

弛緩係留法による係留力特性 ——中間シンカー・中間ウェイト付きの場合——

浮田基信*¹ 續辰之介*¹

係留は、浮遊構造物の六つのモードの定常変位および運動振幅に影響を与え、係留力は変位に対応して定まり、運動方程式を解く場合には一種のばね常数として扱われる。

最近、浮消波提をはじめ各種の紛遊構造物、さらには着底式の直立塔状構造物の係留などにも、チェーン等による弛緩係留に中間シンカーや中間ウェイトが採用される事例が多くなったが、この場合、係留系はばねとして、ばね常数、初張力、ばね長さなどが複雑に変化するので、これら諸量の適切な組み合わせを決定することは極めて困難である。

そこで、一般的な浮遊構造物に対する基本的な係留系、すなわちチェーンのみの場合、中間シンカーを有する場合、および、中間シンカーとウェイトを併用する場合について、代表的な図表を示すとともに計算法を掲げ計画、設計の便に供する。

終わりに中間シンカーおよびウェイトの効用そのほかについて若干の考察を行った結果を述べる。

Characteristics of Various Slack Mooring Systems — Accompanied by an Intermediate Sinker or both a Sinker and a Weight —

Motonobu Ukita *² Tatsunosuke Tsuzuku *²

Mooring systems have great influence on the displacement of floating structures in each of six modes of the motions, both static and dynamic. The mooring forces depend upon displacement in every directional component and are considered similar to springs in the equations of motion.

Recently, intermediate sinkers and weights have been frequently used and placed in along the mooring lines of chain cables or wires. In such cases, the initial loads and lengths of equivalent springs as well as the coefficients change sophisticatedly, and it is very difficult to find appropriate combinations among the various values of the mooring lines. The authors offer a series of related diagrams both dimensional and nondimensional, for the conditions of constant and variable water depth, and formulae, including a representative basic program for calculations.

The authors also refer to some studies relating to the above, one of which concerns the utility of intermediate sinkers and anchors.

*¹ 海洋開発研究部

*² Marine Research and Technology Department

1. はじめに

係留力は、浮遊構造物の運動の六つのモードに対して、定常変位および運動振幅のすべてに作用する。

係留系を計画・設計する場合は、外力の水平成分に対する水平変位と係留系の張力またはその水平成分との関係は、基本的な検討項目となっていることはいうまでもないが、浮遊構造物の種類、形状あるいは目的などによっては、垂直方向の変位による垂直力または水平力、水平方向の変位による垂直力などの変動もまた重要な検討課題になってくる。

浮消波提の場合には、その消波機構や型式によって異なるが、水平変動と同様あるいはそれ以上に、垂直変動が消波性能を左右すると考えられており、また、斜め波や不規則波に対して堤体ユニット相互の衝突を防止するためには変位を限定すべきことが要請される。

一般に予備浮力の小さい浮遊構造物などにおいては、垂直力によって予備浮力がさらに減じ、沈没しないまでも復原性の低下には十分な配慮が必要となる。

一方、係留系の構造としては、チェーンまたはワイヤが用いられているが、最近、主として安全性向上の見地から、中間シンカー、中間ウエイトなどが採用されることが多くなっている。

係留は、浮体の六つのモードの運動方程式のそれぞれに、変位に対応して作用する復原力として働くので、¹⁾係留力はばね定数として扱うことができるが、中間シンカーやウエイトを採用する場合はばね定数は複雑に変化する。ばね定数ばかりでなく、ばねが伸び始める初張力、ばね定数がある範囲の値に収まるばねの長さなどが、浮体の変位・運動に大きな影響を及ぼすことは明らかである。

中間シンカー、中間ウエイトの重量、その位置(上端着力点からシンカーやウエイトまでのチェーンの長さ)などについては自由度が大きいため、適切な組み合わせを決定することは非常に難しい。

そこで、以下、代表的な係留系として、(1)チェーンのみの場合、(2)中間シンカーを有する場合、および、(3)中間シンカーと中間ウエイトを併用する場合について、いろいろな条件に対する水平ならびに垂直の係留力特性を各種の図表にまとめ、

適切な諸量の組み合わせを容易に見い出せるようにした。また、代表的な計算プログラムを付し利用に供する。

これらに基づいて行った考察の主な事項を終わりに掲げる。

2. カテナリ係留

2.1 カテナリ係留の基本式

カテナリ(懸垂線)は、海底に展張したチェーンの一端を吊り上げたときに形成される曲線で、海底におけるチェーンの接点を原点として水平にX軸、鉛直方向にZ軸をとったとき次式で表わされる。

$$Z/a + 1 = \cosh x/a = \frac{1}{2} (e^{\frac{x}{a}} + e^{-\frac{x}{a}}) \dots\dots(1)$$

ただし、 $a = H/w$ 、 H は上端における張力 T の水平成分、 w はチェーンの単位長さあたり水中重量である。チェーンの着力点の高さが Z であるが、以下、簡単のため、 Z は水深 h と同義に扱う。

カテナリ係留における諸量の関係は、カテナリ曲線部の長さを S 、 S のX軸への投影長さを X_c 、チェーン上端の張力とその水平および垂直成分をそれぞれ、 T 、 H および V 、張力 T の方向の水平となす角度を ϕ 、そして、 $S - X_c = x$ 、とすると次の関係式がある。²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾ なお、 x は、チェーンを海底に真っ直ぐ展張したときの先端を原点として、チェーン上端の水距離を示すもので、 $H=0$ のときは、 $x=h$ である。

$$S = a \sinh \frac{X_c}{a} = \sqrt{h^2 + 2ah} \dots\dots(2)$$

$$X_c = a \cosh^{-1} \left(\frac{h}{a} + 1 \right) \dots\dots(3)$$

$$x = S - X_c \dots\dots(4)$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{S}{a} \dots\dots(5)$$

$$H = aw \dots\dots(6)$$

$$V = Sw \dots\dots(7)$$

$$T = (a + h)w \dots\dots(8)$$

これらのうち、長さの次元のものは h で、力の次元のものは $w \times h$ で除し、 ϕ は度で表わし、 a/h をパラメータとして図示したのが図1である。

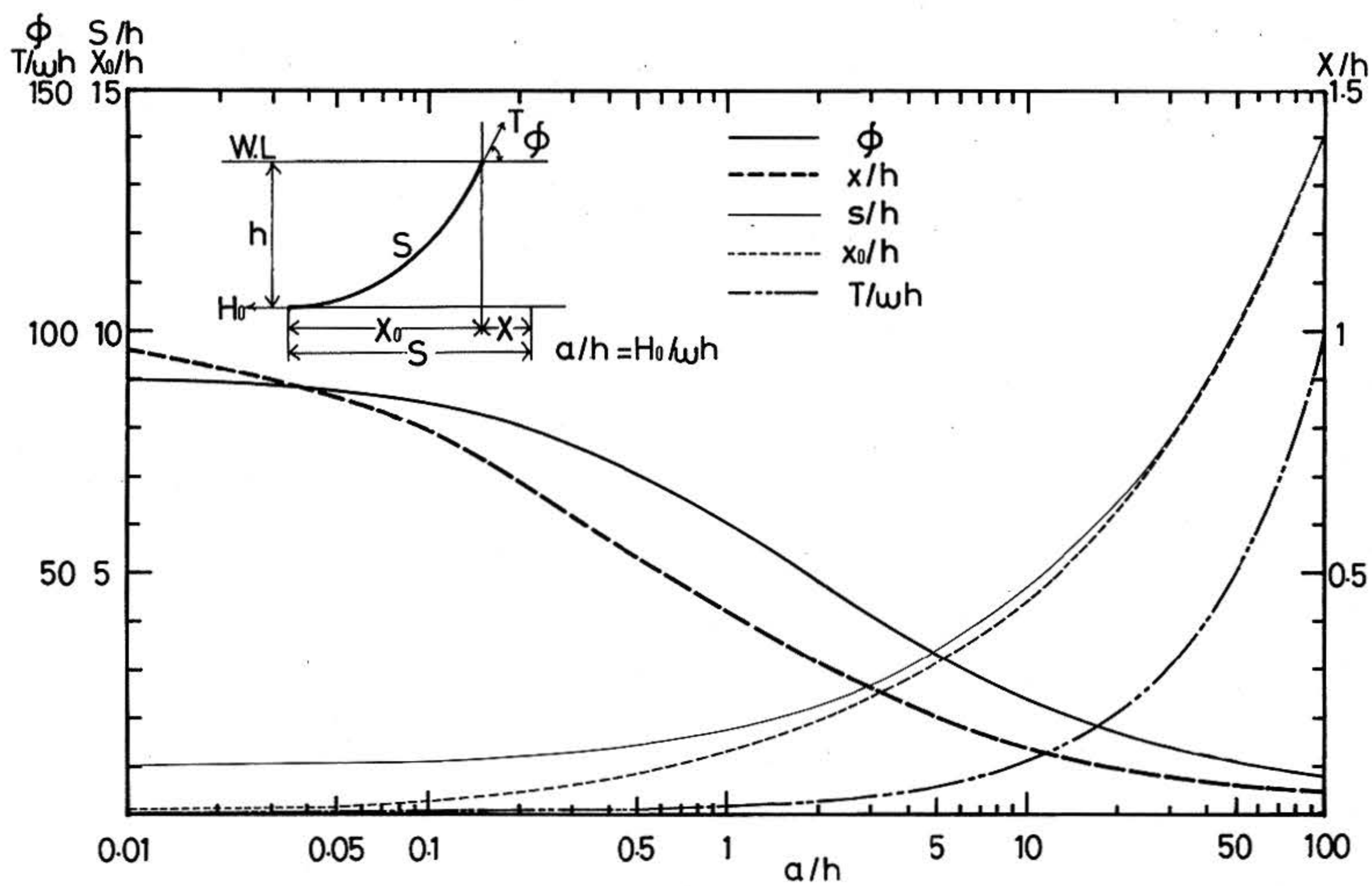


図1 カテナリ係留における a/h (H_0/wh) と他の諸元との関係
Relations between a/h and any other values in catenary mooring

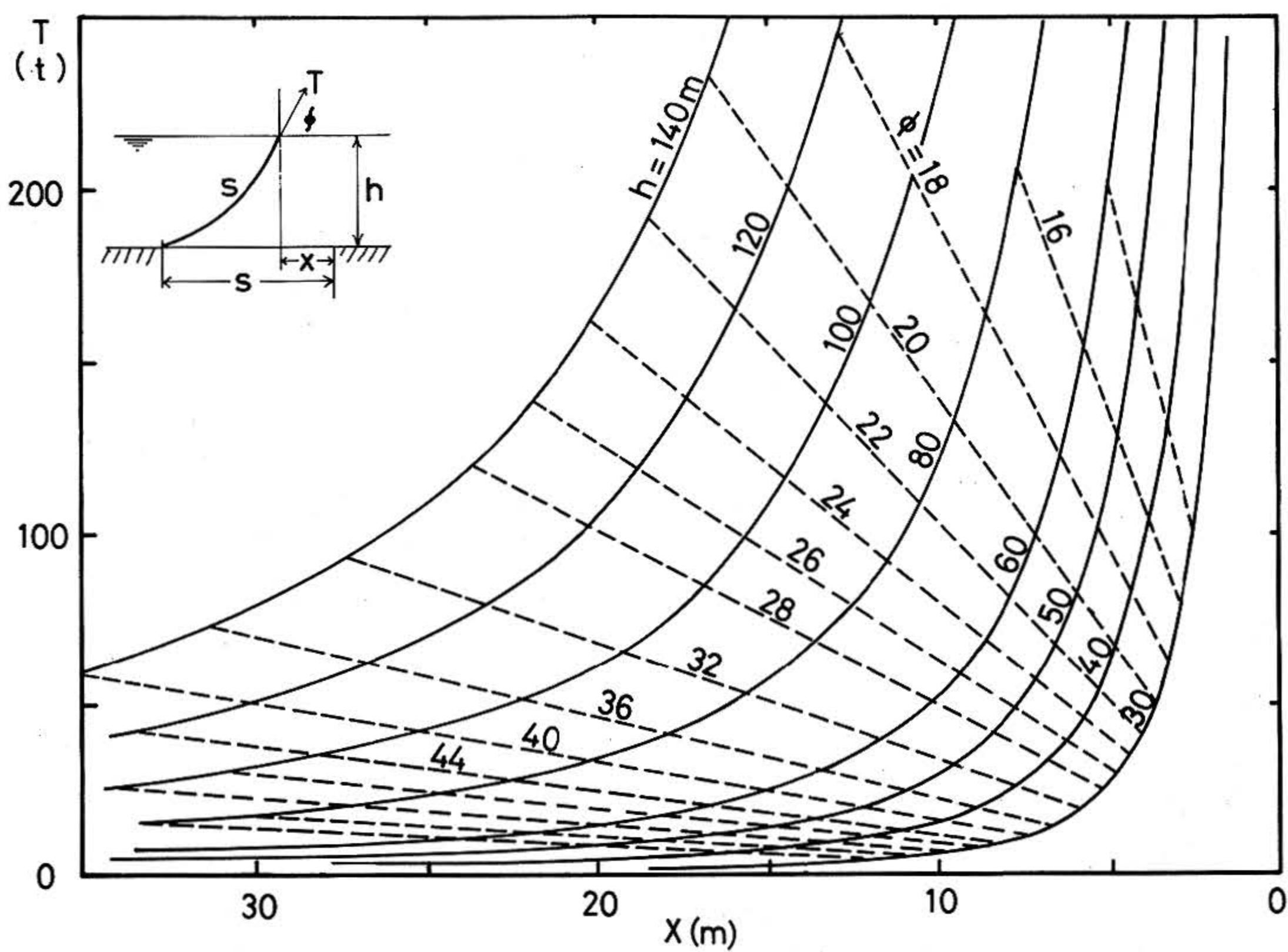


図2 カテナリ係留における h , x , T 及び ϕ の関係
Relations among h , x , T and ϕ for catenary mooring

2.2 カテナリ係留の係留力特性

係留特性は、 w, h, x などによって大きく変化する。 h の変化に対する比較は図1では不便なので次の図を用いる。図2は、一例として、 $w=0.1$ t/mとして、 h が30 mから140 mまでの、 x, T および ϕ の関係を示したものである。

水平変位 (Δx) に対する張力変化 ($\Delta T / \Delta x$) は水深が小さいときは、 x が小さくなってから急激に増大するので破断強度に達するまでの変位の余裕が小さいが、水深が大きいときは、 x の広い範囲の中で緩やかに増大するので変位の余裕は大きい。

x に対する H と V の変化は、図2の T と ϕ から求めることができる。

垂直変位に対する張力変化 ($\Delta T / \Delta x$) は、 $x = \text{一定}$ の場合は図2における曲線の縦軸方向の間隔から求めることができる。垂直変位は、波と潮位によるもので、最大でも ± 10 m 程度であるから張力の変化は一般にはあまり大きくはならない。しかし、水深が浅く張力が大きい範囲ではやや大きくなる。

次に、垂直変位があって水平力が変わらずに x の変位を許す場合については、式(8)、および式(2)を用いて、

$$\Delta T = T_1 - T_2 = (h_1 - h_2) w \quad \text{.....(9)}$$

$$\Delta V = \sqrt{h_1^2 + 2ah_1} - \sqrt{h_2^2 + 2ah_2} \quad \text{.....(10)}$$

から求めることができる。また、 a が一定なので式(8)、および(2)を h で微分して

$$\frac{dT}{dh} = w \quad \text{.....(11)}$$

$$\frac{dV}{dh} = \frac{aw}{\sqrt{h^2 + 2ah}} \quad \text{.....(12)}$$

を用いることもできる。

3. 中間シンカーを有する場合

3.1 計算の方法

中間シンカーがある場合には、シンカーが接地中とシンカーが海底を離れてからの二通りの状態が考えられる。これらに対する座標系を図3(a)、(b)で示す。なお、シンカーまでのチェーンの長さ

L とすると式(2)の S が L よりも小さいときはシンカーの手前でカテナリが接地するのでここでは扱わない。限界の $L = S$ のときは、式(2)の S に L を代入して、

$$a = \frac{h}{2} \left\{ \left(\frac{L}{h} \right)^2 - 1 \right\} \quad \text{.....(13)}$$

が得られる。

シンカーが接地中も離底してからも、いずれもシンカーより下方へカテナリを水平になる点 O_1 まで延長し、 O_1 を原点とする座標系を用い、図3(a)では S_1 と S 、図3(b)では S_0, S_1 および S のカテナリに対する関係式から未知数を求める。

3.2 シンカー接地中

シンカーが接地状態にあるときは、図3(a)の座標を用いて解くと、次のようにおのおのの値を直接計算で求めることができる。²⁾³⁾

$$l = 2a \sinh^{-1} \frac{\sqrt{L^2 - h^2}}{2a} \quad \text{.....(14)}$$

$$x = L - l \quad \text{.....(15)}$$

$$T = aw \cosh \left(\frac{X_m}{a} + \frac{1}{2a} \right) \quad \text{.....(16)}$$

$$T_0 = aw \cosh \left(\frac{X_m}{a} - \frac{1}{2a} \right) \quad \text{.....(17)}$$

$$V = aw \sinh \left(\frac{X_m}{a} + \frac{1}{2a} \right) \quad \text{.....(18)}$$

$$V_0 = aw \sinh \left(\frac{X_m}{a} - \frac{1}{2a} \right) \quad \text{.....(19)}$$

ただし、

$$\frac{X_m}{a} = \frac{X_1 + X}{2a} = \tanh^{-1} \frac{h}{L} \quad \text{.....(20)}$$

である。

水平距離 x と張力の関係を図4に示す。これで分かるように、いずれも T は急に立ち上がるがその位置は L/h で大きく変わり、 L/h が小さいほど x の大きいところで立ち上がる。

シンカーに掛かる垂直力 V_0 がシンカーの水中重量 W を超えるとシンカーは海底から離れる。図4には V_0/wh の曲線を点線で示しているので、シンカーの持ち上がる時の T を求めることができる。シンカーが離底した後は別の計算によらなければならない。

図5は、同じシンカー接地中の H と V の関係を

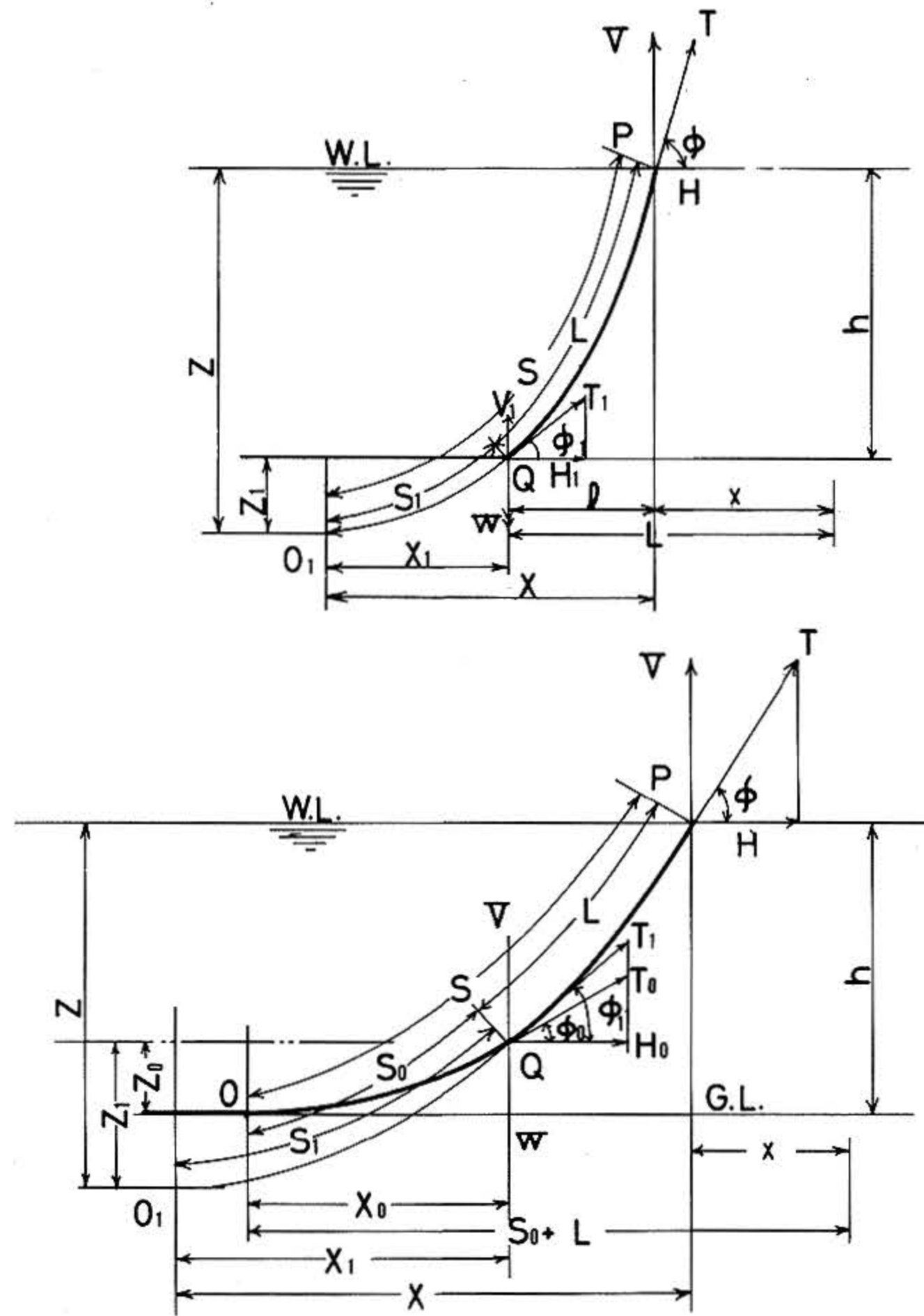


図3 中間シンカーを有する係留の座標系

(a) シンカー接地中 (b) シンカー離底後

Co-ordinates of the mooring system using an intermediate sinker

(a) before the sinker leave the sea bed

(b) after the sinker left the sea bed

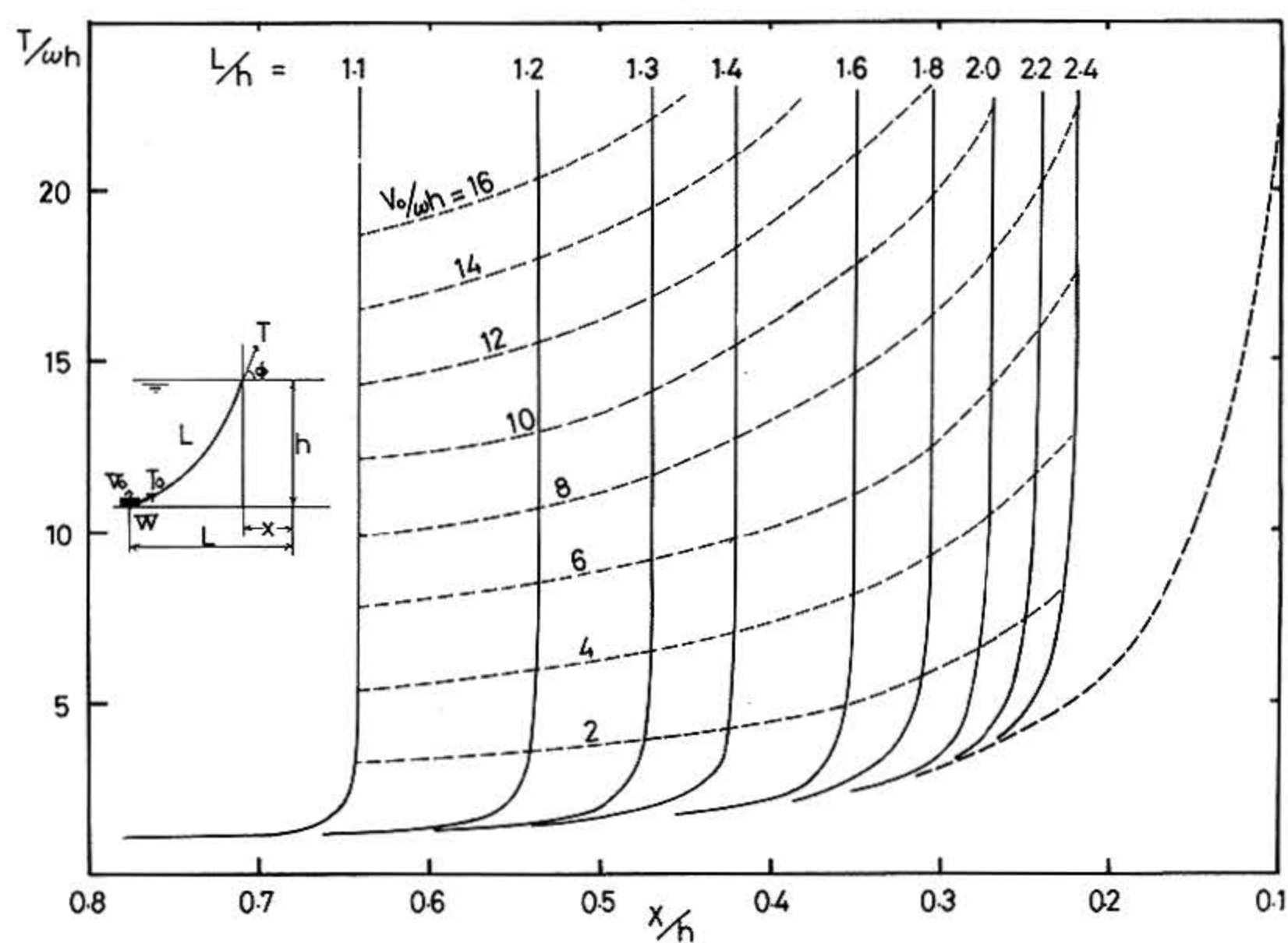


図4 中間シンカー接地中の L , h , x , T 及び V_0 の関係

Relations among L , h , x , T and V_0 during the sinker sit on the sea bed

示したもので、 L/h が小さいときは H よりも V が大きい。 V は、

$$V/wh > W/wh + L/h$$

になるとシンカーは離底し、この図の関係は失われる。

3.3 シンカー離底後

シンカーが海底を離れ、図3(b)の状態になると直接式を解くことができないので収束計算を行う。いろいろな方法があるがここでは、図の S_0, S_1, S の三つのカテナリの諸式から Z_0, Z_1, Z を求め、 a/h を少しずつ増加させて

$$Z_0 + Z - Z_1 = h \quad \dots\dots\dots(21)$$

になるような a/h を決定していく方法で計算した。

図6および図7は、それぞれ、 $L/h = 1.2$ および 1.4 の場合に対して、シンカーの水中重量のいろいろな値に対する x, T および ϕ の関係を示したものである。

x と H, V との関係は、ここでは省略したが T と ϕ によって直ちに求めることができる。 x が小

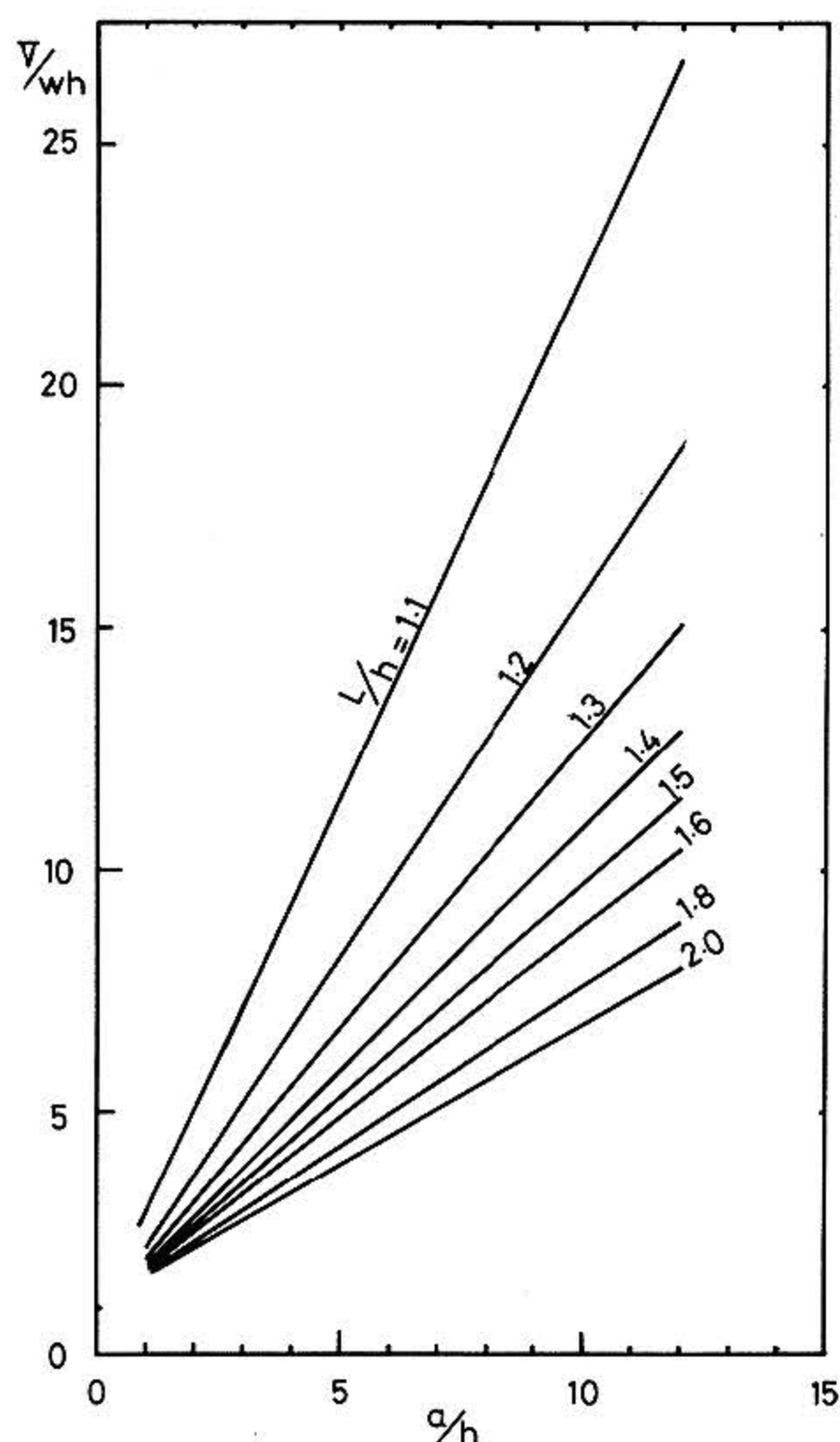


図5 シンカー接地中の H と V の関係
Relations between H & V during the sinker touch the sea bed

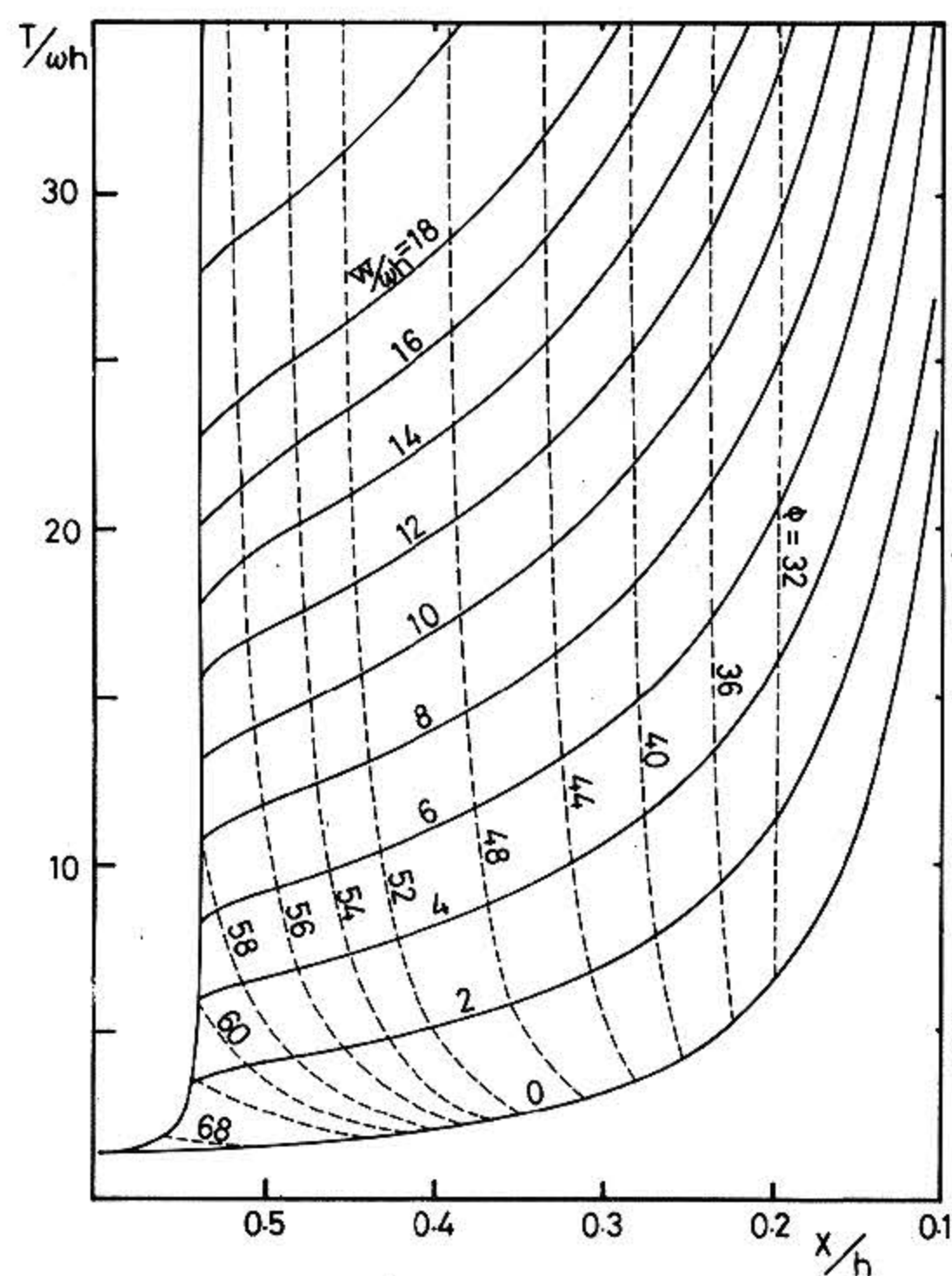


図6 中間シンカー離底後の x, T, ϕ の関係、その1、 $L/h = 1.2$

Relations among x, T and ϕ after the sinker has left the sea bottom when $L/h = 1.2$

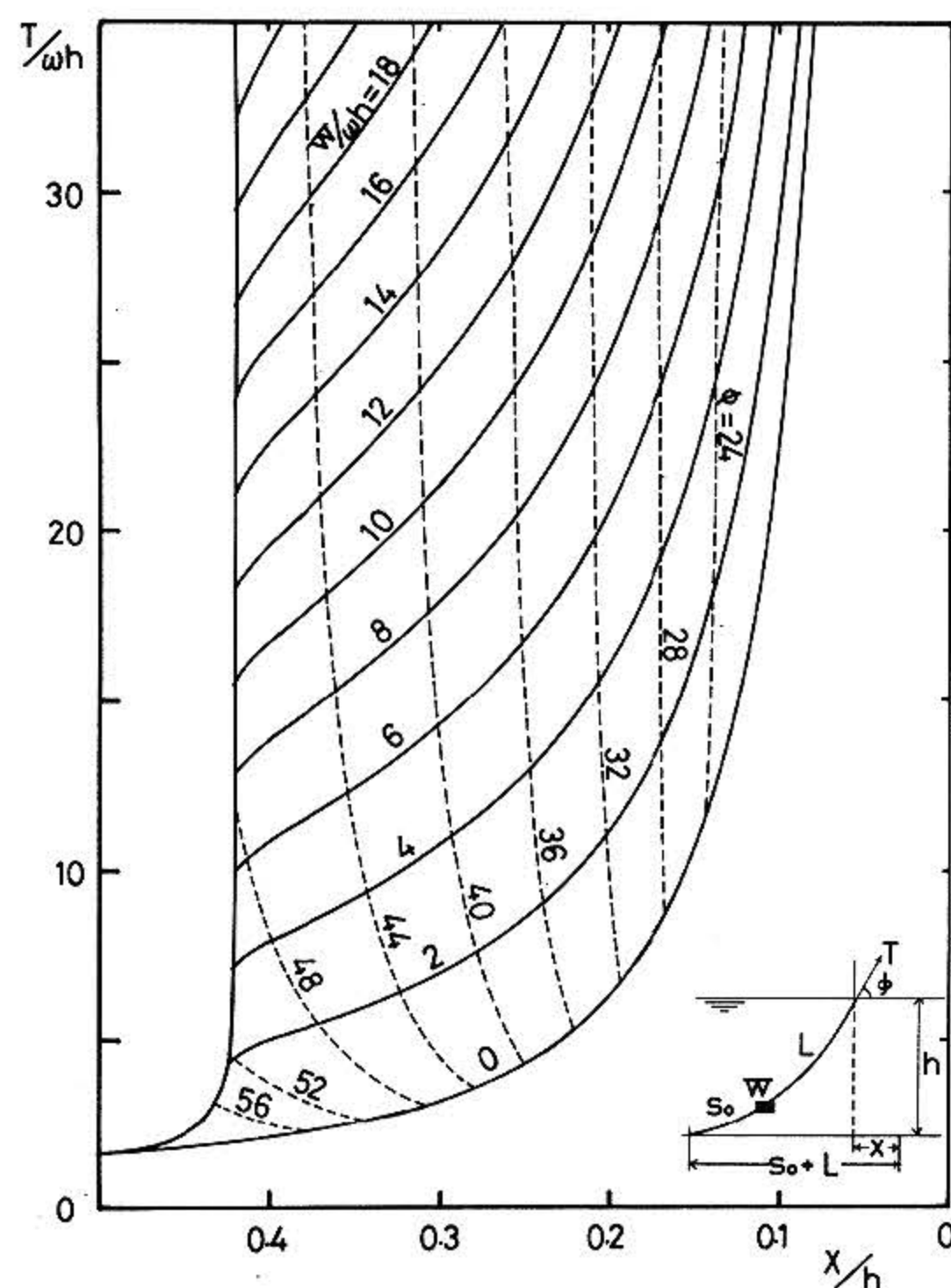


図7 中間シンカー離底後の x, T, ϕ の関係、その2 $L/h = 1.4$

Relations among x, T and ϕ after the sinker has left the sea bottom when $L/h = 1.4$

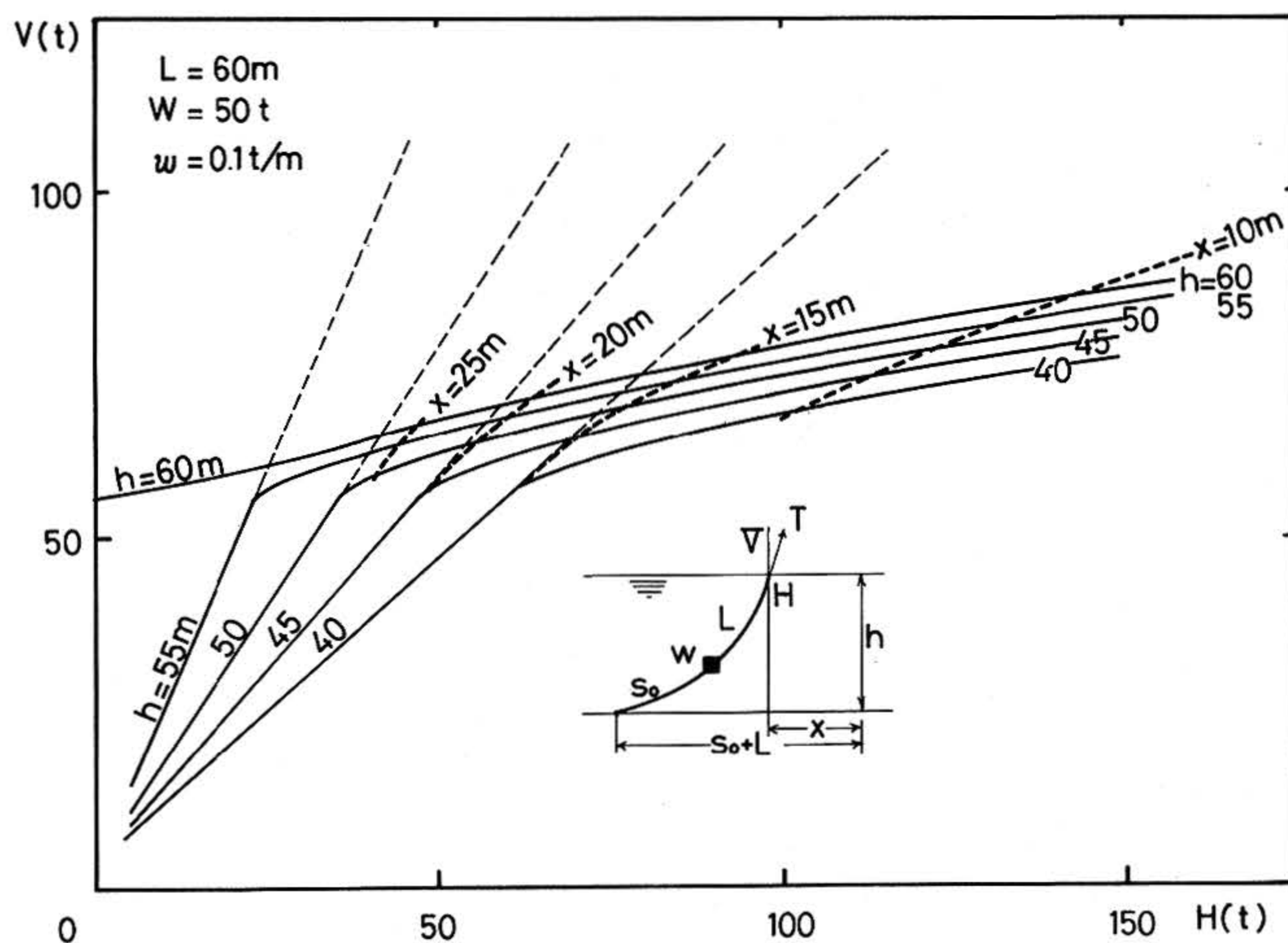


図8 中間シンカーを有する場合の水深変化に対する H と V の関係
その1 $L = 60 \text{ m}$

Relations between H and V for various h when an intermediate sinker is used and $L = 60 \text{ m}$

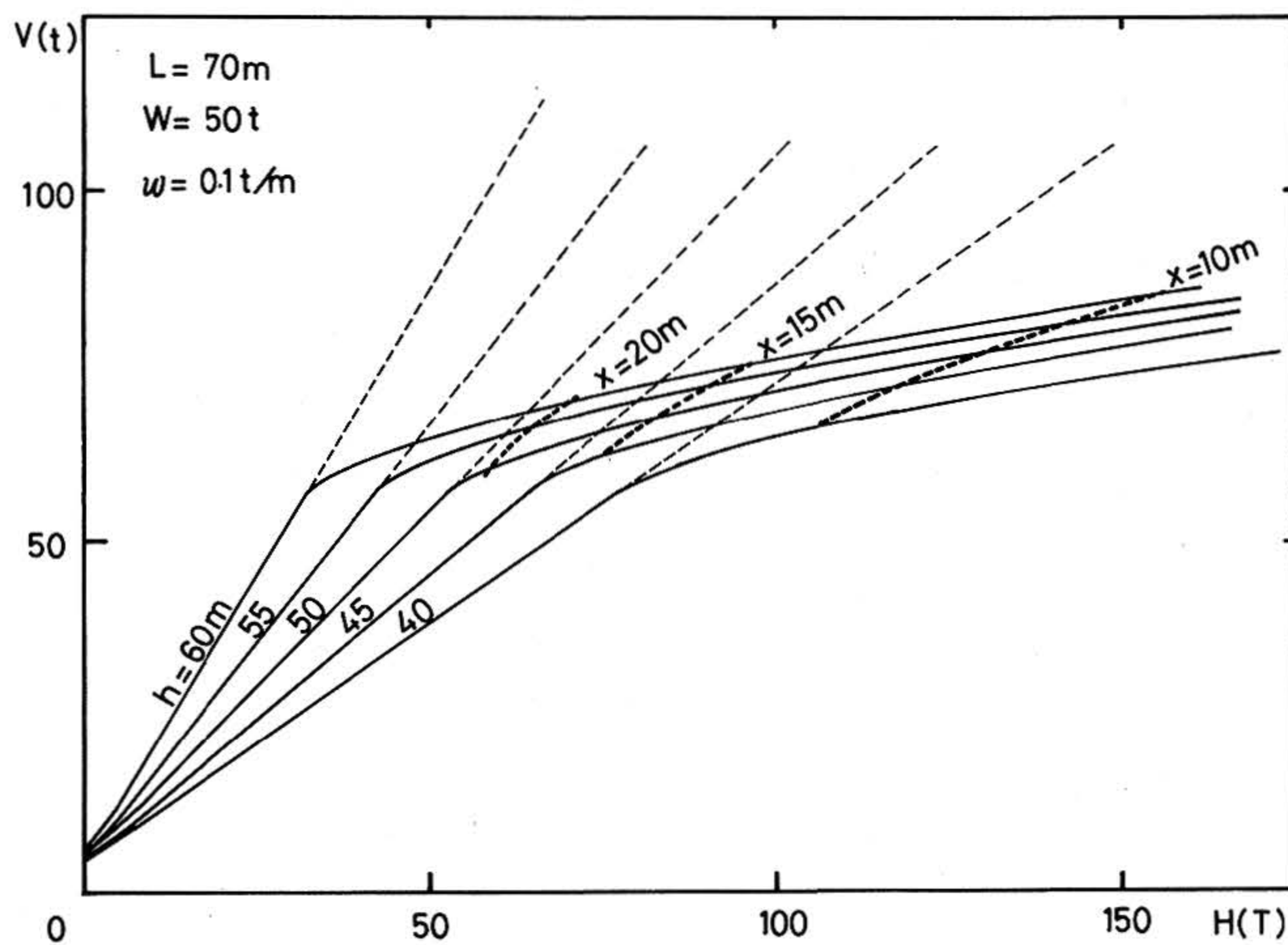


図9 中間シンカーを有する場合の水深変化に対する H と V の関係
その2 $L = 70 \text{ m}$

Relations between H and V for various when an intermediate sinker is used and $L = 70 \text{ m}$

さい領域では ϕ が小さいので H は非常に大きくなるが、 V の増加は小さい。

図で分かるように、 L/h の大きい方が T の増大の度合が大きく、 ϕ も小さいので、水平変位に対する拘束力は大きい。

図6の $L/h = 1.2$ のときは、図7の1.4のときに比べて、 T が小さくてシンカーが持ち上がり、その後の $\Delta T/\Delta x$ が緩やかなので、瞬間的拘束力は小さいが、 x の広い範囲で働くので、水平変位に対する余裕が大きいという点での安全性の面で好ましい。

3.4 垂直変位に対する張力成分の変化

ここでは、水深50mを基準として、 $\pm 5m$ 、 $\pm 10m$ の見掛けの水深変化を生じた場合の H と V の変化を示すこととする。図8、図9は、それぞれシンカーまでのチェーンの長さが60mおよび70mの場合の、各水深に対する H と V の関係を示したものである。

H のある値に対する h の各線の V の値の差が水深変位による V の変化である。シンカー離底に関

係するところを除けば、水深変化による V の変化は少ない。

水深が変わるとき水平変位が変わらないような条件のときには、図8、図9の中で $x = 10m$ 、 $15m \dots$ で示したような $x = \text{一定}$ の線上を移動して H が増減し、 V の増減も前の H が一定のときより若干大きくなる。

4. 中間シンカーと中間ウェイトを併用する場合

4.1 計算の方法

シンカーとウェイトの水中重量をそれぞれ W_1 および W_2 とし、シンカーとウェイトの間およびウェイトから上端までのチェーンの長さをそれぞれ L_1 、 L_2 とし、チェーンの単位長さあたり水中重量を w とする。

これらの量の組み合わせによって選択の範囲は非常に広いが、ここでは、 $L_2/h = 0.8$ 、 $(W_1 + W_2)/wh = 10$ 、と押さえて、 L_1/h は0.4と0.6の2種とし、それぞれ W_1/wh を10、8、6、

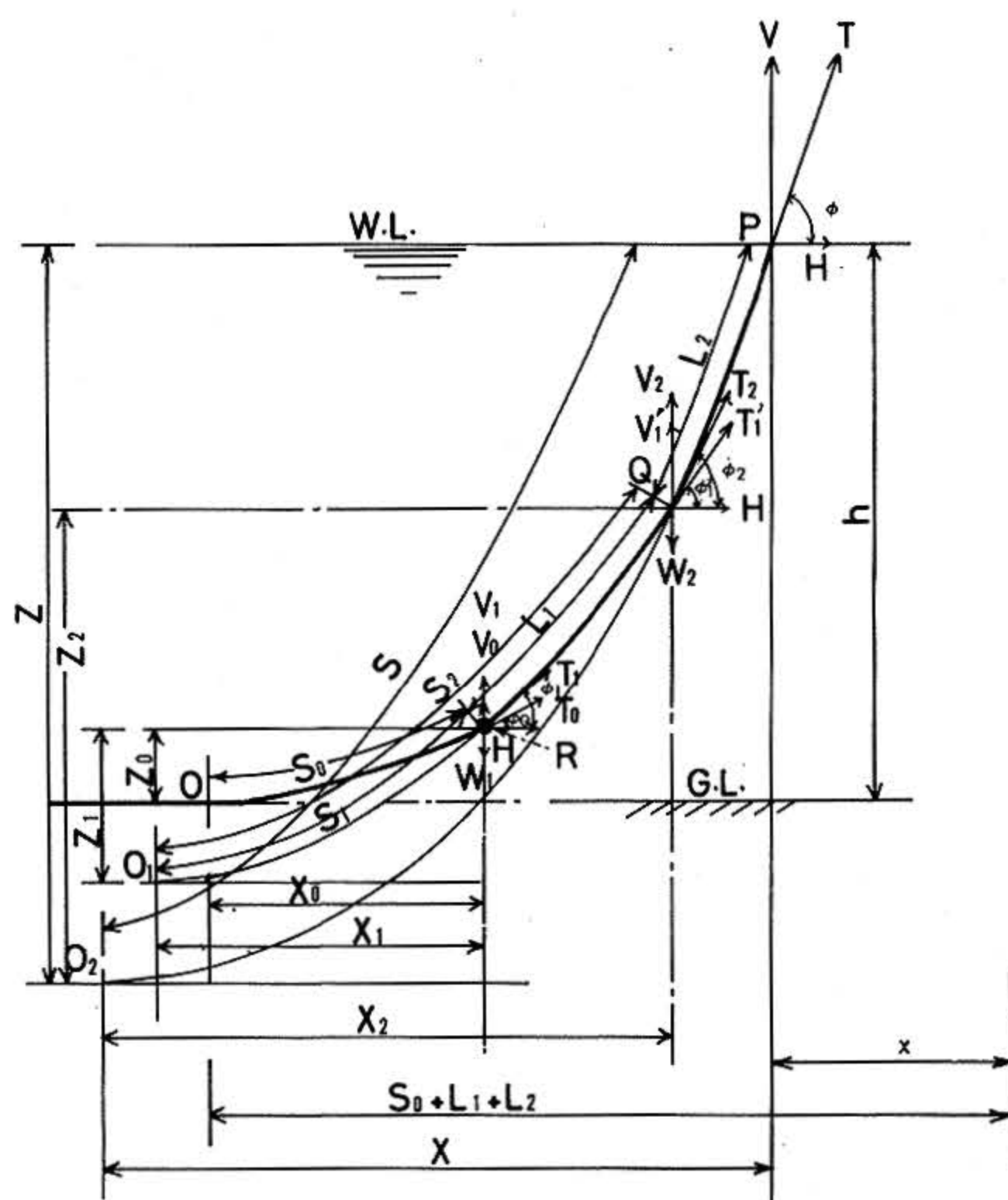


図10 中間シンカー、中間ウェイト併用の場合の座標系
Co-ordinates of the mooring system using both an intermediate sinker and a weight.

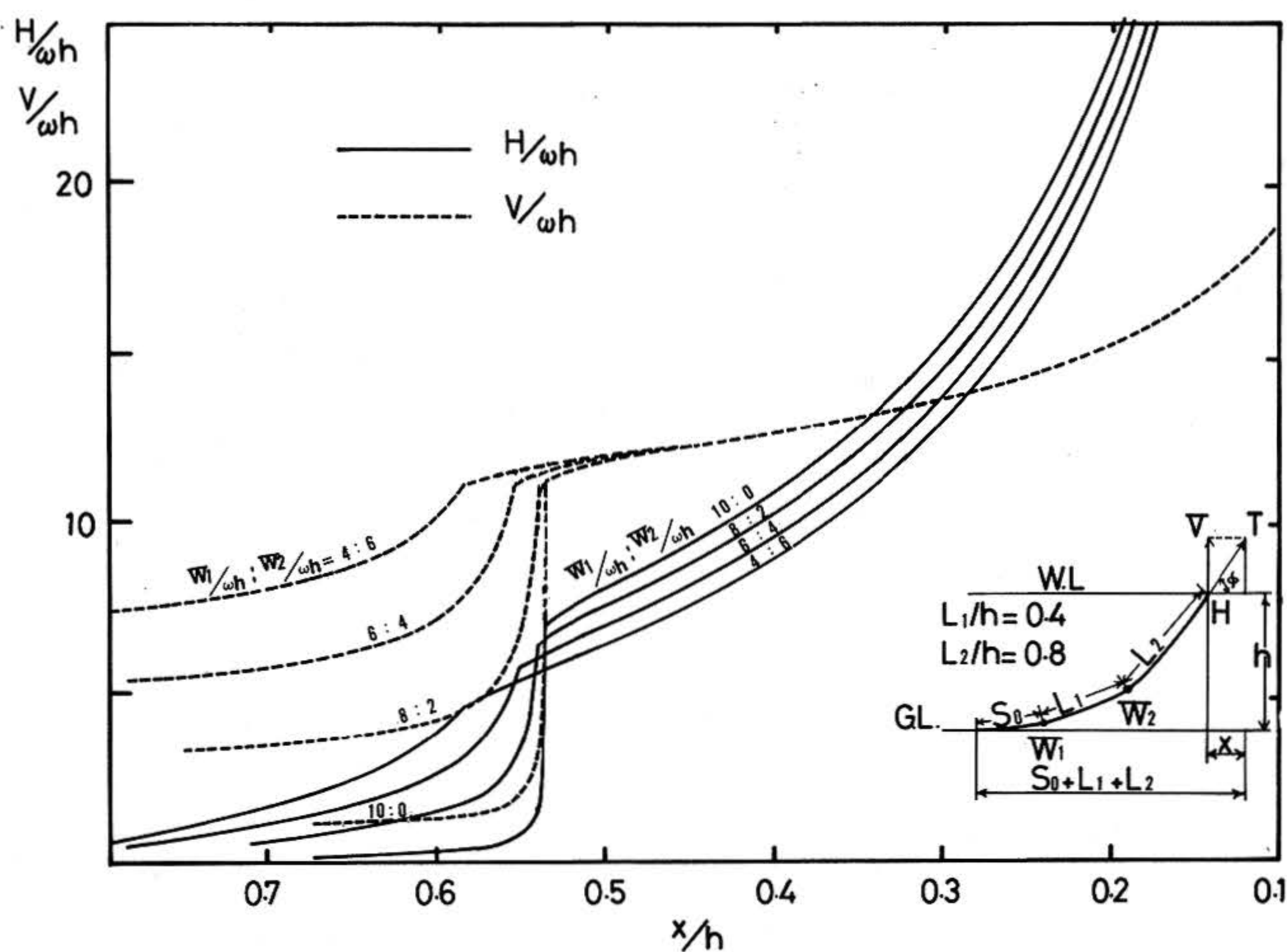


図 11 中間シンカーと中間ウェイトの重量比による X と H 及び V との関係
その 1 ($L_1/h=0.4$ $L_2/h=0.8$)

Relations between X and H or V , for various weight ratio of
the sinker and weight No. 1

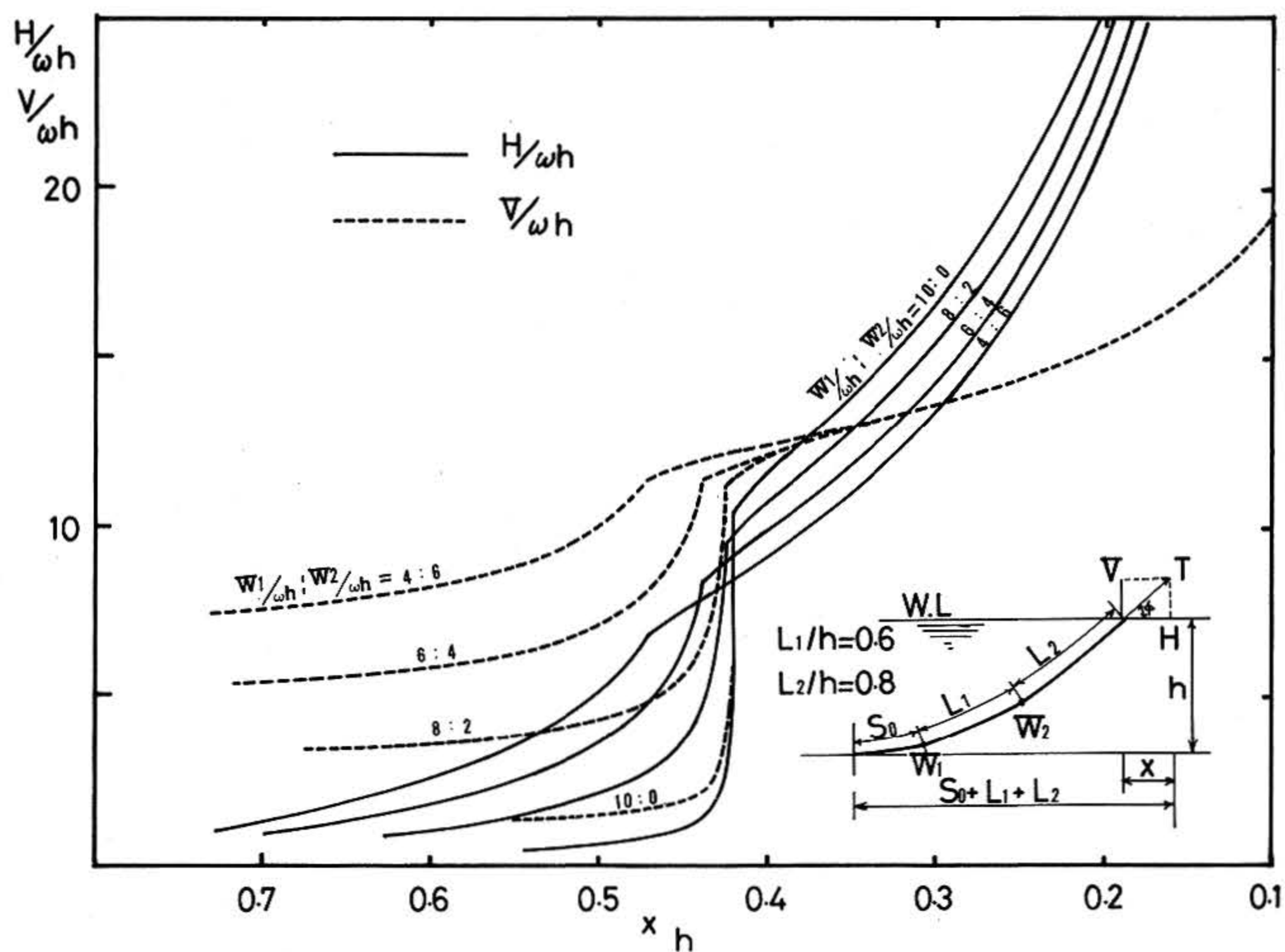


図 12 中間シンカーと中間ウェイトの重量比による X と H 及び V との関係
その 2 ($L_1/h=0.6$ $L_2/h=0.8$)

Relations between X and H & V for various weight ratio of
the sinker and weight, No. 2

4 (したがって W_2/wh は 0, 2, 4, 6) に変えて, x に対する H および V の関係を比較することとした。

計算の方法は, シンカーが着底中と離底後に分け, 図3の(a), (b)それぞれにさらに1段のカテナリのステップを加えて式をたて, 式(21)の場合と同じ方法で収束計算を行った(図10)。この計算プログラムを文末の表1に示す。このプログラムでは初めに, W_1/wh , W_2/wh , L_1/h , L_2/h , 計算すべきシンカーの最低高さ a と刻み, a/h の最小値と刻みを与えることになっている。

4.2 水深一定の場合の x と H 、 V との関係

図11, 図12は, それぞれ, $L_1/h = 0.4$ および 0.6 (L_2/h はいずれも 0.8) の場合について, いずれも $W_1/wh = 10, 8, 6, 4$ (W_2/wh はそれぞれ 0, 2, 4, 6) に対する x と H および V との関係を示したものである。

$W_1/wh = 10$ ($W_2/wh = 0$) の場合は, 前に述べたシンカーのみの場合であるが, W_1/wh の重量を W_2/wh に移していくと, x に対する H は減じるが V はあるところから一致する。また, H および V 共に, シンカーが離底するまでの急激な変化が減じて緩やかな曲線になる。

4.3 水深の変化に対する H 、 V および x の関係

図13は, シンカーのみの場合の図8に相当するもので, 水深50mを中心に水深が変化するときの H と V の関係を示し, 併せて x も示している。この計算は, $W_1 = 30\text{ t}$, $W_2 = 20\text{ t}$, $L_1 = 40\text{ m}$, $L_2 = 60\text{ m}$ としているので, $W_1 + W_2$, $L_1 + L_2$ は, 図8の場合の W , L に等しくなる。

図13は, 図8と比較すると, H が小さいときにウェイトの重量が掛かるかは顕著な差はないが, x を固定する場合の H (および V) の値は若干小さくなっている。

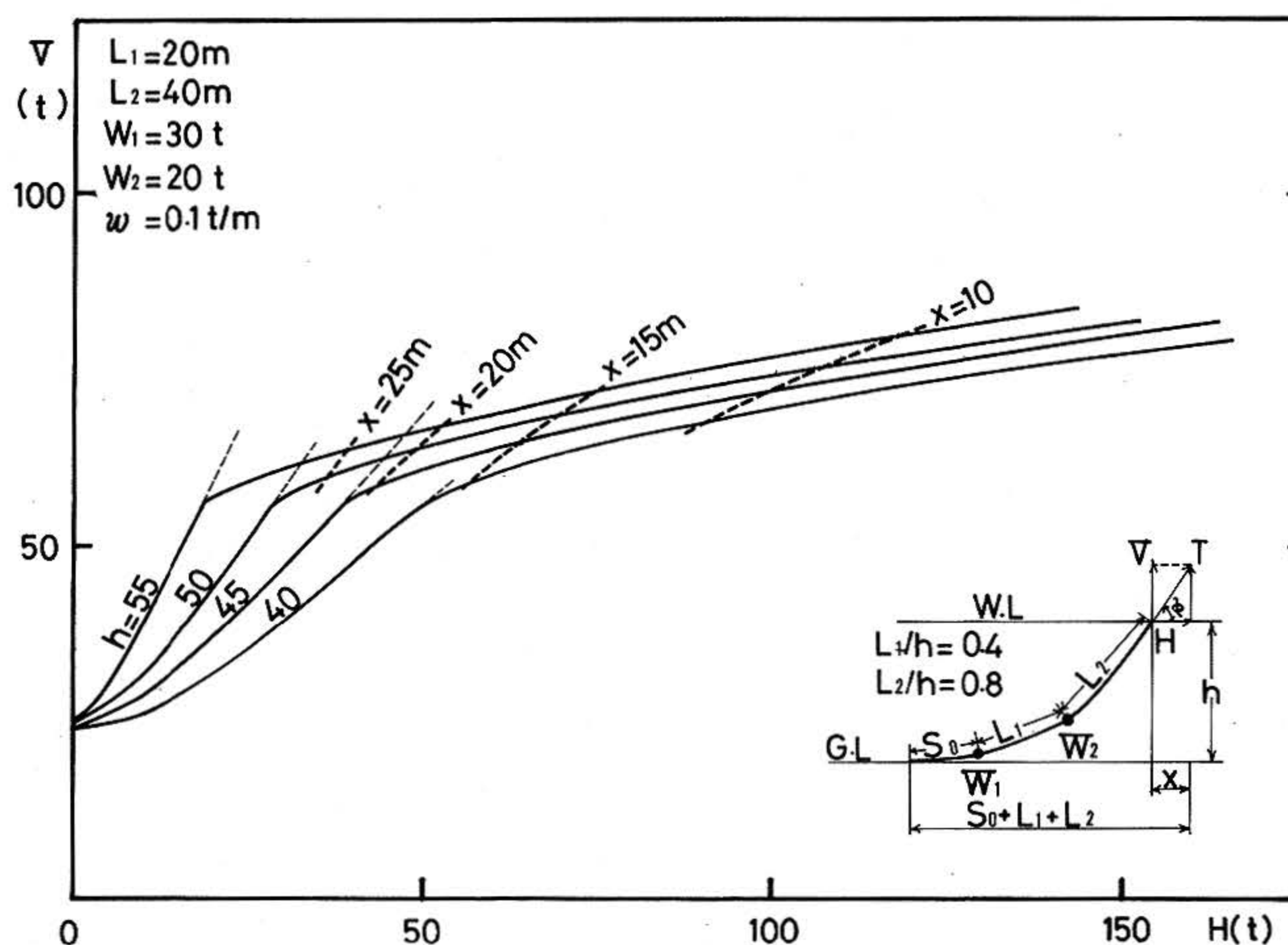


図13 中間シンカーと中間ウェイトを有する場合の水深変化に対する H と V の関係

Relations between H and V for various h , when both the sinker and the weight are used.

5. 考 察

5.1 係留と浮体の運動

浮体は、潮流、風、波などの定常外力によって定常変位をしたのち波の変動外力によって往復運動するが、変位と運動は常に外力と係留力がバランスするように行われる。

浮体に対する外力は、潮流、風、波などの大きさによるほか、構造物全体あるいは浮力室などの大きさ、形状などによっても左右される。浮消波提は、消波機構によって差はあるが、一般には大きな波強制力を受ける。

係留は運動に対しては、変位に対応する復原力として働き、運動方程式を解く場合には係留系のばね常数として扱われるが、ばね常数が複雑に変化することは、これまでの図によって明らかである。

係留系は、ばね常数の異なるいくつかのばねの組み合わせで近似できるが、ばね常数ばかりでなく、ばねの長さが問題となる。ばね常数の小さいばねが長いときは、僅かの外力、たとえば定常外力の範囲だけで、ばねは伸びきってしまうことになり、それ以上の外力に対してはばねとして働かず、次の強いばねに任せる形になる。強いばねも短かければ、大きい変位に耐えきれず破断に至る。

水深が浅い場合、あるいはチェーンが軽い場合はこの状態になりやすいので、特に、中間シンカーやウェイトを付加して、ばね常数が大きくなかつ長いばねにする必要がある。

5.2 中間シンカーの重量とチェーンの長さ

中間シンカーの水中重量と、シンカーまでのチェーンの長さは、図2, 3および4などで分かるように、ばね常数とばねの長さを決定する要素である。ある程度強いばねを対象にして、ばねの長さを大にするにはチェーンの長さ L を小さくしなければならない。 L を大きくすれば、ばね常数は大きくなるがばねの長さは減少する。

シンカーの水中重量を増すことは、ばねがばねとして働き始める初張力を大きくするとともにばね常数を大きくする効果があるが、ばねに初張力が掛かるとき衝撃的な力⁸⁾となるので留意する必要がある。

シンカーにウェイトを加えると衝撃力は緩和で

きる。

5.3 変位と張力のいろいろな組み合わせについて

水平変位と水平力の関係が最も重要であることは当然で、一般には係留の検討にはこの関係のみを扱うことが多い。

張力の垂直成分は、いかなる場合も、離底しているチェーン、シンカーおよびウェイトの水中重量および着底中のシンカーに対する上向きの張力（この上向きの張力成分がシンカーの水中重量を超えればシンカーは離底する）の和であるから、水平外力がゼロのときにも存在する代わりに、水平外力が著しく増大しても垂直力の増加は小さい。ただし、水深が大きくなると垂直力が増大して問題となり、また、このような大水深ではチェーンの動的強度が重要な課題になる。

潮汐または波による見掛けの水深の変化に基づく水平力または垂直力は、それほど大きくはないが、水平位置を固定して水深が増すときは、強い初期張力の掛かっている場合には、水平力の増加が著しくなり、垂直力も水平力を一定とした場合よりも大きく変化する。

垂直力およびその変化の度合いは、水平力に比べて一般に小さいが、浮体の予備浮力が小さいときは、沈没または復原力の減少などを来すことになるのでなおざりにはできない。

5.4 初期張力

主として問題になるのは初期水平張力であるので、ここでは初期水平張力を初期張力と称する。初期張力は外力がゼロのとき一對の係留系が互いに引きあっている力である。浮消波提の場合、外力によって岸側に変位するに伴って、沖側の水平力が増大するのに対して、岸側の係留系は弛緩して水平力は低下する。厳密には、両係留系の水平力の差が外力に見合うことになるが、弛緩側の水平力は小さいので省いて検討されることが多い。

初期張力の意義は、張力そのものにあるのではなく、前述した係留系のばね常数とばね長さを決定する重要な役目を果たしている点にある。たとえば、比較的浅い水深の場合のカテナリ係留のとき、水平力ゼロのとき $x/h = 1$ であるのに対して $x/h = 0.2$ になっても水平力はいくらか発生していない。水深50mの場合は小さい外力で40mぐら

簡単に漂流してしまうことになり、岸側のチェーンは折り重なって絡みの原因になる。初期張力を与えることは弱いばねの長さを短くし、初張力およびばね定数の大きいばねを用いて変位を小さくしようとするものである。

中間シンカーやウェイトを有するときは、係留系にいろいろなばね特性を与えることができるが、これらも初期張力の与えかたによって大きな相異を生ずる。

5.5 中間シンカーおよびウェイトの効用

中間シンカーおよび中間ウェイトの主な効用としては次の四つの点が挙げられる。

(1) 係留系のばね定数を適当な大きさの部分長くすることができ、大きい外力を吸収する。

浅水深の場合のカテナリ係留に代表されるような、長い弱いばねと短く強いばねの組み合わせでは、外力が大きいときは変位の余裕がなく衝撃的な力も加わるが、中間シンカーを用いるときは、変位の余裕をもたせ衝撃的な力を小さくすることができる。

中間シンカーが重いときは、シンカーが離底する直前には若干の衝撃力も掛かり、疲労や摩耗が懸念されることもありうるが、シンカーの重量の一部を中間ウェイトに振り向ければ、ばね定数をあまり変えないで衝撃を緩和することができる。中間シンカーとウェイトとを合わせて長い可撓のベルト状にした構造が海中直立塔の支索で実用化された⁷⁾が、衝撃力に対して非常に好ましい方法であろう。

(2) 運動の抑制力として利用しやすい

シンカーが離底する直前は水平変位、垂直変位共にほとんどゼロに近く、離底した後はある程度大きいばね定数を与えることができるので運動の制御に利用できることはいうまでもない。

浮消波提は、幾つかのユニットをできるだけ近接して並べることが一般に要求されるから、特に斜め波に対する変位は重要な検討課題であり、斜め波を受ける可能性のあるときは中間シンカーはほとんど不可欠といってよい。浮消波提の長さの方向に係留系を設けるときは、列の両端の係留系の展張には問題ないが、中間においては係留系が互いに交錯して危険を伴うのでユニット相互

をチェーン等で連結することも有力な方法である。この場合はある程度チェーンの長さが必要であり、中間にウェイトを吊り下げることによって、ばね定数を大きくする必要があることは、浅水深の場合と類似する。

(3) 多数係留系の張力の平均化に有効である。

大型浮消波提の場合など、片側に3本以上の係留系を設ける必要が生じるが、これらの係留系に平等に力を負担させることは至難である。

浅水深のカテナリ係留を例にとると、一つの係留ライン張力が破断強度に近付いても、アンカー敷設のアラインメントが正確でないと、隣接のチェーンはごく僅かの張力しか受け持っていない場合があり得る。

これに対して、中間シンカーを有するときは、一つのラインが最も大きい力を負担することになっても、他のラインも変位の広い範囲で大きなばね定数を発揮するので、必ず相当の量の外力を分担することになる。すなわち、多列係留の安全性向上に大きく寄与する。

(4) チェーンと海底との接触を減らし、疲労摩耗の防止に役立つ。

カテナリ係留におけるチェーンの接地長さは一波ごとに変動し、衝撃も含まれ、また、その間に横方向の引きずりもありうる。中間シンカーを設け、初期張力を適当に与えれば、通常の波の状態ではシンカーから上のチェーンは海底と接触することがなく、シンカーからアンカーまではほとんど静止したままであるから、チェーンの摩耗がなく、また、海底に衝撃的にたたくこともないので疲労防止にも有効である。

表1 中間シンカーと中間ウェイトとを含む係留系の計算プログラム

A culculation programme for a mooring system with both
an intermediate sinker and a weight

```

10 LPRINT "***** SK&WT1 ***** JAMSTECTR15 1985 *****"
11 LPRINT "*****"
20 LPRINT
30 PRINT "W1/wh"
40 INPUT W1WH
50 PRINT "W2/wh"
60 INPUT W2WH
70 PRINT "L1/h"
80 INPUT L1H
90 PRINT "L2/h"
100 INPUT L2H
110 PRINT "Idh"
120 INPUT IDH
130 PRINT "ddh"
140 INPUT DDH
150 PRINT "iah"
160 INPUT IAH
170 LPRINT " ***** W1/wh=";W1WH; " W2/wh=";W2WH; " L1/h=";L1H; " L2/h=";L2H; "
    id/h=";IDH; " dd/h=";DDH; "*****"
180 LPRINT
190 LPRINT "      d/h      a/h      phi      l/h      T/wh      U/wh      U1/wh      dep
    "
200 LPRINT "-----"
210 FOR B=0 TO 25
220 DH=IDH+DDH*B
230 AH=IAH
240 DA=DH/AH
250 J=DA+1
260 X0H=AH*LOG(J+SQR(J^2-1))
270 S0A=.5*(EXP(X0H/AH)-EXP(-X0H/AH))
280 U0WH=S0A*AH
290 Z0H=AH*(.5*(EXP(X0H/AH)+EXP(-X0H/AH))-1)
300 S0H=S0A*AH
310 U1WH=S0A*AH+W1WH
320 T1WH=SQR(AH^2+U1WH^2)
330 Z1H=T1WH-AH
340 K=Z1H/AH+1
350 X1H=AH*LOG(K+SQR(K^2-1))
360 S1H=SQR(Z1H^2+2*Z1H*AH)
370 U1UWH=S1H+L1H
380 T1UWH=SQR(AH^2+U1UWH^2)
390 Z1UH=T1UWH-AH
400 K1U=Z1UH/AH+1
410 X1UH=AH*LOG(K1U+SQR(K1U^2-1))
420 S1UH=S1H+L1H
430 U2WH=U1UWH+W2WH
440 T2WH=SQR(AH^2+U2WH^2)
450 Z2H=T2WH-AH
460 X2H=AH*LOG(Z2H/AH+1+SQR((Z2H/AH+1)^2-1))
470 S2H=AH*.5*(EXP(X2H/AH)-EXP(-X2H/AH))
480 UWH=U2WH+L2H
490 TWH=SQR(AH^2+UWH^2)
500 ZH=TWH-AH
510 PHI=ATN(UWH/AH)*180/3.1416
520 XH=AH*LOG(ZH/AH+1+SQR((ZH/AH+1)^2-1))
530 SH=AH*.5*(EXP(XH/AH)-EXP(-XH/AH))
540 LLH=S0H+L1H+L2H-X0H-X1UH+X1H-XH+X2H
550 DEP=ZH-Z2H+Z1UH-Z1H+DH-1
560 IF DEP>.0005 THEN AH=AH+.02 :GOTO 240
570 LPRINT USING "#####.##";DH;
580 LPRINT USING "#####.##";AH;
590 LPRINT USING "#####.###";PHI;
600 LPRINT USING "#####.#####";LLH;
610 LPRINT USING "#####.#####";TWH;
620 LPRINT USING "#####.###";UWH;
630 LPRINT USING "#####.###";U1WH;
640 LPRINT USING "#####.#####";DEP
650 NEXT B
660 LPRINT
670 LPRINT
680 LPRINT
690 GOTO 30
700 END

```

6. おわりに

この研究は、科学技術庁の科学技術振興調整費による「海洋構造物による海洋空間等の有効利用に関する研究」の一環として行われた「浮遊式波浪制御構造物の技術的可能性に関する研究」の過程における研究の成果に基づいてまとめたものである。

本稿作成に当たって、海洋開発研究部の堀田平氏に種々助言を賜わり、計算と図表作成についてはそれぞれ、吹田憲治氏(東海大学卒業研究生)と高橋紀子さんに多大の援助を得たことについて厚く謝意を表する。

文 献

- 1) 小山健夫ほか, “船体と海洋構造物の運動学”, 成山堂 (1982)
- 2) 安藤定雄, “係留索・鎖, アンカー, シンカー等について”, 日本造船学会第2回海洋工

学シンポジウムテキスト (1976, 73 - 93)

- 3) 井上義行, 1976, “任意係留ラインの静的特性計算”, 石川島播磨技報, 16 (5) 552 - 558
- 4) 鐘ヶ江官朗ほか, 1978, “各種係留ラインの特性計算について”, 日本造船学会誌 (594) 30 - 36
- 5) Korkut, M. D., Hebert, E. J. “Some Notes on Static Anchor Chain Curve”, Proc. OTC '70, Houston, 1970 - 4 OTC 1160 I • 147-160
- 6) 海洋科学技術センター, “浮消波堤に関する調査研究報告書”, (1981)
- 7) Glasscock, M. S., Turner, J. W. “Design of the Lena Guyed Tower”, Proc. OTC'84, Houston, 1984 - 5 OTC 4650 I • 19 - 28
- 8) 中嶋俊夫ほか “特殊係留ラインの動的特性について”, 日本造船学会第5回海洋工学シンポジウムテキスト, (1981) 111 - 143

(原稿受理: 1985年4月1日)