

港湾地帯の沖積層とその性質

運輸技術研究所港湾物象部 工学博士 石 井 靖 丸
同 倉 田 進

1. ま え が き

日本における港湾の大部分は、その地形的立地条件によつて、沖積層上に位置していることが多い。従つて港湾構造物の多くは沖積土上に築造され、その基礎構造は沖積土並びに沖積層の工学的の性質に支配的な影響を受ける。例えば、比較的強固な砂地盤であれば、その大きな地盤支持力を利用して、経済的な構造を自由にえらぶことができるし、また軟弱な粘土地盤であれば、それに適応した軟弱地盤工法によつて、構造物を設計することが必要である。また一様な厚い層が存在する場合と、不規則な互層が存在する場合とではおのずから基礎構造に対する対策は異なってくる。

このような基礎地盤としての沖積層の性質は沖積層の成層状態、並びに沖積土そのものの性質が重要な因子となると考えられる。これら沖積層の成層状態と、沖積土の性質は、当然堆積する際の地形的環境条件、その他によつて支配される。従つて多くの土質調査の資料によつて、沖積層の形成に対する地形的環境条件と、沖積土の工学的性質の相関性について整理しておくことが、今後における土質調査並びに構造物の設計・計画に際してかなり役に立つと考えられる。

筆者の研究室においては 1950 年以來合計 20 港に近い港湾の構造物築造のための土質調査を実施し、構造物の設計に参画する機会を得たので、これらの資料によつて、以上述べた点に中心をおいて整理をこころみた。

調査の対象となる範囲は、すべて構造物の築造に必要な面積並びに深さにとどめたために、対象港湾について全般的の沖積層ではないが、おおむねその地域の代表的な沖積層と考えてさしつかえないと思う。

2. 沖積層の形成

沖積層が形成される場合に、それらの沖積土は、母岩より、風壊 (Weathering)、侵食 (Erosion)、運搬 (Transportation)、堆積 (Deposition) の 4 つの過程を経ることが必要である。このうち、風壊と侵食は堆積土の発生に関する過程であり、運搬と堆積は沖積層の成生に関する過程である。

また堆積土の種類は、その運搬堆積の種類によつて通常次の種類に類別することができる。

- | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| (1) 河底堆積土 (River Channel Deposit) | (5) 氷河堆積土 (Glacial Deposit) |
| (2) 氾濫原堆積土 (Flood Plain Deposit) | (6) 風堆積土 (Wind-laid Deposit) |
| (3) デルタ堆積土 (Delta Deposit) | (7) 静水堆積土 (Standing Water Deposit) |
| (4) 沿岸堆積土 (Shore Deposit) | |

このうち、河底堆積土は河川の底部に堆積するもので、河川の流れの状況に従つて沈澱堆積、侵食運搬を繰返し、きわめて複雑な堆積層を形成する。氾濫原堆積土は河川の氾濫期に氾濫原に堆積するもので、一般に比較的厚さの薄い様な堆積層を形成する。氷河堆積土は氷河の流下にとりなつて運搬された土粒子が、氷河の融解によつて水底に沈積するものであり、風堆積土は、風によつて運搬された土が堆積層を形成するもので一般にきわめて様な層を形成することが多い。

日本における港湾地域の沖積土は、主としてデルタ堆積土、沿岸堆積土、静水堆積土、によるものと考えられることができる。

沖積層は水流によつて運搬され、水中に沈澱堆積して成層した層で、層の形成の際には水流の状況すなわち地形的環境条件と、流れそのものの土粒子に及ぼす化学的作用等に支配される。

水流のエネルギーが流速の減少等によつて減少すると、ある粒径の土粒子はもはや運搬をすることができなくなつて沈積をする。従つて流速と土粒子の大きさ、重量等の条件によつて同様の粒子は同一条件の場所に沈澱し堆積し、沖積層を形成する。河川の水流は時期によつて流量すなわち流速を異にし、また一般に河川の下流部分においては流れは蛇行し、その位置も一定ではない。従つて同一箇所においても時期によつて堆積する土粒子は大いに異なる。

また河川によつて運搬された土の微粒子が海水中に排出されると、粒子は海水中の塩分の影響によつてカリウム、ナトリウムイオン等が吸着し、電氣的に中和されることによつて綿毛化現象 (Coagulation) を生じて沈積が促進され、シルト、粘土粒子が同時に堆積して層を形成する。このような沖積層は単体構造と異なり、一般に綿毛

構造を形成して間隙比の大きい層を形成することが多い。

デルタ堆積土は、河川が湖水や海等の比較的に静かな水域に流入する場所に堆積するもので、河川の流速が急激に減少するために、それに従って粒径の大きい土粒子より次第に沈降を初める。そのために河口付近に粒径の大きなものが沈積し、沖に向つて次第に粒径が小さくなり、一般的に沖に向つて層が傾斜するのが通常である。この種の沖積層は河川の流量、上流における土粒子発給源の条件によつて同一場所における沈積土の種類が異なり、またデルタの形成に従つて河川の流心が移動することによつて堆積層が、侵食、堆積を繰返し、一般に複雑な堆積層を形成することが多い。

沿岸堆積土は、波浪によつて侵食された海岸の土粒子や、河川によつて放出された土粒子が沿岸流によつて運ばれて沿岸に堆積したもので、一般に砂や礫等の粗粒子よりなる場合が多く、海岸を構成する沖積層は主としてこの種のものが多い。

静水堆積土は比較的に静かな海底、あるいは深海中に堆積する比較的に様な微粒子よりなる沖積層を形成するもので、河川により静水中に流入した土粒子中、比較的に粒径の大きいものはデルタ堆積土として河口付近に堆積するが、シルト、粘土等の微粒子は静かな水域までサスペンションとして運搬され堆積する。

この種の堆積土は一般に粒径が小さく、また海水中においては綿毛化現象のために間隙比が大きく、きわめて軟弱な地盤を形成することが多い。静水堆積土は、河川の流入等の環境条件の変化を受けることが少なく、比較的に単純な様な沖積層を形成する場合が多い。

以上の堆積土の種類は、同一場所であつても、地形的環境条件、流水の条件等の変化によつて、明瞭な区別を認め難い場合が多く、特に河口付近の堆積層においてはこれら数種類の堆積土が複雑に交さくしきわめて複雑な互層を形成していることが多く、単なる地質断面図によつては、それら沖積層の形成過程を適確に判断することはむづかしい。

3. 港湾における沖積層の形成状態

図一は青森港、宮古港、塩釜港、小名浜港、東京港、川崎港、横浜港高島、横須賀港、清水港、名古屋港、四日市港、大阪港、尼崎港、広島港、八幡浜港、長崎港における地質調査の結果による代表的な土質柱状図を示す。表一はこれらの沖積層における形成状態を要約したものである。各沖積層についての詳細な説明は紙面の都合で省略する。

これらの土質柱状図によつて、沖積層の成層状態を分類してみると次の3種類の型になる。

図一 沖積層の代表的な土質柱状図

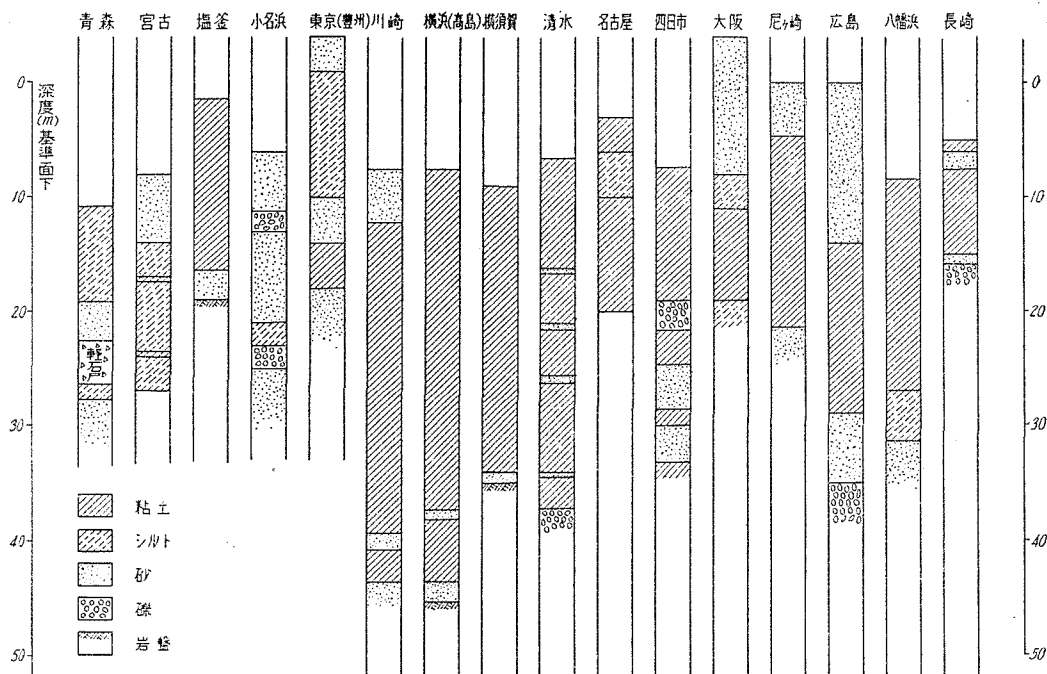


表-1 代表的沖積層の形成状態

港名	個所	地形的環境		堆積の種類	層の形成状態	
		基盤の深度	主たる沖積河川		成層状態	層の傾斜
青森	1万t, 3千t埠頭	136mまでなし	堤川	2	複雑な互層	おおむね水平
宮古	1万t埠頭	不	閉井川	2, 4	複雑な砂礫層の互層	"
塩釜	1万t埠頭	25m以下三紀層	なし	1	単純な粘土層	"
小名浜	1万t埠頭	不	藤原川	2, 4	複雑な砂礫層の互層	"
東京	豊州埋立地	300mまでなし	荒川	3	互層	"
川崎	千鳥町岸壁	90m三紀土丹	多摩川	3	互層	水平
横浜	高島棧橋	47m三紀土丹	なし	1	単純な粘土層	"
横須賀	長浦岸壁	25m以下三紀土丹	なし	1	単純な粘土層	おおむね水平
清水	石炭岸壁	不	巴川	1, 2	薄い砂層をはさむ粘土層	"
名古屋	10号池先	60m	新庄川, 木曾川	3	互層	"
大阪	市内	不	淀川	3	互層	"
尼ヶ崎	防災施設	不	武庫川, 神崎川	3	互層	"
広島	宇品, 1万t岸壁	不	太田川	3	互層	"
八幡浜	向灘物揚場	0~30m傾斜古生層	千丈川, 五反田川	1, 2	傾斜した互層	沖に向ひかなりの傾斜
長崎	中ノ島埠頭	不	浦上川	1, 2	複雑な互層	おおむね水平

註：堆積の種類 1. 静水堆積土 2. 中小河川のデルタ堆積土 3. 大河川のデルタ堆積土 4. 沿岸堆積土
互層とあるは、粘土、シルト、砂、礫等の互層

- (1) 基盤上に比較的一様な粘土層が存在するもの。
- (2) 上部に厚い粘土層があつて、以下きわめて複雑な薄い互層が連続するもの。
- (3) 上部に厚い粘土層があり、以下比較的薄い互層が連続しているもの。

(1) の例に属するものは、塩釜港、横浜港高島、横須賀港長浦であつて、いずれも第三紀層のいわゆる“土丹”が湾をかこんで存在し第三紀層の谷間に比較的静かな海面が形成されて沖積層を形成したものである。

塩釜港、松島湾をかこむ第三紀層は凝灰頁岩よりなり、それが開析されたのち沈降したもので、リアス式海岸を形成している。したがつて基盤は浅く、入江の中央に向つて勾配をなし、起伏が多い。横浜港高島においては、多摩丘陵が横浜付近においては海岸にのぞみ、断崖をなしており、横浜の内港は本牧岬の突出によつて入江となり、小規模の河川の排出する土砂によつて平地が形成されている。基盤は港内において起伏が多く、高島町付近は新港埠頭、瑞穂埠頭の谷間にあつて第三紀層は -47m 付近にみられ、沖に向つてわずかに傾斜している。横須賀港は三浦半島を形成する第三紀層が海岸に迫る有湾海岸に位置し、丘陵地は軟質の砂岩及び泥岩よりなり、山頂には洪積層と思われるローム層をかぶる所が多い。

以上のように基盤は第三紀層で比較的浅く、その上に岩屑、砂混りの転移層があつて、ただちに海底面まで分布する比較的一様で、軟弱なる粘土層が存在して軟弱地盤を形成している。これらの湾は第三紀層の基盤が隆起して侵食、解析を受け、再び沈降して海底に没したもので、特に沖積層の形成に影響を与える河川の流入がなく、いわゆる“たまりどろ”が堆積して沖積層を形成したものであり、静水堆積土に属すると考えることができる。基盤は所によつて起伏が多く、したがつて傾斜も変化が多く、構造物の基礎地盤としては軟弱な沖積層の性質を調べるとともに基盤の傾斜が重要な問題となる。

(2) の例に属するものは青森、四日市の沖積層である。青森港は、陸奥湾の最奥部に位して堤川の堆積平野である青森平野の北端にあり、基盤の深さは -136m 以上と考えられる。四日市は古生層の鈴鹿、布引山脈が東方に断層をなして伊勢湾にのぞむ伊勢平野にあり、鈴鹿山脈を水源とする町屋川、三流川の河川による沖積作用がいとなまれている。基盤の深さは -150m 以上といわれている。青森港、四日市港の沖積層は、いずれも最上部に軟弱な粘土層が 10m 程度存在して軟弱地盤を形成し、以下、粘土、シルト、砂礫等の層厚 2m 前後の比較的薄い互層が連続し、それら互層中の粘土層はかなりよくしまつている。これらの沖積層は前述の中小河川のデルタ堆積土と考えることができよう。

(3) に属する例は、東京、川崎、大阪、名古屋、尼ヶ崎、広島等でいづれも、荒川、多摩川、淀川、木曾川、神崎川、武庫川、太田川等の大河川のデルタ堆積物である。上部には砂層をかぶる例が多く、続いて層厚 10~30m の比較的厚い粘土層が存在し、以下砂層、粘土層、礫層等の厚い互層が連続している。基盤の深度は川崎においては -90m 程度であるがその他においては非常に深い場合が多い。

八幡浜港、長崎港の沖積層は山にかこまれた奥深い湾内の堆積土であるが、(1) の型ほど成層状態が簡単でない。千丈川、五反田川、浦上川等の流入があるために、デルタ堆積の影響が強く、(1)、(2) の二つの型の中間とみることができる。

清水港の沖積層は三保の砂嘴によつて遮蔽された静かな折戸湾内に堆積した沖積層であるが、粘土層は厚さ 5～10 m でその間に 1 m 程度の薄い不明瞭な砂層をはさみ、静水堆積土に、ときによつてデルタ堆積土をはさんだ型となつていると考えることができる。

宮古、小名浜港はいつでも太平洋に直面する小湾にある港湾で、ともに河川によるデルタ堆積土と、海岸の沿岸堆積土である砂層、礫層、シルト層の複雑な堆積様相を示し、特に宮古港においては、閉井川のデルタ堆積土の影響を強く受けているものと思われる。

4. 沖積層と Index Properties

沖積土の性質を沖積土の土粒子に特有な性質と堆積の仕方、並びに堆積後の圧密によつて決まってくるものと考えられ、過去における多くの土質調査、並びに土質試験の結果によれば、同一水系に属する同一種類の土についてのみ同様の性質を示すのであつて、同じ種類の堆積土であつても決して同じ性質を示すものではない。従つて堆積土の種類によつて土性を厳密に規定しようとすることはとおてい不可能であり、無意味である。しかしながら多くの資料によつてある程度の相関性を見出しておくことができるならば、土質調査の計画や、ていねいな土質調査を実施する前における程度の土質を予想することが可能となり、港湾計画や、構造物の予備設計をする際にきわめて役に立つと考えられる。もちろん、構造物の本設計並びに施工計画には、ていねいな土質調査によつて物理的、力学的性質を明らかにしなければならないが、ここには沖積層の土質とすると Index Properties (類別指数) について述べてみたいと思う。図-2 は対象とする沖積層の代表的層の Index Properties を図示したものである。

図-2 沖積層の代表層における Index Properties

沖積層名	深度-m	粒 径 分 布 %			含 水 比		液性限界 塑性限界 %	圧 縮 強 度 σ_v % m^2
		砂 40 60 80 100	シルト 20 40 60 80	粘 土 20 40 60 80	間 隙 比 10 20 30 40	20 40 60 80 100 120 140 160 180		
青森	13-20	—	—	—	—	—	—	—
宮古	11-23	—	—	—	—	—	—	—
塩釜	5-14	—	—	—	—	—	—	—
小名浜	2-13	—	—	—	—	—	—	—
東京	0-11	—	—	—	—	—	—	—
川崎	12-29	—	—	—	—	—	—	—
横浜	9-35	—	—	—	—	—	—	—
横浜	10-18	—	—	—	—	—	—	—
清水	7-26	—	—	—	—	—	—	—
名古屋	4-21	—	—	—	—	—	—	—
四日市	10-17	—	—	—	—	—	—	—
大阪	8-17	—	—	—	—	—	—	—
尼ヶ崎	11-22	—	—	—	—	—	—	—
広島	5-30	—	—	—	—	—	—	—
八幡浜	8-21	—	—	—	—	—	—	—
長崎	5-15	—	—	—	—	—	—	—

(1) 沖積土の粒度分布 沖積土の粒度はさきに述べたとおり、堆積土の種類によつて、すなわち堆積するときの流れの条件によつて決まってくる。すなわち、河口付近においては波速が急激に減少するために比較的粒径の粗い粒子より次第に沈積をはじめ、微粒子は比較的遠くまではこぼれて静水中に沈積する。

粘土の含有量は土の性質を決定する有力な指数であるが、塩釜港の粘土における 60～75%，尼ヶ崎港の粘土における 60～70%，清水港の 40～70%，川崎、高島の 30～70% は比較的によく、通常の沖積粘土層においてはおおむね 40～60% である。青森の粘土層における 10～35%，長崎の 15～25% は比較的に小さく、小名浜、宮古層においてはシルト層においても 25% 程度にすぎない。すなわち、静水堆積層と、大河川のデルタ堆積層中の粘土層においては粘土含有量は比較的に大きく、小河川のデルタ堆積層がこれにつき、沿岸堆積層は分類上の粘土層は皆無である。

シルト含有量は粘土層においては一般に粘土含有量の 50～80% 程度が普通であり、砂の含有量は通常 20% 以下である。これはさきに述べたとおり、海水中においては土の微粒子は塩分の影響によつて粒子が多数結合して綿毛化を生じ、粘土、シルトは同時に沈積するために粒径による分離が明瞭に生じ得ないためと考えることができる。青森、長崎の沖積層においてはシルトの含有量は 40～60% で粘土の含有量よりは多い。

砂の含有量は、宮古、小名浜における沿岸堆積層においては圧倒的に多く、50% 以上を示している。

(2) 間隙比 間隙比は土の Index Properties のうちで最も重要な指数の一つである。間隙比と圧密荷重の関係は実験的に相当くわしく研究されている。したがつて、沖積層の間隙比の分布状態からある程度までその層の圧密の程度を推定しうるのである。また粘土の粘着力ないしせん断抵抗は間隙比によつて大きく支配される。一般

的にいって、沖積層の間隙比の分布は、その層の力学的状態を判断する上の一つの基準となり、きわめて大切である。しかしながら、間隙比は粘土の含有量によつていちじるしく異なつた値を示すので、自然成層の粘土については、粘土含有量をあわせて考えなければならない。

間隙比は、土の間隙がすべて間隙水によつて飽和されているかぎり、また土粒子の比重が一般に 2.7 程度の一定に近い値を示すかぎり、土の比重、及び含水比と同一の意義を有する指数となる。

図-2によれば、塩釜の粘土層における 3.7~4.4 が最大で、横浜高島における 2.8~3.5 がこれについて大きい。これらの沖積土はともに静水堆積土に属する沖積層である。一般の軟弱地盤といはれる 港湾地帯の沖積層については間隙比の値は 2.0 前後のものが多く、清水港の粘土層における 0.8~1.6 は粘土含有量に比較してかなり小さい。これはのちに述べる圧密の影響と考えることができよう。

図-2によれば、粘土含有量と間隙比の分布状態はきわめてよく類似し、粘土含有量が間隙比に及ぼす影響をよく示している。しかしながら、他の沖積層においては同一粘土含有量においても間隙比は、はなはだしく異なる場合がある。これは粘土粒子に特有の性質と、圧密による影響と考えることができる。

(3) 飽和度 沖積土の飽和度は土質試験の結果によればすべて 95~105% の値を示しており、事実上完全に間隙は間隙水によつて飽和されていると考えてさしつかえない。これは、水中に堆積した沖積層においては、地盤の隆起現象によつて、沖積土が地下水位以上に出た場合か、特殊のガスが発生したような場合をのぞき当然考えられる。

(4) Atterberg の限界 液性限界、塑性限界の値は 図-2 に示すとおりであつて、液性限界は一般に 40~100% のものが多いが、静水堆積土である塩釜の粘土は 160~190% で最も大きく、横浜高島の粘土は 110~140% でこれにいつている。また大河川のデルタ堆積土である川崎の粘土層においては 75~120%、尼ヶ崎の粘土においては 70~105% を示しており、静水堆積土について大きい。

塑性限界の値は液性限界ほどの差を示してはいない。塩釜港の 55~75% が特に大きいのは、塩釜港の粘土は沼沢性の堆積土に近く、有機物の含有量は灼熱減量によると 7~10% で、通常の沖積粘土における 5% 内外に比して大きいためと考えられる。

(5) 圧縮強度 圧縮強度 q_u の値は、代表層についての範囲は 図-2 に示すとおりである。青森、塩釜、四日市、八幡浜、長崎、東京の粘土層においては いづれも q_u の値は平均 0.5 kg/cm^2 以下のきわめて軟弱な性質を示している。川崎、高島、尼ヶ崎の粘土層においては平均 1.0 kg/cm^2 に近い値を示し、清水の粘土層については平均 2.0 kg/cm^2 をこえている。

圧縮強度は土のせん断強度をあらわす量であり、圧密の影響によつてはなはだしく異なつてくる。従つて堆積の種類によつて規定することはできない。港水の粘土層においても、最上部の第一粘土層においては q_u の値は 0.5 以下の値を示すはなはだ軟弱な性質を示しているが、第一砂層以下の粘土層においては q_u は 2.0 kg/cm^2 以上

図-3 代表層の平均液性限界と平均間隙比

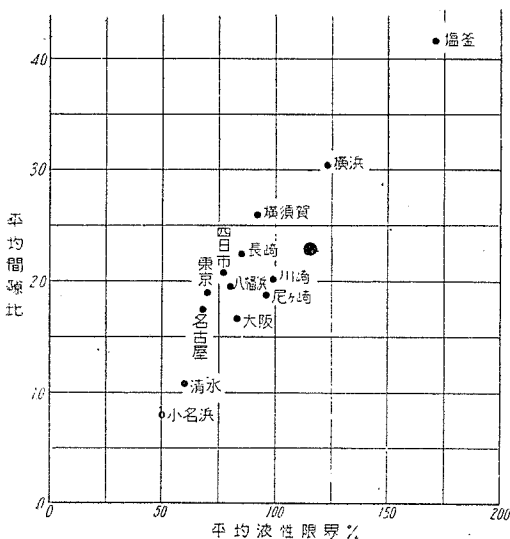
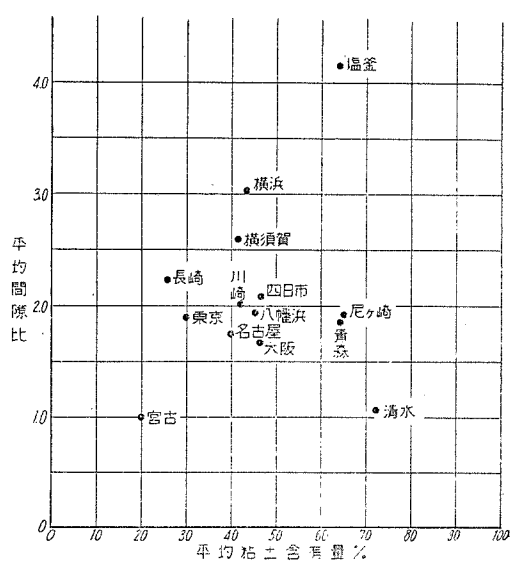


図-4 代表層の平均粘土含有量と平均間隙比



で、四日市の -20 m 付近に存在する礫層以下の互層中の粘土層は q_u が 1.5 kg/cm^2 程度であり、ともに圧密の影響を示している。

また強度減少度は高島における 5~15 が最大で、川崎、尼ヶ崎の 2~12 がこれについている。塩釜の粘土はさらに大きいと思われるが、実験が不可能であった。

(6) 沖積層の圧密の程度 前に述べたように間隙比は、土の圧密現象と密接な関係を有しているが、間隙比は粘土含有量や、特に液性限界によつてはなほだしく影響されるために、沖積層の圧密の程度を間隙比のみによつて推測することはむづかしい。

一般にあまり圧密荷重が大きい通常の沖積粘土層においては、液性限界と間隙比がはなはだきれいな直線関係を示す性質を利用して、沖積層の圧密の程度をある程度推定することができる。図-3 は各沖積層の平均の間隙比と平均の液性限界の値を示したものである。また図-4 は同様に平均の間隙比と、平均の粘土含有量の関係を示したものである。この図によれば、静水堆積層に属する塩釜、横浜高島、横須賀の粘土層においては、同一粘土含有量、同一液性限界について、他の沖積層よりも間隙比が大きく、圧密が進行していないことを示している。清水、尼ヶ崎等の粘土層においては、圧密が比較的に進行していることが明瞭に示されている。

しかしながら、これらによつて知られることは単に定性的な傾向のみであつて、これより定量的な関係を導くことはできない。

5. 結 語

以上述べたことを要約すれば、わが国の港湾地帯における沖積層は、その付近の地形的環境条件によつて、塩釜港、横浜港高島、横須賀港のごとき、河川の流入等の直接の影響のない静水堆積土による沖積層、青森港、四日市港のごとき、小河川のデルタ堆積土による沖積層、および東京港、名古屋港、大阪港、広島港等の大河川のデルタ堆積土による沖積層に大別することができる。

静水堆積土による沖積層は、一般に粘土含有量の多い粘土層より形成され、比較的に一樣で、きわめて間隙比の大きいのはなほだしい軟弱地盤を形成し、液性限界、強度減少度も他の沖積土に比して大きく、比較的に圧密が進行していない。構造物の基礎地盤としてははなほだやつかいな地盤である。またこのような層は過去において土被り重量以上の圧密荷重を受けていない場合が多いために、構造物、埋立土の荷重によつてはなほだしい圧密沈下を生じうる可能性がある。

大河川のデルタ堆積層中の粘土層は、渇水期に沈積したと考えられ、静水堆積土に近い性質を示しているが、砂礫層と互層を形成することが多く、圧密の影響をうけているために比較的にしまつており、軟弱ではあるが、静水堆積土に見るほどはなほだしくはない。液性限界、強度減少度は静水堆積土について大きい値を有している。

小河川のデルタ堆積土は、一般に粘土含有量は比較的に小さく、薄い互層を形成しやすいために、互層中の粘土層は圧密の影響を受けてよくしまつているのが通常である。

清水の粘土層は、静水堆積土に近い性質を本質として示しているが、薄い砂層をはさむために、圧密されやすく、間隙比はきわめて小さく、対象沖積層中最大の圧縮強度を示している。

以上によつて、港湾地帯の沖積層の形成とその土性について、層の形成の種類によつてある程度沖積土の性質を推定しうることをのべたのであるが、もちろん、基礎地盤としての性質を適確に知るためには、ていねいな調査と、力学試験によらなければならない。今後もこの種の資料を数多く蒐集し、整理することによつて沖積層の形成とその性質が明らかにされてゆくことが望ましい。