

正、国鉄 構造物設計事務所 河田 博之
 正、東京築三工事局 ○寺本 紀彬
 正、山本 博之

1. まえがき

都営地下鉄10号線の新宿駅構内横断部分($L=234.5M$)は、単線並列のシールドトンネルで計画され、現在たて坑部分を施工中である。一方、新宿駅の将来構想には新幹線乗り入れが計画されており、この時点には開削工法により、地下3階の構築物が10号線上に乗る状態になる。この開削部分は中60Mにも及び、開通後の10号線トンネルに種々の影響を及ぼすものと考えられ、現時点でこれらの影響を想定して10号線に何らかの対策を講じる必要がある。そこで、これらの大規模な開削を行なった場合のシールドトンネルの縦方向、横方向の影響としてFEM、弾性地盤上の梁等の解析手法を用いて検討し、この開削部分のシールドトンネルに何加すべき対策を考えた。以下に、これらの検討結果の概要を述べる。

2. 工事概要と地盤状況

都営地下鉄10号線の新宿駅構内横断部分は、図-1に示すように甲州街道沿いに国鉄線とほぼ直角に横断し、市ヶ谷方のたて坑からシールドを推進し、現在新設中の京王新宿駅とドッキングすることになる。本工区は、昭和46年8月に東京都より国鉄が受託し、現在たて坑を施工中であるが、昭和51年9月より1本目のシールドを推進する予定である。一方、新宿駅の将来計画においては、図-1に示すように現在貨物駅付近に新幹線乗り入れが計画されており、この部分は地下3階の構造となり、10号線シールドトンネルの直上まで開削されることになる。従って、この場合の地盤のリバウンドによってシールドトンネルは、種々の影響を受けるものと考えられる。工事が予定されている地盤は、図-2に示すように山の手台地にあり、全体に安定した洪積層を主体としている。地層構成は、上部埋土、奥京ローム層、渋谷粘土層、上部東京層の砂層および粘土層、東京礫層、下部東京層の順に堆積しており、10号線シールドトンネルは、N値30程度の粘土層およびN値50以上の東京礫層を通過することになる。また、開削によりリバウンドが想定されるトンネル下の地盤は、新宿副都心の深層ボーリング結果を参考にすると、 G_L-100M 付近までN値60以上の工丹、細砂、砂礫が堆積しているものと考えられる。

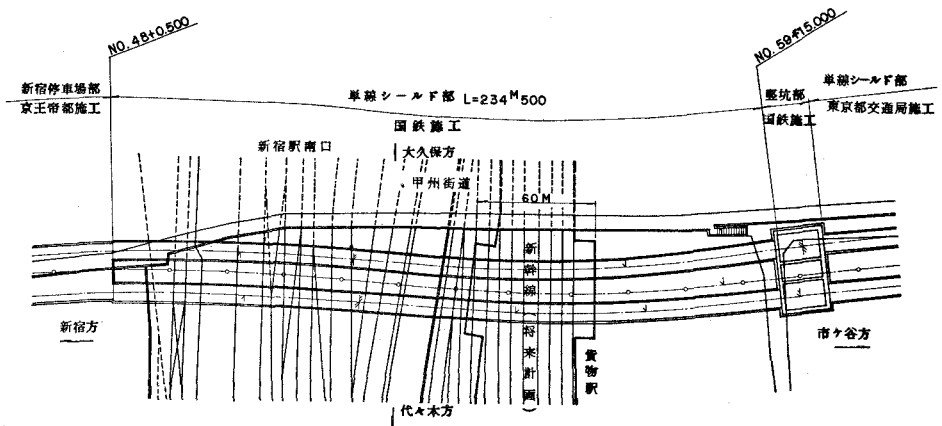


図-1 新宿地下鉄10号線平面図

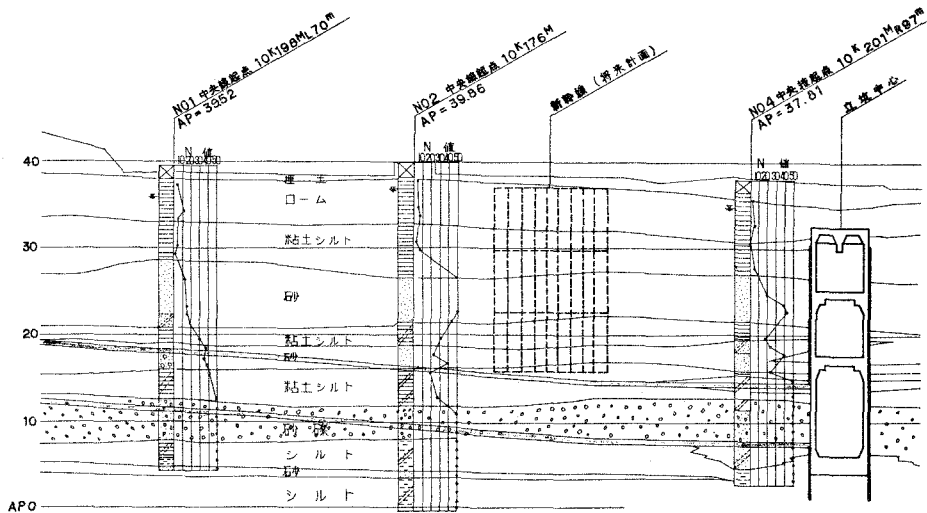


図-2 新宿地下鉄10号線地質縦断面

3. シールドトンネル掘削方向の検討

10号線シールドトンネルの上部が大規模に削削された場合、10号線下の地盤は、鉛直荷重が解放されるために、リバウンドを生じる。このリバウンドが大きいと、トンネルは下方から、強大な押し上げ力を受け、上方に、たわみ、場合によっては破壊につながる恐れも予想される。従ってトンネル掘削方向の検討として、まずリバウンドの予測と、それに合わせた、断面力の算定を、FEMおよび弾性地盤上の梁の解析手法を用いて行った。リバウンド量は、本工区と同じ地盤と仮えられる。新宿国際通信センタービルおよび新宿三井ビル等2)、3)・4)・この実測リバウンド量により予測した。

1). FEMによる解析

図-3に示すように、削削中心から左半分(中70M、深90M)の断面を600エレメントに分割し、削削前および削削後の応力計算を行ない、その差引計算によりトンネルの断面力を算出した。

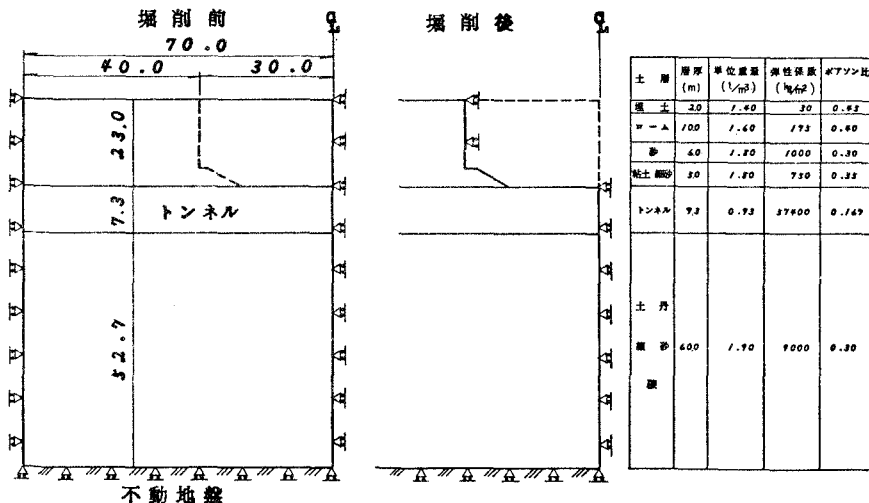


図-3 FEMによる計算(要素数600)

この場合の仮定条件は次のようである。

- ・トンネル下の地盤の弾性係数, $E = 9000 \text{ kg/cm}^2$, (参考文献2)による)
- ・掘削面から不動地盤までの深さ, $D = 60 \text{ m}$ (削削中と同じとした)
- ・セグメントの縦方向曲げ剛性効率, $\alpha = 0.4$ (鉄道公園の実験結果による)

その結果, 図-4に示すようにセグメント(30cm)と二次覆工(25cm)を合成断面として, 変位および断面力を算出すると, 最大変位14.6mm, 最大モーメント $M_{max} = 2250 \text{ t-m}$, 軸力 $N = -183 \text{ t}$, 最大せん断力 $S_{max} = 695 \text{ t}$ となり, 二次覆工(25cm厚)に鉄筋D22c/cで配置すると, セグメントと二次覆工に生ずる $G_c = 25 \text{ kg/cm}^2$, 二次覆工に生ずる $G_s = 1950 \text{ kg/cm}^2$, (セグメントの $G_s = 0$ とする), セグメントと二次覆工に生ずる $T = 12 \text{ kg/cm}^2$ となり, 対応できる。

2). 弾性地盤上の梁による解析.

図-5に示すように, 除去荷重, リバウンドバネを仮定し, 弾性地盤上の梁による計算を行った。

この場合の仮定条件は次のようである。

- ・リバウンドバネ, $K_1 = 2.5 \text{ kg/cm}^3$
($E = 9000 \text{ kg/cm}^2$ として計算)
- ・セグメントの縦方向曲げ剛性効率 $\alpha = 0.4$

その結果, 図-4に示すようにセグメントと二次覆工を合成断面として計算すると, 最大変位15.0mm, 最大モーメント $M_{max} = 3010 \text{ t-m}$, 最大せん断力 $S_{max} = 321 \text{ t}$ となり, FEMの場合と同様に二次覆工(25cm厚)に鉄筋D22を125c/cで配置すると, セグメントと二次覆工に生ずる $G_c = 26 \text{ kg/cm}^2$, $G_s = 1958 \text{ kg/cm}^2$, (セグメントの $G_s = 0$ とする), セグメントと二次覆工に生ずる $T = 6 \text{ kg/cm}^2$ となり, 十分対応できる。

以上のように, トンネル縦方向には, 二次覆工にD22-c/c/125の配筋が必要であり, さらに浮力が作用した場合にも, 不慮の一時前重として鉄筋の引張応力をイールドポイントまで許容することにより十分対応できることが判明した。

4. シールドトンネル横方向の検討.

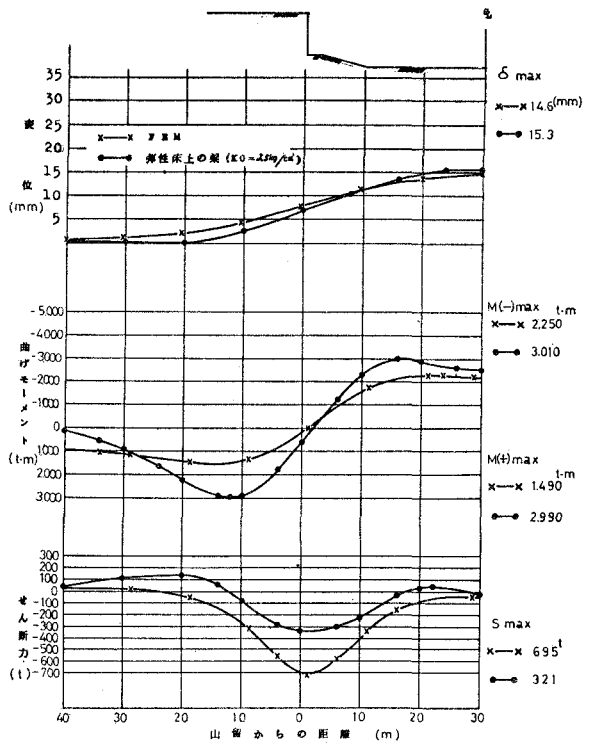


図-4 FEMおよび弾性地盤上の梁の解析結果

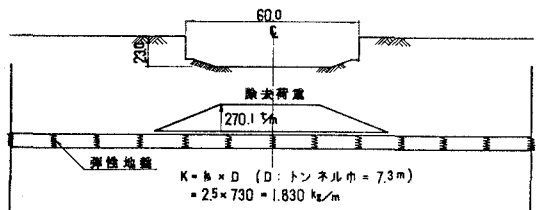


図-5 弾性地盤上の梁による計算

シールドトンネルの上部を大規模に掘削することにより、トンネル横方向には、掘削によるリングの変形、掘削機械によるトンネルへの影響、リバウンドによるトンネル横方向の影響が考えられる。そこで、施工法を十分検討の上、これらの計算を行なった。

1) 掘削完了時に対する検討

シールドトンネル施工時点より掘削完了時までには、トンネルの変形等により側方土圧は、受働土圧→静止土圧→主動土圧に変化すると考えられるので、掘削完了時の設計には、側方土圧として主動土圧を採用して、慣用計算法で計算を行なった。

- ・初期荷重 γ ゆるみ土圧荷重 20 t/m^2
- ・側方土圧係数 0.3
- ・最大曲げモーメント $M_{max} = 4.85 \text{ t-m}$
- ・軸力 $N = -68 \text{ t}$
- ・最大せん断力 $S_{max} = 5.01 \text{ t}$

この場合、セグメントは、掘削前より掘削後の方が有利となるが、二次覆工には、引張力が作用するので、二次覆工に鉄筋D22を250c/cで配置すると $G_s = 1506 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\gamma = 1.5 \text{ kg/cm}^2$ となり、十分対応できる。

2) 掘削機械に対する検討

前述の配筋量に対し、掘削機械が来た場合のチェックを行なった。その結果土盛り1.0m以上残せば十分安全であることが判明した。

3) 縦方向せん断力によるリング方向に対する検討

リバウンドにより縦方向のせん断力が横方向に影響するものと考えられ、せん断力の差が最大のところで、横方向断面のチェックを行なった。その結果、 $M_{max} = 2.20 \text{ t-m}$ 、 $N = 10.6 \text{ t}$ 、 $S_{max} = 1.72 \text{ t}$ で十分安全であることがわかった。

以上のように、トンネル横方向には、二次覆工にD22-c/c250の配筋が必要である。

5. おわりに

以上のように、二次覆工厚は25cmとし、掘削部分の配筋は線路方向D22-c/c125、横方向D22-c/c250とし、掘削部分の前後40mの配筋は線路方向D22-c/c125、横方向D19-c/c500で十分対応できることが解った。しかしながら、これらの大規模掘削を行なう場合には、トンネルに測定計器を取付けるなどの十分慎重な施工が必要であると考えられる。

なお、これらの検討を行なうに当り、国鉄東京第三工事局内にシールド技術委員会(委員長、樋口芳朗東大教授)を設置し、多くの諸先生方からいろいろ御指導をいただきました。ここに改めて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 新宿地盤振動調査委員会：新宿地盤振動調査報告書、昭和46年
- 2) 武藤 清地：東京における超高層ビルの基礎、土と基礎 Vol.23 No.9, 1975
- 3) 笹尾 光：超高層ビル支持地盤の長期安定性について、土と基礎 Vol.21 No.6, 1973
- 4) 笹尾 光地：国際通信センターの工事に実施された支持地盤の挙動、第10回土質工学研究発表会