

VI— 6 油圧ジャッキ自動制御システムを使用したアンダーピニング工事の実績について —— 地下鉄東豊線大通駅構築工事報告(その2) ——

鹿島建設株式会社 正会員 浅原 哲
 ” 正会員 奥野 隆夫
 ” 正会員 平野 秀昭

要 約

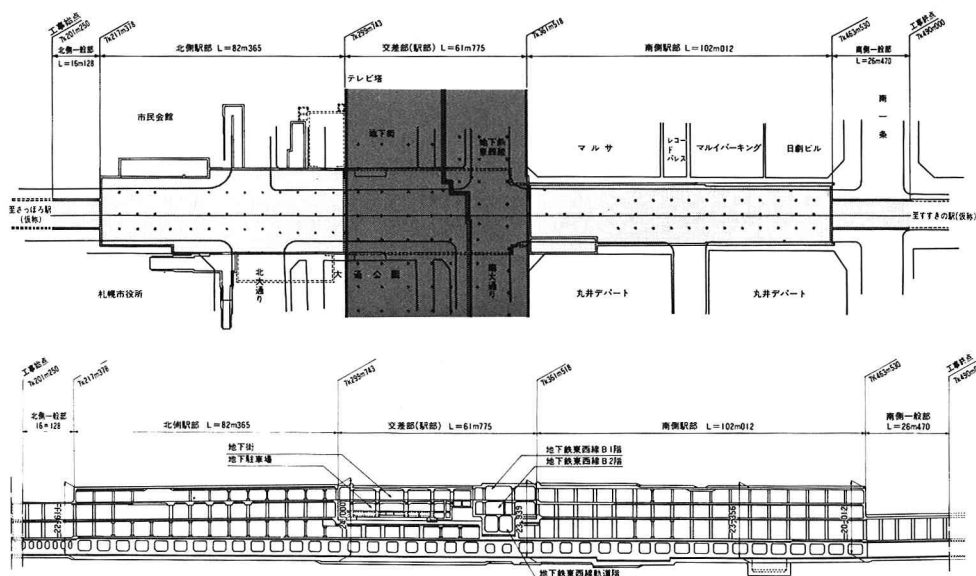
昭和60年度 論文報告集(第42号)で報告した「油圧ジャッキ自動制御システム」を使用して、地下街及び地下鉄東西線のアンダーピニング工事を無事完了したので、ここにその実績を報告する。

I. はじめに

当工区のアンダーピニング工事は、前回報告した通り“仮受構造物”，“仮受構造”とも特殊な条件から(昭和60年度 論文報告集 VI—2. 「大規模アンダーピニング工事における油圧ジャッキ自動制御システムの開発」Ⅲ—1. システム開発の経緯参照)従来の方法では困難が予想されたため、新たにコンピュータによるジャッキ制御システムを開発し、これを全面的に採用しておこなった。その結果、地下街は一時的に仮受

杭先端地盤のリバウンドの影響が見られたが、最終的には±0mm程度で“本受け”^{※1)}できる見込みとなった。(“本受け”は昭和62年 6月完了予定)一方、地下鉄東西線は最大下方変位約-3mm(相対変位 0.2mrad; 管理目標値 0.375mradの約50%)で、昭和61年12月に“本受け”を完了した。両工事を通じて、本システムを採用したメリットを次に示す。

- ① 施工に伴う下方変位を各々発生段階でリアルタイムに処理し、計算上の仮受支点反力にとらわれずに変位を主体として管理したため、前述のように小さな変位でアンダーピニングを完了できた。
- ② 仮受構造物の補強が不要で、又比較的剛性の小さな仮受基礎構造の採用等より、工程及び経済的にも有利に施工できた。
- ③ 大幅な人員削減を可能としたシステムであるため、低コストでの長期管理が可能となり、クオリティの高い管理ができた。



図—1. 平面図および縦断面

Ⅱ. 工事概要

地下鉄東豊線大通駅構築工事は、札幌市役所本庁舎を起点とし、南1条までの西2丁目線道路下にRC4層の駅舎を建設する工事である。（図-1参照） 工事延長は288.75m、最大掘削深さは27mで、全面覆工開削工法とアンダーピニング工法を採用している。

アンダーピニングをおこなうのは、大通公園・南大通り付近で交差している“地下街オーロラタウン”と、これと並進して建設された“地下鉄東西線”の一部で、仮受面積は両者あわせて1900㎡である。

表-1. アンダーピニング工事概要

名 称	地 下 街	地下鉄東西線
仮 受 工 法	基礎形式 前記掘削機坑(BH工法)	同 左
	仮受方式 PC架組工法（地下街内部より施工）及び 鋼製桁による下受工法	鋼製スプレッダーによる下受工法 （技術伝達内装より施工）及び 鋼製桁による下受工法
仮受構造物の層元	上部構造 RC2層5連間ラーメン （柱・桁で構成されたフレーム構造）	B1階B2階が3連間、軌道階が1連間のRCボックスラーメン
	基礎構造 連続フーチング基礎	ベタ基礎
	荷 重 14,000t	9,000t

Ⅲ. 工事実績

本章において、地下街は（図-2. D通り絶対変位・仮受支点反力経時変化図）を、地下鉄東西線は（図-6. 地下鉄東西線軌道階絶対変位・仮受杭軸力経時変化図）を主に参照しながら、各施工段階における仮受構造物の挙動、“油圧ジャッキ自動制御システム”（以下“システム”と称す。）の作動状況等について説明する。

1. 地下街

地下街の“システム”は、本体部の20フーチング及び張出し部の4列、あわせて24系統、102箇の油圧ジャッキを、個々に集中制御できる様にセッティングした。但し、1フーチング及び1列は同圧とした。

1-1. プレロード工

昭和60年4月10日から5月1日までに地下街本体部のプレロードをおこなった。仮受杭は支持力の確認、塑性変形の除去等を目的にプレロード

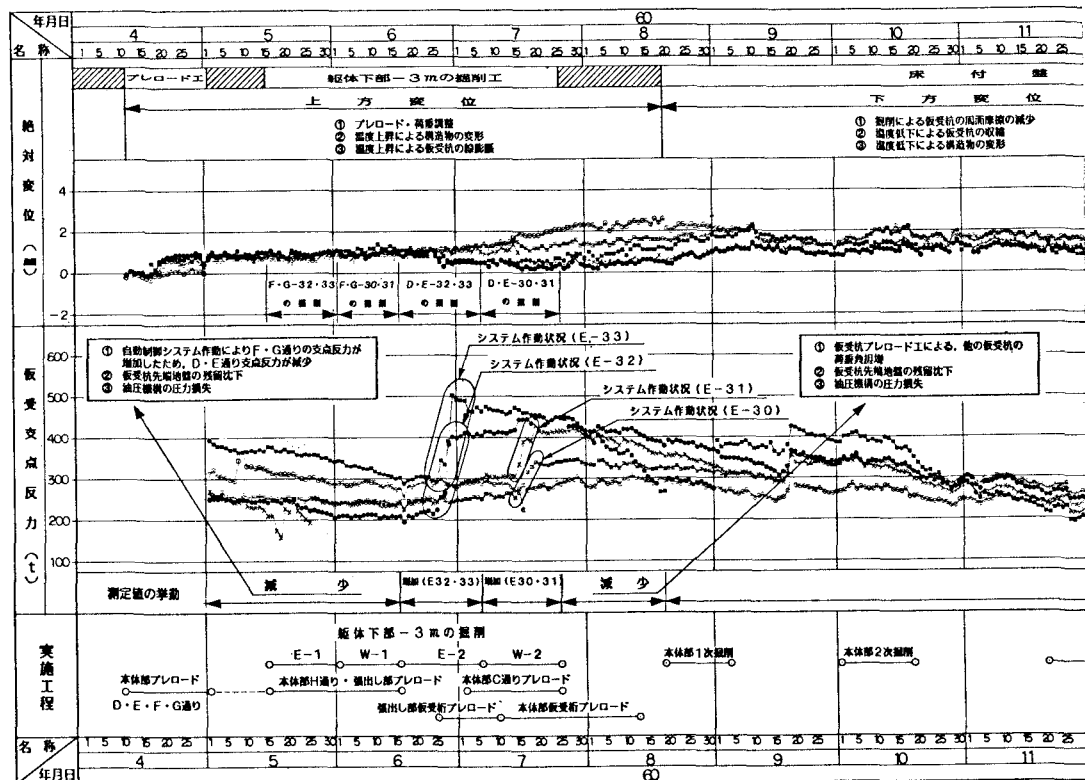


図-2. D通り絶対変位・仮受支点反力経時変化図

前に1本ずつ許容支持力まで載荷後、除荷した。その後、各フーチング単位でプレロードを開始した。プレロード時の管理基準は、各仮受支点において荷重導入率 100%又は、絶対変位量 + 1 mm 以内 (目標 + 0.5 mm) とした。(図-2 昭和61年 4月15日～ 5月 1日 参照) この結果、プレロード時の仮受支点16箇所の平均値は、それぞれ荷重導入率が 59.9%, 絶対変位量が + 0.81 mm となった。

1-2. 躯体下部-3 mの掘削
 プレロード完了後、躯体下部-3 mの掘削をおこなった。掘削は、図-3に示すように地下街を4分割し、E1, W1, E2, W2の順序でおこなった。この掘削において、仮受支点の下方変位が発生したが“システム”が作動し、最終的に平均荷重導入率 89.3%, 平均絶対変位量 + 0.84 mmで、地盤から仮受杭への受替を完了した。(表-2参照) 図-2において、昭和61年 5月14日から 7月下旬までがこの期間に該当する。

ここで、D・E-32・33掘削時(E2)とD・E-30・31掘削時(W2)に、それぞれ掘削による①下方変位と、②“システム”が作動し支点反力が増加している状況、が認められる。

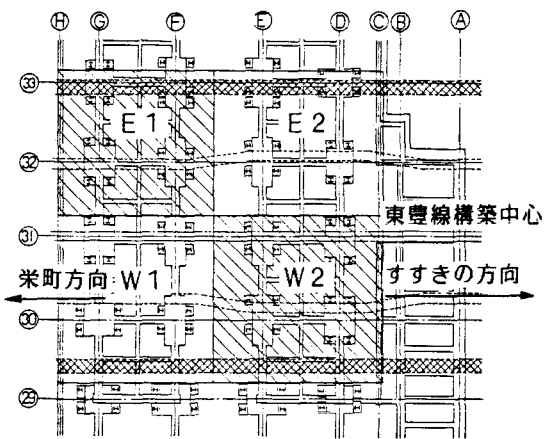
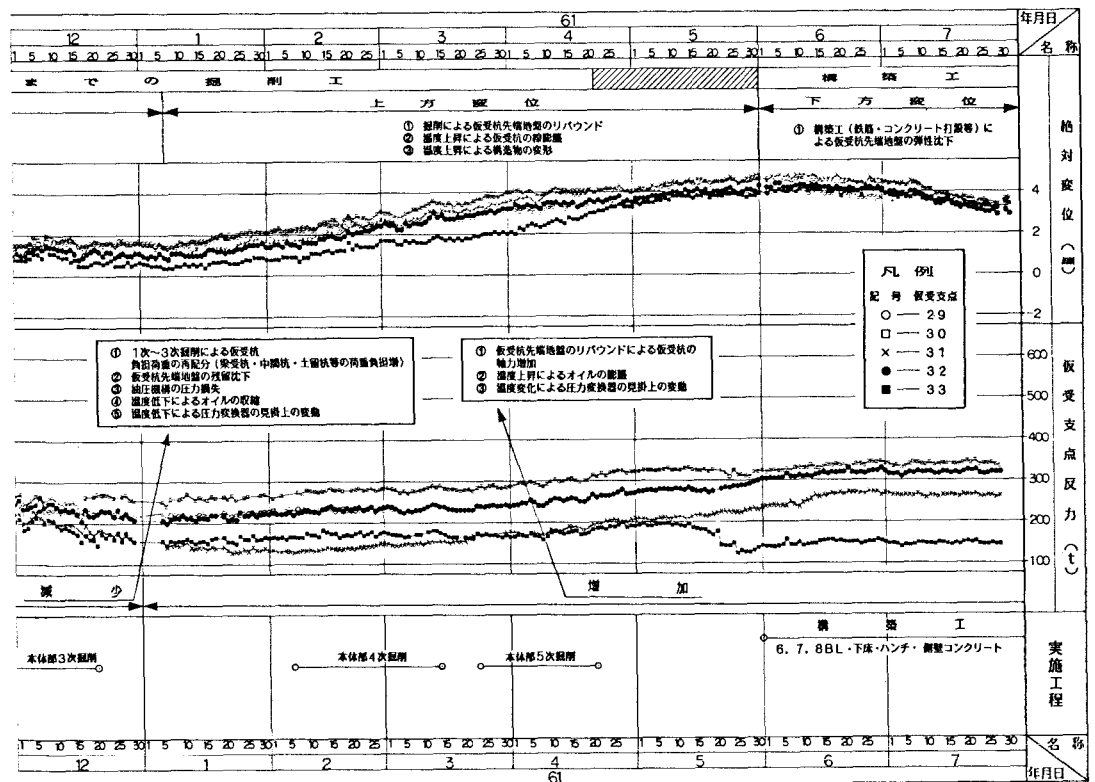


図-3. 地下街平面図



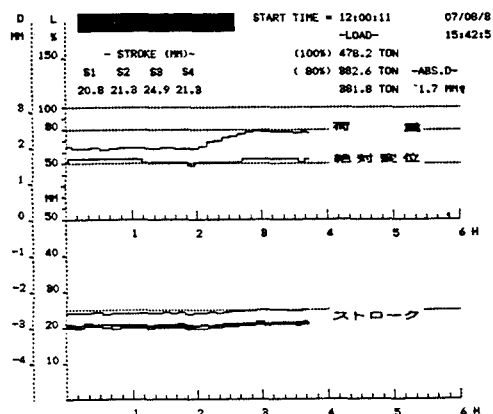


図-4. “システム”作動状況

表-2. 荷重導入率及び絶対変位量の推移

名 称	掘削前	E1掘削	E2掘削	W1掘削	W2掘削
荷重導入率 (%)					
N	16	16	16	16	16
$\bar{x}$	59.9	65.3	66.7	77.9	89.3
σ_{n-1}	10.6	15.0	18.2	12.9	15.4
絶対変位 (mm)					
N	16	16	16	16	16
$\bar{x}$	0.81	0.93	0.94	0.81	0.84
σ_{n-1}	0.38	0.34	0.41	0.49	0.56

$$\text{荷重導入率} = (\text{仮受支点反力} / \text{導入荷重}) \times 100\%$$

1-3. 床付盤までの掘削

床付盤までの掘削工において、仮受構造物に変状をおよぼす主要要因として、下記の項目が考えられた。

- ① 仮受杭の周面摩擦が減少する事により、仮受杭先端荷重が増加する。この結果、仮受構造物が下方変位する。
- ② 掘削に伴い、仮受杭先端地盤に作用している荷重が減少し、地盤のリバウンドが発生する。このリバウンドが仮受杭を介し、仮受構造物を持ち上げる。

以上の理由から、掘削完了まで“システム”を作動させ、変位管理をおこなった。(但し、急激な変位の可能性は少ないので、“システム”のモードを(計測・制御^{※2)}とした。)

掘削は床付盤までの11mを第1次から第5次までの5段階に分けておこなった。図-2において、昭和60年 8月中旬から昭和61年 4月下旬までが、この期間に該当する。ここで、第3次掘削

以降、仮受杭先端地盤のリバウンドが発生し、仮受支点が最大4mm程度上方変位している。又構築工が始まった6月以降は、荷重増による急激な下方変位が発生している。

2. 地下鉄東西線

地下鉄東西線の“システム”は、仮受杭列A、B、C、D、E、Fの6系統とし(図-5参照)各列内は同圧とした。プレロードの方法、“システム”の運転等は、地下街に準じておこなった。地下鉄東西線は、地下街と異なり躯体内部からの施工が不可能なため、躯体下部に6列の抜掘坑道を施工し(図-5参照)、この抜掘坑道内部より仮受杭打設工及びプレロード工をおこなった。以下に地下鉄東西線のアンダーピニング工の基本的な考え方について述べる。

- (1) 抜掘坑道間の地盤の支持力を期待するため抜掘掘削及びプレロードは、①D・F列、②A・C・E列、③B列の順におこなった。
- (2) 工程短縮のため、1列9本の仮受杭のうち5本を先行して施工し、後の4本については切掘げ完了後施工した。この時、先行杭で一時的に全荷重を負担するため、先行杭のみ根固め長を長くして(後行杭3mに対して、先行杭は6m)、支持力の増加を計った。

又、施工に先だち、前述の(1)、(2)の施工条件を図-7に示す第1～第12段階にモデル化し、各段階での仮受構造物の変位・応力等を検討し、施工の安全を確認した。以下、図-6を参照しながら説明する。

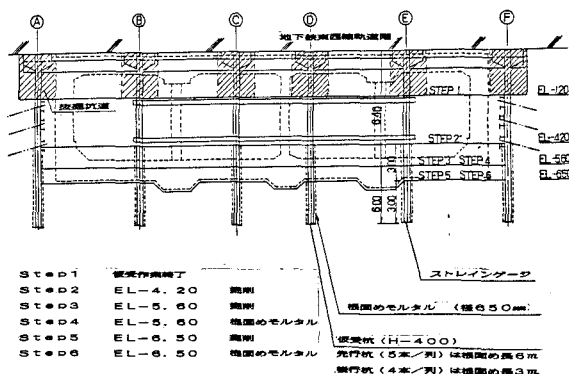


図-5. 掘削断面図

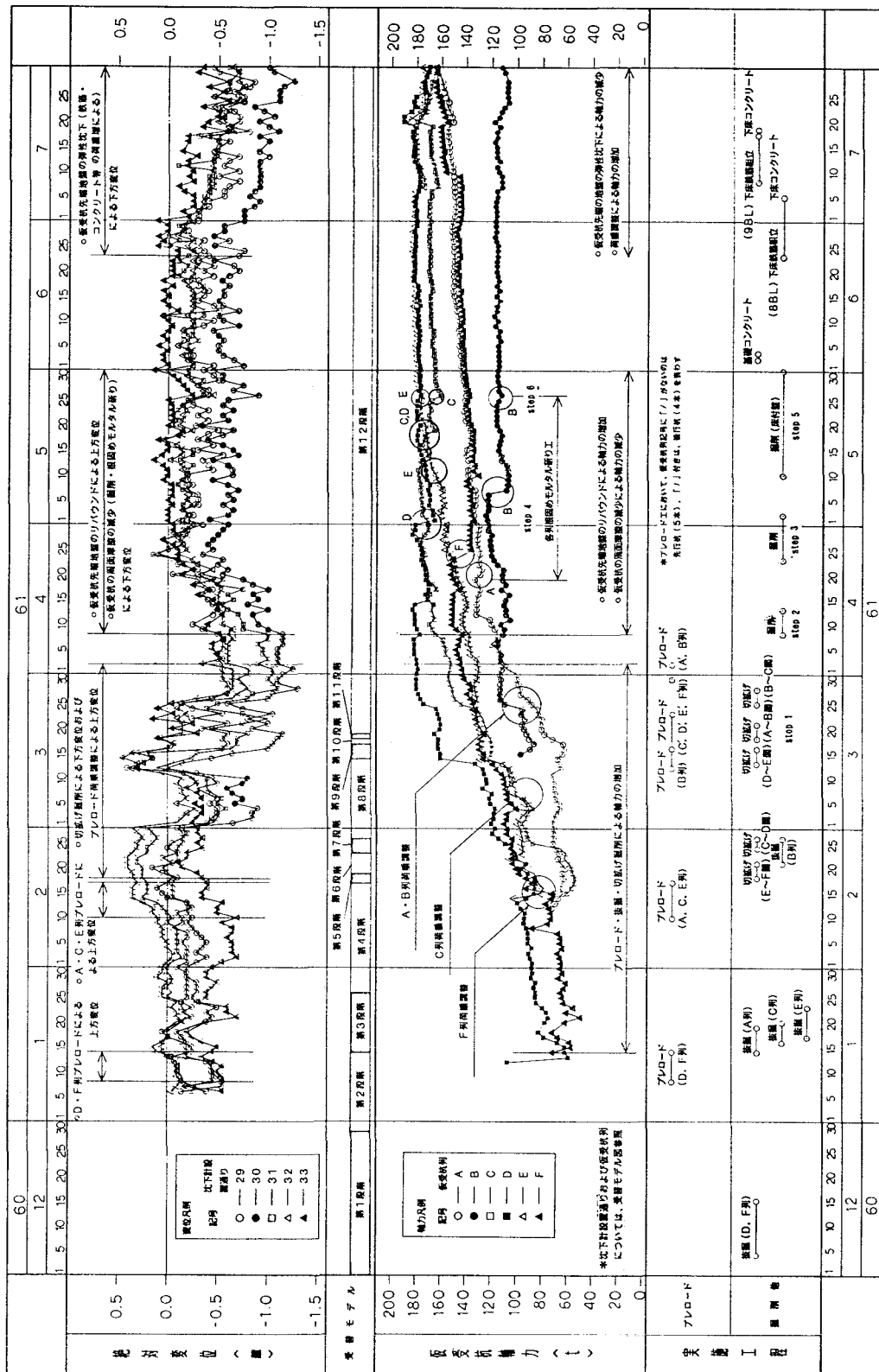
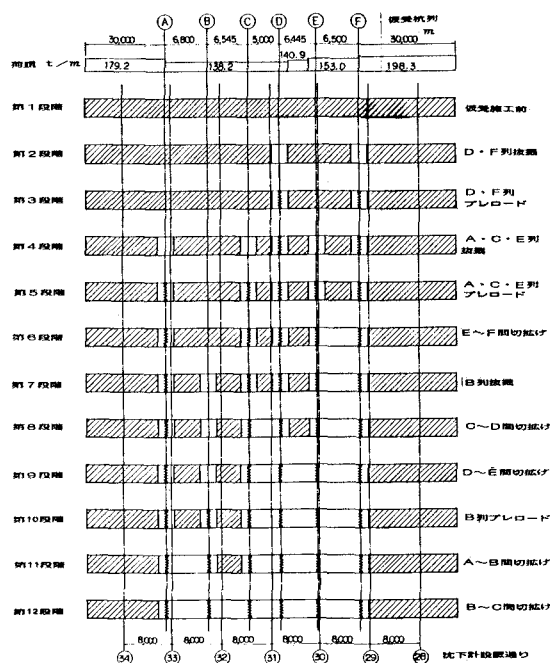


図 - 6 . 地下鉄東西線軌道絶対変位及び軸力経時変化図

※ 各データは、午前0時における値
※ 絶対変位データは、地下鉄東西線軌道の両端 (図-2) の平均値



図ー7. 地下鉄東西線交替モデル図

2-1. 掘削・プレロード・切掘げ工

昭和60年12月から昭和61年3月末までが、この期間に該当する。絶対変位データを見ると、掘削・切掘げ掘削による下方変位、プレロード、荷重調整（システム作動）による上方変位等が認められる。又、この時期の仮受杭軸力データを見ると、施工の進捗とともに地盤から仮受杭に荷重が受け替わるため、軸力が増加している様子が認められる。

2-2. 床付盤までの掘削

昭和61年4月から5月にかけて、床付盤までの掘削をおこなった。掘削は5段階とし（図ー5参照；切掘げ掘削をStep 1、先行杭根固めモルタル研りをStep 4と称しているため、実質的には3段階）、床付盤掘削完了まで“システム”を作動させた。（（計測・制御1）；地下街と同じ）

この期間の絶対変位データ及び仮受杭軸力データを見ると、①仮受杭先端地盤のリバウンドによる上方変位及び仮受杭軸力の増加、②仮受杭周面摩擦の減少（掘削・根固めモルタル研りによる）による下方変位及び仮受杭軸力の減

少等が認められる。リバウンドによる上方変位は、最大1mm程度となっている。

IV. おわりに

本システムの最大の特徴は、測定対象物の変位をコンピュータを介して直接油圧ジャッキの圧力に反映させる方式 — いわゆるコンピュータによる自動変位制御方式 — を採用していることにある。ゆえに“システム”のハードは固定したものではなく、そのグレード — 情報量及びシステム応答速度の大小によって決定される — は、構造物の規模、性状、重要度等によって自由にセッティングする事が可能である。又、この“システム”は本質的にはく自動変位修正システムなので、アンダーピニング工事のみならず、タンク基礎の補修工事、橋梁工事等変位制御を主体とした各方面の工事に適用できると考えられる。

最後に、今回のアンダーピニング工事を通して“システム”計画上の留意点を述べる。

まず第一に「システムの制御データ管理基準値の適切な設定」があげられる。この基準値の設定が不適切な場合、必要な時に“作動しない”，不必要な時に“作動する”，等の事態が発生する危険がある。この基準値は、①センサーの精度 ②システムの応答速度、③構造物の変動・力学的諸性状・応力状態・荷重履歴・重要度等を十分検討して設定しなければならない。

第二に、「システム応答速度の適切な設定」があげられる。システム応答時間の大部分は、各センサーからのデータ取込時間が占める。このため、システム応答速度と情報量は、反比例の関係にある。又、スキャナ・コンピュータ等の能力によっても、応答速度は変化する。いずれにしても、構造物の力学的諸性状・応力状態・重要度・荷重履歴等を十分調査して、設定しなければならない。

※1） “本受け”とは、新躯体完了後、仮受構造物（仮受杭）から新躯体に荷重を受け替える工事を言う。

※2） （計測・制御1）とは、沈下計データ、荷重データ、ストロークデータの表示及びこれらのデータのアラームチェックをおこなうモード。（論文報告集第42号 大通駅橋梁工事報告（その2）参照）