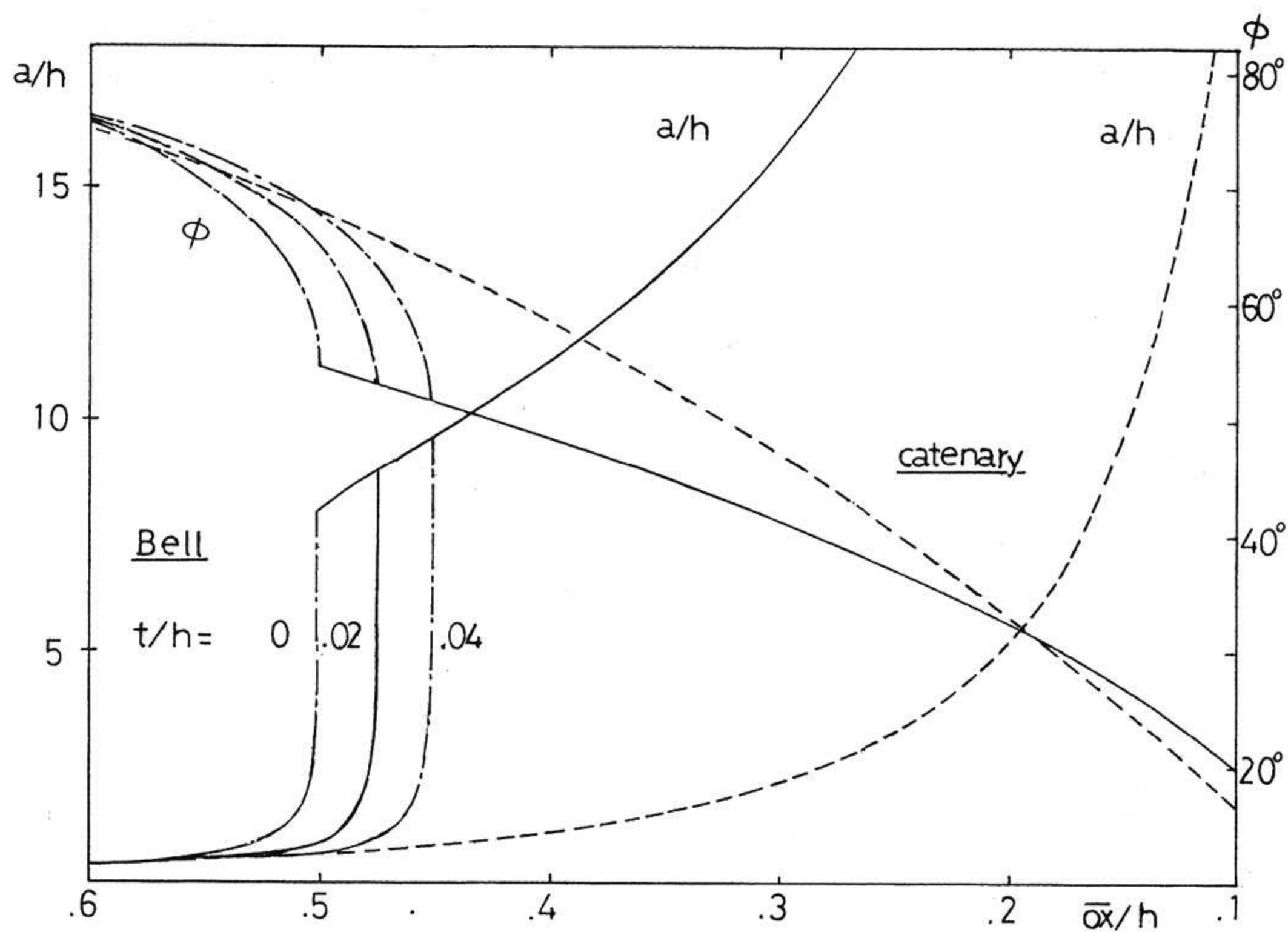


図5 吊鐘型シンカーの係留特性

Fig 5 Characteristic curves for bell type sinker

この質点高さが、0.02, 0.04になるとその高さのシンカーをつり上げるのと同じ条件になり曲線は一致する。またカテナリのみ特性曲線の勾配ははじめ穏やかであるが、 $\bar{o}x$ が0.2以下になると急に大きな傾きになっている。

4.4 箱型シンカー

図6は箱型シンカーの長さ L_2 と高さ t は1種 ($L_2/h=1.2$, $t/h=0.04$) とし、チェーンの取付点を変えて4つの場合を比較したものである。ここでは ϕ は省略した。チェーンの取付位置によって特性曲線は、水平張力の低い領域で大きく変わる。しかし、張力の大きい領域、すなわちシンカーが全体的に離底した後の相違は僅かである。

5. シンカーとの結合点におけるチェーンの角度変化

5.1 角度変化について

チェーンのシンカーとの結合点において角度変化が生じることは充分予想できるが、これを定量的に把握することを試みた。この角度変化の大小は当然摩擦に影響すると考えられる。

この角度変化は、以下の計算結果に示すように低い張力の領域で大きくなることが多い。係留系の強度計算は、海象条件等から最大の定常力及び変動外力の和が検討課題になるが、小さい波による変動変位もシンカー結合部におけるチェーンの角度変化の点から見ると決して等閑に付すべきで

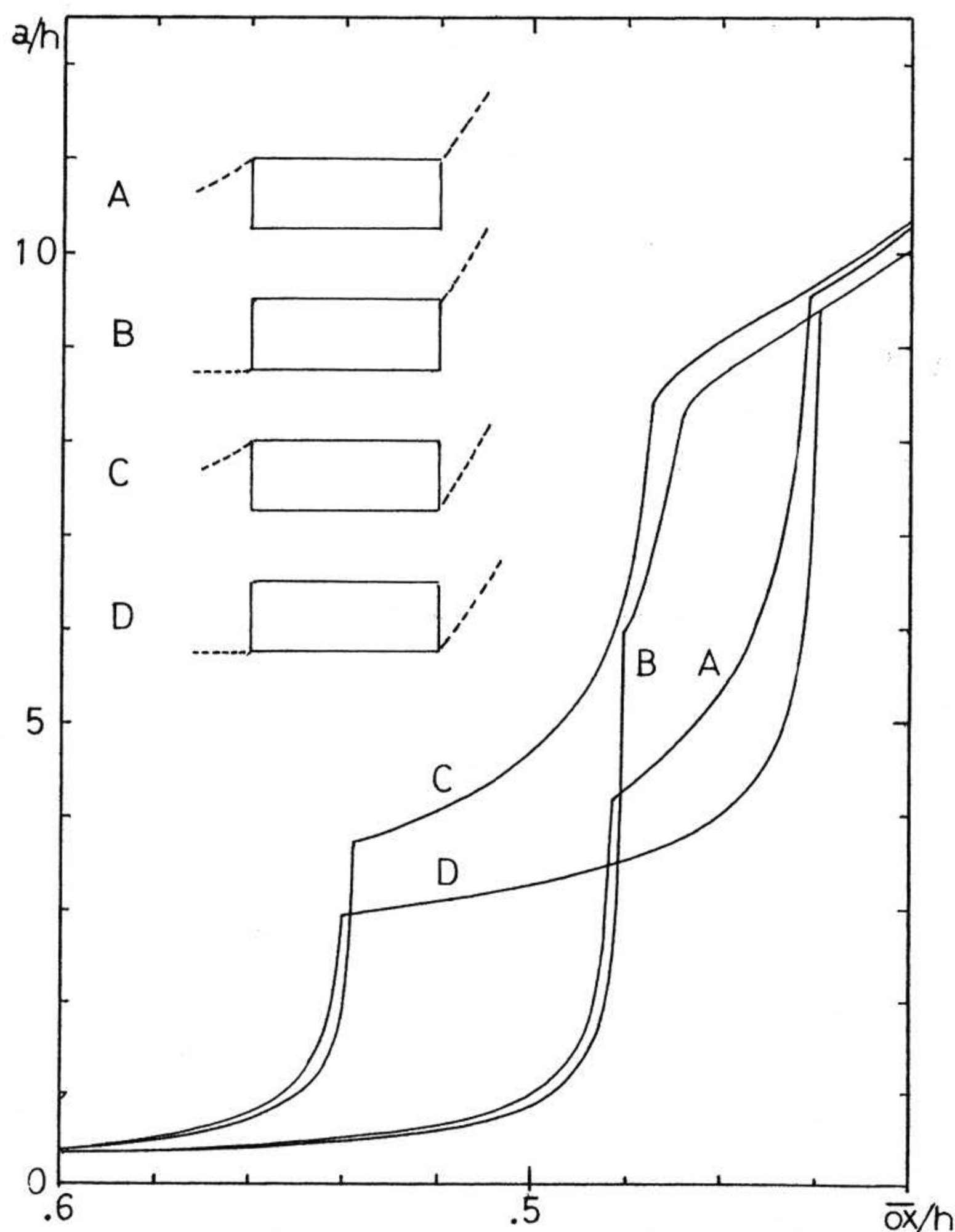


図6 チェーン結合点の異なる箱型シンカーの特性曲線

Fig 6 Characteristic curves of box type sinkers with varied chain connections

ないと思われる。この場合、とくに考慮すべき点は、いわゆる岸側の係留系で、外力は小さいが角度変化の点では、むしろ沖側よりも大きい場合もありうる。なお以下の図は小さい外力における角度変化が大きいため片 log 図表としている。

フレキシブルシンカーの場合にはこの問題はなく、チェーンとシンカーとの間に角度変化がないことを計算の条件にした。

棒型は、この場合箱型的一种とみなすことができるので省略した。

箱型の検討は、シンカーの傾斜を考慮して相対角度 ($\theta - \phi_0$) について行った。

5.2 吊鐘型シンカー

図7は吊鐘型シンカーの場合のチェーンの結合部における角度 ϕ_0 を a/h を横軸に片 log 図表で示したものである。

シンカーの高さの水深に対する比 t/h は 0, 0.02, 及び 0.04 とし, 0.04 の場合は L_1/h を 1.2 と 1.25 の 2 種示している。 $t=0$ の場合は, ϕ_0 は 0 以上にならないが高さがあるとマイナスから始まるので全体角変化は大きい。水平外力が大き

くなってシンカーが離底した後は曲線 L_1/h ごとにまとまる。 a/h が 0.1 ~ 1.0 という小さい値の領域で大きい角度変化が起きることが注目される。

5.3 箱型シンカー

図8は箱型シンカーの場合の a/h に対する $\theta - \phi_0$ の関係を示したものである。AとB, CとDは初めは同じであるが、アンカー側のチェーンの水平力の関係で、A及びCは早くシンカーが傾き、相対角度が減少する。

Aは吊鐘型と類似するが、吊鐘型が傾かないのに対して、箱型は傾くので水平張力の大きい領域で相違が生じる (Dの場合は、チェーンの取付点を結ぶ線より上に重心があるので実際は軽倒するが、ここでは無視している)。

6. 結果の検討

6.1 チェーンの破断強度に達するまでの変位 ($\bar{\sigma}_x$) の余裕

係留システムの安全の第一目標は、起こりうる最も厳しい海象条件においても、はじめに述べた

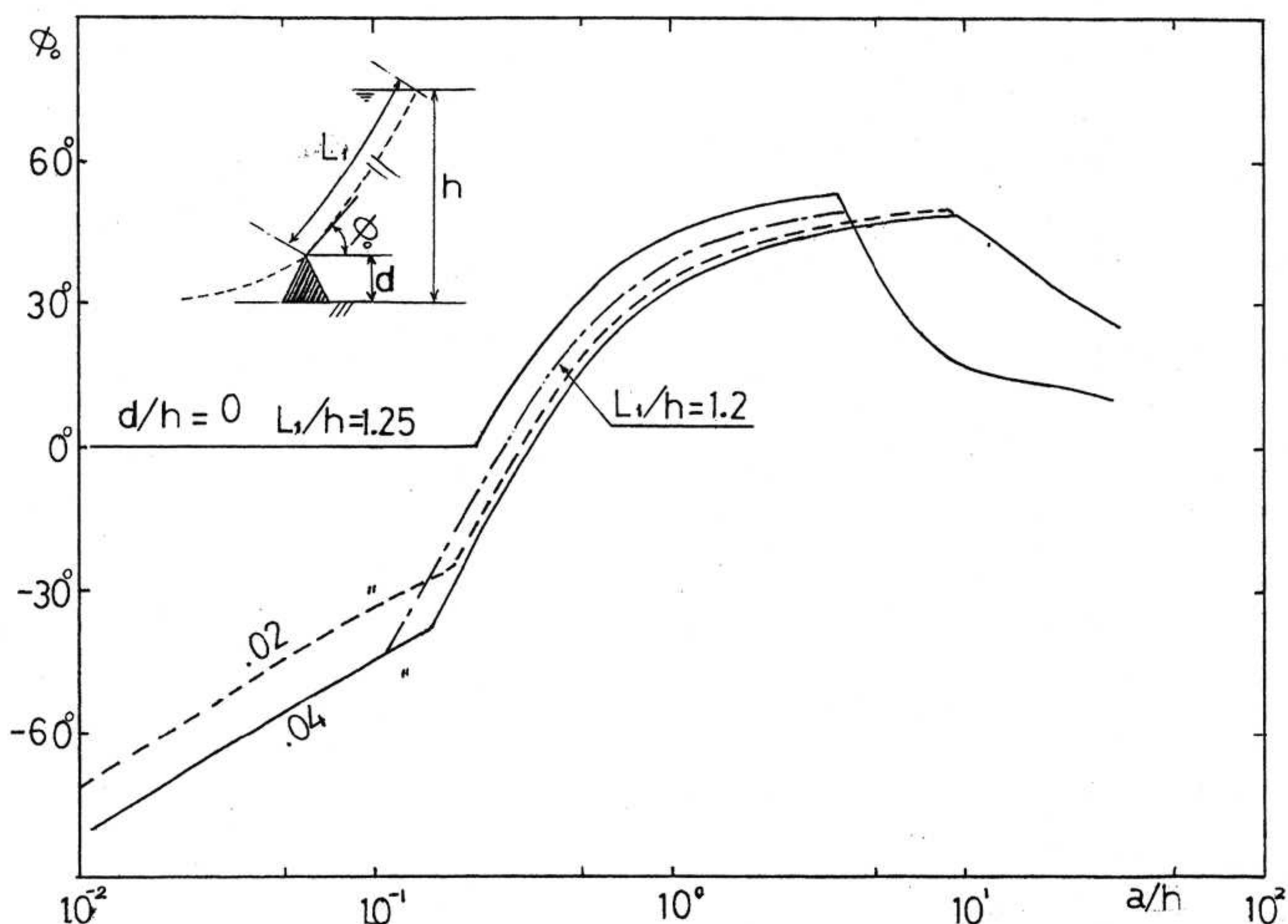


図7 吊鐘型シンカーの水平力と ϕ_0 の関係

Fig 7 Relation between a/h and ϕ_0 (Bell type)

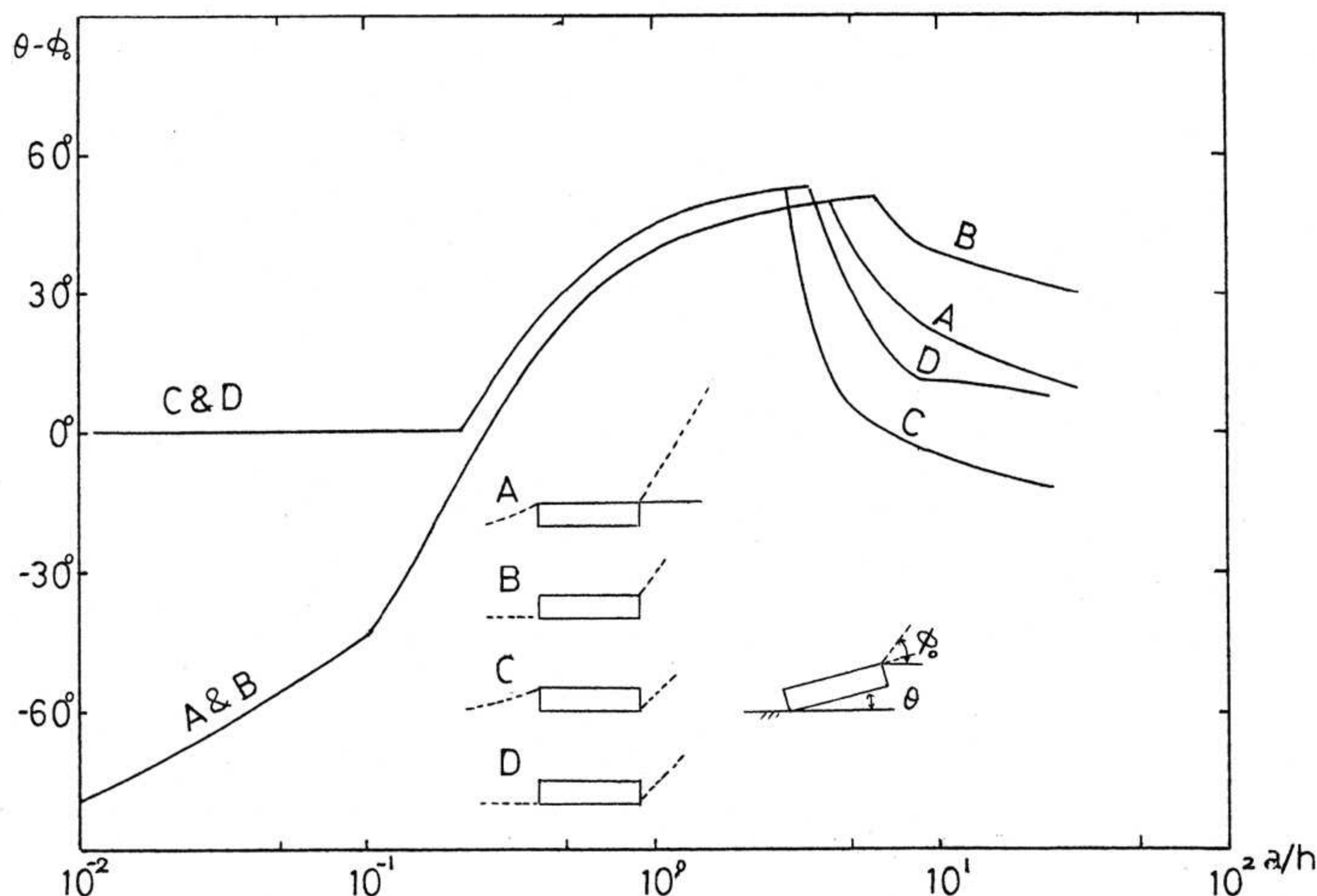


図8 箱型シンカーの4つの場合の相対角度変化

Fig 8 Relative angle ($\phi_0 - \theta$) in four cases of box type sinker

ように、定常変位の上の変動変位が加わったときに生ずる張力が破断強度に対して余裕を持つことである。

今回取り上げた4型式及びその変化型を含め、水平張力の大きい領域ではその差はほとんどないといってよい。すなわち、この点に関しては、シンカーの形状、寸法の影響は無視し、重量のみが問題になることになり、シンカーを質点として扱って差し支えない。

しかし、変位を初期の静止状態からの変位で考えると別の問題になる。今までに述べたように、シンカーの型式、寸法等によって水平張力の低い領域での特性曲線は大きく変化し、また水平張力の僅かの差が ox/h 値の大きな差になる。このため、初期状態から最大変位までの最大変動幅の選択には大きな自由度がある。

隣接する構造物等との関係位置を保つ目的には最大変動幅はある程度限定する必要がある。沖側に対する岸側の係留系の水平張力がゼロに成ってもいけない。いずれにせよ、初期状態の計画には

シンカーの型式、寸法等を充分検討する必要がある。

参考用として、初期状態を想定した $a/h = 0.5$ と 1.0 及び定常外力の最大を想定した $a/h = 10$ と 15 に対する ox/h の計算値を並べて表1に示す。

6.2 摩耗などとの関連

今回はシンカーとチェーンの結合点における角度変化を一つの課題として取り上げた。これはあくまで客観的な計算のみであるが、外力の低レベルでは型式、寸法等によってこの部の角度変化には大きな差を生ずるので、実際の問題として配慮されるべきではないかと考えられる。

係留系の特性曲線で ox の小さい変位に対し a/h の急増するものは、ある程度の衝撃と考えられるが、各型式とも急増の前に若干の漸増過程があるのでかなり緩和された衝撃である。米国の Lena の Guyed Tower では衝撃緩和のため、特に他には例のないフレキシブルシンカーを採用しているが²⁾、この場合の係留ラインはチェーンではなくワイヤである。なお、本報告で扱った吊鐘

付録1 a/h の4つの値に対する $\overline{OX}$ の比較Annex 1 Comparison of $\overline{OX}$ at four values of a/h

型 式	寸 法			a/h				備 考
	L_1/h	L_2/h	t/h	0.5	1.0	10	15	
棒 型	1.2	0.1	—	0.578	0.548	0.429	0.308	
(Bar)	1.15	0.2	—	0.609	0.590	0.422	0.308	
フレキシブル	1.2	0.1	—	0.577	0.544	0.431	0.310	$\omega_2/\omega = 100$
(flexible)	1.15	0.2	—	0.606	0.575	0.424	0.306	" = 50
	1.2	0.1	—	0.577	0.541	0.276	0.200	" = 50
	1.2	0.1	—	0.574	0.534	0.202	0.154	" = 25
カテナリ	—	—		0.532	0.415	0.147	0.121	
(catenary)								
吊 鐘 型	1.25	—	0.04	0.523	0.474	0.441	0.314	
(Bell)	1.25	—	0.02	0.538	0.494	0.441	0.314	
	1.25	—	0	0.559	0.517	0.441	0.314	(質点シンカー)
箱 型	1.2	0.1	0.04 A	0.541	0.499	0.428	0.308	
(Box)	"	"	" B	0.535	0.495	0.421	0.302	
	"	"	" C	0.587	0.552	0.421	0.302	
	"	"	" D	0.581	0.548	0.432	0.312	
	1.2	0.1	0.02 A	0.555	0.521	0.428	0.308	

型の一つの変型として、チェーンから枝チェーンを付けて、これでシンカーと結んだ場合には、この枝チェーンは張力ゼロから瞬間的に大きい張力を受けることになるから注意すべきである。

6.3 各型式の特徴

6.3.1 棒 型

図3で示したように、 $0.1h$ という小さい長さでも、質点のシンカーと比べると特性曲線はかなり穏やかになる。実際問題としては質点はありませんので、最も簡単なこの棒型が低い張力レベルの代表例となろう。ただし、水槽実験は別とすれば、実海域を考えると、箱型の図6のDは、棒型

の計算と余り大きな差はない。

6.3.2 吊鐘型

質点シンカーに最も近い性質を有し、とくに離底後は質点と全く同一の扱いになる。特性曲線の急上昇の量が多い。一逆に言えば、外力の大きな差に対してほとんど変位しない—というところが特徴である。 L_1/h を小さくして1に近づければ、 $\overline{OX}$ の大きい値のところで小さい段差を生じ大きな張力の領域では L_1/h の差は小さいことは前報で示しているので考慮の余地がある。

6.3.3 フレキシブル型

特性曲線が滑らかであることが特徴で、この点

では最も好ましい。しかし、実際の問題となると簡単ではない。先に触れた Lena の Guyed Tower は固定した塔の支策用であるので係留系を含む垂直平面自体の変動はほとんどないが、実海域ではシンカーが固定のアンカーと移動する海洋構造物との間にあって運動するので、Lena の例ををそのまま一般に適用することはできない。ただし、係留系の一部のチェーンを重くしたり、何本かのチェーンを並列にすることは効果がないとはいえない。今回の計算では、 $w_2/w = 100$ を標準にしたが、参考のため図 4 に $L_1/h = 1.2$, $L_2/h = 0.1$ を同一にして $w_2/w = 50$ 及び 25 を加えた。軽くするとシンカーとしての効果は薄くなる。

6.3.4 箱 型

同じ箱型であっても、チェーンの取付位置によって係留特性が大きく変わることは図 6 で示したとおりである。チェーン L_1 の取付位置が高い A と B は吊鐘型と似た性質を示し、下端にチェーンの付く C と D は棒状シンカーの場合と似ている。

図 8 で示した相対角度変化は、張力の小さい領域で A と B が大きく、張力の大きな領域では C と D で大きい。相対角度の最大は約 50° で、各型式

ともあまり差はない。この極大点はシンカーの手前側が海底を離れる時点で起きている。

相対角度変化を重視してこれを小さくする方法は、一つは重心位置をアンカー側に近寄せることであって、その端部から長さの $1/3$ の距離に重心があれば、張力の垂直分力 V_0 によってシンカーの片側が持ち上がる時 $W/2$ で離底するとした今までの計算に対して、 $W/3$ で離底するから ϕ_0 が大きくなるはず。別の方法は、アンカー寄りの底の一部を斜めにそぐことで、シンカーの傾斜が 2 段階で行われ、 ϕ_0 の増大を防ぐことができる。

参 考 文 献

- 1) 浮田基信, 續辰之介: 弛緩係留法による係留力特性—中間シンカー・中間ウエイト付きの場合, 海洋科学技術センター試験研究報告, 第15号, pp. 97 ~ 110, (1985)
- 2) M. S. Glasscock and J. W. Turner: Design of the Lena Guyed Tower, OTC-4650, pp. 19~28. (1984)

(原稿受理: 1989 年 5 月 10 日)

```

10 LPRINT "***** BOX5-2 ***** (L&HS1R) ***** JAMSTECTR 18 ***** 198
7 *****"
20 LPRINT
30 PRINT " W/wh"
40 INPUT WWH
50 PRINT "L1/h"
60 INPUT L1H
70 PRINT "L2/h"
80 INPUT L2H
90 PRINT "t/h"
100 INPUT TH
110 PRINT "t1/t="
120 INPUT T1T
130 PRINT "t2/t="
140 INPUT T2T
150 PRINT "ini ah"
160 INPUT AH
170 LPRINT " W/wh=";WWH;" L1/h=";L1H;" L2/h=";L2H;" t/h=";TH;" t1/t=";T1T;"
t2/t=";T2T;" ( . . . )
180 LPRINT
190 LPRINT " B          theta      a/h      ox/h      S3/h      T/wh (U0-U3)/wh      phi0      p
hi      dep
200 LPRINT "-----"
210 FOR B=          TO          STEP
220 SN=SIN(B)
230 CS=COS(B)
240 T1H=TH*T1T
250 T2H=TH*T2T
260 S3H=SQR((T2H*CS)^2+2*T2H*CS*AH)
270 U3WH=S3H
280 LH=SQR(L2H^2+TH^2)
290 CSA=L2H/LH
300 SNA= TH/LH
310 U0WH=((WWH*.5* LH*CSA+AH*T1H-AH*T2H)*CS+(AH*L2H-WWH*LH*.5*SNA-U3WH*T2H)*SN)/
(L2H*CS-T1H*SN+T2H*SN)
320 S0H=U0WH
330 X0H=AH*LOG(S0H/AH+SQR((S0H/AH)^2+1))
340 SH=S0H+L1H
350 T0WH=SQR(AH^2+U0WH^2)
360 Z0H=T0WH-AH
370 XH=AH*LOG(SH/AH+SQR((SH/AH)^2+1))
380 X1H=XH-X0H
390 ZH=.5*AH*(EXP(XH/AH)+EXP(-XH/AH))-AH
400 DDH=ZH-Z0H+T1H*CS+L2H*SN-1
410 IF ABS(DDH)>.0005 THEN AH=AH+.005 :GOTO 270
420 X3H=AH*LOG(S3H/AH+SQR((S3H/AH)^2+1))
430 OXH=L1H-X1H+L2H -(L2H*CS-T1H*SN+T2H*SN)+S3H-X3H
440 TWH=AH+ZH
450 UWH=SH
460 DUH=U0WH-U3WH
470 PHI=ATN(UWH/AH)/3.1416*180
480 PHI0=ATN(U0WH/AH)*180/3.1416
490 THETA=B*180/3.1416
500 LPRINT USING "#.### ";B;
510 LPRINT USING "####.##";THETA;
520 LPRINT USING "####.###";AH;
530 LPRINT USING "####.####";OXH;
540 LPRINT USING "####.####";S3H;
550 LPRINT USING "####.###";TWH;
560 LPRINT USING "####.###";DUH;
570 LPRINT USING "####.##";PHI0;
580 LPRINT USING "####.##";PHI;
590 LPRINT USING "####.####";DDH
600 NEXT B
610 LPRINT
620 LPRINT
630 GOTO 30
640 END

```

付録1 箱型シンカーの計算 (一端接地中)

ANNEX 1 Calcution program of box shape sinker
(one end touch the bottom)

```

10 PRINT "***** BOXS-3 ***** (L&HSZR) ***** JAMSTECTR 18 **** 1987 **
*****"
20 LPRINT
30 PRINT " W/wh"
40 INPUT WWH
50 PRINT "L1/h"
60 INPUT L1H
70 PRINT "L2/h"
80 INPUT L2H
90 PRINT "t/h="
100 INPUT TH
110 PRINT "t1/t="
120 INPUT T1T
130 PRINT "t2/t="
140 INPUT T2T
150 PRINT "ini ah"
160 INPUT AH
170 LPRINT " W/wh=";WWH;" L1/h=";L1H;" L2/h=";L2H;" t/h=";TH;" t1/t=";T1T;" t2/
t=";T2T;" ( . . . )
180 LPRINT
190 LPRINT "U3/h    a/h    theta    ox/h    T/wh    c/h    phi0    phi0-theta
phi    dep
200 LPRINT "-----"
210 FOR U3WH= TO STEP
220 S3H=U3WH
230 CSA=L2H/SQR(L2H^2+TH^2)
240 SNA=SQR(1-CSA^2)
250 LH=.5*SQR(TH^2+L2H^2)
260 T1H=TH*T1T
270 T2H=TH*T2T
275 U0WH=U3WH+WWH
280 TANT=((U0WH+U3WH)*LH*CSA-2*AH*LH*SNA+AH*(TH-T1H+T2H))/((U0WH+U3WH)*LH*SNA+2*
AH*LH*CSA-U0WH*(TH-T1H)-U3WH*T2H)
300 S0H=U0WH
310 SH=S0H+L1H
320 X3H=AH*LOG(S3H/AH+SQR((S3H/AH)^2+1))
330 Z3H=SQR(S3H^2+AH^2)-AH
340 UWH=SH
350 CST=1/SQR(1+TANT^2)
360 SNT=SQR(1-CST^2)
370 CH=Z3H-T2H*CST
380 X0H=AH*LOG(S0H/AH+SQR((S0H/AH)^2+1))
390 Z0H=AH*.5*(EXP(X0H/AH)+EXP(-X0H/AH))-AH
400 XH=AH*LOG(SH/AH+SQR((SH/AH)^2+1))
410 ZH=AH*.5*(EXP(XH/AH)+EXP(-XH/AH))-AH
420 DDH=ZH-Z0H+Z3H+L2H*SNT-T2H*CST+T1H*CST-1
430 IF ABS(DDH)>.0005 THEN AH=AH+.005: GOTO 280
440 THETA=ATN(TANT)*180/3.1416
450 PHI=ATN(UWH/AH)*180/3.1416
460 PHI0=ATN(U0WH/AH)*180/3.1416
470 OXH=S3H+L2H+L1H-X3H-(L2H*CST-(T1H-T2H)*SNT)-(XH-X0H)
480 TWH=ZH+AH
490 LPRINT USING "##.##";U3WH;
500 LPRINT USING "####.### ";AH;
510 LPRINT USING "####.##";THETA;
520 LPRINT USING "####.####";OXH;
530 LPRINT USING "####.###";TWH;
540 LPRINT USING "####.####";CH;
550 LPRINT USING "####.##";PHI0;
560 LPRINT USING "####.##";PHI0-THETA;
570 LPRINT USING "####.##";PHI;
580 LPRINT USING "###.####";DDH
590 NEXT U3WH
600 LPRINT
610 LPRINT
620 GOTO 30
630 END

```

付録2 箱型シンカーの計算 (全体離底)

ANNEX 2 Calculation program of box shape sinkey
(thoroughly depart from the bottom)