

## 表中層拖網漁具力學研究

林俊辰 · 王敏昌 · 李燦然

Mechanical studies on the surface-midwater trawl

Jiun-Chern Lin, Ming-Chang Wang and Tsann-Jan Lee

Trawling fishery is expanded rapidly with the assistance in the form of load fund and technical instruction provided by the government in the recent years. According to the statistics of the Fisheries Bureau, the product of catch was estimated as 929,326 tons in 1979. The catch of the trawling fishery was 413,097 tons, that is to say, 44.4% of the total catching product. So it showed that the trawling fishery played an important role in the Taiwan fisheries. The otter boards used in the commercial mid-water trawlers were almost bottom ones. Floating the otter boards must be dependent on the method of decreasing the warp length and increasing the towing speed in the past. Supposed that the warp length is too short, the wake current produced by propeller would affect the catching efficiency. At the present, one set of otter boards made of thin steel plate was used in the experiment. And the results were stated as in the following:

1. Relationship between the trawl resistance and towing speed:

- 1). The faster the towing speed was, the more the trawl resistance became.
- 2). The relationship between trawl resistance and towing speed is as
$$R = 335.291 V^{1.439}(\text{kg})$$
- 3). When the warp length was lengthened as 100 meters, the trawl resistance is maximum.

2. Relationship between the developing force of otter boards and towing speed:

- 1).  $L(\text{kg})$ , a developing force of an otter board is obtained as follows.

$$L = 1/2 C_L V^2 S \rho$$

Where  $S$  = Area of an otter board ( $\text{m}^2$ )

$\rho$  = Density of sea water ( $105 \text{ kg. sec}^2/\text{m}^4$ )

$V$  = Towing speed ( $\text{m/sec}$ )

$C_L$  = Developing force coefficient

- 2). The developing force ( $L$ ) is dependent on the warp tension, warp spread angle, net resistance ( $R$ ) and spread angle of otter boards. In the experiment,  $L/R$  is about 0.34 in average as the towing speed is from 0.75 to 1.45  $\text{m/sec}$ . It is larger than that of bottom trawling.

3. The depth of otter boards, towing speed and warp length:

- 1). While the warp length is fixed, the depth of otter boards is proportional to the warp length. The relationship between the depth of otter boards and towing speed are as follows:

$$D_{100} = 48.376 - 24.997 V$$

$$D_{140} = 70.276 - 36.496 V$$

$$D_{180} = 180.617 - 105.331 V$$

- 2). When the warp length is 100m and towing speed is 1.45m/sec, the otter boards were all floated to surface water.
4. The depth of net, towing speed and warp length:
  - 1). On fixing the warp length and increasing the towing speed, the otter boards floated gradually, i.e. the depth of net also floated.
  - 2). The relationship between the depth of net and towing speed are as follows:
 
$$D'_{100} = 37.073 - 21.839 V$$

$$D'_{140} = 54.635 - 30.803 V$$

$$D'_{180} = 64.569 - 31.867 V$$
  - 3). On fixing the towing speed and lengthening the warp length, the net sank gradually.
5. Height of net and towing speed:
  - 1). Height of net varied with the different towing speed. In other words, if the towing speed is increased, the height of net is also increased.
  - 2). The relationship between height of net and towing speed is as
 
$$H = 8.361 - 3.363 V.$$

## 前 言

我國拖網漁業經政府積極輔導及業者之努力，發展頗為快速，根據68年漁業年報統計，本省漁業總產量為 929,326公噸，而其中拖網漁業生產 413,097公噸，佔漁業總產量的 44.4%<sup>1)</sup>，由此可見拖網漁業在本省漁業生產上所佔地位之重要性。

我國現行之拖網漁船，大多採用底層拖網作業方式，其作業漁場，為適應發展之需要由傳統之台灣北部海域漁場，台灣海峽，逐年伸展到南中國海、暹羅灣、婆羅州北部、澳洲北部與西北部，紐西蘭附近海域及阿拉斯加附近海域。然由於近年來各沿海國相繼宣佈 200浬經濟水域，我國遠洋底拖網漁業受到極大的衝擊，尤以南中國海以南為作業漁場之雙拖漁業影響最大，在傳統漁場大幅度減少之下，該漁業已有逐漸萎縮之現象，且 50噸以上的遠洋單拖漁船，至 67年止已達 475艘，10年來增加 7.4倍，但其漁產量僅增加 2.6倍。在此底層拖網漁業資源日漸枯竭之際，表中層拖網漁業更有待加強研究及發展之必要，因此表中層拖網漁業之地位亦日趨重要。

往昔民間漁船所謂中層拖網，其採用之網板乃為底拖之網板，均非實際之中層拖網網板，因網板之浮力不足，常須藉減短曳網長度及增高曳網速度等方法，使網板上浮，因而影響網具之展開，且由於曳網長度過短，船艙部俾葉流因之影響魚群入網，為改進上述缺點，乃以超薄強力鋼板為材料，設計適應中層拖網作業之網板，及配合中層網具，對此網板及網具在水中之物理特性加以研究分析，以提供業者參考。

## 試驗器材及方法

### (一)試驗器材：

(1)試驗船：東山號試驗船，船殼為鋼筋水泥所建造，主機採用高速掛塞爾柴油機，180 BHP、全長 13.31 m，寬4.42 m，總噸位 25.29 噸。

### (2)試驗儀器：

張力計	一部，彈簧式，測定範圍 0~ 5 噸。
水深計	二部，YANAGI型，自動紀錄水深。
流速計	一部，CM- 1B型電氣流速計。
魚群探知器	二部，一部為FURUNO牌50kHz，測深範圍0—400 m，另一部為KODEN牌200 kHz，深範圍0—200 m。
傾角計	二組。
水中電視機	一套，HYDRO PRODUCTS。

### (3)漁具：

#### A. 表中層拖網網具：

網具，由四片網地構成，背網較腹網前伸，兩側網相同，並有四片相同之三角網。未縮結前網具長18.16m，其側網之力網直徑9 mm，長度16.52 m，三角網之力網直徑5.5 mm，長11.57m。網地材料為PE 380D，其結構設計如圖1所示，浮子網為直徑10 mm之尼龍索，長12.74 m，結付直徑 135 mm 之塑膠浮球 15個；沈子網為直徑10 mm之尼龍索，長 14.34 m，結付鐵鏈24kg。

#### B. 網板及漁具構成：

網板為立式翼型，係採用強力薄鋼板材料，內裝設小浮球，外有孔塞，下方結付重錘，可隨意調整網板在水中之沉降深度，亦可由孔塞添加海水，以增加其平衡及穩定度，網板縱長 1210 mm，橫寬 790 mm，空中重量90 kg，水中重量10 kg，如照片 1。



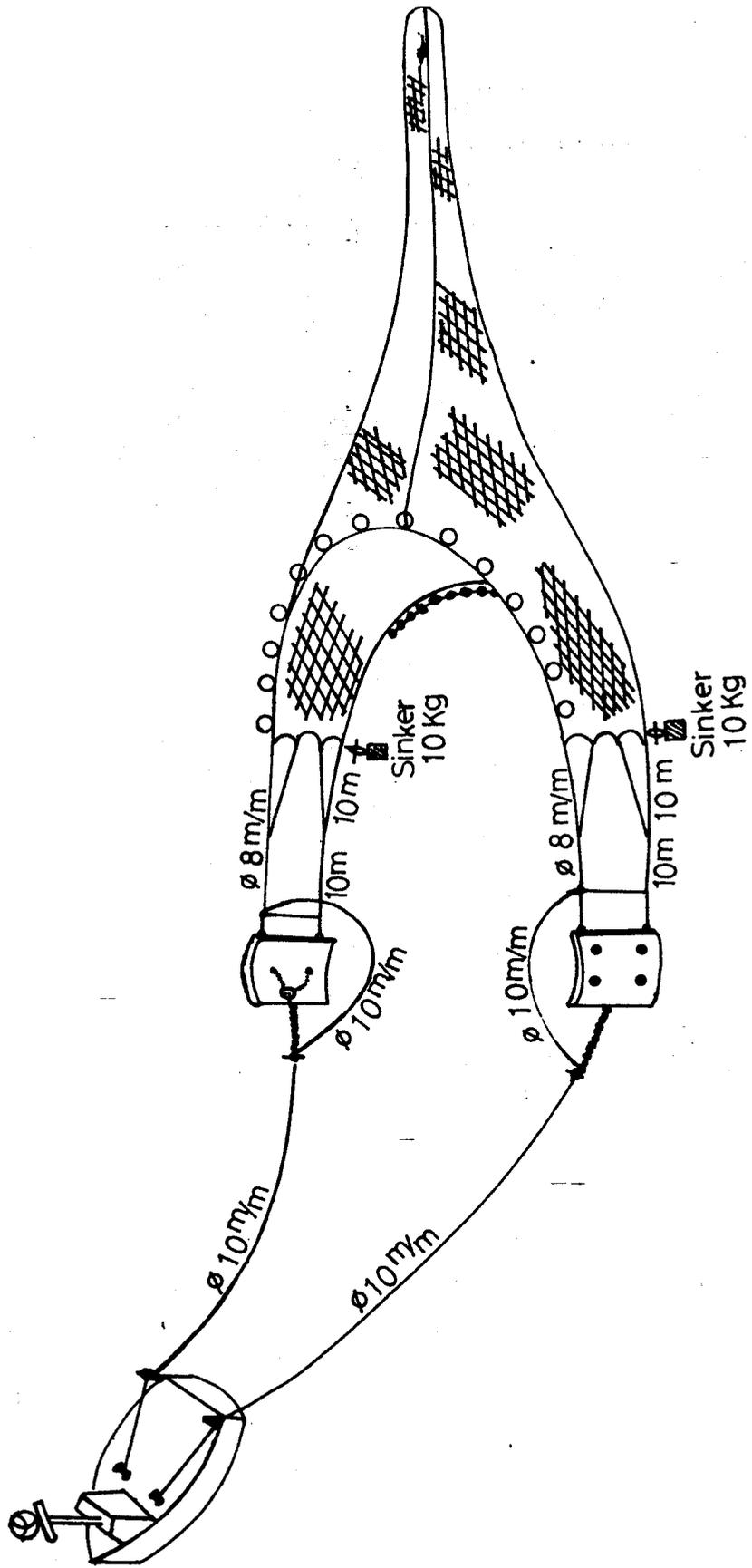


Fig. 2 Schematic diagram of the other boards combined with the wings of net.

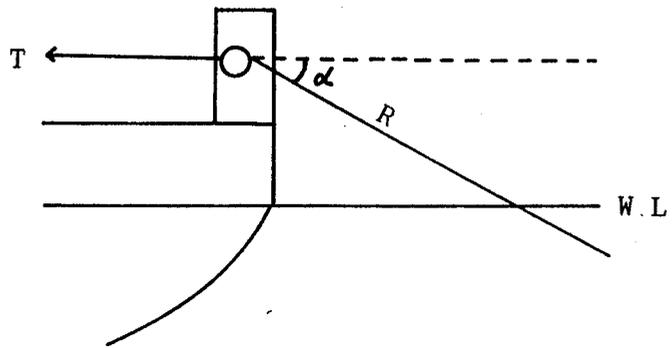


Fig. 3 Schematic diagram of measuring the resistance of the trawl net.

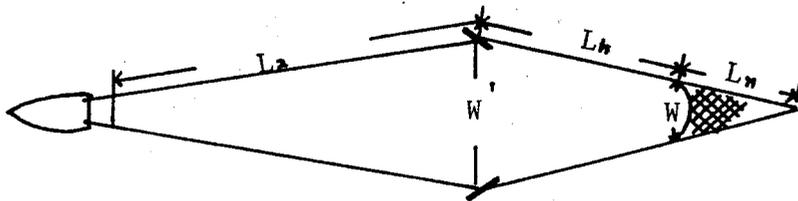


Fig. 4 Schematic diagram of the net under water.

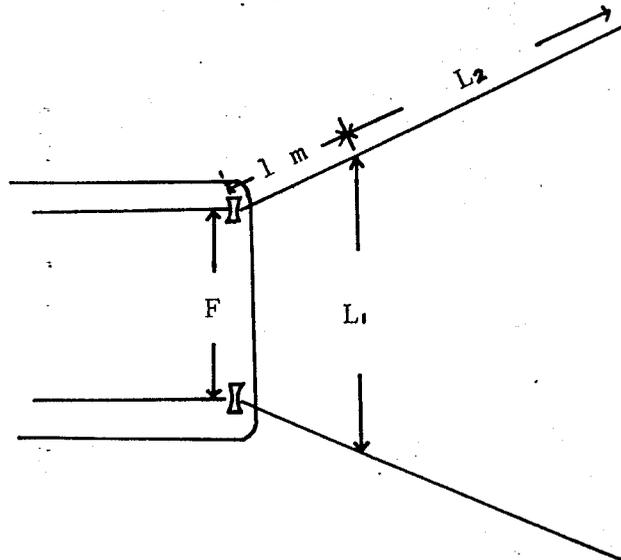


Fig. 5 Schematic diagram of measuring the spread of the wings.

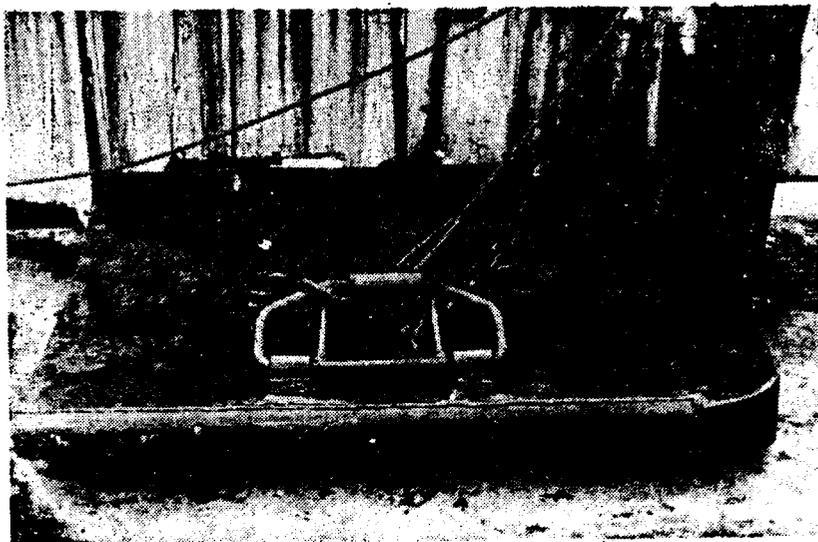


Photo. 1 The otter board used in the test.

網板和網具結合如圖 2 所示，網板後結付直徑 8 mm，長 10 m 之懸網 2 條，上、下懸網再各與二條手網（直徑 8 mm，長 10 m）連結，即共有 4 條手網連結於袖網端，上手網與浮子網連結，下手網與沉子網連結，於沉子網與下手網結合處，結付 10 kg 重錘一個。

## (二) 試驗方法：

表中層拖網漁法與一般艦式底拖網之漁撈作業方法類似，所不同者乃在拖網速度較慢及網具水深之控制。因網板較重，故吊放較為困難，其試驗方法如下：

- (1) 曳網速度之測定：試驗作業時，於艙舷伸出 2~3 m 之橫桿，末端結付 CM-IB 型電氣流速計，使其沒入水中 3 m 深，用以測定船對水之曳網速度 (m/sec)。
- (2) 漁具抵抗之測定：結付張力計於揚網機與曳網之間，直接讀取曳網之張力 (T)，同時以傾角計量取曳網之傾角 ( $\alpha$ )，則漁具抵抗  $R=2T \cos\alpha$ ，如圖 3 所示。
- (3) 網口水平展開：網口水平展開距離依網板之展開情形而定，拖網時，曳網在水中之形狀近於直線，則網具在水中情形可以圖 4 表示。利用相似三角形性質，(如圖 5 所示)，並量取兩滑車間距離 (F)，在滑車後一定長度 (1 m) 處量取兩曳網間距離  $L_1$ ，由此至網板長設為  $L_2$ ，則網板之水平展開距離  $W'=L_1+L_2 (L_1-F)$ ，因而網口水平間展開距離  $W = W' \times \frac{L_n}{L_n+L_h}$  ( $L_n$ ：網具縮結後之身長， $L_h$ ：手網長度)。
- (4) 網板水深：設拖網時，曳網成直線狀，則網板水深  $D_{0B}=L \sin\alpha$  (曳網長度為 L， $\alpha$  為曳網傾角)，再求網板水深與曳網速度之關係。
- (6) 網具水深及網口高度：在浮子網及沉子網中央各結付水深計一個，浮子網在水中位置與水面之距離為網具水深 (即浮子網上水深計所顯示之深度)。網口高度乃為浮子網與沉子網中央在水中位置之距離差。測定網具水深與曳網速度之關係，並測定網口高度與曳網速度之關係。

試驗結果與討論

(一)漁具抵抗與拖網速度之關係：

漁具抵抗係由實測之曳網所受張力及其傾角推算而得，然漁具抵抗之大小乃因曳網速度而異；曳網速度愈高，則漁具抵抗亦隨之變大<sup>2-4</sup>。其漁具抵抗 ( $R_t$ ) 包括網具抵抗 ( $R_n$ )、網板抵抗 ( $R_o$ )、曳網抵抗 ( $R_w$ ) 及手網抵抗 ( $R_h$ ) 等；但因  $R_h$  值微小，可略而不計，而網板抵抗可計算而得

$$R_o = \frac{1}{2} C_d \cdot S \cdot V^2 \cdot \rho \dots\dots\dots (1)$$

式中  $C_d$ ：網板抵抗係數。

$S$ ：網板面積， $m^2$

$V$ ：曳網速度， $m/sec$

$\rho$ ：海水密度， $105kg \cdot sec^2/m^4$

$C_d$ 值隨Reynolds數及網板之迎角而變化<sup>5-6</sup>。依SCHÄRFER<sup>7</sup>試驗，翼型 (Süberkrüb) 網板之最大有效迎角 $14 \sim 15^\circ$ ，抵抗係數 $C_d$ 為 0.3。

$$R_w = \frac{1}{2} C_d' \cdot V^2 \cdot D_w \cdot \ell \cdot \rho \dots\dots\dots (2)$$

式中  $C_d'$ ：曳網抵抗係數

$D_w$ ：曳網直徑， $m$

$\ell$ ：曳網長度， $m$

依DIEL<sup>8</sup>之風洞試驗，曳網傾角與曳網抵抗係數之關係如圖 6所示。 $C_d'$ 仍隨Reynolds數及曳網傾角之不同而變化<sup>5-6</sup>。依KOYAMA<sup>9</sup>之計算， $C_d'$ 約為0.1。而 $R_w$ 值與 $R_t$ 值比較，亦頗為微小通常均可省略。

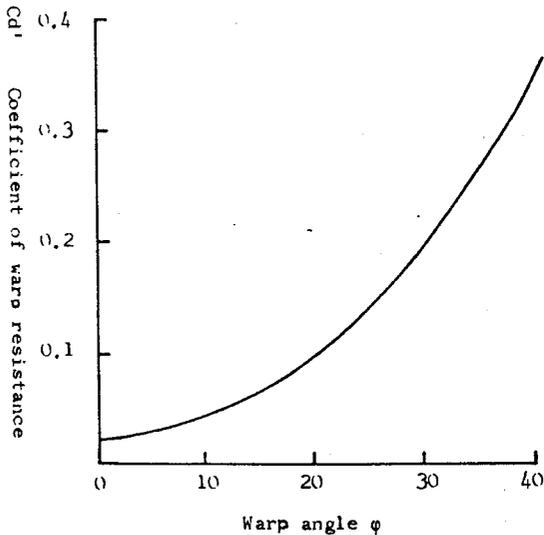


Fig. 6 Relationship between warp angle and coefficient of warp resistance.

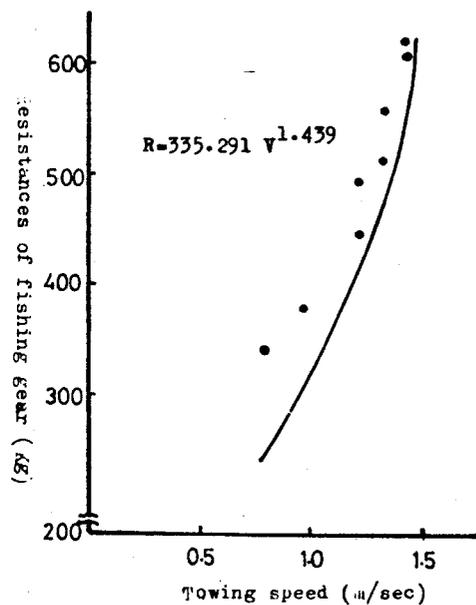


Fig. 7 Relationship between the resistances of fishing gear and towing speed.

網具抵抗 (R<sub>n</sub>) 為漁具抵抗扣除網板抵抗 (R<sub>o</sub>) 及曳網抵抗 (R<sub>w</sub>) 之剩值。依KOYAMA<sup>10)</sup>之報告指出

$$\text{網具抵抗 } R_n = K \cdot a \cdot b \cdot d / \ell \cdot V^2 \dots\dots\dots(3)$$

式中 K : 網具抵抗係數。  
 a : 縮結前之網身最大寬度, m。  
 b : 縮結前之網身最大長度, m。  
 d : 網線直徑, m。  
 ℓ : 網目大小, m。

故可由漁具抵抗 (R<sub>t</sub>) 推算出網具抵抗 (R<sub>n</sub>)。而漁具抵抗與曳網速度之關係如圖 7 及表 1, 其關係式為  $R = 335.291V^{1.439} \dots\dots\dots(4)$

由試驗結果顯示, 表中層拖網漁具流體抵抗與一般底拖網相同。

Tab. 1 Relationship between the resistances of fishing gear and towing speed.

Towing speed (m/sec)	Resistances of fishing gear (Kgs)
0.75	356.6
1.00	374.8
1.25	443.2
1.25	490.8
1.35	503.8
1.35	557.0
1.45	612.4
1.45	617.2

(二) 網板展開力與拖網速度:

網板展開力 (L) 係隨張力 (T)、曳網展角 (θ)、網具抵抗 (R) 及網具展角 (β) 等而變, 即

$$L = \frac{T}{2} \cos \frac{\theta}{2} + \frac{R}{2} \tan \beta \dots\dots\dots(5)$$

$$\beta = \sin^{-1} \frac{\ell_w \cdot \sin \frac{\theta}{2} + \frac{F}{2}}{\ell_h + \ell_n} \dots\dots\dots(6)$$

式中 ℓ<sub>w</sub> : 曳網長度  
 F : 滑車間距  
 ℓ<sub>h</sub> : 網板至袖網端距離  
 ℓ<sub>n</sub> : 網具長度

由(6)(6)式計算得如表 2 之結果, 由表 2 可得圖 8, 亦即如測定值誤差愈大時, 圖上的點離開愈遠。

$$L = \frac{C_L}{2} \rho V^2 S \dots\dots\dots(7)$$

由(7)式 可知網板展開力與曳網速度的平方成正比, 亦即曳網速度愈高, 則網板展開力愈大。依 KOYAMA<sup>9)</sup>試驗, 底拖網漁具之 L/R 為 0.18~0.20 (曳網速度 1.4~2.4m/sec), 而本試驗所得之 L/R 平均為 0.34 (曳網速度 0.75~1.45m/sec), 由此可知中層拖網網板之展開力大於底拖網網板。

Tab. 2 The developing forces of an otter board (L) under various conditions

$U^*$ (m/sec)	$\frac{\theta^*}{2}$	$l_w^*$ (m)	$l_h^*$ (m)	$l_n^*$ (m)	$F^*$ (m)	$\beta^*$	$T/2^*$ (kgs)	$R/2^*$ (kgs)	$L^*$ (kgs)	$L/R$
0.75	5.75	100	20	19.59	4.4	17.98	185	24.91	26.62	0.53
1.00	11.55	"	"	"	"	34.15	195	44.29	68.91	0.78
1.25	5.75	"	"	"	"	17.98	225	69.20	45.00	0.33
1.35	5.15	"	"	"	"	16.41	255	80.71	46.66	0.29
1.45	5.75	"	"	"	"	17.98	310	93.11	61.28	0.33
0.60	4.45	140	"	"	"	19.27	150	15.94	17.21	0.54
0.80	4.00	"	"	"	"	17.59	175	28.34	21.19	0.37
1.20	4.30	"	"	"	"	18.71	200	63.77	36.60	0.29
1.25	4.00	"	"	"	"	17.59	250	69.20	39.38	0.28
1.35	3.85	"	"	"	"	17.04	280	80.71	43.54	0.27
1.00	2.00	180	"	"	"	12.37	115	44.29	13.73	0.16
1.10	3.45	"	"	"	"	19.22	180	53.59	29.51	0.28
1.20	2.85	"	"	"	"	16.36	205	63.77	28.91	0.23
1.40	3.15	"	"	"	"	17.78	230	86.80	40.48	0.23
1.45	3.15	"	"	"	"	17.78	310	93.11	46.89	0.25

\* $U$ : towing speed,  $\theta$ : angles subtended of a pair of warps,  $l_w$ : length of a warp.

$l_h$ : length of a sweep line,  $l_n$ : length of the net,  $F$ : interval between two top rollers,

$\beta$ : angle between handrope and central line of the net,  $T$ : a total tension of a pair of warps,

$R$ : the calculated resistance of net,  $L$ : a developing force of an otter board.

#### (b) 網板水深、拖網速度及曳網長度：

網板之計算水深依曳網速度及延放曳網長度之不同而異<sup>11)</sup>，在固定的曳網速度下，網板水深隨曳網之延長而下沉，即網板水深與曳網長度成正比例之關係。而於固定曳網長度時，如曳網速度愈快，則網板愈上浮，即成反比例之關係，如圖 9, 10, 11 所示。網板水深與曳網速度之關係如下：

$$D_{100} = 48.376 - 24.997V$$

$$D_{140} = 70.276 - 36.496V$$

$$D_{180} = 180.617 - 105.331V$$

網板水深與延放曳網長度比 ( $k'$ )，於相同曳網長度下之變化幅度小於相同曳網速度下之變化。曳網速度固定為 1.2m/sec，曳網長度為 100m 時， $k'$  值為 18%；曳網長度 140m 時， $k'$  為 24%；曳網長度為 180m 時， $k'$  為 28%，即曳網速度固定為 1.2m/sec， $k'$  平均值為 23.3%。而於曳網速度固定為 1.25m/sec，曳網長度為 100m 時， $k'$  為 17%；曳網長度 140m 時  $k'$  為 19%；180m 時  $k'$  為 27%，平均  $k'$  為 21%。由此可知。曳網速度愈高，欲達同一網板水深所需之曳網長度須延放較長。

決定網板水深之因素有二即曳網傾角及曳網形狀，據 PARRISH<sup>12)</sup> 稱，曳網在曳行中，其各部位之揚力作用不均勻時，將產生內外彎曲之現象。又據 KAWAKAMI<sup>13)</sup> 指出，曳網的形狀近似於圓弧的一部份。曳網傾角若愈小，則網板曳行水深愈淺。而於表中層拖網作業時，網板須上浮，網具才能上升，方能達到表中層拖網作業之目的，為達該目的，曳網傾角須減小；當曳網速度為 1.45m/sec，曳網長度為 100m 時，曳網傾角為 5.5°，此時網板已浮上水面如照片 2。而網板計算水深係由量取曳網傾角並假設曳網呈直綫狀態計算而得，因此以往普遍被採用之假設，即曳網在水中形狀為直綫，可經由傾角計算而得之網板及網具位置仍有相當可靠性<sup>14-15)</sup>。此網板只適用於淺水層之表中層拖網作業，如網板水深增大，將使網板受壓凹入。

#### (c) 網具水深、曳網速度及曳網長度：

網具水深為浮子網至水面之距離，依 CHANG<sup>16)</sup> 稱，網具水深與漁具重量及曳網長度成正比例。曳網速度愈高，網具亦愈上浮，而網具水深乃因網板曳行水深之變化而異。據小山<sup>17)</sup> 之試驗，曳網速度保持一定時，調整曳網長度，或保持一定的曳網長度，調整拖網速度，可調整網具水深，依其試驗結果，曳網長度 100m 時，拖網速度增加到 2m/sec，網具及網板即浮上水面，而本試驗，當曳網長度為 100m，拖網速度為 1.45m/sec 時，則網具與網板均已浮升至水面，如照片 3，由此可顯示，本試驗結果已可達到表層拖網作業之目的，其網具水深與曳網速度之關係可得如下各式(如圖 12, 13, 14)：

$$D'_{100} = 37.073 - 21.839V$$

$$D'_{140} = 54.635 - 30.803V$$

$$D'_{180} = 64.569 - 31.867V$$

曳網速度同為 1.25m/sec 時，網具水深則隨曳網之延長而下沉，於曳網長度為 100m，其網具水深為 9.5m；曳網長度為 140m，則網具水深為 14.5m；即曳網速度固定時曳網長度延放愈長，則網具沉降愈深。

#### (d) 網口高度與曳網速度之關係：

網口高度乃於拖網時，浮子網至沉子網之水中垂直高度，表中層拖網之網口高度主要係賴向下之沉降力而得，而底拖網，則藉向上之浮力而獲致<sup>18)</sup>。網口高度係隨曳網速度之不同而異。當拖網速度增高時，浮子網即往下沉降，沉子網往上方浮起，故網口高度減少<sup>19-22)</sup>；反之，曳網速度降低，則網口高度增大，然網口高度與曳網長度之關係並不顯著<sup>23-24)</sup>，網口高度與曳網速度之關係可得  $H = 8.361 - 3.363V$ ，如圖 15。另據周<sup>25)</sup> 試驗結果指出，手網的長短與網口展開有密切的關係，手網如過短，將阻礙網口之展開，且左右兩側網片呈鬆懈狀，故手網如再增長一倍，將使網口展開較佳。

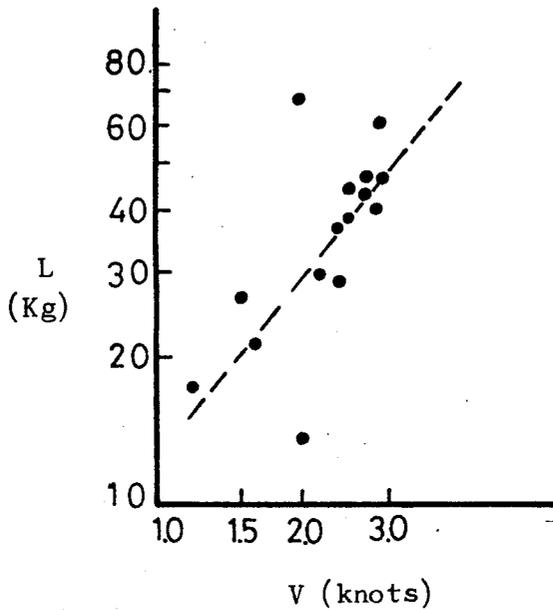


Fig. 8 Relationship between the developing force ( $L$ ) of an otter board and towing speed ( $V$ ).

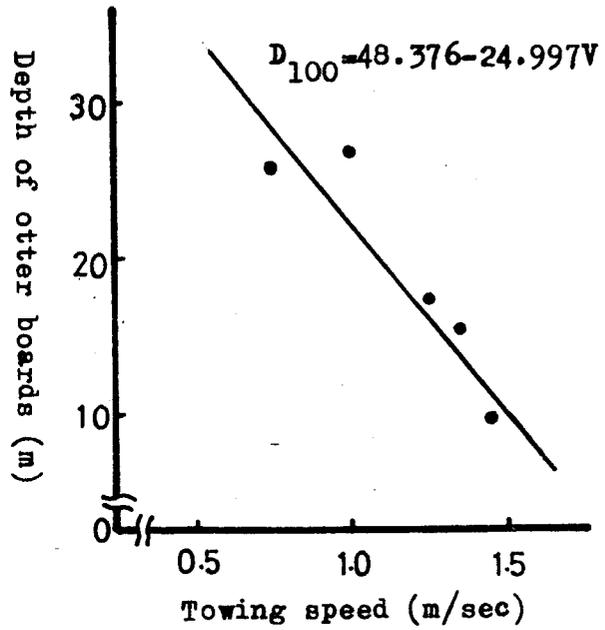


Fig. 9 Relationship between the depth of otter boards and towing speed (as warp length is 100m).

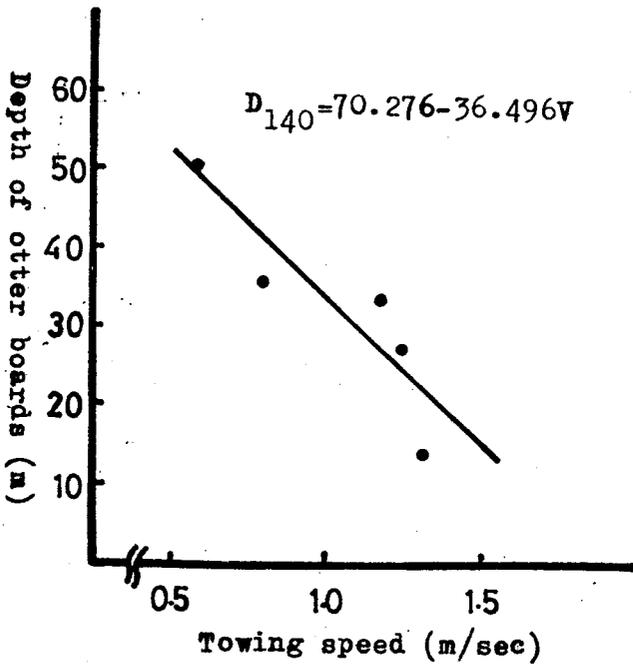


Fig. 10 Relationship between the depth of otter boards and towing speed (as warp length is 140m).

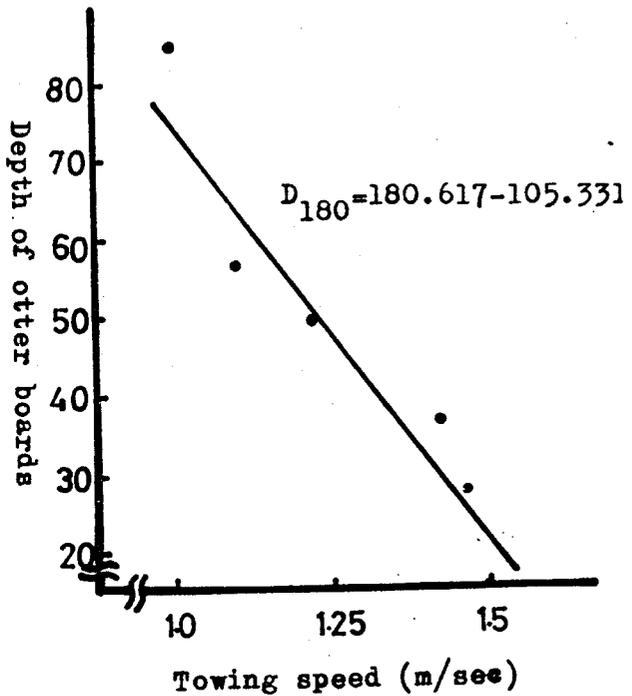


Fig. 11 Relationship between the depth of otter boards and towing speed (as warp length is 180m).

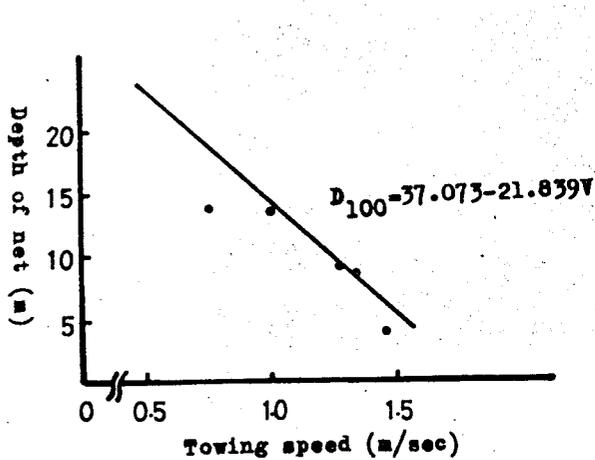


Fig. 12 Relationship between the depth of net and towing speed (as warp length is 100m).

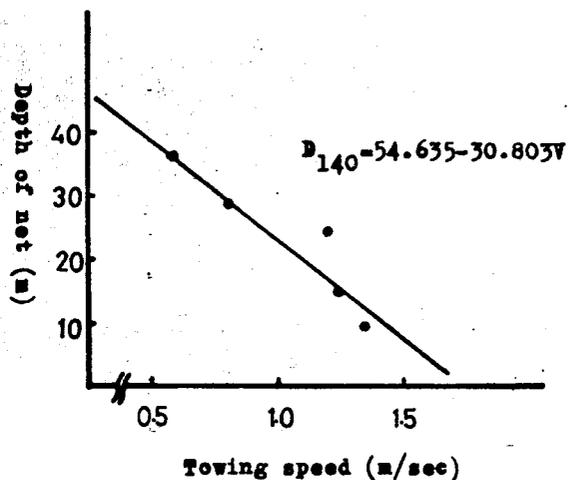


Fig. 13 Relationship between the depth of net and towing speed (as warp length is 140m).

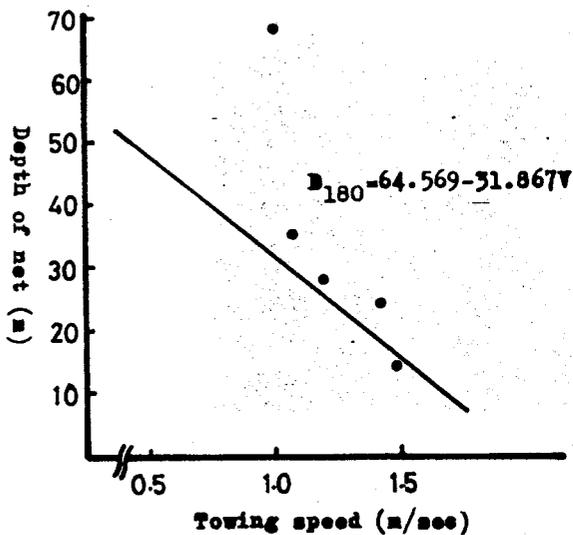


Fig. 14 Relationship between the depth of net and towing speed (as warp length is 180m).

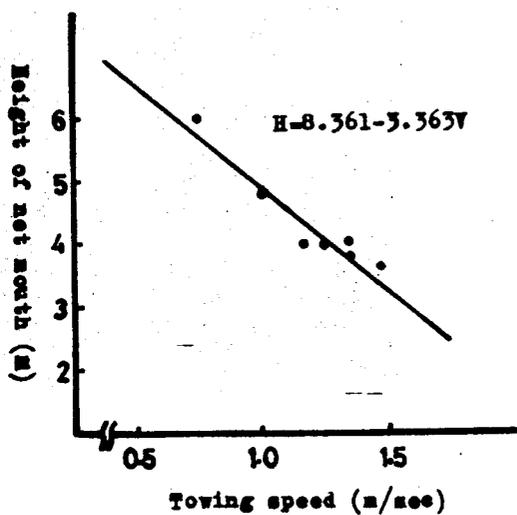


Fig. 15 Relationship between the height of net and towing speed.

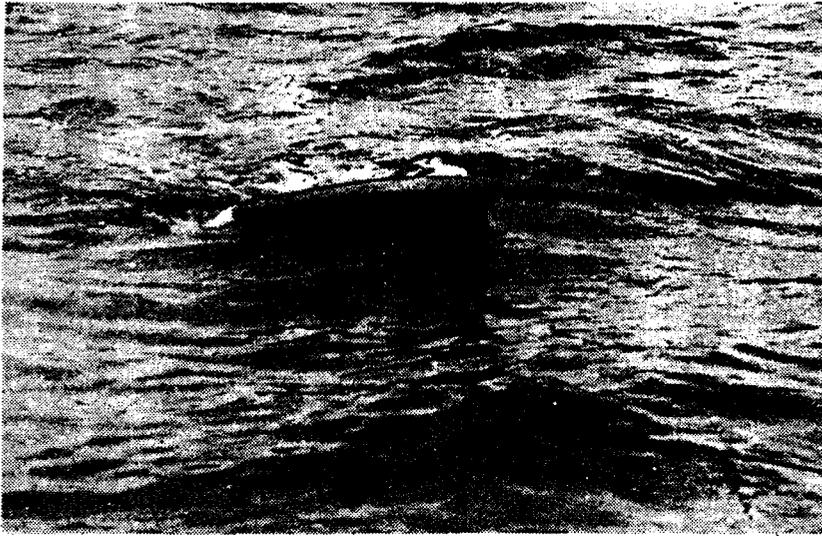


Photo. 2 The otter board floated to surface water when warp declination is  $5^{\circ}.5$ .

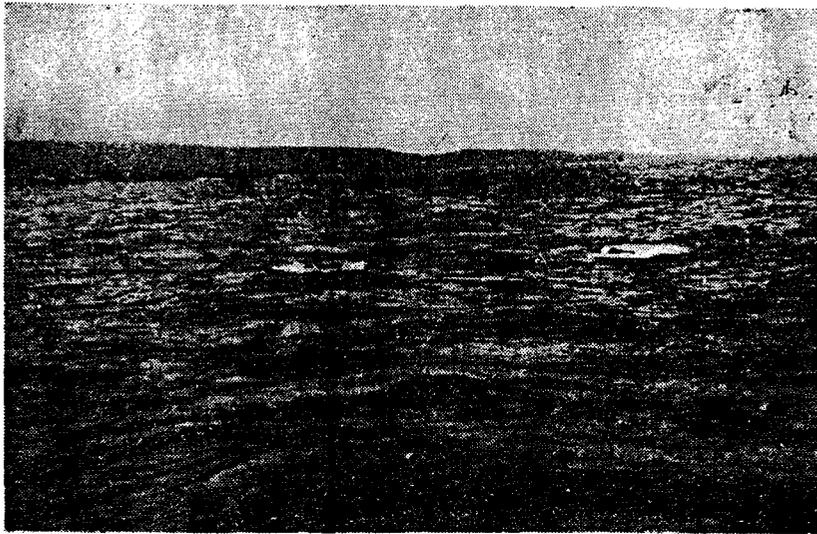


Photo. 3 All the net and otter boards floated to surface water when warp length is 100 m and towing speed 1.45m/sec.

#### 摘 要

我國現行之拖網漁業，由於受到 200 浬經濟水域限制之影響，可作業漁場日漸減少，故表中層拖網漁業更有待加強發展研究，民間漁船所謂之中層拖網網板，大多為底拖網板，常須賴減短曳網長度及增高曳網速度等方法，以使網板浮升，但因曳網長度如過短，俾葉流將影響魚群入網情形，故特以超薄強力鋼板製成之中層網板作試驗，謹將試驗結果摘要於后：

## 1. 漁具抵抗與曳網速度之關係：

曳網速度 (V) 愈大，則漁具抵抗 (R) 亦增加，其關係可由  $R = 335.291V^{1.439}$  表之 (如圖 7)，故表中層拖網漁具抵抗與一般底拖網者極為相似。

## 2. 網板展開力與曳網速度之關係：

網板展開力將隨曳網張力、曳網展角、網具抵抗及網板展角而定。結果得，網板展開力 (L) / 網具抵抗 (R) 之平均值為 0.34 (曳網速度 0.75~1.45m/sec 時)，較一般底拖網者為大。而網板展開力大致與曳網速度的平方成正比。

## 3. 網板水深、曳網速度與曳網長度：

於曳網速度固定時，網板水深與曳網延放長度成正比例之關係；而於曳網長度固定時，網板水深隨曳網速度之增加而減少，其關係式如下：

$$D_{100} = 48.376 - 24.997V$$

$$D_{140} = 70.276 - 36.496V$$

$$D_{180} = 180.617 - 105.331V$$

圖 9, 10, 11 表示不同曳網長度、曳網速度下之網板水深變化。當曳網長度為 100m，曳網速度為 1.45m/sec，則網板浮上水面。

## 4. 網具水深、曳網速度與曳網長度：

當曳網長度一定時，曳網速度愈高，則網板水深愈淺，即網具水深亦隨之上浮。於三種不同 (100m, 140m, 180m) 的曳網長度下，網具水深與曳網速度之關係如圖 12, 13, 14。其關係式如下：

$$D'_{100} = 37.073 - 21.839V$$

$$D'_{140} = 54.635 - 30.803V$$

$$D'_{180} = 64.569 - 31.867V$$

於一定之曳網速度時，曳網延放愈長，則網具沉降愈深。

## 5. 網口高度與曳網速度之關係：

網口高度係隨曳網速度之不同而變化，當曳網速度升高時，網口高度即減少；反之，曳網速度降低時，則網口高度變大。網口高度與曳網速度之關係式為

$$H = 8.361 - 3.363V$$

如圖 15 所示。

## 謝 辭

本報告之能順利完成，筆者應感謝本所東山號試驗船全體船員盡力協助，同時承技術員蕭宗賢隨船協助測定漁具物理性能、技術員吳慶寧先生於英文摘要協助校正，與漁業系蘇主任偉成及劉登城先生之指正，謹此致謝。

## 參 考 文 獻

1. 中華民國台灣地區漁業年報 (1969—1979) 台灣省農林廳漁業局。
2. Lee, T. J. (1972). Experimental studies on the mechanical properties of trawl net. J. Fish. Soc. Taiwan, 1(2), 54-65.
3. Takayama, S and T. Koyama (1959). Increasing the opening height of a trawl net by means of a kite. Modern Fishing Gear of the World 1, 185-195, London.
4. Suzuki, O. (1953). On the model experiment of the British Columbian midwater trawl. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 19(4), 228-232.

5. Koyama, T. (1965). On the results of field trial with various big sized otter trawls. Bull. Tokai. Reg. Fish. Res. Lab. No. 43, 13-69.
6. Koyama, T. (1974). Study on the stern trawl. Bull. Tokai. Reg. Fish. Res. Lab. No. 77, 171-247.
7. Schärfe, J. (1959). Experiments to decrease the towing resistance of trawl gear. Modern Fishing Gear of the World. 1, 245-247, London.
8. Diel (1928). Engineering aerodynamics, New York.
9. Koyama, T. (1961). A measuring device and a formula to obtain the opening breadth of wing nets. Bull. Tokai. Reg. Fish. Res. Lab., No. 31, 289-296.
10. Koyama, T. (1967). Resistance of trawl net. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 33(2), 74-80.
11. Lee, T. J. (1972). Mechanical studies on trawl gear of Taiwan. Tai. Fish. Res. Ins.
12. Parrish, B. B. (1959). Midwater trawls and their operation. Modern Fishing Gear of the World, 1, 333-346.
13. Kawakami, T. (1964). Mechanics of towed net. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 30(10), 858-871.
14. Koyama, T. (1976). Studies on the surface-midwater trawl of krill. Private communication.
15. Hamuro, O. Y. (1961). Study on the midwater trawling fishing gear and their telemeters. Science report. 3, 87-94.
16. Chang, J. W. (1968). A study on one boat midwater trawl. Bull. Pusan Fish. Coll., 8(1), 1-9.
17. Koyama, T., M. Nakamura, & H. Okamoto. (1974). An experiment with a large model of surface-midwater trawl for krill. Bull. Tokai. Reg. Fish. Res. Lab. No. 78, 1-10.
18. Schärfe, J. (1964). One boat midwater trawling from germany. Modern Fishing Gear of the world. 2, 21-234, London.
19. 和田光太 (1973). 網の性能と効果, 「實用トロール漁法」成山堂書店, 東京, 167-185.
20. Lee, T. J. (1968). Experiment of an improved otter trawl gear. Bull. Taiwan Fish. Res. Ins., No. 14, 71-86.
21. Lee, T. J. (1973). Studies on matching the gear size to the engine power of trawler. J. Fish. Soc. Taiwan, 2(2), 1-10.
22. Okonski, S. (1964). Universal one boat midwater and bottom trawl. Modern Fishing Gear of the World, 2, 229-234.
23. de Boer P. A. (1959). Trawl gear measurements obtained by underwater instruments. Modern Fishing Gear of the World. 1, 225-233. London.
24. Chow. Y. S. (1977). Studies on fishing gear and methods of midwater trawling. J. C. R. R. Fish. Ser. No. 28. 18-29.
25. Chow, Y. S. (1977). Studies on fishing gear and methods of midwater trawling. J. C. R. R. Fish. Ser. No. 28, 91-102.