

粒子配置の粗密を考慮した MPM を用いたニューマチックケーソンの沈設解析

清水建設(株)土木技術本部 正会員 遠藤 和雄, ○小林 聖二

清水建設(株)技術研究所 正会員 桐山 貴俊

1. はじめに

近年ニューマチックケーソン工事は、大規模・大深度化が進んでいる。この大規模・大深度化の進展は、地盤変状の影響範囲の拡大をもたらし、その結果、より広範囲な近隣構造物・地下埋設物への影響評価が必要となった。ケーソン沈下に伴う主要な地盤変状のひとつに、ケーソン躯体が周面地盤を引き込むことによる地盤沈下がある。この地盤沈下を評価するため、著者らは、数値計算法として変形性能に優れ、動的な解析手法である粒子法(Material Point Method, 以下 MPM)の適用性について検討してきた^{1),2)}。粒子法を用いた既往の解析手法では、全解析領域に渡り粒子配置する必要があるため、計算負荷が課題とされた。著者らは、新たに粒子配置の粗密を考慮した計算法を提案し、問題の解決を図った。本稿では、提案法を用いたニューマチックケーソンの解析例を報告する。

2. 粒子配置の粗密を考慮した計算法

MPM は対象物を多数の物質点に離散化した後、物質点の持つ物理量を計算空間へマッピングし、計算格子を用いて運動を解く。計算格子で求まる運動を再び物質点へマッピングすることで対象物の運動を求める。計算過程前半の対象物の離散化において、オリジナル MPM は質点を用いたが、桐山・肥後が提案する手法では任意形状を考慮可能な離散化が可能となっている³⁾。著者らは、計算格子を用いる特徴はそのままに、対象物を離散化する領域および離散化法を使い分けることで、粒子配置の粗密を考慮した計算法を実現した。

3. ニューマチックケーソンの沈設解析

(1) 解析条件および解析モデル

大規模・大深度ニューマチックケーソン（平面寸法：幅 50(m)×奥行 30(m)、掘削深さ 60(m)）を想定し検討解析を実施した。地盤モデルの範囲は、ケーソン着底時深度より下方に 70(m)、側方に 125(m)の範囲を設定した。採用した計算格子幅は 0.5(m)、粒子半径は 0.25(m)、粒子数は約 42,000 個である。ケーソン沈設領域と近傍領域に粒子を、遠方に任意形状要素を配置する領域分割とした。粒子領域は 1 計算格子あたり 4 粒子配置した。新たな提案法では計算負荷を軽減することが可能となり、従来法を用いた解析条件¹⁾に比べより微細な格子寸法および粒子径を採用することで、計算精度の高い解析が可能となった。表-1 に解析条件、図-1 に解析モデルを示す。外力として重力加速度を付与し、ケーソン作業室下方粒子を削除することでケーソンを自沈させた。削除する深度は 1 step あたり 1(m)とし 60 段階の沈設解析を実施し G.L.-60(m)まで解析的に掘削する。Workstation を用いた計算時間は約 2 週間要した。通常ニューマチックケーソンは地上で構築され沈設するが、数値計算上は予めすべての構造物をモデル化した。有効重量を別途作成した沈下関係と等しくなるように更新させることで、ケーソン荷重を解析的に考慮した。ケーソンおよび周辺地盤の境界にはフリクションカットとして、掘削深度に応じて物性変更条件を付与し、周辺地盤の剛性を低下させた。

表-1 解析条件

項 目	単 位	値
計算領域	m	幅150×高さ190
躯体寸法	m	幅50×奥行30×高さ60
計算格子幅	m	0.5×0.5
粒子径	m	0.25
1格子辺りの粒子数	個/格子	4
粒子数	個	約42,000

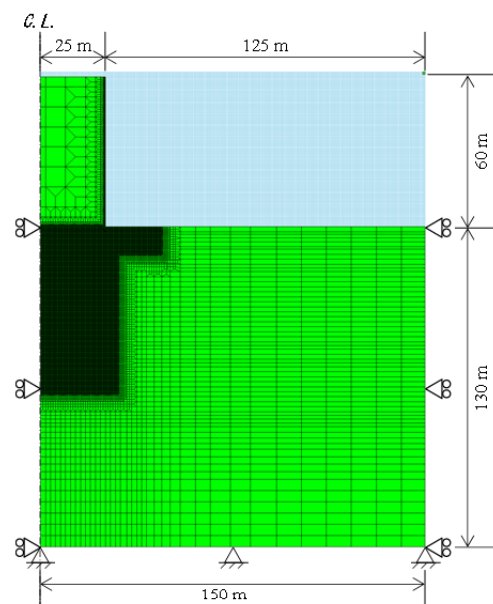


図-1 解析モデル

キーワード ニューマチックケーソン, 沈設解析, 粒子法, MPM

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16-1 清水建設株式会社 TEL: 03-3561-3898

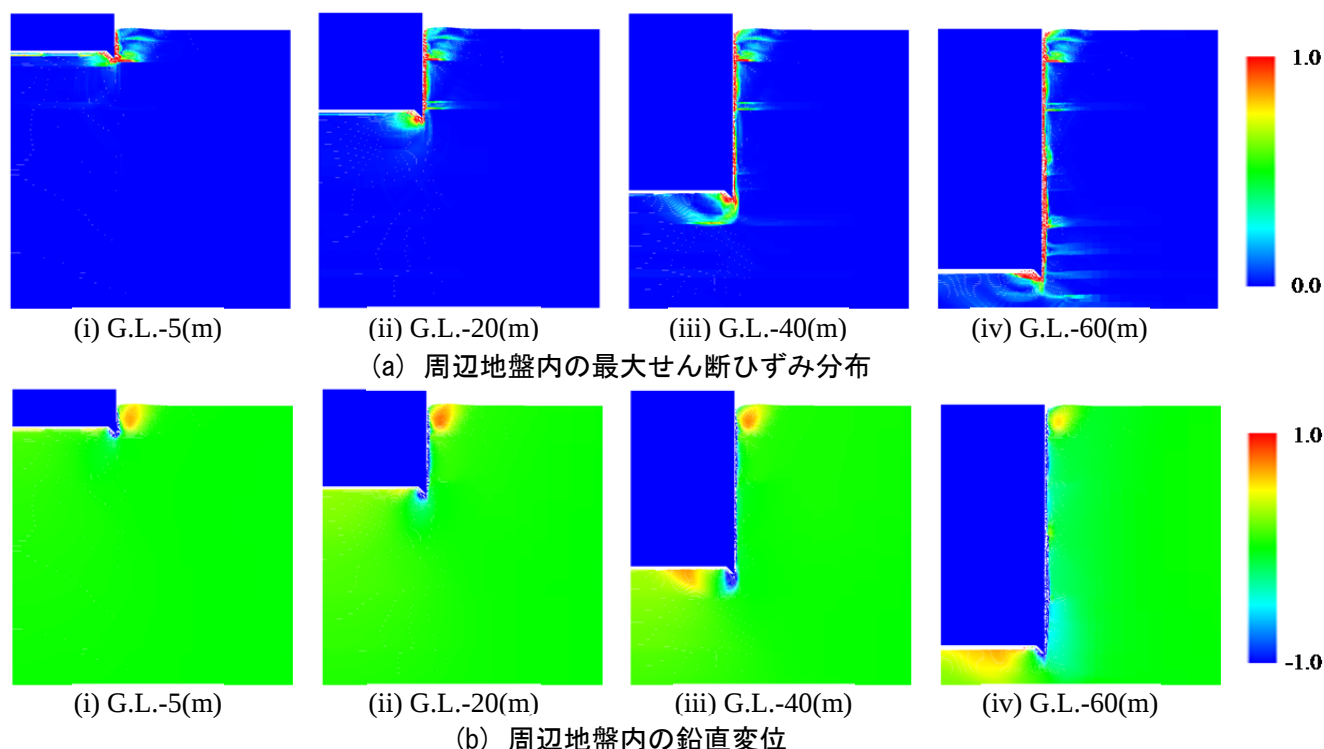


図-2 ニューマチックケーソン沈設過程における周辺地盤内の最大せん断ひずみおよび鉛直変位

(2) 解析結果

図-2 に、沈設に伴う周辺地盤の最大せん断ひずみ分布および鉛直変位分布を示す。図-2(a) から、ケーソンの刃先近傍から内側に発達する円弧すべりにより地盤の支持力破壊領域が地盤内に生じ、ケーソン直下地盤が変形を伴いながら作業室内側へ移動してくる様子が確認できる。また、ケーソン近傍地盤や地層境界において、せん断変形が集中する結果が得られた。図-2(b) から、ケーソン近傍で沈設直後に地表の隆起が確認された(図-2(b)(i), (ii))。この隆起は、ケーソン刃先から作業室外側に向けて発達する円弧すべりが原因である。掘削深度が深くなるにつれて、地表隆起は地盤の引きずり込みにより徐々に減少し、沈設完了時には沈下に転じている(図-2(b)(iii), (iv))。また、作業室内を含めケーソン直下地盤で鉛直上向きの変形(隆起)が顕著である一方で、側方地盤では沈下が顕著である結果が得られた。

4. まとめ

解析結果から得られた知見を図-3 に模式図として示す。ケーソン刃先からの作業室内外に発達する円弧すべりにより、ケーソン直下地盤の地盤破壊現象を解析的に確認できた。また、新たな手法を採用することで、着目領域に微細な粒子配置が可能となり、より高精度な解析結果を得ることができた。今後は、縁切鋼矢板の有無による地表面変位の抑制効果等、ケーソン特有の実条件に沿う解析条件をさらに追加し検討していく。

参考文献

- 1) 小林ら：ニューマチックケーソン施工時の影響解析に対する粒子法の適用性，土木学会 第72回土木学会年次学術講演会，VI-250，2017.
- 2) 桐山ら：粒子・要素混合法を用いたニューマチックケーソンの沈設解析，第14回地盤工学会関東支部発表会，2017.
- 3) 桐山・肥後：計算格子を利用した領域積分数値計算法の地盤大変形問題への適用，土木学会論文集 A2 (応用力学)，Vol.72, No.2, I_155-I_165, 2016.

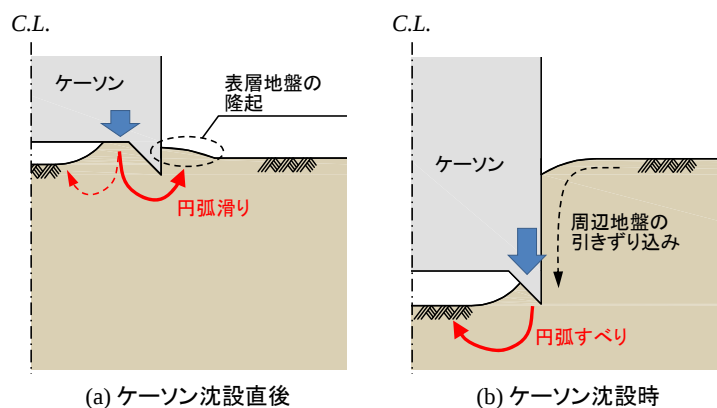


図-3 周辺地盤の円弧すべりの発生