

# ソノプローブ法による東京湾（軟弱地盤）の海底地質調査

松石秀之  
中井達

## 概要

新型ソノプローブを使用して、海底沖積層の詳細な地質構成の解析を実施した。調査海域は東京湾西部に当たる大井埠頭および13号地を結ぶ沈埋トンネル海域と、大井埠頭の第1期埋立地区と第2期埋立地区にはさまれた海域である。特に主眼としたのは海底面下約30~50mの詳細な海底沖積層の地質構造である。調査ならびに解析の実施に当たってはソノプローブの結果のパターンを海底沖積層の示す泥層、粘土層、砂層、礫層の分相を対比しながら検討し、一部では海底沖積層の基盤を確認し、かつ数か所に実施したボーリングによる地質柱状と対比して、泥層、砂層、礫層の連続性ならびに地質層序関係を解析した。今回使用したソノプローブはソフトウェアとハードウェアによる調査システムの海底土木建設、工事を目的とした地質調査のために新たに研究開発したもので、海底沖積層、洪積層を詳細に解明しえた。

## 1. ソノプローブ探査

### 1.1. 原理

特定の音響エネルギーを海底ならびに海底下に発射し、その音響エネルギーの反射の記録から海底地形や堆積物の状態を調査する音波探査装置で、発振器より生じた特定周波数(3,800 C.P.S.)の電気エネルギーは送波器(磁歪式)で音響エネルギーに変換され海中に発射される。海底面および海底下の地層境界面に達すると、音波の一部は反射して海面にもどる。受波器に受けた音響エネルギーは電気エネルギーに変えられ増幅後記録器に送られる。海底下から反射してくる信号波は記録紙(乾式)に海底下の時間断面図を描く。ソノプローブは音波の波長が短く、指向性があるため、分解能力がすぐれ、かつ回折現象もきわめて微弱であるから、反射面の歪曲はほとんど考慮しなくてもよい。反面音響エネルギーが弱いことと、音波の減衰率が高いため可探深度はスパーカーより浅い。海底面下30mないし50mまでの地質構造を詳細に探査できる。探査の結果は乾式記録紙に各地層の断面として表現される。試錐による地質柱状と対比することで詳細な海底沖積層の地質構成を解析することが可能である。港湾および長大橋等の海底土木工事あるいは海底地質調査、資源調査にきわめて有効である。周波数帯域の選定ならびにパターン分析、分類等のソフトウェアとハードウェアを総合したトータルシステムのノウハウを適切に使用することにより、沈埋トンネル敷設地域の海底沖積層の構造の解明には特に理想的な調査システムである。

### 1.2. 調査機器

機器は(1)送波器、(2)受波器、(3)送信器、(4)受信器、(5)記録器、(6)定周波同期電源装置、(7)発電機の7つのユニットから構成される。

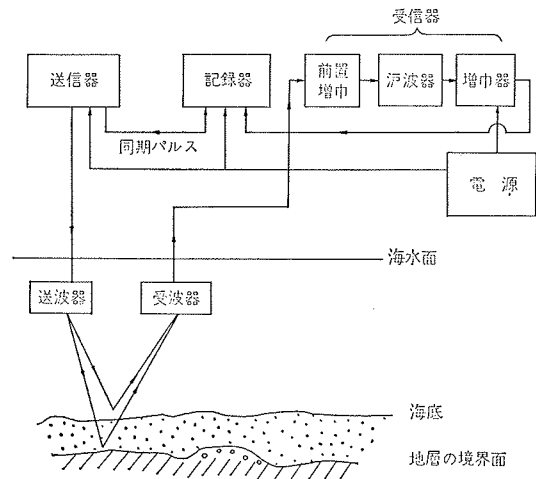


図-1 ソノプローブのブロックダイアグラム

記録方式は直線記録であり、記録範囲は海底面より25mおよび50mの2段階の切換えが可能である。記録紙は乾式記録紙、発振回数は海底面より-25mまでの記録の場合は360回/分、同じく-50mまでの場合は180回/分である。発振方式は半導体によるパルス発振方式で、増幅方式はストレート増幅方式である。送受信方式は送受波別個方式で、送波器、受波器は調査船の船舷に取り付ける。送波器から音波パルスを発射し、その音波パルスが海底および海底下の種々の地質を示すインフォメーションに当たり反射する。反射信号を受波器で受け、受信機で増幅し記録される。記録ペンと発振制御カムは同期電動機によって駆動され、ベルトが1回転するごとに1回送信機に発振を起こさせる。

送信器で発生したパルス出力は送波器に供給され、さらに送波器から出された強力な音波パルスは海中を伝播し、海底および海底下のインフォメーションに当たって反射される。反射音波は受信器を通して電気信号に変わり受信器にはいるが、海中および海底下の地中を伝播しているため減衰し、受信器にはその減衰を補う増幅が必要になる。このため受信器にはいった弱い信号を約3000万倍に増幅したのち記録させる。

ソノプローブによる調査では調査測線の地質断面が濃淡記録のパターンとして示される。パターンと地質との対比が行なわれる。記録の分解能力がよいので微細な地質構造が解析される。記録の解析には調査対象物の性状とそのパターンのノーハウが必要であるが、また調査中において細かく変化する。海底堆積物の堆積層の変化をパターンに示すノーハウが必要である。調査能率はきわめて高い。漁業への被害がなく、補償を必要としない。探査装置の操作が比較的安全に行なえる。

## 2. 調査法

送波器と受信器は通常船の両舷に相對して固定する。ただし、今回は船体の關係上、送波器と受信器を同じ舷に固定した。船の位置については兩岸よりレーザートランシットで予定線に誘導し、船上で六分儀による測量を実施し、航行しながら調査測線の記録をとった。使用した調査船は10 t 程度の小型船を使用した。調査

人員9名。測線は沈埋トンネル区域では沈埋トンネル方向およびこれに直角方向に No. 1~No. 11まで設置した。ドライドック区域では長辺方向および短辺方向に No. 1~No. 12まで設置した。測点：測線にそって30秒おき、船速31ノット約40m間隔、測深は音響測深機を使用した。

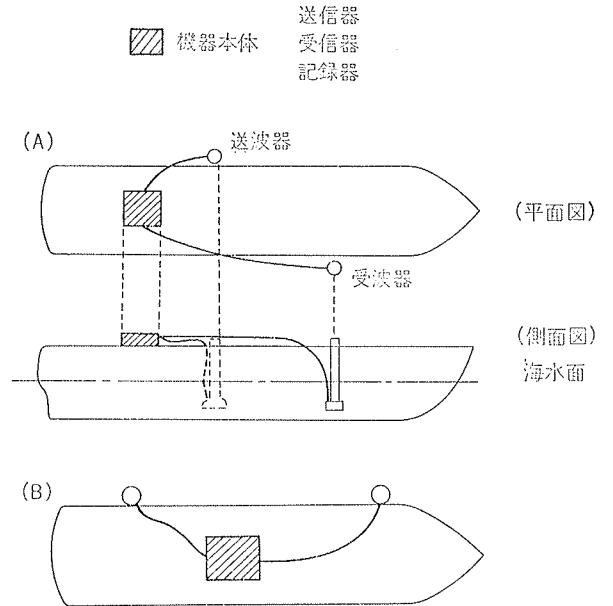


図-3 ソノプローブ調査法模式図

(A) 通例の場合

(B) 特別の場合 (調査船によっては、この方式による)

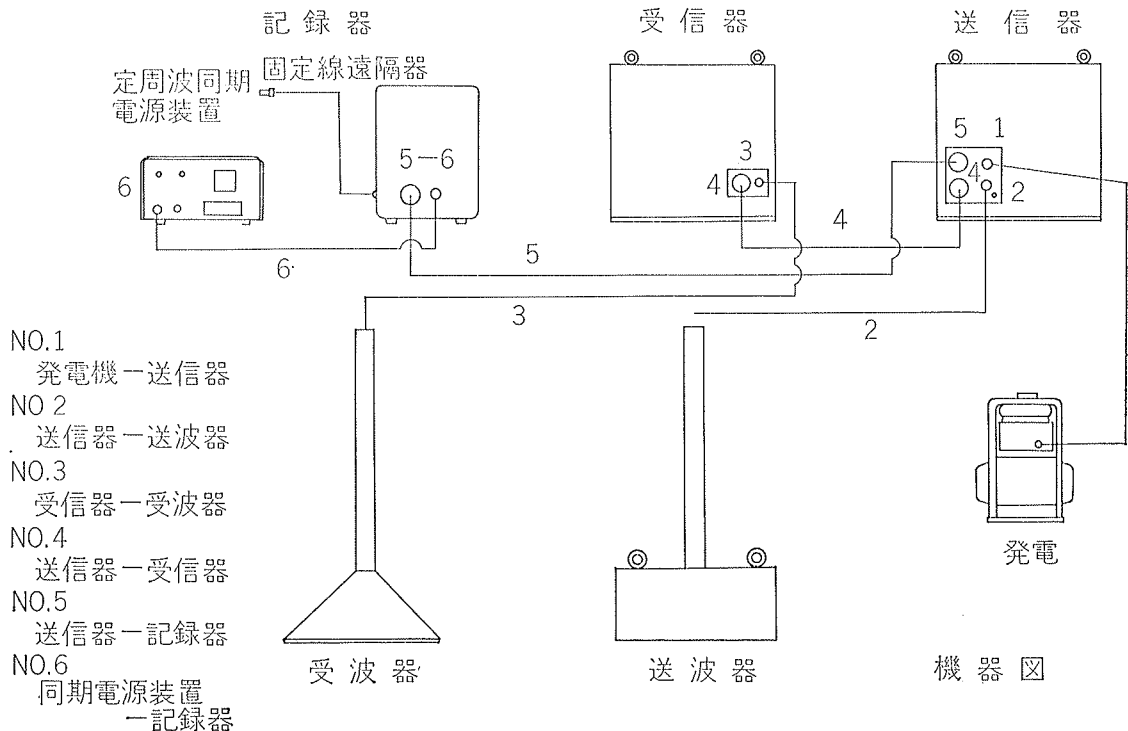
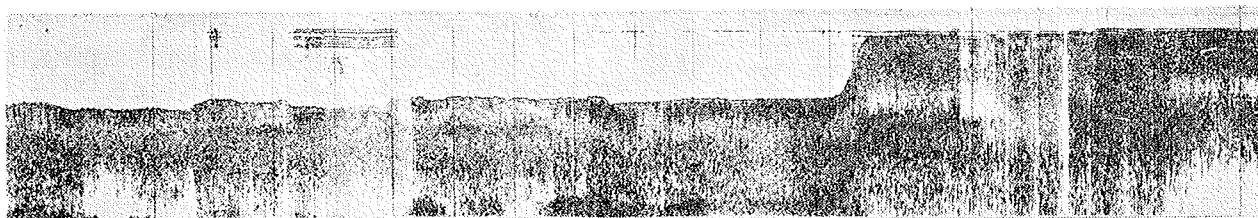
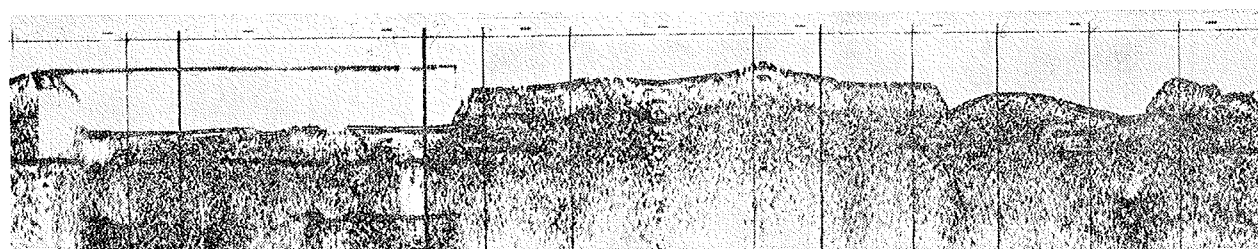


図-2 ソノプローブ調査システムの機器



図一 4 沈埋予定区域の記録写真



図一 5 ドライドック予定区域の記録写真

### 3. 解析

海水面の補正を実施し、重複反射等の妨害波を除去し、反射波検出ならびにパターンの解析を行なった。パターンの解析は泥層、砂層、粘土層、礫層および洪積層のパターンを検出し、この各地層のパターンとボーリングによる地質柱状の対比により、地質層序ならびに、地層区分を決定した。地層の岩相区分としては礫質堆積物、砂質堆積物の確認および分類、海底下に埋積されている段丘堆積物の確認、旧河床、埋積谷その他構造の確認を実施した。

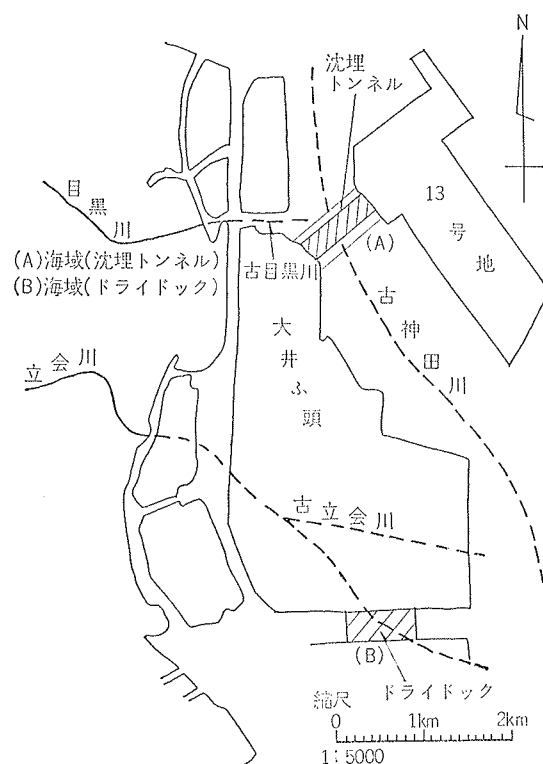
今回の調査において特に留意したのは発振：3,800 C.P.S., 受振：3,800 C.P.S., を使用しエネルギーを強く、かつ両波による記録と片波による記録を各パターンについて検討したことである。堆積物のもつ粒度の違いが音波の反射率、透過率および散乱の現象によって特徴づけられ、堆積物の礫質、砂質、粘土質、泥質の分類を可能にした。泥層は二重反射がなく、白くぬける。砂層は二重反射が明瞭である。礫層は明瞭な散乱現象がみられる。基盤：海底沖積層の基盤をなす洪積層は明らかに識別できる。

### 4. 調査結果

#### 4.1. 海底地質概説

東京湾に面する臨海地域のうち、品川区、大田区およびその前面の大井埠頭、13号地埋立地一帯は、青梅を起点として、東に延びる武蔵野台地の影響を受けているため、荒川、多摩川等の大河川の流域に比べ沖積層の発達は乏しい。この区域は、A.P.-10m に上面をもつ上部東京層の埋没波触面で代表されるもので、古

目黒川、古立会川の侵食谷区域を除けば、沖積層の層厚は約10m以内である。この波食台は築地付近より南へ延びる古神田川の谷を通る大井埠頭～13号地埋立地間の水路付近まで広大な面積を有し広がっている。



図一 6 調査海域位置図

#### 4.2. 測線断面地質概要

##### 4.2.1. 沈埋トンネル海域（A海域）

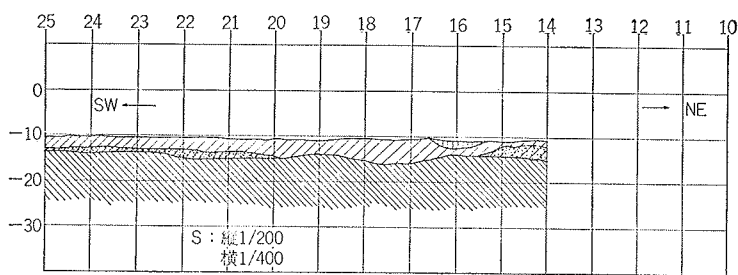


図-6 (A)

測線1, 測点14~25の測線断面図を示す。現在の海底面には、現世泥土は見られない。上部粘土層が1.5~5.0mの厚さで分布し、特に測点20~24では下位の下部粘土層との間に、最大1.5m厚のレンズ状の砂層をはさむ。

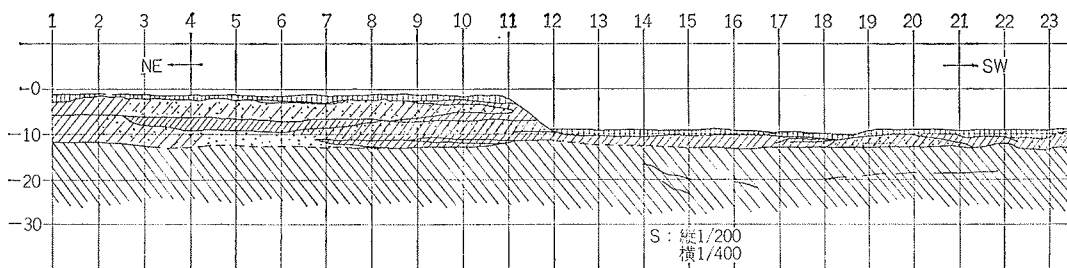


図-6 (B)

測線9, 測点1~23の測線断面図を示す。北東部: 上位より泥層(厚さ1m前後), 薄い上部粘土層(1m以下), 砂層(1~3m), レンズ状の砂層(1~3m)をはさんだ下部粘土層からなる。

中央部(一部): 測点12~18では、浚渫により下部粘土層, 砂層の一部が削られている。この区域より、さらにNE方向になると、上部粘土層, 下部粘土層の境界にレンズ状砂層が発達する。

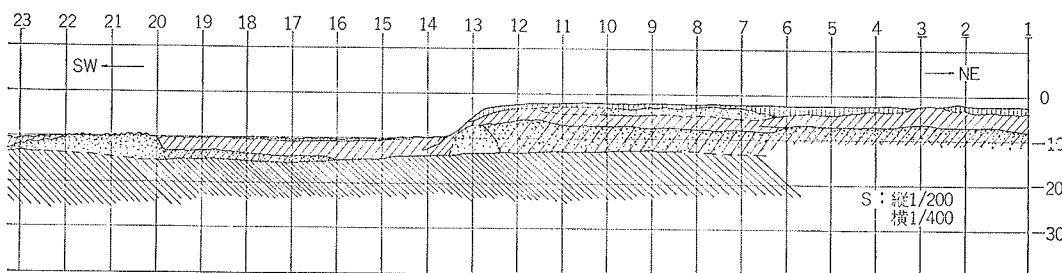


図-6 (C)

測線17, 測点1~23の測線断面を示す。北東部: 測点8~13では上位より厚さ約1mのレンズ状砂層をはさむ, 上部粘土層(層厚5m), 砂層(層厚5~6m), 礫層が分布する。

中央部: 測点13~25の間は浚渫で, 上部粘土層, 砂層が削除されている。上部粘土層(層厚2~3m)と下部粘土層の境界にはレンズ状砂層がほぼ連続して発達する。

#### 4.2.2. ドライドック海域 (B海域)

A海域と同じく, B海域の測線地質断面図について記述する。

地質凡例

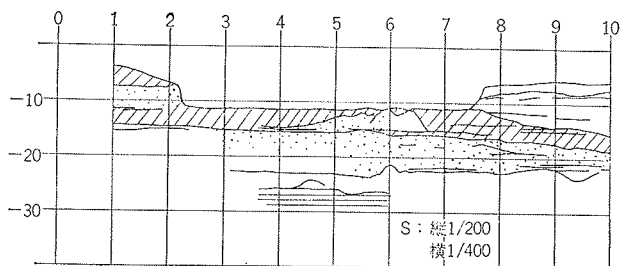
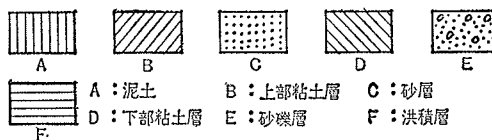


図-7 (A)

測線4, 測点1~9の測線断面図を示す。測点2~7の区域は浚渫により, 上部粘土層および砂層の一部が削除されている。砂層は測点1~2および8~10の区域では上部粘土層の中では層厚3~6m, 測点4~7の区域では上部粘土層と下部粘土層との境界にレンズ状(層厚4m以下)をなして発達する。下部粘土層の上部にもレンズ状砂層(層厚2.5~5m)が発達する。沖積層と洪積層の境界面は, 海底面下約25mにある。

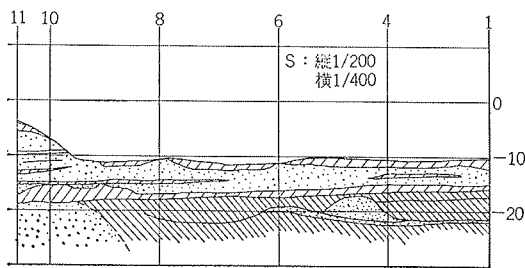


図-7 (B)

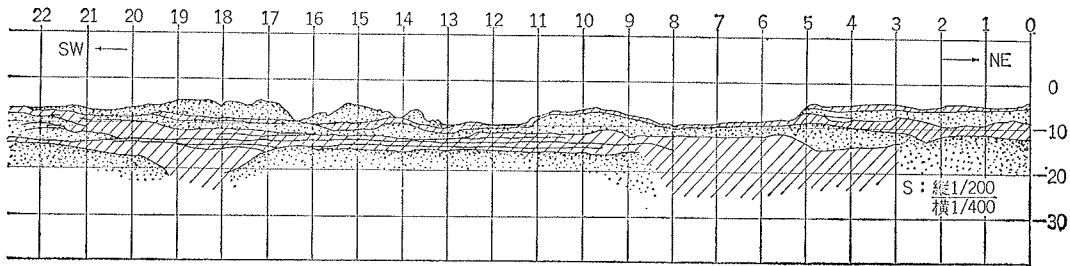


図-7 (C)

測線10, 測点0~22の測線断面図を示す。測点0~5の区域では上部粘土層中に、レンズ状砂層(層厚1.5~3m)を2枚はさむ。中央へ南西部の測点5~36の区域では浚渫により、上部粘土層および、砂層が削られているが浚渫が不完全なため海底面の凸凹が激しい。

## 5. 海底沖積層の地質構成

### 5.1. 沈埋トンネル海域 (A海域)

古目黒川谷と古神田川谷の合流分に位置しており、厚い沖積粘土層の分布で特徴づけられる。

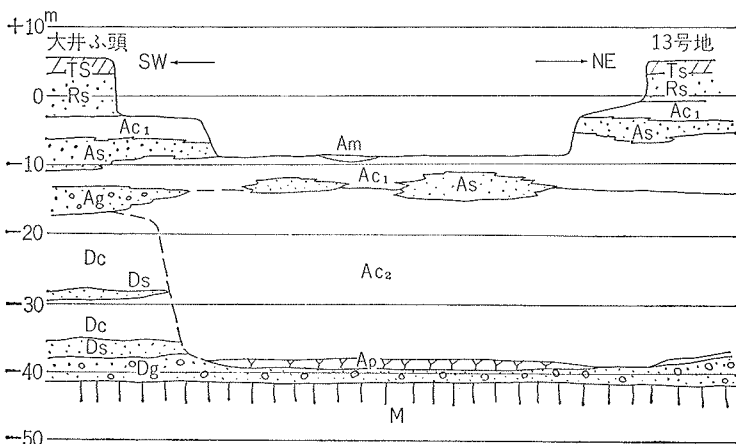


図-8 沈埋トンネル海域 (A海域) の地質構造模式図

(1)現世層: TS: 残土埋立土, RS: 吹上げ埋立土, Am: 泥土, (2)上部有楽町層: Ac<sub>1</sub>: 上部粘土層, AS: 砂層(砂質土), Ag: 砂礫層, (3)下部有楽町層: DC: 粘土層, DS: 砂層, Dg: 砂礫層, AP: 腐食土層, M: 土丹層(第3紀層)

測線15, 測点1~11の測線断面図を示す。

測点1~10の区域では、浚渫により上部粘土層および砂層の一部が削除されている。上部粘土層と下部粘土層との境界にレンズ状砂層(層厚1~3m)が発達する。測点5付近の下部粘土層中にもレンズ状砂層が発達する。

レンズ状砂層は上部粘土層の中および下部粘土層との境界部に発達し、層厚は後者のほうが大きく(5m以上)を示す。

現世層: 残土埋立土(T. S), 吹上げ埋立土(R. S), 泥土(A. m)である。沖積層: 上部有楽町層と下部有楽町層とに分けられる。前者は上部粘土層(A. C), 砂層(A. S), 砂礫層(A. g)がある。後者は粘土層(D. C), 砂層(D. S), 砂礫層(D. g)がある。第3紀層は三浦層群である。(1)泥土(Am): 一種の浮泥状を呈するもので、ボーリング資料によれば、悪臭を発生し黒灰色を呈する。(2)上部粘土層(AC): 調査区域全域に広く分布する地層で、河川の影響よりも東京湾岸流の影響を強く受けた堆積物である。砂質土層と漸移している。層厚は厚い部分で4~5m, 薄い部分で1~2mである。砂質シルト~シルト質粘土であって軟弱である。(3)砂層(AS): 上部粘土層と下部粘土層の間にはさまれた形で分布する地層で、上部粘土層とは漸移関係にあるため、その上面は不規則である。しかし下部粘土層と境する下面は比較的シャープで平坦である。砂質シルト~粘土質砂~砂と激しい層相変化を示している。軟弱な地層で層厚は変化に富み、9~5m程度である。(4)砂礫層: 砂礫層上部の粘土層から構成されるAP-10mの埋没段丘の上面に不規則な形状で分布する地層で、部分的に欠除する。厚いところでは5~6mに達し、N値は10~50である。(5)下部粘土層: フランドリア期(海進)の堆積物であって暗灰色の均質な粘土から構成される。N値は上部で1~3,

下部で3~5である。(6)腐食土層(A P)：沖積層の基底に発達する浅海成の堆積物で、層厚2~3m, N値10以下である。(7)洪積層：上部東京層と東京礫層の発達が顕著である。上部東京層は大井埠頭側のみ分布し、A P-10m 波食平坦面を形成している。東京礫層は水路中央部から13号地にかけて A P-35~40m に分布している。(8)第3紀層：三浦層群に層する地層で、シルト岩からなる。暗緑灰色を呈し、N値50以上である。

5.2. ドライドック海域 (B海域)

古立会川の侵食谷で代表される。この侵食谷はドライドック区域から南東に伸び大井埠頭埋立地の沖合において古神田川の谷に開口している。古多摩川と東京湾沿岸流の影響も強く受けているため、沈埋トンネル区域より、層の変化も激しく、砂質土層の発達も顕著である。地質構成は沖積層として下部有楽町層があり、その上に上部有楽町層がある。前者は下部粘土層と砂礫層に分けられ、後者は上部積土層と砂層とがある。洪積層は砂層および砂礫層である。(1)上部沖積粘土層(A C<sub>1</sub>)：浚渫により形成され、A P-10mで2~3mの層厚を有し、A P-3mで泥土状を呈する。N値は1~2である。(2)砂層(A S)：砂分に富んだ地層であるが、部分的にシルト質砂~粘土質砂に変化している。N値は3~10である。上部粘土層および下部粘土層(A C<sub>1</sub>, A C<sub>2</sub>)と漸移するが層厚は5~10mである。この砂層は上下2層に分けられ、上部層は旧海浜沿いの堆積物と考えられ、古多摩川および東京湾沿岸流の影響を受けた可能性が大きい。下部層は洪積層の侵食、地形の影響を受けた自然堤防型の堆積物である。(3)下部積土層(A C<sub>2</sub>)：この地層はフランドリア期(海進期)の堆積物で、洪積層の侵食谷を埋積した形で分布する。シルト型粘土で過圧密の状態にある。(4)砂礫層(A g)：沖積基底であり連続性は乏しい。(5)洪積層：下部東京層の砂、粘土からなりA P-20m以深である。A C<sub>1</sub>：上部沖積粘土層, A S：砂層, A C<sub>2</sub>：下部粘土層, A g：砂礫層, D：砂層, 砂礫層(洪積層)

6. 総括

沈埋トンネルおよびドライドック海域ともに、海底沖積層の最上部泥層、上部粘土層、砂層(砂質土質)、下部粘土層、砂礫層によって構成されている。両海域とも海底沖積層の基盤は洪積層である。(1)沈埋トンネル海域：沈埋トンネルの上限は海面下約13m、下限は同じく海面下約20mに予定されている。海底沖積層の泥層、上部粘土層、砂層、砂礫層、下部粘土層の地質層序で構成されている部分に当たる。砂層は層相変化が著しく、レンズ状をなす。最上部泥層：大井埠頭、中央部に分布、平均0.75、最大2.5mの層厚をなす。13号地側では0.5~1mの層厚で分布する。砂層：大井埠頭側では全般的に分布、層厚7~8m、1~2m、部分的に2枚の砂層が発達する。中央部では全域に分布、層厚は5~8m、1~2mである。直接海底に砂層が露出する部分と層厚の厚い所は一致する。浚渫により上部粘土層と砂層の厚い部分が削除されたことを示している。中央部で一部砂層が砂礫層に漸移する。層厚の厚い部分が測線13~20に見られ、2.5~5mの層厚を示す。測線4~6、12~25の区域では4~7mを示す。13号地側は全般的に分布し、膨縮ははなはだしい。層厚は1~2、8~11mを示す。測線10~20の区域では砂層が上下2枚に分岐する。上部粘土層：大井埠頭側では区域全般に分布し、層厚10~12m、1~3mであり、局部的にはレンズ状砂層をはさんでいる。中央部では全般的に分布し、4~5m、0.5~1mの層厚を示す。厚い所は局部的で、全体が浚渫で削除されている。13号地側では10m、0.5~1.5mの層厚を示す。厚い所はレンズ状砂層をはさむ。(2)ドライドック海域：上部粘土層と砂層の発達が顕著である。上部粘土層と下部粘土層の境界は海面下約15mである。上部粘土層は全盤に分布する。浚渫された区域では2~3mの層厚を示す。砂層(砂質土)は区域全盤に分布する。層厚は5~10m、1~2mを示す。特徴的な自然堤防の性格をもつ砂層の厚い部分が発達する。洪積層はドライドック海域の北東部で海水面より-20~-25mの面に確認される。

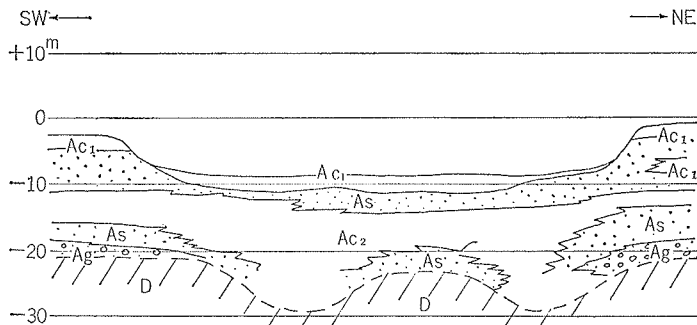


図-9 ドライドック海域 (B海域) の地質構造模式図