

港區設置吸風牆之研究

計畫主持人

協同主持人

研究人員

所長 梁乃匡

組長 歐陽餘慶

副研究員 曾哲茂

助理 江金德

助理 陳錫奎

助理 謝瑞豐

技工 陳正義

蔡金吉

蔡瑞成

何炳紹

李永勝

陳肇興

台灣省交通處 港灣技術研究所

中華民國七十七年六月三十日

目錄

摘要.....	1
一、緣起.....	2
二、縮放管模型試驗.....	3
2 - 1 試驗設施.....	3
2 - 2 試驗經過及結果.....	3
2 - 3 討論.....	12
三、旋轉片、網眼片、半圓薄殼、圓孔片及交角薄片等模型試驗.....	13
3 - 1 試驗設施.....	13
3 - 2 試驗結果及分析.....	15
3 - 3 討論與建議.....	18
四、實體牆模型試驗.....	21
4 - 1 模型框架設計.....	21
4 - 2 模型位置選定.....	21
4 - 3 吸風牆種類選定.....	21
4 - 4 理論探討.....	24
4 - 5 試驗佈置及結果分析.....	26
五、結論與建議.....	36

摘要

設計並試驗縮放管、旋轉片、網眼片、半圓薄殼、圓孔片及交角薄片等型式吸風牆以吸取風能，期使牆後之風速在冬季季風期間較大風速 25M/sec 之情況下，減低至貨櫃起重機裝卸作業限制最大風速 15M/sec 以下（減低原有風速之 40% ）。經研究以網眼片及交角薄片效果最佳。

一、緣 起

本省冬季季風期，其風向受蒙古及華北高氣壓的影響，大部份以 NE 及 NNE 兩方向居多，以西海岸為例，風速最高者可達 31M/sec，超過 15M/sec 者不少，歷時可達 8 小時，嚴重影響到船隻進出港口，以及碼頭停靠及裝卸作業之進行，其中以高達 28M 的貨櫃吊桿受風力影響之情形尤甚，為使碼頭全年均能正常操作起見，以提高裝卸效率，如何降低冬季季風期間強風之影響，實為極待解決之問題。

三 縮放管模型試驗

2 - 1 試驗設施

本項試驗於本所風浪水槽中進行，將水槽中之水放乾，於適當位置設置風速計及縮放管等，水槽前端上方有吹風機乙台，可調整送風大小，以供試驗。風洞水槽（含吹風機、風速計及縮放管配置）。縮放管支架、縮放管及有關物件如圖（2 - 1）～（2 - 3）所示。

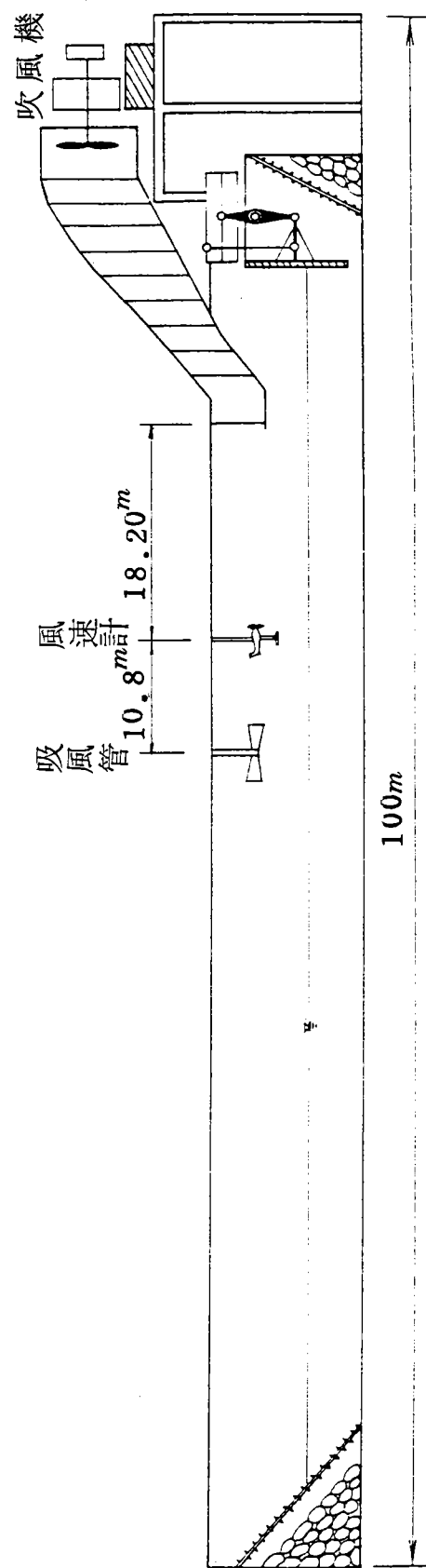
2 - 2 試驗經過及結果

縮放管模型各部份比例究竟何者吸風效果最好是本節要探求之目的，因比例值範圍廣泛，乃分兩階段試驗予以追蹤，先以較大範圍比例值發包招商製作（包括支持縮放管支架等），第一階段模型製作規格及縮放管尺寸比例關係如表（2 - 1）、（2 - 2）所示，縮放管模型及有關設施如照片（2 - 1）～（2 - 8）所示。

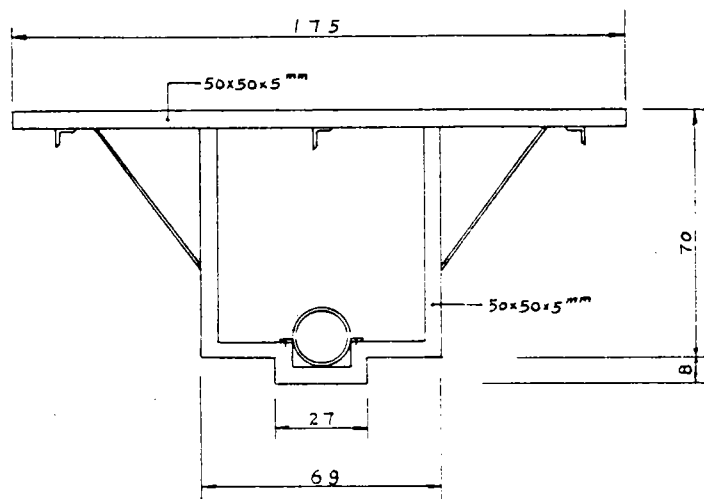
風速通過縮放管時，按伯努利定理：

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g}$$

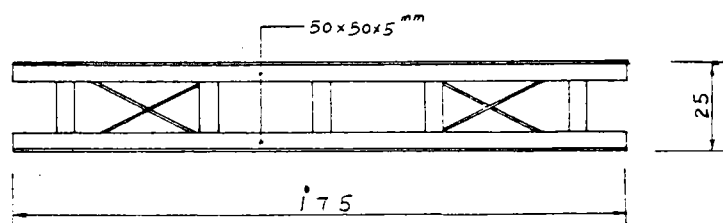
知中間管之速度甚大，亦即壓力甚小形成吸力，利用該吸力作功消耗原有風能，可使出口處之風速減小，本節試驗即在量測縮放管受風吹後，中間管之壓力減小（壓力水頭）程度，第一階段試驗結果如表（2 - 3）及圖（2 - 4）所示。



圖(2-1) 風浪水槽中吹風機、風速計及縮放管配置圖

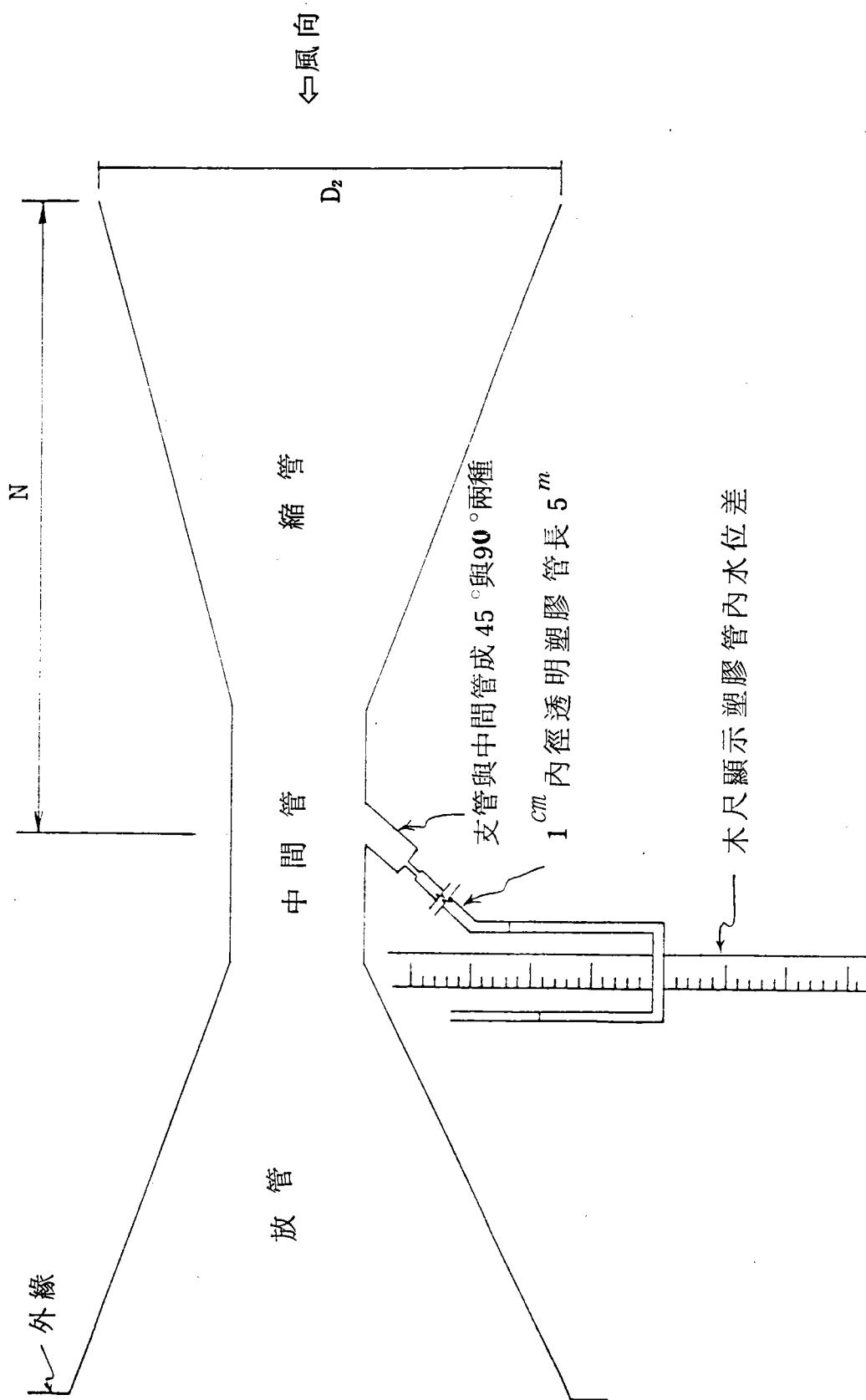


正視圖 S : 1 / 20 cm



上視圖 S : 1 / 20 cm

圖 (2 - 2) 支架及縮放管圖



圖(2-3) 縮放管及有關物件各部名稱

風速爲 15m/sec 情況

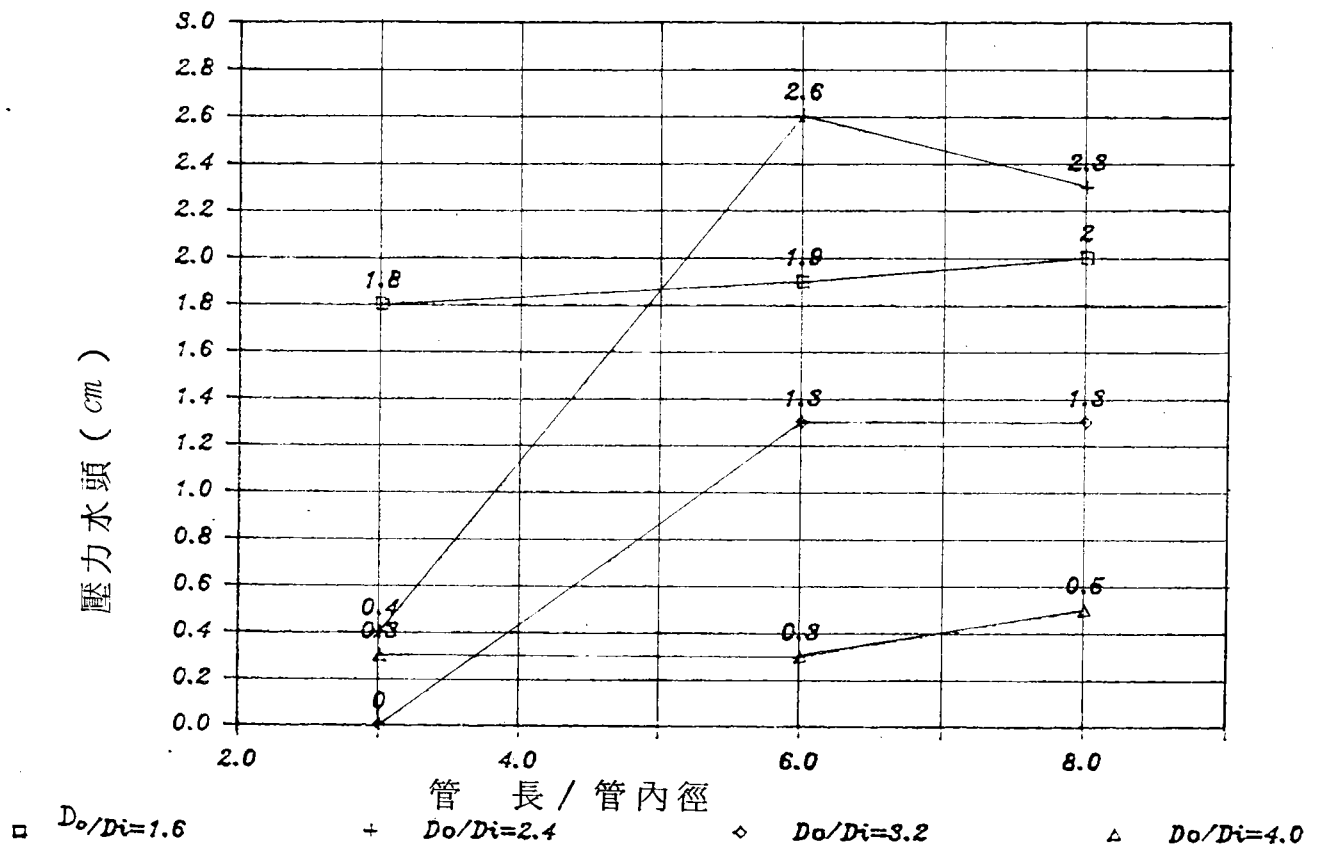


圖 (2 - 4) 中間管壓力水頭與管徑比例關係

表 (2 - 1) 吸風牆風洞試驗第一階段模型製作規格

件 數	件 名	件 數
1	放 管	n*
2	支 架	1
3	固 定 夾	2
4	中 間 管	1
5	縮 管	n*
	M 10 螺 絲	4
	橡 皮 墊 (3MM, 長 50CM)	1
	透明塑膠管 (Φ 2CM, 長 5M)	1
	C 型 夾	4
	木 條 (180 × 8 × 3 CM)	1
6	工 作 架	2

附註：表中 n* 為實際製作之號碼詳表 (2 - 2)

表 (2 - 2) 縮放管尺寸比例關係表

D ₂ 13	4 . 0	*43	44	45	*46	47	*48
	3 . 6	37	38	39	40	41	42
	3 . 2	*31	32	33	*34	35	*36
	2 . 8	25	26	27	28	29	30
	2 . 4	*19	20	21	*22	23	*24
	2 . 0	13	14	15	16	17	18
	1 . 6	* 7	8	9	*10	11	*12
	1 . 2	1	2	3	4	5	6
		3	4	5	6	7	8
		N/13					

附註：有 * 者即表 (2 - 1) 中之 n*

D₂ 表縮放管最大管徑

N 表縮放管 1/2 全長

表(2-3) 吸風牆風洞試驗第一階段模型試驗結果

1 - 07 1 . 8	1 - 19 0 . 4	1 - 31 0 . 0	1 - 43 0 . 3
1 - 10 1 . 9*	1 - 22 2 . 6*	1 - 34 1 . 3	1 - 46 0 . 3
1 - 12 2 . 0*	1 - 24 2 . 3*	1 - 36 1 . 3	1 - 48 0 . 5

附註：1. 本表係各編號管徑在平均風速 15M/SEC 下之壓力水頭單位以公分表示。

2. 中間吸風支管內徑為 2.5 公分與中間管斜交 45 度。

3. * 號者係效果較為顯著者。

由第一階段試驗結果知編 No 1 - 10、No 1 - 12、No 1 - 22 及 No 1 - 24 四種縮放管吸風效果較顯著，茲就該四種管徑比例值涵蓋之概略範圍內選擇 30 種尺寸進行第二階段試驗，第二階段縮放管模型製作規格及尺寸如表(2-4)所示。

第二階段試驗除將第一階段縮放管尺寸更改外並將中間支管之直徑改為含 2.5、3.5、4.5、5.5、6.5 及 7.5 CM 等六種，且進行兩種中間與支管交角(45° 與 90°)情況試驗，同時以塑膠袋、碼錶量測中間吸風支管單位時間吸氣量，並考慮放管外緣寬度與中間管壓力水頭減低之關係。第二階段試驗結果如表(2-5) - 表(2-8)所示。

表(2-4) 吸風牆洞試驗第二階段模型製作規格

長 度 (CM)		65.0	72.8	80.6	88.4	96.2
外 徑 (CM)	36.4	2-26	2-27	2-28	2-29	2-30
	33.8	2-21	2-22	2-23	2-24	2-25
	31.2	2-16	2-17	2-18	2-19	2-20
	28.6	2-11	2-12	2-13	2-14	2-15
	26.0	2- 6	2- 7	2- 8	2- 9	2-10
	23.4	2- 1	2- 2	2- 3	2- 4	2- 5

附註：1. 中間支管之直徑改爲 2.5、3.5、4.5、5.5、6.5、7.5 CM。

2. 塑膠管改成 1 CM 直徑，長爲 5 M。

表 (2 - 5) 吸風牆風洞試驗第二階段模型試驗結果

2 - 01 3.5	2 - 02 3.4	2 - 03 3.2	2 - 04 3.6*	2 - 05 3.4*
2 - 06 2.5	2 - 07 2.7	2 - 08 3.7*	2 - 09 3.2	2 - 10 3.3
2 - 11 2.5	2 - 12 3.4	2 - 13 3.1	2 - 14 3.2	2 - 15 3.5
2 - 16 2.2	2 - 17 2.0	2 - 18 2.7	2 - 19 3.6*	2 - 20 3.0
2 - 21 2.1	2 - 22 1.8	2 - 23 2.6	2 - 24 2.8	2 - 25 2.6
2 - 26 1.6	2 - 27 1.7	2 - 28 2.4	2 - 29 2.1	2 - 30 3.3

附註：1. 本表係各編號管徑在平均風速 15M/SEC 下之壓力水頭單位以公分表示。

2. 中間吸風支管內徑 2.5 公分與中間管斜交 45 度。

3. * 號者係效果較爲顯著經選出進一步作改變中間吸風支管內徑及斜交角度之試驗，以瞭解其相互間之影響。

表 (2 - 6) 改變中間吸風支管內徑及斜交角度對壓力水頭之影響

中 間 吸 風 支 管 內 徑 (CM)

*

試 驗 管 編 號		2.50	2.50	3.50	4.50	5.50	6.50	7.50
2-04		3.6	4.8	4.5	4.7	4.7	5.2	5.3
2-05		3.4	4.0	4.2	4.2	4.2	4.6	5.0
2-08		3.7	4.0	4.2	4.5	4.4	4.6	4.7
2-19		3.6	4.0	3.8	4.2	4.2	4.5	4.3

附註：除打 * 者為中間管斜交45度外，其它為正交90度者。

表 (2 - 7) 中 間 吸 風 支 管 流 量 測 定

(以直徑6.5 CM直交者進行試驗)

2 - 04

$$13000 \text{ cc} / 3'20'' = 65 \text{ cc} / \text{sec}$$

2 - 05

$$13000 \text{ cc} / 3'54'' = 56 \text{ cc} / \text{sec}$$

2 - 08

$$13000 \text{ cc} / 3'54'' = 57 \text{ cc} / \text{sec}$$

2 - 19

$$13000 \text{ cc} / 3'45'' = 58 \text{ cc} / \text{sec}$$

表 (2 - 8) 出口管外緣加大對水頭變化之影響

(以 2 - 04管為對象)

外 緣 寬 度 (CM)	壓 力 水 頭 (CM)
3 . 0	4 . 4
6 . 0	4 . 4
9 . 0	4 . 4
12 . 0	4 . 4

由以上資料顯示改變外緣寬度對壓力水頭並無影響，只徒然增加成本費用而已。

2 - 3 討 論

縮放管吸風效應以編號 No 2 - 4 即外徑為 23.4 CM，長度為 88.4 CM，中間支管內徑為 6.5 CM 且與中間管成直角，放管外緣為 3CM 寬者為最佳，唯仍不盡理想，乃進行下述其他各種型式吸風牆模型試驗以決定數種較佳型式用於第二年小型實體牆進行試驗。

三 旋轉片、網眼片、半圓薄片、圓孔片及交角薄片等模型試驗

3 - 1 試驗設施

3 - 1 - 1 吸風牆部份

由於在前述縮放管試驗，即使以吸風效率最佳的編號 2-04 管而言，其流量經測定亦僅僅在 65CC/秒左右，若欲實際運用於現場或實體模型中，仍不盡理想，所以才有旋轉片、網眼片、半圓薄殼、圓孔片及交角薄片等構想的產生，期能在這許多新構想中尋找出一種設置費用較低而效率較高的消風設施，作為爾後港區設置吸風牆的參考，下面就這些構想的源起及構造分別予以說明：

a. 旋轉片：〈參考照片（3 - 1）〉

此構想係源於目前街頭上所常見的一種小型市招，為一長方型鐵片，在其長向加裝一垂直旋轉軸，經固定於一 C 型的框架上所成如圖（3 - 1），當風吹過的時候，可將部分風能轉換為葉片的旋轉能，若能再加上適當的摩擦阻力或將此轉動機械能以齒輪、鏈條契合帶動一發電裝置，可進一步將風能轉換為熱能或電能，達到消殺風能的目的。試驗消能機設施如照片（3 - 5），唯在實際應用上由於旋轉點太多，在鹽分侵蝕較為嚴重的港區設置，其維護費可能相當的高。

b. 網眼片、圓孔片：〈參考照片（3 - 2）、（3 - 3）〉

此構想係源於波浪通過一多孔介質後，由於分子在介質中相互衝撞而抵消部分波能，因此當風通過的時候，若能同樣的提供一適當的多孔介質，必可消殺部分風能，基於此觀念乃有網眼片及圓孔的選擇，本試驗所採用的網眼片係普通家庭用紗門上的紗窗，網眼的大小為每公分 5 根，每根鐵絲直徑為 0.4 mm 透風率計算為 0.6 而圓孔片則利用三夾板打洞，前後左右每隔 10 公分打一個洞，每個洞直徑為 5.5 公分，其透風率為 0.21°。

c. 半圓薄殼：〈參考照片（3 - 4）〉

本構想係源於荷蘭鹿特丹港之消風牆，利用風自孤型薄殼滑出與迎面之風沖擊之「以風制風」原理，以收到消殺風力的效果，本試驗的半圓形薄殼採用半圓形的雨水導引槽塑膠製品直徑 15 公分，間距分別為 7.5 公分及 5 公分兩種。

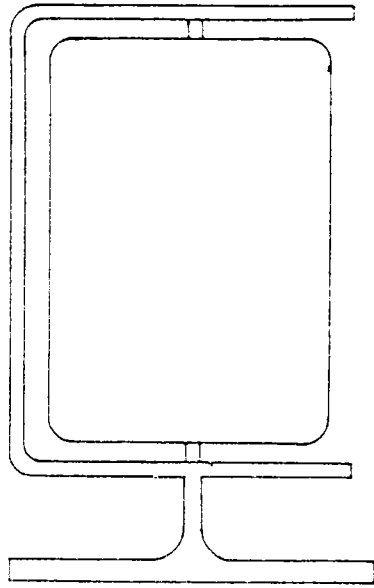


圖 (3 - 1) 旋轉市招構造圖

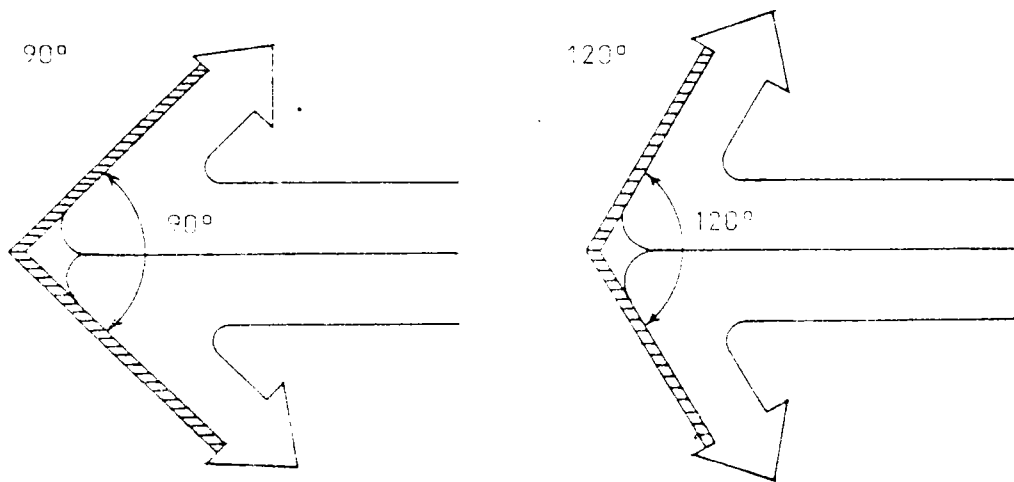


圖 (3 - 2) 交角薄片前流綫分布圖

d. 交角薄片：〈參考照片（3-4）〉

本構想所引用的係與半圓薄殼相同的「以風制風」的原理，唯改進半圓薄殼由於具有弧度，在模板製作及現場施工上較為困難的缺點，改用兩薄片交叉予以取代，目前所採用的交角分別為 120° 及 90° 兩種，假設風撞擊到薄片後係沿著平板斜向滑出，則交角薄片前之流線大致上應該如圖（3-2）。

當然變更不同的交角所導引出來的擋風效果必定有所不同，這方面值得爾後進一步做更詳細的研究，此處試驗所採用的薄片為長 170 公分寬 10 公分厚 1 公分之木片，配合交角的不同採用間隔分別為正面投影寬度的 $\frac{1}{3}$ 及 $\frac{1}{2}$ 兩種，因此交角 90° 時正面寬度為 14.14 公分，間隔 $\frac{1}{3}$ 及 $\frac{1}{2}$ 分別為 4.71 公分及 7.07 公分，而交角 120° 時正面寬度為 17.3 公分，間隔 $\frac{1}{3}$ 及 $\frac{1}{2}$ 則分別為 5.77 公分及 8.66 公分。

3-1-2 造風設施及風速量測

本試驗造風設施係採用兩部大型的 20" 風扇，放置於距離吸風牆前方約 180 公分處，而消風牆則利用一框架予以固定，總共分為三層，每層間隔 30 公分，至於風速的量測則利用一手提式風速計來進行，而消風前後的風速量測位置均分別以牆前 30 公分及牆後 30 公分、60 公分、90 公分，為參考位置，每個量風面均採樣 4 點予以平均，整個試驗佈置如圖（3-3）。

3-2 試驗結果分析

將試驗結果按吸風牆的種類分別列表如表（3-1）並討論如后。

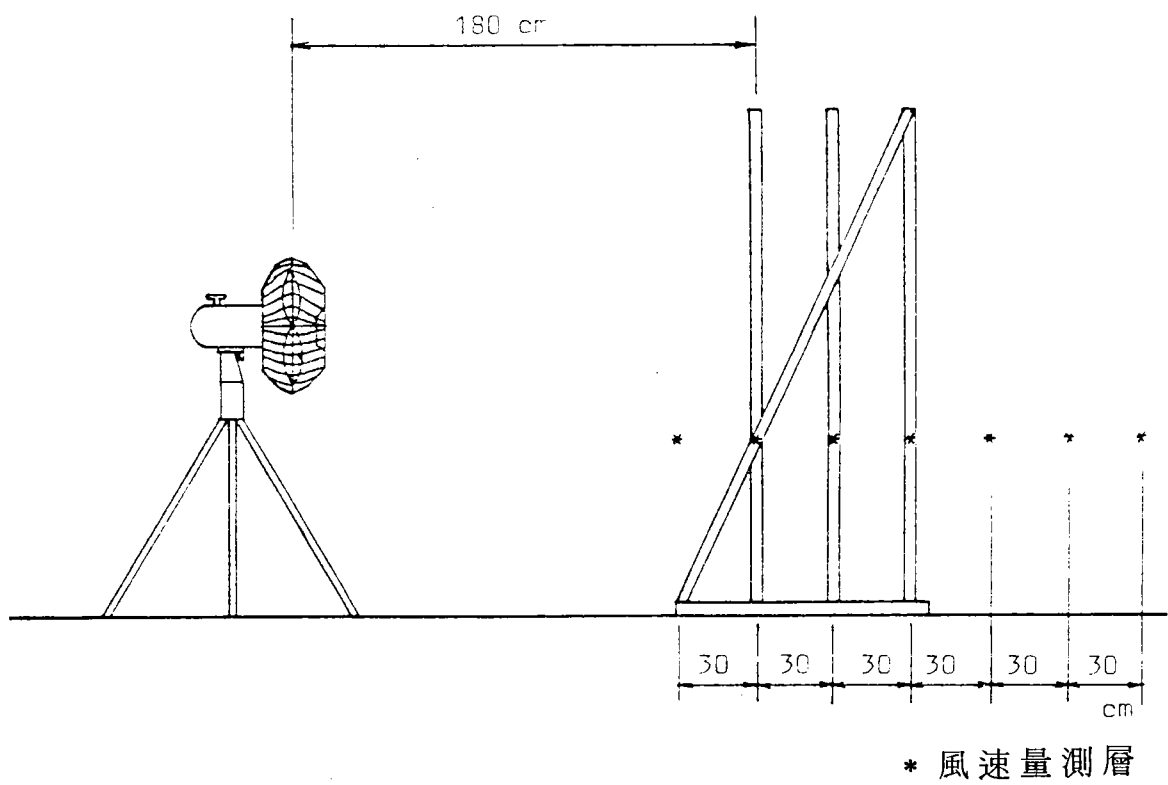


圖 (3 - 3) 試驗佈置圖

表 (3 - 1)

吸風牆試驗結果

種類	透風率	層數	牆前風速	牆後風速			衰減率	
			30cm	30cm	60cm	90cm	牆前後30公分計算	
網眼片	0.60	1	6.2	4.4	3.5	3.1	29%	備註
		2	6.1	3.4	3.2	3.0	44%	
		3	6.0	1.6	0.3	— —	73%	
旋轉片	0.90	1	8.7	2.9	1.2	— —	67%	
圓孔片	0.21	1	5.3	— —	— —	— —	100%	
半圓薄殼	L/D 0.33	1	5.4	1.1	— —	— —	80%	DL :: 直間 徑距
	L/D 0.5	1	5.6	1.8	— —	— —	68%	
交角薄片九十度	L/W 0.33	1	6.1	1.0	— —	— —	84%	WL :: 寬間 度距
	L/W 0.5	1	6.6	1.5	— —	— —	77%	
交角薄片二〇度	L/W 0.33	1	5.6	1.8	1.0	— —	68%	WL :: 寬間 度距
	L/W 0.50	1	5.8	2.0	1.2	— —	66%	

試驗由於受到造風設施僅僅為兩個風扇的限制，風源過分集中，與現場從地面至高空成對數分佈的實際風場大不相同，因此本試驗當初的構想主要在提供定性而非定量的參考結果，作為下階段決定現場小型實體模造採用吸風牆種類的依據。

從網眼片、旋轉片到交角薄片似乎每一種類的消風設施都具有相當程度的擋風效果，但由於所採用透風率並不完全一樣，實際上很難決定孰優孰劣，但就經濟觀點，選擇施工快速簡單，費用較省且具永久性不必維修或者維修較易者，則荷蘭鹿特丹港的半圓薄殼和本所的交角薄片（不論 90° 或 120° 者）都是可以考慮採用的，半圓薄殼由於採用薄殼理論設計可能材料較省，但外型具有弧度必須採用特殊的模板施工較為困難，而交角薄片則由於外型為一般平板，構造簡單施工較易，若設計時當作懸壁樑採用預力設計，相信必可節省某些程度的材料，唯此須進一步做更詳細的探討再作決定。

至於消能機試驗因產生較大力矩，以致滯緩旋轉片運作，影響消風效果。

3 - 3 討論及建議

1. 由於試驗所採用的造風設備均維持在同一轉速下，而牆前風速卻不盡相同，主要跟吸風牆的透風率有關，透風率愈大，牆前風速愈大，而透風率小，則牆前風速愈小。但整個風扇所產生的流通量應該是差不多，因此顯然有一部分風從吸風牆兩側跑走，根據現場資料顯示的確是這樣，透風率愈小的吸風牆兩側風速亦較大，這點對將來實際應用於現場上將對牆後方的遮蔽區造成亂流，嚴重影響裝卸作業的進行，若將吸風牆每一小單位對迎風面整體排列成一流線楔形，如圖（3-4）似可解決這個缺點，不過須進一步試驗加以肯定。

2. 變更交角薄片的中間角度，所導引出來的擋風效果亦有所不同，因此進一步作模型試驗用水流代替風以瞭解牆四周的流暢化是有必要的。

3. 荷蘭鹿特丹港所採用的半圓薄殼與本所的交角薄片係同樣的

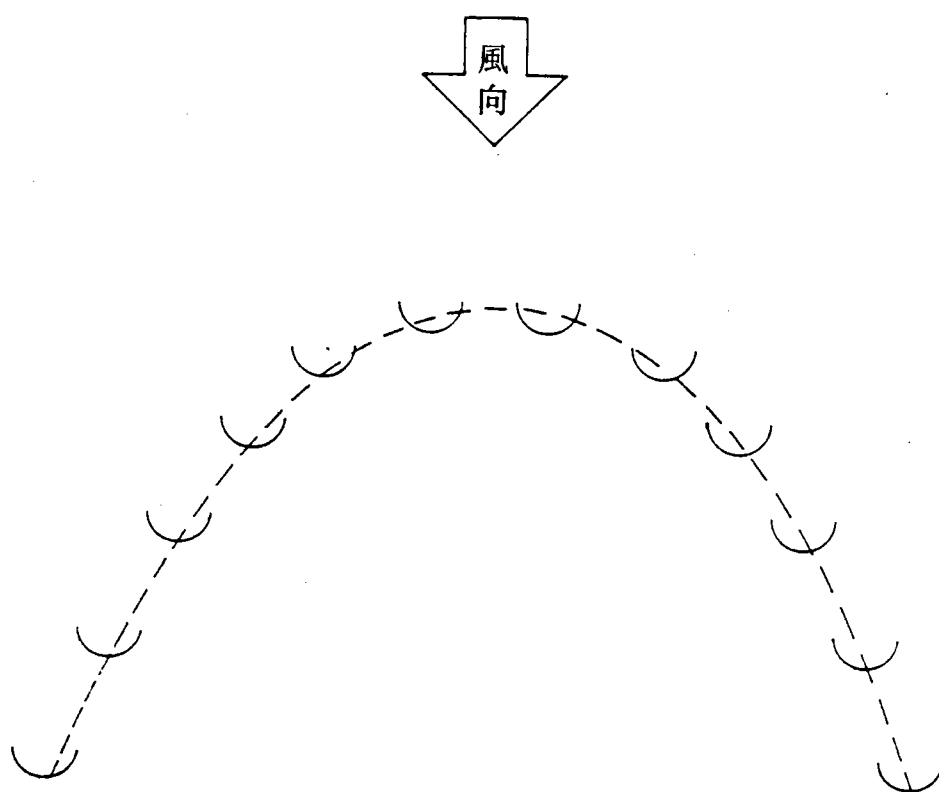


圖 3 - 4 半圓薄殼排列成流線楔形示意圖

利用「以風制風」的原理來達到消殺風能的目地，根據初步試驗結果顯示，兩者在消能效率上相差似乎不大，唯本所的交角薄片由於外型為一平板沒有半圓薄殼因為具有弧度，須用特殊模板且施工不易的缺點，若能進一步改變設計方法使得在工程費用上更加節省，則將來在設置擋風設施時倒是值得推荐採用的。

四 實體牆模型建造

4 - 1 模型框架設計

在室內的模型試驗中我們談到由於利用電扇作為風源，在風的剖面分佈上與現場隨高度成對數分佈的實際剖面相差很多，為獲得定量結果以及詳細瞭解吸風牆後遮蔽區的大小，還有流暢分佈，進一步設置小型實體模型來進行試驗是有必要的。

在設置小型實體模型之初，為因應不同的吸風牆種類，所以對模型框架的設計真是煞費苦心，為使將來的吸風牆選擇種類更具彈性，模型框架如圖 4 - 1（高 4.7m 寬 6.25m）共分為 4 層，層與層之間隔可以利用電動裝置任意調整，最大間距可至 6 m，每層框架則另加一可手搖升降的鎖定橫梁，可視實際需要將框架分為上下兩層，同時對部分承受風壓容易產生變形或劇烈震動的吸風牆亦可作為中間加強固定之用。〈框架施工請參考照片（4-1）（4-2）（4-3）〉

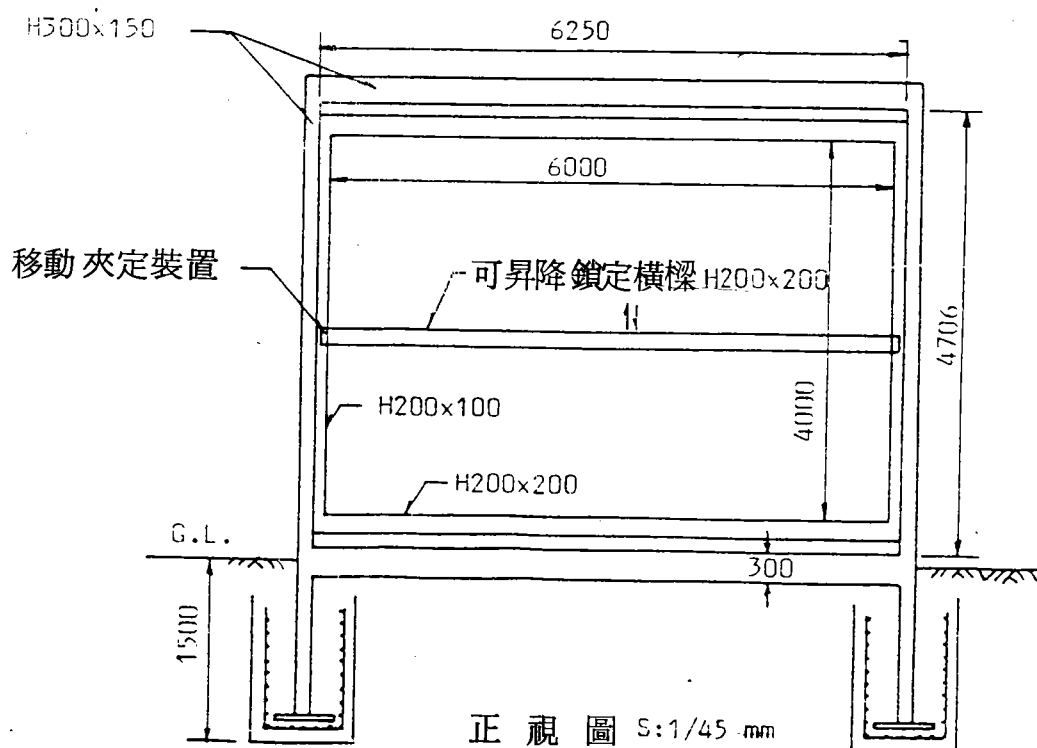
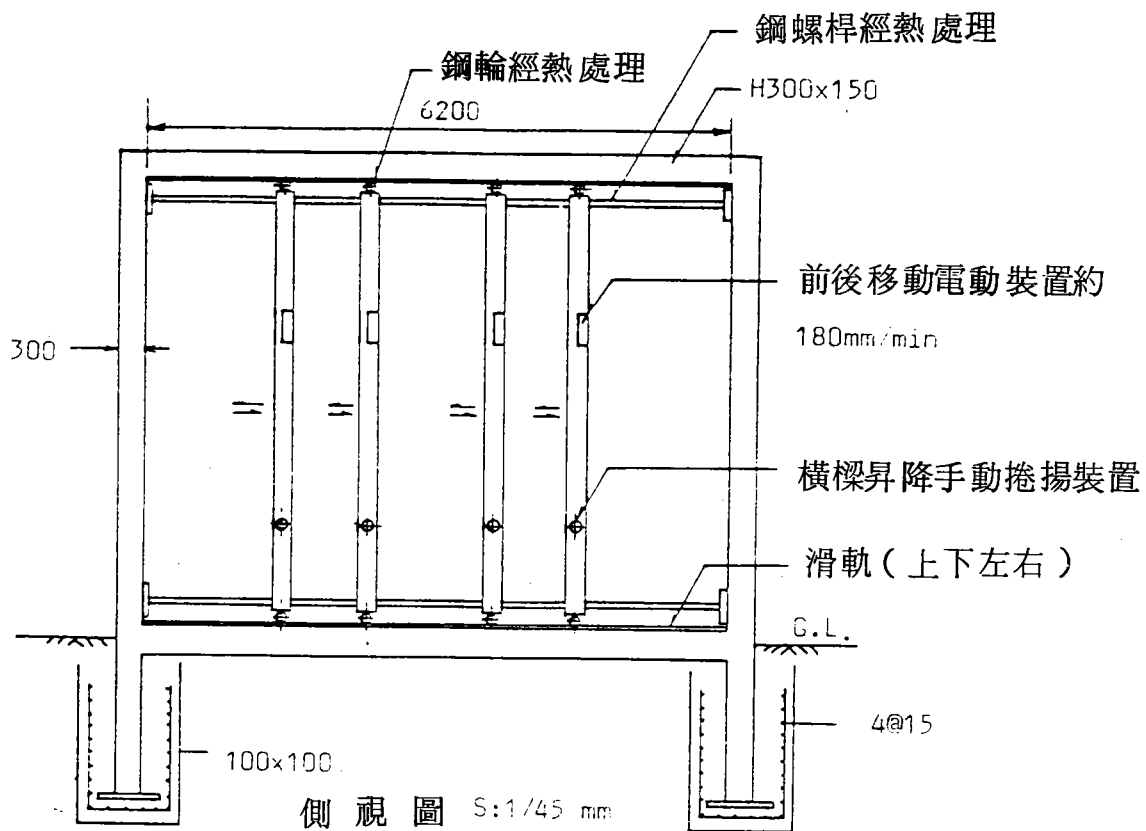
4 - 2 模型位置選定

模型設置主要考慮的因素有三：

- (一) 現場的風速大小是不是符合試驗要求？
- (二) 有無適當電源以供量測儀器需要？
- (三) 由於小型實體模型的設置費用很高，除了提供作為試驗之用外，最好還能兼具實質的擋風效益。

基於以上的考慮因素我們選擇本所舊場棚與風洞水槽中間一段長約 250m 寬 16m 的風道，作為進行現場小型實體模型試驗的場地，詳細配置如圖 4 - 2。由於風道係南北走向，在冬季季節風時風速經常可達每秒 15m 以上，符合試驗需要，同時又兼具實質的擋風效益，對新場棚的人員及車輛進出由於橫向風速減小的關係，更加方便安全，至於電源供應、風速量測、以及吸風牆維修等因為在所內更不成問題。

4 - 3 吸風牆種類選定



圖(4-1)實體模型框架構造圖

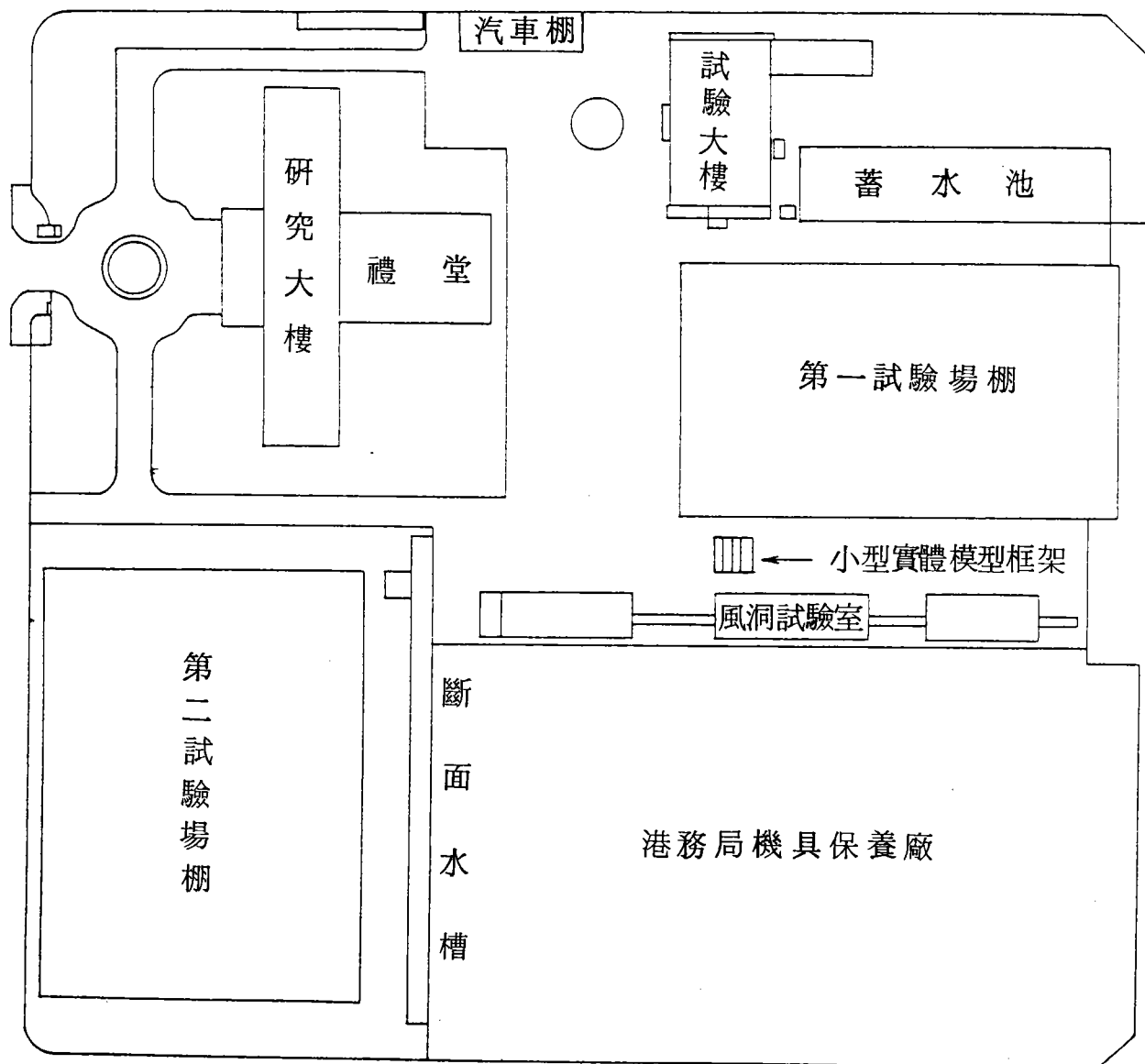


圖 (4 - 2) 小型實體模型位置圖

此次現場小型實體模型試驗對消風牆種類的選定除旋轉點太多，維修不易容易故障，而且設置成本太高，圓孔片施工不易不用外，大致上跟前述室內模型試驗中所採用的是一樣的，唯材料的選擇作少許調整，半圓薄殼利用直徑60公分的大型污水管，切半使用，網眼片則係直徑為0.25公厘，每平方呎900孔之尼龍網。

4 - 4 理論探討

試驗開始前，我們先從學理上來探討牆前後的風和渦流效應以瞭解其遮蔽效應的大小。

圖4-3為一堵孤立的障礙物對氣流所產生的一些典型效果，包括阻碍物上面氣流的改變。圖4-3(a)表示原先氣流與一固體障礙物成直角交會時的平均「流線」(streamlines) (所有各點的氣流方向和它平行，故能表示某一時刻的氣流)。圖4-3(b)為由此產生結果的一般分區。由於空氣未抵達障礙物之前，前方已經增加壓力，所以反應早就開始。剛好在障礙物的上面，因為同樣質量的空氣想要「擠」過去，因而被迫輻合，由此產生一股急流。但一經越過，以其再膨脹，所以減速。此種氣流見於「置換區」(displacement zone)。越過障礙物後，可以膨脹的空間突然增加，而流體却不能立即反應來填充它。於是氣流從障礙物的表面分開，並且把組織破壞成一種在低壓或「尾流區」(wake zone)內非常紊亂的情況，自障礙物向下風處伸展。剛在障礙物的後面，因為氣壓很低，把空氣「吸」進一個近似滯留的背風旋渦內。尾流的這一部份，一般人稱之為「空腔」(cavity)。背風渦流的大結構在最後安定下來和再集合以前，分散為尾流區內較小的紊亂旋流，與上風氣流內很相似。在尾流區內，氣流的劃分減小了風在地面及附近的力量，因而風速低減，由此產生遮蔽效果。

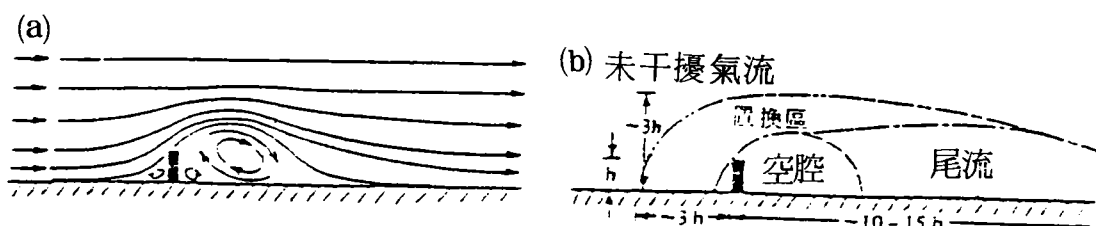


圖 4 - 3 一堵固體遮蔽物與氣流正交，由此產生的流線性(a)和典型氣流區的概略性劃分，影響範圍、高度和遠近，都以障礙物高度 h 來表示。

爲了要比較不同大小障礙物效應，通常都用障礙物的高度 (h) 來代表水平向和垂直向的影響範圍。如此則在圖(b)內可以看出：氣流受影響的高度至少離地面有 $3h$ ，障礙物前面的距離也一樣。至於障礙物下風方向影響的距離，却要由障礙物密度來決定，以從它軸心正交方向來看的開放（通風）面積和它整個垂直面積的百分比來表達（即完全不透風的障礙物密度最大，爲 100 %）。下風的影響距離，通常以水平風速與上風（無遮蔽）同高度風速相比的低減百分比來評估。圖 4 - 4 表明遮蔽帶附近在 $0.25h$ 測得下風與遮蔽物不同距離的三種障礙密度效應。假定障礙物很密，風速的低減就在背風處，因爲穿透很少或完全沒有。然而風速很快就恢復到原來數值，因爲空腔的力量很強，上面移動較快的空氣很快竄入。如果我們假設 10 % 爲最低顯著值，那麼一堵稠密的障礙物在下風處的影響距離大約 $10 \sim 15h$ 。由此可以推想低密度的障礙物對它底部附近的保護最少，以其容許較高比例的穿透氣流，但是它的恢復要比高密度者慢，因爲空氣穿透，提供空腔內一個「墊子」(cushion)，氣流採取一種更均勻的氣動力形狀。恢復 90 % 的一點發生在大約距障礙物 $15 \sim 20h$ 處，因此，它顯示：中等密度的障礙物既適於最大的延滯，在背風面又有氣動力的「墊子」，最具有遮蔽效果，如此一堵障礙物的效應，以 90 % 的恢復標準來說，雖然只能伸展至 $20 \sim 25h$ ，但觀測得風速的減弱甚至可以達到下風 $40h$ 處。

上面這種關係用於氣流與一長障礙物直交（與風向成直角）的理想情況。假定氣流與障礙物有一角度的斜交，那麼遮蔽面積成比例減小，直到與氣流平行，遮蔽作用可以略而不計，除非因爲障礙物任何一邊的摩擦作用。一堵障礙物的兩端，風彎曲繞行，形成紊亂的旋渦，被隱蔽區「吞沒」，同樣道理，如果障礙物中有缺口，風加速通過，比上風處氣流要強得多。假定障礙物的寬度遠較 h 爲大，那麼穿越氣流實質上當減弱。因此，背風面氣流更近似高密度障礙物（圖 4 - 4）。

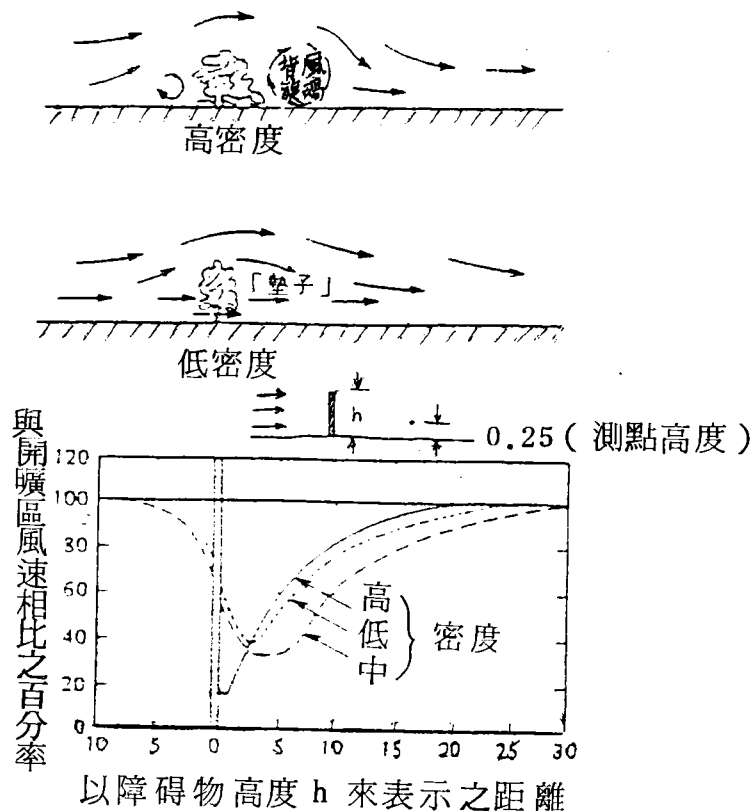


圖 4 - 4 不同密度的遮蔽物，在它附近風速的低減 (Nageli, 1946)

由以上的分析我們可以瞭解完全密閉式的擋風牆，雖然可以將牆後的風速暫時完全阻隔，但是風速的恢復甚為快速，以消殺 40. % 風能為標準來說，其遮蔽範圍僅為 5 個 h 而已，但是顯而易見的牆後所產生的強烈渦流將相對減小其遮蔽區的穩定，而難以控制的亂流甚至比正常方向的強風對貨櫃裝卸作業所造成的影響更嚴重。這也是為什麼本試驗採用半透風式的擋風設施，一者可以減小背風區的強烈渦流，二者還可以延長其遮蔽長度至 10. h 左右。

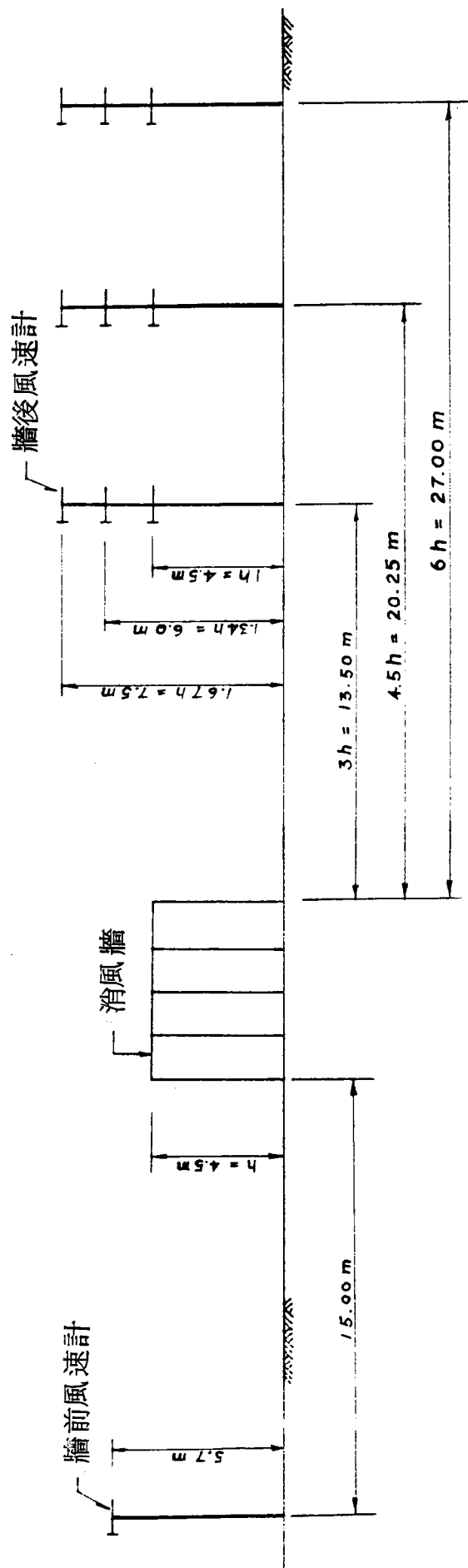
4 - 5 試驗佈置及結果分析

為量測風速經過吸風牆前後的變化，我們在小型實體模型前，選擇一風速受邊界影響最小的適當位置，安裝風速計乙具，高度固定在 5.7 公尺，距離牆前 15.0 公尺。至於透過牆後的風速量測則利用一可推移兼高度可調節之風速架，上頭安置風速計乙具以瞭解牆後不同距離處風速垂直剖面之變化，整個量測佈置如圖 4 - 5。

試驗進度依半圓薄殼，交角薄片 (90°)，透氣砂網分別進行，

半圓薄殼每片寬度60公分，間距根據荷蘭鹿特丹所採用的約略為半圓直徑的 $\frac{1}{3}$ 到 $\frac{1}{2}$ 左右，本試驗採用 $\frac{1}{3}D$ 即20公分，至於交角薄片每片寬度40公分，為便於比較，每片間距同樣採用20公分，而透氣砂網則為進一步瞭解層數及層與層之間距對吸風效果的影響，層數及間距分別採用二層、三層及60、80、120公分。試驗結果如附表4-1~6。資料並點繪於圖4-6。整個趨勢大致可歸納出下列幾個原則：

- (1) 遮蔽效應隨高度之增加而遞減。
- (2) 遮蔽效應隨牆後水平距離之增加而減少。
- (3) 以消殺40%的風力為原則考量，則牆後方遮蔽的水平距離可為牆高度(H)的五倍左右，唯試驗所採用的小型實體模型牆寬有限，而在實際現場應用上因寬度較長，且高度亦可酌量加高若再配合迎風面排列成楔形或錐形則遮蔽涵蓋的水平距離當不僅於此。
- (4) 根據試驗所採用的幾種吸風牆構造其消風效果在牆後近距離處如3H附近，圓形薄殼，交角薄片，三層透氣紗網似乎相差不大，但在中距離即4.5H附近三層透氣紗網的效果顯得較為突出，交角薄片次之而半圓薄殼則較差，至於長距離即6.0H附近則以交角薄片最佳，三層紗網次之，半圓薄殼最差，唯此處受亂流的影響較大，資料的可參考度較差。



吸風牆試驗設置示意圖
圖 4 - 5

表 4-2

種類：木板（9 片）

每片寬度：40 cm

層數：一層

間 距：20 cm

case:

3 h				3 h				3 h				3 h			
x	y	V	V/V_0	x	y	V	V/V_0	x	y	V	V/V_0	x	y	V	V/V_0
x	y	V	V/V_0	x	y	V	V/V_0	x	y	V	V/V_0	x	y	V	V/V_0
0.5h	2.17	5.87	0.37	1 h	3.23	6.1	0.53	1.34h	5.1	6.2	0.82	1.67h	5.0	4.9	1.02

case:

4.5 h				4.5 h				4.5 h				4.5 h							
x		y		V	V_0	V/V_0	x	y		V	V_0	V/V_0	x		y		V	V_0	V/V_0
x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
0.5 h	3.53	5.57	0.63	1 h	4.93	6.1	0.81	1.34h	2.87	3.5	0.82	1.67h	2.7	2.3	1.17				

case:

6 h			6 h			6 h			6 h						
x	y	V/V_0	x	y	V/V_0	x	y	V/V_0	x	y	V/V_0				
x	y	V	x	y	V	x	y	V	x	y	V				
0.5 h	3.63	5.4	0.67	1 h	4.3	5.8	0.74	1.34h	5.1	5.9	0.86	1.67h	3.27	3.23	1.01

表 4 - 3

種類：漁網

層數：二層

每片寬度：

間 距：60 cm

case:

3 h				3 h				3 h				3 h			
x	y	V	V/V ₀	x	y	V	V/V ₀	x	y	V	V/V ₀	x	y	V	V/V ₀
0.5h	1.7	4.97	0.34	1h	3.13	4.1	0.76	1.34h	2.9	3.26	0.89	1.67h	5.17	4.93	1.05

表 4-4

種類：漁網

每片寬度：

層數：二層

間 距：80 cm

case:

x y	3 h			x y	3 h			x y	3 h			x y	3 h		
	V	V_0	V/V_0		V	V_0	V/V_0		V	V_0	V/V_0		V	V_0	V/V_0
0.5h	1.87	5.0	0.374	1h	3.87	5.3	0.73	1.34h	4.1	4.6	0.891	1.67h	3.97	3.6	1.1

case:

x y	4.5 h			x y	4.5 h			x y	4.5 h			x y	4.5 h		
	V	V_0	V/V_0		V	V_0	V/V_0		V	V_0	V/V_0		V	V_0	V/V_0
0.5 h				1 h				1.34h				1.67h			

case:

x y	6 h			x y	6 h			x y	6 h			x y	6 h		
	V	V_0	V/V_0		V	V_0	V/V_0		V	V_0	V/V_0		V	V_0	V/V_0
0.5 h				1 h				1.34h				1.67h			

表 4-5

種類：漁網

層數：二層

case:

每片寬度：

間 距：120 cm

3 h				3 h				3 h				3 h																			
x		y		V		V/V ₀		x		y		V		V/V ₀		x		y		V		V/V ₀									
0.5h		1.6		4.17		0.384		1 h		2.2		2.9		0.76		1.34h		4.8		5.2		0.92		1.67h		5.57		4.9		1.14	

case:

4.5 h			4.5 h			4.5 h			4.5 h			4.5 h		
x	y	V	V ₀	V/V ₀	x	y	V	V ₀	V/V ₀	x	y	V	V ₀	V/V ₀
0.5 h					1 h					1.34 h				

case:

6 h			6 h			6 h			6 h			6 h					
x	y	V	V ₀	V/V ₀	y	x	y	V	V ₀	V/V ₀	y	x	y	V	V ₀	V/V ₀	
x		y		V		x		y		V		x		y		V	
0.5 h						1 h						1.34 h				1.67 h	

—●— 透氣紗網 (3 層)
 —○— 透氣紗網 (2 層)

—△— 交角薄片 (1 層)
 —□— 半圓薄片 (1 層)

H : 吸風牆高度
 X : 風速計與吸風牆之距離

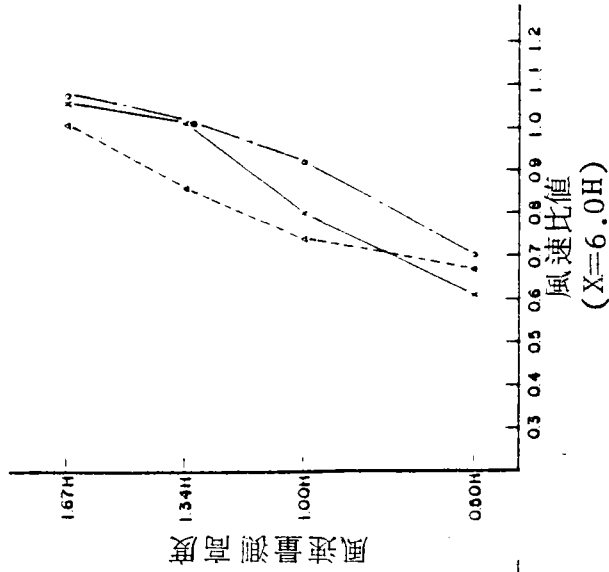
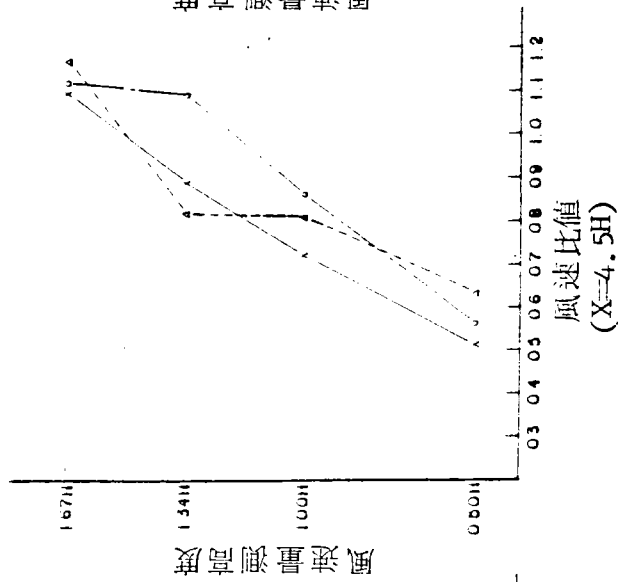
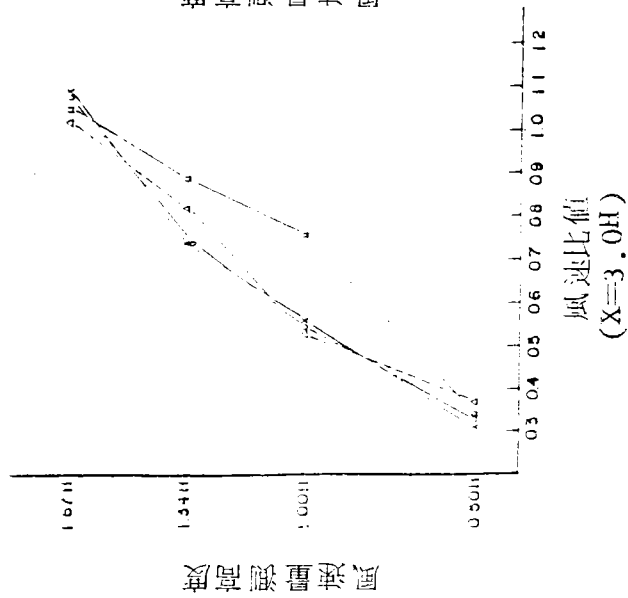
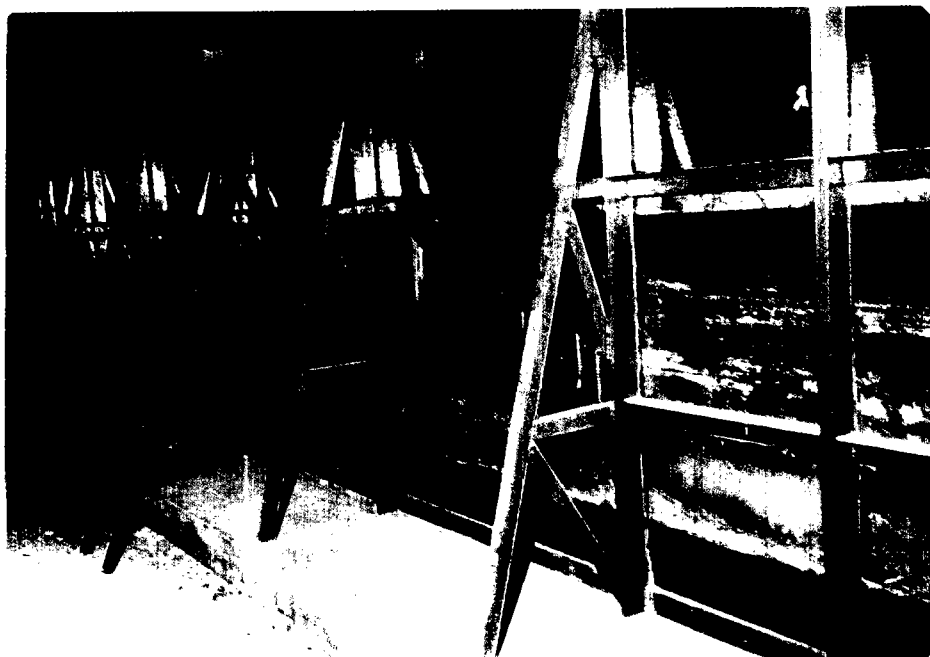


圖 4 - 6

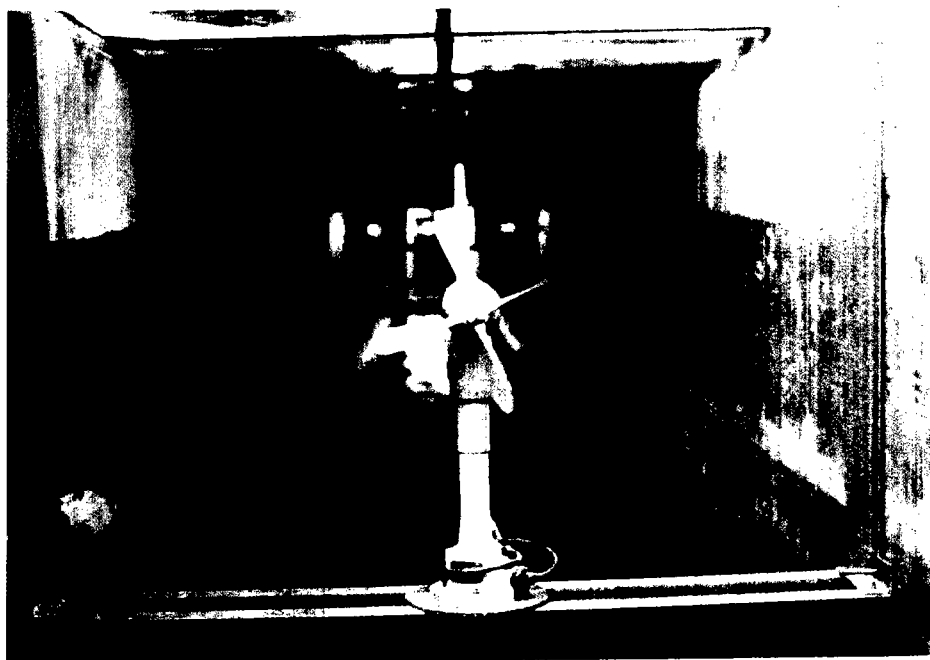
五、結論與建議

吸風牆小型實體模型試驗結果顯示，半圓薄殼、交角薄片、多層紗網對風能的消殺均有不同程度的效果，荷蘭特丹港所採用的半圓薄殼雖然效果不錯，但在現場實際應用上由於牽涉到薄殼設計及曲面模板施工較為麻煩，不如交角薄片及多層紗網的簡單。

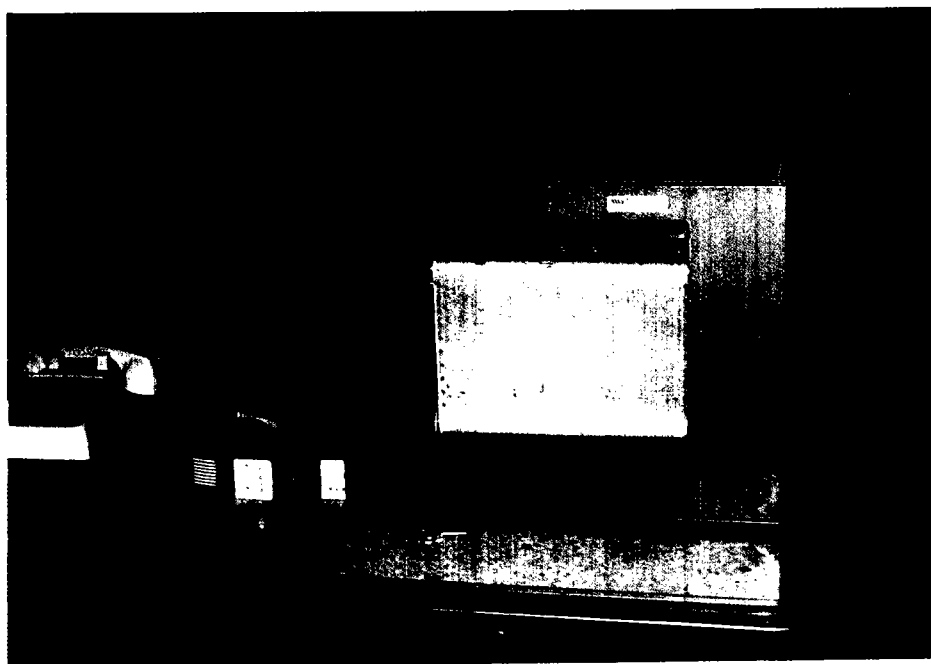
多層紗網若能適當的改變一下設計，根據紗網的層數及間距，構築成一個個箱網單元，每個單元或 $2\text{ m} \times 2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 或 $3\text{ m} \times 3\text{ m} \times 3\text{ m}$ 不等，視現場吸風牆的高度作適當的調配，施工將可以大量簡化，在工場預鑄後運往現場堆砌，工期可大幅縮短，對營運中的港口，尤其適合，另外由於牆係利用許多箱網單元堆砌而成，因此若有需要可對迎風面排列成一楔形或錐形，在實際應用上較具彈性。又於無風期，可機動拆下箱網爭取空間，減低影響觀瞻程度均為其優點。



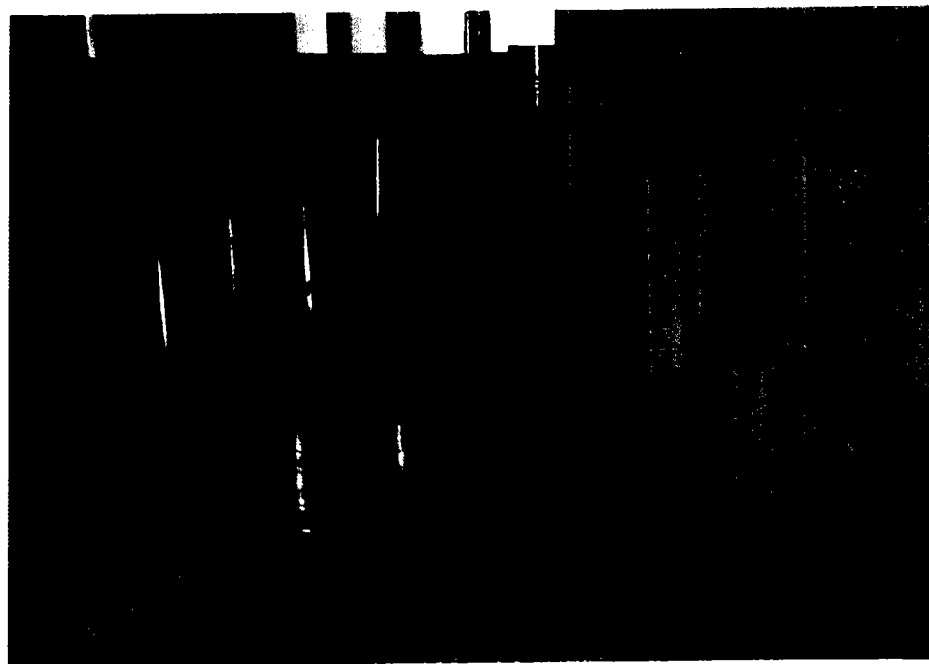
照片（ 2 — 1 ）風洞水槽



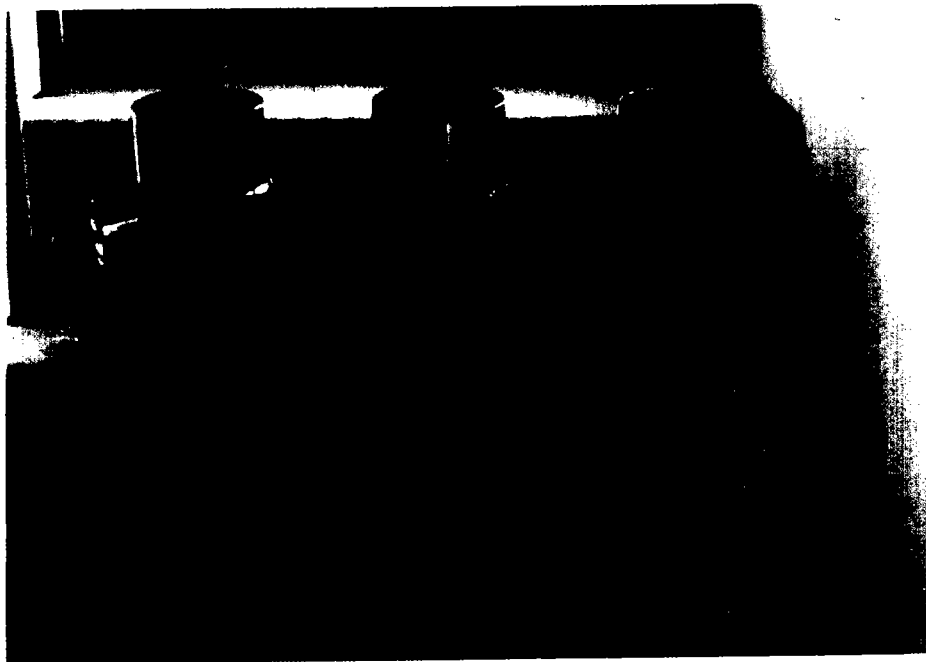
照片（ 2 — 2 ）風速儀



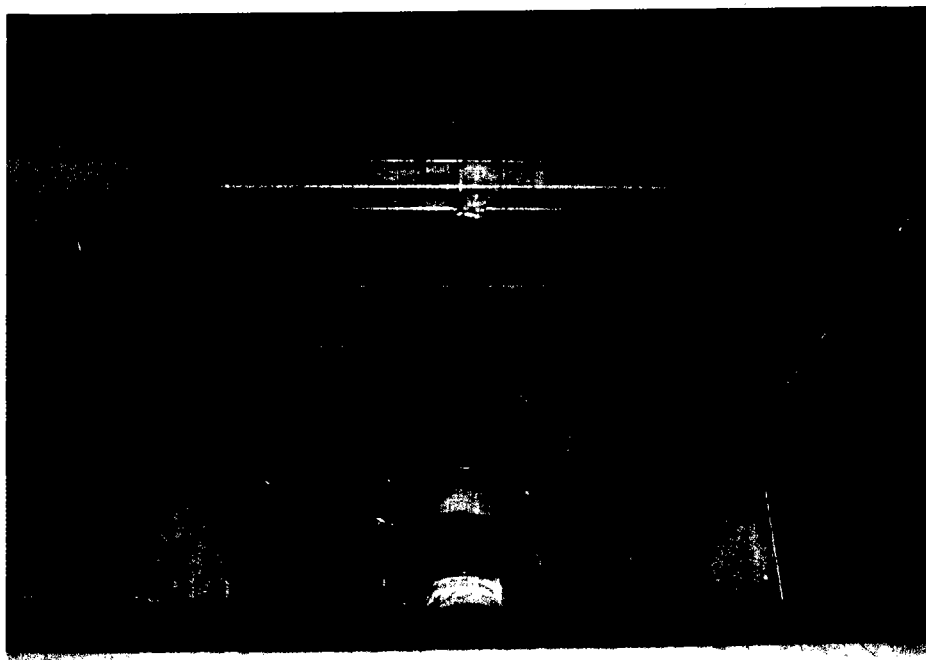
照片（ 2 — 3 ）風速記錄儀



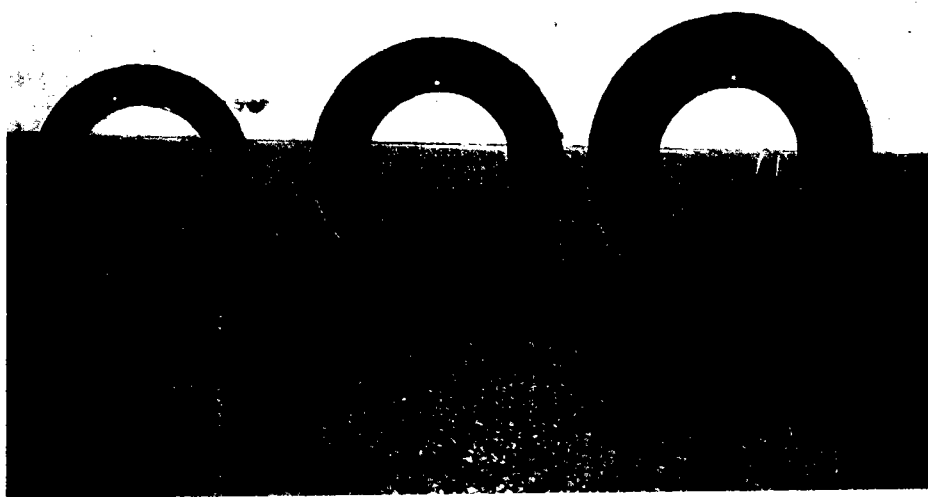
照片（ 2 — 4 ）各種縮放管



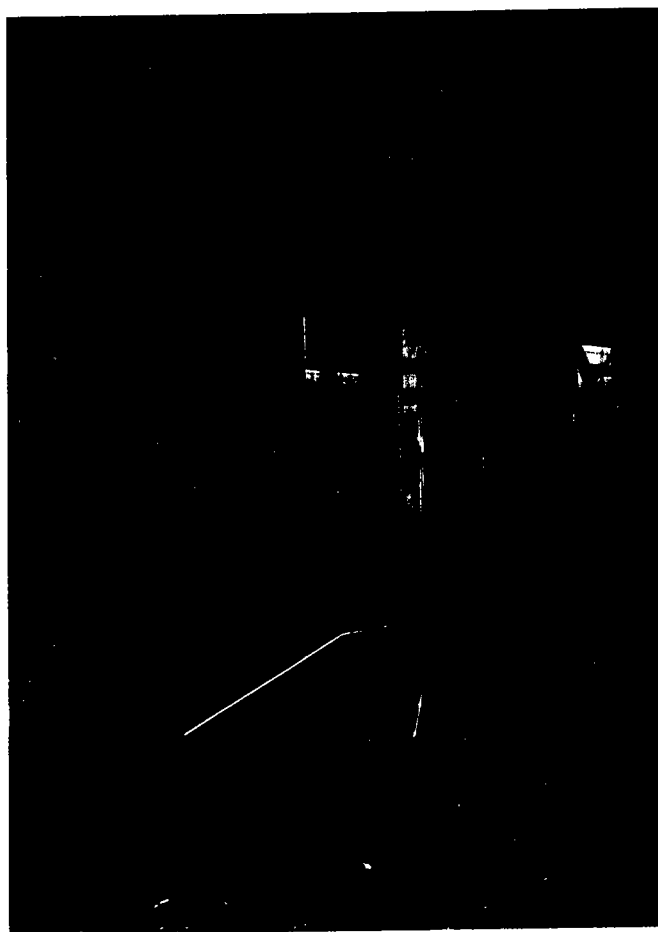
照片（ 2 — 5 ）中間管與支管



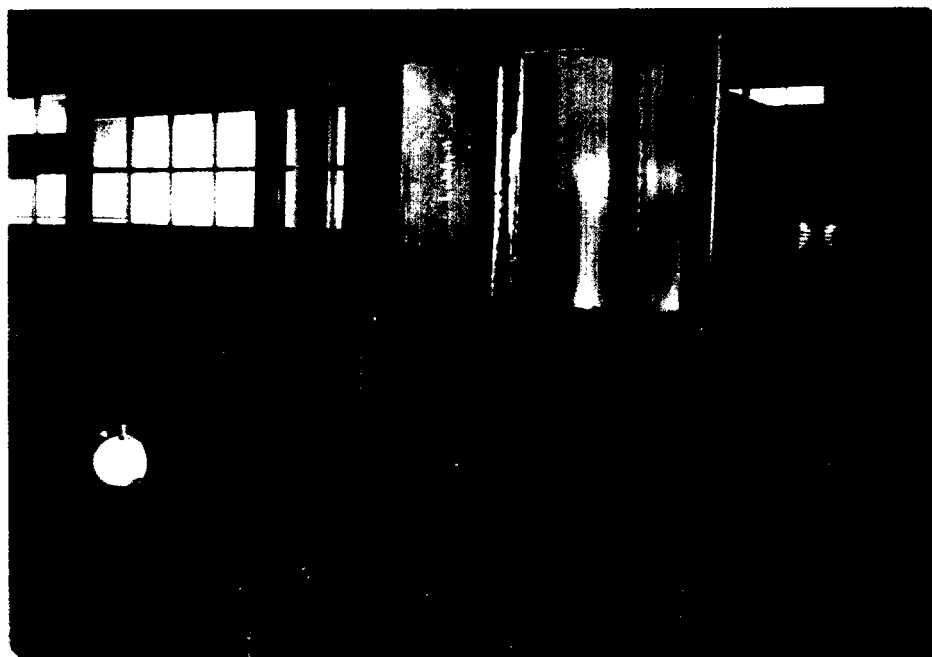
照片（ 2 — 6 ）縮放管支架與工作台



照片（ 2 — 7 ）縮放管外緣



照片（ 2 — 8 ）水頭差觀測木尺



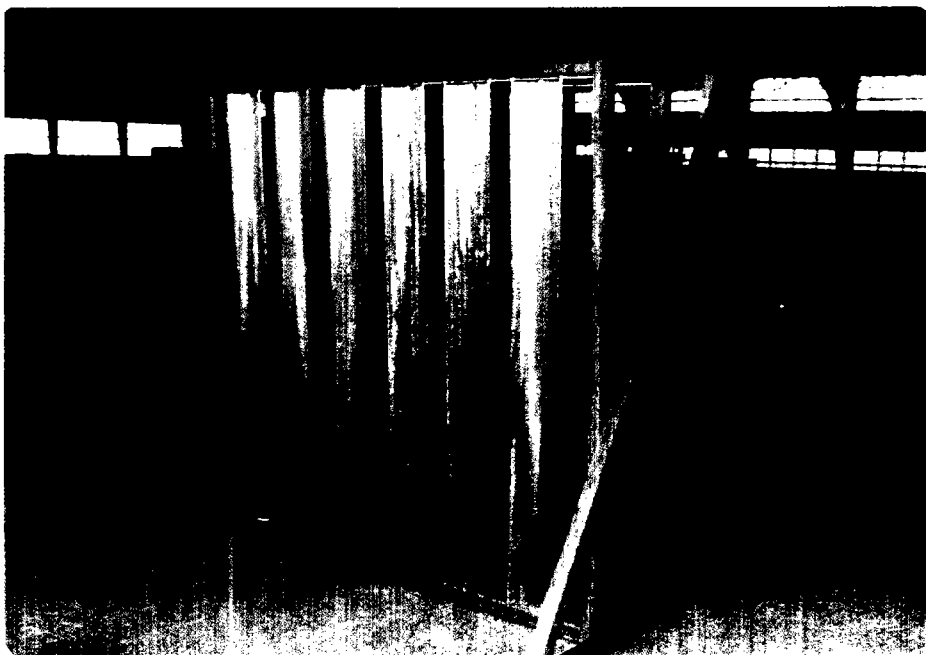
照片（ 3 — 1 ）旋轉片



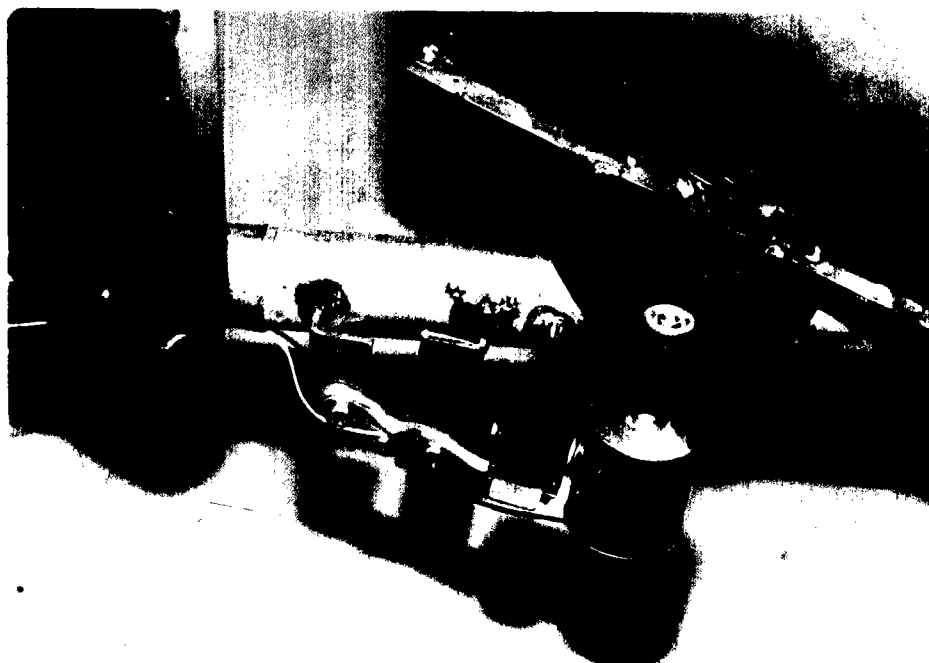
照片（ 3 — 2 ）圓孔片



照片(3 - 3) 網眼片



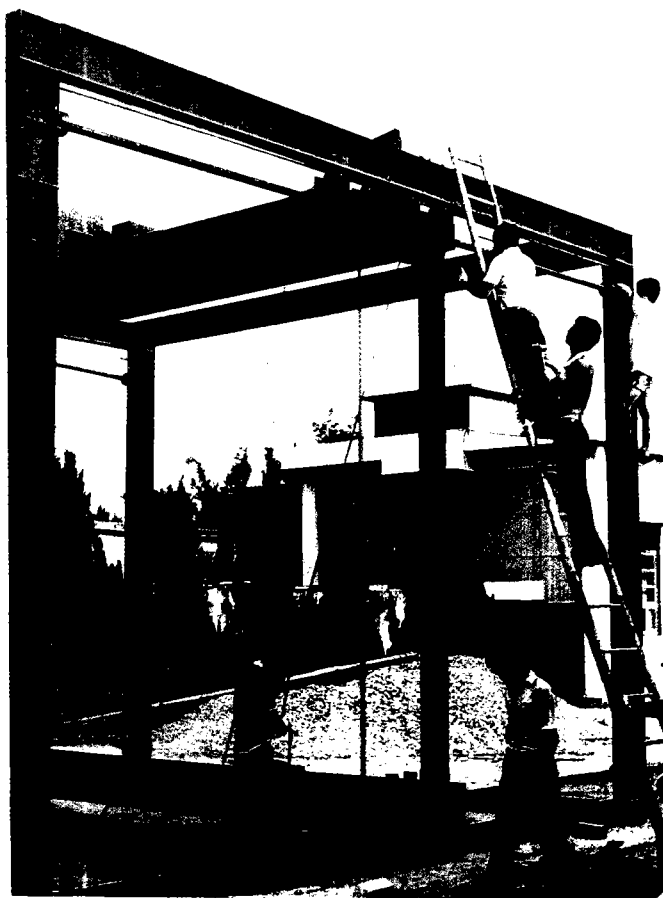
照片(3 - 4) 半圓薄殼及交角薄片



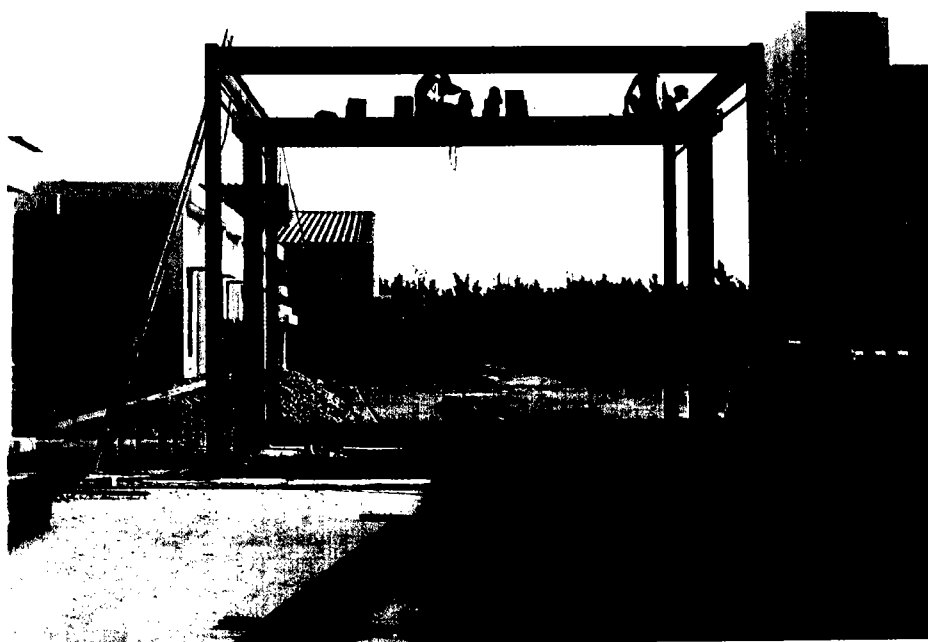
照片（ 3 — 5 ）旋轉片加裝消能裝置



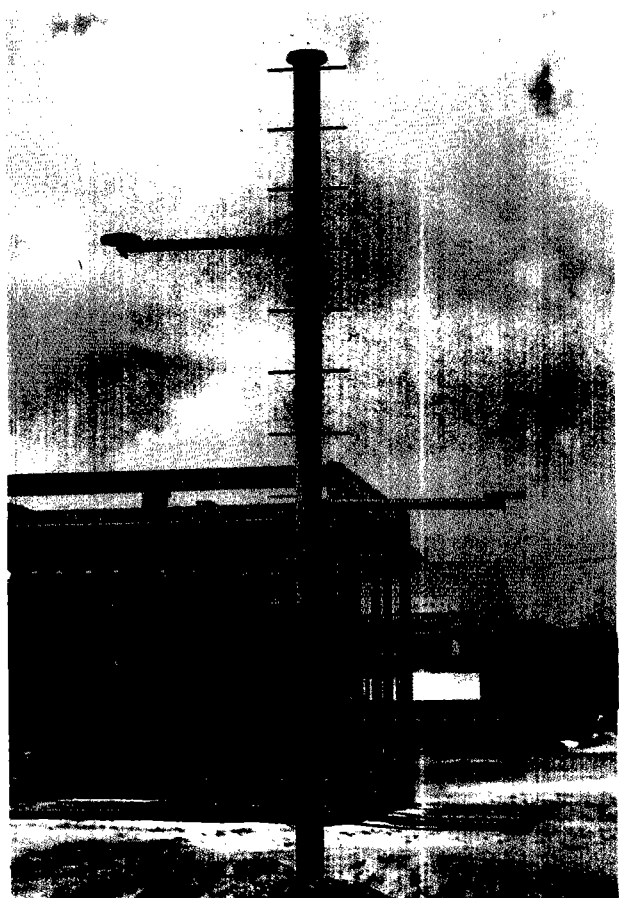
照片（ 4 — 1 ）實體模型框架施工(一)



照片(4 - 2) 實體模型框架施工(二)



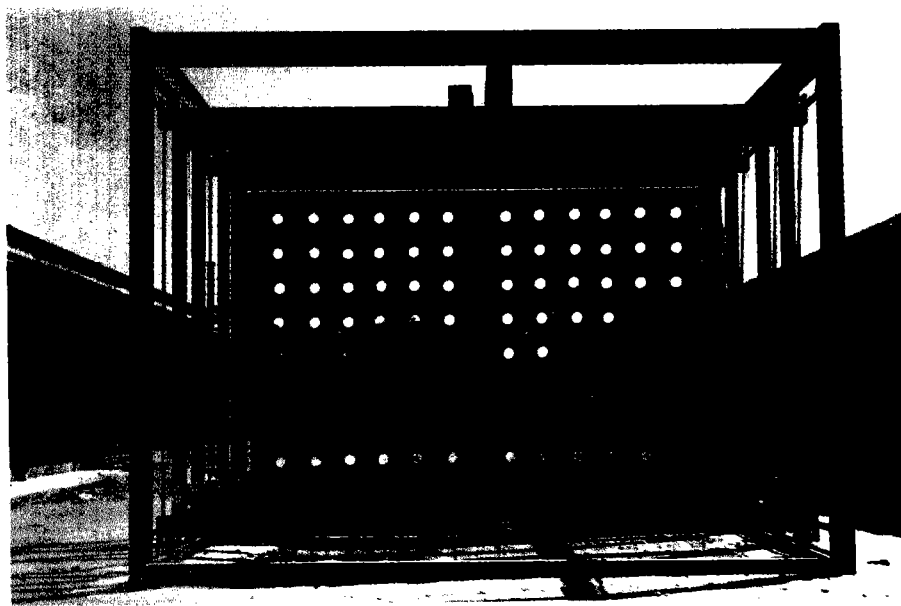
照片(4 - 3) 實體模型框架施工(三)



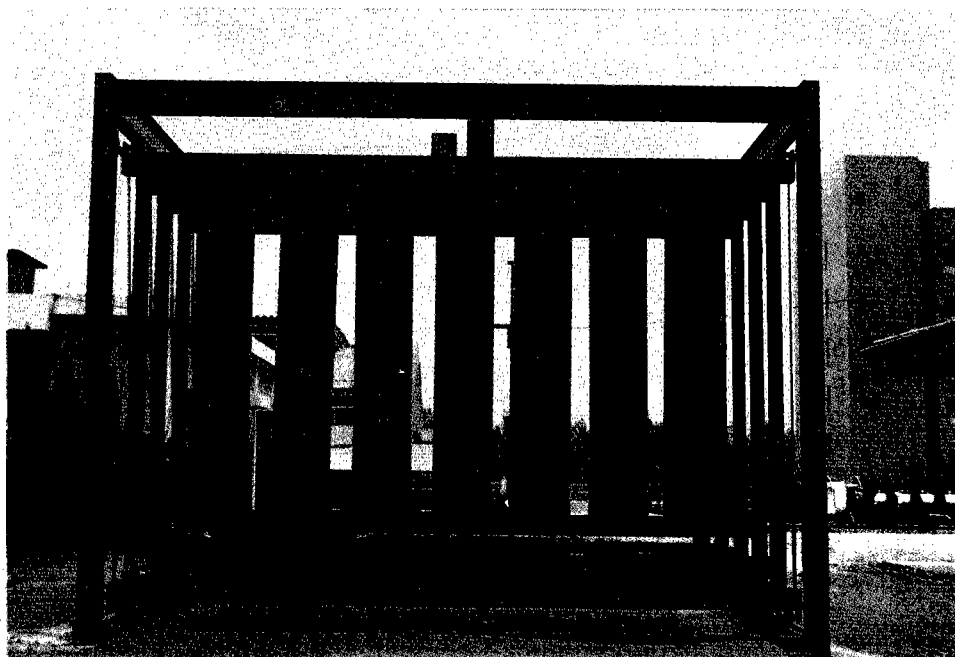
照片(4 - 4) 固定式風速架



照片(4 - 5) 移動式風速架

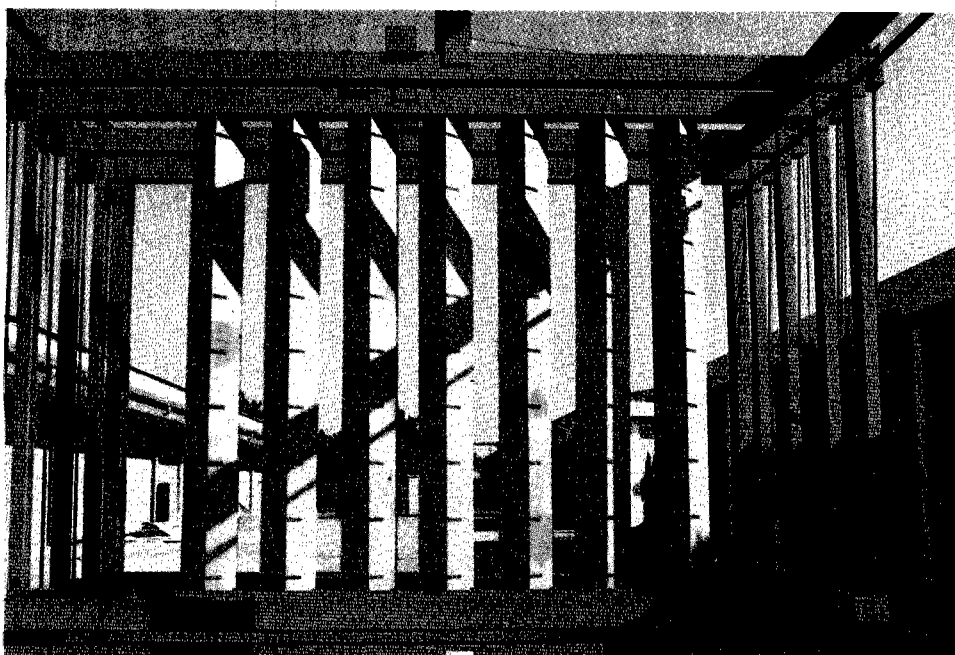


照片(4 - 6) 圓孔薄片



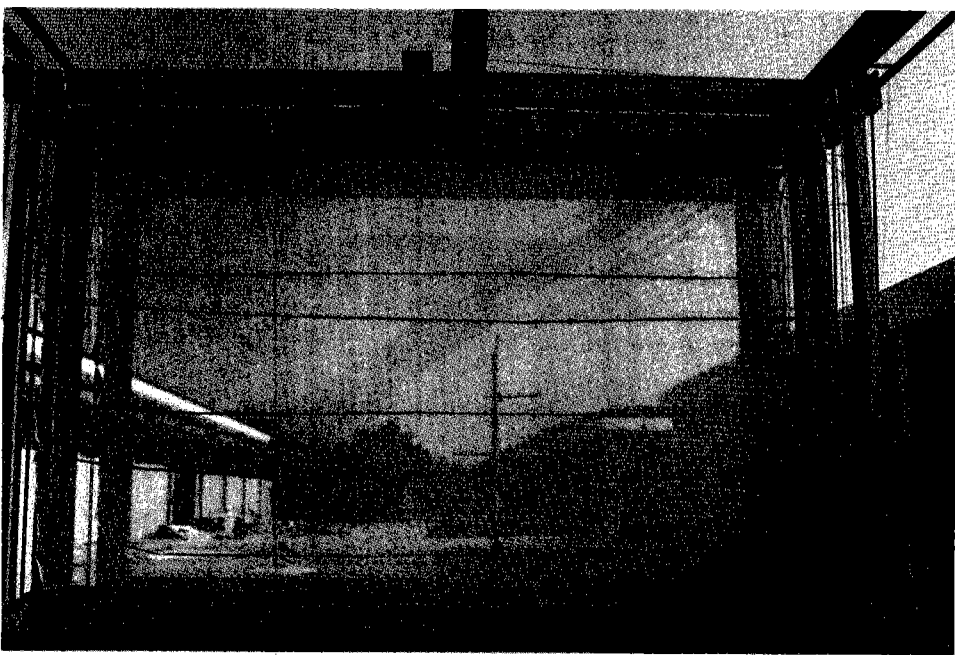
照片(4 - 7)

半
圓
薄
殼



照片(4 - 8)

交
角
薄
片



照片(4 - 9)

透
氣
紗
網