

現在、モノレールの2期工事である本駅舎部分の工事を施工中である。今回紹介する大口径PCウェルはJR内・外房線と京成電鉄線をまたぐ2径間鋼トラス橋の橋脚基礎である。(図-2参照)

PCウェル工法は、中空の円筒形プレキャストコンクリートブロックをPC鋼材で緊結して一体化し、ハンマングラブ等により内部を掘削しながらブロックを圧入沈設していく工法である。同工法は、現在開業している区間において数多く採用されたが、実績で外径3.8mまでである。

今回採用したPCウェルは、外径が6.0m・5.0m・4.5mの3種類であり、施工実績がないため仮設用(型枠)として用い、中空内に鉄筋籠を入れコンクリートを打設する場所打鉄筋コンクリート杭である。ここに大口径PCウェルの選定経緯、設計、沈設並びに施工実績について報告する。

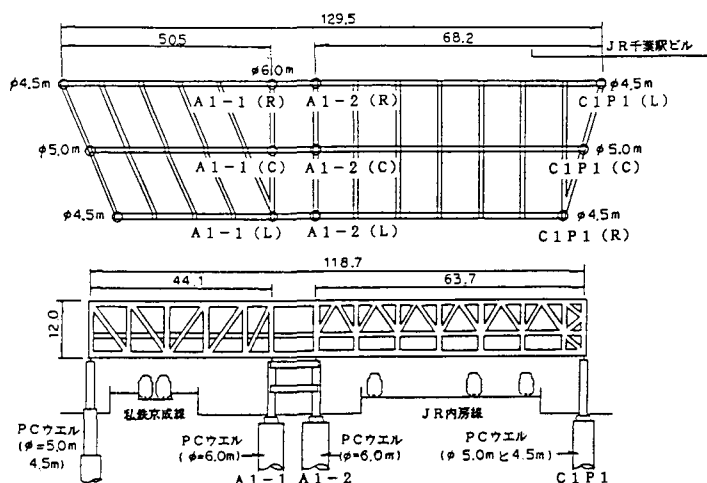


図-2 施工計画概要図

2. 大口径PCウェル選定経緯

基礎形式の決定にあたっては、当初中央部橋脚基礎について直径約3.0mのリバース杭を12本打設し地中梁で連結する設計であったが、同現場が近隣のデパートとJR千葉駅を結ぶ連絡地下通路の計画ルートに当たり、地中梁無しで直径6.0mクラスの杭を施工することになった。

しかし、過去の実例を調べても直径4.0mを超える場所打杭の施工実績は見あたらなかった。そこで可能と思われる工法について比較検討することにした。

採用条件

1. 工期が短いこと。
2. 作業ヤードが狭いこと。
3. 鉄道構造物近接施工として安全性が高いこと。(既設構造物に与える影響)
4. 地下通路幅員が確保できること。

まず、リバース工法について検討したが同工法は孔内に泥水を循環させながら掘削するため、泥水処理設備が必要になる。大口径になるとその分処理設備も大きくなり、当現場にはそのスペースがない。

また、施工実績が無いことから施工機械の入手が困難である。そのほか、地中連続壁基礎、ニューマチックケーソン基礎及び鋼管コンクリート杭も候補に上がったが、作業スペースや工期に問題があった。又、場所をとらない工法としてオープンケーソンも検討したが、同工法は周辺地山をみだし周辺既設構造物に与える影響が大きいなど問題がある。

以上のことから（表－1参照）コスト的には他の工法に比べ割高になるが、限られた狭い作業スペース及び周辺地盤に与える影響の少ない工法として、PCウェル工法を採用することにした。

工法	(1) 大口掘場所打ち杭	(2) ニューマチックケーソン基礎	(3) 場所打ち鋼管コンクリート杭	(4) PCウェル基礎
項目				
概 要 図				
① 周辺既設構造物へ影響	・周辺地盤沈下は少ないが、孔壁の崩壊の可能性は多少ある	・777mm(24in) 幅が比較的大きく、周辺地盤沈下は多少ある	・周辺地盤沈下は少なく、孔壁の崩壊の可能性も少ない	・777mm(24in) 幅は小さく、周辺地盤沈下も少ない
② 仕入れ口への影響	・スタンドパイプがある	・常に地上に構造物がある	・夜間施工、搬入を行えば無い	・常に地上に構造物がある
③ 騒音・振動問題	・土砂分層設置に多少ある	・圧入音がある	・土砂分層設置に多少ある	・振動計多少ある
④ 鉄道近接工事作業	・時々ある	・時々ある	・時々ある	・時々ある
⑤ 必要作業日数	・作業日不足	・作業日不足	・作業日多少不足	・作業日多少不足
⑥ 工期	・約8ヶ月	・約20ヶ月	・約12ヶ月	・約12ヶ月
⑦ 工費	・約5・0億円	・約8・2億円	・約7・1億円	・約9・2億円
⑧ その他問題点	・H=3.8mまでの実績しかなく、H=7.4mの製作が必要 ・トンナリATの運搬に問題あり	・地方向の杭間隔が2D以下となる ・地下H41工事と同時期となり、27-78の可能性あり	・将来の地下運搬員が(1)案より多少小さくなる ・頂版施工時に土留・止水壁が必要	・地方向の杭間隔が2D以下となる ・H=3.8mまでの実績しか無い ・PCウェルは既設 ・頂版施工時に土留・止水壁が必要
総合評価	△	X	○	◎

表－1 基礎形式選定比較表

3. PCウェル管体の設計

水平方向は、傾斜修正時における地盤バネを考慮した水平方向移動量（5mmに想定）を側圧として作用させる方法と、①・②の2ケースで検討した。

- ① 主動土圧＋静水圧が4方向から作用する場合（通常施工時）
- ② ①と同時に主動土圧の1/2が1方向に偏荷重として作用する場合（偏心時）

又、鉛直方向はPCウェル沈設中の傾斜修正荷重による断面応力を検討し、PC鋼棒による有効プレストレス（ $\sigma_{ce}=15\text{kgf/cm}^2$ ）を決定した。

傾斜修正は沈設長10m程度迄に行う。

圧入荷重 $\Sigma P=300\text{t}$

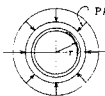
ΣP による水平荷重（水平分力） $H=40\sim 50\text{t}$

〔修正量5mmとし水平力を仮定〕

A1橋台、C1P1橋脚

円環断面応力（深度 $x=28.6\text{m}$ ）

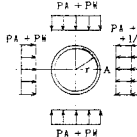
CASE-1 4方向より荷重を受ける場合



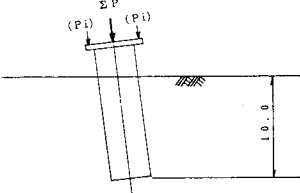
$$\begin{cases} N = (PA + PW) \cdot r \\ M = 0 \end{cases}$$

CASE-2 1方向より偏荷重を受ける場合（偏荷重: $1/2 PA$ ）

モーメント最大位置（A点）



$$\begin{cases} NA = (PA + PW) \cdot r + 0.212 \times 1/2 PA \cdot r \\ = (1.106 PA + PW) \cdot r \\ MA = 0.163 \times 1/2 PA \times r^2 \\ = 0.0815 PA \cdot r^2 \end{cases}$$



今回のような大口径PCウェルは今までに施工実績がなく、運搬が出来ないため2分割とした。なお、ジョイント部が設計強度上、安全性に対する実績が無いため仮設用(型枠)として考え、沈設に必要な最低限の管体厚さで設計した。(図-4参照)

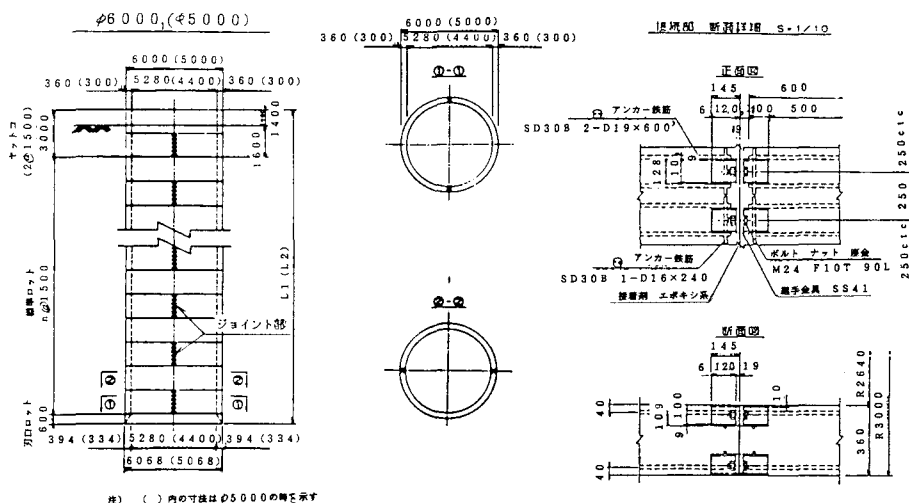


図-4 PCウェル管体一般図(ジョイント部)

4. PCウェル沈設

施工法は、PCウェルの内部をハンマーグラブ等で掘削し、PCウェルを圧入・沈設する中掘圧入工法である。

従来のPCウェルは、反力杭またはアースアンカー反力の上に鋼製フレームを取りつけ、それに圧力ロットを介し三角加压板、センターホールジャッキにより圧入していた。また、沈設傾斜測定はX・Y方向からトランシットで管理をしていた。

今回の大口径PCウェルは、底部反力及び周面摩擦力が増大することと、PCウェルの傾斜管理が難しいことから新たにPCウェル圧入装置及び沈設管理システムを導入した。

〔1〕PCウェル圧入装置

この装置は、PCウェル圧入方向に6基のジャッキ(100tf/基)と水平移動用ジャッキ(7tf/基)、カバーリング及びプレスリングからなり、アースアンカーを沈設反力として形成されている。(図-6参照)

分割PCウェル(ロード)を施工するに当たっての主な内容は次の通りである。

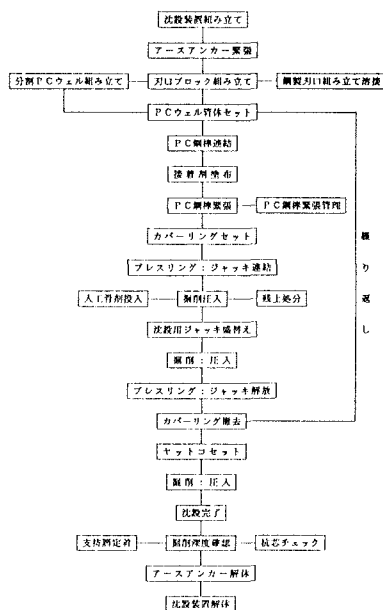


図-5 沈設施工フロー図

〔2〕沈設管理システム

及び日常計測管理プログラム

本システムは、PCウェル沈設作業に油圧ジャッキを用い、各種検出器により傾斜、荷重、変位を計測し、挿入管を目的とするジャッキコントロールシステムである。

日常計測管理プログラムは、傾斜、荷重、変位の各検出器のデーターを測定しながら、ジャッキの傾斜、ストローク、圧力及びPCウェルの姿勢などを常時画面上にモニターすることができる。そして、そのモニターにより各ジャッキ制御を手動操作し、PCウェルを沈設する。

① イニシャル測定

1日の日常計測で、PCウェル押し込み準備が終了したとき、各検出器のデーターを測定する。この時のデーターが、各計測データーの初期値となる。

② 状態表示

次のア～エの状態が一画面に常時表示される。

ア. ジャッキ相対高さモニター

6本のジャッキのうち、最低値ジャッキの高さを「ゼロ」にし、他をプラス表示する（単位はmm）。また、他のジャッキとの差が10mm以上（PCウェル上部の水平管理 精度1/600）になると赤色（正常時黄色）で表示し、ブザーにより警報を発する。表示フォーマットは、6台のジャッキと各ジャッキ番号を六角形に配置して、相対高さを表示する。

イ. ジャッキストローク・モニター

ジャッキストローク6点を縦位置方向にとり、ジャッキの長さ・残りの長さを棒グラフで表示する。

なお、ジャッキ長さでmax、minの差が10mm以上の場合には赤色で表示する。

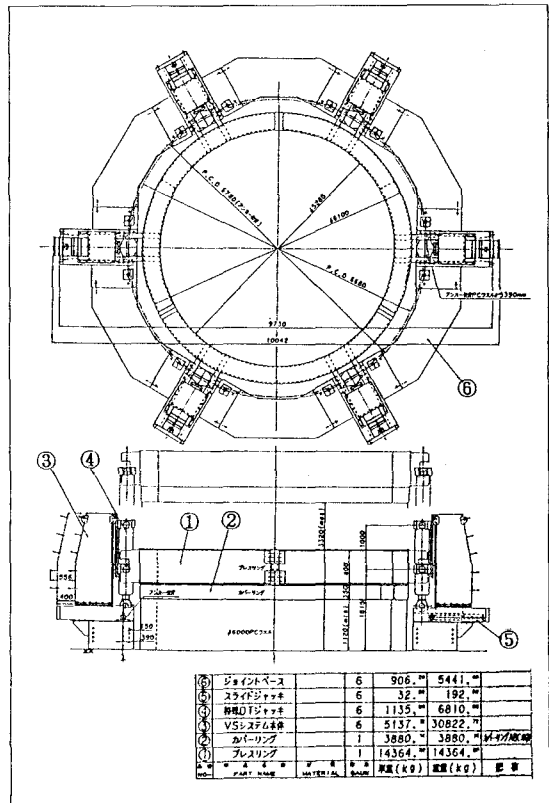
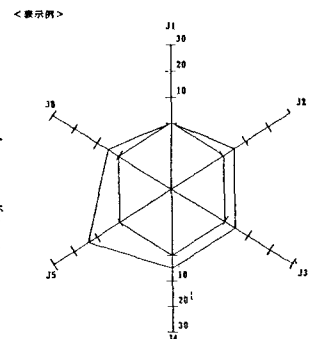
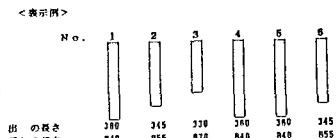


図-6 PCウェル沈設装置



ジャッキ相対高さモニター

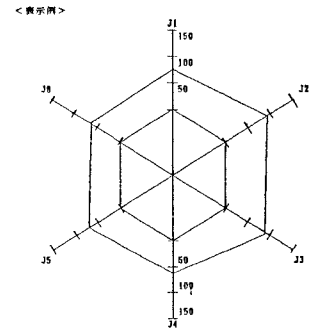


ジャッキストローク・モニター

ウ. ジャッキ圧力モニター

ジャッキ6台の圧力を六角形に配置し、圧力を表示する。そして、その値のmax、minの差が30（設定可変）tonになると赤色表示し、ブザーにより警報を発する。

このとき全ての電動機を手動で停止し、制御を中断する。



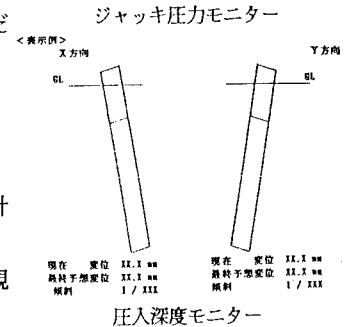
エ. 圧入深度モニター

圧入深度を日毎に累計し、m単位で小数点1位まで表示する。（ただし、リバウンド量・機械的な伸び等は無視する）

③ ジャッキ制御（傾斜、変位による）

油圧ポンプユニットの制御開始ボタンが押されると、変位、傾斜の計測データより手動で電動機を起動/停止し、各ジャッキを制御する。

制御中はジャッキの上下限（設定値）、および非常停止ボタンを監視し、異常が発生すると全ての電動機を手動で停止し制御を中断する。

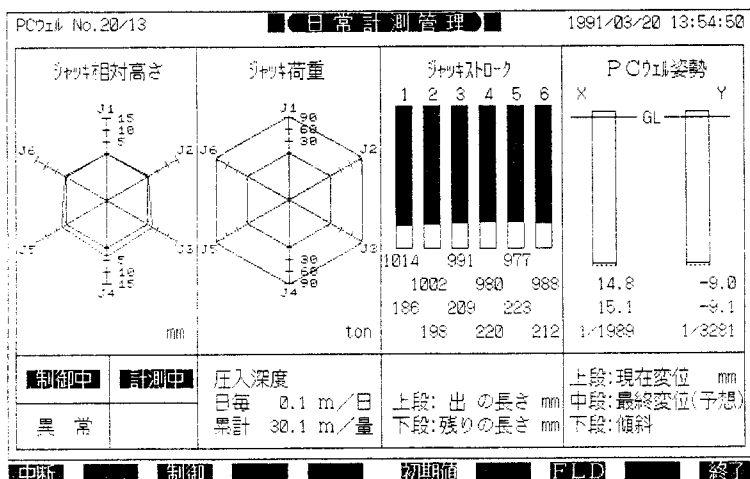


④ データ収録

制御中のデータは、常時ハードディスクの所定のファイルに格納される。又、オペレータの判断で1リングが終了となったとき、計測データをフロッピーディスクへ保存することができる。

⑤ プリント出力

計測中のデータは、あらかじめ設定されているインターバルでプリンタへ出力される。



5. PCウェル施工実績

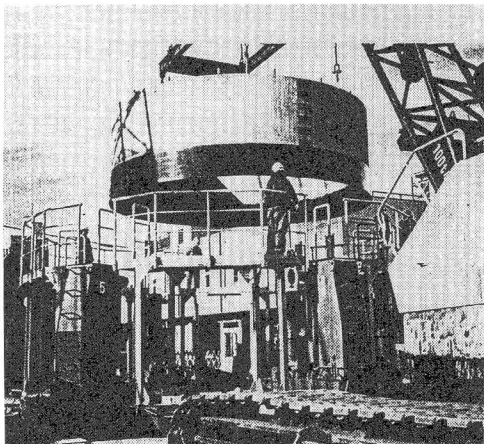
今回は、外径 6.0m 6本のうち 3本の施工実績について報告する。施工手順は(図-5)のフロー図の通りである。

まず、沈設ジャッキの反力としてアースアンカー(SEEケーブル・タイプF160T)を施工し、沈設装置の架台兼ガイドウォールのコンクリートを打設する。

そして、沈設装置を組み立てアースアンカーを緊張定着する。

次に、2分割搬入されたPCウェル管体を組み立て管体に鋼製刃口を取りつけ、沈設装置により圧入する。これを順次繰り返し所定深度まで圧入する。

各管体はPC鋼棒(B種2号 SBPR95/120 $\phi 32 \times 16$ 本)により緊張一体化する。



(1) 理論沈下関係図との比較

理論沈下関係図はPCウェル沈設における沈下抵抗力(周面摩擦力、刃先抵抗力、浮力)とPCウェル自重との関係を表したもので、沈下時の各段階における必要圧入力そして最大圧入力を決定する資料となる。

この理論沈下関係図により求めた最大圧入力に基づき、沈下設備及び反力設備の仕様が決定されている。

(図-7参照)

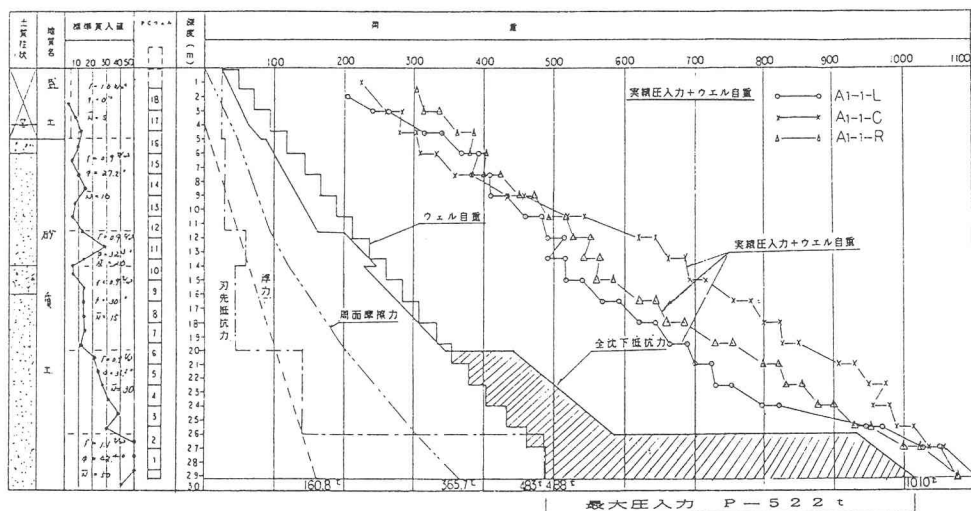


図-7 理論沈下関係図

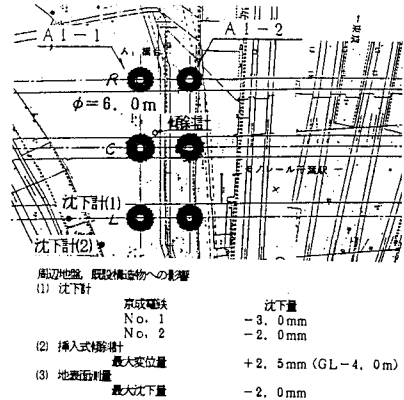
図-7は理論沈下関係図に施工実績を記入したものである。

理論上では、GL-20.0mまではPCウェル自重が全沈下抵抗力より勝り、自重のみで沈下するようになっている。実施工においては周辺地盤に与える影響及びPCウェルの傾斜管理上から、PCウェルの刃先を掘削地盤に常に先行させるようにしたため、初期段階においても圧入力を必要とした。

(2) 周辺地盤、既設構造物への影響

PCウェル沈設における周辺地盤及び既設構造物の変状監視として水盛式沈下計、挿入式傾斜計及び地表面レベル測量を行った。

結果は次の通りであり、同工法が周辺地盤、既設構造物に与える影響がきわめて少ないことを確認した。



(3) 施工実績

延べ施工日数が27日から39日と12日間の差が出たのは、R側の地質が他と若干違い、中間層で固い部分があり掘削に手間取ったためである。杭の傾斜は許容値1/200 に対し、かなり良い精度で管理することができた。(表中 1/0 は1/10000 以上を表す)

(PCウェル沈設 A1-1 φ=6.0m)				
	L	C	R	平均
延べ施工日数 (日)	27	32	39	32.7
m当り施工日数 (m/日)	1.08	0.91	0.75	0.89
杭の傾斜 (許容 1/200)	X=1/706 Y=1/0	X=1/2944 Y=1/9737	X=1/2095 Y=1/3174	——

6. あとがき

本工事におけるPCウェルは、仮設(型枠)として使用したが今回の実績をふまえ、本設杭として使用できるかが今後の課題である。本設杭としての沈設に関しては、PCウェルの壁厚が大きくなることによる沈下抵抗力の増大があるが、ジャッキ能力のアップ、ジャッキ台数の増、及び沈設反力(アースアンカー)の分散等を行うことで十分可能である。

問題点は、2分割に伴うジョイント部である。ジョイント方式としてはPC鋼棒、ボルト締め、溶接などが考えられるが未だ実績がなく、本設としての実用化にいたっていない。

今後は、これらのジョイントの実験等を行い、ジョイントの信頼性が確立できれば本設杭としての施工が可能になると考えられる。

参考文献

- 1) PCウェル工法研究会 : PCウェル工法技術基準(案) 設計施工マニュアル

(1991年9月30日受付)