

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）

－実施工での運用－

鹿島建設(株) 正会員 ○吉田 輝 笹岡里衣 福島 陽 宇津野衛
同 大野進太郎 伊藤弘之 松林周磨 坂梨利男 杜若善彦
東京大学 フェロー会員 古関潤一

1. はじめに

オープンケーソン施工中の基礎地盤支持力確認に孔内水平載荷試験（Pressuremeter Test ; PMT）を行う場合、別報¹⁾に示す通り、掘削により基礎地盤が水底に露出した状態で試験を行うことになる。このとき、PMTの試験位置の土被りが過小であると、破壊領域が上方に偏在化することで支持力を精度よく評価できない可能性がある。そこで、別報²⁾で述べた解析モデルを用い、試験深度をパラメータとしたPMTの載荷過程（途中4回の除荷・再載荷を含む）の数値シミュレーションを行い、支持力評価の精度確保に必要な土被りを検討した。本報ではその結果を報告するとともに、実施工でのPMTを用いた支持力確認の流れを述べる。

2. FEM解析モデルおよび条件

FEM解析モデルを図-1に示す。当モデルは水底に一樣な基礎地盤が水平に露出した状況を表したもので、試験孔に対する対称性を考慮して別報²⁾と同様に3次元4分の1モデルとした。地盤の構成モデルはMohr-Coulomb型弾完全塑性モデルとした。後述する表-1下段に解析で用いた物性値を示す。これらは砂礫層を想定して設定した。ただし $c'=0$ kPaでは地盤が自重で破壊してしまうため、便宜上50 kPaとした。また、図-1に示すように、PMTの中心深度をGL-0.5、-1.5、-2.5、-3.5、-4.5mの5通りに変化させた。なお、PMTの載荷範囲の長さは実際の試験におけるプローブ（載荷器具）の長さと同じ0.35mとした。

3. 解析結果

数値解析で得られた孔壁圧－孔壁ひずみ関係を図-2に示す。ここに、孔壁ひずみとは、試験孔半径の増分を初期半径で除した無次元量である。試験深度が浅くなるほど、拘束圧が減少して孔壁ひずみが増加することがわかる。中でもGL-0.5mは他の4つの試験深度に比べて、孔壁ひずみの増大が載荷開始直後から著しい。図-3に、載荷終了時（孔壁圧＝0.75MPa）における破壊領域図を示す。せん断破壊は載荷位置の近傍でのみ発生しており、その外側のラグビーボール状の領域で引張破壊が生じるが、GL-0.5mのみ引張破壊が地表面まで到達し、破壊モードが他と大きく異なることがわかる。すなわち、GL-1.5m以深では載荷範囲の中心深度に対し上下対称の変形モードであるが、GL-0.5mでは地表側に引張破壊領域が拡大する上下非対称のモードである。後者は、別報¹⁾で用いた変形・強度パラメータ推定式³⁾（PMTの孔壁圧－孔壁ひずみ関係から内部摩擦角 ϕ' および粘着力 c' を推定する理論式）の前提である、深度方向（試験孔長さ方向）の変形の一様性が大きく損なわれていることを意味している。以上の結果から、今回の検討条件のもとでは試験深度GL-0.5mは土被りが過小であると判断できる。JGS1531-2012（地盤の

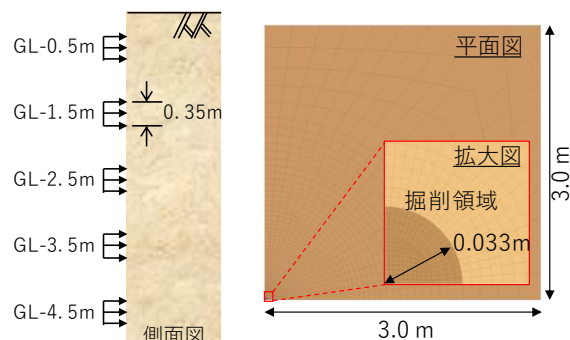


図-1 FEM解析モデルの概要

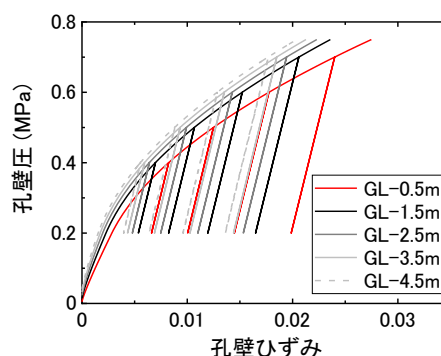


図-2 孔壁圧－孔壁ひずみ関係

キーワード：ケーソン工法，孔内水平載荷試験，強度定数，極限支持力

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

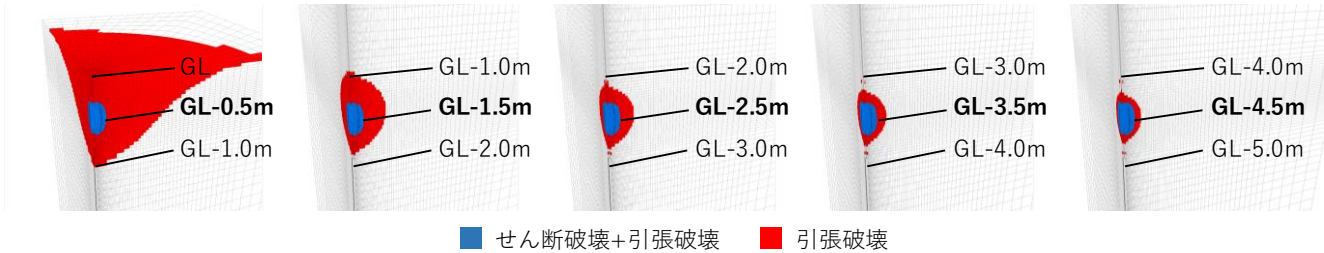


図-3 地盤の破壊状況（載荷終了時，孔壁圧 = 0.75MPa）

指標値を求めるためのプレッシャーメータ試験方法⁴⁾にも PMT の必要土被りについて、「試験箇所は試験孔口から 0.75m 以上，又はプローブの上端が試験孔口から 0.5m 以上の深さになるように設置しなければならない」との記載があり，本検討結果はこれとも概ね整合する。

4. 解析結果に基づく強度定数 ϕ' , c' の評価

別報¹⁾に示した強度定数の推定方法を，図-2の孔壁圧-孔壁ひずみ関係に適用し，土質パラメータを推定した結果を表-1に示す。PMTの主な評価対象である強度パラメータ (ϕ' と c') について以下に考察する。載荷範囲で概ね様な変形が生じている GL-1.5m 以深の解析結果から推定した ϕ' は，土被りが小さいほど低下するとともに，解析用物性値を 4~7° 下回った。実際の PMT においても ϕ' が過小評価される可能性が高いが，この評価値を用いて算出した支持力が設計値を上回ることを確認することで，安全側に支持力照査を実施できる。一方， c' の推定値は解析入力値 50kPa の約 2~3 倍となったが，砂層または礫層では設計上 c' を考慮しないため，PMT における c' の評価値もこれに準じて扱えば良い。

表-1 解析結果にもとづく土質パラメータの推定結果

中心深度	内部摩擦角 ϕ' (deg)	粘着力 c' (kPa)	せん断剛性率 G (MPa)	降伏応力 P' (MPa)
GL-0.5m	27.1	166.7	35.5	0.151
GL-1.5m	29.3	147.7	42.6	0.136
GL-2.5m	30.3	128.5	47.7	0.123
GL-3.5m	31.1	112.8	51.8	0.113
GL-4.5m	31.8	99.2	55.2	0.106
解析条件	36.0	50.0	57.4	-

※解析条件の単位体積重量 $\gamma = 19.6 \text{ kN/m}^3$
引張強度 $\sigma_t = 0.0 \text{ kN/m}^2$

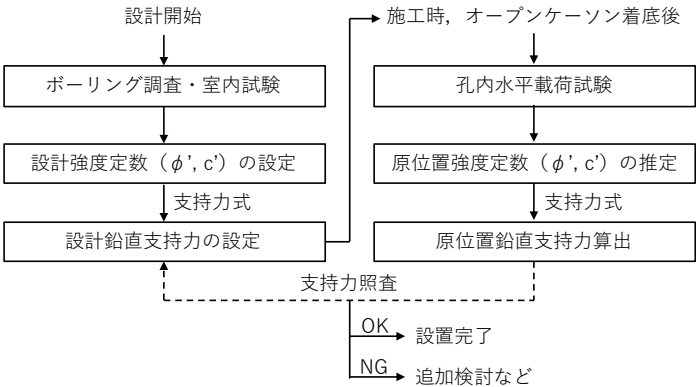


図-4 実施工における運用フロー

5. 実施工における運用

図-4に，実工事における施工中の PMT の運用フローを示す。オープンケーソン着底後，基礎地盤に対して PMT を実施し，得られた強度パラメータ（内部摩擦角 ϕ' ，粘着力 c' ）に基づいて鉛直支持力を再評価し，所定の安全率が確保されることを確認するのが基本である。このとき ϕ' ， c' の両者がいずれも設計に用いた値以上である必要はないが， $c'=0$ で設計された礫質土や砂質土において， ϕ' が設計で用いた値以上であれば設計鉛直支持力が担保されることは明らかである。

6. まとめ

オープンケーソンの施工中の基礎地盤支持力確認のための PMT について，FEM シミュレーションによって必要な土被りを考察するとともに，PMT の結果に基づく支持力確認の流れを整理した。硬質粘性土地盤を含む各種の地盤での適用性の検証が今後の課題である。

参考文献

1) 笹岡ら：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 1），土木学会第 76 回年次学術講演会，2021。（投稿中）
2) 宇津野ら：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），同上。
3) 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.
4) 公益社団法人地盤工学会：地盤調査の方法と解説－二分冊の二－，pp663-696, 2013.