

早稲田大学理工学部 正員 林 麟  
 大学院 学生員 ○ 赤木 寛一

1. まえがき

軟弱粘性土地盤でシールド工を行なった場合の地盤の沈下状況について個別沈下計により、深度別に測定した結果によると、一般的な形状とは異なり、トンネル中心線上の沈下は、深さ方向にはほとんど変化せず、ほぼ一様に生じており、またトンネル中心線よりやや離れた地点における沈下は、地表付近で最大となり、深さ方向に明らかに減少する傾向をもつものがある。これは、応力解放にもとづく即時的な弾塑性沈下が地表に近いほど大きくなる沈下状況とは、基本的な相異がみとめられる。このようになる要因については、まだ妥当と考えられる見解は示されていない。今回、このような沈下の発生状況が、土が応力解放された際に、せん断変形による乱れが生じるために、地山の平均主応力が増加したとしても、圧密沈下が発生する現象も考慮して、シールドの場合について、著者が発表報告した沈下状況に類似していることとわかった。ここでは、現場の沈下状況と上述の現象も考慮した解析結果と比較検討し、その要因を調査した。

2. 現場実測例

図1に都営地下鉄10号線菊川第一工区<sup>(2)</sup>、図2に、東横線交通局地下鉄6号線西神田工区<sup>(3)</sup>における最終沈下量測定結果を示す。図1に示した沈下の発生状況は、トンネル中心線上では深さ方向に変化せず、ほぼ一様に沈下が生じており、また、トンネル中心線より、5~6m離れた地点での沈下は、地表付近で最大となり、深さ方向に明らかに減少している。トンネル横断方向の沈下面積も、地表直下4.0m以下では、深さ方向に減少している。図2に示した沈下の発生状況は、トンネル中心線上では深さ方向に増加しているが、トンネル中心線より、4m離れた地点での沈下は、深さ方向に減少している。このように、トンネル中心線上での沈下が深さ方向にやや増加している原因としては、応力解放にもとづく弾塑性沈下量が大まな割合と占めている<sup>(1)</sup>と考えられる。ただし、トンネル横断方向の沈下面積とみると、地表に近いほど増加している。一般的な状況とは異なることとわかれる。

3. 応力解放にもとづく、せん断変形で生じた乱れによる

軟弱粘性土地盤の圧密沈下

(1) せん断変形で生じた乱れによる粘土の圧密現象

著者は、さらに、正規圧密粘土がせん断変形による乱れが生じた際に、せん断変形をうける前と同じ平均主応力の下で生じる圧密率 $E_v$ とすべり率 $\mu$ を用いて、次のように表わした。<sup>(4)</sup>

$$E_v = \frac{F_1(\epsilon_a)}{F_2(\epsilon_a)} \times \nu_0 \times M \nu_0 \quad (1)$$

$$\text{ここに、} F_1(\epsilon_a) = \frac{E_a}{a + \epsilon_a} \quad (a = 10.0 \times \frac{I_p^{0.1}}{\sqrt{S_a}}) \quad , \quad F_2(\epsilon_a) = \frac{E_a}{1.82 + 1.79 \epsilon_a} + 1$$

(2) 応力解放にもとづくせん断変形で生じた乱れによる軟弱粘性土地盤の圧密沈下

このような軟弱粘性土地盤の圧密沈下の一例として、式(1)に含まれるパラメータとして表1に示したような値をもつ軟弱粘性土地盤と想定し、ここにトンネルと掘削した場合の応力解放にもとづく地山変形とセメントリングを考慮して有限要素法解析した結果、周辺地盤に発生すると考えられるせん断 $\nu$ の分布と図3に示すようなものを得た。

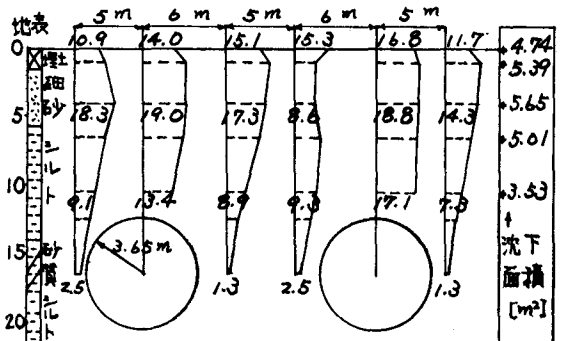


図1. 都営地下鉄10号線菊川第一工区最終沈下量測定結果(単位: cm)

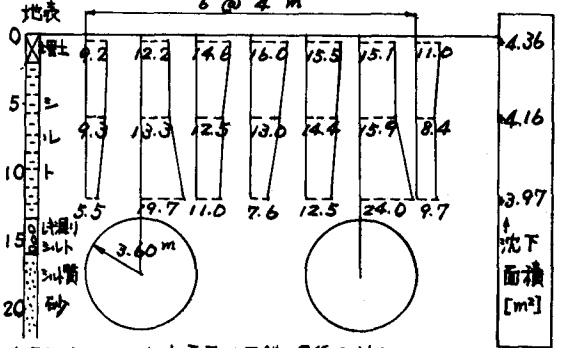


図2. 都営地下鉄6号線西神田工区最終沈下量測定結果(単位: cm)

このようにして得た、せん断ひずみ $\gamma_0$ の分布を表わす図を図3、せん断ひずみ

$\gamma_0$ の2.0%の等価の領域と対象として、式(1)を適用し、トンネル中心線及びトンネル中心線から4m離れた地点における、応力解放にもつゝせん断変形が生じた乱れによる圧密沈下の発生状況を図4に示す。(評価方法については文献(1)参照)

また、この圧密沈下に、有限要素法を用いて求めた即時的な弾塑性沈下を加え合せた総合的な沈下の発生状況を図5に示す。

図4からわかるように、せん断変形が生じた乱れによる圧密現象と考慮した地盤の圧密沈下の発生状況は、トンネル中心線上、及びトンネル中心線から4m離れた地点のいずれにおいても、地表付近で最大となつて、深さ方向に明らかに減少する傾向をもっている。

図5の総合的な沈下の発生状況は、地表面に近いほど沈下が小さくなる弾塑性沈下が圧密沈下に加わるために、トンネル中心線上、トンネル中心線から4m離れた地点のいずれにおいても、深さ方向に変化せず、ほぼ一様に沈下が生じている。

### (3) 現場での沈下の発生状況との比較

図1、図2に示した現場での沈下の発生状況と、図4、図5に示した応力解放にもつゝせん断変形が生じた乱れによる圧密沈下及び、これに応力解放による弾塑性沈下を加えた総合的な沈下の発生状況と比較することによつて、次のようすことがわかる。

① 現場での沈下の発生状況は、その沈下の形状という点でみれば、応力解放にもつゝせん断変形が生じた乱れによる圧密沈下と考慮することによつて、かなり説明できると思われる。

② 図1で、トンネル中心線より、5~6m離れた地点での沈下が、地表付近で最大となつて、深さ方向に明らかに減少しているのは、この付近では、応力解放にもつゝ弾塑性沈下も、せん断変形が生じた乱れによる圧密沈下の方が、大きな割合と占めているためと考えられる。

③ 図2で、トンネル中心線上の沈下が、深さ方向に増加しているのは、前に述べたように、応力解放による弾塑性沈下が、大きなウェイトを占めているためと考えられる。

④ 現場での最終沈下量は、解析で求めた値とくらべて、かなり大きい。この原因としては、地盤条件の違い、また、仮設シールドの現場であることが、まず考えられるが、その他にも、トンネル掘削時の余振、あるいは、掘削に伴う地下水水位の低下による圧密沈下等が考えられる。

### 4 まとめ

ここでは、シールド工事現場での深度別の沈下の発生状況とトンネル掘削時の応力解放にもつゝせん断変形が生じた乱れによる圧密沈下も考慮に入れた沈下解析例と比較することによつて、その沈下の形状という点からみて、このようなせん断変形が生じた乱れによる圧密沈下と、その要因のひとつとして考えられること示した。したがつて、軟弱粘性土地盤のシールド工事において発生する沈下量としてトンネル掘削時の応力解放にもつゝせん断変形が生じた乱れによる圧密沈下の付加も考慮する必要がある。

### <参考文献>

- (1) 森、赤木、小野「シールドトンネル掘削の際の応力解放に伴う圧密沈下の解析」第4回土質学会年次学術講演会、1979
- (2) 三好、三平「開放型、ブライド型にお軟弱地盤のシールド工事」、施工技術、1974、9
- (3) 奥深馬渡「シールドトンネル掘削に伴う地盤沈下について」、掘削研究年報、1972
- (4) 森、赤木「せん断変形が生じた乱れによる正規圧密粘土の圧密現象」、第15回土質工学研究発表会、1980

表1 粘土の諸性質

| 初期圧密有効応力<br>$\sigma_0'$ [kgf/cm <sup>2</sup> ] | 体積圧縮係数<br>$m_v$ [cm <sup>3</sup> /kgf] | 塑性指数<br>$I_p$ [%] | 鋭敏比<br>$S_t$ | パラメータ<br>$a$ |
|--|--|-------------------|--------------|--------------|
| 0.80   | 0.0740                                 | 30.5              | 20           | 5.19         |

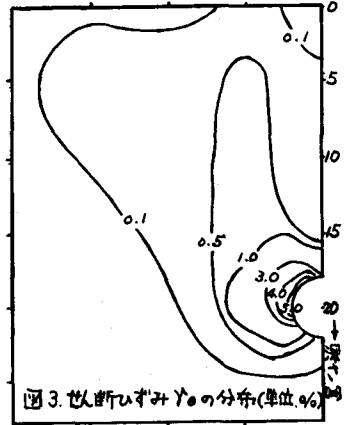


図3 せん断ひずみ $\gamma_0$ の分布(単位%)

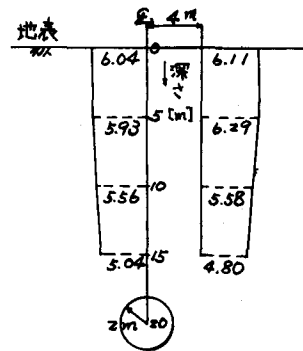


図4 せん断変形が生じた乱れによる圧密沈下の発生状況(単位cm)

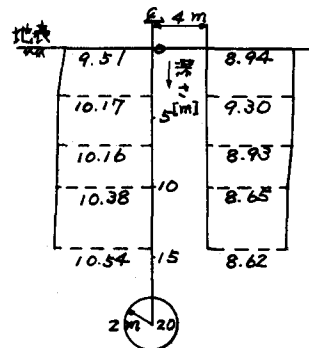


図5 弾塑性沈下と圧密沈下を加えた総合的な沈下の発生状況(単位cm)