

軟弱地盤における二重矢板構造の変形解析

THE ANALYSIS OF DOUBLE SHEET-PILE PIER ON A SOFT GROUND

亀井 康一¹・林 克恭²・奥野 正洋²
 Koichi KAMEI, Katuyasu HAYASI and Masahiro OKUNO

¹非会員 北海道 土木部 網走土木現業所 (〒099-0421 北海道紋別郡遠軽町福路1)

²正会員 株式会社アルファ水工コンサルタンツ 技術部 (〒063-0829 札幌市西区発寒9-14-516-336)

In Toppusi-Wakasato fishery port lying at Lake Saroma in Hokkaido, the fishery infrastructures have been often built on a soft ground. This situation induced a severe problem of deforming in quay structure including steel sheet-pile. The present study allowed to fully understand the cause of deformation. To take measures to meet this situation, double sheet-pile pier have been designed and constructed. For this investigation, we refer to effect of double sheet-pile pier based on the analysis FEM model.

Key Words : Deformation of steel sheet-pile, double sheet-pile, consolidation of soft clay, lateral flow, analysis FEM model

1. はじめに

我が国の港湾や漁港の係船岸および護岸施設等では普通矢板式構造が適用される場合がある。しかし、軟弱地盤においては、側方流動および圧密沈下によって鋼矢板が有害な変形が生じることが多い。一方、富武士(若里)漁港では、側方流動により、変形を起こした普通矢板式係船岸を二重矢板構造に改良することで、軟弱地盤に対し構造物の安定を得ている。本研究では、側方流動で変形を生じたこの既設普通矢板式係船岸に対し二重矢板構造を用いた補強事例について、有限要素法プログラム(以下FEMプログラム)による変形解析を行った。

なお、上記の施工事例として検討対象とした施設は、図-1に示す北海道サロマ湖内に位置する富武士(若里)漁港の-2.5m物揚場である。施設建設直後より圧密変化や側方流動の影響と考えられる鋼矢板の変形が生じ、その補強工法として、平成8年から平成9年にかけて二重矢板構造の設計・施工が行なわれている。

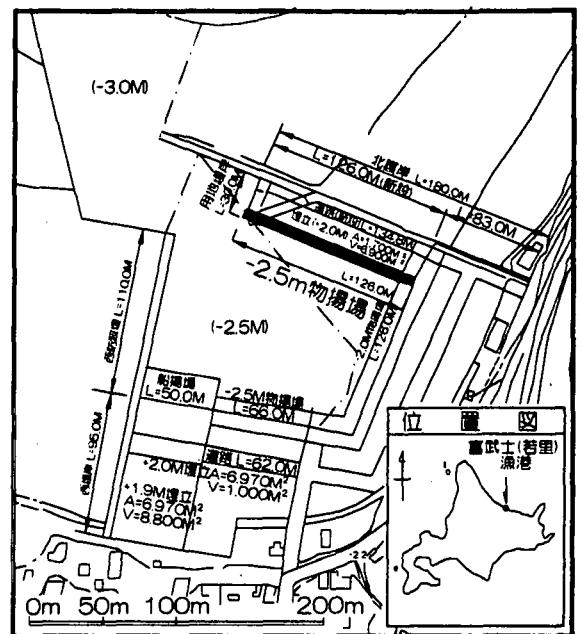


図-1 検討対象施設位置図

2. 検討対象施設の概要

(1) 施設の経緯

当施設は、昭和63年に行なわれたボーリング調査

に基づき、普通矢板式係船岸として設計・施工された。しかし、建設直後より圧密沈下や側方流動の影響と考えられる鋼矢板の変形が発生した。このため、施設の状態を把握するために、施設背後の用地に設

置かれた沈下板による沈下量の計測（平成元年から平成2年），ボーリング調査（平成4年），鋼矢板の頭部変位量の測定（平成8年），キャリパー検層を用いた鋼矢板の地中内変位量の測定¹⁾（平成9年）などの現況調査が行なわれた。これらの経緯を経て，平成8年から平成9年に補強工法として二重矢板構造への改良設計・施工が行なわれた。

(2) 地質概要

これまでに行なわれている地質調査結果によると，検討箇所の地盤は，**図-2**に示す様に軟弱な沖積層の粘性土が約10mもの厚さで堆積しており，この土層における側方流動や圧密沈下などの現象により施設の盛土の沈下や鋼矢板の変形生じたものと考えられる。

S63 BorNo.1 +2.0		H4 BorNo.1 +2.0	
盛土 Ba1	$\gamma=17.64\text{KN/m}^3$	①	$\gamma=17.64\text{KN/m}^3$
盛土 Ba2	$\gamma=9.8\text{KN/m}^3$	②	$\gamma=9.8\text{KN/m}^3$
沖積シルト Ac1	$\gamma=4.9\text{KN/m}^3$ $C=9.8\text{KN/m}^2$	③	$\gamma=4.9\text{KN/m}^3$ $C=30.38\text{KN/m}^2$
沖積シルト Ac2	$\gamma=5.39\text{KN/m}^3$ $C=19.6\text{KN/m}^2$	④	$\gamma=5.39\text{KN/m}^3$ $C=19.6\text{KN/m}^2$
沖積シルト Ac2	$\gamma=7.84\text{KN/m}^3$ $C=17.64\text{KN/m}^2$	⑤	$\gamma=7.84\text{KN/m}^3$ $C=17.64\text{KN/m}^2$
洪積シルト Dg	$\gamma=9.8\text{KN/m}^3$	⑥	$\gamma=9.8\text{KN/m}^3$
洪積シルト Dc2	$\gamma=5.88\text{KN/m}^3$ $C=35.28\text{KN/m}^2$	⑦	$\gamma=5.88\text{KN/m}^3$ $C=35.28\text{KN/m}^2$
洪積シルト Dg	$\gamma=9.8\text{KN/m}^3$	⑧	$\gamma=9.8\text{KN/m}^3$

図-2 地質概要図

(3) 補強前の変形状況

a) 用地の沈下

-2.5m物揚場の改良前の基本構造を**図-3**に示す。当施設の背後にて平成元年3月から平成2年7月にかけて沈下板による沈下量の観測が行なわれており，59.2cm（470日後）の実測沈下量が計測されている。その後の沈下状況については，沈下板が破損状態に至り観測されていないが，平成4年に行われたボーリング調査と施設建設当初の地盤構成を比較すると，軟弱粘性土層が約1.0m～1.5mもの大きな沈下を生じていることが明らかとなっている。

b) 鋼矢板の変位

平成元年10月から平成2年4月にかけて鋼矢板頭部変位量の測定が行なわれており，最大値として陸側へ39.5cmの頭部変位量が確認されている。また，平成9年にキャリパー検層を用いた地中内を含めた鋼

矢板変位量の測定¹⁾が行われた。その測定結果によると，頭部にて陸側に40cm，地中内の最大値として標高-7.8m付近にて海側に50cmの変位量がそれぞれ測定されており，90cmの相対水平変位量が生じていたことが明らかとなっている。

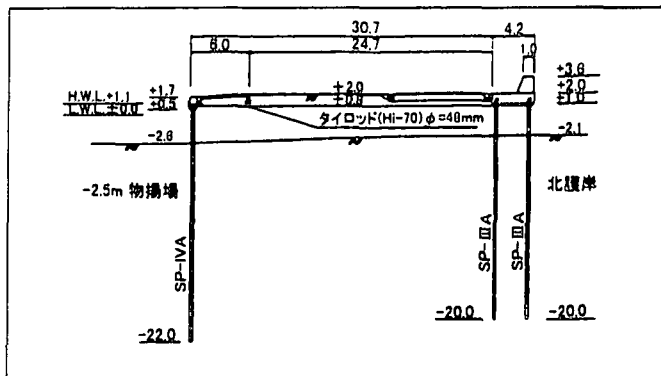


図-3 -2.5m物揚場標準断面図（改良前）

(4) 二重矢板構造による補強工法の適用

一般的に軟弱地盤で側方流動の抑止効果が期待できる工法として深層混合処理などに代表される地盤改良が挙げられる。しかし，これらの地盤改良工法は一般的に高価な工法である。また，当施設の改良を検討する際，①軟弱地盤上の盛土によって発生する側方流動を防止する，②既設構造を有効に活用し建設コストを極力小さくする，といった事項が前提条件となる。そこで今回の改良工法として，**図-4**に示すように前面および控えの新設鋼矢板と上部コンクリートによりラーメン構造を形成することで，曲げ剛性を向上させることにより，側方流動に有効な抑止効果を期待する工法として設計・施工された。また，この工法は深層混合処理を併用した重力式構造を用いる場合に比べて建設コストを半分程度におさえることができた。

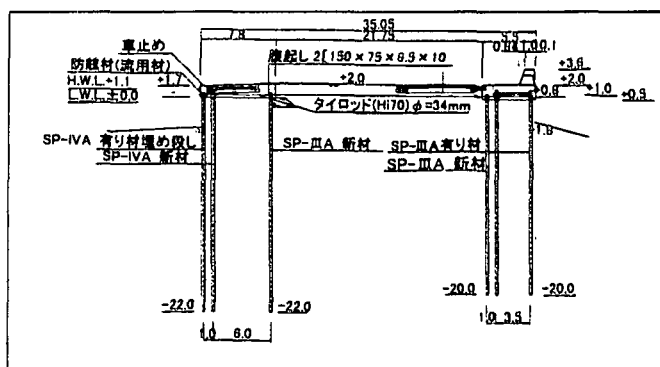


図-4 -2.5m物揚場標準断面図（改良後）

3. 施設の施工後の変位状況

改良工法としての二重矢板構造の施工が完了した平成10年12月から現在に至るまでの施設の変位状況としては、係船岸背後の道路にて10cm程度の沈下が見られるものの、二重矢板構造の上部コンクリートにおけるクラックの発生や目地等が開く状況は生じていないことから、鋼矢板の水平変位については見かけ上発生していない。

4. 二重矢板構造の変形解析

(1) 解析手法の概要

本研究では、(以下 FEMプログラム)を用いて、地盤および鋼矢板の各材料に力学モデルを適用し、圧密過程における鋼矢板および地盤の経時的な変形解析を行った。

地盤については圧密特性に着目し大きく分けて非圧密層および圧密層に分類し、各々に対して力学モデルを適用した。

(2) 各地質モデルの設定

盛土材料や下層の砂礫に相当する非圧密層については、これらが塑性変形を生じにくい比較的良質な材料として見込めることと、モデルをより簡便なものとする上で「線形弾性体」を力学モデルとした。粘性土およびシルト層に相当する圧密層については、「弾・粘塑性体」(関口・太田モデル)を力学モデルとして適用した。このモデルは粘性土の圧密やせん断の現象に対する再現性が高く、かつ二次圧密やクリープといった時間効果を再現できるモデルとしてこれまで広く活用されている。鋼矢板については、「線形はり」として変形量および発生応力についての解析を行った。

(3) 入力断面のモデル化

本検討箇所では、昭和63年および平成4年にボーリング調査が行なわれている。昭和63年のデータにより設定した解析パラメータについては、このデータを用いた変形解析²⁾を行い、改良施工前の既設鋼矢板の変形状況を再現することができている。しかし上記2調査の各土層の標高を比較すると、この期間内の盛土による圧密の進行状況が確認できることから、昭和63年時のパラメータ設定と同様の方法により平成4年時のデータを用いたモデル化を行った。

(4) 解析パラメータの設定

a) 「線形弾性体」の解析パラメータ設定

「線形弾性体」を力学モデルとする非圧密層には、ヤング率 E およびポアソン比 ν を解析パラメータとして与える。

b) 「弾・粘塑性体」の解析パラメータ設定

「弾・粘塑性体」を適用する圧密層については、ポアソン比 ν 、限界状態での応力比 M 、初期間隙比 e_0 、初期応力比 κ_0 、圧縮指数 λ 、膨張指数 κ 、二

次圧縮指数 α 、初期粘塑性ひずみ速度 V_0 、圧密係数 C_v 、の9つの解析パラメータを与える。

c) 解析パラメータ一覧

表-1に本解析に用いたパラメータの一覧を示す。なお、各解析パラメータを設定方法については昭和63年時のデータを用いた場合²⁾と同様、経検式を用いるものとした。

表-1 解析パラメータ一覧

番号	記号	力学モデル	E (MN/m ²)	ν	M	λ	κ	e_0	η_0	α	V_0 (1/day)	C_v (m/day)
1	Ba1	線形弾性体	7448	0.33	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Ba2	線形弾性体	7448	0.33	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Ac1	弾・粘塑性体	-	0.37	0.945	0.460	0.048	1.795	0.188	0.003	0.00001	9.910E-02
4	Ac2	弾・粘塑性体	-	0.38	1.001	0.358	0.038	1.890	0.201	0.003	0.00001	8.470E-02
5	Ac2	弾・粘塑性体	-	0.33	1.222	0.358	0.038	0.947	0.258	0.002	0.00001	7.180E-02
8	Dg	線形弾性体	3826	0.33	-	-	-	-	-	-	-	-
7	Dc2	弾・粘塑性体	-	0.33	1.222	0.358	0.038	0.947	0.258	0.002	0.00001	7.180E-02
8	Dg	線形弾性体	11858	0.33	-	-	-	-	-	-	-	-

(5) 解析モデルの作成

本検討では、図-5~6に示す様に普通矢板式係船岸を想定した場合と実際に用いられた二重矢板構造の場合について解析モデルを作成し、各々の変形解析結果を比較し考察を行う。

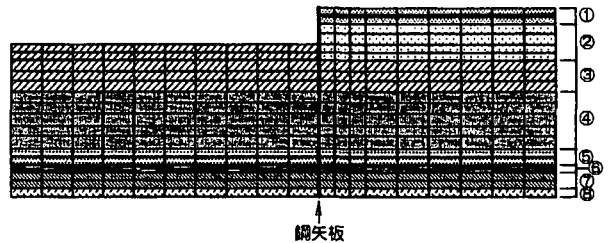


図-5 解析モデル図 (普通矢板式係船岸モデル)

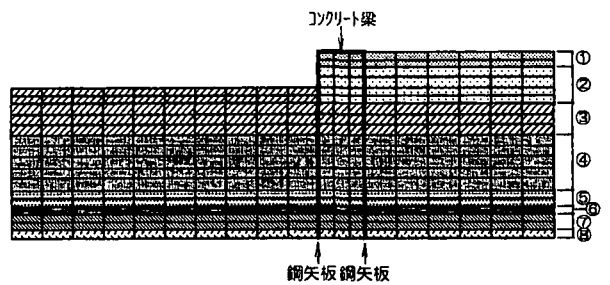


図-6 解析モデル図 (二重矢板構造モデル)

(6) 変形解析の結果と考察

図-7~図-12に変形解析結果を示す。用地の沈下量として普通矢板式係船岸の場合101cm、二重矢板構造の場合47cmの沈下量が算出された。また、鋼矢板の海側への最大はらみ出し量として普通矢板式係船岸の場合30cm、二重矢板構造の場合2cmの変位量が算出された。二重矢板構造の場合、過剰間

隙水圧が低下するまでの間大きな挙動を生じず、安定を確保できる結果となっている。

以上の解析結果から、二重矢板構造を用いることで、軟弱地盤上の盛土により発生する圧密沈下や側方流動に対し、本検討の場合、十分な抑止効果を期待できる結果が得られた。

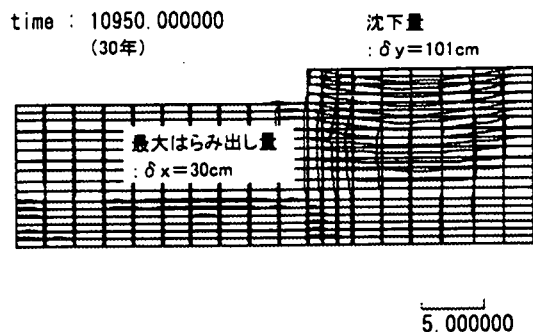


図-7 変形図 (普通矢板式係船岸モデル)

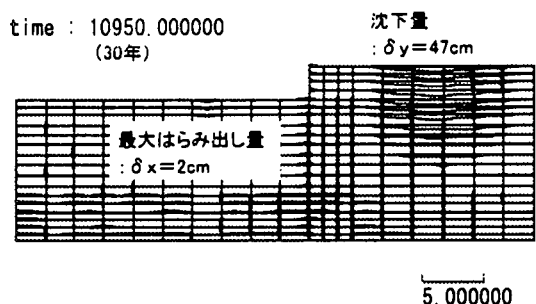


図-8 変形図 (二重矢板構造モデル)

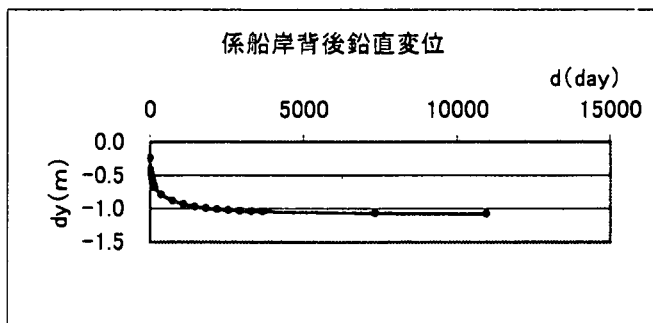


図-9 係船岸背後の鉛直変位 (普通矢板式係船岸)

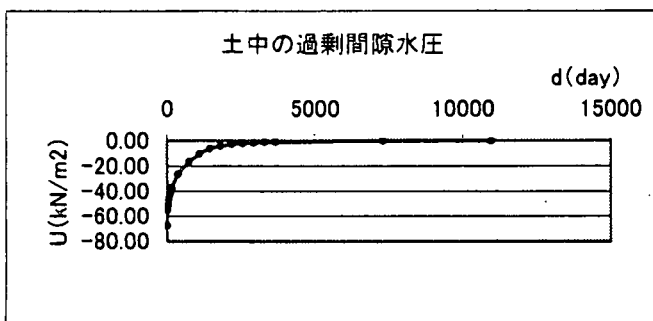


図-10 土中の過剰間隙水圧 (普通矢板式係船岸)

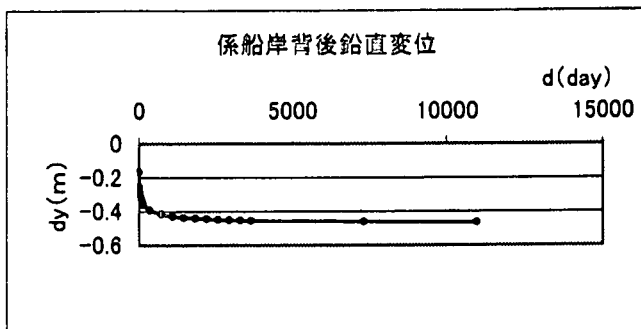


図-11 係船岸背後の鉛直変位 (二重矢板構造)

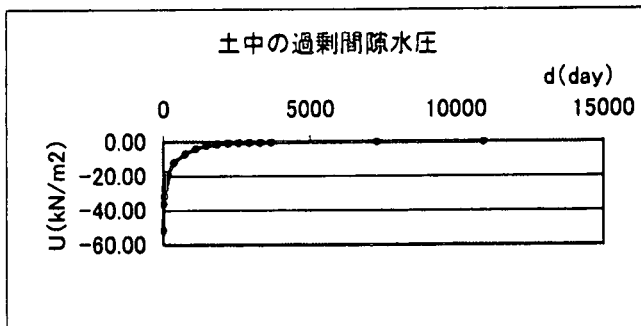


図-12 土中の過剰間隙水圧 (二重矢板構造)

5. 結論

- ①普通矢板式係船岸に比べ、二重矢板構造を用いることで構造体の剛性が向上し、軟弱地盤における有害な圧密沈下や側方流動に対し効果的であることが変形解析結果から得られた。
- ②本事例では、深層混合処理を併用した重力式構造を用いる場合に比べ二重矢板構造の建設コストは半分程度であった。このようなことから深層混合処理工法等に代表される軟弱地盤改良工法に比べ、二重矢板構造が建設コストの削減を図る上で有用性の高い工法の一つとして考えられる。

参考文献

- 1) 鶴田則夫, 関谷堅二, 林克恭: キャリパー検層を応用した地中内鋼矢板の直接変位測定法について, 海洋開発論文集, VOL. 14, pp83-88, 1998
- 2) 鶴田則夫, 林克恭, 奥野正洋: 軟弱地盤における地中内鋼矢板の変形解析, 海洋開発論文集, VOL. 15, pp273-278, 1999
- 3) 小林正樹: 有限要素法による地盤の安定解析, 港湾技術研究所報告, 第23巻 第1号, 1984.3
- 4) 土質調査試験結果の解釈と適用例, 土質工学会