

船拖曳小型圓框箱網之容積變化

楊清閔·賴繼昌*·黃星翰·何珈欣·翁進興

行政院農業委員會水產試驗所沿近海資源研究中心

摘要

無錨碇可移動式的箱網在運用上能夠規避自然環境變化的風險，進行魚群搬運及暫時飼養需求，箱網結構需具備抗強風與強流的影響，符合未來箱網養殖場逐漸朝向離岸較遠且較深的海域設置趨勢，但船拖曳箱網的相關研究闕如，值得針對船拖曳箱網之容積變化進行探討。本研究以實際箱網養殖場採用之小型圓框式箱網（網框直徑 16 m、網深 8 m）進行拖曳移動試驗，計測箱網於不同船速拖曳時之容積變化。結果得知，船速 1 節（51 cm/sec）拖曳箱網時，底部抬升高度約 5 - 6 m，箱網容積空間剩 30 - 35%；船速 2 節時，箱網底部抬升高度約 5.5 - 6.5 m，箱網容積空間剩下 25%，拖曳船速超過 1 節時，等同箱網直接受到颱風等級的強流影響，箱網空間的變形已幾乎達到極限。本研究將可提供箱網養殖產業在開發可移動式箱網及抗強流箱網時的一些參考依據，並可利用船拖曳箱網進行強流試驗，用以開發減少網具變形並提高生產效能之新式箱網結構的參考。

關鍵詞：小型圓框箱網、網具變形、容積變化、移動箱網、強流

前言

海洋箱網養殖為資本密集的高風險產業，隨著適當水域空間不足、箱網設施大型化，以及避免沿岸或內灣箱網養殖所產生的殘存餌料與魚隻排泄物堆積等問題，原設置於風浪較小內灣水域的箱網養殖場，選址地點已逐漸朝向近海或灣外等離岸較遠且較深的海域設置 (Lader and Enerhaug, 2005)，其海流與波浪較內灣大，距離陸上養殖基地遠，人員操作不易之外，在海面所設置的箱網網具容易受到潮流與波浪的影響而變形，進而造成養殖有效容積縮小 (Yoichi *et al.*, 1985; Nagamatsu *et al.*, 1986; Wang *et al.*, 1993; Yu, 2000)，湍急潮流之下亦可能造成網具的破損與流失 (Qu *et al.*, 2011)，袋網變形易造成生存容積空間的減少，並容易影響箱網內海水交換，直接影響到養殖魚類的成長與生存。故因應未來箱網養殖的趨勢，採用的箱網需具備抗強風與強流的結構。

當箱網的錨碇海域發生有害藻類大量滋生、大規模的寒流或強降雨造成海域環境的劇烈變化

前，欲將箱網移動至適合水域區域採取避難移動，此時箱網需解除錨碇進行拖曳移動，以保護箱網內已圈養的魚隻。或是箱網養殖場利用可移動式箱網進行魚群搬運及暫時飼養需求，無錨碇且可移動的箱網將可規避上述自然環境變化的風險，也適用養殖場在魚群搬運的彈性需求。在臺灣的箱網養殖實際運用上，澎湖養殖業者在寒流低溫前，利用漁船緩慢拖曳箱網至外海處避冬 4 個月，利用黑潮支流經過較溫暖的海水，幫助海鱺魚避冬。水產試驗所於 2012 年曾經以試驗船拖曳小型圓框箱網至小琉球外海，由漁民釣獲小型鮪類暫時放養於箱網內後，達一定數量再拖曳移動至恆春的箱網進行放養，用以做為暫時性的活魚運輸設備。Huang and Tang (2004) 提及搬運過程船速與船所需之拉力與網袋變形呈正比的關係，而網袋變形情形因無較好的定量方式，以照片結果研判網袋變形，在流速 25 cm/sec 時網袋容積僅剩 40%，並建議安全搬運速度不能超過 2 節。

以往研究報告幾乎是利用模型或模擬實驗，於實驗水槽中進行流速對箱網容積變化的相關研究，但使用養殖現場之箱網進行實測的研究報告闕如，且缺乏利用船拖曳箱網的相關計測試驗報告。本研究乃為實際箱網業者能夠迅速得知在船拖曳箱網時分層容積的變化，提供現場產業對箱

*通訊作者 / 高雄市前鎮區漁港北三路 6 號, TEL: (07) 821-8103 轉 214; FAX: (07) 821-8205; E-mail: cclai@mail.tfrin.gov.tw

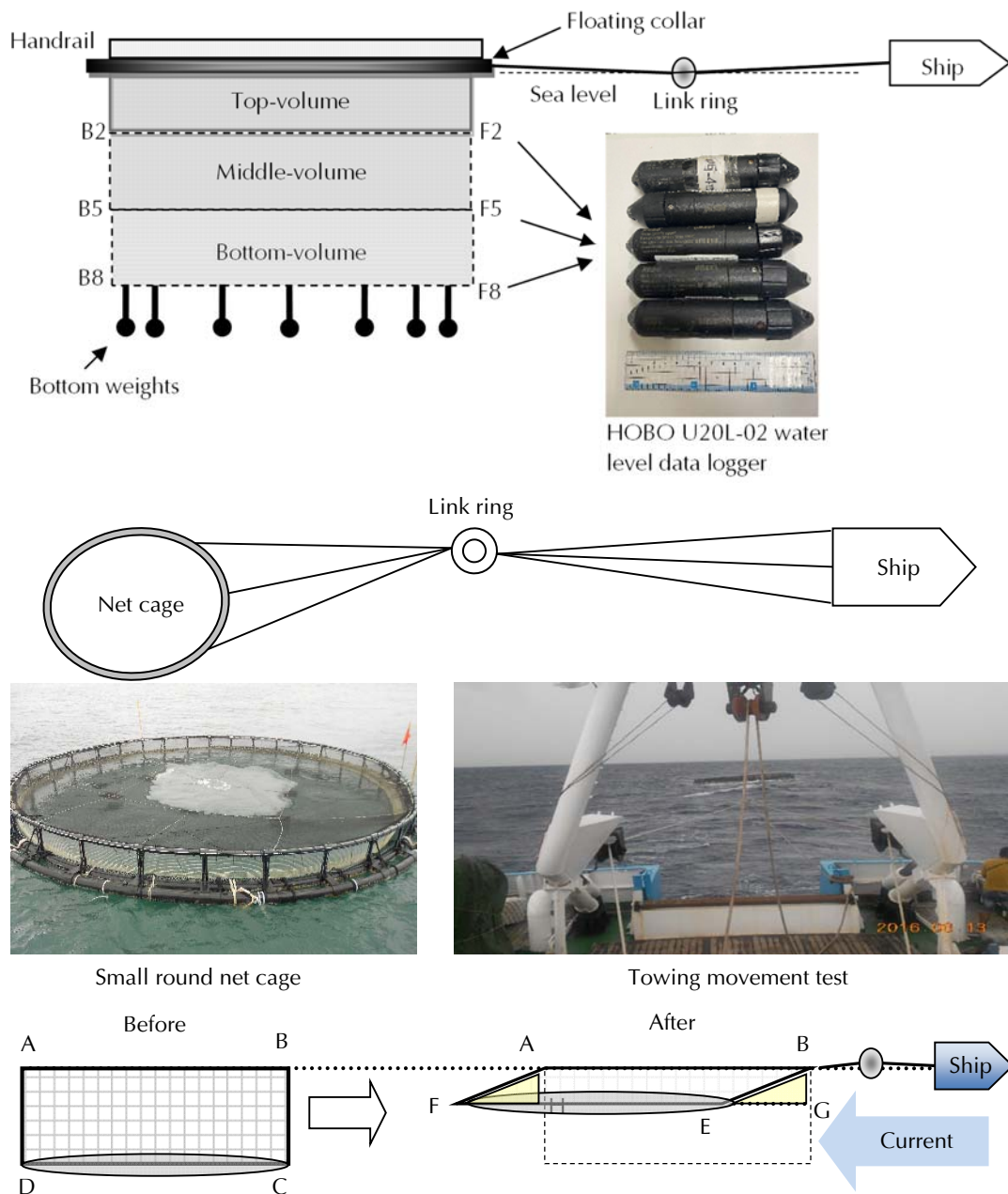


Fig. 1 Schematic diagram of the small round net cage structure towed by ship.

網在開發設計與減少海流影響的配置一些參考依據，減少箱網袋網變形與保有最大的養殖空間，提高生產的效能。並可利用船拖曳箱網進行強流試驗，用以開發減少強流對網具的變形之新式箱網結構的參考

材料與方法

本實驗於臺灣屏東縣車城鄉海口港附近海域離岸 2 km 處的箱網養殖現場進行箱網網片上監測

儀器安裝，安裝後以水產試驗所水試二號試驗船於 2016 年 8 月 12 - 15 日進行拖曳箱網至澎湖內灣進行錨碇。拖曳用小型圓框箱網為實際養殖用之小型可沉式圓框箱網，網框直徑 16 m、網深 8 m，箱網設置海域水深約 30 m。箱網結構及船拖曳時之示意圖與實際照片如 Fig 1 所示。箱網浮框材質採用 HDPE (high density PE)，管徑 250 mm。箱網之網片採用尼龍製黑色無結節方形網目，網線直徑 (D) 為 2.32 ± 0.08 mm，網腳長 (L) 為 33.27 ± 0.98 mm， $D/L=0.07$ 。網片結附於網框後，箱網底

部以繩索吊掛重錘，設置 24 吊掛點，每點各吊掛 25 kg 重錘，合計 600 kg 的底部配重，錘重繩採用 pp 繩直徑 19 mm。拖曳纜線固定於海面箱網外框之船正後方及左右舷側，三條纜線約 50 m 結附於中心點之可旋轉的卸扣上，再由卸扣連結 3 纜線約 50 m 結附於船 A 架上之滑輪，以便控制船與箱網距離，連結纜線採用 pp 繩直徑 25 mm。拖曳箱網時以船速 1 - 2 節進行，船與箱網保持 100 m。

箱網各測點之深度變化，採用 HOBO 水位記錄器，型號：U20L-02，記錄器尺寸為 3.18 cm (diameter) × 15.24 cm，水深深度精確度 ± 3 cm。分別裝置於箱網浮框下前方(船正後方)水深 0.5、2、5 及 8 m 處，記為 F0、F2、F5、F8；後方 2、5 及 8 m 處，記為 B2、B5、B8；箱網左側與右側水深 8 m 處，記為 L8、R8；水位記錄器共設置 9 點，每 10 分鐘記錄 1 次，以此量測箱網網片各測點在水下之水深變化，得知網片各測點於拖曳時之抬升高度。記錄器於 8 月 4 日上午 7 時啟動後，於 8 月 12 日上午 11 時由潛水夫下水安裝於箱網指定處。記錄器於水面上期間約 8 日共採計 1,176 筆資料，記錄器各自的平均值做為水面 0 m 的基準值。採計網片各測點水深深度期間以連續採計為主，於途中船泊暫停航行時，視為該次試驗結束，並不採計停止航行時之資料。另長時間航行時，以試驗船設定固定航速為 1 節或 2 節為採計基準，並忽略航行時流速流向影響的實際航速。本試驗採計 10 次，期間如下所示：

NO. 1：恆春養殖場域，箱網設置記錄器後靜止狀態。船速 0 節，時間 1 hr 30 min，計 9 筆資料。

NO. 2：箱網移離恆春錨碇區。船速 1 節，時間 1 hr，計 6 筆資料。

NO. 3：進行船速 1 節船曳箱網試驗。船速 1 節，時間 4 hr 30 min，計 27 筆資料。

NO. 4：進行船速 2 節船曳箱網試驗。船速 2 節，時間 14 hr 40 min，計 88 筆資料。

NO. 5：進行船速 1 節第 2 次船曳箱網試驗。船速 1 節，時間 5 hr 40 min，計 34 筆資料。

NO. 6：進行船速 1 節第 3 次船曳箱網試驗。船速 1 節，時間 27 hr 40 min，計 166 筆資料。

NO. 7：進行船速 2 節第 2 次船曳箱網試驗。船速 2 節，時間 6 hr 30 min，計 39 筆資料。

NO. 8：進行船速 1 節第 4 次船曳箱網試驗。船速 1 節，時間 2 hr 50 min，計 17 筆資料。

NO. 9：澎湖內灣養殖場域，箱網臨時固定呈靜止狀態。船速 0 節，時間 23 hr，計 138 筆資料。

NO. 10：澎湖內灣養殖場域，箱網固定錨碇區呈靜止狀態。船速 0 節，時間 24 hr，計 144 筆資料。

在箱網容積計算方面，以往研究為能準確計算箱網網袋之容積變化而採用複雜計算公式，不利於產業業者的運用，因此本研究在計算網袋容積採用簡易式圓柱型體積做為容積變化參考，計算相似之容積量，以利產業界在實際作業時迅速測得容積變化。假設原箱網為 Fig. 1 中之長方形 ABCD，在受潮流變形呈現平行四邊形 ABEF，因傾斜後之三角形 AHF 面積=三角形 BGE，故傾斜箱網長方形的面積可以 ABGH 代替之，並代入圓柱體體積公式，容積與容積比計算以下式示之。為能更加了解箱網容積變化，故以箱網水下網位記錄器所結付的位置，將箱網分為上、中、下層，三層的各容積計算以下式示之：

$$\text{上容積 (Top-volume)} = (F2+B2) / 2 \times \pi \times (d / 2)^2 \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{中容積 (Middle-volume)} = [(F5+B5) / 2 - (F2+B2) / 2] \times \pi \times (d / 2)^2 \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{下容積 (Bottom-volume)} = [(F8+B8+L8+R8) / 4 - (F5+B5) / 2] \times \pi \times (d / 2)^2 \dots\dots\dots(3)$$

d：箱網內框直徑長(m)

$$\text{箱網容積 (V}_{total}\text{)} = (\text{Top} + \text{Middle} + \text{Bottom}) \text{ volume} \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{標準箱網容積(V}_s\text{)} = 8 \text{ m} \times \pi \times (16 \text{ m} / 2)^2 = 1,608.5 \text{ m}^3 \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{箱網容積比：V}_{ratio} = V_{total} / V_s \dots\dots\dots(6)$$

結 果

一、不同船曳速度下，各測點平均深度

結果如 Table 1 所示，NO. 1、NO. 9、NO. 10 分別為在於恆春與澎湖內灣箱網養殖場域測得，並無船曳箱網，尤以 NO. 10 為錨碇固定箱網並持

Table 1 The average depth of each measuring point of the net cage under different ship towing speeds

Ship speed	Measuring time	Number of times	Measuring point								
			F0 (0 m)	F2 (2 m)	F5 (5 m)	F8 (8 m)	B2 (2 m)	B5 (5 m)	B8 (8 m)	L8 (8 m)	R8 (8 m)
0 knot											
NO. 1	1hr 30 min	9	0.65	2.12	4.83	7.45	2.16	4.95	7.60	7.55	6.88
NO. 9	23 hr	138	0.66	1.95	4.54	7.22	2.05	4.87	7.43	7.80	7.19
NO. 10	24 hr	144	0.87	2.44	5.07	7.70	2.39	5.25	7.81	7.99	7.48
1 knot											
NO.2	1 hr	6	0.19	0.46	1.05	2.08	0.58	1.50	3.36	3.61	2.09
NO.3	4hr 30 min	27	0.16	0.38	0.94	1.91	0.58	1.36	3.02	3.65	1.66
NO.5	5hr 40 min	34	0.18	0.38	0.82	1.58	0.56	1.26	2.73	3.22	1.57
NO.6	27 hr 40min	166	0.19	0.39	0.85	1.59	0.59	1.37	2.91	3.35	1.75
NO.8	2hr 50 min	17	0.19	0.41	0.85	1.51	0.59	1.52	2.93	3.36	1.89
2 knot											
NO.4	14 hr 40 min	88	0.18	0.37	0.78	1.40	0.48	1.08	2.36	2.79	1.30
NO.7	6 hr 30 min	39	0.19	0.37	0.69	1.15	0.51	1.13	2.31	2.64	1.39

續測得 24 hr 的資料，可視為箱網在海中實際穩定狀態。網底測點平均深度約 7.5 – 8.0 m 水深處，較 NO.1、NO.9 網底測點的水深較深約 0.5 m 左右，差異並不大。

NO. 2、NO. 3、NO. 5、NO. 6、NO. 8，分別為船速 1 節之試驗船拖曳箱網時的狀況，時間最長者為 NO. 2 於恆春將箱網移動離開錨區，時間為 1 hr 的計測；時間最長者為 NO. 6 於 8 月 13 日 17:00 至 8 月 14 日 20:30 於海上實際拖曳箱網前往澎湖途中，時間為 27 hr 40 min 的計測。5 次船速 1 節的計測上，各測點並無太大的差異，以拖曳時間最長者 NO. 6 計測值觀之，船速 1 節時，箱網上層前端水深 2 m 處浮上至 0.4 m，上層後方水深 2 m 處浮上至 0.6 m，前端浮上較高，前後方的差距僅 0.2 m；箱網中層前端水深 5 m 處浮上至 0.9 m，箱網中層後方水深 5 m 處浮上至 1.4 m，前端浮上較高，差距僅 0.5 m；箱網底層前端水深 8 m 處浮上至 1.6 m，箱網底層後方水深 8 m 處浮上至 2.9 m，前端浮上較高，差距為 1.3 m。可見離水面網框較近的箱網上層及中層的前端直接受力於試驗船的拖曳，浮上情形較後端嚴重，且浮上位置距離水面不到水深 1 m。箱網底部在船速 1 節拖曳情形下，抬升高度約 5 – 6 m，前端浮上較高，應呈

現出後面囊狀空間。

NO. 4、NO. 7 分別為船速 2 節之試驗船拖曳箱網時的狀況，時間最長者為 NO. 4 於 8 月 12 日 20:30 至 8 月 13 日 11:00 於海上實際拖曳箱網前往澎湖途中，時間為 14 hr 40 min 的計測。比較 2 次船速 2 節的計測上，各測點的水深處大致相同，以 NO. 4 計測值觀之，船速 2 節時，箱網上層前端水深 2 m 處浮上至 0.4 m，上層後方水深 2 m 處浮上至 0.5 m，前端浮上較高，前後方的差距僅 0.1 m；箱網中層前端水深 5 m 處浮上至 0.8 m，箱網中層後方水深 5 m 處浮上至 1.1 m，前端浮上較高，差距僅 0.3 m；箱網底層前端水深 8 m 處浮上至 1.4 m，箱網底層後方水深 8 m 處浮上至 2.4 m，前端浮上較高，差距為 1.0 m。與船速 1 節拖曳時情形幾乎相同，箱網前端浮上情形較後端嚴重，箱網底部在船速 2 節拖曳情形下，抬升高度約 5.5 – 6.5 m，僅較船速 1 節抬升高度增加約 0.5 m，顯示箱網變形的情形已幾乎達到極限。

船速 1 節與船速 2 節時各測點水深，原水深 2 m 的測點浮上至 0.5 m 與 0.4 m，原水深 5 m 的測點浮上至 1.1 m 與 0.9 m，原水深 8 m 的測點浮上至 2.5 m 與 2.0 m，可知箱網於船拖曳時，上層與中層的網片幾乎貼近水面，僅箱網底層網片約

Table 2 The volume change and volume ratio of each layer of the net cage under different ship towing speeds

Ship speed	N standard	Top			Middle			Bottom			Total	
		Depth (m)	Volume (m ³)	Top-ratio	Depth (m)	Volume (m ³)	Mid-ratio	Depth (m)	Volume (m ³)	Bot-ratio	Volume (m ³)	Mid-ratio
		0 - 2	402.12	1	2 - 5	603.19	1	5 - 8	603.19	1	1608.49	1
0 knot												
NO. 1	9	2.14	429.76	1.07	4.89	553.72	0.92	7.37	498.24	0.83	1481.71	0.92
NO. 9	138	2.00	401.56	1.00	4.71	544.80	0.90	7.41	543.51	0.90	1489.86	0.93
NO. 10	144	2.41	485.39	1.21	5.16	551.22	0.91	7.75	520.78	0.86	1557.39	0.97
1 knot												
NO. 2	6	0.52	104.45	0.26	1.28	152.61	0.25	2.78	302.29	0.50	559.34	0.35
NO. 3	27	0.48	96.80	0.24	1.15	134.42	0.22	2.56	283.55	0.47	514.77	0.32
NO. 5	34	0.47	94.05	0.23	1.04	115.50	0.19	2.27	247.44	0.41	456.99	0.28
NO. 6	166	0.49	98.92	0.25	1.11	123.53	0.20	2.40	260.28	0.43	482.73	0.30
NO. 8	17	0.50	100.74	0.25	1.19	137.95	0.23	2.42	248.19	0.41	486.88	0.30
2 knot												
NO. 4	88	0.42	85.42	0.21	0.93	101.69	0.17	1.96	207.32	0.34	394.43	0.25
NO. 7	39	0.44	88.65	0.22	0.91	94.40	0.16	1.87	193.51	0.32	376.56	0.23

在水下 2 - 2.5 m 水深處，受流端浮上較高。船速 1 節與船速 2 節時各測點的水深差異並不大。

二、不同船曳速度下，箱網各分層容積變化及容積比

本試驗採計 10 次之結果，依船速 0、1、2 節分為 3 組，箱網各分層容積變化及容積比結果如 Table 2 所示。上層容積在船曳速度 1 節時，空間剩 25%；船曳速度 2 節時，空間剩 20%；中層容積在穩定靜止時可保有約 90% 的容積，但在船曳速度 1 節時，空間剩 20%；船曳速度 2 節時，空間剩 17%，中層容積的空間壓縮程度較上層嚴重。箱網下層的容積在穩定靜止時可保有約 85% 的容積，穩定時空間壓縮較上層與中層大。而在以船曳移動箱網時，僅下層空間能保有較大的空間，容積比大於上層與中層，於船曳速度 1 節時，下層容積空間剩約 41 - 50%，船曳速度提高至 2 節時，下層容積空間僅剩約 32 - 34%。

整體觀之，在穩定狀態下，箱網於海中的實際容積與標準狀態大致相同，未錨碇時容積保有 92 - 93%，錨碇固定後更可達到 97%。但利用船曳

移動箱網時，速度 1 節時，箱網容積空間剩 28 - 35%；速度 2 節時，箱網容積空間剩下 23 - 25%。可得知在海中呈現圓餅狀的箱網，在船曳拉扯下，中上層空間被抬升貼近水面，下層空間則受到強流擠壓，於後方水面下 2 - 3 m 水深處呈現囊狀。長時間（約 24 hr）實驗時箱網的容積比變化如 Fig. 2 所示，NO. 8 為位於澎湖內灣中尚未錨碇的穩定箱網，NO. 9 為位於澎湖內灣中已結付錨碇系統的穩定箱網，由圖中可知已結付錨碇系統的箱網，在長時間觀測下其容積比呈現幾乎近於 1 的穩定狀態，起伏不大，而尚未結付錨碇系統的箱網，在 24 hr 當中，有 2 個波段約 1 - 2 hr 容積比未滿 0.9。而在固定船速下拖曳移動箱網時，船速 1 節的箱網容積比約在 0.3 波動，而船速 2 節的箱網容積比約在 0.25 波動，甚至低至 0.2 左右，顯示船速愈快，箱網容積比愈小。一開始進行試驗船定速拖曳箱網後，箱網容積迅速被壓縮，長時間定速航行拖曳時，已被壓縮的箱網容積之變化並不大。而在本次試驗中船速 1 節與 2 節時的箱網容積比差異並不大，船速 1 節時已讓箱網變形嚴重，即使船速增加至 2 節，可影響的箱網容積空間並不多。

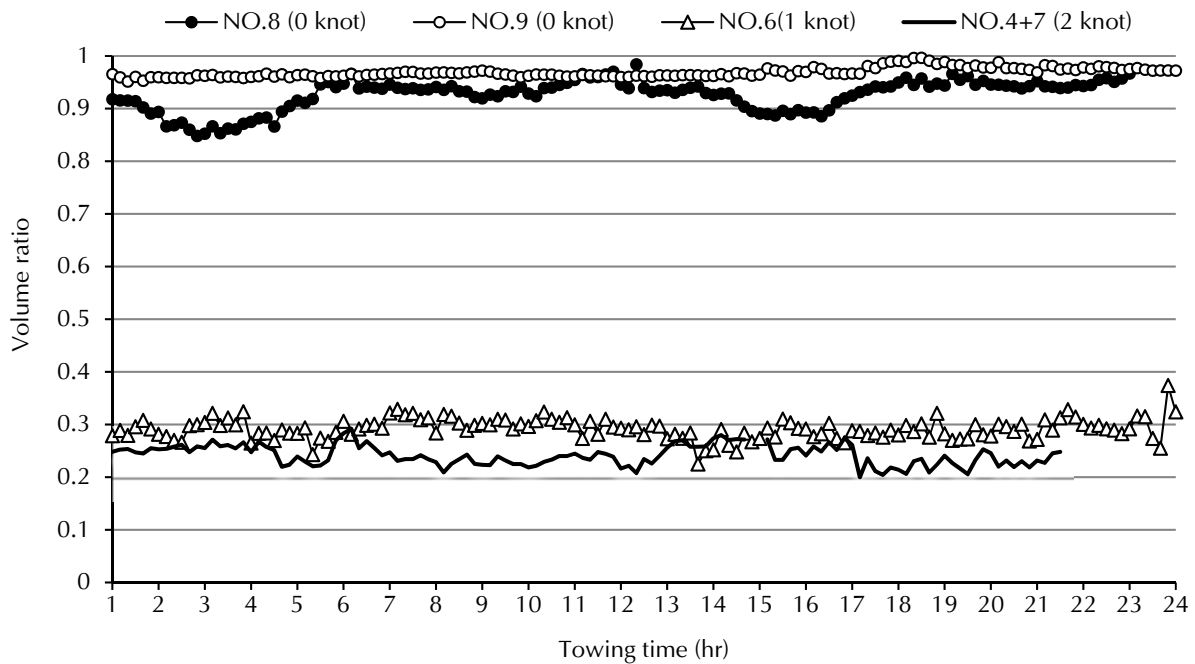


Fig. 2 Long-term measurement of the volume ratio of the net cage under stable conditions and different ship tows speeds.

討 論

以流速對箱網網具容積的關係來看，Tomi *et al.* (1979) 的研究指出，箱網受力會隨流速而增加，並導致容積減小。Wang *et al.* (1993) 指出箱網受流流速達到 20 cm/sec 時，其箱網內容積已降至原來容積之 50%，甚至更低。而 Weng (1999) 研究得到不同之結果，流速達 50 cm/sec 時，容積降至原來 50%。Lin (2002) 在水槽實驗中得知，隨流速增加時其箱網容積會明顯變小，抗力值則明顯變大，而流速達 50 cm/sec 時，容積比在 0.41。Nagamatsu *et al.* (1986) 利用方形、八角、圓形三種模型箱網，比較箱網受流後之容積變化，流速達 0.35 - 0.5 m/sec 時，三種箱網的容積會減少 50 - 66%，流速達 50 cm/sec 以上，三者容積均僅剩 0.5。Lien *et al.* (2007) 測試實驗，在流速達 0.5 m/sec 時，有高達 80% 的容積空間減少。Lader and Enerhaug (2005) 實驗低流速（小於 0.2 m/s）時箱網變形程度小於 5%，但高流速時則變形程度劇增。流速高過 0.2 m/s 時網圓柱變形明顯。Huang *et al.* (2008) 指出，影響網具容積變化之容積減少係數「流速度 > 波高 > 波週期」，在 0.5 m/sec 的流速中，以波週期較短（6 sec）及波高較高（6 m）之容積剩餘率在 50% 左右。Chen (2012) 利

用數值模擬的方式，設定平常沒有颱風時風浪條件之波高 1m 與流速 1 節（50 cm/sec）下，最小箱網容積率約 84.8%。由而可知，水槽試驗當中之各文獻中流速對箱網容積的影響，所得的結果不一，但均有流速愈快造成箱網的容積迅速減少的趨勢，流速達 50 cm/sec 時，箱網容積減少 40 - 80%。依本研究結果，若以船速 1 節拖曳箱網時，等於箱網直接受到流速 51.44 cm/sec 的強流影響，箱網的容積空間剩下 30 - 35%，與前述之文獻結果類似，且容積空間的減少更甚於實驗室中的結果，此應是在試驗船航行時受到實際海流的流速流向的加乘影響，讓箱網容積空間壓縮更為嚴重。此外，Chen (2012) 利用數值模擬的方式，一年迴歸期颱風之海象條件之波高 3m 與流速 2 節（100 cm/sec）下，最小箱網容積率約 41.6%。本研究在船速 2 節之長時間拖曳箱網，等同流速 102.88 cm/sec 的強流影響下，箱網容積空間僅剩下 25%，與文獻結果類似，箱網在強流影響下，擠壓變形將造成容積空間大幅減少。

Yang *et al.* (2014) 監測養殖現場箱網受海流及潮汐影響得知，北流強時箱網底部南端較易浮起，底部浮起造成容積減少 10 - 30%。Yu *et al.* (2006) 指出箱網之網形隨流速之增加而向水流後方傾斜，其網底深度隨流速增加而變淺。本研究的結果相同

與前述文獻，箱網前端為受流端，受流端浮上的情形較為嚴重，箱網底部呈現前方高後方低的傾斜情形，船速 1 節拖曳情形下，底部抬升高度約 5 - 6 m，位差約 1.3 m。可設想箱網後方呈現囊狀空間。Huang and Wang (2007) 曾在 2005 年 09:01 時觀測到強烈台風泰利影響下之海流資料，海面流速大於海底流速，而接近海面段的流速有時會呈現突兀情形，推測是因波浪所造成的影響。颱風時最大流速接近 60 cm/sec，其餘時段流速在 30 - 50 cm/sec 左右。而近年來箱網養殖的趨勢，朝向近海或灣外等離岸較遠且較深的海域設置 (Lader and Enerhaug, 2005)，高速海流導致網具破損與流失 (Qu *et al.*, 2011)，因此實有必要進行強流下箱網結構的耐受度實驗。依本研究實驗結果得知，船速 1 節即產生約 50 cm/sec 的強流，拖曳箱網時，相當於直接受到颱風來襲所造成的強流強度，瞬間就讓柔性的箱網網片直接浮上，容積減少率更超過上述實驗中模擬颱風經過的試驗結果。本研究以試驗船拖曳箱網，計測強流下箱網容積變化，未來利用船拖曳箱網，可提供在無錨碇狀態下，實際箱網結構的耐受度實驗，或者是抗颱風抗強流之箱網模擬試驗，以及金屬材質網片的抗強流試驗。

結 論

本研究以船速 1 節拖曳箱網，瞬間讓箱網容積空間減少 65 - 70%，箱網底部浮起 5 - 6 m。可能本研究在拖曳箱網時之底部配重不足所致。本研究採用實際民間箱網養殖場之重錘式的配重方式箱網進行拖曳，而重錘式的配重過重則操作不易且恐損壞網片結構，配重過輕則易使箱網變形容積減少，造成魚體損傷。在船速 1 節拖曳箱網時等同颱風直接襲擊養殖場強度的概念下，一般養殖場所採用的配重及錨碇系統並非對應颱風來襲之設計，在船拖曳箱網之際，網片會迅速上浮，故未來實驗時，需考慮以更強的結構與配重進行抗強流影響，或增加穩定箱網結構的輔助設備。

在其他文獻報告中提及比較重錘式與沉框式固定箱網底部之試驗，認為沉框式較重錘式箱網容積變形程度較為穩定，可提升容積減少率約 10 - 15% (Tang, 2001; Huang *et al.*, 2007; Chen, 2012; Chen, 2015)。因此在未來實驗或實際運用上

時，可同時比較箱網底部採用沉框式與重錘式在實際養殖場之差異性與容積增加比率，亦可進行拖曳具有沉框的箱網實驗，嘗試移動箱網並提昇容積率，用以推廣箱網產業使用。本研究將可提供箱網養殖產業在開發可移動式箱網及抗強流箱網時的一些參考依據，並可利用船拖曳箱網進行強流試驗，用以開發減少網具變形並提高生產效能之新式箱網結構的參考。

參考文獻

- Chen, Y. P. (2012) Study on a compound cage aquaculture system in the open sea. Master Thesis, National Sun Yat-Sen Univ., 89 pp.
- Chen, Y. T. (2015) Experimental study on the deformation of cage under wave-current action by applying 3-D imagine technique. Master Thesis, National Sun Yat-Sen Univ., 91 pp.
- Huang, C. C. and H. J. Tang (2004) R&D of the transportable cage net. Proc. 26th Ocean Eng. Sym., 524-531.
- Huang, C. C. and B. S. Wang (2007) A field experimental study on an In-Situ single point mooring net cage system. Proc. 29th Ocean Eng. Conf. Taiwan, 661-666.
- Huang, C. C., H. J. Tang and J. Y. Liu (2007) Modeling volume deformation in gravity-type cages with distributed bottom weights or a rigid tube-sinker. Aquac. Eng., 37(2): 144-157.
- Huang, C. C., H. J. Tang and J. Y. Liu (2008) Effects of waves and currents on gravity-type cages in the open sea. Aquac. Eng., 38(2): 105-116.
- Lader, P. F., and B. Enerhaug (2005) Experimental investigation of forces and geometry of a net cage in uniform flow. IEEE J. Ocean. Eng., 30(1): 79-84.
- Lien, E., L. M. Sunde and K. Midling (2007) Aquaculture Technology. In Aquaculture Research: from Cage to Consumption (M. Thomassen and B. Norberg eds.), Res. Council Norway, 304-319.
- Lin, H. C. (2002) The mechanical characteristics of the circular type netting cages. Master Thesis, National Taiwan Ocean Univ., 88 pp.
- Nagamatsu, K., H. Nishinokubi and K. Nakasai (1986) The mechanical characteristics of a netting store pot. Bull. Fac. Fish. Nagascki Univ., 59: 1-10.
- Qu, X. Y., F. X. Hu, D. Shiode, T. Tokai, T. Kumazawa and Y. Takeuchi (2011) Experiments of aquaculture cage using metal bottom nets models. Acad. Lect. Proc., Japan Ins. Aquacul. Ind., 23: 123-126.

- Tang, H. J. (2001) Improvement on aquaculture cage net volume deformation. Master Thesis, National Sun Yat-Sen Univ., 130 pp.
- Tomi, W., K. Naiki and Y. Yamada (1979) Investigations into technical development of mariculture on commercial scale applied to offshore region. Proc. Japan-Soviet Joint Sym. Aquacul., 7: 111-20.
- Wang, M. C., K. Y. Shie and M. C. Wang (1993) Flow velocity and volume changes of the aquaculture cage. J. Fish. Soc. Taiwan, 20(2): 83-90.
- Weng, D. Y. (1999) The mechanical characteristics of the netting cages. Master Thesis, National Taiwan Ocean Univ., 48 pp.
- Yang, C. M., H. H. Huang, C. C. Lai, H. S. Su, J. S. Weng and L. J. Wu (2014) A preliminary study of volume changes of round frame cage caused by currents and tides. J. Fish. Soc. Taiwan, 41(1): 49-60.
- Yoichi, O., Y. Tawara and H. Taketome (1985) Studies on behavior of fish cage against flow of water - On Relationship between volume of cage and current velocity. J. Fish. Eng., 6: 297-321.
- Yu, K. C. (2000) Analysis of marine fish cage design. Ph. D. Thesis, National Taiwan Ocean Univ., 132 pp.
- Yu, K. C., K. J. Tsay and L. Z. Cheng (2006) The field experiment of anti-wave net cage performed in southwestern water of Taiwan. J. Fish. Soc. Taiwan, 33(1): 45-53.

Volume Changes in Small Round Net Cages During Ship Towage

Ching-Min Yang, Chi-Chang Lai*, Hsing-Han Huang, Jia-Shin He and Jinn-Shing Weng

Coastal and Offshore Resources Research Center, Fisheries Research Institute

ABSTRACT

Anchorless movable net cages can be used to avoid the risks posed by natural environmental changes to aquaculture and meet fish transportation and temporary breeding needs. The net cage structure needs to be resistant to strong winds and currents to facilitate the establishment of cage culture farms farther offshore in deeper sea areas in the future. Studies on ship towage of net cages are scarce; volume changes in net cages while being towed by ship are worthy of discussion. This study employed small round net cages used in cage culture to perform a towing movement test for measuring volume changes in the cages when towed at different speeds. The results showed that when the net cage was towed by ship at a speed of 1 knot (51 cm/sec), the lifting height of the cage bottom was about 5–6 m and the cage volume space was reduced to 30–35%; at a speed of 2 knots, the lifting height was about 5.5–6.5 m, leaving 25% of the volume space. The effect when towing speed exceeded 1 knot was equivalent to that when the net cage was directly affected by the strong currents of a typhoon. The deformation of the net cage space almost reached the limit. The results of this study can be used as a reference by the cage culture industry for developing movable net cages that are resistant to strong currents. They could also be used in tests on net cages towed under strong currents to develop new cage structures to reduce deformation and improve production efficiency.

Key words: small round net cage, net deformation, volume change, movable net cage, strong currents

*Correspondence: Coastal and Offshore Resource Research Center, Fisheries Research Institute, No. 6, Yugang N. 3rd Rd., Cianjhen District, Kaohsiung 80672, Taiwan. TEL: (07) 8218103; E-mail: cclai@mail.tfrin.gov.tw