

## 第九章 基礎調査法

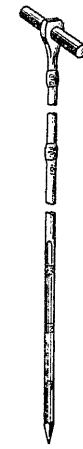
### 基礎の支持力

地盤は荷重を受けると必ず多少は変形する。従つて構造物の基礎は幾分なりとも沈下を免れないから、これには基礎の種類と形を適當に選び地盤に加へる荷重を或る値に制限することによつて對抗しなければならない。

地盤の変形即ち基礎の移動が或る許容し得る範囲内に於て地盤の受ける荷重量を基礎の支持力 (Bearing power of building site, *Tragfähigkeit des Baugrundes*, *Capacité du sol de fondation à l'écrasement*)といふ。従つて地盤の支持力はその種類と同時にそれが支へてゐる構造物の種類に依つて相異すべきであつて、同一の地盤でも其の上に單桁橋と拱橋の基礎を造る場合又は杭打基礎と床板基礎を支へる場合とで、夫々支持力を異にすることを注意しなければならない。

基礎の支持力を求めるには次の如き方法に依つてゐる。その一は壺掘り又はその他の方法に依つて少量の土質標本を採取し實驗室に於て第七章に述べる土質試験を行つて、本章第28節4)基礎地盤支持力表より判定するか又は試験數値を第拾章の力學的解析法に代入して計算より支持力を判定する方法である。その二は探査桿を打込んだり、モンキーで杭を打込む際最後の打擊に依る打留沈下を測定し所謂杭打公式より間接に支持力を求める方法である。最後は直接に試験する地盤上に載荷板を置き又杭を打込んで、其の上に荷重を加へ各荷重に對する沈下量を測定して、荷重・沈下曲線を作り許容沈下量に對する支持力を求める方法である。最後の方法は時間と費用を要するが最も確實な方法である。

基礎工事の施行に當つては豫めこれらの中の何れかを採用又は併用すると共に、その地盤又は附近の地盤の状態に關する古い記録又は同種類の基礎地盤上に造られた既存構造物の實例等に徴し、慎重に支持力を判定して設計・施工の基礎とすべきである。



第892圖  
検土杖

### 第27節 地質調査

#### 1) 試掘

地質調査又は試験用土質標本採取の目的の爲に試掘を行ふには、先づ豫め(第892圖)の如き検土杖 (Bohrstock) で地下の状況を探つて最も代表的の位置を擇ばなければならぬ。

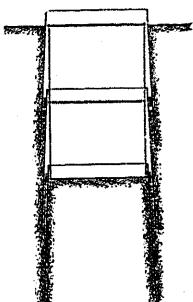
壺堀(第893圖)又は坑道はその中に入つて成層の状態と風化度・乾湿・地下水位等を調べ得る程度のものを掘鑿する。土質標本は各土層より代表的のも

のを圓錐状に採取して廣口の硝子壠に封入する。

鐵道省土質調査委員會では特に土質の剪断試験

(第八章第25節6))を行ふ

目的で、土の天然の組織



第893圖 壺堀

を擾亂せず特に含水量を變へないやうに第894圖a)の如きピストン式土質標本採取機 ( $20\text{ cm}^2 \times 25\text{ cm}$ ) を使用してゐる。先づ先端の縁に刃の附いた角槽函の中に押込んだ土を第894圖b)の土質標本運搬器の中にピス

トンで押出し水密の蓋を施して試験室に送附する。剪断試験を行ふときは特に一つの試掘坑の底から最少3個(5個位を適當とする)の標本を採取することを忘れてはならない(510頁参照)。

試掘の際には位置・時日・天候を記載し成るべくならば寫真を撮影して置くと後に便宜を得る處が渺くない。

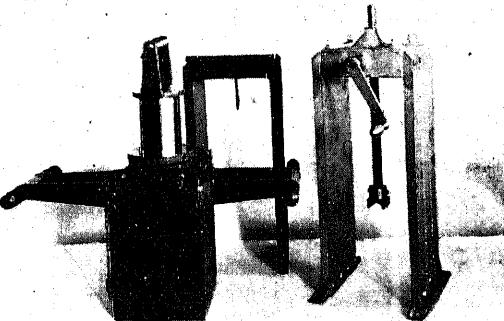
瑞典國有鐵道土質調査委員會では第895圖の如き簡単な土取機を考案し、可成り完全に自然の状態の儘の土を採取することに成

功してゐる。スプーン型土取機は柄に附いてゐるピストンを上下すると一方のスプーンが開閉して土を摑む仕掛けで砂質の土に適してゐる。

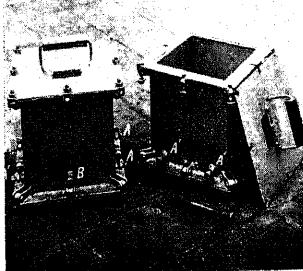
#### 2) 試錐

壺堀又は坑道(出來れば堅坑)は深くなると相當の費用が嵩むため試錐を以て之れに代用する外仕方が多いことが多い。地質調査ばかりでなく土質試験用標本採取を目的とする際は出来るだけ自然状態の儘採取することが必要である。

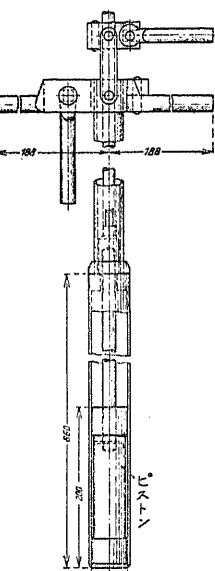
前記瑞典國有鐵道土質調査委員會では第896圖に示



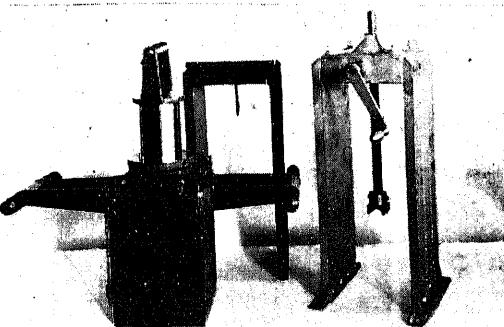
第894圖 a) 土質標本採取器  
(鐵道省土質調査委員會備付)



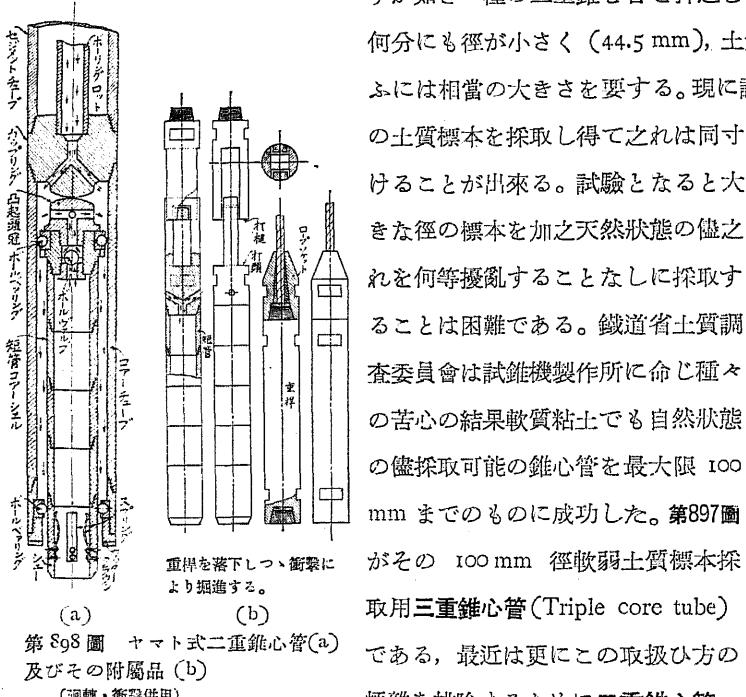
第894圖 b) 土質標本運搬器  
(鐵道省土質調査委員會備付)



第895圖 スプ  
ーン型土取機  
(瑞典國有鐵道土質  
調査委員會考案)

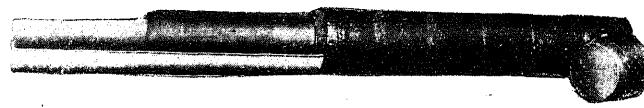


第896圖 ピストン式  
土取機  
(瑞典國有鐵道土質  
調査委員會考案)

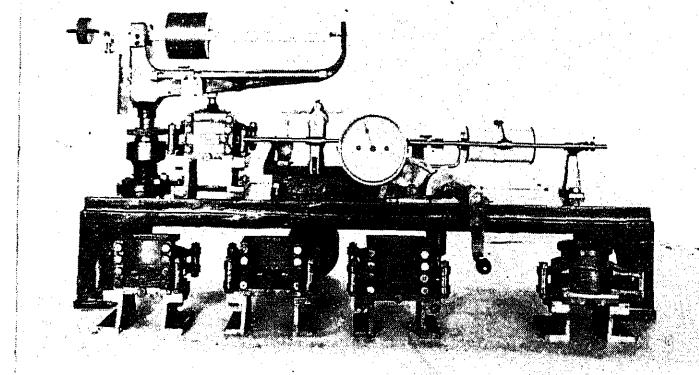


第 898 圖 ヤマト式二重錐心管(a)  
及びその附屬品(b)  
(重撃・衝撃併用)

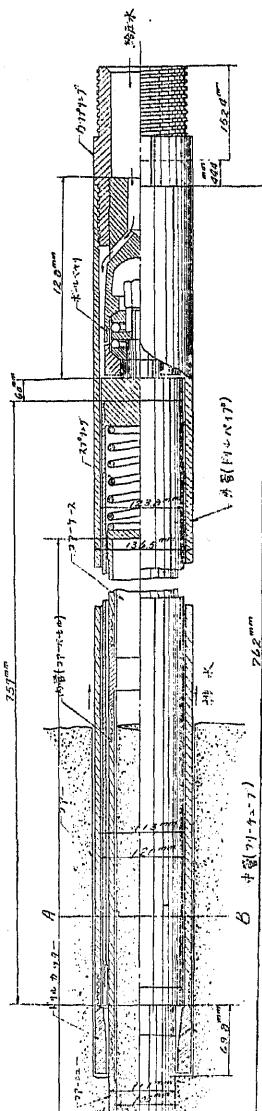
(Double core tube) のものを製作せしめた(第 898 圖)(第六章第 16 節(5))



第 899 圖 ヤマト式二重錐心管より軟粘土の完全な標本を取出す所



第 900 圖 豆型土質剪断抵抗測定機(鐵道省土質調査委員會備付)  
剪断面積  $4 \text{ cm}^2$  垂直壓力 100 Kg  
剪断力 200 Kg



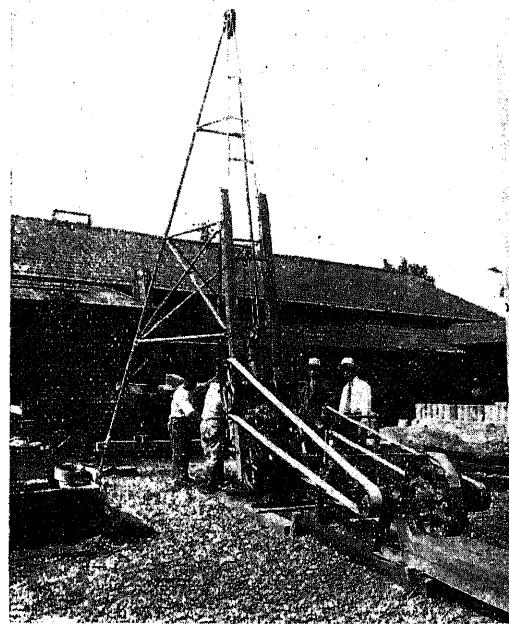
第 897 圖 T.N. 式  
三重錐心管(迴轉式)

すが如き一種の二重錐心管を押込むで採取してゐたうであるが何分にも径が小さく(44.5 mm), 土質試験や特に剪断試験を行ふには相當の大きさを要する。現に試掘坑ならば  $20 \text{ cm}^2 \times 25 \text{ cm}$  の土質標本を採取し得て之れは同寸法の剪断試験機へ其の儘かけることが出来る。試験となると大きな径の標本を加之天然状態の儘かれを何等擾亂することなしに採取することは困難である。鐵道省土質調査委員會は試錐機製作所に命じ種々の苦心の結果軟質粘土でも自然状態の儘採取可能の錐心管を最大限 100 mm までのものに成功した。第 897 圖がその 100 mm 径軟弱土質標本採取用三重錐心管(Triple core tube)である、最近は更にこの取扱い方の煩雑を排除するために二重錐心管

### 軟弱錐心採取法参照)。

この錐心管の使用には非常に成功し如何なる軟粘土でも天然状態の儘少しも損傷せず完全な土質標本を採取することが出来た(第 899 圖)。その結果鐵道省土質調査委員會ではこの 100 mm 径の供試體専用の第 900 圖の如き豆型土質剪断抵抗測定機を作製し之を使用し立派に土の摩擦角及び凝聚力を測定することが出来た。尚壓密透水試験機及び圧縮試験機等全すべてこの 100 mm 径使用のものを設置した(第七章第 25 節(2)(3)の項参照)。

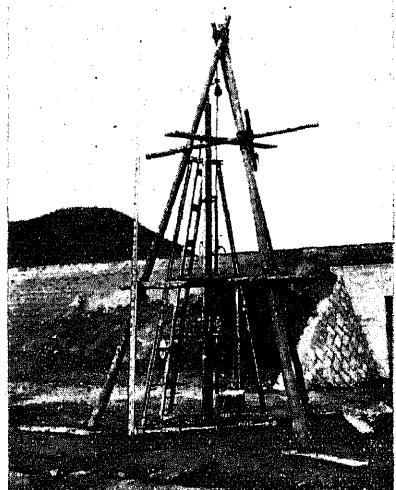
その結果將來は比較的地表面近く



第 901 圖 ヤマト式可搬式衝擊迴轉併用試錐機

の土質のみしか試験出来なかつたが現在では地下深所の土質試験をも完全に遂行出来るやうになつた。最近では大阪港の満鐵埠頭の土質調査で海底下 30 m の深さの土質標本の採取に成功しその試験を行ふことが出来た(第 891 圖参照)。

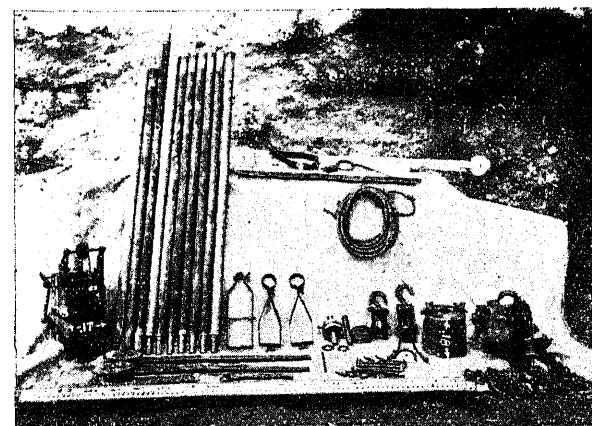
尙この二重錐心管は從来は大型の試錐機に取付けてゐたも



第 903 圖 探査桿打込機組立

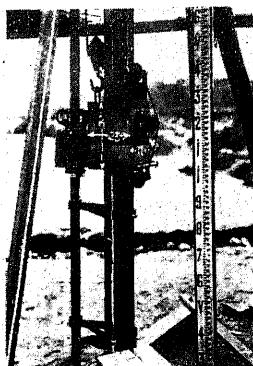
のであるが、運搬・取扱い等不便のために委員會に於ては第 901 圖の如きヤマト式可搬式衝擊迴轉併用試錐機を備付けた。之れは軽便で装置がコムパクトであるため非常に取扱ひが容易である。

### 3) 探査桿



第 902 圖 探査桿用具一式

徑 3 cm, 長さ 2~4 m の先の尖つた探査桿(Sondiereisen)を打込む不完全な基礎地盤調査法であるが、餘り深くない岩盤の

第904圖  
探査桿穿入沈下測定装置

位置を探つたり支持力の相対値を推定するには役に立つ。鐵道省岡山建設事務所では第902圖の如き外徑48mmの先端を尖らせた鐵管を三股櫓で支へて第903圖の如き重量約36kgのモンキイで1mの揚程を自由落下せしめて鐵管の穿入沈下を測定した(第904圖)。

この方法も直接地盤の支持力を求めることは出来ないが、裝置が簡単なる為廣い基礎面積に對し數多くの試験を容易に行ふことが出来るから、基礎地盤全體の一般的性質を知るには便利である。故に基礎地盤の支持力を調査するには先づ鐵棒打込に依つて大體の地盤の性質を知つてから、

最も代表的箇所に次節に記す載荷試験を行ふのが有效である。

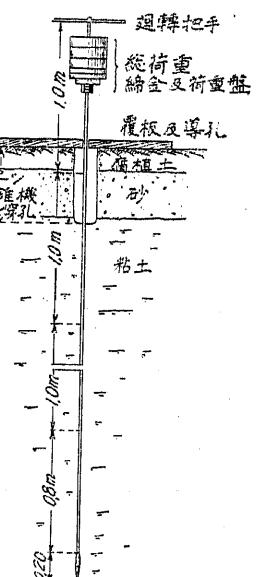
瑞典國有鐵道土質調査委員會では、第905圖の如き先の尖つた圓錐螺旋状の鑿とこれを取付ける徑19mm長さ1mの繼ぎ棒より成る検錐を考案し、上部に5, 15, 25, 50, 75, 及び100kgの錘を架げて恰度沈下し始める時の荷重を測定し、尙沈下しない時はハンドルで鑿を廻轉し乍ら下げる。これによつて可成り深い處にある硬い地層(普通岩盤や礫層)の位置・界面及び地下の概況を極く短時間に可成り詳細に知ることが出来る。

#### 4) 基礎地盤土質野外試験法

茲で取扱はふとする土質は高層建築場とか橋梁の基礎となる土質であつて、凍結作用或は日々の湿度・溫度の變化が影響しない深い地中に當る。

從てさうした深所の土質を研究するためには先づ試掘・試錐に依てその箇所の土質を採取する必要がある。而してその採取した新鮮な標本に依て次の様な實験を施す(以下述ぶる所は第八章土質試験法と密接な關係があるからそれをよく理解した後に讀まれることを希望する)。

先づこの新鮮な標本を室内溫度で乾かして見る。而してその乾燥したものが凝集力のない粉末になるか或は多少とも粘氣のあるものになるかに依て區別する。後者の場合には之れを水中に投じ水を充分吸收させる。而して最早之れ以上變化しないと見て取つてからこの標本を水と共に搖つて見る。若しこの動搖の結果夫れが全部溶けてしまふか或は又一部分個々の粒子となるか夫れとも全く變化しないかに依て區別する。若しも少しも變化しない場合は之れを再び乾かし而して又濕して見る。此の如く繰返してゐる中に別に變りがないか或は又小さな粒片になるかに依て之れを區別する。

第905圖 土質検錐機  
(瑞典土質調査委員會考案)

斯くて最後まで變化しなかつたものを火焰に觸れさせて見る。以上の如く試掘又は試錐によつて採取した新鮮な標本を次の第32表に示す様な7個の種類に區別する。

第32表 基礎地盤土質野外試験分類表

乾燥後	乾燥した標本を水中にて搖つた場合	乾燥を數回繰返した後	火焰に觸れさせた場合	種別
多少とも粘氣を存するか或は一緒に塊となつて喰付いてゐる場合	収縮又は膨脹する 變化なし 小粒片に碎分する	燃燒する 變化なし —	(a) 繊維質の有機物 (b) 風化作用に耐え得る岩質 (c) 破碎し易い岩質 (d) 幾分粘着し合つた土粒の層	
個々の土粒片の集合	全く個々の粒片に分れてしまふ	— 全部又は一部燃燒する	(e) 粘着はしないが凝集力のある土粒の層 (f) 繊維質でない有機物 (g) 凝集力のない土粒層	

a種： 之れは道路・鐵道又は輕い建造物の基礎或は又運河工事等で出會する土質である。有機物の地層は地質狀態でその壓密性又は支持力を省察し得るから、試錐に依て得た結果に基いた地質學的の推定で工上事充分に間に合ふ。

b及びc種： b種のものでは割目ない標本で耐壓強度を測定するのと、夫れからこの地層に割目があるか或ひは又含水性であるかを見れば充分である。c種のものでは建造物の位置に於て岩層の風化作用を防ぐ程度でいい。兩種共に工事材料に用ふる場合であつたら勿論石材としての岩石學的研究を忘れてはならない。

d種： 幾分粘着力を持つてゐる場合なら岩石は可成の程度の風化を受けてゐるか(化學的腐朽作用)、或は又風化物で岩石が固結せられてゐるものに相當する。前者の場合であつたならばその層の物理的或は機械的性質は大部分その構造に關係する、從て此の如きものに於てはその材料そのもの以外に、その構造即ちその全容積に對する間隙率及び各個々の間隙の大きさ等を研究することを忘れてはならない。後者の場合であつたならばその固結作用が、不溶解性の結合であるか或ひは又土質中に含まれた膠質の老廢物であるかを檢する必要がある。粘着力の程度に依ては次のc種のものに近いか或は又b及びc種のものに近いかの區別も必要である。

e種： この種のものは工事上極めて重要な關係を持つ土質で工事の困難な場合(沈下とか地辺りとかの現場のため)の大部分はこの種のものに關してゐる。ボウリング屋はこの種のものを細粒砂・沈泥・ロオム・粘土等に區別してゐる。北米のボウリング屋は流砂(Quicksand)即ち微粒砂と沈泥とを區別するため、採取標本で2cm位の直徑の短い圓筒を造へて見て若しその圓筒の端がその土質の重さで壊れる時は之れを流砂とし、その端が曲つて伸びてしまへば之れを細粒砂としてゐるやうである。粘土を細土と區別するには形を與へ得る性即ちプラスティシティが大きいこと並に色が薄いことの二つに依つてゐる。細土は一般に有機物を混じてゐるから暗灰色を呈してゐる。

然るに粘土は褐、灰、綠、赤、白色を呈してゐる。粘土の硬さは軟・中・硬の3種で表はす。ロオムは元來砂と粘土の混合物である。赤土といふと或る程度の石灰分を含んでゐるものといふこともある。併し乍ら以上のやうな名稱は單なる因習的のものであつてその區別は非常に難しい。この土質研究に於ても主としてこの問題を解決しやうといふのである。工事上その性質の判定は實に重大な影響を及ぼすからである。

f種：a種と同様に取扱ひ得る。

g種：凝集力のない砂又は礫、個々の粒片は肉眼的に見分けがつくものである。

次に参考のため獨逸土學會 (*Deutschen Gesellschaft für Bauingenieurwesen*) の基礎調査委員會 (*Deutsche Ausschuss für Baugrundforschung*) の土質標本採取並に取扱方心得 (*Vorläufiges Merkblatt für die Entnahme und Behandlung von Bodenproben*) を掲げて置く。

#### 土質標本採取並取扱方心得

(獨逸土學會基礎調査委員會規定)

#### 前 置

土質調査に取り掛るには豫め計畫せる建造物の種類及び特に標本を採取する目的を確知してをかなければならぬ。試掘及び試錐は凡て基礎並びに基礎下部の性質を正確に判断し得る深さ迄実施するを可とする。試錐孔の深さの決定は監督(責任)技師の仕事である。

試錐作業は熟練し経験ある信頼し得るに足る専門試錐家に依つて実施さるべきである。送水を與へたる爲判断を誤る虞れある時は鑽孔の作業中送水してはならぬ。

地下水流並に地下水溜等を常に観測する事。水の汲上げ及び土の取上げに就いても注意する事。

#### I) 標本採取

##### A) 試掘

##### B) 試錐

	坑道・坑溝・堅坑	淺所及び深所試錐
有利な點	試掘は切端又は坑底で直接調査し得。標本採取に際し混合物を探る事なし。成層状態を正確に識別し又は湧水の状況及び場所を正確に識別することを得。	作業敏捷、比較的費用小額、湧水に依る邪魔なし。深部調査可能、保護管を用ひて試錐孔内の山留をなすことなどは殆んど必要なし。
不利な點	費用高價、消費時間大。 支持工並に屢々防水工を要す。時として周囲の地盤を弛緩せしむ。	鑽孔粉が混和することと成層状態の判断不正確。平鑽を使用する時は土質の決定は幾分困難なる事あり。盛土に於ては(石土破片・塵芥等)不正確にして場合によりでは不可能。

	坑道・坑溝・堅坑	淺所及び深所試錐
施工法	x.5m×x.5m断面の堅坑及び坑道にては鶴嘴・ショベル・爆破等に依る。支保工:深さ小なる時は板張或は胴木工を施し、深さ大なる時は丸太組み、壓力大なる時は支柱を立て板張及び胴木工を施す。	1) 平坦地用手掘試錐機(打込鐵管なし)。乾燥土質ならば深さ3m迄可能。スコップ型又は圓筒型試錐機は可なれども、エムバイア式、螺旋試錐機は土質標本が混和するを以て不可。 2) 泥炭・ロオム・黃土・泥灰土・粘土等には衝撃・圓筒・ギムネ式試錐機等が良く、堅い岩石には不可。徐々に掘下げて行けば 10m の深さまで可能。鐵管は作業後引抜き可能。 3) サンド・ポンプ式試錐機では砂・砂利・沈泥及び粘土又は 2) の如き軟質土質に 10m 適用する。 4) 平鑽は岩石及び漂石等に用ふ。サンド・ポンプに依つて鑽孔粉を取り出す。注水式は鑽孔粉の確認困難なるを以て使用せず。 5) 雜心、如何なる土質・深さにも可、但し砂・砂利・軟質粘土等には不可。

#### II) 標本の記載

試錐孔からの標本採取は鑽孔粉と後から落ちて來たものと混同せぬ様注意しなければならぬ。試掘坑及び試錐孔の位置を總て記入した平面圖及び夫等の孔數、各坑・孔の深さ(m, cm)。各標本はその上下を判然とすること(上盤・下盤の關係を明にする)。湧水の状況及び量等を明記し試錐を施行せる土地の地下水面を明記すること(-m, -cm)。測定日時の記入。

#### III) 標本の取扱ひ方及び包装

標本は洗つたり、ブラシで磨いたり、放置したり、日に曝したり、雨曝しにしたりしてはならない、即ち包装しなくてはならぬ。7cm×7cm×7cmに區割した箱に保管置く事。10m以下の試錐では一構造物について一箱で充分であるが、深さ大なるものには各試錐に各一個の箱を用意する事。震動を避ける意味から釘付けしてはならぬ。

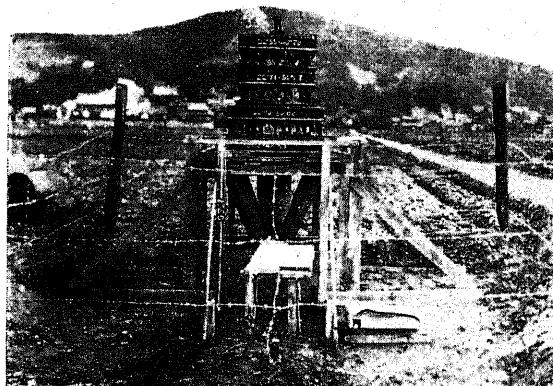
試験に供すべき標本はブリキ箱詰又は草等で空氣を遮断すること。

(1920年2月10日發行プロシヤ大臣告示第 III. A. C. 18. 28. A. C.—16 D. 1397 參照)

## 第28節 平板載荷試験

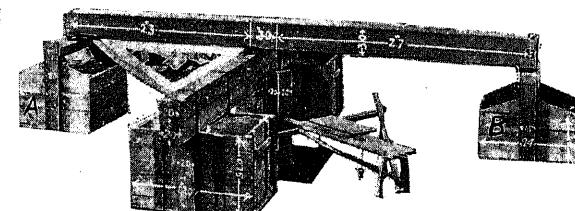
## 1) 載荷試験装置

ビルディングの如き高層建築・高架橋・岸壁等廣い面積を占めてゐて不等沈下を避くべき構造物の基礎を施行するには、豫め載荷試験(Test load, Probefestung, Charge d'épreuve)を行つて地盤の支持力を決定することが必要である。この載荷試験による基礎地盤の強度の判断も載荷板の面積と實際の構造物の基礎面との差異による支持力の値の相異や、極く長時間に亘つて徐々に発生する沈下量を測定し得ない缺點はあるが、基礎調査法としては最も直接な確實な方法である。



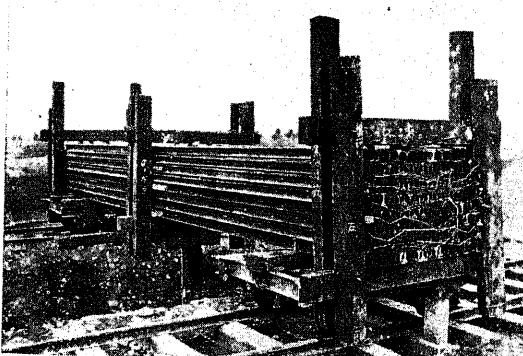
第906圖 普通の載荷試験装置

木の厚い板・鐵鉢・コンクリート方塊・鐵筋コンクリート板等を使用する。荷重を加へる方法としては第906圖に示したやうに載荷板の上に支柱立てて直接砂囊・古軌條・水タンク等を載せる方法が最も普通に採用される。この装置によると最初から載



第907圖 天秤式載荷試験装置

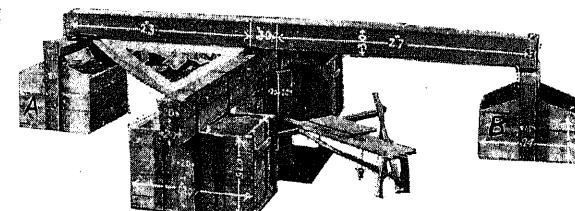
荷板と載荷柱との自重が加はるから、小壓力の下の沈下量を測定し得ず、又僅な荷重を調節し難い缺點があるが、第907圖の装置は梃子によつて加へるからA・B槽の釣合により荷重を零から極く僅か増加へることが出来る。尚載荷装置を更に簡単にするには第908圖(a)(b)の如く載荷板の上方に固定桁を渡して桁と載荷板との間に水壓機で壓力を加へる方法がある。唯水壓機の缺點はポンプを運轉すると衝程の打撃が直接載荷板に加はり、又壓力水の漏れが影響するからポンプとピストンの間にアッ



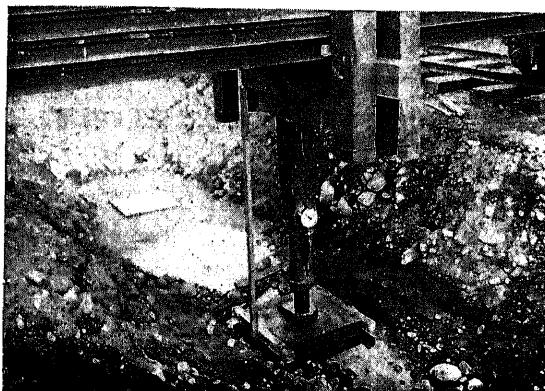
第908圖 (a) 水壓式載荷試験装置

トを挿入するといい。

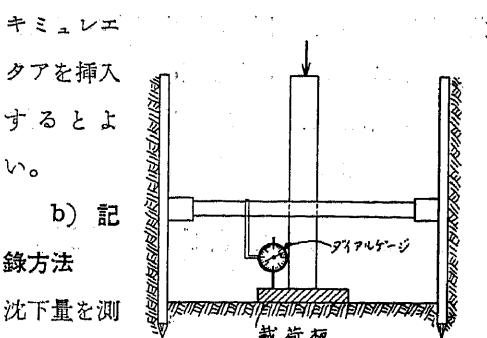
## 2) 試験装置 載荷板としては



第908圖 (b) 水壓式載荷試験装置

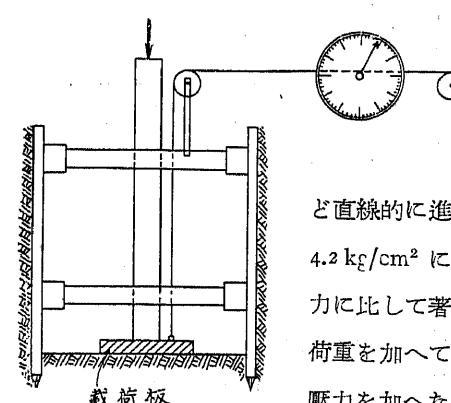


第908圖 (b) 水壓式載荷試験装置



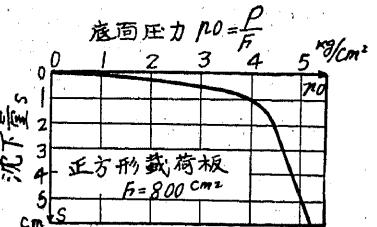
第909圖 直接ダイアルゲージによる記録方法

b) 記録方法 沈下量を測定するには第909圖に示す如く直接ダイアルゲージを用ひる方法、第910圖の如く載荷板に結んだ糸或は針金の移動を拡大して讀む方法或は水準器で遠方から讀む方法がある。

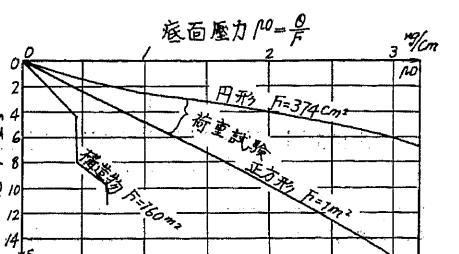


第910圖 沈下量を拡大して讀む方法

第911圖は斯る方法で面積 $800\text{cm}^2$ の正方形の載荷板に荷重を零から漸次増加して沈下量を読み取つて畫いた壓力・沈下曲線である。此の曲線は最初は殆んど直線的に進行するが壓力が $4.2\text{kg/cm}^2$ に達すると沈下は壓力に比して著しく増進し、更に荷重を加へて行くと遂に沈下は壓力を加へなくても進行するに到る。この點を地盤の破壊荷重(Grenzbelastung)と稱し、許容荷重(Aallowable or safe load, Zulässige Belastung, Charge de sécurité ou admissible)としてはその値を安全係数で除して求めるか或は許容沈下量(Zulässige Setzung)を與へてそれに對する壓力を以つてする。

第911圖 壓力・沈下曲線( $800\text{cm}^2$ 板)

併し此の沈下曲線から判断して地盤が $3\text{kg/cm}^2$ の壓力を受けければ構造物にも $0.5\text{cm}$ の沈下が起るであらうと豫期したり、又破壊荷重に對し安全係数を3にとつて構造物の基礎の許容壓力を $4.2/3=1.4\text{kg}/\text{cm}^2$ とするのは早計である。何となれば第912圖に見るように同一土質に就て載荷板の面積を $314\text{cm}^2$ ,  $1\text{m}^2$ に變化し、それを面積 $160\text{m}^2$ の構造物の沈下

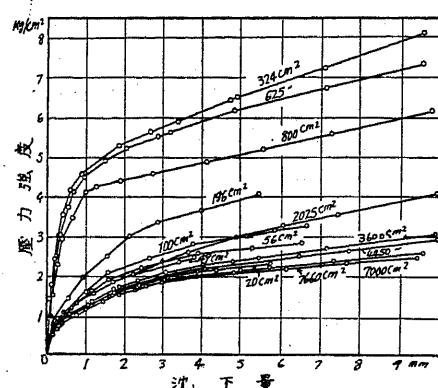


第912圖 載荷面積と沈下量との關係

曲線と比較すると、同一の圧力強度の下に於ては底面積の大きいものの方が沈下が著しいからである。沈下に及ぼすこの基礎面の大きさと形の影響については次の項で詳しく説明する。

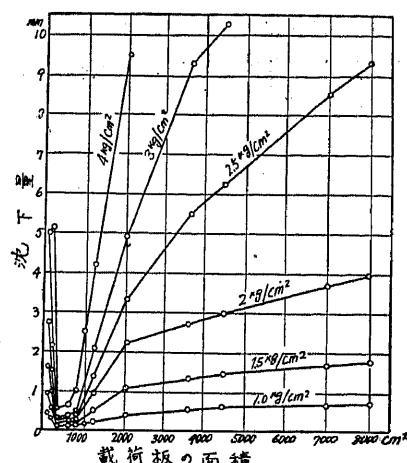
載荷試験を溝を掘つてその底部で行ふ場合には載荷板の大きさに對し溝の寸法は相當の餘裕を見込んでおかなければならぬ。

## 2) 載荷板の形と大きさの影響



第913圖 載荷面積の影響を表すす壓力強度・沈下量曲線群(200~7600cm<sup>2</sup> 正方形 13個)

載荷試験の際に注意すべきことは載荷板 (Loading plate, Belastungsfläche, Surface de charge) の形が實際の基礎床板の形と異つてゐれば同一荷重強度の下の沈下量に差異を來すべきことは想像されれるが、尙兩者の面積の相異に依つても同一荷重強度の下の沈下量は異つて來ることである(第913及び914圖)。即ち實験の結果又は第拾章第32節に記す簡単な弾性沈下の計算からも明かなる如く、同一形狀の載荷板で面積の大なるもの程一定沈下量



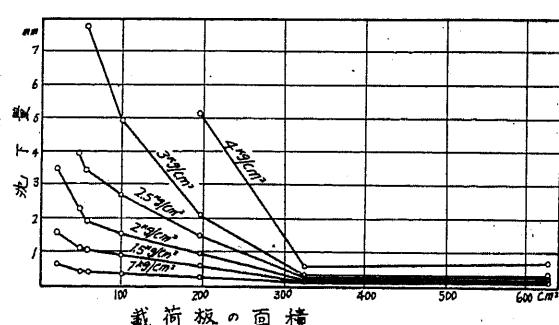
第914圖 同一壓力強度下に於ける載荷面積の沈下量に及ぼす影響

を發生すべき荷重強度は小さく、又同一面積の載荷板では中心に材料の集中してゐるもの程同一沈下量に對する荷重強度は大きい事が認められてゐる。

以下 H. Press が行つた各種平板の載荷試験と實際の構造物の觀測結果とを例にとつて沈下曲線の特性を説明しよう。

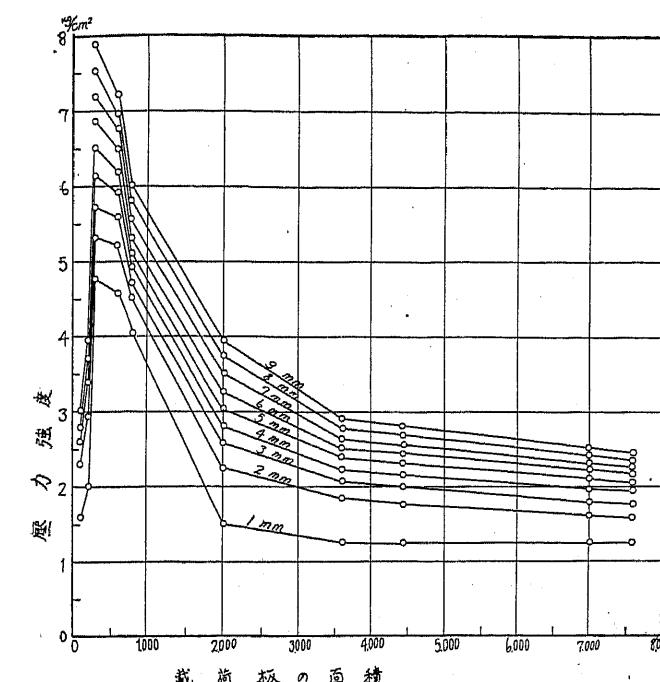
### a) Press の研究 H. Press

は 1930 年柏林環状鐵道中央家畜倉庫の



第915圖 同一壓力強度下に於ける載荷面積の沈下量に及ぼす影響

r) Press, Baugrundbelastungsversuche mit Flächen verschiedener Grössen, Die Bautechnik Jahrgang 8, Heft 42, 1930, ss. 641~643. u. Baugrundbelastungsversuche mit Flächen gleicher Grösse, jedoch verschiedener Form, Die Bautechnik, Jahrgang 9, Heft 50, 1931, ss. 709~711.

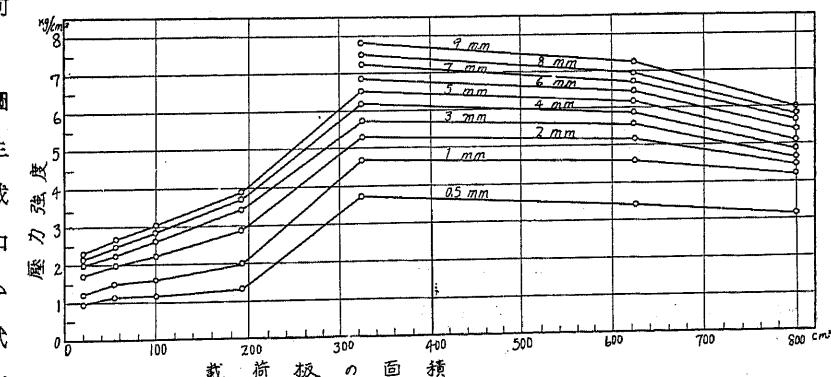


第916圖 同一沈下量をなすべき壓力強度に及ぼす載荷面積の影響

器で觀測し、大面積の載荷板の場合には 3 点から觀測した。試験結果を要約すると次の如くなる。

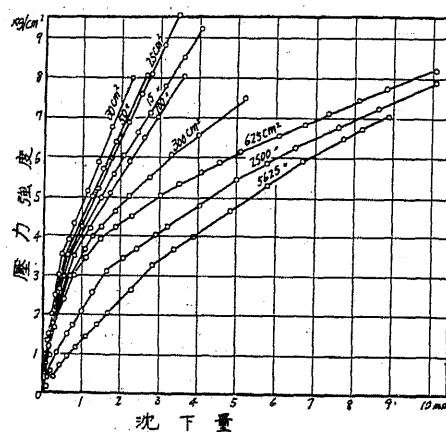
### (イ) 正方形載荷板の面積に依る影響

第913圖は面積 200cm<sup>2</sup>~7600cm<sup>2</sup> の間の 13 個の正方形載荷板を使用した場合の壓力・沈下曲線で、載荷土層は少量の石灰分を含める灰黃色の粒徑の等しい純粹な乾燥せる細粒砂層であつて、單位容積の重量は 1.52、間隙率は 42% である。第914 及び 915 圖は同一壓力強度の下に於て沈下量が載荷面積に依つて如何に影響されるか、又第916 及び 917 圖同一沈下量を發生する壓力強度は載荷面積によつて如何に異なるかを明かにするためこの試験結果を plot し直したものである。



第917圖 同一沈下量をなすべき壓力強度に及ぼす載荷面積の影響

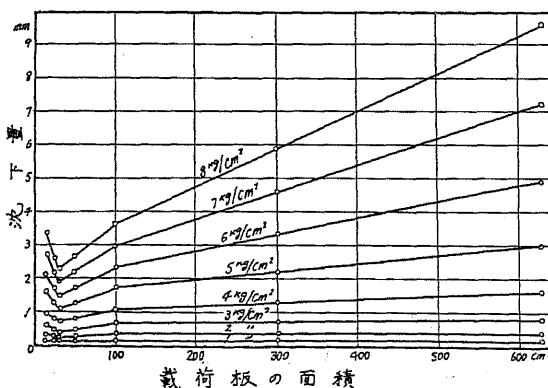
工事現場で緩く堆積した細粒砂層と約 46% の細粒砂を含んだ濕つたロオム層に就て載荷板の形と大きさ及び土質による地盤の支持力の變化を研究した。試験は凡て本節 5) 獨逸基礎調査委員會の標準規格 (544 頁参照) に従つて施行し、同一條件の下で各 2 回宛繰返へした。載荷法は小面積の載荷板には鐵棒を正しくその中心に合はせて直接靜荷重を加へ、大面積の載荷板には載荷板と靜止荷重の間に水壓機を裝置して壓力を加へた。沈下量の測定は、載荷板を中心に對稱の位置に置いた 2 點から水準



第918圖 載荷面積の影響を表す壓力強度・沈下量曲線群

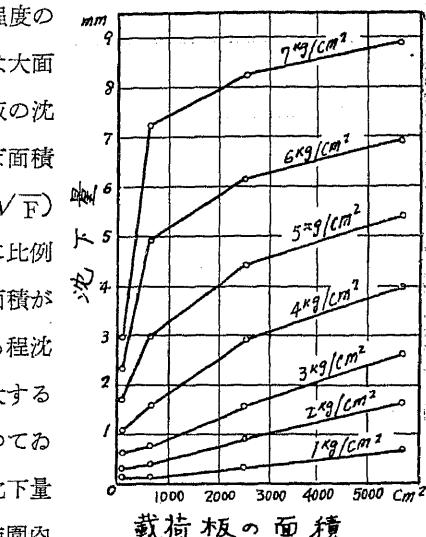
が約5mm以下の壓力と沈下とが略ぼ直線的に比例する範囲内では、載荷板の大小に依つて同一壓力强度の下の沈下量は殆ど變化してゐない。併し載荷板の面積が $300\text{cm}^2$ 以下の小さなものになると、逆に同一壓力强度の下の沈下量は大きくなることが認められる。次に同一沈下量に対する壓力强度について見ると第916及び917圖から、載荷面積が大きくなると小面積に比して遙に小さな壓力强度で一定沈下量に達することが認められる。

これから見ても地盤許容支持力を決める際許容沈下量を與へてこれに對する壓力を求めるには第917圖の關係に留意し小面積の載荷板で試験した支持力値をそのまま大面積の構造物の基礎の支持力に採用することの危険を

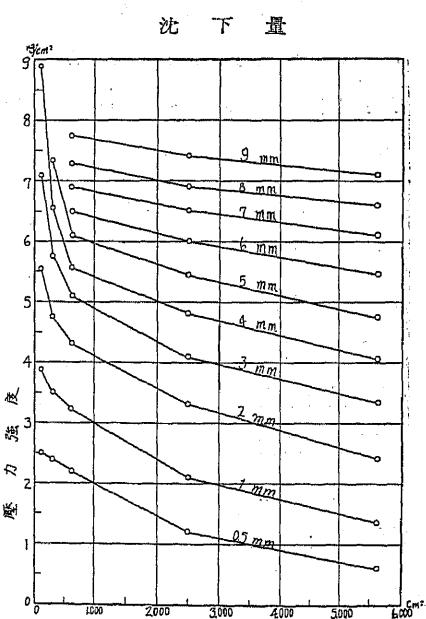


第920圖 同一壓力强度の下に於ける載荷面積の沈下量に及ぼす影響

同一壓力强度の下に於ては大面積の載荷板の沈下量は略ぼ面積の平方根( $\sqrt{F}$ )に直線的に比例し、即ち面積が大きくなる程沈下量は増大する結果になつてゐる。併し沈下量



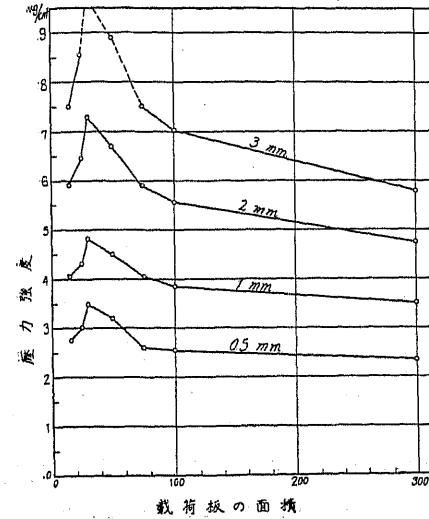
第919圖 同一壓力强度の下に於ける載荷面積の沈下量に及ぼす影響



第921圖 同一沈下量をなすべき壓力强度に及ぼす載荷面積の影響

知らなければならぬ。併しこれとても面積が約 $500\text{cm}^2$ 以上の載荷板についての關係であつて、面積が $300\text{cm}^2$ 以下になると反つて逆の現象として現はれる。

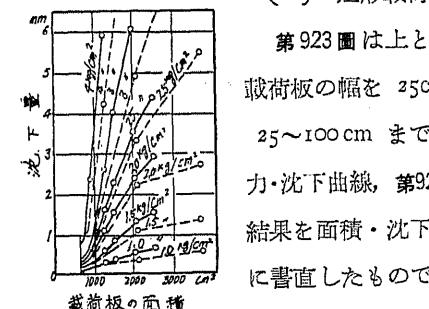
第918圖は64%の砂と若干の石灰分を含んだ比重



第922圖 同一沈下量をなすべき壓力强度に及ぼす載荷面積の影響

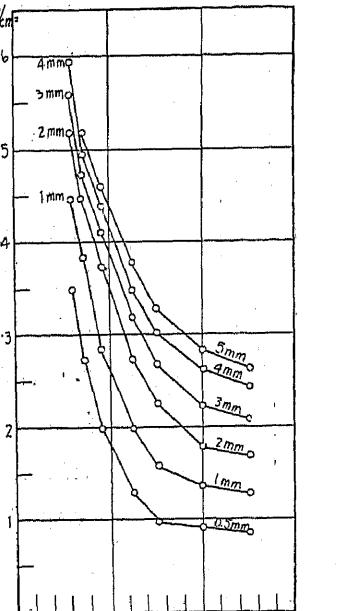
第923圖 載荷面積の影響を表す壓力強度・沈下量曲線群(25mm×25-100cmの矩形7個)

一沈下量を發生すべき壓力强度にplotし直したものであつて、大面積の載荷板では同一壓力强度の下の沈下量は略ぼ載荷面積に直線的に比例して増加し、同一沈下量には面積が大きくなると遙に小さな壓力强度に依つて到達する。又大面積の載荷板は破壊限界荷重は載荷面積には全く無関係(約 $3\text{kg/cm}^2$ )であるが、限界點に於ける沈下量は面積が大きい程大きくなることが認められる。尙此の場合にも一定面積(約 $300\text{cm}^2$ )以下では載荷面積が小さくなると同一壓力强度の下の沈下量は増大することが認められる。

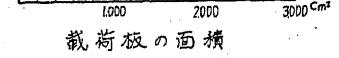


#### (ロ) 矩形載荷板の面積に依る影響

第923圖は上と同一の土質に於て矩形載荷板の幅を25cmの一定にして長さを25~100cmまで7段に變へた場合の壓力・沈下曲線、第924及び925圖はこの試験結果を面積・沈下量及び面積・壓力曲線に書直したものである。この場合も殆んど前と同様の特性を示し載荷面積が大きくなると同一壓力强度の下の沈下量は面積と略ぼ直線的關係で増大し、一定沈下量

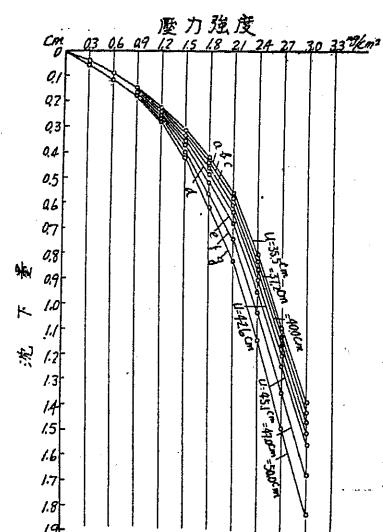


第924圖 第923圖の沈下量・載荷面積曲線



第925圖 第923圖の壓力强度・載荷面積曲線

2.3の濕つたロオム層に於ける正方形載荷板の壓力沈下曲線である。第919及び920圖は前と同様にこの結果を同一壓力强度の下の沈下量に、第921及び922圖は同



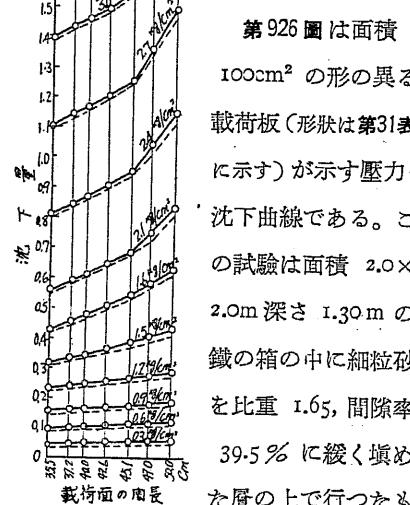
第926圖 形状の異なる同一面積の載荷板の圧力強度・沈下量曲線 ( $10 \text{ cm}^2$  のもの 11 個第 31 表参照)

第 32 表

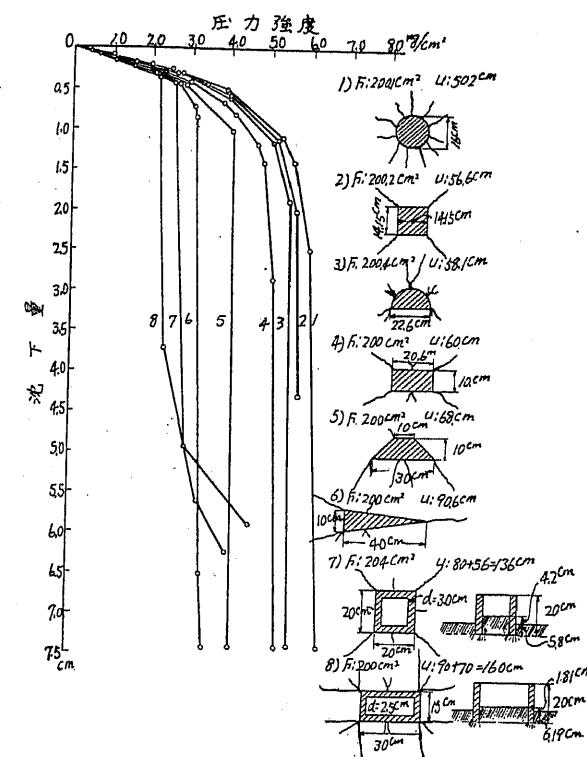
べき圧力強度は急激に減少することが認められる。専等面積の載荷板に於ける周長の影響を明かにするため第914圖の正方形の沈下量を第924圖の中に點線で記入しておいたが、一般に同一面積、同一圧力強度の下に於ては正方形の方が 20~30% 位沈下量が少い。	曲線	形狀	載荷面寸法 cm	周邊長 cm
a	○	徑 11.3	35.5	
b	□	$10 \times 10$	40	
c	■	$16.4 \times 6.15$	45	
d	"	$20.0 \times 5.0$	50	
e	"	$21.9 \times 4.6$	53	
f	"	$24.65 \times 4.05$	57.4	
g	"	$27.9 \times 3.6$	63.0	
h	"	$33.3 \times 3.0$	72.6	
i	"	$37.3 \times 2.7$	80.0	
k	△	底 5.0, 高 40.0	85.0	
l	▷	徑 16	41.1	

長の影響を明かにするため第914圖の正方形の沈下量を第924圖の中に點線で記入しておいたが、一般に同一面積、同一圧力強度の下に於ては正方形の方が 20~30% 位沈下量が少い。

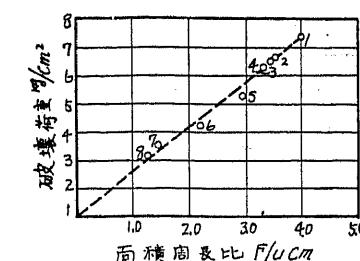
(a) 面積一定の載荷板の形に依る影響



第926圖は面積  $100 \text{ cm}^2$  の形の異なる載荷板(形状は第31表に示す)が示す圧力・沈下曲線である。この試験は面積  $2.0 \times 2.0 \text{ m}$  深さ  $1.30 \text{ m}$  の鐵の箱の中に細粒砂を比重 1.65, 間隙率 39.5% に緩く填めた層の上で行つたものである。第927圖はこの沈下曲線を同一圧力強度の下の載



第928圖 形状の異なる同一載荷面積( $200 \text{ cm}^2$ )の沈下試験



第929圖 載荷板の面積・周長比と破壊荷重との関係

荷板の周邊長と沈下量との関係に plot し直したものである。此の圖の實線と點線は繰返し行へる 2 回の測定結果であつて殆ど相一致せるを見る。これからみて同一圧力強度の下では周長の大なるもの程沈下は著しい、言ひ換へれば材料が中心に集つてゐる程沈下は少いことが認められる。

第928圖は面積  $200 \text{ cm}^2$  の小さい載荷板を圖に示す如き種々なる形に作つて、僅に石灰分・粘土分及び石炭を含む黃色の砂が比重 1.67, 間隙率 39.9% の自然の状態に堆積せる砂層について載荷試験を行つた結果である。荷重は破壊荷重又はそれ以上に加へて、その際地表面に表はれた亜裂を圖に示した。第929圖は各載荷板の面積・周長比と破壊荷重の間の関係を示したものであるが

これからみて破壊荷重は面積に比して周長の短いもの程大きくなること、言ひ換へば同一面積では周長が短くなる程支持力が増大することが認められる。箱形の断面では破壊荷重から更に力を加へたが土は圖に示した如く箱の内部に盛上つて支持力は再び幾分増大する傾向がある。更に非常に細長い矩形面ではそれと同一の周長の箱形断面のものより支持力が小さいことが認められる。

#### b) Fellenius の研究

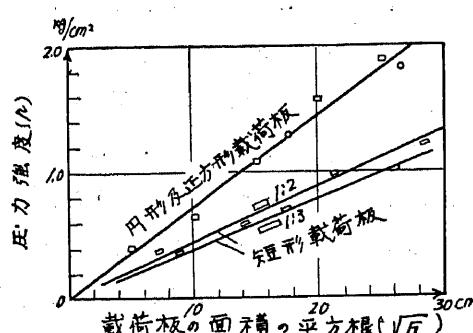
地盤の破壊荷重と載荷板の面積について Stockholm の Fellenius<sup>1)</sup> が興味ある実験結果を発表してゐる。載荷面には正方形・圓形・矩形を採用したから、面積  $F$  の平方根  $\sqrt{F}$  と破壊荷重  $P$  との関係を表はした(第930圖)。この曲線から判るように小面積の載荷試験で求めた地盤の耐荷力は大面積の構造物に適用するには大き過ぎる。

#### c) Kögler の研究

載荷面の形狀による沈下量と破壊荷重の變化に就ては Kögler<sup>2)</sup> が興味ある結果を與へてゐる。等面積の圓形・正方形・三角形・種々なる邊の比の矩形・環状形の載荷板に徐々に荷重を加へて行つて、沈下量と最後の破壊荷重を測定した。第931圖はその結果であつて、これから見ると面の形狀が沈下量に及ぼす影響は殆ど認め難いが、破壊荷重は載荷板の面積  $F$  を周邊の長さ  $U$  で除した  $F/U$  の數値が増すに従つて著しく増大する。第932圖には  $F/U$  と破壊

1) Fellenius, Erdstatistische Berechnungen für senkrechte Last auf waagerechter Bodenfläche unter zunahme kreiszylindrischer Gleitflächen, Norrköping 1929. Norrköpings Tidningar A-B. Tryckeri.

2) Kögler, Über Baugrund-Probebelastungen, alte Verfahren, neue Erkenntnisse, Die Bautechnik, Jahrgang 9, Heft 24. S. 357-361, 1931.



第930圖 Fellenius の載荷試験

荷重との関係を更に明瞭に表はしてある。

言ひ換へれば載荷面の形が小さくなつて材料が中心に集まる程破壊荷重が増大する。その順序は圓形・正方形・短い矩形・三角形・細長い矩形・細い環状形の順に破壊荷重を減少し、 $0.5 \sim 2 \text{ kg/cm}^2$  の間に變化してゐる。これからみると基礎底盤は圓形若しくは正方形が有利である。

d) 結論 上記の載荷試験から次の結論が導かれる。

(イ) 同一圧力强度の下に於ては載荷面積の大きいものは小さいものより例外なく著しい沈下を示す。

(ロ) 沈下量  $s$  と載荷板の廻轉半径  $r$  との間には

$$s = s_0 + cr$$

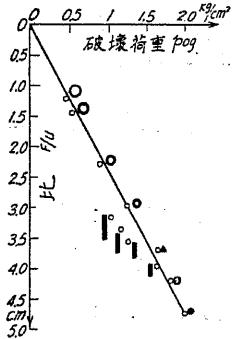
なる関係がある。従つて大きさの異なる數個の載荷板について試験して二個の係数  $s_0, c$  を求めれば比較

的小さい面積に就て行つた載荷試験から實際の構造物の沈下量を推定することが出来る。その際次の(iii)に述べる理由に依つて載荷面積を出来る丈大きくし、若しどうしても小面積にしなければ

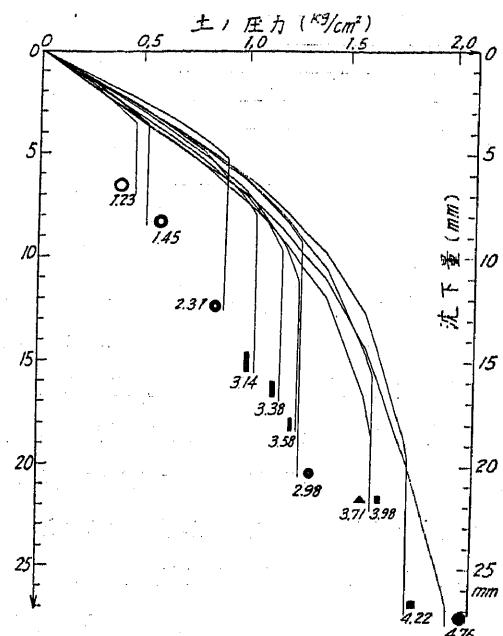
ならない場合は荷重壓力を小さくすべきである。載荷板の面積は第926及び927圖からみて直徑 35cm 或は一邊の長さ 45cm 以上とし大きい方は出来れば  $1 \text{ m}^2$  位のものを使用するとよい。

(ハ) 特に注意を要する點は載荷が非常に小さくなると逆に小さいもの程沈下量が増大することである。例へば第915圖では面積  $300 \text{ m}^2$ 、第920圖では  $30 \text{ m}^2$  より小さい載荷板では、面積が減少すると沈下量が著しく増大してゐることを認める。

これは土が局部的に大きい壓力を受けるため載荷面の周縁附近の土が横に逃げるため、載荷面中央附近に残つた土が著しく壓縮されて沈下が増大するのである。此の土が横に逃げる現象は如何なる載荷面でも起るが、載荷面が小さければ小さい程著しくなり、その極限では杭の作用と同一となつて土は垂直方向の壓縮よりも横に排除される方が遙に著しくなる。勿論この現象は土に加はる壓力が大きい程著しく表はれるのは上掲の曲線から見て明かである。



第932圖 載荷板の面積・周長比 ( $F/U$ ) と破壊荷重との關係



第931圖 形状の異なる等面積の載荷板の沈下試験

即ち荷重試験で載荷面が杭の作用を呈するのを避けるには、載荷面を餘り小さくとりすぎないことをである。而もこの點は載荷壓力を大きくすればする程注意を要する。

(=) 尚上記の特性曲線から明かるる如く、地盤の沈下係数(単位沈下量を発生せしめる壓力)  $c = \frac{p}{s}$  は一つの土質に就ても載荷面の大小に依つて一定でない。例へば第914及び915圖の  $p = 2 \text{ kg/cm}^2$  の曲線に於て面積  $100 \text{ cm}^2$  の載荷板の沈下係数は  $c = 2/0.16 = 12.5 \text{ kg/cm}^2$  であるが、面積  $500 \text{ cm}^2$  の載荷板は  $c = 2/0.02 = 100 \text{ kg/cm}^2$ 、面積  $700 \text{ cm}^2$  の載荷板は  $c = 2/0.37 = 5.4 \text{ kg/cm}^2$  である。即ち第914圖の曲線について云へば、面積  $0 \sim 300 \text{ cm}^2$  の載荷板の面積が大きくなる程沈下係数も増大し、以上では面積が大きくなると沈下係数は減少する。通常假定してゐるように沈下係数  $c$  が定数なれば第915, 919及び920圖の曲線は水平軸に平行でなければならない。

### 3) Housel 基礎沈下の解析

Housel<sup>1)</sup> は支持面の大きさと沈下と荷重との間の基礎的関係を結びつけんがために次の如き関係を導いてゐる。第933圖に於て荷重が  $A$  なる面積に加へられた時に其の垂直壓力の平均値の擴がつて行く範囲は、最大壓力線が支持面附近にて急に曲がる事實(Plane of discontinuity)を無視する時は截頭ピラミット型と考へて差支へない。

今  $W$  = 総荷重,  $y$  = 任意の面の深さ  $r$  = 壓力分布角度の正切

$I$  = 壓縮係数或は沈下係数

とする。深さ  $y$  に於ける面上の壓力は等布壓力と考へて差支へない。

一邊の長さ  $b$  なる正方形の支持面よりの壓力は  $y$  なる深さにては  $(b+ry)$  の正方形の面上に擴がる事となる。

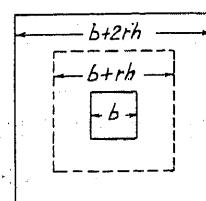
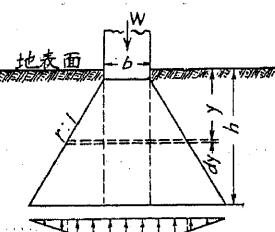
壓縮係数(Modulus of incompressibility)の  $I$  とは荷重強度をその點の単位深さ當りの沈下量で割つた値である。

$$\text{即ち } I = \frac{p'}{dA/dy}$$

$$\text{茲に } p' = \text{壓力強度} (\text{kg}/\text{cm}^2), \quad dA = \text{總沈下量}$$

$$\therefore I = \frac{W/A}{dA/dy} = \frac{W/(b+ry)^2}{dA/dy}$$

$$dA = \frac{Wdy}{I(b+ry)^2}$$



第933圖

1) Housel, A Practical Method for the Selection of Foundation Based on Fundamental Research in Soil Mechanics, 1929.



地質別基礎地盤許容荷重表 (Kg/cm<sup>2</sup>)

第33表 岩盤の部

参考文献 地質	Handbuch <sup>17)</sup>	Link <sup>18)</sup>	Am. Soc. <sup>20)</sup>	Förster <sup>3)</sup>	Hütte <sup>4)</sup>	Stiny <sup>6)</sup>	Willmann	Schewior <sup>8)</sup>	Steiner <sup>19)</sup>
堅 岩	—	—	22 <sup>5)</sup>	—	—	—	—	—	—
堅岩の場合(壓縮空氣基礎)	—	—	27.5 <sup>5)</sup>	—	—	—	—	—	—
風化せざる硬岩	—	—	Otzen <sup>14)</sup>	—	—	—	—	—	—
硬 岩(花崗岩、石灰岩等)	—	—	20—30 <sup>5)</sup>	20—30 <sup>5)</sup>	20—50 <sup>5)</sup>	20—50 <sup>5)</sup>	—	—	10以上
硬岩 厚さ2.5~3m以上 の一枚の水平盤)	15以上 <sup>5)</sup>	Brennec- ke <sup>16)</sup>	—	—	—	6—18 <sup>4)</sup>	—	—	6—18
花 岗 岩(同前) <sup>18)</sup>	—	—	40 <sup>18)</sup>	—	—	—	35—100 <sup>5)</sup>	—	—
玢 岩(“) <sup>18)</sup>	—	—	40 <sup>19)</sup>	—	—	—	30—35 <sup>5)</sup>	—	—
硬 砂 岩(“)	—	—	—	—	—	—	15—65 <sup>5)</sup>	—	—
石 灰 岩(“) <sup>18)</sup>	—	—	20 <sup>19)</sup>	—	—	—	16—24 <sup>5)</sup>	—	—
軟岩(凝灰岩・千枚岩・雲母 片岩砂岩等渺くとも厚さ3 m以上略水平一枚盤)	—	—	7—15	7—15	7—25	7—25	—	—	—
水成岩層(固結程度低き)	—	—	6.5	—	—	—	—	—	—
礫 層(固結程度高き)	—	—	8.7	—	—	—	—	—	—
砂 層(“)	—	—	8.7	—	—	—	Gortle <sup>9)</sup>	—	—
普 通 岩 盤	—	—	—	—	—	—	2.9—11.7	—	—
硬 岩 盤	—	—	11	—	—	—	—	—	—
”(壓縮空氣基礎工)	—	—	13.6—20 <sup>5)</sup>	—	—	1.2—1.8	—	—	—
軟質砂岩、白堊岩	1.6—1.9	1.2—1.8	—	—	1.1—1.6	—	—	—	—
白堊岩(粘土質)	1.1—1.6	—	—	—	2.2—2.3	—	—	—	—
軟質白堊岩	2.2—3.2	—	—	—	—	—	—	—	—
硬質泥灰岩	—	—	11	—	—	—	—	—	—
”(壓縮空氣基礎工) <sup>11)</sup>	—	—	13.6—20 <sup>5)</sup>	—	3—4	—	Bleich <sup>15)</sup>	—	—
泥 灰 岩(乾)	—	—	1.2—1.8	—	4以下	—	—	—	—
緊 密 な る 粘 土 層	—	—	—	3—5	—	—	—	—	—
硬質緊密なる粘土層	—	—	—	3.2	3	—	—	—	—
硬 度 中 位 の 粘 土 層	—	—	—	6.5	—	3—4	—	—	—
硬質含砂粘土層(乾)	4—5	—	—	—	Hütte <sup>4)</sup>	—	—	—	—
硬 質 粘 土 層(乾)	—	—	—	—	—	2—3	3—7	—	—
石 脊・London clay	—	—	—	—	—	3—5	—	—	—
”・Yellow clay	4.4—6.5	—	—	—	Bleich <sup>15)</sup>	—	—	—	—
硬 度 中 位 粘 土 層	—	—	—	Förster <sup>3)</sup>	2以下	—	—	Jansen <sup>13)</sup>	—
厚さ3m以上の粘土層	—	2.5—5	—	3	—	0.5—2 <sup>10)</sup>	2.5—5	—	2.5—5
可成乾いた粘土層	—	—	2.2	—	—	—	—	—	—
軟 粘 土 層	—	—	1	—	1以下	—	—	—	—
濕 粘 土 層	1.6—2.2	2.5—2	1.09—2.2	—	—	1.5—2	0.8—2	1.5—2	—
緊密なる砂質粘土層(乾)	—	—	—	3.2	—	3以下	—	—	—
粘 土 砂 互 層	—	—	—	2.2	—	—	—	—	—
厚さ3m以上の砂質粘土層(乾)	—	2.5—5	—	3—4	Hütte <sup>4)</sup>	—	2.5—2	—	2.5—2
砂 質 粘 土 層(濕)	—	—	—	—	—	0.5—1 <sup>10)</sup>	—	—	—
”(潤)	—	—	1.5—2	—	—	—	1.5—5	—	—
”(含砂)	—	—	—	—	—	2—3	—	—	—
砂 質 粘 土 層	—	—	Bleich <sup>15)</sup>	—	2以下	—	—	—	—

地質別基礎地盤許容荷重表

第34表 土砂層の部

参考文献 地質	Handbuch <sup>17)</sup>	Link <sup>18)</sup>	Am. Soc. <sup>20)</sup>	Förster <sup>3)</sup>	Hütte <sup>4)</sup>	Stiny <sup>6)</sup>	Willmann	Schewior <sup>8)</sup>	Jansen <sup>3)</sup>
厚き密なる粗粒砂	7.6—9.8	—	—	—	—	—	—	—	—
層厚き緊密なる粗粒砂層	—	—	—	—	—	—	7.5—10	—	—
緊密なる純粗粒砂層	6.5—8.6	—	—	—	—	6—8	6.5—8.5	—	4—6
厚さ3m以上の粗粒砂層	—	9.5—6	—	—	—	—	—	2.6—6	—
角粒荒砂層(溝りた粘土にて充填せる)	—	—	—	—	—	Hütte	—	—	—
含砂粗粒砂層(6m深以下)	—	—	—	—	—	5—7	—	—	—
”(6m深さ以上以下)	6.5—7.6	—	—	—	—	—	6.5—7.5	—	Bleich <sup>15)</sup>
礫及び粗粒砂層	—	—	4.3	—	—	—	6.5—7.5	—	6以下
礫 の 薄 層	—	—	—	—	—	—	—	—	3以下
大 級 層	—	—	6.5	—	—	—	—	—	Schewior 2.3—7.5
緊密なる砂層(厚さ3m)	—	2.5—6	—	—	4—6	—	—	2.9—6	2—6
緊密なる砂層(6m深以上)	6.5—7.6	—	—	—	—	—	—	Brennec- ke <sup>19)</sup>	Bleich
角粒砂層(偏潤含粘土)	—	—	—	—	—	4—5	—	—	—
粗 粒 砂 層	—	—	4.3	—	—	—	—	—	6以下 2.3—7.5
緊密なる純砂層(河海成)	4.9—5.5	—	—	—	—	—	4.5—5.5	—	—
緊密なる微粒砂層	—	—	—	—	—	—	2.5—6.5	2.5—4 <sup>20)</sup>	—
微 粒 砂 層	—	2.2—3.2	2—3	—	—	—	—	2—3	2.2—4.4
乾 砂 質 粘 土 層	—	—	—	—	—	—	—	—	4以下
乾 微 粒 純 砂 層	—	2.2—3.2	—	—	—	—	—	—	—
濕 砂 層	—	—	—	—	—	—	0—2	—	—
潤 軟 砂 層	—	—	1.09—2.2	—	—	—	—	—	—
極微粒砂堆積層	—	—	—	—	—	—	—	1.2	1以下
濕 砂 層(厚)	—	—	—	—	—	—	—	1.5	2以下
砂質粘土層(潤)	—	—	—	—	—	—	—	1.5	2以下
砂 層(厚さ3m)	—	—	—	—	4—5 <sup>12)</sup>	—	—	3	—
砂 及 浮 砂 互 層	—	—	0.5	—	0—3 <sup>1)</sup>	0—2	—	—	Schew- ior <sup>8)</sup>
流 砂 層	—	—	0	—	—	—	—	0	—
緊密なる砂質粘土層	—	—	—	—	—	—	—	—	3以下 Corthel <sup>9)</sup>
砂・粘 土 互 層	—	—	—	—	—	—	—	—	Schewior <sup>8)</sup> 2.4
沖積層(砂及粘土)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30—70%秒	—	0.8—1.5	0.5	—	—	—	0.8—1.6	0.8—1.5	0.8—1.5
腐蝕 土	—	—	0	—	0.5—1	0.5—1	—	Brennecke	—
崖錐層(砂)	—	—	—	—	—	—	—	1	Otzen <sup>14)</sup>
”(崩土)	—	—	—	—	0.5—1	—	—	0.5	—
沈 泥, 泥炭 其 他	—	—	0	—	0	0	—	0	—
軟 泥	—	—	—	—	—	—	—	—	—
崖錐層(岩礁)	—	—	—	—	—	—	6.5—8.5	—	—

## 4) 地盤の支持力表

上記したように基礎の沈下量や地盤の破壊荷重は荷重の強度或は基礎床盤の形によつて異なるから、許容支持力も一律にこれを表記することは出来ない。従つて構造物の設計には豫め出来る丈載荷試験を行ふことが最も安全である。併しこゝには極く大體の目安として從來採用されて來た地盤の支持力値を次に表示して見た。

地質別基礎地盤許容荷重表

## 参考文獻

- 1) Link, Erdbau, 2. Aufl., 1920, S. 21—23.
- 2) Papers and Discussions, American Society of Civil Engineers, New York, August, 1920, S. 906.  
Terzaghi, Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage, Leipzig-Wien 1925, S. 361.
- 3) Förster, Taschenbuch für Ingenieure, 3. Aufl., Berlin 1920, S. 1075.
- 4) Hütte des Ingenieurs Taschenbuch, 24. Aufl., Bd III., Berlin 1924, S. 180.
- 5) Kranz, Die Geologie im Ingenieur-Baufach, Stuttgart 1927, S. 333.
- 6) Stiny, Technische Geologie, Stuttgart 1922, S. 741.
- 7) Esselborn, Lehrbuch des Tiefbaues Bd. I., Leipzig 1922, S. 248.
- 8) Schewior, Der Erdbau Bd. I., Leipzig 1925, S. 21.
- 9) Corthell, Engineering Record, II, p. 629  
Terzaghi, Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage, Leipzig-Wien 1925, S. 361
- 10) Hütte, 同前含水量の如何に由る
- 11) Stiny, 同前 S. 333 地表は不良なれど深所は硬き場合
- 12) " 同前 S. 333 含水の汲出に由て崩壊せざる地層
- 13) Jansen, Grundungen der Brücken, Berlin 1920, S. 17.
- 14) Otzen, Der Massivbau, Berlin, 1926, S. 37.
- 15) Bleich, Taschenbuch für Ingenieure und Architekten, Wien 1926 S. 385, 405.
- 16) Brennecke, Der Grundbau Bd. I, 4. Aufl., 1927, S. 28, 38, 40.
- 17) Handbuch der Ingenieur-Wissenschaft, Bd. I. Ad. 3, Grundbau, 4. Aufl., 1906, S. 20.
- 18) Brennecke, 同前閃綠岩・輝綠岩・玄武岩等鹽基性岩ノ場合  
Brennecke, 同前大理石・白雲石・硬砂岩等の場合

## 5) 獨逸基礎調査委員會の荷重試験示方書

次に平板載荷試験方法の参考として獨逸土木學會の基礎調査委員會の地盤支持力調査分科會規定

(草案)[Deutscher Ausschuss für Baugrundforschung bei der Deutschen Gesellschaft für Bauingenieurwesen, Vorschlage und Richtlinien für Probefestigkeiten, aufgestellt vom Unterausschuss für Tragfähigkeit des Baugrundes (Entwurf)]を掲げて置く。

## 獨逸土木學會基礎調査委員會

## 荷重試験仕様書

## 地盤支持力調査分科會規定(草案)

前置——此の提案並に仕様書は平板基礎特に從来最も廣く用ひられて來た基礎底部に於ける載荷試験のみを取扱つたものである。地下深部の土質調査の方法は茲では取扱はない。

總説——載荷試験を如何に行ふべきか又基礎特に深い地層の支持力に就いて何の程度迄信頼しうるか、と云う問題は未だ充分明になつてゐない。最も緊要であると同時に曖昧な問題は載荷板の必要にして且合理的な面積である。即ち壓力は地盤の凡ゆる方向に傳へなければならないが、載荷面が小さ過ぎると壓力は深所まで充分作用しないし又壓力が大き過ぎると載荷板の下部の地盤が擾亂される危険がある。併し載荷面を大きくすると、將來構造物を築造する際と同一の沈下を起さずには大なる荷重を要し、従つて荷重試験は非常に高價且煩雑のものとなる。今までの所載荷面の大きさに就いては、載荷板の沈下量から構造物の許容沈下量或は支持力を決定する目的には確たる規準は出來てゐない。之等は試験(載荷試験)と経験(適當なる構造物の観測)に依つて始めて明かにされる問題である。

## 試験項目

良い地盤と悪い地盤とを問はず、次の各項の試験は出來得る丈これを行ふべきである。

- A) 載荷試験は大小多數の面積に就いて行ひ、特に次の三種に就いて行ふ。  
a)  $1000\text{cm}^2 = 0.1\text{m}^2$       b)  $5000\text{cm}^2 = 0.5\text{m}^2$       c)  $10000\text{cm}^2 = 1.0\text{m}^2$
- B) 構造物に就いては着工當初より完成に至る迄入念に沈下量を測り、其の時々の荷重を確めて置く事 A 及び B に就いては(4)の仕様書参照。
- B) の測定は A) の試験と同時に詳細に行ふべきで載荷試験の際構造物の観測を行はなければ載荷試験は殆んど無意味と云つてよい。
- A) の中 a), b), c) 三つの載荷面に就いて試験を行ひ得ぬ時はこの中の二つ或は一つを任意に選んでよい。余り廣く八方に擴がつてない出来る丈周邊の限られた簡単なもの(例へば圓形・正方形・矩形・輪形其の他の如き)、或は又假令四方に凹凸が出てゐてもそれ等が全て對稱的位置を占めやるやうな基礎面を持つ構造物ならば凡て適當であるが、尤もこの後者の場合は荷重を出來得る丈け中央に集中してゐるやうなものならば多少信頼し得るものと見てよい。

最も適當してゐるもの(一連の集中杭工) 各杭間の間隔は相當離れてゐて尠くとも廣間ならばその内側内に一個の集団をなしてゐるもの、煙突・水槽及び貯藏槽或は機械の基礎等の如き獨立してゐるため荷重の大きさが明瞭に判り、且その構造物の周圍の地盤が他の構造物から全く影響を受けないやうなもの等である。

## 仕様書

## 1) 工事現場と土質の記載

次の事項を記載しておく事を要す。

- a) 構造物及び載荷試験の位置（道路や水流の附近であるか、基礎或は載荷試験の位置が現在或ひは將來振動を受けるか否か、若し然らば載荷試験中に振動を受けたか、又振動の種類）
- b) 土質類別（委員会規定により土質の類別並に成層状態）及び其の機械的性質（粒径・地層の特性及び透水度・比湿度及び含水量）、成層順序及び其の厚さを記入する。
- c) 地下水面の高さ

出来るなら次の事項も記入して置きたい。即ち

- a) 粒子分布曲線（土の機械的分析）
- b) 含濕及乾燥時の土の比重、間隙率及び比密度、土粒子の比重及び形状。
- c) 土の吸水性及び緊硬度。
- d) 剪断強度（粘土質には特に必要）

## 2) 荷重試験の実施

- a) 荷重試験の数・場所及び深さ。可能なる時は出来る丈多數の試験を行ふこと。多くの試験を互に接近して行ふと互に壓力を及ぼし合つて悪影響をもたらすから之は避けねばならない。

既存の基礎體の直ぐ側で行ふ時は之も記入して置く。載荷試験は將來の構造物の基礎底面に於て行ふ。載荷板は掘鑿表面下 10cm の位置に置く。

- b) 荷重 載荷板は正方形又は圓形（III A 参照）を用ふ。

$$\text{面積 } 1,000\text{cm}^2 = 0.1\text{m}^2 = 31.0 \times 31.0\text{cm} = 35.7\text{cm} \text{ 直徑}$$

$$\text{面積 } 5,000\text{cm}^2 = 0.5\text{m}^2 = 70.7 \times 70.7\text{cm} = 79.8\text{cm} \text{ 直徑}$$

$$\text{面積 } 10,000\text{cm}^2 = 1.0\text{m}^2 = 100 \times 100\text{cm} = 112.8\text{cm} \text{ 直徑}$$

載荷板の厚さは全荷重を受けた時殆んど撓曲しない程度の厚さ、換言すれば個體として確實に作用する厚きとする。

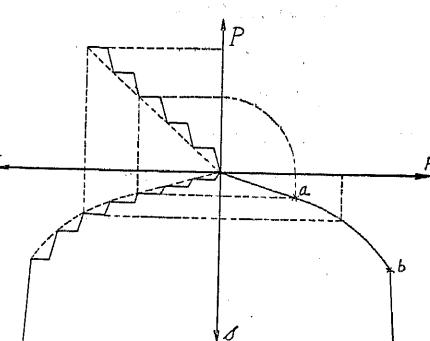
c) 載荷方法・目的 沈下  $\delta$  と壓力  $P$  の間の沈下曲線（第 934 圖）の  $a$   $b$  兩位置を決定する事が必要である。 $a$  は比例限界點、 $b$  は急激沈下の起る點である。

時間も測定して之を圖表に適宜に示すべきは言を俟たぬ。

各荷重の段階を小ならしめたり又は急激に行つたりしてはならない。繼續追加荷重の段階 ( $P_1 - P_2$ ) は大體  $0.5\text{kg/cm}^2$  を超えてはならない。

載荷の直前及び直後の沈下量を測れば適當な各荷重段階を求め得る。（第 934 圖参照）

特に粘土質の時には載荷板が殆んど移動しなくなる迄長



第934圖 荷重一沈下一時間一曲線圖示法

（獨逸土木學會基礎調査委員會規定）

時間壓力を作用せしめて置く方がよい。

載荷面が小さい時は、地表面に於けるその個所だけ局部的に壓縮されるため殘存應力が發生し、之が反撥力として働き地下深い層まで傳はらず非常に惡結果をもたらすから、余り高壓を加へずに載荷板の周囲の土をよく観察する。

載荷及び荷重除去の際如何に土が壓縮されたかをも観察して置くとよい。それには第 935 圖 (a) の如き裝置と充分精密なる測定とを必要とする。

d) 載荷機構 載荷板に煉瓦、鐵棒を直接に載荷する時は正しく中心に作用せしめる。第 935 圖 (b) の如き載荷機構に於ては對重（靜荷重）を載荷點から出來る丈遠距離に加へると惡影響がない。靜荷重としては砂箱・煉瓦・軌條其の他を使用する。靜荷重と載荷板の間の壓力の傳達には Deutsche Bauzeitung 1916 年報告書 (166 頁) に依るレバ式又はスクリュウ又は水壓ジャツキを用ひる。これによつて荷重の除去又は再載荷を簡単迅速にし、且載荷速度を一様ならしめる事が出來、就中觀測に危険が無い。

e) 沈下の觀測 試験板の上に直接に載荷する時は第 935 圖 (a) の如く裝置すると、荷重の附近又は下部に於て觀測する必要がない。第 935 圖 (a) の如き載荷法の時には荷重板について直接測定する事が出来る。尚出來るなら其の周囲の三ヶ所に於て、而も渺くも直徑の二倍以上離れた位置から測定する。且又沈下測定装置は反對方向の壓力に依つて上方に變曲したり又は之と同様の作用を受けないやうに、これを對重の取附部材に裝置してはならない。特殊の裝置に依つて合理的な測定を行ふには載荷裝置を出来る丈試験位置から離して置く。測定用ダイアル・ゲエヂとしては Zeiss 製がよい。

載荷板の急激沈下又は大なる沈下の際、板の周囲が脹らみ上るか否かをよく注意する。

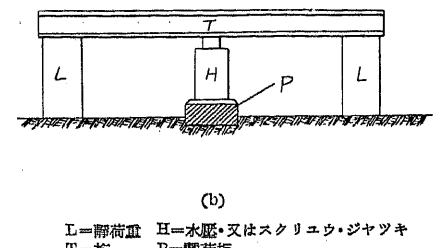
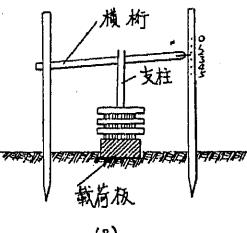
## 3) 構造物に關する測定

着工當初から渺くとも三個所以上の相對的位置の沈下をよく注意して測り（構造物と共に沈下するやうに豫め鐵ボルトを混凝土或は壁體内に埋込むで置く）、足場・床板面・上屋根等も載荷重の中に加へて置く。而して測定の時間の荷重を確めて置く。斯くて構造物が竣工する迄此の觀測を續ける。各回測定の間の時日は明記しておく。

特に作業を中止する際には其の前後必ず測定を行ふ。

斯る荷重試験の遂行には各土木官廳及び土木建築業者、各顧負人、各工事監督官廳及び技術者等各方面の實際家の協力が必要である。適當な工事現場に於ける極く簡単な試験によつて極めて貴重な資料が得られるものであるが、唯茲に大切な事は之等の試験を一定の見地から行ふ事である。

載荷試験の費用は全工事費に比すれば非常に微々たるものであるし、更に構造物の觀測等に至つては殆んど費用を要しない。故に特に急を要せぬ個所には載荷試験は從來より更に盛に實施しなくてはならない。一般に基礎地盤の性質を知るに貴重な資料を與へる點に於て載荷試験の利益は莫大なものである。



第 935 圖 載荷方法

L=静荷重 H=水壓・又はスクリュウ・ジャツキ  
T=柱 P=載荷板

當分科會は載荷試験に関する設備並に實施に際しては喜んで之に援助を惜しまない準備を有するものである、尙總て載荷試験及び構造物観測の結果に関する資料御送附被下らば幸甚の至である。

地盤支持力調査分科會主任 Dr. Kögler

## 第 29 節 杭基礎試験

### 1) 載荷試験装置

杭の支持力を判定するには工事現場に打込んだ杭に實際試験荷重を加へて或る荷重の下の沈下量を檢べる方法と、杭を打込む際の打留沈下量から所謂杭打公式によつて判断する方法との二つがある。

打込んだ杭に試験荷重を加へて沈下量を判定する載荷試験は平板の場合の載荷試験と全く同様の方法に従へばよい。唯杭の場合には多數の杭を可成り接近させて打並べることが多いから、一本の杭の試験結果を以つて數多の杭を打並べた場合の支持力とするのは早計である。

通常の杭の支持力は杭の表面摩擦と先端面の受ける直壓力の作用との二つに依るものであ。一様な軟質の地盤の中に打込まれた杭の支持力は大部分表面摩擦に依るもので、これを摩擦杭と稱しその支持力は杭の表面に加はる土壓に杭の表面と地盤との摩擦係数を乗じたものに相當する。杭の先端が軟い地盤を貫いて硬い砂利層又は岩盤に達してゐる場合は、杭は大部分先端で支へられた支柱としての作用をなすもので、此の場合の支持力は地盤の強さより寧ろ杭の長柱としての強度によつて決まるのである。勿論一般の杭の支持力はこれら二つの作用が或る割合で同時に働くもので、摩擦杭・支柱杭の差は明確には別け難い。併し最も屢々相遇し而も地盤の中の力学的作用の不明瞭なのは摩擦杭として作用する場合である。以下本説に述べる説明も此の場合に限るものとする。杭の支持力の判断に關して今一つの難しい問題は上記の互に接近して打たれた杭が相互に影響し合う現象である。これは特に軟弱な地盤に打込まれた摩擦杭に於て著しい。

### 2) 杭の先端及び表面に於ける支持力

杭(Pile, Pfahl, Pieux) の支持力は先端の受ける直壓力と表面の受ける摩擦力との和であるから、杭の断面積を  $F$ 、表面積を  $U$  とすれば支持力  $P$  は

$$P = AF + BU$$

で與へられる。茲に  $AF$  は杭の断面積、 $BU$  は表面積に比例する支持力で、太さと長さの異なる數本の杭に就いて載荷試験を行つて其の地盤に對する特定の杭の係数  $A, B$  を求めれば任意の長さ及び太さの杭の支持力を精確に推定することが出来る。

Krey 及び Dörr は此の二つの見方から杭の支持力を次の如く與へてゐる。

$$P = \left\{ F \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2} \right) \gamma h + U \gamma \frac{h^2}{2} \tan \theta' \right\} \quad (\text{場合によりこれに受動土壓の係数})$$

$$\lambda_p = \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2} \right) \quad (\text{を乘す}) \dots \dots \text{Krey}^1)$$

$$P = F \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2} \right) \gamma h + U \gamma \frac{h^2}{2} \left( 1 + \tan^2 \frac{\theta}{2} \right) \tan \theta' \dots \dots \text{Dörr}^2)$$

茲に  $F$ : 杭の断面積、 $U$ : 杭の周長、 $h$ : 杭の長さ、 $\gamma$ : 土の単位容積の重量、 $\theta$ : 土の摩擦角、 $\theta'$ : 土と杭表面の間の摩擦角を示す。

若し杭の貫く地層が數多の相異する層の互層になつてゐる場合には、第 936 圖に示す符號により

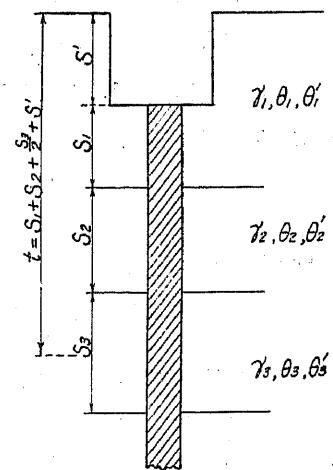
$$P = \left\{ F \sum \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2} \right) \gamma h + U \sum \gamma \frac{h^2}{2} \tan \theta' \right\}$$

(場合によりこれに受動土壓の係数)

$$\lambda_p = \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2} \right) \quad (\text{を乘す}) \dots \dots \text{Krey}$$

$$P = F \sum \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2} \right) \gamma h$$

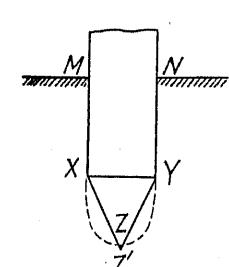
$$+ U \sum \gamma h \left( 1 + \tan^2 \frac{\theta}{2} \right) \tan \theta' \dots \dots \text{Dörr}$$



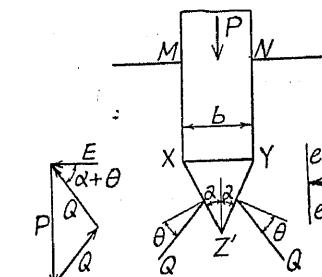
第 936 圖

で杭の支持力が與へられる。茲に  $t$  は地表より各地層の中點までの深さである。

これらの式は殆ど同じ形を具へてゐるから、その中の Krey の式の誘導を説明しよう。



第 937 圖



第 938 圖

今杭の沈下現象を解析するに、彈性変形に依る沈下は暫く指して茲では専ら土の剪断破壊即ち土塊が側方へ押しやられる場合の沈下のみを取扱ふ。即ち第 937 圖に於て此の土塊の側方圧縮は  $X-Z'-Y$  面を境として起るものであるが、この面を以て計算することは困難であるから近似的に楔形  $X-Z'-Y$  で置き換へて之に作用する力の釣合を考へる。

土の側方移動の際の土の単位面積に働く抵抗を  $e$ 、全抵抗を  $E$ 、地表面より端面迄の深さを  $h$  と

<sup>1)</sup> Krey, Erddruck, Erdwiderstand, 3 Aufl. Berlin 1926.

<sup>2)</sup> Dörr, Die Tragfähigkeit der Pfähle, Berlin, 1922.

すれば  $E = e \cdot h = \frac{e \cdot b}{2 \tan \alpha}$  で之を押し込むには  $z \theta \sin(\alpha + \theta) = e b \frac{\tan(\alpha + \theta)}{\tan \alpha}$  の力を要する。

$\alpha$  は未知数であつて杭が沈下する時の釣合の條件  $\frac{dP}{d\alpha} = 0$  から求められる(第938圖)。

即ち  $\alpha = \frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{2}$  を得るから

$$e b \frac{\tan(\alpha + \theta)}{\tan \alpha} = e b \frac{\tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2}\right)}{\tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{2}\right)} = e b \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2}\right)$$

此の外に杭の周邊に作用する土の摩擦力及び凝集力による抵抗がある。

摩擦力による抵抗力は  $U \gamma \frac{h^2}{2} \tan \theta'$  凝集力による抵抗力は  $U c h$  である。茲に  $U$  は周邊の長さ,  $\gamma$  は土の比重,  $\theta'$  は土と杭との間の摩擦角,  $c$  は凝集力,  $h$  は杭の長さである。安全側に取つて  $\theta' = \theta$  とすれば

$$U \gamma \frac{h^2}{2} \tan \theta' = U \gamma \frac{h^2}{2} \tan \theta$$

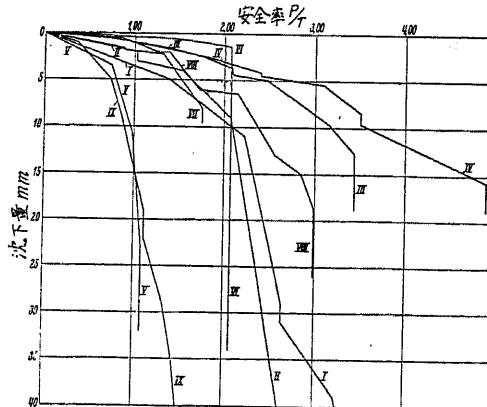
即ち杭の沈下に対する全抵抗力  $P$  は

$$P = F \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2}\right) \gamma h + U \gamma \frac{h^2}{2} \tan \theta + U c h$$

茲に  $F$  は端面の面積である。

杭を地中に押込む際土の側方移動によつて附近の土に抵抗土圧を及ぼすから前記二項には抵抗土圧係数を乗すべきである。

$$\text{即ち } P = \left[ F \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2}\right) \gamma h + U \gamma \frac{h^2}{2} \tan \theta \right] \lambda_p + U c h$$



第939圖 杭の沈下量安全率曲線

$$\text{茲に } \lambda_p = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2}\right)$$

これらの公式は支持力の概念を得るには巧な形になつてゐるが、その實用價値は式中に含まれてゐる土質定數の豫定の困難により、次に記す杭打公式と同様に多分の疑問の點を持つてゐる。

獨乙フランクルト・アム・マイン市で 8 本の<sup>1)</sup>錐杭(杭の先端に螺旋を有する振込杭)について實際に現場で測定して荷重沈下曲線から求め

1) Hege, Über die Tragfähigkeit von Bohrpfählen, Die Bautechnik, Heft. 1, 1934, s. 7.

た杭の支持力  $P$  と上記の支持力公式から求めた値  $T$  とを比較した結果が第939圖であつて、此の圖に依ると安全率に相當する  $P/T$  の比は種々の杭によつて 1~5.0 の間に變化してゐる。以つて支持力公式の妥當性を批判する参考資料とならう。

累層の場合の計算方法(第940圖)

Iの層では

$$P_1 = \left\{ \left[ F \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta_1}{2}\right) \gamma_1 h_1 + \frac{1}{2} U \gamma_1 h_1^2 \tan \theta_1 \right] \lambda_{P_1} + U c_1 h_1 \right\}$$

II, IIIの層に於ては夫々上層の影響を受けるから凝集力も摩擦力も厳密に言へば凡て變化するが茲には夫を考へずに載荷重としての影響のみを考へる。即ちIIの層に於ては

$$P_2 = \left\{ F \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta_2}{2}\right) \right\}$$

$$\frac{\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2}{h_1 + h_2} (h_1 + h_2) + U \left( \frac{\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2}{h_1 + h_2} \frac{h_2}{2} \right) \cdot$$

$$\left( h_1 + \frac{h_2}{2} \right) h_2 \tan \theta_2 \lambda_{P_2} + U c_2 h_2 \right\}$$

$$= \left\{ \left[ F \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta_2}{2}\right) \cdot (\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2) \right. \right.$$

$$+ \frac{1}{2} U (2 \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2) h_2 \tan \theta_2 \lambda_{P_2} \left. \right]$$

$$+ U c_2 h_2 \left. \right\}$$

茲に第二項の  $\frac{1}{2} (2 \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2)$  は載

荷重を換算した場合の層IIの中央點の抵抗力を表はす。同じくIIIの層では

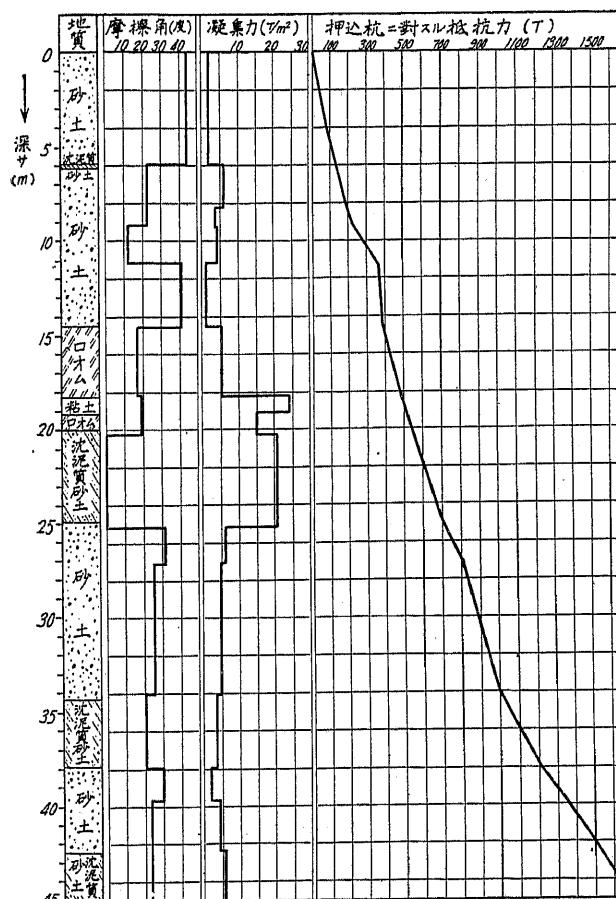
$$P_3 = \left\{ F \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta_3}{2}\right) \right\}$$

$$\frac{\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \gamma_3 h_3}{h_1 + h_2 + h_3} \cdot (h_1 + h_2 + h_3)$$

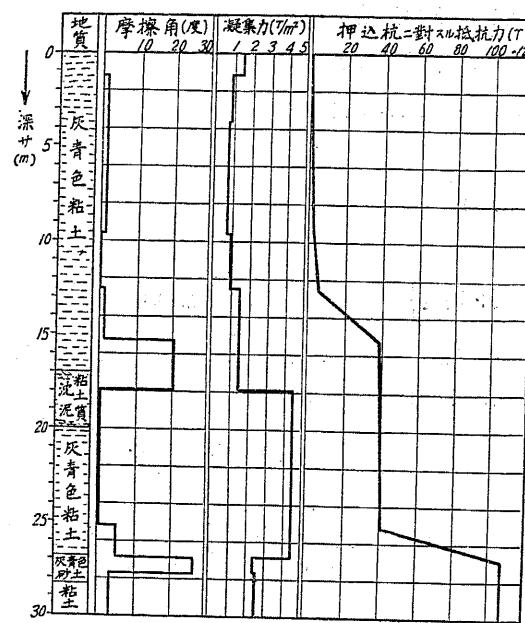
$$+ U \left( \frac{\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \gamma_3 h_3}{h_1 + h_2 + h_3} \frac{h_3}{2} \right) \cdot$$

$$\left( h_1 + h_2 + \frac{h_3}{2} \right) h_3 \tan \theta_3 \lambda_{P_3} + U c_3 h_3 \right\}$$

$$= \left\{ \left[ F \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta_3}{2}\right) \cdot (\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \gamma_3 h_3) \right. \right.$$



第941圖 鉄道省廳舎敷地(東京駅前)に於ける押込杭  
抵抗力の計算



第 942 図 大阪港満鐵埠頭に於ける押込杭の抵抗力の計算

ものは第 941 図である。

2) 大阪港満鐵埠頭の地質調査は徑 100mm 錐心採取用の二重管式試錐機で行つた。例(1)と同様の計算を行つた結果は第 942 図の如くである。

### 3) 杭打公式

杭打公式 (Formula for pile driving, Formel für Einrammen von Pfählen, Formule à battage de pieux) は杭を打込む際の最後の打撃による打留め沈下量によつて杭の支持力を與へるものである。

即ち杭打込公式によつて求めんとするのは杭に靜止荷重を載せた場合の靜力學的 (statical) の貫入抵抗であるが、測定せる打留め沈下量は錐で打撃を與へた際の動力學的 (dynamical) の貫入抵抗によるものである。この二つの抵抗は一般に相違するもので、これは錐で打撃を與へた際に杭・錐及び地盤が一時的彈性變形をなすからである。併し砂・砂利或は透水度の大きい盛土の如き地層では地盤の彈性變形が小さいため實際上杭打抵抗が靜止荷重に對する支持力に等しいとみてよい。

Terzaghi<sup>1)</sup> は杭打公式の基本式を次の如く與へてゐる。

即ち杭の貫入抵抗と錐の打撃の間の關係式を求めれば、

1) Terzaghi, Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage, Leipzig 1925, s. 266~268.

$$+ \gamma_3 h_3) + \frac{1}{2} U(2\gamma_1 h_1 + 2\gamma_2 h_2 + \gamma_3 h_3) h_3 \tan \theta_3] \lambda p_3 \\ + U c_3 h_3 \}$$

一般に第 N 番目の層では

$$P_n = \left\{ \left[ F \lambda n^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\theta n}{2} \right) \sum_1^n \gamma h \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{2} U(2 \sum_1^{n-1} \gamma h + \gamma_n h_n) h_n \tan \theta_n \right] \lambda p_n \right. \\ \left. + U c_n h_n \right\}$$

故に N 層の下端迄杭を押込むには

$$P = \sum_1^n P$$

の力を必要とする。(第 940 図参照)

1) 東京驛前鐵道省廳舍敷地の地質調査は徑 100 mm 錐心採取用の三重管式試錐機で行つた。試錐標本の剪断強度及び之を用ひて徑 300mm の杭を押し込む際の抵抗力を上式より計算した

$Q$  錐の重量 (kg),

$q$  杭の重量 (kg)

$L$  杭の長さ (cm),

$F$  杭の斷面積 ( $\text{cm}^2$ )

$h$  錐の落下高 (cm),

$d$  落下高に依る杭の沈下 (cm)

$E$  杭の材料の彈性係數 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$P$  杭の動力學的貫入抵抗 (靜力學的耐荷力に等しいと假定する)

高さ  $h$  から落下する錐が杭の頭部に加へる energy は  $Qh$  である。其の中  $A_n = Pd$  は杭を打込む爲に利用され、他は (A) 衝擊に依つて費される energy と (B) 杭を彈性的に壓縮する仕事として失はれる energy である。

(A) 非彈性的の衝擊に依つて失はれる仕事は

$$A_1 = Q \cdot h - \frac{Q \cdot h}{(Q+q)^2} [Qq(1+n)^2 + (Q-n \cdot q)^2] = \frac{Q \cdot q \cdot h(1-n)^2}{Q+q}$$

で表はされ茲に係数  $n$  の値は 0 (完全なる非彈性衝擊) と 1 (完全なる彈性衝擊) の間に變化し、木の杭と錐の間では  $\frac{1}{2}$  と假定してよい。

(B) 貫入抵抗は杭の下端に作用するものと假定すると、杭が壓縮される爲めの energy は

$$A_2 = \frac{1}{2} \cdot P \cdot \frac{P}{F} \cdot \frac{L}{E} = \frac{1}{2} \cdot \frac{P^2}{F} \cdot \frac{L}{E}$$

實際には摩擦抵抗が作用するから、貫入抵抗の合成功は杭の下端から相當上の處に働いてゐる。併し此の影響は省略する。

錐が落下して爲した仕事は上の三つの energy の和に等しいから、

$$Q \cdot h = A_n + A_1 + A_2$$

$$\text{或ひは } Q \cdot h = P \cdot d + \frac{Q \cdot q \cdot h}{Q+q} (1-n^2) + \frac{1}{2} \cdot \frac{P^2}{F} \cdot \frac{L}{E} \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{従つて } P = \frac{F}{L} \cdot E \left[ -d \pm \sqrt{d^2 + \frac{2 \cdot Q \cdot h}{E} \cdot \frac{Q+n^2 q}{Q+q} \cdot \frac{L}{F}} \right] \quad \dots \dots \dots (2)$$

貫入抵抗は常に  $Q$  より大きいから符号は正を探る。(2) 式に於て  $n=0$  (完全なる非彈性衝擊) と置けば

$$P = \frac{F}{L} \cdot E \left[ -d + \sqrt{d^2 + \frac{2 \cdot h \cdot Q}{E(Q+q)} \cdot \frac{L}{F}} \right]$$

は Redtenbacher<sup>1)</sup> の式として知られてゐる形である。

上式を  $h$  に關して解くと

$$h = d \cdot \frac{P}{Q} \cdot \frac{Q+q}{Q+n^2 q} + \frac{1}{2} \cdot \frac{P^2}{FQ} \cdot \frac{L}{E} \cdot \frac{Q+q}{Q+n^2 q} \quad \dots \dots \dots (3)$$

1) Redtenbacher, Prinzipien der Mechanik und des Maschinenbaues, Berlin 1857.

