

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）  
—数値解析による強度推定式の適用性検討—

鹿島建設(株) 正会員    ○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  
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<sup>1)</sup>。本報では、PMT において物性評価する際に用いる推定式<sup>1,2)</sup>により解析結果の孔壁圧－孔壁ひずみ関係から強度定数を算出し、解析入力値と比較することで、推定式の適用性を検討した。

2. 解析概要

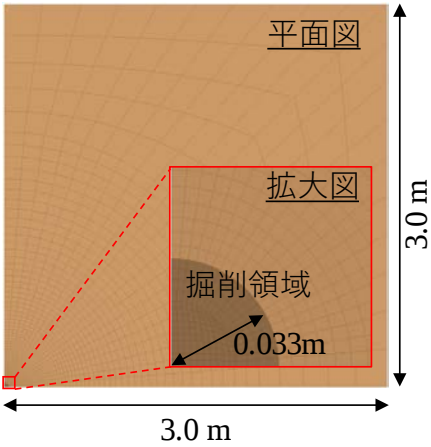
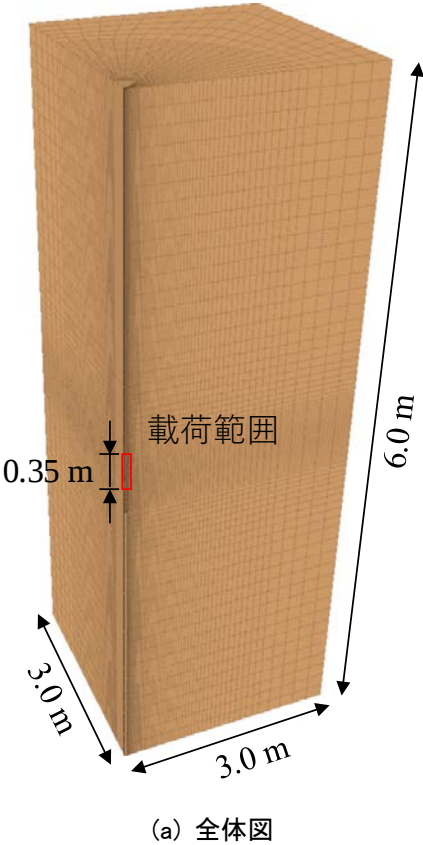
解析は対称性を考慮し図－1 に示す 1/4 モデルを用いて実施した。地盤は一様材料で Mohr-Coulomb 弾完全塑性モデルでモデル化し、表－1 に示す物性値を用いた。境界条件は、モデル側面および底面は面外方向固定、面内方向自由のローラー境界とし、モデル上面には土被り圧に相当する荷重を分布荷重として作用させた。解析ステップは①初期自重解析、②ボーリングによる掘削（φ66 mm）、③孔内水平載荷とした。孔内水平載荷による荷重は解析モデル中心深度の該当範囲（φ66 mm，H＝350 mm）に分布荷重として作用させ、4 回の除荷～再載荷を伴う繰返し載荷（載荷圧が 3.0、4.5、6.0、7.5 MPa に達した際に 1.5 MPa まで除荷し、再び載荷、最終的に 8.0 MPa まで載荷）とした。なお、解析には FLAC3D ver5.01（米国 Itasca 社製）を用いた。解析ケースは、別報<sup>3)</sup>での実験同様に載荷中心深度が GL-38.5 m，GL-39.5 m の 2 ケースとした。

解析によって得られた孔壁圧－孔壁ひずみ関係に対して試験結果の整理と同様の方法で推定し、得られた強度定数を入力物性と比較することで推定式の適用性を検討した。ここに、孔壁ひずみ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。

3. 解析結果と推定式による算出値の比較

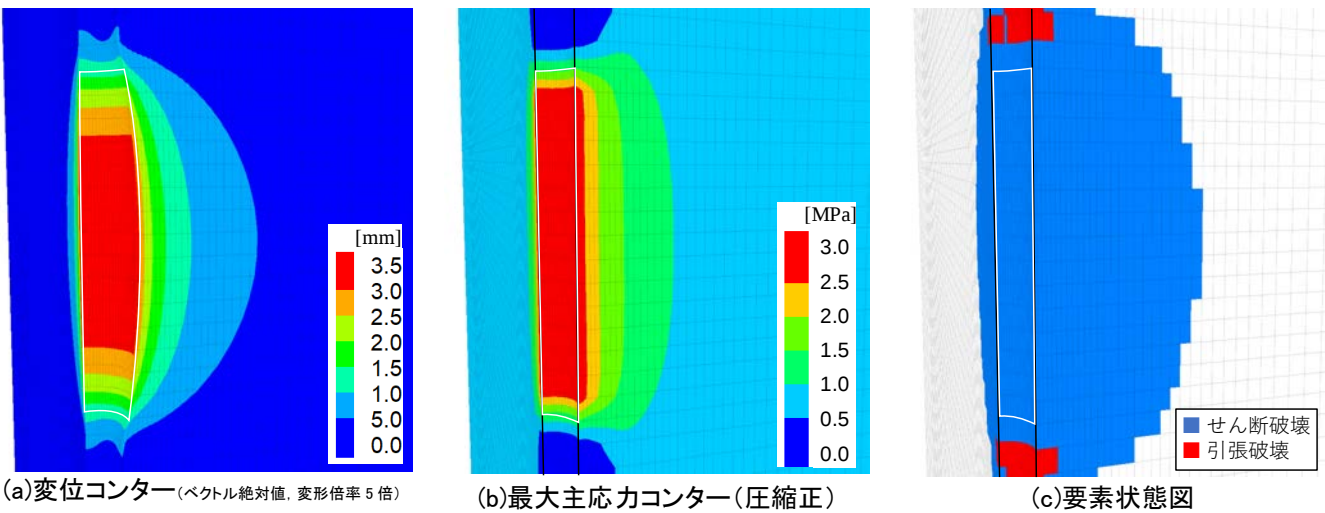
図－2 に GL-38.5 m のケースにおける 3.0 MPa 載荷時の解析結果を示す。変位コンターにおいて、載荷面は樽型に変形しており、3.0 MPa 載荷時で最大 3.5 mm 程度の変形となった。地盤内の変位も載荷面同様に載荷中心深度においてピークとなる樽型の分布となった。最大主応力コンターにおいて、載荷面で載荷圧に相当する 3.0 MPa となっており、ここには示していないが最大主応力方向は載荷面

| 表－1 解析物性値 |            |                   |       |
|-----------|------------|-------------------|-------|
| 物性        |            |                   | 値     |
| 密度        | $\rho$     | t/m <sup>3</sup>  | 2.0   |
| 弾性係数      | $E$        | MN/m <sup>2</sup> | 149.3 |
| ポアソン比     | $\nu$      | -                 | 0.3   |
| 粘着力       | $c$        | kN/m <sup>2</sup> | 50.0  |
| 内部摩擦角     | $\phi$     | deg               | 36.0  |
| 引張強度      | $\sigma_t$ | kN/m <sup>2</sup> | 0.0   |



図－1 解析モデル

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      〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設(株)土木設計本部    TEL 03-6229-6684



図－2 解析結果 載荷中心深度 GL-38.5 m, 3.0MPa 載荷時

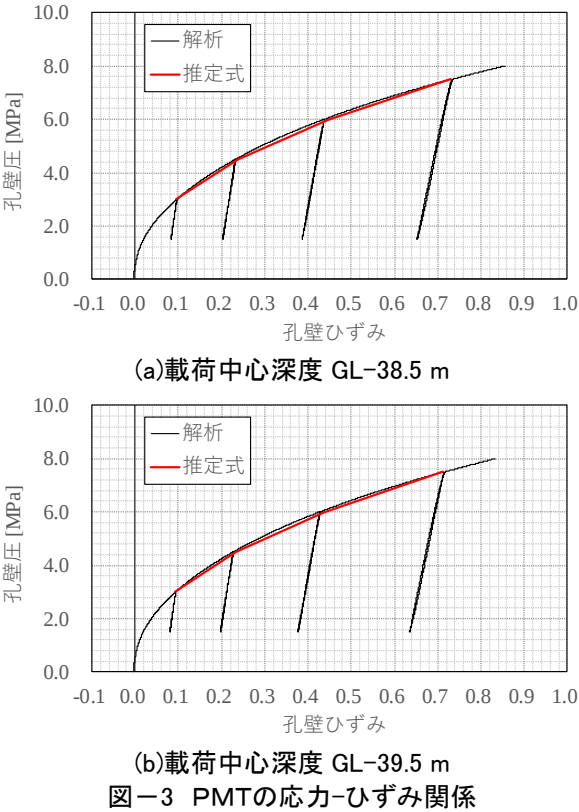
直交方向となった。要素状態図において、載荷範囲を中心とする樽型にせん断破壊の領域が確認できた。図－3 に解析結果の孔壁圧－孔壁ひずみ関係と推定式による近似結果を示す。図中の黒線で示す解析結果において、両ケース共に 1.0 ～1.5 MPa 付近に降伏点が見られた。また、除荷～再載荷過程における剛性は両ケースともに載荷圧が大きくなるにつれ小さくなる結果となった。解析には弾完全塑性モデルを用いており、軟化は考慮していないが、境界値問題の結果として荷重増加に伴う剛性低下が見られたものと考えられる。図中の赤線は解析結果の孔壁圧－孔壁ひずみ関係に対して、推定式を用いて算出した結果を示したものであり、解析と整合する結果が得られた。表－2 に解析の入力値と推定式により得られた算出値を示す。算出された粘着力は解析入力値と比較してその絶対値は倍程度となっているが、孔壁圧に比べれば十分に小さい値であり、ほぼ同等の値が得られていると考えられる。また、内部摩擦角については解析入力値とほぼ同等の値が得られた。なお、別報<sup>3)</sup>にて施工中の PMT の運用フローを示す。

4. 本報のまとめ

PMT において物性評価する際に用いる推定式により解析結果の孔壁圧－孔壁ひずみ関係から強度定数を算出し、解析入力値と比較することで、推定式の適用性を検討した。推定式による強度定数は解析入力値とほぼ同様の値が得られることが確認できた。

参考文献

1) 笹岡ら，ケーソン基礎の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，2021.（投稿中）  
2) 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.  
3) 吉田ら，ケーソン基礎の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）



図－3 PMTの応力－ひずみ関係

表－2 解析入力値と推定式による算出値の比較

| 物性      |        |                 | 解析<br>入力値 | 推定式算出値   |          |
|---------|--------|-----------------|-----------|----------|----------|
|         |        |                 |           | GL-38.5m | GL-39.5m |
| せん断弾性係数 | $G$    | $\text{MN/m}^2$ | 57.4      | 34.4     | 35.0     |
| 粘着力     | $c$    | $\text{kN/m}^2$ | 50.0      | 113.9    | 96.7     |
| 内部摩擦角   | $\phi$ | deg             | 36.0      | 37.4     | 37.7     |