

組杭式鋼矢板護岸工法シリーズについて

Sheet Pile Bulkhead Series Supported by Coupled Piles

根 井 基 雄*

Motoo Nei

古 谷 博 明**

Hiroaki Furuya

Synopsis:

A new type of sheet pile bulkhead series is introduced as a new embankment method recommended especially for land reclamation of relatively deep water area. Structural skeleton of this series is the frame work, consisting of a couple of combined piles and horizontal wale beam. The joint of these members has not only enough strength against the external forces of both wave and earth pressure but also easiness of work. By using large diameter steel pipes as the pile members in this method, a good embankment work can be done in areas of less favorable ground conditions.

1. はじめに

埋立事業は都市近郊の地価の暴騰にともない、ますます盛んであるが、水深が浅く、埋め立て地造成に適する地区は、だんだん少なくなり、これからの埋立地は水深も深く、自然環境の厳しい海域に求めざるを得なくなってきた。また一方環境保全公害防止に対する世論も高まり、埋立事業もかつてよりさまざまな制約を受けざるを得なくなった。すなわち、河川港湾の浚渫廃棄物の海中無差別投棄は禁止され、埋立用土砂も海水汚濁防止の観点から他地域の汚濁をしないよう、何らかの形で囲いなどを施した海域に投入しなければならない。また日本の都市のほとんどは、河川河口部、沖積平野部に発達してきたものであるから、その近郊のより水深の深い沖合の埋立て予定地の海底が軟弱な沖積層であることはまぬがれない。

組杭鋼矢板護岸シリーズは、このような埋立て条件に適合するよう開発された護岸工法で、

(i) 比較的水深の深い埋め立て護岸に最適で

ある

(ii) 軟弱な地盤にも堅牢な護岸を築造しうる

(iii) 施工中の波浪にも耐えうるよう考慮されている

(iv) 海水の汚濁を生じない工法である

(v) 従来のケーソン工法に比較して非常に経済的でかつ、施工速度の速い工法である

などの特長を有している

千葉製鉄所の西側沖合に造成される約120万坪の西工場埋め立て地も、その埋め立て条件は、地盤、水深、公害関係とも典型的に厳しいものであったがその大半を本工法でつつがなく完成している。西工場埋め立て地の水深は、手前陸側3~4mと浅く、沖合に向かって深くなり先端部ではほぼ一様に9.5m前後とかなり深い。

地盤条件は護岸総延長9,000mと長いので、一概には言えないが、かなり広い何葉かの洪積世の溺れ谷を柔かい沖積層が埋めて、海底を形成している。溺れ谷の深さは最深部で海面下45m程度でこの谷を埋める沖積層は薄い砂層をはさむ部分も

* 千葉製鉄所土建部土木課樹長

** 千葉製鉄所土建部土木課

あるが一般にはシルトの軟弱な地盤を形成している。埋め立て護岸は水深の浅い、洪積層上面も高い比較的地盤条件の良い部分から着工した。したがって、この組杭式鋼矢板護岸シリーズは、設計条件の良いものから順次悪いものへと、実際の工事を進めながら改良発展させてきたものであるので、施工的にも工事がやり易いよう数々のくふうがこらされている。

2. 組杭式鋼矢板工法の特徴

2.1 概 要

この工法の構造に対する基本的な考え方は、「背面土圧は鋼矢板壁体がまず受けて、これを上部では腹起し梁を通じて組杭で支え、下部では

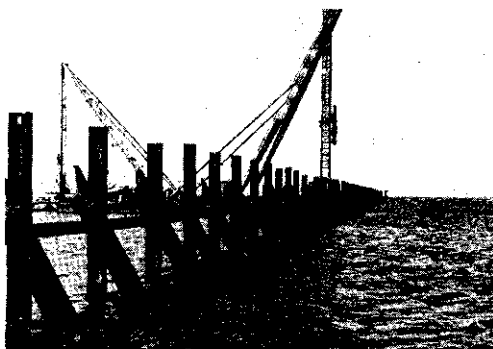


Photo.1 Supporting work of pin bolt joint type

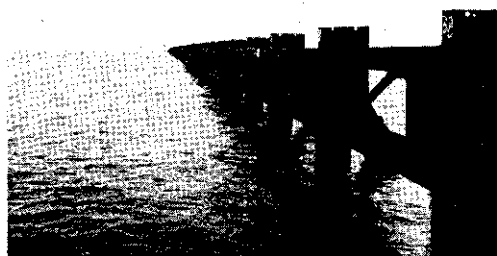


Photo.2 Supporting work of clasp hand type joint

矢板根入れ部の受働土圧で抵抗させる構造物」である。また、海中に施工される構造物であるの

で、施工途中、いつの時点においても荒天候による波浪に十分耐えうるよう考慮されている。

構造的には単純な工法であるが、開発するに当たってとくに留意した点は次の事項である。

- (i) 海中に打設される各メンバーは多少の誤差をとまうことはけがたく、これらのメンバーを海上で結合させる場合容易に、かつ強力に結合できる構造体でなければならない。
- (ii) 鋼矢板は腹起し梁を通じて直杭、斜杭へ力が伝播されるものであるが、これらを上手に組合せないと各部材の材芯が大きくなれば、大きな二次応力が発生するので注意しなければならない。
- (iii) 一般的には結合強度を強めれば施工性が犠牲となり施工性を高めれば結合強度が犠牲にされる関係があるが、この二者を満足させる構造体でなければならない。

結合法の種類としては数多くの案が案出され、このうちの有力なものについては、実物大の実験と実際構造物として施工を行なったが、そのうち特に結合強度、施工性ともに優秀なものとして残ったものが、ピンボルト結合と合掌型結合である。ピンボルト結合は施工性に秀れ、合掌型は結合力が強大である特質を有する。

この二者を基本形として、設計条件によって各部材の寸法を変化させた護岸シリーズを組杭式鋼矢板護岸シリーズと名付ける。

このシリーズは、矢板の根入部の受働土圧強度を高めるための地盤改良工法、および前面にカウンターウェイトを載せる捨石工法、斜杭の引き抜き力を高めるための足枷工法などの補助的な工法を併用することで、より設計条件に適合する経済設計が可能となる。

ピンボルト型 (Fig. 1 参照) を採用するか合掌型 (Fig. 2 参照) を採用するかは、この二者の特性に鑑み下記の条件を考慮して行なわなければならない。

- (i) 仮設的な構造物で施工性を重視するか否か。
- (ii) 永久構造物で、構造的な強度を重視するか否か。
- (iii) 設計水深が深くて大きな横力を受けるか

2.2 ピンボルト形式の特徴

この形式の組杭は直杭斜杭ともにH形鋼を使用するがH形鋼の横方向の可撓性を利用し、海中打設時の誤差を吸収しようというものである。直杭斜杭の結合は両者の交点に現場にてガス切断開孔したウェブを、この部分に発生する設計剪断力に耐える径の大きな一本のピンボルトによって締めつけることによって行なう。直杭、斜杭間のウェブは両者のフランジによって間隙が生ずるのでこの間隙は「パイプワッシャー」を使用して充填する。パイプワッシャーは輪切りにした鋼製パイプにより内外面を補強した高強度コンクリート製のワッシャーで、ピンボルトの強大な締め付け力に対しても、内外面の補強輪切り鋼管、端面のウェブおよび、ナット、ワッシャーにより三軸的に拘束を受けるので、十分な強度を有することが確かめられている。

この形式の最大の利点は直杭、斜杭に使用したH形鋼が、横方向および振れ方向に対して非常にフレキシブルであるので、打設誤差の吸収が容易な点である。

しかし、ピンボルト結合は直杭、斜杭の軸芯が一致していないために、水平力を受けると振りモーメントが生ずる。これを防止するために振り止めの補強鉄板を取付けるが、完全に振りを防止するまでには至らず、また各杭のウェブの支圧強度、実用上のピンボルト径にも限界があるので、大きな水平力を生ずる構造物としては適当でなく、一組当たりの水平力は30~40 t程度の設計に止めるべきである。これ以上の設計水平力の場合は合掌型を採用すべきである。また施工性、強度の点で杭材としては鋼管杭の方が高性能であるので、各杭長が長大となる場合は、鋼管杭を主体とする合掌型の方が好ましい。

2.3 合掌型組杭の特徴

杭材としてはH形鋼杭よりも鋼管杭の方があらゆる点で優秀であることは論議の余地はないが、一方、腹起こし部材との取付け、また直杭、斜杭の結合にはH形鋼の方が便利である。

くの字に曲げたH形鋼のフランジをボルト結合

する合掌型の結合法は直杭斜杭間に発生する剪断力を受けとめる結合法として、力学的にも理想的である。頭部結合部分のH形鋼と下部杭材の鋼管杭との結合法として案出されたものが「膨張コンクリート詰めによる鋼管とH形鋼の埋め込み剛結工法」である。

その強度については後述するが、十分な強度を有し、しかも杭打設時における誤差は鋼管とH形鋼の埋め込み余裕、および海底面上の鋼管杭の若干の可撓性によって十分に吸収できる。

腹起こし材などを法線方向高さ方向に精度よく仮り付けした後に、コンクリート詰めを行なうのででき上り精度はきわめて高く、まとめてコンクリート詰めを行なうので、施工能率も上げる。

3. 設計法

3.1 概要

本工法の組杭護岸の各部材に実際に生ずる力については、まだ十分には解明しつくされていない点もあるので、次のような考え方を基本に設計した。

- (i) 港湾構造物設計基準などに示されている一般的な計算式をなるべく使用する。
- (ii) 不明な部分については、安全側の設計をする。
- (iii) 実用計算として、簡明な計算式を採用する。
- (iv) 各種実験の結果判明した事項については設計に大胆に取入れる。

以下千葉製鉄所西工場埋立護岸の設計を例に組杭設計法を述べる。

設計条件は下記のとおりである。

地盤高 A.P.+4,500 H.W.L A.P.+2,000
L.W.L A.P.+0,000 水深 A.P.-9,000
埋立土 良質砂($\phi=30^\circ$)

3.2 根入れ長の設計

矢板の根入れ長は、腹起こし取付け点に関する主働および受働土圧のモーメントの釣り合いより求める。原地盤の地質図は Fig. 4 に示すよう粘

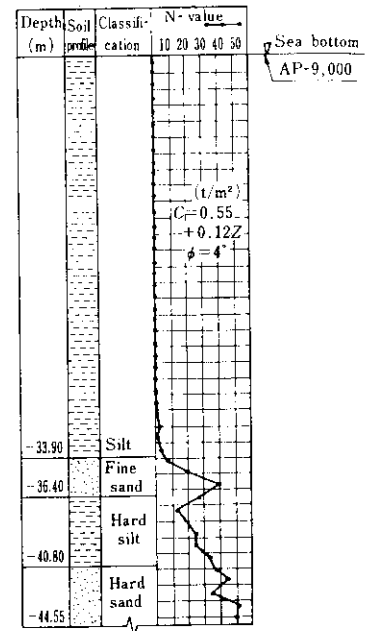
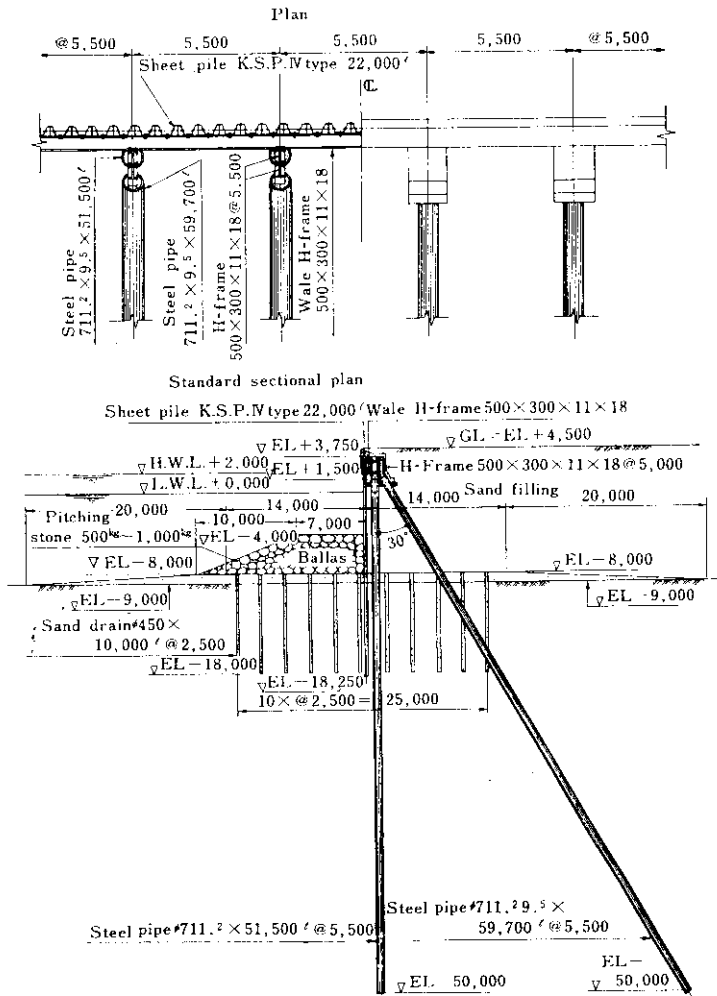
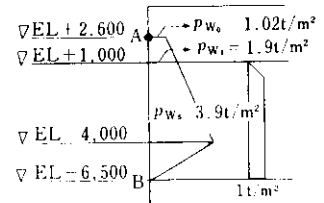
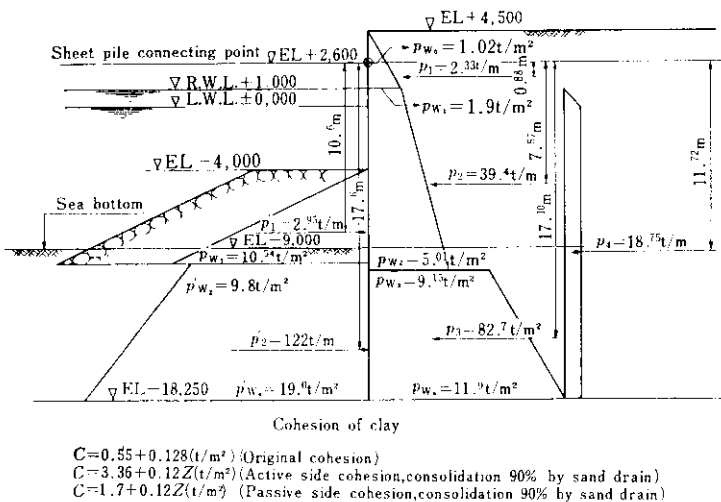


Fig. 4 Soil profile



土層の粘着力 $C=0.55+0.12Z$ (t/m^2), 内部摩擦角 $\phi=4^\circ$ である。なお Z は地盤の深さである。根入れ長の計算は原地盤のままでは矢板長を相当長くしても安全率は 1 を切ってしまう。したがってサンドドレーン工法および捨石工法を併用して地盤の強度を増加させた。計算結果を Fig. 5 に示す。

$$\text{起動モーメント} \quad M_A = \sum_{i=1}^2 p_i l_i = 1934 t \cdot m$$

$$\text{抵抗モーメント} \quad M_R = \sum_{i=1}^4 p_i' l_i' = 2460 t \cdot m$$

$$S.F. = M_R / M_A = 2460 / 1934 = 1.27$$

3.3 矢板の断面設計

矢板に作用する最大曲げモーメントは腹起こし取付け点および海底面を支点として海底面より上の土圧および残留水圧が荷重として作用する単純ばりと仮想して求める。粘性土の場合はたわみ曲線法その他の方法で検討する。本設計は粘性土中にサンドドレーンを施工して矢板前面に鉋滓捨石を投入してある。仮想ばりの下の支点は主働土圧と残留水圧の和が受働土圧と等しくなる点を取って単純ばりとして計算した。仮想ばりの荷重図は Fig. 6 に示す。また捨石の受働土圧抵抗を考慮して主働土圧を $A.P.-4,000$ の地点で最大にして $A.P.-6,500$ の地点で 0 になるようにしてある。

矢板に作用する最大曲げモーメント

$$M_{max} = 38 t \cdot m / m$$

KSP IV型を使用して、矢板の応力 σ は

$$\begin{aligned} \sigma &= M_{max} / Z = 38 \times 10^3 / 2150 \\ &= 1770 \text{ kg/cm}^2 < 1800 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

矢板にかかる土圧については背面の組杭の影響によりある程度全体として軽減されるものと推定されるが、

- (i) 組杭間隔が 5.5m とかなり広い
 - (ii) 背面埋立土は、最初は完全流体状の土砂で埋立てられる
 - (iii) 組杭直前の矢板と中央部の矢板では受ける土圧力が異なってくる
 - (iv) 矢板にかかる土圧の組杭による軽減率についてまだ十分には解明されていない
- などの理由で、本設計では全土圧を矢板にかける

安全側の計算をした。

3.4 組杭頭部反力の計算

組杭構造は組杭がタイロッド型式の控え工法に相当する。水平力の算定はタイロッド張力の算定と同一に行なう。設計は曲げモーメントを算定する土圧力に組杭取付け点より上の土圧力を加えて A 点の反力を算定した。A 点に生ずる反力 $R_A = 14 t/m$, 組杭ピッチは 5.5m であるので組杭頭部に作用する水平力 H は $H = 14 t/m \times 5.5 m = 77 t/\text{組}$ となる。

3.5 斜杭の設計

斜杭頭部に作用する水平力の斜方向の分力を軸力として計算する。斜杭は軸力の他に斜杭背面の土圧力を受けるので土圧による曲げモーメントを加える。

$$\text{組杭頭部に作用する水平力} \quad H = 77 t/\text{組}$$

$$\text{斜杭に働く軸力} \quad P = H / \sin \theta = 154 t/\text{本}$$

$$\text{斜杭に働く曲げモーメント}$$

$$\begin{aligned} M &= \text{矢板に働く曲げモーメント} \times \text{杭幅} \\ &= 38 t \cdot m \times 0.7 = 26.6 t \cdot m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma &= P/A + M/Z = 154 \times 10^3 / 209.42 + 26.6 \\ &\quad \times 10^3 / 3625.4 = 735 + 730 = 1465 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

(i) 斜杭に作用する曲げモーメント

杭が矢板壁面に接近している場合はこの杭も曲げモーメントに抵抗すると推定されるが、この効果は杭の間隔および根入れ長、矢板と杭の結合方法などによって変化し、また杭と矢板の間の変形の伝達も不明であるので設計には考慮しないのが普通である(港湾構造物設計基準)。本設計では矢板の断面決定に全土圧を考慮してあるので斜杭に働く曲げモーメントとしては矢板に働く曲げモーメント $\times$ 杭幅のモーメントを考慮した。

(ii) 斜杭の引抜力

斜杭の引抜力は杭が支持層に十分貫入されていれば非常に大きい引抜耐力を示す。千葉製鉄所で行なった引抜試験によると、杭径 406mm 杭長 20m の鋼杭を平均 N 値 20, 先端 N 値 50 の層に 3m, 根入れしたときの引抜耐力は 300 t であった。大型の杭打ハンマーが開発され大口径の杭を十分な支持層に打込むことができるようになった現在、

杭材に見合う引抜耐力を地盤に求めるのはむずかしいことではない。現場管理をする目標値としては、押込耐力算定の時に使うハイリー公式を使用して引抜力＝押込耐力×60%と定めた。

3.6 直杭の設計

直杭の設計は組杭頭部に作用する水平力の直方向の分力を軸力として設計する。地盤が軟弱な場合（矢板自身が自分を支持できないような地盤）には矢板重量を加える。

組杭頭部に作用する水平力 $H=77\text{t/組}$

直杭に働く軸力 $P=H/\tan \theta + W=156\text{t/本}$
 （ W ：矢板重量）

$\sigma=P/A=780\text{kg/cm}^2 < 1,000\text{kg/cm}^2$

直杭に働く曲げモーメントは直杭が斜杭の内側にあり矢板と隣接しているので考慮していない。粘性土に打ち込まれた直杭にはむしろネガティブフリクションが作用すると思われる。しかしながらネガティブフリクションについては設計法など確立されていないので本設計では直杭の許容応力を十分小さくとした。

3.7 円弧すべり計算

軟弱地盤に打ち込まれた矢板壁については、矢板下端以下を通る円弧すべりに対する検討をする必要がある。円弧すべりに対して組杭構造は、組杭頭部がすべりに対する大きな抵抗値を有するので、最小安全率の円弧の中心は組杭結合点の近傍になる。したがって組杭矢板護岸の円弧すべり計算では、円弧の中心を組杭結合点としても実用上さしつかえない。一般的には3.2による根入れ長を有する構造であれば、円弧すべりに対する安全率は、Fig. 7 に示す剛結部を中心に矢板下端を

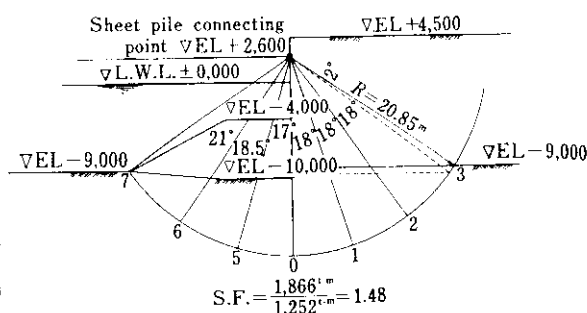


Fig. 7 Diagram of sliding stability

通るすべり面が最小となる。またこのすべり面は、必ず直杭、斜杭線を切り、直杭、斜杭の剪断抵抗力が、円弧すべりに対する計算外の安全率となる。

本構造をスウェーデン法で計算すると

起動モーメント $M_A=1252\text{t}\cdot\text{m}$

抵抗モーメント $M_R=1866\text{t}\cdot\text{m}$

S.F.=1.48

3.8 組杭頭部剛結の設計

(1) ピンボルト型式の設計

ピンボルト型式の組杭頭部の設計は、組杭軸力によるピンボルトの剪断力で行なう。ピンボルトのほかに補強鉄板をFig. 1 に示したように取りつけるが、これは頭部に発生する振りモーメントなどに抵抗するためのもので計算には考慮しないものとする。

(2) 合掌型式の設計

(a) H形鋼の軸力の設計

直杭にさし込んである垂直なH形鋼と斜杭にさし込んであるくの字型のH形鋼は組杭頭部水平力の組杭軸力への分力で設計する。

Table 1 Concrete mixing ratio of tamping concrete

Mixing ratio	W/C	Fine aggregate	Unit volume					Swelling agent (DENKA CSA)
			Cement	Water	Sand	Gravel	A. E.	
	47%	43%	365kg/m ³	188kg/m ³	739kg/m ³	996kg/m ³	1.00kg/m ³	35kg/m ³

Cement : using high early strength cement

Slump : 18cm

Maximum aggregate size : 25mm

(設計例)

組杭軸力 $P_N=154\text{ t}$ H形鋼断面積 A_H (H-500×300
×11×18)=163.5cm² $\sigma = P_N/A_H = 943\text{kg/cm}^2 < 1400\text{kg/cm}^2$

(b) 鋼管とH形鋼とのコンクリート結合

H形鋼と鋼管の結合は鋼管に中詰めしたコンクリートの付着力で行なう。中詰めコンクリートには膨張コンクリートを使用して付着応力を増大させる。中詰めコンクリートの混合比を **Table 1** に示す。

(設計例)

 L_S = H形鋼の周長設計付着応力 $\tau_a = 5 \times 10^{-3}\text{t/cm}^2$ 設計付着力 $P = 154\text{ t}$ 所要埋込長 $d_h = P_N/L_S \cdot \tau_a = 1.4\text{m}$ 埋込長さ $d_h = P_N/L_S \cdot \tau_a$
 $= 1.4\text{m} < 1.5\text{m}$

コンクリートと鋼管の付着応力は普通コンクリートの中詰めした場合はコンクリートの収縮などのおそれがあるので付着力を高めるため膨張コンクリートを使用する。パイプに中詰めされた膨張コンクリートは鋼管内部で2軸拘束を受けてプレストレスされた状態となるため、鋼管とコンクリートの付着力は非常に大きくなる。このことは各種の試験を行なって確認している。

(c) 組杭結合ボルトの設計

直杭にそう入されるH形鋼と斜杭にそう入されるくの字のH形鋼はフランジがお互いに背中合わせになっている。背中合わせになった2枚のフランジをボルトで締め付け剪断力に抵抗させる。

 $P = R_f \cdot n$ $R_f = \mu \cdot N$ $N = Ae \cdot \sigma_y$ P : 組杭軸力 (t) N : ボルト軸力 (t) Ae : ボルト1本当たり断面積(cm²) σ_y : ボルトの許容引張り応力 R_f : ボルト1本1摩擦面当たりの許容力(t) μ : 摩擦係数0.4 n : ボルト本数

(設計例)

 $P_N = 154\text{ t}$

使用ボルト W-2

 $n = P/\mu \cdot Ae \cdot \sigma_y = 14\text{本}$

3.9 腹起こしの設計

腹起こしは組杭取付位置を支点とする連続ばりとし、支点間に腹起こし部反力と等しい大きさの等分布荷重を受けるものとする。

 $M_{max} = ql^2/10$ q : 腹起こし部反力 l : 組杭間隔

たて方向の地盤が軟弱な場合は矢板の自重も考慮する。

(i) 腹起こし水平方向応力の計算

組杭頭部に作用する水平反力 $q = 14\text{t/m}$ 組杭間隔 $l = 5.5\text{m}$ $M_{max} = 14 \times 5.5^2/10 = 46\text{t} \cdot \text{m}$

腹起こしに H-500×300×11×18を2本使用すると

 $Z = 2910 \times 2 = 5820\text{cm}^3$ $\sigma = M_{max}/Z = 790\text{kg/cm}^2 < 1400\text{kg/cm}^2$

(ii) 腹起こし垂直方向応力の計算

腹起こしには、矢板自重がぶらさがりるものとして **Fig. 2** に示すようなトラス構造とした。このほかにも打込み時のハンマーによる衝撃力、矢板にかかるネガティブフリクション、もしくは地盤良好な場合の軸力の分担、組杭の微小水平移動の際の前ささえ反力など計算外の力がかかるおそれがある。したがって腹起こしはトラス組など十分補強することが好ましい。これらの力は腹起こしの前面部にかかるので取付部は **Fig. 2** のような三辺を溶接した鉄板を入れることが好ましい。これらの溶接は腹起こし取付けボルトに対する計算外の安全率となっている。

3.10 腹起こし取付ボルトの設計

腹起こし取付ボルトは、土圧力による組杭頭部水平反力の引張力がかかるとして設計する。

 $n = T/A_S \cdot \sigma_{at}$ T : 組杭頭部水平反力 A_S : ボルトの断面積 σ_{at} : ボルトの許容引張応力

(設計例)

 $T = 77\text{ t}$

$$A_s = 11.3 \text{ cm}^2 \text{ (使用ボルト W-1\frac{1}{2})}$$

$$\sigma_{at} = 1.0 \text{ t/cm}^2$$

$$n = 77 / 11.3 \times 1.0 = 6.8 \quad n = 8 \text{ 本使用する。}$$

3.11 矢板ボルトの設計

矢板ボルトには、土圧力による組杭水平力と矢板自重がかかる。頭部水平反力に対するボルトの所要本数を 1 m 当たり n_1 本とする。

$$n_1 = H / \sigma_{at} \cdot A_s$$

矢板自重 W に対するボルトの所要本数を 1 m 当たり n_2 本とすると

$$n_2 = W / \mu N$$

N : ボルトの設計軸力

μ : 摩擦係数 (0.4)

$$q = 14 \text{ t/組}$$

$$W = 4.2 \text{ t/m}$$

ボルトは W-1 を使用すると

$$n_1 = 14 \text{ t} / 5.07 \text{ cm}^2 \times 1 \text{ t/cm}^2 = 2.76 \text{ 本}$$

$$n_2 = 4.2 / 0.4 \times 1.0 \times 5.07 = 2.1 \text{ 本}$$

使用本数 5 本

4. 施工法

本工法は施工性が良好でかつ確実であることを目標に開発されたものであるから、とくに複雑な工程上の問題点はない。次に示す施工順序に従って、各段階の施工を着実にこなせば堅固な護岸を構築することができる。

(i) 直杭および斜杭を法線上の所定の位置に打設する。このさい法線上に二点の規準点を設置し、そこからのトランシット視察による位置決定を行えば、杭位置を決めるための導材などの仮設構造物は **Photo. 3** に示すように必要としない。杭ピッチはとくに精度を必要とするものではないので、テープなどで測定する。杭材は本構造物全体の強度を決定する最も重要な部材であるので、杭の打止め深さの決定などは、とくに注意して行なわねばならない。打止め深さの管理は打撃一回当たりの所定貫入量を定め、それ以後の貫入長さ、もしくは打撃回数を定めて行なえば便利である。

(ii) 直杭、斜杭の杭材を打設し終ったのち腹

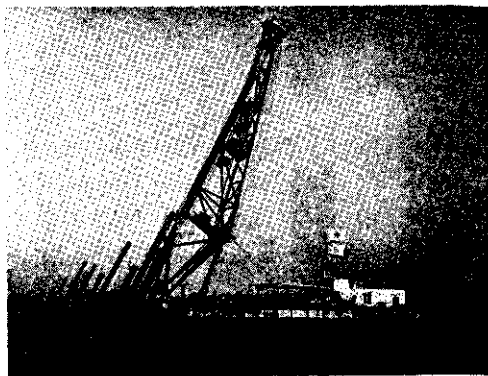


Photo. 3 Pile driving of batter piles



Photo. 4 Setting of wale truss beam

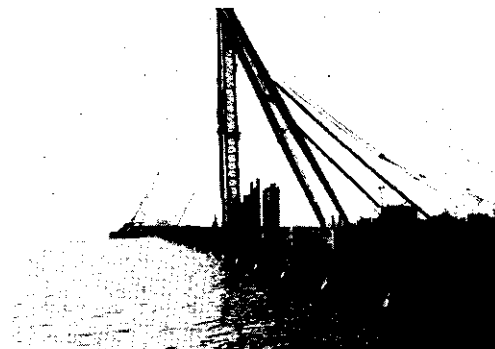


Photo. 5 Pile driving of sheet piles

起こしを仮付けする。このさい仮付けする直杭は比較的精度良く打設されたものを選んで行なえば、あとのものはこれを基準に調整できるので全体の精度を高めることができる。ピンボルト型、合掌型ともにこの方法を用いて法線方向の誤差を 1 cm 以下におさえることができる。

(iii) **Photo. 4** に示すように所定の位置に設置した腹起こし梁に合わせて各部材をとりつけ、

最後に調整部分の締結をする。すなわちピンボルト型にあっては、ピンボルト取付け、締め付け、合掌型タイプにあっては、H形鋼埋込み部の膨張コンクリート詰めによる固定工法を施行する。

(iv) 現場作業手配の関係から上記の施行順序は必ずしも厳格に守られるとは限らないので、(iii)までの段階が終ったら、鋼矢板を打設するまえに組杭骨格構造がすべて手落ちなく完了しているかどうか十分に確認する必要がある。

(v) 組杭骨格構造完了を確認したのち、**Photo. 5** に示すように鋼矢板を打設する。鋼矢板は打設後できるだけ、すみやかに腹起こし梁に緊結することが好ましい。

(vi) 鋼矢板打設、締結完了後必要があれば前面に根固め工、捨石工などを施す。

(vii) (vi)まで完了すれば背面にポンプ船にて土砂を投入可能となるが、広い海域の埋め立て工事の場合は、護岸背面に沿って腹付け土砂を先に吹込むことが好ましい。長期間、深い海底から突出した構造物を放置して、波による交番荷重を受けさせるのは好ましくないと思われるからである。腹付け土砂の吹込みは排泥管を本護岸に直接取付けられるので、水深の深い場合でも簡単に施工できる。

(viii) 頭部コンクリートパラベット工もできるだけ早く行なうのが好ましい。腹付け土砂工、もしくは背面埋立て土砂が腹起こし取り付け点高さになったとき、コンクリート巻き立て工を行なうのが経済的である。コンクリート巻き立て工の強度は、設計計算には入れないが、組杭取付部、腹起こしはコンクリート巻き立てをすることによってさらに強化できる。また背面土圧は埋め立て土砂が、平均水位より高くなるところから急激に増加する傾向が認められるので、事情の許すかぎりこの段階でコンクリート巻き立てを行なうのが良いであろう。

(ix) 在来地盤改良工法を施す必要がある場合は、杭打ち工に先だって施行しなければならない。

水深が深く地盤も非常に軟弱で、地盤改良、捨石工法を併用しても多少の危惧が残る場合は「矢板の傾斜測定による施工管理法」を推奨する。こ

れは10~20mごとに矢板にビニールパイプを添架しておき、必要に応じて傾斜計を挿入して矢板の挙動を測定しつつ、管理する方法である。これによれば護岸全域にわたって、漏れなく測定できるので、万一受動土圧の不足の箇所などが発見されれば事故にいたる前に対処できることになる。使用する器具はビニールパイプと傾斜計1個でよいので安価な測定方法である。千葉製鉄所においては本工法を施工した部分で水深の深い(7~9m)部分、総延長2,500m分について20mピッチに測定している。これは軟弱地盤上に施工された本工法と土圧力との関係を総括的に把握しようという意図ももつものである。測定データは膨大になるので電子計算機を用いて、土圧、曲げモーメント、変位などに換算させ、自動製図機により、矢板各々の各値の分布図および重要値の護岸延長方向の分布図を描かせている。土圧への微分換算と傾斜計測定精度の問題点は、4~5個の変数をもつ土圧を逆に仮定して積分計算する方法をとり解決した。

5. 従来工法との比較

本工法と従来工法との比較は、ケーソン工法との比較においてなさるべきと考える。建設費、安全性、施工速度の3点を比較すれば十分であろう。施工速度については今までの実績平均では100m/月・組となっている。1組の構成は直杭、斜杭打設用の大型杭打船1隻、鋼矢板打設用の小型杭打船が途中より1隻、その他腹起こし取付け、頭部結合用の小型作業船が1隻である。安全性、安全率の問題は複雑で一概には言えないが、ケーソン護岸の円滑滑りに対する安全率を1.2前後確保するのに設計上苦勞するところであるが、本工法の各構造計算の安全率を1.2以上確保することは比較的やさしい。その上計算外の安全側要素も含むことが多い。これらは信頼するに足る地盤中にまで打設された直杭、斜杭よりなる組杭が構造物安定に寄与しており、さらに鋼矢板もより安定度の高い深い地盤に直接的に貫入しているからにはほかならない。

一方、重力式のケーソン工法では、安定処理を

施した地盤上に据え付けられるにしても、その地盤強度そのものに頼らざるを得ないので、組杭式鋼矢板工法より安全率を高めることがむしろしくなるゆえんである。したがって、斜杭式の組杭式鋼矢板護岸工法においてそれが使用各部材の本来的な強度を設計計算外のところまで発揮させ構造系全体として強いものとするためには、斜杭、直杭、鋼矢板の結合が十分強いことが必要である。設計計算に採用する式は必ずしも実際に載荷される土圧を正確に表現しうるものではなく、とくに地震時においては、不明な部分が多いことは現状ではやむを得ない。したがって頭部の結合方法はその点からも高強度であることが要請され、本工法設計に当たってはとくにこの点が留意されたものである。すなわち頭部結合法が構造体の一番の弱点にならないよう、換言すると各部材強度よりも高強度の結合として設計されている。建設費については設計条件によって異なってくるので一概にならないが、今までの実例をもとに参考値として挙げると **Table 2** のとおりになる。地盤改良費、捨石工、頭部コンクリート工も含めた参考価額である。

6. あとがき

この形式の護岸は千葉製鉄所西工場埋立地の護岸として、逐次改良を加えて来たものである。水深が浅い所からより深いところへ、地盤条件が良い所からより悪い所へと発展させてきたもので、構造物はこれにしたがってだんだん大型になった。現在施工中の最大の組杭は径約1m、長さ約45mの鋼管杭を使用し、間隔は7.5mになっている。大型化にともない、施工性および強度に、まだまだ改良の余地が残っているものと思われる。構造計算において矢板にかかる主働土圧の組杭による軽減の問題、矢板根入部の軟弱地盤の受働土圧の問題など解明されなければならない点も多い。しかしながらこの工法は非常に経済的で、施工速度も早く、実用的な工法であるので、千葉製鉄所の実例をここに示して、皆様の参考に供し、ご批判を仰ぐものである。

Table 2 Construction cost and steel member weight

Water depth (m)	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
Total steel weight (t/m)	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
Construction cost ($\times 10^4$ yen/m)	30	40	50	60	70	80	90	100