

# 土壤塑性限度試驗土線機之研究

國立臺灣大學農工系技士

葉 錦 文

## 引 言

本機之研究製造主要觀念係根據 1965 年版 ASTM Designation: D424-59 中所述內容並參考洪如江教授、鄭勝銘教授所編著「土壤力學試驗」中之塑性限度試驗法，迄目前為止各國對土壤的塑性限度試驗，均以手搓土線方法為主，惟試驗進行過程中因個人對土線所施之壓力，來回搓揉速率以及手掌出汗程度不一致，故對試驗結果的可靠性 (Reliability)，仍有商榷餘地。為消除或減少此等人為因素的差異並提高試驗結果的準確性，擬改以機械方法操作之。利用機械特殊機構之優點，以改良或避免人工操作之缺點，並增加散發水分之吸氣板，俾使各土樣試驗均能達到相當程度的準確性，且機械操作簡易並可縮短試驗所需時間，成品相當低廉，極具實用價值。

## 一、人工試驗法

1. 試驗時先取出土樣置於毛玻璃上，用手掌將土樣搓成約為 3 公厘直徑之土線，若尚未斷裂，再將土線折合搓揉至土線直徑約為 3 公厘（以目測判斷），且正好顯有裂痕或裂斷程度為止。

2. 將斷裂之土樣放入蒸發皿中，求其含水量，惟濕土量至少需 9 至 10 公克左右。

3. 步驟 2. 至少需備有兩個以上的樣品分別試驗，求出其含水量之平均值即為該土壤的塑性限度 (Plastic Index)。

## 二、人工試驗法之實際操作方法之探討

1. 各人手掌包括手指之表面形態極不一致且凹凸不平，故在搓揉土線時欲使土線直徑均勻一致極為困難，土線中直徑較小部位較易斷裂。

2. 手掌之壓擠力及來回搓揉速率雖可控制，但需要有長時間的良好訓練，才能合乎試驗要求。

3. 以目測法判斷土線直徑其誤差相當大，又因各人手掌出汗程度不一，故土線水分之變化亦大。

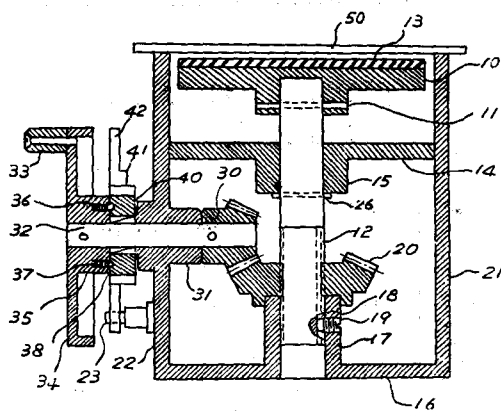
4. 人工方法以手掌將土線搓揉成 3 公厘直徑，若尚未斷裂需再折合搓揉，直到土線直徑約為 3 公厘且其表面顯出斷裂現象為止，故其折合之次數可能無法預期。未經良好訓練或經驗較差之試驗人員往往一天只能完成一、兩個土樣的試驗，不但非常費時，而且對實際斷裂的情況，無法獲得準確之判斷，因而產生試驗所得結果或數據之誤差，另外若在 3 公厘直徑以上斷裂依然需要重搓。

5. 人為因素的變異性很高，因人、因時、因地而異，為減少或消除此種誤差因此如第一節第 3 項所述至少需有兩個以上的獨立試驗，求其含水量之平均值。

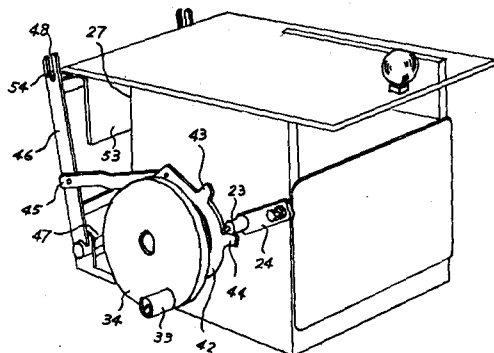
6. 塑性限度試驗的主要目的係以塑性限度為判斷土壤性質方法之一，由於試驗過程繁雜，且對結果的控制不易，故並未受到重視，因此幾十年來在這方面的試驗方法並未有技術性的突破和改進。

## 三、改良式塑性試驗土線機的原理及構造說明

塑性限度土線機之原理及構造，如圖 1 所示，昇降板 10 係以彈簧梢 11 固設於螺桿 12 上，該昇降板 10 上貼有可供放置試驗用土樣之橡皮 13，螺桿 12 之中段套穿於定位板 14（該定位板 14 係為齒輪箱 21、22 之頂板），中央之頸部 15，螺桿 12 之末端則套牢於齒輪箱底板 16 之螺桿座 17 內，螺桿座 17 上套設有一斜齒輪 20，該斜齒輪 20 之內部具內螺紋，而與螺桿 12 末段螺紋相互套合，斜齒輪 20 係與另一較小斜齒輪 30 相啮合，該斜齒輪 30 乃與一樞設於軸套 31 驅動軸 32 固接，而驅動軸 32 之另一端另固設一附有搖動把手 33 轉盤 34，復在轉盤 34 之軸頸 35 軸套 31 間之驅動軸 32 上套裝一棘輪 40，又轉盤軸頸 35 上開設有兩個互相對稱之套槽 36-36，可容套裝入彈簧 37-37 與鋼珠 38-38，且棘輪 40 之一側與該兩套槽 36-36 相對之適當位置上亦開設半圓球槽，俾令該兩套槽 36-36 內各鋼珠 38-38 之一部分藉彈簧之壓力而適



第 1 圖



第 2 圖

- |              |                  |
|--------------|------------------|
| 10. 昇降板      | 11. 彈簧梢          |
| 1. 螺桿        | 13. 橡皮           |
| 14. 齒輪箱頂板    | 15. 齒輪箱頸部        |
| 16. 齒輪箱底板    | 17. 齒輪箱底板螺桿座     |
| 18. 螺桿直槽     | 19. 螺桿定向螺絲       |
| 20. 大斜齒輪     | 21. 22. 齒輪箱之垂直板  |
| 23. 定位檔作     | 24. 檔體固定板        |
| 25. 檔體板固定螺絲  | 27. 齒輪箱後側壁       |
| 30. 小斜齒輪     | 31. 齒輪箱垂直板22之軸套  |
| 32. 驅動軸      | 33. 搖動把手         |
| 34. 轉盤       | 35. 轉盤之軸套        |
| 36. 彈簧套槽     | 37. 彈簧           |
| 38. 鋼珠       | 40. 棘輪           |
| 41. 推動爪      | 42. 棘輪推動器        |
| 43. 44. 定位凸像 | 45. 連動片          |
| 46. 搖柄       | 47. 搖柄樞動軸        |
| 48. 搖柄上端長槽   | 50. 搓動板          |
| 51. 球型把手     | 52. 搓動板與抽風板之固定螺絲 |
| 53. 抽風板      | 54. 搓動板樞梢        |

時卡入該兩半圓球槽內，形成如圖 1 所示之情形，另棘輪 40 上方與一推動爪 41 吻合，該推動爪 41 乃軸設於棘輪推動器 42 上，請參閱第 1、2 圖，該棘輪推動器 42 之外線適當處連設有兩定位突緣 43.44. 而兩定位突緣 43.44 間設有一定位檔體 23 該定位檔體 23 係連設於平板 24 上，而藉螺栓 25 固定於外殼 21，該定位檔體 23 之位置可適當調整，得以控制棘輪推動器 42 之往復推進距離，該棘輪推動器 42 係與一連動片 45 樞接，而連動片 45 之另一端復樞接於兩相連搖柄 46-46 之一搖柄 46 上，該兩搖柄 46-46 之底部係固設於一可轉動之樞動軸 47 端部，而其上端開設有長形開口 48-48 俾供套放搓動板 50，搓動板 50 乃是用半透明板狀材料製成，（即搓動板 50 面必須具有輕微的粗糙面，俾利輾轉土樣），搓動板 50 一邊設有球形把手 51，而另一邊以螺絲 52-52 固設一抽風板 53 該抽風板 53 之一部份係與搓動板 50 成垂直，而另一部份之兩角端連設有樞梢 54-54，因此可將整個搓動板 50 藉兩樞梢 54-54 而套置於上述之長形開口 48-48，同時搓動板 50 平置於兩外殼 21-22 之上緣時，得令該搓動板 50 之搓動面與昇降板 100 橡皮 13 表面平行者。

#### 四、土線機操作法

首先應將預先準備好之土樣取出，而將搓動板 50 掀開，取出土樣約 10 公克左右，置於兩手之間，互搓成圓桶形直徑約 7~8 公厘，土樣即可放置於昇降板 10 之橡皮 13 上，先轉動搖把使昇降板 10 下降，次將搓動板 50 蓋上，反轉搖把 34 使昇降板 10 緩慢上昇，於發現土樣與搓動板 50 所接觸之一濕線，立即停止搖把 33 之轉昇，惟恐過份壓扁土樣，搓動板 50 之搓動面平置於外殼 21-22 之上緣，輾轉土樣時，祇需用手握住球形把手 51，即可使搓動板 50 不停的進行往復移動，在移動之同時搓動板 50 每往復一次昇降板 10 因連動而微微昇高 0.2-0.4 公厘，亦即每一次往復推動昇降板 10 土樣之直徑可輾小 0.2-0.4 公厘，另如觀察土樣在未達到 3 公厘時就有破裂的現象時，必須使搓動板 50 保持往復運動，但昇降板不得上昇以防止土線受壓時產生破裂，若不使昇降板 10 上昇立刻握住轉動搖把 34，倘搓動板 50 及昇降板 10 與土樣接觸之處顯出濕面，即表示已將土樣之水分吸出，此時應利用搓動板 50 之挪動而使土樣向前移位或退後，俟該濕面恢復乾燥始可將土樣挪回原搓動位置繼續輾轉土樣，惟當土條被搓揉

到3公厘直徑時，本機即自動保持昇降板的上昇，亦即搖把34停止轉動，搓動板若可以繼續輾轉土條，土線表面未有斷裂或裂痕現象時表示該土樣中之水分未達到塑性限度，仍需繼續搓動土條及變換搓動濕面，直到試驗土線表面顯示出裂痕或斷裂為

準，可將土條裝於鋁罐，後秤其重量，始可送入烘乾機。

### 五、試驗結果之比較：表中數據為土樣含水量(%)

樣號	H-53		H-54		H-55		H-56	
土線機	19.35	19.57	16.26	16.24	13.24	14.20	14.79	15.07
手工操作	19.42	20.27	15.11	18.56	16.54	14.71	13.48	15.03
土線機誤差數	0.22		0.02		0.96		0.28	
手工操作誤差數	0.85		3.45		1.83		1.55	

H-57		H-58		H-59		H-60		H-61	
11.76	12.16	14.69	15.83	12.12	11.80	12.42	11.80	12.58	13.51
13.24	15.86	12.26	15.29	13.47	15.91	N	N	12.17	13.88
0.40		1.14		0.32		0.62		0.93	
2.62		3.13		2.44		N		1.71	

H-62		H-63		H-64		H-65		H-66	
15.56	16.88	14.37	13.37	14.21	14.12	12.59	13.73	13.13	14.08
15.43	16.92	13.22	14.51	15.38	14.26	12.91	14.24	10.87	12.64
1.32		1.00		0.09		1.14		0.95	
1.49		1.29		1.12		1.33		1.39	

H-67		H-68		H-69		H-70		H-71	
12.07	12.29	11.11	11.90	12.10	11.26	11.24	11.63	16.67	16.67
13.89	13.04	12.20	13.41	12.42	11.23	N	N	16.63	19.44
0.22		0.79		0.84		0.39		0	
0.85		1.21		1.19		N		2.81	

根據上表，本機與手工操作法試驗數據之比較如下：

1. 同一土樣條件下本機之數據誤差數 0-1.1%，手工操作之誤差最大高達 3.5%，一般試驗中之經驗兩個土樣若相差超過 2% 時，則必須重做第三個或更多試驗以上，手工搓揉土線往往需經數次之

輾轉始可完成。

2. 另同一土樣因含砂量稍多，手掌搓土線時其壓力不一，因含砂量過多有流離之因素，其搓揉甚為困難，然本機可隨情況上之需要增減壓力，或先以無壓搓揉使水分大量消失，後緩慢輕微加壓，即可試驗成功。

## 六、結 論

近年來，科技發展日新月異，人工粗放之方法已不能滿足實際上精確適用之要求，而使人類產生改良更新的意念。由理論的演繹推理，及實際應用上時時研究改進，於是有以機器替代手工，由半自動邁進至全自動化，低速提高為高速，力求效率之提高，產量之增加。綜觀本改良土練機之基本觀念，仍依據其試驗理論及特性，保留傳統之試驗方法

，以機械方法做成一部工具來替代人工，將機械之優點取代手工之缺點，使試驗之效率、準確性加以提高，而得到一比較可靠之試驗目的。本機已獲經濟部中央標準局新型專利十年，於69年1月1日正式生效，本機之製造實驗過程中承臺大水工試驗所主任王如意教授，農工系陳增壽講師，以及市政專校土木科陳主惠講師之現場指導，得以完成研究製造，謹此敬表謝忱。

專營土木、水利、建築工程

大松營造有限公司

地址：彰化市北斗鎮中山路二一三號  
電話：(〇四八)八八二一七五

盈洲砂石  
有限公司

地址：新竹市竹北鄉隘口村隘口二七號  
電話：五五一三三三