

III - 4 地下鉄建設工事のビル下通過に伴うアンダーピニングの施工例

帝都高速度交通營団 正会員 猪瀬 二郎
帝都高速度交通營団 正会員 ○ 中島 信

1. まえがき

帝都高速度交通営団地下鉄8号線保谷～明石町間のうち、昨49年10月30日有樂町線として開通の運びとなった池袋～銀座一丁目間約10Kmは、既設丸の内線の混雑緩和を図るのを主目的に、緊急整備路線として設定されたものである。この8号線／開通区間も、近年の都市構造の複雑化に伴って、既設重要構造物との近接施工ならびに立体交差、濠内通過等の難工事に各所で遭遇したが、シールド工法はもとより特殊工法を駆使し次々とこの難関を克服していった。ここに述べる工法は地下鉄8号線麹町二工区の土木工事のうち、国道20号線麹町四丁目の交差点付近において、地下鉄トンネルが線形上やもなく三菱銀行麹町支店の高層ビル直下を通過することとなり、これを下受して地下鉄トンネルを建築したものである。ビル下受工事、トンネル建築工事、各種復旧工事を含め36ヶ月の工期を要した。

2. ビルの概要

ビルの規模は、鉄骨コンクリート9階建、地下室ではなく、建物面積766m²、地表からの高さ32m、総重量10,600t、ビルの基礎は直径1.0mの場所打アスドリルくい工法施工されており、GL-20m付近のN値40~50の砂層に定着されている。なお、くい3本にて1フーチングを支持し、くい1本当たりの最大荷重は約230tである。ビルの用途は銀行の業務用として1階から3階まで、4階以上は貯蔵庫となる。

3. アンダーピーニングの基本方針

図-2に示す如く、地下鉄トンネル築造のための掘さく深さはG.L-23.50mであり、既設基礎くいの差し替深さG.L-20mより深く掘さくせねばならないため、この掘さくにあたり在来基礎くいにかかるビル荷重(6フーチング分、 $4,080 \text{ t} = 680 \text{ t} \times 6$)を他に盛替えの必要が生じた。このビル荷重盛替えを計画するに際して、考慮しなければならない条件は次通りである。**①** ビルの営業機能を阻害しない

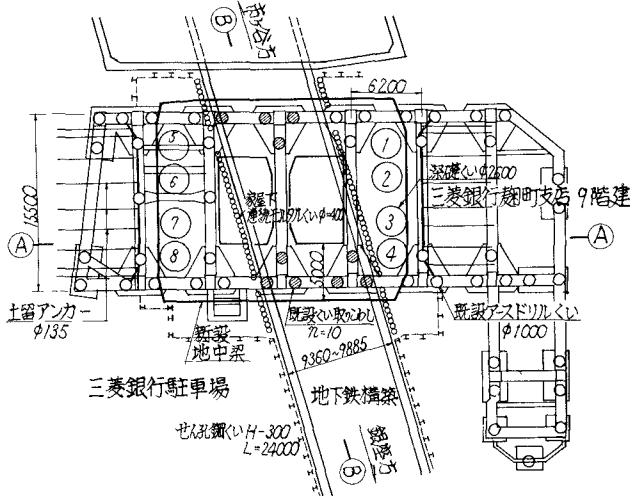


図-1 ビル下受平面図

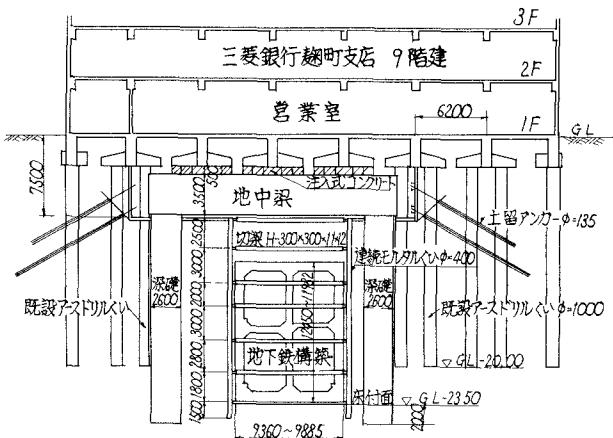


図-2 ビル下受横断面図 A-A

ため、作業空間はビル下 ($G.L - 7.5m$) に求め、この空間で作業可能な下受構造とする。② ビル荷重を地下鉄トンネルから直接受けるには、大々的な仮受工法を採用せねばならないため、独立基礎を予め新設して受け、その後に地下鉄トンネルを構築する。また、ビル(下受構造を含め)とトンネルは完全に縁を切る構造とする。③ 新設の基礎構造は、すべてビル用地内に納める。

以上

の条件を考慮し、種々検討の結果下受工法として次の基本方針を決定した。

① 独立基礎は、既設くいとの影響を最小限に止めるため深礎工法を採用する。② 深礎工にて新設された基礎くいとのビル荷重伝達のため、在来フーティング下に鉄骨鉄筋コンクリートの大梁を構築する。③ ①、②による独立基礎及び大梁の配置は、建物の安定性を考慮してビルの柱列線に合せる。

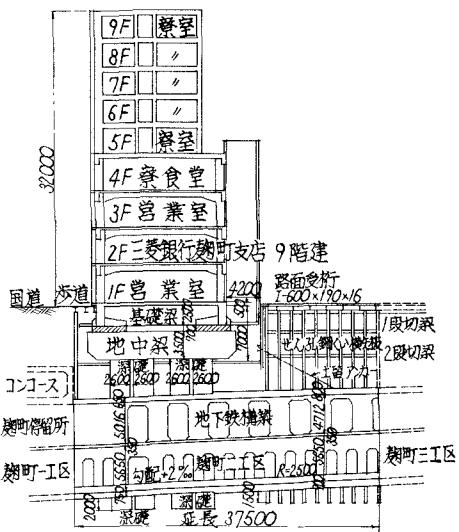


図-3 ビル下受縦断面図(B)-B

4. アンダーピニングの施工順序及び方法

3項の基本方針に基づき、詳細な施工計画を行ない、順次施工を進めたわけであるが、施工途中のビル変状の要因についての予知及びこれの対策が実際の施工に際して大きな課題であった。以下施工順序、方法を述べると、① ビル下すき取り----作業空間確保のため、ビル下を $G.L - 7.5m$ 挖掘する。側部の山留には土留アンカーを採用し、下受工に支障する切ばり等は一切設けない。② 耐震壁の施工----①により露出した既設くい頭部に作用する地震時の水平力に抵抗させるために、既設くい間に耐震壁(厚25cm)を構築し、既設くいを連結する。下受工施工に際して支障をきたす場合には、順次部分的な補強を行ないながら取りこわしていく。③ 深礎工 深礎掘さく時の既設リバースくいの防護については、下記の理由により特に慎重を要した。(イ)、深礎の掘さく底面 ($G.L - 25.50m$) が既設くいより深く又非常に接近している。(ロ)、既設くいが深礎掘さくにより発生する塑性領域に完全に入ってしまい力学的抵抗が期待出来なくなる。(ハ)、深礎掘さくによる堆土によっても、既設くいの支持力低下がおこる。(ニ)、既設くい定着層付近より下部の砂層における多量の地下水。これらの問題点に対処する方法として、主に薬液注入による地盤改良を行なうこととし、次のような処置を行なった。(イ)、既設くい下部の塑性領域を剛性の高い領域に強化させ、基礎荷重を深礎底面より下部の地盤まで伝達させるため、既設くいの下部約6.5mを薬液注入による強化する。有限要素法による地中応力の解析の結果、最大主応力度が $21.5\%m^2$ (圧縮強度) と出ているため、薬液については、この強度以上を期待出来るものでなければならず、種々検討の結果、高価ではあるが、地盤中の水と反応して膨張しながら固結する特性を持つ液体のウレタン系薬液タックスを採用することになった。なお、この薬液の膨張圧は、加水反応時ににおいて薬液内に包蔵される無数の炭酸ガス気泡の内圧によるもので、薬液が半無限の地盤中に広大浸透する際に自然的に消滅するので特に問題はない。この注入方法は図-5に示す通りであるが、この注入方法決定にあたっては、数度の試験注入を行ない。その結果を深礎掘さくにより確認して行なった。先ずストレーナによる対象地盤 ($\phi = 7.50m$) との同時注入の試験を行なったが、対象地盤の上部にある粘土層下部に円板状に拡散してしまっており、注入効果が十分に果されていなかった。これはストレーナパイプを伝って薬液が上昇した結果と判定された。また、対象地盤は、ボーリング地質調査のデータにより同種の細砂層と思われていたが、深礎掘さくにより詳細に観察すると、3層の異った砂から成っていることが判明した。対象地盤の上部2mは細砂でも比較

的粗(粒径 0.25 mm)、次の 2 m は極く細く(粒径 0.12 mm)、下部の 3.5 m は上部にやや近い細砂(粒径 0.23 mm)であった。以上の結果に基づき、注入方法を再検討し注入を 3 層別々に行なうこととした。ストレーナ方式で、まず上部 2 m の注入を、次に下部の注入を行ない上下の拘束層を作り、最後に微細砂層で薬液の浸透しにくい層に注入を行ない、注入効果の確実性を期した。なお、ストレーナパイプを伝つて薬液が上昇するのを防ぐために、各層の注入に先立つて、別パイプにより図-5に示す如く薬液上昇防止注入(パッカ-注入)を行なつた。また、各層の粒径に基づき薬液の浸透範囲を設定し、注入パイプ間隔を決定した。この方式による試験注入を再度行ない、深礫掘さくにより確認したところ、その結果が非常に良好であったのでこの方式を採用した。この掘さくにより得られた試料の一軸圧縮強度の平均値は約 3.5 %/cm²であり、所要の強度 2.1.5 %/cm²に対し十分安全である事が確認された。薬液の注入率は、試験の結果より改良土量に対し 15.4% (= $\frac{65}{4} - \beta$; 固結率積比) とし、総注入量は 18.4.710 l であった。(口)、深礫掘さ

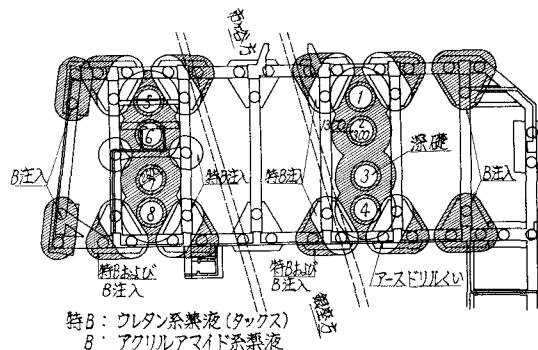


図-4 薬液注入平面図

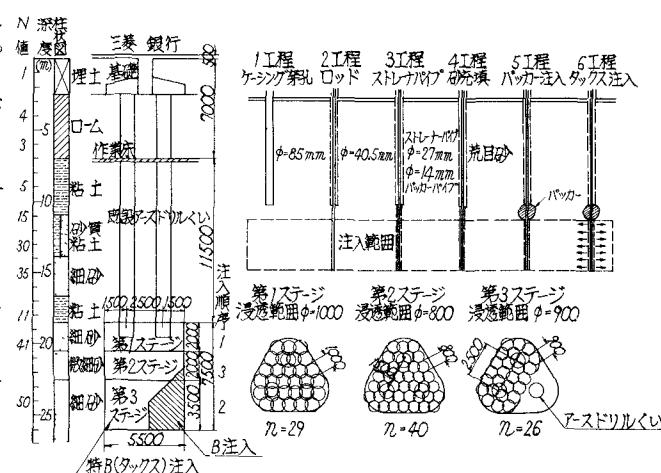


図-5 タックス注入方法図

くにあたり発生する塑性領域の強化と止水効果を同時に期待して、深礎の外周1.3mを灌漑注入した。灌漑は強度5~10kg/cm²を目標にアクリルアマイド系のものを使用した。(ハ)、深礎底部は、地下水のボイリング現象が生じると砂の密度が破壊され床付部の地耐力の減少につながるので、深礎掘さくに先立ち、タックスにより厚さ1.5mの強化注入を行なった。以上により深礎掘さくの施工に入ったが、灌漑注入の効果が著しく、既設くいの変状は皆無であり、懸念された湧水も問題にするほどではなく、無事底面迄の掘さくを終了した。なお、深礎くいのコンクリート打設にあたっては、地山のゆるみ防止のため生子板を埋設しとした。

④ 梁の施工-----梁はビル下作業空間の関係で梁高が制限されるため、**鉄骨鉄筋コンクリート**（図-6参照）とし、鉄骨は狭い空間での作業性を考慮して小分割して搬入し、現場にて大組をした。鉄骨の最大寸法は高さ3.0m、長さ3.0m、巾0.6mであり、最大重量は約3.9tである。梁のコンクリート打設はすべてポンプで行なったが、マッシュブリッジのためコンクリートの硬化熱による悪影響を懸念して次のようないわゆる「冷たい」コンクリート配合とした。

セメント250kg フライアッシュ64kg 水150kg 細骨材

739kg粗骨材 1130kg骨材最大寸法 25mm (m³当り)

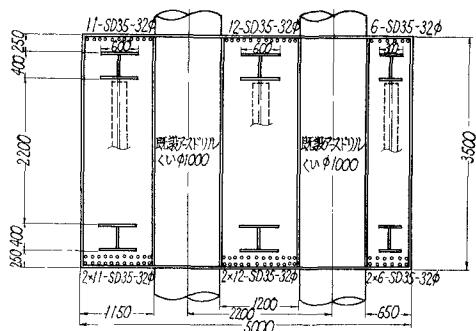


図-6 刃けた断面図

設計基準圧縮強度は 240 kg/cm^2 であり、4週強度は 320 kg/cm^2 が得られた。なお、梁内に熱電対を設置し測定された最大温度は 63°C であり、その後梁に異状はみられなかった。

⑤ 荷重の盛替(ジャッキアップ)——ビル荷重の盛替は、受梁と既設フーチングの間隔が 50 cm であり、狭い空間での作業性を考慮し比較的軽量で揚力の大きなフラットジャッキを使用した。使用したフラットジャッキ1台の揚力は、最大 360 t であり、柱軸力 680 t を対象に1フーチングあたり2台配置した。ジャッキアップ対象フーチングは6個所である。ジャッキアップに必要なストローク量は、試算の結果、建物の浮上り量 5 mm 、地中梁のたわみ量 6 mm 、深堀先端地盤変形量 40 mm 、施工上のクリアランス量 9 mm 、合計 60 mm となつたので、これを1次のジャッキアップ量とし、フラットジャッキ1枚のストローク量 36 mm から2枚を使用した。また、地中梁のクリープ変形と本線掘さくによる影響を考慮し、本線掘さく完了時に2次のジャッキアップをするものとし、これの推定量を $5\sim7\text{ mm}$ としたことから更に1枚を重ね、合計3枚使用した。

以上の要領によりビル荷重盛替を行なつたが、これらの各推定値通りの変化があつたかどうかは判然としない、ただ、総変位量は推定値内におさまつた。その後地中梁中の既設くいを切断し、最終的にフーチングと受梁の間に注入式コンクリートを施工してアンダーピニングを完了した。なお、フラットジャッキは埋設じとした。

5. あとがき

ビル荷重盛替後トンネル掘さく、構築工に移ったわけであるが、アンダーピニング工開始より定期的に繰けられた水盛連通管方式によるビルの変状測定ならびにジャッキアップ時より開始された自動記録式の変状測定によつても、その後何ら異状な結果を見受けた事はなかつた。この工事成功の最大要素は深堀掘さくならびに工事中の既設くい安定のため、高価ではあるが、液加水反応型ポリウレタン系薬液の採用にこだわったことであると思われる。

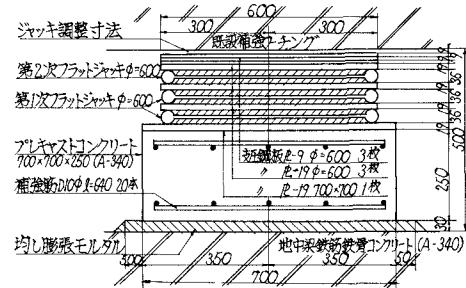


図-7 ビル荷重盛替用ジャッキ設置図