

II-64

虻田漁港における水中ストラット工法の設計・施工について

新日本製鐵株式会社 正会員 佐藤 光一
 北海道水産林務部 神原 一雄
 北海道水産林務部 竹田 幸一
 室蘭土木現業所 田川 文雄
 室蘭土木現業所 三浦 荘一

1. はじめに

虻田漁港は昭和54年に完成したホクテ漁を主体にした第1種漁港であるが、近年の漁獲量は完成当時に比較し倍増してきており漁船の大型化等による漁獲効率の向上が求められていた。そこで、漁船の大型化に対応するために、平成8年度には-2.0 m 物揚場を-3.0 m 岸壁に改良するための工事が実施されている。

既設の-2.0 m 物揚場の改良構造の選定については、①所定の前面水域面積を確保すること ②岸壁背後上屋に影響を与えないこと等の制約があり、構造物の築造空間が限られていた。このため、単塊ブロック式や控え工式鋼矢板壁など既設の構造形式での対応が困難であった。

そこで、運輸省港湾技術研究所と新日本製鐵株式会社（以下、共同開発者）が開発した『水中ストラット工法』を漁港の岸壁として設計・施工することとした。

この工法は平成2年度に着手された釧路港-7.5m 岸壁の改良工事^{1) 2) 3) 4)}に採用されており、構造物完成後平成5年1月の釧路沖地震⁵⁾、平成6年10月の東方沖地震⁶⁾に遭遇したが、極めてわずかな変形を示したに過ぎず耐震性能に優れた構造といえる。『水中ストラット工法』は、比較的水深の大きな港湾構造物を対象に開発されたものであるため、土留壁を構成する部材として鋼管矢板の使用が標準であった。今回は水深が浅く土留壁に鋼管矢板を使用すると不経済な断面となるため鋼矢板を使用している。『水中ストラット工法』の漁港構造物への適用ならびに土留壁への鋼矢板の使用は初めてのことである。



図-1 虻田漁港位置図

以下では、虻田漁港における水中ストラット式岸壁の設計・施工について報告する。

2. 水中ストラット式岸壁の概要と特徴

水中ストラット式岸壁は、鋼管矢板や鋼矢板からなる土留壁体と鋼管杭からなる前方杭およびこれらの頭部を連結する上方連結材より構成された根入れ式ラーメン構造を海中において格点を介して耐圧縮斜材で補強した構造である。耐圧縮斜材の下端部は格点を介して前方杭と、また上端部は上方結合部において上方連結材と剛結合されている。格点はシャキーを有するメカニカルグラウト接合からなる二重鋼管構造となっている。本工法は海洋施設として実績のある石油掘削用ジャケットや港湾施設として実績のある前方斜め支え杭式鋼矢板壁など既設の構造物を参考に開発されたものである。本構造特有の主な設計事項は格点の設

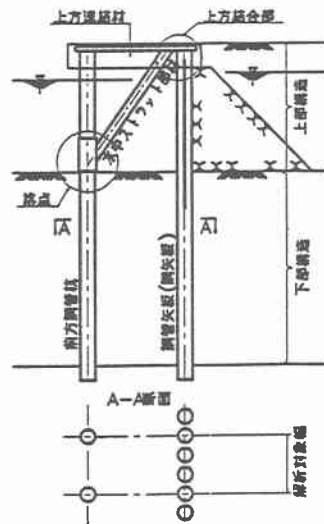


図-2 水中ストラット工法概念図

The Design and Construction of Quaywall by "Underwater Strutted Steel Structure System" at Abuta Fishery Harbour by Koichi SATOH, Kazuo KANBARA, Koichi TAKEDA, Fumio TAGAWA and Soichi MIURA

計である。これについては前記した石油掘削用ジャケット等の海洋構造物の設計基準を準用することにより対応が可能である。その他の設計事項については控え工式鋼矢板壁、杭式横棧橋、ジャケット式鋼製護岸等既往の構造物と共通する部分が多い。また、施工に関する本構造特有の工種は水中ストラット部材の架設と格点へのモルタル充填である。これらの工種については急速施工が可能のように工夫がなされている。上方連結材など上部コンクリート工については杭式横棧橋の上部コンクリート工と共通する点が多く、既存の施工技術で対応が可能である。

3. 虻田漁港における水中ストラット岸壁の設計

3-1. 設計条件

本岸壁の設計条件を表-1に、標準構造図を図-3に示す。

□ 諸元	
計画水深	D.L - 3.00 m
設計水深	D.L - 3.50 m
天端高	C.H + 2.00 m
岸壁延長	76.00 m
□ 利用条件	
対象船舶	100 tf未満(総トン)
防舷材反力	22.5 tf/箇所
牽引力	5.0 tf/箇所
上載荷重	常時 1.0 tf/m ² 地震時 0.5 tf/m ²
□ 自然条件	
設計震度	空中 0.10 水中 見掛けの震度
潮位	H.W.L + 1.60 m L.W.L ± 0.00 m
残留水位	R.W.L + 1.07 m
土質条件	図-3のとおり

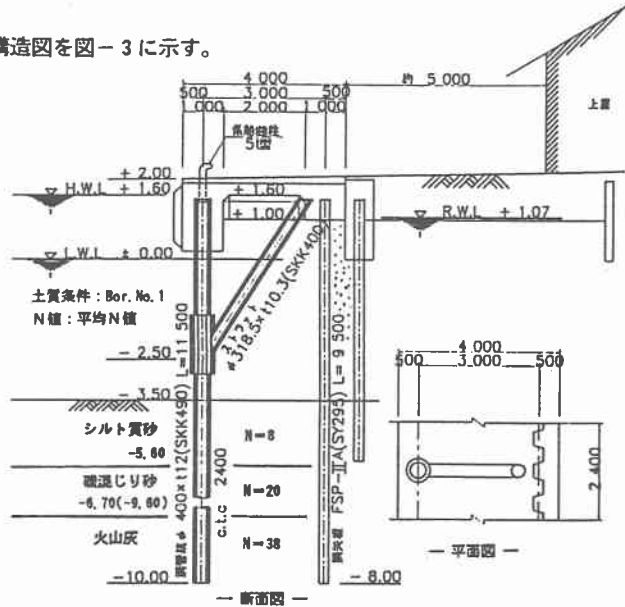


図-3 標準構造図

3-2. 設計方法

(1) 設計の基本

水中ストラット式岸壁の設計の基本を示せば表-2のとおりである。これらは実大規模構造物水平載荷試験¹⁾や格点の部分実大モデル載荷試験等に基づき協同開発者により提案されたものであり、釧路港-7.5m岸壁における実構造物の挙動計測^{1) 2)}や苫小牧港西港区商港-14m岸壁における実構造物の水平載荷試験³⁾においてその妥当性が検証されている。

表-2 水中ストラット式岸壁の設計の基本

<p>① 断面力および変形の算定： 上部構造（設計水深より浅）と下部構造（設計水深より深、基礎部）を一体とした骨組構造計算により断面力および変形を算定する。</p> <p>② 部材の支配方程式： 上部構造の構成部材は通常の梁部材、下部構造の構成部材は弾性床上の梁部材としての支配方程式を採用する。</p>	<p>③ 主働土圧の作用深度： 主働土圧の作用深度は設計海底面までとする。</p> <p>④ 残留水圧の作用深度： 残留水圧の作用深度は鋼矢板壁下端までとする。</p> <p>⑤ 格点： 格点の詳細設計はAPI-RP2A⁴⁾等海洋構造物の設計基準に準拠する。</p> <p>⑥ 耐震設計 震度法による。</p>
--	--

なお、今回は既設構造物（タイロッド式鋼矢板壁）の前面約1mの位置に水中ストラット式岸壁の鋼矢板土留壁が構築され、既設鋼矢板壁との間隙には土砂を充填する構造となっている。このような場合の主働土圧の算定については研究途上³⁾にあり設計法が確立していないのが現状である。本設計では既設鋼矢板壁の存在を無視して主働土圧を算定している。

(2) 構造計算結果

断面力および変形の算定は変位法による骨組構造解析プログラムにより行っている。構造計算モデルを図-4に示す。また、構造計算結果を表-3に、変形および断面力の分布状態（地震時）を図-5に示す。

表-3 構造計算結果の要約

		常時	地震時
変位	天端変位 [mm]	26.2	35.3
	海底面変位 鋼管杭 [mm]	17.0	22.9
	鋼矢板 [mm]	9.8	12.3
支持力	鋼管杭 伸込力原量 [tf]	36.5 (<73.8)	41.2 (<123.0)
	鋼矢板 伸込力原量 [tf]	0.6 (<48.9)	
	引抜力原量 [tf]		7.5 (<33.9)
応力	鋼管杭 発生応力原量	0.992 (<1.0)	0.992 (<1.0)
	鋼矢板 発生応力原量	0.848 (<1.0)	0.848 (<1.0)
	斜材 発生応力原量	0.964 (<1.0)	0.964 (<1.0)

・鋼材の発生応力度原量：ユニティチェック

(3) 格点の設計

格点は水中ストラット式岸壁に特有の構造要素であり、剛結合節点として挙動するように確実に設計する必要がある。格点はシャーキーを有するグラウト接合二重鋼管構造となっており、その諸元（a. 鞘管の材質・板厚・長さ b. シャーキーのサイズ・取付けピッチ c. グラウト材の強度・かぶり）は、①グラウトの付着応力度に対する照査 ②パンチングシャーキーに対する照査により決定される。API[®]-RP 2A等の海洋構造物の設計基準に示されている設計式には適用範囲が規定されているため、適用に際しては注意が必要である。API-RP 2Aによる格点の設計結果を表-4に、構造仕様を図-6に示す。

表-4 格点の設計結果

		常時	地震時
付着応力度 [kgf/cm ²]		1.949 (<5.348)	2.611 (<7.156)
パンチングシャーキー [軸力+曲げ]		0.819 (<1.0)	0.825 (<1.0)
	[曲げ]	0.111 (<1.0)	0.112 (<1.0)

・グラウトの設計基準強度 σ_{ck} : 210 kgf/cm²

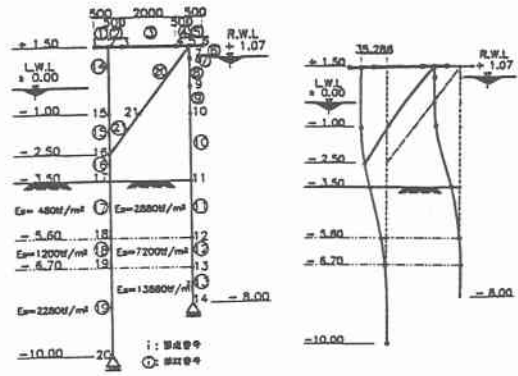


図-4 構造計算モデル 図-5 (a) 変位分布

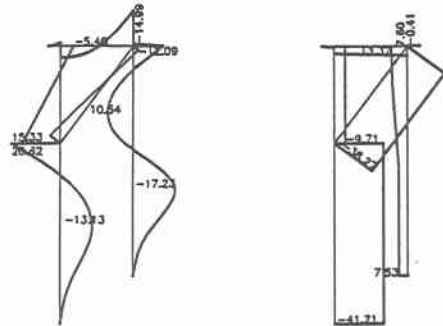


図-5 (b) 曲げモーメント分布 図-5 (c) 軸力分布

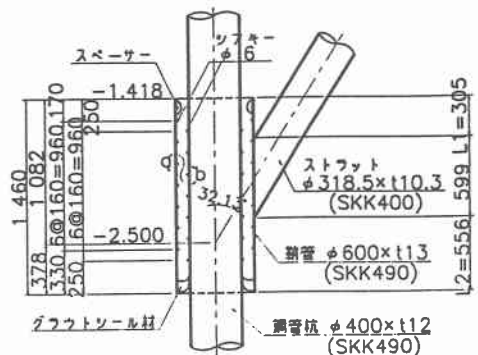


図-6 格点構造仕様

(4) その他の設計

細部設計の段階では、格点の設計以外に下記に示す設計が必要となる。

① 斜材の頭部と鋼矢板の頭部を結合する『せん断補強プレート』の設計

斜材に発生する軸力とせん断力の鉛直方向成分の作用力を鋼矢板に確実に伝達するように『せん断補強プレート』の材料の選定と溶接設計を行う。その際、現場における溶接作業性についての配慮が必要である。

② 鋼矢板の頭部を法線方向に連結する鉄筋コンクリートからなる『枕梁』の断面設計

鋼矢板の頭部を法線方向に一体化するように鉄筋コンクリートからなる『枕梁』の断面設計を行う。断面力としては、曲げモーメント、せん断力およびねじりモーメントがある。

③ 前方杭の頭部を法線方向に連結する鉄筋コンクリートからなる『枕梁』の断面設計

前方杭の頭部を法線方向に一体化するように鉄筋コンクリートからなる『枕梁』の断面設計を行う。『枕梁』の中間部に係船柱や防舷材を設ける場合には、牽引力や防舷材反力に対する設計も必要になる。断面力としては、曲げモーメント、せん断力およびねじりモーメントがある。

④ 鋼矢板壁の頭部の『枕梁』への『埋込み長』に関する設計

鋼矢板壁の頭部に発生する断面力に対し所定の『埋込み長』を確保する必要がある。壁体であるためコンクリートの鉛直側面のせん断抵抗を考慮できない点に注意を要する。

⑤ 前方杭の頭部の『枕梁』への『埋込み長』に関する設計

前方杭の頭部に発生する断面力に対し所定の『埋込み長』を確保する必要がある。杭式横棧橋等で行われる通常の設計と同様である。

⑥ 前方杭の頭部と鋼矢板壁の頭部を連結する上方連結材の断面設計

上方連結材は通常の杭式横棧橋等で梁と称される部分であり、通常の設計と同様である。

⑦ 床版の設計

通常の杭式横棧橋等における床版の設計と同様である。

4. 虹田漁港における水中ストラット岸壁の施工

4-1. 施工手順フロー

図-7に主な工種の施工手順フローを示す。

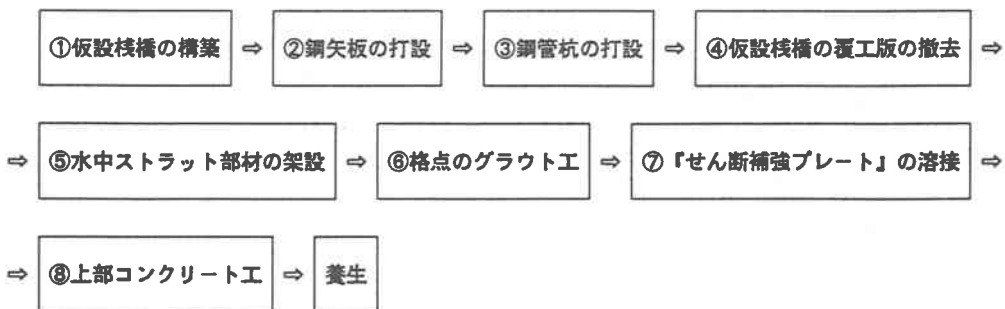


図-7 水中ストラット岸壁の施工手順フロー

4-2. 施工概要

① 仮設棧橋の構築：

上層前面のエプロン幅が若干狭かったため、施工機械の作業スペースを確保することが困難であった。このため、前方鋼管杭と土留鋼矢板壁の間にH形鋼杭などを用いた仮設棧橋を構築し作業足場とした。経済断面とするために覆工版の受梁の一方は既設岸壁の笠コンクリートに支持させる方法を採用した。

なお、当初設計したH形鋼杭の根入れ長では所定の支持力を確保することができないことが判明したため不足長さのH形鋼杭を現場縦継溶接により長尺化して打設した。

② 鋼矢板の打設：

鋼矢板（FSP-II_A、長さ 9.5 m）は60kwのバイプロハンマーにて所定深度まで打設した。施工能率は1日当たり約20枚であった。

③ 前方鋼管杭の打設と支持力確保：

前方鋼管杭（φ400 × 12 t、長さ 11.5 m）は3点支持杭打機により油圧ハンマー（ラム重量：6.5tf）により打設した。施工能率は1日当たり約4本であった。なお、前記したように仮設棧橋用のH形鋼杭の打設結果から支持層が当初計画よりも深い位置（-6.7 m⇔-9.6 m）にあることが想定された。このため、当初設計の根入れ長では設計支持力の確保が困難であると判断し、支持力確保の対策を講ずることとした。通常、このような鋼管杭の低止まり対策として不足長さの鋼管杭を現場縦継溶接することにより長尺化した後、所定深度まで打設する方法が採用されているが、本工事の場合には次のような問題があった。

《鋼管杭の支持力確保上の問題》

格点に対応する位置の鋼管杭の外周面には既にシャーキーが溶接されていた。このため不足長さの鋼管杭の現場溶接による対応では鋼管杭打設後のシャーキーの位置が設計で想定していた位置よりも下方になり格点の強度に問題が生ずる。また、新たにシャーキーを溶接するには工事費および工期の面で問題が生じる。

そこで、鋼管杭の先端内部に鋼板を十字状に取り付け先端閉塞効果を向上させ、所定の設計支持力を確保する方法を採用することとした。設計は山原の方法¹⁰⁾によった。

④ 仮設棧橋の覆工版の撤去：

水中ストラット部材を架設するために、鋼管杭打設終了後仮設棧橋の覆工版の撤去を行った。

⑤ 水中ストラット部材の架設：

工場で製作した水中ストラット部材は、陸上輸送等の都合上、パーツ（『鞘管+斜材』、『上方水平梁材』、『仮設支保部材』、『グラウト用配管部材』）に分割した状態で現場に搬入した。パーツの組立は上層前面のエプロンで行った。1日当たり平均で7セットを組立てた。水中ストラット部材（重量：約1tf/セット）の架設はラフテレーンクレーンにより行った。1日当たり平均で7セットを架設した。

⑥ 格点のグラウト工：

格点のグラウト工は水中ストラット部材の斜材に沿って配置されたグラウト用配管部材を利用して海上部より表-5に示す配合のモルタルを充填した。ポンプ車およびアジテーターは上層前面のエプロンに配置した。1格点当たりの正味のモルタル充填量は約0.2m³であり、32格点を1日で充填した。

表-5 格点部の充填モルタルの配合 [kgf/m³]

水・セメント比 W/C [%]	水 W	早強セメント C	砂 S	水中不分離 性混和剤	流動化剤 [g]	スラフロー [cm]
40	250	626	1252	1.9	10~15	55 ± 5

・水中不分離性混和剤には『アスカリン』を、流動化剤には『NL-4000』を使用。

⑦ 『せん断補強プレート』の溶接：

水中ストラット部材の斜材頭部と鋼矢板の頭部に『せん断補強プレート』を溶接し互いに結合した。

⑧ 上部コンクリート工：

鉄筋コンクリートの梁部材については水中ストラット部材の『上方水平梁材』などを支保部材として活用し、吊り型枠方式で支保工・型枠を設置した後配筋を行いコンクリートを打設した。床版は底型枠としてデッキプレートを使用し施工の急速化を図った。

5. 建設コスト削減へ向けての新構造の提案

今回の工事では標準的な構造形式を適用したが、上部工が『梁+床版』構造であり、構造要素の中で、コストと工期に占める割合が大きい。

建設コスト削減と工期短縮を満足するものとして図-8に示す新構造が考えられる。



図-8 新構造

土水圧等の横荷重に対し、標準的な構造形式で

は斜材には軸圧縮力が、また前方杭には軸圧縮力と曲げが支配的に発生する。一方、図-8の新構造では斜材には軸引張力と土被り荷重による曲げが、また後方杭には引抜力が支配的に発生する。この後方杭に発生する引抜力に対しては斜材上の土被り荷重が格点を介して『押さえ荷重』として作用するため引抜力を低減することができる。鋼矢板壁には曲げ以外に押込力が作用するため、後方斜め支え杭式鋼矢板壁に準じて支持力等に対する検討が必要となる。上部工が、タイロッド式鋼矢板壁の『笠コン』程度の形状で済むため建設コストの削減と工期短縮、施工の簡略化に大きく貢献するものと期待される。

6. さいごに

本工法は線部材の組み合わせによるシンプルな構造であり耐荷機構も比較的単純で、地震に対しても有利であり、防波堤¹⁾への適用も可能であるなど応用範囲も広く漁港分野に新たな構造形式を提供したものである。断面がコンパクトなため、今回のような狭隘域における漁港改修工事での適用が増加するものと考えられるが、土留壁に鋼矢板を使用することにより経済性も向上するため漁港分野における一般的な工法としての普及が期待される。最後に、御指導いただいた水産庁・運輸省、工事中に際し御協力いただいた虻田町・虻田漁業協同組合ならびに施工を担当された北興工業^株の方々など関係各位に深く感謝申し上げます。

□ 参考文献 □

- 1) 釧路港における水中ストラット式鋼製岸壁について、得永・関野・高橋・清宮・塩見・佐藤・白井 第17回海洋開発シンポジウム（海洋開発論文集 Vol. 8）, 土木学会, 1992. 6
- 2) 釧路港水中ストラット式岸壁の技術開発, 関野・高橋・佐藤, 土木学会誌, 土木学会, 1992. 1
- 3) 港湾構造物の改良・更新にかかわる地盤工学上の検討, 高橋, 土と基礎, 土質工学会, 1993. 6
- 4) 特殊な基礎工, 高橋・佐藤, 土木施工, 山海堂, 1995. 4
- 5) 1993年釧路沖地震における港湾・漁港・空港の被害, 水野・笹島・杉本 土と基礎, 土質工学会, 1993. 6
- 6) 1994年北海道東方沖地震における港湾・漁港・空港の被害, 笹島・水野 土と基礎, 土質工学会, 1995. 4
- 7) 水中ストラット式構造物の実大規模構造体水平載荷試験について, 高橋・清宮・佐藤 第18回海洋開発シンポジウム（海洋開発論文集 Vol. 9）, 土木学会, 1993. 6
- 8) 苫小牧港西港区商港-14m岸壁の設計・施工 — 水中ストラット工法の棧橋への適用 —, 梅藤・本山 土木技術52巻 5号, 1997. 5
- 9) American Petroleum Institute, "API Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Platforms"
- 10) 鋼管ぐいの閉塞効果と支持力機構（その2）, 山原, 日本建築学会論文報告集第97号, 昭和39年 4月
- 11) 水中ストラット式防波堤の設計について, 根本・妹尾・飯田 第39回北海道開発局技術研究発表会, 平成 7年度