

大口徑鋼管矢板ウエルによる深礎工法

— 川崎製鉄水島製鉄所の第1溶鋳炉基礎工事の場合 —

小 松 雅 彦*
 肱 黒 和 彦**
 富 永 真 生***

まえがき

川崎製鉄（株）では新産業都市水島臨海工業地帯の埋立地（図-1）に、年間粗鋼生産能力 800 万 t をもつ世界最大級の新鋭製鉄所建設を旨として、昭和 41 年 1 月より第 1 溶鋳炉（日産能力 4 500 t）関連設備の建設に着手し、昭和 42 年 4 月に完成した。

溶鋳炉はいうまでもなく製鉄所における代表的な重量構造物であり、その基礎に加わる荷重は図-2 に示すように非常に大きい。また上部炉体の重心が高い（普通は地上 20 m 程度）ので、基礎としてはできるだけ重心の低い重力式耐震構造にすることが多い。従来は鉄筋コンクリート製ウエル工法が圧倒的に多く、そのほかでは大口徑鋼管ぐい工法、ニューマティック ケーソン工法などが用いられていた。

図-1 第1溶鋳炉位置図

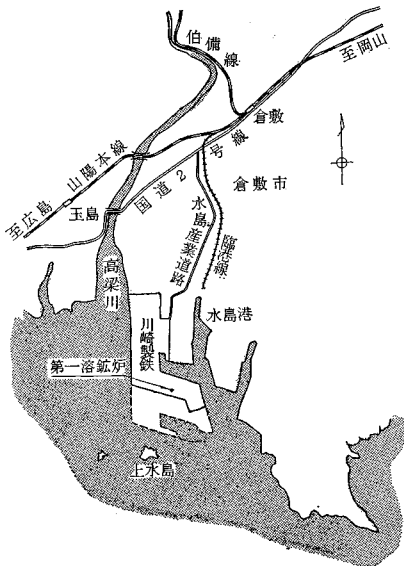
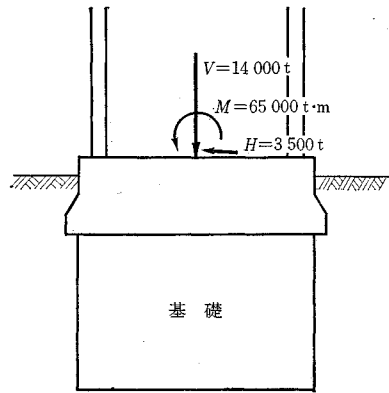


図-2 基礎に加わる荷重図



筆者らは埋立直後の軟弱な地盤に、大型溶鋳炉の基礎を設計・施工する機会を得て、あらたに鋼管矢板ウエルによる深礎工法を開発することができたので、以下にその概要を報告する。

1. 基本調査

(1) 地盤と土質^{1), 2), 3)}

第 1 溶鋳炉建設地点は昭和 40 年 4 月ごろ、良質な細砂をポンプアップして造成された埋立地で、同地点の土質柱状図を 図-3 に、砂れき層の粒径加積曲線を 図-4 に、また粘土層の特性を 表-1 に示す。

(2) 砂れき層の支持力

図-5 に示すような方法で、-24.00 m 付近の砂れき層に直接載荷した⁴⁾。載荷試験の結果を 図-6 に示す。なお載荷試験の間、管内の水位は静水位のままとし、載荷ぐいには小孔をあけて浮力の影響をなくしておいた。また、載荷板と砂れき層の接触をよくするために、砂れき上面は潜水夫作業でならした。

図-6 より砂れき層の許容支持力を、常時 100 t/m²、地震時 200 t/m² として本構造の設計を行なうことにした。

*正会員 工博 川崎製鉄(株)水島製鉄所土建部長代理
 **正会員 川崎製鉄(株)水島製鉄所土建部土木課課長
 ***正会員 工修 川崎製鉄(株)水島製鉄所土木課技師

図-3 溶鉱炉建設地点の土質柱状図

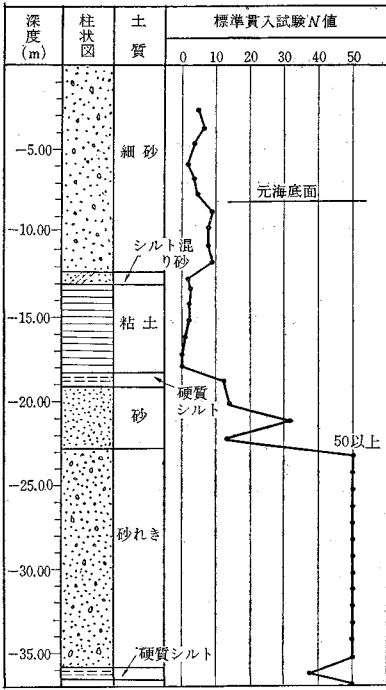


図-4 砂れき層の粒径加積曲線

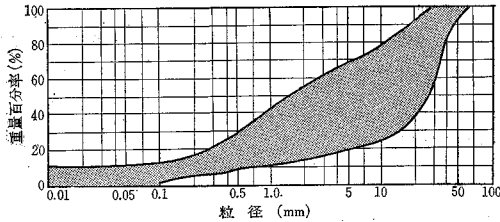


表-1 軟弱な粘土層の特性

含水比 w (%)	液性限界 L.L. (%)	塑性限界 P.L. (%)	塑性指数 P.I. (%)	粘着力 C _c (t/m ²)	圧密係数 C _p (cm/sec)	圧縮指数 C _c
44~54	41~60	20~22	20~39	2.0~4.3	6.6×10 ⁻³	0.34

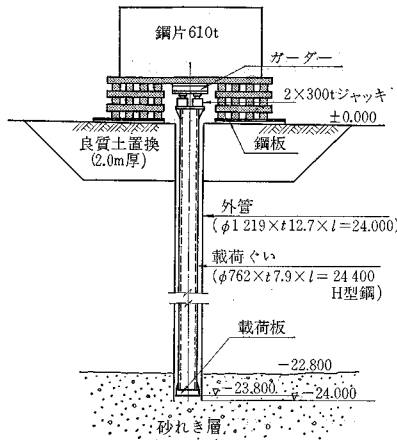
(3) 揚水試験

外径 762 mm の鋼管の先端にストレーナーを加工して -27.50 m まで (砂れき層に 5.00 m) 打ち込んで揚水井とし、これより水中ポンプを 2 台直列に連結して揚水を行ない、揚水量、揚水井内の水位の変化、および揚水井よりそれぞれ 50 m, 100 m 離れた地点の -26.50 m の深さに設置した間げき水圧計の読みを測定した (図-7)。

表-2 揚水試験の結果求められた砂れき層の透水係数 (cm/sec)

区分	ポンプ1台にて揚水の場合	ポンプ2台にて揚水の場合
by Kozeny	1.1×10 ⁻²	1.3×10 ⁻²
by de Glee	1.4×10 ⁻²	1.4×10 ⁻²
by Thiem	4.8×10 ⁻²	3.5×10 ⁻²

図-5 砂れき層の載荷試験要領図



この結果より砂れき層の透水係数を推算すると、算定式⁵⁾によって若干の差はあるが表-2が得られ、透水係数は、かなり大きいことがわかった。

2. 基礎構造の選択

図-2 に示す荷重条件のもとで比較設計を行ない、1.(1) に述べた地盤と土質に適した構造と工法を求めてみた。表-3 に各工法の長所と短所を示す。施工性と経済性の両面から重力式構造とするか、大口径鋼管ぐい式構造とするかに議論は分れるところであったが、結局は両者の特質を生かした工法の採用となった。すなわち

- ① 粘性土層を貫いて砂れき層で支持させる重力式構造でなければならないこと、
- ② 溶鉱炉の基礎として限られた荷重支持面積内で大

図-6 載荷試験結果

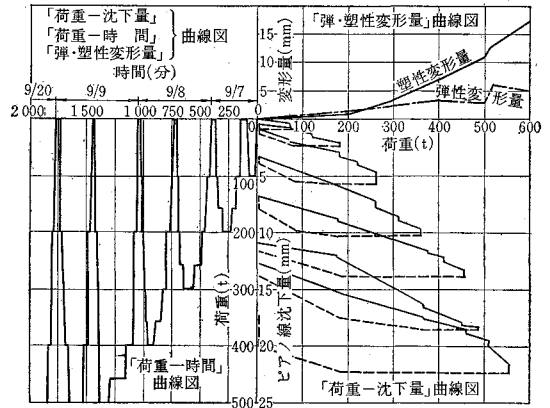


図-7 揚水試験結果

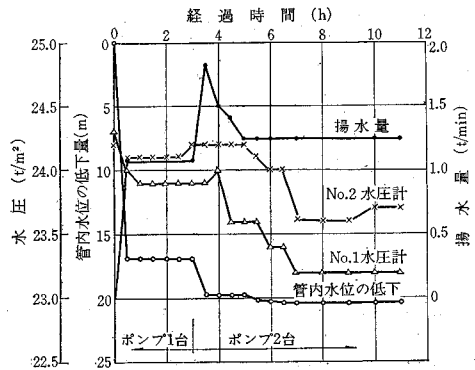


表-3 基礎構造の比較設計

区分	第1案 鋼管矢板ウエル	第2案 大口徑鋼管直ぐい	第3案 1, 2折ちゅう	第4案 ニューマチック ケーソン	第5案 大口徑鋼管斜ぐい	第6案 2重鋼管矢板
構造						
長所	・鉛直力, 水平力に対する安定性が大きい ・軟弱地盤に対する施工が確実	・施工が容易	第1案の短所を補なう	・鉛直力, 水平力に対して安定性が大きい	・第2案について施工が容易	・第1案の短所を補なう
短所	・土工量が多い ・湧水対策が必要	・地震時の水平方向に対する抵抗が小さい	・設計上未説明の問題が多い	・軟弱地盤に対する安全確実な施工が困難	・水平力に対する斜ぐいの効果が小さい	・設計上未説明の問題が多い

大きな荷重を支持させなければならないうえ、上部構造の重心が高いので、できるだけ重心の低い安定した基礎構造にしなければならないこと、

- ③ 上部のゆるい砂層および軟弱な粘土層に対して安全確実かつ迅速に施工ができる工法であること、
- ④ 耐震構造であること、
- ⑤ できるだけ新しい工法の開発を旨とすること、

などの諸点を考慮して、鋼管矢板ウエル構造の採用に決定した。つまり、大口徑鋼管矢板を利用して、従来溶鉱炉基礎に実例の多いウエル構造とするものであるが、単純な円筒状壁構造や、第3案、第6案のような構造では地震力を受けた場合の断面性状に不明確な問題⁹⁾が残るので、鉄筋コンクリート構造にて一体性を確保し、大きな荷重の支持面を約23m地下の砂れき層にまで下げることとしたものである。第2, 5案は工費が安いという魅力はあったが、図-2に示すような荷重条件と軟弱な地盤のことを考慮すると採用するまでには至らなかった。また第4案は軟弱な地盤においては急激な沈下・傾斜・大きな外山現象などを起こし、多大な困難と危険に直面した例がきわめて多く、したがって、工期上不安定な要素の多い点から見送りとなった。

3. 設計の概要

(1) 鋼管矢板ウエルの外径

図-2に示した荷重について、重力式ウエル構造として設計震度 $K_H=0.20$, $K_V=0$ の震度法により設計を行った。ここで地下水位(-3.00m)以下の基礎重量は水中重量とし、地震力に対する基礎側面の土砂の抵抗は無

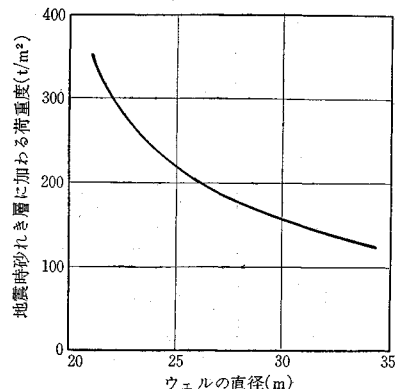
視することにした。砂れき層の地震時許容支持力を 200 t/m^2 とすると図-8に示すような関係から、ウエルの外径は26m程度が最適であることがわかった。

(2) 鋼管矢板の寸法

鋼管矢板は打込み機械に制約のないかぎり、直径の大きい方が断面性状のうえからも、材料コストのうえからも有利であることは明らかなので、現在市販されている最大径のスパイラル鋼管⁷⁾($\phi 1219 \text{ mm}$, $t 12.7 \text{ mm}$)を使用し、図-9に示すような150A型パイプ継手構造を採用した。従来の実施例⁸⁾によると、打込み、結合、止水のいずれの性能についても良好な成果が得られていたからである。鋼管矢板の長さは25mとし、掘削中にヒービング、パイピングなどの現象が生じないよう、砂れき層には6mの根入れとした。

(3) 基礎の断面形状

図-8 ウエルの直径と地震時砂れき層に加わる荷重量との関係



基礎の断面形状を 図-10 に示す。底版コンクリート部と砂れき層との間には厚さ 0.50 m の捨コンクリートを施工することにし、万一ゆう水が激しくなった場合には、捨コンクリートの厚さを厚くして、水中プレパックドコンクリートにて同様の捨コンクリートとすることができるよう設計上万全の考慮をはらっておいた。

4. 施工の概要

(1) 大口径鋼管矢板の打込み

長さ 25 m、重さ 11 t の大口径鋼管矢板を、いかにし

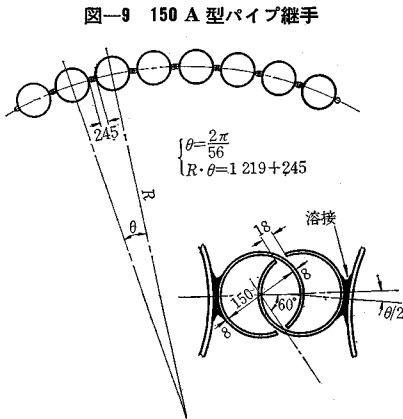
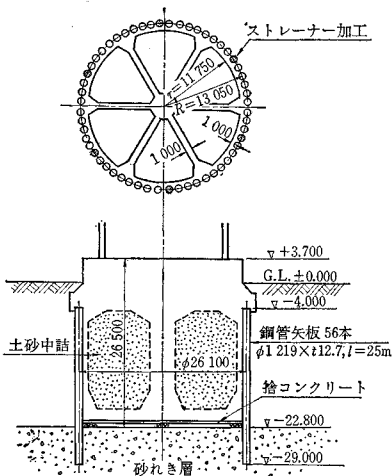


図-9 150 A 型パイプ継手

て所定の深さの砂れき層まで確実に打ち込むか。そのための最適な打込み機械と打込み方法の選択をいかにするか。所定の 56 本の鋼管矢板をいかにして直径 26.10 m の円形を維持しながら正確に打ち込むか等について議論された。

打込み機械としては、従来の試験結果³⁾より、200 IP バイプロハンマ、および D-40 ディーゼルハンマ(とも

図-10 溶鉱炉基礎標準断面図



に三菱重工(株)製)を選び、これらのハンマによる2段打込みとした。くい打ちやぐらとしては、25 t 吊りのステフレッグ クレーンを円形の中心にすえ、打込みはリーダーを回転させながら半周ずつ2回に分けて実施した。打込みに当っては、継手の正常なかみ合わせをはかり、また進行方向への倒れを防ぐために10本前後ずつ、びようぶ打ちを行ない(写真-1)、1本1本をていねいに打ち込んで所定の本数におさめることができた。写真-2 に打込み終了の状況を示す。

(2) 掘削工事と支保工

大口径鋼管矢板はその断面剛性が大きいことが長所であり、支保工の設計に当っては、この長所を十分発揮できるように、支保工の鉛直方向の間隔を思いきって大きくすることにした。一方支保工の間隔を離しすぎると、次段の支保工を設置するために2.0 m 近くの掘り越しを行なう関係上、軟弱地盤では鋼管矢板のはらみ出しが予想より大きくなることもある。本工事では鋼管矢板のはらみ出しを30 mm 以下に押えて、支保工は 図-11 に示すように5段配置とした。支保工部材の設計に用いた

写真-1 鋼管矢板の打込み状況

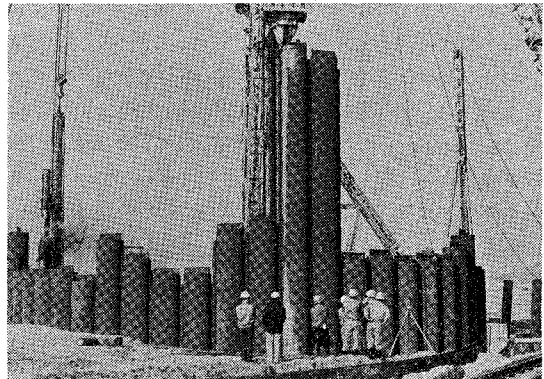
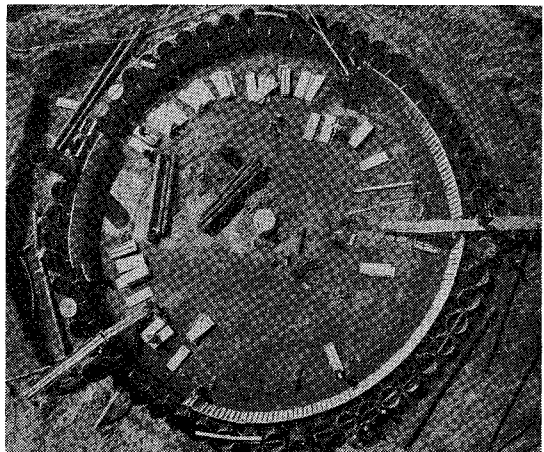


写真-2 打込み終了状況を上空より撮す



圧力分布は 図-11 に併示したとおりであるが、砂れき層に近い部分の水圧は後記する揚水工の効果を考えて低減した。支保工は第1段目を切ばりなしの鉄筋コンクリートリング、第2段目以下を大形のH形鋼(H-600×600×32/25)によることにした(写真-3)。最下段支保工設置終了時の状況を写真-4 に示す。なお支保工に用いた鋼材は大半を 図-10 に示す壁体内に埋め殺した。

(3) ゆう水対策

前記した揚水試験の結果より、-22.80 m まで掘削したときのウエル底部よりのゆう水量は 17 000~76 000 t/日と推定された。このような多量のゆう水に対して、通常の釜場排水工法ではこれを克服することは不可能と考えられたので、鋼管矢板の利点を生かした深井戸工法を採用することにした。すなわち、あらかじめ 56 本のうち

図-11 支保工の設置位置と圧力分布

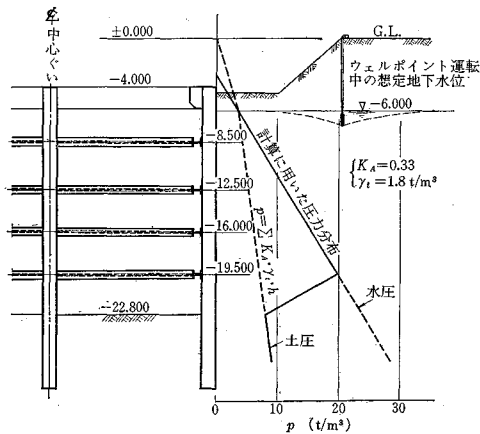


写真-3 鋼管矢板と腹起し材および切ばり材

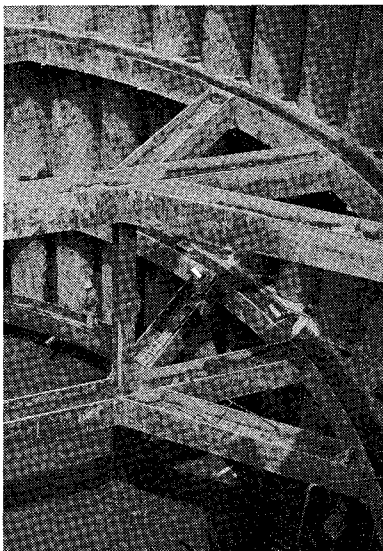
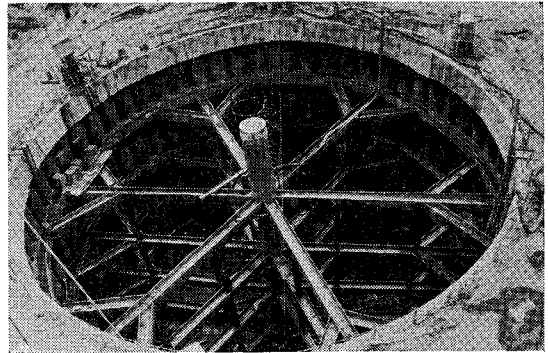


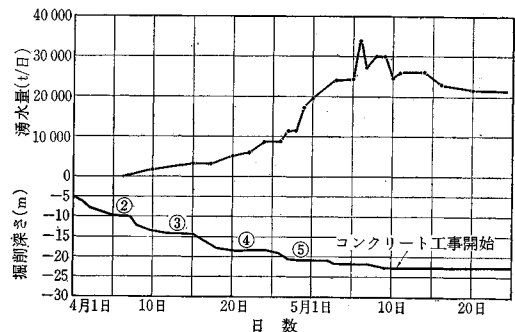
写真-4 最下段支保工の設置されたところ



6本の鋼管矢板の先端部にストレーナーを加工しておき、ストレーナー部分が砂れき層へ十分な深さになるまで(6.0m) 打ち込んだあとで管内の土砂を排除し、管内に強力な揚水ポンプを配置して砂れき層からの揚水を行なうことによって、水圧の低減をはかることにした。

揚水ポンプとしてはボアホールポンプ(荏原製 BHM-250 型, 55 kW, 最大揚程 26 m, 最大揚水量 6 t/min)を6台配置した。本工事中の砂れき層からのゆう水は 14m 付近を掘削中より発生し、以後 ゆう水量の推移は 図-12 のような経過をたどったが、上記揚水の効果は

図-12 掘削中の砂れき層からのゆう水量の変化



あって、深さ -22.80 m での床付け、割栗石地業、捨コンクリート打ち作業も当初の計画どおりドライワークで行なうことができた。あとは底板コンクリート、壁体コンクリート、中詰め土砂、礎版コンクリートと順調に立ち上がり、全体工事を約7カ月の短期間で終えることができた。表-4 に実績工程を示す。

あとがき

以上のように、本工法は鋼管ぐい基礎工法のもつ施工の容易・安全性と、ウエルあるいはケーソン基礎工法のもつ大きな支持力特性(鉛直方向および水平方向の)の両者の長所を取り入れた工法として考案されたものである。今回の溶鉱炉基礎では荷重が大きかったので、基礎

表-4 水島第1溶鉱炉基礎実施工程表

工事種別	数量	41年1月			2月			3月			4月			5月			6月			7月			8月		
		1	15	30	1	15	28	1	15	31	1	15	30	1	15	31	1	15	30	1	15	31	1	15	31
15tステップレッグクレーン組立	2キ	■																							
25tステップレッグクレーン組立	1キ		■	■	■	■	■	■	■	■															
一次掘削	4 670m³	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
二次掘削	9 037m³																								
鋼管矢板打込み	56本																								
支保工組立	5段																								
床さらえ工	1式																								
鉄筋	520 t																								
型わく	3 500m²																								
コンクリート打ち	8 700m³																								
土砂中詰工	4 615m³																								
アンカーボルト取り付け	180本																								
無筋コンクリート打ち	500m³																								
アルミナコンクリート打ち	45m³																								
埋戻しおよび整地	3 923m³																								

を支持層に定着させるために、鋼管矢板ウエル内部の土砂を掘削・排除して底部に鉄筋コンクリート版を施工し、ウエル下端閉そくの状態とする工法を採用したが、掘削時のウエル外側からの土圧・水圧に対する安全性の問題および高い滞水圧をもった砂れき層からのゆう水に対する安全性の問題が施工上かなり重要なウエイトを占めるところとなった。このようにウエル下端閉そく状態としたのは、設計上

- ① 地震などの水平力により大きな横曲げモーメントを受ける場合の鋼管矢板継手部の剛性、および鋼管矢板とウエル内部土砂との相互作用
- ② 下端開放状態における鋼管矢板ウエルの鉛直方向支持力

などの問題に未解明の点が多かったため、今後はこれらの問題点を解決していかなければならないと考えている。現在実験中なのでつぎの機会に報告したい。

一方、施工の面では本工法の採用により

- ③ 周辺地盤のすべり、ゆるみなどが全然なかったので、並行して実施した隣接する基礎構造物にまったく悪影響をおよぼすことなく、軟弱な地盤に深い基礎を施工することができた。
- ④ 最初に所定の位置に鋼管矢板を打ち込んでいるため、ウエルあるいはケーソンなどで考えられる位置の移動、傾斜などはまったくなく、計画どおりの施工ができた。
- ⑤ 急速施工の要求に十分応じることができた。

などの成果をあげることができた。

その反面、今後は大口径鋼管矢板の利用とともに大型くい打ち機械の開発や、使い易い、高能率の高揚程揚水

ポンプの開発も大切であることを痛感させられた。

本工法は新しい工法として実用に供してからまだ日が浅く、今後改良すべき点や解明すべき点も多いが、今回の実施例では予期以上の成果を収めたと認められるのでここに報告する次第である。地盤や施工条件の比較的悪い他の地点における溶鉱炉、発電所、橋脚、地下タンクなどの重量土木構造物の基礎に関心のある諸兄のご参考になれば幸いである。

終りに、本工法の設計に当って数々のご指導をいただいた東大 福田武雄名誉教授、京大 小西一郎教授、後藤尚男教授、建研 大崎順彦部長、また施工に当って終始ご協力を惜しまれなかった清水建設(株)の関係各位に深謝する次第である。

参考文献

- 1) 土木学会：日本沖積層分布図，最近の基礎工法，1962年8月
- 2) 日本建築学会中国支部：倉敷市の地盤，1964.
- 3) 川崎製鉄(株)：大型鋼ぐい試験報告書，1965年12月
- 4) 同上：第1溶鉱炉基礎試験工事報告書，1965年12月
- 5) 土木学会：水理公式集，1963，p. 317.
- 6) 嶋 文雄・後藤尚男・松浦 佐・吉倉敦治：鋼管矢板井筒に関する模型実験的研究，第21回土木学会年次学術講演概要，1966年5月
または
嶋 文雄・後藤尚男・江口 肇：鋼管矢板井筒の耐震性に関する模型実験的研究，第22回土木学会年次学術講演会講演概要，1967年5月
- 7) 川崎製鉄(株)カタログ：川鉄の鋼管
- 8) 山肩邦男・八尾真太郎：掘削にともなう鋼管矢板壁の土圧変動，土と基礎，Vol. 15, No. 5, No. 6, 1967年5月，6月

(1967. 9. 2・受付)