

水牆

高中組物理科第三名

臺灣省立新竹高級中學

作者：彭黃勝、范治民
李自強、蔡國棟
指導教師：謝迺岳

一、研究動機

打開水龍頭，水唏哩嘩啦地一瀉而下垂直沖撞槽底，當水流經一段距段距人驚訝地突然升起，形成一道水環，這道水環似乎不像是水波，我們姑且稱它為“水牆”，今若加大流量則見水牆向外移，而用砂紙鋪在槽底水牆半徑則變小，除了這些還有什麼變因影響水牆呢！產生水牆的原因及其遵循的法則又是什麼呢？

二、研究目的

(一)水牆性質的探討。

1. 界面性質對水牆的影響。
2. 水牆內徑 R 與水箱內水高 H 及水龍頭流量 Q 的關係。
3. 距水柱中心 r 處流速 v 及 h 的關係。
4. 波速 u 與深度 h 的關係。

(二)水牆成因的解釋。

三、原理

(一)連續性方程式(圖一)：

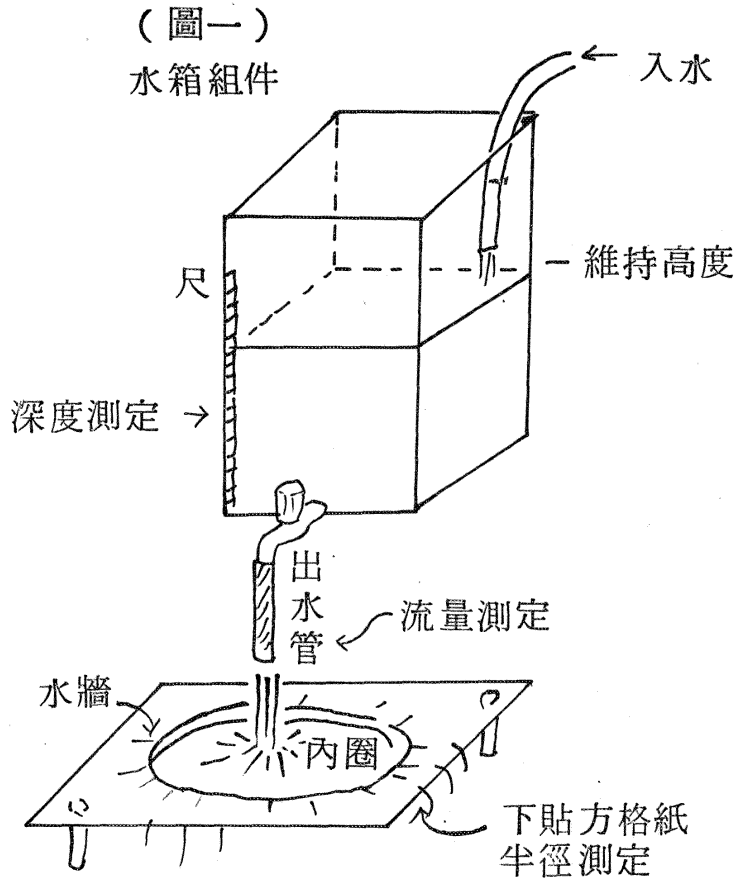
當流量一定時， $Q = \Delta m / \Delta t = 2\pi r \cdot \Delta r \cdot h \cdot \rho / \Delta t = 2\pi r \cdot v \cdot h \cdot \rho = \text{常數}$ ，故 $r_1 v_1 h_1 = r_2 v_2 h_2$ (水不可壓縮)， ρ 為定值)

(二)白努利方程式：

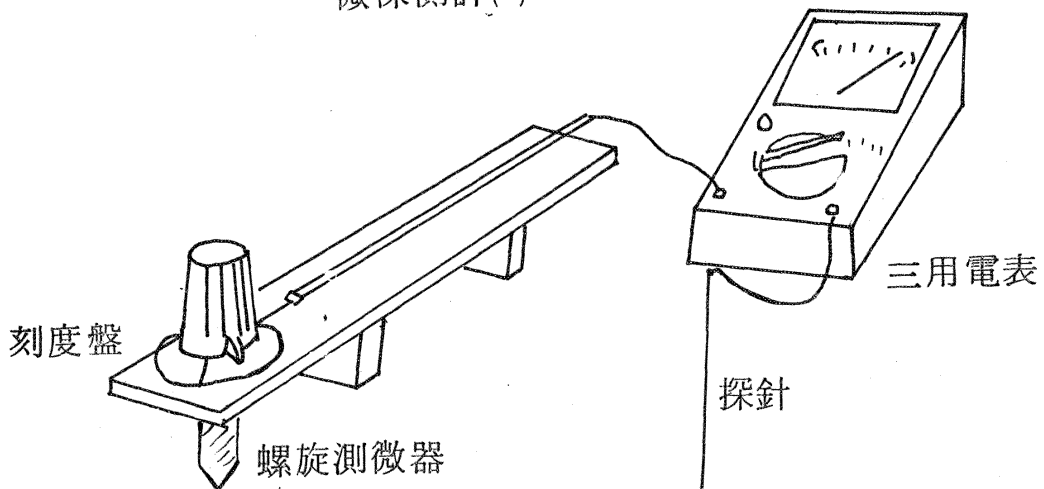
$$\text{水牆兩側 } p_1 A_1 v_1 \Delta t - p_2 A_2 v_2 \Delta t = \frac{1}{2} m v_2^2 + mg \frac{h_2 - h_1}{2} - \frac{1}{2} m v_1^2 \Rightarrow \frac{\Delta p}{\rho} + \frac{1}{2} g (h_1 - h_2) = \frac{1}{2} (v_2^2 - v_1^2)$$

(三)超音波(圖一)：

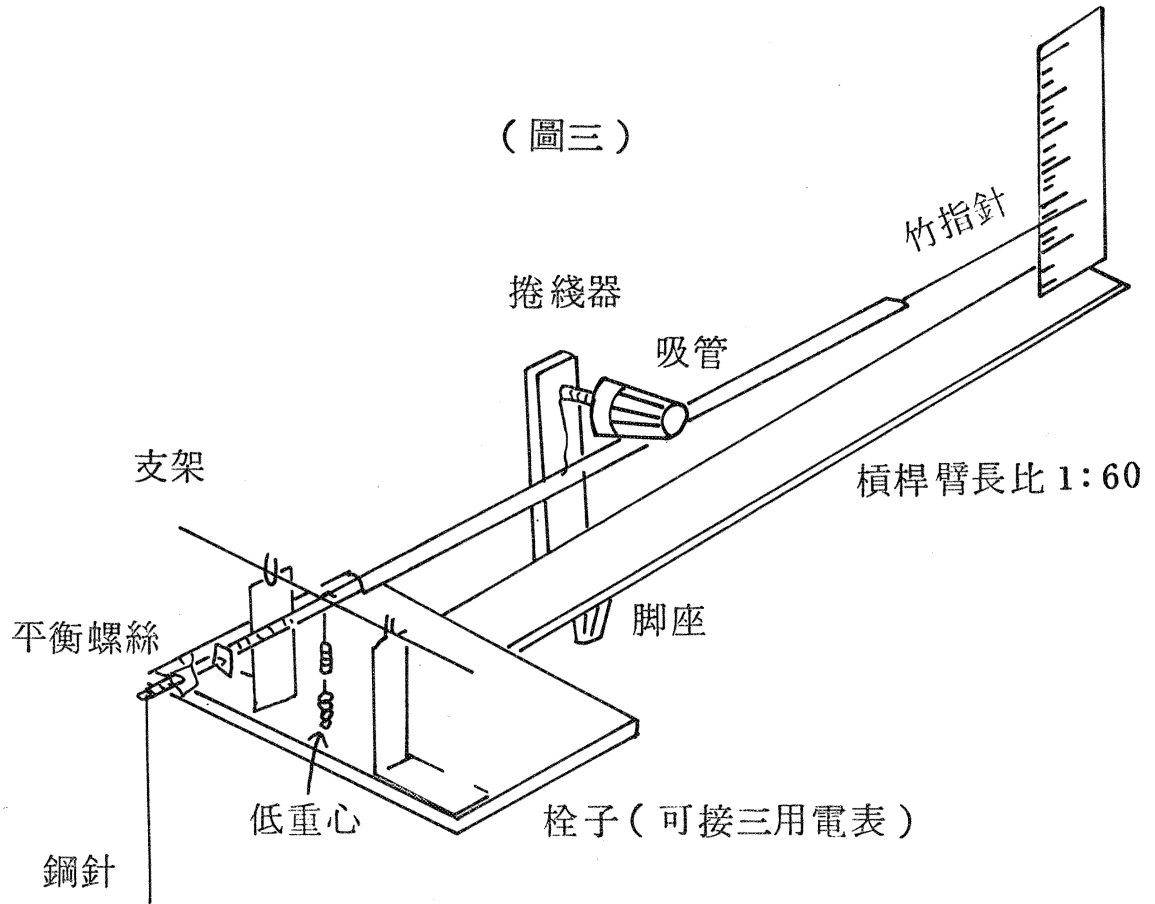
張角 $2Q$ ，受聲源速率 V 及波速 u 之影響， $\text{Sin}Q = \frac{u}{V}$



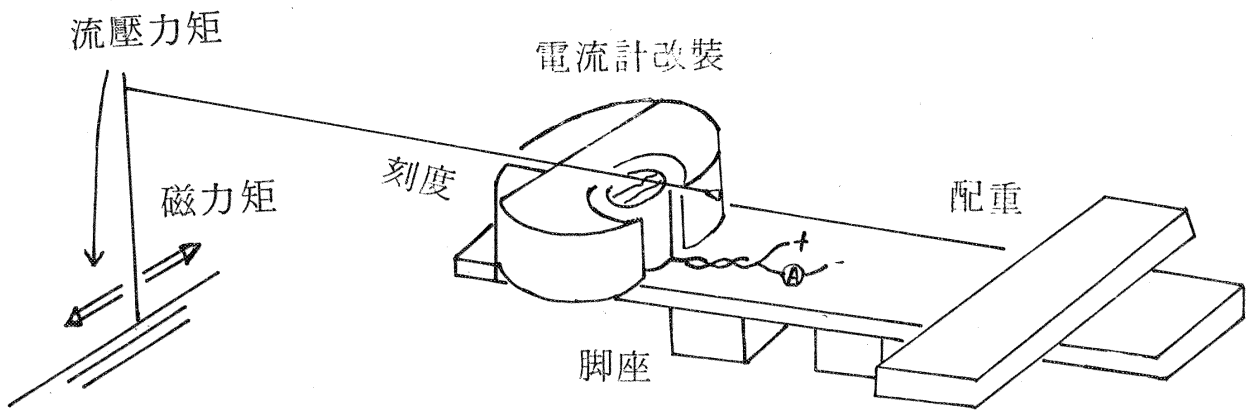
(圖二)
微深測計(-)



(圖三)



(圖四)



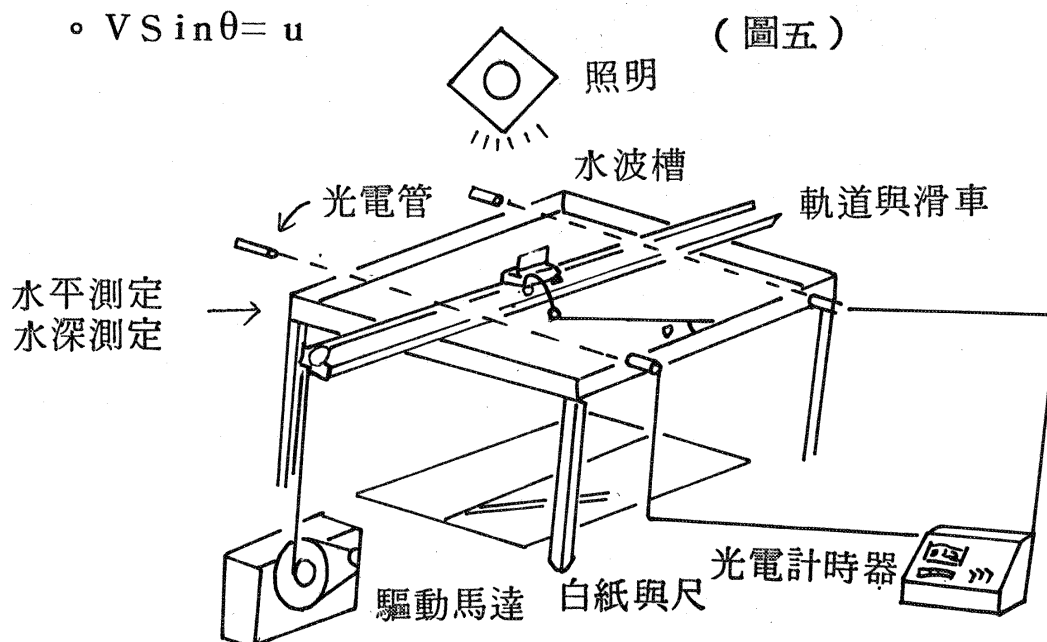
四、儀器與製作原理

(一)儀器：

1. 水箱組件（自製）（圖一）
2. 60、70、80、90、100號之砂紙。
3. 微深測計（自製）（圖二、三）
4. 流壓測計（自製）（圖四）
5. 波速測定組件（圖五）。

(二)製作原理：

1. 水箱組件：利用出水量等於入水量以控制水箱內之水高。（圖一）。
2. 微深測計：因水具有微導電性，故利用三用電表測定如下：
 - (1) 以金屬螺旋測微器當電極，當螺旋尖端觸碰水面時，三用電表指針明顯偏動，算出水深。
 - (2) 利用力矩放大原理，當針尖觸及水面時，三用電表亦會明顯偏轉，再利用力矩比例方法換算出水深。
3. 微壓測速計：利用水之流壓所造成之力矩將竹製指針旋轉一角度，再以電流之磁力矩與之平衡，由電流強度對應的力矩換算流速。
4. 波速測定組件：利用都卜勒效應及激震波來測定淺水中之波速。
• $V \sin \theta = u$



五、研究過程

(一)界面性質對水牆內徑影響之實驗：

控制水箱內之水高與水龍頭之流量，以不同的砂紙鋪於槽底，測內徑的大小。

(二)流量對水牆實驗：

以不同的流量，測出水牆內徑大小。

(三)深度測量：

控制初速及流量，以微深測計測出水牆內外各點的深度。

(四)流速測量：

控制初速及流量，以流壓測速計測出水牆內外各點之流速。

(五)波速測量：

量出水波槽內水深，以馬達帶動滑車，量出張角，測得波速 u 。

六、實驗結果

(一)界面愈粗糙，水牆半徑愈小。

(二)流量愈大，水牆半徑愈大。

(三)穩流中，水牆內的深度，稍有起伏，但在水牆邊緣，深度差很大。牆內外水深差 4 ~ 5 倍。

(四)穩流中，離水柱愈遠，流速愈小。

(五)波速 $u = \sqrt{gh}$ h 為水深。

(六)對照流速與波速，發現當流速降達波速時，即形成水牆。

七、討論

(一)解釋結果：

由數據結果六得到一個結果，當流速降達波速時，就會形成水牆，由這個事實可解釋前面的結果。

1. 界面愈粗糙，水牆半徑愈小，是因為粗糙的界面使流速迅速減少，較易達到波速，所以水牆較早形成。

2. 流量愈大，水牆半徑愈大，是因為當流速固定時，由 $Q = 2\pi r v h \rho$ 發現在同一 r 處，水深 h 隨流量增加，波速 $u = \sqrt{gh}$ 也增加，但切應力 $F_t = j \frac{V}{h}$ 減少，後者對水牆影響較大，所以水牆較慢形成。

(二) 對水牆成因的探討：

1. 堆積說：

當水流因摩擦而減低速度時，則在前方造成堆積，因重力的影響使二邊造成水位差，水牆外的位能是由水牆內的流壓差來提供的。

2. 臨界說：

(1) 流速降達波速時，堆積在前方的波，這時衆多水波堆積在此，因為水不可壓縮，而使水位上升。

(2) 水位上升，波速更增，而流速迅速減少。

(3) 流速 V ，波速 $u = \sqrt{gh}$ 當 $V / \sqrt{gh} = 1$ 時水牆形成為臨界流。

(4) 水牆內 $V / \sqrt{gh} > 1$ 為超臨界流。

水牆外 $V / \sqrt{gh} < 1$ 為次臨界流。

八、結 論

(一) 水牆產生的範圍其條件是：流速與波速相等時，水牆前流速大於波速，水牆後流速小於波速。

(二) 界面性質，流量及流速對水牆的影響可供我們控制水牆的形成。

(三) 水牆兩側水深比 1 : 4 ~ 5 可供築堤之設計，以防洪害。

九、參考資料

1. 流體力學 莊萬春譯 復漢出版社印行
2. 流體力學 范德仙編譯 全華科技
3. 流體力學 丁觀海譯 徐氏基金會
4. 大學物理學 第二冊 李怡嚴編著 東華書局
5. 渠道水力學 黃冠榮編著 啓學出版社

6. 高中物理課本 二四冊 國立編譯館

評 語

本作品取材新穎，實驗方法正確。惟以分析不夠完整為憾。
本作品仍有發展性，希望作者百尺竿頭，更進一步。