

橋的振動

高小組物理科第二名

台北市立東門國民小學

作者：王奕權、王亭享

指導教師：張月英、劉月琴

一、研究動機

在我們學校的操場上，有一個用鐵鍊和鐵棒做成的吊橋。下課時，站在樓上的走廊，看見有些小朋友玩著吊橋，隨著他們的走動，橋也跟著搖晃，有時左右動，有時上下動，忽大忽小，有很多種變化，使我們想研究這個實驗。

二、研究目的

- (一)決定軟繩吊橋左右擺動及扭動週期的因素為何？
- (二)決定軟繩吊橋上下振動週期的因素為何？
- (三)軟繩吊橋的振動強弱與衝擊性外力的週期有何關係？
- (四)決定硬板吊橋左右擺動及扭動週期的因素為何？
- (五)硬板吊橋的振動強弱與衝擊性外力的週期有何關係？
- (六)決定板橋上下振動週期的因素為何？
- (七)板橋的振動強弱與衝擊性外力的週期有何關係？

三、研究設備器材

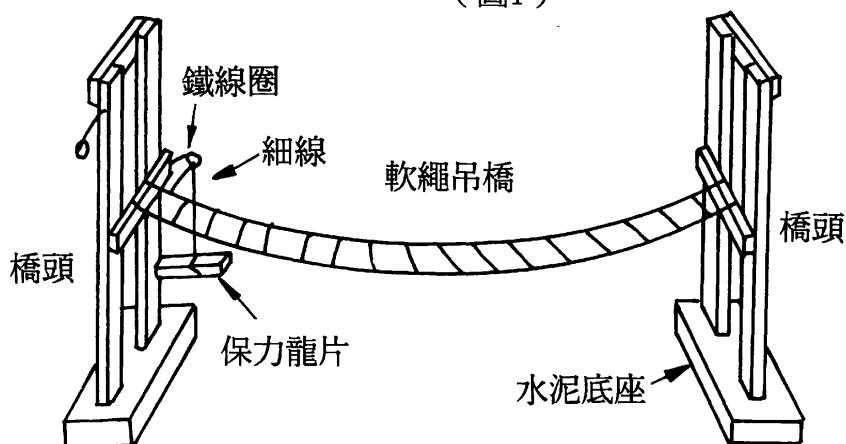
- (一)矩形截面的粗木條3根、細木條1根，鐵釘約60根。
- (二)空奶粉罐一個、透明塑膠粗管一條、塑膠細管一條。

- (三)原子筆桿一根、小磁鐵3塊、鐵片一片、膠帶及膠布各一捲。
- (四)蚊帳掛鈎2枚、粗細鐵線各一段、保力龍片2片。
- (五)壓克力板8條（長60公分，寬2.8公分，厚2、3、5公釐；厚2公釐，寬1.4公分，長30、45、60公分；厚2公釐，長45公分，寬分別為2.8、4.2公分）。
- (六)粗、細紅線各一段。
- (七)電子停錶2只、塑膠淺盆及便當盒各一個、毛巾3條。
- (八)水泥、細砂約1升，其他如紅色奇異筆、膠槍、電鑽、剪刀、鋸子、鐵鎚、尖嘴鉗、直尺等工具。

四、研究過程或方法

(一)製作軟繩吊橋、硬板吊橋和板橋的模型：

(圖1)

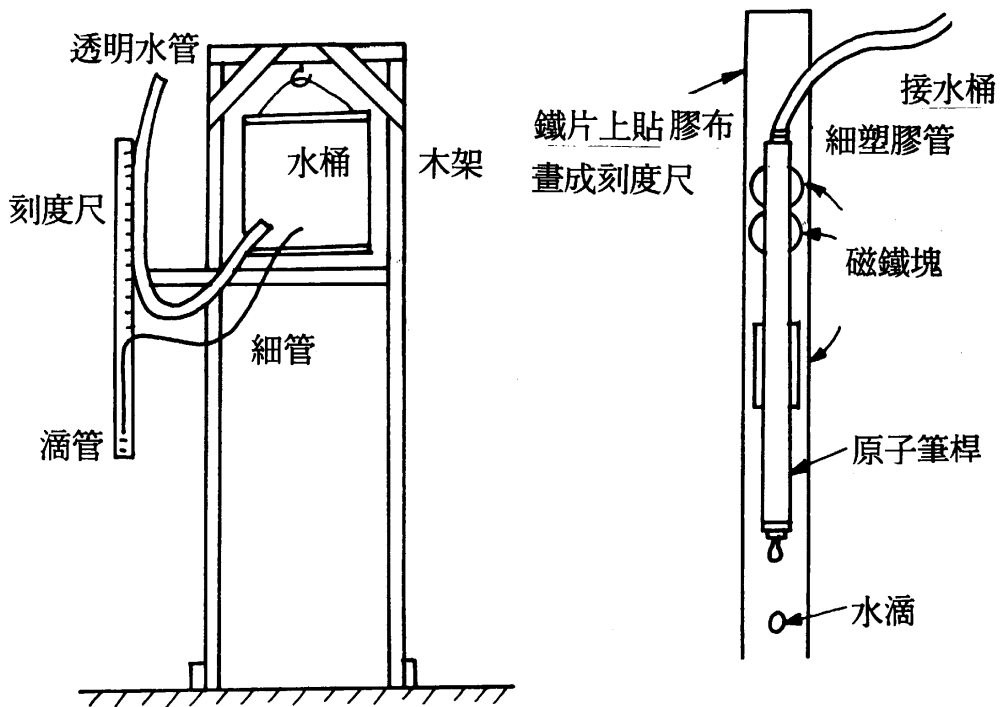


1. 鋸取木條，釘成兩橋頭，下部是水泥底座，如上圖。
2. 剪取鐵線，粘在2段粗紅線上，成為軟繩吊橋，如上圖。
（橋寬4公分者，間隔有2、3、4公分；橋寬2公分及6公分者間隔均為4公分。共有5條。）
3. 在各種尺寸的壓克力板兩端綁上細線，分別掛在兩橋頭上部橫樑上，調整懸線長及兩橋頭距離，便成各種尺寸的硬板吊橋。

4. 將各種尺寸的壓克力板兩端架在兩橋頭中部橫樑，便成板橋。

(二)製作週期性衝擊力裝置：

1. 鋸取木條，釘成能掛水桶的木架，在其一脚釘上一卜型，其中安有鐵片，上貼膠布，畫成刻度尺，用以觀察水柱高。如圖。
2. 奶粉罐當水桶，底部鑽二孔，插入粗細塑膠管，細管他端接空原子筆桿，桿上纏附小磁鐵塊，小磁鐵貼上膠布，以增摩擦，並使磁鐵吸在卜型上，筆口朝下，移動時可調整出水口高度。
3. 將透明粗管拉到刻度尺旁，穿過掛鈎及鐵環，測桶內水面高。
4. 桶內注水，當水一滴滴落下，其衝擊力具有週期性，改變出水口的高度，即可改變衝擊力的週期，以電子停錶測之。



(圖2)

(三)週期性衝擊力橫向施加於軟繩吊橋上：

1. 在橋頭橫樑上，插一9字型粗鐵線。在其下方橋腳上，以膠帶貼接一橫向條形保力龍片，以細線一端綁在中央，他端穿過9字型之孔而綁在軟繩吊橋上，使保力龍片橫向挺出。
2. 移木架，使出水口正對保力龍片的外側部份。當水滴下時，即週期性衝擊力橫向加於橋上。以便當盒置於下方，承接濺水。
3. 調整出水口高度，使擺動或扭動，產生共振，測水滴週期。

(四)週期性衝擊力鉛垂加於軟繩吊橋上：

1. 在軟繩吊橋一端，靠橋頭附近的第二節上貼一膠帶，以承受水滴的衝擊。移木架，使出水口正對膠帶，當水滴落時，便給予橋週期性鉛垂衝擊力。以便當盒置於下方，承接濺水。
2. 調整出水口高度，直到上下振動，產生共振，測水滴週期。

(五)週期性衝擊力橫向施於硬板吊橋上：

1. 在橋頭的一側橫插一9字型粗鐵線，靠近上部橫樑。在其下方，橋頭側面，以膠帶貼接一橫向條形保力龍片，以細線一端綁在中央，他端穿過9字型之孔，而綁在硬板吊橋的懸線上部。
2. 移木架，使出水口正對保力龍片外側部份。以便當盒接濺水。
3. 調出水口高度，使硬板吊橋生左右擺動或扭動共振，測週期。

(六)硬板吊橋固有振動週期的測量：

1. 左右擺動週期：以手將橋向一方平移後放開，測其振動週期。
2. 左右扭動週期：以手將橋左右扭轉後放開，測其振動週期。

(七)以週期性衝擊力測量板橋的固有振動週期：

1. 移動木架，使出水口正對板橋中央上方，置塑膠盆於橋下，承接濺水。調整出水口高度，使板橋上下振動振幅極大。
2. 測水滴週期。並觀察水每滴一滴，板橋上下振動次數。

五、實驗結果

(一)軟繩吊橋

1.左右振動

(1)單波腹(擺動)

ㄅ.改變下垂距離：橋長60公分，橋寬4公分，間隔4公分

。

實驗一

下垂距離(公分)	3	6	9	12	15
20滴時間(秒)	5.63	8.36	9.40	10.19	12.31

ㄆ.改變橋長：橋寬4公分，間隔4公分，下垂距離為1/5
橋長。

實驗二

橋長(公分)	24	36	48	60	72
20滴時間(秒)	6.54	7.73	9.08	10.18	12.27

ㄏ.改變橋寬：橋長60公分，下垂距離12公分，間隔4公分。

實驗三

橋寬(公分)	2	4	6
20滴時間(秒)	10.19	10.24	10.19

ㄏ.改變間隔：橋長60公分，下垂距離12公分，橋寬4公分

。

實驗四

間隔(公分)	2	3	4
20滴時間(秒)	9.53	9.56	10.19

(2)雙波腹(扭動)

ㄎ.改變下垂距離：橋長60公分，橋寬4公分，間隔4公分

。

實驗五

下垂距離(公分)	3	6	9	12	15
20滴時間(秒)	2.66	3.48	4.68	5.55	5.91

ㄎ.改變橋長：橋寬4公分，間隔4公分，下垂距離為1/5橋長。

實驗六

橋長(公分)	24	36	48	60	72
20滴時間(秒)	2.54	3.88	4.97	5.54	6.64

ㄎ.改變橋寬：橋長60公分，下垂距離12公分，間隔4公分

。

實驗七

橋寬(公分)	2	4	6
20滴時間(秒)	5.52	5.54	5.41

ㄎ.改變間隔：橋長60公分，下垂距離12公分，橋寬4公分

。

實驗八

間隔(公分)	2	3	4
20滴時間(秒)	5.54	5.46	5.52

2. 上下振動

(1) 雙波腹

ㄅ. 改變下垂距離：橋長60公分，橋寬4公分，間隔4公分

。

實驗九

下垂距離(公分)	3	6	9	12	15
20滴時間(秒)	2.77	4.43	6.22	7.21	8.48

ㄆ. 改變橋長：橋寬4公分，間隔4公分，下垂距離為1/5橋長。

實驗十

橋長(公分)	24	36	48	60	72
20滴時間(秒)	4.49	5.92	6.29	7.23	8.68

ㄇ. 改變橋寬：橋長60公分，下垂距離12公分，間隔4公分

。

實驗十一

橋寬(公分)	2	4	6
20滴時間(秒)	7.15	7.32	7.15

ㄨ. 改變間隔：橋長60公分，下垂距離12公分，橋寬4公分

。

實驗十二

間隔(公分)	2	3	4
20滴時間(秒)	7.44	7.42	7.22

(2)三波腹

ㄎ.改變下垂距離：橋長60公分，橋寬4公分，間隔4公分

。

實驗十三

下垂距離(公分)	3	6	9	12	15
20滴時間(秒)	1.84	2.95	4.19	5.51	6.81

ㄎ.改變橋長：橋寬4公分，間隔4公分，下垂距離為1/ 5
橋長。

實驗十四

橋長(公分)	24	36	48	60	72
20滴時間(秒)	1.76	2.95	4.81	5.44	7.44

ㄎ.改變橋寬：橋長60公分，下垂距離12公分，間隔4公分

。

實驗十五

橋寬(公分)	2	4	6
20滴時間(秒)	5.40	5.44	5.30

ㄎ.改變間隔：橋長60公分，下垂距離12公分，橋寬4公分

。

實驗十六

間隔(公分)	2	3	4
20滴時間(秒)	5.36	5.29	5.41

(二)硬板吊橋

1. 固有振動週期的測量

(1)左右擺動

ㄎ. 改變橋寬：橋長45公分，橋厚2公釐，懸線長24公分。

實驗十七

橋寬(公分)	1.4	2.8	4.2
10下時間(秒)	9.75	9.71	9.95

ㄎ. 改變橋長：橋寬1.4公分，橋厚2公釐，懸線長24公分。

實驗十八

橋長(公分)	30	45	60
10下時間(秒)	9.74	9.77	9.68

ㄎ. 改變橋厚：橋寬2.8公分，橋長60公分，懸線長24公分。

實驗十九

橋厚(公釐)	2	3	5
10下時間(秒)	9.77	9.82	9.87

ㄎ. 改變懸線長：橋長45公分，橋寬2.8公分，橋厚2公釐。

實驗廿

懸線長(公分)	4	8	12	16	20	24
10下時間(秒)	3.77	5.76	7.18	8.09	9.09	9.80

(2)左右扭動

ㄎ. 改變橋寬：橋長45公分，橋厚2公釐，懸線長24公分。

實驗廿一

橋寬(公分)	1.4	2.8	4.2
10下時間(秒)	6.06	5.94	5.86

ㄨ. 改變橋長：橋寬1.4公分，橋厚2公釐，懸線長24公分

。

實驗廿二

橋長(公分)	30	45	60
10下時間(秒)	5.71	5.79	5.84

ㄓ. 改變橋厚：橋寬2.8公分，橋長60公分，懸線長24公分

。

實驗廿三

橋厚(公釐)	2	3	5
10下時間(秒)	5.73	5.70	5.67

ㄔ. 改變懸線長：橋長45公分，橋寬2.8公分，橋厚2公釐

。

實驗廿四

懸線長(公分)	4	8	12	16	20	24
10下時間(秒)	2.13	3.29	4.10	4.69	5.20	5.63

2. 以週期性衝擊力，施加於硬板吊橋上

(1) 左右擺動：橋長45公分，橋寬2.8公分，橋厚2公釐，懸線長16公分。十滴時間為8.1秒及15.7秒時能生共振。其每落一滴水之擺動次數分別為一下及二下。(實驗廿五)

(2) 左右扭動：同上之橋，十滴時間為4.8秒及9.4秒時能生共振。其每滴水之扭動次數分別為一下及二下。(實驗廿六)

(三) 板橋：以週期性衝擊力測量板橋的固有振動週期

1. 改變橋厚：橋長60公分，橋寬2.8公分。測10滴時間（秒）

。

實驗廿七
每滴振一次

橋厚	2公釐	3公釐	5公釐
時間	1.93	1.55	0.98

實驗廿八
每滴振二次

橋厚	2公釐	3公釐	5公釐
時間	3.92	3.12	1.99

2. 改變橋寬（公分）：橋長45公分，橋厚2公釐。測10滴時間（秒）。

實驗廿九
每滴振一次

橋寬	1.4	2.8	4.2
時間	1.30	1.30	1.29

實驗卅
每滴振二次

橋寬	1.4	2.8	4.2
時間	2.60	2.58	2.56

3. 改變橋長（公分）：橋寬1.4公分，橋厚2公釐。測10滴時間（秒）。

實驗卅一
每滴振一次

橋長	30	45	60
時間	0.70	1.30	1.93

實驗卅二
每滴振二次

橋長	30	45	60
時間	1.43	2.58	3.92

六、討論

(一)軟繩吊橋之振動情形受各因素之影響如何？

1. 橋的下垂距離愈大，則振動週期愈長。各形式之振動皆如此。
2. 橋的長度愈長，則其振動週期愈長。各形式之振動皆如此。
3. 橋的振動週期和橋寬及橋的間隔無關。
4. 擺動週期為扭動週期的2倍，雙波腹振動週期為三波腹之 $\frac{3}{2}$ 。
5. 若衝擊性外力之週期和橋之某形式振動週期同，則生該共振。

(二)硬板吊橋之振動情形受各因素之影響如何？

1. 橋的振動週期和橋寬、橋長、橋厚無關。擺動或扭動皆如此。
2. 懸線愈長，則橋的擺動或扭動週期都愈長。
3. 橋的擺動週期大於扭動週期。
4. 衝擊力週期和擺動（扭動）週期相同時，則產生擺動（扭動）之共振，振幅最大。若衝擊力週期為兩倍時，也能生共振。
5. 衝擊力週期為擺動（扭動）週期的一半時，無擺（扭）動共振。

(三)板橋之振動情形受各因素之影響如何？

1. 板橋愈厚，振動週期愈短。板橋愈長，振動週期愈長。板橋上下振動週期和橋寬無關。
2. 衝擊力的週期和橋的振動週期相同時，能生最大振幅的共振。
3. 衝擊力的週期為橋的振動週期的2倍時，也能產生共振。

七、結論

- (一)我們在以上實驗中，已對各種橋的各種振動形式，研究決定其振動週期的各因素及其影響方式。日常生活中，各物體之固有振動週期，可依此類推，而略知其基本因素之影響。
- (二)我們在以上實驗中，利用週期性衝擊力之簡易裝置，測出振動衰減甚快的物體的固有振動週期。日常生活中，形狀複雜不易計算；且又振動衰減甚快、不易直接測量其固有振動週期的物體，正可利用此週期性衝擊力裝置測量之。
- (三)我們在以上的實驗中，已對週期性衝擊力和物體振動之關係詳加研究。衝擊力之週期和物體固有振動週期相同時，會產生最大振幅的共振。若為兩倍時，也能生共振。這點在日常生活中以及各種工程設計中，如能特加留意，當可避免共振之發生，使機械耐用、工程壽命增長、人員安全無慮。

評語

以靈巧的方式利用水鐘的原理驅動吊橋的振動與扭動，從而測量橋的自然振動頻率，本實驗設計靈敏，富創意。