

台灣西海岸砂粒性狀之探討

游繁結* 江永哲** 吳約西***

一、前言

台灣西海岸砂灘地分佈範圍極廣，北自淡水河口，南至曾文溪口。此等大面積砂灘之形成乃由於台灣地形陡峻，豪雨集中，自山區挾帶大量泥沙淤積於各河口而形成，而在每年冬季東北季風強勁吹襲之下，此等淤砂即漫天飛揚，輕者摧殘作物，重者掩埋良田、港灣、河道，形成砂丘，影響經濟發展至鉅。是以如何抑制飛砂之為害，乃本省海岸地區開發之先決條件。

考諸台灣西海岸之砂灘地，均係上游山地之泥沙順河流沖蝕攜帶至海岸堆積而成。然諸河川之源頭及流經地區均有不同之地質分佈，亦即形成砂粒之母質殊異，故沿海各地構成之砂粒，其基本性狀亦有所差異。此種不同性狀之砂粒一旦受風之作用而移動時，其運動狀況當有所不同，致對飛砂量之推估更增加複雜性。

一般飛砂量之推估公式，以 Bagnold (1954) 及河村 (1951) 之公式最為著名，此等公式均係假定砂粒為圓球形條件下之運動狀態而推導出來，然而砂粒既非圓球形，隨母質及輸送條件之不同而有各種不同之形狀，因之，此等公式並不適合直接用來推算飛砂量。為有效掌握飛砂運動之實態，從而推導出適用於本省西海岸飛砂量推估之公式，首先當對該地區砂粒之基本性狀有所瞭解。有鑑於此，本試驗乃擬對本省西海岸砂粒之特性、形狀加以探討，據此以瞭解砂粒運動之實態，並作為飛砂量推估之參考。

有關砂粒形狀之數量表示方法極多，如所謂之球狀率、圓狀率、丸狀率，或以砂粒之長、中、短三軸所表示之形狀係數 (Shape factor) 等 (河村, 1982)，但此等對形狀之數量化均需測得砂粒之粒徑，表面積或周長才可求得，對粒徑較小之砂粒，實不易行之。有鑑於此，本文乃根據 Stokes' law 之理論，測定不同地區砂粒之沈降時間，求其對同等粒徑球體之理論沈降時間之比率，作為代表不同地區砂粒之形狀係數 (Bagnold, 1954)，並探討此等係數對砂粒運動特性之影響，從而作為飛砂力學研究之參考。

二、理論根據與試驗方法

(一)理論公式：

根據 Stokes 之抵抗法則，在靜止流體中球體之沈降時間可由下式求之：

$$t = \frac{h}{u_t} = \frac{18 h \eta}{d^2 g (\rho - \rho_0)} \dots\dots\dots(1)$$

* 國立中興大學水土保持學系副教授

** 國立中興大學水土保持學系教授

*** 水利局第三工程處副工程司

式中 t 為經過 h 距離之沈降時間， u_t 為球體落下之末速度， μ 為流體之黏性係數， d 為球體之直徑， g 為重力加速度， ρ_0 為流體之密度， ρ 為球體之密度。

唯該公式係在球體落下時之雷諾係數 (Reynolds number) 小於 1 之限制條件下方能成立。

(一)試驗材料：

自本省西海岸之桃園縣海湖、苗栗縣後龍、台中縣台中港、彰化縣鹿港、雲林縣麥寮等 5 處海岸，採取砂樣以作為試驗之用。

(二)試驗方法：

1. 砂粒密度之測定：以比重瓶法分別測定各地區砂粒之密度。

2. 粒徑分析：將採自各地區之砂粒予以洗淨、風乾，再進行篩分析，所採用之篩號等級分別為 0.84 mm ~ 0.64 mm、0.64 mm ~ 0.42 mm、0.42 mm ~ 0.35 mm、0.35 mm ~ 0.25 mm、0.25 mm ~ 0.18 mm、0.18 mm ~ 0.15 mm、及 < 0.15 mm 等 7 個粒徑等級，而以各粒徑等級之平均值代表該粒徑等級之大小，以供分析計算用，並由粒徑分佈曲線求出各地區之中值粒徑，用以表示各地區砂粒之平均大小。

3. 砂粒沈降時間之測定：以 10 號及 40 號之潤滑油充分攪拌混合，以調出黏度係數為 0.5 Poise 之油體供試驗用，此等油體主要在使砂粒沈降時之雷諾係數 (Reynolds number) 不大於 1，又該油體之密度為 0.874 g/cm^3 。將此油體注入高 20 cm、直徑 5.0 cm 之量筒中，然後將各粒徑等級之砂粒一次一個放入量筒中，令其自然落下，而測定落下高度 16.6 cm 所需之時間 (t')。

4. 計算方法：將與測定砂粒同粒徑之理想圓球體依(1)式計算出其理論沈降時間 (t)，則各粒徑等級之 (t/t') 值，即代表該粒徑之形狀係數，而各地區不同粒徑等級之砂粒形狀係數之加權平均值即用來代表各地區砂粒之平均形狀係數。

三、結果與討論

(一)砂粒之密度：

茲將各地區砂粒密度之大小列於表 1，由表 1 知，本省西海岸以濁水溪口之麥寮海岸附近砂粒之密度為最小，台中港次之、海湖、後龍、鹿港等地區砂粒之密度則較類似，此等砂粒密度之差異可能與其附近河川上游之地質特性有關 (何，1975)

表 1 砂粒之密度

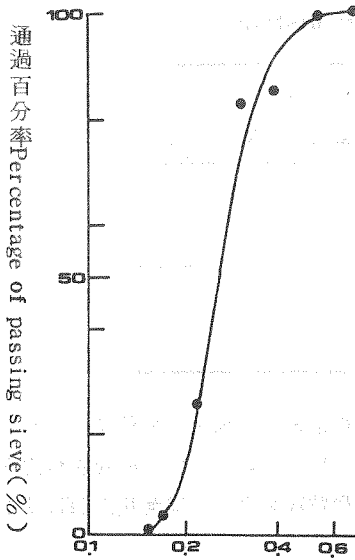
Table 1. Density of sand grains

地 點 Place	海 湖 Hai-hu	後 龍 Hou-lung	台 中 港 Tai-chung Port	鹿 港 Lu-kong	麥 寮 Mai-liao
密 度 Density (g/cm^3)	2.694	2.675	2.514	2.664	2.431

(二)砂粒之粒徑分佈：

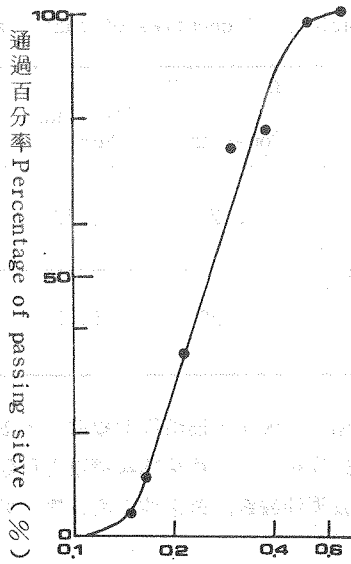
茲將各地區砂粒經篩分析之結果繪成圖 1 ~ 圖 5 之粒徑分佈曲線。

由此等粒徑分佈曲線圖可看出台中港之砂以細顆粒之含量較其他地區為多，麥寮次之。又由該等粒徑分佈曲線圖讀出各地區砂粒之中值粒徑 d_{50} 及求出粒徑分佈曲線之曲率係數 $C_d = \frac{(d_{30})^2}{d_{10} \times d_{60}}$ ，將之列於表 2：



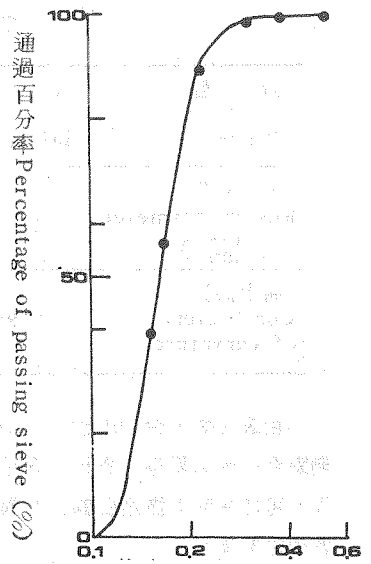
粒徑 Diameter (mm)

圖 1 粒徑分佈曲線 (海湖)
Fig. 1. Distribution curve of sand diameter (Hai-hu)



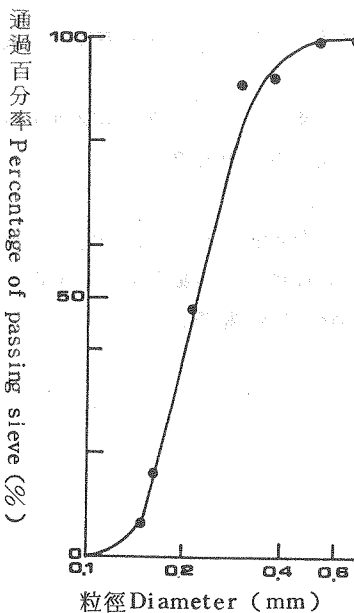
粒徑 Diameter (mm)

圖 2 粒徑分佈曲線 (後龍)
Fig. 2. Distribution curve of sand diameter (Hou-lung)



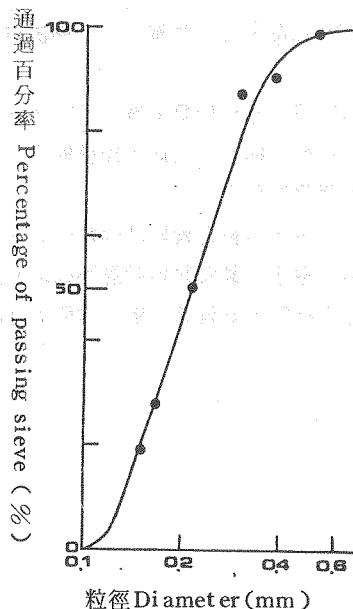
粒徑 Diameter (mm)

圖 3. 粒徑分佈曲線 (台中港)
Fig. 3. Distribution curve of sand diameter (Tai-chung Port)



粒徑 Diameter (mm)

圖 4 粒徑分佈曲線 (鹿港)
Fig. 4. Distribution curve of sand diameter (Lu-kong)



粒徑 Diameter (mm)

圖 5 粒徑分佈曲線 (麥寮)
Fig. 5. Distribution curve of sand diameter (Mai-liao)

表 2 砂粒之粒徑分佈特性

Table 2 Properties of sand diameter distribution

地 點 Place	海 湖 Hai-hu	後 龍 Hou-lung	台 中 港 Tai-chung Port	鹿 港 Lu-kong	麥 寮 Mai-liao
中值粒徑 Median diameter (d_{50} mm)	0.25	0.26	0.16	0.22	0.21
曲率係數 Coefficient of curvature	0.98	0.90	0.93	0.93	0.89

由表 2 知，台中港砂粒之中值粒徑最小，鹿港與麥寮次之，海湖與後龍最大，又由曲率係數之大小可判斷台中港與鹿港之各砂粒含量組成較類似，而後龍與麥寮之砂粒含量組成較類似。此等砂粒物性之差異，可能係受上游地質條件互異及泥沙輸送距離之遠近所影響，尤其以砂粒粒徑之大小與河川之長度更有密切之關係。

一般在山地所生成之砂石受水流之搬運作用，若搬運距離愈遠，則砂石因摩擦作用當使其粒徑變得愈小。以麥寮、台中港、鹿港等三地區觀之，此三地分別位在濁水溪、大甲溪、烏溪之河口，而此三條河川之長度分別為 180 km、140 km、117 km (林, 1957)；均較流至海湖附近之南崁溪及流至後龍附近之後龍溪或中港溪為長，因之前述三地區之砂粒顯然要較後述之二地區為小。

又，濁水溪雖較之大甲溪為長，但濁水溪口麥寮之砂粒反較大甲溪口台中港之砂粒為大，此可能係因上游地質構造與母岩特性之不同所致。另因大甲溪河床平均坡度為 $\frac{1}{90}$ ，較之濁水溪河床平均坡度之 $\frac{1}{430}$ (林, 1957) 為陡，此較陡河床之上激流可能具有較強之磨蝕作用，而將搬運中之砂石磨蝕成較小之砂粒。

此外，砂粒密度亦可能為影響中值粒徑之一因素，由表 1 與表 2 觀之，若台中港地區除外，則砂粒密度愈大者，其中值粒徑亦大，此可能係密度較大之砂粒較不易被磨蝕，故有此趨勢。

(三) 砂粒粒徑與形狀係數之關係

各地區不同砂粒直徑之沈降時間如表 3 ~ 表 7 所示。由表所示可知粒徑愈小，其沈降時間之標準偏差愈大，亦即砂粒愈小，其沈降運動愈不穩定，致其沈降一定距離所耗時間，長短變異極大，但由平均值觀之，愈小粒徑之砂粒，其沈降一定距離所需之時間愈長，此與 Stokes' law 相符合。

表 3 各粒徑等級之實測沈降時間 (海湖)

Unit : sec

Table 3. Measured falling time of different diameters (Hai-hu)

粒徑 Diameter 測次 No. (mm)	0.740	0.530	0.385	0.300	0.215	0.165
1.	18.8	39.8	57.6	91.0	161.5	234.5
2.	17.8	26.8	60.6	94.8	169.2	242.0
3.	17.5	30.0	67.4	101.2	157.2	228.2
4.	16.4	38.5	62.2	111.0	152.0	252.2
5.	20.2	35.6	61.6	113.4	156.5	263.6
6.	17.2	47.2	50.4	116.0	167.7	254.2
7.	17.0	42.2	51.2	87.5	160.2	238.5
8.	18.2	32.5	53.5	96.7	170.2	235.6
9.	17.5	24.2	60.5	95.5	168.8	289.8
10.	17.8	30.3	52.8	92.8	152.6	282.0
平均值 Mean	17.8	34.7	57.8	100.0	161.6	252.1
標準偏差 Standard deviation	1.06	7.25	5.61	10.03	7.00	20.80

表 4 各粒徑等級之實測沈降時間 (後龍)

Unit : sec

Table 4. Measured falling time of different diameters (Hou-lung)

粒徑 Diameter 測次 No. (mm)	0.740	0.530	0.385	0.300	0.215	0.165
1.	15.8	35.2	68.2	106.0	170.2	220.4
2.	17.0	42.5	46.5	99.4	138.5	237.2
3.	17.8	33.8	72.2	111.2	162.3	266.3
4.	16.2	40.6	80.8	96.4	175.9	239.6
5.	16.5	36.6	78.2	104.6	135.2	192.4
6.	18.4	40.2	96.1	106.6	172.6	235.0
7.	16.5	36.0	50.4	109.5	154.8	225.6
8.	15.5	41.8	75.2	117.8	149.0	286.4
9.	17.2	40.2	53.6	102.0	156.1	199.8
10.	18.0	32.4	62.8	100.6	176.2	279.8
平均值 Mean	16.9	37.9	68.4	105.4	159.1	238.3
標準偏差 Standard deviation	0.96	3.56	15.39	6.31	14.96	31.45

表5 各粒徑等級之實測沈降時間(台中港) Unit: sec

Table 5. Measured falling time of different diameters (Tai-chung Port)

粒徑 Diameter 測次 (mm) No.	0.740	0.530	0.385	0.300	0.215	0.165
1.	—	40.6	56.0	117.8	200.4	319.6
2.	—	56.5	82.3	129.5	216.8	351.8
3.	—	28.1	49.2	94.1	280.0	366.0
4.	—	41.5	85.4	108.8	186.2	302.6
5.	—	28.0	92.4	108.0	274.8	376.3
6.	—	54.4	52.8	115.2	220.5	333.1
7.	—	37.6	88.5	95.9	272.6	314.0
8.	—	46.2	66.4	135.5	199.4	339.0
9.	—	37.3	72.0	92.7	251.2	329.4
10.	—	52.5	53.8	121.6	236.2	362.2
平均值 Mean	—	42.3	69.9	111.9	233.8	339.4
標準偏差 Standard deviation	—	10.13	16.45	14.81	34.42	24.21

表6 各粒徑等級之實測沈降時間(鹿港) Unit: sec

Table 6. Measured falling time of different diameters (Lu-kong)

粒徑 Diameter 測次 (mm) No.	0.740	0.530	0.385	0.300	0.215	0.165
1.	20.4	42.8	64.0	92.5	185.5	290.0
2.	17.6	33.4	68.8	108.5	198.8	250.4
3.	13.4	22.6	58.2	112.0	182.4	313.6
4.	14.2	36.4	67.2	104.6	181.2	278.9
5.	23.8	44.2	62.4	90.8	187.0	292.2
6.	16.8	53.4	57.0	86.1	180.4	245.0
7.	15.3	24.8	54.3	110.9	183.6	305.5
8.	14.8	40.2	57.6	113.3	182.3	274.4
9.	18.4	52.0	60.9	88.0	205.8	281.4
10.	19.8	41.7	65.7	120.4	196.9	271.6
平均值 Mean	17.5	39.2	61.6	102.7	188.4	280.3
標準偏差 Standard deviation	3.24	10.19	4.82	12.27	8.85	21.69

表 7 各粒徑等級之實測沈降時間 (麥寮)

Table 7. Measured falling time of different diameters (Mai-liao) Unit : sec

粒徑 Diameter 測 No. 次 (mm)	0.740	0.530	0.385	0.300	0.215	0.165
1.	30.3	41.4	70.2	114.7	211.2	320.7
2.	22.6	36.7	68.0	126.4	166.8	295.4
3.	34.2	56.5	85.9	119.8	195.2	326.4
4.	21.6	37.8	62.5	106.2	222.2	340.9
5.	22.4	48.6	73.1	148.4	160.9	272.8
6.	24.0	35.8	78.8	143.0	220.0	326.0
7.	26.5	40.8	72.2	128.2	192.6	309.6
8.	21.8	35.0	66.9	116.6	191.2	289.8
9.	22.9	46.7	63.8	138.9	228.9	328.0
10.	23.6	48.8	75.4	145.0	180.5	296.8
平 均 值 Mean	25.0	42.8	71.7	128.7	197.0	310.6
標 準 偏 差 Standard deviation	4.17	7.08	7.10	14.51	23.40	21.33

又，各地區不同粒徑之理論沈降時間與實測沈降時間，如表8～表12所示：

表 8 沈降時間與形狀係數 (海湖)

Table 8. Falling time and shape factor (Hai-hu)

粒 徑 Diameter (mm)	實測沈降時間 Measured falling time (sec)	理論沈降時間 Theoretical falling time (sec)	百 分 率 Percentage (%)	形 狀 係 數 Shape factor
0.740	15.3	17.8	0.36	0.8596
0.530	29.8	34.7	14.38	0.8588
0.385	56.5	57.8	2.66	0.9775
0.300	93.1	100.0	57.64	0.9310
0.215	181.2	161.6	21.55	1.1213
0.165	307.7	252.1	2.73	1.2205
< 0.150	—	—	0.68	—
加權平均 Weighed mean				0.9708

表 9 沈降時間與形狀係數 (後龍)

Table 9. Falling time and shape factor (Hou-lung)

粒 徑 Diameter (mm)	實測沈降時間 Measured falling time (sec)	理論沈降時間 Theoretical falling time (sec)	百分比 Percentage (%)	形狀係數 Shape factor
0.740	15.5	16.9	1.63	0.9172
0.530	30.1	37.9	20.91	0.7942
0.385	57.1	68.4	3.32	0.8348
0.300	94.1	105.4	39.27	0.8928
0.215	183.1	159.1	23.47	1.1508
0.165	310.9	238.3	6.99	1.3047
< 0.150	—	—	4.41	—
加權平均	Weighed mean			0.9631

表 10 沈降時間與形狀係數 (台中港)

Table 10. Falling time and shape factor (Tai-chung Port)

粒 徑 Diameter (mm)	實測沈降時間 Measured falling time (sec)	理論沈降時間 Theoretical falling time (sec)	百分率 Percentage (%)	形狀係數 Shape factor
0.740	—	—	0	—
0.530	33.1	42.3	0.45	0.7825
0.385	62.7	69.9	0.16	0.8970
0.300	103.3	111.9	10.01	0.9231
0.215	201.1	233.8	32.72	0.8601
0.165	341.4	339.4	16.80	1.0059
< 0.150	—	—	39.86	—
加權平均	Weighed mean			0.9108

表 11 沈降時間與形狀係數 (鹿港)

Table 11. Falling time and shape factor (Lu-kong)

粒 徑 Diameter (mm)	實測沈降時間 Measured falling time (sec)	理論沈降時間 Theoretical falling time (sec)	百 分 率 Percentage (%)	形 狀 係 數 Shape factor
0.740	15.6	17.5	0.47	0.8914
0.530	30.3	39.2	6.82	0.7730
0.385	57.5	61.6	1.49	0.9334
0.300	94.6	102.7	43.22	0.9211
0.215	184.2	188.4	31.21	0.9777
0.165	312.8	280.3	9.81	1.1159
< 0.150	—	—	6.98	—
加權平均	Weighed mean			0.9498

表 12 沈降時間與形狀係數 (麥寮)

Table 12. Falling time and shape factor (Mai-liao)

粒 徑 Diameter (mm)	實測沈降時間 Measured falling time (sec)	理論沈降時間 Theoretical falling time (sec)	百 分 率 Percentage (%)	形 狀 係 數 Shape factor
0.740	17.9	25.0	0.37	0.7160
0.530	34.9	42.8	8.68	0.8154
0.385	66.1	71.7	3.17	0.9219
0.300	108.8	128.7	37.22	0.8454
0.215	211.8	197.0	22.50	1.0751
0.165	359.6	310.6	8.94	1.1578
< 0.150	—	—	19.12	—
加權平均	Weighed mean			0.9430

由表 8～表 12 可看出下列兩大顯著之趨勢：

1. 粒徑 0.215 mm 以下之砂粒，其沈降時間較理論沈降時間為短，茲將其原因探討如下：

(1) 粒徑較小而屬細長形之砂粒，可能在進行篩分析時，因容易振動跳躍而以長軸之方向通過篩孔之機會，較之粒徑較大之砂粒為多，此等細長形砂粒之重量較之同粒徑之圓球形砂粒為重，因之此等細長形砂粒之沈降時間較之圓球形砂粒為短，此現象以 0.165 mm 以下之砂粒沈降運動特為顯著。

(2) 粒徑較小而屬細長形之砂粒，在沈降運動時易以長軸方向沈降，此時砂粒所受抵抗力較小，因之較理論沈降時間為短。

(3) 粒徑較小之砂粒在沈降之際，砂粒重量較之流體之粘性更具影響力。

2. 粒徑 0.3 mm 以上之砂粒，其沈降時間較理論沈降時間為長，茲將其原因探討如下：

(1) 粒徑較大之砂粒在沈降之際，因受流體抵抗之作用，不易垂直下沈，而呈不規則之螺旋狀軌跡下沈，其沈降軌跡之長度當較垂直下降距離為長，因之沈降時間較之理論沈降時間為長。

(2) 粒徑較大之砂粒，其形狀雖較接近球狀，但其重量較之同粒徑之圓球體理當較輕，因之其沈降速度較之理論圓球體為慢，其沈降時間因而增長。

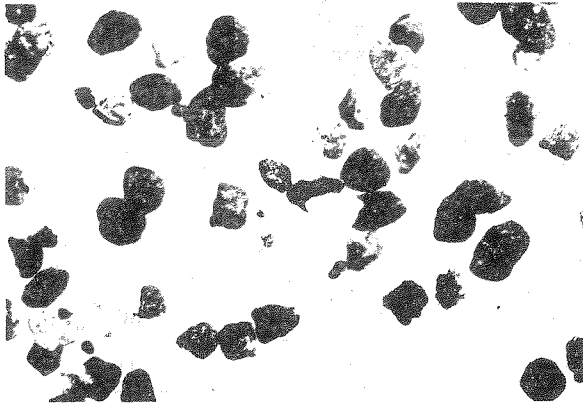
(3) 粒徑較大之砂粒，其形狀雖較接近球狀，但其表面仍呈不規則形狀，故其表面積較之理論圓球體為大，與流體接觸而產生之摩擦阻力亦大，因之，其沈降時間較長。

(4) 粒徑較大之砂粒在沈降之際，流體之粘性對砂粒之作用較之砂粒自身之重量更具影響力。

四 砂粒之形狀與平均形狀係數之關係

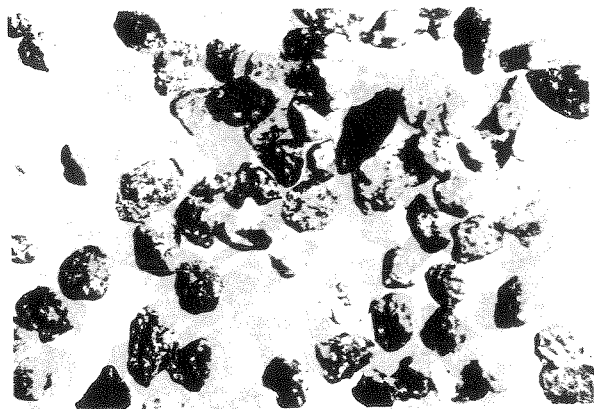
由表 8～表 12 所求得各粒徑等級之形狀係數，依加權平均之方式，求得各地區砂粒之平均形狀係數，列於同表上。

又，為瞭解各地區砂粒之形狀，特以顯微照相攝得各地區砂粒之形狀如相片 1～相片 5 所示。



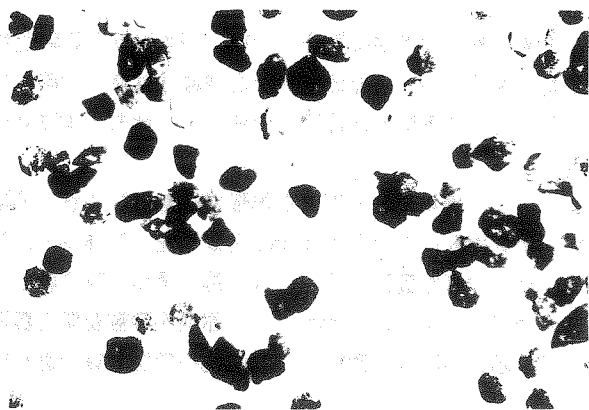
相片 1 海湖之砂

Plate 1. Sands of Hai-hu



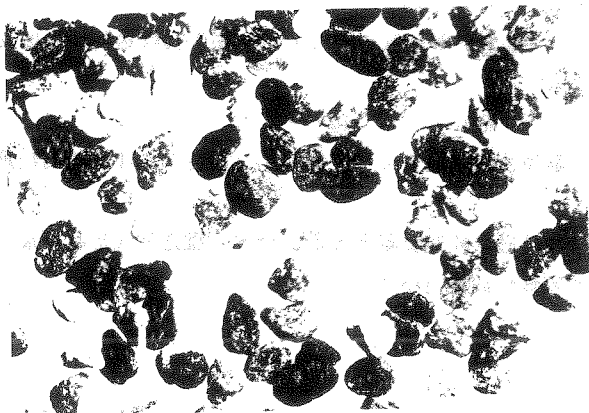
相片 2 後龍之砂

Plate 2. Sands of Hou-lung



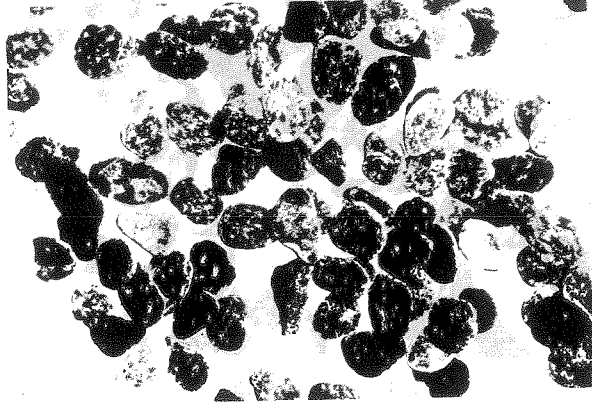
相片 3 台中港之砂

Plate 3. Sands of Taichung Port



相片 4 鹿港之砂

Plate 4. Sands of Lu-kong



相片 5 麥寮之砂

Plate 5. Sands of Mai-liao

由表 8～表 12，若台中港之砂除外，顯然麥寮與鹿港砂粒之平均形狀係數較之後龍與海湖為小。而由相片觀之，麥寮與鹿港之砂粒均屬較扁平形，可能此種形狀之砂粒在沈降運動時，其扁平面受流體之阻力作用，不易垂直下沈，而呈螺旋狀之軌跡下沈，故沈降時間較長，因此其平均形狀係數較之後龍與海湖為小。

但台中港之砂粒由相片觀之，並非屬扁平形，而其平均形狀係數仍較麥寮，鹿港為小，其原因可能該地區之平均粒徑最小，且砂體之組成中粒徑小於 0.15 mm 之砂粒達 39.86%，此等細小之砂粒在試驗操作上極不容易控制，因之未進行砂粒沈降之觀測試驗，但依前述之理由，粒徑較小之砂粒，其實測沈降時間當較理論沈降時間為短，若台中港地區小於 0.15 mm 之砂粒亦從事砂粒沈降之觀測試驗，該粒徑等級之形狀係數當較 1 為大，從而表 10 所示台中港地區砂粒之平均抵抗係數將有變大之可能。

四、結論

根據以上之試驗結果與討論，可獲結論如下：

1. 台灣西海岸砂粒之密度，中值粒徑等性狀之變異，可能係受其輸送河川長度及上游地質條件所影響。
2. 河川長度愈長，其河口附近之砂粒有愈小之趨勢。
3. 依 Stoke's' law 所作之砂粒沈降試驗，顯示粒徑較小之砂粒，其沈降時間較理論沈降時間為短，粒徑較大之砂粒則反之。
4. 海湖、後龍、台中港之砂粒形狀較類似球形，而鹿港、麥寮之砂粒形狀則屬扁平形。
5. 扁平形砂粒之形狀係數較球形砂粒為小。

中文摘要

為瞭解台灣西海岸飛砂之基本行為，本試驗特就海湖、後龍、台中港、鹿港及麥寮等地海岸之砂樣探討其密度，粒徑分佈及砂粒形狀，並依 Stokes' law 之沈降時間定義出砂粒之形狀係數，以瞭解砂粒之運動特性，其結果為：

1. 台灣西海岸砂粒之密度，中值粒徑等性狀之變異，可能係受其輸送河川長度及上游地質條件所影響。
2. 河川長度愈長，其河口附近之砂粒有愈小之趨勢。
3. 依 Stokes' law 所作之砂粒沈降試驗，顯示粒徑較小之砂粒，其沈降時間較理論沈降時間為短，粒徑較大之砂粒則反之。
4. 海湖、後龍、台中港之砂粒形狀較類似球形，而鹿港、麥寮之砂粒形狀則屬扁平形。
5. 扁平形砂粒之形狀係數較球形砂粒為小。

參考文獻

1. 何春森 (1975) : 台灣地質概論，中華民國經濟部編印。
2. 林朝榮 (1957) : 台灣地形，台灣省文獻委員會出版。
3. 河村三郎 (1982) : 土砂水理學 1，森北出版株式會社，PP 2~4。
4. 河村龍馬 (1951) : 飛砂の研究，東大理工研報，5 (3~4)。
5. 室田 明 (1969) : 應用流體力學，共立出版社。
6. Bagnold, R.A. (1954) : The Physics of Blown Sand and Desert Dunes. Mathuen & Co., Ltd.

Study on the Properties of Sand Grain on the Western Coast of Taiwan

Fan-Chieh Yu * Yung-Cheh Chiang ** Iue-Shi Wu ***

ABSTRACT

The purpose of this study is to understand the properties of sands on the western coast of Taiwan, as the basic materials for realizing the behaviour of blown sands. The sands on the sea-shores of Hai-hu, Hou-lung, Tai-chung Port, Lu-kong and Mai-liao were sampled, and the density and the diameter distribution of sand grains were measured. In addition, for defining the shape of sand grains, the falling time of sand grain in oil was measured, and the shape factor was defined as the ratio of the measured to the theoretical falling time. The latter was got from the Stokes' law.

And the results were obtained as follows :

1. The properties of sand grains such as sand density and median diameter were influenced by the length of the river and its geological properties.
2. The longer the river was, the smaller the sand was.
3. The measured falling time of smaller sand was shorter than the theoretical falling time. However, the larger sand was on the contrary.
4. The sands of Hai-hu, Hou-lung and Tai-chung Port were the spherical shape, and the sands of Lu-kong and Mai-liao were the flatlet shape.
5. The shape factor of flatlet sand was smaller than the shape factor of spherical sand.

* Associate Professor, Department of Soil and Water Conservation, College of Agriculture, National Chung-Hsing University

** Professor, Department of Soil and Water Conservation, College of Agriculture, National Chung-Hsing University

*** Assist Engineer, Water Conservation Bureau Third Area Structure.