

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物及地球科學科

第二名

031732

風殺竹塹--新竹市沙塵暴的探討

學校名稱：新竹市立光武國民中學

作者： 國二 李抒敏 國二 裘惟欣 國二 蔡承諭 國二 黃夢堯	指導老師： 林茂成
---	--------------

關鍵詞：新竹風、定沙、沙塵暴

摘 要

新竹以東北季風名聞台灣。近幾年我們發現這美麗的風城一到十月份頭前溪河床上的沙被強勁的季風吹入新竹市，讓新竹壟罩在宛如小型沙塵暴的漫天風沙中，這景象令人擔憂。經過我們研究先以吸管束成風洞裝置，風扇為風源模擬河邊自然風的實驗發現 2cm 長的吸管便可達到風洞效果使風保持平穩，在控制風角度的實驗中以 40 度的風向最符合我們發現溪邊的沙丘角度。在沙量的實驗，我們改變風速，發現地表風速在 2.5m/s 以上，表面的沙子會飛走。定沙實驗以覆蓋洗衣網的效果最佳，能定住 92.2%。防風牆 1/2 圓弧具較佳的定沙效果，一層則可定住 88% 的沙，3 層即可達到幾乎百分之百定沙。另外一層柵欄與風向的角度約 60 度與沙面的角度約 135 度可定住 54.5% 的沙。在撒水的實驗中只要 0.5% 的水就可以定住 70% 的沙子，推測水的定沙原理不是靠水的重量是因水的存在增加沙粒間的吸引力。最後，我們實地觀察測量提出沙塵暴的防治可分三方面進行：一、頭前溪左岸應以定沙管理為主；高灘地或民眾休憩的河濱公園的開發應設在右岸。二、定沙管理分兩部份：一是有條件開放農民種植低污染的農業如牧草，一是計畫性的設置定沙柵及定沙牆與覆蓋沙面。三、採砂與運送要利用科學方法：加裝噴霧器噴水或密閉式運送，可節省可觀的砂石與降低環境的汙染。

壹、 研究動機

我們研究過風的各種因素會影響沙面變化，也在快速道上觀察到頭前溪河床上的沙被強勁的風吹入新竹市，讓新竹壟罩在沙塵中，這讓我們好奇，何時除了米粉、柿子，沙塵暴竟成新竹的名產？難道都沒有方法可以讓這些沙不再飛嗎？這是什麼因素所造成？這都是我們心中的疑惑。我們在實驗室圍起一座沙坑、幾個馬達、幾組風扇、幾個天馬行空的想法。試著接近問題的核心，也常頂著大風、冒著漫天的飛砂，在河邊觀察、測量，期望解開疑惑。

貳、 研究目的

1. 用簡易的方法設計、模擬自然風的風速與風向的風洞裝置。
2. 探討風的方向、角度對沙面變化的影響。
3. 探討風的強度與不同角度時對沙量減少的變化。
4. 柵欄與防風牆及覆蓋沙面的定沙效果。
5. 氣候、河川政策、砂石管理對新竹市沙塵暴的影響。

參、 研究設備及器材

玻璃實驗箱 1m*1m	風速計
小馬達轉速 10000rpm 大馬達轉速 7000rpm	盛沙容器
吸管(製成風洞)	木板、木塊
冰棒棍(製成柵欄)	熱熔膠
竹籤(製成防風牆)	鉛錘
電源供應器*4	天平
C 型夾	洗衣網

肆、各實驗結果與討論

實驗一、風洞實驗

實驗一步驟與裝置

風速

- (1) 準備風扇一組，架設風速計。
- (2) 將吸管裁成 2、4、8、16cm 各束成不同風洞。
- (3) 分對照組(無風洞)與實驗組(風洞以 2、4、8、16cm 實驗)。
- (4) 測量距離風口 15、20、25、30、35、40 cm 的風速。

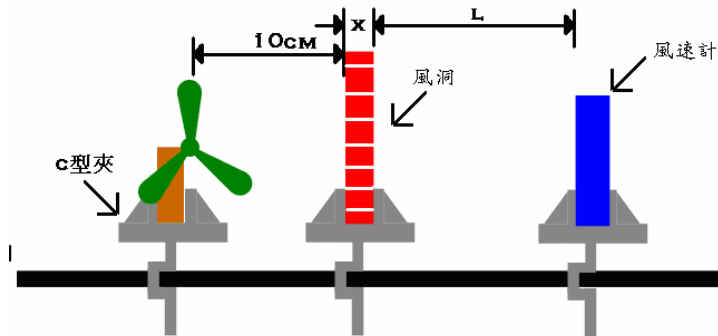


圖 1-1 吸管長短、距離與風速變化實驗裝置

沙面變化

- (1) 準備風扇與風洞一組，架設於實驗箱，風扇距沙面 0.5 公分，風扇距風洞 8 公分。
- (2) 風速以距離風口 30 公分處測得 2.0m/s 實驗。
- (3) 分對照組與實驗組
以 0 (對照組)、2、16cm 三組實驗，每 5min 測量沙紋寬(λ)、沙坑寬(d)及沙坑深(h)

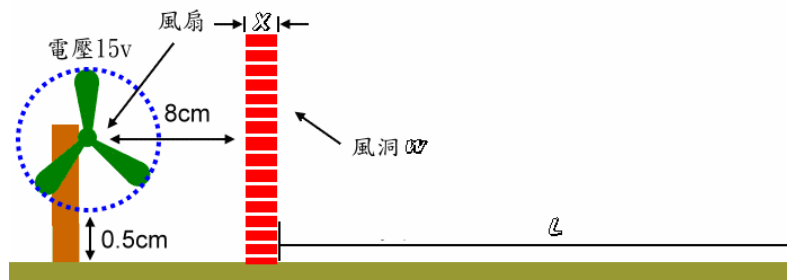


圖 1-2 沙面變化實驗裝置

實驗一結果

1. 風速

表 1-1 不同長度風洞代號

吸管長度 X(cm)	0	2	4	8	16
代號	A	B	C	D	E

表 1-2 距離不同長度風洞，後方風速的變化

(單位：米/秒)

L(cm) W	15	20	25	30	35	40
A	4.5~4.9	3.8~4.2	3.6~4.0	3.3~3.8	2.5~2.9	2.0~2.4
B	5.7	5.5	5.5	5.4	5.2	5.0
C	5.3	5.2	5.1	5.1	5.0	4.9
D	5.1	4.9	4.8	4.6	4.5	4.3
E	4.0	3.9	3.9	3.9	3.9	3.8

2. 沙面變化

表 1-3 對照組沙面吹 5、10、15 分鐘後沙坑寬度(d)及沙紋寬度(λ)變化 (單位：公分)

L(cm) T(min)	10		20		30		40		50		60	
	d	λ	d	λ	d	λ	d	λ	d	λ	d	λ
5	18.0	0	20.5	36.5	17.0	38.0	0	42.0	0	37.5	0	32.8
10	19.7	0	21.5	0	18.5	40.2	0	43.5	0	42.2	0	30.8
15	20.0	0	22.3	0	19.3	39.0	0	42.8	0	43.0	0	32.0

※ d：沙坑寬度(cm)， λ ：沙紋寬度(cm)。

表 1-4 對照組沙面自風口後 0、10、20、30、40cm 處沙坑深度變化 (單位：公分)

L(cm) T(min) h	0	10	20	30	40
5	-0.8	-2.1	-3.6	-1	-1
10	-1	-4.2	-4.2	-2	-0.5
15	-1.2	-4.3	-4.2	-2.2	-0.5

※負數表下陷，正數表堆積 ※ h：沙坑深度

表 1-5 實驗組風洞 B(2cm)、風洞 E(16cm)沙面沙紋寬度(λ)變化

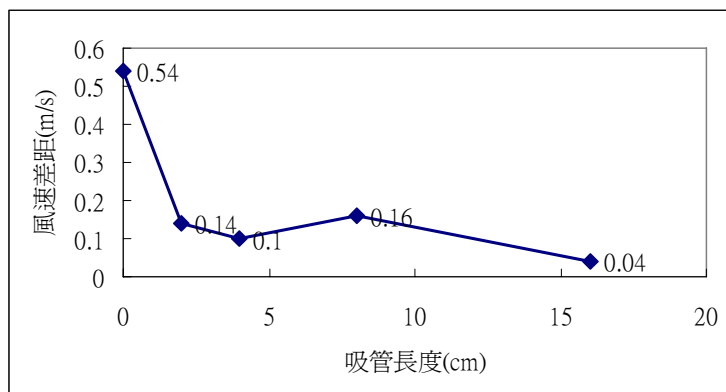
L(cm) T(min)	10		20		30		40	
	B	E	B	E	B	E	B	E
5	5.5	12.5	8.5	14.3	13.5	15.7	12	16.7
10	9	12.5	11	13.7	12	14.3	12	14.8
15	9	11	10	11.7	11	13.2	12	12.7

※ λ ：沙紋寬度(cm)。

實驗一問題與討論

1. 以風扇為風源，產生的風形與風向與實地不同，因此我們將粗吸管剪成 2、4、8、16 公分束作成 B、C、D、E 的風洞(如表 1-1)架設於風扇前測得風速隨距離變化(如表 1-2)，無風洞風速較不穩，因為風呈圓錐狀在後方會散開，能量減少風速亦隨距離減少。距離由 15

增至 40cm 時風速由 4.9 降成 2.4m/s，加裝風洞的實驗會有平穩的風向與風速，且吸管越長，風平穩越遠，唯增加吸管長度會增加風阻，風速就會減少(圖表 1-1)。因實驗範圍未超過 1m，故選擇 B 組有較強風速與平穩風向的效果。



圖表 1-1 不同長度吸管束成的風洞風速實驗，越長吸管做成的風速愈穩定 (數值愈低愈穩定)

2. 表 1-3 看出無風洞沙紋寬，在 20、30cm 開始增加，至 40、50cm 最大，接著減至 60cm 最短，呈扇形(照片 1-1)，推論因無風洞風呈圓錐狀。表 1-4 看出沙坑中心最深，兩旁較淺(圖 1-3)，且前後方較窄，中間較寬，呈水滴狀(表 1-2、照片 1-2)所以推測風的行進方式如圖 1-4，圓錐狀的風經撞擊沙面後反彈，形成非直進的風，與自然風(照片 1-3)不同，因此加入風洞。

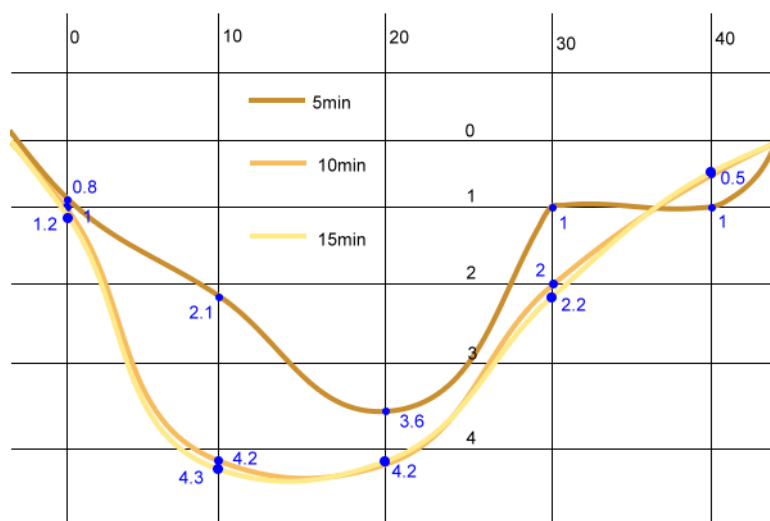


圖 1-3
無風洞沙坑深度變化



照片 1-1
對照組沙紋呈扇形



照片 1-2
對照組沙坑呈水滴狀

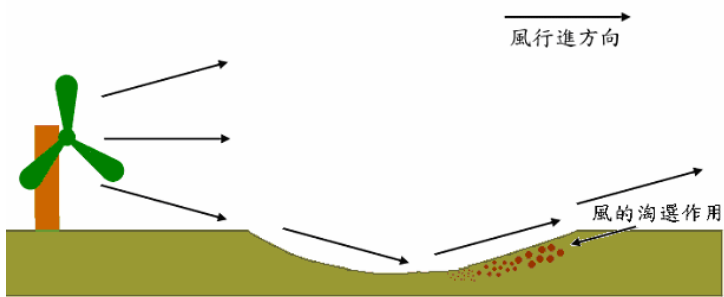


圖 1-4 對照組風前進方式與沙坑形成示意圖



照片 1-3 溪邊沙紋

3. 表 1-5 風洞組 B、E 吹出的沙紋發現沙紋寬不論風速大小，均維持一定寬度。推論是因風洞能使風成直線前進，使沙紋成線型(照片 1-4)。後方沙紋較寬，是因風至後方仍會散開，使沙紋變寬。



照片 1-4 由風洞的風吹出的沙紋呈線型

實驗二、風的角度與沙面變化

實驗二步驟與裝置

1. 架設一組風扇於實驗箱，風洞 B 底部與沙面距離 3cm。
2. 將吸管裁成 2cm 束成風洞，分對照組(無風洞)與實驗組(風洞 B)。
3. 測量距風口 10、20、30、40、50cm 處每吹 5min 沙坑及沙紋變化，共 15min。
4. 風扇與沙面呈 0、20、40 度，重複步驟 1、2、3 紀錄沙坑寬(d)及沙紋寬(λ)。

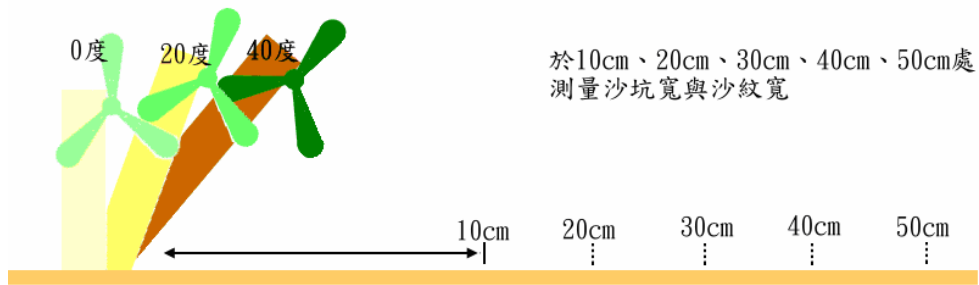


圖 2-1 沒有裝置吸管風洞的對照組

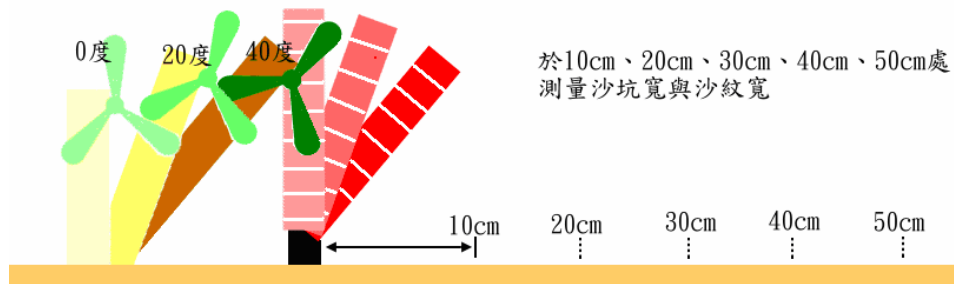


圖 2-2 有裝置吸管風洞的實驗組

實驗二結果

1. 對照組 A

表 2-1 0 度(風扇平行沙面)沙坑寬度(d)、沙紋寬度(λ)變化

測量點(cm)	10		20		30		40		50		60	
	d	λ	d	λ	d	λ	d	λ	d	λ	d	λ
5	18	0	20.5	36.5	17	38.0	0	42.0	0	37.5	0	32.8
10	19.7	0	21.5	0	18.5	40.2	0	43.5	0	42.5	0	30.8
15	20	0	22.3	0	19.3	39.0	0	42.8	0	43	0	32.0

※ d：沙坑寬(cm)， λ ：沙面沙紋寬度(cm)

表 2-2 20 度沙坑寬度(d)、沙紋寬度(λ)變化

測量點(cm) T	10		20		30		40		50		60	
	d	λ	d	λ	d	λ	d	λ	d	λ	d	λ
5	23	0	34.3	0	28.3	56.0	0	55.8	0	46.8	0	0
10	23.3	0	35.5	0	35	61.0	0	56.5	0	50.3	0	28.2
15	24	0	37.3	0	36.5	59.8	0	58.3	0	51.5	0	31.8

表 2-3 40 度沙坑寬度(d)、沙紋寬度(λ)變化

測量點(cm) T	10		20		30		40		50		60	
	d	λ	d	λ	d	λ	d	λ	d	λ	d	λ
5	18.3	0	30	0	32.5	0	0	59.5	0	58.7	0	51.0
10	16	0	31	0	34	0	19.5	60.0	0	58.0	0	52.0
15	17.5	0	31.5	0	35.3	0	0	57.3	0	57.0	0	50.0

2.實驗組 B(以吸管 2cm100 支束成的風洞)

表 2-4 選擇 B 組 0 度(風扇平行沙面)沙坑寬度(d)、沙紋寬度(λ)變化

測量點(cm) T(min)	10		20		30		40		50	
	d	λ	d	λ	d	λ	d	λ	d	λ
5	0	5.5	0	8.5	0	13.5	0	12	0	12.5
10	0	9	0	11	0	12	0	12	0	12.5
15	0	9	0	10	0	11	0	12	0	11

表 2-5 選擇 B 組 20 度沙坑寬度(d)、沙紋寬度(λ)變化

測量點(cm) T(min)	10		20		30		40		50	
	d	λ	d	λ	d	λ	d	λ	d	λ
5	0	9.8	0	10.5	0	10.8	0	11.3	0	12.8
10	0	9.2	0	10.7	0	12.7	0	13.5	0	12.4
15	0	12.8	0	11.9	0	12.8	0	11.3	0	13.8

表 2-6 選擇 B 組 40 度沙坑寬度(d)、沙紋寬度(λ)變化

測量點(cm) T(min)	10		20		30		40		50	
	d	λ	d	λ	d	λ	d	λ	d	λ
5	18.2	0	27.3	0	30.3	0	23.5	52.0	10.5	56.0
10	16	0	27.3	0	31.5	0	17.8	51.8	23.5	57.0
15	17.3	0	26.9	0	30.8	0	28	54.4	21.3	56.1

實驗二問題與討論

- 表 2-1~2-3 的實驗，沙紋寬前後方差約為 2~10cm，看出後方沙紋較窄而中間較寬，沙紋會在洞後。有風洞的實驗(表 2-4~2-6)，0 與 20 度的風沙紋寬前方為 9~13cm 後方為 12~13cm，寬度幾乎相同且無沙坑形成，40 度的沙紋前後方差為 1~5cm，差距不大且沙紋在洞後。因此可從沙紋寬判斷風前進方式，無風洞成圓錐狀，前方不易形成沙紋而後方較明顯，最後方沙紋寬度會小於前方，中間寬度大於前後方。有風洞呈一直線，只會在後方略為散開，沙紋寬變化不大亦不易形成沙坑，40 度的風因角度形成一明顯沙坑，風反彈後直進，因此沙紋會在洞後。便可從海邊沙紋看出風是直進，加裝風洞模擬河床上的風。
- 以 40 度做後續實驗是因觀察發現岸邊沙子堆積呈沙丘，內角約 40 度，推測自然風與沙丘呈 40 度，所以將風扇呈 40 度擺放，將鋪平的沙面當作沙丘模擬。(圖 2-1、圖 2-2)

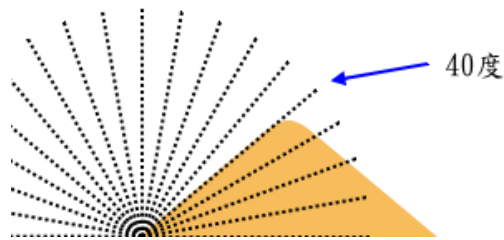


圖 2-1

沙子堆積的角度

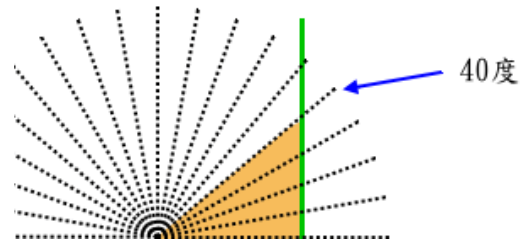


圖 2-2

沙子靠著牆邊堆積的角度

- 表 2-2、2-3 看出 0 度的風沙紋約 9~11cm，20 度的約 12~13cm，20 度較寬。因風形呈圓柱狀，因此 0 度的風所能接觸的沙面只有表面，而 20 度的風有些微挖沙現象，所以接觸沙面較多(圖 2-3、圖 2-4)，因此 20 度的沙紋寬度會大於 0 度。

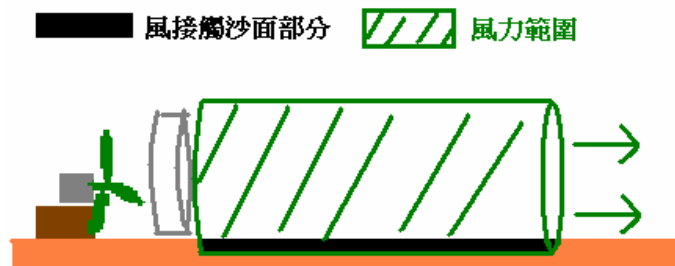


圖 2-3 0 度風與沙接觸面積示意圖

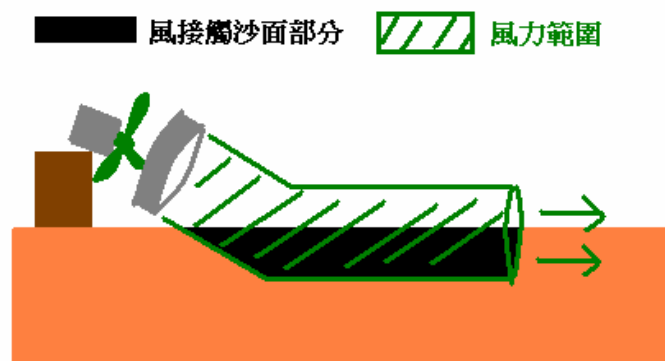


圖 2-4 20 度風與沙接觸面積示意圖

實驗三、風的強度與角度對沙量變化的影響

實驗三步驟與裝置

1. 準備風扇與風洞 B 一組，風洞距風扇中心 8cm。
2. 風速以風口後 30cm 處測得為 3.0m/s 實驗。
3. 製作長 10cm，寬 15cm 高不拘的容器。置風口後 0cm，並對齊風口中心。
4. 倒入 100g 沙子鋪平至高 0.7cm。
5. 每 10min 紀錄一次沙量。

(1) 風速與沙量變化：

風速以 1.5、1.8、2.0、2.5、3.0m/s 測試。(圖 3-1)

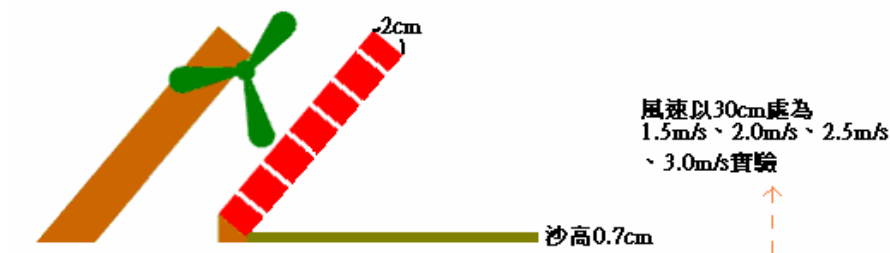


圖 3-1 風速與沙量剩餘的變化之實驗裝置

(2) 風的角度與沙量變化：

角度以 40、20、0 度測試，風速以風口後 30cm 處為 2.0m/s 實驗。(圖 3-2)

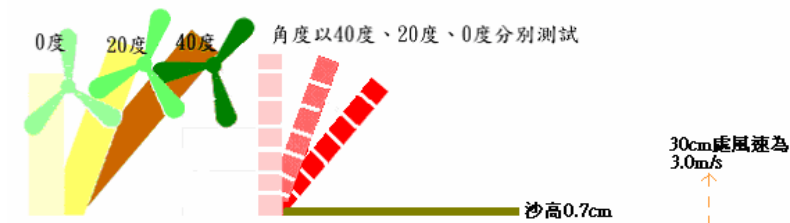


圖 3-2 風的角度不同時，沙量剩餘的變化之實驗裝置

實驗三結果

1. 風速與沙量剩餘的變化

以沙量 100 克實驗，每 10 分鐘測量一次剩餘的沙量。

表 3-1 吹 10 分鐘，風速與沙量剩餘的變化

風速(m/s)	0	1.5	1.8	2.0	2.5	3.0
剩餘沙量(g)	100.0	100.0	92.0	52.0	0	0

※ 風速 2.5m/s 沙量在 3 分 30 秒時為 0g

※ 風速 3.0m/s 沙量在 2 分 30 秒時為 0g

2. 風的角度與減少的沙量變化

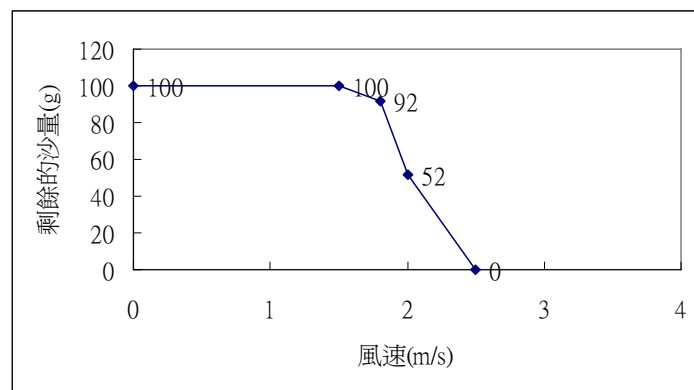
以沙量 100 克實驗，每 10 分鐘測量一次剩餘的沙量。

表 3-2 風的角度不同時，沙量剩餘的變化

角度	0	20	40
剩餘沙量(g)	100.0	88.1	52.0

實驗三問題與討論

1. 風速 2.5m/s 以上砂量會減少約 100g(圖表 3-1)，幾乎全飛走。因此推測地表風速超過 2.5m/s，沙面表層 0.7cm 的沙將在 3 分半後全飛走。風速小於 1.8m/s 沙子只減少約 0~8g，當風速高於 1.8m/s 時沙子就會搬移，所以風速低於臨界風速 1.8m/s 以下，定為達到定沙效果的條件。



圖表 3-1 風速與剩餘的沙量變化

2. 表 3-2 看出 40 度的風剩餘砂量為 52g，20 度的約 88g，0 度的風沒有沙飛走，所以 40 度的風能將最多沙吹走。因 0 度的風直進接觸沙面少，較無影響。20 度的風因角度較小，所以飛起的沙少於 40 度的風所吹走的沙。

實驗四、比較並找出最佳的定沙措施

實驗四步驟與裝置

1. 擺設三組風扇與一長方形風洞 B，圖 4-1。在 30cm 測得 2.0m/s 設為風速。
2. 每 5min 紀錄一次,共 15min。

(1) 對照組空白實驗：不擺設定沙措施，紀錄距離風口 30、40、50、60cm 的沙面高(圖 4-1)。

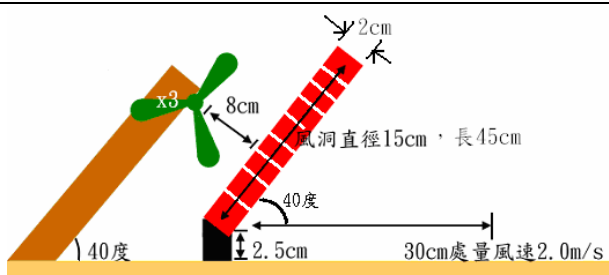


圖 4-1 對照組之實驗裝置

(2) 攔沙柵：距風口 30cm 開始，共 4 個柵欄成一直行，每 10cm 置一個。紀錄柵欄前方沙高。與風向角度呈 60、90 度實驗(圖 4-2)。再與沙面角度 45、90、135 度實驗(圖 4-3)。

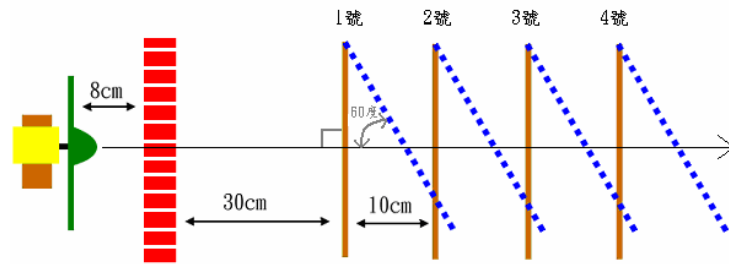


圖 4-2 攔沙柵與風向角度實驗之俯瞰圖

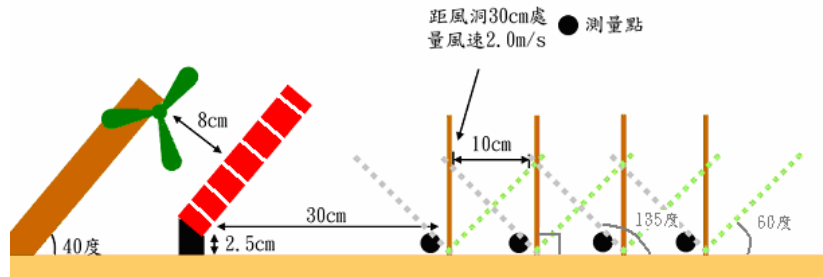


圖 4-3 攔沙柵與沙面角度之實驗裝置

(3) 防風牆：距風口 30cm 開始，共 5 個防風牆成一橫列，5cm 置一個。紀錄後方沙高。比較 1/4、1/2 圓弧度(圖 4-4)。再與風向呈 45、90、135 度實驗(圖 4-5)。並以一層、兩層、三層實驗(圖 4-6)。

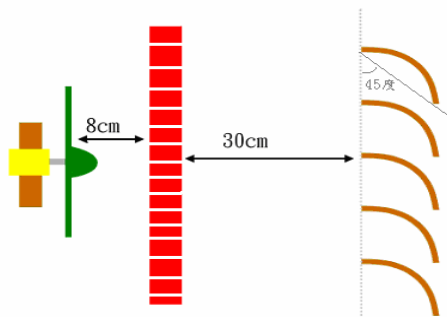


圖 4-4 防風牆 1/4 圓弧度之實驗裝置

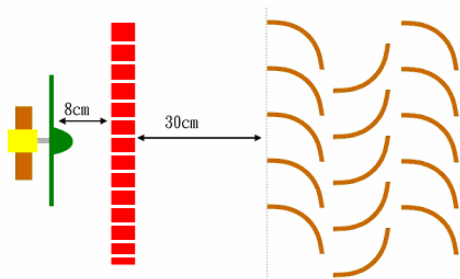


圖 4-6 防風牆層數之實驗裝置

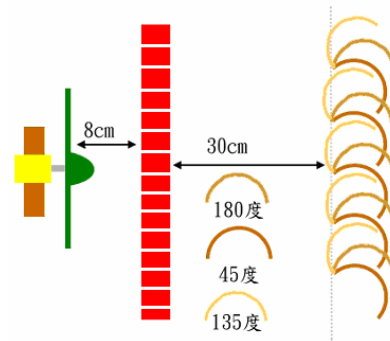


圖 4-5 防風牆與風向角度之實驗裝置

(1) 加水：以 20g 沙實驗，加入沙量 0、0.5、1.0、2.0、5.0、10.0、25.0%的水每 2min 測一次沙量，共 2min。(圖 4-7)

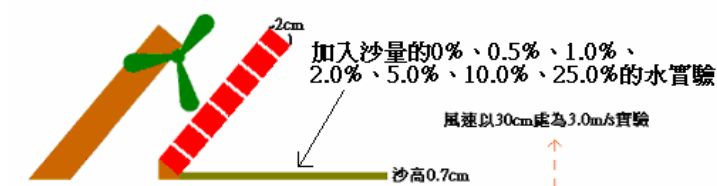


圖 4-7 增加水量之實驗裝置

(5) 定沙效果：分無定沙(對照組)、攔沙柵(與沙面呈 135 度，與風向呈 90 度，一層)、防風牆(1/2 圓弧度，與風向成 45 度，一層)、覆蓋洗衣網(大於 18 x 30cm)實驗，以 1000 克沙量，沙長 30，寬 18，高 2cm 實驗。(圖 4-8)

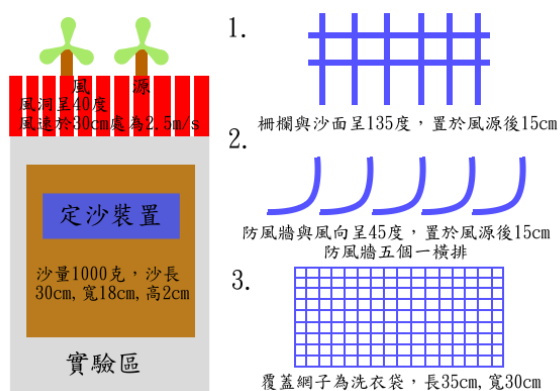


圖 4-8 定沙效果之實驗裝置

實驗四結果

1.對照組之空白實驗

表 4-1 對照組，距離風口 30、40、50、60cm 沙面高度(h)變化

T(min) \ ● h	30	40	50	60
5	-9.5	-1.3	-1.1	+0.4
10	-6.5	-2.9	-0.4	+0.2
15	-8.5	-3.4	-0.2	+0.4

※負數表下陷，正數表高起

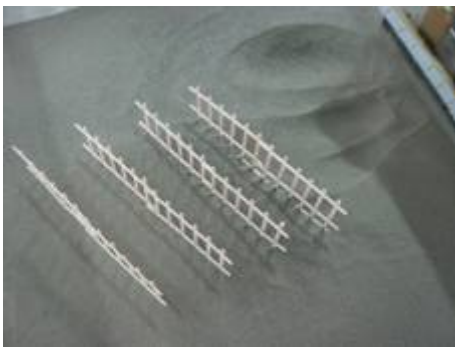
※ ●：測量點(cm)，h：沙面高度變化(cm)

2.攔沙柵

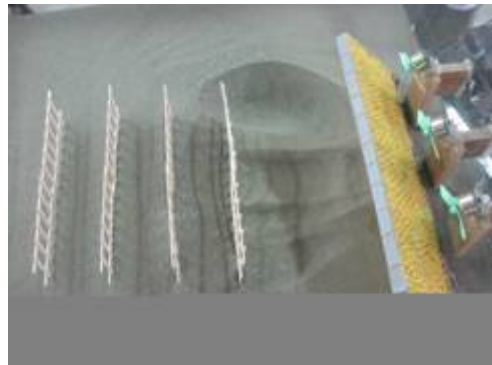
(1)攔沙柵與風向角度

表 4-2 攔沙柵與風向角度不同時，沙面高度(h)變化 (照片 4-1、4-2)

編號(由前至後)		1 號	2 號	3 號	4 號
角度	T(min)	h	h	h	h
60	5	-0.1	+0.8	+1.0	+0.3
	10	+0.2	+1.6	+1.7	+0.7
	15	+0.2	+2.3	+2.3	+0.6
90	5	-1.0	+1.5	+1.5	+0.7
	10	-2.5	+1.8	+2.0	+0.9
	15	-3.3	+2.5	+2.3	+1.2



照片 4-1 攔沙柵與風向呈 60 度



照片 4-2 攔沙柵與風向呈 90 度

(2)攔沙柵與沙面角度

表 4-3 攔沙柵與沙面角度不同時，沙面高度(h)之變化

編號(由前至後)		1 號	2 號	3 號	4 號
角度	T(min)	h	h	h	h
45	5	-2.5	+0.7	+0.1	0
	10	-5.1	+1.2	+0.6	+0.3
	15	-5.6	+1.3	+1.3	+0.6
90(對照組)	5	-1.0	+1.5	+1.5	+0.7
	10	-2.5	+1.8	+2.0	+0.9
	15	-3.3	+2.5	+2.3	+1.2
135	5	-4.2	+2.5	+1.9	+0.7
	10	-3.8	+2.9	+2.7	+1.5
	15	-5.8	+3.2	+3.1	+1.1



照片 4-3 攔沙柵與沙面呈 45 度



照片 4-4 攔沙柵與沙面呈 135 度

3.防風牆

(1)防風牆弧度

表 4-4 防風牆 1/2、1/4 圓弧度沙面高度(h)變化

T(min) \ Q	1/4	1/2
5	+0.1	+1.6
10	+0.2	+2.8
15	-0.7	+2.3

※ Q：風扇圓弧度

表 4-5 15 分鐘時，不同防風牆弧度與後方左右側堆積沙面高度(h)變化 (單位：公分)

測量位置		弧牆右側	弧牆左側
弧度	●	h	h
1/4	40	+1.0	+2.5
	50	+0.5	+2.0
	60	0	+2.0
1/2	40	+0.5	+2.0
	50	+0.2	+1.0
	60	0	+0.5

※ ●：測量點(cm)

(2)防風牆與風向角度

表 4-6 1/2 防風牆與風向角度不同時，沙面高度變化

T(min) \ 角度	5	10	15
45(對照組)	+2.4	+2.8	+2.3
180	+2.1	0	-1.3
135	+1.3	+2.1	+0.4



照片 4-5
防風牆與風向角度呈 45 度



照片 4-6
防風牆與風向角度呈 180 度



照片 4-7
防風牆與風向角度呈 135 度

(3)防風牆層數

表 4-7 增加防風牆層數後，沙面高度(h)的變化

層數	T(min)	5	10	15
	h			
1		+2.4	+2.8	+2.3
2		+4.0/+2.9	+3.4/+3.0	+2.9/+3.2
3		+3.8/+2.1/+1.3	+3.3/+2.8/+1.4	+3.0/+3.4/+1.8

※ 第一層之後/第二層之後/第三層之後



照片 4-8 一層防風牆



照片 4-9 二層防風牆



照片 4-10 三層防風牆

4.加水

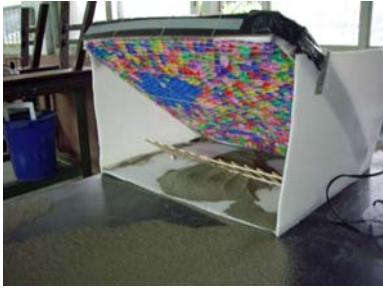
表 4-8 水量與減少的沙量變化

水量(%)	0	0.5	1.0	2.0	5.0	10.0	25.0
剩餘的沙量(g)	51.5	85.5	91.5	93.0	97.5	99.0	100
定住的沙量(%)	0	70	82	86	95	98	100

5.定沙效果

表 4-9 各定沙方式定住的沙量百分比

定沙方式	無	攔沙柵	防風牆	覆蓋
定住沙量(%)	20.4	54.5	88.0	92.2



照片 4-11 攔沙柵



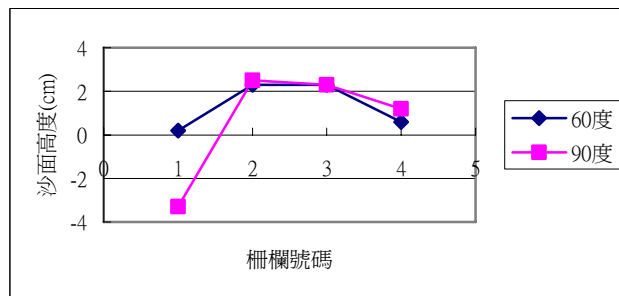
照片 4-12 防風牆



照片 4-13 覆蓋

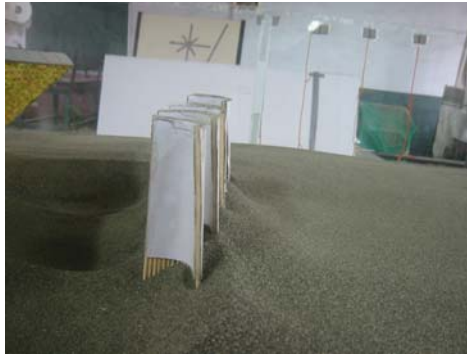
實驗四問題與討論

- 表 4-1 對照組是前方因風挖沙而形成沙坑，後方因將沙吹至後方堆積而高起。加入柵欄後(表 4-2) 60 度前方會堆積，後方堆積的沙較多。90 度的前方沙坑較深，後方的沙亦多，整體的沙較 60 度多，因此 90 度較佳，圖表 4-1。我們認為是因 60 度距風口較 90 度來的遠，所以風力較小，因此沙子堆積在第一排柵欄前方，而 90 度的柵欄因距風口較近，風速較大，第一排會受沙坑影響使深度較深。60 度柵欄是斜的擺放，擋風面積小於 90 度的，因此沙不易堆積。所以 90 度較具攔沙效果。



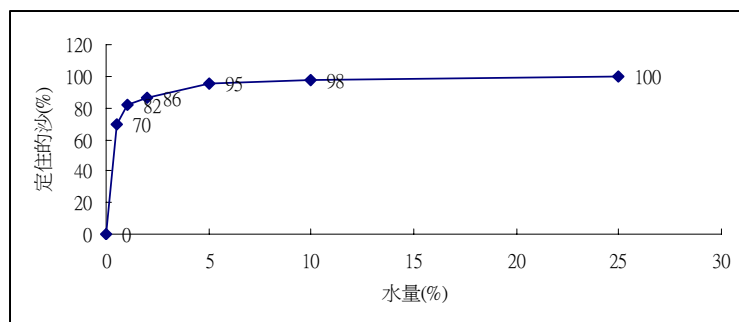
圖表 4-1 柵欄與風向角度不同，沙面高度的變化圖表

- 表 4-3 與沙面呈 45 度的柵欄前方沙面下陷深，後方堆積的量少，整體變化不大。90 度的柵欄前方沙面較高，後方亦堆積較多。135 度的柵欄前方沙面下陷深，後方堆積的沙多。因柵欄會將風導向，使風向下吹，沙彈起後方向與柵欄垂直，幾乎無障礙通過洞。40 度的風打至沙面反彈後直進，與 90 度的柵欄垂直，擋風效果較差。135 度的柵欄會將風向上導，風力減弱後沙子沉積於柵欄前，135 度的柵欄幾乎貼平沙面，已具有些微覆蓋現象。整體而言，135 度攔沙效果最佳。
- 表 4-4，1/4 圓弧度防風牆的沙面幾乎無變化，且會陷進坑洞，幾乎沒有效果。1/2 圓弧度能使沙堆積較多，因此使用 1/2 圓弧度。因為 1/4 圓弧度太小，又與風向呈 180 度平行，無法使沙沉積，而 1/2 圓弧度則能使風通過時轉彎減弱能量，使沙沉積。也因風從窄小的地方到寬闊處，風會減弱沙子便堆積牆後。(照片 4-14)



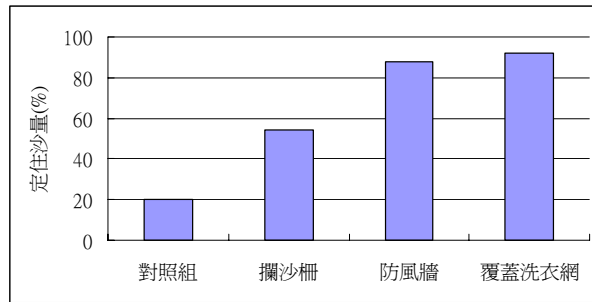
照片 4-14 防風牆後方沙堆積

4. 防風牆具有導風沙效果，表 4-5，面對風扇，牆左側的沙較右側高，表沙子在左側沉積，與風向呈 45 度牆會使沙子在左側堆積。我們便可以此方法將沙導至一旁堆積，再做採沙措施。
5. 表 4-6，與風向呈 45 度的弧牆最有效使沙堆積。與風向呈 180 度的沙面幾乎無變化，且會陷進沙坑中。呈 135 度的沙面變化不算大。因呈 45 度的邊恰巧可使風轉彎將風導向並減弱能量，在風由窄小通道至大範圍時會減弱，沙便沉積。呈 180 度的則因風直接通過而較無積沙效果。呈 135 度的因外圍的弧度會將風導至左右，所以無法將沙擋下，較不具積沙效果。
6. 表 4-7 發現一層的防風牆積沙的量少於二、三層。因為三層的在第一層將大部分沙堆積後，風因波浪形的牆壁而不斷碰撞減少能量，沙子會繼續沉積，第三層之後的沉積沙量會減少，沙幾乎全部沉積。所以三層的防風牆效果較一、二層來的佳。
7. 表 4-8 乾沙會減少約一半的量，但加入約 5%的水，就能定住 95%的沙(圖表 4-2)。因為水之間的作用力增加沙粒間的吸引力，使沙不易被吹走，不因增加重量吹不走，也是我們觀察只要是下雨的天氣，雖然風強烈的吹，但河邊的沙卻不動。可以提供搬運砂石時除以網子覆蓋外，由噴霧器噴灑在沙面上，也可減少飛沙量。



圖表 4-2 水量與定住的沙量之變化

8. 表 4-9，無定沙措施可定住 20.4%，攔沙柵 54.5%，防風牆 88%，覆蓋洗衣網則 92.2%，看出加了定沙措施後定住的沙量大幅增加(圖表 4-3)，且以覆蓋洗衣網為最佳，因為洗衣網的洞能使風速減弱，因風彈起的沙亦會被擋住，能定住大量的沙，有利於短期內種植具有定沙效果的植物。而防風牆亦具有使風速減弱的效果，使沙子在後方沉積，因此效果與覆蓋的方式均佳，效果為時較長。攔沙柵因為高度關係，短時間內易被沉積的沙子掩蓋。且攔沙柵與防風牆皆為一層，推測增加層數後，定沙效果將大為提升。



圖表 4-3 各種定沙方式定住沙量百分比

實驗五、實地觀察與資料分析

1. 實地數據：在頭前溪觀察記錄與風速測量，地點在頭前溪中後段離出海口約 10km，間隔 3km 分別以九甲埔段(經國大橋)、二十張犁段(頭前溪橋)、湳雅段(溪洲橋)三段，並利用衛星定位儀器(GPS)做沙的標定，再從地圖上計算出沙的面積。

(1) 頭前溪邊各點風速：

I. 表 5-1 中華路旁各點風速：

※ s：風速(m/s)；p：測量點

位置(P)	C				G			
測量高度	C	1/2C	1/3C	1/4C	G	1/2G	1/4G	1/8G
風速(s)	6.4	5.1	4.3	2.5	5.2	4.2	2.8	1.5



圖 5-1 I 九甲埔段(經國大橋)各點



圖 5-2 II 二十張犁段(中華路大橋)旁各點



圖 5-3 III 湳雅段(溪洲橋)各點

II. 表 5-2 溪洲橋旁各點風速：

※ s：風速(m/s)；p：測量點

位置(p)		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
風速 (S)	3月5日	1.0	1.4	2.2	2.4	2.0	2.2	2.4	0.6	0.7	1.3
	3月12日	9.0	14.3	20.3	15.0	7.4	6.9	5.4	3.1	5.3	3.3

III. 三段各點的平均風速：

測量位置(P)	I	II	III	
日期(M/D)	2/27	2/27	3/5	3/12
平均風速(s)	6.0	5.7	1.6	9.0

(2) 頭前溪沙量估算：

表 5-3 含沙面積估算：

(單位：平方公尺)

水源國小高灘地	新莊里旱地	新竹空軍飛機場旁旱地	總計
200000	125000	125000	450000

2. 氣候變化：

(1) 雨量(新竹 5 年每月雨量)

表 5-4 新竹 5 年(2000 年~2005 年)每月平均降雨量

※M：月份；R：雨量(mm)

M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R	63.6	124	155.5	143.4	222.1	170.5	196	207.7	354.9	51.2	31.3	57.3

(2) 風速(新竹每月平均風速)

表 5-5 2003~2005 新竹每月 10 分之中最大平均風速(V：m/s)及風向(Z：360 度)

年	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Z	30	60	60	60	290	60	20	10	20	70	60
2005	V	6.2	7.1	9.9	6.3	6.5	5.8	9.9	14.4	12.1	11.4	7.9	7.4
	Z	40	60	70	50	30	60	60	300	30	10	50	60
2004	V	8.1	9.2	9.1	7.9	7.2	9.8	11.2	11.4	7.0	10.2	8.5	8.7
	Z	30	50	60	30	30	30	10	50	60	50	20	60
2003	V	9.6	9.3	8.4	7.9	8.2	8.2	5.8	8.6	11.4	10.1	9.7	10.7

※ 紅色：為東北季風

表 5-6 西元 2005 年新竹、台北、台中最大風速表

城市	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Z	30	60	60	60	290	60	20	10	20	70	60
新竹	V	6.2	7.1	9.9	6.3	6.5	5.8	9.9	14.4	12.1	11.4	7.9	7.4
	Z	80	80	90	70	80	80	80	50	60	130	90	80
台北	V	8.5	8.3	8.7	8.0	8.5	8.4	13.4	12.8	14.5	12.6	7.9	7.6
	Z	30	340	30	340	250	230	360	340	190	20	20	20
台中	V	5.8	5.3	6.0	5.1	5.8	5.3	10.4	11.4	11.9	9.5	5.8	6.5

※ 東北季風(紅色)：為東北季風，風向角度在 20 度~70 度之間，定義為東北季風。

實驗五問題與討論：

1. 新竹隨著開發成長、人口密度的增加及河川的管理政策，風在近年來成為市民的「痛」，「沙塵暴」其實已在大豪雨季過後的 10 月到隔年的 1、2 月就會在新竹市出現。有關沙塵暴天氣強度分級標準(徐和胡，1996)劃分標準如表 5-7 所示。

強度	瞬間即大風速	最小能見度
特強	>25m/s	0 級<50m
強	>20 m/s	1 級<200m
中	>17 m/s	2 級 200-500m
弱	>10 m/s	3 級 500-1000m

表 5-7：中國西北地區沙塵暴天氣強度劃分標準(徐和胡，1996)

我們在 94 年 12 月與 95 年 1 月在 68 號快速道路與武陵路交接的高架橋段上做了兩次的觀察紀錄，城市中能見度約在 800m(照片 5-4、5-5)，雖只為「弱」等級，但這些沙塵若經年累月的落城市，新竹市也許就要變為「沙城」再變成「沙漠」…



照片 5-4 武陵路與富美橋間的沙塵往新竹市吹(12 月)



照片 5-4 自武陵路往南寮方向的新竹天空(1 月)

2. 表 5-1、照片 5-5，風的速度越接近溪底，地表的風速會因地形及地表摩擦，風速遞減，高度由 2.5m 降到離地 10cm 時由表 5-1 測到，風速由 6.4~5.2m/s 降到 2.5~1.5m/s，即河谷風速為地表風速的三~四倍，在實驗中也發現，風速約在 1.8m/s 沙就會有搬移現象，但實地測量當時河谷的風在 3.5m/s 我們仍然觀察不到沙塵飛揚的情形，是因那時地表風速為 0.9m/s 未達臨界風速 1.8m/s，模擬實驗便以小於 5m/s 的風速進行實驗，即是在 20m/s 的河谷風速下進行的實驗測量。



照片 5-5 在柴疏山段測量溪谷風速



照片 5-6 頭前溪橋橋墩也是人工風洞

3. 表 5-2、照片 5-6，在頭前溪上約每隔 3km 就有橋樑，93 年底沿溪左岸以高架方式完成東西向快速道路，這些橋墩的孔洞成爲人造「風洞」，使橋旁風速遽增，枯水期的冬季，河床中的沙透過東北季風與橋墩風洞，便會被搬運到河的兩側再被吹進城市，尤以武陵路與快速道路交接的高架橋下最明顯；昔日的模型飛機場、單槓場因雨水也因快速道路的完成而被沙土淹沒(照片 5-7、5-8)。

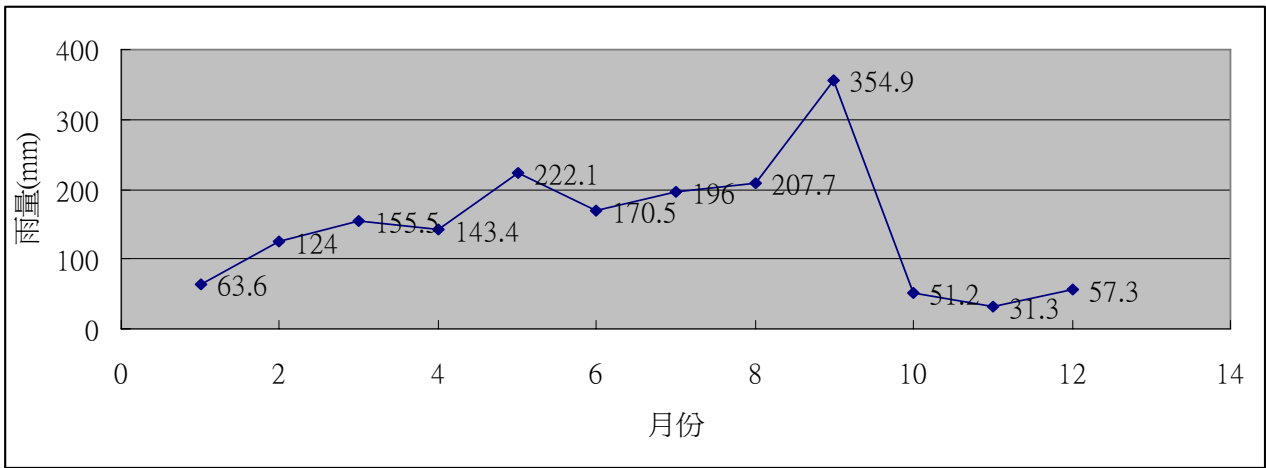


照片 5-7 橋墩風洞作用加助河沙的搬運



照片 5-8 河岸的單槓場因道路的興建而埋沒

4. 表 5-4，透過中央氣象局網路的數據發現在 8、9 月的豪雨使溪水暴漲，圖表 5-1 所示，9 月份的年平均降雨量 354.9mm 是枯水期(50mm)的 7 倍之多，溪水會淹沒兩岸有定沙效果的植物，若這些植物泡水死亡，緊接著進入枯水期的東北季風由弱轉強，河沙將吹進新竹市，強烈的季風瞬間風速相當於 9 級風速，植物沒有生長機會，這些砂塵造成嚴重的汙染。照片 5-8~5-9，東北季風減弱、氣溫上升河邊的植物便快速生長，因此若是 9 月的河水有漫過河岸的植物，植物的定沙功能不能發揮那年新竹市將會是黃沙漫天的冬季。



圖表 5-1 新竹市 2000 年~2005 年月平均降雨量



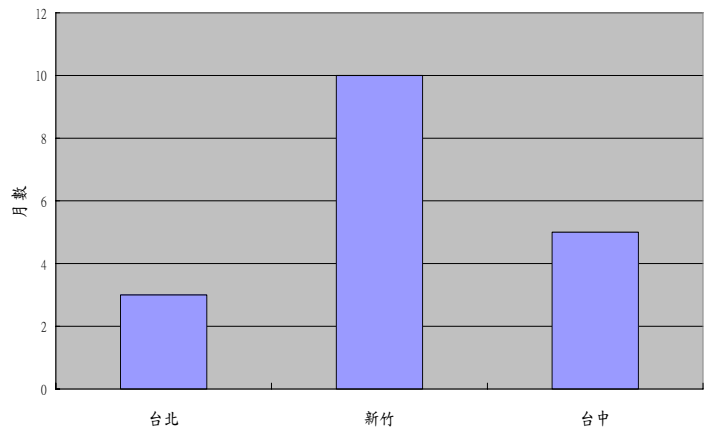
照片 5-8 三月植物開始生長



照片 5-9 四月植物立即生長

5. 表 5-5，新竹自 2003 年以來每年約有 10~11 個月吹東北季風，三年的平均風速達 8.91m/s，表 5-6，台北約有 3 個月，台中約有 5 個月 (圖表 5-2)。因為新竹東北高西低，所以東北季風較無阻檔，且傾斜角度的風風速較大，因此新竹東北季風較嚴重。而台北、台中為盆地，因此東北季風影響較輕微。這些長年如此穩定風向的風將頭前溪河床上的沙捲起帶往新竹市(照片 5-10、5-11)。

圖表 5-2 2005 年吹東北季風月數統計





照片 5-10 沙塵暴由河谷捲起衝向新竹市



照片 5-11 這是新竹市 10 月的天空

6. 根據相關報導(台灣砂手系列、政府離農離牧政策、台灣河川教材)，頭前溪是台灣最重要的 21 條河川之一，由中央所管轄，流程短、落差大，且水流湍急。上游有油羅、上坪兩支流，於南寮附近注入台灣海峽，沿線居民均仰賴此溪維生。芎林、竹東及橫山一帶，大型砂石場遍布溪邊，因採沙嚴重破壞河川生態，多年前禁採，但業者仍利用上坪溪隱密性高，大量盜採砂石，亦有業者利用疏浚工程趁機盜採，因開挖點都在河床，只要大雨一過，溪水暴漲，洞就被填平，採沙業者會先將地面土壤挖開並堆積一旁，接著開始深挖砂石。台灣河川大多都已禁採，政府亦加強取締，希望能使河川生態回覆以往自然。
7. 河床因盜採而降低，使水流往低處集中並加快，加強對橋樑基柱的沖刷，造成橋墩裸露，基柱易斷裂，因此橋墩多在外層加裝了一環，亦會加強臨溪道路的沖刷使其崩塌。盜走頭前溪裡的大石頭，會加速沖刷下游橋墩及河床，為了保護溪床，政府做了固床工。大量砂石採竭，亦造成坡度增加水流型單一化。山林木材過量砍伐，影響油羅溪上游山林的蓄水能力，引發頭前溪在溼季氾濫，乾季時枯竭，加上採沙挖鬆了河床，枯水時期便造成「風飛沙」。
8. 政府為了應水污染，實施「離農離牧」政策，減少排入水中的污染，並將溪邊規劃為高灘地，但溪邊土地無人管理，引起砂石業者覬覦，植物無人整理，大風一來便造成空氣污染。完整的一套採沙措施，能有效維護河川且具經濟價值，以高灘地的設立地點為例，應該在頭前溪的右岸(新竹縣端)，右岸適合規劃定沙區。去年的幾個秋颱淹沒頭前溪的高灘地，接下來的東北季風颳起的沙塵暴造成二十張犁水源、千甲地區居民的噩夢。我們認為，好的採沙方式是值得好好研究的，能幫助疏濬河川，但必須有科學的方法適量且適時適地，而「離農離牧」政策雖對河川的污染有顯著的改善作用，但失去農民細心經營的沙地沒有人妥善管理，變成造成沙塵暴的伏筆。在我們實地觀察的紀錄中，仍有以打游擊式的農民在河岸邊開墾，以定沙的角度看：他們利用天然的植物為定沙素材，效果佳(照片 5-12、5-13)。



照片 5-12 頭前溪橋段農民的定沙



照片 5-13 溪洲橋段農民的定沙

伍、 綜合討論

1. 目前的頭前溪邊並沒有任何定砂措施，因此每年在頭前溪的枯水期間所吹起的強烈東北風，在頭前溪乾枯的河床上一次又一次的捲起塵沙，而新竹市的地理位置恰位於西南方，因此這些塵沙便直接進入新竹市。我們由實驗三的結果可推測，當地表風速為 2.5m/s 以上時，其高空 2.5m 處風速約為 7.5~10.0m/s，此時表層 0.7cm 厚的沙子在 3 分半左右會幾乎全部飛進城市中。由實驗五可知頭前溪含沙旱地總面積約為 450000 平方公尺，因此當高空 2.5m 處風速在 7.5~10.0m/s 時，3 分半以內將會有約 3150 立方公尺的沙飛進新竹市中，而根據實驗室中的模擬，原地表風速 2.5m/s 時，經過堤防或牆後的地表風速減慢至約 1.8m/s。所以岸邊堤防可減少飛沙約 90%。而新竹市面積約為 104 平方公里，因風向關係，只會有約一半面積(約 50 平方公里)受沙塵暴影響，我們便可計算出當最強烈的東北季風吹拂且為枯水期時，假設一天中有 10min 吹 10.0m/s 以上的風，一天就有約 3 個 3150 立方公尺，就約會有 24 台 40 噸重砂石車的沙在新竹市上空飄揚，一個月(以 30 天計算)約會有 720 台 40 公噸的砂石車載滿沙在新竹市中。假設這些汙染至少要花飛砂成本的兩倍(清理費用與定沙經費)才能改善，那新竹市在沙塵暴來臨的季節每天約需花費的社會成本約 150 萬(以一噸重的沙約賣 500 元估算)，每月以 30 天估算，就有 4500 萬。而從實驗四的各定沙措施效果可知道，覆蓋實驗可定住 92.2%、攔沙柵可定住 54.5%、防風牆可定住 88% 的沙，因此使用覆蓋措施，就可定住 26553.6 公噸的沙，也就是每個月會有 2246.4 公噸的沙飛入新竹市，亦為 56 台載著 40 公噸沙的砂石車進入新竹市。加了攔沙柵，每月會有約 327 台載著 40 公噸沙的砂石車進入新竹市。防風牆則為 86 台載著 40 公噸沙子的砂石車進入新竹市。均可減少約一半以上的沙飛入新竹市，效果相當可觀。所以，有效的採取防制定沙，不僅城市的汙染大大減低，河砂有效的利用又可以增加都市的建設，市民的健康與生活品質都可以提升，這真是我們新竹應該立即面對的課題。
2. 頭前溪在每年 9 月豪雨過後便進入枯水期，因此我們建議在每年 10 月份溪水漸少，逐漸露出河床沙面時開始定沙。我們推測 9 月份的豪雨會使得頭前溪溪水暴漲，淹沒溪邊沿岸，使得溪邊在枯水期與冬季季風來臨期間失去擁有定沙效果的植物，因此我們建議可以由每年 9 月份的降雨情況訂定當年冬季所需要的定沙措施，若 9 月雨量多，溪邊植物大多消失，則當年溪邊的定沙措施需要增加其完善程度，以度過即將沙塵不斷的枯水期。

3. 定沙的器材與方式可以從實驗四的結果參考：在一處需短期內改善沙塵暴問題的地方，可使用覆蓋方式定沙與並在下方種植具有定沙效果的植物，因為八、九月的豪雨會使溪水暴漲，會破壞覆蓋措施，因此建議在豪雨過後、枯水期來臨前做覆蓋定沙。如果是需要長期性的話，建議使用防風牆，並依飛沙程度增減層數，飛沙愈多，層數愈多，定住沙量愈多，因為防風牆較不受溪水暴漲的問題所影響，但因為成本較高，所以應該選擇沙塵暴較嚴重的地方做，例如旱地。亦可使用成本較低的柵欄，但效果較差，適合用於短期內定沙或沙塵暴較不嚴重的地區。而定沙的角度，應該以東北季風來臨的角度為準。定沙的地點主要以頭前溪中下游含沙較多的溪邊及河床為主，從實驗三的角度與沙量結果，我們可以知道當一處沒有定沙的地區上，沙丘上的沙較平面上的沙容易被吹走，因此我們建議在規劃及設置一地區的定沙措施時，要從較高的沙丘先做定沙，再往較平的沙面做定沙。另外，實驗五可知橋基會形成風洞，風速加快使植物不易生長，缺乏植被處會有大量沙子吹入新竹市，因此我們亦建議在橋墩後做防風牆，一來可將風減弱，二來可將因風吹起的沙沉積下來。
4. 溪邊、河床在經過幾個月的定沙，將進入雨季之前，可以結束定沙，並將幾個月來攔住沉積的沙採收。
採砂的地點，應為定沙所沉積沙的地點為主，若是使用防風牆定沙，則可以在防風牆定沙風向轉變後，將沙子導向堆積的地區做整塊的採收。在採砂時，不宜過量在同一定點採沙，這樣採砂會造成河川附近的生態及河道受到重大的影響，我們建議在採砂時，應該採收大範圍的高起含沙區域，且應同時在採砂時防止採起的沙散失，以免造成環境的汙染。
5. 在結束定沙或者採沙期間依然會造成沙塵漫揚的情況。由實驗四的加水實驗結果，我們可以知道當沙面表層為乾燥時，沙子很容易在風的吹襲之下飛散，但在加入微量的水後，便能有效的暫時定住大部分的沙，減少風沙的汙染及沙子在轉送過程中的散失。因此我們建議當在結束定沙及採沙、運送砂石期間，增加一道「灑水」的措施，在沙的表層用噴霧器灑下一層薄薄的水，不但可以防止沙的飛揚所造成的危害，更可以保留住飛散的沙所擁有的經濟效益。

陸、 結論

1. 風扇為風源時風形呈圓錐狀，沙紋呈扇形、沙坑呈水滴狀，以 2cm 長的吸管做成的風洞裝置即具有使風直進的效果，且愈長的風洞風向愈穩，風速愈不易因距離而改變，較能模擬自然界的風。
2. 從沙紋的變化我們發現風速愈強，沙紋愈窄。又自然界中，風與沙丘約呈 40 度角。且風與沙面的角度愈大，沙紋愈寬。
3. 能使沙強烈搬移的臨界風速約為 1.8m/s，只要地表風速超過 2.5m/s，沙面表層 0.7cm 的沙將在 3 分半後全部飛走。風與沙面的角度愈大，吹走的沙愈多。
4. 與風向呈 90 度的攔沙柵較 60 度具定沙效果。與沙面呈 135 度的攔沙柵定沙效果較 90 度、45 度佳。
5. 沙會在防風牆後堆積。1/2 圓弧度的防風牆定沙效果好於 1/4 圓弧度的防風牆。防風牆有

導風、導沙、積沙的效果。與風向呈 45 度的防風牆定沙效果較 135 度、180 度佳。而三層防風牆較一、二層定沙效果好。

6. 水份的存在有優異的定沙效果，原因不是因為水增加了沙的重量，水份的存在增加沙粒間的吸引力，使沙與沙緊密的結合發揮定沙的功能，故只要沙面以噴霧器噴一層水，就可以定沙，這現象亦可提供砂石運送中作為固沙的方法，既可增加運砂量又可減少途中造成的汙染。
7. 河谷風速為地表風速的三~四倍，橋墩會形成風洞效果，因此要在橋墩下靠近岸邊的部份加強定沙的裝置，或以植物定沙。頭前溪為中央管河川，約五年前開始實施「離農離牧」政策，卻使這一大片沙地的管理任其荒廢，亦使這幾年沙塵暴越來越嚴重，故若沒有專人的管理沙地，仍建議需有條件的開放沙地的農牧使用，可減少沙塵的量。
8. 在強烈的東北季風來臨前的 9 月，若有暴雨來臨，雨水暴漲會使兩岸植物泡水死亡，此時須立即投入大量人工定沙的工程，以免隨後而至的冬季東北季風使沙塵漫天將新竹十月的天空染成黃泥顏色。
9. 政府的河川政策可以更科學與現代化，首先應在頭前溪的左岸(新竹市)設置定沙與防沙林，高灘地或河濱公園應以右岸(新竹縣)為優先，再者不要以「人定勝天」來自愚愚人，特別水資源的過度利用，造成枯水期的時程增長，枯水程度嚴重，使整個城市付出更大的代價，市民得到的惡劣生活品質是再多的金錢也換不回來的。
10. 長遠看，我們需要一套好的河砂管理技術與方法，不以商業利益為考量的管理方式，是以自然環境與人民生活品質為考量的河砂管理政策，讓這城市的風使新竹飛躍，成為國際的城市，否則這風砂，會扼殺這古典與現代並存的美麗竹塹城。

柒、 參考文獻

1. 周恆(民 67)。防風定砂。
2. 經濟部水利處(民 90)。河川保護教材-頭前溪。
3. 氣候資料。中央氣象局。取自：<http://www.cwb.gov.tw/>。
4. 台灣環境砂手系列報導之 1-6。自由電子報。取自：
 - (1) <http://www.libertytimes.com.tw/2005/new/sep/20/today-so16.htm>
 - (2) <http://www.libertytimes.com.tw/2005/new/sep/21/today-so12.htm>
 - (3) <http://www.libertytimes.com.tw/2005/new/sep/22/today-so14.htm>
 - (4) <http://www.libertytimes.com.tw/2005/new/sep/23/today-so8.htm>
 - (5) <http://www.libertytimes.com.tw/2005/new/sep/24/today-so15.htm>
 - (6) <http://www.libertytimes.com.tw/2005/new/sep/26/today-so15.htm>
5. 沙塵暴分級。沙塵暴資料庫。取自：
<http://cisk.atmos.pccu.edu.tw/duststorm/introduce/intro.htm>
6. 衛星空照圖。亞新國土科技股份有限公司。
 - (1) 中華民國台灣地區相片基本圖 第四版 圖號 9522-I-057
 - (2) 中華民國台灣地區相片基本圖 第四版 圖號 9522-I-067
 - (3) 中華民國台灣地區相片基本圖 第四版 圖號 9522-I-068
 - (4) 中華民國台灣地區相片基本圖 第四版 圖號 9522-I-069

- (5) 中華民國台灣地區相片基本圖 第四版 圖號 9522-I-070
- (6) 中華民國台灣地區相片基本圖 第四版 圖號 9522-I-080
- (7) 中華民國台灣地區相片基本圖 第四版 圖號 9522-I-071

評語

031732 風殺竹塹—新竹市沙塵暴的探討

1. 新竹的風吹沙;是否可以用沙塵暴一詞，值得商榷。
2. 探討動機為造福鄉里，值得嘉許。
3. 自製風洞、風柵等模具，並探討風柵形式與防風吹沙的效果佳，且構思新穎。