

循環式養鰻系統水環境管理與污濁固形物通量之關係

A Relationship Between Water Environmental Managements and Contaminated Solid Fluxes in A Recycled Eel Pond System

國立台灣大學農業工程學系講師

侯文祥

Wen-Shang Hou

摘要

本文從固形物通量變動觀點探討水體環境管理，並提供一量測技術以決定循環式養鰻池中污濁固形物通量。實驗設計包含物質分佈測定法與通量測定法兩部分。前者主要乃從水質量平衡關係、流率、堆積物及SS濃度分佈調查等決定參考測點。並選定Toyo GS-25濾紙及設計捕集器，從而選擇角落、給餌場、中央口三位置進行固形物通量測定實驗，以瞭解日夜間、給餌前後固形物生成變化。且調查單位生產用水量、單位面積生產量及餌料效率等，作為水循環處理設施管理的參考。實驗結果顯示：因池中流速過大（8~25cm/sec），SS不會集中於中央口且水面下30cm及70cm兩層的SS濃度水平分佈變動僅分別為4.9%及4.1%。一次選別換水期間的餌料效率高達91%，單位生產用水量為0.685m³/kg及單位面積增重量達0.124kg/m²/日。

懸浮固形物和沈澱固形物存在量比約為1:1.2，由於池水流動影響，再懸起和沈澱交互作用頻繁，造成對捕集沈澱固形物速度的測定擾動達12.5~40.8倍。在白天及夜間中，池內ss變動量除給餌後達±13%外，其餘時間並無明顯因沈澱而減少懸浮量的現象。由於每日循環12次的過度水流動，使得沈槽和濾槽的沈澱效率僅為0~6.7%/hr。固形物的分解速度僅為0.23%/hr，此池中固形物成分絕大多數（99.92%）為殘餌及糞等污濁物質。

關鍵詞：循環水養鰻，污濁固形物，通量測定法，沈降物捕集器，沈澱，再懸浮，分解。

ABSTRACT

The relationship between the water environmental managements and contaminated solid fluxes is presented, and a measuring technique is also discussed for determining the contaminated solid fluxes in a recycled eel pond system. Experimental design included mass distribution and flux tests. The mass distribution test is applied based upon the relations among water mass balance, flow rate, sediments and suspended solid (ss) concentrations to locate the reference points for measurement. As a result, 3 measuring points of corner, center & feeding place in a eel pond are selected. A Toyo GS-25 glass filter is chosen for filtration and de-

signed sedimentation traps. The flux test then is used to investigate the difference between day/night & before/after of feeding at 3 reference points with inlet-outlet within 2-day testing interval. The efficiencies of water consumption, weight increasing, and feeding are also investigated.

The experimental results show that SS can not be concentrated by flow rate in eel pond because of the high velocity(8~25cm/sec) at the two levels under 30cm and 70cm from the water surface.

The efficiencies of feeding, water consumption, and weight increasing during water exchange are 91%, $0.69\text{m}^3\text{kg}^{-1}$ & $0.125\text{kg}^{-2}\text{day}^{-1}$.

Compartmental ratio of SS and sedimented solid is 1:1.2. Due to pond water movements, a frequent interaction between resuspension & sedimentation is occurred. As a result, the difference of total SS compartment is system before and after 3hrs of the feeding is $\pm 3\%$, the another, it's just $\pm 5\%$ and $\pm 3\%$ in daytime and nighttime. Due to a over-recycle rate (12 recycles/day), the maximum sedimentation efficiency of sedimentation and filtration ponds is low($6.7\%/hr$ per total SS). The decomposition rate of solids is only $0.23\%/hr$. The components of solids are almost (99.92%) feeding residues & feces.

Keywords : Recycled eel pond, Contaminated solid, Flux measurement, Sediment trap, Sedimentation, Resuspension, Decomposition.

一、前 言

因應本省每年面臨缺水危機的警訊，如何善用有限水資源已成爲重要的課題。根據水資會統計，每年來自降雨的地下水補助量約41億噸，但抽取量已高達62億噸以上（民77年）。其中，近半數由養殖業者抽取使用。年復一年的惡性循環，已造成地層下陷、國土流失、地下水與土地鹽化等事實。1991年一年間，全日本最大沈陷量僅爲5.2cm，而本省枋寮一帶卻高達 37cm 陷落。在養殖漁業方面，1988年的草蝦病變，使得每年8萬多噸年產量驟降到數千噸，至今仍無法回復盛況，「草蝦王國」的美譽也難再復歸。再者，從淡水使用比率最高的養鰻業來看，近五年來，在全世界每年消費量近12萬噸中，日本即消費了10萬餘噸。其中，因自產僅約4萬噸，其餘自台灣輸入3萬餘噸，已佔台灣年產量70%以上。從這種發展情勢來看，對本省環境及水資源問題的衝擊也必將持續存在。

若再從單位生產用水量而言，每生產1kg成鰻，台灣約需耗用15~30噸，日本循環水養殖則僅耗水2.5~5.8噸。⁽¹¹⁾況且，從單位面積成鰻收穫量($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$)比較，台灣的流水式3.3kg比起日本循環式5.79kg亦僅達60%。然而，備受重視的循環水養殖方式，在日本卻僅佔全養殖面積9119公頃的10%弱。⁽⁹⁾究其原因，乃由於循環式養殖的管理體系仍未被解明，其相關水體環境研究的基本資料更是缺

乏。至今爲止，在循環過程中，水處理設備的投入與管理無不以水中含固形物與溶解物兩種物性的活濁物質全量（存在量）作爲處理設備操作管理的基礎。由於缺乏對任意季節、時間水體中污濁固形物濃度的通量及運動，如夏季日夜間及給飼前後等影響有客觀的量測資料，使得節約水循環處理設備的設計及效率化操作管理的應對措施也無法明確的掌握。

從環境保護及養殖用水有效利用觀點來看，養殖池中環境惡化的最主要原因之一乃由於殘餌、糞等固形態污濁物質的殘留、溶解導致水質、底質惡化的現象⁽⁵⁾⁽¹⁰⁾。如能在粒子尚未溶解前，藉著水流、構造所形成的水理特性予以收集並排出，如此，將能有效的考量可減低固形物負荷的沈澱過濾物處理法以及減低溶解物質負荷的生物化學處理法兩過程，使水處理設備投資更形經濟及提高效益。筆者於1989年的實驗結果已能證明以上關係⁽¹¹⁾。然而，如何得知各不同時段別，全池中污濁固形物生成速度及分佈狀態，將關係著是否能合理估算各重要時段全水體的通量。這對循環水系統的設計管理是非常重要的基本資料。

因此，如何規畫合理的實際計劃，瞭解水體中污濁固形物的通量及去向，將是循環水養殖系統研究的重要指標之一。本研究乃以日本溫室循環式養鰻池實例，提出一完整的野外實驗及通量測定法，期能逐次進立此方面基本資料，發展本省循環式養

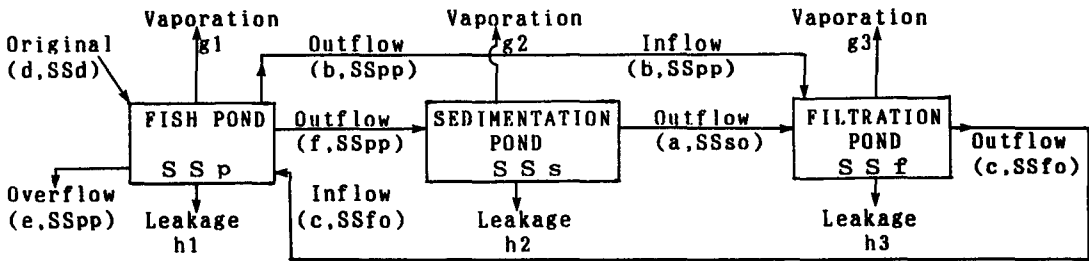


圖1：池與槽間流入及流出物質平衡關係

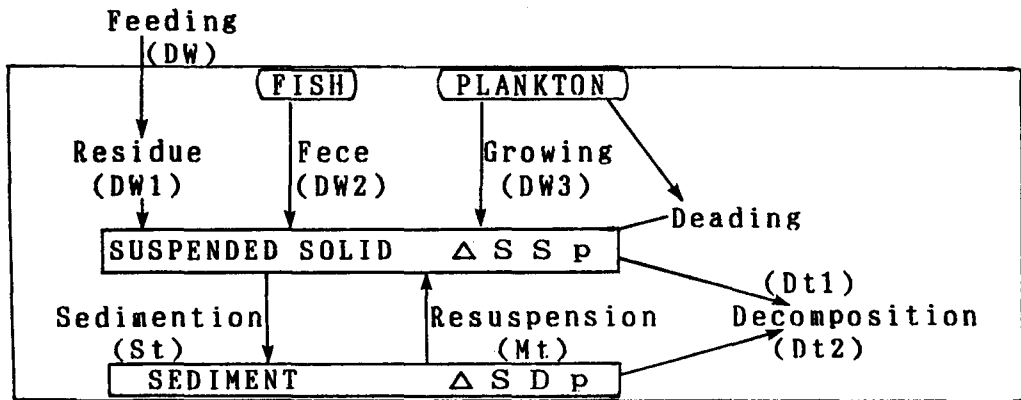


圖2：池內固形物運動平衡關係

二、理論模式

圖1及圖2分別為包含魚池、沈澱槽、過濾槽的循環水養殖系統中固形物的生成、堆積、分解和再懸浮等循環的物質平衡模式。在物質移動過程中，由於曝氣狀態、水收支及流動特性、環境管理狀態等均為影響因子，欲把握其間運動通量 (Flux) 的實驗，首先必須瞭解並調查以上問題。由圖1知，魚池內SS平均變動速度=池槽系統間的〔SS全流入量-SS全流出量〕/池內水容積變動。如式(1)所示。

$$\frac{\Delta SS_p}{\Delta t} = \frac{[-(SS_{pp} \times f + SS_{pp} \times b + SS_{pp} \times e) + SS_{fo} \times c + SS_d \times d]}{[V_p + (d - f - b - e - g_1 - h_1 + d + c) \times \Delta t]} \quad (1)$$

而從圖2中，也可知魚池內SS的平均變動速度=池內〔SS的生成速度-SS的減少速度〕=池內〔殘餌、糞、殘骸、藻類、再懸浮等SS生成速度〕-池內〔固形物分解、沈降、堆積等SS減少速度〕。如式

(2)~(4)所示

$$\Delta SS_p / \Delta t = \Delta SS_{p,i} / \Delta t - \Delta SS_{p,o} / \Delta t \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$= [DW_1 + DW_2 + DW_3 + M_t] - [S_t + Dt_1] \quad (3)$$

$$\Delta SD_p / \Delta t = [S_t - M_t + Dt_2] \times V_p / A_p \quad \dots \dots \dots (4)$$

其中， $Dt_1 = (P_d) \times SS_p / 100$ ，

$$Dt_2 = (P_d) \times SD_p \times A_p / V_p / 100$$

$$M_t = (P_m) \times SD_p \times A_p / V_p / 100$$

$$S_t = (P_s) \times SS_p / 100$$

$$DW_1 = (P_r) \times WF / 100$$

$$DW_2 = (P_n) \times WD / 100$$

$$DW_3 = (P_g) \times WP / 100$$

SS_{pp} ， SS_{so} ， SS_{fo} ：池、沈槽、濾槽的流入、流出口固形物濃度 (mg/l)

SS_p ， SS_s ， SS_f ：池內、沈槽內、濾槽內懸濁固形物的平均濃度 (mg/l)

SS_d ：原水中固形物濃度 (mg/l)

V_p ， V_s ， V_f ：池、沈槽、濾槽的水容積 (m³)

A_p, A_s, A_f : 池、沈槽、濾槽的水面積(m^2)
 a, b, c, d, e, f : 各流入、流出口的流量(m^3/hr)

$g_1 \sim g_3$: 各池、槽的水面蒸發速度 (m^3/hr)
 $h_1 \sim h_3$: 各池、槽的壁、底的滲漏速度 (m^3/hr)

$\Delta SS_p, \Delta SS_{p,u}, \Delta SS_{p,n}$: Δt 時間內池中固形物平均濃度的變動量、生成量、減少量(mg/l)

$\Delta SS_s, \Delta SS_{s,u}, \Delta SS_{s,n}$: Δt 時間內沈槽中固形物平均濃度的變動、生成、減少量(mg/l)

$\Delta SS_f, \Delta SS_{f,u}, \Delta SS_{f,n}$: Δt 時間內濾槽中固形物平均濃度的變動、生成、減少量(mg/l)

$\Delta SD_p, \Delta SD_s, \Delta SD_f$: Δt 時間內池、沈槽、濾槽底堆積物的變動(mg/m^2)

SD_p, SD_s, SD_f : t 時間，池、沈槽、濾槽底堆積物的平均量(mg/m^2)

DW_1, DW_2, DW_3, M_i : 各池槽中固形物的生成及堆積物的再懸浮速度($mg/l/hr$)

S_i, Dt_1, Dt_2 : 各池槽中固形物的沈降堆積及分解速度($mg/l/hr$)

P_s, P_m, P_d : 各池槽中固形物的沈降率、再懸浮率、分解率($\%/hr$)

P_f, P_n, P_c : 池中魚排糞、殘餌生成、及藻體增殖等增加速度($\%/hr$)

WF, WD, WP : t 時間時池中魚的飼養量、給餌量及藻體濃度(mg/l)

對魚池而言，系統間的流入出物質變動量等於系統內的全變動量，即式(1)=式(2)。如此，可推計各季節、時間的固形物變動速度。沈澱槽及過濾槽內亦可各自推導出平衡方程式。當採樣期距短時（即 Δt 小，小時作單位），將能給予以下假設：

(1)池槽的滲漏量無（池槽材料為混凝土）(2)因溫室內空氣中相對濕度達飽和，池槽水面的蒸發量變動可忽略(3)池槽間水流動達穩定狀態，即 $\Delta V/\Delta t=$

0

(4)池的循環流出口和溢流口SS濃度視為相等(5)原水中SS濃度不隨時間變化(6) Δt 期間，SS濃度變化和時間關係呈線性(7)殘骸生成可忽略等。

三、文獻探討

在露天式養鰻池的污濁物質負荷量方面，山形⁽⁶⁾氏指出使用配合餌料，從鰻的胃內容物來看，散餌達26~56%。若從殘餌收集、乾燥方法來看，分別有6.5%及15~23%散失率。另外，魚體排出糞量佔餌料消費量10.8%也被指出⁽³⁾。而給餌後一日中約有 $2.4mg \cdot g^{-1} eel \cdot day^{-1}$ 的SS生成。固形物分解速度方面，殘餌有 $6.2\% A \cdot N \cdot day^{-1}$ 無機化，糞則14~15% $A \cdot N \cdot day^{-1}$ 無機化⁽⁷⁾。

在固形物沈降捕集器設計方面，松川⁽⁹⁾氏指出漏斗型有捕集後再揚出傾向。至於倒立式圓錐型因捕集面積較容積斷面小，將捕得較實際沈降更多的量⁽⁸⁾。圓筒形的高度和收集口直徑的比3以上可得較安定的捕集量也在淺海水域實驗中被指出⁽²⁾。另外，捕集器口加裝如蜂巢狀抵抗體可防止再度流出。Gardner⁽⁴⁾氏則指出流速過大時($>9m \cdot sec^{-1}$)，由於亂流擴散係數提高，將使捕集率增加，即發生過度捕集現象。

理論上，每日供應體重的2%餌料於池中，以攝餌率80%、飼料效率60~80%估算時，每日殘留於池中物質的生成速度將達給餌量的36%~52%。因此，如能對任意 Δt 時間內沈降、再懸浮、分解和懸浮態物質變動等作計測，將能對殘餌、排糞及藻體等增加速度及日夜間變動有所瞭解。尤其在給餌前後和夏季日間固形物變動速度將關係著水環境管理的調節。

四、材料與方法

4-1 實驗材料：

表1、濾紙重的定量試驗結果

Filter type	Testing no.	W1,mg mean	$\Delta W1,mg$ mean	$\Delta W1/W1$ mean,%	$\Delta W2,mg$ mean	$\Delta W2/W2$ mean,%
GS-25	20	121.58	0.36	0.29	0.20	0.17
HA	35	95.48	1.64	1.71	0.62	0.66

(Electric balance, SIMANE maker, sensitivity : 99.95 div./100mg)

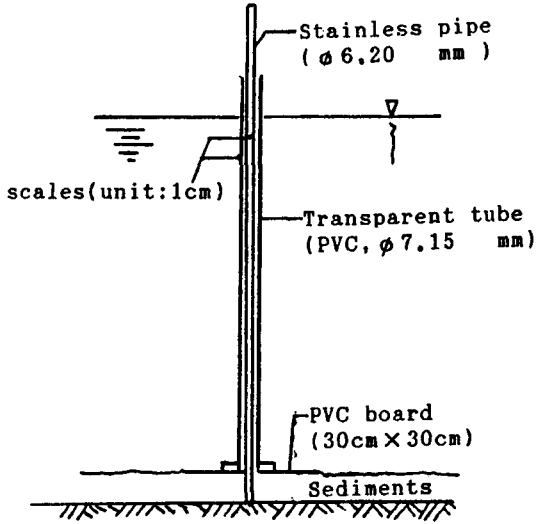


圖3：堆積物厚度測定器構造

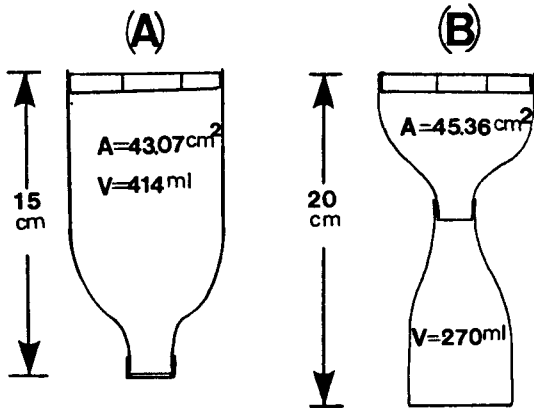


圖4：沈降固形物捕集器構造

一。由於GS-25在重量減少變化小每枚間的變化差異度小兩方面均表現優異特性，而且在野外實驗中，較HA可節省過濾所費時間，故選用GS-25濾紙。於是，計算每枚濾紙上濾得固形物重時，實際固形物重量 = 濾紙濾得增重 / 天秤感度 + 濾紙本身減少重量 (ΔW_2)

2. 流速計：東邦電探CM-2S型流速計。測定中下層流速分布用。
3. 堆積物厚度測定計：自製，如圖3，測定底質堆積物厚分布用。
4. 採水器：自製，可採得任意深度水樣。一回最大採水量5升。
5. 橡皮筏：一式，為保持水體環境原貌且不影響飼養生物生長，在池中任何實驗工作均在橡皮筏上操作。
6. 沈降物捕集裝置：實驗比較如圖4兩種形狀的捕集效率。在兩個緩流水池中，分別置於池底捕集19及46.5小時，測得捕集速度A/B分別為3.6及1.6倍（6個資料平均）。由於本研究選擇捕集率高的器

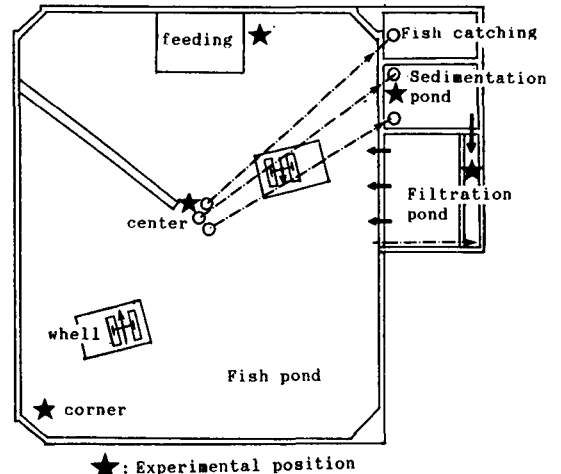
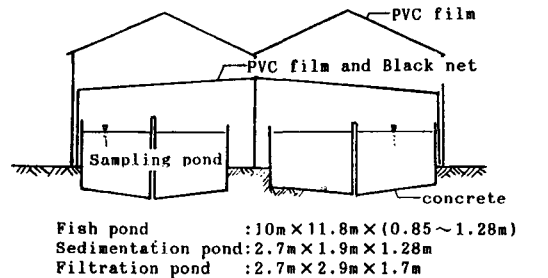


圖5：溫室構造及調查池圖

1. 濾紙選定：因本研究以固形物量的變動作為環境管理的指標，因此必須考慮二回乾燥前後濾紙本身重量的安定變化。比較廣被使用的Millipore HA和Toyo GS-25（同為 $0.45\mu m$ ， $\phi 47mm$ ）兩種濾紙，依濾紙使用程序，比較 W_1 （未做任何處理前自重）、 W_2 （一回250cc純水過濾及 $105^\circ C$ 、1小時乾燥後重量）、 W_3 （再一回250cc純水過濾及 $105^\circ C$ 、2小時乾燥後重量）之間重量變化 $\Delta W_1 = W_1 - W_2$ 、 $\Delta W_2 = W_2 - W_3$ 及每枚濾紙間變化的相近程度 $\Delta W_1 / W_1$ 、 $\Delta W_2 / W_2$ ，結果如表

表2：調查池水環境管理狀態

Sampling Day	Weather	Temperature(°C)		pH	Viscosity mg/cm/sec	Specific gravity sigma	Transpar- ency cm	Dissolved Oxygen (indoor)
		Indoor						Air, Fish-p, Sedi-p, Filtr-p
		Air	Water					(DO=100% in outdoor)
5.15	rain	27.2	28.3(PM13)	7.9				98%, 79%, 73%, 68%
5.16	clear	28.7	28.2(PM12)		8.407	-0.2	45~55	(5/15, AM 9:00)

具，故選用A種類，製作64個，量測每個的水容積。每3個固定於一支鐵製平台，視為一個位置資料，收集距池底10cm的沈降物。

7.過濾用器具：加壓式過濾器4個 (Sartorius SM 165, 250^ml)，自行車用打氣器2支。濾紙300枚，純水過濾、乾燥 (105°C 1小時)、秤重後備用。

8.其他：500^ml、250^ml、100^ml等PVC試樣瓶及水箱、量筒、馬錶等。

4-2 實驗方法：

如何以少數幾個位置的計測資料來客觀的反應水體環境實態，達節省實驗設備、人力和時間的研究首先被進行。包括流動狀態、堆積物厚和SS濃度分佈的物質分佈測定實驗，從而決定代表測點，進行通量測定實驗。

1.調查用池選定：選擇日本千葉縣館山一個溫室內循環水養鰻池為例，配合選別、換水日期作現場計測。池構造、材料及水循環管理狀態見圖5及表2。

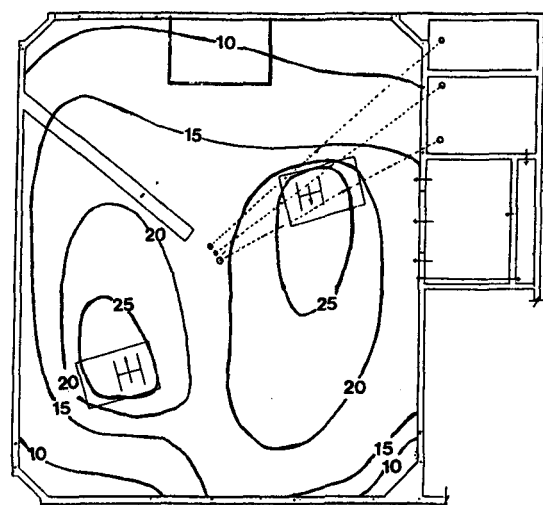


圖6：等流速線圖(水面下90cm，單位： $m \cdot sec^{-1}$)

2.物質分佈測定：考慮所要精度，池中依水深方向分三層、流動方向分四層分割池水容積，測定每一區塊內流速、堆積物、SS濃度等。於81年2月10日測定。

(1)流速分佈：測定水面下30，60，90^{cm}處共25點流速、流向。視測定期間全池流動狀態穩定。繪得上下層等流速線圖。如圖6例。在8~25^{cm}/sec流速區間。

(2)堆積物分佈：測定池內25位置、沈槽內3位置的厚度。繪製等堆積物厚度線圖。池中低於2^{cm}，沈槽中達9.8^{cm}。

(3)SS分佈：池、沈槽、濾前槽內水面下30及70^{cm}處，共18個位置分別採水樣1升，經過濾、乾燥、秤重後，繪得各層SS等濃度線，如圖7例。分別在14.40~15.45及13.10~15.35 $mg \cdot l^{-1}$ 範圍範圍內。

3.通量測定實驗：由上述物質分佈結果，可依流速大小區別為緩水流區(角落、給餌場)和速水流

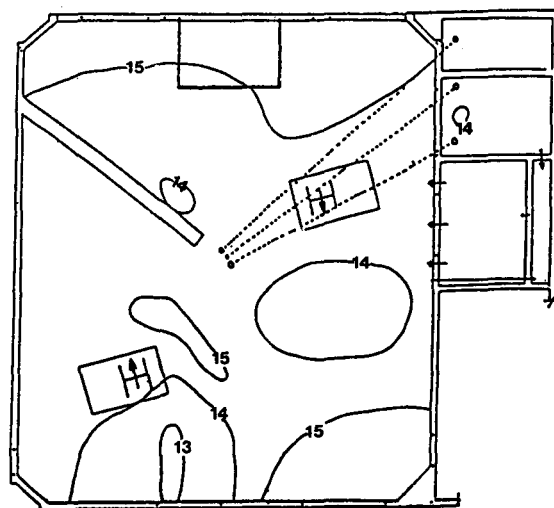


圖7：等SS濃度線圖(水面下70cm，單位： $mg \cdot l^{-1}$)

表3：養鰻效率及增重

Cultural period	Sum of feeded	Increased eel weight	Change of eel size	Feeding efficiency (Increased/Feeded)	Growing rate	Cultural density
	Kg	Kg	pairs/Kg	%	Kg/m ² /day	Kg/m ³
4/10→ →5/18	582Kg mixed feed	529	7~9→3~7	90.9%	0.125	8.89~13.60

區（中央口、水車附近）。依測點連線均分面積分割法、等濃度線面積分割法、全測點單純平均法及代表點單純平均法等四種方法來比較全池SS存在總量的相似程度，在此四法間產生的最大差異僅在2.4%以內（第一法作基準）。因此，容許採用代表點單純平均法來推計固形物的沈降通量及全池固形物的生成通量。池中，以給餌場後方、角落、中央口等三位置作為通量測定的代表點。而沈槽內則量測近入水口、近流出口處，濾槽內則量測過濾前槽和濾槽出口位置（參見圖5）。於81年5月15~16日兩日間，進行固形物通量變動實驗。

(1)水流率測定：分別量測流入、流出口流量，計算得水質量平衡(池→沈槽：0.463m³·min⁻¹，池→濾槽：0.502m³·min⁻¹，濾槽→池：0.965m³·min⁻¹)及水循環流率(289.32升·hr⁻¹)、日換水率12回等資料。對於各換水期間，鰻的全增重及全給餌量資料亦收集、整理得單位生產用水量及餌料效率等結果，詳見表3。

(2)SS採水試驗：二日期間，晝間每隔3~4小時，採取各位置中下層水樣1升，過濾、乾燥後計算得各位置固形物存在量。

(3)固形物生成速度測定：包括晝間及夜間，進行

①沈降物堆積速度測定②固形物分解速度測定③堆積物再懸浮速度測定等三部分實驗。工作內容及時間分配詳見圖8。

①沈降堆積速度試驗：捕集器放至定位→7小時（日間）、20小時（夜間）沈降試驗→取上→2^m濾網過濾→GS-25濾紙過濾→乾燥→秤重。其堆積速度(mg·cm⁻²·hr⁻¹)=[收集總量(mg)-捕集器入池時SS初始量(mg)]/收集時間(hr)/收集面積(cm²)，即

$$St = \frac{\sum [Mn - SS_{p0} \times Vn]}{A / \Delta t / n} \quad (5)$$

其中，n=3，A=43.07，Vn=捕集器內水容積(升)，S_t和SS_{p0}意義同式(4)。另外，沈、濾槽內堆積速度計算同上。

②固形物分解速度試驗：多個捕集器收集多量固形物→充分攪拌→每回50~80°依順序裝入9個250°瓶→其中3瓶隨即過濾、乾燥、秤重(W_s)，另6瓶則分別裝入透明及黑色塑膠袋內各3瓶，放入池中經16~18小時分解試驗，取出後過濾、乾燥及秤重(W_L及W_B)。將W_s視為基準值，W_L及W_B分別為浮游生物增殖及衰減影響後剩餘固形物量。由Dt(%·hr⁻¹)=(W_s-W_L)/W_s/Δt及Dt(%·hr⁻¹)=

- + : Sampling time (1): Sedimentation rate tests(daytime and nighttime)
- ◇ : Trapping time (2): Sediments resuspension rate tests(daytime)
- △ : Feeding time (3): Particles decomposition rate and Plankton growing rate tests
- (4): SS concentration variation rate tests

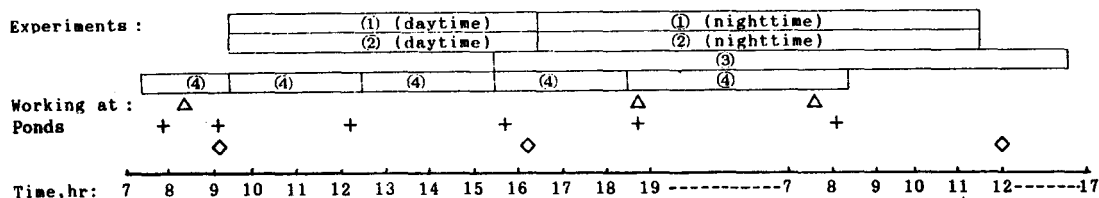


圖8：沈降試驗工作內容及時間分配

表4：SS濃度分佈及變動量 ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)

Sampling Day, Time	Original water	Sedimentation pond			Filtration pond		Fish pond		
		under10	under70	outlet	under70	outlet	mean	max	min
5.15AM750	0.60	8.40		8.40	9.70	7.40	8.96	10.80	8.20
5.15AM9		9.70	10.20	8.88	9.60	7.03	9.81	11.40	8.90
5.15PM12				8.10	8.60	7.20	8.23	8.50	8.00
5.15PM1530		9.70	8.20	9.70	8.80	8.21	8.43	8.68	8.10
5.15PM1830				8.35	8.80	7.80	8.40	9.30	7.80
5.16AM8				7.80	8.00	8.08	8.48	9.80	6.70

註：1. Feeding condition (2 times per day) : 5/14, feeding 15kg at daytime ·

5/15, feeding 2kg at morning, no feeding at afternoon · 5/16, no feeding at morning ·

表5：固形物的沉降堆積、分解及再懸浮速度

Sampling Day	Trapping position	Trapping time	Sedimentation rate	Decomposition rate	Plankton growing rate	Resuspension rate	
						covered	
		hr	$\text{mg} / \text{cm}^2 / \text{hr}$	% SS. / hr		upper 2cm	upper 5cm
						% sediment / hr	
						Feeding position	
5/15 Daytime	Fish pond						
	Corner	6.80	0.370	0.227	0.084	+9.31%	+12.57%
	Center	6.85	1.442				
	Feeding	6.90	0.347				
	Sedi. pond	6.78	1.414				
Filtr. pond	6.50	0.445					
5/15-16 Nighttime	Corner	19.88	0.085	0.227	0		
	Center	19.88	0.478				
	Feeding	19.88	0.123				
	Sedi. pond	19.87	0.793				
	Filtr. pond	20.38	0.225				

$(W_s - W_b) / W_s / \Delta t$ 關係，分別可推估知日間及夜間的分解速度。

③堆積物再懸浮試驗：(假設捕集器周邊沈降量和再懸浮量為均一分佈)。由兩支捕集器口上方 2cm 或 5cm 處裝置一圓形蓋板(直徑 24cm)，可完全遮蔽3個捕集器開口上方。放置於與沈降試驗捕集器同位置，試驗時間亦同沈降試驗捕集時間。分別比較無覆蓋、近覆蓋 (2cm)、遠覆蓋 (5cm) 時收集得固形物量 M_n 、 M_n' 、 M_n'' ，由 M_n'/M_n 及 M_n''/M_n 關係檢討再懸浮速度的影響。

五、結果與討論

1. 調查池水環境管理及養魚成績表見表2及表3。
2. 測定期間SS濃度變動及固形物通量結果見表4及

表5。

3. 全池流速在 $8 \sim 25\text{cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ 間，角落流速稍緩，中央口流動最快。至於SS濃度分佈的位置別及水平層差異(16位置、32點資料)，在水面下 30cm 及 70cm 兩層的層內差異分別僅為4.9%及4.1%。亦即具有均勻分佈特性，並無向中央口處集中的明顯現象。
4. 從固形物存在量來推計，計算得給餌後池內SS總量1171g、沈槽內64g、濾槽內51g，即養殖系統水體中全量1286g。而經3小時後，全系統中SS減少了201.8g，其中池內減少188.6g，沈槽內沈澱減少10.7g，濾槽內沈澱減少2.5g。若從池、沈槽和濾槽內此期間收集得沈澱物通量來看，分別要有254.5g、217.5g和104.5g的量。由此可知，由於水流動狀態影響，再懸浮現象很明顯，全水體內干擾程

度達13.2倍。其中，池、沈槽、濾槽中又分別高達12.5倍、19.3倍、40.8倍的干擾程度。相對的，如果流速很緩，使得懸浮固形物全部得以沈降堆積，理論上，經由捕集器的沈積速度資料與3小時後SS存在總量相比對，也可推斷知，捕集期間進入捕集器內沈降物量，池、沈槽、濾槽分別多出1.2、2.4及1.1倍。

5. 白天和夜間，池中SS濃度變動除給餌後達±13%，其餘時間均不明顯，白天約±5%，夜間僅±3%間變動，並無明顯因沈澱而減少懸浮量現象。
6. 沈槽和濾槽發揮的最大沈澱效率約每小時沈澱全系統中固形物總量的6.7%，其中沈槽承受2%，濾槽承受4.7%。然而，由於再懸浮影響也使得總沈澱效率曾低至-0.4%其中沈槽內再懸浮速度甚且達3.2%。
7. 固形物分解速度很小，在夜間無浮游生物增殖影響狀況下僅達固形物量的 $0.23\% \cdot \text{hr}^{-1}$ 。此池中，白天浮游生物增殖影響僅為0.08%，亦即固形物成分絕大多數為殘餌及糞等污濁物。此資料可作為固形物的物性研究之參考資料用。另外，從顯微鏡觀察，也沒發現存在浮游生物藻體。
8. 從餌料效率90.9%及調查期間鰻放養量1462kg資料估算殘餌及排糞可能量，大略得知懸浮固形物與沈澱固形物量之比約1:1.2。兩者間交互進行沈降和再懸浮作用頻繁，造成捕集器內多量捕集結果。

六、結 論

1. 池中流速若再減緩，應對固形物沈降和集中更具效果。
2. 由沈、濾槽的流入與流出口SS變動知，循環流速過大造成固形物沈積去除效率無法提高。
3. 雖然池中各位置的沈降堆積速度均因再懸浮比例高而有過量捕集現象，但日夜間中央口位置都比給餌場及角落位置高出2~3倍的沈降速度。
4. 此循環池實測單位生產用水量經計算僅為 $0.685\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ ，此與本省的調查資料所載國內須 $15\text{--}30\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 相較，從用水效率而言高達20倍以上。
5. 本研究內容中，在捕集器設計上應可繼續探討，以更詳盡的反應養殖現場的水理環境。另外，固形物的物性（種類、比重、粒徑、濃度）資料也

是設計池水再循環使用的環境管理研究所必需，本研究結果可作為其研究過程有用的資料。

6. 本研究雖以日本廣被使用的溫室養殖方式為實驗計測例，但即使在本省，如蝦、鰻等高價漁業的種苗繁殖、幼苗保育階段，也均在具有部份環境調節機能的溫室內進行養殖。因此，本文可作為溫室養殖中環境管理的參考。

七、謝 誌

本實驗得以順利完成，感激日本東京大學農學系研究科水產海洋學講座二村義八朗教授的經費支持與提供寶貴意見，實驗過程又得養殖業者白井先生提供現場必要的協助，謹此致謝。

八、參考文獻

1. 侯文祥，1988，無閘式自動反沖洗重力過濾設備應用於鰻魚池循環水再利用系統之研究，農工學報34(4)：77-91。
2. Staresinic, N. 1978. Measurement of the Vertical flux of particulate Organic matter with a free-drifting Sediment trap. *Limnol. Oceanogr.* 23(3)：559-563。
3. Sukhoom, R. 1985. Basic Study on the environment of eel cultrue. A dissertation for the degree of Doctor in Tokyo University, Japan：119-155。
4. Wilford D. Gardner. 1980. Sediment trap dynamics and calibration：a laboratory evaluation. *Journal of Marine Research.* 38(1)：17-39。
5. 山形陽一，1988，ウナギの高密度飼育のための循環濾過システムに関する研究，三重縣水產技術センター 研究報告第3號：1~79。
6. 佐野和生，1958，養鰻池の生産環境に関する研究，東京大學博士論文：53-74。
7. 門協秀策ら，1980，淺海養殖場における沈降性物質と給餌量ならびに餌質との關係。鹿大水產學部記要，Vol. 29：217-224。
8. 長田芳和，1970，湖における沈でん物量の測定について，陸水學會誌21：27-35。
9. 堆積物研究會，1978，內灣沿岸域における沈降・堆積過程，日本水產資源保護協會：61-125。
10. 飯倉敏行，1975，ハマチにおける糞・殘餌の沈降速度について，水產増殖22(1)：34-39。
11. 養鰻研究協議會，1991，日本第21回養鰻研究協議會要錄：3~9。

收稿日期：民國82年12月30日

修正日期：民國83年1月18日

接受日期：民國83年3月4日