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

清水建設(株)土木技術本部

正会員 遠藤 和雄,小野田 元,〇小林 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挙げられる.この地盤沈下を評価するた め、影響予測手法としてこれまで FEM 解析が用いられてきた. FEM 解析は、非構造格子を用いた自由度の高い解析モデルの作 成が可能であり、影響評価を行う際、地表面変位などの境界値に 対して定量的な評価が可能な有効な手法である.一方、掘削過程 を考慮した解析条件・解析モデルの変更、大変形を伴うケーソン 躯体の自沈、刃先近傍で生じる土塊の移動など、計算格子(要素) を用いた数値計算法では、困難な点も明らかとなってきた.これ ら課題に対して、これまでは、沈下ステップ毎に主要な要因を考



慮した釣り合い問題に置き換え静的解析として近似させてきた(静的釣り合い法). 釣り合い問題で考慮する要因を 図-1 に示す. このような解析的アプローチは個々の要因が独立事象であるという前提に基づく. しかしながら, 個々 の要因が相互作用することは明らかである.本稿では,数値計算法として変形性能に優れる粒子法(Material Point Method)を用い,各種要因の相互作用を考慮した動的な解析方法(動的釣り合い法)について検討し,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に関して報告する.

2. 施工時解析へ適用する格子法・粒子法の長所・短所 格子法は評価対象領域を明確に定義する境界値問題 に優位な手法である.一方,構造物の沈設や地盤掘削など領域変更を伴う問題では,リメッシュなど技術的対策が 必要となり困難が生じる.粒子法は支配領域を明確に定義しないため,領域変更に対する解析的自由度は高い.ニ ューマチックケーソン施工時の影響解析を実施する際の,格子法および粒子法の特徴を**表-1**に示す.

| 項目 | | 格子法(FEM) | 粒子法(MPM) | | |
|------------------------|----|---|--|--|--|
| 一般 | 長所 | ・所定の境界で物性値を評価可能. ・完成した構造物に対する解析は得意. ・静的問題への置き換えにより解析時間は短い. | ・掘削地盤を粒子の削除で表現できる。 ・ケーソン沈設開始から完了までの一連の過程をひとつの解析モデルのみで行うことができる。 | | |
| | 短所 | ・フリクションカットに土粒子が落込む表現は困難. ・領域変更,接触位置変更が伴うため,動的釣り合い法による沈設や掘削は困難. ・静的釣り合い法では、ケーソン沈下の段階毎に解析モデルを作成する必要がある. | ・物理量を粒子中心座標で評価するため、地表面沈下量など境界値の評価に工夫を要する。 ・地表面変位や構造〜地盤間の境界を精度良く解析するためには細粒化による大量の粒子配置を要する。 | | |
| 外周山留壁のたわみ | | 事前に山留計算より求めたたわみ形状を強制変位とし て直接要素に与える. | 山留壁の物性値を粒子に与え、ケーソン盤下げ時や沈下 時の地盤と山留壁の変形を算出する. | | |
| フリクションカット によろ地般の緩み | | 土量変化率に応じた緩み量を強制変位として直接要素 に与える。 | 粒子が隙間を埋める動きをするため,事前に強制変位や 荷重は不要. | | |
| ケーソン周面摩擦 | | 指針や設計マニュアルに示されている摩擦力に基づき, 強制変位として直接要素に与える. | 粒子に地盤の物性値を直接与えるため、ケーソン刃先深 度に応じた周面摩擦を反映できる. | | |
| ケーソン掘削面の リバウンド | | ケーソン沈設の各段階で静的なモデルを作成し, リバウ ンド量を表現する. | 掘削地盤面の粒子を削除して掘削を表現できる. | | |
| 沈下段階に応じた ケーソン刃先荷重変化 | | ケーソン沈設の各段階で躯体有効重量を与えることが できる. | ケーソン刃先深度に応じた動的で連続的な刃先荷重の 変化を再現できる. | | |

表-1 ニューマチックケーソン周辺地盤における解析手法の特徴

キーワード ニューマチックケーソン, 近接影響予測, FEM, 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

-499-

<u>业</u>与了,家公

3. ニューマチックケーソン周辺地盤の影響解析への粒子法適用

(1)解析条件および解析モデル 本稿では、大型大深度ニュー マチックケーソンとして、平面寸法:幅52.0(m)×奥行29.5(m)、 掘削深さ:60.0(m)を想定し検討解析を行った.使用した解析モ デルおよび境界条件を図-2に示す.ケーソン形状、地盤条件と も左右対称を仮定した.周辺地盤はケーソン寸法を基準とし水 平は3倍、鉛直は2倍となる範囲までモデル化した.1つの計 算格子寸法は1(m)×1(m)の矩形格子とし、粒子を1格子あたり 4 つ配置した.粒子総数は106,250 個である.ケーソン作業室 内に存在する粒子を削除することで掘削を、躯体有効重量を深 度毎に変化させることで重力加速度による沈下を表現した.

(2)解析結果 沈設 10(m)毎の地盤内鉛直変位および最大せん 断ひずみを図-3 に示す.鉛直変位分布図(図-3(a))によれば, 掘削深度 G.L.-10(m)では初期構築時のケーソンによる地盤の側 方への押し広げによりケーソン近傍の地表面において地盤の 隆起が確認できる.一方,掘削深度が深くなるとケーソンから 離れた位置まで地盤が沈下しており,ケーソン躯体による引き

| 表-2 | 解析条件 | +および物性値 |
|------|------|---------|
| 項目 | | 値 |
| 数[個] | | 106,250 |

| | | 100,200 |
|--------|----------|--------------------------------|
| 計算領域(副 | 島さ×幅)[m] | 188×150 |
| 格子幅[m] |] | 1×1 |
| 躯体寸法[| m] | $52.0 \times 29.5 \times 60.0$ |
| 躯体の弾性 | 係数 [kPa] | 5,000,000 |
| 躯体のポア | ソン比 [-] | 0.33 |
| | | |



ずり込み沈下が顕著となる.最大せん断ひずみ分布図(図-3(b))によれば、ケーソン沈下に伴い近傍地盤にせん断ひ ずみが集中し、引きずり込みが生じていること、および、ケーソン刃先で支持力破壊モードを示し、粒子がケーソ ン内部に移動している様子が確認できる.解析結果は、ケーソンおよび地盤の相互作用を動的な釣り合い問題とし て解くことで初めて算出することができたものであり、沈設解析において新たな知見を与える結果である.

4. まとめ 本稿では粒子法を用いたニューマチックケーソン周辺地盤の影響解析を実施した.得られた結果を 以下にまとめる.(1)ニューマチックケーソン工法での一連の土砂掘削を粒子法により動的に再現できる.(2)ケー ソン沈下に伴い,躯体側面と刃先を沿うような支持力破壊モードを示す.(3)掘削深度が深くなるに伴い,10(cm) を越える地表面沈下が広範囲に分布する.

今後は,多くの解析結果を蓄積していくことで,ケーソンの刃先形状,粒子の細分化,地盤定数等の解析条件を 決定し,より現実に沿うように粒子法の適用条件を詳細に検討する.

参考文献 1) MPM の盛土斜面大変形解析への適用,桐山貴俊,土木学会 第 32 回地震工学研究発表会講演論文集,2012 年



図−3 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鉛直変位および最大せん断ひずみ