

崎嶇坡地用作業機之發展研究(一)

非振動式及振動式犁具之作業特性

Development of Uneven Hillside Implements (I)

Characteristics of Tillage Tools Oscillated and Non-Oscillated

國立中興大學農業機械工程學系助教

國立中興大學農業機械工程學系教授

阮 助 明

黃 陽 仁

Juh-ming Roan

Yang-ren Hwang

摘 要

本省山坡地之開發，大部份以人工爲之，尤其土層中石塊之挖掘，特別費時費力，目前仍無可行之省力作業方式。本研究使用日本落合牌振動式挖掘機於土槽中模擬山坡地土層結構進行犁耕測試，比較振動與非振動式犁具挖掘石塊之作業特性，以尋求省時省力之工作條件及作爲改良機械性能之依據。實驗結果顯示：

1. 非振動式挖掘犁耕時，土壤貫穿阻力及犁耕速度係與牽引力成正比關係。
2. 本振動式挖掘機之振幅與頻率成正比。於振動犁耕時振幅與牽引力成反比。
3. 本實驗之土壤條件爲含有大量石塊之砂質壤土，挖掘機振動犁耕之最佳頻率爲 80Hz 左右，振幅以 1.25~1.5cm 爲宜。
4. 振動式挖掘犁耕所需之牽引力可較非振動式者減低 18.5%。

Abstract

Oscillated diggers have been assumed potential tools in hillside land exploitation. Experiments for comparing the plowing results done by an oscillated digger with that by a non-oscillation one were conducted by applying a soil bin in which hillside soil structures are simulated. Experimental results showed that:

1. Soil penetrating resistance and plowing speed are proportional to draft force when a non-oscillation digger is applied.
2. As an oscillated digger is in operation, the amplitude is proportional to its frequency, but inverse proportional to the draft force.
3. When sandy loam soil with plenty of rocks is chosen for the experiment, the optimum frequency and amplitude of the test machine are 80 Hzs and 1.25 to 1.5 cm respectively.
4. Compared with a non-oscillation digger, the oscillated machine have the potential to save 18.5% of draft force in plowing operation.

一、前言

本省土地總面積三分之二以上為山坡地，其中屬於山坡地保育利用範圍內宜於農牧利用者約四十餘萬公頃；佔全省耕地總面積三分之一以上。據臺灣省山地農牧局初步調查，目前可供種植而尚未開發者約十萬公頃；因此如何更實用、經濟的去開墾利用山坡地，應是當前急務之事。

以往本省坡地之開發，係藉人工掘起石塊築成梯階牆台，其上種植果樹等作物；但目前農村正面臨勞工短缺和高工資的問題，且前項作業極費時費力，是以利用機械以代替人工勞動力，乃勢所必然。

本研究使用日本落合牌振動式挖掘機，利用其機械振動特性於土槽中模擬山坡地土層結構進行犁耕測試，比較振動與非振動式犁具挖掘石塊之作業特性，以尋求省時省力之作業條件，作為改良設計上之依據，促使山坡地一貫農業機械化之目標早日實現。

二、文獻簡述

振動犁耕在國外已有相當可觀之研究成果，其目的為探討如何減少牽引力 (draft force)，改進破壞土壤時所需之能量利用效率，以及在土壤粉碎程度上施以某種控制等之可能性。依 Slade 與 Winterkorn (1954) 指出：振動式犁具之最大特徵為所需之牽引力大為減少⑥。

振動可在土壤內發生物理之變化而有減少抗剪強度之傾向。振動犁耕系統之變動參數包括犁耕速度、振動頻率、振幅、振動運動之方向與方式、犁具形狀、器具提昇角 (lift angle)、以及土壤之物理特性等各項②。若干研究結果指出，將前述各參數之值予以適當組合，與非振動犁耕器具相比較時，振動犁耕器具所需之牽引力可減少高達 50 至 75% 左右；同時，利用犁耕器具之振動亦可增進土壤之破碎作用②。

數位研究人員發現，倘能產生每一循環之前進行程大致等於或稍小於非振動犁耕器具所造成之自然剪斷平面之間隔時的頻率，則該振動犁耕器具於此頻率下之振動效果最為顯著；此種關係，將使最佳頻率成為土壤物理特性之函數。甚多試驗所採用之頻率多為 10 至 50 Hz；零至尖峯 (peak) 之振幅，一般皆由 2.5 至 13mm 左右②。

Wismer (1968) 等指出，所做之心土犁試驗，認為垂直振動通常將增加總能之需要。Gunn 與 Tramontini (1955) 二氏指出，利用一簡單傾斜片例如心土犁而做試驗，犁耕深度為 19cm，當心土犁以水平方向振動時，發現其所需總能略有減少。1964 年，Kalhuzhnie 與 Gorkham 二氏利用電磁振動器將板犁的犁鏵與犁鏵下半部在「產生土壤反應之方向」加以振動，於 4.8km/hr 之犁耕速度與 50Hz 之情況下，所需之牽引力可減少 28%，總能之減少為 20%；又於 6.4km/hr 之速度時，振動並不能減少牽引力，反而增加總能需要②。

Shkurenko 氏 (1960) 研究振動對土壤的切削阻力之影響，結果指出，在相當高的振動速度時，將造成切削阻力之大量 (50~60%) 減小，且發現犁具以水平方向振動其效果更為顯著，再者，犁耕速度對切削阻力之影響較微小。Kanafojski 氏 (1965) 證明：在固定的頻率與振幅下，藉減少犁耕速度，可以大大的減少牽引力。1967 年，Boyd 與 Nalezny 二氏之研究結果指出，增加振動頻率與振幅時會減少犁具之切削阻力⑥。

綜合以上各種實驗結果得知，振動對總能需要之影響變化如此之大，故欲利用振動方法將能量以最有效之方式加諸於土壤時，尚須繼續從事更多之研究與分析工作。

三、試驗裝置與儀器

本研究所使用的儀器裝置如圖一及圖二所示：

(一)土槽 (soil bin)

土槽為內壁長 390cm，寬 100cm，深 100cm 之長方形鋼板加強構造，土槽下方裝有長 845cm 的鋼軌樑及工字鋼軌，作為土槽鐵輪行走用。

(二)驅動行走裝置 (driving device)

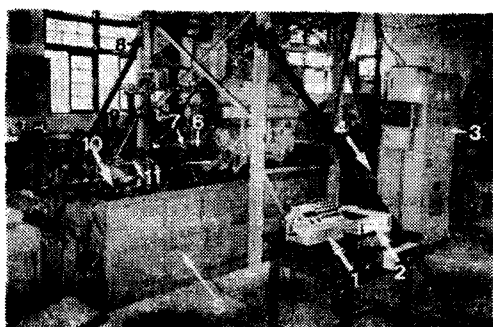
土槽係以裝設在軌樑一端上側之驅動裝置而控制其進退行走。該驅動裝置包括一 22kw/1800 rpm 之直流電動機，速比 1/1.82 之 C 型四溝 V 皮帶輪減速裝置、一速比 1/30 之齒輪減速機及四條 100# 之驅動滾子鏈牽裝土槽之頭尾兩端而成。

(三)控制箱 (control box)

其功用為控制土槽行走速度，使土槽具有 0.7~35cm/sec 之速度範圍。

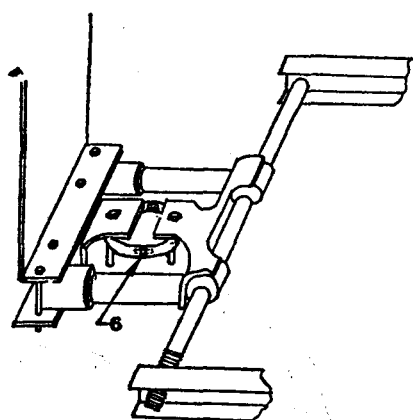
(四)挖掘機 (digger)

本機之原理乃是利用其機械振動特性，使犁叉

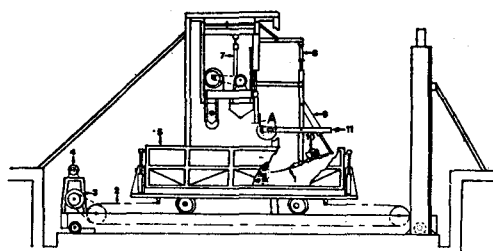


圖一、試驗裝置外觀

(1)放大器 (2)記錄器 (3)控制箱 (4)22 KW 直流電動機 (5)土槽 (6)環式測力器與應變規 (7)接線盒(電橋) (8)犁掘深度調節液缸 (9)挖掘機入土角度調節液缸 (10)挖掘機 (11)測定機架



A之放大寫生圖



圖二、試驗裝置

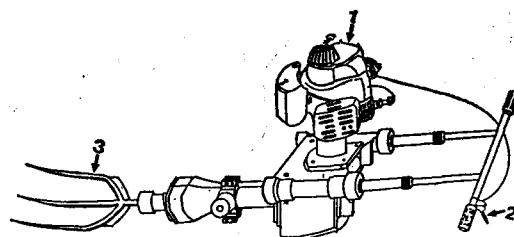
(1)加速度轉換計固定處 (2)土槽驅動鏈 (3)減速機 (4)22KW 直流電動機 (5)土槽 (6)環式測力器與應變規 (7)基台升降液缸 (8)犁掘深度調節液缸 (9)挖掘機入土角調節液缸 (10)挖掘機 (11)測定機架

易於深入土層，以挖掘石塊之一種機具。如圖三所示。引擎之動力驅動撞擊活塞，當犁叉入土遇阻力向後退時，撞擊活塞便敲擊犁叉最末端，促使犁叉向前移動，如此反復撞擊，使犁叉產生振動效果。本機採用二行程空冷式汽油引擎，其排氣量為 22.5

c.c.；無負荷狀態下引擎轉速為 1600~8000 r.p.m。
。犁叉寬25cm，最大振幅 1.8cm。

(四)應變規 (strain gages)

為測定挖掘機挖掘石塊所需之牽引力，於鋼環內、外側各成垂直黏貼一應變規，如圖四所示；應變規型式為 KYOWA, KFC-5-C1-11 型，電阻 120 歐姆，gage factor 2.1。



圖三、本試驗用挖掘機

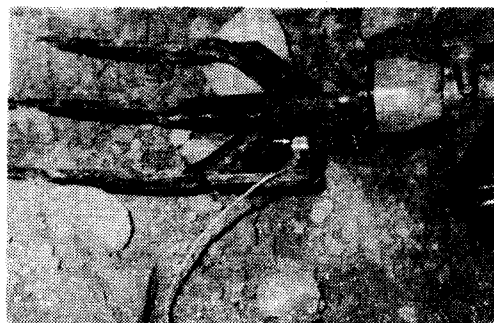
(1)引擎 (2)油門把手 (3)犁叉

(內)加速度轉換計 (acceleration transducer)

其型式為 KYOWA, AS-10B，如圖五所示。黏固於挖掘機之犁叉末端，主要目的為測定挖掘機於振動犁耕時之頻率與振幅。頻率範圍為 0~400 Hz。



圖四、應變規在環式測力器上的黏貼位置



圖五、加速度轉換計之安裝位置

(4) 動態變放大器 (dynamic strain amplifier)

應變規與加速度轉換計的訊號經接線盒 (bridge box)，把訊號輸入放大器加以放大，再經由記錄器把訊號顯現於記錄紙上。放大器為 KYOWA DPM-3E6B 型。

(5) 記錄器 (recorder)

記錄器為 KYOWA, RMS-200H 型，記錄紙之移出速度每秒分別為 1, 2, 10 及 20cm 等四種。其功用為將放大器輸出之訊號繪於感光記錄紙上。

四、方法與步驟

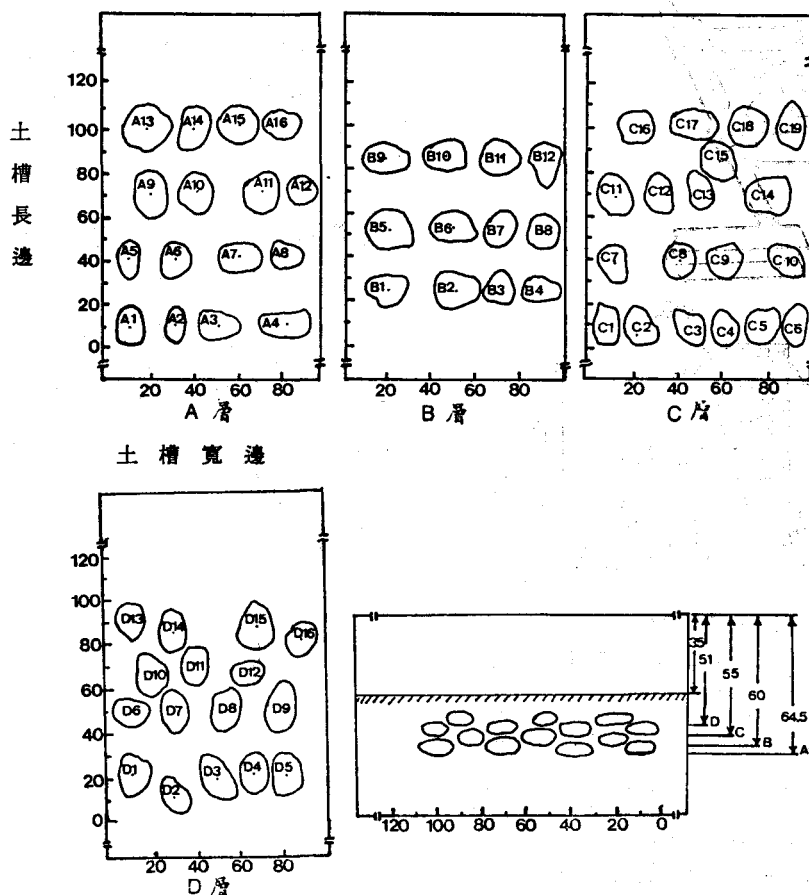
本試驗研究所使用之土壤採自臺中縣后里鄉廣福村之山坡地；取樣 50 公克經土壤物理性機械分析，其中砂粒佔 52.84%、粉粒佔 32%、粘粒佔 15.16%，查土壤質地分組三角形圖得知本試驗用之土壤為砂質壤土。土壤在填入土槽前先將所有大

、小石塊去除，並加水均勻攪拌；每次試驗測定均將土壤含水率控制在 14.5%~14.7% 之間，使試驗時因土壤水分引起的變動因素降至最低。

為模擬實際山坡地之土層結構，本測定將石塊分四層編號依其一定位置排鋪於土槽中，每層石塊之間均有土壤填塞，如圖六、圖七所示。試驗石塊



圖六、試驗石塊 (A 層) 排鋪土槽內之情形

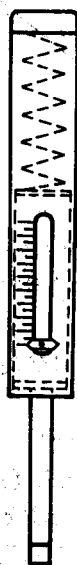


單位：cm

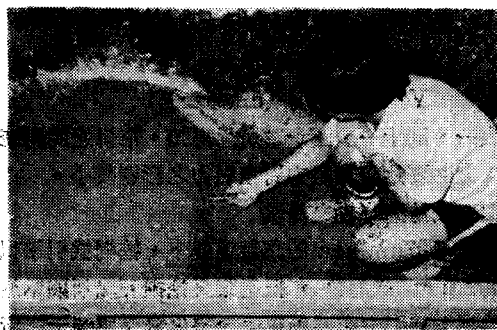
圖七、試驗石塊各層分佈圖與側視圖

與土壤排放裝填後，以圓鋏背面加以敲打壓實，使土壤硬度控制在預估範圍內。測定前先將犁濕試驗區用圓鋏刃垂直削平，以土壤貫穿阻力計（圖八），（以每單位面積之圓柱貫入阻力表示土壤硬度），加以測定土壤貫穿阻力，貫穿阻力值以挖掘機犁又犁耕處採十點測定平均之，如圖九所示。試驗後即刻採取土壤樣本以測定含水率。供試之石塊依 A, B, C, D 四層分別編號 (A1, A2, ..., A16, B1, B2, ..., B12; C1, C2, ..., C19; D1, D2, ..., D16)。挖掘機安裝於測定機架上，使每次挖掘試驗之位置皆同；挖掘時犁又入土角與水平方向成 20 度（亦即提昇角）。

在測試前，所使用之測定儀器如動應變放大器、記錄器等至少先開機半小時，使儀器暖機進入備用狀態，測定儀器在測試前並先予校準。



圖八、土壤貫穿阻力計
(貫入阻力 $(0-4.5\text{kg/cm}^2)$)



圖九、土壤貫穿阻力測定情形

(一)非振動式挖掘犁耕之測試

於每次試驗前之準備工作完成後，即依下列步驟進行測試：

1.調整挖掘機之垂直耕深，本測試設定為 18 cm，由圖七得知挖掘垂直深度介於 A, C 層之間；並使測定機架保持水平。

2.檢查各測定儀器是否正常，以手拉動測定機架時，記錄器內之光點應會移動，表示測定儀器在正常狀態。

3.打開控制箱內 22KW 直流電動機之開關，並使馬達運轉以帶動土槽移動，當挖掘機犁又達到一定水平入土深度時（固定為 14cm），即刻停止土槽移動。

4.當犁又達到一定水平入土深度時，同時將測定機架往上提，並觀察犁又之挖掘情況。

5.將犁又上之石、土移除，把測定機架恢復水平，於挖掘處採點測定土壤含水率。

6.記錄犁耕速度。並將被挖出及鬆動之石塊，依圖七所示之位置重新排鋪鎮壓打實，間隔一天後再從事下一次之測試。

(二)振動式挖掘犁耕之測試

於相同犁耕條件下，使挖掘機之犁又產生振動作用，以比較振動與非振動式之犁耕特性。將加速度轉換計黏固於挖掘機犁又末端上，使其導線經由接線盒插入放大器，測定時即可由記錄器繪出振動之軌跡。發動挖掘機之引擎使犁又遇阻力時可產生水平方向之振動作用；俟引擎之轉速保持穩定後，依照非振動式挖掘犁耕之測試步驟進行測定工作。

五、結果與討論

(一)非振動式挖掘犁耕之測試

非振動式挖掘犁耕測試其結果之一如圖十所示，係犁耕速度為 3.59cm/sec 時，犁又挖掘石塊所顯示於記錄紙上牽引力變化情形，犁耕時，土壤含水率為 14.6%，貫穿阻力為 2.38kg/cm^2 。

由牽引力曲線之變化得知，犁又於入土後牽引力急速上昇，當犁又前端作用在 C3 石塊之下端時，牽引力達到最大值，俟犁又滑過此石塊下方，牽引力即刻下降，且下降後又上昇；於犁又被上舉，測定機架恢復水平後，記錄曲線乃回復至基準點。經多次重複試驗，記錄紙上牽引力變化亦同。



圖十、非振動式挖掘犁耕牽引力之變化情形

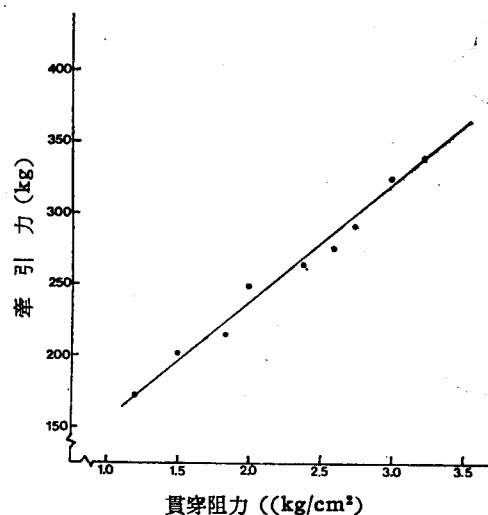
Strain 300×10^{-6} , att=1/10, paper speed 2 cm/sec, draft force 262.59kg

表一 非振動式挖掘犁耕之測試結果

測試項目 次數	貫穿阻力 (kg/cm ²)	土槽速度 (cm/sec)	牽 引 力 (kg)
1	2.59	3.53	272.28
2	3.01	3.52	323.56
3	3.22	3.57	337.48
4	2.00	3.53	248.04
5	1.50	3.54	201.74
6	1.84	3.60	212.98
7	2.74	3.56	289.71
8	2.38	3.59	262.59
9	1.20	3.57	170.68
10	1.98	3.28	244.07
11	1.99	3.81	278.39
12	2.02	2.16	220.18
13	2.20	2.57	229.05
14	1.96	3.01	238.09
15	2.03	1.80	195.60
16	2.01	5.19	324.58
17	2.10	1.45	190.10
18	2.03	4.45	290.30
平 均	2.16	3.32	250.58

為瞭解非振動式挖掘犁耕在各種不同犁耕速度與土壤貫穿阻力下牽引力之變化，經多次重複試驗，其結果經分析如表一所示。

圖十一表示非振動挖掘犁耕在 3.56cm/sec (表一前九次平均) 等犁耕速度下，土壤貫穿阻力對牽引力之影響，由圖可知犁耕所需之牽引力與貫穿阻力成正相關；將實驗數據輸入電腦使用 BMD-PIR package 可運算出下列之線性迴歸方程式：



圖十一、在 3.56cm/sec 等犁耕速度下，貫穿阻力對牽引力之影響

$$F = 75.4185 + 80.092P$$

$$R^2 = 0.9795$$

$$F = \text{牽引力 (kg)}$$

$$P = \text{土壤貫穿阻力 (kg/cm}^2\text{)}$$

圖十二表示土壤在 2.04kg/cm² (表一後九次平均) 等貫穿阻力下，犁耕速度對牽引力之影響，由圖中顯示犁耕速度與牽引力亦為正比例關係。建立線性迴歸方程式：

$$F = 135.9103 + 35.612V$$

$$R^2 = 0.9836$$

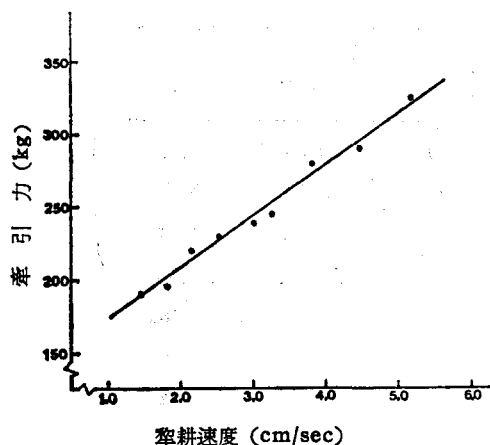
$$F = \text{牽引力 (kg)}$$

$$V = \text{犁耕速度 (cm/sec)}$$

由表一、圖十一、圖十二所示得知，犁耕速度對牽引力之影響比貫穿阻力對牽引力之影響較小。

(二) 振動式挖掘犁耕之測試

於 3.57cm/sec 等犁耕速度下，挖掘機引擎以 3600r.p.m. 迴轉時，振動犁叉挖掘石塊所顯示於記錄紙上牽引力與振動軌跡之變化情形如圖十三所示。本次犁耕土壤含水率為 14.7%，土壤貫穿阻力



圖十二、於 2.04kg/cm^2 等貫穿阻力下，犁耕速度對牽引力之影響

為 2.52kg/cm^2 。圖中顯示，振動犁耕時牽引力曲線之變化較平穩，亦即，因振動效果使得土壤切削阻力減弱之故。由振動軌跡看出，當牽引力由小漸增時，振動頻率是由小變大，而振動幅則反之。

振動式挖掘犁耕經多次重複測試，其結果經分析如表二所示；K 值表示振動式挖掘犁耕所需之牽引力與非振動式比較時之減低率。

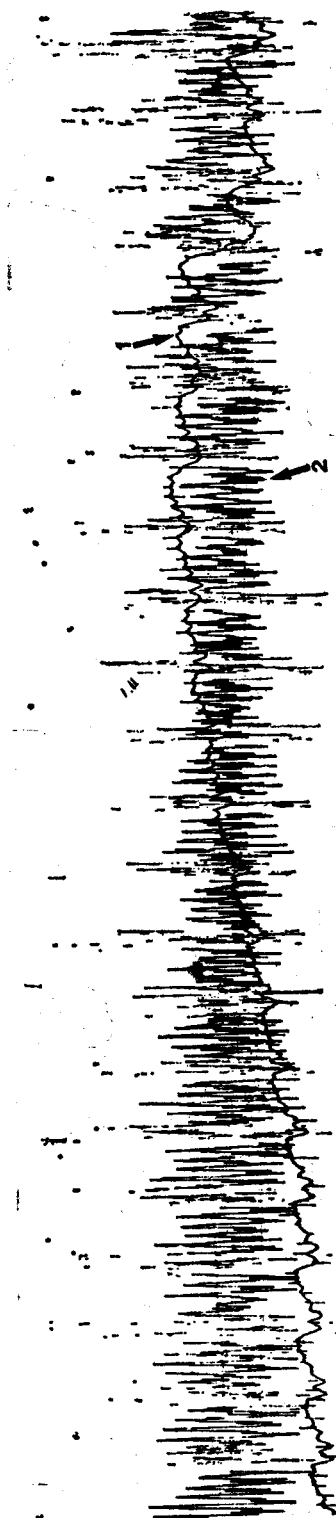
K 值之大小範圍 (12~25%) 隨振動頻率而變化，兩者之關係如圖十四所示。振動頻率在 80Hz 以下時，減低率 K 隨頻率之降低而減少；當振動頻率超過 80Hz 以上時，K 值急速下降；因此於本實驗之土壤條件為含有大量石塊之砂質壤土下，挖掘機振動犁耕之最佳頻率為 80Hz 左右，振幅以 $1.25\sim 1.5\text{cm}$ 為宜。

圖十五表示振幅與頻率間之關係，由圖中可知本落合牌振動式挖掘機其振幅與頻率成正相關；亦即，振幅是一變數，隨振動頻率之改變而變化。本挖掘機之最大振幅為 1.8cm 。

(三) 振動與非振動式犁耕特性之比較

振動式犁耕之最大特徵除了所需之牽引力大為減少外，其他特性尤應深入探討。比較圖十、十三得知，振動式挖掘犁耕時其所需牽引力呈平穩的增加，而非振動式犁耕為瞬間急速上昇；因此後者之作業方式對牽引裝置強度要求上較高。

振動式犁耕所需之牽引力不論振動頻率之大小，均比非振動式犁耕要小；於相同測試條件下，前者所需之牽引力與後者比較時平均減少 18.5% (表二)。因此以振動犁耕方式進行開墾挖掘山坡地之石塊，具有實用之價值。



圖十三、振動式挖掘犁耕牽引力與振動軌跡之變化情形
strain 300×10^{-4} , att = 1/8, paper speed 20cm/sec , draft force 225.58kg
(1) 牽引力曲線 (2) 振動軌跡

表二、振動式挖掘犁耕之測試結果

次 數	測 試 項 目					K 值 (%)
	貫穿阻力 (kg/cm ²)	土槽速度 (cm/sec)	頻 率 (Hz)	振 幅 (cm)	牽 引 力 (kg)	
1	2.54	3.57	60	1.03	225.58	17.15
2	3.01	3.50	80	1.45	244.62	24.40
3	3.24	3.57	80	1.45	252.43	25.20
4	2.00	3.53	60	1.02	204.14	17.70
5	1.52	3.53	92	1.60	176.97	12.28
6	1.85	3.60	60	1.02	178.01	16.42
7	2.72	3.56	76	1.35	227.05	21.63
8	2.38	3.58	51	0.70	223.60	14.85
9	1.23	3.56	55	0.90	139.90	18.39
10	1.96	3.29	75	1.35	190.05	22.13
11	1.98	3.81	50	0.70	233.30	16.20
12	2.04	2.18	55	0.91	183.08	16.85
13	2.21	2.58	70	1.25	182.10	20.50
14	1.96	3.01	65	1.15	194.07	18.50
15	2.02	1.80	60	1.02	162.02	17.17
16	2.01	5.17	92	1.61	278.60	14.17
17	2.10	1.44	70	1.26	151.10	20.52
18	2.03	4.45	70	1.25	232.80	19.81
平 均	2.16	3.32	68	1.17	204.38	18.55

$$\text{註：} K = \frac{A-B}{A} \times 100\%$$

其中 A：非振動犁耕所需之牽引力
B：振動犁耕所需之牽引力

由表一、二之數據，在振動頻率 60Hz、犁耕速度為 3.56cm/sec（表一、二前九次平均）之條件下，當貫穿阻力變化時，比較非振動式與振動式之牽引力，可得圖十六之線圖。從圖中得知，兩種犁耕方式有相同的牽引力變化；且振動式之牽引力比非振動式者平均減少 17.1%，但貫穿阻力在 1.85 kg/cm² 時減低率稍有降低。當貫穿阻力在 2kg/cm² 以下時，兩曲線相同的急速下降。

於振動頻率 70Hz、土壤貫穿阻力為 2.04kg/cm²（表一、二後九次平均）之情況下，使犁耕速度改變時，比較非振動式與振動式兩者所需之牽引力（圖十七）。其結果指出，兩犁耕方式亦有相同

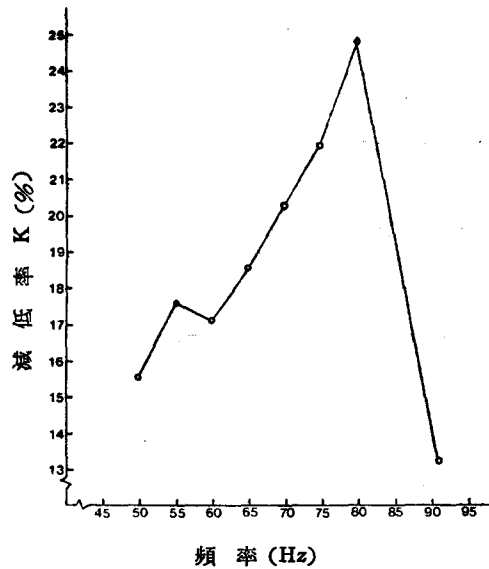
的牽引力變化；且犁耕速度對牽引力之影響皆為正比關係，但犁耕速度增高時，減低率 K 有微小的降低。

六、結 論

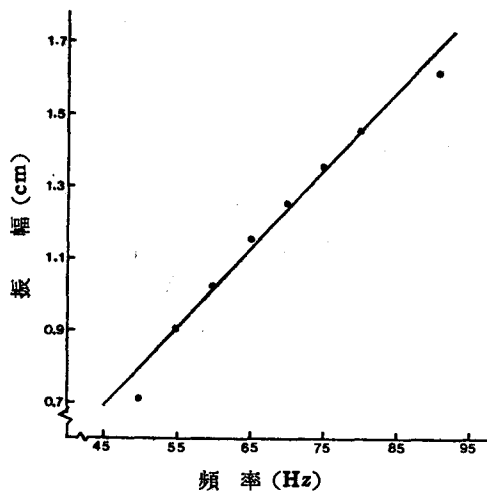
非振動式及振動式挖掘犁耕之作業特性經試驗結果，可獲下列結論：

1. 非振動式挖掘犁耕時，土壤貫穿阻力及犁耕速度係與牽引力成正比關係。但後者對牽引力之影響較小些。

2. 本振動式挖掘機之振幅與頻率成正比。於振動犁耕時，振幅與牽引力成反比。



圖十四、振動頻率與減低率K值之關係



圖十五、振動頻率對振幅之影響

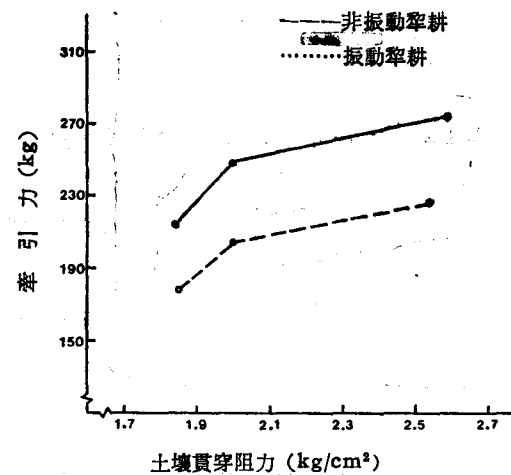
3.振動犁耕時之最佳頻率為 80 Hz 左右，振幅以1.25~1.5cm 為宜。

4.於相同土壤條件下，振動式挖掘犁耕所需之牽引力與非振動式比較時平均減少 18.5%。因此以振動犁耕方式進行開墾挖掘山坡地之石塊，具有實用之價值。

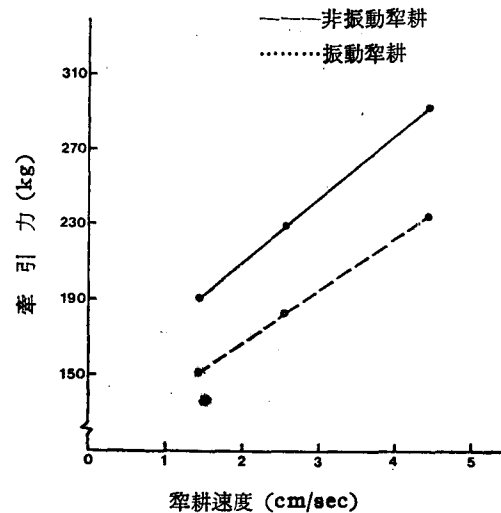
七、建 議

為使振動式挖掘機能充份發揮其省力省時之特性，有助於山坡地之開發，作如下之建議：

1.本試驗用之挖掘機，經由土槽中測定結果顯



圖十六、在 3.56 cm/sec 等犁耕速度時，振動與非振動式牽引力之比較 (頻率：60Hz)



圖十七、在 2.04kg/cm² 等貫穿阻力下，振動與非振動式牽引力之比較 (頻率：70Hz)

示，振動式比非振動式所需之牽引力減低 18.5%。但此機械振動式挖掘機仍應配合坡地曳引機至山坡地作田間試驗，以測定其犁耕特性。

2.鑑於山坡地土層結構複雜，石塊大小參差不齊，因此，依據本試驗所使用機械振動式之犁耕特性，研製油壓振動式挖掘機，於土槽中測定其犁耕特性，並作田間試驗。

3.比較機械式與油壓式振動挖掘機之土槽與田間試驗結果，選擇一最佳型式之挖掘機，以供本省山坡地開發之需。

(文轉第 133 頁)