

農業機械測功土槽之研製(一)

——機構裝置之設計——

Development of a Soil Bin Dynamometer System (I)

-A Study on the Design of Mechanical Equipments

國立中興大學農業機械工程學系教授

黃 陽 仁

Yang-ren Hwang

摘 要

為研究發展坡地曳引機及其作業農機，以配合政府在保育利用本省山坡地下供作農牧用途，本研究頃參考國外諸測功土槽之得失，創製可模擬坡地現場農機作業狀況之測功土槽，以探竟農機設計改良時之實際特性；為今後「土壤——農機」之相關學術研究及經建發展，完成一有效之性能測試研究用設備。

本研製完成多用途測功土槽之特點為：(1)受測機具係被固定於測功框架上，可作 0° ~ 35° 之橫向及 0° ~ 30° 之縱向姿勢傾斜，故可超出機具傾覆角，仍可測出其六分力；(2)可往回移動之土槽尺寸寬深為 $3.9\text{m} \times 1.0\text{m} \times 1.0\text{m}$ ，以 22kw Thyristor 控制之無段變速三相電源電動機，經皮帶減速後藉鏈條驅動，行走速度之變化範圍為 $0.7 \sim 33.2\text{cm/sec}$ ；(3)動力導出驅動裝置之動力，則以 -11.5kw 之電動機，經無段減速，作 $2.55 \sim 11.8\text{rpm}$ 範圍之變化迴轉；並兼作土槽之整地及搬運換土之動力源；(4)土槽之橫向傾斜角度調整及受測機體與土槽面之高度調整，係以油壓裝置達成之；(5)控制土槽縱向傾斜角度之土槽行走軌樑角度調整，以及受測機具之橫向正位調整，則各藉 10 噸用電動吊車及 $\frac{1}{2}\text{HP}$ 電動機驅動之；(6)以六頻道應變規放大記錄儀，測錄六分力或相關驅動牽引參數，可繪製受測農機之作業特性。

Abstract

For the further step to improve hillside farm machinery in Taiwan, it is important to consider with the preservation of soil and water of the slopelands at first, to fit with the governmental policy. For developing hillside tractors and their implements, a soil bin dynamometer which is able to simulate the hillside field spot is necessary for advance study. Many kinds of soil bins fabricated and settled in abroad were investigated and compared in this study. Finally, one creative multipurpose soil bin dynamometer system is design and made. It provides an useful facilities for academic researches and economic construction in proceeding soil-machinery relationship inquiries hereafter.

The characteristics of the multipurpose soil bin dynamometer system under construction already are:(1) the equipment under test to measure is to be fixed on the frame of dynamometer which is able tilting angle of $0^{\circ}\sim 35^{\circ}$ degree transversely and adjusting angle of $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ degree longitudinally without any dangerous; (2) the size of the traveling soil bin is $3.9\text{m}\times 1.0\text{m}\times 1.0\text{m}$, which is driven by a 22kw thyristor controlling three phase electric motor through speed reducing equipment, and driving chain, speed of $0.7\sim 33.2\text{cm/sec}$ is attainable; (3) a 11.5kw electric motor is used for power-take-off device as a prime mover, the speed is reduced to $2.55\sim 11.8$ rpm by introducing a stepless transmission, which is lead to drive the machine under study and soil preparing equipments after each measuring path alternately; (4) a hydraulic system is prepared to adjusting the tilting angle of soil bin, another hydraulic device is controlled for the height of power-take-off frame; (5) a 10 ton chain hoist motor is used to elevate the end of the rail-beam structure for the purpose to obtain different climbing angle, another $\frac{1}{2}$ hp electric motor is used for tilting the power-take-off device and the machine under study as well; (6) six components of force and torque are to be sensed by strain gages, and recorded by a six channel recorder which is lead to draw characteristics curve of the machine under study.

一、前 言

以各種土壤為對象，進行農業機械或農地造築機械之基本力學特性研究時，將土壤之諸物理性質，其中尤其以土質、含水率、密度以及由此衍生之力學性質，例如應力——應變相關變數、coulomb 參數、圓錐貫土係數 (cone penetrating index) 等，能予以明確界定其特性數，並有可能複製其土壤狀況，以備測試用途者，至有必要。反之，對於其土壤條件無法確定其物性數值，而逕行測試機具，則所獲得之結果，由於測定值差異的解釋，缺乏土質差異上之依據，故實質上並無應用上之價值及意義。

田間等自然條件環境下之土壤，受原有植生、氣候、地形、地質等因素之變化，各形成其特有之土壤狀況。今以調整含水量、密度等方式，期以獲得不同力學特性之土壤田間時，因易受地區性水文狀態、鎮壓機具牽引機輪胎踏壓 (tire compaction) 等影響，極難產生均齊性之土況結果。

土槽試驗設備為當前有關土壤——車輛 (soil-

vehicle)或土壤——機具 (soil-implement) 相關體系之力學特性探討上，消除上述缺失所不可欠缺之重要基本研究設備；同時亦為各國農業機械研究機構，開發或改良新機種時，賴以衡量判定其優劣性能差異上之必需裝備。惟綜觀比較諸研究機構既設之測功土槽設計型式及用途，皆以平地作業之農機特性探討為範圍，而未發表有可供坡地模擬為用途之任何設計。作者鑑於開發山坡地須以機械化作業之必然趨勢，以及政府已列山坡地保育利用為既定施政重點，而傳統之曳引機及作業機不適合多雨性臺灣坡地之開發使用，自需自行研究發展適用之坡地平地多用途農機測功土槽。

本研製之土槽設備，參考國外十七種型式之農機土槽設計要點及有關特性，並參酌製作之經費有限下，設計施工完成；屬於坡地土槽製作之一項創舉，開本省坡地農機研究方法之先河。由於本設備之完成，對今後參予國際性 Terrain-Vehicle-System 之學術研究和探討，具有重要性；從而提供國內農機廠商進行測試改良新機種，促進經建發展，提升我國農機產業的水準，具有實用價值。

二、國外既知測功土槽設備之探討：

農機測功土槽設備，宜包括下列裝置：(1)土槽；(2)整土裝置；(3)撒水裝置；(4)均化覆蓋裝置；(5)受測機具固定框架；(6)行走及驅動裝置；(7)測功感測儀器、記錄裝置及控制箱。

(一)土槽之形式：

使受測機具固定框架與土槽間，產生相對位移動之方法有：(1)固定土槽式及(2)移動土槽式兩種；前者係使土槽固定設置，而將可連結受測農機之框架連接台車，在鋪設於土槽側之鐵軌上滾動行走，或將框架置於架設土槽上方之單軌吊車上攀掛行走者；後者則係使土槽置於台車上，令機具固定於框架不移動者。

驅動台車或吊車在鐵軌上滑行移動之機構方式，有鋼索曳引式、齒條推拉式、台車車輪驅動式等，如圖 1 所示。又，土槽形狀有環形及直槽二種，如圖 2 所示⁽¹³⁾。環形之優點為可連續測試，但設備費用高昂；直槽式則適為相反，故較多被採用。驅動土槽之動力有電動及油壓二種，使用馬力最大者達 40kw，但以 30kw 以下者居多；相對之滑行走速度最高有達 20km/hr ($\approx 5.55\text{m/sec}$) 者，

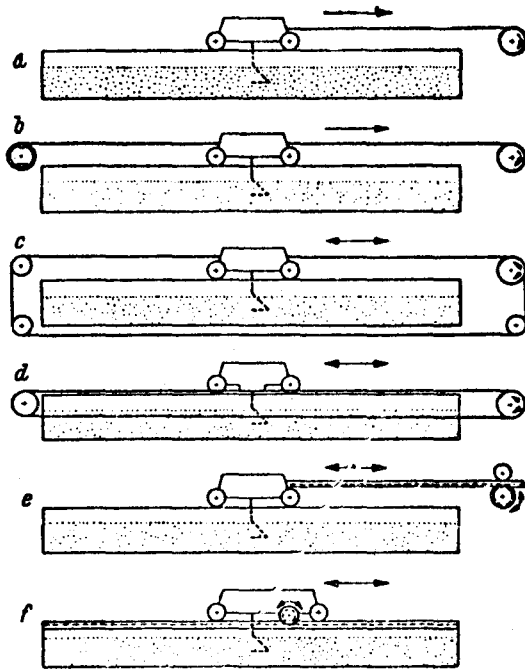


圖 1 固定土槽式之台車移動機構之種類：a.單向曳索式，b.雙向曳索式，c.絞輪正反轉曳索式，d.閉路二輪絞輪式，e.齒輪齒條推拉式，f.台車齒輪驅動式

但一般則為 10 km/hr 以下之各範圍速度行之。若速度之變化不甚影響測試之結果時，較低行速之製作費較低廉。

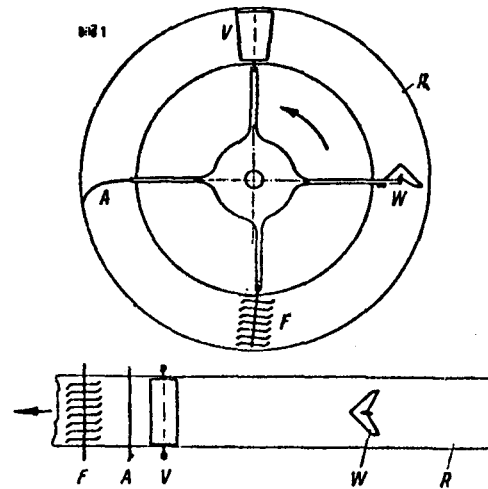


圖 2 環槽式(上圖)及直槽式(下圖)土槽。

- F—耕耘裝置
- A—整平裝置
- V—鎮壓裝置
- W—受測機具
- R—土槽

(二)測功土槽及設備：

於圖 3 所示之德國工業大學農機車輪測功土槽，為長 25m，寬 2.5m，深 60cm 之固定土槽，待測之車輪係被固定在行走鐵軌上之台車上者；其作用在車輪之轉矩、垂直負荷、車輪之前進牽引力以及車輪之行走速度、滑動率等，需藉儀器裝置測定之。

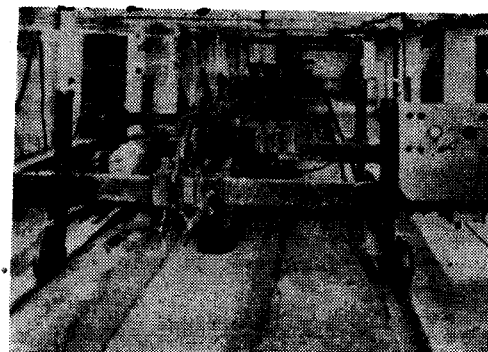


圖 3 德國工業大學之農機車輪行走特性測定用測功土槽設備

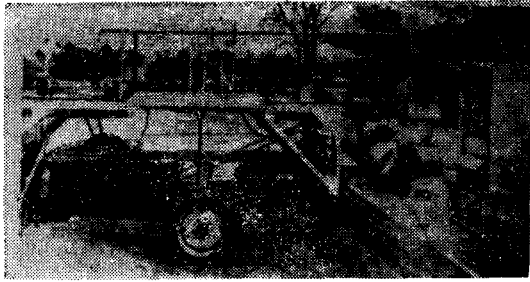


圖 4 美國國立耕耘機械實驗所之曳引機車輪行走特性測定用測功土槽設備。

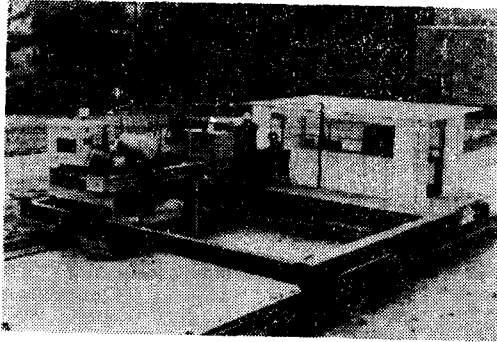


圖 5 美國耕耘機械實驗所之曳引機履帶行走特性測定測功土槽。

受測機具為原型曳引機等較大機具時，多採用室外土槽；如圖 4、5 所示者為美國 National Tillage Machinery Laboratory 之測功設備，受測之曳引機輪胎及履帶係以油壓驅動者。

圖 6 為設於德國慕尼黑工業大學農機系之另一測功土槽，屬典型之室內固定土槽式，受測機具係被固定在滑行軌道的框架移動測功。圖 7 為美國普渡大學之上空吊掛式框架台車之固定土槽測功設備。此等學術研究用之土槽型體較小，裝置需費不高。

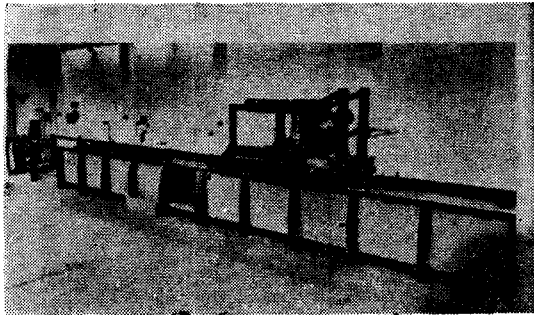


圖 6 德國慕尼黑工業大學之測功土槽。

圖 8 ~ 12 所示之各型土槽屬較大昂貴之設備；

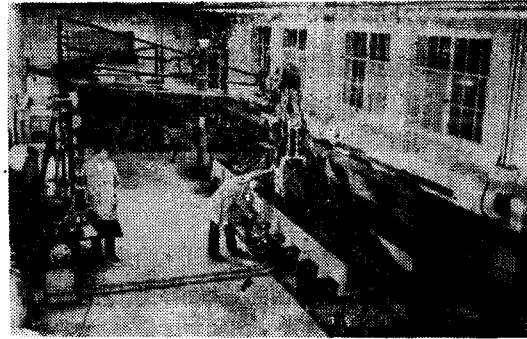


圖 7 美國普渡大學之教學研究用農機測功設備。

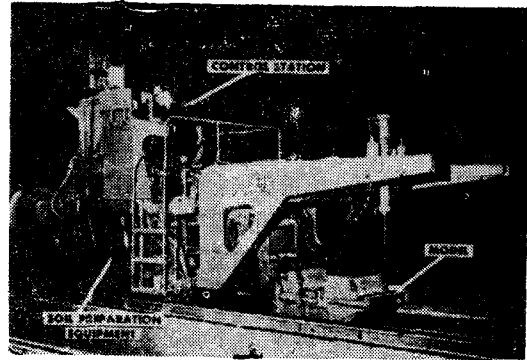


圖 8 美國 Caterpillar 推土機製造公司擁有之土槽設備

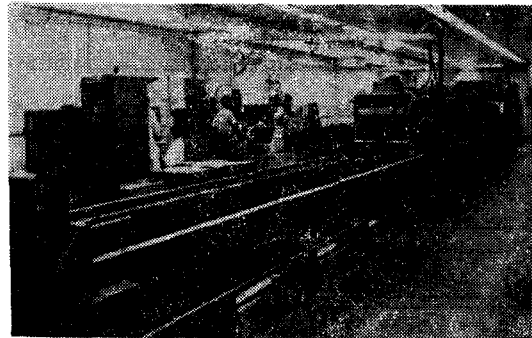


圖 9 Deere 公司之測功土槽

如圖 8 為 Caterpillar 曳引機公司之推土機用測功土槽；圖 9 為 Deere 公司之產業研究用測功土槽；圖 10 為英國國立農業工程研究所之移動土槽式測功設備，受測機具車輪則被固定於靜止之框架上，驅動方式屬電動裝置。圖 11 所示者為美國 Waterways Experiment Station 之全尺寸履帶測功土槽設備，土槽呈固定，令履帶或車輪行走。圖 12 為設於美國農業局耕耘機械實驗所之環形移動土槽式測功設備，其受測機具係被固定在輻射臂桿上。圖 13 為崎嶇地面 (random surface) 轉換因

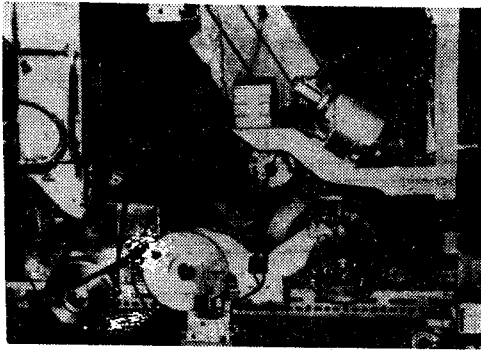


圖10 英國國立農業工程研究所之測功土槽。

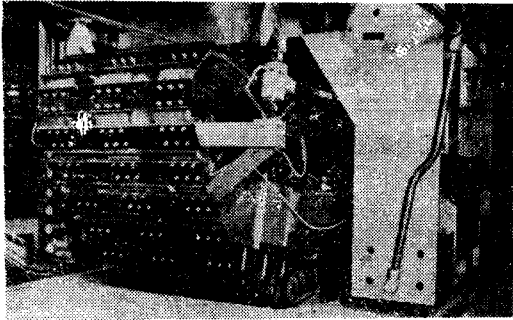


圖11 美國水路試驗所之履帶測功用土槽設備。

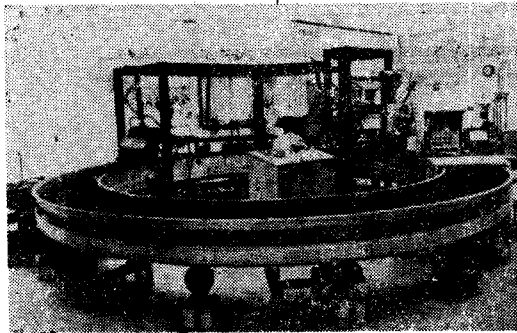


圖12 美國國立耕耘機械實驗所之環形移動土槽式測功設備。



圖13 美國陸軍野外坦克車指揮部野外行走實驗所之崎嶇行走測功土槽之測試。

數測功設備，以模擬車輛或坦克在野外之行走，設於美國 Army Tank Automotive Command's Land Locomotion Laboratory⁽⁷⁾。

比較檢討各種型式之土槽測功設備後獲知，固定土槽式之優點為，使用之驅動動力較移動式土槽者為小，故設置成本費用低，適於較高移動速度機具之測試，可一次作較大面積之整土，產生較均勻條件之土槽；惟其缺點為不適合作傾斜地面之模擬試驗。

圖14為日本京都大學之小型測功土槽，依相似性模擬定理 (similar model simulation) 探討履帶片之土壤力學特性者⁽⁸⁾。設於日本農業機械化研究所之施肥機性能測試裝置，如圖15所示⁽⁴⁾，係以寬幅皮帶取代土槽移動，其他則與測功設備同。

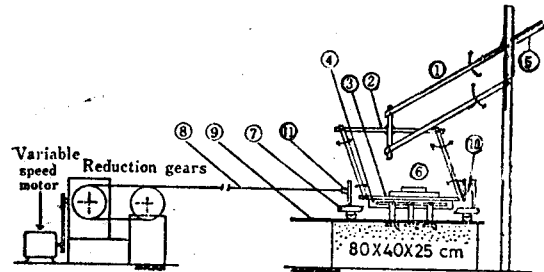


圖14 日本京都大學之小型測功裝置；①、②十字型支撐桿，③載荷板，④履帶片連接框，⑤平衡錘，⑥重錘，⑦牽引台車，⑧曳索，⑨鐵軌，⑩拉力應變計，⑪牽引點拉具。

固定土槽式測功設備之構造，於圖16所示者，亦屬用鋼索牽引受測機具之形式⁽¹³⁾；置於土槽側鐵軌上滑行之受測機具框架，則如圖17所示。受測機具係被固定於由四輪支承之台車所連結之機具連桿上，其高度可藉把手在 250mm 之範圍內上下調節。上側桿之樞轉角度為83度；台車中央底端兩側，各有牽拉框具，與驅動曳索之兩端繫接之。

圖18為該移動台車與被測試機具之連接方式種類，受測機具在土槽上之作用力，藉牽引力感應裝置測定之。圖19所示者為測功台車之受測機具自動調整垂直及水平之裝置。

圖20所示者為土槽之整地鎮壓裝置；耕耘刀軸係由一 3kw，轉速 720rpm 之電動機所驅動，經兩條17mm寬之V型皮帶輪及 $\frac{5}{8}$ " \times $\frac{3}{8}$ "之鏈條傳動元件，令耕耘軸作轉速 360rpm，切線速度V

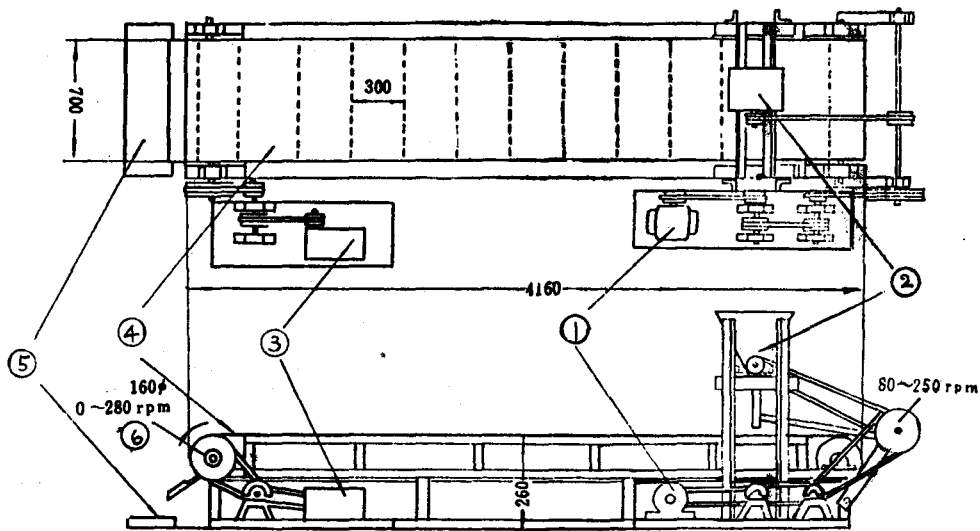


圖15 日本農業機械化研究所之施肥機性能測試裝置。①變速電動機，②受測機具，
③無段變速器，④皮帶，⑤肥料容器，⑥驅動滾筒。

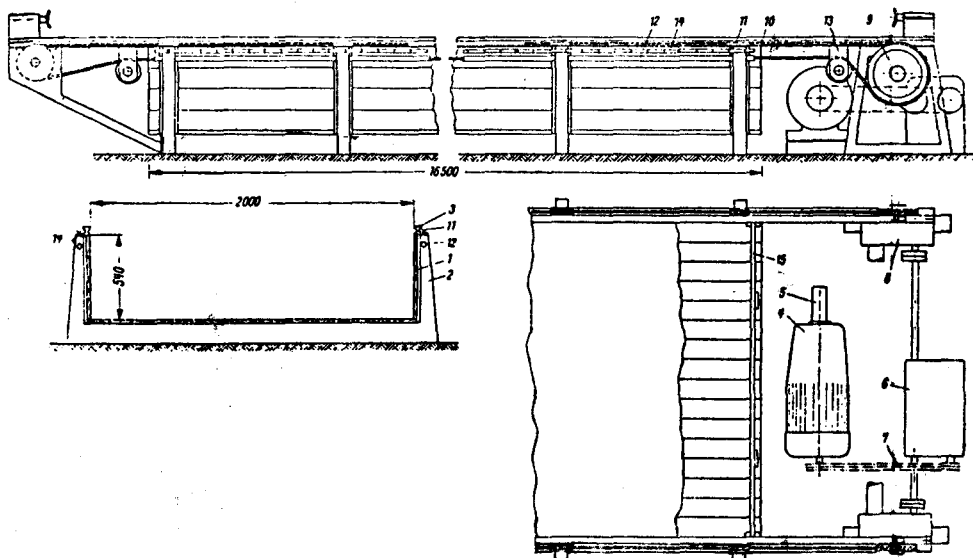
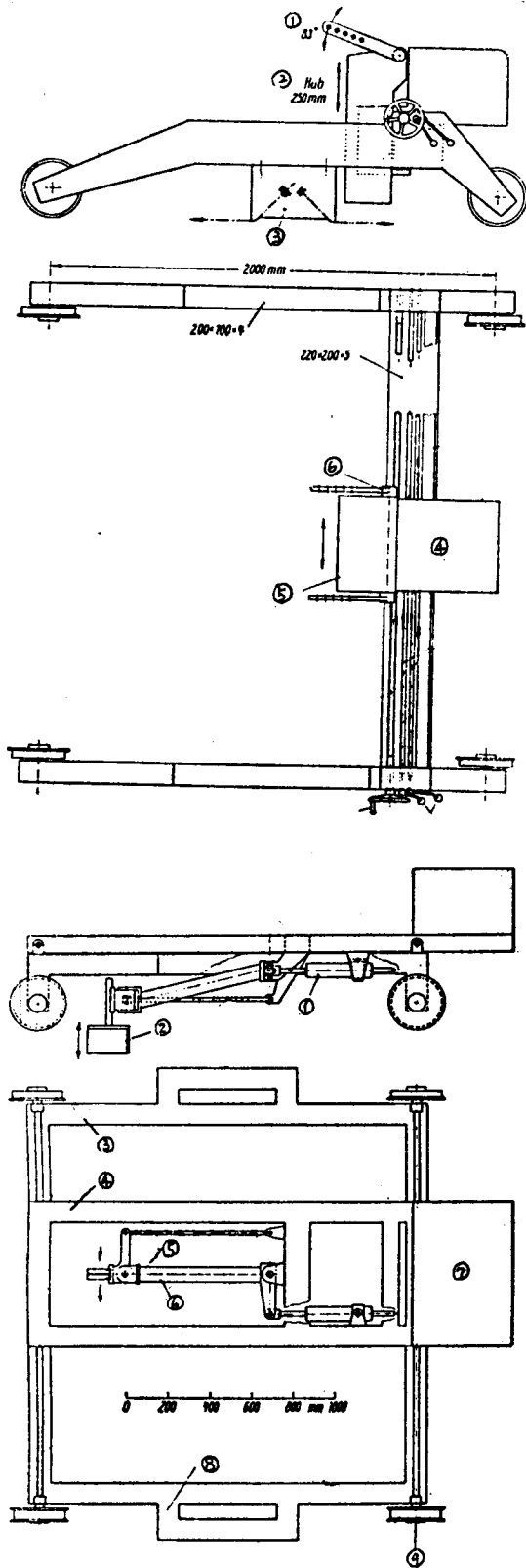


圖16 西德土壤機械研究所之固定土槽測功設備驅動圖：1.木材質土槽，2.肋柱，3.
鐵軌，4.30kw 直流電動機，5.轉速感應裝置，6.三段齒輪箱，7.鏈條，8.齒
輪裝置，9.驅動絞輪，10.驅動鋼索，11.導索套管，12.導索管，13.張力裝置，14.接
觸線，15.遮板。

=6m/s 之切削碎土。耕耘刀軸藉液缸可升降約60 cm 之衝程，直達土槽槽底，碎土後之槽中土壤，藉可降低高度為320mm之鎮壓滾輪，以轉速1.72 rpm，切線速度 $V=0.054\text{m/s}$ 鎮壓之，其耗用動力為0.18kw⁽¹⁾。

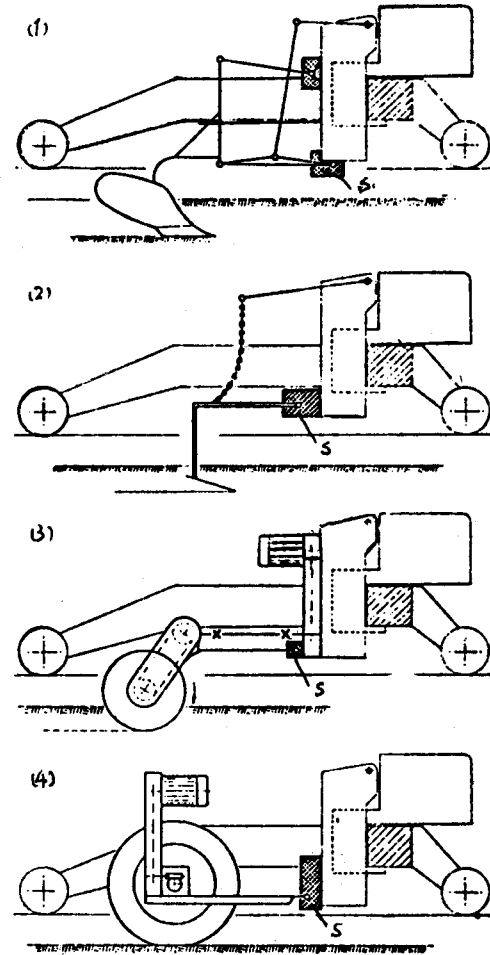
木谷收、坂井純教授等在日本三重大學農機研

究所設置之油壓驅動式固定測功土槽，如圖21所示；其設計要點為在室內實驗室內築兩個長25m之固定土槽，每槽寬1.7m，合計3.4m。台車行走速度自高速度耕耘用之4.2 m/sec，至靜態或整地（尤適於鎮壓）之0.05 m/sec 連續變化。其驅動原動機之動力為30 ps 之三相感應電動機，以



←圖17 受測機具之固定連結用台車之構造。

- ①拉動擺桿（擺動角度 83° ），
- ②升降框架（衝程 250mm），
- ③曳索連結框體，
- ④油壓泵及操縱裝置，
- ⑤機具連接框架，
- ⑥起動桿軸。



↑圖18 由移動台車框架可予連接牽引之機具種類：①三點連接牽具，②自由浮動式心土犁，③迴轉犁，④驅動車輪，S:牽引力感應裝置。

←圖19 測功台車之受側機具自動調整垂直及水平裝置。

- ①動力缸，②受動件，③台車，④橫向調整框，
- ⑤平行桿，⑥柄桿，⑦油壓系統，⑧曳索框架，
- ⑨複緣軌輪。

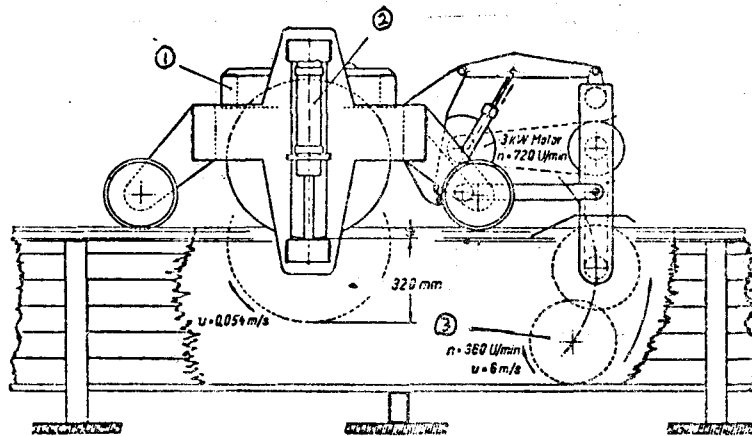
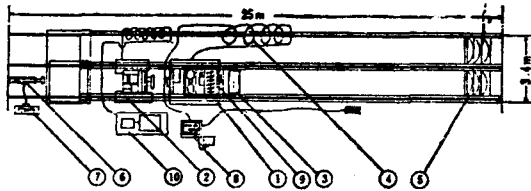
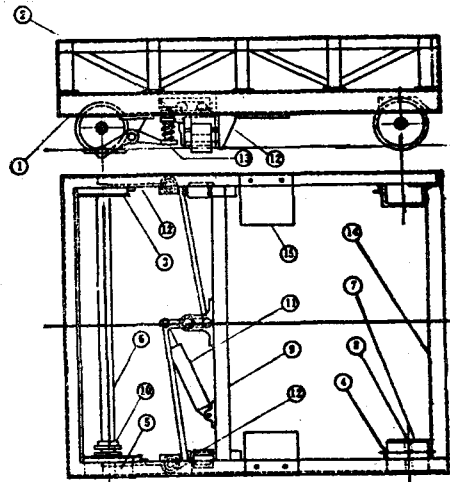


圖20 土槽整地裝置，①鎮壓整地機體，②鎮壓滾輪升降液缸（升降衝程 320 mm），③碎土耕耘裝置。



1. 牽引整地台車 Driving car
2. 測定台車 Instrumentation car
3. 整地作業機(振動滾筒排土板)Roller, earth mover
4. 動力用吊線 Power cables
5. 擋止器 Stopper
6. 加速用氣缸 Pneumatic cylinder
7. 空氣壓縮機 Air compressor
8. 控制盤 Control panel
9. 作業機連接頭 Implement hitch
10. 計測器 Instrumentation devices

(a) 土槽 Soil bin



1. 主框架 Chassis frame
2. 構架 Truss frame
3. 驅動輪(後輪) Drive wheel
4. 前輪 Front wheel
5. 後車軸承 Rear wheel bearing
6. 後車軸 Drive shaft
7. 前車輪框 Front wheel holder
8. 前車軸 Front axle
9. 中間樑 Cross member
10. 鏈輪 Drive sprocket
11. 剎車用油壓缸 Brake cylinder
12. 挾式制動器 Clam brake
13. 車輪加壓裝置 Traction-aid device (Wheel compressor)
14. 前部框架 Front frame
15. 迴轉牽安裝 框架 Rotary frame

(b) 牽引·整地台車

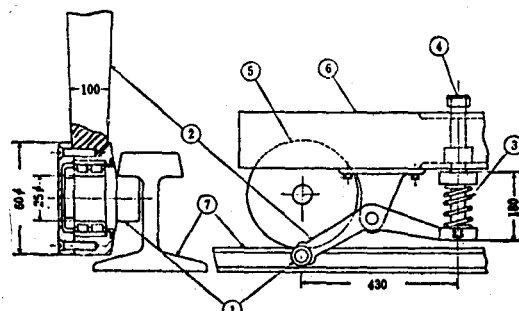
圖21 日本三重大學之油壓驅動農機測功土槽設備之
(a)土槽及(b)牽引，整地台車之構造。

Driving car for traction and Soil preparation

Star-Delta 起動器起動。為獲得 3.0 m/sec 以上之移動速度，另置一以 5 ps 電動機驅動最大壓力 10kg/cm^2 ，活塞排氣量 $620\ell/\text{min}$ ，罐容量 220ℓ 之空氣壓縮機，經電磁閥使缸徑 105mm ，衝程 $1,000\text{mm}$ 之氣缸對台車產生 690kg 推力，使台車在起動之際產生加速之裝置，該氣缸 (pneumatic cylinder) 之作動氣壓為 8.0kg/cm^2 ，最終速度以 1m/sec 計，可合計與油壓之驅動速度合計達 $4\text{m/sec}^{(3)}$ 。

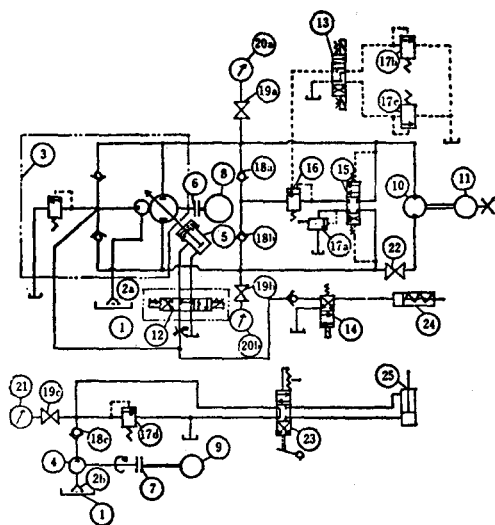
該油壓驅動土槽牽引車使用台車與鐵軌之間置一外徑 85mm ，長 100mm ，彈簧常數 90kg/mm 之加壓螺旋彈簧裝置，如圖 22 所示，以產生最大 $2,000\text{kg}$ 之壓縮力。另台車驅動輪軸荷重 $2,100\text{kg}$ ，以鐵軌與車輪之摩擦係數 0.3 計，約可產生最大 $1,230\text{kg}$ 之牽引力。

三重大學測功土槽之油壓回路及其裝置如圖 23 所示；其動力有作為台車之驅動、制動之主回路油



- | | |
|----------|---------|
| 1. 加壓滾筒 | 2. 臂 桿 |
| 3. 螺旋彈簧 | 4. 調整螺栓 |
| 5. 驅 動 輪 | 6. 底盤框架 |
| 7. 鋼 軌 | |

圖 22 牽引力產生裝置



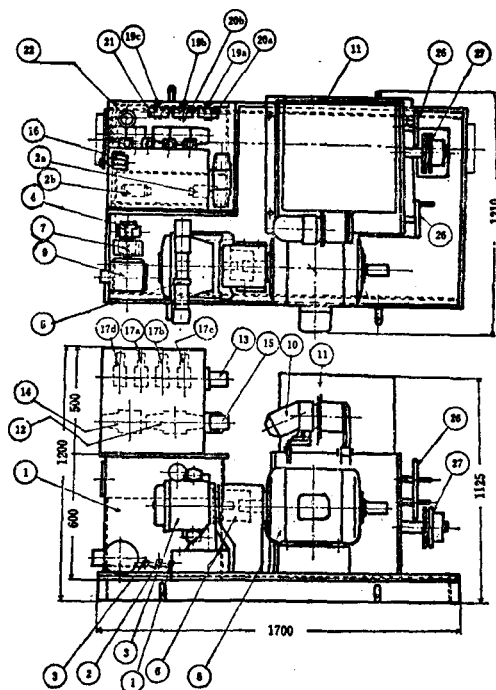
油 壓 回 路
Hydraulic circuit

1. 油槽 Oil tank
2. 濾油器 Strainer
3. 齒輪泵組 Plunger pump unit
4. 齒輪泵 Gear pump
5. 伺服調整器 Servo regulator
6. 鏈輪連軸器 Chain coupling.
7. 鏈輪連軸器 Chain coupling
8. 三相誘導電動機 (22kw, 主馬達)
Main induction motor
(22kw)

9. 三相誘導電動機 (0.75kw, 副馬達)
Induction motor (0.75kw)
10. 柱塞式油壓馬達 Plunger motor
11. 減速機 Reduction gear
12. 電磁閥 Solenoid valve
13. 電磁閥 Solenoid valve
14. 電磁閥 Solenoid valve
15. 油壓作動閥 Hydrooperate valve
16. 洩油閥 Relief valve
17. 洩油閥 Relief valve

18. 止回閥 In-line check valve
19. 閉止閥 Stop valve
20. 壓力計 Pressure gage
21. 壓力計 Pressure gage
22. 閉止閥 Stop valve
23. 手動式方向切換 Pilot valve
24. 剎車液缸 Brake cylinder
25. 液缸 Jack cylinder
26. 變速桿 Change lever
27. 驅動鏈輪 Drive sprocket

圖 23 油壓回路 (第 1 圖) 及油壓驅動裝置 (第 2 圖)



油壓驅動組 Hydraulic drive unit

壓及迴轉犁作業機之升降之副回路油壓兩部份之動力源。30 ps 三相感應電動機即用以驅動 55 cc/Rev 之可變容量軸向往塞泵。油泵係以伺服調整器⑥所控制，其流向則以電磁閥⑭切換，而可使其與預先設定之斜板與調整鈕之設定位置相一致。電磁閥未被激磁時，呈中立位置，作動油直回油箱①中。按下前進或後退鈕時，經電磁閥以傾斜斜板。主油泵流出常用壓力 150 kg/cm^2 之作動油經油壓作動閥⑮、洩油閥⑯或 (17 a) 作正轉——前進或反轉——倒退；在連接洩油閥⑯時更連結與主油泵電磁閥⑭有電路連動之電磁閥⑰，使之與洩油閥 (17 b) 或 (17 c) 之一相接通，使之在過負荷時仍保持正確之油壓。油壓馬達傳動——減速裝置，成 1/4.85、1/20、1/50 之三段變速，以此機械變速配合油泵之容量變化及節流閥⑱之操作，可獲得以下之速度範圍；即

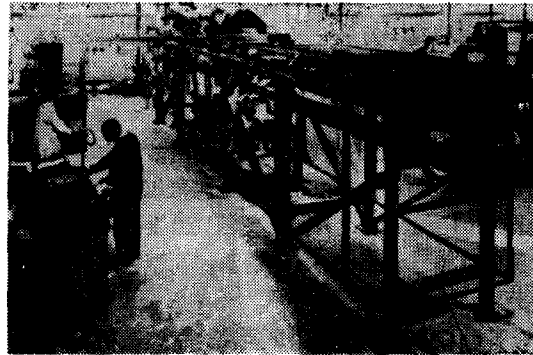
- 第三檔 4.6~0.5 m/sec, (作業牽引力 120~200 kg, 切削用)
- 第二檔 1.21~0.12 m/sec, (作業牽力 350 kg, 大型犁用)
- 第一檔 0.49~0.05 m/sec, (作業牽引力 500 kg, 整地用)

各檔之轉矩水準各為 43.6 kgm, 180 kgm, 450 kgm。

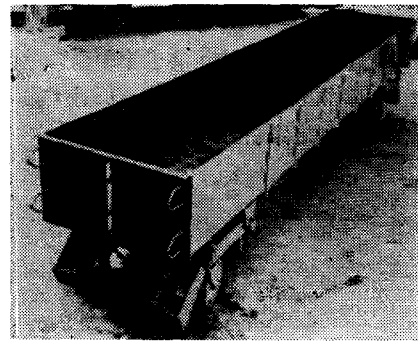
副油壓回路則以 1 ps 之三相感應電動機②連動 0.1 cc/Rev 之齒輪泵④，經洩油閥 (17 d) 及手動操作閥⑳，以驅動複動式液缸㉑，上昇或降下迴轉碎土犁。

裝有彈簧之剎車用液缸㉒，呈可連結副油壓回路 (壓力 80 kg/cm^2) 或主油壓回路之輸出側 (壓力 150 kg/cm^2) 之一之構造，藉電磁閥㉓之動作在回路之油壓為零時，液缸內之彈簧推出而作剎車之功能。

Stafford 於英國國立農機工程學院 (位於 Silsoe, Bedford) 裝設之多用途高速測功土槽，屬土槽固定測定式，惟土槽具有車輪構造，便利多具土槽之交替使用。使用三相矽控 (thyristor speed control) 直流電動機為動力，經減速齒輪箱 (速比 1/1及1/6) 及另一減速齒輪箱 (1/7.67)，驅動絞輪，以曳索方式拉動機具測定者。直流電動機之動力為 20 kw。圖24為其測功土槽圖示。有效之鐵軌長度 10m, 距地面高度 1.85m。為攀掛之單軌形式。牽引測定機具吊車 (carriage) 以

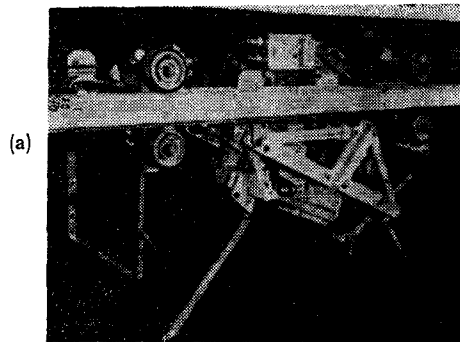


(a)

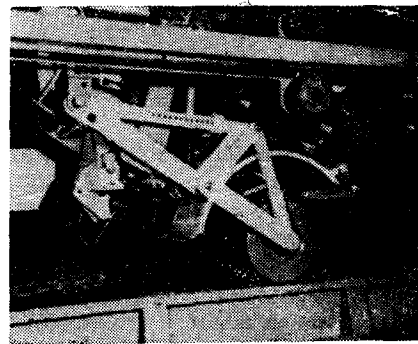


(b)

圖24 英國國立農機工程學院之高速測功土槽；(a) 測功設備，(b)土槽。



(a)



(b)

圖25 牽引吊車與耕耘刀軸之連結 (a圖) 及鎮壓滾筒之連接 (b圖)。

四只觸輪 (trolley wheel) 分別固定台車四角並挾持鐵軌，如圖25所示。其最高速度可達 5.5 m/sec，最低速度為 0.005 m/sec。剎車裝置係以置於絞輪之電磁制動器及電動機上渦流制動為之。使用土槽尺寸為(1)長 3 m，寬 0.7 m，深 0.4 m 及(2)長 4~6 m，寬 0.86 m，深 0.46 m 二種。大土槽係被用作驅動式機具之測試。

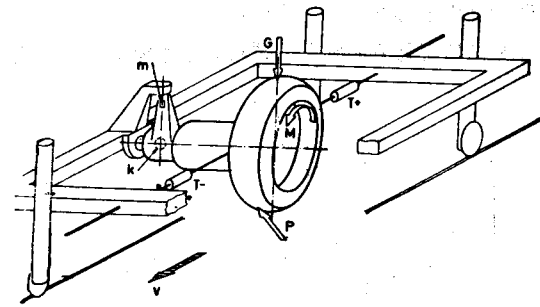
被鋼索牽引行走之吊車上，有一 2½ kw 之油壓馬達，經三列鏈條驅動一主軸，行 20~100 rpm 範圍之迴轉；主軸上可安裝耕耘刀、鎮壓滾筒或水平刮筒⁽¹⁰⁾。其油壓輸入壓力為 10 MPa (≐102 kg/cm²)。

蘇俄及東歐地區之國家，所設置之測功土槽亦皆為平地用之型式，使用之動力為 16~30 kw，最大速度 12~20 km/hr，土槽長 16~40 m，土槽寬 1.5~2.5 m 之室內式。

(三)測功項目及測法：

受測機具(包括行走裝置之構件)為驅動式時，需測知驅動轉矩、轉速、牽引力、垂直負荷、土槽反作用力及行走速度等測功項目；圖26所示者，

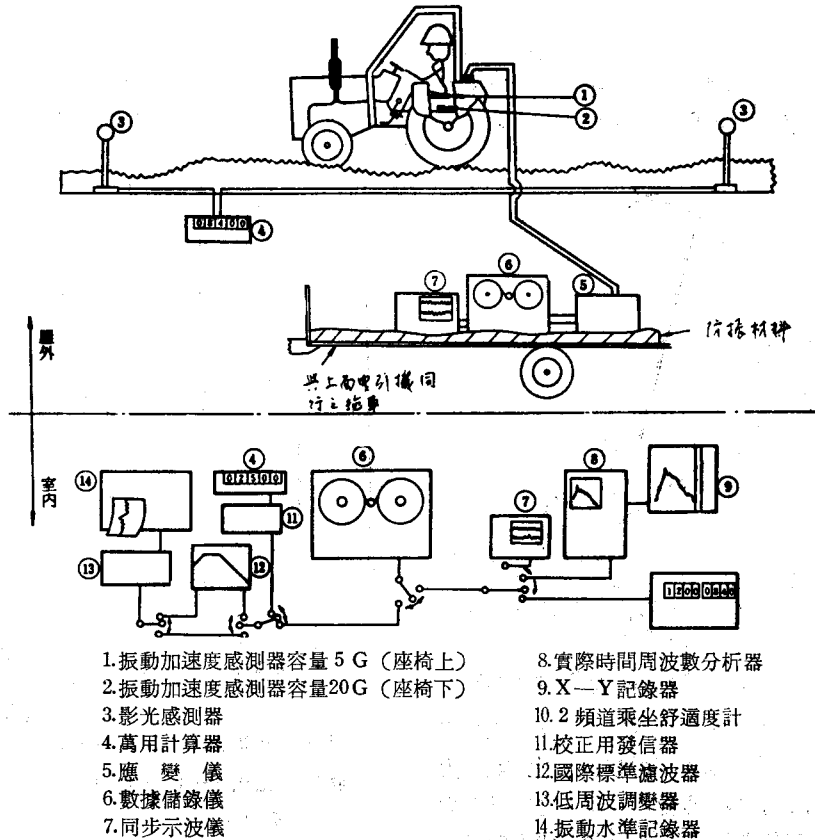
為對驅動車輪之測功項目。其中牽引力 T 為負值時，呈拖力 (T-)⁽¹¹⁾。



- G：垂直負荷
- M：驅動轉矩
- P：土槽之反作用力
- T：牽引力
- V：行走速度
- m：球關節
- k：轉矩之測定位置

圖26 車輪行走特性測在測功土槽之測定項目。

受測機具屬被牽引式，如犁耙等，需測知 xyz 軸三方向之分力及對各軸之轉矩成分。若需測試崎嶇地面上行走之機體振動特性時，則尚需有關之加速度量，如圖27所示⁽⁶⁾。

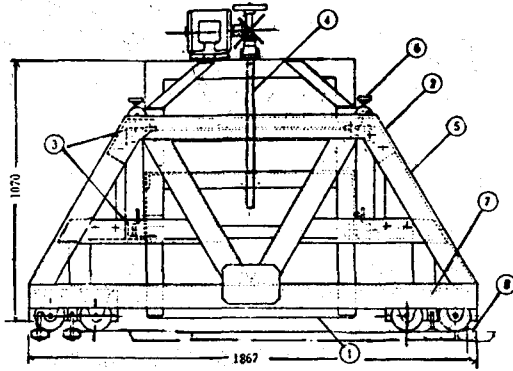


- 1. 振動加速度感測器容量 5 G (座椅上)
- 2. 振動加速度感測器容量 20 G (座椅下)
- 3. 影光感測器
- 4. 萬用計算器
- 5. 應變儀
- 6. 數據儲錄儀
- 7. 同步示波儀
- 8. 實際時間周波數分析器
- 9. X-Y 記錄器
- 10. 2 頻道乘坐舒適度計
- 11. 校正用發信器
- 12. 國際標準濾波器
- 13. 低周波調變器
- 14. 振動水準記錄器

圖27 崎嶇地面行走曳引機之振動特性之測定。

木谷、坂井二教授等設計之測功台車，係將方形之受測框架①置於呈門狀梯形台車框架內而成，如圖28所示。受測框架與台車框架之間介有上下導框②及水平導框③，使之作自由滑動狀，惟框架之升降係藉電動機驅動之方螺紋桿④達成者。導框內

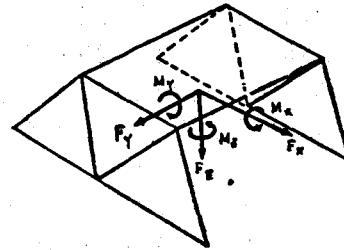
置有圓滑用互呈直角之軸承，計裝設八組之導軸承輪。為防止台車在行走中之振動傳遞框體，另置八具硬質橡膠車輪，各為垂直車輪⑦及水平車輪⑧予以吸收之。作用在框體上之六分力，則可分別用應變規計測之⁽³⁾。



測定台車 Measurement car

- | | |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| 1. 受測框 Hitching frame | 5. 構架 Truss frame |
| 2. 上下導框 Vertical guide frame | 6. 微動調整器 Clamp with fine adjustment |
| 3. 水平導框 Horizontal guide frame | 7. 垂直車輪 Vertical rubber wheel |
| 4. 上下螺桿 Vertical screw | 8. 水平車輪 Horizontal rubber wheel |

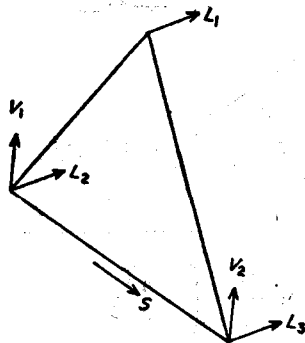
圖28 受測機具框架與其六分力 (木谷·坂井)



$F_x = 200\text{kg}$
 $F_y = 145\text{kg}$
 $F_z = 500\text{kg}$
 $M_x = 97.5\text{kg-m}$
 $M_y = 235\text{kg-m}$
 $M_z = 120\text{kg-m}$

作用在台車之六分力
 Force components exerting on the measurement car

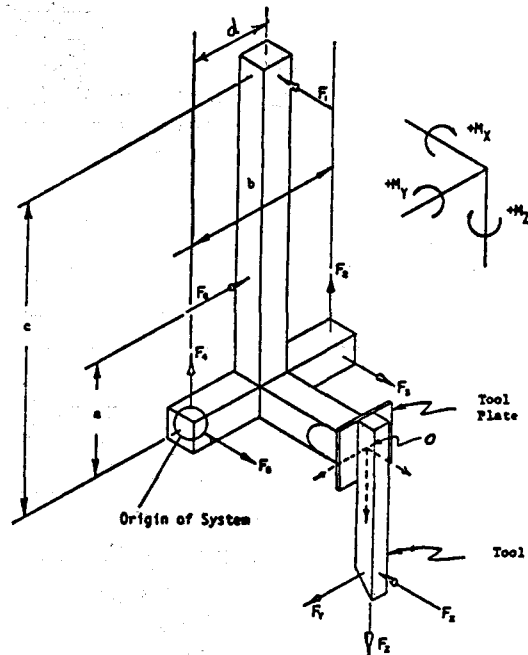
Stafford 以三角形框架承受六分力變換器之台車反作用力測定受測機體之三水平分力，二垂直分力及一側向分力，如圖29所示⁽¹⁰⁾。



Position or force transducers on triangular frame. L, Horizontal force parallel to implement movement; V, vertical force; S, sideways force

圖29 牽引力測功裝置上之六分力。(Starrord)

Luth 採用如圖30所示之測功框架，以六只阻力變換器分別感應作用在被牽引犁具上之六分力 $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6$ ，則作用在機具之三軸合力 F_x, F_y, F_z 及轉矩 M_x, M_y, M_z 如下式之關係。



Free-body-diagram of the dynamometer inner frame.

圖30 Luth 之測功感應框轉換作用於犁具之六分力。

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F_3 + F_5 - F_1 \\ F_y &= F_6 \\ F_z &= F_2 + F_4 \\ M_x &= aF_5 - bF_2 \\ M_y &= cF_1 \\ M_z &= bF_3 - dF_1 \end{aligned} \right\} (1)$$

Perumpral, Chance, Woeste, Desai 以矩陣法 (matrix method)，將上述 Luth 之測功框之六分力，與各對應感應器之輸出特性值 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_6$ 之間之關係，即

$$\begin{aligned} (F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z) \\ = f(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6) \end{aligned} \quad (2)$$

以矩陣係數 (coefficient matrix) K 之引入而用下式表示⁽⁹⁾。

$$\begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ M_x \\ M_y \\ M_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{14} & K_{15} & K_{16} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{24} & K_{25} & K_{26} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & K_{34} & K_{35} & K_{36} \\ K_{41} & K_{42} & K_{43} & K_{44} & K_{45} & K_{46} \\ K_{51} & K_{52} & K_{53} & K_{54} & K_{55} & K_{56} \\ K_{61} & K_{62} & K_{63} & K_{64} & K_{65} & K_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \\ \theta_5 \\ \theta_6 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\text{或 } \{F\} = [K] \{\theta\}$$

$$\{\theta\} = [K]^{-1} \{F\} \quad (4)$$

因測功計為既定者，故探究其對已知 F 值所輸出之 θ 值之關係，即可求出該測功計之固有矩陣常數 $[K]^{-1}$ 值。例如對測功框施以已知之 $F_1 = 1$ 之值

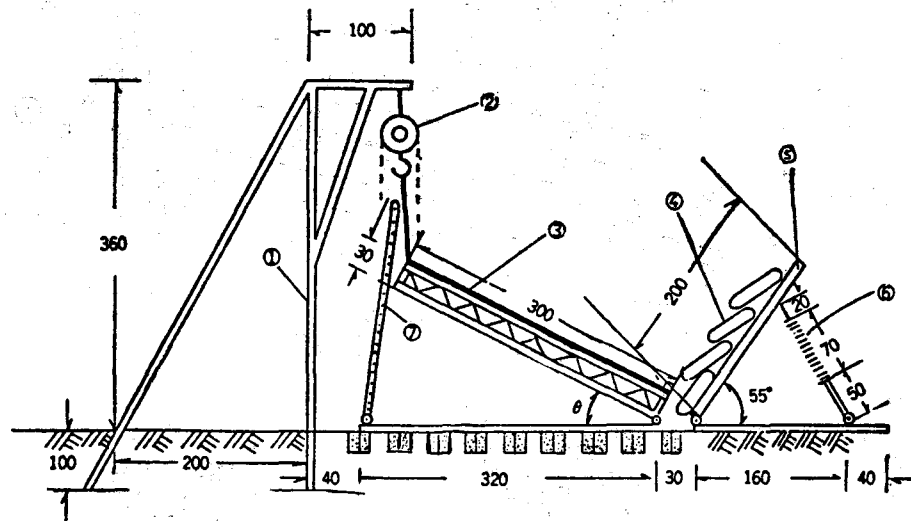
，則對應之 $[K]^{-1}$ 值，以下式之矩陣係數表示：

$$\begin{pmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \\ \theta_5 \\ \theta_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_{11}' & K_{12}' & K_{13}' & K_{14}' & K_{15}' & K_{16}' \\ K_{21}' & K_{22}' & K_{23}' & K_{24}' & K_{25}' & K_{26}' \\ K_{31}' & K_{32}' & K_{33}' & K_{34}' & K_{35}' & K_{36}' \\ K_{41}' & K_{42}' & K_{43}' & K_{44}' & K_{45}' & K_{46}' \\ K_{51}' & K_{52}' & K_{53}' & K_{54}' & K_{55}' & K_{56}' \\ K_{61}' & K_{62}' & K_{63}' & K_{64}' & K_{65}' & K_{66}' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

同樣以既知之 y 值、 z 值輸入後，轉換器之輸出記錄分別決定式中方框內之對應係數。故於式(3)中欲求記錄儀上 θ 值之對應 F 值時，可將(5)式中之矩陣係數之倒數代入之，即可求得該未知值。

惟需注意者式(3)中，前上三行之矩陣係數之單位為力之形式，而後下三行者則為力矩之形式。至於記錄儀上轉換器之輸出 θ ，可以電壓或記錄振幅之大小表示。

對傾斜地面農業機械之安全性探討，除有日本四國農業試驗場，使用如圖31所示由吊鏈及木板所構成之試驗台外⁽⁶⁾，迄未見發表有類似之裝置或土槽設置。由文獻刊出之研究方法顯示，坡地農機之牽引行走特性雖為熱門之研究課題，但多於坡地現場田間實施測定者，此或與傳統之固定土槽式之未盡完全適用於坡地農機之測試之原因有關。其中尤以固定土槽式測功設備之不能將作用於受測機具之各方向作用力，由平坦行走面逐漸傾斜之際，直至機具翻覆為止之數據羣在安全條件下獲得者為甚。



1. 吊車支柱 (3 座)
2. 鏈條吊車 2 ton (3 只)
3. 行走面松板寬 13.0 m 長 18.0 m
4. 緩衝用輪胎
5. 緩衝板傾斜 55° 寬 2.0 m 長 18.0 m
6. 緩衝彈簧 (9 條)
7. 傾斜台支柱 (8 支)

單位：cm

圖31 測試曳引機翻覆性之傾斜板台。

三、坡地土槽測功設備之研製：

(一)設計要點：

研究開發坡地作農牧用途，研製可用之作業機械時，勢需藉土槽測功設備以探討其力學特性，作為改良其牽引行走性能之依據。為自行研製設計多效用之坡地測功土槽設備，須具備下列功能及特性：

(1)受測機具在任何傾斜角度下，均能被測得其六分力，且無發生傾覆之顧慮及危險。

(2)除傳統之平面牽引行走特性之測試外，可作 $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 之間範圍之上下坡牽引行走模擬，以及斜度 $0^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 之等高線作業之模擬。

(3)具有測試驅動式及被牽引式機具特性之功能。

(4)可作使受測機體為因應土槽之橫向傾斜而變換其傾斜角之測試。

(5)具有以機械方式造築平坦或崎嶇行走面之能力。

(6)具有模擬降雨強度之裝置，以獲知多雨地區

之機械作業與水土保持之相關性。

(7)限於實驗室空間以及電力容量之限制，動力源以 50 kw 之電力線為上限。

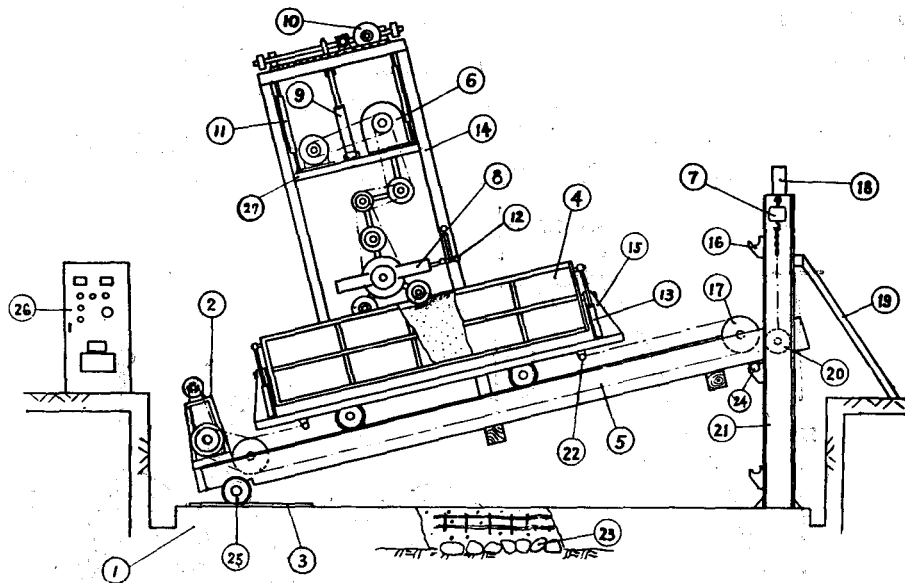
(8)除局部較小動力機械採用油壓外，台車之牽引傳動以機械方式達成之。

(9)測功土槽與實驗室外側放置幾種不同土壤之土槽之間，以帶式輸送機搬運或移出土壤，俾便測定在不同土壤種類時之機具性能。

(10)土槽之長度為 3.9m，連土壤之總重量 7,000 kg 以下，最高速度 0.35 m/sec，足以測定一般之機具作業特性。

(11)採用具有電磁離合及剎車之 thyristor 控制 22 kw/1,800 rpm 之三相電源直流電動機，驅動土槽行走；在傾斜狀況行走中遇有停電時，可隨意自動剎車，以保安全。

(12)結構之強度設計，除驅動土槽台車用鏈條，考慮安全係數為 6，其他裝置以安全係數 3 為設計基準。各裝置電動機之動力餘裕率為 10%，機械傳動效率 85%，油壓傳動效率 60%，從而選定原動機之容量。



1. 凹 槽
2. 土槽台車驅動原動裝置
3. 鐵 軌
4. 土 槽
5. 軌 標
6. 動力導出裝置
7. 軌標斜傾升降吊車
8. 受測機具
9. 基台高度升降液缸

10. 基台橫向調整裝置
11. 基台傾斜調整桿
12. 牽引力感測裝置
13. 土槽橫斜液缸
14. 測功框架
15. 土槽台車
16. 掛 鈎 框
17. 台車驅動鏈輪
18. 吊 架

19. 支 柱
20. 軌標升降鞍
21. 軌標升降框架
22. 台車牽引接頭
23. 卵 石
24. 軌標斜傾檔桿
25. 支 承 輪
26. 控 制 箱
27. 動力導出基台

圖32 本研製測功土槽設備之結構關係圖

圖32示本研製測功土槽設備之結構關係圖；以卵石及鋼筋 RC 加強結構築造之實驗室凹槽①上面，左端鋪設一段鐵軌③，右端則豎置框架②，並以支柱⑩加強固定。框架上焊定懸掛吊車⑦用吊架⑪及掛鉤框⑬。

左端藉支承輪⑮在鐵軌③上停置，右端藉升降鞍⑯在框架②之槽內升降固定之軌樑⑥上，設置由驅動裝置⑫經鏈輪⑭鏈條牽拉具有接頭⑰之土槽台車⑱。軌樑⑥之傾斜角度之大小，由軌樑傾斜檔桿⑲在掛鉤框⑬之放置位置設定之。土槽④之橫斜姿勢，以液缸⑭之伸縮調整。

基台框架⑭係被焊接固定於軌樑⑥上，其上裝設有液缸⑮升降基台⑯及連接之動力導出裝置⑰；其橫傾角度係藉二支調整螺桿⑱調整之。橫向位移之調整，則藉齒輪齒條之驅動裝置⑲達成。

受測機具⑧係以樞軸式牽引力感測裝置⑲固定於框架⑭側，所需之驅動力由動力導出裝置⑰經 L 形自由活節之鏈條鏈輪裝置獲取。

除吊車⑦之升降外，土槽台車④、基台⑯、動力導出裝置⑰及驅動液缸⑮、⑱之電動機等裝置之起動停止，係由控制箱⑳控制調整之。

(二)各部明細結構說明：

(1)凹槽：為便於土槽台車之搬運土壤、受測機具之裝卸以及測錄人員之操作，本測功設備係被築設在農機工場之凹槽內，屬長9.62m，寬1.94m，深1.43m之加強鋼筋混凝土結構，僅使控制箱置於樓板地面。凹槽底部厚50cm，四側牆厚15cm；底部四周牆角設排水溝，匯集於集水涵，內置污水泵。

(2)土槽軌樑：土槽軌樑之明細結構，如圖33所示；圖中，軌樑係以二支 380 mm×140mm×13 mm-8,630 mm 之 I 型鋼①，橫接七支 105mm×50 mm×4 mm-630 mm 之槽形鋼②，螺栓栓接而成。軌樑①之上側鋪設有二支 75 mm×40 mm×8 mm-8,630 mm 之 I 字鋼軌③，供土槽台車之行走。軌樑之左端呈加強結構，安裝有一組直徑 340 mm 之滾動鐵輪④，其軸徑 60 mm，軸承⑤之靜負荷容量 12,100 kg。滾動鐵輪係置於 75 mm×40 mm×8 mm-1,980 mm 之 I 字鋼軌者。

軌樑之右端以 U 形螺栓固定 80mm×980mm 之軸⑥，其兩端各連設支持輪⑦。軌樑之中段偏左位置及右端位置之下側，墊置二塊 840 mm×160 mm×200mm 之枕木，以支承軌樑在平放土槽面

時之負荷。

(3)軌樑傾斜用調整裝置：其明細結構，於圖34所示者為豎置框架部份；使用二支 270 mm×110 mm×10 mm-6,762 mm 之 H 型鋼①，上端焊接 225 mm×115 mm×13 mm 之 I 形鋼為樑②，其中央焊接掛板③，藉直徑 63mm 之鉻鋼材質銷④，垂掛一具吊車。該框架之下端焊設 800 mm×50 mm×25 mm 底座鋼板⑤，各以 6 支 M24 基礎螺栓固定凹槽，並以圓管支柱⑥斜撐加強之。

在框架朝台車方向 H 型鋼①面上，焊接有多塊 538 mm×315 mm×25 mm 之軌樑傾斜放置用鉤框④，其彼此之上下距離為使軌樑呈 5、10、15、20、25、30 度之傾斜放置者。

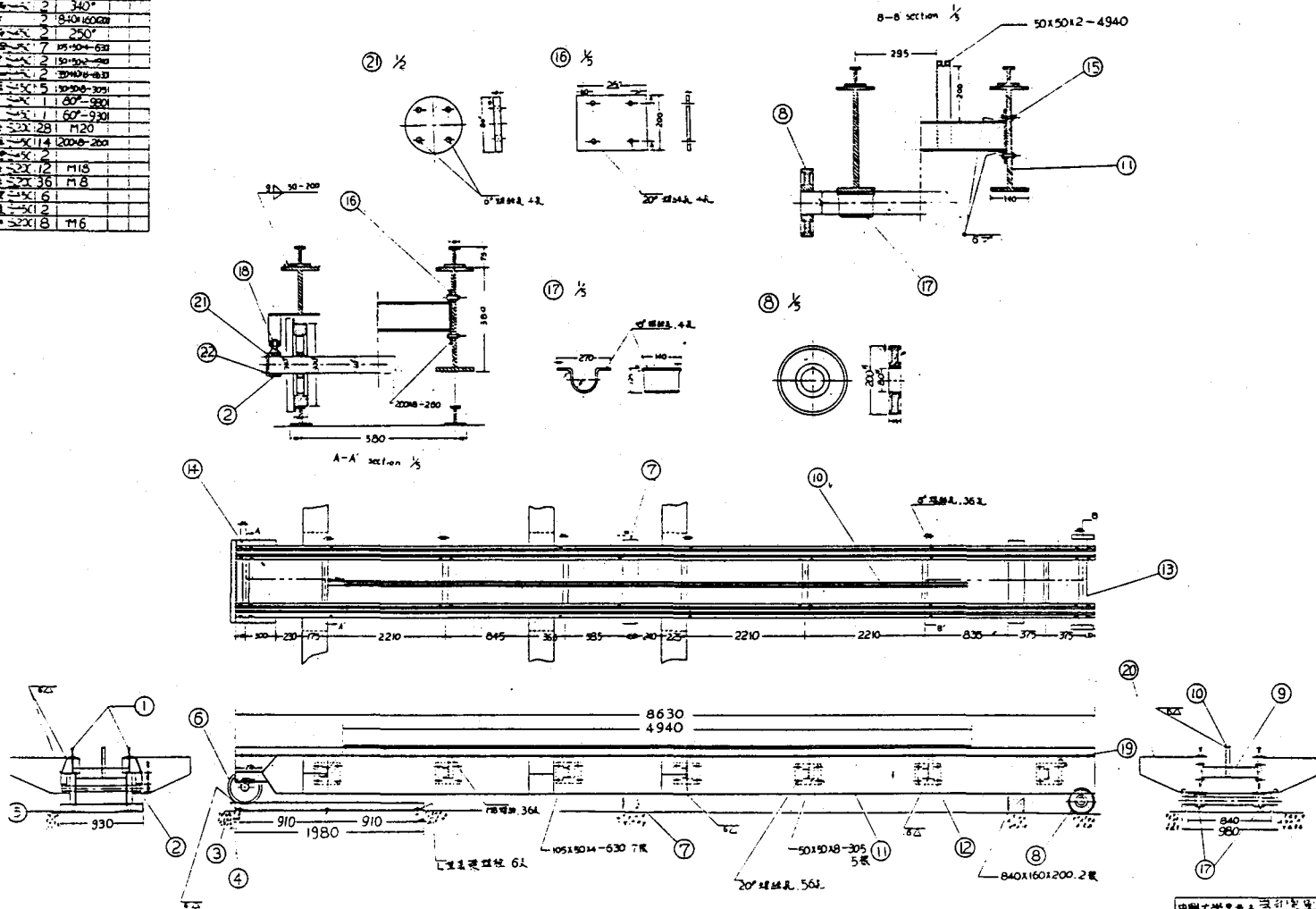
於圖35所示者為調整升降用電動吊車部份；容量 10 噸電動吊車④之掛鉤係套置前項軌樑之吊軸⑤，令軸兩端之支持輪⑥嵌置 H 型鋼框架④之內側槽中，則隨吊車鏈條⑦之升降，可使軌樑之一端升降，藉檔桿置於鉤框④之上側凹槽，而停置軌樑其上，獲得各種不同傾斜度狀態，此時軌樑他端之鐵輪，將因應傾斜角度調整中與框架間之距離改變而作水平之位移在鋼軌上。

(4)土槽臺車及其驅動行走裝置：圖36為土槽臺車結構明細圖；圖中，以 U 型鋼④，角鋼③為框架，以鋼板為底板及側壁，尺寸為 3900 mm×1100 mm×1000mm 之土槽，係藉其兩端之樞軸⑦，支撐於臺車部份之兩豎柱上端之軸承中。土槽對臺車之橫向傾斜調整，則以二支衝程 270mm，缸徑 60 mm 之液壓缸⑧，藉油壓系統組①控制驅動之；設計調整角為 0°~35°。

圖37為該油壓系統；油箱①、油泵③雖置於土槽下側，惟驅動用 ½ KW 電動機之控制係在地面之控制箱行之。土槽之下側，設有手搖千斤頂④四支，於調整後支撐土槽。

土槽臺車之驅動行走裝置，如圖 38 所示，該驅動行走裝置，係以三相 220V 60Hz 為電源，Thyristor 控制之直流 22KW/1800 rpm 電動機⑫為原動機，經速比 1/1.82 之 C 型四溝 V 皮帶輪組⑬、⑭減速，復經速比 1/30 之齒輪式減速機①，速比 1/1 之鏈輪組⑮、⑯，採用 100 號四列鏈條⑰各繫結在臺車下側之兩端牽拉板上而成。最終驅動鏈條之節距為 31.75 mm，安全係數考慮為 6。在靠近兩牽拉鏈輪端之軌樑上，設有限制開關，使驅動臺車於移行接近至該鏈輪前，能控制制動電

1	鋼軌	2	175x400-838
2	鋼軌	3	175x400-838
3	鋼軌	4	175x400-838
4	鋼軌	5	175x400-838
5	鋼軌	6	175x400-838
6	鋼軌	7	175x400-838
7	鋼軌	8	175x400-838
8	鋼軌	9	175x400-838
9	鋼軌	10	175x400-838
10	鋼軌	11	175x400-838
11	鋼軌	12	175x400-838
12	鋼軌	13	175x400-838
13	鋼軌	14	175x400-838
14	鋼軌	15	175x400-838
15	鋼軌	16	175x400-838
16	鋼軌	17	175x400-838
17	鋼軌	18	175x400-838
18	鋼軌	19	175x400-838
19	鋼軌	20	175x400-838
20	鋼軌	21	175x400-838
21	鋼軌	22	175x400-838



中興大學建築系
 教授 許世英
 主任 王仲良
 1954年

圖33 土槽軌樑結構明細圖

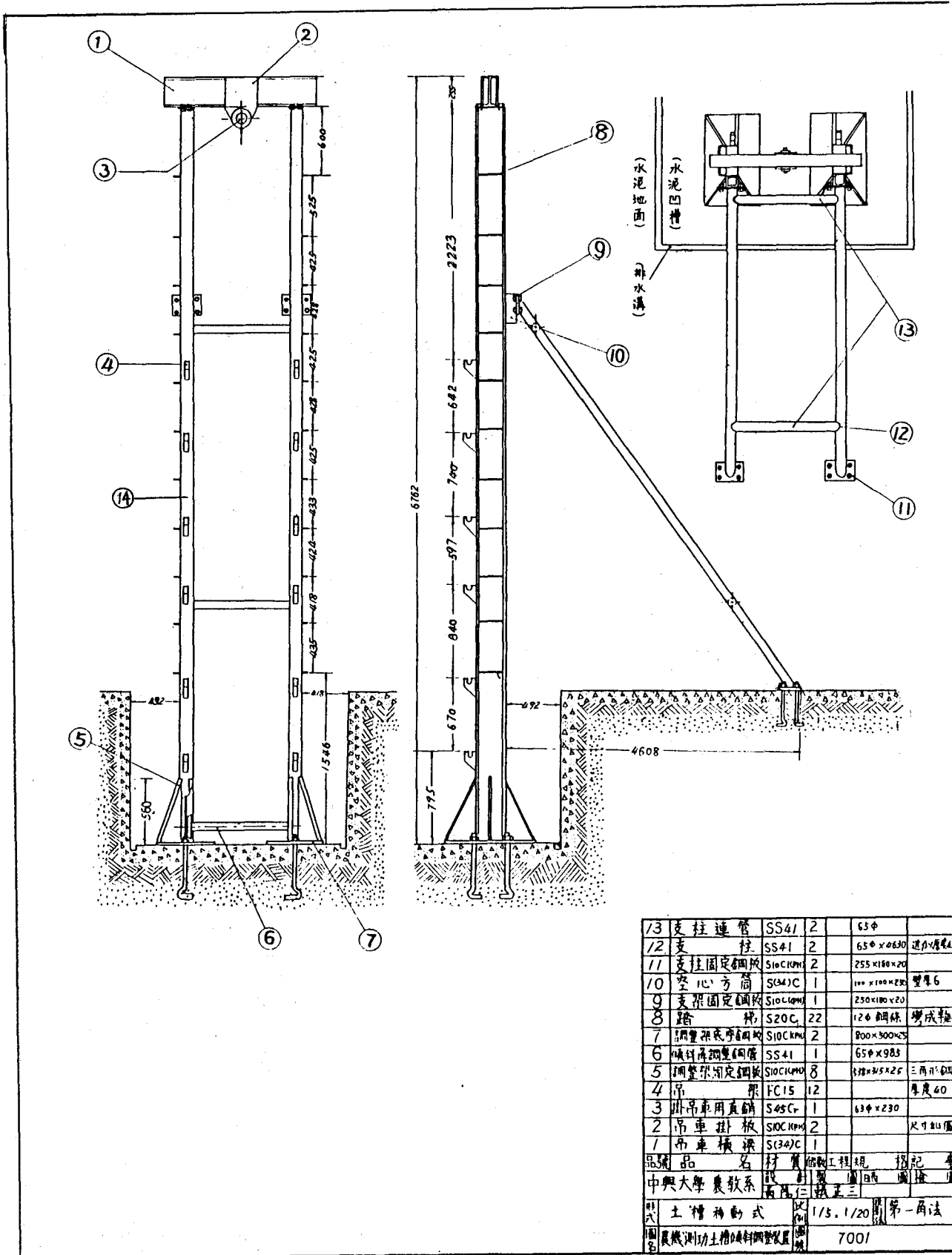


圖 34 軌梁傾斜調整框架結構明細圖

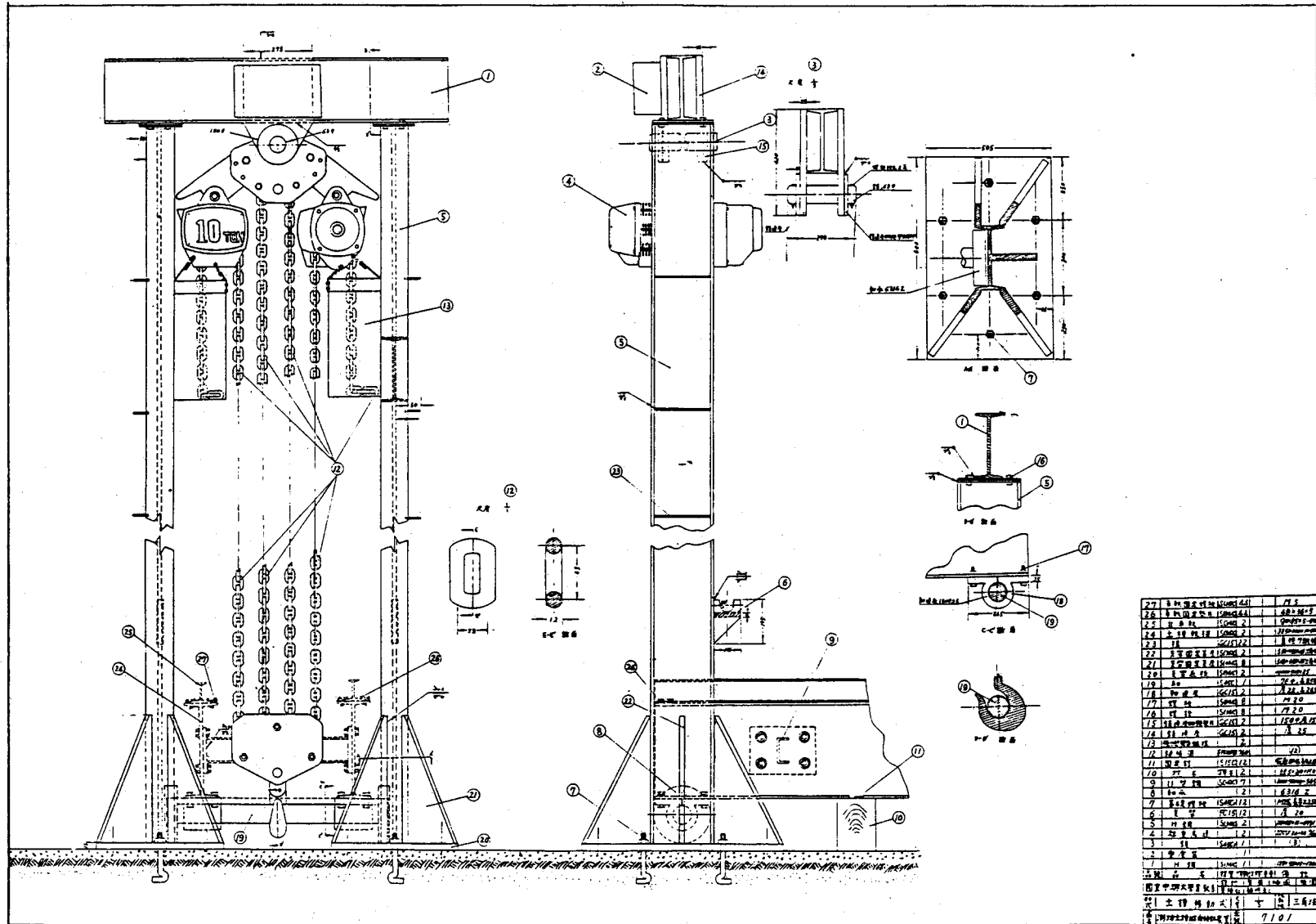


圖 35 軌樑傾斜調整升降裝置結構明細圖

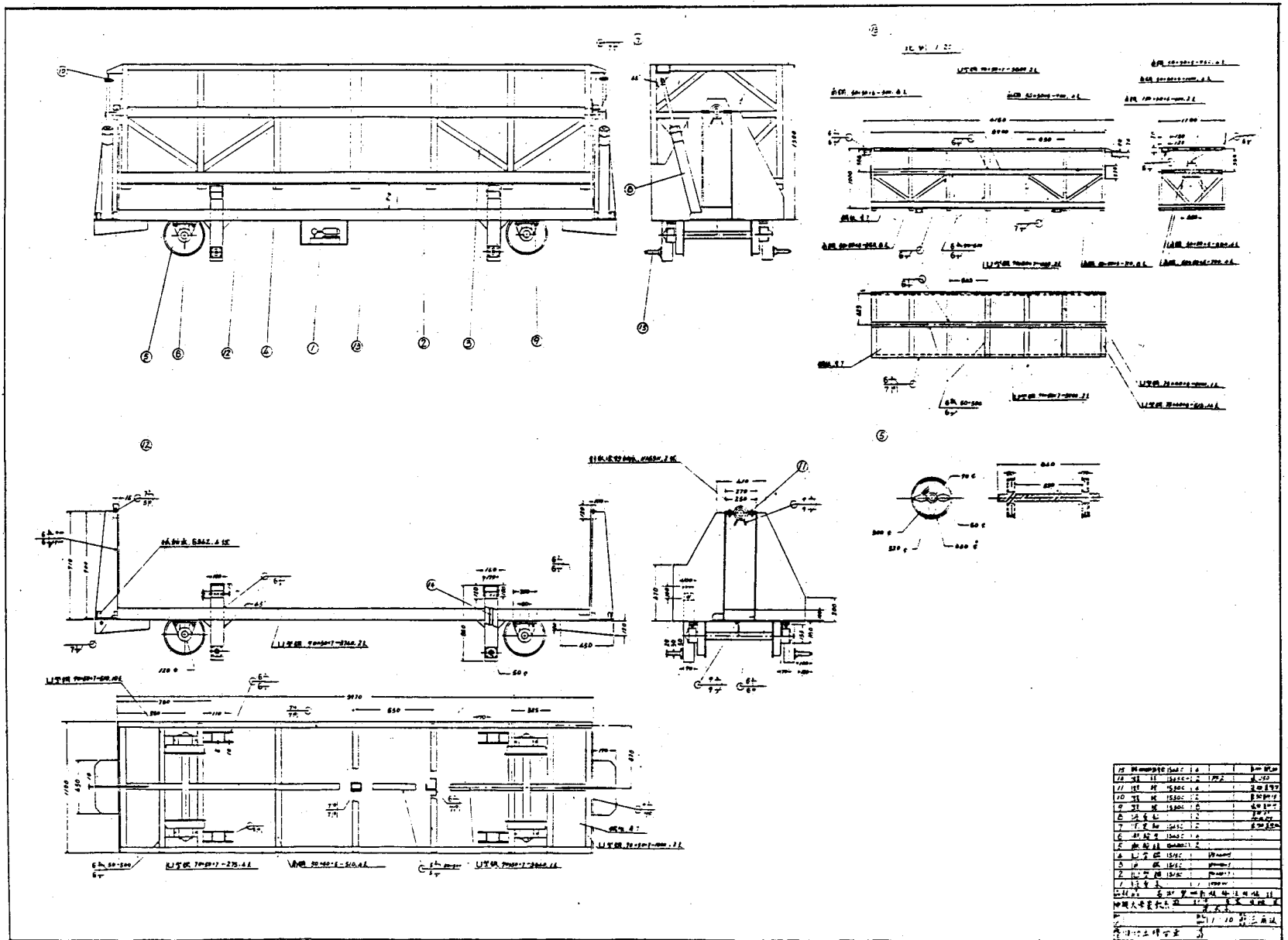


圖36 土槽台車之結構明細圖

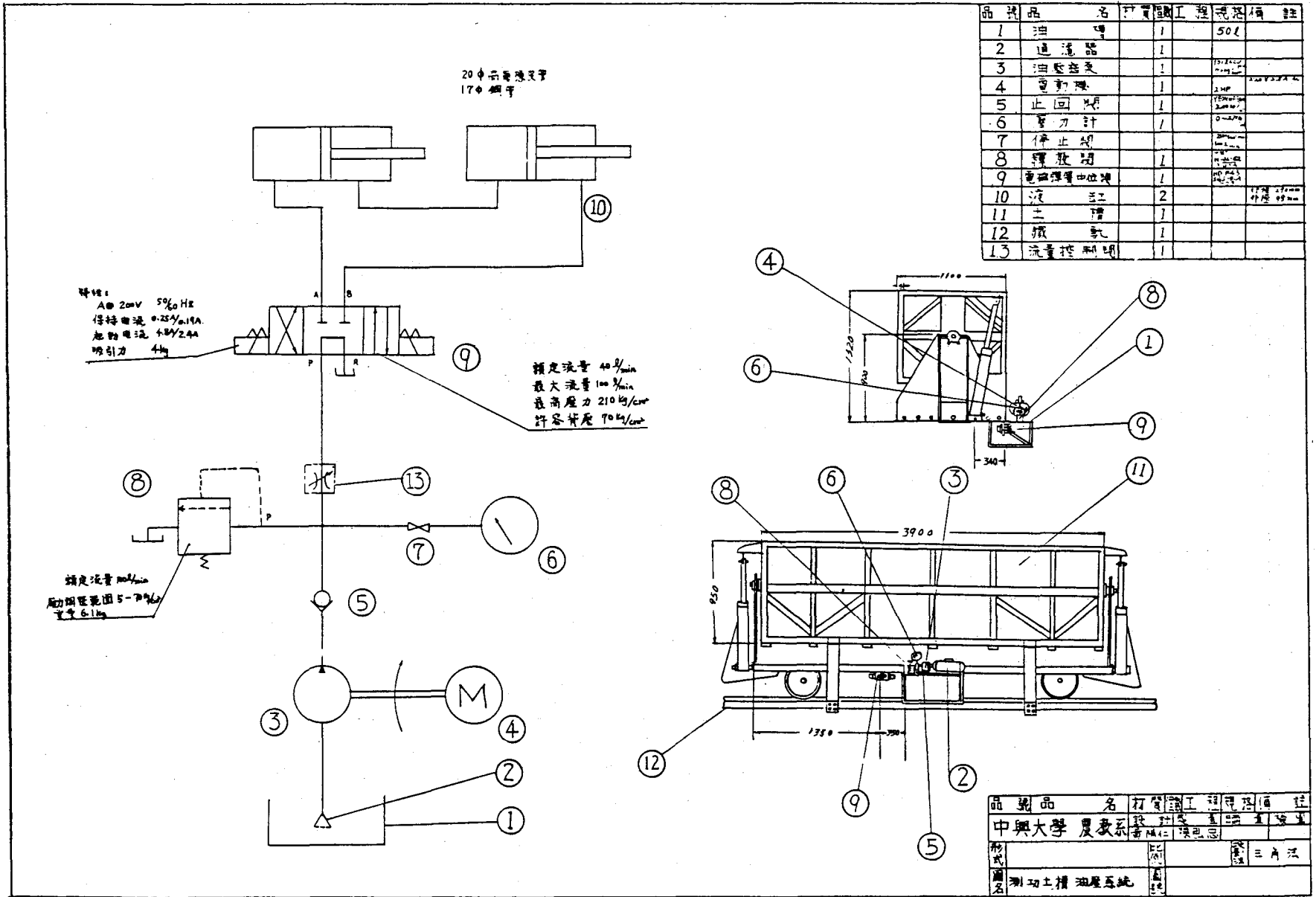
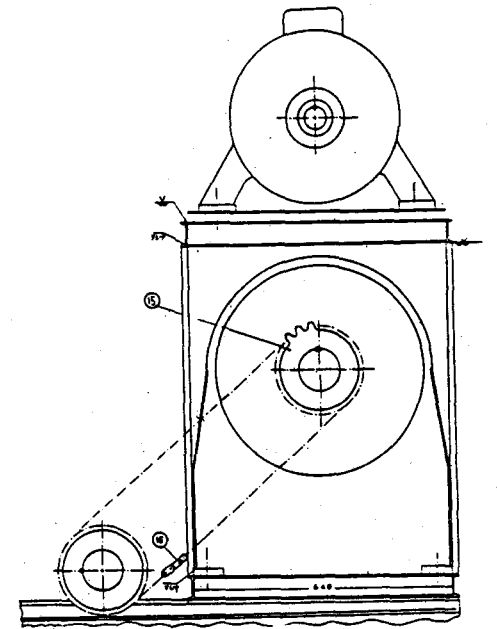
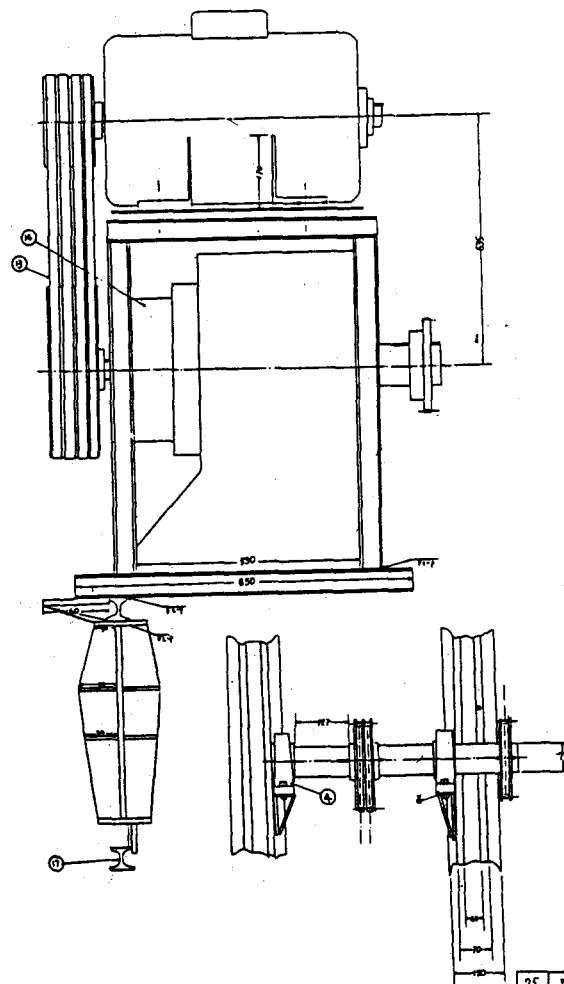
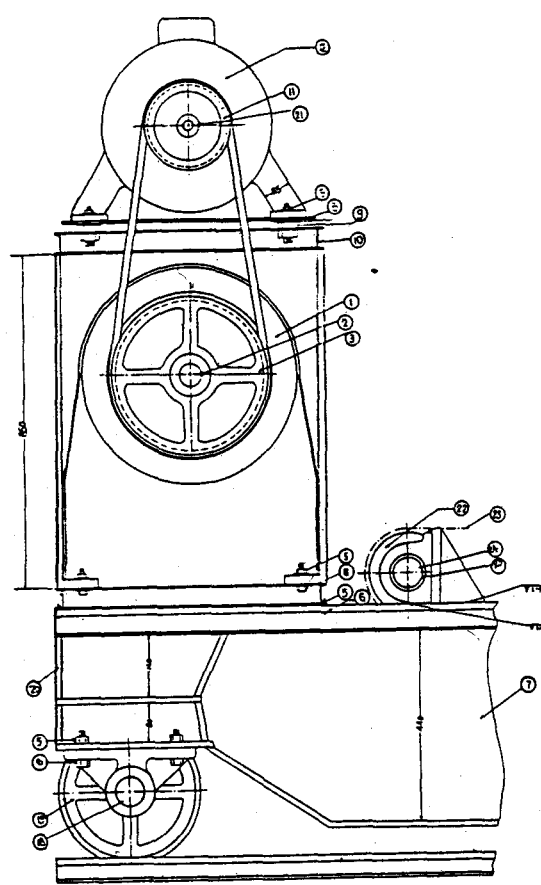


圖37 土槽台車之油壓系統



18	鋼	車	S30C	1		65x250
17	叶	鋼	S20C	4		30x20
16	齒	鋼	S30C	1		100#
15	齒	鋼	S30C	2		21T
14	齒	鋼				
13	皮	帶		4		C.B.6
12	D.C.	馬		1		60hp
11	皮	帶	S30C	1		C.B.200
10	U	型	鋼	12		50x50
9	皮	帶	S30C	4		
8	齒	鋼	S30C	2		C.10
7	鋼	軸	S30C	2		
6	鋼	軸	S30C	20		
5	鋼	軸	S30C	24		
4	鋼	軸	S30C	2		

25	球	軸	SU12	1		
24	鋼	軸	S30C	1		
23	齒	鋼	S30C	1	100#	1 帶
22	齒	鋼	S30C	1	21T	品
21	齒	鋼	S30C	1		品
20	鋼	軸	S20C	2	9 10	品
19	鋼	軸	S20C	2	9 20#	品
18	鋼	軸	S30C	1		品
17	鋼	軸	S30C	4		品
16	齒	鋼	S30C	1		品
15	齒	鋼	S30C	2		品
14	齒	鋼				品
13	皮	帶		4		品
12	D.C.	馬		1		品
11	皮	帶	S30C	1		品
10	U	型	鋼	12		品
9	皮	帶	S30C	4		品
8	齒	鋼	S30C	2		品
7	鋼	軸	S30C	2		品
6	鋼	軸	S30C	20		品
5	鋼	軸	S30C	24		品
4	鋼	軸	S30C	2		品

圖 22 十槽台車之驅動行走裝置明細圖

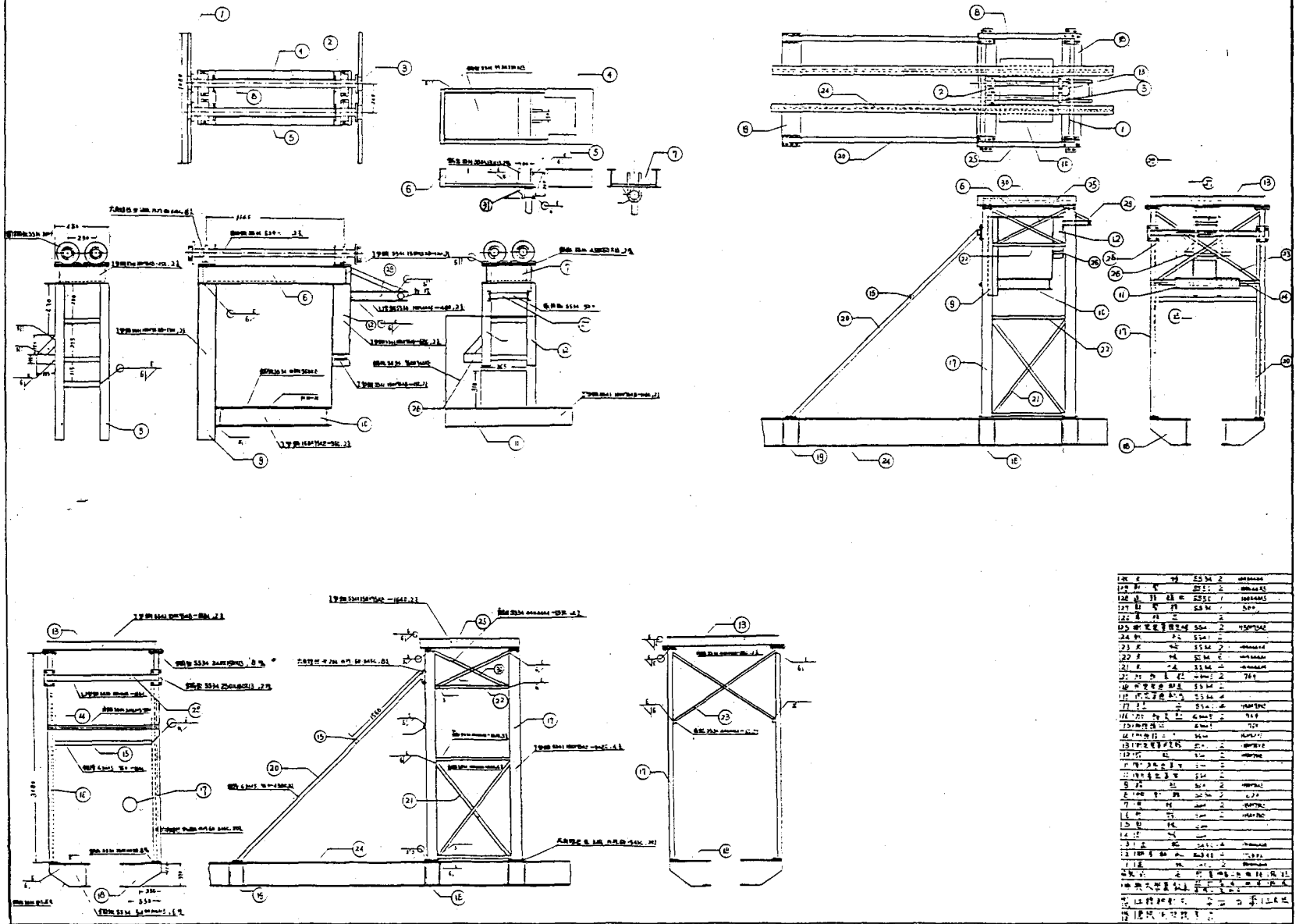
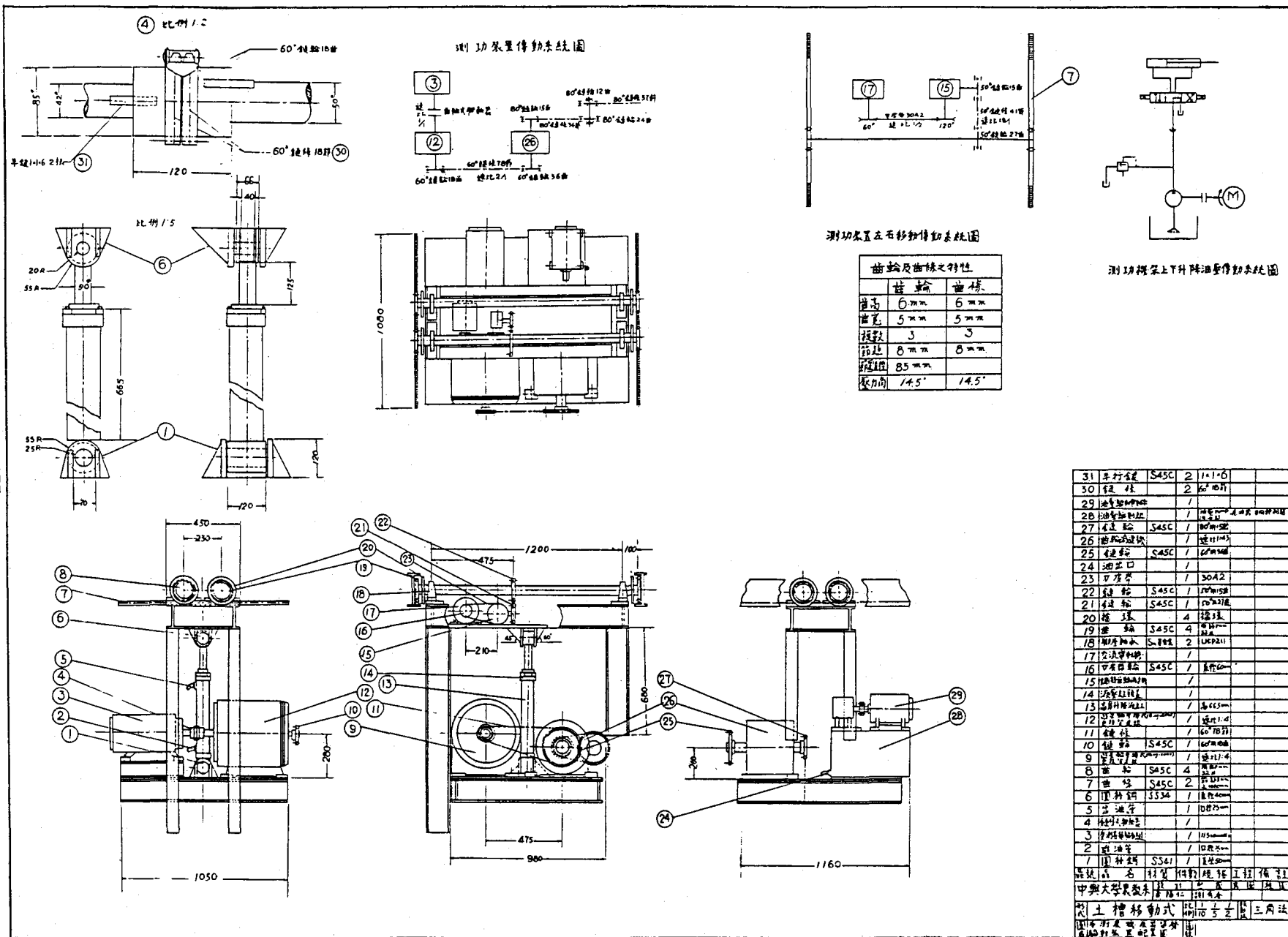


圖 39 農機測功框架之結構明細圖

序號	名稱	數量	規格	備註
1	鋼板	2	1000x1000	
2	鋼板	2	1000x1000	
3	鋼板	2	1000x1000	
4	鋼板	2	1000x1000	
5	鋼板	2	1000x1000	
6	鋼板	2	1000x1000	
7	鋼板	2	1000x1000	
8	鋼板	2	1000x1000	
9	鋼板	2	1000x1000	
10	鋼板	2	1000x1000	
11	鋼板	2	1000x1000	
12	鋼板	2	1000x1000	
13	鋼板	2	1000x1000	
14	鋼板	2	1000x1000	
15	鋼板	2	1000x1000	
16	鋼板	2	1000x1000	
17	鋼板	2	1000x1000	
18	鋼板	2	1000x1000	
19	鋼板	2	1000x1000	
20	鋼板	2	1000x1000	
21	鋼板	2	1000x1000	
22	鋼板	2	1000x1000	
23	鋼板	2	1000x1000	
24	鋼板	2	1000x1000	
25	鋼板	2	1000x1000	
26	鋼板	2	1000x1000	
27	鋼板	2	1000x1000	
28	鋼板	2	1000x1000	
29	鋼板	2	1000x1000	
30	鋼板	2	1000x1000	
31	鋼板	2	1000x1000	
32	鋼板	2	1000x1000	
33	鋼板	2	1000x1000	
34	鋼板	2	1000x1000	
35	鋼板	2	1000x1000	
36	鋼板	2	1000x1000	
37	鋼板	2	1000x1000	
38	鋼板	2	1000x1000	
39	鋼板	2	1000x1000	
40	鋼板	2	1000x1000	
41	鋼板	2	1000x1000	
42	鋼板	2	1000x1000	
43	鋼板	2	1000x1000	
44	鋼板	2	1000x1000	
45	鋼板	2	1000x1000	
46	鋼板	2	1000x1000	
47	鋼板	2	1000x1000	
48	鋼板	2	1000x1000	
49	鋼板	2	1000x1000	
50	鋼板	2	1000x1000	
51	鋼板	2	1000x1000	
52	鋼板	2	1000x1000	
53	鋼板	2	1000x1000	
54	鋼板	2	1000x1000	
55	鋼板	2	1000x1000	
56	鋼板	2	1000x1000	
57	鋼板	2	1000x1000	
58	鋼板	2	1000x1000	
59	鋼板	2	1000x1000	
60	鋼板	2	1000x1000	
61	鋼板	2	1000x1000	
62	鋼板	2	1000x1000	
63	鋼板	2	1000x1000	
64	鋼板	2	1000x1000	
65	鋼板	2	1000x1000	
66	鋼板	2	1000x1000	
67	鋼板	2	1000x1000	
68	鋼板	2	1000x1000	
69	鋼板	2	1000x1000	
70	鋼板	2	1000x1000	
71	鋼板	2	1000x1000	
72	鋼板	2	1000x1000	
73	鋼板	2	1000x1000	
74	鋼板	2	1000x1000	
75	鋼板	2	1000x1000	
76	鋼板	2	1000x1000	
77	鋼板	2	1000x1000	
78	鋼板	2	1000x1000	
79	鋼板	2	1000x1000	
80	鋼板	2	1000x1000	
81	鋼板	2	1000x1000	
82	鋼板	2	1000x1000	
83	鋼板	2	1000x1000	
84	鋼板	2	1000x1000	
85	鋼板	2	1000x1000	
86	鋼板	2	1000x1000	
87	鋼板	2	1000x1000	
88	鋼板	2	1000x1000	
89	鋼板	2	1000x1000	
90	鋼板	2	1000x1000	
91	鋼板	2	1000x1000	
92	鋼板	2	1000x1000	
93	鋼板	2	1000x1000	
94	鋼板	2	1000x1000	
95	鋼板	2	1000x1000	
96	鋼板	2	1000x1000	
97	鋼板	2	1000x1000	
98	鋼板	2	1000x1000	
99	鋼板	2	1000x1000	
100	鋼板	2	1000x1000	



動機自行停止。

因電動機輸出軸轉速受速比 $1/1\sim 1/50$ 之無段變速可調為 $1800\sim 36\text{rpm}$ ，故經前述減速裝置後，使臺車行走速度為 $0.7\sim 35\text{cm/sec}$ 。又，本電動機及減速機之轉軸上一端，各裝設有安全電磁制動器，在電源中斷或停電時呈剎車作用，僅在切入電源時鬆放，以輸出動力；故對臺車在軌樑縱向傾斜或行走中停電時，形成剎車以策安全。

(5)農機測功框架及動力導出裝置：農機測功框架之結構明細圖，如圖39所示；以四支 $150\text{mm}\times 75\text{mm}\times 8\text{mm}-3480\text{m}$ I型鋼⑦豎接之構架底端，焊固連接構件⑩而焊接在軌樑②兩側，又其上端連接加強支柱⑪斜撐之。該框架頂端設有懸樑架⑤、⑥及與框架頂端兩緣所設齒條①啮合之小齒輪組③同中心線之移動軸⑧，使懸樑架對框架可作橫方向移動者。在框架之右上端連接具有可垂掛機具在下懸臂桿⑭之懸臂⑯。

在該懸樑架之四角隅向下焊接檔柱⑬、⑨，在其間形成之空間容許下運動力導出基臺⑩之升降。在懸臂樑之中央位置設有供動力導出基臺升降用油壓液缸垂掛之孔框⑳。

圖40所示者為測功動力導出裝置之結構明細圖；圖中，上述懸樑架之框內，設有 $1/4\text{KW}$ 電動機⑰，經皮帶輪⑱輸入蝸桿齒輪減速器⑮，其輸出鏈輪⑲驅動移動軸上之鏈輪⑳，以達測功裝置左右移動之作用。

自懸樑架垂設升降液壓缸⑬之下端，以樞銷①平接以 $150\text{mm}\times 75\text{mm}\times 8\text{mm}-960\text{mm}$ 構成之動力導出基臺（圖39中之⑩）。基臺上設有一具 $11.5\text{KW}/1160\text{rpm}$ 三相電動機⑳，以鏈條式聯軸器④驅動速比 $1/4$ 之滾柱遊星輪摩擦式無段變速器㉑，其輸出鏈輪組減速 $1/2$ ，續連動速比 $1/43$ 之齒輪減速器㉒至動力導出鏈輪㉓，其速比為 $1/1.6$ 。故自電動機至此動力導出鏈輪之總速比為 $1/550.4\sim 1/137.6$ 。動力導出軸之動力，經爪顎式離合器，可分別驅動受測之農機具及置於動力導出基臺下方之土槽整地用機具，其鏈條使用80號。又基臺升降用液缸之缸徑 100mm ，缸長 665mm ，缸桿 50mm ，以 $1.5\text{KW}/1720\text{rpm}$ 三相交流電動機㉔所驅動之油路系統㉕控制作動者。

(6)土槽之整地裝置：土槽整地裝置包括耕耘刀軸④，擋土板③及鎮壓輪②；圖41示其明細結構圖。耕耘刀軸之耕寬 700mm ，以四螺旋排列安裝計

二十把最大迴轉半徑為 275mm 之耕耘刀⑤。其動力自上項動力導出鏈輪軸經速比 $1/1$ 之80號鏈輪組傳動裝置輸入，故其轉速為 $8.43\sim 33.7\text{rpm}$ 。擋土板為置於耕耘刀軸左側刮板狀可調高度之裝置，有效寬度 955mm 。

鎮壓輪②呈筒徑 220mm ，筒長 710mm 之裝置，與土槽間之高度，藉鬆動四支M30螺柱而作調整。其轉速亦自動力導出鏈輪軸，經速比 $1/1.4$ 之鏈輪組而得 $6.01\sim 24.07\text{rpm}$ ；故鎮壓輪筒面之切線速度為 $6.92\text{cm/sec}\sim 27.68\text{cm/sec}$ 。

(7)受測農機具固定用框架及其測功裝置：受測農機具固定用框架為以 $75\text{mm}\times 40\text{mm}\times 5\text{mm}$ 槽鐵製成之長方形框架，在本試驗用框架之尺寸為 $1250\text{mm}\times 725\text{mm}$ 。其測功裝置如圖42所示，圖中A為前述動力導出裝置之齒輪減速器，B₁為動力導出軸上輸出動力用鏈輪，經L型兩段鏈條傳動裝置，可使固定在受測框架P上之機具（圖上以一行走輪表示）D，獲得驅動動力。在本裝置中，輸出軸B₁對行走輪D之速比為 $1/7.06$ ，故輪軸之轉速為 $0.30\sim 1.19\text{rpm}$ 。

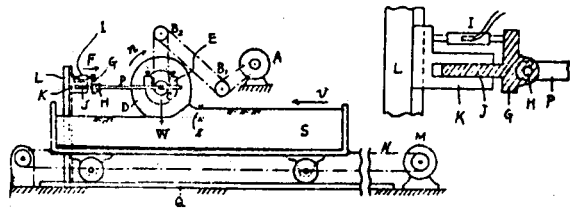


圖42 受測農機具固定用框架及其測功裝置。

又圖中，農機測功框架L與受測機具固定框架P之間，並置二支軸向滾珠軸承K，如此使連接導軌桿J右端之框架P僅容許作水平方向之自由無阻力作動；但因其間介置鉸鏈H，隨土槽行走面之起伏，框架P亦行自由起伏。

與軸向軸承K並置者為使用軸承外環，經粘貼四片應變規構成之環式測定器I，用以感測受測機具之推進力或牽引力F。驅動轉矩之測定，亦使用應變規，經滑環取出信號，連接應變儀及記錄儀，予以測錄。

土槽之行走速度及驅動機具之轉速，則使用光電開關及電橋盒，連接應變儀顯示在記錄儀，由記錄紙之速度，可推算其值。

四、本研製土槽設備基本特性之 檢討及結果：

(一) 承載軌樑之彎變性：

於圖32所示之本研製土槽設備，將軌樑右端升舉以檔桿②置於掛鈎框③，使軌樑⑤斜放其上，其左端藉支承輪④呈 5° 傾斜狀態，然後令盛滿土壤之土槽④自左端移向右端，使用針盤量規 (dial gage) 量取自檔桿 3905 mm 處位置軌樑下側之最大彎變量，僅為 0.25 mm；折算軌樑對負載土槽移動之彎變角為 $\tan^{-1} \frac{0.25}{3905} \doteq \frac{1}{240}^\circ$ 。

復自理論上探討上項軌樑對土槽臺車④及測功框架③之重力所產生的彎變量時，今設軌樑自身重量所致之彎變量可予不計，並為簡便計，使臺車軸距 C 與框架跨距相同且有相等之集中重力 W 作用，則依材料力學原理可標示其力學狀態，如圖 43 所示。

依直樑受彎矩之理論，距左端支點 x 距離處 X 截面之彎矩呈最大之位置為，當該截面移至左側負荷之狀態；亦即自左端支點至二負荷中點之距離 $\xi = \frac{C}{2} + x$ 之狀態；其最大彎矩值為

$$M_{max} = 2W \frac{\ell - \xi}{\ell} x = 2W \frac{\ell - (\frac{C}{2}) - x}{\ell} x \quad (6)$$

又此一狀態之彈性線之微分方程式為

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{M_{max}}{EI} = -\frac{W}{EI\ell} [(C-2\ell)x + 2x^2]$$

軌樑之 EI 可視作定值，則對 x 積分之，得

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{W}{EI\ell} \left[\left(\frac{C-2\ell}{2} \right) x^2 + \frac{2}{3} x^3 + C_1 \right] \quad (7)$$

$$y = -\frac{W}{EI\ell} \left[\left(\frac{C-2\ell}{6} \right) x^3 + \frac{1}{6} x^4 + C_1 x + C_2 \right] \quad (8)$$

於 $x=0$ 及 $x=\ell$ 時 $y=0$ 之條件，得 $C_1 = \frac{1}{6}(\ell^3 - C\ell^2)$ ， $C_2 = 0$ ，故彎變角 i 及彎變量 y 之式為，

$$i = \frac{dy}{dx} = -\frac{W}{6EI\ell} [4x^3 + 3(C-2\ell)x^2 + (\ell^3 - C\ell^2)] \quad (9)$$

$$y = -\frac{W}{6EI\ell} [x^4 + (C-2\ell)x^3 + (\ell^3 - C\ell^2)x] \quad (10)$$

今將本研製土槽設備之 $W=2,000$ Kg， $\ell=840$ cm， $C=210$ cm， $\xi=370$ cm， $x=265$ cm，軌樑鋼材之 $E=2.1 \times 10^6$ Kg/cm²， $I=11700$ cm⁴ 代入式(9)及(10)，則求得 $i=0.0034 \doteq \frac{1}{5}^\circ$ ， $y_{max}=0.0058$ cm = 0.058 mm。

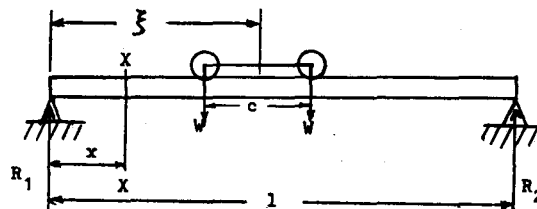


圖43. 軌樑承載台車及框架之兩集中負荷之力學模式

動力導出基台

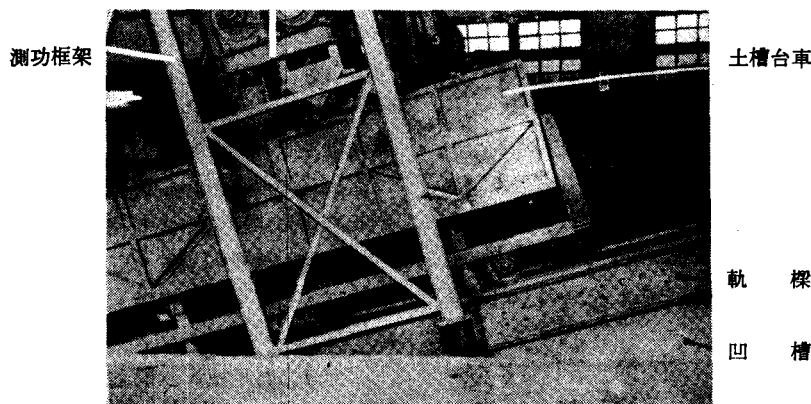


圖44. 承載土槽台車及測功框架之軌樑傾斜調整

由此獲知，本土槽設備軌樑之剛性 (stiffness) 甚佳。

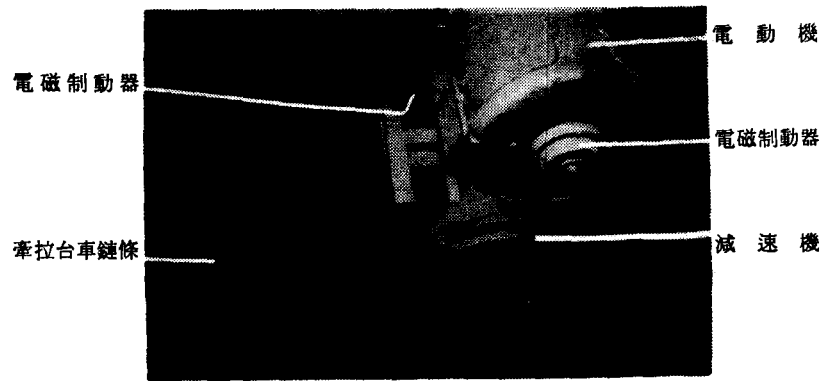


圖45 驅動土槽臺車行走用電動機及傳動裝置。

(二) 軌樑傾斜用調整框架之精確度：

將盛土土槽置於軌樑中央，以電動吊車⑦升舉軌樑右端，分別使擋桿④置於傾斜調整用框架③上之各掛鉤框，停置軌樑，以攜帶式斜度器讀取距該檔桿 1000mm 處軌樑上鋼軌之傾斜角，則得如表 1 所示之結果：從而計算本土槽斜度調整裝置之平均二次誤差值為 $\pm 0.147^\circ$ ，比精密度為 $\pm 2.94\%$ 。圖44為傾斜15度軌樑上之土槽臺車。

(三) 驅動土槽行走用電動機之無段變速穩定性：

使軌樑水平停置凹槽底面，調整驅動土槽行走用矽控電動機之轉速控制鈕，令裝滿土壤之土槽臺車移動行走，以光電式轉速計及跑錶，讀取該電動機轉軸之轉速與控制鈕設定刻度之關係，則得如圖 48 所示之線圖；即電動機轉軸之實際轉速範圍為 44~1,820 rpm。於軌樑呈20度傾斜，令盛土之土槽臺車作上坡行走時，則其最低起動轉速為

表 1 軌樑傾斜裝置之精確度

設計標稱斜度	0	5	10	15	20	25	30
實測斜度	0	4.8	9.8	15.2	19.9	25.0	—
誤差平方值	0	0.04	0.04	0.04	0.01	0	—

75 rpm，但其後轉速控制之增加，與在平面行走者並無明顯之轉速差異，故獲知對負荷變動下之電

動機無段控制之穩定性良好，其變速特性隨刻度之增加而呈指數性遞增。

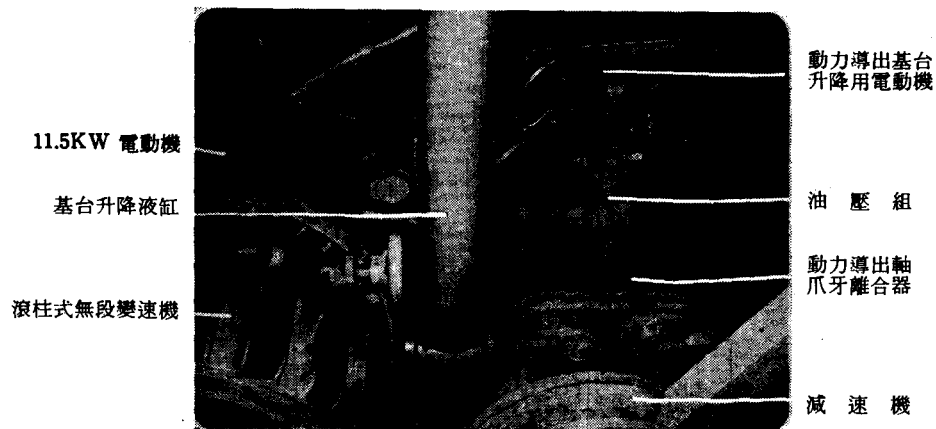


圖46 動力導出基台之傳動裝置

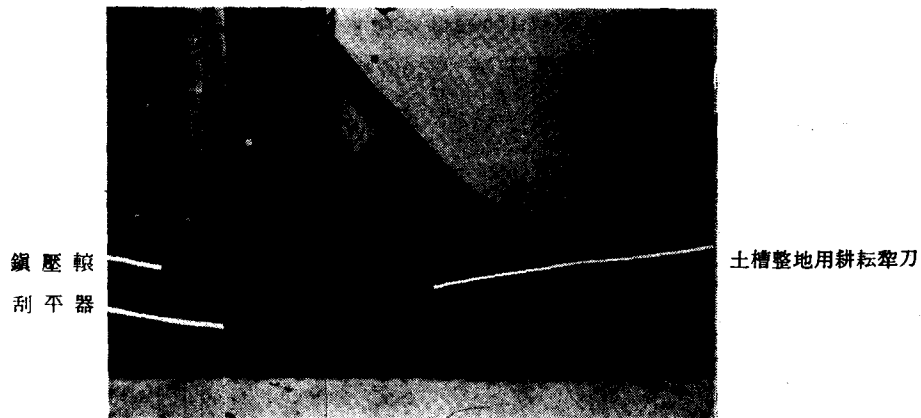


圖47. 土槽之整地裝置

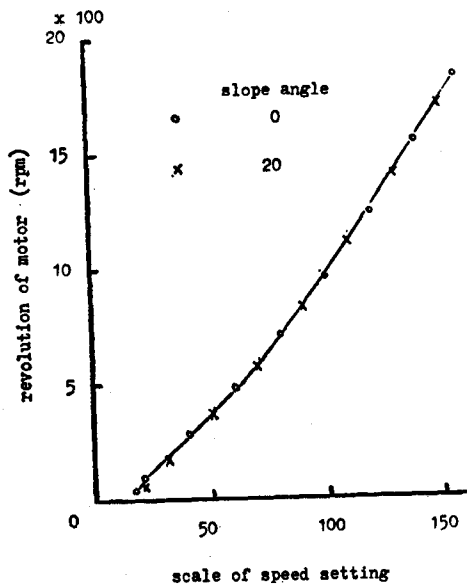


圖48 驅動土槽行走用電動機之無段變速設定刻度與轉速相關線圖

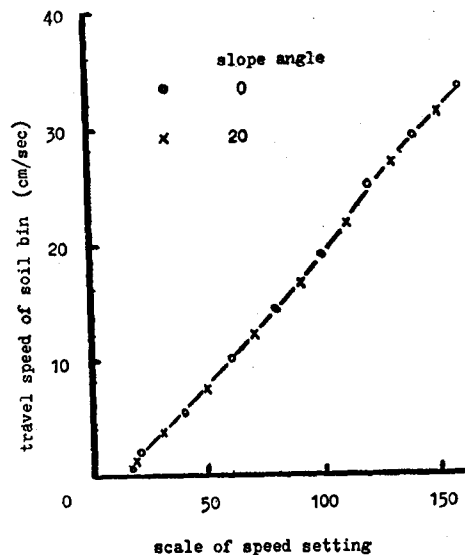


圖49 電動機無段變速設定刻度與土槽移動行走速度之相關線圖



圖50 光電式行走速度測示器

四土槽臺車之無段變速行走性：

將盛滿土壤之土槽臺車，分別於軌標傾斜度為 0° 及 20° 時，調整無段變速設定鈕之刻度由最低土槽行走速度起始之行走性，則得圖49所示之相關線圖。於軌標傾斜度為 0° 時之最低土槽臺車行走速度為 0.65 cm/sec ，傾斜度為 20° 之上坡行走則為 1.2 cm/sec ；自行走速度 2.5 cm/sec 以上至最高行走速度 33.2 cm/sec 止之範圍內，在傾斜度 20° 以內之上坡行走，皆呈相同之無段變速之行走特性。

欲使傾斜軌標上之土槽臺車向下坡方向行走時



圖51 台車自動剎停限制開關

，不宜逕按電動機反向按鈕，使之移動，以免加速下坡造成危險；其下坡行走法為，將控制箱面電動機轉速設定刻度旋鈕，調置在16以下之值，按下驅

動電動機「正轉」（相當於臺車上坡方向），則因電磁轉矩之作用，減緩臺車重力向下坡之作用，該電動機以極慢之轉速反轉，遂使臺車緩慢下坡。

若在測功框架裝有待測功機具，對臺車土槽作土壤之剪切翻起作用時，則無需作上述之下坡操作法，可逕以反轉驅動電動機，使臺車下坡行走。

設在軌樑兩端之限制開關，當碰觸土槽臺車之鐵輪時，即自動控制電動機停止，同時作動電動機及減速機內之電磁制動器，行走即行停止。圖51為該自動剎停用開關。

(四)制動土槽臺車之剎車性：

使盛土臺車在水平軌樑上作等速度移動行走，當土槽前輪觸接設置在軌樑一端之限制開關，則可自動切斷電動機之電源，同時使電動機及減速機上之兩具安全剎車器，因電路中斷，離合片因彈簧力量回位制動傳動裝置。

在本檢驗中，係量取各不同行走速度之剎停距離，並計算制動減速度，而得表2及圖52所示之結果；由制動減速度值在高行走速度範圍之持續增加，可知本剎車裝置之容量，尚稱允當。

表2 土槽臺車電磁制動器之性能

行走速度 cm/sec	0.5	2.0	5.6	10.0	14.1	19.1	25.0	28.8	33.3
剎停距離 cm	0.1	0.15	0.8	2.0	2.7	3.7	5.0	6.2	8.3
制動減速度 cm/sec ²	2.5	13.3	19.6	25.0	37.3	49.2	62.5	66.4	66.8

在傾斜軌樑上，使臺車下坡行走時，應依四項所述之步驟操作下坡行走，然後制動剎停；否則，因超量之制動減速度所致之臺車慣性衝力，對臺車牽拉鏈條有不良之影響。

(內)土槽之土壤力學特性：

1.受測機具之接地寬度之探討：

(1)接地面形狀呈長帶狀時：將寬度為b之長條機具平置土槽，有等分佈荷重P施壓土壤面時，作用在土壤內部垂直應力 σ_z 及剪力 τ_{rz} 之變化，依 Boussinesq 之公式，以下式表示。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_z &= \frac{P}{\pi} \{ \sin \theta_0 \cos (\theta_1 + \theta_2) + \theta_0 \} \\ \tau_{rz} &= \frac{P}{\pi} \sin \theta_0 \sin (\theta_1 + \theta_2) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

圖 57(b) 為土壤內部之等壓力球 (pressure bulb) 線圖；今因本研製土槽之有效寬度 90 cm

，深度 90cm，故得使土槽兩側面及底層土壤僅感受 0.05p 等分佈荷重之機具最大寬度為 35 cm。

(2)接地面形狀呈圓形時：將半徑為 a 之圓形接地面機具平置土槽，有等分佈荷重 P 施壓土壤面時，作用在中心軸下深度 z 處之垂直應力 σ_z ，依 Fröhlich 之公式，以下式表示

$$\sigma_z = p \left\{ 1 - \left(\frac{1}{1 + \left(\frac{a}{z}\right)^2} \right)^{3/2} \right\} \quad (12)$$

又中心軸上任意點之最大剪力為，

$$\tau_{max} = p \left\{ \frac{1-2\mu}{4} + \frac{1+\mu}{2} \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{a}{z}\right)^2} \right]^{1/2} - \frac{3}{4} \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{a}{z}\right)^2} \right]^{3/2} \right\} \quad (13)$$

設土壤之 Poisson 比為 0.5，則發生於 $z=0.707a$

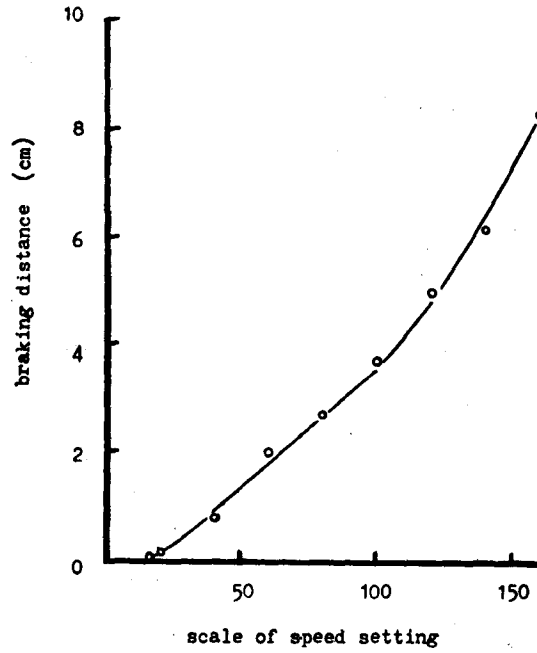


圖52 驅動土槽台車行走刻度與制車距離之相關線圖

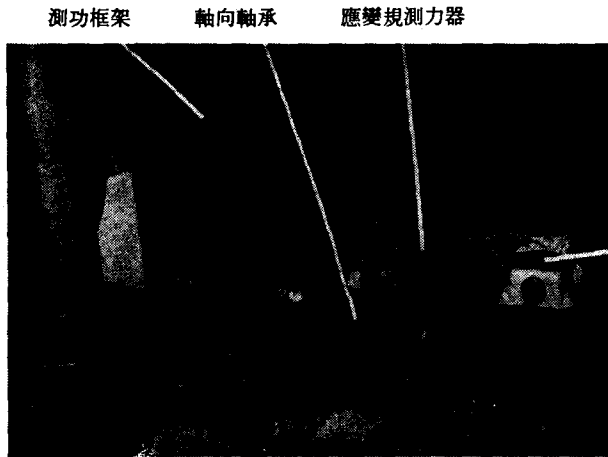


圖53 應變測力器



測功框架 軸向軸承 應變規測力器

電橋盒

測功框架

受測機具

受測機具固定框架

滑 環

圖54 受測機具（圖示者為一行走輪）與測功框架間之連接測試

深度之剪力為最大，其值為 $\tau_{max}=0.289p$ ，深度方向各位置之應力分佈如圖58所示。同理可求得於本研製土槽底層位置產生 $0.064p$ 之應力變化之最大機具半徑為 22 cm 。

2.土槽土壤之臨界支持力之探討：

(1) Fröhlich 之公式：設土壤內摩擦角為 ϕ ，粘性係數為 C (kg/cm^2)，單位體積重量為 γ (kg/cm^3)，則沈陷量為 D_f (cm) 之臨界支持能力，依 Fröhlich 之式為

$$p_F = \frac{\pi (c \cot\phi + \gamma \cdot D_f)}{\cot\phi - \frac{\pi}{2} + \phi} + \gamma \cdot D_f \quad (14)$$

若將 $\phi=20^\circ$ ， $c=0.2\text{ kg}/\text{cm}^2$ ， $\gamma=0.0013\text{ kg}/\text{cm}^3$ ， $D_f=5\text{cm}$ ，代入上式，則得 $p_F=10.5\text{ kg}/\text{cm}^2$ 。若同樣取機具寬度為最大 35 cm ，則對帶狀接地面機具，土壤所具有之最大支持力，每單

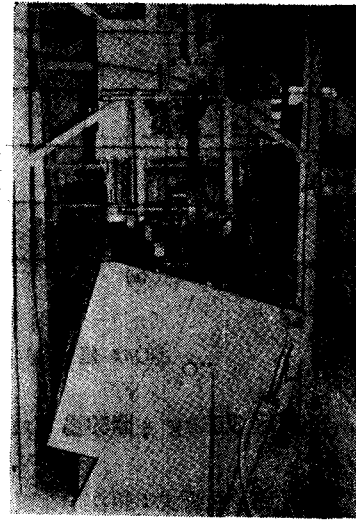


圖55 土槽橫向傾斜（模擬農機具坡地等高線行走行業）

10 Ton 電動吊車

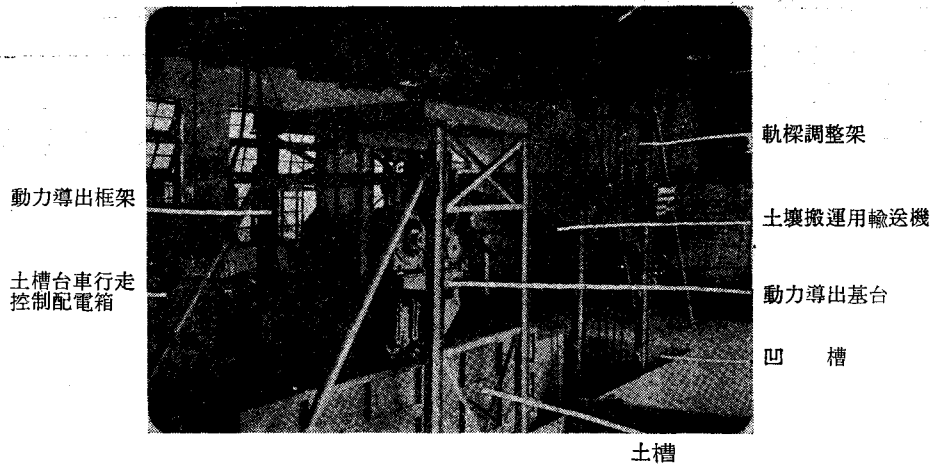


圖56 農機測功土槽之設備全貌

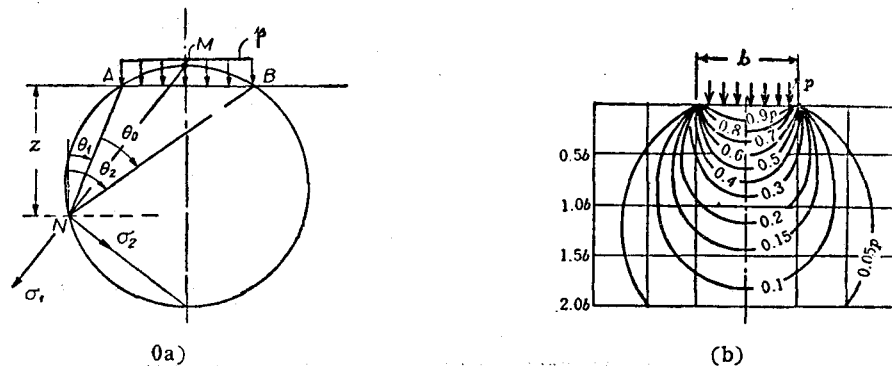


圖57 半無限板上之載荷，(a)載荷板下之土壤應力（最上武雄等著：土質力學，p. 91，興立出版社）
(b) σ_z 之等壓力球；（山內豐聰著：土質力學，p. 178，理工圖書社）

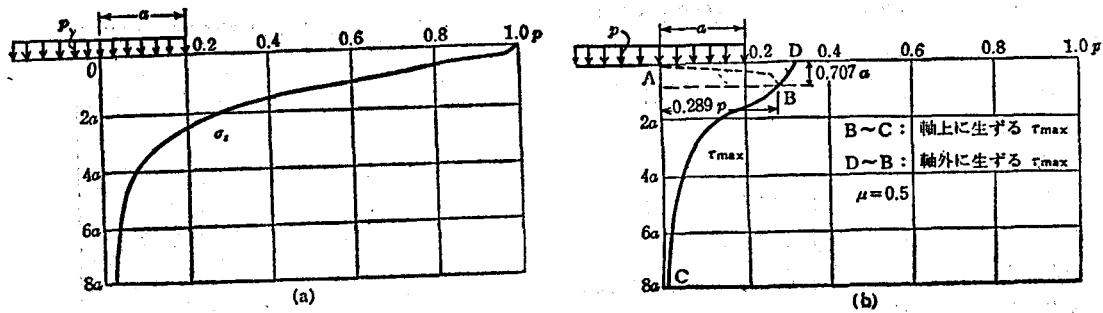


圖58 圓形等分佈荷重下之中心軸之應力分佈
(a) σ_z 值。(b) τ_{max} 值 (山內豐聰著：土質力學，p.188)。

位縱寬 1 cm 為 367 kg。圖59為 Fröhlich 之圖示。

(2) Terzaghi 之公式：對沈陷深度 D_r 之帶狀矩形板，土壤之臨界支持力 Terzaghi 以下式表示，

$$Q_d = B (cN_c + rD_r N_q + \frac{1}{2} r B N_r) \quad (15)$$

其中 N_c, N_q, N_r 為由 ϕ 值決定之支持力係數，如圖60所示；土質澎鬆時，則行局部潰陷作用，以下式表示之，

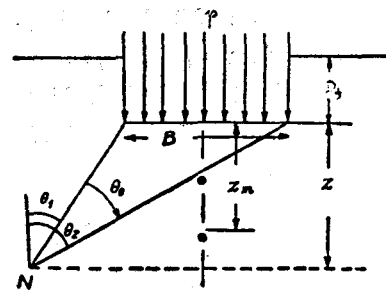


圖59 Fröhlich 之支持力。
(最上武雄著：土質力學 p.96)

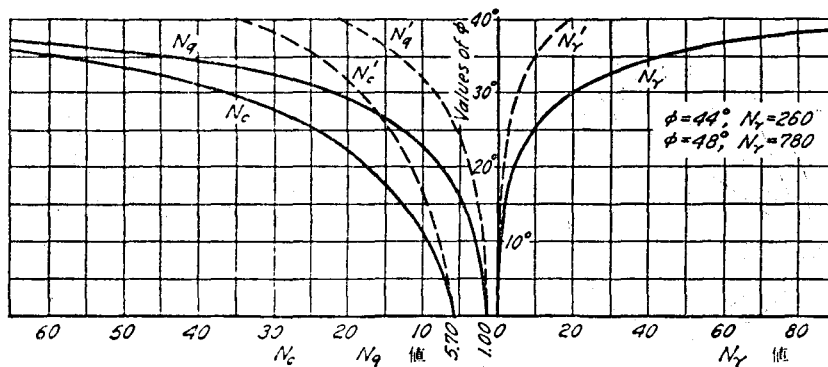
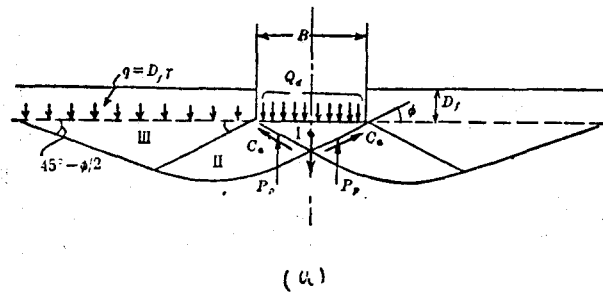


圖60 Terzaghi 之支持力。(a) 載荷板下土壤基盤之潰陷，(山內豐聰著：土質力學，p.191)。
(b) 支持力係數 (Terzaghi 著，小野薰等共譯：土質力學，p.152，丸善出版社)

$$Qd' = B\left(\frac{2}{3}cNc' + rD_rNq' + \frac{1}{2}rBNr'\right) \quad (16)$$

對半徑為 a 之圓形荷重之支持能力則為

$$Qdr = \pi a^2(1.3cNc + rD_rNq + 0.6raNr) \quad (17)$$

仍以上述本研製土槽之最大機具半徑 22 cm 為例，在 $\phi = 25^\circ$ ， $c = 0.2 \text{ kg/cm}^2$ ， $r = 0.0013 \text{ kg/cm}^2$ ， $D_r = 5 \text{ cm}$ 之支持能力由式(17)求得為

9,090 kg。

(c)動力導出裝置之傳動性：調整無段減速器量測電動機及動力導出軸之最高及最低轉速，則得如表 3 所示之結果；其最高值較設計值低 2.2 rpm，最低值較設計值低 0.75 rpm，但不影響土槽之使用傳動性。

表 3 動力導出裝置之傳動性

裝置名項	設計轉速 (rpm)		實測轉速 (rpm)	
	最高檔	最低檔	最高檔	最低檔
原動電動機軸	1,160	1,160	1,160	1,177
無段變速機軸	—	—	1,617	355
動力導出軸	14.0	3.3	11.8	2.55

五、謝 誌

本研究之完成，承行政院國家科學委員會之經費補助，屏東農專農機科副教授翁金瑞提供德國方面之農機測功土槽文獻資料，中興大學農機系助教阮助明及近幾年歷屆本系修習農機設計課程三年級同學之協助製圖驗算，以及雙田機械股份公司經理楊椿生之工程施工，技術員巫明貴之協助製作，始克順利完成，謹此一併致謝。

六、參 考 文 獻

- (1) 黃陽仁，1971，農業機械於水田行走性能之研究(二)農機車輪在田間行走之各種動力學上之形態及其行走特性之測定法。農林學報20：45—72。
- (2) 山崎稔、增田正三，1975，土—機械系の相似性に關する研究，農機誌36(4)：518—524。
- (3) 木谷收、坂井純、市川真祐、堀部和雄、田尻功郎、伊佐務。1973。油壓驅動式土壤槽試驗裝置の試作研究，農機誌，34(4)：327—333，35(1)：58—64。
- (4) 手塚右門、小原勝藤、遠藤俊三、藤井清信、狩野秀男、後藤美明、倉田勇、1963，施肥播種機に關する研究，農林省農事試驗場研究報告向。
- (5) 農業機械化研究所，1978。農業機械の安全性に關する研究，研究成績53(1)：21。
- (6) 傾斜地における農用機械の横轉限界，日本四國農業試驗場報告，1969，21，101
- (7) Bekker, M. G., 1968, Introduction to Terrain-

Vehicle System, Ann Arbor, The University of Michigan Press, 775-784.

- (8) Burt, E. C., Bailey, A. C., Patterson, R. M., Tailor, J. H., 1979. Combined Effects of Dynamic Load and Travel Reducton on Tire Performance, Trans. of the ASAE, 22 (1): 40-44.
- (9) Perumpral, J. V., Chance, L. C., Woeste, F. E., Desai, C. S., 1980, A Matrix Method for Force and Moment Analyiis on a Tillage Tool Trans. of the ASAE, 23(4):1072-1075.
- (10) Stafford, J. A., 1979. A Versatile High-Speed Soil Tank for Studying Soil and Implement Interaction, Journal of Agricultural Engineering Research, 24(2):57-66.
- (11) Fortschritt-Berichte der Verein Deutscher Ingenieure, 1972, Das Verhalten von Reifen beim mehrmaligen Überfahren einer Spur auf nachgiebigem Boden und der Einfluß auf die Konzeption mehrachsiger Fahrzeuge, seite 11-12, Bild 3-6, Reihe 14, Nr, 17.
- (12) Kalk, W. D., 1971, Die neue Bodenrinnenanlage der TU Dresden, Deutsche Agrartechnik, 21 Jg, Heft 7, Seite 337-338.
- (13) Rudolf Möller, 1967, Überlegunngen beim Aufbau einer Bodenrinne, Grundlagen der Landtechnik, Band 17, Nr.6, Seite 175 bis 179.