

大断面シールド機の姿勢と地盤変状

GROUND BEHAVIOR AND POSE OF LARGE SLURRY SHIELD MACHINE

松下征雄*・萩原兼秀*・橋本 正**・今西 肇**

Yukuo MATUSHITA, Kanehide HAGIWARA, Tadashi HASHIMOTO, Hajime IMANISHI

To avoid excessive settlements caused by shield tunnelling, a systematic instrumentation is planned to monitor ground behavior during the excavation by slurry shield and to analyze the influence of construction factors on the ground movements. It is found that the ground settlements are as follows, (1) Settlement before cutting face pass through, (2) Settlement when the shield machine passing through, (3) Settlement after the tail passed away.

This paper presents settlement when the shield machine passing through is found to be related to the pose of the shield machine.

Keyword: settlement, slurry shield tunnelling, decomposed granite, pose of the shield machine, in-situ measurement

1. まえがき

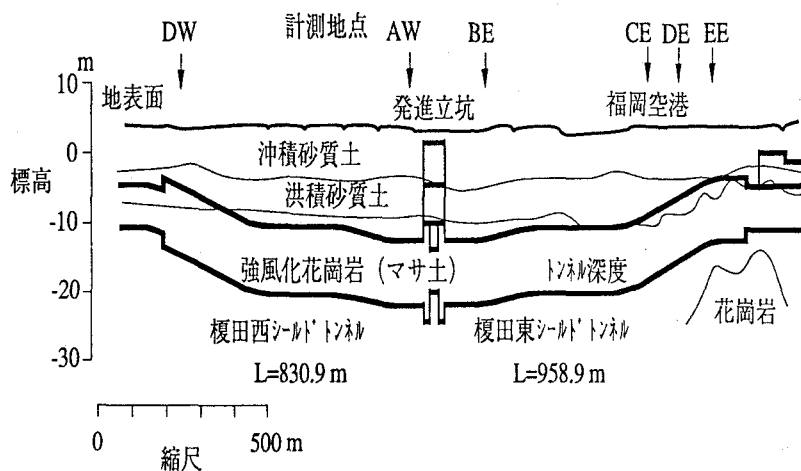
福岡市高速鉄道1号線延伸工事のうち約半分の距離(1789.8m)については、2種類の大断面泥水シールドマシンによりマサ土地盤を掘削した。この区間にはトンネル直上部に地中埋設物や大型倉庫および空港エプロン部が存在し、土被りも8~16mと小さいためシールド掘進に伴う地盤沈下抑止に十分な注意を払う必要があった。

そこで現場計測工法を用いて、泥水圧・シールド機の姿勢・裏込め注入圧などのシールドマシンに関する計測とともに、地盤沈下など地盤挙動の計測を行ない、地盤変形に及ぼすシールド施工要因を分析した。その結果、先行沈下およびテール通過後の沈下については、切羽泥水圧・裏込め注入圧等の管理により制御できることが報告できたが(文献1)、シールド機通過中の沈下については地山強度の深度方向のばらつきやジャッキ操作等により、シールド機の姿勢が一定ではなく、十分な制御を行なうことが困難であった。それゆえ、今後のシールド施工に於ける留意事項として、計測位置11ヶ所のデータをもとにシールド機の姿勢と地盤沈下または隆起の関係をまとめておくことが重要と考え、計測データの見直しおよび検討を行なった。

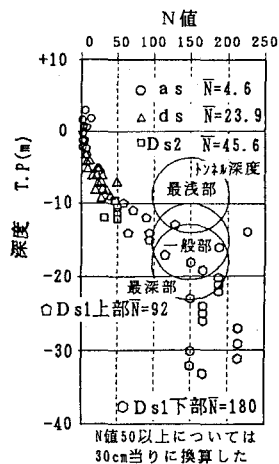
本報告は、この様なシールド機通過時の沈下がそのピッチングに直接関係することを示し、計画勾配を基準としたシールド機中心軸の傾きに密接に関係があることを示し、考察したものである。

* 福岡市交通局

** 正会員 財団法人大阪土質試験所



図一 地質断面図とトンネル深度



図二 N値の深度図

2. トンネル深度と地盤概要

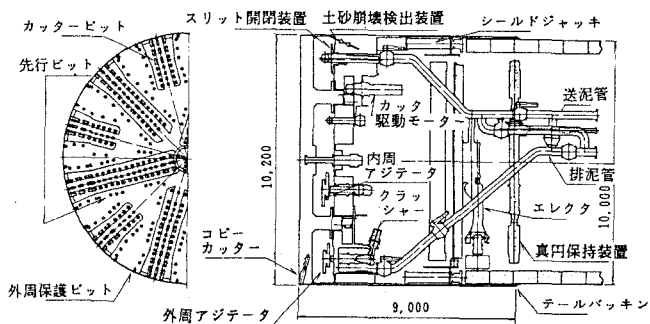
図一はシールド掘進区間の地質縦断面図である。シールド機は主としてマサ土化した強風化花崗岩中を掘進する。マサ土の圧縮強度は3~4kgf/cm²以下であり、地下水位はGL-1~-2mであった。

図二はN値の深度図である。

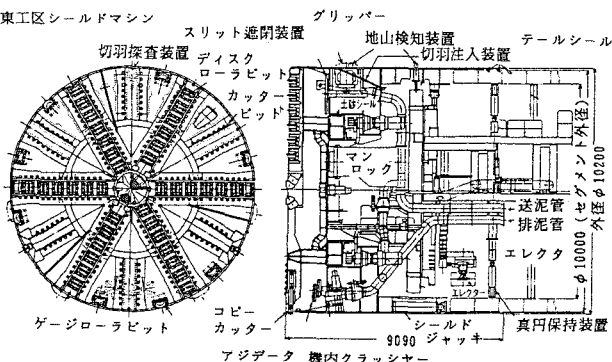
3. シールド機概要

シールド機は外径10.2mの泥水加圧式を用い、発進立坑から榎田西工区および榎田東工区の2方向に発進した。図三にその構造を示す。榎田西シールド機は主としてカッタービットを装着しており、場合に応じてディスクローラーカッタービットの装着が可能になる構造である。これに対し、榎田東シールド機では到達部近くになると弱風化の花崗岩が盛り上がっていることを想定し、当初からディスクローラーカッタービットおよびカッタービットを装着したものである。

(a) 榎田西工区シールドマシン



(b) 榎田東工区シールドマシン



図三 泥水加圧式シールド機構造図

4. シールド機掘進に伴う地盤挙動

図-4はCE断面におけるシールド機の位置と沈下形状を示したものである。これより計測点を切羽が通過する前の先行沈下とテール通過後の後続沈下の他にシールド機通過中の沈下が観測でき、シールド機通過中の沈下が無視できないことがわかる。そこで、全沈下量に対してシールド機通過中の沈下量をプロットしたものが図-5であり、全沈下量に対する通過中の沈下量の割合は約35%に達することがわかる。また、先行沈下量の割合は約15%、後続沈下量の割合は約40%であった。隆起に対してはほとんどがシールド機通過中の隆起によるものであった。従って地盤変位を極力抑制するためにも、シールド機通過中の地盤挙動を把握し、シールド機掘進方法との関係を見いだしておくことが重要であると考えられる。

5. 掘進中のシールド機の姿勢

シールド機は掘進中にシールドジャッキにより様々な姿勢を採る。図-6～図-8はその典型的な例である。

図-6では、計画掘進勾配を54分から30分に変化させた場合の実測されたシールド機の勾配と沈下量である。

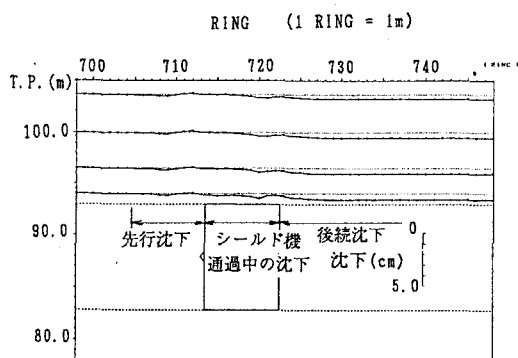


図-4 CE-3断面のシールド機と沈下形状

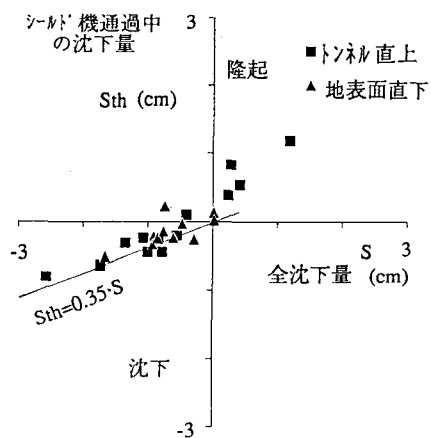


図-5 全沈下量に対するシールド機通過中の沈下量

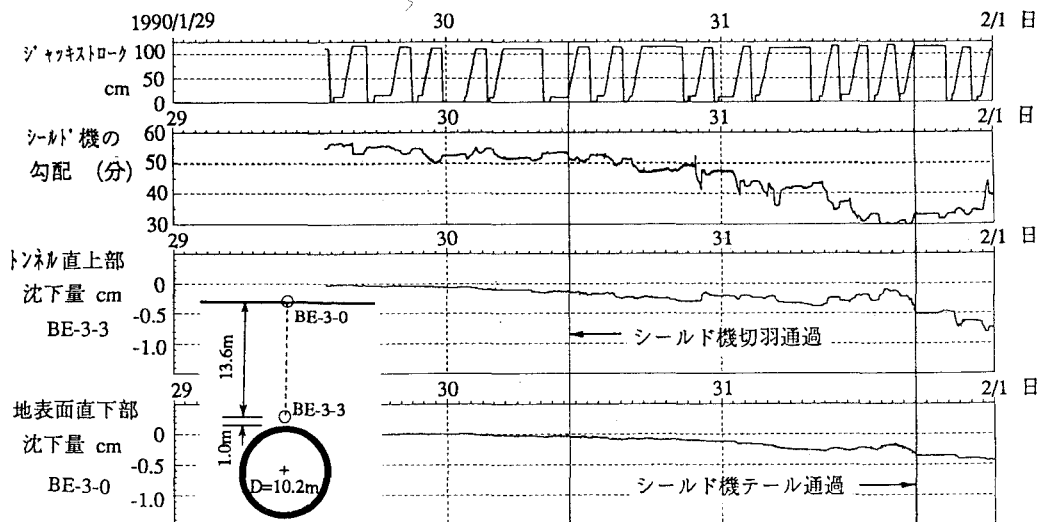


図-6 BE-3断面のシールド機勾配と沈下量

これによると、シールド機勾配を小さくするために、上部ジャッキを利用してシールド機を水平方向に戻そうとしていることがわかる。また、1ストロークの掘進が終了した後、ジャッキを引き込めるとリバウンドで少し元に戻っていることも計測されている。

図-7はシールド機勾配が95分と一定の場合である。シールド機自体はつねにのほり勾配であるが、勾配を変化させる必要がないのでピッチング量は極力小さい。また、図-8では、計画掘進勾配を70分から80分に変化させる場合のものである。この場合には図-6とは逆に、掘進時に下部ジャッキを利用してシールド機勾配を大きくしようとして、ピッチングが生じているのがわかる。

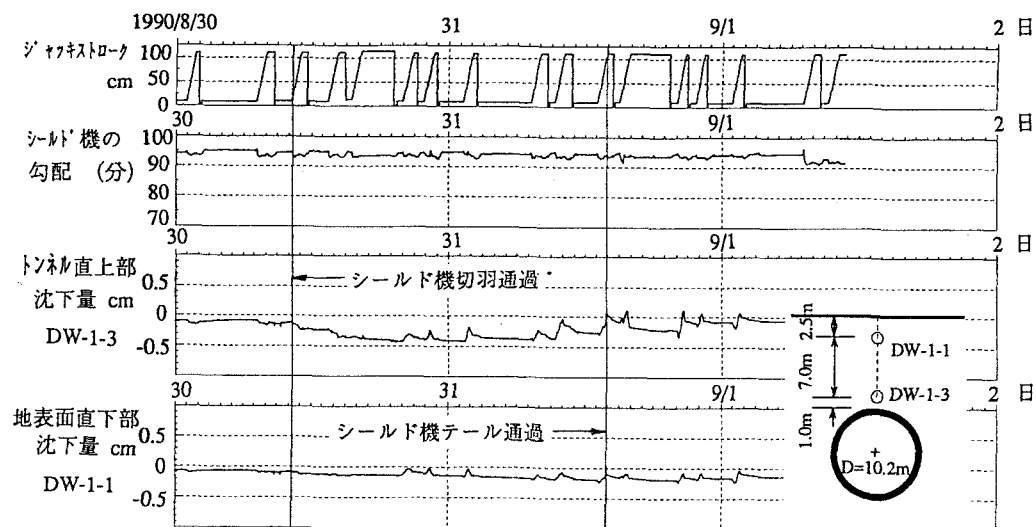


図-7 DW-1断面のシールド機勾配と沈下量

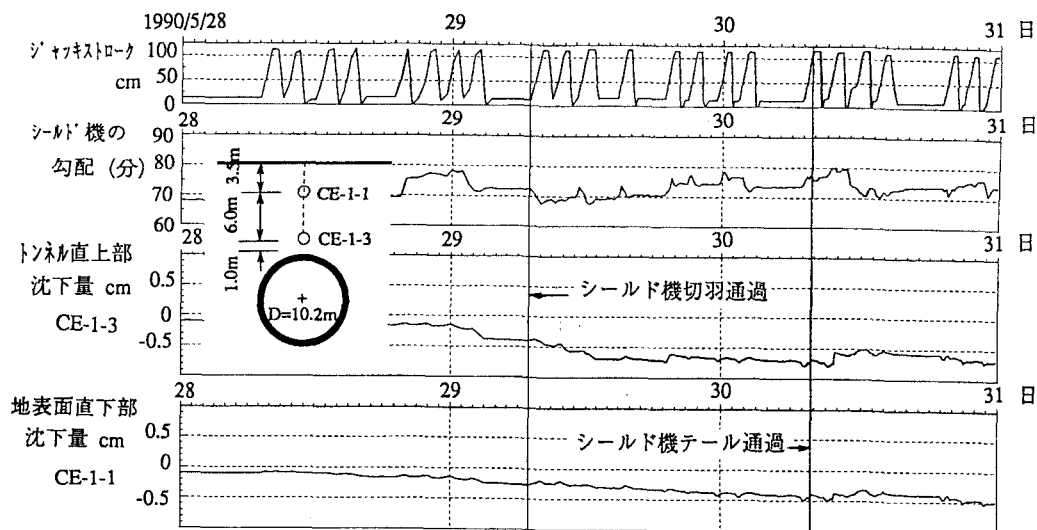


図-8 CE-1断面のシールド機勾配と沈下量

これらのデータから計画掘進勾配とシールド機勾配の関係を模式的に示したものが図-9である。これよりシールド機が徐々に勾配を小さくする場合は、ジャッキによりテール部を持ち上げながら掘進し、徐々に勾配を大きくする場合にはカッターフェイス下部を地山に押しつけて掘進していると考えられる。

6. 掘進に伴う地中変位

図-6～図-8にはまた、シールド機通過中の沈下量の経時変化も示している。シールド機通過中の全ピッチング量を P_i 、シールド機通過中のトンネル直上部での全沈下量を S_{ic} 、地表面直下部での全沈下量を S_{ig} とすると、 P_i と S_{ic} の関係を示したものが、図-10である。 P_i が正となり徐々にシールド機勾配が大きくなる場合は、トンネル直上部では沈下現象を示し、逆に P_i が負でシールド機勾配が小さくなる場合には隆起現象を示すことがわかる。図-11はシールド機通過中のトンネル直上部と地表面直下部の沈下量の関係を示す。地表面直下部沈下量はトンネル直上部沈下量の約65%であった。シールド機通過中1ストローク当たりのピッチング量を ΔP_i 、トンネル直上部での1ストローク当たりの沈下量を ΔS_{ic} 、地表面直下部での1ストローク当たりの沈下量を ΔS_{ig} とすると、 ΔP_i と ΔS_{ic} の関係を示したものが図-12である。 ΔP_i が正になると ΔS_{ic} が沈下現象を示し、逆に負の場合では隆起現象を生じることがわかる。これは図-9の模式図でも示したように前者がジャッキ操作によりシールド機テール部が下方に押しつけられた状況になり、シールド機本体直上に空隙が生じ、これに伴う沈下が発生したと考えられる。また、後者はテール部が上方に押しつけられた状況になり隆起現象が生じたものと考えられる。

図-13は1ストローク当たりのトンネル直上部の沈下量と地表面直下部の沈下量の関係を示したものである。地表面直下部での沈下量はトンネル直上部の約40%であった。

7. まとめ

以上の結果をまとめると次のことが言える。

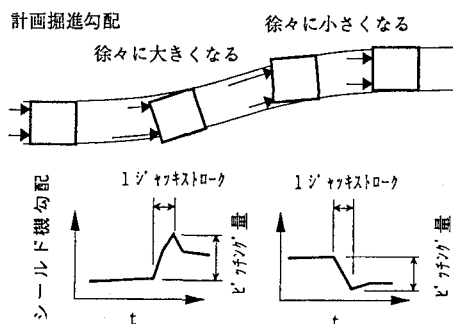


図-9 計画掘進勾配とシールド機勾配

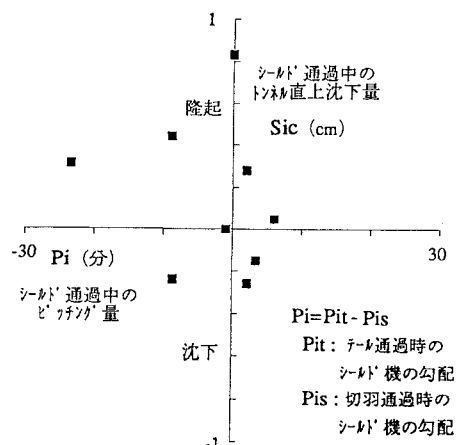


図-10 シールド機通過中のピッチング量とトンネル直上部沈下量

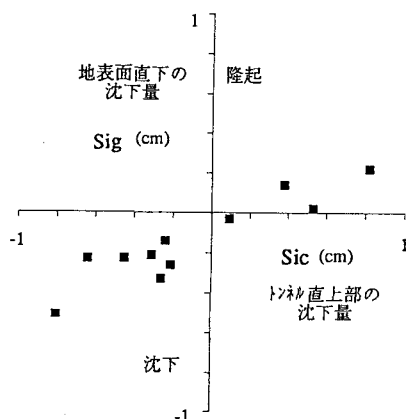


図-11 シールド機通過中のトンネル直上部と地表面直下部の沈下量

(1) シールド機掘進に伴う地盤挙動は、切羽通過前の先行沈下、シールド機通過中の沈下、テール通過後の後続沈下に分けることが出来る。

(2) シールド機通過中の沈下量は全沈下量の35%に達する。

(3) シールド機は常に掘進時にピッチングを生じており、トンネル掘削に於ける勾配の修正はこのピッチングを利用している。

(4) シールド機が昇り勾配でその勾配を徐々に大きくする場合は、ジャッキ操作によりテール部が下がり、シールド機通過中のトンネル直上部は沈下する。

(5) シールド機が昇り勾配でその勾配を徐々に小さくする場合は、ジャッキ操作によりテール部が持ち上がり、シールド機通過中のトンネル直上部は隆起する。

(6) シールド機通過中の地表面直下部の沈下量はトンネル直上部の約65%である。

(7) シールド機通過中1ストロークのピッチング量と沈下量の関係は負の相関関係にあり、シールド機のテール部を下方に押しつけて掘進している場合には沈下を生じ、上方に押しつけて掘進している場合には隆起が生じている。

(8) シールド通過中1ストローク当たりの地表面直下の沈下量は、トンネル直上の約40%であった。

8. あとがき

大断面泥水加圧シールド機2台を用いて約1.8kmを掘進し得られたデータを整理して、シールド機の姿勢と地盤変状の関係をまとめた。

先行沈下と後続沈下については様々な文献等で紹介されているが、シールド機通過中の沈下が以外と全沈下量に対する割合が大きく、特に、大断面シールド機の場合無視できない量であるに違いない。地盤変状を極力防止するという観点から、シールド機の姿勢について示したこの発表が一助になればと考える。

<参考文献>

1) 松下, 山崎, 岡本, 橋本, 今西: 大断面泥水シールド工事におけるマサ土地盤の変状と施工要因, 山留めとシールド工事における土圧, 水圧と地盤の挙動に関するシンポジウム発表論文集, 土質工学会, 1992年5月, pp261-266

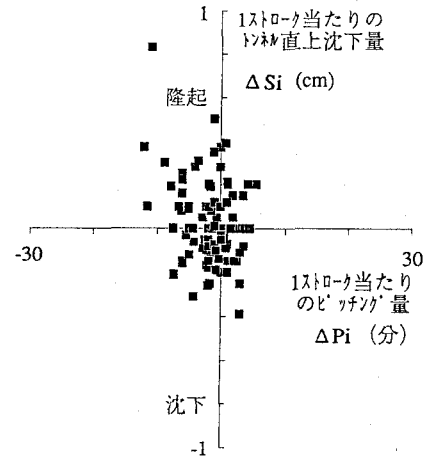


図-12 1ストローク当たりのピッチング量とトンネル直上部沈下量

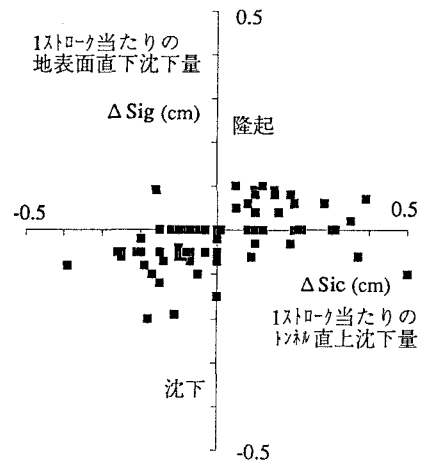


図-13 1ストローク当たりのトンネル直上部と地表面直下部の沈下量