

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 地球科學科

佳作

080504

河邊海邊礫石大不同！～礫石圓度及球度分析
與探討

學校名稱：新北市三峽區有木國民小學

作者： 小六 陳樂樂 小六 陳加加	指導老師： 石怡珊 鄭又慎
-------------------------	---------------------

關鍵詞：礫石圓度、礫石球度

摘要

日常活動中，我們發現河邊與海邊的石頭形狀不同，於是開始研究。首先，我們選擇三組地點進行實地觀察並測量河床礫石與海灘礫石，發現海灘礫石的圓度高於河床礫石，而河床礫石的球度則高於海灘礫石。也發現河床礫石會因為河流的水流速度及水量大小，而有不同的搬運方式，而海灘礫石會因為灘面上的沖流與回流，有不同的搬運方式。我們也設計了設備來進行河床礫石與海灘礫石磨蝕的模擬試驗，模擬河床礫石磨蝕的試驗結果，與我們觀察到河床礫石球度較高的現象相符合，驗證河床礫石主要受到滾動與部分滑動的磨蝕影響。模擬海灘波浪礫石磨蝕的試驗結果，與我們觀察到海灘礫石球度較低的現象相符合，驗證海灘礫石主要受到滑動與部分滾動的磨蝕影響。

壹、研究動機


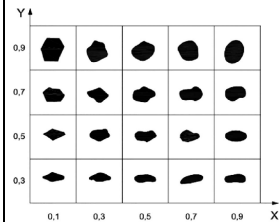


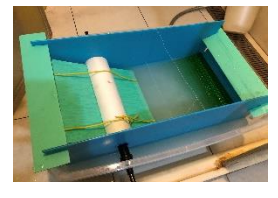
我們就讀山上的特色小學，溯溪是我們學校的特色課程之一，也是我們最喜歡的活動之一，假日的時候，爸爸也經常帶我們去海邊玩水，無意間我們發現河邊與海邊的石頭形狀有點不一樣，不禁疑問，一樣是石頭，為什麼有些圓圓扁扁，有些卻比較稜稜角角呢？所以我們問了好多問題，加上六年級上學期的自然與生活科技課本中有提到河流與岩石，讓我們除了對礫石有了更多的知識外，更想實地研究河流與海邊礫石的不同。

貳、研究目的

- 一、 練習觀察礫石的圓度與球度的測量。
- 二、 了解河床礫石及海灘礫石的圓度與球度的差異。
- 三、 觀察與推論河床及海灘礫石可能被磨蝕的過程和差異。
- 四、 製作設備模擬河床與海灘礫石被磨蝕的過程。
- 五、 以模擬河床與海灘礫石被磨蝕的結果，驗證礫石被磨蝕的方式。

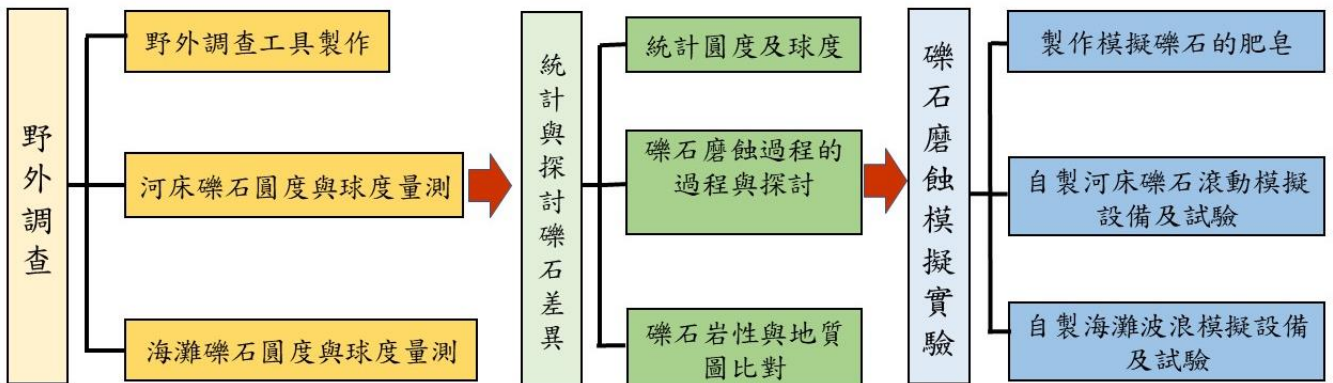
參、研究設備及器材

1.止滑地墊 2.瓦楞板 3.計時器 4.淨水濾心 5.微波爐 6.游標尺 7.地質圖 8.電鑽

			
9. 界定測量礫石範圍的工具(50公分*50公分)	10.自製礫石測量盒	11.圓度及球度對照表	12.皂基
			
13.肥皂製作盒	14.肥皂切割器	15.自製河床礫石滾動模擬設備	16.自製海灘波浪模擬設備

肆、研究過程與方法

一、研究流程圖



二、文獻探討

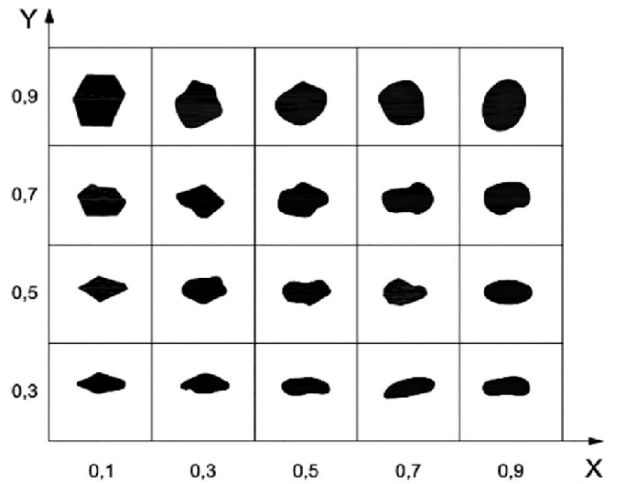
我們那麼多的問題與好奇，一開始都是用想像跟假設的方式推論可能性，在討論的過程中，大人建議我們上網查詢資料，或許可能會有些方向，一開始不知道關鍵字應該要用什麼的時候，都查不到我們想知道的訊息，後來大人建議我們嘗試以「球度與圓度」為關鍵字查詢，於是出現了下面的資訊，事情也好像開始有了眉目，就這樣開始了我們的研究。

以下為我們查到的文獻：

礫石顆粒之形狀，通常以球度及圓度表示。顆粒較軟者較易被磨蝕，並增加其球度及圓度，而顆粒較硬者較不易被磨蝕並保留其原有之球度及圓度。被搬運之次數愈多或時間愈長者，顆粒之球度及圓度將逐次增加。搬運流速愈快又渦流強度愈強，則顆粒之球度及圓度將愈增加。使顆粒磨蝕的機會較多之堆積環境，其砂礫將逐漸增加其顆粒之球度及圓度，如在河流、海灘及沙丘等環境堆積之砂礫(周瑞燉，1987)。我們的研究將探討河流及海灘在堆積環境下，礫石被磨蝕可能的過程及造成礫石圓度與球度的差異。

(一) 礫石圓度比對

圓度是沉積岩所歷經的搬運距離及受翻滾擠壓碰撞所表現出來的程度，也就是礫石邊角銳利的程度。假設圓球的球度與圓度均為 1，則兩者之間視覺的不規則程度便可用量化加以描述(楊仁江，2003)。本研究採用 Krumbein 和 Sloss 在 1963 年發表的球度及圓度對照圖(圖 1)，作為礫石圓度評估之依據。



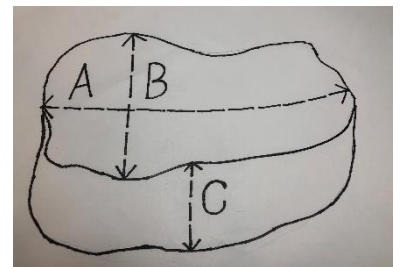
▲圖 1 球度及圓度對照圖(Krumbein 和 Sloss, 1963 年)

(二) 礫石球度

球度是指顆粒接近正球體的程度，它主要取決於顆粒三度空間的型態，即 A、B、C 三個軸的比例(A 軸代表顆粒最大扁平面上的最大直徑；B 軸是最大扁平面上垂直 A 軸的最大直徑；C 軸代表垂直於最大扁平面的最長直徑)(圖 2)。

球度大小常用球度係數表示:

$$F = \sqrt[3]{\frac{BC}{A^2}}$$



▲圖 2 球度測量 ABC 三軸

最大球度值等於 1，最小值近於 0。(年廷凱，2011)

三、野外調查

(一) 野外調查的工具製作

我們先去蘭陽溪觀察河床礫石被磨蝕的狀況，經過討論後，設計了測量礫石的工具及方法。



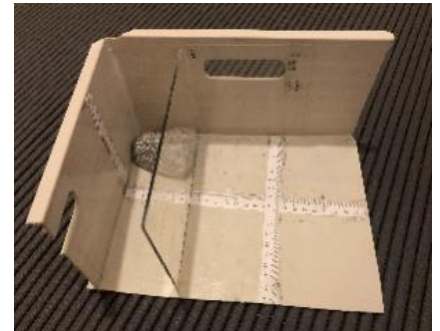
▲圖 3 製作界定測量礫石範圍工具

1. 製作界定測量礫石範圍的工具

利用木條製作邊長 50 公分的正方形，作為界定測量礫石範圍的工具(圖 3)，測量固定範圍內的礫石。

2. 自製礫石測量盒

使用塑膠盒並貼上軟尺，再運用壓克力書擋作為測量礫石長、寬、高的工具(圖 4)。

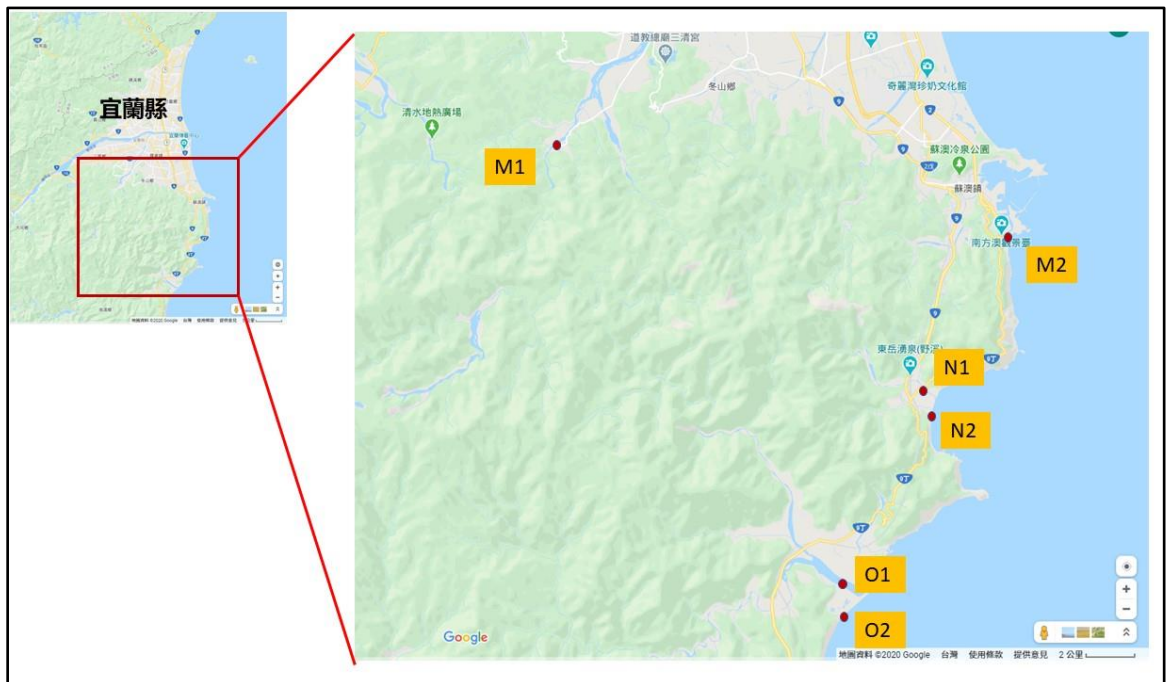


▲圖 4 礫石測量

(二) 測量野外礫石的圓度與球度

1. 尋找野外調查地點

從地圖中尋找具有海邊礫灘同時附近也有河流的地點，再利用 Google 地圖的街景服務軟體中的圖片，決定我們要前往調查的位置(圖 5)。



▲圖 5 三組野外調查位置圖

最後我們選擇以下三組野外調查地點進行研究：

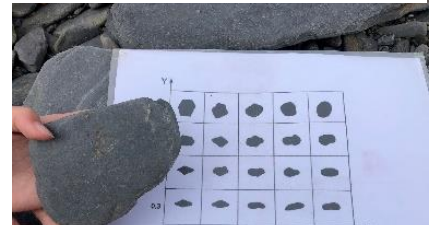
組別	河床	代號	海灘	代號
M 組	羅東溪	M1	內埤礫灘	M2
				
N 組	東澳北溪	N1	東澳礫灘	N2
				
O 組	南澳溪	O1	南澳礫灘	O2
				

2. 測量河床礫石圓度與球度的步驟

- (1) 放置自製界定測量礫石範圍的工具(50 公分*50 公分)於河床上(圖 6)。
- (2) 拍照記錄測量地點及礫石分布。
- (3) 使用球度及圓度對照圖，來判斷礫石的圓度，並做記錄(圖 7)。
- (4) 使用自製礫石測量盒，測量礫石 A、B、C 三個軸的長度，並做記錄(圖 8)。
- (5) 測量後進行礫石的岩性判斷，並做記錄。
- (6) 每個地點選擇 3 個量測範圍，每個範圍採集 30~40 顆礫石進行測量。
- (7) 觀察河流的水流大小及礫石搬運與磨蝕的方式(圖 9)。



▲圖 6 礫石測量範圍 50*50 公分



▲圖 7 使用球度及圓度對照圖，判斷礫石的圓度，並記錄岩性。



▲圖 8 使用自製礫石測量盒，測量礫石 A、B、C 三個軸的長度

3. 測量海灘礫石圓度與球度的步驟

- (1) 放置自製界定測量礫石範圍的工具(50 公分*50 公分)於海灘上。
- (2) 拍照記錄測量地點及礫石分布。
- (3) 使用球度及圓度對照圖，來判斷礫石的圓度，並做記錄。
- (4) 使用自製礫石測量盒，測量礫石 A、B、C 三個軸的長度，並做記錄。
- (5) 測量後進行礫石的岩性判斷，並做記錄。
- (6) 每個地點選擇 3 個量測範圍，每個範圍採集 30~40 顆礫石進行測量。
- (7) 觀察海浪搬運礫石與磨蝕方式(圖 10)。



▲圖 9 觀察河流的水流大小及礫石搬運與磨蝕的方式(南澳溪)



▲圖 10 觀察海浪搬運礫石與磨蝕方式(東澳礫灘)

四、統計與探討河床及海灘礫石的差異

(一) 統計圓度與球度

- 1.將野外礫石的測量資料輸入電腦。
- 2.利用 Excel 分別計算河床與海灘礫石的球度。
- 3.利用 Excel 分別繪製河床與海灘礫石的圓度及球度分布圖。
- 4.討論河床與海灘礫石圓度與球度的差異。

(二) 礫石岩性與地質圖比對

- 1.從中央地質調查所網站中下載我們研究地點附近地區的地質圖。
- 2.比對河床與海灘礫石的岩性，找出礫石可能的來源。

(三) 探討河床與海灘礫石磨蝕過程

由觀察與討論河床與海灘礫石的磨蝕過程，設計模擬實驗的設備。

五、進行礫石磨蝕模擬的試驗

(一) 以 3 公分正方體的肥皂來模擬礫石

- 1.利用微波爐融化切片後的皂基。
- 2.將融化的皂基倒入肥皂製作盒(圖 11)。
- 3.利用肥皂切割器，將肥皂切成邊長 3 公分的正方體。



▲圖 11 融化的皂基倒入肥皂製作盒

(二) 製做模擬河床與海灘波浪礫石的磨蝕設備

我們家裡有一組具有轉動馬達功能的樂高積木，一開始我們先利用這組積木加上紗網來設計模擬河床磨蝕礫石的設備(圖 12)，實際運作後，發現雖然可行但實在太不堅固，一直發生故障或支架斷裂情形，決定更改材料重新製作設備，中間歷經多次的改良(圖 13)，終於完成可以順利進行實驗的設備(圖 14、圖 15)。



▲圖 12 最早利用積木加上紗網來設計模擬河床磨蝕礫石的設備

設備的製作材料及試驗流程如下：

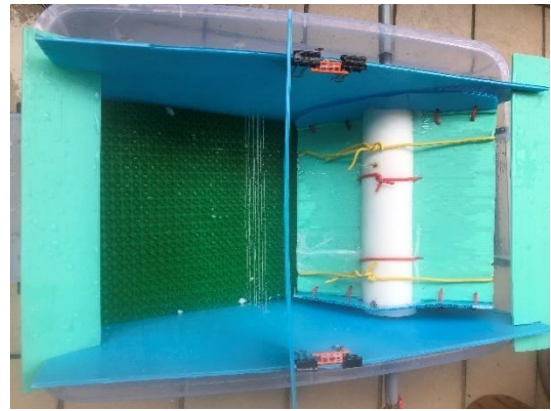
- 1.到五金行購買塑膠箱、止滑地墊、瓦楞板、淨水濾心等物品，設計並製作模擬設備。
- 2.以可調整速度的電鑽來帶動止滑地墊。
- 3.利用可調整速度的電鑽帶動葉片，產生波浪。



▲圖 13 使用止滑地墊改良製作模擬河床磨蝕礫石的設備



▲圖 14 河床礫石磨蝕模擬設備製作完成



▲圖 15 海灘波浪礫石磨蝕模擬設備製作完成

(三) 進行模擬河床的礫石磨蝕試驗

1. 在設備中加水，並放入模擬礫石的肥皂，肥皂在轉動的地墊上滾動與少部分滑動，作為模擬礫石在河床上的磨蝕過程。

(圖 16)

2. 每進行模擬試驗 30 分鐘，就測量一次肥皂的圓度與球度，每一組樣品約為 15 顆，每組測量 4 次。

3. 依序執行 3 組肥皂的磨蝕試驗，並測量肥皂的圓度與球度，做成紀錄並進行分析。(圖 17、圖 18、圖 19)



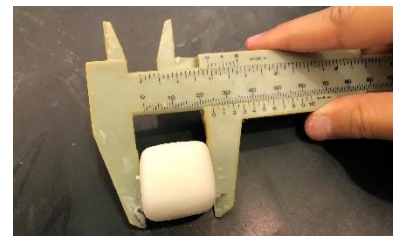
▲圖 16 模擬礫石在河床上磨蝕的試驗



▲圖 17 模擬礫石的肥皂 (邊長 3 公分的正方體)



▲圖 18 經過河床磨蝕試驗圓度增加的肥皂



▲圖 19 使用游標尺測量肥皂的 A、B、C 三軸

(四) 模擬海灘波浪的礫石磨蝕試驗

1. 在設備中加入少量的水，並放入模擬礫石的肥皂，使它在地墊上水平滑動，模擬礫石在海灘遇到小浪的磨蝕過程。(圖 20)

2. 每進行模擬試驗 30 分鐘，就測量一次肥皂的圓度與球度，每一組樣品約為 15



▲圖 20 模擬礫石在海灘上磨蝕的試驗(水量少，模擬小浪)

顆，每組測量 5 次。

3.於設備中再加入較多量的水，並放入前項試驗模擬礫石的肥皂，使它在地墊上滑動及部分滾動，模擬礫石在海灘遇到大浪的磨蝕過程。(圖 21)

4.每進行模擬試驗 30 分鐘，就測量一次肥皂的圓度與球度，每一組樣品約為 15 顆，每組測量 3 次。

5.依序執行 3 組肥皂的磨蝕試驗，並測量肥皂的圓度與球度，做成紀錄並進行分析。



▲圖 21 模擬礫石在海灘上磨蝕的試驗(水量多，模擬大浪)

伍、研究結果

一、河床與海灘礫石的圓度及球度比較

(一)羅東溪(M1)與內埤礫灘(M2)礫石的圓度及球度比較

⇒羅東溪礫石的球度大於內埤礫灘，但內埤礫灘礫石的圓度大於羅東溪

1.我們在羅東溪河邊及內埤礫灘各選擇了 3 個測量礫石的界定範圍(圖 22、圖 23)，每個界定範圍各採集 30~40 顆礫石進行測量並判斷圓度做成記錄。



▲圖 22 羅東溪(M1-1~M1-3)的礫石球度較高，圓度較低。

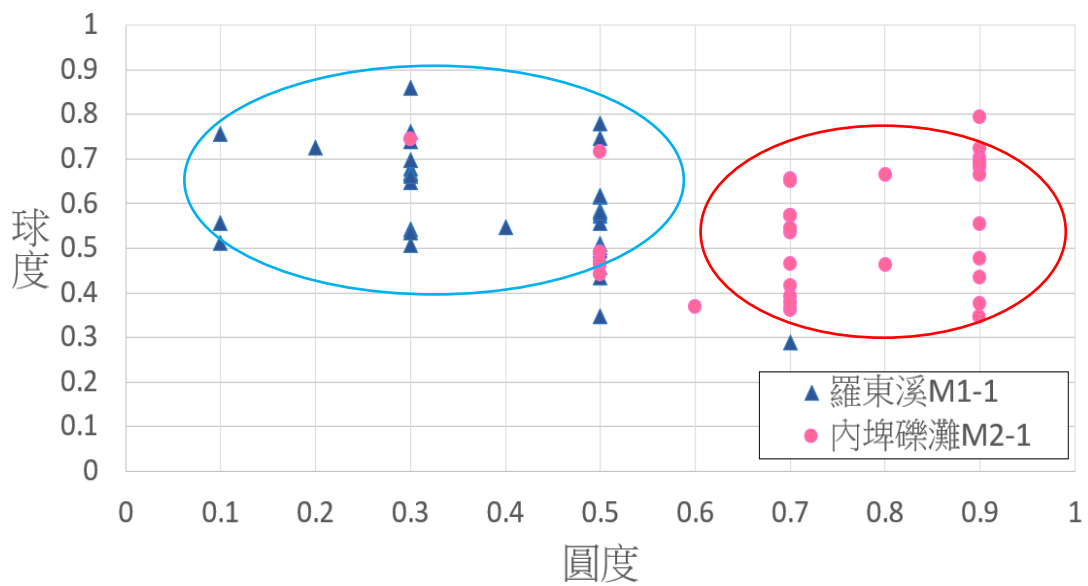


▲圖 23 內埤礫灘(M2-1~M2-3)的礫石球度較低，圓度較高。

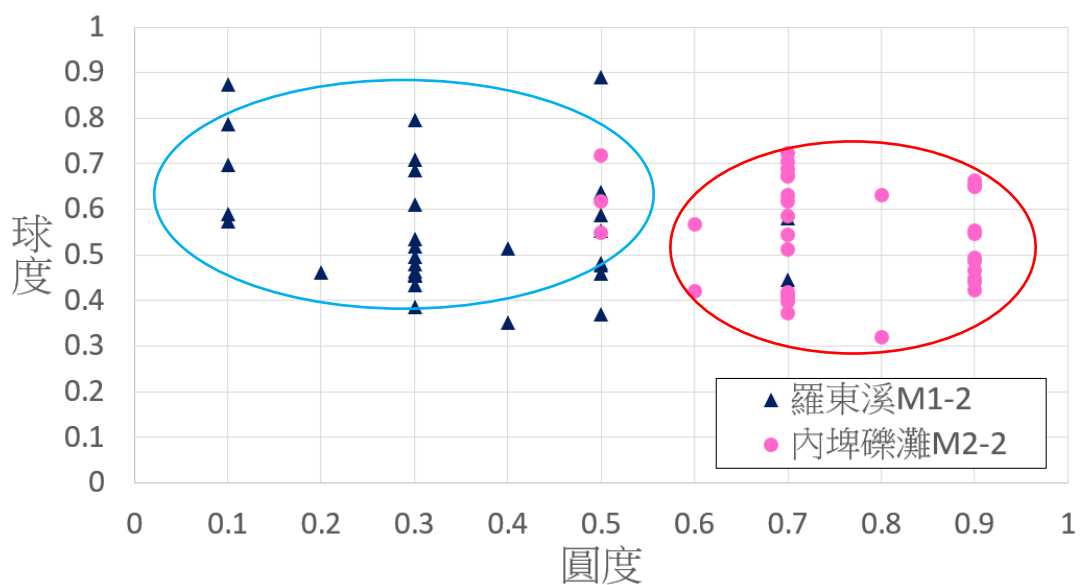
2.將礫石的量測資料輸入電腦，以 Excel 計算球度後，畫出圓度及球度比較圖(圖 24~圖 26)。

3.圓度：從圖中可以看出來內埤礫灘礫石(紅色)的圓度大部分落在 0.7~0.9 之間，高於羅東溪礫石(藍色)的 0.1~0.5。

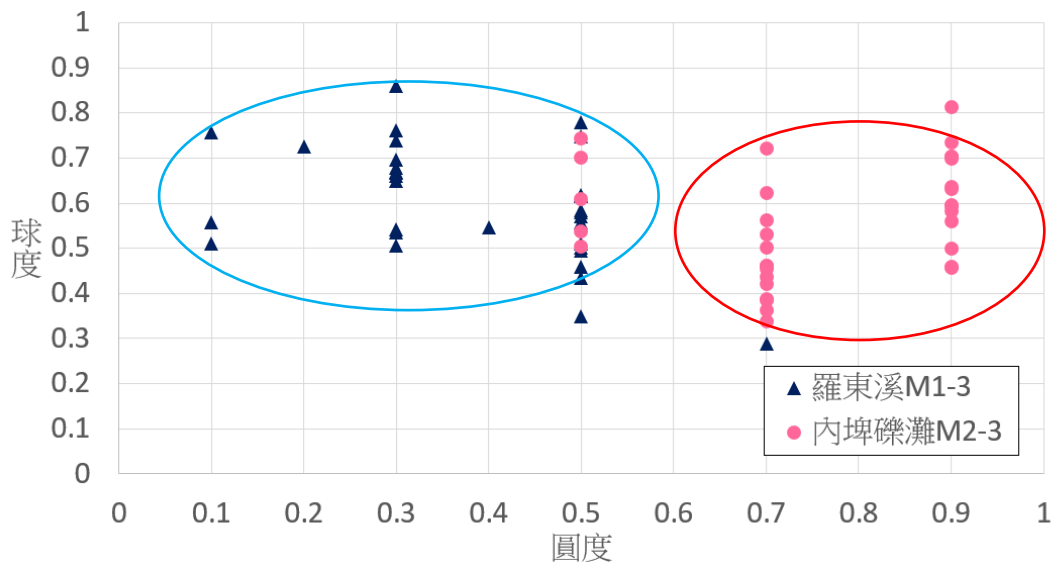
4.球度：從圖中可以看出來羅東溪礫石(藍色)的球度大部分落在 0.4~0.8 之間，高於內埤礫灘礫石(紅色)的 0.3~0.7。



▲圖 24 羅東溪(M1-1)與內埤礫灘(M2-1)礫石的圓度及球度比較圖



▲圖 25 羅東溪(M1-2)與內埤礫灘(M2-2)礫石的圓度及球度比較圖



▲圖 26 羅東溪(M1-3)與內埤礫灘(M2-3)礫石的圓度及球度比較圖

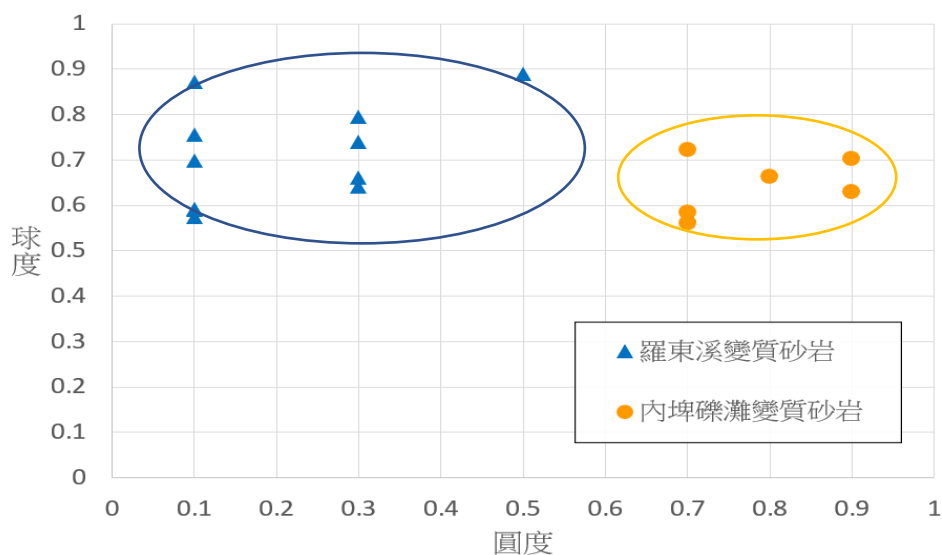
(二)羅東溪(M1)與內埤礫灘(M2)變質砂岩的圓度及球度比較

⇒以沒有葉理的變質砂岩來做河床礫石與海灘礫石之圓度及球度比較，發現內埤礫灘變質砂岩的圓度大於羅東溪，但羅東溪變質砂岩的球度大於內埤礫灘；我們發現單以變質砂岩的圓度及球度比較結果，和現場採樣的全部礫石之圓度及球度比較結果相符合，驗證搬運方式對礫石的磨蝕結果不會因為礫石有無葉理而造成明顯影響。

1.我們想知道受磨蝕的礫石，其圓度及球度會不會因為岩石有無葉理而有影響，所以選擇羅東溪及內埤礫灘所採集的變質砂岩(無葉理)，畫出圓度及球度比較圖(圖 27)。

2.圓度：從圖中可以看出來內埤礫灘變質砂岩(橘色)的圓度大部分落在 0.7~0.9 之間，高於羅東溪變質砂岩(藍色)的 0.1 ~0.5。

3.球度：從圖中可以看出來羅東溪變質砂岩(藍色)的球度大部分落在 0.6 ~0.9 之間，高於內埤礫灘變質砂岩(橘色)的 0.6 ~0.7。

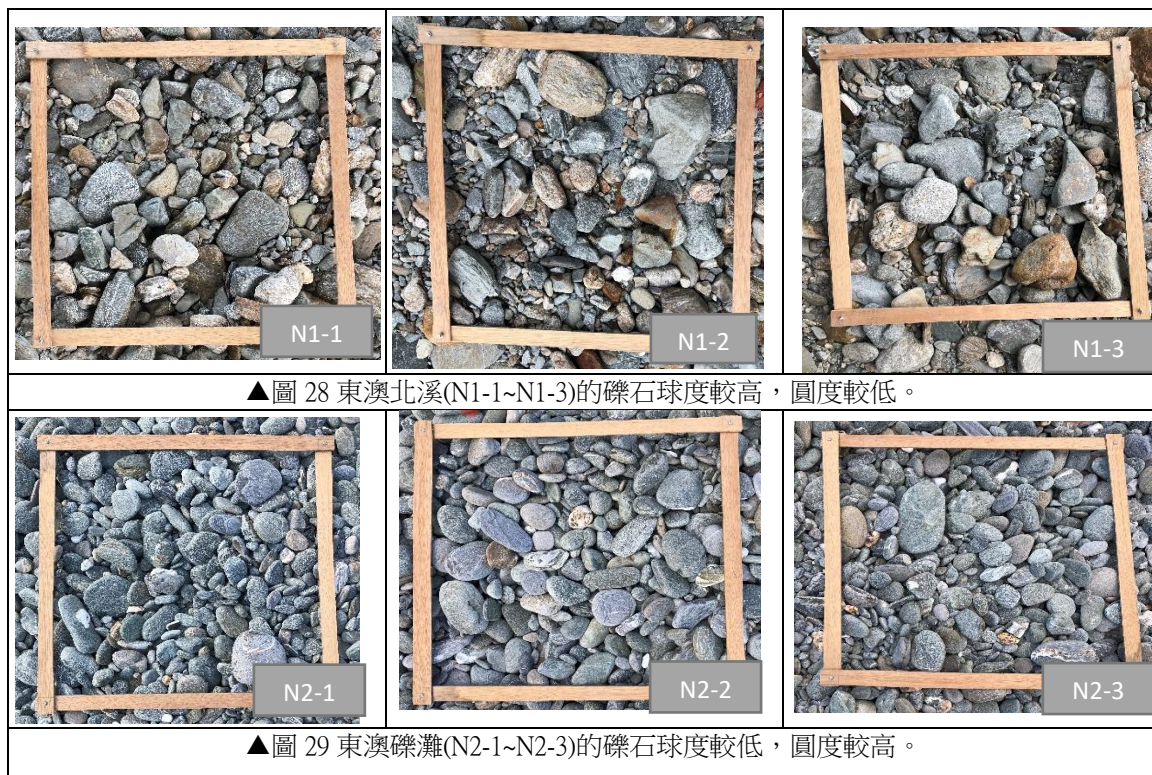


▲圖 27 羅東溪(M1)與內埤礫灘(M2)變質砂岩的圓度及球度比較圖

(三)東澳北溪(N1)與東澳礫灘(N2)礫石的圓度及球度比較

⇒東澳礫灘礫石的圓度大於東澳北溪，但東澳北溪礫石的球度大於東澳礫灘

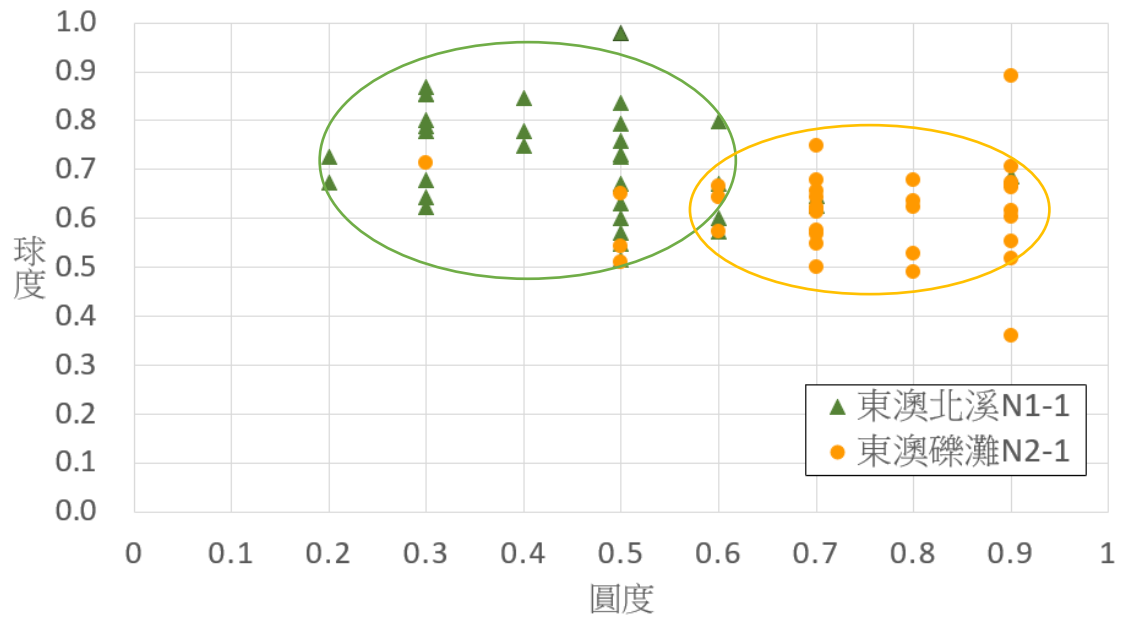
1.我們在東澳北溪河邊及東澳礫灘各選擇了3個測量礫石的界定範圍(圖28、圖29)，每個界定範圍各採集 30~40 顆礫石進行測量並判斷圓度做成記錄。



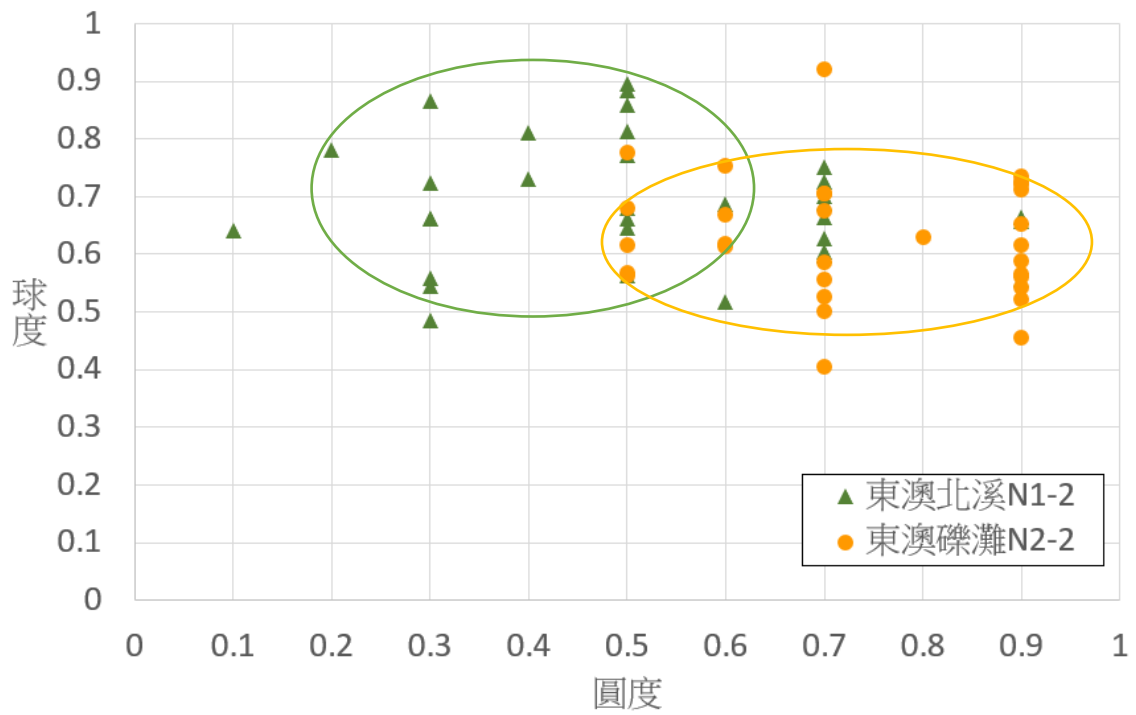
2.將礫石的量測資料輸入電腦，以 Excel 計算球度後，畫出圓度及球度比較圖(圖 30~圖 32)。

3.圓度：從圖中可以看出來東澳礫灘礫石(橘色)的圓度大部分落在 0.7~0.9 之間，高於東澳北溪礫石(綠色)的 0.3~0.6。

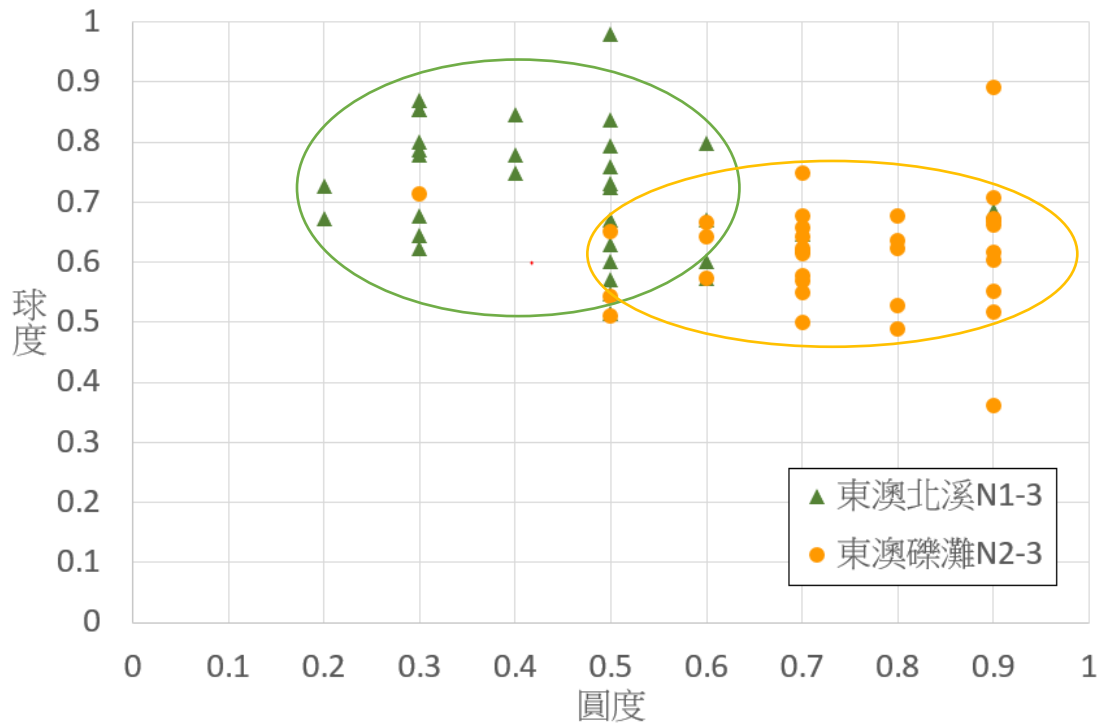
4.球度：從圖中可以看出來東澳北溪礫石(綠色)的球度大部分落在 0.5~0.9 之間，高於東澳礫灘礫石(橘色)的 0.5~0.7。



▲圖 30 東澳北溪(N1-1)與東澳礫灘(N2-1)礫石的圓度及球度比較圖



▲圖 31 東澳北溪(N1-2)與東澳礫灘(N2-2)礫石的圓度及球度比較圖



▲圖 32 東澳北溪(N1-3)與東澳礫灘(N2-3)礫石的圓度及球度比較圖

(四) 南澳溪(O1)與南澳礫灘(O2)礫石的圓度及球度比較

⇒南澳溪礫石的球度大於南澳礫灘，但是兩個地方礫石的圓度卻沒有明顯差異

1. 我們在南澳溪河邊及南澳礫灘各選擇了3個測量礫石的界定範圍(圖33、圖34)，每個界定範圍各採集 30~40 顆礫石進行測量並判斷圓度做成記錄。



▲圖 33 南澳溪(O1-1~O1-3)的礫石球度較高，與南澳礫灘的礫石圓度無明顯差異。

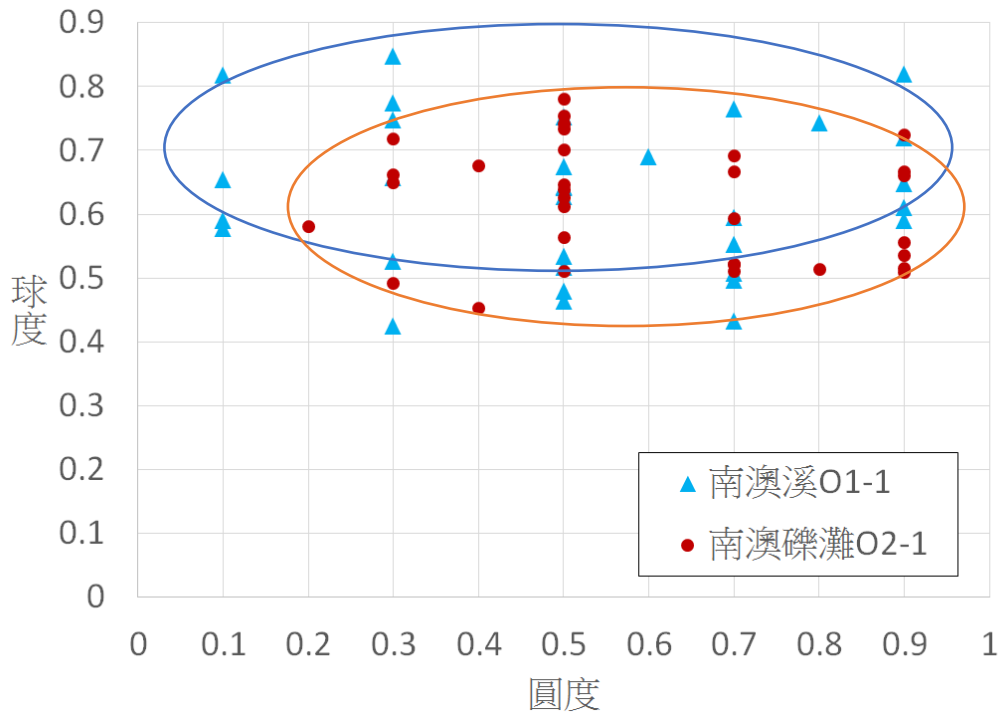


▲圖 34 南澳礫灘(O2-1~O2-3)的礫石球度較低，與南澳溪的礫石圓度無明顯差異。

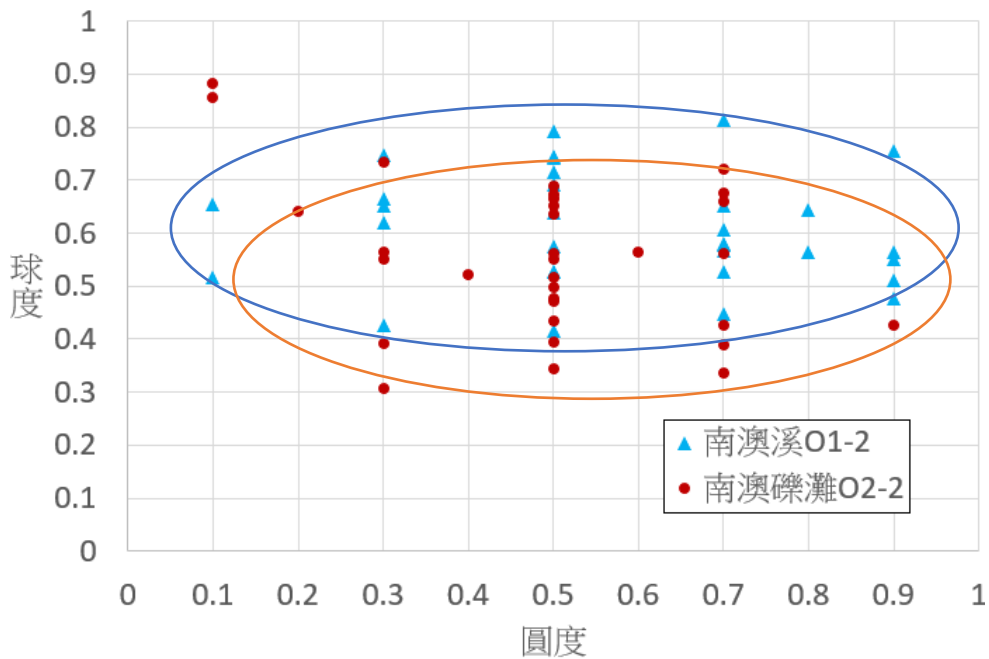
2.將礫石的量測資料輸入電腦，以 Excel 計算球度後，畫出圓度及球度比較圖(圖 35~圖 37)。

3.圓度：從圖中可以看出來南澳礫灘礫石(褐色)及南澳溪礫石(藍色)的圓度分散，無明顯差異。

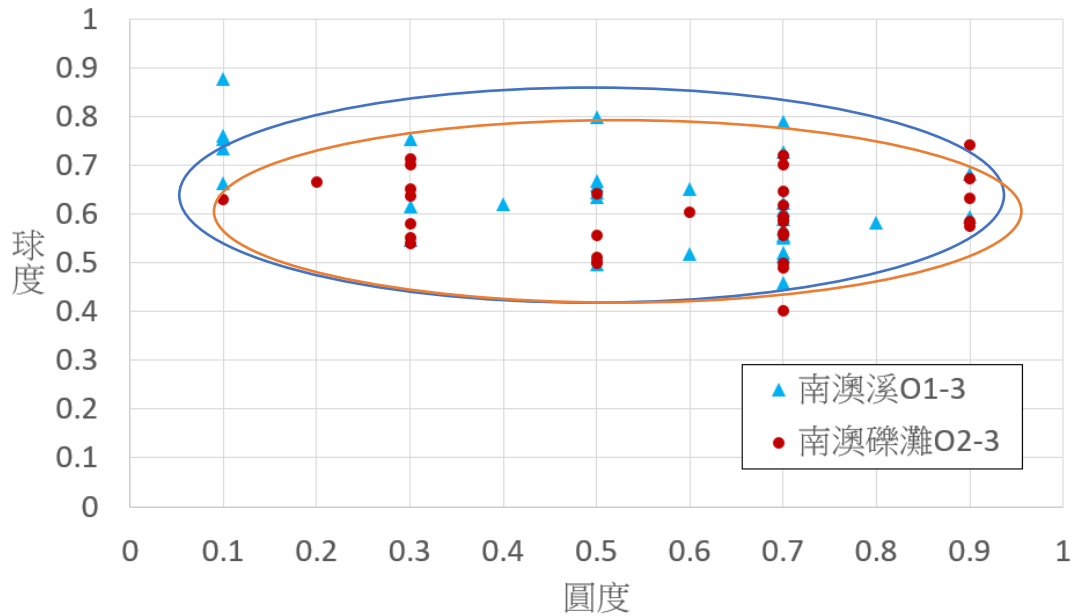
4.球度：從圖中可以看出來南澳溪礫石(藍色)的球度大部分落在 0.4~0.9 之間，略高於南澳礫灘(褐色)的 0.3~0.8。



▲圖 35 南澳溪(O1-1)與南澳礫灘(O2-1)礫石的圓度及球度比較圖



▲圖 36 南澳溪(O1-2)與南澳礫灘(O2-2)礫石的圓度及球度比較圖



▲圖 37 南澳溪(O1-3)與南澳礫灘(O2-3)礫石的圓度及球度比較圖

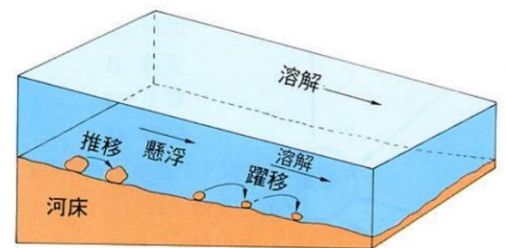
從上面三組地點的礫石觀察研究發現：

⇒ 海邊礫石的圓度會高於河邊，但是河邊礫石的球度會高於海邊。岩石有無葉理對搬運方式造成的磨蝕結果無明顯影響。

二、礫石磨蝕過程的觀察與探討

(一)河床礫石的磨蝕過程

我們從網路查詢的資料中發現：流水搬運的形式有四種：包括推移、躍移、懸浮與溶解等方式(圖 38)。流體在運動過程中，對碎屑物質有一個向前的推力。碎屑顆粒開始沿介質底面滑動和滾動，這種搬運方式叫推移。在河流中，較粗大的礫石多是以推移搬運。(丁躍潮，2010)



▲圖 38 流水搬運的形式包括推移、躍移、懸浮與溶解等四種方式(姜漢銘，2010)

⇒ 我們觀察到河流的水流速度及水量比較小的時候，河床礫石的搬運方式，會以推移中的滑動為主；但水流速度及水量比較大的時候，礫石的搬運卻是滾動與滑動同時存在。

我們也用這個觀察到的現象，來設計河床礫石磨蝕的模擬設備，以移動的止滑地墊帶動肥皂，造成肥皂有滾動與少部分滑動的方式的移動來進行試驗。

(二)海灘礫石的磨蝕過程

⇒灘面上的沖流來時，礫石同時存在滑動與滾動的方式搬運；回流時，因海水下滲，表層回流海水減少，礫石以滑動為主要的搬運方式

我們從網路查詢的資料中發現：波浪破碎後呈現白花花的一片，以紊流的性質流上海灘灘面，是為沖流。最後自灘面流下，稱為回流。其中，沖流和回流反覆覆蓋的區域，稱之為掃浪帶。(劉聰桂，2018)

我們在海邊觀察看到掃浪帶的礫石會以推移的方式搬運。當灘面上的沖流來時，礫石搬運會是滑動與滾動同時存在(圖 39)；在回流的時候，部分海水會下滲到礫石間的縫隙裡(圖 40、圖 41)，所以表層的回流海水會比沖流的海水水量少，也因為表層回流的水量減少，所以我們會看到回流時礫石會以滑動為主要的搬運方式(圖 42)。

也因為沖流會將礫石帶上灘面，當回流量少時只能將細粒的泥沙帶回海裡，所以海水帶不走的礫石會留在灘面上，就造成我們看到掃浪帶上的灘面有一大片礫石。

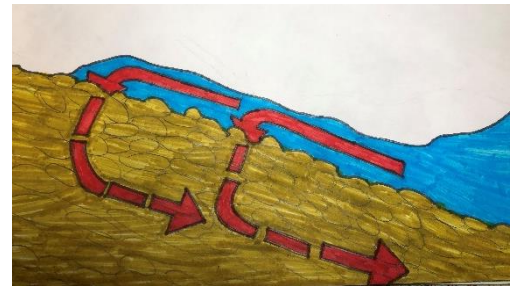
我們也用這個觀察到的現象，來設計模擬海灘波浪礫石磨蝕的設備，分別創造出小浪及大浪的沖流與回流效果，來帶動止滑地墊上的肥皂，造成肥皂有滑動與部分滾動來進行試驗。



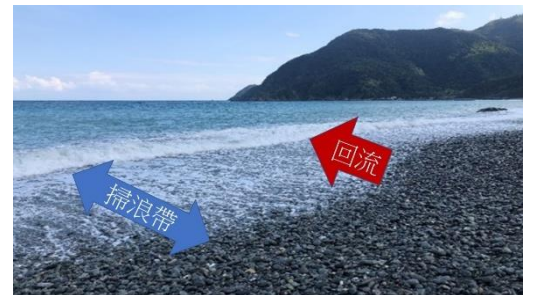
▲圖 39 灘面上的沖流來時，礫石同時存在滑動與滾動的方式搬運



▲圖 40 回流的時候，部分海水會下滲到礫石間的縫隙裡



▲圖 41 因海水下滲，表層的回流海水會減少

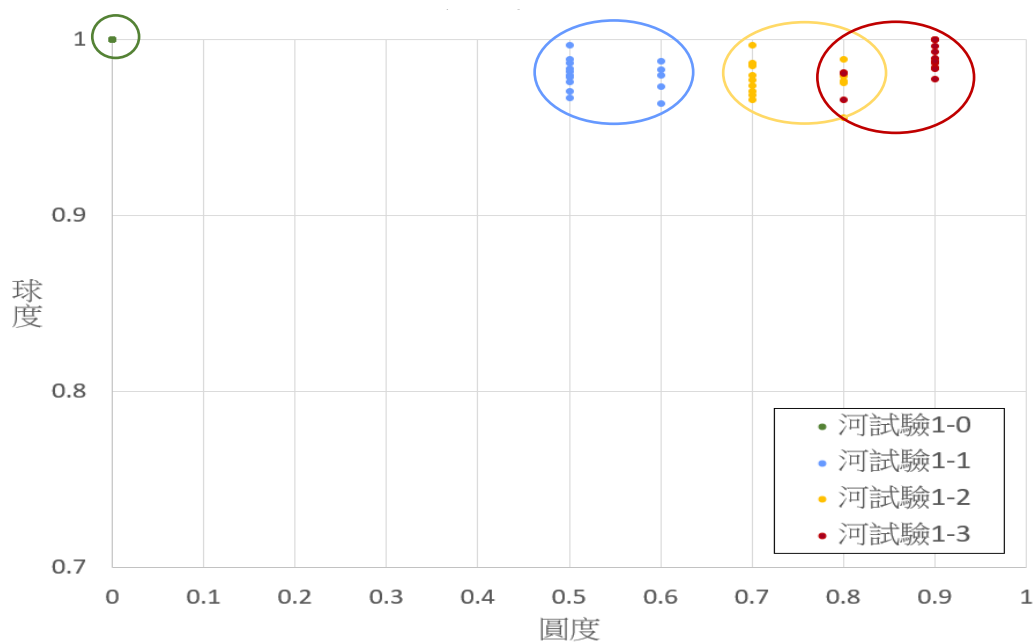


▲圖 42 灘面回流時，礫石會以滑動為主要的搬運方式

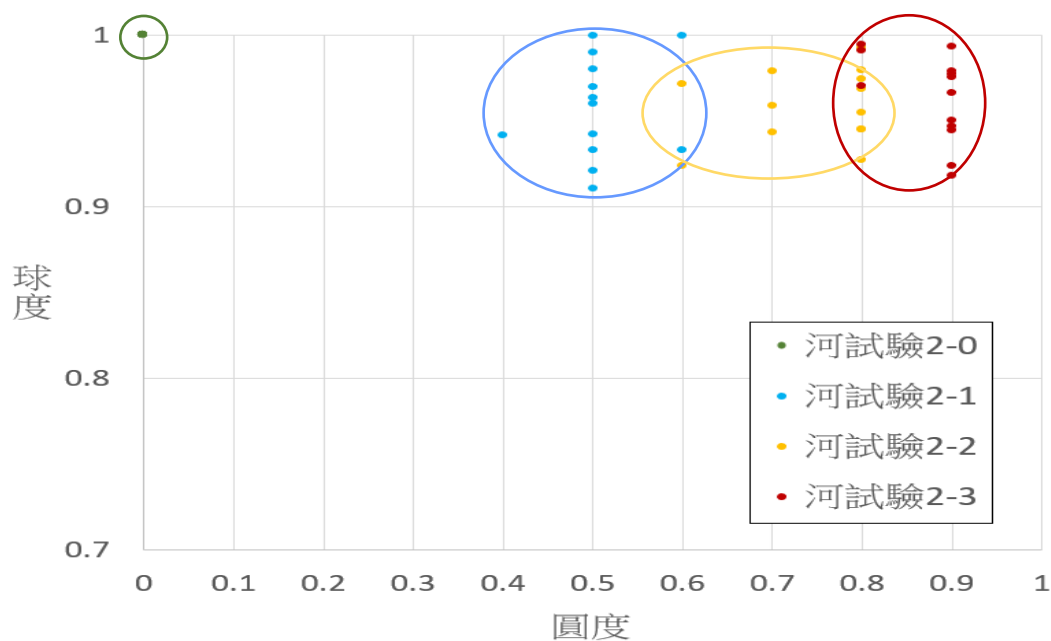
三、模擬河床礫石滾動的磨蝕試驗

⇒模擬河床礫石滾動磨蝕的試驗結果，與我們觀察到河床礫石的球度比較高的現象相符合，驗證河床礫石主要受到滾動與部分滑動的磨蝕影響。

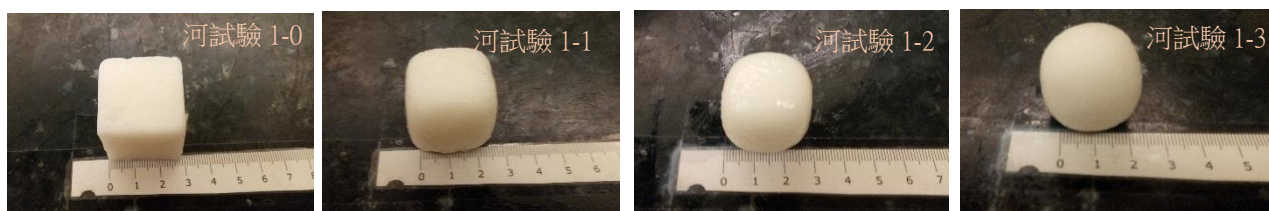
(一) 在模擬河床礫石滾動磨蝕的設備中加水，並放入模擬礫石的肥皂(3*3*3 公分正方體)，肥皂在轉動的止滑地墊上滾動與少許滑動，模擬礫石在河床上的磨蝕過程。每進行模擬試驗 30 分鐘，就測量一次肥皂的圓度與球度，每一組樣品約為 15 顆，每組測量 4 次；依序執行 3 組肥皂的磨蝕試驗，並測量肥皂的圓度與球度，做成紀錄並進行分析。圓度與球度的測量及分析結果如下圖 (圖 43~圖 45)。



▲圖 43 模擬河床礫石滾動的磨蝕試驗結果(試驗 1)



▲圖 44 模擬河床礫石滾動的磨蝕試驗結果(試驗 2)



▲圖 45 河床礫石滾動磨蝕試驗中，肥皂的磨蝕過程

(二) **圓度**：從圖中可以發現，試驗的肥皂經過 4 次滾動與少部分滑動的方式磨蝕後，圓度從正方體(圓度=0)逐漸增加，依序為試驗 1-1、2-1(藍色，0.4~0.6)、試驗 1-2、2-2(橘色，0.6~0.8)、試驗 1-3、2-3(紅色，0.8~0.9)。其中，第一次試驗中肥皂的圓度快速增加，但第二次以後的試驗轉變成緩慢增加，推論河床中礫石的磨圓過程應該也是如此。

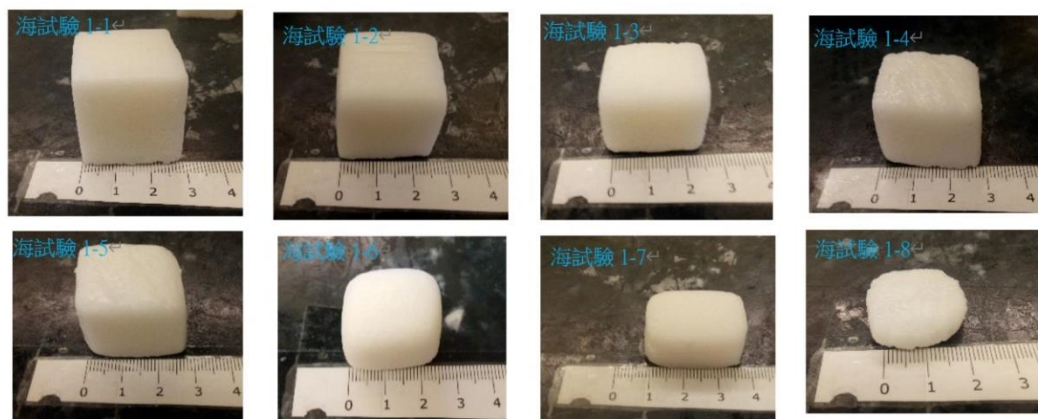
(三) **球度**：從圖中可發現，肥皂在滾動與少部分滑動的方式磨蝕後，還是維持較高的球度，都接近 1。

這個試驗的結果與我們觀察到河床礫石的球度比較高的現象相符合，驗證河床礫石的高球度主要是受到滾動的磨蝕方式所影響。

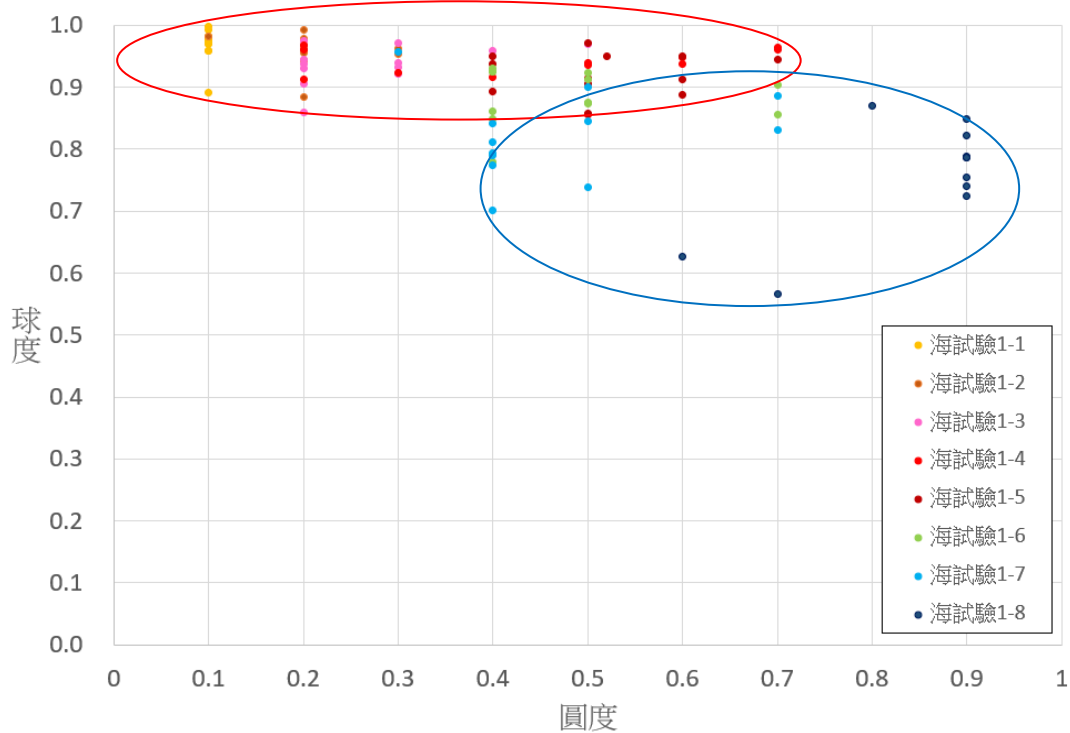
四、模擬海灘波浪礫石磨蝕的試驗

⇒模擬海灘波浪礫石磨蝕的試驗結果，與我們觀察到海灘礫石的球度比較低的現象相符合，驗證海灘礫石主要受到滑動與部分滾動的磨蝕所影響。

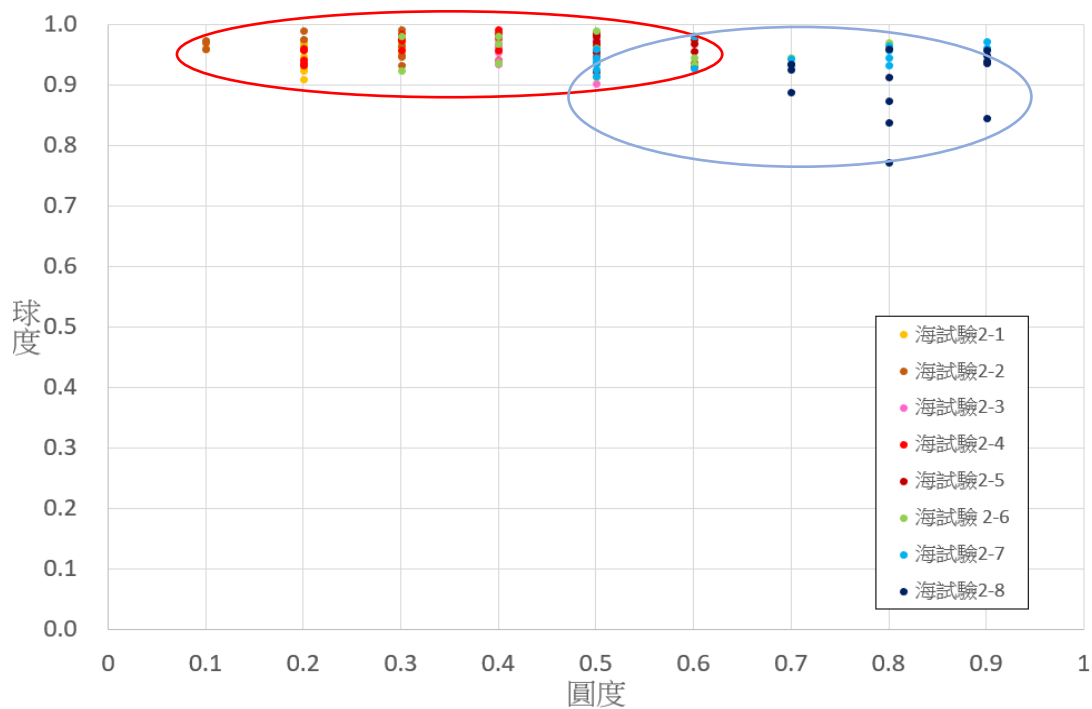
(一) 在模擬海灘波浪磨蝕的設備中加水，並放入模擬礫石的肥皂(3*3*3 公分正方體)，肥皂在葉片的轉動下滑動與少許滾動，模擬礫石在海灘上的磨蝕過程。每進行模擬試驗 30 分鐘，就測量一次肥皂的圓度與球度，每一組樣品約為 15 顆，每組測量 4 次；依序執行 3 組肥皂的磨蝕試驗，並測量肥皂的圓度與球度，做成紀錄並進行分析。圓度與球度的測量及分析結果如下圖 (圖 46~圖 48)。



▲圖 46 海灘波浪礫石磨蝕試驗中，肥皂的磨蝕過程



▲圖 47 模擬海灘礫石滾動的磨蝕試驗結果(試驗 1)



▲圖 48 模擬海灘礫石滾動的磨蝕試驗結果(試驗 2)

(二) 圖中試驗 1-1~1-5、2-1~2-5 是模擬礫石在海灘上，遇到小浪水平滑動的磨蝕試驗結果。在連續 5 次的試驗中(暖色系)，發現肥皂的球度緩慢變小(大約 1.0~0.85 之間)，但肥皂的圓度逐漸變大(大約 0.1~0.7 之間)。

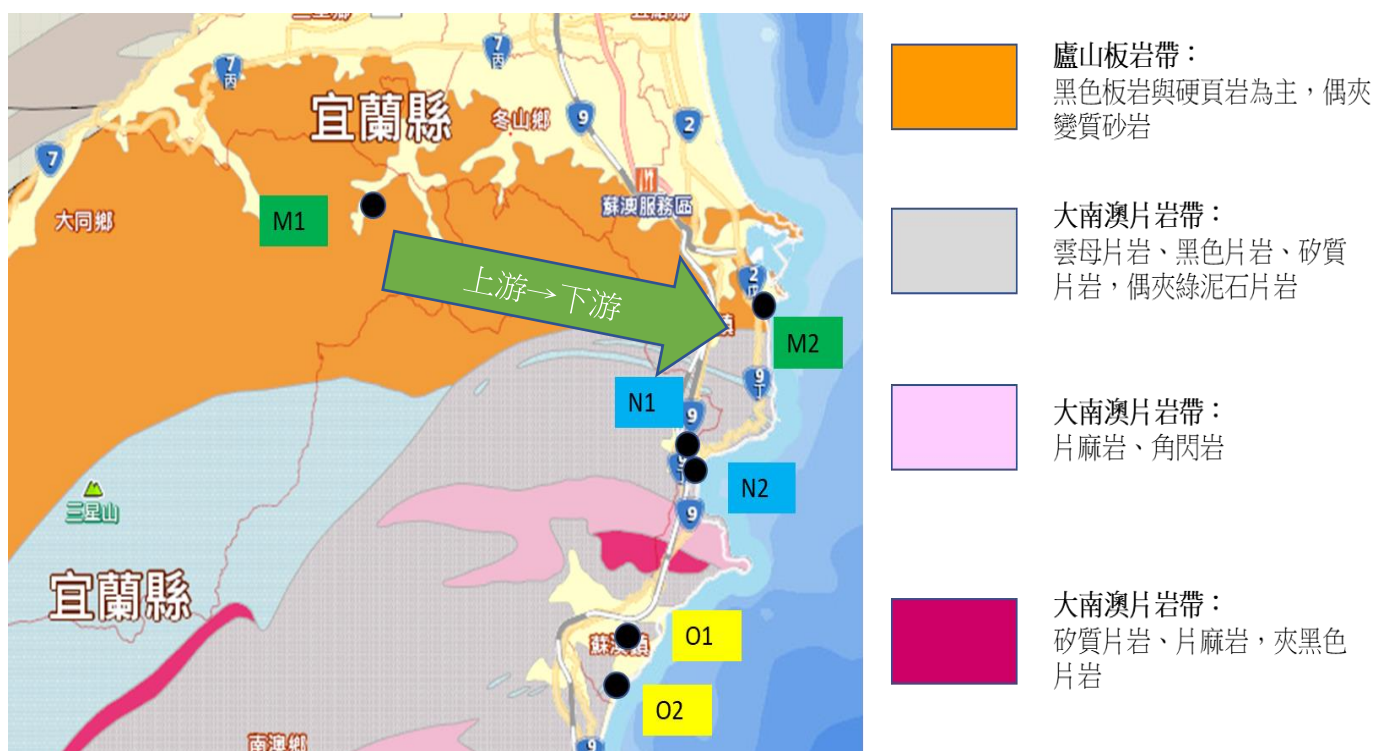
(三) 圖中試驗 1-6~1-8、2-6~2-8 是模擬礫石在海灘遇到大浪滑動及部分滾動的試驗結果。在連續 3 次的試驗中，發現試驗結果(冷色系)往右下方移動，肥皂的球度逐漸變小(大約 0.9~0.6 之間)，但肥皂的圓度卻明顯變大(大約 0.4~0.9 之間)。

這個試驗結果與我們觀察到海灘礫石的球度比較低的現象相符合，驗證海灘礫石低球度與高圓度的結果是受到滑動與部分滾動的磨蝕方式所影響。

陸、討論

一、礫石岩性與地質圖比對

(一)我們研究地區的地質圖及岩石種類從中央地質調查所下載我們選擇研究地區的地質圖(圖 49)。其中 M1(羅東溪)及 M2(內埤礫灘)在廬山板岩帶(橘色範圍)附近，廬山板岩帶的岩性主要是黑色板岩與硬頁岩，中間偶爾夾帶變質砂岩。N1(東澳溪)、N2(東澳礫灘)及 O1(南澳溪)、O2(南澳礫灘)在大南澳片岩帶(灰色範圍)附近，大南澳片岩帶(灰色範圍)的岩性主要是雲母片岩、黑色片岩及矽質片岩，中間偶爾夾帶綠泥石片岩。在研究地區的 N 及 O 之間，有變質度較高的大南澳片岩帶(紅色、粉紅色範圍)，它的岩性有片麻岩、角閃岩、矽質片岩及黑色片岩。



▲圖 49 研究地區的地質圖

(二)岩石種類比較

我們統計了 M1(羅東溪)及 M2(內埤礫灘)的岩石種類出現的頻率並用百分比計算如下(表 1)。我們發現，兩個地點都是黑色板岩出現的頻率為最多(M1:74%~94%；M2:55%~88%)。含有變質砂岩(M1: 6%~23%；M2: 6%~12%)。礫石岩性的組成與附近的廬山板岩帶岩石種類相符合。

▼表 1 M1(羅東溪)及 M2(內埤礫灘)的岩石種類出現頻率百分比

地點	岩性	黑色板岩	變質砂岩	石英片岩	其他
M1(羅東溪)	1-1	94%	6%	0%	0%
	1-2	74%	23%	0%	3%
	1-3	91%	9%	0%	0%
M2(內埤礫灘)	2-1	88%	6%	6%	0%
	2-2	61%	6%	27%	6%
	2-3	55%	12%	33%	0%

然而，廬山板岩帶的岩性並未包含石英片岩，我們卻在 M2(內埤礫灘)的礫石中發現含有石英片岩(6%~33%)，從地質圖推論可能是南方大南澳片岩帶的岩石，經由波浪或海流向北搬運到這裡的關係。

二、為什麼海灘礫石的圓度高於河床礫石呢?

我們推論可能是以下兩點所導致：

1. 因為海浪長時間持續拍打海灘，海灘上的礫石長時間被持續磨蝕，造成海灘礫石的圓度高於河床礫石。
2. 我們選擇的河流較短，河床礫石被搬運的距離與時間較短，所以磨蝕較少而且圓度比海灘礫石低。

三、我們做這個研究對未來有什麼貢獻?

若海嘯從海岸往內陸移動，將會把海岸邊的沉積物沖往內陸，經由對礫石圓度及球度的了解，有助於古海嘯的研究。

柒、結論

- 一、羅東溪礫石的球度大於內埤礫灘，內埤礫灘礫石的圓度大於羅東溪；東澳北溪礫石的球度大於東澳礫灘，東澳礫灘礫石的圓度大於東澳北溪；南澳溪礫石的球度大於南澳礫灘，但是兩個地點的礫石圓度沒有明顯差異。從上面三組地點的觀察與研究發現：海灘礫石的圓度會高於河床礫石，河床礫石的球度則會高於海灘礫石。
- 二、單以沒有葉理的變質砂岩之圓度及球度的量測結果，及現場採樣的全部礫石之圓度及球度比較結果相符合，驗證搬運方式對礫石的磨蝕結果不會因為礫石有無葉理而造成明顯影響。
- 三、我們觀察到河流的水流速度及水量比較小的時候，河床礫石的搬運方式，會以推移中的滑動為主，但水流速度及水量比較大的時候，礫石的搬運卻是滑動與滾動同時存在。
- 四、灘面上的沖流來時，礫石同時存在滑動與滾動的方式搬運；回流時，因部分海水會下滲到礫石間的縫隙裡，表層回流海水減少，礫石的搬運方式以滑動為主。
- 五、沖流會將礫石帶上灘面，當回流量少的時候只能將細粒的泥沙帶回海裡，所以海水帶不走的礫石會留在灘面上，就造成我們看到掃浪帶上的灘面有一大片礫石。
- 六、模擬河床礫石滾動磨蝕的試驗結果，與我們觀察到河床礫石的球度比較高的現象相符合，驗證河床礫石主要受到滾動與部分滑動的磨蝕影響。
- 七、模擬河床礫石磨蝕試驗裡，發現第一次試驗中肥皂的圓度快速增加，但第二次以後的試驗轉變成緩慢增加，推論河床中礫石的磨圓過程應該也是如此。
- 八、模擬海灘波浪礫石磨蝕的試驗結果，與我們觀察到海灘礫石的球度比較低的現象相符合，驗證海灘礫石主要受到滑動與部分滾動的磨蝕所影響。

捌、參考資料

周瑞燉(1987)。海洋地質學。聯經出版社。151-157。

陳文山(2016)。台灣地質概論。中華民國地質學會。

楊仁江(2003)。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告 臺灣傳統民居卵石作之研究——以摘星山莊為例。中國文化大學建築及都市設計學系暨研究所。

劉聰桂(2018)。普通地質學(下)。國立台灣大學出版中心。

丁躍潮(2010)。地球科學導論教學網頁。2020年3月1日，取自：

<http://210.34.136.253:8488/Geoscience/GeosciencHome.htm>

年廷凱(2011)。工程地質學實驗、實習及作業指導書。2020年3月1日，取自：

http://tmslsyx.dlut.edu.cn/images/soft/2_1436324551.pdf

姜漢銘(2010)。地理入門。2020年3月1日，取自：

<http://ihouse.hkedcity.net/~hm1203/course/courses.htm>

【評語】 080504

研究主題具鄉土相關性，科學方法控因及便因清楚，適當。

完整性可以加強。回答問題清楚簡潔。實驗紀錄完簿完整。

該作品觀察到河邊及海邊的礫石形狀不同，開始探討其中的原因，一方面在野外做現場觀察、紀錄，另一方面設計實驗來河床礫石與海灘礫石的磨蝕，透過河流及海灘礫石圓度和球度的測量，來探討河流搬運過程對礫石磨損的影響。此外，也針對礫石來源的地質做調查，以進一步討論不同岩石種類組成的礫石在磨損度上的差異。該作品還進而引申利用海邊礫石的特性，可以作為古海嘯的指標。團隊觀察入微，相當不錯。實驗材質若改用蠟質可能會比肥皂較好。

摘要

日常活動中，我們發現河邊與海邊的石頭形狀不同，於是開始研究。首先，我們選擇三組地點進行實地觀察並測量河床礫石與海灘礫石，發現海灘礫石的圓度高於河床礫石，而河床礫石的球度則高於海灘礫石。也發現河床礫石會因為河流的水流速度及水量大小，而有不同的搬運方式，而海灘礫石會因為灘面上的沖流與回流，有不同的搬運方式。

我們也設計了設備來進行河床礫石與海灘礫石磨蝕的模擬試驗，模擬河床礫石磨蝕的試驗結果，與我們觀察到河床礫石球度較高的現象相符合，驗證河床礫石主要受到滾動與部分滑動的磨蝕影響。模擬海灘波浪礫石磨蝕的試驗結果，與我們觀察到海灘礫石球度較低的現象相符合，驗證海灘礫石主要受到滑動與部分滾動的磨蝕影響。

壹、研究動機

我們就讀山上的特色小學，溯溪是我們學校的特色課程之一，也是我們最喜歡的活動之一，假日的時候，爸爸也經常帶我們去海邊玩水，無意間我們發現河邊與海邊的石頭形狀有點不一樣，不禁疑問，一樣是石頭，為什麼有些圓圓扁扁，有些卻比較稜稜角角呢？所以我們問了好多問題，加上六年級上學期的自然與生活科技課本中有提到河流與岩石，讓我們除了對礫石有了更多的知識外，更想實地研究河流與海邊礫石的不同。

貳、研究目的

- 一、練習觀察礫石的圓度與球度的測量。
- 二、了解河床礫石及海灘礫石的圓度與球度的差異。
- 三、觀察與推論河床及海灘礫石可能被磨蝕的過程和差異。
- 四、製作設備模擬河床與海灘礫石被磨蝕的過程。
- 五、以模擬河床與海灘礫石被磨蝕的結果，驗證礫石被磨蝕的方式。

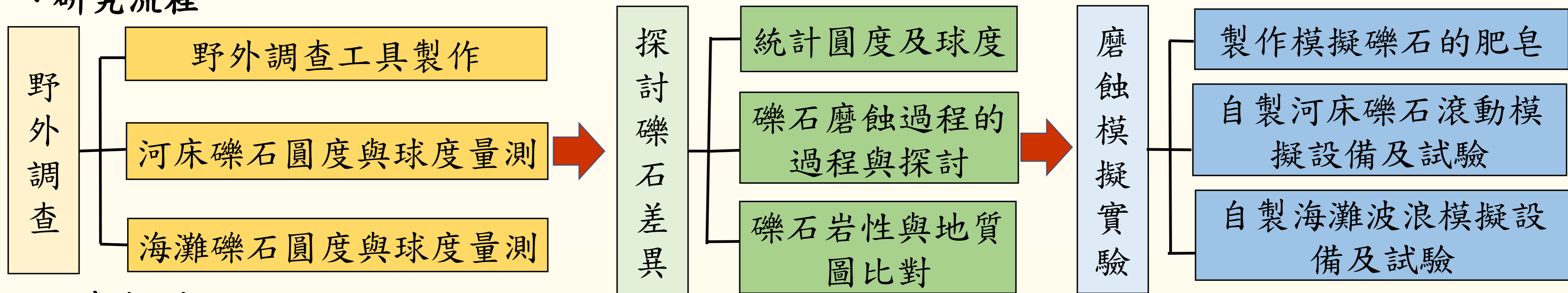
參、研究設備及器材

1. 止滑地墊
2. 瓦楞板
3. 計時器
4. 淨水濾心
5. 微波爐
6. 游標尺
7. 地質圖
8. 電鑽



肆、研究過程與方法

一、研究流程



二、文獻探討

(一) 礫石圓度比對

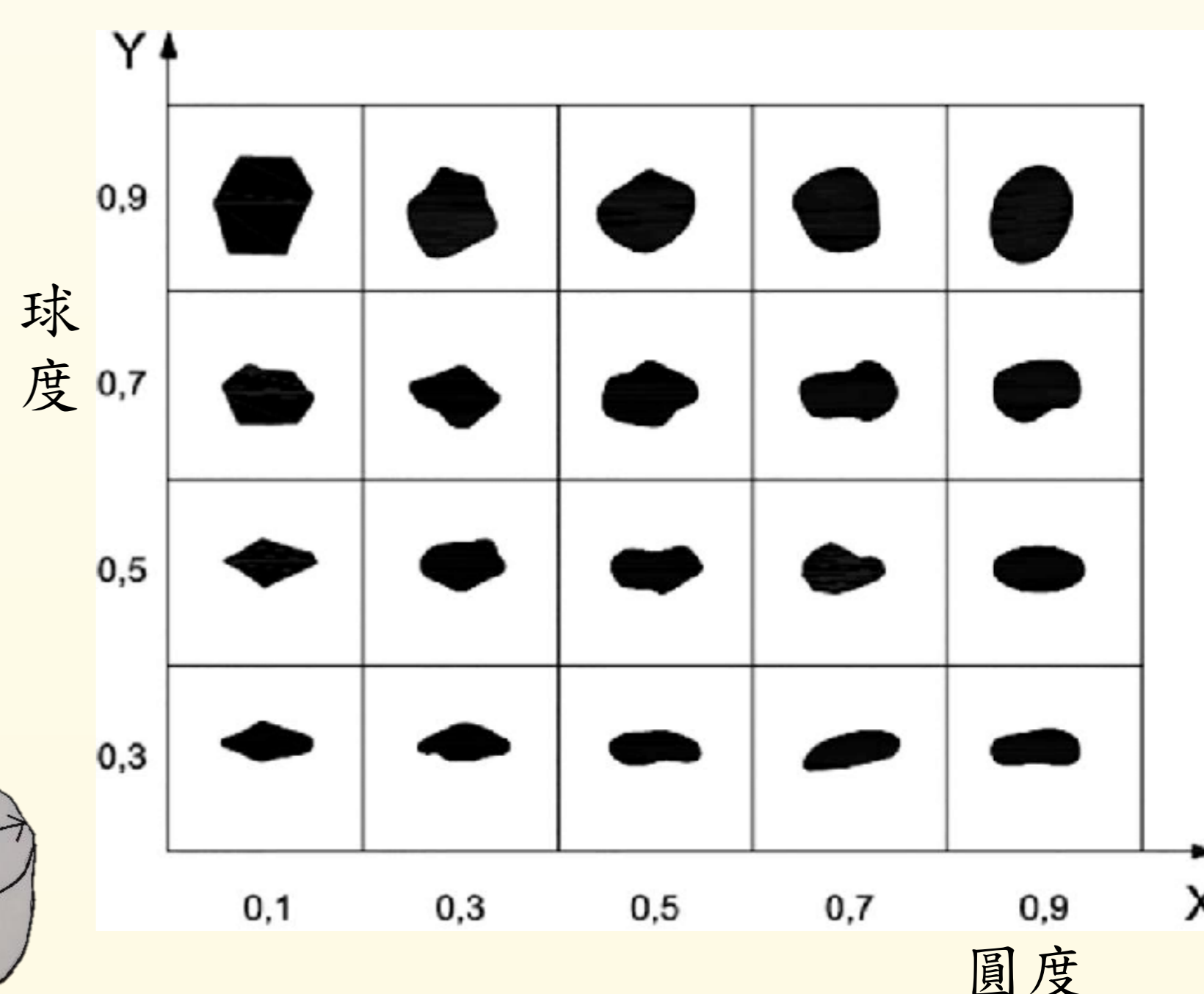
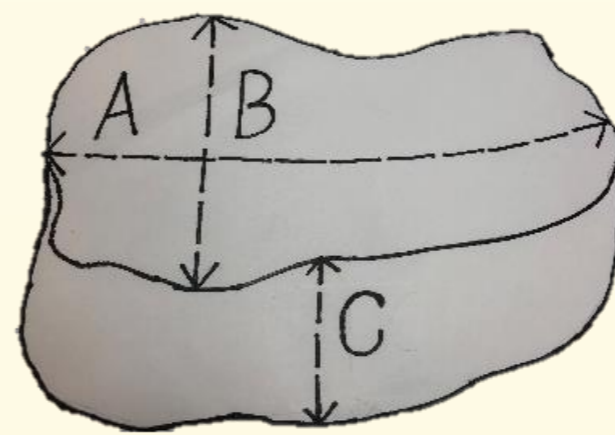
圓度是沉積岩所歷經的搬運距離及受翻滾擠壓碰撞所表現出來的程度，也就是礫石邊角銳利的程度。本研究採用Krumbein和Sloss在1963年發表的球度及圓度對照圖，作為礫石圓度評估之依據(圖1)。

(二) 礫石球度

球度是指顆粒接近正球體的程度，它主要取決於顆粒三度空間的型態，三個軸的比例(A軸代表顆粒最大扁平面上的最大直徑；B軸是最大扁平面上垂直A軸的最大直徑；C軸代表垂直於最大扁平面的最長直徑)(圖2) (年廷凱，2011)。

球度大小常用球度係數表示：
最大球度值等於1，最小值近於0。

$$F = \sqrt[3]{\frac{BC}{A^2}}$$

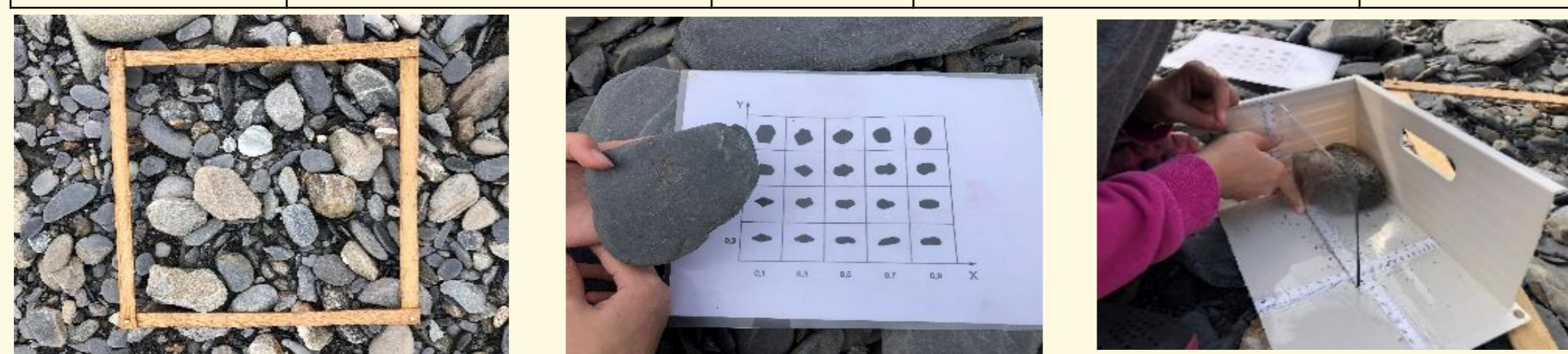


▲圖1 球度及圓度對照圖 (Krumbein和Sloss, 1963年)

三、野外調查

測量三組地點礫石的圓度與球度(圖3~圖6)

組別	河床	代號	海灘	代號
M組	羅東溪	M1	內埤礫灘	M2
N組	東澳北溪	N1	東澳礫灘	N2
O組	南澳溪	O1	南澳礫灘	O2



▲圖4 礫石測量範圍 ▲圖5 判斷礫石的圓度，並記錄岩性 ▲圖6 使用自製測量盒測量三軸長度

四、進行礫石磨蝕模擬的試驗

(一) 製作3公分正方體的肥皂來模擬礫石(圖7)

(二) 製作模擬河床與海灘波浪礫石的磨蝕設備。

(三) 進行模擬河床的礫石磨蝕試驗(圖8)

每進行試驗30分鐘，量測一次肥皂的圓度與球度
每一組樣品約為15顆，每組測量4次，共3組。

(四) 進行模擬海灘波浪的礫石磨蝕試驗

每進行試驗30分鐘，量測一次肥皂的圓度與球度

1. 少量的水(小浪):每組測量5次。(圖9)

2. 較多量的水(大浪):每組測量3次。(圖10)



▲圖7 模擬礫石的肥皂



▲圖8 模擬礫石在河床上磨蝕的試驗 ▲圖9 模擬礫石在海灘上磨蝕的試驗 (水量少，模擬小浪) ▲圖10 模擬礫石在海灘上磨蝕的試驗 (水量多，模擬大浪)

伍、研究結果

一、河床與海灘礫石的圓度及球度比較

(一) 羅東溪(M1)與內埤礫灘(M2)礫石的圓度及球度比較(圖11)

⇒羅東溪礫石的球度大於內埤礫灘，但內埤礫灘礫石的圓度大於羅東溪

1. 圓度：從圖中可以看出來內埤礫灘礫石(紅色)的圓度大部分落在0.7~0.9之間，高於羅東溪礫石(藍色)的0.1~0.5。
2. 球度：從圖中可以看出來羅東溪礫石(藍色)的球度大部分落在0.5~0.8之間，高於內埤礫灘礫石(紅色)的0.3~0.7。

(二) 東澳北溪(N1)與東澳礫灘(N2)礫石的圓度及球度比較(圖12)

⇒東澳礫灘礫石的圓度大於東澳北溪，但東澳北溪的球度大於東澳礫灘

1. 圓度：從圖中可以看出來東澳礫灘礫石(橘色)的圓度大部分落在0.7~0.9之間，高於東澳北溪礫石(綠色)的0.3~0.6。
2. 球度：從圖中可以看出來東澳北溪礫石(綠色)的球度大部分落在0.5~0.9之間，高於東澳礫灘礫石(橘色)的0.5~0.7。

(三) 南澳溪(O1)與南澳礫灘(O2)礫石的圓度及球度比較(圖13)

⇒南澳溪礫石的球度大於南澳礫灘，但兩個地方的圓度卻沒有明顯差異

1. 圓度：從圖中可以看出來南澳礫灘礫石(褐色)及南澳溪礫石(藍色)的圓度大部分落在0.3~0.7之間，無明顯差異。
2. 球度：從圖中可以看出來南澳溪礫石(藍色)的球度大部分落在0.5~0.8之間，高於南澳礫灘(褐色)的0.3~0.7。

從上面三組地點的礫石觀察研究發現：

⇒海邊礫石的圓度會高於河邊，但是河邊礫石的球度會高於海邊。

(四) 羅東溪(M1)與內埤礫灘(M2)變質砂岩的圓度及球度比較(圖14)

⇒發現內埤礫灘變質砂岩的圓度大於羅東溪的變質砂岩，但羅東溪變質砂岩的球度大於內埤礫灘；驗證有無葉理對搬運方式造成的磨蝕結果無明顯影響。

1. 我們想知道礫石圓度及球度會不會受岩石有無葉理影響，所以選擇羅東溪及內埤礫灘所採集的變質砂岩(無葉理)，畫出圓度及球度比較圖。
2. 圓度：從圖中可以看出來內埤礫灘變質砂岩(藍色)的圓度大部分落在0.7~0.9之間，高於羅東溪變質砂岩(橘色)的0.1~0.5。
3. 球度：從圖中可以看出來羅東溪變質砂岩(橘色)的球度大部分落在0.6~0.9之間，高於內埤礫灘變質砂岩(藍色)的0.6~0.7。

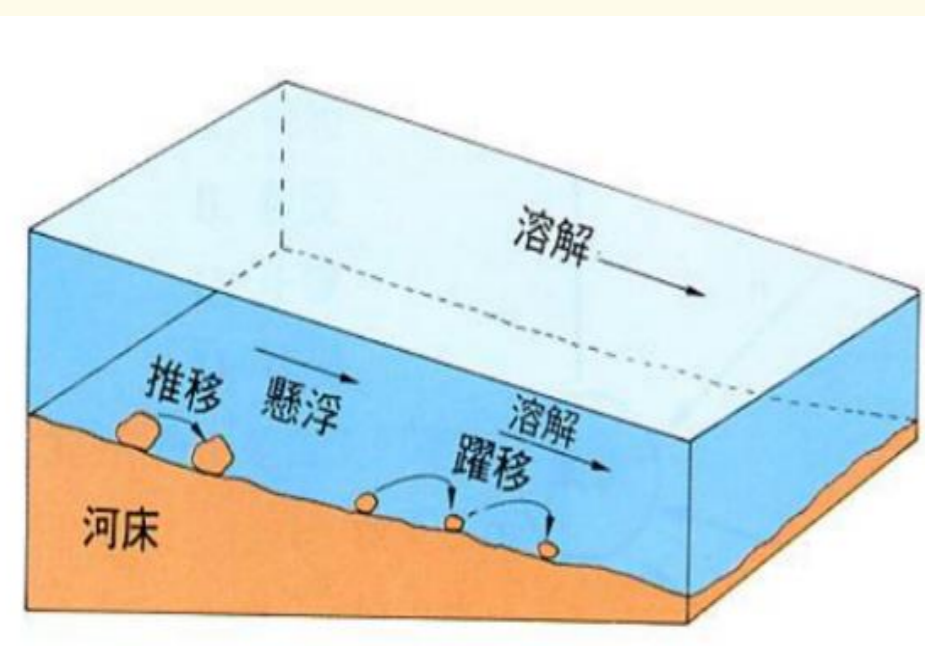
二、礫石磨蝕過程的觀察與探討

(一) 河床礫石的磨蝕過程

我們觀察到河流的水流速度及水量比較小的時候，河床礫石的搬運方式，會以推移中的滑動為主；但水流速度及水量比較大的時候，礫石的搬運卻是滾動與滑動同時存在。(圖15)

(二) 海灘礫石的磨蝕過程

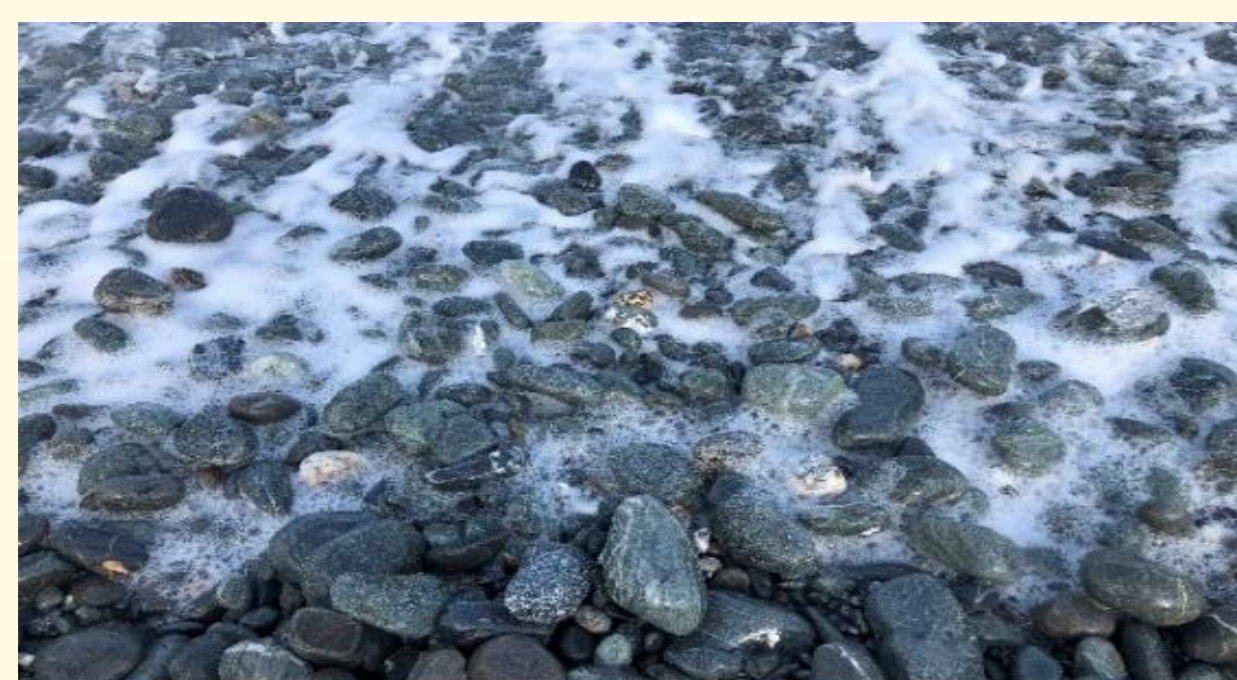
1. 灘面上的沖流來時，礫石同時存在滑動與滾動的方式搬運；回流時因海水下滲，表層回流海水減少，礫石以滑動為主要的搬運方式。(圖16~圖19)
2. 我們也用這個觀察到的現象，來設計模擬海灘波浪礫石磨蝕的設備分別創造出小浪及大浪的沖流與回流效果，來帶動止滑地墊上的肥皂，造成肥皂有滑動與部分滾動來進行試驗。



▲圖15 流水搬運的形式包括推移、躍移、懸浮與溶解等四種方式(姜漢銘, 2010)

▲圖16 灘面上的沖流來時，礫石同時存在滑動與滾動的方式搬運

▲圖17 灘面回流時，礫石會以滑動為主要的搬運方式



▲圖18 因海水下滲，表層的回流海水會減少



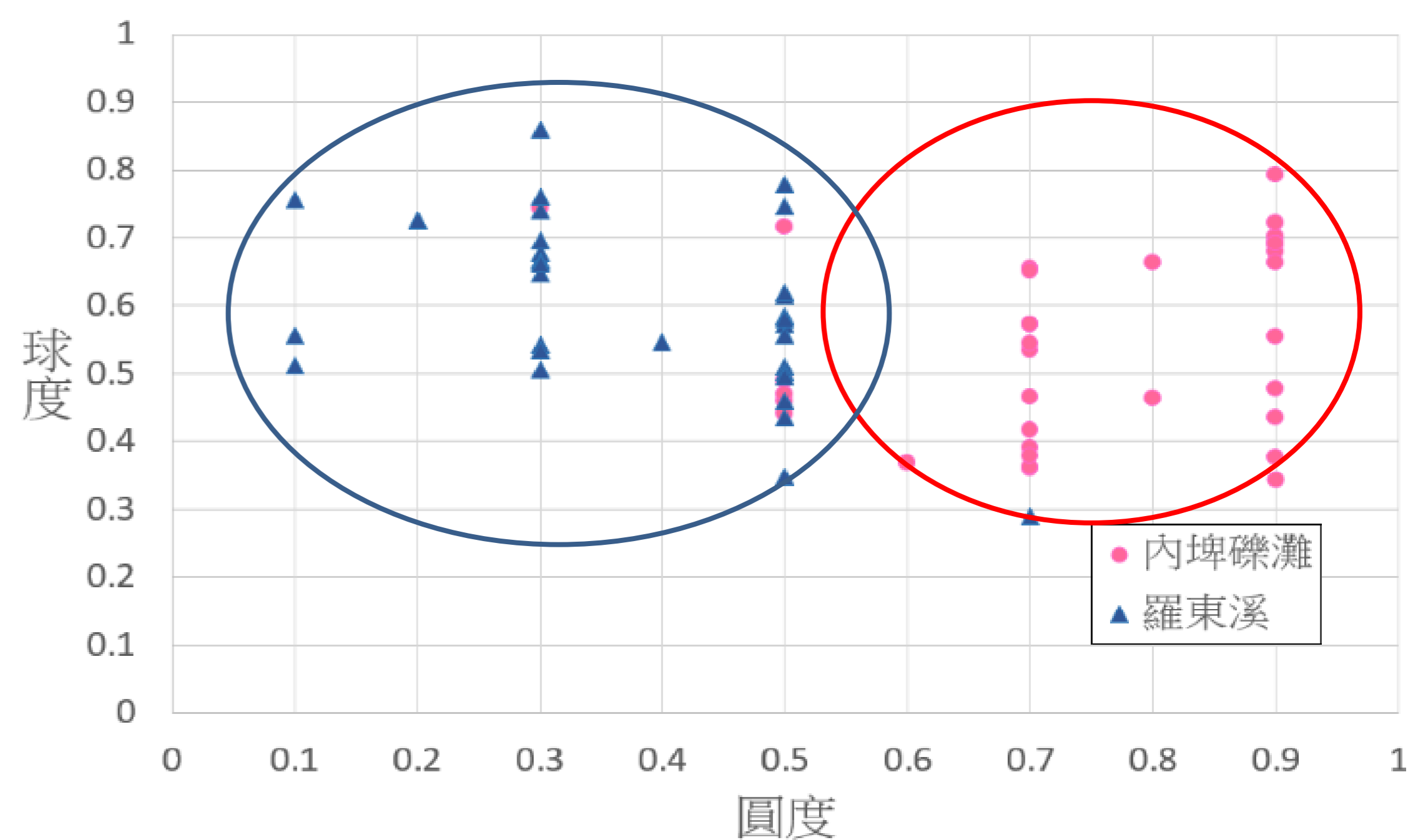
▲圖19 回流的時候，部分海水會下滲到礫石間的縫隙裡

三、模擬河床礫石滾動的磨蝕試驗(圖20)

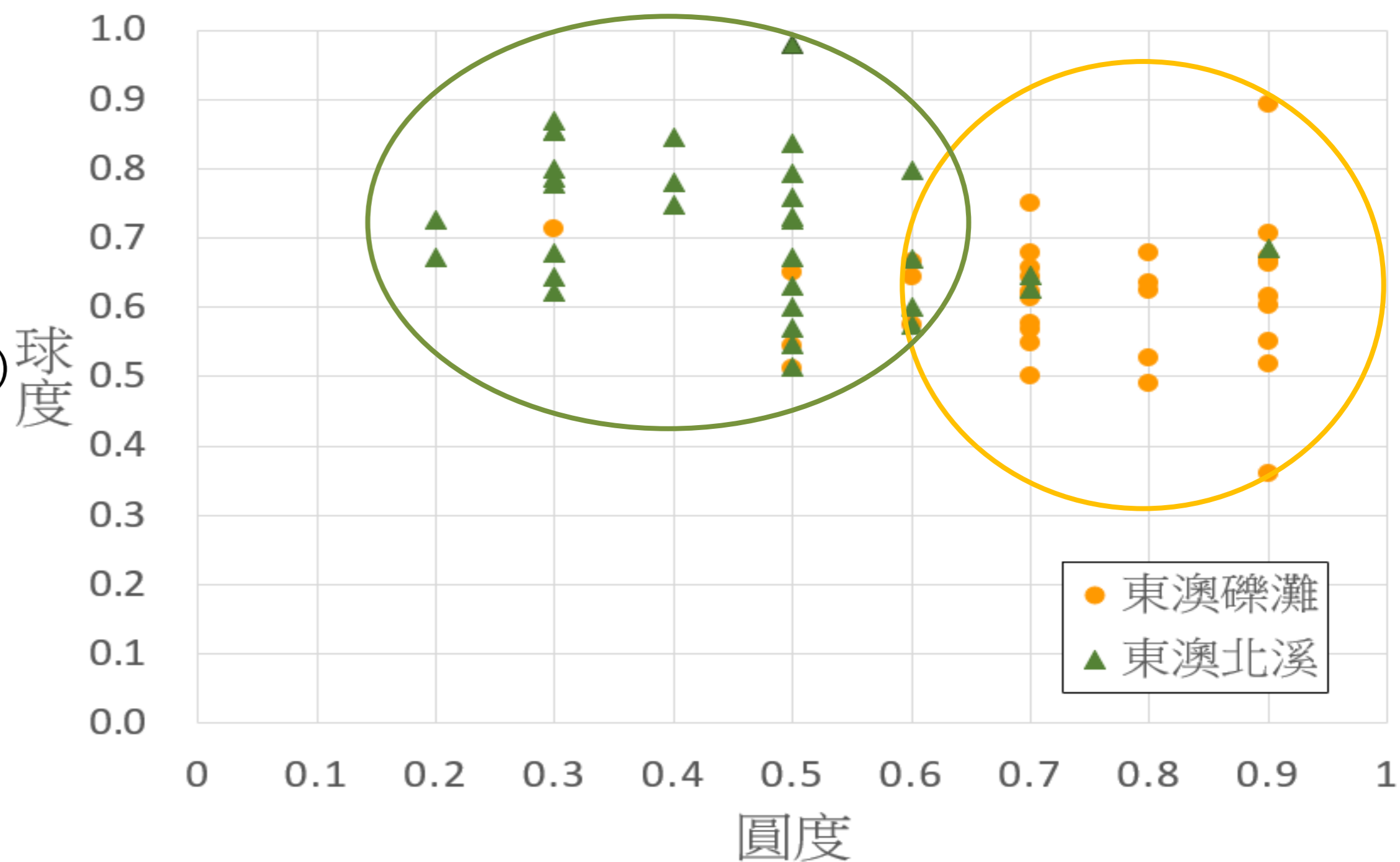
⇒模擬河床礫石滾動磨蝕的試驗結果，與我們觀察到河床礫石的球度比較高的現象相符合，驗證河床礫石主要受到滾動與部分滑動的磨蝕影響。

- (一)圓度：從圖中可以發現，試驗的肥皂經過4次滾動與少部分滑動的方式磨蝕後，圓度從正方體(圓度=0)逐漸增加，依序為試驗1-1(藍色, 0.5~0.6)、試驗1-2(橘色, 0.7~0.8)、試驗1-3(紅色, 0.8~0.9)。

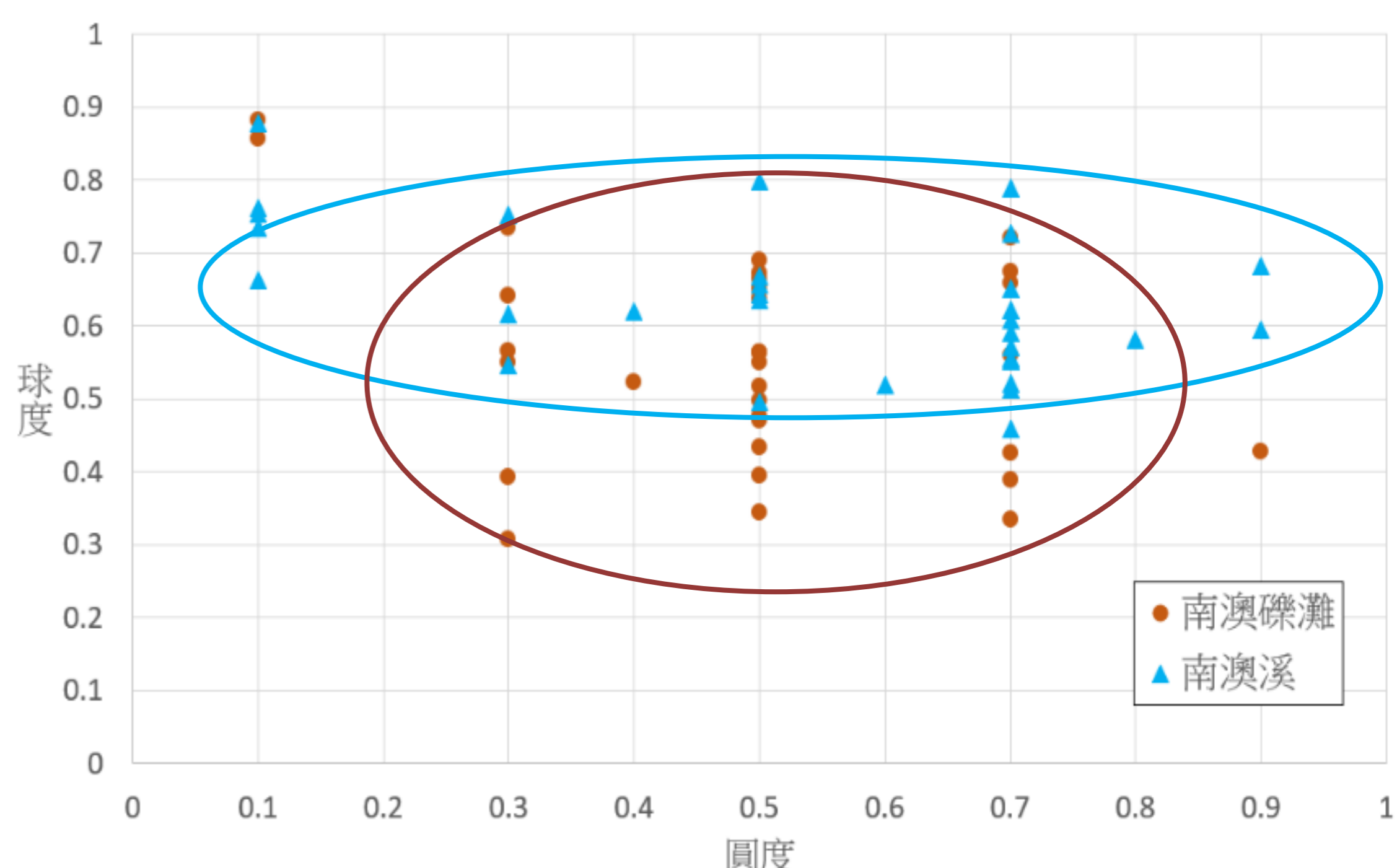
- (二)球度：從圖中可發現，肥皂在滾動與少部分滑動的方式磨蝕後，還是維持較高的球度，都接近1。(圖21)



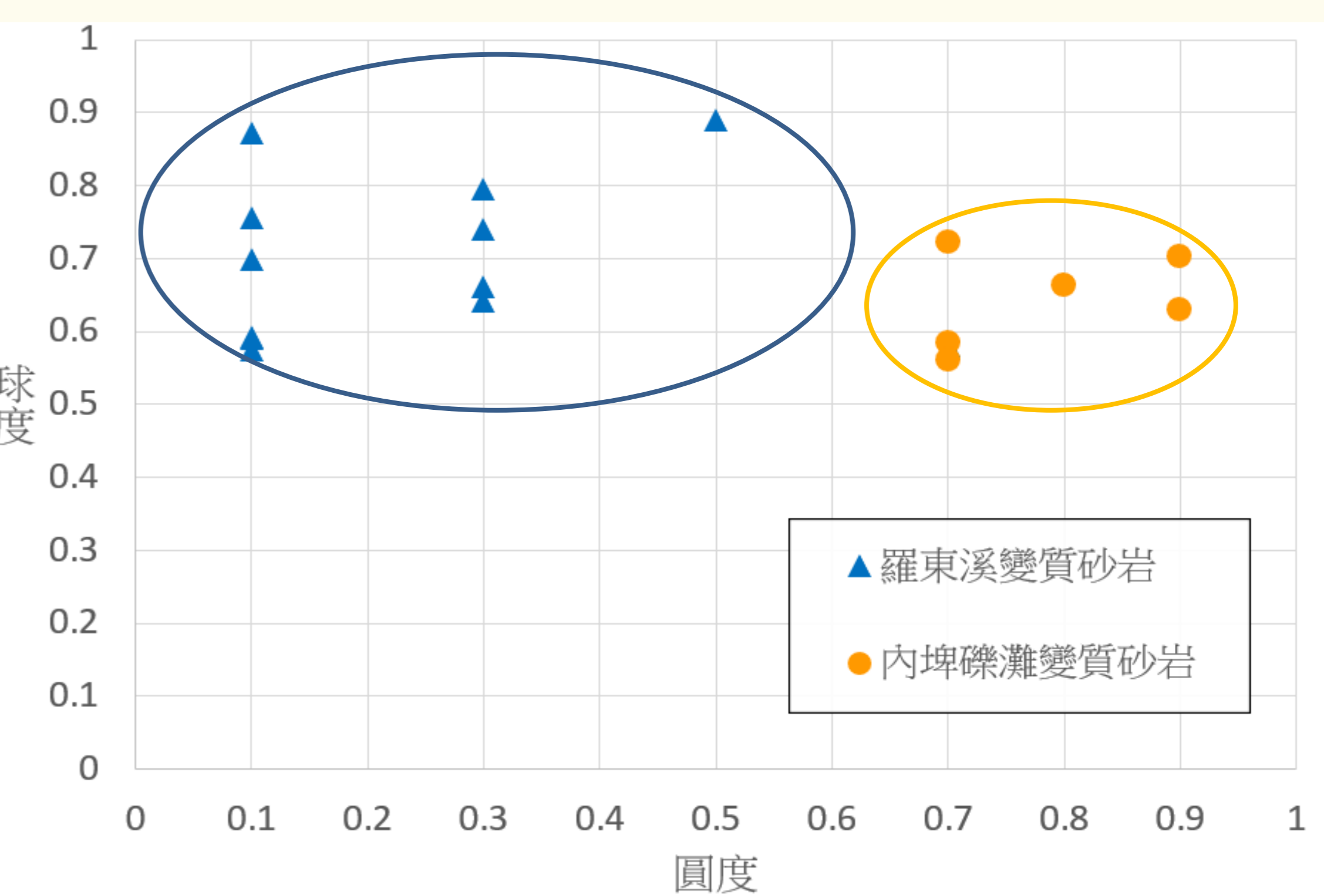
▲圖11 羅東溪與內埤礫灘礫石的圓度及球度比較



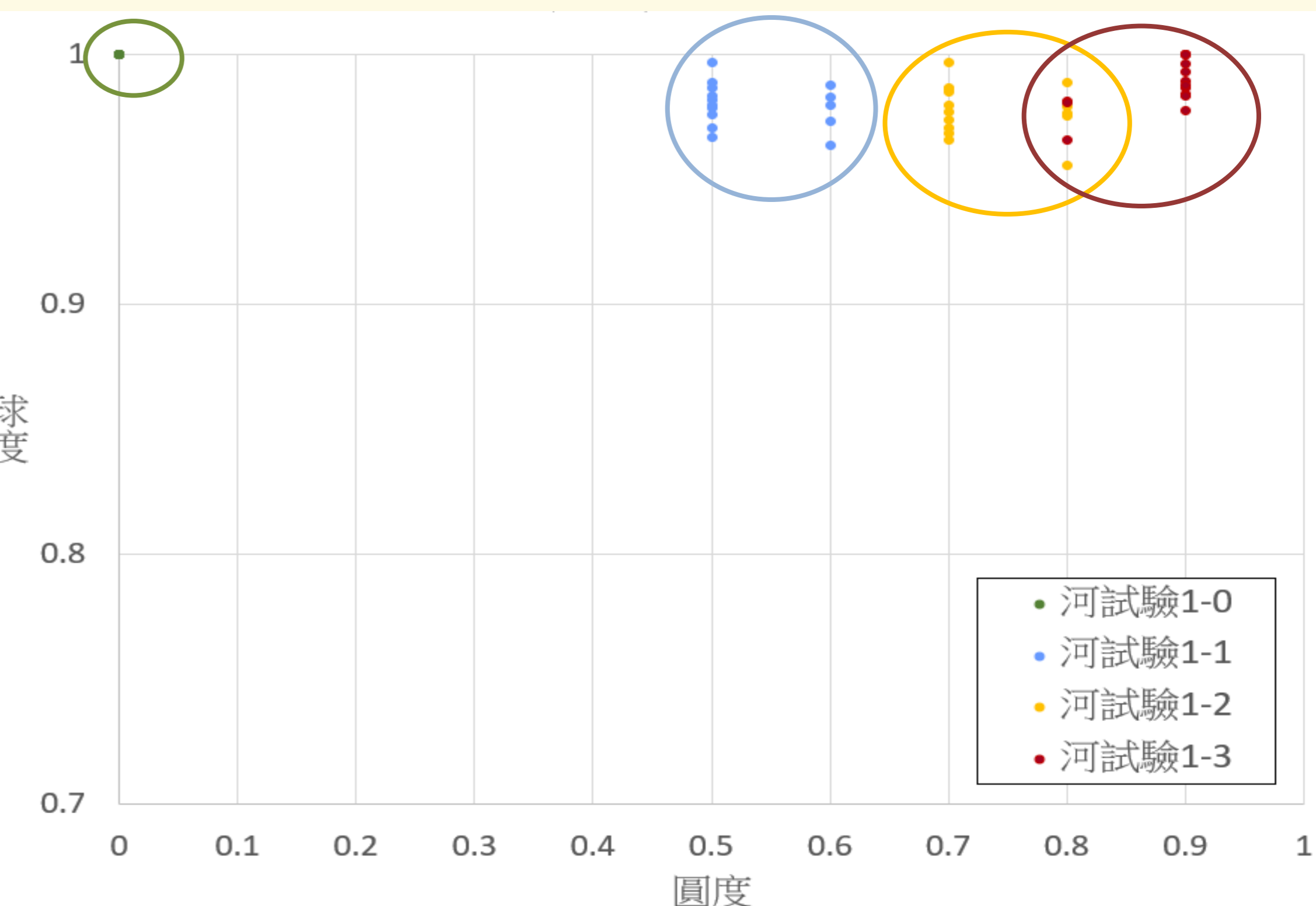
▲圖12 東澳北溪與東澳礫灘礫石的圓度及球度比較



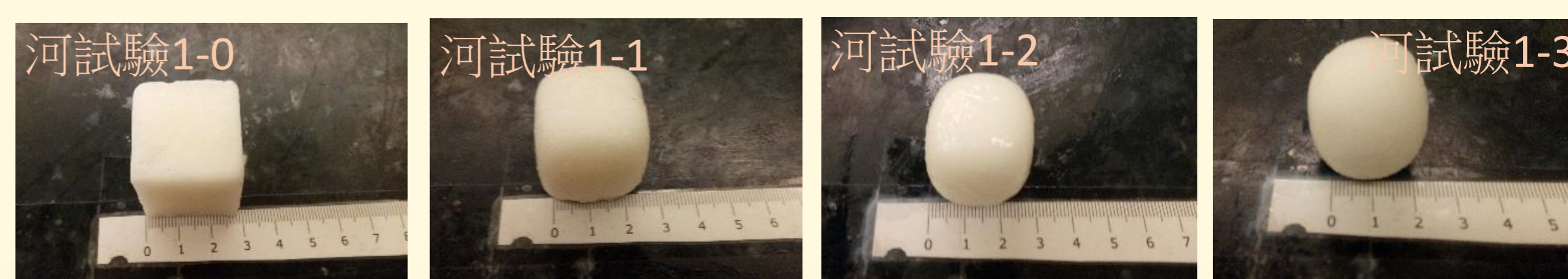
▲圖13 南澳溪與南澳礫灘礫石的圓度及球度比較



▲圖14 羅東溪(M1)與內埤礫灘(M2)變質砂岩的圓度及球度比較圖



▲圖20 模擬河床礫石滾動的磨蝕試驗結果



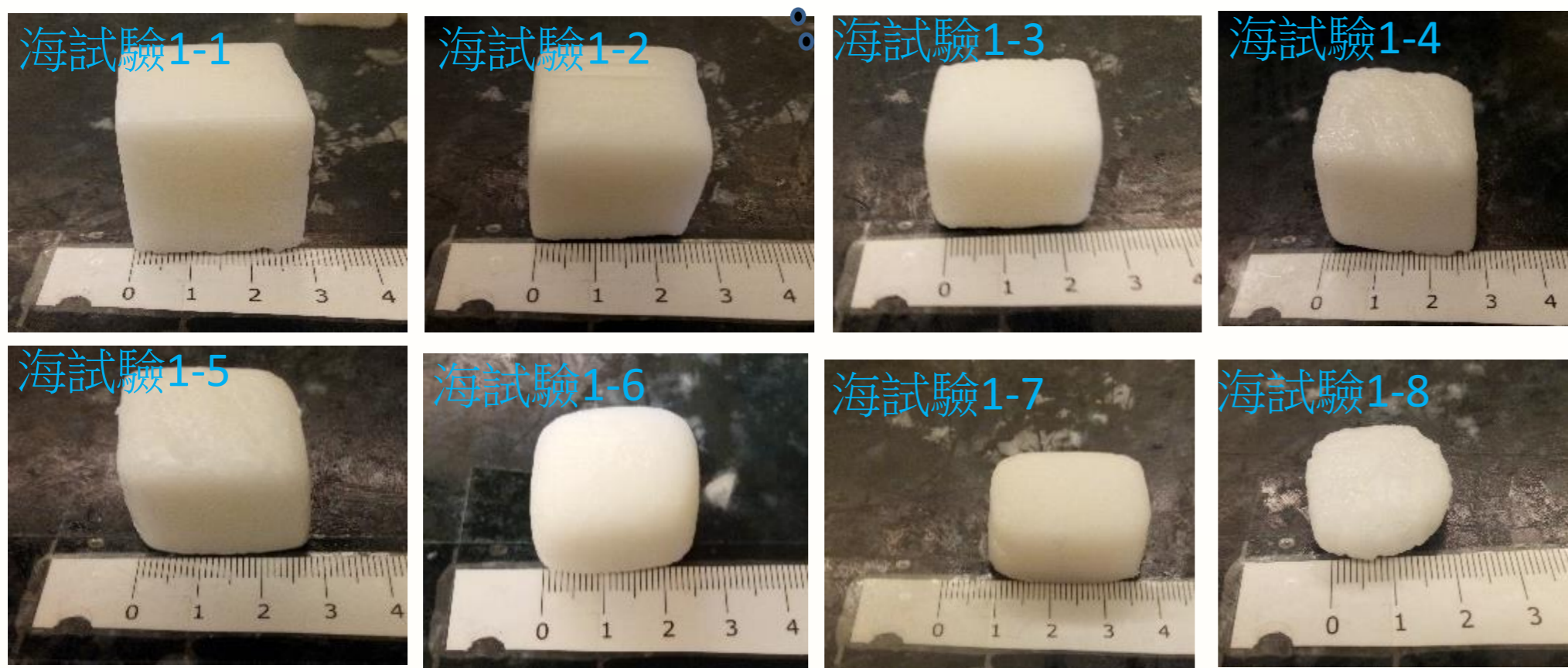
▲圖21 河床礫石滾動磨蝕試驗中，肥皂的磨蝕過程

四、模擬海灘波浪礫石磨蝕的試驗(圖22)

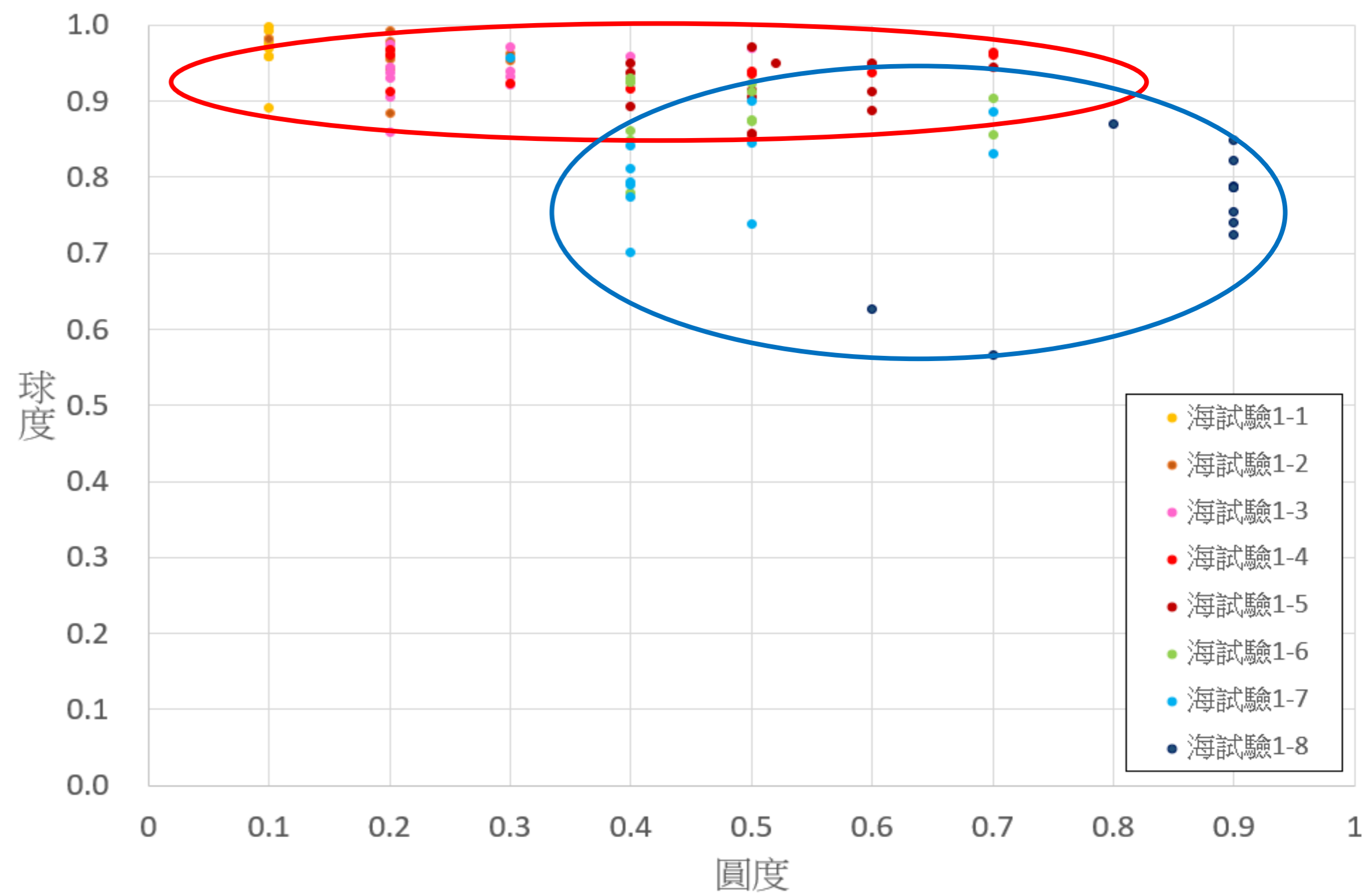
⇒模擬海灘波浪礫石磨蝕的試驗結果，與我們觀察到海灘礫石的球度比較低的現象相符合，驗證海灘礫石主要受到滑動與部分滾動的磨蝕所影響。

(一)圖中試驗1-1~1-5是模擬礫石在海灘上，遇到小浪水平滑動的磨蝕試驗結果。連續5次的試驗中(暖色系)，發現肥皂的球度緩慢變小(大約1.0~0.85之間)，但肥皂的圓度逐漸變大(大約0.1~0.7之間)。

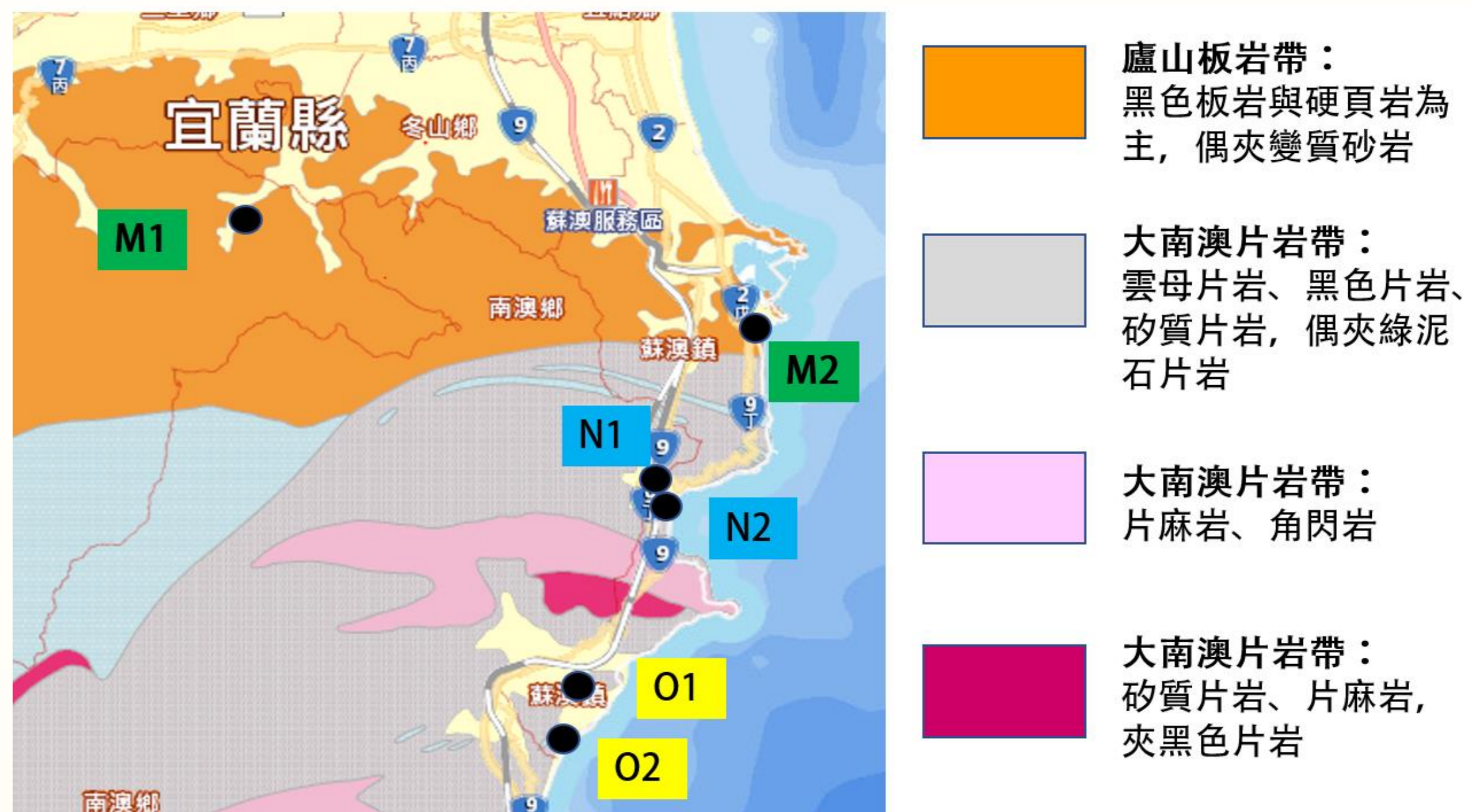
(二)圖中試驗1-6~1-8是模擬礫石在海灘遇到大浪滑動及部分滾動的試驗結果。在連續3次的試驗中，發現試驗結果(冷色系)往右下方移動，肥皂的球度逐漸變小(大約0.9~0.6之間)，但肥皂的圓度卻明顯變大(大約0.4~0.9之間)。(圖23)



▲圖23 海灘波浪礫石磨蝕試驗中，肥皂的磨蝕過程



▲圖22 模擬海灘波浪礫石磨蝕的試驗結果



▲圖24 研究地區的地質圖

▼表1 M組(羅東溪、內埤礫灘)測量範圍之岩石種類

地點	岩性	黑色板岩	變質砂岩	石英片岩	其他
M1: 羅東溪	1-1	94%	6%	0%	0%
	1-2	74%	23%	0%	3%
	1-3	91%	9%	0%	0%
M2: 內埤礫灘	2-1	88%	6%	6%	0%
	2-2	61%	6%	27%	6%
	2-3	55%	12%	33%	0%

陸、討論

一、礫石岩性與地質圖比對

(一)我們研究地區的地質圖及岩石種類

從中央地質調查所下載我們選擇研究地區的地質圖如圖24，其中M1(羅東溪)及M2(內埤礫灘)在廬山板岩帶(橘色範圍)附近，岩性主要是黑色板岩與硬頁岩，偶夾變質砂岩。

N1(東澳溪)、N2(東澳礫灘)及O1(南澳溪)、O2(南澳礫灘)在大南澳片岩帶(灰色範圍)附近，岩性主要是雲母片岩、黑色片岩及砂質片岩，偶夾綠泥片岩。在研究地區的N及O之間，有變質度較高的大南澳片岩帶(紅色、粉紅色範圍)，它的岩性有片麻岩、角閃岩、砂質片岩及黑色片岩。

(二)岩石種類比較

我們統計了M1(羅東溪)及M2(內埤礫灘)的岩石種類出現的頻率並用百分比計算如表1。我們發現，兩個地點都是黑色板岩出現的頻率為最多(M1:74%~94%; M2:48%~61%)。含有變質砂岩(M1: 6%~23%; M2: 6%~12%)。礫石岩性的組成與附近的廬山板岩帶岩石種類相符合。

然而，M2(內埤礫灘)的礫石含有石英片岩(6%~33%)，從地質圖推論可能是南方大南澳片岩帶的岩石，經由波浪或海流向北搬運到這裡的關係。

二、我們做這個研究對未來有什麼貢獻?

若海嘯從海岸往內陸移動，將會把海岸邊的沉積物沖往內陸，經由對礫石圓度及球度的了解，有助於古海嘯的研究。

柒、結論

- 一、羅東溪礫石的球度大於內埤礫灘，內埤礫灘礫石的圓度大於羅東溪；東澳北溪礫石的球度大於東澳礫灘，東澳礫灘礫石的圓度大於東澳北溪；南澳溪礫石的球度大於南澳礫灘，但是兩個地點的礫石圓度沒有明顯差異。從上面三組地點的觀察與研究發現：海灘礫石的圓度會高於河床礫石，河床礫石的球度則會高於海灘礫石。
- 二、以沒有葉理的變質砂岩來進行河床與海灘之圓度及球度比較，其結果和以全部礫石比較的結果相符合，驗證有無葉理對搬運方式造成的磨蝕結果無明顯影響。
- 三、我們觀察到河流的水流速度及水量比較小的時候，河床礫石的搬運方式，會以推移中的滑動為主，但水流速度及水量比較大的時候，礫石的搬運卻是滑動與滾動同時存在。灘面上的沖流來時，礫石同時存在滑動與滾動的方式搬運；回流時，因部分海水會下滲到礫石間的縫隙裡，表層回流海水減少，礫石的搬運方式以滑動為主。
- 四、沖流會將礫石帶上灘面，當回流量少的時候只能將細粒的泥沙帶回海裡，所以海水帶不走的礫石會留在灘面上，就造成我們看到掃浪帶上的灘面有一大片礫石。
- 五、模擬河床礫石滾動磨蝕的試驗結果，與我們觀察到河床礫石的球度比較高的現象相符合，驗證河床礫石主要受到滾動與部分滑動的磨蝕影響。
- 六、模擬海灘波浪礫石磨蝕的試驗結果，與我們觀察到海灘礫石的球度比較低的現象相符合，驗證海灘礫石主要受到滑動與部分滾動的磨蝕所影響。

捌、參考資料

- 周瑞燉(1987)。海洋地質學。聯經出版社。151-157。
陳文山(2016)。台灣地質概論。中華民國地質學會。
楊仁江(2003)。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告 臺灣傳統民居卵石作之研究——以摘星山莊為例。中國文化大學建築及都市設計學系暨研究所。
劉聰桂(2018)。普通地質學(下)。國立台灣大學出版中心。
丁躍潮(2010)。地球科學導論教學網頁。2020年3月1日，取自：
<http://210.34.136.253:8488/Geoscience/GeoscienceHome.htm>
年廷凱(2011)。工程地質學實驗、實習及作業指導書。2020年3月1日，取自：http://tmslsyxx.dlut.edu.cn/images/soft/2_1436324551.pdf
姜漢銘(2010)。地理入門。2020年3月1日，取自：
<http://ihouse.hkedcity.net/~hm1203/course/courses.htm>