

深層海域における放出 CO₂ の初期希釈特性

日本大学生産工学部 正会員 ○落合 実
 大林道路(株) 松葉 将揮
 日本大学大学院総科研 正会員 和田 明
 日本大学生産工学部 フェロー 遠藤 茂勝

1. まえがき

近年の大気中における二酸化炭素(CO₂)の濃度は、人為的排出増加により上昇の一途を辿っている。この CO₂ は他の温室効果ガスよりも地球温暖化への寄与率が高いため、大気中への放出量の削減が急務となっている。大気中への CO₂ 排出抑制には種々な対策が考案されているが膨大な CO₂ 貯蔵が可能と考えられる海洋隔離も検討されている。CO₂ 海洋隔離技術において、輸送距離や放出深度によっては有効である海底パイプラインを用いた放流方式についての検討は十分に行われていない。

そこで本研究ではパイプラインを用いて CO₂ を放流する方式の有利性を検討する基礎的段階として初期希釈に有効な放流口の構造形式を見出すことを目的としている。本報告では放流口近傍における CO₂ の希釈特性を把握するための基礎的な数値シミュレーションを行い、その結果を検討するものである。

2. 数値解析概要

2.1 計算概要 CO₂ を海洋に放流する深度は、表層(1000m以浅)、中層(1000~3000m)、深層(3000m以深)に大別される¹⁾。本研究では海洋生物への影響を考慮し、比較的生物への影響が低いと考えられる中層域に CO₂ を放出することを想定し、CO₂ は複数本の鉛直上向きパイプから放出させる。そして、鉛直噴流時の放流口近傍の流動と希釈特性を検討することから物理的挙動のみを扱うこととする。

一般に重力噴流は放出流量・放出速度・放出形状・パイプ間隔などのパラメータが放流口近傍の流動や希釈特性を支配する²⁾ので、本計算では CO₂ の希釈特性に及ぼす放出内部フルード数と放出 CO₂ 濃度の感度解析を行うものである。

2.2 数値解析条件 本研究では、放流深度 1500m で

の定常非圧縮性粘性流れ場を対象とし、標準 $k-\epsilon$ 乱流モデルを用いて解析を行う。密度は UNESCO の海水の状態方程式を用いるものとする。CO₂ の放流量は 50 万 kw の火力発電所から放出される平均的な量を基準(Case1)とし、1/2, 1/4 と CO₂ 量を変化させる。放出管は直径 $D=1\text{m}$ の単一管(長さ $5D$)を $5D$ 間隔に 5 本一列に並べる。計算条件を表-1 に示す。

表-1 計算条件

case	Wo(m/s)	CO ₂ (0/00)	$\Delta\rho(\text{kg/m}^3)$	Fr ₀
1	13.22	1.45	33.55	23.4
2		0.72	34.28	23.2
3		0.36	34.64	23.1
4	6.01	1.45	33.55	10.7
5		0.72	34.28	10.5
6		0.36	34.64	10.5
7	26.44	1.45	33.55	46.88
8	3.00	1.45	22.33	5.32

放出内部フルード数; Fr₀ は次式により定義する。

$$Fr_0 = \frac{W_0}{\sqrt{(\Delta\rho/\rho_0)gD}} \quad 1)$$

ここで、 W_0 ; 放出流体の流速(m/s), ρ_0 ; 周囲海水の密度(kg/m³), g ; 重力加速度(m/s²), D ; パイプ径(1m), $\Delta\rho = |\rho_0 - \rho|$ (kg/m³), ρ ; 放出流体密度(kg/m³)である。

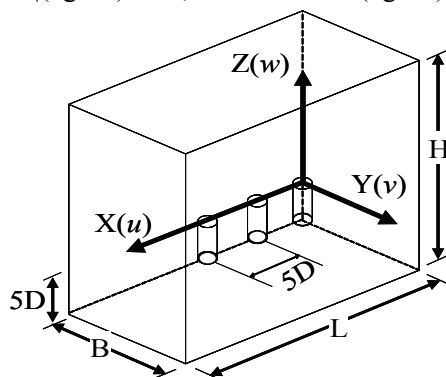


図-1 計算領域概略

2.3 計算領域 本解析に用いたモデルの計算領域を図-1 に示す。座標系は放流出口の中央を原点とし、

キーワード CO₂ 海洋隔離, CO₂ 希釈, 重力噴流, マルチパイプ, 深層放流

連絡先 〒275-8575 千葉県習志野市 1-2-1 日本大学生産工学部土木工学科 TEL 047-474-2452

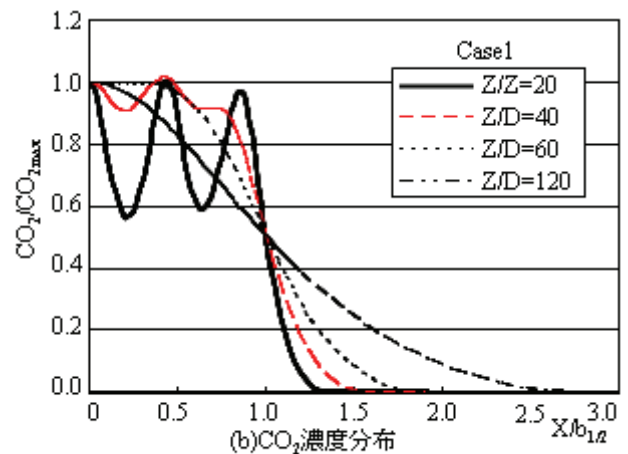
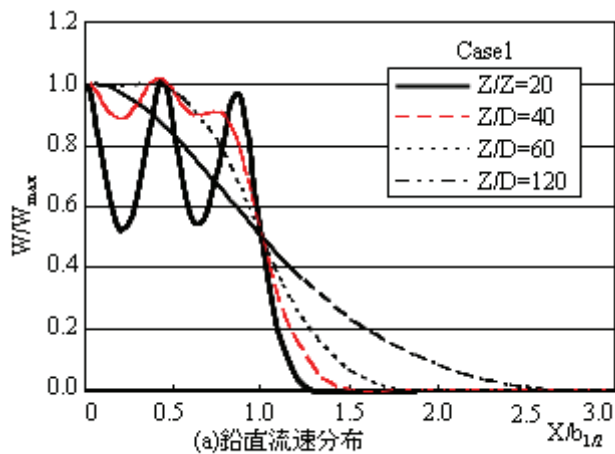


図-2 解析結果(Case1: XZ 断面分布)

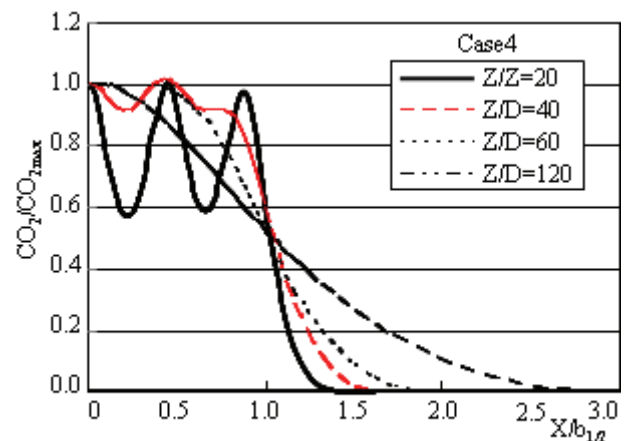
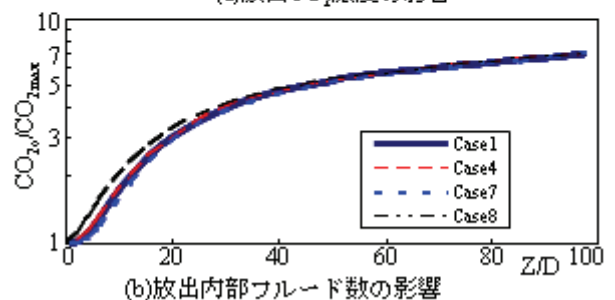
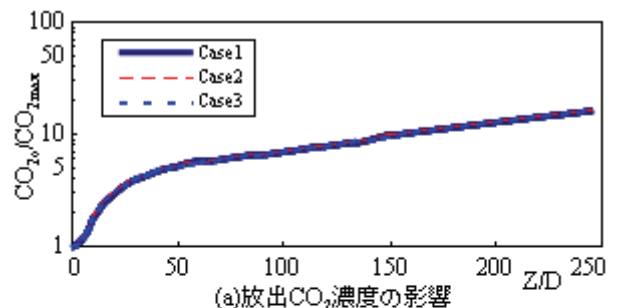
奥行き方向: X , 幅方向を: Y , および鉛直方向を: Z とし, それぞれの流速を u , v および w とする. 計算領域は 5 本放出口の中央管中心を原点とする $1/4$ が計算領域で $H=300D, L=B=50D$ とする. 計算格子は最大 $2m$ とし, 放流口近傍では不等間, 全格子数は約 21 万個である.

3. 解析結果

Case1 の解析結果を図-2 に示す. 図は XZ 断面における鉛直流速と CO_2 濃度の分布で, Z/D をパラメータで示す. 鉛直流速分布より噴流放出上昇距離に伴ってパイプ間の相互干渉が認められ, ほぼ $Z/D=60$ では複数管からの放流が一つの噴流になり, $Z/D=120$ では流速分布がガウス分布に近づくことが確認される. これらの傾向は CO_2 濃度分布でも同様に XZ 断面における両分布の相似性が確認された. 図-3 は Fr_0 が小さい Case4 における CO_2 濃度の XZ 分布を示す. この図も Case1 の傾向と同様であり分布形の相似性が確認された. 図-4 は噴流中心($X=Y=0$)における CO_2 濃度: CO_{2max} の鉛直方向距離 Z/D に対する希釈率 (CO_{2max} と放出 CO_2 濃度 CO_{20} の比)を示す. (a)では Z/D の増加と共に低減率が大きくなり, 約 $Z/D>60$ で指数関数的に増加する. しかし放出 CO_2 濃度の変化に対する低減率の変化はほとんど認められない. (b)は約 $Z/D<50$ で Fr_0 の影響が僅かに認められる.

4. まとめ

CO_2 海洋隔離の基礎研究として水深 $1500m$ の海域に放出した CO_2 の初期希釈特性を把握する一段階として, 固定した放出形状で数値解析を行った. その結果, 希釈特性は放出 CO_2 濃度よりも放出内部フルード数が支配的であることを明らかにした. 今後は放流管の本数と配置・形状を変えた数値実験を行い,

図-3 CO_2 濃度解析結果(Case4: XZ断面分布)図-4 放出 CO_2 の希釈特性(Z 軸, $X=Y=0$)

有効な放流方式の検討を行う予定である.

参考文献

- 1) 尾崎雅彦: CO_2 海洋隔離における希釈放流技術
- 2) 片野尚明ほか, スロット型およびマルチタイプ型放水口による温排水の水温低減化に関する研究, 電力中央研究所報告・研究報告: 377021