

－ 10.0^m Z 型鋼矢板岸壁について

運輸省小倉調査設計事務所

建設専門官 藤 野 慎 吾

§ 1 下関港港湾整備特別会計事業概要

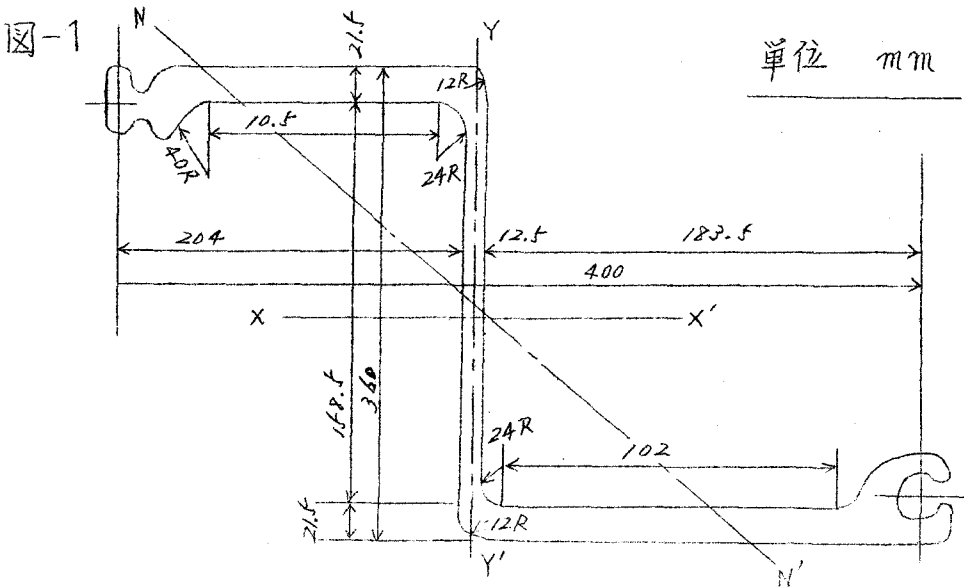
近年化学肥料の大幅な生産増強に伴つてその輸出量も急激に増加しつつあり、化学肥料工業の輸出産業としての重要性も益々増大しているが、国際市場における競争は極めて激しい。

これにかんがみ現在化学肥料工業で不足している、製品保管施設の完備によつて生産それ自体の合理化に寄与すると共に港湾荷役の機械化と輸出の集中的取扱ひによつてポートチャージを軽減し輸出の振興と、ひいてはわが国経済発展への一翼を担う必要がある。

この国際貿易振興という国家的要請に応じて設置された特別会計による外国貿易港湾緊急整備事業の一環として下関港では上記化学肥料 290,000 屯の輸出を主目標に－ 10.0^m 岸壁 1 パースを中心とする関連港湾施設の整備を計画した。

この事業は昭和 34 年度より始まり

差当り昭和 34, 35 年度には－ 10.0^m 岸壁を竣功するもので、目下その工事を急いでいる。



工 種	数 量	事 業 費	国 費	国費率
-10.0 m 岸 壁	170 m	215,700	129,420	0.6
取 付 護 岸	30 m	15,000	9,000	0.6
-10.0 m 航 路 浚 渫	755,000 m ³	494,800	494,800	1.0
-10.0 m 泊 地 浚 渫	60,000 m ³	37,000	29,600	0.8
臨 港 道 路	12,420 m ²	31,000	15,500	0.5
臨 港 鉄 道	1,048 m	15,700	7,850	0.5
荷 役 機 械	2 基	80,000		0.0
上 屋	1 棟	55,000		0.0
合 計		944,200	686,170	

§ 2 - 1 0.0 m 鋼矢板岸壁の設計

(1) 岸壁構造の選定

鋼矢板式、棚式、重力式、棧橋式等について比較設計を試み次の理由が Z 型鋼矢板構造に決定した。

- (a) 新材料と新工法で試験研究的な施工を行いたい。
- (b) 岸壁法線より 10.0 m 背後には既設埋立護岸の捨石基礎があり、その掘削除去の点で棚式、重力式、棧橋式を不適當と認めた。
- (c) 工費低廉で施工法が比較的單純である。
- (d) 但しタイロッド設置のため前記護岸を撤去する必要がある、岸壁背後には延長 130 m の上屋が建設されるためその地中梁を岸壁控工に兼ねさせる。

(2) 設計条件の決定

対象船舶	15,000 DW
岸壁水深	- 10.0 m
岸壁天端高	+ 3.56 m
潮 位	HWL + 2.86 m FWL + 1.00 m
上載荷重	2.0 t/m ²
地震震度	K _h = 0.05 K _v = 0.00
材料許容応力	鋼矢板曲げ 1,800 Kg/cm ² タイロッド引張 1,400 Kg/cm ²

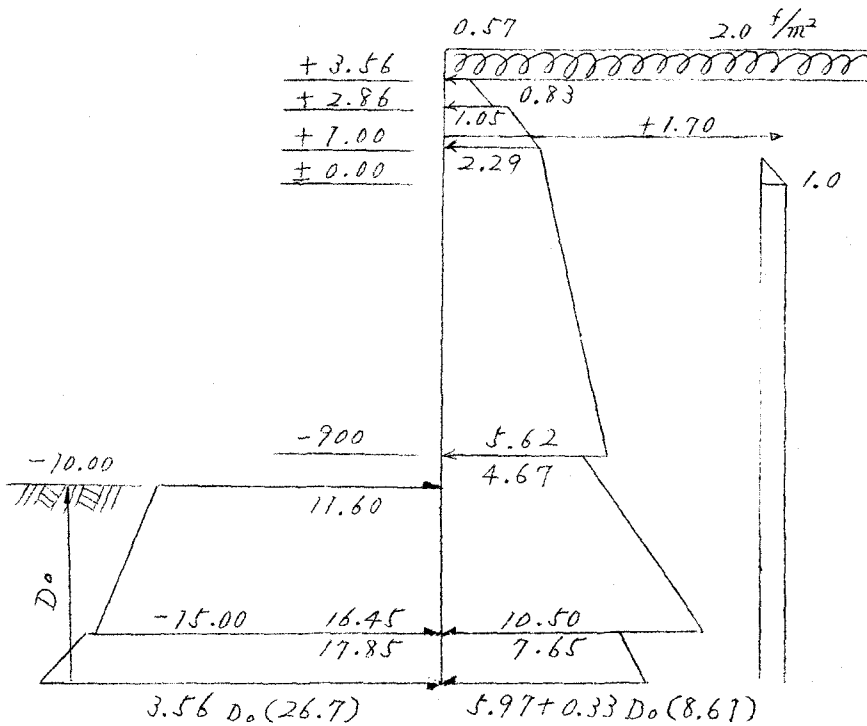
裏込土砂

次表

水 深	名 称	γ_i	ϕ_i	c_i	δ	h_i
+ 2.86 m 以上	砂	$1.6 \frac{t}{m^3}$	30°	$0 \frac{t}{m^3}$	15°	0.70 m
+ 2.86 ~ + 1.00 m	砂	2.0	25	0	15	1.86
+ 1.00 m ~ - 9.00 m	砂	1.0	25	0	15	10.00
- 9.00 m ~ - 15.00 m	粘土	1.0	0	6.0	0	6.00
- 15.00 m 以下	砂	1.0	25	0	- 15	

(3) 設計々算

(a) 地震時土圧



(b) 矢板振入れ

Free Reath Support 方法について

根界振入 $D = 5.0$ m

突繰入 $D_0 = 1.5 D = 7.5 \text{ m}$ $SF = 1.5$

矢板長 $\ell = 2.5 + 10.0 + 7.5 = 20.0 \text{ m}$

(c) 矢板断面

海底とタイロッド位置を交点とする単純梁として

$M_{\max}$ 発生水深 -4.60 m

$M_{\max}$ 82.0 t-m

曲げ応力 $\sigma_s = \frac{M_{\max}}{W} = 1,800 \text{ kg/cm}^2$

(d) タイロッド

タイロッドの張力は上記単純梁の支点反力として求む

岸壁単位長当りの圧力 $A_p = 24.69 \text{ t/m}$

タイロッド1本当張力 $T = 1.6 A_p = 39.5 \text{ t/本}$

$\phi 65 \text{ mm SS50}$ を用いて $\sigma_s = \frac{T}{A} = 1,200 \text{ kg/cm}^2$

(e) 腹起し

タイロッド間隔をスパンとする連続梁として

$M_{\max}$ -6.64 t-m

$2 \text{ L } 200 \times 90 \times 8 \text{ mm SS41}$ を用いて $\sigma_s = \frac{M_{\max}}{W} = 1,330 \text{ kg/cm}^2$

(f) 控工（上屋のない場所 H型鋼杭）

Cnang の理論式を上端固定杭に適用して

$\ell = \frac{3}{4} \pi \sqrt{\frac{4EI}{H_s}} = 5.51 \text{ m}$ ℓ : 水平変位0となる深さ

$H 300 \times 305 \times 15 \text{ mm}$ の曲げ抵抗 $M_y = 20 \text{ t-m}$

この杭の水平抵抗力 $H_y = 17 \text{ t/本}$ (杭の使用長 10.0 m)

H型鋼杭頂部コンクリートの受働土圧 $P_p = 24.8 \text{ t/1.6 m}$

タイロッド1本当H型鋼杭3本を用いると

$SF = (3H_y + P_p) / T = 1.90$

(g) 控工（上屋のある場所 上屋地中梁）

上屋竣功を待たず前面浚渫が行われる状態での安定計算。

上屋フーテイング第1列鋼管杭 $508 \times 6 \text{ mm}$ 、第2,3列ベDESTAL $\phi 500 \text{ mm}$ を使用し
フーテイング間隔 6.6 m について検討した。

フーテイング、地中梁前面受働土圧 $P_p = 125 \text{ t}$ $\ell = 9 \text{ m}$

フーティング地中梁で開かれた土砂の剪断抵抗 $Sr = 103 \text{ t}$ $\delta = 20 \text{ mm}$

鋼管杭水平抵抗 4本 $Pr = 56.5 \text{ t}$ $\delta = 7.2 \text{ mm}$

ベデスタル杭水平抵抗 6本 $Hr = 32.4 \text{ t}$ $\delta = 4.6 \text{ mm}$

δ は各種抵抗値が上記の通りとなるときの構造物の水平変位量であるが、ある外力にこれらが同時に抵抗するときはそれぞれは同じ変位を示すべきであり、その最少値 4.6 mm に比例換算すると全抵抗値 Hr は

$$HT = Pr' + Sr' + Pr' + Hr = 95.9 + 35.5 + 42.7 + 32.4 = 206.5 \text{ t}$$

水平外力 $H = 24.0 \times 6.6 = 159 \text{ t}$

$$SF = \frac{Hr}{H} = 1.30$$

尚岸壁に直角方向の地中梁には必要量の引張鉄筋を増加する。

(4) 設計および構造上の問題点

(a) タイロッド

タイロッドは在来埋立地を掘整して配置されるので新規埋立地との間に生ずる不等沈下に対してはピンジョイントを設け同時に全長に亘つてコンクリート被覆函で被覆して不確定鉛直力の影響を極力軽減することとする。

(b) 控工

上屋のない場所はH型钢杭 $300 \times 305 \times 15 \text{ mm}$ の水平抵抗に期待するが上屋のある場所ではその地中梁にタイロッドをとつて基礎杭、上屋自重、地中梁周辺土砂で水平力に抵抗させる。但し上屋の竣工は岸壁と（時期を異にするため）地中梁以下の構造で水平力に抵抗できるよう設計した。そのため上屋基礎杭は鋼管杭とベデスタル杭の併用となり杭が異質のものであることについて建築関係者とは充分協議した。

(c) 腹起し

腹起しは矢板前面に取付けるのが力学的に有効であることは勿論であるが、岸壁法線を揃えるためには背面の方が施工容易である。

(d) 構造変更

前記設計計算は岸壁計画時の土質調査を基礎にして行つたものであるが、当該場所は地層の変動甚しく施工に伴つて個々について設計変更の必要があつた。

§ 3 Z型鋼矢板の特徴

近年船舶の大型化に伴い繫船岸水深も増大したので従来の Yawata V (U,V) では断面係数が不足して大型岸壁の設計が困難となつた従つて八幡製鉄では -9.0 ~ 11.0 m 岸壁を対象に昭和 34 年夏より Z 型鋼矢板の生産を開始し爾来これが広く使用されるようになった。

(1) 形状寸法、断面性能

種 別	寸 法				断面積 1枚当 cm ²	重 量 1枚当 Kg / m	慣 性 モーメント cm ⁴	断 面 係 数		断面係数 鋼材重量 cm ² / Kg
	巾 mm	高 mm	壁厚 mm	柱厚 mm				1枚当 cm ²	壁巾 1 m 当 cm ²	
Z 45	400	360	21.5	12.5	148.2	116.3	32,890	1821	4553	15.6
U V	420	175	22.0		133.8	105	5,950	433	3150	4.1

(2) 特 徴

- (a) 断面係数が大きいので U V より大型岸壁に使用できる。
- (b) グリップが中立軸より離れているので剪断力に対する安全性が高い
- (c) 鋼材重量に対する断面係数が大きいので経済的である。これは中立軸から遠いフランジが厚く、近いウェブが薄く且つグリップ周辺の肉付けに原因している。

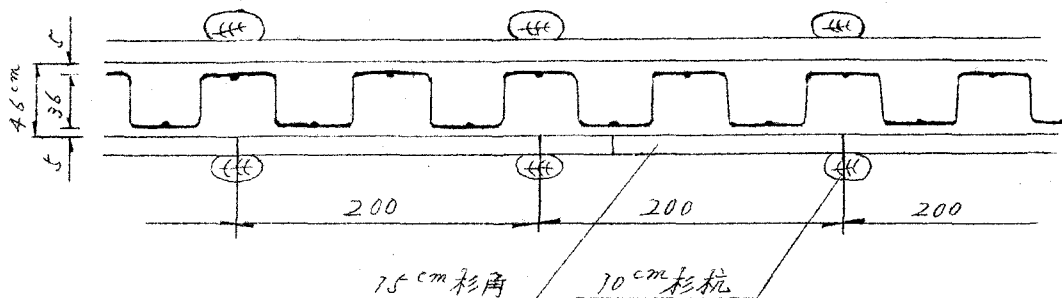
§ 4 施 工 法

Z 型鋼矢板を用いても施工法に根本的な変化はないと考えるが下関港では現場水深が -2.5 m で非常に浅く 10.0 m 背後には埋立地があつて矢板置場として利用できることが特徴であろう。

(1) 導杭、足場棧橋

導杭は 20 m 間隔に -5.5 m まで中径 18 cm の板杭を打込み +1.0 m、+3.5 m の位置に 15 cm 杉角材を水平に取付けて導杭とした。導杭は当初矢板を挟んで二列に施工したが前面は不必要であると認められたので、工事の後半はこれを省略した。

足場棧橋は後面導杭を利用して幅 2.0 m に板張りを行つた。



(2) 鋼矢板打込

鋼矢板打込は海上施工と陸上施工について比較検討した結果、当初施設費の点で起重機船を改造して船打を行うこととした。杭打機は Delmag D-22 を使用した。

鋼矢板は雄グリップを先行させ、10枚毎の塀風打を計画して杭打塔の高さを、杭打船デッキ上3.2mとしたが各矢板の仮押えに際して Delmag の第一打撃で4~5m貫入し傾斜が現れ、これを継続することによってその値は助長される。

従つて1枚毎に建込を行いハンマー荷重のをせ自然沈下させその後は1回貫入量10cmを目標に空打を行い以後所定位置又は貫入量1mm以下となるまで本打を行つた。

作 業 実 績 表

実稼働日数	101日	作業員数	陸上	10名
全打込枚数	447枚		杭打船	5名
平均1日打込枚数	4.4枚	主要燃料	杭打船 石炭	0.5 1/日
最高1日打込枚数	13枚		杭打機 軽油	25 1/日

(3) 杭打機

下関港で使用したディーゼルハンマーは Delmag D-22 であるが、他種ハンマーの諸元と共に下に掲げる。尚、このハンマーは西独産であるがリードは国産品が広く使われつつある。

		デルマツフ D-12	デルマツフ D-22	マキナンテ リ-S-10	マキナンテ リ-S-14	油 谷 1 号	油 谷 2 号
ラム重量	Kg	1,250	2,200	4,535	6,350	1,919	1,480
ハンマー重量	Kg	3,108	4,438	10,151	14,375	8,269	6,700
ストローク	mm	2,500	2,500	825	676	762	610
エネルギー	Kg-m	3,120	5,500	4,493	5,184	4,580	2,900
爆発力で杭を押す力	Kg	42,500	72,000	-	-	-	-
燃料消費量	ℓ/h	7	13	-	-	-	-
使用蒸気圧	%	-	-	7	8.8	7	7
機械長	mm	3,845	3,880	4,259	4,506	-	-
打撃回数	毎分	50~60	50~60	55	60	100	110
						(復動)	(復動)

§ 5 施工上現れた Z 型鋼矢板の特徴

この工事は前記作業実績表の通り必ずしも能率よく進められたという事は出来ないが、吾々が初めて Z 型を使用してみて発見し又体験したことを二三報告したい。

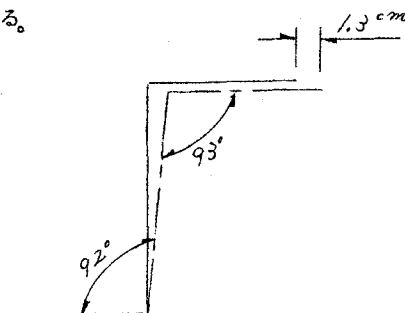
(1) 輸送集積方法

Z 型という非対称形の故に荷役輸送及び集積の方法については関係者間で屢々協議を行い、慎重を期したがこれについて特に注意を要する点はないものと考えられる。

(2) 傾 斜

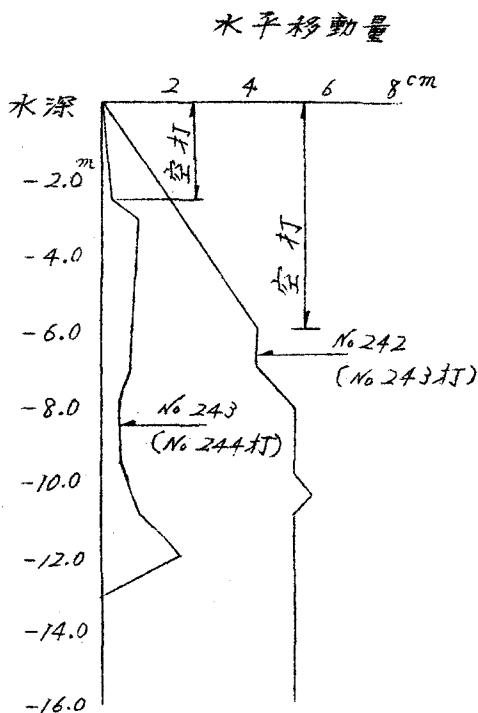
従来の U 型矢板では矢板頂部が打込進行方向に進む状態でみられたが、Z 型では下関港ではこれと同じ方向であるに反し、京浜港では逆方向の現象がみられる。

傾斜の原因は勿論水平力であるが打込の前後にウェブとフランジの交角に変化がみられ、その一例は図の通りであるが地中に貫入された部分にはこの変化はないのでこの場合の傾斜は $1.3/2000$ となる。



この傾斜矢板に鉛直打撃力を加えると水平分力が生じこれが上記矢板形状の変化を起し傾斜を助長することになる。

矢板傾斜の状態を現地で観測すると傾斜が新しく生ずるのはハンマー空打の時で、矢板頂部の水平移動量の一例を次に掲げる。



矢板傾斜に対しては次の措置をした。

- (a) ハンマーを傾斜させた斜め打ち
 - (b) 異形矢板の使用
 - (c) 矢板先端を 45° 方向に切断
 - (d) 矢板頂部の変形止めに $\square$ 鉄板の溶接
- (c) については効果は認められなかつたが、(a)(b) は当然であり、(d) が最も経済的且つ簡単で効果的であつた。

(3) 回 転

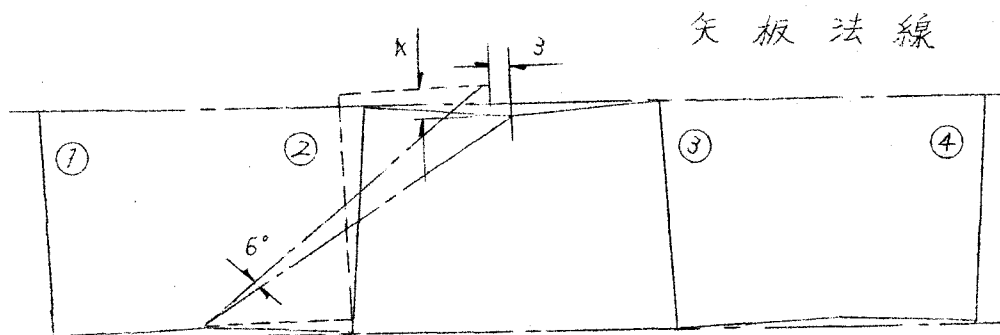
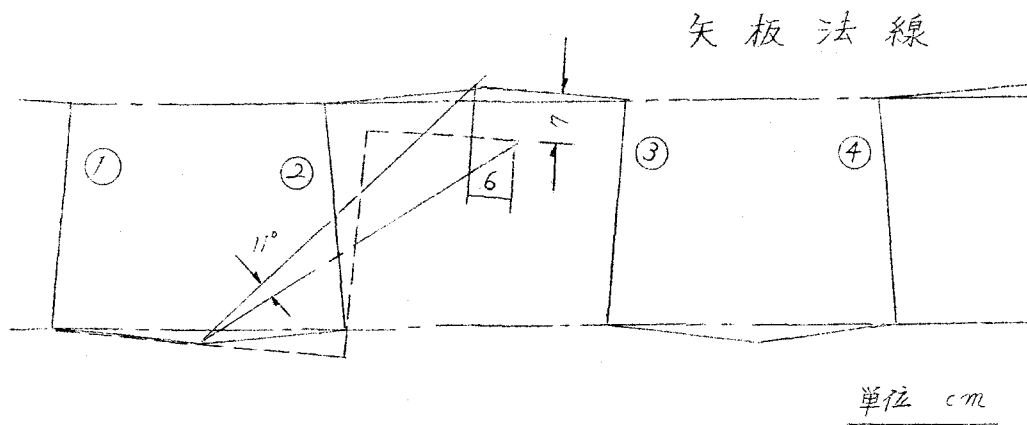
矢板 1 枚打込完了後観察すれば次の理由で噛合つたグリップを軸にして回転していることが認められた。

(a) グリップ摩擦抵抗が著しく建込に際して回転せざるを得ない場合。

(b) 正常に建込まれても打込途中自然回転している場合。

(a) は正常な建込みに努めてもグリップ形状が不揃いであるためそれが不可能なものでこの点は現在では改善されたが、(b) は非対称形の Z 型に原因していると思われるが詳細は不明である。

回転の状態を図示すれば次の通りであるが、これはいずれも最大回転角度で同一方向に起つた場合を表わしたものである。



(4) 法線の伸び

Z型鋼矢板の幅は40 cm で岸壁延長に対して必要枚数は直ちに計算できるが、前記変形又は回転の種々の組合せのために所定延長に対する使用枚数は確定しない。

頂部変形 (+3° のとき)	+ 1.3 cm	
回 転 (反時計に 11°)	- 6 cm	⊕ 伸び
〃 (時計 6°)	+ 3 m	⊖ 縮少

下関港の実績は下の通りで所定延長 183 m に対し 枚が計算上余剰となつた。この原因は時計方向の回転であることは現地施工結果から明らかである。

計算上必要枚数 $N_0 = 183 \div 0.4 = 457.5$ 枚

実際打込枚数 $N = 447$ 枚

余剰枚数 $N = 457 - 447 = 10$ 枚

(5) 矢板貫入の困難性

下関港の地層は別図の通りであるが、これは施工途上屢々行つた調査結果を取纏めたもので、当初調査結果と非常に異つてることが認められる。このため当初の設計計算を再検討することは勿論のこと、部分的な根入不足の場合は増杭又は棚式構造をとることによつて補強した。

矢板の貫入の困難な原因としては次の三つが考えられる。

(a) 硬地盤

地質が極めて複雑であつたため結果として当初の予備調査の不十分なことは認めざるを得ないが転石又は風化岩が比較的浅く現れそのN値は180～200（換算）にもなつて矢板の貫入は困難であつた。Delmag D-22を用いた時貫入可能なN値は最大80と考えている。

(b) グリップ形状

当初の製品がグリップ形状が悪く且つ一枚の鋼矢板全長に且つて一様でないため摩擦抵抗が非常に大きい。従つて地盤の軟い場所では1～3枚の建込みが生じた。

(c) 矢板頂部の変形

屏風打を行つた際仮押えの空打時に前記の通り著しい水平変位（頂部変形）を生じ結果として楔形のものが立並ぶこととなり、これを所定深度まで打込むことの困難性は言うまでもない。従つて屏風打を廃し1枚打を行つた。

屏風打の場所は櫛形の根入状態となつた。

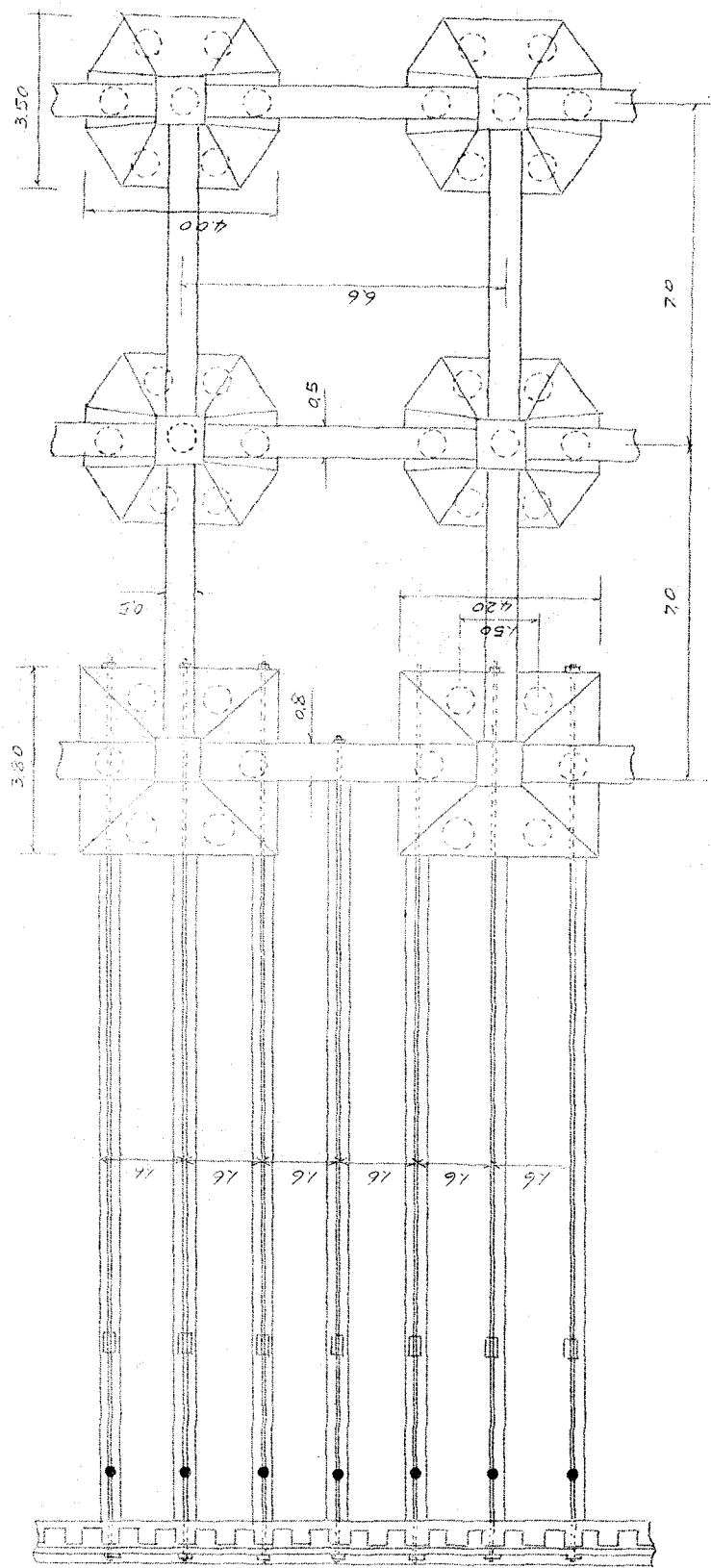
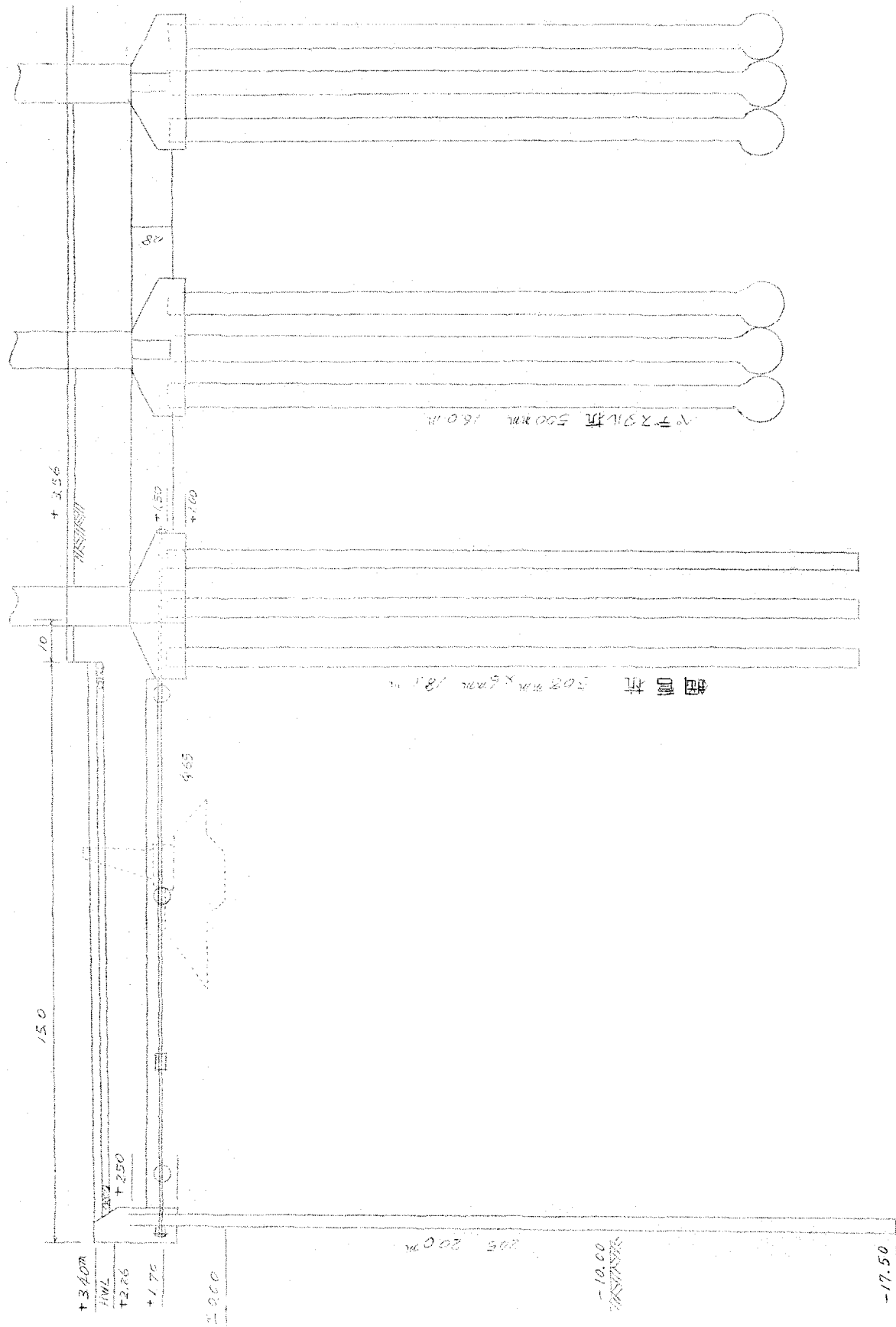
(c) その他

杭打機は Delmag D - 22 一台を使用した。これは非常に強力で打締めには最適であるが建込仮押えにはその力の大きさと機構の故に不適當である。従つてエアー又はスチームの比較的小型のものを別に用意して Delmag を使い分けることが望ましい。

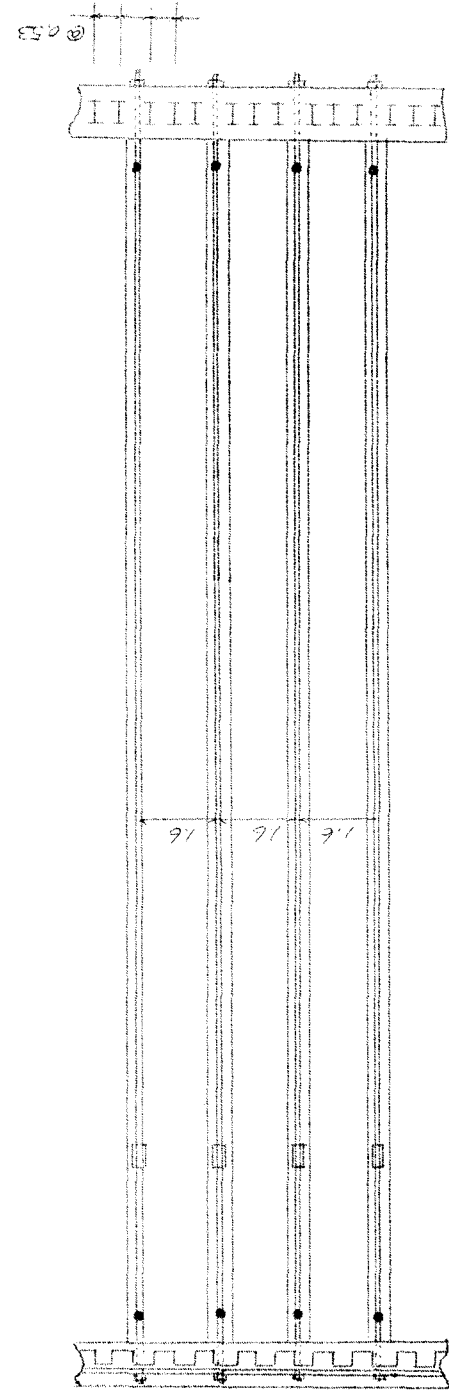
-10.0^m 岸壁構造図 (I)

単位 m

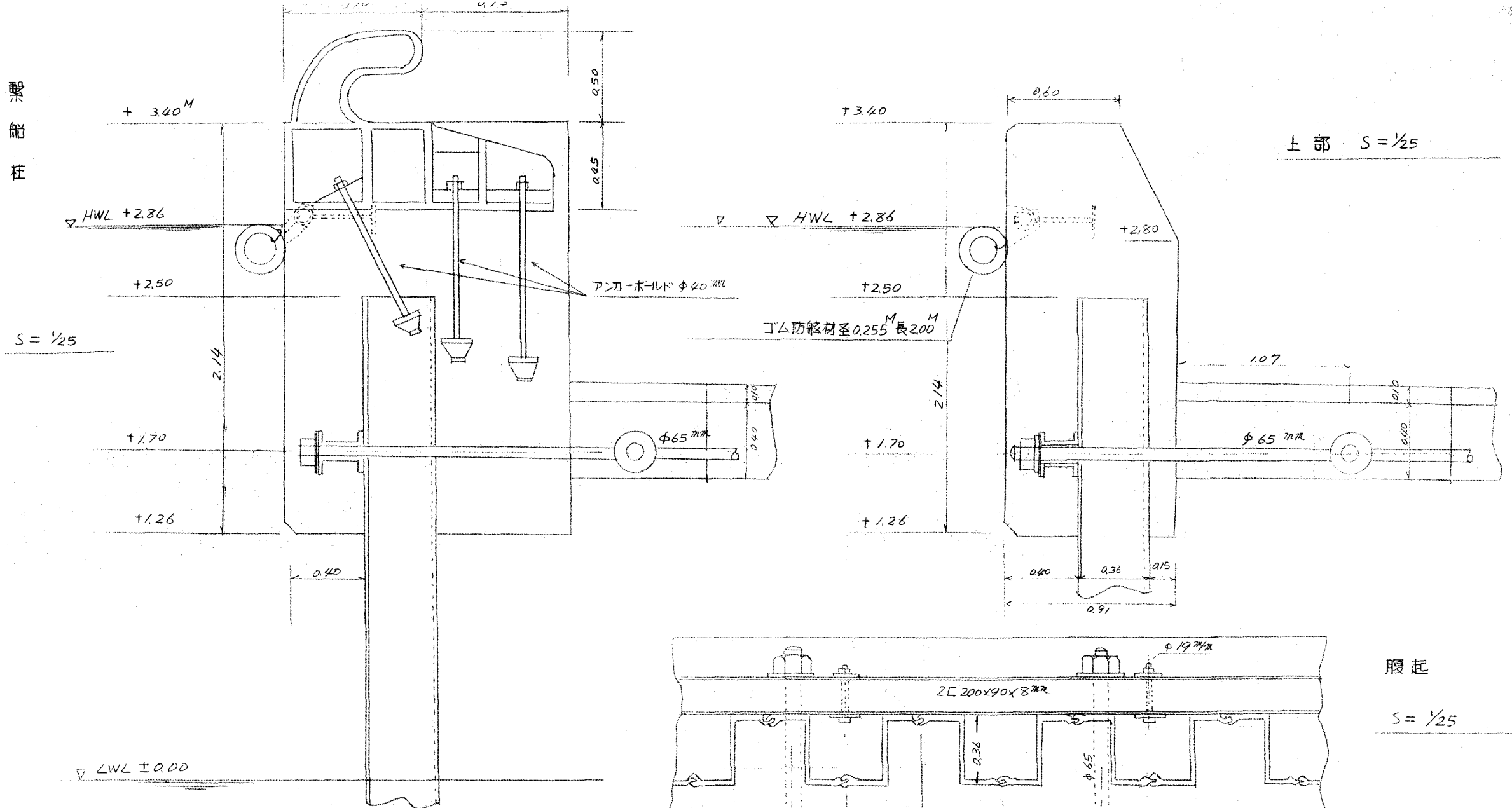
S = 1/50



-10.0m 岸壁構造図(Ⅱ) S=1/150 単位 m



繫船柱



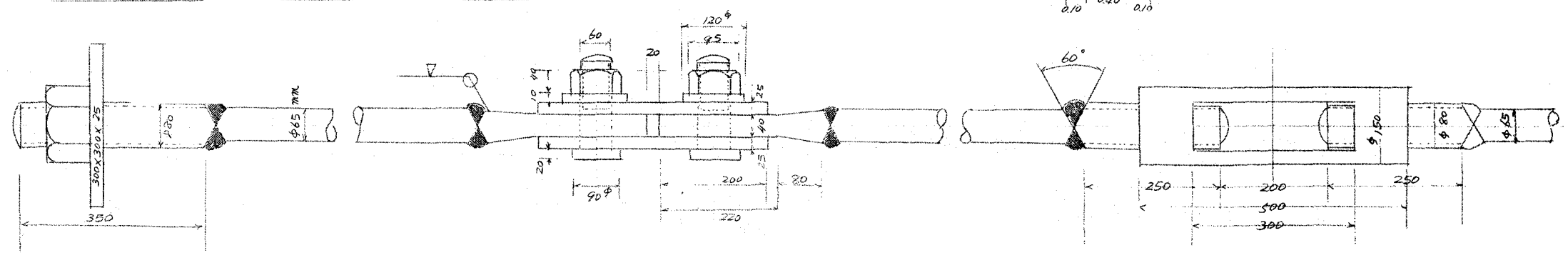
上部 $S = 1/25$

$S = 1/25$

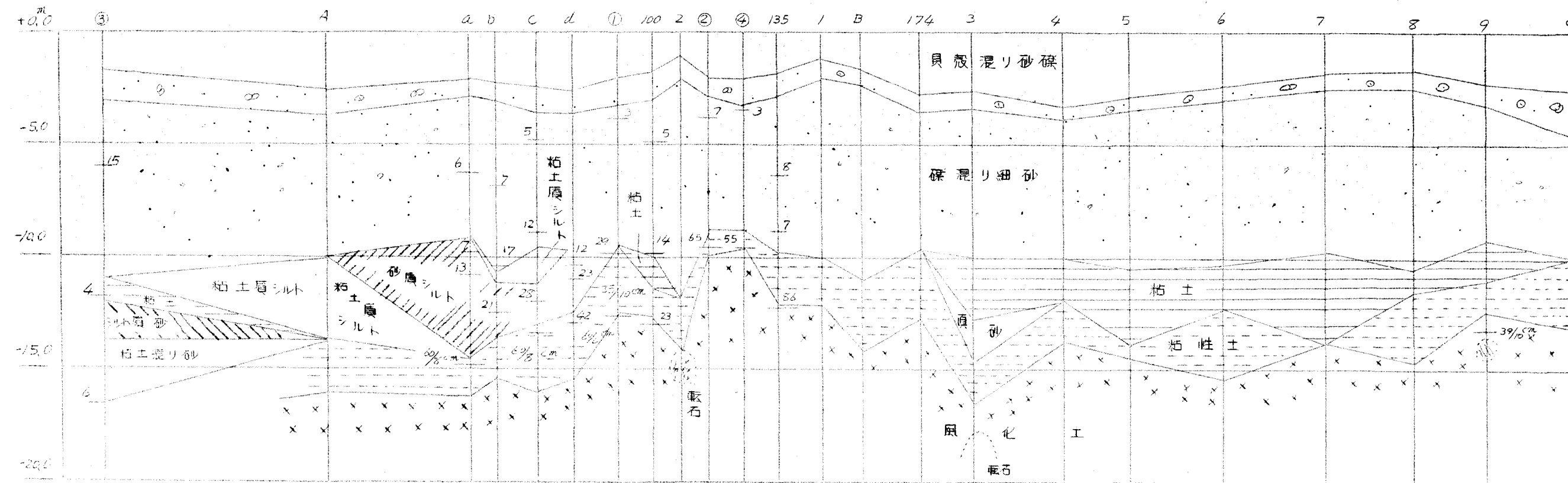
腰起

$S = 1/25$

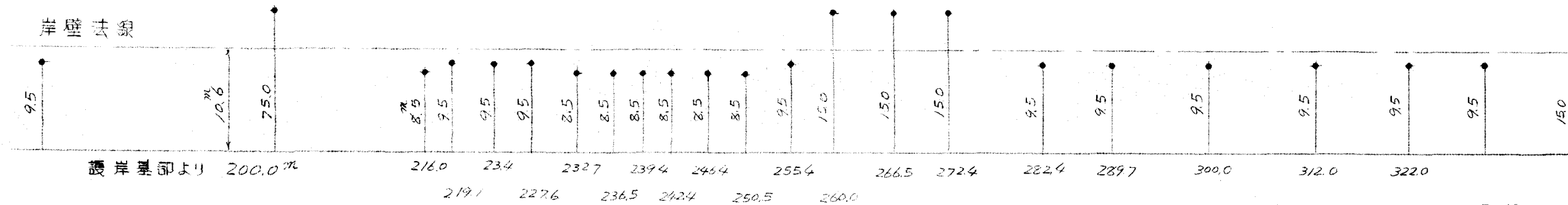
タイロッド $S = 1/10$ 単位 mm



下 関 港 -10.0 m 岸 壁 地 質 成 層 図



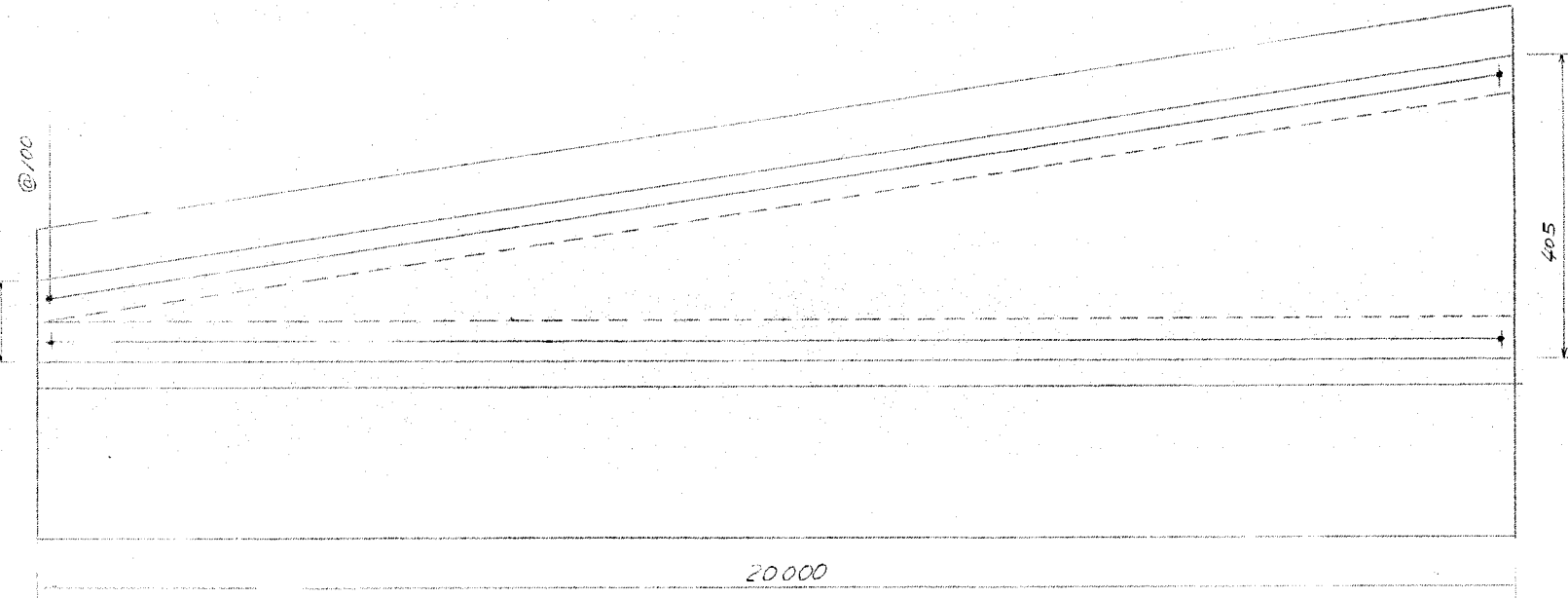
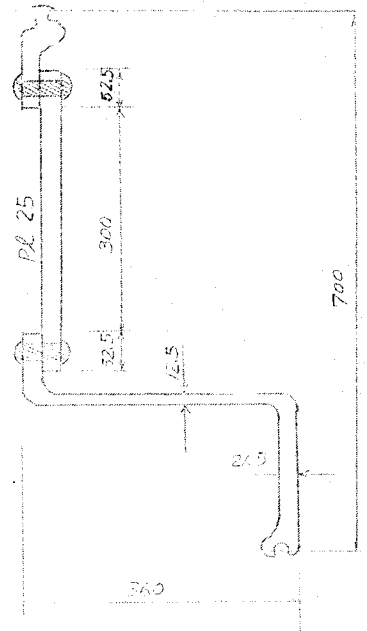
(図中数字はN値)



異型矢板

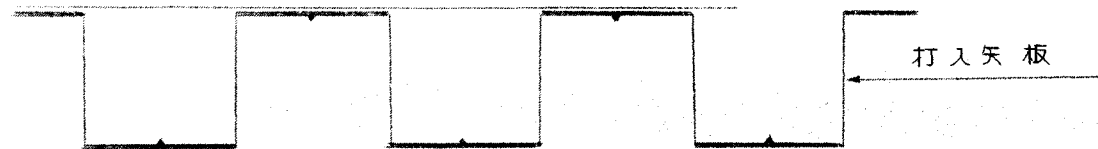
単位 mm

$$S = \frac{\text{縦構}}{Y_{10} / Y_{100}}$$



変形防止

$$S = 1/20$$



矢板先端切断

$$S = 1/20$$

