

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生活與應用科學(二)科

探究精神獎

082931

”粉”飾太平～探究不同粉漿之抗震表現

學校名稱：新北市永和區永和國民小學

| | |
|---|---------------------|
| 作者： 小五 吳冠甫 小五 吳苡臻 小五 陳泓澍 小六 黃琰泰 | 指導老師： 羅琪季 賴姿璇 |
|---|---------------------|

關鍵詞：振動、抗震、粉漿

摘要

車子行經水泥路面或地面減速帶，常因強烈振動而帶來極不舒服的顛簸感。我們將「非牛頓流體」及「水泥沙漿」以不同比例調製出「**另類粉漿**」，製成具有抗震效果的減速帶和腳踏車道，以解決行路難平的困擾。

首先，我們找出非牛頓流體特性明顯、且表現穩定的濃度 3:2 玉米粉漿，和水泥沙漿以八種比例調配，除以彈力球施測；並將粉漿製成減速帶，以可調速動力車探究粉漿之振動表現；甚至自製 300 公分長的粉漿腳踏車道，進行實車測試，證實調配比例「5:1 的混合粉漿」抗震表現優於水泥沙漿約 2 倍以上。若能將此另類粉漿應用到防撞條、運動遊樂場地的防撞墊、工廠機器的防震墊、步道的透水磚等，不僅提昇生活品質，更能減少對水泥的依賴及汙染。

壹、研究動機

「這絕對不只是非牛頓流體！」在確定「粉漿的抗震表現」這個研究主題之後，一開始，我們認為非牛頓流體之「遇強則強，遇弱則弱」的特性非常有趣，如果能善用這種「時而流體，時而固體」的特性，應該能夠減緩行經水泥路面或減速帶的顛簸感。然而，在蒐集研讀相關資料之後，卻發現非牛頓流體製成之產品有不少負面評價，在高速行駛之下，此種材質的路面或減速帶所產生的強烈振動更甚於一般水泥製品。

我們的研究陷入了瓶頸，難道，在快速與慢速、顛簸與抗震之間，就沒有另一種選擇了嗎？不死心的我們經過幾番討論及實作，恍然大悟，為什麼只能在水泥和非牛頓流體之間作選擇呢？為什麼不能自製「另一種」粉漿車道或減速帶呢？一念之間的轉換，開啟了後續辛苦又有趣的實驗！

我們觀察現有的減速帶有水泥、金屬、橡膠等材質，這類材質不像非牛頓流體有著黏彈的特質，如果我們能善用非牛頓流體的特性，又能將其的高速行駛下產生的負面效果消除或減弱，自製「另類粉漿」應用於減速帶或腳踏車道，如此不只能減少震盪帶來的不適感，還能減少大量使用水泥所造成的環境汙染。

★與課程相關單元：自然與生活科技領域 康軒版五上第三單元「水溶液」

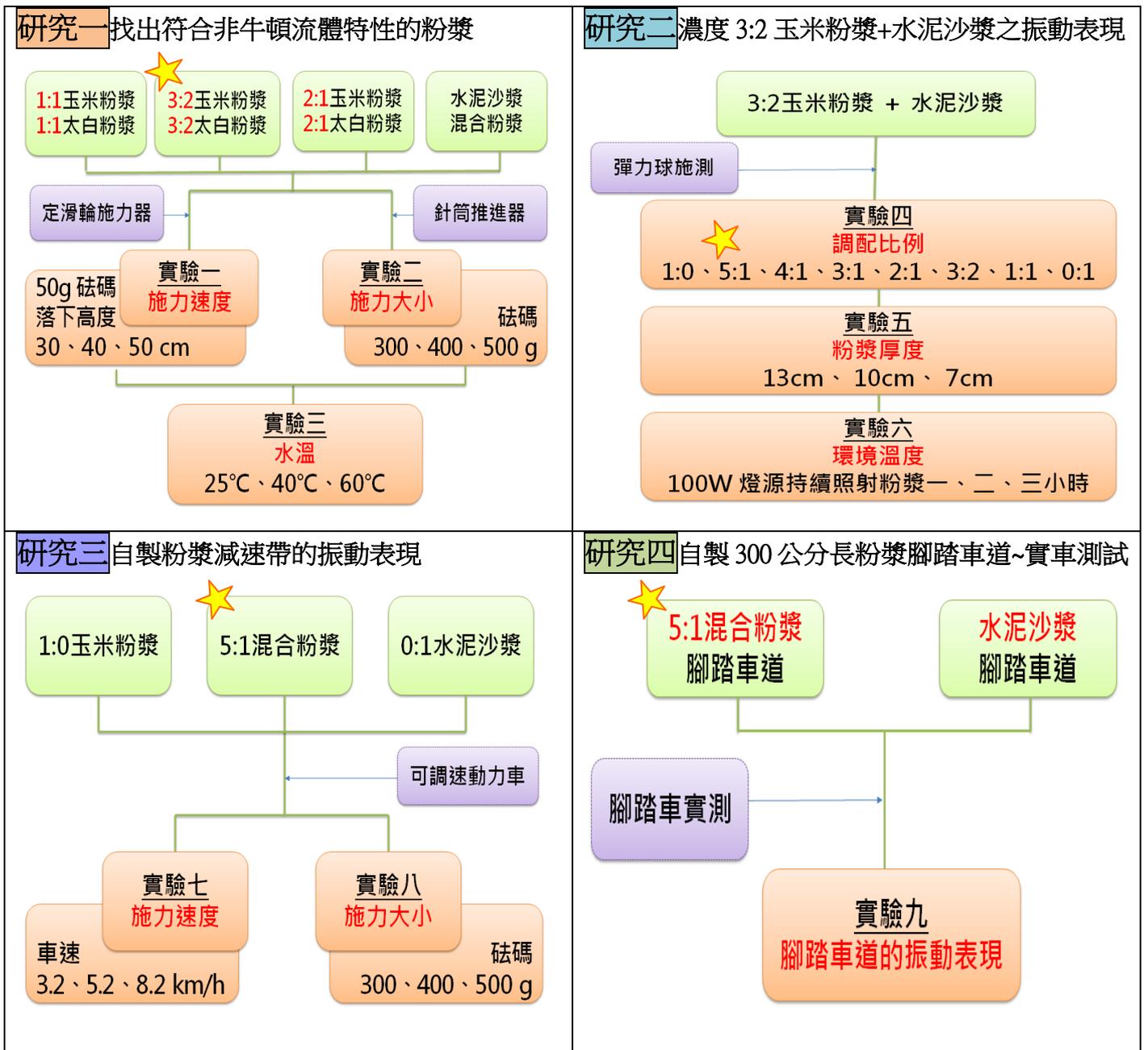
貳、研究目的

- 一、探究不同粉漿是否符合非牛頓流體的特性
- 二、探究不同粉漿（水泥沙漿摻入非牛頓流體）的振動表現
- 三、探究不同粉漿應用於減速帶之振動表現
- 四、自製粉漿的實際應用--腳踏車道的振動表現

參、研究設備及器材

一、實驗設計

依據研究目的，我們設計了以下實驗：



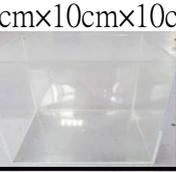
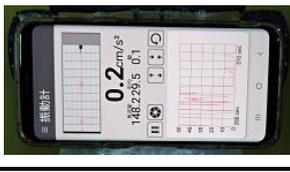
二、自製器材

| 項目 | 1. 自製針筒推進器 | 2. 自制定滑輪施力器 | 3. 自製粉漿減速帶 | | |
|------|--|---|---|-----|----------|
| 照片 |  |  | 純玉米(1:0) | 5:1 | 純水泥(0:1) |
| 製作方式 | <p>材料：針筒、塑膠固定板、竹筷、塑膠籃、砝碼、瓦楞板</p> <p>步驟：</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)將針筒以塑膠板及竹筷固定。 (2)將(1)固定於塑膠籃，增加針筒噴射高度。 (3)將黑色瓦楞板置於針筒下方，以觀察粉漿受力後噴出圖樣。 (4)將不同重量的砝碼置於針筒上方，以控制施力大小。 | <p>材料：定滑輪組、砝碼、透明盒</p> <p>步驟：</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)組裝定滑輪。 (2)於抗力端掛上砝碼，於施力端拉繩將砝碼拉至設定高度。 (3)放開拉繩，砝碼落入透明盒內的粉漿上。 | <p>材料：各種粉漿、粉漿包裝袋、自製木箱</p> <p>步驟：</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)在木箱內先鋪好粉漿包裝袋，以免水份漏出。 (2)調製粉漿，置於包裝袋內。 (3)在粉漿半乾時將減速帶拉出，另行固定，以免未乾的減速帶塌陷，影響施測結果。 <p>*另有自製粉漿腳踏車道，詳見研究四。</p> | | |

三、實驗器材

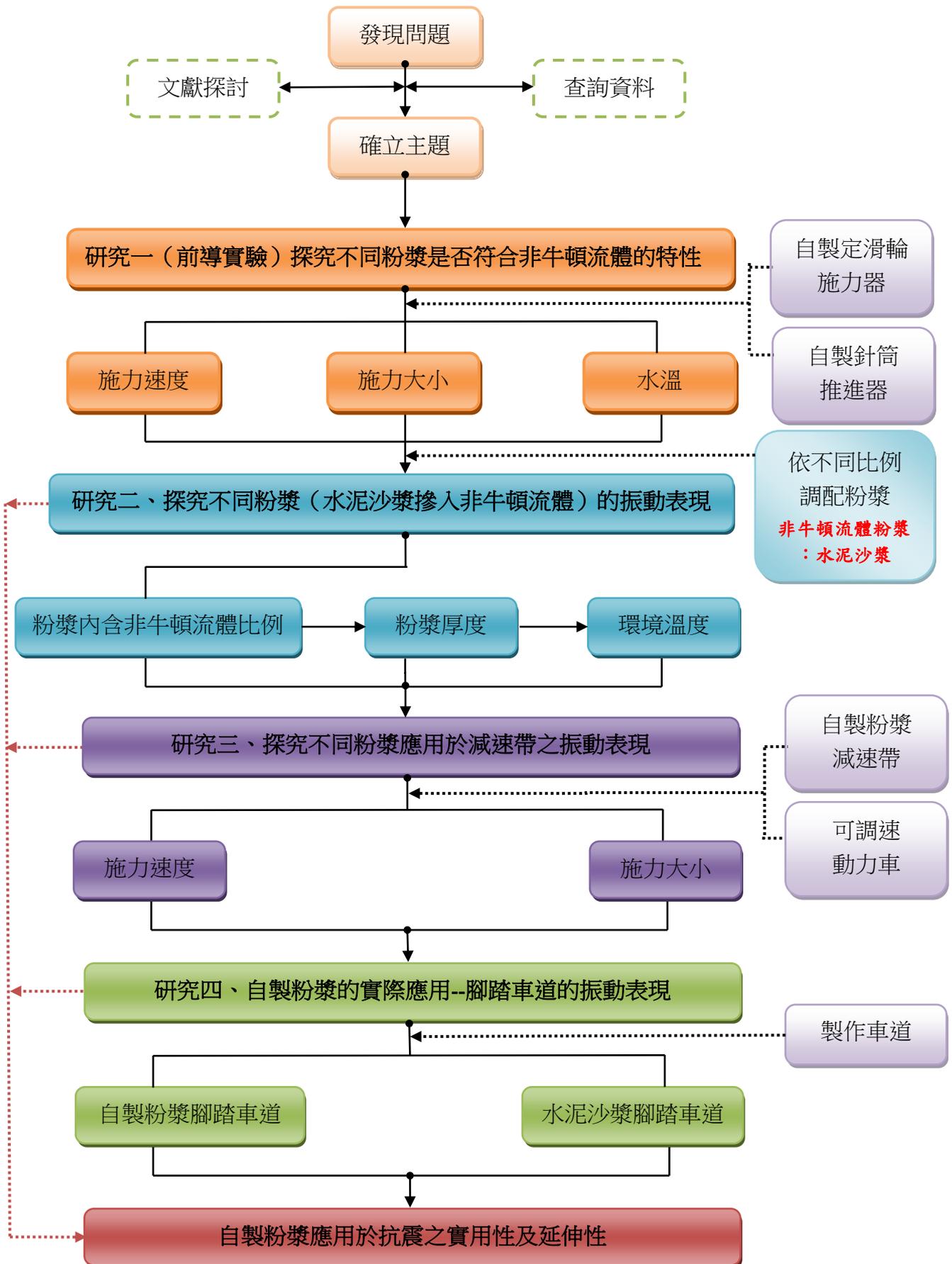
| 電子秤 | 彈力球 | 可調速動力車 | 變速腳踏車 | 腳踏車車速碼表 |
|---|---|---|--|---|
|  |  |  |  |  |

四、實驗材料

| 玉米粉 | 太白粉 | 水泥 | 沙子 | | |
|---|---|--|---|-----|-----|
|  |  |  |  | | |
| 正方體透明盒 | 砝碼 | 針筒 | 手機(含振動計) | | |
| 10cm×10cm×10cm  |  |  |  | | |
| 其他材料 | | | | | |
| 攪拌棒 | 量杯 | 捲尺 | 鐵尺 | 溫度計 | 熱熔膠 |

肆、研究過程及方法

一、研究架構圖



二、研究方法

(一) 研究一（前導實驗）：探究不同粉漿是否符合非牛頓流體的特性

- 實驗一**：探究**施力速度**對不同粉漿之影響
 - 準備不同粉末，有玉米粉、太白粉、水泥摻入沙子、水泥摻入沙子和玉米粉。
 - 關於粉漿的濃度，我們彙整各家研究，**依粉與水 2:1、3:2、1:1 的重量比，調配不同濃度之粉漿**。
 - * 關於「**水泥沙漿**」，經詢問建築工人，**水泥、沙子、水的最適重量比為 1:2:1**。
 - 將粉漿倒入透明盒至 5cm 高處。
 - 在自製定滑輪施力器上放上 50g 的砝碼，調整砝碼底部至粉漿表面之高度為 30cm、40cm、50cm。
 - 將固定重量的砝碼分別由不同高度落下，代表施力速度的不同，觀察並記錄砝碼完全沒入粉漿的時間，判斷是否符合非牛頓流體的特性。
 - * 砝碼完全沒入粉漿時間：自砝碼底部觸及粉漿表面開始計時，至砝碼頂端完全沒入粉漿截止。
- 實驗二**：探究**施力大小**對不同粉漿之影響
 - 準備玉米粉、太白粉進行本實驗。至於水泥摻入沙子、水泥摻入沙子和玉米粉，因在實驗一中發現兩者在攪拌後即硬化，無法施測。
 - 依粉與水 2:1、3:2、1:1 的重量比，調配不同濃度之粉漿。
 - 在自製針筒推進器上分別放上 300g、400g、500g 的砝碼，針筒內盛裝的粉漿容量固定為 50cc。
 - 以不同重量的砝碼代表施力大小之不同，分別將針筒內固定容量的粉漿向前推進，每隔一分鐘記錄推進程度，連續記錄五分鐘，觀察各種粉漿受力後被推進的程度及粉漿受壓後噴出的現象，判斷是否符合非牛頓流體的特性。
- 實驗三**：探究**水溫**對不同粉漿之影響
 - 依實驗一、二，選擇符合非牛頓流體特性的數種粉漿及粉水比例進行本實驗。
 - * 根據後續實驗結果，最符合非牛頓流體特性的粉水比例為 3:2。
 - 將 30g 的粉末分別倒入常溫（25°C）、40°C、60°C 的水中（水量 20 cc）。

- (3)以節拍器固定攪拌速率為 60BPM，並以攪拌棒攪拌粉漿 30 次。
- (4)觀察粉漿在不同水溫下攪拌前、攪拌後、靜置一小時、靜置一天所呈現的狀態，記錄溫度對非牛頓流體固化現象的影響。

(二) 研究二：探究不同粉漿（水泥沙漿摻入非牛頓流體）的振動表現

1. **實驗四**：探究粉漿內含非牛頓流體比例對粉漿振動表現之影響

- (1)依研究一所得結果，選擇符合非牛頓流體特性的粉漿進行實驗。
- (2)考量現行減速帶的水泥材質，我們將「非牛頓流體粉漿」依 1:0、5:1、4:1、3:1、2:1、3:2、1:1、0:1 的重量比摻入「水泥沙漿」中，其中，調配比例 1:0 代表純非牛頓流體粉漿，0:1 代表純水泥沙漿。
- (3)將總量 80g 的粉漿倒入塑膠杯中。
- (4)將彈力球於距粉漿表面 50cm 高度處落下，以攝影機錄下彈力球觸及粉漿後彈起的瞬間狀態，擷取彈力球彈起的最高高度。
- (5)依彈力球彈起的高度，比較不同調配比例粉漿的振動表現，彈起高度越低，表示振動程度越小，粉漿的抗震表現越佳。



2. **實驗五**：探究粉漿厚度對粉漿振動表現之影響

- (1)依實驗四所得結果，選擇抗震表現最佳的數種粉漿進行本實驗。
- (2)將粉漿倒入 700 cc 的透明杯，粉漿厚度分別為 13cm、10cm、7cm。
- (3)將彈力球於距粉漿表面 50cm 高度處落下，以攝影機錄下彈力球觸及粉漿後彈起的瞬間狀態，擷取彈力球彈起的最高高度。
- (4)依彈力球彈起的高度，比較各種粉漿在不同厚度下的振動表現。



3. **實驗六**：探究環境溫度對粉漿振動表現之影響

- (1)依實驗四、五所得結果，選擇抗震表現最佳的粉漿進行本實驗。
- (2)將粉漿倒入 700 cc 的透明杯，粉漿厚度固定為 7cm。
- (3)以 100W 的燈源持續照射粉漿，在一小時、二小時、三小時後以彈力球施測。
- (4)將彈力球於距粉漿表面 50cm 高度處落下，以攝影機錄下彈力球觸及粉漿後彈起的瞬間狀態，擷取彈力球彈起的最高高度。
- (5)依彈力球彈起的高度，比較粉漿在不同環境溫度下的振動表現。



(三) 研究三：探究不同粉漿應用於減速帶之振動表現

1. **實驗七**：探究**施力速度**對粉漿減速帶振動表現之影響

- (1)依研究二所得結果，選擇數種振動程度較小（抗震表現較佳）的粉漿及純水泥沙漿進行本實驗。
- (2)將「非牛頓流體粉漿」依上述重量比摻入「水泥沙漿」，以製作實驗用粉漿。
- (3)將完成的粉漿製成減速帶，粉漿厚度及減速帶坡度固定。
- (4)將手機（含振動計軟體）固定於動力車上，測量車子行經減速帶的振動表現。
- (5)將動力車置於距減速帶前緣 100cm 處，調整車速為 3.2km/h（慢速）、5.2 km/h（中速）、8.2 km/h（快速），表示動力車對減速帶施力速度之不同。
- (6)啟動動力車，以攝影機錄下車子行進過程，檢視車子行經減速帶的振動數據。
- (7)比較各種粉漿在不同車速（施力速度）下的振動表現，振動程度越小，粉漿的抗震表現越佳。



2. **實驗八**：探究**施力大小**對粉漿減速帶振動表現之影響

- (1)同實驗七，以數種振動程度較小（抗震表現較佳）的粉漿及純水泥沙漿製成減速帶，粉漿厚度及減速帶坡度固定。
- (2)將 300g、400g、500g 的砝碼分別置於動力車上，以調整車子的重量（空車重量 760g），代表動力車對減速帶施力大小之不同。
- (3)將動力車置於距減速帶前緣 100cm 處，車速固定為 8.2 km/h（快速）。
- (4)啟動動力車，以攝影機錄下車子行進過程，檢視車子行經減速帶的振動數據。
- (5)比較各種粉漿在不同車重（施力大小）下的振動表現，振動數據越小，粉漿的抗震表現越佳。



(四) 研究四：自製粉漿的實際應用--腳踏車道的振動表現

在研究一至三的各项實驗中，都是以自製器材、彈力球、動力車施測，為求實驗結果的嚴謹，我們衡量自己的能力及現今風行的腳踏車運動，以上述實驗中抗震表現最佳的粉漿製成腳踏車道，在車速（施力速度）與重量（施力大小）固定的條件之下，比較「自製粉漿車道」和「一般水泥沙漿車道」的振動表現，以實際驗證研究一至三的實驗結果，並期望能將其推廣應用至其他領域。

實驗九：探究自製粉漿腳踏車道的振動表現

- (1)依研究一至三的實驗結果，選擇振動程度最小(抗震表現最佳)的粉漿施測。
- (2)自製內徑長 300 cm×寬 50 cm×高 10 cm的大型木盒，以盛裝粉漿製成車道。
- (3)將調配好的粉漿倒入車道，粉漿厚度為 7 cm。
- (4)將有振動計軟體的手機固定於腳踏車上，以測得腳踏車行經車道的振動表現，並以攝影機錄下腳踏車在車道上行進的情形。
- (5)選擇水泥車道，設定施測距離為 300 cm長，重複第(4)項步驟。
- (6)比較腳踏車在兩種車道上的振動表現，振動數據越小，抗震表現越佳。

三、文獻探討

(一) 非牛頓流體：

非牛頓流體與牛頓流體相對，依流體受力後的表現不同，而有不同的分類，其中膨性流體又稱脹流性流體、剪切增稠流體，大多數固體含量多的流體都是屬於這一類。這類流體在靜止時，流體中的固體粒子處在堆砌得很緊密的狀態，粒子間空隙很小並充滿液體。當作用在懸浮液上的剪應力很大或者剪切速率很快的時候，粒子的移動速度較快，粒子間的空隙增大，懸浮體系的總體積增大，粒子間移動時的潤滑作用減小，阻力增大，引起了流體表觀粘度增大。也就是只要一攪拌，當我們施的力愈大，流體的黏滯度增加，流動變困難，體積也會增大。玉米澱粉以及沙水混合物等均屬於膨性流體。

(二) 非牛頓流體減速帶：

當汽車「緩慢」行駛過減速帶時，內部的非牛頓流體呈流體狀態；一旦汽車「快速」通過減速帶，內部的非牛頓流體粘度迅速增大，甚至流體瞬間變為固態。

(三) 振動：

當物質或機械在平衡位置出現位移或機械震盪現象，就稱為振動。它是週期性現象（像是單擺動作），或為隨機現象（像是輪胎在石子路上的動作）。物件振動方式有兩種：自由振動與強迫振動。振動單位可用公制單位 (m/s^2) 及(cm/s^2)或重力常數單位「g」來表示，其中 $1 g = 9.81 m/s^2$ 。

伍、研究結果

研究一（前導實驗）：探究不同粉漿是否符合非牛頓流體的特性

【實驗一】探究**施力速度**對不同粉漿之影響

一、實驗結果：

我們將玉米粉、太白粉、水泥摻入沙子、水泥摻入沙子和玉米粉，各依不同粉水比例調製粉漿施測，每種粉漿分別依砝碼墜落高度（施力速度）之不同，記錄砝碼完全沒入粉漿時間，再根據實驗數據平均值分析，結果如下所示：

（一）粉漿濃度 **1:1**

在粉末和水等重的情形之下，不論玉米粉漿或太白粉漿，50g 的砝碼均在瞬間（不到 0.1 秒）即完全沒入粉漿中，詳見表 1-1、1-2、圖 1-1、1-2 所示：

表 1-1 砝碼沒入**玉米粉漿**時間表
粉漿濃度~**1:1**

| 完全沒入時間(秒) 砝碼高度(cm) | (1) | (2) | (3) | 平均 時間 |
|-----------------------|-----|-----|-----|------------|
| 30cm (慢速) | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 40cm (中速) | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 50cm (快速) | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |

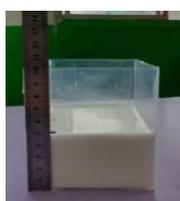


圖 1-1 濃度 **1:1** 的**玉米粉漿**

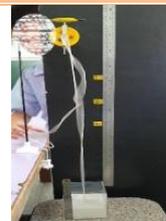


表 1-2 砝碼沒入**太白粉漿**時間表
粉漿濃度~**1:1**

| 完全沒入時間(秒) 砝碼高度(cm) | (1) | (2) | (3) | 平均 時間 |
|-----------------------|-----|-----|-----|------------|
| 30cm (慢速) | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 40cm (中速) | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 |
| 50cm (快速) | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |



圖 1-2 濃度 **1:1** 的**太白粉漿**



我們還發現在攪拌粉漿的過程中，濃度 1:1 的玉米粉漿和太白粉漿都呈現如水般的流體狀態，不會固化。不過，玉米粉漿還是比太白粉漿濃稠，太白粉漿相較之下更容易攪拌。此外，兩種粉漿靜置一段時間後，會出現粉水分離的固化現象，但我們認為這是粉漿中的粉末沉澱及水份蒸發所致，與非牛頓流體無關。

（二）粉漿濃度 **3:2**

在粉末重量是水重的 1.5 倍時，玉米粉漿和太白粉漿在受力後，有不同的表現如表 1-3、1-4 及圖 1-3、1-4 所示：

表 1-3 砝碼沒入**玉米粉漿**時間表
粉漿濃度~**3:2**

| 完全沒入時間(秒) 砝碼高度(cm) | (1) | (2) | (3) | 平均 時間 |
|-----------------------|-----|-----|-----|----------|
| 30cm (慢速) | 3.2 | 3.7 | 3.7 | 3.5 |
| 40cm (中速) | 3.3 | 3.9 | 3.4 | 3.6 |
| 50cm (快速) | 5.1 | 5.3 | 4.7 | 5.0 |



圖 1-3 濃度 **3:2** 的**玉米粉漿**



表 1-4 砝碼沒入**太白粉漿**時間表
粉漿濃度~**3:2**

| 完全沒入時間(秒) 砝碼高度(cm) | (1) | (2) | (3) | 平均 時間 |
|-----------------------|-----|-----|-----|----------|
| 30cm (慢速) | 1.7 | 1.7 | 2.0 | 1.8 |
| 40cm (中速) | 2.8 | 2.7 | 2.1 | 2.5 |
| 50cm (快速) | 4.7 | 5.9 | 4.4 | 5.0 |



圖 1-4 濃度 **3:2** 的**太白粉漿**



在攪拌粉漿的過程中，我們發現濃度 3:2 的玉米粉漿和太白粉漿都比濃度 1:1 的粉漿難攪拌，且兩者在攪拌受力後都呈現固化現象，而玉米粉漿比太白粉漿更濃稠，攪拌起來非常吃力。

(三) 粉漿濃度 **2:1**

在粉末重量是水重的 2 倍時，玉米粉漿呈現塊狀及粉狀的固態，水完全被吸乾，無法攪拌；而太白粉漿則呈現糰狀的固態，也是無法攪拌，砝碼根本不可能沒入其中，如圖 1-5 及 1-6 所示：



圖 1-5 濃度 **2:1** 的**玉米粉漿**



圖 1-6 濃度 **2:1** 的**太白粉漿**

(四) **水泥沙漿** (水泥、沙子、水的比例為 1:2:1)

水泥沙漿就是一般建築用水泥，攪拌時並不費力，但調製完成不久即硬化，砝碼根本無法沒入，因此，在研究一後續實驗中，我們不再就水泥沙漿施測。

(五) **水泥沙漿** 摻入 **濃度 3:2 的玉米粉漿** (兩者比例為 1:1)

在完成前述實驗後，我們發現濃度 3:2 的玉米粉漿具有明顯的非牛頓流體特性，而水泥沙漿攪拌過後一段時間即硬化。因此，我們突發奇想，如果能在水泥沙漿中摻入玉米粉漿，是否會產生不一樣的結果？於是，我們在水泥沙漿中摻入濃度 3:2 的玉米粉漿，施測結果如表 1-5 所示：

表 1-5 砝碼沒入水泥沙漿+玉米粉漿時間表

| 完全沒入時間(秒) | (1) | (2) | (3) | 平均時間 |
|-----------|------|------|------|------|
| 砝碼高度(cm) | | | | |
| 30cm (慢速) | 80 | 72 | 73 | 75 |
| 40cm (中速) | 無法沒入 | 無法沒入 | 無法施測 | |
| 50cm (快速) | 無法施測 | 無法施測 | 無法施測 | |

在高度 40cm 時，砝碼經 5 分鐘仍沒有完全沒入粉漿，於是我們進行第二次施測，等了 10 分鐘砝碼還是無法完全沒入粉漿，以手觸摸可感到粉漿已硬化。推測因粉漿中含有一半的水泥沙漿，以致混合後的粉漿還是呈現水泥的硬化狀態，在後續研究二至研究四的實驗中，我們嘗試調整水泥沙漿和玉米粉漿的比例，也就是降低水泥沙漿的比例，而有了不同的實驗結果呈現。

二、實驗分析：

由表 1-1 至表 1-5 及圖 1-1 至圖 1-6 的實驗結果，我們發現下列事項：

- (一) 濃度 1:1 的玉米粉漿和太白粉漿在各種施力速度之下，都呈現如水般的流體狀態，並不會因受力而產生固化現象，也就是並不符合非牛頓流體的特性。
- (二) 濃度 3:2 的玉米粉漿和太白粉漿在施力速度越快的情形之下，也就是砝碼從越高處（50 cm處）落下，砝碼完全沒入粉漿的時間就越長。換言之，瞬間施力速度越快，玉米粉漿和太白粉漿的黏滯度增加，流動變困難，固化現象越明顯，使砝碼越不容易沒入，兩種粉漿都符合非牛頓流體的特性。
- (三) 在砝碼落下高度為 30 cm和 40 cm時，砝碼完全沒入 3:2 的玉米粉漿所費時間比太白粉漿長，這也符合在攪拌過程中發現的玉米粉漿較為濃稠、較不易攪拌的現象，也就是 3:2 的玉米粉漿瞬間受力後的固化現象比太白粉漿更明顯。
- (四) 濃度 2:1 的玉米粉漿和太白粉漿在攪拌前就呈現固態，水完全被吸乾，根本無法攪拌，並不符合非牛頓流體的特性。
- (五) 以 1:2:1 的水泥、沙子、水所調製的水泥沙漿，攪拌起來不太費力，也就是並不會因為瞬間受力而明顯固化。
- (六) 水泥沙漿摻入濃度 3:2 的玉米粉漿在 1:1 的調配比例之下，攪拌後即硬化。

結論

1. 濃度 3:2 的玉米粉漿和太白粉漿都符合非牛頓流體的特性。
2. 濃度 3:2 的玉米粉漿比太白粉漿在瞬間受力後產生更明顯的固化現象。

【實驗二】 探究**施力大小**對不同粉漿之影響

一、實驗結果：

依據實驗一的施測結果，水泥沙漿在攪拌後不久即硬化，因此，我們只針對不同濃度的玉米粉漿、太白粉漿進行本實驗，以自製針筒推進器施測，觀察每種粉漿在不同砝碼重量（施力大小）之下，針筒內粉漿被推進的程度及受壓後噴出的現象。再根據實驗數據平均值分析，結果如下所示：

(一) 粉漿濃度 **1:1**

在粉末和水等重的情形之下，玉米粉漿和太白粉漿在針筒內受到不同重量的砝碼推進，50 cc 的粉漿均以非常快的速度噴出，在一分鐘內就完全流光，詳見表 2-1、2-2 及圖 2-1、2-2 所示：

表 2-1 **玉米粉漿**受砝碼推進時間表
粉漿濃度~1:1

| 粉漿流光時間(秒) 砝碼重量(g) | (1) | (2) | (3) | 平均 時間 |
|----------------------|-----|-----|-----|----------|
| 300g (施力小) | 24 | 60 | 57 | 47.0 |
| 400g (施力中) | 26 | 22 | 20 | 22.7 |
| 500g (施力大) | 15 | 14 | 17 | 15.3 |

表 2-2 **太白粉漿**受砝碼推進時間表
粉漿濃度~1:1

| 粉漿流光時間(秒) 砝碼克數(g) | (1) | (2) | (3) | 平均 時間 |
|----------------------|-----|-----|-----|----------|
| 300g (施力小) | 30 | 25 | 28 | 27.7 |
| 400g (施力中) | 18 | 18 | 14 | 16.5 |
| 500g (施力大) | 13 | 12 | 12 | 12.2 |



圖 2-1 **玉米粉漿**受砝碼推進圖
粉漿濃度~1:1



圖 2-2 **太白粉漿**受砝碼推進圖
粉漿濃度~1:1

(二) 粉漿濃度 **3:2**

在粉末重量是水重的 1.5 倍時，玉米粉漿和太白粉漿被砝碼推進的速度都變慢了，到了一分鐘，針筒內還留有許多粉漿，因此，我們將觀察時間延長至五分鐘，每隔一分鐘就記錄粉漿被推進的程度，連續記錄五分鐘。且為避免粉漿受力後固化影響下一次實驗結果，每施測完一次，我們就將針筒清洗乾淨，重新調製粉漿再繼續施測，實驗結果詳見表 2-3、2-4 及圖 2-3、2-4：

表 2-3 玉米粉漿受砝碼推進程度表
粉漿濃度~3:2

| 粉漿被推進程度(cc) 砝碼重量(g) | (1) | (2) | (3) | 平均 推進 |
|------------------------|-----|-----|-----|------------|
| 300g (第 1 分鐘) | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 1.5 |
| 300g (第 2 分鐘) | 1.5 | 1.3 | 1.1 | 1.3 |
| 300g (第 3 分鐘) | 0.4 | 0.7 | 0.9 | 0.7 |
| 300g (第 4 分鐘) | 0.6 | 0.4 | 0.1 | 0.4 |
| 300g (第 5 分鐘) | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 0.5 |
| 300g 總推進程度 | 4.0 | 4.4 | 4.5 | 4.4 |
| 400g (第 1 分鐘) | 1.5 | 1.9 | 1.7 | 1.7 |
| 400g (第 2 分鐘) | 1.5 | 0.6 | 1.2 | 1.1 |
| 400g (第 3 分鐘) | 0.1 | 0.4 | 0.6 | 0.4 |
| 400g (第 4 分鐘) | 0.4 | 0.1 | 0.5 | 0.3 |
| 400g (第 5 分鐘) | 0.5 | 0.0 | 0.5 | 0.3 |
| 400g 總推進程度 | 4.0 | 3.0 | 4.5 | 3.8 |
| 500g (第 1 分鐘) | 1.0 | 3.0 | 1.0 | 1.7 |
| 500g (第 2 分鐘) | 0.5 | 1.9 | 1.0 | 1.1 |
| 500g (第 3 分鐘) | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 0.1 |
| 500g (第 4 分鐘) | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| 500g (第 5 分鐘) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 500g 總推進程度 | 2.0 | 4.0 | 2.0 | 3.0 |

表 2-4 太白粉漿受砝碼推進程度表
粉漿濃度~3:2

| 粉漿被推進程度(cc) 砝碼重量(g) | (1) | (2) | (3) | 平均 推進 |
|------------------------|-----|-----|-----|------------|
| 300g (第 1 分鐘) | 1.0 | 2.0 | 1.0 | 1.3 |
| 300g (第 2 分鐘) | 1.0 | 0.1 | 1.0 | 0.7 |
| 300g (第 3 分鐘) | 0.1 | 0.1 | 4.0 | 1.4 |
| 300g (第 4 分鐘) | 0.4 | 2.9 | 2.0 | 1.8 |
| 300g (第 5 分鐘) | 0.1 | 1.9 | 0.5 | 0.8 |
| 300g 總推進程度 | 2.6 | 7.0 | 8.5 | 6.0 |
| 400g (第 1 分鐘) | 2.0 | 2.0 | 1.0 | 1.7 |
| 400g (第 2 分鐘) | 0.0 | 0.5 | 0.1 | 0.2 |
| 400g (第 3 分鐘) | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.2 |
| 400g (第 4 分鐘) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 400g (第 5 分鐘) | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.2 |
| 400g 總推進程度 | 2.0 | 3.5 | 1.1 | 2.3 |
| 500g (第 1 分鐘) | 2.0 | 2.5 | 1.0 | 1.8 |
| 500g (第 2 分鐘) | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 500g (第 3 分鐘) | 0.0 | 0.5 | 1.0 | 0.5 |
| 500g (第 4 分鐘) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 500g (第 5 分鐘) | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 |
| 500g 總推進程度 | 3.0 | 4.0 | 3.1 | 3.3 |

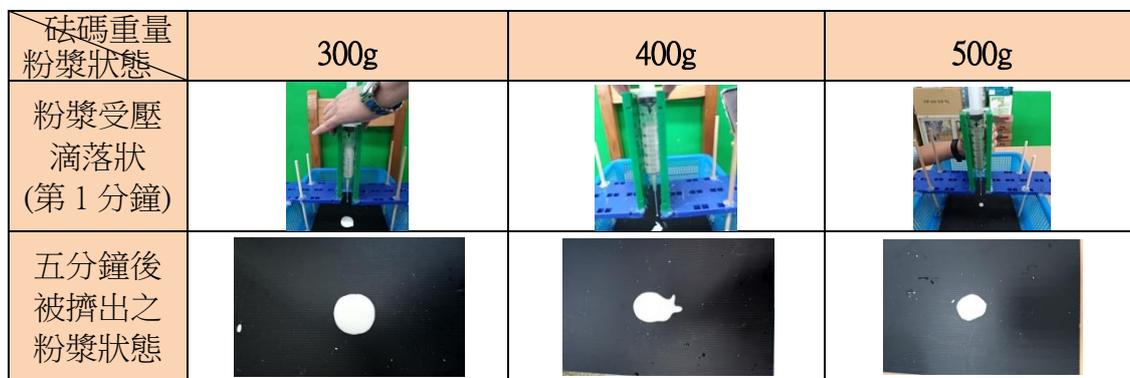


圖 2-3 玉米粉漿受砝碼推進狀態
粉漿濃度~3:2

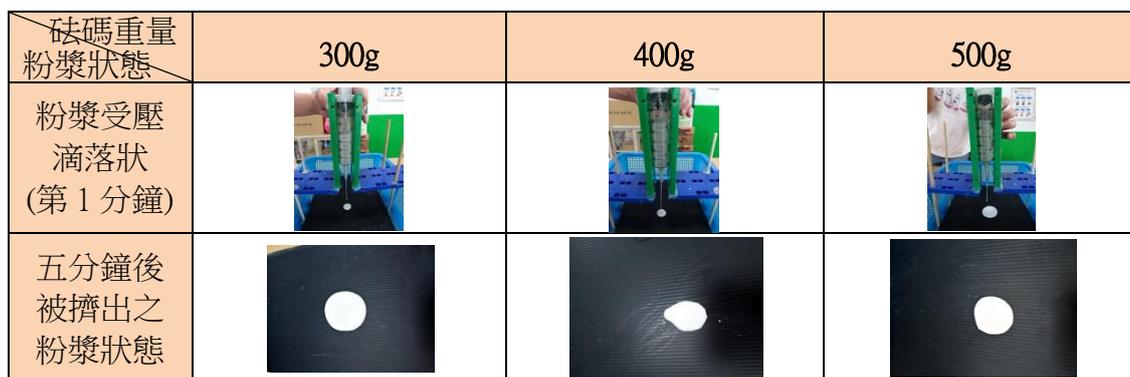


圖 2-4 太白粉漿受砝碼推進狀態
粉漿濃度~3:2

(三) 粉漿濃度 2:1

同實驗一，在粉末重量是水重的 2 倍時，調製出來的玉米粉漿及太白粉漿呈現固態，水完全被吸乾，無法攪拌，也無法被砝碼推進。

二、實驗分析：

由表 2-1 至表 2-4 及圖 2-1 至圖 2-4 的實驗結果，我們發現下列事項：

- (一) 濃度 1:1 的玉米粉漿和太白粉漿在不同施力大小之下，都呈現如水般的流體狀態，一受到砝碼施力，立刻流光，不會產生固化現象；砝碼越重（施力越大），粉漿反而被推進得越快。這並不符合非牛頓流體的特性。
- (二) 濃度 3:2 的玉米粉漿在砝碼越重的情形之下，被推進的程度越小。也就是施力越大，玉米粉漿的黏滯度增加，流動變困難，固化現象明顯，也就越不容易被推進。符合非牛頓流體的特性。
- (三) 濃度 3:2 的太白粉漿以第 1 分鐘的推進程度來看， $500g > 400g > 300g$ ，也就是砝碼越重（施力越大），太白粉漿反而越容易被推進；而以總推進程度來看， $300g > 500g > 400g$ ，並無規律性。不論從第 1 分鐘或是總推進程度來看，3:2 的太白粉漿表現較不穩定，所以，在後續的實驗中，我們只以玉米粉漿施測。
- (四) 濃度 3:2 的玉米粉漿和太白粉漿在不同施力大小之下，都是第 1 分鐘推進程度最大，第 3 分鐘起就變得很難推進，甚至不太動了。我們在清洗針筒時發現：針筒下半部的粉漿較硬，上半部的粉漿較稀軟，推測原因可能是下半部的粉漿受力較大，產生明顯的固化現象，致使上半部的粉漿不易被推進。因此，砝碼施力時間越長，粉漿被推進的程度反而變小了。
- (五) 濃度 2:1 的玉米粉漿和太白粉漿呈現固態，水完全被吸乾，根本無法施測，並不符合非牛頓流體的特性。

結論

1. 濃度 3:2 的玉米粉漿和太白粉漿都是在受力的瞬間較明顯被推進，持續施力則因粉漿已固化，不容易再被推進。
2. 綜觀實驗一和實驗二，3:2 的玉米粉漿都符合非牛頓流體的特性。
3. 綜觀實驗一和實驗二，濃度 1:1 和 2:1 的玉米粉漿及太白粉漿都不符合非牛頓流體的特性；濃度 3:2 的太白粉漿則表現較不穩定。因此，在後續研究二至研究四的實驗中，我們只以「濃度 3:2 的玉米粉漿」施測。

【實驗三】 探究水溫對不同粉漿之影響

一、實驗結果：

依據實驗一及二所得結果，我們選擇非牛頓流體特性較明顯的粉漿--濃度 3:2 的玉米粉漿及太白粉漿進行本實驗，觀察以 25°C（常溫）、40°C、60°C 的水溫所調製之粉漿，在攪拌前、攪拌後、靜置一小時及靜置一天所呈現的狀態，施測質性描述如表 3-1、3-2 及圖 3-1、3-2 所示：

| 表 3-1 水溫對濃度 3:2 玉米粉漿之影響 | | | | 表 3-2 水溫對濃度 3:2 太白粉漿之影響 | | | |
|-------------------------|----------------------------|------------------------------------|--|-------------------------|---|----------------|------------------------------|
| 狀態 水溫 | 攪拌前/ 攪拌時 | 攪拌後 | 靜置一小時 | 狀態 水溫 | 攪拌前/ 攪拌時 | 攪拌後 | 靜置一小時 |
| 25°C | * 玉米粉顆粒較太白粉稍粗 * 很硬，很難攪拌 | * 比 40°C 和 60°C 的玉米粉漿濃稠，也比太白粉漿濃稠 | * 粉水分離（粉在下，水在上），但水量只有一點點（約 0.1cm 高） * 摸起來有點彈性 | 25°C | * 太白粉顆粒較細 * 比玉米粉漿容易攪拌 * 25°C 和 40°C 比 60°C 不易攪拌 | * 比融化的冰淇淋再濃稠一點 | * 上層沒有那麼濃稠，下層較硬有彈性 |
| 40°C | * 比 25°C 容易攪拌 | * 像快要融化的冰淇淋，比太白粉漿還要濃稠 | 同上 | 40°C | 同上 | 同上 | 同上 |
| 60°C | * 比 25°C 和 40°C 更容易攪拌 | * 沒有 25°C 和 40°C 的玉米粉漿濃稠，但仍比太白粉漿濃稠 | 同上 | 60°C | * 比 25°C 和 40°C 的太白粉漿容易攪拌，也比 60°C 的玉米粉漿容易攪拌，但仍有濃稠的感覺 | 同上 | * 和 25°C 及 40°C 的狀態不太一樣，變得很硬 |



圖 3-1 濃度 3:2 玉米粉漿攪拌後靜置狀態

圖 3-2 濃度 3:2 太白粉漿攪拌後靜置狀態

靜置一天後，三杯不同水溫的玉米粉漿之外觀及觸感並無差異，都仍保有彈性。25°C 的太白粉漿表面變硬，但仍有彈性；40°C 的太白粉漿上層較硬，下層則濃濃稠稠的，可以攪拌，需較費力；60°C 的太白粉漿則完全固體化。

二、實驗分析：

由表 3-1、3-2 及圖 3-1、3-2 的實驗結果，我們發現下列事項：

- (一) **玉米粉漿**在水溫越低時，越不容易攪拌，且攪拌後呈現非常濃稠的狀態；反之，水溫越高，則越容易攪拌，攪拌後沒有低溫時那麼濃稠。
- (二) **太白粉漿**則在水溫 25°C 和 40°C 時，沒有太大差異，都比玉米粉漿容易攪拌；但在水溫 60°C 時，剛開始太白粉漿比玉米粉漿容易攪拌，但慢慢變得非常硬，最後成為固態，沒有彈性，無法攪動，我們推測是 60°C 的水讓太白粉變熟了。
- (三) 靜置一小時後，**玉米粉漿**因水溫已經降低（回到常溫），三杯粉漿都呈現粉水分離的狀態（水只有約 0.1cm 高），摸起來有點彈性。
- (四) 靜置一小時後，水溫 25°C 和 40°C 的**太白粉漿**上層沒有那麼濃稠，下層較硬有彈性；但 60°C 的水溫使太白粉漿變成固體，完全無法再攪拌，我們推測高水溫使太白粉質地完全改變了。
- (五) 靜置一天後，三杯不同水溫的**玉米粉漿**表現差異不大；**太白粉漿**則呈現不一樣的狀態。但兩種粉漿的共同點是即使不再受力，也都無法恢復成流體狀態。
- (六) 玉米粉漿是因為施力攪拌而使粉漿變得濃稠固化，這並非受水溫高低所影響，「水溫高容易攪拌、水溫低不易攪拌」，只是一般水溶液溶解的特性，所以，「水溫高低」和粉漿是否符合非牛頓流體的特性並無直接關係。
- (七) 玉米粉漿在不同溫度下表現較具有一致性，都符合非牛頓流體的特性；**太白粉漿**靜置一段時間後即變硬，甚至在高溫下，質地完全改變，表現較不穩定。

結論

1. 水溫和非牛頓流體的特性並無直接關聯，但玉米粉漿在不同溫度下表現較一致，都符合非牛頓流體的特性。
2. 不同水溫的玉米粉漿和太白粉漿在靜置一段時間後，恢復常溫，即使不再施力也無法呈現流體狀態，但玉米粉漿仍保有彈性，且較太白粉漿表現穩定。
3. 車道和減速帶都位於室外，長時間受溫度影響，因此，在不同溫度下表現較不穩定、甚至變質的太白粉漿並不適用於我們後續的研究。
4. 綜觀研究一的三項實驗，我們發現濃度 3:2 的玉米粉漿符合非牛頓流體的特性，且表現最為穩定，適合作為我們後續研究二至研究四的實驗基礎。

研究二：探究不同粉漿（水泥沙漿摻入非牛頓流體）的振動表現

【實驗四】探究粉漿內含非牛頓流體比例對粉漿振動表現之影響

一、實驗結果：

根據研究一，我們發現濃度 3:2 的玉米粉漿具有明顯且穩定的非牛頓流體特性，因此，我們將「3:2 的玉米粉漿」與「水泥沙漿」依 1:0、5:1、4:1、3:1、2:1、3:2、1:1、0:1 的重量比均勻混合，記錄彈力球在這八種粉漿上彈起的高度，再根據實驗數據平均值分析，實驗結果如表 4-1 及圖 4-1 所示：

表 4-1 不同調配比例粉漿的振動表現
「濃度 3:2 玉米粉漿」：「水泥沙漿」--> 彈力球彈起高度

| 調配比例 彈起高度(cm) | 1:0 | 5:1 | 4:1 | 3:1 | 2:1 | 3:2 | 1:1 | 0:1 |
|------------------|---|-----|------|----------------------------------|------|---------------------------------|------|---|
| 第一次 | 14.0 | 9.5 | 12.4 | 15.0 | 13.0 | 18.0 | 17.5 | 23.5 |
| 第二次 | 12.0 | 9.8 | 12.0 | 15.0 | 15.0 | 17.5 | 17.0 | 21.8 |
| 第三次 | 13.0 | 9.2 | 12.8 | 14.5 | 14.0 | 19.0 | 18.0 | 22.8 |
| 平均 | 13.0 | 9.5 | 12.4 | 14.8 | 14.0 | 18.2 | 17.5 | 22.7 |
| 彈起高度排序 | 6 | 8 | 7 | 4 | 5 | 2 | 3 | 1 |
| 攪拌 現象觀察 | * 攪拌時很費力 * 摸起來有彈性 * 手指可將粉漿拉起，呈丘陵狀 * 4:1 的粉漿拉起時較稀，可拉比較長 | | | * 攪拌時沒有那麼費力了 * 攪拌後摸起來很硬，像水泥地板 | | * 攪拌時更不費力了 * 攪拌後摸起來非常硬，像水泥地板 | | * 攪拌時不費力 * 表面有水，下層像爛泥巴 * 硬化後摸起來完全沒有彈性 |

註：彈起高度越高，排序數越小，表示粉漿的振動程度越大，抗震表現越差。

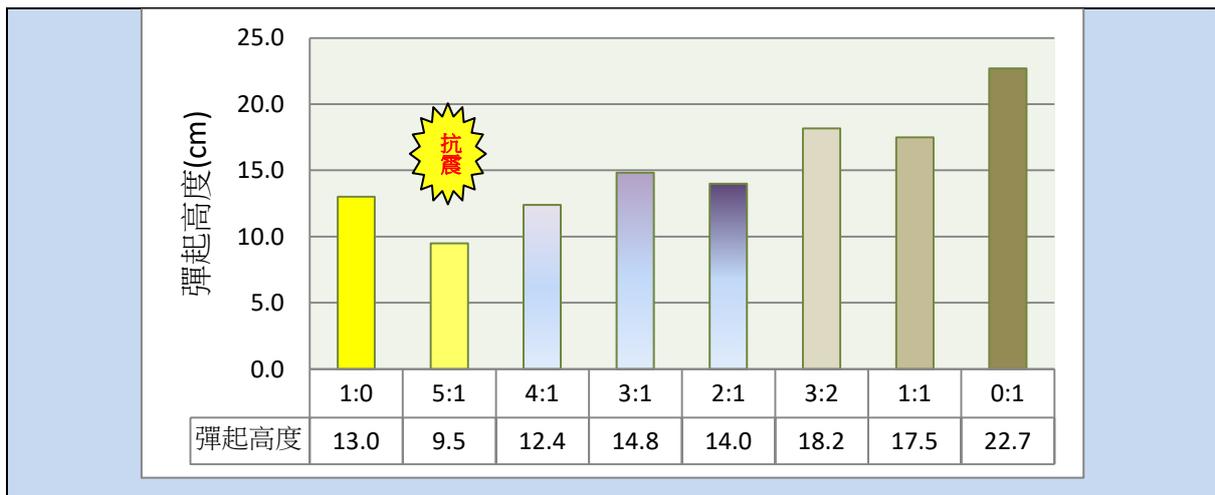


圖 4-1 不同調配比例粉漿的振動表現
「濃度 3:2 玉米粉漿」：「水泥沙漿」--> 彈力球彈起高度

二、實驗分析：

由表 4-1 和圖 4-1 的實驗結果，我們發現下列事項：

- (一) 調配比例 0:1 的純水泥沙漿，彈力球彈得最高，且高出其他粉漿頗多，比 1:1 的混合粉漿就高出了 5.2cm，顯示純水泥沙漿振動程度大，抗震表現最差。
- (二) 調配比例 3:2 和 1:1 的粉漿，其所含水泥沙漿偏多（玉米粉漿偏少），兩者彈力球彈起的高度非常接近，僅次於 0:1 純水泥沙漿，也是抗震表現較差的。
- (三) 觀察粉漿在攪拌時及攪拌後的表現，我們發現 3:1、2:1、3:2、1:1、0:1 的粉漿，隨著水泥沙漿調入比例增加（玉米粉漿減少），攪拌時越來越不費力，也就是粉漿不太因受力而產生固化現象。而粉漿靜置一段時間後變得很硬，摸起來沒有彈性，我們認為主要是受水泥的影響。
- (四) 調配比例 1:0、5:1、4:1 的粉漿，其所含玉米粉漿偏多（水泥沙漿偏少），彈力球彈起的高度偏低，振動程度小，抗震表現較佳。
- (五) 調配比例 1:0 和 4:1 的粉漿，彈力球彈起的高度非常接近，只差了 0.6cm。
- (六) 綜上所述，我們原以為調配比例 1:0 的純玉米粉漿應該最抗震，但是，實驗結果卻顯示 5:1 混合粉漿抗震表現更好，彈力球彈起的高度比 1:0 純玉米粉漿低了 3.5cm，也比 4:1 的粉漿低了 2.9cm。

結論

1. 0:1 純水泥沙漿最不抗震，3:2 和 1:1 居次，顯示內含水泥沙漿越多的粉漿抗震表現越差。而這類粉漿在攪拌時較不費力，但攪拌後不久即硬化無彈性。
2. 1:0、5:1、4:1 的粉漿最為抗震，顯示內含玉米粉漿越多的粉漿抗震表現越佳。而觀察這類粉漿在攪拌時的現象，非牛頓流體的特性較為明顯。
3. 調配比例 5:1 的混合粉漿抗震表現最佳，顯示並非全部採用玉米粉漿就是最抗震的，在玉米粉漿中摻入少量的水泥沙漿，反而能夠提昇抗震效果。

【實驗五】探究粉漿厚度對粉漿振動表現之影響

一、實驗結果：

根據實驗四所得結果，我們選擇振動程度較小（抗震表現較佳）的三種粉漿繼續施測，分別為調配比例 1:0 的純玉米粉漿、5:1 及 4:1 的混合粉漿；而考量現行減速帶之水泥材質，為便於對照比較，我們加入第四種粉漿，也就是 0:1 純水泥沙漿，共四種粉漿以 7cm、10cm、13cm 的厚度施測，記錄彈力球在不同粉漿上彈起的高度，再根據實驗數據平均值分析，實驗結果如表 5-1 所示：

表 5-1 不同厚度粉漿的振動表現 (一)
「濃度 3:2 玉米粉漿」:「水泥沙漿」--> 彈力球彈起高度

| 比例 | 1:0 | | | | | 5:1 | | | | | 4:1 | | | | | 0:1 | | | | |
|------|------|------|------|------|----|-----|-----|-----|-----|----|------|------|------|------|----|------|------|------|------|----|
| | (1) | (2) | (3) | 平均 | 排序 | (1) | (2) | (3) | 平均 | 排序 | (1) | (2) | (3) | 平均 | 排序 | (1) | (2) | (3) | 平均 | 排序 |
| 13cm | 7.5 | 8.5 | 7.5 | 7.8 | 3 | 7.8 | 7.3 | 7.3 | 7.5 | 3 | 9.0 | 9.8 | 9.0 | 9.3 | 3 | 22.8 | 20.8 | 19.8 | 21.1 | 3 |
| 10cm | 10.0 | 9.5 | 9.5 | 9.7 | 2 | 8.4 | 8.8 | 8.3 | 8.5 | 2 | 10.1 | 10.1 | 10.1 | 10.1 | 2 | 24.9 | 23.9 | 22.9 | 23.9 | 2 |
| 7cm | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 1 | 8.8 | 9.2 | 8.8 | 8.9 | 1 | 10.1 | 10.4 | 10.3 | 10.3 | 1 | 23.7 | 24.7 | 25.7 | 24.7 | 1 |

註：彈起高度越高，排序數越小，表示粉漿的振動程度越大，抗震表現越差。

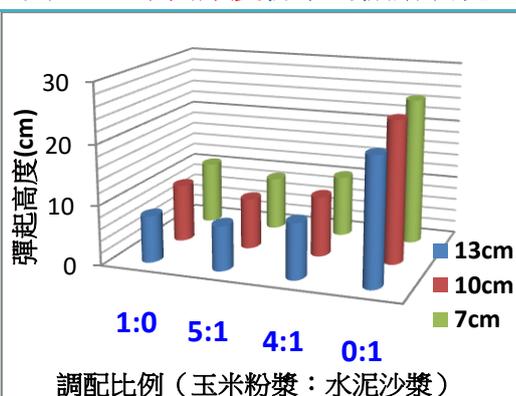
根據表 5-1，比較各種粉漿在不同厚度下的振動表現，結果如表 5-2 及圖 5-1：

表 5-2 不同厚度粉漿的振動表現 (二)
「濃度 3:2 玉米粉漿」:「水泥沙漿」--> 彈力球彈起高度

| 不同比例 彈起高度(cm) 不同厚度 | 1:0 | 5:1 | 4:1 | 0:1 |
|--------------------------|------|-----|------|------|
| 13cm | 7.8 | 7.5 | 9.3 | 21.1 |
| 13cm 排序 | 3 | 4 | 2 | 1 |
| 10cm | 9.7 | 8.5 | 10.1 | 23.9 |
| 10cm 排序 | 3 | 4 | 2 | 1 |
| 7cm | 10.5 | 8.9 | 10.3 | 24.7 |
| 7cm 排序 | 2 | 4 | 3 | 1 |

註：彈起高度越高，排序數越小，表示粉漿的振動程度越大，抗震表現越差。

圖 5-1 不同厚度粉漿的振動表現



二、實驗分析：

由表 5-1、5-2 和圖 5-1 的實驗結果，我們發現下列事項：

- (一) 表 5-1 不論調配比例 1:0、5:1、4:1 或 0:1，都呈現一致的結果，就是粉漿厚度越厚，則彈力球彈起的高度越低（振動程度越小），抗震表現越佳；粉漿厚度越薄，則彈力球彈得越高，越不抗震。
- (二) 表 5-2 不論粉漿厚度為 13cm、10cm、7cm，都呈現一致的結果，5:1 混合粉漿使彈力球彈起的高度最低（振動程度最小），抗震表現最佳；0:1 純水泥沙漿則使彈力球彈得最高（振動程度最大），最不抗震，且表現相當明顯。
- (三) 1:0 純玉米粉漿只在厚度 7 cm 時，振動程度略高於 4:1 粉漿，差距僅 0.2 cm。

結論

1. 不論在任何厚度之下，5:1 混合粉漿的抗震表現都是最好的；0:1 純水泥沙漿則最不抗震，且振動程度高出其他粉漿非常多。
2. 根據實驗四、五，我們發現 1:0 純玉米粉漿頗令人意外，它並不是最抗震的，在玉米粉漿中摻入適量的水泥沙漿，反而能夠降低振動程度，提昇抗震表現。

【實驗六】探究環境溫度對粉漿振動表現之影響

一、實驗結果：

根據實驗四、五，我們選擇振動程度最小(抗震表現最佳)的 5:1 混合粉漿 施測，並和 0:1 純水泥沙漿 比較，記錄 100W 燈源持續照射粉漿一小時、二小時、三小時後彈力球彈起的高度，再根據實驗數據平均值分析，實驗結果如表 6-1 所示：

表 6-1 不同環境溫度下粉漿的振動表現

| 100W 燈源持續照射粉漿一小時 (27.0°C) | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| 彈起高度(cm) 粉漿種類 | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | 平均 | 排序 |
| 0:1 水泥 | 22.0 | 25.0 | 26.0 | 26.0 | 24.0 | 23.0 | 24.0 | 25.0 | 24.0 | 24.0 | 24.3 | 1 |
| 5:1 混合 | 8.3 | 8.3 | 9.3 | 8.3 | 8.3 | 7.3 | 8.8 | 8.3 | 7.3 | 8.3 | 8.3 | 2 |
| 100W 燈源持續照射粉漿二小時 (30.1°C) | | | | | | | | | | | | |
| 彈起高度(cm) 粉漿種類 | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | 平均 | 排序 |
| 0:1 水泥 | 25.0 | 25.0 | 26.0 | 24.0 | 24.0 | 25.0 | 23.0 | 24.0 | 24.0 | 25.0 | 24.5 | 1 |
| 5:1 混合 | 9.3 | 9.3 | 8.8 | 8.3 | 8.8 | 9.3 | 8.8 | 8.8 | 8.3 | 8.3 | 8.8 | 2 |
| 100W 燈源持續照射粉漿三小時 (33.1°C) | | | | | | | | | | | | |
| 彈起高度(cm) 粉漿種類 | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | 平均 | 排序 |
| 0:1 水泥 | 23.0 | 27.0 | 26.0 | 26.0 | 25.0 | 26.0 | 24.0 | 24.0 | 25.0 | 24.0 | 25.0 | 1 |
| 5:1 混合 | 9.3 | 9.3 | 8.3 | 8.3 | 9.3 | 8.3 | 8.8 | 8.8 | 9.3 | 8.3 | 8.8 | 2 |

註：彈起高度越高，排序數越小，表示粉漿的振動程度越大，抗震表現越差。

二、實驗分析：

由表 6-1 的實驗結果，我們發現下列事項：

- (一) 調配比例 0:1 的純水泥沙漿 隨著燈源照射時間變長 (環境溫度升高)，彈力球彈起高度逐漸變高 (振動程度變大)，但增加幅度很小。
- (二) 調配比例 5:1 的混合粉漿，燈源持續照射至第二小時，彈力球彈起高度略微增加，但至第三小時，彈起高度沒有變化。
- (三) 不論燈源照射時間長短 (環境溫度變化)，5:1 混合粉漿使彈力球彈起的高度都遠低於 0:1 純水泥沙漿約三倍左右。

結論

- 0:1 純水泥沙漿和 5:1 混合粉漿，隨著燈源照射時間變長 (環境溫度升高)，彈力球彈起的高度都略微提高 (振動程度變大)，但增幅很小，我們認為環境溫度的變化對粉漿的振動表現 (抗震表現) 並沒有顯著影響。
- 5:1 混合粉漿在不同環境溫度下，抗震表現都優於 0:1 純水泥沙漿約三倍左右。

研究三：探究不同粉漿應用於減速帶之振動表現

【實驗七】探究施力速度對粉漿減速帶振動表現之影響

一、實驗結果：

根據研究二的實驗結果，我們發現「濃度 3:2 的玉米粉漿」摻入「水泥沙漿」在 5:1 的重量比之下抗震表現最佳，並考量以 1:0 純玉米粉漿和現行水泥減速帶作為比較基礎，我們選擇了調配比例 1:0、5:1 及 0:1 三種粉漿自製減速帶，以可調速動力車施測，動力車上裝有內含振動計軟體的手機，記錄動力車以不同車速行經各種粉漿減速帶的振動表現，每種車速分別取十個實驗數據，求取平均值分析，實驗結果如表 7-1 所示：

* 減速帶的厚度固定為 7cm。雖然依據研究二的實驗結果，粉漿越厚則抗震表現越佳，但礙於法律規定，減速帶至多為五公分高，因此，我們沒有選擇更高的厚度施測。不過，實際應用時，可將減速帶埋入地下，以解決減速帶厚度與振動表現兩難的問題。

表 7-1 粉漿減速帶在不同車速下的振動表現（一）

| 調配比例 | 1 : 0 | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|----|
| 振動(cm/s ²) 車速(km/h) | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | 平均 | 排序 |
| 3.2(慢速) | 331 | 342 | 341 | 376 | 309 | 359 | 290 | 319 | 283 | 308 | 326 | 3 |
| 5.2(中速) | 328 | 376 | 315 | 338 | 304 | 336 | 311 | 316 | 360 | 350 | 333 | 2 |
| 8.2(快速) | 411 | 421 | 476 | 443 | 432 | 436 | 438 | 449 | 389 | 434 | 433 | 1 |
| 調配比例 | 5 : 1 | | | | | | | | | | | |
| 振動(cm/s ²) 車速(km/h) | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | 平均 | 排序 |
| 3.2(慢速) | 485 | 488 | 442 | 372 | 378 | 439 | 398 | 378 | 426 | 420 | 423 | 2 |
| 5.2(中速) | 438 | 436 | 426 | 437 | 441 | 466 | 468 | 469 | 434 | 487 | 450 | 1 |
| 8.2(快速) | 333 | 355 | 374 | 389 | 474 | 433 | 355 | 475 | 423 | 442 | 405 | 3 |
| 調配比例 | 0 : 1 | | | | | | | | | | | |
| 振動(cm/s ²) 車速(km/h) | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | 平均 | 排序 |
| 3.2(慢速) | 372 | 368 | 374 | 393 | 405 | 376 | 394 | 382 | 415 | 402 | 388 | 1 |
| 5.2(中速) | 392 | 386 | 356 | 358 | 395 | 399 | 362 | 374 | 361 | 357 | 374 | 2 |
| 8.2(快速) | 345 | 394 | 392 | 360 | 369 | 338 | 385 | 343 | 356 | 340 | 362 | 3 |

註：振動數據越大，排序數越小，表示粉漿的抗震表現越差

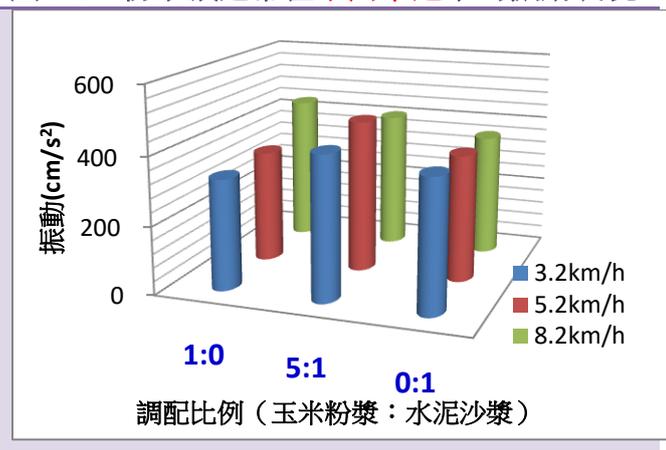
將表 7-1 的實驗數據平均值加以彙整，比較各種粉漿在不同車速（施力速度）下的振動表現，結果如表 7-2 及圖 7-1 所示：

表 7-2 粉漿減速帶在不同車速下的振動表現 (二)

| 調配比例 振動(cm/s^2) 車速(km/h) | 1 : 0 | 5 : 1 | 0 : 1 |
|--|-------|-------|-------|
| 3.2 km/h(慢速) | 326 | 423 | 388 |
| 3.2km/h 排序 | 3 | 1 | 2 |
| 5.2 km/h(中速) | 333 | 450 | 374 |
| 5.2km/h 排序 | 3 | 1 | 2 |
| 8.2 km/h(快速) | 433 | 405 | 362 |
| 8.2km/h 排序 | 1 | 2 | 3 |

註：振動數據越大，排序數越小，表示粉漿的抗震表現越差

圖 7-1 粉漿減速帶在不同車速下的振動表現



二、實驗分析：

由表 7-1、7-2 及圖 7-1 的實驗結果，我們發現下列事項：

- (一) **表 7-1** 1:0 純玉米粉漿減速帶在車速越慢的情形之下，抗震表現越佳，車速越快則越不抗震。參照實驗一，濃度 3:2 的玉米粉漿有著明顯的非牛頓流體特性，瞬間施力速度越快，則粉漿的固化現象越明顯，也因此車子行經其上的振動程度越大，抗震表現越差。
- (二) 1:0 純玉米粉漿減速帶在慢速和中速時，振動表現相差甚小，只有 7 cm/s^2 ，一旦加速到 8.2km/h (快速)，振動數據頓時增加到 433 cm/s^2 ，比 5.2km/h (中速) 增加了 100 cm/s^2 。參照實驗一，砝碼以慢速和中速墜落至純玉米粉漿上時，沒入粉漿的時間幾乎一樣，只相差 0.1 秒，然而，以快速墜落時，砝碼沒入粉漿的時間則延長至 5 秒，比中速的沒入時間多了 1.4 秒。
- (三) **表 7-1** 5:1 混合粉漿減速帶則在車速最快 (8.2km/h) 時，抗震表現最佳，和 1:0 純玉米粉漿減速帶表現相反。
- (四) 5:1 混合粉漿減速帶不論在慢速、中速和快速之下，車子的振動表現都相差不多，也就是 5:1 混合粉漿減速帶在不同車速下的抗震表現較為穩定。
- (五) **表 7-1** 0:1 純水泥沙漿減速帶則是車速越快越抗震，但是，在不同車速之下，振動表現都相差不多，也就是車速快慢對其抗震表現影響不大。
- (六) **表 7-2** 將各種調配比例的粉漿加以比較，1:0 純玉米粉漿減速帶在慢速和中速之下，都是最抗震的，但是，一旦車速到了 8.2km/h (快速)，則抗震表現最差。我們認為原因和第(一)點所述相同。

(七) **表 7-2** 5:1 混合粉漿減速帶在慢速和中速之下, 抗震表現並不好; 在車速 8.2km/h (快速) 之下, 則表現居中。

(八) **表 7-2** 0:1 純水泥沙漿減速帶在慢速和中速之下, 抗震表現都居中; 在快速之下, 則表現最為抗震。

結論

1. 參照研究二 (實驗四及五), 0:1 純水泥沙漿都是最不抗震的, 但是在本實驗中, 結果卻有不同, 可見車速 (施力速度) 快慢對各種粉漿的抗震表現是有影響的。
2. **1:0 純玉米粉漿減速帶**在車速 (施力速度) 越慢時, 抗震表現越佳, 且表現相當穩定。但在快速時, 振動數據瞬間變高, 這也印證其非牛頓流體的特性。
3. **5:1 混合粉漿減速帶**在車速 (施力速度) 最快時, 抗震表現較佳; 但車速 (施力速度) 變慢, 則表現得最不抗震。
4. **0:1 純水泥沙漿減速帶**在車速 (施力速度) 越快時, 抗震表現越好。
5. **5:1 混合粉漿減速帶**和 **0:1 純水泥沙漿減速帶**在不同車速 (施力速度) 下, 振動表現較穩定, 不像 1:0 純玉米粉漿在高速下振動程度瞬間變大。應是水泥發揮其影響力, 也就是摻入水泥的 5:1 粉漿已融合玉米和水泥兩種粉漿的特性。

【實驗八】探究**施力大小**對粉漿減速帶振動表現之影響

一、實驗結果：

同實驗七, 我們選擇了調配比例 1:0、5:1 及 0:1 三種粉漿自製減速帶, 以可調速動力車施測, 在動力車上分別放置 300g、400g、500g 等不同重量的砝碼, 代表車子重量 (施力大小) 之不同, 針對每一車重各取十個實驗數據, 求取平均值分析, 實驗結果如表 8-1 所示：

*減速帶高度固定為 7cm, 車速則為 8.2km/h (快速)。受限於小型動力車加了砝碼之後, 無法爬上減速帶, 再則一般汽車即使減速, 車速也不會低於 8.2 km/h, 因此, 我們以「快速」進行本實驗。

表 8-1 粉漿減速帶在不同車重下的抗震表現（一）

| 調配比例 | 1 : 0 | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|----|
| 振動(cm/s ²) 砝碼重量(g) | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | 平均 | 排序 |
| 0g | 411 | 421 | 476 | 443 | 432 | 436 | 438 | 449 | 389 | 434 | 433 | 1 |
| 300g | 418 | 408 | 400 | 396 | 399 | 373 | 381 | 423 | 411 | 424 | 403 | 2 |
| 400g | 314 | 405 | 429 | 362 | 434 | 413 | 358 | 390 | 407 | 450 | 396 | 3 |
| 500g | 373 | 350 | 394 | 375 | 343 | 379 | 355 | 305 | 370 | 388 | 363 | 4 |
| 調配比例 | 5 : 1 | | | | | | | | | | | |
| 振動(cm/s ²) 砝碼重量(g) | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | 平均 | 排序 |
| 0g | 333 | 355 | 374 | 389 | 474 | 433 | 355 | 475 | 423 | 442 | 405 | 1 |
| 300g | 458 | 392 | 350 | 401 | 392 | 318 | 315 | 360 | 385 | 380 | 375 | 2 |
| 400g | 355 | 337 | 303 | 349 | 273 | 361 | 335 | 322 | 337 | 347 | 332 | 4 |
| 500g | 358 | 365 | 327 | 300 | 366 | 297 | 345 | 353 | 345 | 336 | 339 | 3 |
| 調配比例 | 0 : 1 | | | | | | | | | | | |
| 振動(cm/s ²) 砝碼重量(g) | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | 平均 | 排序 |
| 0g | 345 | 394 | 392 | 360 | 369 | 338 | 385 | 343 | 356 | 340 | 362 | 2 |
| 300g | 381 | 344 | 360 | 377 | 354 | 411 | 418 | 372 | 394 | 415 | 382 | 1 |
| 400g | 372 | 354 | 417 | 340 | 334 | 373 | 337 | 368 | 368 | 346 | 361 | 3 |
| 500g | 327 | 334 | 339 | 339 | 354 | 355 | 368 | 370 | 376 | 386 | 355 | 4 |

註：①空車重量：760g；車速：8 km/h（快速）
 ②振動數據越大，排序數越小，表示粉漿的抗震表現越差

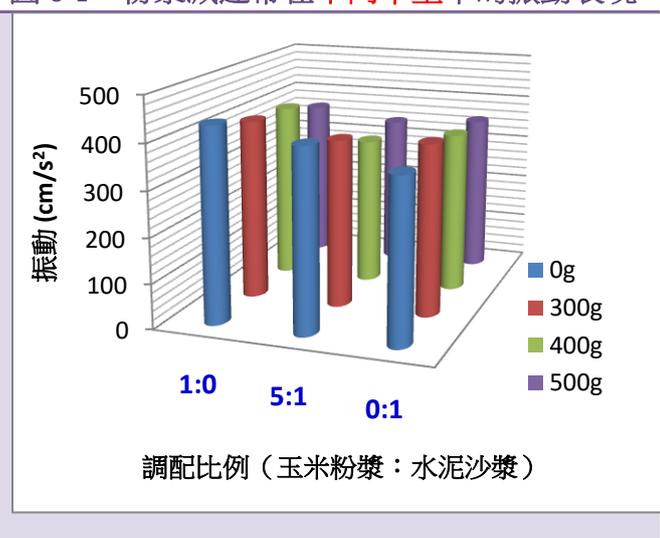
將表 8-1 的實驗數據平均值加以彙整，比較各種粉漿在不同車重（施力大小）下的振動表現，結果如表 8-2 及圖 8-1 所示：

表 8-2 粉漿減速帶在不同車重下的振動表現（二）

| 調配比例 振動(cm/s ²) 砝碼重量(g) | 1 : 0 | 5 : 1 | 0 : 1 |
|---|-------|-------|-------|
| 0g | 433 | 405 | 362 |
| 0g 排序 | 1 | 2 | 3 |
| 300g | 403 | 375 | 382 |
| 300g 排序 | 1 | 3 | 2 |
| 400g | 396 | 332 | 361 |
| 400g 排序 | 1 | 3 | 2 |
| 500g | 363 | 339 | 355 |
| 500g 排序 | 1 | 3 | 2 |

註：振動數據越大，排序數越小，表示粉漿的抗震表現越差

圖 8-1 粉漿減速帶在不同車重下的振動表現



二、實驗分析：

由表 8-1、8-2 及圖 8-1 的實驗結果，我們發現下列事項：

- (一) **表 8-1** 1:0 純玉米粉漿減速帶在車子越重的情形之下，抗震表現越佳，車子越輕則越不抗震。
- (二) 參照實驗二，濃度 3:2 的玉米粉漿在施力越大時，因粉漿受力固化現象明顯，所以，針筒推進程度越小。這和本實驗結果不同，我們認為實驗二是以固定點對粉漿持續施力，而車子卻是動態的，重量的影響被車子行進速度所削減，也就是添加的砝碼越重，車子的行進速度越慢，依據實驗七，1:0 純玉米粉漿減速帶在慢速下，抗震表現越佳。
- (三) **表 8-1** 5:1 混合粉漿減速帶大致也是車子越重則越抗震，只有在砝碼重量 400g 和 500g 時表現稍有不同，但兩者的振動表現也只相差 7 cm/s^2 。
- (四) **表 8-1** 0:1 純水泥沙漿減速帶也是在砝碼重量 400g 和 500g 時，抗震表現最佳，而在砝碼重量 0g 和 300g 時，則表現得最不抗震。
- (五) **表 8-2** 將各種粉漿減速帶加以比較，不論車子輕或重，1:0 純玉米粉漿減速帶抗震表現都是最差的。我們認為這和實驗七的結果是一致的，1:0 純玉米粉漿減速帶在車速最快時，表現得最不抗震，而本實驗正是以「快速」施測。
- (六) **表 8-2** 在三種粉漿減速帶中，加了砝碼（增加車重）之後，5:1 混合粉漿減速帶抗震表現都是最好的，0:1 純水泥沙漿減速帶次之。
- (七) 關於 0:1 純水泥沙漿減速帶，不論車子輕或重，振動表現都相差不多，也就是車子重量對其抗震表現影響不大。

結論

- 基本上，三種粉漿減速帶都是在車子越重（施力越大）時，抗震表現越佳；反之，車子越輕（施力越小），則表現得越不抗震。
- 只要車子「快速」行進，不論車子輕或重，1:0 純玉米粉漿減速帶都是最不抗震的。而一般汽車的行進速度比實驗用小型動力車快很多，因此，就抗震表現而言，1:0 純玉米粉漿並不適用於減速帶之製作。
- 在車子「快速」行進時，5:1 混合粉漿減速帶只有在空車（未放置砝碼）時，抗震表現居次；增加車重之後，都是最抗震的。參照現實情境，一般汽車的重量遠超過我們的小型動力車，且 5:1 混合粉漿減速帶在不同車速之下的抗震表現較為穩定，因此，就抗震來說，我們認為它比 1:0 純玉米粉漿減速帶表現更佳。

結論

4. 不論車速（施力速度）或車重（施力大小），兩項變因對 **0:1 純水泥沙漿減速帶** 的振動變化影響都不大。我們曾以顯微鏡觀測各種粉漿，發現水泥沙漿的顆粒排列較緊密，受力後不易移動，以致受力後的振動表現沒有明顯變化。

研究四：自製粉漿的實際應用--腳踏車道的振動表現

【實驗九】探究自製粉漿腳踏車道的振動表現

一、實驗結果：

根據研究一至三的施測結果，選擇抗震表現較佳且較穩定的 **5:1 混合粉漿** 做成 **300 公分** 長的腳踏車道，利用車速碼表控制車速在 **10 km/h** 左右，同一人騎車（體重 **30 kg + 車重 12 kg**）行經特製的「**5:1 混合粉漿腳踏車道**」（如圖 9-1）和一般的「**水泥車道**」（如圖 9-2），兩種車道分別取十個實驗數據，求取平均值分析，結果如表 9-1 及圖 9-3 所示：

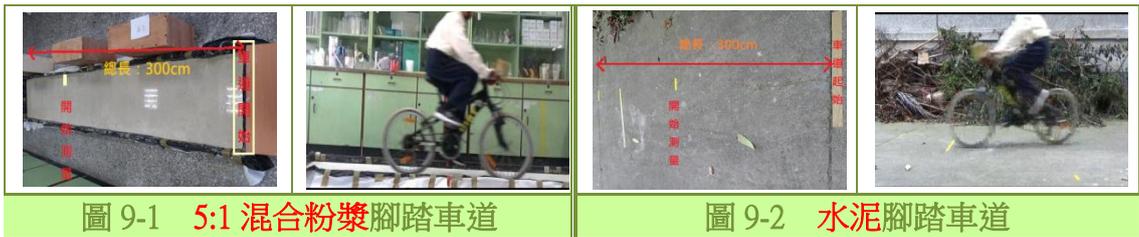


表 9-1 不同粉漿腳踏車道的振動表現

| 振動(cm/s ²) 車道 | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | 平均 | 排序 |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------------|----------|
| 5:1 混合粉漿 | 283 | 288 | 244 | 246 | 254 | 239 | 246 | 234 | 266 | 269 | 257 | 2 |
| 水泥 | 615 | 615 | 555 | 557 | 524 | 543 | 642 | 645 | 532 | 604 | 583 | 1 |

註：振動數據越大，排序數越小，表示粉漿的抗震表現越差

二、實驗分析：

由表 9-1 及圖 9-3，我們發現下列事項：

- (一) 腳踏車行經 **5:1 混合粉漿腳踏車道** 的振動數據平均值為 **257 cm/s²**，遠低於水泥車道的 **583 cm/s²**，顯示其**抗震表現較佳**。
- (二) **水泥車道的振動數據是 5:1 混合粉漿的兩倍以上**，顯示水泥沙漿較不抗震。

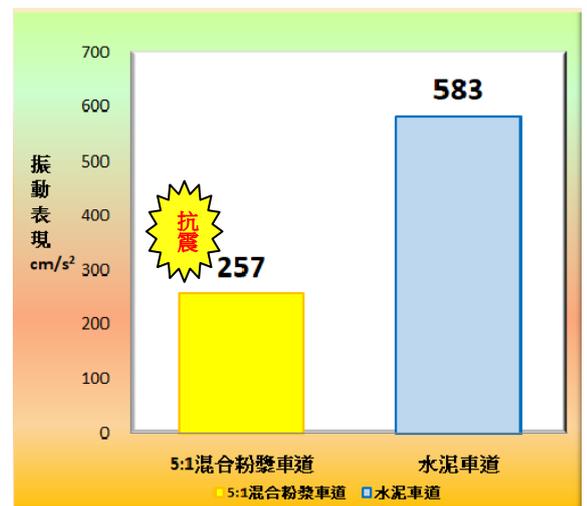


圖 9-3 不同粉漿腳踏車道振動表現比較圖

(三) 表 9-1 的實驗結果和實驗八一致，在車子快速行駛且重量越重的情形之下，5:1 混合粉漿的抗震表現較佳，且穩定有一致性。

結論

1. 在車子快速行駛（瞬間施力速度快），且重量越重（施力越大）的情形之下，5:1 混合粉漿腳踏車道的抗震表現優於水泥車道 2 倍以上，且表現相當穩定。
2. 綜合研究二至四的實驗結果，一般人的刻板印象總認為純玉米粉漿最為抗震，但我們的實驗卻驗證在玉米粉漿中摻入適量的水泥沙漿反而改變了粉漿的特性，在綜合考量施力速度和施力大小等變因之下，5:1 混合粉漿的抗震表現更佳。
3. 5:1 混合粉漿應用於減速帶和腳踏車道都有最佳的抗震表現，若將其延伸應用至其他產品，不僅能夠抗震，也能減少水泥的使用，對環境保護多一分貢獻。

陸、討論

一、選擇「濃度 3:2 的玉米粉漿」和「水泥沙漿」為實驗基礎：

- (一) 濃度 3:2 的玉米粉漿在不同的施力速度與施力大小之下，黏滯度增加的現象較其他粉漿更為明顯，施力越快、越用力，粉漿固化的情形越顯著，最能表現非牛頓流體的特性。水泥沙漿則是考量現行減速帶的材質，作為比較基礎。
- (二) 濃度 3:2 的太白粉漿雖然符合非牛頓流體的特性，但表現不像玉米粉漿那麼穩定，且在高溫下竟然熟了（硬化），以台灣長時間炎熱高溫的氣候，太白粉漿並不適合作為我們的研究基礎。

二、調配比例 5:1 的「玉米粉漿+水泥沙漿」在抗震實際應用上表現最佳：

- (一) 關於玉米粉漿和水泥沙漿依比例調配的混合粉漿，摻入玉米粉漿越多（水泥沙漿越少）則抗震表現越好，我們的研究顯示 5:1 混合粉漿是最佳抗震比例。
- (二) 對粉漿「定點施力」，純玉米粉漿的抗震表現都名列前茅，純水泥沙漿則最不抗震。但車子是行駛間對粉漿施力，調配比例 5:1 的「玉米粉漿+水泥沙漿」在車子快速行駛且有一定重量時，抗震表現異軍突起，且比純玉米粉漿表現更為穩定。

★我們翻查許多關於非牛頓流體的研究，都只針對粉漿定點施力作探討，經由我們自己的研究才發現～定點施力和移動間施力的結果竟然有所不同，也因此找出了「另類粉漿」，「它絕對不只是一般的非牛頓流體！」。

三、快與慢、震與不震之間的抉擇：

- (一) 以小型動力車實驗，在車子「快速」行駛時，純玉米粉漿減速帶的抗震表現最差，純水泥沙漿減速帶的抗震表現最好。但是，當車子「放慢速度」，純玉米粉漿減速帶的抗震效果卻最好，純水泥沙漿次之，5:1 混合粉漿則最不抗震。
- (二) 有趣的問題來了～行經減速帶若不肯減速，遇上純玉米粉漿減速帶的後果不堪設想，這時寧可選擇還是會讓我們“震一下”的一般水泥減速帶。但是，選擇了水泥減速帶，在車子慢下來時，震一下的程度可比快速行駛時更強呢！
- (三) 唉！這真是個兩難的抉擇啊！車速及車重確實會影響粉漿的抗震表現，但是在現實環境裡，車子的速度及重量都遠超過我們的小型動力車，因此，「5:1 混合粉漿」反而是行車抗震的最適合選擇。

柒、結論

一、在實驗中我們發現：

- (一) 粉漿種類及濃度、施力大小及速度都會影響粉漿的非牛頓流體特性。粉漿溫度則與其非牛頓流體特性無直接關聯。
- (二) 濃度（粉水比例）3:2 的玉米粉漿最能表現非牛頓流體的特性。
- (三) 非牛頓流體特性最明顯的濃度 3:2 玉米粉漿未必是抗震表現最佳的粉漿，在玉米粉漿中摻入適量的水泥沙漿，可改變原粉漿的受力黏稠度及抗震表現。
- (四) 環境溫度的變化對粉漿的抗震表現並沒有顯著影響。
- (五) 玉米粉漿及水泥沙漿的調配比例、粉漿厚度、施力速度、施力大小、施力方式（定點施力／移動間施力）都會影響粉漿的抗震表現，因此，在選擇粉漿時，必須綜合考量各項因素。
- (六) 若就第(五)點各單項變因來看，實驗結果綜合如下所示：
 1. **粉漿調配比例**：5:1 混合粉漿抗震表現最佳；純水泥沙漿最不抗震。
 2. **粉漿厚度**：粉漿越厚則越抗震。
 3. **施力速度**：施力速度越快（不考量施力大小），則純水泥沙漿最抗震，純玉米粉漿最不抗震；施力越慢，則純玉米粉漿最抗震，5:1 混合粉漿最不抗震。

4. **施力大小**：在動力車快速行駛，並加上砝碼增加重量之下，5:1 混合粉漿抗震表現最佳；純玉米粉漿最不抗震。

二、由實驗中我們獲得：

經過這次的研究與實驗，我們參考了相關資料文獻，最大的收穫是發現別人的理所當然並不是那麼的理所當然：

- (一) 我們看了一些將非牛頓流體與抗震作結合的研究，原以為非牛頓流體特性明顯的粉漿最抗震，但是，我們的實驗卻顯示不太一樣的結果，頓時有點沮喪，反覆重測數次仍得到相同的答案，這也讓我們相信自己的實驗是正確的。於是，我們將所有實驗數據串連並找出原因，發現在不同的條件因素影響之下，粉漿原有的表現會被改變，這是我們在其他研究中沒有看到的。
- (二) 粉漿在攪拌（施力）時、攪拌後、靜置一段時間，會呈現不一樣的狀態。例如：太白粉漿在高溫下會熟化變硬；玉米粉漿在靜置一段時間後會發霉，影響其原本性質和實驗結果；還有因水份蒸發，玉米粉漿在受力時雖仍保有彈性卻變得比較乾。但在其他研究中卻沒有看到對這些現象的說明。

三、展望與建議：

- (一) 「另類粉漿」的延伸應用：

調配比例 5:1 的「玉米粉漿＋水泥沙漿」已不再是「純」玉米粉漿，也不是「純」水泥沙漿，但仍保有兩種粉漿的部分特性，這樣的『另類粉漿』應用在減速帶及腳踏車道上確實有很好的抗震效果，也打破一般人認為純玉米粉漿最抗震的迷思。如果能將這種粉漿延伸應用到其他產品，例如：防撞條、運動遊樂場地的防撞墊、工廠機器的防震墊、步道的透水磚等，不僅能利用隨處可見的材料來改善生活品質，還能減少水泥的過度使用。

- (二) 針對不同的使用條件調整粉漿的種類與比例：

在不同的變因影響之下，粉漿會呈現不一樣的抗震表現，例如：純玉米粉漿在慢速與快速施力下會有截然不同的抗震結果。而我們的施力工具是快速移動的車子，故選擇 5:1 混合粉漿製成減速帶及腳踏車道。如果施力速度不快，則純玉米粉漿是不錯的選擇。甚至若不會受到高溫限制，也可考慮太白粉漿。

(三) 小型動力車、腳踏車的速度及重量限制：

我們以小型動力車及腳踏車來探究粉漿的抗震表現，但是，兩者的速度和重量畢竟和真正的汽車有所差距，但礙於研究經費和製作能力，我們只能在能力範疇內做較嚴謹的探究。在實驗完成之後，我們借用相關設備進行壓力強度測試，發現以下兩點：

1. 5:1 混合粉漿所能承受的壓縮強度確實能讓兩輪腳踏車行走其上。
2. 5:1 混合粉漿在不同的施壓速度之下，壓縮強度變化不大。也就是不論腳踏車靜止、或以不同速度行駛，對粉漿的壓縮強度影響不大，粉漿表現有一致性。

捌、參考資料

一、國民小學自然與生活科技五上。康軒。

二、牛頓流體（2010）。維基百科。檢自：

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%89%9B%E9%A1%BF%E6%B5%81%E4%BD%93>

（2019年9月19日）

三、非牛頓流體（2019）。維基百科。檢自：

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%9D%9E%E7%89%9B%E9%A0%93%E6%B5%81%E9%AB%94>（2019年9月19日）

四、振動（2019）。維基百科。檢自：

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%8C%AF%E5%8A%A8>（2019年10月3日）

五、蔡昀芸、吳臻育、林承頤、陳宗駿、徐謙德。「剛」「柔」並進、「硬」「軟」兼施～探討流體的「固化」與固體的「液化」現象。中華民國第54屆中小學科學展覽會作品說明書（編號：080110）。

六、黃芊惠、黃欣怡、黃暉家、陳宥瑾、蔡岳霖。遇強則強的玉米漿。中華民國第51屆中小學科學展覽會作品說明書（編號：080808）。

【評語】 082931

以非牛頓流體的原理加上水泥沙漿調製成的粉漿，製成具有抗震減速的路面並可用於防撞設施、防震墊或透水磚，具有應用性。除了調配一系列的減振材料，更實際自製 300 公分長的粉漿腳踏車道，進行實車測試並量測振動性質，展現出實作與解決問題的能力。較欠缺的是粉漿比例與非牛頓流體的特性、及其與抗震表現之間的關聯性和機制。

摘要：

我們將「水泥沙漿」及其他「非牛頓流體」以不同比例調製出“另類粉漿”探究各種粉漿的振動表現；並製作粉漿減速帶和300公分長的腳踏車道，以動力車及實車施測，證實「5:1混合粉漿」的抗震表現優於水泥沙漿約2倍以上，將其推廣應用，不僅提昇生活品質，更能減少對水泥的依賴及汙染。

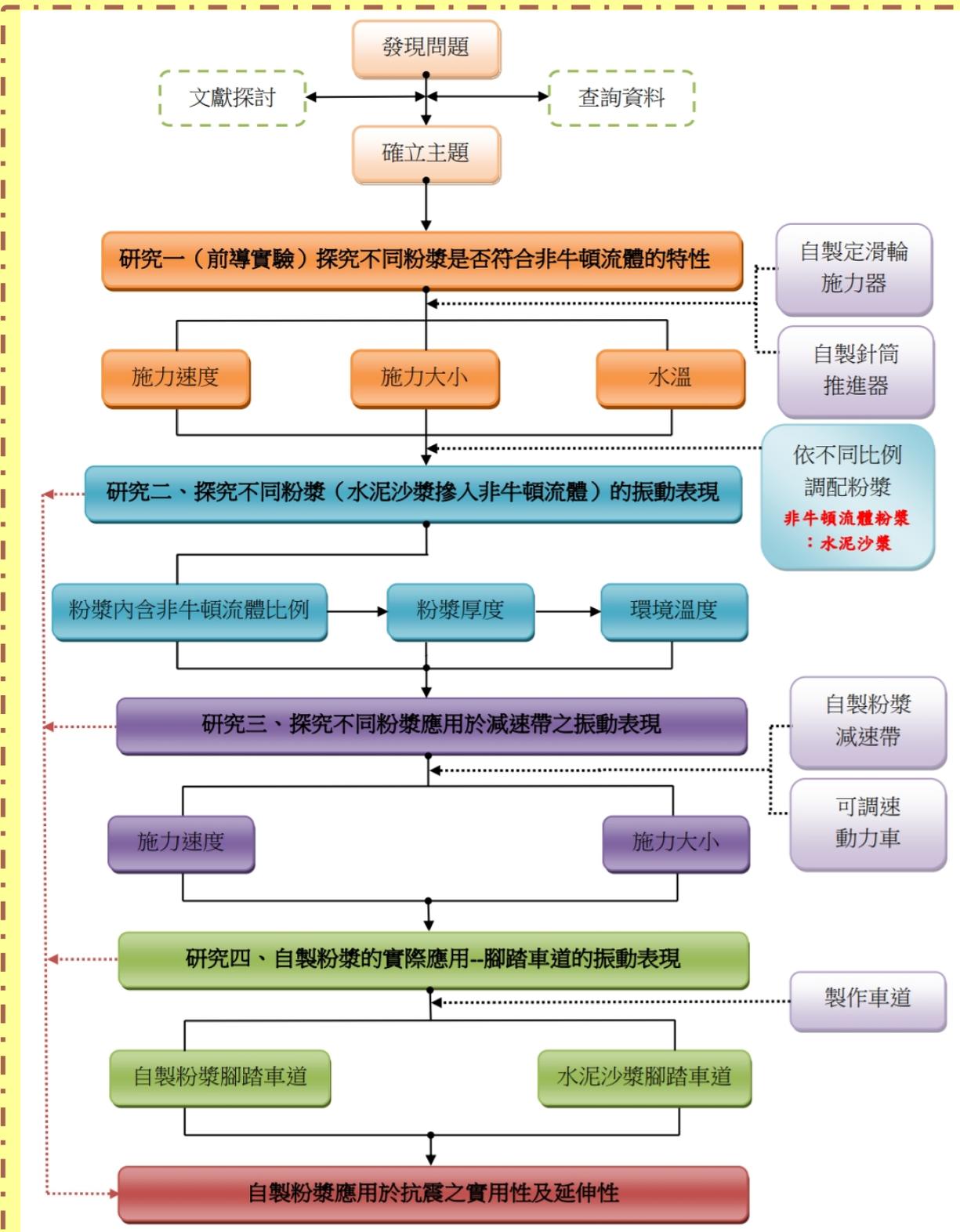
研究動機：

- ~您也有這樣的困擾和疑惑嗎？
- ~騎車經過減速帶總會顛一下
- ~水泥減速帶讓人望而生畏
- ~有人說非牛頓流體可以抗震真的嗎？
- ~我們還有其他的選擇嗎？

研究目的：

- 一、探究不同粉漿是否符合非牛頓流體的特性
- 二、探究不同粉漿（水泥沙漿摻入非牛頓流體）的振動表現
- 三、探究不同粉漿應用於減速帶之振動表現
- 四、自製粉漿的實際應用--腳踏車道的振動表現

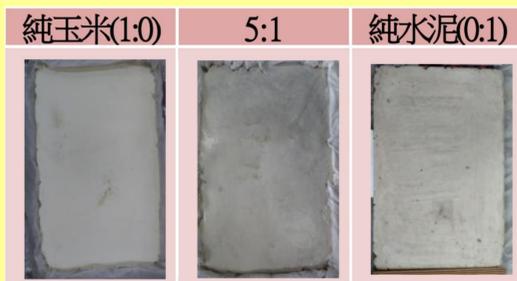
研究過程及方法



定滑輪施力器



針筒推進器



自製粉漿減速帶



自製粉漿車道

實驗器材

| 電子秤 | 彈力球 | 可調速動力車 | 變速腳踏車 | 腳踏車車速碼表 |
|-----|-----|--------|-------|---------|
| | | | | |

由實驗中我們獲得

1. 在不同變因影響之下，粉漿原有表現會被改變。
2. 粉漿在受力及靜置一段時間後，會呈現不一樣的狀態。

展望與建議

1. 另類粉漿的延伸應用既抗震又環保。
2. 可針對不同使用目的，選擇粉漿種類與調配比例。
3. 小型動力車的速度與重量限制。

研究結果及討論

研究一 探究不同粉漿是否符合非牛頓流體的特性

實驗一：探究施力速度對不同粉漿之影響

在自製定滑輪施力器上放上50g的砝碼，分別由30cm、40cm、50cm高度落下，記錄砝碼完全沒入粉漿時間。

| 完全沒入時間(秒) | (1) | (2) | (3) | 平均時間 |
|-----------|-----|-----|-----|------|
| 30cm (慢速) | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 40cm (中速) | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 50cm (快速) | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |

| 完全沒入時間(秒) | (1) | (2) | (3) | 平均時間 |
|-----------|-----|-----|-----|------|
| 30cm (慢速) | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 40cm (中速) | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 |
| 50cm (快速) | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |

| 完全沒入時間(秒) | (1) | (2) | (3) | 平均時間 |
|-----------|-----|-----|-----|------|
| 30cm (慢速) | 3.2 | 3.7 | 3.7 | 3.5 |
| 40cm (中速) | 3.3 | 3.9 | 3.4 | 3.6 |
| 50cm (快速) | 5.1 | 5.3 | 4.7 | 5.0 |

| 完全沒入時間(秒) | (1) | (2) | (3) | 平均時間 |
|-----------|-----|-----|-----|------|
| 30cm (慢速) | 1.7 | 1.7 | 2.0 | 1.8 |
| 40cm (中速) | 2.8 | 2.7 | 2.1 | 2.5 |
| 50cm (快速) | 4.7 | 5.9 | 4.4 | 5.0 |



圖 1-1 濃度 1:1 的玉米粉漿



圖 1-2 濃度 1:1 的太白粉漿



圖 1-3 濃度 3:2 的玉米粉漿



圖 1-4 濃度 3:2 的太白粉漿



圖 1-5 濃度 2:1 的玉米粉漿



圖 1-6 濃度 2:1 的太白粉漿

| 完全沒入時間(秒) | (1) | (2) | (3) | 平均時間 |
|-----------|------|------|------|------|
| 30cm (慢速) | 80 | 72 | 73 | 75 |
| 40cm (中速) | 無法沒入 | 無法沒入 | 無法施測 | |
| 50cm (快速) | 無法施測 | 無法施測 | 無法施測 | |

實驗二：探究施力大小對不同粉漿之影響

在自製針筒推進器上放上300g、400g、500g的砝碼，記錄粉漿受力後被推進的程度及粉漿受壓後噴出的現象。

| 粉漿流光時間(秒) | (1) | (2) | (3) | 平均時間 |
|------------|-----|-----|-----|------|
| 300g (施力小) | 24 | 60 | 57 | 47.0 |
| 400g (施力中) | 26 | 22 | 20 | 22.7 |
| 500g (施力大) | 15 | 14 | 17 | 15.3 |



圖 2-1 玉米粉漿受砝碼推進圖
粉漿濃度~1:1

| 粉漿流光時間(秒) | (1) | (2) | (3) | 平均時間 |
|------------|-----|-----|-----|------|
| 300g (施力小) | 30 | 25 | 28 | 27.7 |
| 400g (施力中) | 18 | 18 | 14 | 16.5 |
| 500g (施力大) | 13 | 12 | 12 | 12.2 |



圖 2-2 太白粉漿受砝碼推進圖
粉漿濃度~1:1

| 粉漿被推進程度(cc) | (1) | (2) | (3) | 平均推進 |
|-------------|-----|-----|-----|------|
| 300g (第1分鐘) | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 1.5 |
| 300g (第2分鐘) | 1.5 | 1.3 | 1.1 | 1.3 |
| 300g (第3分鐘) | 0.4 | 0.7 | 0.9 | 0.7 |
| 300g (第4分鐘) | 0.6 | 0.4 | 0.1 | 0.4 |
| 300g (第5分鐘) | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 0.5 |
| 300g 總推進程度 | 4.0 | 4.4 | 4.5 | 4.4 |

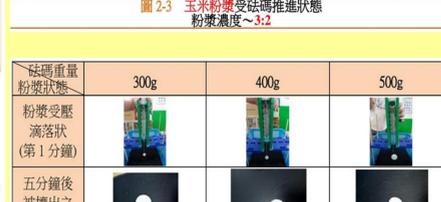


圖 2-3 玉米粉漿受砝碼推進狀態
粉漿濃度~3:2

| 粉漿被推進程度(cc) | (1) | (2) | (3) | 平均推進 |
|-------------|-----|-----|-----|------|
| 300g (第1分鐘) | 1.0 | 2.0 | 1.0 | 1.3 |
| 300g (第2分鐘) | 1.0 | 0.1 | 1.0 | 0.7 |
| 300g (第3分鐘) | 0.1 | 0.1 | 4.0 | 1.4 |
| 300g (第4分鐘) | 0.4 | 2.9 | 2.0 | 1.8 |
| 300g (第5分鐘) | 0.1 | 1.9 | 0.5 | 0.8 |
| 300g 總推進程度 | 2.6 | 7.0 | 8.5 | 6.0 |



圖 2-4 太白粉漿受砝碼推進狀態
粉漿濃度~3:2

| 粉漿重量(g) | (1) | (2) | (3) | 平均推進 |
|-------------|-----|-----|-----|------|
| 300g (第1分鐘) | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 1.5 |
| 300g (第2分鐘) | 1.5 | 1.3 | 1.1 | 1.3 |
| 300g (第3分鐘) | 0.4 | 0.7 | 0.9 | 0.7 |
| 300g (第4分鐘) | 0.6 | 0.4 | 0.1 | 0.4 |
| 300g (第5分鐘) | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 0.5 |
| 300g 總推進程度 | 4.0 | 4.4 | 4.5 | 4.4 |
| 400g (第1分鐘) | 1.5 | 1.9 | 1.7 | 1.7 |
| 400g (第2分鐘) | 1.5 | 0.6 | 1.2 | 1.1 |
| 400g (第3分鐘) | 0.1 | 0.4 | 0.6 | 0.4 |
| 400g (第4分鐘) | 0.4 | 0.1 | 0.5 | 0.3 |
| 400g (第5分鐘) | 0.5 | 0.0 | 0.5 | 0.3 |
| 400g 總推進程度 | 4.0 | 3.0 | 4.5 | 3.8 |
| 500g (第1分鐘) | 1.0 | 3.0 | 1.0 | 1.7 |
| 500g (第2分鐘) | 0.5 | 1.9 | 1.0 | 1.1 |
| 500g (第3分鐘) | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 0.1 |
| 500g (第4分鐘) | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| 500g (第5分鐘) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 500g 總推進程度 | 2.0 | 4.0 | 2.0 | 3.0 |

實驗三：探究水溫對不同粉漿之影響

以 25°C、40°C、60°C 的水溫調製粉漿，觀察攪拌前後、靜置一段時間粉漿所呈現的狀態。



圖 3-1 濃度 3:2 玉米粉漿攪拌後靜置狀態



圖 3-2 濃度 3:2 太白粉漿攪拌後靜置狀態

「研究一」討論與結論

1. 「濃度3:2的玉米粉漿」最能表現非牛頓流體的特性。
2. 「3:2的太白粉漿」表現較不穩定，高溫下甚至熟化。
3. 「水溫」和非牛頓流體特性並無直接關聯。

研究二 探究不同粉漿 (水泥沙漿摻入非牛頓流體) 的振動表現

實驗四：探究粉漿內含非牛頓流體比例對粉漿振動表現之影響

將「非牛頓流體粉漿」依1:0、5:1、4:1、3:1、2:1、3:2、1:1、0:1的重量比摻入「水泥沙漿」，以彈力球施測，球彈得越高，振動程度越大，抗震表現越差。

表 4-1 不同調配比例粉漿的振動表現
「濃度 3:2 玉米粉漿」:「水泥沙漿」-> 彈力球彈起高度

| 調配比例 | 1:0 | 5:1 | 4:1 | 3:1 | 2:1 | 3:2 | 1:1 | 0:1 |
|----------|--|-----|----------------------------------|------|---------------------------------|------|---|------|
| 彈起高度(cm) | 14.0 | 9.5 | 12.4 | 15.0 | 13.0 | 18.0 | 17.5 | 23.5 |
| 第一次 | 14.0 | 9.5 | 12.4 | 15.0 | 13.0 | 18.0 | 17.5 | 23.5 |
| 第二次 | 12.0 | 9.8 | 12.0 | 15.0 | 15.0 | 17.5 | 17.0 | 21.8 |
| 第三次 | 13.0 | 9.2 | 12.8 | 14.5 | 14.0 | 19.0 | 18.0 | 22.8 |
| 平均 | 13.0 | 9.5 | 12.4 | 14.8 | 14.0 | 18.2 | 17.5 | 22.7 |
| 彈起高度排序 | 6 | 8 | 7 | 4 | 5 | 2 | 3 | 1 |
| 攪拌現象觀察 | * 攪拌時很費力 * 摸起來有彈性 * 手指可將粉漿拉起，呈丘陵狀 * 4:1的粉漿拉起時較稀，可拉比較長 | | * 攪拌時沒有那麼費力了 * 攪拌後摸起來很硬，像水泥地板 | | * 攪拌時更不費力了 * 攪拌後摸起來非常硬，像水泥地板 | | * 攪拌時不費力 * 表面有水，下層像爛泥巴 * 硬化後摸起來完全沒有彈性 | |

註：彈起高度越高，排序數越小，表示粉漿的振動程度越大，抗震表現越差。

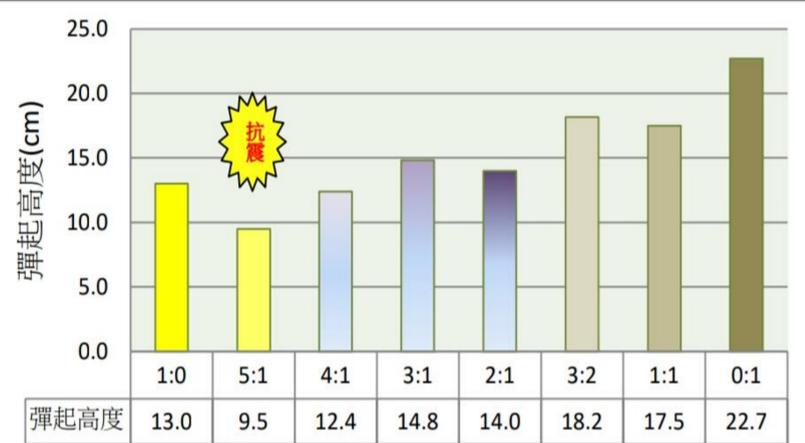


圖 4-1 不同調配比例粉漿的振動表現

「濃度 3:2 玉米粉漿」:「水泥沙漿」-> 彈力球彈起高度

實驗五：探究粉漿厚度對粉漿振動表現之影響

依實驗四，選擇抗震表現最佳的5:1、4:1、1:0粉漿，和0:1純水泥沙漿比較，厚度分別為13cm、10cm、7cm，以彈力球施測。

表 5-1 不同厚度粉漿的振動表現 (一)

「濃度 3:2 玉米粉漿」:「水泥沙漿」-> 彈力球彈起高度

| 比例 | 1:0 | | | | | 5:1 | | | | | 4:1 | | | | | 0:1 | | | | |
|-----------|------|------|------|------|----|-----|-----|-----|-----|----|------|------|------|------|----|------|------|------|------|----|
| | (1) | (2) | (3) | 平均 | 排序 | (1) | (2) | (3) | 平均 | 排序 | (1) | (2) | (3) | 平均 | 排序 | (1) | (2) | (3) | 平均 | 排序 |
| 彈起高度 (cm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13cm | 7.5 | 8.5 | 7.5 | 7.8 | 3 | 7.8 | 7.3 | 7.3 | 7.5 | 3 | 9.0 | 9.8 | 9.0 | 9.3 | 3 | 22.8 | 20.8 | 19.8 | 21.1 | 3 |
| 10cm | 10.0 | 9.5 | 9.5 | 9.7 | 2 | 8.4 | 8.8 | 8.3 | 8.5 | 2 | 10.1 | 10.1 | 10.1 | 10.1 | 2 | 24.9 | 23.9 | 22.9 | 23.9 | 2 |
| 7cm | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 1 | 8.8 | 9.2 | 8.8 | 8.9 | 1 | 10.1 | 10.4 | 10.3 | 10.3 | 1 | 23.7 | 24.7 | 25.7 | 24.7 | 1 |

註：彈起高度越高，排序數越小，表示粉漿的振動程度越大，抗震表現越差。

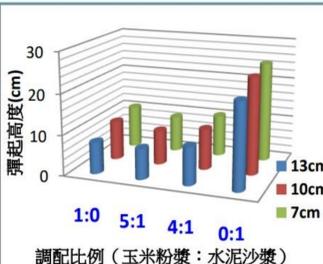
表 5-2 不同厚度粉漿的振動表現 (二)

「濃度 3:2 玉米粉漿」:「水泥沙漿」-> 彈力球彈起高度

| 彈起高度 (cm) | 不同比例不同厚度 | | | |
|-----------|----------|-----|------|------|
| | 1:0 | 5:1 | 4:1 | 0:1 |
| 13cm | 7.8 | 7.5 | 9.3 | 21.1 |
| 13cm 排序 | 3 | 4 | 2 | 1 |
| 10cm | 9.7 | 8.5 | 10.1 | 23.9 |
| 10cm 排序 | 3 | 4 | 2 | 1 |
| 7cm | 10.5 | 8.9 | 10.3 | 24.7 |
| 7cm 排序 | 2 | 4 | 3 | 1 |

註：彈起高度越高，排序數越小，表示粉漿的振動程度越大，抗震表現越差。

圖 5-1 不同厚度粉漿的振動表現



實驗六：探究環境溫度對粉漿振動表現之影響

依實驗四、五，選擇抗震表現最佳的5:1混合粉漿，和0:1純水泥沙漿比較，厚度固定為7cm，以100W的燈源持續照射粉漿一、二、三小時後用彈力球施測。

表 6-1 不同環境溫度下粉漿的振動表現

| 100W 燈源持續照射粉漿一小時 (27.0°C) | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| 彈起高度 (cm) | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | 平均 | 排序 |
| 0:1 水泥 | 22.0 | 25.0 | 26.0 | 26.0 | 24.0 | 23.0 | 24.0 | 25.0 | 24.0 | 24.0 | 24.3 | 1 |
| 5:1 混合 | 8.3 | 8.3 | 9.3 | 8.3 | 8.3 | 7.3 | 8.8 | 8.3 | 7.3 | 8.3 | 8.3 | 2 |

| 100W 燈源持續照射粉漿二小時 (30.1°C) | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| 彈起高度 (cm) | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | 平均 | 排序 |
| 0:1 水泥 | 25.0 | 25.0 | 26.0 | 24.0 | 24.0 | 25.0 | 23.0 | 24.0 | 24.0 | 25.0 | 24.5 | 1 |
| 5:1 混合 | 9.3 | 9.3 | 8.8 | 8.3 | 8.8 | 9.3 | 8.8 | 8.8 | 8.3 | 8.3 | 8.8 | 2 |

| 100W 燈源持續照射粉漿三小時 (33.1°C) | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| 彈起高度 (cm) | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | 平均 | 排序 |
| 0:1 水泥 | 23.0 | 27.0 | 26.0 | 26.0 | 25.0 | 26.0 | 24.0 | 24.0 | 25.0 | 24.0 | 25.0 | 1 |
| 5:1 混合 | 9.3 | 9.3 | 8.3 | 8.3 | 9.3 | 8.3 | 8.8 | 8.8 | 9.3 | 8.3 | 8.8 | 2 |

註：彈起高度越高，排序數越小，表示粉漿的振動程度越大，抗震表現越差。

「研究二」討論與結論

1. 內含玉米粉漿越多，則抗震表現越好。
2. 粉漿越厚則越抗震。
3. 「5:1混合粉漿」抗震表現最佳，顯示在玉米粉漿中摻入少量水泥沙漿反而能夠提昇抗震效果。
4. 環境溫度對粉漿的振動表現並無顯著影響。

研究三 探究不同粉漿應用於減速帶之振動表現

實驗七：探究施力速度對粉漿減速帶振動表現之影響

選擇1:0、5:1、0:1粉漿製成減速帶，以可調速動力車施測，調整車速為3.2km/h(慢速)、5.2 km/h(中速)、8.2 km/h(快速)。

表 7-1 粉漿減速帶在不同車速下的振動表現 (一)

| 調配比例 | 1 : 0 | | | | | | | | | | 平均 | 排序 |
|-------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|----|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | | |
| 振動 (cm/s ²) | | | | | | | | | | | | |
| 3.2(慢速) | 331 | 342 | 341 | 376 | 309 | 359 | 290 | 319 | 283 | 308 | 326 | 3 |
| 5.2(中速) | 328 | 376 | 315 | 338 | 304 | 336 | 311 | 316 | 360 | 350 | 333 | 2 |
| 8.2(快速) | 411 | 421 | 476 | 443 | 432 | 436 | 438 | 449 | 389 | 434 | 433 | 1 |

| 調配比例 | 5 : 1 | | | | | | | | | | 平均 | 排序 |
|-------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|----|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | | |
| 振動 (cm/s ²) | | | | | | | | | | | | |
| 3.2(慢速) | 485 | 488 | 442 | 372 | 378 | 439 | 398 | 378 | 426 | 420 | 423 | 2 |
| 5.2(中速) | 438 | 436 | 426 | 437 | 441 | 466 | 469 | 434 | 487 | 450 | 450 | 1 |
| 8.2(快速) | 333 | 355 | 374 | 389 | 474 | 433 | 355 | 475 | 423 | 442 | 405 | 3 |

| 調配比例 | 0 : 1 | | | | | | | | | | 平均 | 排序 |
|-------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|----|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | | |
| 振動 (cm/s ²) | | | | | | | | | | | | |
| 3.2(慢速) | 372 | 368 | 374 | 393 | 405 | 376 | 394 | 382 | 415 | 402 | 388 | 1 |
| 5.2(中速) | 392 | 386 | 356 | 358 | 395 | 399 | 362 | 374 | 361 | 357 | 374 | 2 |
| 8.2(快速) | 345 | 394 | 392 | 360 | 369 | 338 | 385 | 343 | 356 | 340 | 362 | 3 |

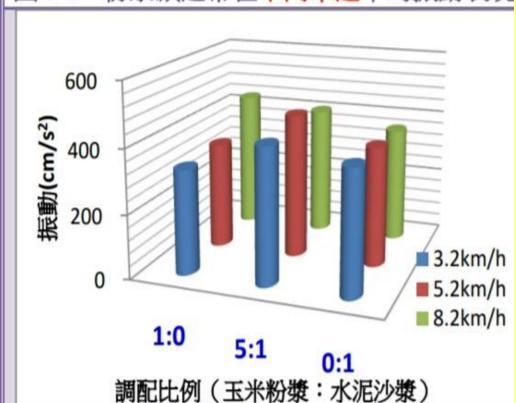
註：振動數據越大，排序數越小，表示粉漿的抗震表現越差。

表 7-2 粉漿減速帶在不同車速下的振動表現 (二)

| 調配比例 | 1 : 0 | 5 : 1 | 0 : 1 |
|-------------------------|-------|-------|-------|
| 振動 (cm/s ²) | | | |
| 3.2 km/h(慢速) | 326 | 423 | 388 |
| 3.2km/h 排序 | 3 | 1 | 2 |
| 5.2 km/h(中速) | 333 | 450 | 374 |
| 5.2km/h 排序 | 3 | 1 | 2 |
| 8.2 km/h(快速) | 433 | 405 | 362 |
| 8.2km/h 排序 | 1 | 2 | 3 |

註：振動數據越大，排序數越小，表示粉漿的抗震表現越差。

圖 7-1 粉漿減速帶在不同車速下的振動表現



實驗八：探究施力大小對粉漿減速帶振動表現之影響

將300g、400g、500g砝碼分別置於動力車上，以快速施測。

表 8-1 粉漿減速帶在不同車重下的抗震表現 (一)

| 調配比例 | 1 : 0 | | | | | | | | | | 平均 | 排序 |
|-------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|----|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | | |
| 振動 (cm/s ²) | | | | | | | | | | | | |
| 0g | 411 | 421 | 476 | 443 | 432 | 436 | 438 | 449 | 389 | 434 | 433 | 1 |
| 300g | 418 | 408 | 400 | 396 | 399 | 373 | 381 | 423 | 411 | 424 | 403 | 2 |
| 400g | 314 | 405 | 429 | 362 | 434 | 413 | 358 | 390 | 407 | 450 | 396 | 3 |
| 500g | 373 | 350 | 394 | 375 | 343 | 379 | 355 | 305 | 370 | 388 | 363 | 4 |

| 調配比例 | 5 : 1 | | | | | | | | | | 平均 | 排序 |
|-------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|----|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | | |
| 振動 (cm/s ²) | | | | | | | | | | | | |
| 0g | 333 | 355 | 374 | 389 | 474 | 433 | 355 | 475 | 423 | 442 | 405 | 1 |
| 300g | 458 | 392 | 350 | 401 | 392 | 318 | 315 | 360 | 385 | 380 | 375 | 2 |
| 400g | 355 | 337 | 303 | 349 | 273 | 361 | 335 | 322 | 337 | 347 | 332 | 4 |
| 500g | 358 | 365 | 327 | 300 | 366 | 297 | 345 | 353 | 345 | 336 | 339 | 3 |

| 調配比例 | 0 : 1 | | | | | | | | | | 平均 | 排序 |
|-------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|----|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | | |
| 振動 (cm/s ²) | | | | | | | | | | | | |
| 0g | 345 | 394 | 392 | 360 | 369 | 338 | 385 | 343 | 356 | 340 | 362 | 2 |
| 300g | 381 | 344 | 360 | 377 | 354 | 411 | 418 | 372 | 394 | 415 | 382 | 1 |
| 400g | 372 | 354 | 417 | 340 | 334 | 373 | 337 | 368 | 368 | 346 | 361 | 3 |
| 500g | 327 | 334 | 339 | 339 | 354 | 355 | 368 | 370 | 376 | 386 | 355 | 4 |

註：空車重量：760g；車速：8 km/h (快速)

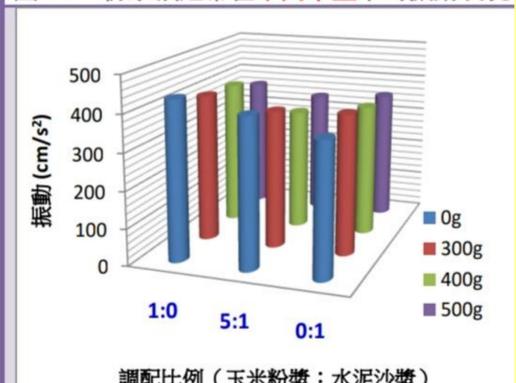
◎振動數據越大，排序數越小，表示粉漿的抗震表現越差

表 8-2 粉漿減速帶在不同車重下的振動表現 (二)

| 調配比例 | 1 : 0 | 5 : 1 | 0 : 1 |
|-------------------------|-------|-------|-------|
| 振動 (cm/s ²) | | | |
| 0g | 433 | 405 | 362 |
| 0g 排序 | 1 | 2 | 3 |
| 300g | 403 | 375 | 382 |
| 300g 排序 | 1 | 3 | 2 |
| 400g | 396 | 332 | 361 |
| 400g 排序 | 1 | 3 | 2 |
| 500g | 363 | 339 | 355 |
| 500g 排序 | 1 | 3 | 2 |

註：振動數據越大，排序數越小，表示粉漿的抗震表現越差。

圖 8-1 粉漿減速帶在不同車重下的振動表現



研究四 自製粉漿的實際應用--腳踏車道的振動表現

實驗九：探究自製粉漿腳踏車道的振動表現

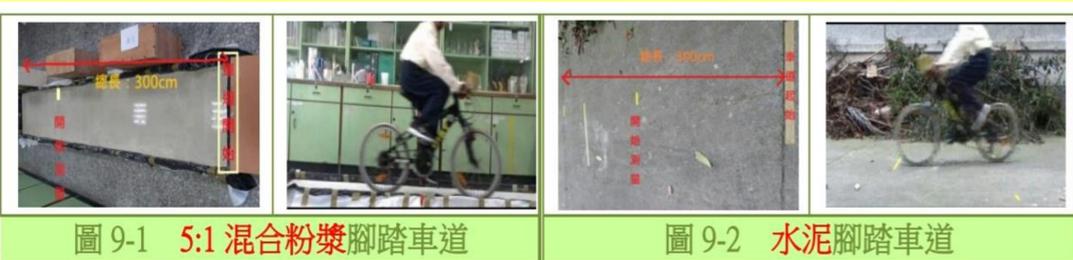


圖 9-1 5:1 混合粉漿腳踏車道

圖 9-2 水泥腳踏車道

表 9-1 不同粉漿腳踏車道的振動表現

| 振動 (cm/s ²) | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | 平均 | 排序 |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|----|
| 5:1 混合粉漿 | 283 | 288 | 244 | 246 | 254 | 239 | 246 | 234 | 266 | 269 | 257 | 2 |
| 水泥 | 615 | 615 | 555 | 557 | 524 | 543 | 642 | 645 | 532 | 604 | 583 | 1 |

註：振動數據越大，排序數越小，表示粉漿的抗震表現越差

「研究三」及「研究四」討論與結論

1. 「1:0純玉米粉漿」在快速時振動數據瞬間飆高，表現最不抗震。
2. 「5:1混合粉漿」在考量車速及車重兩種變因之下，抗震表現最佳。