

# 杭周面に働く抵抗力に就て [三]

小野竹之助

## [3] 杭周面に沿ふて働く抵抗力

杭の周面に沿ふて働く抵抗力を  $F$  とせば、

$$F = F_1 + F_2 + F_3 = \int_{\xi}^{\xi+l} (1+k_1) f \cdot \pi \cdot D \cdot \omega \cdot \tan \varphi \sec^2 \varphi \cdot dy + \int_{\xi}^{\xi+l} \pi \cdot D \cdot k(1+k_2) C dy \dots (4)$$

となる。

$$(1+k_1) f = \alpha$$

$$(1+k_2) k = \beta$$

とし、直径は一定とせば

$$F = \pi \cdot D \times \left\{ \int_{\xi}^{\xi+\epsilon} \alpha \cdot \omega \cdot \tan \varphi \sec^2 \varphi \cdot y \cdot dy + \int_{\xi}^{\xi+\epsilon} \beta \cdot C \cdot dy \right\}$$

又均一なる土質中に打込まれた場合に於て、 $\xi = 0$  なる時の杭周囲の抵抗力は

$$F = \pi \cdot D \times \left\{ \omega \tan \varphi \sec^2 \varphi \int_0^l \alpha y \cdot dy + c \int_0^l \beta \cdot dy \right\}$$

$$\alpha = (1 + k_1) f$$

$$\beta = (1 + k_2) k$$

$$k_1 = f_1(y)$$

$$k_2 = f_2(y)$$

$$k_1 = k_1 y$$

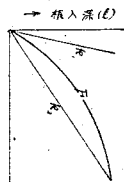
$$k_2 = k_2 y$$

とせば

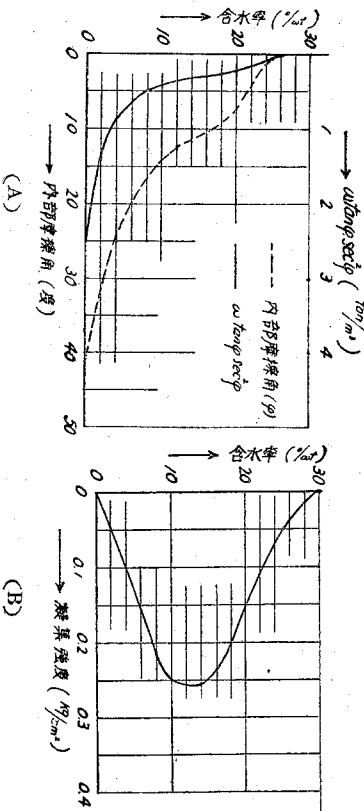
$$F = F_1 \left( 1 + \frac{2}{3} l k_1' \right) + F_2 \left( 1 + \frac{l k_2'}{2} \right)$$

$$\omega \cdot \tan \varphi \sec^2 \varphi \frac{l^2}{2} = F_1'$$

$$C l = F_2'$$



第五圖



第六圖

とせば

$$F = \alpha F_1' + \beta F_2'$$

$\alpha$ 、及び  $\beta$  の値は杭の根入深によつて變化する。

$$\alpha = f\left(1 + \frac{2}{3}lk_1'\right)$$

$$\beta = c\left(1 + \frac{1}{2}lk_2'\right)$$

〔4〕 杭の引抜試験

含水率(0.01)	φ (度)	Q (kg/cm <sup>2</sup> )
0	44	0.00
5	22	0.13
10	14	0.25
15	11	0.25
20	7	0.15
25	1	0.05
30	0	0.00

(A) 砂中に打込んだ場合

砂中に木杭 (径 15 cm, 長さ 180 cm, 周面絶仕上の米松丸太杭) を打込み、之の引抜試験を行つて見た。(昭和 12 年 7 月~10 月) 尙ほ實験に使用したところの砂は淀川上流 32 米の地點より採取したる荒目砂である。之の砂はコンクリート製造工事に於て使用するもので、之の諸性質は第一表の如し。

〔實験 1〕 完全に乾燥したる砂の場合

(a) 豫め杭を入れて置いた場合

コンクリート製造工事現場に盛られた砂山の砂は一般に或る程度の含水量を有

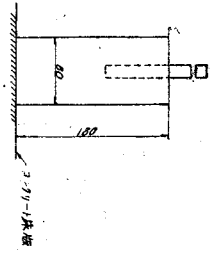
第一表 (B) 砂

鹽	7 × 10 <sup>-6</sup> g/cm <sup>3</sup>
泥	少
有	微
容	1,646 kg/m <sup>3</sup>
真	2.613
空	37.0%
隙	3.112
率	

してゐる。従つて之の場合砂

實 験 1 (a)

山をその儘利用する事は出来ないので、内径 80 cm の鋼管を使用し、その中へ前記木杭を豫め入置き、而る後に豫め乾燥せしめたる砂をよく搗固めながら鋼管の頂部迄入れ込んだ。	杭の根入長 (cm)	1,00	120	140	160
引 抜 力 (kg)	a	450	640	890	1,150
	b	520	670	880	1,200



而して砂を入込んでより二日後に之を引抜き、その抵抗力を測定した。(實驗 1 (a))

第七圖

〔實驗 2〕 含水量を有する砂の場合

實 験 2 (a)

(a) 5 %wt の含水量を有する砂は〔實驗 1〕の (a) の場合と全く同じ方法で實驗を行った。(實驗 2 (a))	杭の根入長 (cm)	100	120	140	160
引 抜 力 (kg)	實 験 2 (a)	630	710	800	1,050

(b) 現場で盛られた砂山の中へ木杭を打込み二日後に之を引抜いて、その抵抗力を測定して見た。(實驗 2 (b))

實 験 2 (b)

尚ほ之の場合に於ける砂の含水量は深さによつて異なる。杭引抜後砂の含水量を調査したる結果は第二表の如し。	杭の根入長 (cm)	100	150
引 抜 力 (kg)	實 験 2 (b)	510	970

次に (4) 式より杭周囲の抵抗力を計算によつて求めて見やう。

第六圖より知る如く、土の力學的性質なるものはその含水量の大小によつて著しく異なる。又その含水量は壓密の影響によつて變化する。計算を行ふに當つて、今土の力學的性質はその含水量によつてのみ變化するものであるとする。尚ほ土

の単位重量は一定とする。さすれば完全に乾燥した砂の場合には歴密による力學的性質の變化は起らぬ事になる。故に乾燥したる砂を用ひた場合には、

$$k_1 = k_2 = 0 \quad \text{又} \quad C = 0$$

となる。

〔實驗 1〕 の場合

$$F = \int_0^l \pi D \omega \tan \varphi \sec^2 \varphi \, y \, dy \\ = 0.723 f l^2$$

〔實驗 2〕 (a) の場合

$$\varphi = 22^\circ$$

$$C = 1.3 \text{ ton/m}^2$$

$$F = 0.182 f l^2 + 0.612 k l$$

今  $f = 0.622$  とせば

$$F = 0.113 l^2 + 0.612 k l$$

深さ (cm)	第 二 表		
	A	B	C
0~50	312 gr	308 gr	305 gr
50~100	361	363	359
100~150	394	384	392
150~200	402	—	414

砂 10 kg 中に含有せし水量 (gr)

- A: 砂山
- B: 100 打込の場合
- C: 160 打込の場合

l (cm)	實 験			
	1.00m	1.20m	1.40m	1.60m
F/f (ton)	0.723	1.041	1.417	1.851
f	a	0.622	0.615	0.628
	b	0.719	0.644	0.621
	f = 0.640			

l (cm)	實 験 2 (a)			
	1.00	1.20	1.40	1.60
0.113 l <sup>2</sup>	0.113	0.163	0.221	0.289
0.612 kl	0.612k	0.734k	0.857	0.979
k	0.861	0.813	0.827	0.859
	k = 0.840			

〔實驗 2〕 (b) の場合

〔A〕

深さ (cm)	含水率 %/wt	$\omega \cdot \tan \varphi \cdot \sec^2 \varphi$	$Q$
0~50	3.22	1.10	0.84
50~100	3.75	1.00	0.98
100~150	4.10	0.85	1.07
150~200	4.19	0.85	1.09

$$f = 0.622$$

$$k = 0.840$$

とせば、

$$F = 0.293 \int_0^1 \omega \cdot \tan \varphi \cdot \sec^2 \varphi \cdot q \cdot dy + 0.396 \int_0^1 C \cdot dy$$

となる。

(B) 海底に打込んだ場合

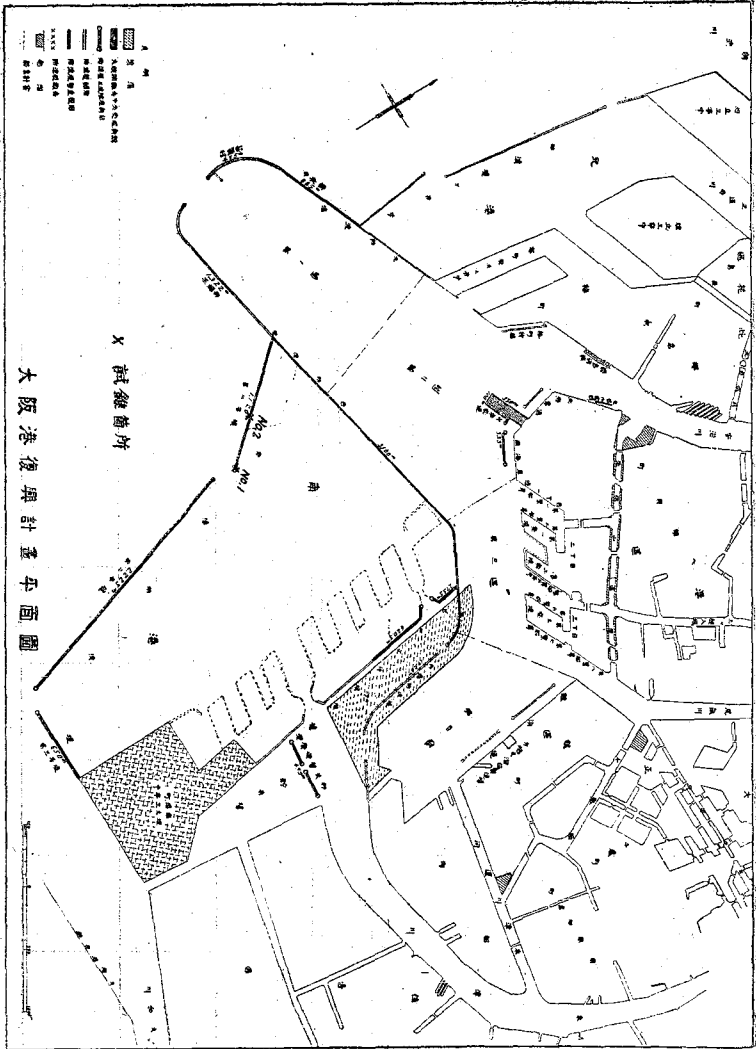
〔B〕

深さ (cm)	含水率 %/wt	$\omega \cdot \tan \varphi \cdot \sec^2 \varphi$	$Q$
0~50	3.18	1.10	0.83
50~100	3.77	1.00	0.98
100~150	3.99	0.90	1.04
150~200	—	—	—

〔C〕

深さ (cm)	含水率 %/wt	$\omega \cdot \tan \varphi \cdot \sec^2 \varphi$	$Q$
0~50	3.15	1.10	0.82
50~100	3.72	1.00	0.96
100~150	4.08	0.85	1.06
150~200	4.32	0.80	1.12

大阪市役所港灣部では嘗つて港内四箇所の地點に於てボーリソングを行ひ、そのサンプルを日本大學工學部地質工學試驗室に依頼して土質試驗を行つたことがある。今回その内の第一號、及び第二號試錐箇所に試験杭を打込み、之の引抜試験を試みたのである。



試錐標本土質試験成績圖表 (南港第一號堤第一號試錐)

日本大學工學部地質工學實驗室

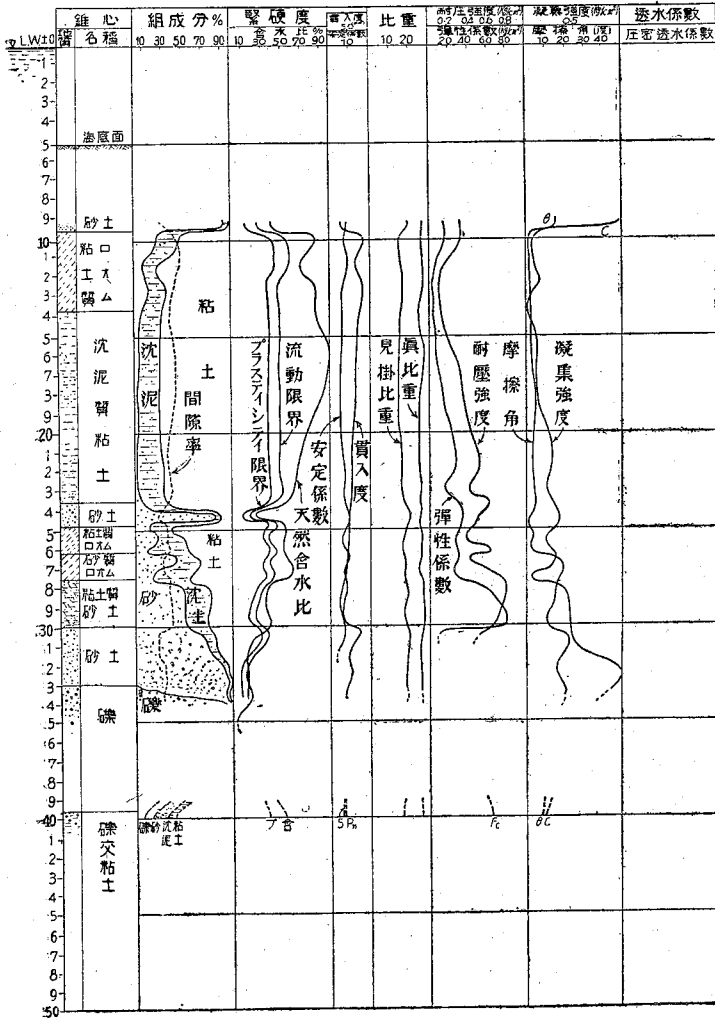
主任代理 當山 道三 試驗擔任者 當山 道三

試驗月日 自昭和 10 年 7 月

至昭和 10 年 7 月

道路の改良 第二十卷 第五號

第一號及び第二號試錐箇所における土質試験の結果は第九圖の如し。



第九圖 (a)



間隙率 (Porosity) =  $\frac{\text{土の間隙の容積}}{\text{土の全容積}}$

間隙比 (Void ratio) =  $\frac{\text{土の間隙の容積}}{\text{土粒子の容積}}$

含水率 (Water content) =  $\frac{\text{土の中の水の重量}}{\text{土の全重量}}$

含水量比 (Water ratio) =  $\frac{\text{土の中の水の重量}}{\text{土粒子の重量}}$

緊硬度限界 此の限界は各其の限界に於ける土の含水量を以て表はす。

1. 収縮限界 (Shrinkage limit) 土は含水量の減するに従つて其の容積を減するが其の減少には或る限度がある。其の限度に達した瞬間の含水量を其の土の収縮限界と云ふ。

2. 「プラスチック」の限界 (Plastic limit) 土の標本を略徑 3mm 長さ 100mm の棒狀に撻へ、これを硝子板上に掌を以て數回轉がして裂目を生ずる瞬間の含水量を、其の土の「プラスチック」の限界と云ふ。

3. 流出限界 (Liquid limit) 土の標本約 50 gr を徑 100mm 深さ 40mm の蒸發皿に入れ一定規準の作溝器を以て、上唇 10mm 底幅 2mm の梯形斷面の溝を作り、皿の縁を輕く 10 回叩いて上端が固れず下端が流れ合ふ瞬間の含水量を其の土の流出限界と云ふ。

貫入度 貫入試驗機 (錐體の重さ 100—150gr 及び錐體の角度 45°, 60°, 90°) を用ひて錐體の土質標本中への貫入度を測定する。

安定係數 =  $\frac{\text{流出限界(含水量)}}{\text{天然含水量}}$

此の數値の大なる程其の土の安定度大なることを示す。

見掛の比重 =  $\frac{\text{土の重量}}{\text{土の全容積}}$

眞の比重 =  $\frac{\text{土粒子の重量}}{\text{土粒子の容積}}$

透水係數 (Permeability)

$$V = K \cdot S$$

但  $V$  = 流速  $S$  = 水頭勾配  $K$  = 透水係數

壓縮透水係數 (Compressibility-Permeability)

$$E = \frac{1}{A} \log(P+B) + C$$

但  $E$  = 間隙比  $P$  = 壓縮強度  $A, B, C$  = 常數

耐壓強度 (Compressive strength)

$$PQ = \frac{P}{A}$$

但  $P$  = 最大壓縮荷重  $A$  = 斷面積

彈性係數 (Modulus of elasticity)

$$E = \frac{P}{A} \div \frac{\Delta L}{L}$$

但  $L$  = 標本の長さ  $\Delta L$  = 長さの變化

抗剪強度 (Shearing strength)

$$f = \text{nian } \theta + c$$

但  $f$  = 抗剪強度  $\dots \frac{R}{2A}$   $n$  = 上下壓力強度  $\dots \frac{N}{A}$

$A$  = 斷面積  $\theta$  = 土の摩擦角  $c$  = 土の凝聚力強度

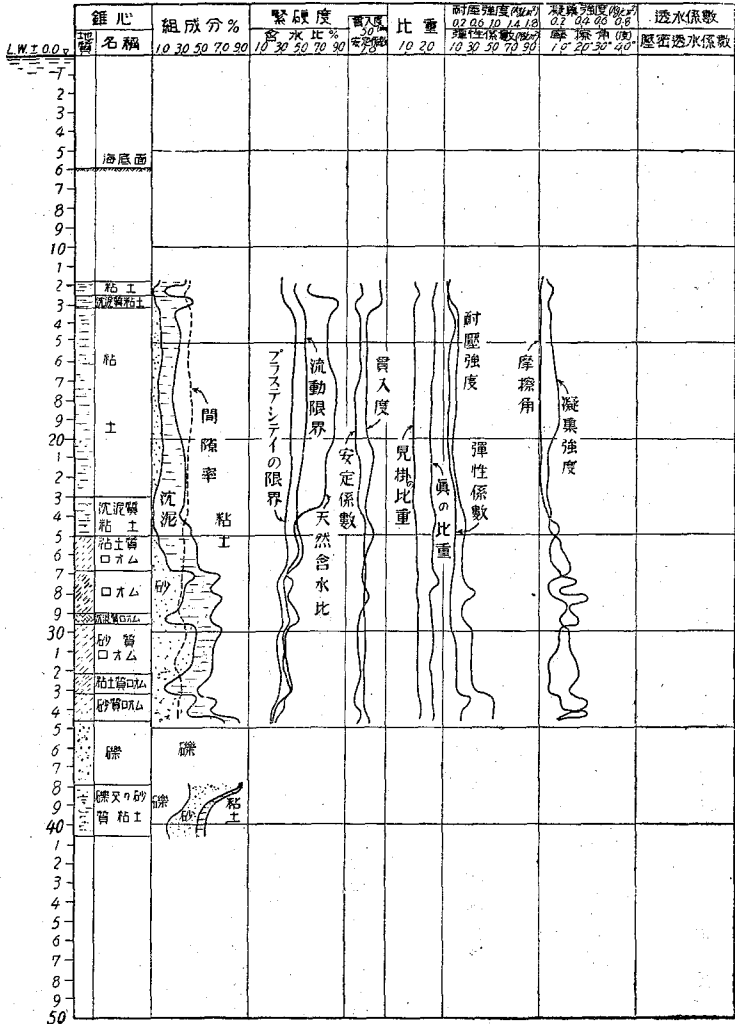
試錐標本土質試驗成績圖表 (南港第一號堤第二號試錐)

日本大學工學部地質工學實驗室

試驗擔任者 當山 道三

試驗月日 自昭和 10 年 6 月

至昭和 10 年 7 月



道路の改良 第二十卷 第五號

第九圖 (b)

間隙率 (Porosity) =  $\frac{\text{土の間隙の容積}}{\text{土の全容積}}$

間隙比 (Void ratio) =  $\frac{\text{土の間隙の容積}}{\text{土粒子の容積}}$

含水率 (Water content) =  $\frac{\text{土の中の水の重量}}{\text{土の全重量}}$

含水比 (Water ratio) =  $\frac{\text{土の中の水の重量}}{\text{土粒子の重量}}$

緊硬度限界 此の限界は各其の限界に於ける土の含水比を以て表はす。

1. 収縮限界 (Shrinkage limit) 土は含水量の減するに従つて其の容積を減するが其の減少には或る限度がある。其の限度に達した瞬間の含水比を其の土の収縮限界と云ふ。

2. 「プラスチック限界 (Plastic limit) 土の標本を略徑 3mm 長さ 100mm の棒状に撻へ、これを硝子板上に掌を以て數回轉がして裂目を生ずる瞬間の含水比を、其の土の「プラスチック限界」と云ふ。

3. 流出限界 (Liquid limit) 土の標本約 50gr を徑 100mm 深さ 40mm の蒸發皿に入れ一定規準の作溝器を以て上幅 10mm 底幅 2mm の梯形断面の溝を作り、皿の縁を輕く 10 回叩いて上端が崩れずに下端が流れ合ふ瞬間の含水比を其の土の流出限界と云ふ。

貫入度 貫入試験機 (錐體の重さ 100—150gr 及び錐體の角度 45°, 60°, 90°) を用ひて錐體の土質標本中への貫入度を測定する。

安定係數 =  $\frac{\text{流出限界(含水比)}}{\text{天然含水比}}$

此の數値の大なる程其の土の安定度大なることを示す。

見掛けの比重 =  $\frac{\text{土の重量}}{\text{土の全容積}}$

實の比重 =  $\frac{\text{土粒子の重量}}{\text{土粒子の容積}}$

透水係數 (Permeability)

但  $V = K, S$   
 $V =$  流速  $S =$  水頭勾配  $K =$  透水係數

壓縮透水係數 (Compressibility Permeability)

$$E = \frac{1}{A} \cdot \log(P_1 B) + C$$

但  $E =$  間隙比  $P =$  壓縮強度  $A, B, C =$  常數

耐壓強度 (Compressive strength)

$$P_c = \frac{P}{A}$$

但  $P =$  最大壓縮荷重  $A =$  斷面積

彈性係數 (Modulus of elasticity)

$$E = \frac{P \cdot \Delta L}{A \cdot L}$$

但  $L =$  標本の長さ  $I_{\Delta} =$  長さの變化

抗剪強度 (Shearing strength)

$$f = n \tan \theta + c$$

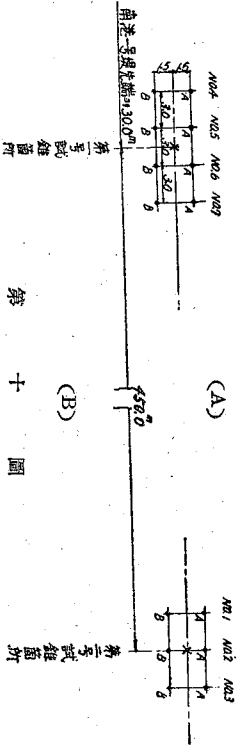
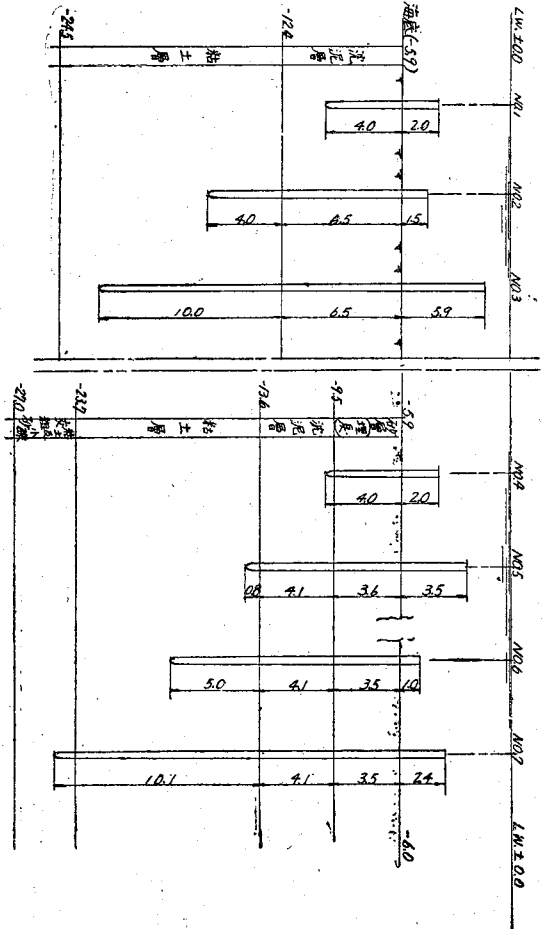
但  $f =$  抗剪強度  $\frac{F}{A}$   $n =$  上下壓力強度  $\frac{N}{A}$

$A =$  斷面積  $\theta =$  土の摩擦角  $c =$  土の凝集力強度

試験杭打込み配置は第八圖に示すが如く、試験箇所を中心として杭と杭との間隔を 3m に保たしめた。之に使用した試験杭の形状寸法は第三表の如し。

試験杭打込の際に於ける記録は第四表、引抜試験の成績は第五表に示してある。

次に之の場合に於ける杭周囲の抵抗力を計算上より求めて見やう。



第十圖

記 號	長 (米)	第 三 表		地 盤 面 徑 (釐)	杭 自 重 (吨)
		元 口 徑 (釐)	未 口 徑 (釐)		
1 { A B	6.0	31.0	28.0	38.0	0.29
2 { A B	12.0	29.0	24.0	27.5	0.21
3 { A B	12.0	28.5	23.5	28.0	0.55
		30.0	23.0	29.5	0.54
4 { A B	21.0	36.0	23.0	35.0	1.00
		21.0	23.0	35.0	1.28
5 { A B	6.0	31.0	29.0	30.0	0.22
		28.5	22.5	28.0	0.28
6 { A B	12.0	28.5	24.0	28.0	0.51
		31.0	23.0	29.0	0.50
7 { A B	13.6	30.0	22.0	29.5	0.52
		29.5	21.0	28.0	0.465
7 { A B	21.0	37.0	24.0	36.5	1.18
		21.0	23.0	35.5	1.10

第 四 表

記 號	打 込 年 月 日	打 込 順	ハソマ - の重沈 m			打 撃 回 數	沈 下 深 度	
			打 撃 沈 下	沈 下	最 終 沈 下		海 底	杭 尖 端
1 { A B	昭和11年3月21日	1	4.00	4.00	4.00	L.W.-5.9	L.W.-9.9	
2 { A B	"	2	4.00	4.00	4.00	"	"	
3 { A B	"	3	10.50	10.50	10.50	"	L.W.-16.4	
4 { A B	"	4	10.50	10.50	10.50	"	"	

3 {	A	"	5	10.40	6.10	16.50	(10回打の平均) 0.175	29	"	L.W.—22.4
	B	"	6	12.10	4.40	16.50	(6回打の平均) 0.150	29	"	"
4 {	A	昭和11年3月19日	1	1.85	2.15	4.00	(9回打の平均) 0.072	29	"	L.W.—9.9
	B	"	2	1.35	2.65	4.00	0.100	21	"	"
5 {	A	"	3	1.35	7.15	8.50	(4回打の平均) 0.125	40	"	L.W.—14.4
	B	"	4	1.45	7.05	8.50	(6回打の平均) 0.108	52	"	"
6 {	A	"	5	1.75	10.85	12.60	(10回打の平均) 0.070	84	L.W.—6.0	L.W.—18.6
	B	"	6	1.65	10.95	12.60	(7回打の平均) 0.114	67	"	"
7 {	A	"	7	1.75	16.85	18.60	(2回打の平均) 0.050	181	"	L.W.—24.6
	B	"	8	1.30	17.30	18.60	(8回打の平均) 0.038	203	"	"

〔備考〕 杭の打込は大版港部所有第五杭打機による。

第五杭打機のハンマーは、(イ) 總重量 6,000kg (ロ) 「ラ」の重量 4,000kg (ハ) 衝程 1.07m

第五表

記 號	拔揚年月日	拔揚順	打込より 経過日數	杭の表面積(cm <sup>2</sup> )	拔 揚 力(kg)	杭打込箇所 の地層
1 {	A	昭和11年4月18日	28	36,424	4,600	沈 泥 層
	B	"	"	32,342	5,150	"
2 {	A	昭和11年4月21日	31	84,898	9,000	沈泥層及粘土層
	B	"	"	86,546	12,000	"
3 {	A	"	"	150,249	37,000	"
	B	"	"	150,249	22,000	"

4	A	昭和11年5月6日	1	48	37,052	2,400	砂層 (埋戻砂)
	B	昭和11年4月21日	1	33	31,714	2,300	"
5	A	昭和11年5月6日	2	48	69,394	13,000	砂層及沈泥層
	B	昭和11年4月21日	2	33	69,394	15,000	"
6	A	昭和11年5月6日	4	48	101,877	24,000	砂層、沈泥層及粘土層
	B	昭和11年4月21日	3	33	96,932	24,000	"
7	A	昭和11年5月6日	3	48	176,672	52,000	"
	B	昭和11年4月21日	4	33	170,832	47,000	"

〔備考〕

航拔試験の方法

- (イ) 試験航の上端に航を垂直に吊揚し得る様に「ワイヤーロープ」を取付ける。  
 (ロ) 大阪港灣部所有の第三金剛の釣鉤に吊秤(15吨)を取付け之に前項の試験航上端の「ワイヤーロープ」を緊結し、第三金剛を徐々に運轉して航を引抜き其の力を秤量す。  
 (ハ) 試験航、1, 2, 及 4 號は航上端の「ワイヤーロープ」を吊秤に直結し引抜き、3, 5, 6 及 7 號は別に運搬船小波に 50 吨巻「プロツク」を装置し之により引抜く。

第六表

記號	$\pi D$ (cm)	拔揚力	$\pi D = 1m$ の	
			實驗より求めたもの	計算より求めたもの
1 { A B	A	4,600	5,050	2,940
	B	5,150	6,370	2,940
2 { A B	A	9,000	11,130	12,430
	B	12,000	14,560	12,430
3 { A B	A	37,000	40,630	24,200
	B	22,000	24,160	24,200
4 { A B	A	2,400	2,590	10,430
	B	2,300	2,900	10,430

A	0.8164	13,000	15,920	16,070
B	0.8164	15,000	18,370	16,070
A	0.80855	24,000	29,680	25,940
B	0.76930	24,000	31,200	25,940
A	0.94985	52,000	54,750	49,090
B	0.91845	47,000	51,170	49,090

(4) 式より、

$$F = \int_{\xi}^{\xi+1} (1+k_1) f \pi D \omega \cdot \tan \varphi \sec^2 \varphi y \, dy + \int_{\xi}^{\xi+1} \pi D k (1+k_2) C \, dy$$

今、 $\pi D = 1m$  とせば

$$F = \int_{\xi}^{\xi+1} \alpha \omega \cdot \tan \varphi \sec^2 \varphi y \, dy + \int_{\xi}^{\xi+1} \beta C \, dy \dots \dots \dots (4')$$

$$\begin{cases} \alpha = (1+k_1) f \\ \beta = (1+k_2) k \end{cases}$$

$\alpha = 1, \beta = 1$  とせば、

$$F = \int_{\xi}^{\xi+1} \omega \cdot \tan \varphi \sec^2 \varphi y \, dy + \int_{\xi}^{\xi+1} C \, dy \dots \dots \dots (4'')$$

となる。

(4'') 式によつて枕周面に働く抵抗力を求むれば、第十一圖の如し。



計算によつて求めた値と、實際

に引抜試験を行つて得た結果とを

比較して見るに第六表及び第十二

圖に示すが如く、大體に於て一致

するを得たのである。前にも述べ

た如く、 $\alpha$  及び  $\beta$  の値は一般に

杭の根入深によつて異なるものであ

るが、之を精確に知る事は殆んど

不可能である。

所が、我が大阪港海底に打込ま

れた杭の周囲に働く抵抗力を求め

るに當つては、 $\alpha=1$ 、 $\beta=1$  とし

て、求めるも、實際問題としては

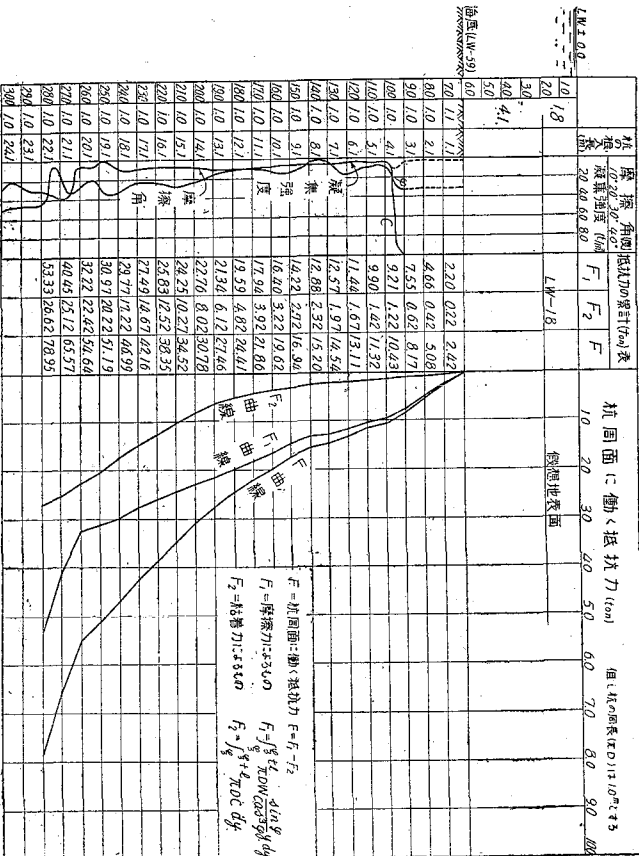
大差のない事を知つた。

之に使用した試験杭の形状寸法

は第七表の如し。試験杭打込の際に於ける記録は第八表引抜試験の成績は第九表の如し。

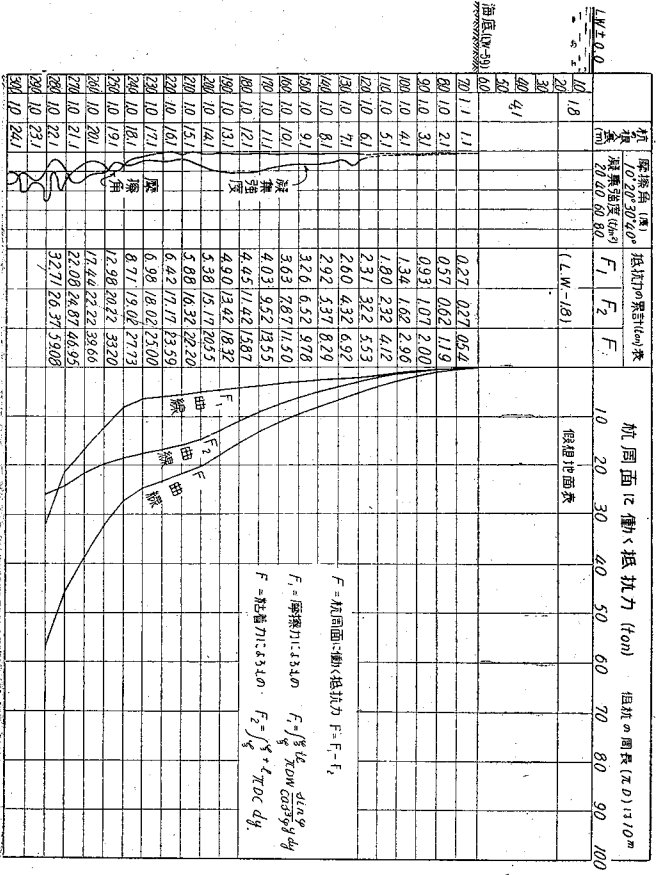
第七表

第一號試験筒所に於ける杭周囲に働く抵抗力



第八表

第二號式雜箇所に於ける航周面に働く抵抗力



第九表

