

図-3 地質縦断面図

ていることが多い。堆積状況は扇状地的な性格を有している。

アンダーピニング施工地点の地質断面は図-3のように推定され、地表より表土、沖積層、段丘層、大阪層群の層序となっている。沖積層の下限は T. P+6 m~T. P+8 m で粘性土である。段丘層は T. P+6 m~T. P-13 m の上部層と T. P-13 m~T. P-21 m の下部層に分かれる。上部層は砂礫 Tg を主体とし砂、シルトの薄層を狭み、未風化花崗岩の巨礫を含んでいる。また N 値のばらつきにみられるように不均一である。下部層は粘性土 Tc で N 値は 15~25、一軸圧縮強度  $q_u=2.7\sim3.6 \text{ kgf/cm}^2$  と非常に硬い。圧密降伏応力  $P_v=11.6\sim12.7 \text{ kgf/cm}^2$  で有効土かぶり圧に対し過圧密となっている。Tc 層の土質試験結果を表-1 に示す。大阪層群の砂礫 Og は層厚 5 m で連続性もよく、N 値は 50 以上で非常に締まっている。粘土 Oc は N 値約 35 で非常に硬い。

透水層は T. P-8.6 m 以浅の砂礫、砂、シルトの互層（第一帯水層）、T. P-9.0 m~T. P-13.0 m の砂礫層（第二帯水層）及び T. P-20.8 m~T. P-25.8 m の砂礫層（第三帯水層）の 3 層に分かれている。これら各帯水層のそれぞれ T. P-1.6 m, T. P-8.1 m, T. P-22.0 m の位置でボーリング孔を利用して注水法と復水法による地下水位（含、被圧水頭）の測定を行った。測定結果によると、第一帯水層は自由地下水でありその水位は T. P-0.3 m である。第二帯水層と第三帯水層は被圧地下水となっておりその水頭は T. P-0.3 m, T. P-12.7 m である。

また、校舎周囲に設置した 4 本のディープウェルのうち 3 本を揚水井に、1 本を観測井として水頭降下確認試験を

表-1 Tc 層の土質試験結果

日本統一分類法による分類		CL
土粒子の比重		2.59~2.60
粒 度	砂 分 (%)	32 ~ 37
	シルト 分 (%)	32 ~ 36
	粘土 分 (%)	29 ~ 34
コンシステンシー	液性限界 L.L.(%)	40 ~ 46
	塑性限界 L.P.(%)	17 ~ 19
	塑性指数 I.P.(%)	23 ~ 27
自然状態	含水比 $w$ (%)	22 ~ 24
	間隙比 $e$	0.56~0.64
	湿潤単位体積重量 $\gamma_t(\text{kgf/cm}^3)$	1.96~2.03
	飽和度 $S_r$ (%)	97 ~ 100
力学特性	一軸圧縮強度 $q_u(\text{kgf/cm}^2)$	2.7 ~ 3.5
	圧密降伏応力 $P_v(\text{kgf/cm}^2)$	7.4 ~12.7
	圧縮指数 $C_c$	0.26~0.31

行った。その結果、1本当たりの平均揚水量は  $Q=236 \text{ l/min}$  で水頭降下量は  $S=2.8 \text{ m}$  と小さかった。また、試験に際して揚水井内を観察したところ、各深さにある砂礫層中の地下水がディープウェルで揚水しているにもかかわらず、砂礫層下位にある不透水層あるいは難透水層上に宙水的に残り、ディープウェル内に湧出する現象がみられた。以上のことから、各帯水層は水量が豊富で、ディープウェルを増設して揚水を行っても完全にとりきれないことが予想され、土留め背面の薬液注入や新設基礎杭の工法選定の際に重要な指標となった。

### 3. 設計・計画

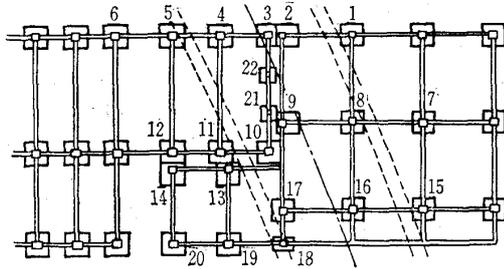
#### 3.1 校舎の構造

校舎は鉄筋コンクリート 3 階建てで、アンダーピニング施工範囲には昭和初期に建築された旧校舎と昭和 30 年代に増築された新校舎が含まれる。校舎の設計図によると、基礎は独立フーチングであり旧校舎は松杭（杭径 240×杭長 8m）、新校舎は RC 杭（杭径 300, 杭長 8m）、で支持されている。アンダーピニング範囲内の校舎の総荷重は 2501 tf であり、各フーチングの作用荷重は表-2 に示すようにフーチングによって 45~220 tf とまちまちである。基礎杭に作用する荷重は松杭が最大 32 tf, RC 杭が最大 55 tf である。

表-2 荷重表

(単位 tf)

フーチング番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
荷重	117	73	34	124	140	129	220	220	135	45	145
フーチング番号	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
荷重	157	96	93	197	197	141	45	79	57	57	



3.2 アンダーピニングの計画

アンダーピニングの基本計画を行うに当たり次のような問題点が指摘された。

① 学校活動に支障を来さないように地上からの工事は全て夏休み中に施工しなければならず、大部分の工事は路下の狭い限られた空間での作業となる。

② 地下鉄構築は校舎の直下約9mに築造されるため、校舎基礎の支持層を地下鉄構築に支障ない位置に移転させなければならない。

③ 校舎の基礎杭は設計図によると松杭、RC杭ともに杭長8m(杭先端T.P+0.9m)となっており、 $N=30\sim50$ の玉石混じり砂礫層に約3m打ち込まれていることになる。しかし、杭の材質及び校舎建築当時の杭施工技術では $N=30\sim50$ の玉石混じり砂礫層に約3mも打ち込むことは困難であったはずでありかなり高止まりしていることが予想される。深礎掘削時に調査したところ、やはり高止まりしており杭長は松杭で3.1m、RC杭で5.3mであった。

④ T.P+5mまでトレンチ掘削した場合、既成杭の根入れが短くなって周面摩擦力が減少し、支持力不足のため基礎の不同沈下、傾斜を生じさせ、1階床に設置してある実習用計器や工作機械に支障を来し、ひいては建物にひび割れなど構造上の被害を及ぼす可能性がある。

⑤ ディープウェルを使用した水頭降下確認試験の際に、透水層と不透水層あるいは難透水層との境界からディープウェル内に地下水が湧出する現象がみられたが、掘削中にも同様の現象が生じ土留め背面の砂が流出しフーチングの沈下を引き起こす恐れがある。

⑥ 新設基礎杭施工時に杭周地盤には削孔による応力解放のため緩みが生じ塑性領域が形成される。この塑性領域内に仮受け杭がある場合にはその支持力に対する評価を低減させなければならない。

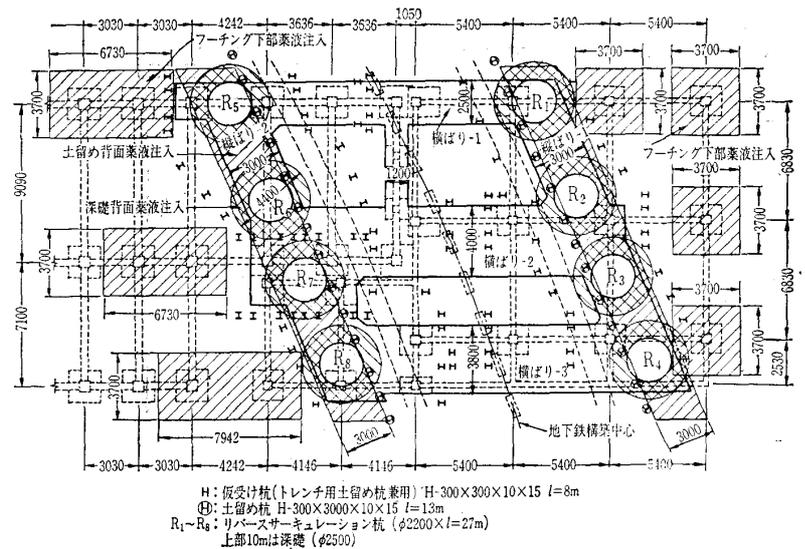


図-4 本受け工計画平面図

以上のことから、図-4、5に示すように地下鉄構築をまたぐ位置に新しい基礎を設けて受け替える本受け工を採用し、本受け工が完成するまでの対策として図-6~8に示す仮受けを行うこととした。またアンダーピニング施工範囲外のフーチング下部、土留め背面及び新設基礎杭周囲には、地盤の緩みあるいは緩みによる支持力低下及び沈下を防ぐため薬液注入を行うことにした。

3.3 仮受け工の設計

仮受け工は本受けばりに埋め込むため鋼構造とし、フーチング下の掘越しを少なくするため、図-6~8に示すようにけた高の大きい通しけたはフーチングの側面に配置し、フーチング下にはより高の小さい受けばりを挿入し、これ

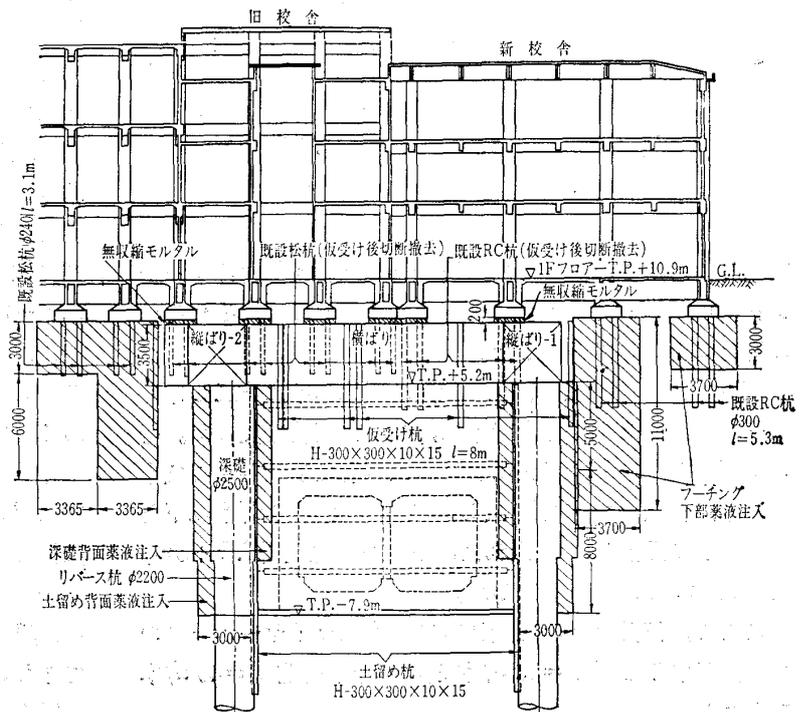


図-5 本受け工計画断面図

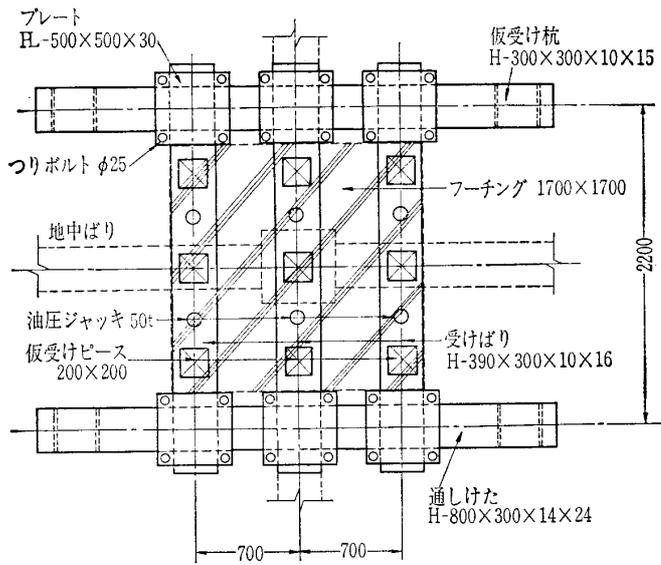


図-6 仮受け工平面図

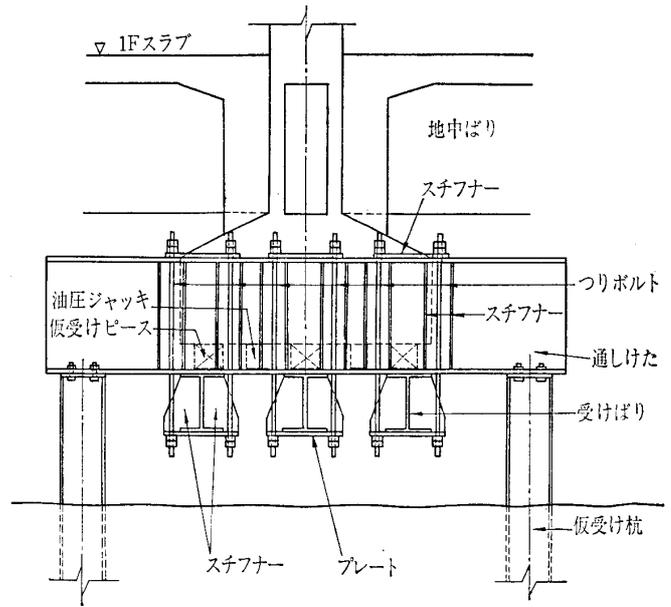


図-8 仮受け工断面図

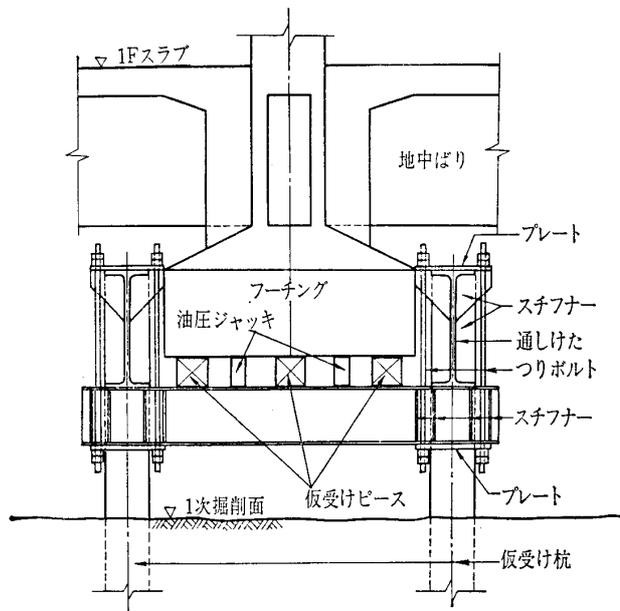


図-7 仮受け工断面図

を通しけたからボルトで吊る構造とした。各部材はフーチング荷重が表-2のようにまちまちであるので、それぞれの荷重に対応して選定した。

仮受け杭 (BH 杭, 杭径 500) は夏休み中に施工しなければならないため工程上で本数, 長さに制約を受けた。そこで夏休み中に BH 工法により施工可能な数量として杭本数 86 本, 杭長 8 m を割り出し, 杭頭荷重が 40 tf/本以下となるように配置し, 根入れ長はトレンチ底面 (T.P+5m) より 2.5m となるようにした。

ここで, 仮受け杭の短期許容支持力はマイヤーホッフの式で計算すると  $R_a' = 53 \text{ tf/本}$  となり作用荷重  $P = 40 \text{ tf/本}$  を上回る。

### 3.4 本受け工の設計

本受けばりは鉄筋コンクリート構造とし, 校舎を永久的に受け替えるため, 各フーチングを直下で受けるよう図-4, 5 に示すように格子形の配置とした。

横ばりは地下鉄構築との関係でスパン 17.5m とし, 断面算定はフーチング荷重を集中荷重とし, 縦ばり中心を支点とした単純ばりとして行った。縦ばりはフーチング荷重と横ばりの支点反力を集中荷重とし, 基礎杭中心を支点とした連続ばりとして断面算定を行った。その結果, 横ばり, 縦ばりともにせん断力により断面が決定された。

基礎杭としては深礎とリバース杭の比較検討を行った。その結果, 深礎工法の適用に関して次のような問題点が指摘された。

① 被圧地下水頭はディープウェルを増設しても T.P-12m までしか低下できない。またガス, 酸欠対策や緊急時の避難体制など施工の安全性を考慮すると施工可能深度は T.P-12m 位が限度である。

② したがって支持層は T.P-9m ~ T.P-13m の砂礫層に求めるしかなく, 中間の粘土を避けると深礎先端は T.P-11.5m となる。この場合, T.P-7.9m まで掘削時には周面摩擦力が期待できないので杭頭荷重 (618 ~ 751 tf) はそのまま杭先端へ伝達されると考えた方が安全である。杭自重を含めた杭先端の荷重度は  $135 \text{ tf/m}^2$  となり, 砂礫層中の荷重の分散を考えると粘土層上端に作用する荷重は  $88 \text{ tf/m}^2$  となるが, T.P-13m 以深の粘土層の許容支持力  $R_a = 65 \text{ tf/m}^2$  を上回る。

③ ディープウェルで揚水しても透水層と不透水層あるいは難透水層との境界から深礎内に地下水が湧出して施工できない状態が予想される。

以上のことから大阪層群の砂礫層  $O_G$  を支持層とするリバース杭 (杭径 2200, 杭長 27m) が適切であると判断し

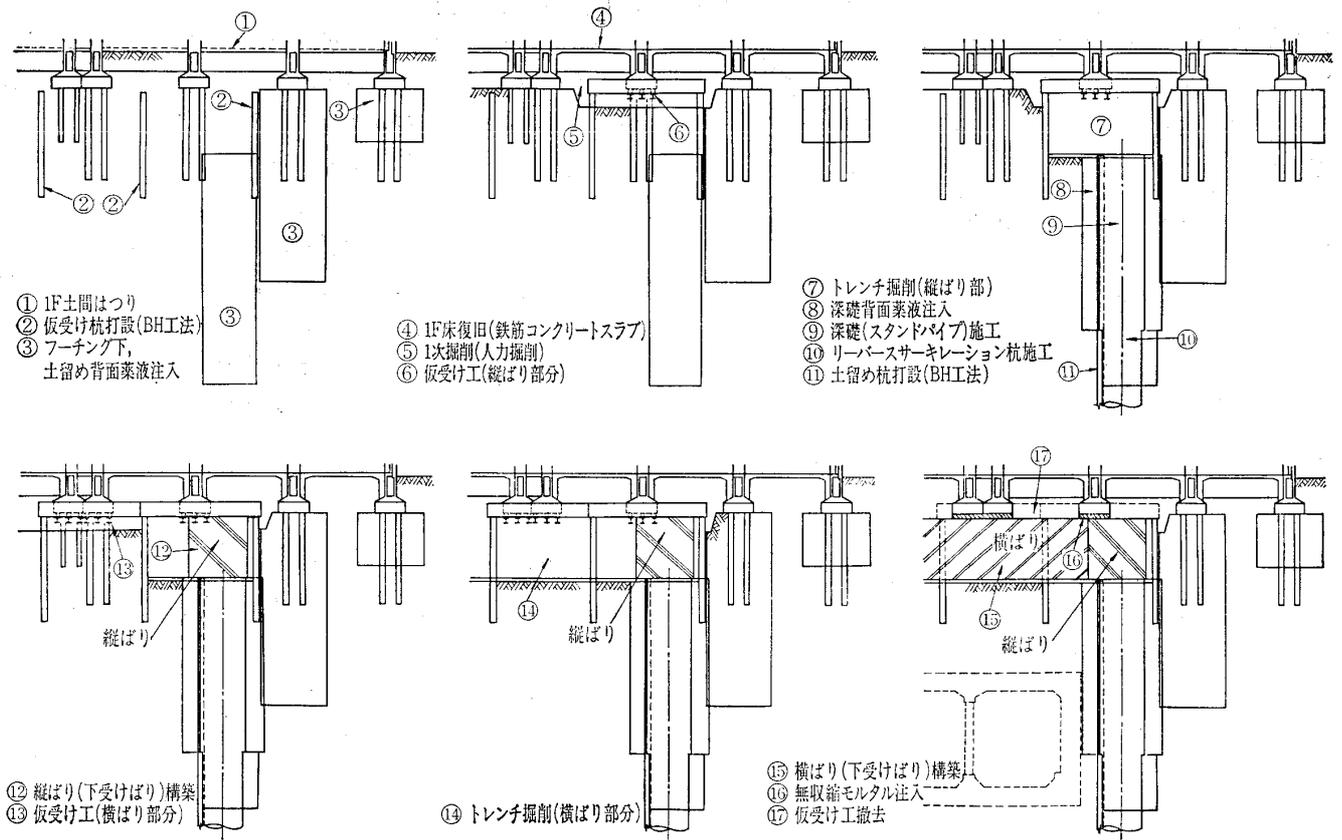


図-9 施工順序図

表-3 実施工程表

項目	年月	53年					54年											
		7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
仮受け杭打設		■																
薬液注入		■																
1Fスラブ復旧					■													
掘削(フーチング下端まで)					■													
仮受け替え																		
トレンチ掘削																		
深礎工																		
リバーサー杭打設																		
受けばり築造																		
本受け替え																		

た。しかし、T.P+6m~T.P-5mの玉石や巨礫を多く含むと推定される段丘砂礫層はリバーサー工法による施工は難しいと判断されたので、この間は深礎工法をとり、深礎わくにはライナープレートを用いリバーサー工法のスタンドパイプと兼用させた。

ここで、リバーサー杭の長期許容支持力は「建築基礎構造設計規準」によると  $R_a=780 \text{ tf}$  となり杭頭荷重 (618~751 tf) を上回る。

3.5 薬液注入工

薬液注入を行う緩み領域は、土留め背面は掘削底面から引いた主動崩壊領域とし、基礎杭周囲はウェスターガードの式で計算される塑性領域とした。

フーチング下はある程度の改良強度を必要としたので、セメント系と溶液型水ガラス系の薬液とし、土留め背面及

び基礎杭周囲地盤には地下水湧出に伴う土砂流出を防止する目的も加えて溶液型水ガラス系の薬液とした。

4. 施工

アンダーピニングの施工は、図-9に示す施工順序で校舎への影響を最小に抑えるためトレンチ工法による分割施工法をとった。実施工程は表-3に示すとおりである。アンダーピニングの主な工種を次に示す。

仮受け杭打設：仮受け杭は教室から孔壁安定用ベント

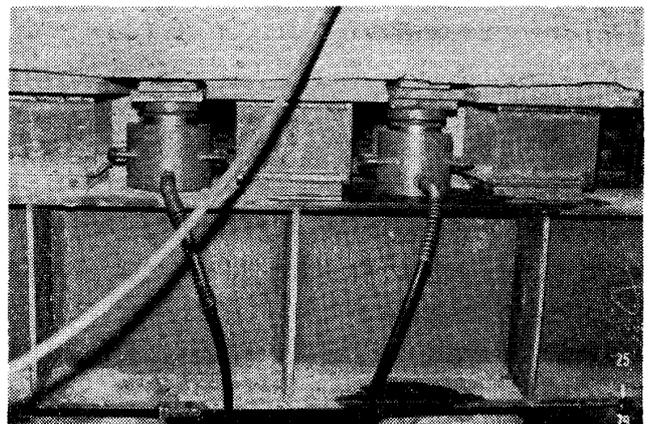


写真-1 油圧ジャッキ

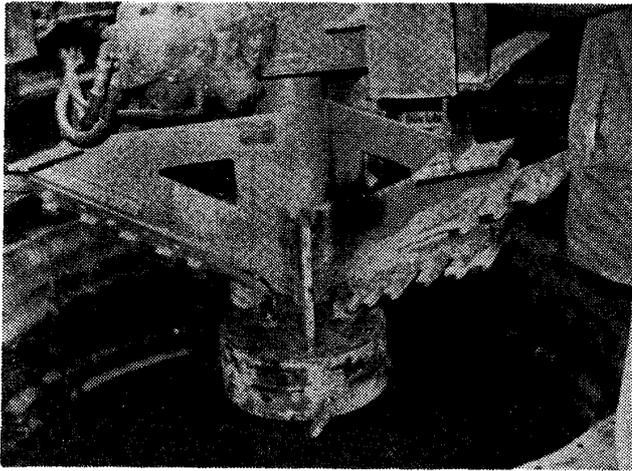


写真-2 玉石用ビット

ナイト泥水を使用しBH工法により打設した。削孔が終了したら3本継ぎでH杭 (H-300×300×10×15, 杭長 8m) を建て込み, その後H杭に添って注入パイプを孔底まで挿入し先端から順次上方へモルタルを注入した。

薬液注入: フーチング下, 土留め背面, 深礎背面ともに単管式のロッド注入を行った。注入率は約25%であった。

仮受け替え: アンダーピニング範囲全体をフーチング下端まで掘削し通しけたを架設する。フーチングの沈下が生じないようにフーチング下部を透かし掘りしながら受けばりを1本ずつ架設し, フーチングと受けばりの間に受けピースを設置し通しけたとボルトで緊結する。受けばりの設置が終了したら, 写真-1に示すように50tf油圧ジャッキをフーチング1基につき6台設置しこの6台を連動させプレロードをかけた。プレロードの大きさは表-2のフーチング荷重の70~80%とし, 受けばりのたわみとフーチングの浮上がりレベルを測定しながら2tfピッチで載荷した。載荷重がフーチング荷重の75~80%になるとフーチングが浮き上がる現象が生じたので載荷を中止し, 受けピースのくさびを締め固定した。この作業をフーチング1基ずつ繰り返し行った。仮受けが完了した状態を口絵写真-7に示す。

深礎工: 掘削時の内圧抵抗を高め深礎周囲地盤の緩み範囲を小さくするため, 深礎わくにはライナープレート $t=2.7$  mmを用い, 1わく分の施工が終了したら直ちに余掘り部分にセメントミルクの注入を行った。

リパース杭工: ディープウェル設置時の調査によりT.P-5m以深の砂礫層は玉石の混入が少ないという結果を得ていたが, この層にも部分的に玉石を多く混入する層があり削孔中にビット先端や排砂管に玉石が詰まる現象が頻発した。そこで排砂管径より大きい玉石は粉碎するよう写真-2に示すようなビットを開発し適用した。その結果は良好で以後トラブルもなく施工することができた。削孔が終了するとエアリフトによりスライムを除去し, 孔底に沈

殿しないようにした。

受けばり: 受けばりの自重は $8.8 \text{ t/m}^2$ と大きく, まだ固まらない状態でのトレンチ底地盤の沈下が懸念されたので, 平板載荷試験を行って地耐力を確認した。

本受け替え: 受け替え対象フーチング全部に仮受けの時と同じ位置に50tf油圧ジャッキを設置し, 全ジャッキを中央制御にて連動させ載荷を行った。このとき, 1階柱に設置した水管式沈下計で測定を行い, 浮き上がる現象を生じたフーチングから受けピースのくさびを締め直し固定していった。全フーチングのジャッキアップが終了したら油圧ジャッキを撤去し, 受けばりとフーチングの間に無収縮モルタルを充てんした。

## 5. 計測

アンダーピニング施工中の校舎の変状測定のため1階各柱に沈下計を設置し, 各基礎の沈下測定を行った。使用した計器は差動トランス型水管式相対沈下計で, 測定範囲は $\pm 25 \text{ mm}$ , 最小読みは $0.01 \text{ mm}$ である。

測定の結果, 基礎の沈下量はRC杭基礎より松杭基礎の方が大きく, 本受け替え直前の最大沈下量はNo-5フーチング(表-2参照)で生じ $S_{\max}=5.5 \text{ mm}$ であった。No-5フーチングの沈下の経過は次のとおりである。

- ① フーチング下端まで掘削した時点;  $S=1.5 \text{ mm}$
- ② 仮受けばりを架設するためフーチング下部を透し掘りした時点;  $S=4.2 \text{ mm}$
- ③ 仮受け工に荷重を受け替え, 既設杭を切断しトレンチ掘削した時点;  $S=5.5 \text{ mm}$

以上のように掘削の進行に伴って既設杭あるいは仮受け杭の周面摩擦力が小さくなり, それに従って基礎の沈下量も大きくなっている。各フーチングともNo-5フーチングと同様の傾向を示しているが, トレンチ掘削終了後は沈下は進行していない。最大相対沈下量はNo-8とNo-9の間で生じ $S_{D\max}=3.3 \text{ mm}$ であった。

施工中, 新旧校舎の継目や壁の目視観察を行ってきたが, 継目の開きや壁のひび割れなど特に異常は認められていない。

## 6. あとがき

村野工業高校校舎のアンダーピニング工事について主に計画・設計の面からその概要を紹介した。現在は縦ばり部分の本受け替えが終了し, 横ばりを築造中である。

本工事の計画, 設計に当たっては神戸市高速鉄道技術委員会の方々に有益なるご助言をいただいた。紙面を借りて謝意を表します。

(原稿受理 1979. 8. 6)