

フィリピン焼結工場 土木構造物のための調査と計画

Planning and Designing of Civil Engineering Works for the Philippine Sinter Plant

清水 久男*

Hisao Shimizu

古谷 博明**

Hiroaki Furuya

榊 豊和**

Toyokazu Sakaki

Synopsis:

For its sinter plant construction project in the Philippines, Kawasaki Steel Corporation set out a field survey in the late 1973, with the construction work started a year later.

The plant, located in Mindanao Island, consists of the sinter plant proper, storage yards for iron ores and sinter products, and the sea berth, one of the featuring structures, capable of accommodating 250 000 DWT class ship. For the construction of the sea berth, an elaborate preliminary investigation was required.

This report outlines data on the preliminary investigation related to the civil engineering works, together with planning and designing of the plant centering on the sea berth.

1. まえがき

当社はフィリピンにおいて焼結工場を建設するため、1973年後半から建設現場の調査段階に入った。本計画は Philippine Sinter Corp. (PSC) という新会社が経営主体となり、500万t/年の焼結鉱を生産し当社に輸出するものである。

本報告は建設予定地が選定された後、その計画のための各種資料収集と分析、さらに土木構造物を中心とした技術的諸問題についてその概要をまとめたものである。

建設地は、ミンダナオ島の北部カガヤン・デ・オ

ロ市より東へ30km離れた海岸に面している(Fig. 1 参照)。この地域における土木工学的データが不十分なため約1年間の調査を実施した。本計画は後述のとおり大型鉱石船が着岸するシーバース、18haの鉱石ヤードおよび本工場の建屋と各設備の基礎等が主要構造物であり、なかでもシーバースは対象船舶25万DWTという大型バース(計画水深-23.0m)であるだけに、レイアウトと構造の設計には施工法を含めて十分な検討が要求された。Fig. 2, 3は本計画の平面プランと25万DWT用シーバースの標準断面図であり、Table 1は本計画の概略建设工程を示したものである。

* エンジニアリング事業部建設技術部土木技術室課長
〔昭和51年9月29日原稿受付〕

** エンジニアリング事業部建設技術部土木技術室掛長

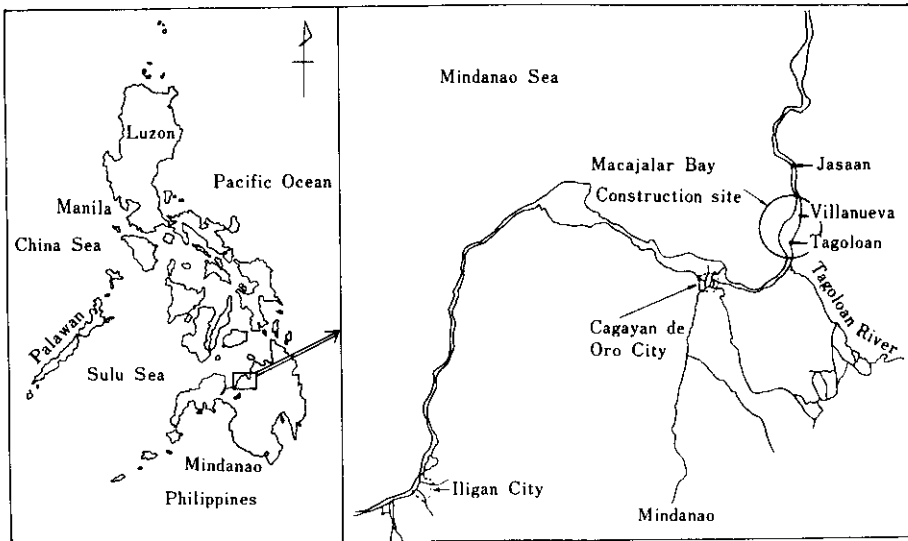


Fig. 1 Location of plant site

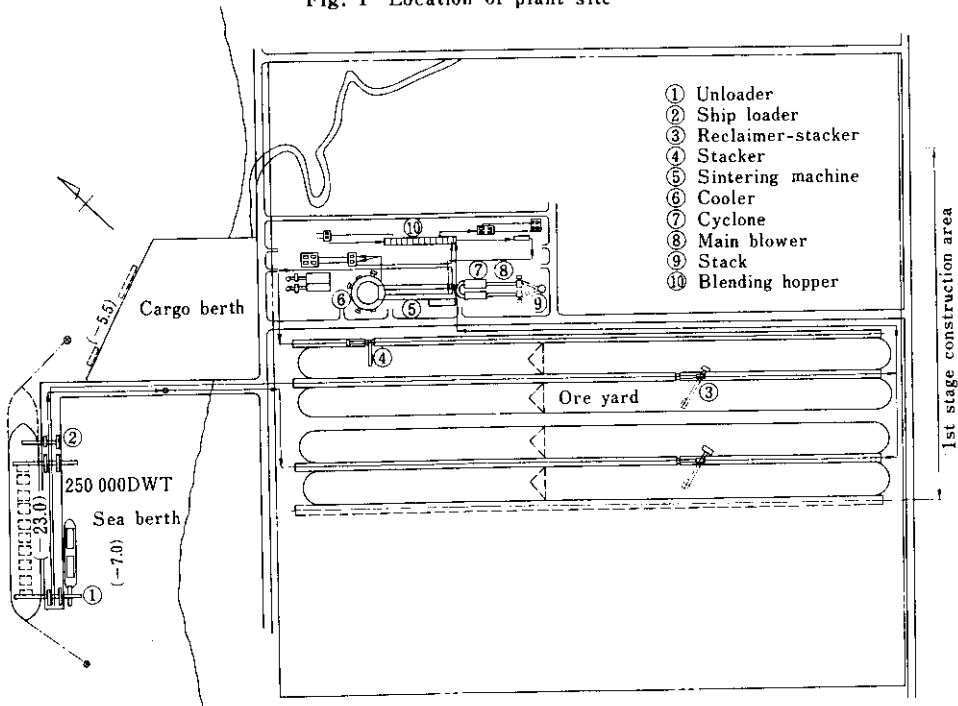


Fig. 2 Plant layout

Table 1 General schedule

	1974	1975	1976	1977
Study & planning	■			
Construction		■	■	
Operation				→

2. 事前調査

2-1 建設位置選定の背景

フィリピン全土から工場用地を選定することは容易なことではない。本来製鉄関連プロジェクト

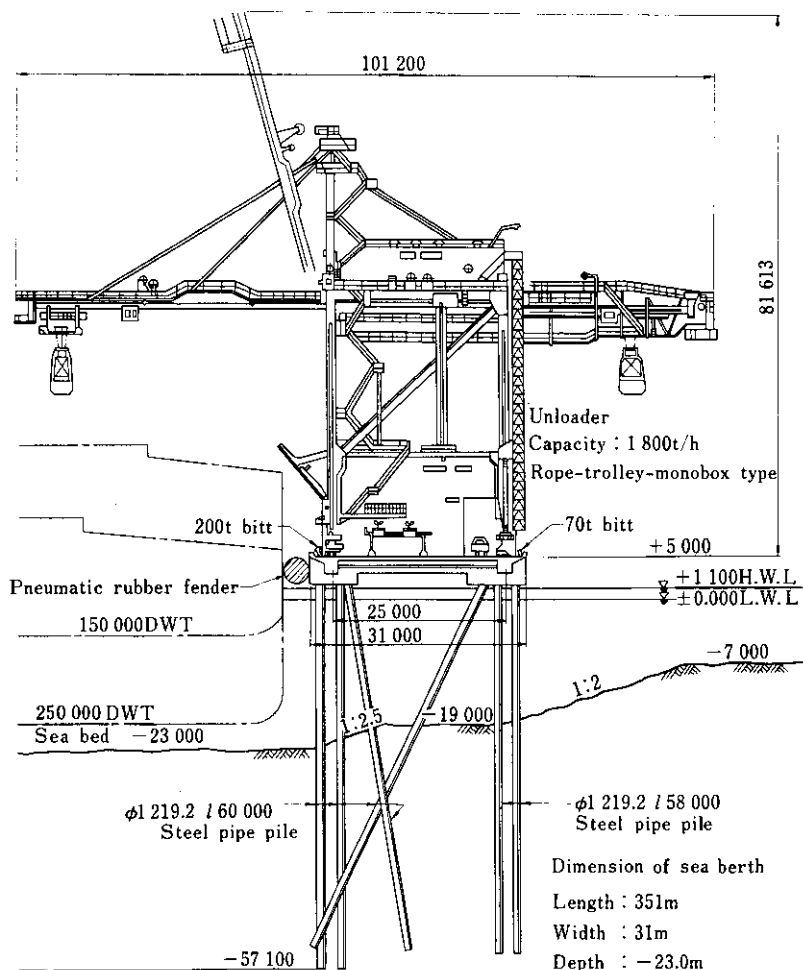


Fig. 3 Standard cross section of sea berth

トの立地条件としては、

- (1) 自然条件
- (2) 用地（地形、用地制度）
- (3) 原料事情
- (4) ユーティリティー事情
- (5) インフラストラクチャー
- (6) 環境事情
- (7) 歴史的慣行
- (8) 労働事情
- (9) 国のマスタープランとの関連

などが基本条件としてあげられる。さらにこの焼結工場は、原料が海外から日本へ輸送される過程でフィリピンの豊富な石灰石を利用し鉱石をシン

ターに加工するという中継地的な役割を持つことも考慮しなければならない。

建設予定地はフィリピン政府の工業化政策にもとづく重工業地帯候補地の一つであったことにもよるが、さらに次のような好条件にも恵まれていることが立地決定の理由になった。

- (1) 港湾水域の静穏度が高く、大型船に必要な水深を容易に得られる。
- (2) 日本への大型鉱石船航路からあまり離れていないので、大型船舶の航路が確保できる。
- (3) 台風による影響が少ない。
- (4) 工業地域としての拡張が期待できる。
- (5) 水力発電による低コストの工業用電力が得ら

れる。

(6) 対岸のボホール島に良質の石灰石が豊富に埋蔵されている。

(7) 良質の工業用水が手近に豊富に得られる。

(8) 比較的教育レベルの高い労働力が十分にある。

調査は1973年後半より約1年間、予備調査(資料調査)、現況調査(現地踏査)、本調査の3段階で進められた。本調査の内容は、

- (1) 地形および深浅測量
 - (2) 土質調査(音波探査およびボーリング)
 - (3) 試験ぐい打ち工事
 - (4) 水質および揚水試験
 - (5) 潮流調査
- などが主たる項目である¹⁾。

2.2 建設地点の気象、海象

ミンダナオ島はフィリピンを構成している7000を超える諸島のうち最も大きな島であり、建設地点は北岸のミサミスオリエンタル州カガヤン・デ・オロ市から約30km東のヴィリオヌエバ市にある。北緯10°以南に位置するミンダナオ島は、Fig. 4にみられるように台風が通過する区域の南方に外れており、熱帯性低気圧の発生期から発達期にかけての冬期に若干台風の影響を受ける程度で、フィリピン全土から見ると比較的平穏な地域といえる。

カガヤン・デ・オロ市における風向は、Fig. 5に示すように風速5.0m/s以上の分布ではN, S, SW, NWが多い。

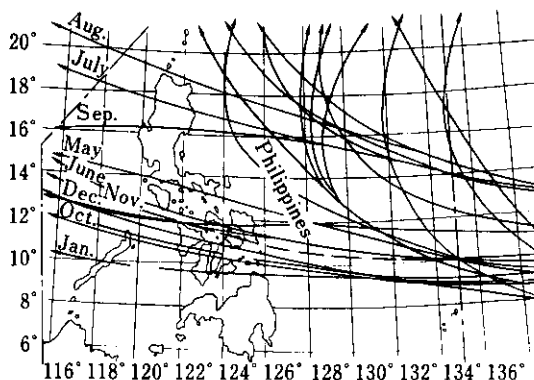


Fig. 4 Tracks of tropical cyclones affecting the Philippines during 1973

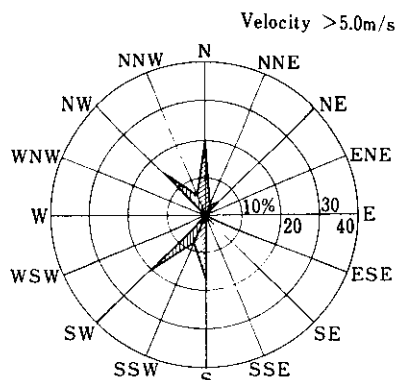


Fig. 5 Yearly wind direction during 1974

降雨量はFig. 6に示すように年間1500~2000mmで6~12月が一般的に雨季とされている。降雨日数も50%以上と非常に多いが、ほとんど午後から降りだすスコールである。前述の風向SおよびSWの風は主にこのスコールにともなう陸風である。

建設地の基準面はFig. 7に示すようにM.L.L.W.L (平均低潮位)を基準とし、1951~1973年のフィリピン政府機関発行の潮位資料から算出したものであり、そのうち異常高潮位は+1.41m、異常低潮位は-0.46mと記録されている(岡山県水島港では、H.W.Lは+3.29, L.W.Lは+0.57である)。

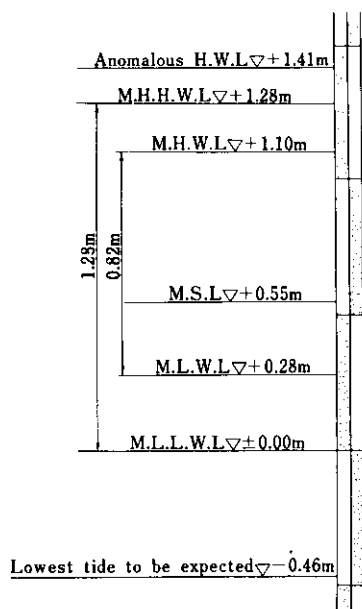


Fig. 7 Datum level of proposed site

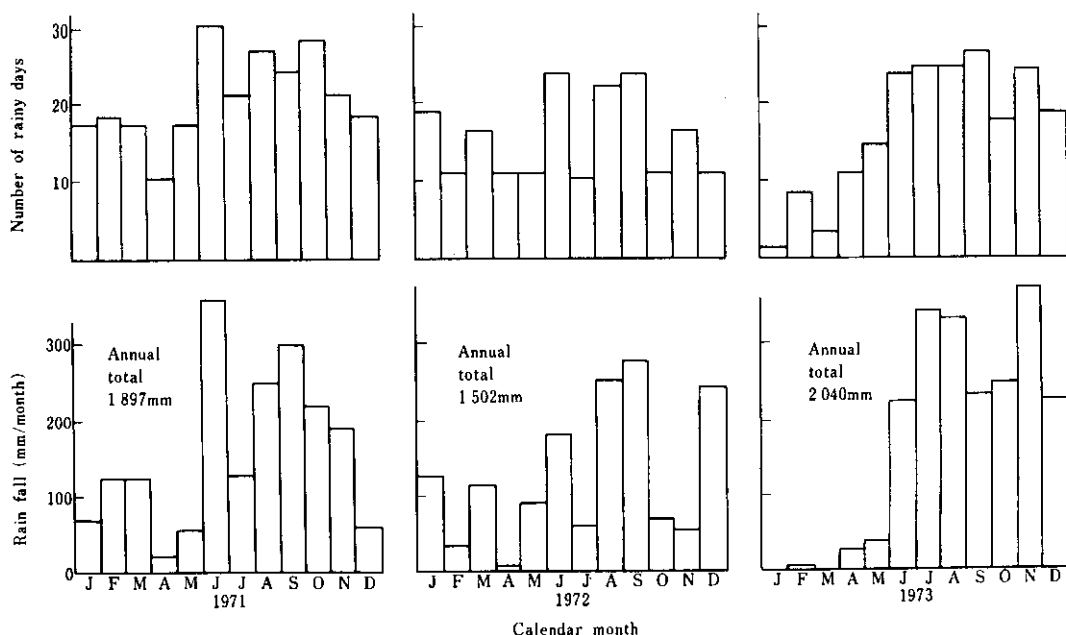


Fig. 6 Monthly rainfall and number of rainy days (1971~1973)

潮流は0.5~1.0ktで、東から西に向かう海流に影響されている。建設予定地で浮子による調査を行ったところ、海から陸に向かって0.3kt程度であり、船舶の操船には大きな影響を及ぼさないことがわかった。

Fig. 8は1862~1918年の57年間における平均

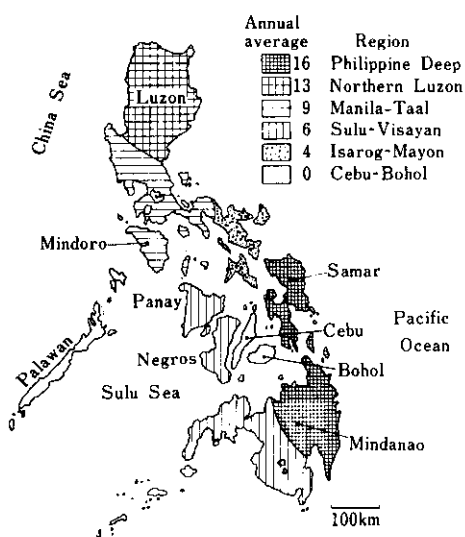


Fig. 8 Annual average of felt shocks in the period 1862~1918 as determined by the Philippines Weather Bureau

年間有感地震の数を示したものである。建設地点を含めてフィリピン海溝に面した地区が比較的地震の影響をうけている。Fig. 9はフィリピン全土における地震係数(=0.1)に対する地域および地盤の種別係数を示したもので、建設地点は $z=1.0$ ~

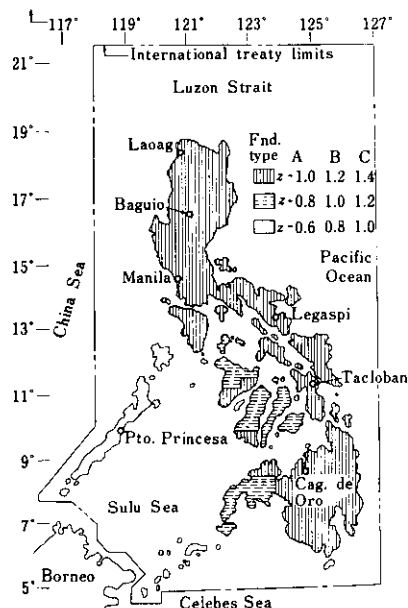


Fig. 9 Recommended seismic coefficients for the Philippines

1.4の範囲で与えられている²⁾。

2.3 地盤構成と土質

2.3.1 陸上の地形と地質^{3,4)}

タゴロアン川下流部平野の主体をなすのはタゴロアン川によって形成された広大な扇状地であり、この扇状地の一角に建設地が位置している (Fig. 10 参照)。タゴロアン川はミンダナオ島の中でも大河の一つであるが、いわゆる原始河川の様を呈しており、扇状地にみられる河川の蛇行がその洪水の歴史をよく示している。

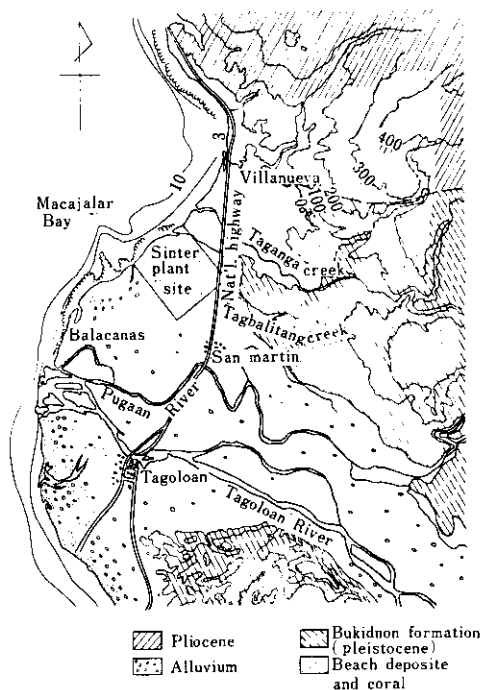


Fig. 10 Location of plant site and topography of surrounding area

タゴロアン川とその西方約 30km を流れるカガヤン・デ・オロ川とがフィリピン全土を南北に貫く構造線 (tectonic line) の一部を形成しているともいわれている。タゴロアン川をとり囲む地域は、海拔 50~75m の北縁から南方へカタングラード山 (火山) の麓へ向かって +800m まで傾斜分布している Bukidnon formation という洪積層 (Pleistocene) で形成されている。本層を構成する物質は化学、物理的性質からみてタゴロアン川

起源になっており、少なくとも海岸に近い段丘の各層にみられる礫岩は火山岩、片岩、蛇紋岩の円礫である。

本地域は地盤隆起が原因と思われる 4 段の段丘 (当然海水準変動の影響を受けているであろう) が広く発達しており、現在の沖積低地は alluvium, swamps, flood plains, river & beach deposit 等と表示される地域である。そして、表面は河川による堆積と思われる褐色粘土 (ロームまたは風化土) が広く分布している。なおこの扇状地より東側は丘陵が海岸に近づいており、この地域は新第 3 系 (Pliocene) の年代に相当する地層で砂質シルト、砂岩が分布している。Fig. 11 は地盤の隆起等による段丘形成の概念図である。Fig. 12 はボーリングの結果にもとづく地層模式図である。

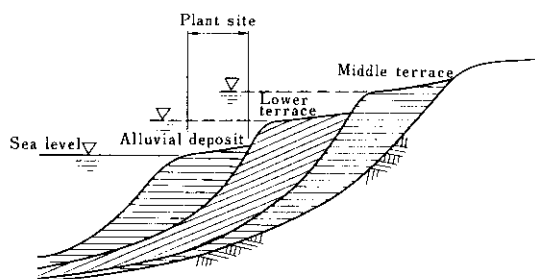


Fig. 11 Arrangement of terrace and alluvial deposit

2.3.2 海域の地形と地質

海域の地形と地質は陸側の洪積段丘と沖積低地が延長しており、海岸線では Photo. 1 および Fig. 13 にみられるように典型的なサンゴ礁である。この地域は平均水温が 28°C 程度でサンゴが生育する好条件がそろっている。露出している beach rock は、サンゴの破碎片、砂、砂利および若干のシルトが混り、サンゴの石灰質物質が沈澱して固結したものである。Fig. 13 のように海岸線より沖合 100~200m はなだらかであり、それより沖は 1/2~1/3 の急斜面となっている。

シーバースの位置選定には正確な深浅図と地層図が必要であるが、地層の状態を知る資料は皆無で、従来の地形図は 1/50,000 程度のものしかなかった。そこで 1974 年 2~3 月に測深機ならびに音波探査機 (sonic prospecting) によって沖合 300

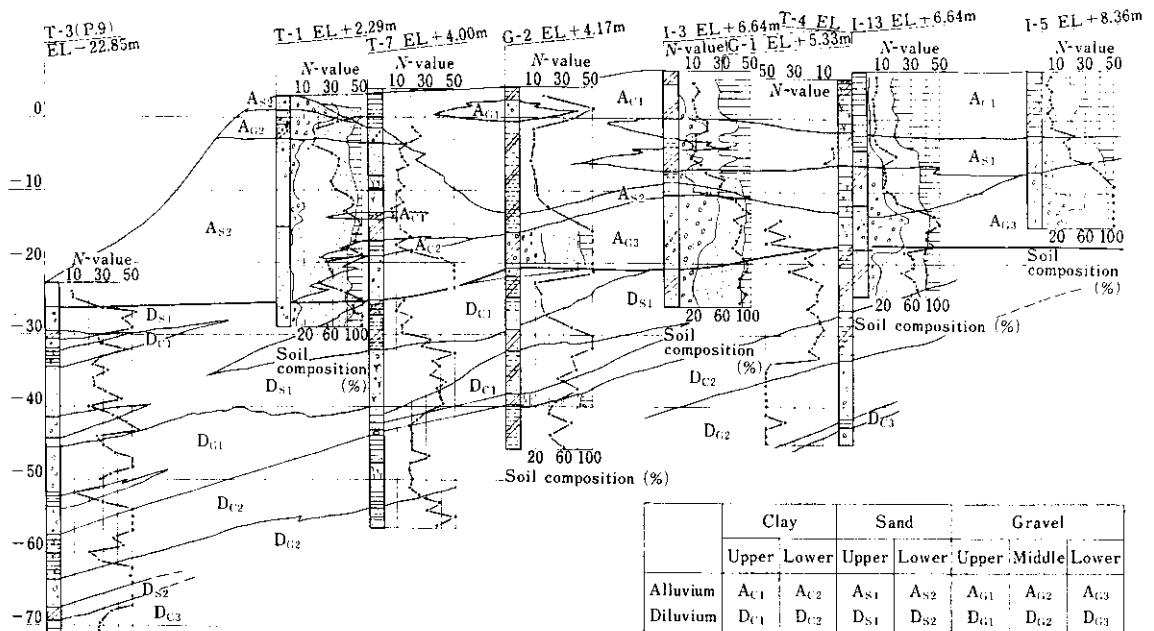


Fig. 12 Soil profile of plant site



Photo. 1 Coral reef, the shore line of proposed plant site

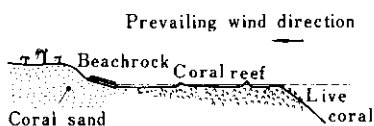


Fig. 13 Coral reef and coral sand

～400m, 延長 2km にわたって海底地形と地層を調査した。音波探査は約 25 年前から主に米国で石油等資源探査の目的で開発され、海底の地質調査の一方法として用いられており、水面で発振し、海底下の各層で反射してきた弾性波を受け、それ

を解析して地層の状態を知る方法である。反射波を解析した結果と対応させるため、調査範囲内に 1 点ボーリングを行いサンプリングと土質試験を行った。隣接陸部の第 4 紀層の基盤は第 3 紀層および火山岩類であるが、海底におけるこれらの基盤の分布をつかむことが海域調査の目的の一つであった。建設予定地の測点結果は上記のような基盤はみつからず相当深いことが明らかになった。Fig. 14 はシーバース建設位置における代表的な海上土質ボーリング結果である。この地点では比較的高い位置(～40.0m 前後)に支持層とみられる洪積層がみつめられる。

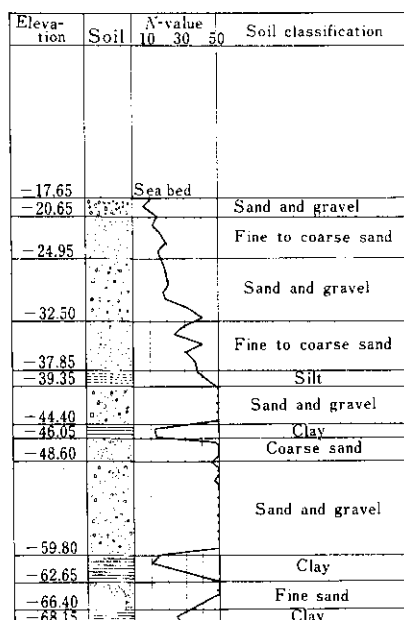


Fig. 14 Typical soil profile of offshore

2・4 水質と揚水試験

焼結工場としての水使用計画は 6 600m³/日であり、1 500～2 000m³/日の能力をもつ井戸を 4 本設置することになった。調査段階では揚水量と水質の問題を確認するためテストボーリング、電気検層および揚水試験を行った。Fig. 15 に地層に応じた電気検層図を例示する。滞水層は洪積層とみられる地層にあり、電気抵抗値が高いことから塩分の少ないことがわかる。水質の特徴は水温が 25°～26℃ と高く、アルカリ度は高いが硬度は 50ppm と低いことである。

3. 設計と施工⁵⁾

3・1 シーバースの位置選定について

Fig. 16 は海域の深浅測量図におけるシーバースの位置を示している。非常に複雑な地形を形成しているため、シーバースの最適な位置選定には全体の港湾機能、将来の拡張計画、そして経済的な建設コスト等の要因を考慮せねばならない。最大対象船舶は 25 万 DWT、前面水深は -23.0m、延長は 350 m とした。船舶の出入港に関してはバース前面が広大な航路となりうるため問題はない。

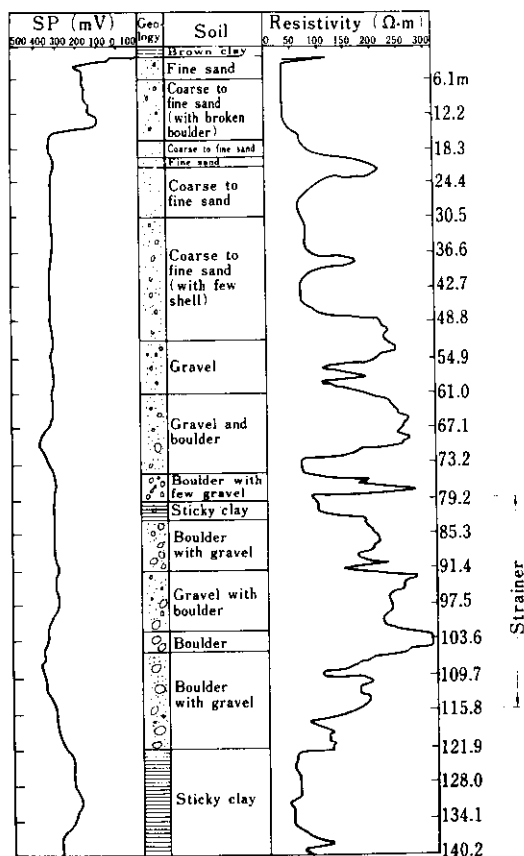


Fig. 15 Result of electric logging

-23.0m 水深のバース位置としては、急傾斜をなす海底の状況から海岸に平行にならざるを得ない。複雑なコンターラインの形状からわかるように、その位置によって施工の難易と将来延長の難易、すなわち現在・将来の建設コストが大きく左右される。たとえば浚渫土量、くい長、陸上への連絡施設延長を必要最少限にできる位置を選ばねばならない。Fig. 16 にこうして選ばれた位置を示し、Fig. 17 はシーバースの平面図である。

さてこのような港湾施設をはじめとして、プラント全体の建設には 5 万 t もの資機材を荷揚げしなければならない。これは周辺の港湾施設の不備と道路事情から考えると専用の資材バースが不可欠であり、水深 -5.5m、延長 230m、対象船舶 3 000DWT の矢板式岸壁を早急に建設し、背後には埋立てによって資材ストックヤードを造成することになった。このバース位置についても浚渫土量と背後の埋立て土量とのバランスから決定した

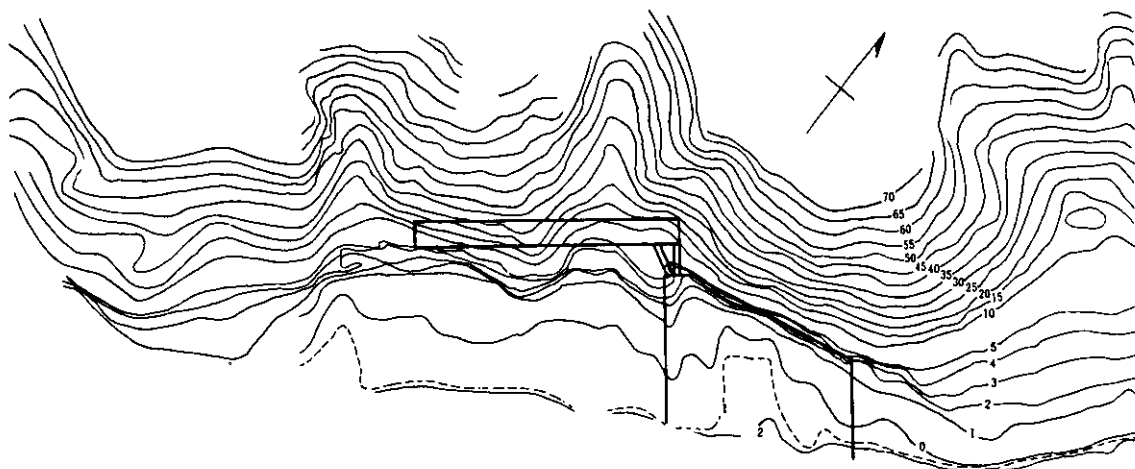


Fig. 16 Topographic map and location of port facilities

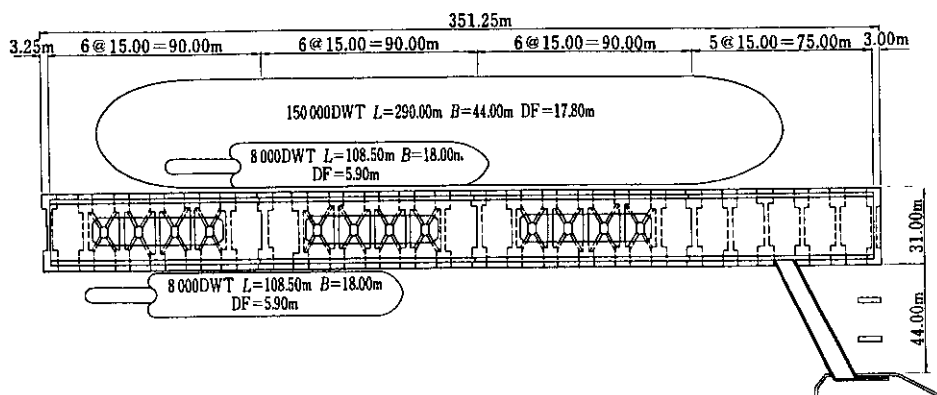


Fig. 17 Sea berth plan

なおこの資材バースは将来共通バースとして一般に開放される予定である。

3・2 大口径鋼管ぐいの設計

シーバースの構造解析は、Fig. 18 にみられるような3次元解析(プログラム名: MARINE-JAST)によって各骨組部材応力を求めている。このプログラムは自重、浮力、地震力、波力、潮流力そして風力を与えれば計算が行える。Fig. 18 はシーバースの1ブロックにおける2基のアンローダーの隣接作業時の荷重条件の一つを示したもので、この場合のぐいにかかる最大軸力は330t (A点)である。

Fig. 19 は、鋼管ぐいの海上載荷試験を行った地

点における土質柱状図である。-40.0m 付近以下が洪積層でいわゆるぐいの支持層とみなされるものであり、グラフはその載荷試験結果である。上記設計支持力載荷力を十分期待してよいことが実測値から確認できた。

開端ぐいの支持力は、ぐい外面に働く摩擦力 F と内面に働く摩擦力 F' および純粋な先端支持力 R とからなる。一般に開端ぐいの先端支持力はぐいの内面に働く摩擦力を介して伝達されると考えられるから、その先端支持力とは $F' + R$ を意味する。近來構造物の大型化にともなって大口径鋼管ぐいによる設計が不可欠になってきたが、特にこの場合の支持力はぐいの閉塞効果(ぐい内部の土が受けもつ支持力が閉端ぐいに比べどれぐらい期待できるかを示す比率)によって左右され、し

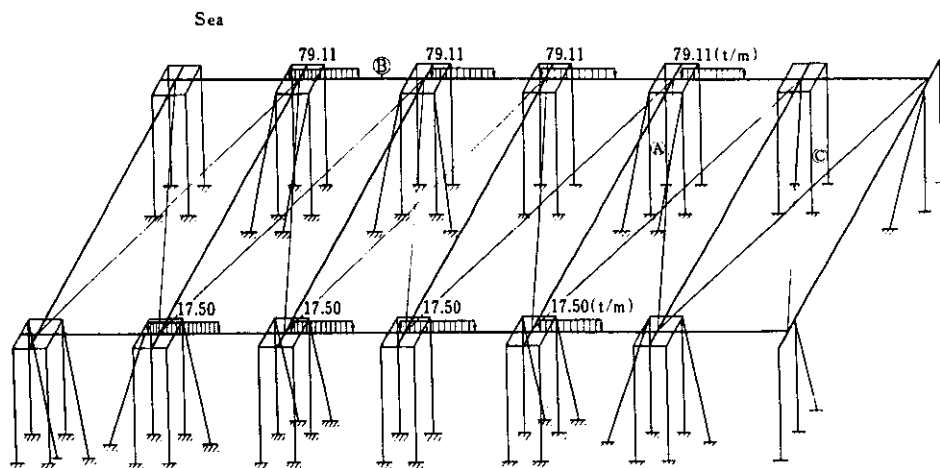


Fig. 18 Skeleton of sea berth and an example of load arrangement

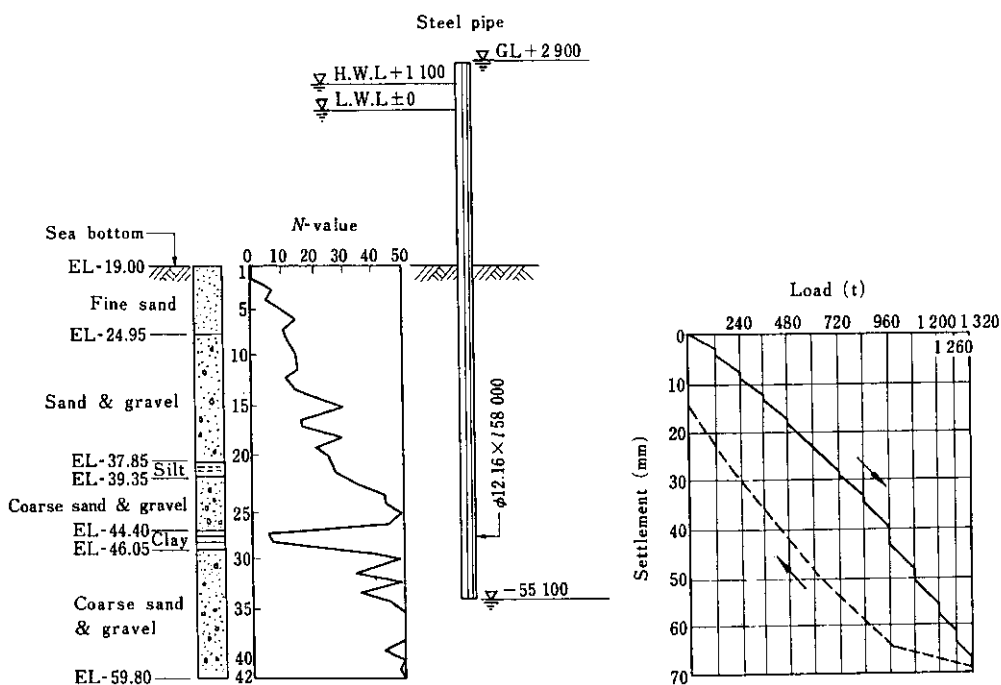


Fig. 19 Soil profile and loading test result

たがって現地の土質性状により適したくい設計を行わねばならない。フィリピンはもとより外国では開端鋼管ぐいはほとんど使用されていないので、今回得られた動的な施工データ、載荷試験結果、現場の土質調査等の資料は、大口径鋼管ぐい支持力機構の解明に貴重な参考資料になるものと思われる。

3・3 長大鋼管ぐいの製作と施工

φ1219.2×160mの長尺ぐいを海上打設するため、次に述べるような問題点を解決した。

3・3・1 日本からのパイプ輸送

日本からの船輸送を前提として、輸送最適長

15mとして現地に荷揚をする。前に述べたが建設地点周辺ではこれらの荷揚設備の能力不足と陸送手段、とくに道路・橋梁の不備から、資材受入バースを先行して建設することが全工程上大きなクリティカル・ポイントになっている。たとえばシーバースの鋼管の溶接を1975年5月より開始させるには、4月末までに資材バースが入船可能でなければならない。

3・3・2 大口径鋼管ぐいの継管加工

Fig. 20 は、資材バースの背面に仮置きされたパイプが製作ヤードに運ばれ、継管加工後海上に移動していく流れ図である。

- 15m ものの鋼管を4本継ぎすることにはいくつかの問題点があったが、次のように解決した。
- (1) 鋼管断面の目違い補正にはリバージョイントAN方式を利用する (Fig. 21 参照)。
 - (2) 60m 継管の直線精度を上げるため、溶接ピットを造り、ターニング・トラック・システムの装置を設ける。
 - (3) 本溶接にはサブマージドアーク溶接法を採用し、ターニング・ローラの上で鋼管を回転させながら溶接姿勢を常に下向きに保持できるように溶接機を設置して確実な溶接を早くできるようにした。
 - (4) 海上へのハンドリングは加工管をキック・アウト・トラックによってストックヤードに押し出し、レール上を転がして岸壁よりクレーン船で海上に搬出する。

3・3・3 海上くい打ち船による施工

鋼管ぐいによるシーバースの構造設計に際して

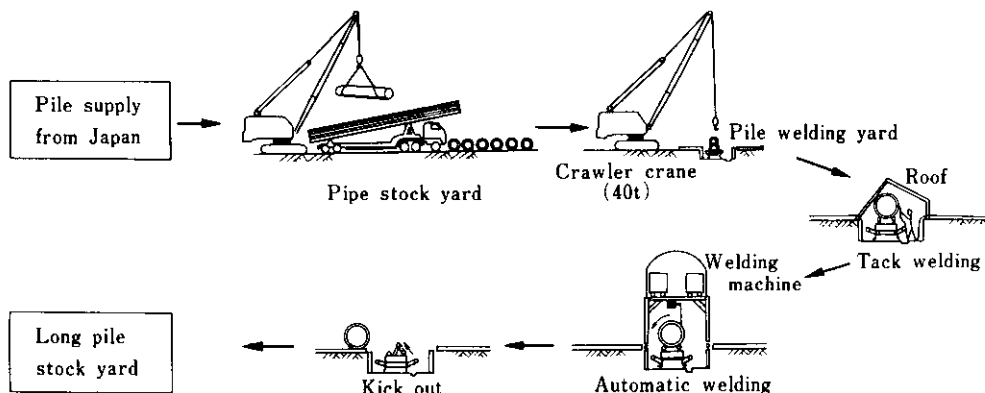


Fig. 20 Flow diagram of long steel pipe pile fabrication

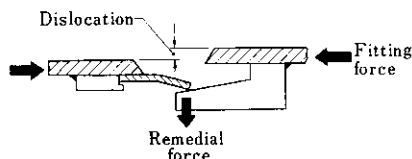
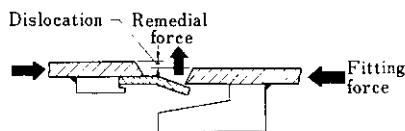
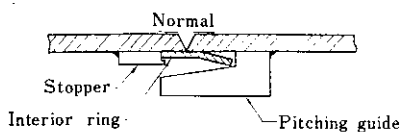


Fig. 21 RIVER JOINT AN-type self-remediable joint

は、くいの配置は施工性を十分考慮して決めねばならない。本計画ではMRB 1500のスチームハンマーを装備したくい打ち船を想定し、くい長、水深、作業スペースとその順序について構造設計の段階から配慮した。

3・4 プレキャストコンクリートビーム

このような海上構造物の施工は気象、海象によって大きく影響される。特に工程管理と施工管理を確実にするため、コンクリートビームのプレキャスト化をすすめ、海上現場打ちコンクリートと海上仮設物を極力少なくした。Fig. 22 にプレキャストコンクリートビームの構造を示す。これらは300tフローティングクレーンで架設を行った。

において調達可能な資材は現地購入、それ以外は日本からの輸入を原則とした。主要資材のうち現地購入したものは鉄筋、セメントおよび一部中口径鋼管である。

鉄筋、セメントは現場より約120km離れたイリガン市より陸送されるが、この間を結ぶ国道には約20以上の老朽化した簡易橋があり重量物の通行には問題があった。したがって、セメントについてはbulk carrier方式をとらずflexible bagを主として解、一部トラックで運ぶ方式をとった。

次にセメントの品質について述べる。強度は日本のものより一般的に低い値を示しており、焼成時のカロリー不足が原因と思われる。たとえば日本の普通セメントの強度は平均して28日強度400~430kg/cm²であるが、現地調達のセメントは3箇月間の生データをとって調査したところ、4500~5500psi(315~385kg/cm²)で強度も小さく、また変動係数も大きいことがわかった。化学的性質としては比較的早強性の傾向にあるが、これは石こうが輸入品で高価なため混入量を少なくしているのも一因といわれる。

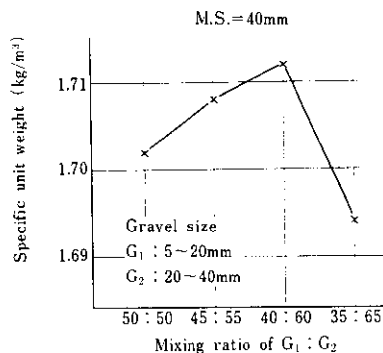
コンクリート用の骨材(砂、砂利)は主要建設資材の一つであり、これはタゴロアン川の下流域から採取することにした。これらは次の特徴をもっている。

- (1) 原始河川である
- (2) 過去採取されたことのない1番砂利である
- (3) 塩分の心配がない
- (4) 採取地としての中州が発達している

骨材は広範囲にわたって埋蔵されており、十分な量の採取が可能である。

また、骨材用の碎石施設(crushing plant)を設置することとした。Fig. 24は砂利骨材の単位体積重量 w を骨材の混合割合をえて比較したものであるが、当地の $w=1.71$ という値は日本の一般的な値と比較しても優れた骨材と言える。

また、コンクリートの製造には品質管理上大きな問題点が予想される。フィリピンには自動計量機のついたプラントはなく、すべて手動で粗・細骨材を一緒に計量しているなど計量設備の不十分な点がめだち、これでは計量誤差が大きき、さらに変動係数の多いセメントを使用すれば品質のパラツキが大きくなって、コンクリート品質管理が不



Solid volume ratio (or crushed gravel ratio) for the maximum specific unit weight is approximately 60%

Fig. 24 Change in specific weight of aggregates with the mixing ratio of fine to coarse gravels

確実になることは明らかである。プラントの形式はドライシステムが一般的であり、これは暑い気候、現場の状況からの必然的なものであろう。そこでドライミキシングのためのパンチカードシステムによる自動化された計量機をフィリピンで初めて採用することにした。短期工程の建設にはコンクリートプラント能力の影響が大きいことも考慮した結果である。

6. あとがき

大型のシーバースをはじめ大規模な土木構造物の設計、施工には、気象、海象、土質、地形等の十分な技術的情報が必要である。我が国の場合だと、近くに類似工事があるとか、土質調査や井戸掘りの実例があるとか、既往の調査資料や図面などの技術的情報が得られることが多い。しかしミンダナオ島の場合にはそのようなものは皆無に近かった。

この報告は、計画、設計、建設に必要な調査の実施内容とシーバースを中心とする土木構造物の設計と施工の考え方を今後の参考資料として整理したものである。また、建設工事がある段階まで進んだ状況での報告であり、以後どのように建設が進んだのか、その実際のデータなどについては別の機会にゆずる。

おわりに本調査および計画をすすめるにあたり、フィリピン政府関係機関、PSC(現地法人)、

CDCP(現地業者)、東洋建設(株)各社の関係諸氏 ない。厚くお礼を申しあげるしだいである。
の協力が大きな推進力であったことはいうまでも

参 考 文 献

- 1) Kawasaki Steel Corp. Engineering Center : Mindanao Sinter Plant Project, Survey Report, (1974)
- 2) S. Omote, Y. Osawa, I. Skinner, Y. Yoshimi : Philippines, Luzon Earthquake of 2 Aug. 1968, (1969), [UNESCO]
- 3) Mariano G. Pacis : Report on the Geology of Ports of the Provinces of Misamis Oriental, Bukidnon and Lanao Dol Norte
- 4) Frilan C. Gervasio : A Study of the Tectonics of the Philippine Archipelago, (1966)2, (The Phile Geo.)
- 5) Kawasaki Steel Corp. Engineering Center : Philippines, Mindanao Sinter Plant Project, Project for Port Facilities and Land Utilization, (1974)

