

噴射式土砂吸揚法による杭打ちについて

正員 佐藤 周一郎*
正員 齋藤 卯之吉**

ON THE PILE-DRIVING BY THE METHOD OF MUD-LIFTING BY WATER JET AND HYDRAULIC GIANT

(JSCE Oct. 1954)

Syūichirō Satō, C. E. Member, Unokichi Saitō, C. E. Member

Synopsis This is a brief report of hollow concrete pile driving work in which the new patent method of mud-lifting by water jet and hydraulic giant is applied. By this method water mixed with mud and sand can be lifted without passing through moving essential parts of sand-pump which is usually applied in dredging works. Therefore, the practical and economical application of this method in such works as dredging is suggested. But this is the first case and facts given by this report are not sufficient. For the purpose of utilizing this method in practical field of engineering works reporters eagerly propose further enthusiastic studies and applications.

I. 序 言

水中の土砂を水替えを行わずに掘り取ることは、従来から sand pump によつて土木工事にしばしば行われているが、土砂がポンプ内を相当な速度で通過すると、土砂中にある木片とか、それに類似の物によつてポンプの vane の磨減がはなはだしく、故障を起しやすいために工費がかさむ不便を痛感していた。これが改良方法として water injection によつて、水とともに土砂や木片を吸揚げて sand pump と同様な目的を達する方法の研究が期待されていたが、たまたま株式会社森組の渡辺秀幸氏がこの考案を研究し特許を取られたので、その方法を完成すべく適当な工事を考えていた。

一方、都市の繁華な場所とかその他の事情によつて、普通行われているハンマー打ちによる杭打工法が不都合な場合の杭打ちに応用することができると考え、中空コンクリート杭の内部の土砂を吸揚げながら、杭を圧入することができれば好都合であると考えた。よつてまづこの特許による土砂吸揚げの定性的試験¹⁾を行つたところ、水底において相当締つた粘土質物質や小砂利程度のものは充分吸揚げうる確信をうることができた。しかし杭が貫通すべき土砂または粘土の地層の性質によつては、それを掘りくずす特殊な方

法が必要であると考えられた。そのためには、この方法による本格的な杭打ち試験をやつてみる必要があり、しかもその場所は地質的に吸揚げ可能であり、また地理的に水が自由かつ豊富に使用できる所ではなくてはならぬ。このときに当り、国鉄大阪工事事務所では大阪駅沈下対策の工法研究の一つとして本工法の実験を行うことに決定し、大阪駅構内の適当な場所を選定し、30 m の中空杭(鉄管及びコンクリート杭の2種)の圧入を行つた。この実験により本工法の可能性を知ることができたので、さらに大阪駅構内の出入橋水門新設工事のうち、基礎杭打ち工事を本工法をもつて実施する段階となつたのである。

以上述べたように本工法は未だ未完成であり言わば試験的範囲を脱し切れないが、ある程度の成績をあげることができたので、今後の研究と経験によつて、より安価に、より広範囲にその適用が予想されるし、またそのようにしたいと考えて、以下今日までの本工法の沿革と実績を述べて大方の教示を得たいと思ふ。

本試験及び実験に当つては、森組の渡辺秀幸氏、田畑謙氏、及び渡辺繁氏の努力を謝するとともに、その理論的な記述、実績記録等については渡辺繁氏の労を謝さねばならぬ。また京大村山朔郎博士、及び阪大田中清博士の有益な助言と御指導に深く感謝の意を表する。

II. Water Injection による土砂吸揚げの理論

1. 要 旨 渡辺秀幸氏の特許になる“ジェット式砂礫吸揚装置”と称するものは、図-1 にしめすよう

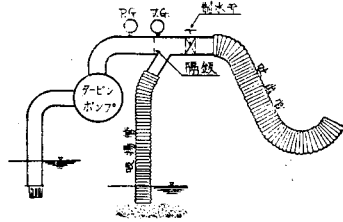
* 株式会社森組技師長

** 日本国有鉄道大阪工事事務所長

1) 墨染発電所排砂実験(昭和27.2)
大阪府水道庭窪水源池における取水暗渠内排砂工事(昭和27.8)

にタービンポンプの送水管途中に隔板を設けた部分と、そのすぐ外部に吸揚管を連結せしめた部分とより

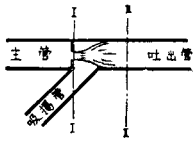
図-1 ジェット式吸揚装置



成る。すなわち隔板直後に発生するバキュームによって吸揚管内流速を生ずるが、この流速をある範囲内に取るにより砂礫を吸揚げこれを移動させようとする装置である。本論においては、この装置による砂礫吸揚げに対する理論的計算式の誘導を試みるとともに、各種変数の変化にともなう支管内流速がいかに変化するかを調べ、今後のこの種工事の現場の作業に便ならしめることを主眼とした。

2. Water Injection の運動量方程式の論拠²⁾ 定常運動の流体の中に微小部分の質量 dm を考え、その速度ベクトルを V で示すものとする。しかるとき閉曲面 A 内の流体の全運動量の単位時間当りの変化

図-2



は、この閉曲面に働く外力 P に等しいから

$$\frac{d}{dt} \int_A V \cdot dm = \Sigma P$$

となる。しかるに A の位置より A' 位置への移動によつて

生ずる運動量の増加は A 位置において A 表面を通過して外へ出る運動量とこれを通して内に入る運動量との差、すなわち、 A 位置にて A の表面を通過する運動量の代数和となる。

$$\therefore \frac{d}{dt} \int_A V \cdot dm = \oint \frac{r}{y} (dA \cdot V)$$

また流体圧力 p は A 閉曲面に対して内向きのものを正の圧力とすれば

$$\Sigma P = - \oint p \cdot dA$$

よつて流体密度を一定と仮定すると、

$$\left(\frac{r}{y}\right) \oint (dA \cdot V) V + \oint p \cdot dA = 0 \dots \dots \dots (1)$$

3. Water Injection の運動量方程式 (1) 式を図

1-2 のごとく断面 I-I 及び II-II 間に適用すると、

$$\left(\frac{r}{y}\right) \oint dA_{n1} V_1^2 \cos(n \cdot V) \cos(V \cdot j) + \oint p \cdot dA_n \cos(n \cdot j) = 0 \dots \dots \dots (2)$$

ただし、 A 閉曲面の外向きの方線を正とし、その単位ベクトルを n 、 A_n を A の n に直角なる面積とし、 j は主管軸方向の単位ベクトルとする。本論において

は、jet の部分において次のごとく仮定する。

- (1) 比重は主管、吸揚管、吐出管の3つとも変らない。
 - (2) 方向の異なる流体が合流する際の摩擦及び衝突等による勢力損失は無視する。
 - (3) I-I 断面より II-II 断面において、 p_1 は p_2 に直線的に変化する。
 - (4) I-II 断面間の摩擦抵抗は無視する。
- ただし(1)については別に修正式を導出する。いま必要な記号を表-1のごとく定める。

表-1

	主管	ジェット孔	吸揚管	吐出管
流量	q	q	q_3	$q_2 = q + q_3$
断面	a	a_1	a_3	$a_2 = a$
断面比	1	m	m_3	m_2
流量比	1	1	w_3	$w_2 = 1 + w_3$
流速	v	v_1	v_3	v_2
静水圧	p	p_1	$p_3 = p_1$	p_2

(2) 式を適用して

$$\frac{r}{y} \left[\left\{ a_3 \frac{1}{\cos \alpha} v_3^2 \cos(\alpha + \pi) \cos \alpha \right\} + a_1 v_1^2 \cos \pi \cos \theta + a_2 v_2^2 \cos^2 \theta \right] + p_1 \left\{ a_3 \frac{1}{\cos \alpha} + a \right\} \cos \pi + p_2 a_2 \cos \theta + \frac{p_1 + p_2}{2} \left(a_3 \frac{1}{\cos \alpha} \right) \frac{1}{\sin \alpha} \cos \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) = 0$$

をうる。

$$\therefore \frac{r}{y} (-a_3 v_3^2 \cos \alpha - a_1 v_1^2 + a_2 v_2^2) - p_1 \frac{a_3}{\cos \alpha} - p_1 a + p_2 a_2 + \frac{p_1 - p_2}{2} \frac{a_3}{\cos \alpha} = 0 \dots \dots \dots (3)$$

しかるに $a_2 = a$

$$\therefore \frac{r}{y} (a_3 v_3^2 \cos \alpha + a_1 v_1^2 - a v_2^2) + (p_1 - p_2) \left(\frac{a_3}{2 \cos \alpha} + a \right) = 0 \dots \dots \dots (4)$$

また $av = a_1 v_1$

$$\frac{a_1}{a} = m$$

$$\therefore v_1 = \frac{v}{m}$$

となる、

$$\therefore \frac{a_1 v_1^2}{y} = \frac{\left(\frac{v}{m}\right)^2}{y} \frac{a_1}{a} \quad a = \frac{v^2}{y} \frac{a}{m}$$

2) 村山朔郎：土木学会誌 Vol.29 No.3, 「気流に関する運動量方程式」より抄記

$$\left. \begin{aligned} \frac{av_2^2}{g} &= \frac{v^2}{g} \frac{a_2^2}{a^2} a = \frac{v^2}{g} w_2^2 a \\ &= \frac{v^2}{g} (1+w_3)^2 a \\ \frac{a_3 v_3^2}{g} &= \frac{v^2}{g} \frac{w_3^2}{m_3} a \end{aligned} \right\} (5)$$

(5) 式を (4) 式に代入して w_3 について整理すると、

$$w_3^2 \left\{ \frac{av^2}{g} \left(\frac{\cos \alpha}{m_3} - 1 \right) \right\} - w_3 \frac{2av^2}{g} + \left\{ \frac{av^2}{g} \left(\frac{1}{m} - 1 \right) - \frac{p_1 - p_2}{r} \left(\frac{a_3}{2 \cos \alpha} + a \right) \right\} = 0$$

をうる。

実際の利用に際しては、ジェット孔より噴流の収縮流を考慮して縮流係数 c_c を前式に入れるべきである。よつて前式は

$$w_3^2 \left\{ \frac{av^2}{g} \left(\frac{\cos \alpha}{m_3} - 1 \right) \right\} - w_3 \frac{2av^2}{g} + \left\{ \frac{av^2}{g} \left(\frac{1}{c_c m} - 1 \right) + \frac{p_1 - p_2}{r} \left(\frac{a_3}{2 \cos \alpha} + a \right) \right\} = 0 \dots (6)$$

となる。これより w_3 を求めることができるし吸揚管内流速を知ることができる。

次に本式を実際の場合に適用しようようにポンプよりの揚水、吸揚管よりの揚水、及び吐出管内の水の三者がおのおの比重を異にする場合について考える。

- いま 標準水の比重 r
- ポンプよりの揚水の比重 r_1
- 吸揚管よりの揚水の比重 r_2
- 吐出管内の水の比重 r_3

とすれば (4) 式より

$$\frac{r_3}{g} (a_3 v_3^2 \cos \alpha) + \frac{r_1}{g} a_1 v_1^2 - \frac{r_2}{g} a_2 v_2^2 + (p_1 - p_2) \left(\frac{a_3}{2 \cos \alpha} + a \right) = 0 \dots (7)$$

をうる。

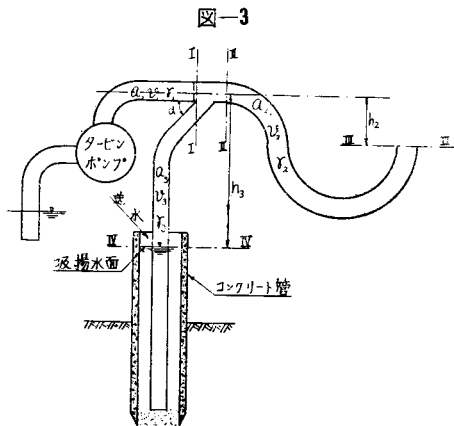


図-3

(7) 式に (5) 式を代入しさらに

$$H = \frac{v^2}{2g}$$

とすると、

$$w_3^2 \left(\frac{v^2}{g} r_3 \frac{a \cos \alpha}{m_3} - \frac{v^2}{g} r_2 a \right) - w_3 \frac{v^2}{g} r_2 2a + \frac{v^2}{g} \frac{a r_1}{m} - \frac{v^2}{g} a r_2 + (p_1 - p_2) \left(\frac{a_3}{2 \cos \alpha} + a \right) = 0 \dots (8)$$

しかるに $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ を次式のごとくおくと

$$r_3 = r \beta_3, r_2 = r \beta_2, r_1 = r \beta_1$$

(8) 式は

$$w_3^2 H 2a \left(\frac{\beta_3 \cos \alpha}{m_3} - \beta_2 \right) - w_3 H 4a \beta_2 + 2a H \left(\frac{\beta_1}{c_c m} - \beta_2 \right) + \frac{p_1 - p_2}{r} \left(\frac{a_3}{2 \cos \alpha} + a \right) = 0 \dots (9)$$

これが求める運動量方程式である。

ただし $\frac{p_1}{r}$ 及び $\frac{p_2}{r}$ は 図-3 に示す符号に従つて、

I-I 断面と IV-IV 断面間及び II-II 断面と III-III 断面間に Bernoulli の式を立てることにより求められる。すなわち

$$\frac{p_1}{r} = -h_3 \beta_3 - \beta_3 (F_3) \left(\frac{w_3}{m_3} \right)^2 H \dots (10)$$

$$\frac{p_2}{r} = -h_2 \beta_2 + \beta_2 (F_2) (1 + w_3)^2 H \dots (11)$$

ただし、 F_2, F_3 は吐出管内及び吸揚管内における摩擦損失係数を表わす。

(9) 式に (10), (11) 式を代入して

$$w_3^2 H \left[2a \left(\frac{\beta_3 \cos \alpha}{m_3} - \beta_2 \right) - \left(\beta_2 F_2 + \beta_3 F_3 \frac{1}{m_3^2} \right) \times \left(\frac{a_3}{2 \cos \alpha} + a \right) - w_3 H \left[4a \beta_2 + 2 \beta_2 F_2 \left(\frac{a_3}{2 \cos \alpha} + a \right) \right] + H \left[2a \left(\frac{\beta_1}{c_c m} - \beta_2 \right) - \beta_2 F_2 \left(\frac{a_3}{2 \cos \alpha} + a \right) \right] + (h_2 \beta_2 - h_3 \beta_3) \left(\frac{a_3}{2 \cos \alpha} + a \right) \right] = 0 \dots (12)$$

をうる。

4. 計算結果 (表-2 参照)

a) 吸揚水面の昇降にともなう吸揚管内流速の変化

表-2

記号	説明	数値	記号	説明	数値
Q_1	本管断面積	640077 m^2	β_3	r_3/r	1.06
Q_2	吐出管断面積	-	F_2	$1/8 \times 203 \times 203$	0.70
Q_3	吸揚管断面積	1960072 m^2	L_2	吐出管長	4.50 m
m	シム比	0.12	F_3	$1/8 \times 200 \times 200$	13.10
m_3	a_3/a	0.044	L_3	吸揚管長	25.00 m
α	吸揚管傾角	30°	D_2	吐出管直径	6.015 m
c_c	縮流係数	0.63	Q_3	吸揚管面積	4.010 m^2
v	本管内流速	2.15 m/s	A_2	吐出管面積	2.50 m^2
β_1	r_1/r	1.00	A_3	吐出管面積	変数
β_2	r_2/r	1.02			

と $\frac{h_1}{r}$ の変化。本計算においては、吸揚水面をジェット孔より 3.00 m 上から 5.00 m 下までの間について計算をした。 h_3 の符号はジェット孔より上を (+), 下を (-) として表わす。

表-3 中の $\frac{h_1}{r}$ 欄にある V.G. とは真空計読みを

表-3

$h_3(m)$	W_3	$V_3(\%)$	$\gamma_3(\%)$	$R/r(m)$
+3.00	0.731	3.55	0.0278	-6.22(VG.47)
+2.00	0.687	3.36	0.0262	-6.25(VG.478)
+1.00	0.647	3.15	0.0246	-6.27(VG.478)
0.00	0.600	2.92	0.0228	-6.32(VG.480)
-1.00	0.550	2.68	0.0209	-6.38(VG.484)
-2.00	0.494	2.41	0.0188	-6.42(VG.487)
-3.00	0.432	2.10	0.0164	-6.45(VG.490)
-4.00	0.362	1.76	0.0137	-6.53(VG.486)
-5.00	0.274	1.33	0.0104	-6.61(VG.503)

示したのであつて単位は Hg·cm である。これをグラフにしたものが 図-4 及び 図-5 である。

図-4 中にある実測曲線は吸揚管を、吸揚土砂面に近づけた時より濁水が吐出管より流出した瞬間までの時間をストップウォッチで5回測り、その平均時間で

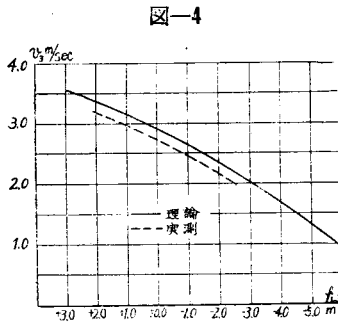
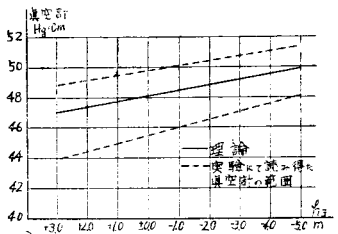


図-5



結果より理論式より得る値は現場設計にそのまま利用してもさしつかえないと云う自信を得た。

b) 吐出管口の位置を変えた場合 今 $h_3 = +2.00m$ とし h_3 を $+3.00m$ より $-3.00m$ まで変化させると、図-6 及び 図-7 に示す結果をうる。すなわち、吐出管口の位置は吸揚流速に大きな影響を及ぼ

すが、できるだけ下にさげた方が有利となることがわかる。

c) 吸揚管径を変えた場合 吸揚管径とポンプ口径との間に、最も有利な場合を知るために、6" ポンプに対して吸揚管径を 3", 4", 5", 6" と変えてみた。ただし

$$h_2 = -2.50m, \quad h_3 = -2.00m$$

の場合について計算した結果を 図-8 及び 図-9 に示す。図-8 は 6" ポンプに対しては、吸揚管径 4" が最も有利であることを示している。

5. 結論

本章においては、理論式より吸揚流速の変化について調べてきたが、問題は吸揚げようとする地質に対し

ての必要な流速の決定である。

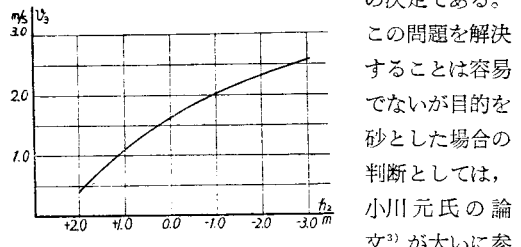


図-6

この問題を解決することは容易でないが目的を砂とした場合の判断としては、小川元氏の論文³⁾が大いに参考になる。すなわち濃度5~3%にあつては限界流速は表-4のごとくであるという。いまこの表より限界流速を 2.00 m/s とすれば、表-2

の設計において、図-4 により吸揚管内水位を $-3.00m$ まで取りうることを知りうる。本装置の心臓部である絞り比 m の理論的決定方法については未研究のため発表し得ないことをお詫びする。

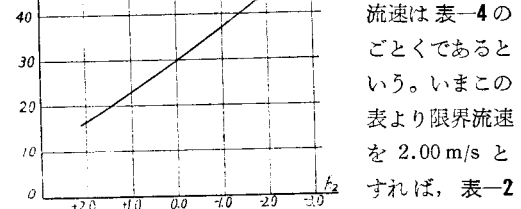


図-7

表-4

砂種	沈 澱	軽 動	浮 游	完全分布
0.3 m/m 以下	95 cm/sec	120	140	180
0.3~0.6	145	150	195	290
0.6~1.2	150	150	180	280

III Injection 式吸揚装置による基礎杭打ちの試験工事について

- 3) 小川元：土木学会誌 Vol.38, No.8 「管内の砂水流れにおける各種限界流速について」

1. 概要

本工事は大阪駅附近高架橋の沈下対策の一環として国鉄大阪工事事務所の設計並びに監督により下記2種類の基礎杭を Injection 式吸揚装置を利用して地下30mの砂利層にまで達せしめたものである。

2. 種類

a) 場所打杭

内径 500 mm (板厚 12 mm) 長 3.34 m ソケット継手の鋼管を9本接続して圧入し 30 m に達せしめ、ついで主筋 19 mm 及び 22 mm の鉄筋を全長にわたり挿入し、下部より中埋コンクリートを填充し、この上昇にともなつて外部の鋼管を引抜いたのである。

b) 鉄筋コンクリート杭 外径 500 mm 内径 380 mm 長 3 m の鉄筋コンクリート杭を10本接続して圧入し 30 m に達せしめ、ついで下部 2/3 に中埋コンクリートを施工し、上部 1/3 に主筋 19 mm の鉄筋を挿入して中埋コンクリートを填充したのである。

3. 施工

a) 掘削 当初は本方式吸揚装置と若干の補助装置のみであつたが 0 m より 4 m までの置土 (石炭灰がら及び砂) と 10 m までの表土 (砂交り粘土) を進んでからは無進行となり、ここにおいて切崩しと吸揚げを分離して考えるのを至当とし、各種の考究と実験を重ねついで別途詳述の出入橋で使用のごとき掘削装置の前身を考案して使用した。

掘削は粘土の場合は掘削機を主管より先行させてもあるいは主管を掘削機より先行させても主管の進捗にはさしたる影響も現われなかつたが砂または砂利層の場合は主管を先行させることはほとんど不可能であつた。しかしながら掘削機を先行することは歯先の崩壊を誘起し主管の周囲を緩めるおそれがあつたので、主管と掘削機との歯先を揃え掘削と圧入を併進させた。

b) 主管の圧入 圧入には 10HP ベルト懸けのウォーシントンポンプによる水圧を利用する直径 7", 働長 4'-0" の水圧ジャッキ2基を主管の両側に据え、管頭に装置した圧入帽を引き下げることにした。

その常圧は粘土では鉄管 9~18 t, コンクリート管 4~23 t, 砂または砂利層では鉄管 24~33 t, コンクリ

図-8

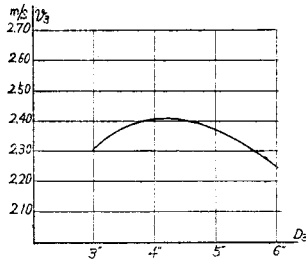
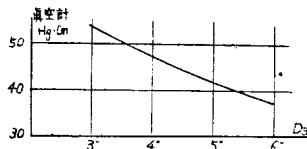


図-9



ート管 30~38 t であつた。

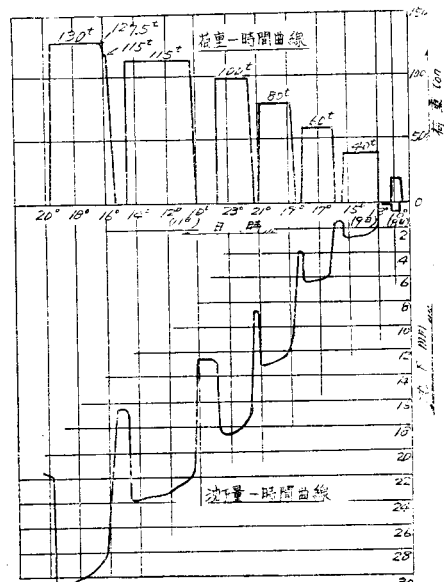
機械故障設備変更等によつて作業を休止した場合は側圧の影響を受け、初動は 40 t 以上となつたことがある。ゆえに継続して作業を行うときは上記の数字はまだ低下することは明らかであり現に出入橋においてよく実証されている。

c) 鋼管の引抜 引抜には1個の油圧ポンプにより 25 t の油圧ジャッキを操作するもの2組と前記水圧ジャッキとを併用したが、水圧ジャッキはその構造上強圧を使用することができないので、21 m 以下の砂及び砂利層のごとき側圧の大なる地層では主として油圧ジャッキを使用し水圧ジャッキを補助としたが、21 m 以上の粘土層は水圧ジャッキのみを使用した常圧は圧入の場合より若干低下した部分もあつたが、全般的にはほとんど同一であつた。なお引抜量は中埋コンクリートの進捗を測定し常にこれより 50 cm 遅れること、すなわち常に管内に 50 cm だけコンクリートを残存することを原則とした。

d) 中埋コンクリート 圧入終了後の管内水位は 12 m 前後にあり、管内には常に 18 m の湛水があるのでコンクリートは水中打となるのであるが、その規模が小さいので極めて原始的ではあつたが混合は手練として、投入には鉄板製の径 15 cm 長 1.8 m の底開き円筒を用い手巻ウインチをもつて徐々に降下した。

e) 鉄筋 所定の鉄筋をあらかじめ 6 m 長のものに工場で組立てこれを現場に搬入し、継手には電気溶接を用い圧入終了後の管内に順次吊り降した。

図-10 載荷試験



なお所定の被覆を保つため主筋に 2m ごとに鈎を溶接止めとした。

4. 載荷試験

試験荷重には古レール 185 t を用い杭頭と荷重との間に 200 t 油圧ジャッキを挿入し、他方にダイヤルゲージを装置し、油圧ジャッキの操作によつて載荷量を漸増し、ダイヤルゲージによつてその沈降量を測定した。その結果は 図-10 に示す。

IV 出入橋 22.00 m 杭打ち工事について

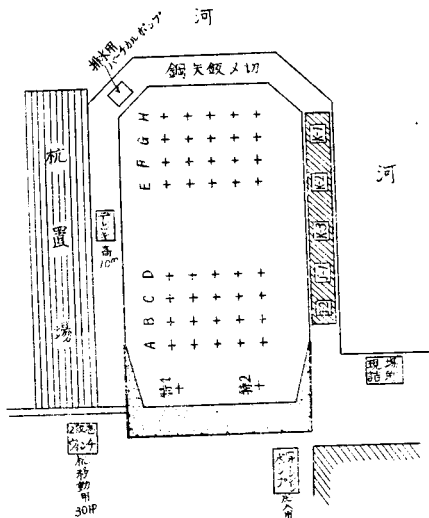
1. 概要

国鉄大阪工事事務所では、梅田貨物駅裏側にある船溜りに高潮の來襲を防ぐため、入口に当る出入橋附近に水門を新設することになり、その基礎杭打ち工を water injection によつて行うことにした。幸い現場関係諸氏の御努力によりある程度の成果を収め得たので、ここにその工法の概略を記したい。

2. 現場状況

現場は出入橋畔にあつて、 図-11 のごとく長さ約 22.00 m、巾約 12.00 m の範囲を鋼矢板で囲む。その内部に 42 カ所に中空井筒型鉄筋コンクリート杭を圧入するのである。杭間隔は縦横ともに 1.50 m で、杭は外径 50 cm、内径 38 cm、長さ 11.00 m を 2 本継ぎとす

図-11

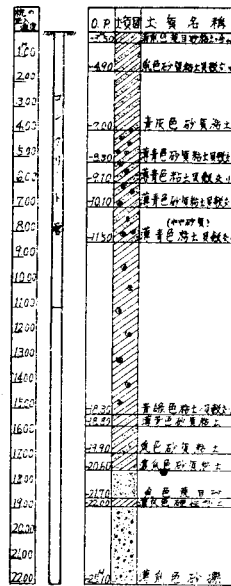


る。 図-12 は現場地質図であつて大体 O.P. - 18.30 m までは青粘土層であり、それより - 22.00 m までは砂質、以下は砂礫層となつている。基礎杭は砂礫層に約 3.20 m 貫入して終りとなる。本現場地盤は年々沈下を生じ、その

表-5

ポンプ性能表				
名称	口径	段数	用途	
K-1	2.5	3	送水用	
K-2	2.0	3		
K-3	2.0	3		
J-1	3.0	6	ジェットポンプ	
J-2	3.0	6	ジェットポンプ	

図-12 地質図



ため杭周辺摩擦力は負として働かし基礎杭を押し下げようとするから、砂礫層の支持力のみに頼る型式として設計された。

3. 現場設備

杭は舟運を利用して搬入される。そのため鋼矢板に沿つて杭置場を仮設し、1 回搬入分 6 本を収容しうるようにした。陸揚げにはデリッキによつて行う。また矢鉋締切上にポンプ室を設け、 図-13 及び 表-5 に示す 5 台のポンプを据付けた。表中 K は送水噴射用 J

図-13 ポンプ室

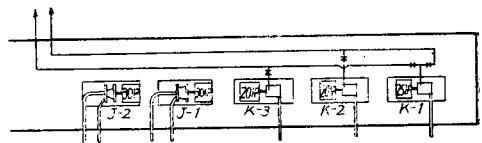
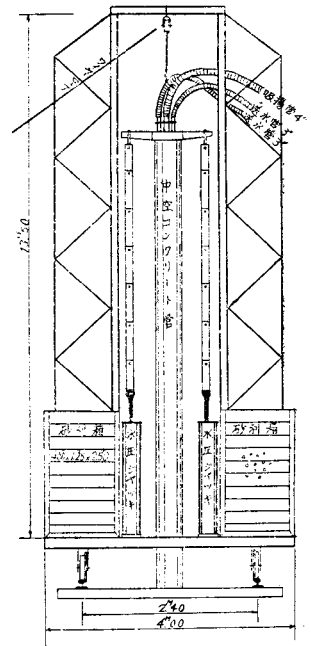


図-14 やぐら組立図

は吸揚用としてのポンプを示す。K-1, 2, 3 はストップバルブの開閉により、どの 2 台でも併用運転ができるようにした。使用時には J が 1 台と K が 2 台であつて、残りは余備となる。杭圧入の直接の力を供給するのはウォーシントンポンプであり、その性能は 表-6 に示す。本ポンプより送られた水は 図-14 に示す水圧ジャッキに入り、ピストンロッドを押し下げるが、その力によつて杭は圧入される。以上動力設備に



ついて説明したが次に
 其他必要な設備につ
 いて説明を加えてお
 う。

a) やぐら 図-14
 に示すように溝型及び
 山型鋼を組合わせて作
 られ、台の下には車輪
 を取付け、レール上
 に乗せてある。レール下
 にはもちろん枕木を入
 れるが、枕木の下にも
 さらにレールを敷き、
 その間に引抜鋼管を挿
 入し横移動に便らし
 めてある。台上には水
 圧ジャッキを取付け
 るとともに、ジャッキ圧
 力に抗しうる程度の重量を有する砂利箱をのせる。本
 工事の場合、砂利重量は 50t である。

b) キャップ やぐら中央に建込まれた杭の頭部と
 水圧ジャッキのロッドを連結するため、コンクリ
 ート管頭部に鉄製キャップを冠せる。キャップ内には管
 頭保護の目的のため、厚さ 30 mm の特性ゴムを挿入
 する。

写真-1 杭の圧入作業状況

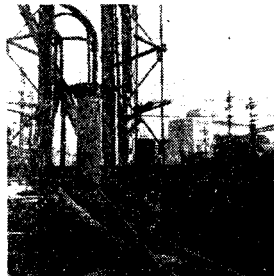


写真-2 杭の建込み作業状況

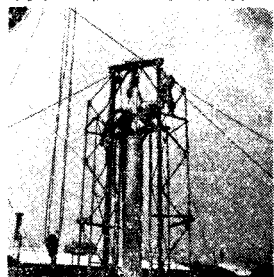
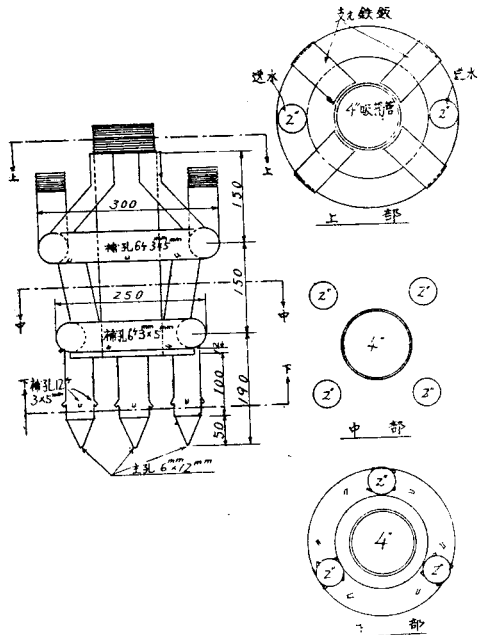


図-15 噴射式掘削機第 6 号



c) 噴射式掘削機 コンクリート杭中には吸揚管と
 としての 4" パイプ 1 本と、送水用として 2" パイプ 2 本
 を管底まで入れ、その端部に 図-15 に示す掘削機を
 取付ける。噴射用送水ポンプより 2" 管を通して送ら
 れた水は本掘削機に入り、主孔及び補助孔より 3~5
 kg/cm² の圧力で噴射し粘土層、砂利層を切りくずす。
 主孔は三本脚の先端に各 1 ケあり大きさは約 6×12
 mm 程度であり、補孔はその三本脚の途中に各 4 ケづ
 つ、計 12 ケと中部及び上部の環状管に各 6 ケあり計
 24 ケであつて、大きさは 3×5 mm 程度である。本掘
 削機は改良第 6 号であつて、工事の成功か否かはこの
 装置いかんにあると云つても過言でない。すなわち、
 主孔、補孔の大きさ、方向、脚と 4" 管口との距離、
 脚数等がその地質に適したものであることが必要であ
 つて、ここではそれらについて十分説明する紙面がない
 ので省略する。

図-16 沓詳細図

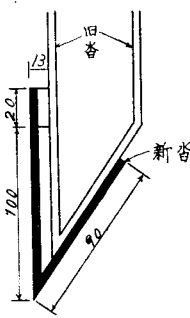
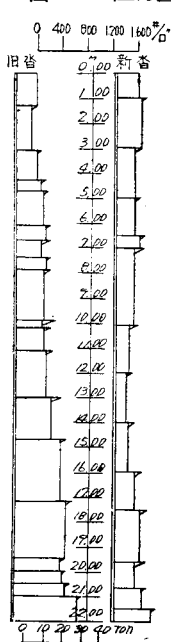


図-17 圧力図



d) 沓 コンクリート管末
 端部には鉄製沓を取付ける。
 本工事の初期には 図-16 中
 に(旧)と示したように管側
 面と面を一致させた沓を取付
 けていたが、途中より(新)
 に改良した。その理由は、本
 杭はその設計上周辺摩擦は負
 と考え必要ないのでこれを切
 り、ウォーシントンポンプの
 負荷を軽くし、かつ、圧入速
 度を大ならしめるためである。
 図-17 は 旧新両沓使用の場合
 のウォーシントンポンプ圧力図
 変化の状態を示す。

e) 補助杭 コンクリート管
 がだんだん圧入されるに従つ
 て、支管内流速は減少しつつに
 砂礫を吸揚げる力を失う。この
 ため補助杭を作り管内水位の上
 昇をはかる必要を生ずる。本工
 事においてはジェット孔面より
 3.20 m 下に管内水位が降下し
 たときに、長さ 4.50m の鉄製
 補助杭をその上に乗せる。この
 ことは吸揚管内流速の平均化に
 もなり、工事進行上大きな利益
 をなした。

f) ジェット式吸揚装置 表
 -2 に示した数値を参照された

い。

4. 圧入方法

まづ所定位置に“やぐら”を移動し、コンクリート管をウィンチをもつてその中央に建込む。この場合コンクリート管内にはあらかじめ吸揚管である4”管と送水用 2” 管 2本と計 3本の管を挿入しておき、その端部には噴射掘削機を取付けておく。さてコンクリート管が建込まれたらキャップを取付け、チェーンをもつて水圧ジャッキのロッドと連結する。また管内送水用パイプ及び吸揚用パイプをコンクリート管外においてサクショホースに連結する。その後、“やぐら”上部の梁に掛けてある滑車を通し手回しウィンチによつてコンクリート管内の吸揚送水両パイプを上下運動させようようにワイヤーを結びつける。以上で圧入準備は終了したのである。次に送水用ポンプをかけコンクリート管内に送水を開始し、十分管内水位の上昇を待つて、吸揚用ポンプを始動する。第1回目の圧入は建込と同時に開始し、管内に送水した水が底部より漏水しないまでに圧入せねばならぬ。管内の粘土や砂礫が排出される状況は吐出管の排水の濁りにより容易に判定できるから、その状況により送水吸揚両方のパイプを上下せしめる。

工事の初期においては濁水を連続的に排出せしめることはできず断続的であつたが、後期になると従業員の熟練に従つて連続的に排出せしめ得るようになった。濁度は 1~3% 程度である。掘削は最大掘越 70 cm を限度として行ない圧入を開始する。この方法を繰返していつついにジェット面より 3.20 m 下にまで圧入が終了すると補助桁を取付け、同様方法により完全に圧入を終る。ただし本工事においては、下杭は地表より 1.50 m 残して上杭を継ぎ圧入を続けた。工事中地下にときどき障害物があり、これを突破するのに非常な困難をなめたことからして、工事着手前に精確なボーリングが絶対に必要である。

5. 実測資料

全工事を通じ各杭ごとに準備時間、圧入時間及びやぐら移動時間

表-6

ウォーシントンポンプ性能表			
#/in	kg/cm ²	重 ton	積 ton
142	10	2.4	4.9
284	20	4.7	9.4
426	30	7.0	14.1
570	40	9.4	18.8
710	50	11.8	23.5
850	60	14.1	28.2
1000	70	16.5	32.9
1140	80	18.8	37.6
1280	90	21.1	42.3
1420	100	23.5	47.0

状況は 図-18 に示すがH列及び特別は矢鉞に接近しているため特殊工法を行つたので報告から除外する。圧入時間は各種器材の改良ごとに時間は短縮され、F列は 22.00 m 圧入に平均 8時間 8分を要し、1時間平均 2.80 m の圧入進度をうるに至つた。準備時間及びやぐら移動時間は 図-19 に示す。1日の工程は午前中に杭の建込、及び圧入準備をなし午後より圧入を開

図-18 杭長 22.00 m 圧入時間

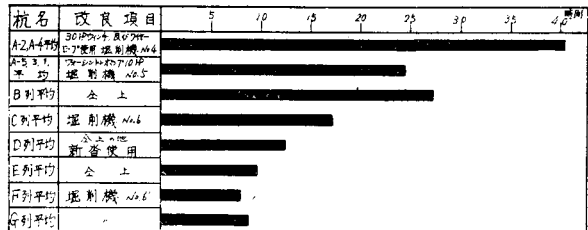
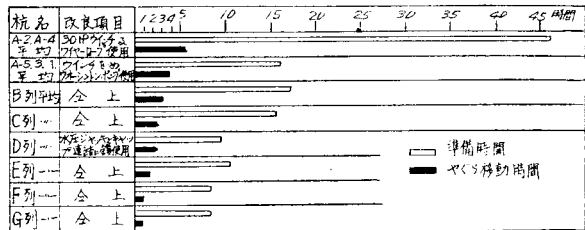


図-19 準備時間及びやぐら移動時間



始し、夕刻 11.00 m の圧入を完了するのが普通である。時間的にみれば午後 9 時程度までの残業により上杭を下杭圧入後に建込できるのであるが、杭長 11.00 m では夜間作業が危険であるからこれを避けた。

今後この種工事においては設計杭長を充分研究し、できれば 4~6 m の範囲にとどめた方が作業能率ははなはだしく上昇するものと確信する。

従業員は 6~8 名でよく、同一作業の繰返してであるため作業の熟練も速く器材整理も行われやすい。使用電力量は上下杭により差はあるが一日平均 220 kWh 程度である。もちろんこれは圧入時間の長短に直接支配される。

ウォーシントンポンプの圧力図は 図-17 のようであつて、新旧両巻の変化は圧力の大きさのみでなくその形状においても差異を認められる。すなわち旧巻においては深部ほど圧力が大となるが新巻の場合は 12.00 m 附近において最小圧力となりそれより上または下では大となっているのであつて、このことは注目されるべきである。

吸揚流速については 図-4 を参照されたい。

6. 本工法の長所及び短所

以上本施工法の理論及び実験工事につき概略的な

このうち圧入時間の短縮

説明をしたが、本工法の長短を列記すれば次のとおりである。

長 所

(1) 従以杭打として行われてきたハンマー打ちでは錘落高をとることができない場所でも応用することができる。

(2) コンクリートパイルの径の大きいものも圧入できる。

(3) 工事中騒音を発しない。

(4) いままで工法より杭を垂直に圧入できる。

(5) ハンマー打のように杭に急激な衝撃を与えないから杭を痛めることはない。

(6) 水中杭打ができる。従つて仮締切の必要がない。

(7) 工事中危険性が少ない。

短 所

(1) 水が豊富かつ自由に使用できる場所でなければならない。

(2) 廃出水の捨場を考慮せねばならない。

要するに本法の最大欠点は水を大量に使用せねばならぬことであり、このために利用範囲を著しく限定されている状態にあるが、もし将来何らかの方法によりこの欠点が除去されるならば、その利用は広範囲にわたり需要もまた大きいものと思われる。

V. 本工法適用の将来の見越し

上記のとおり杭打ちの特殊工法として試験並びに実施の結果から判断して、本工法を将来いかなる工事に応用し、その特長を発揮しうるかと言うことは面白い問題であると考えてるので、ここにわれわれの見越しを述べて各位の御批判と御教示を仰ぎたいと思う。本工法の特長のおもなところは、土砂を含んだ水が sand pump 等の機械の内部や可動部を通過しないで吸い揚

げられ、しかも同時に切崩し等の他の作業を行いながら連続してその作業を行いうるという点である。この特長を生かす仕事としてまず念頭に浮ぶのは水中作業で土砂を排出する仕事である。その代表的なものとしては井筒沈下にこれを利用することである。対象となる地質が粒度の大きな砂礫の場合には従来から利用されているガットミルやオレンヂピール等が有効に働きうるが細砂、粒土、またはシルト等の場合はその効率が低下して工法としての適性に疑いがある。しかしながら、この場合本工法によれば井筒内の土砂の排出は容易に効率よく行いうるしまた前述の経験から、相当締つた粘土層をも water jet の併用によつて切り崩しつつ排出しうることが明らかになつたので、その利用範囲が拡大されるものとする。またこれと同様の意味でダム前面に沈殿した土砂等の取除きに本工法を利用することを水力発電関係技術者によつて御研究をお願いしたいと考える。

防潮堤等の建設工事で海岸の締切工内で広範囲にわたつてその内側の土砂を排出して根掘を行う等の場合には、water injection の装置を一体とし手軽に移動しうるような装置とすることを考察してその根掘に利用すれば、相当経済的かつ能率的な効果を挙げうるものと思われる。その他上記に類する工事に応用すれば面白い結果がえられるのではあるまいか。

本工法は未完成でありかつその実施の経験も至つて貧弱なもので、報告として各位の御高覧に供することは恥かしい次第であるが、将以本工法が研究と経験をへて、より広いより経済的な工事方法となりうることを期待し、今後もその研究をつづけたいと考えるのであえて此処に拙文を綴つて大方の御批判と御教示を御願ひする次第である。 (昭 28.6.14)

電氣的類似法の被圧地下水への応用

准員 石 原 安 雄*
准員 湯 浅 博 明**

APPLICATION OF ELECTRICAL ANALOG METHOD TO CONFINED FLOW OF GROUND WATER

(JSCE Oct. 1954)

Yasuo Ishihara, C.E. Assoc. Member and Hiroaki Yuasa, C.E. Assoc. Member

Syopsis The electrical or electronic analog methods have been actively utilized to analyse many complex and important phenomena. In this paper, a procedure to apply this method to the confined flow of ground water was discussed. Both results obtained electrically and theoretically were compared with each other, referring to the records of field tests, and it was found that the accuracy of computation by this analog circuit was sufficiently high. Some application of this circuit were discussed.

* 京都大学講師 工学部土木教室

** 京都大学助手 工学部土木教室