

地下鉄複線断面シールド工事における現場測定結果

齋藤二郎
内藤和章
藤原紀夫

概要

この報告は東京神田において施工された、軟弱な地盤下を通過した地下鉄複線断面シールド工事における現場測定結果に関するものである。セグメントに作用する土圧・間隙水圧、セグメントの応力、二次覆工コンクリートの応力および地表面沈下の測定結果について述べてある。土圧はセグメントがシールドテイル部を出てから約1週間の間に増加しながら落ち着き、その後ほぼ一定値を示すようになる。間隙水圧は坑内圧気圧の変化につれて変化するのが見られ、セグメントの応力は慣用的な計算応力とよく一致し、二次覆工応力は外力とは独立して自重や温度変化によってのみ変化するのが見られた。また、地表面沈下は横断方向でみると、下に凸な正規分布を逆にしたような曲線を示し、左右の広がりは約30mにおよんだ。

1. まえがき

市街地におけるトンネル工法としてのシールド工法の発達はめざましく、最近ではごく一般的な工法にまでなってきている。しかし、まだ解明を必要とする問題点も数多く残されている。著者らはこれらの問題点を解明しようとした試みを、これまでにもいくつか発表してきた。^{1),2)} この報告もその一つであり、今回は軟弱な地盤を通過した地下鉄複線断面シールド工事における現場測定結果に関するものである。

この工事は軟弱な地盤下を複線断面で通過することで当初から難工事が予想され、この測定も施工管理を目的としたものである。

(図-1) にシールドが通過する部分の土質縦断面図を示す。G. L.-15.0mまではN値2前後の軟らかい

シルト層であり、その下G. L.-19.0mまではN値50以上の硬い東京レキ層、その下にはよく締ったN値50以上の砂層が続いている。地下水位は二箇所に見られ地表面下数mの上部シルト砂層とG. L.-12.5mのところである。

この工事に使用されたセグメントは二種類あり、鉄筋コンクリートとダクタイルセグメントである。したがって測定も(図-1)に示すこの二種類のセグメント断面で実施した。

2. セグメントに作用する土圧

土圧の測定は鉄筋コンクリートとダクタイルセグメントの二つの断面で実施したが、ここではダクタイルセグメント断面における結果についてだけ述べる。

土圧計はカールソン型壁面土圧計(CE-4G)を用

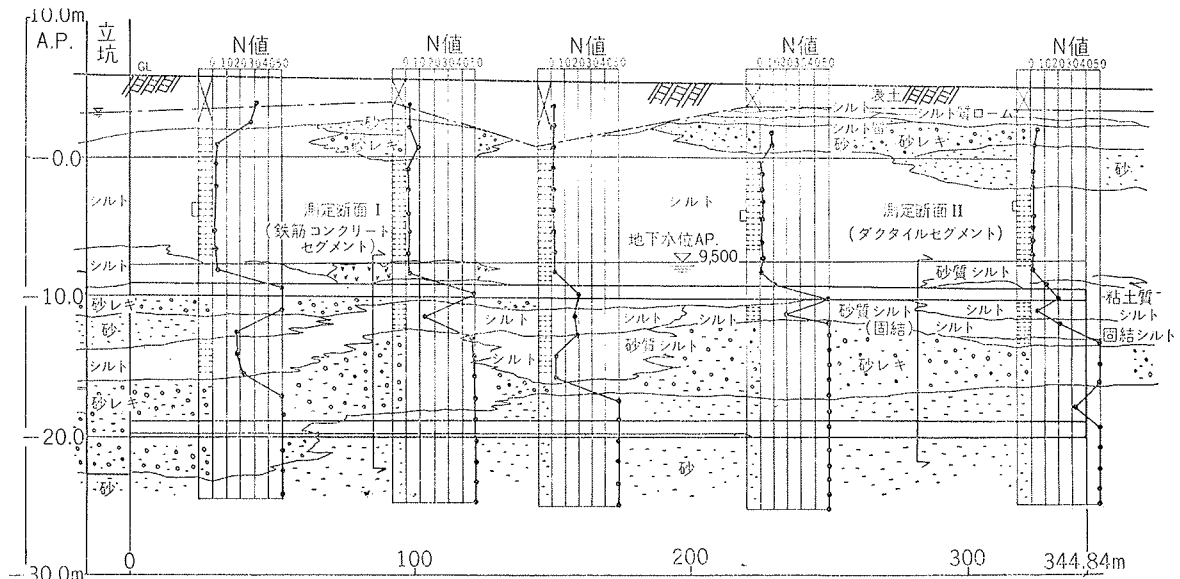


図-1 土質縦断面

い、上半部分に多く、下半部分に少なくして合計6個(E-12~E-17)取付けた。(図-2)に土圧計取付け詳細図を示す。セグメントに切抜いたφ190mmの孔から油圧ジャッキの先端に取付けた土圧計を地山に押しつける。このさい土圧計の受圧面に接する地山が砂レキ層などで平らでない場合には、砂または粘土を詰めて平らにした。

また、押し付けの力は土圧計の指示値にして1.0kg/cm²を標準とした。この1.0kg/cm²という値は予想される土圧の約3分の1の値であり裏込め注入材が受圧面にまわりこまないよう考慮した値である。

(図-3)に土圧の経時変化図を示す。図中には坑内圧気圧の変化も示してある。ここで測定値は土圧とはいっても土圧計の構造上、土圧、水圧、圧気圧、裏込め注入圧等の和となる。測定値は約1週間で増加しながら落ち着き、その後ほぼ一定値を示すようになる。

また圧気圧が減少するとその分だけ土圧が減少しているのが見られる。この傾向は、紙面の関係でここに述べる事が出来ないが鉄筋コンクリートセグメントの場合の方が顕著でありダクタイトセグメントの方が気密性が高いことを示している。また、鉄筋コンクリートセグメントでの測定では坑内に吊しただけの土圧計を取付けておいたが、この土圧計は圧気圧そのままに変化するのが見られ土圧計自身も気密であることを示した。

(図-4)に土圧分布を示す。図中の計算値は慣用的な計算式から求めたものである³⁾。

測定値と計算値はかなりよく一致しているのが見られる。

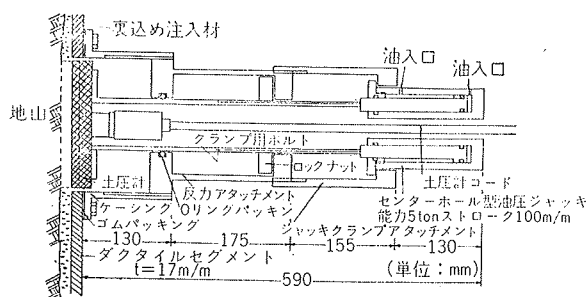


図-2 土圧計取付け詳細図

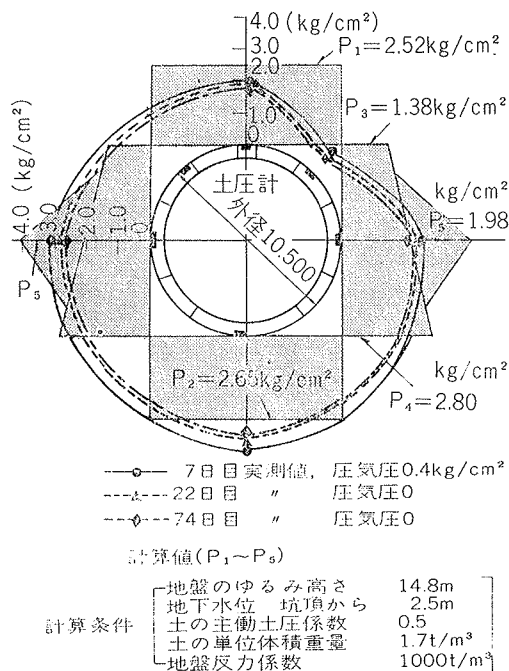


図-4 土圧分布図

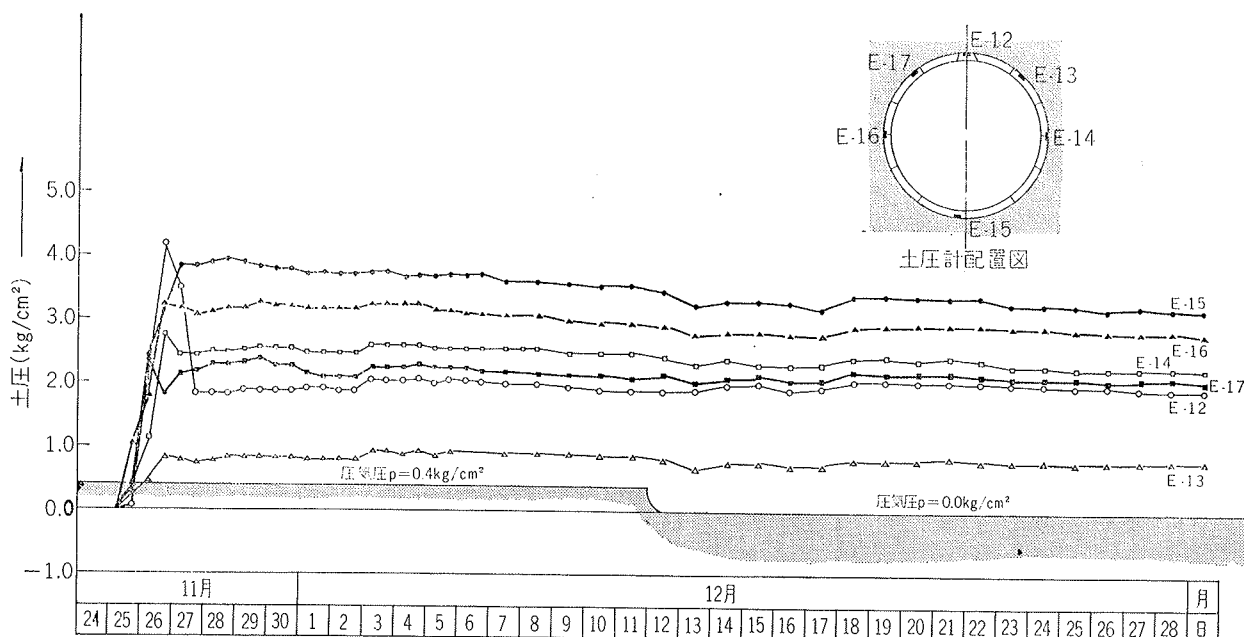


図-3 土圧の経時変化図

3. セグメントに作用する間ゲキ水圧

間ゲキ水圧も鉄筋コンクリートとダクトイルセグメントの二つの断面で測定したが、両者ともほぼ同様な結果を得たのでここでは鉄筋コンクリートセグメントの場合についてだけ述べる。間ゲキ水圧計はカールソン型間ゲキ水圧計(CD-2N)を用い、坑頂、坑底、右側部の3ヶ所に取付けた。(図-5)に計器の取付け詳細図を示す。セグメントに切りぬいたφ100mmの孔から地山にネジの操作で押し出した。

(図-6)に間ゲキ水圧の経時変化図を示す。図中には坑内圧気圧の変化も示してある。ここで、測定値は間ゲキ水圧とはいっても計器の構造上水圧と圧気圧との和となる。測定値は圧気圧につれて変化しており、坑内とセグメント裏との空気の出入りは自由であることを示している。したがって、間ゲキ水圧だけを読み取るには圧気圧の変動分だけ0-lineを上下する必要がある。間ゲキ水圧は全測定期間を通じて変化せずその値はほとんどゼロに等しい。これは坑頂上の地層が粘性土であるため透水性がきわめて悪く、またその下の砂レキ層にも被圧水がなかったためと思われる。

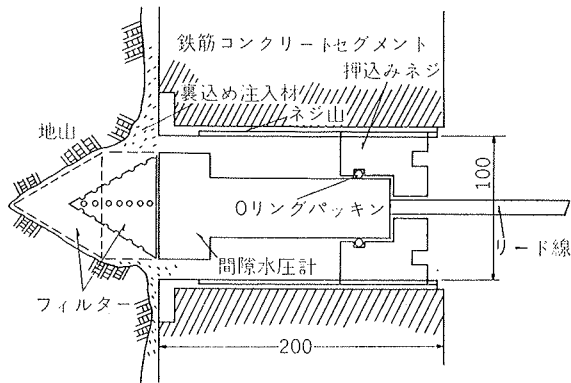


図-5 間ゲキ水圧計取付け詳細図

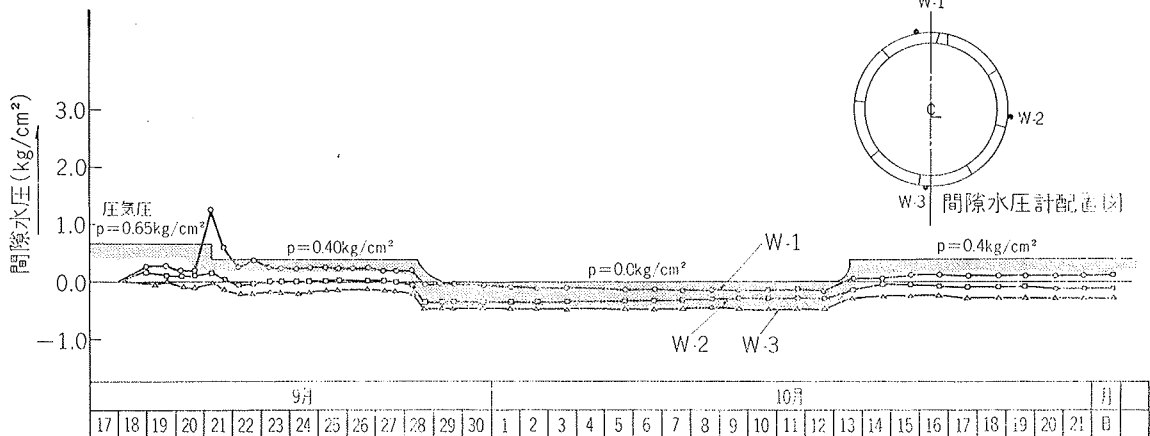


図-6 間ゲキ水圧の経時変化図

4. セグメントの応力

鉄筋コンクリートセグメントの場合には縦リブをさけた10個所の内側と外側の主鉄筋(D-22)にカールソン型鉄筋計(RF-22C)をそれぞれ2個ずつ計40個、ダクトイルセグメントの場合には縦リブをさけた8個所の内縁と外縁にカールソン型ヒズミ計(CS-10F)をそれぞれ1個ずつ計16個取付けた。(図-7)に鉄筋計とヒズミ計の取付け詳細図を示す。

測定値はセグメント組立て直後をゼロとして、その後の変化を読み取っていったが測定開始後約1週間の間に増加しながらある一定値に落ち着きその後ほぼ一定値を示すようになった。(図-8)に鉄筋コンクリートセグメントの応力測定結果を、(図-9)にダクタ

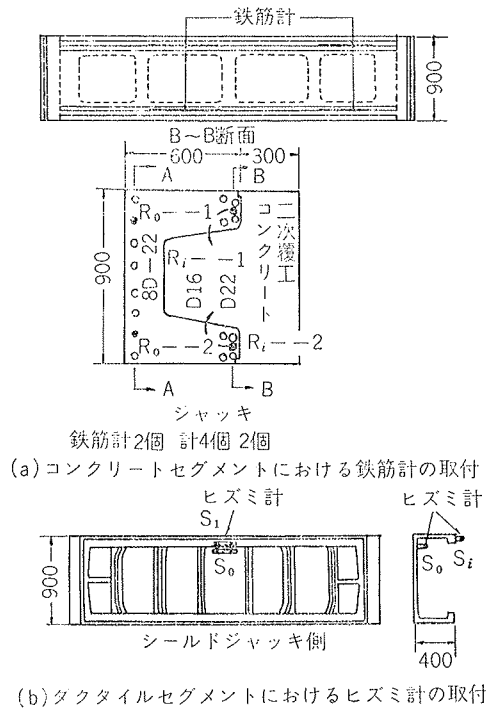


図-7 セグメント応力測定計器取付け詳細図

イルセグメントの応力測定結果を示す。いずれも、応力分布図にして示してある。また、ダクタイルの場合には測定値はヒズミであるが、ダクタイルのヤング率を 1.68×10^6 (kg/cm²) として応力に換算したものを示してある。測定値はいずれも測定開始後2~3ヶ月を経過してじゅうぶん落ち着いた時の値である。また図中に示す計算値は(図-4)に示す理論土圧分布を用い、参考文献³⁾などに述べられている計算式を用い、当社の電算機 (NEAC 2200) によって算出したものである。測定値にはセグメントの自重による応力ははいっていないので計算値でも当然それを除いてある。また測定値は許容応力度に比してかなり小さめの値となっている。

5. 二次覆エコンクリートの応力

二次覆エコンクリートの応力も鉄筋コンクリートセ

グメントとダクタイルセグメントの二つの断面で測定したが両者ともほぼ同様な結果を得たので、ここでは鉄筋コンクリートセグメントの場合についてだけ述べる。(図-10)に測定計器の取付け図を示す。測定位置はセグメント応力測定に対応する位置で行ない、測

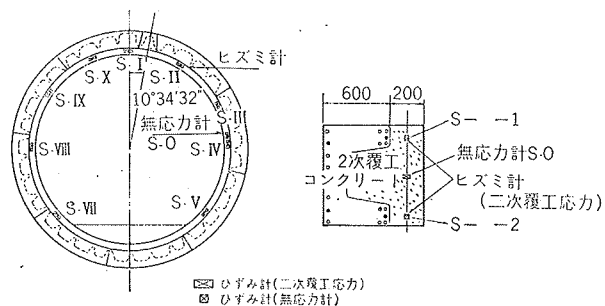


図-10 二次覆エコンクリート応力測定計器取付け図

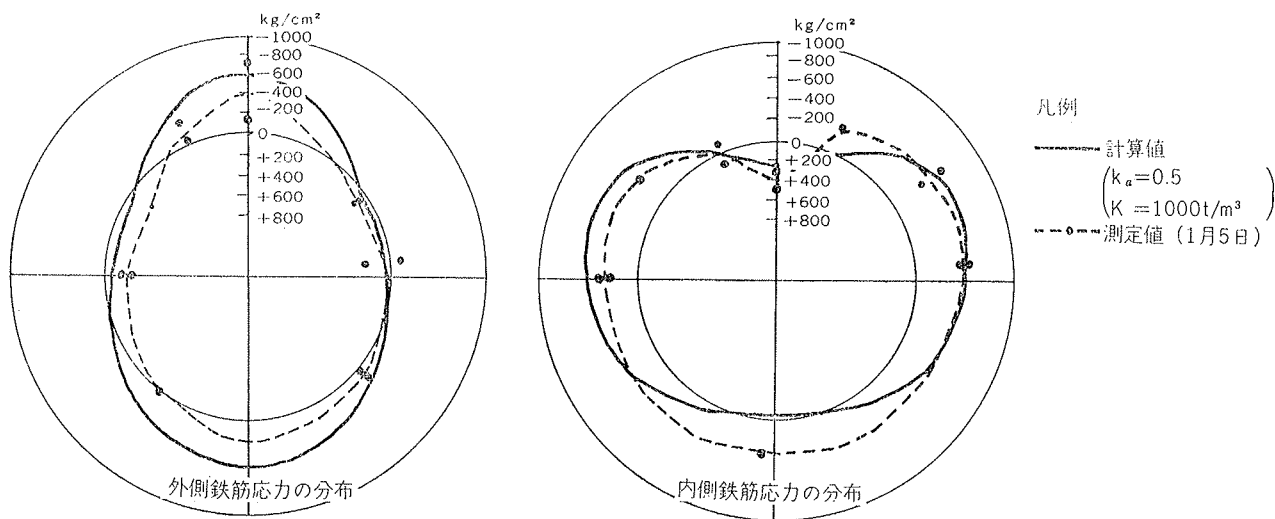


図-8 鉄筋コンクリートセグメント応力測定結果

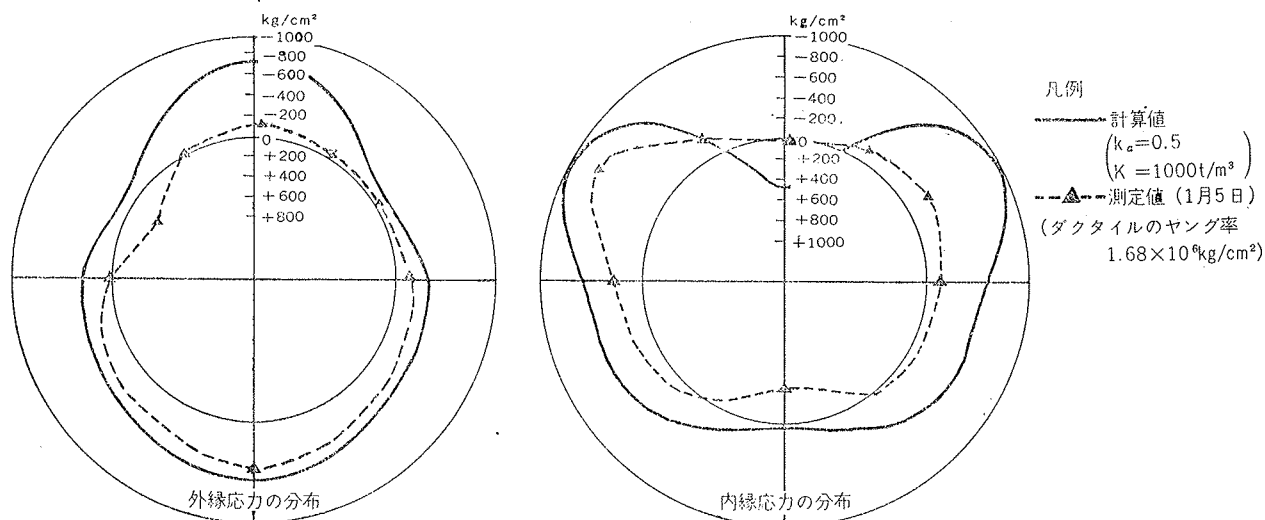


図-9 ダクタイルセグメント応力測定結果

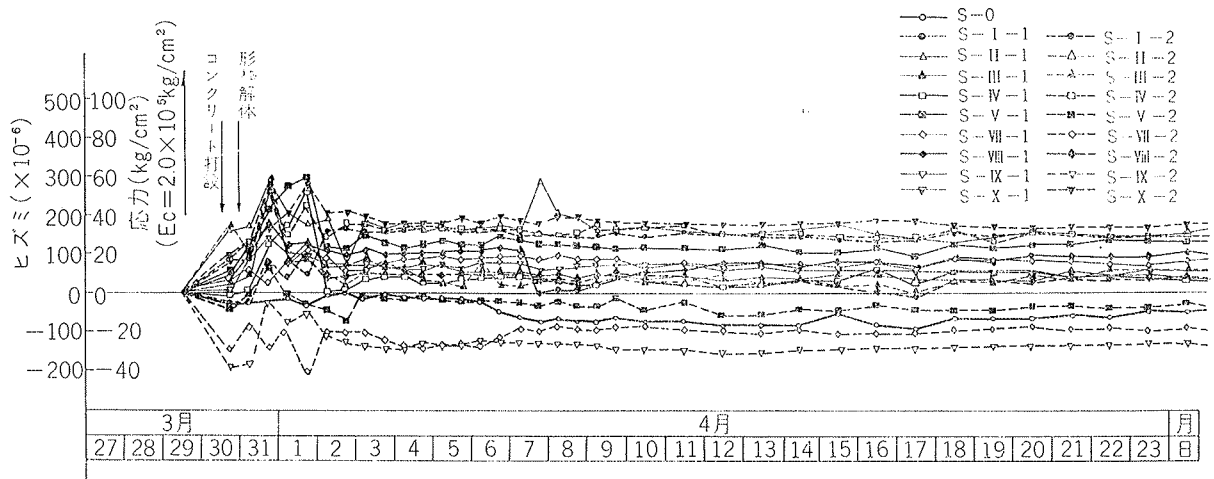


図-11 二次覆工コンクリート応力（ヒズミ）の経時変化図

定計器はカールソン型ヒズミ計(CS-10F)を用いた。二次覆工コンクリート打設前にセグメントから鉄筋(φ13mm)で取付け台を設けこれに結束線でヒズミ計をしぼりつける。ヒズミ計の読みはコンクリート打設前をゼロとした。(図-11)にヒズミ計の経時変化図を示す。図中の縦軸にはヒズミと同時にコンクリートのヤング率を $2.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ として応力に換算した値も示しておいた。当然のことであるがヒズミの読みは温度補正をした値である。測定値は測定開始後約1週間でほぼ一定値を示すようになる。S-0は進行方向に取付けたヒズミ計で「無応力計」とでも呼ぶべきもので、この値が他の測定値と比べて大差ないことから二次覆工コンクリートの応力は外力とは独立して発生し、熱応力、自重等の内部応力によってのみ変化していると言えよう。

6. 地表面の沈下

(図-12)は地表面沈下シールド進行曲線である。沈下量はシールド中心線上におけるもので、シールドが到達する前に少し浮き上がり到達直前から沈下を始め、シールド通過直後に大きく沈下し、その後の沈下はだいに落ち着いてきているのが見られる。なお図中で地面の浮き上がりが大きい部分は薬液注入によるもち上げられたものである。(図-13)にC-39断面における横断方向の沈下曲線を示す。沈下曲線は正規分布曲線を逆にしたような曲線となり左右の広がりには30mにもおよんでいるのが見られる。図中に示す計算沈下曲線はLimanovの式¹⁾から求めたものである。この式は地盤を完全弾

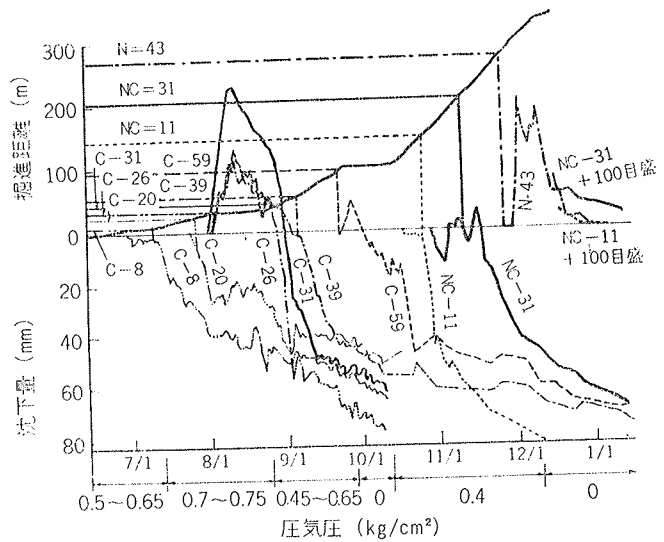


図-12 地表面沈下シールド進行曲線

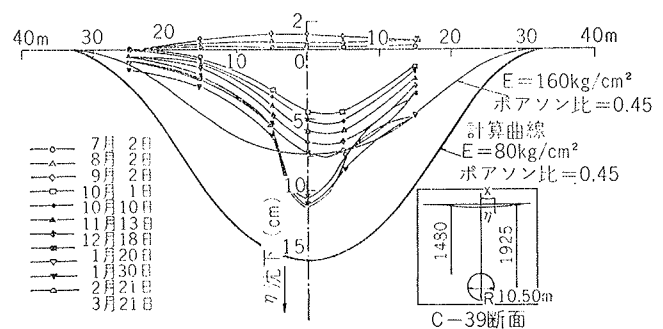


図-13 横断方向沈下曲線(C-39断面)

性体として求めたものであるが、式の中にあらわれる μ と E をそれぞれ見かけの土のポアソン比、見かけの土のヤング率と考え、これを過去の沈下測定データから種々の土質について分類整理しておけば、この式を用いて横断方向の沈下曲線の推定が出来よう。

7. むすび

以上述べてきた現場測定結果をまとめてみると次の

ごとくなる。測定値はいずれの場合にも測定開始後約1週間の間でしだいに増加し、ある一定値を示すようになる。その後ほぼ一定値を保つ。土圧は慣用的な計算値と比較的よく一致する。セグメント応力は、分布図にしてみると計算値よりは若干小さいが、その傾向はよく一致する。間ゲキ水圧は抗内圧気圧につれて変化するが間ゲキ水圧だけを考えればゼロに近い。二次覆工応力は外力とは独立して自重や温度変化等の内部的な力でのみ変化しその値は非常に小さい。地表面の沈下は横断方向でみると正規分布を逆にしたような曲線となり、左右の広がりはそれぞれ30mにおよんだ。

本文には述べる事が出来なかったけれどもセグメント接手部の開きは最大±5mmで坑頂と坑底部は開き、両側部では縮んだ。またセグメントの相対変形(垂直、水平距離の変化)も測定したが、これによると垂直方向は縮み、水平方向では伸びた。

最後に、この現場測定にさいしては施工検討委員会の方々からご助言をいただき、また大林組錦町工事事務所の方々とショック・ベトン社の諸橋氏にご援助いただいた。ここに記して深く感謝致します。なお、施工検討委員会のメンバーは東大丸安教授、小林助教授、法大山門教授、早大森教授、都交通局中川係長、川崎係長、宮崎係長、大林組森所長、横山技術課長、斉藤研究室長の諸氏である。

参考文献

- 1) 斎藤，内藤，藤原，芳賀：シールドセグメントに作用する土圧に関する実験的研究，大林組技術研究所報 No. 4, 1970
- 2) 斎藤，内藤，藤原：シールド切羽の安定に関する実験的研究，大林組技術研究所報 No. 5, 1971
- 3) 矢野信太郎：シールド工法，鹿島出版会