

玉砂利を使用したオープンケーソンに関する研究と開発

中出 睦¹・五味信治²・風間秀彦³

¹正会員 工修 りんかい日産建設株式会社 技術研究所(〒105-0014 東京都港区芝二丁目3-8)

²正会員 工博 りんかい日産建設株式会社 技術研究所(〒105-0014 東京都港区芝二丁目3-8)

³正会員 工博 埼玉大学 地圏科学研究センター(〒338-8570さいたま市桜区下大久保255)

SSケーソン(SPACE SYSTEM CAISSON)工法は、ケーソン外周面と地山との間に生じたスペース(間隙)に玉砂利(スペース砂利)を充填し、地山の安定を図りながら、ケーソン外周面にかかる周面摩擦抵抗を低減して、ケーソンを自重のみで緩やかに、精度よく沈設するオープンケーソン工法である。しかしながら、ケーソン沈設時の周面摩擦抵抗は、正確に把握できていないため、これまで2,3の現場での現場計測や室内模型実験を行ってきた。そこで、本文では、SSケーソンの周面摩擦抵抗の傾向を把握するために、これまで行ってきた室内模型実験結果を示すとともに、SSケーソンの施工性向上を図る目的で作製した掘削管理システムの概略について述べる。

キーワード:SSケーソン工法, スペース砂利, 周面摩擦抵抗, 掘削管理システム

1. はじめに

一般に、ケーソンを沈設させる場合、沈設する際の周面摩擦抵抗が問題となる。この問題の解決策の一つとして、SSケーソン(SPACE SYSTEM CAISSON)工法が挙げられる。

SSケーソン工法(図-1)は、図-2に示すようにオープンケーソン工法に分類され、図-3に示す刃口部によってケーソン外周面と地山との間に作られたスペース(間隙)に玉砂利(図-4:以下、スペース砂利)を充填し、地山の安定を保ちながら、ケーソン外周面に作用する周面摩擦抵抗を低減して、ケーソンを自重のみで精度よく沈設する工法である。

オープンケーソン(従来)工法とSSケーソン工法の比較の概念図を図-5に示す。ただし、図にはオープンケーソン工法時の載荷設備は記載していない。

SSケーソン工法の特徴としては、以下のものが挙げられる。

- 載荷設備が不要である。
- 広範囲な地盤に適用できる。
- 沈設中の傾斜・変位が少ない。
- 周辺地盤への影響が少ない。
- 地下水変位による悪影響が少ない。
- 狭い敷地での施工が可能である。
- 用途に対応した形状が設計できる。

経済的な設計が可能である。

SSケーソン工法では、刃口部によってケーソン外周面と掘削地山間のスペース(間隙)が200mmとなっており、従来工法の50~100mmより大きくなっている。これは、粒径40mmのスペース砂利の周面摩擦低減効果を有効に作用させるためである。また、スペース砂利の貯留ピットとしてガイドウォール等を設置している。

刃口金物は、従来工法のフリクションカッターのように掘削地山と接していないため、スペース砂利のローリング効果による周面摩擦抵抗は従来工法より低減できるものと考えられる。

しかしながら、SSケーソン沈設時の周面摩擦抵抗は、正確に把握はできていないため、SSケーソン2基(小判型17m×6m,円形7.5m)¹⁾とオープンケーソン1基(円形7.5m)²⁾の現場計測を行った。その結果を以下に示す。

SSケーソンの周面摩擦抵抗は、地質による顕著な変化は少ない。

地山が自立する場合、周面摩擦抵抗は小さい。

しかし、現場計測では、数多くの現場計測データを入手できないなどの問題等があるため、模型などを用いた砂質土の模型実験を行ってきた³⁾。

本文では、SSケーソンの周面摩擦抵抗の傾向を把握するために、これまで行ってきた室内模型実験結

果を示す。

また、このSSケーソンの周面摩擦抵抗が小さいという利点を活かすためには、掘削時の傾斜を事前に把握することによる適切な掘削管理を行い、施工性

向上を図ることが必要である。その目的のために開発した掘削管理システムの概略についても述べる。

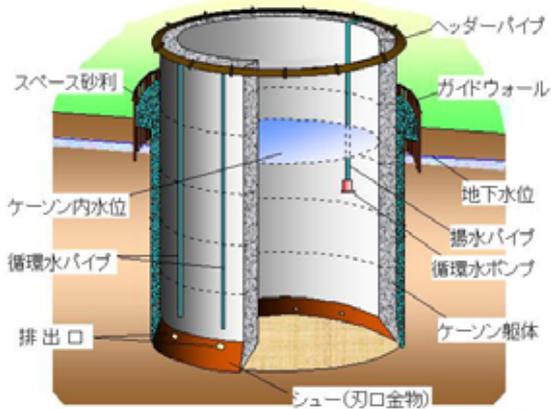


図-1 SSケーソン工法

ケーソン工法の分類

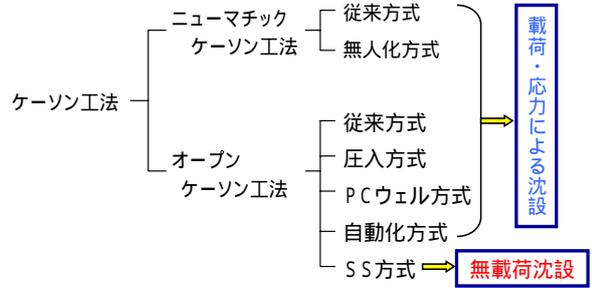


図-2 ケーソン分類

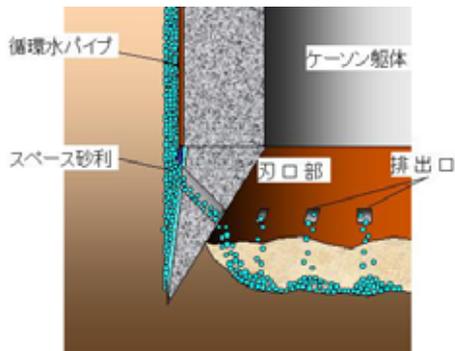
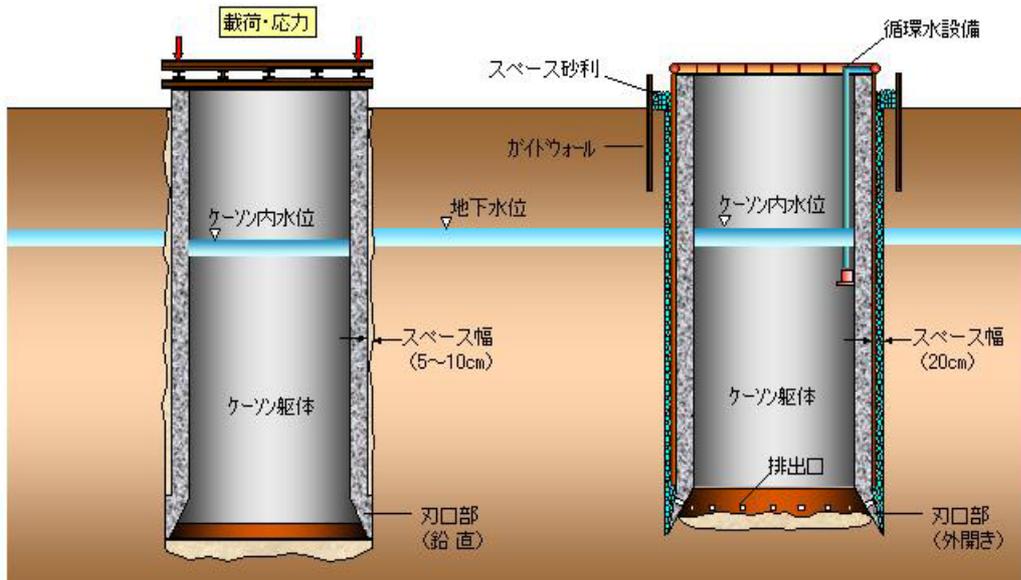


図-3 SSケーソン刃口部



図-4 スペース砂利(玉砂利 40mm 分級)



オープンケーソン(従来)工法

SSケーソン工法

図-5 工法比較

2. 室内模型実験

(1) 実験概要

これまでの室内模型実験では、従来のオープンケーソンモデルと排出口のないSSケーソンモデルおよび排出口のあるSSケーソンモデルの実験を行った。

実験の結果から、以下のことが判明した。

SSケーソンモデルの方が従来工法モデルより、周面摩擦抵抗は小さくなる。

SSケーソンモデルにおいて排出口がある方が無いものより周面摩擦抵抗が大幅に小さくなる。

土の湿潤密度が大きいほど、周面摩擦抵抗は大きくなる。この傾向は、従来工法、排出口のないSSケーソンモデル、排出口のあるSSケーソンモデルの順で小さくなる。

実験では、ケーソンモデルの沈下量が大きくなるほど周面摩擦抵抗が小さくなる傾向があり、排出口のあるSSケーソンモデルでは、沈下が進むと周面摩擦抵抗が負になる傾向が見られる。

これは、スペース砂利の周面摩擦低減効果が有効に作用したことと刃口背面に作用するスペース砂利の重さによる影響と考えられた。

実験で求めた周面摩擦抵抗は、ケーソン表面の周面摩擦抵抗から刃口背面に作用するスペース砂利の重さを差し引いた値である。このため、沈下量の増大に伴って刃口背面に作用するスペース砂利の重さが大きくなり、その重さがケーソン表面の周面摩擦抵抗を上回ったため、負の値になるものと考えられる。このことから、刃口背面に作用するスペース砂利の重量が見かけの周面摩擦抵抗に大きく影響する可能性があることが分かった。そこで、刃口部に作用する力に着目して模型実験を行った。

(2) 実験方法

図-6および写真-1に模型実験装置を示す。実験装置は、直径100～150mmの刃口部と直径100mmの躯体部からなるケーソンモデル部と直径150mmのガイド部および直径600mm、高さ700mmの円筒形の土槽から構成されている。

実験は、ケーソンモデルを上方から载荷して、上部のロードセルから得られる躯体部+刃口部+ガイド管部に作用する力、ケーソンモデル部の刃口部と躯体部の間に設置したロードセルから得られる刃口部+ガイド管部、ケーソンモデル部とガイド管部の間に設置したロードセルから得られるガイド管部に作用する力を各々計測し、各々の差から刃口部に作用する力とケーソンモデル部の周面摩擦抵抗を算出し

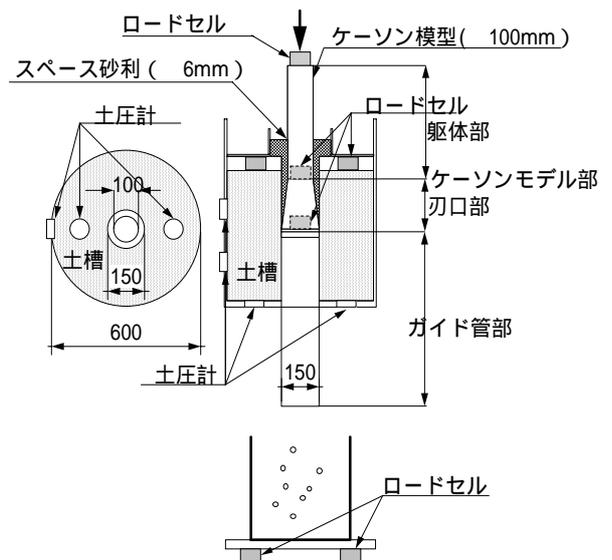


図-6 模型実験装置



写真-1 模型実験装置

表-1 実験ケース一覧

試験ケース	密度 (g/cm ³)	含水比 (%)	沈下速度 (mm/min)	備考
A1	1.47	4.1	10	土槽内のスペース砂利の残存重量を計測するタイプ
A2	1.65	4.5	10	
A3	1.75	4.1	10	
B1	1.51	4.3	10	刃口部に作用する力をロードセルで計測するタイプ
B2	1.65	4.4	10	
B3	1.75	4.4	10	

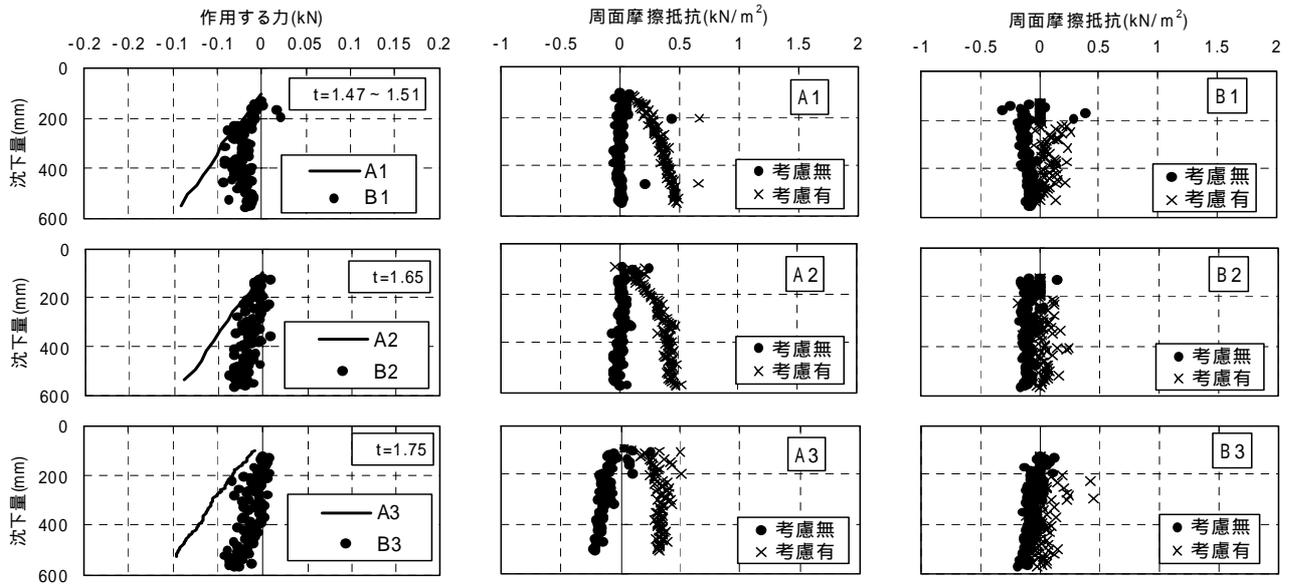


図-7 刃口部に作用する力とスペース砂利の残存質量と沈下量の関係

図-8 周面摩擦抵抗と沈下量の関係

た。

(3) 実験条件

表-1に実験ケース一覧を示す。実験ケースは、土槽内におけるスペース砂利の残存質量を計測したAタイプと刃口部に直接作用する力をロードセルから求めたBタイプの2ケースである。

Aタイプは、以下の手順で土槽内のスペース砂利の残存質量を求めた。

まず、事前に投入するスペース砂利の質量を計測し、投入後は、土槽上部にロードセルを板下面に設置して、土槽上部に貯まったスペース砂利の質量を計測した。投入した質量から土槽上部に貯まったスペース砂利と土槽から落下してバケツに貯まったスペース砂利の質量を差し引くことで、土槽内のスペース砂利の残存質量を求めた。

Bタイプでは、刃口部と躯体部の間に設置したロードセルから刃口部に作用する力を直接計測することによって、刃口部に直接作用している力を計測した。また、これまでの実験結果より含水比や沈下速度があまり影響しないことが判明しているため、砂の湿潤密度 t (1.47 ~ 1.75 g/cm³) のみを要因として実験を行った。

3. 実験結果

(1) 刃口部に作用する荷重

沈下速度10mm/minとし、含水比4.1 ~ 4.5%で、湿潤密度 t をほぼ1.50, 1.65, 1.75 (g/cm³) と変化

させた刃口部に作用する力と土槽内のスペース砂利の残存質量と沈下量の関係を図-7に示す。

図から刃口部に作用する力は沈下量に比例して増大しているが、土槽内のスペース砂利の残存質量は、沈下量に比例して増大しているものの、ある深さになるとその増大率は、刃口部に作用する力と比較してかなり小さくなっている。

刃口部に作用する力の大部分は、刃先背面に作用するスペース砂利の残存質量であると考えられたが、土槽内のスペース砂利の残存質量よりかなり小さい。

この理由として、刃口部の周面摩擦抵抗および地盤とケーソンモデル部間におけるスペース砂利のアーチアクションにより、刃口背面にスペース砂利の質量の全てが作用していないことなどによるものと思われる。

(2) 周面摩擦抵抗と沈下量の関係

単位面積当たりの周面摩擦抵抗と沈下量の関係を図-8に示す。

A, Bタイプとも、スペース砂利の質量を考慮しない場合、湿潤密度による差はほとんどみられず、-0.2 ~ 0.2(kN/m²)の範囲内の値で一定している。

次に、スペース砂利の質量を考慮したAタイプ(土槽内のスペース砂利の全残存質量が刃口背面に作用していると仮定した場合)では、沈下量の増大に伴って約0.4(kN/m²)の値に収束する傾向が見られた。また、湿潤密度による影響は顕著には見られなかった。次に、スペース砂利の質量を考慮したBタイプ(刃口部に作用する力を差し引き、躯体部のみの周面摩擦抵抗で表した)では、Aタイプと比較し

てばらつきはあるものの、ほぼ-0.1～0.3(kN/m²)の範囲内の値を示した。また、Bタイプは、Aタイプとは異なり、湿潤密度や沈下量による影響も顕著には見られなかった。

4. 掘削管理システム

(1) 計測システム概要

SS ケーソンの掘削施工時に、周面摩擦が一様でなかったり、過度に一部掘削を行った場合、大きく傾くことがあり、この傾斜を修正するために、かなりの時間を要する場合がある。

これらを未然に防ぐためには、掘削中にケーソンの位置や傾斜をリアルタイムに掘削オペレータに知らせることが望ましい。その方法として、ケーソンの傾斜状態を掘削オペレータに知らせるシステムを提案した。

このシステムは、SS ケーソンに傾斜計および巻込型変位計を設置し、検出したデータを現在の傾斜状態として視覚化し、オペレータに伝えることで掘削の効率化を図るものである。

(2) 計測項目

本システムの計測項目を、以下に示す。

- 1) 傾斜
ケーソン躯体の傾斜状態の把握・姿勢制御管理
- 2) 鉛直変位
沈下量の把握・姿勢制御管理

(3) 使用機器

本システムに使用する使用機器一覧を表-2 に示す。また、使用する挿入型傾斜計および巻込型変位計の設置例を図-9、図-10 に示す。

表-2 使用機器一覧

計測項目	使用センサ	容量	数量
姿勢・変形	挿入型傾斜計	±5°	1台
ケーソンの沈降	巻込型変位計	5000mm	1台

1) 挿入型傾斜計

挿入型傾斜計は刃口部上面にアンカーボルト等により、傾斜計取付用治具を固定し設置する。また設置後、保護カバーを取付ける。

2) 巻込型変位計

原則として、ケーソン沈下時に図-10 のように設置して沈下量を測定する。

使用機器の選択には、無線 LAN による計測が可能で、データの取り込み、データ表示(グラフ、リスト)までを 10 秒程度のサンプリング間隔で処理できることを前提とした。また、計測データはオペレータ(クレーン操作員)の前のモニタ(コンピューター)に表示させることとした。

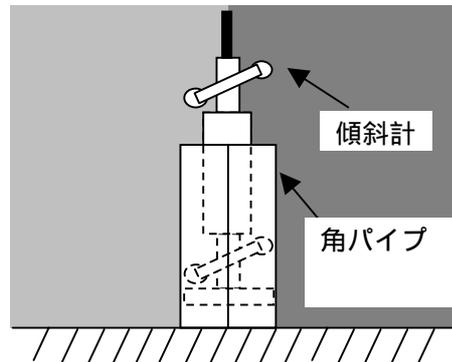


図-9 挿入型傾斜計設置例

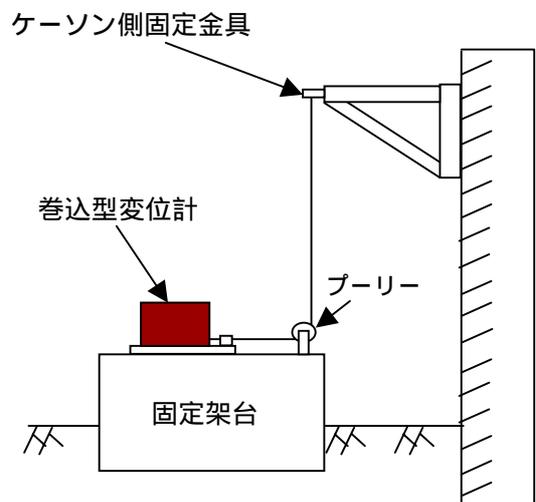


図-10 巻込型変位計設置例

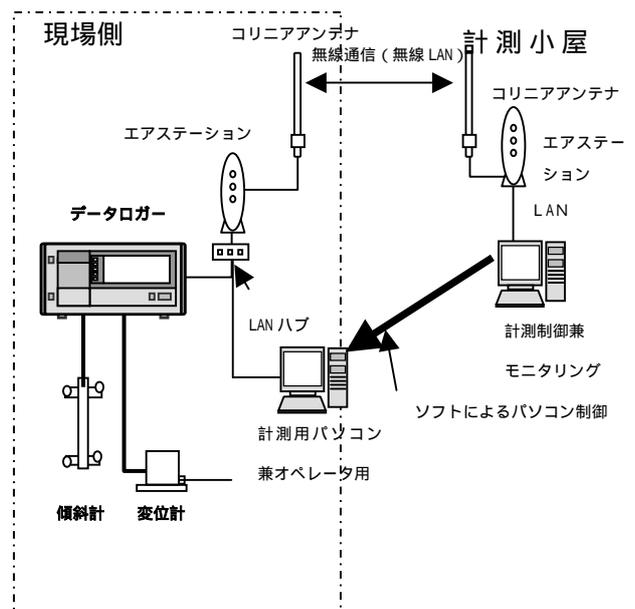


図-11 計測システム図

(4) 計測システム

図-11 に計測システム基本構成を示す。この計測システムは、傾斜計、変位計、エアステーション、無線 LAN 対応のデータロガー、コリニアアンテナ、LAN ハブ、パソコンなどで構成される。傾斜計および変位計のデータは、無線 LAN 対応のデータロガーで計測して計測小屋に送信する。また、送信側と受信側のパソコンには、その際のデータが蓄積され、予期せぬ事態が発生しても、どちらかのパソコンに計測データに残る。

図-12 に計測システム画面を示す。主な表示項目を以下に示す。

傾斜計角度

設置した傾斜計の値を表示する。

沈下量

巻込型変位計（以下、沈下計）の沈下量を示すとともに、ケーソン全体の傾きを傾斜計によって計測し、沈下計設置位置を支点として回転した場合の、ケーソン中心部の回転による鉛直移動量(回転)に計測地点の沈下量を加えた値とそこから求めた残りの沈下量を示す。

上部水平移動量（回転）

傾斜角度とケーソンの高さ寸法から回転によるケーソン上部の水平移動量(回転)を示す。

上部水平移動量（並進）

測量によって求めた水平移動量から傾斜計より求めた角度による上部水平移動量を取り除き、ケーソン全体の水平移動量(並進)を示す。

鉛直移動量（回転）

ケーソン全体の傾きを傾斜計によって計測し、沈下計設置位置を支点として回転した場合のケーソン端部の回転による鉛直移動量(回転)を示す。

設定画面で、各主要な測量点の初期座標や傾斜計の選択、サンプリング間隔、ケーソンの形状などの設定できる。

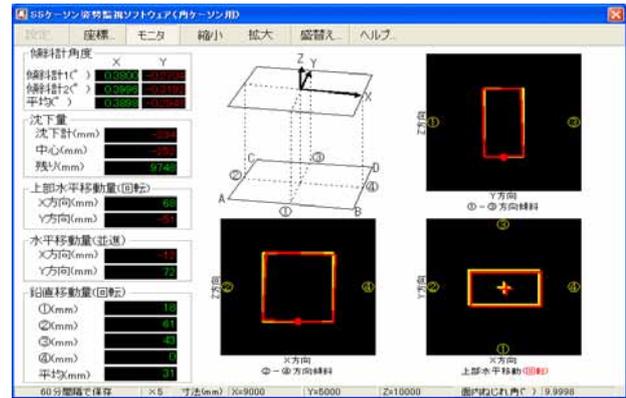
5. まとめ

砂質地盤におけるSSケーソンの室内模型実験結果より、以下の知見が得られた。

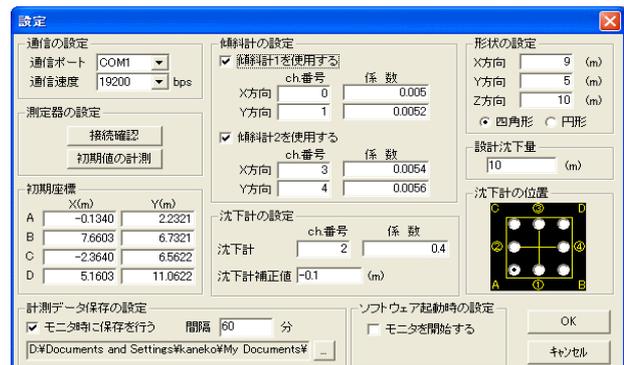
刃口部に作用する力は、スペース砂利のアーチアクション効果や刃口に作用する周面摩擦抵抗などにより、土槽内のスペース砂利の残存重量より小さくなる。

刃口背面に作用するスペース砂利の重量は、周面摩擦抵抗に大きく影響する可能性がある。

また、本論文で提案した掘削管理システムを今後



モニタリング画面



設定画面

図-12 計測システム画面

さらに改良し、より良いシステムに発展させる予定である。

参考文献

- 1)岡本将昭, 五味信治, 三国康史, 沖川敬祐, 風間秀彦: SSケーソンの壁面に作用する摩擦力に関する一考察, 土木建設技術シンポジウム2002論文集, pp. 375-376, 2002.
- 2)岡本将昭, 五味信治, 風間秀彦: SSケーソン施工時のケーソンの挙動に関する2, 3の知見, 土木建設技術シンポジウム2003論文集, pp. 335-336, 2003.
- 3)中出睦, 五味信治, 米奥久貴, 平賀理, 風間秀彦: SSケーソン壁面に作用する摩擦力に関する実験的研究, 土木建設技術シンポジウム2004論文集, pp. 297-298, 2004.