

Table 3-4-1 Quaternary Stratigraphy of Singapore

Age		Formation	Rock Facies (Content)	Remarks	
Quaternary	Holocene	KALLANG FORMATION	Reef Member	coal, unconsolidated calcareous sand.	
			Transitional Member	unconsolidated estuarine mud, muddy sand or sand.	
			Littoral Member	well sorted unconsolidated estuarine mud, muddy sand or sand.	
			Alluvial Member	pebble bed, sand, muddy sand, clay to peat.	
			Marine Member	clayey mud, peatard sand.	site deposite
		TEKONG FORMATION	unconsolidated marine and littoral well sorted sand.		
		HUAT CHOE FORMATION	white kaolin clay and minor quartz gravel.		
Pleis tocene	OLD ALLUVIUM	loose coarse quartz stone/ conglomerate.	site deposite		
Pre-Tertiary	Mesozoic & Paleozoic Sediments, BUKIT-TIMAH granit				

(Reference Data. P.W.D. 1976)

今回の調査地点の地層は、洪積世の Old Alluvium の上に、後世の堆積物が堆積したものである。

3-4-2 シンガポール領海内の海底土質

シンガポール政府諸機関より集めたデータ及び今回の調査によると、シンガポール領海内の海底土は主として、Jurong Formation, Old Alluvium 及び Kallang Formation である。

Jurong Formation は西部海域に広く分布している。

岩質は Sandstone, Conglomerate, Mudstone (Shale) の互層より成っている。この層の上層はほとんどが風化され Stiff Clay 又は Hard Clay としてみられる。硬岩に達するのは大体 -15m ~ -30m である。海岸線及び、西部の島々のまわりの Coral の下では、かなり浅い所でこれに到達する。島と島の間海底では、硬岩の層は非常に深い所に存在する。Raffle's shoal や Sisters' shoal では、この層まで達したボーリングはなかった。

Old Alluvium は東部地域に広く分布し、海域内にも比較的広く分布している。本調査地域の基盤を構成する地層である。岩質(土質)は、陸成ないしはデルタ堆積物で Loose Coarse Quartz-feldspar sand, gravelないしは, Lightly Cemented Sandstone-conglomerate よりなっている。

Gravel の径は、最大5mm程度であるが、礫及びSand の形状は角ばっている。今回の土質調査より見られるように、この層の上部にはたくさんの埋積谷が形成され、この谷を埋める形で、沖積層が堆積している。Offshore Changi におけるボーリングの結果によれば、Old Alluvium の上層部は主として Clayey Sand (礫混り)であり、その他、Sandy Clay, Sandy Silt, Silty Clay などが分布している。

Kallang Formation は、シンガポールにみられる三つの沖積期の formation のうち、シンガポール領域内の海底に最も広く分布するものである。他の二つの formation である Tekong Formation 及び Huat Choe Formation は、限られた地域にしかみられない。Kallang Formation のうち、Marine Member が最も一般的に海底にみられる堆積物である。3-2節で述べた Marine Member はシンガポールの海底のすべての Marine Clay を代表するものと考えられる。

次に今回行なった二区域にみられた主な土質について概括することにする。

• Marine Clay

Outer Shoal と Offshore Changi の Marine Clay には若干違いがみられるが、大体においてコロイド分の含有量が50%以上、粘土+コロイドが60~80%となっている。液性限界は Outer Shoal で平均71% Offshore Changi で平均85% 塑性限界は両方とも27%位である。自然含水比は二区域とも60~80%程度であり、液性限界に近い。物理試験の結果によれば、New Marine Clay と Old Marine Clay の間に大した差異は見られないが、Outer Shoal では多少、自然含水比に差がみられる。N値は New Marine Clay が0~1、Old Marine Clay が3~4となっている。

• Old Alluvial Clayey Sand (with gravel)

Offshore Changi にみられる洪積の Clayey Sand は、砂及び礫分が約80%と大部分を占め、他はほとんど粘土分でシルト分が極端に少ない。N値は Offshore Changi の洪積台地の上では、表層5m程度は40以下であるが、その下は極めて締っており、ほとんどが50以上である。厚い Marine Clay の下の Clayey Sand についてはデータが少ないので、一般的に論じられないが同様の粒度組成と密度をもっているものと思われる。

• その他の洪積土

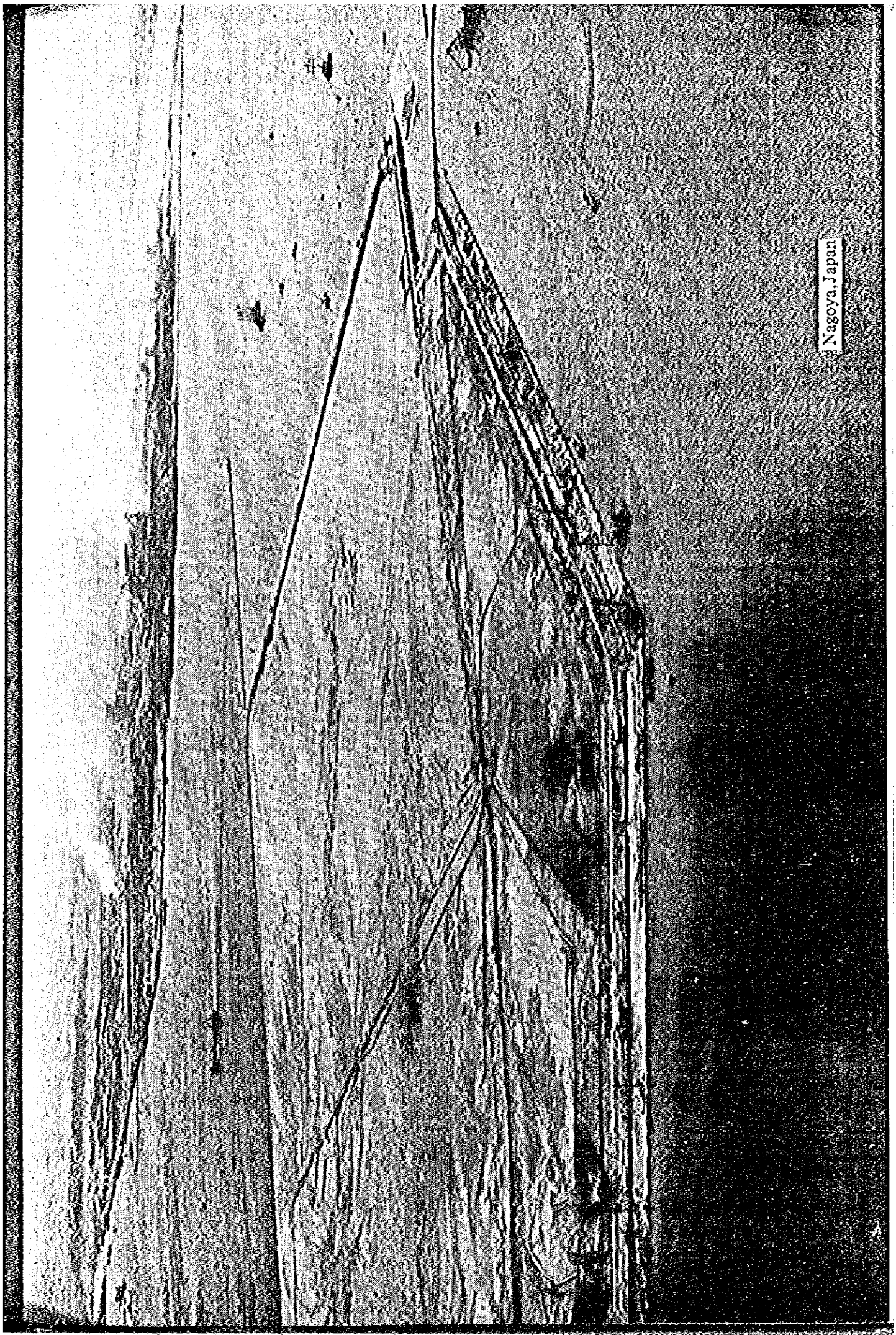
Offshore Changi において、所々に Silty Sand 及び Sandy Silt の層がみられる。これらの層の密度 (N 値) は上記の Clayey Sand と同様であるが、シルトの含有率が 30~40% と多く、砂の含有率が比較的少ない (30~40%)。その他、部分的に Stiff 又は、hard な silty Clay や Clayey Silt がみられる。N 値は大部分が 50 以上である。

• Loose Sand

Offshore Changi 地区での一部のボーリング地点にみられた Loose Sand は、過去のデータによると、他の数多くの個所でみられる。

しかし、過去のボーリングで発見されたこの砂は、多くのプロジェクトに、その大部分が使用されてしまっているものと思われる。ただ、Sisters' Shoal 及び Raffle's Shoal には、まだかなりの砂があるかも知れない。しかし、その量については不明であり、更に調査が必要である。

Nagoya, Japan



(4) 浚渫埋立工法の考察

埋立材料として、山土や海砂が最適な材料である事はいうまでもないが、シンガポールにおいてこれらを大量に確保する事は非常に困難な状態にあると思われる。又、これらの材料を遠く外国より求める事は、量及びコストの面からも問題があり経済的な埋立が計れない。従って、シンガポール領海内の海底から得られる海砂以外の土砂を埋立用材として利用する事を考える必要がある。

以下、これらの土砂の浚渫工法、埋立工法について検討を加え最適工法を選定して、土質別運搬距離のコストについて検討を行う。

4-1 浚渫工法

一般に浚渫工法といっても多種多様あるが、浚渫船を使用して浚渫する方法として次の様な工法が考えられる。

- D-1 カッター付ポンプ式浚渫船(ポンプ船)
- D-2 カッターレスポンプ船
- D-3 ドラグサククション浚渫船(自航式)
- D-4 深掘浚渫船(ディープドレッジャー)
- D-5 グラブ式浚渫船
- D-6 ディッパー式浚渫船
- D-7 バケット式浚渫船
- D-8 バックホー式浚渫船

カッター付ポンプ式浚渫船は、最も広く使われている浚渫船で、浚渫した土砂を埋立材料として連続作業で使うことができ、浚渫可能な土砂も硬質なものから軟弱なもの迄、その適用範囲は広い。

カッターレスポンプ船は、一般に、軟弱又はゆるい土砂の浚渫に適し近年海洋汚染防止の機能をもった浚渫船として使用されるようになった。

ドラグサククション浚渫船(自航式ホッパー浚渫船ともいう)も、泥土や、ゆるい砂等軟弱地盤の浚渫に適し、例えば、航路維持浚渫等に有効である。

深掘浚渫船は、カッターレスポンプ船の一変形といえるが水深-30m~-80mに位置するゆるい砂層を浚渫するのに適する。

グラブ式浚渫船は、グラブの型式によっていろいろと分類されるが最も広く使用されているのは、クラムシェル型グラブを装備した型式のものであろう。但し硬質土の浚渫は困難である。

硬質土の浚渫には、ディッパー式浚渫船やバックホー式浚渫船が適している。

バケット式浚渫船は、砂利、砂等の採集に広く用いられている。

以上述べた各浚渫工法をまとめると表4-1-1のようになる。

表4-1-1 浚渫工法比較表

	長	所	短	所
D-1 カッター付 ポンプ式浚渫船	<ul style="list-style-type: none"> ①硬質土以外では浚渫能力が大きい。 ②大型のものはある程度の硬い土質も掘れる。 ③単価は他の浚渫船より一般的に安い。 ④海底を比較的平らに仕上げることができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ①岩や硬い土質に不向 ②岩や硬い土質の掘削も可能であるが、コストが高くなる。 		
D-2 カッターレス ポンプ船	<ul style="list-style-type: none"> ①柔らかい土質の浚渫に適す。 ②海の汚染防止吸泥口をもうけ浚渫による海洋汚染防止ができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ①硬い土質に不向 ②浚渫能力は一般的に小さい。 ③コストが高い。 		
D-3 ドラグサクシオン 浚渫船	<ul style="list-style-type: none"> ①浚渫地域が散在している場合あるいは航路の浚渫に適す。 ②泥土等のとき能力を発揮する。 ③自航式なので作業能率がよい。 ④高含泥率の浚渫可能 	<ul style="list-style-type: none"> ①浚渫の連続運転時間が短い。 ②硬い土質に適さない。 ③直線運航である故平たん仕上げは相当の熟練を要する。 		

	長 所	短 所
D-4 深掘浚渫船	①水深 30m 以上の深い砂層からの採砂が可能。しかも上層を除去する必要がない。	①硬い土質に不向 ②コストがやゝ高くなる。
D-5 グラブ式浚渫船	①狭少な場所の浚渫に適す。 ②小規模の浚渫に適す。 ③機構が比較的簡単である。	①浚渫能力は作業が断続的である故小さい。 ②硬い土質に適さない。 ③海底を平たんに仕上げるのが困難である。
D-6 ディッパー式浚渫船	①掘削力大、硬い地盤に適す。 ②機械の故障が比較的少ない。	①断続的なので浚渫能力が劣る。 ②運転に熟練を要す。
D-7 バケット式浚渫船	①比較的広範囲の土質を浚渫できる。 ②水底を比較的平らに仕上げることができる。 ③河川の砂利・砂の採集に適す。	①岩石及び硬土盤の浚渫に不向 ②転舵時に浚渫作業が中断する。
D-8 バックホー式浚渫船	①軟岩・硬い土質の浚渫に適す。	①浚渫可能深度に限度がある。 ②コストが高い。

4-2 埋立工法

埋立工法は、前節で述べた浚渫船によって浚渫された土砂を運搬して埋立する工法であるが、これも多種に分けられる。

又、運搬と埋立という2つのプロセスを通過するので、運搬工法、埋立工法による多種の組合せが考えられるが、ここでは、その代表的なもののみについて述べる事とする。

- R-1 ポンプ船とパイプラインによる直接埋立
- R-2 ブースターポンプによる圧送埋立
- R-3 ドラグサクション浚渫船による運搬と埋立
- R-4 土運船による直投埋立
- R-5 アンローダーによる埋立

直接埋立は、ポンプ船によって浚渫された土砂をパイプラインを通して連続作業で埋立地に直接ポンプで吹き込み埋立する方法で、大量にかつ経済的に埋立を行う事ができ、最も広く使用されている工法である。

但し、圧送するポンプの能力、排送すべき距離、浚渫する土砂の土質によって埋立コストが大きく影響される事に注意する必要がある。もし、排送距離が長い場合には、ブースターポンプを使用して距離を増大させる事ができる。

ドラグサクション浚渫船にても、直接埋立はできるが、一般的に排送距離が短い。この場合、ポンプ船と併用する方法も時々用いられる。

土運船（バージ）に浚渫した土砂を積込みこれをタクボート又はプッシャーボートにて運航し、アンローダーやサンドポンプ等を用いて陸揚げして埋立する方法もある。

この場合、土運船とタクボート等の作業可能な水深が確保できる場合には、直接投下して埋立でき、コストも安い。

一般的に、運搬距離が長い程、これらの土運船による工法が有利となる。

以上述べた各埋立工法をまとめると表4-2-1のようになる。

表4-2-1 埋立工法比較表

	長 所	短 所
R-1 ポンプ船とパイプラインによる直接埋立	<ul style="list-style-type: none"> ①大量の浚渫土砂を排砂管を利用して直送できる。 ②連続作業なのでコストが安い。 	<ul style="list-style-type: none"> ①排砂管が荒天時には損傷をうけることがある。 ②浚渫土砂の排送距離に制限がある。

- | | | | |
|-----|---------------------|--|--|
| R-2 | ブースターによる圧送埋立 | ① R-1と同様のシステムにブースターを加え排送距離を容易に延ばしうる。 | ① コストが高くなる。
② 浚渫船とブースターポンプとを同時にコントロールしなければならない。 |
| R-3 | ドラグサクシオン浚渫船による運搬と埋立 | ① 長距離の土砂運搬が可能
② 運搬と埋立が同一船で作業可能 | ① 排砂管を使用して土砂を直送する場合、距離に制限がある。 |
| R-4 | 土運船による直投埋立 | ① 埋立土を含水量の少ない状態で直投できる。
② コストが安い。 | ① 作業可能水深に限度がある。 |
| R-5 | アンローダーによる埋立 | ① 機械式アンローダーの使用により含水量の少ない状態で揚土できる。
② 水力学的なアンローダーの使用により土砂の撤出しが比較的容易となる。 | ① コストが高くなる。 |

4-3 シンガポールにおける最適浚渫埋立工法

4-3-1 海底の土砂

一般的なシンガポール領海内の海底土砂は、地域により特質はあるが、部分的に表面に Loose Sand がある他は、表層は Marine Clay でおおわれ、その下に洪積層に属する砂分の多い砂質土 (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。

このうち Loose Sand の量はすでに限界があり、残存する砂は貴重な資源であるので護岸や海浜築造材料などに使用を限定し節約して使うべきと考える。

今回の調査結果に基き、砂以外のもので埋立用材として用い得るものは、下記の如く分類される。

1. Marine Clay (非常に軟かい)
2. Clayey Sand (洪積層、やや固くN値<40のもの、Sandy Clay, Silty Sandを含む)
3. Stiff Clay (やや固くN値<40のもの)
4. Hard Clay (固いN値>40のもの)
5. その他

上記材質のうち、浚渫能力から判定すれば、埋立材料としてはN値40以下の Clayey Sand 及び Stiff Clay と非常に軟かい Marine Clay に限定される。

N値が40以上の硬いものは、浚渫能力の限界を超え急激に効率が下がるので大量に必要とする埋立材料としては経済的でない。

Clayey Sand は前述した土質調査の結果によれば砂分の含有量が多く、そのまま良質な埋立材料として使用できる。

Stiff Clay については、塊りとなって浚渫運搬できると考えられるので、その性質は、Marine Clay に比べて良好であり、埋立材として利用できると思われる。

Marine Clay は、大量に存在するが、埋立材料としては、性質が悪い。(ただし、これを埋立材料として用いてできる軟弱地盤及び改良工法については、後章で詳細に述べる)が、利用の可能性はある。

よって Clayey Sand あるいは、Stiff Clay のみが埋立材料として採集できれば、それにこしたことはない。

なお、Stiff Clay と Marine Clay の混合材料による埋立地については、不明確な点が多いので、実施にあたっては、充分研究する必要がある。

既に述べたように Clayey Sand, Stiff Clay の表層は、Marine Clay でおおわれているのでこれらを同時に採集して埋立材料としての使用が可能かどうかの検討を以下すすめる事にする。

今回調査しなかったシンガポール領海内の海域についても、これらの検討結果は充分活用できると考える。

4-3-2 シンガポールに於ける最適浚渫埋立工法

本章の第1節及び第2節で述べた各工法と、前節で述べた土砂の検討とを参照して、浚渫、運搬、埋立の各工法の組合せとその比較表を作成すると図4-3-1、図4-3-2のようになる。

次に、図4-3-1と図4-3-2に示した各工法について、シンガポールにおける埋立を考える場合の最適工法を選定する事とする。

一般に最適埋立工法を決定する要因として土量、土厚、土質、運搬距離作業スペース、浚渫船の能力、工期、経済性等がある。本来ならこれらの諸要因を決定して、土取場及び埋立計画地を定めないと最適工法を決定することは困難であるが、シンガポールにおいて一般に考えられる条件を基本にして比較する事とする。

但し、諸条件によって最適工法及びコストも変ることに留意しなくてはならない。

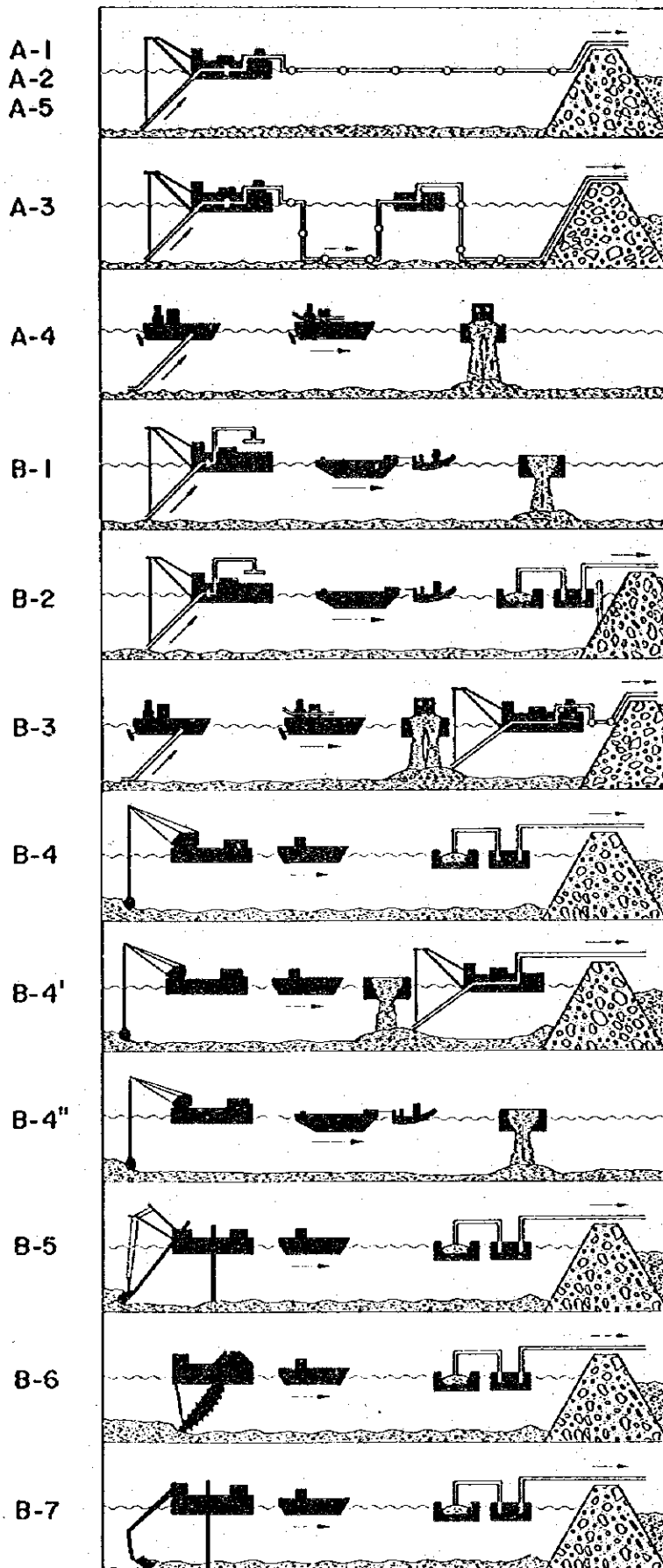
表4-3-1 浚渫・運搬・埋立工法組合せ表

A-1	カッター付ポンプ船	→ 直吹 →	埋立地
A-2	カッターレスポンプ船	→ 直吹 →	埋立地
A-3	カッター付ポンプ船	→ ブースターポンプ →	埋立地
A-4	ドラグサクション浚渫船	→	埋立地
A-5	ディープドレッジャー	→	埋立地
B-1	ポンプ船	→ バージ →	埋立地
B-2	ポンプ船	→ バージ → アンローダー →	埋立地
B-3	ドラグサクション浚渫船	→ ポンプ船 →	埋立地
B-4	グラブ式浚渫船	→ バージ → アンローダー →	埋立地
B-4'	グラブ式浚渫船	→ バージ → ポンプ船 →	埋立地
B-4''	グラブ式浚渫船	→ バージ → 直投 →	埋立地
B-5	ディッパー式浚渫船	→ バージ → アンローダー →	埋立地
B-6	バケット式浚渫船	→ バージ → アンローダー →	埋立地
B-7	バックホー式浚渫船	→ バージ → アンローダー →	埋立地

表4-3-2 浚渫・運搬・埋立工法比較表

	適 応 土 質	作業スペース	長 短 所	経 済 性
A-1	泥土, 粘土, 砂質土,	大	大規模埋立適す	A
A-2	泥土, ゆるい砂	中	汚濁が少ない	E
A-3	泥土, 粘土, 砂質土	大	大規模埋立適す	B
A-4	泥土, ゆるい砂	大	航路浚渫に適す	A
A-5	砂	中	深度浚渫	C
B-1	砂質土	大	長距離運搬	C
B-2	砂質土	大	長距離運搬	D
B-3	泥土, 軟い粘土, ゆるい砂	大	長距離運搬	C
B-4	泥土, 粘土, 砂質土	中	長距離運搬	D
B-4'	泥土, 粘土, 砂質土	大	長距離運搬	D
B-4''	泥土, 粘土, 砂質土	小	長距離運搬	A
B-5	硬質土	中	長距離運搬 硬質土浚渫に適す	D
B-6	泥土, 砂, 砂礫	大	砂利, 砂採集	C
B-7	軟岩, 硬質土	中	硬質土浚渫	E

Fig. 4-3-1 Sketch of Equipments Chain



まず、Aグループの各工法の中でカッターレスポンプ船(A-2)及びディープドレッジャー(A-5)による工法は、経済性及び適用土質から判断して不適當であり、プースタ(A-3)による工法はカッター付ポンプ船による工法(A-1)にプースタを追加するものであるのでA-1工法の変形であり、コストもA-1より高くなる。しかし遠距離運搬ができる。ドラグサクショントラバクルを使用する(A-4)工法は、N値40程度の比較的硬質な土砂には不適當であるのでAグループの中では、比較的近距离の場合には、カッター付ポンプ船を使用して直吹きする(A-1)工法、又、遠距離になれば、A-1にプースタを追加したA-3工法が有利といえる。

次に、Bグループでは、適応土質からいってディッパー(B-5)、バケット(B-6)、バックホー(B-7)は不向きであり経済性からみてポンプ船+土運船(B-1)、ポンプ船+土運船+アンローダー(B-2)、グラブ式浚渫船+土運船+アンローダー(B-4)、グラブ式浚渫船+土運船+ポンプ船(B-4')及びドラグサクショントラバクル+ポンプ船(B-3)の各工法は、グラブ式浚渫船+土運船による直投の(B-4'')工法におとる。

従って、B-4'工法は、作業船の吃水により作業可能水深に制約があるが、Bグループでは最も有利といえる。

・埋立コストの試算

前述のA-1、A-3、B-4''工法について概略のコストの試算を行う。ただし、前に述べたように、シンガポールにおける諸条件、特に採土地と埋立地を決めないとコストが変動することは、留意しておかねばならない。

今、浚渫、埋立する土質を Marine Clay, Stiff Clay 及び Clayey Sand として考えそれぞれの土質の硬さを Marine Clay は $N=2$ 前後 Stiff Clay 及び Clayey Sand は $N=40$ 以下程度として考える。

又、コストを算定する上で Marine Clay のコスト (m^3 当り単価) を基準単価として 1 とする。

・カッター付ポンプ船による埋立コスト

浚渫船が年間を通して実稼動できるものとすれば、月当り必要な費用は次のようになる。

浚渫船の月当り費用

主ポンプの馬力	4,000 PS	6,000 PS	8,000 PS	Booster 付
月当り費用	$480 \times 10^3 \alpha$	$705 \times 10^3 \alpha$	$874 \times 10^3 \alpha$	$1,225 \times 10^3 \alpha$

(注) α は単位

次に各浚渫船の能力に応じた排送可能距離を、想定した土質別に表わすと次表になる。

排送距離 (単位 m)

主ポンプの馬力	4,000 PS	6,000 PS	8,000 PS	Booster 付
Marine Clay	3,000	4,000	6,000	9,000
Stiff Clay	1,500	2,600	3,000	5,000
Clayey Sand	2,500	3,500	4,000	6,000

次に上記排送距離の場合の土質別浚渫能力を、次のように想定する。

月当り浚渫能力 (単位 m^3)

主ポンプの馬力	4,000 PS	6,000 PS	8,000 PS	Booster 付
Marine Clay	480,000	600,000	680,000	680,000
Stiff Clay	225,000	300,000	350,000	350,000
Clayey Sand	290,000	350,000	400,000	400,000

上記の3つの表より排送可能距離に応じた埋立単価を

$$\text{単価} = \frac{\text{月当り費用}}{\text{月当り浚渫能力}} \quad \text{として算出すると次表となる。}$$

土質別・距離別埋立単価

Marine clay		Stiff clay		Clayey sand	
排送距離	単価	排送距離	単価	排送距離	単価
3,000 m	1.0α	1,500 m	2.2α	2,500 m	1.7α
4,000 m	1.2α	2,600 m	2.4α	3,500 m	2.0α
6,000 m	1.3α	3,000 m	2.5α	4,000 m	2.2α
9,000 m	1.8α	5,000 m	3.5α	6,000 m	3.0α

上表よりカッター付ポンプ船で直吹き埋立する場合には排送距離3~5kmの範囲で Clayey Sand (N値40程度)の浚渫埋立コストは、Marine Clayの約2倍、Stiff Clayの場合には約3倍かかると云える。

・ グラブ式浚渫船による埋立コスト

グラブ式浚渫船で浚渫し、バースで運搬し、埋立地に直投する場合及びアンローダー船で揚土する場合のコストを試算してみると下表の如くなる。

グラブ式浚渫船とバースによる埋立コスト

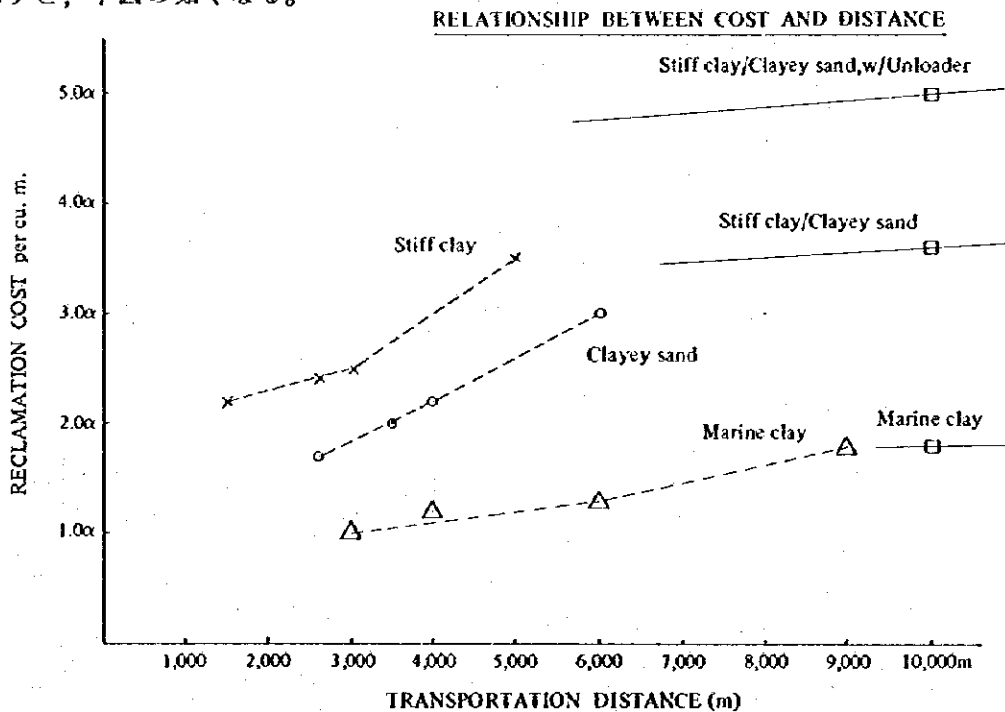
月 当 り 費 用		直投した場合	アンローダーを 使用した場合
月 当 り 埋 立 土 量	Marine Clay	200.000m ³	—
	Stiff Clay/ Sandy Clay	100.000m ³	100.000m ³
費 用	Marine Clay	1.8α	—
	Stiff Clay/ Sandy Clay	3.6α	5.0α

(注) 運搬距離は約12～13km程度とし、距離6～7km毎にコストは、約10%上下する。
ただし、最小運搬距離は7～8kmとする。

Marine Clay をアンローダーを使用して揚土する事は、無意味であるので、アンローダーの使用は、Clayey Sand, Stiff Clay の場合のみ考える。

- 埋立コストの比較

前項に基づき、2種類の浚渫船による、土質別、距離別、埋立コストを比較するために図を示すと、下図の如くなる。



NOTE: Dotted line shows direct fill (pumping) by Pump Dredger.
Full line shows direct fill (dumping) by Grab Dredger.

上図より一見してグラブ式浚渫船の方がカッター付ポンプ船による埋立よりコストが高つく事が明らかである。

なお、グラブ式浚渫船で浚渫し、バージにより、直投埋立する事ができる埋立土の高さは、バージやタグボートの吃水以下となり、それ以上の埋立は、バージよりアンローダーで陸上げして、又、他の手段で運ばなければならない。

グラブ式浚渫船の浚渫能力は、通常カッター付ポンプ船の場合の $\frac{1}{3}$ 以下になるので、大量の埋立土を浚渫するには、カッター付ポンプ船の数倍の船団を要する事となりバージの航行が、錯綜して、作業能力が著しくおちるので、实际的でない。

上記のような条件を検討して、結論的に云えば、それぞれの土質について、経済的な浚渫を行ない得る送砂距離以内にある土取場からカッター付ポンプ船で浚渫、直吹きする埋立工法が最も有利である。

4-3-3 カッター付ポンプ式浚渫船による埋立

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。

これらの内、Marine Clay, Stiff Clay, Clayey Sand (Sandy Clay, Silty Sand を含む、以下同じ) は、埋立材料として利用する可能性があると考えられる。

小規模な埋立を除いて、埋立の為の浚渫運搬方法は、Marine Clay は当然として、N値40程度までの Clayey Sand, Stiff Clay に対しては、カッター付ポンプ船により、直接土取場より埋立地に吹き込む方法が、最も経済的である。

この場合、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、泊地として利用でき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。

一般に、Marine Clay は、大量に存在し、埋立の為の浚渫運搬コストは安い、埋立てた場合、その性質上、圧密沈下を生じるとともに地盤の強度も弱い。

Clayey Sand (N値40程度の土) の浚渫運搬コストは、Marine Clay の約2倍と推定されるが、砂分の含有量が多いので、埋立てた場合良質な地盤を得る事ができる。

Stiff Clay (N値40程度の土)の浚渫運搬コストは、Marine Clayの約3倍と推定されるが、従来の埋立地に見られるような、塊りとなって浚渫されるので、Marine clayに較べると、かなり良い埋立材料と考える。

しかし、一般的に Clayey Sand 及び Stiff Clay の上層は、Marine Clay が厚く覆っているため、Clayey Sand 及び Stiff Clay のみによる埋立は、現実的でないので、これらを取りまぜて採集して埋立を行なう事が必要である。

堤防で囲まれた埋立区域内に、上記のように埋立土砂をポンプ船によって直吹き埋立する場合、埋立土が粒子の大きさ別に分離されて堆積する。

すなわち、排砂管の吐出口附近に粒子の粗いものが、又、余水吐口附近には、粒子の小さいものが、堆積する結果となる。

従って大量の埋立土砂が全てこのように埋立されるならば、砂分や粘土の固い塊り等が、集中的に存在する所と微粒子のものが非常に高い含水率をもった状態で集中する所に分けられた状態となる。

カッター付ポンプ船で浚渫と埋立を連続作業で行ない、各種の土質のものを以って、埋立を行なう場合、上記のような原因で埋立地の仕上り土質状態が異なってくるので、浚渫土の吹き込み箇所を、埋立地内のどこへでも行なえるよう、配管計画を立てなければならない。余水吐口を設ける場所も、予期される土地の仕上り土質状態に、支障をきたさないような所に、選定されなければならない。

余水吐口には、角落し式のゲートが設られ、埋立の進行に応じて、排水の調節ができるようにする。

余水吐口よりの流出する粒子の細かい土砂の量もかなり多くあるので、これらの対策も、考慮しておかなければならない。

埋立地の面積規模や、埋立速度、土質によりその流出率は、異なる。

カッター付ポンプ船による直吹工法では、埋立地が数百haに及ぶ、広大な面積になる場合、採用される何隻かのドレッジャーの総合能力に合わせて1年～2年間で、埋立が完成され得る面積を1つの単位面積とした区割を造る事が、ベターである。

即ち、全体の埋立区域が外海に接する線に、永久に保たれる外かく堤防を造るが、これを完成するには、長期間を要するので、埋立区域を上記の期間で完成する程度の広さに区分し、築造が簡単な仮堤防(内堤防)を造る事により、ポンプ船による埋立を早く始める事ができる。此の事を解り易く略図で説明すれば、Fig. 4-3-2のようになる。

此等の仮堤防（内堤防）は、最も安く造るべく、日本ではしばしば木柵囲いが用いられたが、シンガポールでは、これらの堤防材料に山土の他に海底の Stiff Clay 又は Sandy Clay 等も充分使える。

仮堤防線にそって、受枠配管をして、送砂管の下部を開口し、漏し吹き工法で堤体を築くことが行なわれている。

外かく堤防は、永久堤防として基礎もしっかりして置かなければならないが、内堤防は、仮に破壊する事があっても、被害は少ないから最も経済的な造り方をする。

カッター付ポンプ船の排砂管は、埋立土が砂質の場合は吹延し工法で、順次でき上った埋立地盤に排砂管を延長して行く事ができるが、粘性土を多く含む場合はこの工法が難しいので、予め、埋立予定区域内に排砂管の受枠（トレスル）を造り、排砂管を埋立材料の土質柱状に応じた、適当な間隔（100～200m）で埋立開始前に、予め配置しておく必要がある。埋立の総合コストには、先に述べた浚渫コストに外かく堤防、仮堤防、受枠配管費等が加算されなければならない。

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。

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かえて、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ろう。

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、浚渫をする事が必要である。

今回の調査は、シンガポール領海における一部地域での 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。

埋立工事の順序は、施工手段により異なるが、カッター付ポンプ船による埋立順序を、計画から完成までのフローで示せば、Fig. 4-3-3 の如くなる。

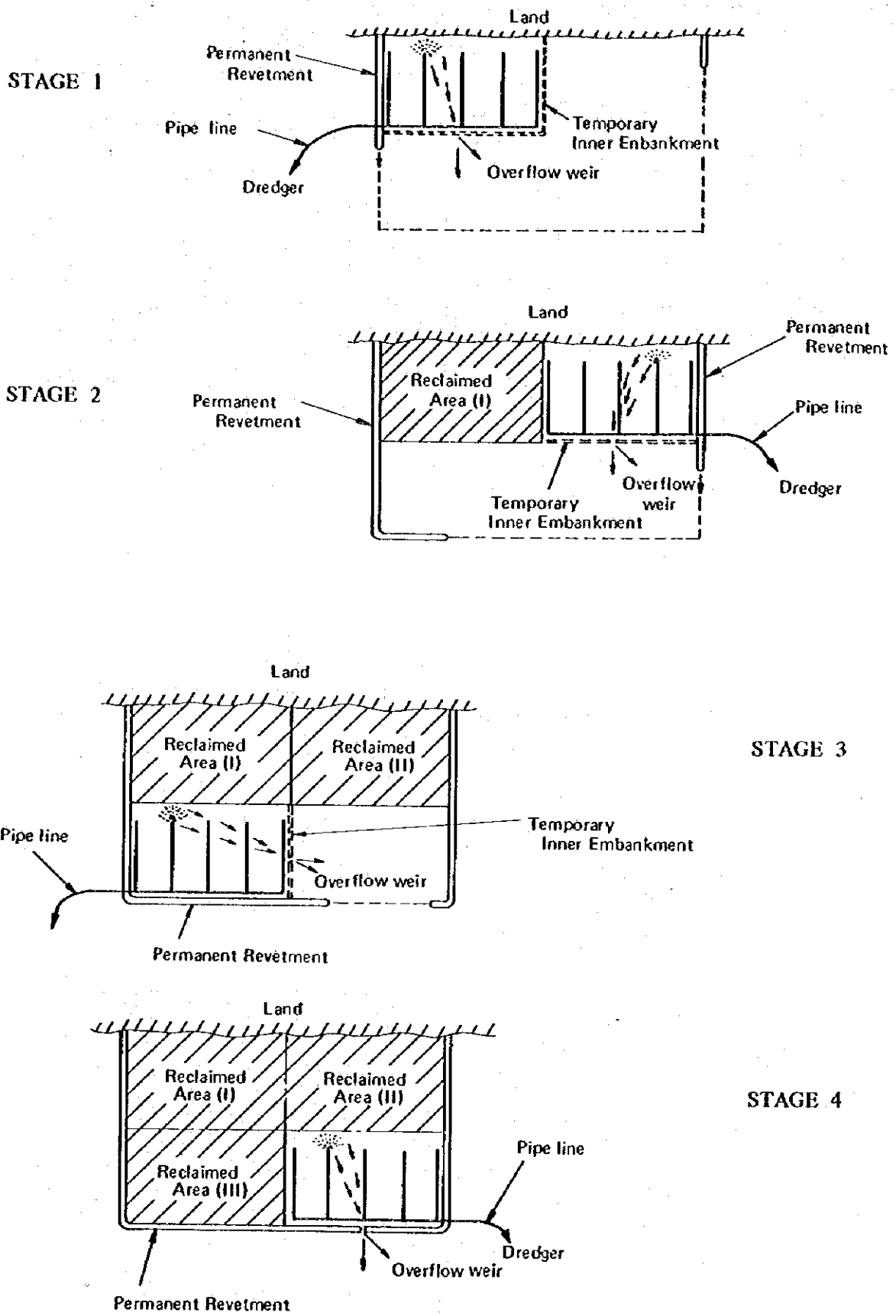
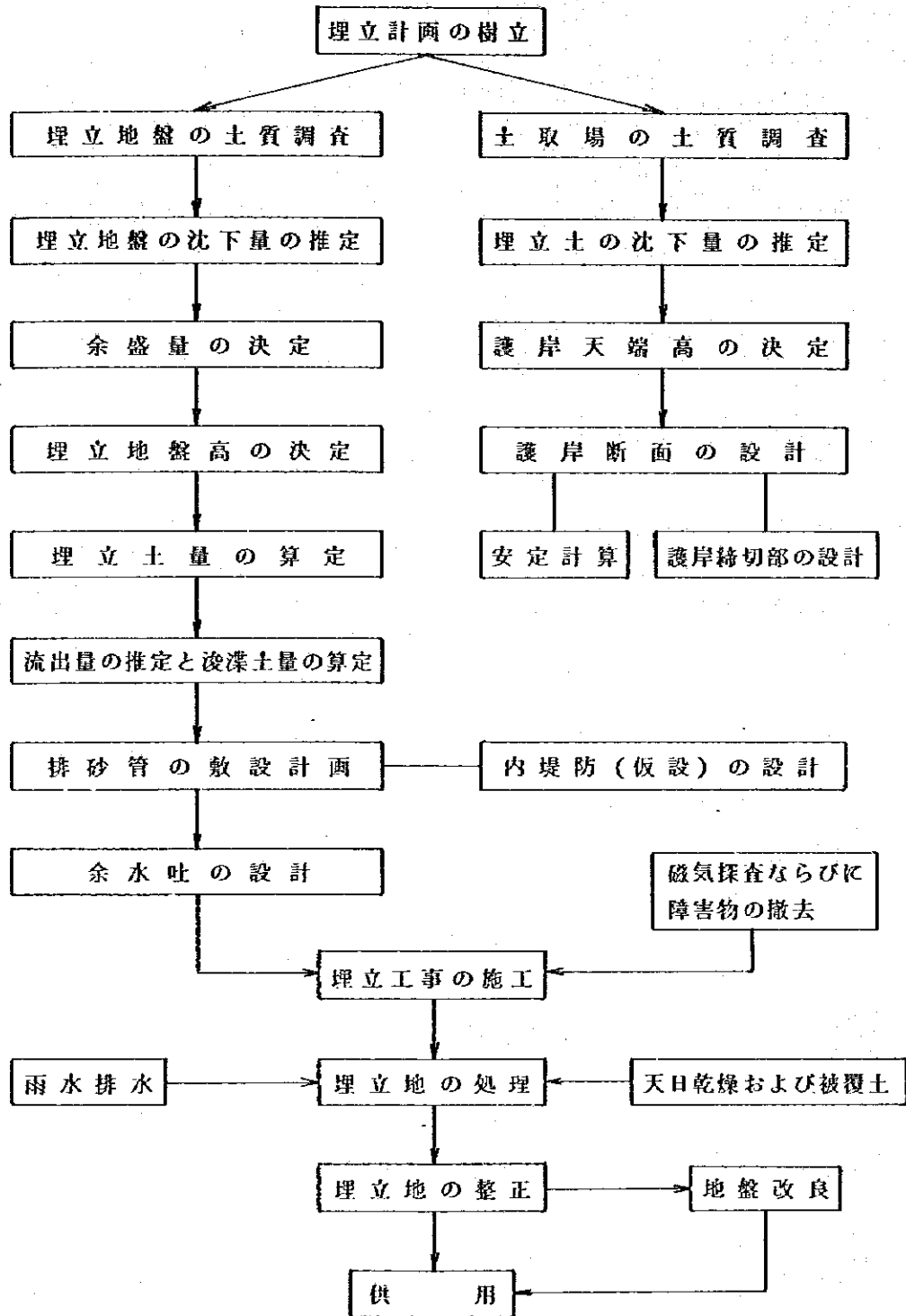
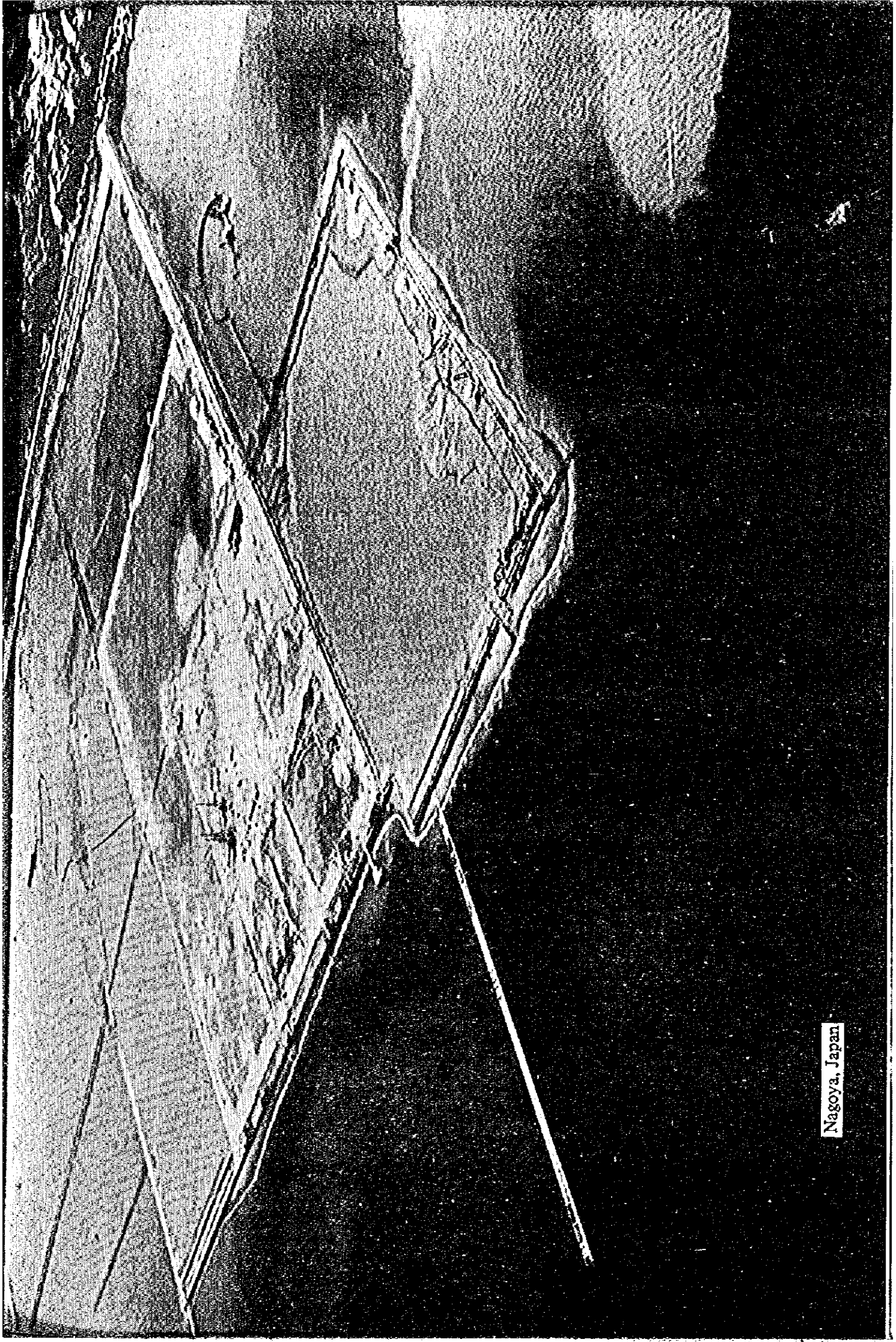


Fig. 4-3-2 Divisional Reclamation Procedure

Fig. 4-3-3 カッター付ポンプ船による埋立工事手順





Nagoya, Japan

(5) 海底土砂による埋立地の性状と問題点及び解決策

前章においてシンガポールにおける最適で経済的な埋立工法は、埋立地の近辺にある海底土をカッター式ポンプ船により、囲いの中に直接吹き込む工法であることがわかった。この章では、このようにして造られた土地がどのような状態になるか、どのような問題があるか、また、それらの問題を解決するにはどのような手段があるかについて述べる。

5-1 海底土砂の土質による埋立地の性状と問題点

海砂をポンプ船によって直接埋立地へ吹き込むやり方は、チャンギーその他で経験済みである。

この場合も、砂のうちでも粒子の粗いものが排砂管口へ集まり、粒子の細かいものは、余水吐を用いた埋立では、余水吐の近辺に集まる傾向がある。

チャンギー埋立プロジェクトのような埋立方式をとる場合、細粒分は余水と一緒に海に放出される。

一方、前章で議論されたように Marine Clay と Clayey Sand 及び Stiff Clay (洪積の) を一緒にポンプ船 (Cutter Suction hydraulic dredger) にて囲いの中に直接吹き込む場合 Fig. 5-1-1 に示すように、Clayey Sand の砂分及び Marine Clay 中の粗い粒子及び塊状になった Stiff Clay が排水口の近くにたまり、余水吐の近くに細かい粒子がたまり、比較的良質な土地と泥状の土地ができる。

これらの混合の比率によって良質の土地と泥状地の比率が決まる。

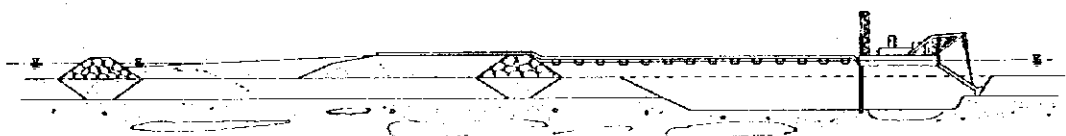


Fig. 5-1-1 Reclamation with Sand and Clayey Soil

Marine Clay などの集まった区域は通常、含水比が 100～400% 程度の泥状地となる。後述の福山の埋立地では、表層約 50cm 位までの含水比は 1ヶ月後には、300%、6ヶ月後 200% となり、1年後には、100～150% となっている。

日本においては冬期には、ほとんど乾燥しないで、表面に亀裂が入って歩けるようになるのに約 2ヶ年はかかるのが普通である。

この間に表層近くの粘性土は、約 50cm 収縮する。

埋立仕上げ面を決定するのに際しては、考慮すべき事柄の 1つである。

しかし、通常 Marine Clayなどで埋立てられた土地は、たとえ表面が乾燥しても車輛などの trafficability はない。

このため、必ずその上に良質土をおく必要がある。

日本では、ロープネット工法のような手段をもちいて表面が充分、かたまる前に、このような覆土を行う例が多い。

これについては、Appendix B を参照されたい。

シンガポールは、幸い、強い日差しと高温、風に恵まれているので、乾燥は著しく、表面の硬化は、早いと考えられるので、ロープネット工法のような工法はまず必要なかろう。

日本の場合、Marine clay の在来海底に Marine Clay を埋立材料として埋立て、各種の工夫をこらすことによって工業用地、住宅用地等として成功した例が数多くある(表6-1-1 参照)。

Marine Clay による埋立地では、圧密が問題である。

圧密沈下は、埋立地の原地盤の土の性質ならびに埋立材料の性質、埋立厚、ならびに盛土厚および土質工学上の排水条件によって定まる。

シンガポールの埋立地の原地盤は、一般に粘性土と考えられるので、その上に粘性土で埋立てた場合、片面排水となり、また、盛土厚(被覆土)がうすい場合は、自然圧密の状態となり、圧密沈下が完了するまでには、長い時間がかかる。

圧密沈下の状況は、表面が乾燥した(表面乾燥時には乾燥収縮のため、数10cmを上まわる沈下を生じる)約1年後以降、1~2年は、初期沈下として、沈下速度がはやくその後は漸次、沈下量が低減し一定速度の沈下がつづく。

また、このような粘性土は、圧密によって、その剪断強度を増加する。

この剪断強度の増加は通常

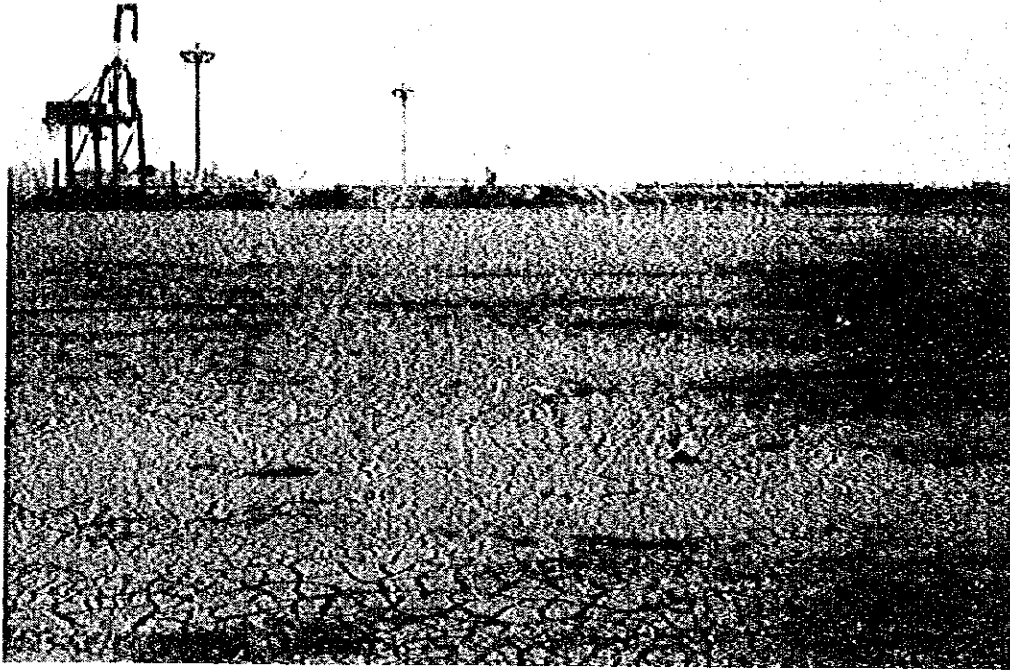
$$\Delta C = (0.2 \sim 0.3) \Delta P$$

ここに ΔC : 剪断強度の増加分 (100% 圧密時)

ΔP : 荷重の増分

という関係にある。

もし、軟弱な Marine Clay 等によって形成された埋立地が、覆土することなく放置された場合、表面は乾燥によるひびわれを生じて硬化するが、内部の剪断強度は、なかなか上昇しない。



もし、このままの状態ですべて自然圧密が終了するまで放置されると、最終的な剪断強度 c は、

$$c = (0.1 \sim 0.15)z \text{ t/m}^2 \text{ である。}$$

(z : 地表面からの深さ)

圧密沈下の量、あるいは土の強度については、前述したように、埋立前の地盤、埋立材料の性質、浚深、埋立方法、埋立土の厚さによって決まるものであるが、一般に埋立地の原地盤ならびに埋立材料（現地盤の状態での）の圧密係数より推定することができる。

これについては、実際の埋立計画の段階で充分調査研究の上、決定すべきものである。このように Marine Clay のみで埋立てた土地では Trafficability がないので、少なくとも、50cm～1mの土を覆土する必要があるが、その状態で公園や緑地として用いても、ほとんど支障はない。

また、被覆土を厚くしてやることにより、道路等の上載荷重の小さいものについては、そのまま用いることができよう。

しかし、このような埋立地に構造物や下水などの工事を行う場合、圧密速度の異なる区域の接合点、あるいは、荷重の大きさの変化する点において不等沈下の生ずる恐れがある。

例えば、道路の盛土部分と橋台との接点の如く、基礎杭により支持された構造物とその周辺の圧密する地盤との接点など。

下水の場合、この配慮を欠くとパイプの勾配が逆転し、排水ができなくなってしまうような恐れもある。

又、構造物の下に杭を打った場合、埋立土によるネガティブフリクションの問題がある。これらの問題についての解決方法につき以下にのべることにする。

5-2 軟弱地盤埋立地の問題点の解決策

軟弱土による埋立地で、最も大きいのは、なんといっても圧密沈下の問題であろう。このような土地に住宅等の構造物を建造する場合、その構造物が軽量である場合には、比較的簡単な地盤改良により対処できる。

しかし、集合住宅のような構造物では、一般的に埋立材料の下の原地盤も粘性土である事が多いので、従来行なわれてきたような杭基礎で対処することが必要であろう。

この場合、埋立材料である粘性土によって杭に生じるネガティブフリクションも考慮しておく必要がある。

ネガティブフリクションの計算方法には定説がない。

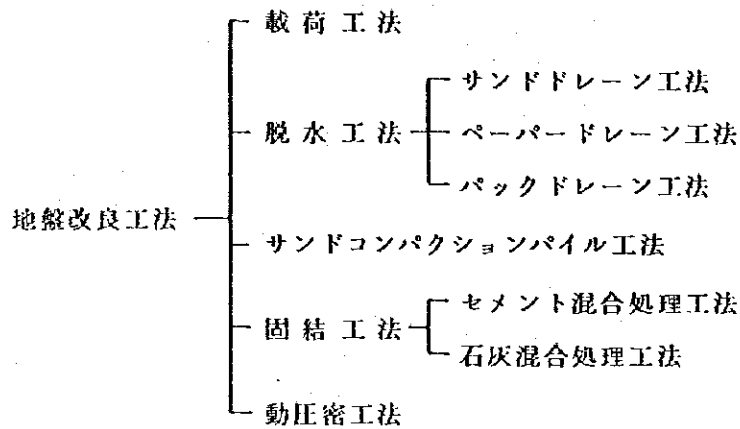
一般には埋立土の重量を杭の支持力に見込んでおくか、アスファルト等を杭に塗布する事が行なわれている。

杭基礎構造物と杭のない構造物又は、周辺地盤との間の不等沈下については、構造物の周辺の地盤の沈下の見通しに合せて施工時に嵩上げしておくか、一部に以下にのべるような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。

雨水排水溝、下水管、道路の場合、まず Temporary なもので圧密がある程度おちつくまで対処し、圧密沈下速度が小さくなった時点で恒久的な施設をつくるということで対応される例もある。

日本では軟弱な在来海底地盤の上にポンプ式浚渫船で浚渫した軟弱土をのせた埋立地が多いので、これらの埋立地を改良する工法の研究、開発がさかんで、数多くの工法が用いられてきた。

これらの工法を分類すると次のようになる。



これらのうち、サンドコンパクションパイル工法は、軟弱土層の中に大量の砂を締固めながら圧入する工法であり、一種の砂とシルトの複合地盤を形成する一種のおきかえ工法である。

砂を大量に必要とするため、砂の不足している地域では、不適當である。

固結工法は、セメント又は生石灰を軟弱土中に圧入し、粘土と混合する事により粘土を固める工法である。

非常にコストがかかるので、日本でも護岸や岸壁構造物の基礎のような局部的な改良に限られる。

動圧密工法は、重錘落下により地盤を締固める工法であり、軟弱土の改良にも用いる事ができるといわれるが理論的にまだよく説明されていない。

ここでは、最も広く用いられ、シンガポールでも有効であろうと思われる載荷工法と脱水工法について述べる。

5-2-1 載荷工法

古くから行なわれている工法で、予め沈下を起こさせ将来の沈下を防止する目的と軟弱土の強度を増加し支持力を高める目的をもって行なわれる。

盛土による載荷と大気圧を利用する載荷とがある。

Fig. 5-2-1に示すように、軟弱地盤上に直接土を載せる工法である。載荷重の大きさは、所要の強度増加、改良後の許容沈下量を考慮して決定する。

通常シルト、粘土による埋立地は、支持力が非常に低く、Fig. 5-2-1のように支持力に見合うだけの荷重を第一段載荷重として載せ、シルト、粘土の粘着力の増加を待って二段目の載荷を行うという手順をとる。

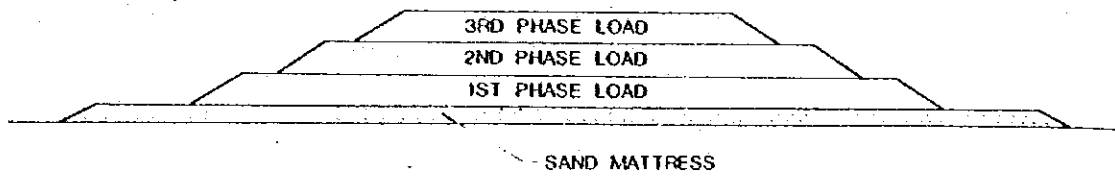


Fig. 5-2-1 Preloading

軟弱層の厚さが非常に大きいときは、圧密に要する期間が非常に長くなり従って工期が長くなる。

従ってこの工法は後述する鉛直ドレーンによる排水工法と併用されることが多い。

この方法の変形として、改良すべき区域を気密膜で被い、真空ポンプで内部を真空にすることにより、大気圧を荷重として利用する方法がある。

またポンプにより地下水を下げることにより、減少する浮力分を荷重として利用するのも、これの一つの変形といえるだろう。

5-2-2 脱水工法

脱水工法とは、軟弱地盤中に、鉛直ドレーンを打設し、その上に荷重をかけるなどして、そのドレーンを通して粘性土中の間隙水を脱水し、地盤の強度増加をはかる工法である。

このドレーンを形成する材料のちがいにより、サンドドレーン、ペーパードレーン、パックスドレーン等がある。

－ サンドドレーン工法

脱水工法のうち古くから日本では最もよく使用されてきた方法で、ドレーン材として砂を用いるものである。

通常サンドドレーンに先だち、50cmないし1m厚のサンドマットを軟弱地盤に敷く。

これは、ドレーンを通して上昇してくる水を外部へ排水するためのものである。

次にドレーンを打設するのであるが、ケーシングを土中にそう入する方法としてパイプロハンマー、ディーゼルハンマー等を使用する打込方式、オーガーでケーシングの中を掘削しながらそう入するオーガー式、ジェットを用いて行うジェット式がある。

地盤の条件により適切な方式を選択するのであるが施工可能深度は、打込式で約30m、オーガー式で15m位、ジェット式で約20mである。

地盤が極端に軟弱な場合、砂柱の形成が困難になり、打設はできても連続性が確保できないことがあるので注意を要する。

- ペーパードレーン (カードボードドレーン) 工法

ドレーン材料として砂のかわりにボール紙を使用したものがペーパードレーンである。通常、日本で使われてきたものは、Fig. 5-2-2 のような巾 10cm、厚さ 3mm の中に通水用の溝をもつ断面のものを特殊なケーシングに入れて圧入する。ボール紙の代わりにプラスチック材料を用いたものが最近よく用いられる。そのうちの一つを Fig. 5-2-3 に示す。

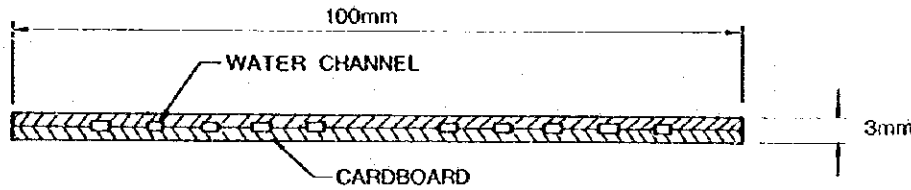


Fig. 5-2-2 Cardboard Wick

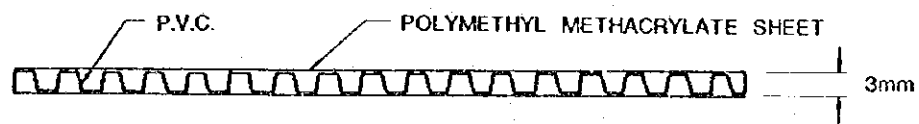


Fig. 5-2-3 Plastic Drain Board

ペーパードレーンは通常、直径 5cm のサンドドレーンと同等であるとして設計されるので本数はサンドドレーンより多くなるが、一般に打設速度が早いので、工期面では有利である。非常に軟弱な地盤でもサンドドレーンのように不連続になる恐れはない。施工は、Fig. 5-2-4 のような要領で行なわれ最大 25m のものまで打設された実績がある。

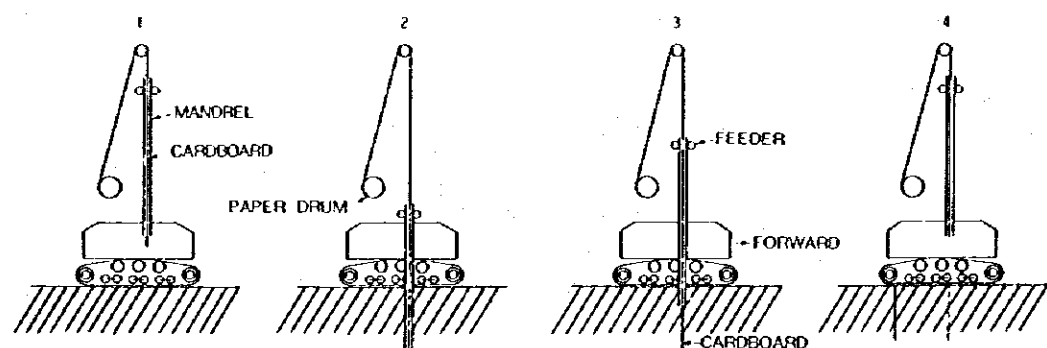


Fig. 5-2-4 Driving Procedure of Paper Drains

バックドレーン工法

この方法は、砂などのドレーン材料を強くて腐食しない透水性のよい合成繊維の布袋に詰めて、砂柱の連続性及び均一な直径を確保しようというものである。

サンドドレーンの場合、ドレーンの直径は、施工方法、地盤条件にもよるが日本では、通常40cm程度であるのに比べ、バックドレーンでは、径を細くしても、ドレーンの連続性が確保されるので径の小さいドレーンを密に設けることにより圧密期間を短縮できる利点がある。バックドレーンの施工手順をFig. 5-2-5に示す。

この他、鉛直ドレーンを形成する材料の違いにより、いろいろな工法が開発されているが、それらについては、ここでは省略する。

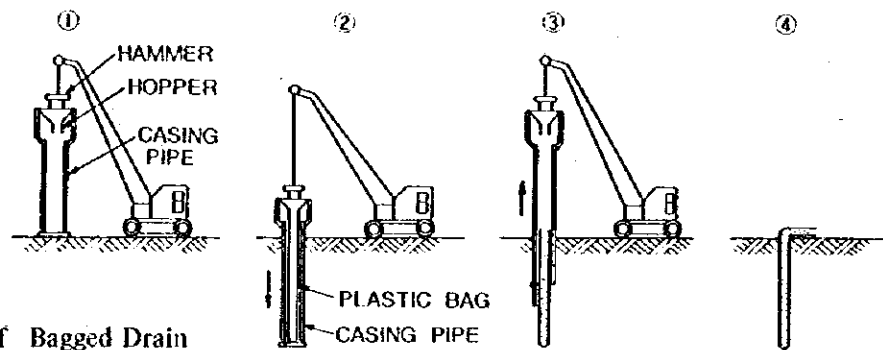


Fig. 5-2-5
Installing Procedure of Bagged Drain

Yokohama, Japan



(6) 日本における軟弱海底土による埋立工事例

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。その主なものをあげると表 6-1-1 の通りである。

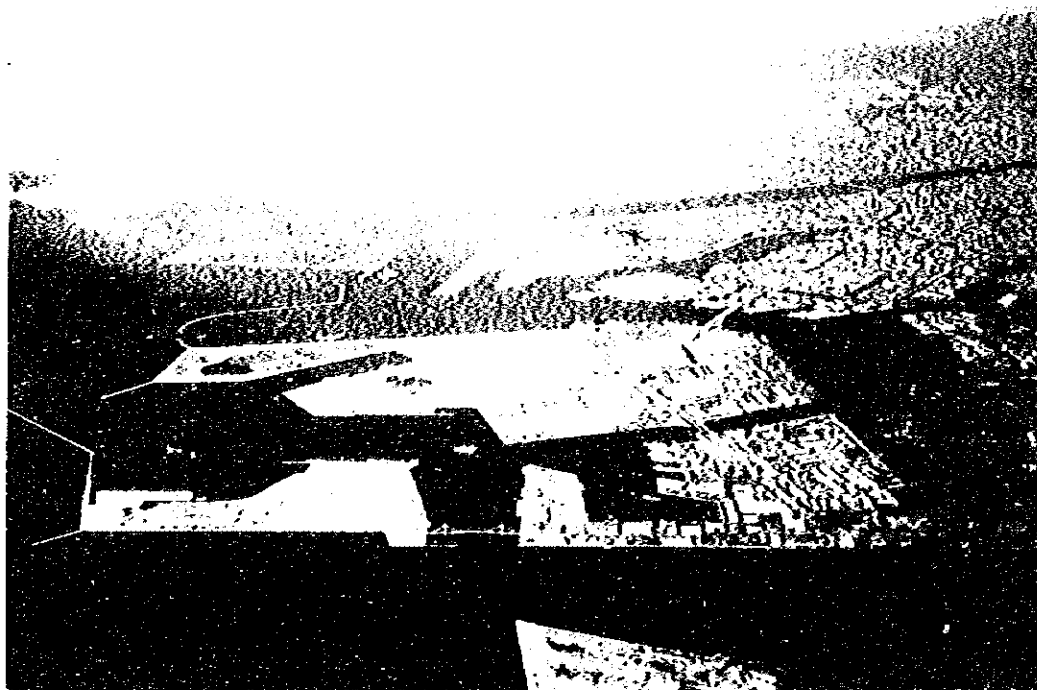
表 6-1-1 日本における軟弱海底土による埋立例

場 所	埋 立 面 積	使 用 目 的	主 な 埋 立 材 料
1. 広島県 広島市	128 ha	自動車工場	シルト質粘土
2. " 福山市	735 ha	製鉄所	粘土質シルト
3. 岡山県 水島市	413 ha	製油所他	粘土及び砂礫
4. 兵庫県 尼崎市	62 ha	タンクファーム他	粘 土
5. 大阪府 大阪市	930 ha	住宅・港湾他	粘土及び砂
6. 大阪府 堺市	440 ha	重工業・港湾他	砂礫及び粘土
7. 三重県 四日市市	68 ha	発電所他	砂及び粘土
8. 愛知県 名古屋市	337 ha	製鉄所	シルト及びシルト質砂
9. " "	480 ha	発電所他	砂及びシルト質砂
10. " 半田市	111 ha	発電所他	砂及び粘土
11. 神奈川県 川崎市	67 ha	産業用地	粘土質砂

この他に軟弱海底土を利用した埋立は、まだまだたくさん行なわれて来た。

このうち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。

6-1 大阪南港における埋立



大阪市を中心に半径 50km 以内の区域を大阪圏 (The Greater Osaka Region) という。大阪圏は、約 1,400 万人の人口を擁し全国の輸出貿易の 40% がここに集中している。この中心、大阪市南部の沖合海面に大規模な臨海工業用地の造成が計画され、1958 年に工事が開始された。

当初の土地造成計画面積は、約 574 ha であったが、社会情勢の変化に対応すべく数度の変更をへて、現在約 930 ha となっている。

1979 年 3 月現在、約 80% の土地造成が完了しており、全体の造成が完了するのは、1981 年 3 月ごろの予定である。

Fig. 6-1-1 に全体の計画平面図を示す。

ZONE	AREA	%
WHARF ZONE	141.4	15.2
WHARF OPERATION RELATED AREA	350.3	37.7
RESIDENTIAL ZONE	62.1	6.7
PARKS & GREEN BELTS	78.1	8.4
OFFICE & COMMERCIAL ZONE	53.6	5.8
URBAN INDUSTRIAL ZONE	94.3	10.1
RESERVED SPACE FOR ROADS, ETC.	150.1	16.1
TOTAL	929.6	100

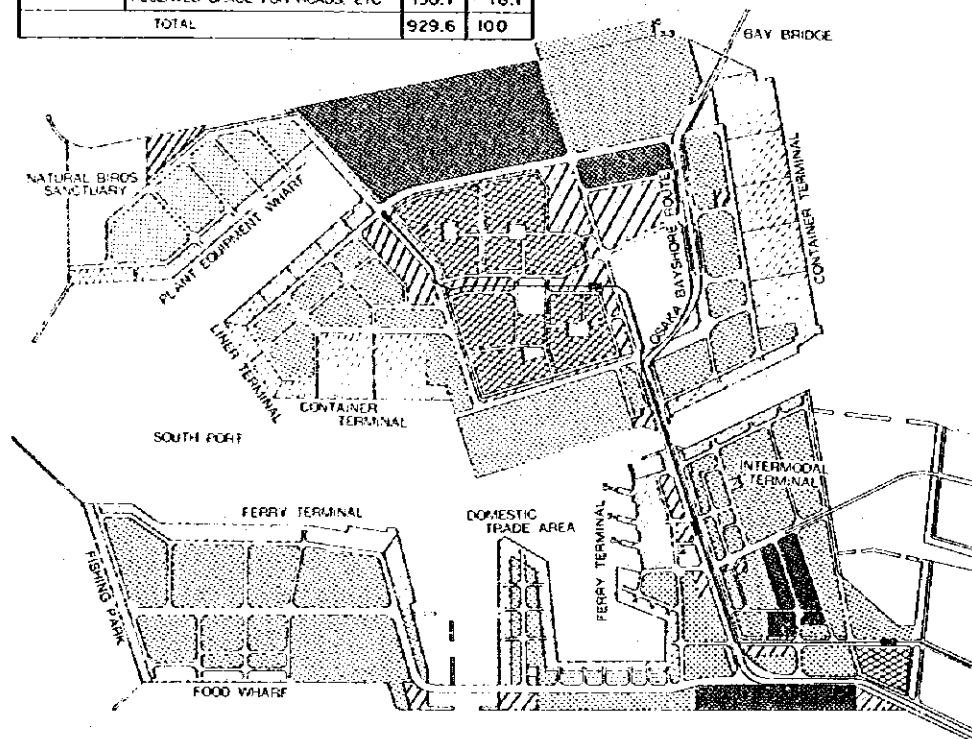


Fig. 6-1-1

6-1-1 埋立地の海底土質

大阪南港の埋立地の、埋立前の海底の土質成層状況は Fig. 6-1-2 に示す通りである。南港の地盤条件を概括すると南部の大和川 (Yamato R.) 近くは、D.L. -20 ~ 25m に埋没段丘堆積層とみられる洪積層最上部があらわれるがその他は、-30m 以深に、天満層と呼ばれる起伏に富んだ厚さ 5m 位で N 値が 50 以上の洪積層最上部の砂礫層が存在する。この層は、南港区域で建設される構造物すべての支持層と考えられている。

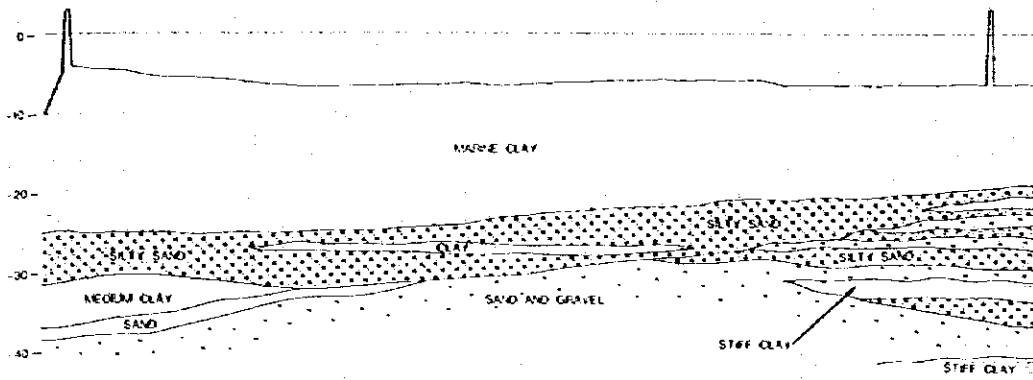


Fig. 6-1-2 Soil Profile before Reclamation

この上に推積している沖積層は、上部沖積層と下部沖積層に分かれる。
 下部沖積層は、-25m から -22m までの間附近に堆積し、砂分が多い。
 上部沖積層は、その上に推積するシルト質粘土で比較的均質であるが極めて軟弱でありその厚さは15m 以上に達する。
 南港における土地造成前の代表的な柱状図、粒度組成、含水比、コンシステンシー、単位体積重量、間隙比、一軸圧縮強度を Fig. 6-1-3 に示す。

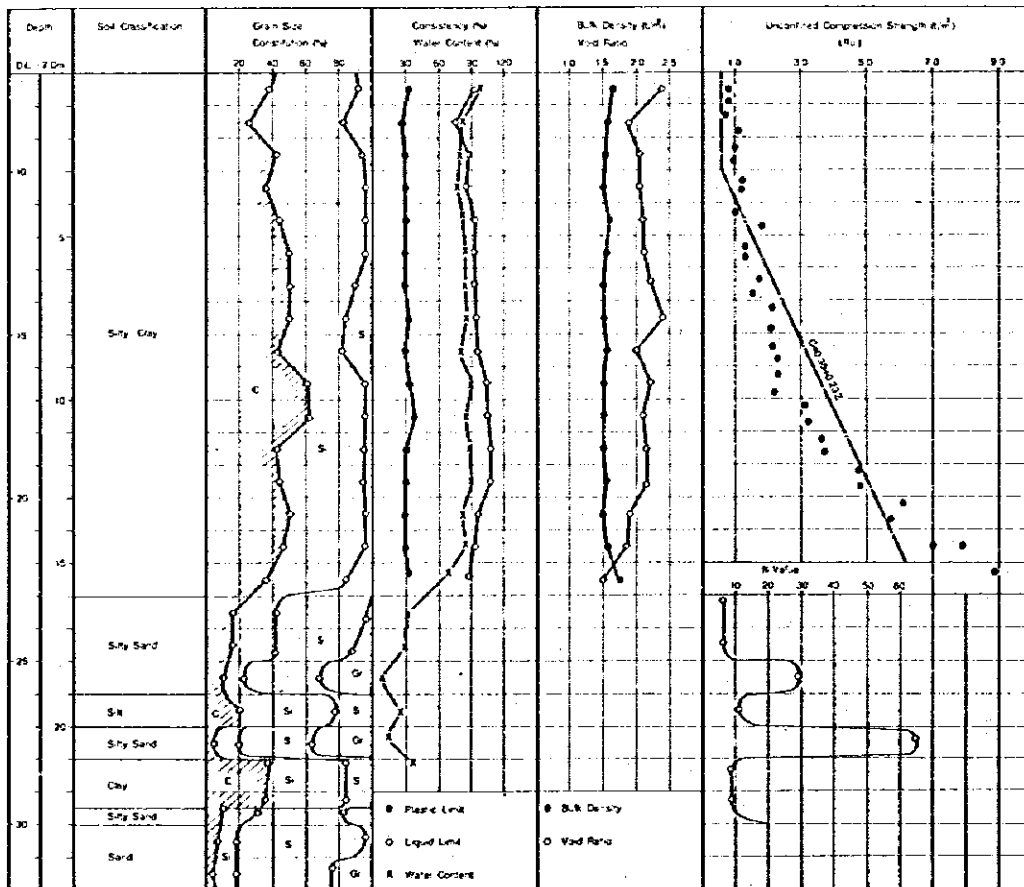


Fig. 6-1-3 Typical Borehole Log & Soil Properties

埋立土、特に重要となる上部沖積層の平均的な土性は以下のものである。

粘土分含有量	40～60%
含水比	80%
液性限界	100～110%
間隙比	2.0～2.5 (平均2.2)
一軸圧縮強度	上層 1.0～1.5 t/m ²
	中層 1.5～2.5 t/m ²
	下層 3.0～8.0 t/m ²

6-1-2 大阪南港埋立プロジェクトの概要

大阪南港埋立地は、Fig. 6-1-4に示すように、一区、二区、三区、三区商港南埠頭、中埠頭、北埠頭より成る。

このうち、三区商港、南埠頭、中埠頭については、海砂と山土のみによる埋立が行なわれた。その他の一区、二区、三区及び北埠頭では、埋立地周辺の泊地、航路の海底のシルト質粘土をポンプ式浚渫船により浚渫して埋立を行い、表面がある程度乾燥した時点で敷砂と山土をその上に置く事により埋立を行った。

シルト質粘土による埋立地も岸壁エプロン等埠頭用地については、山土にて埋立てられた。面積比では、海砂、山土による埋立が30%、シルト質粘土による埋立が70%位になっている。

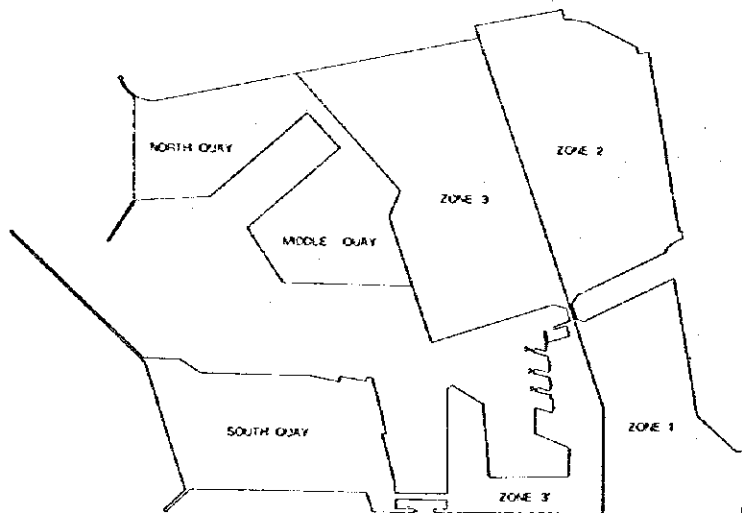


Fig. 6-1-4

海砂と山土による埋立区域には、後述するように、まずサンドドレーンを全域に打設してから、埋立土の施工を行った。

将来、圧密による粘土中の間隙水の排水路となるべきドレーンが、地盤破壊や粘土の塑性流動により切断されないように、海砂を砂まき船により、うすく何層かに分けて注意深く置いた。

この方法でD.L. +2.0 mまで施工し、その上に表層盛土として山土を約6 mの厚さで施工した。

海底粘土による埋立区域は、予め、区域全体を護岸（部分的には仮護岸）にて囲い、余水吐を設けた後、ポンプ式浚渫船にて直接海底の粘土を埋立区域に吹き込んだ。

この埋立において第5章に述べるように通常、送泥管の落し口の近くに比較的大きい粒径のものが堆積し、遠くの余水吐の近くには、細かい粒径のものが堆積する現象が見られた。

南港埋立地の水際線は、ほとんど岸壁として利用されるので埋立護岸は、大部分、この岸壁を予め築造し、これを兼用した。

護岸断面は、早期に埋立てできるよう安定した護岸を必要とするので、置換断面とした。その代表的な断面を Fig. 6-1-5 と Fig. 6-1-6 に示す。

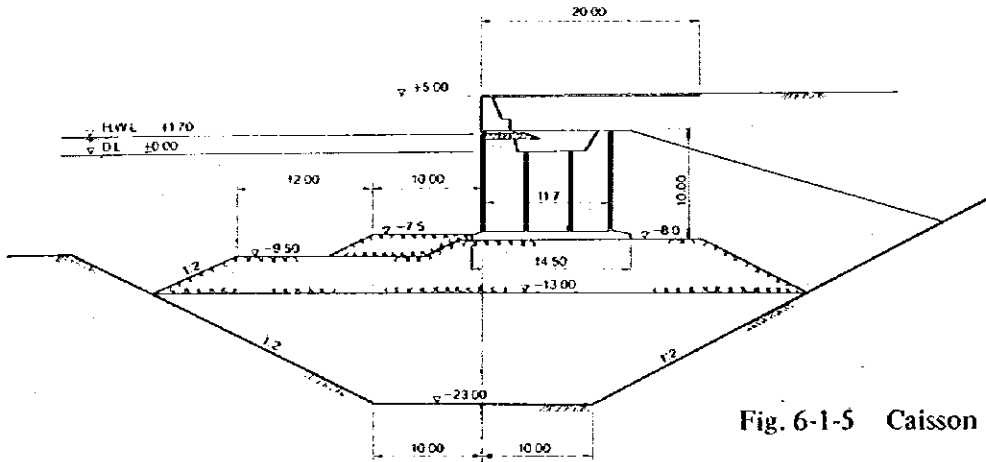


Fig. 6-1-5 Caisson Type Quaywall

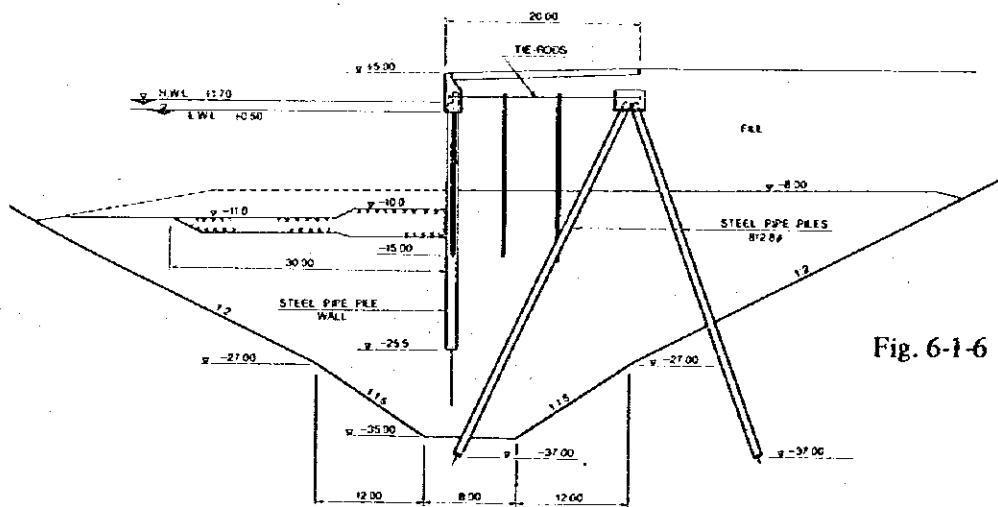


Fig. 6-1-6 Steel Pipe Pile Quaywall

6-1-3 地盤改良

- 海砂，山土による埋立地

海砂と山土のみによる埋立区域には，あらかじめ海底面にサンドドレーン船により直径40cmのサンドドレーンを3mピッチに打設した。

これは，埋立土により将来圧密沈下が長く続くのを防ぐためのものである。又，埋立後にドレーンを施工すると厚い山土や砂を貫通してドレーンを打設しなければならないので不経済になるためである。

- シルト質粘土による埋立地

シルト質粘土による埋立地では覆土した後，軟弱粘土層の改良が行なわれた。

ここでは，サンドドレーン，ペーパードレーン，プラスチックドレーン，パッドドレーン，深井戸工法等種々の地盤改良工法が実施された。

しかし公園，緑地などに予定された地盤改良の必要でない所については行なわれていない。この中で比較的早期に利用計画が策定された第3区（ポータウン住宅地）で行なわれた工法が最も良好な結果を得ているので，ここに詳しく紹介する。

この工法は，サンドドレーン，パッドドレーン及び深井戸を組合せたもので，施工順序は次の通りである（Fig. 6-1-7 参照）。

1. 在来の海底粘土層の上に敷砂（厚さ1.2m）をおく。
2. サンドドレーンをサンドドレーン船により打設する（ピッチ3.5m 正三角形配置，直径40cm）
3. 揚水井戸の設置
4. 護岸を完成させる
5. ポンプ式浚渫船による浚渫，埋立
6. 放置（2ヶ年位）
7. 上置土の施工
8. パッドドレーンの施工
9. 揚水井戸の運転による水位低下（載荷）
10. 一般土砂による盛土施工

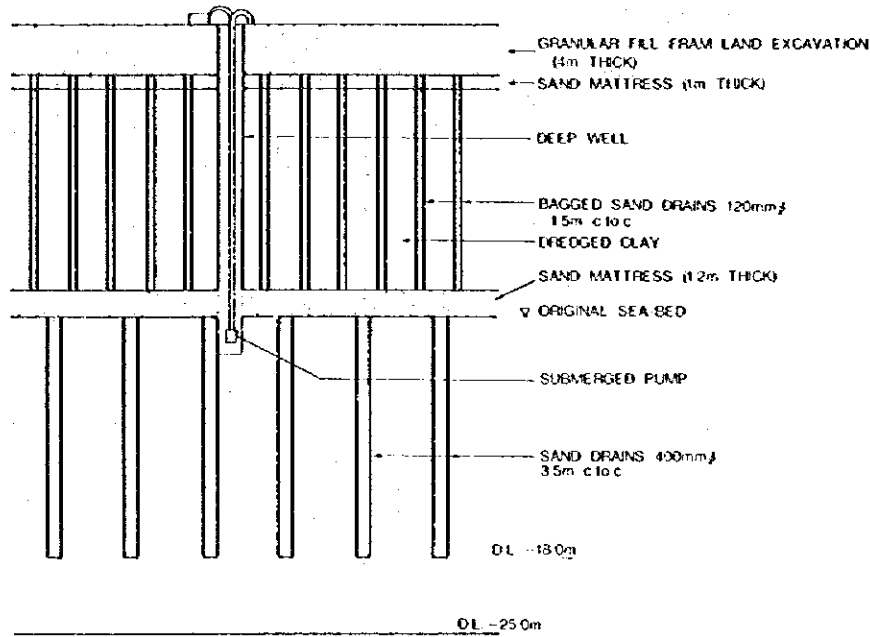


Fig. 6-1-7 Subsoil Improvement by Sand Drains, Bagged Sand Drain and Deep well

揚水井戸の運転は、次のように行った。

1. まず、真空ポンプを作動させ、井内を負圧にして井内の水位を下げる。
 2. 負圧により周囲の粘土層の間隙水が排出される。
 3. 井内の水位が一定の位置まで上がると、水中ポンプが作動して水を外へ排出する。
- 以下これをくり返す。

Fig. 6-1-8 にこの工法の原理を示す。圧密荷重は水位の低下量に応じて変化するが、水位が下の敷砂層まで下がった時は、図のような有効応力の増加が得られる。圧密が終了、ポンプの運転を止めれば、水位は復元し、この増加分は0になるので、この増分は過圧密荷重と考えられ理論的には、在来の海底粘土層の残留沈下は0となる。実際には、粘土のクリープ現象などにより多少の残留沈下は出ることになるが、これを防ぐ有効な対策はない。

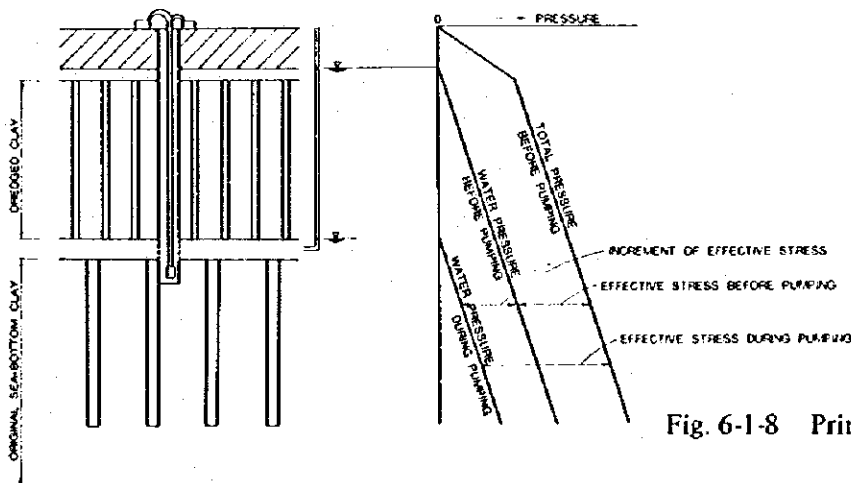


Fig. 6-1-8 Principle of the Method

この工法は過圧密に特別な荷重を必要としないので載荷盛土の施工や、その除去のための時間と費用が不必要であり、また原理的に単純で施工管理さえ正しく行なえば、不確定要素が少ないため、改良効果に対する信頼性が大きいことが、このプロジェクトにおいて実証された。

6-2 福山臨海工業地帯における土地造成

広島県の東端、瀬戸内海に面した福山港に、日本鋼管（株）の新製鉄所建設の為の大規模な土地造成工事が計画され、1962年3月に工事が開始された。総面積735haに及ぶこの埋立地は、ごく一部を除き、すべて埋立地の近辺の海底土砂をポンプ式浚渫船により浚渫することにより行われた。埋立工事に要した工期は4年半、総工費は約150億円であった。

6-2-1 埋立地の海底土質

埋立区域の埋立前の海底の土質成層状態を Fig. 6-2-1 に示す。海底面は浅い所で-1.00m 深い所で-4.00m と割合なだらかに変化している。そこから約10m内外は軟弱な沖積シルト層であり、この下に洪積層の硬質粘土が約1~5m存在する。これ以下は極めて地耐力の高い、工場建設の基礎地盤として適した砂又は砂礫層がずっと続いている。所によっては、この砂礫層の間に硬質砂質シルトを介在している。

沖積シルト層から採取した不攪乱試料の一軸圧縮試験を行い、その強度と深度の関係を求めたものを Fig. 6-2-2 に示す。粒度分析結果は Fig. 6-2-3 に示すように三角座標法の分類で、ほとんどシルト分で構成されていることを示しており、強度と考え合わせると、極めて軟弱なシルト層といえる。表 6-2-1 に物理試験の結果を、表 6-2-2 に圧密試験から得られた圧密諸係数を示す。

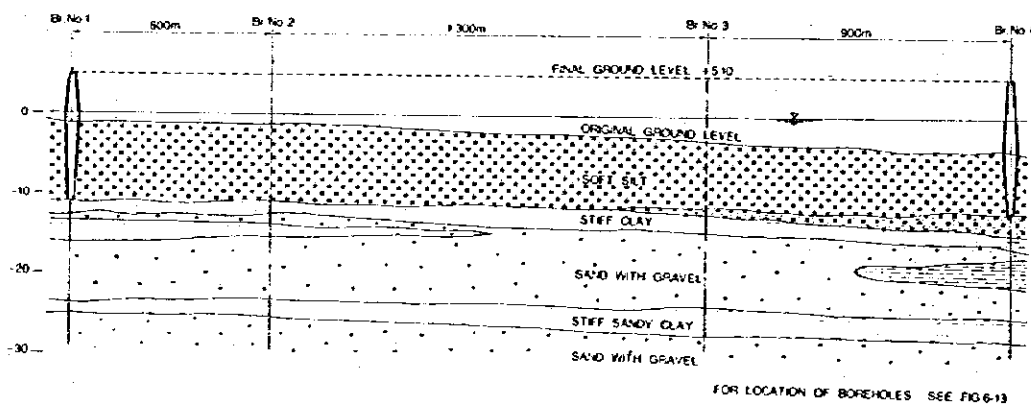


Fig. 6-2-1 Soil Profile

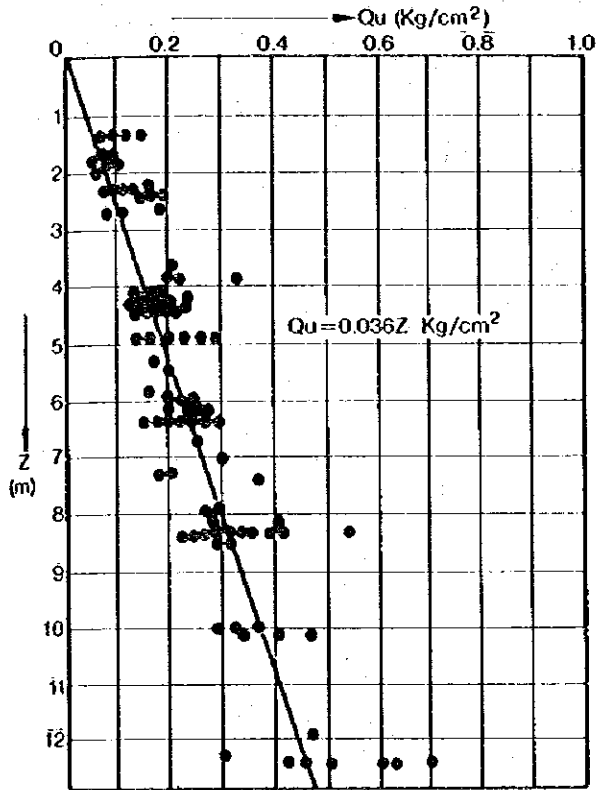


Fig. 6-2-2 Qu-Z

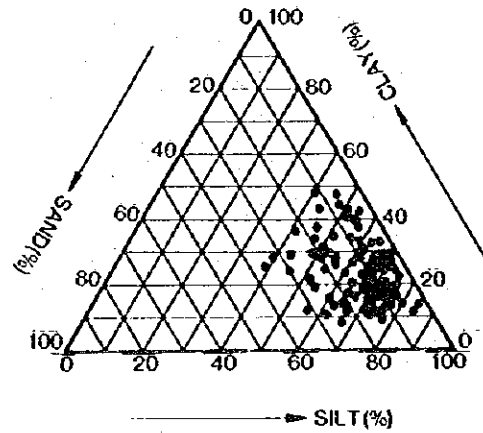


Fig. 6-2-3 Particle Size Distribution

Table 6-2-1 Physical Properties

Silt Content	40 ~ 80%
Specific Gravity G	2.46 ~ 2.79
Bulk Density γ	1.36 ~ 1.96 t/m ³
Void Ratio e	1.5 ~ 4.0
Water Content ω	35 ~ 140%
Liquid Limit (L.L.)	70 ~ 130%
Plastic Limit (P.L.)	20 ~ 50%
Plasticity Index (P.I.)	20 ~ 110%

Table 6-2-2 Consolidation Tests Results

Coefficient of Consolidation C_v	$3.0 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{min.}$
Modulus of volume change m_v	$2.6 \times 10^{-1} \sim 2.3 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{kg}$
Coefficient of Permeability κ	$7.2 \times 10^{-5} \sim 2.7 \times 10^{-7} \text{ cm/min.}$

6-2-2 福山土地造成の概要

この埋立には約 5400 万 m^3 の純埋立土量を必要としたが、これは主として周辺の泊地浚渫土をもって充当された。浚渫区域は Fig. 6-2-4 に示すような区域である。このうち西側泊地、南側泊地、東側泊地のシルト及びその下にある、硬質粘土と砂礫をポンプ式浚渫船により、航路部分のシルトをグラブ式浚渫船により浚渫し、埋立用材料とした。埋立土 5,400 万 m^3 の内訳は次の通りである。

海底硬質粘土及び砂礫	1,750 万 m^3
航路浚渫シルト	700 万 m^3
山 土	190 万 m^3
海底シルト	2,760 万 m^3

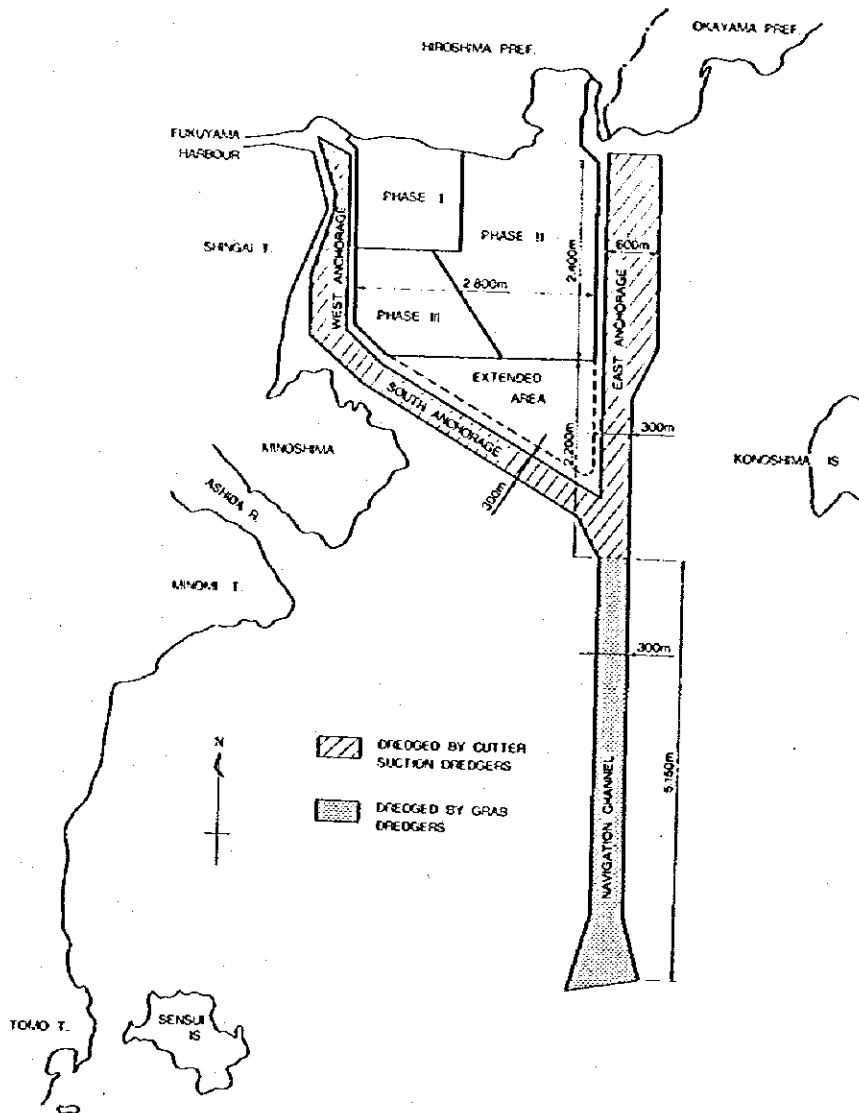
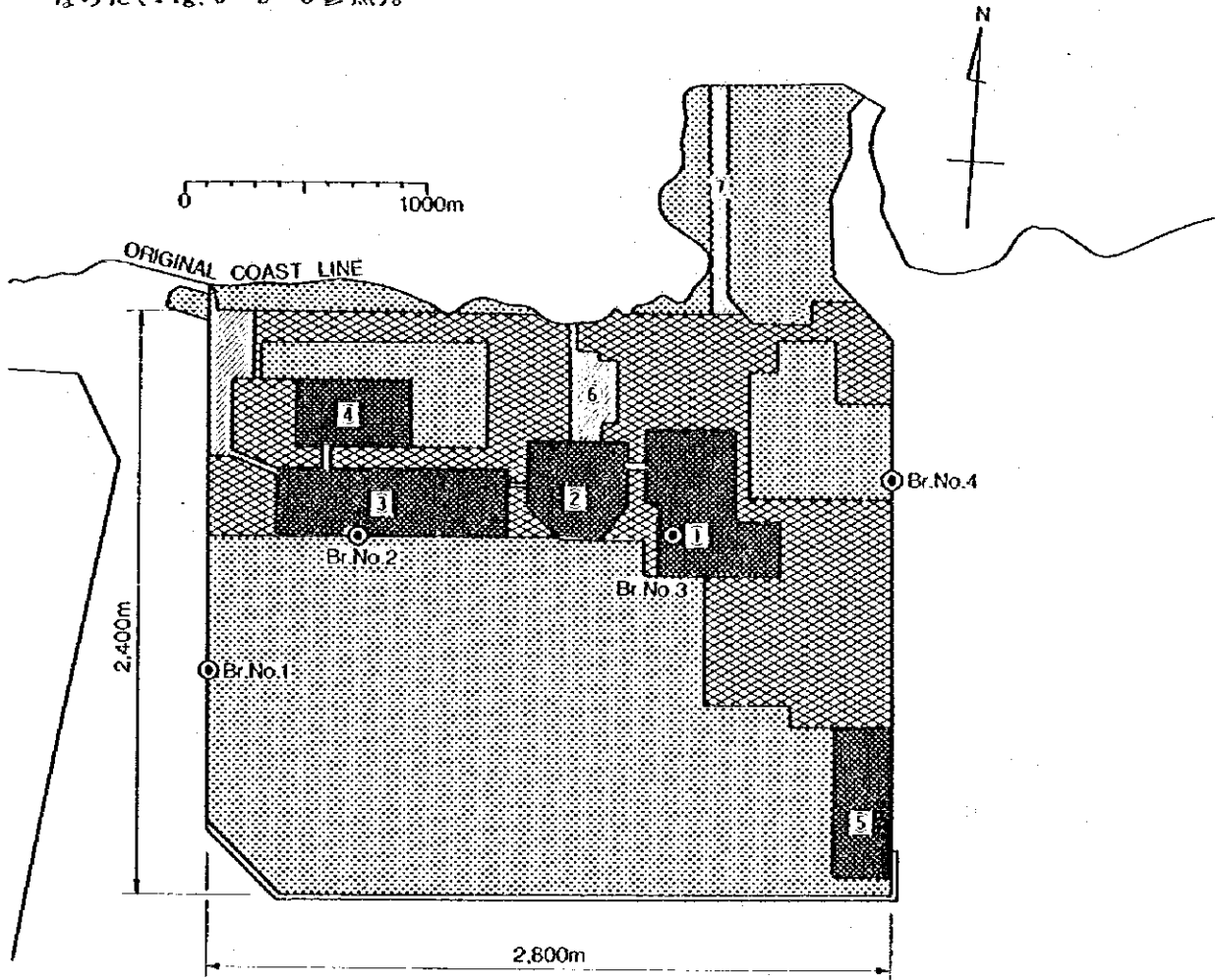


Fig. 6-2-4 General Plan

埋立地の利用計画は予め決っていたため、将来、高炉、転炉その他の重要構造物の建設予定地は、浚渫船の送泥管の排出口を適切に配置・切替えを行うことにより、砂礫・硬質粘土にて埋立を行い、その他の地域は一部山土で埋立てた区域を除いて、主にシルトで埋立を行った (Fig. 6-2-5 参照)。



- ① BLAST-FURNACE AREA
- ② REVOLVING FURNACE AREA
- ③ HOT ROLL MILL AREA
- ④ COLD ROLL MILL AREA
- ⑤ IRON ORE STORAGE AREA
- ⑥ POWER STATION AREA
- ⑦ RAILWAY DEPOT AREA

- FILLED HYDRAULICALLY WITH SAND GRAVEL, AND HARD CLAY UP TO SURFACE
- FILLED WITH SANDY SOIL FROM LAND EXCAVATION UP TO SURFACE
- FILLED HYDRAULICALLY WITH SILT BUT TOP 3M LAYER WITH S.Gr. AND HARD CLAY
- FILLED HYDRAULICALLY WITH SILT
- ⊙ BOREHOLES

Fig. 6-2-5 Fill Material Allocation Plan

浚渫に先立ち、東側護岸と西側護岸を北側より着工した。東側護岸と西側護岸は将来、それぞれ原料荷揚岸壁、製品出荷岸壁になる予定であったので、仮護岸とし、南側は荒天時の波浪に耐える本護岸として、強固な断面とした。護岸の断面を Fig. 6-2-6, Fig. 6-2-7 に示す。

埋立地は三つの Phase に分けて引渡すことになっており、製鉄所の建設計画に合わせて Fig. 6-2-4 に示すように、Phase I, Phase II, Phase III の順に埋立てが行なわれた。護岸及び埋立地内の工区を分ける仮設中仕切堤ができると、前記の Fig. 6-2-5 に示すような仕様で埋立が開始された。埋立工事の主力となった浚渫船は、4000 馬力のガスタービンポンプ式浚渫船であり、その最大浚渫深度は 21 m であった。工事の最盛期には、このタイプのもの 5 隻を含め 10 隻以上のポンプ式浚渫船が稼動した。

航路個所のシルトはクラブ式浚渫船にて浚渫したものを底開きバージにて、護岸に設けられた開口部を通して埋立地内のシルト埋立区域に投棄した。

当時としては大型のポンプ式浚渫船により、大量の土砂を埋立地に吹き込んだため、部分的に、在来海底のシルト層に塑性流動を生じたり、小規模な円弧上がり破壊を起した箇所も少しあったが、全体として、工事は順調に推移し、計画通りに埋立を行うことができた。

1969 年から 1972 年にかけて南側に約 137 ha の埋立地が拡張された。

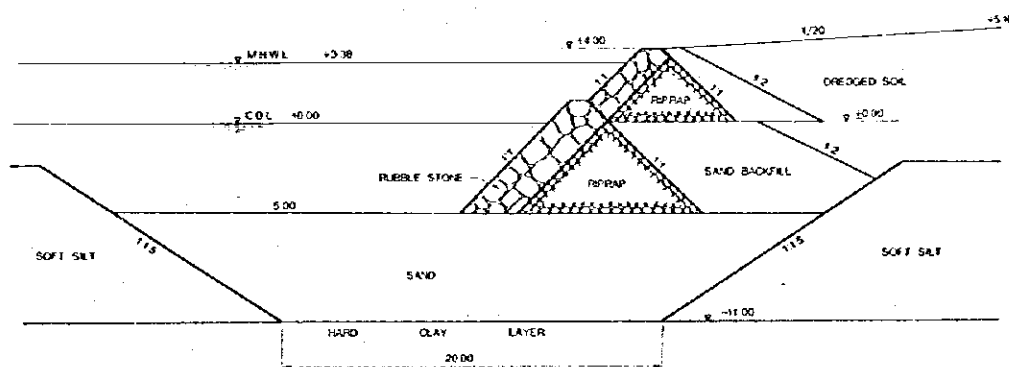
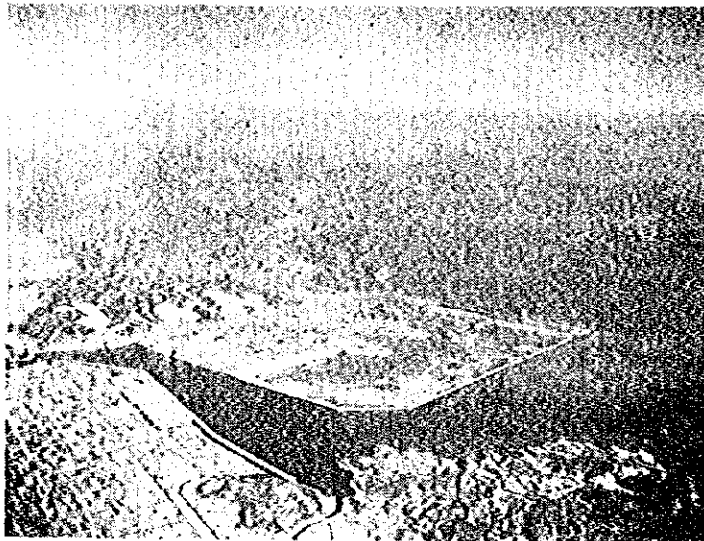


Fig. 6-2-6 East and West Revetment



(1) Early Stage of Reclamation



(2) Middle Stage of Reclamation



(3) Completed Steel Mill

付 録

	ページ
A 磁気探査	a-1
B 表層改良工法	b-2
C ソノストレーターによる音波探査の概要	c-3
D 今回の調査結果	

付録 A 磁気探査

水底または、地表面下に埋没している不発砲弾または、爆弾を検知するための器械としてわが国における代表的なものの1つとして、島津製作所により開発されているMB-100型とMB-200型を例にとってこれらの器械による探査方法の概要を述べる。

この器械の両型式共、主に、検知器、制御器、記録器と接続ケーブルから構成されている。探知の原理と作業方法は、両型式共、まったく同じである。

違いは、MB-100型は、検知器を1つだけ用いており、MB-200型は、検知器を2つ以上組合わせて用いているという点である。

(MB-200型は、3つの検知器、4チャンネルの制御器「1チャンネルは予備」と4チャンネルの記録器「1チャンネルは予備」を備えている。)

現場での探知作業は、検知器を、ほぼ水平に保持しながら、海底または地表面の直上で行うので、その作業は、比較的容易である。

しかしながら、長くて太いケーブルを用いて探知を行うため、また検知器を水平に保つため、時には、地形条件と海底の底質によって特別な工夫を必要とする。

MB-200型は、水平に保って探知することのできる傾斜計付のフレームを備えているけれども、どんな現場に何時でも適合するとは限らない。そのフレームは、容易に運搬し、据付けるといふのには、どちらかと云えば、大きく、重く、そのため実際の現場作業では、検知器を据付けるのに、もっとも適切なる方法を状況に応じて、時には工夫せねばならない。現場で探知を行う若干の例を、参考のため、以下に示す。

A-1. フラックス・ゲート方式磁気探知器の原理

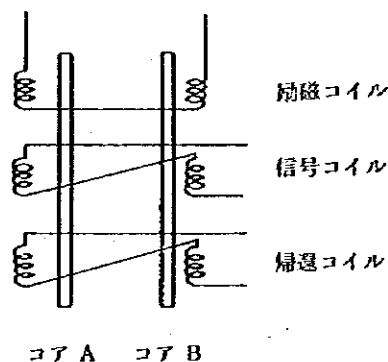


Fig. A-1-1 2本のパーマロイの周りに
巻かれている磁気探知器の3つのコイル

磁気探知器は、1 ガンマ程度の磁場の変化を探知できる能力を有する器械である。僅かな磁場で容易に飽和に達する2本のパーマロイ（高透磁率合金）が組込まれている。2本のコアは、Fig. A-1-1 に示すように、励磁コイル、信号コイル、帰還コイルによって巻かれている。

1 kHz の交流が、励磁コイルによって流される時、2本のパーマロイ・コアには、それぞれ正負のサイクルの間に磁氣的な飽和に達する。

磁気探知器の周りに磁場の無い時には、コアAとコアBの磁気飽和レベルは、同じであり、そしてこれらは、波形的に、相互に対称である。

そのため、誘起電流は、同じく対称であり、そして信号コイルに出力は、生じない。

(Fig. A-1-2 の左側を参照。)

一方、磁気探知器の近くに、何らかの磁場のある場合には、飽和レベルのずれを生じ、各コアの磁束は、Fig. A-1-2 のb' に示すように非対称となる。

従って出力は、e' に示すようになり、出力の測定値は、外部磁場の強度を意味する。

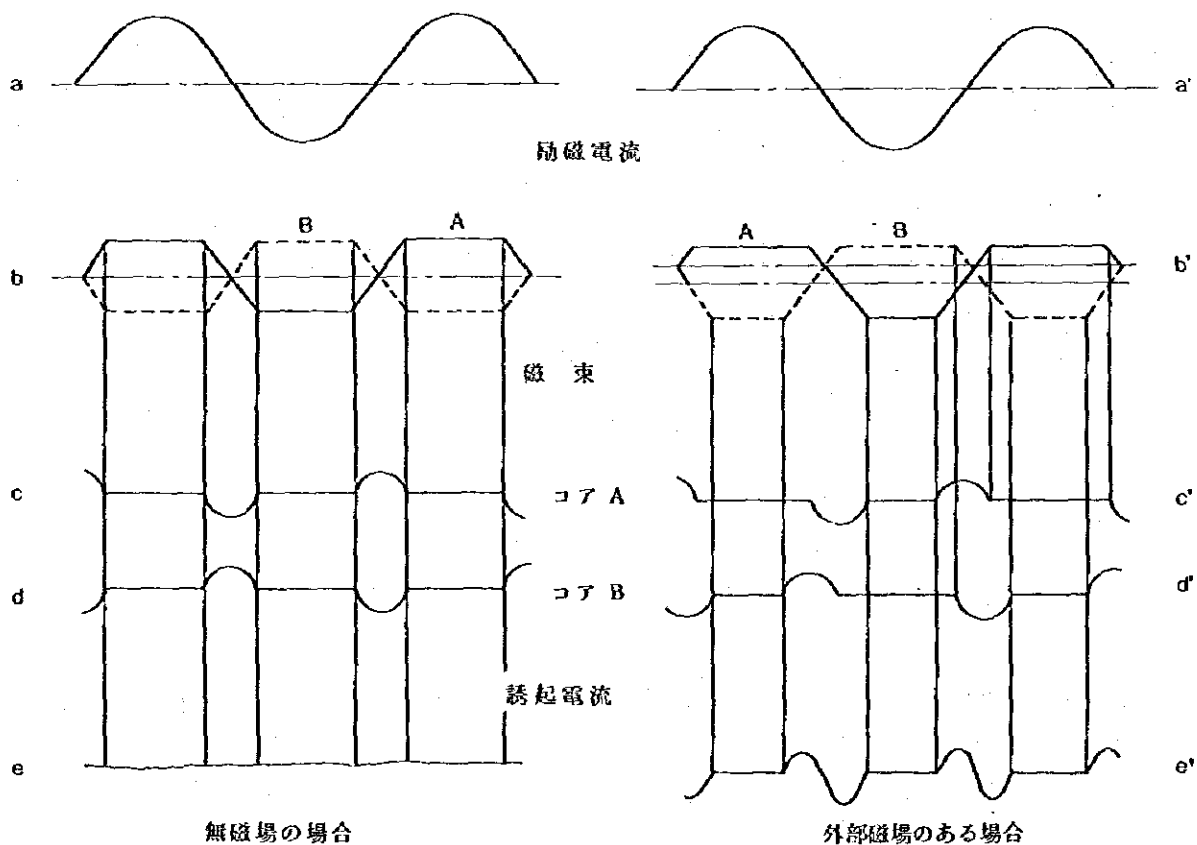


Fig. A-1-2 励磁電流、外部磁場、パーマロイ・コアの磁気飽和、誘起電流および出力の相互関係

A-2. MB-100型探知器による埋没物の微弱な磁場の探知原理

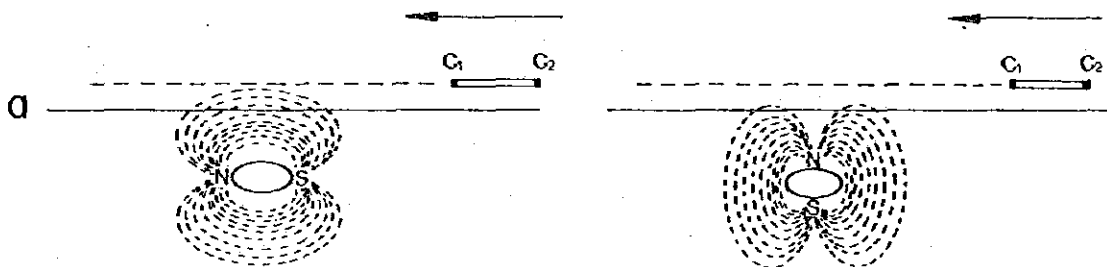
MB-100型とMB-200型の探知器は、それぞれ、差動結線され、1m離して固定されている1対のフラックス・ゲート方式の磁気探知器を備えている。

磁気探知器は、1ガンマ程度の磁場の変化を検出するのに十分な程敏感であるけれども、埋没物体の磁場より、はるかに強い地球の磁場の中で、磁気探知器自体の動揺または上下動による起電力に対抗して単一の磁気探知器で、目的物の磁場を検知することはできない。しかしながら、2本の磁気探知器は、これらが等しく受けることによって、相互に誘起された起電力を打消し合うので、1対の磁気探知器は、目的物の微弱な磁場を検出することが可能である。

1m離して、固定された2本の磁気探知器は、それぞれ、目的物の微弱な磁場を検出し、そして、磁場の強さの差が出力となる。

このようにして、強い地球の磁場の中で、上下、左右に動揺していても、この探知器は、埋没物体の微弱な磁場を検出できる。

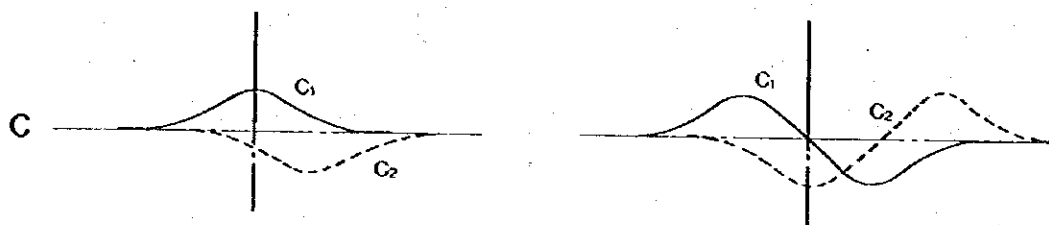
Fig. A-2-1は、2つの磁気探知器 C_1 と C_2 を備えている、この探知器による埋没物体の探知の2つの例を示しており、また、どんなふうに記録に表われるかを示している。



磁性物体が埋没しており、磁場がaに示されているような場合、地表面に近接した高さの磁場の強さは（点線沿いに）bに例示したようになる。



aに示したように、水平に保たれたMB-100型探知器が、点線沿いに、右から左へ移動する場合、磁気探知器 C_1 と C_2 の信号は、cに示すようになる。



さらに、 C_1 と C_2 の曲線によって作られる出力は、dに示すように、記録紙上に表われる。

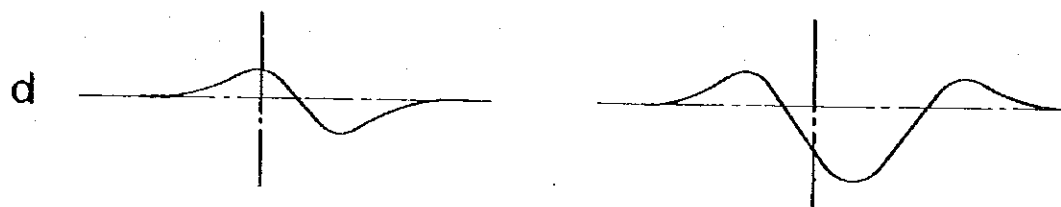


Fig. A-2-1 MB-100型探査器によって検知された異常磁気記録の一例

A-3. 埋没物体によって生じる磁気異常の代表的な形

大抵の場合、目的の物体によって生じる磁気異常の形は、幾つかの定型的なパターンに分類され、これらは便宜上、少数の単純なモデルによって、近似的に示される。

近似的にすることは勿論、深さと大きさの計算に際して若干の誤差を伴うこととなり、また、これらの誤差は、完全に無視し得る程小さくはない。

しかしながら、大抵の場合、試掘が注意深く行なわれるならば、この誤差は、通常許容される。

目的物体の形状と方向性のモデルが示されておれば磁場の強さは、目的物体の深さと、大きさの関係だけが関係することとなる。

そのため、次の2種類の表が前もって与えられておれば、目的物体の深さと大きさは、示された異常曲線によって容易に求められる。

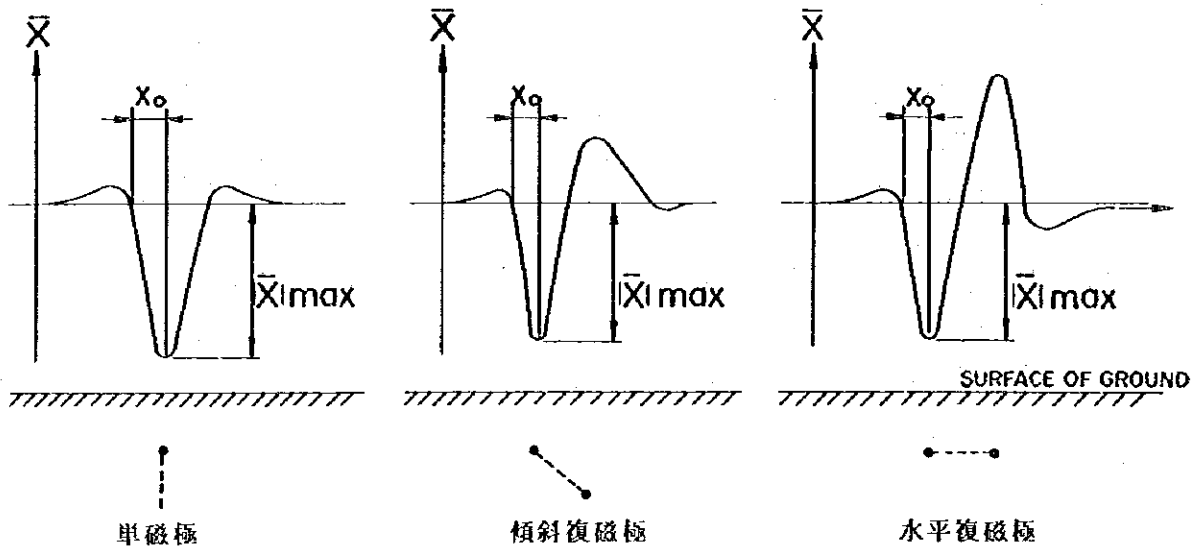
- (i) 曲線の形状と探知物体の距離の関係を示す表。
- (ii) 距離と曲線の振幅最大絶対値の関係を示す表。

曲線のモデルを Fig. A-3-1 に示す。

記録紙上に数字で示される X_0 の値を読み取ることによって、探知器からの目的物体の距離を知ることができる。

さらに、 $|\bar{X}|_{max}$ の最大値を読み取ることにより、物体の磁気の高さを知ることができる。

Fig. A-3-1 異常曲線型のモデル



（垂直復磁極ではあるが、他端の磁極が、単磁極として考えて差支えない程度離れている場合）

距離と磁気の高さを決定するため、さまざまな記録について、 X_0 と $|\bar{X}|_{max}$ を読み取る。 X_0 は深さを示すことになり（正確には、深さでなく、探知器から目的物体までの距離）さらに、 $|\bar{X}|_{max}$ は、磁気の高さを示すことになる。

A-4. 探知作業方法

A-4-1 探知作業の外業

1. 予備作業

- 現場の踏査または立案のための大スケール地図の検討。
- 測線の配列と、最適探知実施方法の立案。

2. 測 量

- 目的区域内基準点の設置。
- ペンキ塗装または杭による測線位置のマーキング。
- 必要な場合、深淺測量。

3. 運搬、取付けならびに調整

メーカーによって製作されたフレームが、その現場に利用できる場合には、現場へ運び、取付ける。

また、利用できない場合には、他の形式のフレームを、その状況に応じて工夫する。

- フレームへの探知器の取付け。
- 探知器、制御器と記録器の接続。
- 探知器の調整。

4. 探知器の操作

記録器は、探知器が通過する、その点を記録紙上に示すイベント・マーカ-を備えている。

それゆえ、記録紙上で探知器の位置を知ることができる。

探知器が、一定速度で移動できない場合には、記録紙上に、探知器の位置を示すことができるようにするため、単位距離に近い間隔で点をうつようにする。

また、探知器が一定速度で移動する場合には、マーカ-は、一定時間で入る。

測線の番号と点の距離は、記録紙上に手書きする。

探知器は、ほぼ水平に保ちながら、また海底上、0.5～1.5 mの一定高さを維持しながら測線上を移動する。

探知器の移動方法は、通常、船で曳航することにより、行なわれる。

磁気異常が記録紙上に示された場合には、その異常曲線形によって容易に知ることができる。

A-4-2 探知作業の内業

埋没磁気物の位置は、現場で即座に記録紙を調べることにより容易に判るが、物体の種類、深さ、大きさを推定するには、かなりの時間を要する。そのため、記録は事務所へ持帰り、解析用に供する。

内業の方法は、次のとおり。

- (1) 記録紙の整理。
- (2) 記録の点検と、罐、ワイヤー、古タイヤおよびその他の鉄片のような危険でないと思われる記録の選別。
- (3) 危険と思われる磁気物体の深さの決定。
- (4) 埋没物体の磁気の大きさの決定。
- (5) どんな物体であるかの検討。
- (6) 図上に埋没物体の位置表示および何処で、どんな深さで除去作業を行うかの立案。

A-5. MB-200型探知器による現場での探知作業方法

1つの探知器を海底で曳航する場合、海底の約2m巾を探查できる。そのため、探查器の相互の間隔は、せいぜい2mであり、3つの探知器で6m巾の海底を探查できる。

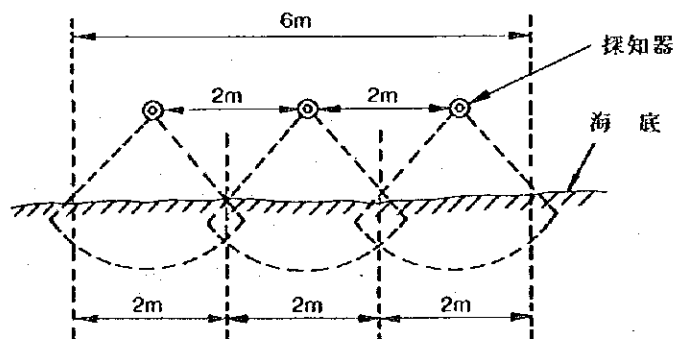


Fig. A-5-1 3つの探知器を、それぞれ、2m離して取付ける場合の探查巾(断面)

測線の間隔は、6mにすることができるであろうが、測線沿いに正確に探知フレームを移動することは容易でないので、1mの重複巾をとって、5m巾とする方がよい。

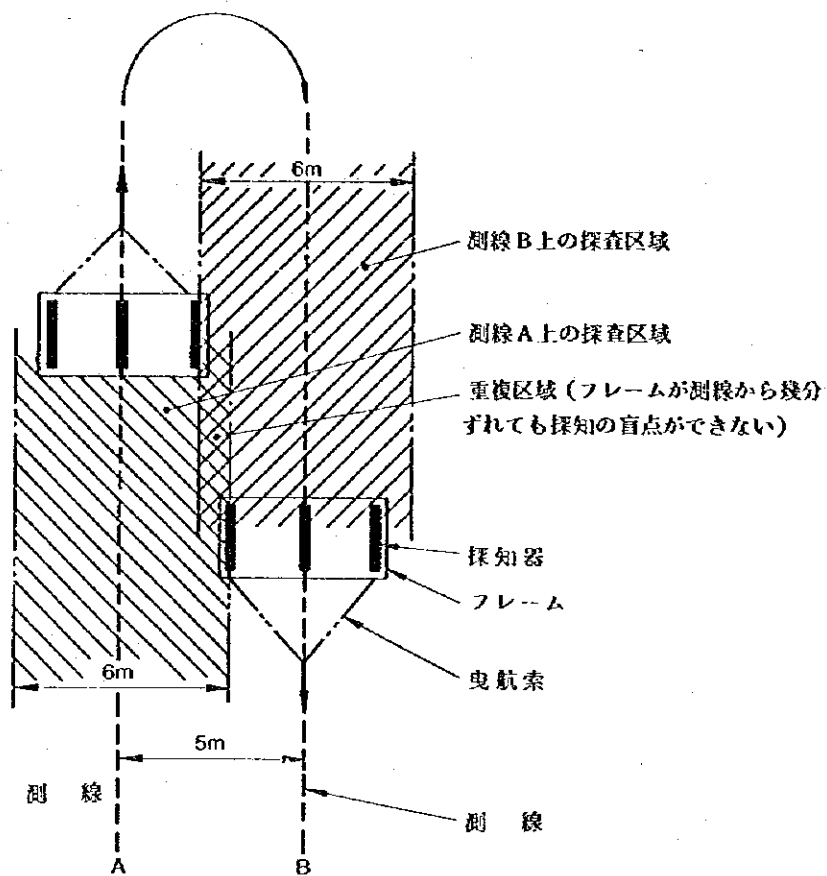


Fig. A-5-2 重複区域の取り方 (平面)

- フレーム付探知器の移動方法

探知器以外の器械を船に積込み、探知器を取付けたフレームを船で曳航する。
探知器と船の間の距離は、約 7 m に保つ。
距離が、5 m 以下の場合には、船自体が目的物体の磁場を乱すことになり、距離が 10 m 以上の場合には、フレームの位置のコントロールが難しくなる。

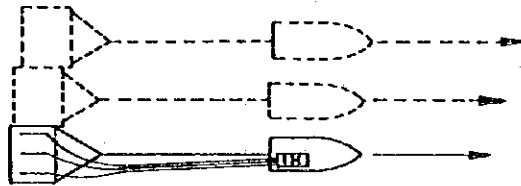


Fig. A-5-3 曳船によるフレームの曳航

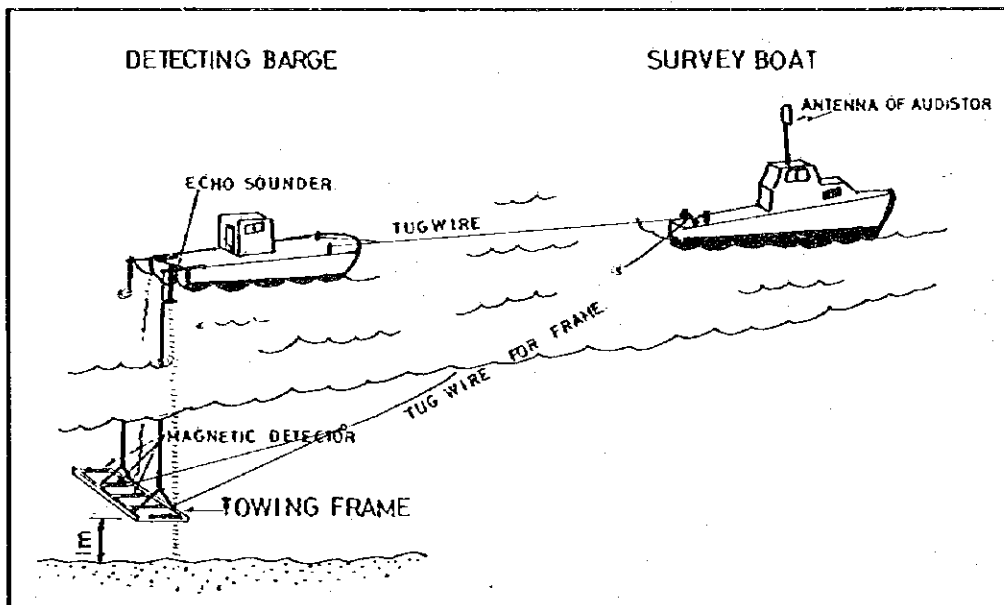


Fig. A-5-4 The General Method of Magnetic Detecting

付録 B 表層改良工法

表層改良工法については、一年中を通じて日差しの強いシンガポールにおいては、まず必要のない事であると思う。

しかし、特殊な状況、例えば、部分的に泥状の地表面に山土をかぶせるなどして一応土地をつくろうという場合、例外的に必要なかも知れないので、日本ではよく行なわれているこの工法について一応ふれることも意味のあることであると思う。

表層改良工法は、大別すると、a) 置換工法、b) 表面覆土工法、c) 表面固結化工法の三つになる。

B-1. 置換工法

置換工法は、表層の軟弱土の一部又は全部を良質な材料にて置換える方法であり、埋立地の表層改良としては、局部的なもの（例えば道路）に限られる。

軟弱土を掘削し、良質土と置換える掘削置換工法、良質土を強制的にまき出しながら置換える強制まき出し工法、発破を用いて置換える爆破置換工法がある。

B-2. 表面覆土工法

埋立完了後、充分長くその埋立地を放置すれば、表面は乾燥して無数のひび割れを生じ、直接コンベアやトラックを使用して、表面に砂や山土の薄い層を形成する事が可能になる。しかし、日本においては、以下にのべるような工法によって、比較的早期に表面に覆土し、ひきつづいて後述する深層改良工法を用いて地盤の強化をはかり、早期に埋立地を使用してきた。

以下、日本で行なわれてきた代表的な表面覆土工法を2～3紹介する。

B-2-1 シート工法

シート工法は、そのままでは表面覆土の施工が不可能な軟弱な地盤上に引張強度のあるシートを広げ、その上にうすく土をまき出してゆく工法である。

この工法の原理は、Fig. B-1-1に示すように、シートと粘土表面の間のマサツ力の合力がシートの引張力と等しくなり、まき出し土の重量に抵抗するというものである。

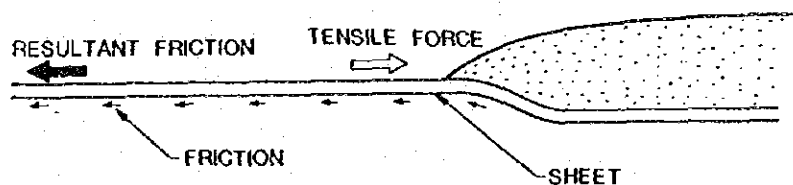


Fig. B-1-1 Sheet Method

施工手順は、先ず、軟弱地盤表面上に、合成繊維のシートを人力にて布設し、その一方の端部を強固な地盤に定着する。

次に定着した側より、小型湿地ブル、又はベルトコンベア、又はジェットコンベア等を利用して、うすく砂をまき出す。

上置土の必要な厚さに応じ第二、第三の層をひきつつき行う。

第2層、第3層と進行するに従い、まき出しに使用する機械は大型化できる。

Fig. B-1-2 にジェットコンベアを用いた施工図を示す。

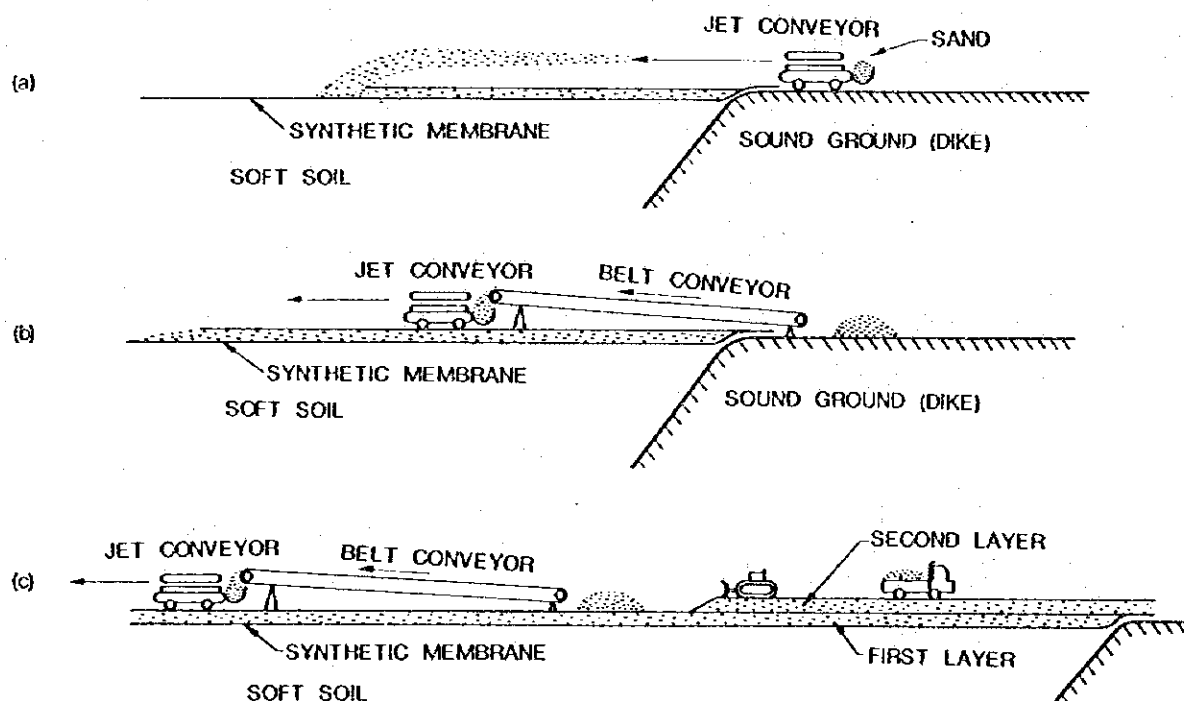


Fig. B-1-2 Sheet Method with Jet Conveyor

B-2-2 ロープネット工法

前述のシート工法では、地盤が非常に軟弱な場合、シートに生じる引張力がシートの引張強度を超え、シートが破壊するので、この点を改良するために考案されたのがロープネット工法である。

しかし、原理はやや異なる。

ロープネット工法の場合は、まず全域に亘ってシートを張り（このシートはそれ程引張強度を必要としない）その上に格子状に編んだロープのネットを張る。

そのロープネットの端部をすべて周囲の強固な地盤に固定する。

そして、カウンターバンクと呼ばれる小断面の堤体をベルトコンベア又は小型湿地ブルドーザーにて格子状に形成する (Fig. B-2-1)。

するとカウンターバンクに囲まれた部分は、カウンターバンクの重量により、下から揚圧力がかかり、ロープネットが張りつめる (Fig. B-2-2)。

これらのカウンターバンクが完成した後、各々のカウンターバンクに囲まれた部分に土を撤出してゆく。

この方法で約 50cm の厚さに山土を置けば大型トラックでも一応走行は可能となる。

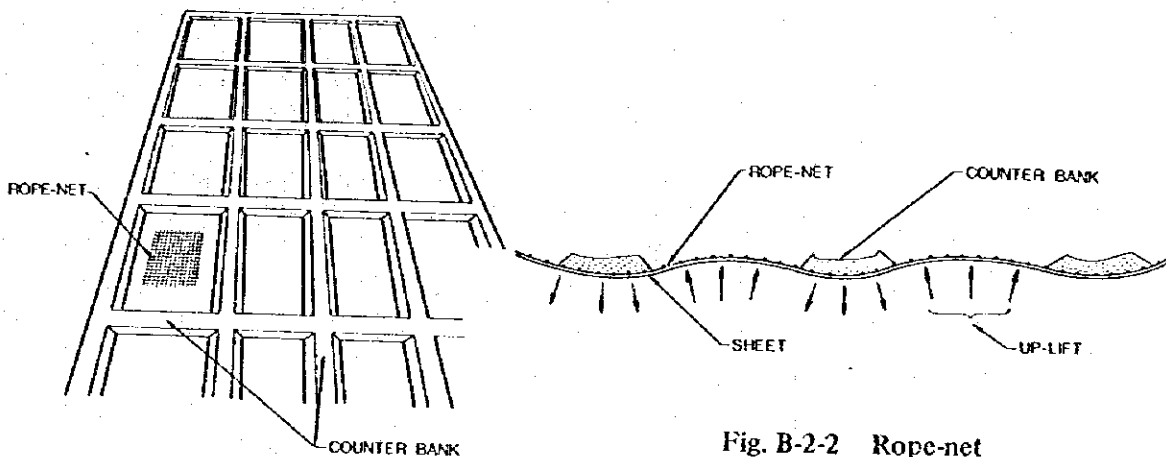


Fig. B-2-1 Counter Bank

Fig. B-2-2 Rope-net

B-2-3 バンブーネット工法

この工法は古くからあるそだ沈床工法と原理は同じである。

まず軟弱地盤上に竹で筏を組み敷きつめてゆき、その上にシートを張りその上からうすく山土や砂をb-1で述べたような方法でまき出してゆくものである。

この工法は、埋立地全域に施工する事もできるし、仮設道路などのために部分的に帯状に施工する事もできる。

B-3. 表面固結化工法

表面固結化工法は軟弱地盤の表層1~3mの部分を土質安定剤を用いて改良、強化する化学的な地盤改良工法である。

固結化工法は、使用する土質安定剤の種類により、セメント安定処理工法と石灰安定処理工法に大別される。

B-3-1 セメント安定処理工法

セメントを用いた土の改良は道路の路床で、古くから世界的に用いられてきた。これを超軟弱な地盤に利用したものが、ここに述べるセメント安定処理工法である。わが国で最近行なわれているこの工法は通常、埋立後まもない、超軟弱地盤で用いられ、セメントスラリーを floating equipment により、表面の泥に注入攪拌するやり方である。土中に注入され泥土と混合したセメントは水和作用によりアルミン酸石灰 ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$)、けい酸石灰 ($m\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) などの水和物をつくり、土粒子相互を結合し、土の強度を高める。

Fig. B-3-1 に、この工法のフローシートを示す。

この工法は、ロープネット工法など他の工法と組合わせて用いられる事もあり、その一例を Fig. B-3-2 に示す。

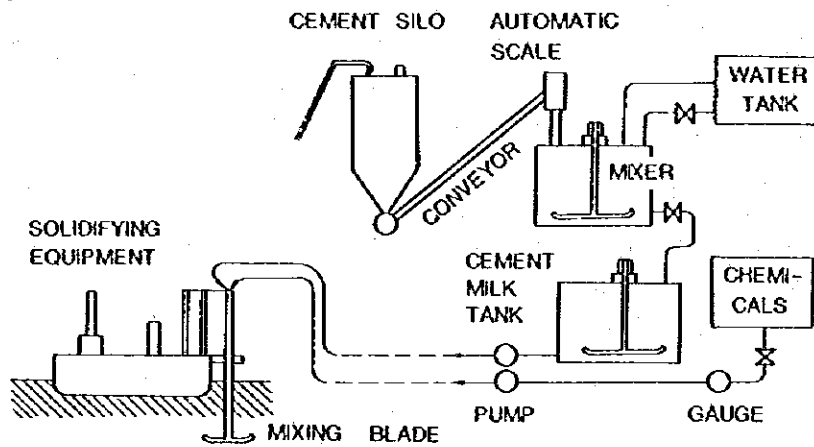


Fig. B-3-1 Flow Chart of Cement Mixing

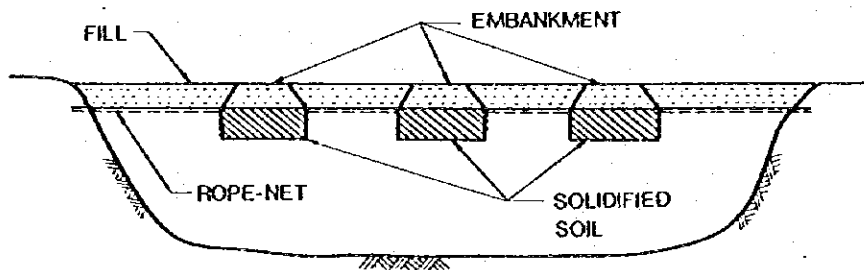


Fig. B-3-2 Combined Usage of Cement Mixing and Rope-net

B-3-2 石灰安定処理工法

この方法も古くから地表面の改良工法として用いられてきたが、わが国で埋立後まもない超軟弱層の表層を改良するのに最近よく用いられる。

含水比の高い軟弱土に粉状の生石灰を混ぜると反応が早すぎてよく土と混らないので通常、粒状にした生石灰を用いる。

生石灰は、土中の水分を吸収して水和し体積を膨張して消石灰になる。

その過程で 280 kcal/kg の熱を放出し、その効果で土は、含水比が低下し、改良される。

同時に土中の粘土やコロイドを形成しているシリカ (SiO_2) 及びアルミナ (Al_2O_3) と反応し、けい酸石灰やアルミン酸石灰をつくり、土粒子間の結合力を強め、土の強度を高める。

付録 C ソノストレーターによる音波探査の概要

C-1. ソノストレーター

ソノストレーターは、原理的に、非常に強力な長波の音響測深器である。水面において、水底地盤の成層状態を連続的な音波反射断面を得るために用いる。

船上に設けた音源は、水底の地層に向けて音波を発信する強力な音響パルスを生ずる。反射エネルギーは、水中受波器によって受信され、増幅され、フィルターを通じて、連続図示記録器に記録される。

ソノストレーターの音源は、主に、1～9kHzの音響弾性パルスを生ずる磁気収斂発振器から成っている。

実際に使われるエネルギーは3～4kHzである。

これらの周波数は、スパーカー、ソナー・ブーマーのような他の同種目的の器械の約10倍であり、在来の地震法の約100倍である。

高周波と短いパルスは、分解度を高めるので薄層と細い地層の変化を採知し得る。

ソノストレーターは、発信部と受信部の2つの電気的装置から成っている。

Fig. C-1-1は、ソノストレーターの配列図を示す。

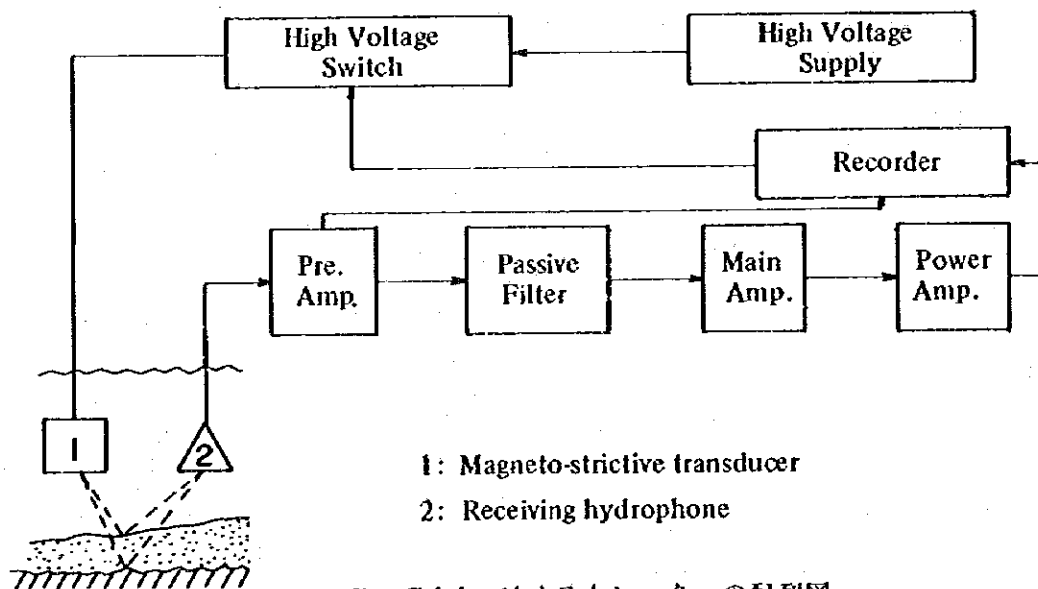


Fig. C-1-1 ソノストレーターの配列図

記録器は、記録紙の頂部に位置する、記録ペンに連動する同調発信装置を備えている。発信パルスは1.500ボルトまで変化する電流を流す。

磁気収斂発振器を通じて流れる電流は、短期間、高い音響を発生する。

音響パルスの反復速度は、毎秒3回である。

増幅器の時間可変出力調整装置 (T. V. G.) が浅い地層の明瞭な記録を示すために用いられ一方高出力が、深い地層に用いられる。

堆積物の中の音波の速度は、明確に判らないので、深度スケールは、現在の探査では、毎秒1.500 m の水中速度に基づいている。

C-2. 解析と判定

記録の解析と判定は、次のようにして行なう。

- (1) 多様な反射から地質に関する情報を抽出する。
- (2) 記録に示された特徴に基づいて地質を分類する。
- (3) 反射面ならびに潮汐、吃水、その他の調整を行って構成地質断面を決定する。

この場合、水と地層の中の伝播速度は、1.500 m/sec に等しいという仮定に基づき、下記の式により深さを決定する。

$$D = \frac{1}{2} V \cdot T. (m)$$

V : 水と堆積物の中の平均伝播速度

T : 反射伝播速度

- (4) 地質資料との相関関係で、探査区域周辺の浚渫資料、ボーリング資料、地層図等は、記録と実際の地層との関係を明確にし、また、地質学的に、これらの関係を判定する。
- (5) 地層断面図およびその他の図面のような結果を編集する。

C-3. ソノストレーター個有のパターン

一般的に、音波探査記録に基づく個有のパターンは、次のような堆積物の岩石学的条件に応じて特徴づけられる。

- (1) 粘土、シルト、細砂：時には、表層に水平な若干の弱い反射を伴う淡いパターンを示す。
- (2) 中位から粗粒の砂：表層に対して、多くの細い反射斜線を含む、平に積重なったしま模様のパターンを示す。
- (3) 砂 利：不規則に集まる細かい放射状のパターンおよび、不規則な反射の集まりである波状のパターンを示す。

このパターンの下層の記録は、通常、はっきりしないか、または非常に薄い。

(4) 岩：音波のほとんどが反射し，吸収されないため，かなり強い反射が記録される。
岩の下で記録される反射の痕跡は，ほとんどみられない。

多くの場合にあつて，これらの特徴は，それほど明らかではなく，実際の条件では，数多くの変化がみられる。

したがって，解析には多大の注意を払う必要がある。