

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.16 (1984) No.2

---

フィリピンレイテ工業港湾構造物の調査，計画，設計，施工

Industrial Port Development at Leyte in the Philippines

富永 真生(Masanari Tominaga) 榎 豊和(Toyokazu Sakaki) 石田 昌弘(Masahiro Ishida) 細谷 由光(Yoshimitsu Hosoya)

---

要旨：

当社は、レイテ島西海岸に位置する臨海工業地区に付帯する港湾設備の建設を、1981年12月から1984年5月にかけて実施した。岸壁の延長は665mで、60000 DWTの鉱石船から4000 DWTの貨物船が接岸でき、背後の銅精錬所(年産13万t)と肥料工場(年産90万t)の原料と製品の荷役に供する。岸壁は、鋼管矢板と鋼矢板と鋼管杭を主体としたもので、岸壁上には原料アンローダや製品ローダ等の荷役設備が据え付けられた。本報文は、この港湾設備のうち、港湾構造物の調査、計画、設計、施工に関するエンジニアリングの実績と、岸壁の構造特性について報告するものである。

---

Synopsis：

An industrial port complex was constructed on the west coast of Leyte Island by Kawasaki Steel Corporation under a turn key contract. The work was started in December 1981 and completed in May 1984. This port complex has a 665 m long wharf and can accommodate vessels ranging from a 60000 DWT ore carrier to a 4000 DWT general cargo ship. It will handle materials for and products from a copper smelter with an annual capacity of 130000 t and a fertilizer plant with an annual capacity of 900000 t. The wharf structures consist mainly of interlocked steel pipe piles, steel sheet piles and steel pipe piles, and material handling equipment such as unloaders, shiploaders, etc. were installed on the wharf. The report discusses site survey, planning, engineering design and construction aspects of the port development with particular emphasis on the wharf structure.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

|                   |
|-------------------|
| 本文は次のページから閲覧できます。 |
|-------------------|

# フィリピン レイテ工業港湾構造物の調査、計画、設計、施工<sup>\*1</sup>

川崎製鉄技報  
16 (1982) 2, 130-139

富永 真生<sup>\*2</sup> 榊 豊和<sup>\*3</sup> 石田 昌弘<sup>\*4</sup> 細谷 由光<sup>\*5</sup>

## Industrial Port Development at Leyte in the Philippines

Masanari Tominaga, Toyokazu Sakaki, Masahiro Ishida, Yoshimitsu Hosoya

### 要旨

当社は、レイテ島西海岸に位置する臨海工業地区に付帯する港湾設備の建設を、1981年12月から1984年5月にかけて実施した。岸壁の延長は665mで、60000 DWTの鉱石船から4000 DWTの貨物船が接岸でき、背後の銅精錬所（年産13万t）と肥料工場（年産90万t）の原料と製品の荷役に供する。岸壁は、鋼管矢板と鋼矢板と鋼管杭を主体としたもので、岸壁上には原料アンローダや製品ローダ等の荷役設備が据え付けられた。

本報文は、この港湾設備のうち、港湾構造物の調査、計画、設計、施工に関するエンジニアリングの実績と、岸壁の構造特性について報告するものである。

### Synopsis:

An industrial port complex was constructed on the west coast of Leyte Island by Kawasaki Steel Corporation under a turn key contract. The work was started in December 1981 and completed in May 1984. This port complex has a 665 m long wharf and can accommodate vessels ranging from a 60 000 DWT ore carrier to a 4 000 DWT general cargo ship. It will handle materials for and products from a copper smelter with an annual capacity of 130 000 t and a fertilizer plant with an annual capacity of 900 000 t.

The wharf structures consist mainly of interlocked steel pipe piles, steel sheet piles and steel pipe piles, and material handling equipment such as unloaders, shiploaders, etc. were installed on the wharf.

The report discusses site survey, planning, engineering design and construction aspects of the port development with particular emphasis on the wharf structure.

### 1 まえがき

フィリピン政府は自国の工業化政策の一環として、レイテ島西部にレイテ工業地区の開発を進めている。この工業地区には、年産13万tの銅精錬所、および硫酸や燐安などの化学肥料を年間90万t生産する肥料工場が建設されている。当社は、この工業地区に付帯する港湾設備の調査、設計から建設、操業指導までをフィリピン開発庁（National Development Company: NDC）より一括受注し、1981年12月より1984年5月にかけて実施した。

レイテ工業地区は Fig. 1 に示すようにレイテ島西岸のイサベル地区に位置するが、イサベル地区がフィリピン政府により工業開発地区の指定を受けた理由は下記の3点である。

- (1) 同地区より約60 km 東方で建設が進められている地熱発電所より豊富な電力が安価で入手できる。
- (2) 同地区の西側に面する Dupon 湾は水深が深く、天然の良港であり、港湾設備の建設が比較的容易である。
- (3) 工業団地を建設することにより、雇用を促進し、インフラストラクチャーを含めた全島の開発の足がかりとなる。

背後に銅精錬所と肥料工場を有するこの港湾設備で取り扱われる資材は、燐鉱石から銅半製品まで多岐にわたるため、対象船舶と荷役設備の能力に基づいて、Fig. 2 に示すレイアウトの港湾設備が計画された。岸壁の諸元と荷役設備の概要は Table 1 に示すとおりである。

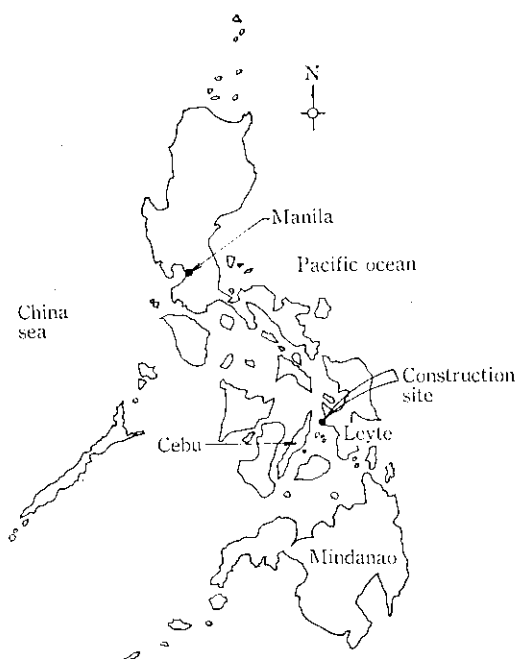


Fig. 1 Project site location

\*1 昭和59年8月2日原稿受付

\*2 エンジニアリング事業部土木技術部主査（現：千葉製鉄所土木技術部長）

\*3 エンジニアリング事業部土木技術部土木技術室主査（課長）

\*4 マニラ事務所主査（課長補）

\*5 エンジニアリング事業部土木技術部土木技術室

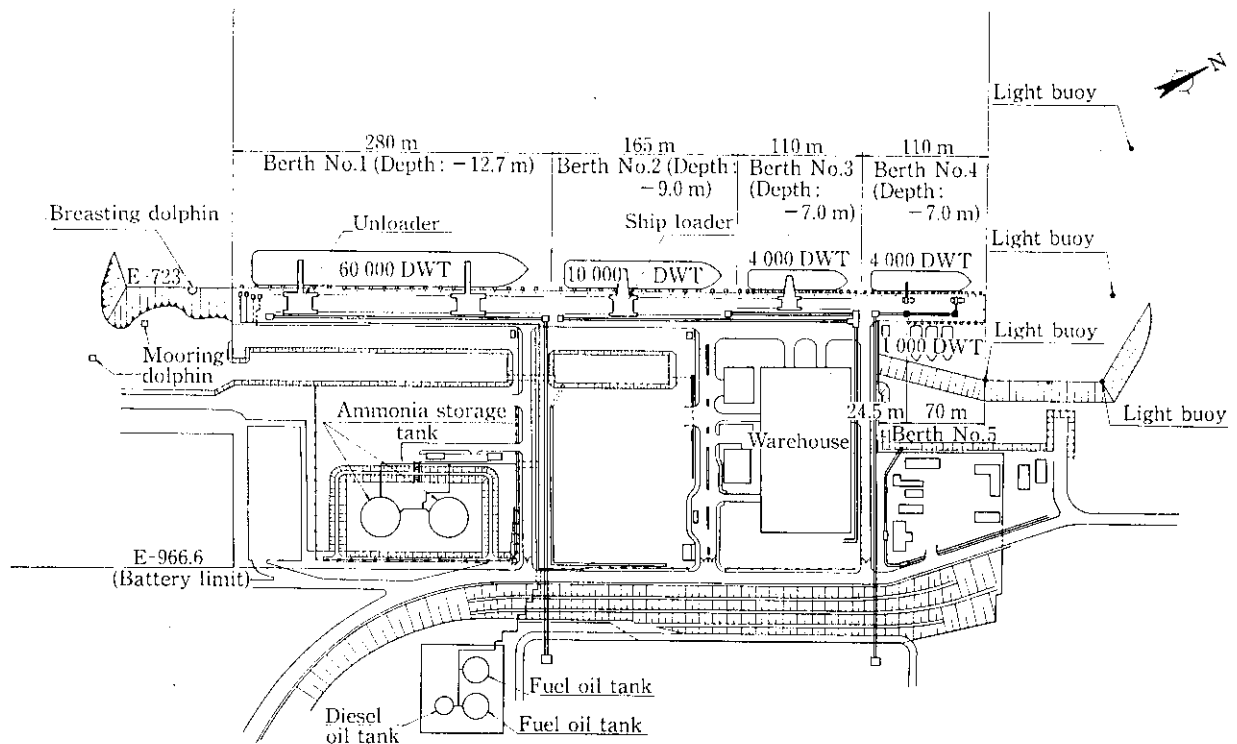


Fig. 2 General layout of port complex

Table 1 Summary of port facility

|             | Dimensions of berth<br>(vessel to be accommodated)     | Loading/unloading facility                                                                                                                             |
|-------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Berth No. 1 | Length: 280 m<br>Depth: EL -12.7 m<br>(max 60 000 DWT) | Bulk unloader (880 t phosphate rock per hour × 2 units) and belt conveyor, loading arms and pipelines for sulfuric acid, phosphoric acid, ammonia etc. |
| Berth No. 2 | Length: 165 m<br>Depth: EL -9.0 m<br>(max 10 000 DWT)  | Bulk/bagged fertilizer loader (300 t/2 000 bags per hour) and belt conveyor                                                                            |
| Berth No. 3 | Length: 110 m<br>Depth: EL -7.0 m<br>(max 4 000 DWT)   | Bagged fertilizer loader (2 000 bags per hour) and belt conveyor                                                                                       |
| Berth No. 4 | Length: 110 m<br>Depth: EL -7.0 m<br>(max 4 000 DWT)   | 40 t mobile cranes (2 units) and belt conveyor                                                                                                         |
| Berth No. 5 | Length: 70 m<br>Depth: EL -4.0 m<br>(max 1 000 DWT)    |                                                                                                                                                        |

本報文は、この港湾設備の建設における港湾構造物の計画、調査、設計、施工、および岸壁の構造特性について報告するものである。

## 2 岸壁構造および位置の選定の経緯

本プロジェクトの発注者である NDC は、当初、港湾設備として鉄筋コンクリートケーソンによる岸壁構造を計画した。本構造の採用理由は、海底地盤は  $N$  値（標準貫入試験値）が 100 以上と硬く、一般的な杭打工法が適用困難と判断されたためである。しかし、当

社のフィリピンにおける工事経験では硬質土がこのような島の浅瀬に分布していた例は少ない。さらに、現地の土質調査会社が行う標準貫入試験において、地盤は実際より硬く評価される傾向にある。土質に関する誤った情報が建設工事に支障をきたした例もあり、この時点で当社は自らの事前土質調査を実施した。その結果、土質は予想どおり  $N$  値が 20~40 の砂質土を主体としたもので、鋼管矢板と鋼矢板による岸壁の建設に適した地盤であることが判明した。

Fig. 3 は当社提案の鋼管矢板による岸壁の標準断面（Berth No. 1）であり、鋼管矢板は土留壁としての本来の目的のほか、アンロードを支持する基礎杭としても併用されている。全長 665 m の岸壁のうち 95 m（Berth Nos. 4, 5）は二重鋼矢板壁構造（Fig. 4）とした。図示のように、この二重矢板壁構造は壁幅/壁高の比（ $B/H=22.15\text{ m}/11.5\text{ m}\approx 2$ ）と十分な幅を取り、鋼矢板セル構造と類似の安定性を確保している。

岸壁背面部の埋立には良質な砂質土が必要であるが、この良質砂の堆積は建設地およびその周囲の陸上部にはなく、岸壁前面水域の浅瀬によらざるをえないことが判明した。深浅測量の結果では、海底地形は比較的複雑であり、浅瀬土を十分に確保するため、岸壁位置は当初の NDC の計画より陸側に 20 m 移した。

以上のような当社の改善計画が、技術面および経済的建設費の両面から評価され採用された。すなわち、土質条件の情報の違いが、鉄筋コンクリートケーソン岸壁構造を鋼管矢板と鋼矢板による岸壁構造に置換させ、その経済的、構造的および施工面からの長所が大いに発揮された点が極めて意義深い。

## 3 自然条件

### 3.1 気象・海象

現地の気温変化は最低 22°C から最高 35°C 程度で、年間を通じ

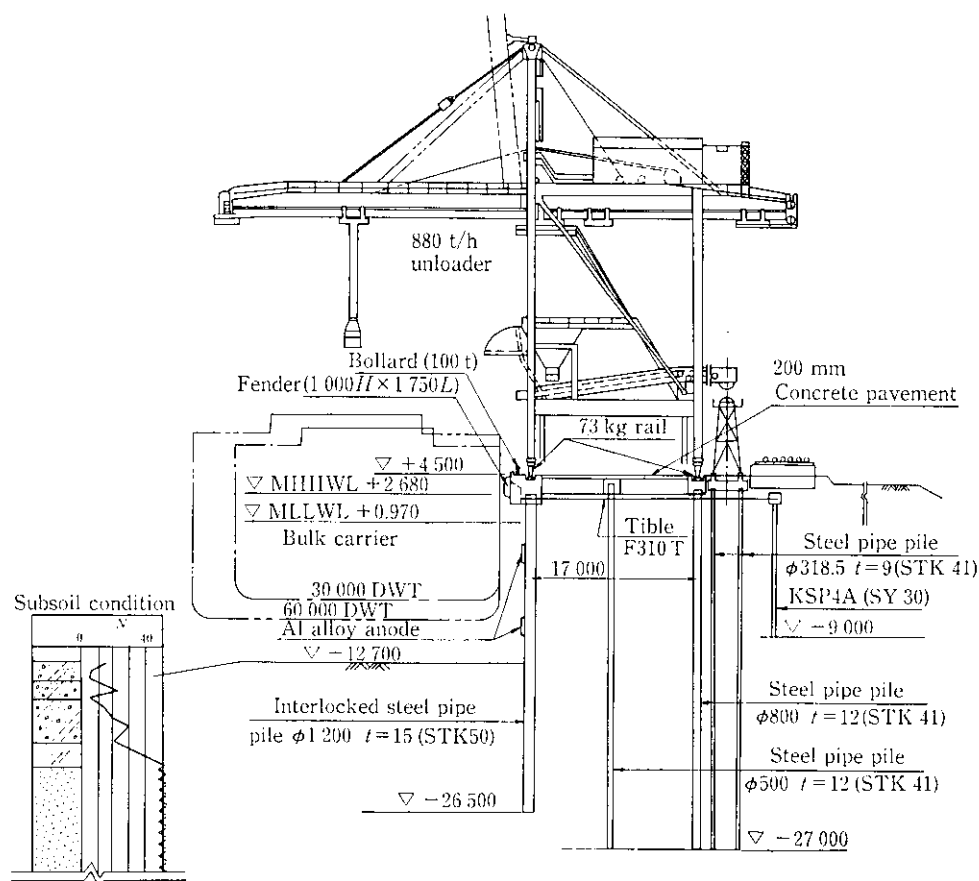


Fig. 3 Typical cross section of wharf structure supported on interlocked steel pipe piles

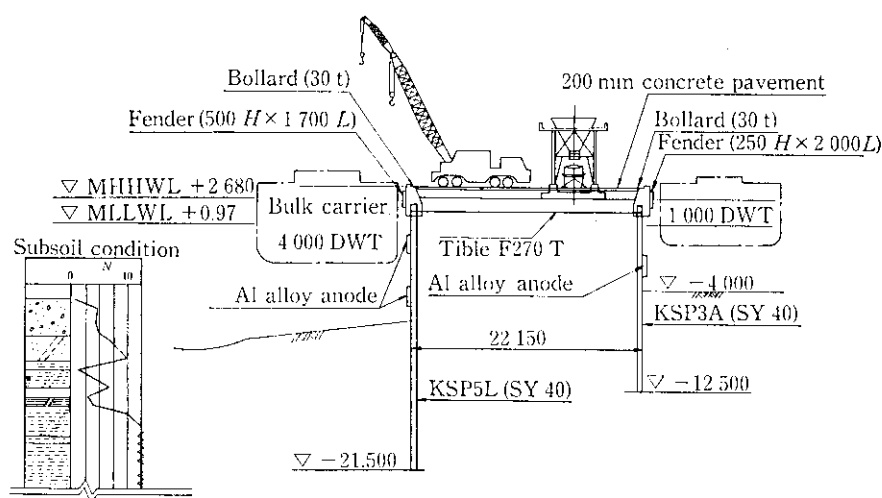


Fig. 4 Typical cross section of sheet pile double wall structure

て平均気温は  $28^{\circ}\text{C}$  といわれている。湿度も年間平均 85% と高く、特に 7 月から 12 月にかけては 90% 近くまで達する。Fig. 5 は現地の銅精錬所における降雨量観測結果を示したものであるが、この地区の年間降雨量は約 2 300 mm で、その大半は 7 月から 12 月にかけての雨期に記録されている。北緯  $11^{\circ}$  に位置するレイテ島は 1 月から 3 月にかけて若干の台風の影響を受けるが<sup>2)</sup>、建設地はレイテ島の西岸に位置しており、同島の中央部を南北に連なる山地により台風の直接的な影響から守られている。

同地区においては、北々西、南々西、北々東方向からの風が卓越しており、このうち 3 月から 8 月にかけて多く発生する南々西の風がセブ島東岸に沿って風波を建設地に吹送する (Fig. 1 参照)。したがって、建設地はこの時期に波浪の影響を受けることが多い。

同地における潮位観測によると、平均低低潮面 (Mean lower low water level) は  $\text{EL}+0.970\text{ m}$ 、平均高高潮面 (Mean higher high water level) は  $\text{EL}+2.680\text{ m}$  である。潮流は  $0.3\sim 0.6\text{ Knots}$  で建設作業や船舶の操船には影響がないと判断される。

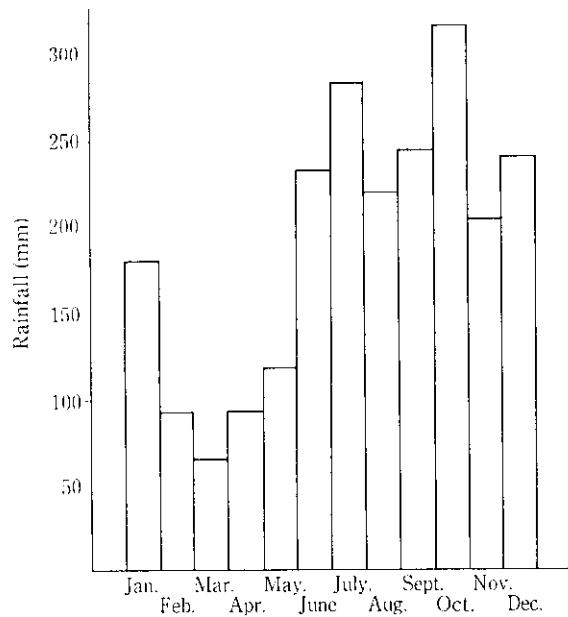


Fig. 5 Mean monthly rainfall (from 1981 to 1982)

### 3.2 地 形

Fig. 6 に示すように、建設地は Dupon 湾と Matlang 湾にはさまれた Sta. Cruz 半島の西側に位置する。この半島の幅は約 1.6 km で南北に沿う海岸段丘が形成されている。建設地の海岸線は 50～

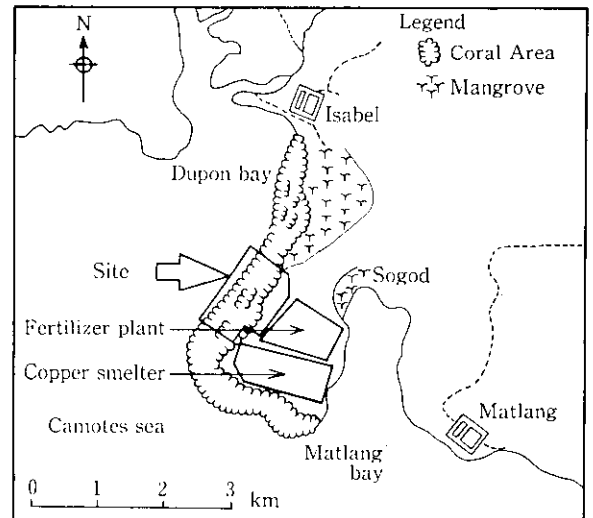


Fig. 6 Location of construction site

100 m 幅のサンゴ礁で形成されており、それより沖は約 1/8 の急斜面となっている。建設地の南端と北端には海岸線に直角に溺れ谷があり、堆積粘性土が分布している。

### 3.3 土 質

建設地の地形は比較的複雑であり、海底起伏が多く、土質条件もかなり複雑であることが予想されていた。計画、設計段階で建設地の土質条件をできるかぎり正確に知ることは、本プロジェクトを計

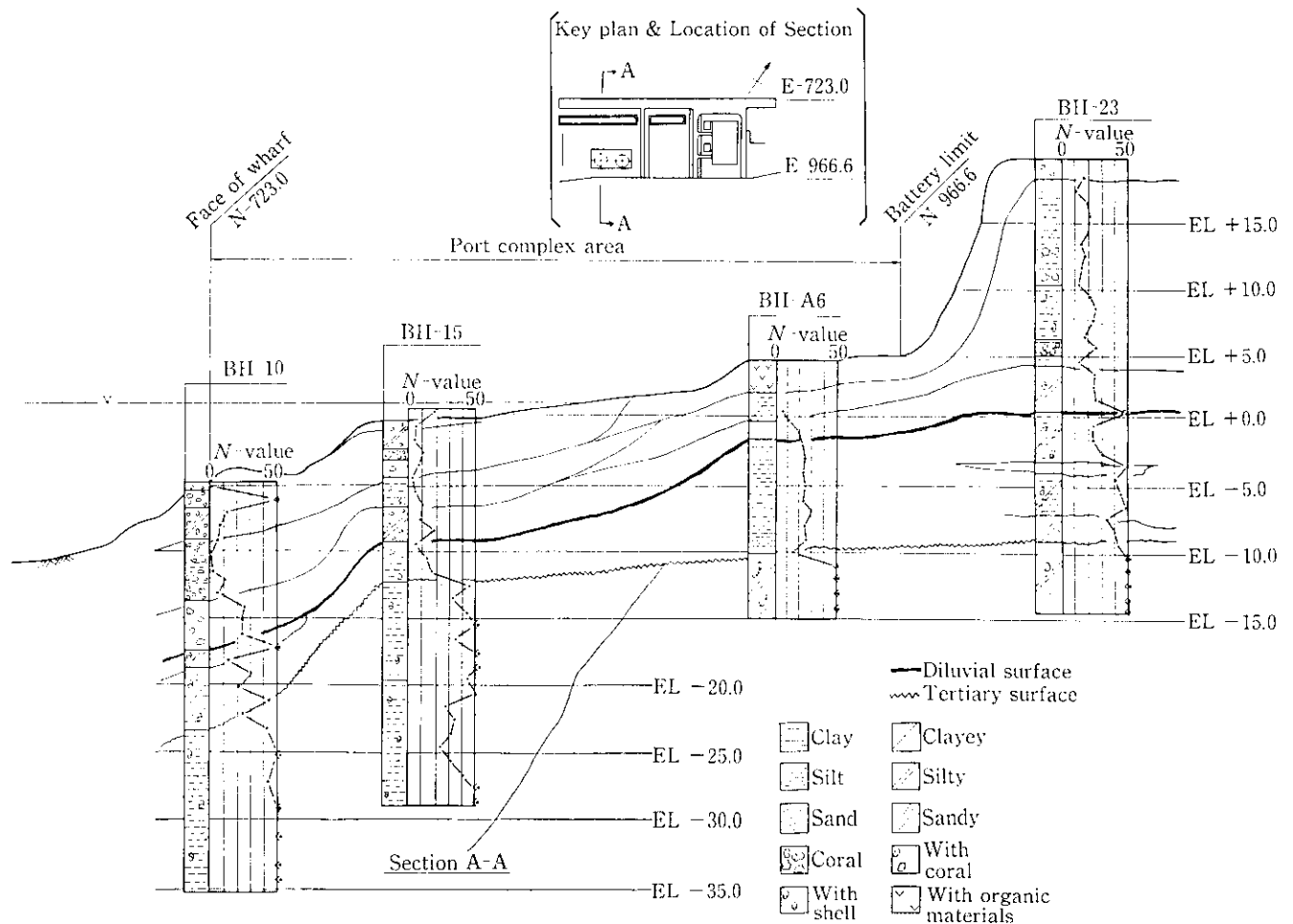


Fig. 7 Typical soil profile

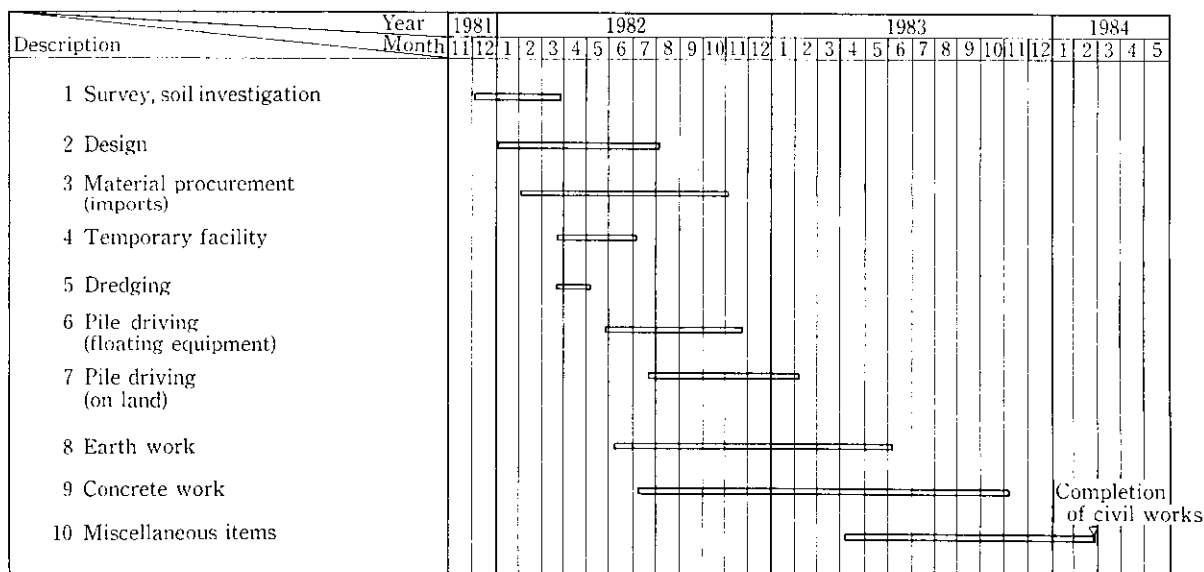


Fig. 8 Project schedule

画どおり進めるための重要な要素であることから、29箇所（延長合計 625 m）の海上ボーリングと5箇所（延長合計 75 m）の陸上ボーリングを実施した。Fig. 7 は土質調査結果の代表例を示したものである。岸壁建設位置では、第三紀層の堆積が EL-20 m 以深で確認され、土質は砂質シルトで  $N$  値も高く、杭基礎に対する支持層として十分である。洪積層は砂分を多く含んだ砂質シルトで、第三紀層の上に 3~5 m の厚さで堆積しており、その上にサンゴを多量に含んだ沖積層が 8~12 m の厚さで分布している。

#### 4 工 程

Fig. 8 は本プロジェクトの工程を示したものである。現地での測量と土質調査は 1981 年 12 月に開始され、翌年 3 月に終了した。設計は 1982 年 1 月から 7 月にかけて行われ、鋼材などの日本からの輸入材料の発注および製作は 1982 年 2 月より開始された。一方、現地では、1982 年 3 月に現場事務所や宿舍などの建設を含めた仮設工事を開始し、同時に浚渫工事も開始した。建設地やその周囲には貨物船が接岸できる岸壁がなく、当初は日本からの建設材料はミンダナオ島にて台船に積みかえて建設地に搬入した。この建設材料の第 1 便は 1982 年 5 月に建設地に到着し、杭打工事が開始された。



Photo 1 Wharf structure under construction

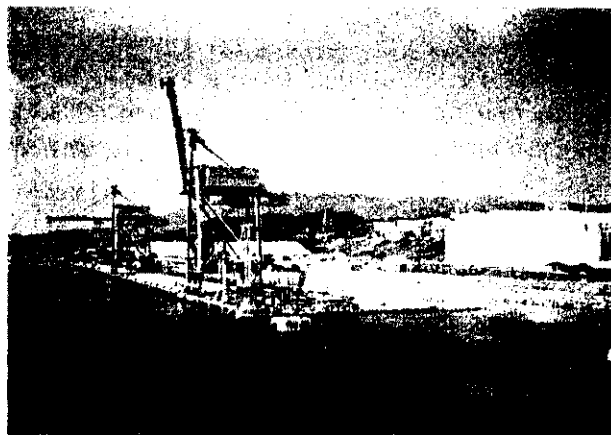


Photo 2 Completed port facility

1982 年 9 月には、岸壁の一部 (Berth Nos. 4, 5) が使用可能な状態となり、それ以降は日本からの建設材料は直接現地に荷揚げ可能となり、鋼管矢板の搬入も開始された。全工期に 27 箇月を費し、1984 年 2 月に本プロジェクトの土木工事は終了した。Photo 1 と Photo 2 に建設中と完成後の港湾設備を示す。

#### 5 現地工事

##### 5.1 工事概要

現地工事は、浚渫・埋立工事、岸壁および護岸工事、道路および排水路工事、荷役設備等の基礎工事から電気防蝕工事や航路標識などの付帯設備工事と幅広く、工種も多岐にわたる。この現地工事のうち、岸壁の建設において主要な項目であった浚渫・埋立と杭打工事およびコンクリート工事の数量を Table 2 に示す。

##### 5.2 浚渫・埋立

浚渫は 4 000 馬力のポンプ船を使用して行った。浚渫工事の目的は、岸壁前面水域および泊地に必要な水深の確保、および岸壁背面

Table 2 Quantities of major items of wharf construction

| Location            | Description                 | Quantity               | Remarks                                               |
|---------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------|
| Berth No. 1         | Interlocked steel pipe pile | 210 pcs                | $\phi$ 1 200, $t$ 14, $L=23.0-33.0$ m                 |
|                     | Steel pipe pile             | 116 pcs                | $\phi$ 318.5, $\phi$ 500, $\phi$ 800; $L=23.5-30.0$ m |
|                     | Steel sheet pile            | 893 pcs                | KSP II, KSP VA, KSP VI; $L=5.0-19.0$ m                |
|                     | Concrete                    | 6 470 m <sup>3</sup>   |                                                       |
| Berth No. 2         | Interlocked steel pipe pile | 151 pcs                | $\phi$ 800, $\phi$ 1 200; $L=21.0-23.0$ m             |
|                     | Steel pipe pile             | 106 pcs                | $\phi$ 318.5, $\phi$ 500, $\phi$ 600; $L=22.0-23.0$ m |
|                     | Steel sheet pile            | 415 pcs                | KSP IIIA, KSP IVA; $L=11.0-11.5$ m                    |
|                     | Concrete                    | 3 510 m <sup>3</sup>   |                                                       |
| Berth No. 3         | Interlocked steel pipe pile | 19 pcs                 | $\phi$ 800, $L=21.0$ m                                |
|                     | Steel pipe pile             | 75 pcs                 | $\phi$ 318.5, $\phi$ 500, $\phi$ 600; $L=22.0-25.0$ m |
|                     | Steel sheet pile            | 459 pcs                | KSP VI, KSP IIIA; $L=11.5-23.5$ m                     |
|                     | Concrete                    | 2 630 m <sup>3</sup>   |                                                       |
| Berth No. 4 & No. 5 | Steel pipe pile             | 2 pcs                  | $\phi$ 318.5, $L=25.0$ m                              |
|                     | Steel sheet pile            | 919 pcs                | KSP IIA, KSP IIIA, KSP VI; $L=10.5-23.5$ m            |
|                     | Concrete                    | 2 000 m <sup>3</sup>   |                                                       |
| Breasting dolphin   | Steel pipe pile             | 8 pcs                  | $\phi$ 800, $L=39.0-40.5$ m                           |
|                     | Concrete                    | 100 m <sup>3</sup>     |                                                       |
|                     | Dredging                    | 290 000 m <sup>3</sup> |                                                       |
|                     | Earth work                  | 330 000 m <sup>3</sup> |                                                       |

Note; Quantities for steel pipe piles and steel sheet piles include both marine installation and those driven on land.

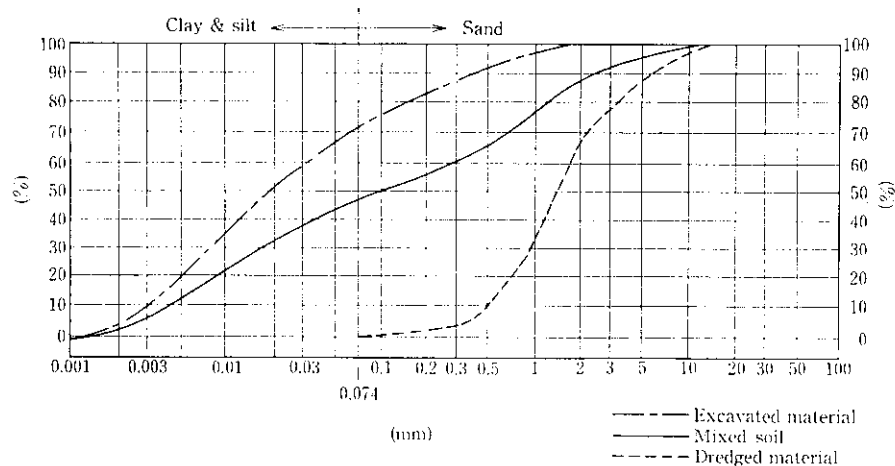


Fig. 9 Grain size distribution of fill materials

部の埋立に必要な良質砂の確保であった。浚渫土量は 290 000 m<sup>3</sup> で、そのうち 180 000 m<sup>3</sup> の良質砂は埋立工事用として陸上に貯留し、残部のシルト質土は沖合いに捨てられた。

浚渫区域内に存在したサンゴ礁の硬さは最大でも  $N$  値 30 程度で、4 000 馬力のポンプ船により十分に浚渫できるものであった。ポンプ船の稼働実績は 16 時間/稼働日で、稼働日における歩掛りは 250 m<sup>3</sup>/h であった。

Fig. 9 は埋立に使用した材料の粒径加積曲線を示したものである。図中 Mixed soil (混合土) とは、浚渫砂と山土を混合したもので、粒径 74  $\mu$  以上の砂分の含有率が 50% 以上となるように考慮

されている。建設される構造物の特徴と重要性に応じて、これらの 3 種類の埋立材料を使いわけた。埋立土量は 330 000 m<sup>3</sup> で、150 000 m<sup>3</sup> の浚渫砂と 120 000 m<sup>3</sup> の混合土と 60 000 m<sup>3</sup> の山土が使用された。

### 5.3 海上杭打工事

岸壁の主要構造をなす鋼管矢板と鋼矢板および鋼管杭の海上杭打工事を工程どおり、かつ精度よく行うことは、本工事の重要課題の一つであった。Photo 3 は海上杭打工事を示したもので、ディーゼルハンマー MB-40 と MB-70 とを土質条件や杭のサイズにより使い

Table 3 Operation records of floating pile driving equipment

|                                                                          | Interlocked steel pipe piles                       | Steel pipe piles                                                           | Steel sheet piles              |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| 1. Dimensions of piles                                                   | 1 200 $\phi \times 15 t$<br>800 $\phi \times 13 t$ | 500 $\phi \times 12 t$<br>600 $\phi \times 12 t$<br>800 $\phi \times 12 t$ | KSPVL                          |
| 2. Length of piles                                                       | $L=21.0\text{--}33.0\text{ m}$                     | $L=22.0\text{--}40.5\text{ m}$                                             | $L=21.5\text{--}23.5\text{ m}$ |
| 3. Quantity of piles                                                     | 380 pcs                                            | 145 pcs                                                                    | 897 pcs                        |
| 4. Calendar days                                                         | 71 d                                               | 21 d                                                                       | 63 d                           |
| 5. Operational days                                                      | 45 d                                               | 14 d                                                                       | 33 d                           |
| 6. Non-operational days<br>(Due to bad weather)<br>(Due to other causes) | 26 d<br>(21 d)<br>(5 d)                            | 7 d<br>(4 d)<br>(3 d)                                                      | 30 d<br>(11 d)<br>(19 d)       |
| 7. No. of piles driven per calendar day                                  | 5.4 pcs/d                                          | 6.9 pcs/d                                                                  | 14.2 pcs/d                     |
| 8. No. of piles driven per operational day                               | 8.4 pcs/d                                          | 10.4 pcs/d                                                                 | 27.2 pcs/d                     |



Photo 3 Driving interlocked steel pipe pile

わけた。Table 3 は、この海上杭打工事の稼働率と歩掛りを示したものである。

杭の打設精度（平面位置）は  $\pm 10\text{ cm}$  を規制値とした。杭の打設に先立って、岸壁法線の延長に測量台を設け、この測量台および陸上測点の 2 測点から杭の位置を測量し、杭打船を誘導した。鋼管矢板に関しては、法線方向の伸び量または縮み量を測定しながら打設を進め、法線方向の打設誤差が規制値を上回った時は、杭打船の油圧式バイルキパーや鋼管矢板間隔の保持用のガイドを調整または改造して、杭打精度を維持した。また杭の支持力は動的杭打データにより管理した。

#### 5.4 コンクリート工事

土木工事に使用されたコンクリートは  $18\,300\text{ m}^3$  で、そのうち  $14\,700\text{ m}^3$  のコンクリートが岸壁部分の建設に使用された。

所要材料は全てフィリピン国内で調達したものであり、現地にバッチングプラント（能力： $30\text{ m}^3/\text{h}$ ）を据え付けてコンクリートを生産した。使用したセメントは普通ポルトランドセメントで、ミンダナオ島とセブ島のセメント工場から専用バージにて直接建設地に搬入した。これらのセメントの化学分析値は日本産のそれとほぼ等しいが、凝結時間は遅く、特に終結時間は日本産のそれより 0.7 時間から 3.5 時間の遅れを示すものであった。圧縮強度も若干低目であ

り、同一の強度を得るためには、日本産と比較して 1.3~1.4 倍のセメント量が必要であった。

骨材は現地より約 60 km 離れた河川より採取した川砂利を素材にクラッシングプラントを用いて生産した。一般的にレイテ島に存在する骨材は、洗い試験損失量が多い傾向を示し、これもセメント量を多くした理由である。

鉄筋もフィリピン国内にて製造されたものを使用した。これらは、ASTM 規格を準用して製造されているものだが、定期的にサンプルをセブ市の大学で検査し、強度など機械的性質を確認した。土木工事に使用した鉄筋は約 800 t で、そのうち 550 t が岸壁の建設に使用され、その加工および組立に平均 26 人×時/t の人員を要した。

## 6 岸壁の構造特性

構造物の安全性を確証し、技術データを収録することを目的として、構造物の施工中または施工後の挙動観測を数種実施した。ここでは、そのうち Berth Nos. 4, 5 の二重鋼矢板壁構造の施工中の挙動と、施工後の岸壁の震動特性について報告する。

### 6.1 二重鋼矢板壁構造

Berth Nos. 4, 5 は Fig. 4 に示すように二重鋼矢板壁構造である。この構造は土と鋼材の合成構造物として多くの利点をもつ自立式港湾構造物であるが、反面他の構造物に比べて柔構造<sup>2)</sup>であるため、特に施工中の安定性には十分留意する必要がある。両側の鋼矢板壁に作用する土圧のバランス、タイブルの強制緊張や波浪が施工中の鋼矢板壁の安定性に影響する。この施工中の構造物の状態を把握し、迅速な施工管理を実施するため、以下の要領で挙動観測を行いつつ対応のうえ、矢板壁間の埋立を進めた。

- (1) 測定項目は、鋼矢板壁の変位とタイブル張力とした。
- (2) 変形は挿入式傾斜計による測定値を、先端を不動点として積分により求めた。なお傾斜計用ガイドパイプは Berth No. 4 側は EL+20.0 m, Berth No. 5 側では EL+18.5 m まで設置した。
- (3) タイブル張力は、2 個のセンターホール型荷重計を測定断面の両側に取り付け計測した。

- (4) 上記の計測を補い、かつ測定断面以外の挙動を管理するため、測量台よりトランシットで法線測量を行い、鋼矢板頭部の移動を計測した。

なお今回施工した二重鋼矢板壁構造は、一般的なものと比較して次の特殊性を有している。

- (1) 海底面が約 1/8 の勾配で傾斜しており、矢板の断面剛性と長

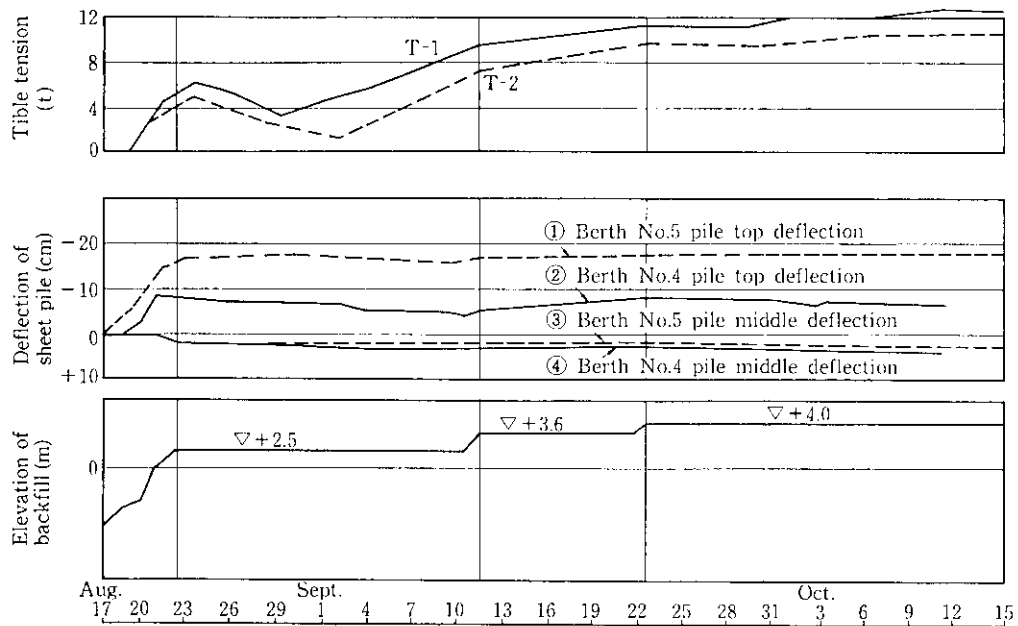


Fig. 10 Deflection of sheet pile and Tible tension of sheet pile double wall structure

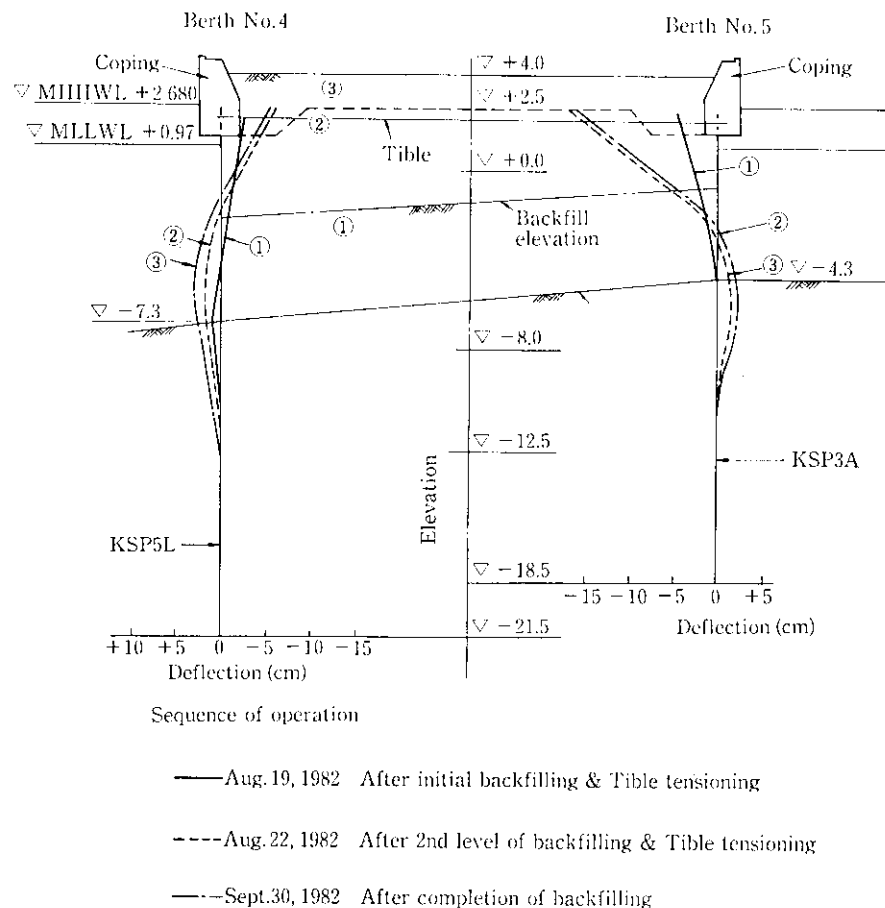


Fig. 11 Deflection of sheet piles of sheet pile double wall structure

さが前面と後面で異なる。

(2) 壁高に比べて壁幅が大きく、壁幅が壁高の2倍近い。

(3) 2列の矢板壁の頭部は、たわみ性の大きいタイプルで締結されている。

Fig. 10 は矢板変位とタイプル張力の経時変化を埋立の進捗と併せて示したものである。Fig. 11 に矢板壁の変位の鉛直分布を示してある。タイプルは一次および二次緊張により強制的に張力を加えられているが、二次緊張以降は埋立の進行に伴う土圧の増加によって張力が増大している。埋立終了後、鋼管杭を岸壁上に仮置きし、約  $5 \text{ t/m}^2$  の上載荷重を課したが、タイプル張力の実測値は  $10 \text{ t}$  および  $12 \text{ t}$  であり、矢板式係船岸の設計法を準用して計算した設計値 ( $65 \text{ t}$ ) を大きく下回った。矢板の頭部は、タイプルの緊張により大きく内側に変形するが、二次緊張以降は埋立が進んでも変化が小さい。これは矢板頭部の変位量はタイプルの強制緊張によって決まり、タイプル自体の弾性変形の影響が小さいことを示唆している。

## 6.2 岸壁構造の震動特性

構造物の振動特性に関する実測データを構造解析にフィードバックすることは、設計の信頼性を確認するために必要不可欠といえる。ここでは完成した岸壁構造の固有振動特性を把握し、その耐震性について言及するため、常時微動の測定を実施した。

測定対象は Berth No. 1, No. 2, No. 3, Nos. 4, 5 の岸壁本体とし、低域振動計 (測定範囲: 周波数,  $0.3 \sim 50 \text{ Hz}$ ; 加速度,  $2.0 \times 10^{-2} \sim 1.0 \times 10^3 \text{ Gal}$ ; 変位,  $2.0 \times 10^3 \sim 1.0 \times 10^5 \mu\text{m}$ ) を各岸壁の中央上部に設置し、同一測定点において加速度と変位を測定した。各ピックアップで感知した振動波形は増幅器を通じてカセットデータレコーダに収録した。データ収録時間は原則として  $3 \text{ min}$  とし、この間波浪や自動車走行およびその他の雑振動の影響ができる限り含まれないよう配慮した。

記録の解析は全てフーリエアナライザーで行い、Table 4 にその結果を示す。同表は常時微動の最大変位、最大加速度、卓越振動数 (卓越周期) を各成分ごとに表示したものである。なお Table 4 の

Table 4 Results of measurements of displacement, acceleration and frequency by microtremor sensor

| Berth No. | Component | Displacement (mm)     | Acceleration (Gal) | Natural frequency Hz (s) |
|-----------|-----------|-----------------------|--------------------|--------------------------|
| 4 and 5   | $H_{N-S}$ | $1.39 \times 10^{-3}$ | 1.8                | 0.63 (1.60)              |
|           | $H_{E-W}$ | 0.005                 | 1.5                | 0.44 (2.29)              |
|           | V         | $2.50 \times 10^{-3}$ | 1.8                | 0.69 (1.46)              |
| 3         | $H_{N-S}$ | $1.19 \times 10^{-3}$ | 1.9                | 0.69 (1.46)              |
|           | $H_{E-W}$ | 0.005                 | 1.8                | 0.78 (1.29)              |
|           | V         | $2.50 \times 10^{-3}$ | 1.8                | 0.69 (1.46)              |
| 2         | $H_{N-S}$ | $1.20 \times 10^{-3}$ | 1.9                | 0.63 (1.60)              |
|           | $H_{E-W}$ | 0.007                 | 1.6                | 0.75 (1.33)              |
|           | V         | $1.74 \times 10^{-3}$ | 1.6                | 0.59 (1.78)              |
| 1         | $H_{N-S}$ | $1.35 \times 10^{-3}$ | 2.1                | 0.63 (1.60)              |
|           | $H_{E-W}$ | 0.007                 | 1.2                | 1.13 (0.89)              |
|           | V         | 0.005                 | 1.8                | 0.56 (1.78)              |

Component は振動測定方向を意味し、 $H_{N-S}$  はバース軸方向、 $H_{E-W}$  は同直角方向、V は鉛直方向を示す。

同表より次のことがいえる。

- (1) 常時微動の最大変位は、各バースでとの差は認められないが、バース直角方向のそれがバース軸方向の4~5倍程度である。
- (2) 常時微動の最大加速度は、バースおよび方向に関係なく、ほぼ  $1.7 \text{ Gal}$  程度である。
- (3) 耐震設計上で最も重要となる固有周期は、バース軸方向では各バースごとの差はなく、ほぼ  $0.65 \text{ Hz}$  であるが、バース直角方向では各バースの構造形式の相違から相当な差が認められる。すなわち、前述したごとく、Berth Nos. 4, 5 は二重鋼矢板壁構造形式であり、他のバースは埋立岸壁形式をとり、シップローダおよびアンローダの基礎としての鋼管杭が打設されており、前者に比較して相当剛な構造となっている。特にそ

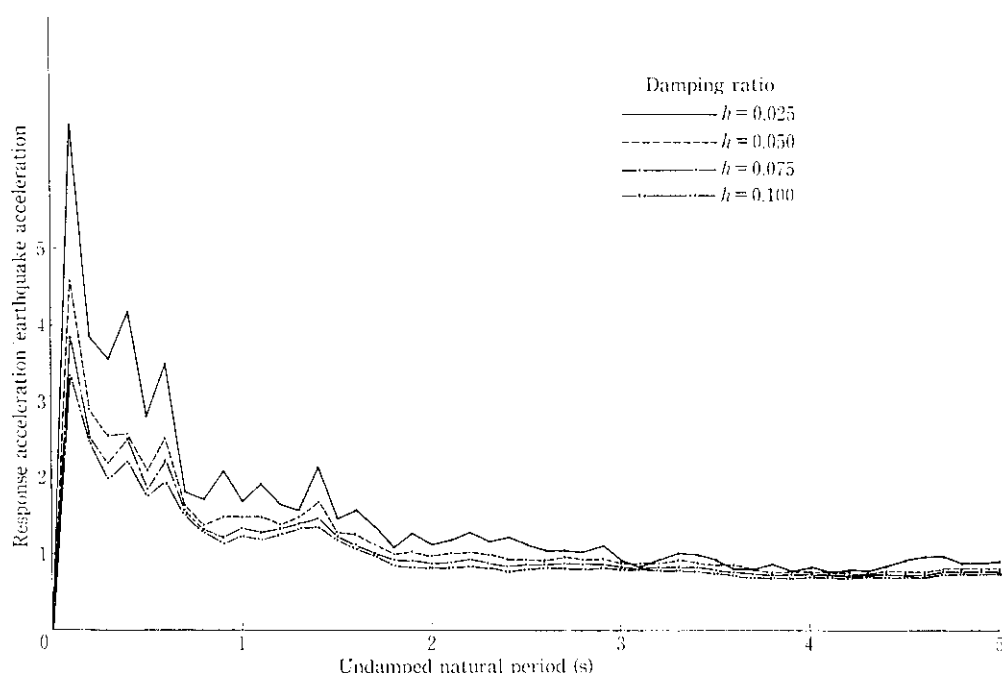


Fig. 12 Acceleration response spectra

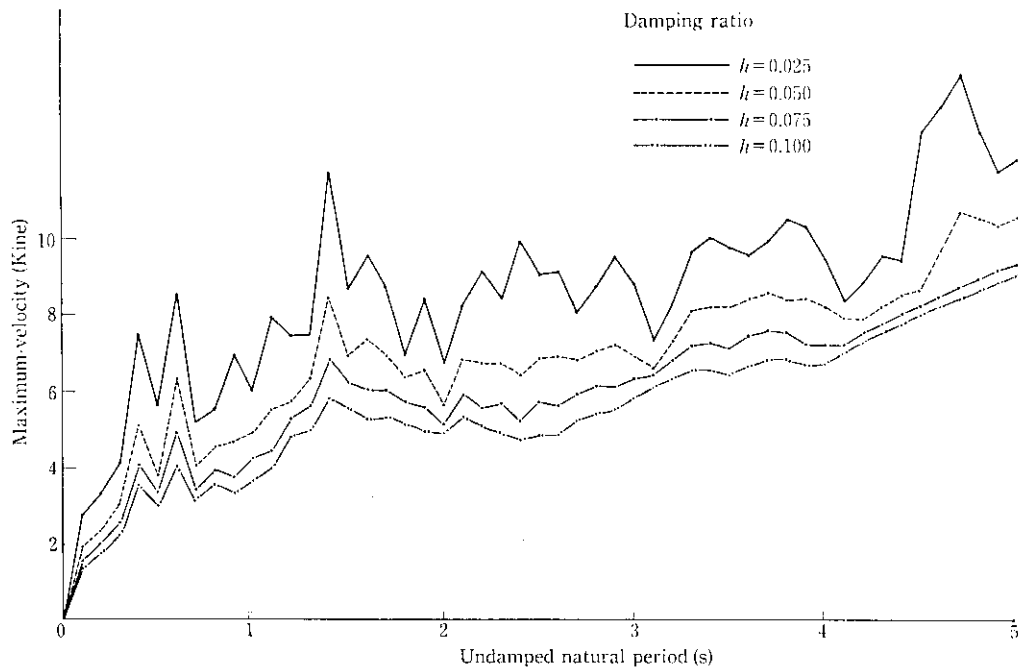


Fig. 13 Velocity response spectra

の傾向は Berth No. 1 に顕著に認められる。

構造物の応答を調べる意味では、実地震の加速度波形を用いて 1 自由度系の加速度および速度応答スペクトルを求めて考察すべきであるが、実地震の加速度波形が得られていない現状から、現地付近の現地盤上で得た常時微動加速度記録に次式の強度特性を乗じた時刻暦の加速度を疑似地震波形として採用することとした。

$$F_0 = t \cdot e^{-\beta t} \dots \dots \dots (1)$$

$t$ : 時刻

$\beta \approx 1.0$

以上の方法で求めた加速度および速度応答スペクトルを Fig. 12 と Fig. 13 に示す。設計上はバース軸直角方向のみ興味があるので、前出の Table 4 の各バースの  $H_{E-W}$  方向の固有周期を Fig. 12 の加速度応答スペクトルに適用すれば、Berth Nos. 4, 5 で 1.05, Berth No. 3 で 1.45, Berth No. 2 で 1.55 および Berth No. 1 で 1.45 となる。このことから構造物の地震時の応答面からみれば、Berth No. 2 が最も応答率が高く、逆に Berth Nos. 4, 5 が最も低

い。すなわち、本プロジェクトにおいて建設された岸壁の中では、二重鋼矢板壁構造の Berth Nos. 4, 5 が耐震性の極めて高い構造といえる。

## 7 結 言

当社は、Philippine Sinter Corporation (PSC) の港湾設備の建設 (1974-1977) 以来、同国にて幾つかの港湾設備の計画および建設を手がけてきた。土木構造物は、現地の自然を対象とした一品生産性と属地的生産要素をもっており、現地の状況に適した柔軟なエンジニアリングが肝要であり、過去において同国にて培ってきた多くの技術的ノウハウが本プロジェクトの成功の基盤になった。

もちろん、本プロジェクトの成功は工事に従事した日本人技術者と多くのフィリピン人技術者の相互理解と協力の上に成り立ったものであり、日・比双方の関係各位に深く感謝申し上げたい。

## 参 考 文 献

- 1) たとえば清水久男, 古谷博明, 榎豊和: 「フィリピン焼結工場 土木構造物のための調査と計画」, 川崎製鉄技報, 9 (1977), 69~82
- 2) R. L. Kintanar: "Tropical Cyclones", (1974), Weather Bureau

of the Philippines

- 3) 荒井秀夫, 高橋千代丸, 石田昌弘: 「二重鋼矢板壁の振動特性について」 土と基礎, 24 (1976) 5, 55-61