

無載荷オープンケーソンと周辺砂利層との摩擦抵抗に関する研究

Study of Skin friction between Open Caisson and Gravel

風間 秀彦^{1*}、岩下 和義²、岩間 正人²、五味 信治³、中出 睦³

Hidehiko Kazama, Kazuyoshi Iwashita, Masato Iwama, Shinji Gomi, Atushi Nakade

埼玉大学 地圏科学研究センター

Geosphere Research Institute, Saitama University

埼玉大学大学院 理工学研究科

Graduate school of Science and Engineering, Saitama University

りんかい日産建設株式会社

Nissan Rinkai Construction Co., Ltd

Abstract

Space System caisson (SS caisson), which is the operation method of constructing caisson foundation, is one of open caisson foundations. The skin friction is reduced by filling space between caisson wall and soil with boulder. Therefore, SS caisson can be sinking by own weight. The skin friction of SS caisson is smaller, but it cannot be quantitatively estimated.

So, model tests were carried out to know the tendency of skin friction. In this time, DEM (Distinct Element Method) analysis was performed to examine legitimacy these experiments.

Key Words: SS caisson, Skin friction, Gravel, Model tests, 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 拡幅した特殊な刃口によって掘削したケーソン躯体の外周面と地山との間に玉砂利を投入し、従来のオープンケーソン隙間の周面摩擦抵抗を大幅に低減し、ケーソンを自重のみで緩やかに、精度よく沈設する工法^[1]である。しかし、SS ケーソン躯体に作用する周面摩擦抵抗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抵抗の傾向を把握するために、砂質地盤の模型実験^{[1], [2]}を行って明らかにした。

本報告は、実験から得られた周面摩擦抵抗の妥当性などを、数値解析により確認することを目的とした。

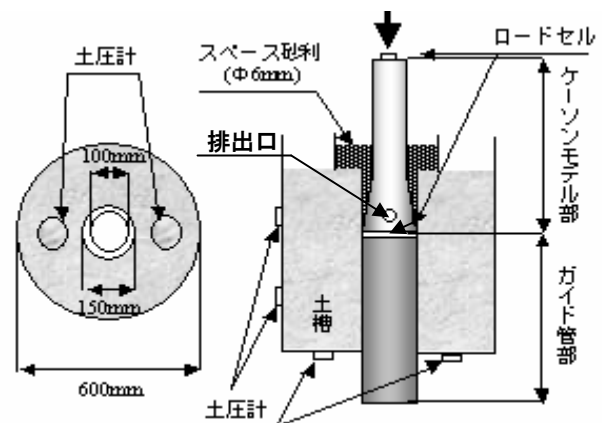


図-1 模型実験概念図

*〒338-8570 さいたま市下大久保 255

TEL:048-858-3546 FAX:048-855-1378

E-mail:kazama@post.saitama-u.ac.jp

2. 模型実験結果^[2]

図-1に実験装置図を示す。実験装置は、直径 600mm、高さ 700mm、の円筒形の土槽とケーソン模型から成る。ケーソン模型は、ケーソンモデル部とガイド管部から構成されている。

図-1 の上部のロードセルは、ケーソン模型全体に作用する力を測定する。また、ケーソンモデル部とガイド管部の間に設置されたロードセルは、ガイド管部に作用する力のみを測定している。よって、ケーソン模型が沈降する際の周面摩擦抵抗は、この 2 つのロードセルの差から算定できる。

表-1 に実験条件を示す。このような条件下で、ケーソン模型を土槽内部で沈降させ、周面摩擦抵抗を計測した模型実験結果が図-2～5 である。

この結果から以下のことがわかった。

①充填された玉砂利がケーソン刃口部から流れない状態であれば、砂の湿潤密度が大きいほど周面摩擦抵抗の値は大きくなる(図-2)。しかし、玉砂利が流れる状態であれば、湿潤密度は周面摩擦抵抗に大きく影響しない(図-3)。

②含水比と沈下速度は、実験条件の範囲内において周面摩擦抵抗にほとんど影響しない(図-4,5)。

以上の結論は、これまでに行われた 4 つのケーソン模型を用いた実験から得られた結果である。

しかし、この実験で得た周面摩擦抵抗は、玉砂利のローリング効果が著しいため、ロードセルの値が測定限界に近いほど小さいため、数値解析を用いて、実験結果の妥当性を検討することにした。

表-1 実験条件

湿潤密度(g/cm^3)	1.50, 1.55, 1.60, 1.65, 1.70, 1.75
含水比(%)	2, 10, 30
沈下速度(mm/min)	4.0, 4.5, 5.0

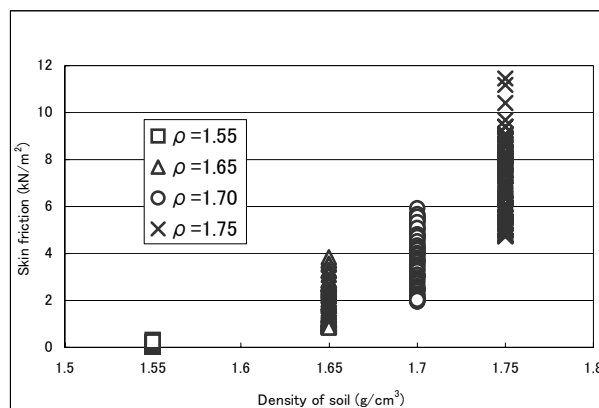


図-2 玉砂利が流れない状態における密度と摩擦力の関係

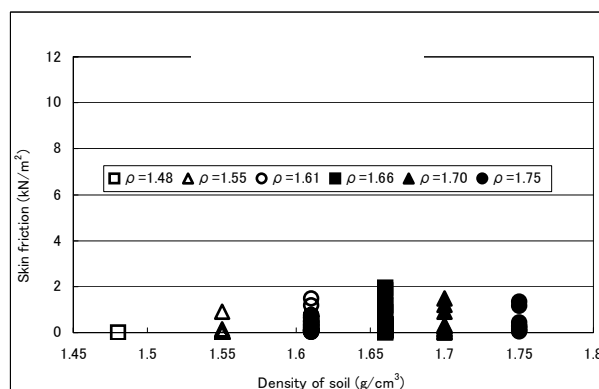


図-3 玉砂利が流れる状態における密度と摩擦力の関係

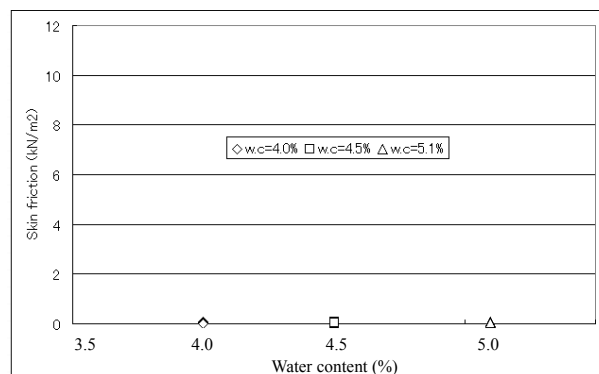


図-4 含水比と摩擦力の関係

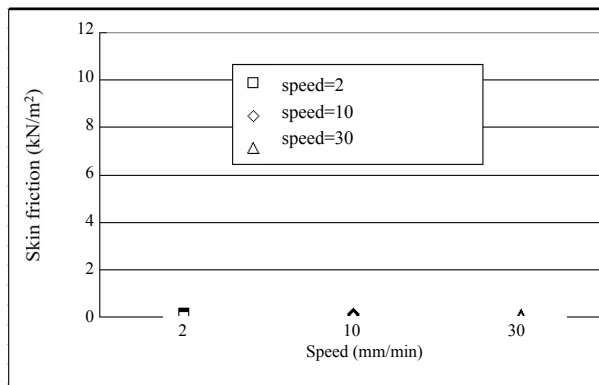


図-5 沈下速度と摩擦力の関係

3. DEM解析

数値解析は、DEM によって行った。DEM は、不連続面でくぎ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・反作用に従うことを条件として、集合体の動力学的挙動を数値解析するものである。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。

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

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

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ことで、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ことは難しい。

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、

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

とおけ、新しい加速度を前回の変位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^[3]である。

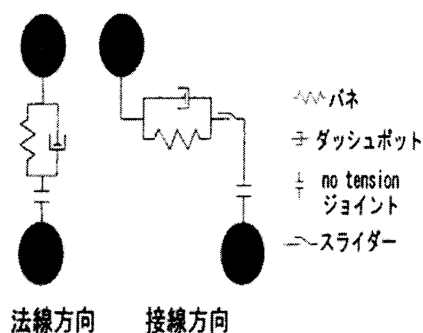


図-6 力学モデル

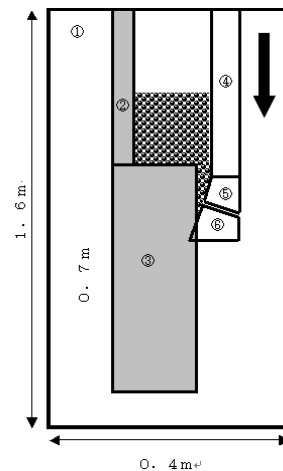


図-7 解析モデル

4. 解析モデル

図-7 に使用した解析モデルの概念図を示す。また、表-2 には DEM 解析における初期値を示す。

表-2. 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} (s)
-----------------	--------------------------

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-7 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、②は円形要素を上部に貯めておくための衝立、③は土層、④～⑥はSSケーソン模型、⑤と⑥の間が玉砂利の排出口をそれぞれ表している。このモデルの多角形要素④～⑥（SSケーソン模型）を下方向に沈下させ、円形要素の挙動を検討する。

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。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、そこから摩擦抵抗を求めた。

5. 結果

図-8に20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ことがわかる。このことが、実験中にスペース砂利の排出が断続的であった理由でるといえる。さらに、アーチを描いているときに摩擦抵抗が増加していることを期待したが、解析による摩擦抵抗の解析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抵抗にはほぼ影響していないといえる。また、図-9に実験値と解析による摩擦抵抗の解析結果との比較を示す。この図から実験値と解析値にほぼ差がないことがわかる。

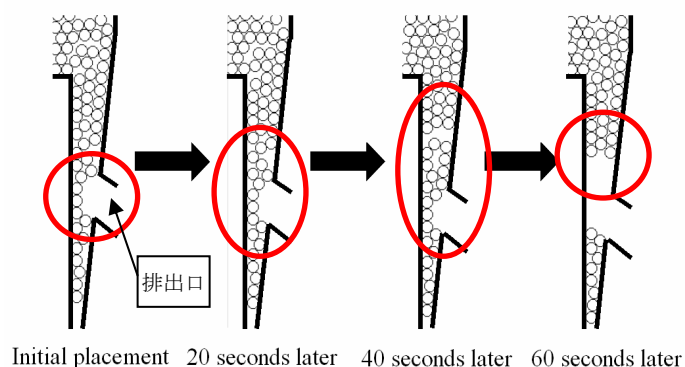


図-8 解析結果

6. まとめ

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ケーソンモデル間に発生する摩擦抵抗について解析を行い、以下の結果を得た。

- 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り、実験結果は解析からも裏付けられた。
- 2) 模型実験と本解析で得られた摩擦抵抗の値は、ほぼ同値で、模型実験の結果は妥当であることが明らかとなった。

参考文献

- [1] 風間 秀彦、平賀 理、五味 信治、中出 睦：玉砂利を使用したオープンケーソンの周面摩擦に関する研究(V) 埼玉大学地域共同センター紀要, PP129-132, 2005.
- [2] Myint Htwe, Nori Hiraga, Hidehiko Kazama, Shinji Gomi, Masaki Okamoto: Reduction in skin friction by using gravel during subsidence process of space system caisson foundation Proceedings of the Seminar on Civil and Environmental Engineering, PP4-11～4-18, 2003.
- [3] 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, No.529/III-33号, PP145-154, 1995.

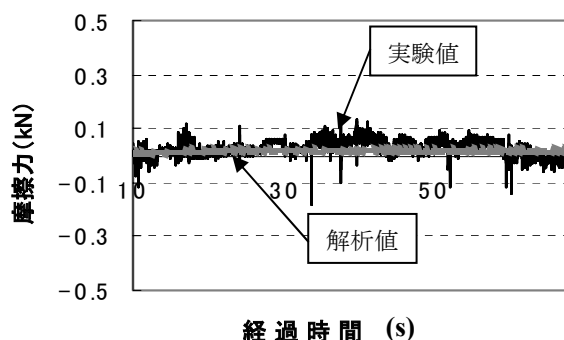


図-9 実験値と解析値の比較