

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

080104

海邊玩沙—沙球製作研究

學校名稱： 澎湖縣西嶼鄉大池國民小學

作者：	指導老師：
小六 陳霓津	歐志酌
小六 蔡清凡	陳志明
小五 汪宥諺	
小四 歐芷玹	

關鍵詞： 沙球、附著力、沙水比

海邊玩沙—沙球製作研究



本研究報告所用照片、圖、表均為自攝與自製

海邊玩沙—沙球製作研究

摘要

「沙球」是盛行於沙灘上的遊戲，某些地區也創造出不同的遊戲方法—例如：比賽沙球滾動距離、沙球對撞比賽……等，但所有沙灘都能玩這些遊戲嗎？又要怎麼做才會玩得好呢？

根據我們的實驗結果，利用篩網篩出較細的沙粒(粒徑 $<0.08\text{mm}$)，並將沙水比控制在200:35~200:45之間，能做出較堅固的沙球，含水量少(200:35)沙球較硬、滾動較快，含水量多(200:45)沙球偏軟、滾動較慢，同時也較耐撞擊，此外球體較大的沙球也較耐撞。

壹、前言

一、研究動機

學校的校訂課程中，有一個主題是「玩沙球」，老師帶我們到社區附近的沙灘，將沙子捏成圓球，進行「看誰滾得遠」和「沙球對撞」遊戲。有的同學做的沙球滾得遠，有人做得很耐撞，但也有人做的沙球，輕輕一推就破碎，我們在課堂中，概略的調整沙球濕度和沙子的組成，卻還是無法穩定做出堅固的沙球，於是便決定好好研究一番，希望能找出製作沙球的訣竅，讓我們成為玩沙球的高手，在對戰中百戰百勝。

二、研究目的

- (一) 捏沙成球—初探影響沙球製作的變因。
- (二) 看誰滾得遠—探討如何讓沙球滾得遠。
- (三) 看誰最耐撞—探討如何讓沙球更耐撞。(圖 1)

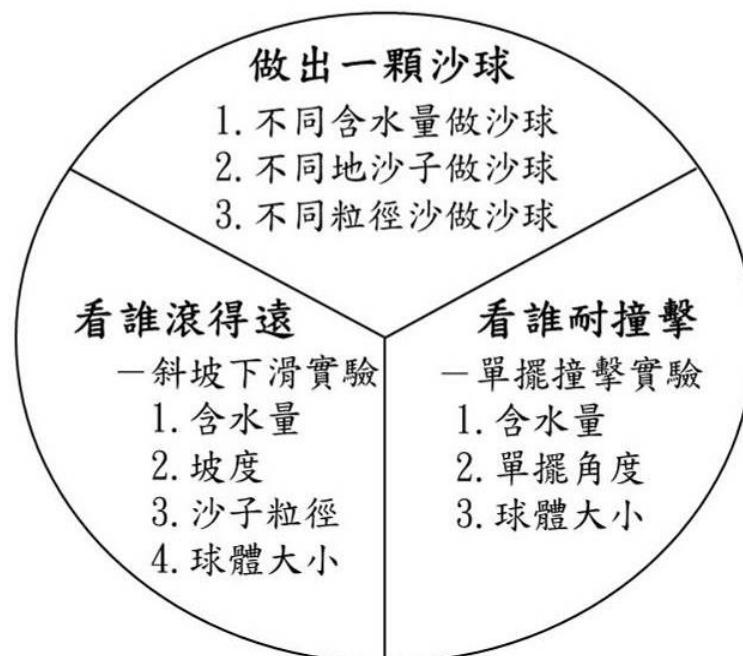


圖 1.研究架構圖

三、文獻回顧重點

- (一) 附著力：二種不同物體會在接觸面產生吸引力，這種吸引力要二者之間相距非常小時才能顯現，例如固體和液體，但固體與固體間因為間隙較大，較不容易產生附著力。
- (二) 內聚力：相同物體間的吸引力，如水分子之間的吸引力。
- (三) 縣內的沙灘多由珊瑚、貝殼、有孔蟲、玄武岩、石英...等碎屑組成，經海水與風搬運、沉積後而形成，不同區域的沉積物會有所差異。
- (四) 相同的物質，顆粒愈小，表面積愈大。

貳、研究設備及器材（表 1）

表 1、研究設備及器材表

設備或器材名稱	數量	用途	備註
木板斜坡	1 片	進行斜坡實驗用	自製
撞擊組	1 組	進行撞擊實驗用	自製
塑膠瓦楞板	數片	自製實驗輔助器材用	
長桌	2 張	進行斜坡實驗用	
手機放大鏡	1 個	觀察沙粒與沙球	
塑膠水桶	10 個	盛裝不同沙子	
篩網	4 個	篩出不同粒徑沙子	粗篩網：0.190cm(21 格=4cm) 中篩網：0.111cm(45 格=5cm) 細篩網：0.08(25 格=2cm) 極細網：0.077(26 格=2cm)
量杯	5 個	裝水	
鐵尺	1 把	測量距離	
電子秤	2 台	秤重用	
量藥匙	2 支	微調沙子重量	
塑膠滴管	2 支	微調水量	
透明袋	1 包	混合沙子與水、初步壓球	
扭蛋殼	數顆	輔助製作沙球	

參、研究過程或方法

一、做出一顆沙球。

- (一) 到本地沙灘 A 採集沙子，並將沙子攤平、晒乾。(照片 1)
- (二) 使用粗篩網進行初步過篩，去除較大的顆粒與樹枝.....等雜質。(照片 2)
- (三) 秤取 200 克的乾沙(照片 3)。
- (四) 在乾沙中加入不同水量(5 至 55 毫升，每組間距 5 毫升)。(照片 4)
- (五) 揉捏沙球至近圓球形(照片 5)，置於瓦楞板上，以板子輕推滾動一圈(照片 6)。
- (六) 觀察沙球滾動情形與變化，並進行質性描述。
- (七) 利用不同沙灘、不同粗細的沙子，重覆步驟(一)~(六)，做比較與統整歸納。



照片 1. 將採集回來的沙灘平曬乾



照片 2. 以粗篩網過篩



照片 3. 秤取 200 克乾沙(要先歸零喔)



照片 4. 倒入指定的水量後輕揉混勻



照片 5. 在袋中初步揉成近圓球狀



照片 6. 取出後再揉成球狀，放置於平台

二、看誰滾得遠。

- (一) 將本地沙灘 A 採集的沙子，以細篩網進行過篩。
- (二) 秤取 200 克的乾沙，並在乾沙中加入不同水量(10 至 55 毫升，每組間距 5 毫升)。
- (三) 揉捏沙球直至接近圓球形，再以扭蛋殼輕壓後(照片 7)，放置於坡度 15 度的木製斜板與長桌上，先以瓦楞板阻擋(照片 8~9)，使球靜止。
- (四) 抽走瓦楞板，讓球滾下，以慢動作攝影，觀察沙球破損的位置與情形(照片 10)。
- (五) 重覆進行 3 次實驗，取平均值。
- (六) 逐漸改變坡度為 20 度、25 度，重覆進行步驟(二)~(五)。
- (七) 使用粗篩的本地沙子，重覆步驟(二)~(六)，比較不同沙子粒徑沙球的滾動情形。
- (八) 製作不同大小的沙球(100 克沙、300 克沙)，加入與 200 克沙球等比例的水量，重覆步驟(三)~(六)，比較不同大小沙球的滾動情形。



照片 7.以扭蛋殼擠壓沙球



照片 8.用來進行滾動實驗的斜坡



照片 9.先以瓦楞板擋住沙球



照片 10.讓球滾下並記錄結果

三、看誰耐撞擊。

- (一) 將本地沙灘 A 採集的沙子，以細篩網進行過篩。
- (二) 秤取 200 克的乾沙，並在乾沙中加入不同水量(30 至 45 毫升，每組間距 5 毫升)。
- (三) 揉捏沙球直至接近圓球形，再以扭蛋殼輕壓後，平放置於撞擊平台。(照片 11~12)
- (四) 設置撞擊球的角度為 30 度後，放開球使其單擺撞擊沙球。(照片 13~14)
- (五) 計數單擺落下幾次後，才能將沙球撞破。
- (六) 重覆進行 3 次實驗，取平均值。
- (七) 更改撞擊球的角度為 50 度後，重覆操作前述步驟，比較沙球能承受的撞擊次數，進行比較。
- (八) 製作不同大小的沙球(100 克沙、300 克沙)，加入與 200 克沙球等比例的水量，重覆步驟(三)~(七)，比較不同大小沙球的耐撞度。
- (九) 進行比較、統整與歸納。



照片 11.撞擊裝置



照片 12.將沙球放置於撞擊平台(可調高度)



照片 13. 設置撞擊角度(照片為 50 度)



照片 14. 用高度計固定位置，提高效率

肆、研究結果與討論

一、做出一顆沙球。

(一) 不同的含水量實驗

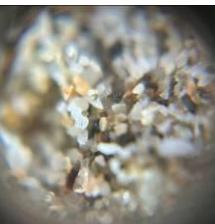
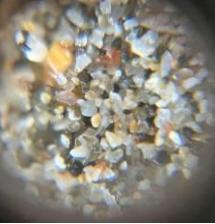
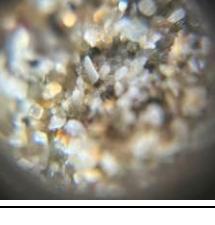
1. 從沙灘採集的沙子，內含或多或少的水分，要先攤平曝曬(至沙子粒粒分明即可)，才能固定加入的水量。
2. 從本地沙灘 A 採集的沙子顆粒細緻且均質，以粗篩網(網目約 0.190cm—21 格共 4 公分)過篩，幾乎沒有雜質(樹枝、垃圾)和粗顆粒(照片 15)，即便以本實驗最細的篩網過篩(網目約 0.077cm—26 格共 2 公分)，篩掉的顆粒也僅約佔總重量的 2%(平均每公斤篩掉 20.2 克較大沙粒)(照片 16)。
3. 在 200 克的沙子加入 10 毫升以上的水 (20:1)，就開始能將沙子捏成球形，但一放到桌上，才沒過幾秒，球就會崩壞，無法用來玩「滾得遠」和「耐撞擊」遊戲，所以我們設定，捏出的球，要能完好的滾動一圈，才能算是「合格的沙球」。
4. 在 200 克的沙子加入 25 毫升以上的水，就能做出合格的沙球，此時的沙球觸感偏乾硬，還很容易破損；逐漸提升含水量後(30~35 毫升)，沙球就能輕鬆滾動一圈，且變形不明顯；若再增加含水量(40~50 毫升)，沙球滾動雖不會破損，但容易變形為圓柱形(觸感較濕軟，沙子也易黏手)；最後將水量提升至 55 毫升後，沙子會呈現浸潤的軟泥狀態，無法塑形。(表 2)
5. 乾沙間彼此的附著力極弱，所以無法捏成球，加水後，水能與沙子的表面產生附著力，起初水量不足，接觸面積較小，因此即使成球也容易破裂，等水量足夠布滿沙子表面時，就能產生較大的附著力，若再持續加水，則沙粒間的水分過多，則會讓水產生「流動」，而發生易變形甚至「浸潤」的情況，無法再捏成球。(圖 2)

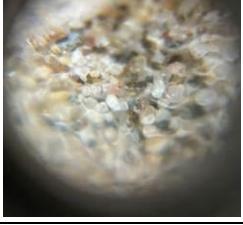


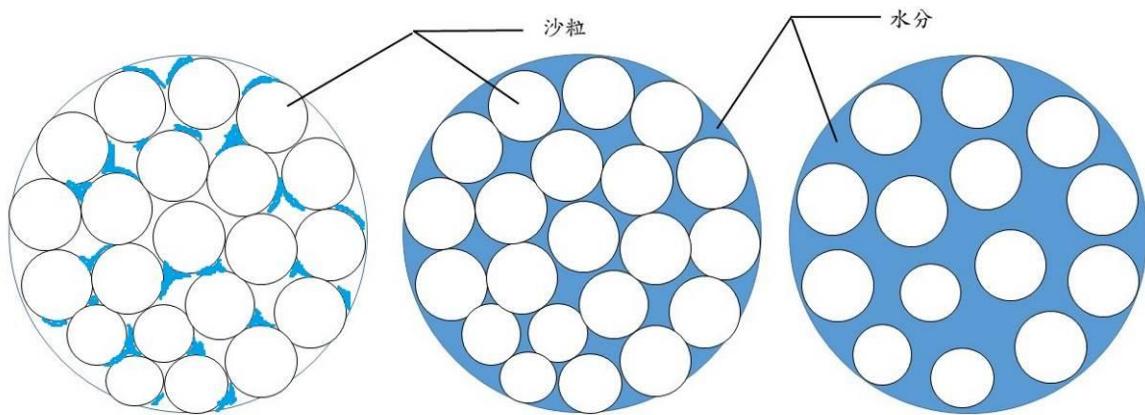
照片 15. 本地沙灘沙子以粗篩網過篩大顆粒極少 照片 16. 以極細網過篩僅能篩掉約 2% 沙粒



表 2.本地沙灘沙子加入不同水量製成的沙球一覽表

乾沙重量：200g 來源：本地(沙灘 A) 使用篩網：粗				
加水量 (毫升)	揉捏狀況	手機放大鏡下	輕推 (最多一圈)	其它描述
10				雖然可以勉強成球，但非常鬆散，一碰就散，放大鏡下沙粒很少光澤(水分)。
15				可成球，鬆散，破碎後有較大的結塊。
20				可成球，一樣無法滾動一圈，沙粒在放大鏡下略有光澤。
25				勉強能完成滾動一圈，但沙球出現裂縫。
30				能完好的滾完一圈，滾動面輕微變形(變扁)。
35				能完好滾完一圈，滾動面變扁更明顯(較軟)。
40				能完好的滾完一圈，放大下沙粒具光澤且排裂緊密。

45				能滾完一圈，沙球觸感更軟，沙子黏手，滾完變扁非常明顯。
50				沙球非常黏手，表面輕觸即變形，滾動後變長圓柱狀。
55			無法進行	沙粒含水太多，過度浸潤，已無法捏成球。



水量過少：產生的附著力不足，
沙球不夠堅固。

水量適中：產生足夠的附著力，
沙球可成形可滾動。

水量過多：過多水分產生流動，
沙粒浸潤無法成球。

圖 2. 沙球含水量示意圖

(二) 採集不同地點沙子做沙球。

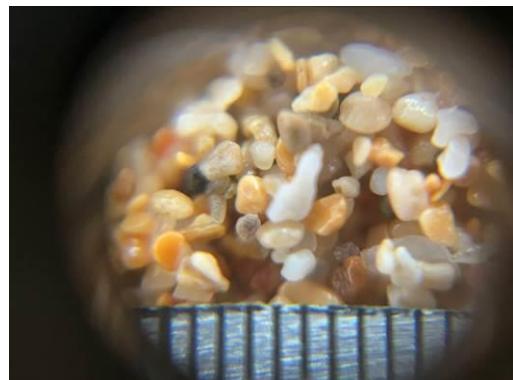
1. 第一次接觸沙球遊戲時，有聽老師提到本地沙灘的沙子非常適合製作沙球，但有些地方的沙子卻不適合。於是我們採集另二處縣內知名的沙灘—B 沙灘(照片 17~18)、C 沙灘(照片 19~20)的沙子來進行實驗，並與 A 沙灘(照片 21~22)比較。
2. 從外觀看來，B 沙灘的沙顆粒較大且相對均勻，顏色偏金黃色，能看到珊瑚、貝殼碎屑；C 沙灘的顆粒大小差異較大，顏色也是偏金黃，能找到許多有孔蟲；A 沙灘的顆粒普遍較小，顏色偏灰黑，主要由岩石和生物碎屑組成。
3. B 沙灘的沙球，僅在沙水比例 200 : 35~200 : 40 時，能勉強製成濕軟的沙球並滾動一圈，但球體容易變形與破裂，在水量 30 毫升以下時，沙球鬆散難以

滾動，水量 45 毫升以上則會呈現浸潤狀態。

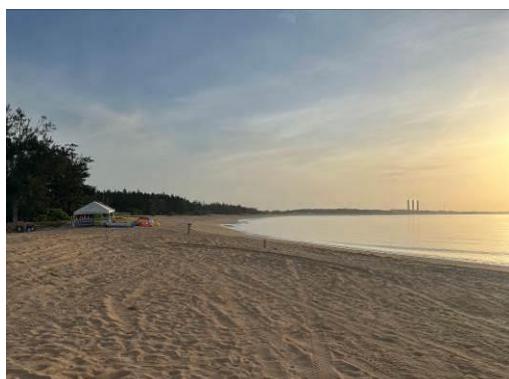
4. C 沙灘的沙球，在未過篩的情況下，幾乎無法製成能滾動的沙球；若將沙子進行粗篩，去除較大的顆粒後，就能在沙水比例 200：35~200：45 之間，製成能滾動一圈的沙球(照片 23~24)，而相同的是，水量過少(30 毫升以下)沙球鬆散，水量過多(50 毫升以上)則呈浸潤狀態。(表 3)
5. 綜合三處沙灘的四個實驗，可發現 A 沙灘的沙子最適合製作沙球(能在較大的含水範圍內成球)，其次是經過粗篩的 C 沙灘沙子，B 沙灘及未過篩的 C 沙子則幾乎無法成球，我們推測可能與沙子的粒徑或成份有關。(圖 3)



照片 17.B 沙灘



照片 18.B 沙灘粒徑普遍較粗(格線為 0.5mm)



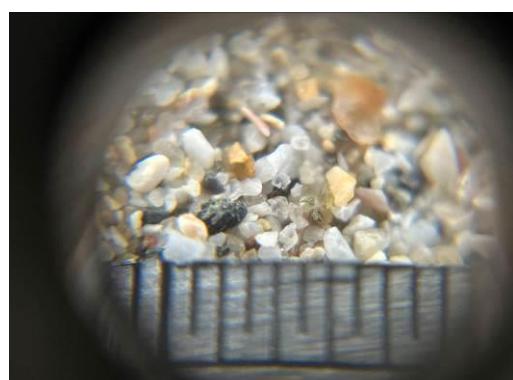
照片 19.C 沙灘



照片 20.V 沙灘粒徑差距明顯



照片 21.本地的 A 沙灘



照片 22.A 沙灘顆粒普遍較小



照片 23.C 沙灘用粗篩能篩出許多大顆粒



照片 24.經粗篩能成球與滾動(但易變形)

表 3.B 沙灘和 C 沙灘沙子(200 克重)加入不同水量製作沙球概況表

沙子來源 水量(mL)	B 沙灘		C 沙灘(未過篩)		C 沙灘(粗篩)	
	是否成球	滾動一圈	是否成球	滾動一圈	是否成球	滾動一圈
15	X	X	X	X	X	X
20	O	X	X	X	O	X
25	O	X	O	X	O	X
30	O	X	O	X	O	X
35	O	O	O	X	O	O
40	O	O	O	X	O	O
45	X(浸潤)	X	O(極軟)	X	O	O
50	X(浸潤)	X	X(浸潤)	X	X(浸潤)	X

補充說明：

1. 紅底：沙球含水不足，過度鬆散，無法成球。
2. 黃底：沙球勉強可成球，但仍無法滾動一圈。
3. 綠底：沙球可成球，且能滾動一圈。
4. 藍底：沙球可成球，且能滾動一圈，但過軟變形嚴重(長圓柱形)。
5. 紫底：沙球含水過多，呈現「浸潤」狀態，無法成球和滾動。

沙子來源 含水量 (mL)	15	20	25	30	35	40	45	50	55
夢幻沙灘	成球，無法滾一圈		成球，也能滾一圈			可滾但過軟		浸潤	
山水沙灘	鬆散無法成球		成球，無法滾一圈			可滾但過軟		浸潤	
隘門沙灘 (未過篩)	鬆散無法成球		成球，無法滾一圈			可滾但過軟		浸潤	
隘門沙灘 (粗篩)	鬆散無法成球		成球，無法滾一圈			可滾但過軟		浸潤	

圖 3.不同沙子(200 克重)加水製作沙球概況圖

(三)不同沙子粒徑做沙球。

1. 將 C 沙灘的沙子，依序以粗(0.190cm)、中(0.111cm)、細(0.08cm)三種不同孔徑篩網過篩，粗篩網可去除較大石粒及雜質，中篩網上能留下粗沙粒，細篩網上能留下中沙粒，而穿過細篩網的，則為細沙粒。(照片 25~26)
2. 在 200g 細沙粒中加入 20 毫升的水，即可製成沙球，隨著水量漸增，沙球會慢慢變堅固，再加水則漸漸變軟，最後在加水達 55 毫升時，發生浸潤現象，與 A 沙灘的細沙結果相近。
3. 在 200g 中沙粒裡加入 35 毫升的水，才能捏成沙球並成功滾動一圈不破，加水至 55 毫升時亦發生浸潤現象。
4. 在 200g 粗沙粒加水，從 20 毫升組起，每組增加 5 毫升，直至加水 55 毫升發生浸潤現象為止，都無法將沙子捏成球。(表 4)
5. 根據以上結果，我們推測做成沙球的條件，除了與沙子含水比例有高度相關之外，沙子粒徑大小也是關鍵因素，因為相同重量的沙子，顆粒愈小，總表面積愈大，便能產生較強的附著力；若沙子顆粒過大，總接觸面積小且間隙過大，則不容易做成沙球。(圖 3)
6. 在本實驗中，我們發現，利用 C 的細篩沙粒製作沙球，能成功製作的含水範圍竟然比 A 沙灘的粗篩沙粒更廣，於是我們將 A 沙灘的沙進行細篩，果然也能在僅加水 20 毫升的情況下，就能製成沙球。
7. 考量取材便利性與在家鄉附近沙灘遊戲，後續實驗以本地 A 沙灘沙子製球。



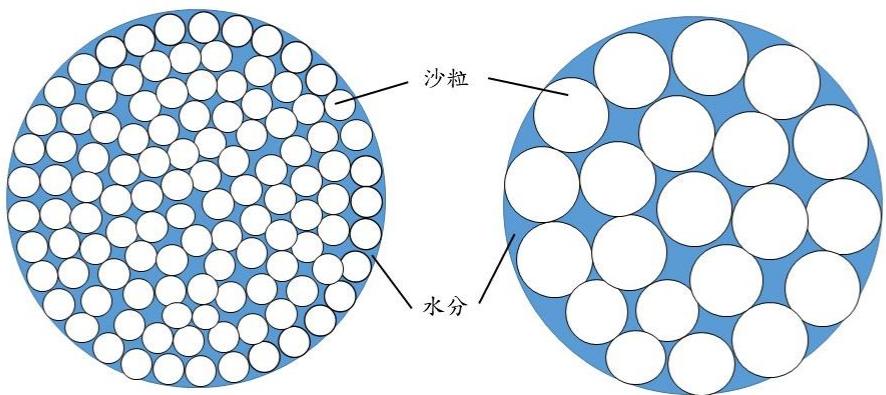
照片 25. 使用不同孔徑篩網篩沙



照片 26. 將 C 沙子分出三種不同大小

表 4. 不同大小 C 沙子(200 克重)加入不同水量製作沙球概況表

水量(mL)\ 沙粒大小	大 (0.190~0.111mm)		中 (0.111~0.08mm)		小 (< 0.08 mm)	
	是否成球	滾動一圈	是否成球	滾動一圈	是否成球	滾動一圈
15	X	X	X	X	O	X
20	X	X	X	X	O	O
25	X	X	O	X	O	O
30	X	X	O	X	O	O
35	X	X	O	X	O	O
40	X	X	O	X	O	O
45	X	X	O	O	O	O
50	X	X	O	O	O	O
55	X(浸潤)	X	X(浸潤)	X	X(浸潤)	X



相同重量的沙子，顆粒愈小，總表面積愈大，能產生較強的「附著力」。

圖 3.沙子粒徑與接觸表面積示意圖

二、看誰滾得遠

(一) 不同含水量的沙球

1. 利用長約 1 公尺的木板，在板上畫出起始線與長 80 公分的刻度，再接上實驗長桌，雖然接縫處會「撞擊」，但仍能比較出不同沙球的滾動距離。
2. 用細篩 A 沙灘沙 200 克製球，從加水 15 毫升起可捏成球，進行斜坡實驗(照片 27)。當坡度為 15 度時，隨含水量上升，沙球滾動的距離愈遠，在加水 40 毫升時達極大值(平均滾動 118.3cm，且沙球沒破碎)(照片 28)，再加更多水後，沙球反而滾動距離縮短，甚至會在坡面停下。(照片 29)(表 5)(圖 4)
3. 將斜坡角度上升至 20 度時，反而是加水 45 毫升的沙球滾動最遠(平均滾動 107.7cm，且沙球沒破碎)，在坡度 15 度時表現最好的加水 40 毫升沙球，在滾過接縫處不久後迅速破碎(平均滾動 98cm)。
4. 提升斜坡至 25 度，低角度表現較好的加水 40 毫升與 45 毫升組，都在 80cm 接縫處破碎，因斜坡角度過大，沙球無法抵擋接縫處的撞擊力道(照片 30)，而加水 50 毫升組可多滾一點距離(85 公分)。
5. 整體而言，我們發現加水較少時(低於 35 毫升)，沙球偏乾硬較容易破碎(常在坡上破碎)，當加水量變多(高於 40 毫升)，球的滾動變慢，但卻較耐撞擊，可以滾動較遠；更濕的球(加水 45 毫升)愈不容易滾動，但也更耐撞擊，能在較大的坡度(20 度)滾更遠。
6. 沙球在較大坡度時滾動速度較快，衝擊力愈強，平均滾動距離也較短。



照片 27.太乾的沙球一滾動即破碎



照片 28.有些沙球可以滾得很遠



照片 29.過濕的沙球會在斜坡停下



照片 30.坡度過大沙球耐不住接縫處撞擊

表 5.不同含水量沙球從斜坡放下的滾動距離表

沙量：200 克重　來源：A 沙灘　粒徑：細篩(< 0.08mm)　滾動距離：cm												
坡度	15 度				20 度				25 度			
	次數	1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3
15mL	8	10	10	9.3	13	15	10	12.7	15	13	11	13
20mL	23	25	28	25.3	21	18	21	20	18	18	20	18.7
25mL	35	42	40	39	32	32	29	31	27	28	27	27.3
30mL	58	55	55	56	44	41	45	43.3	35	33	32	33.3
35mL	80	80	80	80	50	55	56	53.7	49	45	42	45.3
40mL	120*	115*	120*	118.3	95	100	99	98	80	80	80	80
45mL	93*	92*	89*	91.3	104*	110*	109*	107.7	80	80	80	80
50mL	58*	60*	68*	62*	89*	88*	87*	88*	83	86	86	85

說明：「*」標記代表沙球滾動後沒有破裂。

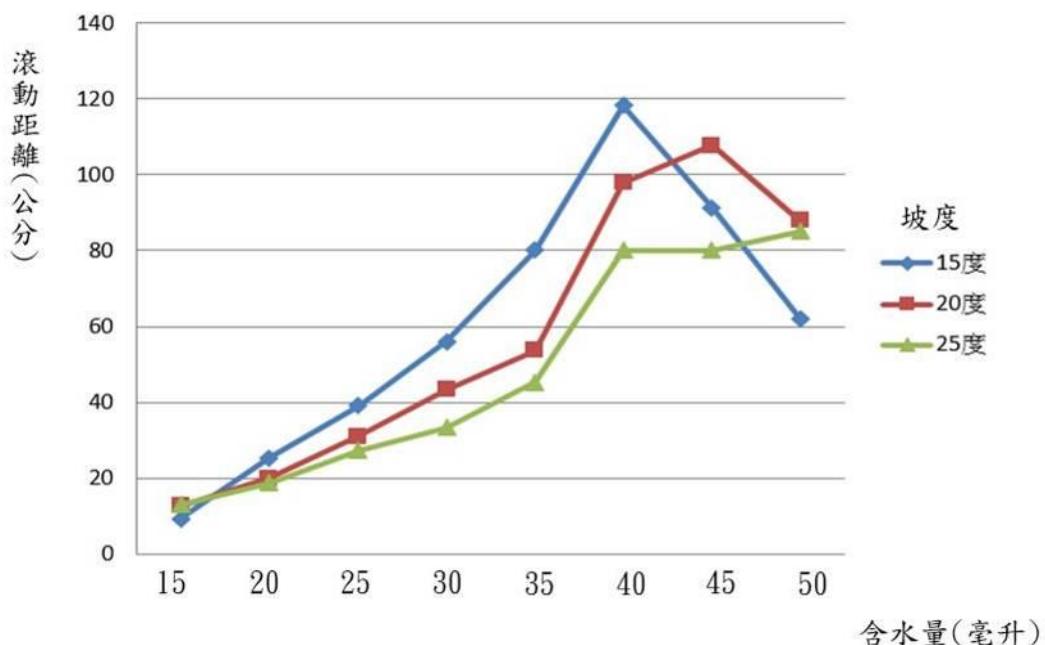


圖 4.不同含水量沙球在三種坡度的滾動距離圖

(二) 不同沙子粒徑的沙球

1. 使用 A 沙灘「粗篩」沙粒，在 200 克重的沙中加入 30~45 毫升水量製球(經先前實驗得知，在此範圍內水量的沙球較為堅固，因此後續實驗僅進行這些組別)，進行 15 度及 20 度斜坡實驗，與表 5 數據進行比較，發現本實驗使用較粗的沙粒，在大部分組別的滾動距離，都比「細篩」組近。(表 6)
2. 在坡度 15 度，含水量 40 與 45 毫升二組，滾動距離與細篩組沒什麼差異，推測是因粗篩組沙球在這二組的條件下，也能無破損的滾完全程。
3. 在 20 度的斜坡坡度進行實驗，距離差距更明顯，且粗篩組的沙球也全數在滾動後破裂，推測是因為滾動速度較快、衝擊力較強的關係。(圖 5)
4. 與「C 沙灘不同粒徑沙粒沙球」實驗相同，因顆粒愈細，與水接觸面積增加，能有較強的附著力，讓沙球更堅固。

表 6. 粗篩沙球從斜坡放下的滾動距離表

沙量：200 克重				來源：A 沙灘				粒徑：粗篩(< 0.191mm)				滾動距離：cm				
坡度	15 度				20 度				1	2	3	平均	1	2	3	平均
	次數	1	2	3	平均	1	2	3								
30mL	38	45	40	41		22	23	24	23							
35mL	66	66	75	69		50	48	46	48							
40mL	115*	118*	120*	117.7		82	80	80	80.7							
45mL	92*	93*	90*	91.7		85	88	82	85							

說明：「*」標記代表沙球滾動後沒有破裂。

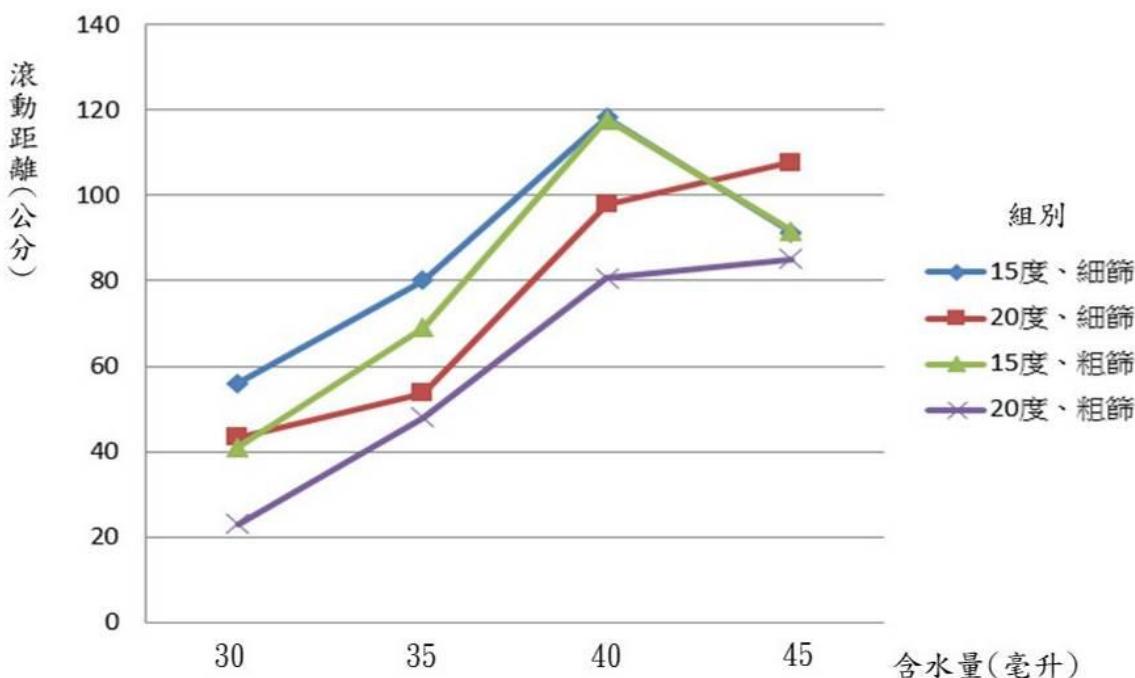


圖 5. 不同粒徑沙粒製成沙球在斜坡的滾動距離圖

(三)不同球體大小的沙球

- 秤取不同重量的乾沙(300 克、100 克)，以等比例水量製作 200：30~200：45 沙水重量比沙球，初步揉捏後，再用扭蛋殼加壓製作沙球，進行斜坡實驗。
- 扭蛋殼可以用來最後加壓，讓沙球受力更均勻、更圓，但若一開始便將濕沙裝進蛋殼再壓，則常會在接觸處裂開，無法製成球(照片 31~32)
- 根據實驗結果(表 7、圖 6)所示，100 克沙的小沙球，平均滾動距離較短，可能是因為球體太小，不易壓緊，只有在低坡度(15 度)的 200：40 和 200：45 沙水比例實驗中，滾動距離與中沙球(200 克沙)、大沙球(300 克沙)接近，推測是因為沙球濕度夠，較能耐衝擊。
- 中沙球(200 克沙)和大沙球(300 克沙)各組實驗表現接近，雖然大沙球較重，但也有較大的緩衝空間，且大小適中，易於施力揉捏成球。
- 綜合以上，我們認為，只要用相同的沙子(來源、粗細)，並控制相同比例的水量，在沙球大小適中的情況下，不同球體大小的沙球，滾動距離相近。



照片 31.最後以扭蛋殼加壓，沙球更圓



照片 32.直接用扭蛋殼製球，易從接縫裂開

表 7.不同沙球在斜面滾動距離表

沙重(公克)		100 克				200 克				300 克			
坡度		15 度		20 度		15 度		20 度		15 度		20 度	
沙水比	次數	距離	平均	距離	平均	距離	平均	距離	平均	距離	平均	距離	平均
200：30	一	46	47	28	33.3	58	56	44	43.3	54	54.6	48	45
	二	47		35		55		41		54		43	
	三	48		37		55		45		56		44	
200：35	一	72	70.3	46	45	80	80	50	53.7	78	78	53	52.6
	二	69		45		80		55		78		53	
	三	70		44		80		56		78		52	
200：40	一	120*	122	98	95	120*	118.3	95	98	120*	123	100	102
	二	123*		97		115*		100		129*		107	
	三	123*		90		120*		99		120*		99	
200：45	一	98*	96.7	104*	104	93*	91.3	104*	107.7	96*	94.3	108*	109
	二	96*		106*		92*		110*		93*		110*	
	三	96*		102*		89*		109*		94*		109*	

說明：「*」標記代表沙球滾動後沒有破裂。

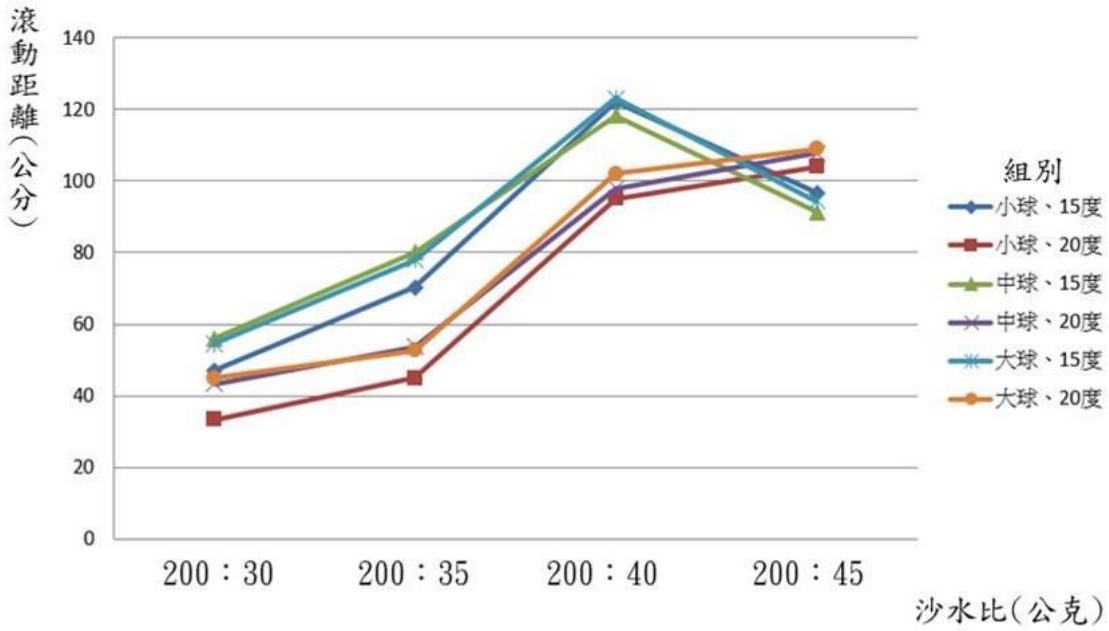


圖 6.不同球體大小沙球在斜坡的滾動距離圖

三、看誰耐撞擊

- (一) 進行撞擊實驗時，盡量用棒球的同一點撞擊沙球的中心，直至沙球破碎(要撞到有沙塊掉落，只是裂開的話要繼續撞)，計算各沙球抵抗撞擊次數(照片 33~34)。
- (二) 不同球體大小的沙球中心位置不同，先固定撞擊球擺長(37 公分)，對齊大沙球(沙重 300 公克)中心，進行中沙球、小沙球實驗時，利用瓦楞板將球墊高(照片 35)，即可在不改變單擺長度的情形下，對準球的中心撞擊，撞擊位置則設定在單擺自然下垂時的位置(照片 36)。
- (三) 依本實驗結果(表 8、圖 7)，可知道當沙球含水量偏高時(沙水比例 200:40~200:45)，沙球更能抵抗撞擊，水能增加附著力，以緩衝撞擊，當沙球到達「含水量偏高」狀態時，沙子也容易黏附在扭蛋殼和手掌上(照片 37~38)，沙水比 200:35 以下，則較少有這種情形，較乾的沙球也較不耐撞擊。
- (四) 較大的沙球，比較耐撞擊，尤其是在高含水的狀態，差距更明顯，因為大沙球具有較佳的緩衝能力，而在本實驗的小沙球(沙重 100 公克)，耐撞表現差，當撞擊球擺角設置在 50 度時，無論含水量多少，都無法耐得住 1 次撞擊。



照片 33.沙球沒被撞破，要再放回原位



照片 34.撞擊至沙球破碎才算實驗完成



照片 35.可利用瓦楞板墊高沙球固定擺長



照片 36.設置好位置後可用膠帶固定



照片 37.沙球含水比例偏高時黏附性強



照片 38.沙球含水比例高時也較沾手

表 8.不同沙球的耐撞擊次數表

沙重(公克)		100 克				200 克				300 克			
撞擊角度		30 度		50 度		30 度		50 度		30 度		50 度	
沙水比	次數	次 數	平 均										
200 : 30	一	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	二	1		1		1		1		1		1	
	三	1		1		1		1		1		1	
200 : 35	一	1	1	1	1	3	2.7	2	1.7	3	3.3	3	2.3
	二	1		1		2		1		3		2	
	三	1		1		3		2		4		2	
200 : 40	一	5	5.3	1	1	8	7.7	5	5	9	9	7	7
	二	6		1		7		5		9		8	
	三	5		1		8		5		9		6	
200 : 45	一	6	6.3	1	1	14	14.7	7	7.7	17	16.3	9	9.7
	二	6		1		15		8		16		10	
	三	7		1		14		8		16		10	

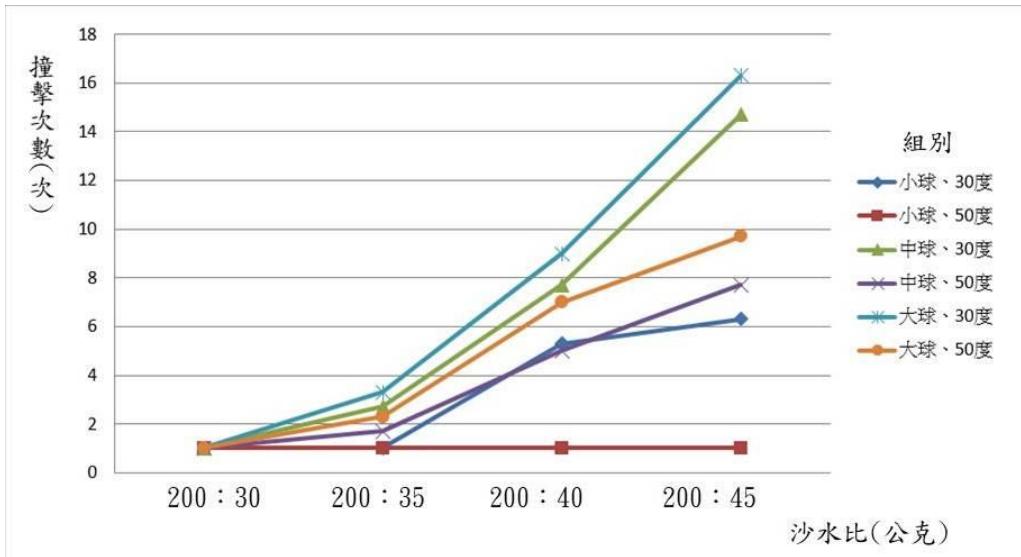


圖 7.不同沙球的耐撞擊次數比較圖

伍、結論

- 一、不同區域的沙灘，粒徑大小與組成都不相同，隨手取沙未必能製成沙球，若是準備細篩網篩出小沙粒，則較容易捏出沙球。
- 二、A 沙灘的沙粒較細且大顆粒比例少，因此發展出「沙球比賽」這種在地特色遊戲。
- 三、一般來說，潮間帶沙粒均勻，波浪停止區附近會有大顆粒碎屑沉積帶(照片 39)，而潮上帶靠風力搬運堆積的沙粒粒徑較小(照片 40)，適合拿來製作沙球。
- 四、沙子因為與水的接觸面產生附著力，而能捏成沙球。隨著水量漸增，沙子由鬆散，逐漸可捏成球形，甚至能滾動和撞擊，但水量過多時則會發生流動的「浸潤」狀態。本實驗中經細篩($< 0.08\text{mm}$)的沙粒，在沙水比 200:15 時可捏成球，200:20 可滾動，200:25 ~ 200:45 之間，水量愈多、球體愈軟，滾動速度愈慢，但也更耐撞擊，200:50 幾乎快無法捏成球，而 200:55 以上發生浸潤狀態。
- 五、想到海灘做出堅固的沙球，要挑選細沙粒，最好攜帶細篩網，以 200:35~200:45 沙水比，若沒有辦法精準測量，能以「沙粒稍微會黏手」(200:40~200:45)做為概略比例。
- 六、進行沙球滾動距離競賽(照片 41)，建議使用「細沙」，球體大小無明顯差異—只要大小適合手掌均勻施加壓力(太小捏不緊、太大無法控制)，沙水比例介於 200:35~200:45，視坡度而定，坡度較平緩，加水比例要低，較容易滾動；坡度若較陡，則建議含水比例要高，較能緩衝(但會滾動較慢)。
- 七、進行沙球撞擊比賽，建議使用「細沙」，球體盡可能做大顆(照片 42)，沙水比例偏高(200:45)，則能做出較耐撞的沙球。



照片 39. 波浪停止區常有較大顆粒



照片 40. 潮上帶風力堆積區顆粒較小



照片 41. 滾動距離比賽要視坡度調整水量 照片 42. 撞擊比賽的要訣是「細、大、濕」



陸、檢討與未來研究方向

- 一、本次實驗利用三處不同沙灘的沙子製球，從手機放大鏡下可見，沙粒除了粒徑大小不同，組成成分、沙粒形狀(較具稜角或較圓滑)也不相同，本次僅針對沙粒大小進行探討，發現 C 沙灘和 A 沙灘的細沙粒製球，結果相近，未來有機會能再細探成分與形狀是否也影響沙球製作。
- 二、本次實驗製作沙球，是先在透明袋內將沙水混勻輕壓，再由同一人以雙手製球，最後利用扭蛋殼加壓，雖然盡量控制沙球製作品質，但對壓製沙球的「緊密度」仍沒有想到較精準的控制方法，可能需要特製的模具(可旋緊、從頂部加沙加水—否則沙球會在接縫處裂開)。

陸、參考文獻資料

- 一、全中平(2020)。科展設計與實作。國立台灣科學教育館。
- 二、梅期光(2011)。認識科展的第一本書。書泉出版社。
- 三、康軒文教事業(2025)。能量與生活。載於康軒文教事業，國小自然科學第八冊(頁 54-59)。康軒文教事業。
- 四、附著力・中文百科・取自 <https://reurl.cc/EV6KDa>
- 五、沙子會吸水嗎？(2025 年 3 月 8 日)・知識星球・取自 <https://reurl.cc/mxydbj>
- 六、李景安(2021)・界面力學—表面張力之小兵立大功・彰化：彰化女中。

【評語】080104

作品的主題貼近生活經驗，具有趣味及吸引力。在研究方面，以斜坡下滑實驗來測試沙球滾動的距離和用單擺撞擊實驗來測試耐撞度，實驗架構清楚。過程中也對沙粒粒徑、含水量、沙球大小等多項變因進行細緻的探討，展現出良好的實驗探究精神與科學態度。作品利用篩網篩出較細的沙粒，並將沙水比控制能做出堅固的沙球，含水量少沙球較硬、滾動較快，含水量多沙球偏軟、滾動較慢，同時也較耐撞擊，此外球體較大的沙球也較耐撞。總體來看，這是一件具啟發性和實作性的作品，以後可朝教具化方向發展。

作品海報

海島元沙

沙球製作研究九

摘要：

「沙球」是盛行於沙灘上的遊戲，某些地區創造出不同的遊戲方法—例如：比賽沙球滾動距離、沙球對撞比賽……等，但所有沙灘都能玩這些遊戲嗎？又要怎麼做才會玩得好呢？

根據我們的實驗結果，利用篩網篩出較細的顆粒(粒徑<0.08mm)，並在沙水比200：35~200：45之間，能做出最堅固的沙球，含水量少(200：35)沙球較硬、滾動較快，含水量多(200：45)沙球偏軟、滾動較慢但耐撞擊，此外球體較大的沙球也會有較強的耐撞能力。

壹、前言

一、研究動機

「沙球」是學校校訂課程之一，老師帶我們到社區附近的沙灘玩沙球，進行「看誰滾得遠」和「沙球對撞」遊戲。但每個人做出來的沙球差異很大，在課堂中概略調整沙球濕度和沙子的組成，卻還是無法穩定做出堅固的沙球，於是便決定透過實驗，好好研究一番。

二、研究目的

- (一) 捏沙成球—探討沙球成形的變因。
- (二) 看誰滾得遠—探討如何讓沙球滾得遠。
- (三) 看誰最耐撞—探討如何讓沙球更耐撞。(圖1)

三、文獻回顧重點

- (一) 附著力：二種不同物體會在接觸面產生吸引力，這種吸引力要二者之間相距非常小時才能顯現，例如固體和液體，但固體與固體間因為間隙較大，較不容易產生附著力。
- (二) 內聚力：相同物體間的吸引力，如水分子之間的吸引力。
- (三) 本地的沙灘多由珊瑚、貝殼、有孔蟲、玄武岩、石英…等碎屑組成，經海水與風搬運、沉積後而形成，不同區域的沉積物會有所差異。
- (四) 一樣的物質，重量相同、顆粒愈小，則總表面積愈大。

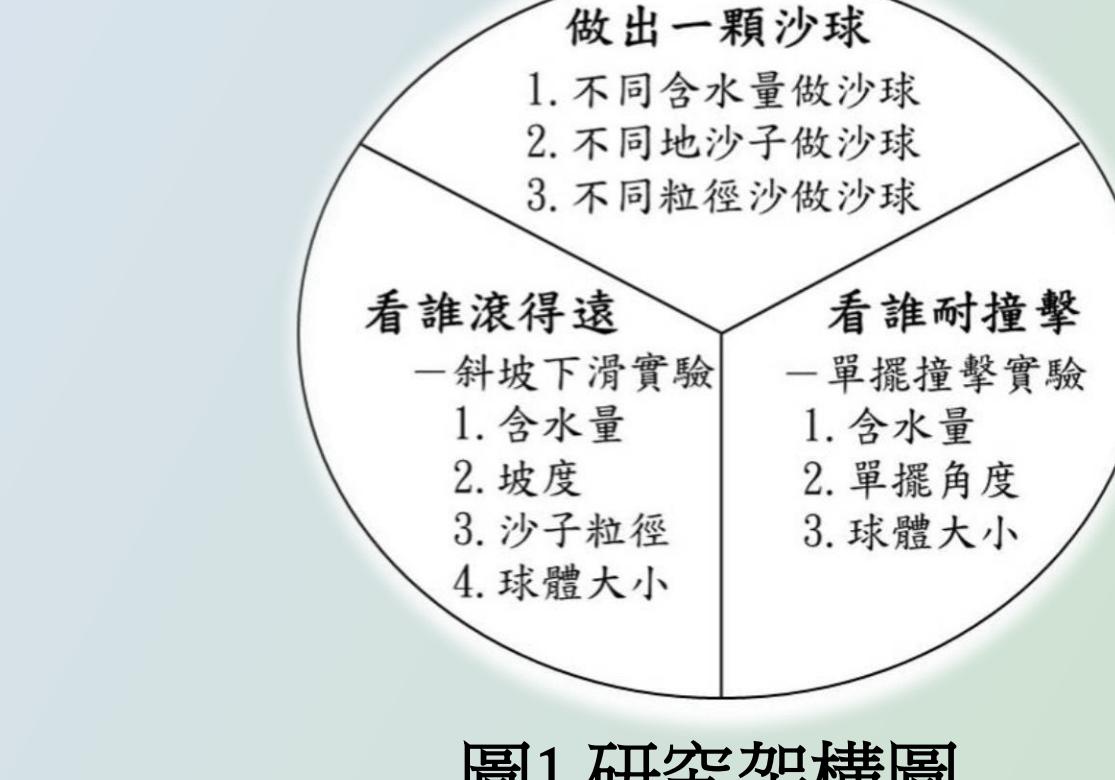
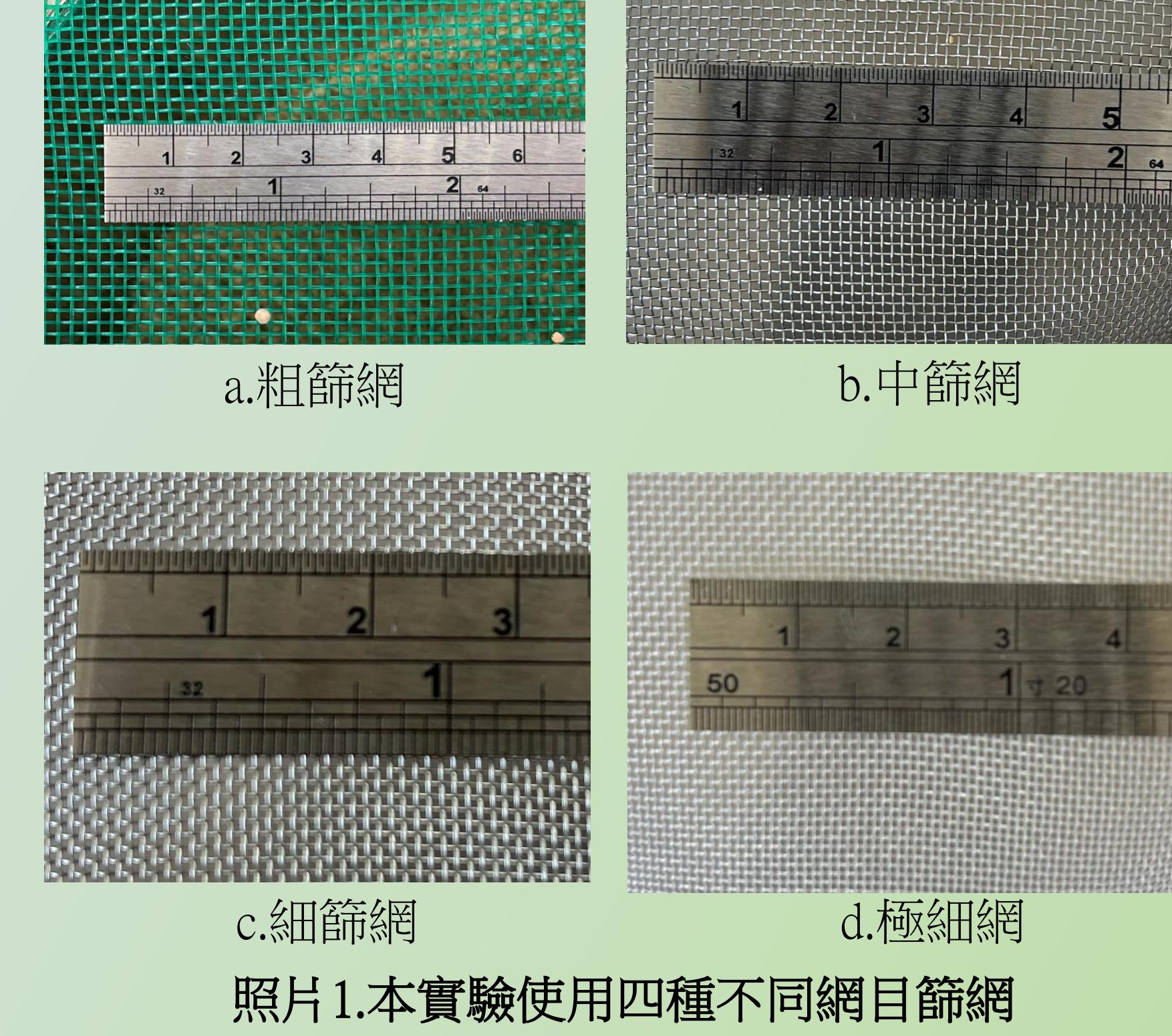


圖1.研究架構圖

貳、研究設備及器材

表1、研究設備及器材表

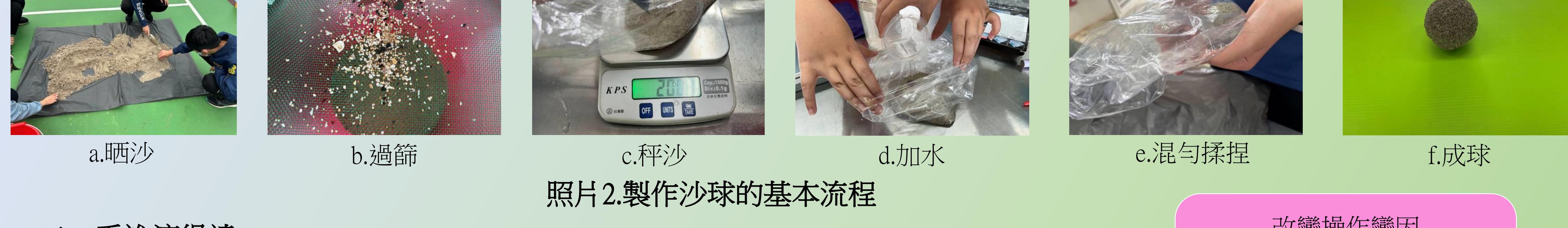
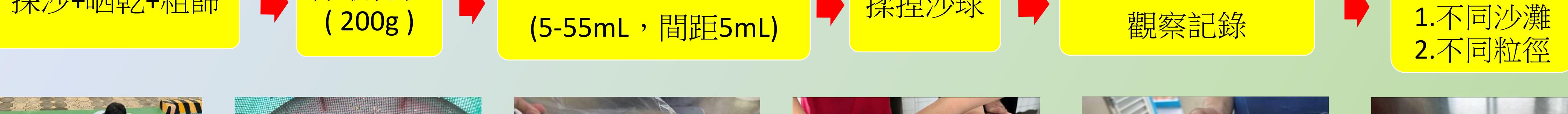
設備或器材名稱	數量	用途	備註
木板斜坡	1片	進行斜坡實驗用	自製
撞擊組	1組	進行撞擊實驗用	自製
塑膠瓦楞板	數片	自製實驗輔助器材用	
長桌	2張	進行斜坡實驗用	
手機放大鏡	1個	觀察沙粒與沙球	
塑膠水桶	10個	盛裝不同沙子	
篩網	4個	篩出不同粒徑沙子	粗篩網：0.190cm(21格=4cm) 中篩網：0.111cm(45格=5cm) 細篩網：0.08(25格=2cm) 極細網：0.077(26格=2cm)
量杯	5個	裝水	
鐵尺	1把	測量距離	
電子秤	2台	秤重用	
量藥匙	2支	微調沙子重量	
塑膠滴管	2支	微調水量	
透明袋	1包	混合沙子與水、初步壓球	
扭蛋殼	數顆	輔助製作沙球	



照片1.本實驗使用四種不同網目篩網

參、研究過程或方法

一、做出一顆沙球



照片2.製作沙球的基本流程

二、看誰滾得遠



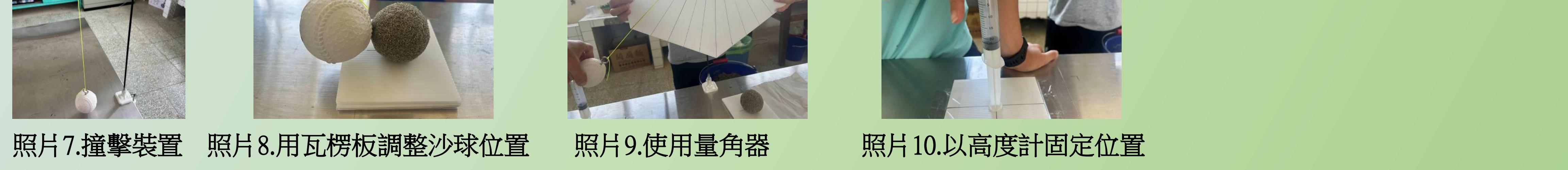
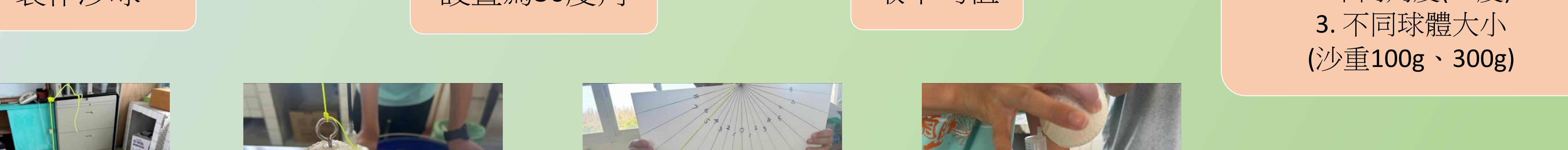
照片3.以扭蛋殼加壓

照片4.木製斜板

照片5.靜置沙球

照片6.滾動後測量

三、看誰耐撞擊



照片7.撞擊裝置

照片8.用瓦楞板調整沙球位置

照片9.使用量角器

照片10.以高度計固定位置

肆、研究結果與討論

一、做出一個沙球

(一)不同含水量實驗(表2)

1. 採集的沙子要先攤平曝曬(至沙子粒粒分明即可)，才能掌握加入的水量。

2. A沙灘採集的沙粒細緻且均質，以粗篩網過篩，幾乎沒有雜質(樹枝、垃圾)和粗顆粒(照片11)，即便以極細網過篩，篩掉的顆粒也僅約佔總重量的2% (照片12)。

表2.A沙灘沙子加入不同水量製成的沙球一覽表

加水量 (毫升)	揉捏狀況	手機放大鏡下 輕推 (最多一圈)	其它描述	乾沙重量：200g 來源：本地(沙灘A) 使用篩網：粗			
				加水量 (毫升)	揉捏狀況	手機放大鏡下 輕推 (最多一圈)	其它描述
10			雖然可以勉強成球，但非常鬆散，一碰就散，放大鏡下沙粒很少光澤(水分)。	35			能完好滾完一圈，滾動面變扁更明顯(較軟)。
15			可成球，鬆散，破碎後有較大的結塊。	40			能完好的滾完一圈，放大沙粒具光澤且排列緊密。
20			可成球，一樣無法滾動一圈，沙粒在放大鏡下略有光澤。	45			能滾完一圈，沙球觸感更軟，沙子黏手，滾完變扁非常明顯。
25			能完成滾動一圈，但沙球出現裂縫。	50			沙球非常黏手，表面輕觸即變形，滾動後變長圓柱狀。
30			能完好的滾完一圈，滾動面輕微變扁。	55			沙粒含水太多，過度浸潤，已無法捏成球。



照片11. 粗篩網過篩情形



照片12. 細篩僅約 2% 粗粒

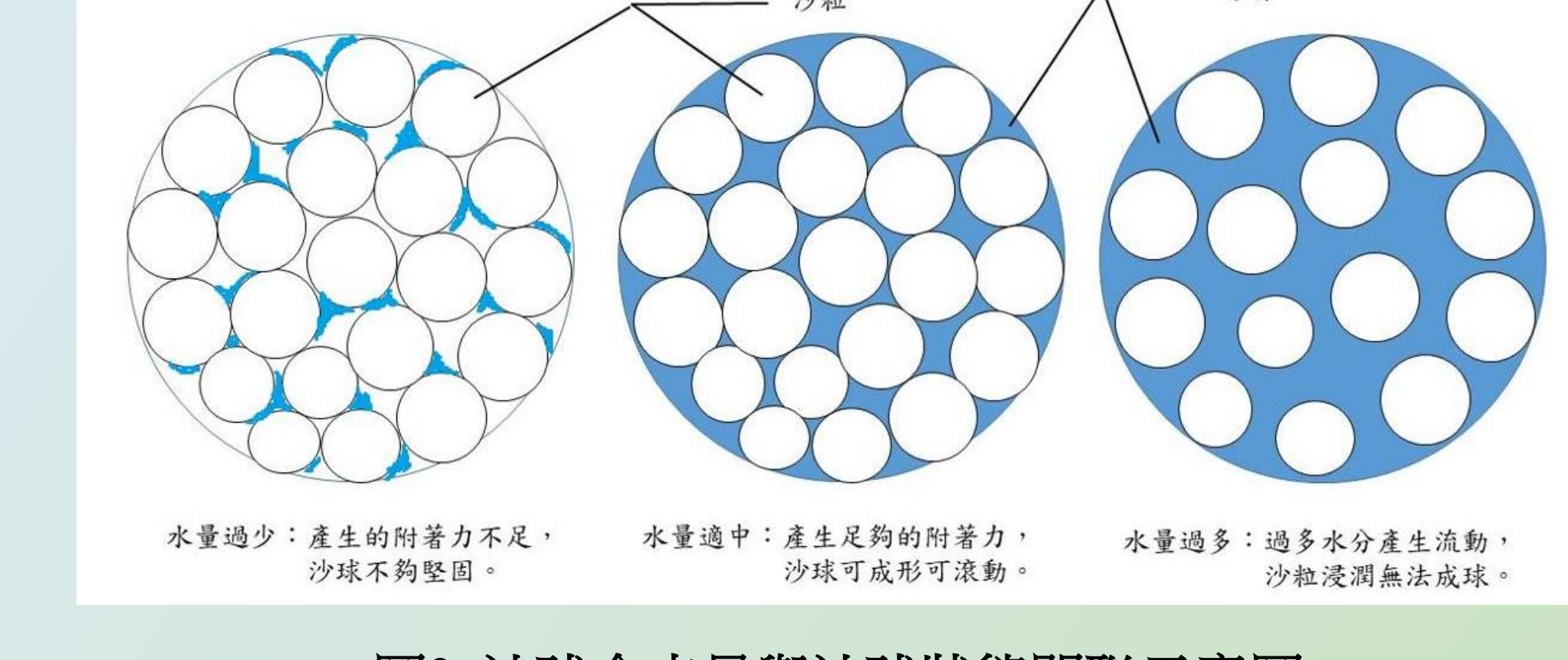


圖2. 沙球含水量與沙球狀態關聯示意圖

(二)不同地點沙子做沙球(表3、圖3)

- 第一次接觸沙球時，聽老師提到本地沙灘(A)的沙子非常適合製作沙球，但有些地方的沙子卻不適合。於是我們採集另二處知名的沙灘—B沙灘(照片13)、C沙灘(照片14)的沙子來進行實驗，並與A沙灘(照片15)比較。
- 從外觀看來，B沙灘的沙顆粒較大且相對均勻，顏色偏金黃色，能看到珊瑚、貝殼碎屑；C沙灘的顆粒大小差異較大，顏色也是偏金黃，能找到許多有孔蟲；A沙灘的顆粒普遍較小，顏色偏灰黑，主要由岩石和生物碎屑組成。
- 綜合三處沙灘的四個實驗，可發現A沙灘的沙子最適合製作沙球(能在較大的含水範圍內成球)，其次是經過粗篩的C沙灘沙子，B沙灘及未過篩的C沙灘沙粒則幾乎無法成球，我們推測可能與沙子的粒徑或成份有關。

表3.B和C沙子(200克重)加入不同水量製作沙球概況表

表 3.B 沙灘和 C 沙灘沙子(200 克重)加入不同水量製作沙球概況表																				
沙子來源 水量(mL)	B 沙灘		C 沙灘(未過篩)		C 沙灘(粗篩)		沙子來源 水量(mL)	15	20	25	30	35	40	45	50	55				
	是否成球	滾動一圈	是否成球	滾動一圈	是否成球	滾動一圈														
15	X	X	X	X	X	X	A沙灘	成球，無法滾一圈				成球，也能滾一圈				可滾但過軟	浸潤			
20	O	X	X	X	O	X	B沙灘	鬆散無法成球		成球，無法滾一圈			可滾但過軟		浸潤		未實驗 (略)			
25	O	X	O	X	O	X	C沙灘 (未過篩)	鬆散無法成球		成球，無法滾一圈			可滾但過軟		浸潤		未實驗 (略)			
30	O	X	O	X	O	X	C沙灘 (粗篩)	鬆散無法成球		成球，無法滾一圈			可滾但過軟		浸潤		未實驗 (略)			
35	O	O	O	X	O	O														
40	O	O	O	X	O	O														
45	X(浸潤)	X	O(極軟)	X	O	O														
50	X(浸潤)	X	X(浸潤)	X	X(浸潤)	X														

補充說明：

- 紅底：沙球含水不足，過度鬆散，無法成球。
- 黃底：沙球勉強可成球，但仍無法滾動一圈。
- 綠底：沙球可成球，且能滾動一圈。
- 藍底：沙球可成球，且能滾動一圈，但過軟變形嚴重(長圓柱形)。
- 紫底：沙球含水過多，呈現「浸潤」狀態，無法成球和滾動。



照片13.B沙灘顆粒普遍較大
(放大鏡下刻度為 0.5 mm)



照片14.C沙灘顆粒大小差異明顯

(三)不同沙子粒徑做沙球

- 將C沙灘的沙子，依序以粗(0.190cm)、中(0.111cm)、細(0.08cm)三種不同孔徑篩網過篩，可分出粗、中、細沙粒。(照片17)
- 根據表4結果，我們推測做成沙球的條件，除了與沙子含水比例有高度相關之外，沙子粒徑大小也是關鍵因素，因為相同重量的沙子，顆粒愈小，表面積愈大，能產生較強的附著力；若沙子顆粒過大，接觸面積小且間隙過大，則不容易做成沙球。(圖4)
- 在本實驗中，我們發現，利用C的細篩沙粒製作沙球，能成功製作的含水範圍竟然比A沙灘的粗篩沙粒更廣，於是我們將A沙灘的沙進行細篩，果然也能在僅加水20毫升的情況下，就能製成沙球。考量取材便利性與在家鄉附近沙灘遊戲，後續實驗以A沙灘沙子製球。

表4.不同粒徑C沙子(200克重)加入不同水量製作沙球概況表

沙粒大小 水量(mL)	大 (0.190~0.111mm)		中 (0.111~0.08mm)		小 (< 0.08 mm)		沙子來源 水量(mL)	15	20	25	30	35	40	45	50	55	
	是否成球	滾動一圈	是否成球	滾動一圈	是否成球	滾動一圈											
15	X	X	X	X	O	X											
20	X	X	X	X	O	O											
25	X	X	O	X	O	O											
30	X	X	O	X	O	O											
35	X	X	O	X	O	O											
40	X	X	O	X	O	O											
45	X	X	O	O	O	O											
50	X	X	O	O	O	O											
55	X	X	X(浸潤)	X	X(浸潤)	X											

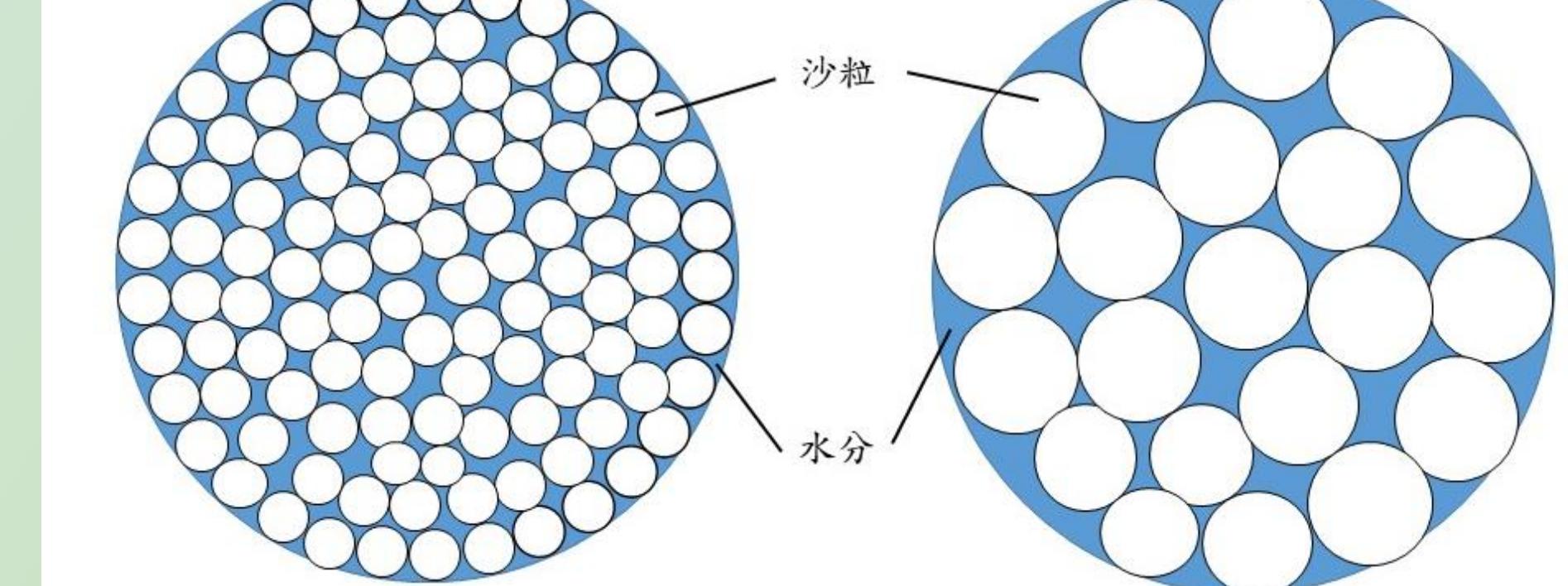


圖4.沙子粒徑與接觸表面積大小關係示意圖



照片17.篩出粒徑不同的沙子

二、看誰滾得遠

(一) 不同含水量的沙球

- 在木板上畫出起始線與長80公分的刻度，再接實驗長桌，雖然接縫處會「撞擊」，但仍能比較出滾動距離。
- 從表5、圖5可發現，加水較少時(低於35毫升)，沙球容易破碎(常在坡上破碎)，當加水量到達40毫升後，球的滾動距離較遠；偏濕的球(加水45毫升)愈不容易滾動，但也更耐撞擊，能在較大的坡度(20度)滾更遠。
- 坡度愈大，滾動速度愈快，衝擊力愈強，沙球的平均滾動距離也較短。

表5.不同含水量沙球的滾動距離表

(二) 不同沙子粒徑

表6.不同沙子粒徑沙球的滾動距離表

沙量：200克重		來源：A沙灘		滾動距離：cm	
說明：	坡度 加水量	15度-粗篩	20度-粗篩	15度-細篩	20度-細篩
1.「*」代表沙球停 下後仍保持完好。	30mL	41	23	56	43.3
2.滾動距離取3次 實驗平均值。	35mL	69	48	80	53.7
	40mL	117.7*	80.7	118.3*	98
	45mL	91.7*	85	91.3*	107.7*

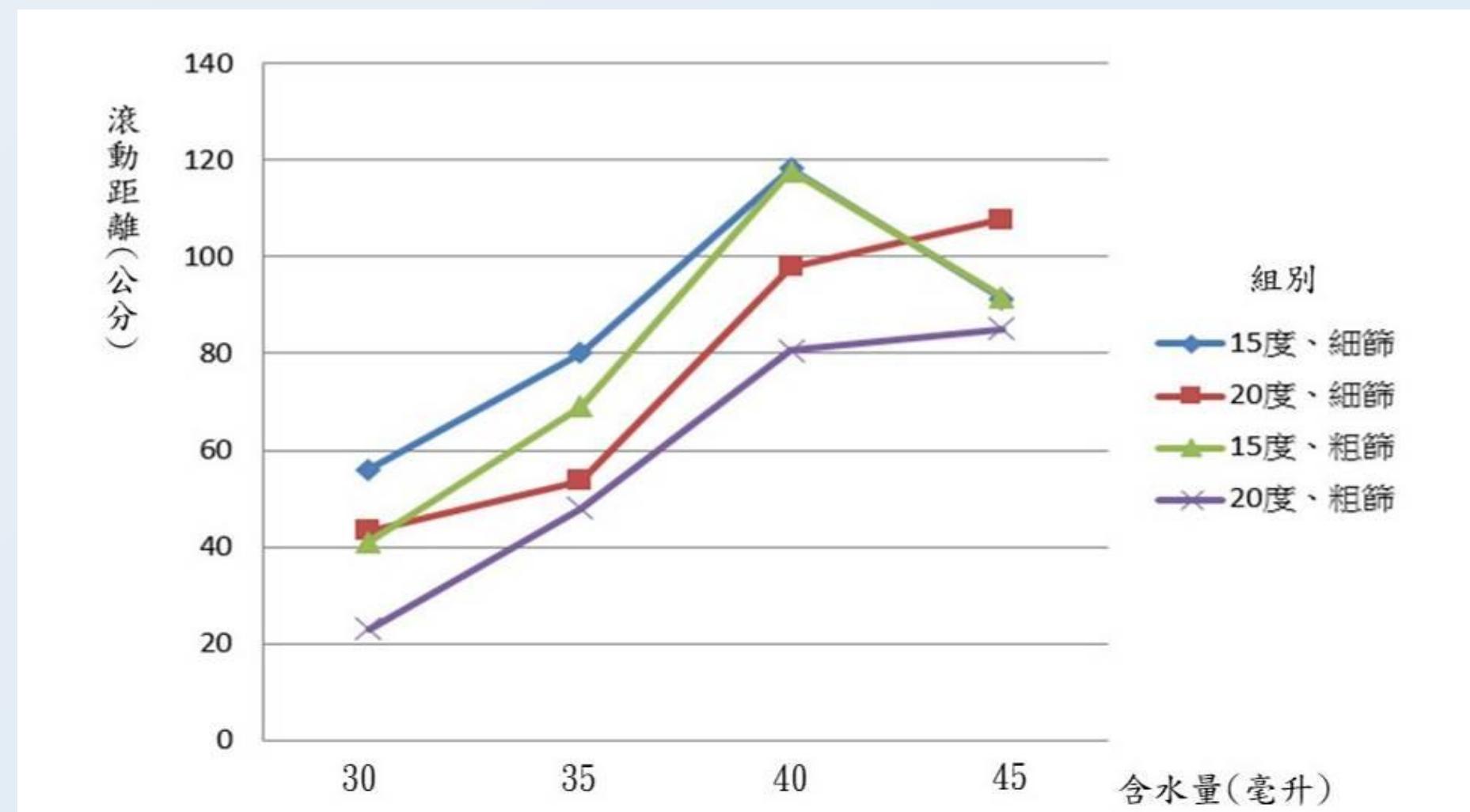


圖6.不同沙子粒徑沙球的滾動距離圖

(三) 不同球體大小

- 扭蛋殼可以用來最後加壓，讓沙球受力更均勻、更圓，但若一開始便將濕沙裝進蛋殼再壓，則常會在接觸處裂開，無法製成球(照片22-23)
- 根據實驗結果(表7、圖7)所示，我們認為，只要用相同的沙子(來源、粗細)，並控制相同比例的水量，在沙球大小適中的情況下，不同球體大小的沙球，滾動距離相近。

表7.不同球體大小沙球的平均滾動距離表

沙重(公克)	100克		200克		300克		
	坡度 沙水比	15度	20度	15度	20度	15度	20度
200 : 30	47	33.3	56	43.3	54.6	45	
200 : 35	70.3	45	80	53.7	78	52.6	
200 : 40	122*	95	118.3*	98	123*	102	
200 : 45	96.7*	104	91.3*	107.7*	94.3*	109*	

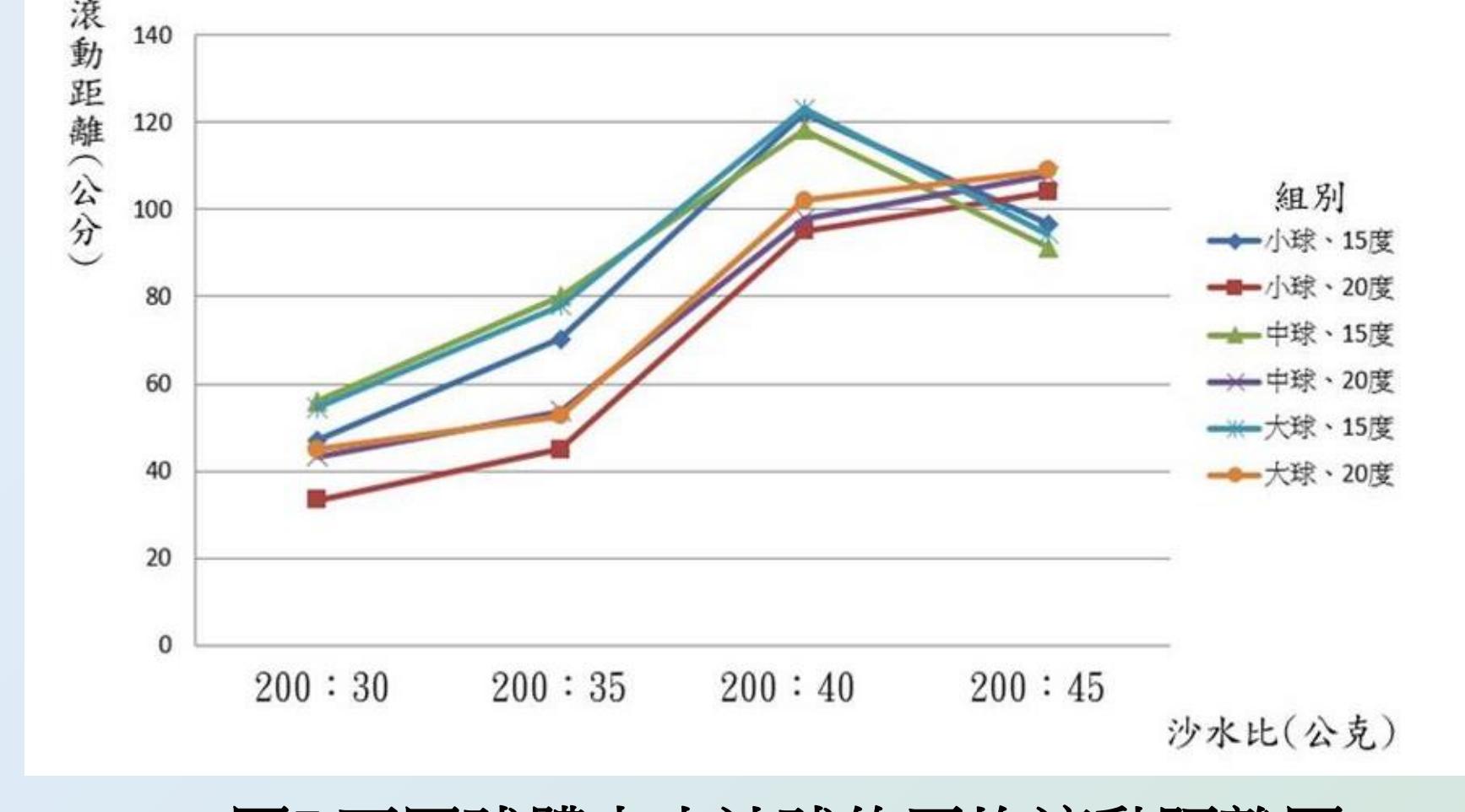


圖7.不同球體大小沙球的平均滾動距離圖



照片22.用扭蛋殼壓完球更圓



照片23.常從接縫處破裂

三、看誰耐撞擊

- 進行撞擊實驗時，盡量用棒球的同一點撞擊沙球的中心，直至沙球破碎。
- 不同大小的沙球中心位置不同，先固定撞擊球擺長(37公分)，對齊大沙球(沙重300公克)中心，進行中沙球、小沙球實驗時，利用瓦楞板將球墊高即可(照片24)，撞擊位置則設定在單擺自然下垂時的位置。
- 依本實驗結果(表8、圖8)，可知道當沙球含水量偏高時(沙水比例200:40~200:45)，更能抵抗撞擊，水能增加附著力，以緩衝撞擊，當沙球到達「含水量偏高」狀態時，沙子也容易黏附在扭蛋殼和手掌上(照片26)，沙水比200:35以下，則較少有這種情形，較乾的沙球也較不耐撞擊。
- 較大的沙球，比較耐撞擊，尤其是在高含水的狀態，差距更明顯，因為大沙球具有較佳的緩衝能力，而在本實驗的小沙球(沙重100公克)，耐撞表現差，當撞擊球擺角設置在50度時，無論含水量多少，都無法耐得住1次撞擊。

表8.不同沙球可承受的平均撞擊次數表

沙重(公克)	100克		200克		300克		
	撞擊角度 沙水比	30度	50度	30度	50度	30度	50度
200 : 30		1	1	1	1	1	1
200 : 35		1	1	2.7	1.7	3.3	2.3
200 : 40		5.3	1	7.7	5	9	7
200 : 45		6.3	1	14.7	7.7	16.3	9.7

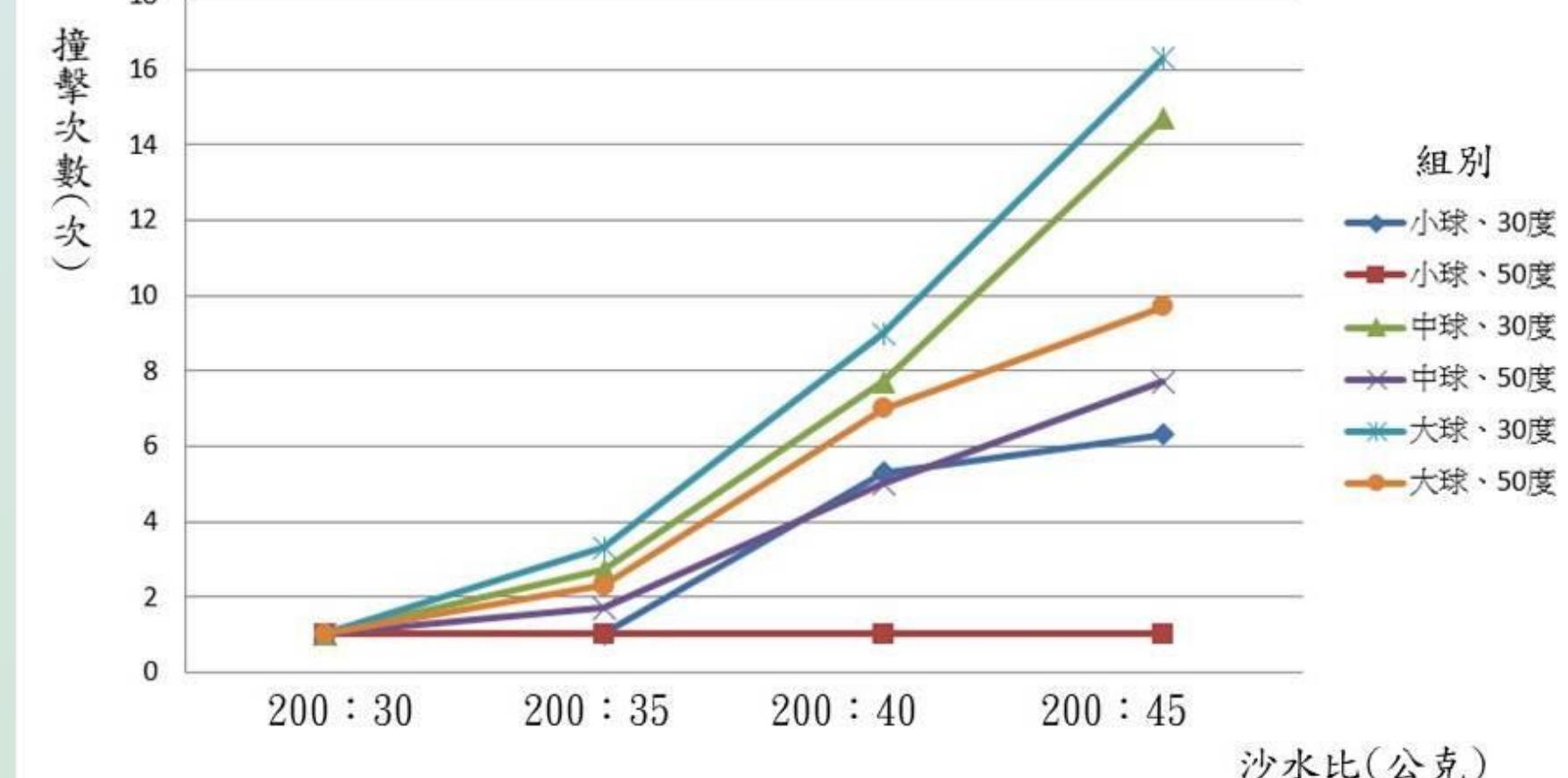


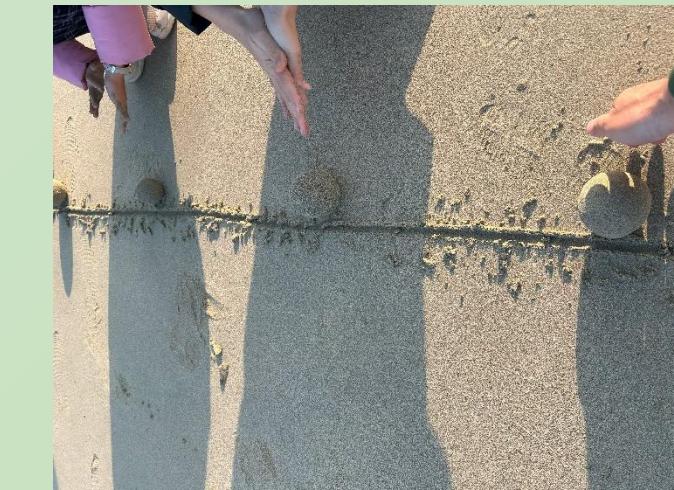
圖8.不同沙球可承受的平均撞擊次數圖



照片24.用瓦楞板調沙球高度



照片25.設置完用膠帶固定



照片26.水量偏高較易黏附 照片27.波浪停止處有大顆粒 照片28.潮上風積區顆粒較小 照片29.滾動賽視坡度調水量 照片30.撞擊秘訣「細、大、濕」

伍、結論

- 不同沙灘，沙粒大小與組成都不同，隨手取沙未必能製成沙球，準備細篩網或取潮上風積區小沙粒，則較容易捏出沙球。
- 本地A沙灘的沙粒較細且大顆粒比例少，因此發展出「沙球比賽」這種在地特色遊戲。
- 沙子因為與水的接觸面產生附著力而能捏成球。隨著水量漸增，沙子由鬆散，逐漸可捏成球形，甚至能滾動和撞擊，但水量過多時則會發生流動的「浸潤」狀態。
- 進行沙球滾動距離競賽，建議使用「細沙」，球體大小無明顯差異—只要大小適合手掌均勻施加壓力(太小捏不緊、太大無法控制)，沙水比例介於200:35~200:45，視坡度而定，坡度較平緩，加水比例要低，較容易滾動；坡度若較陡，則建議含水比例要高，較能緩衝(但會滾動較慢)。
- 進行沙球撞擊比賽，建議使用「細沙」，球體盡可能做大顆(照片42)，沙水比例偏高(200:45)，則能做出較耐撞的沙球。

陸、檢討與未來研究方向

- 不同沙灘沙粒除了粒徑大小不同，組成成分、沙粒形狀(較具稜角或較圓滑)也不相同，本次僅針對沙粒大小進行探討，發現C沙灘和A沙灘的細沙粒製球，結果相近，未來有機會能再細探成分與形狀是否也影響沙球製作。
- 本次實驗製作沙球，雖然盡量控制沙球製作品質，但對壓製沙球的「緊密度」仍沒有想到較精準的控制方法，可能需要特製的模具(可旋緊、從頂部加沙加水—否則沙球會在接縫處裂開)。

柒、參考文獻資料

- 全中平(2020)。科展設計與實作。國立台灣科學教育館。
- 梅期光(2011)。認識科展的第一本書。書泉出版社。
- 康軒文教事業(2025)。能量與生活。載於康軒文教事業，國小自然科學第八冊(頁54-59)。康軒文教事業。
- 附著力•中文百科•取自<https://reurl.cc/EV6KDa>
- 沙子會吸水嗎？(2025年3月8日)•知識星球•取自<https://reurl.cc/mxydbj>
- 李景安(2021)•界面力學—表面張力之小兵立大功•彰化女中。