

拖網船在規則波中曳行之曳網暫態振動之研究

摘要

為能有效的在海上進行拖網作業，其中，如何掌握網板之伸展狀態是一個重要的課題。同時，研究拖曳作業時曳網之暫態振動，亦有其必要性；當網地投放後，網板沉降並觸及海底時，由於應力的作用，曳網通常會產生三次之規則性振動，然而，若在惡劣天候狀況下進行拖網作業時，此振動往往會造成曳網斷裂之危險。因此，有幾個關係曳網張力之要素是值得注意的：其一是曳網與網地間之拉力，二是網地與曳網間之重量，其三是作業區域之底質狀態。

本文乃藉由計測荷載曳網之導索器系統上應力理論模式和海上實際測試值加以比較分析，以建立一個簡易的分析架構。經實驗證明，上述兩者數值結果頗能吻合。

關鍵詞：拖網，曳網振動，拖網意外災害

漁業計測中涉及振動之情形頗多，其中有屬決定性的 (Determinate) 如拖網船在規則波中作中層拖網時，由船上張力計測曳網內之應力分析其呈有規律性之分布，即以網板當作自由體來說，其由曳網所傳遞之外力係為已知之週期函數。但有些漁業計測中則屬隨機型的，如拖網船在非規則波中運動，則航行其上之拖網船無法得知其將來在任何一時刻之受力大小及方向，因此，曳網之振動係屬散亂振動 (Random vibration)，其應力隨時間之分布等觀測值，需由統計之方法來處理，此種情形嚴格來說在海上作計測只是對一隨機過程中，選擇一極短暫之時間歷程作抽樣調查而已，因此，計測之數據應做適當之統計分析才有意義，近年來，本所積極開發海山瞄準型之海山拖網，漁獲對象為棲息海山山脊附近之正金眼鯛或深海旗鯛，此種拖網需高度之技術，縱然十分小心，亦常有網板撞擊海山或拖網掛上海山而致手網、曳網斷裂，甚至網板不見等事。本文先由決定論 (Deterministic) 之觀點來看拖網船之投放網及網板情形，當網板剛接觸海底或碰撞海山時，曳網所產生之暫態振動及可能之最大應力及隨後之穩態振動，並由理論模式和船上之實測值比較，以供制定各型拖網船之安全規格參考。

廖學耕，林宏誠 (1997) 拖網船在規則波中曳行之曳網暫態振動之研究。水產研究, 5(2): 97-105.

材料與方法

一、材料

試驗船隻：海功號試驗船，710 噸，2200 HP。

試驗網具：TS-35A 底層拖網 (如 Fig. 1)。

試驗網板：縱型網板，每片空氣中重 1.5 噸。

試驗儀器：VTLT 3 型拖網曳網張力計測儀。

二、方法

(一) 中層拖網網板與網地著底後曳網之暫態振動簡易分析—

設拖網開始放網、投放網板，到網板與網地著底如 Fig. 2 及 Fig. 4 所示。現設接著網板之曳網長度遠比網板接著網地之手網長度為長，因此，曳網可視為一如彈簧之彈性體，而拖網船在規則波上運動，螺旋槳對船體之推力及船受波浪之波激外力其沿曳網傳受到網板壓力中心之張力設為 $T_0 + F_1 \sin \omega t$ 其如 Fig. 5 所示。

若曳網接著網板處之傾斜角充分的小，則網板處水水平向所受之外力為

$(T_0 + F_1 \sin \omega t) \times \cos \theta \approx T_0 + F_1 \sin \omega t$ ，當 θ 充分小。

$T_0 + F_1 \sin \omega t$: 艀部曳網之張力 (波激外力引起之張力)。

$T_0 + F_1 \sin \omega t$: 網板處曳網張力。

$F_1 \sin \omega t$: 波力造成之曳網張力擾動。

TS-35A

H.R. 14m/m S.W.R

L.L. 20m/m C.P.R

B.L. 18m/m

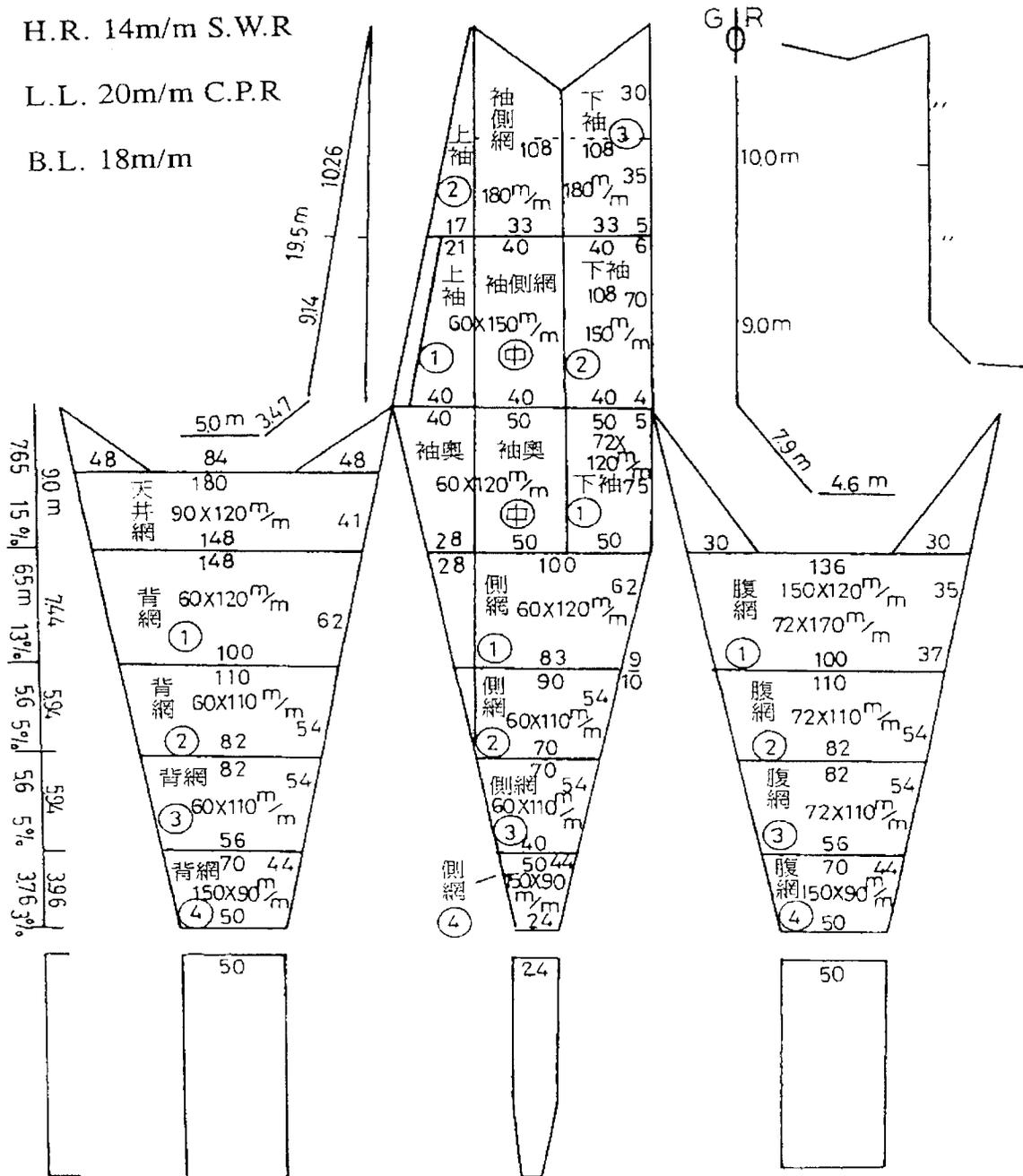


Fig. 1. The construction of TS-35A bottom trawl net.

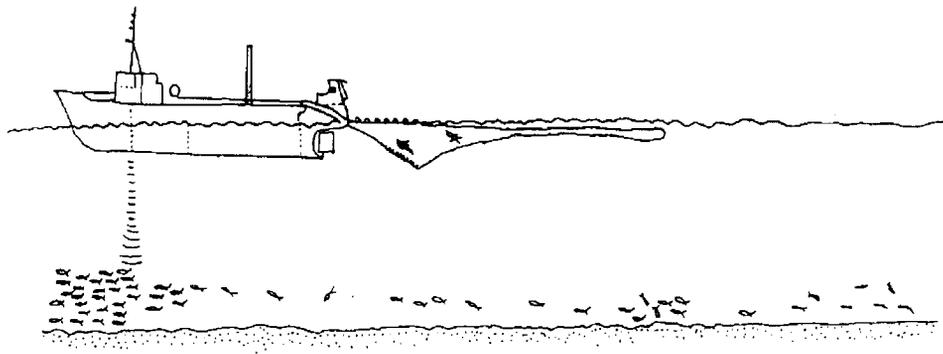


Fig. 2. Lay out the bottom trawl.

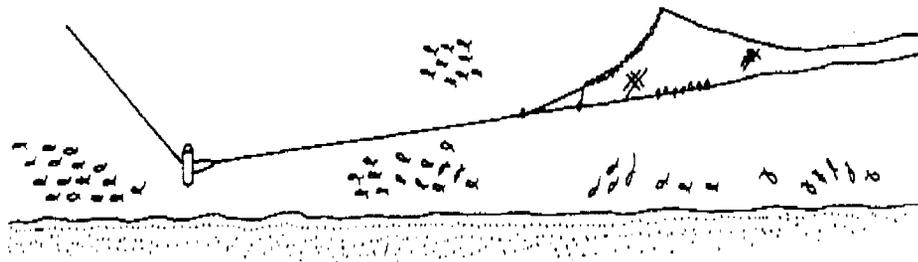


Fig. 3. Otter board, trawl net above the bottom.



Fig. 4. Otter board touch the bottom, transient shock vibration occurred.

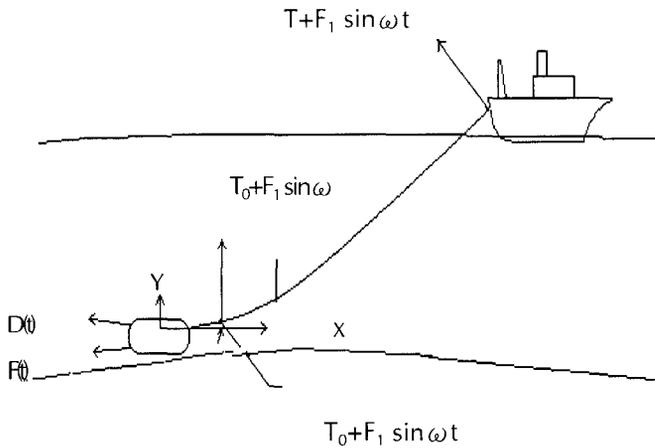


Fig. 5. Schematic diagram to show the force balance of otter board.

現以網板當作自由體，且不考慮網板水下所受之阻尼。網板在 X 向之平衡自由體如 Fig. 6，其中 X 為平衡點之位移，Y 為往後移時，曳網懸垂度減少，驅於直線。

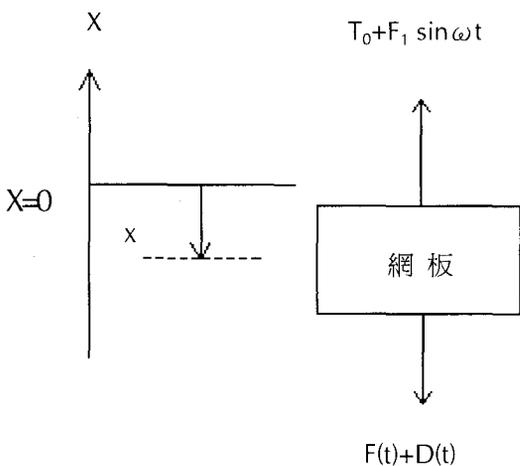


Fig. 6. Free body diagram of otter board 1-D vibration.

Figure 6 中， $T_0 = -KX$ 為彈性力（和曳網之變形伸長度 X 成正比）， $F_1 \sin \omega t$ 為網板處水平向所受之波力擾動， $D(t)$ 為網板處所受之流體阻力（含網及網板），網及網板突然撞擊海底其突然之摩擦力為 $F(t)$ ， $F(t)$ 可設想為如下之衝擊函數：

$$F(t) = F_0(1 - e^{-at}) \text{-----(1)}$$

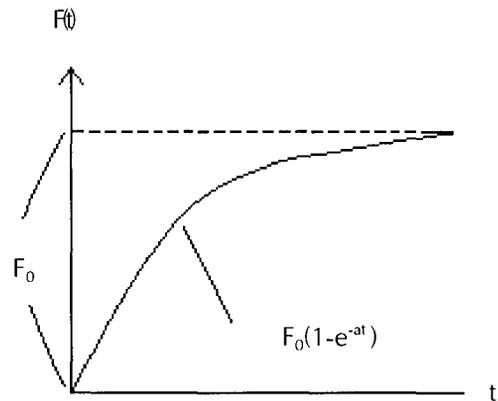


Fig. 7. Impulse function $F(t)$, F_0 the maximum of $F(t)$.

Figure 7 中， F_0 之大小依底質而定，砂泥底之 F_0 小，岩石之 F_0 大。

係數 a 亦依底質及網具構造而定。

設網板之質量為 m ，則 X 向一維之振動方程式如下：

$$m_0 \ddot{X} + KX + F_0(1 - e^{-at}) + D(t) = F_1 \sin \omega t \text{ 其起始條件為:}$$

$$X(0) = -D_0/K \quad m_0: \text{網板質量}$$

$$\dot{X}(0) = 0 \quad K: \text{彈性係數}$$

$$t \geq 0$$

上式可寫成

$$m_0 \ddot{X} + KX = -F_0(1 - e^{-at}) - D(t) + F_1 \sin \omega t \text{-----(2)}$$

且設 $D(t) = D_0$ 為常數， $m_0 \ddot{X} + KX = +F_1 \sin \omega t$ 之解為

$$X = A_1 \cos \omega nt + B_1 \sin \omega nt + \frac{F_1}{m_0(\omega n^2 - \omega^2)} \sin \omega t \text{-----(A)}$$

$$\omega n = \sqrt{\frac{k}{m_0}}, K = EA/l \quad m_0 \ddot{X} + KX = -D_0 \text{ 解為}$$

$$X = A_1 \cos \omega nt + B_1 \sin \omega nt - D_0/K \text{-----(B)}$$

$m_0 \ddot{X} + KX = -F_0(1 - e^{-at})$ 之解為

$$X = A_1 \cos \omega n t + B_1 \sin \omega n t - \frac{F_0}{K} \left[1 - \frac{e^{-at}}{[1 + (a^2/\omega n^2)]} \right] \text{----- (C)}$$

由上述各種強制外力之組合得(2)式之解為⁽¹⁾

$$X(t) = A_1 \cos \omega n t + B_1 \sin \omega n t - \frac{F_0}{K} \left[1 - \frac{e^{-at}}{[1 + (a^2/\omega n^2)]} \right] - \frac{D_0}{K} + \frac{F_1}{m_0(\omega n^2 - \omega^2)} \times \sin \omega t \text{----- (3)}$$

$$t \geq 0$$

上式解若當 $\omega \rightarrow \omega n$ 時，即波力之振動頻率接近曳網網板系統之固有頻率 ωn 時可能引起共振，曳網有振斷之虞（但此可能性甚小，因 $\omega n > \omega$ ）。

由起始條件定義得：

$$A_1 = - \frac{F_0}{K} \left[1 - \frac{1}{[1 + (a^2/\omega n^2)]} \right] - \frac{F_1}{m_0(\omega n^2 - \omega^2) \omega n}$$

$$B_1 = \frac{F_0}{K \omega n} \frac{a}{[1 + (a^2/\omega n^2)]} - \frac{F_1 \omega}{m_0(\omega n^2 - \omega^2) \omega n} \text{----- (4)}$$

因 (2) 式之解如 (3) 式，其係數 A_1 、 B_1 則如 (4) 式，(3) 式可寫成如下：

$$X(t) = - \frac{F_0}{K} \left[\left[1 - \frac{1}{[1 + (a^2/\omega n^2)]} \right] \cos \omega n t + \left[\frac{F_0}{K \omega n} \frac{a}{[1 + (a^2/\omega n^2)]} - \frac{F_1 \omega}{m_0(\omega n^2 - \omega^2) \omega n} \right] \sin \omega n t - \frac{F_0}{K} \left[1 - \frac{e^{-at}}{[1 + (a^2/\omega n^2)]} \right] - \frac{D_0}{K} + \left[\frac{F_1}{m_0(\omega n^2 - \omega^2)} \right] \times \sin \omega t \text{----- (5)} \quad t \geq 0$$

(二) 計測前之校正及計測方法

1、如 Figure 8，曳網穿過特製之導索器，導索器內有三個導索輪，前後兩個導索輪係固定者，中間導索輪有倒 V 字型角架固定住，倒 V 字型角架一端為僅可轉動，另一端下接應力計，應力計計測到往下之力為 $P/2$ ，而曳網內之張力 T ，由 Fig. 8 得

知，為 $T = P/2 \sin \theta$ ，因張力計所受位移極小， θ 值可看作固定。另外，中間導索輪附有轉速計（可計算轉速及轉動圈數），其與張力計之信號一同送到甲板儀器室，其張力 T 值及曳網放出長度、速度可藉由儀表板顯示，並記錄於記錄紙上；如此可測得曳網內之應力波譜。

2、試驗前須將張力計無荷重時將計錄器指針歸零（即網板鏈用艙部之抓鉤勾住，使應力計無荷重），歸零後再將網板鏈接於經過導索器之曳網使導索輪之應力計荷重，由已知之網板重量 (1,500 Kg) 建立記錄紙上之重量標度。

3、由投下網板起至網板、網地著底及其後曳行整個過程其間皆記錄，並標明當時記錄紙速度、都卜勒計程儀之船速、船位、風向、風速及所觀測之概略波高、波數等。

(三) 網板處曳網之張力 T_0 和艙部曳網張力 T 之關係⁽²⁾

設海面無波，拖網船穩定拖曳網具曳行，所有作用力係在穩定狀態，則因曳網甚長，網板處曳網之張力則不同於甲板處曳網之張力，則由 Ponde 之理論得知⁽³⁾：

$$J = T/T_0 = \exp \int_{\phi_0}^{\phi} \frac{(P/R) \sin \phi - (F/R)}{\sin^2 \phi + (P/R) \cos \phi} d\phi$$

$$\delta = (RS/T_0) = \int_{\phi_1}^{\phi} \frac{\int_{\phi_0}^{\phi} \frac{(P/R) \sin \phi - (F/R)}{\sin^2 \phi + (P/R) \cos \phi} d\phi}{\sin^2 \phi + (P/R) \cos \phi} d\phi$$

$$S = T_1 (\delta - \delta_1) / R \quad J_1 = T_2 (\delta - \delta_1) / R \quad J_2$$

其中 T ：艙處測得曳網之張力。

T_0 ：網板處曳網之張力。

ϕ ：艙處曳網之傾斜角。

ϕ_0 ：網板處曳網之傾斜角（此處 $\phi_0 = 0$ ）。

S ：曳網長度（網板到艙之曳網長）。

R ：單位曳網長之流體阻力（流向垂直曳網時）。

$$R = 1/2 \rho C_{DN} dV^2, \quad C_{DN} \text{ 取 } 1.5。$$

因此，由艙處測得曳網之 T 及 ϕ ，須由 Ponde 表查出 $S=1,000$ 米處之 T_0 及 ϕ_0 。

結果

1985年2月26日 16:03，海功號於紐西蘭 Pukaki 隆起水深 498 m，底質為灰泥質之海草區域作業，曳網由 0 m 開始延放至 1,000 m，延放之速度為1.2 m/sec，網板未著底前曳網內之張力在均值为59,000 N 處振動，如 Fig. 9 所示， $t < 0$ 之點線部份；當網板及網地於 $t=0$ 之時瞬間開始接著海底，內部之張力瞬間爬升至最高值，曳網瞬間引起暫態振動，在 0 秒至 30 秒作不規則之振動，由 30 秒以後再作較有規則之振動。曳網之 K 值為：

E: 彈性模數，曳網為 $2.06 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$

$$K=EA/l \quad A: \text{曳網之截面積} \quad \pi D^2/4 = \pi /4 (0.0254\text{m})^2 = 5.06 \times 10^{-4} \text{m}^2$$

l: 曳網之長度 (1,000 m)

本船使用直徑 1" 之曳網，其長度延放 1,000 m，此時之 K 值為 $1.04 \times 10^5 \text{ N/m}$ ，即曳網受 10.6 噸之荷重時 1,000 m 之曳網可伸長 1 m。

現 (5) 式中之 D_0 由實測值得 $4,500 \text{ Kgf} = 44,100 \text{ N}$ ， $F_0 = 1,450 \text{ Kgf} = 14,210 \text{ N}$ ， $m_0 = 1,500 \text{ Kgm}$ ， $F_1 = 765 \text{ Kgf} = 7,500 \text{ N}$ ，則 (5) 式之計算值如 Fig. 10 之實線所示，其與實測值尚頗能吻合。

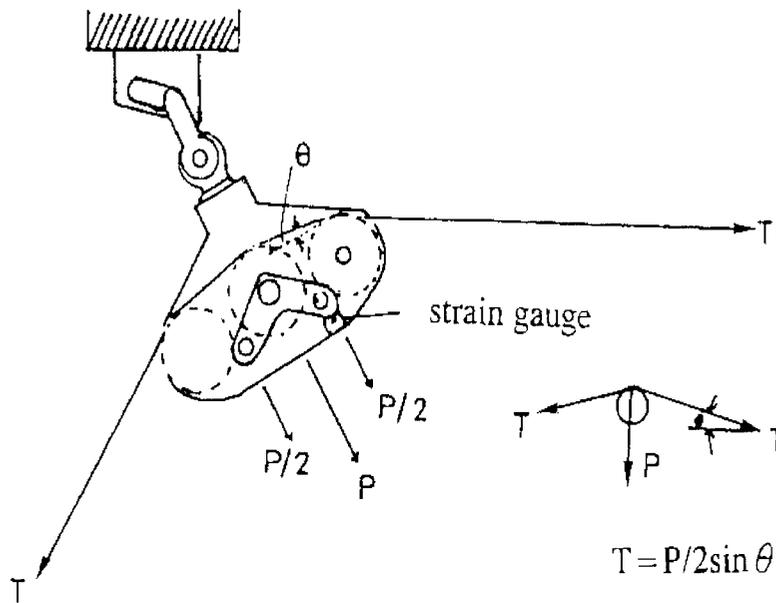


Fig. 8. Schematic diagram to show the arrangement of gauge to measure the tension of warp.

討論

一、我們假設拖網延放後，網板及網地著底之一瞬間，網板所受之衝擊力在曳網之方向為 $F(t) = F_0(1 - e^{-at})$ ， F_0 為 t 甚大時，網板和底質摩擦力值之極大值，

F_0 之大小和網具規模、形狀、底質之性質有關，以本船所使用之 TS-35A 網在灰泥質之 Pukaki 隆起作業，其值由張力估計為 14,210 N，在 Change plateau 之 F_0 值測得為 15,320 N，若底質為岩石可望更大 (因基於網具成本考量，作者未於岩石區做出 F_0 之計測，但本船曾於智利外海海山及巴拿馬外海

石區之 F_0 應在 78,400 N 以上), a 值亦依底質而定, 硬底質 a 較大, 軟底質 a 較小, 本文第一例 a 值取 3.0, 此部份尚需作詳細研究, 若 a 大, $F(t)$ 快速升至 F_0 。

二、在網具未撞擊海底時, 本文第 (5) 式計算之振幅較實測值為大, 其原因除理論模式不正確外, 可能係船隻在非規則波上運動, 因此, 對船所受之波力 (傳遞至網板) 設為 $F_1 \sin \omega t$ 可能有誤, 因此, 在非規則波中, 曳網之振動須用隨機振動之方法來處理。

三、 F_1 值之大小受波高之影響, 波高大時 F_1 大, 波力亦大, 本文試驗等風速為 7 m/sec, 波高 1.2 m, F_1 估計為 7,500 N。因此, 在壞天時曳網內應力之振幅甚大, 尤其於惡劣天氣下強行起網, 應力之振幅常大至警報器設定值之上, 因此, 若使用舊鋼索需特別小心, 本文建議始使用於拖網之曳網索其破斷應力應較平均荷重應力高出 10 倍以上 (以維持和電梯用鋼索之安全係數為 10 之高標準, 遠較土木建設絞車用索安全係數 6 為高)。

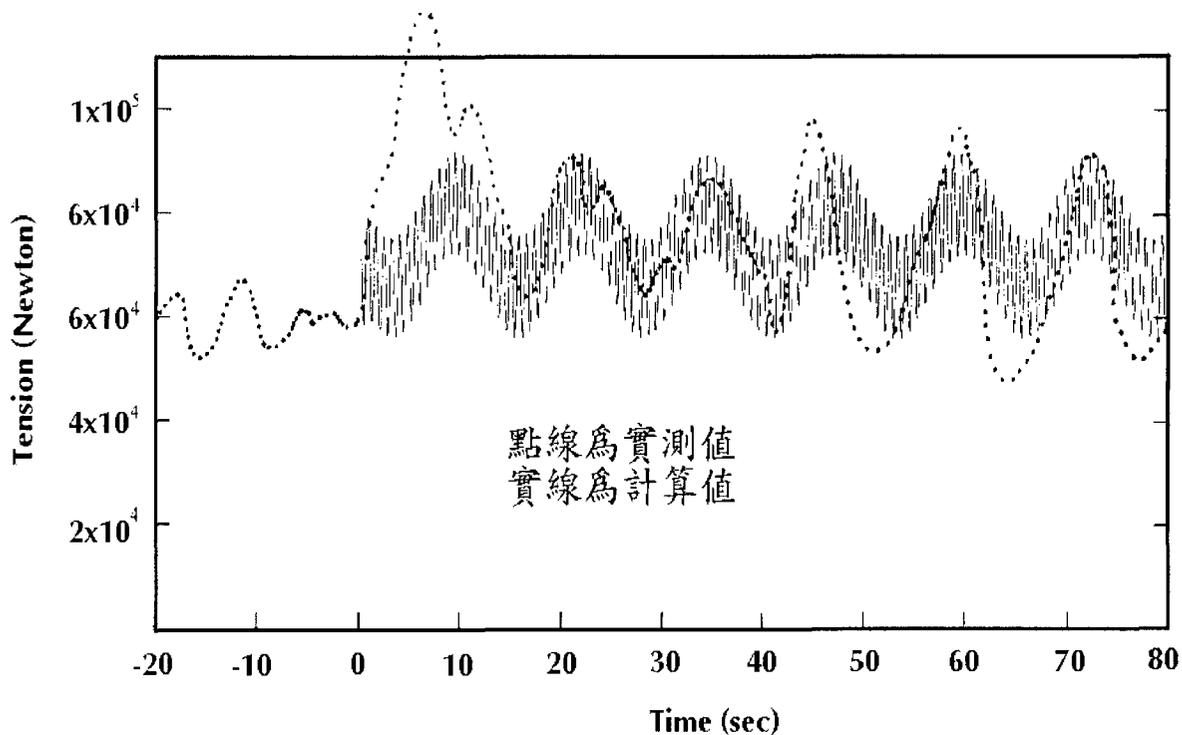


Fig. 9. Tension of warp in transient shock vibration.

四、 ω_n 經計算約為 8 左右, 其和表面重力波之頻率 ω 相差甚大, 因此, 拖網曳網起共振之機會甚小。

五、拖網一般還是曳網用粗一點, 網板後之手網或身網力網之全破斷力要相對減少, 因圓形網板撞擊崎嶇海山脫困之機會甚大, 網則較不容易, 遇此情形希望網能斷裂, 能起多少就起多少, 以減少損失。

六、模式之過份簡化 (如設為 1-D 振動, D_0 =常數) 可能是造成理論值和實測值不一之原因, 更複雜之模

式尚需建立, 以增進計算值之精確度。

七、理論計算值包含一角頻率 ω_n 為 8 之振動, 但使用 Fig. 8 之計測裝置, 則未計測出此高頻振動。

謝辭

本研究報告得以順利完成, 承本所「海功號」試驗船全體同仁, 於調查南極喬治五世島外海南極蝦資源後之

本研究報告得以順利完成，承本所「海功號」試驗船全體同仁，於調查南極喬治五世島外海南極蝦資源後之回航途中協助調查，及廖所長一久院士之督促與指導，在此特誌謝忱。

參考文獻

1. Thomson, W. T. (1972) *Theory of vibration and Application*. Prentice Hall, 48-97.
2. Pode, L. (1951) Table configuration and light flexible cable in a uniform stream. David Taylor Model Basin, Report 717, Department of the Navy, 1-15.
3. Pode, L. (1951) Table of computing the equilibrium configuration of a flexible cable in a uniform stream. David Taylor Model Basin, Report 687, Department of the Navy, 1-31.

Shyue-Geng Liao and Hong-Cheng Lin

Department of Marine Fisheries, Taiwan

Fisheries Research Institute, 199 Hou-lh

Rd., Keelung 202, Taiwan.

(Accepted 30 December 1997)



A Study on Warp Vibration of Towing a Trawl Net in Regular Wave

Abstract

For successful towing a trawl net, one of the problem is to insure the spreading of the otter board, therefore, it is necessary to consider the behavior of the warp vibration while in operation. The warp, when the otter board attach the bottom, the vibration of warp become transient vibration, the stress in the warp may be three times of usually steady state, and the warp may be broken according the roughness of the bottom. Several distinct factors may contribute to the tension of warp. First of the factor is the drag of the warp and trawl net, the second factor is the weight of the warp and trawl net, the third is the geometry of the bottom.

This paper developed a brief theoretic computation to analysis the dynamic behavior of towing warp system. And the theoretic result were compare to the full scale experiment result by the R/V Hai-Kung in 1984, we found both two results are quite agreement.

Key words : Trawler, Warps shock vibration, Accident harm in trawling