

III-138 「シールド工事における漏気調査とその対策について」

— 皇居内濠内工事の場合 —

帝都高速度交通営団 正員 渡辺 健

〇 中村信義

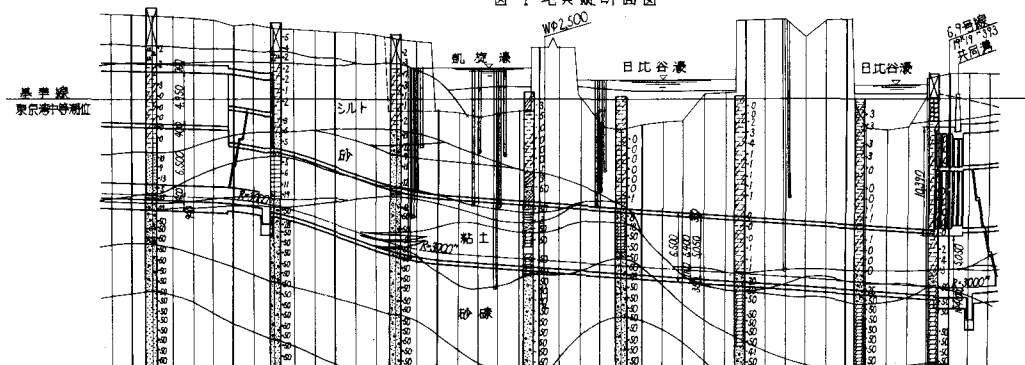
I まえがき

営団では地下鉄第8号線の建設を今年より着手したところであるが、本路線が皇居内濠の凱旋濠、日比谷濠下を通過するにあたり、地形および周辺の環境等により当工間の施工方法はシールド工法を採用することとした。しかしこの区間の路線縦断は他の地下鉄、水道管（シールド）の関係より凱旋濠々底においては浅い所を通らざるをえず又、濠底の地層はいたって軟弱であるので、シールド工事に圧気を併用した場合漏気をおこす恐れがあり、本シールドの施工計画にあたり現地において地層の透水性および透気性についての調査を行ない、シールド工事施行についての対策をたてた。

II 地質状況

濠底下の地層は図-1に示す如く、凱旋濠部は濠底より軟弱シルト層、ルーズな砂層、その下に洪積粘土層（土丹層）と東京礫層より構成され、地下鉄シールドは砂層の下部と洪積粘土層にまたがって掘進することとなる。上部シルト層は含水比、間隙比が相当大きい状態であり、シルト層下部においては細砂層が点在し力学的には弱い地層である。砂層はルーズであり、砂層の間隙水圧は濠水面に近い水頭を示している。また、この層の透水係数は $2.5 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ を示し簡易な透気試験の結果によれば、透水係数と透気係数の比は50~75の値を示した。なお下部東京礫層には水が無いことも判明している。

図-1 地質縦断面図



III 調査目的および調査方法

調査は現地揚水試験と透気試験を行った。揚水試験は、シールド施行の際に砂層の水を排水した場合、上部シルト層の遮水性について調査することを目的として行なった。調査設備は図-2に示す如く、揚水井周辺二方向に観測井を設置し、揚水井は径300mmの多孔式揚水井を砂層部分にストレーナーを設置し上部シルト層は外管によりシールした。観測井には各層各深度の間隙水圧を測定できるように粘土層には坂田式間隙水圧計を砂層にはカサグランデ型水圧計を計21ヶ所設置し、揚水に伴う間隙水圧の変化を測定した。またシルト層に沈下板を設置し揚水に伴うシルト層の沈下量も合せて

測定した。

透気試験はシールド施行の際の圧気圧を砂層下部の間隙水圧と同じ $1.1 \frac{kg}{cm^2}$ と仮定し、砂層下部より圧気した場合の砂層内部の透気機構と上部シルト層の遮気性、噴発について調査を行なうことを目的とした。調査は径 114 mm の外管と 85 mm の内管による二重管による送気孔を設け砂の下部より図-3 に示す方法にて送気を行ない、送気時における間隙水圧または地中空気圧の変化を、揚水試験時に使用した間隙水圧測定管に、気圧計を取りつけることにより地中圧の変化の測定を行った。

IV 測定結果

(1) 上部シルト層の透水性

揚水試験によるシルト層の間隙水圧の変化は図-4 の如く上部では大きな変化はないが、下部では60分経過後大きく減少した。このことは上部では濠水の供給があり、下部は砂層への排水が行なわれたものと思われる。また沈下量は2000分後 40 mm に達している。シルト層の透水係数を間隙水圧の変化と沈下量より算出すると $2.3 \times 10^{-5} \frac{cm}{sec}$ となりこのシルト層は不透水層とはいいがたく遮水性に乏しい。

(2) 水位低下範囲

揚水試験は揚水量 $10 \frac{L}{min}$ で水位低下は 6 m で安定した。この時の間隙水圧の変化により影響範囲を算定すると、半径 36 m となり砂層部分では半径 4.4 m となる。

(3) 砂層の透気性

砂層下部で行った透気試験の送気圧、送気量と時間の関係およびその時の地中圧の変化の関係は図-5 に示すとおりである。この関係で見られる傾向を要約すると下記の如くなる。

- ① $0.9 \frac{kg}{cm^2}$ は、ストレーナー部分の間隙水圧であるが、この範囲の送気圧では送気量はいたって少ない。
- ② 送気圧を $1.1 \frac{kg}{cm^2}$ とすると、漏気が $15 \text{ 分} \sim 20 \text{ 分}$ で生じ、局部的に噴発に近い現象が見られ、管内圧は $0.94 \frac{kg}{cm^2}$ でほぼ一定となる。
- ③ 地中圧（地中空気圧）は、送気管に近く、深い部分ほど大きい。

図-2 揚水および透気試験観測井設置関係図

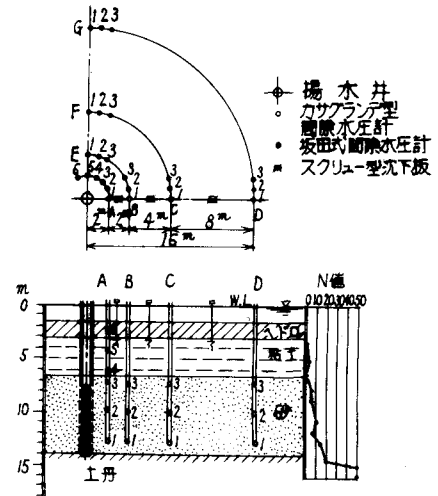


図-3 透気試験設備図

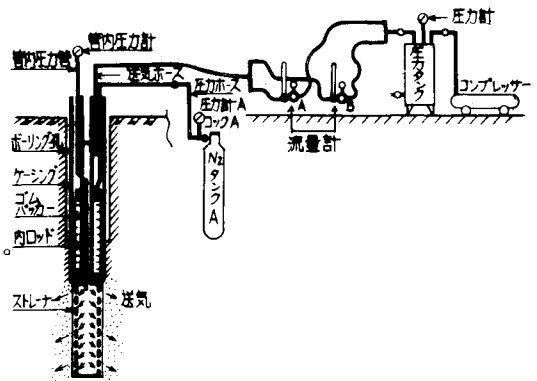
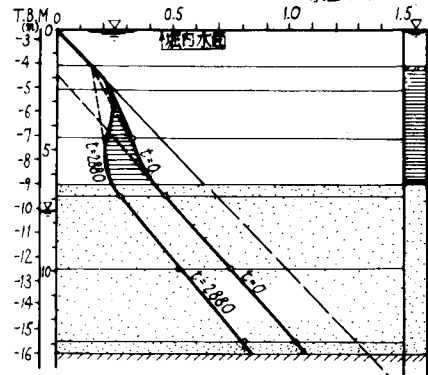


図-4 粘土層の間隙水圧変化



V 透気機構の考察

透気機構は地層構成、地盤の透水性、地盤の強さ、圧気源の位置等により、各々異り一概に断定できないが、今回の試験において、圧気圧と地中気圧との関係を測定したのでこれにもとずき透気機構の考察を行なった。図-6は、地中気圧の変化量より求めたエア-フロー-ネット図である。このフロー-ネットにおけるポテンシャルの考え方は下記によった。

- ① 空気の領域と水の領域の境界面は、間隙水圧と地中圧がつり合った面すなわち地中圧の変化が0の面とする。
- ② 地中気圧は間隙水圧と測定された過剰気圧力の和とする。
- ③ ポテンシャルは漏気面（シルト層下面）を0とした地中気圧力の差で表わす。

この図は現地における漏気発生範囲とよく合った結果を示した。また図-7は、過剰気圧力と時間の関係より漏気の過程を考察したもので①全面被圧段階②排水段階③平衡段階④漏気段階の順序で進行することが想定される。砂層中の空気流の時間的關係を図-8に示す（送気圧 $1.1 \frac{kg}{cm^2}$ の場合）。時間と距離の關係は、 $X = 0.1 t$ であり、砂層下部で圧気した場合には約50分でシルト層下面に達することとなる。

図-7 漏気過程

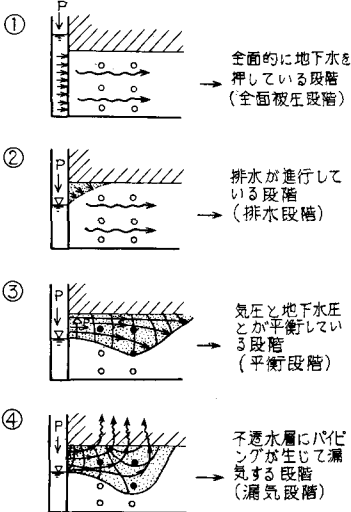


図-5 透気試験結果

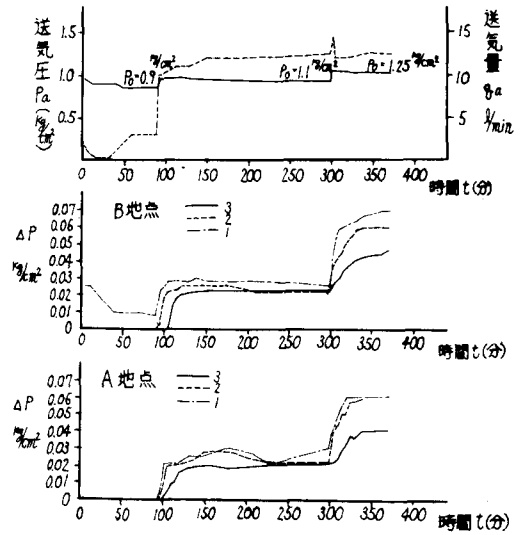


図-6 エア-フロー-ネット図

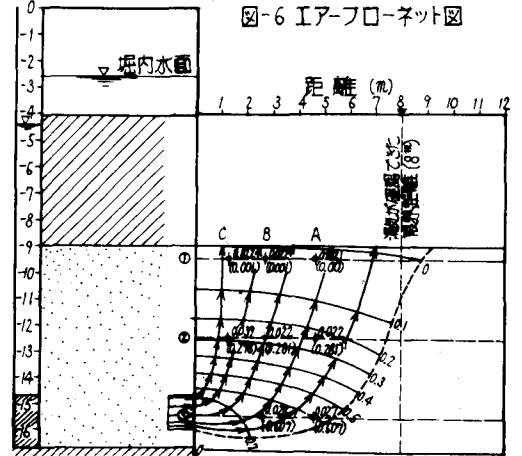
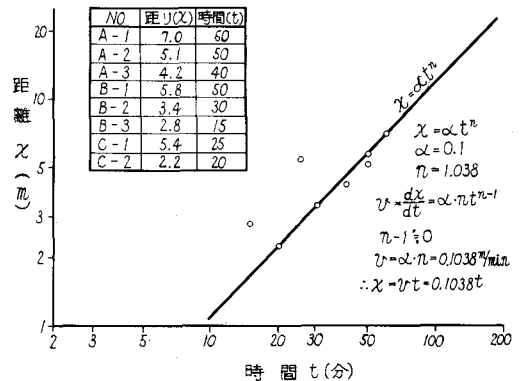


図-8 地中における平衡気圧に達する時間と距離との関係



Ⅶ 漏気対策

上記調査の結果、濠底下のシルト層は極めて軟弱であり、シールド工法に砂層下部の間隙水圧 ($1.1 \frac{kg}{cm^2}$) と同圧の圧気工法を併用すれば、シルト層は圧気圧により破壊され漏気噴発を生ずることが判明した。漏気および噴発を防止する方法には、次の二つの方法が考えられる。

- ① 揚水工法により、間隙水圧を低下させ、圧気圧を下げることで漏気を防ぐ。
- ② シルト層下部に生ずる地中空気圧に対抗できるようシルト層を補強する。

(1) 揚水工法の検討

揚水工法には、ディープウエル工法と、ウエルポイント工法が考えられるが、Ⅳ-②に示した揚水試験の結果によれば砂層部分の水位低下影響半径は 4.4 m であり、揚水設備をこの間隙に設置する必要がある。またウエルポイント工法は、土の透水性からみて、真空ウエルポイントが適し、この場合揚程が不足し、特殊な設備を必要とする。これらの条件と施工場所を考慮すれば、揚水工法は適当な工法ではない。

(2) シルト層の補強

シールド工事に伴う漏気は、極部の少量の場合は止むを得ないものであるが、拡範囲に多量の漏気は事故につながる場合もある。今回の実験によれば、シルト層の内部において、圧気の継続に伴い、パイピング現象をおこし、漏気量が増大している。シールド工事に $1.1 \frac{kg}{cm^2}$ の圧気を行った場合シルト層下面には、 $0.5 \frac{kg}{cm^2}$ の地中空気圧が作用することになり、この圧力に対抗し得るシルト層の補強を行う必要がある。補強の方法には、濠内に置土を行い、荷重載荷によりシルト層を補強する方法、薬液等の注入によりシルト層の地質改良を行う方法等があるが、薬液注入は濠水面が文化財指定地であり濠内生物への影響等も考えられ無理があるので今回の施工法には置土工法を採用することとした。置土工法による置土厚は使用する材料により差があり、現在これの詳細検討を行なっている段階であるが、置土の概要は図-9に示す断面となる。

