
仮締切兼用鋼管矢板井筒工法

Steel Pipe Piled Well Method

肱黒 和彦(Kazuhiko Hijikuro) 嶋 文雄(Fumio Shima) 佐野 忠行(Tadayuki Sano)

要旨：

本工法は構造物の基礎本体である鋼管矢板井筒を構成する鋼管矢板をそのまま水面上まで立上げ、適当な止水処理を行なって仮締切壁として兼用する工法である。本工法によれば基礎構造体として大きな剛性をもち、また施工中の安全性、急速施工性、省力化などのメリットをもっている。ここでは、本工法の施工法、設計方法について説明し、さらに本工法運用化にあたり問題点であった仮締切壁の止水性、仮締切部の水中切断、鋼管矢板、フーチングの接合方法についての各種実験を行ない本工法を確立した経緯について述べる。

Synopsis：

The characteristics of this engineering method are a double purpose utilization of steel pipe piles; the one for foundation structure, and the other for interim cofferdam, as can be performed by leaving the top portions of the steel pipe piles sufficiently high above the water surface and giving some proper water-cutting treatment. The engineering method features safety and speediness during the construction and a large rigidity as foundation structure. This report outlines the construction and designing of the method, and some problems in the application of the method. It also relates the background of the method based on various experiments covering water-tightness of the cofferdam, under-water cutting of the cofferdam and the footing connecting method of steel pipe piles.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

仮締切兼用鋼管矢板井筒工法

Steel Pipe Piled Well Method

肱 黒 和 彦*

Kazuhiko Hijikuro

嶋 文 雄**

Fumio Shima

佐 野 忠 行***

Tadayuki Sano

Synopsis :

The characteristics of this engineering method are a double purpose utilization of steel pipe piles ; the one for foundation structure, and the other for interim cofferdam, as can be performed by leaving the top portions of the steel pipe piles sufficiently high above the water surface and giving some proper water-cutting treatment.

The engineering method features safety and speediness during the construction and a large rigidity as foundation structure.

This report outlines the construction and designing of the method, and some problems in the application of the method. It also relates the background of the method based on various experiments covering water-tightness of the cofferdam, under-water cutting of the cofferdam and the footing connecting method of steel pipe piles.

1. ま え が き

国土の均衡ある開発のため、交通網の整備が盛んにすすめられ、海や河川を渡る長大橋が各地で計画されかつ工事が行なわれている。

橋の基礎に從來からケーソン基礎と杭基礎が主なものであるが、河川下流部などの軟弱地盤地帯の橋梁基礎には設計・施工にあたって多くの問題点があり、施工が容易で安全性のある基礎工法の開発が望まれていた。

鋼管矢板井筒基礎はケーソン基礎の特長である大きな剛性と杭基礎の施工性とを兼ねそなえた工法として注目されるようになった。鋼管矢板井筒工法は図1のような継手形状を有する鋼管矢板を

図2のような円形、小判形、長方形型など各種平面形状に打ち込み、鋼管矢板継手内をモルタル処理、頭部をフーチングで固定するなどにより、ケーソンに近い断面剛性をもった基礎構造である。

鋼管矢板井筒を分類すると図3に示すような各方式のものがある。橋梁基礎として(1)方式は千本

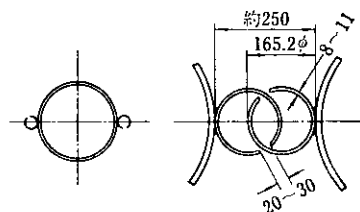


図1 鋼管矢板の継手

* 水島製鉄所土建部部长・工博

** 本社建材開発部部长代理兼鋼構造研究所構造研究室長

*** 本社西部総括管業所プロジェクト営業室兼建材開発部副部长

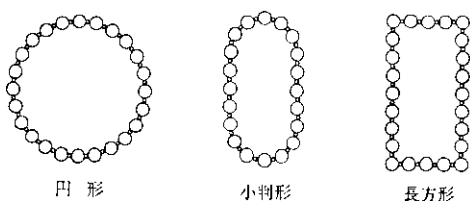


図2 鋼管矢板井筒形状

松橋²¹⁾、潮風橋、(2)方式は石狩川河口橋²⁸⁾、²⁹⁾、小見川橋²⁷⁾、³⁰⁾などの実績がある。(3)方式は仮締切兼用方式であり、基礎と仮締切部は一体構造をなすもので、施工中の安全性が高く、また占有する河川断面は二重締切のほぼ半分ですみ、工期短縮も大幅にできるなどの特長を有している。(4)、(5)方式は巨大橋梁基礎に適用が期待されるが、橋の基礎での使用実績はまだない。

本稿では仮締切兼用鋼管矢板井筒工法についてその設計、施工法の概要と、工法開発の経緯について述べる。

2. 仮締切兼用鋼管矢板井筒工法の概要

要⁷⁾、¹⁰⁾、¹¹⁾、¹²⁾、¹³⁾、²³⁾、²⁴⁾

橋梁基礎を河川に構築する場合、港湾内で航路幅の制限を受けるときには、図3の(1)方式基礎の施工は一般には管理者よりの許可が得られず、(2)、(3)タイプで施工しなければならない。(2)方式

は鋼矢板を二重に打込んで締切りを行ない、二重壁内に土砂を詰め込んで安定させ、締切り内で築島、杭打、掘削、さらに橋脚工事を行ない、完了後鋼矢板を撤去する方法であるが、工期を要すること、工事中の占有面積が大きいこと、軟弱地盤での仮締切の安全性などに問題があった。

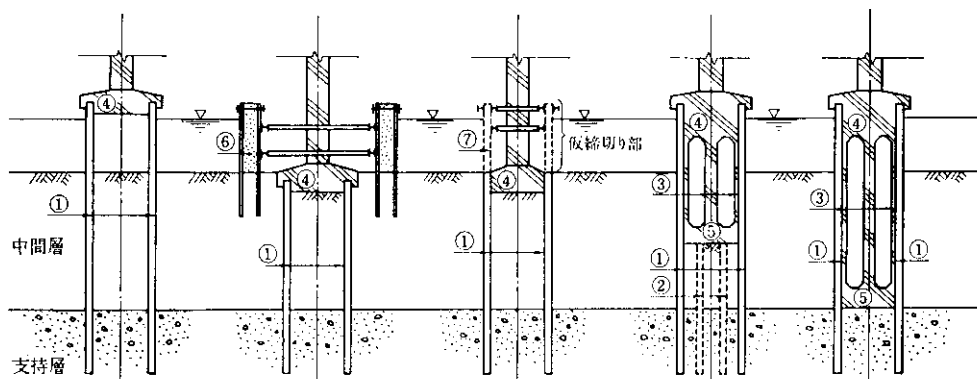
(3)方式の仮締切兼用工法(以下本工法)によれば、基礎となる鋼管矢板井筒をそのまま水面上に立上げ、鋼管継手部を止水処理し、仮締切壁となし、内部をドライアップしてフーチング、橋脚を施工し、不要となった仮締切りは切断、撤去する方法である。この方法によれば、渇水期などの限られた工期内に橋脚を完成させることが可能であること、工事中河川、航路などの障害が最少限となること、また既存構造物に隣接して施工可能であることなどのすぐれた特長を有している。

3. 施工方法¹⁰⁾、^{15)~20)}

本工法の施工順序を図4に示す。各段階における施工の要点は次のとおりである。

(1) 鋼管矢板の建込み、打込み

建込み、打込みにあたり、鋼管矢板の回転、傾斜を防止するため、井筒内外周に定規を設け、回転防止治具を取り付ける。建込み、打込み作業は杭打船または作業足場上の杭打機により行なう。



(1) 立上り方式 (2) 締切り方式 (3) 仮締切り兼用方式 (4) 半剛体方式 (5) 剛体方式
①鋼管矢板、②鋼管杭(必要により)、③内部鉄筋コンクリート、④フーチング、⑤底板、⑥二重締切り、⑦仮締切り

図3 鋼管矢板井筒の種類

建込みは定規、回転防止用治具で位置決めされた個所に一本ずつパイプハンマーを用いて行ない、万一回転、傾斜を起こしたときは、いったん引抜いて所定位置に定まるまで繰り返して行ない、鋼管矢板を精度よく閉合させる。

閉合が完了するとあとは普通の杭と同じようにディーゼルハンマーにより所定の深さまで鋼管矢板を打ち込んでいく。

(2) 継手処理、プレバックドコンクリート

工鋼管矢板の打ち込みが完了すると、鋼管矢板継手内の土砂を排除し、フーチングより下方にモルタルを充填する。ついで仮締切部分の継手には止水材を注入する。止水材の流出を防ぐためナイロン製の袋を使用する。また止水材の選定に

あたっては止水性が良好なことはもちろん、水中切断が容易で、撤去後継手内の充填法を除去し鋼管矢板が再使用可能であることが基準となる。

次いで所定深さまでクラムシェルなどにより内部掘削を行なう。掘削深さが大となると土圧を受けるようになるので、事前に第一段目の支保工を設置する。

掘削完了後地盤面は砂、砂利により敷均した後、プレバックドコンクリートを施工する。プレバックドコンクリートは下面よりの湧水によるアップリフトを防ぎ、外圧に対しては支保工として重要な役割をもっているため、施工にあたっては設計厚、コンクリート品質保持について特に注意を要する。プレバクト下面の水圧は水抜孔により調整する。

(3) 支保工、ドライアップ

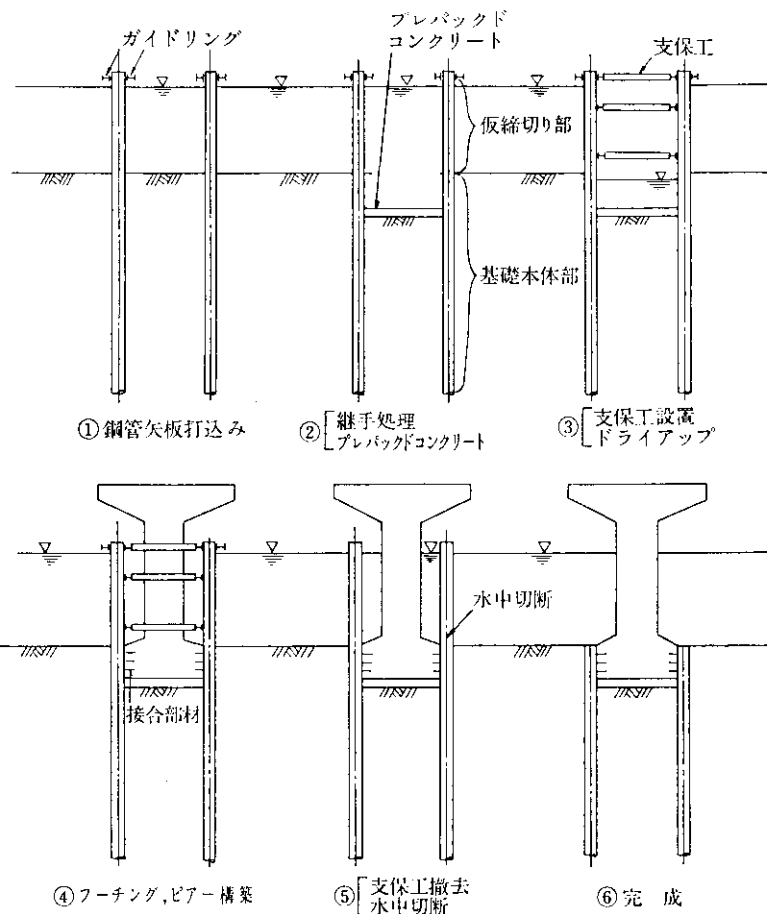


図4 仮締切兼用鋼管矢板井筒の施工順序

プレバックドコンクリート硬化後、仮締切内部のドライアップを開始し、第一段目支保工の下面まで水位をさげ切梁を設ける。引き続いて第二段、第三段の支保工を設け、内部を完全にドライアップする。

(4) フーチング、ピア構築

フーチングと鋼管矢板井筒内壁を一体化するため、連結材を鋼管矢板に溶接し、フーチング配筋、コンクリート打設を行なう。次いでピアを構築する。

(5) 支保工撤去、水中切断

仮締切内部に注水しながら、順次支保工を撤去し、内外圧をバランスさせたのち、フーチング天端で鋼管矢板を水中切断し、工事が完了する。

4. 設計方法^{1)~9), (14), (21), (22), (25), (26)}

本工法設計にあたってのおもな検討事項をあげると次のとおりである。

- (1) 井筒の鉛直支持力
- (2) 井筒の水平支持力, 井筒の曲げ剛性
- (3) 井筒断面応力
- (4) 仮締切壁, 支保工, プレバックドコンクリートの施工時の安全性
- (5) フーチング, 鋼管との接合部

(1), (2), (3)については従来から研究がなされており, 設計法もほぼ確立されている。(3), (4)の問題は本工法を実施するために生じた問題であり, 後述する実験を行ない設計方法を検討した。

4.1 井筒の鉛直支持力

鋼管矢板井筒は鋼管矢板を一体とした合成構造体であり, 外力に対する鉛直支持力はケーソンに近いことを期待し作られている。しかし本基礎は

図5, 図6に示すように井筒型と脚付型とがあり, 脚付型は上部井筒, 下部群杭とに分けられ, 設計上はクイ基礎に準じて計算する。井筒部分の鉛直支持力も同様にクイ基礎の計算にならうことにした。矢板式基礎設計施工指針にしたがい, 静力学的支持力公式により計算する場合の支持力算定式を表1に示す。

4.2 井筒の水平支持力, 井筒の曲げ剛性

鋼管矢板井筒は曲げ剛性 EI なる有限長ばりが弾性地盤に支持されているとして, 基本式は次式により示される。

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + E_s y = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで,

x : 地盤よりの深さ

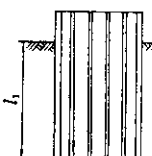
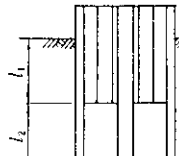
y : 深さ x 点での井筒のタワミ

$E \cdot I$: 井筒の曲げ剛性, (3)式による

$E_s = K_H \cdot D$

K_H : 水平地盤反力係数

表1 鋼管矢板井筒基礎の鉛直支持力

1) 井筒の場合	2) 脚付の場合
 A_1 (井筒外周と内周の間の面積)	 A_1 (矢板1本の閉鎖面積)
$R_a = \frac{1}{n_1 \cdot S} (q_d \cdot A_1 + f \cdot U \cdot l_1)$	$R_a = \frac{1}{S} \left(q_d \cdot A_1 + f_0 \cdot U_0 \cdot l_2 + \frac{f \cdot U \cdot l_1}{n_1} \right)$

R_a : 鋼管矢板一本の許容支持力

S : 安全率

l_1 : 井筒根入長

l_2 : 脚長

U : 井筒外周長

n_1 : 井筒部の鋼管矢板本数

U_0 : 脚の周長

q_d : 鋼管矢板先端地盤の極限支持力度

f : 井筒周辺摩擦係数

f_0 : 脚周辺摩擦係数

D : 井筒の幅

一般解

$$y = e^{\beta x} (A \cos \beta x + B \sin \beta x) + e^{-\beta x} (C \cos \beta x + D \sin \beta x) \quad (2)$$

ここで

$$\beta = \sqrt{\frac{E_s}{4EI}}$$

A, B, C, D : 未定定数

鋼管矢板井筒は鋼管矢板の合成構造体であり、頭部剛結、継手部処理などにより個々の矢板では得られない大きな曲げ剛性を得る。曲げ剛性は次式より求める。

$$E \cdot I = E \left(\sum_{i=1}^n I_i + \mu \sum_{i=1}^n A_i y_i^2 \right) \quad (3)$$

ここで、

E : 鋼の弾性係数

I : 井筒の断面二次モーメント

I_i : i 番目の鋼管矢板の断面二次モーメント

n : 鋼管矢板の本数

A_i : i 番目の鋼管矢板の断面積

y_i : i 番目の鋼管矢板の井筒中心軸までの距離

μ : 鋼管矢板井筒の合成効率 $\mu = 0 \sim 1.0$
(表 2 参照)

表 2 合 成 効 率

矢板の種類	継手処理	合成効率(μ)	備考
鋼管矢板	継手部モルタルグラウト、および矢板頭部固定	0.50	グラウト
	矢板頭部固定 (鉄筋コンクリート等で固める)	0.30	

合成効率(μ)は今までに行なわれた実験値より設計における安全性も考慮し決定された値である。鋼管矢板井筒基礎設計においてはこの μ と地盤圧力係数(K_H, K_V)の推定により水平支持力が計算される。

井筒型、脚付型の力学モデルを図 5、図 6 に示すが、(2)式にそれぞれの境界条件を代入すれば未定定数が決定し、任意深さの曲げモーメント、剪断力、地盤反力が計算できる。

井筒型の境界条件式は次のようになる。

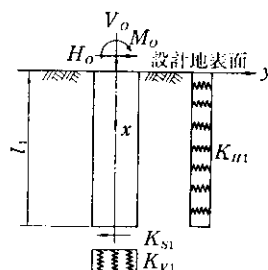


図 5 井筒型の力学モデル

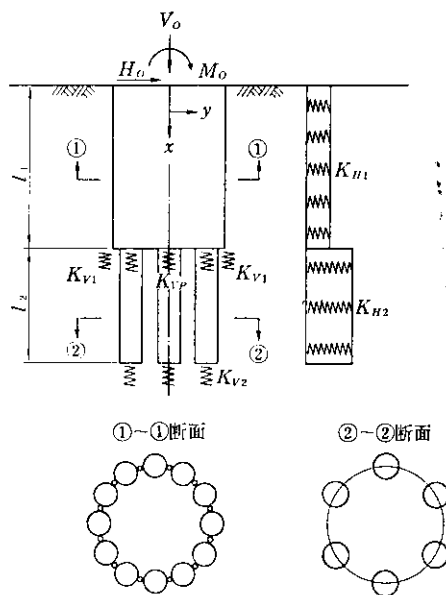


図 6 脚付型の力学モデル

井筒頭部($x=0$)

$$-EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -M_0$$

$$-EI \frac{d^3 y}{dx^3} = -H_0$$

井筒底面($x=l_1$)

$$-EI \frac{d^2 y}{dx^2} = K_v I_v \frac{dy}{dx}$$

$$-EI \frac{d^3 y}{dx^3} = K_s A_v y$$

..... (4)

ここで

M_0 : 井筒頭部に作用する曲げモーメント

H_0 : 井筒頭部に作用する水平力

K_v : 井筒底面の鉛直方向地盤反力係数

K_s : 井筒底面のせん断ばね係数

A_v : 井筒底面の有効載荷面積 (引張力の働いている部分を除く)

I_v : A_v より求められる底面の断面二次モーメント

脚付型の設計では井筒部と脚部の境界条件を合わせて、それぞれの計算を行なう。脚部は無限長のクイとして考え、クイ一本に作用する曲げモーメント M_i 、水平力 H_i とすると、脚頭部の変位 δ_2 、回転角 θ_2 は次式により示される。

$$\left. \begin{aligned} \delta_2 &= \frac{2\beta_i}{E_{s2}} H_i + \frac{2\beta_i^2}{E_{s2}} M_i \\ \theta_2 &= \frac{2\beta_i^2}{E_{s2}} H_i + \frac{2\beta_i^3}{E_{s2}} M_i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

ここで、

$$\beta_i = \sqrt{\frac{E_{s2}}{4EI_i}}$$

$$E_{s2} = K_{H2} \cdot d$$

d : 脚部鋼管の径

I_i : i 番目の鋼管矢板の断面二次モーメント

井筒部は次の境界条件式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} x=0 \\ -EI \frac{d^2 y}{dx^2} &= -M_0 \\ -EI \frac{d^3 y}{dx^3} &= -H_0 \\ x=x_1 \\ -EI \frac{d^2 y}{dx^2} &= K_{v1} I_1 \frac{dy}{dx} + K_{sp} I_p \theta_2 \\ + \Sigma M_i \\ -EI \frac{d^3 y}{dx^3} &= \Sigma H_i \\ \frac{dy}{dx} &= \theta_2 \\ y &= \delta_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

ここで

I_1 : 脚部分を除いた井筒底面の断面二次モーメント

I_p : 脚部分の井筒中心軸における断面二次モーメント

多層系地盤では各層間に次の連続条件が成立する。

i 層と $i+1$ 層の間で

$$\left. \begin{aligned} y_i &= y_{i+1}, \quad \frac{dy_i}{dx} = \frac{dy_{i+1}}{dx} \\ EI_i \frac{d^2 y_i}{dx^2} &= EI_{i+1} \frac{d^2 y_{i+1}}{dx^2} \\ EI_i \frac{d^3 y_i}{dx^3} &= EI_{i+1} \frac{d^3 y_{i+1}}{dx^3} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

実際の鋼管矢板井筒基礎は載荷実験に見られるように、変位が増大していくと塑性的挙動を示している。このような地盤の状態を考慮した弾塑性設計法も行なうことができる。

4.3 井筒断面応力

井筒断面の応力は次式により計算する。この式はその断面に働くモーメント (M) を各鋼管矢板の分担モーメント $M(1-\eta)$ と井筒全体の分担モーメント $M \cdot \eta$ とに分けて応力を求める。

$$\sigma = \frac{V}{nA_0} \pm M \left(\frac{1-\eta}{nZ_1} + \frac{\eta}{Z} \right) \dots\dots\dots (8)$$

ここで、

σ : 井筒断面に働く応力度

V : 井筒断面に作用する鉛直力

A_0 : 鋼管矢板一本の断面積

M : 井筒断面に作用する曲げモーメント

n : 井筒部の矢板本数

Z_1 : 各鋼管矢板の断面係数

Z : $\mu=1.0$ としたときの井筒全体の断面係数

η : 合成効率により決まるモーメント分配係数, $\mu=0.5$ のとき $\eta=0.93$

上式は実験式であり、 η の値は今までの実験結果を解析し、安全を考慮し決定している。

4.4 仮締切の設計

仮締切の設計にあたって考慮すべき外力は水圧土圧、流水圧、波力、浮力および揚水圧である。

図7に仮締切施工順序と作用する荷重を示す。

(1) 内部掘削を行なうと、地盤の高低差による土圧が作用し、第一段支保工と土中の仮想支点に支持された梁として抵抗する。内外圧をバラン

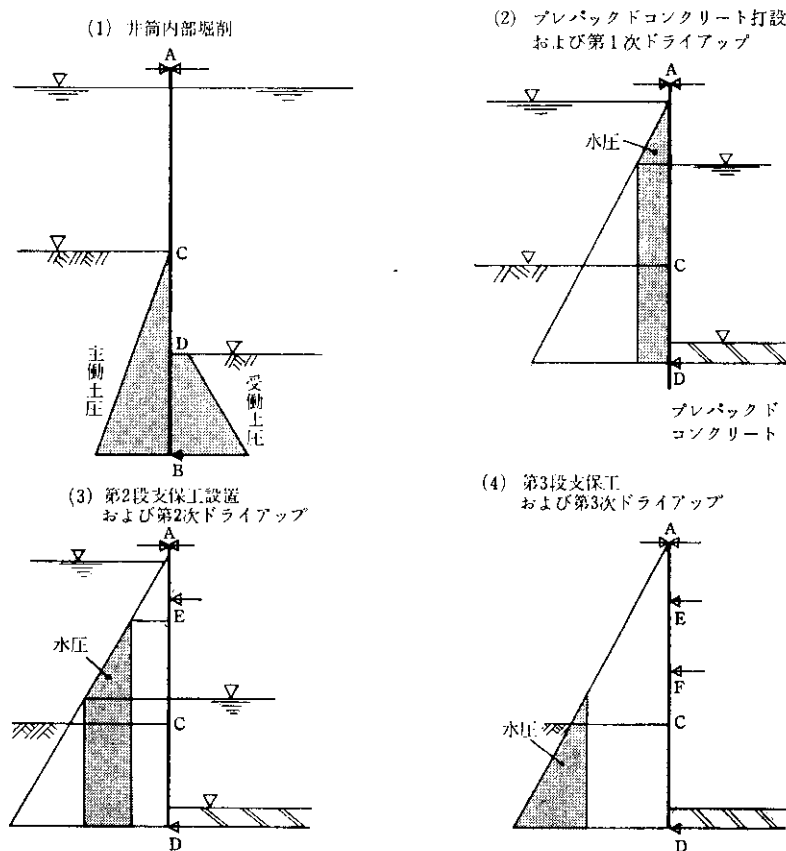


図 7 施工順序および荷重（水圧・土圧）

スさせるため内水圧を高める方法もある。

(2) 次いでプレバックドコンクリート打設後、第二段支保工以下まで内水面を下げると、水位差により水圧が作用し、仮締切壁、支保工に断面力が作用する。

(3) (4)と順次内水位を下げたとき、作用する水圧に対して断面力を求める。

上記の計算において仮締切壁の鋼管矢板は支保工を支点とした連続梁とする。プレバックドコンクリート位置では支点条件を固定として計算してもよい。

支保工は円形支保工のみの場合と、腹起と切梁を用いる場合とがある。円形支保工は井筒径が15m以下の場合に用い、円形が大きいとき、長円、矩形のときは腹起、切梁を用いる。鋼管矢板と支

保工との接合部にはコンクリートを充填して鋼管の座屈を防止する。

プレバックドコンクリートは外圧に対する支点と揚水圧に対する抵抗と二つの重要な役割をもっているが、揚水圧に対してはプレバックドコンクリート下面に砂層を設けてポンプアップして減圧することが好ましい。

井筒が極軟弱地盤中にあるときは、仮締切時の水圧、土圧が作用し井筒本体の鋼管矢板に応力が生じ、長期荷重として考慮の必要を生ずることがあるので配慮を要する。

4.5 フーチング、鋼管接合部

図3の(2)タイプのフーチングは杭基礎と同様に基礎の上に乗っているが、(3)タイプはこれと異な

りフーチングは鋼管矢板側面で接合している。したがってこのフーチング，鋼管接合部は力が円滑に伝達し，十分な強度を有するように設計しなければならない。

- (1) 接合部の曲げモーメント，剪断力，水平力接合部には次のような力が作用する（図8）。

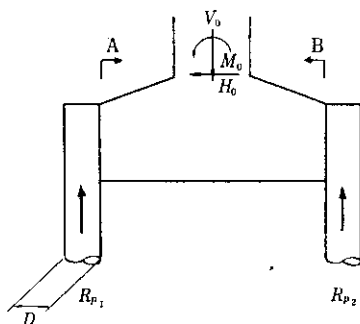


図8 鋼管・フーチング取付部

$$\left. \begin{aligned} M_A &= R_{P1} \cdot e & M_B &= R_{P2} \cdot e \\ S_A &= R_{P1} & S_B &= R_{P2} \\ H_A &= H/n(\text{圧縮}) & H_B &= -H/n(\text{引張}) \end{aligned} \right\} (9)$$

ここで

M_A, M_B : A, B断面に作用する曲げモーメント

S_A, S_B : A, B断面に作用する剪断力

H_A, H_B : A, B断面に作用する水平力

R_{P1}, R_{P2} : 鋼管矢板の反力

e : R_{P1}, R_{P2} の作用中心線よりの距離

H : 井筒天端に作用する全水平力

n : 鋼管矢板の本数

安全側をとれば鋼管矢板井筒頭部には，頭部固定モーメントが作用することも考えられるので，鋼管と一体化するためフーチング上下面に配置する鉄筋は次式の全強モーメントでも検討しておく必要がある。

$$M = \sigma_a \cdot Z \quad (10)$$

ここで

σ_a : 許容応力度

Z : 鋼管矢板の断面係数

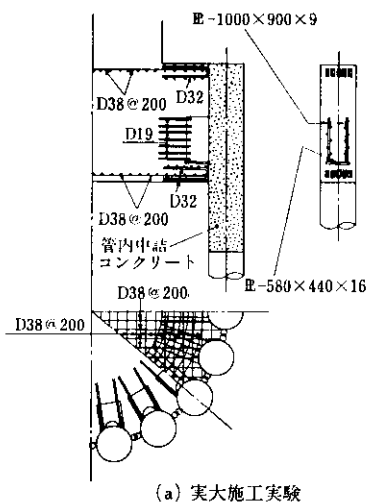
- (2) フーチング厚，支圧面積

フーチングはピアを固定点とした片持梁により曲げモーメント，剪断力を求め，コンクリートの許容剪断強度よりフーチング厚を決定する。

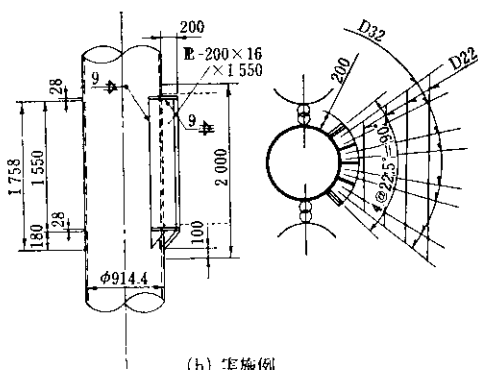
鋼管側面には支圧板を溶接し，剪断力に対しコンクリートの許容支圧応力度により所要の支圧面積を求める。

- (3) 引張鉄筋

接合部の曲げモーメント，水平力に対し，所要引張鉄筋量を決定する。



(a) 実大施工実験



(b) 実施例

図9 鋼管矢板・フーチング結合部

(4) 鋼管中詰コンクリート

フーチング接合部付近の鋼管には応力が集中するので局部座屈防止のため鋼管矢板内部にはコンクリートを充填する。

鋼管、フーチング結合部の設計例を図9に示す。また接合部については後述するような実験を行なって、その安全性を確認した。

5. 実用化のための予備実験

本工法を実用化するにあたり、次の問題点について検討した。

- (1) 鋼管矢板とフーチング接合方法
- (2) 鋼管矢板継手部の止水性
- (3) 水中切断法

上記については本工法独自の問題であり、既存資料もないので、実験を行なって最も合理的な方法を検討した。

5.1 鋼管矢板・フーチング接合部の実験

小見川橋のはば1/4の模型実験体を作り、常時荷重として鉛直載荷実験を行なった。次いで地震時を想定し、鉛直力、水平力、曲げモーメントを同時に作用させる水平載荷実験を行なった。

5.1.1 鉛直載荷実験

表3 試験体の種類

試験体の番号		構造形式
せん断式	Type 1	
受梁式	Type 2	
切込式	Type 3	
群杭式	Type 4	

(1) 実験体

実験体は表3に示すように、剪断式、受梁式、切込式の3案と比較のため群杭式の4Typeについて比較した。

剪断式接合は鋼管側面にスタッドジベルなどを溶接し、荷重を伝達する方式である。実際工事ではスタッドをあらかじめ工場溶接するか、鋼管矢板打ち込み後に現場溶接するか、いずれかの方法による。

受梁式接合はケーソンと同様の荷重の伝達方式であり、実際工事では現場溶接により行なう。受梁部には集中的に大きな力が働くので、受梁部の補強、鋼管中詰コンクリートなどにより鋼管の局部座屈を防止するための配慮が必要である。

切込式接合はフーチング取付部の鋼管矢板を切込み、その側面および底面に鋼板を溶接し、フーチングを設ける方法であり、フーチング、鋼管取付部の偏心が小さいので安定した構造となっている。しかし仮締切壁を切欠くため施工中の安全性確保に問題がある。

(2) 実験結果

図10にフーチング下面の荷重一変位関係を示す。Type 1, Type 2, Type 3 の試験体はほとんど同じような傾向を示している。Type 4は他に比して若干剛性が低下している。これはフーチング有効高が鋼管の埋込みににより他の試験体より低くなっていることが原因している。破壊荷重はType 1(せん断式)180t, Type 2(受

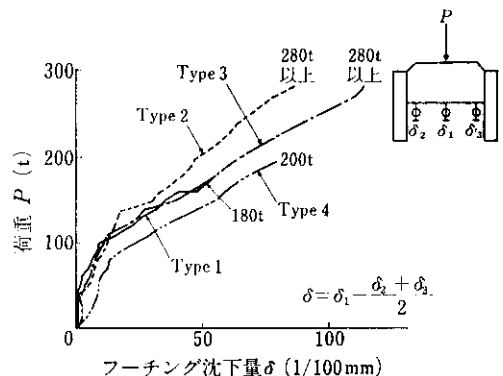


図10 荷重一沈下量曲線比較図

梁式) 280t, Type 3 (切込式) 280t, Type 4 (群杭式) 200t であり, 設計荷重 60t に対して破壊の安全率はいずれも 3 以上であった。

クラックの発生状況を写真 1~4 に示す。

Type 2, 3 では支点となっている受梁部よりクラックが発生し, 進行している。Type 1 では各スタッドジベルがせん断力に抵抗しているので, クラックもスタッドの各位置で発生している。この実験ではいずれもコンクリートの剪断破壊により耐荷力が決まっているので, 有効高



写真 4 Type 4 破壊状況



写真 1 Type 1 破壊状況



写真 2 Type 2 破壊状況

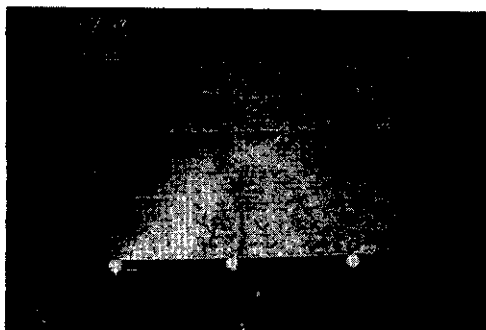


写真 3 Type 3 破壊状況

さを大きくとれる Type 2, 3 が有利となっている。

鋼管側面のストレングージにより, 鋼管に発生する応力の伝達を測定したが, 各タイプとも問題となるような応力集中は起っていない。

この実験から, 鉛直力に対しては受梁式が適当であるといえる。設計があたっては受梁部はコンクリートの支圧強度を考慮して支圧面積を決定し, また補剛材により十分補強し, さらに鋼管には中詰めコンクリートを充填して鋼管の局部座屈を防止することが望ましいことがわかった。また曲げモーメント, 水平力による鋼管とフーチングのはく離に対してはフーチング上・下面付近の鋼管に引張鉄筋を取付けることにより, 接合部を完全に一体化することができる。

5.1.2 水平載荷試験

鉛直載荷実験の結果を参考にして, 最も適当と思われる接合方法により, 試験体を製作し鉛直力, 曲げモーメント, 水平力をフーチング天端に作用させて, 鋼管矢板・フーチング接合部の安全性を確認する実験を行なった。

(1) 実験体

実験体は表 3 の Type 3 を基本とし, 鉛直力に対して受梁, 曲げモーメント・水平力に対して引張鉄筋, 引抜力に対してはスタッドジベルを配置した。載荷はフーチング天端に水平力のみ作用させた場合 (H), ピアー天端に水平力を作用させた場合 ($H+M$), さらに鉛直力 (V) を作用させた場合 $H+M+V$ について実験を行なった。

(2) 実験結果

フーチング部の荷重—変位関係の一例 ($V=20\text{ t}$, $H+M$ が作用) を図11に示す。設計値は $V=20\text{ t}$, $H=4\text{ t}$ である。図中にこの実験体を脚部固定のラーメンとして求めた計算値を示している。

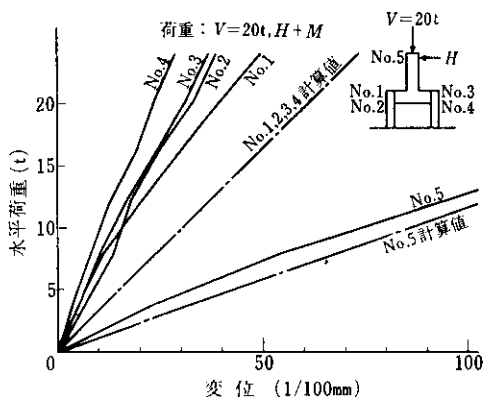


図 11 水平荷重—変位曲線

加力位置では測定値は計算値によく一致しているが、フーチング天端では計算値に比して測定値はかなり小さい。また鋼管・フーチング取付部の引張鉄筋に働いている応力は計算値よりかなり小さな値であり、特に問題となることはない。鋼管のひずみ分布を調べたが応力はいずれも 500 kg/cm^2 以下であり、中詰コンクリートがかなり有効に働いている。またひずみ分布より鋼管の変形を推定すると図12のようにな

る。この鋼管の変形に対してフーチングと結合しているのが、フーチング上・下面付近に配置した鉄筋である。

試験体の破壊状況を写真5に示す。

以上の実験により鋼管、フーチング接合部の設計方法とその安全性を確認することができた。

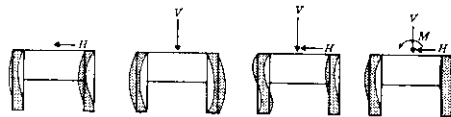


図 12 各載荷重による鋼管の変形



写真 5 水平載荷試験破壊状況

5.2 止水性実験

水面上まで立上げた鋼管矢板仮締切壁は水圧、波浪や衝撃などに対し止水性を保持し、さらにこの仮締切部は切断後、再使用が望まれる。

止水材の種類として、表4に示すように各種の

表 4 止水材の種類

止水材	—セメント系	—ポルトランドセメント、各種セメント
	—粘土系	—ベントナイト
	—水ガラス系	—M. I., L.W. ハイドロック, F.W
	—有機系	—尿素系 — エスロック, コーグライト, ユリロックオーテクト
		—リグニン系 — サングラウト, T.D.M.
		—アクリルアミド系 — 日東SS, スミソイル, アクミン 800
		—アクリル酸塩系 — アロン
		—ウレタン系 — OHグラウト, TAXグラウト
	—ゴムチューブ系	

ものがあげられる。これらの中から、止水性、切断性にすぐれ、鋼管再使用可能なものを検討した。

5.2.1 室内試験

水深 30m, 水圧による鋼管の変形を想定し, 水圧 3kg/cm^2 , 試験体中央に最大 80t の荷重をかけて止水性実験を行なった。試験体は $\phi 800 \times \ell 5,000$ を用い鋼管長手方向に図 1 に示すような継手を設け, 両端を密閉している(写真 6 参照)。実



写真 6 止水性実験

験に用いた止水材は、モルタル、OH グラウト、ゴムラテックスモルタルの 3 種類である。

止水材は継手内の 3 つの区画内に空気中で注入し、止水材が流出するのを防ぐためナイロン袋を用いた。

図 13 に水圧—漏水量の関係を示す。この結果止水性のよい材料は OH グラウト、モルタル、ゴムラテックスモルタルの順であった。しかし、いずれの材料でもその漏水量はわずかであり、実際工事に適用した場合に小さなポンプで十分揚水できる程度である。

5.2.2 野外実験

止水材の海中での充填方法、充填可能深さ、波浪による動揺の影響など現場での止水性を調べる

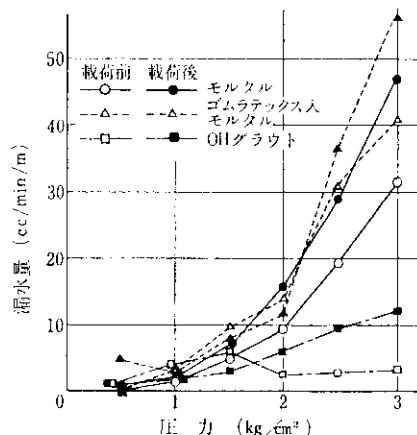


図 13 水圧—漏水量関係

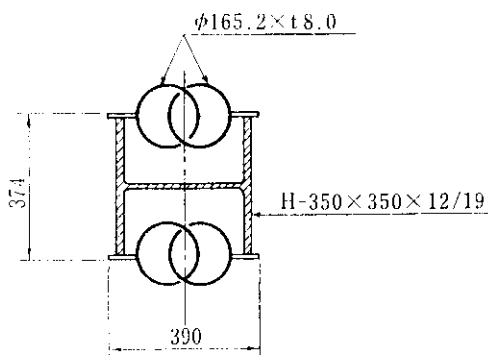


図 14 水密性野外実験体断面

ため実験を行なった。

実験体は図 14 のような断面であり、長さ 20m のものを海中 7.5~10.5m, 地中部 7.0m に打ち込んだ。止水材はアロングラウト、OH グラウト、ゴムチューブの 3 種を用いた。アロングラウトはアクリル酸塩系止水材で強度、ゲルタイムを調整できる。OH グラウトはウレタン系止水材で水分と反応し膨張する。ともにセメントモルタルに比して弾性、急硬化性があり、流れ、揺動に対して有効である。ゴムチューブは内部チューブと外部チューブよりなり、内部チューブを加圧水により膨張させる。水中切断時にはゴムチューブを用いれば容易に引抜作業ができる。

漏水量は試験体内をポンプでくみ上げた後電気水位計により測定した。この結果、アロングラウト、OH グラウト、ゴムチューブの漏水量は 0.1, 0.003 : 0.01 l/min 程度であり、いずれも実際施

工に当たり問題となる水量ではないことがわかった。

以上の水密性実験から各止水材には若干の漏水量の差はあるが、実用上からは問題なく、むしろ、止水材の決定は経済性、施工性にすぐれ、水中切断、鋼管の再使用可能を条件とすることが適当であるといえる。

5.3 水中切断

仮締切部の鋼管矢板の水中切断には鋼管本管の切断と止水剤の充填された継手部の切断とがある。

鋼材の水中切断の一般的な方法としては、(1)アーケ酸素切断、(2)プロパン酸素切断、(3)テルミット切断、(4)機械切断、(5)発破切断などがあげられる。(1)、(2)の方法はすでに一般的な方法であり、潜水夫により鋼管は比較的容易に切断できる。鋼管矢板継手部の切断は止水材が充填されている場合はかなり困難であり、(3)が有効な方法であるが1カ所の切断に約2時間を要する。

機械切断は鋼管の内側よりロッドを付けて切断機械を所定位置にセットし、鋼管を切断する方法であり、潜水夫によらず地上より作業が可能である。継手部は切断位置の上下にあらかじめスリットを縦横に入れておき本管のみを切断すれば、撤去が可能となる。

発破切断も効果的な方法であるが、発破による構造物への損傷の程度、その防止策が問題点であり現在研究をすすめている。

6. 実大施工実験

予備実験およびその他の検討により、本工法の実用性について確信が得られたので、水島製鉄所内に実大の仮締切兼用鋼管矢板井筒を構築し、施工性および構造の安全性を確認した。

この施工実験では次の各項目に注目した。

- (1) 鋼管矢板打込実験
- (2) 止水性実験
- (3) 支保工実験
- (4) 水平加力実験
- (5) 自由振動実験

(6) 水中切断実験

この実験結果については別稿において詳細に報告する。

実験体の構造は図15で示すように $\phi 762 \times t 11 \times \ell 29,000\text{mm}$ の鋼管矢板を外径5,784mmの円形に打ち込んでいる。実験体は図3のタイプ(3)、すなわち本工法によるEピアーと、反力用としてタイプ(1)によるWピアーの二基である。この構造体は栈橋のピアーであるが、一時的にドルフィン

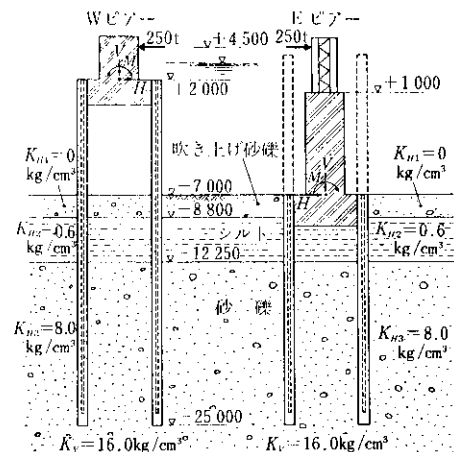


図15 実大施工実験体、土質条件



写真7 施工中の実大実験体

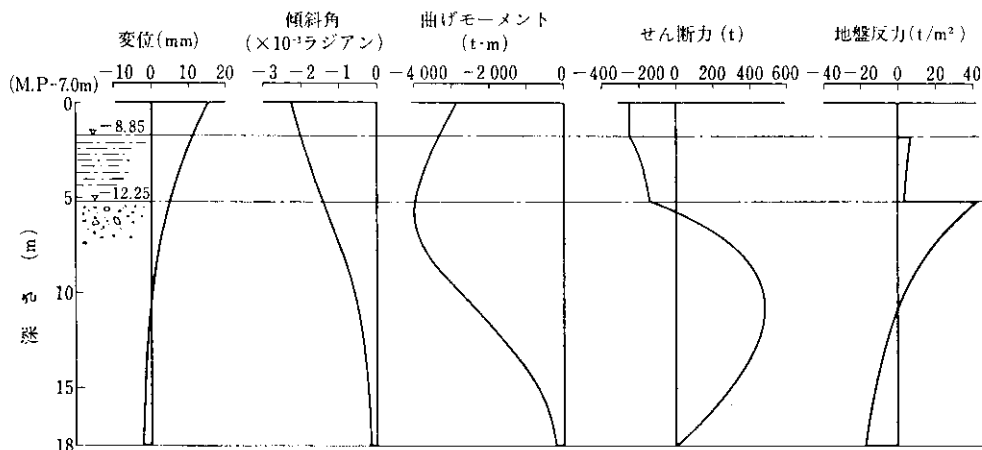


図 16 Eピア設計計算結果

として使用するのので、設計荷重はピア頂部で250tの水平力が作用する。設計は弾性地盤に支持された有限長梁の計算を行なった。その結果を図16に示す。鋼管・フーチング接合部は予備実験を参考にし、図9(a)に示したような受梁、剪断両方式併用による構造とした。

また仮締切部は各施工段階における支保工、鋼

管矢板、プレキャストコンクリートにかかる荷重、応力を計算し安全性を確認した。

7. 実施例^{27)~31)}

昭和39年当社が鋼管矢板井筒工法の研究に着手して以来、表5に示すようにその実施例は58基

表 5 鋼管矢板井筒の施工例一覧

形 状	施 主	名 称	摘 要	タイプ (図3 参照)	基礎断面寸法 $d, l_1 \times l_2$ (mm)	鋼管矢板寸法 (mm)	矢板本数	建設会社
	千葉県	小見川町 (1基) ^{27), 30)}	橋梁基礎	(2)	8 080	φ 1 016×42 500	20	大林
	大阪府	千本松橋 (2基) ³¹⁾	橋梁基礎	(1)	11 960	φ 812×52 000	39	鹿島・大成
	岡山県	鳥島大橋 (19基) ³²⁾	橋梁基礎	(3)	12 174 8 979	φ 762×17 000 14 000	592	清水・大本
	岡山県	吉井川大橋 (6基) ³²⁾	橋梁基礎	(3)	12 726	φ 914×15 500	192	佐藤・フジタ
	阪神高速 道路公団	南港連絡橋 (4基)	橋梁基礎	(3)	15 210	φ 1 219×33 000	110	清水・前田
	建設省 九州地建	破瀬浦橋 (4基)	橋梁基礎	(3)	5 958	φ 914×24 000	16	鉄建建設
	川崎製鉄	第1溶鉱炉 ⁹⁾	溶鉱炉基礎	(5)	26 100	φ 1 219×25 000	56	清水
	川崎製鉄	第2溶鉱炉 ^{10), 14)}	溶鉱炉基礎	(4)	30 290	φ 1 219×22 000	65	清水
	川崎製鉄	ドルフィン ^{15), 6)}	ドルフィン	(1)	5 140	φ 762×23 000	16	清水
	川崎製鉄	鍛錬工場焼入油槽	貯油槽	(4)	6 458	φ 762×20 000	20	西松
	川崎製鉄	第3溶鉱炉 ¹⁵⁾	溶鉱炉基礎	(4)	33 690	φ 1 219×23 000	72	清水
	川崎製鉄	海水導入溝 ¹⁶⁾	取水口	(4)	13 824	φ 762×16 000	37	清水
	川崎製鉄	海中基礎 (7基) ¹⁷⁾	建築基礎	(1)	4 500	φ 762×24 000	98	東亜港湾
	川崎製鉄	第4溶鉱炉	溶鉱炉基礎	(5)	35 402	φ 1 219×22 000	76	清水
	川崎製鉄	輸出岸壁 (18基) ¹⁸⁾	岸壁	(4)	15 600	φ 1 117×21 000	579	清水
	川崎製鉄	デタッチドピア (2基)	岸壁	(1), (3)	5 784	φ 762×29 000	36	清水
	東京都	有明埠頭橋 (2基)	橋梁基礎	(3)	5 811×13 946	φ 914×35 000	68	清水
	川崎製鉄	緑材工場スケールビット ¹⁷⁾	沈没池	(4)	9 063×29 203	φ 762×15 000	76	大林
	川崎製鉄	第2分塊スケールビット ¹⁸⁾	沈没池	(4)	10 291×51 457	φ 1 219×21 000	84	大本
	川崎製鉄	スケールビット (ほか約20基)	沈没池	(4)	$\begin{pmatrix} 7 040 \\ 13 946 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 16 092 \\ 44 106 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 762 \\ 1 219 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 15 000 \\ 35 000 \end{pmatrix}$	1 240	清水・大成 大林・大本 フジタ
	北海道 道庁	石狩河口橋 (2基) ^{28), 29)}	橋梁基礎	(2)	8 064×19 670	φ 812×42 000 φ 812×13 000	39 16	清水
	阪神高速 道路公団	南港連絡橋 (3基)	橋梁基礎	(3)	13 350×35 290	φ 1 219×33 500	204	清水・前田
	名古屋港 管理組合	湖岡橋 (2基)	橋梁基礎	(1)	3 688×7 263	φ 711×20 000	36	鴻池

注：名称内の数字は参考文献番号を示す。

にもおよんでいる。橋梁基礎への適用は石狩川河口橋(44年)小見川橋、千本松橋、潮風橋(45年)と経験を重ね、水島製鉄所における仮締切兼用鋼管矢板井筒の実大実験を契機とし、本工法による南港連絡橋(取付橋)、水島大橋、吉井川大橋、破瀬浦橋、有明橋など各地で長大橋の基礎として採用され、完成または工事中である。今後、本工法の特長が一般に認識され、飛躍的に実施されることが期待される。

8. あとがき

本工法は仮締切壁と井筒基礎本体とを兼用させているところに最大の特長を有している。本工法によれば、地盤の悪いところでも仮締切壁は大きな剛性を有し、他の仮締切工法に比して大きな安全性をもっている。

本工法がさらに広範囲に軟弱地盤の基礎として使用されるためには、仮締時における各部の応力

状態、基礎本体におよぼす仮設応力、井筒平面形状と鋼管矢板寸法およびフーチング厚さの関係などについてさらに詳細な検討を要する。また鋼管矢板の水中切断法の改良も今後の課題である。これらについては今後研究をすすめ追って報告したい。

おわりに本工法開発にあたりご指導いただいた本四連絡橋公団吉田第三設計課長、建設省土木研究所浅間基礎研究室長に対し深謝の意を表する。また室内実験でご協力いただいた㈱大林組の関係者、実大実験でご協力いただいた清水建設㈱の関係者に謝意を表する。なお本工法の実用化にあたり社内においては建材技術営業関係者(東部総括営業所プロジェクト営業室、東京営業所建材技術室、西部総括営業所プロジェクト営業室、大阪営業所建材技術室、各営業所建材技術各担当者)の一致した協力が大きな推進力となったことを記し敬意を表する。

参 考 文 献

- 1) 川崎製鉄㈱：川鉄の鋼管矢板井筒工法(技術資料)
- 2) 矢板式基礎研究委員会：矢板基礎の設計と施工指針
- 3) 嶋文雄、後藤尚男他：第21回土木学会年次学術講演会概要、(1966)、Ⅲ-112
- 4) 嶋文雄、後藤尚男他：第22回土木学会年次学術講演会概要、(1967)、Ⅲ-136
- 5) 嶋文雄、後藤尚男他：第23回土木学会年次学術講演会概要、(1968)、Ⅲ-82
- 6) 嶋文雄、加藤親男他：第25回土木学会年次学術講演会概要、(1970)、Ⅲ-13
- 7) 嶋文雄他：第26回土木学会年次学術講演会概要、Ⅲ-76
- 8) 小松雅彦、脇黒和彦、富永真生：第23回土木学会年次学術講演会概要、(1968)、Ⅲ-90
- 9) 小松雅彦、脇黒和彦他：土木学会誌、53(1968)3、19
- 10) 前田宗司、越後勇吉他：第27回土木学会年次学術講演会、Ⅴ-118
- 11) 小粥庸夫、斎藤恂：同上、Ⅲ-136
- 12) 富永真生、榊豊和他：同上、Ⅲ-130
- 13) 行友浩、石田昌弘他：同上、Ⅲ-75
- 14) 小松雅彦、脇黒和彦他：土と基礎、18(1970)7、21
- 15) 小松雅彦、脇黒和彦、富永真生他：土と基礎、19(1971)3、3
- 16) 脇黒和彦、富永真生他：施工技術、4(1971)2、103
- 17) 脇黒和彦、中西栄一他：橋梁と基礎、5(1971)32
- 18) 脇黒和彦、藤井薫他：施工技術、5(1972)4
- 19) 山岡邦男、八尾真太郎：土と基礎、15(1967)5、6
- 20) 脇黒和彦、河本清他：第14回土質工学シンポジウム、(1969)
- 21) 脇黒和彦、富永真生他：第17回橋梁構造工学研究会、(1970)
- 22) 嶋文雄、加藤親男：第9回日本道路会議一般論文集、(1969)、367
- 23) 嶋文雄、斎藤恂：第10回日本道路会議一般論文集、(1971)、385

- 24) 嶋文雄, 脇黒和彦: 土木学会誌, 57 (1972) 8, 12
- 25) 石渡正夫: 橋梁と基礎, 6 (1972) 7
- 26) 嶋文雄他: 川崎製鉄技報, 3 (1971) 1, 32
- 27) 蜷川信行, 嶋文雄他: 川崎製鉄技報, 4 (1972) 4
- 28) 高橋陽一, 高谷弘: 第4回土質工学研究発表会, II-23
- 29) 高橋陽一: 第26回土木学会年次学術講演会概要, II-23
- 30) 緒方司, 蜷川信行, 嶋文雄他: 橋梁と基礎, 6 (1972) 5, 22
- 31) 宮北孝男, 井上洋里他: 橋梁と基礎, 6 (1972), 8
- 32) 富田実, 黒瀬和英: 橋梁, 8 (1972) 1, 62

