

東京都交通局第2建設事務所第2工区(豊島町工区)

正会員 平出 亨

窪田 正恒

1. まえがき

当工区は延長480mの一般路線部で、このうち約100m区間を開削工法、約380mを複線シールド工法(φ10,720)によって施工するものである。このシールド区間は地質条件も悪く、また民地の下を通るため、家屋に有害な影響を与えぬ様、その施工にあたっては万全の配慮を必要とする。ここではシールド掘削の補助工法として基本的圧気工法に併用して採用したパイロット・トンネル内からの地下水位低工法についてその計画と実績について記述する。

2. 地質の状態 (図-5.参照)

当工区は一般に中硬層が薄く、洪積層上面がA.P.±0m付近にあり、特にシールド掘削に関係ある部分は砂及び粘土層よりなっている。シールド掘削の位置は発進側が土盛り17mで洪積粘性土が切羽下部に2/3、洪積砂質土が上部に1/3程度であり、到達側は20%の勾配のため、全断面がほぼ洪積砂質土となる。

3. 補助工法の検討

(1). 基本的圧気工法

帯水砂層内でのシールド工事において圧気工法は切羽面を安定させる有効な工法であるが、地盤の土質構成や帯水条件によっては圧気効果が期待できない場合もある。当工区内の2ヶ所における透気試験結果では圧気圧1.2kg/cm²まではエアーの噴発現象は生じなかったが、試験規模が小さかったため、全面的にこの結果を信頼するには多少危険性がある。一般に大断面での理論圧気圧は図-1.に示すように2/3φの位置の地下水位に合

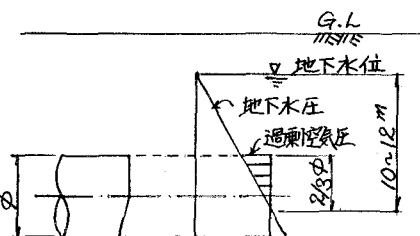


図-1. 理論圧気圧

わせるが、この場合、圧気圧1.2kg/cm²となる。切羽での湧水は過剰間隙水圧の最も大きいシールド下端付近が危険であり、この位置でのボーリングは地表面沈下を少なくするためには極力避けねばならない。一方、シールド下部の湧水に注目して圧気圧を決定すると、上部では過剰圧気となり、長時間高い圧気をかけると砂は乾燥状態となり、特にこのような透水性係数($U_c = 3 \sim 7$)の小さい細砂層では次々と崩壊し、掘削に支障をきたすとともに地表面沈下及びエアーの噴発を誘発する恐れがある。当工区において圧気工法のみでは危険と判断される要素をまとめると次のようになる。

a. 高い圧気圧を用いて12mの地下水頭を完全に排除することはエアーの噴発の危険性があること。また圧気対象砂層は酸欠空気(16~18%)が測定されており、長時間高圧気をかけることは酸欠対策上からも好ましくない。

b. シールド掘削全延長にわたって断面下部に不透水層があり、この層と上部の砂層との層境界面から大量の脈状湧水がある。また層境界面の細砂は特に透水性係数も小さくボーリングを起し易いため、この湧水を何らかの方法で排除する必要があるがこれを空気圧で阻止することは困難である。

(2). 切羽の安定について

切羽における流動現象の概略値をつかむため下記条件により計算した。圧気圧を 1.0 kg/cm^2 とすると図-2.のように切羽下端で 0.2 kg/cm^2 の残留水圧がある。HALALD・WANGER氏は坑内圧気による土中の空気流域の幅を $2D_i \sim 3.5D_i$ と想定した。これによると動水勾配 l は次のようになる。

$$l = (H - h) / (D_i \sim 3D_i) = 1.43 \sim 0.476,$$

流れがダルシーの法則に従うものとし、平均透水係数 $k = 4.52 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ を用いると、流速 v は次のようになる。

$$v = kl = 0.065 \sim 0.002 \text{ cm/s},$$

この値は表-1.の値よりもかなり小さいが、この場合、シールド推進に伴って切羽は乱れており、実際の限界流速はもっと小さいものと考えられる。また場圧力から考えてみると土粒子が浮上する限界動水勾配は次のようになる。

$$l = (G_s - 1) / (1 + e) = 0.876, \quad G_s: \text{土粒子の比重 } 2.7, \quad e: \text{間隙比 } 0.94,$$

この値から判断すると不安定な状態にあるといえる。

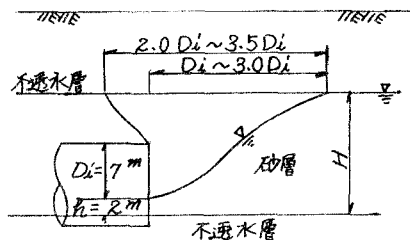


図-2. 土中の空気流域と地下水領域

粒径 (mm)	水流で動くとき の水の流速 (cm/s)	粒径 (mm)	水流で動くとき の水の流速 (cm/s)
5.0	22.06	0.1	3.05
3.0	17.13	0.08	2.79
1.0	9.86	0.05	2.18
0.8	8.85	0.03	1.73
0.5	7.02	0.01	0.98
0.3	4.88		

表-1. 粒径と流速 (土質工学ハンドブック P.322)

4. 地下水位低下工法の選択

前記検討事項を総合的に考慮し、当工区では本シールドの切羽における地下水の低下量を5mに決定した。地下水位低下工法の選定にあたっては薬液注入工法、ディープ・ウェル工法及びパイロット・トンネル工法の問題点について比較検討した結果、施工が最も確実であるパイロット・トンネル工法を採用することにした。尚、パイロット・トンネル工法は次のような特長をもっている。

- 複雑な地質並びに透水層の状態をさらに正確に調査できる。
- 地下水の排水効果が大きい。
- 場合によってはパイロット・トンネルから薬液注入して地盤補強することも可能である。
- 本シールド掘進時の測量が容易である。
- 本シールド掘進時、パイロット・トンネルのビーム作用により山留としても有効である。

5. パイロット・トンネルによる地下水位低下工法

(1). 排水計画

排水はトンネル上部からの重力排水としたが、到達立坑から148.8m間はパイロットトンネル下面がシルト層より約2m上に位置するため、ウェル・ポイントによる強制排水方式を採用した。尚、パイロット・トンネルの位置については、経済性等を考慮して本トンネル内に配置した。排水計画を行なう場合に必要事項は、a. 排水量の想定、b. 排水所要時間と範囲、c. 土砂流出を防止する限界流速の設定、などである。今、定常時の排水量は不透水層上の暗渠の式 $Q = K/R \cdot (H - h)$ を用いると、トンネル1mあたり 2.9 l/min となる。定常状態(図-3.)に至るまでの時間及び排水量はタイズ(THESIS)の非平衡式 $S = Q/4\pi R H \cdot W(u)$, $u = r^2 \lambda / 4 R H t$ を用いると、重力排水区間では1mあたり 14 l/min , 所要日数270日、ウェル・ポイント排水区間では1mあたり 24 l/min , 所要日数150日、となった。尚、計画にあたっては次の値を用いた。

土の透水係数 $k = 6.0 \times 10^{-3} \text{ m/min}$,

地下水頭 $H = 12 \text{ m}$,

残留水頭 $h = 1 \text{ m}$,

影響半径 $R = 300 \text{ m}$,

貯留係数 $\lambda = 0.1$,

(2). 排水管設置工

水抜きパイプは、排水能力ができるだけ大きく、長時間排水しても目詰りが少ない構造とする。当工区ではφ60mm塩ビ管にフィルター材としてクレモナ・スロットフィルターを2重巻きにしたものを使用した。また、排水パイプは80ℓ/minの能力のものを3リング(1.8m)に1本の間隔で設置した。施工は図-4に示す外管回収ボーリング工法で行なった。

(3). 排水方法

排水パイプ、ウェル・ポイント設置完了後、全区間について排水する。本シールド発進までに約11ヶ月の期間があり、重力排水区間に230mについては定常流量になってから発進するようになる。定常時において本シールド掘削断面内には3~5mの残留水頭が残るため、本シールド掘進時には約0.5kg/cm²程度の圧気圧が必要である。坑内を圧気することにより、パイロット坑内にも圧気が作用

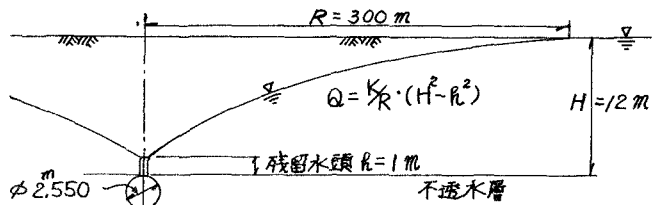
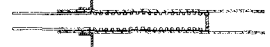


図-3. 定常状態の地下水位曲線

(1). 外管の挿入と掘削



(2). 内管(フィルター管)の挿入



(3). 外管の引抜



(4). 地下水排水

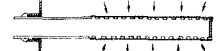


図-4. 排水管設置施工図

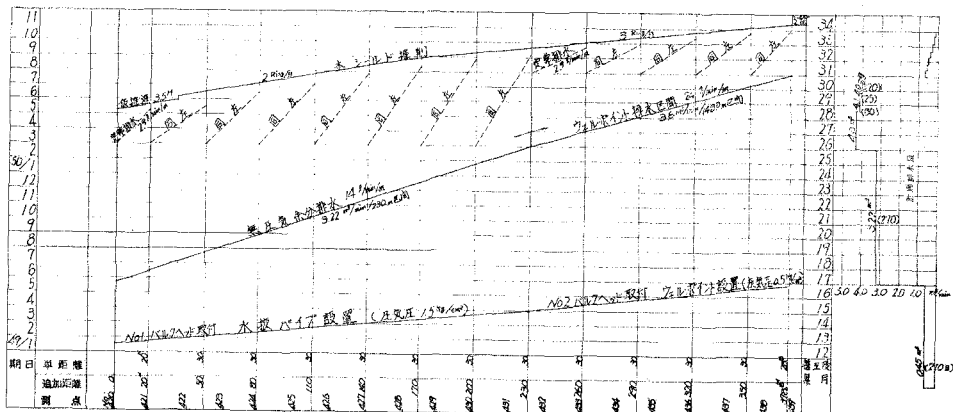
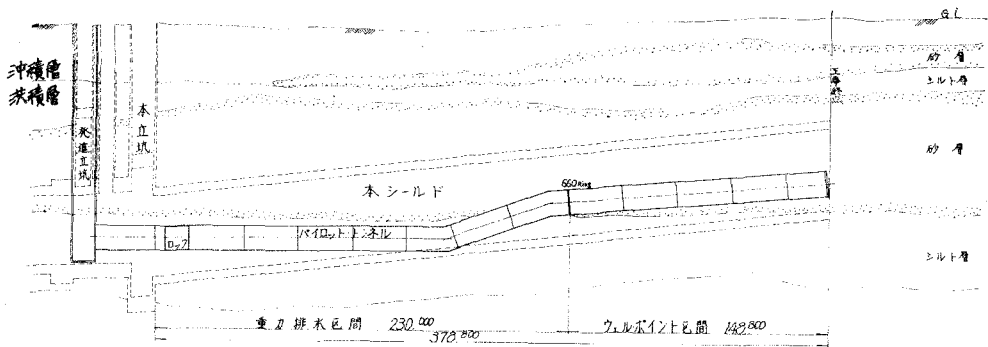


図-5. 排水計画図・地質縦断面図

するため、地下水の排水が不可能になる。
 従ってパイロット坑内の加圧区間は漏気の点から許容される範囲内で短くする必要がある。当工区ではパイロット・トンネル坑内の圧気用遮断壁を本シールドの切羽より約30mの距離に設け、進行に従い隔壁を盛設・施工することにした。圧気遮断用隔壁は二基製作し、交互に使用する。また、従来問題とされてきた不透水層境面の脈状湧水については図-6.に示すようにパイロット坑内圧気区間の水抜きパイプを隔壁外に配管する強制圧気排除方式をとることにより除去することができた。

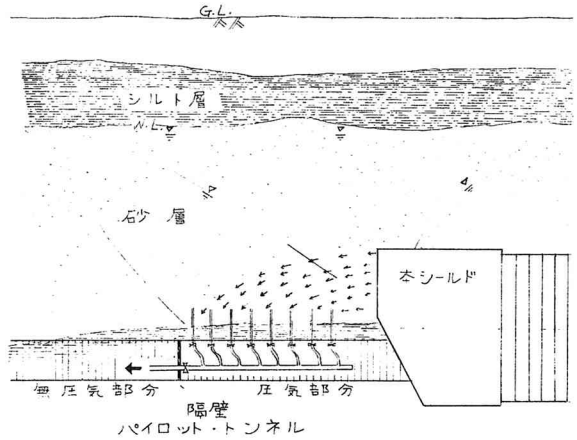


図-6. 強制圧気排除図

6. パイロット・トンネルによる排水実績と考察
 トンネル直上部の地下水位の経日変化実測値と、定常時における観測孔での測定水位とを結んで求めた水位低下曲線を図-7に示す。また図-8に排水開始後の実績を排水計画図に合わせて記入した。以上の図から判断すると水位低下量は計画よりも2~5m多く、総排水量も計画よりかなり小さい値を示した。この差異の原因については次の事柄が考えられる。
 a. 透水係数等の調査試験結果と実地盤の違い及び影響半径等の仮定の違い、
 b. 地下水流が井戸等により遮断されている、
 c. 薬液注入（建物防護）による地盤改良を行ったが、それによる地盤特性の変化、
 d. 当工区両側で施工している開削工区における地下水排水による水量の減少。

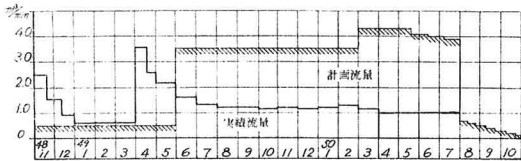
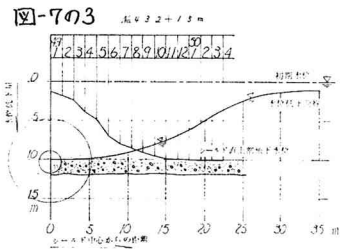
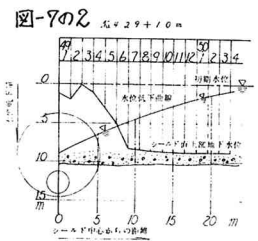
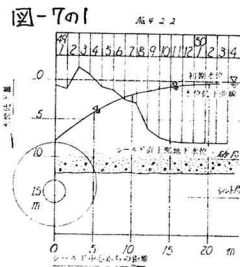


図-8. 排水実績

7. あとがき

本シールド掘削時の坑内圧気は0.5kg/cm²程度で切羽からの湧水もなく、地山も適度の湿潤状態を保ち、安定した良い地盤であった。また掘削開始直後、層境面からの脈状湧水があったがこれについても前に述べた様な強制圧気排除方式をとることによりほとんど止まり、掘削も順調に行った。地表面地下についても最大で5mm程度と大断面シールド掘削としては大変良好な結果が得られた。

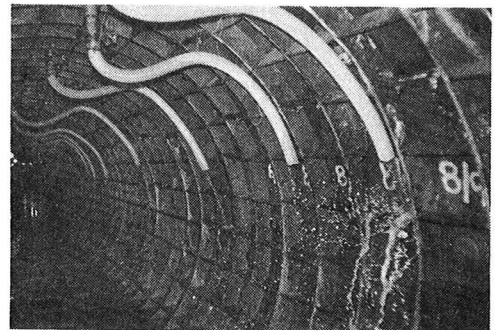


写真-1. パイロット・トンネル排水状況