

オープンケーソン（SSケーソン）における高圧ジェットを使用した掘削補助工法に関する実験的研究

中出 睦¹・五味信治²

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 東京都港区二丁目3-8）

オープンケーソン（SSケーソン）工法は、特殊な刃口によって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(以下、スペース砂利)を充填し、周面摩擦抵抗を低減して、ケーソンを自重のみで沈設するオープンケーソン工法である。本工法は、広範囲な土質に適用可能であるが、水中掘でN値が15を超える粘性土や30を超える玉石混じり砂礫および軟岩への適用には、掘削が困難となるため刃口で掘削を補助する工法が必要と考えられる。この補助工法の一つとして、高圧ジェットを使用した掘削工法が挙げられる。この際、高圧ジェットの噴射力は、施工方法に大きな影響を与える。そこで、本実験では、高圧ジェットの噴射時に発生する噴射力の反力の確認実験を行った。

キーワード：SSケーソン,高圧ジェット,噴射力,反力

1. はじめに

SSケーソン工法（図-1）は、図-2に示すような玉砂利(以下、スペース砂利)を排出する孔(以下、排出口)を有し、ケーソン躯体の表面より20cm刃先が拡幅した特殊な刃口によって生じた地山とケーソン躯体の表面との間にスペース砂利を充填し、そのローリング効果で周面摩擦抵抗の低減させ自重のみで、ケーソンを沈設させる工法である。^{1)~8)}

本工法は、従来のオープンケーソン工法と比較して、以下の特徴を有している。

周面摩擦抵抗が低減されることで、ケーソン本体を自重のみで沈設させることが可能である。

自重のみで、ケーソンを沈設させることができるため、荷設備が不要である。

施工時における周辺地盤への影響が少ない。

ケーソン沈設時におけるケーソンの傾きや水平移動量が少ないため、精度の良い施工が可能となっている。

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の設計が可能である。

広範囲な土質に適用が可能である。

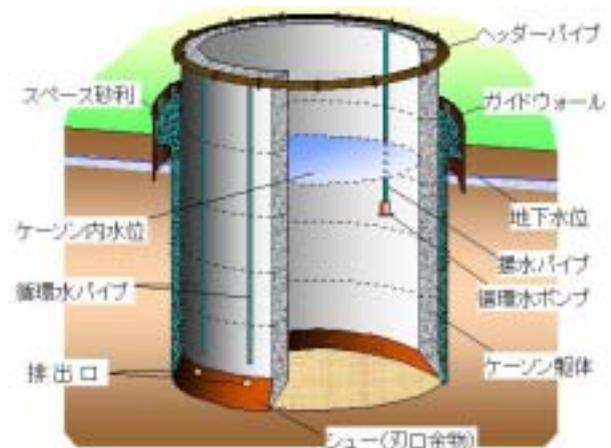


図-1 SSケーソン工法

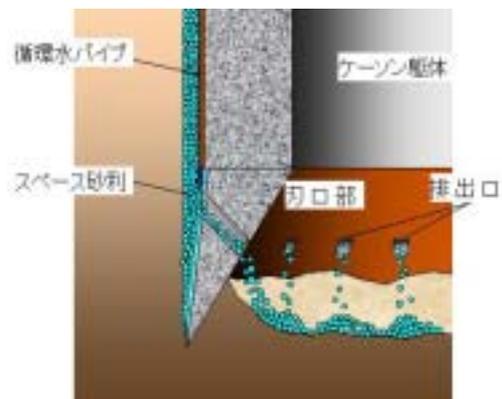


図-2 SSケーソン刃口部

この中で、の広範囲な土質への適用であるが、水中掘削でN値が15を超える粘性土や30を超える玉石混じり砂礫および軟岩への適用には、掘削が困難

となる可能性がある。この対策として、刃口部周辺でなんらかの掘削を補助する方法が必要と考えられる。

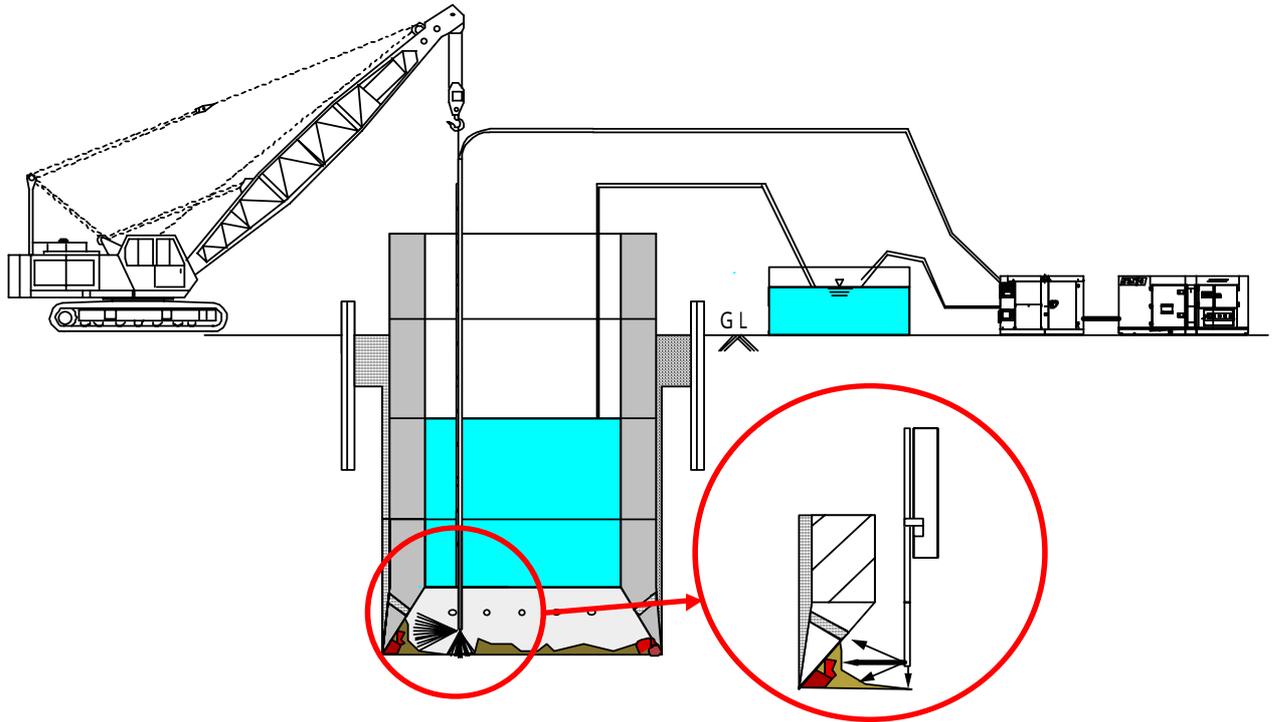


図-3 工法の概略図

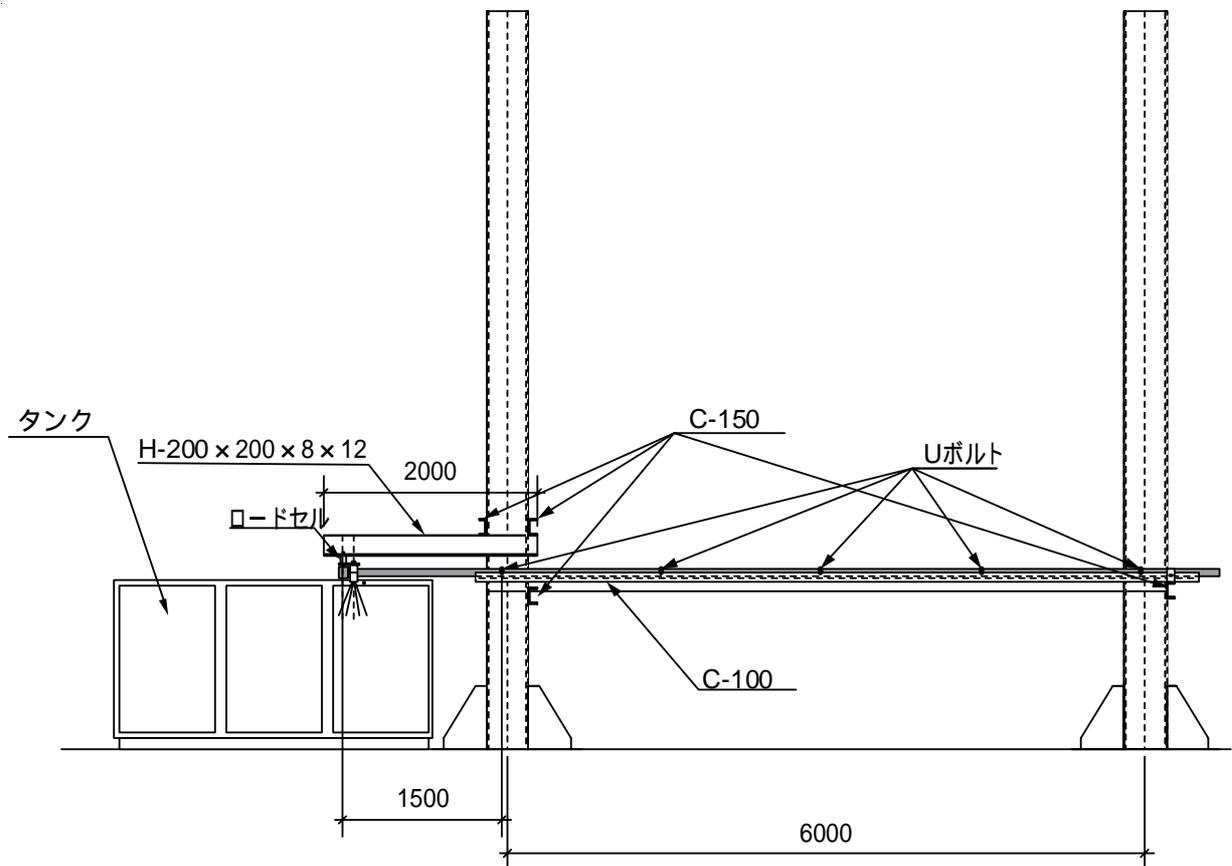


図-4 実験装置概要図



写真-1 実験装置全景



写真-2 ロードセル設置状況



写真-3 実験装置全景



写真-4 高圧ジェット噴射状況

この補助工法の一つとして、高圧ジェットを使用した掘削工法が考えられる。ここで使用する高圧ジェットは、一般に地盤改良に使用されている空気を伴った超高压水を指す。

高圧ジェットを使用した掘削補助工法の一例として、工法の概略図を図-3に示す。

ここでは、高圧ジェット噴出用ロッドを設置したH鋼をSSケーソン内部に建て込み、このロッドの超高压噴射ノズルから空気を伴った超高压水を噴射させ、刃先周辺の硬質粘土や玉石混じり砂礫および軟岩などを切崩す方法を考えている。この場合、深度が深くなると噴射力による曲げモーメントが大きくなるため、ロッドもしくはH鋼が大きく撓んだり、設置方法によっては、噴射力によってロッドもしくはH鋼が大きく動く場合も考えられる。そのため、超高压噴射ノズルから噴射する空気を伴った超高压水の噴射力を把握する必要性がある。

そこで、本実験では、超高压水の噴射時にロッドに作用する噴射力の反力確認実験を行った。

2. 実験概要

(1) 実験装置

図-4に実験装置概要図を示す。実験は、Uボルトを介してH-200に理論吐出量75L/minの超高压ポンプ2台と連結した 90の高圧ジェットのロッドを水平に設置し、超高压噴射ノズルを下に向け、その下に設置したタンクに超高压水を噴射し、その噴射力の反力を測定する実験である。

噴射力の反力を測定するため、超高压噴射ノズルの背面に2つのロードセル設置し、噴射時の噴射力の反力を計測した。(写真-1~4)

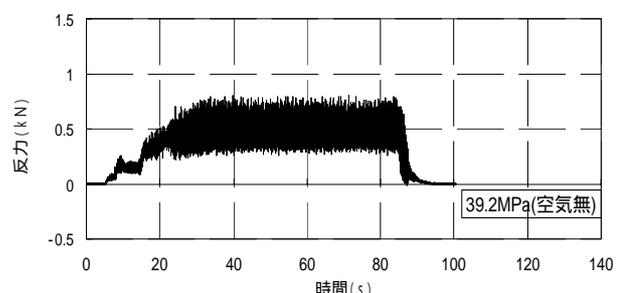
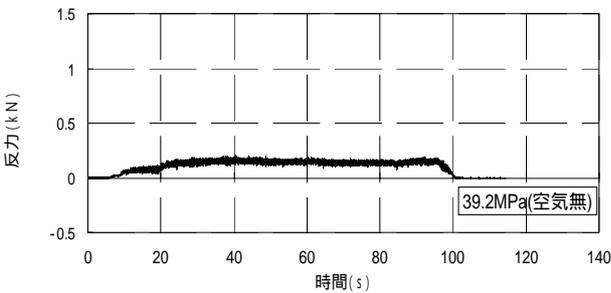
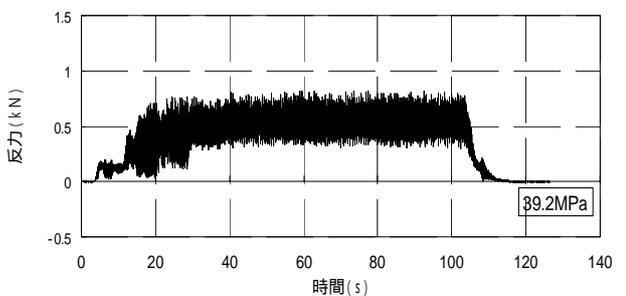
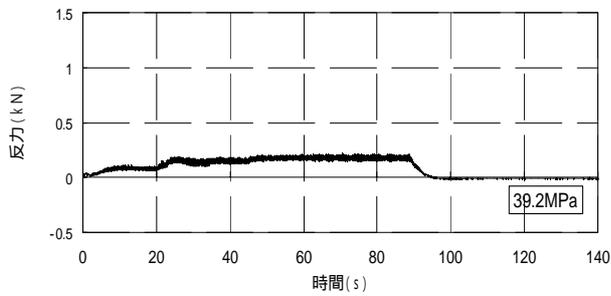
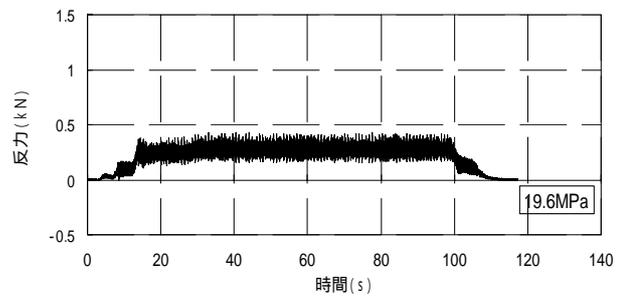
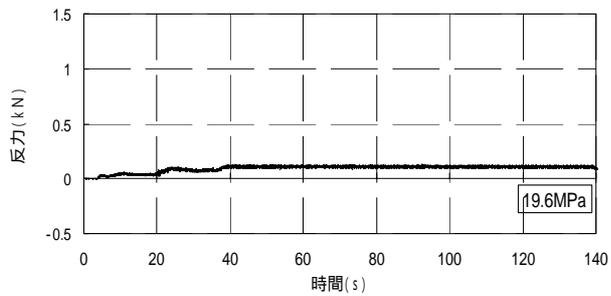
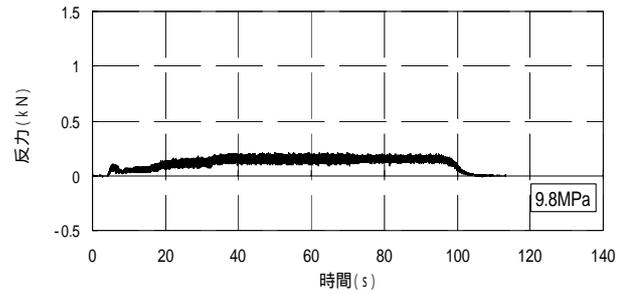
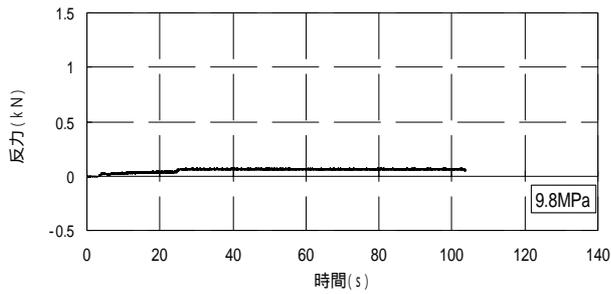


図-5 ノズル口径 1.6mm の反力の時刻歴

図-6 ノズル口径 3.0mm の反力の時刻歴

3. 実験結果

(1) 実験パラメータ

超高压水の噴射時にロッドに作用する噴射力の反力に影響を及ぼす可能性があるものとして、噴射流量、流速、ノズル口径、圧力、噴射流体の密度、ノズル口径と対象地盤との離隔距離、空気の有無など様々な要因が考えられる。

ここでは、これらの要因の中から、主な実験パラメータをノズル口径(1.6, 1.8, 2.2, 2.6, 2.8, 3.0mm)や圧力(9.8MPa, 19.6MPa, 39.2MPa)および空気の有無として、実験を行った。

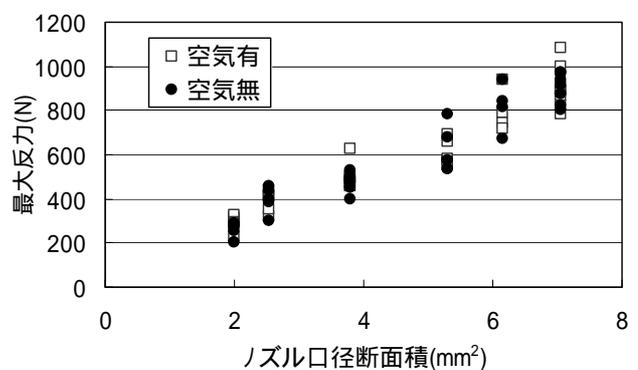


図-7 圧力 39.2MPa におけるノズル口径断面積と最大反力の関係

(2) 噴射力

図-5, 6にノズル口径1.6mmおよび3.0mmの高圧ジェット噴射力の反力の時刻歴を示す。噴射力の反力は、時間とともに増大し、圧力がほぼ一定になった時間で、一定の値を中心に極めて短い周期で変動する。その振幅は、圧力やノズル口径が大きくなるほど大きくなる傾向がある。

また、噴射力の反力も圧力やノズル口径が大きくなるとともに増大する傾向が見られる。一方、空気の有無による噴射力の反力に及ぼす顕著な影響は見られない。

(3) 空気の有無

空気の有無による噴射力の最大反力(N)への影響を把握するため、圧力39.2MPaにおけるノズル口径断面積(mm²)と噴射力の最大反力(N)の関係を図-7に示す。この結果から、空気の有無による噴射力の最大反力への影響は顕著に見られない。また、噴射力の最大反力は、ノズル口径断面積にほぼ比例して増大する傾向が見られる。

(4) ノズル口径断面積

ノズル口径断面積(mm²)と噴射力の最大反力(N)の関係を図-8に示す。ここで、39.2MPaの結果は、前述の結果を考慮して、空気無の結果も含めたものとしており、以下も同様とする。

この結果から、噴射力の最大反力は、圧力に応じて大きくなり、どの圧力においてもノズル口径断面積にほぼ比例して増大する傾向がみられる。

(5) 圧力

圧力(MPa)と噴射力の最大反力(N)の関係を図-9に示す。

噴射力の最大反力は、ノズル口径が小さいほど小さくなり、どのノズル口径に対しても圧力にほぼ比例して増大する傾向がみられる。これらの結果から、本実験においては、噴射力の最大反力(N)は、圧力(MPa)とノズル口径断面積(mm²)の積に比例するものと考えられる。そこで、圧力とノズル口径断面積の積と噴射力の最大反力の関係を図-10に示すものとする。この図から、最小二乗法を用いて、噴射力の最大反力は、圧力とノズル口径断面積の積の3.4倍程度になることがわかり、以下の式で表すことができる。

$$F=3.4 \times P \times A \quad (1)$$

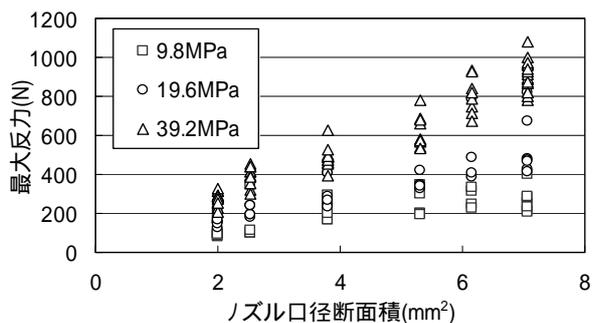


図-8 ノズル口径断面積と最大反力の関係

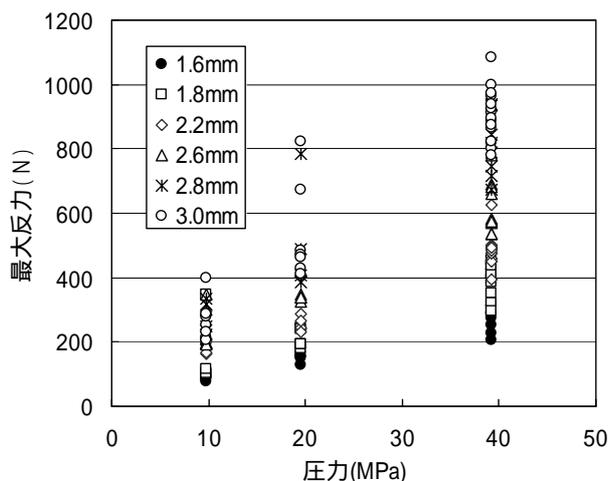


図-9 圧力と噴射力の最大反力の関係

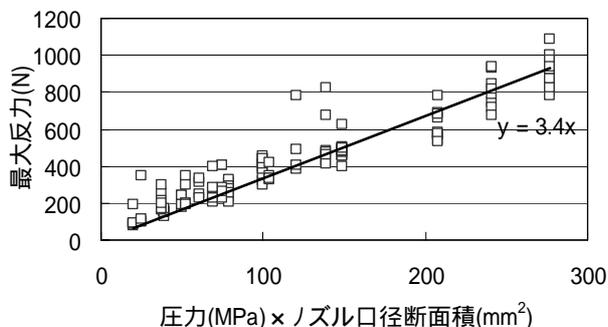


図-10 圧力とノズル口径断面積の積と最大反力の関係

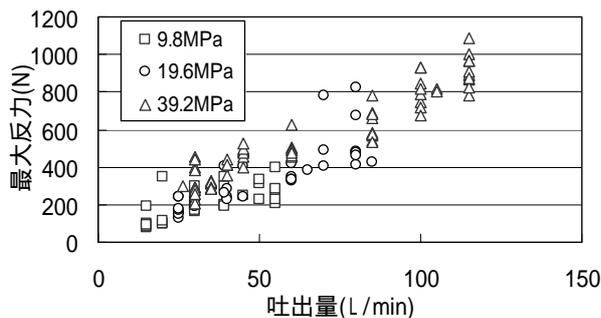


図-11 噴射流量(L/min)と最大反力の関係

ここで、

F：噴射力の最大反力(N)

P：圧力 (MPa=N/mm²)

A：ノズル口径断面積(mm²)

(6) 噴射流量

噴射流量(L/min)と噴射力の最大反力(N)の関係を図-11に示す。圧力(MPa)によるが、吐出量(L/min)の増大に伴って、噴射力の最大反力(N)が増大する傾向があることがわかる。

4.まとめ

高圧ジェットの噴射力の反力確認実験より、本実験において、以下の知見が得られた。

空気の有無による噴射力の最大反力への影響は、あまり見られない。

噴射力の最大反力は、圧力とノズル口径断面積の積の一次関数で表すことができた。

吐出量の増大に伴って噴射力の最大反力は大きくなる傾向にある。

参考文献

- 1) 松尾義仁，五味信治，岡本將昭，三国康史，風間秀彦：SS ケーソンの周面摩擦に関する基礎的研究（その1），第55回土木学会年次学術講演会概要集， - B38， pp . 76-77，2000 .
- 2) 岡本將昭，五味信治，松尾義仁，沖川敬祐，風間秀彦：SS ケーソンの周面摩擦に関する基礎的研究（その2），第55回土木学会年次学術講演会概要集， - B39， pp . 78-79，2000 .
- 3) 岡本將昭，五味信治，三国康史，風間秀彦：SS ケーソンの周面摩擦に関する基礎的研究（その3），第56回土木学会年次学術講演会概要集， - B001， pp . 2-3，2001 .
- 4) 岡本將昭，五味信治，三国康史，風間秀彦：SS ケーソンの周面摩擦に関する基礎的研究（その4），第57回土木学会年次学術講演会概要集， - B596， pp . 1191-1192，2002 .
- 5) 岡本將昭，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 .
- 6) 岡本將昭，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 .
- 7) 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 .
- 8) 中出睦，五味信治，風間秀彦：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 土木建設技術シンポジウム2006論文集， pp . 309-314，2006 .