

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 物理科

最佳團隊合作獎

040105

不晃-會撞到地上-3D 模擬波動現象

學校名稱：國立宜蘭高級中學

作者： 高二 秦子恒 高二 吳旻 高二 林奎良 高二 林宇鈞	指導老師： 林世維
--	--------------

關鍵詞：駐波 橫波 共振

壹、摘要

波與波間干涉時，有相消性干涉與相長性干涉，當其為相長性干涉，就會將振幅加大，在高中物理教科書中學習到波的現象—波的傳播、波動函數、干涉、駐波等，但僅止於 1-dim 及 2-dim 之討論，且討論單純橫波及縱波現象，在此以一彈簧連接成一立方體模型來討論不同方式振動在 3-dim 空間中之波動現象，並以此延伸探討地震及海嘯諸多問題及研究。

貳、研究動機

一、2002 發生的「331」大地震，地震震央位於花蓮秀林東方 44.3 公里規模為 6.8 級，屬於淺層地震，處震央附近之花蓮災情並不嚴重，反而讓遠在百公里以外的大台北地區產生重大災情，台北盆地的地層是由相當厚的軟質沖積土覆蓋在岩層上方所構成，當地震波由地底傳至盆地時，由盆地底部通過鬆軟地層後再從地表反射回基盤面。震波從堅硬的基盤很容易進入鬆軟的地層，但相反地由沉積層要再返回基盤卻相對比較困難，於是地震波便會在地表與基盤或山邊之間來回反彈，並產生波的『干涉』。這引起了整組組員之好奇，在知悉當遠方地震波傳到盆地下方岩層後，震波再由岩層向上傳佈，經過多次反射、折射效應，使得傳到地表之地震波會產生放大效果，也就是所謂的盆地效應後。本組希望能有更深一層之了解後，決定展開實驗。

二、南亞大海嘯發生時，沖向陸地的巨浪，速度可達每秒數十公尺，造成整個地區很大的損失和傷害，當看到這情形本組也對波的傳遞產生了更大的興趣和好奇心。而且，海水由海面沖向陸地，至少經過幾十秒的時間，也就是這些海水「持有」這些動能至少達幾十秒。



參、研究目的：

一、流體內縱波速度如下：

$$V = \sqrt{\frac{B}{\rho}}, \text{ 其中 } \rho \text{ 為密度, } B \text{ 為 bulk modulus, } B = -\Delta P / (\Delta V / V)$$

二、在不同介質層(垂直位置)中橫波與縱波傳播速度之差異及現象研究。

三、不同形式振動之共振駐波研究。

四、地震之盆地效應、共振效應及聚焦效應之研究。

五、海嘯現象之研究。

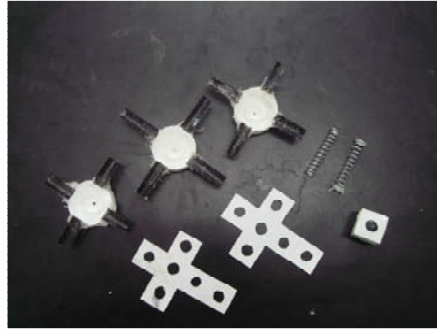
肆、研究設備及器材：

一、實驗器材：模型組一組(以下是說明此模型組)

二、實驗器材之製作過程：

(一).彈簧之製作：在彈簧一端塗上熱熔膠，將其立在已固定之彈珠上，使其與彈珠之圓形表面吻合。待其冷卻，以美工刀將其剝下。此時彈簧一端會被填滿，其弧度會吻合彈珠表面。另一端之處理亦然。

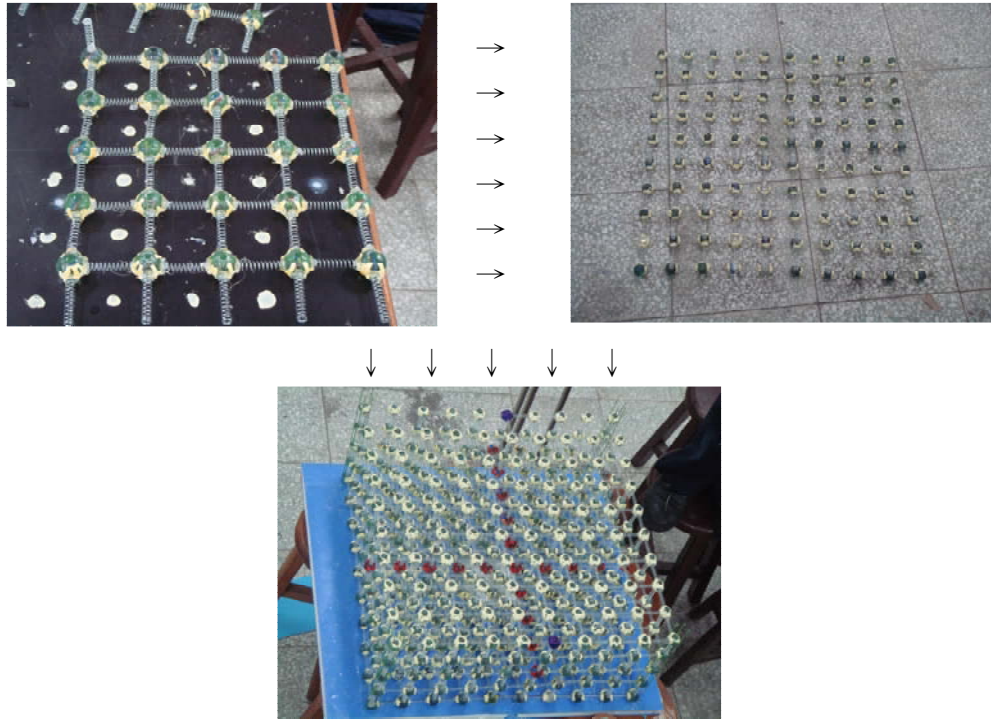
(二).平面模型之製作：本組製造了一種模器，為用某廠牌之牙膏蓋(呈圓柱形，內有凹槽，可固定彈珠)，在其四端(90度 180度 270度 360度)分別接上對半剖切之吸管。彈簧藉由吸管之校正，即可使彈簧接上彈珠之四端。在彈簧一端塗上快乾膠使其與彈珠貼合...製成5乘5之模型。



(三).在經過許多次測試後，認為先在原本彈簧與彈珠之黏接處塗上一圈之熱熔膠後在上油漆並等候其陰乾最為牢固。

(四).立體模型之組裝：4組5乘5之模型構成10成10之底盤(即為一層)。然後5乘5一小層一小層搭上去。分別由右上及左下兩路進行，至於上下之對準及校正，本組採用之方式為在5乘5之周圍頂點每間隔1個彈珠便再下顆彈珠之四周固定4根鉛直之鐵絲。彈簧即可由鐵絲之固定堆疊上去。再由另行製作之板子(上有4乘5的孔，可校正對準之位置，可固定44排。另一排便進行接合之動作。)一層一層由下往上搭建而成





伍、研究過程或方法：

一、架 V8 使用兩橫桿橫跨彈珠正上方，自製腳架以固定。

二、實驗一：

V8 從上空俯視紀錄各質點的運動過程，觀察縱波和橫波的運動，計算各波在系統內的速度，剛開始先震動各個不同的質點，測出不同的質點傳出波的速率，每個質點的速率會不同

三、實驗二：

接著制定座標系(x,y,z) ，震動(0.04)的彈珠，採用圓形震動(偏振)→振動面在 x-y 平面上，以方便記錄各個質點運動之軌跡已及振動的大小，觀察 x-y-z 三方向之各質點橫向及縱向之震動模式。

四、實驗三：

縱波的波速與介質密度及體彈性係數之關係：
$$V = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

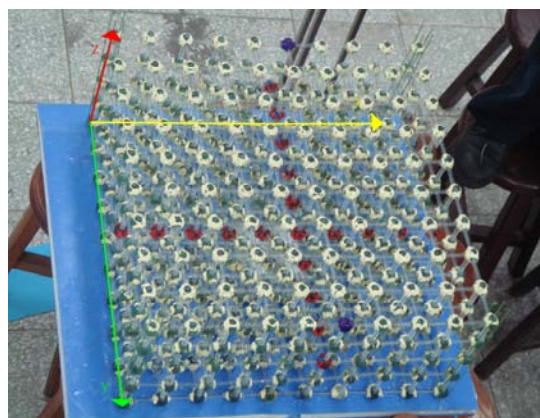
我們在模型上方，施予壓力 ΔP 使模型體積產生 ΔV 之變化，即可求算 B 值，再求其體密度 ρ ，即可求算縱波傳播之理論波速。再與實驗測得之縱波波速做比較。

五、實驗四：

測出在這系統中介值傳送速度，接著在用塑膠板把整個系統圍起來，在此系統中就類似於台北盆地，塑膠板為外圍的堅硬山脈地層，依靠著震動各個不同質點，觀察有無盆地放大效應，找出相對應之質點，研究盆地效應是如何放大。

六、實驗五：

對最上層其中一顆彈珠，施予一垂直向下瞬間擾動，研究最上層二維空間之能量震盪模式之研究



陸、研究結果：

一、各層之變化波速，經由電腦放慢測出震動第五層(最上層)最旁邊的彈珠

組別 波類型	第一次	第二次	第三次	第四次	平均 秒數	平均速 率 m/s
縱波 (傳播時間)	0.063s	0.048s	0.061s	0.056s	0.057s	10.526
橫波 (傳播時間)	0.255s	0.251s	0.221s	0.253s	0.245s	2.449

震動第四層最旁邊的彈珠

組別 波類型	第一次	第二次	第三次	第四次	平均 秒數	平均速 率 m/s
縱波 (傳播時間)	0.072s	0.063s	0.061s	0.076s	0.068s	8.764
橫波 (傳播時間)	0.281s	0.263s	0.277s	0.279s	0.275s	2.185

震動第三層最旁邊的彈珠

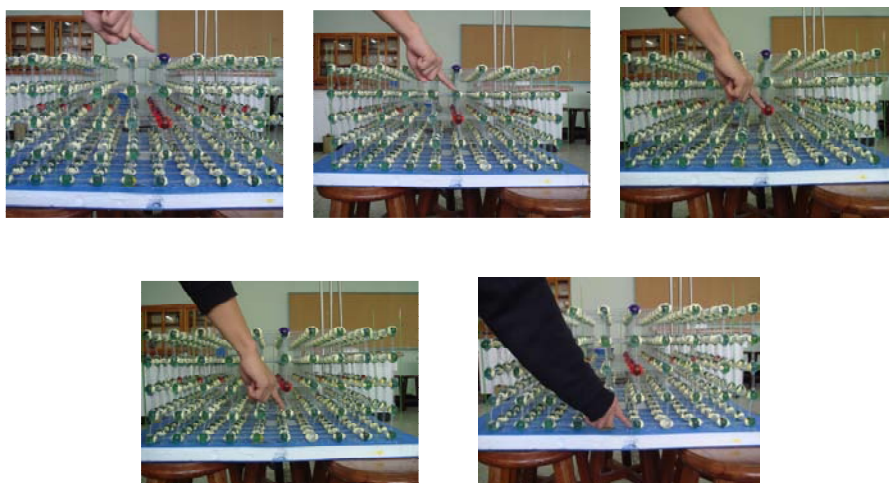
組別 波類型	第一次	第二次	第三次	第四次	平均 秒數	平均速 率 m/s
縱波 (傳播時間)	0.089s	0.078s	0.073s	0.084s	0.081 s	7.427
橫波 (傳播時間)	0.336s	0.320s	0.297s	0.315s	0.317 s	1.886

震動第二層最旁邊的彈珠

組別 波類型	第一次	第二次	第三次	第四次	平均秒 數	平均速 率 m/s
縱波 (傳播時間)	0.101s	0.095s	0.124s	0.112 s	0.108 s	5.552
橫波 (傳播時間)	0.392s	0.399s	0.412s	0.405 s	0.402 s	1.493

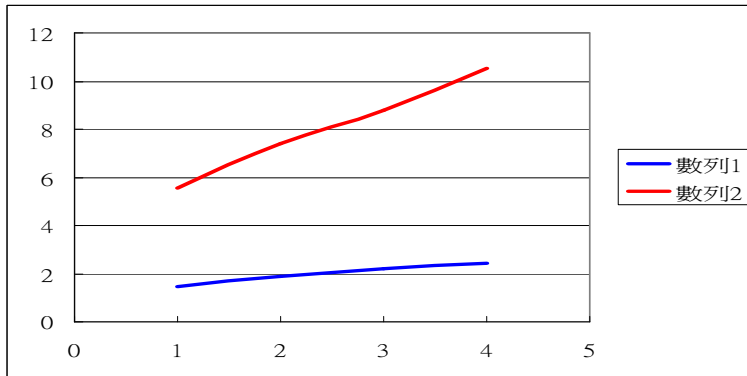
震動第一層最旁邊的彈珠

因為第一層於最底下，磨擦力過大，固造成波的傳送不明顯，所以所測數據不予採用。



彈珠 長：60 公分 寬：60 公分 高 5 層：30 公分
 波速=距離/時間

高度 \ 波速率	最底層	第二層	第三層	第四層	第五層
橫波速率 m/s	 	1.493m/s	1.886m/s	2.185m/s	2.449m/s
縱波速率 m/s	 	5.552m/s	7.407m/s	8.764m/s	10.526m/s



縱波與橫波的
 四層比較
 (縱軸為 m/s)
 (橫軸為層)
 數列 1：橫波
 數列 2：縱波

表 1

二、接著制定座標系(x,y,z)，以方便記錄各個質點運動之軌跡已及振動的大小

(一)、一開始先震動(0.0.4)採用圓形震動(偏振)→振動面在 x-y 平面上

先看 x 軸的彈珠[(0.0.4)~(9.0.4)]

T_1 時間(0.0.4)到(4.0.4)彈珠的變化

cm \ 彈珠	(0.0.4)	(1.0.4)	(2.0.4)	(3.0.4)	(4.0.4)
X 方向振幅	 	0.24 cm	0.49 cm	0.31 cm	0.15 cm

T_1 時間(5.0.4)到(9.0.4)彈珠的變化

cm \ 彈珠	(5.0.4)	(6.0.4)	(7.0.4)	(8.0.4)	(9.0.4)
X 方向振幅	0.04 cm	0.24 cm	0.45 cm	0.21 cm	0.04 cm

T_2 時間(0.0.4)到(4.0.4)彈珠的變化

cm \ 彈珠	(0.0.4)	(1.0.4)	(2.0.4)	(3.0.4)	(4.0.4)
X 方向振幅	 	0.15 cm	0.29 cm	0.24 cm	0.10 cm

T_2 時間(5.0.4)到(9.0.4)彈珠的變化

cm \ 彈珠	(5.0.4)	(6.0.4)	(7.0.4)	(8.0.4)	(9.0.4)
X 方向振幅	0.07 cm	0.21 cm	0.35 cm	0.23 cm	0.12 cm

T_3 時間(0.0.4)到(4.0.4)彈珠的變化

cm \ 彈珠	(0.0.4)	(1.0.4)	(2.0.4)	(3.0.4)	(4.0.4)
x 方向振幅	 	0.11 cm	0.26 cm	0.17 cm	0.02 cm

T_3 時間(5.0.4)到(9.0.4)彈珠的變化

cm \ 彈珠	(5.0.4)	(6.0.4)	(7.0.4)	(8.0.4)	(9.0.4)
x 方向振幅	0.06 cm	0.15 cm	0.29 cm	0.13 cm	0.07 cm

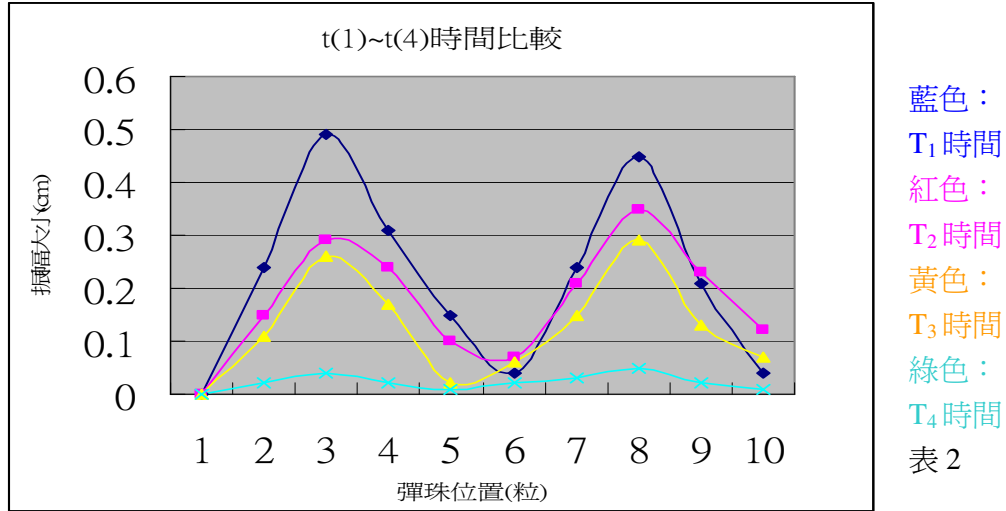
T₄時間(0.0.4)到(4.0.4)彈珠的變化

cm \ 彈珠	(0.0.4)	(1.0.4)	(2.0.4)	(3.0.4)	(4.0.4)
x 方向振幅		0.02 cm	0.04 cm	0.02 cm	0.01 cm

T₄時間(5.0.4)到(9.0.4)彈珠的變化

cm \ 彈珠	(5.0.4)	(6.0.4)	(7.0.4)	(8.0.4)	(9.0.4)
x 方向振幅	0.02 cm	0.03 cm	0.05 cm	0.02 cm	0.01 cm

X 軸方向震幅不同時間比較



看 y 軸的彈珠[(0.0.4)~(0.9.4)]

T₁時間(0.0.4)到(0.4.4)彈珠的變化

cm \ 彈珠	(0.0.4)	(0.1.4)	(0.2.4)	(0.3.4)	(0.4.4)
y 方向振幅		0.12 cm	0.38 cm	0.47 cm	0.24 cm

T₁時間(0.5.4)到(0.9.4)彈珠的變化

cm \ 彈珠	(0.5.4)	(0.6.4)	(0.7.4)	(0.8.4)	(0.9.4)
y 方向振幅	0.22 cm	0.40 cm	0.42 cm	0.37 cm	0.13 cm

T₂時間(0.0.4)到(0.4.4)彈珠的變化

cm \ 彈珠	(0.0.4)	(0.1.4)	(0.2.4)	(0.3.4)	(0.4.4)
y 方向振幅		0.19 cm	0.33 cm	0.39 cm	0.25 cm

T₂時間(0.5.4)到(0.9.4)彈珠的變化

cm \ 彈珠	(0.5.4)	(0.6.4)	(0.7.4)	(0.8.4)	(0.9.4)
y 方向振幅	0.13 cm	0.21 cm	0.31 cm	0.22 cm	0.07 cm

T₃ 時間(0.0.4)到(0.4.4)彈珠的變化

cm \ 彈珠	(0.0.4)	(0.1.4)	(0.2.4)	(0.3.4)	(0.4.4)
y 方向振幅		0.07 cm	0.28 cm	0.16 cm	0.09 cm

T₃ 時間(0.5.4)到(0.9.4)彈珠的變化

cm \ 彈珠	(0.5.4)	(0.6.4)	(0.7.4)	(0.8.4)	(0.9.4)
y 方向振幅	0.05 cm	0.19 cm	0.27 cm	0.11 cm	0.04 cm

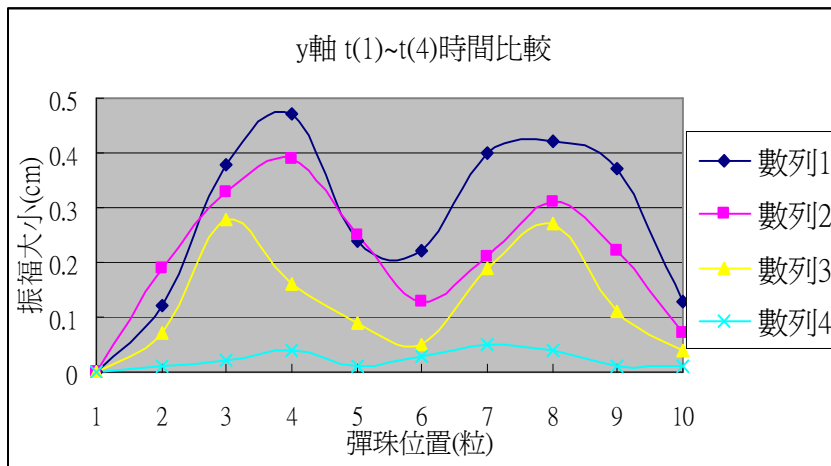
T₄ 時間(0.0.4)到(0.4.4)彈珠的變化

cm \ 彈珠	(0.0.4)	(0.1.4)	(0.2.4)	(0.3.4)	(0.4.4)
y 方向振幅		0.01 cm	0.02 cm	0.04 cm	0.01 cm

T₄ 時間(0.5.4)到(0.9.4)彈珠的變化

cm \ 彈珠	(0.5.4)	(0.6.4)	(0.7.4)	(0.8.4)	(0.9.4)
y 方向振幅	0.03 cm	0.05 cm	0.04 cm	0.01 cm	0.01 cm

Y 軸方向震幅不同時間比較



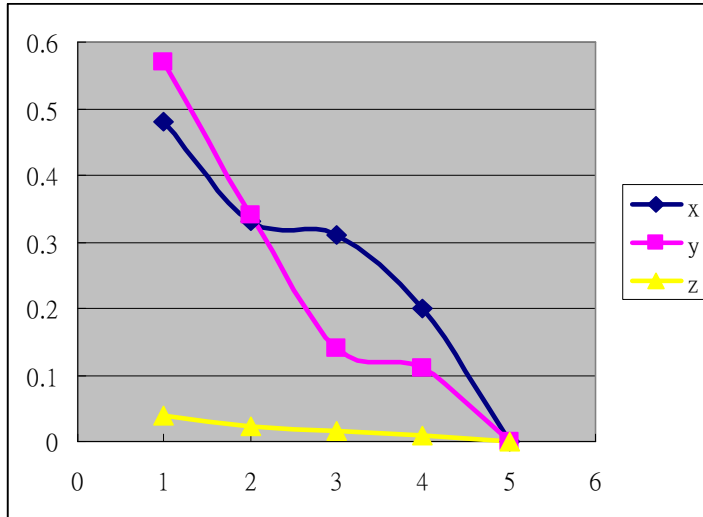
藍色：T₁
時間
紅色：T₂
時間
黃色：T₃
時間
淺藍：T₄
時間

表 3

看 z 軸的彈珠[(0.0.4)~(0.0.0)]

(0.0.4)到(0.0.0)彈珠不同層數最大震幅

Cm \ 彈珠	(0.0.4)	(0.0.3)	(0.0.2)	(0.0.1)	(0.0.0)
x 方向振幅	0.48 cm	0.33 cm	0.31 cm	0.2 cm	0.00 cm
y 方向振幅	0.57 cm	0.34 cm	0.14 cm	0.11 cm	0.00 cm
z 方向振幅	0.038 cm	0.023 cm	0.015 cm	0.010 cm	0.000 cm

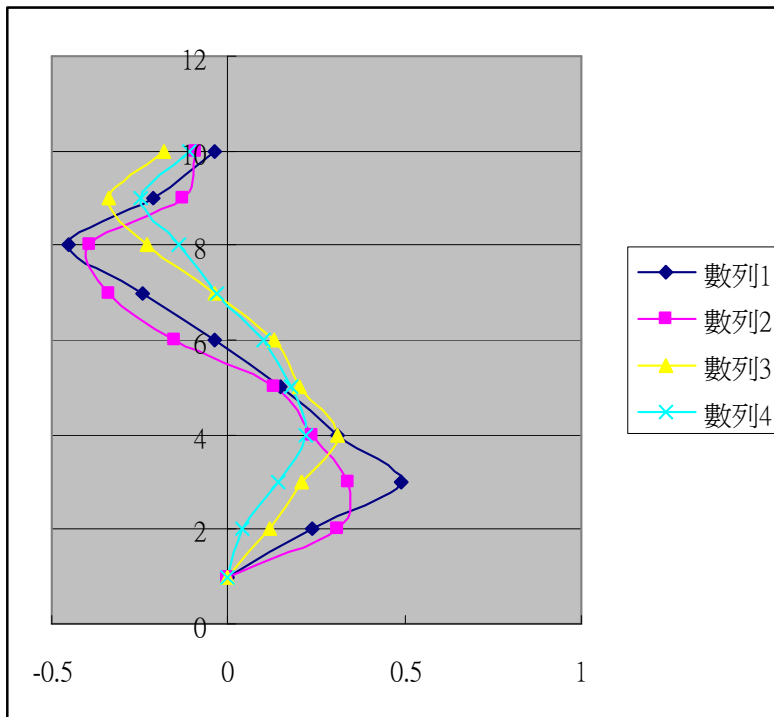


x 座標變化
y 座標變化
z 座標變化

縱軸為振幅
(單位 cm)
橫軸為第幾層
(單位層)

表 4

(二)、再依序的震動底層的彈珠，震動方式和頻率和之前相同，測出所有可能產生之變化，比較每層所產生的波形，和相關之變化，各層之振幅也各不相同。(0.0.4)~(9.0.4)X 軸方向的四層腹點震動時最大之位移比較

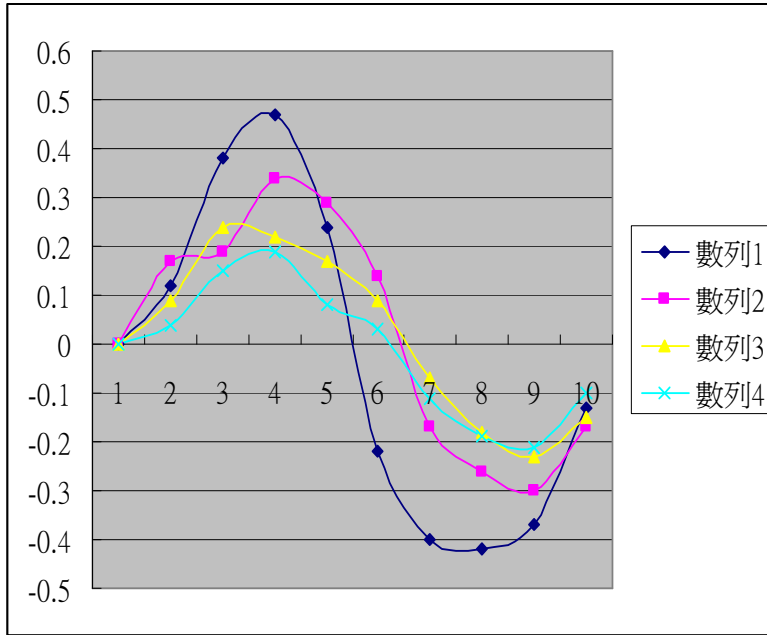


數列 1 :
最上層
數列 2 :
第四層
數列 3 :
第三層
數列 4 :
第二層

橫軸為振幅
縱軸為第幾層

表 5

(0.0.4)~(9.0.4)Y 軸方向的四層腹點震動時最大位移之比較



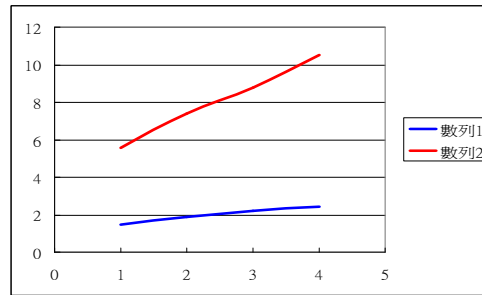
數列 1 :
最上層
數列 2 :
第四層
數列 3 :
第三層
數列 4 :
第二層

縱軸為振幅
橫軸為第幾層

表 6

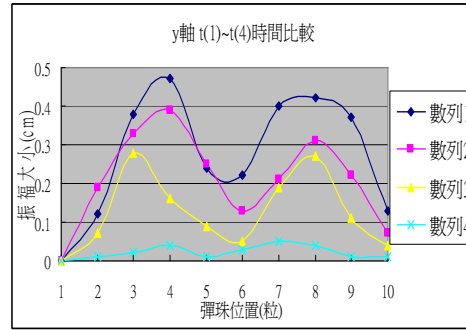
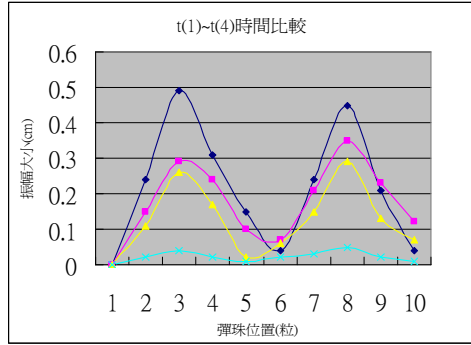
柒、討論：

一、由表 1 我們可以明顯的比較出縱波的速度，不管是再哪一層都遠大於橫波，而在此圖中可看出縱波速率隨垂直高度上升而上升的斜率較大，而橫波較小，此可比較出縱波在地質層中速率之變化也大於橫波之速率之變化，再由折射原理，可預知縱波、橫波傳播路徑，縱波較橫波彎曲，與地層中振波的傳送路徑有相同之處。

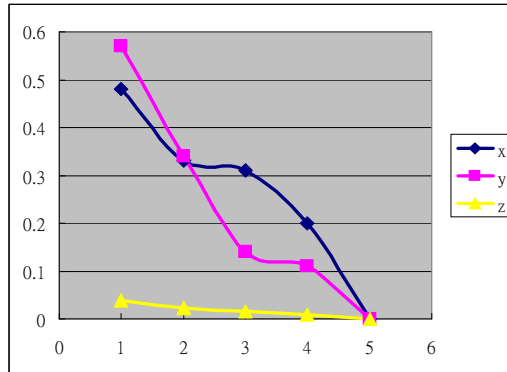


二、由 $n_2/n_1 = V_1/V_2 = \sin \theta_1 / \sin \theta_2$ 由此我們可推論，地層之折射率由下往上遞減，以我們的模型相仿。

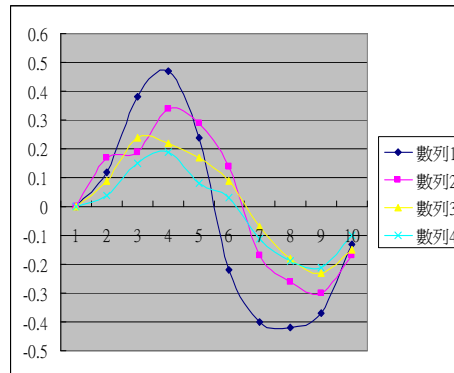
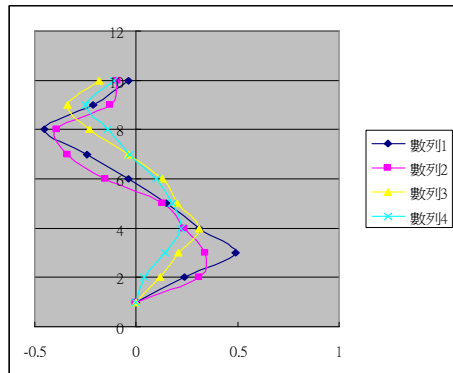
三、表 2、3 可以看出節點與腹點的位置，節點處應該是完全相消干涉，已導致該處幾乎沒有什麼震動，而腹點處震幅最大處，是波之完全相長干涉造成該處波的振幅因此加大造成共振。



四、表 4 中對於 z 軸 x、y 軸的振幅都可算是橫波，但節點和腹點好像看不太清楚，分析和看不太出來在哪處，將會繼續探討以找出 z 軸方向的變化之詳細關係圖



五、而當我們震動底層之彈珠時，因為各層會有不同的反射現象，所以我們由表 5、6 也發現到愈到上層所相長干涉的現象較明顯，振幅也因此放大了許多



六、而對於海嘯，時間因素無法做很深入的研究，而數據也無法進行有效之分析和整理，目前我們只有稍為觀察出波的傳遞可能會在比較淺的地方被放大

七、由於時間的關係，我們無法達到預期，目前只做了初步的了解，如果有機會我們將會進行更深入的了解，未來的將進行剩餘不足之探討，以及海嘯現象之研究，希望可以有更精確的實驗結果，敬請拭目以待以下是我們初步實驗的了解

捌、結論：

一、由上述之數據顯示各質點傳出的速率略有不同，中間(第三層)震動時橫波較慢約為 0.318 秒左右，縱波傳遞速度較快約為 0.081 秒，各層的速率也不同。

二、震動時越靠近上層也就是地表波的傳送速率會加快，最上層時橫波大約為 0.245 秒而縱波也變快為 0.057

三、因為板子會不斷反彈波，使之產生駐波，部分彈珠移動的幅度大幅的增加，某些彈珠震動的幅度會減小，有些甚至因在節點而不動

四、能量會一直累積，使腹點處的振幅不斷的加大

五、周期接近時，搖晃所引起之震動則較為顯著，共振現象就會更加的明顯，中西部盆地週期範圍大概是 0.4-0.62 之間

六、搖晃方式有其特有的固定周期，該周期稱為「固有周期」本系統經測出其固定的週期大約：橫波週期 0.322

七、波再很深的地方震動時，所有的能量會因為傳到淺的地方，能量會因此壓縮，造成淺的那邊彈珠搖晃的幅度加大很多，波在傳遞過程中遭到壓縮

八、質點的軌跡在深處時會類似圓形的軌跡，但到了淺處的時和會被壓縮成有點類似橢圓形，震動也加大很多

玖、參考文獻：

國家行政會科學委員會

朝陽科技大學 營建工程系 碩士論文

【評語】 040105 不晃-會撞到地上-3D 模擬波動現象

此作品之實作能力相當強，能夠建造一個如此大的模型，顯見其分工合作之能力相當不錯，但沒能用此模型去探討更為接近的物理現象，如晶格振動，而用其去解釋流體不規則排列的波動是最可惜之處。