

## 脚付ケーソンに耐圧版を用いた設計手法

中日本建設コンサルタント(株) 正会員 ○青山 浩之  
 中日本建設コンサルタント(株) 正会員 栗本 和明

### 1. はじめに

本件は、下水終末処理場の流入ポンプ棟に、脚付ケーソン基礎（以下、脚付ケーソン）を採用した設計手法に関する報告である。

一般に、下水道施設は、河川付近や海岸部に設置されることが多く、構造物の支持層が深いことが多い。今回対象とした流入ポンプ棟についても、ケーソン躯体下部の粘性土層は、土質試験の結果から直接基礎の支持層としては評価できないと判断されたことから、ニューマチックケーソン工法で構築した躯体を場所打ち杭により支持する脚付ケーソンを採用した。

本論では、脚付ケーソンの、支持杭の施工精度に伴う構造上の課題を解決するために、ケーソン作業室の無筋コンクリートを耐圧版として機能させる、新たな設計手法を報告する。

### 2. 施設概要

施設用途：下水終末処理場 流入ポンプ棟

施工方法：ニューマチックケーソン工法

規 模：ケーソン躯体 27.1m×40.1m×26.8m

掘削深度 G L - 25.3m

( 内 外 最大気圧 0.22Mpa )

場所打ち杭 φ1500 L=20.5m 60本

全周回転オールケーシング工法

### 3. 本施設の特徴

#### < 構造物 > ( 図-1 )

- ポンプ棟構造物本体をケーソン工法で構築する。
- 上部が建築構造物、下部が土木構造物の複合構造物で、土木建築一体として解析した構造計算書を建築主事に事前に提出し、建設の許可を得る必要がある。
- 杭の掘削長が 45.7m、空堀長が 25.2m である。
- 施設面積が 1000m<sup>2</sup> を超える大型ケーソンであり、打設する杭の本数が多い。( 図-2 )

#### < 地盤条件 >

- 地下水位が G L - 1.0m 程度と高い。
- 砂質土層と粘性土層が互層になっている。
- ケーソン躯体下部の粘性土層 ( D c 1 層 ) の支持力が 250kN/m<sup>2</sup> であるのに対して、ケーソン躯体の地盤反力は 450kN/m<sup>2</sup> 程度となる。
- D s 2 層を杭の支持層とした場合では、杭長が短く、周面摩擦力が不足したため、D s 3 層を支持層とした。

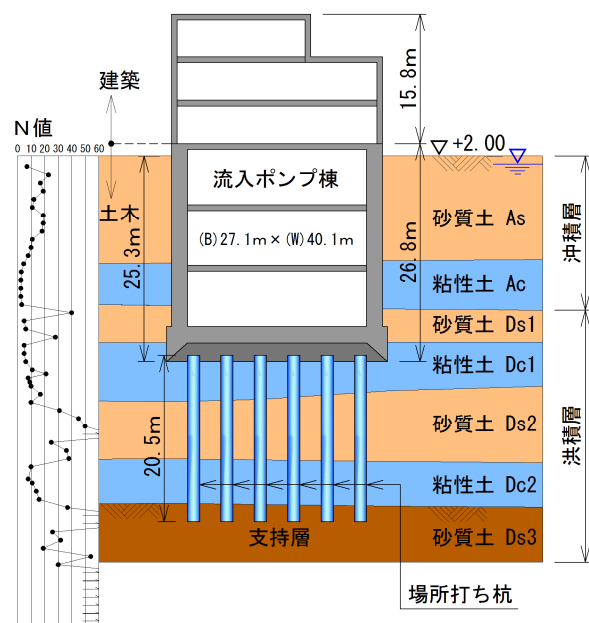


図-1 流入ポンプ棟断面図

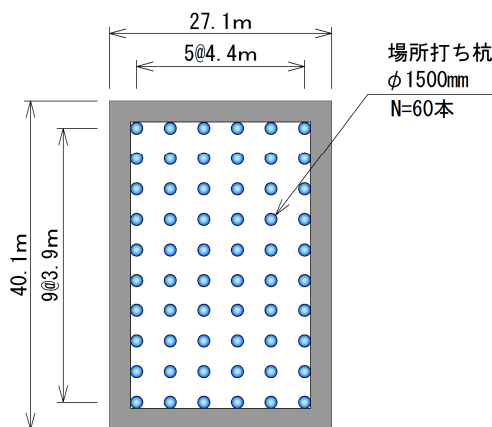


図-2 流入ポンプ棟杭伏図

#### 4. 設計・施工上の課題

##### 【設計上の課題 1】 施工時に生じる支持杭の芯ずれ

支持杭の施工上の管理値は、鉛直精度±50mm、水平精度（芯ずれ）±100mmである。

今回の場合、場所打ち杭の杭頭部、すなわち底版との接続部分までの空堀長が25.2mと長く、杭傾斜の施工管理値  $L/100$ （ $L$ は空堀長）を考慮すれば、25cm程度の芯ずれが予想された。（図-3）

鉛直精度については、場所打ち杭を採用することで、沈設後でも杭頭部のはつり調整や修補が可能となるため、精度確保が可能と考えた。しかし、水平精度については、沈設後に調整や修補を行う方法がない。

また、支持杭が実際に芯ずれや、高止まり、低止まりを生じているか否かについては、ケーソンを予定の深さに沈設させ、杭頭が掘削面上に露出して初めて確認できるようになる。

##### 【設計上の課題 2】 芯ずれに伴う躯体応力の増加

一般に、本体構造物と基礎杭の結合部は支点として取り扱う。（図-4）

そのため、底版の支持杭の位置により、本体構造物に発生する応力（曲げモーメント、せん断力）が変化する。

施工において、設計上考慮した芯ずれ量を超えていた場合、本体構造物の底版が、曲げモーメント及びせん断力の増加に耐えられる強度を有しているかどうか、構造計算による再確認が必要となる。

それに伴い、工事の休止や、補強等の検討が必要となり、圧気設備の損料日数の増加に伴うコスト増につながる。

ニューマチックケーソン工法は、構築済みの本体構造物を沈設するため、補強のための配筋等の変更ができない。

対応としては、コンクリート増打ち等の補強も考えられるが、作業室内の設備が支障となり現実的ではない。

##### 【設計上の課題 3】 建築主事への確認に伴う工程の遅延

本構造物は土木、建築一体の複合構造物であり、構造計算書の妥当性について着工前に建築主事の許可を得ている。

そのため、施工において、設計上考慮した芯ずれ量を超えた場合には、図-5に示すフロー通り、構造計算書を再度建築主事に提出し、許可を得る必要がある。芯ずれの影響は底版のみでなく、本体構造物全体に及ぶことから、立体フレーム解析の構造計算書の確認作業に1ヶ月程度の期間を要し、工事の遅れにつながる。

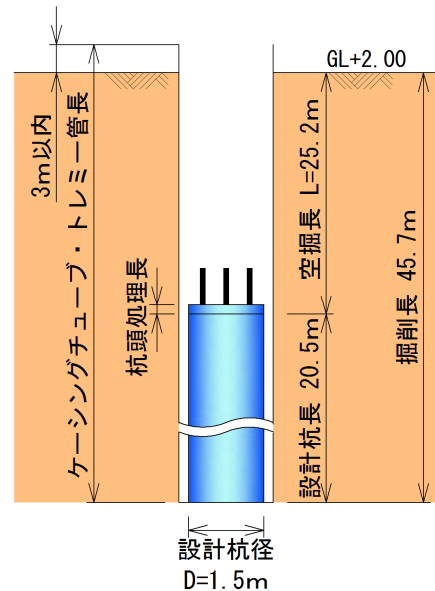


図-3 場所打ち杭の概要図

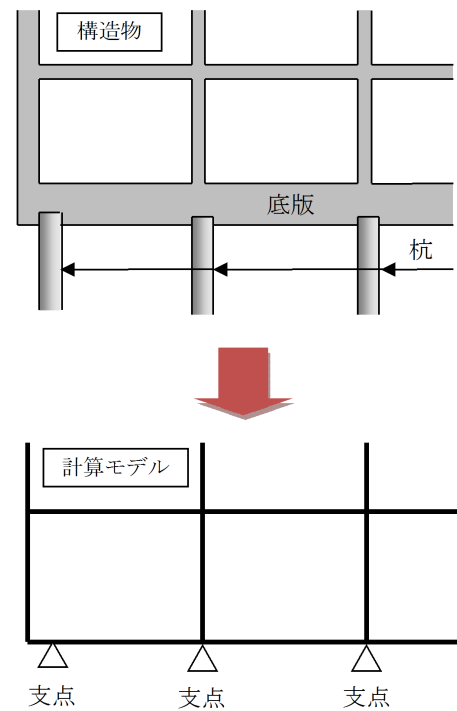


図-4 構造物と杭の計算モデル

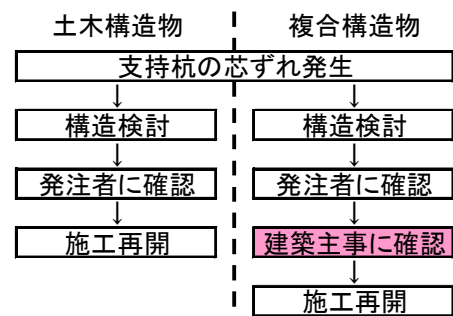


図-5 支持杭の芯ずれ発生時の対応フロー

## 5. 耐圧版を用いた設計手法の適用

### (1) 作業室無筋コンクリートの耐圧版化

従来の脚付ケソンでは、沈設後に作業室の中埋めとして無筋コンクリートを打設し、本体構造物と一体化するため、杭の芯ずれが本体構造物の応力状態に影響していた。

そこで、作業室の無筋コンクリートを、鉄筋を配置した耐圧版とすることで、杭の芯ずれによる応力状態の変化を、本体構造物に影響させないようにした。(図-6)

耐圧版は、支持杭から伝達される曲げモーメントをすべて負担できる構造とするために、作業室内の上面の近傍及び下面の近傍に鉄筋をそれぞれ配筋する。また、発生せん断力に対しては、上端筋及び下端筋に対して鉛直方向にせん断補強筋を設置する。

(図-7)

その後、高流動コンクリートを作業室内に打設して、作業室の中埋め部分に構築した耐圧版を、上端筋、下端筋及びせん断補強筋を有する鉄筋コンクリート構造物とする。

### (2) 計算手法

#### 1) 耐圧版

耐圧版は、底版反力と耐圧版の自重を考慮し、杭を支点とする連続梁モデルで耐圧版に発生する応力を計算する。(図-8)

杭は本体構造物および耐圧版から作用する軸力および水平力に対して安全となるように設計し、杭頭部に生じる曲げモーメントは耐圧版で負担させるものとする。

沈設後に杭の芯ずれ量が施工管理値を超えていることが明らかになった場合は、杭支点を偏芯した位置に移動させ、耐圧版の応力を計算し、配筋を見直す。

#### 2) 本体構造物

本体構造物は、剛な耐圧版に支持された直接基礎構造物として、立体フレーム解析を行い、本体構造物に発生する応力を計算する。(図-9)

#### 3) 耐圧版と本体構造物の接合部

耐圧版と本体底版の接合部については、コンクリートの摩擦で地震時水平力に抵抗する。本体構造物の浮力対策として吊筋を設置している場合には、吊筋のせん断力も考慮する。なお、耐圧版と本体底版のコンクリートの摩擦を考慮するためには、地震時に本体構造

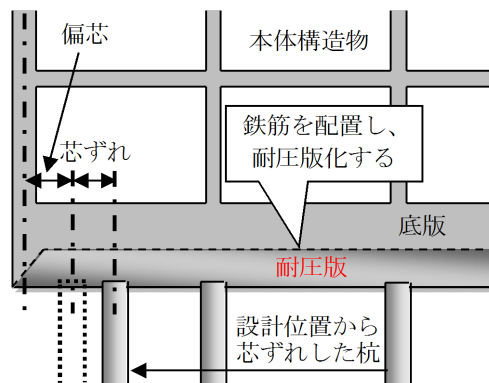


図-6 耐圧版構造概要図

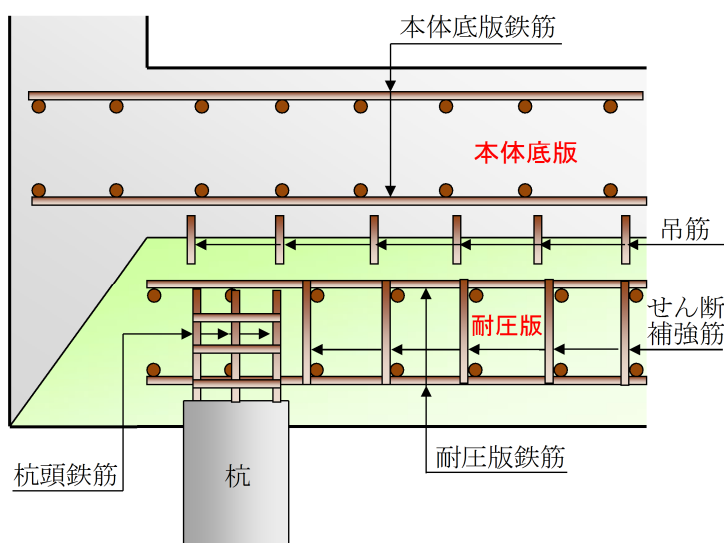


図-7 耐圧版配筋概要図

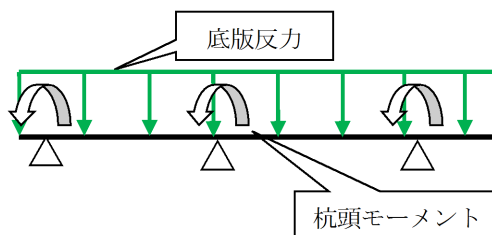


図-8 耐圧版の計算モデル

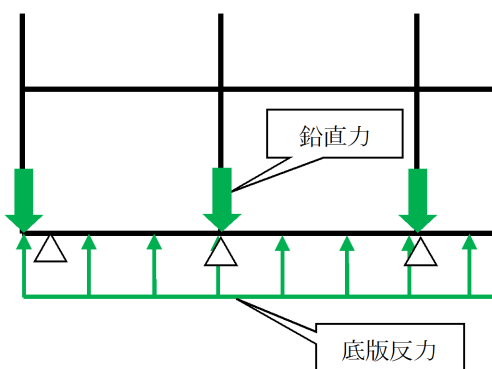


図-9 本体構造物の計算モデル

物に浮き上がりが生じていないことが前提となる。そのため、浮き上がりが生じ、コンクリートの摩擦を考慮できない場合には、ケーソン刃口コンクリートで地震時水平力に抵抗する設計を行う。

### (3) 耐圧版を構築することによる効果

作業室の中埋めを無筋コンクリートとしていた従来の脚付ケーソンの設計では、杭の芯ずれが本体構造物の底版支点位置のずれにつながっていたため、芯ずれに伴い増加する発生応力への対処方法が課題となっていた。

(図-10)

耐圧版を構築することにより、支持杭の芯ずれが発生し、本体構造物に発生する応力（曲げモーメント、せん断力）が変化したとしても、耐圧版によってその変化に対応することができる。さらに、上部の構造である本体構造物にまで支持杭の芯ずれの影響が及ぶことを回避することができる。(図-11)

また、支持杭の芯ずれがケーソンの沈設完了時に判明した場合であっても、耐圧版はその後に構築するので、耐圧版の配筋やコンクリート強度を変更することにより対応が可能となる。

作業室無筋コンクリートの耐圧版化は、支持杭の芯ずれに伴う本体構造物への影響を排除し、従来の脚付ケーソンが内包していた、設計・施工上の課題を解決できる。それに伴い、工期の遅れや、圧気設備の損料日数の増加に伴うコスト増、といったリスクを低減する効果もある。

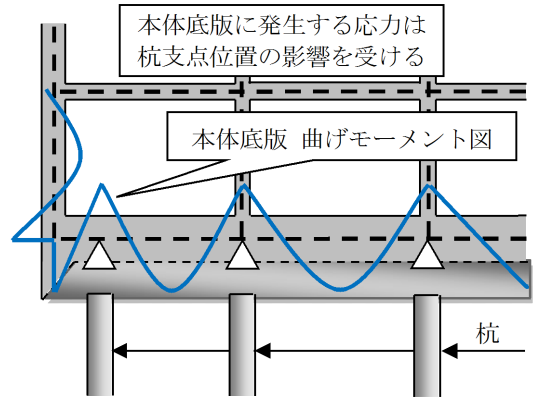


図-10 曲げモーメント図（耐圧版なし）

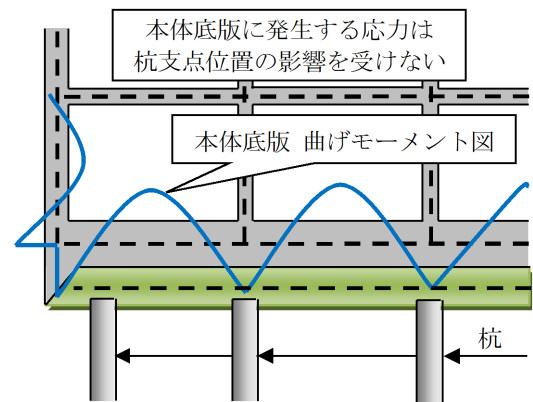


図-11 曲げモーメント図（耐圧版あり）

## 6. おわりに

ニューマチックケーソン工法は、構築済みの本体構造物を沈設するため、沈設完了時に杭の芯ずれが判明した場合、補強等の対応が困難となる。また、圧気設備の損料が高価であり、工程の遅延が即、工事費増加につながる。そのため、上記で述べた耐圧版の設計手法に加えて、芯ずれの量を各種想定して、想定した各芯ずれ量に対して必要となる鉄筋強度や配筋量の変更量、及び、変更が必要となる範囲を、構造計算に基づくシミュレーションにより予め求めておくことも有効である。

この方法によれば、支持杭の芯ずれに応じて、構造計算を再度行う必要がなく、例えば施工現場にて配筋変更仕様書に基づき配筋の変更を行うこともできるため、工事をスムーズに続行することができる。

今回発案した、本体構造物と耐圧版を分離し、杭の芯ずれの影響を本体構造物に影響させない設計手法は、脚付ケーソンに限らず適用可能であるため、今後はその他の構造物への適用も検討していきたいと考えている。

## 参考文献

- 1) 土木学会 2007年制定 コンクリート標準示方書 設計編