

土の強度や、締固め程度等と或る関聯性がある様に考えられる。即ち最も一様化した所が最も締固めの効く所であり、最も強度の大なる所である様だが、これは未だ今後に残された問題である。又図-2では含水比100~150%の間で(1)、(2)が殆んど一致していたものが、この図では異つた傾斜を見せている。日数を経過すると見掛けは変化なく見えても内部的な崩壊が起きている様である。(3)の最後の2点が上つている事は土粒子と水粒子が極めてよく混合した偏差最小の状態を通過して水の中に土粒子が浮いているとも考えられる所で、その浮いている土粒子の数で偏差が左右されるためではなからうか。当然(1)、(2)の曲線にもどンドン追求して行くとその様な含水比の所がある

と考えられる。

### 3. 結論

最初の予想の如く、測定された電気抵抗の偏差は土の含水量に依つて比較的規則的变化を示し、かつ実験誤差よりも総じて大きく、この偏差に物理的の意味を附して良い様である。前節に書いたように、この偏差の傾向は今迄実験した力学的量と相關關係を持つてゐる様に思われ、且つ将来相当の研究分野がある事を示すものと見て良いようである。

一応今回の研究は予備実験の範囲を出ないが比較的今迄注意されていなかつた事であるのでまとめて見たのである。

(昭.25.9.5)

## 高松港に於ける杭打工事について

正員 松 本 有\*  
 正員 丹 原 一 彦\*\*  
 准員 篠 原 正 和\*\*\*

### ON THE PILING IN THE TAKAMATSU HARBOUR

(JSCE Jan. 1951)

Tamotsu Matsumoto, Kazuhiko Tanbara, C.E. Member, Masakazu Shinohara, C.E. Assoc. Member

**Synopsis** We drove as many as two hundred piles (ten meters in length) in the foundation work of the First Ferry Berth at Takamatsu Harbour. This is a report of our two tests done for the purpose of judging the supporting capacity of a pile; one is the checking test for the Sander's and E.N.R. formulas, and the other is the actual bearing test.

**要旨** 高松港に於いて航送用第一岩壁の基礎に約200本の杭(長さ 10m)を打つた。本論は此の地盤に於て支持力を判定する為に行つた二つの試験の報告である。即ち一つは Sander 公式及び E.N.R. 公式に対する検討であり他は載荷試験である。

### 1. 緒言

高松港第一岩壁の基礎には地耐力強化の意味と杭を中埋コンクリートによつて岩壁と一体として岩壁底面の滑出を防止すると云う二つの目的で杭打工事を施工した。本論はこれに関する報告であり杭の支持力を判定するにあつては土木学会誌「第28巻第9号」「杭の支持力公式調査委員会」の結論は甚だ貴重な参考資料であつた。

### 2. 高松港の地盤と杭打の結果

\* 国鉄, 四国鉄道管理局高松工事区長  
 \*\* " " 技術助役  
 \*\*\* " " 職員

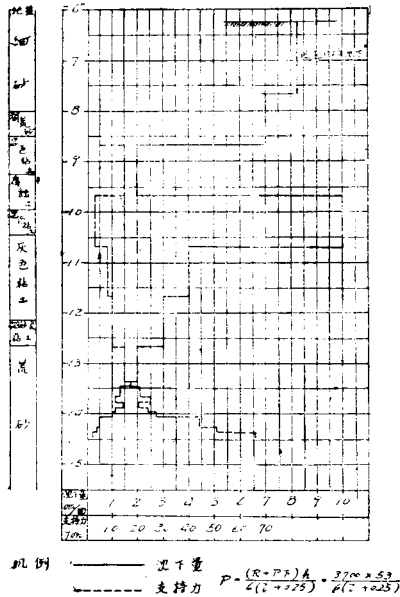
ボーリングと杭打の結果は図-1の通りである。杭打機は油谷複動蒸気錘2号を使用し杭長は10mであつた。支持力の計算は複動蒸気の公式と Dörr の公式によつた。即ち

$$\text{複動蒸気} : P = \frac{(W + pa)h}{6(\delta + 0.254)} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Dörr} : P = F\gamma H_n \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta_n}{2}\right) + \frac{1}{2} - L\gamma \sum_{n=1}^{n=n} [(H_{n-1} + H_n)h_n C_n' \tan \delta_n] + L \sum_{n=1}^{n=n} C_n h_n \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 $H_n = h_1 + h_2 + h_3 \dots$  (n は長 n 層を表わす)  
 F: 杭の平均断面積, L: 杭の平均周第, C: 粘着係数,  $C' = 1 + \tan^2 \theta$ : 杭周と土の圧力係数,  $\tan \delta$ : 土と杭の摩擦係数,  $\gamma$ : 土の比重 (砂層粘土層を通じて平均 1.6t/m<sup>3</sup> とする)。(1)式による支持力の計算値は図-1に併記した通りである。(2)式による支持力の計算

図一 基礎杭沈下及び支持力図



は次の仮定のもとに行つた。(イ) 図一に於て黒蝕粘土、腐蝕土、灰色粘土は一括して粘土層、細砂、稍荒砂、荒砂は一括して砂層として取扱つた。(ロ) 安息角は粘土層に対して 25°, 固着せる砂層に対して 40° とした。(ハ)  $\tan \delta$  は粘土層に対して 0.2, 固着せる砂層に対して 0.45 とした。(ニ)  $C$  の値は Terzaghi によつて、粘土に対して  $2t/m^2$ , 固着せる砂に対して  $5t/m^2$  とした。 $\tan \delta$  と  $C$  の値は高松港の砂の固着せるものは非常に固いので各種参考書にのせられている数値の中で大きいものを選定したわけである。以上の仮定に基き計算数値を一括すると表一の

表一

	$\frac{1}{2}(\frac{R}{100} + \frac{P}{100})$	$C(1 + \tan^2 \theta)$	$\tan \delta$	$C$
粘土層	2.06	1.22	0.2	2%
固着砂・砂	4.60	1.7	0.45	5%

表二

	沈下量	釘・棒の高	重・量
最初の日	1.5m	4m	750 <sup>N</sup>
翌日	0.8m	7m	750 <sup>N</sup>

如くである。尚其の他の計算数値は次の如くである。  
 $F=314cm^2$ ,  $L=63cm$ ,  $h_1=2m$ ,  $h_2=4.2m$ ,  $h_3=2.3m$   
 $H_1=h_1=2m$ ,  $H_2=h_1+h_2=6.2m$ ,  $H_3=h_1+h_2+h_3=8.5m$ , 従つて  $P= \frac{314}{1000} \times 1.6 \times 8.5 \times 4.6 + \frac{1}{2} \times 0.63$

$$\begin{aligned} & \times 1.6(2 \times 2 \times 1.7 \times 0.45 + (2+6.2) \times 4.2 \times 1.22 \times 0.2 \\ & + (6.2+8.5) \times 2.3 \times 1.7 \times 0.45) + 0.63(5 \times 2 + 2 \times \\ & 4.2 + 5 \times 2.3) = 1.96 + 0.5(3.06 + 8.4 + 25.87) + 0.63 \\ & \times 29.9 = 1.96 + 18.67 + 18.84 = 39.5t \end{aligned}$$

3. 動力学的公式の検討

支持力委員会は衝撃の方程式、反撥係数、有効係数等を如何に修整しても動力学的公式は杭打作業によつて与えられる地盤の圧縮、攪乱等が其の後の時間の経過と共に再び復元することを全く考慮の外にしている点を根本的な欠点として指摘している。これに関して時間経過試験を二本子打で行つた結果が表二である。Sander 公式及び E.N.R. 公式を表二によつて計算し Dörr の公式による支持力と比較して見よう。記号  $t$  は時間の経過した時の支持力を表わすものとする。

(イ) Sander 公式による支持力

$$P_S = \frac{Wh}{8\delta} = \frac{750 \times 400}{8 \times 1.5} = 25t$$

$$P_{ST} = \text{''} = \frac{750 \times 700}{8 \times 0.8} = 82t$$

(ロ) E.N.R. 公式による支持力

$$P_E = \frac{Wh}{6(\delta + 2.54)} = \frac{750 \times 400}{6(1.5 + 2.54)} = 12.8t$$

$$P_{Et} = \text{''} = \frac{750 \times 700}{6(0.8 + 2.54)} = 26.2t$$

(ハ) Dörr の公式による支持力

此の場合の計算数値は次の如くである。

$$\begin{aligned} F &= 0.0314m^2, L = 0.63m, h_1 = 2m, h_2 = 4.2m, \\ h_3 &= 0.6m, H_1 = h_1 = 2m, H_2 = h_1 + h_2 = 6.2m, \\ H_3 &= 6.8m \end{aligned}$$

従つて、

$$\begin{aligned} P_D &= 0.0314 \times 1.6 \times 6.8 \times 4.6 + \frac{1}{2} \times 0.63 \times 1.6 \times \\ & [2 \times 2 \times 1.7 \times 0.45 + (2+6.2) \times 4.2 \times 1.22 \times 0.2 \\ & + (6.2+6.8) \times 2.3 \times 1.7 \times 0.45] + 0.63(5 \times 2 + \\ & 2 \times 4.2 + 5 \times 0.6) \\ & = 1.57 + 0.5(3.06 + 8.4 + 22.87) + 0.63(10 + 8.4 + \\ & 3.0) \\ & = 1.57 + 17.17 + 13.48 = 32.22 \approx 32.2t \end{aligned}$$

上記の如く動力学的公式は何れも  $P$  と  $P_t$  が非常に相違があり動力学的公式の根本的な欠点を理解出来ると同時に高松港の地盤の締り方や附着力の非常に大きいことも分る。特に  $P$  と  $P_t$  の間に著しい差のある Sander 公式は此の種地盤に対しては信頼度が低い。E.N.R. の公式は周知の通り安全側に出過ぎる傾向がある。静力学的公式に関しては委員会も其の将来性に対しては有望であると述べているが杭先地盤の影響が僅少であり主として杭長によつて支持力が支配されること、土質の安息角、杭と土の摩擦角、粘着係数等が

正しく實際地盤を表現しない場合は信頼度が低い等の欠点を指摘している。然し土性はボーリングによつて地質調査をすれば或る程度科学的に把握出来るので本工事に於ては一応 Dörr の公式によつて支持力を判定することにし杭先はともかく砂層にまで達せしめる方針を取つた。再び委員会の結論によれば「動力学的公式に於て打止沈下量と地質調査により判定した杭先地盤の強さとは必ずしも比例しないようである」と述べている。図-1 に示した本工事の結果より判定すれば最も安全側に出過ぎる E.N.R. の公式によつても 65t と算定されているのでこの結論を実証するものと思われる。

其の後ケーソンの下に一部施工した杭は奴杭の都合で2回打をしたので時間の経過した場合の打止量の変化を測定することが出来たので参考までに報告すると表-3 の如くである。

表-3

杭番号	第1回		第2回		備考	
	打止量	杭先深	打止量	杭先深		
1	2.5	-3.70	5	1.5	5.0	-6.25
2	2.0	-3.75	7.0	2.3	5.25	-6.25
3	1.9	-3.95	6.0	6.7	4.70	-6.25
4	2.0	-3.90	2.2	4.0	4.40	-6.25
5	2.0	-3.90	4.0	3.0	4.70	-6.25
6	2.2	-4.30	2.2	3.0	5.75	-6.25
7	1.1	-3.85	2.6	2.2	4.00	-6.25
8	1.4	-4.40	0.4	0.6	4.70	-6.25
9	1.2	-4.25	4.0	12.0	4.45	-6.25
10	1.2	-4.70				-6.25
11	1.2	-4.45	0.5	0.5	4.80	-6.25
12	1.0	-4.05	0.3	0.3	4.55	-6.25
13	1.3	-4.55	1.0	6.0	4.00	-6.25
14	2.2	-4.55	2.0	1.5	4.00	-6.25
15	5.0	-3.65	4	2.2	6.4	-6.00
16	3.2	-3.30	4.0	5.0	6.00	-6.00
17						-6.00
18	5.0	-3.00	7.0	9.6	6.00	-6.00
19	3.0	-3.35	1.7	4.0	6.00	-6.00
20	3.2	-3.70	2.4	2.1	6.00	-6.00
21	3.0	-3.39	2.4	6.5	6.00	-6.00
22	2.0	-3.75	0.7	6.0	3.60	-6.00
23	1.8	-4.05	1.7	6.0	5.75	-6.00
24	3.0	-4.75	1.9	6.0	6.00	-6.00
25	2.2	-4.06	2.4	6.7	5.80	-6.00
26	1.2	-3.40	0.4	2.8	5.70	-6.00
27	1.1	-4.30	3	1.1	6.2	5.85
28	1.3	-4.50	0.6	1.4	5.85	-6.00
29	1.7	-3.70	1.5	3.0	6.00	-6.00
30	2.4	-4.75	1.7	4.6	6.00	-6.00
31	1.0	-4.90	1.4	6.0	5.40	-6.00
32	2.2	-3.60	1	1.3	5.20	-6.00
33	3.2	-3.15	3.3	0.7	5.80	-6.00
34	1.2	-3.20	1.2	0.7	5.15	-6.00
35	3	-2.25	2.2	2.4	5.40	-6.00
36	3.5	-3.40	10	2.5	5.0	6.00
37	2.4	-3.10	1.2	5.0	6.00	-6.00
38	4.0	-3.1	1.0	7.0	5.40	-6.00
39	2.8	-3.00	3.0	0.5	6.00	-6.00
40	2.2	-2.55	4	10.0	7.0	6.00
41	4.0	-2.50	10.0	10.0	6.00	-6.00
42	1.2	-2.80	11.0	1.1	6.00	-6.00
43	1.5	-2.70	6.0	3.0	3.20	-6.00
44	3.4	-2.2	4		6.00	-6.00
45	7.0	-2.40	5.0	10.0	6.00	-6.00
46	5	-3.70	1	1.6	7.0	6.00

4. 載荷試験

表-1 の高松港の地盤に対する妥当性を検討する為に載荷試験を行つた。即ち図-2 の如く3本の杭を現場(海中)に打つて真中の杭を圧縮材、両側の杭を引張材としてジャッキを作動してI型鋼の撓みを測定した。圧縮材に挫屈防止材を取付ける為に圧縮材を挟んで別に2本の杭を打つた。此の試験の要旨はフックの法則に従う範囲内に於てI型鋼の撓みを測定して  $P=ks$  の関係から杭にかかつた荷重を求めんとするにある。

ゲージ付ジャッキがなかつた為にやむを得ず此の方法によつた次第である。支持力測定の際の正確を期する為に撓み量測定に及ぼす諸影響を除去する方法を考えた。

以下設計の細部について略記する。

(イ) I型鋼の径間の決定:

I 型鋼 300×150×11.5 を使用し荷重としてジャッキの公称能力 50t を仮定した。軟鋼の比例限度 1800~2300kg/cm<sup>2</sup> を考慮して径間 1.5~1.6m を採用した。(E×I) の値を確める必要があるが本試験では断面の減少が認められなかつたので (E×I) の測定試験は行わなかつた。

(ロ) 支点杭: 支点引張杭の引抜に対する抵抗力は Dörr の公式より算定し根入 13m と決定し 15m の杭を使用した。

(ハ) 支点固定と測定法: I 型鋼と支点杭の間の連結はワイヤーロープ (φ32mm 保証破断力 43t) を使用した。ワイヤーロープの取付時のゆるみや荷重による伸び等によつて I 型鋼自体が扛上しジャッキの有効扛上量を超過して I 型鋼の撓みが測定出来ないので仮足場

図-2 載荷試験

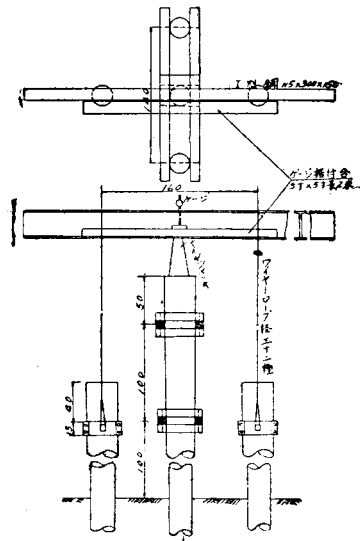
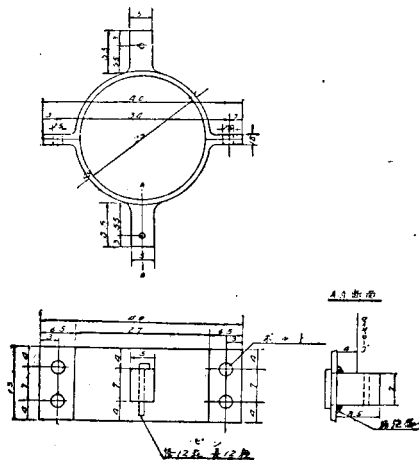


図-3 バンド詳細図

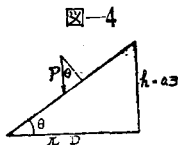


を設けて此れにI型鋼を受けジャッキの盛替をした。ダイヤルゲージの据付台はロープの伸びやゆるみに無関係に桁の支点と撓みの測定点の相対的撓みを測定出来るように工夫した。即ちI型鋼の支点到鉄筋(φ22mm)を溶接し此れに角材をのせ其の上にダイヤルゲージを置いた。試験杭の沈下量は撓み $10/100$ mm毎に直接杭天に於てレベルをとつた。

(ニ) 支点杭の取付金具：ロープと支点杭の連結は図一三の如き鋼製の半割バンドを製作し杭に設けた切かきにてボルト締めた。ロープはバンドに設けた突出部にかけてピンでとめた。バンドの引抜に対する抵抗力は1本の反力を25tとして設計した。即ち杭の切かきの厚さは15mmとし締付ボルトはφ25mmを4本用い、ねぢやまのピッチは3mmとした。緊締力は潜水夫の力を50kgと仮定して柄長90cmのスパナーで締め上げた。緊締力算定は次の式によつた。

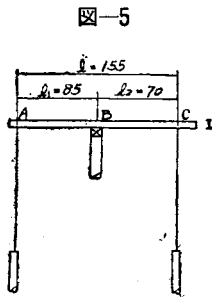
$$S = (\tan\theta + f)F \dots\dots\dots(3)$$

但し S：ボルトの有効径で加える緊締力、F：1本のボルトが受け持つべき力、 $\tan\theta = \frac{h}{\pi D}$ 、h：ねぢのピッチ、D：ボルトの直径、f：鉄と鉄の摩擦係数(図一四参照)(応力計算省略)



5. 試験の結果

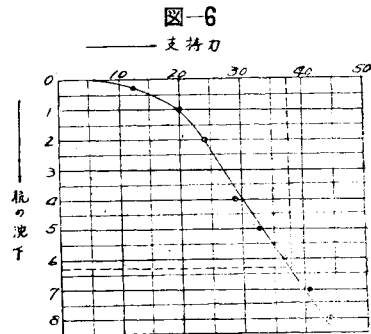
杭打の結果支点和載荷点の関係は図一五の如くなり測定は荷重点 B にて撓みを読んだ。 $\delta = 10/100$ mm に就いて荷重 P は次の如くなる。



$$P = \frac{3EI\delta}{4l_1^2l_2^2} = \frac{3 \times 2100000 \times 14700 \times 155 \times 0.01}{70^2 \times 85^2} = 4.05t$$

従つて測定値は表一四の如くなる。

支持力を横軸に杭の沈下量を縦軸にしてグラフを作ると図一六の通りである。許容荷重は沈下量 $1/4$ 吋を採つて(ホゲントグラ、土の工学的性質による)図一六より 38t とした。



表一四

I型鋼の径 $\delta = 260$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
荷重 P(t)	4.1	8.1	12.2	16.2	20.3	24.3	28.4	32.4	36.5	40.5	44.6
杭天の沈下量	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8

6. 結語

動力学的公式にも静力学的公式にも欠点があり地盤の把握にも相当の経費を要するので杭の支持力判定は仲々困難な問題である。従つて何れの工事でもそうであるが特に杭打工事に於ては其の工事記録を正しく残してゆくことの必要性を現場の我々は痛感する。かゝる意味に於て本論が何等かの参考となる点があるならば望外の喜びである。最後に載荷試験に関しては前四国鉄道管理局鈴木施設長の御指導にあづかつたことに対して感謝の意を表するものである。

(昭.25.9.16)

国際会議開かる

印度=ニューデリーにおいて1月2日より2月1日まで各種の国際会議が開催されているが土木関係の会議及び我が国よりの出席者は次の通りである。

- アジア及び極東経済委員会洪水防策技術会議

出席者： 矢野 勝正, 佐藤 清一, 伊藤 令二

- 国際水力構造物調査協会会議

出席者： 同 上

- 第4回国際大ダム会議

出席者： 吉田徳次郎, 大西 英一, 新井 義輔, 雨森 常夫, 鶴飼 孝造, 澁岡 勝彦

- 国際灌漑及び水路委員会

出席者： 安藝 皎一, 田中 貞次, 清野 保