

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）

ー基礎地盤の支持力評価方法ー

鹿島建設(株) 正会員 ○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

ニューマチックケーソン工法では、ケーソン沈設後の基礎地盤の支持力確認として、圧気室内で平板載荷試験が行われてきた。一方、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平板載荷試験は適用が困難である。そこで、オープンケーソン工法で施工された基礎の支持力確認に、水中でも試験が可能な孔内水平載荷試験（以後、PMT（Pressuremeter Test）と表記する）の適用を検討している。本報では、密な礫層で実施した PMT から既往の理論式を用いて強度定数（粘着力 c' および内部摩擦角 ϕ' ）を算出した事例を報告する。これらの強度定数を設計時の支持力評価に用いた強度定数と比較することで、想定した支持力に対する安全性が確認できる。

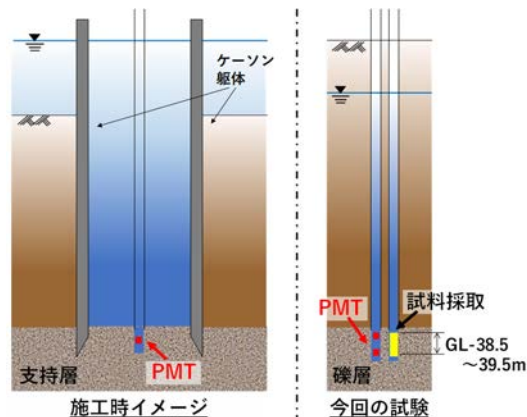


図-1 PMT の実施イメージ

2. PMT による地盤強度定数の算出方法

地盤の降伏後の応力 - ひずみ関係を表す理論式である式 1¹⁾を用いて PMT の結果を近似的に評価する上で、孔壁圧 P と孔壁ひずみ u_{r0}/r_0 関係を最小二乗近似して、地盤の強度定数（ c' 、 ϕ' ）およびせん断弾性係数 G を求めた。なお、式 1 は連続かつ均質な堆積軟岩の物性評価を目的として導出されたものであるが、今回、オープンケーソンの支持層を想定した礫層（推定 N 値=40 以上）に適用可能か検討した。

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

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

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

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

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

ここで、 P : 孔壁圧 P_f : 降伏圧 G : せん断弾性係数 ν' : 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 ϕ' : 内部摩擦角 ϕ'_r : 残留摩擦角 ψ' : ダイレクタンシー角

3. 実施内容

PMT はオープンケーソン沈設後の適用（図-1(左)）を想定しているが、今回の PMT は未掘削の地盤（図-1(右)）で実施した。PMT はプレボーリング方式（ $\phi 66$ mm）によって、GL-38.5 m、-39.5 m（計測中心深度）で実施した。プローブ内への水の注入・排出を一定速度（0.25 mL/sec）とし、 u_{r0}/r_0 の 5%以降に 3~4 回の除荷～再載荷を行った。また、PMT を実施したボーリング孔と約 1 m 離れた位置で乱れの少ない試料（ $\phi 116$ mm）を採取し、室内試験を行った。採取試料の物理特性を表-1 に示す。PMT から算出した強度定数の検証を目的として、圧密排水（CD）条件

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 042-489-6499

表－1 物理特性

		乱れの少ない試料		再構成 供試体
		GL-38.5m	GL-39.5m	
湿潤密度	ρ_t [g/cm ³]	2.36	2.25	2.38
自然含水比	w [%]	7.4	10.9	
間隙比	e [-]	0.21	0.32	
飽和度	S_r [%]	93.7	92.3	
最大粒径	D_{max} [mm]	37.5	37.5	19.0
均等係数	U_c [-]	24	244	96
礫分	[%]	72.3	62.8	52.6
砂分	[%]	23.9	25.7	35.9
細粒分	F_c [%]	3.8	11.5	11.5
透水係数	k [cm/sec]	3.60×10^{-1}	7.50×10^{-2}	2.70×10^{-2}

※透水係数はCreagerの方法による推定値

表－2 強度定数

		孔内水平載荷試験			三軸圧縮 試験
		GL-38.5m	GL-39.5m	平均値	
粘着力	c' [kPa]	0.0	0.0	0.0	－
せん断摩擦角	ϕ' [deg]	53.6	40.7	47.1	－
粘着力	c_d [kPa]	－	－		81.1
せん断摩擦角	ϕ_d [deg]	－	－		45.2

で三軸圧縮試験を行った。三軸圧縮試験の供試体は、最大粒径 D_{max} =19.0 mm に調整したサンプリング試料を、PMT 孔における平均的な湿潤密度 (ρ_t =2.38 g/cm³) となるように ϕ 100 mm のモールド内に突固めて作製した。圧密応力は3水準 (200, 400, 800 kPa)、背圧は400 kPaとした。

4. 試験結果

図－2 に PMT 結果を示す。これらの結果から式 1 を用いて算出した応力 - ひずみ曲線を図中に重ねて示すが、両者は精度良く一致していることがわかる。なお、式 1 を用いる際、 $\nu'=0.3$ 、 $\phi'_r=2/3\phi'^{(2)}$ とした。各深度の強度定数を表－2 に示す。 c' はいずれも 0.0 kPa であったが、 ϕ' は各深度で異なる値が得られており、約 10 度の差があった。

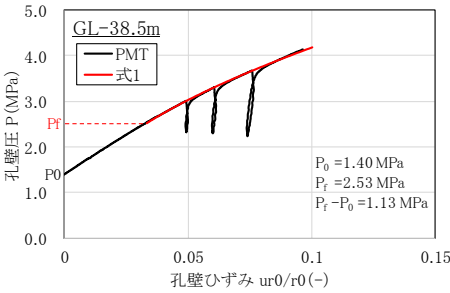
三軸圧縮試験 (CD 条件) の主応力差最大時のモール円を図－3 に、この時の強度定数 (c_d , ϕ_d) を表－2 に示す。PMT 結果と三軸圧縮試験結果を比較すると、 ϕ_d は ϕ' と同程度であったが、 c_d は c' よりも大きくなった。排水条件の違いが粘着力の差の要因のひとつと考えられるが、三軸圧縮試験結果からも、式 1 から算出した強度定数の妥当性がうかがえた。なお、本手法の妥当性は続報^{3,4)}で検討する。

5. まとめ

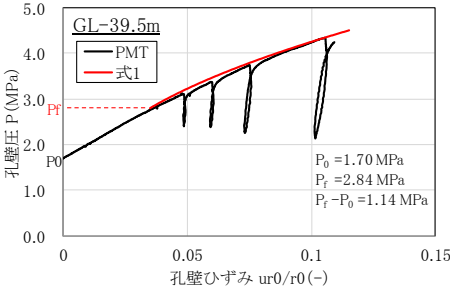
従来、堆積軟岩の物性評価に用いられてきた PMT の応力 - ひずみ関係を示す理論式を密な礫地盤へ適用し、強度定数を求めた。再構成供試体による三軸圧縮試験結果と比較したところ、既往の理論式を用いることで、礫層の地盤強度定数を適切に算出できる可能性があることがわかった。

参考文献

1) C. M. Haberfield, et al., The interpretation of pressuremeter tests in weak rock – theoretical analysis, Proceedings of Third International Symposium on Pressuremeters, pp.169-178, 1990.
2) 櫻井孝臣ら, プレッシ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.
3) 宇津野衛ら, 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, 2021. (投稿中)
4) 吉田輝ら, 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, 2021. (投稿中)

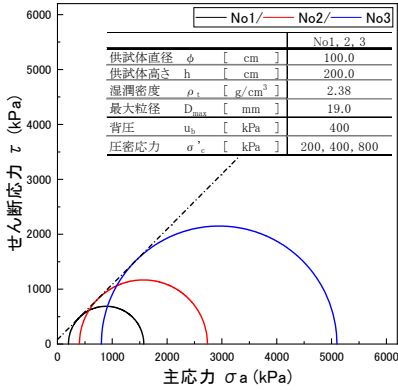


(a)GL-38.5 m



(b)GL-39.5 m

図－2 PMT結果



図－3 モール円