

角山泥炭地に於ける杭打試験

北海道開発局 石狩川治水事務所 茅 花 実

目 次

緒 言	
I 地点の概要	
II 地 質	
III 杭 打 試 験	
[1] 打 込	
[2] 穿 入 観 測	
[3] 荷 重 試 験	
[4] 兩 杭 の 比 較	
結 語	

緒 言

石狩川沿岸に介在する泥炭地域は比較的交通の便に恵れ、気候も温暖で農業に適し乍ら今日なお3万町歩に亘る広漠たる低湿地帯の泥炭原野がある。

石狩川の改修工事が進むにつれて、排水機能が良くなり、常水位の低下は江別町上流に於て2mに及んで沿岸流域の開拓に極めて大きな成果をなし、今後未開の泥炭地開発の可能性を増大している。

泥炭層の基底をなす底土は多く不滲透性の青灰色粘土で、相当厚さの流動状態の部分が泥炭と粘土分の融合した層があるから一層不安定なものとなつている。このような軟弱地盤に30m下の基盤の砂層迄長大な基礎杭を真直ぐに打込めるかどうか。又果して泥炭粘土層に於ける摩擦抵抗が幾何あるか、基盤の支持力はどうか、之等を調査して泥炭地盤に於ける基礎工法即ち泥炭地に何かの構造物を施工して地盤の平衡を破ると浮上り孕出し、沈下、地割れ等の種々被害をかもす状況であつて、吾々にとっては少なからぬ悩みの種であつて、今後泥炭地における土質工学的な解明によつてその持性を把握する一助に本稿がなれば誠に幸いである。

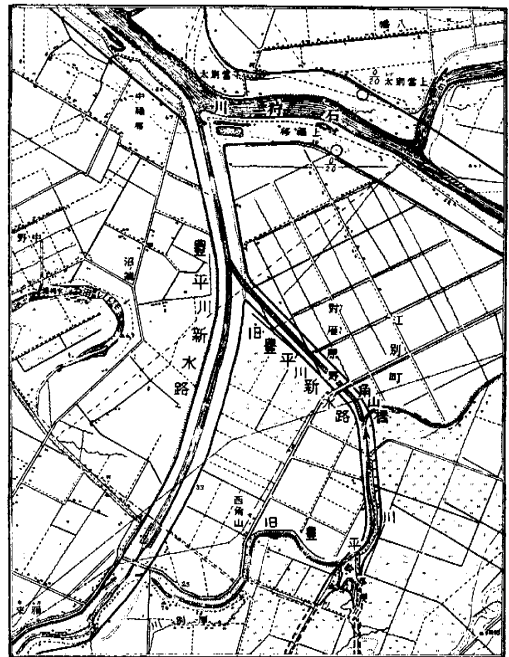
I 地点の概要

本試験箇所は箇所図に示す通り札幌市より15kmの江別市宇角山即ち旧豊平川新水路工事地点で行つたものである。

この新水路工事は江別市角山・野幌・札幌市上白石・

東米里地区約6,000町歩が石狩川本流の逆水を受け毎年2～3度の出水に氾濫するのを防止し併せて原野開発の目的で計画せられ、昭和24年度に着工し以来6年にわたり掘削を進め29年度之が通水の快事を見るに至つたものである。

本水路掘削に伴い札幌～稚内線(道道)が遮断されるので架橋の必要を生じ、この橋を杭打基礎上に橋脚を設けてゲールバー鋼桁橋を架設をする目的で昭和28年3月に実施されたものである。



箇所図

II 地 質

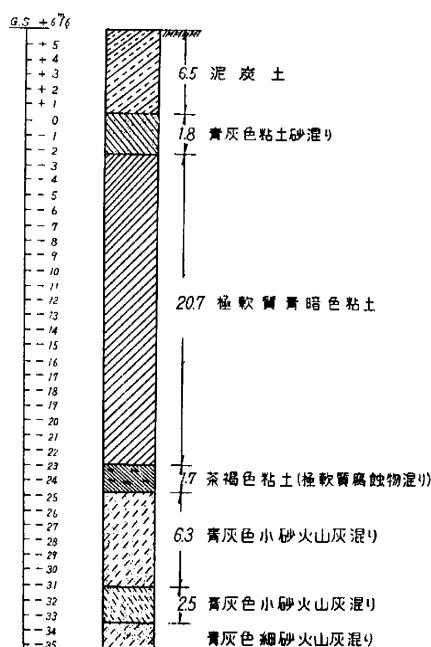
本地区は大体に於て表層6～7mに及ぶ泥炭地帯であり、ポンプ浚渫船による堀上げに於ても本船前面、側面は20m位まで沈下亀裂を生じ、下層の極軟粘土を切り肌として崩落地切りを生ずる。左右岸の亀裂沈下は最大50mに及び大体1/2～1/8の勾配で安定している。こ

の滑動状況も層状的にり出し傾向がうかがわれ場所的には鋸の歯の様相を呈した。

地質鑽孔の結果は柱状図に示す通り原野の表層は6～7mの泥炭で覆われ、その下は厚さ20mの軟弱粘土を経て砂礫層となつている。

この青暗色粘土の資料から試験の結果

凝集力 0.02 kg/cm^2 $C = 0.0225$
 $C = 0.1600$
 摩擦角 $\tan \theta = \begin{cases} 0.0221 & \theta = 1^\circ - 16' \\ 0.01227 & \theta = 0^\circ - 42' \end{cases}$
 含水率 33.64%



柱状図

III 杭打試験

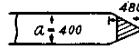
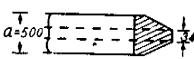
角山橋々脚基礎杭打ち約30mの泥炭及び粘土層を貫通して長大なプレキャスト鉄筋コンクリート杭を硬い砂層まで打込んで載荷試験を実施した結果支持力施行共大体満足すべき結果を得た。試験は先づ打込試験、次いで載荷試験を行なつて土資料の土質工学的試験は行わなかつた。

打込試験は杭打の動力学公式を用いて貫入量、活錘重量及び落錘高より支持力を算定するものであり、積荷試験は杭頭に設計荷重より算出せる適当量の静荷重を載せてその沈下状況から支持力を算定するものである。

[1] 打 込

試験杭は2種とし

杭 径 (mm)	上 杭 (m)	中 杭 (m)	下 杭 (m)	総 長 (m)
400	11.5	11.5	12.00	35
500	12.0	12.0	12.00	36

杭 径 (mm)	軸 筋	重 量 (t)	尖 端 形 状	肉 厚
400	φ 13 mm - 10 本	6.9		70
500	φ 13 mm - 13 本	10.3		80

打込機は落錘式で活錘重量2.5t、錘帽は重量450kg(含木材ブロック)、打込機の櫓の高さ約16m(2本子櫓)、動力は30HP三相誘導電動機、捲揚機は複動ウインチ、ドラム直径43cm、このパイルは圧縮強度を持つているのでハンマーの打撃による破損を最少限度に防止する事を得るのでありますが、如何に良好なる杭といえども大重錘にて何百回と衝撃を与えるため、少しの不注意からも破損をきたす事がありますので打込方法、打込機械等に注意を要する。即ちその打込に当り

- 重錘と杭頭との打撃面の重心
- 重錘の重心
- 重錘打撃の方向

との三者共に杭の軸心線上に合致するのが理想であつて重錘の打撃力が杭の軸心線と一致しない場合、即ち

- 杭頭の打撃面が杭の軸心線より偏倚している場合
- 打撃方向が杭の軸心線と一致しない場合
- 重錘が彎曲又は横振して真直に杭頭に当たらない場合

以上の時は彎曲又は横振動を惹起するため錘の打撃勢力の一部分が杭の穿入抵抗に対して尙かず頭部の破損をきたし、尚地盤の攪乱に悪用浪費される結果となる。従つて同一打撃勢力であつても真直ぐに打撃される場合と振れ打ちの場合とでは杭の沈下の度が異つている。振れ打ちの場合は杭の沈下が小さくなる。甚しき横振れの打方をすれば沈下は少く、錘は躍動し杭頭は挫け杭の打損を生じます。一般に落差が大であると錘の躍動は自然激しくなり易い。

従つて軽い錘を高揚げして打つよりも重い錘を低く揚げて打つた方が総ての点に得策であり、軽高打の錘よりも重低打の錘が尊重されるのは当然である。

以上のように錘はなるべく重いものが杭の為には理想であるが現場の地質等により様にはゆかないので、普通パイルの重量の約1.5倍位の錘が標準とされ且つ能率的と言われている。

打込みに際して最もキャブは重要なものであり、キャブを使用して打撃に対して頭部を保護し頭部全面に対し平等に衝撃を伝えさせなければならない。キャブの良不良はパイルの為のみならず打込機械の破損をきたし、又は能率を低下し経費を多くする。

キャブの構造は種々なる方法がありますが、要は錘の激しい衝撃をその仲介に依つて杭頭に平等に伝えるように工夫すればよいので、その緩衝材として木片、藁、綿糸、鋤屑、ゴムをキャブ内に挟み込むのである。

本試験には堅木と藁を使用した。

打込試験は昭和28年3月2日外径400mmを翌3日に外径500mm試験杭を泥炭粘土層を貫通して砂質土層まで到達せしめ満足すべき打止沈下量に達する迄打込んだ。即ち同杭共泥炭層及び粘土層までは何等の障害なく順調に貫入し砂層に到達して急に貫入抵抗は増大し落錘高2.5mで1回の貫入量は400mmでは7mm、500mmでは4mmで、エンヂニアリング公式では夫々32.2ton、35.5tonの支持力を得ることを認めて打止めとした。

この落錘高2.5mは本試験に使用せる活錘重量2.5tonの落錘式杭打機、錘帽及びプレキャスト中空鉄筋混凝土杭では杭の破壊を防ぐための最大落錘高である。杭の穿入速度は急速打込の方が良く、特にその建こみさえ良好ならば真直ぐにどんどん穿入してゆくものである。

(mm)	打込時間 (分)	打撃回数 (回)	モンキー 打止り 行程 (m)	打止り 沈下 (cm)	支持力 (ton)
400	64	571	2.5	0.7	32.2
500	100	768	2.5	0.4	35.5

杭の吊込みに80%の時間を要するわけで、吊込みの熟練如何によつて打込み歩掛りが左右される。

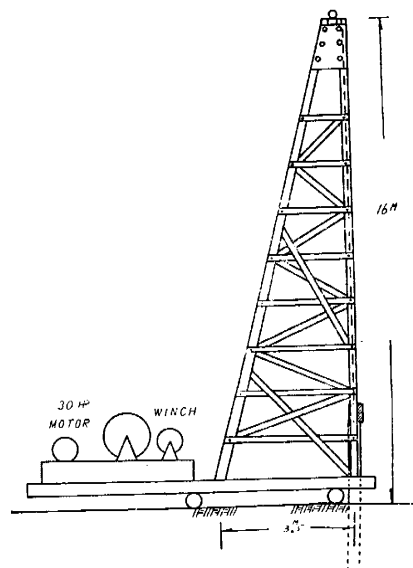
【2】 穿入観測

長さ約7尺杭を打込地点から夫々約3mずつ離して立てこの間に水糸を水平に張つた。一方杭には10cm毎に目盛を記入し穿入量を測定した。なお水糸の高さ及び水平度は打込中絶えず「レベル」で規正した。

次に櫓の垂直部材に25cm毎に目盛りを附し落錘高を測つた。又杭を垂直に打込むため杭打機の櫓の垂直度を錘球で規正した。

泥炭層及び粘土層上部に於ては落錘高は1mとし状況によつて0.5~1.5mまで増減した。約1m貫入する度に錘打を中止し水糸を規準として杭の目盛り及び折尺をもつて貫入量を測定し、同時にこの間の打撃回数を数取器で取つた。粘土層下部では約50cm貫入する度に貫入量及び打撃回数を記録した。

粘土層より砂層に移る附近では落錘高を1.5m~2.0mにし約50cm貫入する度に貫入量及び打撃回数を記録した。



二本子櫓

打止めの際には落錘高を1.0m、1.5m、2.0m、2.5m、3.0mと変化させ、且つ打撃回数を何れも10とし貫入量を測つた。

各深度に於ける平均貫入量及び支持力打止めに於ける貫入量及び三公式による支持力（打止貫入量より求めた極限及び安全支持力）

400mm試験杭 n = 安全率 () は安全支持力

落錘高 (cm)	貫入量 (cm)	公 式		
		エンヂニア リングニュ ース公式 $n=6$ (ton)	レッテンバ ツヘル公式 $n=6$ (ton)	当山公式 $n=6$ (ton)
100	0.03	97.2 (16.2)	67.3 (11.2)	139.7 (23.3)
150	0.22	136.2 (22.7)	75.7 (12.6)	164.1 (29.0)
200	0.60	159.6 (26.6)	85.4 (14.2)	118.2 (29.7)
250	0.70	193.2 (32.2)	76.7 (12.8)	197.8 (32.9)

500mm試験杭 n = 安全率 () は安全支持力

落錘高 (cm)	貫入量 (cm)	公 式		
		エンヂニア リングニュ ース公式 $n=6$ (ton)	レッテンバ ツヘル公式 $n=6$ (ton)	当山公式 $n=6$ (ton)
150	0.15	139.2 (23.2)	85.5 (14.3)	185.9 (30.9)
200	0.30	176.4 (29.4)	89.4 (14.9)	209.3 (36.6)
250	0.40	193.0 (35.5)	103.5 (17.2)	230.4 (38.4)
300	0.55	243.0 (40.5)	107.0 (17.8)	246.8 (41.1)

多数の公式中より上記3公式をえらんだのは、打止めに於けるか如き1 cm以下の貫入量より支持力を出す動力学の公式としてはこれが経験上、かなり妥当な結果を示しているからである。

貫入の状況は泥炭層は両杭共杭と活錘の自重のみで貫通し、更に砂混り粘土層にも50 cm貫入した。

粘土層では両杭共深さが増すとともに1回当たり平均貫入量は減少していった。接合に要する時間(30分)を要したためこの直後には平均量は減少した。即ち接合作業の間に攪乱された粘土と杭との間に摩擦力の回復を見たものと思われる。打止に於て種々落錘高を変えて夫々同数の打撃を行なつて打止貫入量を測つたのであるが、両杭共落錘高と貫入量の関係は図表のように直線比例を示しているが、落錘高と抵抗力の関係は図表其の3のようにならぬ値の相違を示している。図表其の1、其の2は落錘高2.5 mに対する打止貫入量をとつた。

400 mm試験杭の内部には継手から地中水が浸入してその水位は地表下2.23 m、標高+3.87 mの位置にあつた。

500 mm試験杭(開放型)の内部には地表面下8.25 mまで(標高-2.09 m)まで土砂が浸入していた。即ち押上り状態は地盤上の土砂と比較してやや締つている程度であつた。(図表其の1、其の2参照)

[3] 荷重試験

荷重試験は先に打込んだ外径400 mm及び500 mmの2本について行つた。即ち3月10日より20日まで外径500 mmについて、3月21日より30日まで外径400 mmについて行な

土質図

試験杭(ハワイル型)

泥炭層

粘土層

極軟質

青暗色粘土

粘土

粘土

粘土

粘土

粘土

粘土

粘土

粘土

粘土

粘土

粘土

粘土

粘土

粘土

粘土

粘土

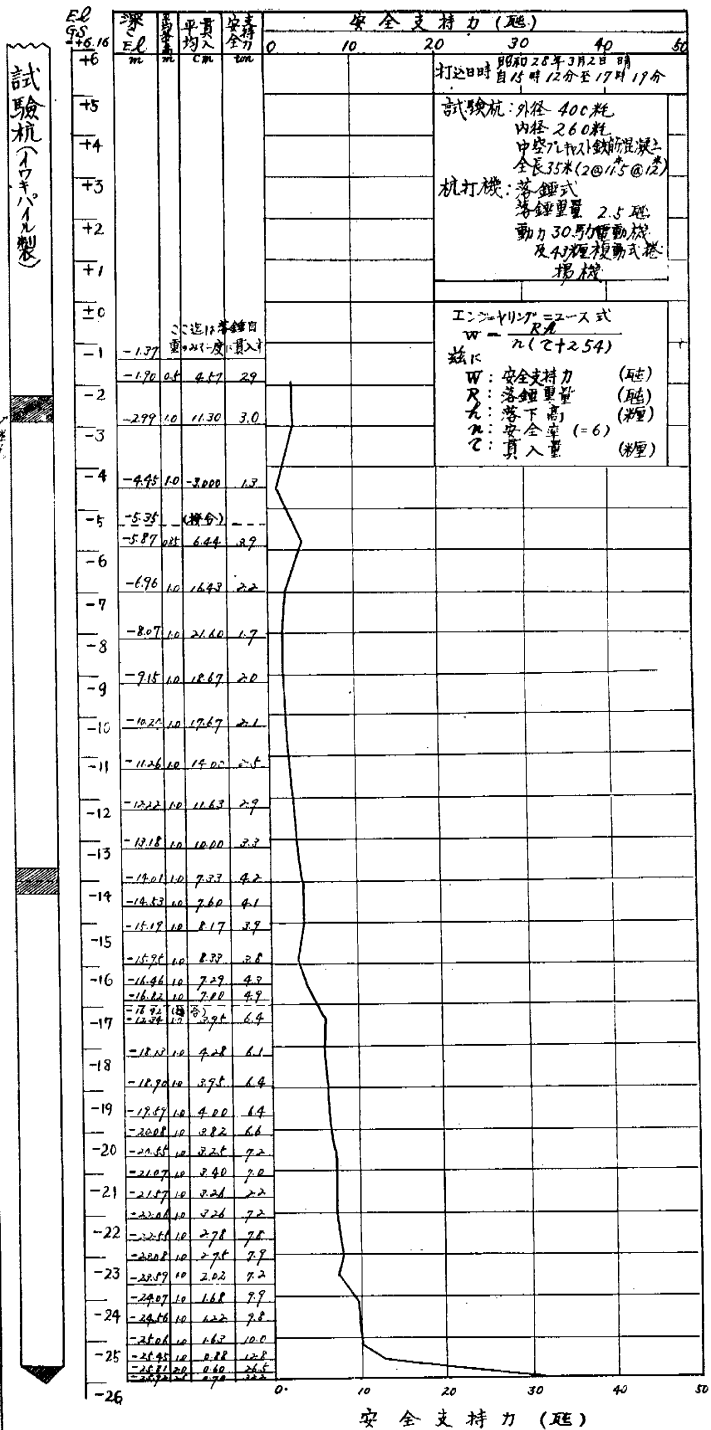
粘土

粘土

粘土

粘土

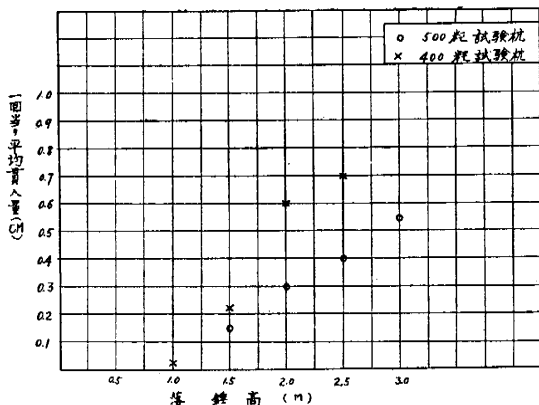
粘土



其の1 角山橋々脚基礎杭杭打試験成績(400 mm 杭)

備考 算式エンジニアリングニューズ式

次にダイヤルゲージの保存台をこの上にのせダイヤルゲージをとりつける。一方試験杭に巾3時の鉄製のバンドをボルト締めした。



其の3 打止めに於ける各種落下高に対する平均貫入量

バンドから出ている水平鉄片の水面をダイヤルゲージの移動棒に接せしめた。水糸は試験杭に接して水平に張り、且つ試験杭にも目盛紙をはりつけた。載荷作業中は1 ton 増す毎に載荷終了後は沈下の速さとにらみあはせて5分以上適宜の時間に測定した。

荷重～沈中～時間の関係

500 mm 試験杭については図表其の6から400 mm, 試験杭については図表其の8に結果を示す。両試験杭とも沈下量は載荷作業中の沈下量が大部分を占め、載荷作業完了後はごく緩慢な速度で沈下するのみである。これは載荷作業中にはかなりの衝撃を伴うためと思われる。

要求されるは杭の絶対沈下量であつて、従つてダイヤルゲージは不動点に置かれるべきであるところが、試験地点は極めて軟弱なため絶えざる活動が地表面に表れる事になった。即ちダイヤルゲージは杭の地表面に対する相対的沈下を表わすのみである。地表面の不動の原因は主に気象変化に伴う地表附近の含水量の変化によるものと思われる。本試験では地表の乾燥収縮及び吸水膨脹が表われたものと思われる。500 mm 試験杭の沈下曲線中の点線部はこの表われであり、400 mm 試験杭では地表面の浮動量も沈下量の観測と平行してダイヤルゲージで測定した。400 mm 試験杭の沈下曲線はこの地表面の浮動と、杭の相対的沈下量を加減したものである。両杭とも50 ton 載荷を完了し、5日以上放置したが殆んど沈下量の増減はみられず500 mm 杭では0.6 mm, 400 mm 杭では0.2 mm の沈下に止まり、結局最終沈下量は前者で8.1 mm, 後者で7.5 mm であつた。

[4] 両杭の比較

前述の如く貫入量は400 mm 試験杭と500 mm 試験杭

とでは状況を異にし、同じ深度で400 mm 杭の1回当たり平均貫入量は500 mm 杭に比べ大きい。

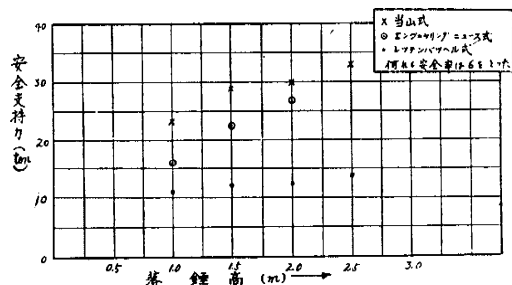
これは勿論外径の差異によるものであるがその他500 mm 試験杭は尖端が開放型で杭の内部にも土が侵入して摩擦抵抗を発揮するからである。又この軟弱粘土層では、両杭とも尖端抵抗は無視出来るくらいの小さい値である。打止めに於ける貫入状況は両杭とも粘土層における摩擦抵抗としては殆んど期待できない。

試験調査の結果及び土質試験の結果からも同様摩擦抵抗のみでは期待できない。依つて尖端支持杭として期待し得る硬い層まで打込む事が要求される。事実両杭とも軟弱粘土層を貫通して硬い砂層に少くとも50 cm 以上は貫入しているものと思われる。

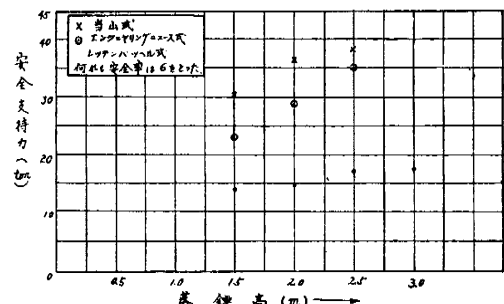
何れも打止貫入量は1 cm 以下であり、本試験で使用の打込ではこれ以上の貫入は殆んど期待出来ないと言う深度迄打込んだので、十分尖端支持杭としての偽きを期待出来得るものと判断される。

500 mm 試験杭の方が400 mm 試験杭よりも僅かではあるが、深い根入を示したのは500 mm 杭の方が400 mm 杭より大きい錘高、即ち500 mm 杭では最大3 m, 400 mm では最大2.5 m をとり得た為であろう。

尖端支持力は杭の尖端断面積に比例するものと考えるので、両試験杭とも同じ尖端形状を有しているときは、



其の4 打止めに於ける各種落錘高に対する安全支持力 (400 mm 試験杭)



其の5 打止めに於ける各種落錘高に対する安全支持力 (500 mm 試験杭)

500 mm 試験杭は 400 mm 試験杭の 1.56 倍の先端支持力がある筈であるが、先端の形状が異なるので比較出来なかつた。

本試験では中間の粘土層で載荷試験を実施できなかつたので、静力学的な杭周辺摩擦抵抗を見出すことは出来なかつた。

以下打込抵抗より周辺摩擦抵抗を算出するが、静荷重によるものとは対比出来ない。然し打込抵抗より算出した周辺抵抗は、静荷重によるものよりもこのような土質においては小さい値を示す。

貫入抵抗は先端抵抗と摩擦抵抗よりなり、同じ土質内では摩擦抵抗は杭の根入深さに比例し且つ先端抵抗を一定とすれば

$$W = Fh + b$$

図表其の 1, 其の 2 により $b \div 0$

$$\therefore W = Fh$$

ここに

W : 貫入抵抗 (ton)

h : 根入の深さ (m)

F : 単位長さ当りの周辺摩擦抵抗 (ton/m)

q : 先端抵抗 (ton)

今粘土層に於て接合の影響ある部分を除いて平均法によつて F の値を求めると

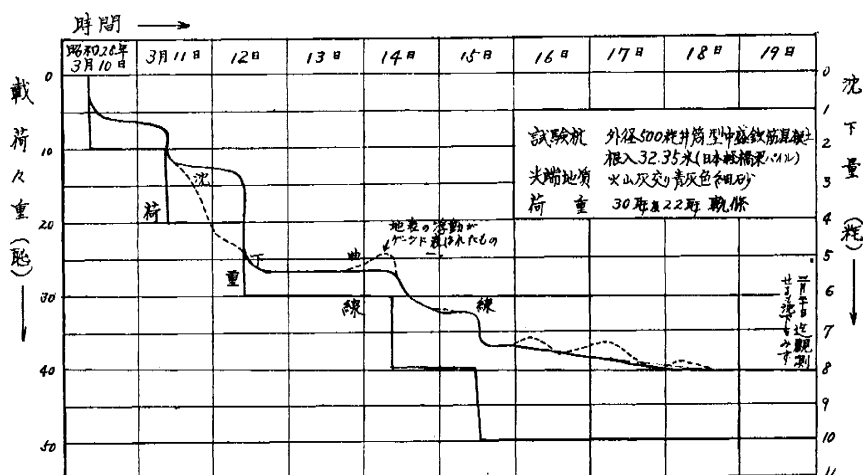
400 mm 杭では

$$F = 0.39 \text{ ton/m}$$

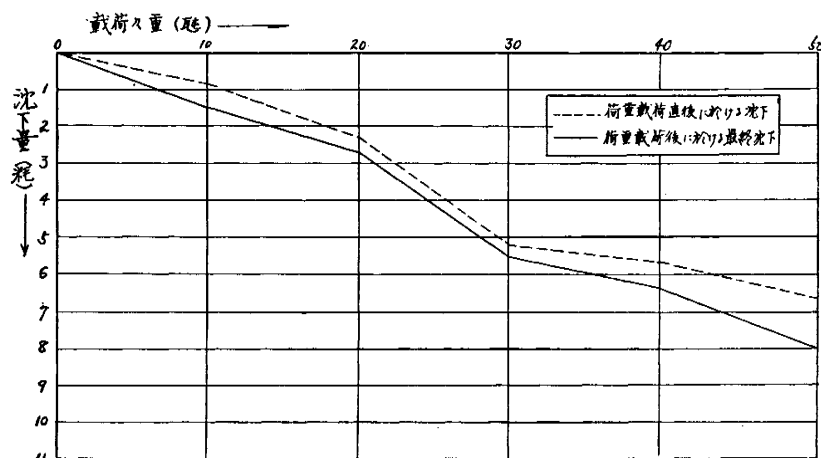
500 mm 杭では

$$F = 0.59 \text{ ton/m}$$

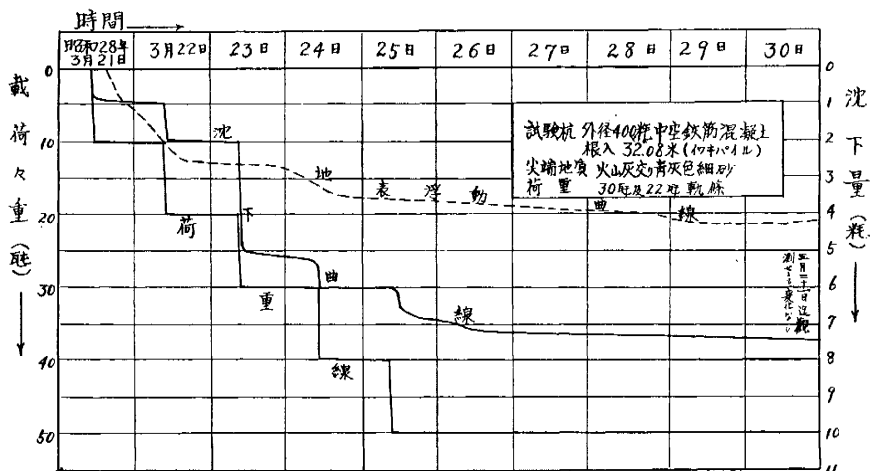
依つて周辺摩擦抵抗の



其の 6 角山橋々脚基礎杭載荷試験成績 (500 mm 試験杭)
沈下量の測定は「ダイヤルゲージ」による



其の 7 角山橋々脚基礎杭載荷試験成績 (500 mm 試験杭)



其の 8 角山橋々脚基礎杭載荷試験成績 (400 mm 試験杭)
沈下量の測定は「ダイヤルゲージ」による

比は

$$\frac{500 \text{ mm 抵抗}}{400 \text{ mm 抵抗}} = \frac{0.59}{0.39} = 1.51$$

摩擦杭では打込に伴う貫入抵抗は、杭の周面積に比例するものとし、且つ開放型の 500 mm 試験杭では杭の内部に侵入した土は、杭の内壁との間に単位面積当りで外周と同じ摩擦抵抗を発揮するとせば、500 mm 試験杭は 400 mm 試験杭に比して次の値だけ貫入抵抗を増す筈である。

即ち杭の外径の増大による貫入抵抗の増加分

$$\frac{500-400}{400} \times 100\% = 25\% \dots\dots\dots (イ)$$

井筒内部の土による貫入抵抗の増加分

$$\frac{340}{400} \times 100\% = 85\% \dots\dots\dots (ロ)$$

$$\text{計} \quad 25\% + 85\% = 110\%$$

実際には平均 51% の増加であつてこの間 25% を (イ) による増加分とすれば、(ロ) による増加分は 26% にしかない。

次に単位面積当りの周辺摩擦抵抗 f は

$$f = \frac{F}{2\pi r}$$

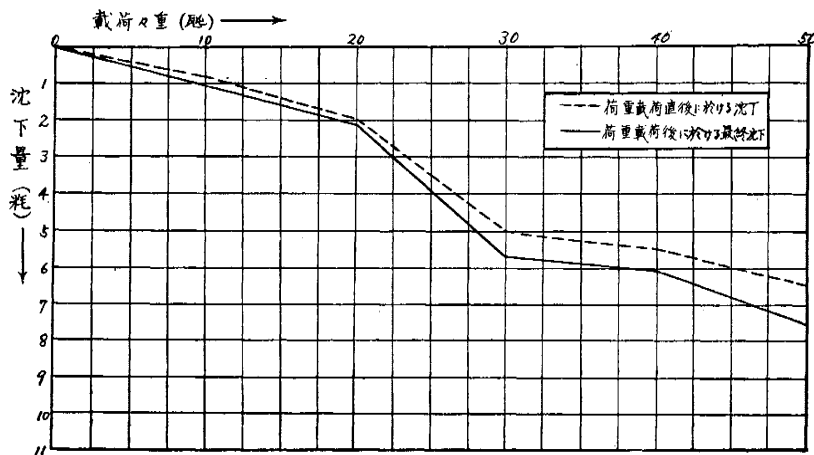
これにより 400 mm 試験杭では

$$f = \frac{0.39}{2 \times 0.2 \times 3.14} = 0.31 \text{ ton/m}^2$$

500 mm 試験杭では

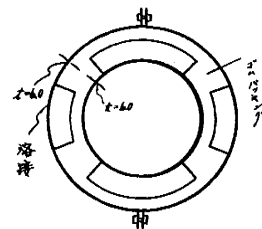
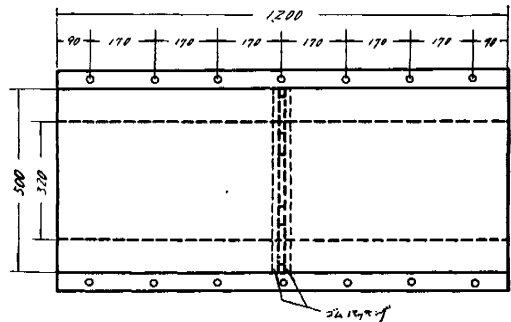
$$f = \frac{0.59}{2(0.25+0.17) \times 3.14} = 0.22 \text{ ton/m}^2$$

然し前述のように実際には杭の内部の土は外周と同じ深さで杭壁に作用している訳でないでこの 500 mm 試験杭の 0.22 ton/m² は幾分低い値であつて、杭の表面組織が両杭とも同じとせば、約 3 ton/m² を動力学的な摩擦抵抗と見なし得るであろう。



其の9 角山橋々脚基礎杭載荷試験成績 (400 mm 試験杭)

本試験のように尖端支持杭が完全にその機能を發揮するために本地点が満足すべき条件を有しているかを検討し、併せて群杭となつた場合を考えると、尖端に於ける土質は火山灰交り小砂で載荷々重を支持する強度は充分と思われる。



継手詳細

又この地層はかなり厚く約 100 m と推定されるものであり地層の条件は充分と判断される。構造物の基礎は群杭である。今の場合はその尖端支持杭であり尖端地質が十分の強度があるので、群杭の全支持力は単独杭の支持力の総和に等しいと考えてよい。群杭では中央部の杭より周辺の杭が大なる荷重を受けもつ傾向にあるので、設計荷重のとり方及び杭の配置に配慮する必要がある。

杭の間隔は杭径の 2.5 倍以上と経験的に言われているが、尖端杭では杭の間隔は摩擦杭の場合のように影響しない。

長い基礎杭は屢々曲屈の危険が説かれているが実際には長柱の公式から出した曲屈荷重以上の耐荷強度を示し、彎曲による危険は少いといわれている。特に継杭の場合には横方向力や曲げモーメントに対する弱点もあるので継手断面係数及び許容曲げ応力より算出せる抵抗曲げモーメントは、杭の原断面のそれより算出

せる抵抗曲げモーメントよりは大きいから継手で彎曲に対し危険でないと思われる。

杭打試験の打止貫入量よりすれば400 mm 試験杭では安全支持力は最小の値のレッテンバツヘル公式では落錘高2.5 m で約14 ton であり、最大の当山式では約30 ton である。

500 mm 試験杭では最小のレッテンバツヘル公式で落錘で2.5 m で約17 ton 最大の当山式で約30 ton である。

多数の実例では一般に当山式公式及びエンヂニヤリング公式が打止貫入量1 cm 以下の支持力算定に妥当な値を示すようであつて、これによれば400 mm 試験杭では少くとも25 ton、500 mm 試験杭では少くとも35 ton の安全支持力を有するものと思われる。

載荷試験では最大積載荷重を50 ton にとどめたため破壊沈下を生ずる極限支持力を見出せなかつたが、各種の建築規定の杭基礎に関する条項よりすれば、この載荷限度で示した沈下量(400 mm 試験杭では7.5mm、500 mm 試験杭では8.1 mm)は充分満足するものと思う。

依て安全率を2にとつても少くとも25 ton の安全支持力を有することが判断される。なお400 mm 試験杭の方が小さい沈下を示したのは、杭打後載荷試験までの時間経過が500 mm 試験杭より10日遅れたことが一因と考えられる。

図表 其の4, 5, 6, 7, 8, 9, 継手詳細図

結 語

杭を槽に立て込んだだけで約7 m、即ち泥炭層の部分で貫入して砂混り粘土層部分に達する迄数秒のアツと言ふ間に杭自体の自重(約3 ton)と錘の静荷重2.5 ton で貫入した。これで見ると杭に関する限り泥炭は殆んど支持力は零と言う事が言える。

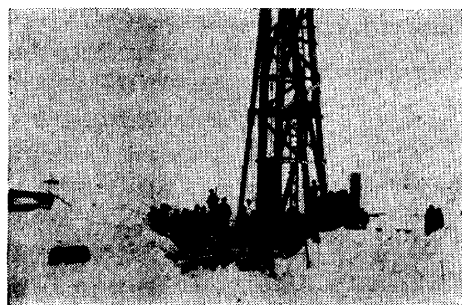
当初懸念した施工上の心配は寧ろ杞憂で誠に順調に入つた。そこで施工には自信を得たがそれだけ頼りない事も考えられた。

上述の試験結果を要約すれば杭基礎を採用するに当つては兩種の杭とも根入りを粘土層に止むる、いわゆる摩擦杭は本地点では採用出来ない。即ち尖端杭としての作用を発揮出来る砂質層まで打込むことを要す。兩種の杭共尖端杭としては地表面下32 m の小砂層以下迄打ち込めば少くとも25 ton の安全支持力を期待し得る摩擦杭としての作用は期待していないのであるから外径500 mm の開放型の杭は採用してもさして効果を期待できない。

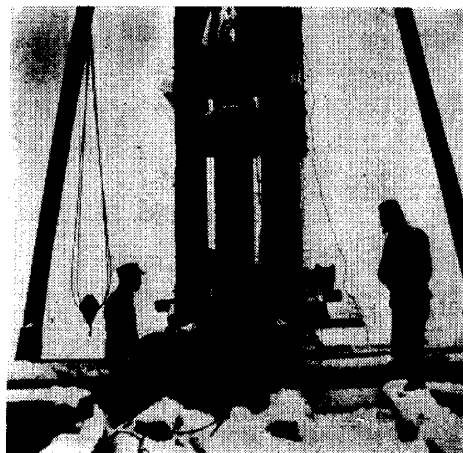
特に弱点と思はれる横方向力や曲げモーメントに対しては別に考慮しなければならない。本試験工事実施にあつては、土木試験所より多大なる御協力を頂き厚く御礼を申し上げます。



写真—1 打込試験
(昭和28年3月2日～3日)



写真—3 400 mm 杭の打込を終り
打込機を移動



写真—2 錘打の瞬間



写真—4 測定状況



写真—8
接合直前の貫入量の測定



写真—5 貫入測定用水糸



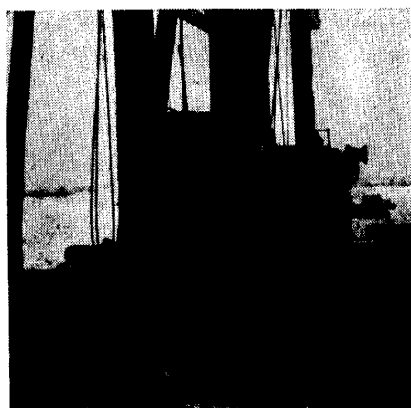
写真—9 30 ton 載荷完了



写真—6 接合バンド



写真—7 400 mm 杭の接合部ブロック



写真—10
同活錘，錘帽複動ウインチ



写真-11
打込機の櫓の組立加工作業



写真-12
500 mm 試験杭下杭の先端



写真-14 杭の牽引
前方右 9 ton ブルトーザー
右手前 接合バンド

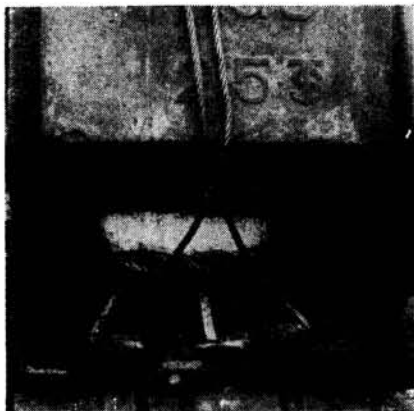


写真-13
活錘の下部及び錘帽の上部



写真-15 杭 頭