

海流對箱網底部抬升及容積變化之影響

楊清閔^{1*}·黃星翰¹·賴繼昌¹·蘇宏盛²·翁進興¹·吳龍靜¹

¹行政院農業委員會水產試驗所沿近海資源研究中心

²高雄市政府海洋局海洋事務科

摘要

海洋箱網養殖的袋網容積變化關係到產業界決定魚隻放養數量與年間收益。然而，運用實際箱網進行海流對箱網抬升影響與容積變化之研究稀少。本研究以屏東縣車城鄉圓框式箱網進行實驗，於箱網底部四端點設置深度監測與流速流向儀，分析箱網受海流抬升之影響。結果顯示，大、小潮期間之下午及晚上時段明顯以向南流為主，大潮期之流速超過 10 cm/sec 以上頻度 (40%) 明顯較小潮期 (24%) 多，亦以向南流居多。向南流之流速超過 10 cm/sec 時易引起箱網底部北端點抬升，流速每增加 10 cm/sec 箱網底部抬升約 1.3 ~ 1.5 m。平均向南流速由 10 cm/sec 增強至 30 cm/sec 時，網成形係數平均由 0.80 降至 0.59。箱網容積的穩定狀態在 80 ~ 90%，若平均向南流超過 20 cm/sec 以上且持續時間長 3 ~ 4 h，則易造成箱網袋網嚴重變形達 50 ~ 70%。本研究結果將可提供現場產業對箱網在開發設計與減少海流影響的配置一些參考依據，減少網具變形與保有最大的養殖空間，提高生產的效能。

關鍵詞：箱網、網具變形、箱網容積、海流

前言

海洋箱網養殖產業藉由養殖知識與水產技術的結合，尋求改變傳統漁業產量不穩定與海洋資源枯竭的困境。箱網產業的良好經營除了要有優良的地理氣候的配合之外，養殖場的管理、水產品行銷及水產科技的支援亦相當重要。朱等 (2012) 指出，對養殖漁民來說，從事養殖的過程以及設備部分所遭遇的問題，包括：選擇最適合當地養殖的品種、尋找合適養殖位置、決定養殖數量、密度、何時及如何投餵飼料等。若箱網養殖場太靠近沿岸海域，在投餌後所產生的殘餌與魚隻的排泄物堆積，可能造成當地海域的污染而常讓人詬病。因此，世界上的箱網養殖場逐漸往近海或灣外等離岸較遠且較深的海域設置，此處海域的風浪與潮流等等海況條件往往較內灣環境

嚴峻，對於海洋箱網養殖設備的堅固耐用已成為重要的考驗。

海洋箱網養殖產業為資本密集的高風險產業，雖然充滿著國際市場的發展商機，但仍存在許多天災與人為變數的風險。臺灣冬季有東北季風吹襲，夏季則有颱風侵襲，颱風與洋流的天然環境災害，不僅影響箱網的容積空間，亦容易造成錨碇系統與纜繩的破壞，損壞整個養殖箱網設備，造成箱網養殖業者的災害損失，在海洋箱網的生產過程中，風險與投資遠高於陸上水產養殖。因此，海洋箱網設施的研究，對於業者於實際運用與操作，極為重要，尤其是魚類成長空間之箱網袋網的容積變化，關係到業界決定魚隻的養殖數量與年間的收益。

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 (Lader and Enerhaug, 2005)，進而造成養殖有效容積縮小 (Yoichi *et al.*, 1985; Nagamatsu *et al.*, 1986; Wang *et al.*, 1993; 俞, 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

*通訊作者 / 高雄市前鎮區漁港北三路 6 號, TEL: (07) 821-8103 ext. 222; FAX: (07) 821-8205; E-mail: yym1001@gmail.com

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。在箱網網具與網袋容積空間的研究上，Wang *et al.* (1993) 指出箱網受流流速達到 20 cm/sec 時，其箱網容積已降至原來容積之半，甚至更低。而翁 (1999) 則是流速達 50 cm/sec 時，容積降至原來一半。Qu *et al.* (2011) 以金屬網為方形與圓形模型箱網的底網，在流速 10 cm/sec 時網成形係數約在 0.95 以上，流速 20 cm/sec 時僅圓形較深之箱網為 0.8 之外，其餘約在 0.9 左右。流速 10 cm/sec 時，箱網容積減少率均低於 10%。Nagamatsu *et al.* (1986) 利用方形、八角、圓形三種模型箱網，比較網袋受流後之容積變化，流速達 0.35 ~ 0.5 m/sec 時，三種箱網的容積會減少 2/3 ~ 1/2，流速在 5 ~ 40 cm/sec 時，圓形箱網較八角型及四方型的變形較少，在流速 20 cm/sec 其容積比仍在 0.9 以上，但是達 50 cm/sec 以上，三者容積均僅剩 0.5。蔡 (1999) 比較圓形與方形箱網不同配置下的結構變化。劉 (2001) 以不同網目大小、網線直徑 (D) / 網腳長 (L) (D/L)、重錘等等探討方形箱網之網形與內容積變化。Yoichi (1985) 以方型模型網底邊上吊不同重錘與重量變化，探討不同流速下對網袋容積之影響。林 (2002) 在水槽實驗中得知，在配重或網深相同之條件下，受開口率的影響，D/L 值愈大，隨流速增加時其網形會明顯變小，抗力值則明顯變大，而流速達 50 cm/sec 時，容積比在 0.41。高 (1998) 利用數值模擬計算箱網模型在流速 17 cm/sec，波高 0.16 m 且網底配重為 6.2 g 時，網袋容積變形率約為 35%，而配重增加 4 倍時，迎流面網袋張力值變化不大，網袋容積變形率增加為 59%。Lader and Enerhaug (2005) 的圓形箱網模型

流時 (小於 0.2 m/sec)，容積減少率小於 5% (容積比 0.9 以上)，但流速愈快時，變化率愈大，在流速 33 cm/sec 時配重較重的模型箱網容積比仍有 0.9。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%。

Lee and Wang (1997) 曾提及，實際海域作業中，除了海流之外，波浪為重要因子，圓形箱網在波浪中往往使網具之有效養殖面積減少到 50% 以上。Fu *et al.* (1989) 在波流互動的箱網模型實驗中，指出波浪中的箱網模型所受到的流體力大於

定常流。波峰通過模型中心時，箱網的抗力最大。但是，唐 (2001) 則認為，網袋變形主要受流的影響，波浪對網袋變形的影響是水深方向的拉扯及擠壓，變化幅度不大。Yu *et al.* (2006) 指出箱網在波流互動下，箱網網底深度隨波浪之增大而變動增劇。

以往研究報告幾乎是利用模型或模擬實驗，於實驗水槽中進行相關研究，但使用養殖現場之箱網進行實測的研究報告稀少。本研究乃為箱網業者能夠直接應用，期能利用最簡便最經濟的方法獲得箱網袋網容積之概似值而非精準值，並能廣泛運用於多數箱網的測定，減少添購貴重儀器成本以解決現有箱網對容積及變形的疑問，本研究透過箱網底部四端點的深度監測，配合潮汐記錄與流速流向儀，分析箱網受海流的袋網容積變化。由於本研究為當地實際現場實驗，研究成果將可提供現場產業對箱網在開發設計與減少海流影響的配置一些參考依據，減少網具變形與保有最大的養殖空間，提高生產的效能。

材料與方法

本實驗於 2014 年 7 月 4 日至 8 月 13 日於養殖現場的箱網底部進行監測儀器的安裝。實驗用箱網為實際使用中之箱網，位於屏東縣車城鄉海口港附近海域離岸 2 km。箱網結構如 Fig. 1 所示，為浮式圓框箱網，浮框內框直徑 20 m，內框圓周長 62.8 m，浮框外框直徑 21 m，外框圓周長 65.9 m，箱網浮框材質採用 HDPE (High Density PE)，管徑 250 mm。箱網之袋網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。網長深度 8 m。為能固定袋網形狀與減少海流影響，箱網底部懸掛重錘，箱網底部圓周約 63 m 設置 24 點，每點各 25 kg，合計 600 kg，錘重繩採用 pp 繩直徑 19 mm。於箱網外框之 45 度、135 度、225 度、315 度各設置 1 個直徑 1 m 浮力約 1,000 kg 之浮球，每個浮球以兩條纜線連結浮框之外框，浮球下纜線連結水下錨碇，用於固定箱網位置，連結纜線採用 pp 繩直徑 25 mm。容積空間依圓柱體積法，在穩定狀態下箱網容積為 $2,513 \text{ m}^3$ 。本實驗

假設浮框為剛體，浮於海上固定位置且不會變形。

流速流向計測採用 FSI 公司製流速流向儀 (ACM-Plus)，水中重量 1.8 kg，以超音波的方式測量流向與流速，流速準確度在 ± 1 cm/sec，流向準確度 ± 2 度。流速流向儀裝置於箱網底部外，分別記錄 10 min 之平均流速流向及分向流速流向，以 cm/sec 為單位。在流向之測量主要顯示為 360 度，其中為能簡便顯示養殖場流向趨勢，本研究將流向在 45 ~ 135 度之間者為向東流 (→)，135 ~ 225 度之間為向南流 (↓)，225 ~ 315 度為向西流 (←)，315 ~ 360 度及 0 ~ 45 度為向北流 (↑) 等區分為四流向。

箱網底部深度之測定，採用 star oddi 製微型記錄器 (DST-tilt)，可記錄傾斜角、溫度與深度變化，記錄器尺寸為 15 mm × 46 mm，水中重量 12 g，深度精確度 ± 20 cm。分別裝置於箱網底部北 (N)、南 (S)、東 (E)、西 (W) 四端點，以 2 min 記錄 1 次水深資料，並以 5 次共 10 min 之平均數 (記為 1 筆) 為做每平均 10 min 之箱網底部的網深記錄，配合流速流向計進行分析。

由於監測期間為夏季颱風盛行期，故本次研究記錄資料的區分，扣除閃避颱風之下沉期間，以及測試箱網下沉等記錄值，依農曆 29 ~ 4 日及 14 ~ 19 日為大潮期做區分，採用的記錄資料區分為 4 組，7 月 4 ~ 9 日為 A 組 (800 筆，小潮)，7 月 10 ~ 16 為 B 組 (922 筆，大潮)，7 月 25 ~ 30 日為 C 組 (715 筆，大潮)，8 月 2 ~ 8 日為 D 組 (949 筆，小潮)。

本研究測定網成形係數 (shape of net) (S_{net}) (如 Fig. 1) 依 Qu *et al.* (2011) 所用公式，以下式表示之，數值愈小表示箱網底部浮起愈大，數值愈接近 1 表示愈呈現穩定狀態，網底中心點深度以箱網底部 N、S、E、W 四端點之深度平均值。

$$S_{net} = Z_2/Z_1 \dots \dots \dots (1)$$

Z_2 ：箱網底部受流浮起時中心點的深度

Z_1 ：靜止時箱網底部中心點的深度

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可迅速測得容積變化。在穩定狀態下箱網容積 (V_{total}) 為 2,513 m^3 ，箱網在受潮流而變形呈現梯形圓柱體，故傾斜箱網容積

(V_{after}) 之計算以下式代替：

$$V_{after} = \text{網底中心點深度} \times \text{箱網圓框面積} (m^3) \dots \dots \dots (2)$$

$$\text{箱網容積變形率} (V_{ratio}) = V_{after} / V_{total} \dots \dots \dots (3)$$

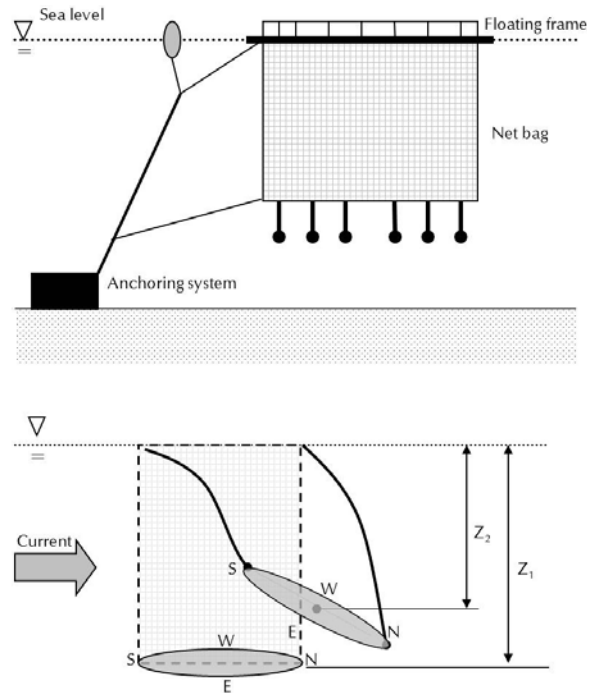


Fig. 1 Schematic diagram of a round frame cage structure (A) and its deformation under current forces (B).

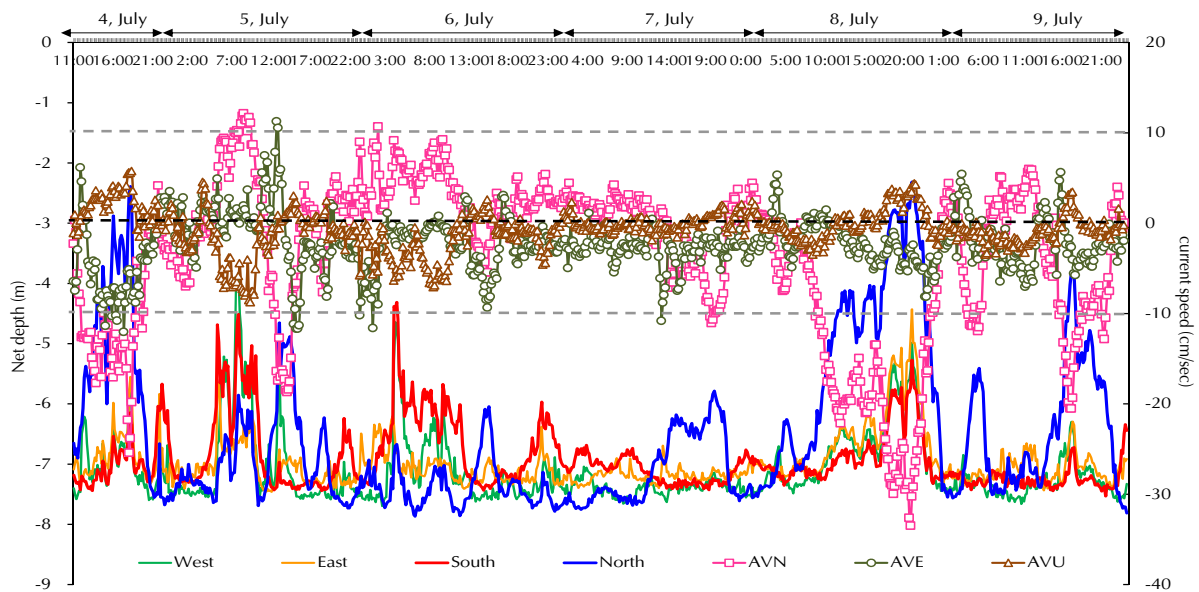
結 果

一、養殖場之分時段流向流速變化

養殖場之分時段流向流速變化經整理後如 Table 1 所示，在小潮期 (1,749 筆) 與大潮期 (1,637 筆) 的觀測資料當中，可發現在凌晨時段 (0 ~ 6 時)，該養殖場的流況以向北流為主，大潮期的凌晨時段之向北流頻率接近 50%。而上午 (6 ~ 12 時)、下午 (12 ~ 18 時) 及晚上 (18 ~ 24 時) 的流況以向南流為主，小潮期之上午時段雖以向南流為主，但各向流的分布較混亂，並無集中的現象。而大潮期與小潮期之下午及晚上時段明顯以向南流為主，尤其是大潮期時向南流的頻率超過 70%。而在流速方面，小潮期有 24% 流速超過 10 cm/sec，以向南流為主，而流速超過 20 cm/sec 以上之頻度約 3%，以向南流居多。大潮期約有 40%

Table 1 Current velocity and direction change situations of a cage culture farm during spring tide and neap tide

	Neap tide (A,D) Current Direction N=1749								Spring tide (B,C) Current Direction N=1637							
	Eastward		Northward		Southward		Westward		Eastward		Northward		Southward		Westward	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Early morning (0:00-6:00)	83	21.0	151	38.1	55	13.9	107	27.0	53	12.3	214	49.5	149	34.5	16	3.7
Morning (6:00-12:00)	88	21.1	115	27.5	117	28.0	98	23.4	92	22.7	84	20.7	200	49.4	29	7.2
Afternoon (12:00-18:00)	24	5.1	8	1.7	338	72.2	98	20.9	55	13.9	40	10.1	281	71.0	20	5.1
Night (18:00-24:00)	65	13.9	75	16.1	240	51.4	87	18.6	40	10.1	38	9.6	279	70.3	40	10.1
Total	260	14.9	349	20.0	750	42.9	390	22.3	240	14.7	376	23.1	909	55.8	105	6.4
Current velocity(cm/sec)																
10-20	20		75		252		15				76		381		11	
20-30	1		6		47						2		165			
>30					4								12			
>10 Total	21	5	81	19.3	303	72.1	15	3.6			78	12.1	558	86.2	11	1.7
>10 Total/Total	420/1749 = 24%								647/1630 = 39.7%							

**Fig. 2** Change in the divisional current velocity for Group A and the respective net depths of the four points on the cage bottom during neap tide (AVN: average north velocity; AVE: average east velocity; AVU: average upward velocity).

流速超過 10 cm/sec，亦以向南流為主，而流速超過 20 cm/sec 以上之頻度約 11%，流速較大者幾乎均以向南流為主。大潮期之流速超過 10 cm/sec 以上頻度明顯較小潮期多，且流速較強勁。

二、分向流速流向對箱網底部抬升影響與相關性

箱網底部四端點之深度及分向流速、流向隨時間之變化如 Fig. 2 (小潮期, A 組)、Fig. 3 (大潮期, B 組)、Fig. 4 (大潮期, C 組) 及 Fig. 5 (小潮期, D 組) 所示，在圖中均可發現，在向南流之流速超過 10 cm/sec 時，將會引發箱網底部的北端點抬升發生，可推得箱網底部當時呈現北端高南端低的傾斜狀態，最大的抬升程度可達水下 2 m。此

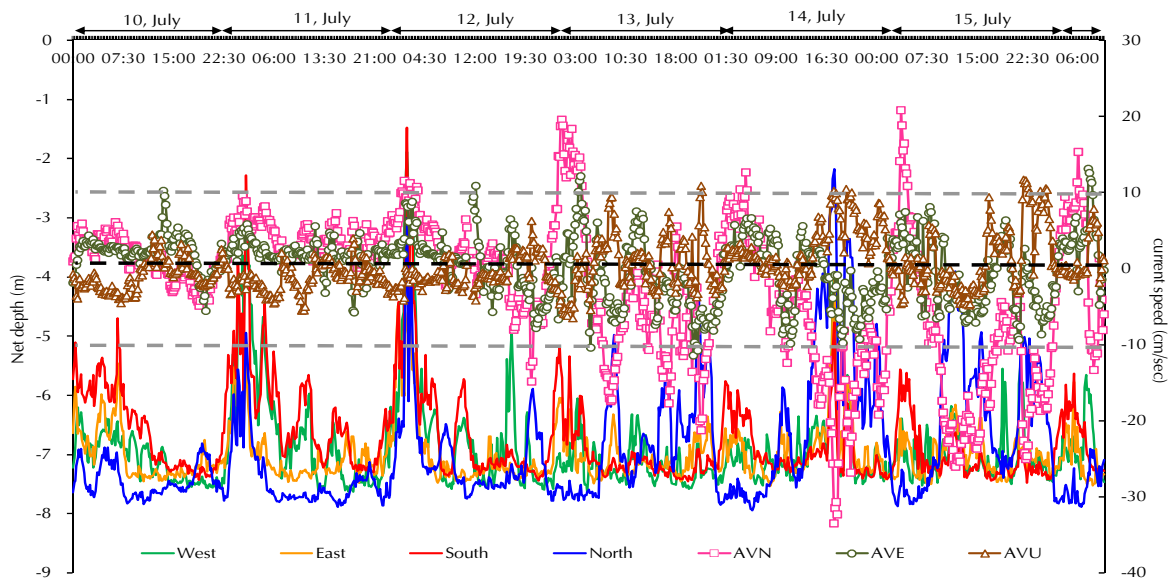


Fig. 3 Change in the divisional current velocity of Group B and the respective net depths of the four points on the cage bottom during spring tide (AVN: average north velocity; AVE: average east velocity; AVU: average upward velocity).

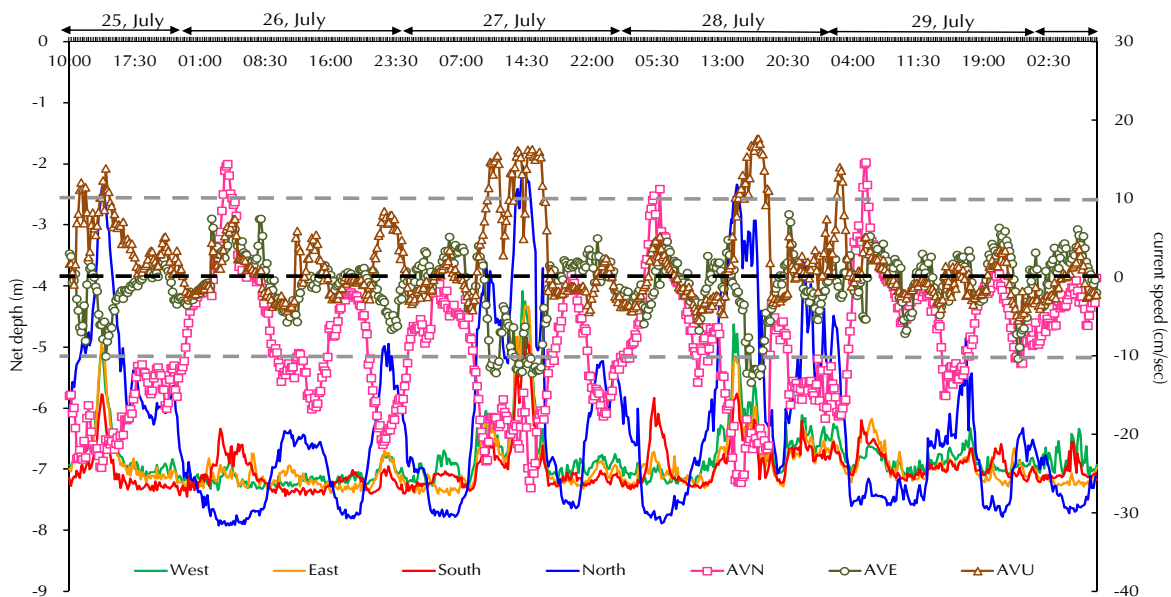


Fig. 4 Change in the divisional current velocity of Group C and the respective net depths of the four points on the cage bottom during spring tide (AVN: average north velocity; AVE: average east velocity; AVU: average upward velocity).

外，雖然向北流之流速超過 10 cm/sec 時，引發箱網底部的南端點抬升的情形較少，但監測期間箱網底部最大抬升發生在大潮期之向北流之流速超過 10 cm/sec 時，此時箱網底部南端點抬升了 6.53 m。向南流之流速超過 10 cm/sec 時期多半發生在下午及晚上，強勁的向南流容易造成箱網底部的北端點較大的抬升發生。

由於監測期間之大潮期及小潮期的向南流頻度約達 50%，且流速超過 10 cm/sec 亦以向南流居多，故利用向南流之資料分析箱網底部四端點之深度，配合平均 10 min 之分向流速流向記錄（平均向北流 (AVN)、平均向東流 (AVE)、平均向上流 (AVU) 進行相關性分析，結果如 Table 2 所示。AVN 為負值時則為向南流，在 AVN 欄位與

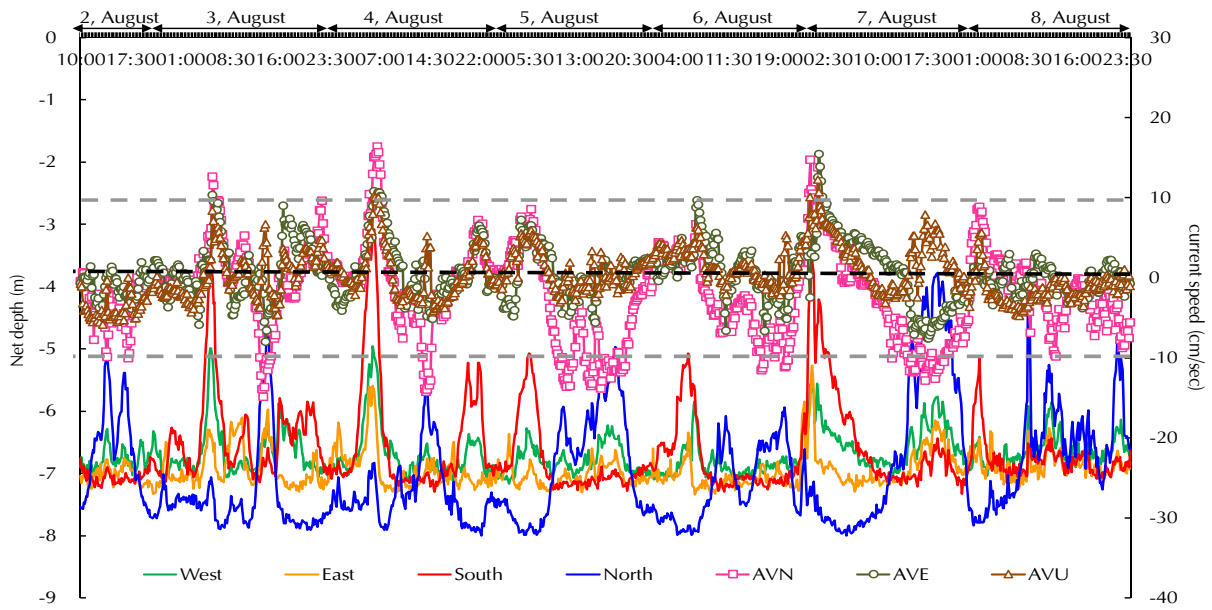


Fig. 5 Change in the divisional current velocity of Group D and the respective net depths of the four points on the cage bottom during neap tide (AVN: average north velocity; AVE: average east velocity; AVU: average upward velocity).

Table 2 Relevance of divisional current velocity to the four floating points of a cage bottom during southward flow

	AVE	AVN	AVU	W	E	S	N
AVE	1						
AVN	0.40	1					
AVU	-0.43	-0.61	1				
W	-0.15	-0.47	0.39	1			
E	-0.40	-0.65	0.45	0.82	1		
S	-0.23	-0.43	0.38	0.86	0.88	1	
N	-0.48	-0.79	0.53	0.71	0.84	0.65	1

AVN: average north velocity; AVE: average east velocity; AVU: average upward velocity

箱網底部四端點的浮起呈現高相關性，最高者為箱網底部的北端點 (-0.79)，即向南流愈強則明顯呈現北端點的抬升愈高。此於業者在實地操作箱網養殖時所稱海域流向為向南流時，箱網底部北端點會明顯浮起的現象一致。再以向南流對箱網底部北端點之抬升變化分析抬升之程度，結果如 Fig. 6 所示，流速增加 10 cm/sec 時之箱網底部北端點抬升約 1.5 m，流速對箱網底部北端點之抬升可以下式表示之：

$$Y = -0.1538X + 0.3805 (R^2 = 0.63)$$

Y：箱網底部北端點之抬升 (m)

X：平均向北流 (cm/sec, 向南流時為負值)

三、流速流向與網成形係數之關係

以箱網底部 N、S、E、W 四端點之深度平均值做為網底中心點深度，計算箱網的 S_{net} ，並以向北流與向南流之情形做比較，結果如 Fig. 7 所示。當海域向南流之流速未達 15 cm/sec 時，大致上的 S_{net} 分佈在 0.7 以上。但當海域向南流之流速超過 15 cm/sec 時， S_{net} 開始呈現較混亂的情形，流速愈快 S_{net} 甚至達 0.5 左右。故箱網穩定狀態之 S_{net} 約

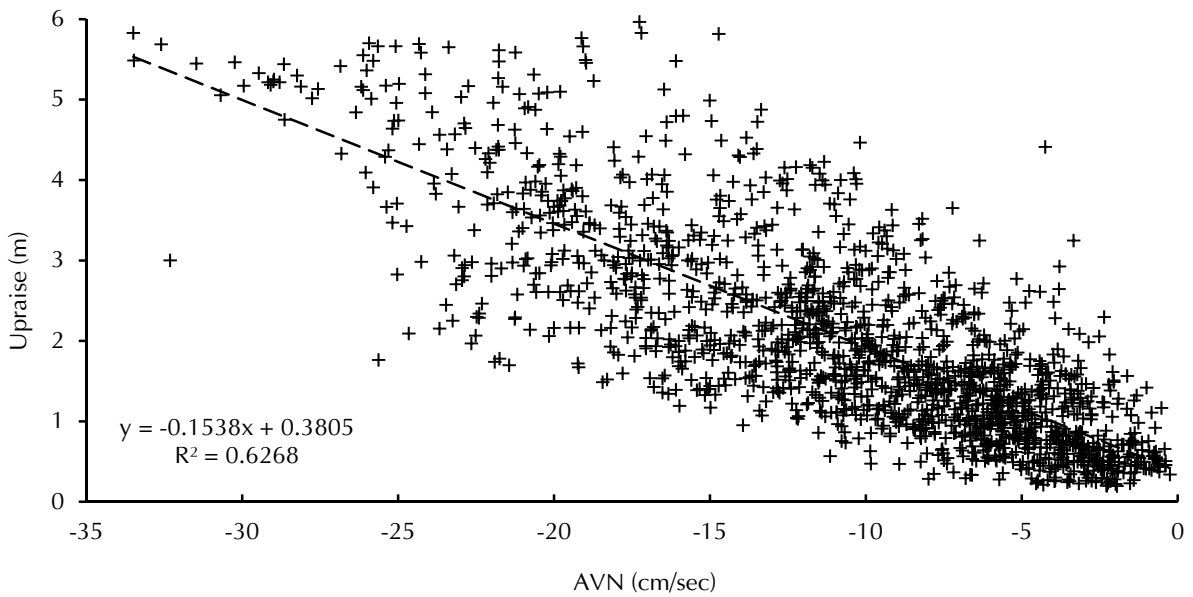


Fig. 6 Change in the current velocity causing lifting of the north end of the cage bottom during southward flow.

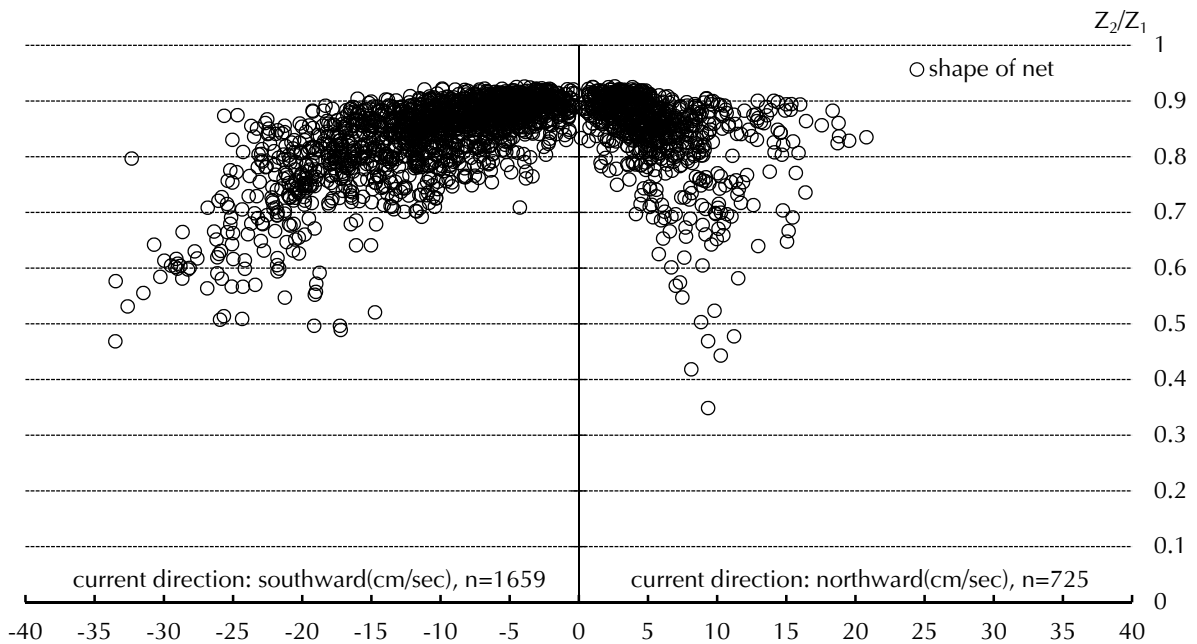


Fig. 7 Relation between net shape coefficient and average current velocity of southward flow and northward flow.

在 0.9 左右，平均向南流速 10 cm/sec 以上時， S_{net} 平均在 0.80，當平均向南流速為 20 cm/sec 以上， S_{net} 平均在 0.71，而當平均向南流速為 30 cm/sec 以上， S_{net} 平均在 0.59。另一方面，海域流向呈現向北流的 S_{net} 較不穩定，在向北流之流速超過 5 cm/sec 後， S_{net} 較混亂，其中甚至有向北流之流速未達 10 cm/sec 時，其 S_{net} 已減少至 0.3 ~ 0.6 之間。

因此，在低流速的情況下，向北流對箱網成形的影響似乎較向南流的影響大。向北流的規則性不高，超過 10 cm/sec 後對箱網之袋網變形影響極大。向北流的盛行期在凌晨時段，此時為當地之大漲潮期間，可能與當地之地形及潮汐之交互作用下，造成 S_{net} 較混亂之現象。在本研究之觀測期間，流速對袋網變形影響方面，有低流速時向北

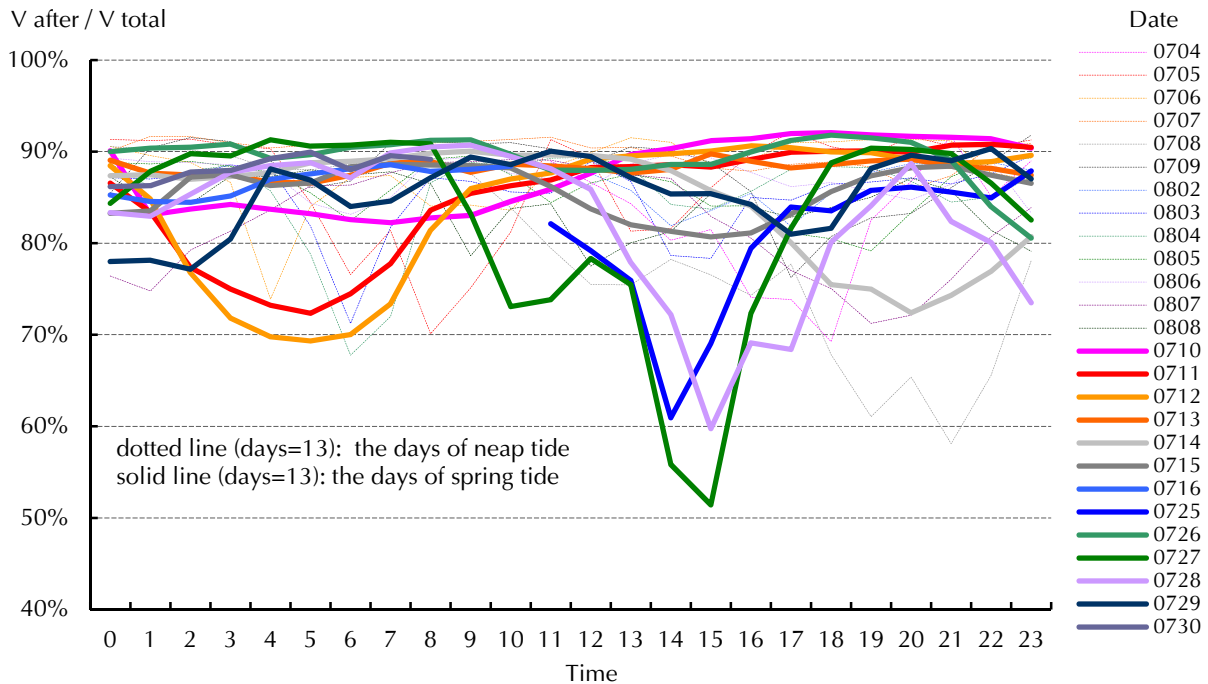


Fig. 8 Relation between net shape coefficient and average current velocity of southward flow and northward flow.

流的影響較大，而在高流速時向南流的影響較大的趨勢。通常箱網之穩定狀態之 S_{net} 約在 0.9 左右，可示為實際狀態之容積空間時應減少 1 成即為穩定狀態時的容積。

四、大、小潮期之箱網容積變化

箱網容積受海流變形，於實驗期間之箱網底部通常呈現北端浮起較高的傾斜狀態，利用簡易公式計算箱網容積，在穩定狀態時箱網圓框半徑為 10 m，網深 8 m，箱網容積為 $2,513 \text{ m}^3$ (V_{total})。在實驗期間，以箱網底部 4 端點平均值為中心點，計算其傾斜狀態之箱網容積 (V_{after})，結果如 Fig. 8 所示，大潮期間以實線示之，小潮期間則以虛線示之。箱網容積的穩定狀態在 80 ~ 90% 之間，大、小潮期間較不穩定時期大致在凌晨時段以及下午時段。而在小潮期間之 7 月 8 日箱網袋網容積變形達 60%，參照 Fig. 2，早上 10 時開始向南流超過 10 cm/sec，當時僅有箱網底部的北端抬升，但至下午 5 時 30 分開始，向南流持續超過 20 cm/sec，甚至達 33.5cm/sec，直至晚上 10 時超過 20 cm/sec 的向南流逐漸減小，而此時箱網底部北端點已被抬升至水深 2.3 m，即持續性的強流所造

成之袋網容積變形，而本研究監測的持續性強流以向南流的情形居多。

討 論

經本研究調查得知，本養殖場海域流速超過 10 cm/sec 以上佔 31.5%，其中大潮期間為 39.5%，小潮期間為 24.0%，流速超過 20 cm/sec 以上佔 7.0%，其中大潮期間為 10.9%，小潮期間為 3.3%。大、小潮期間之流速超過 10 cm/sec 以上之流向以向南流為主。潮流的型式多半會受到當地之地形與其他因素所左右 (Beveridge, 1996)，由本研究得知當地養殖場凌晨時段以北流為主，早上時段流況較混亂但以南流為主，下午及晚上時段明顯均以南流為主。根據陳 (2000) 對當地附近海域海流研究，當地於漲潮時段 (凌晨) 潮流沿著峽谷外圍較深之等深線向北流，而退潮時潮流則接近海岸附近，沿著岸緣向南流，此結果與本研究相符。

箱網一般設置建議在流速 0.08 ~ 0.22 m/sec 之水域效果較佳 (杜, 1995)，本研究發現向南或北流之流速超過 10 cm/sec 以上，將會使穩定狀態的箱網底網端點逐漸抬升，流速愈快抬升愈高。Lader and Enerhaug (2005) 的圓形箱網模形實驗照片當

中，受流端底部之浮起程度較高，圓形箱網底部呈現傾斜面。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。與本研究當中向南流時，箱網底部北端點浮起高，呈現傾斜面的實測情形相符合。大部分實驗室水槽模型實驗認為影響箱網容積最大的因素為流速 (唐, 2001; 劉, 2001; 林, 2002)，Tomi *et al.* (1979) 的研究指出，作用於網袋上之力會隨流速而增加，並導致容積減小。由於水槽實驗可直接控制流速，流速直接影響到網具成形，此與本實驗結果相符合。但實際養殖海域的海況較為複雜，常受波浪、海流、潮汐及地形因素綜合影響整個海域之流況，無法以單一變因來說明實際情形。本研究並無觀測波浪對於箱網變形的影響，未來研究應考慮增加測量波浪影響箱網之分析，以提供準確判斷之依據。

實驗期間容積減少率最高發生於7月25、27、28日，參照 Fig. 4，此可能與編號10號颱風 (麥德姆，7月21～24日) 橫掃臺灣有關，颱風警報解除之後的4天內有3天的容積變形在下午2～4時達50～70%，此時為大潮期間，平均向南流超過20 cm/sec以上，持續時間長達3～4 h，而且颱風過後，AVU 多半超過10 cm/sec以上，在向上流及向南流均強勁之下，此時箱網袋網之變形情形嚴重，明顯抬升箱網底部北端點至水深2 m處。

本研究平均向南流速10 cm/sec以上時， S_{net} 平均在0.80，當平均向南流速為20 cm/sec以上， S_{net} 平均在0.71；平均向南流速為30 cm/sec以上， S_{net} 平均在0.59。即實際養殖場在發生流速20 cm/sec以上的情形較少，發生時 S_{net} 平均在0.71。此於當地之地形、潮汐、波浪及同一向流之持續時間可能有關係。然而在本研究觀測期間流速超過30 cm/sec以上者，頻度不到0.5%，即觀測的564小時當中，流速超過30 cm/sec以上的時間不到2.7 h，且不連續。本研究實測箱網容積的穩定狀態在90%，若平均向南流超過20 cm/sec以上，持續時間長達3～4 h，而且AVU超過10 cm/sec時，箱網容積將僅剩50～70%，而流速增加10 cm/sec時之箱網底部抬升約1.3～1.5 m左右。

由於本研究並無觀測波浪對於箱網變形的影響，且觀測期間偶有流速高但底網抬升不大之情形發生，檢討本研究僅利用箱網底部四端點進行，

量測變形位置過少。因此未來研究應需增加至少於箱網之上中下三層各增加量測點，並增加長期的觀測資料以及波浪影響程度，以供能夠較準確地判讀影響箱網袋網變形的因子。依本研究結果，實際養殖場流況複雜，並非單以流速就能說明網形變化，此驗證需要更多的實際養殖場中監測加以佐證，並依實際箱網養殖場的情形，尋找出減少網具變形與保有最大的養殖空間的方案，符合產業需求，提高生產的效能。

參考文獻

- 朱鴻鈞, 陳政忻, 余祁暉, 孫智麗 (2012) 挪威鮭魚產業發展策略. 農業生技產業季刊, 31: 1-8.
- 杜守恩 (1995) 水產養殖工程技術. 水產出版社, 170-200 pp.
- 林宏誠 (2002) 圓形箱網在水中之力學性質. 國立臺灣海洋大學漁業研究所碩士論文, 88 pp.
- 俞克儉 (2000) 海域箱網設計之研究. 國立臺灣海洋大學漁業研究所博士論文.
- 唐宏結 (2001) 箱網容積變形改善研究. 國立中山大學海洋環境及工程學系研究所碩士論文, 130pp.
- 翁達洋 (1999) 複數箱網在流水下之力學性質. 國立臺灣海洋大學漁業研究所碩士論文, 48 pp.
- 高志銘 (1998) 柔性箱網結構設計與分析研究. 國立中山大學海洋環境系碩士論文, 78 pp.
- 陳筱華 (2000) 箱網養殖區水質及底質污染趨勢. 漁業推廣工作專刊, 18: 7-29.
- 劉文宏 (2001) 正方形箱網袋網結構數值模式之研究. 國立臺灣海洋大學漁業研究所碩士論文, 88 pp.
- 蔡麗君 (1999) 箱網網袋在流水中之力學特性研究. 國立臺灣海洋大學漁業研究所碩士論文, 142 pp.
- Beveridge, M. (1996) Cage Aquaculture. Fishing News Books Ltd., Surrey, UK.
- Fu, E. B., O. Sato, K. Nashimoto and K. Yamamoto (1989) Fluid force on simplified models of aquaculture net cage. Nippon Suisan Gakkaishi, 55(7): 1211-1216.
- Lader, P. F. and B. Enerhaug (2005) Experimental investigation of forces and geometry of a net cage in uniform flow. IEEE J. Oceanic Eng., 30 (1): 79-84.
- Lee, H. H. and P. W. Wang (1997) A Preliminary Study on the Free-Suspended Type Fish-Farming Cage Subjected to Waves. The 19th Taiwan Society Ocean Engineering.
- Nagamatsu, K., H. Nishinokubi and K. Nakasai (1986) The mechanical characteristics of a netting store pot. Bull. Fac. Fish., Nagasaki University, 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. Lecture Proc., Japan Ins. Aquacul. Ind., 23: 123-126.
- 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.
- 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., 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.

Influence of Current Forces on Cage Deformation and Volume Changes

Ching-Min Yang^{1*}, Hsing-Han Huang¹, Chi-Chang Lai¹, Hung-Sheng Su²,
Jinn-Shing Weng¹ and Long-Jing Wu¹

¹Coastal and Offshore Resources Research Center, Fisheries Research Institute

²Maritime Affairs Division, Marine Bureau Kaohsiung City Government

ABSTRACT

The volume changes of sea cage nets affect the number of fish to be farmed and farmer's annual income. However, there is a lack of research involving the use of actual cages to investigate how current forces lift the cage nets and thus change their volumes. This study analyzed the influence of current forces on the lifting of a cage net by monitoring four points on the cage bottom, as well as the current velocities and current directions. The results showed that in the afternoon (12:00-18:00) and at night (18:00-24:00) during spring tide and neap tide, southward current flows clearly dominated. In addition, the percentage of occurrence of current velocities exceeded 10 cm/sec during the spring tide was 40%, which was greater than that of neap tide (24%). When the southward current velocity exceeds 10 cm/sec, it easily causes lifting of the cage bottom on the north end of the cage, and with every increase of 10 cm/sec in current velocity, the bottom of the cage is lifted by about 1.3-1.5 m. When the average southward current velocity increases from 10 cm/sec to 30 cm/sec, the net shape coefficient reduces from 0.80 to 0.59 on average, and the stability of the cage net volume is 90%. If the average southward current velocity exceeds 20 cm/sec and lasts for 3-4 hours, it easily causes serious deformation of up to 50-70% of the volume of cage net. These results can serve as a reference for the industry in the development and design of cage nets, as well as in the configuring of nets, to reduce the influence of current forces, which, in turn, would improve productivity by reducing the degree of net deformation to maintain the largest culture spaces possible.

Key words: cage, net deformation, volume changes, current forces

*Correspondence: Coastal and Offshore Resource Research Center, Fisheries Research Institute, No.6, Yugang N. 3rd Rd., Cianjhen District Kaohsiung 80672, Taiwan. Tel: (07) 8218103 ext. 222; E-mail: yym1001@gmail.com