

形状特性を有した管路の波動場における一方向流生成特性の検討

九州大学 松下朋哉

研究背景

閉鎖性沿岸海域での水質悪化

貧酸素水塊の形成
富栄養化

防波堤を用いた海水交換技術

渦制御型防波堤
砕波型防波堤

既存の工法による問題点

建設コスト 大掛かりな施工
複雑な地形への適用限界

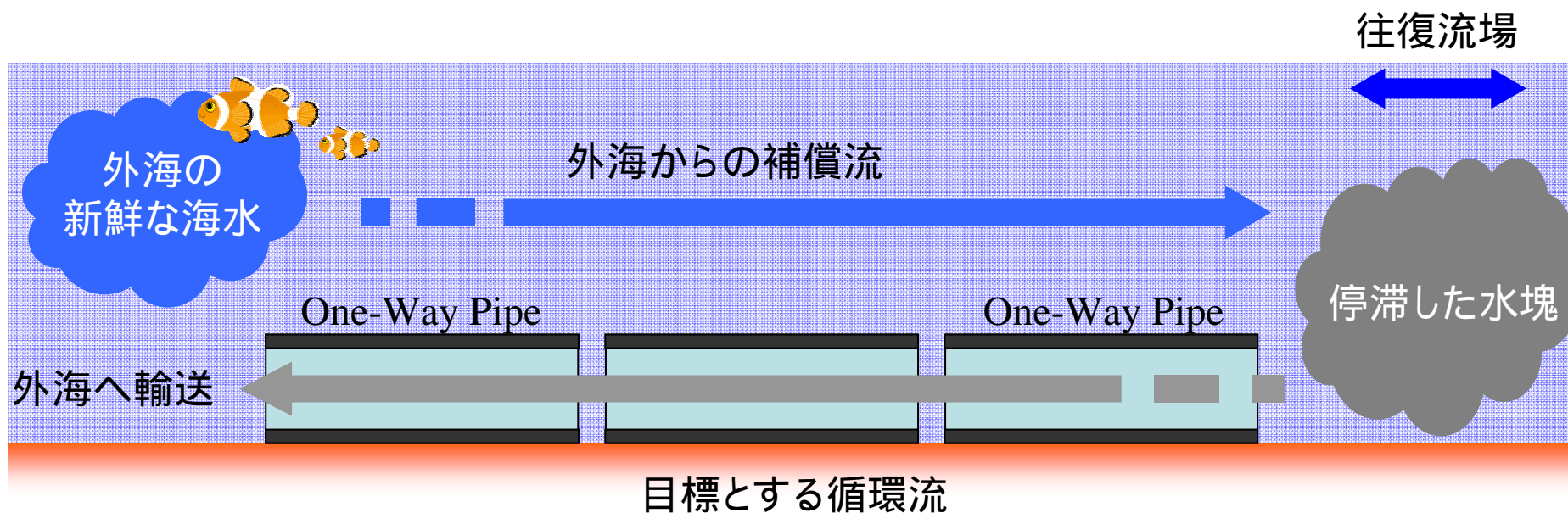
解決策

波浪エネルギーを利用し、往復流場において一方向流を生成する管路“**One-Way Pipe**”の提案

研究背景

One-Way Pipe

往復流場において一方向流を生成し、地形や水平スケールに左右されない海水輸送を可能にする管路



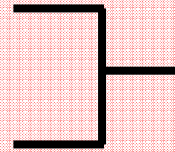
研究目的

往復流場において一方向流を生成能を有する管路の提案

- 粗度型One-Way Pipe: 川野ら (2006)

- 入口拡大型One-Way Pipe

- つば型One-Way Pipe



- ハイブリッド型One-Way Pipe

新たに提案

新たに提案する管路について、形状の違いによる一方向流生成能の検討

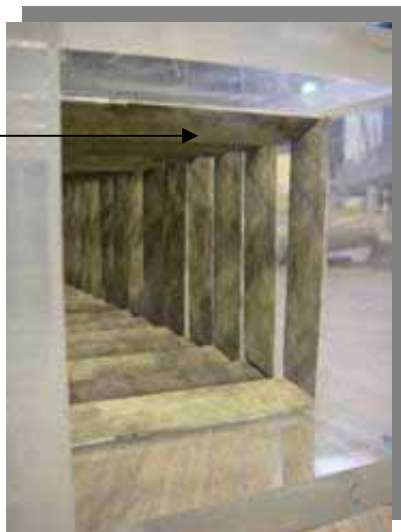
管路近傍の流れ特性を明らかにし、一方向流を生成するメカニズムを明らかにする。

新たに提案する管路の形状の違いによる一方向流生成能の検討

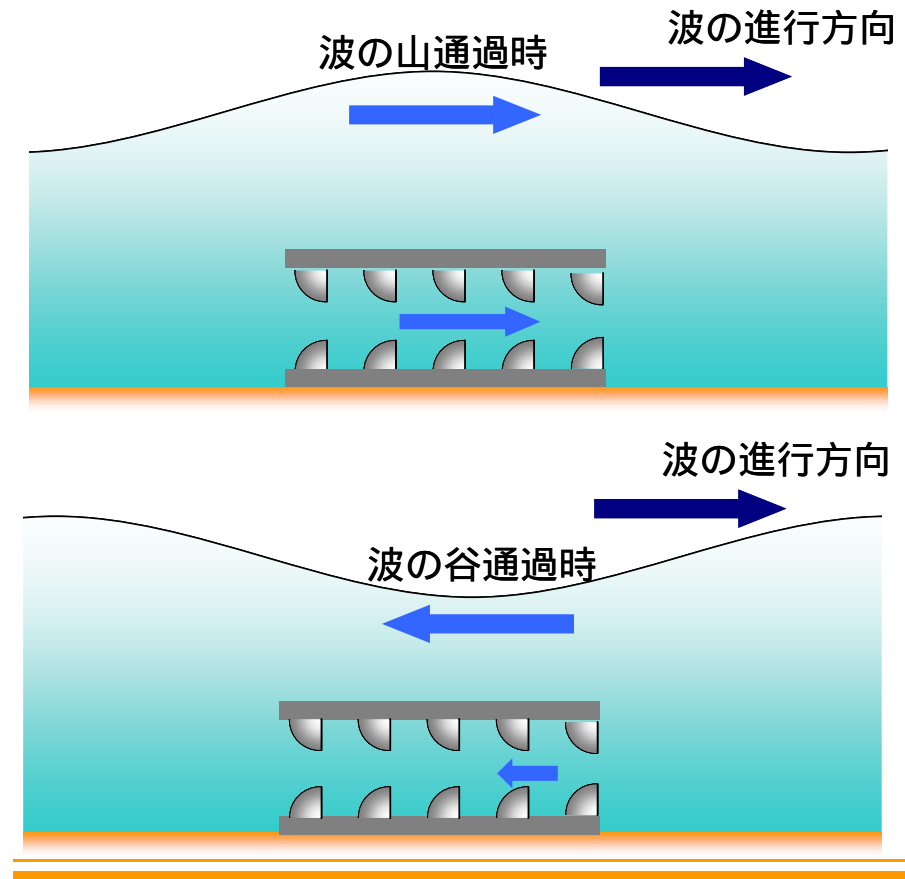
粗度型One-Way Pipe



粗度型One-Way Pipe模型



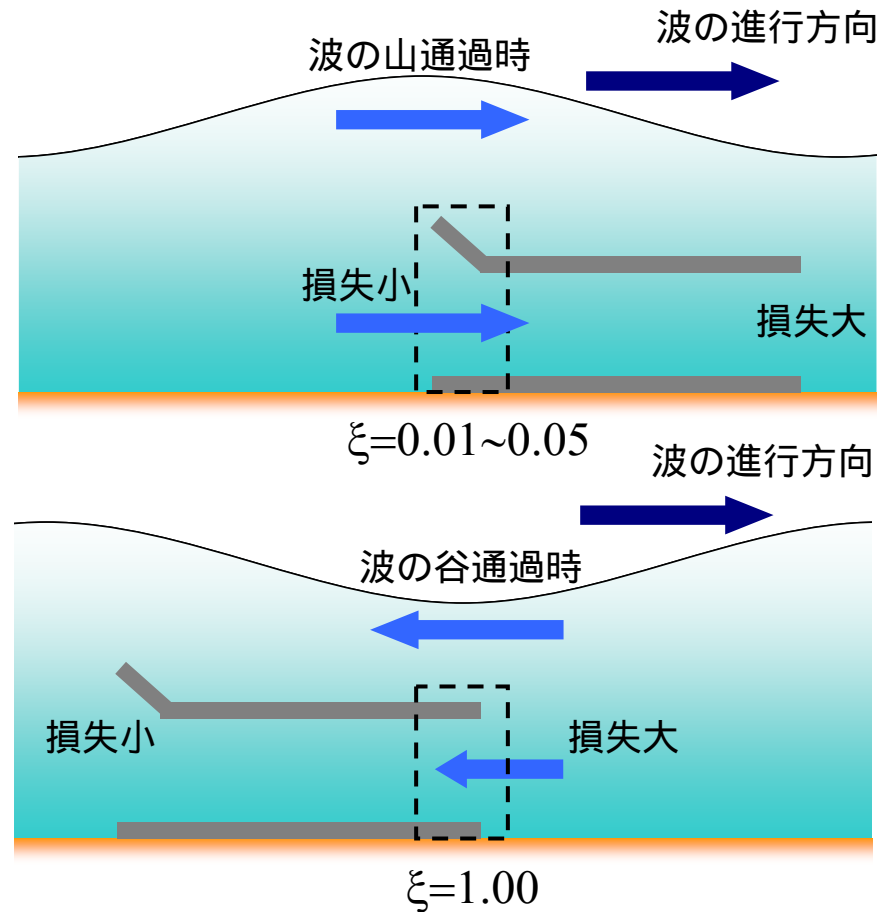
管内壁



往復流場において、管内壁に設置した非対称構造物によって流体に生じる**抵抗力の差**により一方向流を生成する管路

新たに提案する管路の形状の違いによる一方向流生成能の検討

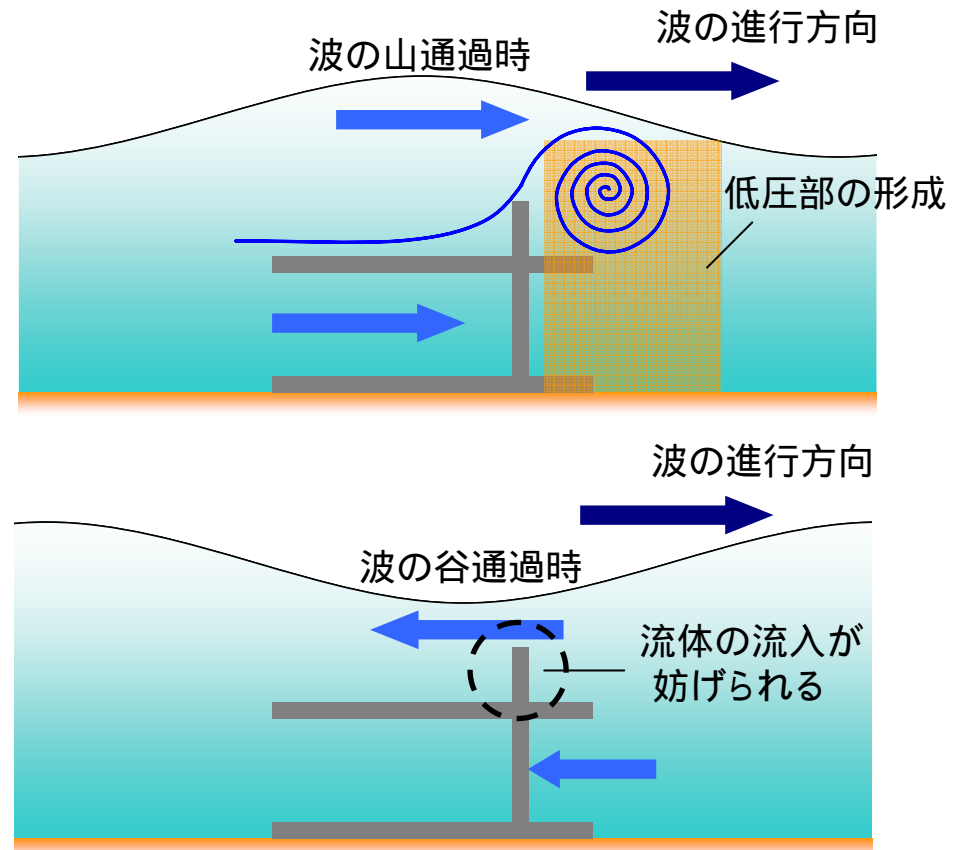
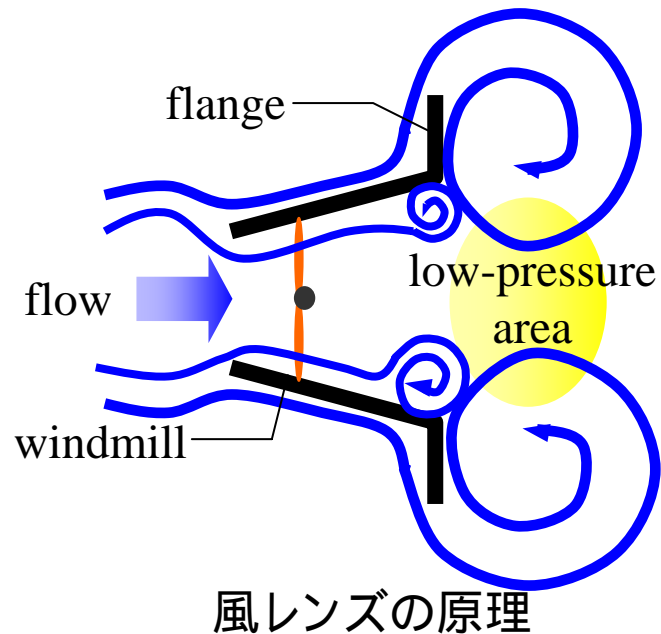
入口拡大型One-Way Pipe



往復流場において、
入口損失の差によって一周平均的に
一方向流の生成が期待される。

新たに提案する管路の形状の違いによる一方向流生成能の検討

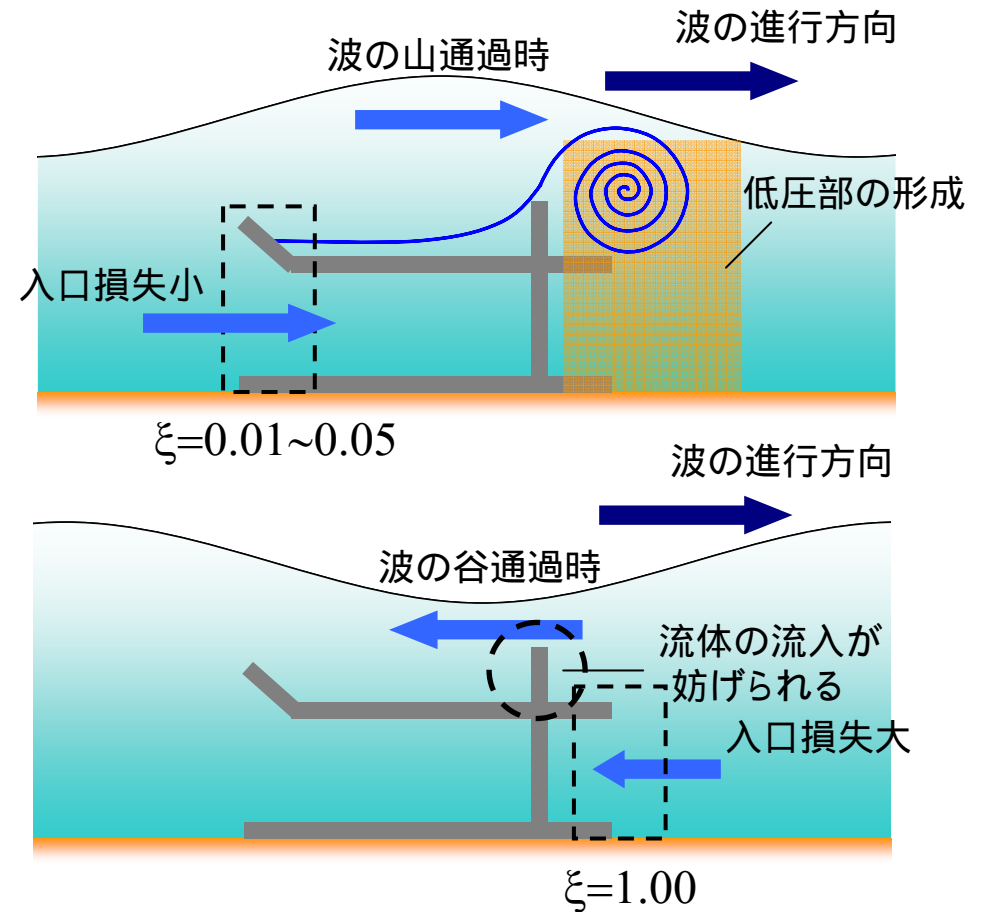
つば型One-Way Pipe



つばによる管路後方における低圧部の形成と、流体の流入の妨げが一方向流を生成すると期待される。

新たに提案する管路の形状の違いによる一方向流生成能の検討

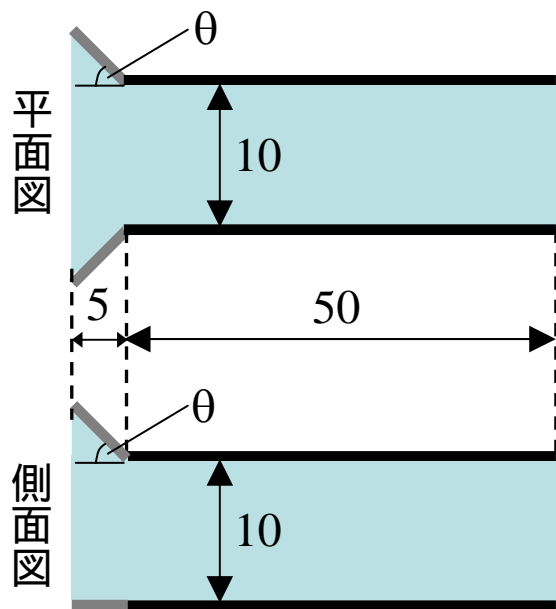
ハイブリッド型One-Way Pipe



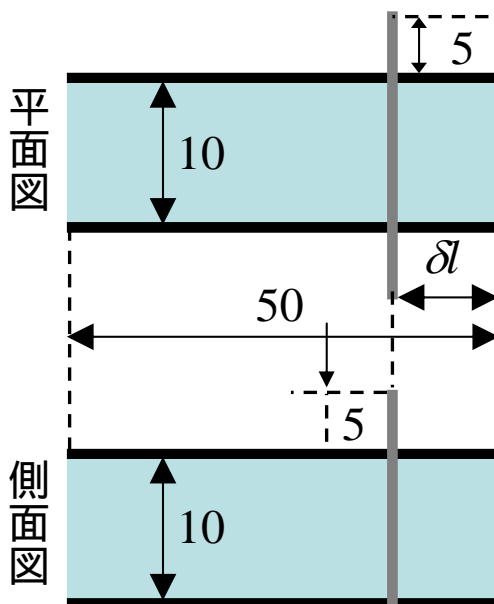
拡大型およびつば型One-Way Pipeの一方向流生成機構の相乗効果が期待できる。

新たに提案する管路の形状の違いによる一方向流生成能の検討

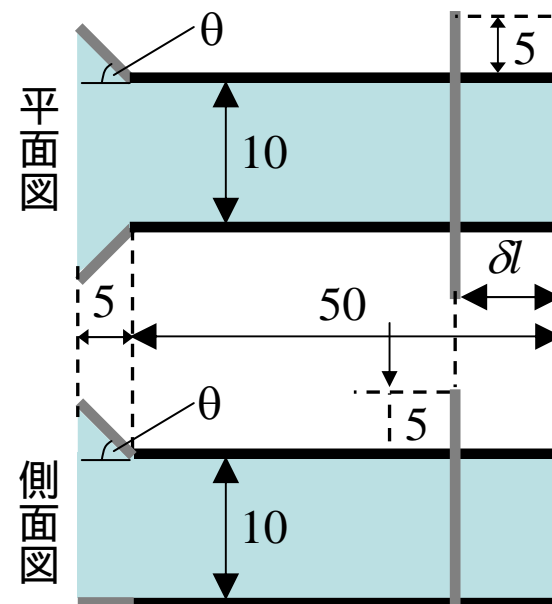
One-Way Pipe 実験模型



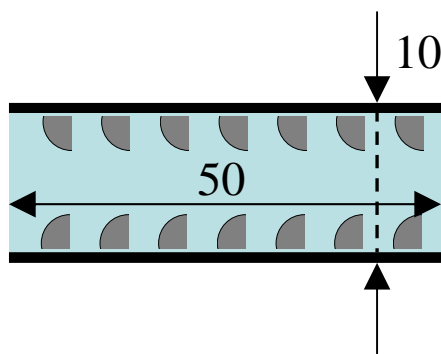
a) 入口拡大型



b) つば型



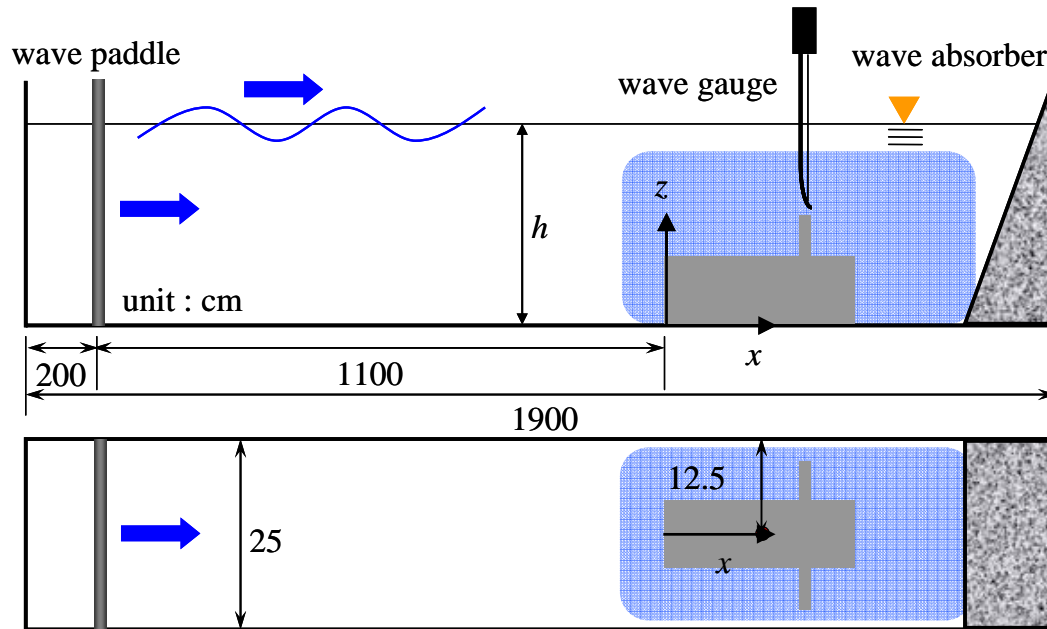
c) ハイブリッド型



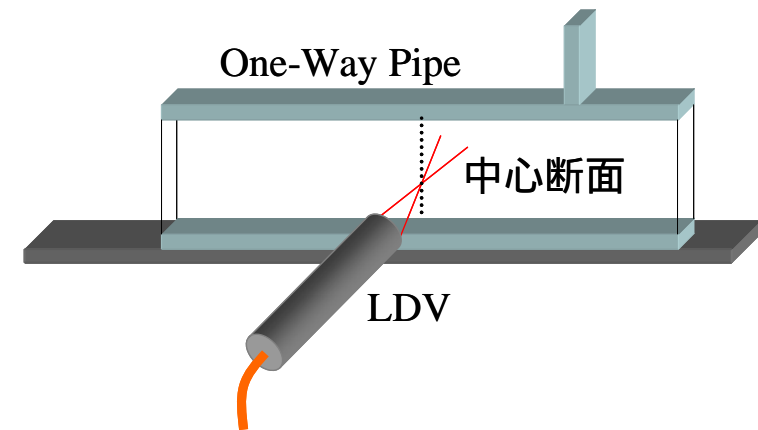
d) 粗度型

新たに提案する管路の形状の違いによる一方向流生成能の検討

実験装置



波の進行方向に対して一方向流を生成するように設置



実験方法

全長1900cm × 幅25cmの二次元吸収式造波水槽

造波装置から1100cmの地点に管路を設置

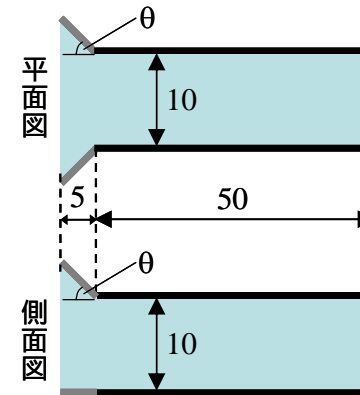
LDV(レーザードップラー流速計)を用いて管内中心断面において水深方向に1cm間隔で流速を測定。(サンプリング周波数100Hz)

新たに提案する管路の形状の違いによる一方向流生成能の検討

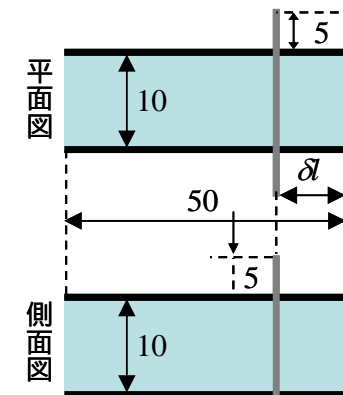
実験条件

実験条件

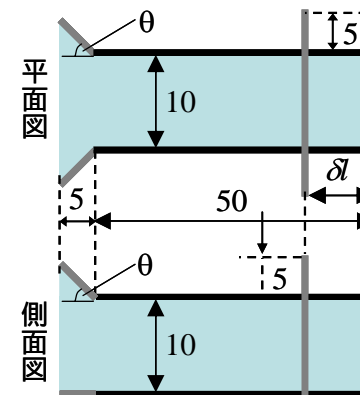
周期 T (sec)	1.2
波高 H (cm)	5.0
水深 h (cm)	30.0
管路長 l (cm)	50.0
入口加工角 θ	15 ° 30 ° 45 °
つば高さ δh (cm)	5.0
つば位置 δl (cm)	0.0 ~ 10.0



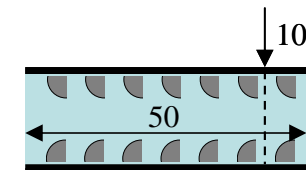
a) 入口拡大型



b) つば型



c) ハイブリッド型



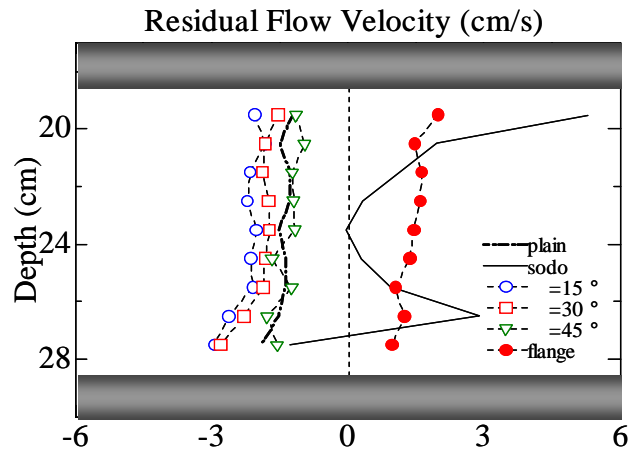
粗度高さ0.9cm
粗度間隔1.8cm

d) 粗度型

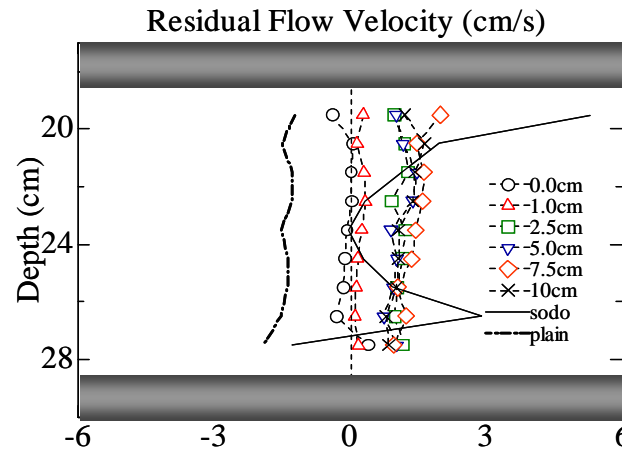
新たに提案する管路の形状の違いによる一方向流生成能の検討

管路内残差流速分布

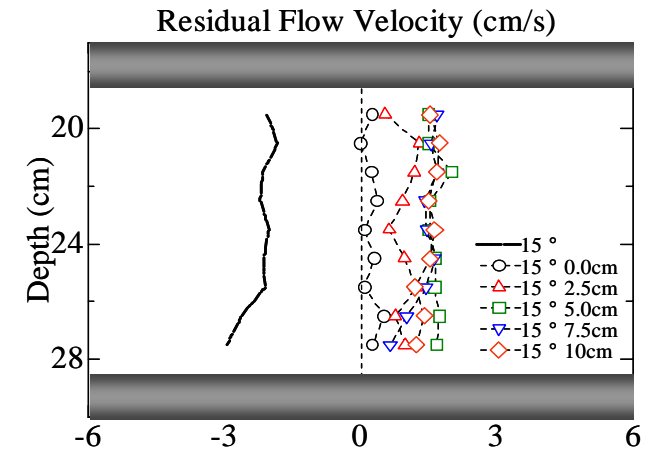
入口拡大型



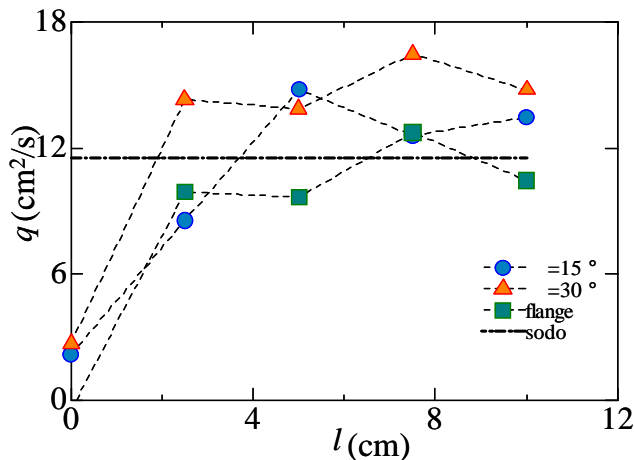
つば型



ハイブリッド型



残差流量の比較



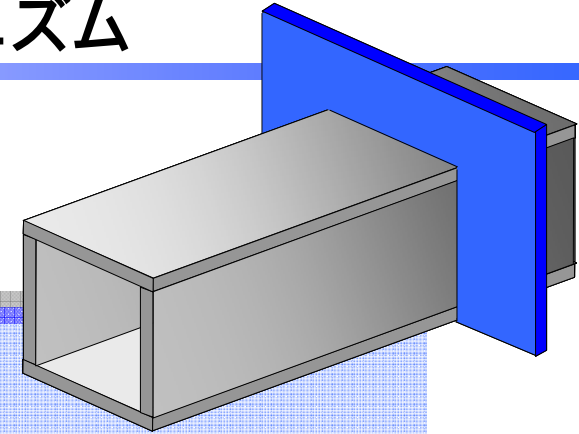
入口拡大型管路は、正方向の残差流速を生成しない。

つば型管路及び、ハイブリッド型管路は粗度型管路よりも大きな正の残差流速を生成する。

つば型管路及び、ハイブリッド型管路は正方向の残差流を生成し、その残差流量は $5 \leq \delta l \leq 7.5$ (cm) 付近でピークをとる。

↓
 $0.75 < \delta l / d < 1.0$ 付近で最大値をとる

つば型One-Way Pipeの一方向流生成のメカニズム



管路のつば近傍の流速測定により、
位相平均流速分布と乱れ強度の時間変化を算出



往復流場においてつば型One-Way Pipeの
つば近傍の流れを特性を明らかにする



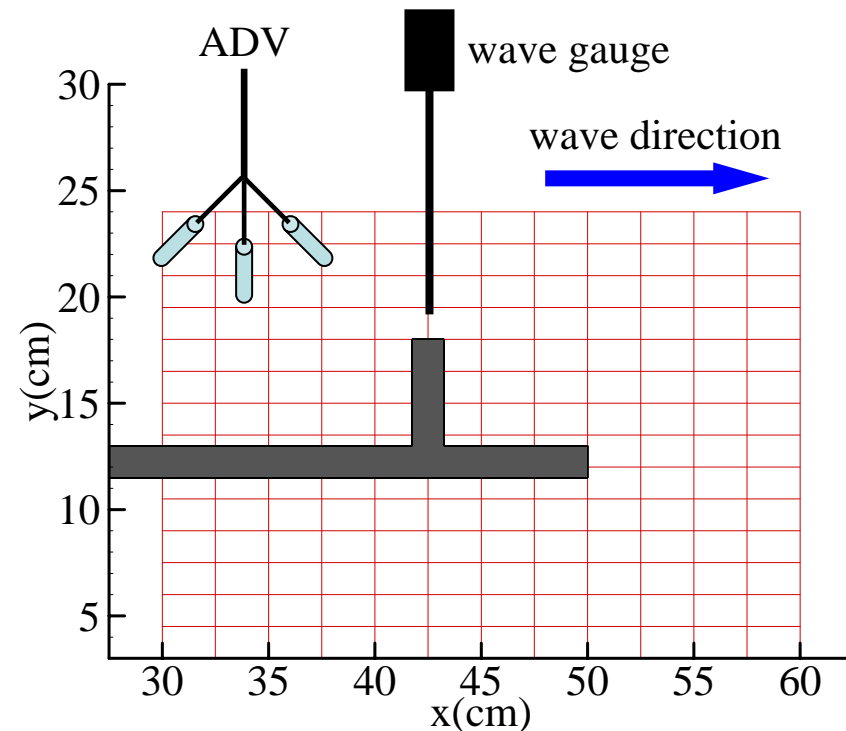
一方向流を生成するメカニズムの解明

つば型One-Way Pipeの一方方向流生成のメカニズム

実験条件および実験方法

造波諸元および模型諸元

造波諸元		模型諸元	
H (cm)	5.0	l (cm)	50.0
h (cm)	30.0	d (cm)	10.0
T (s)	1.2	δl (cm)	7.5
L (cm)	177.0	δh (cm)	5.0



実験方法

ADVにより水平方向に2.5(cm)間隔、鉛直方向1.5(cm)間隔で鉛直方向流速と水平方向流速を測定

波高計をつばの位置($x=42.5\text{cm}$)に設置し、水位変動を測定

サンプリング周波数100Hz、100波分のデータを記録

つば型One-Way Pipeの一方向流生成のメカニズム

データ処理方法

流速データを100波分を時間平均することによって残差流速を算出し、残差流速空間分布を求める。

水位変動に対してゼロアップクロス法を適用し100波に分解し、アンサンブル平均によって位相平均流速 U, W を求める。

測定された水平方向流速 u (波の進行方向を正)、および鉛直方向流速 w (鉛直上向き正)

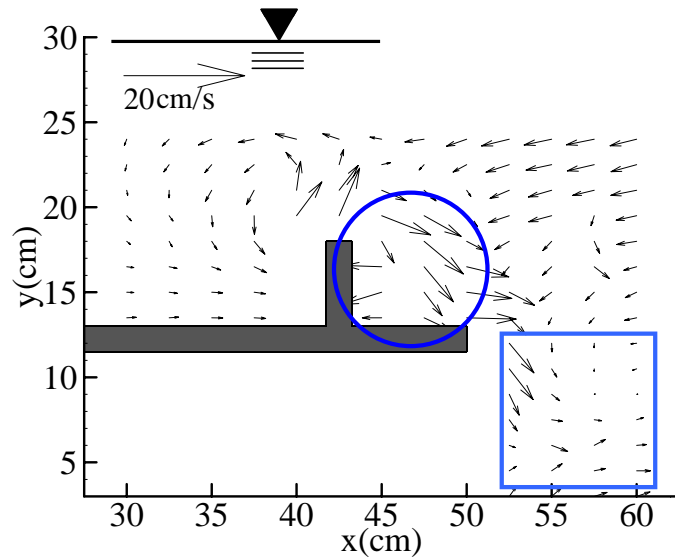
乱流成分 u', w' を求める

$$\begin{aligned} u &= u' + U \\ w &= w' + W \end{aligned}$$

乱れ強度 $u'u'$ 、 $w'w'$ および $u'w'$ を求め、各位相における空間分布を算出する

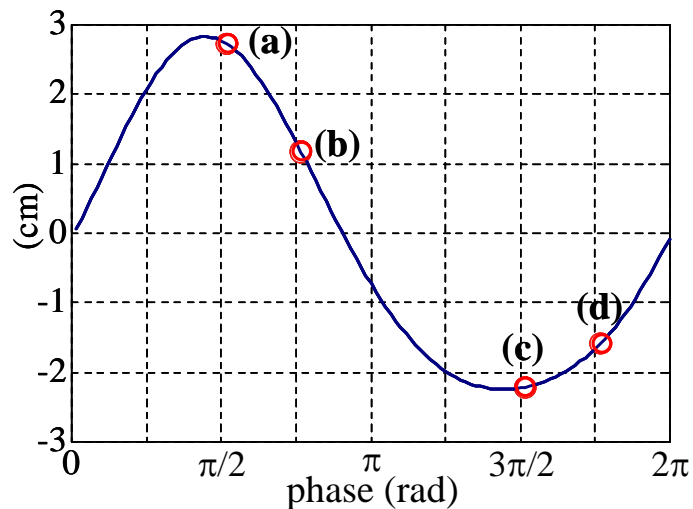
つば型One-Way Pipeの一方方向流生成のメカニズム

残差流速の空間分布



つば後方に渦が形成されており、
管路出口付近に正の残差流が生成されている

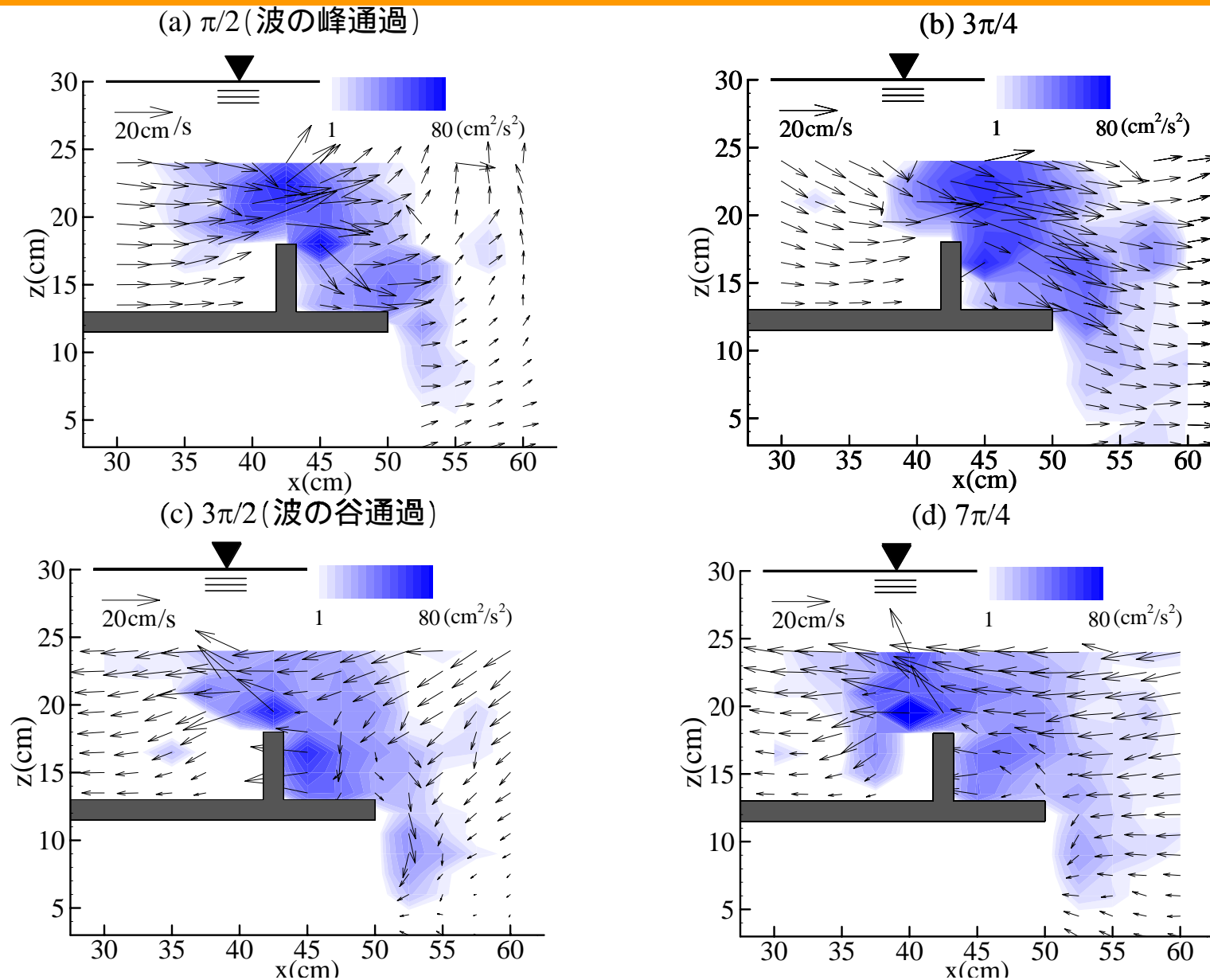
つば上部における水位変化



(a) ~ (d)の各位相につば近傍の
位相平均流速ベクトルと
乱れ強度 $u'u'$ の空間分布

つば型One-Way Pipeの一方方向流生成のメカニズム

つば近傍の位相平均流速ベクトルと乱れ強度 $u'u'$ の空間分布



つば型One-Way Pipeの一方向流生成のメカニズム

波の峰通過時

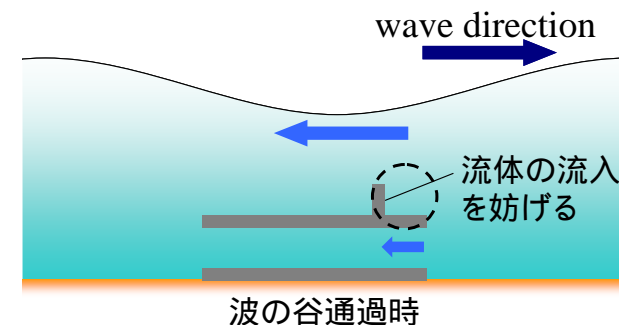
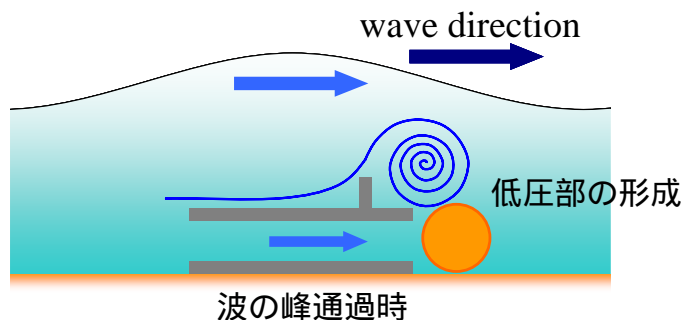
管路出口に渦が生成された結果、低圧部が形成されて、管路内に流体が流れ込む

波の谷通過時

つばが流れに対して障害物となり、管路内に向かう流速成分は小さくなり、結果的に管路内に正の残差流が生成される

往復流場につば型One-Way Pipeを設置した場合、つば近傍、および後方には発達した乱れが発生し、その空間分布は位相が変わっても大きく変化しない。

つば型One-Way Pipeの後方に発生する渦による低圧部の形成が一方向流を生成する駆動力となっている。



結論

- 管路出口につばを設置することで管路内に従来の粗度型One-Way Pipeとほぼ同等の正の残差流量を生成することができる。
- つばと拡大管を組み合わせるにより大きな正の残差流速を生成することが可能
- 短周期往復流場である波浪場においても、風レンズと同様に順流時につば後方において剥離渦が発生し、その結果低圧部を形成して流れが加速される。一方、逆流時にはつばが抵抗体として作用して流れを妨げ、結果として管路内に正の残差流速が生成される。