

III-473

沖積軟弱地盤での泥水式シールド掘進による地盤変状について

帝都高速度交通営団 正員 中村信義
正員 入江健二

1. はじめに シールド掘進によって生ずる地盤変状は、その地盤の性質によって大きく異なる。筆者らは、これまで硬い洪積地盤を対象として、泥水式シールド施工による地盤変状の計測結果及びその予測解析手法について報告してきた。今回、東京江東地区の極めて軟弱な沖積地盤において、泥水式シールドによる大断面複線トンネル（ $\phi 10.0\text{m}$ ）の施工を行った際、地盤変状測定を実施したが、洪積地盤とは異なった性状を示した。以下、本文では現地での計測結果及びそれに対する考察について報告する。

2. 地質及び地盤変状測定内容 現地の地質は、上部のゆるい砂層に続いて極めて軟かい沖積粘性土が深くまで層をなしており、東京江東地区の埋立地特有のものである。上部砂層は多量の貝殻片と腐植物を含むN値10程度のゆるい細砂からなっている。下部はN値 0~2、 $C=0.2\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度のシルト分を多く含む極めて軟弱な粘性土である。

計測機器は、図-1に示す位置に設置し、地表面変位、地中垂直変位、地中水平変位及び間隙水圧について計測を行った。また、測定は、シールド通過60m手前から通過後100mまでを連続的に行い、その後は変位進行状況確認のため、約4ヶ月に亘って測定した。なお、当シールドで採用した泥水圧はシールド中心において、静止土圧+水圧+ $0.2\text{kg}/\text{cm}^2$ の $2.4\text{kg}/\text{cm}^2$ である。

3. 測定結果

(1) 地表面変位の経時変化 地表面における沈下状況の経時変化を硬質地盤（九段上シールド）で計測したものと併せて図-2に示す。軟弱地盤では、シールドが近接するに従い硬質地盤では殆んど認められなかった地盤の隆起現象がかなり顕著に表れ、切羽到達直前でピーク（4~5mm）となる。以後は硬質地盤と同様、沈下の傾向となるが、軟弱地盤では、裏込め注入及び二次注入により地盤が若干隆起することが明瞭に表われている。また硬質地盤ではシールドのテールが通過して間もなく沈下が終息しているが、軟弱地盤ではその後かなり長期に亘って沈下が進行しており、沈下量の絶対値には大きな差がある。

(2) 地中変位 地中変位の最終計測時における状況を図-3に示す。変位形状は、硬質地盤と同様、垂直変位はシールド直上部で最大となり、シールドから離れるに従い小さくなっている。また、シールド中心上の層別沈下をみると、硬質地盤ではシールドクラウン部で大きく、地表に近づくとき小さくなるのに対し軟弱地盤ではシールドクラウン部より地表まで等量の沈下を示している。水平変位は、シールド側部で外へ押し出す方向で最大となっている。ただし、変位量の絶対値は地表面変位同様大きな差があり垂直変位はシールド直上部で硬質地盤が約5mmに対し33mm、水平変位はシールド側部で硬質地盤が約2mmに対し26mmとなっている。

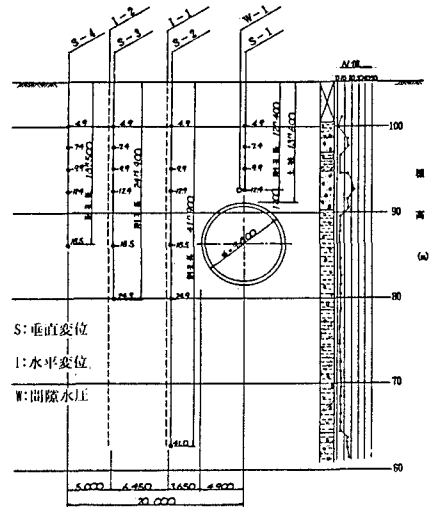


図-1 地質及び計測機器設置位置図

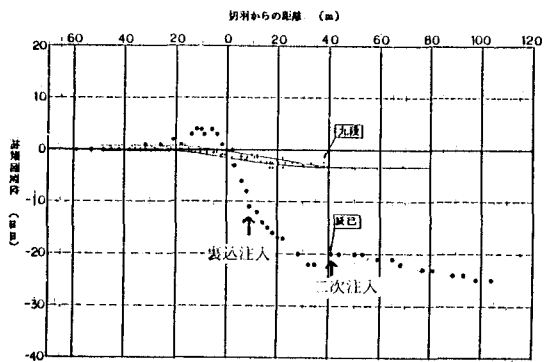


図-2 トンネル直上部における地表面変位の比較図

(3)間隙水圧 間隙水圧は、シールド切羽位置が測定位に到達する直前より、泥水圧の影響を受けて上昇し、通過後当初の水圧に回復する。間隙水圧の変化は、測定地点より前後20m間で顕著に変化している。また、シールド掘進時と停止時に明らかに差があり、軟弱地盤では停止時においても初期の間隙水圧よりも50%程度高く、硬質地盤での結果と大きく異なっているが、これは地盤の透水性が強く影響していると考えられる。

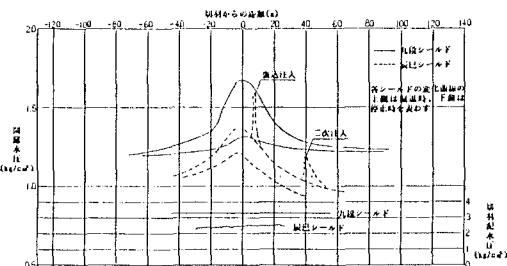


図-3 間隙水圧変化の比較図

4. 地盤変状要因の分析 沖積軟弱地盤における地表面変位の経時変化に着目すると、図-5の如く3ステージに分類され、その要因は次のように分析される。

- ①切羽前方において泥水圧及びシールド機推力の影響により隆起が生ずる。これは、泥水圧が 2.4 kg/cm^2 と高く切羽前方において泥水圧と面板圧で地盤を押し込み、ブラインドシールドの如き挙動を示すものと考えられる。
- ②切羽通過よりテールボイドの注入完了まで沈下が生ずる。裏込め注入は、セグメントがテールを出てから直ちにセグメント注入孔から行う即時注入方式であり、裏込め材は可塑状固結系の材料を使用している。この沈下の要因はシールドマシン部とテール部に分けられる。シールドマシン部はオーバーカットされた空隙及び乱された周辺の土がマシンに密着する方向に動き、沈下を起こす要因となる。また、テール部は即時注入を行っているが、一時空隙が生じた、裏込め材の硬化まで土の呼び込みが生じこのため沈下が生ずるものと考えられる。
- ③シールド機通過後は、セグメントリング及び固化した裏込め注入により地盤は支持される。従って、硬質地盤では②の時点においてほぼ沈下は終息するが、軟弱地盤では地盤の隆起及び沈下、さらに二次注入に起因する地盤の乱れにより、かなり長期間にわたり圧密沈下が生ずる。

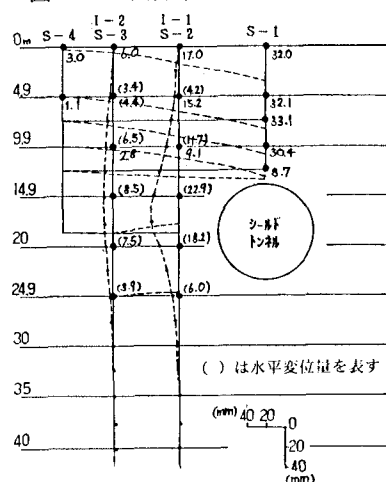


図-4 地表面及び地中の変位（最終計測時）

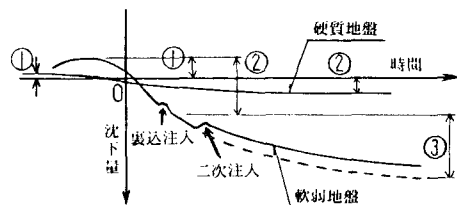


図-5 地表面沈下の経時変化比較図（トンネル直上部）

5. おわりに 沖積軟弱地盤での泥水シールド掘進による地盤変状は、洪積地盤と比較して、地盤変位の量及び経時変化に大きな差異があることが認められた。軟弱地盤では、地盤変位が継続して長期間にわたって発生しており、ある一時点での状況を解析することによって全体を説明することは出来ない。また、解析を行うにあたっては、シールド機の推力、泥水のテールへの回り込み状況、テールボイド発生から裏込め注入までのボイドの応力状態の経時変化等を的確に把握する必要がある。

従って、地盤変状計測の他に施工時におけるシールド各部の計測を行って沈下発生のメカニズムをつかみ、それに対して適切なモデル化を行って解析することが必要であり、筆者らは次期工事においてさらに計測実績を増やし、軟弱地盤での予測手法を確立していく予定である。

（参考文献）

- 1) 中村、小野：大断面泥水加圧シールド工法によるトンネル周辺地盤の挙動について：土木学会 第41回年次学術講演会概要集