

シンガポール共和国

シンガポール領海内 埋立用材調査報告書

昭和54年3月

国際協力事業団

開 調

79-27(2)

JICA LIBRARY



1046432[9]

シンガポール共和国

シンガポール領海内
埋立用材調査報告書

昭和54年3月

国際協力事業団

國際協力事業団	
発給4.84.8.24	2779
登録No. 13848	6/7
	SDF

序 文

日本国政府は、シンガポール共和国政府との合意に基づき、我国の技術協力の一環としてシンガポール領海内における埋立用材にかかる諸調査を行うこととし、国際協力事業団が本件調査を実施した。

当事業団は、運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所長中村龍二氏を委員長とする作業管理委員会、及び日本海洋コンサルタント、国際航業の技術者により構成される調査団を組織し、現地調査実施のため専門家をシンガポール国へ派遣した。

調査団は、現地調査を終了した後、国内において現地調査で得られた情報資料を解析検討し、このたび本報告書の完成の運びとなった。

本報告書が、シンガポール国における埋立技術の向上に寄与することを願うものである。

おわりに、本調査の実施にあたり、シンガポール共和国政府、およびシンガポール共和国関係者の皆様方が、本調査に寄せられた御協力に対し厚く御礼申し上げる次第である。

1979年3月

国際協力事業団

総裁 法 眼 晋 作

伝 達 文

国際協力事業団

総裁 法 眼 晋 作 殿

拝啓

シンガポール浅瀬浚渫計画調査（埋立）の調査報告書を御提出申し上げます。

この調査報告書は、国際協力事業団が実施するシンガポール浅瀬浚渫計画調査のうち埋立関係の調査に関するもので、業務実施仕様書に基づき、シンガポール国における今後の埋立事業の円滑化に資するようシンガポール領海内における埋立用材探査及び探査された埋立用材を使用した埋立工法並びに埋立に関する技術調査したものであります。

本調査業務の実施に当たり、絶大なる御協力と御援助をいただきましたシンガポール政府諸機関をはじめ、国際協力事業団、運輸省、外務省、在シンガポール日本大使館並びに大阪市港湾局の方々に心から感謝の意を表すると共に厚く御礼申し上げます。

敬 具

昭和54年3月15日

コンサルティングチーム

リーダー

河 本 勇

取締役 副社長

日本海洋コンサルタント株式会社

報告書の内容

調査結果の概要

結論と提案

本論

付録

調査結果の概要

	ページ
(1) シンガポールの埋立事業	S-1
(2) 現地調査	S-1
(3) シンガポール領海内の海底土砂	S-2
(4) 浚渫埋立工法の考察	S-3
(5) 海底土砂による埋立地の性状と問題点及び解決策	S-5
(6) 日本における軟弱海底土による埋立例	S-6

調査結果の概要

(1) シンガポールの埋立事業

The Housing and Development Board (H.D.B), The Jurong Town Corporation (J.T.C.), 及び The Port of Singapore Authority(P.S.A.)は、今までに 3,000 ha に及ぶ埋立事業を行ってきた。

H.D.B. は、東海岸地区に第1期から第5期までの埋立事業を完成させ、現在、なお第6期、第7期の事業を行っている。

第1期から第4期までの埋立工事には、Siglap Plain 及び Bedok Reservoir より約 4,400万 m^3 の山土が採掘され、使用された。

第5期の場合には、海砂を使用し、第6期と第7期には、Tampines Hill よりの山土を使用している。

J.T.C. は、主に Tuas 地区より採掘した山土を使用して、陸側より埋立を行ってきた。最近では、ポンプ船により海底より採集した海砂を使用して Seraya 地区と Ayer Merbau 地区に埋立を行った。

P.S.A. は、主に南部地区の島々のコーラルリーフを海砂を使用して埋立を行ってきた。又、チャンギー地区に新国際空港用地のための大規模な埋立を行っており、現在までにこの工事はほとんど完成をみている。

上述の通り、シンガポールにおける埋立工事は、山土または浚渫船により海底より採集した海砂を使用して行なわれて来ている。

(2) 現地調査

今回の現地調査は、Outer shoal 及び Off-shore Changi の両地区について実施した。調査地域の選定に当たっては、

1. 既存のボーリングデータ及び海底の地形の状態からみて埋立に使用できる材料があると予想される地域であること。
2. その地域がシンガポールにおける海底上の土質状態を代表すると考えられること。
3. その地域で、今まであまり多くの調査がなされていないこと。

という、上記3つの観点を重視した。

調査としては、音波探査、磁気探査、ボーリングを行った。

調査実施数量及び使用した主要機器は下記の通りである。

	実施数量	主要機器
音波探査	70 km 延長	ソノストレーター
磁気探査	45 km 延長	磁気探知器(フラックスゲート型)
ボーリング	11 点	ロータリー式ボーリング機

(3) シンガポール領海内の海底土砂

シンガポールの陸上部については、Public Works Department of Singapore が、1976年に地質図を作成しており、かなり詳細にわかっているが、海底部の地層については、その全容は不明である。

コンサルタントは、今回、シンガポール政府諸機関より収集したデータと、今回実施したボーリング調査の結果をまとめ、シンガポールの海底の土質について整理し、検討を行った。過去、シンガポールにおいて行なわれたボーリング調査は、その実施区域にかたよりのあり、シンガポール全域にわたって行なわれていない。又、その土質状態も、各区域により著しく異なっている事がわかった。

過去のボーリング結果を要約してみると次のような事が云える。

1. シンガポール領海内の海底は、おおむね軟弱な marine clay でおおわれており、西部海域の一部の島々のまわりのサンゴ礁のある所では、サンゴ礁の下に marine clay が現われ、又ある所では loose sand の下に marine clay が現われる所もある。
2. 西部海域においては、marine clay の下に stiff clay の層と hard clay の層がつづいている。これらの層は、風化した頁岩であると考えられる。頁岩の層は、一般的に A. C. D. -15m から -30m の深度に位置している。
3. 東部海域においての marine clay 層は、西部海域よりも厚く、その下には、中位のものから良く締ったものまでの clayey sand や非常に硬い粘土または、clayey silt 等からなる洪積層がみられた。
4. Sisters' Shoal 及び Raffle's Shoal においては、相当量の砂がある事が判明したが、その正確な量については、不明である。すなわち、ボーリングデータは、この砂層の下限が明確ではなく、又、これらの砂は、今日までに行なわれた数々のプロジェクトにおいてその相当量が使用されたと考えられるからである。

今回の土質調査結果によると、Outer shoal 地域は、marine clay の層が A, C, D、
-30m ~ -31m 付近にある洪積層の上に厚く分布している。

Off-Shore Changi 地域においても A, C, D、-6m ~ -9m 付近に洪積台地がみられたが、
この上には marine clay はなく、loose sand の薄い層がみられた。

この洪積台地の外側では、Outer shoal とほぼ同様な地層がみられた。

磁気探査の結果、Outer Shoal 及び Offshore Changi の両地域において、相当数の磁
気異常点がみられた。

〔4〕 浚渫埋立工法の考察

浚渫埋立工法には、各種の工法があるが、日本においては、カッター付ポンプ式浚渫船
(以下ポンプ船と称す)を使用する工法が最も広く採用されている。

ポンプ船は軟弱土から硬質土までほとんどの土質に適応できるし、又、大量な浚渫に適して
いる。さらに浚渫したものを、埋立材料として連続作業で埋立地内へ送り込む事が出来るの
も特徴である。

ポンプ船を使用して埋立工事を行う場合は、一般的には、直吹工法が採用されるが、他の工
法としては、浚渫した土砂をバージで輸送して埋立地内に埋立てる方法も行なわれている。

さて、シンガポール領海内の海底土砂について言えば、一般的に表層には、marine
clay の層が存在し、その下に洪積層に属する clayey sand や stiff clay の層が存在
していると言える。部分的には、loose sand がみられる所もあるが、それはごく限られた
地域である。

このように埋立用材として使用出来る砂の量が限られているので、他の材料、すなわち、洪
積層の clayey sand 等の利用も考慮しなければならない。

一方、浚渫船の能力と浚渫の経済性を考えた場合、浚渫する土の N 値が 40 以下の時が最も
効率が良いと言えるので、埋立材料として使用する事が考えられるのは、次の 3 種類の土で
ある。

a. Marin Clay

これは、十分な量があるので大量使用が可能であり、又、埋立材料としては低質なもの
であるが、使用可能なものである。

b. Clayey sand (N 値 40 以下のもの)

これは、砂を多量に含んでいるので良質な埋立材料として使用が出来るものである。

c. Stiff Clay (N 値 40 以下のもの)

これは、clayey sand と較べた場合、その土性はいくぶん劣るが良質な埋立材料と
して十分使用可能なものである。

ただし、clayey sandやstiff clayのみを埋立に使用する事は、これらの層が通常marine clayの厚い層でおおわれているので実際的でなく、むしろこれら3種類の土をとりまぜて採集して使用する事を考えるべきである。この場合、日本での例を見るようにポンプ船による直吹き工法と、浚渫船とバージとによるバージライン方式とが最も有利な工法であると言える。

2種類の工法について経済性の比較をしてみると、ポンプ船による直吹き工法の方が、バージライン方式よりもシンガポールにおいて浚渫土砂を利用して埋立を行う場合は、より有利であると言える。この場合、最も経済的な埋立を行うためには、土取場の位置をポンプ船の能力に合わせて選択することである。すなわち、そのポンプ船が浚渫した海底土砂を埋立地に排送するのに、最も経済的な浚渫能率をあげ得る排送距離内に、土取場を選定することである。

もし、将来の泊地や航路となる個所を土取場とするのであれば、埋立地から少々遠い所でも、それは、総合的に見た場合経済的なものとなる。

ところで、marine clayやclayey sand及びstiff clayの3種類の埋立材料を考えた場合、次の事が言える。

1. Marine clayにて埋立を行なった場合は、それによって得られる埋立地は、圧密沈下や地盤強度が弱い等の問題点を包含する事になるが、marine clayは大量に得られる材料であり、浚渫、運搬コストは、最も安価となる。
2. Clayey sandにて埋立を行なった場合、clayey sandは砂分を多く含んだ良い材料であるので、良好な埋立地を得る事ができる。しかし、浚渫、運搬コストは、marine clayに較べて約2倍となる。
3. 洪積層のstiff clayを使用して埋立を行なった場合、塊状となって浚渫されるのでmarine clayに較べるとかなり良好な埋立地を得る事ができると思われるが、stiff clayのみ或は、stiff clayとmarine clayのみを埋立材料として用いることについては、まだ未解決の問題があるので今後の研究が必要であろう。stiff clayの浚渫、運搬コストは、marine clayの場合の約3倍となる。

異なる土質の埋立材料をとりまぜて、埋立に使用すると、埋立地内にて、排砂管口付近には比較的粒子の粗いものが、又、余水吐口付近には、比較的細かい粒子のものが堆積するという傾向があるので、これを利用して良好な埋立地と軟弱な埋立地とを計画的に造成する事が出来る。

ポンプ船による直吹工法で、埋立地の面積が数百ヘクタールにもおよぶ大規模な工事を行う場合は、ポンプ船の能力にあわせて、1年間または2年間で埋立が完成されうる面積を1つの単位面積とした区画に仮堤防で分割して順次、埋立地を完成していく方法が有効である。又、ポンプ船の排砂管は、埋立予定区域内に、所要の受枠を設けて、適当な間隔(100m~200m)で施工開始前に配置しておく必要がある。

埋立プロジェクトの計画立案にあたっては、埋立予定地と土取場の土質調査、土取場の磁気探査、発見した曝発物等の撤去、沿岸流の変化による沿岸地域への浚渫の影響、埋立材料の調査・検討を行うと共に、護岸の設計、仮護岸の設計、圧密沈下の検討、又、もし必要があれば、地盤改良工法の検討等も十分に行う事が大切である。

(5) 海底土砂による埋立地の性状・問題点及び解決策

前章で述べたように異なる土質の土をポンプ船で直接埋立地に吹きこむ事により埋立を行うと、比較的良質な土地と泥状地とが分かれて出来上がる傾向がある。

粗粒分の集まる良質な土地については、チャンギーの埋立工事で得られた埋立地と同様なものが出来るので特に問題はない。

この章では良質な土地についてはなく、泥状地について記述する。

このような泥状地は、非常に含水比の高い土によって構成されている。日本では、通常、このような土地の表面が乾燥して亀裂を生じ、人が歩ける様になるのに2年またはそれ以上かかる。しかし、このままでは地表面は、車輛のトラフィックビリティがないので、たとえ表面が乾燥しても厚さ50cmから1mの良質土を撤き出してやる必要がある。

これらを実施する場合、日本においては、ローネット工法等の軟弱地盤に対する表層改良工法が各種用いられている。

シンガポールの場合、辛い強い日差しと高温、風に恵まれているので乾燥はいちじるしく、地表面の硬化は早いと思われるので、覆土するのに表層改良工法を用いる必要はなからう。marine clay等の粘性土によって埋立てられた土地では圧密沈下の問題がある。圧密沈下の量は、埋立地の原地盤の土質、埋土材料の性質、浚渫、埋立方法、埋立土の厚さ、土質工学上の排水条件によって決まる。

圧密沈下の速度は、最初の1~2年間は早く、その後、漸次、沈下速度は低減する。

軟弱土で埋立し、良質土にて覆土した場合、その土地は、公園、緑地として使用するには支障がないが、比較的、軽量の構造物を建設する場合は、簡単な地盤改良工法が必要であり、重量構造物を建設する場合は、杭基礎等が必要となる。

この場合、不等沈下に対する対策として部分的な地盤改良工法をする必要がある。

地盤改良の方法も多種・多様の方法があるが、最も広く用いられ、有効であるのは、載荷工法及びパーチカルドレーンによる脱水工法である。

〔6〕日本における軟弱海底土による埋立例

日本では、古くから、埋立用材料として海底の軟弱土を利用した埋立工事が、広く行なわれてきた。

このようなプロジェクトは、主に東京、大阪、名古屋、四日市というように大規模な臨海工業地帯で行なわれてきた。これらの地域の海底は、大部分、軟弱粘土層であり、多くの埋立地がこのような粘土により形成されている。

このうちの代表的なものとして大阪南港における埋立と広島県福山市における埋立について以下に述べる。

大阪南港の埋立では、総面積930ヘクタールのうちの約70%が海底よりポンプ船で浚渫した、沖積シルト質粘土にて行なわれた。

そして、埋立後、約2年間、表面が乾燥するのを待って、その上に山土を載せ、公園や緑地以外の区域には、各種の地盤改良工法を用いて、下層地盤の改良を行なった。

現在、約80%の土地造成が完了しており、すでに大部分が港湾用地、住宅用地等として利用されている。

福山市における埋立は、福山港の海底に堆積している沖積シルト層の上にポンプ船によって周辺の海底沖積シルト及びその下にある砂礫や硬質粘土で埋立てたものである。

重要構造物の建設予定地は、砂礫や硬質粘土で、それ以外の区域は、軟弱シルトで埋立てられた。

総面積872ヘクタールに及ぶこの埋立地には、日本鋼管の新鋭一貫製鉄所が建設され、すでに操業を開始して10年以上になる。

結論と提案

結論と提案

今回の調査に基づく結論と提案は下記の通りである。

1. シンガポールで従来より多く行なわれて来た丘陵地を掘削し山土を埋立材料として用いる事は、経済的にも工学的にも優れた方法と言えるが、山土の今後の供給には限界があると考えらる。
2. 今回の調査ならびに過去の土質調査結果によると、シンガポール領海内には、限られた地域に限られた量の砂はあるが、将来の埋立計画（含む構想）をまかなえるような大量の砂は、存在しないと考えられる。
ただし、深層部における砂の存在については、十分な調査結果がないので明らかでない。
3. 又、これらの海底に存在する砂は、量的に限られた貴重な資源であるので、たとえば護岸や海浜造築材料等に使用を限定し、節約して使用すべきものと考えらる。
4. シンガポール領海内の海底土砂は、地域により特色はあるが、一般的に表層はmarine clay でおおわれ、その下に洪積層に属する砂質土（clayey sand, sandy clay, silty sand など - 以下 clayey sand と称す）及び部分的に洪積層の stiff clay 及び hard clay が存在する。
所により marine clay は、ゆるい砂層で覆われている。過去埋立工事に利用されてきたものは、主としてこの砂である。すでに述べた如くこの砂は非常に少なくなっており、埋立材料に他の材料を利用する事を考えなければならぬ。
5. Marine clay は、シンガポール領海内の海底に大量に存在する。しかしながら、marine clay で埋立てられた土地は、地盤の支持力も弱く圧密沈下を生じる。
Clayey sand は、砂分が多く良質の埋立材料と考えられる。ただし、経済的に浚渫できるN値の限界は、40までであろう。この材料による埋立地は、良質であると考えられる。stiff clay も marine clay と比べるとかなり良い埋立材料と考えられるが、stiff clay のみ、または stiff clay と marine clay のみを埋立材に使用することについては、未解決の問題があり今後の研究を要する。stiff clay についても経済的に浚渫できるN値の限界は、40までであろう。
6. しかし、一般的に clayey sand 及び stiff clay の上層は、marine clay が厚く覆っており、clayey sand 及び stiff clay のみによる埋立は、現実的でなく、これらを混合して埋立を行う事が必要である。

7. 上記の材料をポンプ船による浚渫埋立について単価を試算してみると、clayey sand (N=40)及びstiff clay(N=40)の単価は、それぞれmarine clayの2倍、3倍となる。
8. 各種の浚渫工法について比較検討を行なった結果、上記の三種類の材料について最もシンガポールに有利な工法は、これらをカッターサクシオン式浚渫船により直接土取場より埋立地に吹き込む方法であるといえる。
9. 上記の三種類の埋立材料をカッターサクシオン式浚渫船により、直接埋立地に吹き込むと、通常、排砂管口周辺には、粗い粒子の土が、余水吐附近には、細かい粒径の土が集まる。この際、stiff clayは、塊りになって排出されると思われる。

このように埋立地は、砂や粘土の塊りよりなる良質な土地とmarine clayなどの粘土分の集まる超軟弱な土地の二つに分れる。従って、建物等のための土地には良質な地盤をつくり、公園や道路や軽量の構造物は軟弱な地盤の場所に配置するといった方法が十分に考えられる。
10. 一般にシンガポールの埋立地の海底地盤は、基礎地盤の上は、marine clayの層によって覆われており、従来おこなわれて来たような砂あるいは山土による埋立でも、海底地盤の圧密問題は残っている。この地盤の上層をmarine clayで埋立てた場合には、さらに埋立土の圧密が加わるが、これ等についての解決方法は発見できる。
11. 日本においては、軟弱なmarine clayの海底地盤上にmarine clayを埋立材料として用いて埋立て、各種の工夫をこらすことにより工業用地や住宅用地等として成功した例が数多くある。
12. Marine clayなどで埋立てた場合、まず表面を固める事が大切である。シンガポールにおいては、天日、温度、風に恵まれているので、乾燥が著しく表面の硬化は早いと考えられる。
13. Marine clayによる埋立地の表面は、たとえ硬化したとしても、トラフィカビリティがないので、良質土による被覆を行う必要がある。被覆土の厚さは、地盤の必要支持力によって決まる。通常50cm又は1mも被覆すれば、普通の建設機械が走行できるようになる。尚、埋立地盤の乾燥前に早く立入る事が出来るようにするためには、ローネット工法等があるが、多大の費用がかかるのでこの場合得策ではない。

ただし、埋立地が、この段階になれば圧密沈下があまり問題とならず、上載荷重の小さい公園や緑地には、そのままの状態での利用が可能である。

14. Marine clayによって埋立てられた土地は、その性質上、圧密沈下を生じる。その量は、埋立材料の性質、浚渫・埋立方法、埋立土の厚さによって決まる。この圧密量については、実際の埋立計画の段階で充分調査研究のうえ決定すべきものである。

一般的にこの圧密沈下は、初期に急激に生じ、時間の経過とともに沈下速度は減少し、安定した土地になる。

しかし、前項で述べたような埋立方法によると、地盤は自然圧密の状態におかれるので、沈下期間は長期にわたり、また最終的な地盤強度の大幅な増加は、期待出来ない。

この為、埋立後に埋立地を使う時期、あるいは、土地の利用目的によっては、地盤改良等の処置をとる事が必要となる。

15. 軟弱な埋立地に比較的軽量の構造物をつくる場合には、簡単な地盤改良で対処しうるが、重量構造物の場合、従来のような杭基礎が必要であろう。この場合、ネガティブフリクションを考慮しておかなければならない。

16. 次に、埋立地に道路のような上載荷重が比較的小さいものを作る場合には、埋立地盤の表層を山土等を用いて適当な厚さに被覆することによって強度的には対応できる。

この場合、圧密沈下によって例えば、道路と橋梁とに段差が生じたり、雨水排除が困難になつたりしないよう、周辺地盤の沈下の見通しと合わせて施工時に嵩上げをしておくとか、一部に地盤改良をほどこして圧密を促進させておく等の処置が必要である。

なお、上水道、ガス、下水道等の地下埋設物に対しては、圧密がある程度進行するまでの間は、仮設的な施設として対応しておき、圧密沈下量が一定値におちついた段階で恒久的な施設をつくる事によって対応されている例もある。

17. 土取場が埋立地に近く排送距離が短い方がより経済的である事は当然であるが、例えば、土取場として将来の航路、泊地として利用出来る場所を選定すれば排送距離が少し長くなっても総合的に経済的な場合もある。

18. 採土地を海岸線近くに計画する場合、一般的にシンガポールにおける波浪は大きなものではないので、ある程度海岸から離せば、波浪による海岸の侵食は起らないと考えられる。

19. しかし、シンガポールの領海においては、潮流の速い場所があるので、周辺の沿岸の潮流を大巾に変えて海岸線に悪影響を与えないような採土地の選定に配慮する事も必要である。

20. シンガポールの領海には、戦時中に投棄された爆発物が存在する可能性があるので、土取りに先だって磁気探査を実施し、もし爆発物が発見された場合、これを処理した上で浚渫する事が必要である。

21. 今回の調査は、シンガポール領海における一部地域のField Survey 並びに政府より提供されたデータをもとに、将来の埋立材料についての概括的な検討を行なったが、今後、埋立計画の立案に当っては、個々のプロジェクト毎に、埋立材料について、まず十分な調査を実施する事が必要である。

本論

目 次

	ページ
序 論	1
〔1〕 シンガポールの埋立事業	4
1-1 完成または施工中の埋立事業	4
1-2 将来計画	7
〔2〕 現地調査	10
2-1 調査地点の選定	10
2-2 調査項目	10
2-3 調査内容	12
2-3-1 音波探査	12
2-3-2 磁気探査	13
2-3-3 ボーリング調査	14
〔3〕 シンガポール領海内の海底土砂	16
3-1 既存のボーリング資料の分類と解説	16
3-2 今回の土質調査結果のまとめと解説	27
3-2-1 土質調査内容	27
3-2-2 音波探査結果	28
3-2-3 ボーリング調査結果	34
3-2-4 土質試験結果	35
3-3 磁気探査結果	38
3-4 シンガポール領海内の海底土砂資料の検討	40
3-4-1 シンガポールの地質概要	40
3-4-2 シンガポール領海内の海底土質	41

〔4〕 浚渫埋立工法の考察	45
4-1 浚渫工法	45
4-2 埋立工法	48
4-3 シンガポールに於ける最適浚渫埋立工法	49
4-3-1 海底の土砂	49
4-3-2 シンガポールに於ける最適浚渫埋立工法	51
4-3-3 カッター付ポンプ式浚渫船による埋立	57
〔5〕 海底土砂による埋立地の性状と問題点及び解決策	63
5-1 海底土砂の土質による埋立地の性状と問題点	63
5-2 軟弱地盤埋立地の問題点の解決策	66
5-2-1 載荷工法	67
5-2-2 脱水工法	68
〔6〕 日本における軟弱海底土による埋立工事例	72
6-1 大阪南港における埋立	72
6-1-1 埋立地の海底土質	73
6-1-2 大阪南港埋立プロジェクトの概要	75
6-1-3 地盤改良	77
6-2 福山臨海工業地帯における土地造成	79
6-2-1 埋立地の海底土質	79
6-2-2 福山土地造成の概要	81
6-2-3 地盤改良	84

序 論

シンガポール政府は、国土開発整備と公共住宅の建設を最も優先度の高い国家プロジェクトとして取扱い、それに伴う、埋立地の造成が盛んに行なわれてきた。

尚、今後共、一層、その必要性が増大するばかりである。

シンガポールの現在の人口は、約230万人であり、この人口は、低目の人口増加率をとっても、1990年には、270万人に達するものと見込まれている。

シンガポールの総面積は、588^{km}で、日本の淡路島位の広さと云われており、人口の急速な増加は、土地の必要性を強くする要因であると共に、工業の発展を期し、盛んに近代的な国際企業の誘致を計っているため、益々、土地の必要性が増大している。

土地需要の1つは、住居設備、次に商工業地域、さらに社会環境施設である。

シンガポールに於いて、過去10数年来おこなわれて来た埋立地造成用の採掘土砂の調達は、陸上土砂の掘削によるものと、海底土砂の浚渫によるものがある。

陸上土砂は、この国の海拔20～40mの低いなだらかに起伏する丘陵地帯を切土して、その土地を平坦にして、宅地または、工業用地を造成すると共に、そこから得られた掘削土砂をもって海岸線近くの低湿地または、海面を埋立てて、土地が造成されて来ている。

しかしながら、これらの丘陵地帯も、ほとんど開発しつくされており、大量の埋立土砂は、得難い状態となっている。

一方、海底土砂で良質土(砂)の堆積地区もすでに限界がみえてきており、今後に多くを期待することはできない状態である。

したがって、今後の埋立土砂の供給源として考えられるのは、今まで用いられなかった砂以外の海底土砂と限られた砂の供給源と併せて、総合的な有効利用を図る事がきわめて肝要である。

日本では、戦後、産業の活発化に伴って膨大な埋立地造成が行なわれてきており、近代的かつ多様な埋立技術が駆使されており、多くの技術が蓄積されている。

シンガポール政府は、この様な立場にあつて、日本政府に埋立てに関する海底土砂の利用調査について技術援助の要請をした。

これを受けて、日本政府は、国際協力事業団を通じこれらの調査を行う事となった。

国際協力事業団は、本調査を実施するに当たり、1978年6月、運輸省港湾局、横浜調査設計事務所々長の中村氏を団長とする予備調査団を派遣した。

同予備調査団は、シンガポール政府の本件の代表である国家発展省(MINISTRY OF NATIONAL DEVELOPMENT)に属する住宅発展局(HDB)と一連の会議をもち、本調査のScope of Workを作成し、此のScope of Workに従って作業を実施するに際し、作業管理委員会とコンサルティングチームが編成された。

1978年11月～12月に Scope of Work に基づく土質調査工事が実施されるとともに、作業管理委員及びコンサルタントによる現地調査が行なわれた。これら調査結果に基づき、コンサルティングチームは、作業管理委員会の監督ならびに助言のもとに本報告書を作成した。

作業管理委員会及びコンサルティングチームのメンバーは下記の通りである。

• 作業管理委員会

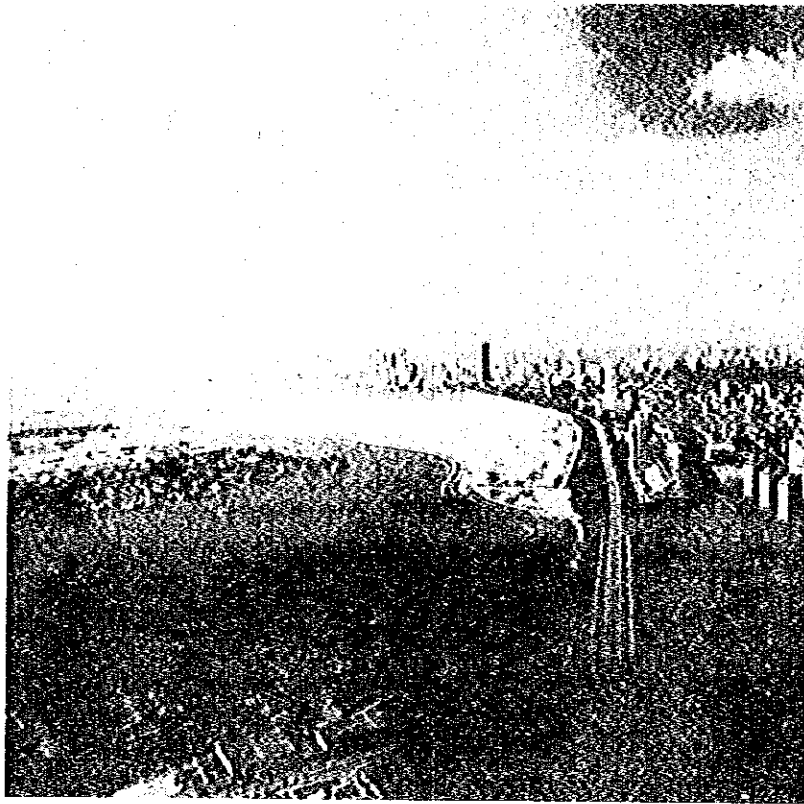
委員長	中村 龍二氏	運輸省 横浜調査設計事務所々長
	寺師 昌明氏	・ 港湾技術研究所土質部地盤改良研究室長
	前田 正孝氏	・ 横浜調査設計事務所専門官
	木山 正明氏	大阪市港湾局南港開発部企画課
	西島 浩之氏	国際協力事業団社会開発協力部

• コンサルティングチーム

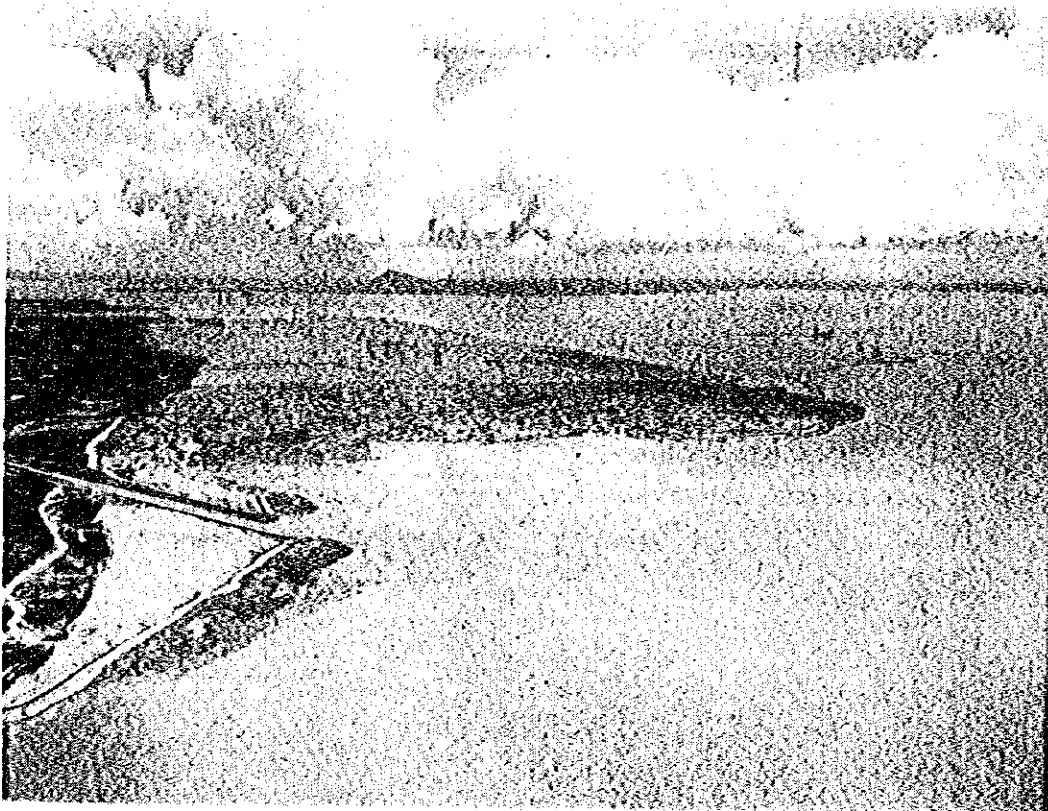
チームリーダー	河本 勇	日本海洋コンサルタント(株)	取締役副社長
	金里 康夫	・	技術部長
	丹羽 元和	・	技術課長

本調査のシンガポール政府代表コーディネーターのメンバーは下記の通りである。

リーダー	Chew Seong Yean 氏	Chief Engineer, Housing and Development Board
	John Wei 氏	Principal Civil Engineer, Housing and Development Board
	Ho Wah Hin 氏	Civil Engineer, Housing and Development Board



East Coast Reclamation, Phase V



Major Reclamation at Changi

(1) シンガポールの埋立事業

シンガポールに於ける埋立事業は、非常に優先度の高い重要国家事業の一つである。既に完成された埋立地に立派な住宅や公園、道路、レジャー用海浜施設等が完成している情景をみるとその見事さに全く敬服の感をいだかざるを得ない。また、ごく最近完成したばかりの埋立地に引続き次期埋立事業や計画が着手されており、益々、国家発展の基盤が拡張されんとしている。ここに、過去、行なわれて来た埋立事業の実績と今後行なわんとしている計画について述べることにする。

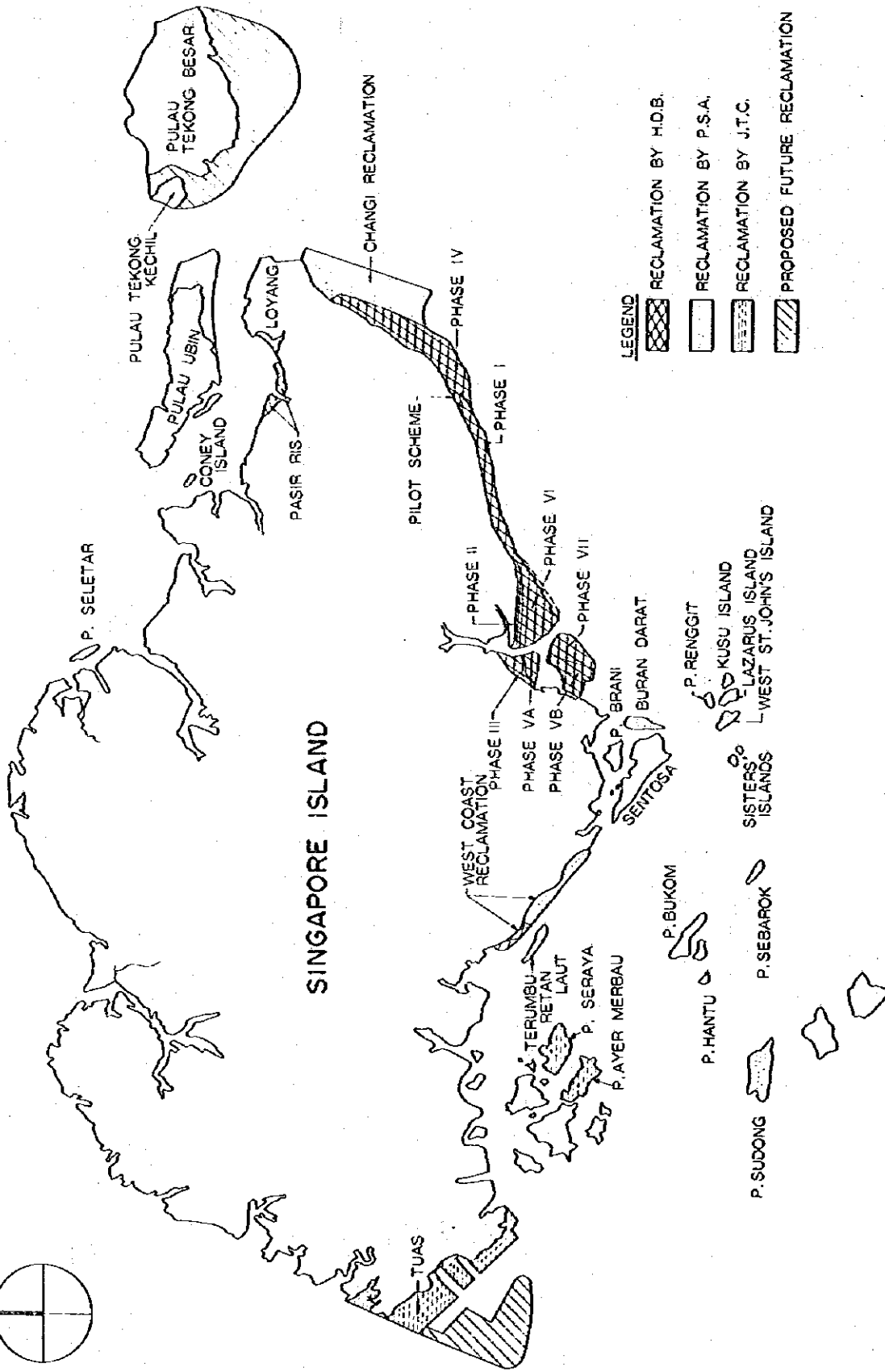
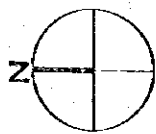
1-1 完成または施工中の埋立事業

シンガポールにおける埋立事業は、ほとんどすべて The Housing and Development Board (H.D.B.), The Jurong Town Corporation (J.T.C.) 及び The Port of Singapore Authority (P.S.A) の三機関で行っており、今日までに、この三機関で埋立てた埋立地の総計は、3,000 ha 以上に達する。

表 1-1-1 は、これらを一覧表にまとめたものであり、その位置は Fig. 1-1-1 に示されている。

H.D.B. は主として East Coast 地区を中心に第 I 期から第 V 期工事を完成し、現在第 VI 期、第 VII 期工事に着手した所である。

このうち、第 I 期から第 IV 期までは Siglap Plain 及び Bedok Reservoir Site の山土を Bucketwheel excavators にて掘削しコンベア、ダンプトラック等で搬出し陸上から埋立てたものであり総土量は 4,400 万 m^3 にのぼる。



SINGAPORE ISLAND

- LEGEND
- RECLAMATION BY H.D.B.
 - RECLAMATION BY P.S.A.
 - RECLAMATION BY J.T.C.
 - PROPOSED FUTURE RECLAMATION

SCALE 0 1 2 3 4 MILE
0 1 2 3 4 5 6 KILO METER

Fig. 1-1-1

表 1-1-1 過去及び現在の埋立工事一覽表

工 事 名	事業主体	位 置	埋立 面積 (ha)	工 事 期 間	総 費 用 (S. S)	請 負 者	埋立材料	埋立方法
1 東部海岸第V期埋立工事	H.D.B	東部海岸 Telok Ayer Basin 間	154	1974年4月 ~1977年12月	106 million	大林-五洋JV	海 砂	ポンプ船+バージ
2 " 第IV期埋立工事	H.D.B	東部海岸 Bedok - Tanah Merah Besar 間	486	1971年5月 ~1976年2月	44 million	China Engineers & Chin Ann Pte Ltd.		陸上掘削機 +ペルトコンベア
3 " 第III期埋立工事	H.D.B	東部海岸 Kallang River- Singapore River 間	67	1971年3月 ~1976年12月	23 million	大林組	山 土	(Ⅲ期の一部, ポンプ船+バージ)
4 " 第II期埋立工事	H.D.B	東部海岸 Singapore Swimming Club - Tanjong Rhu 間	53	1970年4月 ~1971年5月	10 million	大林組		
5 " 第I期埋立工事	H.D.B	東部海岸 Bedok - Singapore Swimming Club 間	405	1966年4月 ~1970年4月	45 million	大林組		
6 Seraya 島埋立工事	J.T.C	Seraya 島周辺	175	1975年10月 ~1978年12月	35 million	Loh & Loh - Baihor JV	海 砂	ポンプ船直吹
7 Changi 埋立工事	P.S.A	Changi 地区	653	1976年2月 ~1979年3月	230 million	五洋-東重-臨海JV	海 砂	ポンプ船直吹
8 Beting Sudon 埋立工事	P.S.A	Sudon 島周辺サング礁	243	1976年10月 ~1978年12月	45 million	東重建設	海 砂	ポンプ船直吹+バージ
9 Ayer Merbau 島埋立工事	J.T.C	Ayer Merbau 島周辺	120	1976年7月 ~1977年12月	21 million	鹿島建設	海 砂	ポンプ船直吹+バージ
10 東部海岸第VI, VII期埋立工事	H.D.B	東部海岸 Tanjong Rhu - Telok Ayer Basin 間	360	1979年1月 ~1986年1月	約 385 million	大林-臨海JV	山 土	陸上掘削機+バージ
11 Pasir Ris 埋立工事	H.D.B	シンガポール北東部海岸	44	1978年6月 ~1979年10月	約 5.5 million	Tiong Seng Con- tractors Pte Ltd	山 土	陸上掘削機+トラック
12 西部海岸埋立工事	H.D.B	西部海岸 West Coast Road 沖海面		1975年1月 ~1977年12月		多 政	山 土	陸上掘削機+トラック
13 西部海岸埋立工事	P.S.A	西部海岸 Pasir Panjang 沖海面		1971年11月 ~1975年12月	12 million	"	山 土	陸上掘削機+トラック
14 小島, サング礁埋立	P.S.A	南方諸島周辺	総計 約 192		総計 約 54 million	"		
15 Tuas 埋立工事	J.T.C	Tuas 地区	400	1978年~1976年	12 million	Tiong Seng Con- tractors Pte Ltd	山 土	陸上掘削機+トラック

H.D.B : Housing & Development Board
 J.T.C : Jurong Town Corporation
 P.S.A : Port of Singapore Authority

第V期工事では、海底の砂をいくつかの Site から低揚程のポンプ船でバージに積込み、総埋立土量 2,000 万 m^3 のうち半分は直接投下し、半分は護岸が完全にでき上がってから、護岸の外の Sand pit にバージが投下したものをポンプ船で吹き込んだ。

現在行なわれている第VI期・第VII期の埋立は、Tampines地区の山土を切り出し、ベルトコンベアで Bedok 沖まで出し、栈橋からバージに積み込み運搬、埋立するものである。

J.T.C. は、主として Tuas 地区で、山土による陸上からの埋立を行ってきたが、最近では、Seraya 島、Ayer Merbau 島にてポンプ式浚渫船を用いて海底の砂質土による埋立も行っている。

P.S.A. は主として Southern Islands を中心に海砂によるサンゴ礁の埋立を行ってきたが、最近 Changi に新国際空港建設の為に約 650 ha の埋立を行い、ほぼ完成している。

以上から分かるように埋立は丘陵地を削った山土か又は海底の砂質土のいずれかによって行なわれて来た。

丘陵地からの山土による埋立は、今までシンガポールで最も広く行なわれてきた埋立である。これは、山土を掘削した跡地もニュータウンや工場の建設に供することができる一石二鳥の方法で、シンガポールの住宅地開発や工場用地の確保に大きな役割をはたしてきた。

同時に、J.T.C., P.S.A.の海砂による埋立事業も isters' shoal や Johore Shoal その他島々の間にある多量の砂を用いて数多く行なわれて来た。

主なものは、J.T.C. による Seraya 島埋立 (175 ha) 及び Ayer Merbau 島埋立 (120 ha)、P.S.A. による Beting Sudong の埋立 (243 ha) 及び Changi の埋立 (653 ha) である。

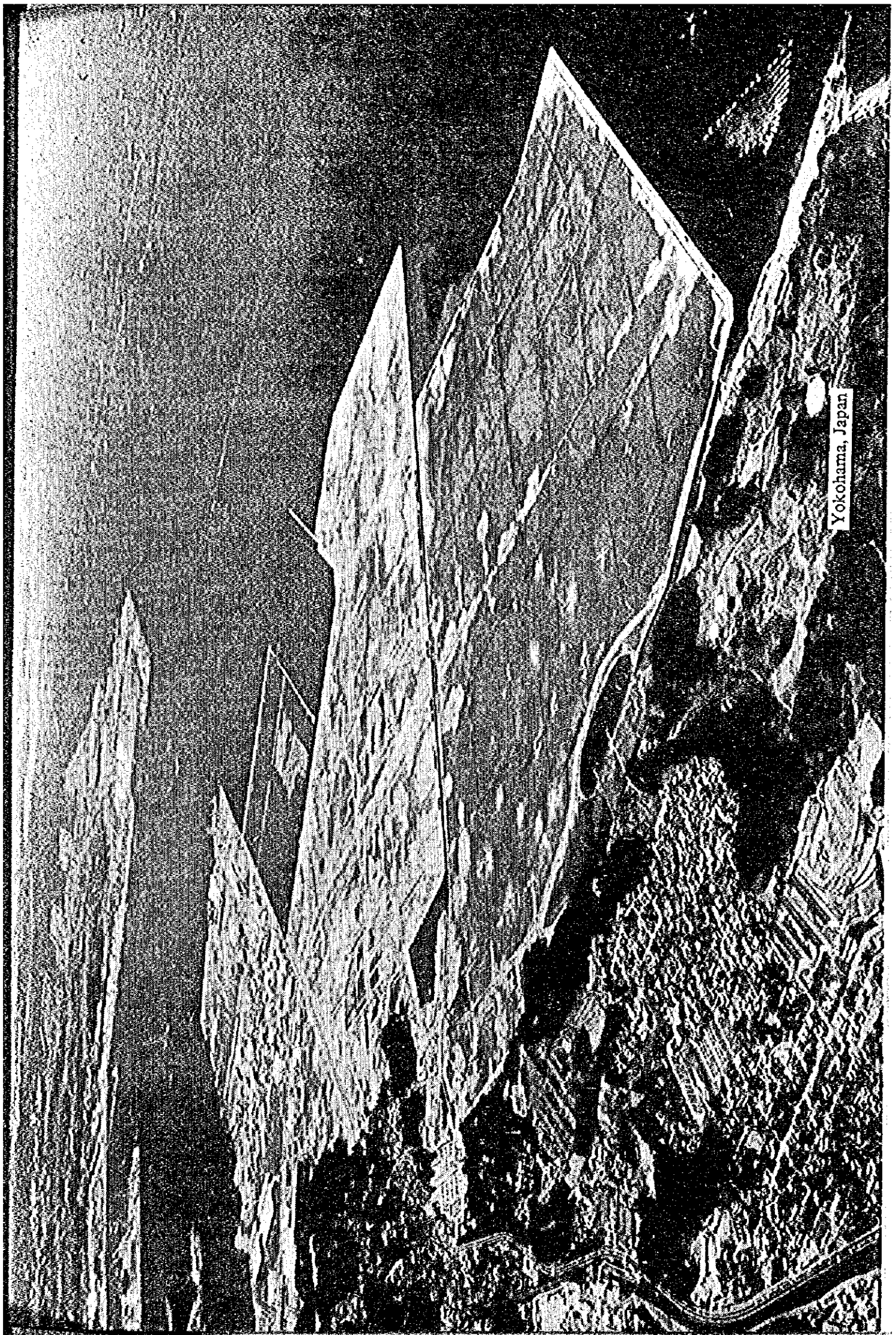
いずれも埋立地周辺の海底の砂質土はカッターサクショ式ポンプ船で直接埋立地に吹き込み、ポンプ船で吹き込むには遠い個所の砂は低揚程のポンプ船でバージに積込み、それを埋立地近くの海底に設けた Sand pit に投下しポンプ船で更に埋立地に送る事により埋立を行った。

1-2 将来計画

シンガポールにおける将来の埋立計画ならびに構想として、現時点で入手した内容を表 1-2-1 に示す。

表 1-2-1 今後の埋立計画及び構想

工 事 名	埋立予定面積	工事期間	埋 立 方 法	備 考
Tekong 島沖埋立	400 ha	60ヶ月	未 定	Pending
Semakau 島埋立	144 ha	40ヶ月	未 定	Pending
Tekong/Ubin 埋立	不 詳	未 定	未 定	将来計画
Tuas 西埋立	613 ha	未 定	未 定	将来計画



Yokohama, Japan

(2) 現地調査

シンガポール領海内における埋立材料を検討するためには、全海域についてボーリングその他の調査を行うことが最良の方法であることは言うまでもない。しかし、それには多大のコストと時間を必要とし、現実的ではない。

今回は、以下にのべる観点から現場調査を二地域にしぼり、シンガポール領海内の埋立材料の概略を把握するための一助とした。

2-1 調査地点の選定

今回の調査においてはつぎの二つの観点から、Outer Shoal及びチャンギ沖海面の二地域を選定した。

1. 既存のボーリングデータ及び海底の地形の状態から判断して、埋立材料の存在する可能性の高い地域であること。
2. シンガポールの海底土の土質性状を代表すると考えられる地域であること。
3. 従来からあまり多くの調査が行なわれていない地域であること。

調査地点については Fig. 2-1-1 に示す。

2-2 調査項目

現地調査は次の三項目について実施した。

- (1) 音波探査
- (2) 磁気探査
- (3) ボーリング

最初に音波探査により海底土の成層状態を推定する。

次に推定された成層図にもとづきボーリングの概略の実施位置を決定した。

ボーリングの実施に先だって、磁気探査を行い、磁気異常の認められない地点にボーリングの最終実施位置を決定した。

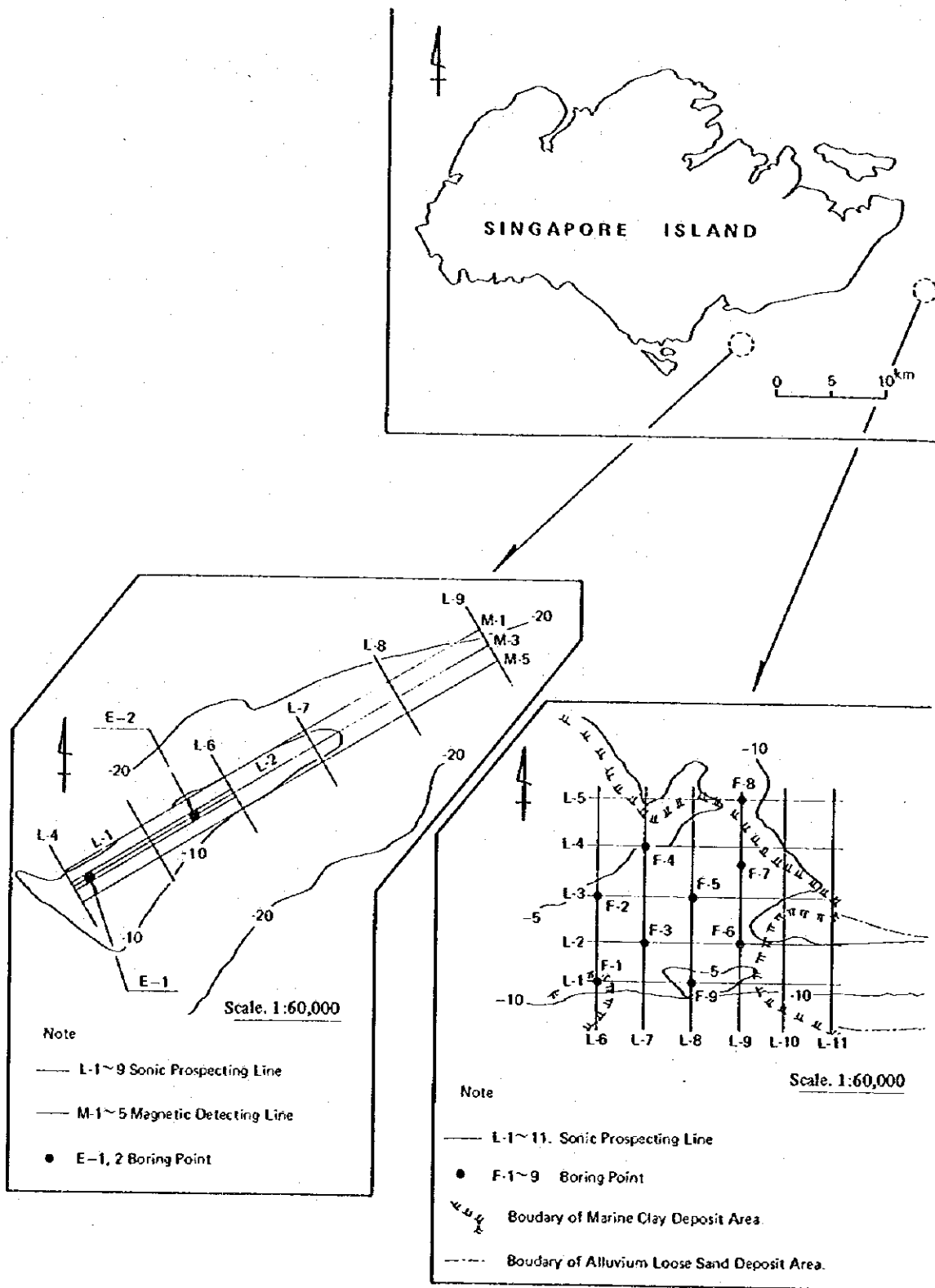


Fig. 2-1-1 Plan of Present Survey

2-3 調査内容

2-3-1 音波探査

Fig. 2-1-1 に示す測線について音波探査を行った。

測線の延長は次の通り

Outer Shoal 区域	26.2km
Off Changi 地区	43.6km
計	69.8km

調査に使用した機器類は次の通りである。

- 磁歪式音波探査機 (ソノストレータ Model SP-3)

メーカー	海上電機株式会社	
発信周波数	1 kHz ~ 10 kHz	
記録巾	0 ~ 25 m	浅海
	0 ~ 50 m	深海
記録方式	タイムベルトによるリニアラインレコーディング方式	
記録用紙	ドライタイプ	
発信方式	電子パルス発信	
記録速度	80 mm /min	浅海
	40 mm /min	深海
動力	100V AC, 50/60Hz 2kVA	

- 測距装置 オーディスタ 1式

メーカー	島田理化工業株式会社	
型式	TIPE 9D 010 (主局 1unit, 従局 2unit)	
最大測定距離	20km	
指示距離	99999.9 m (6桁)	
測定分配誤差	1.0 m	
測定許容誤差	0.1 m	
キャリア周波数	8.5GHz	
アンテナ出力	0.3W (approx)	
アンテナ方向	主局	水平 360° 鉛直 15°
	従局	水平 30° 鉛直 15°

- タグボート 22.5 GT 238 HP 1隻

2-3-2 磁気探査

ボーリングに先だって爆弾機雷等危険物の有無を確認するために、磁気探査を行った。使用した機械の諸元は次の通りである。

- 磁気探知器 Flux gate type magnetometer 1式

検知器 MB 100型 5本

管制器 MB 100 C-06 (6チャンネル) 1台

メーカー (株)島津製作所

感 度 $\pm 0.5, \pm 2, \pm 10, \pm 50 \text{mG}$

確 度 指 示 計 各フルスケールの $\pm 10\%$

記録計出力 フルスケールの $\pm 2\%$

動揺雑音 0.2mG以下

静止雑音 0.01mG (1 σ)

背景磁界 $\pm 500 \text{mG}$ 以下

出 力 $\pm 1 \text{V}$

- 台 船 (非磁性) 42.35 GT 13.4m \times 7m 1隻

- タグボート 22.5 GT 238 HP 1隻

- 測 距 装 置 オーディスタ 1式

音波探査に使用したのと同じ

- 測 深 機 SR-60 1台

メーカー ラサ電子工業(株)

探査の方法は次のとおりである。

まず台船上に管制器をセットし、フレームにとりつけた検知器をロープで海中に吊す。検知器は常時、海底面上1mになるよう、音響測深機で水深を確認しながらウィンチで制御した。Fig. 2-3-1に示すように、タグボートで台船を曳航した。台船の位置は、オーディスタにより測定した。探査を行った個所はFig. 2-1-1に示すように Outer Shoal でL-1, L-2, L-3の3測線計16.04km, Off-Changi 地区では16測線計29.93km実施した。

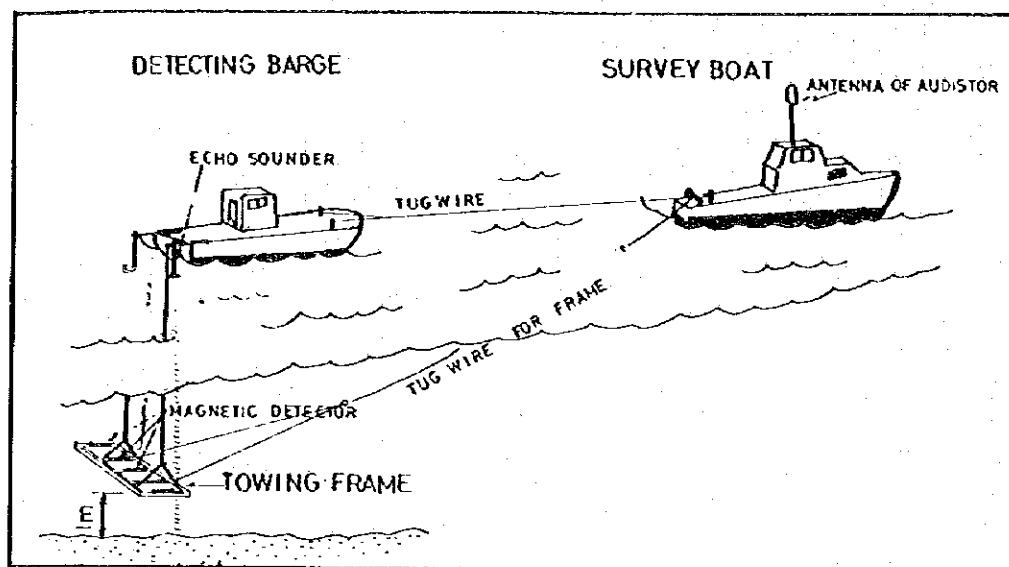


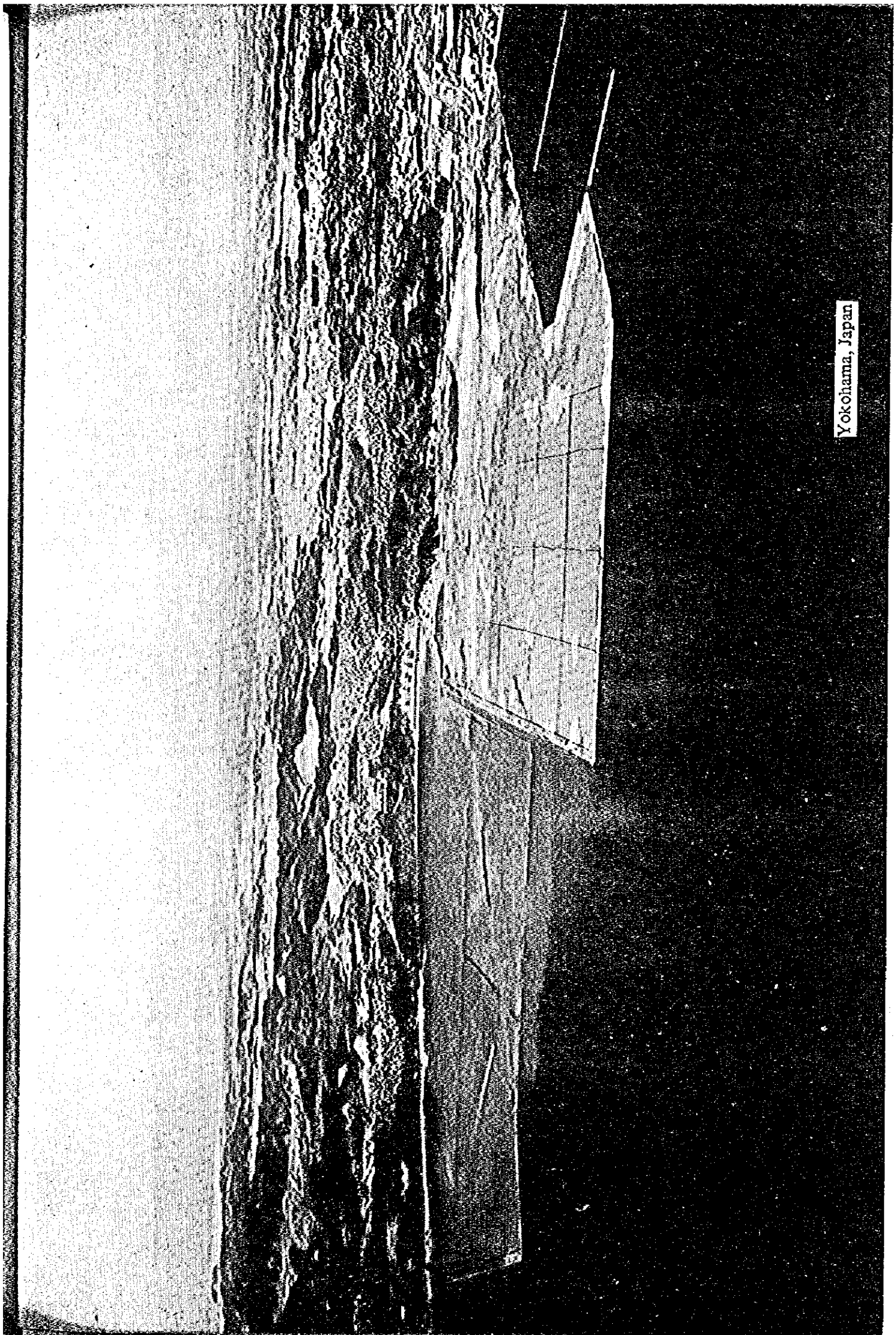
Fig. 2-3-1 The General Method of Magnetic Detection

2-3-3 ボーリング調査

ボーリング調査は、Fig. 2-1-1 に示す 11ヶ所について行われた。
 使用した機器の諸元は次のとおり

- ボーリング檣	鉄骨製 15m 高	2 基
- ボーリングマシン	MODEL OE-2L	2 台
メーカー	鉦研試錐	
掘削深度	200m (max)	
スピンドル回転数	80-160-330-560 r.p.m.	
トルク	50Kg-m (max)	
発動機	YANMAR ENGINE NS-110C	
- 試錐ポンプ	MODEL MG-5A	2 台
メーカー	鉦研試錐	
吐出量	25 l/min, 35 l/min, 65 l/min	
圧力	60 ^{1/2} kg/cm ² , 40 ^{1/2} kg/cm ² , 25 ^{1/2} kg/cm ²	
発動機	YANMAR ENGINE NS-65C	

ボーリング作業は次のようにして行った。
 まずオーディスタにより位置を測定し、クレーン船によりボーリング檣の据付を行った。
 掘削に先立ち、径 97mm のケーシングパイプをセットし、径 75mm のコアチューブを用いてロータリー方式で掘進した。2m 毎に標準貫入試験を行いながら基盤の洪積層を確認するまで掘削を行った。標準貫入試験により採取した試料は試験室で各種の物理試験を行った。



Yokohama, Japan

3) シンガポール領海内の海底土砂

シンガポールの陸上部の地層についてはシンガポールの Public Works Department が "Geology of the Republic of Singapore" を発行しており、かなり詳細にわかっている。

しかしながら海底部の地層については、限られたデータしかなく、その全容はよくわかっていない。今回の調査において、コンサルタントは、過去行なわれたシンガポール領海内の海底で行なわれたボーリングのデータを集めるとともに、第2章にのべた土質調査の結果とあわせ、シンガポールの海底の土について整理し、検討した。

3-1 既存のボーリング資料の分類と解説

過去シンガポール領海内で数多くの海上ボーリングが行なわれている。しかし、その多くは、海岸に建設される構造物とか、沿岸の埋立区域についてのボーリングであり、埋立材料調査のためのボーリングデータは比較的少ない。

今回のコンサルタントが集めたデータは18調査で、ボーリング点は205点である (Table 3-1-1 参照)。これらの調査位置を Fig. 3-1-1 に示す。Fig. 3-1-1 よりわかるように、これらの調査位置は既に埋立地となっている所や、島の周辺に集中している傾向がみられ、シンガポール海域全体に亘っているものではない。

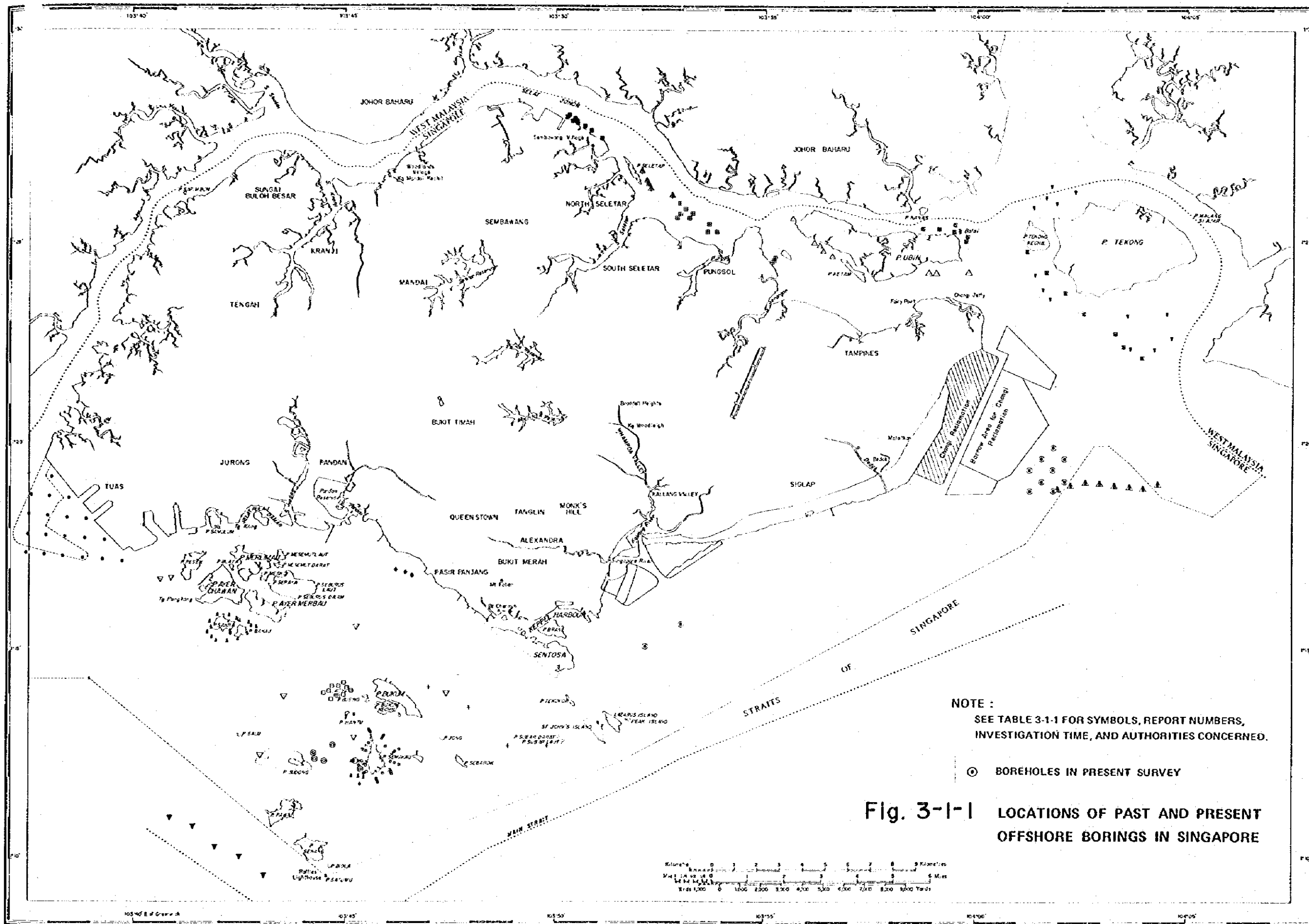
既存のデータを地域毎に概略の土質が判別できるように分類したのが Fig. 3-1-2a ~ Fig. 3-1-2f である。これらのボーリングがどの程度の深度まで行なわれているかを知るために深度別に分類したのが Table 3-1-2 である。

Table 3-1-1 Available Boring Data

No.	Report No.	Location	Year	No. of Boreholes	Authority Concerned	Legend	Remarks
1	PSA/SIU/P4/F1/73	Sembawang	1973	10	P.S.A	■	
2	ES/SI/P29/75	P. Seletar	1975	5	P.S.A	▲	
3	PSA/SIU/P2/F1/72	Punggol, P. Seletar, Coney Isl.	1972	17	P.S.A	⊕	
4	ES/SI/P8/76	P. Ubin	1976	8	P.S.A	△	
5	ES/SI/P4/76	P. Ubin	1976	6	P.S.A	⊠	
6	ES/SI/P7/76	P. Tekong	1976	13	P.S.A	▽	
7	—————	P. Tekong	—	7	P.S.A	⊠	Soil Investigation
8	—————	Johore Shoal	1973	8	H.D.B	▲	
9	ES/SI/P30/75	Terumbu Retan Laut	1975	3	P.S.A	+	
10	ESD/SIU/P18/73	Sisters' Shoal	1973	4	P.S.A	+	
11	—————	P. Pesek	1969	7	J.T.C	▽	Coral Investigation
12	J312	P. Sakau, Sakra	1976	31	J.T.C	△	
13	J283	P. Busing	1975.11	19	J.T.C.	⊠	
14	SI/886/76	P. Semakau	1976	6	P.S.A	⊙	Saeki Co., Ltd.
15	J249	P. Semakau Reef	1975. 8	31	J.T.C	◦	
16	—————	P. Semakau	1976. 9	6	P.S.A	▲	Kumagai-Gumi Co., Ltd.
17	ES/SI/P19/74	Straits of Singapore	1974	5	P.S.A	▼	
18	J116	Tuas Jurong Town West	1971. 4	19	J.T.C	•	

Table 3-1-2 Depth of Boreholes

Depth of Boreholes	Number of Boreholes
A.C.D. - 10 m or less	20
- 10 m ~ - 20 m	120
- 20 m ~ - 30 m	60
- 30 m or deeper	5
Total	205



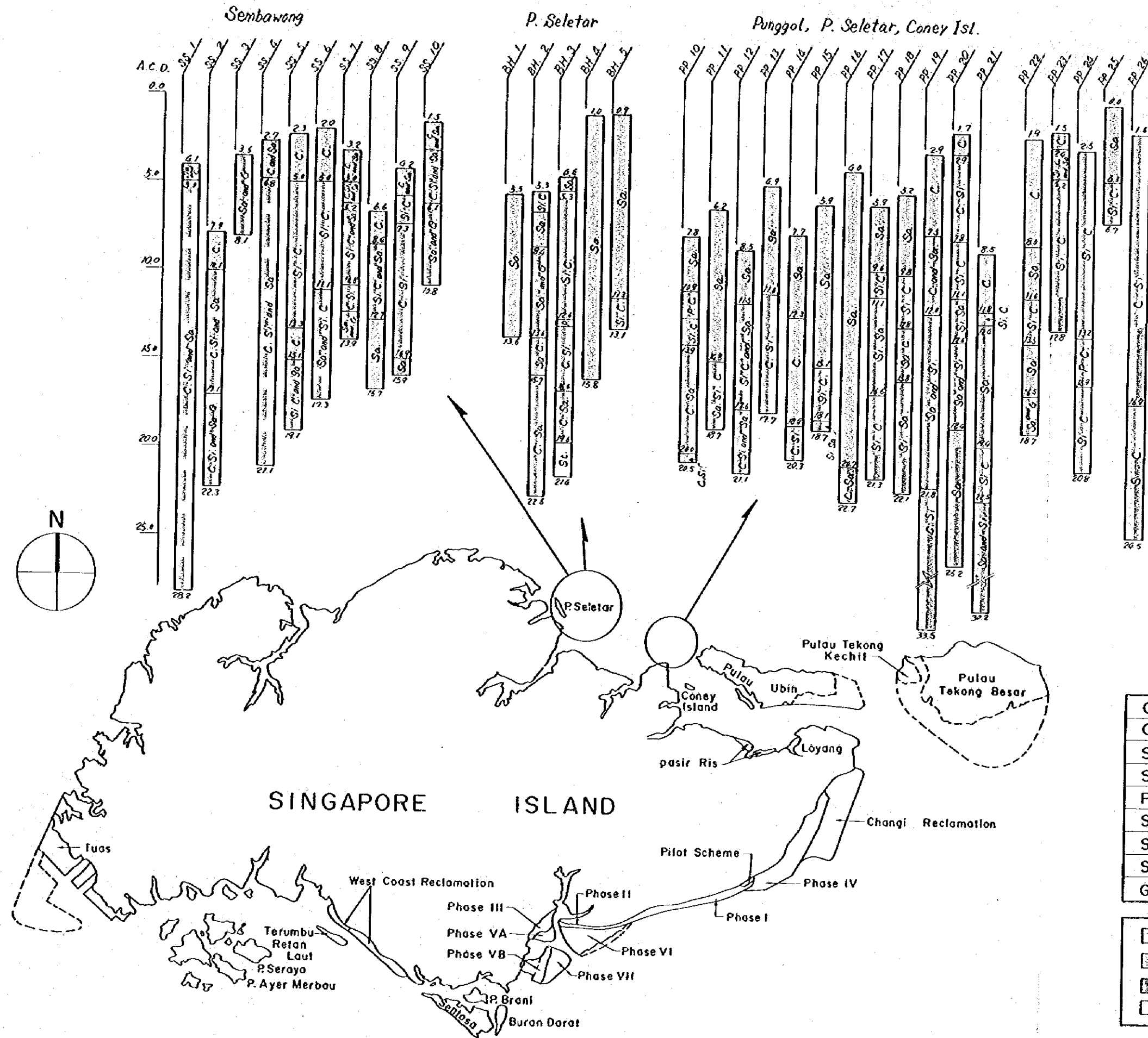


Fig. 3-1-2a

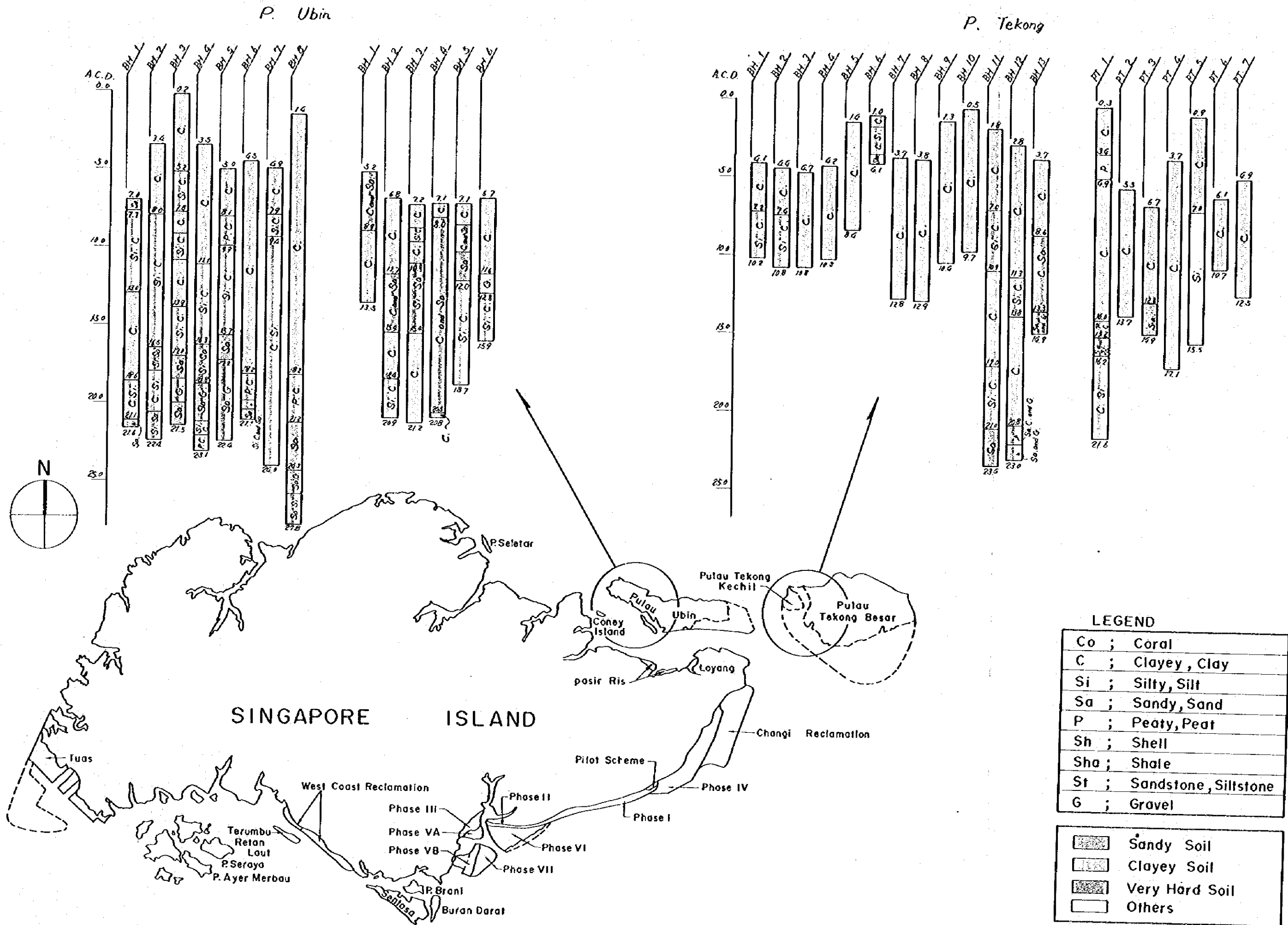
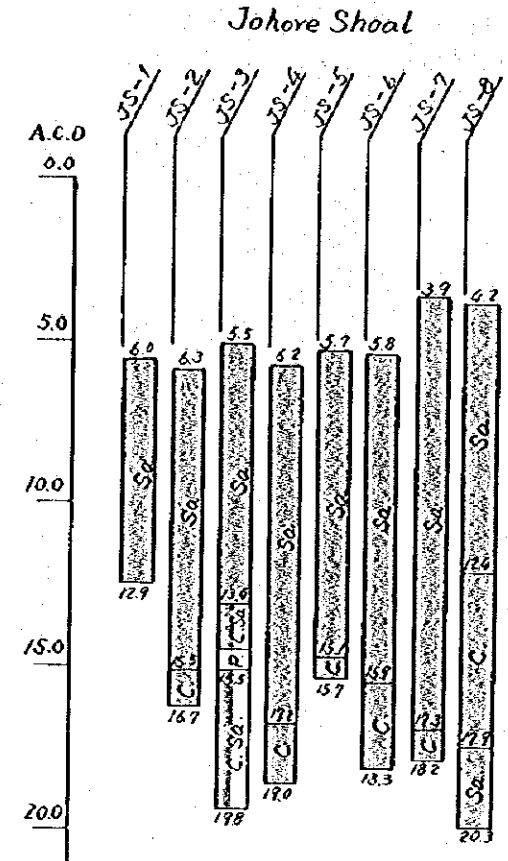
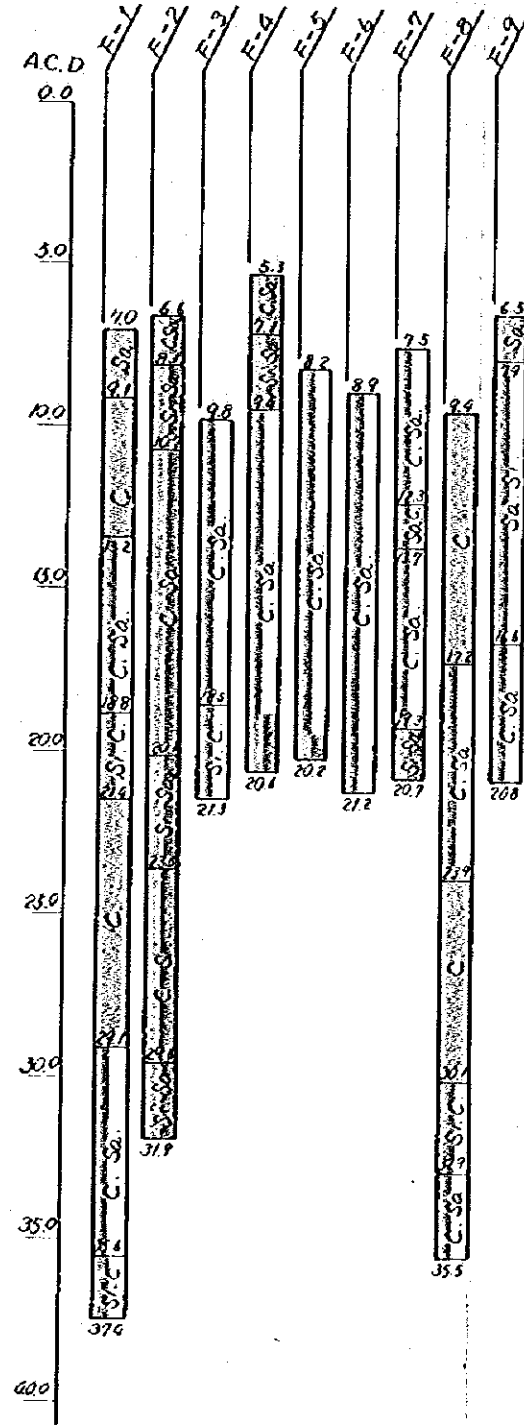
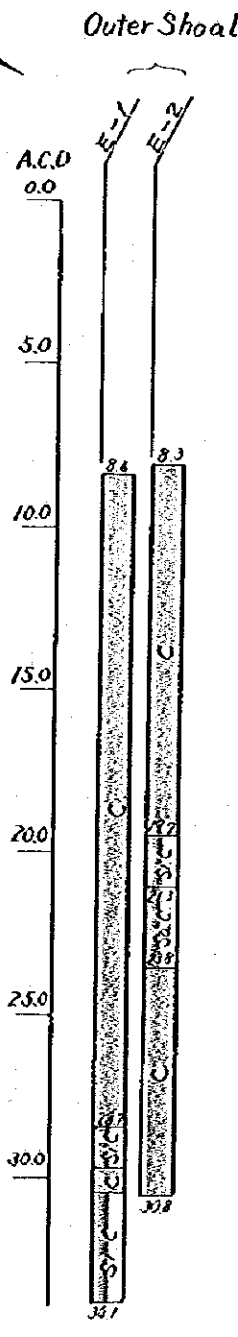
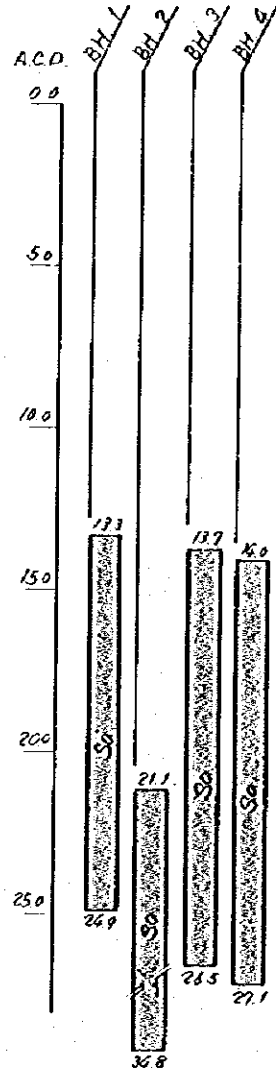
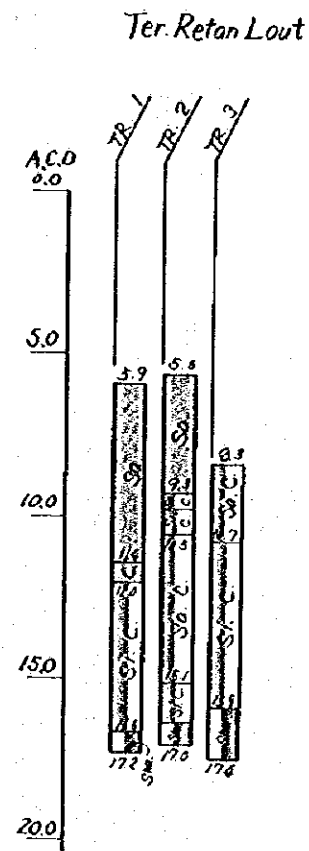
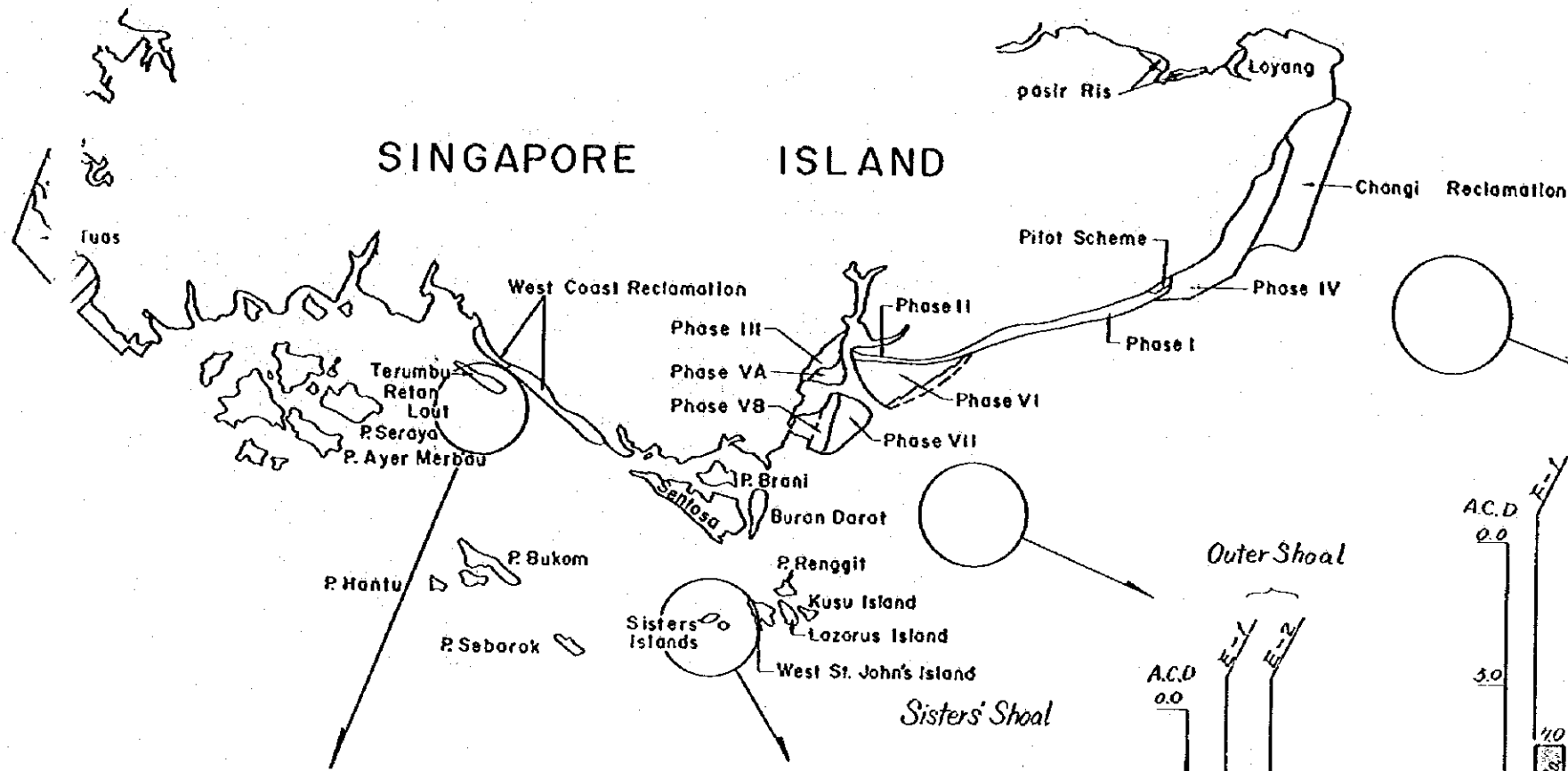


Fig. 3-1-2b

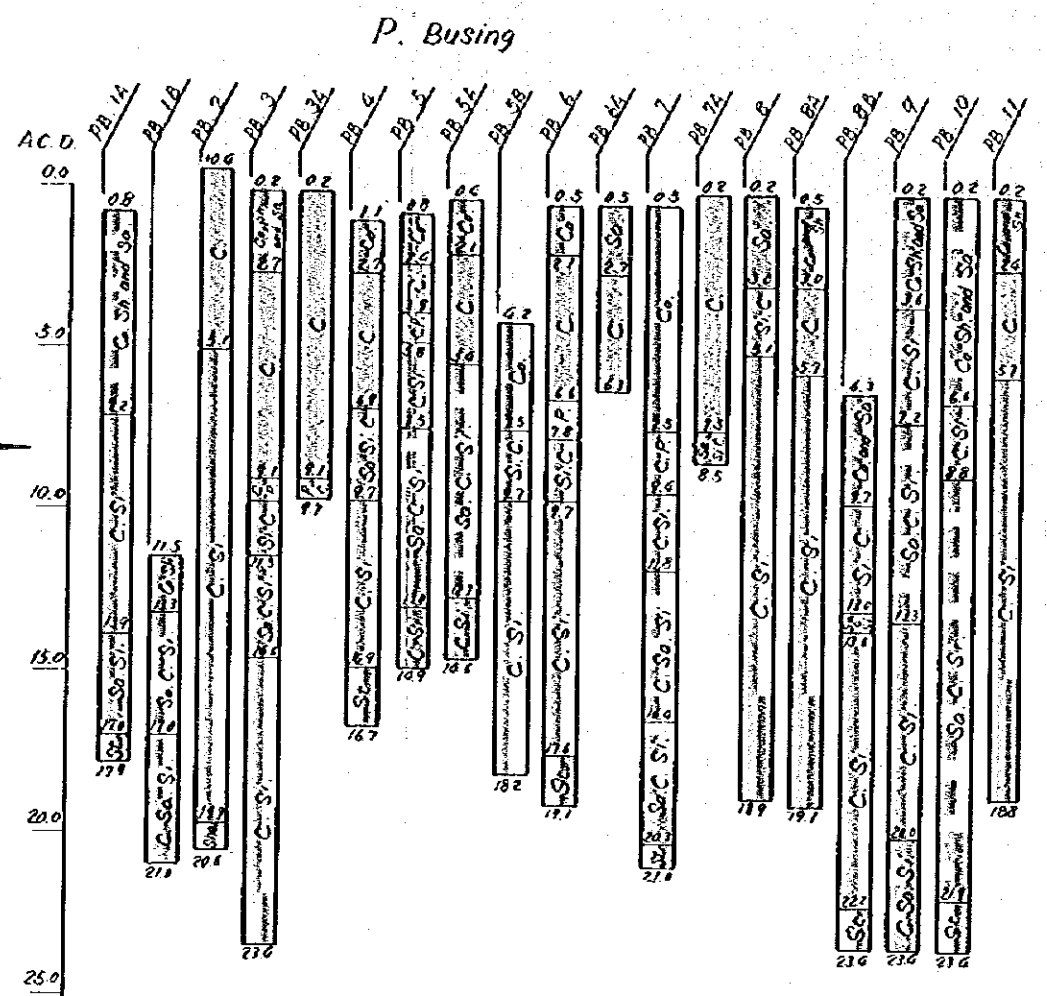
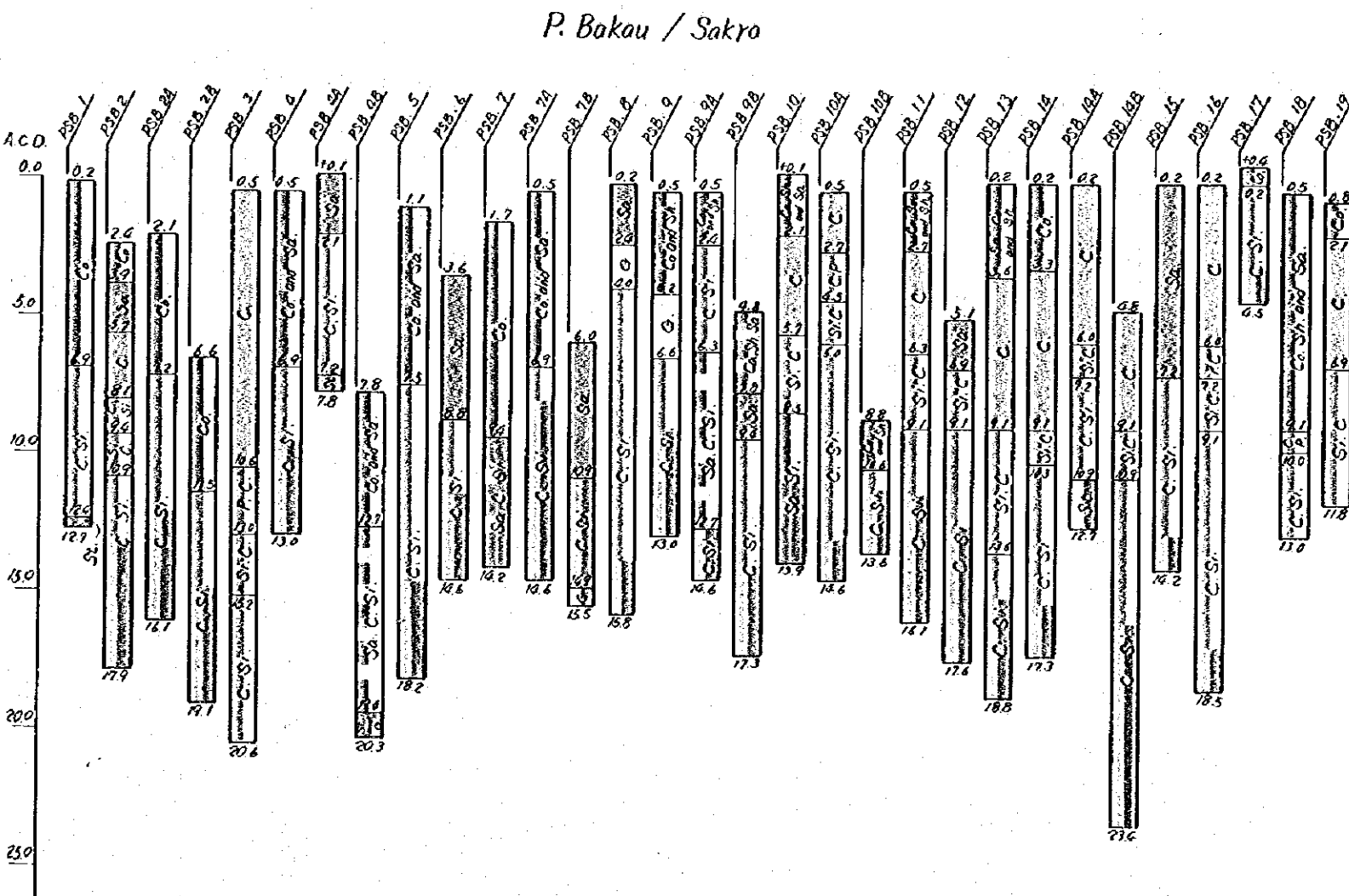
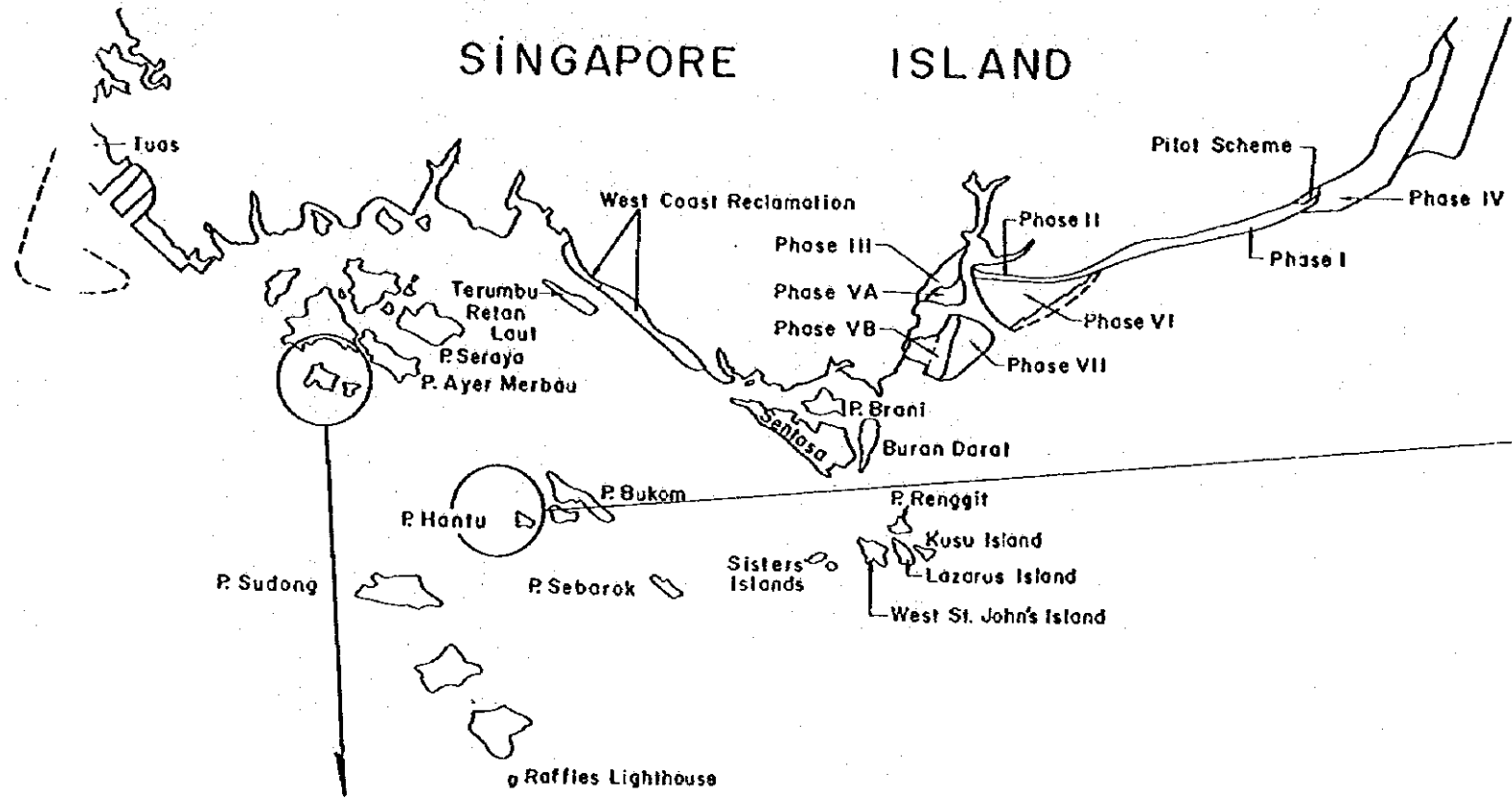


LEGEND

Co	; Coral
C	; Clayey, Clay
Si	; Silty, Silt
Sa	; Sandy, Sand
P	; Peaty, Peat
Sh	; Shell
Sha	; Shale
St	; Sandstone, Siltstone
G	; Gravel

	Sandy Soil
	Clayey Soil
	Very Hard Soil
	Others

- 21 - Fig. 3-1-2c

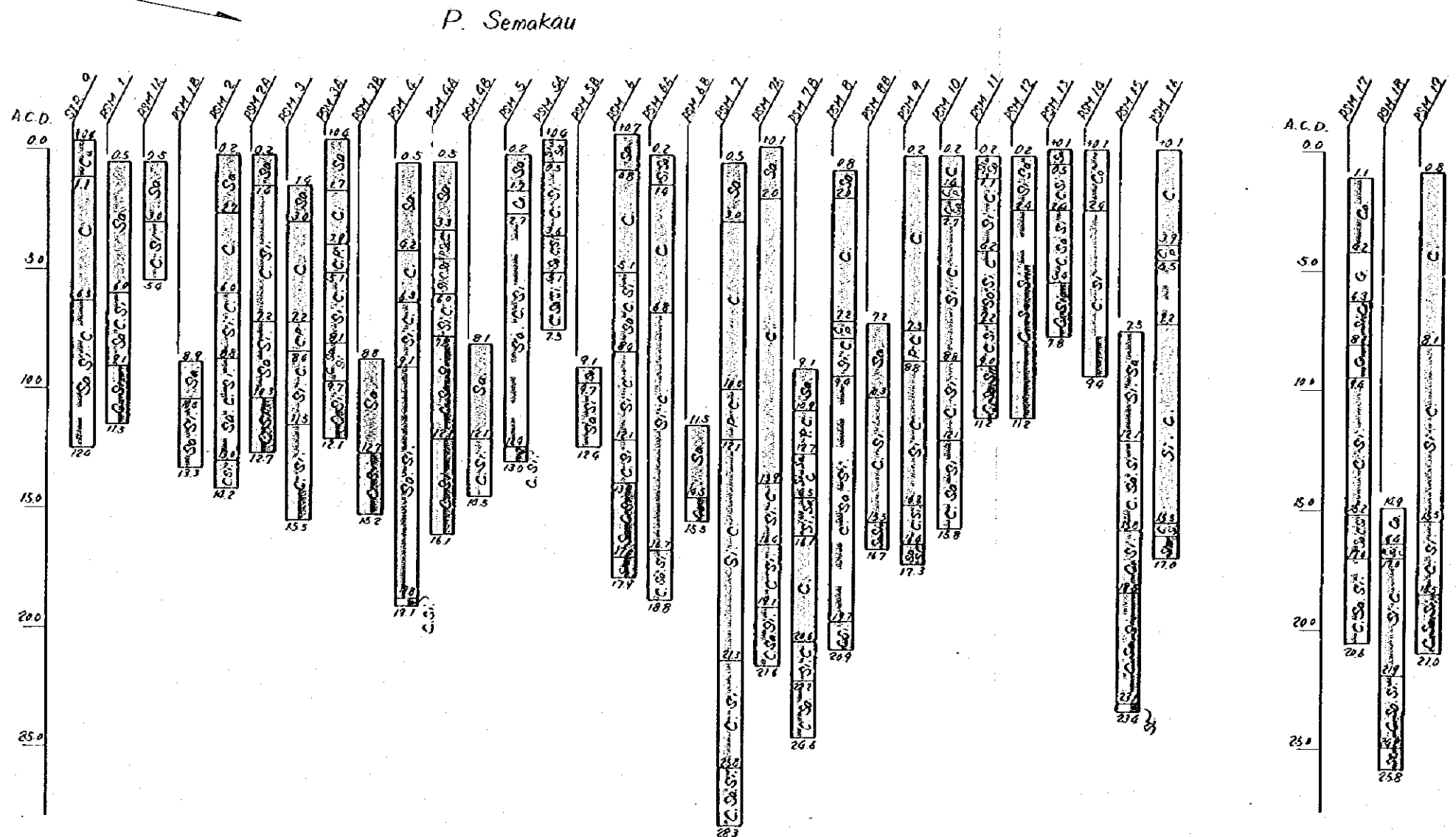
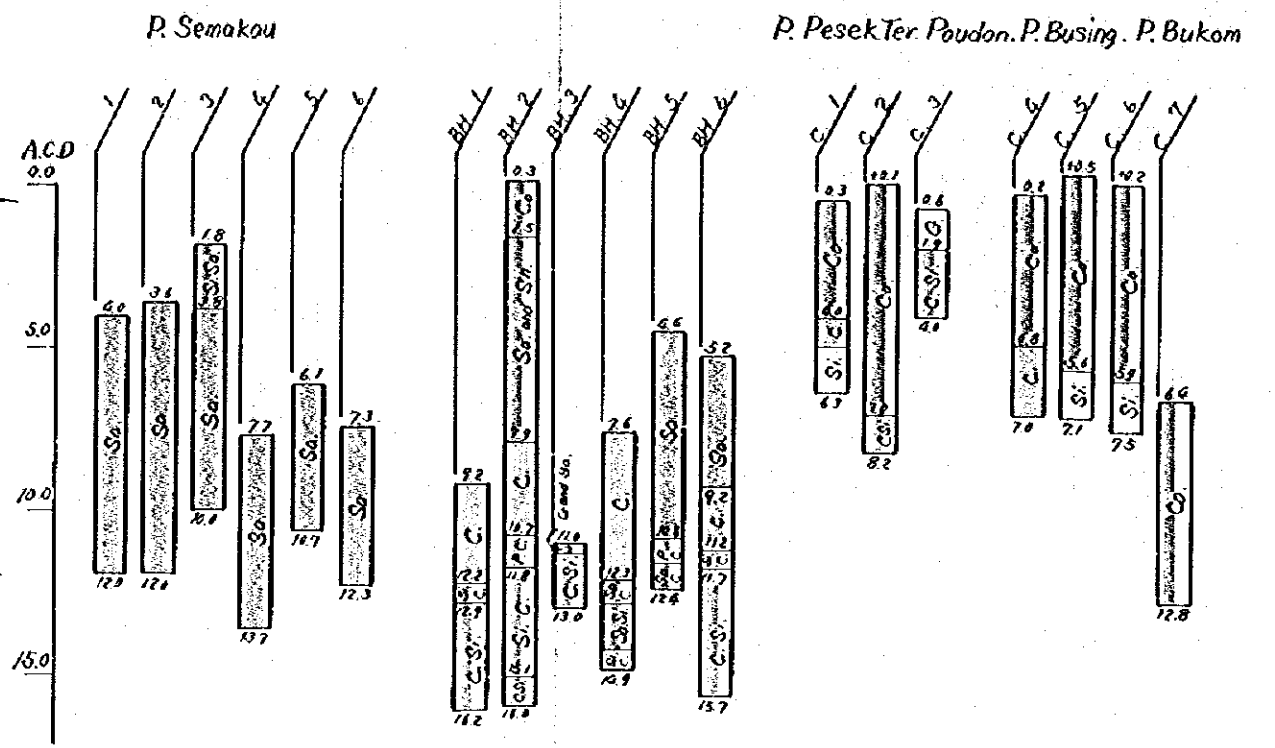
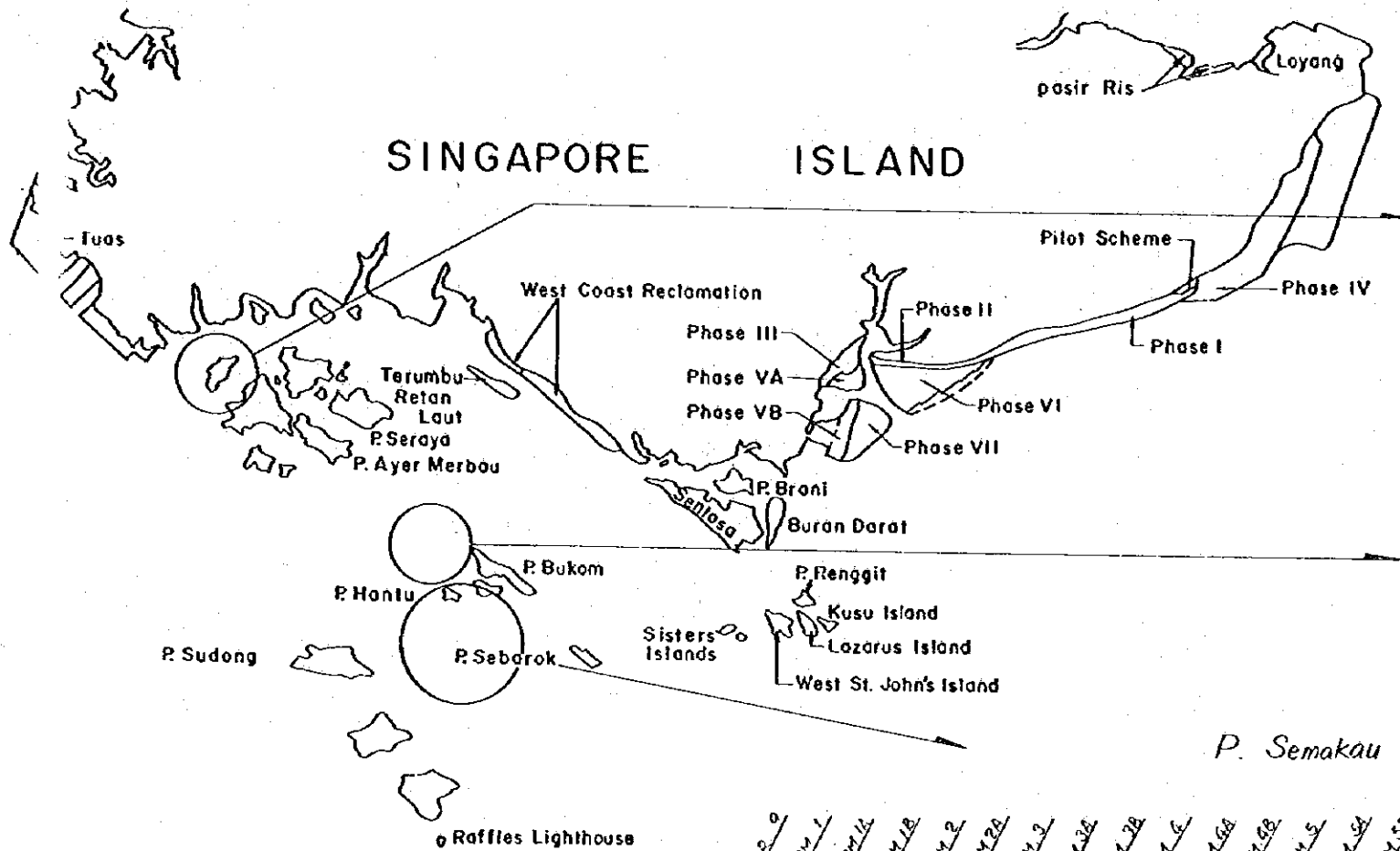


LEGEND

Co ; Coral
C ; Clayey, Clay
Si ; Silty, Silt
Sa ; Sandy, Sand
P ; Peaty, Peat
Sh ; Shell
Sha ; Shale
St ; Sandstone, Siltstone
G ; Gravel

	Sandy Soil
	Clayey Soil
	Very Hard Soil
	Others

- 22 - Fig. 3-1-2d



LEGEND

Co ; Coral
C ; Clayey, Clay
Si ; Silty, Silt
Sa ; Sandy, Sand
P ; Peaty, Peat
Sh ; Shell
Sha ; Shale
St ; Sandstone, Siltstone
G ; Gravel

	Sandy Soil
	Clayey Soil
	Very Hard Soil
	Others

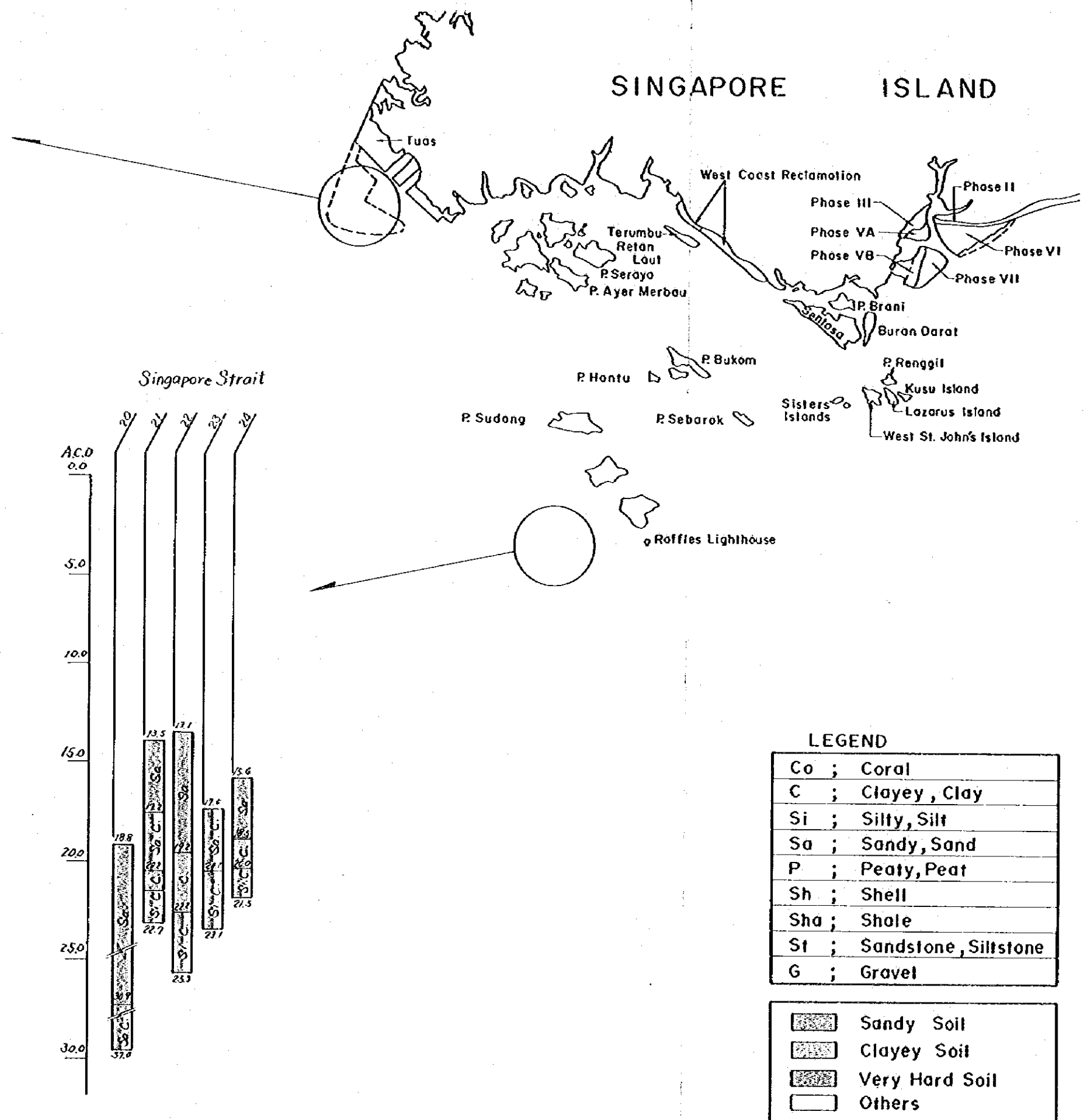
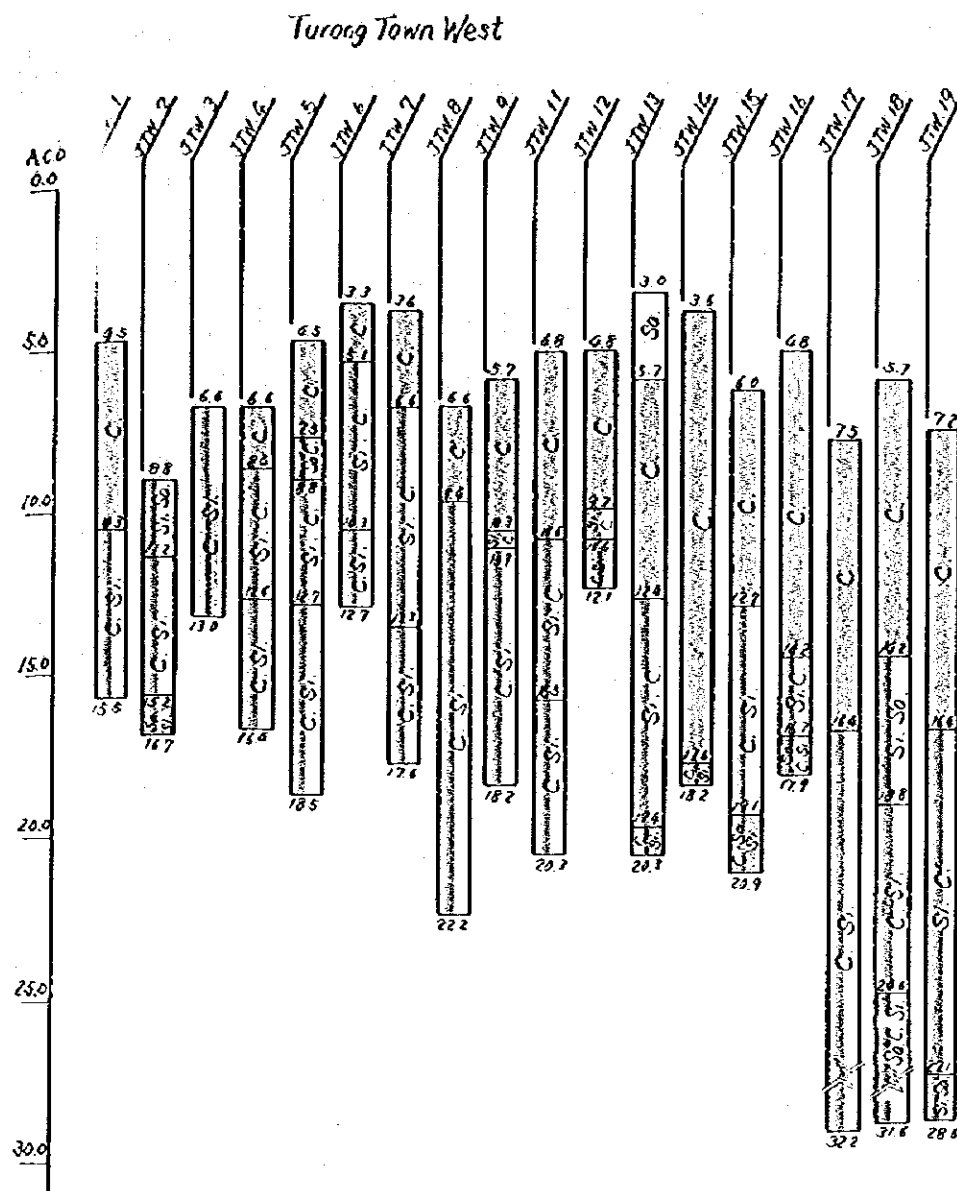


Fig. 3-1-2f

これらのデータはかなり地域毎に差があるので Fig. 3-1-2a ~ f に示した各区域における土質について、その概要をのべることにする。

(1) Sembawang, Pulau Seletar, Punggol, Coney Island 地区

部分的に海底面に 5 ~ 10 m の Loose sand が存在する他は、Clayey silt や Silty Clay あるいはそれに砂のまじった層などが複雑な成層状態をなしている。-20 m 以深にはかなり締った砂層や Clayey sand の層がみられる。

(2) Pulau Ubin, Pulau Tekong 区域

Pulau Ubin 周辺は概して海底面に Marine Clay が 5 m ~ 20 m 位堆積しており、その下に Silty Clay や Clayey Silt が存在する。その下に島の南側では -15 m から -25 m にかけて Loose な砂層 (レキ含む) が存在している。島の北側では、Marine Clay の上又は Marine Clay にはさまれて粘土分を少し含む Loose な砂 (厚さ 5 m ~ 10 m) がみられる。

Pulau Tekong の周辺の海底は全般に厚い Marine clay でおおわれている。深いボーリングが少ないので、深部はわからないが、少なくとも -20 m 位までは Marine clay がつついていると思われる。

(3) Johore Shoal 地区

今回行なわれた Changi 沖の調査区域の東側の地域であり、海底面 (約 -5 m) から約 -17 m 位にかけて、かなりの量の Loose Sand が堆積していた。しかし、これらの砂は大部分すでに行なわれた埋立プロジェクトなどに使用されていて、残りはわずしかないと考えられる。Loose Sand の下は Marine Clay があり、その下に 洪積層上部と思われる締った砂または Clayey Sand が存在する。

(4) Sisters' Shoal 地区

当地区の調査は、1973 年に行なわれており、これによると、この地区は、海底面にゆるい砂が露出し、20 m 以上の層厚の砂が堆積している。

その区域は、その後かなり大量の砂が採集されてきており、表層は、かなりとらわれている。

深部には、まだ砂が存在すると思われるが、その量は不明である。

(5) Westcoast Reclamation 沖海上 (Terumbu Retan Laut) 海底面に 5 m 位

Loose Sand の堆積がみられる。その下に Marine Clay 及び Silty Clay が存在し、-17 m 付近から頁岩があらわれる。

(6) Pulau Bakan; Pulau Sakra, Pulau Pesek 地区

ボーリングはすべてサンゴ礁上で行なわれたものである。海底面は厚さ5m~7mのCoralで、その下に軟らかいMarine Clay, その下にStiffないしhardのClayey Silt又はSilty Clayがあり、-15m~-20m位のところで非常にかたい(hard) Shaly Structure(所により砂岩)に当たる。Pulau Pesekは、浅いボーリングしか行なわれていないが、大体Pulau Bakan, Pulau Sakraと同様の地層であると推定される。

(7) Pulau Samakau, Pulau Busing, Pulau Sudong, Pulau Bukum 地区

この地区で行なわれたボーリングもほとんどサンゴ礁上に集中しており、上記Pulau Bakanなどの地区と大体同様の成層状態をしている。頁岩(所により砂岩)に当る深さは大体-15m~-25mである。

これらのサンゴ礁の間の海底には、表層にMarine clayの堆積している所と、Marine Clayの上にLoose Sandの5m~10m堆積している所がある。

(8) シンガポール海峡 (Raffle's Shoal)

この区域でボーリングされた個所には、5m~10mのLoose Sand及び粘土分を20~30%含むLoose Sandの堆積がみられる。

一番深いボーリングは、-37mまで行なわれているが、まだHard Stratumに達していない。

(9) Tuas 地区

Tuas 埋立計画地区を中心に数多くのボーリングが行なわれている。

本地区は海底より2m~10m厚のMarine Clayでおおわれており、その下にstiff to very stiff silty clay, very dense clayey siltと続き、-15m~-30mで頁岩層にあたる。このStiff ClayやClayey Siltは基盤の頁岩(Jurong Formation)の風化したものである。既存の埋立地でこのvery dense clayey siltを使用している所がみられた。一部埋立予定地の西側にMarine Clayの上に最高6m位の厚さのLoose Sandが堆積している区域がある。

3-2 今回の土質調査結果のまとめと解説

3-2-1 土質調査内容

今回の土質調査の内容は次のとおりである。

	Sonic Prospecting			Number of Bore holes
	Line No.	Length	Total Length	
Outer Shoal (Area E)	L - 1	5.5 km	26.2 km	2
	L - 2	5.7 "		
	L - 3	5.9 "		
	L - 4	2.2 "		
	L - 5	1.4 "		
	L - 6	1.4 "		
	L - 7	1.4 "		
	L - 8	1.4 "		
	L - 9	1.3 "		
Off-shore of Changi (Area F)	L - 1	7.4 km	43.6 km	11
	L - 2	4.7 "		
	L - 3	3.8 "		
	L - 4	3.3 "		
	L - 5	3.2 "		
	L - 6	3.7 "		
	L - 7	3.6 "		
	L - 8	3.4 "		
	L - 9	3.5 "		
	L - 10	3.5 "		
	L - 11	3.5 "		

Table 3-2-1 Sonic Prospecting & Magnetic Detecting Survey

ボーリング及び土質試験の内容は次のとおりである。

Boring No.	Site Work			Number of Laboratory Soil Tests				
	Drilling Length (m)	Final Depth (A.C.D -m)	Number of Standard Penetration Tests	West Density	Natural Water Content	Specific Gravity	Grain Size Analysis	Liquid & Plastic Limits
E-1	25.45	34.05	13	13	5	5	5	5
E-2	22.45	30.75	11	11	5	5	5	5
F-1	30.35	37.35	15	15	15	15	15	9
F-2	25.27	31.87	13	13	13	13	13	3
F-3	11.45	21.25	6	6	6	6	6	2
F-4	15.25	20.55	9	9	9	9	9	0
F-5	12.00	20.20	7	7	7	7	7	0
F-6	12.34	21.24	6	6	6	6	6	0
F-7	13.24	20.74	7	7	7	7	7	0
F-8	26.12	35.52	8	8	8	8	8	3
F-9	14.27	20.77	7	7	7	7	7	4
Total	208.19	-	102	102	88	88	88	31

Table 3-2-2 Boring & Soil Tests

3-2-2 音波探査

3-2-2-1 Outer shoal (E地区)

本地域の海底面はすべて、Kallang Formation の Upper Marine Member (いわゆる new marine clay) でおおわれていることが、今回の調査の結果、明らかになった。この地域の模式地層断面図を Fig. 3-2-1 に示す。下位より洪積世 (Pleistocene) の Old Alluvium を基盤層として、沖積世 (Alluvium) の Marine Member が堆積している。

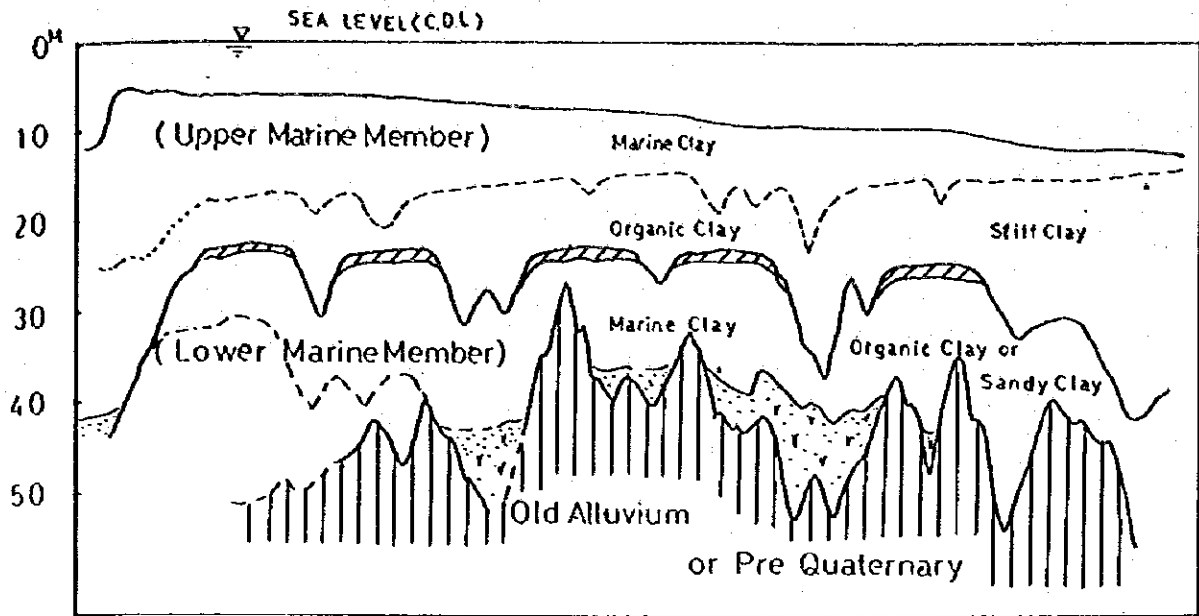


Fig. 3-2-1 Illustrative cross-section of Outer Shoal

- 洪積層 (Old Alluvium)

後述するように、シンガポール本島東側に広く分布する地層である。構成物は、Sand with Gravel, Clayey Sand with Gravel 等より構成されている。所々に Stiff Clay (N-Value 40 Blow/ 30cm ~ 50 Blow/ 30cm) がパッチ状に存在する。音波探査記録では、明瞭な反射面をもって記録されている。この層の上面の形状は、模式図にも示すように、凹凸が激しく多くの埋積谷 (Waste-filled Valley) を形成している。本層の上面分布深度は、本調査地では A・C・D - 30m 以下であった。

なお、本層の分布は音波探査によって確認されたもので、ボーリングでは未確認である。

- 沖積層 (Kallang Formation - Marine Member)

本層は2つの相 (Facies) に分類される。Geology of the Republic of Singapore (P.W.D - 1976) では、下位より Lower Marine Clay (いわゆる、Old Marine Clay) と Upper Marine Clay (いわゆる New Marine Clay) である。

Lower Marine Clay は Sand, Sandy Clay, Organic Clay, と Stiff Clay などから構成されている。Upper Marine Clay との境界は、Stiff Clay で区別されている場合が多い。本調査地域では A・C・D - 20m ~ 25m 付近に分布していることが音波探査・ボーリング結果によって確認された。陸域に近い所では一般に 15 ~ 23m 程度の深度に分布すると言われている。

この Stiff Clay は 2～6m の層厚で水平方向に比較的良く分布しているが、所によっては欠除するところがある。本層の N-Value は 13 Blow / 30cm ～ 14 Blow / 30cm であった。

Upper Marine Clay はきわめて軟弱な粘土 (Very Soft Clay) である。分布深度は A・C・D- 20 m 前後迄である。本層の分布範囲・分布深度は明瞭に区分することができる。

3-2-2-2 Offshore Changi (F 地区)

この調査区域を構成する地質は、洪積層 (Old Alluvium) に対比される砂、粘土混り砂 (レキを含む) と沖積層に対比されるいわゆる Marine Member よりなっている。

音波探査の記録上では、この差が明瞭に見られる。

しかし、表層 (海底面下) の新しい砂層 (Loose Sand) が堆積している所では、下位の Marine Member の記録は不鮮明になっている。この地域の地質構成模式図は Fig.3-2-2 のようになっている。

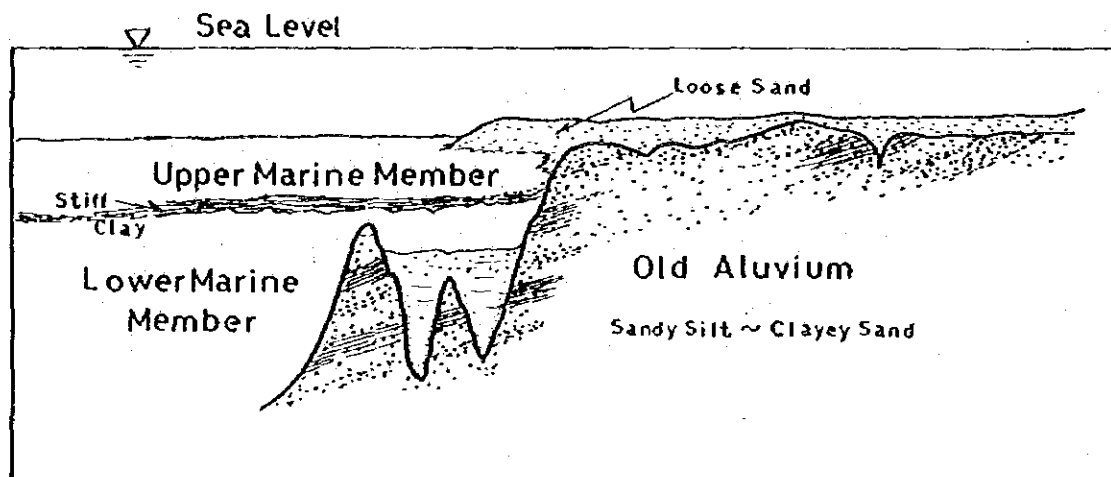


Fig. 3-2-2 Illustrative Cross-section of Offshore Changi

調査地域の地質について既存資料及び今回のボーリング結果を参考にして説明する。

- 洪積層 (Old Alluvium)

この地層は、調査地域の基盤を構成する地層で、ほぼ全域にわたって分布している。一部、Fig. 3-2-3 に示すように北東部～東部で Marine Clay におおわれている。構成する物は、主に、Clayey Sand with Gravel で、Sandy Clay, Sandy Silt, が不連続に分布している。Sand の礫径(Grain Size) は 0.5 ~ 2 mm の粒相砂である。その間をうめる Clay はきわめて高い粘性を示す褐色粘土である。礫のほとんどが石英で角礫状を呈している。この他長石 (Feldspar) 粒子も一部見られる。Gravel は径 2 cm 大のものも見られる。

音波探査の記録では、本層上面で音波が反射しその下が白くぬけている。Marine Clay Zone では、凹凸が激しく、埋積谷を形成している。

- 沖積層 (Alluvium)

本地域に分布する沖積層は、P.W.D 発行の Geology of the Republic of Singapore 層序区分の内、Kallang Formation の Marine Member に対比される。

音波探査結果によると、Old Alluvium を侵食し多くの谷地形が形成され、その谷を埋めて沖積層が堆積している。本地層をボーリング結果を参考にして下位より説明する。

• Lower Marine Member (Old Marine Clay)

埋積谷基底面より Clayey Sand, Clay with Organic Matter, Marine Clay, Silty Clay, Clayey Sand 又は Stiff Clay の順序で堆積している。

このうち、Stiff Clay, Clayey Sand は比較的鮮明な反射面をもって記録されている。沖積層との境界面である Stiff Clay は A.C.D. - 15 m ~ - 25 m の位置に連続してみられる。

その下位の埋積谷をうめる Sandy Clay は、A.C.D. - 18 m ~ - 25 m の位置より深部に分布している。

この層の層厚が厚くなると、音波探査では、その下部の記録は不鮮明になることがある。

Marine Clay は Lower Marine Member で代表される地層で、非常に粘着性の強い、均一な Clay である。

音波探査の記録上では、白くぬけた状態で見られる。この他 基底砂層 (Basal sand formation) の真上と Stiff Clay 又は Clayey Sand の下部に有機物を含む Brownish Gray Clay が分布する。

- Upper Marine Member

この層は、きわめて軟弱な粘土層 (New Marine Clay) で、海底面より A.C.D. - 15 m ~ - 25 m 附近まで堆積している。

Marine Member が分布する全域に分布している Gray to Dark Gray の均一な Clay である。音波探査の記録上では、ほぼ白くぬけて見えるが、部分的には堆積面を示す。

- Loose Sand

この層は洪積台地より Marine Member に変わる部分と、Johore Shoal ぞいに分布するごく新しい地点である。層厚は 2 ~ 10 m 程度である。洪積層の表面から Drive されたもので Medium to coarse grained sand with gravel よりなっている。本層が厚く堆積しているところでは、音波が反射されて下位の地層の情報がえられないことがある。

- 地質構造

本地域には洪積層 (Old Alluvium) より古い地層は見られない。陸上ではわずか Changi 22 マイル地点に Bukit Timah Granite が露出しているにすぎない。他地域のボーリングデータによれば本層の厚さは 140 m 前後であると記載されている。本調査では A.C.D-30 m 迄ボーリングをおこなっているが、いずれも洪積層であった。

本層は、過去の海水準変動で多くの侵食谷を形成した。

今回の調査結果では、A.C.D-45 m 以上の埋積谷が記録された。(音波探査結果)

これらの谷のすべてが Kallang Formation の Marine Member でうめられている。

洪積層が海底面に直接分布するおおよその範囲は Fig. 3-2-3 の通りである。

Marine Clay は調査地北部から東部にかけて分布し、これより北東方向 (Tekong Island 方向) にかけて広く分布している。

したがって、良好な砂の分布する範囲は、これより西側になる。又既存データによれば Bedok New Town (Sungai Bedok) 附近の底地帯を形成している埋没谷 (沖積低地で軟弱粘土層が厚く堆積している) がほぼ南方向にのび海底下に分布している。このため砂の分布する範囲は Fig. 3-2-3 に示す範囲となる。

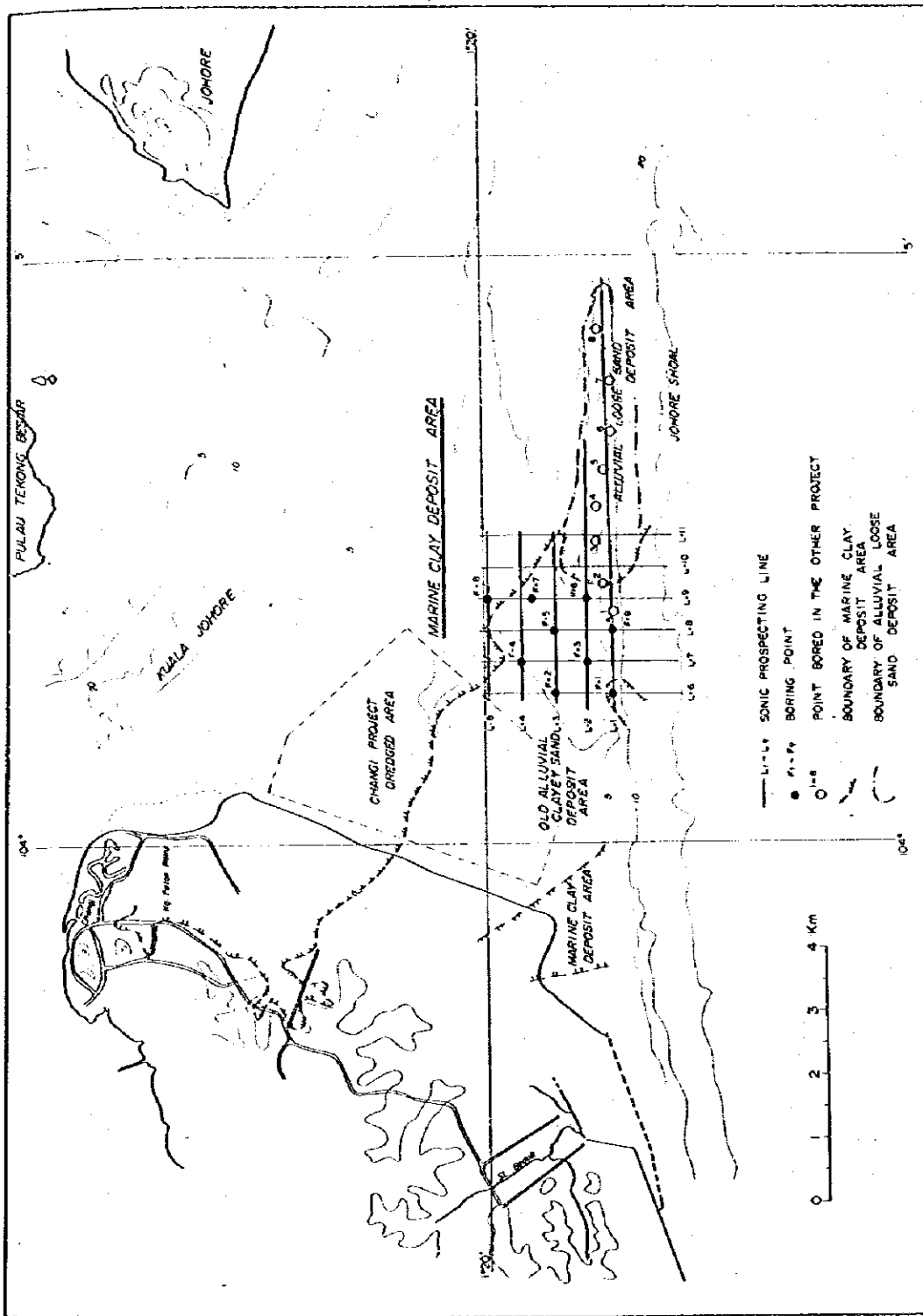


Fig. 3-2-3 Geological Schematic Map of Offshore Changi

3-2-3 ボーリング調査結果

ボーリングはE地区で2本F地区で9本実施した。

以下この結果について説明する。

- Outer Shoal (E地区)

E地区については音波探査の記録が深部迄良く出ている地区(E-2)と記録の不鮮明な部分(E-1)を選んで実施した。

E-1, E-2 ボーリング結果を見ると、海底面より9~11m迄はN-value 0~1/30cmの軟弱な粘土層である。

本層の基底部にOrganic Clayが分布する。

本層はUpper Marine Memberに対比される層と思われる。

その下位にN-value 3 blows/30cmの粘土及び11~14 blows/30cmの砂質シルトが分布している。

本層はLower Marine Memberに対比される。

E-1, E-2 両ボーリング孔共基盤層を確認することが出来なかった。

- Offshore Changi (F地区)

本地区では9本のボーリングをおこなった。

この結果、ボーリングF-1, F-8をのぞいた他は、すべて洪積層のOld A-luviumが海底面より分布している。

F-1, F-2は、Kallang FormationのMarine Memberが分布している。

上位よりLooseなSand with Gravelが2~3m堆積し、その下部にUpper Marine Memberの軟弱な粘土層が堆積している。

本層の分布深度はA.C.D.-13~17m程度迄であった。

Upper Marine Clayの下位にはF-1, F-8のボーリング孔共Clayey Sandの層が分布している。

N-Valueは3~5 blows/30cmときわめてゆるい層である。

層厚は3~6mである。

F-1ボーリング孔ではこの下位にN-Value, 18 blows/30cmのStiff Clayが分布していることからUpper Marine Memberの基底砂層とも考えられる。

本層以下は、Lower Marine Memberに属するものと思われる。

Lower Marine Member は上位より Stiff Clay (N = 18 blows/30cm), Marine Clay (N = 3~4 blows/30cm), Clay with Organic (N = 6 blows/30cm), Clayey Sand (N = 15~38 blows/30cm) と分布している。

洪積層は、きわめて締った砂質土を主体として、所々に Clayey Silt が存在している。N値は風化部で 15 blows/30cm~50 blows/30cmであるが未風化部は N = 50 blows/10cm~20cmであった。

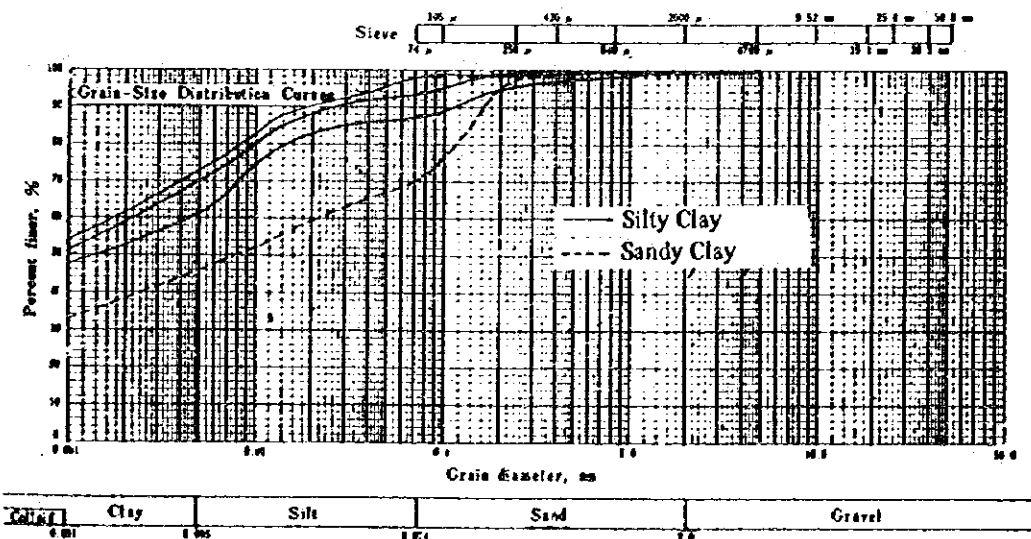
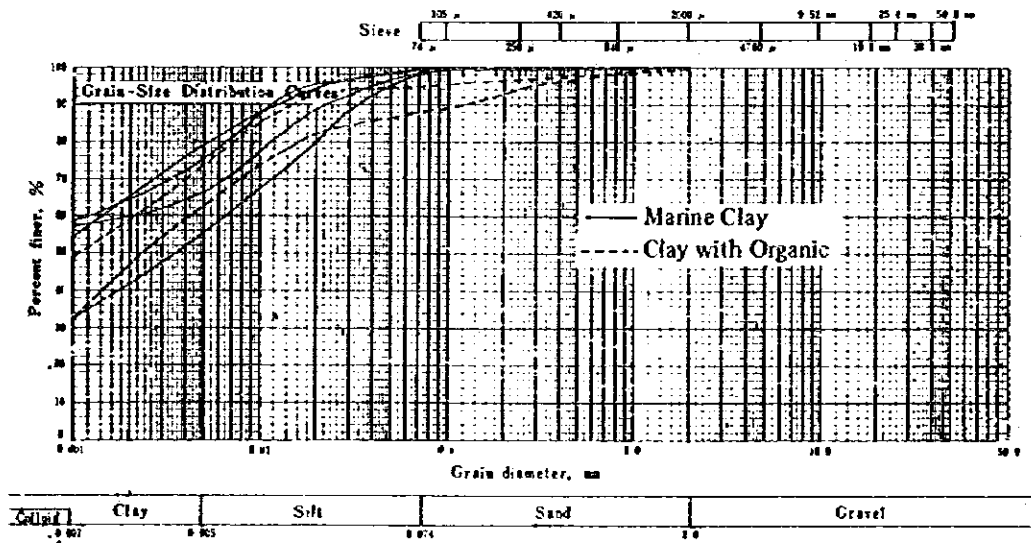
3-2-4 土質試験結果

試験室における土質試験の結果を要約すると、以下のとおりである。

詳しくは Appendix D を参照されたい。

- Outer Shoal 地区 (E地区) 試験結果

E地区に於ては、沖積の軟かい粘柱土層(主に Marine Clay)が、A, C, D, -30 m 附近まで、分布している。代表的試料の粒径加積曲線を下図に示す。



この地区の Marine Clay の代表的な物理特性値は、次の通りである。

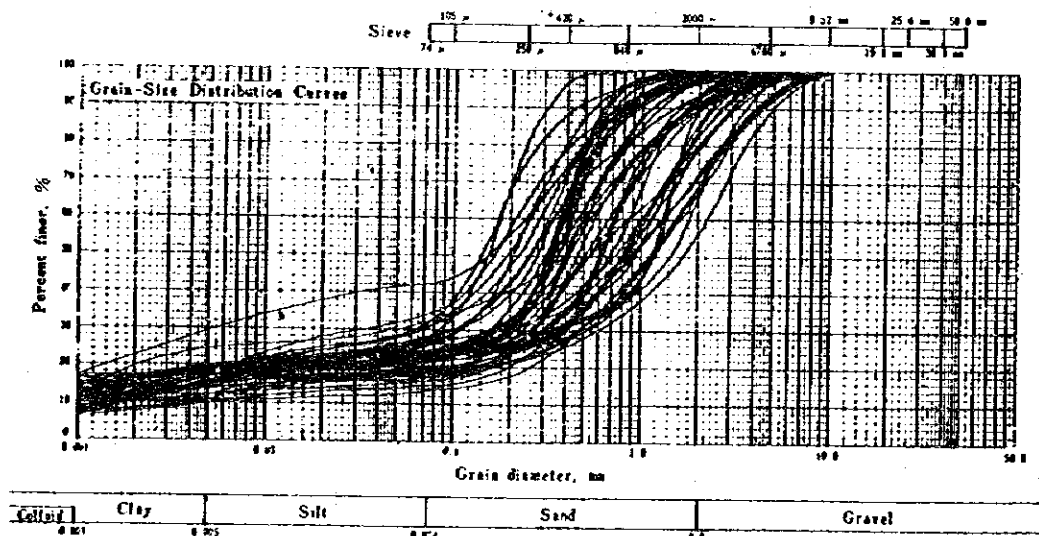
自然含水比	$W_n = 60 \sim 80 \%$
比重	$G_s = 2.62 \sim 2.70$
単位体積重量	$\gamma_t = 1.60 \sim 1.90 \text{ g/cc}$
粒度構成	レキ 0%
	砂 1~10%
	シルト 20~30%
	粘土 60~80%
液性限界	$L.L. = 70 \sim 90 \%$
塑性限界	$P.L. = 20 \sim 30 \%$
塑性指数	$P.I. = 40 \sim 60 \%$

- Offshore Changi 地区 (F 地区) 試験結果

F 地区で行なわれた 9 本のボーリングのうち、F-1 と F-8 においては Marine Clay の分布がみられるが、他の 7 本は、洪積の台地部に位置すると考えられ、表層数 m は、 N 値が 50 をやゝ下回る所もあるが、全体的には、A, C, D, -20 m 附近まで、主に N 値 50 以上の締った砂質土層の分布がみられた。また、洪積の粘性土質が不規則に砂質土層に挟まれ分布しているものと考えられる。

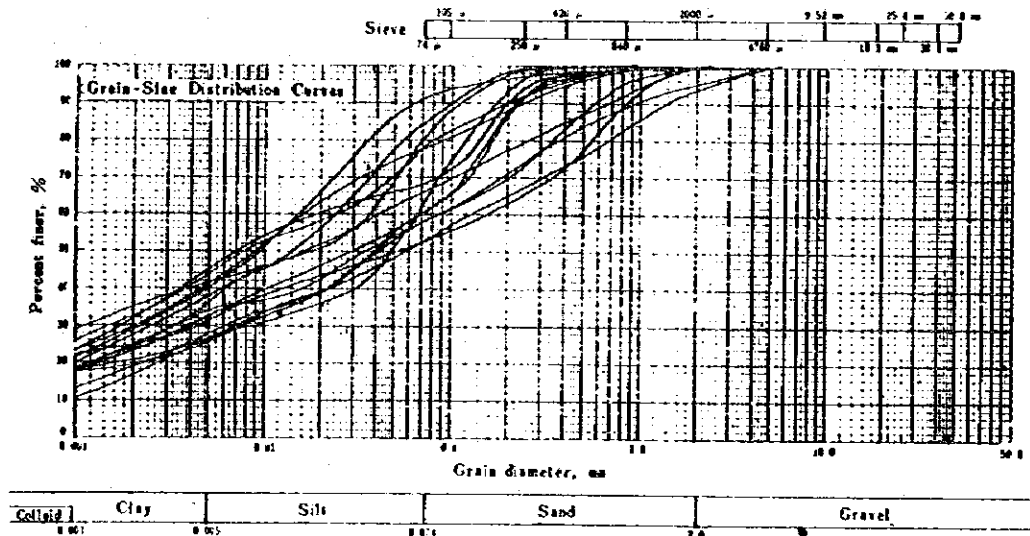
洪積の砂質土層及び粘性土層の粒径加積曲線と代表的な物理特性値は次の通りである。

(a) 洪積砂質土層



自然含水比	$W_n = 11 \sim 20\%$
比重	$G_s = 2.60 \sim 2.65$
単位体積重量	$\gamma_t = 2.0 \sim 2.2 \text{ g/cm}^3$
粒度構成	
レキ分	0 ~ 30 %
砂分	50 ~ 80 %
シルト分	1 ~ 15 %
粘土分	10 ~ 20 %

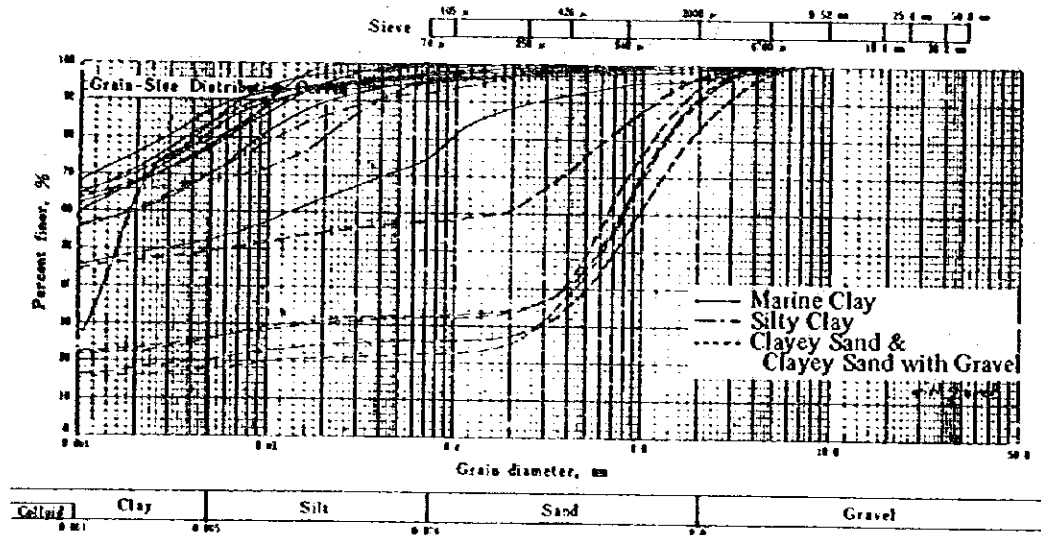
(b) 洪積粘性土層



自然含水比	$W_n = 14 \sim 22\%$
比重	$G_s = 2.60 \sim 2.70$
単位体積重量	$\gamma_t = 1.9 \sim 2.1 \text{ g/cm}^3$
粒度構成	
レキ分	0 ~ 5 %
砂分	10 ~ 40 %
シルト分	25 ~ 50 %
粘土分	25 ~ 45 %
液性限界	$L.L. = 45 \sim 55\%$
塑性限界	$P.L. = 15 \sim 20\%$
塑性指数	$P.I. = 25 \sim 40\%$

(c) 沖積土層

沖積土層は Upper Marine Clay, Lower Marine Clay 及び この間に挟まれた中間層から構成される。代表的な試料の粒径加積曲線を下図に示す。



なお、Marine Clay の代表的な物理特性値は次の通りである。

自然含水比	$W_n = 60 \sim 80 \%$
比重	$G_s = 2.68 \sim 2.71$
単位体積重量	$\gamma_t = 1.55 \sim 1.70 \text{ g/cm}^3$
液性限界	$L.L. = 70 \sim 90 \%$
塑性限界	$P.L. = 20 \sim 30 \%$
塑性指数	$P.I. = 50 \sim 60 \%$

3-3 磁気探査結果

探査は Outer Shoal 地区で L-1, L-2, L-3 の 3 測線計 16.04 km, Offshore Changi 地区 16 測線計 29.93 km, 合計 45.97 km について実施した。この結果をまとめたのが Table 3-3-1, 3-3-2, である。

Table 3-3-1 Outer Shoal 地区磁気異常点 (G: ガウス)

異常点 測線	磁気異常点 (G)						計 (ヶ)	m ² /異常点1個
	0~4 G/cm ²	5~20 G/cm ²	21~50 G/cm ²	51~100 G/cm ²	101~200 G/cm ²	201以上 G/cm ²		
L-1(5.34km)	0	3	10	8	17	16	54	989
L-2(5.3km)	1	2	12	11	3	11	40	1325
L-3(5.4km)	1	6	9	6	14	25	61	885

Outer Shoal 地区で 5 ガウス/cm の磁気異常点総数は、153 カ所検出された。
 本探査機の 1 回の探査巾が 10 m であるので総探査面積は 160,400 m² である。
 したがって異常点の出現頻度は 1048 m² に 1 点となった。21 ガウス/cm 以上の出現頻度は
 1130 m²/点であった。

Table 3-3-2 OFFSHORE OF CHANGI 地区磁気異常点 (G : ガウス)

異常点 測線	0~4 G/cm	5~20 G/cm	21~50 G/cm	51~100 G/cm	101~200 G/cm	201以上 G/cm	計 (ヶ)	m ² /異常点1個
L-1 (2.27km)	1	7	4	4	0	0	16	1419
L-2 (2.22km)	0	7	4	3	2	0	16	1388
L-3 (2.19km)	1	6	2	2	1	0	12	1825
L-4 (2.37km)	0	3	1	3	0	0	7	3386
L-5 (1.7km)	0	0	2	0	0	1	3	5657
L-6 (1.74km)	1	6	4	1	2	0	14	1243
L-7 (1.72km)	1	5	2	0	1	0	9	1911
L-8 (1.78km)	3	5	3	1	2	1	15	1187
L-9 (1.7km)	0	0	2	1	1	0	4	4250
L-10(1.69km)	0	2	1	1	1	0	5	3380
L-11(1.71km)	0	1	0	1	1	0	3	5700
L-12(1.68km)	0	1	2	0	0	1	4	4200
L-13(1.72km)	0	2	2	0	1	0	5	3440
L-14(1.82km)	0	4	1	0	0	0	5	3640
L-15(1.79km)	0	0	2	0	0	0	2	8950
L-16(1.83km)	0	2	0	1	0	0	3	6100

Offshore Changi 地区の 5 ガウス/cm 以上の異常的出現頻度は 2433 m²/点であった。
 さらに 21 ガウス/cm 以上の出現頻度は 4605 m²/点となった。

一般に大型爆弾が海底面にある場合には、21 ガウス/cm 以上の磁気反応を示す。しかし、
 海底面下に爆弾が埋没している場合には、磁気量が 10 ガウス程度に減少する可能性がある。
 したがって、海底が硬い場合には爆弾は埋没しないと思われるので 21 ガウス/cm 以上につ
 いて、海底が軟かい場合には埋没している可能性がつよいので 10 ガウス/cm 以上の反応点
 について潜水夫による潜水探査をする必要があると、一般的には考えられている。

しかし、爆発物の種類、埋没の状態によりこれらの数値はかわるので、後述に先だてて慎重
 に検討して、この値をきめる必要がある。

3-4 シンガポール領海内の海底土砂資料の検討

3-4-1 シンガポールの地質概要

シンガポールの地質は、本島中央部に広く分布する花崗岩（中生代前期に活動した Bukit-Timah Granite）と、西側に分布する古期堆積岩（中生代中～後期に堆積した Jurong Formation）と、東側に分布する洪積層（第四紀前期に堆積した花崗岩質の砂層に大別することができる。（Fig. 3-4-1 参照）。

さらに本島中央部 Bukit Timah Hill を中心に小規模ではあるが、古生層（Paleozoic）が分布している。

その他に Jurong 地区、Kallang River 沿いの低地、及び海岸線ぞいの低地には、沖積層が分布している。

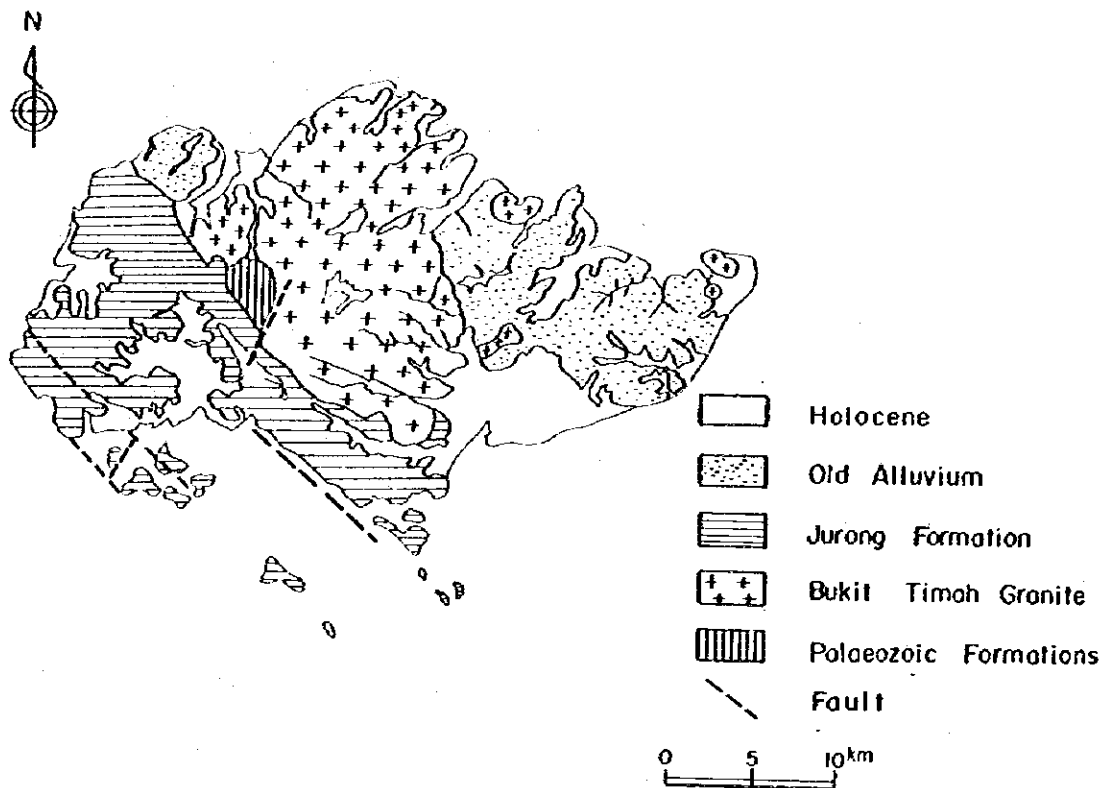


Fig. 3-4-1 Simplified Geological Map (after P.W.D., 1976)