

台灣拖網漁具的力學研究

李 燦 然

一、前 言

台灣省位於我國東南，縱跨我國東海與南海之間，西接台灣海峽與福建省僅一水之隔，南為巴士海峽，並與呂宋島相望，東臨太平洋，東北可與琉球群島相呼應，四面環海，海岸線長達 1,600 餘公里，大小島嶼 70 餘處。東部岸峻水深，靠近黑潮的主流，為南北洄游魚類必經之路；西部大陸棚緩和而平坦，底棲生物豐富，利於魚類棲息與繁殖，具有發展漁業的優良條件。

本省陸地面積有限，共計 35,967 平方公里，其中有五分之三屬於山地，僅五分之一為平原或丘陵地，並且人口增加率高，若僅從事於陸地發展，勢必受此天然形勢的限制，惟有開發海洋，才能爭取用之不竭的公共資源，而由於民間與政府的密切地合作，促成了本省漁業不斷地發展。

在 1968 年，台灣的漁業總產量為 530,000 公噸，其中拖網漁業的產量為 230,000 公噸以上，佔總產量的百分之 45，如下表

漁 業 種 類	魚產量 (公噸)	佔總產量的百分率
拖 網 漁 業	230,000	45.1
延 繩 釣 漁 業	150,000	28.3
敷 網 漁 業	30,000	5.7
圍 網 漁 業	27,000	5.1
刺 網 漁 業	15,000	2.8
定 置 網 漁 業	3,000	0.6
雜 漁 業	5,000	0.9
其 他	61,000	11.5

事實證明，拖網漁業的產量超過其他漁業的產量甚多，並且必須強調的是，拖網漁法為台灣漁業中最普遍而且最重要的一種，該漁法包括單船拖網，雙船拖網及蝦曳網等三種，後者的作業方法為利用小型漁船配置蝦曳網，在沿岸淺海域作業，此種曳網的形狀，如一圓錐形袋網，具有寬大的網口，而且在作業時利用桁竹及鉛沉子使網口張開，與拖網漁具不同，因為拖網漁具是以網板使網口展開。

雖然拖網漁具是決定漁業發展的重要因素之一，但是本省對於拖網漁具的改進工作，由於以往一直在使用試誤的方法來摸索，所以進展甚緩；另一方面，因為拖網漁具在作業中的實際情況無法作實地調查，尤其對於拖網漁具力學原理的瞭解更顯得困難。

通常在漁具的發展過程中，均以捕獲魚類的網身為主體，直接改進，此點由本省目前的漁獲情況可以證明，因為本省的魚產量仍然維持在同一水準，但是漁船噸數及其引擎馬力却不斷地增加，作業成本也不斷地提高，此種浪費的情形完全是由於拖網漁具製作過程中僅憑漁民的日常經驗，而沒有依據其水中力學的原理所致。

因此，今天除了傳統式的試誤方法之外，我們需要應用科學原理來發展有效的漁具，這些科學方法包括對於漁具力學的適當測定與研究，及對於魚類生態的完全理解等。另外還需要對於目前漁具型式作業方法有充分的把握才能作合理的改進工作，並以科學方法的研究結果尋求新型漁具。

迄今，有許多外國專家及研究人員正從事於這種研究與改進的工作，尤其在日本^{1.1~1.10)}及其他國家^{1.11~1.13)}利用各種試驗方法針對網具各部份作其水力學性質的分析研究。這些試驗方法涉及實際網具

在水中的幾何形狀及其所受張力，與運用模型在水槽實驗等，依這些方法，可更深一層的瞭解漁具的力學原理及其在水中所形成動態的全貌。

雖然水中照相方法也能提供關於漁具改進的參考，但却無法完全符合我們的需要，而漁民的初步調查資料也不敷應用，因為我們所要決定的，必須在設計拖網漁具時作為根據的精確原則，而設計拖網漁具為一種非常複雜的工作，其間牽涉到一連串的變化因素，所以在開始時必須對拖網漁具的構成在基礎上作一徹底的檢視，此處必須強調這種工作的目的在於對魚類作有效的捕獲，即以最少的船隻、設備、人力及捕撈的成本而獲得一定的魚產量，當然，究竟必須捕獲多少魚的問題，端視需求律，資源的最佳利用情況及其他許多重要關係因素而定，而各種設備應用在漁具構造上，必須儘早瞭解其力學原理，然後才能運用到實際作業上，否則往往只有徒勞而已。

基於漁業界對此等問題瞭解的迫切需求，筆者曾經研究主漁具及副屬漁具的基本力學原理，冀求能從這些基礎理論求得某些簡便方法而創造更理想、耐用，而價錢便宜及更有效的拖網漁具，以配合作業船隻的需要。此項研究係由聞名世界的漁具力學專家，日本京都大學教授，川上太左英博士所指導而完成。

本報告，筆者利用一系列模型網具及實際漁具作實驗而證實拖網漁具在水力作用下之狀況，本文分七節，在第二節，說明臺灣拖網漁具的規格及其設計，第三節，關於拖網漁具的力學性質實驗，第四節，包括V型網板力學特性的研究，第五節為曳網水中的幾何形狀及其力學性能研究，第六節敘述臺灣蝦曳網具的海上試驗，第七節，解析臺灣蝦曳網具的力學性能。

謝 辭

本篇報告，仰賴京都大學水產物理學研究室教授川上太左英博士的懇切指導及校閱得以順利的完成，謹致最深謝意。

另對於提供實驗技術及協助海上實驗的京都大學松田敏博士及東海區水產研究所野村正恒博士與提供本報告改進意見的京都大學教授岩井保博士及日本大學教授宮本秀明博士等在此亦深致謝忱。

最後筆者對本所所長鄧火土博士及農復會漁業組組長陳同白先生的抬愛，及不斷地督導與鼓勵將永誌感激。

二、台灣省拖網漁具的規格及其設計

拖網漁具的構造，由於地域的不同而呈顯差異，考其原因，係作業中所使用的拖網漁具無法尋求一確定的標準形狀，圖 2.1 表示台灣所使用的拖網漁具配置，其實，拖網漁具通常包括天井網、上、下袖網、腹網、背網、胴網及囊網、浮子網、沉子網、曳網及手網，並配合副屬漁具之網板，引揚網，囊尾索及浮子等^(2-1~5-6)。而網具的下袖網較上袖網長，因上袖網連接天井網可補償其不足的長度，天井網的緣網繫浮子網，其兩側為上袖網，而腹網的緣網繫添網然後配於沉子網並保持適當的縮結。

拖網漁具大小的決定方法有兩種，而台灣採取較方便的方法，即以浮子網的長度為標準，另網具的編製未使用由網片的剪裁方法，仍用手編為主，其網目的大小及網目數隨編至囊網部位而遞減。

V 型網板：V 型網板在十年以前就取代了平面木製網板，其優點為構造堅牢，投、揚網作業中不絞纏，及價錢低廉。V 型網板的製造均依照使用漁船的馬力，型態大小及使用網具展開度等因素而決定其適當的規格及重量，通常 V 型網板使用 3/16 吋厚的鋼板製成，其長度 7 呎，寬度 5 呎，沿網板的縱軸成 15 度的彎曲角，適用於 380 匹馬力，133 噸的拖網漁船，其配置的拖網漁具浮子網長度為 35~45 公尺，在作業中均能獲得良好的穩定效率^(2-7~5-8)。從照片 2.1，可看出 V 型網板的構造，網板的下緣配鑲直徑 7.5 公分的鐵槓，用以防止網板犁入泥土。

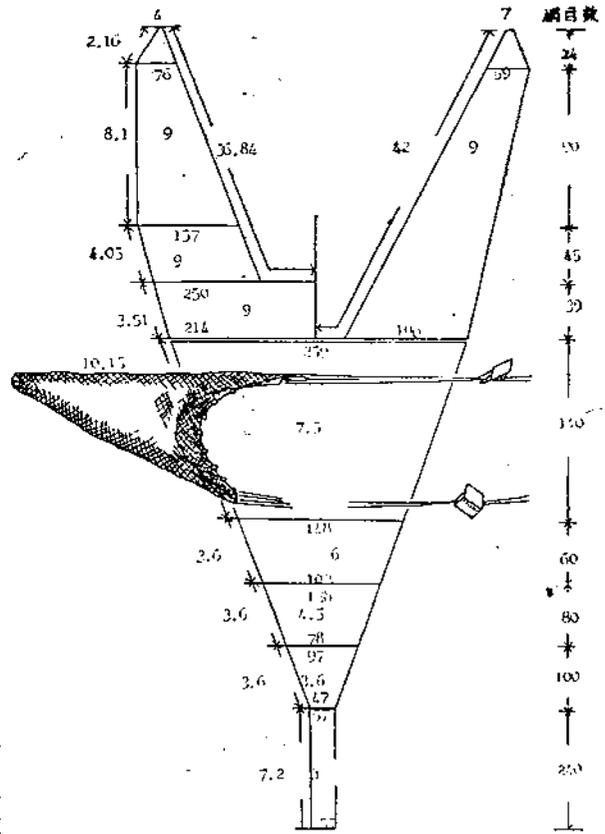
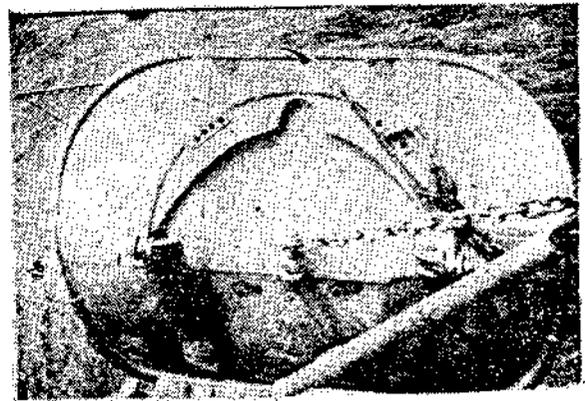
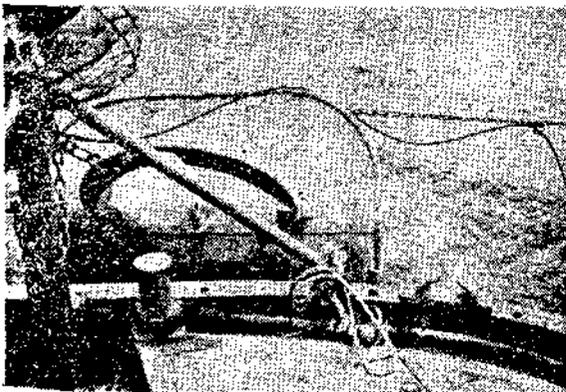


圖 2.1 台灣拖網漁具的配置圖形

照片 2.1 台灣所使用的 V 型網板



曳網：曳網的材料為直徑19.8%的鋼絲，延放曳網的長度因作業漁場的水深及拖行速度而異，實際作業時，通常在拖行速度3節的情況下，若水深100m，則曳網的延放長度為300m，若水深80m，則曳網的延放長度為250m，約略成3與1之比例。

手網：手網的作用除從網板部位將曳引力量向網具傳遞外，同時具有嚇魚及引導魚群進入網內的作用，其應具備的強度與拖行馬力，漁船大小，及網具所需的拖行速度下之抵抗有密切的關係。本省的拖網船通常使用雙條手網，下側之觸底手網較粗，其直徑為13.2%的鋼絲，上側的手網為直徑9.9%的鋼絲。

浮子網：上袖網及天井網結縛直徑9.9%，36.5m長的鋼絲，其外皮包纏合成纖維網線，即稱浮子網，通常依網具的大小決定結附浮子的多寡，而在450匹馬力漁船使用的浮子網均以結附直徑180%的鐵皮浮子25~35個為主。

沉子網：下袖網及腹網前端結縛一條長度42m，直徑19.8%的鋼索，而鋼索本身則又以舊網片包裝，然後纏以麻繩，又每隔2m間結附一條1m長的鐵鏈。

力網及引揚網：力網是名符其實的增加網具強力的繩索，通常由燃合保利艾基繩，其直徑15.5%或由直徑9.9%的鋼絲外纏合成纖維線而成，另引揚網則以直徑19.8%的混合網索所編成。

天井網：天井網以380D/45的保利艾基網線所編成，目大72.5mm，最前端的5節用雙線編網目，此網部的前端共260目，在浮子網的中央部配58目，其兩側之90目與上袖網連結，其餘配於三角網，而天井網的總長為2.8m並與背網部鄰接。

上袖網：上袖網在拖網上部的最前端，成為天井網兩側的連續部，僅留下天井網中央的緣網與浮子網連結，其一側連結於浮子網，其內緣與下袖網之內緣縫合。上袖網的材料為380D/30的保利艾基網線，目大99mm，而其構成由天井網相接處之90目減至4目，長度為14.5m。

下袖網：下袖網的內側連接於天井網緣及上袖網的內緣，其外緣（或觸地之側）以雙綫兜繩方法穿過跳目連結於沉子的添網，下袖網的寬度自65目起，逐漸減目至7目為止，長度18m。

腹網及背網：腹網及背網為兩片三角形網地所構成，每片網地自259目減至47目，長度為21m，並與下袖網及天井網連接，共分四段，第一段最長，10.2m，目大72.5mm，其餘3段長度均為3.6m，而目大則不同，即60mm，45mm及36mm等。

囊網：為拖網具較特殊的部份，橢圓形狀，與腹、背網連結形成絲襪狀，全部由雙線編網地所構成，其使用材料為380D/45保利艾基網線，目大通常使用33mm，57目寬，長度7.2m，有時依使用型式之不同而略異其長度。囊網最末端的網目則使用特大雙線編，以便穿過一條直徑9.9%，長度10m的保利艾基繩。當拖網作業期間，此繩以一特殊繩結法縛結，揚網後能將此繩結迅速解開，以便將囊網內的漁獲物洩出，同時又能很快的再將該繩打結。

三、拖網具的力學性質實驗

為明瞭本省使用的拖網漁具之物理特性及使漁具設計達到最理想所必須的基礎資料起見，實施此項實驗研究。因實際拖網的作業過程，其規模宏大，欲把握漁具的全貌非常困難，縱然潛入海裡觀察作業中的漁具，亦僅其一部份而已，目前雖然有了補助觀測用的儀器，如網位測定器、張力計等，但對於測定水中漁具全體，除需鉅大經費外，幾乎無法施行，因此均以一部份所得的測定值，推測漁具之全體。

從最近的試驗及研究趨勢顯示；拖網具在水中的形狀可由計量其在水中所受抵抗及網口高度，或由網具實際作業的漁獲量尋求，然而漁獲物多寡的變動懸殊，尤其隨時間及海域的不同而異，而且漁民的漁撈技術及其他因素均無法作正確的比較，所以很難有一定的標準可循。譬如漁船及馬力的大小皆深切地影響漁獲效率，由於這些事實，我們就必須對於漁具每一部位的力學性質有一精確的瞭解，以便設計出一種更有效的拖網漁具。但如果每次試驗均製作一件新的網具，其耗費必然龐大又不切實際，因此筆者以一系列的模型在水槽實驗替代，而此項研究於1966年在日本東海區水產研究所所實施的。

拖網具的模型實驗，有其依據的理由；³⁻¹⁾

- a. 對於漁具整體情況產生全貌的概念，由此探求其設計上的缺點最容易，同時又可試驗各部位網片的配置及其縫合情形。
- b. 測定實際網具的各種性能，以便尋求實際網具在流體力學上有更徹底的瞭解。
- c. 獲得魚類觸網後之反應及其行動的資料。

田內氏³⁻²⁾於1934年首創網具的比較法則，根據此理論，日本許多漁具力學的研究人員已採用某些漁具的模型實驗，例如宮本³⁻³⁾及其他研究人員^{3-4, 3-8)}對於數種型式的拖網實驗均獲得良好的結果，然後拖網具的模型網具編製，其力學性質及其在水中之幾何形狀等關係，經川上³⁻⁹⁾不斷的研究，已創立19個方程式表示之，利用這些方程式，我們可以計算，作用於網地每一部份的張力。截至目前為止的實驗顯示；網地的抵抗變動約略與流速的平方成比例，通常以下列方程式表示；

$$R = f(R_e \cdot F_r \cdot D/L) S \cdot v^2 \cdot \rho / 2。$$

關於 R_e ，在漁業上的研究不多，此 R_e 通稱雷諾數，其函數式為：

$$R_e = \ell v / \nu。$$

上式中， ℓ 為網具的標準長度， ν 為水的動黏性係數， v 為流速，而 F_r 弗勞德數非常小，通常可以不計，其函數的表示為；

$$F_r = v \sqrt{\rho / g(\rho_n - \rho)}$$

上式中 ρ 為水的密度， g 為重力， ρ_n 代表網線的密度， D 表示網線直徑， L 為網目一腳的長度， S 為拖網的網口面積，而流速 v 則介於10~200cm/sec之間。

$$R = k \rho S v^2 (k = \text{常數})。$$

上式中， k 對 R_e 的關係並未考慮，而令 $f(R_e \cdot F_r \cdot D/L) S \cdot \rho / 2 = k$ (常數)，許多研究人員均以下式代替，即

$$R = k v^n。$$

此方程式已用以分析網地在水中的抵抗，其中 k 及 n 依拖網具的種類而異，通常 n 介於1~2之間。而 n 值受到流速引起的網地變形之影響。換言之，當 n 對 v 之值遠小於2之際，拖網的網地受拖行速度的影響愈大。此外即使流速為一定時，由於網地本身的形狀及構造的不同， n 仍然會發生差異。

3.1 模型網具的設計

我們依據田內氏³⁻¹⁰⁾及川上氏³⁻¹¹⁾的網具比較法則，編製三件模型網具，其中之一為實際網具的 $1/72$ ，另兩件模型網具則為實際網具的 $1/20$ ，為下述方便起見，模型網具與實際網具之間以一撇（'）及二撇（''）區別。並將 $1/20$ 模型網具的設計及編製過程敘述於后；

a. 首先視環境條件的許可範圍，決定縮小比例為 $1/20$ ，

$$\text{即 } \frac{\lambda'}{\lambda''} = \frac{1}{20}$$

上式中 λ 為網地各部位直線度量的尺寸。

b. 其次，決定網線的直徑 D 及網線的密度 ρ ，而令

$$\frac{D'(\rho' - \rho_w')}{D(\rho'' - \rho_w'')} = \frac{0.5}{2.10} = \frac{1}{4.2}$$

即模型網具及實際網具各相對部位之值相等（均使用保利艾基網線），上式中 ρ_w 為水的密度。

c. 第三，網目的網腳長度 L 的決定方法，必須促成下式成立

$$\frac{D'}{D''} = \frac{L'}{L''} = \frac{1}{4.2}$$

在網地各相對部位之值相等，但網目的縮小不一定與整頂網具的縮小比率相同。

d. 第四，令 v 表示拖行速度，則可由下式求得比例式

$$\frac{v'}{v''} = \sqrt{\frac{D'(\rho' - \rho_w')}{D''(\rho'' - \rho_w'')}} = \sqrt{\frac{1}{4.2}} = \frac{1}{2.04}$$

即模型網在拖行速度 v' 之下的抵抗及形狀與實際網在拖行速度 v'' 下之情形相近似。

e. 第五，編製網地時，浮子的浮揚力或沉子的沉降力（ F ）必須有相同的比例，即

$$\frac{F'}{F''} = \left(\frac{\lambda'}{\lambda''}\right)^2 \left(\frac{v'}{v''}\right)^2 = \left(\frac{\lambda'}{\lambda''}\right)^2 \left(\frac{D'}{D''}\right) = \frac{1}{1680}$$

3.2 實驗過程

實際拖網漁具的網地，網索，浮子及沉子等材料分別為保利艾基，鋼絲、鐵球及鐵鏈所構成。另一方面，模型網具的材料分別為保利艾基、尼龍、塑膠及鉛等所製成，而實驗分A、B、C、D為決定拖網具在水中的形狀變化及其所受抵抗。二號及三號模型網具均為實際網具的 $1/20$ ，實驗A及B的手木高度雖然均用5.2cm，但其網地的材料分別以保利艾基及尼龍編製，其目的為觀察不同材料及設計對網具在水中的形狀變化。實驗C，使用二號模型網具，即與實驗A相同，僅使用不同高度的手木(12.5cm)，此實驗的目的作為與實驗A之網口高度及所受流體抵抗的比較。實驗D，使用一號網具，此網具以尼龍網線，依 $1/72$ 縮小比例所編製，該實驗提供各種不同縮小比例的模型網具對上述力學性質的比較。實驗E使用的模型網具與實驗C的模型網具相同，但在實驗中配以V型網板操作。

實驗中，模型網具的構造，其詳細配置如圖3.1所示；除實驗E之外，所有的實驗均未配網板，而模型網具拖行時均使用長度80及20cm的竹桁撐開網口並連結在袖網上，實驗過程，如表3.1所示，重複使用各種不同的模型網具及材料。實驗在大型水槽進行，其長度70m，寬度5m，深度2m，水槽兩側設有軌道，在軌道

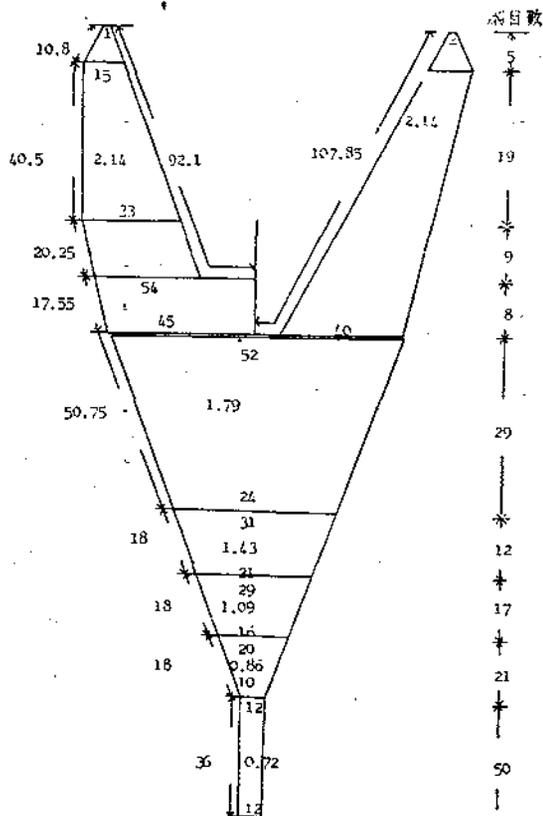


圖3.1. 2號模型網的配置圖形

表 3.1 模型網具的構成材料及規格

實驗記號	網具號碼	手木長度 (cm)	桁長度 (cm)	λ/λ''	D'/D''	v'/v''	F'/F''	材 料
A	No. 2	5.2	80	1/20	1/4.2	1/2.04	1/1680	保利艾基
B	No. 3	12.5	80	1/20	1/4.2	1/2.04	1/1680	尼 龍
C	No. 2	12.5	80	1/20	1/4.2	1/2.04	1/1680	保利艾基
D	No. 1	2.5	80	1/72	1/5.4	1/2.3	1/27996	尼 龍
E	No. 2	12.5	*	1/20	1/4.2	1/2.04	1/1680	保利艾基

*：在實驗E配置V型網板

λ ：網具大小規格

D：網線直徑

v：拖行速度

F：浮子的浮揚力及沉子的沉降力

上橫跨水槽上面有電動板車，板車上裝置電動馬達，能使板車在軌道上以任何速度走動，板車後面以鐵管架支柱長 2m，寬 1m，每 5cm 方格的大平板，位於離水面 50cm 的水裡，模型網具設置於平板上，而手網經過竹桁兩端的滑輪後與曳網連接，曳網經過前端滑輪後與電動抵抗桿連結，因此當馬達開動，板車走動之同時，模型網具隨之拖行，所以模型網具的拖行速度及網具所受抵抗，均能自動紀錄。實驗 E 使用網板之際，亦將網板連接於兩條手網上，然後再將其穿經一滑輪而與一張力計連結，用以隨時測定漁具所受張力及拖行速度，通常拖行速度在 5~200cm/sec 的範圍內。測定裝置如圖 3.2 所示；

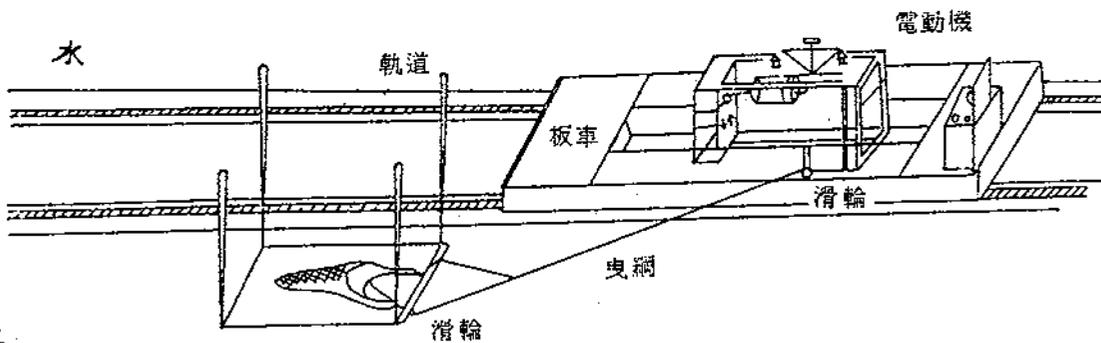
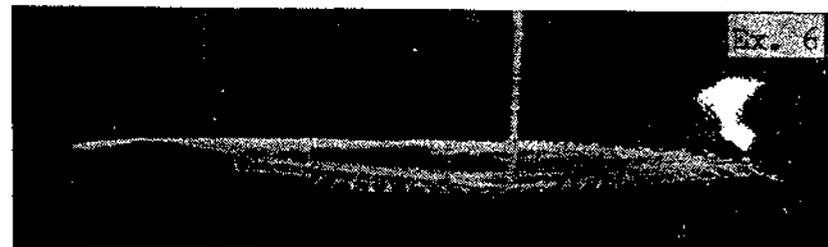
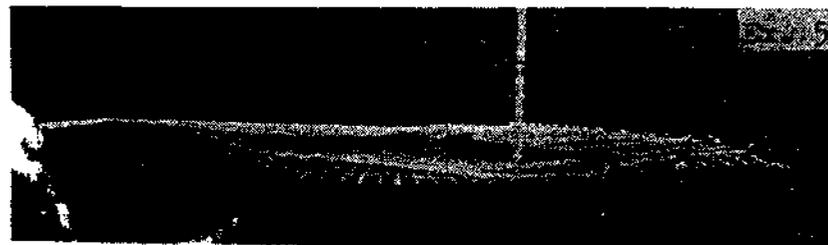
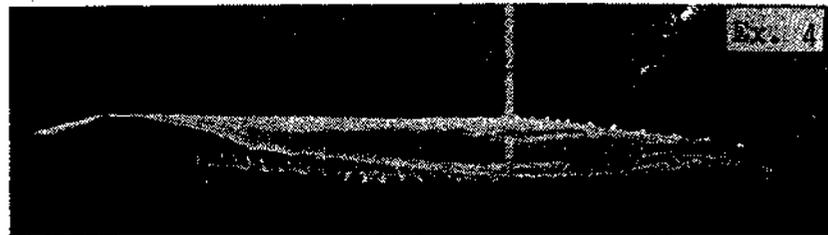
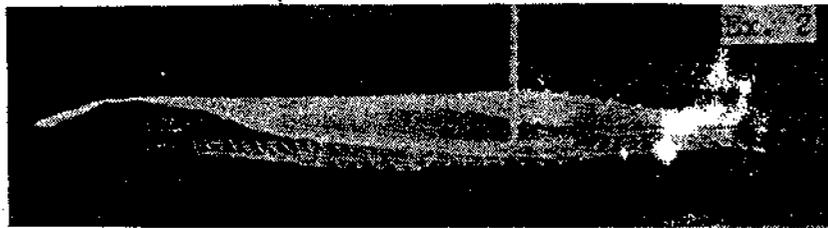


圖 3.2 模型實驗的裝置圖式

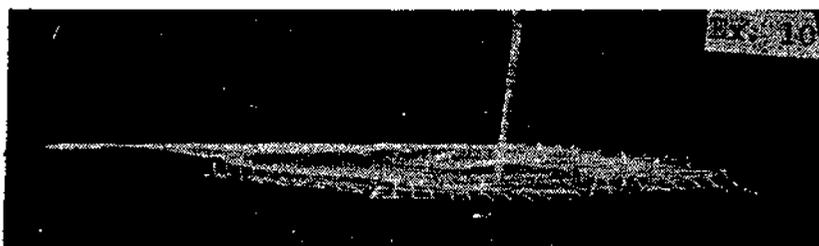
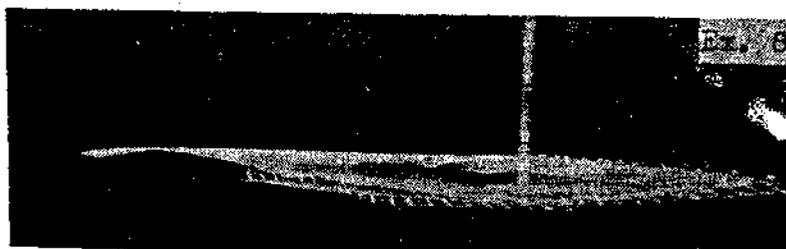
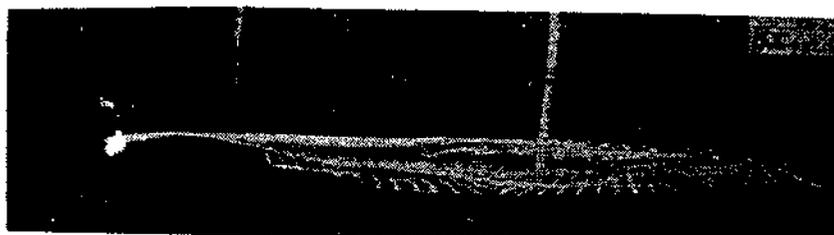
3.3 實驗結果

模型網具實驗中，其形狀的變化除詳盡的測定，觀察及紀錄外又以照相判別，照片 3.1 及 3.2 顯示側面及頂面的實驗網具形狀

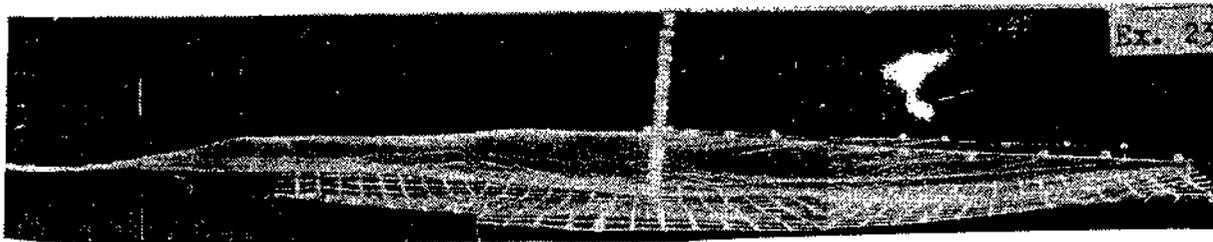
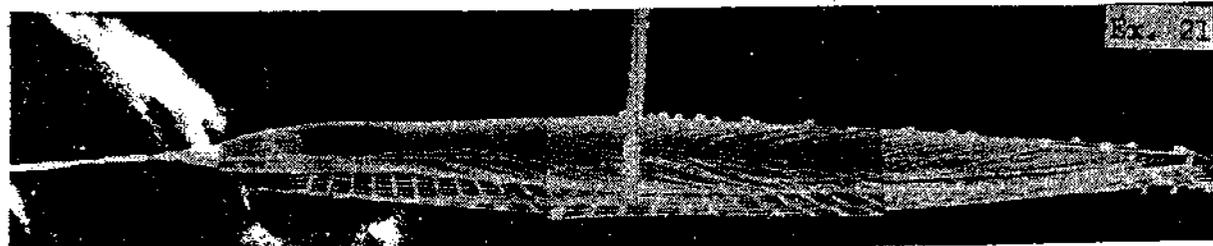
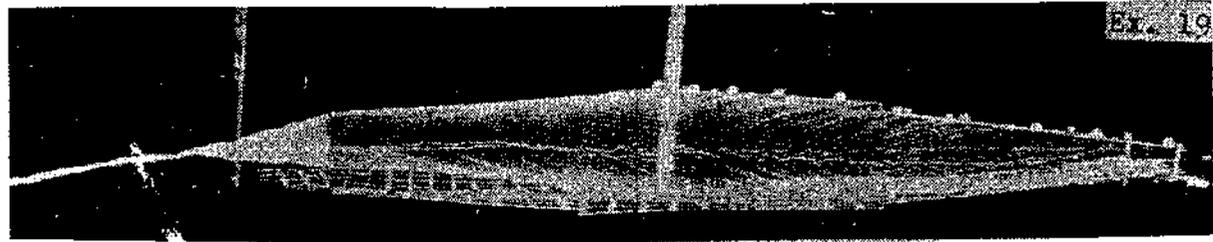
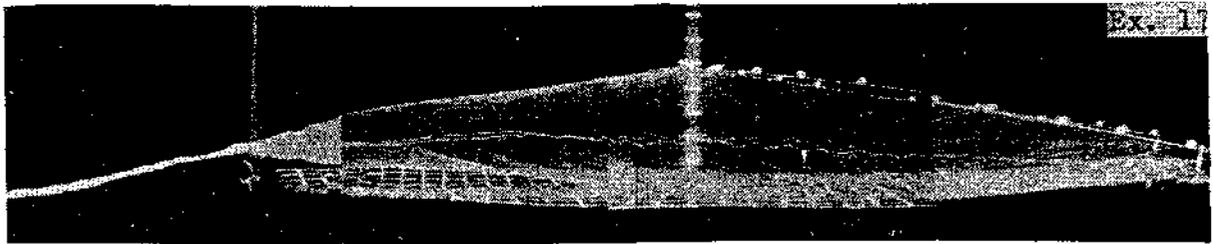
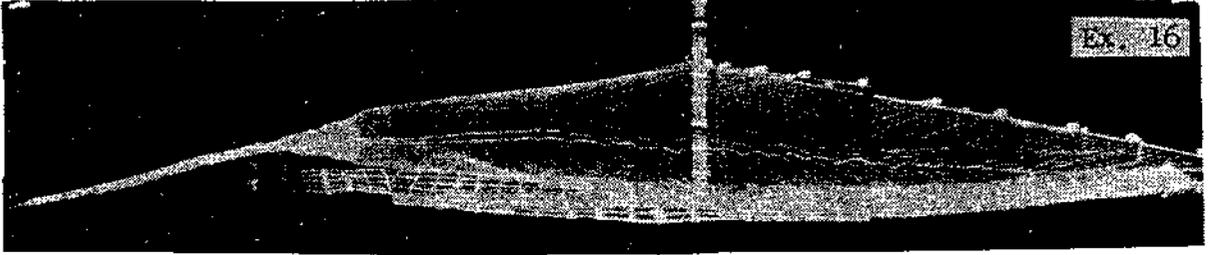
照片 3.1 拖網具的側面形狀



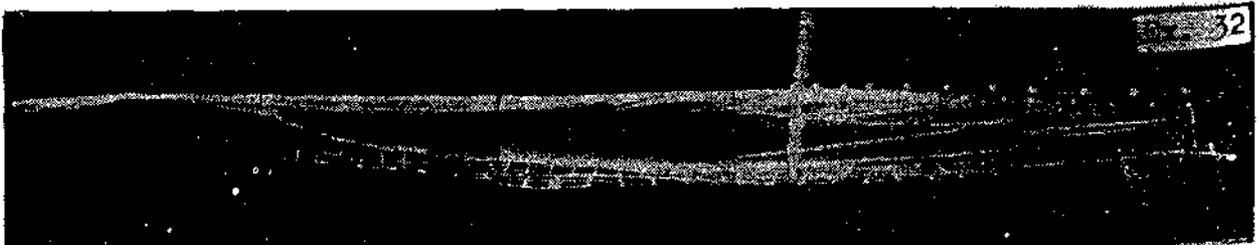
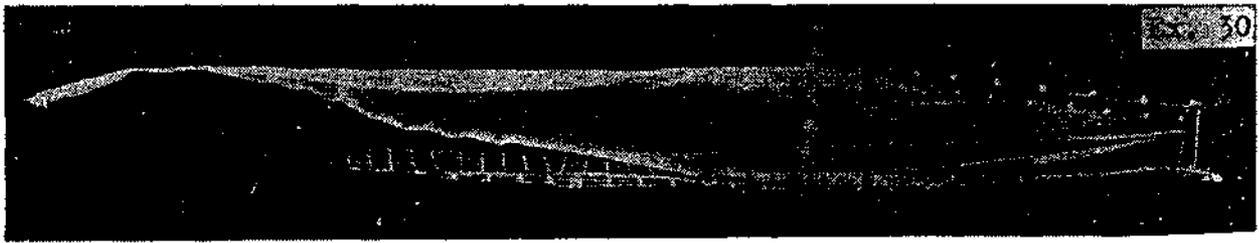
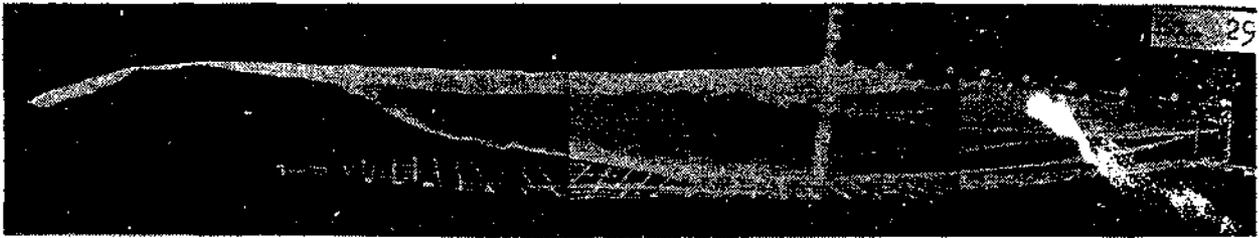
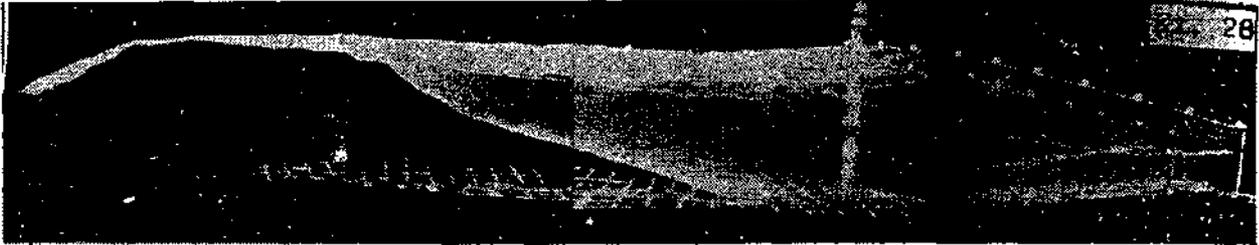
照片 3.1 (繼續)



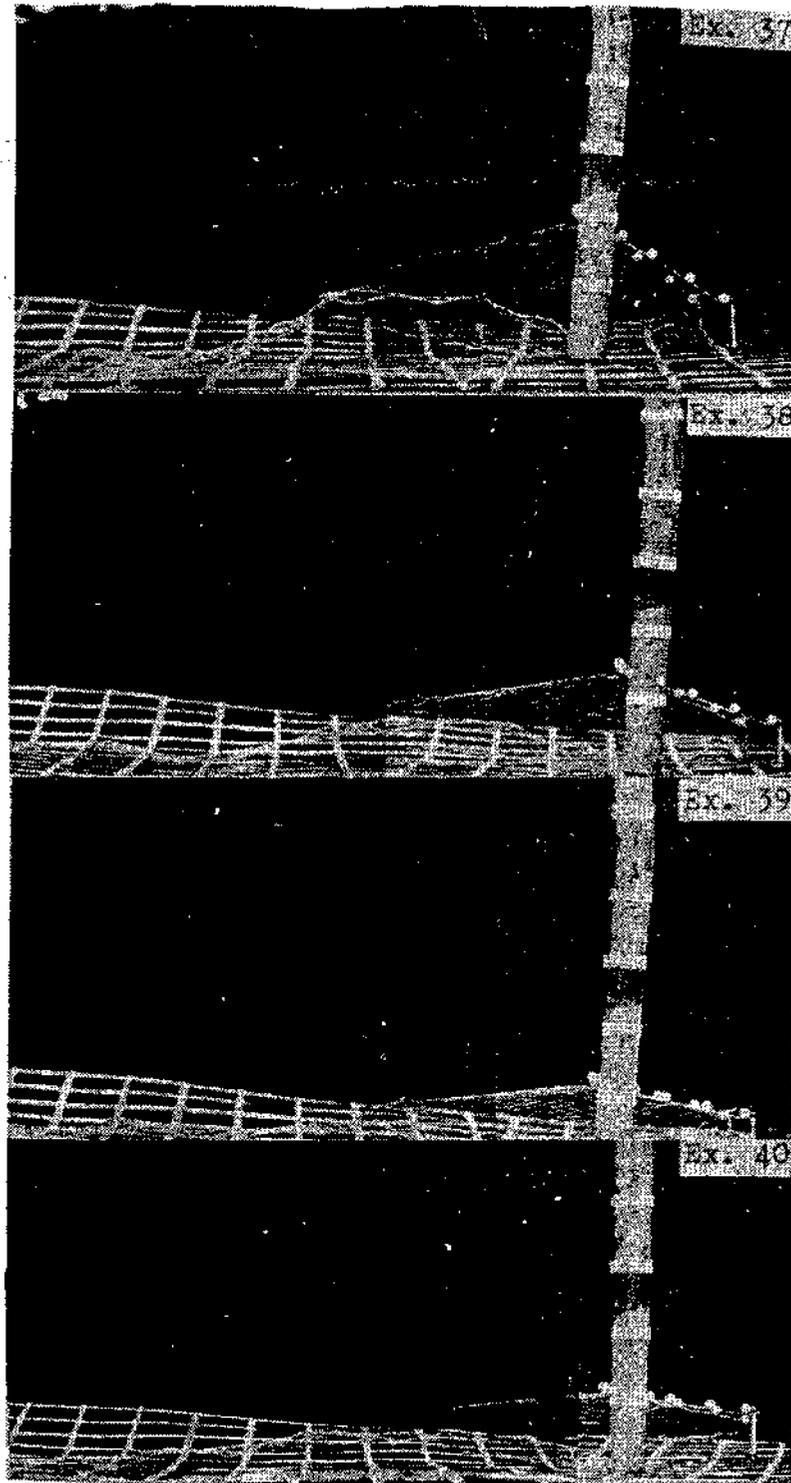
照片 3.1 (繼續)



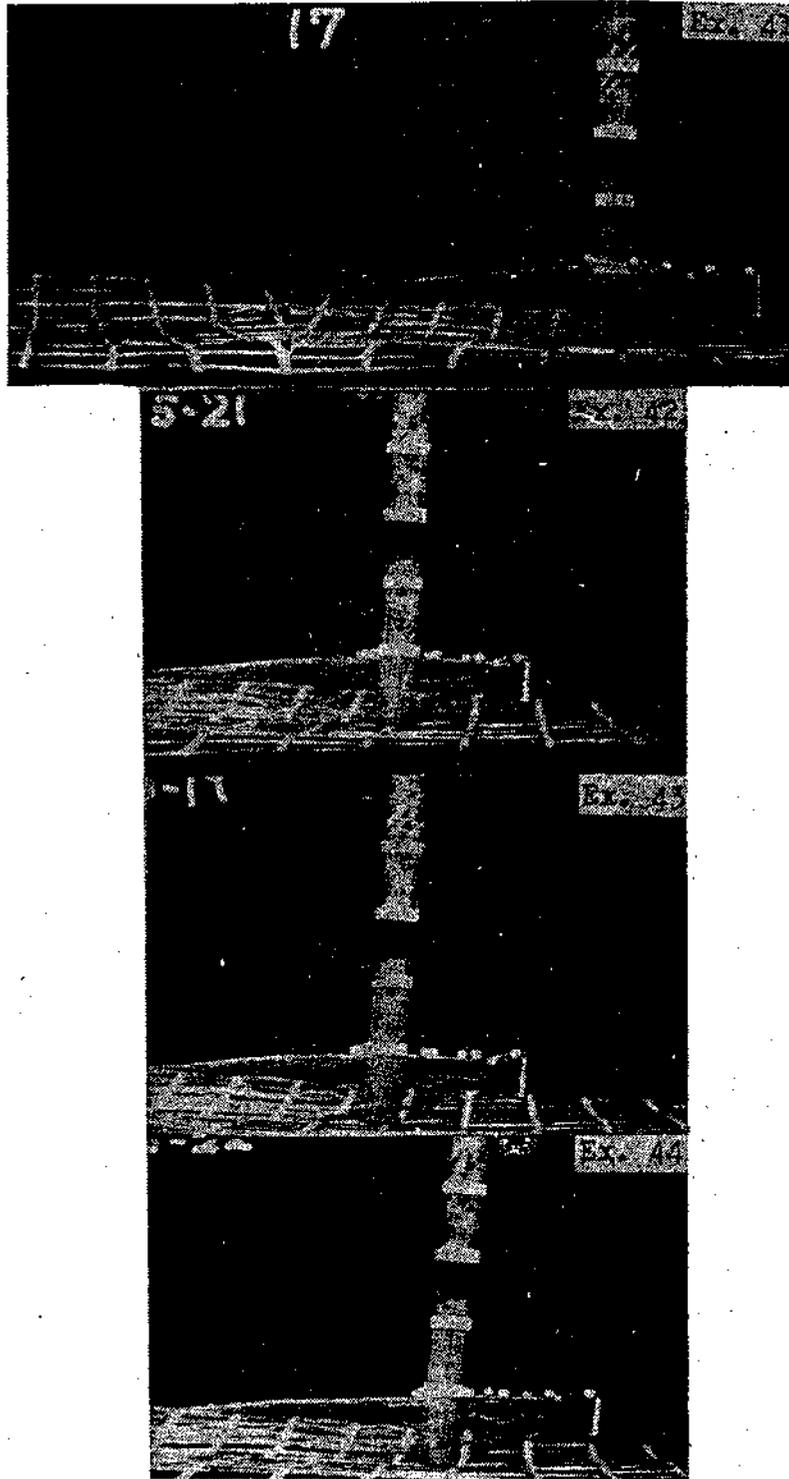
照片 3.1 (繼續)



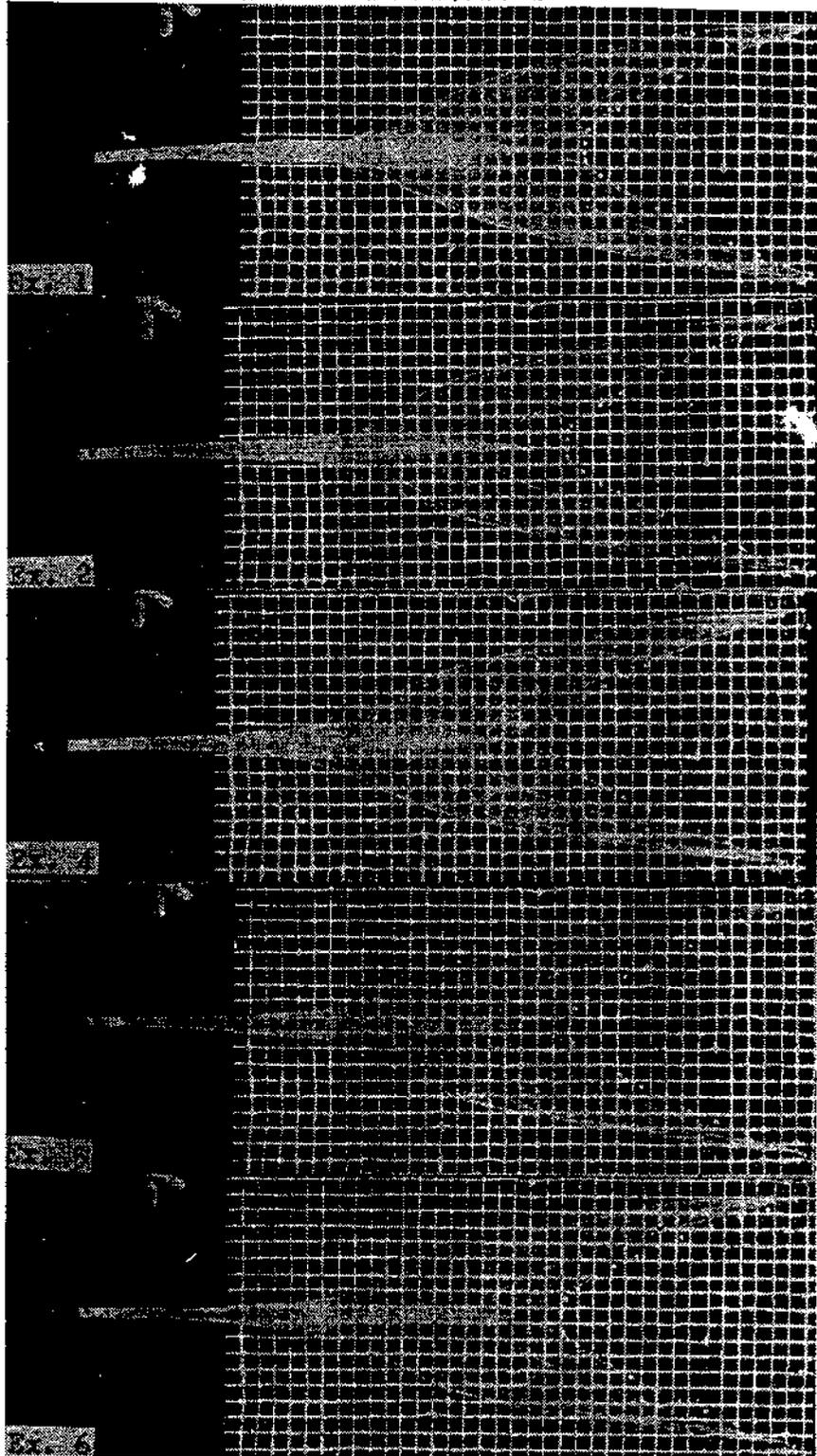
照片 3.1 (繼續)



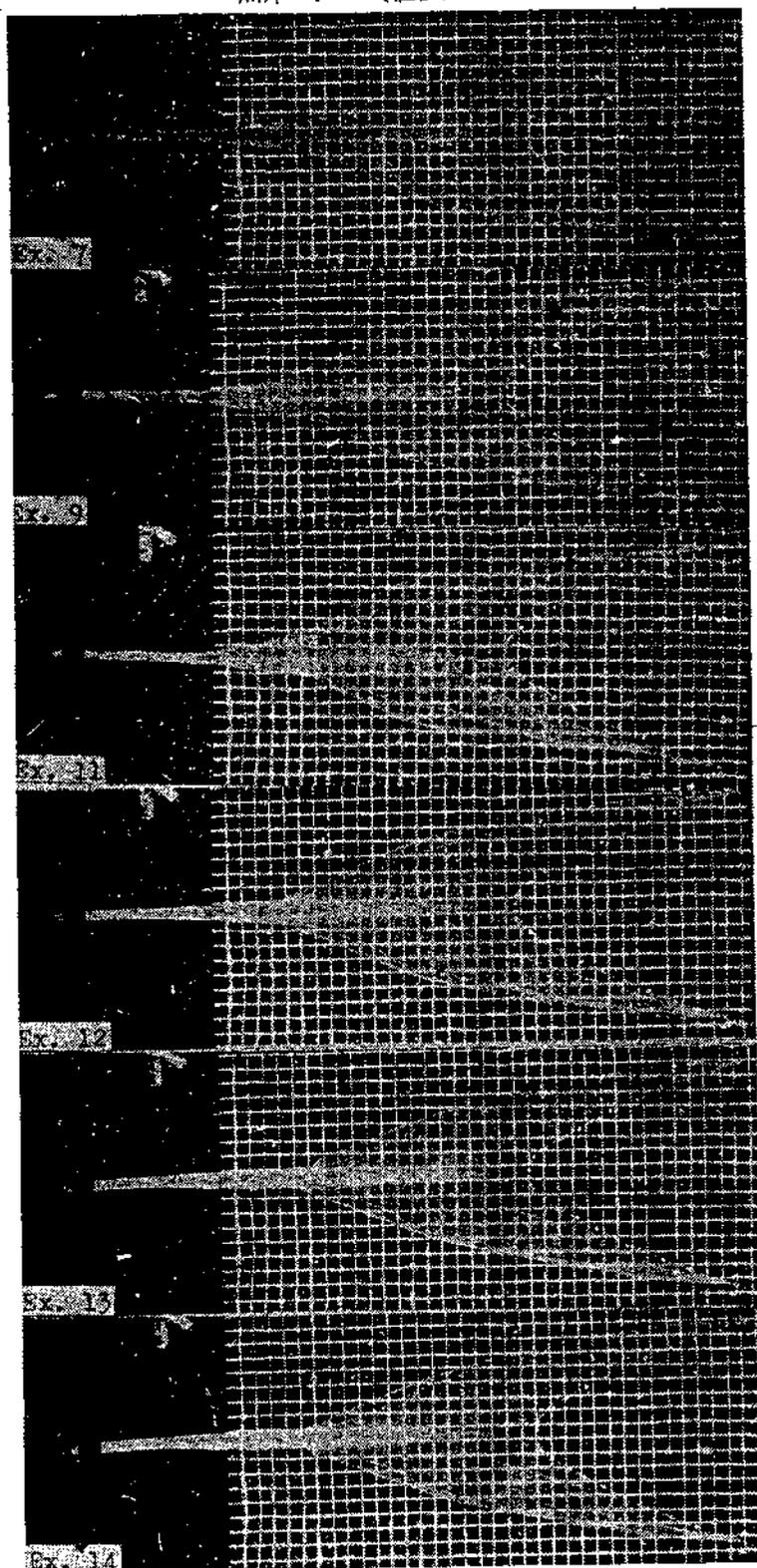
照片 3.1 (繼續)



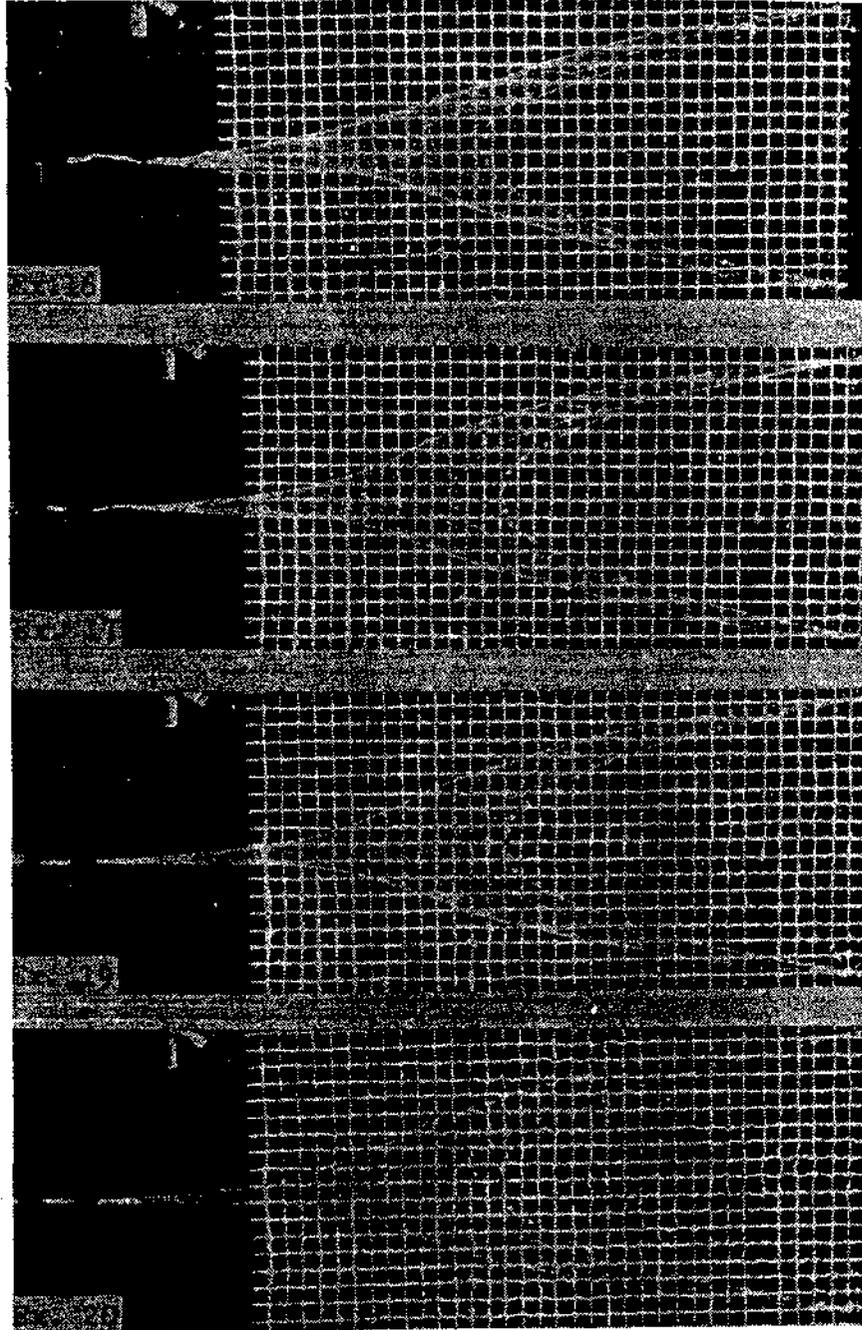
照片 3.2 拖網具的頂面形狀



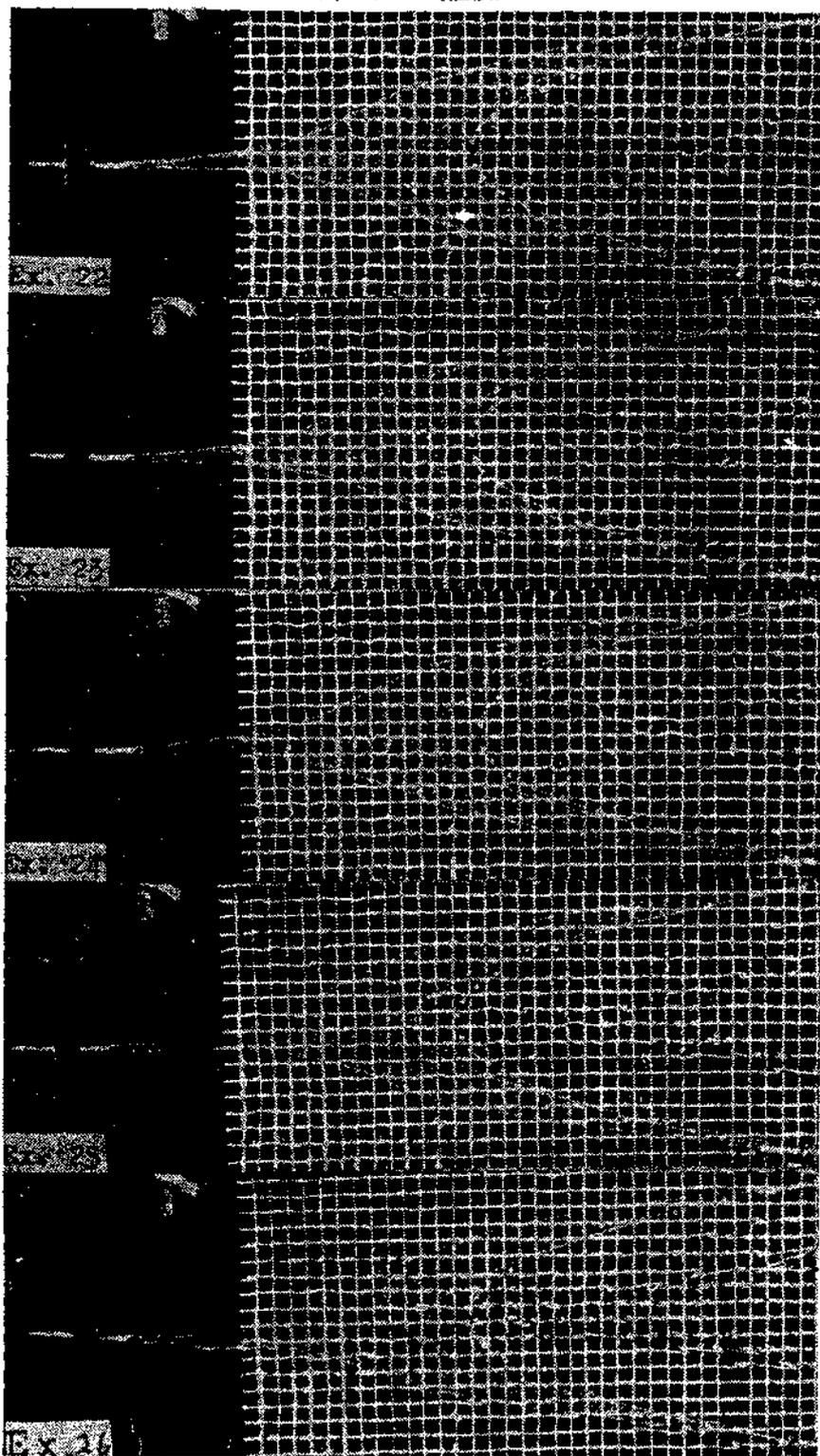
照片 3.2 (繼續)



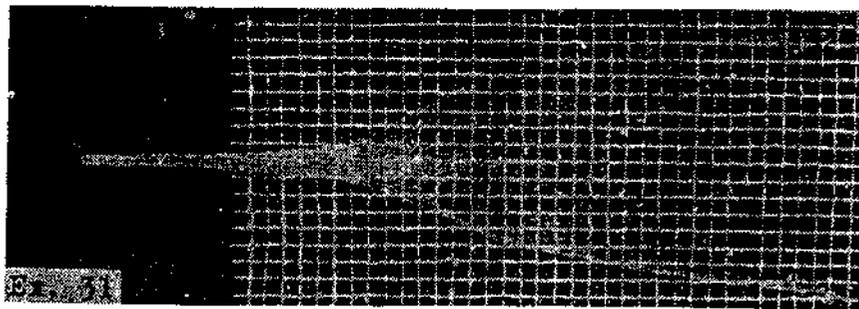
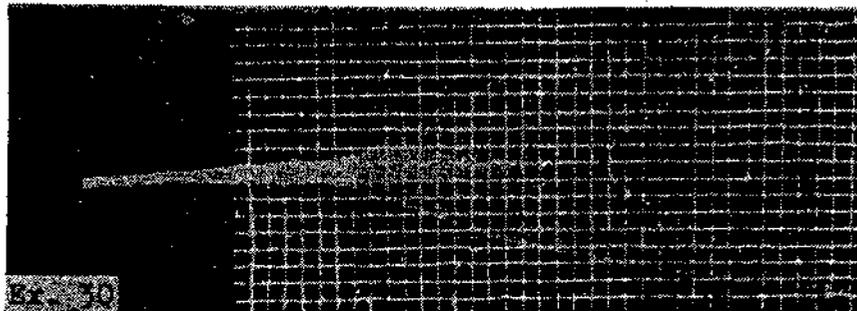
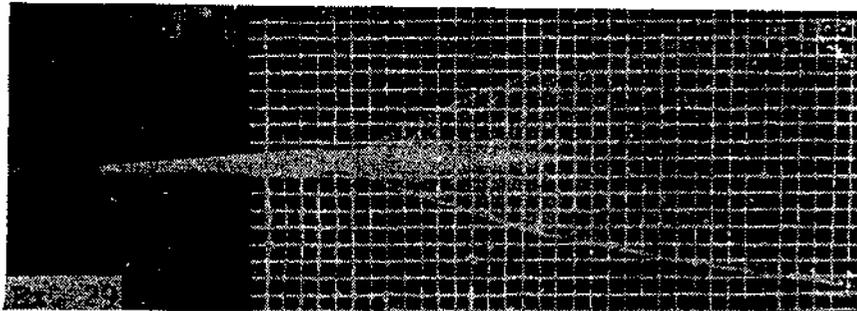
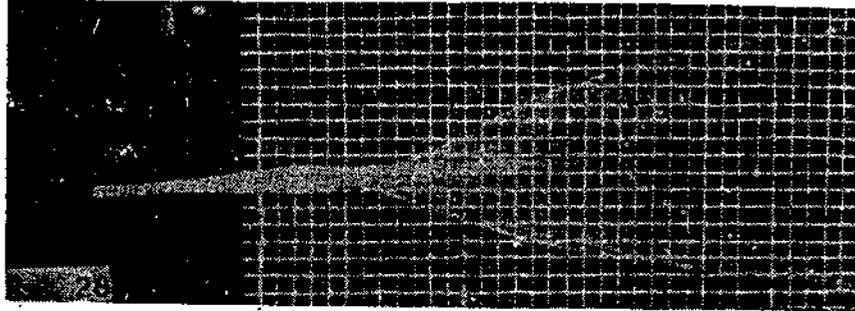
照片 3.2 (繼續)



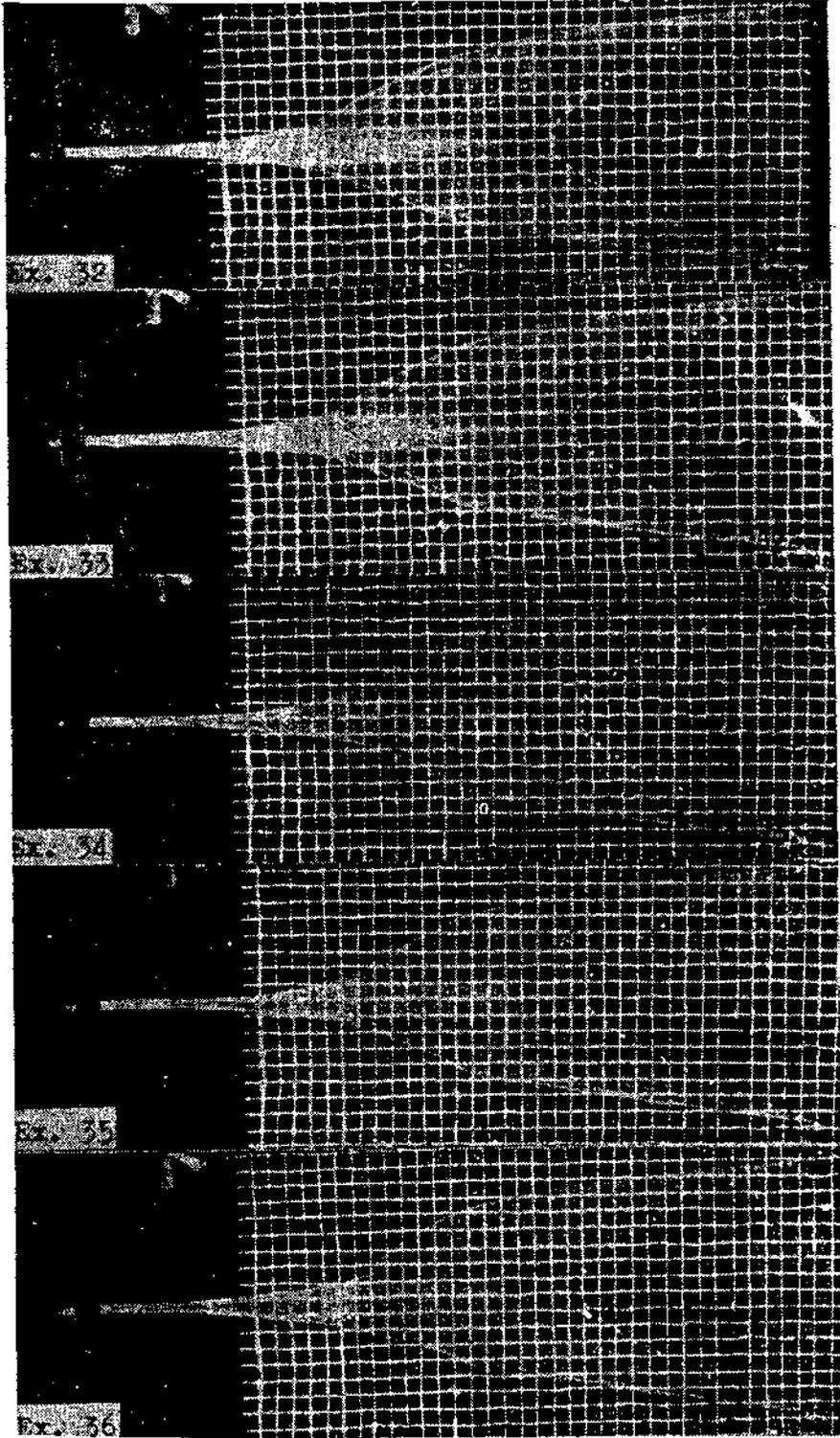
照片 3.2 (繼續)



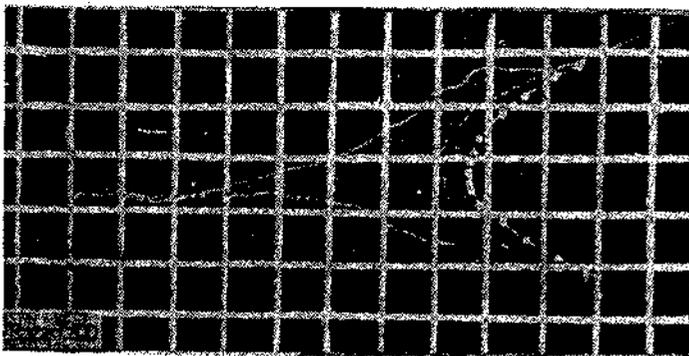
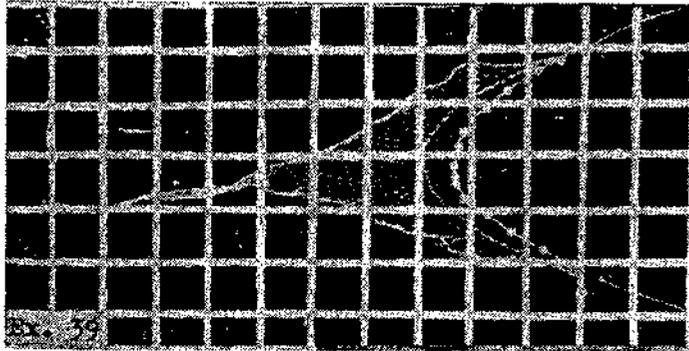
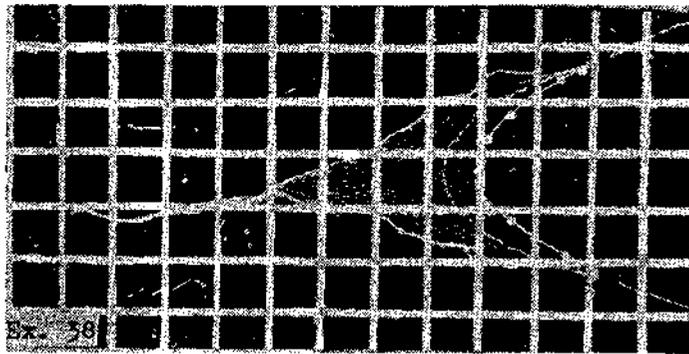
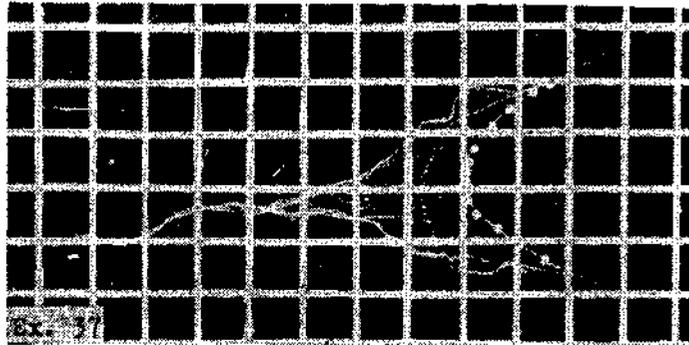
照片 3.2 (繼續)



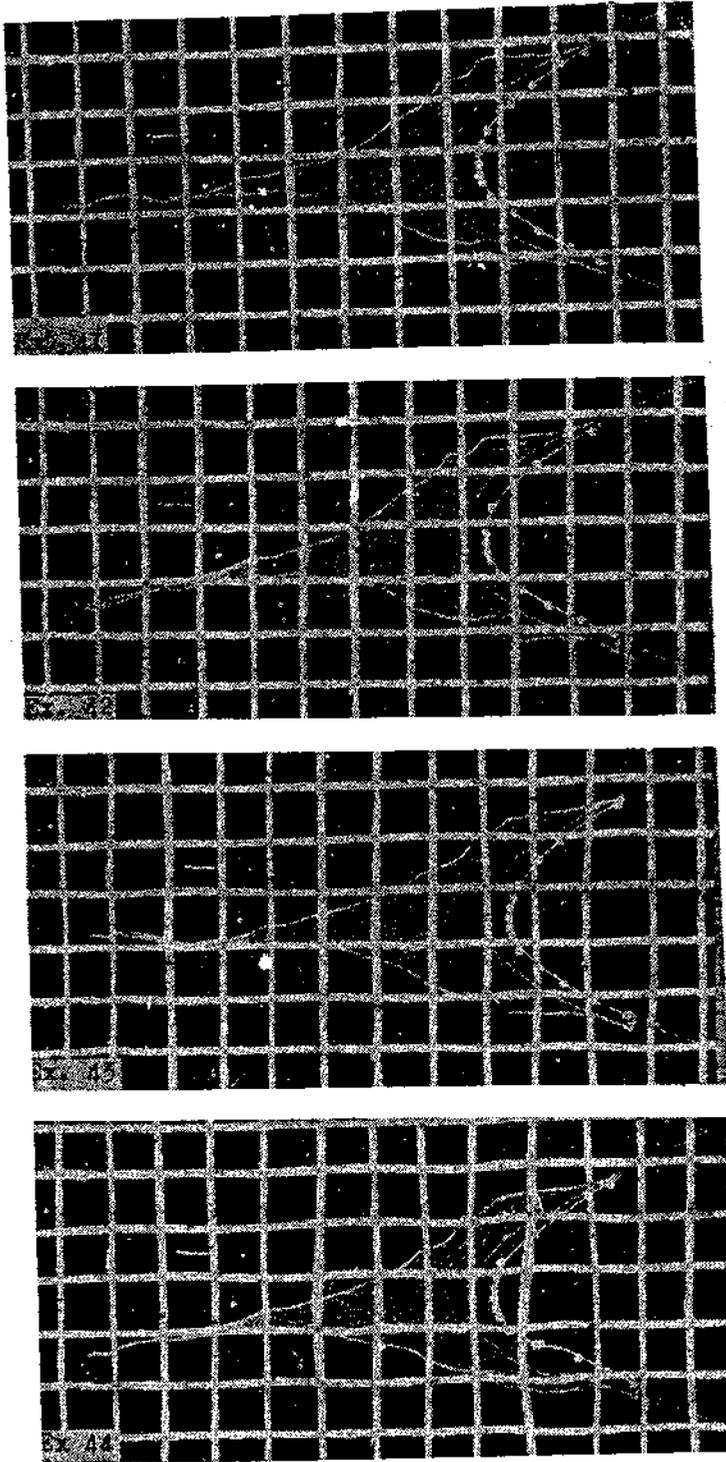
照片 3.2



照片 3.2 (繼續)



照片 3.2 (續)



實驗 A:

在實驗 A 中，模型網具在不同拖行速度下，其所受的流體抵抗及天井網高度的變化列於表 3.2，另為方便起見，在各種拖行速度下天井網高度及網具所受流體抵抗的變化示於 $v-R$ 及 $v-H$ 的曲線圖 (圖 3.3)。^{3.4)} 該曲線很顯然的為一平滑線段，根據野村氏

$$R = kv^n, \quad (3.1)$$

而上式 k 為抵抗係數， n 為 v 的指數，若我們將其取對數則得直線狀如圖 3.4，依實驗所得資料經計算結果得：

$$R = 0.88v^{1.33} \quad (3.2)$$

當網具剛拖行時，網具本身的形狀變化最小，但逐漸的隨拖行速度的加快而增大，惟拖行速度達某定值時 (60cm/sec)，網口部 (即天井網) 或浮子網的高度降低情形漸趨一定 (10cm)，另由拍照也能獲得解決網具在水中的形狀及其性能的疑題，如網具構造上的缺點係囊網的長度與浮子網長度的比不對稱，另網地由保利艾基網線所編成，囊網前端向上浮，但囊網尾端可能會因魚類入網而向下彎曲而形成扁平形，究其原因，囊網部位的網目均為縱目使用，不易形成袋狀，該網地若能以橫目使用或以無結節網地，當不難消除其缺點。只在該部位下側網使用比重較大網地仍為糾正的方法之一，袖網部位的網地向側方橫張，觸

表 3.2 實驗 A 的結果

實驗號碼	拖行速度 M (cm/sec)	速度 F (cm/sec)	* 抵 M (g)	抗 F (kg)	** 網 M (cm)	高 F (m)
1.	18.2	37	39	65.5	24	4.8
2.	25	51.7	63.7	113	20	4.1
4.	29.8	60.5	81.9	138	17	3.4
5.	40	81.2	119.1	200	15	3.0
6.	54	109	177.3	296	13	3.6
7.	57	116	188.9	318	12.5	2.5
9.	62	126	218.2	365	12	2.4
10.	62	126	218.2	365	12	2.4
11.	76.9	156	269.4	480	10	2.0
12.	95.2	193	350	590	10	2.0

M: 模型網具所得結果

F: 換算為實際網具的結果

*: 每條曳網所受張力

** : 天井網的高度

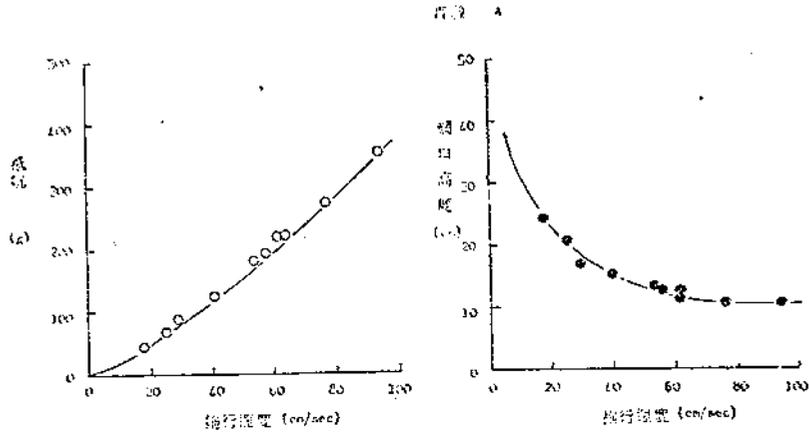


圖 3.3 網具抵抗及網口高度與拖行速度的關係圖形

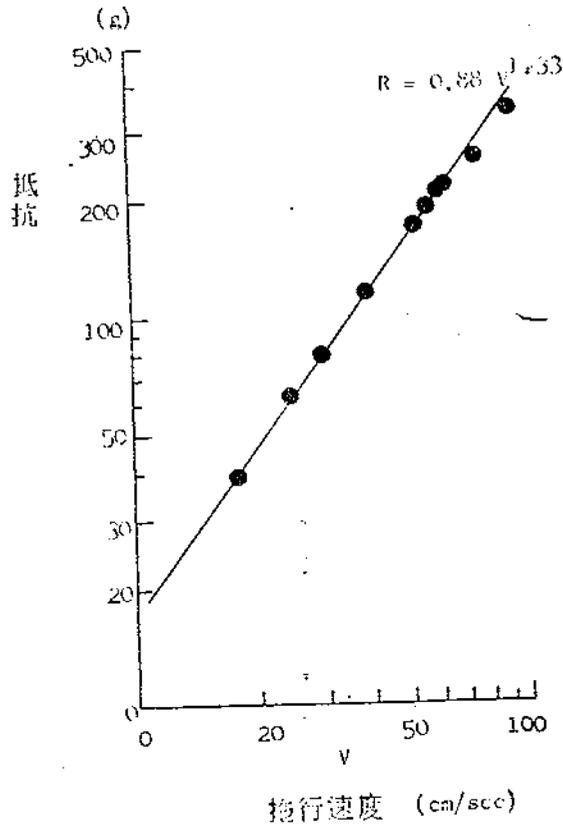


圖 3.4 網具抵抗與拖行速度的關係圖形

地部位網地鬆弛，網目閉塞且受波擊，必須減少目數以改正此弊，連接浮子網緣中央部，在拖行中，受力最大即形成一大三角形向網身部位延伸，水中形狀甚不理想，最易破網，於實際網具必須增加使用三角網，減低此項缺點。

為方便敘述各實驗的結果起見，在網具各部位以字母標示如圖 3.5

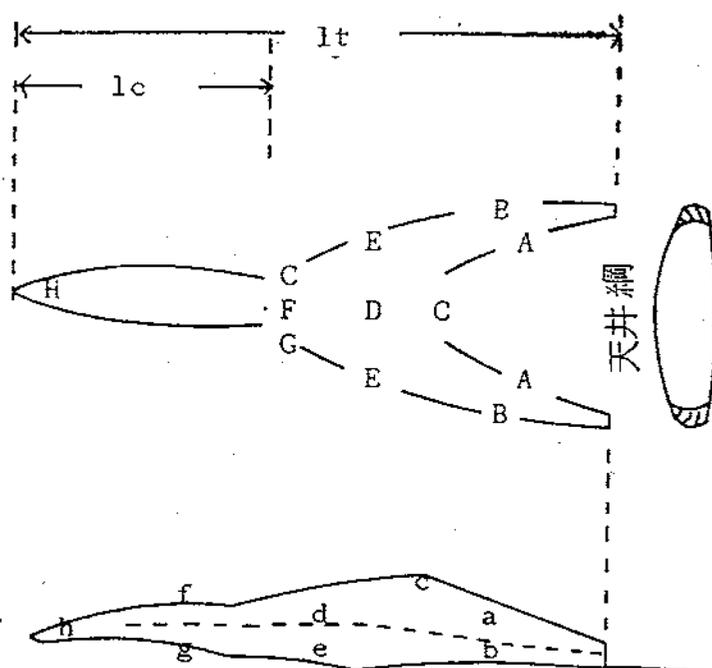


圖 3.5 網具各部位的簡號

- A. 上袖網的頂面及側面部位
- B. 下袖網的頂面及側面部位
- C. 天井網的頂面及側面部位
- D. 背網的頂面及側面部位
- E. 腹網側的頂面及側面部位
- F. 胴網底的頂面及側面部位
- G. 胴網側的頂面及側面部位
- H. 囊網的頂面及側面部位

當網具設置於水槽裡未拖行時，整頂網具呈鬆弛現象，當時網口高度達48cm（實際網具為9.6m），係因浮子的浮揚力提高網口高度，然而一旦開始拖行，網具的垂直高度迅速降低，而浮子網高度下降至24cm（實際網具為4.8m），同時一股流水穿經網身向後方推壓，使網身搖動，惟當時的網具形狀尚佳，依圖3.5所示，a部位與網具的水平方向成20度伏角，b部位（下袖網）網目張開情形良好，c~f部位大都接近水平方向，C部位曳引過緊而伸展，D及F部位的網目與e及f的情形相同，g部位成摺疊之弊而h部位向下懸垂。由於網地的使用材料均為保利艾基網線，所以實驗中發現浮升現象，但網目的展開情形仍然適於漁撈作業之用，假若拖行速度加快之際，亦能保持同樣的網具形狀，該網具的設計可稱良好之一，但很不幸的，該網具並未能保持。其實拖網具的設計，最重要的乃是希望拖行速度達到3~4mile/hour時，網具的形狀依舊不受影響。

當拖行速度在 $v'=25\text{cm/sec}$ 之際，天井網的高度大為降低，C、D、F部位成一直線的水平狀，考其原因係向網身後方曳引的力量，使袖網a、b部位首先鼓起，其次d、e部位亦因流水壓力逐漸鼓起，然後移向f、g部位而使浮子網低下，其力量的分布如圖3.6所示：沿網身方向往後曳引及作用於a、b部位，下側e部位則成傾斜方向橫張。

另於拖行速度 $v'=29.8\text{cm/sec}$ 時，作用於網具的抵抗更顯增加而天井網的高度繼續下降，a、b部位鼓起的現象愈增大同時受波擊更強，惟天井網降低的趨勢於接近手木高度後，就不再受流速加快的影響，且也不再降低，但網具全體呈顯動搖狀態。

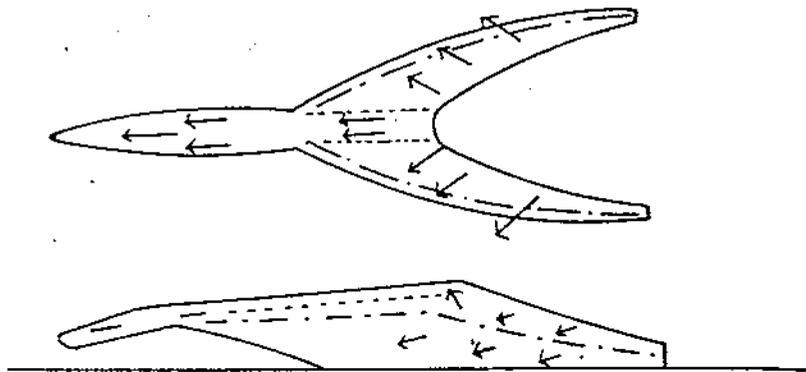


圖 3.6 網具所受流體抵抗的圖式

— · — · — · — 力網
 ··········· 受力較強位置 ·

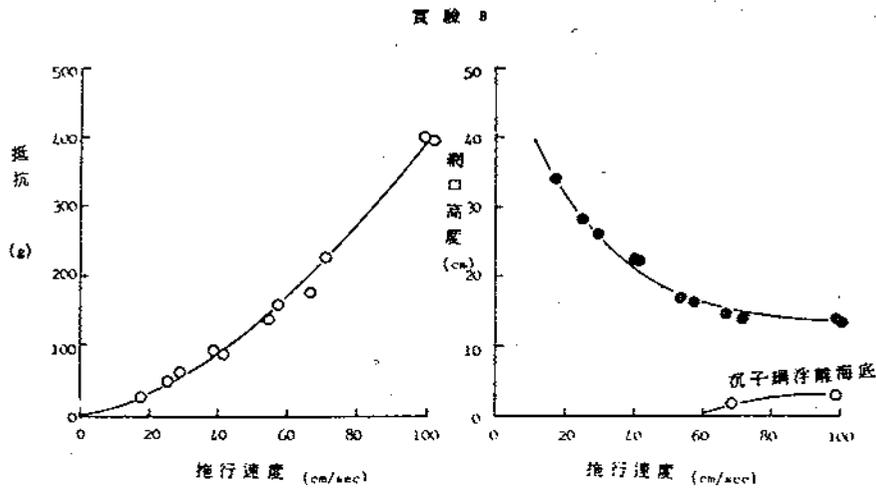


圖 3.7 網具抵抗及網口高度與拖行速度的關係圖形

實驗 B

網具所受流體抵抗及天井網高度與流速關係的測定結果如表 3.3 及圖 3.7，而圖 3.8 表示 R-v 的對數圖形，抵抗係數 k 及 v 的指數 n，與實驗 A 同樣的方法求得其關係式為：

$$R = 0.37v^{1.49} \quad (3.3)$$

表 3.3 實驗B的結果

實驗號碼	拖行速度 M (cm/sec)	速度 F (cm/sec)	抵 M (g)	抗 F (kg)	網 M (cm)	高 F (m)
16	16.6	33.7	25	43.2	34	6.8
17	25	50.7	50	86.5	28	5.6
19	28.5	57.8	60	104	26	5.2
20	40	81.2	90	156	22.5	4.5
21	40	81.2	90	156	22.5	4.5
22	54	111	140	235	17	3.4
23	57	118	155	260	16	3.2
24	66	137	167	280	15	3.0
25	71.4	147	228	445	14	2.8
26	100	206	400	671	14	2.8
27	100	206	400	671	14	2.8

M：模型網具所得結果
 F：換算為實際網具的結果
 *：每條曳網所受張力
 **：天井網的高度

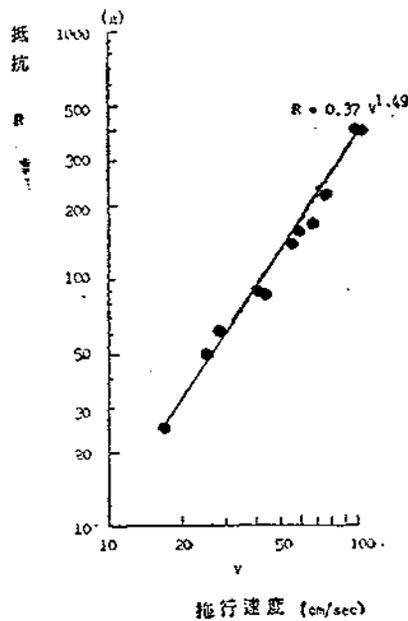


圖 3.8 網具抵抗與推行速度的關係圖形

表 3.4 拖網具各項長度比

Net No.	lh/lt	lg/lt	lc/lt
2	0.74	0.88	0.35
3	0.98	1.02	0.30
1	0.62	0.80	0.35

lh: 浮子網長度

lg: 沉子網長度

lc: 囊網長度

lt: 網具總長

實際網具係由保利艾基網線編製，其網線直徑2.17m/m，但抗張力相當於直徑1.5m/m的尼龍網線，以此為基礎資料我們編製3號模型網，此網具的網線粗度較實驗A使用的網線細，所以流水通過網地也容易所受流體抵抗小，從圖3.3及圖3.7作一比較，發現在拖行速度70cm/sec時實驗B的抵抗小於實驗A，相反的天井網的高度則實驗B高於實驗A。現在我們依圖3.5的標記作網具設計上的考察，獲得如表3.4的結果；實驗B的lh/lt值大於實驗A，在拖行中向網身後方曳引的力量實驗B較小，所以其天井網的降低趨勢緩慢，總之實驗B的網具設計優於實驗A。

當拖行速度 $v'=16.6\text{cm/sec}$ 時，各部位的網目張開情形良好，整頂網具的形狀頗為理想，袖網的a、b部位恰當，未見鬆弛現象，僅其縫合線稍長，如以10%的縮結，則其平衡狀態更佳，d、e、f及g部位的網目展開均勻，但c、d及f線向後移而且下垂，同時囊網也下傾，與實驗A顯著不同，充分顯示保利艾基網與尼龍網性能的不同，前者比重較小(0.95)，因此在水中保有向上浮的力量，後者比重較大在水中具有向下沉降力量。假使整頂網具自網身部至囊網均能保持同一水平狀態而不屈曲，相信可以提高漁獲效能。

在拖行速度， $v'=25\text{cm/sec}$ 時，雖然天井網高度已呈下降，但網具形狀尚佳，各部位的網目張開情形及受力之均勻情形皆較實驗A優良，a、b、e、f及g等部位隨時保持理想的網目展開度，縱然再將拖行速度加快其變化仍一樣，當拖行速度達 $v'=54\text{cm/sec}$ 時，C、D、F及H部位保持同一水平線，囊網的網目完全展開，但浮子開始顯示受波擊而不穩定的情況。當拖行速度介於60~100cm/sec的範圍時，除上述情況更顯著外，沉子網開始浮離槽底如圖3.7所示。

實驗B所得到的網具變化以浮子的振動激烈而使浮子網不穩定而影響漁獲效率為其缺點。但此缺點似可運用有翼狀浮子來穩定浮子網的方法克服^{3-13~3-14}。另一方面，這種網具，天井網高度的降低率小，網口張開面積寬大，便於捕撈離底魚族。但在少許的天井網下降中仍牽涉到a、b、d、及e部位往側方向傾斜之勢，從3.2及3.3的方程式，可知v的指數n在實驗A為1.33，在實驗B為1.49，實驗B所得的n值接近於2，即表示其網口截面積的變化及天井網的降低率較小。

實驗C

實驗C所使用的模型網具與實驗A相同，僅使用較高的手木而已，依以前的方法，同樣的得到R—v及H—v的關係如表3.5及圖3.9，另圖3.10為網具所受流體抵抗及拖行速度的對數關係，而從測定的資料經計算獲得k及n的值為：

$$R = 0.71v^{1.41} \quad (3.4)$$

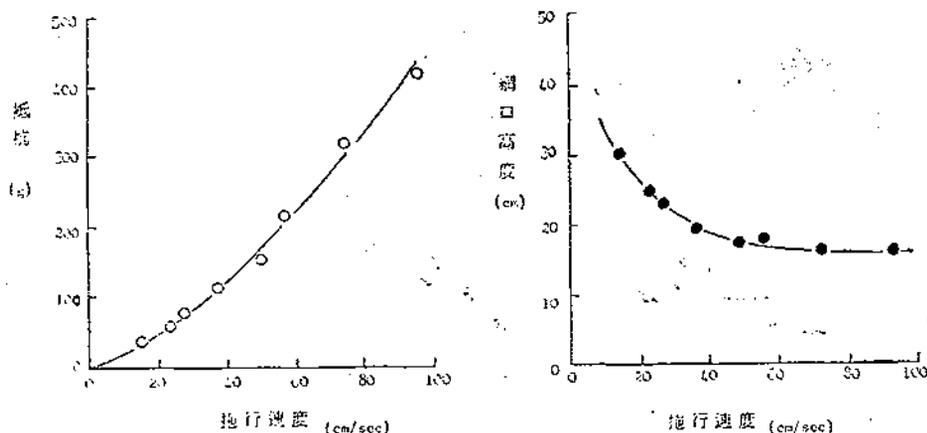


圖 3.9 網具抵抗及網口高度與拖行速度的關係圖形

於比較圖 3.3 及圖 3.9 時獲得手木愈高，天井網高度愈大，在實際網具作業中當其拖行速度 4 mile/hour 時，浮子網離海底的距離相差 1.2m，但相反的，於提高網口高度 1.2m 後，同時增加網具的抵抗 280 公斤。即手木愈高，天井網口提升，對於捕撈離底魚族有利，但我們必須同時考慮其流水抵抗隨之增加的問題。從觀察及拍照的紀錄得悉此實驗中，當增加拖行速度，其天井網的下降情形優於實驗 A，同時由於天井網下降之影響而使剩餘網地橫張的情況也較小。即表示構成網具的網地能得充分利用，而且各部位所受張力分布均比實驗 A 的情形穩定，作業中 C、D、F 及 H 均能保持水平狀態。但與實驗 A 相同的缺點為天井網中央部位受力仍大，於快速拖行下 g 部位下側鬆弛，波擊激烈並發生振動情形。

表 3.5 實驗 C 的結果

實驗號碼 No.	拖行速度 M (cm/sec)	速度 F (cm/sec)	抵 M (g)	抗 F (kg)	網 M (cm)	高 F (m)
28	15.4	31.3	33	56	30	6.0
29	23.5	45.7	59.5	100	24	4.8
30	27.5	55.6	75.0	126	23	4.6
31	36.6	74.2	114	191	19	3.8
32	50.0	103	155	261	17	3.4
33	57.0	116	214	360	17	3.4
35	74.0	151	320	557	16	3.2
36	95.0	195	420	705	16	3.2

M：模型網具所得結果

F：換算為實際網具的結果

*：每條曳網所受張力

**：天井網的高度

實驗D

實驗D的模型網具材料由尼龍網線所編成，其縮小比例為實際網具的 $1/72$ 。從表 3.4 可以得悉，此網具的設計指標之一 lh/lt 值與 2號網較接近。

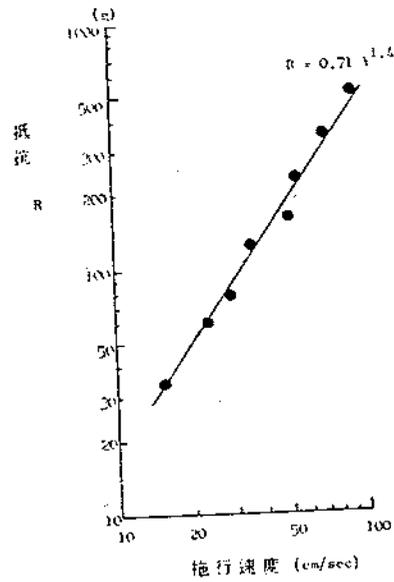


圖3.10 網具抵抗與拖行速度的關係圖形

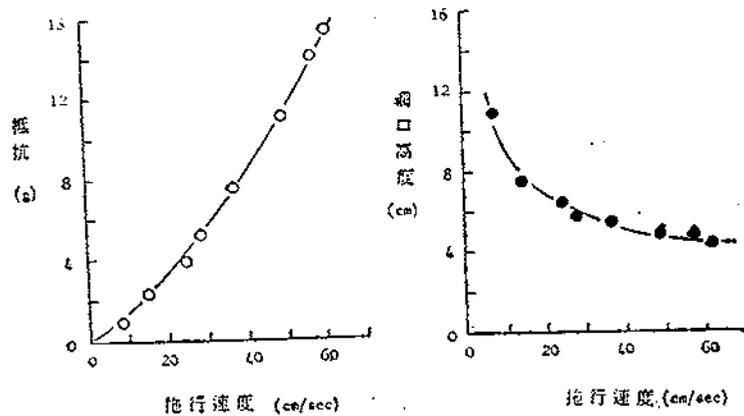


圖3.11 網具抵抗及網口高度與拖行速度的關係圖形

照片 3.3 拖網具在水中的形狀



由同樣的方法我們得到表 3.6 及圖 3.11 的實驗結果，而圖 3.12 為 $R-v$ 的對數圖形，另由測定結果的計算得到抵抗係數 k 及 v 的指數 n 為：

$$R = 0.0059 v^{1.35} \quad (3.5)$$

其 n 對 v 的值小於 3 號網具，顯示其受流水作用網口形狀的變化較大，儘管利用 1/72 或 1/20 縮小比例的模型網具均能約略推定拖行中網具的形狀，但後者提供較詳細的資料，因此模型實驗於能力範圍內應盡可能使用較大模型為佳。

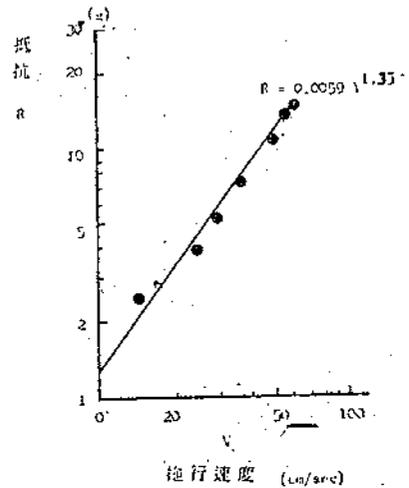


圖 3.12 網具抵抗與拖行速度的關係圖形

實驗 E

實驗 E 所使用的模型網與實驗 C 所使用的模型網相同，僅於實驗 E 中棄除竹桁而掛以 V 型網板，其在拖行中的形狀如照片 3.3 所示

表 3.6 實驗 D 的結果

實驗號碼	拖行速度 M (cm/sec)	速度 F (cm/sec)	抵抗 M (g)	抗 F (kg)	網 M (cm)	高 F (m)
37	8.5	19.1	1	28	11	7.92
38	14.7	33.8	2.5	75.3	7.5	5.4
39	25	57.2	4	112	6.5	4.68
40	28.6	65.4	5.4	151	6	4.32
41	36.6	84.1	7.5	210	5.5	3.96
42	49	113	11.1	350	5.0	3.6
43	57.1	131	14	392	4.8	3.46
44	60.6	139	15.3	427	4.5	3.24

M：模型網具所得結果

F：換算為實際網具的結果

*：每條曳網所受張力

**：天井網的高度

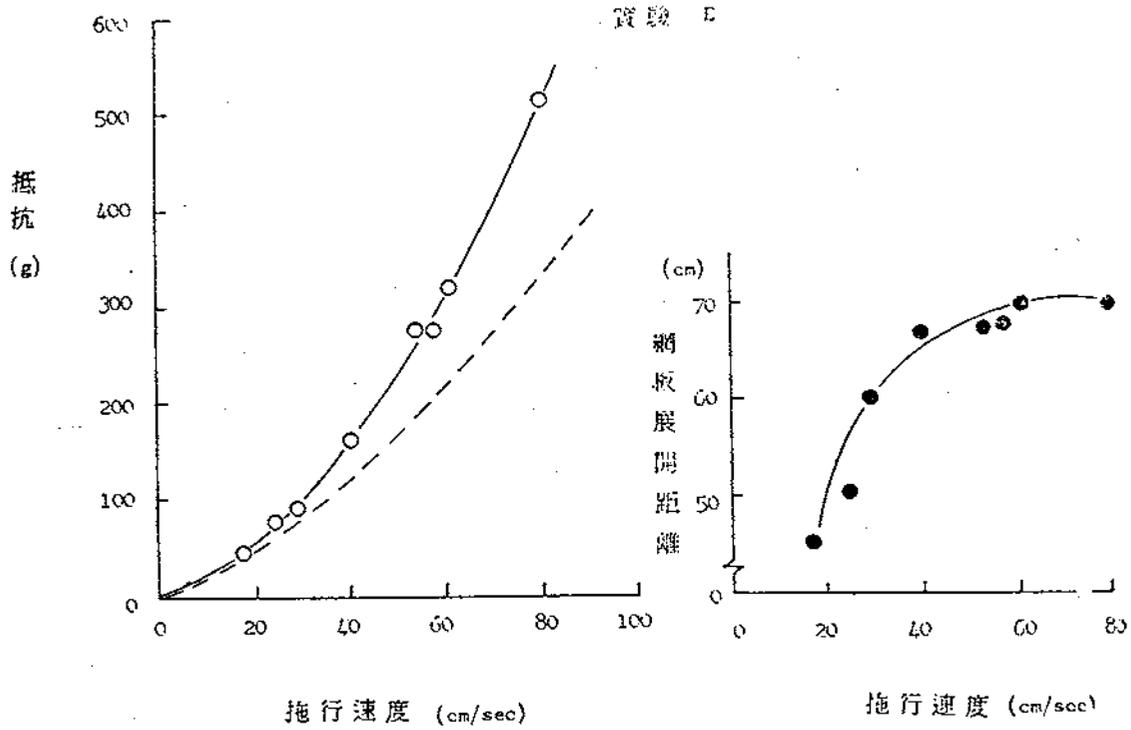


圖3.13 網具抵抗及網板展開距離與拖行速度的關係圖形

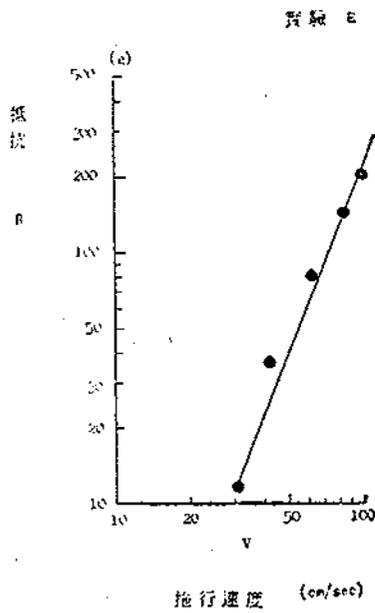


圖3.14 網具抵抗及拖行速度的關係圖形

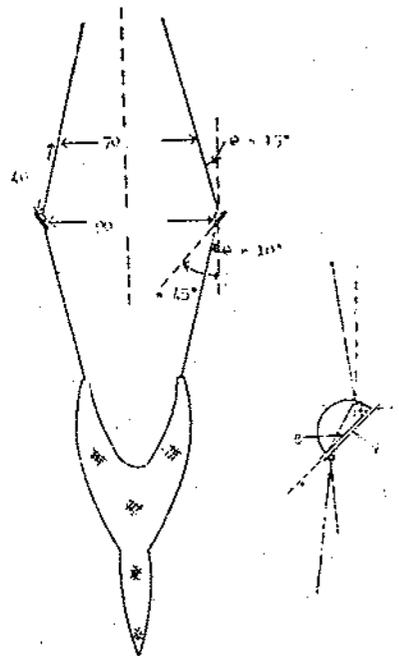


圖3.15 實驗E的網具及網板位置圖形

在不同拖行速度下，其網口高度及所受抵抗如表 3.7 及圖 3.13，圖中的實線表示漁具的總抵抗，包括網板及網具的抵抗，減除網板的抵抗後，網具的抵抗以虛線表示，而網板的抵抗及拖行速度的關係如圖 3.14 所示，另經計算後獲得實驗 E 的抵抗係數 k 及 v 的指數為

$$R = 0.36v^{1.66} \quad (3.6)$$

於此實驗中發現拖行速度大於 60cm/sec 以後 V 型網板始能穩定展開，即在實際作業中的拖行速度必須大於 2.5mile/hour 以後才能顯出 V 型網板的效能。又 V 型網板的抵抗與拖行速度的平方成比例，而在此實驗中，其仰角超過 45 度，其展開情形不太理想^{3.15~3.16}，由圖 3.15 可供參考。

3.4 實驗結果的檢討

網目展開情形

實驗中各模型網具的網目展開情形除拍照檢定外，為方便起見，以簡便記號如圖 3.5 所示；分成 A~H 部位，依網目的展開最佳的為 3，最劣的為 0。

表 3.7 實驗 E 的結果

實驗號碼	拖行速度		抵抗		網板展開距離	
	M (cm/sec)	F (cm/sec)	M (g)	F (kg)	M (cm)	F (m)
45	17.7	36	44.4	74.6	45	9
46	25	50.4	75	126	50	10
47	29.4	29.7	91.7	154	60	12
48	40	81.2	163	273	67	13.4
49	54	109	272.2	464	67.5	13.5
50	57	116	275	476	67.5	13.5
51	60.6	123	318	534	70	14
52	80	162.5	517	868.6	70	14
53	98	200	750	1260	—	—

M：模型網具的結果

F：換算為實際網具的結果

*：每條曳網所受張力

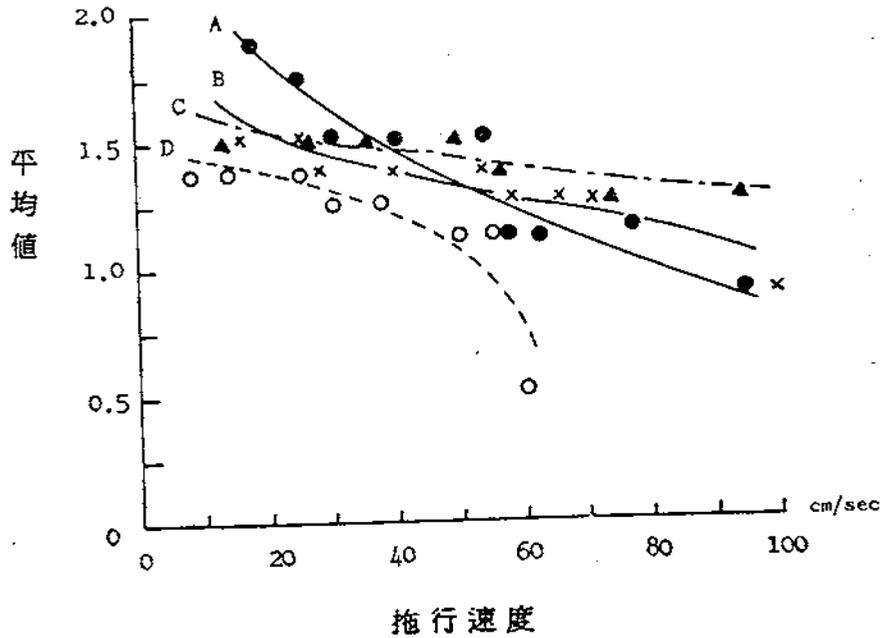


圖3.16 網目展開情形的比較圖形

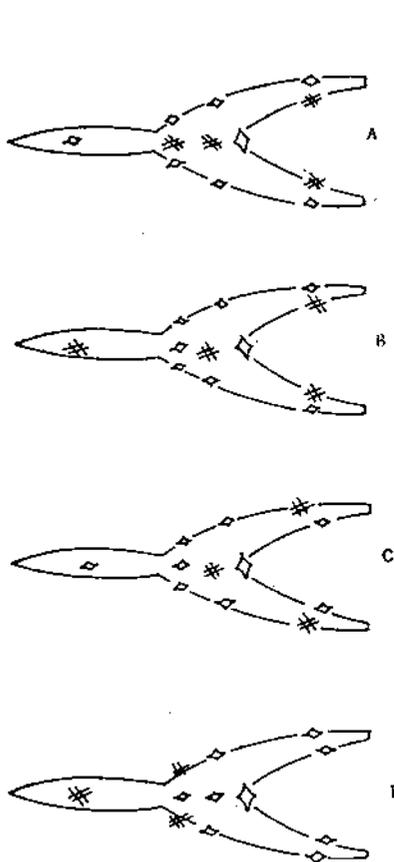


圖3.17 網地鬆緊的圖式
 ◇網目展開情形最佳
 *網目閉塞
 ◊介於上述之間的網目展開度

實驗 A —●—
 " B —×—
 " C —▲—
 " D○.....

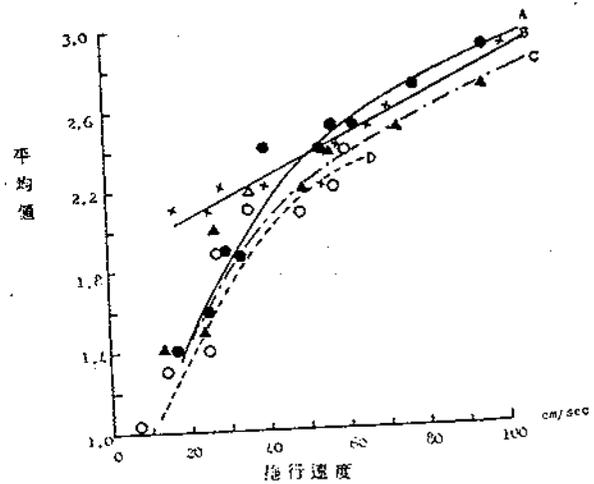


圖3.18 網地鬆緊情形的比較圖形

實驗 A —●—
 " B —×—
 " C —▲—
 " D○.....

其間以 2 及 1 分別於不同拖行速度下表示，列於表 3.8 為實驗 A 的結果，以同樣的方法我們得到其他實驗的結果於圖 3.16，由此可知因拖行速度的加快而網目閉塞情形的大概，而實驗 B 及 C 所使用的模型網，由於手木較高，對於拖行速度增快後的影響較小，同時對網地構成發揮有效利用，所以其網目展開情形比實驗 A 及 D 佳。而表 3.9 為實驗 A、B、C、D 的平均值，另以簡號自 A~H 部位表示網目展開形狀繪於圖 3.17。

網 地 伸 張 情 形

實驗 A 的網地伸張情形列於表 3.10，仍與前述方法相同以 3 代表網地伸張最緊部份，以 0 代表最鬆弛部份，而 2 與 1 代表其間的階段。然後我們獲得實驗 B、C 及 D 在不同拖行速度下，網地的鬆緊情形如圖 3.18，此際我們發現網地的伸張狀態依次為 D、C、B 及 A，若取自表 3.10 各行的平均值而自 A—H 部位安排，可由表 3.11 及圖 3.19 表示，惟所呈顯的現象與網目的展開情形甚為接近，僅於袖網及囊網部位不同，其原因係由於網具構造的特性

表 3.8 實驗 A 的網具各部位網目展開情形

拖行速度 (cm/sec)	A	B	C	D	E	F	G	H	總數	平均
18.2	2	2	3	1	2	1	2	2	15	1.9
25	1	2	3	1	2	1	2	2	14	1.7
29.8	0	1	3	1	2	1	2	2	12	1.5
40	0	1	3	1	2	1	2	2	12	1.5
54	0	1	3	1	2	1	2	2	12	1.5
57.1	0	1	3	0	2	0	2	1	9	1.1
62	0	1	3	0	2	0	2	1	9	1.1
76.9	0	1	3	0	2	0	2	1	9	1.1
95.2	0	1	3	0	1	0	1	1	7	0.9
總數	3	11	27	5	17	5	17	14		
平均	0.3	1.2	3.0	0.6	1.9	0.6	1.9	1.5		

依拖行速度而定 3 為網目展開最佳情形，0 為網目閉塞狀態，2 及 1 介於其間。

A：上袖網

B：下袖網

C：天井網

D：背網

E：腹網側

F：胴底

G：胴網側

H：囊網

表 3.9 網目展開情形的比較

實驗記號	A	B	C	D	E	F	G	H
A	0.3	1.2	3.0	0.6	1.9			1.5
B	0.9	1.5	2.9	0.9	1.8	1.0	1.7	0.8
C	1.5	0.6	3.0	0.6	1.5	1.0	1.8	1.8
D	1.4	1.4	2.5	1.5	1.5	1.0	0.5	0.5

指數 2.5至 3.0表示網目展開情形最佳以◇代表，但指數少於 1者表示網目閉塞以井代表，其餘指數自 1.0至 2.4介於上述情形之間以◁▷代表。

- A：上袖網
 B：下袖網
 C：天井網
 D：背網E腹網側
 F：胴網底
 G：胴網側
 H：囊網

表 3.10 實驗A的網具各部位所受張力指數

施行速度 (cm/sec)	A	B	C	D	E	F	G	H	總數	平均
18.2	1	0	3	3	0	3	1	0	11	1.4
25	1	0	3	3	1	3	1	1	13	1.6
29.5	2	1	3	3	1	3	1	1	15	1.9
40	2	1	3	3	1	3	2	2	19	2.4
54	2	2	3	3	2	3	2	2	19	2.4
57.1	3	2	3	3	2	3	3	3	20	2.5
62	3	2	3	3	2	3	2	2	20	2.5
76.9	3	3	3	3	2	3	3	2	23	2.9
95.2	3	3	3	3	2	3	3	3	23	2.9
Total	20	14	27	27	13	27	17	15		
Mean	2.2	1.5	3.0	3.0	1.4	3.0	3.0	1.7		

依施行速度，定 3為張力最大指數，0為最鬆弛指數，2及 1介於其間。

- A：上袖網
 B：下袖網
 C：天井網
 D：背網
 E：腹網側
 F：胴網底
 G：胴網側
 H：囊網

表3.11 網地所受張力的比較

實驗記號	A	B	C	D	E	F	G	H
A	2.2	1.5	3.0	3.0	1.4	3.0	3.0	1.7
B	2.8	1.7	3.0	3.0	1.7	2.9	2.3	1.4
C	2.5	1.7	2.8	2.8	1.4	2.8	1.9	1.6
D	2.2	1.0	2.9		1.4	2.1	1.1	0.9

受張力最強部位的指數為 2.5 至 3.0 以◎代表，最鬆弛部位的指數為 1.0 以下以○代表，指數 1.0 至 2.4 介於其間以◎代表。

- A：上袖網
- B：下袖網
- C：天井網
- D：背網
- E：腹網側
- F：胸網底
- G：胸網側
- H：囊網

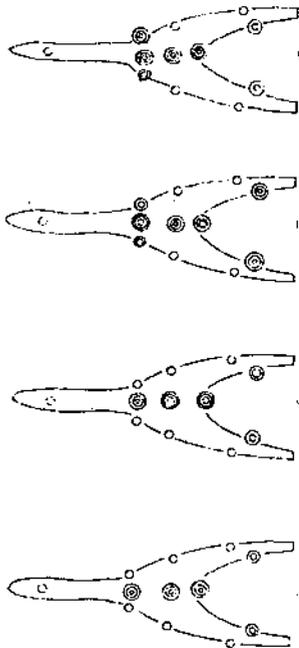


圖3.19 網具各部位特性圖式
 ◎：網地最緊部位
 ○：網地最鬆部位
 ◎：介於上述之間的網地

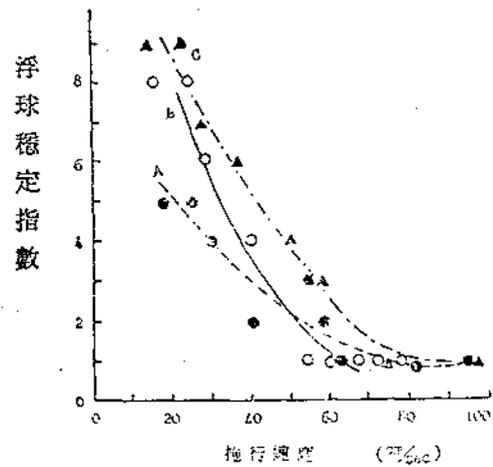


圖3.20 浮球穩定度的比較圖形

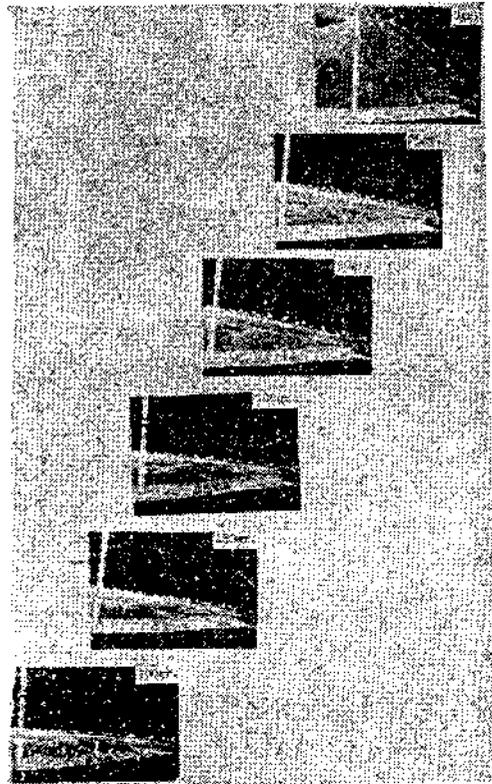
- 實驗A.....●.....
- “ B——○——
- “ C---▲---

浮子穩定情形

在實驗中，浮子的振動隨拖行速度的加快而加激，若將浮子網分成袖網端，大口門（中央部）及袖網底三部分，依上述方法將其分成四階段由數值表示，得知實驗C的浮子穩定度優於實驗A及B，如圖3.20所示。

網具所受抵抗

拖網作業中，最經濟的方法是盡量減低網具所受的流體抵抗，而本省的拖網具，在作業中天井網的降低最主要原因為其網身向後伸張的力量太大且使網具無法成一理想形狀，我們為了加深分析其受力傾向，在靜水中將囊網尾端聯繫一繩子，由水平方向往後拉，用以與拖行時相比較，如照片3.4所示；



照片 3.4 拖網具在靜水中曳引時之網口變化情形

其結果表示於圖3.21及表3.12。即2號網具在靜止水中曳引的力量與其拖行的抵抗及其天井網的降低情形頗為一致，而在使用同高度手木時3號網具的浮揚力較大。在曳引力量超過100公克時，其兩副網具的浮子網高度差異很小，但當曳引力小於100公克時3號網具浮子網的高度大於2號網具，其原因為3號網具有一較大的 lh/lt 結構，所以浮子網的浮揚力較大，當拖行速度緩慢時，浮子網成鬆弛現象，天井網往上揚，而在拖行速度增加後，浮子網及天井網部由於網身向後方壓迫的力量加大而降低。另一方面，2號網具由於天井網的結構不夠鬆柔，其曳引力量隨拖行速度的增加而急激增大。

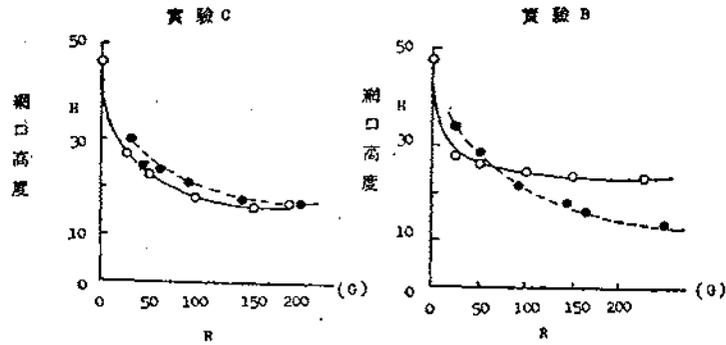


圖3.21 網具抵抗及網口高度的比較圖形

——○—— 靜水中網具抵抗與網口高度的關係
●..... 拖行中網具抵抗與網口高度的關係

表3.12 靜水中網口高度與曳引力的關係

曳 引 力 (g)	2 號 網 具 的 網 口 高 度* (cm)	3 號 網 具 的 網 口 高 度* (cm)
0	48	48
25	26	27.5
50	23	26
100	18	24
150	17.5	23
200	17	23

*：天井網的高度

實驗E的作業中，當拖行速度 98cm/sec (實際網具的作業為 4mile/hour) 時，其網具的抵抗為 2,520公斤，即

$$R = 2(750 \times 1680 \times 10^{-3}) = 2520 \text{kg}$$

另一方面，利用理論式³⁻¹⁷⁾ 我們可以計算該網具的抵抗為

$$R = 12.5(d/\ell)v^2\lambda^2 + (\rho/2)C_D S v^2,$$

上式中v為拖行速度，約為2m/sec，λ為沉子網長度42m，d/ℓ為0.02，C_D為V型網板的抵抗係數約為 1.2，S為網板面積2.1×1.5(m²)，而ρ為流體的密度，因此我們得到

$$R = 12.5 \times 0.02 \times 42^2 \times 2^2 + 0.6 \times 105 \times 1.5 \times 2.1 \times 2^2 = 2557.8 \text{kg}$$

即表示實驗所得的結果與理論式的計算值頗吻合，

其實海慶號試驗船的指示馬力為 380匹，依據小山氏^{3-18~3-19)} 研究的實驗式，在拖行速度 4mile/hour時，其有效馬力為2137.5kg即

$$E. H. P = 380 \times 0.15 \times (75/2) = 2137.5 \text{kg}.$$

顯示以海慶試驗船的馬力，不能拖行比 2 號網更大的網具。

網口高度

從實驗的結果，發現提高網口高度的方法有二；一為提高手木的高度及放大袖網的網目。另一方法如圖3.22所示；設定一前置浮子網，並結附浮子，其中間利用二條繩索連接於浮子網上，似此對於實際的作業毫無阻礙，又未增加網具抵抗，却能充分達成提高網口的效果³⁻²⁰⁾。

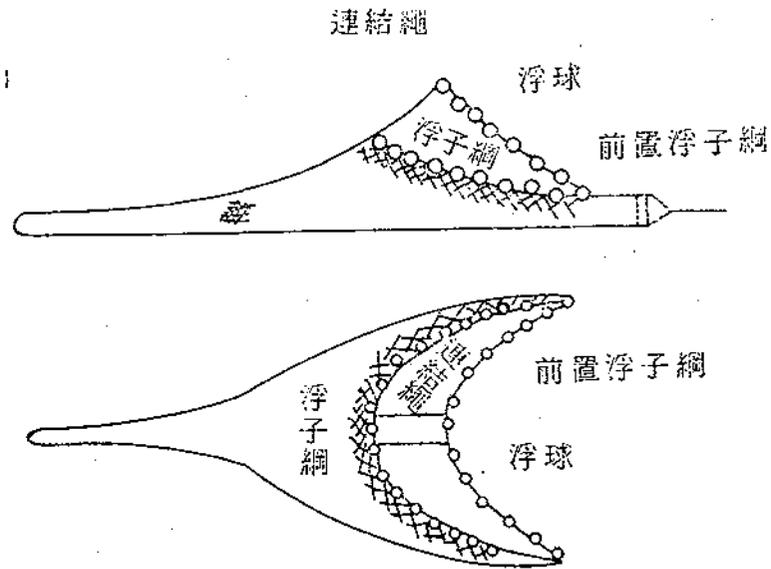


圖3.22 網口高度的提高方法

四、V型網板力學性能研究

許多有關網板的力學研究報告^{4.1~4.2)}認為平面網板已不能滿足拖網作業的要求。所以另有很多種型態的網板被試驗，而均以儘量減少其流體抵抗及增加展開力為目的。其實網板的設計最主要的仍然是必須依據拖網具的形狀，使用海域及其構造上的特性而決定使用網板的長度及寬度比，彎曲率，重量。尤其與曳綱的接點。譬如使用於中層拖網者，已有一種新式的立型網板被採用。

網板在拖網作業中除需要較大的展開力^{4.3~4.4)}外尚需良好的穩定性。迄今已有許多有關網板的實際作業試驗^{4.5~4.6)}及其模型試驗^{4.7~4.8)}。本省所使用的V型網板，雖然其展開力不如立型網板，但自1956年開始使用以來，已有百分之九十的拖網船採用，其原因乃由於V型網板有許多優點：①構造堅牢，②投、揚網時不絞纏，根據我們的實際海上作業經驗及美國經400次試驗作業的紀錄均未曾絞纏^{4.9)}，③價錢便宜，④不墜入泥土。雖然V型網的展開力較小，但却具有上述諸優點，並較其他網板穩定，就筆者所知，關於此方面的研究報告很少^{4.10)}，因此從事於V型網板力學性能的研究，以尋求增加其展開力的方法，對本省拖網漁業具有重大的價值。

我們利用一連串的水槽實驗及理論分析，針對V型網板的彎角 α ，傾角 β 及仰角 θ （如圖4.1）等在不同情形下，探討網板的展開力及其所受抵抗的變化。另一方面，我們將V型網板及其他網板的性能作一比較分述於后：

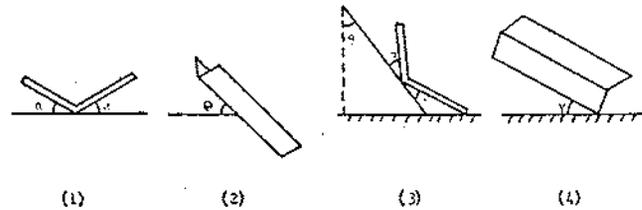


圖 4.1 關於V型網板各種角度說明圖式

(1) α ：彎曲角

(2) θ ：仰角

(3) β ：傾角

(4) γ ：起伏角

4.1 理論分析

假定V型網板的中心位置為○點(即原點)。在左座標系統(x, y, z)中，令x軸代表流水方向，y軸與x軸在同一平面上而互相垂直，而z軸則垂直於該平面。然後令(a, b, c)為V型網板彎曲線AA'的方向餘弦，而仰角 θ 介於AA'方向與流水方向之間如圖4.2所示，我們得到

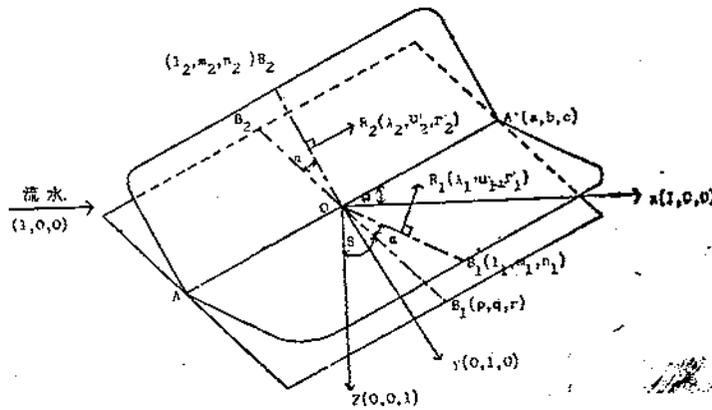


圖 4.2 V型網板的圖式

$$\begin{vmatrix} a & b & c \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{vmatrix} = \theta, \quad (4.1)$$

$$a \cdot \theta + b \cdot \theta + c \cdot \theta = \text{Cos} \theta, \quad (4.2)$$

$$\text{及 } a^2 + b^2 + c^2 = 1. \quad (4.3)$$

由上式解得：

$$\left. \begin{aligned} a &= \text{Cos} \theta \\ b &= -\text{Sin} \theta \\ c &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.4)$$

上式中， $b = -\text{Sin} \theta$ 與V型網板左側的展開力相吻合。

當V型網板無彎曲角，而其平面與垂直方向z軸成 β 角之際，該平面與AA'直交且經過原點若令為 $B_1 B_2$ ，則其方向餘弦假定為 (p, q, r) 則

$$a \cdot p + b \cdot q + c \cdot r = 0, \quad (4.5)$$

$$p \cdot \theta + q \cdot \theta + r \cdot 1 = \text{Cos} \beta, \quad (4.6)$$

$$p^2 + q^2 + r^2 = 1, \quad (4.7)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{即得 } p &= \text{Sin} \beta \text{Sin} \theta \\ g &= \text{Sin} \beta \text{Cos} \theta \\ r &= \text{Cos} \beta \end{aligned} \right\} \quad (4.8)$$

又使 OB_1' 及 OB_2' 的平面在AA'線上向上彎曲 α 角的線段而令其方向餘弦為 (l_1, m_1, n_1) ，但1表示1及2，而1表示V型網板的下側平面，2表示其上側平面，則得：

$$a \cdot l_i + b \cdot m_i + c \cdot n_i = 0, \quad (4.9)$$

$$l_i \cdot p + m_i \cdot g + n_i \cdot r = \pm \cos \alpha, \quad (4.10)$$

$$l_i^2 + m_i^2 + n_i^2 = 1, \quad (4.11)$$

解上述方程式得

$$\left. \begin{aligned} l_i &= \sin \theta \sin (\beta \pm \alpha) \\ m_i &= \cos \theta \sin (\beta \pm \alpha) \\ n_i &= \cos (\beta \pm \alpha) \end{aligned} \right\} \quad (4.12)$$

上式中，正負符號各代表 V 型網板的下側平面及上側平面。

其次，假定作用於 V 型網板每一平面的壓力為 R_i 均與板平面垂直，而令其方向餘弦為 $(\lambda_i, \mu_i, \gamma_i)$ 而 $i=1, 2$,

$$\text{則 } \begin{vmatrix} \lambda_i & \mu_i & \gamma_i \\ p & g & r \\ l_i & m_i & n_i \end{vmatrix} = 0, \quad (4.13)$$

$$\lambda_i \cdot l_i + \mu_i \cdot m_i + \gamma_i \cdot n_i = 0, \quad (4.14)$$

$$\lambda_i^2 + \mu_i^2 + \gamma_i^2 = 1, \quad (4.15)$$

解上述方程式得：

$$\left. \begin{aligned} \lambda_i &= \sin \theta \cos (\beta \pm \alpha) \\ \mu_i &= \cos \theta \cos (\beta \pm \alpha) \\ \gamma_i &= -\sin (\beta \pm \alpha) \end{aligned} \right\} \quad (4.16)$$

為推計 V 型網板及該兩平面的仰角關係，必先求其平面方程式，而由於該平面經過原點 O 且於 AA' 及 OB' 方向內，

$$\text{則 } \begin{vmatrix} x & y & z \\ a & b & c \\ l_i & m_i & n_i \end{vmatrix} = 0, \quad (4.17)$$

$$\text{或 } x \sin \theta \cos (\beta \pm \alpha) + y \cos \theta \cos (\beta \pm \alpha) - z \sin (\beta \pm \alpha) = 0.$$

若假定 V 型網板的兩平面對於流水 (1.0.0.) 的仰角為 θ_i ($i=1, 2$) 則得

$$\sin \theta_i = \frac{\sin \theta \cos (\beta \pm \alpha) \times 1 + \cos \theta \cos (\beta \pm \alpha) \times 0 - \sin (\beta \pm \alpha) \times 0}{\sqrt{\sin^2 \theta \cos^2 (\beta \pm \alpha) + \cos^2 \theta \cos^2 (\beta \pm \alpha) + \sin^2 (\beta \pm \alpha)}}$$

$$\text{或 } \sin \theta_i = \cos (\beta \pm \alpha) \sin \theta. \quad (4.18)$$

因內氏⁴⁻¹³⁾對於一平面的法線抵抗，若其仰為 θ 時的定義為

$$\frac{R}{R_0} = \frac{2 \sin \theta}{1 + \sin \theta}, \quad (4.19)$$

上式中， R_0 為單位長度網板垂直於流水的抵抗，通常以下式表示；

$$R_0 = \frac{1}{2} C_{D0} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot b, \quad (4.20)$$

上式中 C_{D0} 為網板與流水垂直之抵抗係數， ρ 為流體密度， v 為拖行速度而 b 為網板的寬度。

然而，我們再考慮與上述方程式有關的問題，在 α 角等於 0 度時的 V 型網板為一平面網板。若作用於此網板的總抵抗為 R_i ($i=1$ 及 2)，則

$$\frac{R_i}{R_0} = \frac{2 \sin \theta}{1 + \sin^2 \theta}, \quad (4.21)$$

上式中 R_0 為

$$R_0 = \frac{1}{2} C_{D0} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \frac{S}{2}, \quad (4.22)$$

C_{D0} 為網板與流水垂直時的抵抗係數， S 為網板的總面積，假定V型網板，其兩平面間互不干擾，則作用於V網板的抵抗分力為：

$$\left. \begin{aligned} R_x &= \sum_{i=1}^2 R_i \lambda_i = R_1 \lambda_1 + R_2 \lambda_2, \\ R_y &= \sum_{i=1}^2 R_i \mu_i = R_1 \mu_1 + R_2 \mu_2, \\ R_z &= \sum_{i=1}^2 R_i \gamma_i = R_1 \gamma_1 + R_2 \gamma_2, \end{aligned} \right\} (4.23)$$

將(4.21)式中的 $\frac{R_i}{R_0}$ 值代入(4.23)式得

$$\left. \begin{aligned} \frac{R_x}{2R_0} &= \sin \theta \left[\frac{\cos(\beta + \alpha)}{1 + \cos^2(\beta + \alpha) \sin^2 \theta} + \frac{\cos^2(\alpha - \alpha)}{1 + \cos^2(\beta - \alpha) \sin^2 \theta} \right], \\ \frac{R_y}{2R_0} &= \cos \theta \sin \theta \left[\frac{\cos^2(\beta + \alpha)}{1 + \cos^2(\beta + \alpha) \sin^2 \theta} + \frac{\cos^2(\beta - \alpha)}{1 + \cos^2(\beta - \alpha) \sin^2 \theta} \right], \\ \frac{R_z}{2R_0} &= -\sin \theta \left[\frac{\sin(\beta + \alpha) \cos(\beta + \alpha)}{1 + \cos^2(\beta + \alpha) \sin^2 \theta} + \frac{\sin(\beta - \alpha) \cos(\beta - \alpha)}{1 + \cos^2(\beta - \alpha) \sin^2 \theta} \right], \end{aligned} \right\} (4.24)$$

另一方面，網板的抵抗係數 C_D ，展開為係數 C_L ，及垂直向下力係數 C_z 定為：

$$\left. \begin{aligned} C_D &= \frac{R_x}{\frac{\rho v^2}{2} \cdot S \cdot \cos \alpha}, \\ C_L &= \frac{R_y}{\frac{\rho v^2}{2} \cdot S \cdot \cos \alpha}, \\ C_z &= \frac{R_z}{\frac{\rho v^2}{2} \cdot S \cdot \cos \alpha}, \end{aligned} \right\} (4.25)$$

而上式諸係數對 C_{D0} 的比為

$$\left. \begin{aligned} \frac{C_D}{C_{D0}} &= \frac{R_x}{2R_0 \cos \alpha} = \frac{\sin^2 \theta}{\cos \alpha} \left[\frac{\cos^2(\beta + \alpha)}{1 + \cos^2(\beta + \alpha) \sin^2 \theta} + \frac{\cos^2(\beta - \alpha)}{1 + \cos^2(\beta - \alpha) \sin^2 \theta} \right] \\ \frac{C_L}{C_{D0}} &= \frac{R_y}{2R_0 \cos \alpha} = \frac{\sin \theta \cos \theta}{\cos \alpha} \left[\frac{\cos^2(\beta + \alpha)}{1 + \cos^2(\beta + \alpha) \sin^2 \theta} + \frac{\cos^2(\beta - \alpha)}{1 + \cos^2(\beta - \alpha) \sin^2 \theta} \right] \\ \frac{C_z}{C_{D0}} &= \frac{R_z}{2R_0 \cos \alpha} = \frac{-\sin \theta}{\cos \alpha} \left[\frac{\sin(\beta + \alpha) \cos(\beta + \alpha)}{1 + \cos^2(\beta + \alpha) \sin^2 \theta} + \frac{\sin(\beta - \alpha) \cos(\beta - \alpha)}{1 + \cos^2(\beta - \alpha) \sin^2 \theta} \right] \end{aligned} \right\} (4.26)$$

若V型網板在作業中能保持直立狀態，上式均可簡化，即當 $\alpha = \beta = 0^\circ$ 時，我們可得：

$$\left. \begin{aligned} \frac{C_D}{C_{D0}} &= \frac{2\sin\theta}{1+\sin^2\theta} \cdot \sin\theta \\ \frac{C_L}{C_{D0}} &= \frac{2\sin\theta}{1+\sin^2\theta} \cdot \cos\theta \\ \frac{C_z}{C_{D0}} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.27)$$

而方程式左邊值等於R/R₀比，與方程式(4.19)相吻合，因此當β=0°時得：

$$\frac{C_D}{C_{D0}} = \frac{2\sin\theta\cos\alpha}{1+\cos^2\alpha\sin^2\theta} \cdot \sin\theta \quad (4.28)$$

$$\frac{C_L}{C_{D0}} = \frac{2\sin\theta\cos\alpha}{1+\cos^2\alpha\sin^2\theta} \cdot \cos\theta \quad (4.29)$$

垂直係數C_z/C_{D0}等於0，即表示其力量的大小相等，但方向相反而互相抵消所致。

4.2 實驗方法及使用材料

實際的V型網板構造如圖4.3所示；而在此實驗係運用模型網板，將其彎曲角度α由0°至45°，以每隔5°為一單位，分8種角度(即0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°及45°)作成模型，另於彎曲角15°的模型網板，將其傾角β由0°至45°分10種角度，仍於每隔5°為變化單位作實驗及測定其性能的變化。模型網板的構成為厚度0.6mm的鐵板，使用1/20的縮小比例即10.5cm×5cm的模型，但未包括挽鐵，拖鏈及曳網，而將其與一根長度17cm，直徑5m/m的鐵棒銲接後，設置於水槽裡，大約沒入水線下約5cm處，如圖4.4所示；

實驗地點在京都大學農學部水產物理學研究室的環流水槽實施，流水速度係由螺旋槳式的流速計測定，其範圍介於10~60cm/sec之間。另由松田式⁴⁻¹⁴⁾設計的測定抵抗及展開力的儀器，其配置情形如圖4.5所示，模型網板在鐵棒下端，而鐵棒的水上部份連接在儀器。但實際上網板的抵抗已將總抵抗減除鐵棒的抵抗。另為了隨時均能得知網板的仰角起見，使用自0°~360°精確圓規透明板，由於該圓規我們非常容易地將網板固定在任何所要求的仰角上。

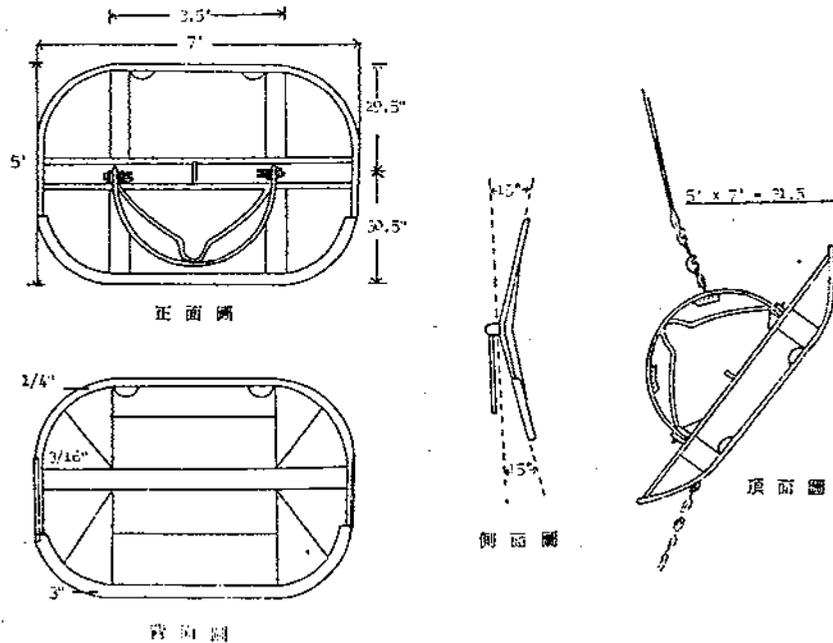


圖 4.3. v型網板的配置圖

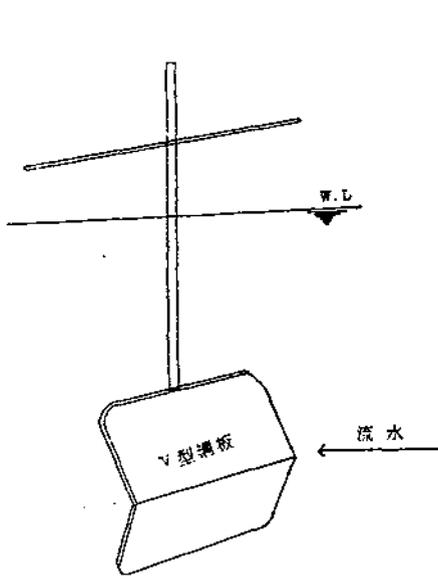


圖 4.4 V型網板的模型在水槽中的圖式

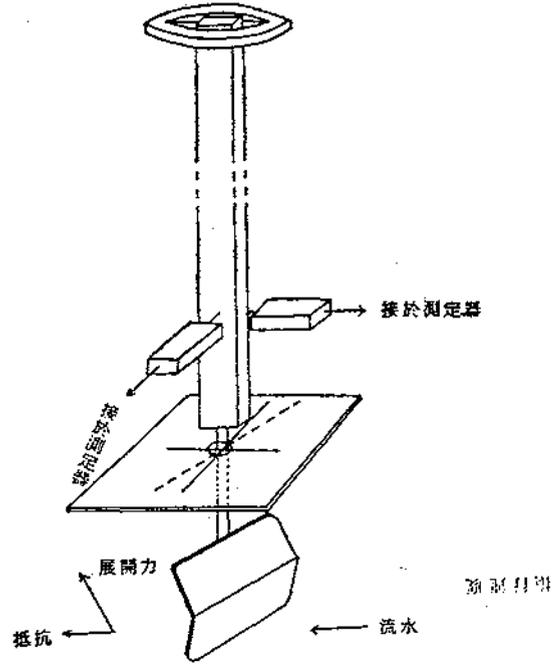


圖 4.5 測定展開力及抵抗的裝置圖式

4.3 實驗結果及其檢討

V型網板在流體中所受的抵抗及其展開力，已由上述方法測定，因此抵抗係數及展開力係數可由下式計算：

$$C_D = \frac{D}{\rho \cdot S \frac{v^2}{2}}$$

$$C_L = \frac{L}{\rho \cdot S \frac{v^2}{2}}$$

上式中 ρ 為流體密度， S 為V型網板的投影面積， v 為流水速度， D 及 L 為網板的抵抗及展開力，而 C_D 及 C_L 為其抵抗係數及展開力係數。實驗的結果如表 4.1所示。

表 4.1 以 θ 為參數的 C_L, C_D 與施行速度的關係
No. 0000 $\alpha=0^\circ, \beta=0^\circ$

θ		10°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°
v													
C_L	16.50	0.368	0.694	0.893	1.208	1.313	1.366	1.103	0.867	0.578	0.420	0.368	—
	24.30	0.291	0.630	0.843	0.969	1.017	1.080	0.872	0.618	0.569	0.363	0.218	—
	30.70	0.357	0.744	0.911	1.078	1.260	1.184	1.032	0.774	0.607	0.364	0.053	—
	37.58	0.324	0.792	0.891	1.063	1.190	1.215	0.982	0.820	0.638	0.329	0.076	—
	46.17	0.295	0.721	0.889	1.044	1.141	1.127	0.956	0.772	0.570	0.236	0.121	—
	54.70	0.311	0.698	0.841	0.994	1.090	1.100	0.980	0.741	0.543	0.254	0.120	—
	61.10	0.352	0.751	0.896	1.054	1.107	1.111	0.997	0.720	0.540	0.335	0.119	—
C_D	16.50	—	0.421	0.458	0.553	0.777	0.908	0.928	1.021	1.115	1.265	1.358	1.396
	24.30	—	0.148	0.293	0.487	0.680	0.874	0.874	0.971	1.116	1.310	1.358	1.455
	30.70	—	0.179	0.296	0.493	0.689	0.908	1.026	0.914	1.982	1.307	1.335	1.363
	37.58	—	0.143	0.269	0.479	0.689	0.905	1.108	0.994	1.146	1.279	1.413	1.432
	46.17	—	0.165	0.294	0.502	0.683	0.969	1.046	0.943	1.124	1.279	1.396	1.435
	54.70	—	0.135	0.390	0.478	0.748	0.917	1.402	0.860	1.150	1.280	1.859	1.385
	61.10	—	0.182	0.281	0.461	0.660	0.887	1.012	0.843	1.011	1.166	1.265	1.307

表 4.1 (繼續) No.05 $\alpha=5^\circ$, $\beta=0^\circ$

	θ v	θ											
		10°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°
C_L	17.10	0.093	0.637	0.736	0.863	0.883	0.858	0.637	0.637	0.172	—	—	—
	23.23	0.266	—	0.771	1.036	0.957	1.156	0.903	0.728	0.664	0.361	—	—
	31.23	0.294	0.662	0.801	0.941	1.044	1.103	—	0.691	0.500	0.279	—	—
	38.17	0.305	0.699	0.793	1.053	1.083	1.083	0.935	0.630	0.472	0.305	0.092	—
	47.23	0.251	0.611	0.823	0.932	1.041	1.093	0.918	0.643	0.476	0.321	0.064	—
	54.70	0.268	0.699	0.815	0.975	1.061	1.078	1.006	0.683	0.508	0.326	0.091	—
	60.13	0.337	0.678	0.902	1.051	1.118	1.142	0.903	0.698	0.559	0.356	0.139	—
	C_D	17.10	0.062	0.253	0.287	0.426	0.582	0.808	0.860	0.773	1.034	1.207	1.294
23.23		0.001	0.141	0.282	0.451	0.752	0.846	0.912	0.874	0.940	1.128	1.232	1.316
31.23		0.00	0.160	0.290	0.504	0.634	0.816	0.920	0.790	0.946	1.102	0.207	1.259
38.17		0.008	0.149	0.323	0.452	0.707	0.881	0.898	0.851	0.881	1.020	1.124	1.229
47.23		0.004	0.156	0.247	0.463	0.656	0.781	0.861	0.770	0.941	1.020	1.134	1.180
54.70		0.001	0.117	0.313	0.482	0.652	0.805	0.722	0.788	0.906	1.059	1.137	1.261
60.13		0.003	0.158	0.327	0.481	0.706	0.853	0.862	0.860	0.986	1.113	1.211	1.239

表 4.1 (繼續) No.1000 $\alpha=10^\circ$, $\beta=0^\circ$

	θ v	θ											
		10°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°
C_L	15.02	0.161	0.708	0.837	0.191	1.320	1.384	1.288	0.869	0.773	0.332	—	—
	22.77	0.289	0.588	0.784	0.924	1.008	1.135	1.008	0.700	0.560	0.364	0.078	—
	30.17	0.191	0.670	0.718	0.877	1.053	1.053	1.021	0.670	0.619	0.379	0.048	—
	37.10	0.253	0.612	0.802	0.966	1.097	0.139	1.002	0.686	0.559	0.285	0.053	—
	45.10	0.257	0.60	0.764	0.932	1.096	1.132	1.060	0.678	0.539	0.316	0.999	—
	53.58	0.238	0.597	0.582	0.946	1.073	1.100	1.012	0.683	0.506	0.309	0.111	—
	57.90	0.221	0.656	0.860	0.961	1.148	1.161	1.057	0.698	0.555	0.353	0.117	—
	C_D	15.02	0.105	0.010	0.085	0.427	0.465	0.655	0.693	0.845	1.035	1.131	1.225
22.77		0.007	0.150	0.189	0.316	0.592	0.739	0.867	0.837	0.984	1.083	1.181	1.377
30.17		0.058	0.087	0.187	0.312	0.551	0.728	0.898	0.716	0.938	1.109	1.200	1.211
37.10		0.017	0.124	0.258	0.454	0.646	0.874	1.011	0.886	1.023	1.219	1.298	1.415
45.10		0.043	0.088	0.220	0.404	0.562	0.798	0.903	0.798	1.022	1.140	1.250	1.250
53.58		0.028	0.107	0.233	0.381	0.621	0.843	0.746	0.805	0.988	1.105	1.231	1.337
57.90		0.022	0.085	0.227	0.391	0.555	0.748	0.826	0.741	0.883	1.069	1.188	1.283

表 4.1 (繼續) No.1500 $\alpha=15^\circ$, $\beta=0^\circ$

v	θ	10°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°
	C _L	17.10	0.390	0.587	0.836	0.947	1.115	0.947	0.669	0.440	0.279	0.100	—
23.77		0.234	0.606	0.730	0.952	0.882	0.965	0.744	0.496	0.399	0.224	0.096	—
31.17		0.204	0.642	0.836	1.036	0.084	1.084	1.006	0.619	0.387	0.218	—	—
39.23		0.257	0.018	0.775	0.990	1.016	1.047	0.712	0.608	0.439	0.219	0.058	—
46.17		0.292	0.668	0.182	0.968	1.120	1.069	0.767	0.626	0.478	0.296	0.049	—
55.57		0.252	0.700	0.772	0.937	1.030	1.056	0.726	0.618	0.520	0.286	0.082	—
61.10		0.284	0.674	0.777	1.003	1.027	1.067	0.699	0.606	0.542	0.277	0.069	—
C _D		17.10	—	0.086	0.184	0.319	0.572	0.533	0.669	0.766	1.038	1.057	1.194
	23.77	0.005	0.183	0.344	0.504	0.715	0.855	0.705	0.805	0.956	1.086	1.176	1.062
	31.77	0.006	0.233	0.306	0.493	0.685	0.785	0.679	0.772	0.947	1.003	1.176	1.179
	39.23	0.023	0.131	0.316	0.584	0.744	0.764	0.704	0.805	0.905	1.125	1.176	1.206
	46.17	0.023	0.198	0.359	0.547	0.708	0.815	0.708	0.842	0.976	1.138	1.178	—
	55.57	0.021	0.209	0.317	0.578	0.757	0.878	0.763	0.842	1.020	1.168	1.223	1.247
	61.10	0.014	0.218	0.312	0.545	0.698	0.822	0.684	0.771	0.953	1.091	1.179	1.192

表 4.1 (繼續) No.2000 $\alpha=20^\circ$ $\beta=0^\circ$

v	θ	10°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°
	C _L	17.10	0.442	0.781	1.093	1.119	1.093	1.145	0.885	0.812	0.567	0.416	0.104
23.77		0.350	0.633	0.916	1.010	1.078	0.997	0.835	0.727	0.566	0.350	—	—
30.70		0.307	0.630	0.840	0.969	1.090	1.114	0.775	0.646	0.565	0.339	0.081	—
38.70		0.298	0.635	0.780	0.972	1.011	1.034	0.781	—	0.510	0.327	0.115	—
46.30		0.298	0.675	0.831	0.994	1.029	1.037	0.710	0.625	0.490	0.341	0.085	—
54.70		0.295	0.702	0.804	0.941	1.017	1.119	0.722	0.595	0.448	0.270	0.061	—
61.10		0.281	0.665	0.852	0.954	0.039	1.069	0.709	0.698	0.510	0.314	0.098	—
C _D		17.10	0.111	0.129	0.169	0.490	0.668	0.888	0.628	0.848	0.888	1.087	1.267
	23.77	0.054	0.209	0.302	0.549	0.721	0.880	0.756	0.828	1.034	1.086	1.158	1.181
	30.70	0.025	0.190	0.298	0.465	0.675	0.854	0.675	0.794	0.944	1.123	1.213	1.183
	38.70	0.010	0.167	0.312	0.559	0.724	0.889	0.745	0.807	1.033	1.178	1.219	1.243
	46.30	0.018	0.176	0.314	0.607	0.687	0.811	0.756	0.833	0.966	1.115	1.198	—
	54.70	0.015	0.164	0.306	0.469	0.648	0.855	0.713	0.758	0.988	1.112	1.160	1.202
	61.10	0.001	0.168	0.299	0.491	0.673	0.848	0.681	0.748	0.988	1.048	1.122	1.167

表 4.1 (繼續) No.2500 $\alpha=25^\circ$, $\beta=0^\circ$.

		θ												
		10°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°	
C_L	v	17.10	0.432	0.539	0.648	1.349	0.999	1.430	1.133	0.543	0.378	0.378	0.097	—
		23.77	0.237	0.642		0.866	0.978	1.006	0.670	0.615	0.391	0.335	0.084	—
		31.23	0.348	0.639	0.761	0.914	1.003	1.003	0.890	0.615	0.494	0.291	0.113	—
		38.70	0.242	0.590	0.756	0.948	0.980	1.001	0.769	0.580	0.400	0.253	0.047	—
		46.17	0.267	0.592	0.779	0.929	1.014	1.006	0.777	0.666	0.555	0.337	0.059	—
		53.58	0.299	0.659	0.797	0.987	1.017	1.056	0.673	0.605	0.478	0.267	0.088	—
		60.28	0.261	0.608	0.804	0.912	1.008	1.042	0.717	0.582	0.443	0.282	0.096	—
C_D		17.10	0.115	0.071	0.134	0.362	0.506	0.713	0.630	0.713	0.776	1.003	1.126	1.230
		23.77	0.065	0.109	0.216	0.398	0.633	0.772	0.836	0.751	0.868	1.095	1.125	1.178
		31.23	0.038	0.085	0.209	0.295	0.587	0.699	0.830	0.699	0.860	1.039	1.102	1.132
		38.70	0.019	0.126	0.276	0.425	0.618	0.814	0.883	0.771	0.878	1.070	1.177	1.220
		47.17	0.041	0.105	0.233	0.425	0.611	0.769	0.760	0.754	0.932	1.040	1.155	1.198
		53.58	0.037	0.115	0.271	0.423	0.589	0.781	0.833	0.739	0.886	1.031	1.139	1.199
		60.28	0.008	0.123	0.246	0.403	0.581	0.713	0.828	0.697	0.884	1.008	1.085	1.116

表 4.1 (繼續) No.3000 $\alpha=30^\circ$, $\beta=0^\circ$.

		θ												
		10°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°	
C_L	v	17.30	—	0.381	0.552	0.606	0.723	0.651	0.286	0.386	0.331	—	—	—
		23.77	0.117	0.438	0.570	0.672	0.731	0.752	0.512	0.380	0.263	0.146	—	—
		30.70	0.193	0.596	0.739	0.789	0.841		0.613	0.473	0.315	0.228	0.035	—
		38.70	0.243	0.540	0.739	0.893	0.915	0.937	0.662	0.551	0.353	0.176	0.022	—
		46.17	0.271	0.573	0.779	0.852	0.953	0.969	0.697	0.566	0.256	0.194	0.066	—
		53.58	0.270	0.593	0.759	0.874	0.995	1.007	0.690	0.524	0.391	0.213	0.043	—
		61.10	0.243	0.602	0.774	0.885	0.973	0.982	0.734	0.513	0.411	0.257	0.128	—
C_D		17.30	0.121	0.121	0.097	0.163	0.469	0.537	0.555	0.555	0.730	0.818	0.949	0.971
		23.77	0.048	0.104	0.228	0.319	0.578	0.679	1.018	0.894	0.916	1.074	1.155	1.166
		30.70	0.014	0.071	0.156	0.332	0.509	0.678	0.836	0.803	0.868	1.064	1.097	1.195
		38.70	0.003	0.102	0.205	0.341	0.526	0.692	0.891	0.837	0.925	1.017	1.117	1.142
		46.17	0.022	0.086	0.192	0.343	0.464	0.645	0.826	0.732	0.856	1.040	10.98	1.158
		53.58	0.009	0.101	0.223	0.375	0.597	0.679	0.824	0.779	0.913	1.002	1.035	1.102
		61.10	0.009	0.081	0.191	0.359	0.523	0.654	0.769	0.695	0.818	0.949	10.22	1.063

表 4.1 (繼續) No.4500 $\alpha=45^\circ$, $\beta=0^\circ$

θ v		θ											
		10°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°
C _L	16.33	—	—	—	0.114	0.281	0.331	0.152	—	—	—	—	—
	23.77	0.135	0.215	0.358	0.465	0.609	0.752	0.573	0.294	0.104	—	—	—
	30.70	0.191	0.489	0.579	0.712	0.837	1.030	0.836	0.579	0.393	0.221	—	—
	39.10	0.132	0.484	0.592	0.767	0.827	0.906	0.741	0.595	0.410	0.258	—	—
	49.26	0.176	0.479	0.622	0.825	0.968	10.37	0.889	0.612	0.415	0.227	0.035	—
	53.58	0.198	0.472	0.606	0.810	0.888	0.916	0.810	0.564	0.416	0.211	0.127	—
	60.28	0.188	0.504	0.627	0.807	0.902	0.974	0.849	0.585	0.423	0.267	0.050	—
C _D	16.33	0.014	0.014	0.118	0.118	0.383	0.648	0.781	0.648	0.727	0.861	0.913	0.913
	23.77	0.140	0.209	0.346	0.414	0.620	0.852	0.861	0.861	1.099	1.099	1.168	1.168
	30.70	0.022	0.010	0.197	0.340	0.499	0.737	0.810	0.771	0.896	0.935	0.975	1.094
	39.10	0.031	0.129	0.249	0.414	0.578	0.788	0.756	0.732	0.961	1.071	1.126	1.208
	49.26	0.053	0.032	0.156	0.303	0.435	0.665	0.808	0.723	0.802	0.967	1.040	1.095
	53.58	0.063	0.050	0.190	0.352	0.501	0.657	0.739	0.689	0.825	0.947	1.041	1.082
	60.28	0.031	0.059	0.218	0.307	0.486	0.655	0.748	0.652	0.794	0.914	0.953	1.093

表 4.1 (繼續) No.1505 $\alpha=15^\circ$, $\beta=5^\circ$

θ v		θ											
		10°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°
C _L	16.83	0.350	0.627	0.836	0.837	1.045	0.941	0.915	0.732	0.392	0.313	0.209	—
	23.77	0.325	0.618	0.970	1.014	1.035	0.970	0.609	0.798	0.419	0.346	0.184	—
	31.50	0.268	0.671	0.661	0.941	0.970	0.851	0.597	—	0.523	0.328	0.208	—
	39.23	0.278	0.644	0.828	0.943	0.982	0.887	0.035	0.568	0.423	0.356	0.058	—
	46.70	0.353	0.713	0.856	1.009	1.093	0.956	0.730	0.533	0.489	0.373	0.220	—
	54.70	0.297	0.643	0.841	0.970	1.015	0.941	0.732	0.589	0.463	0.314	0.049	—
	61.63	0.331	0.690	0.891	0.999	1.072	0.932	0.674	0.640	0.433	0.376	0.172	—
C _D	16.73	—	0.188	0.365	0.458	0.642	0.929	0.642	0.679	0.828	0.995	0.995	1.013
	23.77	—	0.153	0.153	0.366	0.598	0.684	0.663	0.737	0.830	0.923	1.007	1.016
	31.50	—	0.140	0.298	0.420	0.590	0.694	0.642	0.642	0.800	0.890	0.906	0.959
	39.23	—	0.124	0.294	0.413	0.651	0.711	0.651	0.651	0.805	0.924	0.959	0.993
	46.70	—	0.179	0.262	0.431	0.610	0.671	0.600	0.702	—	0.888	0.984	1.021
	54.70	—	0.165	0.287	0.410	0.604	0.655	0.638	0.690	0.831	0.910	1.007	1.024
	61.63	—	0.165	0.261	0.454	0.565	0.647	0.633	0.682	0.834	0.924	1.007	1.031

表 4.1 (繼續) No.1510 $\alpha=15^\circ$, $\beta=10^\circ$

θ v	10°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°	
	C_L	17.10 23.78 30.70 39.77 46.17 53.68 60.57	0.329 0.247 0.216 0.289 0.261 0.292 0.288	0.582 0.494 0.539 0.567 0.636 0.599 0.595	0.608 0.741 0.670 0.655 0.707 0.708 0.714	0.735 0.754 0.708 0.770 0.836 0.816 0.786	0.810 0.823 0.862 0.770 0.857 9.816 0.826	— 0.778 0.682 0.683 0.756 0.743 0.753	0.364 0.576 0.600 0.664 0.685 0.705 0.649	0.127 0.450 0.477 0.452 0.500 0.559 0.495	0.253 0.359 0.292 0.327 0.342 0.366 0.381	0.405 0.212 0.204 0.218 0.264 0.197 0.238	— — — 0.010 0.022 0.025 0.445
C_D	17.10 23.78 30.70 39.77 46.17 53.56 60.57	0.107 0.003 0.041 0.015 0.017 0.010 0.011	0.087 0.112 0.133 0.151 0.132 0.160 0.145	0.241 0.213 0.272 0.243 0.292 0.276 0.23	0.336 0.393 0.352 0.355 0.339 0.395 0.386	0.433 0.455 0.497 0.439 0.440 0.453 0.411	0.569 0.505 0.541 0.544 0.561 0.541 0.548	0.569 0.504 0.584 0.563 0.507 0.573 0.574	0.624 0.654 0.631 0.664 0.647 0.622 0.613	0.727 0.704 0.709 0.737 0.702 0.720 0.713	0.760 0.755 0.783 0.780 0.703 0.769 0.754	0.856 0.805 0.820 0.815 0.810 0.837 0.831	0.854 0.855 0.889 0.864 0.827 0.887 0.878

表 4.1 (繼續) No.1515 $\alpha=15^\circ$, $\beta=15^\circ$

θ v	10°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°	
	C_L	16.83 23.9 31.56 37.58 46.17 54.70 60.57	0.288 0.285 0.253 0.237 0.199 0.223 0.250	0.340 0.545 0.446 0.503 0.522 0.485 0.523	0.392 0.622 0.580 0.629 0.608 0.611 0.723	0.601 0.074 0.639 0.734 0.715 0.710 0.689	0.680 0.738 0.758 0.786 0.736 0.723 0.795	0.444 0.674 0.624 0.671 0.679 0.668 0.711	0.325 0.596 0.557 0.581 0.557 0.584 0.607	0.418 0.519 0.453 0.566 0.478 0.488 0.490	0.167 0.311 0.253 0.435 0.336 0.371 0.377	0.016 0.208 0.141 0.162 0.207 0.178 0.192	— 0.078 — — — 0.025 0.030
C_D	16.83 23.90 31.56 37.58 46.17 54.70 60.57	0.111 0.013 0.037 0.092 0.032 0.009 0.001	0.126 0.102 0.138 0.183 0.130 0.129 0.159	0.184 0.203 0.249 0.298 0.278 0.278 0.276	0.474 0.404 0.423 0.483 0.439 0.466 0.421	0.572 0.604 0.598 0.620 0.574 0.613 0.581	0.668 0.754 0.714 0.764 0.707 0.723 0.675	0.668 0.701 0.656 0.723 0.707 0.693 0.654	0.766 0.704 0.714 0.784 0.734 0.713 0.713	0.863 0.955 0.859 0.924 0.895 0.881 0.814	1.018 0.995 1.004 1.004 1.030 1.009 0.989	1.057 1.055 1.004 1.145 1.084 1.118 1.047	1.095 1.105 1.120 1.165 1.137 1.138 1.069

表 4.1 (繼續) No. 1520 $\alpha=15^\circ$, $\beta=20^\circ$

v	θ	θ											
		10°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°
C _L	16.99	0.128	0.098	0.359	0.405	0.565	0.369	0.252	0.154	0.144	—	—	—
	23.77	0.196	0.366	0.393	0.498	0.615	0.577	0.551	0.419	0.210	0.210	—	—
	31.23	0.135	0.380	0.560	0.607	0.631	0.557	0.607	0.280	0.273	0.191	0.023	—
	39.23	0.145	0.392	0.501	0.615	0.674	0.587	0.558	0.385	0.231	0.193	—	—
	47.	0.173	0.372	0.498	0.574	0.604	0.564	0.511	0.418	0.277	0.196	0.106	—
	54.70	0.168	0.396	0.532	0.579	0.618	0.594	0.544	0.445	0.287	0.190	0.042	—
	61.52	0.195	0.411	0.528	0.626	0.646	0.568	0.501	0.430	0.386	0.226	0.125	—
C _D	16.99	—	0.011	0.175	0.211	0.302	0.447	0.447	0.448	0.610	0.629	0.629	0.629
	23.77	—	0.042	0.180	0.273	0.366	0.459	0.459	0.552	0.570	0.645	0.738	—
	31.23	0.009	0.064	0.171	0.268	0.386	0.440	0.467	0.521	0.601	0.627	0.709	0.762
	39.23	0.005	0.089	0.175	0.278	0.345	0.413	0.498	0.522	0.600	0.617	0.686	0.729
	47.23	0.004	0.090	0.161	0.264	0.372	0.419	0.478	0.525	0.525	0.607	0.643	0.737
	54.70	0.015	0.077	0.148		0.349	0.445	0.480	0.533	0.569	0.630	0.673	0.691
	61.52	0.015	0.083	0.165	0.248	0.332	0.443	0.470	0.512	0.568	0.594	0.671	0.692

表 4.1 (繼續) No. 1525 $\alpha=15^\circ$, $\beta=25^\circ$

v	θ	θ											
		10°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°
C _L	15.56	—	0.216	0.372	0.378	0.594	0.432	0.432	0.270	0.324	0.135	—	—
	22.96	0.225	0.377	0.506	0.674	0.702	0.506	0.590	0.393	0.351	0.163	0.140	—
	31.23	0.152	0.326	0.470	0.531	0.547	0.531	0.547	0.364	0.326	0.226	0.094	—
	38.70	0.168	0.376	0.465	0.574	0.628	0.504	0.504	0.445	0.316	0.218	0.094	—
	47.23	0.166	0.392	0.498	0.557	0.631		0.445	0.431	0.362		0.093	—
	53.58	0.165	0.418	0.516	0.619	0.634	0.547	0.516	0.451	0.309	0.258	0.103	—
	61.10	0.182	0.397	0.504	0.576	0.624	0.496	0.484	0.456	0.297	0.234	0.083	—
C _D	15.56	—	0.093		0.093	0.189	0.380	0.285	0.380	0.400	0.514	0.571	0.571
	22.96	0.008	0.052		0.150	0.300	0.370	0.400	0.450	0.499	0.528	0.598	0.598
	31.23	0.044	0.063		0.198	0.333	0.359	0.359	0.440	0.467	0.520	0.547	0.575
	38.70	0.028	0.043		0.182	0.295	0.357	0.392	0.462	0.398	0.532	0.567	0.603
	47.23	0.032	0.044		0.208	0.255	0.361	0.420	0.443	0.467	0.513	0.572	0.584
	53.58	0.024	0.066		0.204	0.323	0.395	0.431	0.469	0.501	0.541	0.578	0.633
	61.10	0.014	0.071		0.226	0.281	0.380	0.408	0.436	0.478	0.534	0.605	0.633

表 4.1 (繼續) No.1530 $\alpha=15^\circ$, $\beta=30^\circ$

θ v		θ											
		10°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°
C _L	17.37	—	0.344	0.510	0.538	0.510	0.368	0.392	0.108	—	—	—	—
	23.50	0.027	0.147	0.403	0.526	0.588	0.433	0.443	0.402	0.201	0.215	—	—
	31.23	0.038	0.243	0.389	0.579	0.596	0.508	0.425	0.349	0.197	0.121	—	—
	39.23	0.101	0.365	0.489	0.517	0.556	0.528	0.414	0.337	0.193	0.125	0.038	—
	47.23	0.159	0.312	0.498	0.521	0.575	0.510	0.451	0.339	0.226	0.107	0.010	—
	54.70	0.168	0.331	0.486	0.543	0.571	0.514	0.406	0.332	0.302	0.109	—	—
	60.02	0.185	0.370	0.546	0.603	0.657	0.551	0.403	0.390	0.247	0.115	—	—
C _D	17.37	—	—	0.011	0.076	0.163	0.163	0.249	0.285	0.285	0.302	0.336	0.423
	23.50	—	—	0.091	0.139	0.187	0.282	0.378	0.329	0.377	0.424	0.472	0.472
	31.23	0.016	0.036	0.117	0.150	0.268	0.300	0.333	0.386	0.440	0.440	0.494	0.494
	39.23	0.013	0.022	0.107	0.191	0.277	0.318	0.379	0.413	0.413	0.481	0.515	0.515
	47.23	0.027	0.055	0.113	0.201	0.278	0.326	0.349	0.396	0.442	0.481	0.514	0.537
	54.70	0.028	0.051	0.130	0.200	0.288	0.340	0.393	0.410	0.428	0.471	0.498	0.523
	50.02	0.025	0.077	0.120	0.224	0.288	0.368	0.411	0.440	0.469	0.513	0.527	0.557

表 4.1 (繼續) No.1535 $\alpha=15^\circ$, $\beta=35^\circ$

θ v		θ											
		10°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°
C _L	16.83	—	0.079	0.314	0.575	0.392	0.523	0.470	0.183	0.209	0.099	—	—
	23.50	—	0.287	0.402	0.482	0.496	0.442	0.469	0.415	0.295	0.202	0.048	0.134
	30.70	—	0.306	0.424	0.471	0.448	0.504	0.471	0.349	0.306	0.125	0.061	0.075
	38.70	—	0.356	0.425	0.484	0.505	0.505	0.425	0.366	0.272	0.158	0.109	—
	47.18	—	0.319	0.386	0.465	0.446	0.446	0.357	0.333	0.353	0.163	0.076	—
	53.58	—	0.336	0.433	0.464	0.496	0.469	0.423	0.364	0.242	0.168	0.034	—
	61.10	—	0.351	0.396	0.468	0.444	0.444	0.416	0.357	0.268	0.179	0.077	—
C _D	16.83	—	0.050	0.088	0.088	0.180	0.235	0.273	0.291	0.328	0.328	0.420	0.420
	23.50	—	0.044	0.044	0.159	0.187	0.282	0.301	0.358	0.377	0.396	0.392	0.453
	30.70	—	0.041	0.125	0.180	0.280	0.292	0.308	0.375	0.375	0.403	0.431	0.459
	38.70	—	0.060	0.095	0.154	0.252	0.288	0.322	0.375	0.392	0.410	0.428	0.428
	47.18	—	0.043	0.112	0.138	0.232	0.267	0.302	0.338	0.374	0.374	0.396	0.420
	53.58	—	0.048	0.121	0.185	0.231	0.286	0.322	0.341	0.369	0.414	0.450	0.369
	61.10	—	0.043	0.085	0.169	0.237	0.292	0.312	0.338	0.387	0.394	0.422	0.450

表 4.1 (繼續) No.1540 $\alpha=15^\circ$, $\beta=40^\circ$

θ v		10°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°
C _L	17.10	—	0.167	0.254	0.330	0.380	0.452	0.436	0.304	—	—	—	—
	22.79	0.057	0.185	0.214	0.285	0.427	0.470	0.422	0.291	0.142	0.086	—	—
	28.53	0.091	0.273	0.313	0.327	0.418	0.364	0.500	0.273	0.164	0.118	—	—
	38.70	0.089	0.198	0.292	0.321	0.377	0.336	0.277	0.286	0.228	0.069	—	—
	48.30	0.095	0.200	0.247	0.276	0.330	0.330	0.311	0.219	0.178	0.102	—	—
	54.70	0.084	0.213	0.262	0.324	0.354	0.366	0.322	0.262	0.169	0.099	0.020	—
	63.22	0.107	0.211	0.260	0.337	0.355	0.333	0.296	0.267	0.198	0.106	0.048	—
C _D	17.10	—	—	0.008	0.008	0.008	0.081	0.117	0.117	0.171	0.171	0.171	0.171
	22.79	0.047	0.047	0.003	0.023	0.104	0.124	0.195	0.225	0.286	0.286	0.286	0.306
	28.53	0.007	0.034	0.031	0.096	0.160	0.224	0.289	0.321	0.353	0.353	0.353	0.306
	38.70	—	0.007	0.035	0.095	0.247	0.211	0.234	0.287	0.287	0.305	0.305	0.264
	48.30	—	0.008	0.038	0.087	0.149	0.199	0.217	0.331	0.284	0.306	0.306	0.306
	54.70	—	0.008	0.060	0.103	0.165	0.200	0.268	0.270	0.305	0.305	0.314	0.323
	63.22	—	0.007	0.053	0.093	0.139	0.204	0.244	0.257	0.270	0.290	0.290	0.309

表 4.1 (繼續) No.1545 $\alpha=15^\circ$ $\beta=45^\circ$

θ v		10°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°
C _L	16.63	—	0.216	0.270	0.373	0.514	0.319	0.260	—	—	—	—	—
	23.77	—	0.159	0.212	0.344	0.357	0.344	0.331	0.264	0.291	0.127	—	—
	31.23	0.222	0.222	0.229	0.322	0.353	0.256	0.307	0.261	0.184	0.100	0.054	—
	39.23	—	0.19	0.262	0.272	0.286	0.311	0.340	0.252	0.144	0.068	0.258	—
	46.70	—	0.185	0.219	0.247	0.288	0.302	0.281	0.254	0.192	0.096	0.017	—
	54.70	—	0.185	0.220	0.260	0.335	0.320	0.275	0.238	0.165	0.125	0.052	—
	61.10	—	0.188	0.233	0.281	0.330	0.349	0.281	0.255	0.161	0.144	0.066	—
C _D	16.63	—	0.003	0.035	0.035	0.131	0.131	0.227	0.208	0.189	0.189	0.189	0.284
	23.77	—	0.005	0.083	0.061	0.088	0.182	0.182	0.192	0.229	0.229	0.229	0.257
	31.23	—	0.010	0.016	0.064	0.118	0.173	0.184	0.276	0.254	0.260	0.281	0.281
	39.23	—	0.004	0.056		0.142	0.177	0.207	0.245	0.262	0.262	0.280	0.280
	46.70	—	0.011	0.040	0.095	0.132	0.192	0.217	0.253	0.265	0.278	0.278	0.290
	54.70	—	0.008	0.048	0.087	0.114	0.175	0.220	0.246	0.264	0.264	0.273	0.273
	61.10	—	0.029	0.043	0.100	0.114	0.178	0.228	0.263	0.263	0.263	0.277	0.284

該表顯示抵抗係數及展開力係數與流水速度及網板大小的關係甚微，除因仰角而異外大致呈一定值。

圖 4.6 表示 C_D 及 C_L 與流速的關係，而依彎曲角 $0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$ ，及 45° 與傾角 $5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ$ 及 45° 等的改變而異其值。

在不同的彎曲角(α)中，當 $\theta=90^\circ$ 時之 C_D 及 $\theta=40^\circ$ 時之 C_L 為 1.4 至 1.7 及 0.9 至 1.3。另一方面，在不同傾角(β)中，當 $\theta=90^\circ$ 時之 C_D 及 $\theta=35^\circ$ 時之 C_L 為 0.4 至 1.2 及 0.47 至 1.01。從這些實驗結果我們獲得 V 型網板的抵抗係數及展開力係數均隨彎曲角 α 及傾角 β 的不同而變化。尤其隨傾角 β 的影響較大，考其原因，係由於 V 型網板投影面積的改變所致。

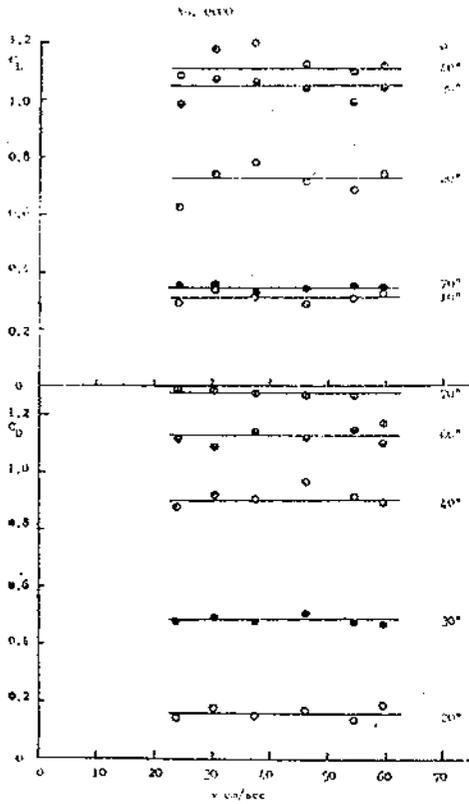


圖4.6—1以仰角 θ 為參數之 C_D 及 C_L 與拖行速度的關係圖形

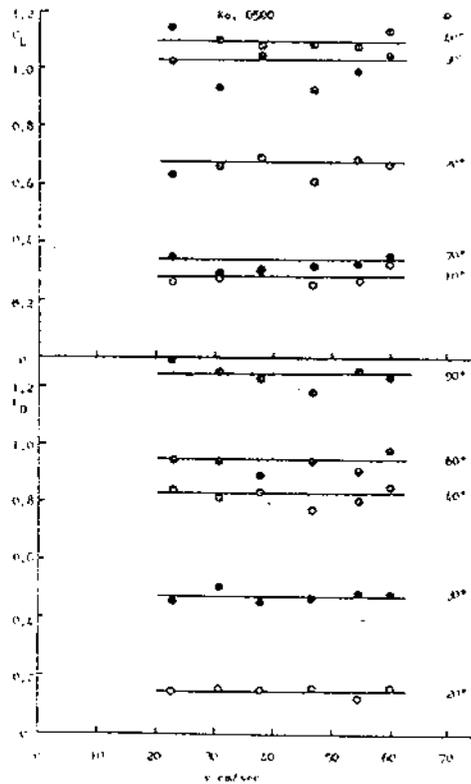


圖4.6 (繼續)

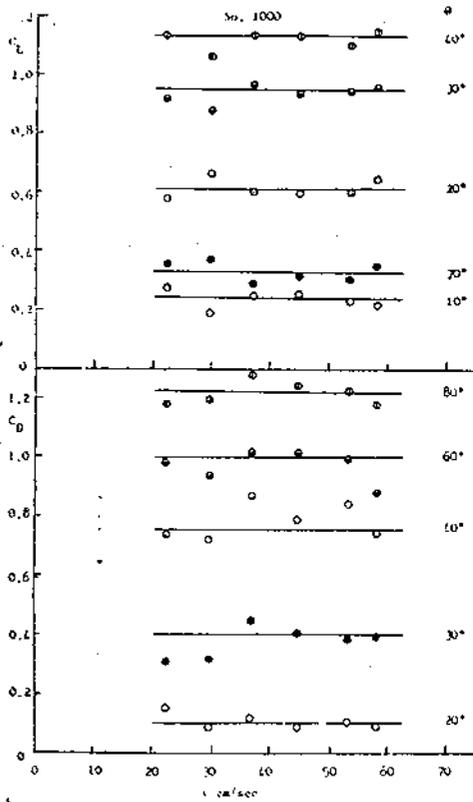


圖4.6 (繼續)

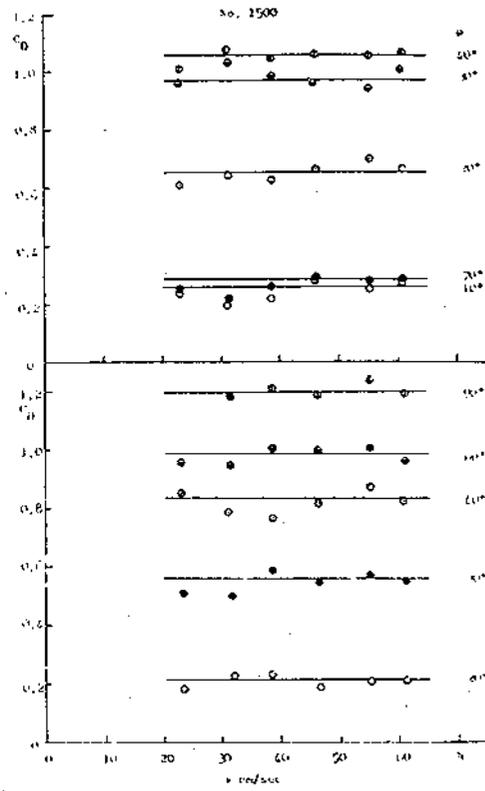


圖4.6 (繼續)

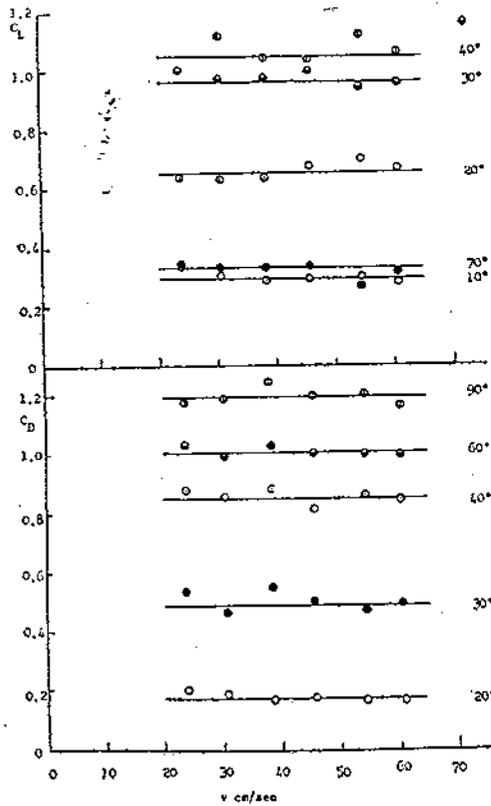


圖4.6 (繼續)

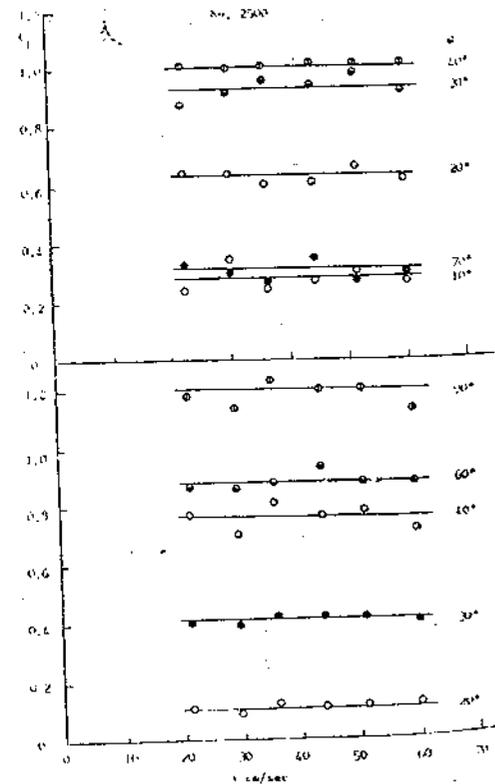


圖4.6 (繼續)

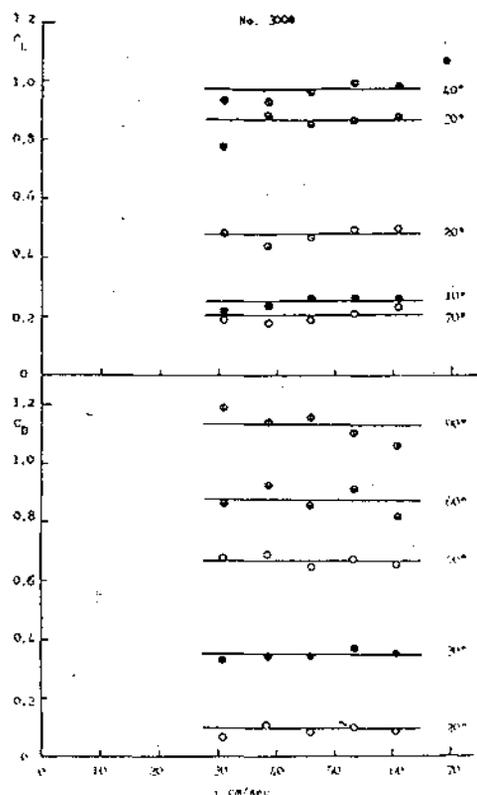


圖4.6 (繼續)

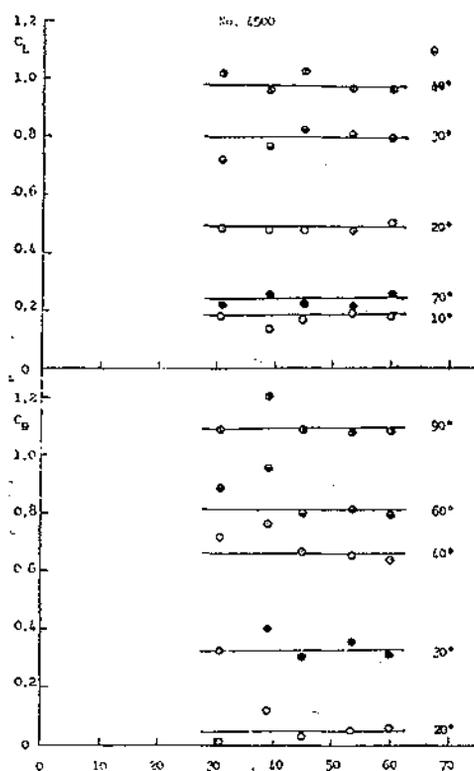


圖4.6 (繼續)

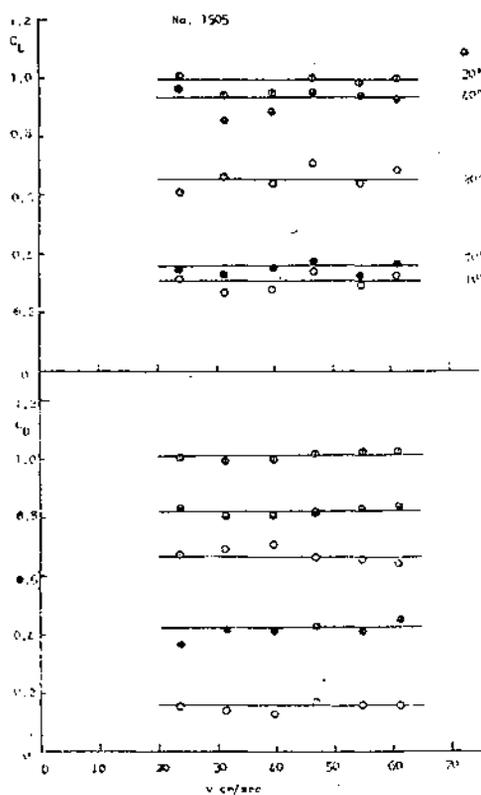


圖4.6 (繼續)

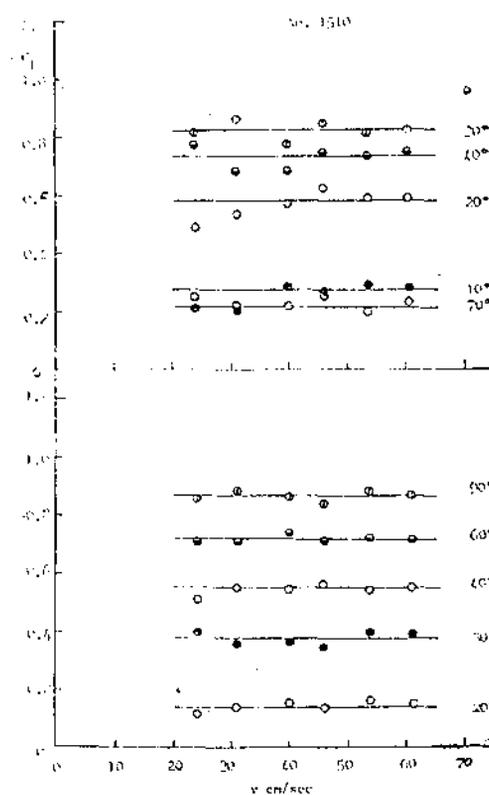


圖4.6 (繼續)

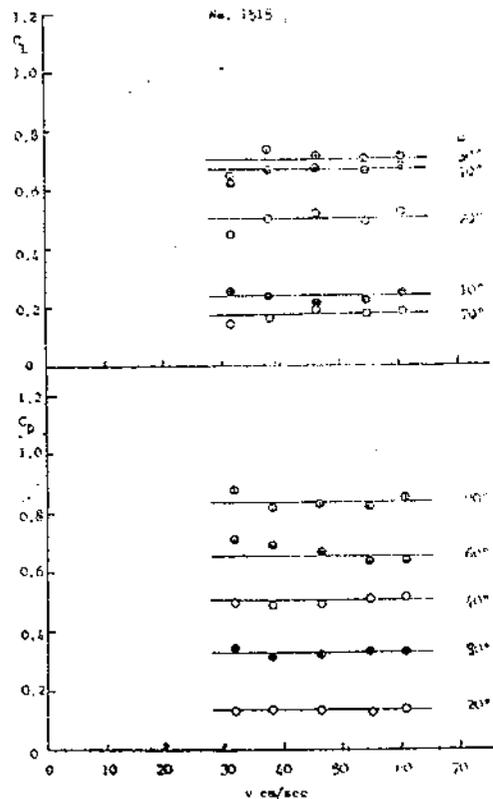


圖4.6 (繼續)

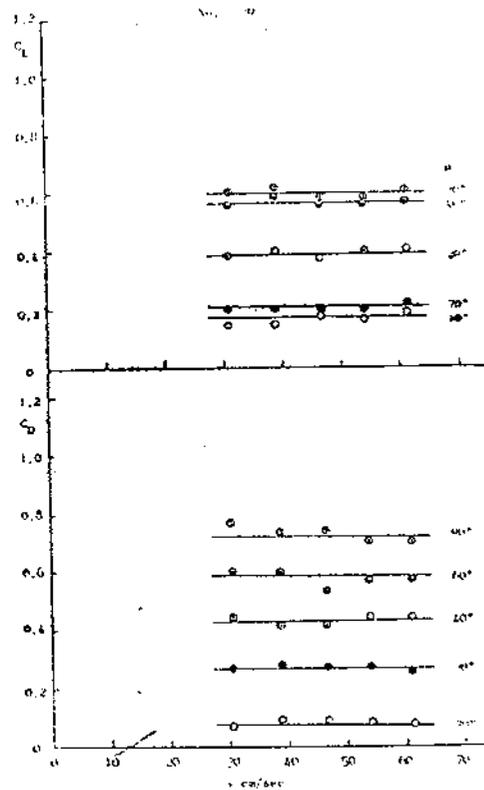


圖4.6 (繼續)

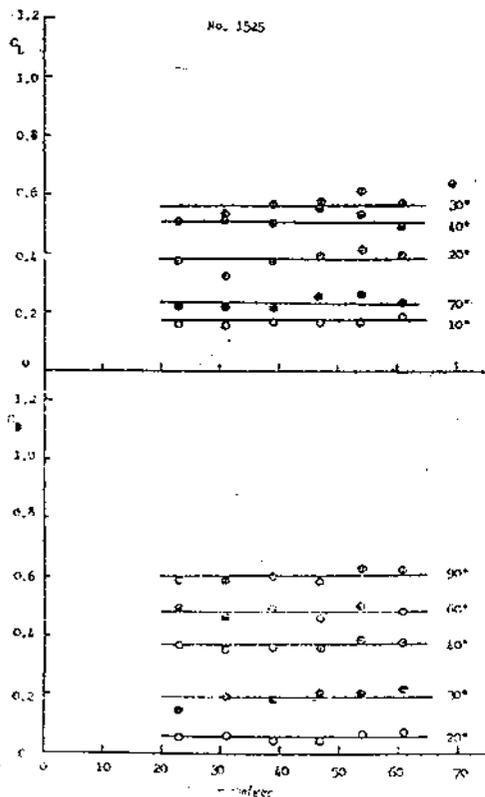


圖4.6 (繼續)

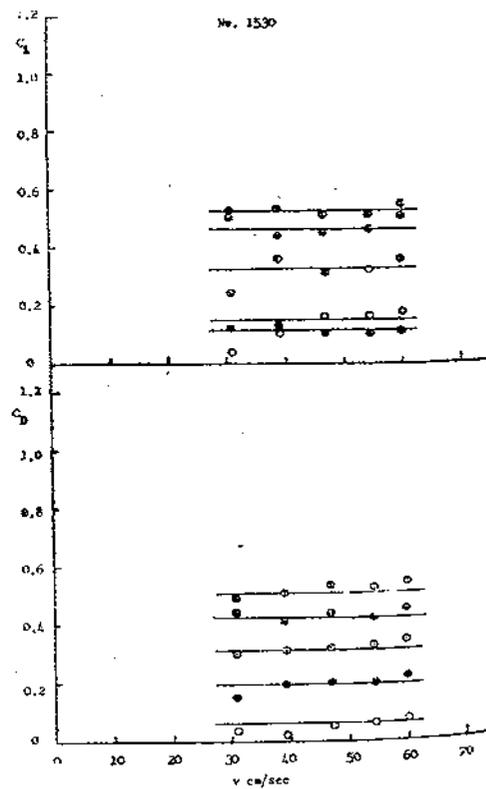


圖4.6 (繼續)

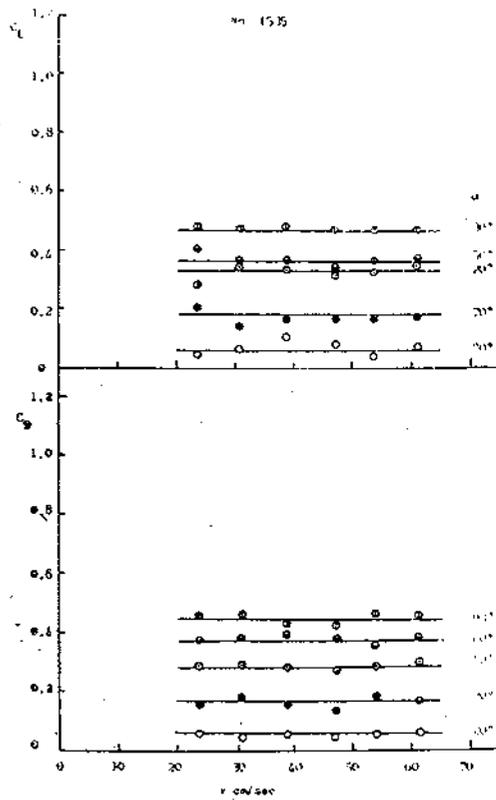


圖4.6 (繼續)

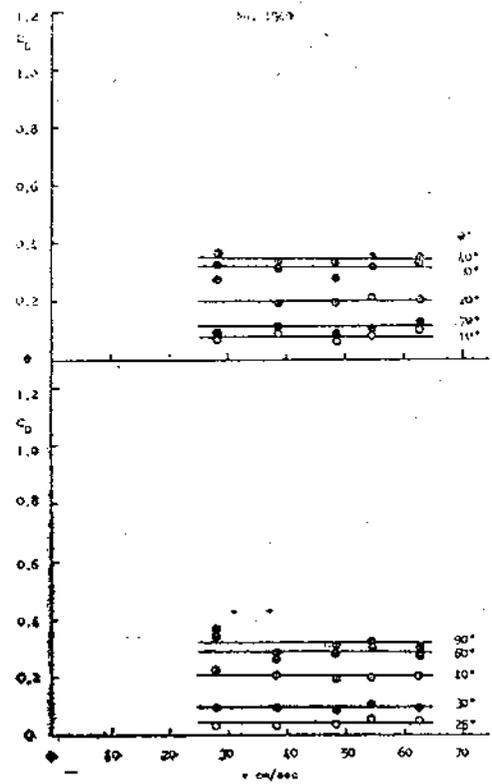


圖4.6 (繼續)

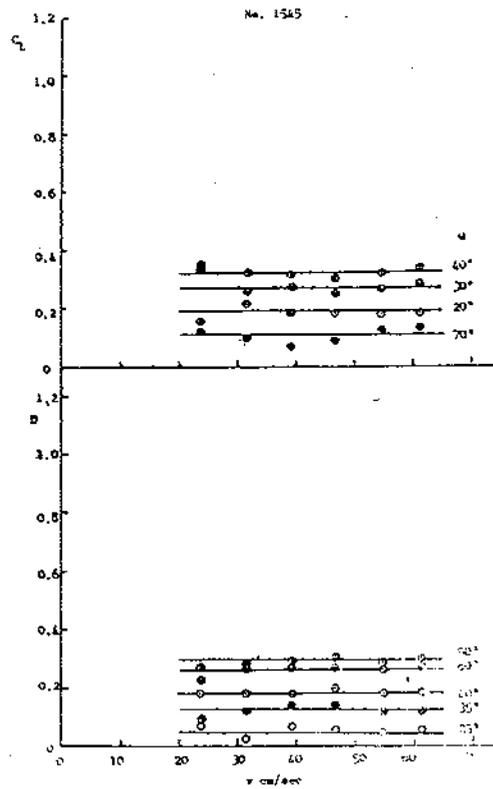


圖4.6 (繼續)

在上述圖中，我們所採取的係數均於流速30cm/sec以上者，因從實驗結果顯示：當流速大於30cm/sec時抵抗及展開力係數趨近於一常數，而我們採用其平均值。

網板的抵抗係數及展開力係數與仰角 θ 關係如圖 4.7，很顯然的，網板的抵抗係數及展開力係數因參數 α 的增加而減少。在 C_D 與 θ 的關係中，通常均依仰角的增大而抵抗係數亦隨之增大，惟在 $\theta = 50^\circ$ 左右，有一不連續點出現，而該不連續程度隨 V 型網板的彎角而減少。似乎說明在接近該仰角時，網板後方的死水域的變化情形較大。

此外，當 $\alpha = 15^\circ$ ，而 β 改變時 C_D 及 C_L 與 θ 的關係示於圖 4.19，我們發現與上述同樣趨勢，而 C_D 及 C_L 因 β 的增加而呈急速減少。換句話說，當傾角增加時，V 型網板的抵抗及展開力突減，但當 $\theta = 50^\circ$ 左右時，並未發現如上述之不連續點，這可能由於 V 型網板傾斜後該死水域較為穩定，而受仰角 θ 的影響較小的緣故。

為了檢討及實用起見，將實測結果與理論值作一比較，表示於圖 4.9，即當 $\beta = 0^\circ$ 時，以 α 為參數而 C_D/C_{D0} 、 C_L/C_{L0} 與 θ 的關係比較其實測及計算值，在 $\theta = 40^\circ$ 以下時，兩者的結果頗為吻合。圖 4.10 表示平面網板的抵抗及仰角的關係，圖中的實線表示方程式^{4.19)}的理論值而圓圈表示實測值在 $\theta < 30^\circ$ 及 $50^\circ < \theta < 90^\circ$ 時理論值大於實測值，但當 $30^\circ < \theta < 45^\circ$ 及 $\theta < 40^\circ$ 時兩者相等即說明由一經驗的方程式而能符合實測值時，實驗與理論之間便能吻合，圖 4.11 及 4.12 為當 $\beta = 0^\circ$ 時，以 θ 為參數而因 α 的變化而表示 C_D/C_{D0} 及 C_L/C_{L0} ，從實驗結果顯示：抵抗及展開力均隨彎角 α 的增大而減少，而在我們的實驗範圍內，抵抗係數及展開力係數隨彎角 α 的變化在 α 等於 0° 至 20° 之間甚小，實測值與理論值的減少傾向，大體上頗為一致。尤其當仰角在 30° 至 40° 之間，實測值與理論值甚為吻合，但在 $\theta < 30^\circ$ 時部份理論值較大，可能由於計算係採用 4.19 方程式，它係比較適用於平面網板而已。

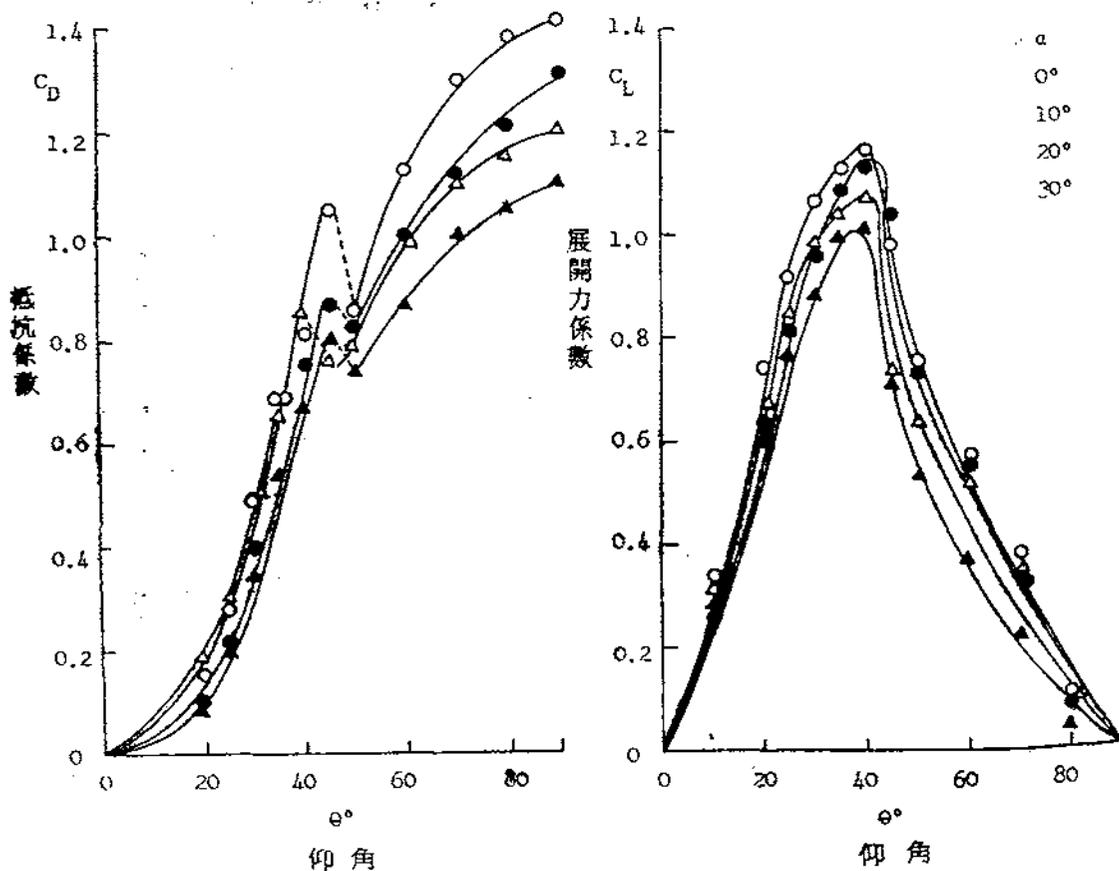


圖 4.7—1 當 $\beta = 0$ ，而改變 α 角時 C_D 及 C_L 與 θ 的關係圖形

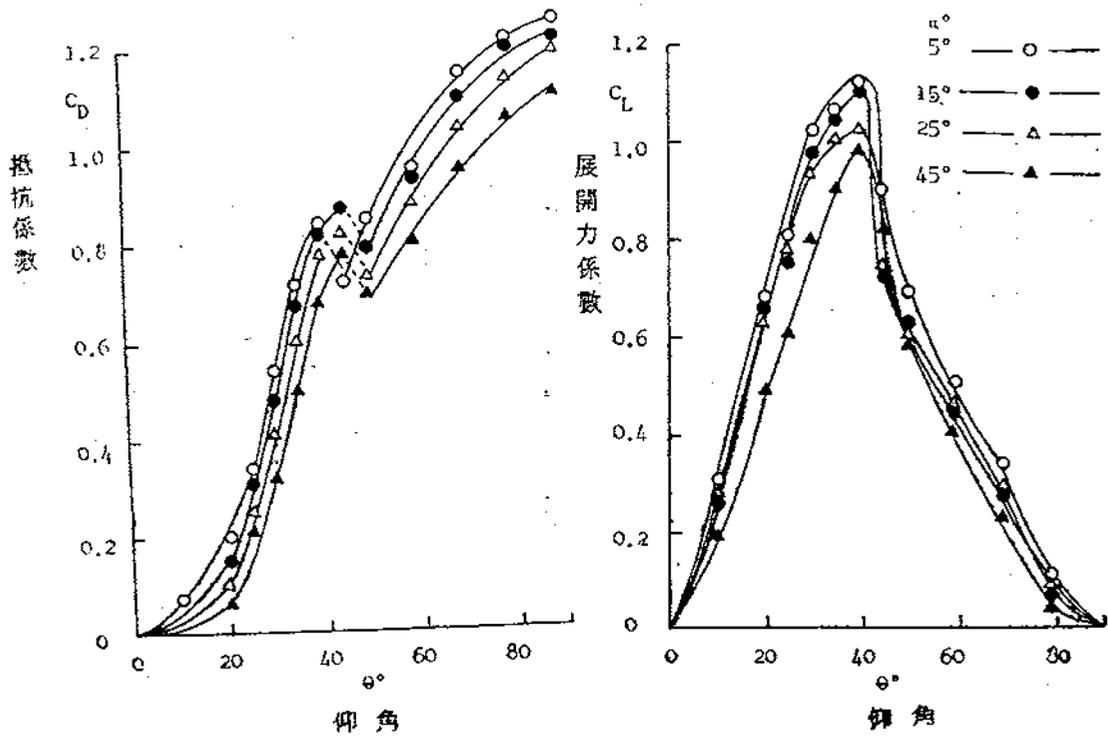


圖 4.7-2 當 $\beta=0$ ，而改變 α 時 C_D 及 C_L 與 θ 的關係圖形

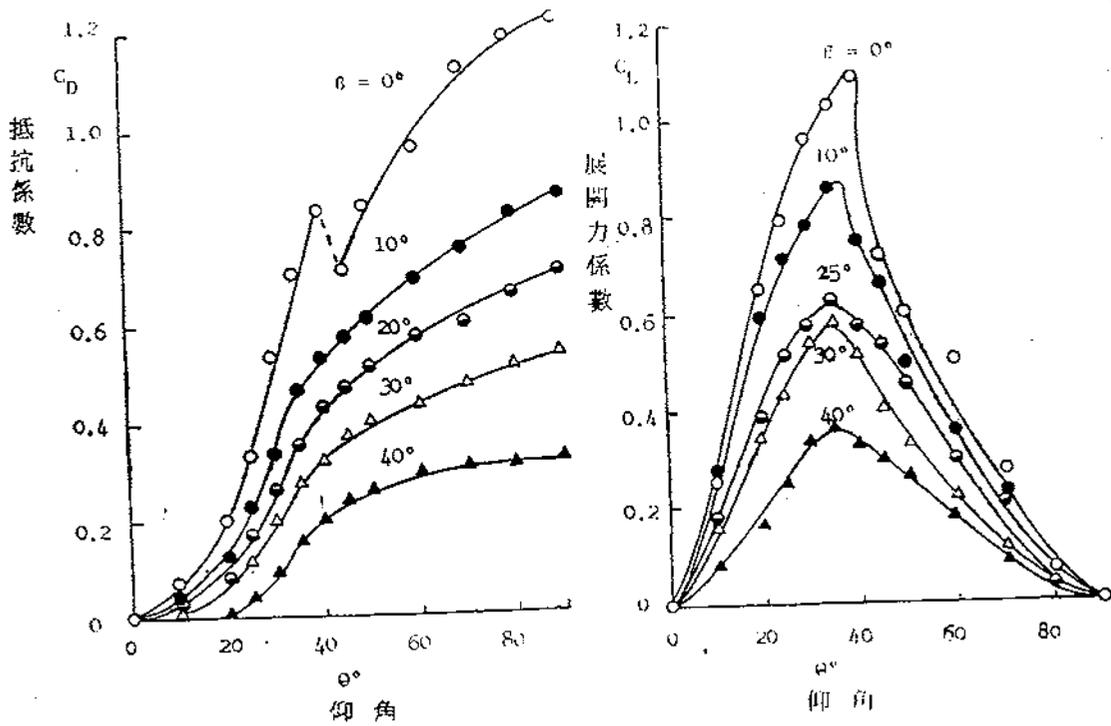


圖 4.8-1 當 $\alpha=15^\circ$ ，而改變 β 時 C_D 及 C_L 與 θ 的關係圖形

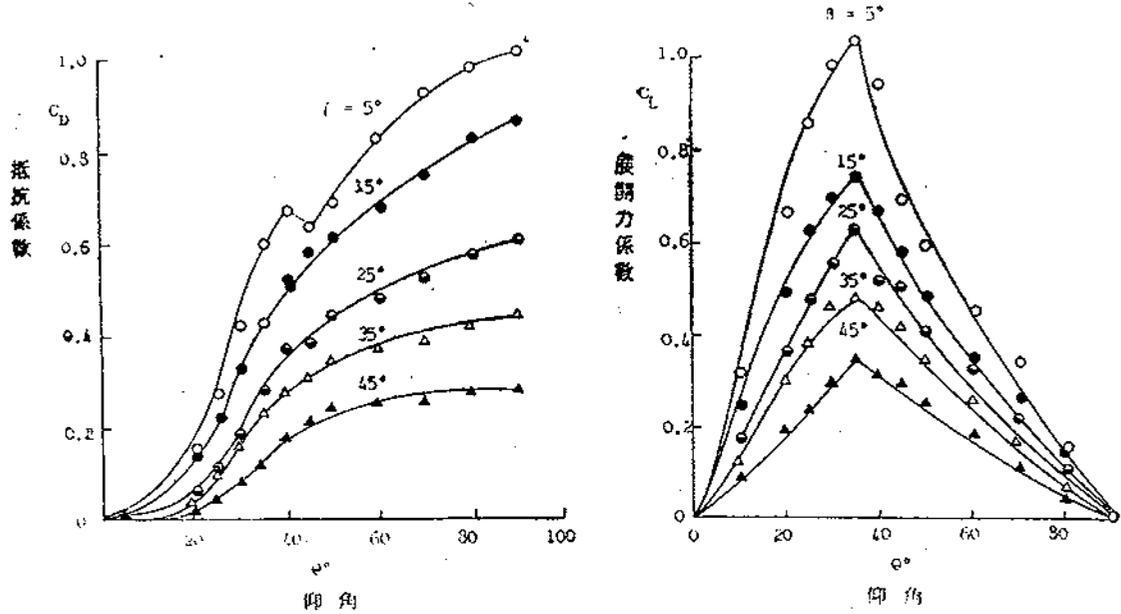


圖 4.8—2 當 $\alpha=15^\circ$ ，而改變 β 時 C_D 及 C_L 與 θ 的關係圖形

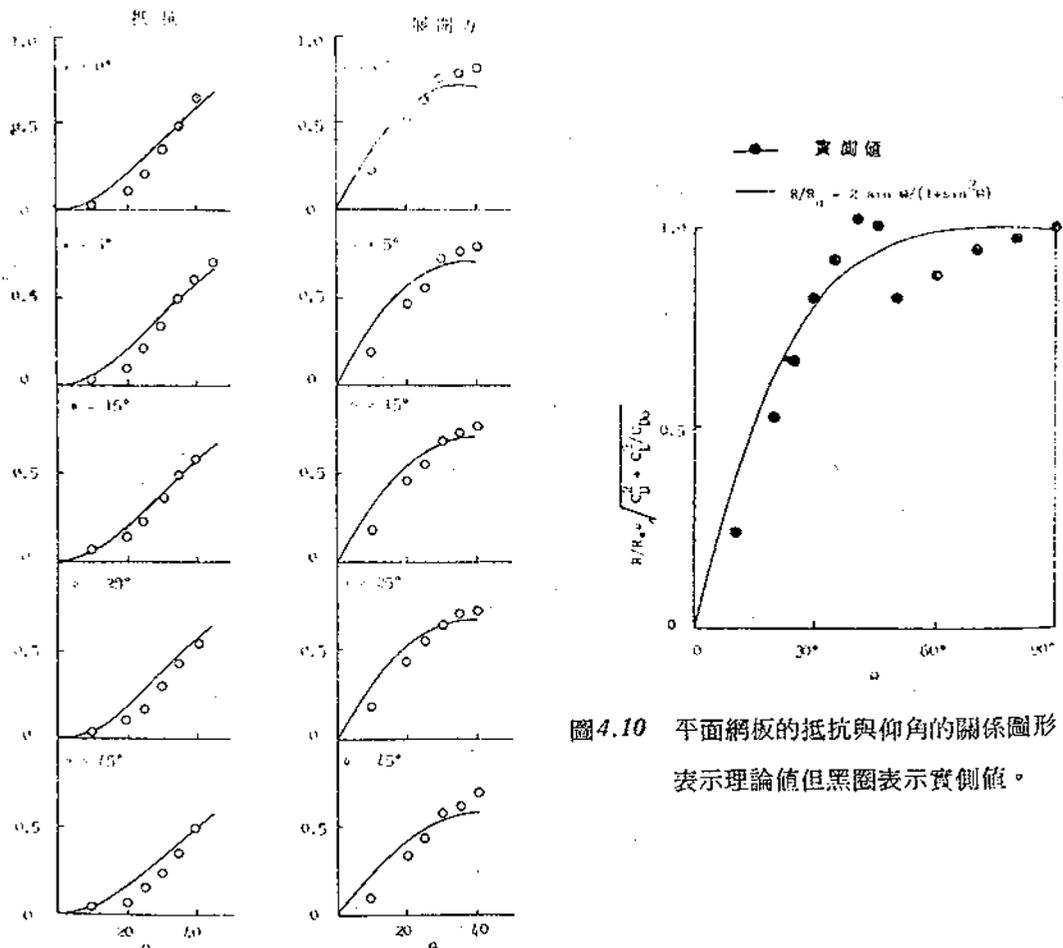


圖 4.9 當 $\beta=0$ ，而改變 α 時 C_D/C_{D0} 及 C_L/C_{D0} 與 θ 的關係圖形。圖中實線表示理論值，而圓圈表示實測值。

圖 4.10 平面網板的抵抗與仰角的關係圖形。實線表示理論值但黑圈表示實測值。

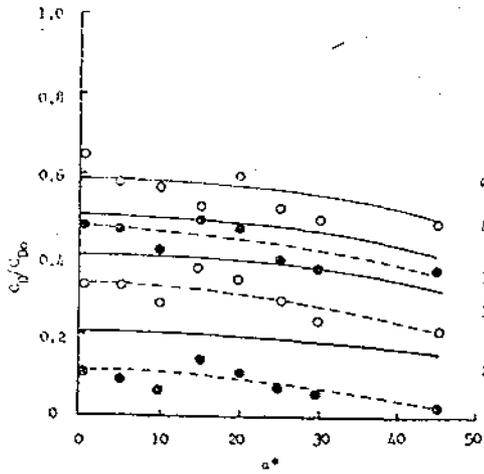


圖4.11 以 θ 為參數而當 $\beta=0^\circ$ 時 C_D/C_{D_0} 與 α 的關係圖形
理論值——
實測值……○……及……●……

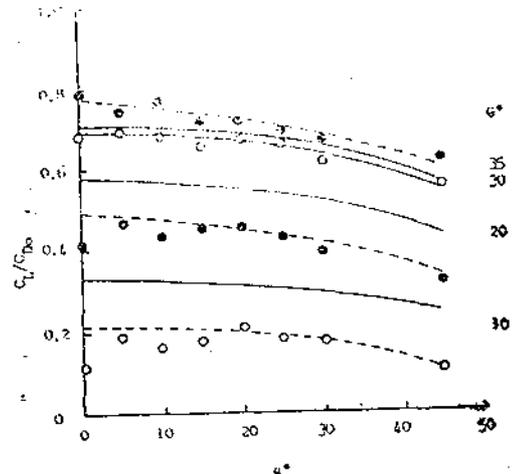


圖4.12 以 θ 為參數而當 $\beta=0^\circ$ 時 C_L/C_{D_0} 與 α 的關係圖形
理論值——
實測值……○……及……●……

圖4.13及4.14為 $\alpha=15^\circ$ 的V型網板，以 θ 為參數依 β 的變化而表示 C_D/C_{D_0} 及 C_L/C_{D_0} 的情形，即V型網板因 β 的增加而 C_D 及 C_L 呈急速的遞減，然而實測結果及理論值並不一致，其原因可能由於我們假定作用於V型網板的力量為上，下兩平面各為獨立及 R/R_0 的近似值中 $\theta > 50^\circ$ 的部份仍被計算在內所致。

圖4.15為表示 $\alpha=15^\circ$ 時，V型網板在作業中的性能與其他網板的比較，我們發現V型網板的展開力及所受流體抵抗的情形較立型網板遜色，但並不亞於平面網板。

總而言之，在實際作業中，為了增加V型網板的展開力，必須儘量使傾角 β 減少，而使網板能直立於海底。其實本省所使用的V型網板，在構造上的缺點，就是因為該半圓形的挽鐵，在拖網作業中能上下擺動，所以其傾角通常在 30° 以上，如圖4.3所示；另由我們的實際作業經驗，V型網板的下側平面，經常沾泥，這種情況不能使用於大型拖網船，所以為了增加V型網板的展開力及提高作業效率，我們必須改進其挽鐵的構造，儘量使其傾角 β 減少。另關於彎曲角 α 的問題，尚未作穩定性的實驗，惟據Barraclough^{4,10}氏的研究， α 在 $10^\circ \sim 15^\circ$ 之間對展開力尚稱適當。

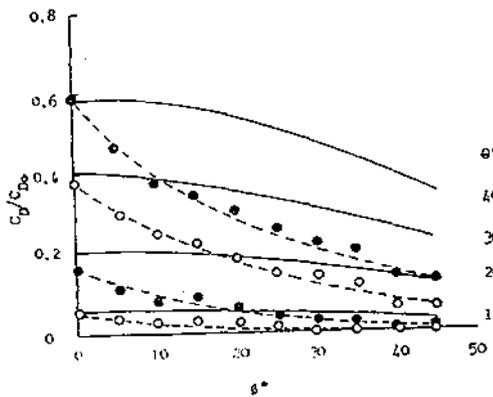


圖4.13 以 θ 為參數而當 $\alpha=15^\circ$ 時 C_D/C_{D_0} 與 β 的關係圖形
理論值——
實測值……○……及……●……

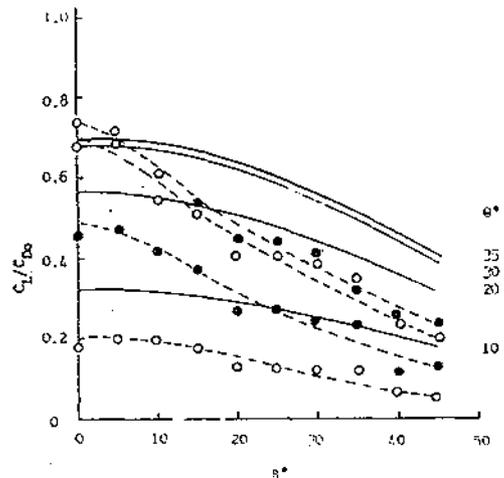


圖4.14 以 θ 為參數而當 $\alpha=15^\circ$ 時 C_L/C_{D_0} 與 β 的關係圖形
理論值——
實測值……○……及……●……

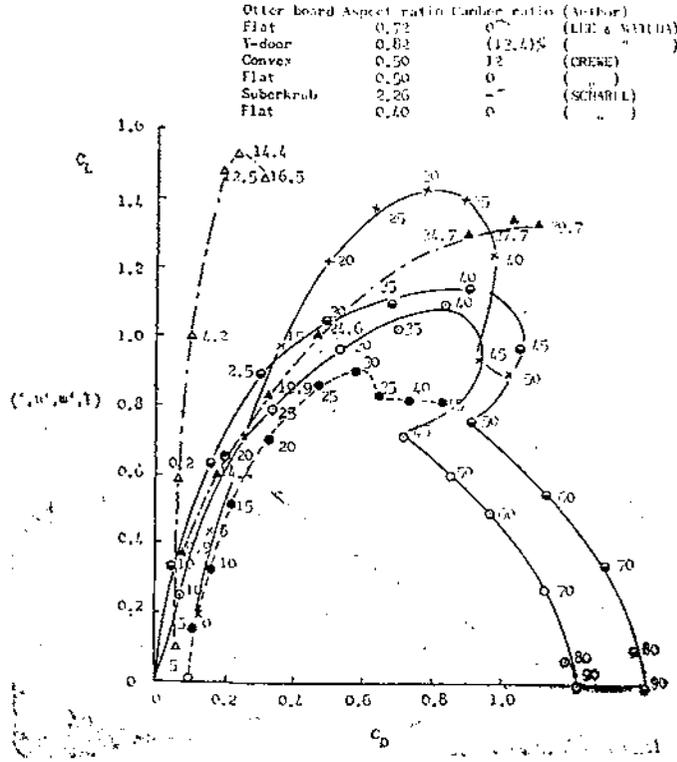


圖4.15 各種網板的性能比較圖，圖中的數字代表仰角

五、曳網水中的幾何形狀及其力學性能研究

拖網具在作業中，最重要的事情是使網板能夠順利的展開，所以必須研究曳網在水中的三次元曲線運動形狀。一般的拖網作業除特殊情形外，均由二條曳網曳引網板及一頂網具而拖行。所以拖行時，曳網並不與漁船的航行方向平行向外伸出，而與水平方向成一傾角。縱然現在已流行的艙拖式拖網船，其曳網經過滑俾後仍然與船尾方向成一偏角而伸出。

如圖 5.1 所示；在幾何學上有兩種因素可以使曳網在作業時彎曲；一為曳網所受的流體抵抗，若拖網具在海底拖行，則其抵抗與其水平方向的作用力相反，另一因素為曳網本身在水中的重量及曳網抵抗的合力。而該合力又可分為與曳網平行的切線方向分力，即依曳網的長度而異，其張力及曳網法線方向的分力即實際使曳網彎曲的力量。然而該兩種力量，即抵抗及向下力量，均為向量，必須依向量求法檢討曳網的張力。

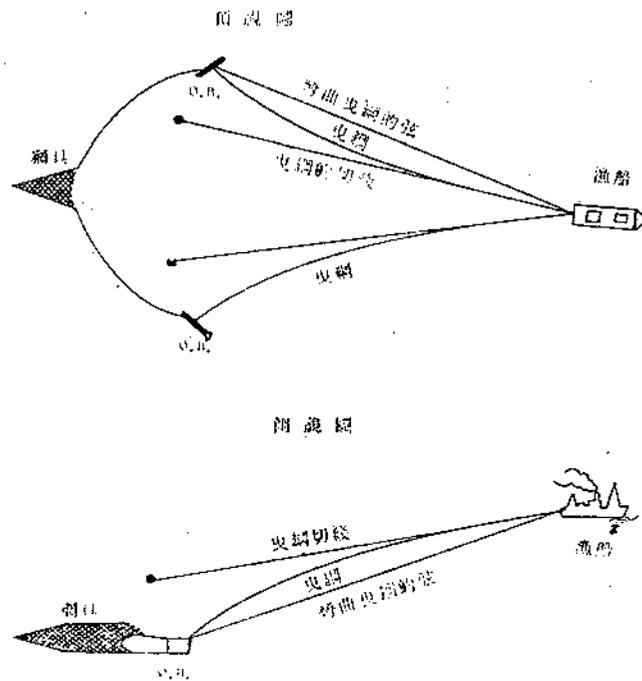


圖 5.1 曳網的幾何圖形

為了便於推計網板展開的正確距離，筆者事先假設曳網在作業中的形狀近似大圓弧的一部份，而計算及探討直線曳網與彎曲後曳網的切線交角為出發點，其實一般測定網板的展開距離均於一平面內測定兩曳網的夾角及曳網的俯角⁽⁵⁻¹⁻⁵⁻⁶⁾為基礎，所以無法達成很正確的答案。在此，我們將利用三度空間曲線的理論解析並以水槽實驗分解曳網的水中形狀。

5.1. 理論分析

假定曳網在v流速且平穩的流體中運動，如圖 5.2 所示，於左座標系統 (x, y, z) 中，以漁船的曳行點為原點，以向下為正方向，並以 (ℓ, m, n) 為曳網弦方向餘弦的向量，T 為曳網所受張力，x 軸與流水同一方向，其方向餘弦的向量為 (1, 0, 0)，曳網所受流體抵抗 R，曳網與流水的交角為 θ，流速為 v，

$$R = R_0 \sin^2 \theta \quad (5.1)$$

上式中 R₀ 為曳網與流水垂直時，單位長度曳網所受的抵抗

$$R_0 = \frac{C_D}{2} \rho_w v^2 D \quad (5.2)$$

上式中 C_D 為曳網的抵抗係數，D 為曳網直徑，ρ_w 為流水密度。

此外，令 w 為曳網單位長度的水中重量，而 Z 軸與重力方向餘弦為 (0, 0, 1)，則曳網在水中的單位長度重量可以重力單位表示即：

$$W = w = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 (\rho - \rho_w) g \quad (5.3)$$

上式中，ρ 為曳網密度。然後我們可以求得曳網在水中的重量 W 及作用於曳網抵抗 R 的合力 F。其實此合力 F 可再分為與曳網成切線方向的分力 F_t 及與曳網成法線方向的分力 F_n (如圖 5.2)，而 F_n 實為使曳網彎曲的力量，又 F_t 形成曳網的張力。

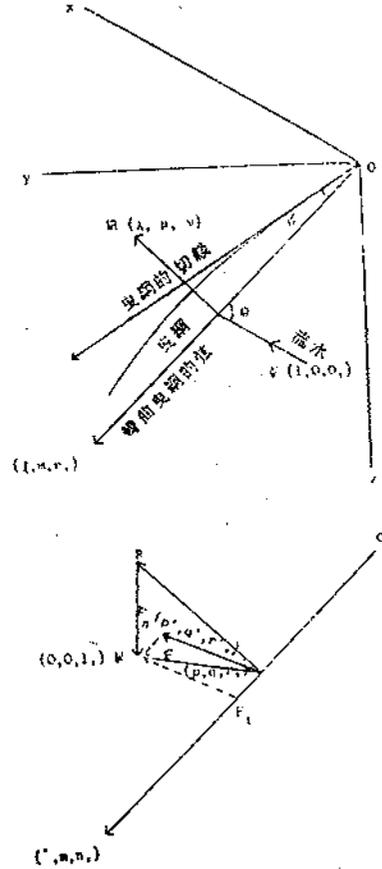


圖 5.2 曳網作業中的向量圖形

若作用於曳網力量的方向餘弦為 (λ, μ, ν)，因曳網的弦，曳網的抵抗及流水方向在同一平面，所以我們得到

$$\begin{vmatrix} \ell & m & n \\ \lambda & \mu & \nu \\ 1 & 0 & 0 \end{vmatrix} = 0 \quad (5.4)$$

又前兩項方向餘弦互為垂直，所以

$$\ell\lambda + m\mu + n\nu = 0 \quad (5.5)$$

解上述諸式得

$$\lambda : \mu : \nu = (1 - \ell^2) : -\ell m : -\ell n \quad (5.6)$$

但是 $\lambda^2 + \mu^2 + \nu^2 = 1$,

$$\text{而且 } \lambda = \sqrt{1 - \ell^2}, \quad \mu = -\frac{\ell m}{\sqrt{1 - \ell^2}}, \quad \nu = -\frac{\ell n}{\sqrt{1 - \ell^2}} \quad (5.7)$$

若令 R 在 x, y, z 軸的分力為 R_x, R_y 及 R_z 則

$$\left. \begin{aligned} R_x &= \lambda R, \\ R_y &= \mu R, \\ R_z &= \nu R, \end{aligned} \right\} \quad (5.8)$$

由 (5.1) 式推出R爲

$$R = R_0 \sin^2 \theta = R_0 (m^2 + n^2) = R_0 (1 - \ell^2) \quad (5.9)$$

因此, R 在 x, y 及 z 軸的分力爲

$$\left. \begin{aligned} R_x &= R_0 (1 - \ell^2) \sqrt{1 - \ell^2}, \\ R_y &= -R_0 \ell m \sqrt{1 - \ell^2}, \\ R_z &= -R_0 \ell n \sqrt{1 - \ell^2}, \end{aligned} \right\} \quad (5.10)$$

依同樣方法, 得到F在x, y及z軸的分力爲

$$\left. \begin{aligned} F_x &= R_0 (1 - \ell^2) \sqrt{1 - \ell^2}, \\ F_y &= -R_0 \ell m \sqrt{1 - \ell^2}, \\ F_z &= R_0 (\omega - \ell n) \sqrt{1 - \ell^2}, \end{aligned} \right\} \quad (6.11)$$

上式中, ω 爲曳網水中重量w與曳網單位長度所受抵抗 R_0 之比, 即

$$\omega = \frac{w}{R_0} = \frac{\pi D g}{2 C_D v^2} \left(\frac{\rho}{\rho_w} - 1 \right) \quad (5.12)$$

而F的絕對值, 即F的分力的平方和的開方

$$|F| = F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} = R_0 \sqrt{(1 - \ell^2)^2 + \omega(\omega - 2\ell n \sqrt{1 - \ell^2})} \quad (5.13)$$

因此, F的方向餘弦 (p, q, r) 爲

$$\left. \begin{aligned} p &= \frac{(1 - \ell^2) \sqrt{1 - \ell^2}}{\sqrt{(1 - \ell^2)^2 + \omega(\omega - 2\ell n \sqrt{1 - \ell^2})}}, \\ q &= \frac{-\ell m \sqrt{1 - \ell^2}}{\sqrt{(1 - \ell^2)^2 + \omega(\omega - 2\ell n \sqrt{1 - \ell^2})}}, \\ r &= \frac{-\ell n \sqrt{1 - \ell^2}}{\sqrt{(1 - \ell^2)^2 + \omega(\omega - 2\ell n \sqrt{1 - \ell^2})}}, \end{aligned} \right\} \quad (5.14)$$

另 F_n 與 F_t 互爲垂直所以

$$\ell p + m q + n r = 0$$

又F的切線方向力量 F_t 在x, y及z軸的分力爲:

$$F_t = \ell F_x + m F_y + n F_z \quad (5.15)$$

我們獲得:

$$F_t = R_0 n \omega \quad (5.16)$$

及 F_n 的分力爲

$$F_n = \sqrt{F^2 - F_t^2} \quad (5.17)$$

終於我們得到

$$F_n = R_0 \sqrt{(1 - \ell^2)^2 + \omega(\omega - 2\ell n \sqrt{1 - \ell^2}) - n^2 \omega^2} \quad (6.18)$$

其次, 假定曳網在水中的形狀如一大圓弧, 其曲率半徑爲 R' , S 而爲該弧的長度, L 爲其弦的長度如圖 5.3 所示; 另外 T_1 及 T_2 爲船上曳引點及曳網末端的張力, ϕ 爲曳網的切線與弦的交角, 則有下列幾何學上的關係:

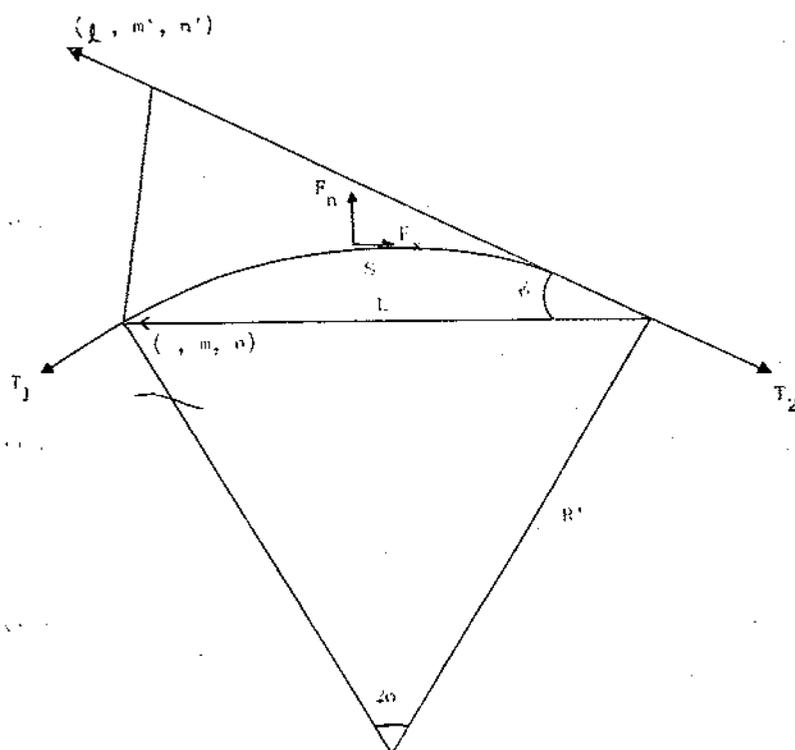


圖 5.3 曳網在作業中呈一圓弧形圖式

$$F_n = \frac{T_1 + T_2}{2R'} \quad (5.19)$$

$$F_t = \frac{T_2 - T_1}{S} \quad (5.20)$$

$$\text{且 } S = 2\phi'R' \quad (5.21)$$

由上述各式得：

$$\phi = \frac{F_n S}{2T_2 - F_t S} \quad (5.22)$$

終於我們得到

$$\phi = \frac{\sqrt{(1 - \ell^2)^2 + \omega(\omega - \ell n \sqrt{1 - \ell^2}) - n^2 \omega^2}}{\tau - n\omega} \quad (5.23)$$

$$\text{上式中 } \tau = \frac{2T_2}{SR_0}$$

在研究中，我們很難得到曳網末端所受的張力，但我們可以利用曳引點的張力代替。

5.2 實驗方法

為證實理論的精確性，筆者在京都大學，水產物理學研究室，利用環流水槽作一連串的實驗，將曳網的一端縛在竹桁上，再使竹桁浸入水槽裡，並將曳網的另一端結附細繩，經過一滑俾與張力計連接，而該張力計有一指示器，如圖 5.4 所示，同時為了提供各種實驗條件，以適當重量設置在竹桁上，使該竹桁沉於水槽底部。然而曳網在水中所受的張力，我們可由張力計的指示器獲得，又流速我們定在 10 至 50 cm/sec 之間，並由螺旋槳式的流速計隨時測定。

所使用的曳網材料為尼龍繩及蠶絲兩種，尼龍繩的長度為51cm，直徑1.55mm。另蠶絲的長度為51.7cm，直徑為1.33mm，而實驗裝置如上述圖5.4所示情形。曳引點與槽底的距離為c，a為網板的展開距離，但以竹桁固定，b為曳引點至網板的水平距離。而a及b依實驗計劃分為2~3種階段的變化如表5.1所列；實驗中的高度固定於16cm，但因流速及曳網形狀略有變化。曳引點另在實驗時由曳網的正上方及側方拍照曳網的形狀，再由萬能投影機將所拍照的照片量出如圖5.5所示的 α' 及 β' 角。

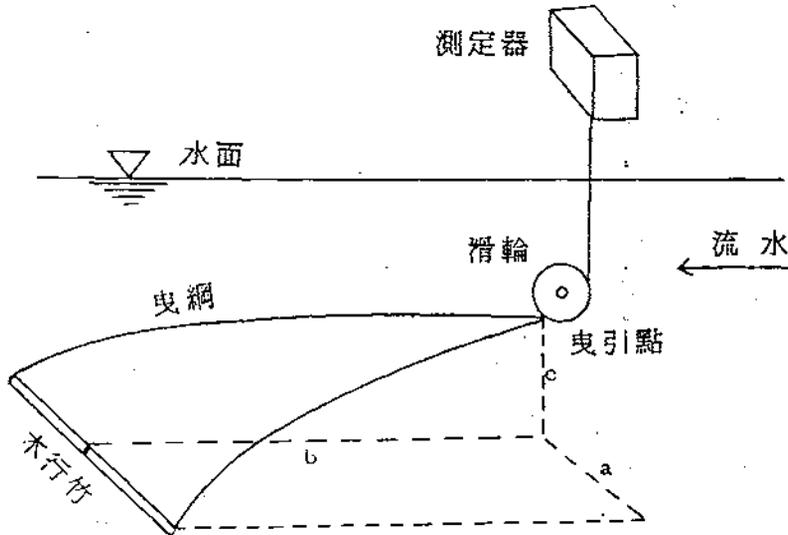


圖 5.4 實驗裝置的圖式

表 5.1 實驗計劃

實驗號碼	展開距離 a cm	水平距離 b cm	曳引點高度 c cm	曳網縮結 (S/L)
尼龍線 (長度51.5cm, 直徑1.55mm)				
N- 1-N- 7	15.9	45.5	16.0	1.015
N- 8-N-14	15.9	44.0	16.0	1.041
N-15-N-21	13.1	44.0	16.0	1.060
N-22-N-28	13.1	46.0	16.0	1.021
蠶絲 (長度51.7cm, 直徑1.33mm)				
S- 1-S- 7	16.1	43.6	16.0	1.034
S- 8-S-14	16.1	46.0	16.0	1.011
S-15-S-21	13.1	44.8	16.0	1.047
S-22-S-28	13.1	46.5	16.0	1.016

* 展開距離的一半

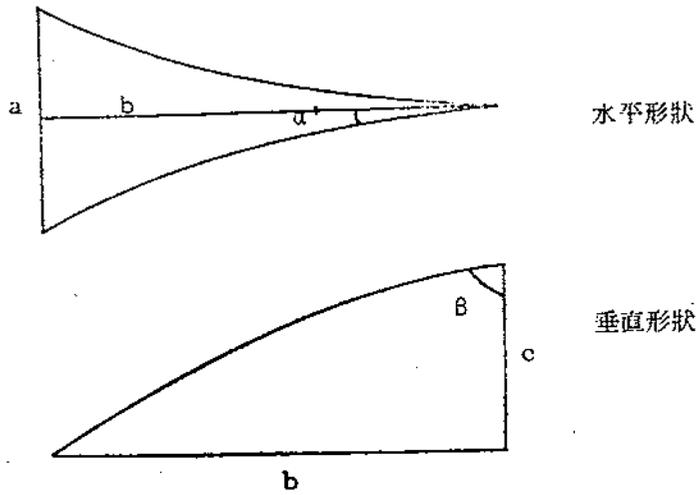


圖5.5 曳網的水平及垂直形狀圖式

5.3. 實驗結果及其檢討

如圖5.6所示； $P(X, Y, Z)$ 及 $P'(X', Y', Z')$ 為曳網下端點及其切線方向的曳引點， Q 及 Q' 為自 P 及 P' 至 X - Y 平面的垂線交點，而 M 及 M' 為自 Q 及 Q' 至 X 軸的垂線交點。若 $\alpha = \angle MOQ$ ， $\beta = \angle POQ$ ， $\alpha' = \angle M'OQ'$ ，而 $\beta' = \angle P'OQ'$ ，則曳網弦的方向餘弦 (ℓ, m, n) 為

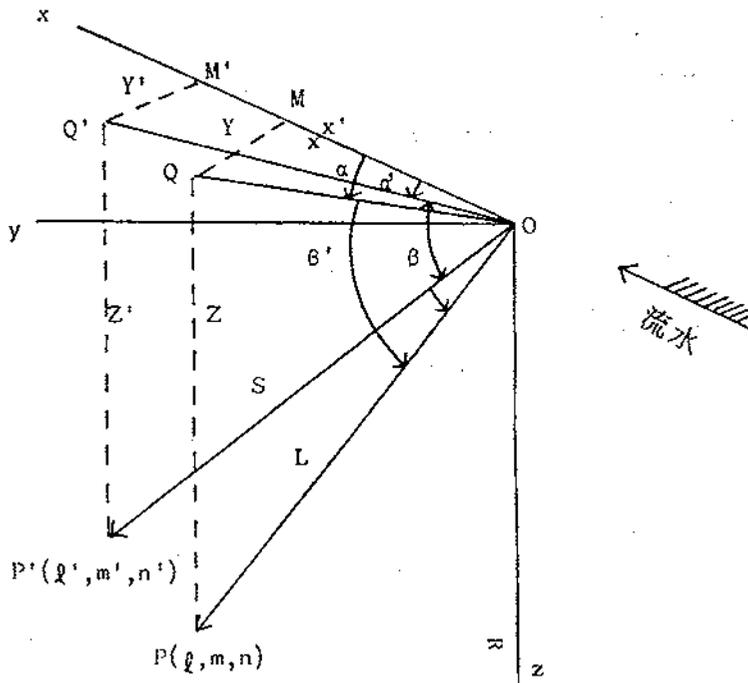


圖5.6 $P(X, Y, Z)$ 及 $P'(X', Y', Z')$ 的立體座標圖

$$\left. \begin{aligned} \ell &= \text{Cos}\alpha \text{ Cos}\beta, \\ m &= \text{Sin}\alpha \text{ Cos}\beta, \\ n &= \text{Sin}\beta, \end{aligned} \right\} \quad (5.24)$$

同樣方法求得曳網曳引點的切線方向餘弦 (ℓ', m', n') 爲

$$\left. \begin{aligned} \ell' &= \text{Cos}\alpha' \text{ Cos}\beta', \\ m' &= \text{Sin}\alpha' \text{ Cos}\beta', \\ n' &= \text{Sin}\beta', \end{aligned} \right\} \quad (5.25)$$

因此，以 a, b 及 c 表示 (ℓ, m, n) 的方向餘弦爲

$$\left. \begin{aligned} \ell &= \frac{b^2}{\sqrt{(a^2+b^2)(b^2+c^2)}}, \\ m &= \frac{ab}{\sqrt{(a^2+b^2)(b^2+c^2)}}, \\ n &= \frac{c}{\sqrt{b^2+c^2}}, \end{aligned} \right\} \quad (5.26)$$

所以曳網的弦及其切線的交角 ϕ 爲：

$$\text{Cos}\phi = \ell\ell' + mm' + nn' \quad (5.27)$$

從方程式 (5.25) 及 (5.26) 得：

$$\text{Cos}\phi = \frac{b^2 \text{Cos}\alpha' \text{Cos}\beta' + ab \text{Sin}\alpha' \text{Cos}\beta' + c\sqrt{a^2+b^2} \text{Sin}\beta'}{\sqrt{(a^2+b^2)(b^2+c^2)}} \quad (5.28)$$

上式中， a, b 及 c 值均已決定在前，另由實驗情況可測知 α' 及 β' ，所以由方程式 (5.28) 可求出 ϕ 值。

另一方面，我們從方程式 (5.23) 可求得 ϕ 的計算值，惟仍需運用曳網曳引點的實測值，其實該值不能視爲計算值，但若曳網所受張力能準確求得，同時 α' 及 β' 未包括在方程式 (5.23) 之中，則可將其做爲一計算值，然而依方程式 (5.23) 計算 ϕ 值，我們所採取的步驟爲：使用材料，在龍繩及蠶絲的密度爲 $\rho = 1.14$ 及 1.25 ，其抵抗係數 C_D 取自宮崎氏的 C_D — R_e 曲線內^{5.23}，曳網的曳引點張力 T_2 由實驗測得，其測定值如圖 5.2 所列；因此我們獲得 ϕ 的計算值與實測值如表 5.3，其互相關係繪於圖 5.7，而圖中的雙圈代表平均值，但不包括實驗 N—15 及 S—1，因其超越範圍，係由於流速不大，曳網所受張力的絕對值與張力計指示器的誤差所致。

圖 5.7 中，除 N—III (N—15—21) 的實驗外，其餘的實測及理論值均甚吻合。而 N—III 計算值較大的原因，係由於假定曳網爲一大圓弧，依其縮結或所受張力比率的增大而計算值也增大。

迄今，一般人均以曳網爲直線狀態，或假設曳網在水中的形狀爲一平面來測定 ϕ 角而導出網板的展開距離。其實即使在 ϕ 角的理論值與實驗值。能吻合的情況下，依上述方法求得的網板展開距離仍有誤差，尤其曳網沿海底摩擦部份的長度及懸吊於水中的部份無法得知，所以僅視曳網爲直線而由兩曳網的夾角及曳網的俯角等測定值導出網板的展開距離，仍有再檢討的必要。

表 5.2 拖行速度，張力及 α' 與 β 角的實測值

(1)尼龍線

實驗號碼	V (cm/sec)	T ₂ (g)	α' (deg)	β (deg)
N-1	11.1	0.26	10.8	17.0
N-2	17.1	0.64	10.8	13.5
N-3	23.2	1.15	11.3	15.0
N-4	30.7	2.56	11.3	12.5
N-5	38.7	2.82	11.0	11.5
N-6	46.7	3.97	10.8	15.0
N-7	53.6	5.06	11.0	13.0
N-8	11.0	0.21	5.5	13.0
N-9	16.8	0.40	7.5	11.5
N-10	23.2	0.72	8.0	9.0
N-11	30.7	1.23	8.3	7.5
N-12	38.7	1.74	8.5	7.0
N-13	36.7	2.64	8.8	7.0
N-14	53.6	3.54	3.8	7.0
N-15	11.2	0.06	5.0	15.0
N-16	17.1	0.26	5.8	10.0
N-17	23.2	0.51	5.8	9.0
N-18	30.7	0.96	6.0	9.0
N-19	38.2	1.54	6.3	9.0
N-20	46.2	2.11	6.3	8.0
N-21	54.7	2.95	6.3	7.5
N-22	11.2	0.22	7.5	17.0
N-23	17.2	0.51	8.3	13.0
N-24	23.8	0.98	8.8	13.0
N-25	31.2	1.63	9.0	11.5
N-26	38.7	2.55	8.8	11.0
N-27	46.2	3.05	8.5	10.5
N-28	43.6	4.83	8.5	10.0

表 5.2 繼 續

實驗號碼	V (cm/sec)	T ₂ (g)	α' (deg)	β' (deg)
S-1	1.0	0.10	6.5	10.0
S-2	17.0	0.28	7.0	9.5
S-3	24.0	0.64	8.3	9.0
S-4	31.0	1.05	8.8	9.0
S-5	28.2	1.68	9.0	8.5
S-6	46.2	2.29	9.3	8.5
S-7	53.7	3.07	9.5	8.0
S-8	11.0	0.27	12.5	15.0
S-9	16.8	0.67	12.5	14.5
S-10	23.8	1.19	12.5	13.5
S-11	30.7	1.86	12.0	13.0
S-12	38.2	2.73	11.5	12.0
S-13	46.2	3.82	11.5	12.0
S-14	53.6	4.90	11.5	11.5
S-15	10.8	0.15	7.0	11.5
S-16	16.8	0.32	6.8	11.5
S-17	23.8	0.57	6.3	10.0
S-18	30.7	0.92	6.3	10.0
S-19	39.8	1.24	6.5	9.0
S-20	47.2	1.95	5.8	8.0
S-21	54.7	2.59	6.8	8.0
S-22	11.0	0.15	9.0	14.0
S-23	16.8	0.45	8.8	12.0
S-24	23.8	0.83	8.8	11.5
S-25	30.7	1.39	8.3	12.0
S-26	38.7	1.65	8.3	11.0
S-27	46.2	2.87	8.0	11.0
S-28	54.7	3.89	8.5	11.0

表 5.3 ϕ 角的實測值與計算值

(1) 尼龍線			(2) 蠶絲		
實驗號碼	$\phi_{obs.}(\text{deg})$	$\phi_{cal}(\text{deg})$	實驗號碼	$\phi_{obs.}(\text{deg})$	$\phi_{cal}(\text{deg})$
N-1	8.35	11.24	S-1	16.42	30.78
N-2	9.66	8.77	S-2	16.76	18.62
N-3	8.29	8.96	S-3	16.27	16.25
N-4	9.81	7.56	S-4	15.97	15.73
N-5	10.53	11.38	S-5	16.95	15.48
N-6	8.70	11.76	S-6	16.20	16.99
N-7	9.25	12.05	S-7	16.53	16.58
平均值	9.226	10.244	平均值	.41642	16.608**
N-8	15.36	14.89	S-8	9.53	9.79
N-9	14.34	15.49	S-9	7.81	6.50
N-10	15.46	16.09	S-10	8.74	6.55
N-11	16.41	17.48	S-11	9.37	7.62
N-12	16.47	20.27	S-12	10.44	8.41
N-13	16.30	19.40	S-13	10.49	9.06
N-14	19.92	18.92	S-14	10.94	9.66
平均值	16.321	17.505	平均值	9.615	8.277
N-15	11.56	57.16	S-15	12.33	16.74
N-16	13.86	21.37	S-16	12.69	11.75
N-17	14.59	19.38	S-17	14.05	12.09
N-18	14.43	19.51	S-18	14.05	13.68
N-19	14.24	19.58	S-19	14.77	16.11
N-20	1.509	20.89	S-20	15.54	17.22
N-21	15.48	20.88	S-21	15.51	17.67
平均值	14.177	20.268*	平均值	14.134	15.036
N-22	8.27	11.64	S-22	9.17	16.81
N-23	9.12	8.88	S-23	6.77	7.45
N-24	9.66	9.08	S-24	10.36	7.45
N-25	10.34	10.47	S-25	12.39	8.32
N-26	10.67	10.75	S-26	10.93	12.00
N-27	10.62	12.86	S-27	11.08	10.15
N-28	10.81	10.87	S-28	10.85	10.74
平均值	9.927	10.649	平均值	10.221	10.413

*N-15除外

**S-1除外

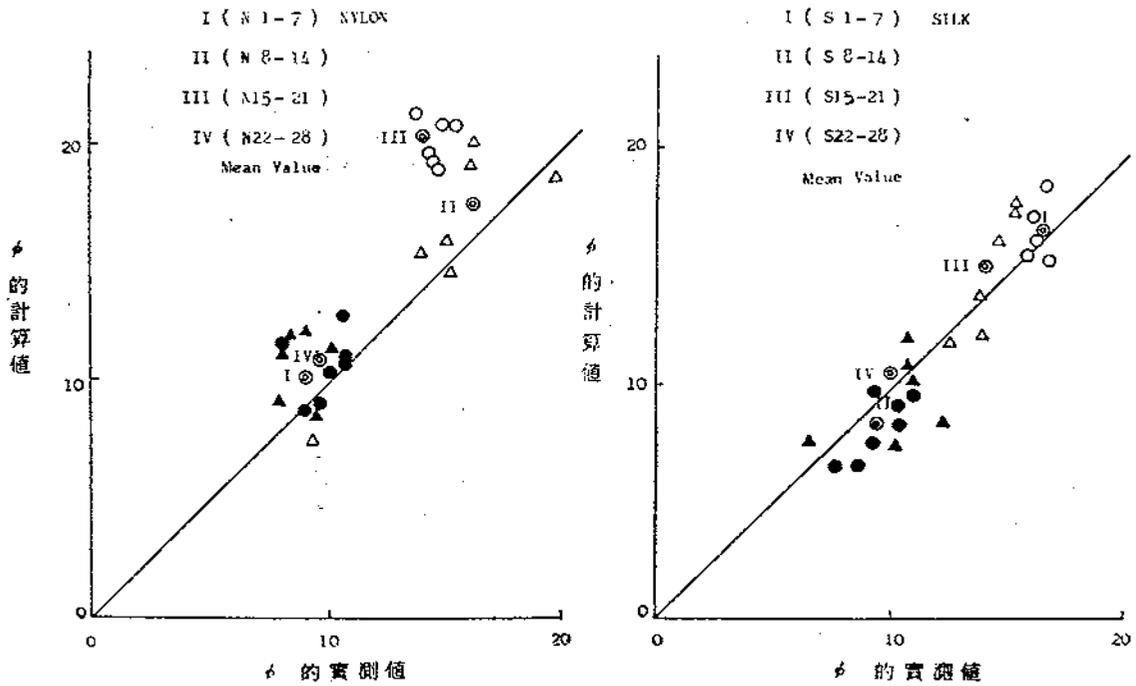


圖5.7 ϕ 的理論值與實測值關係圖形

依圖 5.6 所示，令 $\frac{X'}{X}$ ， $\frac{Y'}{Y}$ 及 $\frac{Z'}{Z}$ 的比為 ξ, η 及 ζ 則

$$\xi = \frac{X'}{X} = \frac{s}{b} \cos \alpha' \cos \beta'$$

$$\eta = \frac{Y'}{Y} = \frac{s}{a} \sin \alpha' \cos \beta'$$

$$\zeta = \frac{Z'}{Z} = \frac{s}{c} \sin \beta'$$

在每組的實驗結果，以 α 及 β 的平均值表示如表 5.4。而於討論此結果之前，我們需提出一指數以代表每組實驗的特性。由該指數可知曳網的縮結 (S/L：曳網長度與其弦長度的比)。但在實際作業中無法與模型實驗一樣求得該值，因此必須求一代替指數以應用於實際作業。

表 5.5 表示由張力比求得的結果： $\tau = \frac{2T}{SR}$ ，而該 τ 值在各項實驗中的數值接近相等，即 τ 值可代表每組的指數，所以在表 5.4 中已列述 τ 的平均值，但並不包括 N-15 及 S-1 的平均值。圖 5.8 表示 τ 與曳網縮結的關係，顯示該兩指數之關係頗為密切。另圖 5.9 表示， ξ, η 及 ζ 與 τ 的關係，除了水平距離大於圖上的基準線以外，其他的 η 及 ζ 均小，但當 τ 值增大後各曲線則漸漸接近於該基準線而成對稱形狀，此現象係由於 τ 增大後曳網形狀逐漸接近於一直線狀的緣故。

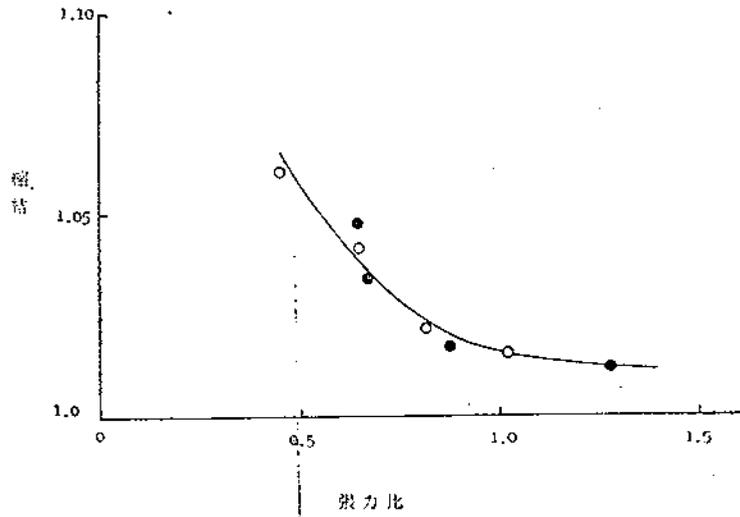


圖 5.8 縮結與張力比的關係圖形
白圈代表尼龍線而黑圈代表蠶絲

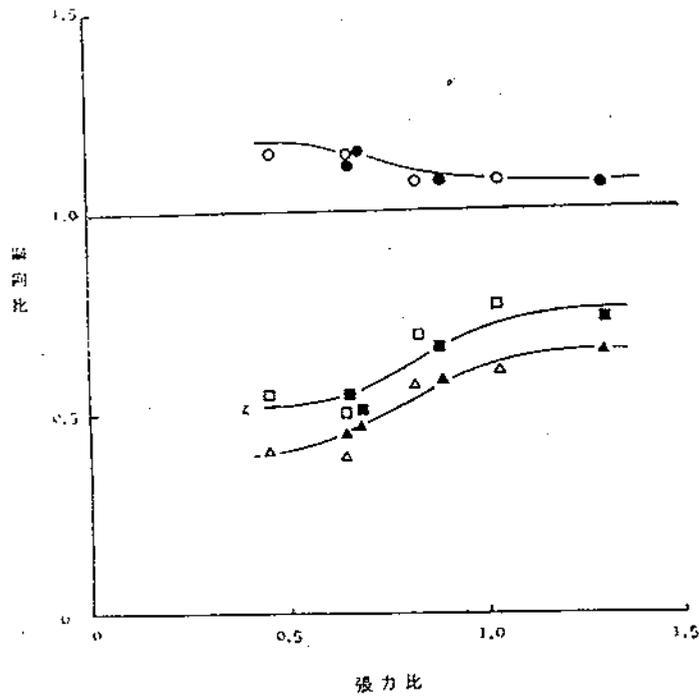


圖 5.9 張力比與偏向比的圖形
白色記號表示尼龍線而黑色記號表示蠶絲

上述三項比率，在拖網作業中仍以水平的展開距離具有較重要的意義，如圖5.9所示； τ 自 0.5至 1.3 的範圍內， η 值則由 0.4至 0.65，即表明曳網末端的展開距離為自曳網曳引點求得結果 1.5至 2.5倍，雖然有關這方面的水槽實驗報告筆者未曾發現，但却已有某些實際作業的報告。

表 5.4 ξ, η, ζ 比的平均值及張力比(τ)

實驗組別	ξ	η	ζ	τ
N-I	1.080	0.601	0.772	1.023
N-II	1.148	0.401	0.496	0.662
N-III	1.149	0.401	0.539	0.454
N-IV	1.082	0.568	0.685	0.820
S-I	1.158	0.460	0.502	0.676
S-II	1.070	0.650	0.731	1.287
S-III	1.130	0.449	0.545	0.649
S-IV	1.077	0.573	0.659	0.881

表 5.5 張 力 比

Exp. No.	τ	Exp. No.	τ
N- 1	0.877	S- 1	0.484
N- 2	1.008	S- 2	0.553
N- 3	1.082	S- 3	0.684
N- 4	1.375	S- 4	0.742
N- 5	0.953	S- 5	0.782
N- 6	0.941	S- 6	0.730
N- 7	0.928	S- 7	0.757
N- 8	0.719	S- 8	1.269
N- 9	0.646	S- 9	1.328
N-10	0.673	S-10	1.431
N-11	0.660	S-11	1.337
N-12	0.589	S-12	1.271
N-13	0.625	S-13	1.215
N-14	0.646	S-14	1.158
N-15	0.215	S-15	0.742
N-16	0.403	S-16	0.632
N-17	0.481	S-17	0.692
N-18	0.516	S-18	0.679
N-19	0.534	S-19	0.616
N-20	0.512	S-20	0.592
N-21	0.519	S-21	0.587
N-22	0.731	S-22	0.727
N-23	0.794	S-23	0.892
N-24	0.884	S-24	1.000
N-25	0.845	S-25	1.005
N-26	0.862	S-26	0.748
N-27	0.739	S-27	0.913
N-28	0.885	S-28	0.883

六、台灣蝦曳網具的海上試驗

6.1 台灣的蝦曳網漁業

在早期，台灣沿岸的捕蝦方法以延繩釣及流刺網為主，但其漁獲量不多，後來逐漸的改進，可是蝦曳網自何時開始使用於本省，我們已無資料可據，僅知道蝦曳網第一次使用的記錄是1934年在台南，蝦曳網的操作原理是利用竹竿的浮力及鉛沈子的沉降力在曳行中把魚群逼入網內。首先使用蝦曳網漁具的港口是安平港。當時使用的漁船是藉風及海流行駛的小船，船上的起網動力完全利用人力操作，而漁期又隨季節風而變動，在1934年漁期將近結束時，某些漁民在漁船上開始安置馬達引擎，除漁船之航行外又可以轉動滾筒揚網，雖然使用的引擎馬力只有六馬力左右，但已足夠用於揚網或掛上風帆。因有馬達引擎的使用，使蝦曳網漁業向前跨進了一大步；因為這不但意味着漁具操作的省力化，而且也表示了作業漁期可以延長，同時船隻逐漸自沿海向較深的水域作業，其成果非常令人滿意。在這種情況下，台南、布袋、台西一帶的漁民紛紛改為蝦曳網作業，而蝦曳網漁業的經營規模也因此迅速擴展。譬如該地區的漁船數很快的增加到500艘左右。另一方面，[網具發展成一艘漁船拖兩頂網具，此兩網具分別連接於船隻兩舷外伸的搭梁上。

其所捕撈的蝦類有斑節蝦 (*Penaeus japonicus*)、草蝦 (*Penaeus monodon*)、沙蝦 (*Metapenaeus monoceros*)、劉蝦 (*Metapenaeus* SP)、猴蝦 (*Trachypeaeus cnryirostris*) 和火燒蝦 (*Metapenaeopsis barbatus*) 等，均是市場暢銷的高級蝦類，是該漁業不斷發展的良好背景。

1959年，試行以保利艾基網線替代以前所使用的棉線。由於保利艾基網用於捕蝦的效率良好，且耐用，因此翌年約有百分之八十的網具，其使用材料均以保利艾基網線。

另外為防止入網的蝦類逃脫起見，自1966年開始，漁民在網具上增設小囊網三只，但擴張網口的竹竿如何防止其折斷或彎曲變形，經過不斷的試驗，仍未有成功的防止措施。1967年曾以玻璃纖維材料包竹竿混合使用，成績仍未顯著，目前仍多沿用竹竿較多。

現在對於漁場的開發較諸以前已更遠離陸地，而漁船馬力也增加到30至45，甚至60馬力，用以提高漁獲效率。

由於國內對於蝦類的大量需求，數年來更促進了此項漁業的發展。從前蝦類漁獲量少，需求的人也不多，但現在市場和加工業者皆需要大量蝦類的調節與供應，因此陳舊的漁法，已不能適應現代的需要，所以漁具的容量及其漁獲效率相形之下，必須力求改進。

從漁場的經驗顯示，蝦曳網所捕獲蝦類的數量，實際上較同樣大小的單拖網具多。因為蝦曳網的掃海面積通常較寬，所以產量的增加可能是由於所覆蓋的面積較大的緣故。但是在實際作業中，顯然有一項缺點，即竹竿經常折斷或彎曲變形。此項缺點限制了實驗的正確性，亦直接影響了該漁具的性能。

6.2 漁具和漁法

漁具：下述五種材料曾被使用在編織蝦曳網地，即棉、保利艾基、尼龍、沙龍、藤繩。目前棉已不再使用、保利艾基由於價格低廉，重量輕，而且耐用，已經非常普遍地被採用。藤繩由於其重量大，通常仍用於曳網。在蝦曳網具中，混用保利艾基網地配合藤繩曳網，其漁獲效率尚佳。蝦曳網的設計圖，從圖6.1中可看見所使用尺寸範圍。網具規模的選擇則依漁船的拖行馬力及作業情況而定。此型曳網通常使用的網目，其目大2.42公分，材料為240D/2×3的保利艾基網線，竹竿直徑約5公分，長約12公尺。每付網具的沉子重量約為50—60公斤。

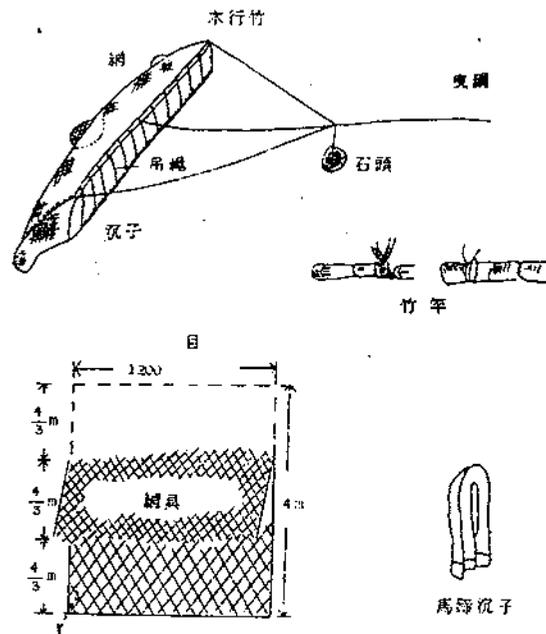


圖 6.1 台灣蝦曳網具的構造圖

網具材料為保利艾基線，桁長約12m，

浮竹直徑50%，沉子網長15.5m，保利艾基繩，直徑5%

沉子為馬蹄形，鉛製，總重量50至60kg

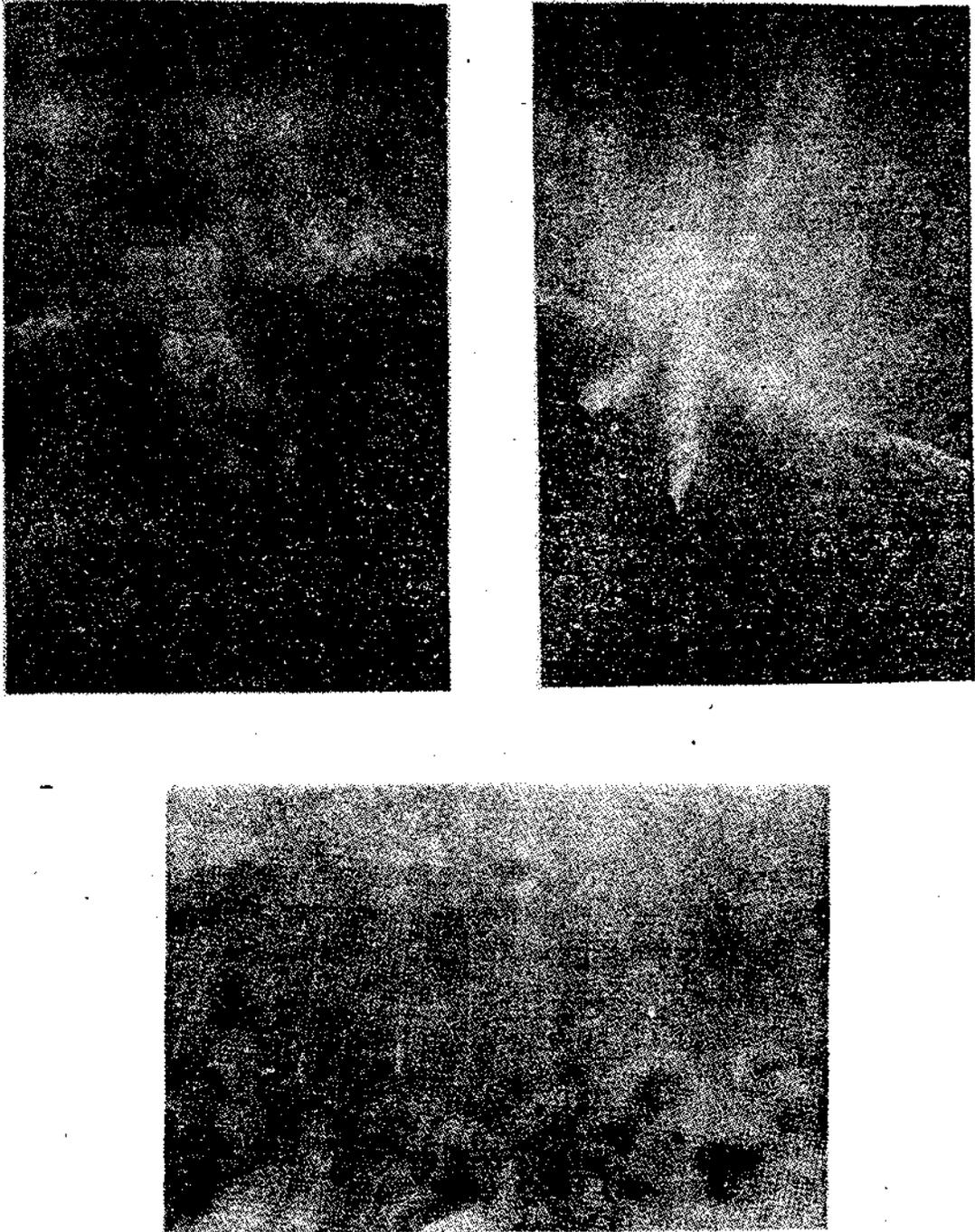
漁法：布袋和三條崙（台灣西海岸）地區使用的蝦曳網，其效果相當成功。蝦曳網不同於其他蝦拖網的地方，在於其配備一根長竹竿作為浮子，此竹竿可使網口在作業中張開。同時這種網具每單位努力漁獲量較其他相同大小的拖網多。同時操作兩付蝦曳網具的方法，乃於船舷外方搭出橫桿。橫桿為長約7公尺，直徑10公分的圓木，每根橫桿一端以銲接鐵梁固定。典型的蝦曳網，在船隻兩舷各有一捲筒，同時使用兩條長100公尺的藤繩曳網。網通常由右舷放出，而左舷蝦曳網使用較短曳網，三叉網前端縛有大石頭一個，捲筒操作人員在起網時先得把石頭收起，然後把網上的三叉網揚入船內，接著將網拉起並將蝦傾倒於甲板上，此時右舷之網亦以同樣方法揚網。

6.3 實 驗 過 程

作業中網地的實際高度和形狀曾由潛水人員下海測定，如照片 6.1 所示；另一方面，各次實驗皆曾利用各種水中測量儀器來測定網口的高度，此等儀器乃由日本人葉室親正先生所設計的^{6.13}，其中包括兩主要部份，即壓力指示計及自動記錄系統，該兩部分由一塑膠管連接，前者接於沉子網上，塑膠管則沿著網地延伸。

為計測網具張力和速度，另外使用一LT500kg型之張力計（Shinkho-Tsushin Co.）和CM-1B型（Toho-Dentan Co）的流速計。除第一次實驗外，其餘各次實驗過程間皆使用鐵鏈，我們分別以重2.4, 4.8和7公斤的鐵鏈來代替縛於三叉網上的大石頭。

照片6.1 潛水實測網口高度



6.4 實驗結果及其檢討

(1) 研究蝦曳網的特性及其展開形狀，基本上則為測定網口高度，同時觀察在不同的拖行速度及作用力之下其網具形狀的變化情形。測量儀器可自動記錄，並可遙控浮子網高度，譬如在蝦曳網作業中竹竿高度隨拖行速度成正比增加，因此針對此等漁具和漁法上的缺點，我們能夠設法改進拖行速度與蝦曳網網口高度關係如圖 6.2，其中實圈和虛圈各代表由網高測計器所測定及由人直接潛水測定的數值。

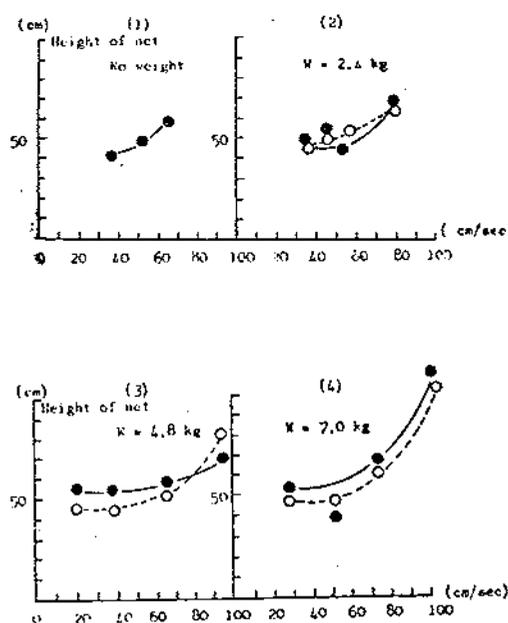


圖 6.2 網口高度及拖行速度的關係圖

白圈為實際潛水測定值，黑圈為儀器測定值，實線為推測值

蝦曳網網口高度的測定是以竹竿作桁之處量至海底之間的距離，沉子網上鉛製沉子在空氣中的總重量為50kg（水中重量為43.6公斤），而每根竹竿的浮力為5.2kg，而每一桁上有兩根竹竿，因此桁的總浮力約為10.4kg。由試驗蝦曳網在水中作業的情況可以瞭解漁撈過程中的力學原理，可以看出網具的形狀，以及網地各部份相對配置的情況。

上述資料顯示實際測定的網口高度與儀器上的數值非常接近，除非情況特殊，否則蝦曳網的網口高度通常均隨速度的增快而提高。顯然這現象出於拖行時網口的張開，不僅賴於竹竿的浮力，且還依賴背網的揚力作用，此作用由於流水通過網地而產生。

不同速度下曳網所受張力的變化情形示於圖 6.3，該圖中，在某速度範圍內曳網所受張力隨拖行速度的增快而成急劇增加，而連於三叉網上的鐵鏈對於曳網所受張力似乎不產生效應，這表示只要不超越此實驗範圍，鐵鏈的重量對於桁的升高沒有影響。

該圖中，將張力與速度曲線延伸，使在拖行速度等於零時，我們可以求得一個定值。此定值被認為是沉子與底質間的摩擦力。

以下假設在拖行過程中，沉子的摩擦力為常數值 F_w ，由此求出對於網地的作用力如下式：

$$R_n = T - F_w \quad (6.1)$$

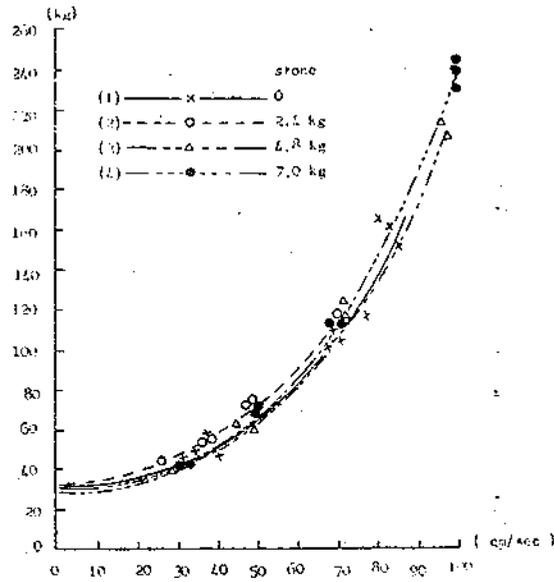


圖 6.3 曳網所受張力與拖行速度的關係圖形

上式中T為曳網所受的總壓力， R_n 為網具的抵抗。而令 μ 和 w 代表摩擦係數及沉子在水中重量，則

$$F_w = \mu w \quad (6.2)$$

在實驗中， μ 的近似值可以由下式表示：

$$\mu = F_w / w = 30 / 43.6 = 0.668 \quad (6.3)$$

由圖 6.3 推計摩擦力約等於 30kg，根據 NOMURA⁶⁻³⁷ 對於曳網具抵抗的實驗公式可表示為：

$$R_n = KV^n \quad (6.4)$$

其中K代表抵抗係數而 n 為V的指數，圖 6.4 中由 v 對於 R_n 描點顯示其對數圖形，然而這些數值並不包括沉子的摩擦力 (F_w)。由最小平方求得：

$$R_n = 205V^{2.416} \dots \dots \dots (5)$$

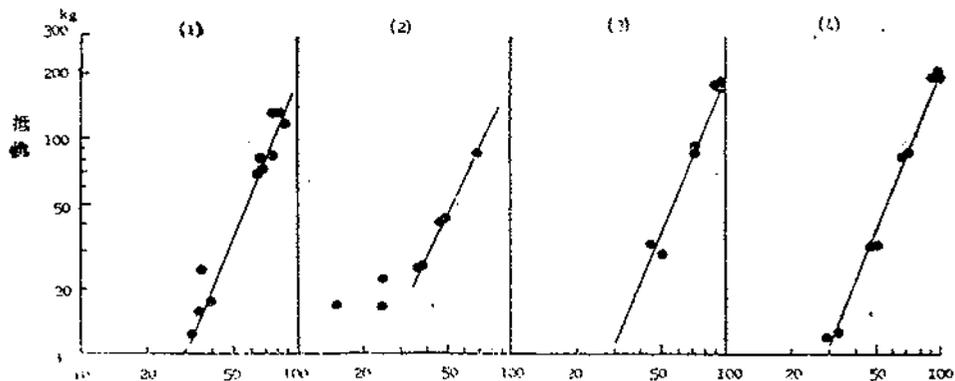


圖 6.4 網具抵抗與拖行速度的對數關係圖形

其中V的指數大於2，顯示桁的高度隨曳行速度呈急激增加。

爲了與上述資料連貫起見，我們考慮經由有效馬力（EHP； P_E ）來決定最適宜的拖行速度，有效馬力的定義爲網具的曳網力與拖行速度的乘積。

由方程式（6.1），（6.2）與（6.4），

$$\text{得：} P_E = TV = (R_n + F_w)V \quad (6.6)$$

$$\text{即：} P_E = kV^{2.5+1} + \mu wV \quad (6.7)$$

根據KOYAMA的理論⁶⁻⁴³

$$P_E = 0.15 \times 75 \times P_1 \text{ (kg. m/Sec)} \dots\dots\dots (6.8)$$

其中 P_1 代表漁船的指示馬力（IHP），爲估計最適宜的拖行速度起見，假設方程式（6.5）中v的指數爲2.5，則一艘拖網船拖行兩具蝦曳網時其指示馬力的近似式爲：

$$205V^{3.5} + 30V - 5.63P_1 = 0 \quad (6.9)$$

因此我們可求出最適宜的拖行速度。例如20馬力拖網船爲0.79m/Sec，30馬力者爲0.90m/Sec，而45馬力則爲1.02m/Sec，由方程式（6.9）所計算出來更詳細的結果列於表6.1。

表 6.1 拖網船的馬力及其適正拖行速度

拖網船的馬力	適正拖行速度
10 (h. p.)	0.617 (m/sec)
15	0.714
20	0.788
25	0.848
30	0.900
35	0.946
40	0.987
45	1.024

另一方面，蝦曳網拖行速度從經驗上得知，通常30馬力均在0.75m/Sec以下。一般說來，若拖行速度增至某一階段，則掃海面積與漁獲量亦必須相對增大，但實際上民間作業的情形並非如此，由經驗中我們得到一結果，即拖行速度愈快，漁獲量愈少。其原因可能是由於蝦曳網的沉子網浮離海底，或者由於網具的震動使蝦類在被捕前即已逃脫。而當蝦曳網的拖行速度在0.75m/Sec以內時，漁獲效率反而較佳。

很不幸的，這個實際情形較試驗的結果為小，我們必須再作更深一層的研究，至於蝦類被捕時其反應如何，目前尚無足夠的資料可循。當然，如果我們認清了蝦類的真正習性，我們必然可以定出蝦曳網的更適宜拖行速度。

潛水觀察作業中桁的情形獲得，當拖行速度增大時，桁的形狀愈成彎曲，最後竟至折斷，竹竿的彎曲與破斷，其原因可能是與三叉網縛紮在桁上的間隔有關，因此，當縛紮三叉網在桁上時，可適當調整其位置，或增加叉網條數，以克服竹竿彎曲與折斷的缺點。

七、臺灣蝦曳網具的力學分析

台灣所使用的蝦曳網具已詳述於前節，網具寬度約12m，長度約4m。長度與寬度相比雖然較短，但該網具在本省西海岸的作業成績均佳，捕撈各種蝦類的效能優異。然而該網具的網口高度受了縛在桁竹與沉子之間30多條吊繩所限制，從上節的實驗中，可以看出網口高度隨拖行速度的加快而增高，所以讓我們從作用於蝦曳網具的力量在平衡狀態時着想，首先必須將結附在三叉網前端的石頭省略，因該石頭在拖行作業中，所產生的抵抗遠較網具本身所受的抵抗為小，尤其不容易測定其對網具高度的影響情形。

當拖行速度緩慢時，曳網所受的張力，大部分為沉子網的水中重量由吊繩傳遞而來，所以三叉網與吊繩間的角度大而吊繩與海底平面的交角減小，而網口降低。當拖行速度加快後，三叉網與吊繩趨近於一直線形狀，同時網具所受流體抵抗急激增加而超越吊繩所受流體抵抗甚多，所以三叉網與吊繩的角度小，吊繩與海底平面的交角增大而提高網口高度。

依上述情形，我們制訂了蝦曳網具力學解析的基本方程式如下述。

7.1. 基本方程式

為便於數學式的制訂起見，假定蝦曳網具的網口高度變化，係在蝦曳網具於一定的拖行速度，平坦的海底及一定的水深情況下作業，並假設下述各項因素為一定值，即桁竹長度B，網具長度S，桁竹浮力 F_b ，吊繩長度 ℓ ，及沉子網的水中重量W。

如圖7.1所示；從幾何學上的關係，可以得到在桁竹上所受力量的平衡狀態為：

$$T_n \cos \beta = R_b + T_s \cos \phi + T_u \cos \theta_u, \quad (7.1)$$

$$T_n \sin \beta + F_b = T_s \sin \phi + T_u \sin \theta_u, \quad (7.2)$$

上式中 T_n 為曳網所受的張力， β 為曳網與水平線的夾角， T_s 為吊繩的張力， ϕ 為吊繩的傾角， T_u 為上片網的張力，而 θ_u 為上片網的仰角。

同樣方法，對於沉子網上力量的平衡情形為：

$$T_s \cos \phi = F_w + T_e \cos \theta_e, \quad (7.3)$$

上式中， T_e 為下片網具的張力， θ_e 為下片網的仰角，而 F_w 為沉子對海底摩擦抵抗。又我們假定沉子對海底的摩擦抵抗（ F_w ）與吊繩張力的垂直分力及下片網的張力成比例，則：

$$F_w = \mu (W - T_s \sin \phi - T_e \sin \theta_e) \quad (7.4)$$

其次，從海上實驗觀察所得，可假定上、下片網的仰角趨近於0，所以上述方程式可寫為：

$$T_n \cos \beta = R_b + T_s \cos \phi + T_u, \quad (7.5)$$

$$T_n \sin \beta = T_s \sin \phi - F_b, \quad (7.6)$$

$$T_s \cos \phi = F_w + T_e, \quad (7.7)$$

$$F_w = \mu (W - T_s \sin \phi) \quad (7.8)$$

消去 T_s 、 ϕ 及 F_w ，則得：

$$T_n = \frac{R_b + \mu (W - F_b) + T_u + T_e}{\cos \beta + \mu \sin \beta} \quad (7.9)$$

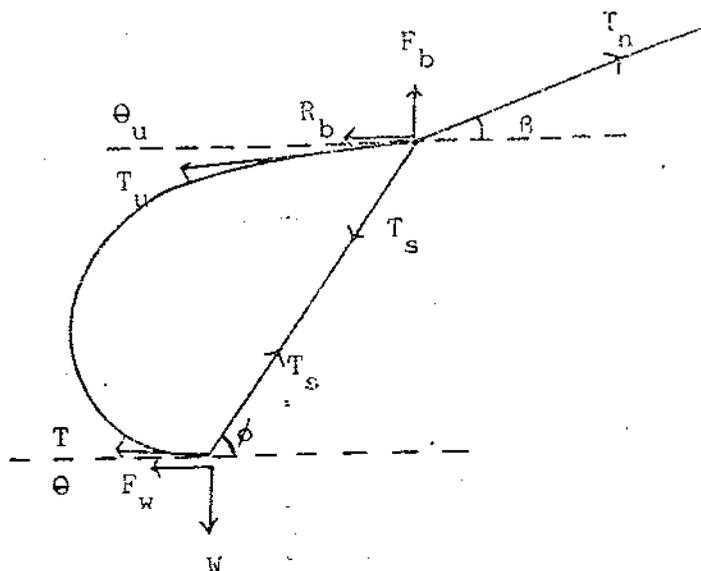


圖 7.1 台灣蝦曳網具幾何關係圖

- T_n 曳網的張力
- T_s 吊繩的張力
- T_u 上片網的張力
- T_e 下片網的張力
- F_b 桁竹的浮力
- R_b 桁竹的抵抗
- F_w 沉子摩擦抵抗
- W 沉子網的水中重量
- β 三叉網傾角
- ϕ 吊繩的傾角
- θ_u 上片網的仰角
- θ_e 下片網的仰角

上式中， T_u 及 T_e 為網具的總抵抗，若以 D_n 代替 T_u+T_e 則 (7.9) 式可改寫為

$$T_n = \frac{R_b + \mu(W - F_b) + D_n}{\cos\beta + \mu\sin\beta}, \quad (7.10)$$

7.2. 蝦曳網具所受流體抵抗

袋網狀網具的流體抵抗試驗曾由谷口氏⁷⁻¹³執行過，其理論分析則由宮崎氏⁷⁻²⁵完成，在宮氏所敘述的第四種袋型網具與蝦曳網具甚為相似，因此我們對於蝦曳網具所受流體抵抗的計算，採用上述第四種袋型網為基礎，但在網口缺口及兩側的三角網，仍然依本省蝦曳網具形狀將其切除，如圖 7.2 所示。

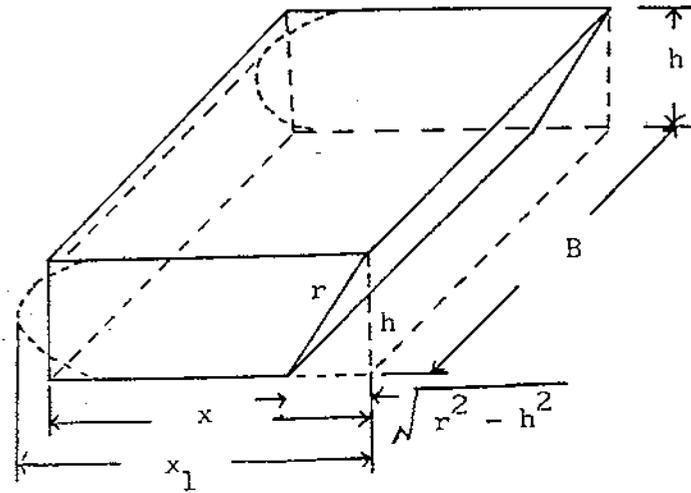


圖 7.2 蝦籠網具的幾何形狀圖

依宮崎氏^{7.20}的理論，袋網在流體中所受抵抗為

$$D_n = \int_s \frac{1}{2} C_D \rho \alpha v^2 ds$$

$$= \frac{1}{2} C_{D0} \rho \alpha S_1 v^2 + \frac{1}{2} (1-\alpha)^2 \frac{\sin \sigma}{\sin 45^\circ} \rho \alpha S_2 v^2 \quad (7.11)$$

上式中， C_{D0} 為網具與流體成 90° 時之抵抗係數， ρ 為流體密度， α 為網具形狀係數， σ 為網目兩腳夾角之一半， v 為拖行速度。 S_1 及 S_2 如下述：

$$S_1 = \int_s \sin^2 \theta ds,$$

$$S_2 = \int_s \cos^2 \theta ds.$$

令 B 及 h 為桁竹長度及網口高度， S_1 的面積由下式表示：

$$S_1 = \frac{Bh^2}{4x_1} \log_e \frac{\sqrt{16x_1^2 + h^2} + 4h}{h} \quad (7.12)$$

上式中， x_1 為網口至囊網的水平距離，其近似式為：

$$x_1 = \frac{1}{2} [x + \sqrt{x(x+h)}] \quad (7.13)$$

若網地由上端至下端的總長度為 L ，則 x 為

$$x = \frac{1}{2} (L - h + \sqrt{L^2 - h^2}) \quad (7.14)$$

另一方面， S_2 為網地的一部份面積，即網地總面積減除 S_1 的面積，即

$$S_2 = BL + h(L-h) - S_1 \quad (7.15)$$

7.3 計 算

表 7.1 為依據方程式 (7.11) 所求得的網具總抵抗的計算結果，係由宮崎氏^{7.23}的 $C_{Do}-R_e$ 曲線中採取 C_{Do} 值的 σ 為 19.63° ，網線直徑為 0.602% ，網目大小為 24.2% ，網具長度 (L) 為 4.33m ，網寬 (B) 為 9.75m 及吊繩長度 (ℓ) 為 1.15m 等條件，而以拖行速度自 $0.1, 0.25, 0.5, 0.75$ 至 1.0m/Sec ，並且網口高度由 $0.3, 0.5, 0.7, 0.9$ 及 1.1m 為參數而計算的。

關於曳網所受張力的計算值如表 7.2 所示，係依照方程式 (7.10) 及桁竹長度 9.75m ，直徑 4.2m ，而其抵抗係數為 1.2 等條件。又沉子在水中的重量 (W) 為 44.6kg ，桁竹的浮力 (F_b) 為 10.4kg ， β 為 10° ， μ 為 0.7 並從拖行速度與曳網所受張力的關係圖中，將其外插值作摩擦抵抗等，均為海上實際作業所觀測的資料。

表 7.1 袋網總抵抗的計算值 (D_n : kg)

h (m) \n v (m/sec)	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1
0.10	2.187	12.519	48.034	105.777	186.005
0.25	3.22	17.261	63.952	138.165	240.535
0.50	4.666	23.902	86.255	183.551	316.959
0.75	6.549	32.528	115.17	242.322	415.852
1.00	9.104	44.240	154.453	322.197	550.287

表 7.2 曳網所受張力的計算值 (T: kg)

h (m) \n v (m/sec)	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1
0.10	23.85	33.19	65.29	117.48	189.99
0.25	26.01	38.70	80.90	147.97	240.50
0.50	31.69	49.08	105.43	193.37	313.95
0.75	33.39	56.87	131.57	246.49	403.33
1.00	53.21	84.96	184.58	336.19	542.34

7.4 結果及其檢討

蝦曳網具的網口高度與拖行速度的理論計算，必須利用方程式 (7.10) 至 (7.15)。將網口高度作為拖行速度的明函數，其實很困難，因此該項計算可由圖形表示；而圖 7.3 為以網口高度為參數，曳網所受張力與拖行速度的關係，圖上的圓圈表示實測值。為從拖行速度而推定網口高度起見，由上述同一資料得圖 7.4，即由海上試驗的實測拖行速度為參數，而作曳網所受張力對網口高度變化的圖形。所以我們可以從曳網所受張力的實測值，及從任何拖行速度下，推定網口高度如表 7.3 所示。

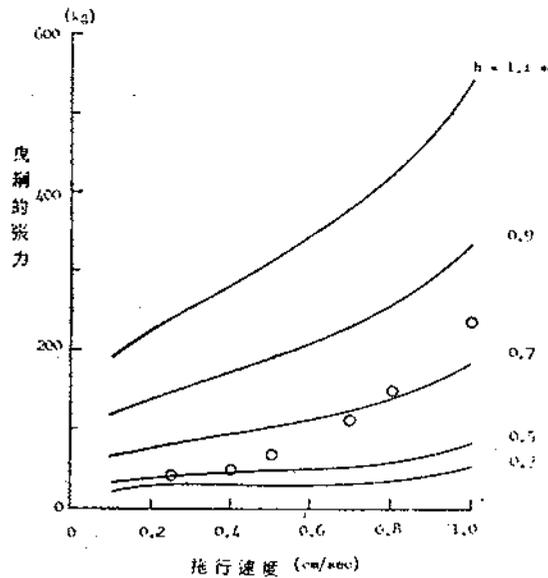


圖 7.3 以網口高度為參數，曳網所受張力與拖行速度的關係圖形。
白圈為測定值

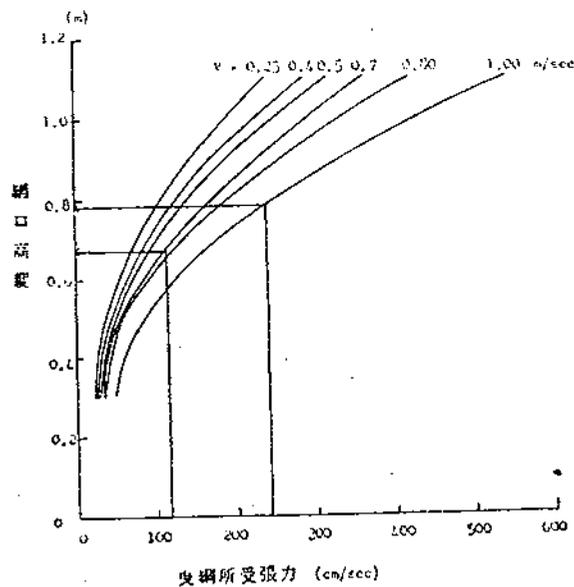


圖 7.4 以拖行速度為參數，曳網所受張力與網口高度的關係圖形

圖 7.5 所示拖行速度與網口高度的關係由實測值與計算值作一比較，圖上的虛圈代表潛水人員的直接測定值，而實圈代表利用網口測定儀器的測定值，當然已排除儀器上的機械誤差。該結果顯示：理論值與計算值的傾向一致，但拖行速度 1m/sec 以上的結果除外，因拖行速度 1m/sec 以上時，潛水實測非常困難，尤其網口升高急激，很難獲得較正確的實測值。此外，該兩者雖有同一傾向，惟計算值略大，考其原因，係吊繩的張力未予列入，同時網具抵抗的推定仍有些許誤差所致。我們必須在此強調的是，由此分析方法與外來影響甚大的海上實際試驗結果比較，若能保持一致的趨勢，應視為難能可貴的結論。

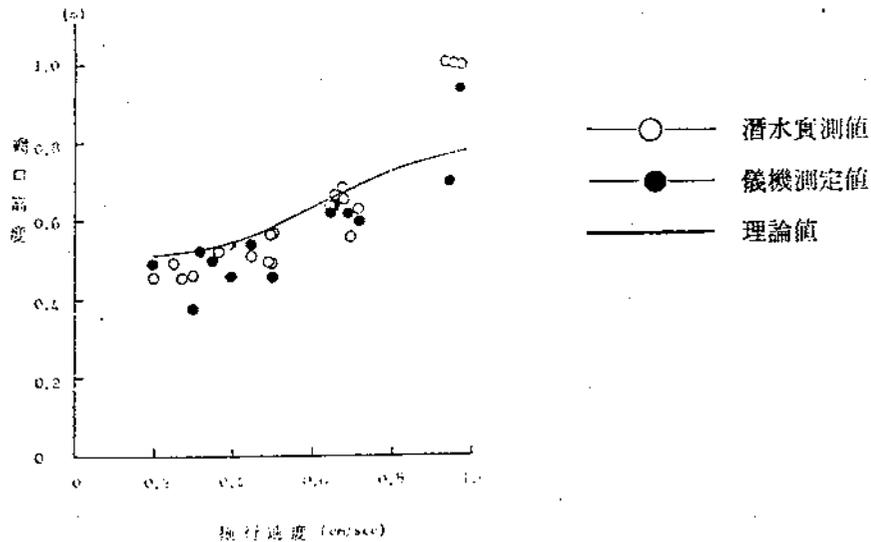


圖 7.5 網口高度與拖行速度的關係圖形實線表示理論值

總之，蝦曳網具的實際作業，仍需考慮捕撈對象蝦的習性及選定適當的網口高度，因為曳網所受的流體抵抗依網口的提高而呈急激增加。另外，雖然我們可以利用這種解析方法求得蝦曳網具作業中的適當拖行速度，曳網長度及應結附的石頭重量，但仍應研究蝦類的習性作為輔助決定適宜於捕撈蝦類的網口高度及拖行速度的根據。

表 7.3 拖行速度與網口高度的關係

拖行速度	網口高度
0.25	0.516
0.4	0.530
0.5	0.582
0.7	0.670
0.8	0.720
1.0	0.7

台灣拖網漁具的力學研究

摘要

本報告分爲二部份，一爲現在本省所使用的拖網漁具研究，二爲捕撈底棲蝦類爲主的蝦曳網具研究。

第一部拖網漁具的研究：依據田內氏法則，實施一系列的模型網具實驗，在實驗中共分 5 種型態的拖網漁具，從事探尋網身部份的力學性質，拖行速度與網具所受流體抵抗的關係及詳細觀察網具的水中形狀隨拖行速度不同而引起的變化，而發掘該等網具設計上的缺點同時提供改進網具的基礎資料。

對於拖網具作業中具有展開網具作用的網板，因本省使用的網板形狀特殊爲呈彎曲形狀的 V 型網板，所以由水槽實驗而作較詳盡的力學特性研究，另一方面，假定該 V 型網板爲兩面平板所構成，而導出該網板所具備的性能及理論，然後與實測作一比較，獲得理論與實際相吻合的結果，證實該理論具有充分的實用價值。

又拖網漁具作業中，網板向左右排開的性能影響漁獲效率至鉅，但欲知正確的網口橫方向的展開距離，則非從曳網的三度空間曲線形狀着手研究不可，筆者以作用於曳網之外力爲曳網的水中重量及其所受流體抵抗與作用於曳網之內力爲曳網的張力，並假定曳網在作業中呈一大圓弧，由理論上尋求曳網的水中形狀獲得成功，因此對於網口的橫方向展開度可以從漁船上的曳引點推算。

第二部蝦曳網具的研究：該漁具爲本省特有漁具之一，網口上部由桁竹作爲浮子之用並能將網具撐開，網部在作業中與拖行方向呈 U 字狀而橫向展開，網口的下部由吊繩與桁竹連接，而沉子網配置馬蹄型沉子，拖行中網具經三叉網連接曳網前進。該網具在作業中經筆者潛水觀察證實能保持穩定狀態，因此筆者從該網具的桁竹浮力，網地所受的流體抵抗，沉子的摩擦抵抗及曳網所承受的拖網力等創立平衡的方程式，解析該方程式而求該網具保持正常形狀的條件，同時獲得加快拖行速度後仍然能保持蝦曳網具的水中良好形狀所應增加延放的曳網長度或加重沉錘及沉子的重量等結論。茲將各節所得結果的摘要分述於后：

一、拖網漁具的力學性質實驗

拖網漁船在漁場作業時，由於網具的規模達數十公尺，同時作業水深由數十至數百公尺，加以海底地形、地質、流水等多項變化因素，確實瞭解瞬息萬變的拖網漁具在作業中的實際情況，幾乎不可能。雖然研究員可潛入海中直接觀察拖行中網具形狀，但仍因能見度有限，而難以窺得全貌。目前雖然已有許多新式的網具測定儀器，如廣角魚群探知機，水中聲納，網位測定器，網高測定器，張力計等等，也只能以斷章取義的方法概略地推計網具的全部作業情況，若以設備完善水中潛艇，或全套水中電視監視系統來協助觀測，則必煩耗費鉅大經費。故一般漁具研究者，皆以各部份觀測值，配合適當模型加以試驗，作成假說，再比較實際值與理論值間的關係，然後應用此關係值，來推論網具在各種情況下的變化。所以筆者爲了以最有效，及最經濟的方法，瞭解我國目前的拖網漁具水中狀態，所受流體抵抗，及漁獲效率等，乃着手實行一系列模型實驗，且尋求實際網具與模型網具間的關係，進一步檢討目前拖網漁具要提高漁獲效率，所應作的漁具設計上的改進事項。

首先將臺灣目前所使用的拖網漁具作成模型，分爲 A、B、C、D、E 等 5 種實驗，其使用的模型網具分別爲實際網具大小之 $1/20$ ， $1/20$ ， $1/20$ ， $1/72$ ， $1/20$ 。而實驗 A、C 及 E 所用的網具爲 2 號網，其材料爲保利艾基網線，而其手木則分別爲 5.2 公分，與 12.5 公分（實驗 C、E）。實驗 B 是爲了瞭解在使用不同高度手木後，網口高度變化及其流體抵抗的大小。試驗 B 用 3 號網，材料爲尼龍線編成，但手木與縮小比例與實驗 C 所使用 2 號網具相同。爲了瞭解構造相同，網線不同而產生水中形狀及抵抗等差異。實驗 D 所用模型網其縮尺較小，以便瞭解模型實驗理論適用範圍。此外爲了研究網板展開距離，實驗 E，將 2 號網，加附一對 V 型網板。而各次實驗中，係數 k 與指數 n，經測定及計算後分別爲：

$$R_A = 0.88v^{1.33}$$

$$R_B = 0.37v^{1.49}$$

$$R_C = 0.71v^{1.41}$$

$$R_D = 0.0059v^{1.36}$$

$$R_E = 0.36v^{1.66}$$

除實驗E的2號網具曾結附網板外，實驗A至D均使用桁木，使網口固定展開。經多次重覆試驗得知：

(1)網目張開情形：實驗B與實驗C的網目張開情況，較實驗A與D為佳，拖行速度增快後，網目閉塞情形不急劇，而當使用較高的手木時，網地受拖行速度的影響較小。

(2)網地鬆緊情形：網地鬆緊的優良順序是實驗A，實驗B，實驗C，實驗D。在實驗A中，受力最大部位為天井網。網地各部位的受力情形經分析後發現，網地受力的變化與網目展開形狀趨勢頗相似，僅在袖網與囊網部位略呈不同，此可能由於網具構造上的特性。

(3)浮子的穩定性：浮子的振動隨拖行速度的增加而急激，實驗C及D浮子穩定性，較實驗A及B佳。

(4)網具抵抗力：當使用相同的手木時，3號網擁有較大的網口高度。實驗E中，測定拖網具的抵抗約2,520Kg，而實際網具若依理論估計其抵抗力，約為2,657.8Kg，兩者頗為接近。

(5)網口高度：提高網口高度的方法有二，一為增高手木高度，及增大網目。一是在浮子網前方，再增加一條前置浮子網，且僅以二條繩索與原先浮子網連結，不致影響作業程序，而可但增加其原網口高度。

(6)模型網具縮尺的大小：雖然使用較小比例的縮尺模型，亦可測定網具在水中的大概形狀，但於此實驗中得知，1/20縮尺的模型網具較1/72縮尺模型網具詳盡。因此在可能的範圍內，應使用較大的構型實驗為佳。

二、V型網板力學性能的研究

本省的拖網船90%使用V型網板，我們從經驗得知V型網板的利點為：投、揚網與拖網作業中，網板很少交叉，網板的構造堅固，不易破損時不吃泥，及價值便宜外。

加拿大的Banaclough (1960)，及美國的Johnson (1970) 也有同樣的報告，但V型網板唯一的缺點是展開力不佳。我們為了獲得改進V型網板的基礎資料，分別從理論分析及實驗兩方面探討。V型網板兩翼的彎曲角，傾角及仰角的不同，影響V型網板的展開力(Lift)及抵抗(Drag)。並將V型網板的性能與其他網板的性能作一比較。

在理論方面：我們得到，抵抗係數(C_D)，展開力係數(C_L)及垂下係數(C_z)與 C_{D0} 之比為：

$$\frac{C_D}{C_{D0}} = \frac{\sin^2\theta}{\cos\alpha} \left\{ \frac{\cos^2(\beta+\alpha)}{1+\cos^2(\beta+\alpha)\sin^2\theta} + \frac{\cos^2(\beta-\alpha)}{1+\cos^2(\beta-\alpha)\sin^2\theta} \right\},$$

$$\frac{C_L}{C_{D0}} = \frac{\sin\theta\cos\theta}{\cos\alpha} \left\{ \frac{\cos^2(\beta+\alpha)}{1+\cos^2(\beta+\alpha)\sin^2\theta} + \frac{\cos^2(\beta-\alpha)}{1+\cos^2(\beta-\alpha)\sin^2\theta} \right\},$$

$$\frac{C_z}{C_{D0}} = \frac{\sin\theta}{\cos\alpha} \left\{ \frac{\sin(\beta+\alpha)\cos(\beta+\alpha)}{1+\cos^2(\beta+\alpha)\sin^2\theta} + \frac{\sin(\beta-\alpha)\cos(\beta-\alpha)}{1+\cos^2(\beta-\alpha)\sin^2\theta} \right\},$$

上式中 θ 為仰角， α 為兩翼的彎曲角， β 為傾角。

另從實驗中獲知，抵抗及展開力係數因仰角的不同而異，但在拖行速度30cm/sec以上均保持一定值，而抵抗係數與展開力係數均因彎曲角及傾角的增加而逐漸減少，惟因傾角的增加其減少情形尤為顯著，並於仰角40度以內，理論值與實驗值頗為一致，從各種網板的性能比較中，我們瞭解，我們的V型網板性能不如立式或翼型網板佳，但比平面網板優良，而從這項研究裡，只要浮服V型網板的挽鐵Bracket，使其非但不上下擺動且能便於作業，即減少傾角在作業中不超過30度則對原有V型網板仍然可與諸漁業先進國家的網板比美。

三、曳網水中的幾何形狀及其力學性能研究

拖網具在作業中，由於網板向左右展開，而使曳網的延伸方向與船艙方向成一夾角。另由於曳網在流體中所受的抵抗及其水中重量而使曳網與水平方向成一俯角。而其實使曳網在水中成彎曲狀的力量為曳網所受流體抵抗與曳網水中重量合力 (F) 的法線分力 (F_n) 為主。

為了確實把握網板的展開距離，以便於正確推定拖網漁具的掃海面積而提供估計漁場資源量的資料，我們必須從事曳網的三度空間曲線形狀研究，在此我們首先假定曳網的水中形狀近似一大圓弧，而其曲率半徑為 R' ，同時曳網的切線方向與其弦的交角為 ϕ ，則由數式的演算我們得知

$$\phi = \frac{\sqrt{(l-n\omega)^2 + \omega(\omega - ln\sqrt{l-l^2}) - n^2\omega^2}}{\tau - n\omega}$$

上式中， l 、 m 及 n 為曳網弦的方向餘弦， ω 為單位長度曳網水中重量與抵抗的比，而 τ 為張力比即

$$\tau = \frac{2T_2}{SR_0}$$

但 T_2 為曳網在曳引點的張力， S 為曳網的長度， R_0 為單位長度的曳網與流水垂直時其所受抵抗

在此項實驗的結果，獲得 ϕ 角介於 $10^\circ \sim 20^\circ$ 之間，當曳網的曲率不大之際，實測值與理論值頗能吻合，因我們所假定的理論式係依曳網在作業中為大圓弧，而曳網的縮結或張力比大，則理論值也大。另一方面，當 τ 值增加時，因曳網的情形趨向於直線狀，而水平距離與弧的比率更顯趨近於某一定值而成對稱狀態。

四、台灣蝦曳網具的海上試驗

蝦曳網具的海上實驗結果。我們獲得蝦曳網具的拖行速度與網具抵抗的關係為

$$R_n = 205v^{2.226}$$

上式表示蝦曳網具所受的流體抵抗隨拖行速度的加快而呈急激增加，同時拖行速度在 30cm/Sec 至 100cm/Sec 之間，蝦曳網具的網口高度自 50cm 提高至 100cm ，此現象與普通的拖網漁具在水中作業的情形不同。即網口高度隨拖行速度的加快而提高，考其原因，除蝦曳網具的寬度受桁竹長度的限制無法在加快拖行速度時擴大展開網具距離，而將增加受力部份作為提高網具的功能外，背網部位受流體抵抗後仍然具有提高網口的現象，而其網口的高度經濟入海中直接測定與使用網口計測定的結果頗為一致。

依據曳網具計算有效馬力的實驗式我們可由下式

$$205v^{3.5} + 30v - 5.63p = 0$$

求得 20 匹馬力的蝦曳網船，其適正拖行速度為 0.79m/Sec ， 30 匹馬力的蝦曳網船，其適正拖行速度為 0.90m/Sec ，而 45 馬力的蝦曳網船，其適正拖行速度為 1.02m/Sec 。另一方面，據我們實際作業的經驗顯示；蝦曳網船的拖行速度在 30 匹馬力的蝦曳網船為 0.75m/Sec 其漁獲性能較佳，因此我們認為決定蝦曳網具的適正拖行速度除依上述力學基礎資料作參考外，同時對於蝦類的棲息習性仍得加強研究，以做進一步的檢討。

五、解析台灣蝦曳網具的力學性能

為了提供蝦曳網具的改進資料，我們從事蝦曳網具的力學分析研究，為便於理論觀念的簡化起見，我們假定蝦曳網具於一定的拖行速度及固定水深的平坦海底作業，另從實際作業中，我們從潛水觀察得知在三叉網前端結附的石頭因其在水中的重量與網具所受的流體抵抗相比，顯得太小，不足於影響網具的高度

；所以在理論檢討方面，將其省略。若以側視曳網具在水中作業時，由力學關係我們可以得到，

$$T_m = \frac{R_b + \mu (w_g - F_b) + D_n}{\cos\beta + \mu \sin\beta}$$

上式中， $D_n = \int_0^L \frac{1}{2} C_D \rho \alpha v^2 ds$ 。

即從曳網所受張力可求得曳網具的抵抗與網口高度的關係。

另當拖行速度小於80cm/Sec 時，網口高度的實測值與理論值頗為吻合。因此運用此力學分析方法，我們可以決定曳網具在作業中應延放的曳網長度及拖行的適正速度。

參 考 文 獻

- 1.1) Fisheries Year Book Taiwan Area. Taiwan Fisheries Bureau, Department of Agriculture and Forestry, Provincial Government of Taiwan, Republic of China. 70-108, 1968.
- 1.2) TAUTI, M.: The force acting on the plane net in motion through the water. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 3(1) 1-4, 1934.
- 1.3) KAWAKAMI, T.: Mechanical action of the otter board of trawl net. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 19(4) 228-232, 1953.
- 1.4) KAWAKAMI, T.: Development of mechanical studies of fishing gear. In "Modern fishing gear of the world: 1"., London, 175-184, 1959.
- 1.5) MIYAMOTO, H.: Model experiments on trawl nets. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 5(1) 19-24, 1936.
- 1.6) NOMURA, M. and T. YASUI : Model experiments on trawl nets of various types. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 18 (12) 727-733, 1953.
- 1.7) KANAMORI, M.: On the physical of the Fixed-Fishing-Net resistance. Mem. Fac. Fish., Kagoshima Univ., (8), 1960.
- 1.8) IITAKA, Y.: Model experiments on Sardine purse seine operation in the Sea Hyuga. Mem. Fac. Kinki Univ., (1), 43-58, 1960.
- 1.9) NOMURA, M.: Studies on behavior of purse seine (I-IV). Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., (49), 1967.
- 1.10) MATUDA, K. : Model experiment on the sweep trammel nets. In "Mechanical studies on sweeping trammel net in relation to its catching efficiency"., Department of Fisheries, Kyoto University, 22-36, 1970.
- 1.11) DICKSON, W. : The use of model nets as a method of developing trawling gear of the world. In "Modern fishing gear of the world:1"., London, 166-174, 1959.
- 1.12) CREWE, P.R. : Some of the general engineering principles of trawl gear design. In " Modern fishing gear of the world: 2 "., London, 165-181, 1964.
- 1.13) FRIEDMAN, A.L. : Geometry and resistance of trawls. In " On instrumentation and methodology in fishing technology "., FAO, Tech. Rep. 35-71, 1967.

- 2.1) MIYAMOTO, H.: " Gyogu-Gyoho Gaku " (Fishing gear and their methods of operation) , Kanehara, Tokyo, 121-167, 1956.
- 2.2) SAITO, I.: "Tororu-Gyogyo" (Trawl fishery), Maruzen, Tokyo, 1949.
- 2.3) SAITO, I.: Studies on fishing ground, fishing gear and fishing technique in one-boat medium trawl fishery. Mem. Fac. Fish., Hokkaido Univ., 5 (1) 46-55, 1957.
- 2.4) GARNER, J.: Modern deep-sea trawling gear. Fishing News (Books) Ltd., London, 1967.
- 2.5) GARNER, J.: How to make and set nets. Fishing News (Books) Ltd., London, 46-60, 1962.
- 2.6) HODSON, A.: Introduction to trawling. Fishing News (Books) Ltd., London, 1967.
- 2.7) T.J. LEE: A study of the trawl board. Taiwan Agriculture Quarterly, 1 (4), 67-78, 1965.
- 2.8) JOHNSON, L.J. and W.L. HIGH: Midwater trawling equipment and fishing technique for capturing Hake off the coast of Washington and Oregon. Circular U.S. Fish and Wildlife Service, (332), 77-101, 1970.
- 3.1) DICKSON, W.: The use of model nets as a method of developing trawling gear. In "Modern fishing gear of the world: 1"., London, 166-174, 1959.
- 3.2) TAUTI, M. : A relation between experimets on model and full scale of fishing net. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 3 (4) 171-177, 1934. .
- 3.3) MIYAMOTO, H.: Model experiments on trawl nets. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 5 (1) 19-24, 1936.
- 3.4) NOMURA, M. and T. YASUI: Model experiments on trawl nets of various types. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 18 (12) 727-733, 1953.
- 3.5) MIYAZAKI, C.: Study on the small trawl net. Mem. Fac. Fish., Mie Univ., 2 (3) 198-215, 1957.
- 3.6) TAKAYAMA, S. and T. KOYAMA: Increasing the opening height of a trawl net by means of a kite. In "Modern fishing gear of the world: 1 "., London, 185-195, 1959.

- 3.7) K. MATUDA, K. SATO and T. KAWAKAMI: On lateral deviation of midwater trawl net from course of towing in turning. Bulletin of Japanese Society of Fisheries Oceanography, Special Number (Prof. Uda's Commemorative Papers), 323-330, 1969.
- 3.8) SUZUKI, O.: On the model experiment of the British Columbia mid-water trawl. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 19(4) 228-232, 1953.
- 3.9) KAWAKAMI, T. and K. NAKASAI: Theoretical derivation of characteristic curve of trawl nets. Mem. Coll. Agr., Kyoto Univ., (94), 1968.
- 3.10) MIYAMOYO, H.: Study on the set net. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., (1), 1951.
- 3.11) KAWAKAMI, T.: The theory of designing and testing fishing nets in model. In "Modern fishing gear of the world: 2"., London, 471-482, 1964.
- 3.12) S. TAKAYAMA, T. KOYAMA, and TAKATOMI, H.: Characteristics of a spherical float with an annular band. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., (25), 1959.
- 3.13) HAMURO, C. and K. ISHII: Studies on two-boat trawls and otter trawls by means of measuring instruments. In "Modern fishing gear of the world: 1"., London, 234-240, 1959.
- 3.14) PHILLIPS, J.: The mouth of the trawl. In "Modern fishing gear of the world: 1"., London, 200-204, 1959.
- 3.15) TAUTI, M.: "Suisan Buturi"(Physics on fisheries science), Asakura, Tokyo, 54-57, 1949.
- 3.16) SCHARFE, J.: Experiments to decrease the towing resistance of trawl gear. In "Modern fishing gear of the world :1"., London, 245-247, 1959.
- 3.17) TAUTI, M.: "Enshu Gyogyo Buturi Gaku" (Physics on Practical fisheries science), Koseikaku, Tokyo, 62-64, 1963.
- 3.18) KOYAMA, T.: Relations between horse power of trawler's main engine and trawl winch and fishing gear. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., (47), 101-108, 1966.

- 3.19) KOYAMA, T.: On the results of field trial with various big sized otter trawls. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., (43), 13-71, 1965.
- 3.20) T. KOYAMA, S. YAJIMA, S. MITSUI and T.J. LEE: Stretcher of net-mouth. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., (46), 1966.
- 4.1) SCHARFE, J.: Experiments to decrease the towing resistance of trawl gear. In "Modern fishing gear of the world: 1"., London 245-247, 1959.
- 4.2) SUBERKRUB, F.: Otter boards for Pelagic trawling. In "Modern fishing gear of the world: 1"., London, 359-360, 1959.
- 4.3) SHINODA, M.: Private communications.
- 4.4) NAKASAI, K.: Private communications.
- 4.5) MCNEELY, R.L.: Development of the Cobb Pelagic trawl a progress report. In "Modern fishing gear of the world: 2"., London, 240-247, 1964.
- 4.6) HAMURO, C.: Development of an improved otter trawl gear. In "Modern fishing gear of the world: 2"., London, 191-198, 1963.
- 4.7) KOYAMA, T.: Comparative efficiency between two types of otter board with different ratios as to the length and height. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., (31), 1961.
- 4.8) CREWE, P.R.: Some of the general engineering principles of trawl gear design. In "Modern fishing gear of the world: 2 "., London, 165-180, 1964.
- 4.9) JOHNSON, L.J. and W.L. HIGH: Midwater trawling equipment and fishing technique for capturing Hake off the coast of Washington and Oregon. Circular U.S. Fish and Wildlife Service, (332), 77-101, 1970.
- 4.10) BARRACLOUGH, W.E. and W.W. JOHNSON: Further midwater trawl developments in British Columbia. Bull. Fish. Res. Bd., Canada, (123), 1-45, 1960.
- 4.11) BARRACLOUGH, W.E. and A.W.H. NEEDLER: The development of a new herring trawl for use in midwater or on the bottom. In "Modern fishing gear of the word: 1 "., London, 351-356, 1959.
- 4.12) T.J. LEE: A study of the trawl board. Taiwan Agriculture Quarterly, 1 (4), 67-78, 1965.

- 4.13) TAUTI, M.: "Suisan Buturi" (Physics on fisheries science), Asakura, Tokyo, 54-57, 1949.
- 4.14) MATUDA, K.: Private communications.
- 5.1) de BOER, P.A.: Trawl gear measurements obtained by underwater instruments. In "Modern fishing gear of the world: 1"., Fishing News (Books) Ltd. London, 225-233, 1959.
- 5.2) CREWE, P.R.: Some of the general engineering principles of trawl gear design. In "Modern fishing gear of the world: 2"., Fishing News (Books) Ltd., London, 165-180, 1964.
- 5.3) FRIEDMAN, A.L.: Geometry and resistance of trawls. In "On instrumentation and methodology in fishing technology"., FAO Tech. Rep. 35-71, 1967.
- 5.4) DICKSON W.: Trawl gear geometry and resistance. In "On instrumentation and methodology in fishing technology"., FAO Tech. Rep. 73-94, 1967.
- 5.5) CARROTHERS, P.J.G.: Instrumentation for the engineering study of otter trawls. In "On instrumentation and methodology in fishing technology"., FAO Tech. Rep. 151-194, 1967.
- 5.6) CARROTHERS, P.J.G.: Instrumentation for the engineering study of otter trawls. Bull. Fish. Res. Bd., Canada, No.163, 1-45, 1968.
- 5.7) MIYAZAKI, Y.: Basic investigations on the resistance of fishing net-(I) ~ (XII). Journal of the Tokyo University of Fisheries, 50 (2), 169-184, 1964.
- 6.1) HAMURO, C. and K. ISHII: Study on the mid-water trawl fishing gear and their telemeters. Scientific Report No.3, Fishing Boat Laboratory, Fisheries Agency, Agriculture and Forestry Ministry, 1961.
- 6.2) HAMURO, C.: Measuring instruments for the study of midwater trawls. In "On instrumentation and methodology in fishing technology"., FAO Tech. Rep. 109-130, 1967.
- 6.3) NOMURY, M. and T. YASUI: Model experiments on trawl nets of various types. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 18(12) 727-733, 1953.

-
- 6.4) KOYAMA, T. : Relations between horse power of trawler's main engine and trawl winch and fishing gear. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., (47), 101-108, 1966.
- 7.1) TANIGUCHI T. : On the resistance of various cod ends fixed in a stream. (I). Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 21 (5), 1955.
- 7.2) MIYAZAKI, Y. : Basic investigations on the resistance of fishing net-(I) (XII). Journal of the Tokyo University of Fisheries, 50 (2), 169-184, 1964.