

## ケーソン基礎施工中の支持力確認への孔内水平載荷試験の適用（その4）

## —適用事例—

阪神電気鉄道(株) 南部泰範

鹿島建設(株) 正会員 ○伊藤弘之 笹岡里衣 吉田 輝 福島 陽 坂梨利男 杜若善彦 文村昌史

東京大学 フェロー会員 古関潤一

## 1. はじめに

水中掘削によって函体の沈設を行うオープンケーソン工法では、掘削底面が水中となることから、ニューマチックケーソン工法において行われている平板載荷試験のような着底地盤の支持力確認試験の実施が困難であった。これに対し、筆者らは水中でも実施可能な孔内水平載荷試験（以下、PMT；Pressuremeter Test）によって地盤の強度定数（粘着力  $c'$  および内部摩擦角  $\phi'$ ）が算出できることを、支持層に相当する密な礫層（推定 N 値=40 以上）を対象とした PMT や数値解析を通じて明らかにした<sup>1,2,3</sup>。これによって、オープンケーソン工法でも平板載荷試験と同様に PMT によっても着底地盤の支持力確認が可能となった。今回、当方法を施工中のオープンケーソン基礎の支持力確認に初めて適用したので報告する。

## 2. 実施内容

今回対象としたオープンケーソン躯体は全長 36.3 m、直径 12.0 m である。図-1 にオープンケーソン近傍のボーリング柱状図と試験概要を、写真-1 に実施状況を示す。着底地盤（支持層）は平均 N 値=60 の洪積砂礫層（Dg2 層、ただし PMT 実施深度は密な砂層）であり、N 値と有効上載圧に基づく  $\phi$  ( $=\phi'$ ) の推定値（設計値）<sup>4)</sup>は  $34.6^\circ$  である。

着底地盤の支持力確認のための PMT はケーソンのほぼ中央において行った。ケーソンが着底し、所定深度（O.P. -42.14 m）まで掘削を完了後、地上に組んだ足場上にロータリー式オイルフィールド型ボーリングマシンを設置し（O.P. +4.57 m）、直径  $\phi 66$  mm の PMT 試験孔を削孔した。試験孔の長さは掘削底面から 3m とした。なお、ボーリングロッドの鉛直性保持および掘削用泥水回収のため、ロッド外周にケーシング（ $\phi 86$  mm）を併用した。

PMT は 1 室型等分布荷重方式（エラストメータ 2）を用いて実施した<sup>5)</sup>。掘削底面からの深さ 2.21 m（O.P. -44.35 m）に PMT 載荷部（プローブ）の中心が位置するように設置し、圧力制御（載荷速度約  $0.1 \text{ MN/m}^2/\text{分}$ ）で単調載荷を行い、載荷圧力と孔壁変位の関係を取得した。データのサンプリング周期は  $0.2 \text{ Hz}$  とした。

## 3. PMT による地盤強度定数の算出方法

降伏後の地盤の応力 - ひずみ関係を表す理論式である式 1<sup>6)</sup>

キーワード：ケーソン工法、オープンケーソン、孔内水平載荷試験、強度定数

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-485-1111

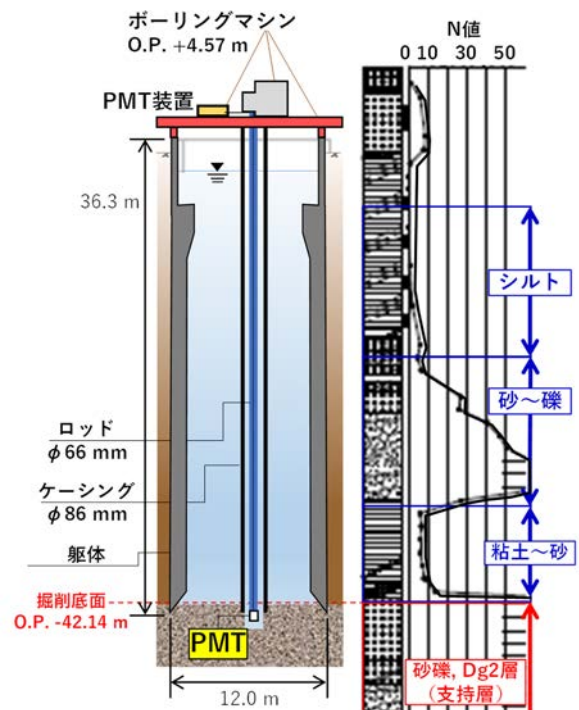


図-1 ボーリング柱状図および試験概要



写真-1 実施状況

と試験結果（孔壁圧  $P$  と孔壁ひずみ  $u_{r0}/r_0$  関係）の残差平方和が最小となる地盤の強度定数（ $c'$ 、 $\phi'$ ）の組合せを求めた。

$$P_f \leq P \quad \frac{u_{r0}}{r_0} = \frac{1}{2G} \left\{ b_1 \left( \frac{r_f}{r_0} \right)^{m-1/m} + b_2 \left( \frac{r_f}{r_0} \right)^{n+1/n} + b_3 \right\} \quad (式 1)$$

$$\frac{r_f}{r_0} = \left\{ \frac{P(m-1) + \sigma^*}{P_f(m-1) + \sigma^*} \right\}^{m/m-1}$$

$$\sigma^* = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'} \quad m = \frac{1 + \sin \phi'}{1 - \sin \phi'} \quad n = \frac{1 + \sin \psi'}{1 - \sin \psi'} \quad \sin \psi' = \frac{\sin \phi' - \sin \phi'_r}{1 - \sin \phi' \cdot \sin \phi'_r}$$

$$b_1 = -\frac{2m}{m-1} \left\{ (1 - \nu') \frac{1 + mn}{m + n} - \nu' \right\} (P_f - P_0)$$

$$b_2 = 2n(1 - \nu') \left( \frac{m+1}{m+n} \right) (P_f - P_0) \quad b_3 = (1 - 2\nu') \left( \frac{m+1}{m-1} \right) (P_f - P_0)$$

ここで、 $P$ : 孔壁圧  $P_f$ : 降伏圧  $G$ : せん断弾性係数  $\nu'$ : ポアソン比  
 $u_{r0}$ : 半径方向変位  $r_0$ : ボーリング孔初期半径  $r_f$ : ボーリング孔降伏時半径  
 $c'$ : 粘着力  $\phi'$ : 内部摩擦角  $\phi'_r$ : 残留摩擦角  $\psi'$ : ダイレイタンシー角

#### 4. 試験結果

図-2 に PMT 結果を示す。初期圧力  $P_0$  から降伏圧力  $P_y$  までは圧力の増加に対して  $u_{r0}/r_0$  が線形的に増加した後、非線形の挙動を示した。この降伏後の挙動に対して式 1 を用いて算出した地盤の強度定数を表-1 に、圧力 - ひずみ曲線を図-2 中に赤線で重ねて示す。なお、式 1 を用いる際、せん断弾性係数  $G$  は PMT 結果（図-2 の線形部分の傾きの 1/2 の  $9.935 \text{ MN/m}^2$ ）とし、ポアソン比  $\nu'$  は 0.3、残留摩擦角  $\phi'_r$  は  $2/3\phi'$  とした。算出結果は、設計値  $\phi' = 34.6^\circ$  を上回る結果となり、支持地盤として必要な地盤強度を十分に満足すると判断した。

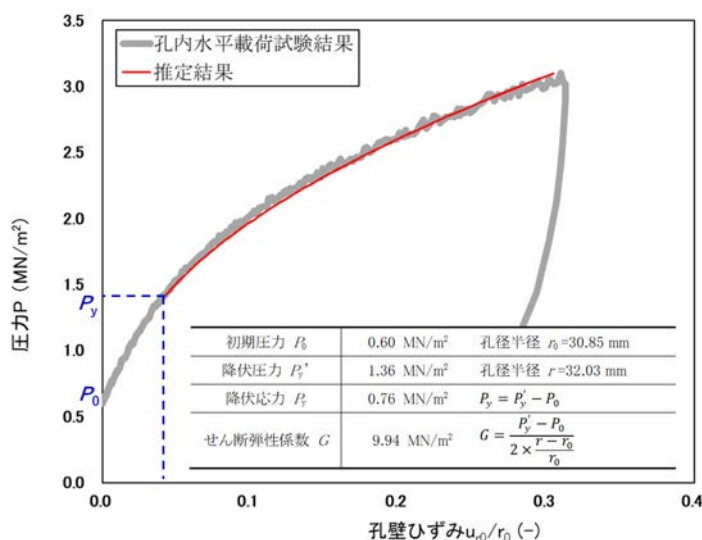


図-2 PMT 結果

#### 5. まとめ

PMT によるケーソン着底地盤の支持力確認を、施工中のオープンケーソン基礎に適用することができた。今後は、オープンケーソン以外の基礎への適用も視野に入れ、当方法の各種土質への適用性の検証と実績拡大を図る。

#### 参考文献

- 1) 笹岡里衣, 吉田輝, 福島陽, 坂梨利男, 杜若善彦, 文村昌史, 古関潤一, ケーソン基礎施工中の支持力確認への孔内水平載荷試験の適用 (その 1), 第 76 回年次学術講演会, III-269, 2021.
- 2) 宇津野衛, 大野進太郎, 笹岡里衣, 吉田輝, 福島陽, 坂梨利男, 杜若善彦, 古関潤一, ケーソン基礎施工中の支持力確認への孔内水平載荷試験の適用 (その 2), 第 76 回年次学術講演会, III-270, 2021.
- 3) 吉田輝, 笹岡里衣, 福島陽, 宇津野衛, 大野進太郎, 伊藤弘之, 松林周磨, 坂梨利男, 杜若善彦, 古関潤一, ケーソン基礎施工中の支持力確認への孔内水平載荷試験の適用 (その 3), 第 76 回年次学術講演会, III-271, 2021.
- 4) (公財) 鉄道総合技術研究所, 鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物 (平成 24 年 1 月), 2013.
- 5) (公社) 地盤工学会, 地盤調査の方法と解説一二分冊の 2-1, 2013.
- 6) C. M. Haberfield and I. W. Johnston., The interpretation of pressuremeter tests in weak rock - theoretical analysis, Proceedings of Third International Symposium on Pressuremeters, pp.169-178, 1990.
- 7) 櫻井孝臣, 福島和彦, 對馬博, 阿部求, プレッチャーメータ試験による弾性係数のひずみ依存性とせん断定数の評価, 応用地質学会研究発表会, 2006.