

# シルトフェンスを用いた汚濁物質の拡散防止効果に関する研究

## Prevention Effect of Pollutant Transported in the Outflow with Silt Fence in the Port

都市人間環境学専攻 田中 みのり

**Key Words :** Flexible curtain structure, Pollution prevention, Silt fence

### 1. はじめに

シルトフェンスは、港湾や河川等の水上工事において発生する濁りなどの汚濁物質の拡散防止を目的として設置されるものである。シルトフェンスは水上に設置されるため、フロートと錘を用いて設置・固定される。通常、シルトフェンスは防波堤の内側（港内）に設置されることが多く、使用条件としては流速0.5 m/s以下と設定されている。

シルトフェンスに関する過去の研究は、膜に作用する張力や係留力に主眼をおいた研究と、汚濁物質の拡散防止効果に関する研究に、大まかに分類ができる。中でも、小田ら<sup>2)</sup>は流れの中に設置された変形後の膜の高さが膜周辺の流況や拡散現象に大きな影響を及ぼすことを明らかにし、汚濁防止膜に作用する張力・係留力の検討だけでなく、その設置効果の検討の際も膜の変形形状を正確に予測することが重要であることを示した。

一方で、2011年3月11日に発生した東日本大震災に伴う巨大津波の来襲により福島第一原子力発電所において放射能が放出された事故を踏まえた放射能拡散抑制方法として、放射性物質の外部大気への拡散が予測された場合に、放水砲による液状物質散布により放射性物質の捕獲と降下を促す方法が採られる方針である。その際に、放射性物質を含む水が大量に海域に放出される危険性があるが、それを抑えるために放水路出口にシルトフェンスを設置し、放射性物質を含む汚濁物質の海洋への流出を抑えることになっている。このような使い方の場合、設定されている使用条件を上回る流速が作用する可能性が高くなる。しかし、この条件下でのシルトフェンスの設置効果は検討されていない。本研究では、フェンスを2重に設置した場合の特に2枚目に着目した検討、フェンスの平面的な変形（たわみ変形）に着目した検討、実際の取水口や港湾形状を模擬した実験の検討を行い、シルトフェンスの汚濁物質の拡散防止効果について考察した。

### 2. 断面水槽実験について

#### (1) シルトフェンスを1重に設置した場合の断面実験

##### a) 実験概要

断面実験では、中央大学が所有する長さ $L=10.0$  m, 幅 $B=2.2$  m, 深さ $H=2.0$  m, 水深 $h=0.4$  mの大型断面水槽を使用した。図-1に実験概略図を示す。水槽中央を仕切り板で仕切り、ポンプを用いて水を循環させ還流装置を作成した。実験スケールは1/15である。実験条件は放水時に想定される現地スケールで1.2 m/sの流速に対応するように実験スケールに応じて設定し、4ケースの流量 $Q=2.5, 5.0, 7.5, 10.0$  m<sup>3</sup>/minを決定した。フェンス前面 ( $x=-0.5$  m,  $x$ 座標の原点はシルトフェンスの設置位置で流下方向が正) および、フェンス背後の $x=0.32, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50, 3.00$  mの各地点で、水路中央部の水平流速を底面から0.1, 0.2, 0.3 mの各高さで流速の計測を行った。

##### b) 実験結果

流れが作用した際のシルトフェンスの形状と、その背後の流速分布を図-2に示す。流速の遅いケース ( $Q=2.5, 5.0$  m<sup>3</sup>/min) では、フェンス背後付近の範囲においては、底面付近の流速が大きく、表面付近は遅い、もしくは逆向きの流れが発生しているが、 $x=3.0$  m付近では断面平均流速に一致し、一様な流速分布に回復していることが分かる。一方で流速が一番速いケース ( $Q=7.5, 10.0$  m<sup>3</sup>/min) では、フェンスがかなりふかれ有効膜高さが減少しているため、流速低減効果はあまり見られず、底面と表面付近で流速の差はあまりみられなかった。

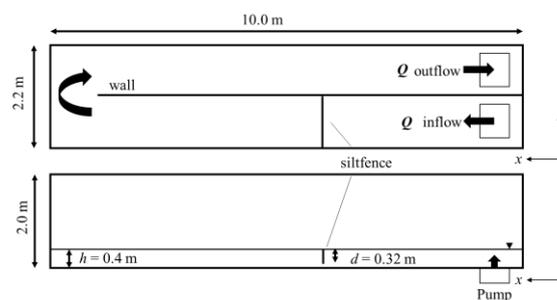


図-1 実験概略図

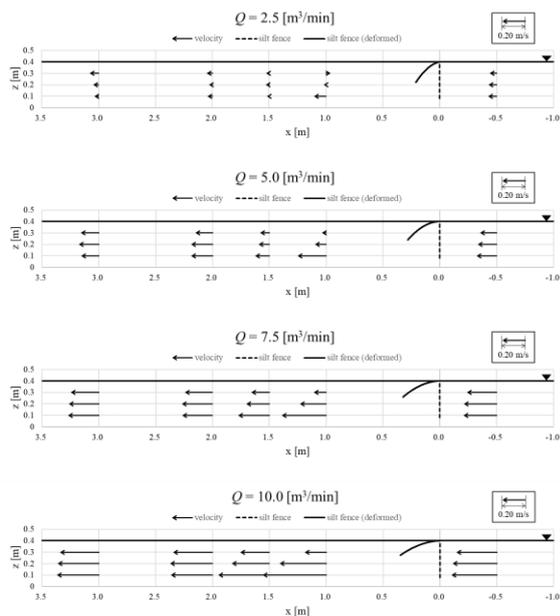


図-2 シルトフェンス背後の流速分布

$x = 3.0$  m付近ではどのケースにおいても断面平均流速に一致し、一樣な流速分布に回復していることが分かった。

(2) シルトフェンスを2重に設置した場合の2枚目のふかれ変形に関する断面実験

汚濁物質や懸濁物質の港外・海洋への流出量の低減効果を高めるために、シルトフェンスを2重に設置するケースもある。そこで、この章では2重に設置したシルトフェンスの間隔を変数としながら、シルトフェンスのふかれ変形において1枚の場合と比較検討を行う。

a) 実験概要

実験は2.1で記した実験と同様に、中央大学が所有する大型断面水槽を使用する。2枚のフェンス間隔を  $l = 0.25, 0.32, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50, 3.00$  mの8ケースとした。実験スケール、流量 $Q$ は、2.1と同様である。

b) 実験結果

例として、シルトフェンスを2重に設置した時の  $Q = 2.5 \text{ m}^3/\text{min}$  時におけるフェンスの状況について、図-3に示す。

また、田端ら<sup>3)</sup>では、小田ら<sup>4)</sup>および青木ら<sup>5)</sup>を参考に、流れによるふかれ変形に伴う有効膜高さ $d_e$ を以下のように示している。

$$d_e = \frac{W}{\sigma} \sin\left(\frac{\sigma d}{W}\right) \quad (1)$$

$$\sigma = \beta \frac{1}{2} \rho \left(\frac{Uh}{h-d_e}\right)^2 \quad (2)$$

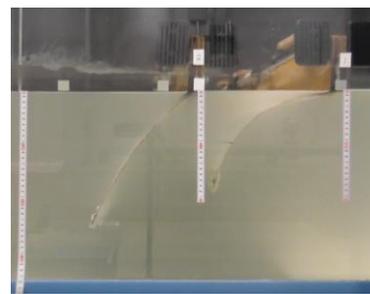


図-3 シルトフェンスを2重に設置した時の  $Q = 2.5 \text{ m}^3/\text{min}$  時におけるフェンスの状況 ( $l = 0.25 \text{ m}$ )

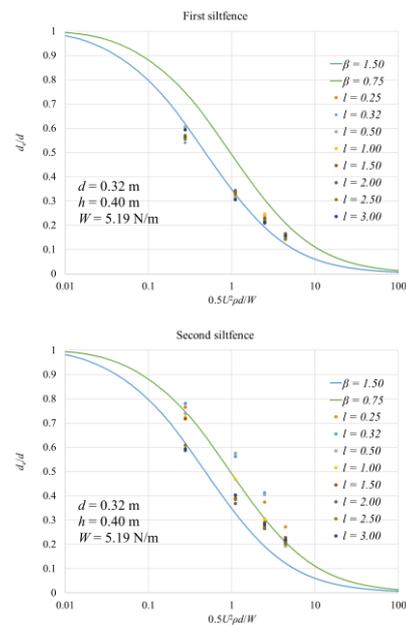


図-4 既往の実験式との比較 (断面2重)

ここで、 $W$ : 錘の単位幅水中重量、 $\sigma$ : 膜の単位長さあたりの流体力、 $d$ : 膜長さ、 $\rho$ : 水の密度、 $U$ : 無限遠での平均流速、 $h$ : 膜の設置位置での水深、 $\beta$ : 実験定数 (田端らでは1.5) である。流速が大きくなるほど、また錘が軽いほど有効膜高さが減少していくことが分かる。

図-4から分かるように、シルトフェンス1枚目に関しては、既往の実験結果のとおり、実験定数  $\beta = 1.50$  の推定式と対応しており、2枚目については一枚目より有効膜高さは大きく、実験定数は  $\beta = 0.75$  程度となっている。また、流速の遅いケースでは  $l = 2.50, 3.00$  mで一枚目と同程度のふかれ量になっていることが分かる。これは、2.1で示したとおり、1枚目のフェンス背後の流れ場が断面平均流速に一致し、一樣な流速分布に回復する距離と対応している。

### (3) シルトフェンスの平面的変形に関する断面実験

#### a) 実験概要

実験は2.1, 2.2で記した実験と同様に、中央大学が所有する大型断面水槽を使用する。現地での設置サイズ（差渡し19.5m, フェンス長さ20.0m）の比にあわせ、差渡し8.0mに対し、フェンス長さを0.82mとした。図-5に実験概略図を示す。

#### b) 実験結果

例として、シルトフェンスをたわませて設置した時の $Q=2.5\text{ m}^3/\text{min}$ 時におけるフェンスの状況について、図-6に示す。単純な一枚でのふかれ変形実験よりもふかれにくくなっており、実験定数が $\beta=0.75$ 程度で推定式と一致している。（図-7）

### 3. 取水口部周辺モデルを対象とした平面実験

#### (1) 実験概要

平面実験では、図-8に示すように $8.5\text{m}\times 4.5\text{m}$ の平面水槽に簡易港湾取水口模型を作成し、取水口部3ヶ所にシルトフェンス模型を設置した。吐出量 $0.376\text{ m}^3/\text{min}$ の水中ポンプを計4台使用し、稼働台数を変えることで異なる流速を与え、シルトフェンス模型に流れを作用させた。

#### (2) 実験結果

平面実験では、流速の測定と合わせて、染料を用いて流況の観察を行った。図-9に $Q=0.75\text{ m}^3/\text{min}$ 実験時の様子を示す。比較すると、シルトフェンスによって流速の低減がみられ、また港湾外への流出が抑えられていることがわかる。

図-10には既往の推定式と本実験結果の比較を示す。シルトフェンスCについては、実験定数 $\beta=0.75$ の推定式と対応しており、前章で示したたわみ断面実験の結果と一致している。

### 4. 結果と今後の課題

本研究の主な結論は以下の通りである。

- ・シルトフェンスを2重に設置した場合、2枚目のシルトフェンスのふかれ量は1枚目比べて低減する。低減する効果はフェンス間隔により変化し、フェンス間隔が大きくなるほど2枚目のふかれ量は大きくなる。本実験においてはフェンス間が3m程度まで離れると1枚目のふかれ量と同等のふかれ量になる。これは1枚目のフェンス背後の流れ場が一樣流速場に復活する距離と対応している。また、既往の算定式との比較では、実験定数を適切に決定することにより、2枚目のフェンスふかれ量も算定可能である。

- ・たわみ変形については、フェンス上辺に関しては流速を変化させた場合でも概ね同程度の変形となる。フェンス下辺については流速が大きくなるにつれて、ふかれが大きくなり、水平変位が大きくなる。たわみ変

形実験時のふかれ量について、既往の算定式と比較した結果、実験定数を適切に決定することにより算定可能である。

- ・平面実験においては、港湾出口に設置されているシルトフェンスCについては、断面実験の結果から推定できることが分かった。一方、湾内のA,Bに関しては、より複雑な流れ場に設置されているため、さらなる検討が必要である。

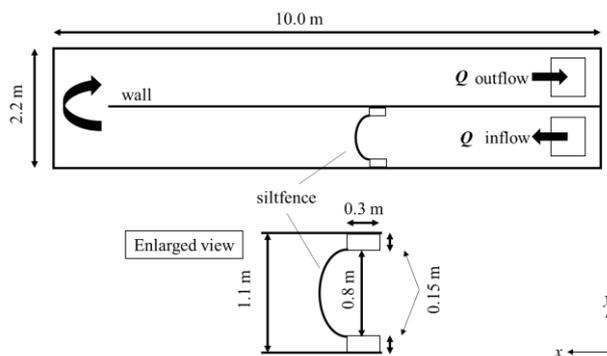


図-5 実験概略図

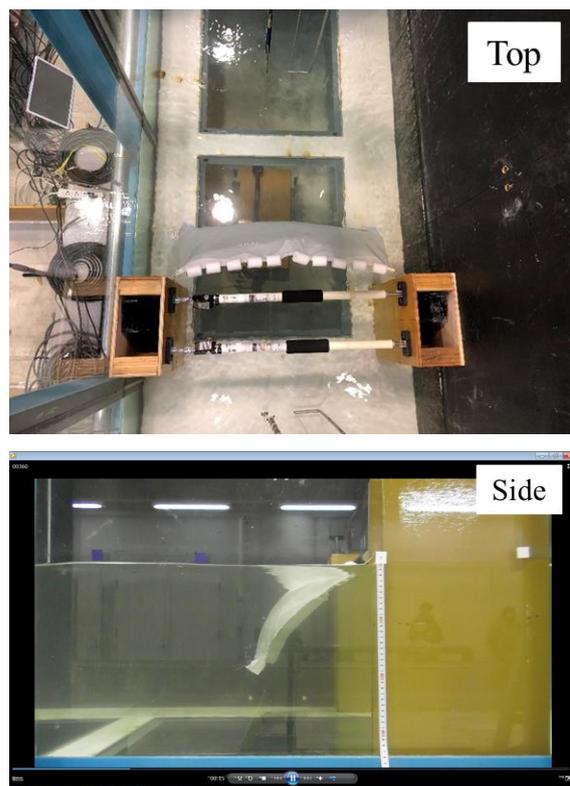


図-6 たわみ変形実験の $Q=2.5\text{ m}^3/\text{min}$ 時におけるフェンスの状況

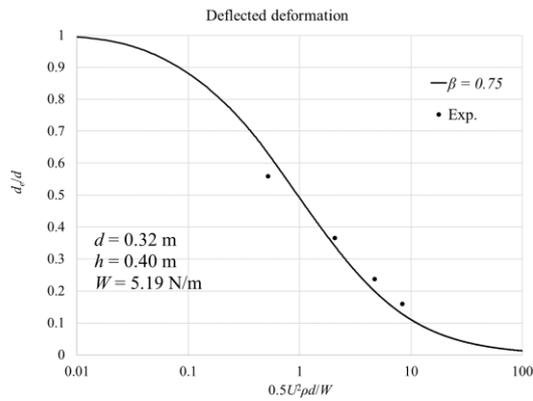


図-7 既往の実験式との比較 (たわみ実験)

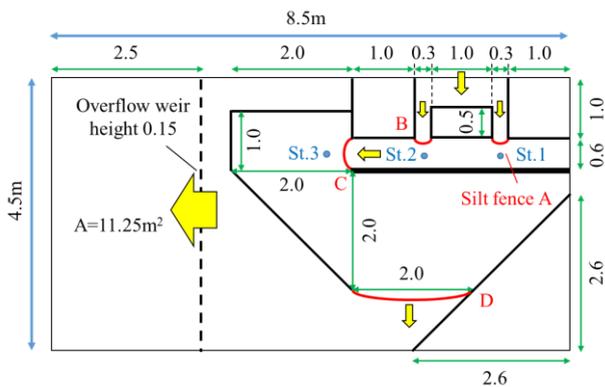
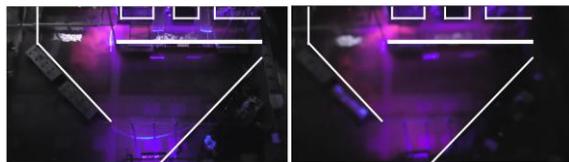


図-8 実験概略図



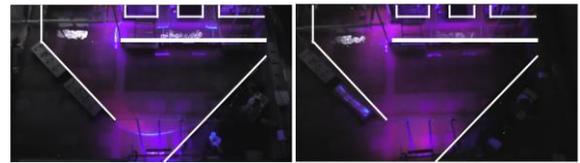
5秒後



10秒後



15秒後



20秒後

図-9 平面実験の様子

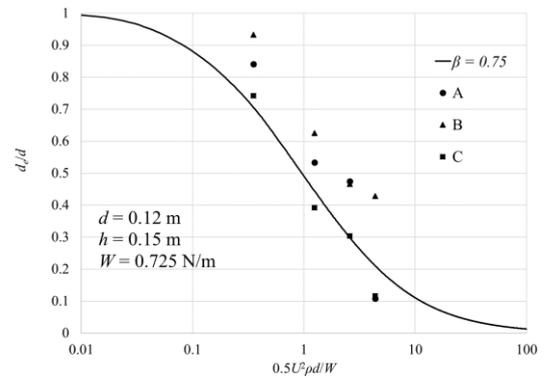


図-10 既往の実験式との比較 (平面実験)

#### 参考文献

- 1) Radermacher Max, Lynyrd de Wit, Johan C. Winterwerp and Wim S. J. Uijtewaal : Efficiency of Hanging Silt Curtains in Crossflow, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 142(1), 04015008, 2016.
- 2) 小田一紀, 重松孝昌, 濱崎佳尚, 中尾敦典, 山瀬晴義 : 汚濁拡散防止膜周辺の鉛直2次元流れに関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第38巻, pp.876-880, 1991.
- 3) 田端竹千穂, 八尋明彦, 橋本一正, 相澤幹男, 平石哲也, 永松宏一 : 垂下型汚濁防止膜の係留力に関する模型実験, 海岸工学論文集, 第46巻, pp.846-850, 1999.
- 4) 小田一紀, 重松孝昌, 野口達矢, 武田将英 : 汚濁防止膜周辺の物質拡散の高精度予測手法に関する研究, 海岸工学論文集, 第43巻, pp.1151-1155, 1996.
- 5) 青木伸一, 岡野 聡, 榎木 亨 : 自立式汚濁防止膜の有効高さ係留力の実用計算法, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.796-800, 1998.