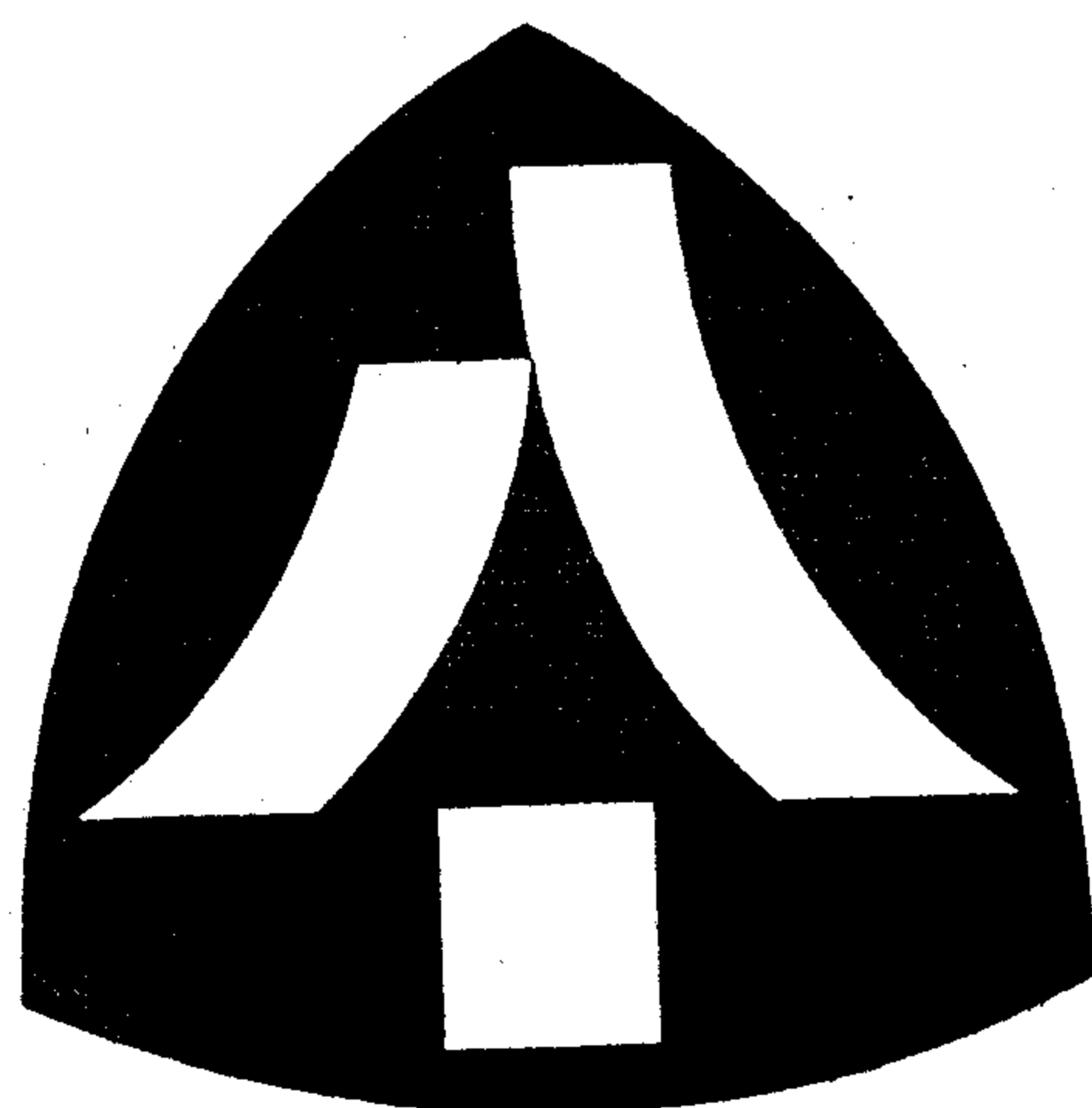


臺灣省農林廳林務局保育研究系列--86-07 號

簡易式魚道規劃設計之研究
Study on the Temporary Fishway

曾 晴 賢，陳 玉 芬

Chyng-Shyan Tzeng, Yu-Feng Chen



主辦單位：台灣省農林廳林務局

執行單位：國立清華大學生命科學系

中華民國八十七年二月

目次

摘要 1

壹、前言 3

貳、研究項目 5

參、研究方法與過程 6

肆、結果與討論 7

伍、建議 19

陸、謝誌 21

柒、參考文獻 22

摘要

台灣的地形屬於山高水急，河川水位變化很大，加上地處太平洋颱風經過的路線之一，強大的颱風所帶來的豪雨經常引發山洪暴發，造成人民生命財產之問題，因此政府在許多地方廣建攔砂壩等設施。然而豪雨山洪所挾帶大量土石流木的巨大衝擊力，往往造成小型水體工程的損壞，甚至衝垮整個工程設施。因而台灣各地的攔砂壩壽命均不長，同樣地其所附設的魚道設施不是損壞便是呈現土石淤積的情形。由於修復這些受損的魚道工程費用均非常龐大，所以任由其廢置的情形到處可見，使得這些所費不貲的魚道工程無法發揮功能，構造形同虛設，造成本省河川生態嚴重的傷害。為了解決以上這些問題，發展適合本省河川水文特性的簡易式魚道構想因而產生。

由於簡易式魚道具有製作成本較便宜，而且有很高的機動性等特性，可以在需要的時候，根據當地的地形、氣候、水文狀況及河川生物組成等條件，以最快最省力的方式，選擇適當材質的形式及合適時機來架設，除了可減低因人為工程的施工導致生態環境的破壞，更可能減輕因天候及水文狀況惡劣而破壞固定性魚道主體的重大損失。

本研究除了參考國際間相關的實際案例之外，同時配合本省的河川與工程條件，研究最經濟而具有最高效益的魚道形式，進行簡易式魚道的規劃設計。同時為了證明實際成品之效用與檢討可能的問題，也將此項設計實地的於野外進行組裝試驗。

經過參考相關文獻與實地赴國外見習之後，選擇在水

理狀況上具有適合不同游泳能力魚類使用之優點的Denil式魚道，做為最主要的規劃形式。初步上以三合板製作試驗模型，在實驗室內做組裝和架設實驗，之後並在新竹縣北埔鄉內坪溪冷泉上方之高落差攔砂壩，實地架設一座三層轉折附有休息池裝置的Denil式魚道進行相關試驗。實驗結果所得之魚道內的流速平均約在0.3m/sec左右，流速最大為0.6 ~ 0.7 m/sec，每一單元在水頭平均流速為0.2m/sec，水深24公分時，魚道內流量約為每秒0.03立方公尺。由於實驗期間本地河川水流量極低，因此魚道內流量並沒有達到設計流量每秒0.1立方公尺的標準。根據這些相關魚道內水理條件而言，目前的設計應當可以符合本省大部分的魚類需求。再者，本次的野外實驗期間雖然並不是魚類洄游季節，但是以實驗地周邊所能捕捉到的不同大小體型的魚類作為溯河實驗的觀察用魚，也發現所有的魚類都可以輕易的溯上魚道。

本研究的結果不僅得到此型魚道的基本水理數據可供參考之外，更在魚道構造物的形式、位置安排、組裝過程和架設技術上，得到非常珍貴的經驗，同時也提供一種新型且有效的魚道形式供相關設計人員的參考。研究中並且進一步對可能利用來做此類魚道設計的材料進行優缺點的比較，將使得魚道設計者及主管單位能有更多的選擇。

壹、前言

台灣本島主要分水嶺為中央山脈，縱貫全境呈南北走向，因此全境河川多為東西向分別流入太平洋及台灣海峽，復以山勢陡峭，因此造成本省河川均短促的特性。由於地理位置及季風的影響，形成明顯的枯水期及豐水期之分，旱季水量甚缺，但是每逢豪雨便成滂害，尤以颱風季節每每洪水為患，造成台灣河道變遷的速率非常快。雖然在自然的條件下，河川中的生物自有其適應自然河道變遷的能力，但是如有人類行為的介入，在自然的河川中建造攔砂壩、水庫、攔水堰堤等等人工設施的時候，往往會造成相當程度河川流量、流速、水溫及棲地型態等水文條件的變化，更阻隔了許多水生生物找尋適當水域產卵或覓食的生理需求。

雖然這幾年來林務局等相關單位，在全省各地陸續規劃建造的堰堤或攔砂壩都具有魚梯的設計，其目的是希望逐漸改善阻隔魚類洄游的問題。但是因為各項基本生態資料之不足，使得魚道設計缺乏變化而且未能符合本省各種不同河川的水文特性，因而未能完全發揮其應有的功能。截至目前為止，除了極少數的案例之外，所有現存的魚道全都是採用固定性傳統的混凝土構造物，因此該設施毫無機動性可言。對於台灣這種山高水急的自然環境而言，此類工程風險非常大，因而各地均可見功能早已喪失的魚道（曾，1997）。根據林務局的調查，

台灣現有的攔砂壩大約有三千餘座，而其中附設有魚道的僅有八十餘座，比例上少於5%（顧，1995），且大部份早已處於無功能狀態（陳等，1997）。這些問題在近年所做的幾個本省魚道現況調查及功能評估等相關報告中都不斷的被提及（李等，1996、曾，1997、陳等，1997）。

由於台灣位於歐亞大陸板塊與太平洋菲律賓板塊的交接處，在兩大板塊互相推擠之下，使得台灣本島地層活動頻繁，山區地質環境不穩定，河川上游大型崩壁處處可見。由於經常受到東北季風、太平洋西南氣流及颱風的影響，各地氣候乾濕季節分明，降雨時間和強度變化相當劇烈，使得本省溪流河床型態變化激烈。每每一場豪雨就造成山洪爆發，滾滾洪流挾帶大量崩落的土石和流木沖刷而下，往往使得造價昂貴的傳統固定式魚道設施不是瞬間遭到嚴重的損害，就是慘遭土石淤滿，因此魚道效益大幅降低（曾，1997）。遭洪水沖毀或淤滿的魚道設施不僅修復工程繁複而且所費不貲，因而大多呈現廢棄的狀態，不僅無法發揮應有的維護河川生態運作之功能，亦不符合經濟效益。

基於以往對本省魚道現況調查及功能評估所得的結果，吾等認為有必要尋求一種能適應台灣河川地質及水文狀況變化劇烈等惡劣條件，且又能發揮應有的維護河川生態運作的魚道設計，以符合經濟效益。因此乃參考歐、美、日等國既有的簡易式魚道的案例進行研究（中

村，1995）。

所謂簡易式魚道（或者稱為暫時性魚道）設計的概念，就是在未設魚道的堰堤、河道變遷嚴重或水量變化大的地方，設計組裝容易、拆卸方便的魚道元件，在魚類溯河時期按照地形和水文條件，快速的搭設暫時性的魚道。這種魚道可在洪水來臨之前快速的拆卸下來，等大水過後又可再搭設，以避免不必要的損失。這個概念大約十年前在日本就已經被提出了（中村，1987），當時曾提出可利用強化塑膠或是氣球式的魚道等形式的構想（曾等，1987）。隨後這種簡易式魚道的構想有如雨後春筍般的發展開來，因此也被喻為「魚道維新」的時代。目前在日本已經有許多使用成功的例子，其中應用最多的形式為Denil式魚道（中村，1995），最近則又有所謂的魚道混凝土塊的構想被提出來。由於這些新的簡易式魚道的構想頗適合本省特殊的河川特性，因而在台灣省林務局積極謀求改進現有魚道的設計技術之下，本研究室方纔開始進行本研究，尋求引進新觀念與技術，設計適合台灣河川特性與水生生物生態特性的簡易式魚道，並針對本省現有的建材規格進行規劃設計魚道的各部元件，以進行模擬組裝與實地架設等一系列試驗。

貳、研究項目

（一） 設計適合於本省溪流水文與生態條件的簡易式

魚道組件。

(二) 利用現有溪流之攔砂壩進行簡易式魚道的架設實驗與效果評估。

(三) 進行簡易式魚道之成本分析及建議改善方法。

參、研究方法與過程

本研究的主要目的乃在於引進新的簡易式魚道設計觀念與技術，並且進行簡易式魚道實際模型與實品的設計及製作，並在現有未裝設魚梯的攔砂壩上做實地模型組裝實驗，以期能實際探討魚道結構與水理特性，並研究最佳組裝程序與評估這項簡易式魚道觀念在日後推展上的可行性。所以整個實驗設計可分為兩大項；一為魚道模型製作及組裝，另一為魚道模型搭設的安排及野外實地搭設試驗。

一、魚道模型製作及組裝：

經由文獻的收集與實地的赴日本各地參觀見習，同時與日本魚道設計的專家直接討論之後，比較目前現有魚道形式的優缺點，並考量本省溪流棲地因子與水生生物生態因子，選擇並設計一套最適合的簡易式魚道型式，先於實驗室內進行魚道模型的製作及組裝試驗。

二、利用現有溪流之攔砂壩進行簡易式魚道的架設實驗與效果評估：

簡易式魚道模型在實驗室做組裝改進之後，製作實際尺寸的魚道原型，選擇新竹縣北埔鄉北埔冷泉上游一處高落差的現有攔砂壩，進行魚道的架設試驗，並以流速計（YOKOGAWA MODEL 3631與DENTAN, CM-1BN current meter）測量魚道內的水流速度，以計算流量變化情形等一系列的試驗，並進行效果評估。

三、依據實際野外試驗所得的結果進行優缺點評估，並設法改善缺失，進一步進行各項不同材質的成本分析。

肆、結果與討論

一、魚道形式的選定、設計、製作與組裝

（一）魚道形式的選定：

比較目前現有魚道形式的優缺點，我們發現Denil式(圖1)的魚道（Rajaratnam et al., 1984），其水道內特殊垂直向水流分布(圖2)，可以分別適合各種游泳能力的魚類使用，這對體型大都較小的台灣河川魚類而言，應該是最適合的。但目前只知這種魚道相當適合游泳性的魚類，對於亞熱帶台灣所特有的蝦虎科底棲洄游性魚類

而言，仍有待進一步的研究。由於不同魚道形式的選擇，本身就很難面面俱到，因此只能針對河川中的優勢魚種來做最佳的設計。本實驗主要針對林務局所管轄的主要森林溪流游泳性的魚類，所以選擇Denil形式當作實驗的模型。其幾何形狀為標準的Denil Type規格，如圖1所示。

（二）休息池裝置：

考量台灣河川大多陡峭彎曲的特殊地形，以及現有攔砂壩之高度均高於4~5公尺以上，為了避免搭建魚道時所需佔用的長度過長，增加搭建的困難度及經費的支出，因此提出休息池的構想，藉由此裝置的連接，降低所需使用的空間長度，同時可以加強考慮整個魚道的安全性。

Rajaratnam等人的論文（Rajaratnam et al., 1997）中，對於設有休息池裝置的Denil形式魚梯水流狀況，有詳細的分析描述，本研究乃根據它的最佳狀況加以設計改良休息池的幾何形狀（圖6d）。

（三）材料選定：

簡易式魚道的特點之一就是要因應本地現有的建材特性設計出適合的形式，且根據這些限制找出最具經濟效益的材料來施工。由於本次實驗為初步實驗，主要是要做出一組可以大量生產的模型。所以魚道本體模型，

在考慮經費限制及施工便利等因素下，選擇以三合板為基本材料製作模型。而Denil形式隔板的插槽為現有鋁門窗所用的壓條製作而成。

（四）魚道模型的製作與組裝：

考慮實驗經費的限制，並因應現有市面上之三合板規格及最佳利用率的原則，初步設計時每個魚道組件以0.9公尺為單位，休息池的規格則為 $1.8\text{m} \times 0.6\text{m} \times 0.75\text{m}$ ，每個魚道單元之連接，以連接板相接固定。

然而根據陸續的實地實驗之後，對於現有模型進行改良。發現以1.5公尺為一個魚道長度單元是最適當的組裝方式。經多次實驗後改修的魚道原型規格如圖4所示。其組裝的方式可依圖5所示的簡單步驟進行。

休息池之製作，其最後元件規格及組裝模式如圖6所示。

二、架設的安排及野外實地架設試驗：

（一）實驗地點的選定：

一般選定魚道的設置地點必須先考慮下列各項的重要因素：

- (1) 魚道的規模，依其建設經費而定；
- (2) 魚道的集魚效果、或集魚設備的必要性；
- (3) 會否阻礙洪水流下的考量；
- (4) 排砂等維護的頻度；
- (5) 景觀；
- (6) 關係者以外進入的頻度。

其中特別是以溯上魚為對象的魚道，為了要發揮魚道的功能，第(2)項的考量最為重要，也是魚道入口位置選定的首要條件。溯河上來的魚如果能集中於魚道的入口，魚道才能發揮其功能。設置入口處最適合的場所就是溯上魚集中的地方，但是在建堰堤之前要能正確預測出來是不容易的事。反之在對象魚的溯上途徑中，如果有已經設立的障礙建築物，經過潛水觀察等實地的調查之後，就可以很容易知道應當設置魚道的地點在哪裡了。一般堰堤等建築物在建造主體工程時，魚道的部份只要先建築與堰堤等建築物相關連的部份就可以了，其它包括魚道入口的部份，則可以等了解魚的聚集情況之後再予以設置。特別是防砂壩等建築物，一般在完工之後堰頂的流況變化極為顯著，因此上述的施工考量方法應當更有好處。所以簡易式魚道的架構方式，更可以符合這樣的彈性要求。

事前對集魚場所（做為魚道入口的最適當場所）很難預測時，還可採用以下二種方法：

- (1) 把堰堤等建築物全域做為魚道的入口；在日本稱

為「全面式魚道」。

(2) 魚的溯上時期僅魚道能提供水流。讓魚道所流出的水量如同河川流量一樣的大。

但是這些例子一般是較特別的，因為通常很少在事後才建魚道，做全面式魚道也不一定每一個地方都合適，祇在魚道內才有流水也很不常見。換言之還是必須先預測溯上魚聚集的地點才較理想，這個地點的預測必需聽取當地有經驗人的建議及從事實地調查方能得知。當然也可以由以下的一些經驗知識的累積，做出一些有用的結論。

溯河上游的魚在堰堤等下面，一般的行為有：

(1) 迴避過強水流等溯上的障礙，延著緩流的邊緣地區往上游移動；

(2) 平穩的朝緩流中流速較強的方向行動；

(3) 在周圍複雜亂流中選擇較平緩的寬流幅方向行動；

(4) 滯留在較強流水產生的循環流中游泳。

因此，如(1)遇到溯上障礙時，會沿著邊緣前進；(2)及(3)則在水流的源頭附近；(4)則在循環流域裡，以上這些都是集魚的場所。這些場所一般都在堰下方的靠側岸附近及發電廠等放流口的旁側。

基於試驗地點交通和所需水源的考量，我們選擇新

竹北埔冷泉內坪溪上游的第三座攔砂壩為實驗地點。該攔砂壩壩高3.4m，壩體總長60m，壩下的河床地形情況良好，底質石以大型卵石為主，有利於鷹架的搭設和研究人員的工作（如附錄之圖1）。而根據初步的調查發現，本溪段中有台灣鏟頰魚、台灣石鱸、粗首鱖等原生游泳性魚類可供試驗用。

（二）魚道坡度的選擇：

對於魚道坡度的選擇，根據前人的試驗發現適合魚類使用的坡度約在10~30%之間。一般而言，魚道坡度愈小則水流速愈緩，魚類上溯愈容易，但是相對使得魚道長度變長，將造成建造及日後維護所需的經費就跟著增加；反之坡度越大則所需經費較低，但魚類的上溯就愈困難。因此，選擇一適合的魚道坡度是相當重要的。而近年則有研究（Katopodis et al., 1997, Rajaratnam et al., 1997）顯示20%的坡度是目前最理想的魚道坡度，因此本實驗魚道架設時選擇20%的坡度。然而對於台灣以往所興建的攔砂壩而言，絕大多數攔砂壩的高度均在四、五公尺以上，有的甚至高達十餘公尺，如此將使所需的魚道長度達20公尺以上。考量台灣溪谷陡峭且彎曲的地形，要搭建如此長的直線形魚道是相當困難的，同時魚類在上溯的時候在體力上也有相當的困難，因而才有休息池的裝置的構想。藉由休息池的緩衝來連接不同層轉折的魚道，使得架設魚道所需的空間長度縮短，以降低地形限制的困擾。

（三）架設規劃：

根據實驗地點新竹北埔冷泉上游之攔砂壩高度為3.4m及所選擇的魚道坡度為20%來計算，須有總長約為17公尺的魚道方符合需求。考慮野外現場可供搭建的實際空間大小，我們將整個魚道利用休息池的連接區分為三段，也就是區分為三層，每層高度為1.1公尺，各層組合架設一個休息池及4.5公尺長的魚道，使其坡度符合設計的要求。搭設示意圖如圖3所示。

而對於支撐整個魚道主體結構的設計，則在考慮方便快速搭建、拆卸及基於要有好的抗壓能力、防鏽效果、搭設方便及材料可重複使用的原則下，選擇管徑3吋，長度6公尺的鋁管作為支架材料，所有鋁管的連接點以萬向接頭相接，以鷹架的架設方式來支撐整個魚道主體結構。在試驗之後，發現使用鋁管和萬象接頭搭設，不論在實地搭設及現地應變方面均有很不錯的效果。而且搭設實驗接近兩個月的時間之後檢視所有材料，發現除了在萬向接頭摩擦處有些許生鏽外，所有鋁管幾乎沒有損壞情形，顯見這些材料易於維護且能多次重複使用，因此未來鷹架之搭設可以選擇此類的材料。

（四）魚道內的流速與流量測定：

由於實驗期間本地區河流的水量較小，因此水道

之平均流量 $Q=0.03\text{m}^3/\text{sec}$ 。每階段4.5公尺長的魚道內有15個Denil形式的隔板，因為流速計效能的限制，只能測得隔板缺口上方及表層水流速分佈，其速度大小如表一所示。

表一、魚道流速分佈。位置為由上往下數第n個隔板所在位置，流速單位為m/s。

位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
底部	0.40	0.12	0.05	0.12	0.13	0.18	0.12	0.25	0.25	0.23	0.26	0.22	0.40	0.35	0.70
表層	0.35	0.62	0.55	0.29	0.30	0.32	0.32	0.37	0.44	0.33	0.34	0.50	0.33	0.30	0.60

由表一可明顯的看出，每層水道的落差高達一公尺，水道中的流速雖然富有變化，但是基本上每一個隔板之間都還相當平均，大約在0.3m/sec左右，最大流速為0.6~0.7m/sec。由於Denil形式的隔板具有使水流速度減緩的作用，因此整個魚道通路裡的流速並不會有累加的關係。雖然本次的實驗因為所用的材質不同，因此無法測得和圖2相似之精確水流縱向分佈圖，但相信這些數據在實際應用上已經可供參考。以上之流速也都是台灣原生魚類所能使用的流速範圍。由實驗結果可證明所選用的魚道形式Denil形式功能良好。每一層魚道單元在水頭平均流速為0.2m/sec，水深24公分的時候，魚道內流量約為每秒0.03立方公尺。由於實驗期間本地河川適逢枯水期，水流量極低，因此魚道內流量並沒有達到設計流量每秒0.1立方公尺的標準。由於Denil式的魚道具

有水流量調整的能力，通水量的大小可以藉由變化每一個魚道單元的高度來調整。同時也可以利用不同組裝的方式，譬如可並排或重疊的方式，來調整整體魚道的通水量，如此就可以克服有的時候魚道不敷使用的問題。再者，縱使原來堰堤溢流水的深度經常會有劇烈變化的時候，Denil式魚道的水流量會有顯著的變化，但是水流速度條件仍然會有一個梯度變化，由上表層至底部的流速會漸漸緩慢，因此各種魚類可以端視期游泳能力選擇適當的水層溯河。

三、效益評估

實驗結果所得之魚道內的流速等相關魚道內水理條件而言，目前的設計應當可以符合本省大部分的魚類需求。再者，本次的野外實驗期間雖然不是魚類洄游季節，但是以實驗地周邊所能捕捉到的魚類作為溯河實驗的觀察時，初步上也發現該地所有不同體型和魚種的魚類（台灣鏟頰魚、粗首鱲、台灣石鱮、台灣纓口鰍和明潭吻蝦虎魚等）都可以輕易的溯上魚道。

評估魚道功能是否彰顯，除了水理條件要合乎要求外，魚類到底會不會利用是一重大因素，且先決條件要魚有上溯的意願才行。所以未來仍須配合生態調查的資料，在魚群大量遷徙的季節，找適當之地點進行魚類使用功能評估。為了檢驗其效果必須能計算出（1）溯上（或降下）魚的總數（母集團）、（2）魚道內之通過數

及（3）通過速度。探討（2）及（3）的問題較為容易而研究第（1）項則較為困難。標識魚的放流雖然是國外經常使用的簡便方法之一，但在台灣地區主要都是小型魚類的身上可能有相當的困難。

四、不同材質魚道的成本分析

根據以上的實驗結果顯示，發現此種簡易式魚道的設計是可行的，不但造價比傳統混凝土式便宜之外，且由於各單元組件規格一致，使其日後的維護、拆建及修復更換都甚為快速方便且經濟。

在實驗期間也發現由於河川的水位變化甚大，因此平均一星期必須前來察看一次，清理水道入口和水道內之雜物，並且調整入水量的大小。這些屬於魚道經營管理的相關工作，在本實驗過程中只進行約一個月左右，尚未做到一整個魚類溯河季節的實際管理試驗，因此仍有待日後進一步的研究。在興建魚道之初，本來就應將此經營管理之政策及費用一併列入考量的。若我們將以往興建固定式魚道所使用的經費，在適合做簡易式魚道的地方，改成簡易式魚道的設計，並且增加所謂的經營管理，相信所收到的效果一定更好。

目前本省各地有很多部份損毀的魚道，若又要再使用傳統混凝土式的施工方法去補救，所耗費的人力和物力相當可觀，且耗損率及廢置率又偏高。如果改採簡易

式魚道的設計與搭建，將可配合溪流地形、水文、生物生態、生理週期等實際狀況，以及天候狀況等等做各項組裝上之調整及搭、拆的選擇。若能再配合適當的經營管理，將能在最需要的季節發揮驚人的利用效用，也能在水文條件轉為惡劣之時迅速拆卸，避免不必要的毀損。對於溪流水文狀況變化迅速的台灣而言，是個相當不錯的設計。

（一）不同材質之魚道主體的成本分析：

本試驗魚道模型採用三合板做為組裝魚道模型的材質，在搭設雖然有施工容易、單元重量輕、製作成本低的優點，但是因為魚道是長期在水中使用的，泡過水後的三合板很難再重複使用，因此並不適合作為一長久性魚道的使用材質。基於簡易式魚道方便快捷組裝與拆卸、可重覆使用、維護價格低、壽命長的設計概念，及參考目前本省市面上較易獲得與加工的材質如鐵、鋁、不銹鋼等進行成本分析與優缺點的比較，提供設計人員及主管機關更多的選擇，以求能在最低的經濟成本之下，達到最大的生態保育效益。如表二所示。

表二.製作簡易式魚道可行性材料特性之比較。(表內所示均是以一單位魚道長度為基準)

材料名稱	木板	鐵	不銹鋼	鋁
重量(Kg)	12	36	36	25.4
製作成本（元）	6,000	4,500	10,000	7,000
重複使用性	低	高	高	高

(二)、流量調節設備

自古以來魚道即有利用缺口及角落來調節流量的方式，最近則多採用調節閘門，使魚道本體可因應水位昇降，或是從魚道出口（或出口附近）的側壁將多餘的水溢流，用以穩定魚道的流量，且將溢流出的水做為呼水路引水之用。

然而以目前各地河川中的攔砂壩為例，經常因為流心無法控制而產生主水流左右飄移的問題。同時也因為壩頂經常有沖蝕的問題，因此如何有效的引水也是魚道是否成功的關鍵之一。考慮到如果將魚道上端引水口直接架設在主水流上面的時候，會有遭受突發洪水沖毀的危險。因此必須選擇在具有保護的側牆後面來架設魚道最安全，同時引水的問題必須另外以簡易的引水路來解決。根據和日本專家以及國內相關學者的討論，基本上也都同意應該注意本省河川的水文不確定性，而必須以最簡易的構造方式來引水，這些構造物必須有被沖毀而隨時可以修復的準備。初步上我們採用鉅管為橫樑，利

用裁製魚道所剩餘的木板為擋板，就可以簡單而迅速的構築一道有效的引水路。

總括以上的討論，我們認為簡易式魚道的構想未來在台灣應當有非常高的推廣價值，尤其是在改善現存有缺點的魚道或是仍未建造魚道的攔砂壩或堰堤時，將有實際的助益。然而架設魚道仍然是必須具有高度實務經驗的技術，並非看書讀報告就可以學會的，因此如何廣開研習班來訓練具有實務經驗的工程師，也是未來此項生態保育工程成敗的關鍵之一。

五、建議

一、林務局東勢林管處可能是本省最早嘗試開發簡易式魚道相關設計的單位，並且在七家灣溪有實際架設的經驗。只可惜當時的設計因為較缺乏相關資料的參考，同時也沒有從最簡單的模型開始試驗，因此一下子就嘗試挑戰高落差的大攔砂壩，最後功敗垂成殊為可惜！從上述的案例分析以及本次研究的過程經驗裡都顯示，要讓工程師有更好的設計概念和技術，必須不斷的讓這些基層的人員吸收最新的觀念和技術。因此建議除了未來應當積極在國內舉辦魚道設計相關的研討會，邀請相關國內外專家學者參與授課之外，更希望能夠選派實際參與設計的工程師出國實地考察。有道是百聞不如一見，如果只是閉門造車的話，我們國內魚道設計技術

的進步將相當有限。

二、雖然本設計方案除了有實驗室的模擬，並且經過野外架設與通水實驗的證明，認為其實用性應當很高。但是由於本次研究的野外架設期間已經是枯水期的開始，河川水量逐漸減少而魚類已經停止溯河的活動，因此仍舊缺乏長期觀測的效益評估資料。因此本項工作將會於今年春末雨季來臨之前，選擇適當的地點進行更長期的架設研究。由於野外生態的實驗除了有時間性的限制之外，更有地域性的限制，因此建議未來繼續選擇適當的地點，就目前應設而未設魚道的地點（如七家灣溪），或是已設魚道但是仍有待改進的地點，進行長期而逐步的個案改善研究計畫。如此的方式除了實際改善目前攔砂壩或是魚道的缺失之外，更可以有效的從研究中吸取實際經驗，並培育更多的魚道工程技術人才。

三、由於本項研究除了引進國外相關技術與進行實驗室的模擬研究之外，並且也做到了實際的在野外進行組裝試驗。因此在最初研提計畫時所估算的經費並不足以支出，許多的材料與設備都是臨時由學校和實驗室墊付應急。因此建議未來如果繼續執行此類性質的研究計畫，應當編列較合理的研究經費，以支持重要的基礎研究工作。

除了要有好的設計之外，尚須要有良好的管理與保全措施，才能完全發揮魚道的功能。以往各地所

設置的魚道都是因為缺乏專人管理，經常有堵塞或是缺乏水流等問題，導致魚道的失效。因此未來仍有必要考慮將各地魚道的設施，委由各地的保育團體或是就近的學校，做好基本的管理工作。

陸、謝誌

本計畫執行期間除了承蒙林務局保育課全體同仁的協助之外，更得到北埔鄉彭國模先生等人多方面的協助。模型製作要感謝清華大學木工班--邱顯井及顏啟川兩位先生的幫忙。野外架設有賴清華大學生命科學系生態與分子系統實驗室同仁、台灣大學鄭安怡和成功大學劉雅雯同學等友人辛苦的幫忙，謹致謝忱。

為了要廣泛吸收各方專家的意見，除了在研究過程中得到林務局保育課、治山課和新竹林區管理處相關同仁的指導之外，同時在台灣省特有生物保育研究中心所舉辦的動物行為與生態研討會中，也得到各界專家學者的寶貴意見，特別於文末表示感謝之意。

柒、參考文獻

- Bates, K., 1993, Fish passage policy and technology. Proceedings of a symposium of the Bioengineering, Section of the American Fisheries Society, 209pp.
- Boltz, J., C. Bell, and P. Leonard, 1995, The challenges of developing habitat suitability criteria for a large southeastern river. *Water Power* 95': 92-101.
- Chang, K. H., et al., 1992, Fishway design plan for the Maan Dam project. (Unpublished data).
- Downing, J. K., 1983, Accuracy and precision in estimating instream flow requirements. *Water Power* 83': 1284-1293.
- Ghanem, A., and F. Hicks, 1992, A review of the hydraulic models used in instream flow needs assessment methods. *Water Resources Engineering Report*, 92(4): 1-64.
- Ishida, R., S. Nakamura, N. Mizuno, N. Tamai, and H. Mayama, 1991, Stream restoration for fishes in Japan. : 225-237.
- Katopodis, C., N. Rajaratnam, S. Wu, and D. Tovell, 1997, Denil fishway of geometry, *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 123(7): 624-631.
- Larinier, M., 1990, Experience in fish passage in France: Fish pass design criteria and downstream migration problems. Proceedings of the International Symposium on Fishways '90 in Gifu Japan,: 65-74.
- Leonard, P., C. Bell, and J. Boltz, 1995, Habitat modeling in a southeastern alluvial flood plain river. *Water Power* 95': 102-111.
- Nakamura, S., 1993, A review of the Fish passage facilities in East Asia. In *Fish passage policy and technology* (Proceedings of a Symposium presented by the Bioengineering Section of the American Fisheries Society, in Sept. 1993, Portland, Oregon USA. edited by K. Bates),
- Ott, R. F., and M. R. Stansbury, 1993, Passage improvement at the Glenn-Colusa irrigation diversion. *Ibid.*: 147-153.

Rajaratnam, N., and C. Katopodis, 1984, Hydraulics of Denil fishways. J. Hydr. Engrg., ASCE, 110(9): 1219-1233.

Rajaratnam, N., C. Katopodis, S. Wu, and D. Tovell, 1997, Hydraulics of resting pools for Denil fishway, J. Hydr. Engrg., ASCE, 123(7): 632-638.

Nakamura, S., M. Noda, H. Misawa, and Y. Nakahara, 1995, Temporarily installed long, steep Denil fishway on the Ohkohchi Sabo-Dam in the Abe-Gawa River, In Proceedings of the International Symposium on Fishways '95 in Gifu Japan,: 155-162.

中村俊六，1987，魚道設計指針 / 試案，（在水野信彦編，內水面漁場環境・利用實態調查報告書）。日本全國內水面漁業協同組合連會印，265頁。

中村俊六，魚道の設計理論試案。

中村俊六，1995，魚道のはなし，山海堂印行，日本東京，225頁。

中村俊六，東 信行監修，(C. Gosset, M. Larinier, J. P. Porcher, and F. Travade著)，1996，魚道及び降下對策の知識と設計，財團法人リバーフロント整備センター 編印，日本東京，337頁。

玉井信行，水野信彦，中村俊六編，1995，河川生態環境工學，東京大學出版會，日本東京，312頁。

沈世傑，曾晴賢，周鎮傑，1990，鹿角坑溪取水堰魚道設置研究．陽明山國家公園管理處印，33頁。

李載鳴，謝國正，1996，新段溪流域攔砂壩魚道設計之評估，第八屆水利工程研討會論文集，1127~1134頁。

財團法人リバーフロント整備センター 編著，1996，多自然型川づくりの取組みとポイント，日本東京，230頁。

張崑雄，詹榮桂，鄭明修，曾晴賢，陳育賢，1992，東北角海岸風景特定區海域、溪流生態及解說資源運用之調查研究，觀光局東北角海岸風景特定區管理處印行，155頁。

曾晴賢，1986，欖仁溪攔砂壩之魚道規劃設計研究，墾丁國家公園管理處保育研報33號，52頁。

曾晴賢，李淑珠譯，1987，魚道的設計指南及案例，中國水產，419：21—28。

曾晴賢，1993，保育台灣河川資源的魚道工程，新竹市國民小學教師環保教育研習營論文集，新竹師院印行，：10-18。

曾晴賢，1997，台灣河川魚道設置現況調查及研究，林務局保育研究系列—85-10號，46頁。

陳俊宏，許海龍，楊文衡，1997，台灣河川既有魚道效應評估計劃，農委會，58頁。

廣瀨利雄，中村中六，1991，魚道の設計，山海堂，日本東京，376頁。

黃毓嵩，1985，水文氣象與壩工工程。銀禾文化，186頁。

顧培森，1995，高山地區防砂壩與生態維護，林務局，20頁。

臺灣省林務局編印，1992，台灣省近期攔砂壩現況調查報告，農委會補助81農建—9.1—林—26（5）計畫執行報告，292頁。

臺灣漁業技術顧問社，1995，石岡壩魚道興建可行性評估及初步規劃，台中縣政府委託計劃報告。

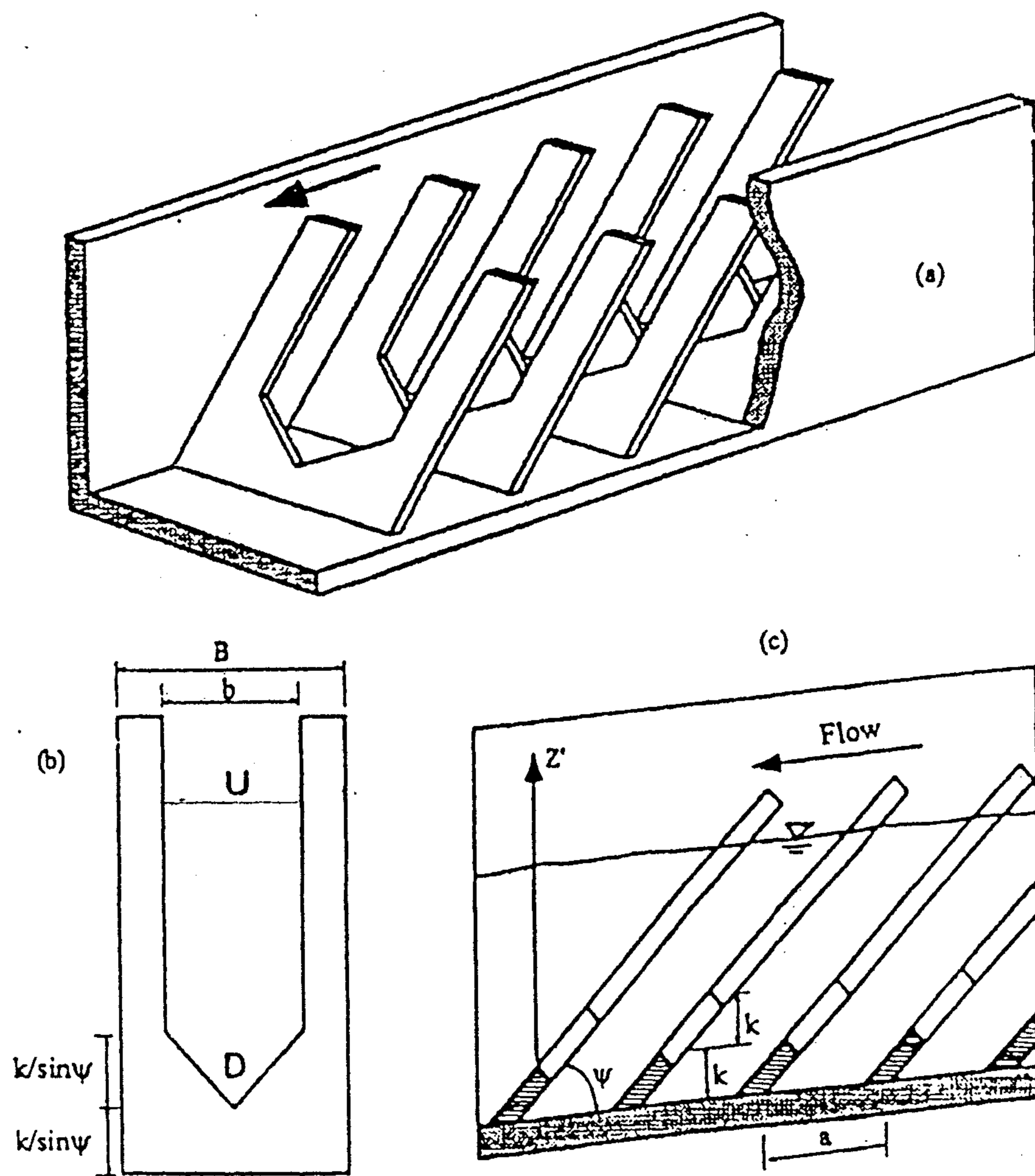


圖 1、標準 Denil 形式魚道幾何簡圖：(a)整體結構圖，(b) 隔板圖, $B=56\text{cm}$, $b=36\text{cm}$, 量測水表層流速位置為 U , 凹口上方位置為 D , (c) 縱向側視圖, 其中 $k=13\text{cm}$, $\psi = 45^\circ$, $a=25\text{cm}$ 。(Katopodis. C.等, 1997)。

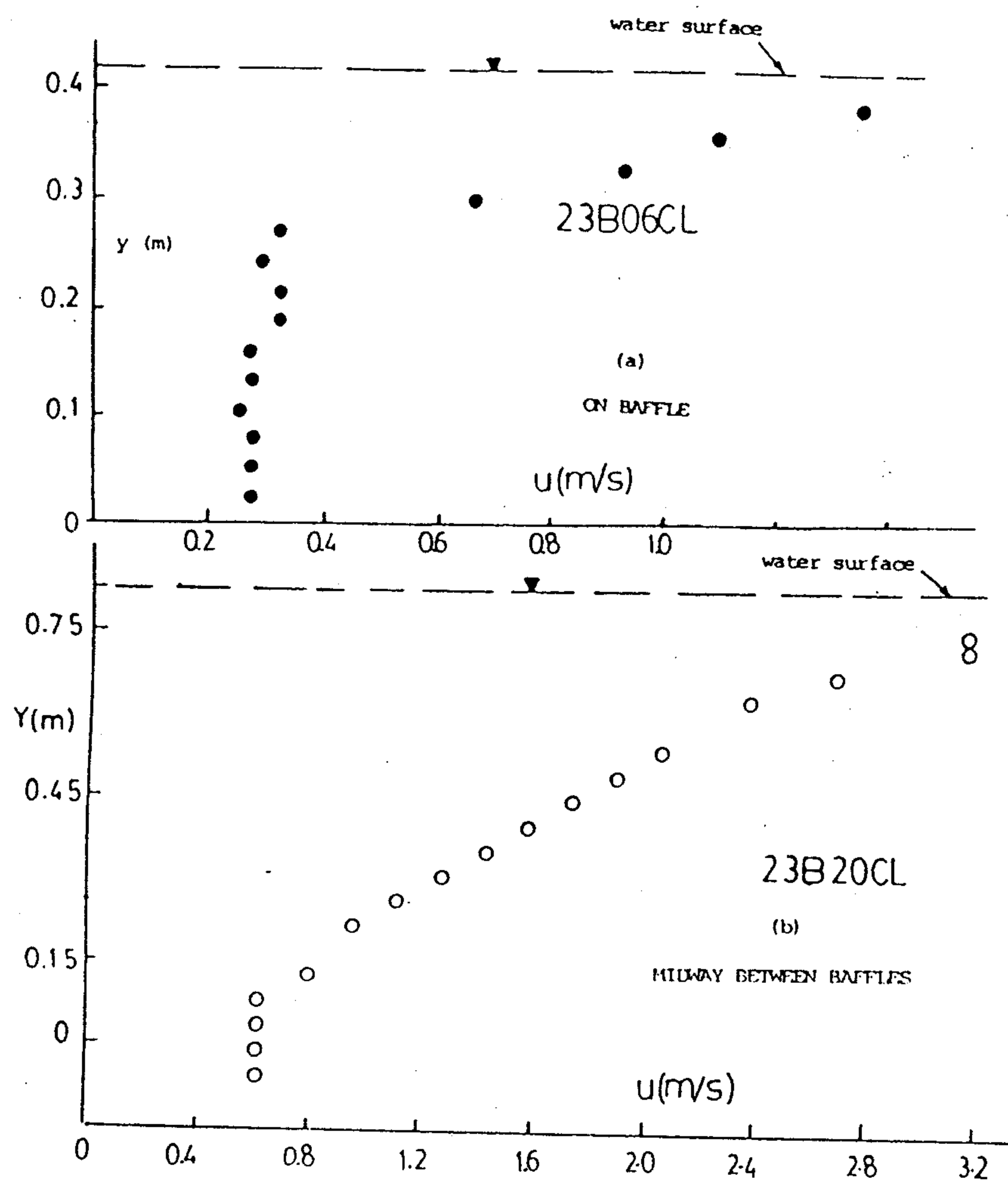


圖 2、標準 Denil 形式魚道,其典型垂直向速度分佈圖。(Rajaratnam . N. 等, 1984)

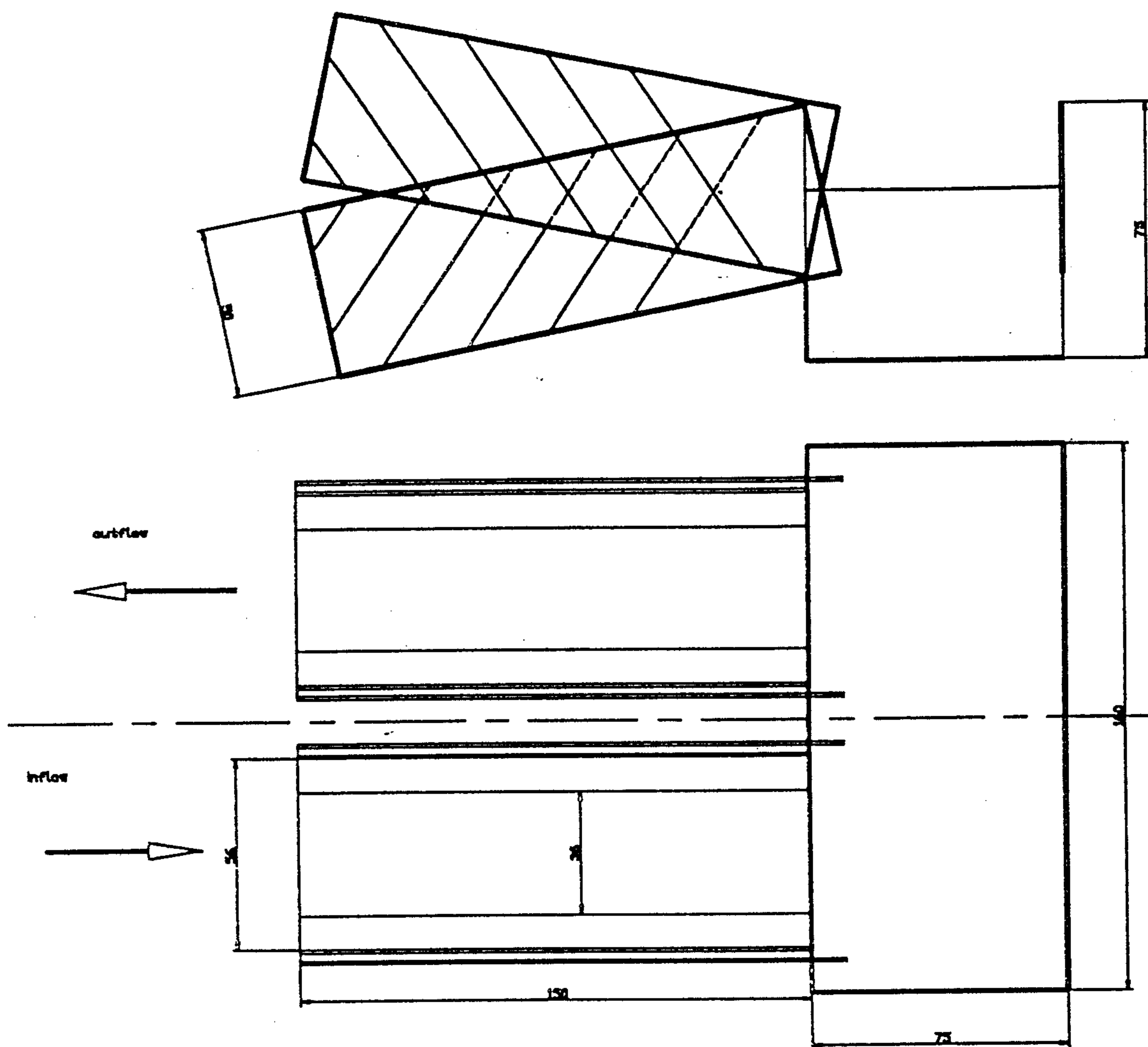


圖 3、魚道搭設示意圖：上圖為側視圖,魚道本體斜率為 1/5 ,下圖為平面圖。

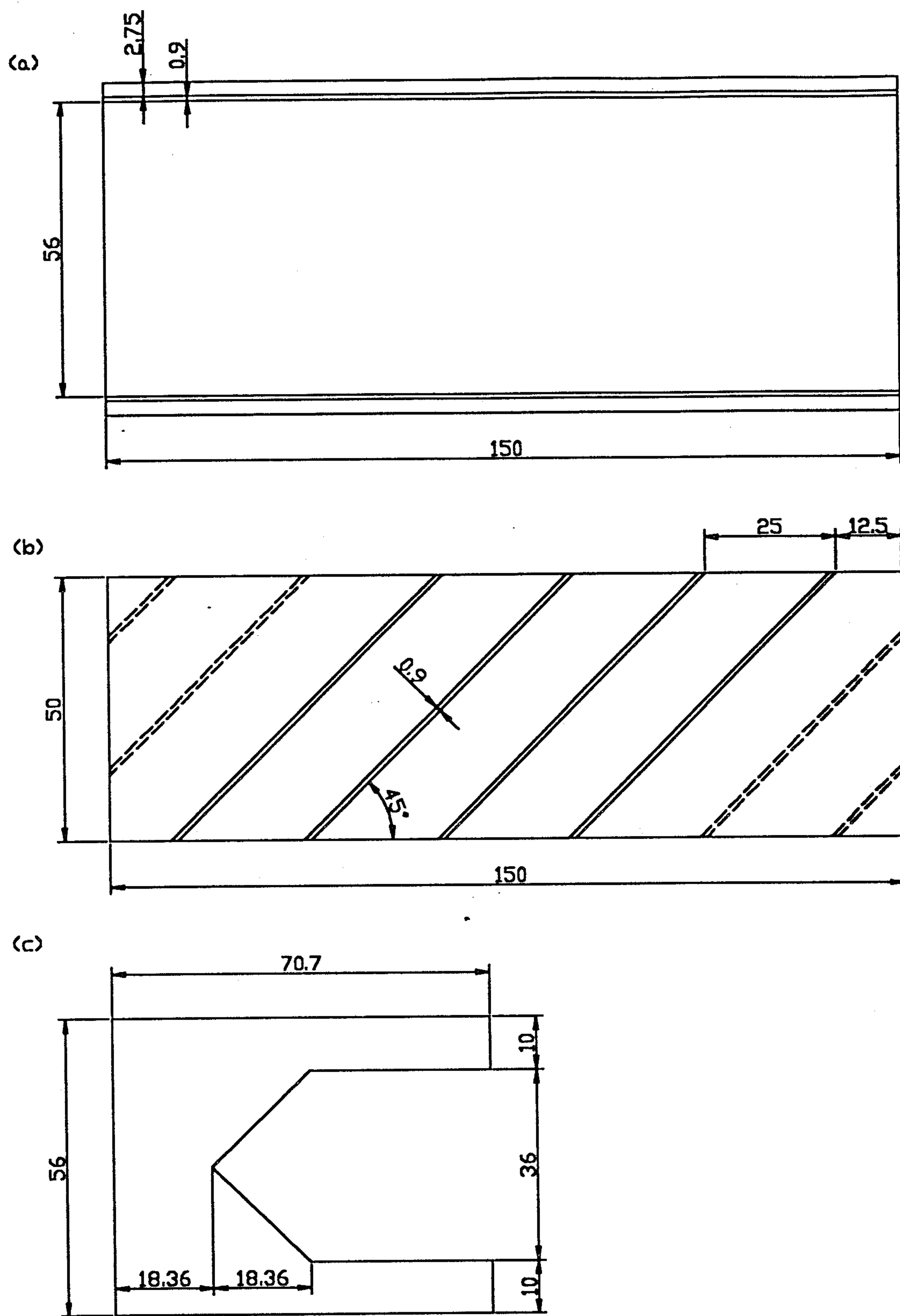
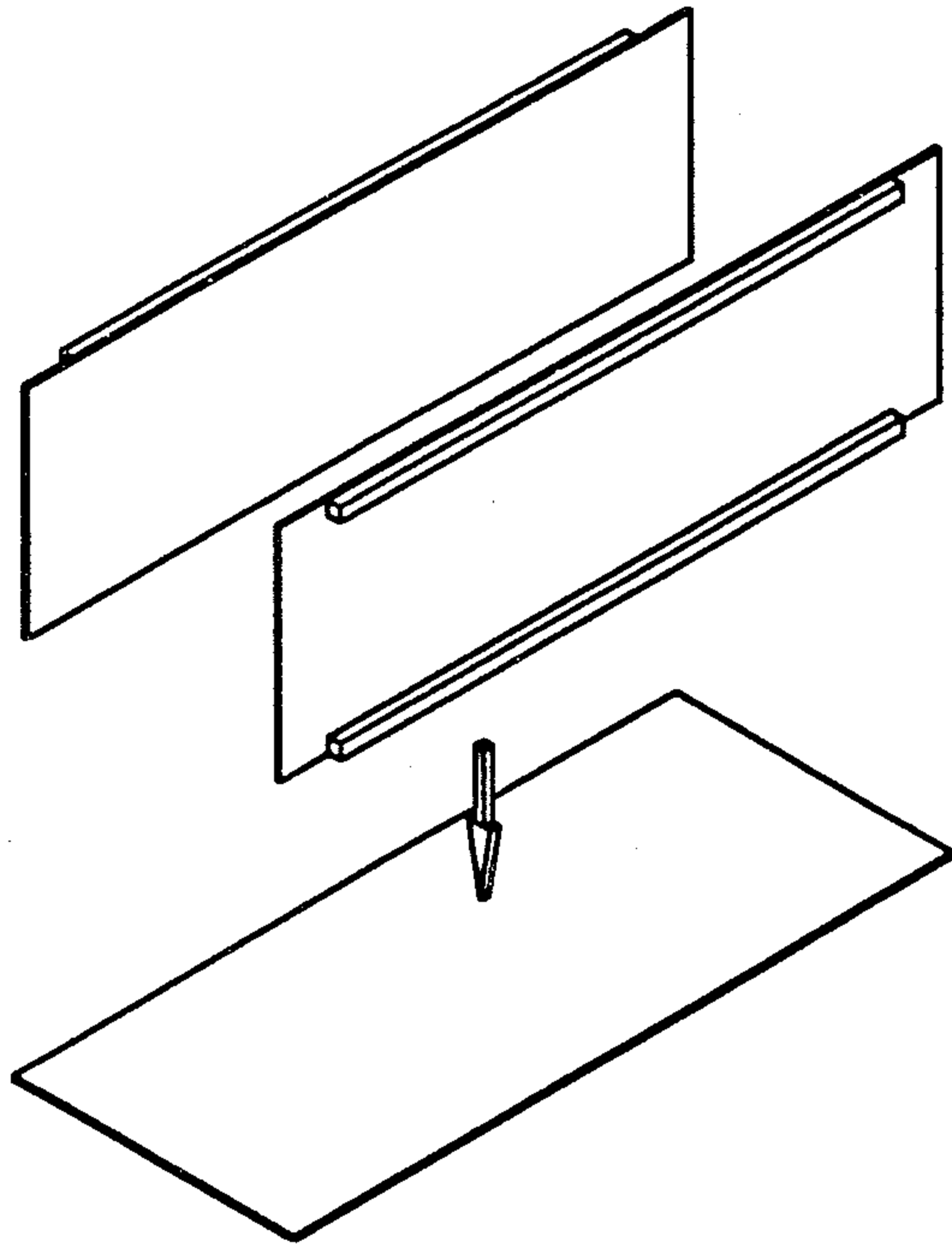
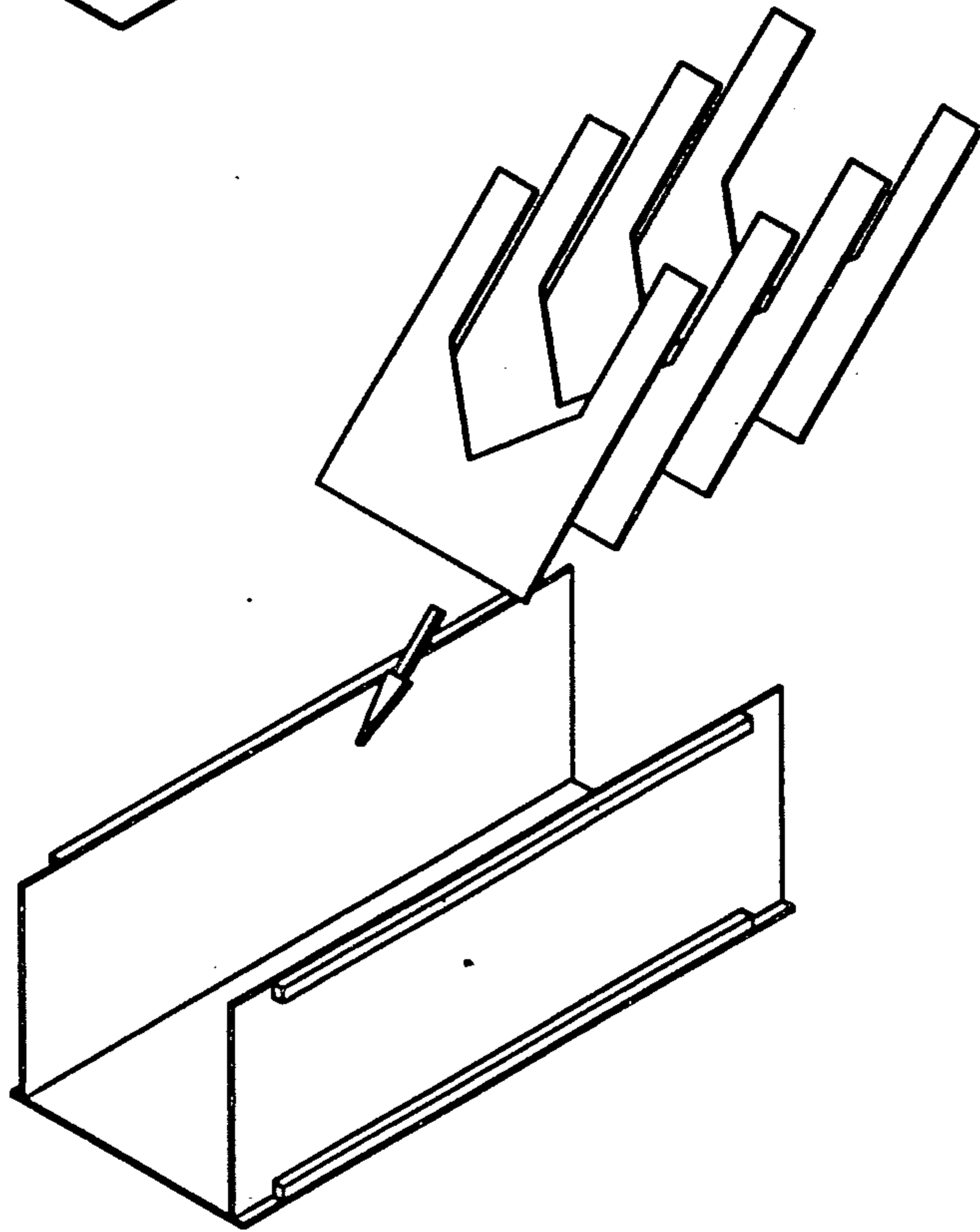


圖4、實驗後建議模型規格以1.5公尺為一單元。所使用木板厚度為0.9cm, 木條截面積為 $2.75\text{cm} \times 3.25\text{cm}$ 。其中(a)為底板,(b)為側板,(c)為隔板,尺寸如圖標示所示。

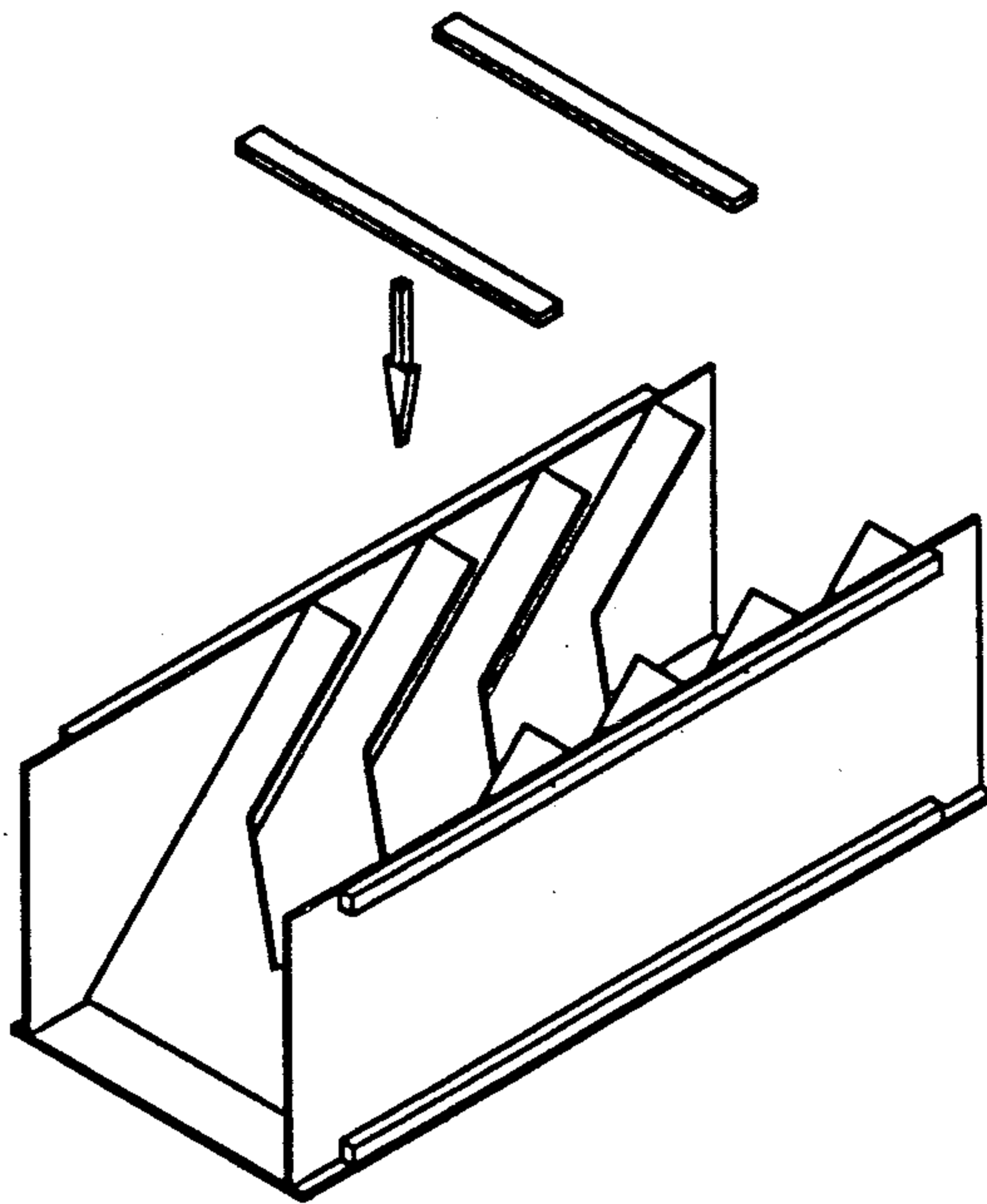
(a)



(b)



(c)



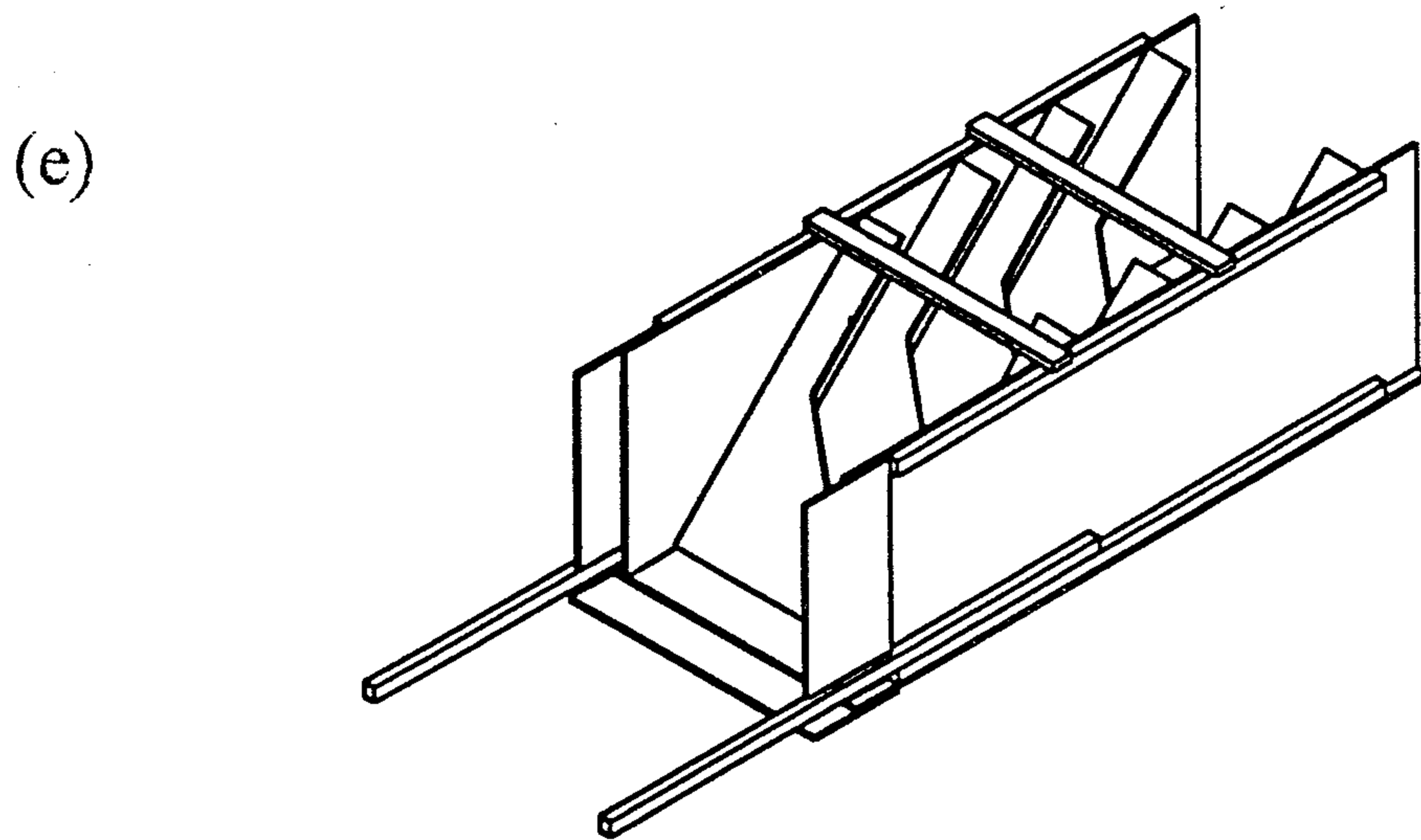
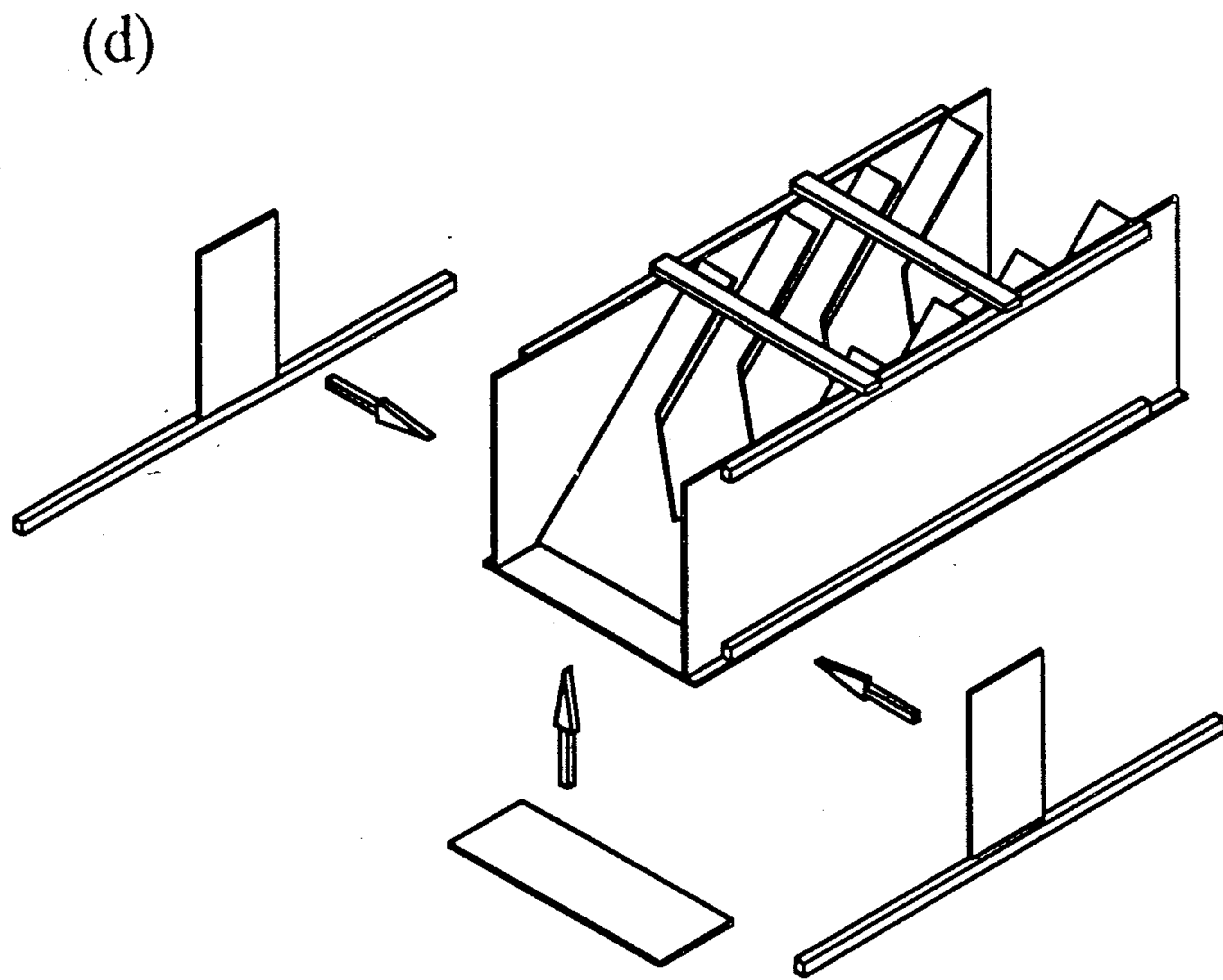


圖 5、魚道模型組裝步驟：(a)側板及底板之連接,(b)插入隔板,(c)使用兩根木條固定魚道上方之寬度,(d)連接板之裝設,(e)組裝完成。

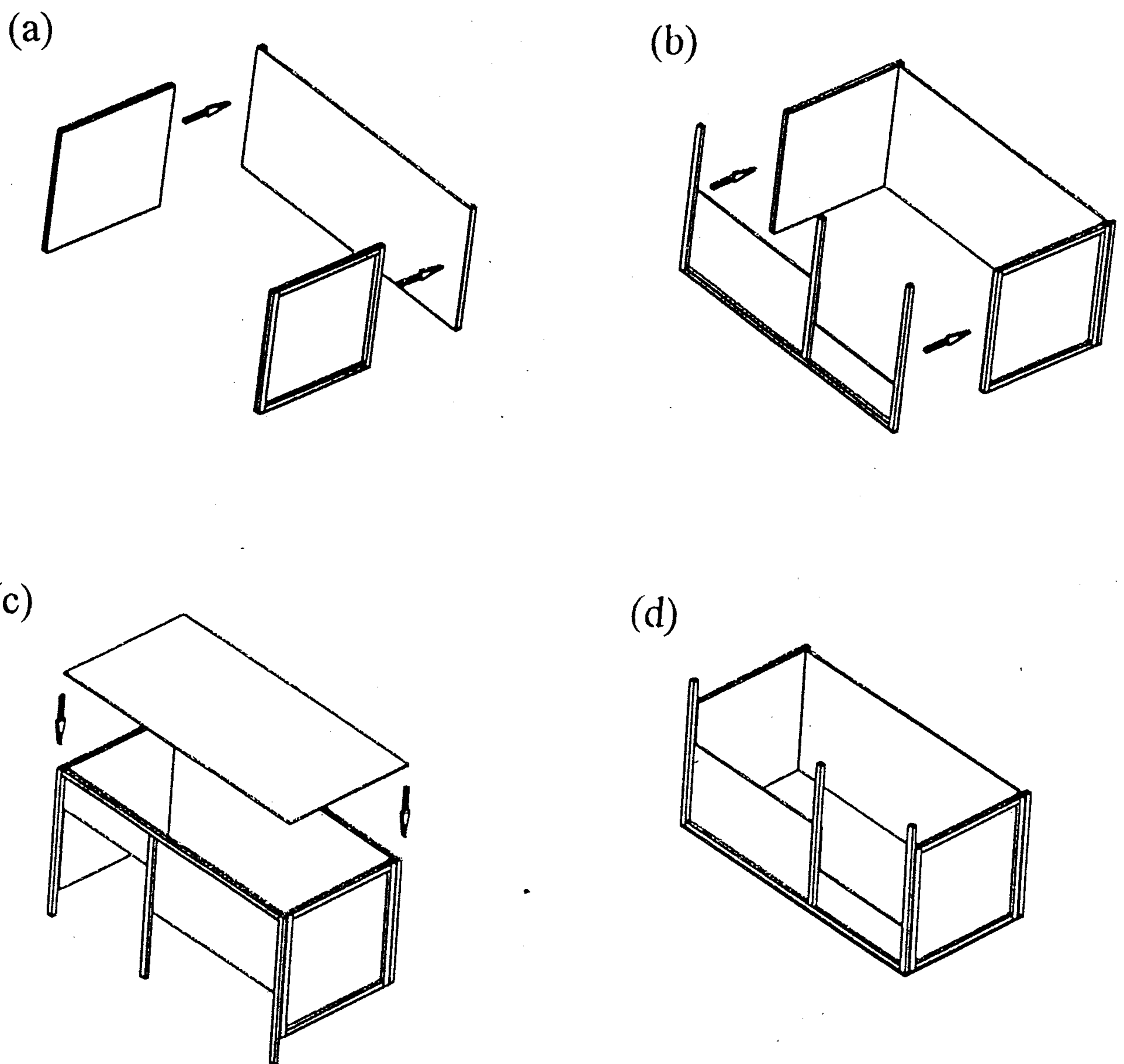
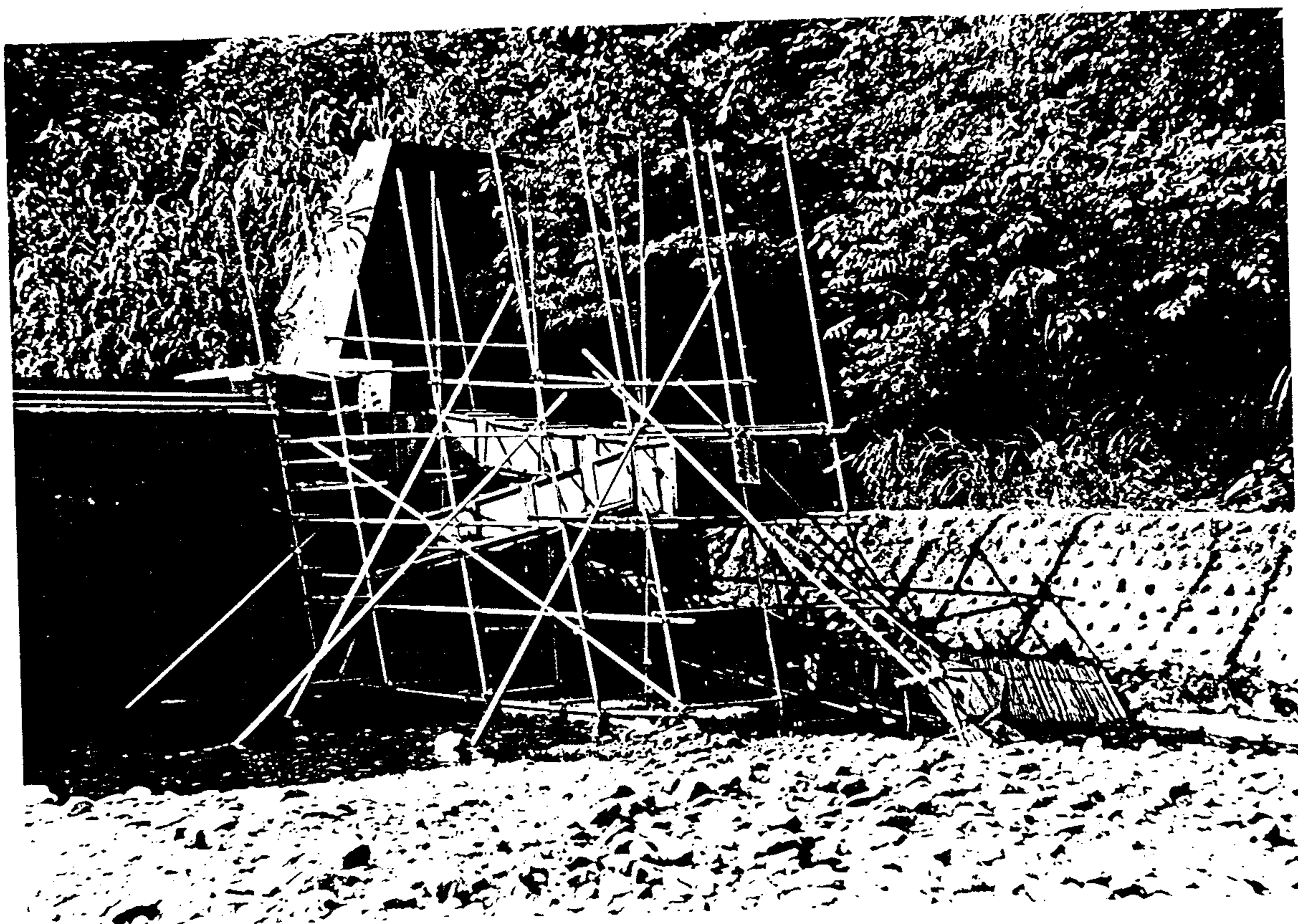
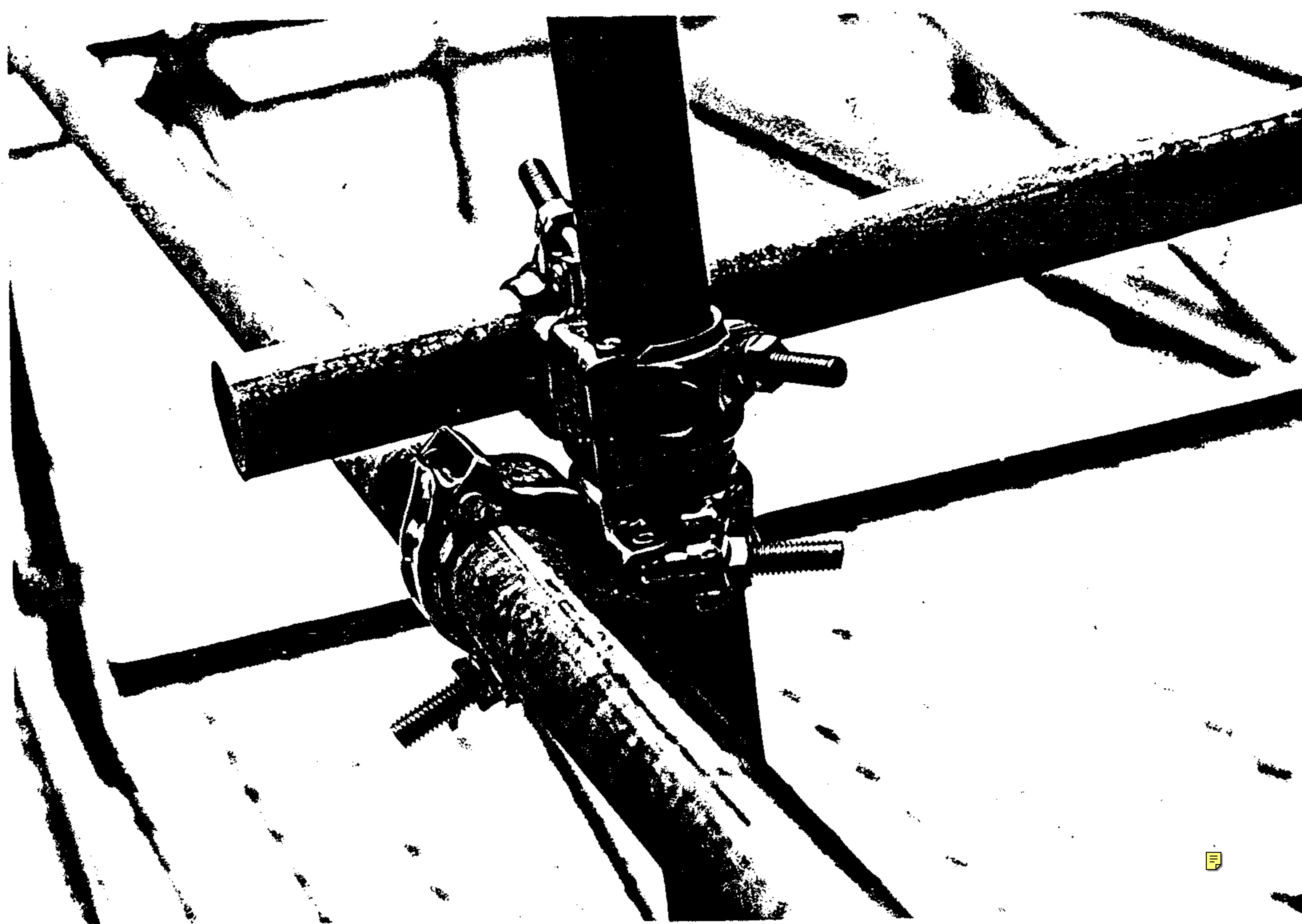


圖 6、休息池模型組裝步驟：(a)兩邊側板和後方板子相連接,(b)裝上前
方板子,(c)再裝上底板,(d)組裝完成,休息池之長、寬、高各為 75cm,180cm,
及 75cm,入水口寬度 110cm,出水口寬度 63.5cm。

附錄



圖一、實際簡易式魚道搭設情形和周邊環境。



圖二、萬象接頭之使用情形。