

# アンダーピニング工法による地下鉄桜木町駅構築の築造

篠原 博\*

## 1. はじめに

横浜市は、近代的な国際港都建設のため、高速鉄道（地下鉄）の建設をはじめとし、高速道路網の整備、港北ニュータウン建設などの六大事業を意欲的に進めつつある。

このうち高速鉄道の建設については、4路線、総延長67.8 kmの計画をもち(図一1)、昭和43年秋からまず1号線の工事にかかり、尾上町～湘南台のうち上大岡～伊勢佐木長者町間(5.3 km)が昭和47年12月に営業を開始し、引き続き現在1号線伊勢佐木長者町～尾上町間(0.6 km)は土木工事を完成し、上大岡～上永谷間(2.6 km)および3号線本牧～元石川間のうち尾上町～横浜間(3.1 km)の土木工事を進めている。

これから述べようとする桜木町工区は、横浜市における

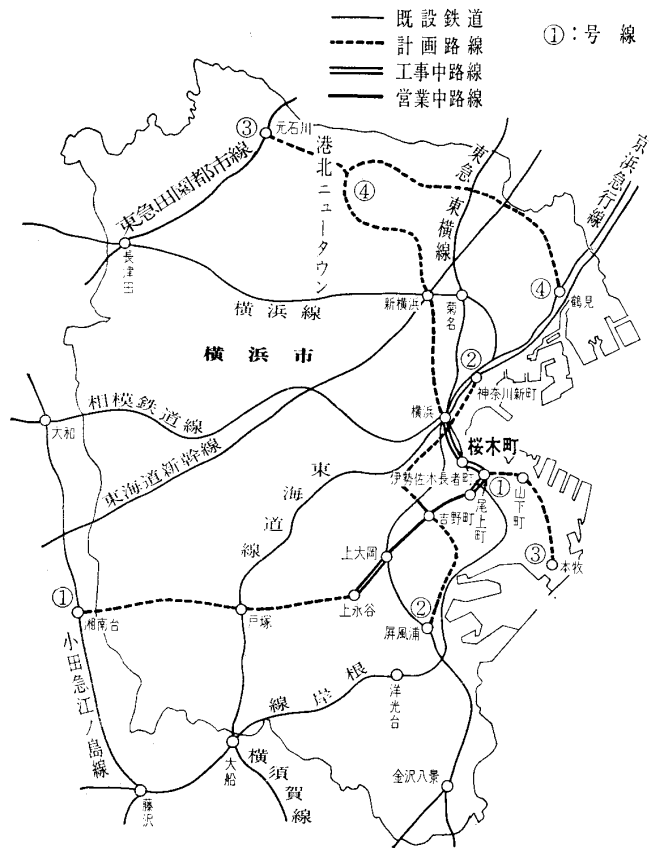
繁華街の一つである野毛地区に位置し、国鉄根岸線および東急東横線桜木町駅に近く、交通の要所となる地下鉄桜木町駅の建設で、延長162mの区間であるが、地下の既設構造物および路面交通を考慮し、開削工法とアンダーピニング工法およびトレンチ工法などにより施工中である。工事は昭和46年12月に着工し、現在、その大部分が完成しており、一部の構築と埋戻しを残すだけとなっている。

以下、地下鉄桜木町駅の建設工事について紹介する。

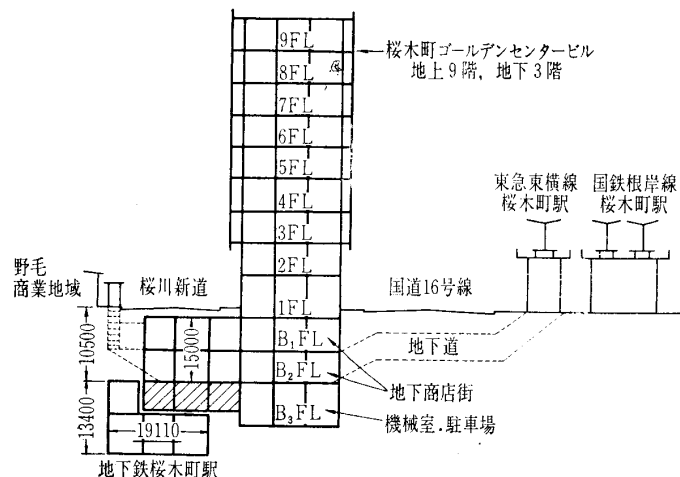
## 2. 計画概要

地下鉄桜木町駅は桜川新道土カブリ15mの深さに計画され、桜木町ゴールデンセンタービル（以下G.Cビルとよぶ）の地下街が上載せられるような構造となっている。

G.Cビルは、建設時（昭和42年）にビルの地下3階（図二の斜線部分）に地下鉄を乗り入れるべくホーム階を含んだ構造としておいたが、高速道路（横羽線）がその後計画され、尾上町～桜木町間で交差することとなり、地下鉄路線が高速道路の下にくるように変更を余儀なくされたため、当初計画された地下3階部分にこの路線を入れることはむずかしくなり、新たにG.Cビルの下に地下4階部を新設し、ホーム階とすることになった。これらの理由により、当初駅部の諸施設およびコンコースを尾上町側の地下2階にG.Cビルと接続して設ける予定であったが、既設地下3階部（旧地下鉄ホーム階）を駅部の諸施設および



図一1 横浜市高速鉄道路線図



図二2 桜木町駅付近横断面図

\* 横浜市交通局 高速鉄道建設部長

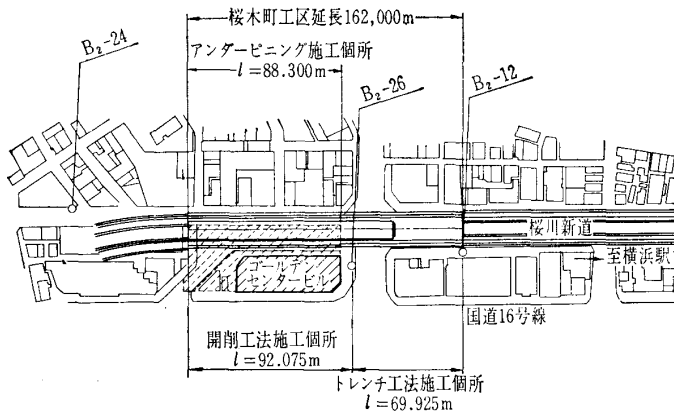


図-3 平面図

びコンコースとして利用することとした。しかし、新たに駅部構築を既設構造物の下に築造すると、G.Cビルの高層部の側部の柱荷重が新設する構築物の上載荷重となり、構造上、施工上の問題が多く、G.Cビル地下街部の柱間隔を1スパン野毛商業地域側に移動せざるを得なく、平面形も変更することになった(図-2, 3)。

桜木町駅の規模は、1層3区間箱型ラーメン構造で、総延長162m、ホーム延長120m、ホーム幅10mであって、地下4階から3階のコンコースまでは2基のエスカレーターが階段と併設される。

### 3. 地質

当桜木町工区では地表面が、TP+2.4m~TP+2.9mの平らな面をなし、TP-3.0m~TP-2.0mを表面としてやや起伏のある固結砂質シルト層が深く存在している。

この固結砂質シルト層(三浦層)は、尾上町起点0k550m付近より工区終点に向かってボーリング調査孔番号B<sub>2</sub>-12, B<sub>2</sub>-26の地質柱状図のように、TP-5.0mまであり、その上にチュウ積層で地表までタイ積されており、N値50

表-1

試験項目	単位	1	2	3
D <sub>60</sub>	mm	0.140	0.019	0.029
D <sub>10</sub>	mm	0.023	0.001	0.001
均等係数 U <sub>c</sub>		5.8	19.0	29.0
単位体積重量	t/m <sup>3</sup>	1.73	1.69	1.84
乾燥密度	t/m <sup>3</sup>	1.27	1.18	1.38
粒子比重		2.58	2.71	2.68

以上のよく締まった細砂または中砂のうすい層がレンズ状に互層をなしている(図-4)。

直径2mの深礎による調査孔(1k600m)では、TP-10.9m~12.8mの中砂層で毎分50lの湧水が確認され、この湧水層の土質試験結果はつぎのごとき性状を示している(表-1)。

湧水層の水頭圧は、B<sub>2</sub>-26において深さ17m30~20m50と22m80~24m90の細砂層でおおのJ, F, T試験を行った。これは長さが17m50と23m10のロッドおよびこの下端に取り付けられたストレナーによってその地点の湧水圧による地下水の上昇する水位と経過時間を記録し、水位と経過時間を記録し、水位の上昇が停止したときの最終水位、すなわち平衡水位を求めることにより、測定深度における間ゲキ水圧を求めるものである。この測定結果によれば、被圧帯水砂層が明らかに存在しており、第一層の他にその下部層にもそれが見られている。

0k600m付近の測定値(第一層)

砂層上面高	水位	水頭
-14.4m	-3.4m	11.0m

被圧水頭位は、高島町付近から桜木町に向けて傾斜しているが、当工区付近におけるそれが若干低くなっている。

これは、三浦層が桜木町付近から伊勢佐木町方で激しい侵食を受けてチュウ積層に接しており、これが水頭減の一因であると考えられる。この被圧帯水砂層は本線と直角方

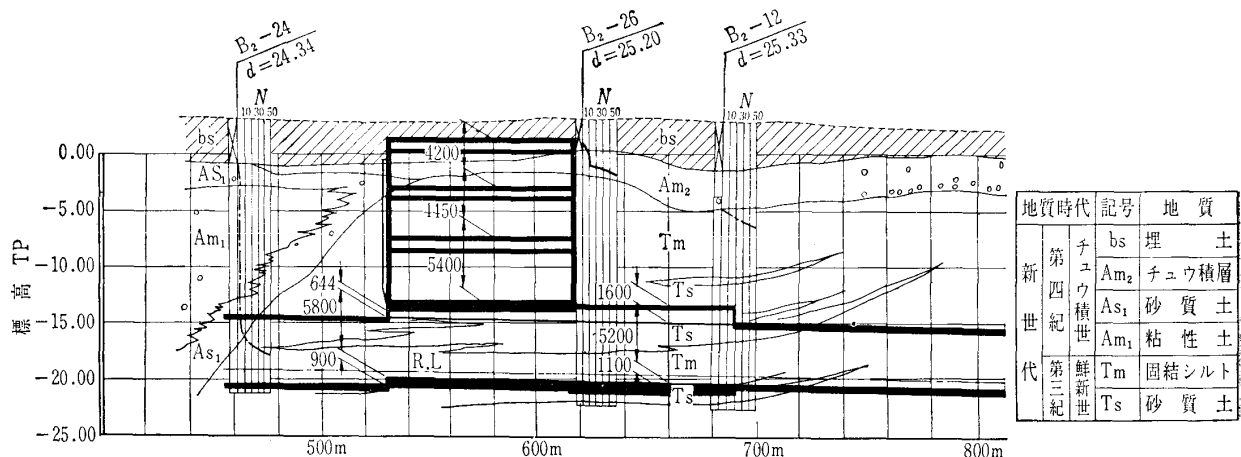


図-4 地質縦断面図

向に約5度の傾斜で左側、すなわち西方の台地に向かってのぼりコウ配となっている。したがって湧水は本線左側が右側より強いと考えられる。砂層の透水性についてJ, F, T試験では  $3.87 \times 10^{-4} \sim 6.28 \times 10^{-4}$  cm/sec の値を示している。また、揚水試験により B<sub>2</sub>-26 でのそれは、 $3.2 \times 10^{-3}$  cm/sec 程度あり、深礎調査孔の湧水量から推定すると、 $1.8 \times 10^{-3} \sim 2.3 \times 10^{-3}$  cm/sec となり、これらの結果から帯水層は約  $2.0 \times 10^{-3}$  cm/sec の透水係数を有するものと考えられた。

以上のことから掘削上注意することは、G. C ビルの柱荷重をアンダーピニングによって受け持たせるための支持機構である B・Hクイは、この被圧帯水砂層を貫通して打ち込まなければならないこと、地下4階部分の掘削時にこの層にある湧水のため掘削面がはだ落ちすると予想されることであり、このため一般の湧水に対してはポンプおよび盲きょなどを利用して排水につとめる一方、地下4階下り線側(G. Cビル高層部側)については、地下3階より薬液注入を行ない掘削面のはだ落ち防止と湧水止めの処理を行なった。

#### 4. 施工法

この桜木町工区は、前述したとおりつぎの三つの異なる工法により施工された。

- ① 駅始点より道路交差点までの約90mは、G. Cビル地下街の既設構造物のほとんどが地下鉄構築の上に乗るために、これを仮受けするアンダーピニング工法。
- ② 地下街をはずれる1スパン部分は、このアンダーピニングした地下街の下を掘削するための地下街横から掘削する開削工法。
- ③ 交差点より工区終点までの約70mは、駅構造が一層であり、土カブリが大きいことにより工事量も増大し、また道路下には重要地下埋設物(東電、電々、水道、下水など)が多く、この処理が複雑なためと、路面交通に支障を及ぼさない方法として地下で掘削可能な小断面の導坑を3段に積重ね、横方向にはこれを7ブロックに分けて掘削し、高さ7m40、幅20m00の断面を形成する導坑積重ね方式のトレンチ工法。

などであり、ここでは建築基礎に関する G. C ビル地下街のアンダーピニング工法を取りあげて記述することにした。

### 5. G. Cビルのアンダーピニング

#### 5.1 G. Cビルの構造

G. Cビルは、地上9階、地下3階(一部は道路下)で土丹層の上に乗るベタ基礎の建築物で、昭和42年に横浜市地下鉄建設計画を考慮して建築された。ビルは、地下2階より地上9階までが店舗と事務所で、地下3階部は機械室および駐車場と当初の地下鉄桜木町駅部構築の一部であ

る(図-2)。地階部は鉄筋コンクリート構造で、柱間隔は商店街の機能を果たすよう設計されているため、通常の地下鉄構造における柱間隔(約5m)より長くなっている。

仮受けする地下3階部(約1,200m<sup>2</sup>)の構造は図-5に示すような柱構造(R. C)で、これを地中バリ(高さ1m500、幅0m800)により受ける構造である。

#### 5.2 アンダーピニング計画

アンダーピニングを施工する範囲は、桜川新道直下の地階部(地下3階部分)で、支承する面積は約1,200m<sup>2</sup>、仮受けする部分の建物重量は約18,000tである。

アンダーピニングは、地下3階の柱および地中バリを添えバリ工法(柱およびハリの既設コンクリートと添えバリの新コンクリートとの付着力を利用する工法)により締結させて仮受けする方法である。その支持方法としては、深礎基礎による連続添えバリ工法(図-5)と場所打ち建込みグイ(H-350)基礎による添えバリ工法(図-6)を比較検討の結果、経済性、施工性の観点からB案が採用された(表-2)。

#### 5.3 設計の考え方

ビル荷重が柱から地中バリに伝わる状態は、ビルの内部構造によって異なり、図-7に示すとおり8タイプに分けられ、これに加わる重量はつぎのとおりである。

1型—F<sub>3</sub>~F<sub>12</sub>, E<sub>3</sub>~E<sub>12</sub>

570t (建物内方、丸柱、つなぎバリ付)

2型—G<sub>3</sub>~G<sub>12</sub> 420t (建物外側、角柱)

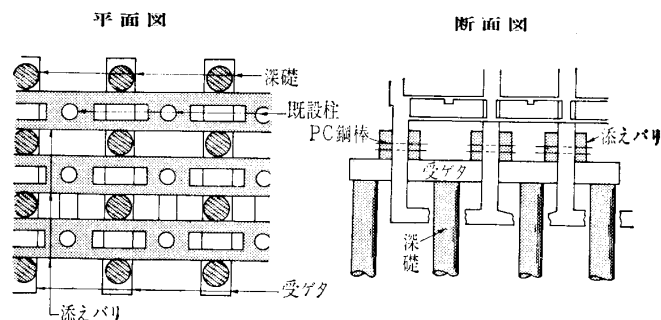


図-5 A案 深礎基礎による連続添えバリ工法

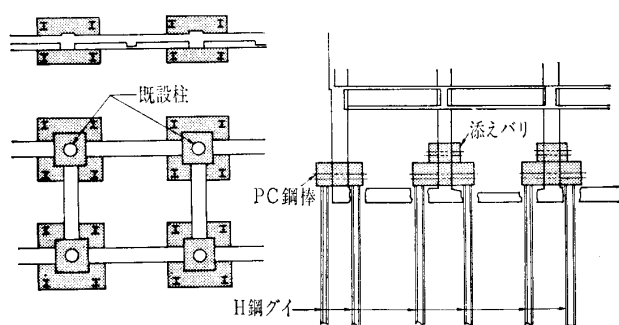


図-6 B案 現場打ち建込みグイ(H-350)基礎による添えバリ工法

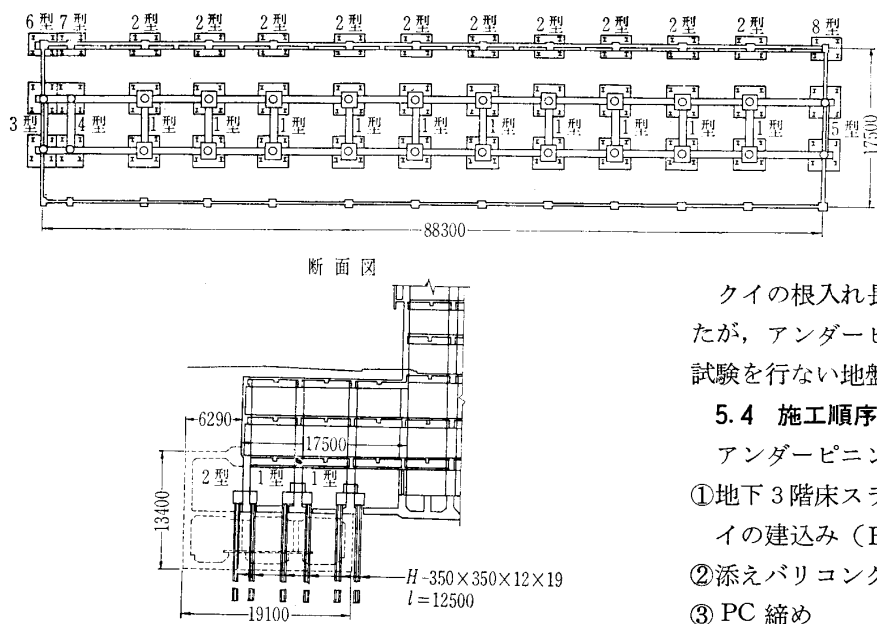


図-7 アンダーピニング計画図

表-2

	A 案	B 案
添えバリ	コンクリート量、鉄筋量が 大柱からの付着力を期待する ので中央柱を受けるときは 大きな構造となり技術的 に難点がある。	コンクリート量、鉄筋量は 小柱および地中バリからの 付着力を期待する。 技術的に仮想バリとして解 くことに問題がある。
受ゲタ	大量の大形鋼材を使用する。 搬入、設置が非常に困難。	なし
支持基礎	深礎(φ1500) 柱3本当たり、深礎4本	現場打ちH鋼建込み継クイ (φ600, H-350x350) 柱1本当たり、クイ4本、 クイの補強が必要
地下鉄構 築完了後 の撤去作 業	添えバリ、受ゲタおよび構 築内に残る深礎はすべて撤 去	添えバリの一部は残置が可 能

- 3型— $E_1, F_1$  190 t (建物外側, 丸柱, つなぎバリ付)
- 4型— $E_2, F_2$  420 t (建物外側, 丸柱, つなぎバリ付)
- 5型— $E_{13}, F_{13}$  380 t (建物外側, 丸柱, つなぎバリ付)
- 6型— $G_1$  150 t (建物隅角, 角柱)
- 7型— $G_2$  320 t (建物外側, 角柱)
- 8型— $G_{13}$  290 t (建物隅角, 角柱)

これらの荷重は、地中バリと添えバリとの付着力によつて下部に伝達する。この付着力を増大するためPC鋼棒を使用することになった。

添えバリの断面決定は、地中バリにかかる荷重により下受けクイを支点とする単純バリとした。また、地中バリにかかる荷重が大きく地中バリと添えバリとの付着力だけでは抵抗できない箇所(建物内側の1型)は、柱部分にも添えバリを設けPC鋼棒で緊張することにした。下受けクイは、ビルの柱1本につき4本の現場打ちH鋼モルタル建込

みクイ(H-350x350x12x19, φ=600 mm)とし、地下3階の空間を利用して、ここから既設下床スラブにφ=600 mmの穴をあけ建込んだ。このクイは長期間にわたって仮設されているので地震荷重にも耐え得るものとした。

クイの根入れ長は、地下鉄の掘削深より下、4.5 mとしたが、アンダーピニング施工前に地下3階部において載荷試験を行ない地盤支持力の確認を行なうこととした。

5.4 施工順序

アンダーピニングはつぎの施工順序によつた。

- ①地下3階床スラブでのクイの穴のせん孔および下受けクイの建込み(B.Hクイ)
- ②添えバリコンクリートの打設
- ③PC 締め
- ④ジャッキ圧によるプレロード
- ⑤地下4階部分の掘削
- ⑥下床版鉄筋コンクリートの打設
- ⑦壁体、柱コンクリートの打設、鋼管柱の建込み
- ⑧上床版鉄筋コンクリートの打設
- ⑨G.Cビル下の注入工(地下鉄構築による荷重の受け換え)
- ⑩下受けクイの切断および添えバリコンクリートの解体

以上のようにアンダーピニングの主体は、柱荷重の受ける下受けクイの建込み工と添えバリコンクリート工、PC締め工、プレロードなどの建物荷重を伝達する添えバリ工とに大別できる。

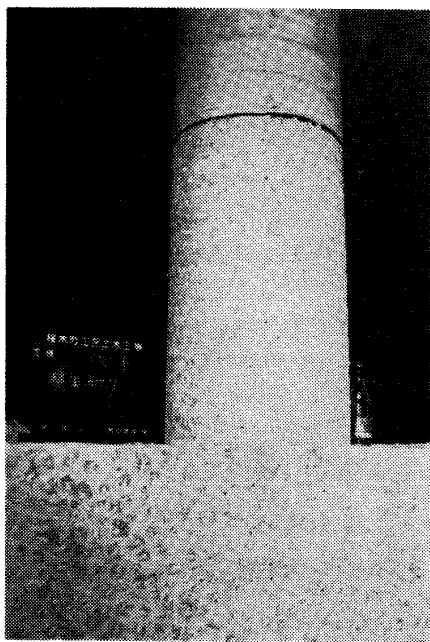
6. アンダーピニングの設計および施工

6.1 添えバリ

多くの模型実験によると、添えバリコンクリートは柱と添えバリの締結部から破壊されることが確認されている。これは、柱荷重によって柱とハリの接触面の下縁に生ずる引張り応力であり、新旧コンクリートの打継ぎ面である接触面がこのために下縁からき裂を生じ、その有効面積を減じて、ついにはこの面から押し貫きせん断による破壊を生ずるものである。このようなことから、接触面の応力状態を求めるときは、柱と添えバリが完全に一体のものであり、柱と添えバリの接触面は全面有効面積とする仮定をし、接触面下部に引張り応力が出なければ安全であるとした。

施工時は、柱および地中バリからなる既設のコンクリートを新たに打設する添えバリが一本のハリとなるために、柱および地中バリとの打継目は既設コンクリートに影響を及ぼさない程度に十分目荒しを行ない打継ぐことが必要である(写真-1)。

この設計には、建物荷重を分散して受けるように柱荷重  $N=570$  t を上層ブロックにおいて  $P_1=200$  t 受け持ち、下



写真一

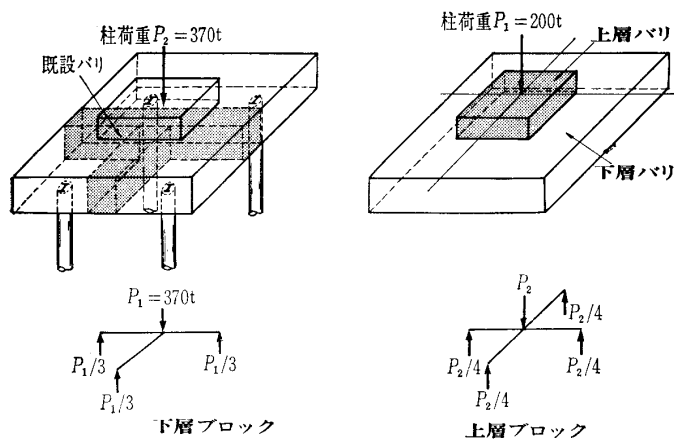
層ブロックにおいて残り  $P_2=370\text{ t}$  受け持つものと仮定した。柱に伝わる荷重  $P_1$  は、4方向のハリに均等に分布され、 $P_2$  は3方向のハリに均等に分布される(図一8)。このためプレッシングによるPC鋼棒は図一9に示すような配置とした。プレストレス導入は、与えたプレストレスと添えバリ自重が作用している状態と考え、鋼棒とシーすとの摩擦によるPC鋼棒の応力度の減少量およびコンクリートの弾性変形による応力度の減少量とから決定した(図一10)。

施工の順序は、①ビルドリル工法を使用する既設バリの穴あけ。②コンジットシーす  $\phi 32\text{ mm}$  ( $t=1.2\text{ mm}$ ) の取付。③設計強度  $\delta_{28}=400\text{ kg/cm}^2$  のコンクリート打設。④コンクリートの圧縮強度が  $340\text{ kg/cm}^2$  以上になると、油圧ジャッキを水平に取りつけ緊張する(鋼棒の伸びと荷重計により管理)。⑤シーす内にグラウトをてん充する。

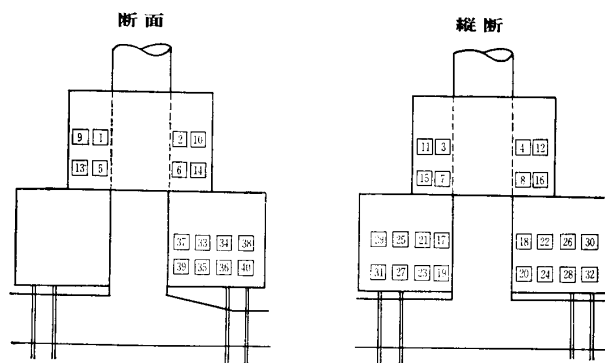
### 6.2 下受けガイ

#### 1) 下受けガイの設計

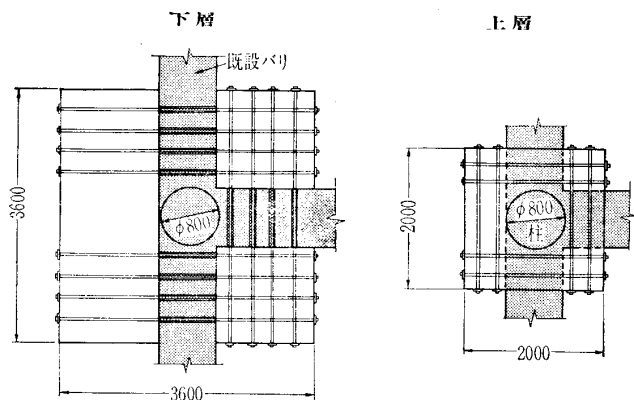
柱荷重が添えバリをとおして下部の下受けガイに及ぼす反力を求めてみると、上層バリより50.0 t、下層バリより



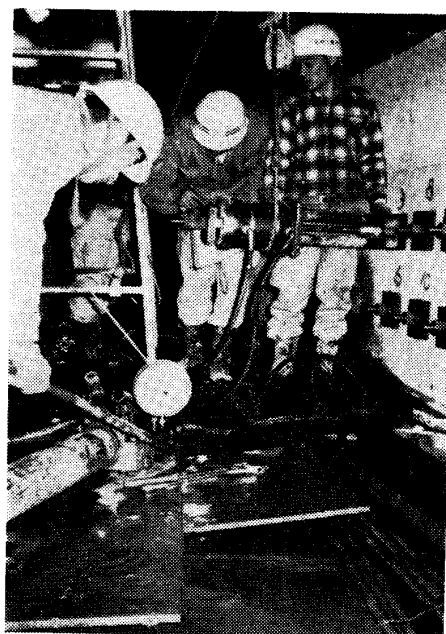
図一8 柱荷重の分布



図一10 P.C鋼棒緊張順序



図一9 P.C鋼棒配置図



写真一2

No. 815

113.3 t, 計163.3 t の荷重が1本のクイに作用する。これに対して地盤の極限支持力は、テルツァーギの式で 553 t/本, マイヤーホッフの式で 781 t/本となる。この下受けクイについては、載荷試験を行ない支持力を確認することとした。

2) 下受けグイの施工方法

下受けクイの施工は、既設 G. C ビルの地階より限られた空間の中で打込まなければならない、つぎに示すような施工順序をとることとした。

①削孔：地下貯泥水そうより泥水を水中ポンプ（φ3"）で吸上げ、ウォータースイベルロッドを通して先端ビットより噴出させる。これと同時に削孔機の運転を開始し、ビットに回転力と油圧推進力を与え φ600mm の削孔を行な

う。削孔が進むにつれ掘削されたスライムはサンドポンプ（φ3"）により、地下泥水そうに泥水として送りこむ。ここでスライムを沈殿させ、残りの泥水は再度循環水として削孔機に送りこむ（図-11）。

②エアリフト工：削孔が所定の深さ（12.0m）に達すると、ロッドを引きあげエアリフト管をそう入し、その先端より圧縮空気を噴出させてスライムをエアリフト管中に吸込ませ削孔の底面にこのスライムが沈殿しないようにする。

③建込み鋼クイ打ち：エアリフト工終了後、直ちに三又（単管φ76.3×3.2で製作）でH鋼（ $l=2\text{ m}50$ ）を5

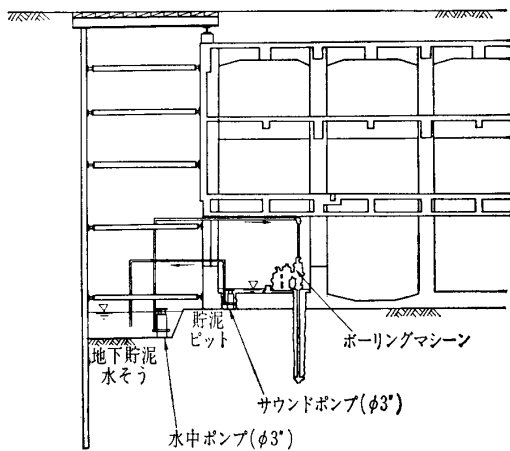


図-11 削孔施工図

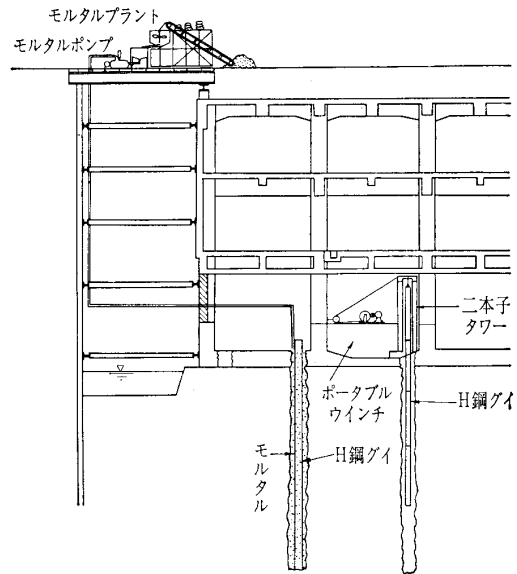


図-12 モルタルでん充, クイ打施工図

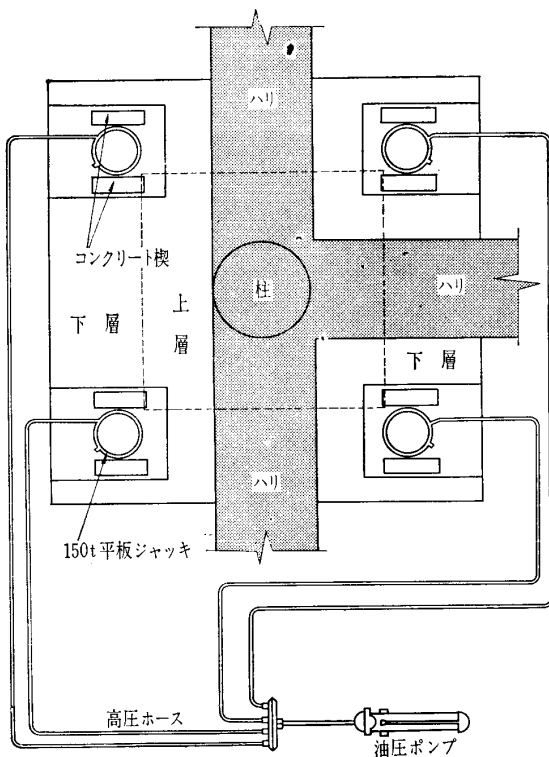
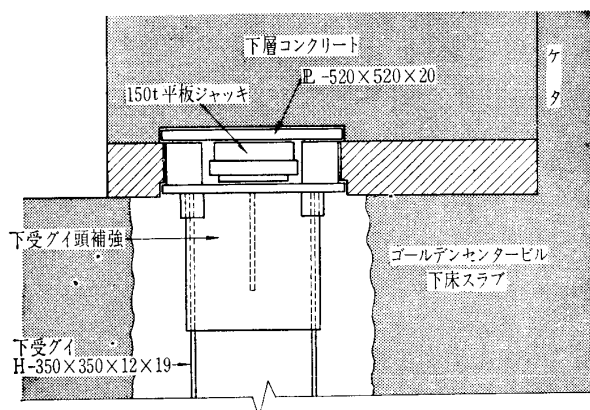


図-13 下層 150 t ジャッキ配置図



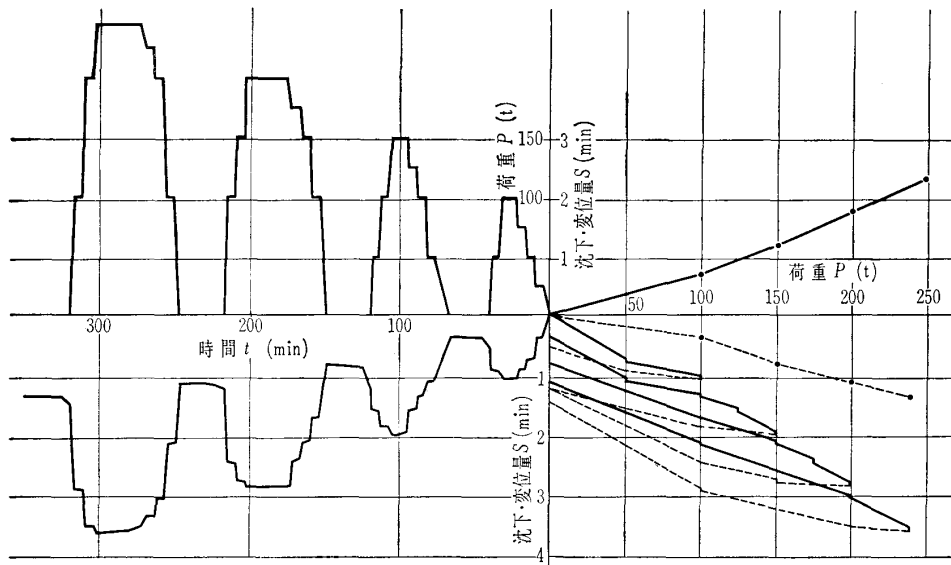


図-14 荷重—沈下・変位量—時間曲線

荷重～沈下量～時間の関係および  $\log P \sim \log S$  の関係を図-14, 15に示した。

試験結果からつぎのようなことがいえる。 $\log P \sim \log S$  曲線において 100 t 付近に折れ点が認められるが、それ以上の載荷荷重に対する沈下量からみて真の降伏点ではなく、降伏荷重は 250 t 以上あると考えられる。また、極限荷重を見いだすことはできない。

これにより、仮設時におけるクイの許容支持力を 170t/本とした。

7. 沈下測定

アンダーピニングをしている

期間、地下街構造物の変動管理として沈下測定を行なった。測定器具は10分の1 mmまで測定できるウォーターレベルを地下3階の柱にすえ付け、ホースにより各測定器と不動点を結んで、不動点にはたえず水を流して水位を保ち、各測定器の変位を読みとるものである(図-16)。

この方法により地下街の横方向および縦方向の変位が測定できるが、図-17のように最初に変位が認められ、次第に変位量が小さくなっており、この理由は、①掘削の進行に伴って、建物荷重がクイにより支持されるので、乱されたクイ先端地盤が圧縮された。②建物クイの垂直精度上、ある程度の偏心荷重が生じた。③クイ頭支承部に平坦性がなく建物荷重により沈下した、などがあげられるが、測定結果からもみられるように沈下量が低減してその後は同じ値を保っているのは、地盤支持力の増加とクイおよび支承部などのゆるみが鈎合いを保ったことによるものであろう。なお、この沈下量は 5 mm 以上になると構造上、G. Cビル地下街と高層部との境にき裂を生じ、不同沈下のため地下街部の構築に悪い影響が出ると予想されたが、載荷試験の結果どおり地盤支持力の不足はなく、施工に当たっても設

本溶接して建込み、土丹層中に 50 cm 貫入させるため、500 kg モンケンにてクイ頭部を打込んだ。

④モルタルてん充工：Hクイの側面に、削孔底面までパイプを建込み、地上のモルタルプラントからのモルタルを注入した(図-12)。

⑤クイ頭と添えバリの定着：下受けクイと添えバリの間に平板ジャッキをそう入してジャッキアップし、これによりクイに 142.5 t のプレロードをかけ、支持地盤に荷重を伝えるようにする。荷重導入後、各クイの頭部と添えバリのすき間に無収縮モルタルを注入しジャッキダウンを行なう(図-13)。

3) 下受けクイの載荷試験

下受けクイの安全性と土丹の支持力を確認するために、本クイを利用し4サイクル最大載荷荷重 250 t の緩速鉛直載荷試験を行なった(口絵写真-2)結果の一部として、

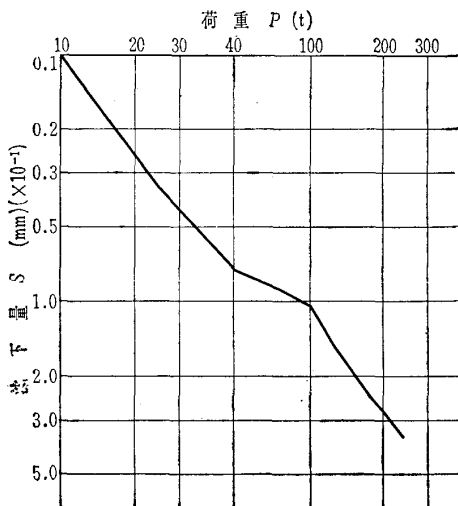


図-15  $\log P \sim \log S$  曲線

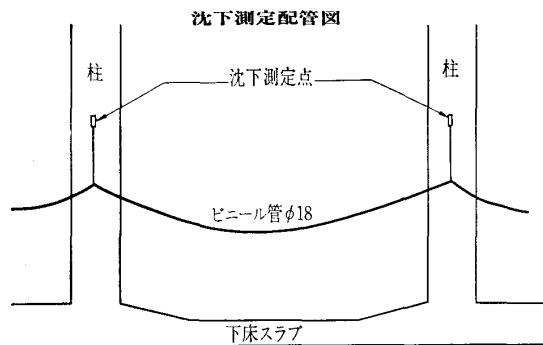


図-16

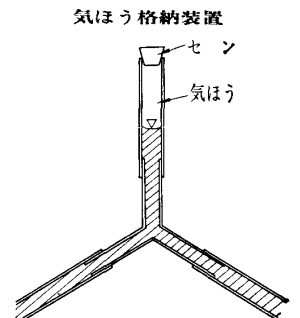




写真-3

計どおりの結果を得られた。

## 8. むすび

以上により、横浜市高速鉄道3号線の桜木町駅部構築が既設ビルの下に新設されるために採られたアンダーピニン

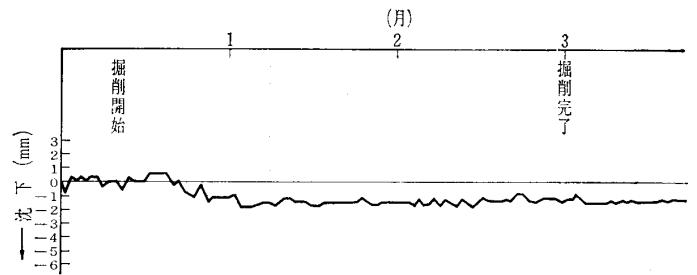


図-17 沈下量

グによる施工について、その概要を述べた。

このようなむずかしい都市環境において、これからも地下鉄建設工事を行なっていかなければならないなかで、今までさしたる事故もなく、無事施工することができたのは、われわれ土木技術者として感激にたえない次第である。何分にも経験と実績に乏しいわれわれが、今日、残工事量一割弱まで終了し得たことは関係職員の努力もさることながら、関係各位の深いご理解とご助言のたまものと感謝するものである。なお、工事を一日も早く完了させ「新しい市民の足」として活動できるよう努力を続けることを付記して、ここに報告する次第である。

(原稿受理 1974. 5. 15)

## 訂 正

土と基礎197号 (Vol. 22, No. 7), 石井・中山・遠藤・小笠原: 深層土質と地盤沈下量——東京都東久留米地区について——の報告の中で下記のような誤りがありましたので、おわび申しあげますとともに訂正をお願いいたします。

### 記

- |       |                    |
|-------|--------------------|
| 12ページ | 図-20の図面を図-21へ移す    |
| 12ページ | 図-21の図面は図-20へ入れかえる |