

SS ケーソン沈設時の玉砂利の挙動について

正会員 ○中出 睦*
正会員 五味信治*
岩間正人**
風間秀彦***

SS ケーソン 周面摩擦 玉砂利
模型実験 DEM

1. はじめに

SS ケーソン工法は、ケーソン躯体の外周面より 200mm 拡張した特殊な刃口によって発生するケーソン外周面と地山との間に玉砂利（以下、スペース砂利）を投入し、従来のオープンケーソンの施工における周面摩擦抵抗を大幅に低減し、ケーソンを自重のみによって緩やかに、精度よく沈設する工法である。

SS ケーソン躯体に作用する周面摩擦力については正確な測定結果が得られていない。そこで、SS ケーソンの周面摩擦力の傾向を把握するために、砂質地盤の模型実験（図-1）を行ってきた。しかし、模型実験から得られた摩擦力の正当性や実験中、スペース砂利の流れが断続的であったことなどから、数値解析によって確認を行った。

2. 数値解析

数値解析には、DEM によって行った。DEM とは、Distinct Element Method の略で、個別要素法、離散要素法、粒子要素法などよばれ、不連続面で区切られた要素の集合体に対し、個々の要素が運動方程式を満足し、要素間の力の伝達が作用・反作用に従う事を条件として、集合体の動力的挙動を数値解析するものである。

次に DEM の原理を説明する。まず、一つの円形剛体について考える。円形剛体が持つ弾性的および、非弾性的性質は、接触点間に挿入した弾性スプリング（剛体係数 K ）と粘性ダッシュポット（粘性定数 η ）で表し、この円形剛体は、以下のような並進 (u)、回転 (ϕ) に関する運動方程式が得られる。図-2 に式の力学モデルを示す。

$$m\ddot{u} + \eta\dot{u} + Ku = 0 \quad (1)$$

$$I\ddot{\phi} + \eta r^2\dot{\phi} + Kr^2\phi = 0 \quad (2)$$

m : 円形剛体の質量 u : 並進量 η : 粘性定数
 K : 剛体係数 I : 円形剛体の慣性モーメント
 ϕ : 回転量 r : 円形剛体の半径

これらは、減衰振動を表し、与えられたすべての円形剛体について同様の運動方程式を連立していく事で、運動状態から静止状態に至る円形剛体の挙動を解析できる。

しかし、実際は 1 つの円形剛体に対し複数の円形剛体が接触しているため、これらの式を連立する事は難しい。

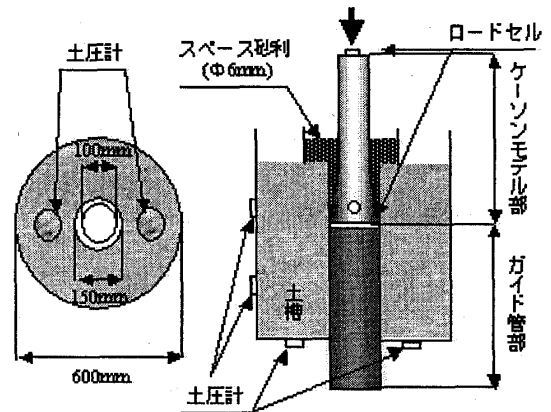


図-1 模型実験概念図

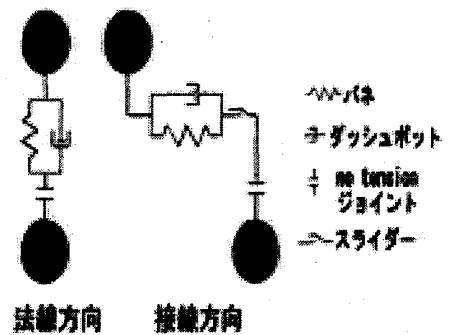


図-2 力学モデル

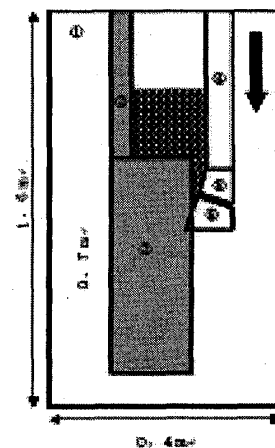


図-3 解析モデル

そこで、時間増分を Δt によって差分近似するとともに、未知数 u と ϕ を陽に含む式で近似する逐次解法が使用されている。例えば、 u について示すと、

$$m[\ddot{u}]_t = -\eta[\dot{u}]_{t-\Delta t} - K[u]_{t-\Delta t} \quad (3)$$

とおけ、新しい加速度 $[\ddot{u}]_t$ を前回の変位 $[u]_{t-\Delta t}$ に基づく接触時の作用力の陽関数とみなし、逐次計算する方法である¹⁾。

3. 解析モデル

本解析は、模型実験を比較・検討の対象としているため、解析モデル、初期値等は模型実験に則している。

図-3 に使用した解析モデルの概念図を示す。このモデルは、①～⑥の6つの多角形要素とスペース砂利を表す円形要素とから成り立っている。①は排出口から排出された玉砂利が領域外に出ないように設けられた箱を、②は円形要素を上部に貯めておくためのつい立を、③は土層を、④～⑥はSSケーソン模型を、⑤と⑥の間が排出口をそれぞれ表している。このモデルで、多角形要素④～⑥(SSケーソン模型)を下方向に沈下させ、円形要素の挙動を見ることが出来る。

また、DEM解析において、設定すべき初期値は、要素の物性、バネ定数、解析時間増分の3点で、いずれも円形要素及び多角形要素のポアソン比とヤング率から計算できる。表-1にDEM解析における初期値を示す。

これらの初期値を基に、ケーソン部分と接触している円形要素の接触力を割り出し、そこから摩擦力を求めた。

4. 結果

図-4 に2.0秒毎の解析結果を示す。図中に示すように円形要素がアーチを描き、排出がとまっている事が分かる。この事が、実験中にスペース砂利の排出が断続的であった理由であるといえる。さらに、アーチを描いているときに摩擦力があがっていることを期待したが、解析による摩擦力の計算結果とアーチ構造との間には関係性を見出せなかった。よって、このアーチ構造は摩擦力にはほとんど影響していないといえる。また、図-5に実験値と解析による摩擦力の計算結果との比較を示す。この図から実験値と計算値にほぼ差がないことがわかる。

5. 結論

本研究では模型実験において、沈設時の玉砂利の挙動と玉砂利とSSケーソン模型間に発生する摩擦力について解析を行い、以下の結論を得た。

- 1) 玉砂利の流れが断続的になるのは、土層とSSケーソン模型における玉砂利のアーチ効果のためである。
- 2) 模型実験と本解析で得られた摩擦力の値は、ほぼ同値で、模型実験の結果は妥当である。

表-1 初期値

| | 要素の物性 | |
|------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 多角形要素 | 円形要素 |
| 密度 (kg/m^3) | 7.80×10^3 | 3.71×10^3 |
| ヤング率 (N/m^2) | 2.00×10^{11} | 2.80×10^{11} |
| ポアソン比 | 0.3 | 0.25 |
| 半径 (m) | - | 0.003 |

| | バネ定数 (N/m) | |
|-------------|-----------------------|--------------------|
| | 法線方向 | 接線方向 |
| 円形要素間 | 2.30×10^{10} | 2.30×10^9 |
| 円形要素と多角形要素間 | 4.70×10^{10} | 4.70×10^9 |

| | |
|-----------------|----------------------------|
| 時間増分 Δt | 1.0×10^{-9} (sec) |
|-----------------|----------------------------|

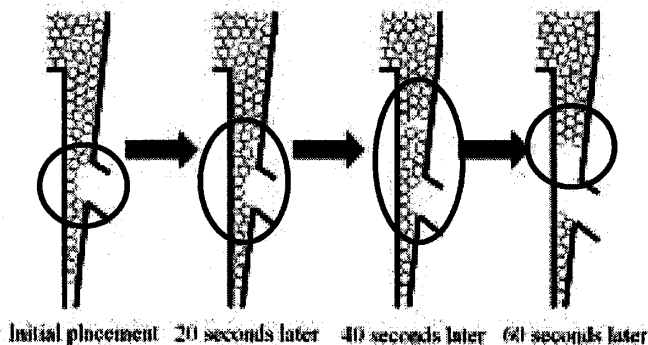


図-4 解析結果

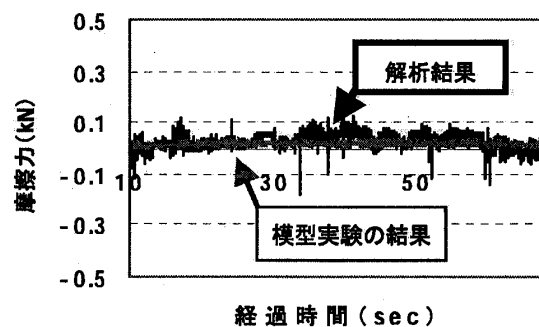


図-5 実験値と解析値の比較

参考文献：1) 岩下和義、松浦浩、小田匡寛：「粒子接点でのモーメント伝達を考慮した個別要素法」土木学会論文集

*りんかい日産建設株
 **埼玉大学大学院
 ***埼玉大学地圏科学研究センター

*Nissan Rinkai Construction Co.,Ltd.
 **Graduate School of Engineering, Saitama University
 *** Geosphere Research Institute of Saitama University