土木試驗所報告

第六十八號

除雪自動車の運行機能に關する
試驗報告 ……內務技師 村上永一…(1)

積雪の削拋抵抗試驗並に二三の
雪性特異性に就いて ……內務技師 島田八郎…(19)
附; 道路用機械的除雪機構雜錄

擁壁に作用する地震時土壓に關
する實驗的研究(第1報) ……內務技師 松尾春雄…(51)

含砂率簡易測定法 ……內務技師 佐藤清一…(77)

昭和十七年十二月

內務省土木試驗所

除雪自動車の運行機能に關する試驗報告

内務技師　村　上　永　一

目　次

I 總　　說……(1)
[1] 試驗の目的……(1)
[2] 除雪自動車の構造……(2)
[3] 試驗項目……(2)
[4] 試驗結果の大要……(2)
[5] 要　　約……(3)
II 試驗概要……(4)
[1] 試驗當時の諸條件……(4)
[2] 速度及燃料消費量の測定方法……(5)
[3] 除雪抵抗の測定方法……(5)
[4] 雪質及びその他の測定……(6)
III 除雪自動車の運行試驗成績……(7)
[1] A除雪自動車の試驗經過及成績……(7)
[2] B除雪自動車の試驗經過及成績……(13)
IV 試驗結果に對する考察……(14)
[1] 除雪抵抗の算定……(14)
[2] 除雪抵抗に對する考察……(16)
[3] 速度及燃料消費料に對する考察……(17)
[4] 除雪作業に對する考察……(17)
V 結　　語……(18)

I 總　　說

[1] 試驗の目的

多雪積雪地方の交通問題は國防上は勿論，地方產業開發及文化向上に對し重要なる因子となるものである．積雪時の交通に對しては雪上交通と除雪交通とがあるが道路交通は鐵道と異り，兩者の何れをも選擇し得る利點があり，從つて當該地方の積雪量，地形，人文，經濟に依り夫々に適した方法を採用し得るものである．

然るに現實はこの選擇の自由が反つて禍し，道路の積雪時交通對策は鐵道のそれに較べて遙かに立後れの狀態となつた．

玆に於て昭和15年度農商技師が試驗した雪上自動車の走行性能と比較すべき基本資料を除雪自動車に對して求めようとして今回の試驗を行ふことになつた．

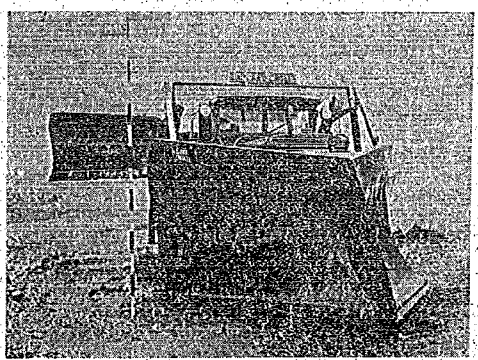
試験は北海道に於て昭和17年3月中旬にV型前鋤除雪自動車の2種類（A除雪自動車，B除雪自動車と假稱する）に就いて，その運行性能，特に，ガソリン消費量，除雪抵抗，除雪速度を試験し，運轉の難易等を調査し，兩者の性能を比較した．

［2］ 除雪自動車の構造

試験した除雪自動車はA除雪自動車，B除雪自動車共に前部にV型前鋤を裝備した押除式の除雪自動車で無限軌道に依り走行するものである．

A除雪自動車は米國キヤタピラー會社製の Laplant Choate と稱する最新式の除雪自動車であつて，70馬力のディーゼル機關を持ち，前部には水壓に依つて任意の高さ（無限軌道の走行面に對し）に上下し得る巨大なるV型前鋤を裝備し，尙ほ左右に補助翼を持つてゐるもので，全重量15瓲，除雪專用に設計したトラクターである．

圖—1 A除雪自動車



圖—2 B除雪自動車

B除雪自動車は米國キヤタピラー會社製作の60馬力のガソリン機關を持つ1925年式の農耕用トラクターを除雪作業の爲に北海道廳土木部で改造して，V型前鋤を裝備せしめて數年前より札幌市內主要路線の除雪作業を行つてゐるものである．尙ほ此の除雪自動車のV型前鋤は任意の高さに調整出來ず，硬い處に當れば自然に前鋤は浮上る樣になつて居り，補助翼を有せず，全重量8.1瓲，改造型の除雪自動車と稱すべきものである．

［3］ 試驗項目

外界條件即ち勾配，距離，雪質，雪深等を出來る限り明かにした個所に於て除雪走行，無除雪走行，機牽引走行をなして次の項目の測定をなした．

（1） 速　度
（2） ガソリン消費量
（3） 停止距離
（4） 機の牽引抵抗

以上の試驗項目より除雪作業の能率，燃料消費，雪の除雪抵抗を求めた．

［4］ 試驗結果の大要

本試驗は昭和17年に行つたものであり，而も本年は例年より氣溫高く，積雪量も平年積雪量より 40～50 cm 少く，北海道としては非常に雪質の悪いもので大體ザラメ雪程度であり，水分も相當に含んでゐた．

この點より見て內地の雪質に非常に類似し，北方特有の粉雪でなく，可成の除雪抵抗を有するものであつた點に留意するを要する．

（1）除雪速度

A除雪自動車は自重大きく，低速度であるが除雪すべき雪積量が變化しても，即ち除雪抵抗が2粁程度迄の範圍ならば，除雪速度は第1段低速ギヤーを使用した場合 2.3～2.5 km/hr である．勾配に依る速度の變化は大した影響を示さない．

B除雪自動車はA除雪自動車より重量も輕く，速度も速いが，それだけに除雪抵抗の增減，勾配の變化に依り除雪速度が大いに變化する．第1段低速ギヤーを使用した場合，除雪抵抗が2粁程度の範圍內で 3.0～4.1km/hr であつた．

（2）燃料消費量

積雪量よりの制限より走行試驗區間が餘り長くなく，勾配多く，殊にA除雪自動車に對しては應急測定裝置に依つたので測定結果が非常に異つてゐるが，大體次の如くであつた．

A除雪自動車	輕　油	3.5～4.5 lit/km
B除雪自動車	ガソリン	6.5～5.5 lit/km

積雪量，勾配が異ると，それに應じて走行速度が變化し，この點からも單位距離當りの燃料消費は當然異つて來る．

（3）制動距離

制動距離を測定することに依り，除雪抵抗を測定しようとしたが，40～20 cm でアクセレーターを切つた直後に停止するので，この方面からの除雪抵抗の算定には測定裝置を改良し試みの精度を高める必要がある．

（4）除雪抵抗

除雪抵抗は除雪走行の速度，無除雪走行の速度，牽引走行の速度及び夫々の勾配に依る抵抗を考慮して（路面の狀況に就いては考慮してない）計算に依り求めた．これに依れば除雪抵抗には次の傾向が見られる．

（イ）除雪抵抗は除雪すべき雪の深さの3乘に比例する．

（ロ）除雪抵抗は除雪すべき雪質に大なる關係あり，大體密度に比例する如くである．

（ハ）除雪抵抗は使用するV型前翼の形に影響される如くであるが，數的關係は明かにし得なかつた．

本試驗の除雪抵抗は次の如くであつた．

A除雪自動車

密度 0.57～0.51 に對し　$p=0.009328\,d^3$

密度 0.45～0.40 に對し　$p=0.005600\,d^3$

B除雪自動車

密度 0.43～0.42 に對し　$p=0.031887\,d^3$

d: 積雪量(cm)

p: 除雪抵抗(kg)

［5］要　　約

無限軌道式のV型前翼除雪自動車は極めて强力にして，大なる除雪能力をもち，燃料消費料も雪上自動車の2～0.7 lit/km に較べて，3.5～6.5 lit/km であり，大きいとは云へない．然しその缺點とする處は除雪速度が遲

いことである.

除雪抵抗は雪の密度及び前鋤の形, 特に前鋤の幅の影響が大きいから, 除雪は新雪の密度の小さい内に除雪すべきであり, 前鋤の形に對する一層の研究を必要とし, 更に除雪幅の大小が非常に除雪抵抗を增減するから, この除雪幅を自動車交通と調合して決定すべきである.

雪の密度の小さい場合は極めて除雪抵抗が小さいと云ふことは, 新雪の內に除雪するならば大して强力でない除雪自動車（普通貨物自動車にV型前鋤を附けた如きもの）で 1 m 以下の積雪量ならば除雪しうると云ふ暗示を與へるもので, 今後の研究分野として輕量除雪自動車に依る高速除雪（20～30 km/hr）の課題が重要になつた.

斯くすることに依り, 一路線全線の除雪が降雪後急速に實施され, 强力除雪自動車は極部的の難所に於て輕量除雪自動車の救援に任ずべきものである.

積雪地方の除雪交通を地方的狀況を無視して實行することは無謀であると思はれるが除雪作業に對する從來の先入感を改めて, 今後一層の研究に依り雪上交通方法と相俟つて, 積雪地方の交通を解決したいものである.

II 試驗概要

[1] 試驗當時の諸條件

試驗はA除雪自動車に就いては北海道札幌郡手稻村地內小學校東側の草地及畑地, 1部は林間道路に於て行ひ, B除雪自動車は札幌郡豐平町大字平岸村字中島地先の道路に於て行つた.

試驗地の夫々の試驗期間の氣溫は表—1 に示した如くである.

一般に氣溫暖かく, この期間に於ける札幌の積雪量は平年のそれよりも 30～54 cm 少かつた. 札幌に於ける氣溫及び積雪狀況は表—2 に示す.

手稻村の雪質は 表—2 で示す如く毎日少量ではあるが降雨を見たので, 水分を含み, 大ザラメ雪の狀態にあり, 走行路 (8) は人の交通のあつた道路であるからコゴホリ雪の狀態にあつた. 第 2 日は札幌では日照時間 2.98 時間あつたが手稻村では曇又は小雪で雪の密度は 0.5 附近であり, 第3. 第 4 日は快晴で雪はベタつき, 水分の非常に多い雪であつた.

現地の積雪狀況は手稻村では平均して 30～40 cm であり, 40～60 cm の積雪のある走行路を得るに非常に苦

表—1 試驗地に於ける天候及氣溫

	天候	氣溫 (°C) 最高	最低	午前9時	午後1時	午後4時	測定場所
第 2 日	曇時々小雪	+1.2	−1.0	+1.2	+1.0	−0.5	手稻鐵山
第 3 日	快晴	+3.5	−1.1	+1.2	+3.0	+3.4	
第 4 日	快晴後小雨	+7.2	−1.5	+2.6	+7.8	+2.8	
第 5 日	曇時々晴	+8.0	−2.0	+1.2	+2.2	+0.7	
第 6 日	快晴	+2.2	−6.5	+0.2	+0.8	−1.5	札幌郡豐平町
第 7 日	雪後晴	+2.0	−7.0	+0.4	+1.0	+2.0	

心し, その結果勾配地畑地等を利用せざるを得なかつた.

豐平町の雪質は手稻村のそれより更にベタついて居り，期日が更に遲れたので積雪は 20 cm 程度で 30～40 cm の場所を見付けるのに困難を感じた．豐平町は平地にあるので勾配地を使用せず川岸及林檎畑内の道路で試驗を行ふことが出來た．

表—2　札幌に於ける氣温及び積雪狀況

	氣温 (°C)			降水量	降雪量	日照時數	平年積雪との差
	最高	最低	平均	(mm)	(cm)		(cm)
第 1 日	+5.6	+1.3	+3.0	0.8	—	0.57	−30.7
第 2 日	+3.9	+0.7	+1.8	1.1	—	2.98	−36.8
第 3 日	+4.3	−3.4	+2.3	—	—	10.30	−41.7
第 4 日	+8.8	−1.6	+2.7	2.5	—	7.26	−49.3
第 5 日	+3.8	−4.3	+0.6	0.6	—	2.10	−52.7
第 6 日	+1.0	−7.9	−3.5	—	—	9.95	−54.7
第 7 日	+0.8	−9.8	−3.6	2.3	4.1	5.60	−48.4

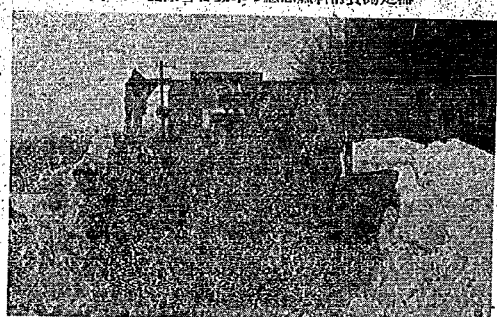
［2］ 速度及燃料消費量の測定方法

A，B除雪自動車共に速度計を備へてゐないので速度は二點間を通過する時間により測定した．

燃料消費量はA除雪自動車に於ては所有主である手稻鐵山當局の都合で持參の消費量測定裝置が使用出來ず，圖—3 に示す如き應急測定裝置を製作し，油槽より更に測定裝置内迄油面を高め，その油面の低下により消費量を讀んだ．油槽上に裝着した測定器の内徑は約 15 cm で 1mm の油面低下は約 20 c.c になる樣にした．本測定裝置は車臺の傾斜により讀みを補正したが，凹凸地に於ては誤差の範圍が大きい樣である．

B除雪自動車は持參せる燃料消費量測定裝置を使用したが，本除雪自動車の如き燃料消費の大きい車に對しては給油パイプを太くして給油を圓滑ならしめる必要がある．この場合も一方のパイプの具合はよくなかつた．

圖—3　A除雪自動車の應急燃料消費測定器



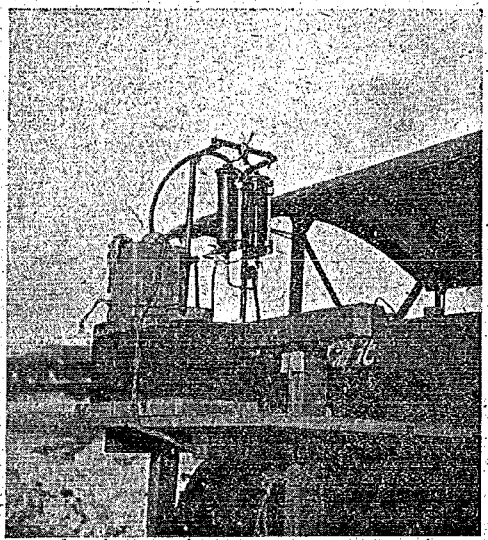
之の裝置は圖—4 に示してある如く 2 lit を入れる容器が 2 個あり，口栓の切換に依り一方の容器よりのみ油が流下しその流下量を目盛で讀むものである．

［3］ 除雪抵抗の測定方法

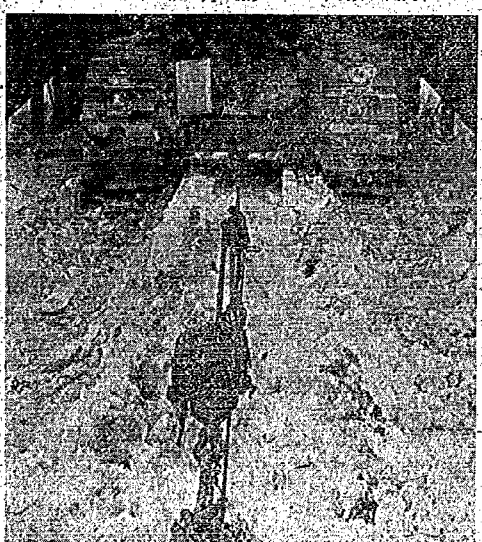
除雪抵抗の直接の測定方法はないので間接に測定する方法をとつた．即ち除雪中の停止加速度の測定，除雪中急にアクセレーターを切つて停止する迄の距離（停止距離と假稱す）の測定に依らうとしたが，何れの場合よりも除雪抵抗はうまく求められなかつた．

そこでA除雪自動車に對しては除雪走行の速度，除雪をしないで普通の處を走行する無除雪走行の速度，更に一定の牽引力を出しつつ走行する牽引走行の速度を各走行路に就いて求め（走行路が勾配地で，畑地，草地，

圖—4　B除雪自動車の燃料消費測定器



圖—5　滑車に依り1/4に縮少しての牽引力の測定



道路などあつて特有の條件を除く爲である）走行速度と牽引力の特性曲線を第1段低速ギヤーに就いて求め，これより除雪走行の速度とその土地の勾配の關係より除雪抵抗を求めた．

B除雪自動車の場合は走行路は平地で路面の狀況は大體一樣であつたから，除雪走行速度と無除雪走行の速度と貨物自動車牽引走行の速度より除雪抵抗を求めた．

牽引走行の場合は雪の附着力の爲に始發の場に非常に大なる牽引力を示し最大1tの荷重計は使用に耐へないので二重滑車を使用して牽引の場合は1/4に，貨物自動車牽引の場合は1/3に縮少せしめて測定した．

［4］　雪質及びその他の測定

雪質の測定は出來るだけ簡單にして，外見的雪質，雪の密度，雪表面及下面の溫度，積雪量の深さを測定した．

雪質はA除雪自動車の試驗期間である第2日はオホザラメユキ，第3日～第5日はユザラザメユキでベタシマリユキの性質を少し帶びたもの，走行路(8)はユゴホリユキであつた．

B除雪自動車の試驗期間たる第6日はオホザラメ雪で水分を相當に含み，第7日はオホザラメ雪で水分は氷つてゐた．

雪の密度は容積 530 c.c 及び 600 c.c の鐵箱に雪を入れて，その重量を測ることに依つて測定した．

雪の表面底面の溫度は常に測定したが上面では常に ±0°C 下面では，−0.0°～−1.0°C の範圍で問題にする差はなかつた．

積雪量の深さは尺度に依るが下が畑地等の柔かい場所では正確なる測定は困難であつた．

地形の測定としては除雪走行後，レベリングに依り高低差を求め，距離は布卷尺とポールに依り求め走行路は常に直線であつた．

III　除雪自動車の運行試驗成績

[1]　A除雪自動車の試驗經過及び結果

除雪自動車の走行試驗は豫め走行路を選定して，その距離を測定し，10～20 m 個に積雪量を測定し，雪の密度の測定は大體3ヶ所に於てなした．最初に除雪をなしつつ走行する場合を除雪走行と稱し，除雪された走行路を除雪をしないで走つた場合を無除雪走行と名附けた．更に牽牽引走行とは橇を牽引しつつ，前に除雪走行，無除雪走行を行つた後の同一走行路を走行した場合を云ふのである．之は平地の試驗場所が得られなかつた關係上勾配地で而も畑又は草地で試驗を行つた爲に走行路自身の特性を出來る限り消去しようとしたためである，

走行路の高低差は除雪走行後に測定し，停止距離は特定地點を通過と同時にアクセレーターを切つて停止する迄の距離であるが肉眼で見透す爲，測定値は正確を期し難い．

走行路 (1)　第2日午後1時30分より走行始め，曇天後に小雪となり風速3～4 m/sec で氣温 +1°C～0°C ガソリン消費量は應急測定器が完成しなかつた爲，ガソリン槽の油面の低下に依つて測定し，不正確であるが表—3 に列記した．(表—3 參照．)

走行路 (2)　第2日午後3時走行開始，走行路 (1) に平行して上り勾配であつた．風速は稍々衰へたるも氣温降下し0°C～0.5°C，小雪降る．ガソリン消費量は走行距離短いため油槽の油面低下では測定出來なかつた．(表—4參照．)

走行路 (3)　第3日午後1時30分走行開始，本日朝來快晴にして，太陽直射し午後から急に温度上昇し，試驗中の氣温 +3°C～+3.4°C となり雪の表面は幾分濕氣を帶びた．ガソリン消費量は走行距離短かき爲，油槽の油面低下より測定し得なかつた．牽牽引走行は二重滑車が回かないため，試みたるもダイナモメーターの能力不足で使用出來ず，行ふことが出來なかつた．(表—5 參照)

走行路 (4)．(5)．(6)．(7)　除雪走行は走行路 (4) では第4日午前10時30分，(5)．(6)．(7) では午後1時30分～午後2時30分に行ひ，無除雪走行は何れも第5日午前10時～午前11時に行ひ，牽牽引走行は第5日午後1時30分に行つた．

第4日の氣温は非常に高く，走行路 (4) の除雪走行時 +3.7°C 走行路 (5)．(6)．(7) の除雪走行時 +7.8°C～+5.1°C 第5日の無除雪走行時 +1.5°C～+2.0°C 牽牽引走行時 +2.2°C～+1.0°C であつた．

油槽の上部に取附ける應急ガソリン消費量測定裝置は第3日の夜完成，走行路 (5) 以下のガソリン消費量の測定は之に依つて行つた．試驗場所が不整地であり，除雪自動車は常に傾いて居り，之の傾きを補正してガソリン消費量を出した爲に端數が出てゐるが，之による精度は 20 c.c 止りである．

走行路 (4)～(7) は何れも牽牽引を行つた．持參せるダイナモメータは最大能力 1,000 kg であるが，始動時及び路面の不整箇所に於て瞬間的に 1,000 kg 以上の荷重となり，ダイナモメーターを破損する恐れあるにより，二重滑車を使用しダイナモメーターに掛る荷重を橇の牽引抵抗の1/2になる樣にして測定した．結果より見て橇の荷重が小さかつた．之は第4日の豫備試驗當時は氣温が非常に緩かく雪面がベトついてゐたので第5日の牽引抵抗より遙かに大きく出た爲である．無除雪走行は第5日午前10時より，牽牽引走行は第5日午後1時半からである．

走行路 (8)　走行路 (8) は前側に林のある道路にして，吹溜りとなつてゐるので積雪量最高約 130 cm 歩行者が通つた道であるので雪は相當に踏固められてゐた．

第1次除雪は第4日午後4時より行つた．積雪 90 cm より 130 cm に至る間で運轉困難となり，前鋤を上に

持上げて運轉したので除雪走行後 表—10 に示す如く 50cm 以上もの雪が殘つたところがあり，2ヶ所に大きな凹凸が出來た．

第2次除雪に於ては下に殘つた雪を除雪したもので，距離 20m の區間を $31^{07}/_{10}$ 及 $66^{75}/_{10}$ も要したが，之は氷に近い下層の雪を除雪するのに如何に困難であるかを示してゐる．

表—3 走行路 (1) の試驗成績

距離 (m)	高低差 (m)	積雪 (cm)	雪の比重 表層	雪の比重 下層	除雪走行 所要時間	除雪走行 ガソリン消費量 (c.c)	除雪走行 停止距離 (cm)	無除雪走 所要時間	無除雪走 ガソリン消費量 (c.c)	無除雪走 停止距離 (cm)
0	7.12	37	0.485	0.591						
20	6.10	50								
40	5.97	45			$30^{02}/_{5}$			$28^{09}/_{10}$		
60	5.31	50								
80	4.43	52								
100	3.17	66	0.511	0.521	$30^{07}/_{10}$			$29^{01}/_{10}$		
120	2.00	56								
140	1.56	40								
160	0.99	50								
180	0.69	37								
200	0.00	41	0.526	0.612	$300^{24}/_{5}$	1440	32.2	$290^{73}/_{10}$	1080	48.2

表—4 走行路 (2) の試驗成績

距離 (m)	高低差 (m)	積雪 (cm)	雪の比重 表層	雪の比重 下層	除雪走行 所要時間 (秒)	除雪走行 停止距離 (cm)	無除雪走行 所要時間 (秒)	無除雪走行 停止距離 (cm)
0	0	48	0.432	0.632				
10	0.18	42			$30^{02}/_{10}$		$29^{05}/_{10}$	
20	0.47	55	0.456	0.571				
30	1.22	58			$31^{03}/_{10}$		$29^{06}/_{10}$	
40	1.43	52	0.471	0.619	$61^{07}/_{10}$			41.1

表—5 走行路 (3) の試驗成績

距離	高低差 (m)	積雪 (cm)	雪の比重 表層	雪の比重 下層	除雪走行 所要時間 (秒)	除雪走行 停止距離 (cm)	無除雪走行 所要時間 (秒)	無除雪走行 停止距離
0	0.91	40	0.356	0.444				
10	1.07	40			$29^{04}/_{10}$		29"0	
20	0.99	45						
30	0.77	56	0.376	0.436	$29^{03}/_{10}$		$28^{03}/_{10}$	
40	0.64	50						
50	0.28	44						
60	0	45	0.329	0.452	$39^{05}/_{10}$	30.0	$29^{05}/_{10}$	48.8

表—6 走行路 (4) の試驗成績

距離 (m)	高低差 (m)	積雪 (cm)	雪の比重 表層	雪の比重 下層	除雪走行 所要時間 (秒)	除雪走行 ガソリン消費量 (c.c)	除雪走行 停止距離 (cm)	無除雪走行 所要時間 (秒)	無除雪走行 ガソリン消費量 (c.c)	牽引走行 所要時間 (秒)	牽引走行 牽引抵抗 (kg)	牽引走行 ガソリン消費量 (c.c)
0	0.80	40	0.368	0.456							1300	
10	0.14	47			28″6/10						400	
20	0.11	50									600	
30	0.19	40									350	
40	0.26	35			29″00						520	
50	0.00	47	0.378	0.442	72″9/10	208	29.2	70″9/10	180	72″5/10	500	218

表—7 走行路 (5) の試驗成績

距離 (m)	高低差 (m)	積雪 (cm)	雪の比重 表層	雪の比重 下層	除雪走行 所要時間 (秒)	除雪走行 ガソリン消費量 (c.c)	除雪走行 停止距離 (cm)	無除雪走行 所要時間 (秒)	無除雪走行 ガソリン消費量 (c.c)	牽引走行 所要時間 (秒)	牽引走行 牽引抵抗 (kg)	牽引走行 ガソリン消費量 (c.c)
0	3.24	70	0.360	0.475							1100	
10	2.89	65									400	
20	2.61	32									400	
30	2.22	40			23″9/10			28″5/10		28″9/10	400	
40	1.82	38	0.378	0.452							800	
50	1.18	47									400	
60	0.30	57									850	
70	0.62	61			30″5/10			29″1/10		30″	600	
80	0.00	80	0.382	0.482	118″8/10	380	18.5	111″8/10	360	116″7/10	600	380

表—8 走行路 (6) の試驗成績

距離 (m)	高低差 (m)	積雪 (cm)	雪の比重 表層	雪の比重 下層	除雪走行 所要時間 (秒)	除雪走行 ガソリン消費量 (c.c)	除雪走行 停止距離 (cm)	無除雪走行 所要時間 (秒)	無除雪走行 ガソリン消費量 (c.c)	牽引走行 所要時間 (秒)	牽引走行 牽引抵抗 (kg)	牽引走行 ガソリン消費量 (c.c)
2	2.42	80	0.382	0.452							1400	
10	1.90	60									400	
20	1.63	45									360	
30	1.39	22									240	
40	1.16	36	0.410	0.467							320	
50	0.89	40									280	
60	0.47	33									250	
70	0.15	39									250	
75.9	0.00	40	0.392	0.487	111″2/10	360	32.3	109″5/10	340	110″5/10	200	360

表—9　走行路 (7) の試験成績

距離 (m)	高低差 (m)	積雪 (cm)	雪の比重 表層	雪の比重 下層	除雪走行 所要時間 (秒)	除雪走行 ガソリン消費量 (c.c)	除雪走行 停止距離 (cm)	無除雪走行 所要時間 (秒)	無除雪走行 ガソリン消費量 (c.c)	牽引走行 所要時間 (秒)	牽引走行 牽引抵抗 (kg)	牽引走行 ガソリン消費量 (c.c)
0	2.34	49	0.389	0.512							1000	
10	1.92	54									200	
20	1.73	53									200	
30	1.60	44									200	
40	1.38	43	0.412	0.488							250	
50	1.02	48									250	
60	0.62	49									300	
70	0.22	45									250	
76.13	0.00	47	0.408	0.508	112$^{6}/_{10}$	368	26.4	107$^{4}/_{10}$	340	108$^{5}/_{10}$	250	348

表—10　走行路 (8) の試験成績

距離 (m)	高低差 (m)	積雪 (cm)	雪の比重 表層	雪の比重 下層	第一次除雪走行 所要時間 (秒)	第一次除雪走行 ガソリン消費量 (c.c)	第一次除雪走行 除雪後の路面高低差 (m)	第二次除雪走行 所要時間 (秒)	第二次除雪走行 ガソリン消費量 (c.c)
0	0.00	90	0.508	0.688			0.20		
10	0.02	130			37$^{7}/_{10}$		0.52	60$^{5}/_{10}$	
20	0.05	120					0.27		
30	0.12	90			34$^{5}/_{10}$		0.42	31$^{7}/_{10}$	
40	0.05	60	0.526	0.639		340	0.10		470
50	0.06	38					0.10		
60	0.17	40			29$^{5}/_{10}$		0.20		
70	0.09	42					0.11		
80	0.01	35			29$^{3}/_{10}$		0.05		
90	0.04	45	0.522	0.618	143$^{4}/_{10}$	550	0.09	162$^{5}/_{10}$	660

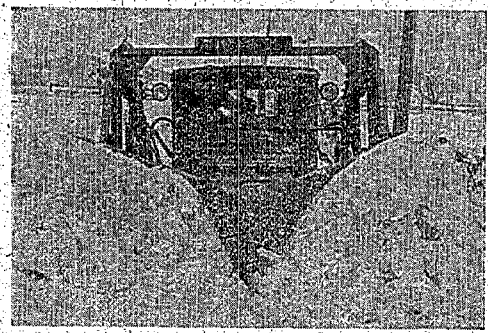
表—11　走行路 (9) の試験成績

距離 (m)	高低差 (m)	無除雪走行 所要時間 (秒)	無除雪走行 ガソリン消費量 (c.c)	牽引走行 所要時間 (秒)	牽引力
0	0.00				1800
30	0.75				700
60	2.74				1100
90	4.06				800
120	4.86				1000
150	6.87	224$^{8}/_{10}$	780	229$^{2}/_{10}$	800

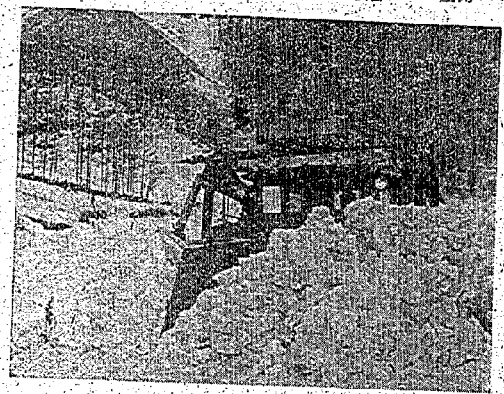
この場合に見る如く，第1次除雪はこの除雪自動車の除雪能力に應じた深さまで除雪すれば，それ以下の雪は交通に支障ない程硬い，又凹凸を無くさうとすれば第2次第3次除雪で完全に除雪が完了するので，この點が鐵道で見られない道路除雪の利點である．

走行路 (9)　第5日午後3時より，150 m の上り勾配地の無除雪走行と牽牽引走行を行つた．走行路 (4) 乃至 (7) は何れも下り勾配であつたので，牽牽引走行の場合の牽引抵抗が小さかつたが，この場合は約1瓲の牽引抵抗を出し，除雪抵抗を計定するに役立つた．

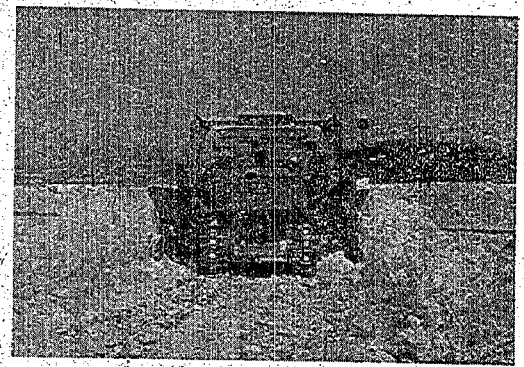
圖—6　走行路(8)に入らんとしてゐるA除雪自動車，積雪 70 cm



圖—7　走行路(5)に停止した瞬間，向つて右側は積雪 80 cm 左側 61 cm

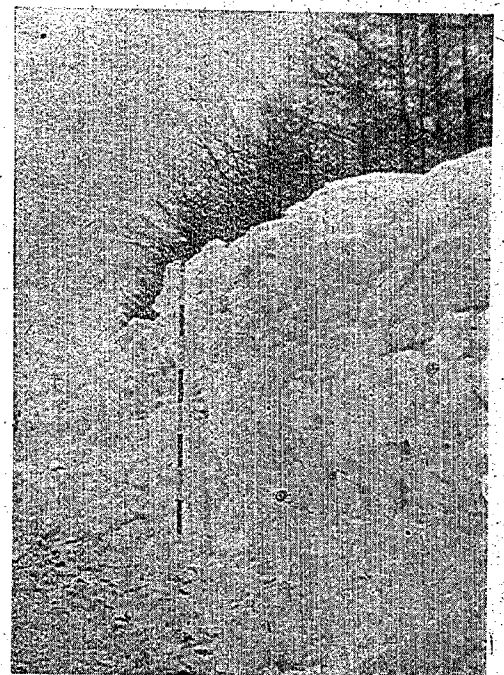


圖—8　走行路(6)の除雪走行中のA除雪自動車

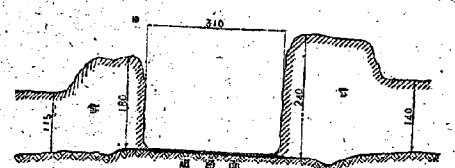


圖—9　走行路(8)の第二次除雪中のA除雪自動車

圖—10　走行路 (8) の積雪最大の箇所の除雪後の狀況



圖—11　走行路 (8) の圖—10と同じ箇所の斷面圖



表—12　走行路(10)の試驗成績

距離 (m)	高低差 (m)	積雪 (cm)	雪の比重 表層	雪の比重 下層	除雪走行 所要時間 (秒)	除雪走行 ガソリン消費量 (c.c)
0	0.00	28	0.432	0.409		0
20	0.18	33			20′7/10	150
40	0.18	35				260
60	0.22	38				370
80	0.33	30				520
100	0.20	30	0.413	0.434	158′5/10	640

[2] B除雪自動車の試驗經過及成績

走行試驗前の準備はA除雪自動車と同じであるが，試驗は總て平地で，路盤の良好な場所で行つたものである．

走行路(10)　第6日午前中試驗箇所の選定に費し，午後2時20分走行試驗始め，走行の途中距離 40 m と 60 mとの中間で土の小山に當つて一度停止し，少しバックしてから前進したので所要時間は非常に多くなり，燃料消費も多かつた．車體の構造上停止距離の測定に困難であつたので，A除雪自動車の經驗に鑑みて中止した．

表—13　走行路(11)の試驗成績

距離 (m)	高低差 (m)	積雪 (cm)	雪の比重 表層	雪の比重 下層	除雪走行 所要時間 (秒)	除雪走行 ガソリン消費量 (c.c)	無除雪走行 所要時間 (秒)	無除雪走行 ガソリン消費量 (c.c)
0	0.00	38	0.421	0.452	21′3/10	0		0
20	0.13	27				140	19′00	50
40	0.38	30			20′00	250		130
60	0.53	30				380	17′1/10	270
80	0.57	30				510		360
100	0.66	35	0.402	0.419	103′7/10	620	87′1/10	510

表—14　走行路(12)の試驗成績

距離 (m)	高低差 (m)	無除雪トラック牽引走行 所要時間 (秒)	牽引抵抗 (kg)	ガソリン消費量 (c.c)
0	0.00		3000	0
10	0.03		2400	80
30	0.06	25′00	2000	200
50	0.10		1600	310
70	0.06	23′00	1800	450
90	0.05	101′5/10	1600	570

表—15　走行路(13)の試驗成績

距離 (m)	高低差 (m)	積雪 (cm)	雪の密度 表層	雪の密度 下層	除雪走行 所要時間 (秒)	除雪走行 ガソリン消費量 (c.c)
0	0.00	33	0.346	0.423		0
10	0.05	35			20′0	
20	0.10	35				130
30	0.08	30			19′0	
40	0.06	23				
50	0.12	30	0.246	0.392	48′1/10	310

走行路(11)　第6日午後3時30分除雪走行開始，同4時無除雪走行開始，3時頃より氣温は低下して來た．午後4時の氣温 −1.5°C であつた．

走行路(12)　貨物自動車に約6瓲の荷利を乘せて，全制動を掛けたものを牽引走行したもので，走行路の前半は牽引抵抗は 2000～2200 kg であつたが，後半は制動を加減して 1500～1800 kg の牽引抵抗を出す樣にした．

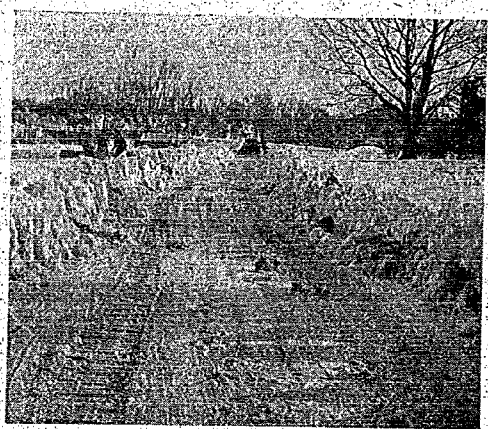
試驗は第7日午後1時30分より始めた．

走行路(13)　第7日午前中數箇所の走行路で走行した．前日の暖氣と今朝來の降雪及温度低下で雪の下層は氷つて，B除雪自動車の如く抵抗の大小によつて自然に前鋤が上下する裝置では，前鋤が浮いてどうしても下層は除雪出來ないで，表面より僅かに 5～10 cm 程度を除雪するのみであつた．

走行路(13)は正午近くになり氣温上昇し，太陽さへ出たので雪はゆるんで來てから行つた除雪走行であるが，距離 20 m の箇所迄はよく除雪したが，20～30 m の間で雪の比較的硬い地點があつたため，前鋤が浮上り表面 10 cm 程度を除雪したのみである．

圖—12　走行路(10)を走行中のB除雪自動車

圖—13　走行路(11)の除雪後の狀況



IV　試驗結果に對する考察

[1]　除雪抵抗の算定

A除雪自動車の走行抵抗と速度との關係式を求め，除雪走行の場合の速度と無除雪走行の場合の速度との差より求めたものが表—16の除雪抵抗(Ⅱ)であり，除雪走行の場合の速度の關係式より直ちに求めた走行抵抗の增加部分と勾配の影響による走行抵抗を加減したものを表—16の除雪抵抗(Ⅰ)とした．

A除雪自動車の走行は總て勾配地で行はれた關係上常に勾配に依る走行抵抗を加減し，畑地，草地，道路などの路盤の狀況を消去する必要がある．この意味から云つて除雪抵抗(Ⅱ)が最もよく之等の影響を除去したものと云へる．

今除雪自動車の固有の走行抵抗を零點と考へれば，自動車の走行を支配する抵抗は(1)除雪をなすに要する抵抗．(2)勾配による抵抗．この場合上り勾配の場合を正の牽引抵抗．下り勾配の場合を負の牽引抵抗とする．(3)牽引走行するときの牽引抵抗．とがある．

(2)及(3)關係は 表—16 の前半部にあり，これを圖示して求めた關係式の曲線は 圖—14 に示す．

斜面抵抗とは勾配に依る抵抗で，α なる角の斜面に依る抵抗は $p=W\sin\alpha$ となり，今勾配を $\frac{1}{n}$ とすれば $\sin\alpha\fallingdotseq\frac{1}{n}$ なるに依り，

$$P=\frac{W}{n}$$

で與へられる．

圖—14のA除雪自動車の牽引抵抗と速度との關係は次式で與へられる，

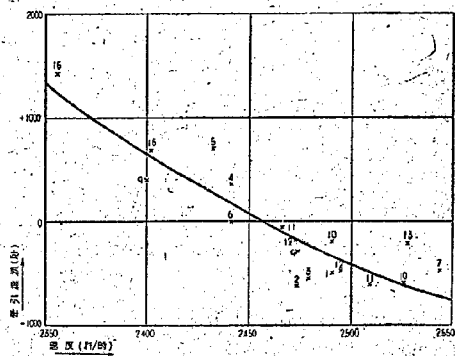
$$P=10364v^2-105507v+142329$$

P:牽引抵抗(kg)

v:速度(km/hr)

この式を用ひ除雪走行速度より牽引抵抗を求めその走行路の斜面抵抗を加へたものが表—16の全雪抵抗(Ⅰ)であり，除雪走行速度よりの牽引抵抗とその走行路の無除雪走行速度よりの牽引抵抗（勾配等の影響に依るも）とを上の式より求め，その差を除雪抵抗としたものが表—16の除雪抵抗(Ⅱ)である．

圖—14　A除雪自動車の牽引抵抗と速度との關係



表—16　A除雪自動車の走行速度牽引抵抗及除雪抵抗表

記號	走行路	平均勾配	無除雪走行速度(km/hr)	斜面抵抗(kg)	牽引走行速度(km/hr)	牽引抵抗(kg)	除雪走行速度(km/hr)	除雪抵抗Ⅰ(kg)	除雪抵抗Ⅱ(kg)	平均雪積(cm)	平均雪密度	備考
1	(1)	下り1/30.3	2.491	−495			2.368	1565	1400	47.5	0.538	
2	(1)	下り1/24.1	2.474	−623			2.345	2023	1680	61	0.516	
3	(1)	下り1/27.5	2.480	−546								
4	(2)	上り1/45.7	2.441	+360			2.368	710	890	44	0.535	
5	(2)	上り1/21.5	2.432	+698			2.286	1632	2040	55	0.529	
6	(3)	水平	2.483	ナシ			2.441	96	356	41	0.400	路面に凹凸多し
7	(3)	下り1/31.1	2.544	−481			2.457	481	730	52	0.406	
8	(4)	下り1/93.5	2.550	−240			2.469	120	640	43	0.411	
9	(5)	下り1/31.3	2.474	−293	2.399	+700	2.360	1473	1350	69	0.432	
10	(5)	下り1/23.3	2.526	−594	2.491	+400	2.492	219	245	37	0.415	
11	(5)	下り1/24.7	2.509	−607	2.466	+550	2.466	507	380	52	0.421	
12	(6)	下り1/31.4	2.495	−478	2.473	+300	2.457	128	350	42	0.431	
13	(7)	下り1/33.6	2.554	−460	2.528	+250	2.436	680	1000	48	0.453	
14	(8)	水平		ナシ			2.085	6449	6449	90	0.583	
15	(8)	水平		ナシ			2.416	630	630	40	0.570	

表—17　B除雪自動車の走行速度牽引抵抗及除雪抵抗表

記號	走行路	無除雪走行速度(km/hr)	牽引走行速度(km/hr)	牽引抵抗(kg)	除雪走行速度(km/hr)	除雪抵抗	平均雪積(cm)	平均雪密度	備考
G 1	10				3.478	970	34	0.421	
G 2	11				3.380	1156	33	0.436	
G 3	11				3.600	754	28	0.430	
G 4	11	4.133			3.471	982	32	0.428	
G 5	12		2.880	2200					
G 6	12		3.130	1650					
G 7	13				3.600	754	34	0.385	

B除雪自動車は平地のみで試験したから，牽引走行と無除雪走行（牽引抵抗なし）より，牽引抵抗と速度との關係を求めれば

$$P=205.901v^2-3437.465v+10392.074$$

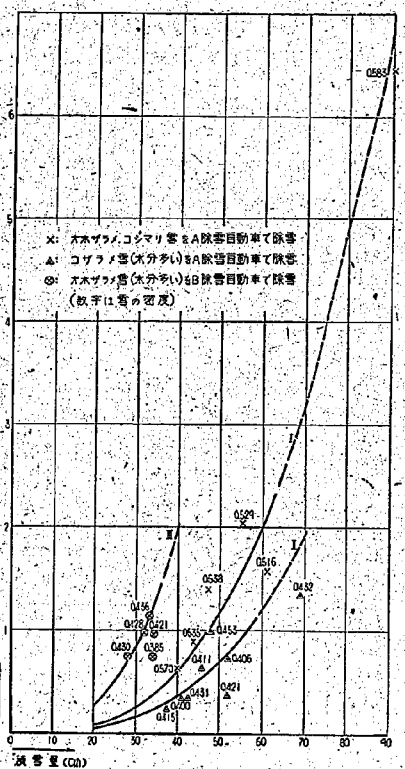
この式より除雪走行速度を用ひて求めた除雪抵抗は 表—17 に示す．

[2] 除雪抵抗に對する考察

前節で算定した除雪抵抗を圖示したものが 圖—15 である．圖—15 で×，△はA除雪自動車の除雪抵抗（Ⅱ）であり⊗はB除雪自動車の除雪抵抗を示す．

A除雪自動車の除雪抵抗は大體2つに分けることが出來る．即ち走行路 (1). (2) 及 (8) のものとその他の走行路のものとである．前者に屬するものは比度は大體 0.5 以上あり，雪質は走行路 (1). (2) では曇天小雪の天候でオホザラメ雪でよく氷つた狀態にあり，走行路 (8) は交通の行はれた道路でコゴホリユキの狀態であつた．その他はザラメ雪ではあるが日射の爲に軟かくなつて居り別に取扱ふのが適當だと思はれる．

圖—15　積雪量と除雪抵抗



圖—15 のⅠ，ⅡはA除雪自動車の雪質により2大別した部分の除雪抵抗と積雪量との關係であり，ⅢはB除雪自動車の關係曲線である．

曲線Ⅰは　$p=0.009328\,d^3$

曲線Ⅱは　$p=0.005600\,d^3$

曲線Ⅲは　$p=0.031887\,d^3$

p: 除雪抵抗 (kg)

d: 積雪量(cm)

で與へられる．

除雪抵抗は除雪作業に重要なる因子であり，これが大小は除雪能力を支配するものである．

以下除雪抵抗に影響する因子に就いて述べん．

1). 除雪抵抗は除雪すべき積雪量の深さの3乘に比例する如くである．この關係は 圖—15 を見れば瞭然たるものがある．即ち積雪量の少い間は除雪抵抗は極めて小さいものであるが或る程度を越すと急に增大し，除雪し得ない狀態になる．

2). 除雪抵抗は雪の密度に左右される．即ち曲線Ⅰと曲線Ⅱとを比較して見れば分るが密度の高い雪に對しては除雪抵抗は著しく大きくなる．この事は除雪は雪質の軟かい內に行へば非常に小さい除雪抵抗で濟むことを示してゐる．

3). A除雪自動車とB除雪自動車とでは非常に除雪抵抗が違つて居り，B除雪自動車のそれは極めて大きい．この事は前鋤の形の相異より來てゐる．A除雪自

動車の除雪幅は 310 cm であるのに對し，A除雪自動車の除雪幅は 400 cm である．この除雪幅の影響が極めて大きいのだと思はれると共に，前鋤の曲面の具合の良否が相當に影響するものだと思はれる．この曲面の狀態に依つての差異については今後の問題である．

［3］ 速度燃料消費量に對する考察

速度はA除雪自動車に對しては 表—16 に，B除雪自動車に對しては 表—17 に示してある．

A除雪自動車の無除雪走行は 2.43～2.55 km/hr，除雪走行は大體 2.28～2.46 km/hr で，例外として積雪 90 cm コゴホリユキ密度 0.583 で除雪抵抗 6449 kg を示した時は 2.08 km/hr の速度であつた．

A除雪自動車は自重は15噸あり，低速度で運轉して除雪能力極めて大きいもので，少しくらいの除雪抵抗では速度の減少はほとんど無視し得るものである．

B除雪自動車の無除雪走行は 4.13 km/hr 除雪走行は 3.3～3.6 km/hr であつた．B除雪自動車は自重8噸で，A除雪自動車の較ぶれば速い速度で運轉されてゐるが，抵抗による速度の低下は著しく，約1噸の抵抗で 3.38 km/hr に，2.2 噸の抵抗で 2.88 km/hr に低下する．

以上の運轉は除雪能力を最大に發揮しうる第1段低速ギヤーを用ひた場合であることを留意されたい．

除雪自動車の燃料消費量は 表—18 に示す如くであるが，A除雪自動車の測定器が應急的のものであつたのと地形の影響が大きかつたので相當に廣範圍に渉つた數字を示す．

A除雪自動車は測定器の性質上始發時の燃料消費が加へられてゐるが，大體 4.0～5.0 lit/km であり，B除雪自動車の消費量は 5.1～6.4 lit/km である．除雪走行と無除雪走行とでは勿論除雪走行の方が燃料を多く要するが，これは一定距離を走るに要する時間が長いことより明かである．

表—18 除雪自動車の燃料消費量 (lit/km)

種類	走行路	除雪走行	無除雪走行	牽引走行	備考
A除雪自動車	(1)	7.20	5.40		油槽の水平低下で測定し，精度極めて悪い
	(4)	4.16	3.60	4.32	
	(5)	4.85	4.50	4.85	
	(6)	4.74	4.48	4.74	
	(7)	4.88	4.46	4.57	
	(8) 一次	6.23			一部の除雪極めて困難であつた
	(8) 二次	7.34			雪の硬いため三度小パックして除雪す
	(9)		5.20		相當の上り勾配箇所あり
B除雪自動車	(10)	6.40			
	(11)	6.20	5.10		
	(12)			6.34	

［4］ 除雪作業に對する考察

以上述べた試驗結果と試驗中の體驗とより，除雪作用特にV型前鋤除雪自動車に對する考察をなせば次の如し，

1). 除雪自動車は始發して速度を上げて行くと同時に，直ちに强力なる牽引力を出すことが必要である．この點より見てデイゼル機關の方が都合がよい樣である．更にデイゼル機關の方が燃料の利用率がよいから，同じ出力に對して燃料の消費が少くて濟む．これはA，B除雪自動車を比較して明かである．

2). 前鋤に依る除雪作業に要する除雪抵抗は深さの3乘に比例する如くであるから，雪積の多くならない内に除雪するを有利とする．又雪質が柔かいと著しく除雪抵抗が少いから同じ積雪量でも新雪の場合に除雪するのが極めて有利である．

3). 前鋤の型は船舶の造波抵抗と同じ様な關係があると考へられ，型に依つて除雪抵抗が變化し，その變化の係數は雪の密度によつても亦變化すると思はれる．即ち密度の大きい雪に對す程，前鋤の型が影響して來る．

4). 前鋤の幅，即ち除雪すべき幅の大小は除雪抵抗に非常に影響をもつ．これはA，Bの除雪抵抗の差異は型にも依るが，その幅がAの 3.10 mに對しBの 4.00 mであることが主要な因子だと思ふ．幅を含めての型の問題は今後の研究に俟つものである．

5). 前鋤はA除雪自動車の如く任意の高さに調節して，固定し得るものが作業上好ましい．B除雪自動車の前鋤は少し雪質が硬いと上に浮き上り除雪し得なくなるから不便である．

補助翼は柔かい新雪を除雪する時兩側に高く雪が盛上り，內側に崩れるのを防ぐのに必要である．即ち補助翼は兩側の雪の盛上を低くするのである．

6). 道路の除雪は鐵道の除雪の如く，與へられた平面迄，無理に除雪する必要なく，前鋤を上下して除雪しうる範圍の雪を除去しても，それ以下の雪は硬いからそのまゝ雪上交通をなし得る．又走行路 (8) の如く第2次除雪で殘りを全部除去出來る．斯く考へれば道路除雪は不可能と云ふことは起り得ないと信ずる．

7). 新雪で密度の小さい雪ならば1～2噸程度の牽引力の出しうるもので相當に深い積雪量を除雪し得ることは圖—15より推定し得る．依つて大型の普通貨物自動車に依る 20～30 km/hr の高速除雪は道路除雪の有利な解決策であると考へられる．これも今後研究すべき問題である．

V 結 語

多雪積雪地方の交通對策として考へられる道路の雪上交通及除雪交通は從來吾が國に於て餘りに顧みられなかつた．最近の產業開發と國防充實とはこの問題を合理的に處理せんとする氣運がある．即ち飛行場，產業上の必要な特定路線では既に除雪は行はれ，近き將來の自動車道路の建設は必然的にこの問題を解決せねばならなくなる．而して雪上交通と除雪交通は唇齒輔車の關係にあり，兩者の完全なる發達に依つてのみ，積雪地方交通問題は解決するものである．

本試驗に當り北海道廳土木部，並に三菱鑛業會社より多大の便宜を與へられ，北海道廳土木部試驗所の上戸技師，武山技手，馬場技手の御援助に負ふところ極めて多かつた事に對し，玆に錄して厚く感謝の意を表する次第である．尙ほ機械の裝備には內務技手遠藤勝作君が專ら行つたものである．

積雪の削拋抵抗試驗並に二三の雪性特異性に就いて

附；道路用機械的除雪機構雜錄

內務技師　島　田　八　郎

序へがき

本試驗實施に當り新潟縣土木部の御援助に俟つ所頗る多く，殊に試驗期間を通じ吉江，小野兩技師の御高配を蒙り且つ松原工夫の絕大なる努力に俟つ所實に大なるものがある．尙配電等に關し高田中央電氣株式會社三上土木部長田口變電所長吉田氏の御配慮を得たるものにて茲に感謝に堪えず玆に錄し實驗者一同に代り深甚なる謝意を表する次第である．

本試驗所よりの參加者は筆者の外遠藤技手澤田一夫，新田義治兩君にて遠藤君は主に回轉削拋試驗並に一般事項を擔當し，澤田君は雪性試驗等を分擔し新田君は氣象觀測其の外電氣試驗全般を援助せり．

目　次

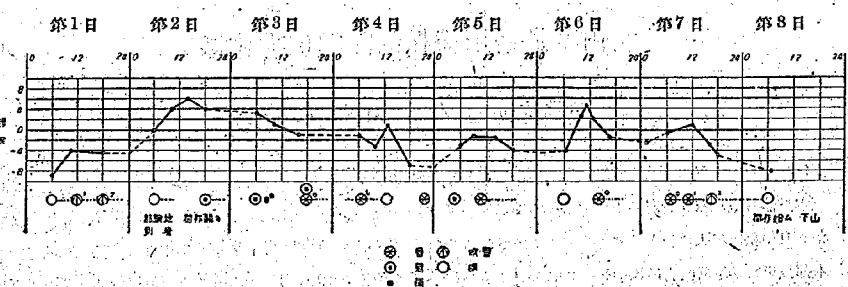
I　緒　　言……（1）
II　雪性試驗……（2）
［1］抗剪力の單位……（2）
［2］可塑性流れと內部粘性係數……（4）
III　積雪削拋試驗……（7）
［1］三角錐による押除け……（7）
［2］模型による回轉削拋試驗……（9）
IV　要　　約……（12）
附；道路用機械的除雪機構雜錄……（13）

I　緒　　言

積雪の力學的性質は種々外界の條件に敏感に影響され從つて現在の所他の材料，例へば金屬材料に於ける程度に明瞭に其等特性を表現する事は困難視されてゐる．元來積雪は時々刻々熟成し組織に變化を來してゐる爲は一層其の間の狀況を複雜化し，長期に亘る精密且つ忍耐強き努力を必要としてゐる．中谷敎授の雪の研究ソ聯に於ける氷の研究に其の好例を見る．本報告は僅々4.5日間而も該方面の研究に經驗乏しき者の實驗結果に基づくもので，試驗其のものも未だ系統的に行へるものに非ずして豫備的のものである．爲に購入せる日本雪氷協會選定雪性試驗器の使用試驗を爲し，本機會に硬質又は濕潤積雪除雪用機としての回轉削拋式のものゝ性能の一を觀知せんとする目的にて，小型模型的の最も原始的のものを早急に準備し試驗して此種削拋作用に對する積雪の抵抗性を研究した．試驗全般を通じて斷片的の嫌あるも二三要用なる結果を得たるを以て玆に報告せんとす．尙試驗期間に於ける氣象概要に就き略記す．試驗は本年（昭和17年）〇月〇日より〇日に亘り〇〇縣〇〇地先に於て比較的水平に近き地域を選び 2m×3m の廣さを有する雪室を掘り天井には丸太を並べ莫蓙を敷き其の上を 30cm

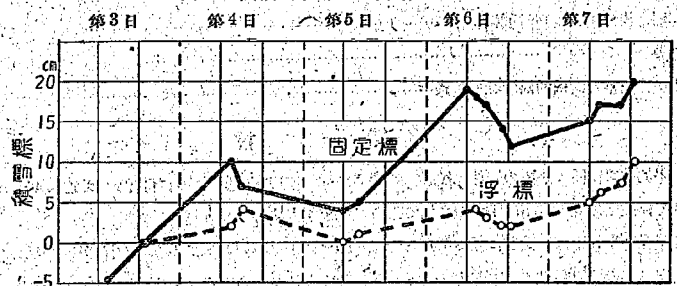
位の積雪で覆ひ内部にガルバノメーターを据へ測温す．當時平坦地の積雪は 1.5～1.7 m 前後であつた．天氣概要は圖—1 に示す如くである．雪性試驗等には不向きの日が續いたが幸ひ雪室を設け置きし爲不備ながら全面的に

圖—1　試驗期日前後の氣温並に天氣概要



中止するに至らなかつた．雪室若しくは之に相當するものは是非設備して置く必要がある．尙最高最底寒暖計に不備の點あり同測定値を記入せず，期間中第 6 日午前及び午後 2 時頃までは快晴にて日射量も著しく強く 1.4 g·cal/cm²·min 程度であつた．同期間中の降雪量として示標柱により積雪を測つた．示標柱を 2 本用ひた幅約 10cm の板に適目盛を鉛筆で刻んだものを路側にある比較的人家に接近せる電柱に挾し縛し立てた．一は板狀部の先端に尖つた長さ約 80 cm の棒を釘付けし周圍に障碍物無き雪原に孤立して之を立てた．固定及び浮標とも云ふべきもので浮標の刻板の幅は大體北東の方向になつてゐた．圖—2 は兩示標による積雪の變化測定結果を示すもので傾向は兩者同樣なるも主に吹雪なりし爲か寧ろ積雪を吹飛ばし値に可成りの差異がある．單に降雪の有無を示すものと解され度い．風速は可成り時間的に著しき變動ありしも午後 3 時の値によると第 3 日第 4 日第 5 日第 6 日第 7 日夫々 6，7，6，2，12 m/sec，程度であつた．其の他の事項は別に觀測せざりしも，如何なる氣象條件

圖—2　試驗期間に於ける積雪趨勢を示す



の下に實驗を行つたかが略々推測される．

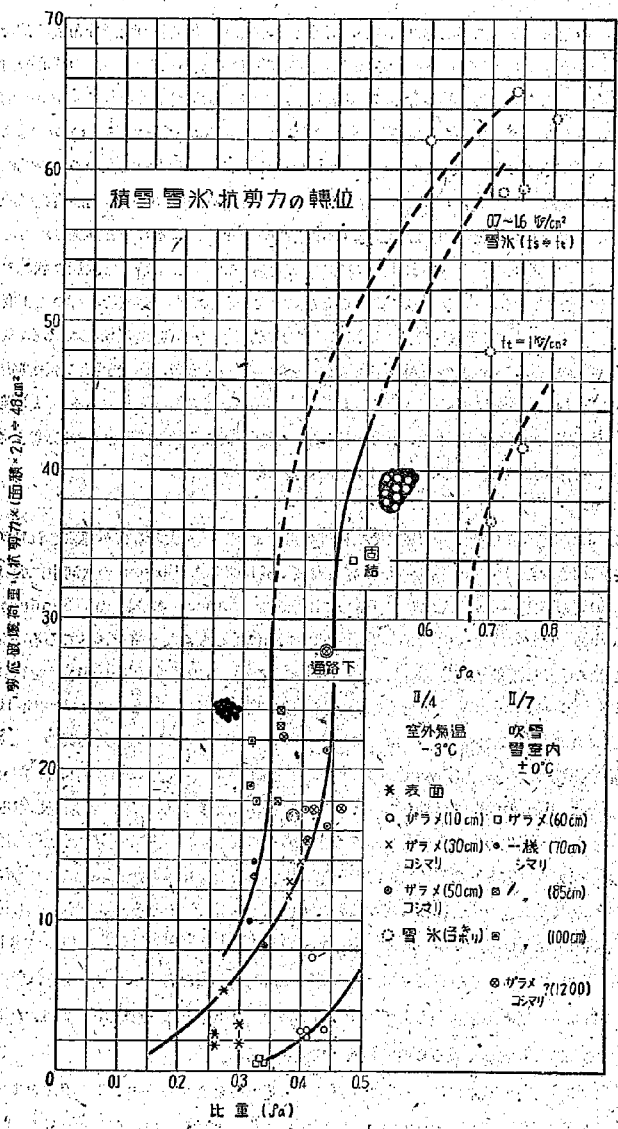
II 雪性試驗

[1] 抗剪力の轉位

積雪の抗剪力其の他に關しては各方面にて種々異る積雪に就き試驗研究が行はれて居る．勿論使用測定裝置は可成り類似せるものであるが幾多發表されて其れに關する概念を與へてゐる．本報告も全く上述の範圍を出ない

實驗の一であるが抗剪力と見掛比重との關係に於て從來知られてゐる粒度の大小による差異に關し更に微細なるものの影響として一群の測定値を得たる外 と一方雪氷(ニキコホリ)と稱する雪に撒水し加壓氷結せしめたものの强度との關係を追加考察せしものである．尙本實驗に於て比重は日本雪氷協會選定器の比重計を用ひたもので忌憚なく云へば輕便なるも注意を要するものと思ふ．

圖—3



積雪資料は試験第4日，第7日兩日に行つたものより取る．第4日のものは組織は緻密なるもザラメ的の粒を混じてゐたもので表面より 50 cm 止りであつた．第7日猛吹雪中屋外積雪をとり雪室内で試験せるものは表面より 60 cm 下のザラメ層より深きものは眞に緻密な一樣な外觀純白な組織を有するものである．尙第4日には表面近くの雪を踏固め特に固結せるものの値をも測る．其の他測定地點までの通路（スキー靴を穿きし人が往來す）下に於けるものをも二三測定す．尙新雪を特に踏固め固結したものは本試驗器では破壞せず．

此等實測せし値を雪氷强度の値と共に同じ强度～比重關係圖に分布し兩者の連關に就き考察した．玆に引

用せる雪氷强度は仙臺土木出張所の人々の研究になるもので抗張力なれども積雪の强度大なるものは抗剪抗張兩强度比較的接近せるを以て，假に抗張力をとり抗剪試驗器の常數を乘じたものである．圖—3は之等剪應力破壞荷重と比重の關係を示す．

今荷重～比重（抗剪力～比重）の關係をみるに特に雪氷に就いて分布不規則なれども積雪の强度分布と連結せしめ其の傾向をみるに其の間に，整然たる分布基準の存在せる如く，積雪範圍に於て斷いたⅠ，Ⅱ，Ⅲ，の三群の曲線を雪氷範圍に延長して其の傾向を洞察す．元來氷其のものの抗剪力は試驗者により發表値異るも 8 kg/cm² 前後と思はる．積雪と雪氷は組織上よりみれば空氣～氷分散系(air-ice disperse system)に屬するもので積雪は氷～空氣（Ice in air emulsion），雪氷は空氣～氷（Air in ice emulsion)系に屬するもので從つて力學的性質は或る域を境として轉位（inversion）をなすものである．斯かる現象は乳劑（Emulsion）の粘性研究に於て既々經驗するものである．積雪域に於ても上記の如く群を異にするは系の分散差異によるものと推測される．勿論積雪中に存在せる水分等の影響を蒙るものであるが本試料は特に含水量測定せざりしも殆ど含水無き狀態のものであり，斯かる狀態に就いての結果である．積雪抗剪力に就いて急激に增大する域は事實存在せるもので丁度轉位範圍に相當するものにて，此の範圍を超えて雪氷範圍に入るには特に强力な操作の必要な事を示してゐる．且つ雪氷の强度の可成り分散せるも其の根底に組織上の原因の存在せる事を明かに觀取し得．構造を特に詳細測定せざりし爲之以上論ずる事は玆に止む．積雪を屋外にて踏固めしもの等は丁度轉位域にあるものである．以上雜駁ながら積雪の抗剪力の如何なる程度に如何なる傾向により變るものなるやを一應含水量零に近きものに就き考察した．本試驗に於ては又後節積雪削拋抵抗試驗に於ける資料を得たものである．

［2］ 可塑性流れと內部粘性係數

舊くより注目を牽いたのは氷河の匍匐現象で特に表面部に於ては地表近くより運動の大なる事が經驗され1820年 Mont Blanc 登攀で氷河に埋沒された Humel 博士一行の遺品の數々が1863年に Bosson の氷河中に發見された際リユックザック其の他のものが 20～30m も離れて散布してゐた事を Annecy の技師 M. Rendu が記述し，其の後 Agassiz, Forbes, Tyndall が實測し斯かる現象は剪應力によるものなる事を述べてゐる．又1891年には Mc. Connel が非常に見事な報文を發表し其れには氷河の運動に於ける可塑性(plasticity) を實測し，氷河の斷面に於て最大 35.3m/年～44.2m/年 のものをも觀測した．其の後實驗室のものとしては 1902年 H. Hess により詳細に研究されしより各方面に於て試驗が行はれて居る．Boris Weinbeig の報文も其の一である．之等の結果を綜合するに粘性係數は $\eta=10^{13}$ (gr/cm.sec) の程度で Hess によれば氷に加はる作用の繼續すると共に增大し氷河の如き場合は 10^{15} の程度に至る事あると云はれてゐる．積雪に就いては全く類似し寧ろ粘性係數 (η) の小なるもので著しき匍匐現象の起るものである事は想像するに難くない．雪崩の問題と關聯し積雪の匍匐現象に就き觀察試驗されたものがある．新潟鐵道局古川巖氏，林業試驗場櫻井氏の實驗結果によるも積雪の匍匐現象は個々の場合は複雜なれど正規の場合には可成り整然と可塑性流れを呈してゐる事が分る．即ち積雪は底面に於て或る摩擦抵抗係數で全體として滑りつつ內部に於ては重力の作用の下に可塑性流れを爲し積雪上面が最も大なる速度にて下方に移動してゐる．斯かる場合如何なる程度の粘性係數値を有するものなるやは雪性氣溫等により著しく異るものであり，且斜面降下運動も山峰山脚等の影響を蒙り內部運動も複雜なるは勿論なるも假に理想的運動を假定するも雪性により著しく異るものであると想像される．

殊に前節にも述べし如く積雪は組織構造分散系に屬するを以て粘性にも異常性を有するものなるや吟味を要する問題である．分散系粘性で云ふ所謂構造粘性 (Structure viskosity) の有無は頗る興味あるものである．將

来此種の研究が多々行はれる事と推察するも本實驗では3種の荷重を夫々附加し抗剪力試驗器を其の儘利用しダイヤルゲージにて變形即ち可塑性流れを測定した．實驗は第7日吹雪中雪室内にて行つたもので，室内氣温は +0.2°C 程度である．

使用荷重；　W_1≒1,629.5 gr,

W_1+W_2=3,303.7 gr

$W_1+W_2+W_3$=4,909.7 gr

にて剪斷面積は 24×2 cm² である．試驗せし雪質は新雪（N），ザラメユキ，コシマリユキの3種にて總て表面に比較的近き雪層のものである．見掛比重は下記の如し．

雪質	新雪		ザラメユキ		シマリユキ	
	N_1	N_2				
比重	0.30	0.27	0.45	0.44	0.33	0.37

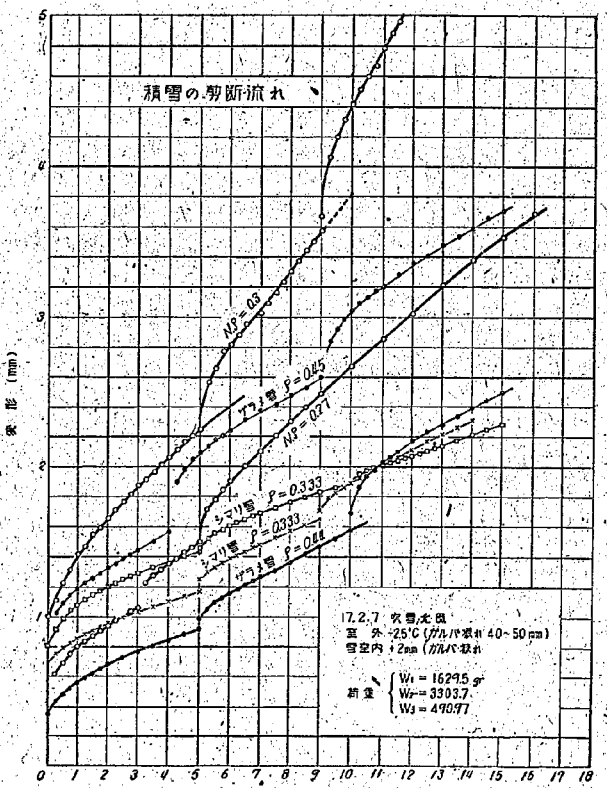
ザラメユキの値は稍々大に過ぐる嫌である．

圖—4 は斯くして得たる變位と時間との關係を示すものである．各測定結果をみるに著しい特長がある．即ち

1) 荷重如何に拘らず載荷或時間後變位速度が一定するもので之を極限速度と稱す．

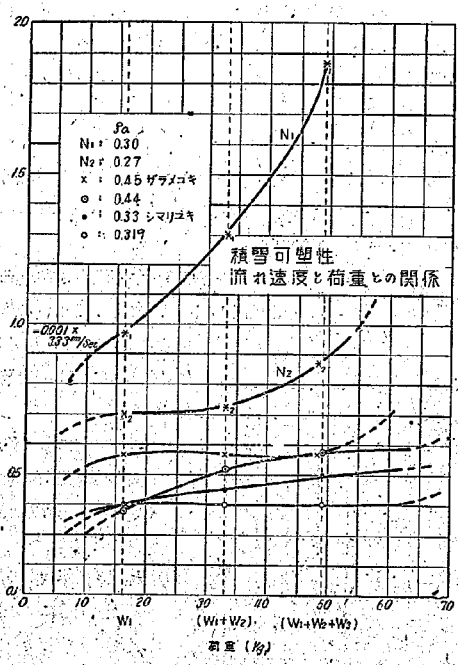
2) 極限速度が實驗の荷重範圍で荷重により著しく變るものと變らざるものとあり且つ變化傾向も複雜である．

圖—4



試驗回數少きも若し上述ぜる如き可塑性流れを爲すものとすれば，積雪は可成り複雜な構造性粘性を示すもので1)，2) の如き特性を如何に正しく了解するかは頗る困難な事柄で，實驗回數を増加せしめ，然る後論究さるべきものである．今一便法として圖—4 より得たる變形極限速度と荷重の關係を別に劃く事とする．圖—5 は斯くして得たるものである．

圖—5



變位速度～荷重の關係は3つの傾向を異にするものより成立つものゝ如く，實驗條件により三者の內全部若くは一部が觀察されしものと思ふ．本實驗では速度が荷重と直接的に變りしもの無かりしが著し斯る範圍が存在すれば所謂ニウートン粘性係數の關係が成立つ粘性流範圍である．其の後引續き見掛け上硬化的に粘性係數が著しく增加するもので壓縮性影響を蒙るものと推測さる．更に角一旦斯る範圍を經過し更に粘性係數の著しく減少する範圍に立至り遂に破壞に至るものゝ樣である．圖—5 に於ても新雪による N_1, N_2 曲線は此の範圍のものゝ樣で，ザラメユキ，シマリユキの場合は未だ中間範圍にあるものと想像される．更に載荷重等を增加し試驗すべきであつた．今圖—5 より最も簡單な假定の下に粘性係數の値を推定しよう．本實驗の形式より考へMaxwell 物質としての 粘性を取扱ふ事とする．斯る場合，張力 (σ) 歪 (ε) の間には下記 (1) 式の如き關係あるは周知の事である．但し G: 剛性係數 T: 緩和時間(relaxation-time)

$$\frac{d\sigma}{dt}=G\frac{d\varepsilon}{dt}-\sigma/T \quad \cdots\cdots(1)$$

本實驗の場合の如く $\frac{d\varepsilon}{dt}=$一定$=\left(\frac{d\varepsilon}{dt}\right)_1$ ……なる場合には (1) 式は容易に解き得，(2)式を得．

$$\sigma=GT\left(\frac{d\varepsilon}{dt}\right)+Ce^{-t/T} \quad \cdots\cdots(2)$$

($G\times T$) は所謂粘性係數 (η) に相當するもので，粘性變形無き場合(1)式の代りに $\sigma=G\varepsilon$ となるもので剪應力の場合とし (2) 式 $F\fallingdotseq\eta\left(\frac{d\varepsilon}{dt}\right)$ を適用し特定な荷重 W 及び一定變形速度に對應する粘性係數を求めてみる．

シマリユキの場合を例にとり剪應力 $F=\frac{W}{2A}$ の $W\fallingdotseq5$ kg, $2A=48$ cm² に對する變形速度實測値は 圖—5 により $0.4\times0.001\times3.33$ mm/sec である．上式に代入し η 係數を算定す．即ち $\eta\fallingdotseq0.8\times10^9$ dynes/cm.sec ($C.G.S$) を得．全く同樣に他の粘性流狀況に對應する粘性係數値を算定し得べし．但し上述に得しものは積雪表面に近きもので，圖—3 抗剪力分布傾向よりみるも可成り軟質の部分である事が推定される．次に一方積雪內の個個運動觀測より推定される粘性係數も同程度のものなるやを吟味せん．櫻井俊輔氏の傾斜約 40° 刈拂ひ根株のみを殘した東北面に於ける實測結果を借用させて戴く．同斜面は斜距離 40 m 以上もあり，積雪表面及底部即ち基面での移動量が2月12日より3月16日前後に至る約35日間に測定されてゐる．山角に近く (山角より 10 m の地域に於けるものが表面の移動が多い) の地域に於ける觀測値が理想的な粘性流を示す樣な個個をしてゐると考ふ．即ち

當時の積雪 (h)$\fallingdotseq$116 cm (平均？)

移動量，表面 35.2 cm　基面 23.0 cm

觀測期間；2月12日より3月16日迄の35日間

以上の値を適用するに總て事柄は二次元的に行はれ且つ積雪内の粘性流は全く正規であるとする積雪の全體としての落下による仕事の量が斜面と積雪間の摩擦による仕事量並に積雪内部に於ける粘性による仕事量と平衡を保つと假定す．上記の3つの仕事量を夫々 A_a, A_f, A_p とすれば

$$A_a = A_f + A_p \quad \cdots\cdots (2)$$

である今之等を如何に表すか嚴密には複雜であるが最も簡單に下記 (3) 式による事とする．

$$\left.\begin{aligned} A_a &= (g.s.h)\sin\theta.v' \\ A_f &= \mu(g.sh)\cos\theta v' \\ A_p &= \int_0^h \eta \frac{dv}{dh} v dh = \frac{1}{2}\eta v_a^2 \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (3)$$

但し A_a, A_f, A_p は斜面上單位長に於ける積雪に關するもので，h＝積雪深さ，θ＝斜面角，$\rho=0.45$, v'＝底部の滑り速度，v_a＝積雪表面匍匐速度，μ＝摩擦抵抗係數等を示す．μ の値としては壹交り粗面と雪塊間のものとして稲積氏の値 0.63 を用ひる．v_a, v' 速度は實測値より

$$v_a = (35.3-23.0)/34\times 8.64\times 10^4 \text{ cm/sec}$$

$$v' = 23/34\times 24\times 60\times 60 \text{ cm/sec}$$

其の他粘着力によるものが一應考へられるが今の場合動摩擦係數としての $\mu=0.63$ に含まれてゐるとし省略する事とする．斯かる値を (2) 式に代入すれば粘性係數 $\eta=3.4\times 10^9$ (dyne/cm. sec) を得．嚮に實驗より得たる値 $\eta=0.8\times 10^9$(dyne/cm. cec) に比較するに4倍前後も大となつてゐる．兩者の差異に關しては推論的に種々述べ得るも資料乏しき今差控へ單に略〻類似せる値を得し事を述べるに止む．上記に得し所を表示す．

粘性係數；(dyne/cm. sec)

	氷	積雪(斜面實測)	積雪(剪應實驗コシマリニキ)
η	10^{16}〜10^{18}	3.4×10^9	〜0.8×10^9 以下

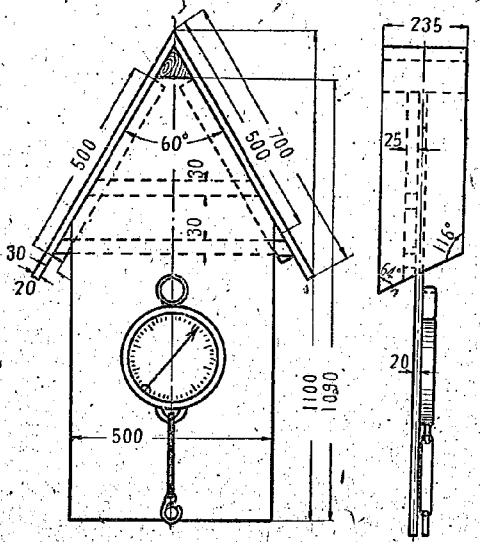
II 積雪截拋試驗

[1] 三角橇による押除け

別報に述べし如く三角橇は機械的除雪の最も原始的なもので雪調査資料 15 號（昭和16年6月）除雪具及運搬具に關する調査にも記載され，馬に索かせ新雪には用ひられるが左右に振れる爲型の改良案などが出て居る．ソ聯に於ては多頭索きのものがあり，大體使用範圍等も定つて居る樣である．最初本試驗を試んとした動機は一般V型前鋤式除雪機の性能判斷に幾分にても役立てん爲であつたが經驗乏しき事と時日の僅少なりし爲所期の目的を達する事を得ず單に一小實物試驗に終つた．使用せし三角橇は杉製で上面に薄くパラフインを燒付けた．摩擦抵抗係數は $\mu=0.32$ 程度にて（黒田氏報文）鐵板の場合（$\mu=0.20$？）より大である．V型の尖端角度は 90°, 60° とし 60° の場合兩面垂直のものと 60° 前後に傾斜せしめたものと計三種である．大體の構造寸法は圖−6に示した．

尚測力には最大目盛 50 kg のスプリング秤を用ひ其の一端を三角橇の尾部に鉤附け他端の環に丸太を塡込み二三人で押し進めた．丸太は水平と $^{70}/_{200}$ 位の傾斜を爲す場合が多くスプリング秤目盛指示の 85% を所要の水平推進抵抗とした．三角橇にて積雪を推除く時力の中央部に常に作用する事困難にて破面は左右同時に發生する

図—6 三角橇

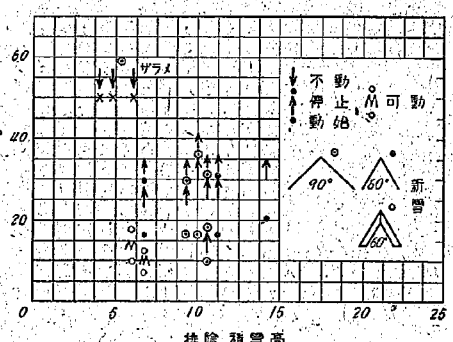


非少く左右交互に生ずる事が多く且力の水平に傾斜を有せしめるか一旦破壊面を作り推し進むも直ちに抵抗を増加し人二人の力にては 50 kgを超過し進行が停止する．斜三角(60°)の場合のみ斜面に沿ひ排雪する為か破壊を繰返し推し進み得．以上は最も軟き表面新雪に於けるもので表面より 20～30cm 下の小ザラメ層に於ては破面を作り推進する事は困難であつた．之等の値は可成り不規則に分布し到底簡単なる關係を求むる事困難であるが一應抵抗値と排除雪高の關係を點布した．圖—7 は此の結果を示すもので同圖には點特の記號が附してある．

排除積雪高とは最初推進を開始せんとする時の三角橇側面に於ける排除さるべき積雪高である．斜三角橇は最も推進抵抗力の小なるものであるが，直 60° 及び 90° 三角橇の第一破面抵抗には大なる差異なきも，續いて必要な第二破面の抵抗は 90° の場合が大なる様である．實際機械的V型の除雪機の角度には斜 60°，直 60° の組合せのものが多い様である．普通4輪車の一疋馬に對し藤井博士の測定による路面の抵抗力を見るに濕雪道にて 64～32kg，砂利道にて 64～30 kg とされてある．三角橇を馬に牽かし使用する場合には上述抵抗の外に橇の跳上りを防ぐ爲の荷重による抗力あり從つて使用範圍は自ら定まるものである．

本三角橇の尾部開き寸法は大約 70cm(60°橇) 90 cm (90°橇) である．今圖—7 の點布の重心を假りに排除積雪高 10 cm，に對し～抵抗 20kg とし除雪幅員 3 m の場合と比較する爲めに本所村上技師の La Flant Choate 除雪車 (別報參照) に就き除雪高を變じつつ行はれた場合の除雪抵抗値を借用せん．圖—8 は除雪車に關する之等の關係を示すもので同圖内の數字は雪積比重である．

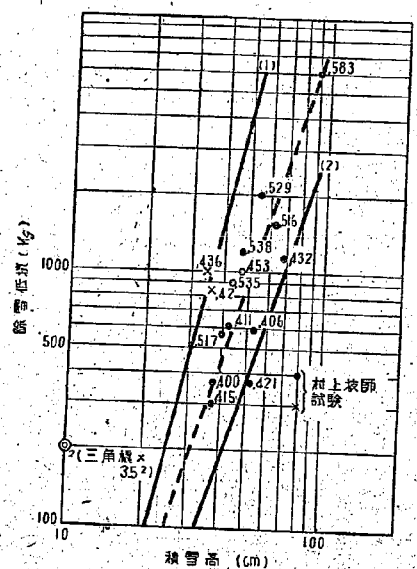
圖—7 三角橇の推進抵抗



先づ取る特定の除雪車にて除雪高を變じた場合の除雪抵抗 (W) の變化は大體 $W=Ah^n$ の式 (但し h は除雪高，n, A は常數) によるものの如く 圖—8 に於ける測點分布狀況より其の趨勢を窺ひ知り得．今平均的のものとし同圖中に描ける點線直線より A, n を算定するに $A=13.0$ kg, $n=3.4$ の値を得．前翼の形狀の變化により n

の値は著しく變るもので同時に行はれた他車によるものに於ては（×）別個の値に據る事が推測される．即ち積雪高の約3乘以上に比例して抵抗が變化してゐる．幅による影響が何によるかは別に實測する必要がある．除雪車實驗の場合有效幅員は3mであつた．今假に木製三角機による結果を除雪幅員增加の割合即ち約3.5の一乘二乘値を圖—8內に◎1，◎2の點の如く點布せしめた．（但し◎1は圖外にある．）然も本實驗は比重 $\rho=0.3$ 前後の新雪除雪の場合である．

圖—8　前繰型除雪車の除雪抵抗



以上三角機の實測値を報告し現在の用いた除雪車の一つの性能と比較した．

［2］模型による回轉削拋試驗

別報に述べし如く蓄雪及び濕潤積雪を除雪するには機械的方法として回轉削拋式の優秀なる事は一般に確認されつつあるもので同原理による除雪車の製作と共に室內實驗も行はれてゐる．之等の情勢は別報に詳しく述べた．本實驗は斯かる原理の除雪方策に對する資料を得んとする第一手段として行つたものである．自ら積雪上を驅拔しつつ削拋操作を行はしむる必要があるが本實驗では荷物運搬木機に機器を取付け，電動機に削切及び拋雪作用を爲さしめる削拋圓筒を裝備したもので，其の構造の概要を圖—9に示した．全重量は約 15—16 貫であつた．

頗る簡單で且つ寸法も小さく除雪機とは稱するも憚る程度なれば單に削拋性抵抗性試驗と名付けた．斯く裝備せる機を可及的一定速度に保つ樣索引す．實際 2m を 6—8 秒即ち時速に換算すれば 0.8 kg/時間 位で索引した．其の際高速度に回轉せる削拋円筒に並列し螺旋せる軌鐵片の角端がカッターに於ける如く積雪を削拋し同時に曲面を有する壁面と共に拋出力を呈し削切せる積雪を拋出せしむるものである．

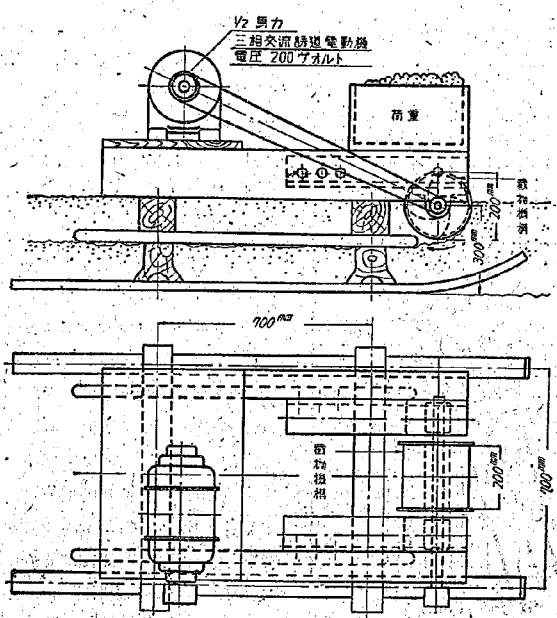
太陸削拋圓筒の半徑の程度の積雪を1時に削拋する樣にし，電動機の入力を電流計電壓計で測つた．力率等の變化は無視し別に實測せる定格 ½馬，200 V の使用モーター入力電流（I）出力（馬）有效トルク關係の試驗結果を參照し削拋試驗に於ける出力馬，トルク等を算定した．

圖—10は使用モーター性能試驗成績である．

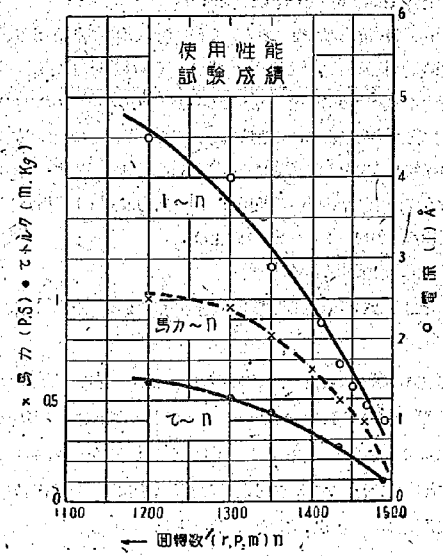
試驗中常に電流の變化を測定せしが索引が實際上不連續に行はれる爲電流値常に變動し判定困難なりしも以下其の傾向を概說せん．

圖—11に示す如く積雪中に削拋圓筒の長さ程度の積雪部を殘し機運行方向に 10m 前後も兩側に溝部を掘開き機部の運行を自由にす．積雪殘部の高さは略ゝ30cmとす．第1回の運行により約10cm前後の積雪が削拋される．更に兩側の溝部を同樣に示せる位置まで掘下げ，同樣第2回目の運行を行ひ，第3回まで行つた．各ゝを夫ゝ I，II，III 層試驗と稱す．I 層は主に新雪にて比重0.3前後なるも III 層は比重 $\rho=0.45$ 位に緊れるものである．本試驗には變壓器の取付け機械體裝備に時日を要し試驗を實施し得しは第6日值か1日なりしは頗る遺憾とする所である．

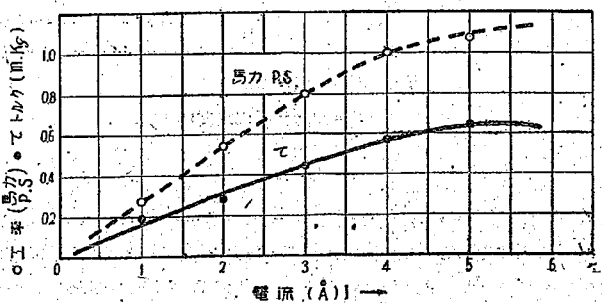
圖—9 抵抗性試驗用削拔機構



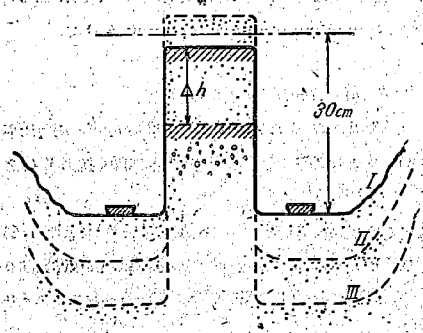
圖—10 使用電動機性能試驗成績 (a)



(b)



圖—11　試験積雪断面



以下試験測測値を述べよう．但し I_0 は削抛せざる時の入力電流 I は削抛中のものである．其の他 V は電壓 Δh は削抛高を示す．

第1回試験（電壓195V, I_0=1,70Å）

	I　層	II　層	III　層
削抛高 Δh cm	14	13	12
電流 I (Å)	2.35 變動少し	3～2.5～4.0 (4.4)變動	3～4.5～4.2 ～4.5變動

第2回試験（電壓195V, I_0=1.6～1.7Å）

削抛高 Δh を稍々大にせし爲か電流 I には變動多く且つ値も著しく大であつた．

	I　層	II　層	III　層
削抛高 Δh cm	18	18	20
電流 I (Å)	3.0～2.9	4～6～3～2.6	4.7～5～ 4～6.7～

本實驗に於ては 圖～10 に振り明かなる如く電流 4.5～5 Å 以上は不安定域にて馬力トルク等は寧ろ減少するものである．從つて上記結果より所要馬力等を算定するに，此の點を考慮に入れる必要がある下記は斯くして得たる所要馬力表である．

第1回　試験の所要馬力表

	I　層	II層 (ρ=0.23 ～0.35)	III層 (ρ=0.36 ～0.48)
馬力 ΔHP	0.15	0.38～0.2 ～0.56	～0.6
トルク $\Delta\tau$ (kg.m)	0.10	0.22～0.13 ～0.32	～0.36

第2回　試験の所要馬力表

	I　層	II　層	III　層
馬力 ΔHP	0.36	0.6～0.36 ～0.4	～0.6
トルク $\Delta\tau$ (kg.m)	0.20	0.3～0.2	～0.36

但し回轉數は電動機 1400 r. p. m. 程度削抛回轉 2600 r. p. m. 程度にて同回轉半徑 10 cm である．從つて圓周速度は約 26 m/sec 前後である．本機の削抛作用は工作機ミーリング特に下向ミーリングに於けるものと類似の點があり，上表の Δh は切込み深さに，運行速度は送り速度に相當するものである．双部の運動軌跡は直線を底

とする外擺擺線をなし1双により削切される容積は容易に計算される．通常運行速度 (v) は圓周速度 (u) に比較し頗る小である．斯かる場合は簡單で單位時間當りの削切量 (V) は下記の (3) 式で示される．

$$V=N.L.v_s=B.\Delta h.v \qquad (3)$$

但し v_s＝一双當り削切量

N＝回轉數(單位時間)

T＝双數

B＝削切部の幅

今抗剪强度を f_s とすれば破壞面 ($B.\Delta h$) をうるには ($B.\Delta_h$) f_s…… の力を加へる必要あるも實際は應力分布複雜なれば，其の他破面前後の摩擦抗抵の爲單位當り强度として上記 f_s より大なるものが抗力となる．即ち單位面積當り抗力 $k_s=af_s$…… とし f_s の a 倍をとる．a は鋼材にて 2.5～3.2 鑄鐵にて 4～5～6 と云はれてゐるが本試驗の如き拋擲作用をも伴ふ積雪の場合如何なる値をとるべきや不明の點多し，勿論 a は斷面積の增加に伴ひ減少するも其の程度は少い．k_s を呈しつゝ運行速度 V で進みつゝ爲す仕事 (A) は下記 (4) 式で示される．

$$A=(B.\Delta h)k_sV(\text{m.kg/sec})\text{等} \qquad (4)$$
$$=K.u$$

但し K は双に作用する圓周線方向の抗力である．即ち $K=(B.\Delta h)\ k_s.(v/u)$ kg となる．

前式に實驗條件を代入せんに $u=26$ m/sec, $v\fallingdotseq 1/5$ m/sec, $B.\Delta h\fallingdotseq 20$ cm×15 cm, $f_s=0.32$ kg/cm², 所要仕事Aは既に記述せる如く實驗不備の爲變動甚しきも先づ 0.6 HP をとれば充分ならん．圓周双部に働く抗力Kは之等の數值より容易に求め得．即ちK＝1～1.8 kg を得．

又倍率係數 (a) を求むるも 3 前後となる．今有效幅員を 3 m に擴張するとすればK値は 20～25 kg となる．勿論回轉圓周速度を增減すれば抗力 K 變化するも所要馬力等を推定し得．以上尙簡單乍ら本削拋回轉機に於ける二三の抗力關係を得た．尙參考の爲尖部幅 22 cm を有する除雪ショベルにて靜的に力を加へる場合コシマリユキにて 15 kg．凍ヘユキにて 25～30 kg にて積雪を破壞する．

斯くの如く回轉式削拋方式による時には削拋抵抗は如何なる程度のものなるや且つ規模を大とする場合は頗る有效なるものなることを知る．

IV 要　約

以上各章に於て述べし如く本試驗は個々斷片的で試驗者としても不充分の點ありしも從來發表せられたる事少き事項に就き試驗する機會を得たるを以て茲に報告せしものである．

主なる結果を要約すれば下記の數言に盡くるものである．

(1) 雪性試驗に得たる抗剪力の轉位とは積雪及雪氷の抗剪力の比重との關係に就き考察し分散系組織變化によるものなる事を述べしもので，新雪を堅く固硬せしめたものはザラメユキを固硬せしめた場合より抗剪力大なるものを得る事實等を說明す．

(2) 以上の推論より抗剪力存在範圍には制限ある事を知る．

(3) 積雪の粘性可塑性變化は積雪の側徊現象等に於て常に觀察されるもので，剪應流れの實驗の結果と對比した．

（4） 積雪の粘性流れに對する抗力は荷重により異常變化をするもので，比較的上層部の新雪，ザラメユキ，シマリユキに就き其の性狀を實測し，シマリユキの或狀態に對し粘性係數 $\eta=0.8\times10^9$ dyne/cm.sec を得．一方深さ 116 m の或る積雪個所現象より計算されしものは $\eta=3.4\times10^9$ dyne/cm.sec であつた．尙氷の粘性係數は $\sim10^{16}\sim10^{18}$ 程度と云はれてゐる．

（5） 三角塊の押し除け試驗は尖端角度 45°，60° のものに就き實驗し，之に要する力を測定し村上技師の除雪自動車試驗結果を借用し兩者に就き比較せり．

（6） 回轉削拋試驗に於ては電動機の入力にて所要馬力及所要トルクを推定しつゝ積雪削拋に必要な動力を求めた．

（7） 回轉圓周部に作用し推進方向單位面積當りの削截抗力 $k_s=\alpha f_s$ 但し f_s は積雪剪應力を表すものとし二三の假定の下に常數 α を求め約 $\alpha=3$ なる値を得．

（8） 回轉圓周緣方向刃部に作用する力 (K) は別に所要仕事 (A) より推定し本試驗機に就いては $K=1\sim1.8$ kg の値を得た．

（9） 回轉削拋機に於ける二三抗力の關係を考察し數量的に處理し第2次模型試驗に擴張するに必要な資料を得．

以上簡單ながら昭和17年○月上旬○○に於て正味3日間施行せる試驗結果の大要及び其れより誘導される二三の基本事項に就き報告せるものである．

附；道路用機械的除雪機構雜錄

緒　言……（13）
I　除雪機構雜察……（14）
II　回轉式除雪機……（18）
III　海外文獻資料……（23）
IV　要　約……（30）

緒　言

多期國上の大半に積雪を見る我國に於いては機械的除雪問題が道路交通に就ても近來真劍に論ぜられるに至りしは當然にして寧ろ其の遲きに逸脫の一端を感ずるものである．勿論鐵道方面例へば札幌鐵道局に於ては夙に明治44年ラッセル除雪車を，大正13年には回轉式雪掻車即ちロータリーを輸入し，爾來幾多の改良と新考案とを加へ現今の如き除雪陣營を確立したのである．一方道路關係を顧みるに最近に至るまで道路自體の建設すら地方經濟狀勢と其れに基く交通量の趨勢に束縛さるる事多く，道路除雪裝置の如きは全く顧みらるる事少く，僅かに北海道，東北地方に於て一，二，其の實施を見る外，鐵道省に於ても多期省營バスの運行確保の爲め，其の施設を有するに過ぎず，軍部關係方面の事情は窺ひ知る由無きも其の他に積極的に除雪機構の研究ありしを筆者寡聞の爲か聞及ばず現今に至りしも，支那事變の擴大更に大東亞戰を契機として國內情勢全く一變し，從つて多期國民總力の

大半に影響を有する積雪に關する除雪問題の研究は全く異る容貌を呈するに至つた．其の緊頭國防の第一線を擔當せる關係當局により，之れが眞摯な對策の攻究されつつあるは當然である．一方深積雪地域の主幹道路の計畫に伴ふ國土建設の觀點よりするも，除雪問題の一主要點をなす機械的除雪機構に關し一應考察し，現狀に就き認識を新にする事は頗る緊急な事である．（筆者除雪實際問題に關與せし事無きも）二，三，見聞せる事項を取纏め玆に報告せんとするものである．尙此の機會に資料を得たる關係各方面の人士，並に die Strasse 誌，Highway Research Soards 報告，Roods and Streets 誌，日本雪氷協會誌，I．C．S．G．誌等に於ける關係著述に御鞭韃を賜へる前所長藤井博士に厚く謝意を表する次第である．

I 除雪機構雜察

機械的除雪の最も原始的のものは，所謂三角鍬によるもので，所謂馬牽木製除雪橇である．本邦東北地方に於ても可成り使用され，積雪 10 cm 前後の新雪の場合に役立つて居るが，其の構造は營林省雪害調査所報告に記載されてゐる程度のものである．其の他ソ聯に使用せられて居るものは牽引馬の頭數により輕重 2 種に分れてゐる．此種のものは性能は頗る低き爲玆には省略する事とす．機械的除雪機の最も簡單な型式は自動車，トラクター等に裝備せるV型鍬又は一側式鍬によるもので楔式作用により積雪を破壞しつつ一方に排除し通路を拓くものなる事は說明の要無き程自明の事である．所謂押し除け式（Displacement）又は（Push Plough）とも云れるものである．鍬の型式のV型(特にドイツに於てK型とも云ふ)なるか一方側式（特にドイツに於てE型とも云ふ)なるかにより除雪に對する抵抗力は異る樣式に作用するものである．鍬の形狀により除雪推進抵抗力も可成り異るも幅員 3m に對し積雪 0.5 m 前後で 1000 kg 程度と云はれてゐる．裝備發達の徑路を見るに米國に於て最初は輕量荷物自動車に輕便に裝備する事を推奬せるも現今に於ける樣式は重自動車によるべしとされ，其れが一般に一致せる結論である．且又自動車の驅動は少くとも四輪驅動を必要とするもので使用機關もオツトーサイクル多筒式の有利とする事言を俟たざる所である．

○○省前鍬の形狀 2 種に就いての比較試驗の結果によるも，本試驗所村上技師の試驗調査によるも，前鍬の形狀による除雪能力の差異には著しいものがある．使用に際しては愼重な調査を必要とするものである．V前鍬型（推し分け式，Shub type)の除雪車の現狀に就き記述するに先立ち一般除雪車の性能評價を如何なる基準によるべきかを考察せん．勿論實施さるべき地域の積雪氣象條件，除雪機發達の程度により階段的に制定さるべきものであり特定な地域にのみ使用する場合は自から別に條件の定まるものである．今參考の爲にドイツ建設總監の1938年春1939年夏に於ける除雪車の懸賞募集に際しての判斷條件及び除雪機國際競技會の規定の一部を引用せん．

除雪車の性能による分類　除雪車の分類に就き其の一としてドイツ建設總監による懸賞募集に於ける分類を述べんに下記の如く I．II．III．の 3 級と分けてゐる．

I 級は平坦地域にて積雪量（50 cm 未滿）少き場合に使用するもの

II 級は積雪量大なる山陵地域用

III 級は主として道路上最後仕上げの除雪清掃に使用するもの

以上の分類の外後節詳述する削拔式のものがある．I．II 級は最も一般的な重要なものである．本懸賞には第 1 回には 13 の製造會社が 30 種の除雪車を，第 2 回の時には 12 の製造者が 27 種のものを提出した．

Briançon での第 5 回除雪機競技會では下記の如く分類した．

I 種；勾配 $^{10}/_{100}$ 以內，積雪量 0.8 m 以下，除雪後殘雪 0.1 m 以下，勾配 $^{5}/_{100}$ 以內時速，4 Km 以上，除

雪幅員 3 m 以上

Ⅰ種；勾配 $^{10}/_{100}$ 以内．積雪量 1.5 m に達することがある．除雪幅員 2.5 m 以上．除雪後殘雪 0.1 m 以内．

Ⅱ種；勾配 $^{15}/_{100}$ 以内．積雪量 3 m に達することがある．除雪幅員 2.5 m 以上．除雪後殘雪 0.1 m 以内．

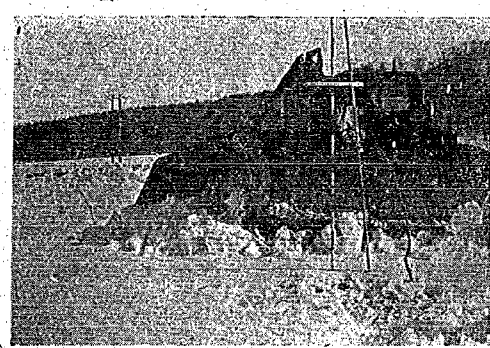
時速は道路上Ⅰ種20km 以上．Ⅱ種10km以上と規定してある．前鋤式のもので此のⅠ種にも優勝するは當時 (1936) では困難と推測された．非實推し分け式の除雪車は20數臺以上の積雪で性能の貧困を暴露した．現在に於ては進歩せる前鋤のものは此のⅠ種の規定程度を保持するが未だ及ばないものが多い樣である

除雪積雪高は前鋤の高さのみにて決定され得ない事は明らかな事であるが，一の目安として下記の如く云はれてゐる．

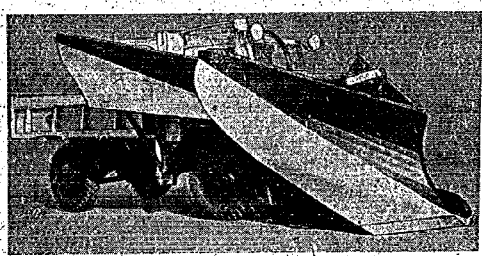
鋤の彎曲 / 除雪高	垂直鋤	微弱彎曲	強度彎曲	超彎曲
前頭最小高	0.6	0.7	0.8	0.5

今各種の型式中二，三のものを寫眞に就き說明せん．米國に於ける初期のものは Highway Research Boards の1927, 1928, 兩年の報告に發表され，尙同誌には補助翼の有無二重連結の運轉の事をも論じ其の優劣をも比較してゐるが省略し最近の型のみに就き說明せん．

寫眞—1 前鋤式除雪車 (其の1) (1)



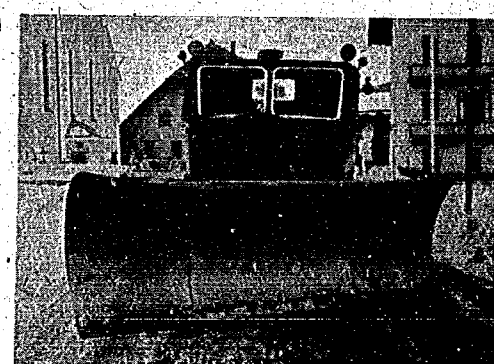
(2)



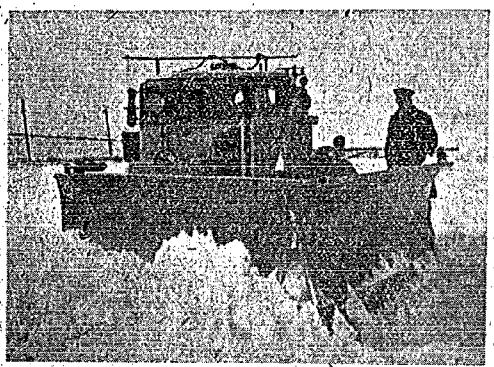
寫眞—1(1) は當所村上技師の試驗に使用した米國 Laplant-Choate 會社製除雪車，同 (2) は Walter 社のもので，共に 12t 級の車輛に裝備されてゐる．性能に關しては村上技師の報告を參照され度い．共に深雪 (1.5m) 程度にも充分使役し得るもので稍〻輕易のものはドイツ建設總監驗賞應募のものの內に餘多見出す事が出來る．寫眞—2 は此等の內より優秀なるものを轉載す．

寫眞—2 の (1)(2)(3)(4) に就ては特に說明の要無きも (2) (3) の Miag 社の KSR 鋤，Grasmuch 社の AS5 鋤の形狀を比較するに本邦鐵道省に於て省營バス用として試驗

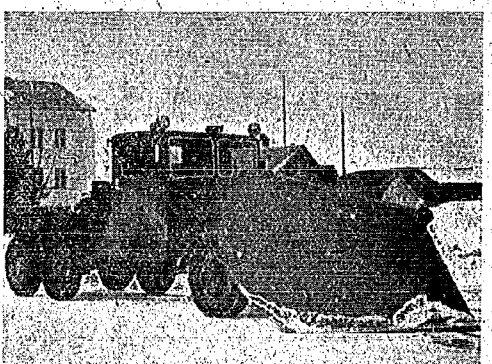
寫眞—2 前鋤式除雪車 (其の2) (1)



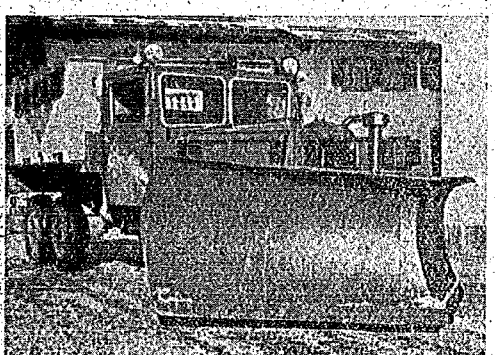
(2)



(3)



(4)



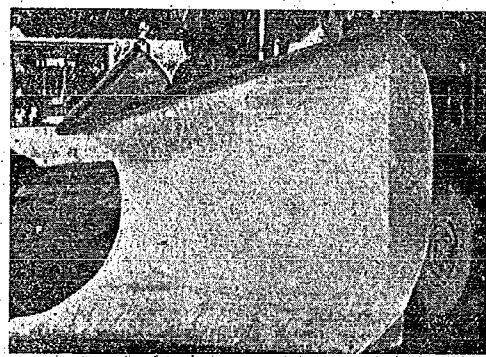
されし除雪車と對比し頗る興味深きものがある．(2) Miag 社 KSR 及び (4) 同社の MSR 鋤はV型にも又一方側式(E型)にも變更使用し得るものである．最後に此等のものに就いての性能を表示す．

但しK＝V型前鋤　　E＝一側式鋤

鋤の重量には附屬をも含む．

以上記述せる事柄により簡單ながら前鋤型除雪車に關する性能の一端を窺ひ知る事を得．直接除雪とは異るも除雪自動車運行に必要なる資料とし積雪の支持力に就き述べる事とする．

(5)



製造者名	A. Schmiclt. St. Blasien	Miag	Grasmuch	Miag	W. U. J Scheid
名稱	EM	KSR	AS5	MSR	Ingell
前鋤構造	E	K, E	K	K, E	K
寫眞番號	1	2	3	4	5
除雪幅員 最大 (m) 最小	2.90 2.90	3.20 3.20	2.60 2.60	3.20 3.20	2.60 2.60
前鋤重量 kg	685	1480	950	810	910
鋤高さ 最大 (m) 最小	1.0 1.0	~0.70 ~0.70	1.70 1.10	1.25 1.25	1.60 1.15
鋤彎曲度	弱	强	强	弱	弱
最高除雪 (m)	0.60	0.50	1.00	0.8	0.8
除雪面 1 m² 當り前鋤重量	394	925	396	316	438
推進抵抗 (kg)	970	——	1200	1135	1270
支持車輪	0	1	0	0	0
減壓裝置	有	無	有	有	有
上下裝置	手動	手動	手動	手動	電動

富永氏の記述によれば日本內燃機の雪上自動車に就では無限軌道接部等に於て單位面積當り荷重は 700 kg/m²

(0.07 kg/cm²) となる様設計されてゐると報告されてゐる．人橇馬橇に就いて實際使用狀態に於ける値とし庄司氏等の研究あり其の他主要なものゝ加壓力は下記の範圍の様である．

雪上自動車無限軌道壓力	0.07 kg/cm²
人橇加壓力	0.07～0.13 kg/cm²
馬橇加壓力	0.25～0.33 kg/cm²
馬蹄の加壓力	0.77 kg/cm² 前後
人の足踏加壓力	0.28～0.35 kg/cm²
スキー加壓力	0.047 kg/cm² (片足)　0.024 kg/cm² (兩足)
重自動車タイヤ	6～8 kg/cm²　ニューマチックタイヤ
接面壓力平均	7～10～12 kg/cm²　ソリッドタイヤ

尙積雪條件不明なるも積雪支持力として下記の如き値がソ聯に於ける試驗報告にあると聞く．

積雪種別	脆き處女雪	降りし直後	踏み固めた雪道	通常の雪道	脆き雪道
支持力 kg/cm²	0.06～0.07	0.045～0.05	0.3	0.3～0.25	0.1～0.15

雪上驅動には驅動摩擦抵抗等別個の研究項目あるも上記は單に靜的加壓力並に支持力の大略値を述べたものである

II 回轉式除雪機

回轉式除雪機は鋤型除雪機と全く異なる機構を有し別種の除雪作用を爲すものであり壓縮されし可成り密度大なる積雪の場合は勿論吹溜等による積雪量大なる場合即ち，積雪 1 m 以上に及ぶ場合には是非共回轉式のものを必要とするもので後節に記述せる外國に於ける除雪作業の發達普及の跡を見るも其の間の消息が解る．本邦に於ても其の規を一にするものである．回轉式と云ふも其の除雪主要機構部の回轉方向並に積雪を削拋する作用の異るにより種々の型式に分れ除雪さるべき積雪の性狀により適切な型式を選擇すべきである．又發達の經路を見るも鐵道に於ける此種除雪車より由來せるものがある．現今使用されてゐるものを簡單に下記の如く分類し其の特性に就き考察し本邦の雪性に適せるものの選擇判斷に資せんとす．例へば北海道の如き比較的輕き降積雪に就き實驗せる結果を直ちに本州信越地方に於ける濕潤性の降積雪に適用する事の不可なるは言を俟たざる所である其の一例を後述せんとする Snogo 式除雪車に見る．

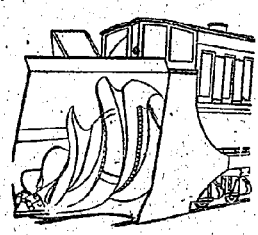
	削拋回轉軸の方向	除雪作用
回轉除雪機構	I 除雪進行方向と並行	1. 拋擲作用著しく削切作用著しからざるもの 2. 拋擲削切作用共に著しきもの
	II 除雪進行方向と直角(地面と並行)	1. 拋擲排出作用著しきも削切作用著しからざるもの 2. 削切拋擲作用共に著しきもの

上記表を見るに I～1，II～1 の如く削切作用の著しからざるものは粘着性を有する重き濕潤なる積雪及び緊固せる積雪の場合には不利と推測される．

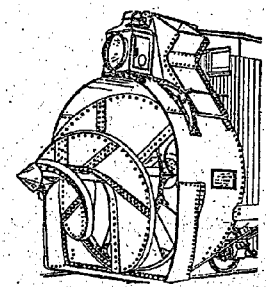
I～1 型　I分類の回轉部分の軸の進行方向と並行せるものは鐵道除雪車に端を發してゐる．米國の Jull に

寫眞—3　I～型除雪機構を有する除雪車

(1) Jull 型



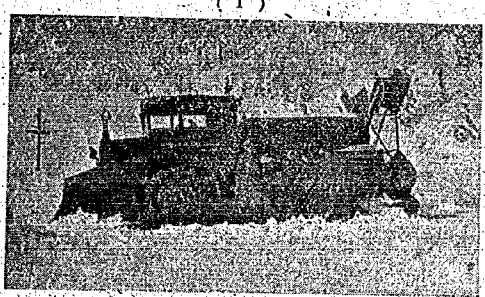
(2) Cyclone 型 (Cox)



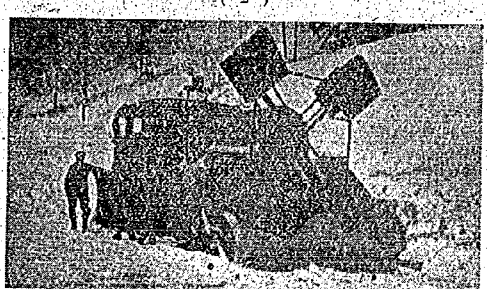
より1884年に製作されたものは寫眞—3に示す如きもので約700馬力のツウン蒸氣機關により運轉された，同圖(2)は Cox により削切拋雪翼の軸が地面（軌道面）と並行に改良されしものである．一方又 1869 年 J. W. Elliott の考案試作により單に羽子車による拋雪機構のものが出現し後 Jull により切込部分として叉を有する部分を具備せしめた其の後1883 年に Leslie 兄弟により改良され 1886/87 に我が國に於てもロータリー (Rotary) と稱し人口に膾炙されてゐる型式が製作された．此の種のものの道路除雪に應用されたのは可成り後の事でスイスに於て拋雪除雪機 (Schneeschleudermaschine) が 1925/26 の冬季スイス聯邦軍務局と自動車製造業者との共同にて研究され郵電省で50馬力の無限軌道トラクターの後部に80HP の機關を拋雪用に備へ，1928/29 冬積雪1 m を 1.3 km/時の速度で除雪した，其の他 Briaçon の除雪機競技會の第1,2種級に(1935) 優勝した Latil トラクターに裝備せるものは寫眞—4に示す如く後部に4箇の平面翼を附するもので翼は回轉ショベル作用と拋雪作用とを呈するものである．

寫眞—4　I～型除雪機構を有する除雪車

(1)



(2)



Briaçon に優勝せる同機は佛國 M. de Brum (Points et Chaussees du Jura)の設計にてトラクター Latil 216 CV. 型發動機回轉數 100 r. p. m. にて次頁に掲げたの如き性能を持つ．又純粹のロータリー式のものを道路除雪に應用せるものの報告が寫眞と共に Highway Research Boards, 1927 に掲載されてゐる．

I—2 型の1種に Cletrac 110. C. V. デーゼル機關を裝備せる，F. A. C. E. Raco 型の全重量 15 t の形證 7×

重量	速度 km/h		使用可能積雪	翼外徑
	前進	後進		
10,5 t	25	1~3	3m	3~3.3m
6,0 t	30~4		3m	

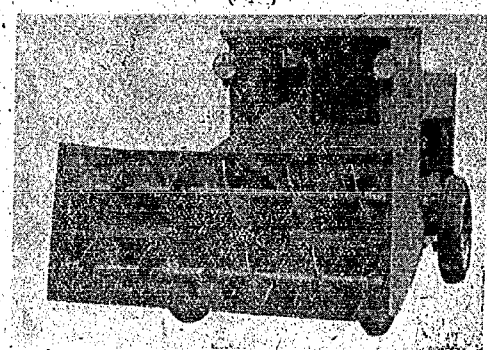
寫眞—5 トラック裝備回轉除雪車(Ⅱ～1型除雪機構)
所謂スノゴー(Sno-go型)

北米合衆國に於いて最初發達普及せるものの様である．之種に屬するものは雪掻翼とも稱すべき回轉部を具へ排除すべき雪を浚ひ拋擲するものであるが前部にV型鋤を具へ押し除けた雪を雪掻翼で排出するものと前部に左右反對捲れの螺旋(Auger)を備へ前進と共に削拋作用を呈しつつ中心部にある排出口より拋擲する方式をとるものと2種あり，共に1925年代頃より使用されしものの如く Highway Research Boarbs 報告 (1928)Bishop の報告中より其の一例を援用す．寫眞—5 に示すはトラックに裝備された最近の回雪掻車を示す．車體裝備輕裝に過ぎ回轉雪掻車としての性能は充分發揮し難く寫眞の如き程度のものは寧ろ排雪機と筆者は推測する．

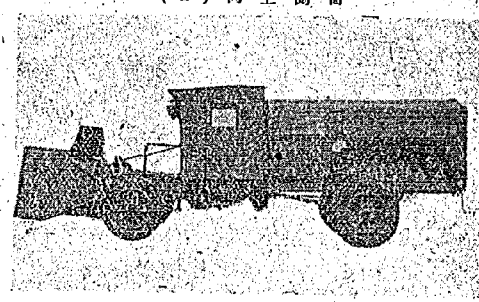
寫眞—6 (1)は Iowa 州で發案せし Auger (直徑18′，箱蓋高3′6″，除雪幅員8′) 型除雪車を正面より見しもので，寫眞—6(2)は其の側面である．Ⅱ～1 型の兩型式のものは現今一般に 10 ton 級の車體に裝備され150㎰ 級の機關により運行除雪を行はしめてゐる．輕量3×3,10(高)m のものがある．拋擲翼は多數の小翼を有しタービンポンプ式にて空氣と共に雪塊を吹出すもので 225 m³ を 23 分にて排出し稍〻凝結せる深さ 80 cm～135 cm の積雪を除雪し得るもので Brioçon では第3級に優勝した．此種の型のものは濕性雪に對しては排出口が閉鎖し易く作業が斷續的に成り勝となる缺點がある．

Ⅱ～1 型は輕き積雪の場合積雪多量なるも，頗る有效に除雪の效果を擧げ得るもので

寫眞—6 螺絞(Auger)型除雪車前面(Ⅱ～1型除雪機構)
(1)

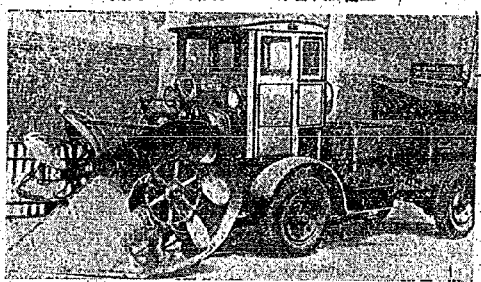


(2) 同上側面

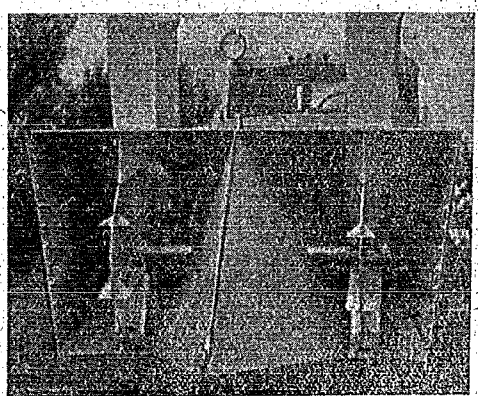


トラック又は乘用車に裝備せるものは既に述べし如く自から使用範圍が制限される．寫眞—5 は其の一である．尙之種のものは Sno-go-Rotary 簡單に Snogo と稱せられ米國に於て可成り普及せるもので後述せる如く重自動車に裝備せるものは山嶽地帶等吹溜のある除雪には必要缺くべからざるものとされてゐる．本邦に於ても關係方面に於て研究實施されつつあるは勿論であらう．

寫眞—7　(1)Ⅱ～1 型除雪機構裝型

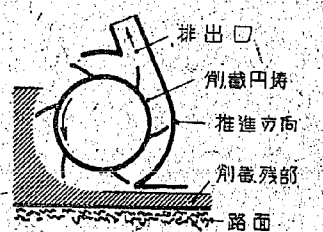


(2) Sno-flyr 回轉除雪車(Ⅱ～1型除雪機構)

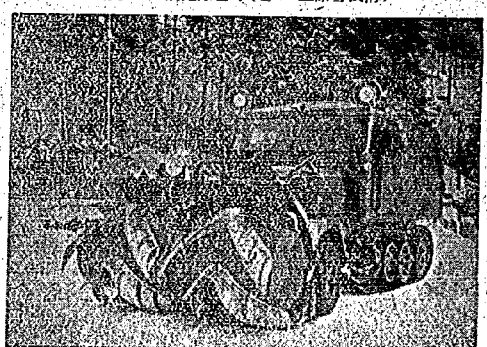


寫眞—7 (1)に掲げたものは1925年頃の型式であるが同型式に類似のものとし Walter 會社製のものが盛に使用されてゐるが，少し變形せるものとし，最近のものに Sno-flyr Rotary plow と稱せるものが，あり前面より見たる形狀はW型を爲す作用は全く既に說明せるものと同樣である．寫眞—7 (2)に Wm. Bros 會社製のものを示す．歐洲にても此の米國に發達した樣式のものがスイスの Raco 社で製作され Raco-Schleuder (Raco-拋雪機) と稱せられアルプス地帶等で使用されてゐる．

圖—1　Ⅱ～2型除雪機說明圖

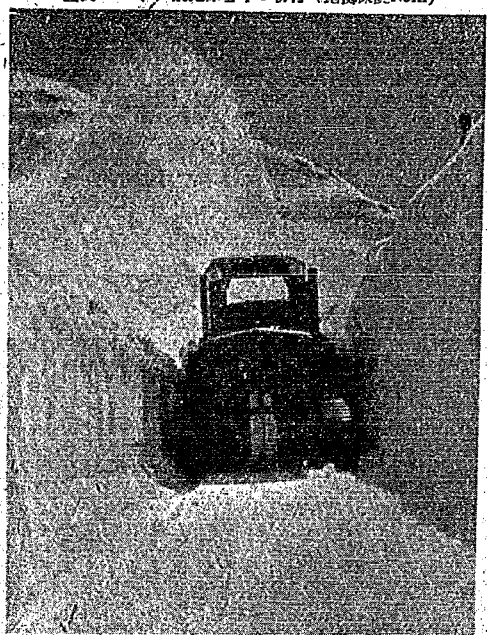


寫眞—8　削拋除雪車(Ⅱ～2型除雪機構)



Ⅱ～2 型　雪質によつては單に拋雪作用が主體にて削切作用の著しからざるものにては使用不可能に立至るもので，削切作用を最も著しく發揮しせしめねばならない．1886年代に試みられた螺旋作用を適切に利用する事に着想し工作方面に於ける轉削機即ちミーリング機構 (milling, Fräse) の應用が實現された．圖—1 は其の原理を圖解せるものである．作用稍々自明なれば概論に於ては說明を省略

寫眞—9 (1) 削拋除雪車の初行（拋揚深度1.5m）

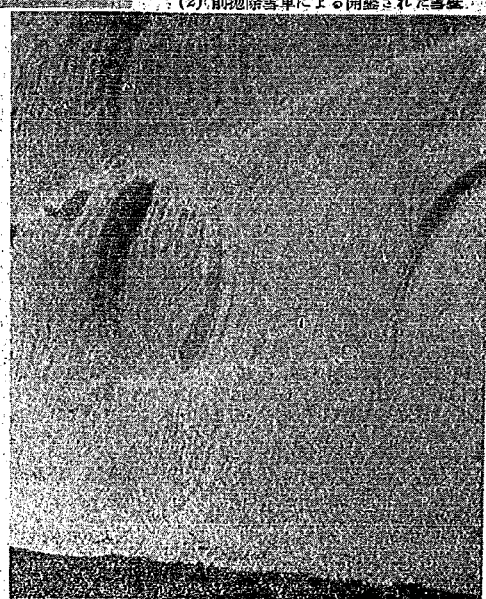


する主要部は削拋圓壔部 (Fräse Walzen) である.

文獻に見る削拋圓壔上に植え付けた刃部は可成り高度の左右捻れを有し，切削能率を高める效能あるも特に研究を要する點でベルリン工科大學機械研究所 (Forschungs Institutefür Maschinen-Wesen beim Baubetrieban der Techmische Hochschule Berlin) でも模型試驗が行はれてゐる樣である.

寫眞—8 に之種除雪車 (Peter-) の一型の全貌を示す同寫眞は前方より見しもので削拋圓壔には箱盖の如きもの無く削拋され回轉力を得たる雪片は削拋圓壔の中心後部にある誘導口を經て左右方向變換可能なる2本の排出口より高速度にて拋擲される 寫眞—9 (1) (2) は之種型式のものによる除雪狀況を說明せるもので寫眞—9 (1) は最初の 1.5 m 積雪層を削拋しつゝある狀況にて 寫眞—9 (2) は斯か

(2) 削拋除雪車による開鑿された雪壁



る操作を3回繰返し遂に路上まで除雪せしもので雪壁には削拋圓壔の側面にて墾りし跡形が明瞭に刻されてゐる.

同車による作業狀況は後節說明する所あらんも山嶽地帶の除雪の完璧を期する爲には必要缺くべからざる型式の一つで1937年にドイツ道路總監の命により試驗車として2臺製作されグロースグロックネル山嶽道路の春早除雪の問題を解決せるものである. 以上外國に於けるものの例をとり回轉式除雪車の型式並に發達經過に就き記述せしもので本邦に於けるものは省略せるも本州中部濕潤性積雪に適當なる型式の選擇に際しての資料と爲すを得べし. 以下除雪機の使用狀況を示す一例として米國及びドイツに於ける機械的除雪に就き一瞥せん.

III 海外文献資料

[1]. 北米に於ける機械的除雪の一瞥

大平洋沿岸西北部三州に於ける道路除雪狀況 (I.C.S.G. 1938. 報文に據る). 北米西部大平洋沿岸三州 California, Oregon Washington は山嶽地域を含み高積雪地帶として知られてゐる.

本文は Trans. of the meeting of the international Congress of Snow Glaciers (I.C.S.G). Bull., 23. 1938, の報文中V章交通の部に發表されしもので上記三州に於ける除雪事業の發達せし經路並に現狀を洞察する一助となし得. 以下三州に關するものを簡單に記述す.

(A). カリフォルニヤ州の道路に於る除雪 (Snow removal for highway traffic in California, WA Smith)

カリフォルニヤ州に於ては 1924 年迄は除雪に特別の關心が拂はれてゐなかつた. 其の理由として一つには財政基金が除雪に對して樹立してをらず他面心理感情上より一般民衆の注意を惹かなかつた盖しカリフォルニヤ州は地域廣大にして其の大部分が氣候温和である. 北西部は Cascade 山脈, Sierra Nevada 山脈地域にて山嶽重疊せるも近世の交通網發達と共に益々多期積雪期の交通が重要性を加へて來た. Sierra Nevada 山脈地方の Donner Summit は米國に於いても二三を爭ふ深積雪地方であり. Sacramento と San Joaquin の中間盆地地帶は周圍が山嶽で取圍れてゐる. Sierra Nevada 山嶽地方は標高約 5,000~10,000 ft で毎年10月より翌5月6月頃迄全く積雪に鎖されてゐる. 降雪氣象に關しては降雪速度として 1 ft/hr, 風速 60~80 miles/hr, 氣温 −30°F が從來經驗された. 除雪事業に關しては1923年に基金が樹立され, 其の後1930年に全山嶽道路が統一的に考察され除雪が運用されるに至つた. 尤も1918年以來除雪技術に關して調査研究が開始され數年間は除雪に關する裝備の製作改良に專心し多くの經驗をつみ1924~1929年となり稍〻活發に其の活動に入らんとするに至る. 斯くの如く約10年の年月を經て實用期に入つたもので現在行れてゐる事業は下記の如き部門に分れて技術の向上を計つてゐる.

1. 道路改修 (Status of improvement of road)
2. 吹溜(堆雪)防止 (drift prevention)
3. 宿泊所並に工場設備改善 (Suitability of living quarters of Shop. facilities)
4. 人的要素の經驗 (Experience of personnel)
5. 裝備の改善 (Adequacy of equipment)
6. 交通調整 (Traffic Control)

各項は總て頗る重要なもので多期交通樹立には其の一をも缺く事が出來ない. 技術向上の結果 Los Angeles ~Bakerfield 間及び Oroville~Quincy 間の山嶽道路の交通が確保されてゐる ("Ridge Route Alternate" bet. Los Angeles & Bakerfield, "Feather River Canyon Route" bet. Oroville & Quincy) 除雪は下記の3區分に分類してゐる. 即ち 1) 2) は降雪期に於て直ちに除雪される地域で哩數は除雪道路の延長を示す.

1) 輕降雪地域 (light-fall-areas) 3,000, miles
2) 山嶽部多雪地域 (Mountain open road in heavy-fall-areas) 1,100, miles
3) 早春除雪地域 (Opening roads in early spring) 500 miles

---

* 本文を草するに當り黒田正夫博士の御好意により報文を縮覽する機會を得たるもので玆に深甚なる謝意を表す.

除雪に要する經費は勿論年々氣象狀況によるものであるが寒氣降雪甚しき年に於ては總延長平均として1哩當り 100 $ である．尚特に降雪量多き區間では1哩當り 4.000, $ にも達する事も珍しくないと報告されてゐる．使用除雪車は積雪量により異るも直線型前鋤推し除け式，同様V型前鋤の外，螺鑽型 (auger-type) を使用してゐる．此等除雪車の使用積雪範圍並に除雪速度は下表の如く報告されてゐる．

動力	型	積雪（除雪高？）	速度 哩/時間
1½～2 ton トラック	直線型前鋤	4″～8″	10～15
3 ton 4 輪驅動トラック	同上．反轉．可能	6″～12″	10～15
5 ton 4 輪驅動トラック	同上．高速型	12″～24″	6m. p. h (平均積雪 24″に於て)
5 ton 4 輪驅動トラック	V型鋤．側翼附	36″～60″	6m. p. h (平均積雪 24″に於て)
螺鑽型ロータリー (Auger-type rotary with power plant)	車體内取付 (Self-contained)	48″ 48″ 48″	新雪 2 m. p. h 濕雪 1½m. p. h 舊雪踏固リしもの ⅜m. p. h

同報告中にはカリフォルニヤの積雪地圖，Auger type Rotary の U.S. 395 路線上の活躍，トラクター裝備ロータリー (Tractor mounted rotary) 其の他 Donner 峠に於ける Auger type ロータリー，等型側前鋤の活躍並に Donner 峠附近の冬期狀況並に積雪指導標により交通の確保されつつある實況を示した寫眞多數掲載しあるも省略す．

(B) Oregon 州の道路交通に於ける除雪 (Snow removal for hiyhway traffic in Oregon, J.N. Bishop)

冬期に於ける道路交通の爲除雪に對する裝備の行れた順序を年度に分けて說明してある．カリフォルニヤ州と同様大體實施までに10年餘を費してゐる．今其の變革を順次列擧する事とする．

1917年．全般的計畫の1部を作成し準備を開始す．

1919年．計畫に基き主要道路に雪柵 (Snow fence) を建設す．

1922年．本年に至り最初のV型前鋤カタピラー除雪車 (V-type caterpillar push plow) を購入す．

1925年．最初のロータリー式除雪車 (rotary snow plow) を購入す．(Ⅱ～1 型？)

1927年．最初の螺鑽式除雪車 (Auger type 別名 Snogo) を購入す．

斯くの如く除雪車の種類を年次增加すると共に數量をも增加し現在 (1938 年) Oregon 州道路局 (high way Dep) に屬する除雪車の數量は下記の如しと，

推し除け式 (Push type); 200臺

回轉式 (rotary); 20臺 (內10臺は Snogo)

除雪道路延長は 6.500 miles に及び其の內 2,000 miles は多雪地域山嶽地帶である．殊に東部地方に於ては風速 60 miles/h 氣溫 −50°F になる事も珍しくなく除雪車の內部には暖熱設備を有す．尚寫眞により冬期 Hood 山道路に於ける Snogo の活動山嶽地帶に於ける Snogo の活躍 Mc.Kenzie 峠に於ける單線交通狀況，Mc. Kenzie 峠に於ける早春除雪狀況等有效な除雪作業が說明してある．

(C) ワシントン州の道路交通に於ける除雪 (Snow removal for highway traffice in Washington, J. D. Mac. Vicar)

ワシントン州には東部に連續としてカスケード山系 (Cascade Range) 主脈及び同支脈が連り重要道路にて其の横斷せるものが多い．その主要なるもの下記の如し．

1) 國道 (State Road) No. 2	Snoqualmie 峠 (主脈) 及び Blewett 峠 (支脈)	標高 3.004 ft 4.071 ft
2) 國道 No. 5	Chinock 峠 (主脈)	5.440 ft
3) 國道 No. 8	Status 峠 (支脈)	3.149 ft
No. 15	Stevens 峠 (主脈)	4.061 ft

1)は Baker 山に至る國道に相當するもので山麓近くにある Mt Baker Lodge 附近の標高は 4.350 ft である今尚建設中であるが山嶽地帶横斷道路として No. 5 路線にある White 峠は標高 4.500 ft にて高度差程大でないが地形的條件により降雪は頗る多い地域である．上記各峠に於ける積雪を窺ふ一助とし 1935～1936 冬期に於て道路附近地域にて測定された最大積雪高と海岸よりの直線距離とを記載す．

峠　名	最大積雪 (1935～1936 冬 路邊) 吋	海岸よりの距離 (直保) miles
Snoqualmie	144	45
Blewett	75	80
Chinock	190	50
Satus	40	180
Stevens	104	55
Mt. Baker Lodge	192	35

斯くの如くワシントン州には深積雪地域多く除雪必要大なるも之が試みは前記2州に比較し數年立後れてゐる．1923年春最初の除雪が試みられた當時は Snoqualmio 峠に於てのみ率急に 4 月より 5 月10日迄の期間に有效幅員 12 ft を除雪し道路を疏通した．其の後除雪の事業は進展せずして1930年に至り周圍の事情より全冬期間の交通確保を試みんと計畫を樹立し裝備の充實を計り現在に於ては特別の深積雪吹雪以外には交通杜絶する事無しと云ふ．除雪に關する費用の一例として既に述べし1923年春試みられた最初の Snoqualmie 峠の場合は7.000 $ を支出し 1935～1936 年冬期に於ては本州國道全路に對し總額 201.963,46 $ を支出した．尚 Snoqualmie, Satus 兩峠以外の峠の道路では特に險嶮地域にては雪崩深く雪崩の危險あれば山麓に至る迄除雪しをくを原則としてゐる．又大草原地域では全長 167.460 ft に亘る條板～式 (Slat-picket-type) の雪棚を作る．此等は長さ 4 ft 幅 3/8' の條板を 3/4'～1/4' の間隙に連結し 10 ft 毎に鐵材で地上に建てる折疊式のものにて夏期は一旦取外

すものである.

本州の除雪用装備下記の如し.

トラック (1½ ton~7½ ton)	252臺
トラック装備除雪車 (推し除け式)	240臺
ロータリー除雪車 (内若干 Sno~go)	14臺
其の他若干	

積雪記録の一として Snoqualmie 峠の東方3哩の地點にある Lake Keechelus 測候所 (U.S. Reclamation Service) 20年間記録によるに

最大降雪 368′ (1916~1917)

最小降雪 82′ (1923~1924)

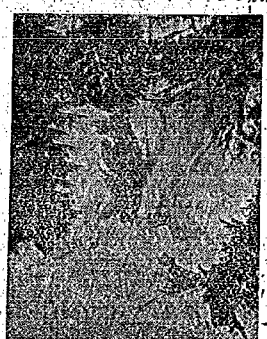
20年間平均降雪 204′ である.

最近は短波長無線電通信連絡を盛んに行ひ現に Olympia に發信受信の主局あり, 本州中17箇所の支局を別に設けロータリー除雪車は15臺全部發信受信裝備を有してゐる. 性能上より言ふもロータリー式特に Snogo 型のものは可成り危險區域に於て活動する爲め此種の施設を必要とする. Stevens 峠の堆雪中活躍中のロータリー (rotary) 除雪車 (Sno~go) 及び Chinock 峠除雪整備2景 Snogo と其の後より機械ショベルの活動狀況其の他本州の除雪に關する寫眞がある.

以上カリフォルニヤ, オレゴン, ワシントン三州に於ける狀況により北米大平洋沿岸に於ける冬期除雪の全貌の一端を窺ひ知り得. 尚本記述には寫眞は總て省略するも, Sno~go の除雪作業經過の一例として一寫眞を雜誌 Roads and Streets, (July 1939) よりオレゴン州の例であるが轉載す.

寫眞—10は其の一例である.

寫眞—10 (1)平坦地道路に於ける積雪の Snogo により除雪されつつある狀況



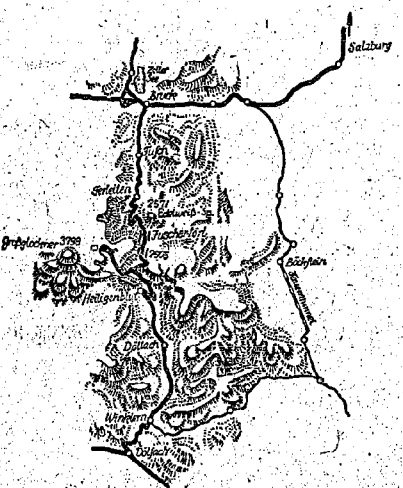
(2)繰返し除雪作業により整頓せる道路

[2], ドイツに於ける機械的除雪の一瞥

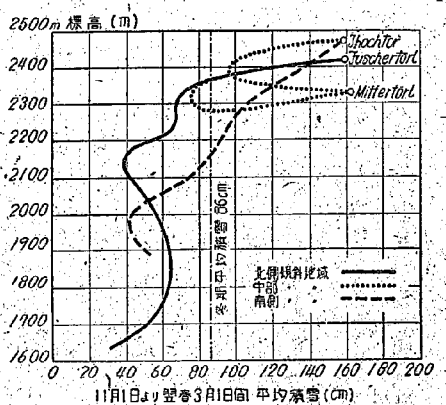
自動車道路網の完成と共にアルプス地帶の冬期交通の確保の一例として又深雪硬雪地域に於ける除雪機構として使用されてゐる創始式のものの性能を見ん爲めザルツブルグアルプス (Salzburger-Kalk-Alpen) 及びニーダータウエル (Niedere Tauern) の中間標高 2500 m 級の山嶽地域に在る所謂グロースグロックネルー山嶽アルプ

ス道路 (Grossglochner-Hochalpen Strasse) に於ける除雪の實況の一端を述べる. 1935年夏より5ヶ年計畫の下に實施されたものでありドイツ自動車道路中最も困難なものの一つであり且つ全工事中の劃期的のものの一であつた. 有效幅員 9 m 道路が該地方に三條ザルツブルグ地方より北南に通じてゐる. 其の一線 Bruck より Fuscher Törl, Hochtor 隧道を經て, Döllfach に至るものは全アルプス中最も風光明美なるもので Edelweiszspitze (2571m), Gross-glochner の峻峰は路線に近く聳立つてゐる. 圖—2 に說明の便の爲めグロスグロツクネル自動車路線圖を示す.

圖—2　グロスグロツクネル自動車路線圖

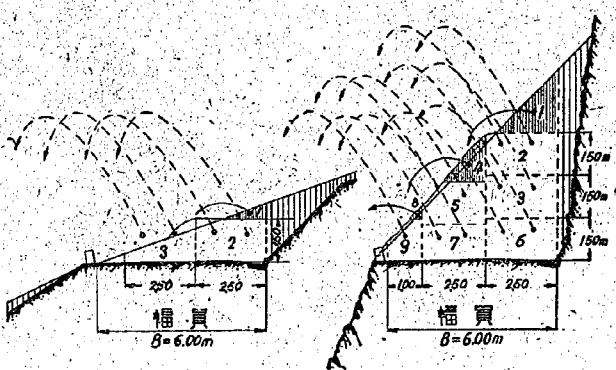


圖—3　11月1日より翌春3月1日間平均積雪(cm)



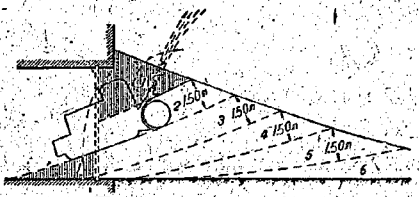
圖—4　除雪作業說明圖

(Ⅰ)　陰影部分はショベル組による部分　(Ⅱ)其の他は削拋除雪機による部分

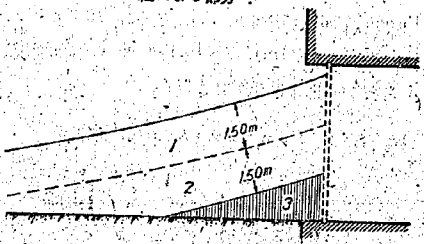


圖—5 隧道出入口に於ける除雪說明圖

(a) 圖中1はショベル組による部分
2 以下は削拋機による部分



(b) 圖中1,2は削拋機による部分
3はショベル組による部分



積雪量の調査とし路線延長 21 km に亘り路面上にて測定せし前年11月より翌春3月迄の全冬期の平均積雪量を見るも 1936/37, 1937/38, 1938/39 と年により 115, 102, 86 cm と異り削拋除雪機にて道路を整通せんとする3月に於ける積雪も 214, 138, 93 cm と著しき變動がある. 今 1938/39 即ち前記3年中最も積雪少かりし年に於ける路線に沿ひての積雪分布と海拔標高との關係は 圖—3 の示す如く報告されてゐる.

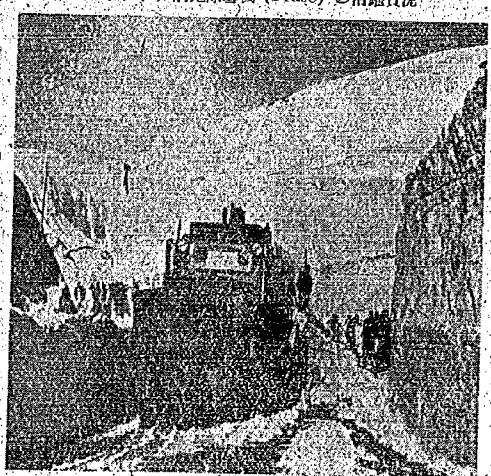
除雪方式としては單線法及び複線法とあるも特異な地勢上削拋式 (Fräse) のものが斷然其の性能を發揮せるは當然なるが前鋤式のものも使用されてゐる, 何れの場合にも人力によるショベル組は必要である. 圖—4 は山嶽道路に於ける除雪作業の說明圖であり 圖—5 は隧道出入口に於ける作業狀態を示すものである. 此等圖面中 (1)(2)(3) の記號にて除雪に使役した勢力の種別を區別す.

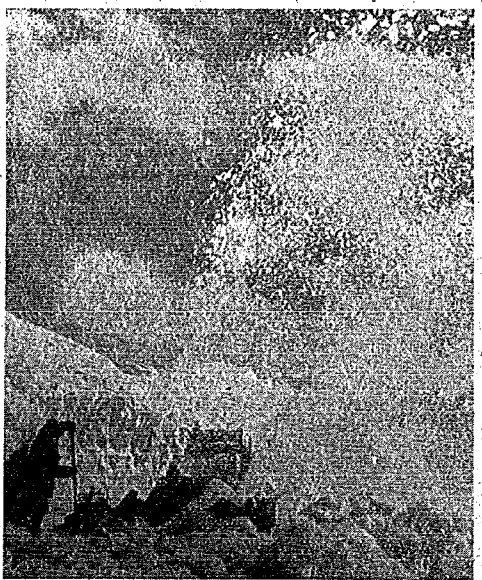
寫眞—11は作業實況の概要を示すものである.

寫眞—11

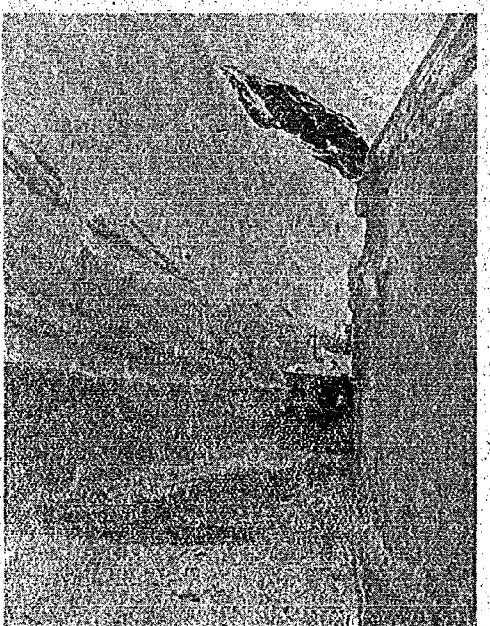
(1) (2) (3) 削拋除雪機 (Fräse) の活躍實況

(1)



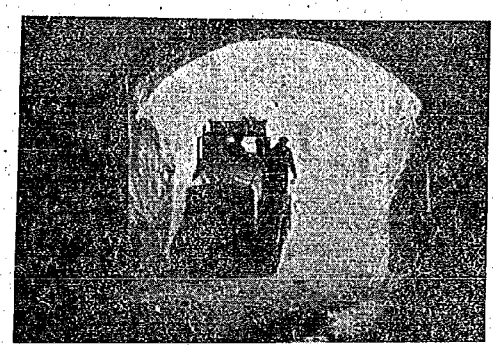


(2)
削抛作用を呈しつゝ
除雪せる實況

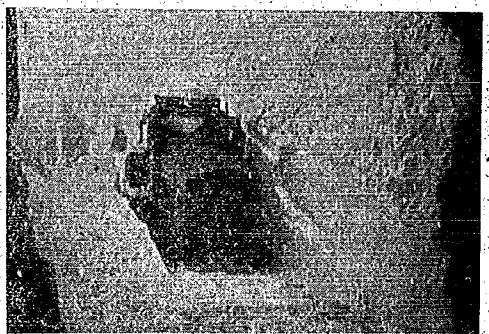


(3)
削抛除雪機により3m
以上の積雪中に疏通せ
る山嶽道路

(4) (5) 隧道出入口に於ける實況



(4)



(5)

尙資料として同年上記道路による除雪の爲めに使役せし勞力並に除雪量の關係は下記の如く報告されてゐる.

使役勞力	數量	除雪量 (m^3)	使役日數	1日當り除雪量 (m^3)	1人(1機)當り1日除雪量 (m^3)
シヨベル人力	100	40 000	40	1 000	10
削拋機	3	235 700	40	5 893	1 964
鋤形機	6	83 000	毎月25日間作業す		3 320

以上述べしものは融雪を待たずして行れる所謂早春除雪に關するものである. 斯くの如くして後初めて1939年6月5日に路面上より完全に除雪し得たとの事である.

IV 要 約

今や四圍の情勢一變し道路除雪の問題も緊急に解決を要すべき秋に當り, 機械的除雪機構に就き調査せるものを羅列し大方の參考に資せんと草せしもので先づ緒言に於て變遷趨勢を俯瞰し, I章以下に於て除雪機構に就き

性能分類及び除雪に際しての使用狀況に準じ若干の記述をなせるもので主なる事項下記の如し.

(1) 除雪車の性能による種別分類に就き述べ其の一例としてドイツ道路建設總監懸賞募集及びブリヤコンに行れた國際除雪車競拔會の規約を引用す.

(2) 押し除け式除雪車（又は前鋤式）の範例とし米國に於ける比較的新型のもの2種及びドイツ道路建設總監懸賞1938年1939年度入賞車の內より數種のものを引用し後者に就いては推進抵抗等を示した.

(3) ドイツ入賞車中の2型と本邦に於て試驗せる或種2型との關係に興味あるものの存在せるを指摘す.

(4) 尙積雪上に於ける各種踏行體の加壓力に就き二三の數値を述べた.

(5) 回轉式除雪車に就ては削拋車軸の方向と車體推進方向との關係より之が分類をなし，現今使用されてゐる除雪車が其の何れに屬するやを寫眞と共に說明す. 簡單に表示すれば下記の如し.

Ⅰ～1 型(ロータリー)平面翼を有する. 例. M. de Brum 車.

Ⅰ～2 型(タービン式小翼を具ふ)例. F.A.C.E. Raco 車.

Ⅱ～1 型例. Auger (螺鎖)車. 一名 Sno～go 車, 及び Sno-flyr-rotary 車.

Ⅱ～2 型 轉削式 (Fräse車).

雪質により使用すべき除雪車の選定方策に就き考察す.

(6) 以上記述せし各種除雪車の活躍狀況を說明の一助にとも考へ北米主として California, Oregon, Washington 三州に於ける除雪に關する事項を述べた. 又ドイツのアルプス山嶽地帶自動車道路の完成と共に標高2800 m 級のグロースグロックネル山嶽道路 (Grossglochner-Hochalpen Strasse). 特に隧道地域に於ける除雪實況を紹介した.

以上主として除雪機械の現狀の理解を深めんと試みしもので降雪事項には觸れる所が無かつた. 雖者除雪其のものに經驗皆無なれば記述に正鵠を失せる憾あるも本邦に於ては之種の報文に接せず，現地の人士に多少とも參考になれば望外の喜びと敢て報告せる次第である.

尙本文は土木機械調査の一部分として其の責を負ふものである.

擁壁に作用する地震時土壓に關する實驗的研究（第1報）

I. 乾燥砂が壁面に及ぼす壓力の分布狀態に關する試驗

內務技師　松　尾　春　雄

要　約

地震時壁面に作用する土壓の分布狀態を明にする爲，寸法 40×43×110 cm 及び 183×190×734 cm の2種の振動函に乾燥した砂を滿し之に水平振動を與へて鉛直壁面に於て各深さの壓力の强さを測定した試驗結果である．之に依れば振動中に土壓が振動周期と共に變化する丈は土の深さに比例して增大せず却つて表面附近に於て大である．從つて地震時土壓の計算には在來とは全然考へ方を變へなければならぬ事が明になつた．

目　次

I 緒　言……（1）
II 小型振動函試驗……（2）
〔1〕試驗裝置及び試驗方法……（2）
〔2〕試驗の種類及び結果……（5）
III 大型振動函試驗……（12）
〔1〕試驗の裝置及び方法……（12）
〔2〕試驗の種類及び結果……（13）
IV 結　言……（21）

I 緒　言

土木試驗所報告第22號（昭和7年5月）及び土木學會誌18卷8號（昭和7年8月）に地震時土壓の實驗的研究として報告したものは乾燥した砂を詰めた小型振動函に水平振動を與へた場合振動に直角な壁面に作用する全土壓力をピエゾ電氣壓力計によつて測定した結果であつた．之に依れば壁面に作用する全土壓力は地震時土壓公式として物部博士及び岡部博士が提案された計算式に近い値が得られ，尙主として次の事柄が明にされた．

1. 擁壁が地震を受けた場合，最大震度に達した初期に於て土壓力は最大である．
2. 裏込土砂のゆり込みに依る影響の爲，振動後に於ける靜止土壓力は理論上の正土壓よりも大なる値を示す．
3. 土砂ゆり込みの影響は震度が小なる時に比較的大であつて，この爲に計算値より大なる値を示す事がある．
4. 裏込土砂の突固めを十分にする事は振動初期の增加壓力を小にする效果がある．

以上の結果は壁に作用する壓力を水平2支點にて支へた場合の全壓力の測定結果に基いて論じたのであつて，壓力の分布狀態に就ては殆んど檢討を試みる事が出來なかつた．

但し實驗中に振動による增加壓力は概ね表面附近に於て大である事を認めたが（土木試驗所報告54頁參照）之は壁に彈性支點を用ひた爲と解釋した．しかして壁全體に作用する土壓力は物部，岡部兩博士によつて示され

た計算法による値に近いものが觀測されたので擁壁の地震時安定計算には，更に異つた寸法の種々の試驗結果によつて地震時土壓の量が定量的に決定される迄は近似的に上記の算定法に依るを適當と結論したのであつた．

本報告は前報告に疑問として殘されてゐた壓力の分布狀態に就て試驗を行つた結果である．

即ち前報告に於ては主として壁面全體に作用する土壓の係數及びその力率に就て論じたのであるが，本報告は主として各深さに於ける壓力の强さを測定した結果である．

砂の深さ 43 cm 及び 190 cm の 2 種の振動函を用ひ各函に於て砂の深さを數種に變へた場合に乾燥砂が壁面に及ぼす壓力の强さの變化を實驗的に求めた．小型試驗では壁を固定した場合及び彈性變位を許した場合の比較をも行つた．

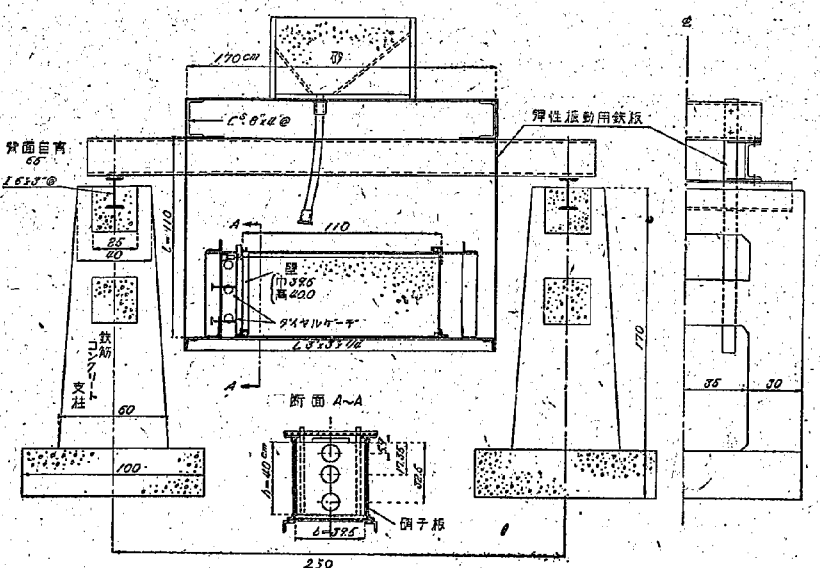
II 小型振動函試驗

(1) 試驗裝置及び試驗方法

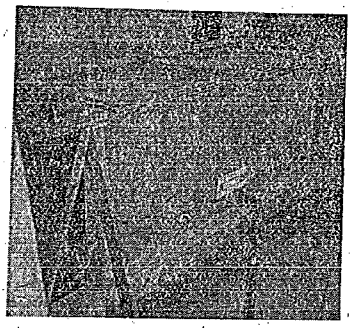
一般裝置及び振動函　振動函は前報告に述べたものと同樣のものを使用した．即ち幅 40 cm，高 43 cm，長 110 cm の內法寸法の側面硝子の鋼製函であつて，長さの方向の端に於て最大 40×40 cm の面に作用する壓力を測定し得る．振動は函を釣る 4 枚の鐵板（本報告のものは厚 0.85 cm，幅 7.75 cm，長 110 cm のものを使用す）により壓力測定面に直角の方面に振動を與へた．振動は特別の振動裝置を用ひず人力に依つた．即ち豫め振動周期を測定し，この周期より最大水平加速度と重力の加速度との比即ち震度が 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 等に相當する振幅を算定しおき，この震度を壓力の記錄紙の中に同時に記錄するやうにした．

圖-1　小型振動函及び振動裝置

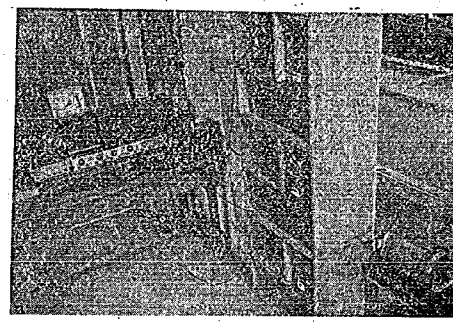
(a)　側　面　圖



(b) 振 動 函



(c) 測 定 裝 置



振動周期は函の中の測定壁に於ける砂の深さが 40, 30, 15 cm の 3 種の場合夫々 0.90, 0.84, 0.75 秒であり各震度に相當する振幅 r は表—1の通りである.

振動中に於ける振幅は固定指示器が示す振動函の目盛を目測した爲に最大 0.2 cm 程度の誤差が入つてゐると思ふ.

この裝置では水平振動と共に上下方向の加速度を伴ふ譯であるが之は水平の加速度に比し極めて小であるから計算には省略した.

表-1 各震度に相當する振幅 r (cm)

周期		0.90 秒	0.84 秒	0.75 秒
震度 $k=\alpha_h/g$	0.1	$r=2.02$ cm	$r=1.75$ cm	$r=1.40$ cm
〃	0.2	4.04	3.50	2.80
〃	0.3	6.06	5.25	4.20
〃	0.4	8.08	7.00	5.60

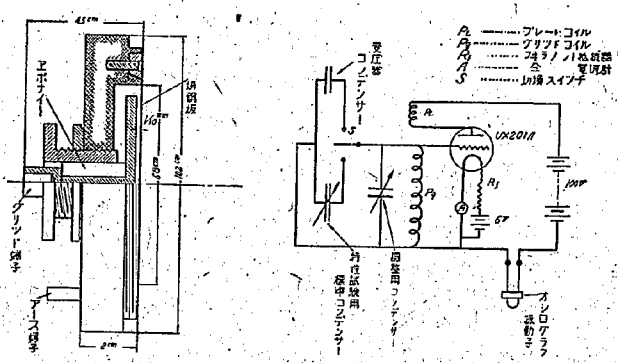
壓力測定壁面 壓力測定壁面は 圖-1 の斷面 A–A に示す通りであつて, 幅 39.5 cm, 高さ 40 cm, 厚さ 2.8 cm の檜板の壁を振動函の一端に固定し, この壁面の中心線に沿ふて 3 個の受壓器を取付け得る樣裝置した. 但し受壓器の寸法の爲同時には 2 個だけしか取付ける事が出來なかつたから上中下の 3 個の中, 上と下, 中と下といふ組合はせに就いて測定を行つた.

函の中に詰める砂の深さは測定壁面上, 40 cm, 30 cm 及び 15 cm の 3 種とし測點の中心の砂表面からの深さは夫々 $h=5.9$, 17.35, 32.5 cm; $h=7.35$, 22.5 cm; $h=7.5$ cm である. 壁は外側に縦に取付けた斷面 2.6×3.0 cm の 2 本の角材により振動函に固定する. 壁に 2 個の各々重量 1.15 kg の受壓器を取付けた狀態での重量は 6.05 kg であつた.

彈性支點の場合には三角形の斷面 (底幅 1.5 cm, 高 1.0 cm, 長さ 1.0 cm) を有する 2 個の眞鍮製金具を壁の下端に中心間隔 27 cm に取付け壁全體がその三角形の頂點の周りに動き得る樣裝置した. 壁の外側の水平支點には端の上端中央に 2×2 cm 厚さ 0.6 cm の彈性ゴム ($E=141$ kg/cm^2) を取付けた上に同じ寸法の眞鍮角板を當き之を支柱にて支へた. 振動中の壁の函に對する動きを測定する爲に中心より約 6 cm の線上 3 ヶ所の高さに於て壁外側に 1/100 mm 讀みのダイヤルゲージを取付け振動中の函に對する動きを讀み取つた. 肉眼によつた爲振動中の讀みは最大 2/100 mm 程度の誤差があり得る.

壓力測定裝置 圖-2 左に示した如き受壓器を壁に「ねぢ」を以て取付けた. 厚さ 0.1 mm 直徑 6.8 cm の燐靑銅板の膜面に作用する壓力により受壓膜面と固定眞鍮板との間隙に變化を生じ, 之を電氣的に記錄する裝置であつて 圖-2 右の配線圖に示した發振回路中に受壓器コンデンサーを入れ, この容量の變化により眞空管の プ

圖-2　壓力測定用受壓器（左）及び發振回路



レート回路中に生ずる電流の變化をオシログラフ振動子にて記錄する．受壓器膜面の歪は壓力が 16 gr/cm² の場合に 1.6/100 mm であつた．

試驗方法　試驗開始に先立ち受壓器を水壓檢定器に取付けて受壓器コンデンサーに加はる壓力と容量の變化との關係を別に上記コンデンサーと並列につないだ標準コンデンサーによつて明にした．檢定の後受壓器を振動函の土壓測定箇所に取付け函内に靜に砂を滴し表面を均らした後靜土壓を受壓器コンデンサーの容量の變化により測定する．

砂は豫め振動函砂表面上約 90 cm の高さに底面を有する大きさ 74×60 cm 深さ 45 cm の高壓貯槽に入れておき，その底面から内徑 2.3 cm のゴムホースにより振動函中に落し込む．之は砂詰めの狀態を常に同一にせん爲めである．常に表面が成る可く水平になつてゐる樣に滴す．滴し終つて後，表面を靜に均らし靜土壓を測定して後振動試驗を行ふ．

砂詰めに要する時間は深さ 40 cm の場合に 15～17 分，30 cm の時約 10 分，15 cm の場合に約 7 分である．各試驗毎に砂を出し入れする手數を省くする爲に試驗結果に影響を及ぼさないと考へられる部分の砂は殘す事にした．即ち壁に接した底面幅約 20 cm を殘し之から砂の自然勾配約 30° に上方に擴がつた部分の砂を常に入換へた．

次にこの靜土壓よりの振動子の振れに對する容量の變化を標準コンデンサーにて讀み取り振動土壓の測定を開始する．檢定より試驗開始までの時間は最長 30 分であつて此の時間の經過による電源の蓄電池の電壓低下の影響がない事は豫め之を確めた．又振動中導線の位置の變化によつて容量の變化を生ずる虞れがあるが，空の狀態にて試驗した結果，この影響は殆どない事を確めた．

振動試驗は普通次の順序を標準とした．即ち

第1回，靜止狀態から次第に振幅を大にし約 30 秒の間に震度 0.4 に相當する振幅まで到らしめる．その同一振幅の振動を約 30 秒繼續した後振幅を次第に小にして約 30 秒の間に靜止の狀態に到らしめる．此の間の壓力の時間的變化を長さ約 33 cm 幅 9 cm のオツシログラフブロマイド紙上に記錄し，各震度毎に記號を入れる．

第2回，第1回の振動の終つた後靜土壓を讀み取り（約1分間を要す）次に第1回と同樣の記錄をとる．

第3回，同樣の事を更に反復する．

第4回，壓力の變化を詳細に檢討する爲普通震度 0.4 の狀態の壓力波を記錄圓筒の回轉を早くして記錄する．

以上で1組の試驗を終るのであるが試驗中の壁面の動きは各震度毎に普通3個のダイヤルゲージにて讀み取つ

た. 又實驗の各1回の終に於ては砂表面の沈下量を見た.

砂 砂は前報告の試驗に用ひたと略同じものである. 即ち荒川の水門下流にて採取した平均粒徑 0.225 mm のものである. 採取の後充分に水洗ひをして泥を除き日光にて乾燥したもので直徑 10 cm の圓形單一剪斷面を有する簡單な剪斷器による試驗の結果 $f=0.56\,n+0.0016$ (kg/cm²); $\varphi=29°20'$;

砂と壁面との間の摩擦角は $\varphi_0=29°$ であつた. 砂粒の比重は 2.70 であるが單位容積の重量は既記の方法にて詰めた場合函底面に 10×10×10 cm の內法の小箱をおき 3 回測定の結果は平均 $w=1.36$ 函上端附近に置いた場合 1.32 である. 振動後に於ては之より稍々重くなる. 上記小箱の側面をたゝいた時 $w=1.48$ までに到るが, 試驗中は此の如く密にはならない. 計算には $w=1.33$ gr/cm³ を採つた.

〔2〕 試驗の種類及び結果

試驗の種類は表-2に示す通りである. 即ち砂の深さ $H=40$ cm の場合は深さの異る3點, 30 cm では2點, 15 cm では1點の壓力の變化を調べた. 深さ 40 cm のもののみに就ては彈性支點の狀態での試驗をも行つた. 之では支點の狀態が常に變化するらしく結果は常に一樣なものが得られなかつた. 裝置の關係で同時に2點の壓力しか計る事が出來なかつたので $H=40$ cm の場合は反復試驗をを行つた.

表-2 試 驗 の 種 類

試驗番號	砂の深さ H (cm)	支 點	測點の地表面よりの深さ h (cm)		連續振動回數	振動周期(秒)
A-1	40	固 定	5.9	32.5	3	0.90
2	〃	〃	17.35	32.5	2	〃
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃
B-1	30	〃	7.35	22.5	3	0.84
2	〃	〃	〃	〃	4	〃
C-1	15	〃	7.5	〃	〃	0.75
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃
A'-1	40	上, 彈性 下, 固定	17.35	32.5	2	0.90
2	〃	〃	〃	〃	3	〃
3	〃	〃	5.9	32.5	〃	〃
4	〃	〃	〃	〃	〃	〃
5	〃	〃	17.35	32.5	〃	〃
6	〃	〃	〃	〃	〃	〃

固定支點による試驗結果 振動中の壓力の記錄は本文終りの寫眞に示す通りであつて, 之等を整理して圖-3~5 の結果を得た. その中深さ 40 cm の場合は試驗の初めに測定した周期に誤があつた爲 0.4 の震度までの結果が得られなかつた.

圖は各震度での土壓の振幅を示したものであるが, 之によれば第1回の振動による土壓の振幅がその後の同一震度の振幅に比し著しく大である. 振り初めには砂のゆり込みの影響の爲壓力の變化が大となるがその後は落付いて一定の狀態になる爲と思ふ. 壓力は第2回の振動以後は殆ど一定となる. 依つて今第1回の振幅を次第に大にする振動時に於ける壓力と, 第2回目の同じ時の壓力の最大最小の値を各高さの壁面に 圖-6 以下に示した.

之に依れば地震時に增加する力は砂の表面附近で大であつて底に至るに從ひ稍々小となる. 今此等を土壓係數に換算して圖の右に示した. 之は最大壓力 p を wh にて除した値である. 玆に h は砂の表面よりの深さである.

各震度毎の最大壓力の變化及びその重心の位置は圖-6 以下の右に示した通りである．重心の高さは全體の壓力及靜止土壓を差引いた增加壓力のみの場合との兩者に就て算定した．簡單の爲一つの壓力測點を中心として，その隣の測點の中央までは同じ壓力分布狀態にあるものと假定して計算した．

之によれば全體の重心即ち各震度に於ける最大壓力の合力の高さ（$1-h/H$）は靜止の狀態では 0.4 より小であるが，震度の增大に伴ひ次第に大となる．增加壓力のみの重心の位置は第 1 回と第 2 回との間に著しい差があるが何れの場合も 0.5 より大である．

圖-3　固定支點による $H=40$ cm 試驗結果

壓力の變化及び壁の變位，左圖は試驗 A-1 の結果で $h=32.5$ cm 及び 5.9 cm（下，上）の組合はせ，右圖は A-2 及び A-3 の 2 回の結果で $h=32.5$ cm 及び 17.35 cm（下，中）の組合せ．左圖上には振動試驗中に於ける函に對する壁の變位をの振幅を $h=17.35$ cm で測定した結果を示した．

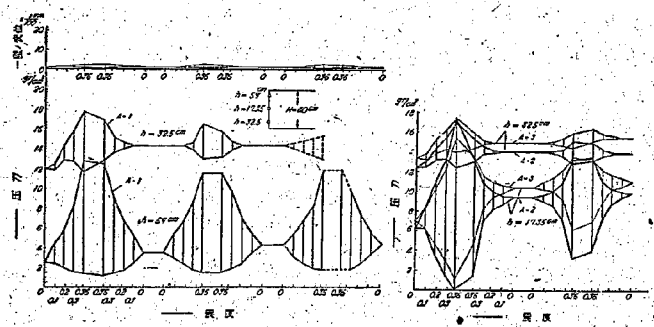


圖-4　固定支點 $H=30$ cm

壁の變位測點の上，中，下は壓力測定と同じ高さである．

試驗 A-1 及び B-2

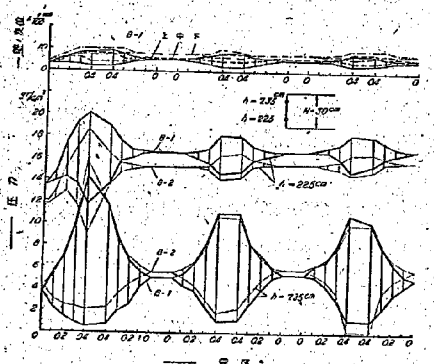


圖-5　固定支點 $H=15$ cm

試驗 C-1 及び C-2

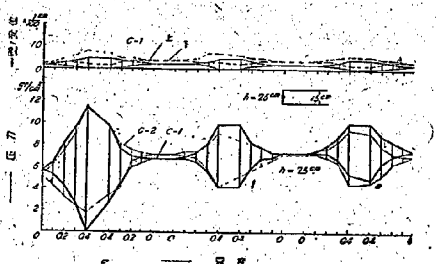


圖-6 壓力の分布狀態，固定支點，$H=40$ cm，第1回最初の振動の場合
左圖は高さに依る壓力の變化；●○等は震度 $k=0$, 0.1 等の測測値を示す．右圖は觀測平均値 p を土壓係數 $C_h(=p/wh)$ に換算した値を示す．同圖右下太線は壓力の重心の高さを示す．細線は $k=0$ よりの增加壓力のみに就ての重心の位置．試驗 A-1 乃至 A-3

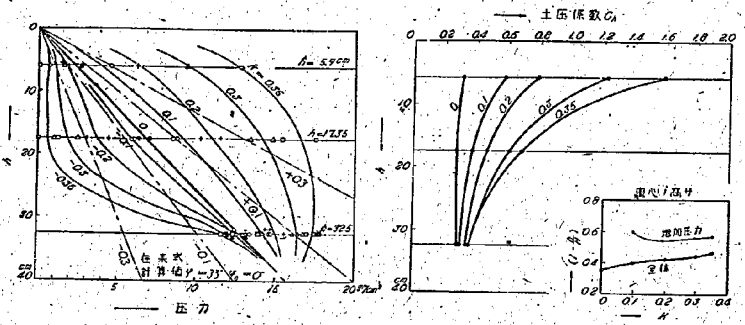


圖-7 同上第2回目の振動

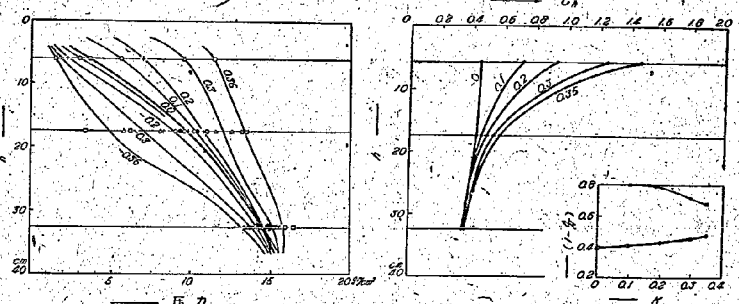


圖-8 固定支點 $H=30$ cm の第1回最初の振動
試驗 B-1 及び B-2

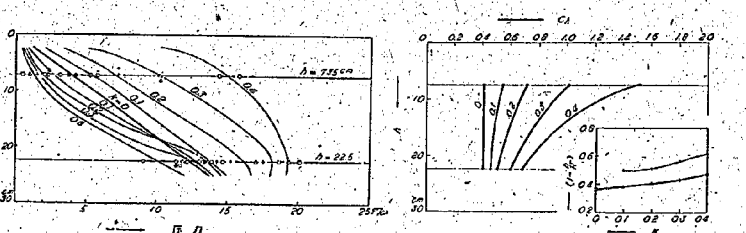


圖-9 同上第2回目の振動

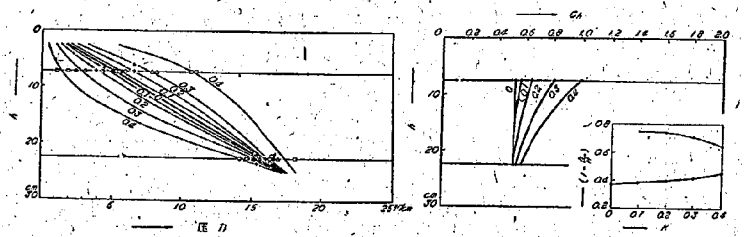
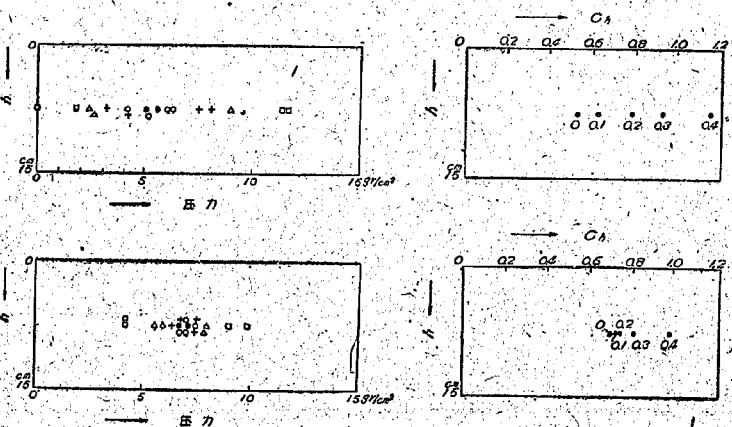


圖-10 固定支點 $H=15$ cm の試驗結果

上は第1回最初の振動，下は第2回目の振動．試驗 C-1 及び C-2



彈性支點による試驗結果、彈性支點の場合は圖-11に示す如く反復した結果が同一のものを得られなかつた．之は振動1回毎に支點の狀態從つて砂の狀態が異つて來る爲と思ふ．依つて數回反復した平均値を圖-12, 13 に示した．之に依れば固定支點の場合に比し力の重心の位置が低い．上の支點が動く爲壁上方に作用する力に比し下方に作用する力が大になる爲と思ふ．固定支點の時に比し增加壓力が上の支點では稍々小，下の支點で稍々大になり，從つて重心が稍々下つて來る程度の相違であつて，根本的な違ひは生じない．土木試驗所報告22號に於て彈性支點では增加水平力の重心の高さ h_c/H が固定支點の場合よりも小となつてゐる事と一致する．

表-3 壁の靜止位置の變位

砂詰めの直前の位置を0とする（單位 1/100 mm）

測點 ＼ 試驗番號		A'-1	A'-2	A'-3	A'-5	A'-6
$h=5.0$	1. 砂詰め直後	12	12	12	14	14.5
	2. 第1回振動後	19	21	17	20	22
$h=17.35$	1.	9	11	10	14.5	13
	2.	15	21	15	22	22
$h=32.5$	1.	7	7	7	5	5
	2.	13	17	10	11.5	11

圖-11 彈性支點 $H=40$ cm 壓力變化及び壁の變位
壁は下端固定，上端を彈性支點にて支へたもの．試驗 A'-1 乃至 A'-6 の結果

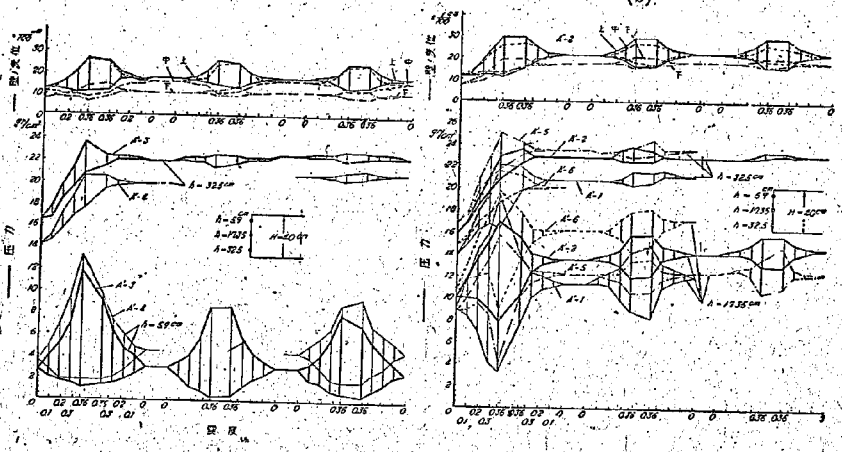


圖-12 壓力の分布狀態，彈性支點 $H=40$ cm 第1回目の振動
A'-1 乃至 A'-6

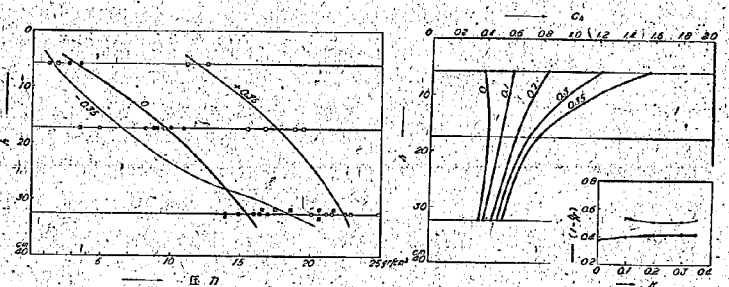
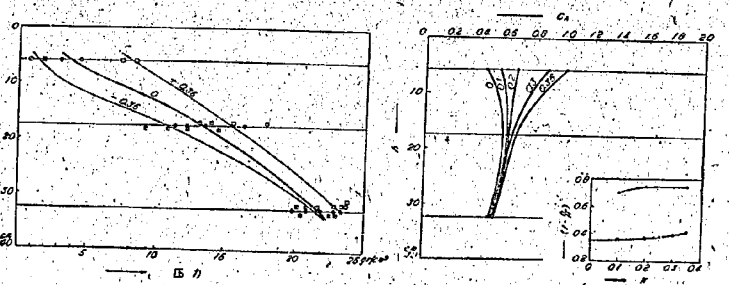


圖-13 同上第2回目の振動



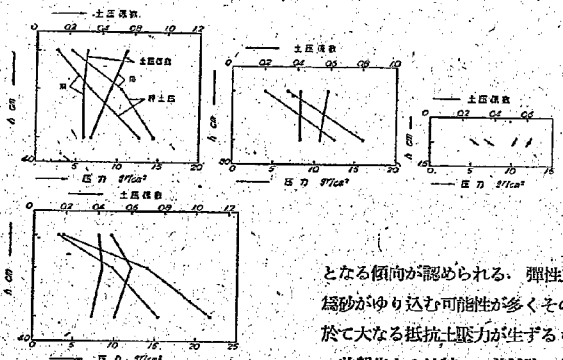
壁の水平方向の振動中の變位は圖-11の上方に示した通りである。靜止時に於ける變位は初めの砂詰め以前の壁の位置を0とすれば，各高さに於て表-3の通りである．第1回振動以後に於ては著しい變化はない．

之に依れば砂詰めにより壁上方は稍ゝ前方に倒れる，振動後に於てはその儘平行に前方に移動する傾向が認められる．

靜止土壓力(靜土壓)の增大　靜かに砂を滿した後と振動を與へた後とでは靜土壓が異る．各支點の比等の平均値及び之を土壓係數に換算した値は圖-14に示す如く固定支點に於ては表面から約20 cmの深さに於て壓力の增し高が最大となる傾向が見える．しかし之を土壓係數に換算した値は表面近くに於て最大であつて深さと共に減少する．砂の深さ H=30 及び 15 cm の場合に最初の正土壓係數が大であるのは砂の詰め方及び壁の變位に關係するものと思ふ．壓力の增し高は H の小なるもの程小である．彈性支點に於ては增し高は深さと共に大となり土壓係數も h=20 cm 附近に於て最大となる傾向が認められる．彈性支點の場合には振動中の壁の變位の爲砂がゆり込む可能性が多くその爲に固定支點の時よりも深い處に於て大なる抵抗土壓力が生ずるものと思ふ．

圖-14　靜土壓の增加

各圖共左の細線は振動前，右は振動後の壓力．太線は之を土壓係數に換算した値．上の3圖は固定支點の砂の深さ 40，30 及び 15 cm の場合，下圖は彈性支點の砂の深さ 40 cm の場合．40 cm の場合は h=0.35，その他は h=0.40 の振動後．



前報告との比較　前試驗に於ては壁に作用する全壓力を測定し，本試驗に於ては壓力の强さを直接測定した爲，兩者の比較は困難であるが本報告に於ける壓力の强さが同じ深さに於ては壁の幅全體に對し同一であると假定し，3つ宛の測點との中央點の高さに一樣にこの壓力が作用するものと考へて壁に作用する全土壓力を算定し，之を土壓係數に換算した値及び之から計算した合力の高さと前報告の全壓力を土壓係數に換算した値及び兩支點から算出した合力の高さとを比較する．兩者では壁の變位及び壓力計の變位が同一でない爲同じ結果を期待する事は出來ないが測定された壓力に就て各固定及び彈性支點の場合に區別して比較を試みる．

正土壓　靜に砂を滿した場合及び振動試驗を行つた後の土壓係數は固定支點の時表-4の通りである．

即ち固定支點では兩者土壓係數の測定値が殆ど同じであるが，彈性支點は變位の狀態が異る爲，下表の如く異

表-4　靜　土　壓

		砂詰め直後		振動後	
固定支點 H=40 cm	前報告[1]	C_h 0.276	h_c/H 0.397	C_h 0.362	h_c/H 0.294
	本報告	0.289	0.360	0.367	0.385
彈性支點 H=30 cm	前報告[1]	0.249	0.357	0.346	0.374
	本報告	0.370	0.374	0.515	0.370

1)　土木試驗所報告 22 號 18 頁參照（各圖の平均値を示した）

つた値を得た事と思ふ. 重心の位置は振動後に於ては著しく異つて山たが, 之は振動中の壁の狀態の僅かの變位の相違によつて生ずる爲と思ふ.

振動初期の壓力變化 即ち振動中の最大壓力と振動前の靜土壓との差を上記と同樣土壓係數に換算して比較すれば表-5の通りである. 振動中の壁の變位は一般に前報告のものの方が大であると推定さるるに拘らず, 割合に近似的の値を得てゐるのは振動の初期に於ては粘體の變位が割合に自由であつて壁の變位の影響が少ないからであると思ふ. 尙振動の周期は兩者殆ど同じである.

表-5 振動中の最大壓力と振動前の靜土壓との差—土壓係數 (振動初期)

		$k=0.1$	$k=0.2$	$k=0.3$
固定支點 ($H=30$ cm)	前報告[2]	0.087	0.201	0.308
	本報告	0.066	0.175	0.300
彈性支點	前報告[2] ($H=30$ cm)	0.085	0.180	0.285
	本報告 ($H=40$ cm)	0.070	0.160	0.250

安定狀態に達した後の壓力變化 前報告に於ては安定狀態の試驗を行ふ場合には稍々最大 $k=0.3$ に相當する振動を約4分間與へた後に觀測を行つたのであるが本報告に於ては $k=0.35\sim0.4$ の振動を約30秒宛2回與へた後の値である.

表-6 振動中の最大壓力と振動前の靜土壓との差—土壓係數 (安定後)

		$k=0.1$	$k=0.2$	$k=0.3$
固定支點 $H=40$ cm	前報告[3]	0.032	0.090	0.172
	本報告	0.025	0.048	0.105
固定支點 $H=30$ cm	前報告[4]	0.040	0.075	0.200
	本報告	0.010	0.030	0.070
彈性支點 $H=40$ cm	前報告[5] (上彈性支點 下固定)	0.020	0.056	0.130
	前報告[6] (上下とも彈性支點)	0.013	0.040	0.098
	本報告	—	0.021	0.050

之に對し振動中の壁の變位の振幅 ε 及增加壓力の重心の位置 h_c/H は $k=0.3$ に於て次表の通りである.

		ε	h_c/H
固定支點 $H=30$ cm	前報告	0.04 mm	0.453
	本報告	0.08	0.650
彈性支點 $H=40$ cm	前報告	0.12~0.40	0.223
	本報告	0.20	0.450

之等によれば前報告との間に相當の差が認められる. その中 h_c/H は前報告の實驗は之を正確に測定するには不適當と思はれる裝置であつたから本報告の方が正しいと思ふ. 表-6 の土壓係數が異つて測定された原因に就いて考へる. 先づ固定支點 $H=30$

2) 土木試驗所報告 23~30 頁 試驗 No. 43, 44, 45 (固定支點) 及び試驗 No. 41, 42, 50 及び 46 (彈性支點) 平均値
3) 同上報告頁 33 試驗 No. 1, 2, 3 平均
4) 〃 頁 33~34 試驗 No. 4 及び 5 平均
5) 〃 頁 34~35 試驗 No. 7~12 平均
6) 〃 頁 36~38 及び 24 試驗 No. 14~26 及び No. 41, 42 平均

cmは前報告は深さ 40cm の上層 30cm の壓力を測定したものであるが本報告は底面よりの深さが 30cm である爲特に著しい差を生じた事と思ふ．その他の土壓係數の相違に就ては本報告のものでは壁面の一部に膜を設けた爲周圍の壁面に對し上記測定の範圍では最大 2/100 mm 程度の歪を生じこの附近だけ壓力の分布狀態が異る事を考へ得る．テルザギー氏の靜止狀態による試驗報告[7] によれば壁の變位が壓力に及ぼす影響は密裝砂に於ては輕裝砂よりも大であるが靜止壓力に於ては 2/100mm 程度の變位では土壓係數の變化は最大 14% 程度である．然し振動中の狀態に於ては僅かの壁の特に局部的の歪によつて著しく壓力に差を生ずる事は考へ得る處である．又砂が安定した狀態に於ては膜面の歪の影響が振動初めの不安定の時よりも大である事も當然考へ得られる．今迄の試驗では之を充分に說明するに至つてゐないが壓力の分布狀態に關しては本報告の結果が正しいと思ふ．

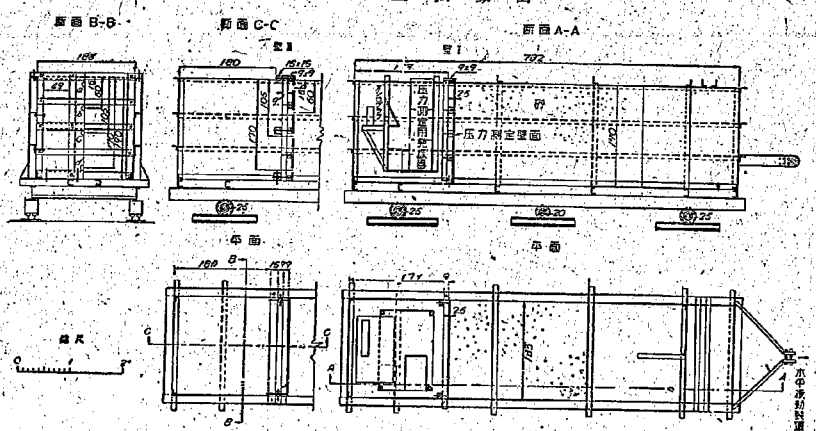
III 大型振動函試驗

〔1〕 試驗の裝置及び方法

振動函　圖-15 に示す如き寸法を有する函であつて內法高さ 1.9 m，幅 1.83 m，長さ 7.32 m の中一方の端から約 1.90 m の箇所に隔壁を設け，之に作用する壓力を測定した．函は鋼鈑及び形鋼より成り，空の狀態にて重量約 8 t，試驗の狀態では約 29 t である．函全體が水平軌條の上に置いたローラーの上にあつて，之に 30 HP 捲揚機を使用して水平振動を與へる．圖-16 の如く捲揚機によつて圓錐胴に強め捲めつけたワイヤーを捲き取り，之によつて圓錐胴の一端にある偏心軸に回轉を與へ，之に取付けたクランク軸により振動函に水平振動を與へる．圓錐胴を用ひた場合には振動中周期が次第に大となる．然し必要の場合には圓錐胴に加工して圓筒胴となし回轉初めより終りまで常に一樣な振動を與へるやうにする．かくして周期は約 0.9 秒及び 1.8 秒の一樣の振動及び 1.8~0.9 秒の間次第に變化する振動を與へ得る．振幅は各振動中は略一樣であり，本試驗に於ては r=13, 19, 25.3 及び 31 mm のものを用ひた．圖-17 は函の振動狀態を記錄したものである（振幅 27.0 mm，周期 1.40~1.23 秒）．

壓力測定壁面及び壓力測定裝置　圖-15 に示す如く壓力測定壁面は函の幅一杯に張つた米松板厚さ 2.5 cm，

圖-15 大型振動函



7) Engineering News Record Feb. 1, 1934. 以下

幅 30 cm のものを縦に用ひたもので幅の中央に函天端より深さ 15, 60, 105 及び 170 cm に 4 箇所 (順次測點 a, b, c, d と稱へる) 壓力測定用受壓器を取付け得るやうにした. 土と接する面に於ては測定壁と平らになるやうにした.

壓力測定受壓器は小型試驗に用ひたものと同一であつて受壓部分の直徑 6.8cm を有する. 同時には 3 個を用ひ得るのみであつたから反復して各深さの壓力を比較する事とした.

試驗方法 小型試驗に於けると同一の砂を用ひた. 即ち平均粒徑 0.225 mm を有する乾燥砂である. 測定結果は砂の詰め方に影響される事大であるから常に一樣な狀態を得る樣に心掛けた. 即ち函の天端に幅約 30 cm の足場板 3 枚を間隙約 5 cm をあけて渡き並べ, スコップにてこの板の上に砂を載せ, 間隙から落ちて函中に入るやうにした. この詰め方による砂の單位容積重量は 1.4 kg/l であつた. 深さ 190 cm の試驗を行ふ場合は砂詰めに要する時間は約 4 時間である. 各試驗毎に砂は大部分函から取り出し入換を行ふ. 試驗中砂が沈定した場合には壁の前面附近の沈下した高さだけは靜に之を補充した.

圖-16 振動裝置及び振動函

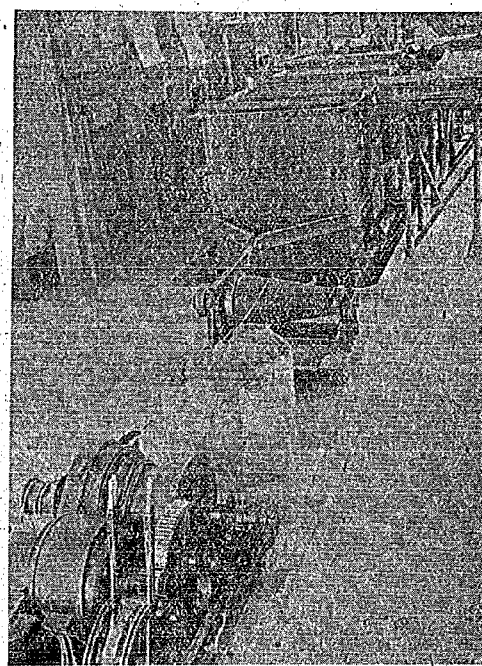
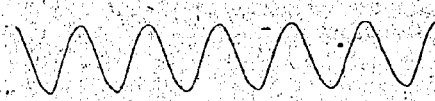


圖-17 振 動 記 錄



試驗の順序は豫め受壓器の感度を調整した後測定點に取付ける. 4 個の中 1 個は受壓器と同徑の鐵板を壁面と平らになる樣にねじ込む. その後靜かに上記の方法により砂を滿す. 終つて受壓器の電氣容量を讀む事により之に働く正土壓を讀みとる. 次に函に水平振動を與へる. 普通 1 回の振動時間は約 30 秒, この振動中はオッシログラフにより感光紙に壓力を記錄する. 第一回の振動を終つた後の靜かな狀態に於て更に靜土壓を讀みとる. 普通これを 3 回反復する. 振動試驗を終つた後, 受壓器を取外し, 水壓による檢定裝置に取付け受壓器の檢定を行ふ. 即ち壓力と電氣容量との關係を明にするのである. 長い時間の間には之は變化するから試驗毎に必ず檢定を行つた.

壁の歪は 1/100 mm 讀みツァイスダイヤルゲージに依り測定したが, 取付に困難を感じ之は充分正確を期する事が出來なかつた.

〔2〕 **試驗の種類及び結果**

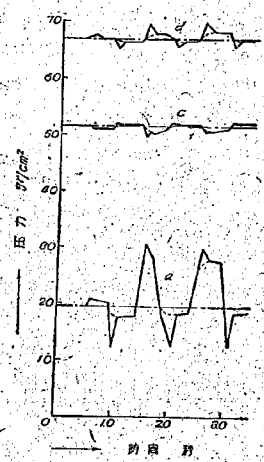
試驗の種類 表-7 に示す通りであるが之を總括すれば次の通りである.

E-1～10	砂の深さは 190 cm	周期 0.9 秒,	振幅 r=31 及び 19 mm
12～15	145	〃	r=19 mm
16～18	100	〃	〃
19～22	35.2	〃	〃
F-1～4	190	周期 1.8 秒,	振幅 r=25.3 mm
G-1～4	〃	周期 1.45～0.94 秒,	振幅 r=27～31.5 mm
H-1～6	〃	〃	〃

測定壁面は E～G は常に圖-15 斷面 A-A に示した壁 I であり H は斷面 C-C に示した壁 II である. 壁 II は I を更に補强したものである.

E-1～6 に於ては砂を填充した後十分に振動を與へ砂が沈定した後の狀態のみに就て測定を行つたのであるが E-7 以後に於ては靜に砂を填充した後の振動の初めから壓力を記錄した. 砂詰め直後約 30 秒間振動を與へて靜止せしめるその一群の連續振動を「第1回の(連續)振動」その次に砂はその儘にして同樣の振動を與へたものを「第2回(連續)振動」と呼ぶ事とする.

圖-18　振動中の壓力の記錄



裝置の不完全な爲に振動中著しい衝擊があり, 之が壓力に影響を與へた. 主としてクランク軸の連結點のすり合はせ不完全が直接の原因ではあるが, 全體として原動裝置が振動函に比べて小である事も大きな原因である. 圖-17 は函の振動の記錄である. 波の形が正弦曲線より多少歪んでゐる外に著しい事は認められない. 然るに壁面に於ける壓力の記錄には衝擊が著しく出てゐる.

(寫眞-2, 3 參照). 圖-18 は寫眞記錄を壓力に換算して畫いたものである. 加速度計 (自己周期 0.1 秒) によつて函の振動を記錄せしめた處各回の連續振動の初めには特に著しい衝擊が認められ尙振動中常に不規則な加速度を示してゐた.

函が單弦運動をしてゐる時は壓力變化も滑らかな曲線であるべき筈であるから 圖-18 から函の單弦運動に相當する壓力變化を破線で連ねた如く推定して之とその時の單弦運動による加速度とを比較した. 勿論衝擊による影響を記錄から圖の如く勝手に除く事は極めて亂暴な取扱ひ方で實驗的には許され難い事であるが, この裝置を急に改造する事は時局柄出來難いので已むを得ずかゝる方法を採つた.

試驗は初めに壁 I に於て砂の沈定後の狀態に於て, 砂の深さを變へた場合及び加速度を變へた場合に就て行ひ, 次に一回の連續振動中次第に周期を小にした場合に於て試驗し, 次に壁の影響を見る爲に I よりも更に剛なる壁 II に就て次第に周期を小にした場合に就て試驗したのである.

振動中に時々壁の變位を測定した. 函の側壁天端から 8″山形鋼の腕木を水平に函の長さの方向に幅の中央に出し, 之の壓力測定壁前面と函の內側底面間とを同じ寸法の山形鋼で繋ぎ, 之で上端を支へた鉛直の柱に取付けたダイヤルゲージによつて壁の振動中の變位を觀測した. 柱の下端は函底面で支へた. 振動中肉眼でよみとつた爲に 2/100 mm 程度の誤差があり得る外に, 前述の衝擊によつて瞬間的に針が振れる場合その最大を採つたから, 之は大體の見當を示すに止まる. 表-8 の値は何れも砂が沈定した後に於ける値であるが觀測の場合によつて異るからその範圍を記した.

試驗の結果　圖-19 は震度 k (衝擊のない單弦運動としての水平震度, 以下 k は常に之を表はす) =0.16 の

表-7 大型試驗の種類

實驗番號	砂の深さ (cm)	壁	測點 +−は振動中の壓力の正負 ( )内は第1回振動中の壓力の正負 ○印は正負不明 a	b	c	d	振動周期 (秒)	振幅 r (mm)	最大震度 單弦運動としての計算値 [及び測定による値]	記錄
E-1	190	I	○		○	○0.2)	0.9	31	0.16 [0.3~0.35]	準備試驗
2	〃	〃	○		○	○0.2)	〃	〃	〃	〃
3	〃	〃	+		−	+0.2)	〃	〃	〃	振動第7回及び9回に記錄をとる
4	〃	〃	+	○	−0.2)		〃	〃	〃	第5, 7, 8回記錄
5	〃	〃	+	○	−0.2)		〃	〃	〃	第4及び6回
6	〃	〃	+	−	−0.2)		〃	19及び 31	0.09 [0.15~0.20] 0.16 [0.3~0.35]	第2及び4回 第5, 7, 9回
7	〃	〃		−	−	+0.2)	〃	19	0.09 [0.15~0.20]	第1, 5, 6回
8	〃	〃		(+ −	− ○	+0.2) +	〃	〃	〃	第1, 2, 4, 5回
9	〃	〃	(+ +	+ −	+0.2) −		〃	〃	〃	第1, 2, 3回
10	〃	〃	(+ +	+ −	+0.2) ○		〃	〃	〃	第1, 2, 3回
11	22	〃	+	+	+0.2)	+0.2)	〃	〃	〃	
12	145	〃		(+ +	+ −	+0.2) +	〃	〃	〃	第1, 2, 3回
13	〃	〃			〃		〃	〃	〃	〃
14	〃	〃			〃		〃	〃	〃	〃
15	〃	〃			〃		〃	〃	〃	〃
16	100	〃			+	+	〃	〃	〃	第1, 2, 3回
17	〃	〃			(+ +	+) −	〃	〃	〃	〃 (壁の變位測定)
18	〃	〃			+	+	〃	〃	〃	〃 (この試驗の後強の狀態にて振動して記錄をとる, 變位測定)
19	35.2	〃				+	〃	〃	〃	第1, 2, 3回
20	〃	〃				+	〃	〃	〃	〃
21	〃	〃				+	〃	〃	〃	〃
22	〃	〃				+	〃	〃	〃	〃
F-1	190	〃	+	○	+0.2)		1.8	25.3	0.031 [0.08~0.10]	〃
2	〃	〃	+	+		+0.2)	〃	〃	〃	〃
3	〃	〃	+	+		+0.2)	〃	〃	〃	〃
4	〃	〃	+	+	+0.2)		〃	〃	〃	〃
G-1	〃	〃	+	+		+0.2)	1.45~0.94	27~31.5	0.05~0.15[0.1~0.3]	〃
2	〃	〃	+	+	+0.2)		〃	〃	〃	第1, 2, 3, 4回
3	〃	〃	+	−		+0.2)	〃	〃	〃	〃
G-4	〃	I	+	+	+0.2)		1.45~0.94	27~31.5	0.05~0.15[0.1~0.3]	第1, 2, 3, 5, 6回
H-1	〃	II	+0.2)		+	+	〃	〃	〃	第1, 2, 3回
2	〃	〃	+	+	+0.2)		〃	〃	〃	〃
3	〃	〃	+	+	+0.2)		〃	〃	〃	第1, 2, 3, 4回
4	〃	〃		+	+	+0.2)	〃	〃	〃	第1, 2, 3回
5	〃	〃		+	+	+0.2)	〃	〃	〃	〃
6	〃	〃	+		+	+0.2)	〃	〃	〃	〃

0.2) は受壓器膜面厚さ 0.2 mm のものを使用した場合, 他はすべて 0.1 mm のもの使用

表-8 振動中の壁の歪の振幅 (単位 mm)

試驗	震度 (單振運動としての)	測點 a	測點 b	測點 c	測點 d	備考
E_0～E_{10}	k=0.094	0.2～0.4 mm	0.1～0.27 mm	0.05～0.07 mm		壁の狀態から砂を滿した時の壁の變位は壁 II にて測定の結果は a, 0.49 mm b, 1.10 c, 1.30 d, 0.85 であつた.
F	0.03	0.10	0.075	0.03	0.02	
G(壁 I)	0.05	0.12～0.14	0.07～0.10	0.04～0.07	0.01	
〃	0.10	0.30～0.35	0.18～0.60	0.12～0.15	0.015	
〃	0.15	1.00	0.60～0.70	0.37～0.40	0.01	
H(壁 II)	0.05	0.12～0.15	0.06～0.08	0.06～0.08	0.02	
〃	0.10	0.25～0.28	0.10～0.16	0.10～0.15	0.03～0.06	
〃	0.15	0.32～0.40	0.32～0.40	0.30～0.35	0.06～0.10	

場合で土砂沈定後の壓力の波の振幅である. 圖の右にある＋－の記入は函の加速度が測定壁から函の內側に向ふ方向に最大の場合に壓力が平均より大なる場合を＋とし反對の場合を－とした. 圖-19 に於て測點 a, b, d は c に對して符號が反對である. 之に就て試驗 F 及び H 等にて認めた結果, 壁の歪が原因の樣に思はれる. F 及び H の如く壁の歪が小である時には全部が ＋ に出るからである. 振動中の內部土壓力の變化よりも壁の變位による影響が大なる場合には － となり, 然らざる場合は ＋ となる. c が前者 a, b 及び d は後者である. a b の變位が割合に大であるに拘らず ＋ であるのは表面附近では振動中の土壓力の變化が大である爲と思ふ.

圖-19 試驗結果 E-3 及び 4

黑丸は砂入直後の正土壓, 橫に細長い矩形は壓力の振幅, 白丸はその振動の始まる直前の靜土壓, 同一試驗の値を同じ水平線上に記入した. 同じ水平線上に相當する値が記入されてゐないものは測定値を得られなかつたものである. 振動 r=31 mm T=0.9 秒

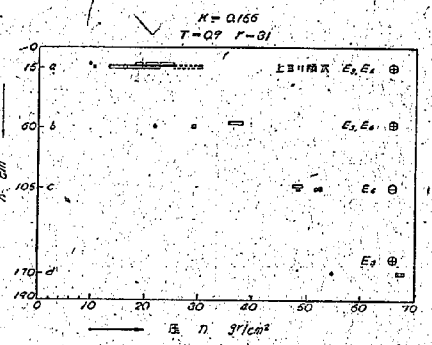


圖-20 は何れも k=0.09 に相當する振動であつて圖-19 に比し振幅が小なる場合であるが, 深さ H が 190, 145, 100 及び 35 cm の場合を比較するに, 表面から同じ深さ特に 15 cm では略ゝ同じ壓力の振幅を示してゐる. H=35 cm の場合には稍ゝ小に出てゐるのは底面の影響と思ふ. 小型試驗では H=40 cm から砂の深さが次第に小になるに從つて表面から同じ深さの壓力の振幅が次第に小になつてゐる. これは深さが 40 cm 以上では底面の影響が表面附近にあらはれない樣になる爲と思ふ.

表-9 測點 a での壓力の全振幅 (E-F)

	振動の振幅 mm.	周期 秒	最大震度	壓力の波の全振幅 (平均) gr/cm²
E_3, E_4 (圖-19)	31	0.9	0.16	7.3
E_6～E_{10} (圖-20)	19	0.9	0.09	2.7
F_1～F_4 (圖-21)	25.3	1.8	0.03	0.5

圖-21 は試驗 F の結果で k=0.03 に相當する. 之は振動中の壓力變化は小であるが (寫眞-2 の最下の記錄參照) 各測點の壓力の正負は常に平行してゐる. 地表面から 15 cm の深さで砂の安定した狀態に於て壓力の振幅が震度によつて如何に變るかを H=190 cm のものに就て表-9 に示した. 即ち震度の增す割合よりも壓力の振幅の增す割合の方が大である.

圖-20 試驗結果 E-6~22
$r=19$, $T=0.9$

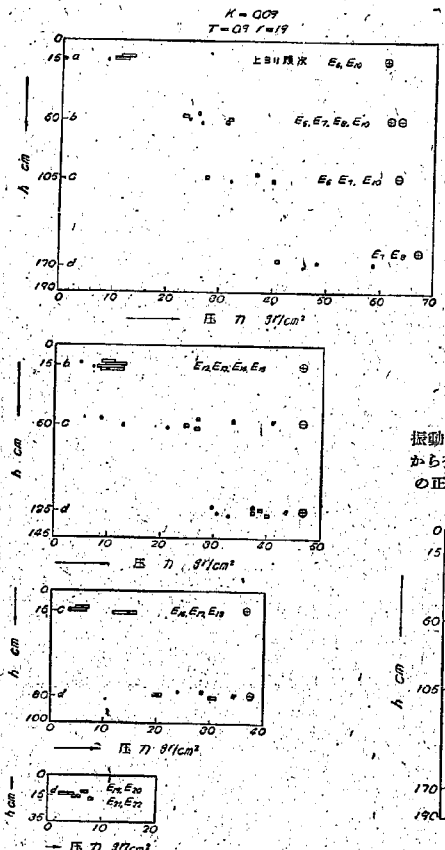
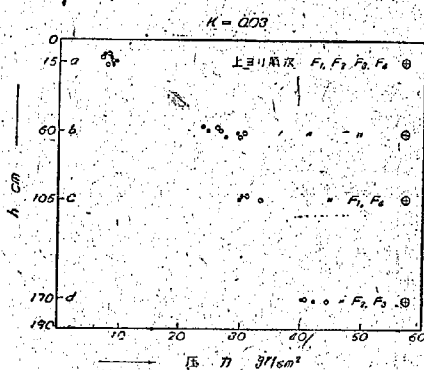


圖-22 及び 23 は壁 I 及び II による $H=190$ cm, r を一定にして $T=1.45\sim0.94$ 秒の間次第に變化する振動を與へた G 及び H の結果である. 圖には振動の周期と振幅から單弦運動として算出した震度 0.05, 0.10 及び 0.15 に相當する時の壓力の振幅を示した. 既に述べたやうに振動の衝撃による壓力は除いて整理したが尙且同一の試驗を反復した場合に結果が相當に異つて出るものが多かつた. 最初の砂の詰め方の相違のみではなく振動の初, 特に振動を止める時の狀態が著しく影響する樣に思はれた. 又振動中壓力が不規則に變化した場合には光が記錄紙から外れる事が多く,

圖-21 試驗結果 F
$r=25.3$, $T=1.8$

振動中の壓力の振幅は極めて小 (寫眞-2 參照) であるから振動後の靜土壓を白丸で示した. 黑丸は砂入直後の正土壓

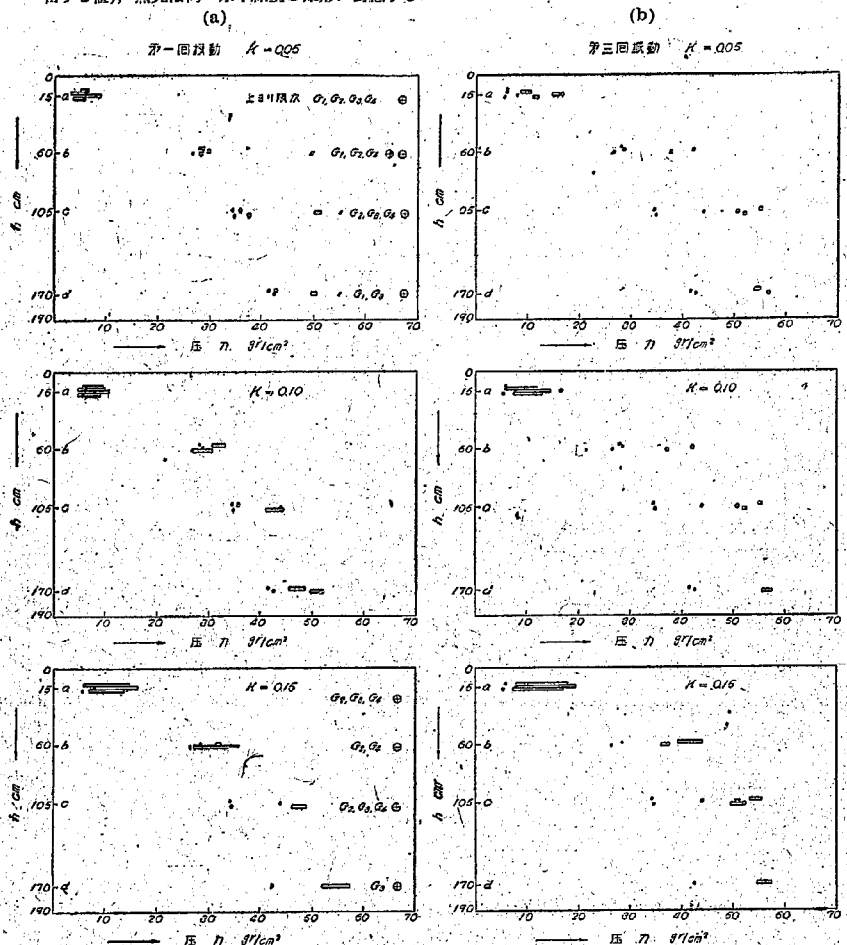


かかる場合は圖では壓力の振幅を示す水平の細長い矩形の一端が開いた儘になつてゐる. 振動を止める場合の衝撃の爲に光が記錄紙から外れた時には終りの靜土壓は測定出來なかつた. 試驗 G (圖-22) と H (圖-23) と著しく異る事は G に於ては測點 b に於て壓力の正負が他の測點と逆になる事があるが H に於ては常にすべてが平行である事である. 之は既に述べた如く壁の變位の影響であると思ふ. 一般に壓力の振幅は試驗 H に於ては G よりも大であつて, 壁の變位が著しく影響する事を示してゐる. G 及び H 共に大體に於て深さと共に振幅が減少する事[8] 震度が大なる時に壓力の振幅も大なる事は同樣である.

8) 試驗 H に於ては第1回振動の測點 b 及び c の壓力の振幅が a よりも大なる場合がある. 振動初めの砂の沈定の影響がこの深さにまで及ぶ爲と思ふ.

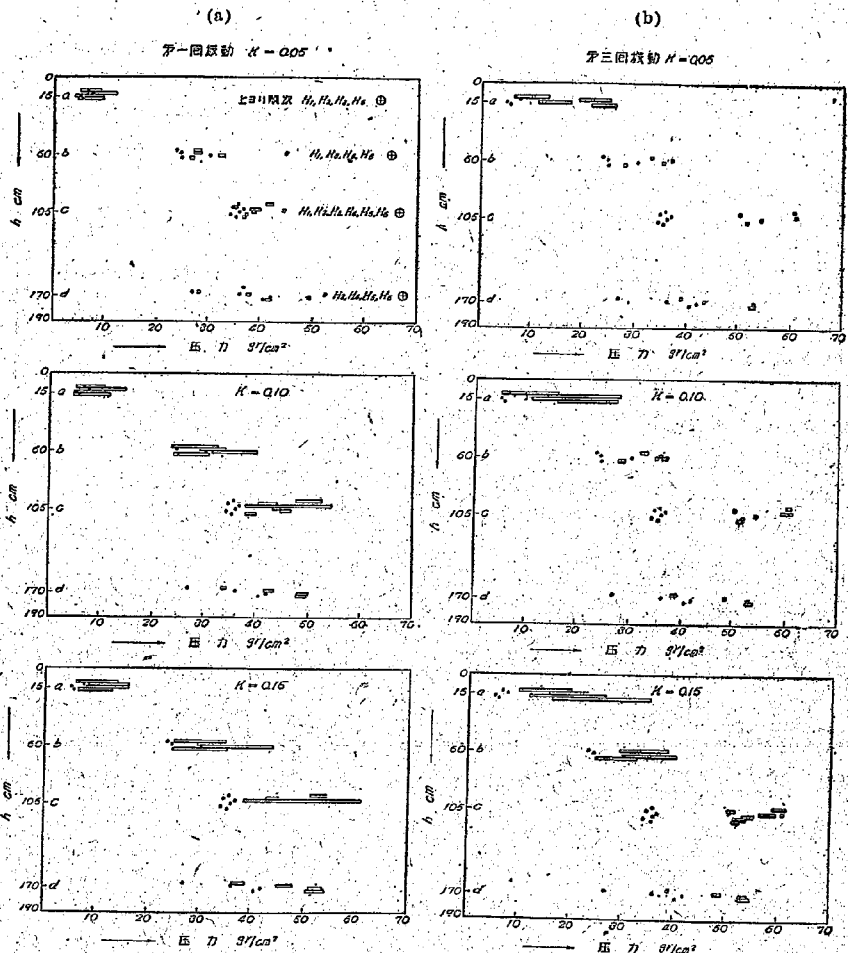
圖22. 試驗 G, 各加速度と壓力の振幅との關係

黒丸は振動前即砂入れ直後の正土壓，水平に長い矩形の長さが振動中の壓力の變化（面の單弦運動に相當する値），黒丸は同一水平線上の矩形に對應する．



第3回の振動に於ては第1回よりも一般に壓力の振幅が小である．但し表面に近い測點 a では却つて大であつて表-10に示す結果を示してゐる．表面の砂の沈下に伴ふて各回に新らしく砂を補充した事がその一原因であると思はれるが最も大きな原因は砂の沈定に伴つて函内の砂の振動狀態が異つて來る事によるものと思ふ．小型の $H=40$ cm の試驗でも第1回目と第2回目との壓力の振幅は深い部分に比し表面附近 A では餘り變らない．振動の初めには壁に接する全體の高さに亘つて砂の振動が起つてゐるが砂の沈定に伴つて深い部分の砂は殆ど動かなくなり表面に近い部分の砂だけが動く爲と思ふ．

圖-23 試 驗 H



G 及び H に於て表面から 15 cm の深さの測點 a に於ける壓力の變化は 表-10 の通りである.

表-10 の値を 表-9 に比較するに何れも前者が大である, 振動の狀態に原因するのではなく振動狀態の相違による御影の相違が影響を及ぼしてゐるやうに思ふ.

表-10 測點 a での壓力の全振幅 (G 及 H)

		$k=0.05$	$k=0.01$	$k=0.15$
G	第 1 回	2.5 gr/cm²	4.5 gr/cm²	8.4 gr/cm²
	第 3 回	1.5	5.8	10.2
H	第 1 回	4.0	7.0	7.5
	第 3 回	6.0	12.0	14.2

靜土壓の變化　振動後に函を靜止せしめた時の靜土壓力の大きさは振動前よりも一般に大である．特に第1回の振動に於ては震度が次第に大になると共に平均壓力も次第に增大する．

圖-24 は砂詰め直後の壓力であつて，所謂正土壓に相當すべきものである．小型試驗の場合には計算値とよく一致したがこの試驗では測點 c 及び d に於て著しく小である．之は深い場所程側壁の影響を受ける事が大である事の外に砂を詰める場合に函の上に置いた板の間隙から落し込んだ爲に底面附近では砂が割合に密實の狀態となり從つて φ の値が大となつた事，砂詰めの際の壁の變位がクーロム土壓論の假定とは異る事も大いに原因してゐると思ふ．卽ち砂を詰めた場合の壁の變位が 表-8 の備考欄に示した如く測點 c, b, d, a の順に次第に小となつてゐる．之は前記計算値の基をなすクーロム土壓論の假定とは異る變位である爲，壓力分布も計算とは異つて來たと思ふ．此の事は既に Terzaghi 氏等によつて唱められた處にである[9]．d に於ける測定値が著しく不整である事は底面の爲に壁の變位の影響が特に大である爲と思ふ．

圖-24　深さ 190 cm の場合の砂入直後の正土壓

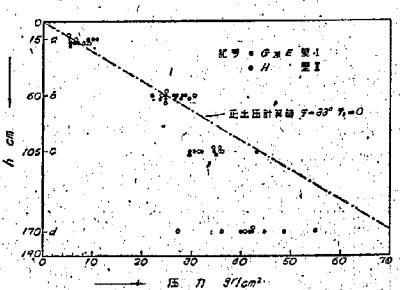
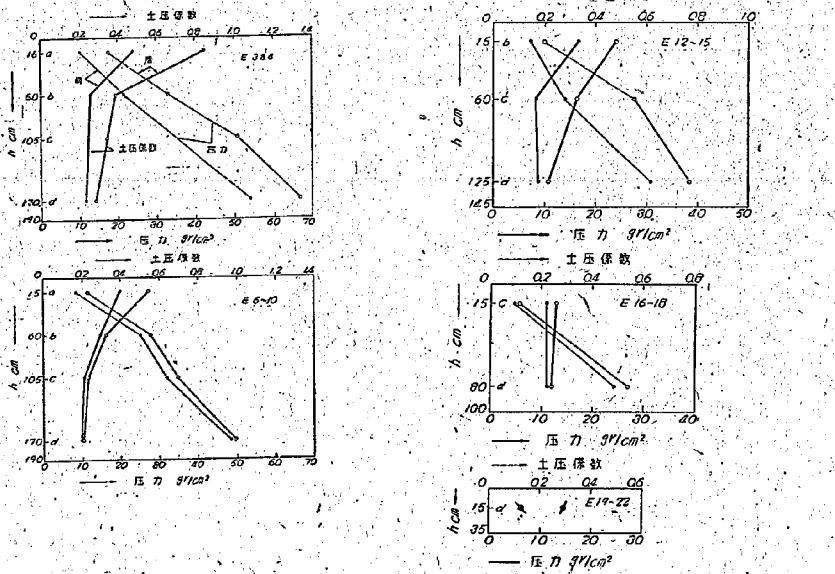


圖-25　振動による靜土壓の增加（試驗E）
震度は左圖上より順次 $k=0.33$, 0.18 右圖は何れも $k=0.18$

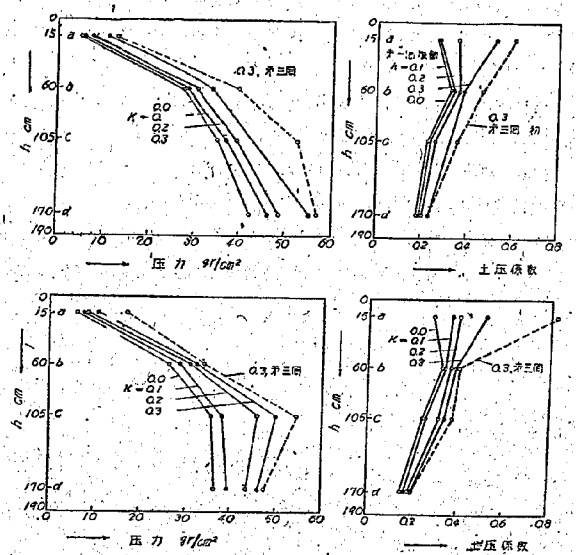


9) Large Scale Earth Pressure Pressure Tests. E. N. R., 1934

圖-25 は試驗 E の砂詰め直後の正土壓及び數回振動後の靜土壓,(平均値) と之等を土壓係數に換算した値とを示した. 振動後に於ては震度が大なる程靜土壓が大である事は明に認められる.

圖-26 は G 及び H に於ける第1回連續振動中の各震度に於ける平均土壓及び第3回振動の $k=0.3$ の平均土壓及び夫等を土壓係數に換算したものである. 何れも各測點で得た觀測値全體の平均である. 圖-25, 26 の場合の震度は測柱による値をとつた. 夫れは靜土壓の增加には單弦運動としての震度よりも衝撃の加はつた最大震度 (測柱による値) の方が大なる影響を與へると考へたからである. 測點 c の値が試驗 H に於ては G に比し大であるに反し d では G が大である. 壁の變位の影響と思ふ. 壁の變位が大なる時には深い所までゆり込みの影響が及ぶ爲であらう. 圖-14, 25 及 26 の結果によれば表面より約15 cm に於ける振動による靜土壓の土壓係數の增加は $k=0.4$ に於て平均 0.3 であり深い場所程この値が小となつてゐる.

圖-26 振動による平均土壓の增加 (試驗 G 及 H)
圖は上 G_1~G_4, 下圖は H_1~H_6 試驗の平均値. 但し測點 c に於ける G_3 のみは除いて整理した.



IV 結 言

以上の試驗に於て

1. 振動中の壓力の變化は壁面の變位の影響が大である事
2. 最大震度に達した刹那に於て振動中の最大の土壓力が大である事
3. 振動後に於ては前に於けるよりも大なる靜土壓力を示す事
4. 增加壓力の合力の作用點は高さの 1/3 よりも高い事

は前報告の結果と全く一致する.

又壁面全體に作用する土壓力に就て本報告の小型振動函による結果と前報告とを比較するに振動刹那に於て兩者割合に近似した値を得てゐる. しかして本試驗によつて前試驗で明らかでなかつた壓力の分布狀態が明にされた. 即ち增加壓力は振動刹那に於ては高さに割合に一樣に分布してゐるのが土砂の沈定と共に深い場所では次第に小となる事が明にされた.

大型試驗によつて振動函の深さの影響を考へるに, 砂表面附近の壓力の振幅は函の深さの增大と共に多少增大

する傾向は認められるが，1m 以上では函の深さの増大は表面附近の壓力振幅の増大を伴はない．即ち，夫以上では深さに無關係である．之は實際の岸壁等に作用する地震時土壓の算定に有力な指示を與へる事と思ふ．

しかし上記は乾燥した砂のみについて試驗した結果であり，大型函に於ける振動は不完全であつたから，之によつて得た土壓係數を直ちに實際の設計に用ふるのは尚早計であつて夫には更に種々の振動周期，土質就中水を含んだ土に就て試驗し，又理論的な研究と相俟つて決定しなければならぬ．しかし以上の結果によつて在來の地震時土壓計算法とは全然異る壓力分布を示す事は明言してよいと思ふ．偶々深さ $H=40$ cm の試驗に於ける增加壓力總量は在來計算式と略近似してゐる[10]爲前報告には誤つた判斷を下したのであつた．

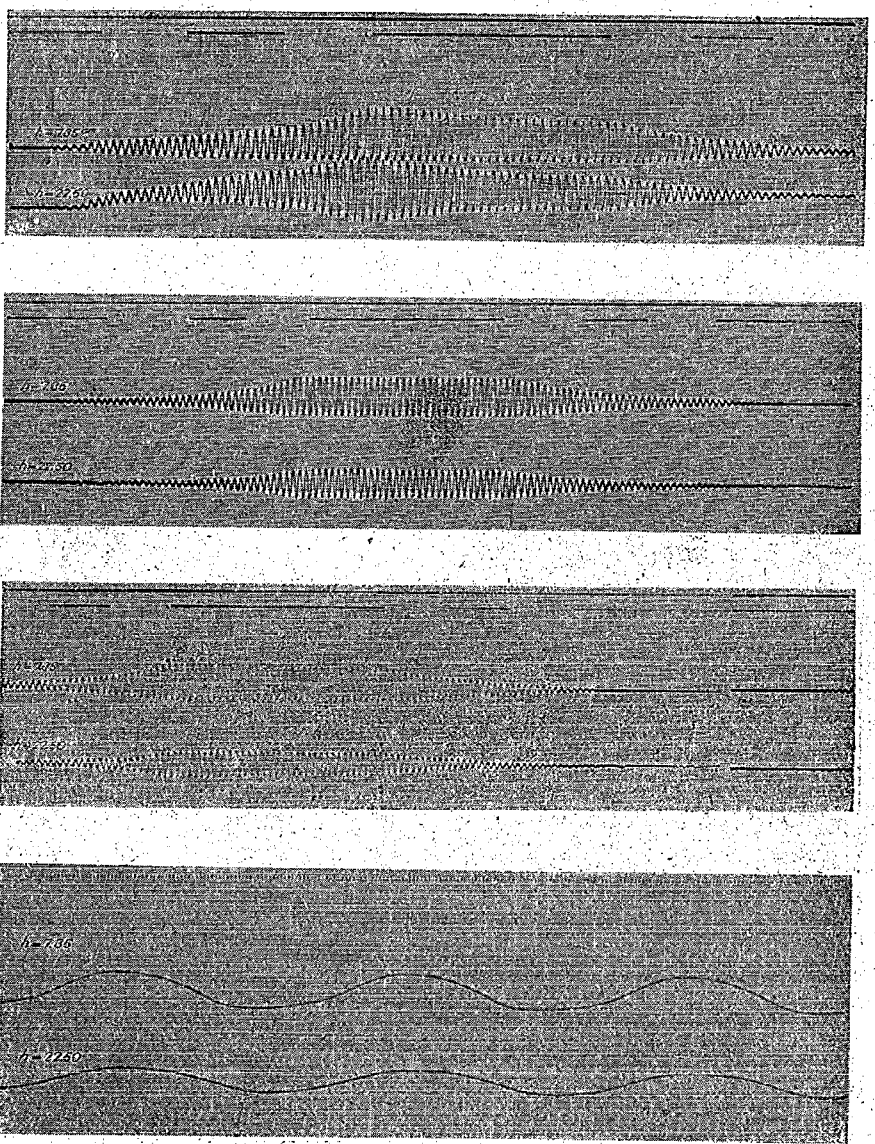
著者は地震時に增大する土壓は土砂沈定の影響を除けば壁の變位が一樣の場合には，表面に近い部分では相當の大きさを有するが，深い部分では小であるやうに思ふ．

附記　本試驗は當時の所員三森利夫君の努力に負ふ處が極めて多い．壓力測定裝置は所員細谷技手の工夫に成るものが多く，實驗助手として中山義人君が之に携つた．玆に厚く感謝の意を表する．

10) 前報告に於て當分の間近似的に前記計算法を採用して差支なしと結論したのはこの結果によつたのであるが大型試驗の結果之の誤りである事が明らかとなつたから玆に訂正する．

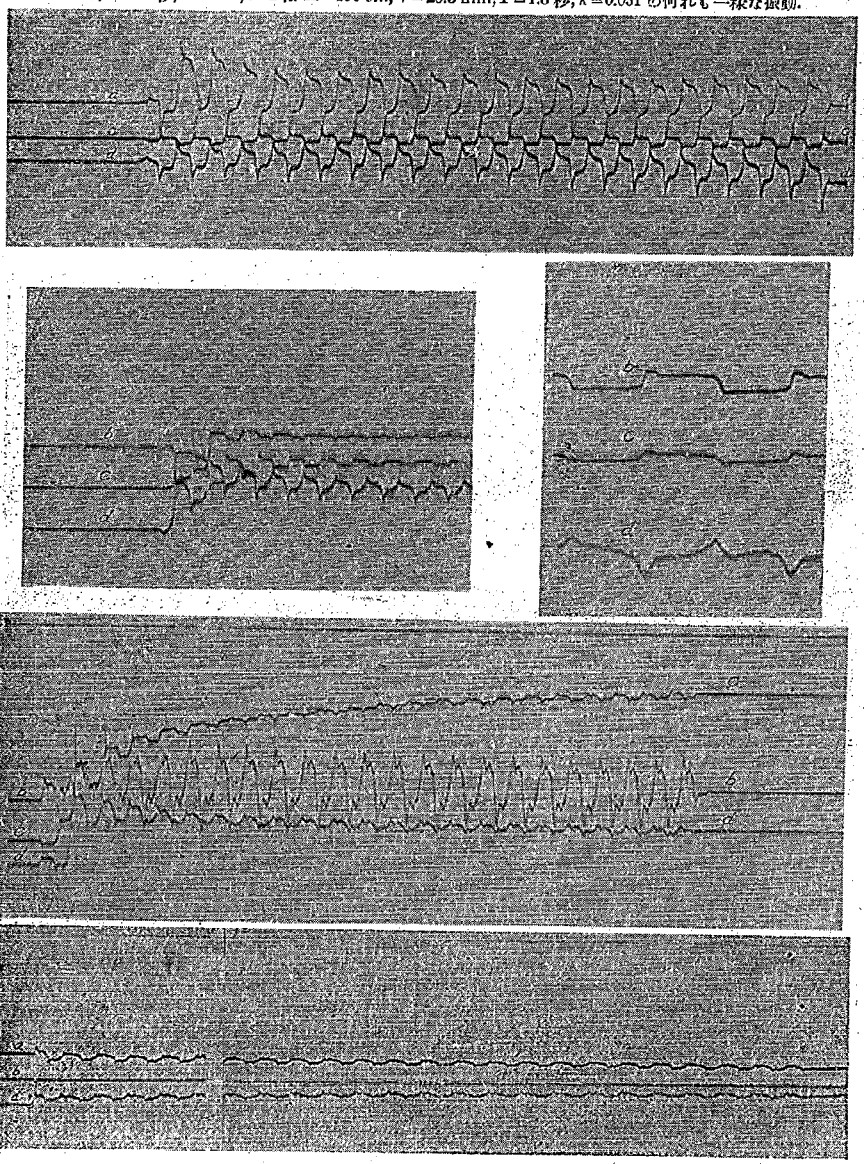
寫眞-1 小型振動臺試驗記錄

試驗 B-1 (表-2) により順次第1回, 第2回, 第3回及び第4回振動, 第 1, 2, 3 回は震度 0—0.4 (30秒)0.4—0 の約 1 分 30 秒間の記錄, 第4回目は震度 0.4 で短い時間の記錄である.



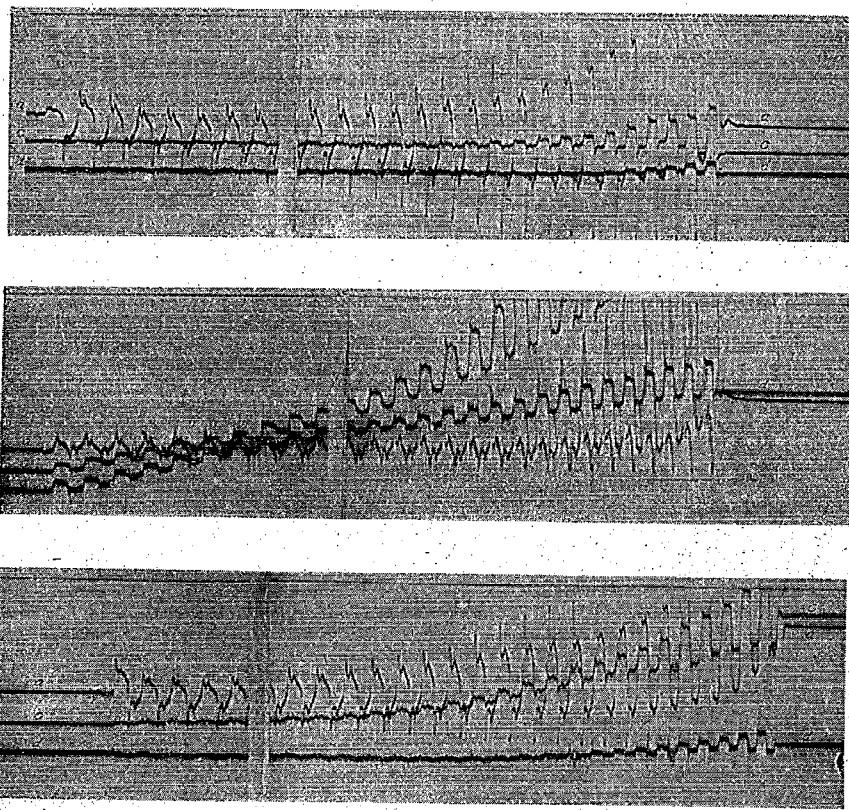
寫眞-2 大型振動函試驗記錄

上より順次 E-3, E-7 (左は振動の初め, 右は振動中の短い時間), E-12 及び F-2. (表-7), E-3 は H=190 cm, r=31 mm, T=0.9 秒, k=0.16; E-7 (H=190cm) 及び E-12 (H=145 cm) は r=19 mm, T=0.9 秒, k=0.09; F-2 は H=190 cm, r=25.3 mm, T=1.8 秒, k=0.031 の何れも一様な振動.



寫眞-3 大 型 試 驗

H-6, より順次第 1, 2, 3 回振動記錄



含砂率簡易測定法

内務技師　佐藤清一

要旨

河水の含砂率を，その透過する光線の量によつて測定せんとするものである．

北支濟河河床土 74 μ 以下につき，粒徑 $d=5\sim50\,\mu$，$d=50\sim74\,\mu$ の二種について次の如き特性曲線を求めた．

$$\mu=178.35\,e^{-\alpha p}$$

$d=5\sim50\,\mu$ ……$\alpha=2.475$

$d=50\sim74\,\mu$ ……$\alpha=1.418$

μ＝透過光線による光電流（マイクロ・アムペア）

p＝含砂率（重量百分率）

目次

I　本測定法の主旨……（1）
II　測定器の構造及び測定法……（2）
III　濟河河床土に對する特性曲線……（4）
〔1〕試　料……（4）
〔2〕測定値……（4）
〔3〕特性曲線……（6）
IV　結　語……（9）

I 本測定法の主旨

簡易といふ言葉が (1) 時間の經濟，(2) 方法の簡單，(3) 器具取扱の便利，(4) 費用の低廉を意味するならば，成可く之等の諸條件に合致せる點に考案したものが本測定法である．

一般に含砂量を測定するには土砂を含有した採取試料の重量，體積を測定し，後之を絶對乾燥して土砂の重量を測定するものであるが，此の方法では土砂の沈澱を待ち又之を乾燥するのにかなりの長時間を要し，而も試料が多數ある場合には之等に對する容器設備が同時に多數必要となり，取扱上にもかなりの手間と繁雜さを伴ふものである．

之に對し，本測定法に於ては土砂の沈澱を待たず，又之を乾燥する事なしに，採取された試料そのものを，其の儘の狀態で直ちに測定せんとするものである．

即ち本測定法に於ては，水中に含有される土砂の量を之を透過する光の量に依つて測定せんとするもので，試料は之をよく攪亂すればする程好適である．

本測定法の概要は次の如くである．光の透過に對し適當に設計された容器に試料を入れこれに一定の光束を投射してその透過光束を光電池に依つて測定する．透過光束の大小は一定の投射光束に對しては水中の含有土砂の量及び土質に依つて異なるから豫めそれらの關係的特性に付いて試驗を行つて置けば，同一土質の試料に對して

光電池に依つて測定された透過光束の變化から土砂の量を求める事が出來るわけである.

II 測定器の構造及び測定法

圖-1 は測定器の構造圖であり 圖-2 はその外觀並に實際使用狀態を示す. 光源 L は 6 ボルト 50 燭光瓦斯入タングステン小型電球で押釦開閉器 S に依つて點滅される. 電源は陰受 C_1 に接續される. 電源は交直流何れでも良いが光源の發光々束を一定に保つ必要があるから相當容量のものを使用する事は勿論規定の供給電壓を常に

圖-1 測定器の構造

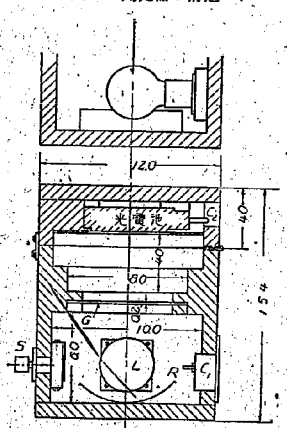
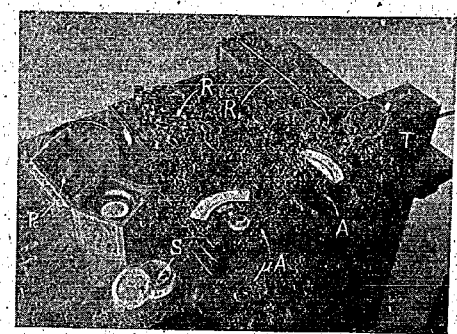


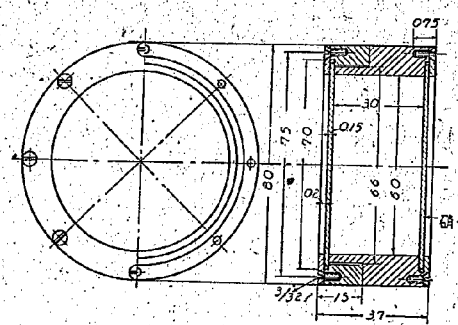
圖-2

P_c=光電池, S=試料器
R=光電池側可變抵抗, R_1=光源側可變抵抗
μA=マイクロ電流計, A=電流計
T=變壓器



繼續しなければならない. 電球の發光束と供給電壓との關係は $F/F_0=(V/V_0)^{x.6}$ で表はされる. 式中 F は發光光束 V は電壓を示す. 之れに依つて所要の精度から許容電源電壓の變動率が決定される. 圖-2 は交流 100 ボルト 50 サイクルを變壓器に依つて 6 ボルトに變壓して使用した場合である. 光源より發光した光束は反射器に依つて有効光束を增加する. 之等の光束の光束分布は一樣でないから乳白色硝子 G に依つて一樣な光束分布として試料容量の投射面に投光される. 圖-3 は試料容器の構造を示す. これに使用する透明硝子は光の不規則な透過を避ける爲め表面の平らな瑕疵の無い良質なものを使用する. 試料は容器の內部に殘留する氣泡が透過光束の測定面域に侵入しない程度に充分に入れて密閉する. 光電池は測定器の上蓋の中央に裝置されて居つて試料容器を所定の位置に納め上蓋を閉ぢれば光源, 容器, 光電池の三者の相互の關係的位置が常に一定に保たれて測定が出來る. 陰受 C_2 と導線に依つて光電池に發生する光電流はマイクロ電流計に接續されて讀取るのである. 斯樣な光電池の使用狀態は一般的な方法であるが之の場合には光電池の本質的缺陷から透過

圖-3 試料器の構造



光束の算定に對して誤差を介入する恐れが多い．光電池の缺點としては次の點が擧げられる．

1. 照度と光電流とが直線的關係を保たない
2. 疲勞とか Kriechoffect の如き初期效果が現れる
3. 温度に對する影響が著しい
4. 枯化現象が相當著しい
5. 間歇照射の影響がある
6. 輻射線の波長に依つて照度對光電流特性が異なる

從つて之等の缺點に對して適當な對策と處理方法を施す必要がある．卽ち使用開始前30分間位光電池に光を照射するとか，使用狀態に於いて特性試驗を時々繰返す等の方法をとる．又は例へば Campbell-Freeth 回路等の特殊な方法に依つて光電流を測定すればよい．

測定には電池を用ひてもよいが本測定には 100 V の交流電源を用ひた．此の電流は實際にはかなりの變動を伴つてゐるために，圖-4 にて A と μA との讀みを同時に取るを要した．併し光電流には遲れがあるので，光源電流は變動しつつも之が稍〻落着きを見た後小時の後 μA の讀を取るを必要とした．之等の爲めの誤差を可及的小ならしめるために R_1 なる加減抵抗を入れ，光源電流の種々なる値に對して μA を讀みとり，之等の諸觀測點を最小自乘法によりてつなぎ，或る A の値に對する μA の値を之より求めて，或る含砂率に對する μA の讀みとする事にした．

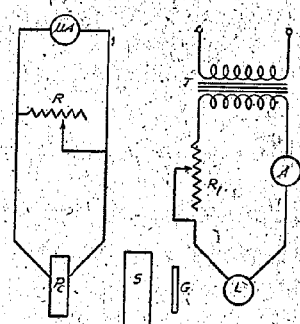


圖-4　測定裝置原理圖
T＝變壓器，　A＝電流計，
R_1＝加減抵抗，　L＝電球，
G＝乳白色ガラス，　S＝試料
P_0＝光電池，　R＝加減抵抗
μA＝マイクロ電流計

又含砂率の多少に應じて μA の讀みを擴大する爲めに R なる加減抵抗を入れた．此の値は豫備實驗に依つて $R=12\,\Omega$ が適當である事が分つたので，實驗は總て $R=12\,\Omega$ で行つた．

試料容器 S は圖-3にその構造詳細を示す如く，兩面は硝子であるが，實驗一つ毎に硝子の裏をよく掃除する事にした．實驗用の試料を作るには此の容器の中に氣泡が生じたり又は之より著しく試料の溢失するのを防ぐために，先づ容器にて輕く山盛りになる程度に水を入れて此の水量を秤量した．此の場合の水には水道の水を用ひた．而して此の水量に對する所定の率に土砂量を秤量して，ビーカー中にて水と混合せしめ，之を試料容器 S 內に靜かに入れる．その際ビーカーの側壁に附着して殘りたる粒子は羽にてかき集めて S の中に入れた．S の蓋をする場合は成可く靜かにして水のこぼれない樣にしたが，水量は多少山盛りに入れてあるので蓋を締切る時に多少の溢水があつた．併し此の量は極めて小さいものではあるし，ビーカー側壁の粒子も完全には取り切れないものである事を考へる時は，之による誤差は測定の讀みの誤差の程度と考へられる．

含有率は重量比によつて定めた．而して之に使用する砂粒は2日間 80°C の乾燥器の中に入れて乾燥し，其の後は常に硝子の乾燥器に保存して濕氣を帶びる事を防いだ．

試料は硝子の粗い程速く沈殿するので之の光線透過量測定には測定箱をそつくり逆轉して粒子を攪亂せしめる事を要した．此の逆轉は餘り速くても効果は無く，却つておもむろに，ゆつくりと逆轉する方がよかつた．

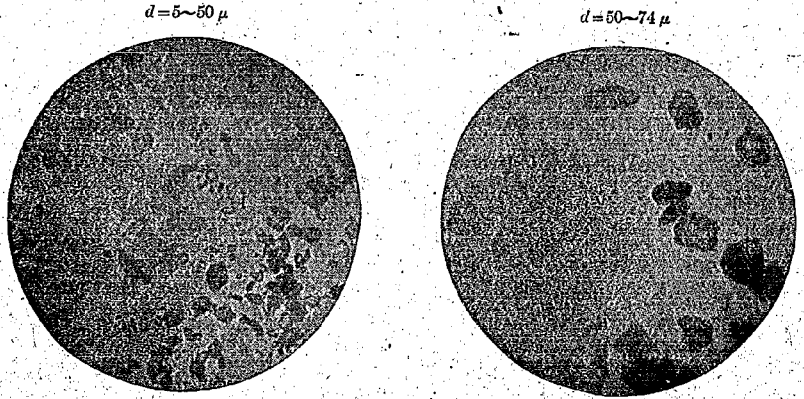
III. 濟河河床土に對する特性曲線

本測定法の可能性を見る爲めに一例として濟河河床土（黃土）に就て其の特性曲線を作る事とした.

〔1〕試　料

試料としては濟河（濟南附近に於て河床より採取せる）河床土を用ひ，粒徑 $d=5\sim50\,\mu$ のものと $d=50\sim74\,\mu$ の二種類について測定した．その粒子は圖-5 の顯微鏡寫眞の如くである．而してその比重は前者は 2.708，後者は2.700 であつた.

圖-5　黃土（濟河河床土）粒子の顯微鏡寫眞



〔2〕測 定 値

始め粒子を含まざる場合として試料容器に水のみを入れて，R_1 を種々に變へる事によつて A と μA との關係を求めた．その測定値は表-1 に示す．圖-6 は之を圖示したものである．之に依れば，光源電流 A (ampare) と光電池の電流 μ (microampare) との關係は，$A=4.5\sim6.0$ の間に於ては直線比例をなす事が明らかである．故に今後の各含砂率については $A=5.5$ の時の μ の讀をとる事にした.

水のみの場合，即ち 0% の場合の $A=4.5\sim6$ に對する直線は最小自乘法に依り

$$\mu=101.821\,A-391.576$$

となり，$A=5.5\,(A)$ に對して $\mu=168.437\,(\mu A)$ となつた.

$d=5\sim50\,\mu$ 及び $d=50\sim74\,\mu$ の二種類につき，$R=12\,\Omega$ に固定して各含砂率 $p(\%)$ に對して A と μ とを測定した結果は表-1，表-2 の如くである.

圖-6

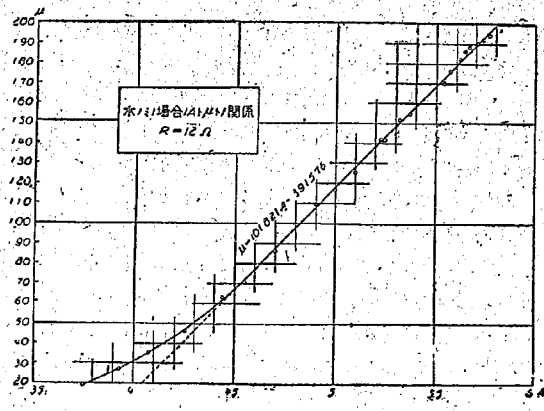


表-1

$d=5\sim50\,\mu$ $R=12\,\Omega$

p (%)	A (amp)	μ (μA)	p (%)	A (amp)	μ (μA)	p (%)	A (amp)	μ (μA)	p (%)	A (amp)	μ (μA)
0.05	5.37	140.0	0.01	5.38	130.0	0.15	5.72	147.6	0.20	5.25	87.0
	5.30	130.0		5.39	130.0		5.87	161.6		5.30	91.0
	5.41	143.0		5.43	132.4		5.77	155.6		5.20	82.4
	5.42	143.4		5.40	130.4		5.50	128.0		5.65	126.0
	5.50	150.4		5.42	131.2		5.55	131.8		5.575	118.2
										5.50	122.0
										5.60	122.0
										5.64	123.6

p (%)	A (amp)	μ (μA)	p (%)	A (amp)	μ (μA)	p (%)	A (amp)	μ (μA)	p (%)	A (amp)	μ (μA)
0.25	5.555	101.0	0.30	5.50	85.0	0.40	5.75	80.0	0.60	5.60	50.2
	5.552	99.6		5.51	87.6		5.58	69.2		5.47	45.2
	5.30	106.0		5.52	86.8		5.55	66.0		5.465	44.0
	5.535	107.6		5.50	85.0		5.70	77.6		5.64	54.0
	5.53	107.0		5.54	87.0		5.67	73.4		5.57	48.0
							5.73	77.4		5.64	50.0
							5.74	75.8			

p (%)	A (amp)	μ (μA)	p (%)	A (amp)	μ (μA)	p (%)	A (amp)	μ (μA)	p (%)	A (amp)	μ (μA)
0.80	5.64	28.8	1.0	5.64	20.2	1.2	5.35	10.3	1.4	5.33	4.6
	5.67	28.9		5.65	22.0		5.53	14.5		5.42	5.2
	5.70	29.4		5.67	20.0		5.53	13.0		5.50	5.4
	5.68	29.2		5.64	20.6		5.535	14.0		5.43	5.5
	5.68	29.0		5.62	20.4		5.615	13.0		5.43	5.6
	5.66	28.0		5.57	19.0		5.57	14.0		5.50	6.0
				5.60	20.4						

p (%)	A (amp)	μ (μA)	p (%)	A (amp)	μ (μA)	p (%)	A (amp)	μ (μA)	p (%)	A (amp)	μ (μA)
1.0	5.28	3.0	0	5.77	194.0	0	5.32	151.6	0	5.37	154.8
	5.30	3.2		5.54	170.0		5.25	141.4		5.57	175.6
	5.30	2.4		5.67	188.2		5.23	141.6		5.23	140.6
	5.35	2.8		5.625	182.0		5.00	116.6		5.10	125.2
	5.38	2.9		5.65	186.0		4.70	86.0		4.90	109.4
	5.35	2.6		5.71	190.0		4.44	63.0		4.55	70.4
				4.25	46.2		3.93	26.8		3.75	19.0
				4.075	35.4						

表-2

$d=50\sim74\,\mu$　　$R=12\,\Omega$

p (%)	A (amp)	μ (μA)	p (%)	A (amp)	μ (μA)	p (%)	A (amp)	μ (μA)	p (%)	A (amp)	μ (μA)
0.1	5.60	163.2	0.2	5.45	127.0	0.3	5.67	134.0	0.3	5.59	128.0
	5.73	176.2		5.50	133.0		5.62	133.0		5.60	129.0
	5.67	170.4		5.42	125.0		5.61	132.0		5.40	108.5
	5.76	179.0		5.50	134.0		5.60	129.2		5.48	118.6
	5.61	164.0		5.35	118.0		5.69	136.4		5.45	115.6
	5.47	149.8		5.52	136.0						

p (%)	A (amp)	μ (μA)	p (%)	A (amp)	μ (μA)	p (%)	A (amp)	μ (μA)	p (%)	A (amp)	μ (μA)
0.3	5.67	134.0	0.5	5.40	76.4	0.7	5.30	57.0	0.9	5.34	41.6
	5.65	132.0		5.55	98.0		5.54	71.0		5.30	40.0
	5.685	137.5		5.72	102.0		5.36	60.0		5.47	47.0
	5.63	131.5		5.63	97.5		5.425	63.0		5.525	50.0
	5.70	139.4		5.50	89.6		5.40	61.6		5.57	52.4
				5.60	94.0		5.40	61.4			
				5.64	97.0						

p (%)	A (amp)	μ (μA)	p (%)	A (amp)	μ (μA)	p (%)	A (amp)	μ (μA)
1.1	5.54	37.6	1.3	5.665	32.0	1.6	5.675	20.0
	5.65	42.0		5.64	31.6		5.725	20.4
	5.40	34.0		5.66	32.0		5.725	20.5
	5.575	39.6		5.46	28.0		5.74	21.2
	5.60	40.4					5.76	21.6
	5.57	40.3					5.79	21.8

含有率 $p=1.6\,\%$ 以上は粒子の沈澱激しき爲め測定せぬ事とした．從つて實際の場合之以上の % に對しては試料を適當に薄めて測定する事が望ましい．

〔3〕特性曲線

測定値 A と μ とは，圖-6 及び後の圖-9～12 によつても明らかなる如く殆ど直線關係をなす故，之を $\mu=mA+n$ として m, n を最小自乘法で決定せんとした．

然るに實驗中抵抗器 R_1 に故障ありたる爲め之を用ひずに測定せる結果，測定の時間により A の變化が區々なるため A の變化範圍が大きいものと小さいものとを生じた．殊に此の變化は $d=5\sim50\,\mu$ のものを實驗してある場合に激しかつた．故に $d=5\sim50\,\mu$ のものに對しては先づ A の變化範圍が相當に大きいもののみ 8 個の場合に就き，即ち $p=0.05,\ 0.15,\ 0.25,\ 0.4,\ 0.6,\ 1.0,\ 1.2,\ 1.4$ の場合につき夫々最小自乘法により m を求めて p と m との關係を圖に求めた．圖-7 がそれである．此の圖を見ると明らかなる如くに直線の勾配にはかなりの不連續性があるので，之を圖-8 の如く p と $\log m$ との關係によつて修正し，此の修正された曲線（圖-7）により殘りの p の値に對する m を圖上にて讀みとつた．

圖-7

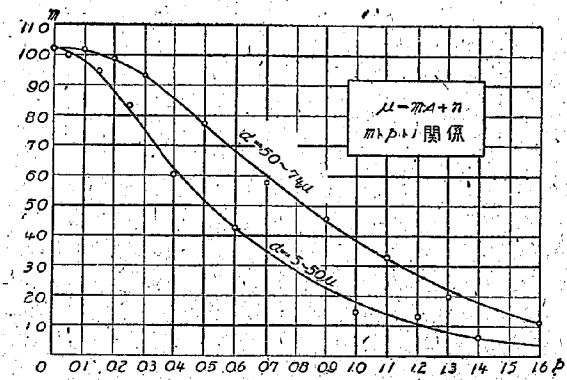


圖-8

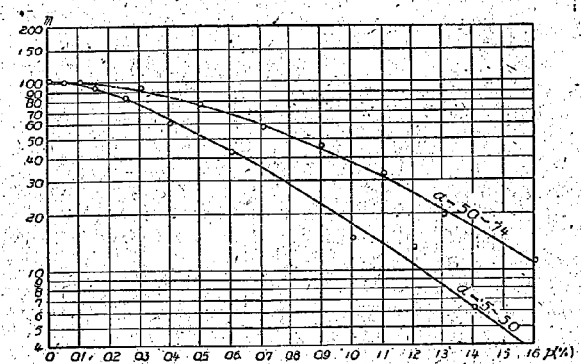


表-3

$d=5\sim50\,\mu$　　$R=12$ オーム　　$\mu=mA+n$

p	m	n	$\mu_{5\text{-}5}$	m（修正）	n（修正）	$\mu_{5\text{-}5}$（修正）
0.05	99.907	−398.134	151.35	101.3	−405.690	151.490
0.10				98.4	−400.954	140.246
0.15	94.539	−392.252	127.71	93.8	−388.171	127.729
0.20	97.562	−425.320	111.27	88.0	−373.440	110.560
0.25	83.192	−361.119	96.44	81.6	−352.173	96.627
0.30				75.3	−329.324	84.826
0.40	60.359	−268.289	63.69	63.0	−283.280	63.220
0.60	42.724	−189.168	45.81	42.7	−189.023	45.827
0.80	14.960	− 65.968	20.31	28.0	−129.923	24.077
1.00	14.746	− 62.606	18.50	17.6	− 78.666	18.134
1.20	13.184	− 59.661	12.85	10.7	− 45.782	13.068
1.40	6.304	− 28.878	5.79	6.5	− 20.944	5.806
1.60				3.8	− 17.425	3.475

之等修正されざる m と修正後の m の値とは表-3に示す如くである.

次に之等の修正せる m を用ひて再び最小自乘法により n を求めて（値を表-3に示す）各 p に對する μ～A 直線を畫けば圖-9, 10 の如くである.

次に $d=50$～$74\,\mu$ のものについては，測定にも慣れて觀測點が可なりきれいに得られたので前の場合の如き手數の繁を避け，$p=0.2\%$ を除く 8 個の場合について $\mu=mA+$ を最小自乘法で決定した（表-4）. 而して $p=0.2\%$ については p と m との關係圖なる 圖-7 より m の値を讀みとり n の値を最小自乘法で決定した（表-4）. 斯くて得られた，各 p に對應する A と μ との關係圖は 圖-11, 12 の如くである.

表-4

$d=50$～$74\,\mu$, $R=12\,\Omega$, $\mu=mA+n$

（ ）は圖-7 より讀みとりたる値

p	m	n	$\mu_{5.5}$
0.1	101.022	−402.664	152.956
0.2	(98.2)	−407.011	133.088
0.3	93.343	−393.759	119.630
0.5	77.157	−337.917	86.445
0.7	58.570	−254.196	67.933
0.9	45.440	−201.041	48.876
1.1	32.746	−142.965	37.138
1.3	19.707	− 70.748	28.639
1.6	11.002	− 42.203	18.309

斯くの如くして求められた $\mu=mA+n$ なる直線につき，前述の如くに一定光源電流 $A=5.5$ (A) の場合に對する光電流 $\mu_{5.5}$ は表-3, 4 の如くに得られた.

そこで p と $\mu_{5.5}$ との關係を $\mu_{5.5}$ のみを log にして求むれば圖-13 の如く，$d=5$～50μ の場合にも又 $d=50$～$74\,\mu$ の場合にも關係は直線的となる.

故に p と $\mu_{5.5}$ との關係を（以後 $\mu_{5.5}$ を簡單のため單に μ とかく）

$$\mu=\mu_0 e^{-ap}$$

圖-9

粒徑 $d=5$～50 ミクロンの場合の種々なる含砂率 p（%）に對する光源電流 A（アムペア）と光電流 μ（マイクロアムペア）との關係

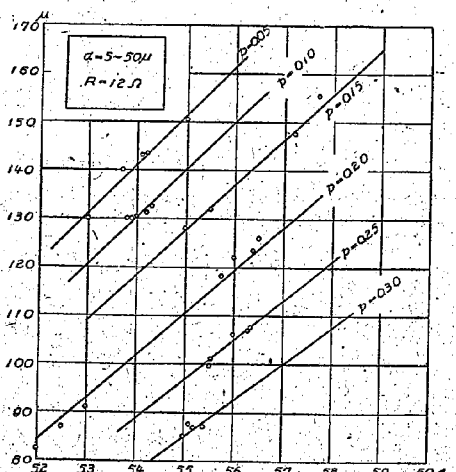
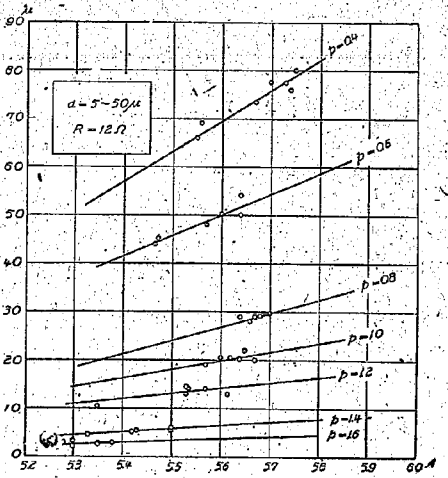


圖-10

粒徑 $d=5$～50 ミクロンの場合の種々なる含砂率 p（%）に對する光源電流 A（アムペア）と光電流 μ（マイクロアムペア）との關係



として求める事とした．μ_0 の値は d の如何なる場合についても同一値をとるべきで，而も之は水のみの場合の一定値をとるべきものである．此の値は前に求めておいた所では $\mu_0=168.44$ (μA) となり，圖-13 に於ても明らかなる如く，圖-13 の諸觀測點を直線で結んだ時の μ_0 の値よりも小さい．故に實際には p-μ 曲線は $p=0\sim0.05\%$ の範圍に於ては $\mu=\mu_0 e^{-\alpha p}$ なる關係を失ふらしく思はれる．

併し吾々の最も必要とするのは $p=0.05\%$ 以上の所であるから，之等の範圍について特性曲線を作つておけば充分と考へ，上記の如き $\mu=\mu_0 e^{-\alpha p}$ なる關係を採用する事とした．

d の2種類につき μ_0 を最小自乘法によりて求むれば，$d=5\sim50\,\mu$ の場合には $\mu_0=177.08$ を得，$d=50\sim74\,\mu$ に對しては $\mu_0=178.35$ なる極めて近似せる値を得た．然るに前者の觀測は後者の觀測よりも精度に於て劣つてゐる故 $\mu_0=178.35$ の方を取る事にした．かくの如くにして求められた α の値は次の如くである．

$d=5\sim50\,\mu$	$\alpha=2.4574$
$d=50\sim74\,\mu$	$\alpha=1.4184$

以上，p と μ との關係曲線は光電池側抵抗 $R=12\,\Omega$，光源電流 $A=5.5$(Amp) なる場合のものである事は勿論である．

Ⅳ　結　　語

(1) 本測定法は濁水の含砂率を沈澱又は乾燥することなしに，其の儘即座に測定しようとするもので，濁水を透過する光束の量を測定してその含砂率を知らんとするものである．從つて豫め種々なる含砂率の濁水について透過光束の量を測定しておく必要がある．透過光束の量は光電池にて測定する．

透過光線は濁水に含有される粒子の數，大さ，形狀に關係するのみならず，その他の性（例

圖-11　粒徑 $d=50\sim74$ ミクロンの場合の種々なる含砂率 p(%) に對する光源電流 A (アムペア) と光電流 μ (マイクロ・アムペア) との關係

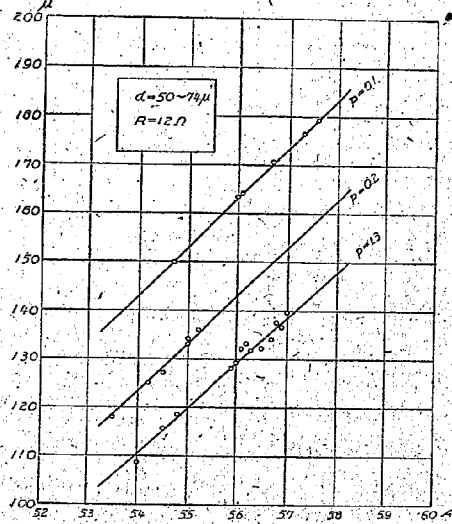
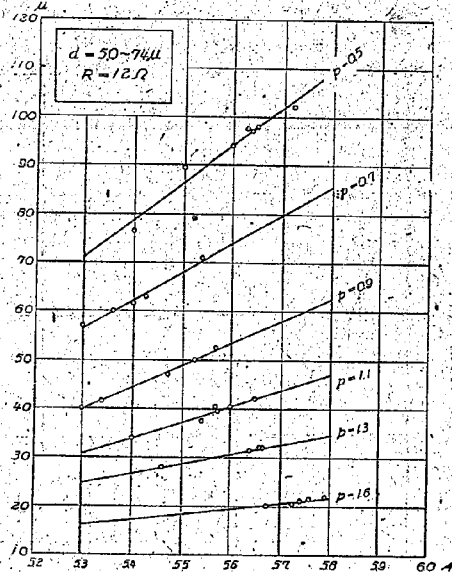


圖-12　說明同上



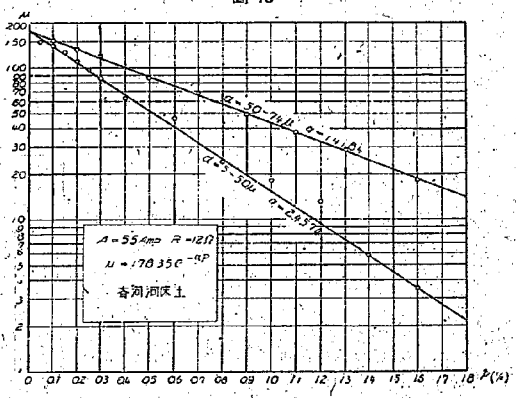
へば色など）にも關係するものであるから豫め測定せんとする地點の土質について特性曲線を作つておく事が必要である．

又含砂率（重量パーセント）が約2%を超える時は洗濯量が多くなり，試料容器のガラス面を曇ひ易くなるから，その様な場合には水で何倍かに薄めて測定する必要がある．

（2）　測定上の注意事項

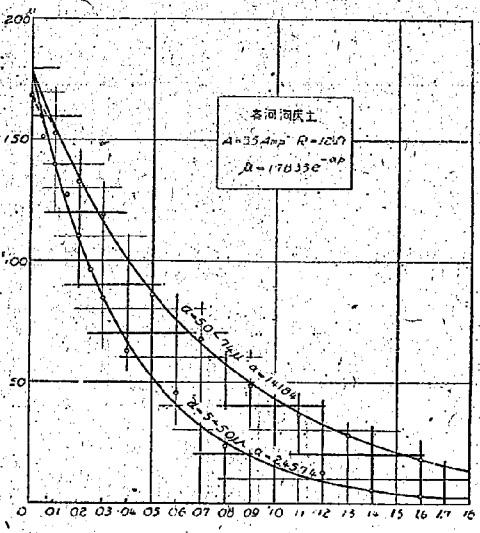
1. 使用前約15分乃至30分間位光電池に光線をあてて光電流を洗さしめること．
2. 測定中の温度を15°C～18°C位に保つこと．

圖-13



3. 試料容器のガラス面を使用前に良くみがくこと．
4. 試料容器に入れる試料の量は可及的に試料容器の容量位とし，蓋をしめる際の水のみの流失を避けること．
5. 試料容器に試料を入れる際，氣泡の出來ぬ様にすること．
6. 測定に際してはおもむろに上下に轉倒することによつて試料に攪亂を與へること．
7. 通常光源電流 A には變動ある爲め一定の A に保つ事困難であるから，A をかなり大きな範圍に變化せしめて之等に對應する夫々の光電流 μ を測定し，之等 A と μ との關係から或る一定の A に對する μ を決定すること．但し此の場合光電池側の抵抗 R は一定に保つ．

圖-14　含砂率と光電流との關係



8. 上述の如く普通 A は變動する事が多いので A と μ とを同時に讀んで行くこと．但し，一定の光源電流に對する一定の光電流の生ずるまでは多少時間がかかるから，A は變動しつつも A が一定して小時の後の μ を讀む事が必要である．

（3）　黄土（濟河河床土）の特性曲線

濟河河床土（74μ以下）について，粒徑の大さ $d=5\sim50\mu$ と $d=50\sim74\mu$ とに分析したものについて特性曲線を求めた．

光電池側の抵抗を $R=12\Omega$ とし，光源電流 $A=5.5$（アンペア）に對して行うた含砂率 p（%）と光電流 μ（マイクロ・アムペア）との關係は，圖-14 に示す如き結果となつた．

$p=0.1\%$ 以上に於ては透過光線による

光電流 μ は含砂率 p の増加と伴に對數曲線にて減少する事が分つた（圖-14參照）．その結果は

$$\mu = 178.35\, e^{-\alpha p}$$

となり指數 α は粒徑の大さに依つて異つた値をとり次の如くであつた．

$d = 5 \sim 50\,\mu$ の場合は　　$\alpha = 2.475$

$d = 50 \sim 74\,\mu$ の場合は　　$\alpha = 1.418$

$p \fallingdotseq 0.1$ 以下に於ては此の法則が成立しない樣であつた（圖-14）．

（4） 應用について

1. 上述の如く同一含砂率に對しても粒徑の大さに依る μ の差異が著しく現はれて來たので，之を逆に利用して粒子の大さの決定，表面積の決定を行ふ事が可能である．
2. 實驗室に於て，ガラス水路を流れる流水の各水深による浮游運搬量の決定に利用する事が出來る．又更に之より亂れの程度を知る事が出來る．
3. 靜水壓計と伴に，適當に改良した裝置により之を濁流中に沈め，種々なる水深に於ける含砂率の測定に應用する事が出來る．

最後に，本測定器試作に當り之が設計に一方ならず助力された細谷技手，又この實驗に協力された細山技手に厚く感謝する次第である．（2602, 4, 7）