

II—34 鋼管矢板式防波堤の設計施工について

北海道土木部港湾課
北海道函館土木現業所事業課

正会員 木野 進
青山 和義

1. まえがき

本報告は、昭和58年度に上磯漁港修築工事で施工した南防波堤新設工事に関するものである。

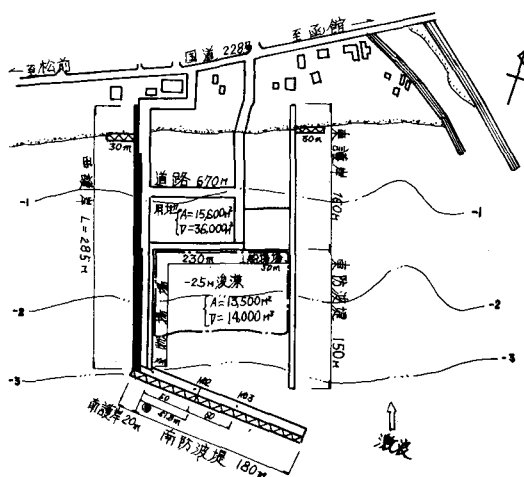
通常 激浪をまともに受ける主防波堤は、捨石混成堤や函塊堤（ケーリン・鋼製函）で施工される場合が多い。施工箇所の地盤が軟弱な場合は、その部分をそっくり良質な砂や石に置き換るか、一定の深さまで捨石マウンドを構築し荷重の分散を計る方法がとられている。当漁港では、軟弱な地盤に対して、漁業の形態や漁場の関係から、通常行なわれる工法では問題が多く、地盤改良を行わず、鋼管矢板を使用して、地盤に旋着させ、主に曲げモーメントにより外力に抵抗する二重矢板式工法を採用した。

鋼管矢板を使った本工法は、北海道が施工する漁港工事では実績がなく、上磯漁港に於いて初めて施工され、所期の目的を果す事が出来たので、ここに設計及び施工に関して報告する。

2 上磯漁港の概要

上磯漁港は、北海道渡島半島南部の津軽海峡に面した函館湾内に位置している。昭和55年度に新規着工し、計画規模は全体計画18億2,600万円、けい船岸230m、船場場50m、泊地24,000m²

図-1 上磯漁港平面図



である。(図-1)

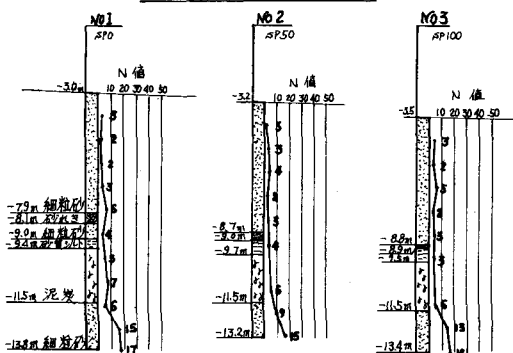
上磯の水産業は従来、いわし定置、いか1本釣などの獲る漁業が主力であったが、昭和30年頃から、次第に回遊魚が減少し始めた為、鮭のふ化事業や、ホタテ、ワカメ、コンブ、アワビ、ホッキ貝等の増養殖事業へと次第に育てる漁業が盛んになってきた。当地区の漁業従事者は、昭和57年度の港勢調査によると、127戸、504人、漁業生産高7億円、3も未着の船外機船が登録漁船の90%を含める典型的な前決依存型の漁業である。中でも特に目立つのが、採貝（主にホッキ貝）漁で、漁期は7月から4月で、363も、2億5千万円の水揚げがあり、上磯漁港周辺は好漁場となっている。

3 地質及び工法の検討

a 地質性状

ボーリング調査の結果から判明した全体地質累積性状は、全般的に水深-3.5m~-9.0mまではシルト質の細粒砂が存在し、-9.0m~-9.5mでは粘性が強い砂質シルト層であり、-9.5m~-11.5mまではシルト分を含む均質な泥炭層、-11.5m以下はシルト質の細粒砂となっている。これらのN値は、細粒砂にあってはN値=2~6で相対的な締りはゆるい状態にあり、以深の砂質シルトにあってはN値=4程度、さらに以深の泥炭層においてN値=5~7、以深-11.5m以下の細粒砂でN値=6~17となっており全体的に泥炭層までは軟弱地盤の特性が見られる。(図-2)

図-2 土質柱状図



8 工法の検討

二重矢板式防波堤の施工においては、一般にU矢板を使用し、陸上からバイブロハンマー等で矢板打ちを行ない、ノスパン毎に中詰材を填充し終えてから、次のスパンに進む工法が取られている。施工は水中基礎工事が無い為、比較的容易であるが、断面幅が大きい場合、中詰作業が終わらない内は、波に対して比較的弱体である。この為、出来るだけ施工中の弱点をカバーすべく、堤体幅が小さく済む鋼管矢板を用いた二重矢板式防波堤とした。(表-1)

表-1 U矢板と鋼管矢板との比較(根入長8.5m腐食考慮)

	重量 kg/m	断面2次モーメント I (cm ⁴ /m)	断面係数 z (cm ³ /m)	堤体幅
U矢板 IIIA	146	16,188	1,079	16.0
IVA	185	31,616	1,710	14.0
VL	210	52,920	2,646	12.4
VII	240	73,960	3,285	11.2
鋼管矢板 φ=900 t=12	300	286,000	6,350	9.7

3. 二重鋼管矢板式防波堤の設計

a 設計手順

二重矢板式防波堤の設計方法は、運輸省第1港湾局から昭和44年3月に提案された「二重壁構造物設計法」に基づき断面を決定する。(図-3)

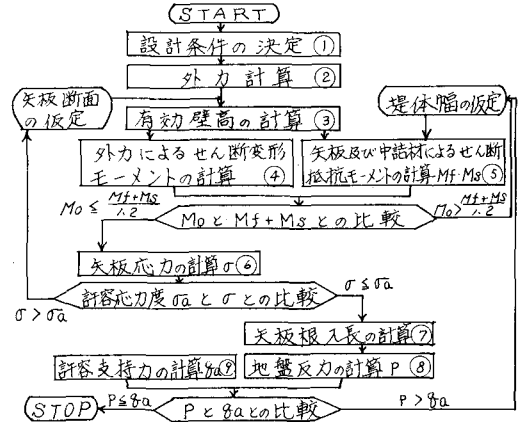
b 設計計算

図-3の設計手順のフローチャートに基づき、計算を行う。堤体幅は仕切矢板との関係から40cmの倍数とし、鋼管矢板の厚さは腐食しろ20mmを見込む。計算結果は下表の通りで(表-2)φ500mmからφ1,100mmについて検討した。

表-2 上磯漁港における鋼管矢板の断面決定

鋼管矢板断面	I (cm ⁴ /m)	Z (cm ³ /m)	$\beta = \frac{1}{24EI} \times \frac{15}{100}$	H+H ₀ (m)	M ₀ (t-m)	B _{min} (m)	M _f	M ₀ =12M _f H	Y _{top}	M _{max}	K<100	h (m)	堤体幅 (m)	最大地盤反力 (t/m ²)	許容支持力 (t)
φ500 t=14	874×10 ²	3,800	0.280×10 ⁻²	10.4	343.5	11.1	260.4	151.8	3.35	53.7	1,380	8.0	11.2	36.4	47.3
												8.5	"	37.3	80.1
												9.0	"	38.3	76.2
												8.0	10.6	41.9	46.3
φ600 t=14	144×10 ³	4,800	0.254×10 ⁻²	10.9	360.9	9.8	226.5	206.6	3.39	66.1	1,377	8.5	9.8	52.6	57.7
												9.0	"	55.9	73.2
												8.0	10.3	45.0	45.9
												8.5	9.8	51.4	57.8
												9.0	9.5	63.7	72.6
												8.0	10.4	42.3	46.0
φ700 t=14	200×10 ³	5,120	0.234×10 ⁻²	11.4	378.2	8.4	184.3	269.5	3.48	80.0	1,398	8.5	9.8	56.9	57.3
												9.0	9.6	58.3	72.8
												8.0	10.5	41.3	46.1
												8.5	9.7	53.4	57.5
												9.0	9.5	70.7	72.2
												8.0	10.2	45.1	45.7
φ800 t=18	223×10 ³	5,580	0.227×10 ⁻²	11.6	383.2	8.6	196.2	268.0	3.19	77.0	1,379	8.5	9.6	56.9	57.3
												9.0	9.6	58.3	72.8
												8.0	10.5	41.3	46.1
												8.5	9.7	53.4	57.5
												9.0	9.5	70.7	72.2
												8.0	10.2	45.1	45.7
φ900 t=12	286×10 ³	6,350	0.214×10 ⁻²	12.0	399.1	7.4	156.7	322.2	3.22	88.6	1,395	8.5	9.7	53.4	57.5
												9.0	9.5	70.7	72.2
												8.0	10.2	45.1	45.7
												8.5	9.8	54.4	57.7
												9.0	9.4	64.3	72.4
												8.0	10.3	44.1	45.9
φ1,000 t=12	356×10 ³	7,130	0.202×10 ⁻²	12.4	412.9	6.1	114.6	380.9	3.27	99.8	1,399	8.5	9.8	54.4	57.7
												9.0	9.4	64.3	72.4
												8.0	10.3	44.1	45.9
												8.5	9.8	54.4	57.7
												9.0	9.5	72.0	72.8
φ1,100 t=12	435×10 ³	7,900	0.192×10 ⁻²	12.8	428.8	4.8	75.9	436.3	3.27	110.1	1,393	8.5	9.8	54.4	57.7
												9.0	9.5	72.0	72.8

図-3 設計手順のフローチャート



①設計水深、潮位、設計波高、タイロット取付高

場所打基礎高、土質条件、利用条件

②波圧の合力P及び作用点

③ $H = H_0 + \frac{1.5}{100\beta}$

$\beta = \sqrt{\frac{100 k_a}{4 EI}}$ k_a : 横方向地盤反力係数

④ $M_0 = \sum P_i (l_i + \frac{1.5}{100\beta})$

⑤ $M_t = \frac{1}{8} r H B^2 (3 - \frac{B}{H} \cos \phi) \sin \phi$

$M_s = 1.2 M_0 - M_t$

⑥ $Y_{top} = \frac{M_s}{24 EI}$

$M_{max} = EI \beta^2 Y_{top}$

$\sigma = \frac{M_{max}}{z}$ z : 断面係数

⑦杭方式 $l = \frac{5}{4} \frac{\pi}{\beta}$ 小さい方を採用
土圧バランス方式(矢板壁と考える)

ただし有効壁高Hを下回る場合は有効壁高を採用

⑧⑨ 矢板下端を底面とした重力式構造物と考える。

表-3 単価比較

	根入長	杭長	堤体中	鋼管矢板			鋼管板			腰起し			タイロッド			中詰材			上部工			埋材			鉄筋			合計
				数量	金額	数量	金額	数量	金額	数量	金額	数量	金額	数量	金額	数量	金額	数量	金額	数量	金額	数量	金額	数量	金額	数量	金額	
φ500 ×14	8.0	13.5	11.3	1式	481,980	5.4	507,600	4.3	554,700	1式	10,034	452	137,860	141	224,331	4.3	16,383	113	33,335									2,466,971
	8.5	14.0	"	"	452,800	5.4	507,600	4.3	554,700	"	10,034	452	137,860	141	224,331	4.3	16,383	"	33,335									2,513,753
	9.0	14.5	"	"	457,962	5.4	507,600	4.3	554,700	"	10,034	452	137,860	141	224,331	4.3	16,383	"	33,335									2,562,975
φ600 ×14	8.0	13.5	10.6	"	412,940	5.0	470,000	4.1	528,900	"	9,852	424	129,320	133	211,603	4.1	15,621	106	31,270									2,333,476
	8.5	14.0	9.8	"	445,854	4.6	432,400	4.0	51,600	"	9,602	392	119,560	122	194,102	4.0	15,240	98	28,910									2,309,988
	9.0	14.5	"	"	450,622	4.6	432,400	4.0	51,600	"	9,602	392	119,560	122	194,102	4.0	15,240	"	28,910									2,357,635
φ700 ×14	8.0	13.5	10.3	"	436,486	4.8	451,200	4.1	528,900	"	9,746	412	125,660	129	205,239	4.1	15,621	103	30,385									2,258,227
	8.5	14.0	9.9	"	442,605	4.6	432,400	4.0	51,600	"	9,631	396	120,780	124	197,284	4.0	15,240	99	29,205									2,268,745
	9.0	14.5	9.5	"	449,234	4.4	413,600	3.9	50,310	"	9,516	380	115,900	119	189,329	3.9	14,859	95	28,025									2,280,773
φ800 ×12	8.0	13.5	10.4	"	484,788	4.8	451,200	4.1	528,900	"	9,775	416	126,880	130	206,850	4.1	15,621	104	30,680									2,088,144
	8.5	14.0	9.6	"	423,348	4.4	413,600	3.9	50,310	"	9,544	384	117,120	120	190,920	3.9	14,859	96	28,320									2,058,121
	9.0	14.5	9.6	"	423,295	4.4	413,600	3.9	50,310	"	9,544	384	117,120	120	190,920	3.9	14,859	96	28,320									2,097,968
φ900 ×12	8.0	13.5	10.5	"	416,748	4.8	451,200	4.1	528,900	"	9,804	420	128,100	131	208,421	4.1	15,621	105	30,975									2,065,579
	8.5	14.0	9.7	"	420,677	4.4	413,600	3.9	50,310	"	9,573	388	118,340	121	192,511	3.9	14,859	97	28,615									2,034,535
	9.0	14.5	9.3	"	426,218	4.2	394,800	3.9	50,310	"	9,458	372	113,480	116	184,556	3.9	14,859	93	27,435									2,041,094
φ1,000 ×12	8.0	13.5	10.2	"	430,355	4.6	432,400	4.0	51,600	"	9,717	408	124,440	128	203,648	4.0	15,240	102	30,090									2,058,090
	8.5	14.0	9.8	"	423,152	4.4	413,600	4.0	51,600	"	9,602	392	119,560	123	195,693	4.0	15,240	98	28,910									2,065,747
	9.0	14.5	9.4	"	423,201	4.2	394,800	3.9	50,310	"	9,487	376	114,680	118	187,738	3.9	14,859	94	27,750									2,072,805
φ1,100 ×12	8.0	13.5	10.3	"	417,344	4.6	432,400	4.1	528,900	"	9,746	412	125,660	129	205,239	4.1	15,621	103	30,385									2,047,385
	8.5	14.0	9.9	"	421,648	4.4	413,600	4.0	51,600	"	9,631	396	120,780	124	197,284	4.0	15,240	99	29,205									2,053,488
	9.0	14.5	9.5	"	425,551	4.2	394,800	3.9	50,310	"	9,516	380	115,900	119	189,329	3.9	14,859	95	28,025									2,060,296

また根入長は軟弱地盤以下の先端N値15の深さまで
(8.0m~9.0m)とし、それぞれの根入長と堤体幅の
最小断面を決定した。尚設計条件は下記の通りです
設計水深 $h = -4.5\text{m}$ (洗掘1.0m見込む)

潮位: H.H.W.L. +1.4m, H.W.L. +0.8m

設計波高 $H = 3.8\text{m}$, タイロッド取付高 +0.8m

表-2より求められた21通りの断面を単価的に検討したのが表-3で、この結果φ900根入長8.5m、堤体幅9.7mタイプが1番安価なので、この断面を採用した。(図-4)

4. 二重鋼管矢板式防波堤の施工

a 施工方法

鋼管矢板を使用した二重矢板式防波堤の施工には、杭打船による方法と重機足場を架設して陸上機械(フローラー式杭打機等)による方法がある。当漁港では海上作業を行う為の船だまりが全く無く、近くの函館港から通うとしてもロスが大きいので、後者の工法を採用した。

b 仮設足場

鋼管矢板の施工においては、打込み機械を支持する足場の良否が、安全性、打込み精度、作業能率などに、

図-4

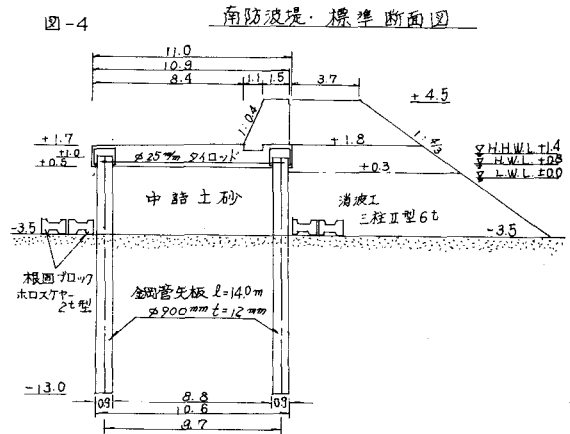
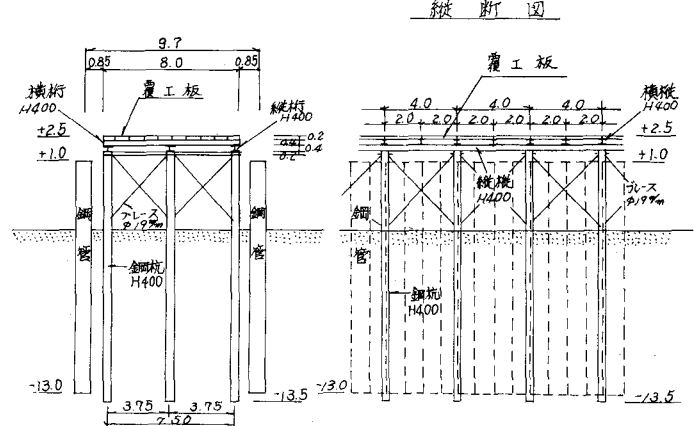


図-5

仮設足場・断面図



大きな影響を及ぼす。当漁港ではH鋼を使用して、仮栈橋を構築し、直結三点支持式杭打機（ラム重量3.5t）により鋼管矢板を打ち込んだ。杭打機の総重量は作業時で57.0tとなり、これを支持する為の足場の断面は図-5の通りになった。

使用材料（52.0m分） 総使用鋼材重量

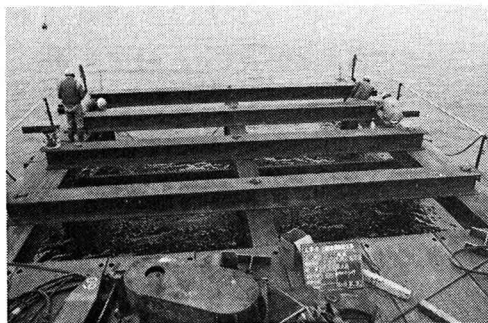
杭材	H400	L=15m	42本
縦桁材	H400	L=4m	39本
横桁材	H400	L=8m	14本
メトロデッキ			208枚

仮設足場の天端は、鋼管矢板打ちに必要な期間中に波の影響を受ける事なく、スムーズに行なわれる様に考慮し+2.5mとした。また幅は杭打機の作業半径や導枠材との関係からB=8.0mとした。施工手順は1工程2スパン分8.0mとし、杭材6本を45kW級バイブロハンマーにより-13.5mまで打込み、打込終了後、縦桁を布設する。杭との固定は溝型鋼C200×90を横方向に杭をはさんで取付けM22φ、 $l=75mm$ ボルトで1ヵ所に付6本でしっかりと固定する。縦桁固定後、横桁を2mピッチで渡し、M22ボルト1ヵ所4本で固定する。ブレースはSR、φ19φ丸棒と6分のタンバクルにより隣合った杭どうしに45度の角度で設置し、最後に覆工板を布設する。尚、覆工板は波によりめくれを起こさない様に覆工板どうし、及び横桁に溶接補強する。以上の手順のくり返しにより仮設足場を施工した。

C. 導枠工

導枠材は、鋼管矢板を正しい位置や方向に打込む為のもので、施工精度に大きく影響する。鋼管打込の際の衝撃による法線のずれ等がない様、丈夫な構造とする為に導航として内側は重機足場を利用し、外

重機足場架設状況



重機足場完成全景



同 上



図-6 鋼管打設用導枠

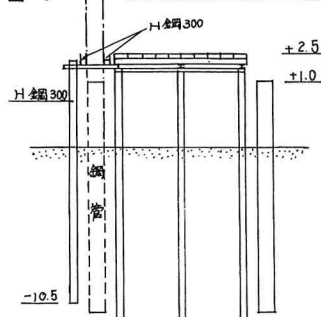
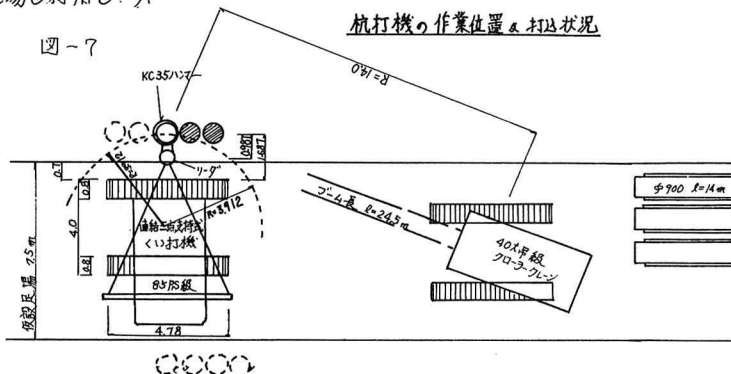


図-7



側にH300のH鋼を打込み、導枠としてH300、L=12mのH鋼を法線上に取付ける。(図-6)

d 鋼管矢板打込

打込は直結三点支持式杭打機により行う。打込場所には40t吊補助クレーンを設置し、あらかじめ運搬して荷卸しておいた鋼管矢板を吊り上げ、足場に取り付けられた導枠内に鋼管矢板を建込み、杭打機のリーダーにセットし打込む。(図-7) 当初導枠天端+2.0mまで打込み、外側の作業完了後、導枠材を取りはずして、所定の高さ(+1.0m)まで打込む。内側も同様にして施工する。尚、打撃中の油沫の飛散防止対策として、飛散防止装置を構じた杭打機(KC-35, フリーハンマー)を使用し海水汚染等の諸公害を起さない様、充分な注意を払った。

また、鋼管矢板に影響する波力を少しでも小さくする様に、消波ブロックの一部を投入した。

e 仕切矢板、腹起し、タイロッド、中詰材

鋼管矢板打設終了後、ただちに腹起し、タイロッドを取付け、中詰材を填充して、外力に安全な断面とした。腹起しは溝型鋼C100×50×7.5×5を上下2本使用し、鋼管1本おきにφ25mmのタイロッドを取付け、タンバクルにより締付ける。中詰材として、切込砂利(0~80%)を使用した。中詰材填充後、重機足場を终点より解体しながら中仕切矢板を鋼管矢板6本おきに打込み、ノスパン5.8mの箱型とした。

f 上部コンクリート、根固工、消波工

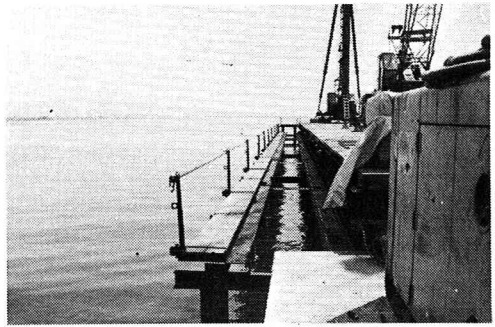
上部コンクリートは仕切矢板完了後、中詰材を基準高(+0.5m)に天端均しし、組込鉄筋及び補強鉄筋を取付けた後、生コンアジテータより直接打設を行った。また別の場所で製作しておいた、根固用ブロックとしてホロスケヤー2m、消波工として三柱ブロック6mを所定の位置に据付け完了した。

5. 施工管理

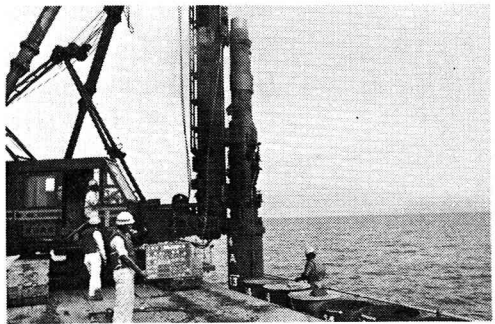
a 出来形

鋼管矢板打込時に予想されるトラブルは、法線方向に対する打伸び、打縮み、のほか、矢下り、回転、傾斜、継手の離脱などがあり、一般に鋼管矢板は、連続的に使用される為、全体的にその構造物に適合する施工精度になる様、常に施工管理を行う必要がある。一般的な許容誤差と出来形との比較を表-4

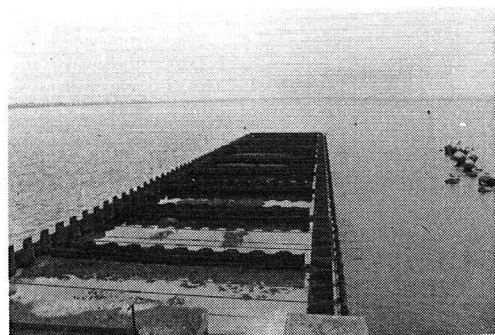
鋼管矢板用導枠取付完了全景



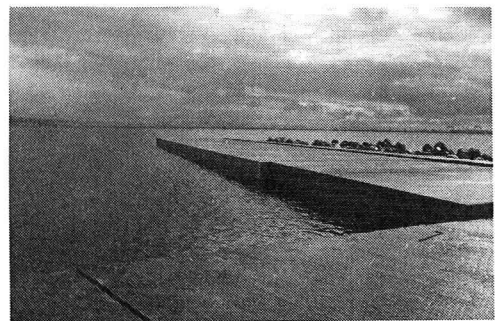
鋼管矢板打込み状況



鋼管矢板及び中仕切矢板打込み完了全景



昭和58年度 完 成



に示す。

表-4 施工許容差(鋼管天板施工標準・同解説による)

	傾斜	主線方向 のずれ	総延長	天端高
許容誤差	$\frac{1}{100}$	$\pm 15 \text{ cm}$	$+15 \text{ cm}$ -0 cm	$\pm 10 \text{ cm}$
現地	$\frac{0.2}{100}$	$\pm 2 \text{ cm}$	$+2.4 \text{ cm}$	$+5.0 \text{ cm}$ -4.5 cm

6. 地盤支持力のチェック

打込んだ地層が設計通りの支持力があるかどうかをチェックする為に打込み状況を記録する。打込み中の計測は、打撃回数、貫入量、リバウンド量、ラム落下高を測定した。

鋼管天板の極限支持力の推定には、地質調査のN値を参考にシマ式より求めた。

$$R_u = q_d A + U \sum l_i f_i \quad (\text{道路橋示方書より})$$

ここに R_u : 地盤から決まる杭の極限支持力(t)

A : 杭先端面積 (m^2)

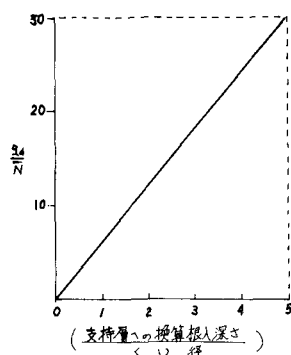
q_d : 杭先端で支持する単位面積当りの極限支持力度 (t/m^2) 図-8より

U : 杭の周長 (m)

l_i : 周面摩擦力を考慮する層の層厚 (m)

f_i : 周面摩擦力を考慮する最大周面摩擦力度 (t/m^2)

図-8 くい先端地盤の極限支持力度 q_d の算定図



上記の推定式により計算した結果、極限支持力、 $R_u = 118 \text{ t/本}$ 許容支持力は安全率3として $R_a = 39 \text{ t/本}$ となる。また計測による動的な先端支持力は次式により求めた。

$$R_a = \frac{1}{3} \left(\frac{e \cdot 2 \cdot W \cdot H}{S + \frac{W}{K}} \right) \text{-----Hileyの公式}$$

ここに e : ハンマー効率(ディーゼルハンマ 0.5)

W : ラム重量(t) H : ラム落下高さ(m)

S : 貫入量 (m) K : リバウンド量 (m)

S.P. 10	S.P. 20	S.P. 30	S.P. 40	S.P. 50
71.2	48.7	83.2	67.7	42.9

測定結果は数値が大きくバラついているものすべて計算値より大きな値を示している。この結果から杭長の変更等を行なうには信頼度が薄く、危険な為目安として、設計値をほぼ満足できたと判断した。

5. おわりに

上磯漁港南防波堤工事の設計及び施工について概要を紹介しました。58年度の工事は心配されたトラブルもまったくなく、予定通り8月中旬には鋼管天板の打設を完了。上部工等も含め10月中旬にすべての工事を終了しました。上磯漁港が函館湾内に位置している有利な条件はあるが、遮蔽物のない外洋に対しても足場天端を高くする事により、作業は充分可能であり、工費もm当り4,200円^円と他の工法に比べても高いとは言えず、工事による周辺の海水汚濁もなく、軟弱地盤上に設置する防波堤工事に今後活用出来ると思われます。

参考文献

- (1) 鋼管杭協会: 鋼管天板施工標準・同解説
- (2) 内田豊彦: 二重壁構造物の設計法について
S.48. 第7回全国漁港講習会テキスト
- (3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説