

PC ウェル工法について

小 笠 原 一 男*

1. ま え が き

現場打ち構造物のプレハブ化は、時代のすう勢であって、いまさらとりたてていうほどのことでもないが、本稿で紹介する「PCウェル工法^{1),2),3),4)}」も、また、これと同じ目的で開発された、遠心力製法によるプレキャスト基礎部材である。

従来より、一般構造物の基礎としては、JIS A 5310 (遠心力鉄筋コンクリートくい、通称RCくい)、JIS A 5335 (プレテンション方式遠心力プレストレストコンクリートくい、通称PCくい)が、工場製品として、鋼管杭などとともに広く使用されているが、土木構造物(とくに橋梁など)のように、巨大な荷重が集中して作用する箇所には、いぜんとして、一般的なケーソン工法が採用される場合が多い。これは比較的小範囲な場所で大荷重を支持するためには、大きな支圧断面を必要とするので当然のことであるが、いうまでもなくケーソンは現場打ち工法であるために、壁体の製作管理面のむずかしさや工期の長期化というデメリットがあり、さらに、高度経済成長下における労働力および熟練作業員の不足ということも、今後の問題として無視できないのではないかと推察されるものである。前述のプレキャスト杭のうち、RC杭はともかくとして、PC杭の場合でも、その規格最大径は製造上および運搬上の制約を受けて1200mm(外径700mm以上を大径PC杭と呼んでいる)となっているが、この程度のもものではとうていケーソンに代りうべくもない。プレキャストコンクリート杭としては、このほか、あまり知られていないようであるが、JIS A 5336(ポストテンション方式遠心力プレストレストコンクリートくい)があって、外径1800mmが最大径として規定されているが、この形式のPC杭は、比較的短い単体をポストテンション(施工前に)によって一体構造に組み立てるために、径の大きなものになると、やはり運搬または重機能力の限度があって、長尺のもの製造は不可能に近く、ほとんど実用化されないままになってい

るのが現状である。たとえ、それが可能であるとしても、施工上の問題点があって、これら大径PC杭が、いまひとつ伸びなやんでいる理由となっているようである。

以上のようなことも原因して、現場打ちケーソンのプレハブ化は久しく実現の域に至らなかったが、PCウェル工法の開発は、一応、その目的を達成できたものといってよいであろう。このPCウェルは、最終的には前掲のポストテンション方式遠心力プレストレストコンクリート杭と同じ構造となるものであるが、これが実用化を可能にしたのはその組立方式であり、その工法の合理性によってさらに大口径への道が開かれたものである。この組立方式の最大の特徴は、単体相互の継手構造にあって、各単体を施工現場において、1ロットずつ連結しながら逐次沈設する機構であるが、同時にプレストレス(ポストテンション)も導入されて、最終的には一体構造となった基礎を構築することができる。したがって各単体は個々に現場搬入ができるので、運搬可能な範囲の大口径のもの使用が可能となるわけで、現在、遠心力製法によるコンクリート製品の最大径は、遠心力鉄筋コンクリート管(ヒューム管)において内径3000mm(外径3500mm)までであるので、この程度の径までは十分その対象となりうるものといってよい。

このように、PCウェルは、構造的に見れば大口径PC杭としての要素を持っており、施工面より見れば、オ

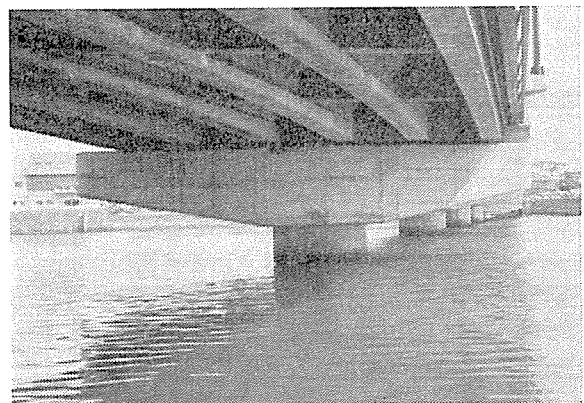


写真-1 基礎・橋脚一体構造のPCウェル

* 日本ヒューム管株式会社 技術部長

オープンケーソンに近い工法であるといえよう。

2. 製造上の利点

PCウエルは、PC杭の設計技術とヒューム管（とくに超大口径管）の製造技術が組み合わされて開発されたものといつてよい。したがって、各単体の製造は、むしろヒューム管の製造工程に近いものとなるが、一般のヒューム管に比べれば、その肉厚もかなり厚くなり（後掲のごとく、標準規格としては外径の 1/10 程度）、PC鋼棒通し孔をはじめとして、補強材の取付けなどに、かなり高度な製造技術を要するものである。

遠心力製法により、きわめて密なコンクリートが得られることを改めて説明する必要はないが、このPCウエル単体もPC杭と同様に 500 kg/cm^2 以上の圧縮強度を持ち、乾燥収縮およびクリープ性状に優れていることもまた同様である。さらに、成形に用いられる型わくは堅牢な構造と優れた寸法精度を有しているために、各単体の真円度および端面の平行度・平滑度はきわめて良好であって、現場における組立てを容易かつ正確にする原因となっていることはいうまでもない。

このように、工場製品として十分な品質管理のもとに製造される各単体は、均一な品質と優れた強度および耐

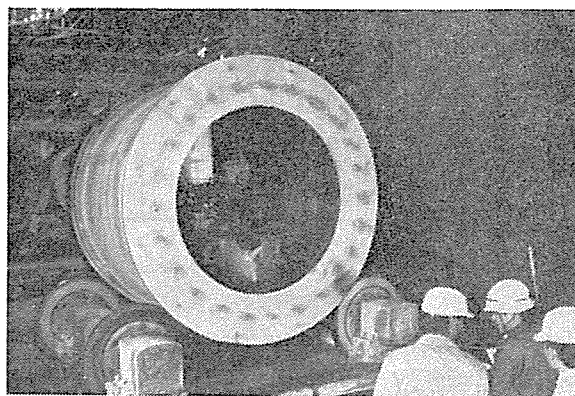


写真-2 PCウエル製作状況

久性が与えられるので、現場打ちのケーソンに比べて、はるかに薄い肉厚による設計が可能となり、そのために大幅なコンクリート量の節減ができるという利点を持っている。現時点における製造設備は、ヒューム管成形機が使用される関係上、単体の長さは 2.43 m が基本となっていることを付記しておく。

3. PCウエルの構造と標準規格

PCウエルの構造は図-1に示すとおりであるが、その概要を説明すると次のようである。まず、各単体の壁

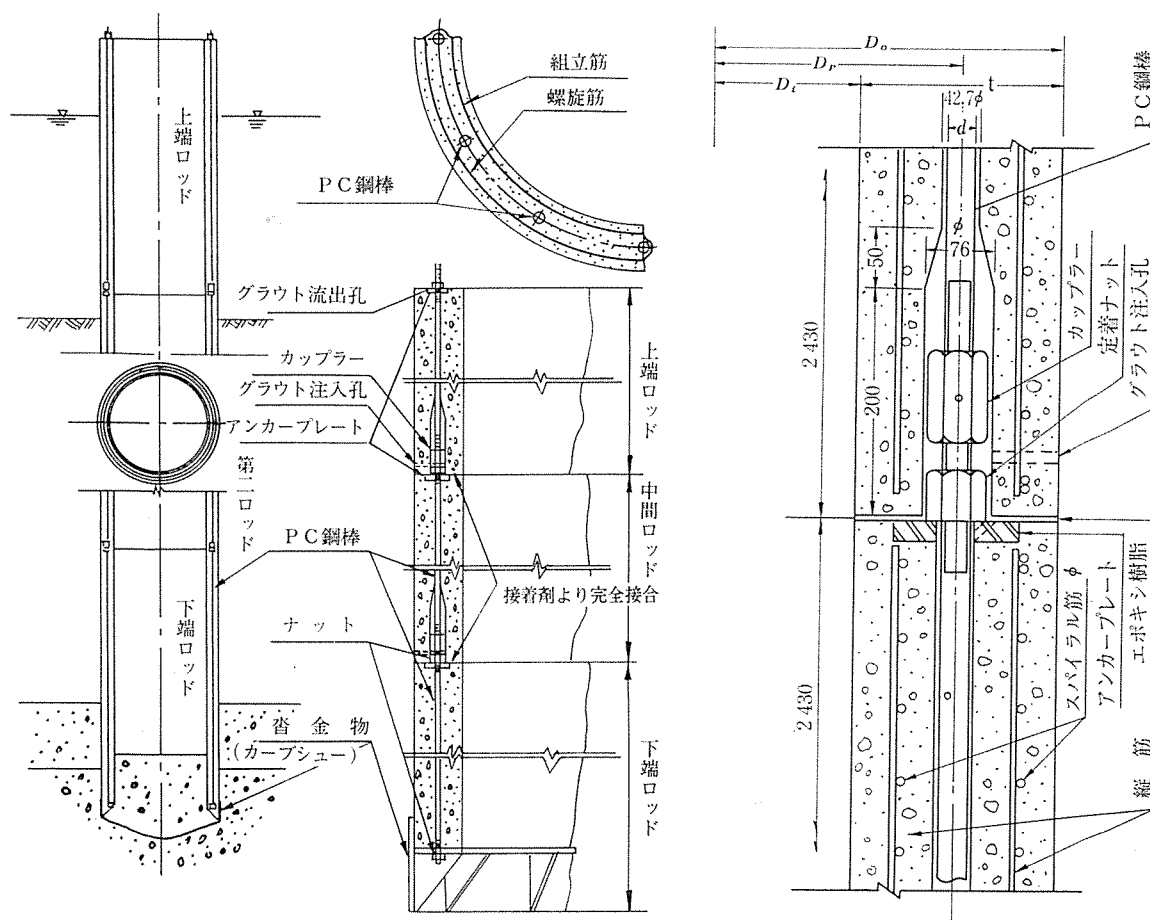


図-1 PCウエル標準構造図

表-1 P C ウェル 標準寸法表

(単位: mm)

| 呼 び 径 | 外 径 D_o | 鉄筋ピッチ径 D_p | 内 径 D_i | 壁 厚 t | 単体長さ L | P C 鋼棒径 d | 縦 筋 | スパイラル筋 |
|---------|-----------|--------------|-----------|---------|----------|-------------|-----|--------|
| 2 000 型 | 2 054 | 1 844 | 1 634 | 210 | 2 430 | 26 or 32 | 5 | 5 |
| 2 500 " | 2 500 | 2 250 | 2 000 | 250 | 2 430 | 26 or 32 | 5 | 5 |
| 3 000 " | 2 980 | 2 680 | 2 380 | 300 | 2 430 | 26 or 32 | 7 | 7 |

厚中には、軸方向に貫通した中空部があるが、これは P C 鋼棒の通し孔であり、下端の開口部は P C 鋼棒が連結される箇所であり、上下の単体が連結されると、この部分にカップラーおよび定着用ナットが収納される。また上部端面には、P C 鋼棒の本数に応じたアンカープレート(鋼板)が埋め込まれ、定着用ナットより伝播される緊張力を均等に分散させる役目を受持つことになる。以上の構造は単体 1 ブロックごとにプレストレスが導入され、しかも次のブロックとの連結が連続して行えるように考案されたものである。

なお、断面に導入されるプレストレスは、上部構造よりの水平力によって生ずる最大曲げモーメントに対応させるためのものであるが、P C 鋼棒量(太さ×本数)も当然プレストレス量によって定まることとなる。しかし、設計のつどこれが変えることは、型わくの改造、工程の変更など製造上の隘路が生ずるため、現在は一応規格品として、同一外径について 2 種類の強度規格(曲げ耐力)のものの受注に応ずる態勢をとっている。ただし、地盤中に貫入された全長に対して、すべての断面が最大曲げモーメントを必要とするわけではないので、あまり大きな曲げモーメントの生じない箇所(先端に近い部分)では、経済性を考慮してその本数を減らす方法もしばしば行われている。表-1 は規格製品の標準寸法および使用 P C 鋼棒の範囲を示したものであるが、実際には、本数を変えずに、鋼棒径を変えることによりプレストレスを増減している(くわしい仕様については表-3 参照)。

以上は主体の構造であるが、P C ウェルを沈設するためのカーブシューには使用目的に応じて種々の形式のものが採用されており、鋼板製、遠心力鉄筋コンクリート製および振動詰鉄筋コンクリート製などがあり、それぞれ主体の第 1 ロッドと P C 鋼棒により剛結される構造となっており、沈設地盤の土質に応じて適当なフリクションカット(主体より径を大きくする)を付している。

4. 用途と施工例

先に述べたように、P C ウェルの当初の目的は、オープンケーソンのプレハブ化ということであるが、プレストレスの導入によって、きわめて曲げ耐力の大きな断面性能が得られるので、この利点を生かした使用方法も各

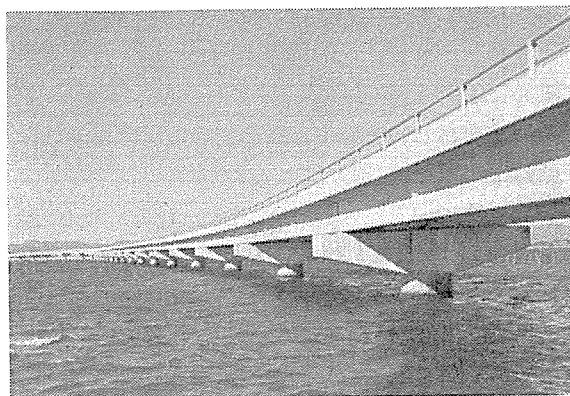


写真-3 道路橋(浜名湖大橋)

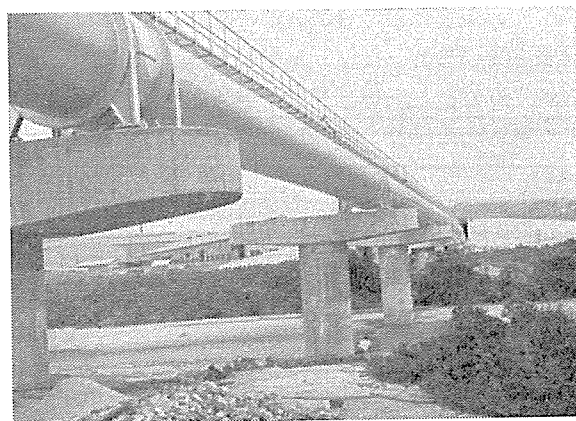


写真-4 水管橋(朝明川, 北伊勢工業用水)

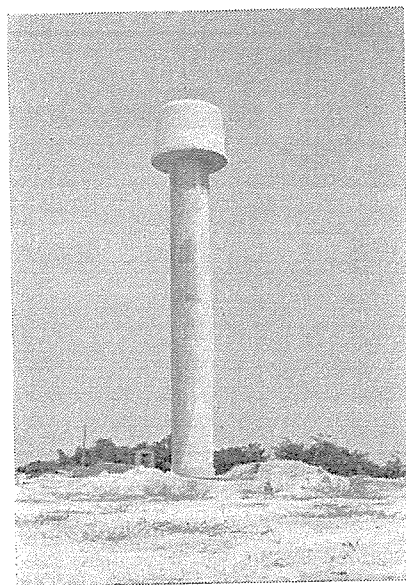


写真-5 高架水槽(鳴海ニューハイツ)

種考えられている。ケーソンと同じ目的で使用される場合でも、プレキャスト製品として、コンクリートの養生期間が省略できるために、所定の支持地盤に到達するまで連続作業が可能であって、大幅な工期の短縮ができることは前にも述べたとおりであり、沈設地盤の土質によっては1日2ロッド(約5m)の施工速度を記録した例も過去の実績として残っている。また、比較的狭い施工面積ですむことや、圧入用の支圧力が軽減できることな

ども見逃せない利点である。

しかし、この工法でもっとも注目されている用途は、単なる基礎部材にとどまらず、上部構造の一部として利用することである。例えば、橋梁工事で基礎として沈設されたPCウエルの上に、さらに数ロッドの単体を積み重ね、突出部を橋脚として使用するケースである。この場合、基礎部分と橋脚部分はPC鋼棒と接着剤によって一体構造となるが、この上に打設される枕ばりもPC

表-2 PCウエルの主たる施工実績

| 工 事 件 名 | 事 業 主 体 | 施 工 場 所 | ウエル1基の 外径×長さ | 基 数 | 工 期 (昭和年月) | ウエルの用途 |
|--------------------------|--------------|-----------------|--|---------------|---------------|------------------|
| 磯谷橋 (国道229号線) | 北海道開発局 | 北海道磯谷郡蘭越町 | φ2980×24~32m | 8 | 44.6~45.8 | 道 路 橋 |
| 高倉橋 (国道20号線) | 建設省相武国道工事(事) | 東京都八王子市 | φ2054×18m | 6 | 45.12~46.1 | 道 路 橋 |
| 朝明水道橋 | 三重県企業庁 | 三重県四日市市 | φ2270×19~22m | 6 | 46.2~3 | 水 管 橋 |
| 武蔵野(南)線 新鶴見(操)乗入工事 | 国鉄東京第二工事局 | 神奈川県川崎市中原区 | φ2054×15~17m | 8 | 46.3~8 | 鉄道高架橋のアンダーピンニング |
| 鳴海ニューハイツ 高架水槽塔 | 旭洋土地 | 愛知県名古屋市中区 | φ2500×19m | 1 | 46.5 | 高架水槽塔 |
| 鹿島京葉線 | 東京電力 | 茨城県鹿島郡神栖村 | φ2054×8~11m φ3210×11m | 12 4 | 46.5~6 | 送電鉄塔 |
| 弁天橋 | 舞阪町役場 | 静岡県浜名郡舞阪町 | φ2500×12~17m | 6 | 46.9~12 | 道 路 橋 |
| 浜名湖大橋 | 静岡県道路公社 | 同上 | φ2500×22~27m | 20 | 46.10~47.3 | 道 路 橋 |
| 中之島大橋 | 同上 | 同上 | φ2500×22m | 10 | 46.10~47.1 | 道 路 橋 |
| 第二福島幹線 | 東京電力 | 茨城県西茨城郡~ 猿島郡 | φ2054×11~18m φ2500×13~18m φ2980×11~26m | 22 6 12 | 46.11~47.2 | 送電鉄塔 |
| 相生橋 (国道27号線) | 建設省福知山工事(事) | 京都府舞鶴市 | φ2500×15~19m | 6 | 46.12~47.1 | 道 路 橋 |
| 首都高速道路5号線 II期工事(試験工事) | 首都高速道路公団 | 東京都板橋区 | φ2980×27m | 2 | 47.2~3 | 道 路 橋 (実 験 用) |
| 明月橋 | 静岡県道路公社 | 静岡県浜名郡舞阪町 | φ2054×22m φ2500×22m | 2 7 | 47.5~7 | 道 路 橋 |
| 志賀島橋 | 福岡市 | 福岡市東区志賀島地内 | φ2054×17m φ2500×17m | 2 2 | 47.8~ | 道 路 橋 |
| 雄踏大橋 | 静岡県道路公社 | 静岡県浜名郡雄踏町 | φ2500×24m φ2980×27m | 7 2 | 48.3~5 | 道 路 橋 |
| 中島橋 | 埼玉県 | 埼玉県越谷市 | φ2000×36m | 6 | 48.3~7 | 道 路 橋 |
| 新川橋(第1,第2) | 日本道路公団 | 新潟県 | φ2000×27m φ2000×22m | 2 2 | 48.2~2 | 道 路 橋 |
| 春雨橋 | 千葉県 | 千葉県松戸市内 | φ2500×27m | 4 | 48.5~7 | 道 路 橋 |
| 首都高速道路5号線 II期工 | 首都高速道路公団 | 東京都板橋区 | φ2980×18~20m | 50 | 48.8~ | 道 路 橋 |

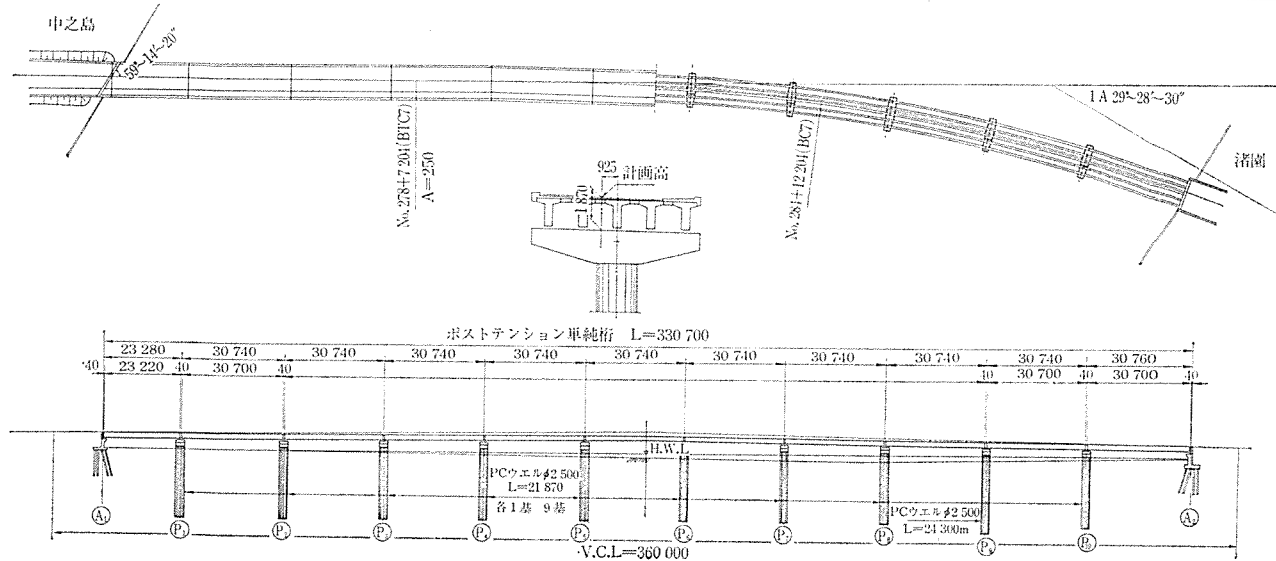


図-2 (a) 中之島大橋施工計画図(PCウエル橋脚による)

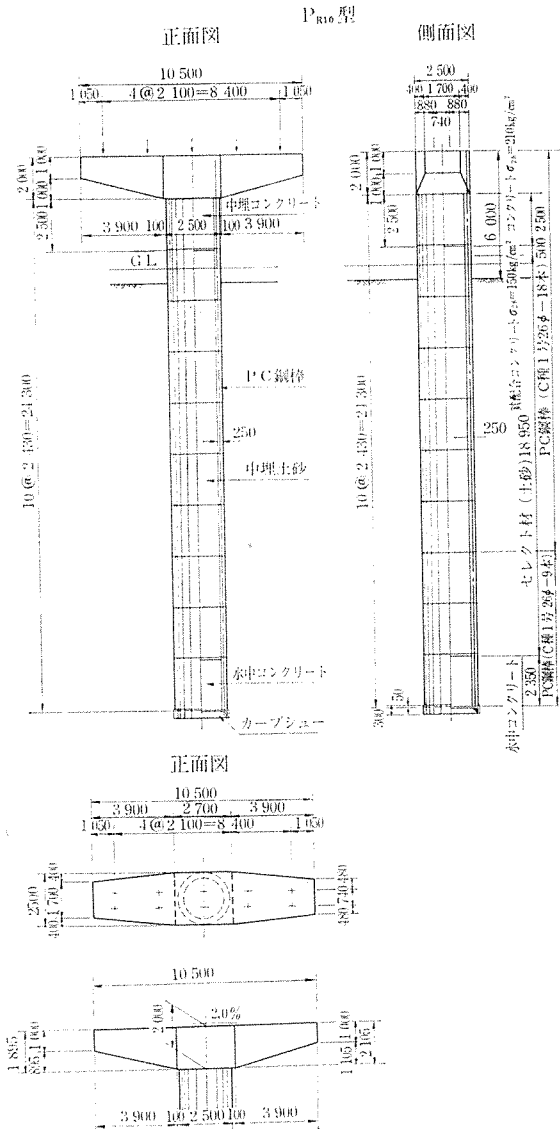


図-2 (b) PC 桁部橋脚標準一般寸法図

鋼棒の緊張によって剛に連結することができる。PCウエル単体の外面は正確な真円度と平滑な内面を持つ型わくで成形されているので、美観的にも優れており、緻密なコンクリートの材質は、自然環境に対する耐久性も大きいので、表-2の施工実績に見られるように、現在までの施工例でもこのタイプに該当するものが大半である。その内訳としては道路橋が主体となっているが、大規模な水管橋などもこれに類するものである。

その他の用途としては、高圧送電鉄塔の基礎、鉄道高架脚のアンダーピニングなどに加えて、高架水槽の脚などというユニークな用途も開けている。

図-2は、基礎、橋脚一体構造として施工された道路橋の一例であるが、静岡県道路公社によって、浜名湖に架設された弁天大橋のうち、その一部である中之島大橋の施工計画図を記載させていただいたものである。

5. 設計の概要

ポストテンション工法によって組み立てられたPCウエルは、構造的には、明らかにプレストレストコンクリート部材の曲げ特性を有しているが、施工面より見れば、オープンケーソンなどと同様に、中掘り工法によって沈設される関係上、掘削時の周辺地盤の乱れもある程度考慮しなければならないと思われる。したがって、設計上どのような取り扱いをするかということは、当初より問題とされたことである。

しかし、周辺地盤の乱れといっても、沈設地盤の土質の性状、施工精度、フリクションカットの大小などによってかなり大きな差があるので、画一的に定めることは必ずしも妥当ではないと思われるが、二、三の施工現場における載荷試験の結果を参照し、原則として、鉛直支持力に対しては、ケーソンに準じて取り扱い、水平支持力に対しては、杭基礎として考慮することになっている。

(1) 鉛直支持力

PCウエルは、杭基礎のように、実際の載荷試験を行うのはきわめて困難であるが、支持地盤まで沈設した後に、底面に載荷板を用いて地盤の鉛直支持力度を調査することができれば、これよりもっとも信頼できる支持力を求めることは可能である。また、地下水があって上記の試験が行えないときには、標準貫入試験を行って、N値から鉛直支持力を推定することもできるが、実際にはこれらの試験を行って決めることはまれで、一般の静的支持力による算定を行う。ウエルの先端はかなり厚い底詰めコンクリートを打設するので、十分な閉塞効果があるものとし、通常はテルツアギーの式によって求める。

(2) 水平支持力

水平支持力は、PCウエル本体の応力度が許容値をこえないように、水平力(地震時)によって生ずる最大曲げモーメントが、ウエルの極限支持力を所定の安全率で除した値より小さくなるように、ウエルの外径および種

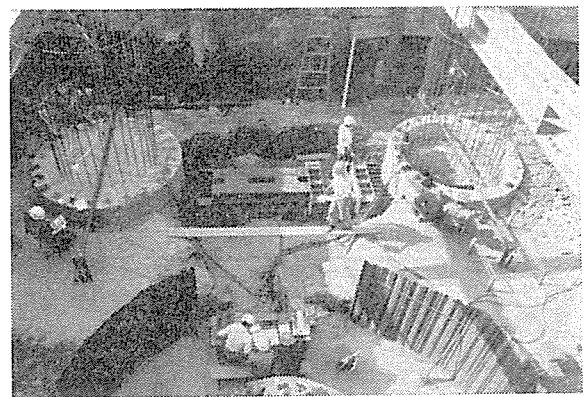


写真-6 水平載荷試験 (首都高速道路5号線実験工事現場)

類(曲げ耐力)を定める。ただし、上部工の要求から定まる上端の許容変位量が小さい場合には、この点もチェックしなければならない。

先に述べたように、水平支持力に対しては杭基礎として取扱うこととしているので、横方向地盤係数を用いた支持力計算を行うものとする。

PCウエルは、外径の割合に根入りが小さくなるので弾性床の上のはりとして考える場合、半無限長の杭として扱えない場合がまれにあり、次に示す範囲で支承状態の判別を行う。

- $\beta l \geq \pi$ ……半無限長の杭
- $\pi > \beta l \geq 2.0$ …有限長の杭
- $2.0 > \beta l$ ……有限長の杭または剛体

ただし、

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K_H \cdot D}{4EI}}$$

- K_H : 横方向地盤係数 (kg/cm²)
- D : PCウエルの外径 (cm)
- E : PCウエルの弾性係数 (kg/cm²)
- I : PCウエルの断面2次モーメント (cm⁴)
- l : 根入れ長 (m)

上記判別の結果、支承状態により、下記の代表的な計算式によって、変位量および曲げモーメントを求める。

- $\beta l \geq \pi$ ……Y.L. Chang の式 (K 値一定)
- $\pi > \beta l \geq 2.0$ …Y.L. Chang の式 (K 値一定)
- $2.0 > \beta l$ ……Z. Levinton の式 (K 値分割)

(3) 断面耐力の設計

断面耐力の計算は、許容応力度法によるものと、終局極限設計法などがあるが、一般的には前者によることとし、後者は地震時の耐力計算にのみ用いる。

計算上の各応力度の値は下記による。

a) 許容応力度法

コンクリートの許容圧縮応力度、

$$\begin{aligned} \sigma_{ca} &= 170 \text{ kg/cm}^2 \text{ (常時)} \\ &= 255 \text{ kg/cm}^2 \text{ (地震時)} \end{aligned}$$

コンクリートの許容引張応力度、

$$\begin{aligned} \sigma_{ta} &= 0 \text{ (常時)} \\ &= 30 \sim 50 \text{ kg/cm}^2 \text{ (地震時)} \end{aligned}$$

b) 終局限界設計法

コンクリートの破壊特性値、

$$\sigma_{ca} = 500/1.3 = 385 \text{ kg/cm}^2$$

PC鋼棒の降伏特性値、

$$\sigma_{pya} = 9500/1.15 = 8260 \text{ kg/cm}^2$$

(4) 道路橋下部工橋脚設計例

(1)~(3)の設計基準にもとづいて、橋脚部分を有するPCウエルについて、簡単な設計例を記載してみるこ

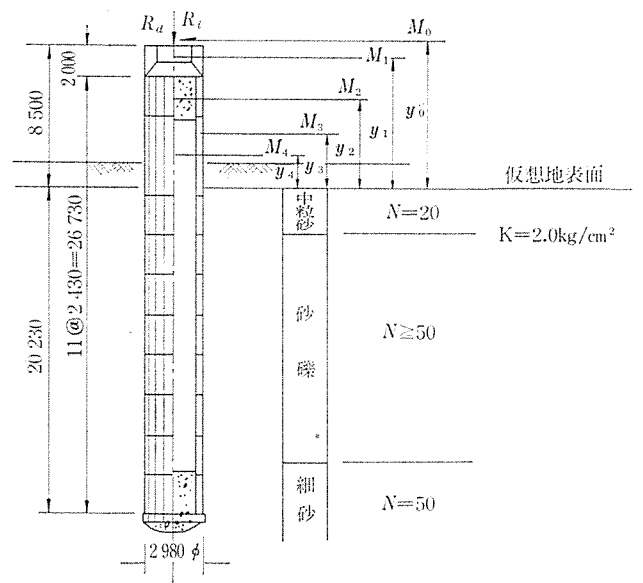


図-3 設計例施工計画図

ととする。

a) 設計条件 本設計例で対象とする道路橋の規模は次のとおりである。

- 形式: 一等橋, TL-20 単純PC桁
- スパン: 40 m
- 幅員: 7.5(車道)+2.0(人道)=9.5 m

PCウエルの使用径、沈設深さおよび地盤の状態は 図-3の施工計画図によるものとする。

○上部工よりの反力

$$R_d(\text{死荷重}) = 615 \text{ t}, R_l(\text{活荷重}) = 166 \text{ t}$$

○仮想地表面上の荷重およびモーメント

$$\text{常時} \begin{cases} N=984.8 \text{ t} \\ H=0 \\ M=0 \end{cases} \quad \text{地震時} \begin{cases} N=909.4 \text{ t} \\ H=165.3 \text{ t} \\ M=1526 \text{ t}\cdot\text{m} \end{cases}$$

b) 鉛直支持力の計算

テルツァギーの式を用いると、

$$\begin{aligned} q_d &= 1.3cN_c + 0.6r\gamma_1N_\gamma + r_2D_fN_q \\ &= 0 + (0.6 \times 1.49 \times 1.2 \times 2.3) \\ &\quad + (1.1 \times 20.23 \times 2.8) \\ &= 650 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$R_u = \pi \cdot r^2 \cdot q_d = 3.14 \times 1.49^2 \times 650 = 4530 \text{ t}$$

$$R_a = 1/n \times R_u = 1/3 \times 4530 = 1510 \text{ t} > 985 \text{ t} \rightarrow \text{OK}$$

c) 水平支持力の計算

$$\begin{aligned} \beta &= \sqrt[4]{\frac{K \cdot D_0}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{2 \times 298}{4 \times 4 \times 10^5 \times 230 \times 10^6}} \\ &= 0.00113 \text{ cm}^{-1} = 0.113 \text{ m}^{-1} \end{aligned}$$

$$\beta \cdot l = 0.113 \times 20.23 = 2.28$$

故に計算方式は、半無限長および有限長の突出杭として行う。

○半無限長としての計算

表-3 PC ウェル 断面性能表

| 外径 D_0 (mm) | 厚さ t (mm) | 断面積 A_c (cm ²) | 断面 2 次 モーメント I (cm ⁴) | 種 別 | PC 鋼棒 C 種 1 号 (径×本数) | 有効プレ ストレス σ_{ce} (kg/cm ²) | ひびわれ曲げ モーメント M_r (t-m) | 長期許容 軸方向荷重 P_a (t) | 単位ブロック 参考重量 (t) |
|------------------|----------------|---------------------------------|---|-----|----------------------------|---|--------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| 2054 | 210 | 12166 | 52379000 | A | φ26×12 | 37.0 | 490 | 1220 | 7.38 |
| | | | | B | φ32×12 | 56.0 | 590 | 1190 | 7.45 |
| 2500 | 250 | 17663 | 113150000 | A | φ26×18 | 38.0 | 890 | 1770 | 10.73 |
| | | | | B | φ32×18 | 58.0 | 1000 | 1720 | 10.84 |
| 2980 | 300 | 25258 | 229612000 | A | φ26×24 | 36.0 | 1470 | 2550 | 15.32 |
| | | | | B | φ32×24 | 53.0 | 1740 | 2480 | 15.47 |

注：1. PC鋼棒は JIS G 3109 により、土木学会指針および建築学会規準の各4種に相当する。
2. 曲げモーメントの小さい箇所には、PC鋼棒本数を 1/2 とすることにより、プレストレスを半減してもよい。

$$h = M/N = 9.23 \text{ m}$$

最大曲げモーメント (M_m) は

$$M_m = H \cdot h \frac{\sqrt{(1+2\beta \cdot h)^2 + 1}}{2\beta \cdot h} \times \exp\left(-\tan^{-1} \frac{1}{1+2\beta h}\right)$$

仮想地表面上の変位量 (f) は

$$f = \frac{H(1+\beta h)}{2EI\beta^2}$$

最大曲げモーメント位置 (l_m) は

$$l_m = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \left(\frac{1}{1+2\beta h} \right)$$

○有限長としての計算

道路橋下部構造設計指針、杭基礎設計篇に示す3分割法により曲げモーメントおよび変位量を求める。

以上2つの計算方式によって諸元を求めた結果は、表-4 のようになった。

表-4 の最大曲げモーメント (半無限長の場合をとる) によって、地震時におけるコンクリートの応力度を検討し、計画したウェル外径でよいかどうかを検討する。

ここで、改めてPCウェル (外径：2980, 壁厚：300) の特性値を整理すると、

$$A_c = 25258 \text{ cm}^2, I = 230 \times 10^6 \text{ cm}^4, Z = 154 \times 10^4 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{ce} = 53.0 \text{ kg/cm}^2 \text{ (使用PC鋼棒：24本} \times 32\phi)$$

したがって、地震時におけるウェル断面の圧縮側および引張側の最大応力度 (σ_c および σ_c') は次のように求められる。

表-4 各式による計算結果

| 項 目 | 支 承 条 件 | |
|-----------------------|---------|---------|
| | 半無限長 | 有 限 長 |
| 仮想地表面変位量 f (cm) | 1.27 | 1.27 |
| 最大曲げモーメント M_m (t-m) | 1735.23 | 1713.07 |
| 最大曲げモーメント位置 l_m (m) | 2.9 | 3.4 |

注：有限長の場合は3分割法による、ただしK値は一定(2.0)とした。

$$\sigma_c = \pm \frac{M}{Z} + \frac{N}{A_c} + \sigma_{ce}$$

$$= \pm \frac{17352 \times 10^4}{1541 \times 10^4} + \frac{909400}{25258} + 53.0$$

$$= 201.7 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{ca} = 255 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

$$= -23.5 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{ca}' = -30 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

以上の計算結果より、設計に支障のないことが判明したことになる。

注： D_0, I, A_c および σ_{ce} の値は、表-3 の断面性能表より求め、 $Z = 2I/D_0$ によって計算できる。

5. 施 工

PCウェルの沈設作業は、PC鋼棒の連結および緊張による組立作業を除けば、一般のオープンケーソン工法とほとんど変るところはない。したがって、沈設に用いる機械器具や仮設関係も大同小異であって、現場の環境や沈設地盤の土質に最も適合したものを選択するのがよい。いずれにしても工法の主体は中掘り方式であって、掘削機器としては、単純掘削工法の場合にはクラムシエル、グラブバケット、ハンマーグラブなどが用いられ、排泥工法としてリバースサーキュレーションドリルなどが一般的に用いられている。前者は操作がきわめて簡単で、掘削深さが比較的浅い場合には作業能率がよいが、地下水位が高く、ある程度の深さになると能率が激減するので、このような場合には後者の工法が有利となる場合が多く、その分岐点は経験上 30 m 前後ではないかと考えられる。しかし、地盤の構成が複雑であって、単一工法で終始することが困難な場合には、それぞれの段階で各工法を併用する利点も考慮しておくことが必要である。

沈設箇所のステージングは、陸上作業の場合は地表面の不陸をならす程度でよいが、水上作業では仮設栈橋を組んで重機やPCウェル単体の搬入および移動に支障のない広さを確保する必要があり、大規模な工事では栈橋上を門型クレーンを走行させた例もある。

次に、沈設作業の準備（仮設）として、沈設地点を中心にして、傾斜防止用鋼製フレームを設置し、その隅角

部に H 鋼（杭）をバイブロハンマーなどによって打込み、これにフレームおよび反力ビームを取り付けて一体とするのであるが、この杭は PC ウェルを鉛直方向に支圧する場合の反力となるので、その大きさおよび打込み長さは十分余裕のあるものでなくてはならない。鋼製フレームの内側には PC ウェル傾斜を修正するためのジャーナルジャッキを取り付けたガイドローラーを装着しておく。

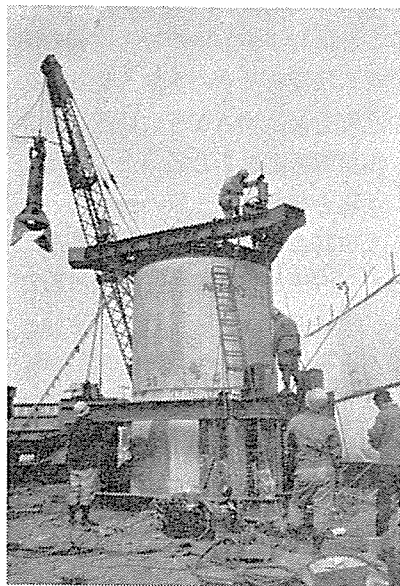


写真-7 陸上施工（ハンマークラブによる掘削）

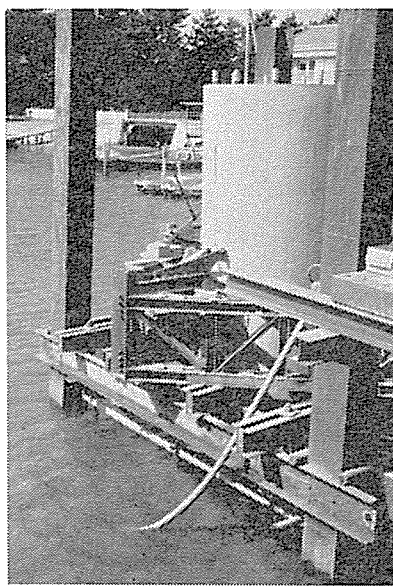


写真-8 水中施工（傾斜防止用鋼製フレーム）

図-4 は、上記一連の仮設の状況を示すものである。

PC ウェル第 1 ロッドを据付ける前に、陸上作業では、表土を 0.3~0.5 m 程度掘削して、障害物のないことを確認するとともに、据付け地盤ごしえを十分に行い、掘削地盤面が不安定なときには、砂等で良質な地盤に置き換えて置くのがよい。また、水上作業では、据付け位置の河床に砂を敷きならして、ウェルが安定するようにするのが望ましい。とくに、水深が第 1 ロッドの長さより深い場合にはマウンティングを行い、上端が 30 cm 以上水面に出るようにしておく必要がある。

以上の準備が完了すれば、いよいよ沈設作業に移るわけであるが、以下は PC ウェル独特の作業工程となるので、これらの作業順序を箇条書きにして説明することとする。

① PC ウェル単体に、あらかじめカーブシューを（鋼製または鉄筋コンクリート製）を取り付けた第 1 ロッドを、沈設地点の中央に下して据付け、外周面を埋めもどす。

② 第 2 ロッドを吊上げ、第 1 ロッドの上端面と第 2 ロッドの下端面を、接着（エポキシ系樹脂が用いられている）に支障のないよう十分に清掃し、乾燥させる。

③ 第 1 ロッド上端面に、第 2 ロッドを受けるための仮置き材を置いた後、双方の PC 鋼棒通し孔の芯を合せて静かに吊り下し、いったん仮置きする。

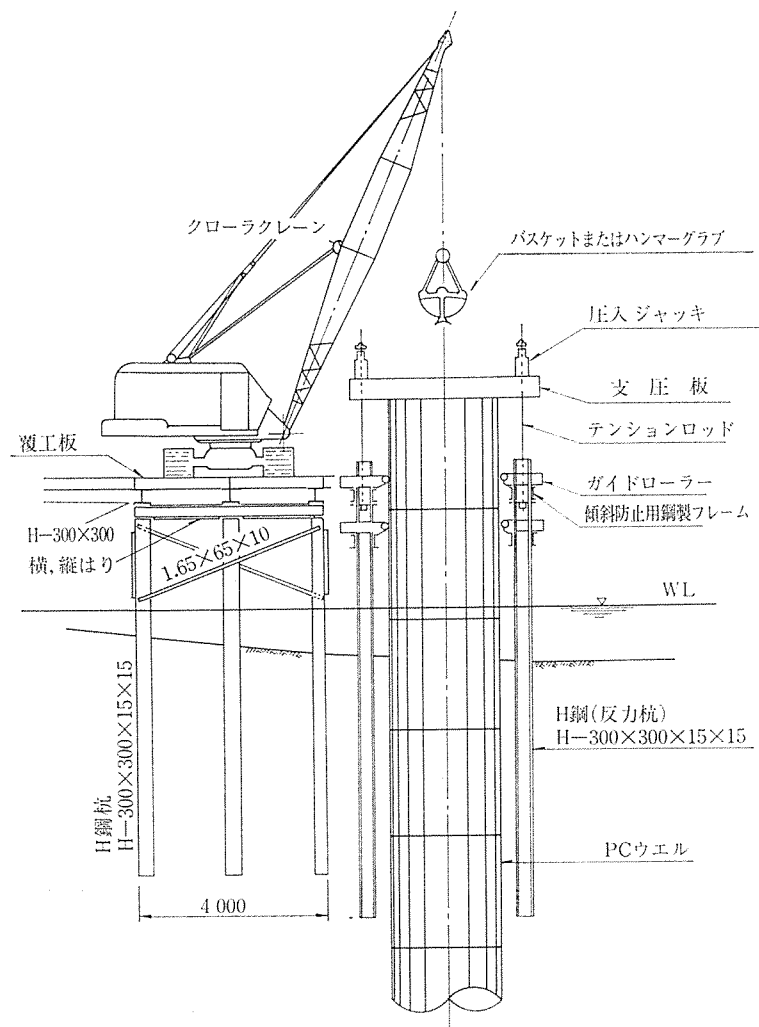


図-4 ステージング（仮設）および沈設装置

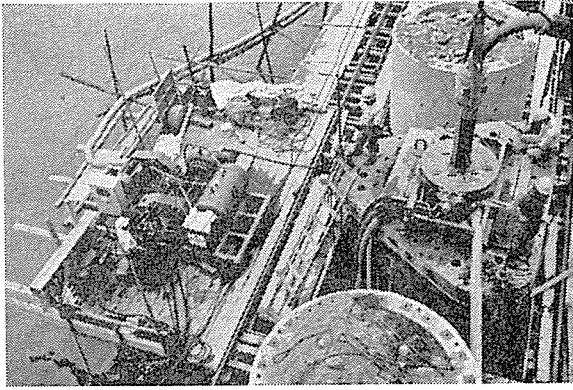


写真-9 リバース サーキュレーション ドリルによる掘削

④ 第2ロッドの上端より、通し孔にPC鋼棒を落とし込み、カップラーで第1ロッドのPC鋼棒と持続する。

⑤ 第2ロッドをわずかに吊上げ、第1ロッドの上端面に練り混ぜた接着剤を均等(2~3mm)に塗布した後、仮受け材を撤去してから第2ロッドを再度吊り下し第1ロッドと接着させる。

⑥ 第2ロッドのカップラーの上端に、定着ナット、カップラーの順序でねじ込んだ後、ウエル上端にセンターホール式油圧ジャッキのラムチェアをセットし、テンションロッドとカップラーを連結する。続いて、油圧ジャッキを作動し、PC鋼棒に所定の緊張力を加えて、定着ナットをアンカプレート上にセットし、ジャッキをゆるめる。各PC鋼棒の緊張順序はジャッキの使用台数によって異なるが、ウエル中心に対して対称的に、数本(実際は3台程度、多いほど能率的である)を1回として逐次行うのが合理的であって、最終グループが完了した時点で、ウエル断面には所定のプレストレスが導入されることとなる。緊張完了後、直ちに注入孔よりグラウトを施して、この作業工程を完了する。

⑦ PCウエル内面の土砂を、掘削機器により掘削し、徐々に沈下させる。ウエルの重量のみで自沈する場合は、そのまま続ければよいが、土の抵抗が大きくて自沈しない場合は、ウエル上端に支圧板をセットし、反力ビーム(H鋼に連結させてある)にPC鋼棒またはワイヤーで連結させて、これに付随した圧入用ジャッキ(3~4台)の操作により、強制的に沈下させることができる。

⑧ 第2ロッドの上端が、最初の第1ロッドの位置まで沈下したならば、再び次のロッド(第3ロッド)を吊り込み、②~⑥の手順により連結して、再び⑦の掘削沈下作業を行う。以下、②~⑧の作業を繰り返して、計画支持地盤に到達するまで作業は続けられる。

沈設作業においてもっとも注意すべきことは、初期に

おけるウエルの偏心および傾斜である。第1ロッド(または第2ロッド)据付けの時点において、傾斜防止装置のローラーを調整して正規の位置を保持させるが、これのみにて目的を達することはむずかしいので、当初の間は徐々に掘削を行い、貫入状況を2台のトランシットによって監視し、常に鉛直度を保持するように注意しなければならない。もし、傾斜の挙動を示し始めたならば、直ちに片面掘削による調整を行うが、土質の性状などによってなかなか復元しない場合には、支圧装置を利用して強制補正を行うことも一方法である。この方法は数台の圧入ジャッキのうち、矯正側のジャッキの油圧を他よりも大きくして偏心荷重を与える方法である。傾斜の原因は常に単純なものばかりではないので、できうる限りよくその原因を究明し、それに見合う適切な方法を講じなくてはならない。いずれにしても、ウエルの偏心および傾斜は、沈設作業の最終的な施工精度を決定する主要因となるので、全力をそそいでこれを避けなくてはならない。

次に、過度な先掘りも工事の障害となることが多いので注意を要する。その障害としては、急激な沈下によるカーブシューの破損や本体の傾斜のほか、軟弱地盤におけるヒービングおよび透水性のよい地盤における被圧水のポイリングがある。土の貫入抵抗が大きく、沈設困難となる場合には、圧入装置の能力を増加させるなどの対策が必要であるが、フリクションカットの形状寸法によって大きな差が生ずるので、設計段階において、土質柱状図および沈設深さなどにより十分検討しておくことが肝要である。

ウエルの沈設が進み、予定した支持層に近く(1ロッド程度)になったならば、先掘りを極力控え、圧入を主体として徐々に沈降させる配慮が必要である。その理由は支持地盤を乱さないということで、中掘り工法ではとなく弱点となることが多いので、十分慎重に行わなくてはならない。これが十分でない、設計荷重が作用した後には過大な沈下を生ずる恐れがある。

カーブシューが予定支持地盤に到達したならば、掘削土を詳細に観察し、あらかじめ調査してある試掘ボーリング資料と比較検討し、間違いのないことを確認しなければならない。もし、両者の間に大幅な差異があり、不相当と判断された場合には、ただちに適切な調査を行って対策をたてなければならない。計画の支持地盤が予定より深い場合、さらに、予備のロッドを追加して沈設させることは可能である。

沈設作業が完了したならば、まず、掘削屑を除去したのち、水中ポンプやトレミー管を利用したエアリフト装置によって、孔底のスライム処理を行う。スライムの

除去が完全に行われたかどうかを確認することはなかなかむずかしいことであるが、排水内の土砂がほとんど見られなくなり、濁度が一定になった時点をもって、完了したものと判断してよいであろう。とくに慎重を期す場合には、潜水夫を入れて確認した例もある。

底詰めコンクリートは、ウエルの先端底部を閉塞して、支持面積を底面全体にとることを期待するものであるから、入念な打設を行わなければならない。水中作業の場合には不確定になりがちであるので、水中コンクリート施工指針に従って、忠実な施工を行わなければならない。コンクリートの打設はトレミー工法によるが、施工精度によっては、コンクリートとウエル壁体との付着が十分でないことも予想されるので、打設厚さは外径もしくは1ロッド長(2.43 m)相当としている。

底詰めコンクリートが十分硬化した後に、ウエル中空部には中詰土砂を充填するのが一般的である。中詰土砂はとくに清浄なものでなくてもよいが、有機物、シルト、粒土塊を多く含まず、水締めによってよく落ち着くものがよい。

上部構造物との連結は、一般のケーソンの場合と同様に、頂部中詰コンクリートに埋設した配筋によってもよいが、PCウエルの場合には、最終ロッドのPC鋼棒の端末に、さらに、所定の長さのPC鋼棒を継ぎ、コンクリートと付着しない(シーすを使用するか、鋼棒自体をアンボンドとする)ようにして上部構造物を打設し、硬化後にPC鋼棒を緊張して、両者を一体構造とすることも可能である。

PCウエルを基礎、橋脚一体構造とする場合には、橋脚部分を所定の高さだけ突出させたまま沈設を完了し、前述の作業を完了した後に、枕ばりを打設、連結する方法が行われる。

6. おわりに

わが国における土木技術の進歩は、高度経済成長とともに目ざましいものがあるが、構造物の巨大化という点でも同様のことがいえる。したがって、土木構造物の基礎も大形のものが要求されるのは当然のことといえよう。

一方、現場打ち構造物のプレハブ化は、労働力のひっ

迫や熟練工の不足とともに、公害防止という観点からも要望されているものであって、今後もこのようなすう勢はますます助長されるものと思われる。

PCウエルは、以上のような2つの問題点について、いささかながら答を出したプレキャスト製品であるといつてよく、遠心力成形技術(とくにヒューム管製造技術)の高度化と大形化に関連して開発されたものである。

PCウエル工法は、まだ新工法の範ちゅうに入るものであるが、研究を開始してからすでに10年近くを経えており、使用実績も橋脚を主体として加速的に増加している現状である。また、これらを使用した施工例^{5),6)}や載荷試験結果^{7),8),9)}についても、各方面の技術雑誌にかなり多くのものが報告されているので、広く斯界の注目を集めつつあり、誠に喜ばしいことと思う次第である。

しかし、いかなる地盤にも対処できる施工技術の確立や省力化の点で、必ずしも十分とはいえないので、この工法に適した施工機械の開発を含めて、さらに研究しなければならないことを痛感するものであり、あわせて、設計面の不確定な諸問題の解決に対しても、斯界の方々の御助力を切に願うものである。

最後に、本稿の資料作成に協力いただいた加藤、今泉両氏に対し、謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 中山：大口径PCパイプ・PCウエル工法，コンストラクション，Vol. 8, No. 8 (1968).
- 2) 小笠原：遠心力鉄筋コンクリート製品の最近の技術について，道路とコンクリート，No. 15 (1972).
- 3) 日本ヒューム管(株)：NH-PC ウエル工法，セメント工業，No. 115 (1972).
- 4) 今泉：プレキャストブロック超大口径くいの開発，基礎工，Vol. 1, No. 1 (1973).
- 5) 高橋：磯谷橋のPCウエル，施工技術，Vol. 3, No. 5 (1970).
- 6) 井上・小林：東海道新幹線高架橋の受替え工事，施工技術，Vol. 5, No. 5 (1972).
- 7) 高橋・黒川：プレキャストPCウエル基礎の設計・施工・試験，プレストレストコンクリート，Vol. 13, No. 3 (1971).
- 8) 多田・佐藤・中村：高倉跨線橋拡幅工事におけるPCウエルの施工と試験，橋梁と基礎，Vol. 5, No. 8 (1972).
- 9) 首都高速道路5号線Ⅱ期工事におけるPC大径ぐい(φ3 m)の施工，基礎工，Vol. 1, No. 1 (1973).

1973.9.1・受付