

臨海工業地帯の地下構造調査 ～成果の取りまとめ要領～

尾原 信彦

まえがき

最近の重化学工業の目ざましい躍進に伴い 鉄鋼 石油精製 石油化学 火力発電など基幹産業のコンビナートという形が 新しい工業地帯の造成を一層促進させるに至った。すなわち千葉 名古屋南部 堺 水島 鶴崎などにその典型ができあがり また 全国いたる所にその萌芽が見え始めてきた。これら新興工業地帯はたいいては大河川のデルタ地帯か さもなくば海岸沿いの低湿帯上に占位し いずれも河川または沿岸流の運搬した粘土 シルト まれには特殊環境下に生成する泥炭などからなる軟弱地層を深部に持つ所が多い。

そもそも工場建設にあたっては 浅層の地耐力調査のみにとどまることなく その地帯全域における地下深部までの土質・地質・地化学・水理にわたる完全な調査が行なわれることが理想的であることは論ずるまでもない。とくに 工業地帯の発展を重量施設装置工業に求めるような場合には 深部地質の調査が必須不可欠であることは 開発当事者の念頭から離れぬ重大関心事となってきた。こうして地表下の立地条件が明らかにされたうえ さらに将来発生するかも知れない各種災害に対し事前に予防策を準備しておくことの重要性が 近年とみに認識を深めてきたのである。

このような観点に立ち 新規工業地帯の開発を進める場合の重要な照合条項として 地下構造調査が取り上げられるに至った。地質調査所は 仙台 富山 木更津 豊橋 堺 福山 徳島 西条 壬生川 鹿島 長洲 の計11のモデル地区を選定して 3年間にわたりその調査と基礎理論確立のための研究を実施してきたが 昭和38年3月末に開かれた工業技術協議会の第2回地下構造調査技術部会においては その方法 技術 成果の検討が行なわれた。その結果 この調査技術は工業地帯の地下構造を統一的手法で実施解析するに当たり 適切かつ汎用性のあることが認められ

また成果の方もきわめて妥当性ありと高く評価された。ここにはこの調査方法を成文化した準則に基づいて 報告書作成の手引き書として作られた「取りまとめ要領」を以下に述べることにした。これはデータのまとめ方を標準化し しかも平易で誰にでも扱いこなせるように作ったものであるが 何分にも新しい地区で実施する調査であり かつ目新しい数多くの技術が盛り込んである上 突発的に新しい事象に遭遇して ときたま解釈に苦しむようなこともあり得ると思われるから あらかじめ地質調査所の地下構造グループ担当官の協力を得て 調査および報告書作製などの業務にあたられることが無難であろう。

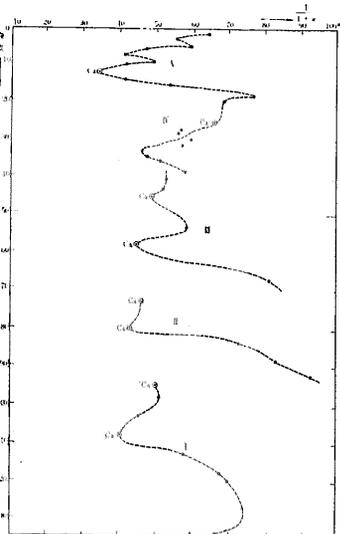
I 土質試験データによる第四紀層(沖積層・洪積層)の解析法

各種の土質試験値から演算により間隙比(e)を算出し 地層ち密度示数($\frac{1}{1+e}$)を深度と関係させてグラフにすると 第四紀の層序区分が明りようになり 標準地質柱状図を作製する目安ができる。(第1～2図)

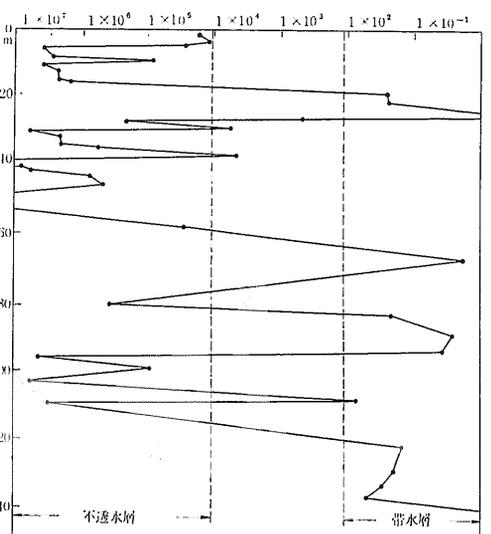
1) データ

準則にしたがい、一地区には深度200mの作井工事を2～3本実施するが、その途中で得られる土質コア(試料)は1本当たり約60個となる

[注] 0～45m(浅層)では 標準貫入試験の際レーモンドサンプラーに入ってくる試料が 1.5mごとに1個で 計30個となる 50～200m(深層)では 回転式試錐機で掘進する途中で ダブルコアチューブを使って 地層の変わり目ごとにおよそ10mにつき 2個の割合いで 計30個の試料をとる



第1図 豊橋の地層ち密度グラフ



第2図 神野新田(豊橋)地層の透水性

したがって 一地区2井の場合は 120個 3井の場合は 180個の試料となる。この土質試料は J I S の規格で 次の7種の土質試験を行なって それぞれの成果の一覧表を作成しておく

- 粒度(粒徑) 真比重(Gs) 現場湿潤密度(γ_t)
- 含水比(W) 液性限界(LL) 塑性限界(PL)
- 収縮限界(SL)

これらの測定値を 次に示す要領で取りまとめる

2) 取りまとめの作業

上記のデータを処理するために 下記の演算を行なう

- (イ) 地層密度 (Compactness)
- (ロ) 土質活動度 (Activity)
- (ハ) 地層の透水性 (Permeability)

そして これらの数値と深度との関係をダイアグラムにし 調査該当地区における第四紀層の本質を把握判定する資料とする

(イ) 地層密度 はその地層から採取した試料の間隙比を e とした場合に $\frac{1}{1+e}$ なる数量 (%) をもって表現する

[注] 地下構造調査で取り扱う土質試料は かく乱された試料であるから 間隙比 e の測定は困難である それで便宜的に演算により算出しなければならない

今 水の密度を γ_w とし 土質の乾燥密度を γ_d とし また土質の真比重を G_s とおけば

$$e = \frac{\gamma_w}{\gamma_d} \cdot G_s - 1 \dots\dots\dots(1)$$

$\gamma_w \div 1$ とすれば

$$1 + e = \frac{G_s}{\gamma_d} \dots\dots\dots(1')$$

となる。この (1)' 式の逆数をとれば

$$\frac{1}{1+e} = \frac{\gamma_d}{G_s} \dots\dots\dots(2)$$

(2)式を得る この(2)式の右辺についてみると 分母の値は土粒子が相互に詰まって孔隙を埋めつくし 極限に達した場合を仮定した値に該当し 分子の方は土砂の自然のままの孔隙中の水分が排除されたときの値である

そこで この両者を比の形で表わしているので この比は該地層が保持する密度割合を代表すると考えることができる 乾燥密度 γ_d は 次式によって与えられる

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1+W} \dots\dots\dots(3)$$

そこで $\frac{\gamma_d}{G_s}$ を算出して $\frac{1}{1+e}$ (地層密度%) を求めることができる

(ロ) 土質活動度 (A_c) の算定法 粒度分析値と液性限界 (LL) および塑性限界 (PL) とがわかっているので これらを次式に入れて 直ちに活動度を算出する A_c も深度との関係ダイアグラムを作成するものとする

$$A_c = \frac{LL - PL}{\text{粘土}(\%)}$$

[注] A_c は下表のように 粘土鉱物の種類により異なった値をとるので これを利用してその地層を構成する粘土の特性を知ることができる

鉱物名	A_c の値	鉱物名	A_c の値
石英	0	イライト	0.9
方解石	0.23	Ca モンモリロナイト	1.5
白雲母	0.18	Na モンモリロナイト	7.2
カオリナイト	0.33~0.46		

(ハ) 地層の透水性 土質の粒度分布のデータから 粒径加積曲線を描き その10%の粒径 D_e (有効径) を読みとり これを Allen Hazen の式に入れて 地層透水性 (K) を求める

K ……透水系数 (cm/sec)

$$K = cD_e^2$$

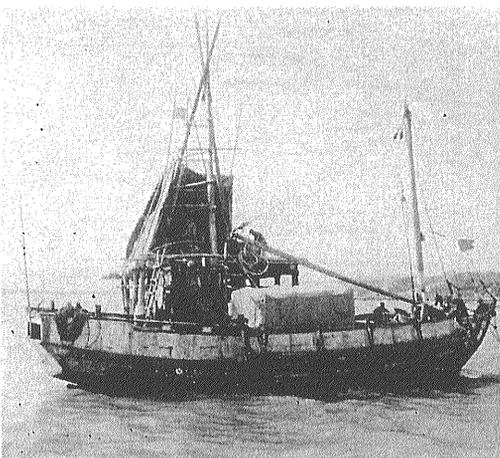
D_e ……土粒子の有効径

C ……常数 (46~116)

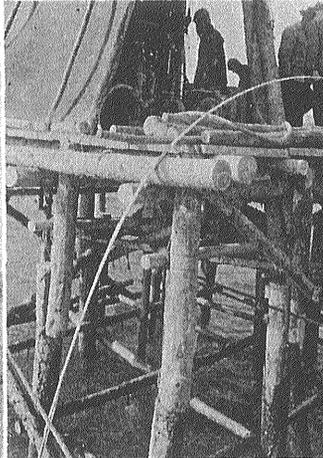
ただし わが国の自然土質の場合は C を46として使用すると実情にかなうようである こうして得られた K と深度との関係図を作るに際し 片対数方眼紙を用い $\log K$ を横軸にとり 深度を縦軸にとってプロットし 各点を深度の順に結んで 地盤透水性ダイアグラムを描くことにする

3) 解析法

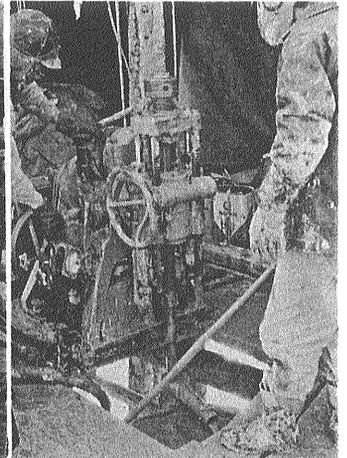
(イ) 深度と地層密度を直交グラフにプロットし 深度の順に結んでみると 多くの場合その曲線に周期性のあることがわかる 深い方からこの曲線を追跡すると $\frac{1}{1+e}$ の大きい方から 小さい方に一方的に減少し ある浅さに達すると 不連続的に $\frac{1}{1+e}$ が大きな値にとび再び一方的に減少し また反覆して大きな値になるという関係を5~6回繰り返して遂に地表に達する このダイアグラムの理想的な形態は このような雁行型配列をするもの(例; 長洲)であるが 後戻りを示す不規則なもの(例; 豊橋)もあって この方はやや複雑に見える しかし この種の周期性は沈積サイクルと称せられるものであって 洪積期において氷河発生 消失のために生じた海面の上昇運動(ユースタック・ムーブメント)に



(1) 福山(広島県)海上ボーリング 福山地区では (220万坪の土地造成中) 海岸より1.2kmの沖合に深度105mに達する試錐を実施し 揚水試験も実施した



(2) 福山海上ボーリング用足場 水深4mの地点であったので特別の設計による足場を組み 工事を実施した 陸上より泥水用水を運搬し泥水溜を台下に設け(ドラム缶2本)循環水中に海水の流入せぬよう留意した



(3) 福山海上ボーリング掘きく状況 利根式TS-6型油圧式試錐機によって掘進した 下部に泥水用のドラム缶がみえる 風の強い時は波浪が高く作業は困難をきわめた

帰因するものと考えられ その事実を裏書きする 堆積相がこのダイアグラムに現われてきていると考える さてこの沈積サイクルは純地質学的には 地層の対比に利用されるが 実用面でも帯水層の探査 さく井深度の決定 井戸仕上げ工法の設計などに多大の関係があり 今後重要資料として注目されよう 上述のダイアグラムから 次のように沈積サイクルを読み取って表として抽出する

地点	層	序	沈積サイクル	深度(m)	備考
熊本県玉名郡長洲町	洪	上部	V	10~26	Caモンモリロナイト
		中部	IV	26~37	イ ラ イ ト
	積	中部	III	37~60	Naモンモリロナイト
		下部	II	60~101	モンモリロナイト
	層	下部	I	101~150	モンモリロナイト

- (a) 備考欄には Ac を計算して 判別した粘土鉱物名を記載しておく
- (b) 地盤透水性ダイアグラムを観察し まず $K \leq 1 \times 10^{-4}$ の値に着目し グラフがこれを過ぎる点を読んで不透水盤の深度(レベル)を検出し また $K \geq 1 \times 10^{-2}$ の値に着目し グラフがこの値を過ぎる点を読んで帯水層をつかまえ 下記の例のような表を製作する

地点	帯水層名	沈積サイクル	帯水層の位置	不透水盤の深度
豊橋市神野新田四号地	1	V	3~4 m	5 m
	2	V	17~25 "	26 "
	3	IV	35~37 "	37.5 "
	4	III	62~71 "	75 "
	5	II	82~93 "	94 "
	6	I	115~135 "	135 "

II 標準地質柱状図作成要項

この要項には ボーリング担当者の提出した粗稿柱状図を検討して これに電検図を加味し さらに岩質 土質その他いろいろの地質学的な判断を行なって 標準柱状図に仕上げる過程が述べてある。 さらに既存の水井戸資料を使って 地質構造を立体図化する作業の手引きが説明されている。 地下構造によって選定された数カ所の試錐工事が終了した場合 工事請負業者から仕様書にしたがって 諸々の報告書が提出される。

1. 日報
2. 地質柱状図
3. 電気検層図
4. 揚水試験記録

これらの中で柱状図作成に必要なものは日報 地質柱状図が主体である。 しかし この工事に伴って採取されたサンプルによって土質試験が実施されているので この資料も加える必要がある。 ここに作成される標準地質柱状一覧図なるものは 垂直的に深さにしたがって示すものである。

- (1) 地質柱状図 これは通常の地質柱状図でよいわけであるが 採取した土質試料(P₁, P₂, P₃, P₄)の中で P₄を用いて 岩質 淘汰り変含 特長ある鉱物の鑑定 化石

の有無 しまり具合を観察して 業者の提出した地質柱状図をじゅう分に検討する しかるのち 定めるところの標式にしたがって(建設省の都市地盤調査標準仕様書中の標式に合致するようにする)地層の境界ごとにこの標式を描く

- (2) 岩相名記入 これは 鑑定および判定の結果にもとづいて 上述の標式につけられている岩質名を記入する
- (3) 土質試験成果の一覧図作成 地質の定量的表現として 参考までに併記することにする 土質試験成果の中から
 - (イ) 含水比 これは垂直分布図をつくる。
 - (ロ) 粒度組成 横にした棒グラフをこの該当深度の所に描き 粘土 シルト 砂 礫の比率(%)で分割してハッチによって区別する
 - (ハ) 液状限界 塑性限界 収縮限界 これらの各々の垂直分布図をつくる
 - (ニ) 土質三角グラフによる決定土質名
 - (ホ) N 値(標準貫入試験値) この垂直分布図を作る
- (4) 電気検層カーブ これの垂直分布を図の中に書き入れる この外必要に応じて有効径 均等係数等を記入することもある 以上を番号順に左から右へと書き入れて 1つの一覧図を作ればこの図が完成することになる。

地質柱状図明細表の作成

地質柱状一覧図が完成したら これを明細表にする。 記入すべき要領は 次のとおりである。

- (イ) 堆積サイクルによる分類 これは 土質と第四紀地質の項で決定されたサイクルにしたがって 深度別各サイクルごとに 次の地質事項を記入する すなわち ここで (ロ)以下に記入するサイクルの枠を設ける
- (ロ) 岩質記述 ここでは岩質名記述のみでなく 連続性 粒度変化 雲母その他の特長ある鉱物の含有量 色調 礫の円磨度 淘汰の程度 礫の種類等を記入する
- (ハ) 化石 各地層で鑑定された植物 動物化石名などをその深度位置に記入する
- (ニ) 土質 ここでは土質三角グラフによる土質名と粒度組成データシートによる粒径中央値(加積曲線上より読む)を $md\phi=0.05mm$ のように記入する
- (ホ) 堆積環境 その他 この項では 化石又は岩相によって判定された 海成 湖成 汽水成とか陸成の区別を実施し その環境の存在した時期の長さを深度に応じて区分して示す 以上を記入すれば 明細表は完成する

地下構造図の作成

地下構造調査では 該当地域の地下深所(200 m位)までの立体的構造図をつくり 軟弱地盤の位置を明示する作業がある。 この作業の基準となる地質柱状図は 新しく掘さくされたボーリングの標準柱状図である。 これを中心とした連続性のある 地下構造図を描くわけである。 そのため地方官庁や地質調査所で できる限りの井戸柱状図を収集しじゅうぶん検討の上使用する。 その際 次の諸点に注意する。

- (1) 井戸の所在する地盤高のわかっているものが望ましい
- (2) 水井戸資料が多いと思うが 帯水層およびストレーナー位置の判然としたものを選ぶ
- (3) ボーリングの際の地質判定は正確かどうかを一応付近のものと比較検討する

以上の検討を経たものを この地域の特性にしたがって (たとえば大きな構造線があれば それに平行の方向と直角の方向との2つの断面) 2断面以上の断面図を 垂直:水平=1:25の比例で描く。各測線になるべく接近した(1km以内) 点をえらび 地質柱状図を描き 同層準を連結するわけであるが この作業がもっともむずかしい。この作業を遂行するには 次の諸項による。

- (1) 土質 間隙水質の調査で判明した堆積サイクルを利用して 新しく掘さくされた2地点以上の間の層準をまず連結する したがって 測線の配置はこの数本の掘さく井をじゅう分利用しうるように考慮する
- (2) 古い地質柱状図の中から堆積サイクルを弁別するためには 岩質 化石 淘汰 礫質 色 地層の物理性等のすべての特長を利用する
- (3) 第四紀層はだいたい新第三紀層やそれより古い地層にアバットして ほとんど水平に堆積している場合が多いか

らこの点を頭に入れて作業する

Ⅲ さく井データより知られる深層地盤良否の簡易判別法について (第3~5図)

A データ

- (1) 標準貫入試験値(N値) 45mまで ボーリングを行っている際に 孔底における地盤の硬軟の度合を適確に記録して 定量的に測定し表現するために行なう試験が標準貫入試験である この方法は 使用する器具およびやり方に 国際的な規格があって 他所で行なわれた測定結果を利用する事もでき しかも工事中に簡単に直接測定が行なえるという強みと 同時に土質試料が得られるという利点がある ただし N値の測定は建設省都市地盤調査工事の標準仕様書にあるものと同様の方法で行なう

- (2) 堆積示数(S.I.)

$$S.I. = \frac{100 \times \gamma_t}{W \cdot \gamma_w \times e}$$

γ_t 湿潤密度
 W 収縮限界
 γ_w 水の密度
 e 間隙比

この示数は堆積の相(海成相 汽水相 河成相など)を表示する値であることが 経験的に判明している 1~15位まで変化し まれに20位の値となる

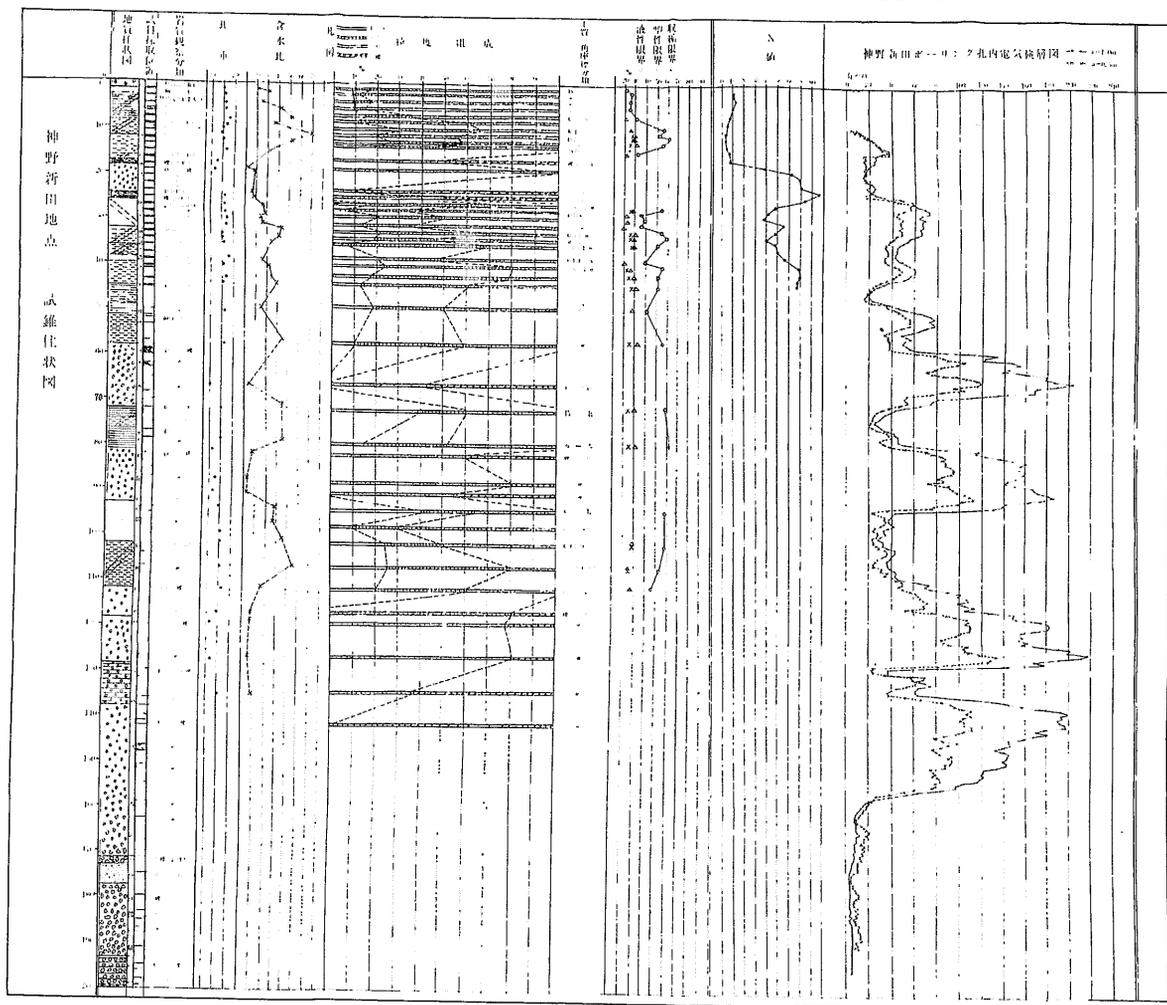


図-A 神野新田(豊橋)地区標準地質柱状図

(3) ナトリウムイオン(Na) 間隙水質分析(第V章)によって検出されたNa含有量の数値を使用する

B 図表の作表

- (1) S.I と N 値との関係グラフ作製 両対数目盛のグラフ用紙を使用し 縦軸にN値 横軸に S.I をとり点をプロットする
- (2) S.I/Na と N 値との関係グラフの作製 (1)と同様のグラフ用紙を使用し 縦軸にN値 横軸にS.I/Naをとりそれぞれ点をプロットする N-S.Iの相関係数が70%以上であれば一本の直線上におおよそ乗ることがわかる (N-S.I ダイアグラム) しかる時は(1)の方法によりまた この相関係数が50%以下になるようであれば(2)の方法によることとする. (NS.I/Na のダイアグラム)
- (3) 45m以深の地層の地耐力推定 上述の(1) (2)の双方いずれか一方のダイアグラムを使用し S.IまたはS.I/Naの値をNに読みかえることを利用して 45m以深の地盤のN値を資料採取位置(各種分析結果により)ごとにおおよそ推定することができる このようにして得られた深層のN値をもってN値の深度別ダイアグラムをつくり S.Iまたは S.I/Naの深度別ダイアグラムにならべて図を作る (第3図)
- (4) N>30を強固な地盤 N<10をゆるんだ地盤と考えて 次表を作る

土地点	○	○	地	点
地盤の良否				
ゆるんだ地盤		m ~ m		
強固な地盤		m ~ m		

IV スウェーデン式サウンディング法による浅層(沖積層)の地質調査法

次に準則には この調査を実施するにあたって必要な測線の決定 地層断面図ならびに地盤強度の平面分布図(各深度ごとの強度等値曲線)をこしらえる方法などを解説している. この調査は 地表下15m位までの浅い地盤の地耐力を広い区域にわたって試験する軽便な手段であ

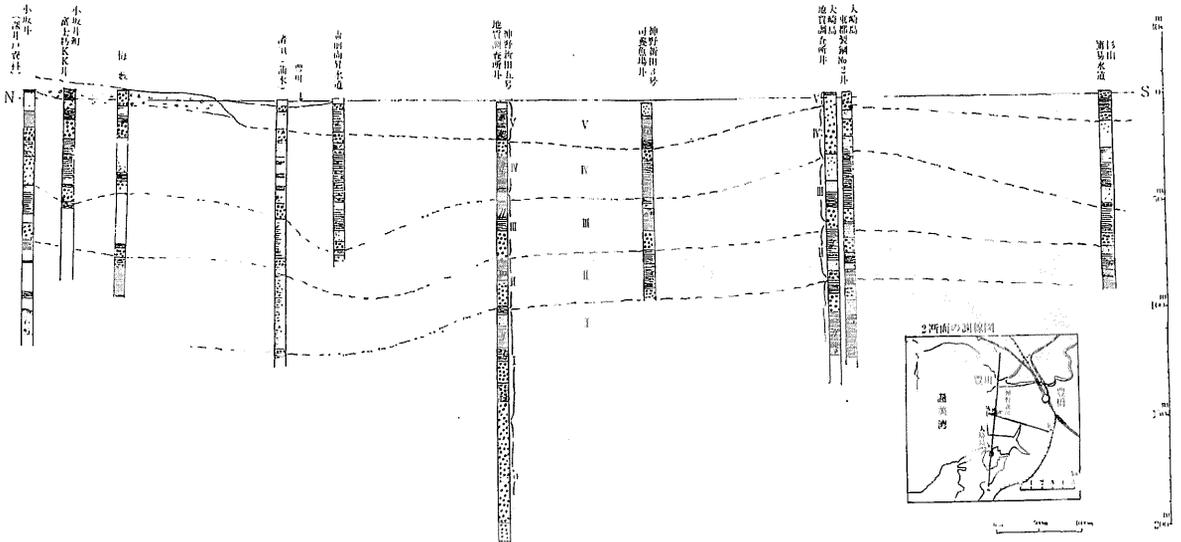
深 度 (m)	岩 質	化 石	土 質	地層地質その他
1m	1m-6.5m 灰褐色細砂 雲母片を含む上部は泥質を含む	Seien.	1m-6.5m 砂 mdf=0.07m	内湾(地内海湾と同じ)
7-14m	6.5-14m 暗灰色泥岩片を含む	Anisocyclonula, Venericardis, Paphia, Cardium	7m-14m 粘土質ローム mdf=0.02-0.05m	
15m	15m 暗灰色 雲母を含む細砂(混質)		15m 砂質ローム mdf=0.05m	沖積層(?)
17m	17m 中粒砂		17m 砂 mdf=2.0mm	
18m	18m 砂 泥		18m 泥混り砂 mdf=2.0mm	大崎点(20m-30m)の層上近出
19m-22m	19m-22m 粗 砂		19.5m 泥混り砂 mdf=0.8mm	
24m	24m 砂 泥		24m # mdf=2.0mm	
25m	25m 泥混り粘土(硬砂層2cm)		25.5m # mdf=3mm	海成炭質物は大崎点とはとんど同一水準にある
27m-37m	27m-37m シルト細砂 下-泥分	Ringicula	24m シルトローム mdf=0.02m 27m-37m 泥混りローム mdf=0.05m	
39.3m	39.3m 均質暗灰色細砂(ホーズ)		39.0m 泥混りローム mdf=0.05m	海成
40.7m	40.7m 均質暗灰色シルト		41m ローム	
45.3m	45.3m 均質片を含む	貝 片	45.3m (シルト質) mdf=0.02m	炭質物は
51.4m	51.4m 均質粘土		52-53m ローム mdf=0.05m	
53.3m	53.3m 暗灰色中粒砂(雲母を含む)	炭質物	57-58m ローム mdf=0.05m	とはとんど同一水準にある
58.4m	58.4m 暗灰色細砂(雲母を含む)		68m 泥混り砂 mdf=3mm	
59.9m	59.9m 均質(花崗岩質)泥岩		72-73.5m 粘土 mdf=0.03m	
68.0m	68.0m # (")			海成
73.1m	73.1m 暗灰色細砂(ホーズ)			
78.2m	78.2m 砂 泥 古生層質砂(石炭質)	長 片	78.8m ローム mdf=0.05m	炭質物は
79.8m	79.8m 暗灰色細砂(シルト)		83.7m 泥混り砂 mdf=1.5mm	
83.7m	83.7m 砂 泥(古生層質)泥岩質		88.8m # mdf=1.3mm	とはとんど同一水準にある
88.9m	88.9m # (")		92.8m # mdf=1.8mm	
92.8m	92.8m # (石炭質 事人生層質)			海成
94.8m	94.8m 暗灰色細砂(1cmの粘土状)		97-98m 砂質ローム mdf=0.05m	
97.8m	97.8m 均質細砂	カキ殻(97.8m)	102-104m 色(質)ローム mdf=0.05m	内湾
103.8m	103.8m 均質中粒砂	長 片	107m シルトローム mdf=0.02m	
112.7m	112.7m 均質(均質)泥岩 泥岩		112.7m ローム mdf=0.03m	海成
117.5m	117.5m # (古生層質) 66:均質		117.5m 泥混り砂 mdf=0.35m	
120.5m	120.5m 砂 泥		121m # mdf=1.2mm	海成
132m	132m #		128m # mdf=1.0mm	
131.5m	131.5m #		135m # mdf=3.5mm	海成
135.5m	135.5m 粘土混り砂(砂-泥質)		141m # mdf=1.4mm	
141.8m	141.8m #			海成
147.5m	147.5m 砂 泥(石炭質 古生層質)			
152.3m	152.3m # (")			海成
159m	159m 中粒砂			
170m	170m 中粒砂			海成
181m	181m 砂 泥			
184m	184m #			海成
195.6m	195.6m #			
199m	199m 中粒砂			海成
203.5m	203.5m 硬砂層粘土			

【図一B 神野新田(豊橋)200m標準地質柱状明細図

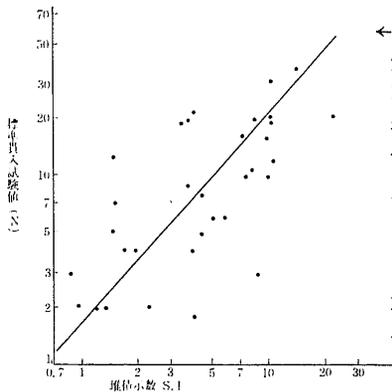
って 分銅荷重による沈下量測定と回転貫入とを並用し 数人の人夫を使って短期間に成果をあげることができる. 半月位で 20km²の広さを 1.5点/1km²の密度で調査することができる.

(1) 使用機械

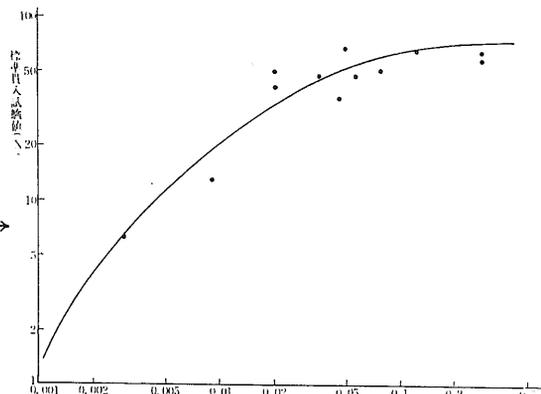
スウェーデン式サウンディングロッド
チェンブロック (1/2トン) 組立式三脚一式(貫入ロッドの引き抜き用)



図一C 豊橋地区南北断面地下構造図



第3図
N-S.I. ダイアグラム (堆積
示数と地耐力との関係を示す
伊勢湾飛鳥地区)



第4図
N-S.I./Na とN値の関係ダ
イアグラム (豊橋地区)

レベラー式 (測点の水準測量用)

(2) 調査法

スウェーデン式サウンディングロッドを使用し 静荷重を 5 15 25 50 75 100 kg の分銅の積み重ねによって増加させ これに必ず貫入量を測定する ある荷重による貫入途中でも 地盤がやわらかくなって沈下速度が大きくなる場合には 順次荷重を減らし 自然にロッドが回転して貫入する限界の荷重を測定する 全荷重載荷 (100 kg) による沈下が終わったら 次に回転貫入に移る 回転貫入は人力より 100 kg の荷重を乗せたままで行なう 25 cm の貫入に要する半回転 (180°) 数を 1 m 当たりの回転数に換算する これが貫入指数 N_{sw} である (N_{sw} と静荷重による貫入深度との関係を図示する) なお 測点の標高は 水準測量により東京湾平均海面からの高さで求める 測点はネットワークで決定するのが望ましいが 地形により多少の変更はやむを得ない 測点間隔は 500~1000m にとどめるのが便利である

(3) データ

5 万分の 1 地形図に測点と標高を記入したもの 各測点の垂直断面の 25cm ごとの地耐力 (N 値換算まで) を書いた表

(4) 取りまとめ作業

測線の決定 全測点の分布図を見て 東西南北 東北-西南の各々を 4 : 4 : 2 の割りで設定する
地層断面図の作成 まず測線断面の各測点ごとに

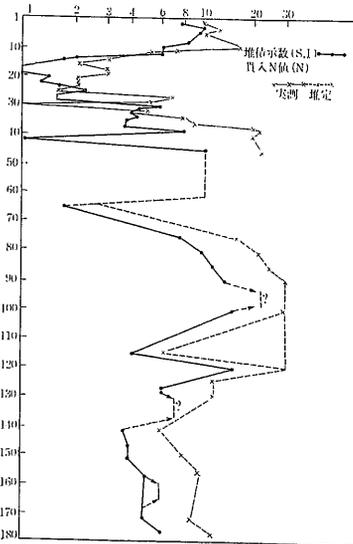
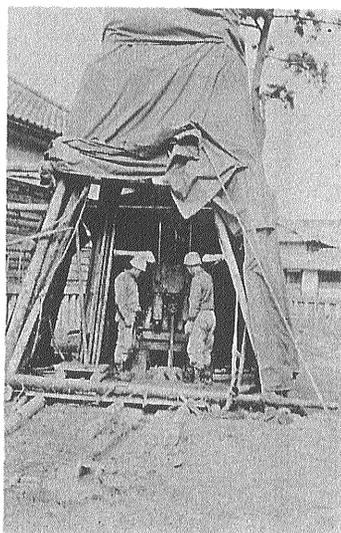
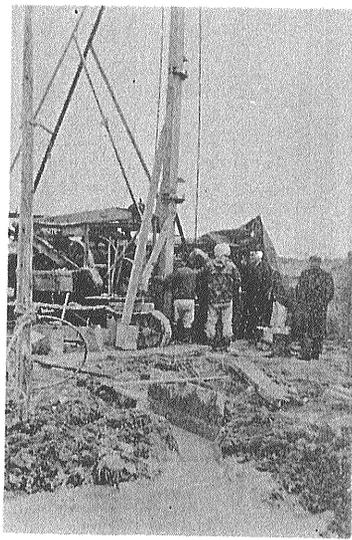
地盤強度柱状図を記入し 触感による土質分類判定資料をハッチでえがき 地層の変わり目ごとにつないで 成層状態を断面に仕上げる とくに軟弱地盤 (粘土層) の水準の高低と厚さの増減を正確に明示するように留意する
地盤強度平面分布図 これは全測点を網羅した平面図に N 値換算値をプロットして 等値線で強度分布を描く -3m -6m -9m -12m -15m の 5 段の平面図を描いて 地盤の弱い部分と強い部分との深層に向けての移動を記述する

V 間隙水質分析成果のまとめ方

各イオン濃度の垂直分布図によって各沈積サイクルの環境が明かとなる。 Na 吸着比 (S.A.R) によって海陸の影響の度合いが推定され 沈積サイクル区分に対しても有力な傍証を与えるものである。 地下構造試験の際に得られた土質試料について その間隙水質分析を実施する。 その方法は次のようである。

(1) 試料の調製

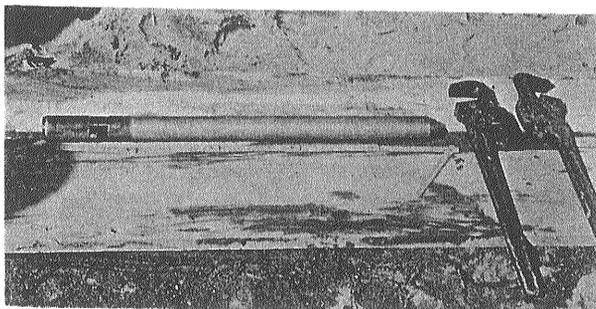
50 g の土質試料をとり これに 150 ml の蒸留水を加えて ホモブレンダーで かはん 混和し その液 (多くは濁水である) をさらに遠心分離機にかけて (3,000 回転/分程度) 沈でんをおこさせ 上澄液をとって分析する



第5図 豊橋地区地盤判定グラフ

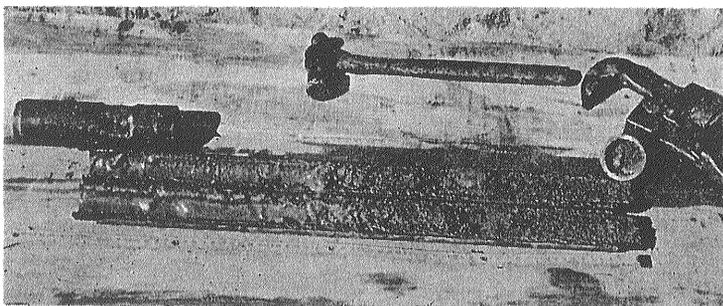
(4) 仙台平野のボーリング 仙台市藤塚付近の 150m のボーリング米國製 Bucyrus Erie 型パーカッション機による掘進 UD5 のような油圧式試験機によって 地質ボーリングを実施したあと 孤孔を兼ねて 本機のような高性能機により短日目に仕上げる

(5) 高性能油圧式回転試験機による掘進 福山市塩崎神社境内における地下構造ボーリング D12 型機による掘進 92m にて流紋岩の岩盤に着岩した 礫層厚く掘進は仲間困難であった

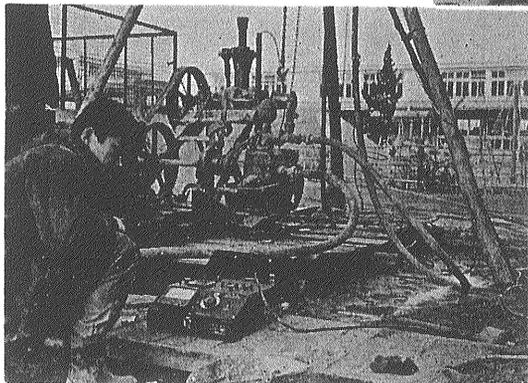


←
 (6) 標準貫入試験用レイモンドサンプラー
 地下構造調査では地表1.5mより45mまで30回
 N値テストを実施する その際のサンプラー
 (スプリットスプーンサンプラー 別名レイ
 モンドサンプラー)を先端につけて規定の方法
 により貫入試験を行なう

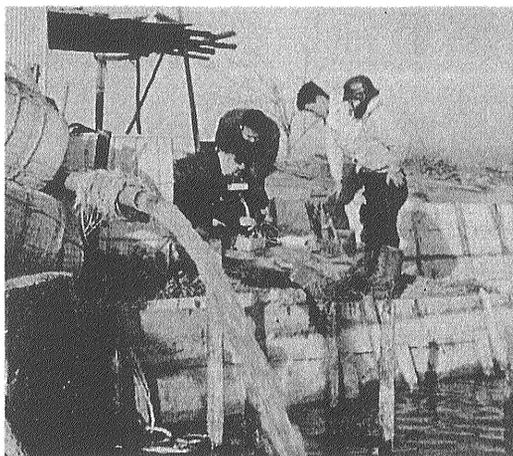
(7) 貫入試験終了後のサンプラー内の土質試料
 貫入が終わったら引き揚げて 2つ割りにすると
 サンプラー内に図のようにサンプルが入っている
 左からシルト質 砂 礫混りと変化するようすが
 ↓ よく見える



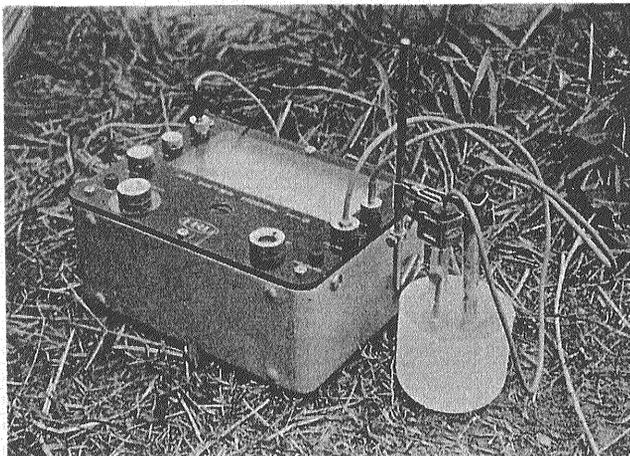
(8) 間隙水圧測定 福山地区では本井(92m)
 の周囲に深度15mの浅層ボーリングを実施し
 深度3m毎にその位置の間隙水圧を測定した
 ↓使用器械は坂田式P P R型間隙水圧計を用いた



→
 (9) スウェーデン式サウンディング 広域にわたって
 地盤の強度を測定するため 深度15mまで20cm毎
 にその地耐力を測定する 一地域大体20-30カ所の測
 定を実施する そして水平および垂直の強度分布図を
 作成し 地層の細分を試み 地質状況との比較対照を
 実施する



(10) 地表水地下水調査 調査地域全域にわたって 地下水
 の調査を実施する 写真は豊橋地区調査の際養鰻場の地下水の調
 査を実施しているところである 全域内でたいてい60~100点位
 の精密分布調査が行なわれる



(11) 地表水・地下水調査用PHメーター 酸化還元電位も測定しうるようになり改良してある
 堀場式HRL型

(2) 分析方法および分析するイオンの種類

- (イ) pH測定 日立式ガラス電極pHメーター使用(堀場式)
- (ロ) 各イオンごとの分析法および分析表作成
 - HCO₃⁻滴定法
 - Cl⁻モール氏法
 - SO₄²⁻重量法
 - Fe²⁺ }2-2' ゼピリジルまたはフェニトロ法による定量
 - Fe³⁺ }
 - Ca²⁺ }E. D. T. A. による滴定法
 - Mg²⁺ }
 - K⁺ }炭光分析法
 - Na⁺ }

その他 Si Al KMnO₄ 消費量等を分析する

- (ハ) 含水率測定 含水率を測定(105°C乾燥減量測定)しておかないと 間隙水中のイオン濃度を正しく元の濃度に還元することができない(蒸溜水によって稀釈しているから) 現在のところ 蒸溜水による稀釈を主体として操作しているが濁水の沈でんを促進し しかも共沈その他の妨害

を伴わぬような特殊の有機溶媒の使用を実験中である

- (3) 分析成果の取り扱い方
 - (イ) 各イオン濃度垂直分布 これは以上のように分析された成果の分析表にもとづいて 各イオンの濃度を P.P.M. (100万分の1) で示した 垂直分布図をつくり 同一イオンは垂直的に細い線(イオン別に線の種類を交える)で結んでおく これは各イオンのピークの垂直変化を読むための便法である 各イオンとも同じ P.P.M. のスケールにて示すようにする 主として直交グラフを使用するそして読み方としては Ca イオン SO₄ イオン Cl⁻ イオン 鉄イオンの濃集消散の状況によく注意する
 - (ロ) Na 吸着比の算定と図化 次に Sodium Adsorption Ratio (SAR) を算定する これは新しく見出された方法であり 米国においてはすでに かんがい用水の分類に使用されている 従来利用されている方面とは全然違った角度から これを使用している この比の意味は 土壌によって吸着されていた Na と他の Ca, Mg

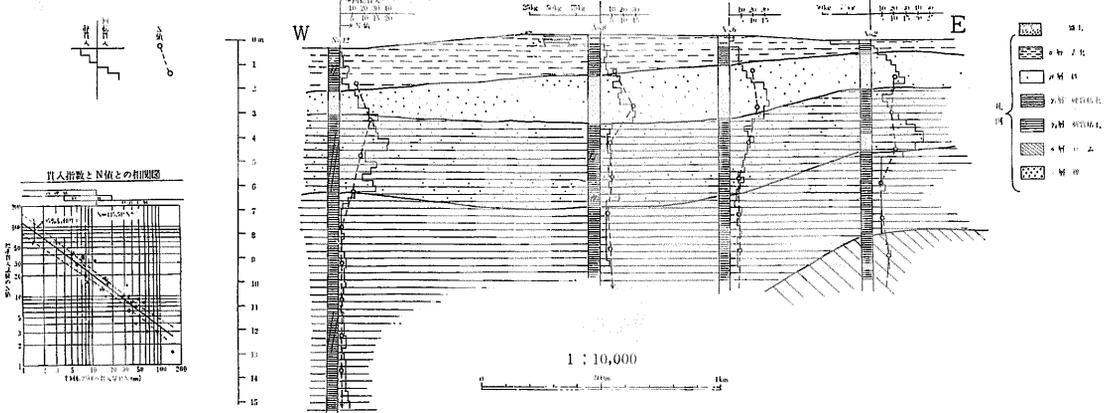


図 D 豊橋地区第1掘線断面図

No	深度 m	pH	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Total Fe mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	含水率 %	Na吸着比 (SAR) 規定度	NaCl Na ₂ SO ₄ PPM	No	深度 m	pH	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Total Fe mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	含水率 %	Na吸着比 (SAR) 規定度	NaCl Na ₂ SO ₄ PPM		
																										0.0072 0.0162	0.0399 0.0114
1	0~1.50	6.8	127.1	80.1	5.8	546.2	32.4	370.1	786.2	20.98	9.8	0.0072 0.0162	0	25	58.80	7.7	821.9	40.8	3.7	397.2	43.9	237.4	560.4	12.99	3.7	0.0067 0.0106	0
2	4.50	7.0	74.5	55.6	5.3	1213.0	30.8	1415.6	797.8	23.28	18.9	0.0399 0.0114	0	26	62.00	8.1	1332.7	90.7	18.5	670.0	62.9	301.0	740.4	5.71	4.8	0.0084 0.0154	121.0
3	7.50	7.8	127.2	187.7	6.3	1963.4	90.9	2030.3	1309.0	28.26	25.7	0.0570 0.0270	21.1	27	69.00	8.2	93.4	50.0	9.3	493.4	37.4	199.4	373.6	11.96	10.2	0.0056 0.0077	186.0
4	10.50	8.0	546.8	350.4	89.8	304.2	150.2	209.3	377.0	36.50	2.5	0.0059 0.0073	0	28	72~73.5	7.7	103.2	51.3	46.9	211.2	31.0	59.6	347.1	27.18	4.2	0.0007 0.0072	6.6
5	13.00	8.9	274.5	131.3	16.2	337.8	49.7	87.9	108.1	22.69	2.7	0.0025 0.0092	128.6	29	77.00	8.1	90.6	19.9	14.4	736.4	81.4	350.6	721.0	10.81	18.2	0.0098 0.0073	341.4
6	13.50	7.6	372.8	633.6	90.5	282.9	115.1	109.3	713.2	36.12	2.4	0.0030 0.0092	0	30	79.00	7.6	82.8	15.3	7.2	290.0	27.5	61.8	360.0	28.66	7.6	0.0018 0.0075	78.0
7	16.50	7.8	55.5	84.3	13.9	222.2	53.5	183.5	527.7	16.88	4.0	0.0051 0.0040	312.0	31	82.00	7.9	26.6	16.2	6.6	405.3	32.0	169.3	426.2	17.67	14.5	0.0047 0.0088	91.0
8	19.50	8.8	167.3	135.9	18.9	839.2	67.1	191.8	549.4	16.82	11.6	0.0054 0.0116	448.0	32	87.00	7.8	33.3	5.1	5.2	276.9	26.0	279.3	41.6	10.65	11.8	0.0080 0.0098	76.4
9	22.50	9.0	147.7	87.8	15.3	846.1	70.0	281.4	615.3	15.05	13.6	0.0073 0.0125	276.0	33	91.00	8.0	32.3	5.0	2.0	468.6	28.3	138.5	40.4	11.08	12.5	0.0039 0.0098	360.2
10	24.00	8.7	106.0	96.6	12.0	681.6	53.4	375.7	602.4	9.33	12.0	0.0106 0.0125	150.0	34	94~95.5	7.8	322.7	127.6	tr	177.2	76.3	8.9	1657.5	12.93	2.1	0.0034 0.0076	0
11	25.50	8.9	362.9	218.2	92.5	942.5	120.4	244.6	603.7	12.21	9.6	0.0025 0.0113	495.0	35	97.00	8.4	68.3	10.6	7.3	153.8	17.2	40.9	234.2	37.61	3.5	0.0003 0.0050	15.2
12	28.50	8.5	129.7	157.2	tr	535.1	129.7	422.8	756.7	22.75	7.4	0.0120 0.0113	0	36	102.00	8.2	108.0	34.0	1.0	162.5	23.5	55.9	350.0	25.05	3.8	0.0013 0.004	0
13	30.00	8.3	169.6	47.1	96.9	284.8	60.6	37.0	400.0	19.89	5.0	0.0008 0.0083	7.4	37	107.00	8.2	282.6	96.6	132.5	870.6	80.1	117.9	507.8	22.22	11.4	0.0022 0.0105	576.0
14	33.00	8.1	101.3	37.0	46.1	145.1	44.2	23.5	350.2	27.85	3.3	0.0005 0.0056	0	38	112.00	8.2	223.8	85.2	223.8	212.7	78.3	64.4	402.8	15.49	3.1	0.0007 0.0074	0
15	36.00	8.2	142.2	37.8	88.9	124.4	31.1	31.5	328.8	29.09	2.4	0.0009 0.0045	0	39	117.00	8.6	162.8	51.7	64.7	592.6	59.2	150.5	92.5	12.14	10.4	0.0036 0.0044	451.4
16	37.00	8.1	184.2	35.2	9.2	226.9	61.2	66.8	710.5	18.05	4.0	0.0019 0.0080	0	40	119.00	8.3	43.1	21.8	11.9	347.3	29.3	127.8	215.3	20.12	8.8	0.0035 0.0044	162.4
17	40.50	7.8	232.0	174.2	2.2	175.2	88.5	94.4	1309.0	29.23	2.1	0.0027 0.0049	0	41	127.00	8.0	59.7	3.7	5.9	429.1	36.5	140.3	149.2	15.58	14.4	0.0044 0.0051	266.6
18	42.00	8.2	153.0	127.7	02.0	79.9	49.5	4.4	357.1	24.10	1.3	0.0001 0.0005	0	42	141.00	8.0	34.0	12.0	50.0	950.0	50.0	12.7	200.0	2.05	20.6	0.0003 0.0004	446.4
19	43.50	8.3	130.0	37.2	95.6	55.5	43.1	4.7	162.6	26.58	1.1	0.0001 0.0023	0	43	146.00	7.9	37.3	13.7	2.4	301.2	30.0	133.7	62.5	19.10	10.6	0.0005 0.0013	182.4
20	45.00	8.1	127.3	29.0	4.9	203.9	70.6	17.5	676.6	25.21	4.3	0.0005 0.0084	0	44	150.00	8.0	41.6	14.6	1.6	306.0	28.0	20.0	80.0	6.28	10.3	0.0006 0.0016	245.0
21	45.5~47.0	7.9	153.1	38.6	tr	63.5	32.9	3.9	476.1	33.76	1.2	0.0001 0.0026	0	45	157.00	7.8	27.6	21.8	8.3	389.6	33.8	182.2	68.9	16.97	12.0	0.0051 0.0013	238.6
22	50.0~51.5	8.0	135.5	36.1	0.7	66.6	41.5	4.2	322.0	31.03	1.4	0.0001 0.0026	0	46	162.80	7.7	42.2	5.1	7.0	267.6	26.7	114.5	28.2	16.65	10.3	0.0032 0.0006	170.2
23	52.0~53.5	8.1	96.1	23.5	214.8	172.0	38.2	60.1	300.7	23.00	4.1	0.0017 0.0057	0	47	167.50	7.5	150.0	10.0	20.0	675.0	60.0	50.0	200.0	2.92	14.4	0.0014 0.0041	547.0
24	57.0~58.5	7.6	88.4	26.9	8.8	88.5	23.4	31.4	282.9	29.22	2.1	0.0009 0.0030	0														

図-E 豊橋地区神野新田ボーリングコア間隙水質分析

との間の関係を電荷論の方面から示したものである
 そしてこの場合この Index (SAR) は 環境をよく示す指標として用いられることが明かとなった
 実際の計算は

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}}$$

で与えられる したがって各イオンの濃度は P.P.M でなく e.p.m. で示さねばならない そこで Na Ca Mg の P.P.M を e.p.m に換算するには 次の係数

- Na ……0.0435
- Ca ……0.0499
- Mg ……0.0822

を P.P.M の値にかけて得た e. p. m で値を

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}}$$

に代入して SAR の値を求める.

この値も分析表中に記入しておく そしてこれによってさらに垂直分布図をつくり イオン濃度垂直分布図と対照できるように示す このようにすると多くの場合 Na 吸着比の大なるものから小なるものへの繰り返しが見られる このサイクルが土質試験の結果から示される堆積サイクルとよく合致する この方法で堆積サイクルを再確認し 土質の方の結果と相補なって完全なサイクルの姿をとらえる

- (イ) Na 吸着比と Ca イオン SO₄ イオンの所在位置の検討
 この Na 吸着比のあり方と Ca⁺⁺ SO₄⁼⁼ のあり方を検討すると 堆積環境 (とくに海成とか陸成とか) をよく説明することができる

VI 間隙水圧測定とその結果のとりまとめ方

間隙水圧調査では 測定された動水圧が静水圧とどれだけ違うかを明示する図表の描き方を説明し その図の形ですでに地盤沈下をおこした地区か また今後おこしやすい傾向をもっている地区かを判断する目安にする.

- (1) 間隙水圧測定には 使用機器として坂田式 P.P.R 型間隙水圧計を用いる この器械は 尖頭管 (2m でカーボンフィルター付) ピックアップ (受圧器で 3kg/cm² 8kg/cm² 用がある) MB 測定器の部分よりなる 深度 30m までと 80m までである 本井における深度 60m までの水圧測定は ボーリング工事中に並行して実施し 5m ごとに測定する 尖頭管を 30cm 以上地中に打ち込んで上部の水圧の影響を取り除いてから測定を開始し 3分ごとに水圧上昇の状況を記録し 上昇がとまったときの指示値を記録し 後で kg/cm² に換算する また本井周囲で実施する時は 本井を中心として半径 2km の位置に東西南北に 4本 30m の深さのボーリングを実施し 深度 5m ごとに水圧を前と同様の方法で測定する

(2) 測定結果のまとめ方

- (イ) 水圧 時間表の作成 これは現場で得られた 3分おきの測定値をグラフ上にえがけば いろいろの型の曲線が得られる
- (ロ) (イ)の図から毎分ごとの水圧の上昇率をとる 単位は kg/c m²/分を示す

- (ハ) 各ボーリング地点における水圧の垂直分布図をつくる
 以上 3つの調査測定作業を実施する

(3) 測定結果の解析

この水圧分布の解析には 自然地下水面の測定が必要である 本井周囲 4本 30m のボーリングでは ボーリング完了後 各孔の自然水位を測定すればよい この水位の面を間隙水圧 0 のところとして 深度 10m ごとに 1kg/cm² の増加率を示す静水圧三角形を描く この三角形の頂点は 前の間隙水圧 0 のところに一致させる そしてこの静水圧を規準として 現地の間隙水圧が増加あるいは減少かの判定をすればよい まだ地盤変動をおこさない地域では砂層とか砂礫層は間隙水圧が静水圧を越えている場合が多く 粘土層はほぼ静水圧に近くなっている 地盤変動のはなはだしいところでは 砂層の中の水圧が著しく減退 粘土層ではやや残留しているが 全般的に静水圧より低い方になっている場合が多い

VII 水理調査のまとめ方 (第 6~9 図参照)

準則には浅層水 地下水の調査をするのには まず どのような測定器を使い どのようにして測定するかを述べ 次にその値を平面図にプロットして 地盤軟弱地帯 伏流水の流動方向 塩素イオンによる汚染状況を推知する方法を解説している. 表流水および浅・深井戸の水比抵抗 pH 酸化還元電位 温度を (調査地域ネットワークにし) 現地点で測定する. (ただし 深井戸は一帯水層から揚水している場合)

(1) 測器

- 水比抵抗 携帯 F 型電気水質計 (柴田化学 K K)
- pH 携帯用 H-3 型 pH メーター (堀場製作所)

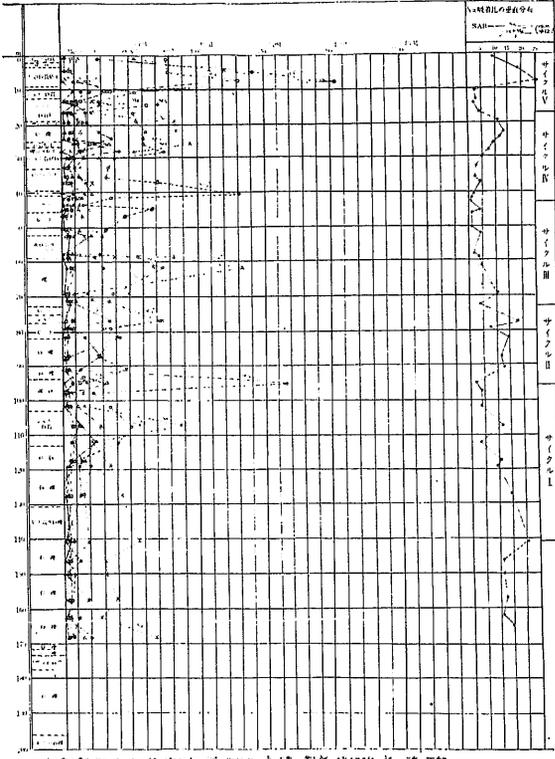
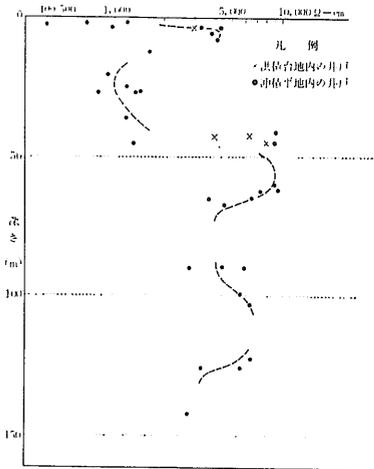


図-F 豊橋地区神野新田 200 m ボーリングコア間隙水質の垂直分布図



第6図
水比抵抗と
深さの関係

酸化還元電位 白金電極を使用してH-3型 pH メータ
で測定

温度 検定付棒状寒暖計による

(2) 測定の方法

(a) 表流水・浅井戸 測定水はバケツでくみ上げるか
または ポンプでじゆう分くみ上げて ポリエチレン
製円筒状検液槽(直径70mm 高さ100mm)に電極を入
れて 水比抵抗 pH 酸化還元電位および温度を測
定する

(b) 深井戸 ポンプ揚水を10分間以上継続させたのち
完全に管の中にとまった水をくみかえてから(a)と同
様の操作で測定を行なう

(3) 等値線図の作製

(a) 表流水 水比抵抗 温度 pH 酸化還元電位等
の等値線図

(b) 浅井戸 (自由面地下水) (a)に同じ

(c) 深井戸 (被圧地下水) (a)に同じ

各帯水層について 以上の結果から浅層部の地盤軟弱地帯
帯水層の流動状態 Clの汚染状態等が明らかになる

Ⅷ 揚水試験 (観測井戸 Side Well を設けない場合)

準則においては水位降下法と水位回復法を解説し そ
の成果のグラフ化を説き 透水係数 揚水量の算定法を
述べている. 主として Theis の非平衡式を用いて解
析を実施している. 潮汐と水位変化と関係のある所
では とくにその補正を行なって解析する必要がある.
(第10~12図参照)

- (1) 井戸内の汚水を全部排除する目的でじゆう分なスワッ
ピングを行ない 地下水の集中増加をはかるため 1日8
時間づつ10日間連続して行なう
- (2) 揚水用ポンプの能力は揚程50m以上
- (3) 揚水量は J I Sにしたがって測定し 自然水位および
揚水水位を測定記録する
- (4) 以上の揚水を行なった後に 次の順序によって試験する
自然水位の測定

水位降下 同一の揚水量でポンプ稼働後の揚水水位測
定をする

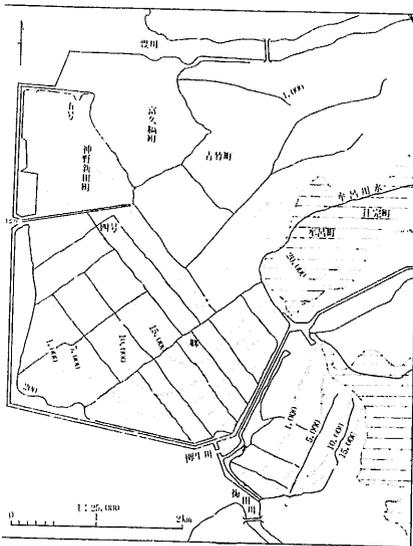
要 質	0~5分まで	30秒おき
	5~10分まで	1分おき
	10~30分まで	2分おき
	30~100分まで	5分おき
	100~480分まで	10分おき

水位回復 揚水停止後の水位回復を測定する

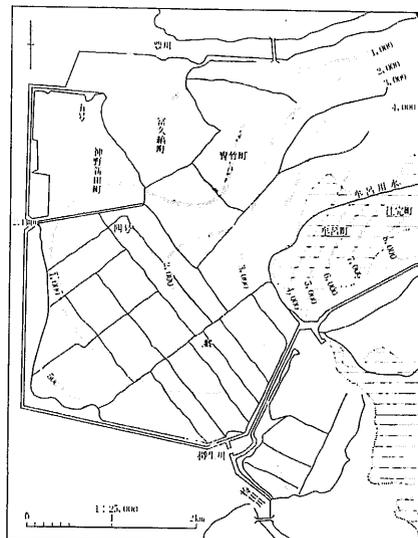
0~5分まで	30秒おき
5~10分まで	1分おき
10~自然水位まで	2分おき

潮汐の影響をうける地区では この影響を除くために揚水
試験と同時に潮位観測をする 測定時間は15分おきでよ
いと思う (できれば 海に検潮儀をすえつければ理想的である)

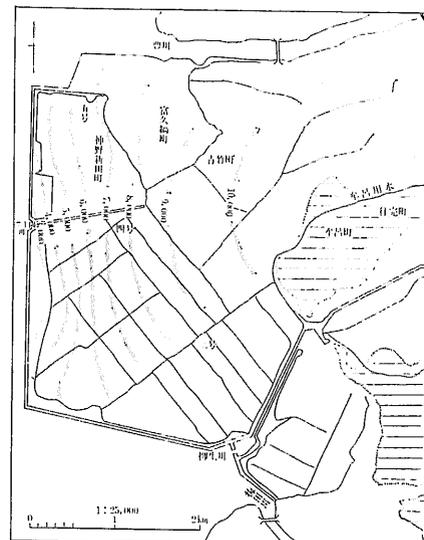
- (5) 揚水試験(4)は少なくとも2~3回以上上行なうこと
- (6) 透水量係数の算定(水位降下法) Theis の非平衡公式
から導いた Cooper and Jacob の直線解析法を用いて求
める 片対数グラフにプロットした $t/rw^2-Sw/Q$ 曲
線から



第7図 表流水水比抵抗図(Ω-cm)



第8図 第2帯水層(20~40m)水比抵抗図(Ω-cm)



第9図 第3帯水層(60~66m)水比抵抗図(Ω-cm)

$$T = \frac{0.183}{\Delta(Sw/Q)}$$

T : 透水量係数
 t : 水位降下の際の経過時間
 r_w : 井戸半径
 Sw : 井戸の水位降下
 Q : 揚水量

としてTを求める

$\Delta(Sw/Q)$ は t/r_w^2 の log の 1 サイクルにおける Sw/Q (水位回復量の算定)

Theis の非平衡公式から修正された Jacob 揚水井算定公式から求める 片対数グラフにプロットした時間 水位回復曲線から

$$T = \frac{0.183Q}{\Delta S}$$

T : 透水量係数
 Q : 揚水量

$$\therefore \Delta S = \frac{0.183Q}{T}$$

ΔS : log の 1 サイクルにおける水位差

として求める

(7) 透水係数の算定

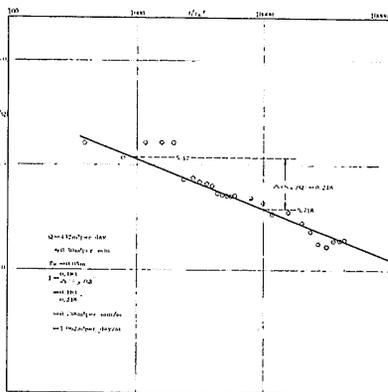
$$P = \frac{T}{A}$$

P : 透水係数
 T : 透水量係数
 A : 帯水層の厚さ

(8) 井戸の揚水量の算定 影響半径は 次式で求める

$$r_e = 2\sqrt{\frac{UTt}{S}}$$

T : 透水量係数
 t : 揚水時間
 S : 貯留係数
 U : Wenzel の井戸の函数



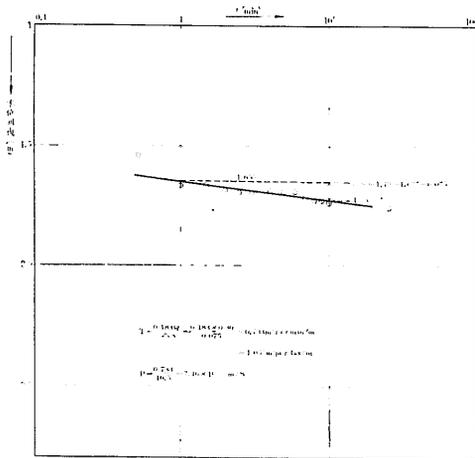
第10図 透水量係数算定グラフ

ここでS (貯留係数) は Side Well を設けないと正確な値は求められない 試験は被圧地下水であるので 次式によって計算する

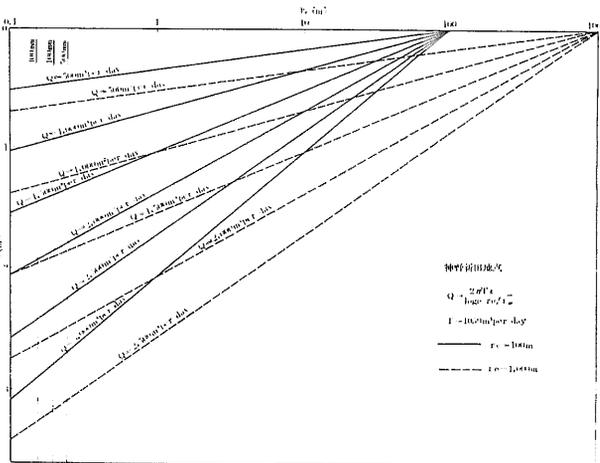
$$Q = \frac{2\pi T S}{\log r_e/r_w}$$

T : 透水量係数
 S : 水位降下
 r_e : 影響半径
 r_w : 井戸中心から乱流と層流との境界までの距離

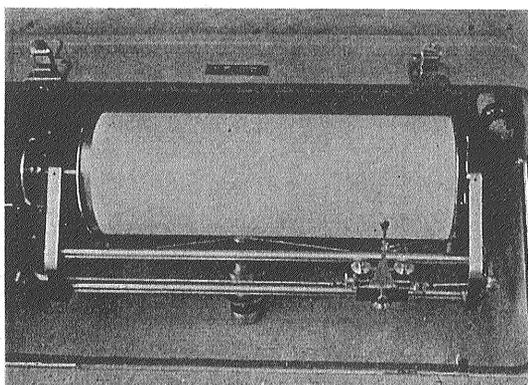
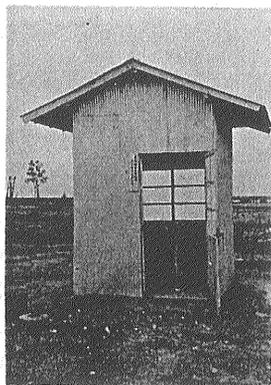
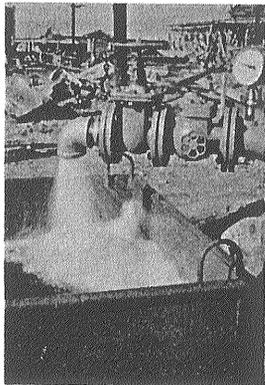
ここでは影響半径を r_e=100m と r_e=1,000m と仮定し また乱流は起らないものとして 1井戸の揚水量を推定する (筆者は 地質部 応用地質課)



第 11 図 透水量係数算定グラフ



第 12 図 揚水量算定グラフ



(12) 揚水試験 本井はなるべく深い所に 1層だけ帯水層に孔明して 揚水試験を実施する 本図は木更津市鳥居崎地点(150 m ストレーナー95m~115m)の揚水試験 豊富な良水が得られた 臨海部は潮汐の影響が現われ解析に困難を伴うことが多い

(13) 水位観測井 本井の工事が完了した後図のような観測小屋を設置し 2年間水位観測(中浅式水位記録計)する際、小屋の傍に水準標を仮設し時々地盤高測量を実施して 水位変動との関係を把握するよう準備する

(14) 中浅式水位記録計 熊本県長洲町 有明臨海工業地帯観測井の水位記録計作動状況 潮汐の影響を受けた水位変動をよく示している