

傾斜面に沿う煙流動に関する実験的研究

渡邊 郁夫

目次

ページ数

第I章 序論

2

第II章 傾斜面に到る煙の流動性状

II-1 火災室から流出する煙の流動性状

5

II-2 水平路(廊下)における煙の流動性状

6

第III章 傾斜面に沿う煙流動実験

III-1 実験の目的と概要

9

III-2 実験装置

9

III-3 測定項目

10

III-4 スモークワイヤ法による流れの可視化

13

III-5 実験条件の設定

17

III-6 実験結果

18

第IV章 傾斜面に沿う煙流動の理論的解析

IV-1 密度流としての煙の性質

35

IV-2 基礎式の導入と代表値への変換

39

IV-3 方程式の展開と意味

44

第V章 結論

V-1 実測値についての考察

50

V-2 理論値と実測値の比較

52

V-3 結び

56

参考文献

58

付録

59

第I章 序論

火は人間の生活及び文化に多大な影響を与えてきた。そもそも人間が他の生物達と完全に一線を画して今日のような文明社会を築き上げるに致った歴史の始まりが、火の発見であり、それを利用したことであった。火をたいて暖を取り、食物を煮たり焼いたりし、道具を作り改良し、鉱物を還元して金属を作り出し、今日においては電気エネルギーに変換するなど、火は人間の生活を便利で豊かなものにしてきた。しかしながら火が常に人間にとって便利なものであり、利益を与えつついてきたかといへば、必ずしもそうとは言えない。人間が火というものを利用するようになったと同時に火災という災害を経験するようになったと思われからである。火は一たびその使い方を誤れば、その住居や財産ばかりでなく、人命をも瞬時にして奪い去ってしまう。

そこで人類は、何千年の間火の脅威と戦いつづけてきたのである。特に近代における科学技術の進歩は、防火や消火の技術にも進歩をもたらした。1回の火災当たりの平均焼失面積は、著しく減少する傾向にある。しかしながら火災による死者数は、近年かえって増加する傾向にあり、現に日本においても年間2000名を越す死者を出すに致している。これは、日本の政令化に伴う家屋の形態、生活様式の変化あるいは都市構造の

変化に負うところが大きく、特に近年における都市の限られた空間の多角的利用による高層建築物、雑居ビル及び地下街などの増加。あるいは東北、上越、両新幹線の開通に象徴されるような迅速な陸路の確保のための長大トンネルや地下鉄の出現など、多人数が集まる場所あるいは半閉鎖空間における火災は、多くの人命や財産の損失に直結する危険性を秘めている。

古くは千日ビル火災(547)、大冨デパート火災(548)、新しいところではホテルニュージャパンの火災事例などに見られるように、火災における死者は主に煙による窒息が原因であり、いわゆる焼死というように火炎に巻き込まれて焼け死ぬということはごくまれであると考えられている。このように現代の火災はプラスチック加工の建築材料の普及などによって高温で多量の煙と有毒ガスが発生するのが特徴であり、避難の困難な半閉鎖空間において火災が発生した場合、廊下や階段室あるいはゾラなどを通じて火災生成物が充満していくため、火災から離れた場所においても被害の対象となるなどとの危険度は一層高いものになっている。

このようなことから、最近特に排煙設備の重要性が高まるといえるが、排煙設備に“とどまらず”火災に対する種々なシステムを合理的に設計する上で建物内における煙の拡散を予測することが是非とも必要であると考えられる。建物内における

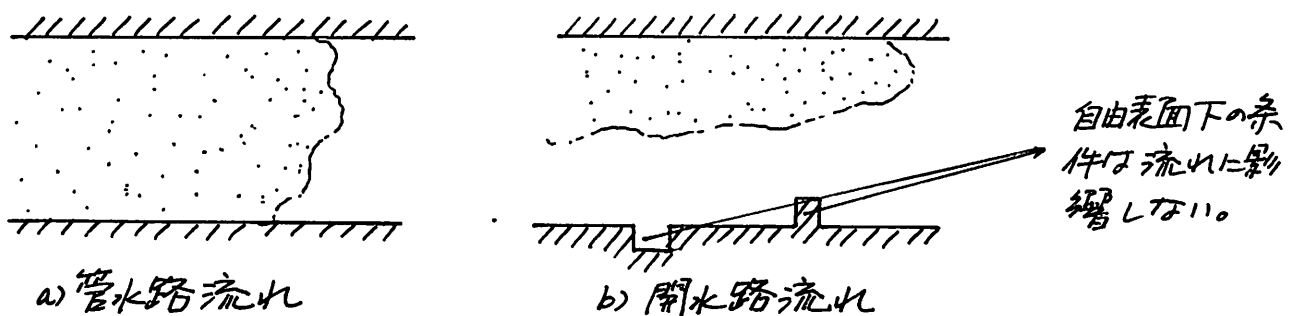
煙伝播のうち、火災室及び廊下などの水平路における水平方向の煙の流動に関してはいくつかの実験的研究がなされており、その構造もかなり明確にされている。しかしながら建物内の垂直方向の伝播、つまり吹抜けなどの竪長空間における熱対流的な挙動や、階段の天井部分などの傾斜面における煙の挙動に関しては不明な点が多い。

そこで本研究は傾斜面に沿う煙の流動をとりあげ、模型実験によるその挙動を定量的に確認し、煙を空流流として扱う手法を導入して解析を行い、その構造を把握しようとするものである。

第II章 傾斜面に到るまでの煙の流動性状

II-1 火災室から流出する煙の流動性状

廊下及び階段を流れる煙の性状については、一般的な流れの区分を用いると、大別して二種類に分けることが出来る。つまり水理学で言うところの管水路流れと開水路流れである。管水路流れにおいては流速が流れ方向の圧力勾配によって決定されるのに対し、開水路流れは自由表面 (free surface) を持ち、自由表面までの煙の厚さ及び密度 (温度差) が流れに大きな影響を及ぼし、自由表面より下の部分での条件は流れに影響を及ぼさない。



火災現象は非定常であり、発熱量、火災室の開口、外気条件などの変化により、火災室から流出する煙の性状も変化し、これを一義的に定義するのは困難であるように思われるが、実大火災実験 (東京海上ビル, 中央鉄道病院) の観察結果^(II-1) などをモトに火災の時期をフラッシュオーバー (以後 F.O と略す) 前、F.O 時、F.O 後の 3つに分けて考察する。

F.O前 —— 発熱量が小さいため、煙は開口部からあふれ出
る様相を示し、下方の流入空気とは相互干渉けない。

F.O時 —— 火災室での急激な温度上昇による熱膨張によ
り、供給空気とは無関係に大量の煙が廊下に流出
するため瞬時に煙層が降下し、断面一杯の流れとなる。

F.O後 —— F.Oで膨張空気が押し出された後は、火災室の
燃焼は、開口部のサイズにより規定され開口部での
煙の流出と新鮮空気の流入は安定した状態となる。
また、開口部での流出入に比べて、廊下での煙気流と
新鮮空気の流れは相互の影響がかなり小さくな
っているものと考えられる。

したがって、F.O時をのどけば火災室から廊下へ流出する煙
は、開口部を流れていくと考へることが出来る。

II-2 水平路(廊下)における煙の流動性状

水平路(廊下)における煙の流動性状については、かなり実験的
な研究も行われており、この計算手法が示されるなどこの構造が
かなり明確になっているので、既述の研究を整理する形でまとめ
おく。

まず前述の実火災実験による煙伝播の研究があり、煙は火
災最盛期において2層流として流動し、この煙層の厚さは廊下
天井高に対して約50~60%であること、煙の火災室開口からの

距離に対する温度降下は距離に対して指数関数的に表われることなどが観測されている。

前田、寺井ら⁽²⁻²⁾は、模型実験において温度場と速度場より2層流の臨界条件を求めている。それによると、煙と空気の2層流は風速が小さい程、また煙と空気の温度差が大きい程安定であり、臨界Ri数(混合と非混合の境界を規定する数)は乱流域においてRe数とともに増加することが明らかにされている。

半田ら⁽²⁻³⁾は実大廊下において木材グリブパイルを加速度的に燃焼させ、火源から発生する燃焼生成物の温度、速度として煙およびガス濃度について、これらの水平方向および垂直方向の分布を時間経過とともに調べている。その結果各量の垂直方向の分布はほぼ相似であること、また垂直分布の流れの特性を考慮して平均化を行なった各量は水平方向に指数関数的に減衰しており、温度、速度の減衰率は煙やガスのそれよりも大きいことが分った。またその解析法として Navier - Stokes の方程式に Boussinesq 近似を適用した基礎方程式をもとに、数値計算を行なっている。

辻本⁽²⁻⁴⁾は火災により生じる熱気流が自由界面を挟んで常温の空气中を進行する密度流(density current)であるとの観点に立ち、実大廊下における実験を行なって理論値と比較し、常流の範囲内でのあり地点での煙の吐出し重量と温度が与えられる

ば、下流の条件から流れ全体を計算できる手法を示している。それ
とともに傾斜面に沿う煙流動についても密度流としての解析法
を示している。

また、建物全体の煙伝播については、若松、田中の煙制御設計
に関する論文⁽¹¹⁻⁵⁾があるが、管路網計算の手法を基本としてい
るため温度差の無い開口においては煙の流動は管水路流れとな
り、実火災実験などで観測されるような煙がその下の空気とは
層を成して流れる状態を表わしていない。

第Ⅲ章 傾斜面に沿う煙流動実験

Ⅲ-1 実験の目的と概要

傾斜面に沿って煙がどのように流動するかを定量的に確認することを目的とし、建物内における傾斜面を想定したモデルを用いて、その中で流れる熱気流が定常状態において傾斜面の角度、周囲空気との温度差、熱気流の流量、水平路との接点からの距離などの条件の変化によってどのような影響をうけるかについて実験を行った。

Ⅲ-2 実験装置

装置の全体構成を図3-1に、模型ダクトの断面を図3-2に示す。熱気流を調節するために空調機と電熱線を組み合わせ、流量については電磁カプリング速度制御方式のファンを用い、吹出し温度については、空調機の温水コイルと電熱線を組み合わせることでより調節した。

また熱気流は吹出し口で与えられる慣性力の影響をうけるように、模型ダクト内に直接吹き出されるのではなく、水平路部分を想定した煙たけ部分(幅900×高さ900×長さ1800)に一たん吹き出され、その後煙たけよりあかぬけ出るような形でダクト内に流れ込ませた。なお模型ダクト(幅900×高さ900×長さ4700)の末端及び煙たけとダクトの下部は大気に開放されている。

Ⅲ-3 測定項目

1) 温度

図3-3に示すように、選移点から1.3m, 2.8m, 4.3mの位置において、それぞれ傾斜面から垂直に5, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700mmの各点において銅-コンスタンタン熱電対をYODAC-8に接続して測定した。整理の段階ではこれらの風速測定各点1.5m, 3.0mおよび4.5mの値に近似的に等しいと考へ、温度プロファイルの形で整理した。なお測定は3分ごとに行い、定常状態における各値を平均して各点の値とした。

2) 速度

熱気流の厚さ方向のプロファイルを測定するため、選移点より1.5m, 3.0mの距離において、スモークワイヤーを傾斜面より垂直に設置し、放電後一定時間遅れにおいてストロブを発光させて写真撮影を行った。(図3-4) また、撮影された流動パターンの位置(速度プロファイルに対応する)を明らかにするためあらかじめ5cm間隔の $\frac{1}{2}$ がらんをスモークワイヤーの位置で撮影した。(図3-5)

また、代表点における速度の平均値を求めためスモークワイヤー位置の傾斜面下100mmの点において熱線風速計(AUEHOMASTER)を設置し、ペンレコーダーに接続して測定を行い、その値にスモークワイヤーによるプロファイルを合わせの形で整理した。これは定常状態における実験であるとはいうものの、瞬間的な速度プロファイルはどの程度

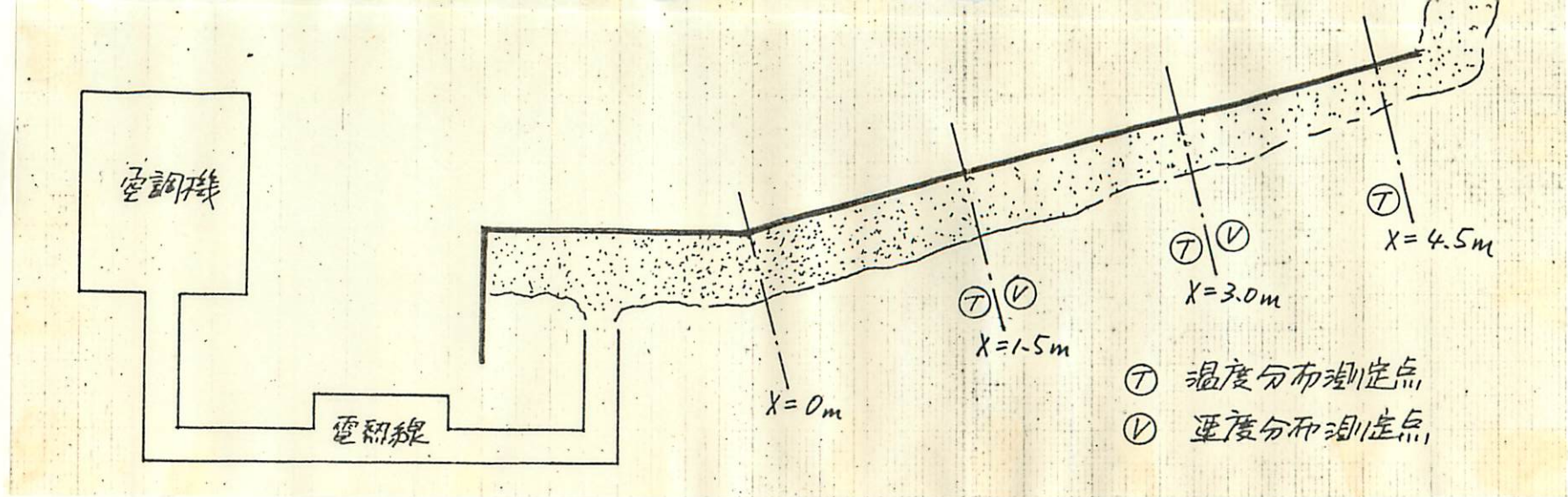


図3-1 実験装置の概略

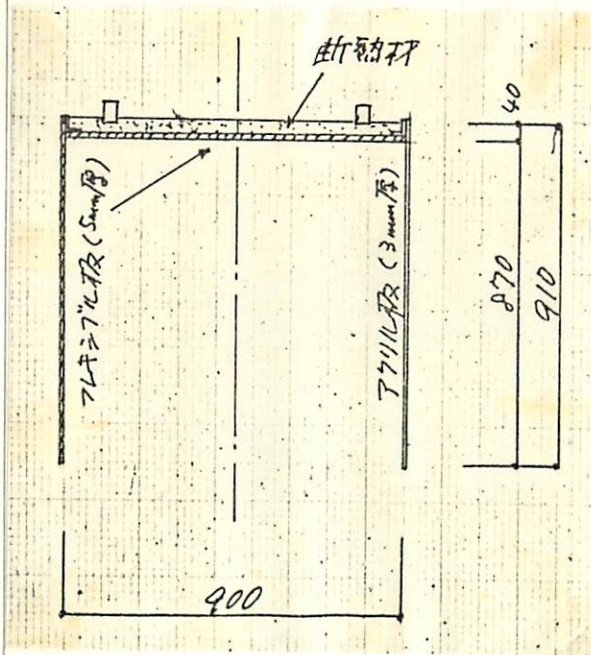


図3-2 ダクト断面

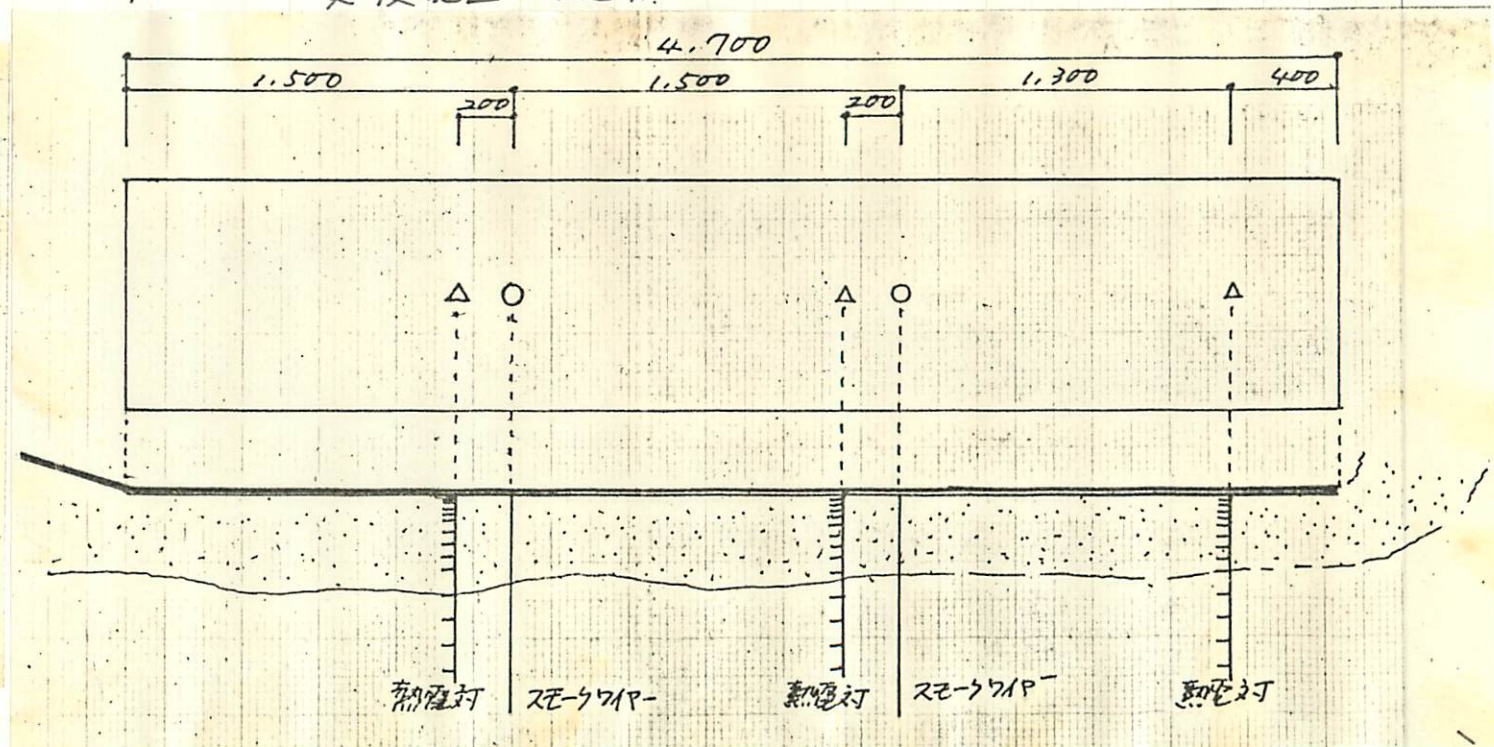
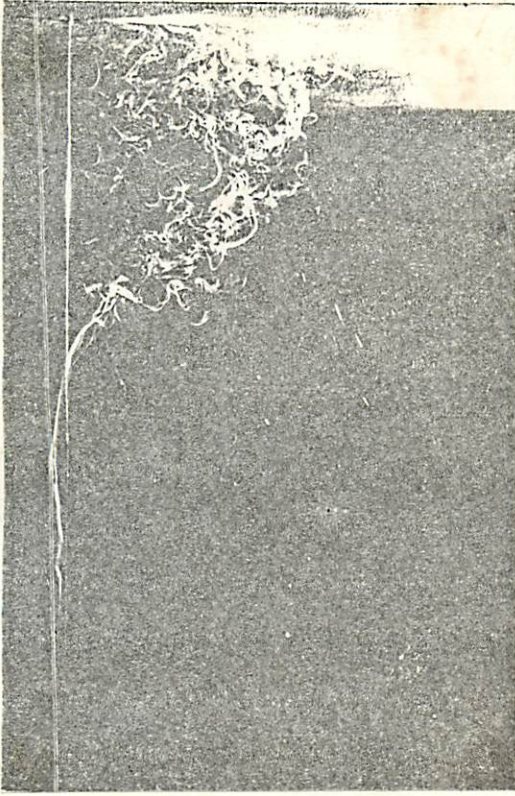


図3-3 各測定点の位置

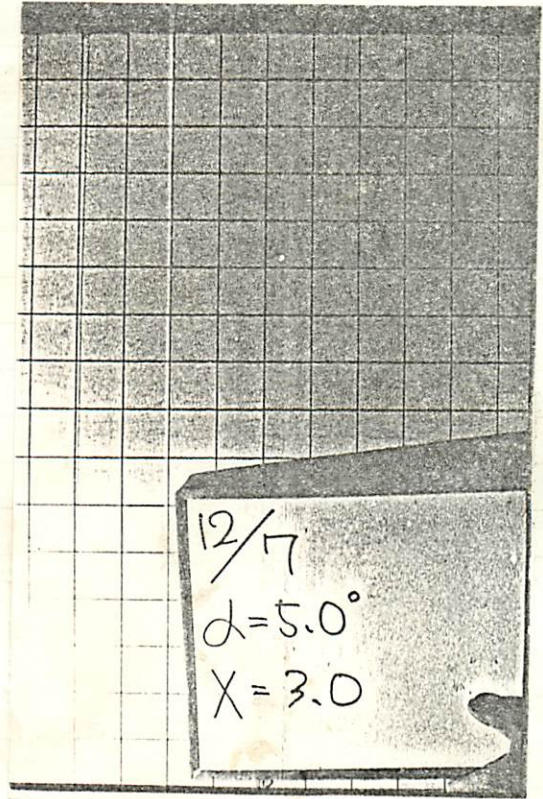


△ 図 3-4

スモークワイヤーによる煙度プロ
ファイル撮影の一例。

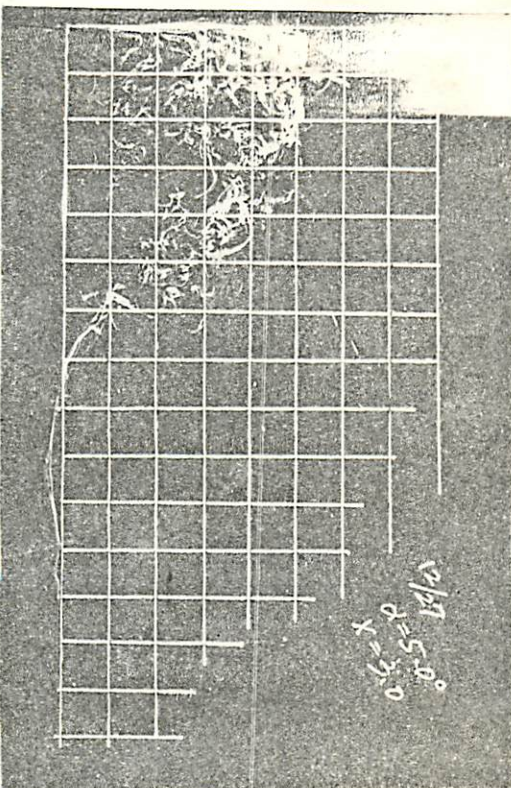
△ 図 3-5 (a)

スモークワイヤー位置における
50mm 方かんの撮影



△ 図 3-5 (b)

スモークワイヤーによる煙度プロ
ファイルにこの方かんと重ね合わせて煙
の位置を明確にする。



のばらつきがあり、撮影したプロファイルが平均的なものかどうかわからないこと。また放電時間と発煙時間との間にはずれ(発煙遅れ時間)があり、その値が不明なため正確な遅れをスモークワイヤによる撮影のみでは知ることはできなかったためである。

3) 発煙片による目視観察

煙斗内において発煙片の煙を熱気流に混入させて観察を行ったところ、流れはそれぞれ2層流を形成するものの、自由表面付近で周囲空気の巻き込みが見られた。

Ⅱ-4 スモークワイヤ法による流れの可視化

ここで本実験において採用した流れの可視化方法であるスモークワイヤ法について説明する。スモークワイヤ法は空気流の可視化を目的としたトレーサー法における電気制御法のうちの一手法であり、被試験体としては気体が扱われ、主に流脈タイムラインを得ることを目的としている。この可視化方法は、火花追跡法など他の電気制御法とともに今後建築関係において使用されるであろうと考えられる。

1) 原理

流れに直交して張られた金属細線(ニクロム線, 径0.18 mm程度)に流動パラフィンを塗布しておく。短時間に大電流を流すと流動パラフィンの蒸気が発生し、これが空気流に触れて凝縮し、ミストとなる。このミストは写真撮影のよい白煙であり、これをトレーサーとして細線を通過する空気の流れを可視化する。今回の実験にお

1) は、短時間に発生したこの直線状白煙を通電後適当な遅延時間でストロボを発光させ写真撮影を行なうことにより、細線附近の速度分布を白煙の曲線として可視化している。

スモークワイヤ法は、2次元の定常流れのみでなく、3次元流れ、非定常流れの速度分布および流脈を可視化するこゝが可能であり、適用可能流速は $0.1 \sim 30 \text{ m/s}$ 程度である。^(註-1)

2) 装置

図3-6に本実験で使用したスモークワイヤ装置の電気回路を示す。装置は次の4つの部分から構成されている。

a) 発煙回路 — 270 Ω の線と天井面に垂直に張り、下端部に重りを付け電源投入時の細線の衝撃に対して引張力をかける。

b) スモークワイヤ電源回路 — 16 Ω 程度の抵抗を有する細線に流す電流の大きさは、コンデンサへの印加電圧により変之るこゝが之で、通電時間はコンデンサ容量により変之るこゝが之である。($\tau = RC$) カメラのシャッター S_1, S_2 を入れると12Vリレーが働きコンデンサから細線へ電流が流れる。と同時に遅延回路にも電流が流れる。

c) 遅延回路 — 遅延回路はマルチバイブレータ、コンパレータ、微分回路から成り、図3-7, 8のような過程を経て、入力信号はタイスタの入力となり、出力は

发光回路

选频回路

电源回路

发光回路

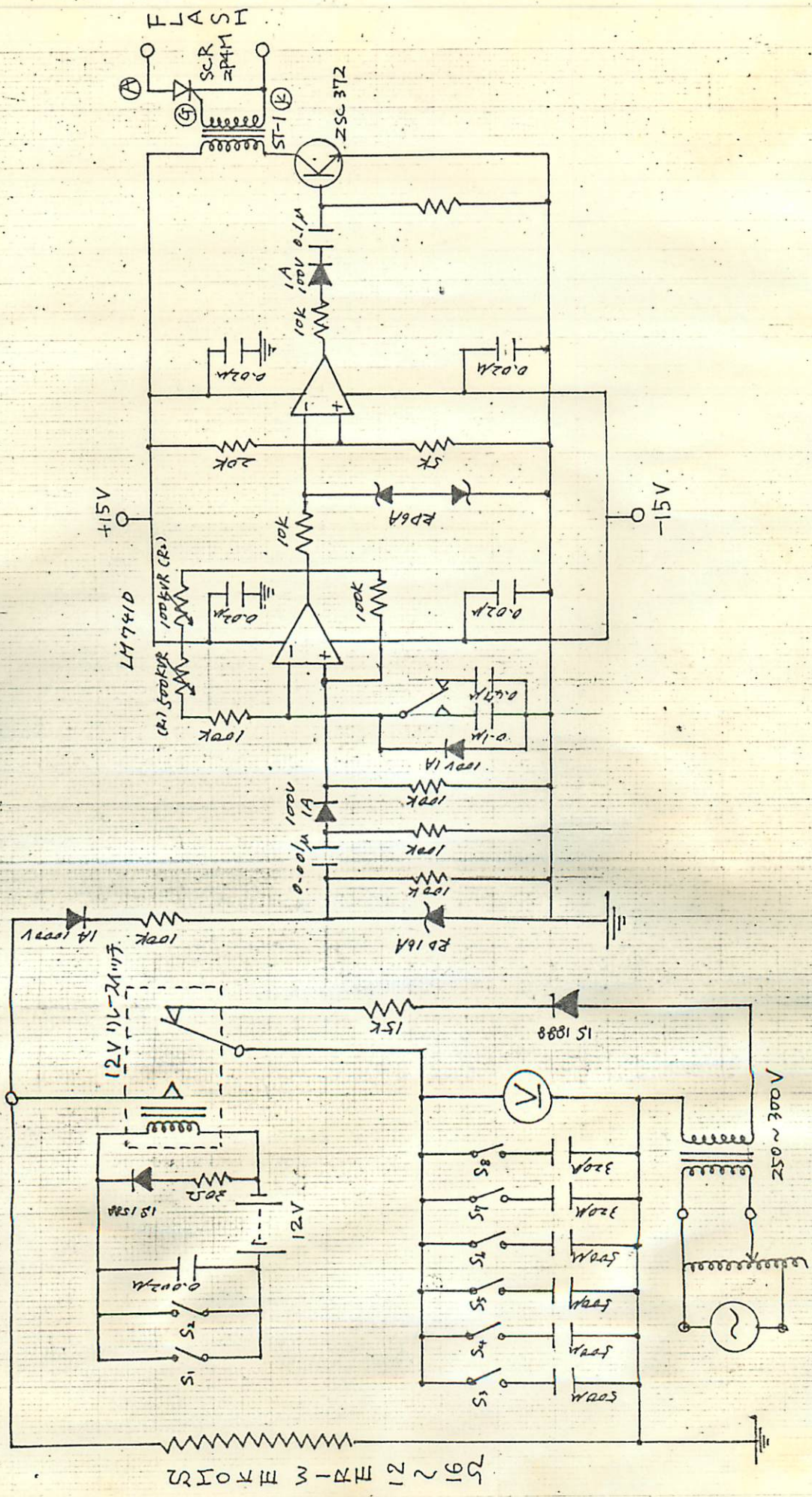


图 3-6 SE-771A-回路图

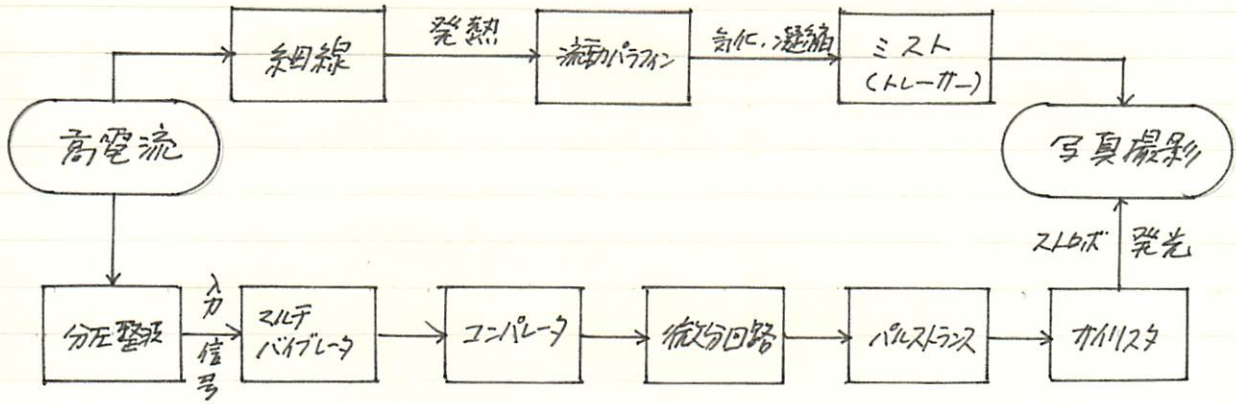


図 3-7 ブロック図

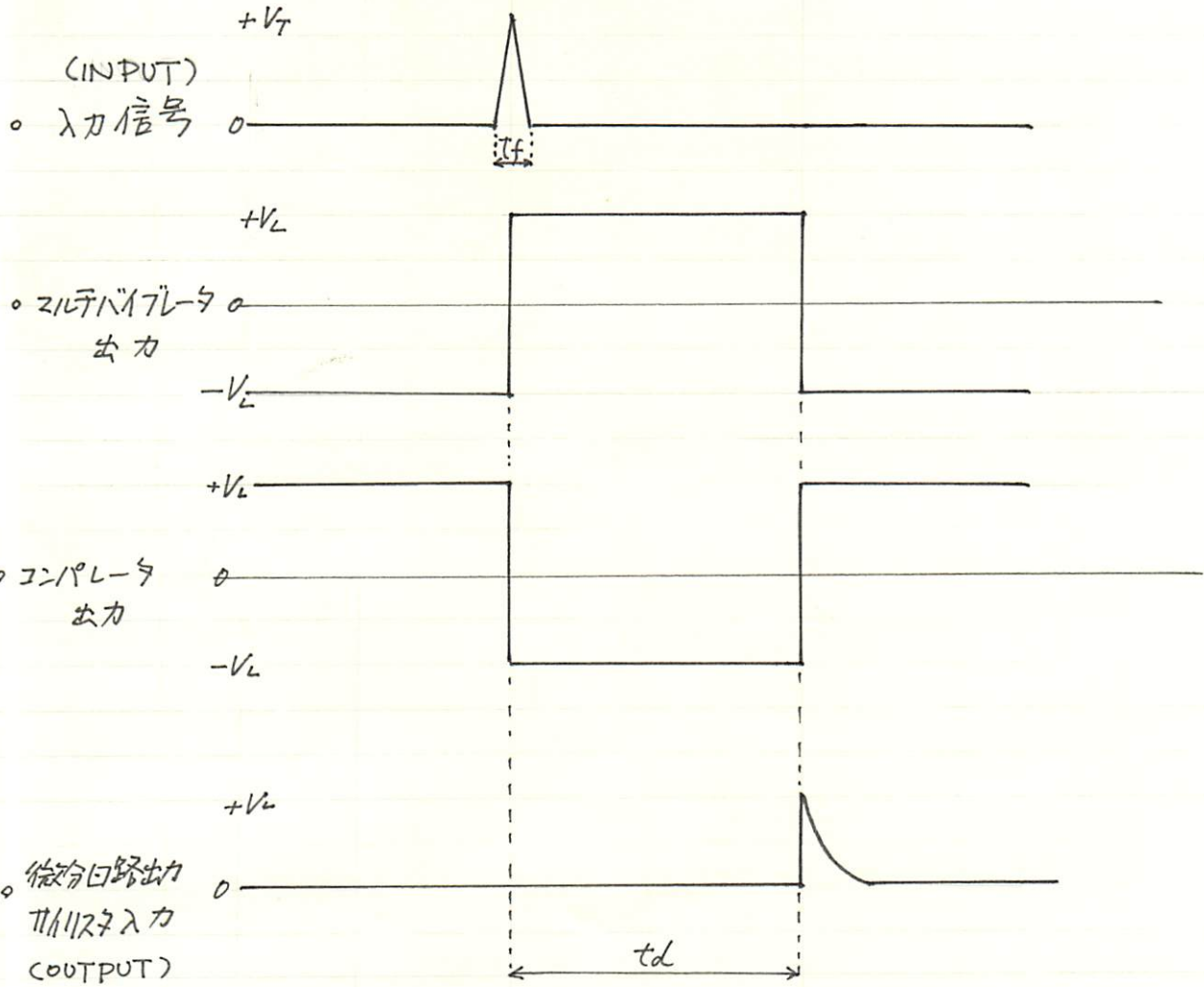


図 3-8 タイムチャート図

る。なお遅延時間 t_d の設定については、 $500\text{k}\Omega$ と $100\text{k}\Omega$ の可変抵抗と、 $1\mu\text{F}$ と $0.47\mu\text{F}$ のコンデンサにより 約 50msec から 575msec まで変えることができる。

の発光回路 — パルスランスタの1次側にはトランジスタの入カパルスがトリガされると電流が流れ二次側が励磁される。パルスランスタは遅延回路と発光回路を絶縁する役目があり、二次側が励磁されるとサイリスタのG、K間にはトリガパルスが入力されA、K間が短絡されてストロボが発光する。

この回路は気温変化 ($0^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$ 程度) に対しても安定に作動し、設定遅延時間の再現性を確かめて置く。

Ⅲ-5 実験条件の設定

実験条件についてはそのリストを表3-1に示す。流れに最も大きな影響を及ぼすであろうと予測される傾斜面の角度については $\alpha = 0^\circ$ (水平面) から 10.0° まで 2.5° ずつみで5条件設定し、それぞれの α について熱気流の流量と吐出し温度差を変えながら実験を行う。

表 3-1

| | 条件 | 記号 |
|------------------------|------------------------------|----|
| 傾斜面の角度 (α) | 0° | |
| | 2.5° | |
| | 5.0° | |
| | 7.5° | |
| | 10.0° | |
| 流量 (ファン回転数) | 600rpm | A |
| | 300rpm | B |
| | 150rpm | C |
| 吐出し 温度差 | 約 $20 \sim 40^\circ\text{C}$ | 1 |
| | 約 75°C | 2 |
| | 約 110°C | 3 |

流量については、予備実験の結果からファンの回転数 300 rpm の時最も理想的な速度および温度プロファイルを得たので、この 2 倍のファン回転数 600 rpm と $1/2$ 倍のファン回転数 150 rpm の 3 条件を設定した。

また温度条件については空調機および電熱線の加熱能力によってその条件が限定されるが、標準的な温度差として、空調機の温水温度を最大にしたり電熱線を用いた条件を設定した。しかしながらこの条件においては吹出し口温度が流量の大小により一定（な）ったため流量による流れの影響を比較する上で問題がある。そこで電熱線を用いて空調機の温水コイル側で微調整を行い吹出し口温度差を約 75°C に設定した。

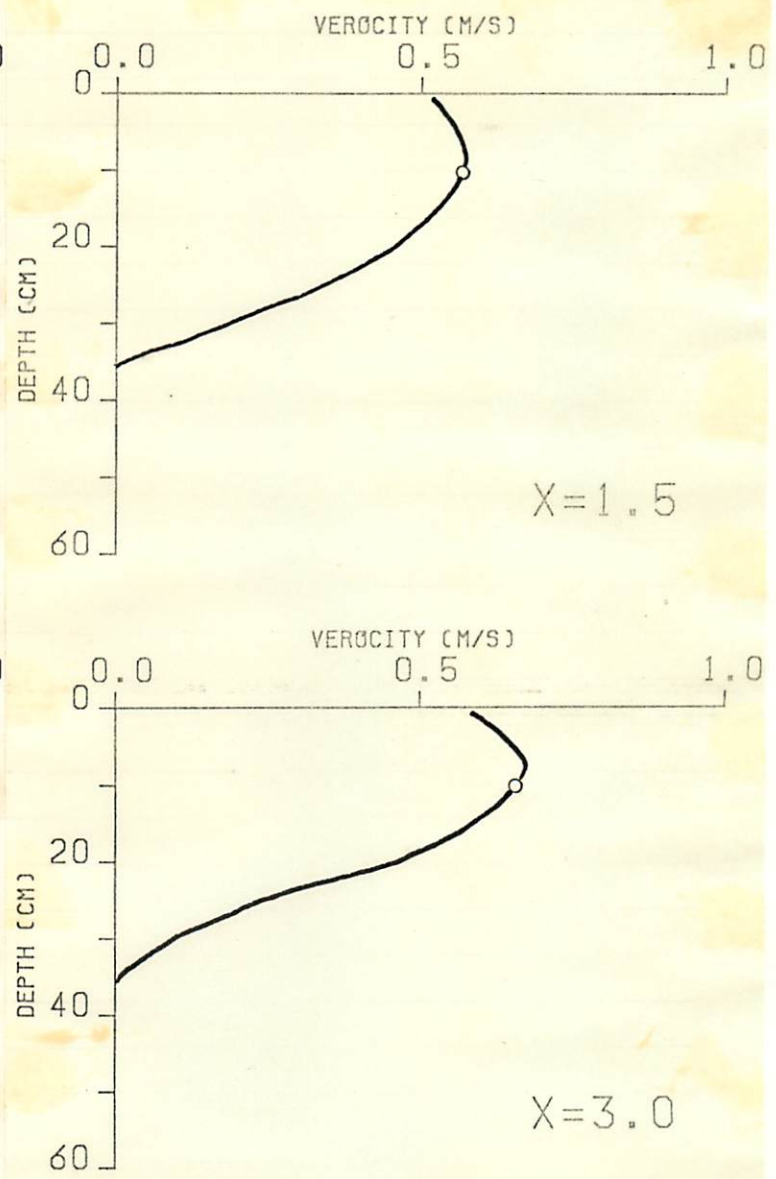
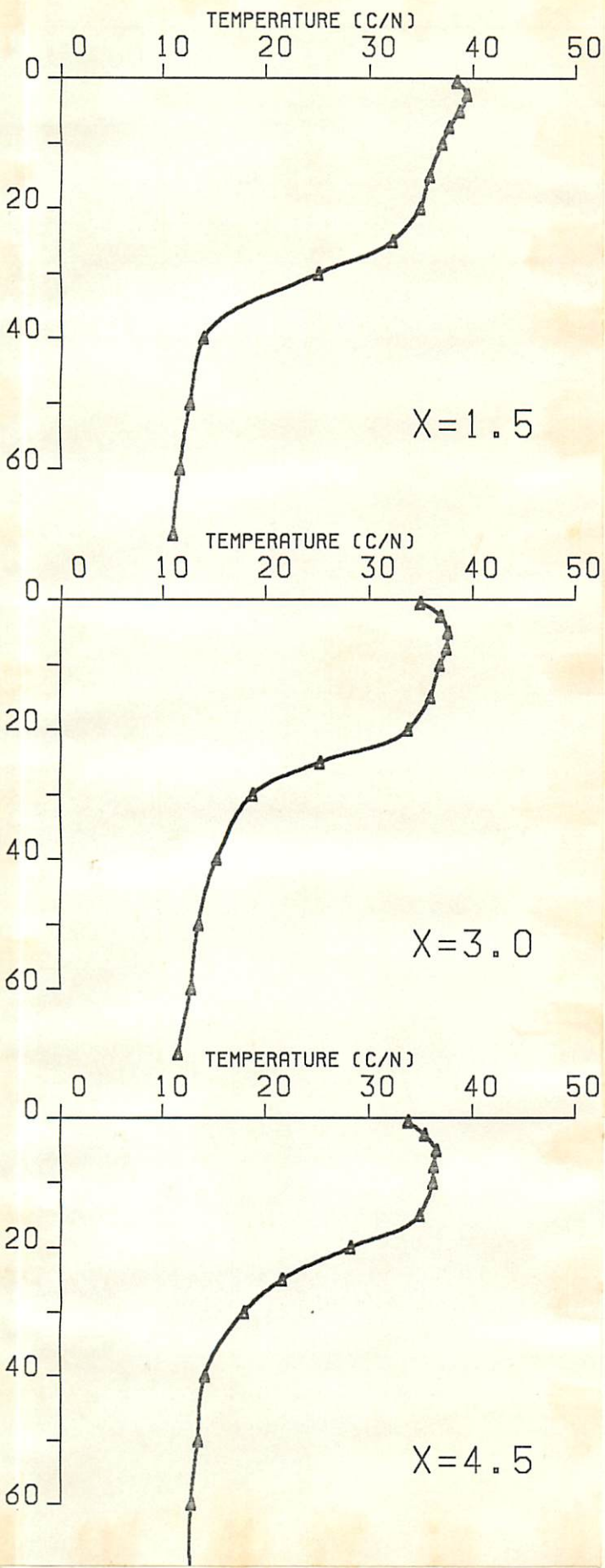
温度条件は各実験において基本的にこの 2 つであるが、例外的に $\alpha = 10.0^{\circ}$ でファンの回転数が 300 rpm において温度差を約 110°C としたものを加えた。

Ⅳ-6 実験結果

代表的な実験について得られた各プロファイルを図 3-9 (a)~(g) に示す。(その他の実験のプロファイルについては付録に示したので参照された) また、図 3-10 (a)~(f) に各条件の違いによる速度および温度プロファイルの相違を示す。傾斜面の角度が大きくなると、また温度差が大きくなると速度、温度ともに境界層の厚さは小さくなり、それぞれの最大値は大きくなる値となりプロファイルは押しつぶされた

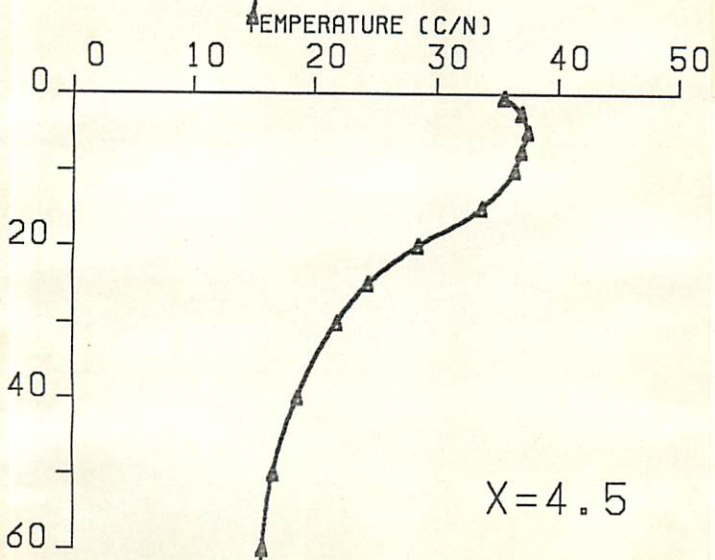
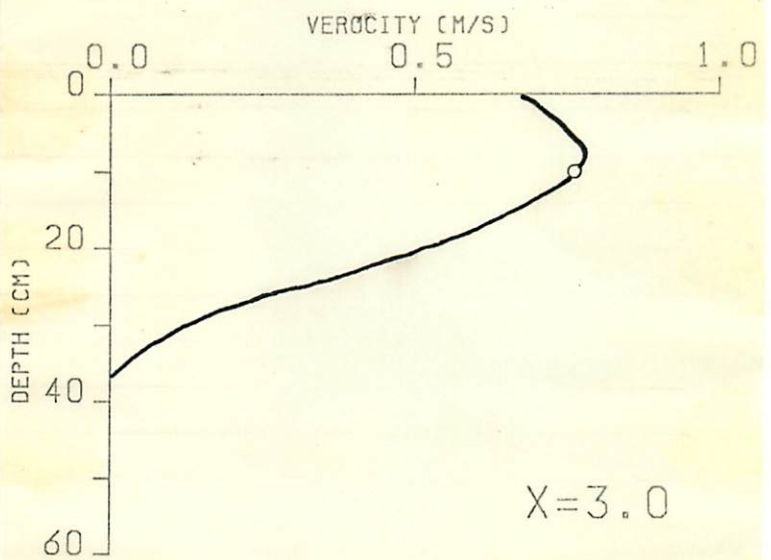
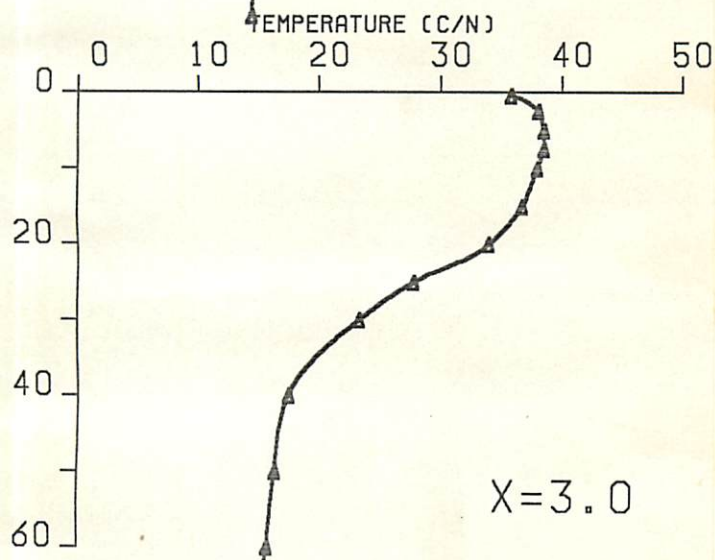
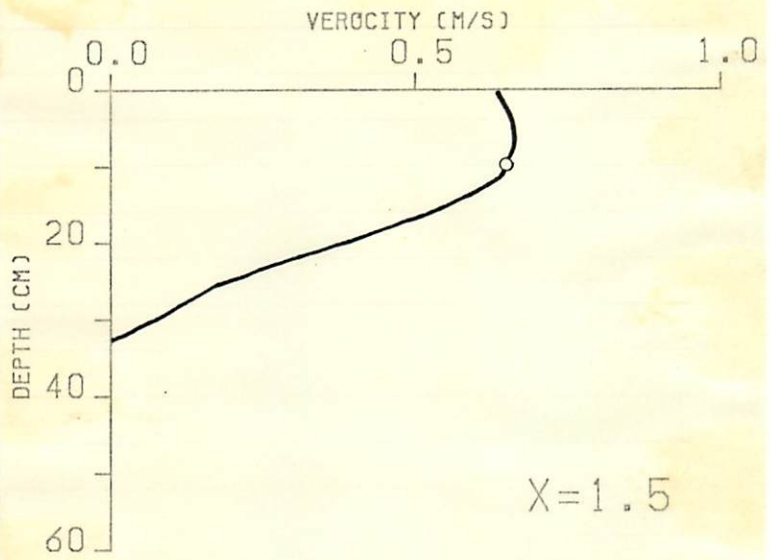
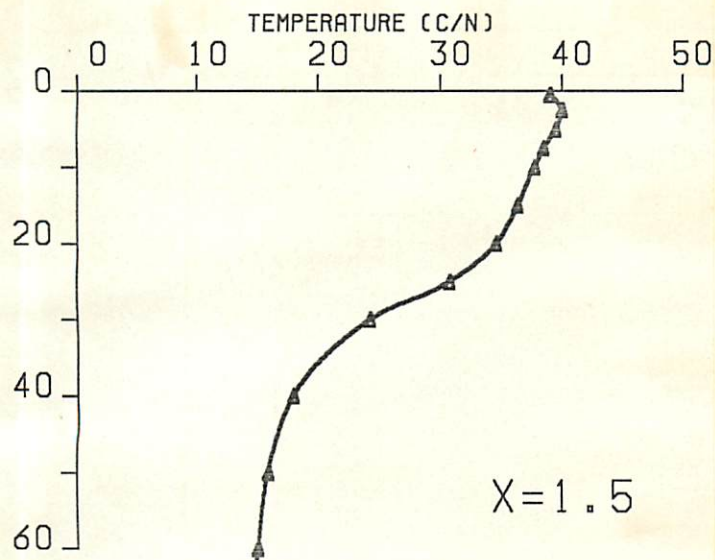
ような形状を示す。また表3-2に各実験の代表的な実験値を示す。

また3-11図に $\alpha = 0^\circ$ において等温気流を吹き出した場合の速度プロファイルを示す。 $x = 3.0\text{m}$ においてはほぼ全断面に同一風速であり管状路的な流れであるが、 $x = 1.5\text{m}$ においては2層流的なプロファイルを示しており、吹出し口での慣性力の影響が残っているものと考えられる。



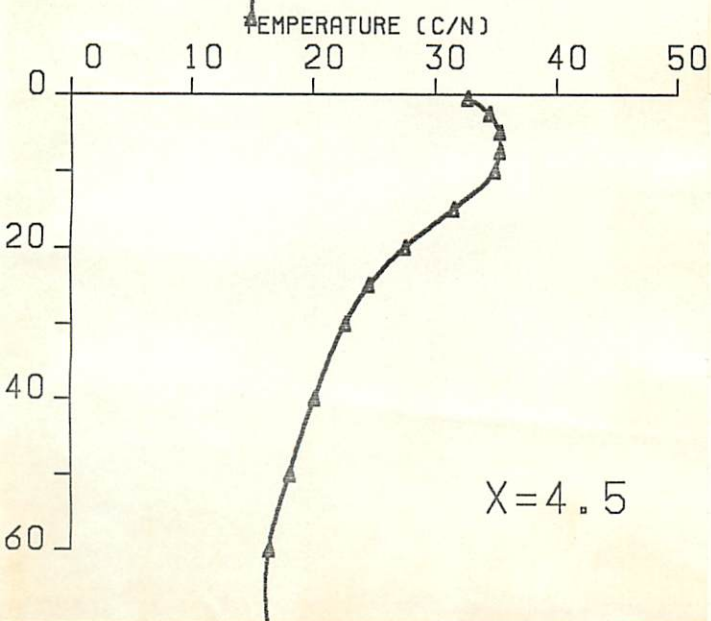
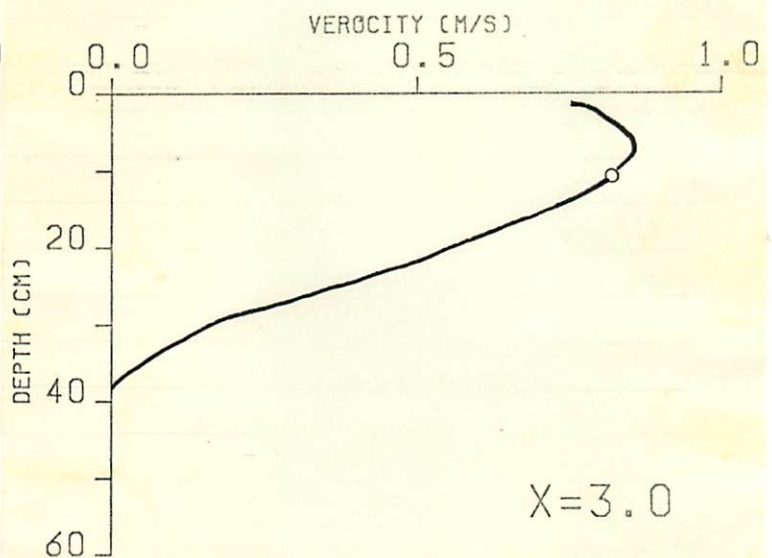
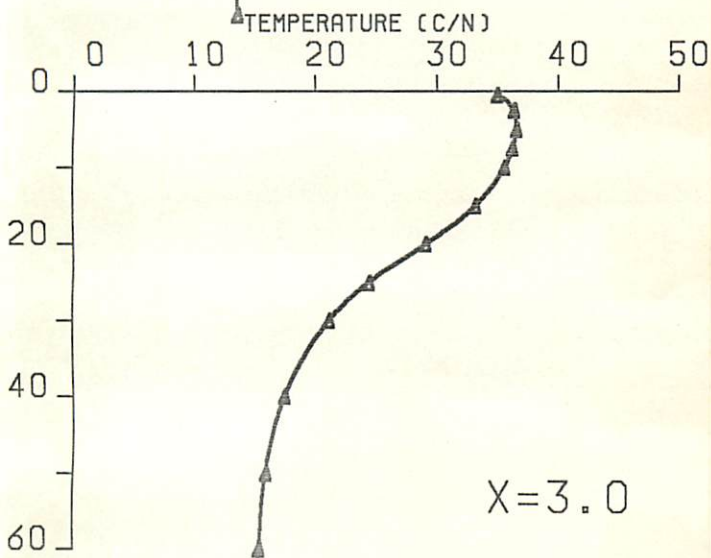
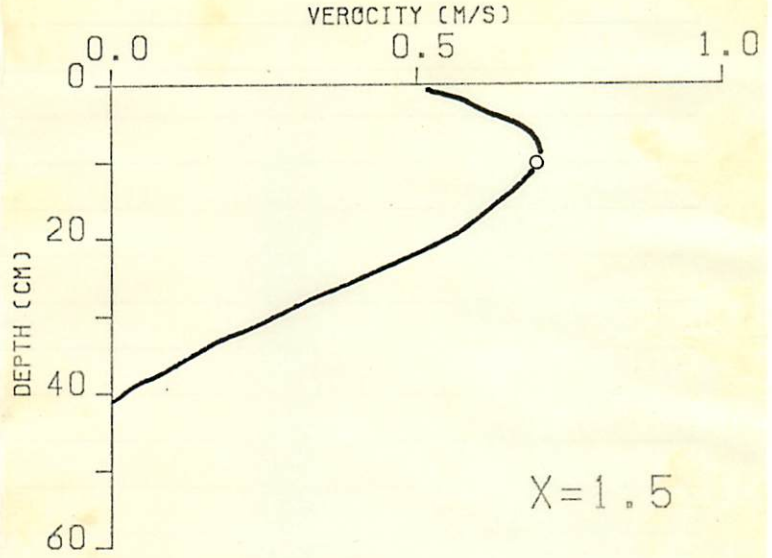
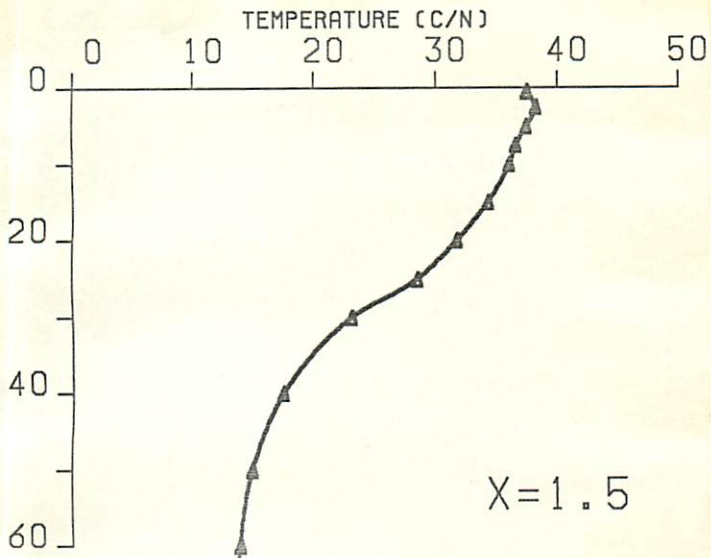
EXP. 2.5-B-2

图 3-9 (a)



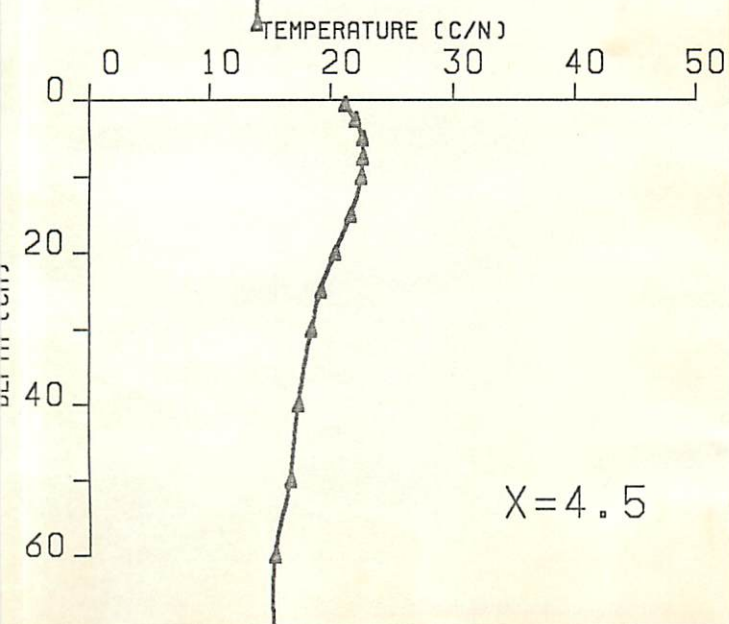
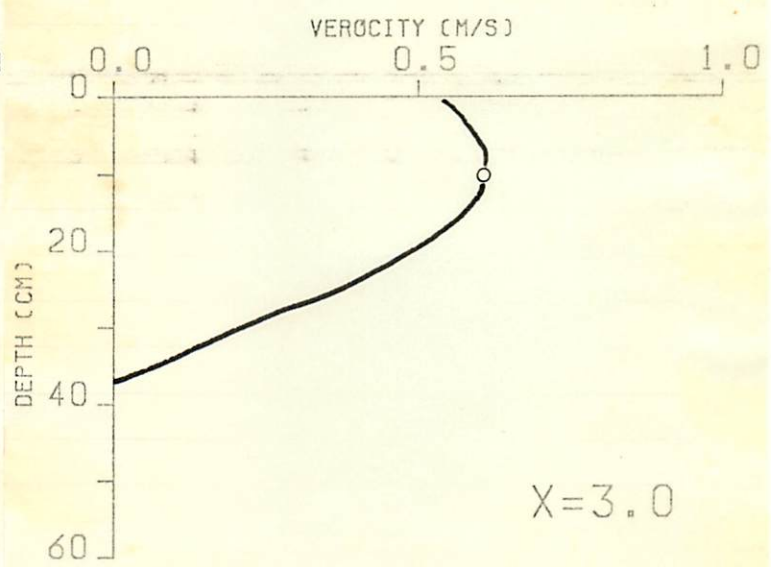
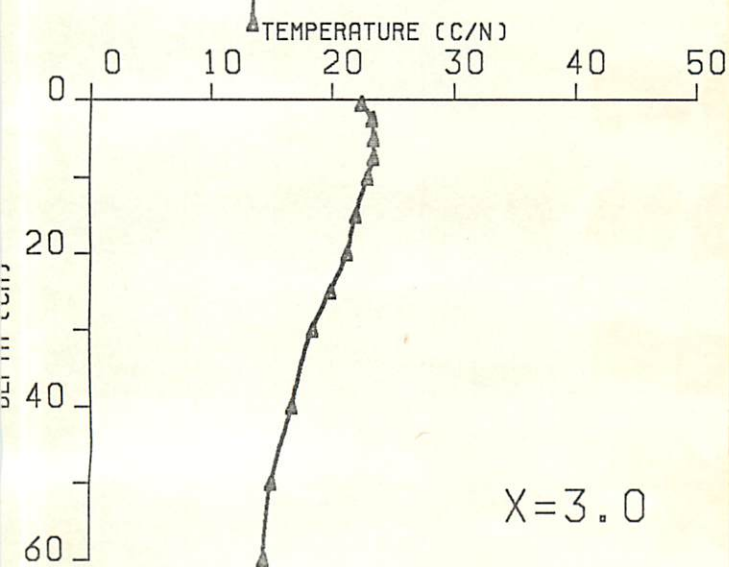
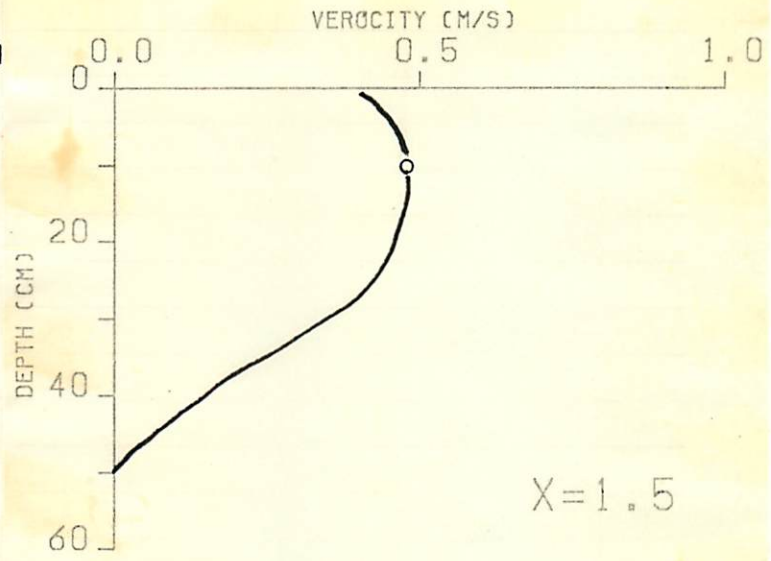
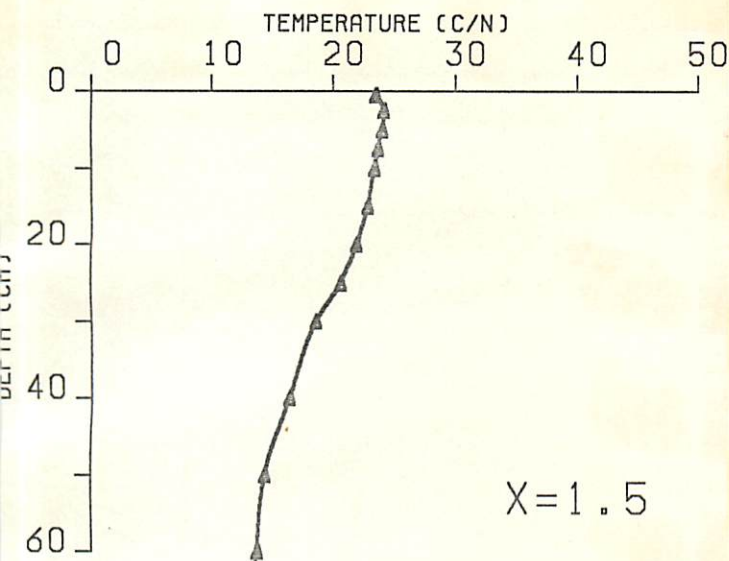
EXP. 5.0-B-21

图 3-9 (b)



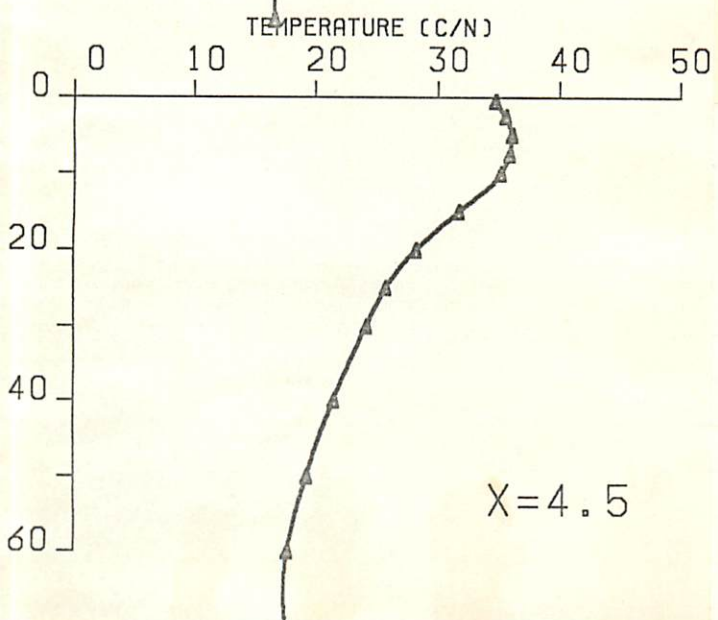
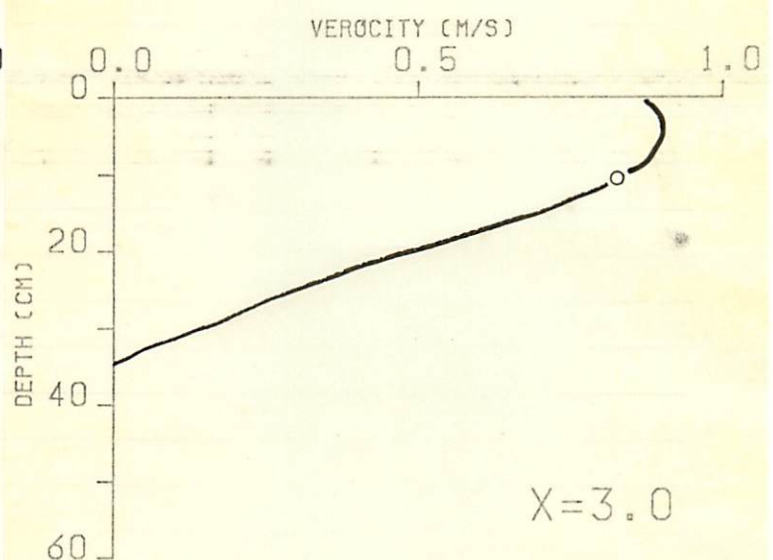
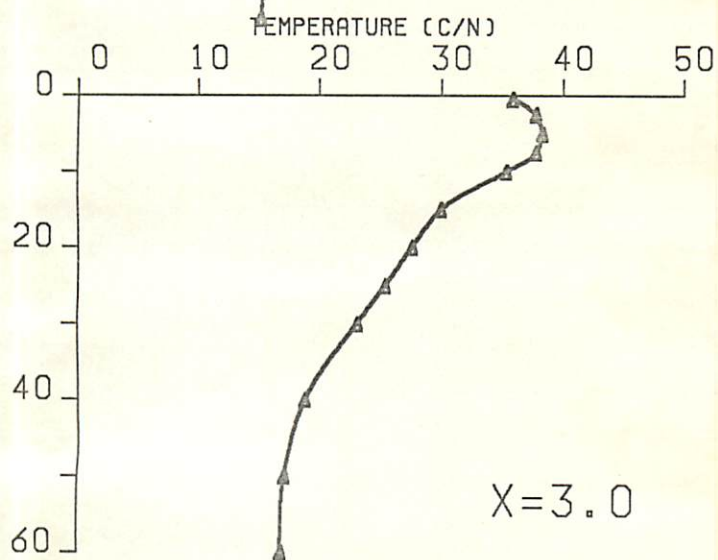
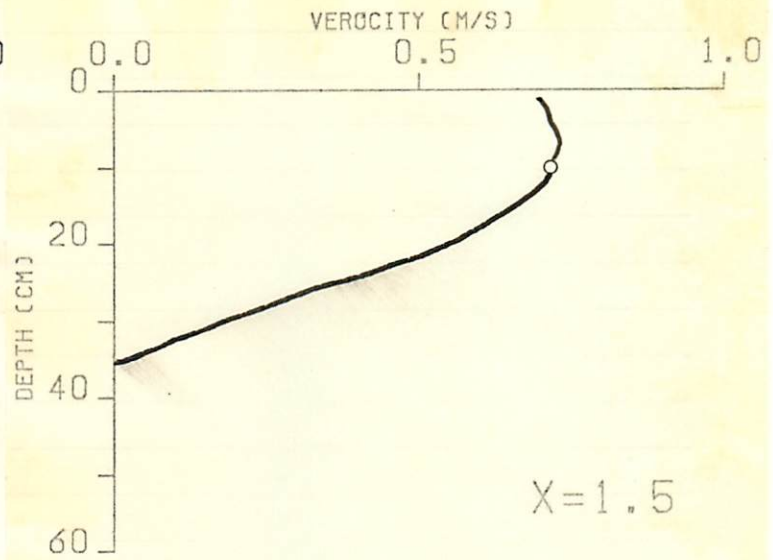
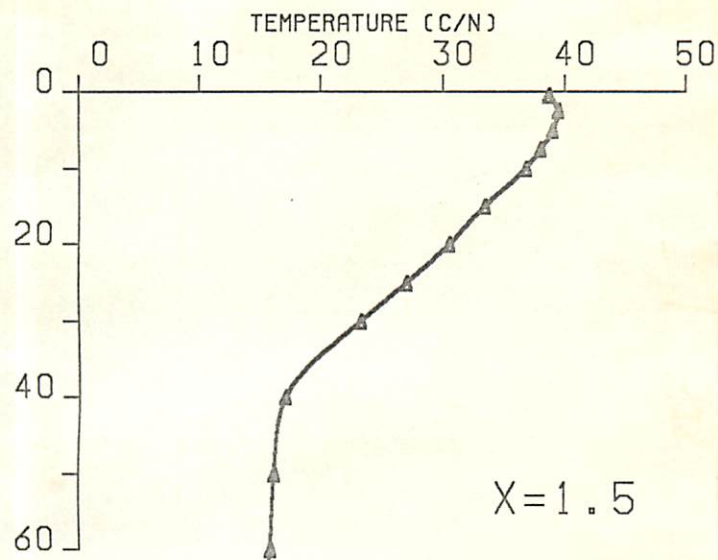
EXP. 7.5-B-2

3-9(c)



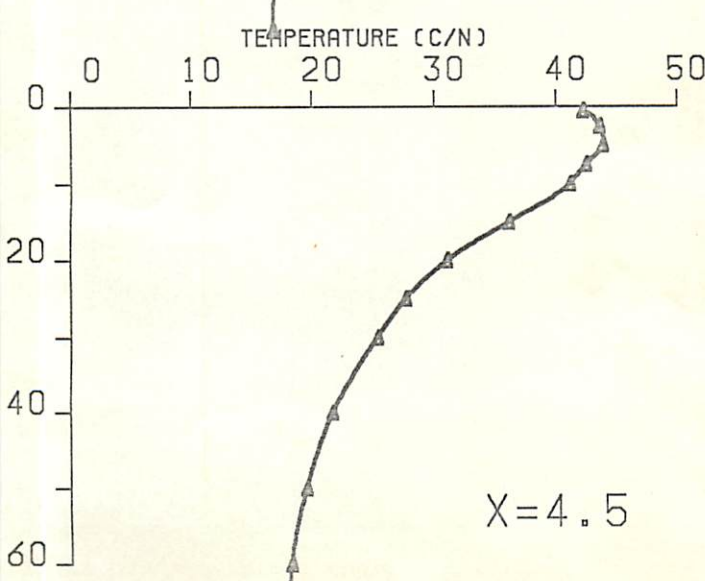
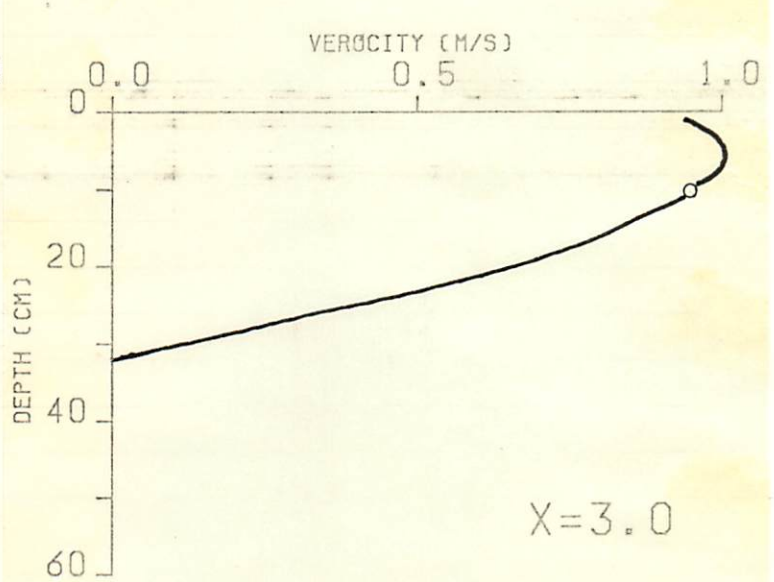
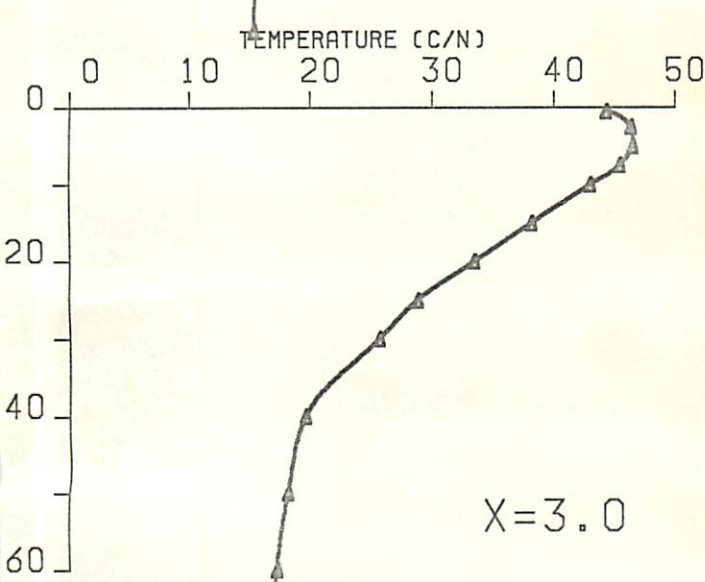
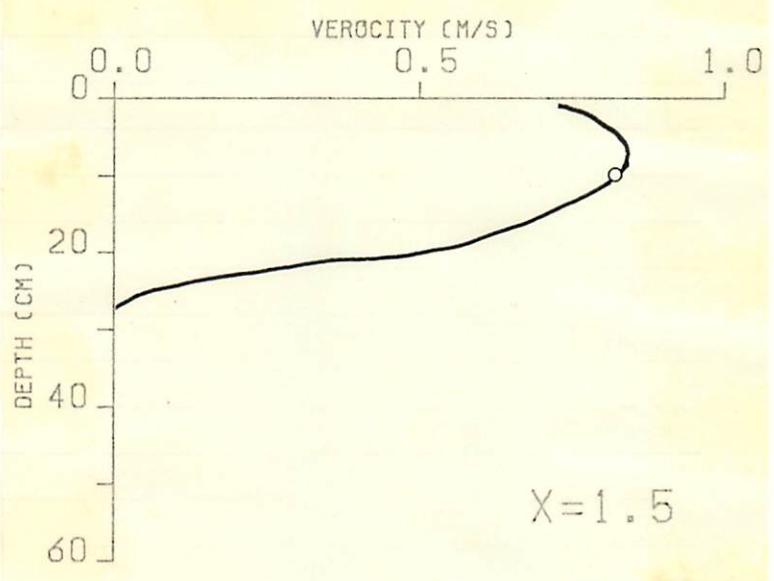
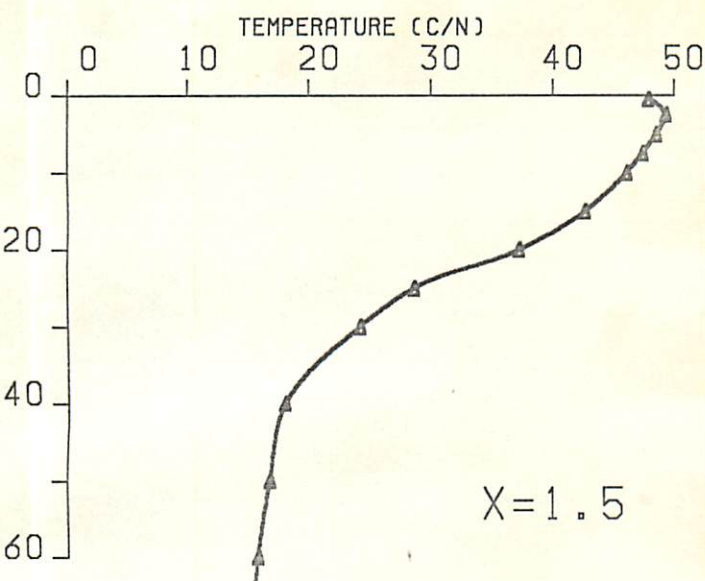
Exp. 10.0 - B - 1

图 3-9 (d)



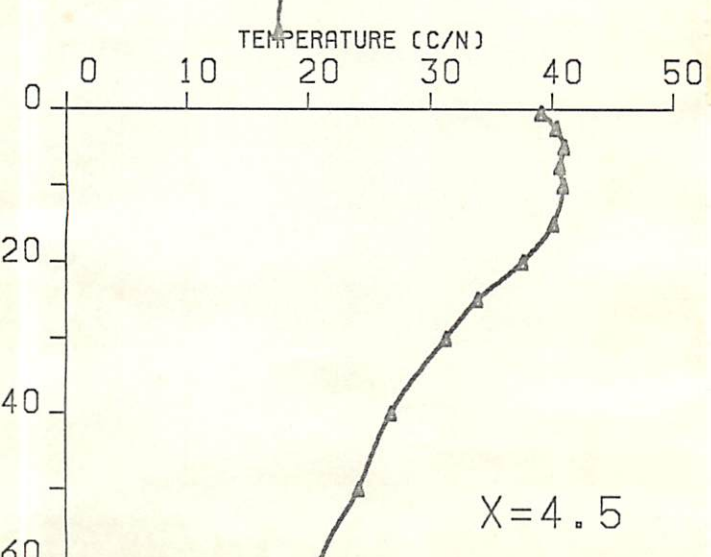
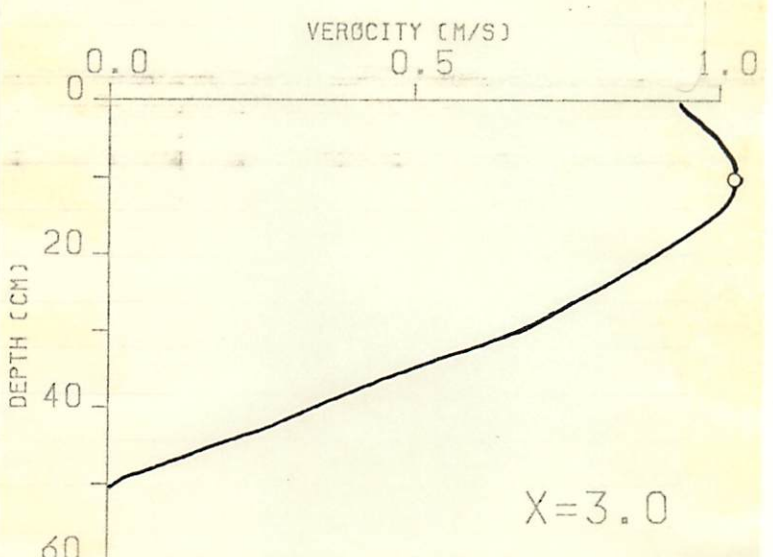
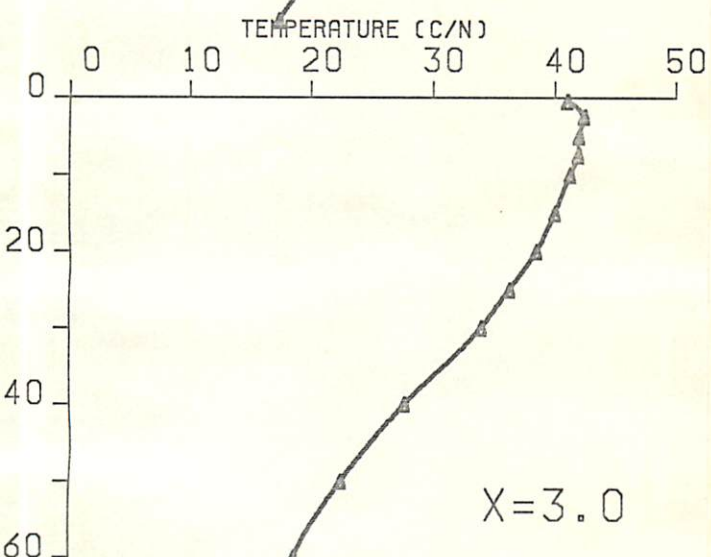
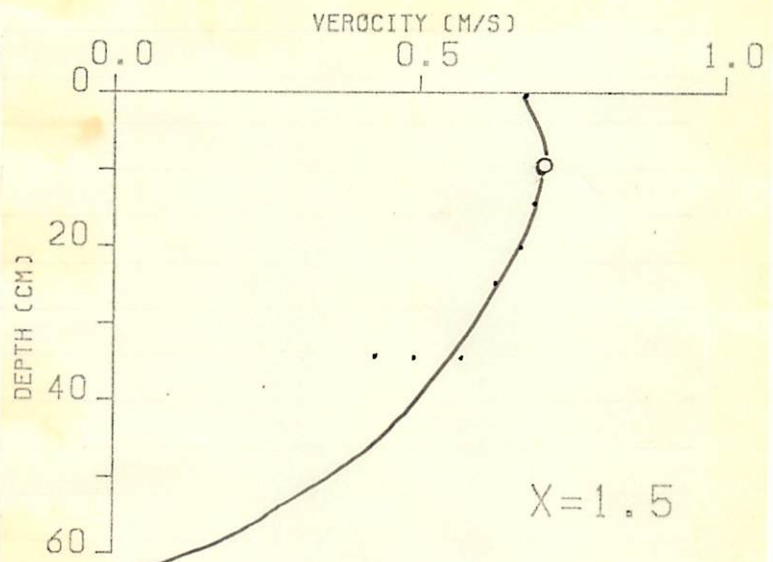
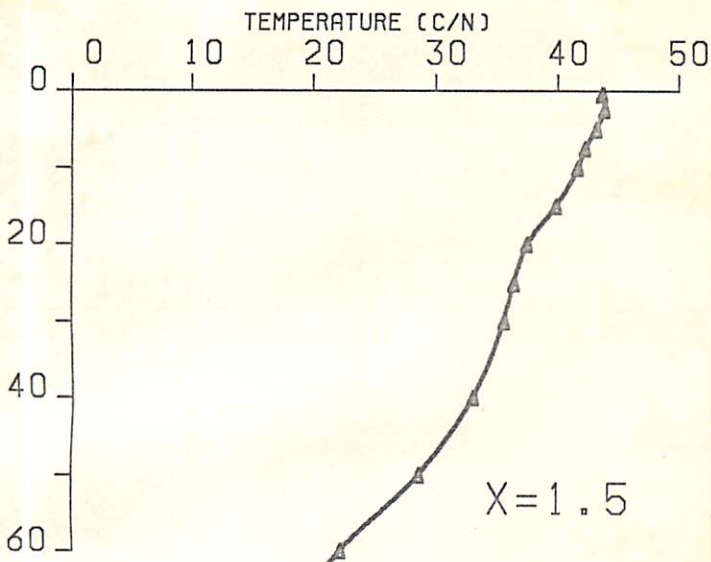
EXP. 10.0 - B - 2

图 3-9 (e)



EXP. 10.0 - B - 3

3-9 (f)



EXP. 10.0 - A - 2

图 3-9 (g)

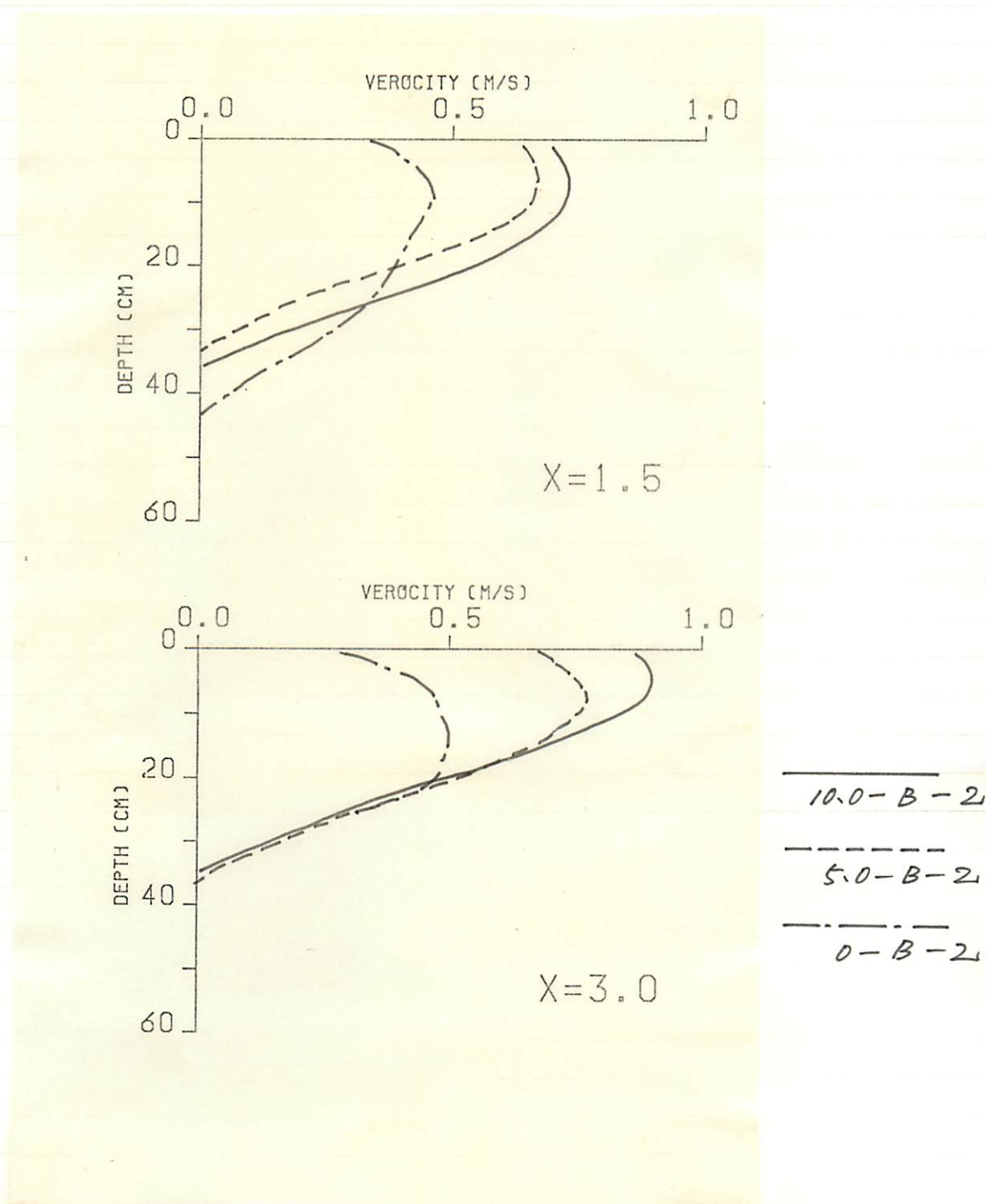


図 3-10(a)
傾斜面の角度の違いによる速度プロファイルの相違

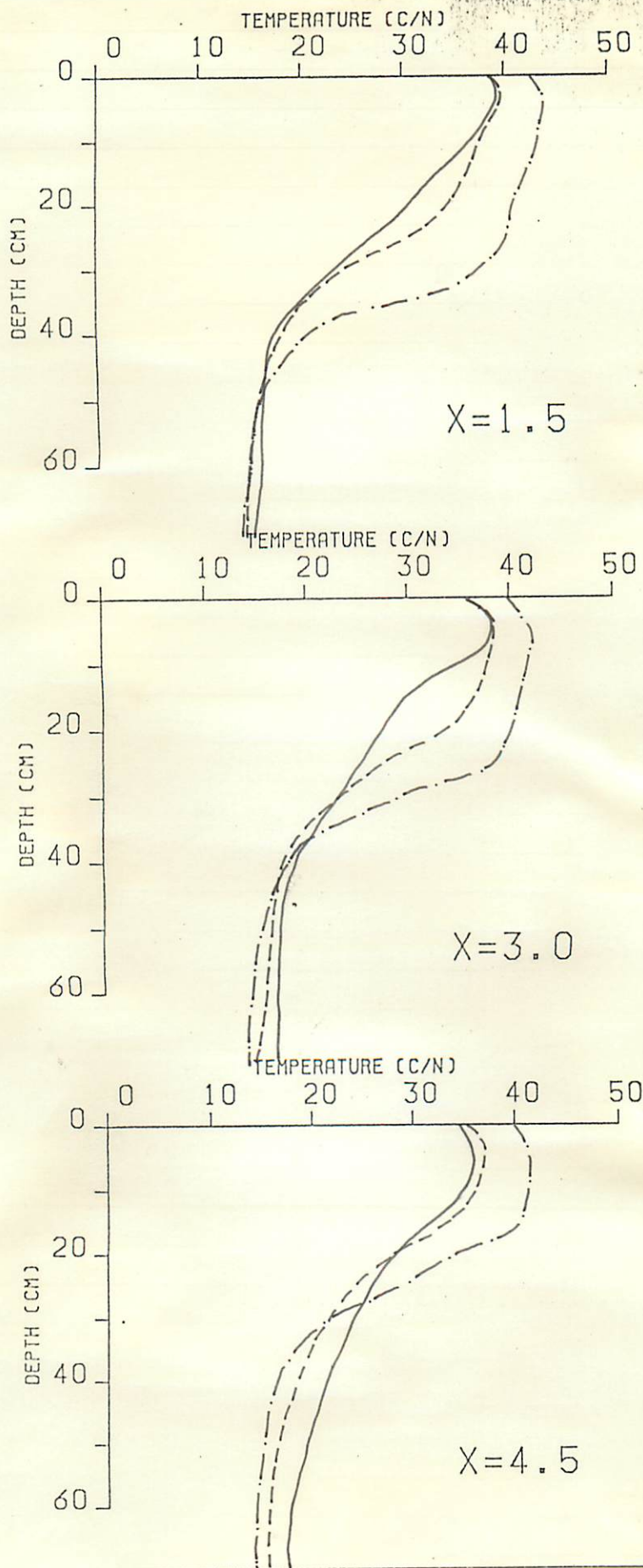
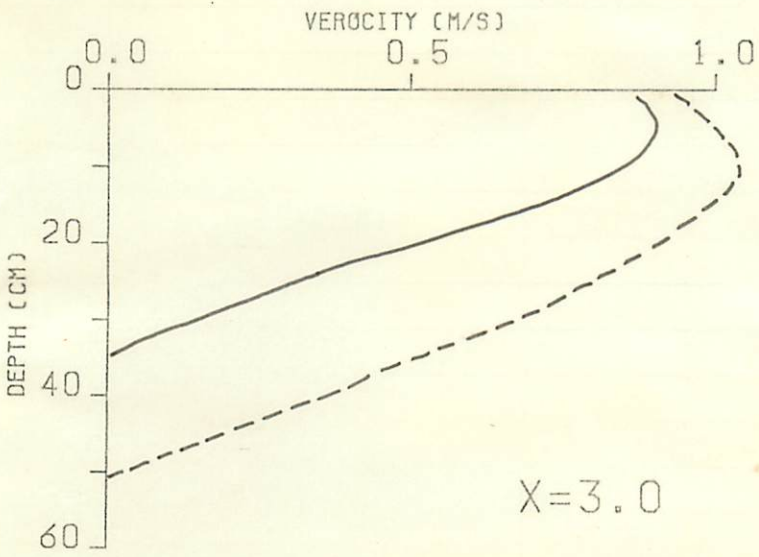
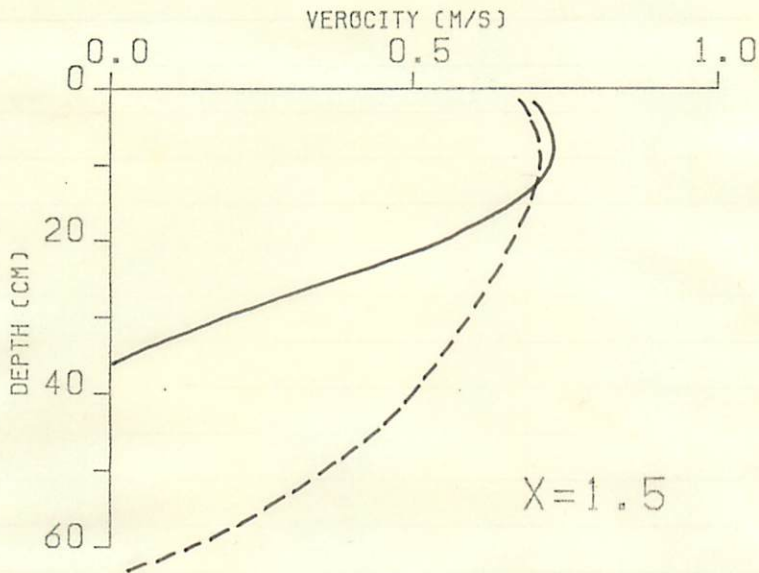


図3-10(b) 傾斜面の角度の差による温度プロファイルの相違



———
10.0-B-2

10.0-A-2

図 3-10(c)
流量の差による遅れと速度の相違

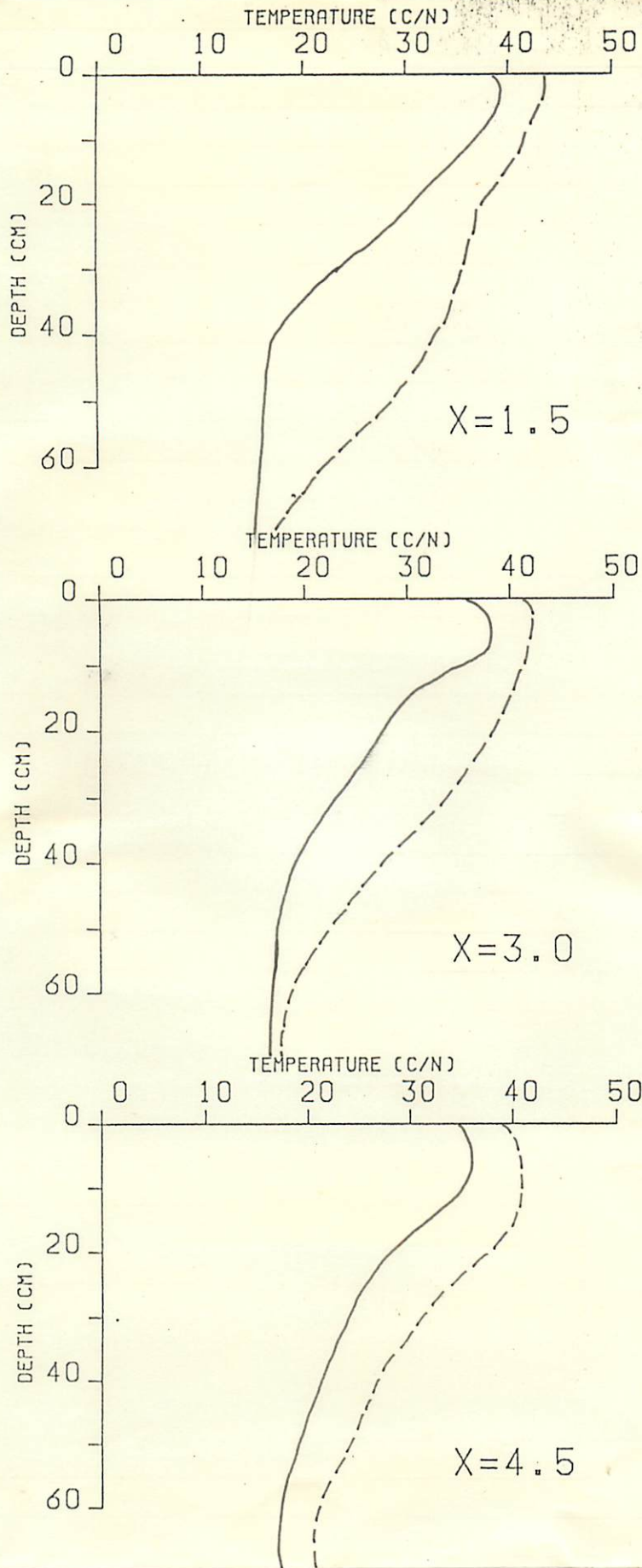
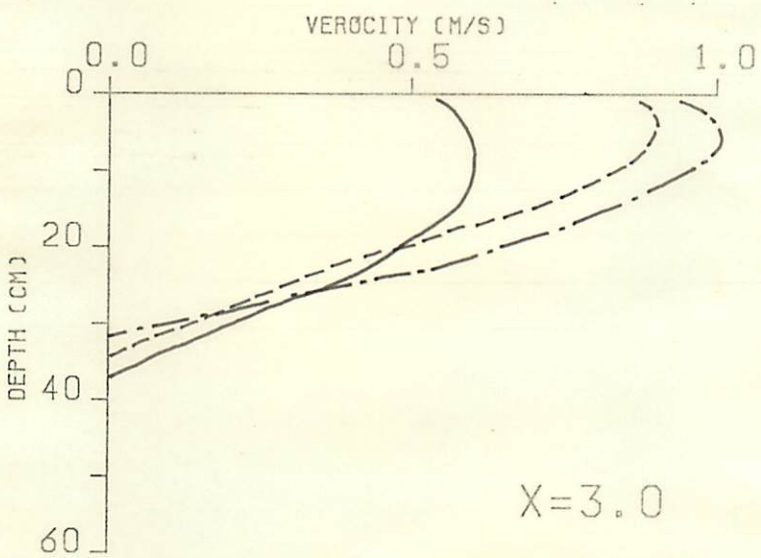
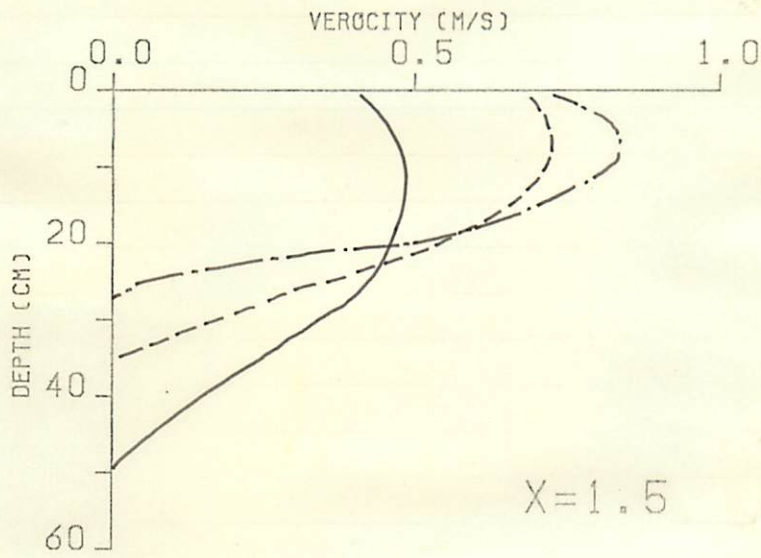


図3-10(d)の流量の差による温度プロファイルの相違



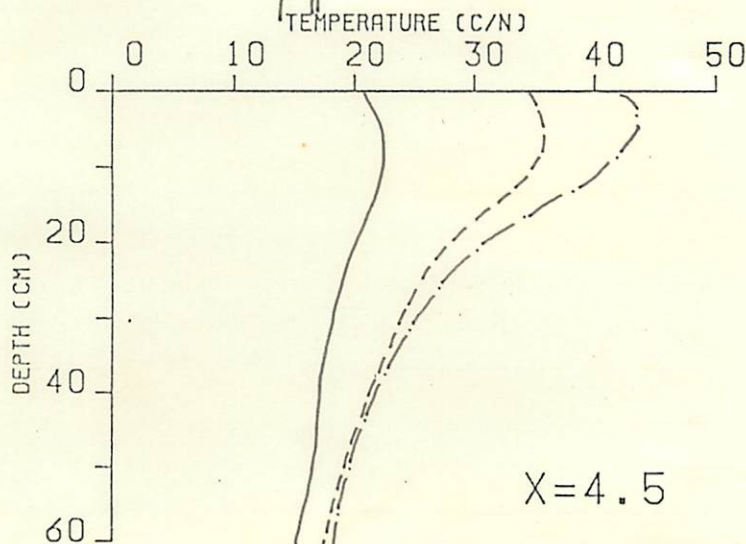
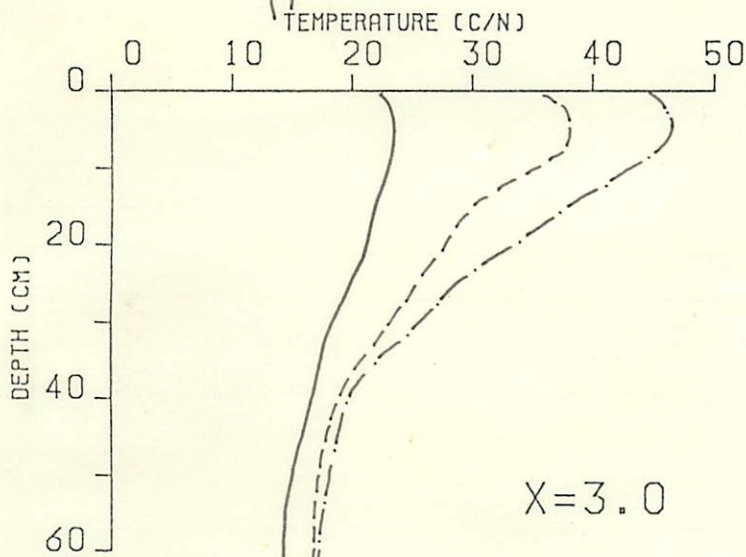
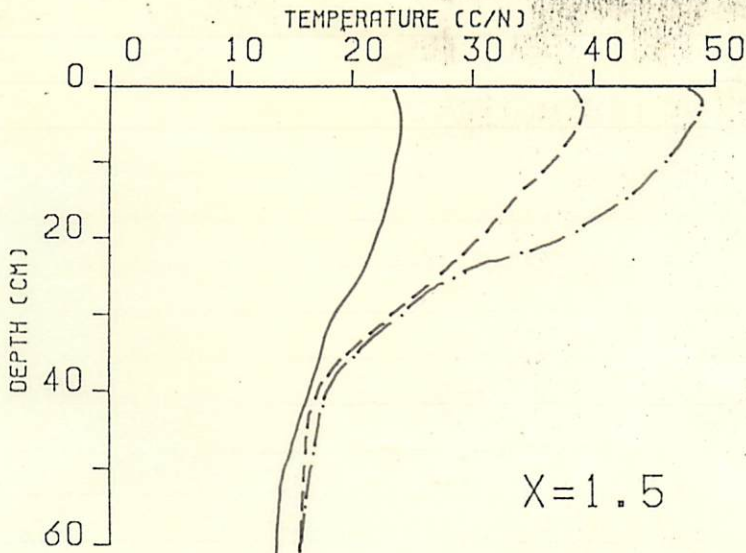
10.0-B-1

10.0-B-2

10.0-B-3

図 3-10 (c)

温度の差による速度プロファイルの相違



- 10.0-B-1
- - - 10.0-B-2
- · - 10.0-B-3

図3-10(f) 温度差の違ひによる温度の下降の相違

表 3-2 各实验=次の代表的实验值

| EXP.-NO. | X=1.5 | | | | X=3.0 | | | X=4.5 |
|----------|-------|------|------|------|-------|------|------|-------|
| | Tr | Umax | Ho | Tmax | Umax | Ho | Tmax | Tmax |
| 0.0-C-1 | 11.6 | 0.18 | 0.45 | 17.9 | 0.19 | 0.55 | 17.5 | 17.1 |
| B-1 | 11.7 | 0.31 | 0.48 | 25.7 | 0.33 | 0.38 | 24.9 | 24.4 |
| A-1 | 12.6 | 0.54 | 0.66 | 32.4 | 0.52 | 0.59 | 30.6 | 30.4 |
| A-2 | 13.6 | 0.65 | 0.60 | 48.6 | 0.70 | 0.60 | 46.4 | 45.9 |
| B-2 | 13.0 | 0.45 | 0.43 | 43.9 | 0.50 | 0.36 | 42.3 | 41.6 |
| 2.5-C-1 | 9.2 | 0.25 | 0.35 | 16.0 | 0.27 | 0.38 | 15.2 | 14.9 |
| B-1 | 9.3 | 0.39 | 0.45 | 22.9 | 0.46 | 0.37 | 21.8 | 21.3 |
| A-1 | 10.1 | 0.61 | 0.66 | 30.1 | 0.67 | 0.65 | 27.8 | 27.5 |
| A-2 | 10.5 | 0.69 | 0.57 | 45.5 | 0.88 | 0.58 | 42.6 | 42.2 |
| B-2 | 10.1 | 0.57 | 0.35 | 39.4 | 0.67 | 0.35 | 37.6 | 36.4 |
| 5.0-C-1 | 14.0 | 0.28 | 0.28 | 21.5 | 0.35 | 0.30 | 20.9 | 20.4 |
| B-1 | 14.7 | 0.39 | 0.37 | 27.3 | 0.49 | 0.40 | 26.4 | 26.0 |
| A-1 | 13.7 | 0.58 | 0.65 | 32.4 | 0.71 | 0.68 | 30.8 | 30.8 |
| A-2 | 12.9 | 0.77 | 0.60 | 40.0 | 0.96 | 0.60 | 38.8 | 37.5 |
| B-2 | 12.7 | 0.66 | 0.32 | 40.0 | 0.78 | 0.37 | 38.5 | 37.4 |
| 7.5-C-1 | 13.9 | 0.32 | 0.28 | 20.7 | 0.37 | 0.32 | 20.2 | 19.6 |
| B-1 | 13.3 | 0.50 | 0.40 | 26.4 | 0.56 | 0.44 | 25.5 | 24.9 |
| A-1 | 13.4 | 0.65 | 0.65 | 31.9 | 0.76 | 0.61 | 30.2 | 30.3 |
| A-2 | 13.5 | 0.79 | 0.55 | 46.3 | 1.03 | 0.58 | 43.6 | 42.9 |
| B-2 | 12.7 | 0.70 | 0.41 | 38.2 | 0.86 | 0.38 | 36.5 | 35.3 |
| 10.0-C-1 | 12.2 | 0.35 | 0.29 | 18.8 | 0.34 | 0.27 | 17.9 | 17.2 |
| B-1 | 12.3 | 0.48 | 0.49 | 24.1 | 0.60 | 0.37 | 23.4 | 22.6 |
| A-1 | 13.4 | 0.59 | 0.64 | 30.5 | 0.78 | 0.55 | 28.7 | 28.5 |
| A-2 | 13.3 | 0.72 | 0.60 | 43.8 | 1.04 | 0.51 | 42.3 | 41.0 |
| B-2 | 13.0 | 0.72 | 0.35 | 39.5 | 0.90 | 0.34 | 38.3 | 36.1 |
| B-3 | 13.5 | 0.84 | 0.27 | 49.3 | 1.02 | 0.32 | 46.4 | 43.9 |

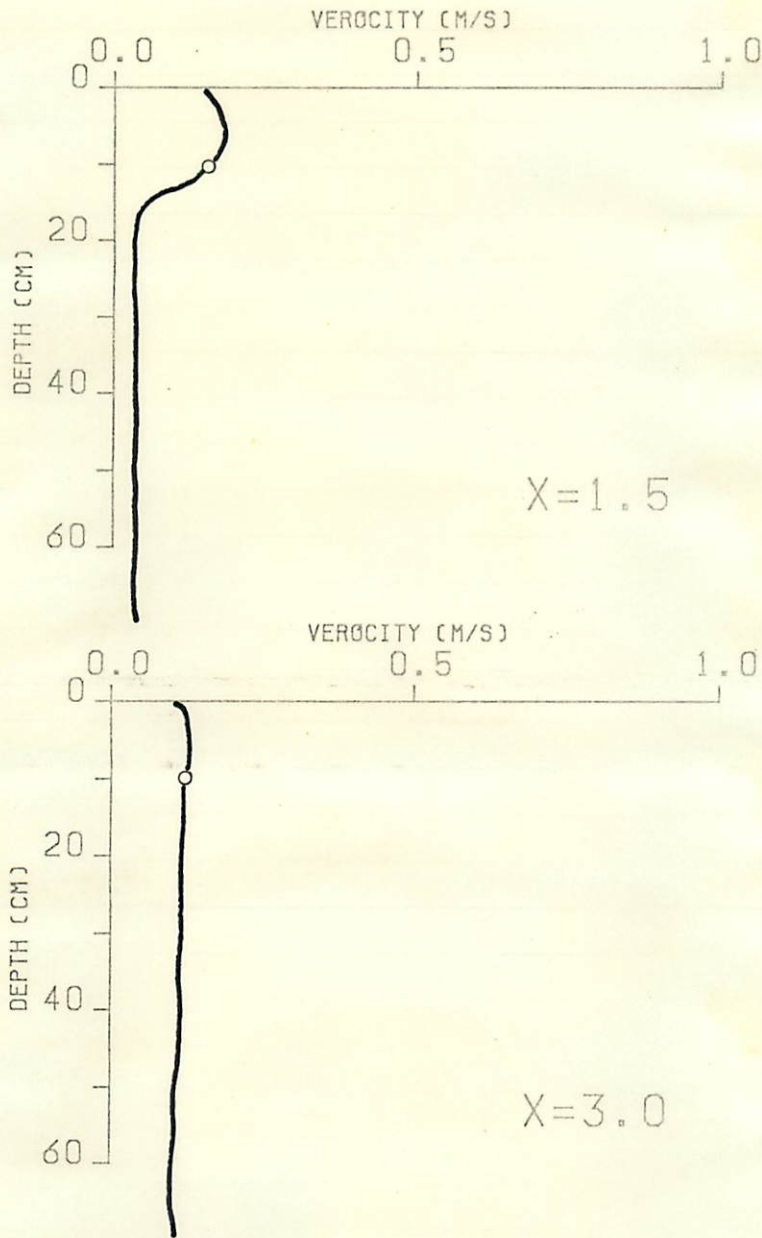


图 3-11 等温气流を吹出L_T時の速度プロファイル ($\alpha = 0^\circ$)

第IV章 傾斜面に沿う煙流動の理論的解析

IV-1 密度流としての煙の性質

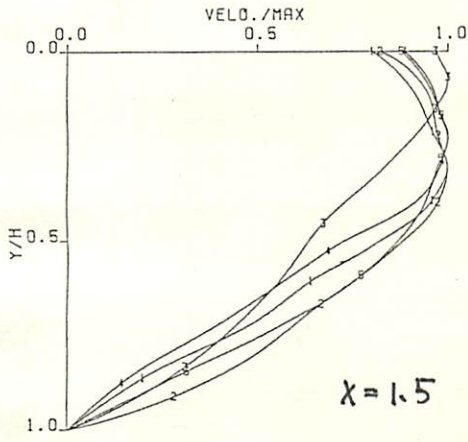
密度流が研究されている分野は主に気象と水理であり、気象では寒気前線の動きなど大規模な大気運行に関するものが多く、J. E. Simpson⁽⁴⁻¹⁾の大気密度流に関する研究などが興味深い。煙に対して密度流の考え方を適用した研究はほどんど見当たらない。本当においては辻本が示した煙と密度流とみなした手法を用いて理論的解析を行おう。

第II章で述べた実験における速度および温度プロファイルは、温度プロファイルは周囲空気との温度差プロファイルという形にし、各々それぞれの点における最大値と気流厚 δ （傾斜面から x 軸方向速度 $u=0$ の点までの距離）によ、無次元化すると、それぞれ図4-1(a), (b)に示すようになり、 u_{max} , ΔT_{max} の範囲で流れ方向にプロファイルが保存されるべきがわかる。またそれぞれの傾斜面において、流れに保存されるプロファイルはそれぞれどの相違を見せない。さらに、無次元した速度プロファイルと温度差プロファイルと比較すると速度の境界層に比べて熱の境界層の厚さが太いことがわかる。

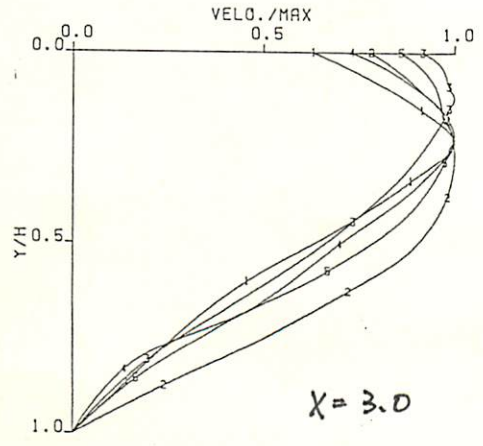
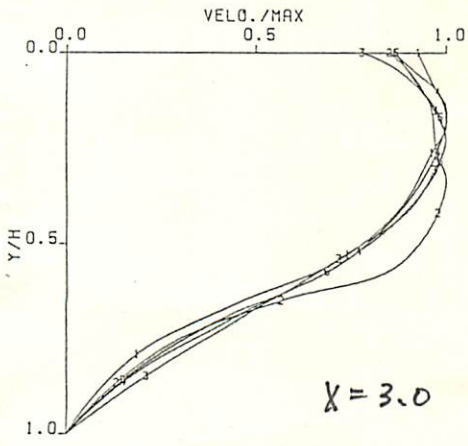
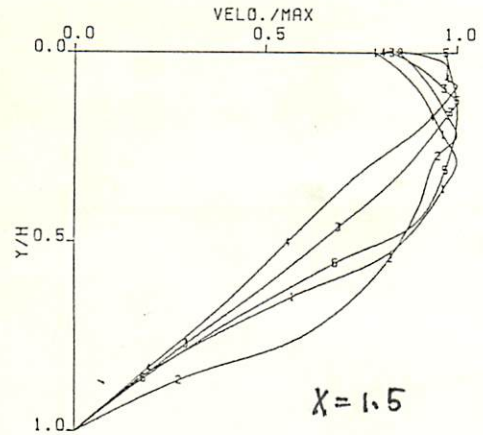
このようなことから $y \rightarrow \infty$ においては $\Delta T=0$ つまり $\rho=\rho_\infty$ とし、

図4-2に示す速度および温度差のプロファイルがすべての傾斜面において流れ全体に保存されるものと仮定して以後の解析を行うことにする。

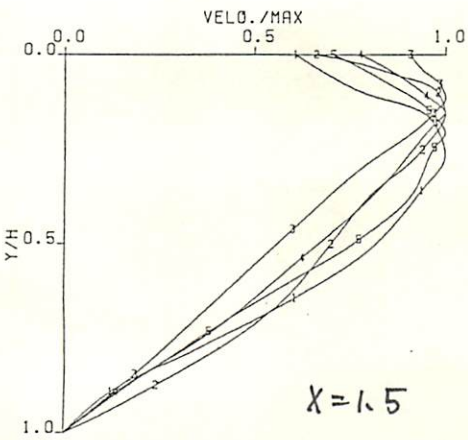
$\alpha = 2.5^\circ$



$\alpha = 5.0^\circ$



$\alpha = 7.5^\circ$



$\alpha = 10.0^\circ$

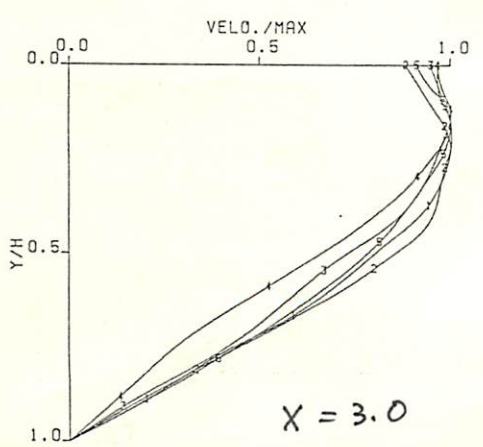
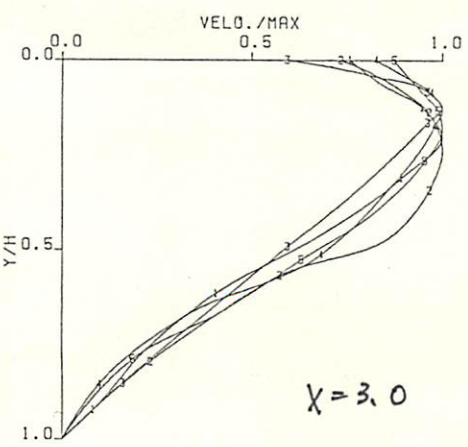
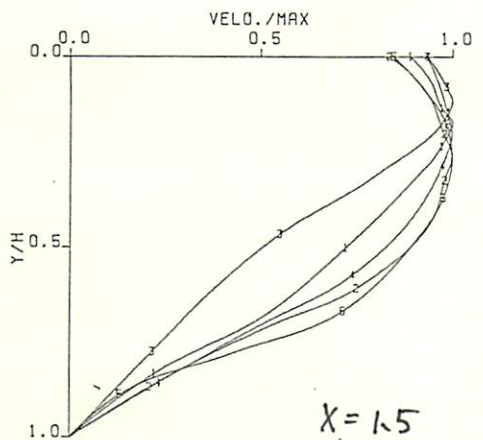
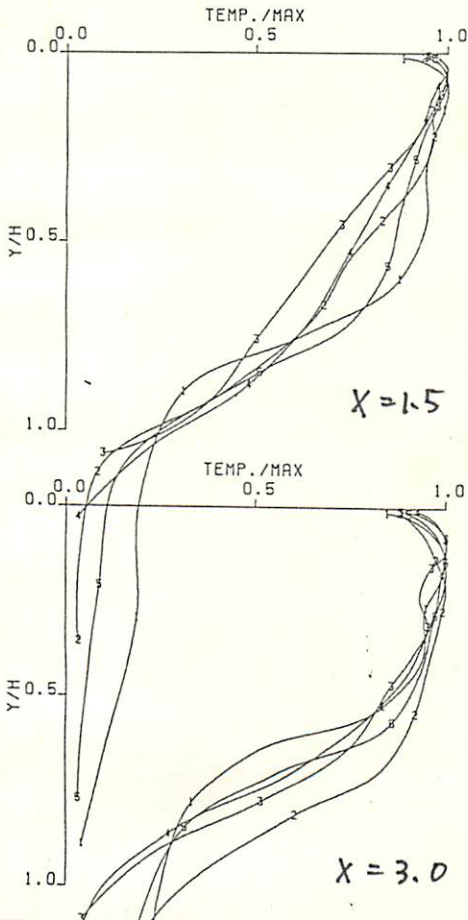
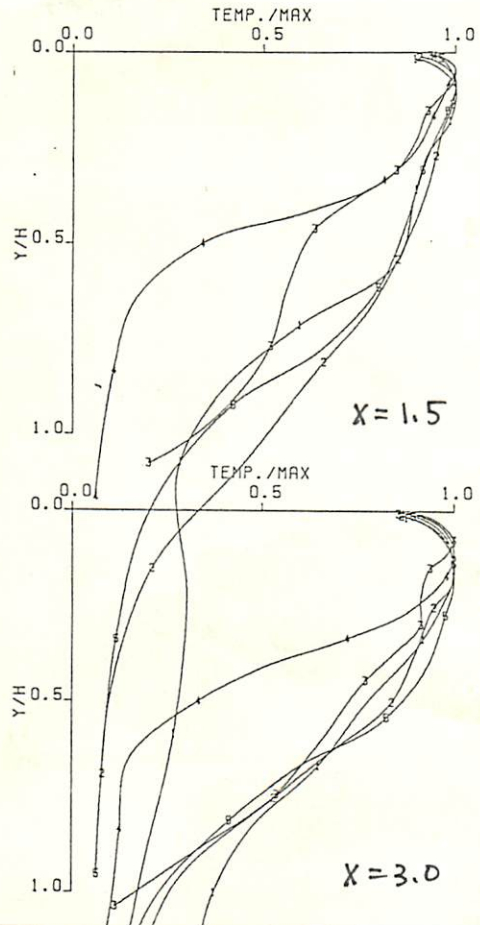


図 4-1(a) 無次元化CLT=速度プロファイル

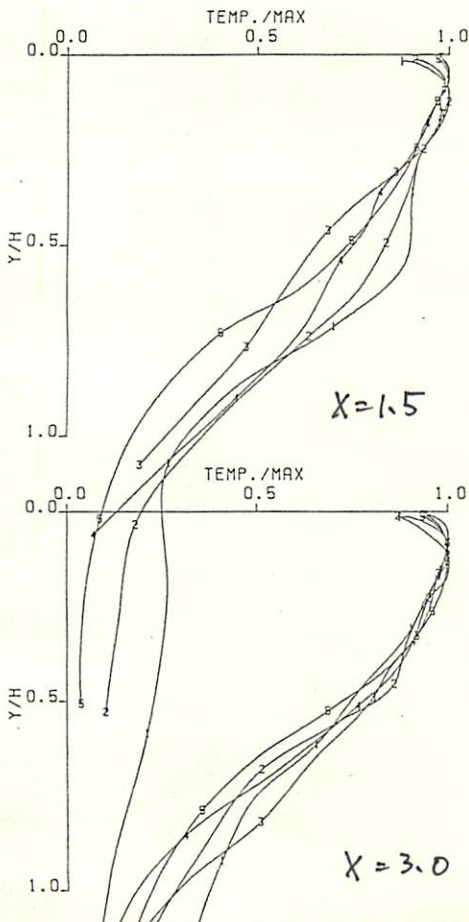
$\alpha = 2.5^\circ$



$\alpha = 5.0^\circ$



$\alpha = 7.5^\circ$



$\alpha = 10.0^\circ$

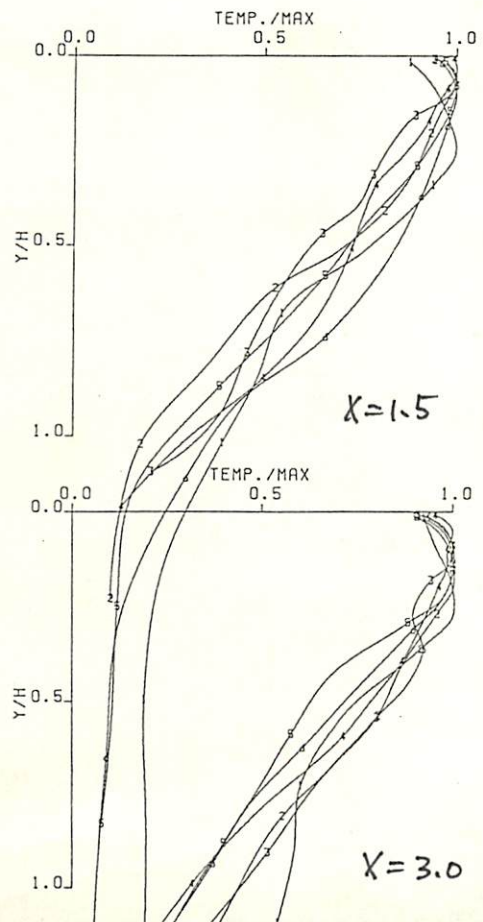


図4-1 (b) 無次元化温度差プロファイル

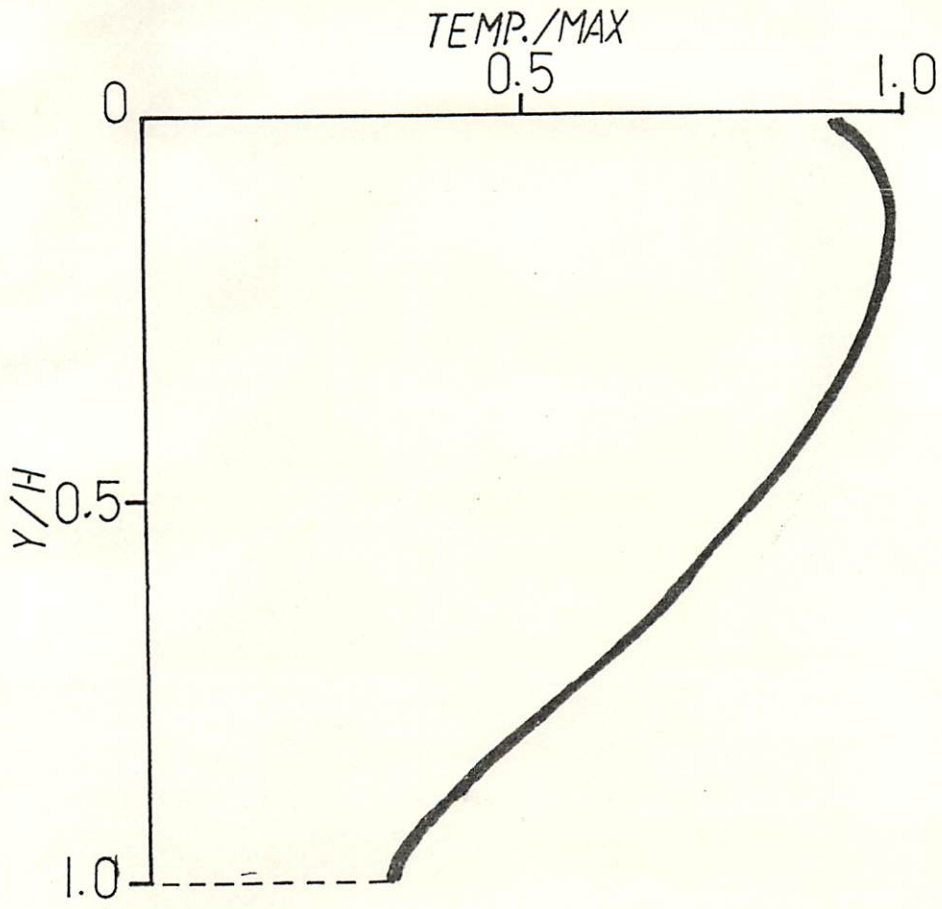
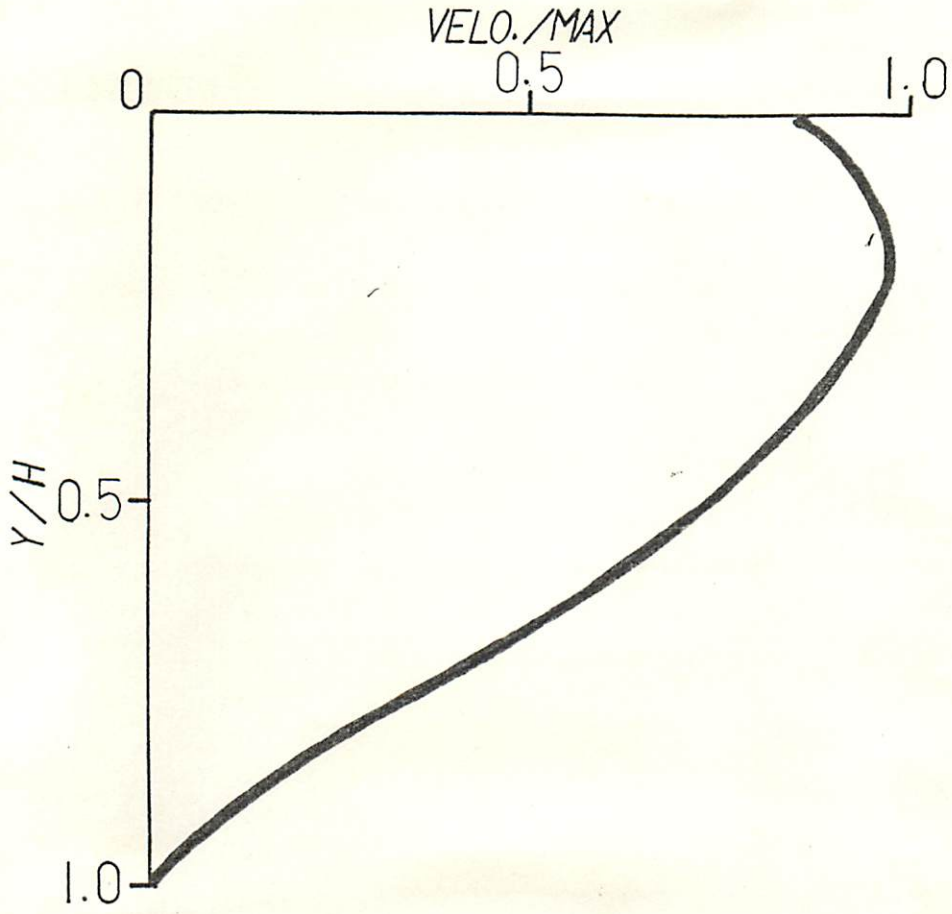
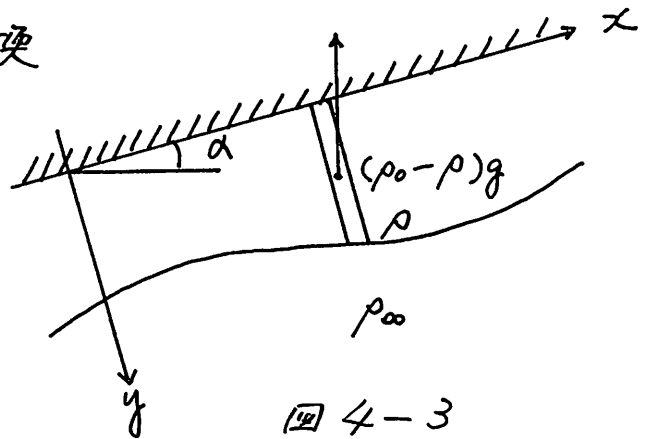


図4 保存工の速度および温度差プロファイル

IV 基礎式の導入と代表値への変換

・運動方程式

傾斜面に沿う流れを回4-3
のような座標軸における二次元
流れと考之る。Navier-Stokes



の方程式をオーダー比較して得

られた二次元の境界層方程式に対して、質量力の項にのみ密度
変化を考慮する Boussinesq 近似を適用すると、 x, y 軸方向の運動
方程式及び連続の式は以下の様になる。

$$\rho_0 \left(\frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + (\rho_0 - \rho)g \sin \alpha + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (1)$$

$$0 = -\frac{\partial P}{\partial y} - (\rho_0 - \rho)g \cos \alpha \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

とすると、 100°C に及ぶ煙が流れる場合においては静止空気との
密度差をかなりあり慣性項に影響を受けると考之られることか
ら、Boussinesq 近似を適用することは妥当性が問題となる。しか
しながら上式において扱っているのは流れのごく微小幅部分に
おける釣合なのであり、解析しようとする流れは ρ_0 x 方向の
変化が極めて小さかであることから上式が妥当であると考之
ることはできる。なお扱うのは定常流れであるから(1)式の左辺

第1項 $\frac{\partial x}{\partial u} = 0$ である。

ここで (1) 式を y に関して傾斜面 ($y=0$) から x 軸方向の
速度 $u=0$ となる高さ ($y=h$) まで積分する

$$\int_0^h u \frac{\partial u}{\partial x} dy + \int_0^h v \frac{\partial u}{\partial y} dy$$

$$= - \int_0^h \frac{1}{\rho_{\infty}} \frac{\partial p}{\partial x} dy + \int_0^h \frac{\rho_{\infty} - \rho}{\rho_{\infty}} g \sin \alpha dy + \frac{\mu}{\rho_{\infty}} \left[\frac{\partial u}{\partial y} \right]_0^h \quad (1')$$

ここで $\tau_w = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_{y=0}$; 傾斜面に対する摩擦応力

$\tau_s = -\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_{y=h}$; 自由表面(界面)に対する摩擦応力

とすれば $\frac{\mu}{\rho_{\infty}} \left[\frac{\partial u}{\partial y} \right]_0^h = -\frac{1}{\rho_{\infty}} (\tau_w + \tau_s)$

また (3) 式より $v = - \int_0^y \frac{\partial u}{\partial x} dy$

であるから

$$\int_0^h v \frac{\partial u}{\partial y} dy = - \int_0^h \left(\frac{\partial u}{\partial x} \int_0^y \frac{\partial u}{\partial x} dy \right) dy$$

$$= - \left[u \int_0^h \frac{\partial u}{\partial x} dy \right]_0^h + \int_0^h u \frac{\partial u}{\partial x} dy$$

$$= \int_0^h u \frac{\partial u}{\partial x} dy \quad (\because y=0, h \text{ において } u=0)$$

これを (1') に代入すれば

$$\int_0^h \frac{\partial}{\partial x} (u^2) dy = -\frac{1}{\rho_{\infty}} \int_0^h \frac{\partial p}{\partial x} dy$$

$$+ \int_0^h \frac{\rho_{\infty} - \rho}{\rho_{\infty}} g \sin \alpha dy - \frac{1}{\rho_{\infty}} (\tau_w + \tau_s) \quad (1'')$$

また(2)式より
$$P = \int_y^h (\rho_\infty - \rho) g dy \quad (0 \leq y \leq h)$$

とおくことができる。これを(1')に代入し、積分の上限を仮に $h \rightarrow \infty$ へ変更すると $y \gg h$ において $u=0$, $\rho_\infty - \rho = 0$ となるため積分の値には変化がなく、積分の上限が x と無関係となる。よって x による微分と y による積分の順を交換することが可能となる。⁽¹¹⁻²⁾

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \int_0^\infty u^2 dy &= -\frac{1}{\rho_\infty} \frac{\partial}{\partial x} \int_0^\infty \left(\int_y^h (\rho_\infty - \rho) g dy \right) dy \\ &\quad + \int_0^\infty \frac{\rho_\infty - \rho}{\rho_\infty} g \sin \alpha dy - \frac{1}{\rho_\infty} (\tau_w + \tau_s) \\ &= -\frac{\partial}{\partial x} \int_0^\infty \frac{\rho_\infty - \rho}{\rho_\infty} g y dy + \int_0^\infty \frac{\rho_\infty - \rho}{\rho_\infty} g \sin \alpha dy \\ &\quad - \frac{1}{\rho_\infty} (\tau_w + \tau_s) \quad \text{————— (4)} \end{aligned}$$

速度プロファイルの傾きから傾斜面における摩擦応力の方が自由表面におけるそれよりもかなり大きいと予測できる。また既往の実験廊下における煙流動実験⁽¹¹⁻³⁾などにおける実測結果から

$\tau_s / \tau_w = 0.1 \sim 0.3$ 程度でほぼ一定の値を示すことが明らかになっていたので、気流果の摩擦損失が V^2 に比例すると思えば、単位長さ当たりの圧力損失、すなわち統合的な摩擦応力 τ_T は ρV^2 に比例すると思えることができる。ここでは ρ の変化を考慮しないので、比例係数(摩擦損失係数)を F とすると

$$\frac{1}{\rho_\infty} (\tau_s + \tau_w) = \frac{\tau_T}{\rho_\infty} = F V^2$$

と書くことができる。

・熱量保存

運行によつて周囲空気が混合されることによる温度(密度)変化の方が壁などへの熱損失による温度変化と比較してかなり大きいこと。また今回の実験においては煙の移動距離が短いことなどから、壁面などへの熱損失は小さいものとし、流れ方向への総量としての密度差が保存されるとする。

$$\int_0^{\infty} (\rho_{\infty} - \rho) g dy = \text{const} \quad \text{————— (5)}$$

ここで、運動方程式及び熱量保存の式における積分の項は以下の式を用いて代表値に変換することが可能である。

$$\begin{aligned} VH &\equiv \int_0^{\infty} u dy \\ V^2H &\equiv \int_0^{\infty} u^2 dy \\ VHV &\equiv \int_0^{\infty} u \frac{\rho_{\infty} - \rho}{\rho_{\infty}} g dy \\ S_1HV &\equiv \int_0^{\infty} \frac{\rho_{\infty} - \rho}{\rho_{\infty}} g y dy \\ S_2HV &\equiv \int_0^{\infty} \frac{\rho_{\infty} - \rho}{\rho_{\infty}} g dy \end{aligned} \quad \text{————— (6)}$$

これらの変換式は速度および密度差(温度差)のプロファイルが保存されることが適用の条件であり、任意のプロファイルに対して上の3つの式によって u , $\Delta\rho$ と H, V, D の対応が

決まり、その結果下の2つの式においてプロファイルによって決まる係数が付加される。

図4-2に示した係数とされる各プロファイルを用いければ”

$$\begin{aligned} V &= 0.81 u_{\max} \\ H &= 0.79 h \\ D &= 0.96 \frac{\Delta \rho_{\max}}{\rho_0} g = 0.96 \frac{\Delta T_{\max}}{T_{\max}} g \end{aligned} \quad (7)$$

また $S_1 = 0.36$, $S_2 = 1.09$ とする。

ここで(6)式を(4), (5)式に用いければ”

$$\frac{d}{dx}(V^2 H) = -FV^2 + S_2 V H \sin \alpha - \frac{d}{dx}(S_1 V H^2 \cos \alpha) \quad (8)$$

$$V H D = \text{const} (= Q) \quad (9)$$

また、空度流の場合射流範囲においては周囲空気を巻き込む
運入(entrainment)と生じ、質量保存は成立しなくなるので、
運入に関する理論を導入する。

運入係数 E を無次元数として(6)式で定義された V, H に
対して運入の式は

$$\frac{d}{dx}(VH) = EV \quad (10)$$

と定義される。これは流体に運入を生じさせる側とその周囲
流体の側とに分け、流体間の移動速度(輸送量)と運入を
生じさせる側の平均的な代表速度との比で表現しよう
というものである。

この遷行係数 E については

$$E = 0.075 \text{EXP}(-3.9 R_i) \quad \text{————— (11)}$$

という Ellison - Turner の実験式があり、本論ではこれに従うことにする。なおこの式における R_i (リチャードソン数) については後述する。

IV-3 方程式の展開とその意味

導き出された 3つの基礎方程式における変数は、 V, H, D の3つであるから、そのままで式を解くことは可能である。しかしここで新たに流れの性質を表わす無次元数としてリチャードソン数 ($R_i = H D \cos \alpha / V^2$) を導入し、式を整理することによって後述のように式から流れの性質を知ることが出来る。 R_i 数は、 $R_i = -g \frac{d\rho}{dx} / \rho_0 \left(\frac{du}{dy} \right)^2$ の定義が一般的で、流れの中の任意の点における鉛直方向の拡散の強さを支配する数といわれるが、ここでは流動層全体における浮力項と慣性項との比を表わす数として、層平均リチャードソン数 (overall Richardson number) の定義に従っている。

これを(8)式に代入すると、

$$\frac{d}{dx} (V^2 H) = -FV^2 + S_2 R_i V^2 \tan \alpha - \frac{d}{dx} (S_1 R_i V^2 H)$$

$$\frac{d}{dx} \{ (1 + S_1 R_i) V^2 H \} = -FV^2 + S_2 R_i V^2 \tan \alpha \quad \text{————— (8')}$$

また (10) 式より

$$V \frac{dH}{dx} + H \frac{dV}{dx} = EV$$

$$\frac{dV}{dx} = \frac{V}{H} \left(E - \frac{dH}{dx} \right)$$

これを (8') 式に代入整理すると

$$\frac{d}{dx} \left\{ (1 + S_1 R_i) V^2 H \right\} = (1 + S_1 R_i) \left(2E - \frac{dH}{dx} \right) V^2 + S_1 V^2 H \frac{dR_i}{dx}$$

$$\therefore S_1 H \frac{dR_i}{dx} + (1 + S_1 R_i) \left(2E - \frac{dH}{dx} \right) = -F + S_2 R_i \tan \alpha \quad \text{--- (12)}$$

また (9) 式と R_i の定義より

$$R_i = \frac{Q}{V^3} \cos \alpha$$

$$\therefore \frac{dR_i}{dx} = \frac{d}{dx} \left(\frac{Q}{V^3} \cos \alpha \right)$$

$$= -\frac{3Q}{V^4} \frac{dV}{dx} \cos \alpha$$

$$= -3 \frac{Q \cos \alpha}{V^3 H} \left(E - \frac{dH}{dx} \right) \quad \left(\because \frac{dH}{dx} = \frac{V}{H} \left(E - \frac{dH}{dx} \right) \right)$$

$$= \frac{3R_i}{H} \left(\frac{dH}{dx} - E \right) \quad \text{--- (13)}$$

(13) 式を (12) 式に代入し整理すると

$$\frac{dH}{dx} = \frac{(2 - S_1 R_i) E - S_2 R_i \tan \alpha + F}{1 - 2S_1 R_i} \quad \text{--- (14)}$$

これを (13) 式に代入整理すれば

$$\frac{dR_i}{dx} = \frac{3R_i}{H} \frac{(1 + S_1 R_i) E - S_2 R_i \tan \alpha + F}{1 - 2S_1 R_i} \quad \text{--- (15)}$$

これで流れの性質を表わす2式が導き出された。この両式における独立変数は H と R_i の2つだけであるから、流れのあらゆる点での

条件がわかれば、式を微分して dx をできるだけ小さくして近似計算を行うことにより流れの他の点における条件を求めることが可能である。

この両式を H について流れの代表値 H_0 で無次元化した値 $H^* = H/H_0$ を用い、 x 方向の距離も同様に $x^* = x/H_0$ と無次元化すれば、

$$\frac{dH^*}{dx^*} = \frac{(2 - S_1 R_i)E - S_2 R_i \tan \alpha + F}{1 - 2S_1 R_i} \quad (14')$$

$$\frac{dR_i}{dx^*} = \frac{3R_i}{H^*} \cdot \frac{(1 + S_1 R_i)E - S_2 R_i \tan \alpha + F}{1 - 2S_1 R_i} \quad (15')$$

となり無次元化される。

ここで、式(14)、(15)について考察する。上式の特異点は、分母 $= 0$ なる条件と、 $\frac{dR_i}{dx} = 0$ なる条件である。

まず $\frac{dR_i}{dx} = 0$ なる条件、つまり等流条件(等流とは水ではいわず斜面上と同じ速度、厚さで流れる状態)について考察する。

$$(1 + S_1 R_{ie})E - S_2 R_{ie} \tan \alpha + F = 0 \quad (16)$$

$F = 0.015$ で一定であるとすれば、等流条件におけるリチャードソン数 R_{ie} は α の関数となり、図4-4のような関係が定まる。

また流れのどこかで射流であるとすれば、その点で射流より

$1 - 2S_1 R_i > 0$ であるから、 $R_i > R_{ie}$ ならば(14)式に示いた分が < 0

より $\frac{dR_i}{dx} < 0$ 、 $R_i < R_{ie}$ ならば分が > 0 より $\frac{dR_i}{dx} > 0$ となり

流れは $R_i = R_{ie}$ に収束する。

また、分母 = 0、すなわち

$$Ri = 1/2S_1 \text{ とする条件}$$

は水理学で言うところの

常流 (sub-critical flow) と

射流 (super-critical flow)

の遷移点を示す条件であり、

$$Ri < 1/2S_1 \text{ においては}$$

流れは射流となり、

$$Ri > 1/2S_1 \text{ においては}$$

流れは常流となり、つまりこの特異点は自由表面上における擾

乱が上流へ伝播するか下流へかの物理的な境界点である。

擾乱が上流へ伝播し下流射流においては、流れは下流側の条

件に左右されないが、擾乱が上流へ伝播する常流において

は、流れは下流側の条件により影響を受ける。

ここで、水平面から傾斜面への接点において、流れが常流から

射流に遷移すると考えれば、 $Ri = 1/2S_1$ を条件として流れを

解析することが可能となる。つまり接点における Ri が $1/2S_1$ に

決まってしまう。流れは α によりのみ変化することとなる。

ここで、接点における $Ri = 1/2S_1 = 1.39$ とし、その他の代表値

はそれぞれ接点における値で無次元化して、式(14')、(15')を用いて差

分近似計算を行なった結果を図4-5に示す。

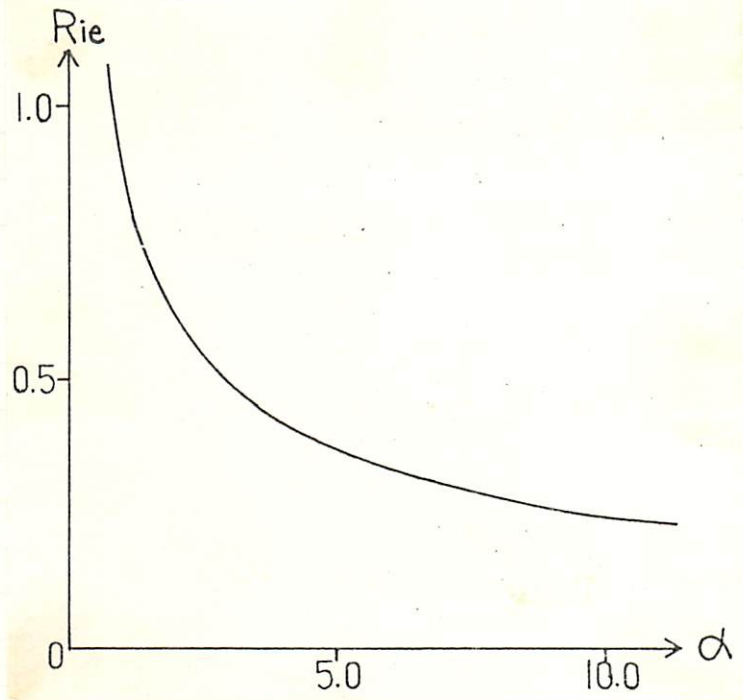


図4-4 $\alpha - Rie$ の関係。

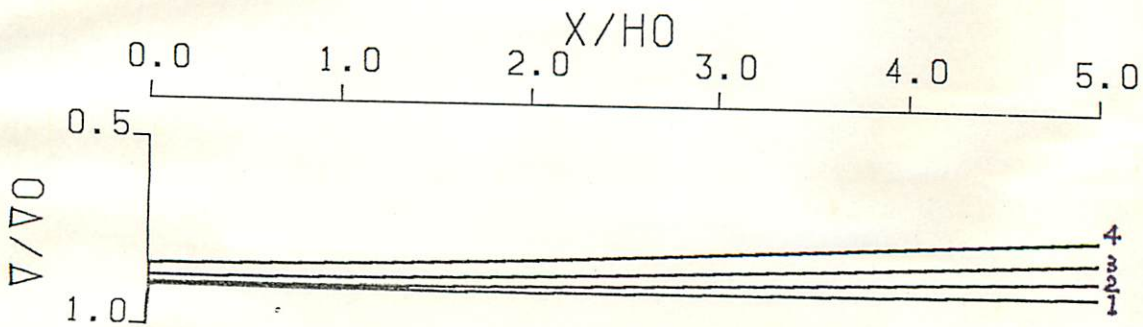
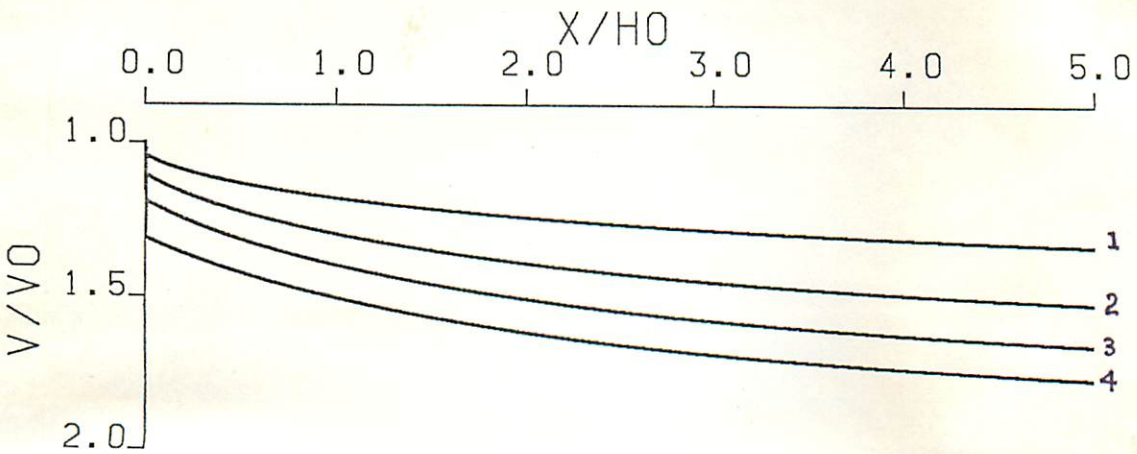
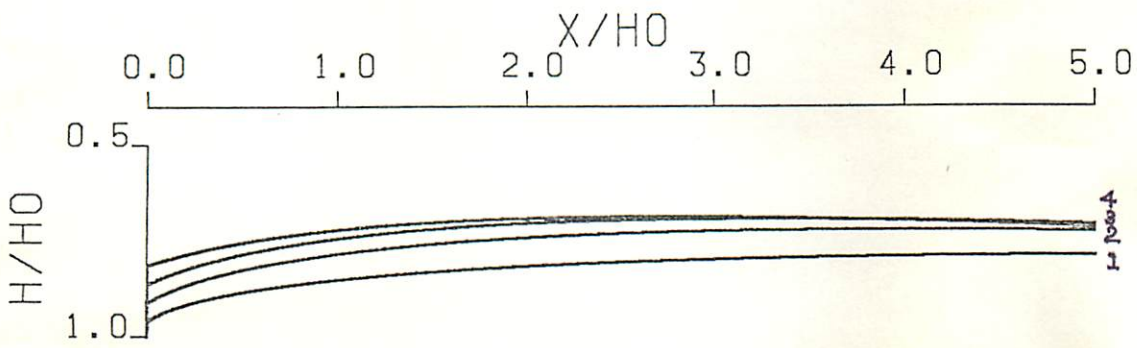
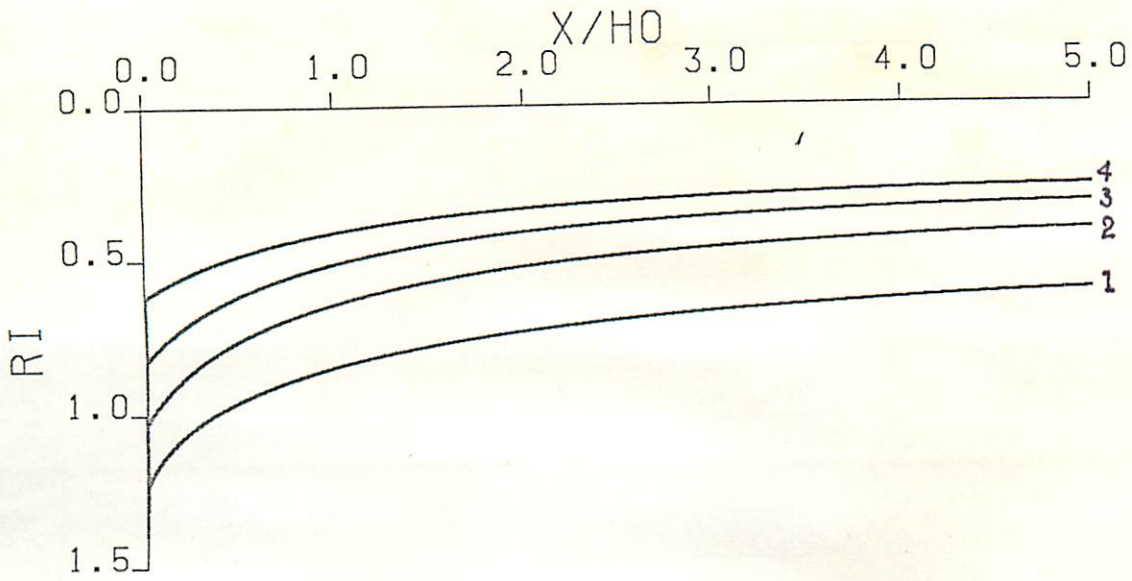


図 4-5 各代表値の理論値
 1 → $\alpha = 2.5^\circ$ 3 → $\alpha = 7.5^\circ$
 2 → $\alpha = 5.0^\circ$ 4 → $\alpha = 10.0^\circ$

R_i はそれぞれの α に対応する R_{ie} に収束し、また (11) 式を (10) 式に代入すれば

$$\frac{dH}{dx} = E = 0.075 \text{EXP}(-3.9 R_i) \quad \text{————— (17)}$$

となり、等流状態においては $\frac{dH}{dx}$ は一定となる。また (10)

$$\text{式より} \quad V \frac{dH}{dx} + H \frac{dV}{dx} = EV \quad \text{であり} \quad (17) \text{ 式より} \quad V \frac{dH}{dx} = EV$$

$$\text{より} \quad \frac{dV}{dx} = 0 \quad \text{となり} \quad V = \text{const} = V_e \quad \text{となる。}$$

ここで遷移点の各特性値を V_e, H_e, D_e 等流となった位置での値を V_e, H_e, D_e とすれば

$$V_e H_e D_e = V_e H_e D_e = Q$$

$$\text{また遷移点で} \quad \frac{H_e D_e}{V_e^2} = Ric = 1/2 S_1$$

$$\frac{H_e D_e}{V_e^2} \cos \alpha = Ric$$

$$\text{より} \quad \frac{V_e}{V_e} = \left(\frac{Ric \cos \alpha}{Ric} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{となる。}$$

遷移点での V_e については通過する重量とこの点での温度； D_e がわかれば V_e は決まるから、傾斜面の角度 α が定まることにより、

煙の上昇速度 V_e を計算することが可能となる。

$$\begin{aligned} V_e &= \left(\frac{Ric \cos \alpha}{Ric} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot V_e = \left(\frac{\cos \alpha}{Ric} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{H_e D_e}{V_e^2} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot V_e \\ &= \left(\frac{Q}{Ric} \cos \alpha \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{————— (18)} \end{aligned}$$

したがって V_e は傾斜面の角度と、流入熱量により定まることかわかる。

第V章 結論

V-1 実測値に基づいた考察

表5-1に $X=1.5m$, $X=3.0m$

の各測定点における実測値を
 とし (7) 式を用いて求めた各
 代表値のリストを、また図

5-2 (a) ~ (e) に各代表

値の $X=1.5m$ の値と $X=3.0m$

の値の比と $X=1.5m$ にあ

けるリファードリン数との関係

を示す。

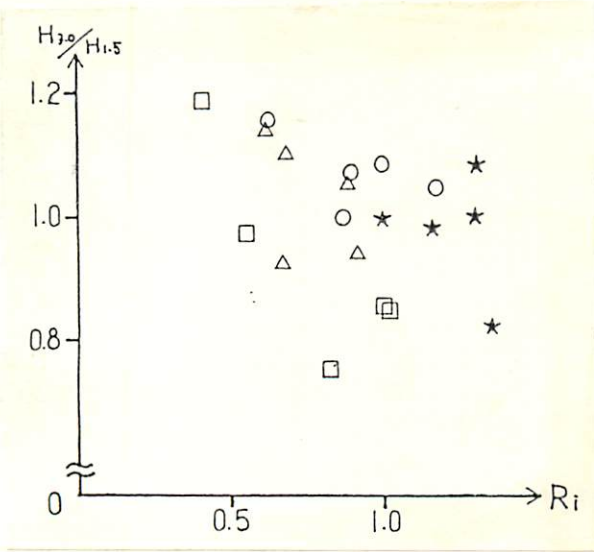
煙層の厚さについては R_i が「小ほど」 $H_{3.0}/H_{1.5}$ は「大なる値を
 示し、理論の適用したことの妥当性を裏付けるものである。

また、速度については R_i と $V_{3.0}/V_{1.5}$ の間には相関関係は認め
 られないものの、傾斜角が「大なるほど」 $V_{3.0}/V_{1.5}$ は「大なる値
 を示す傾向にある。密度差については $V_{3.0}/V_{1.5}$ は R_i に「か
 わらず」 $0.9 \sim 1.0$ の間で「ほぼ一定の値を示し、流れ方向に密度
 差の変化（すなわち温度の降下）が「ほとんど」ないことがわかる。

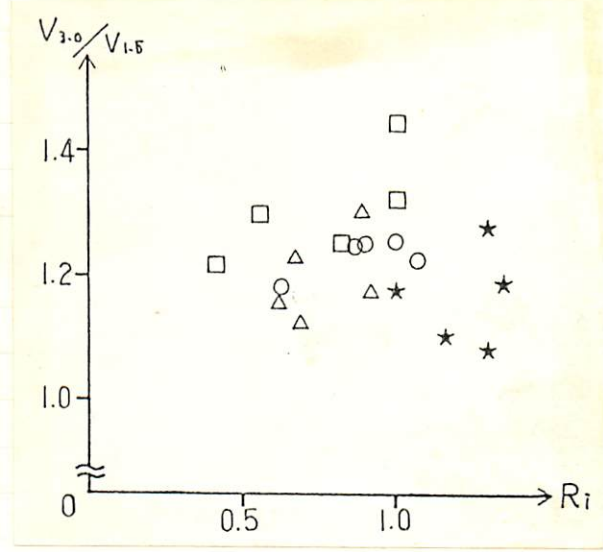
通過熱量 $Q (=VHD)$ および通過重量 $G (=VH(g-\rho))$
 については、 R_i に関して煙層の厚さ H と「ほぼ」同様の関係を示
 す。これは「密度差が流れ方向にほとんど」変化してないこと、

表5-1 実測値より求めた各代表値

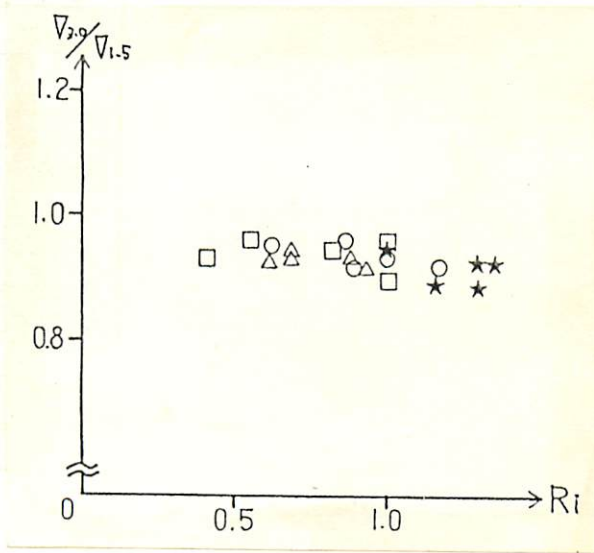
| $\alpha(^{\circ})$ | $X=1.5m$ | | | | $X=3.0m$ | | | |
|--------------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| | H | V | ∇ | R_i | H | V | ∇ | R_i |
| 0.0-C-1 | 0.360 | 0.148 | 0.178 | 2.946 | 0.435 | 0.154 | 0.167 | 3.067 |
| B-1 | 0.384 | 0.254 | 0.386 | 2.292 | 0.500 | 0.267 | 0.365 | 1.533 |
| A-1 | 0.528 | 0.443 | 0.534 | 1.457 | 0.466 | 0.421 | 0.488 | 1.282 |
| A-2 | 0.480 | 0.533 | 0.896 | 1.514 | 0.474 | 0.567 | 0.845 | 1.246 |
| B-2 | 0.544 | 0.369 | 0.805 | 2.028 | 0.284 | 0.405 | 0.765 | 1.326 |
| 2.5-C-1 | 0.280 | 0.205 | 0.194 | 1.289 | 0.500 | 0.219 | 0.171 | 1.075 |
| B-1 | 0.360 | 0.320 | 0.378 | 1.531 | 0.292 | 0.373 | 0.349 | 0.754 |
| A-1 | 0.528 | 0.500 | 0.543 | 1.145 | 0.514 | 0.543 | 0.484 | 0.844 |
| A-2 | 0.456 | 0.566 | 0.905 | 1.287 | 0.458 | 0.713 | 0.837 | 0.754 |
| B-2 | 0.280 | 0.467 | 0.772 | 0.989 | 0.277 | 0.543 | 0.729 | 0.684 |
| 5.0-C-1 | 0.224 | 0.230 | 0.260 | 0.887 | 0.237 | 0.284 | 0.193 | 0.568 |
| B-1 | 0.296 | 0.320 | 0.345 | 0.996 | 0.316 | 0.397 | 0.322 | 0.643 |
| A-1 | 0.520 | 0.533 | 0.499 | 0.906 | 0.537 | 0.575 | 0.463 | 0.750 |
| A-2 | 0.480 | 0.631 | 0.713 | 0.855 | 0.474 | 0.778 | 0.684 | 0.534 |
| B-2 | 0.256 | 0.541 | 0.718 | 0.625 | 0.292 | 0.632 | 0.682 | 0.497 |
| 7.5-C-1 | 0.224 | 0.262 | 0.191 | 0.615 | 0.253 | 0.300 | 0.177 | 0.494 |
| B-1 | 0.320 | 0.410 | 0.360 | 0.680 | 0.348 | 0.454 | 0.336 | 0.564 |
| A-1 | 0.520 | 0.533 | 0.499 | 0.906 | 0.482 | 0.616 | 0.456 | 0.575 |
| A-2 | 0.440 | 0.648 | 0.846 | 0.879 | 0.458 | 0.834 | 0.785 | 0.511 |
| B-2 | 0.328 | 0.574 | 0.675 | 0.666 | 0.300 | 0.697 | 0.633 | 0.388 |
| 10.0-C-1 | 0.232 | 0.287 | 0.186 | 0.516 | 0.213 | 0.275 | 0.161 | 0.447 |
| B-1 | 0.392 | 0.394 | 0.327 | 0.815 | 0.292 | 0.486 | 0.308 | 0.376 |
| A-1 | 0.512 | 0.494 | 0.464 | 0.999 | 0.435 | 0.632 | 0.417 | 0.448 |
| A-2 | 0.480 | 0.590 | 0.793 | 1.075 | 0.403 | 0.842 | 0.757 | 0.423 |
| B-2 | 0.280 | 0.390 | 0.698 | 0.352 | 0.269 | 0.729 | 0.669 | 0.353 |
| B-3 | 0.216 | 0.689 | 0.914 | 0.410 | 0.253 | 0.826 | 0.848 | 0.309 |



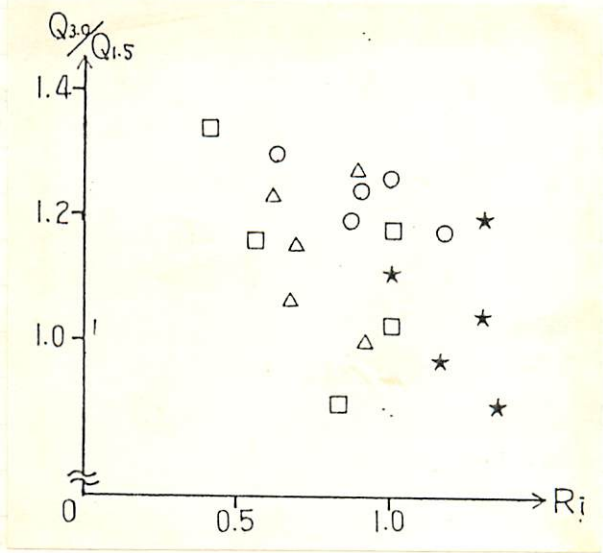
(a)



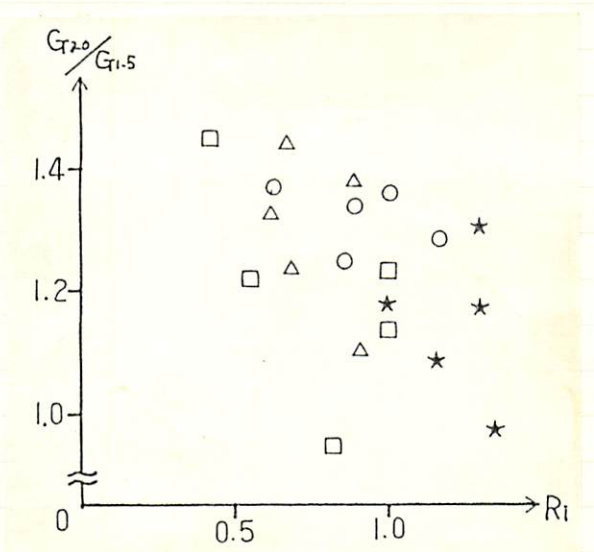
(b)



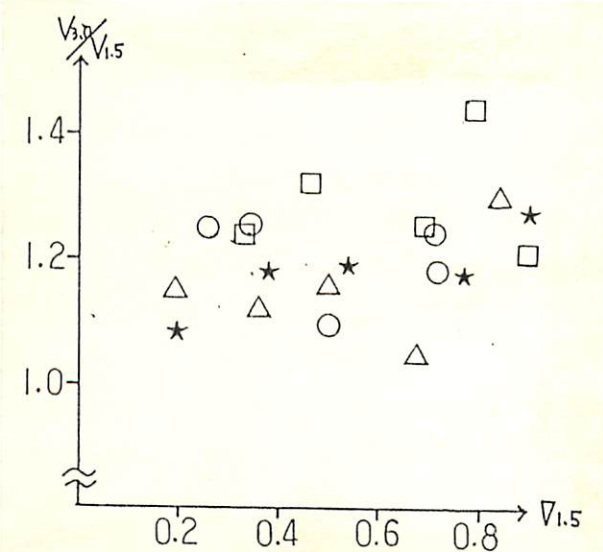
(c)



(d)



(e)



(f)

図5-1 実測値より求めた各代表値の関係
 ★ : $d = 2.5^\circ$ △ : $d = 7.5^\circ$
 ○ : $d = 5.0^\circ$ □ : $d = 10.0^\circ$

$V_{3.0}/V_{1.5}$ の値を決定する 檢斜面の角度、密度差 におい τ 。 図 5-1(5) に示すように 今回行な τ 条件におい τ ば、 α の各値 につい τ 密度差 の変化により $V_{3.0}/V_{1.5}$ の値が ほぼ 影響をうけず、ほぼ一定の値を 示すためと考 τ えられる。

7-2 理論値と実測値の比較

図 5-2 に $X=1.5m$ の実測値による代表値を境界条件とし、式 (14)、(15) を用い τ 下流側に差分近似計算を行な τ 理論値と、 $X=3.0m$ におい τ ば 実測値による代表値を それぞれの角度につい τ 示す。

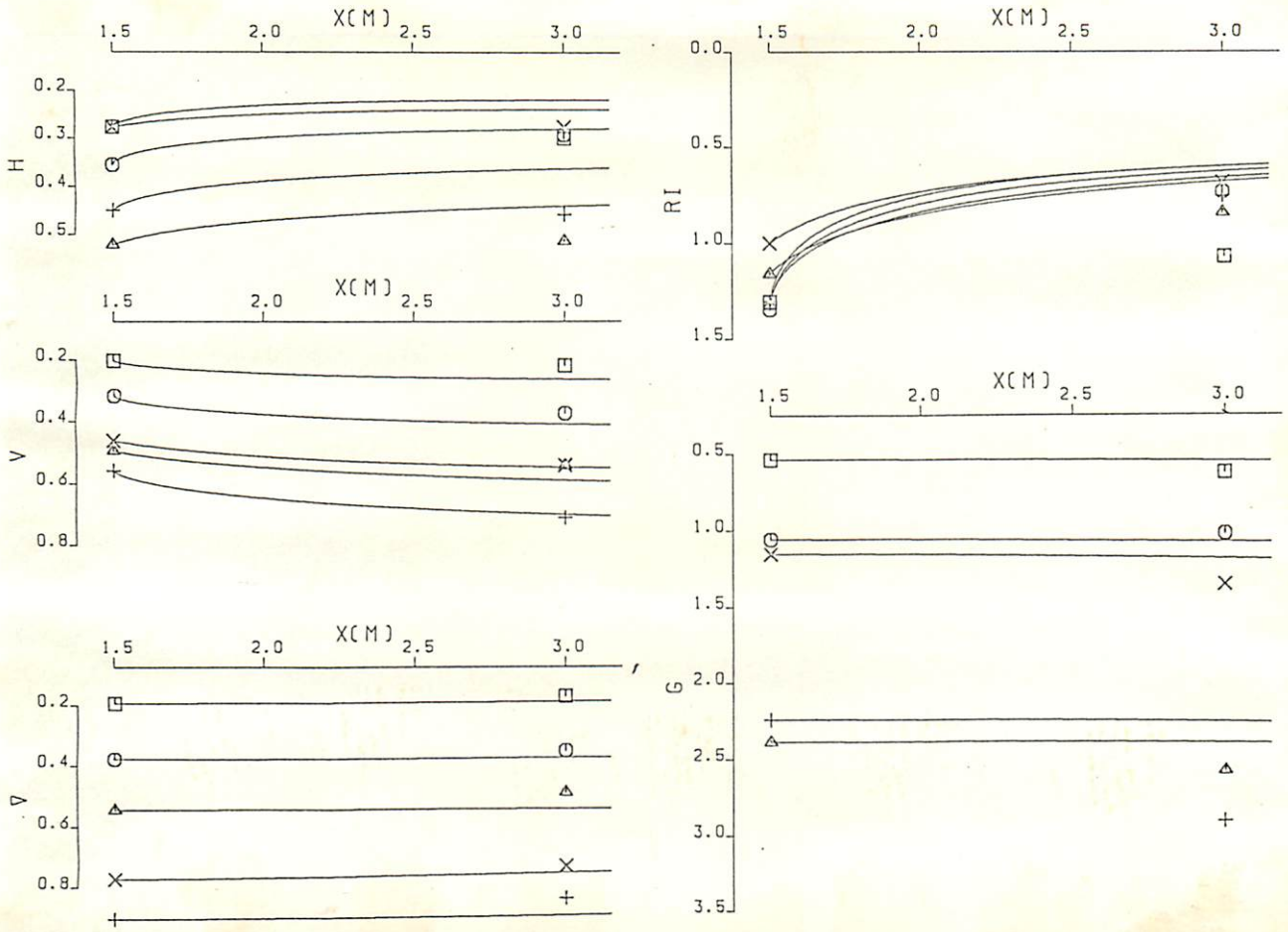
お τ べ τ の角度におい τ V 、 D 、 R_i の理論値は実測値にかなり違 τ がお τ が、 V につい τ ば理論値は実測値よりも大 τ ための値を、 R_i につい τ ば常に小 τ ための値を示し τ いる。また H につい τ ば理論値が実測値よりもかなり小 τ ための値を示し τ あり、 G につい τ ても同様のこ τ がい τ える。これは今回運行係数 E に関し τ 用い τ ば Ellison-Turner の実験式 $E = 0.075 \exp(-3.9R_i)$ が運行を過小評価し τ いるためではないかと考 τ えられる。

また、図 5-3 におい τ ば、 $X=0m$ におい τ ば $R_i = R_{ic} \approx 1.388$ として式 (14')、(15') より求め τ ば R_i 、 R_{ia} の理論値の上 τ 、図 5-2 に示し τ ば $X=1.5m$ におい τ ば 実測値による R_i と $X=3.0m$ におい τ ば R_i の理論値を 黒 τ め τ 記号でプロットし、白 τ め τ 記号で $X=3.0m$ におい τ ば 実測値を示し τ した。

□... C-1 ○... B-1 X... A-1 +... A-2 △... B-2 ◇... B-3

$\alpha = 2.5^\circ$

53



$\alpha = 5.0^\circ$

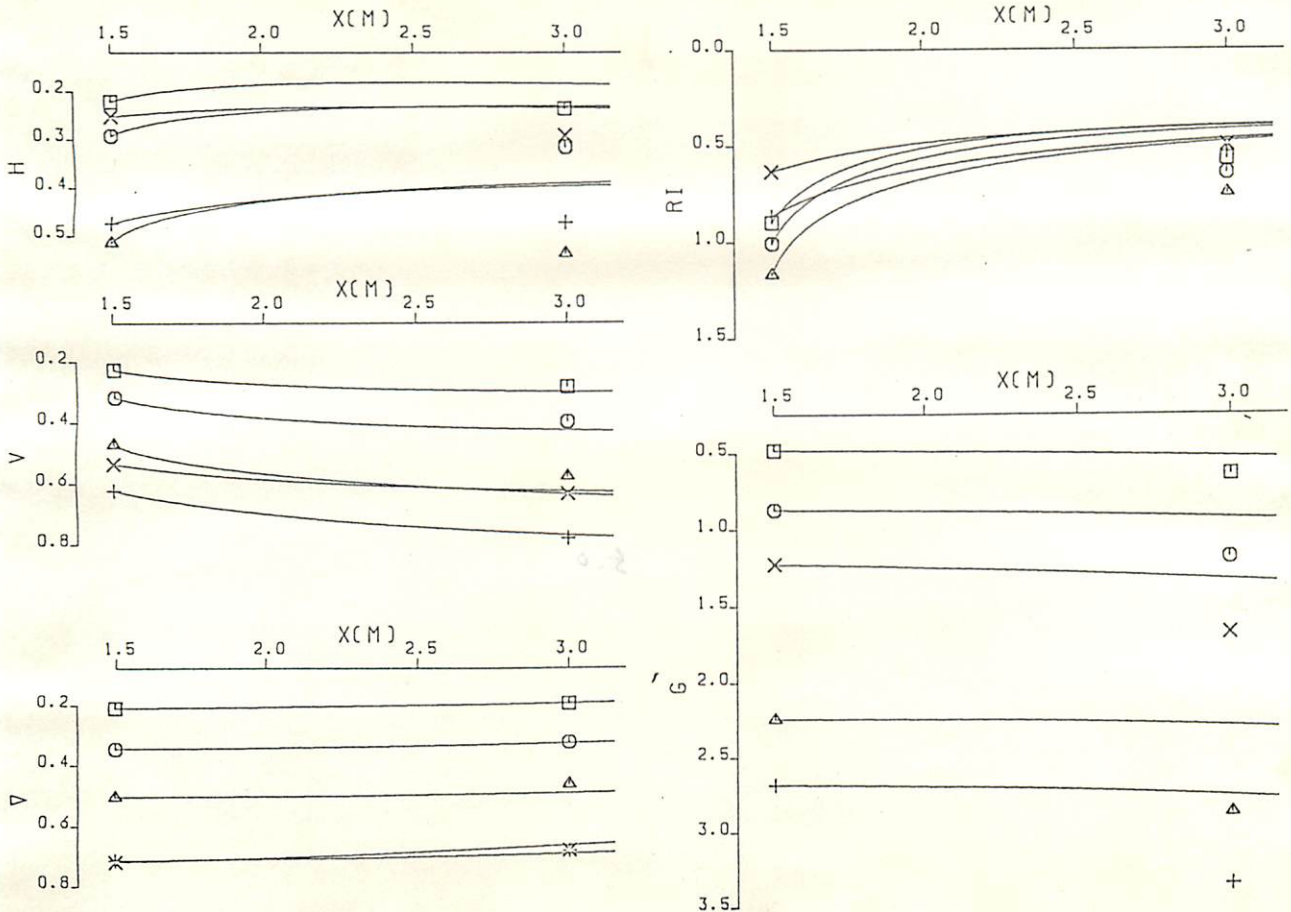
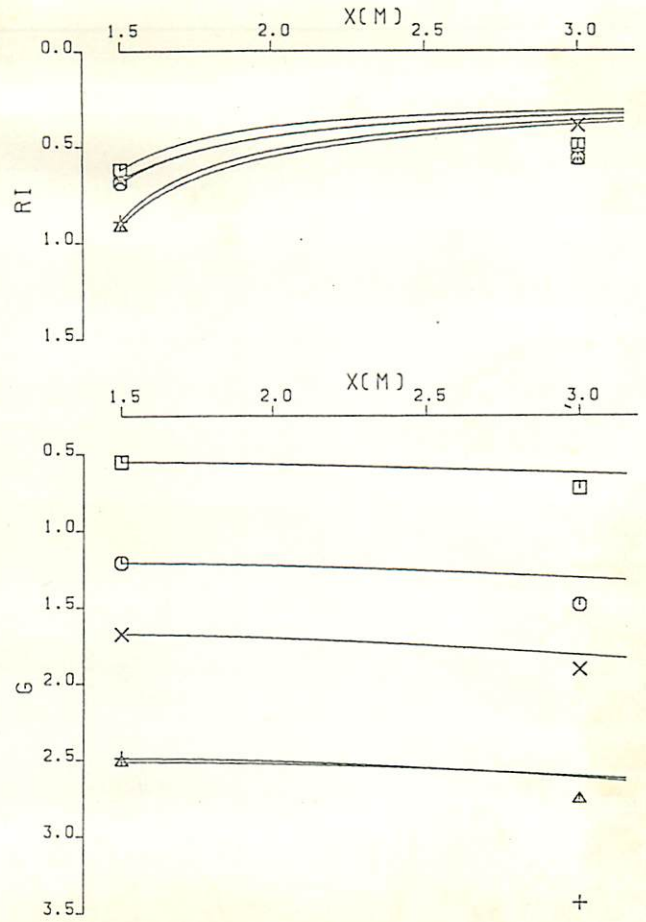
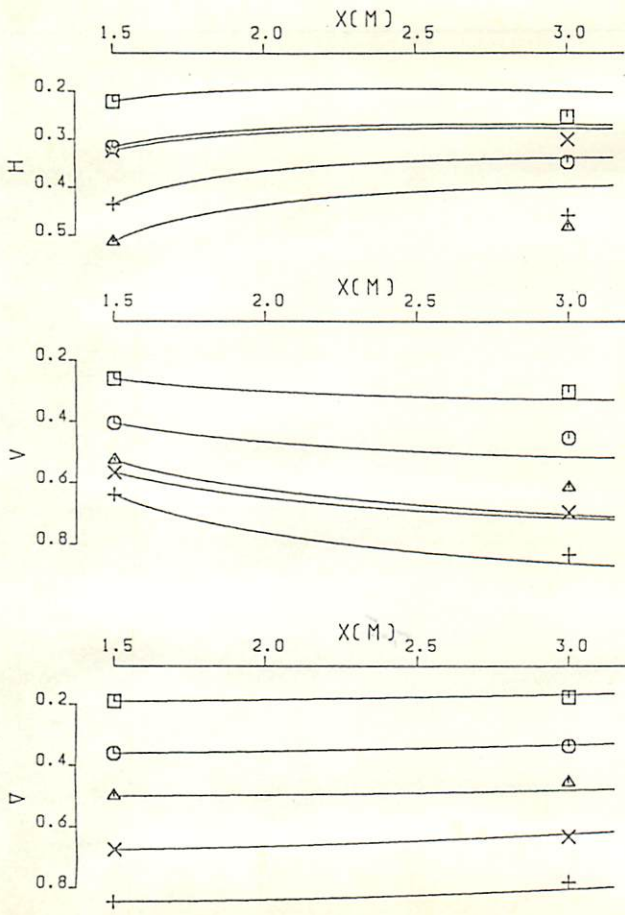


図 5-2 理論値と実験値との比較 201

$d = 7.5^\circ$



$d = 10.0^\circ$

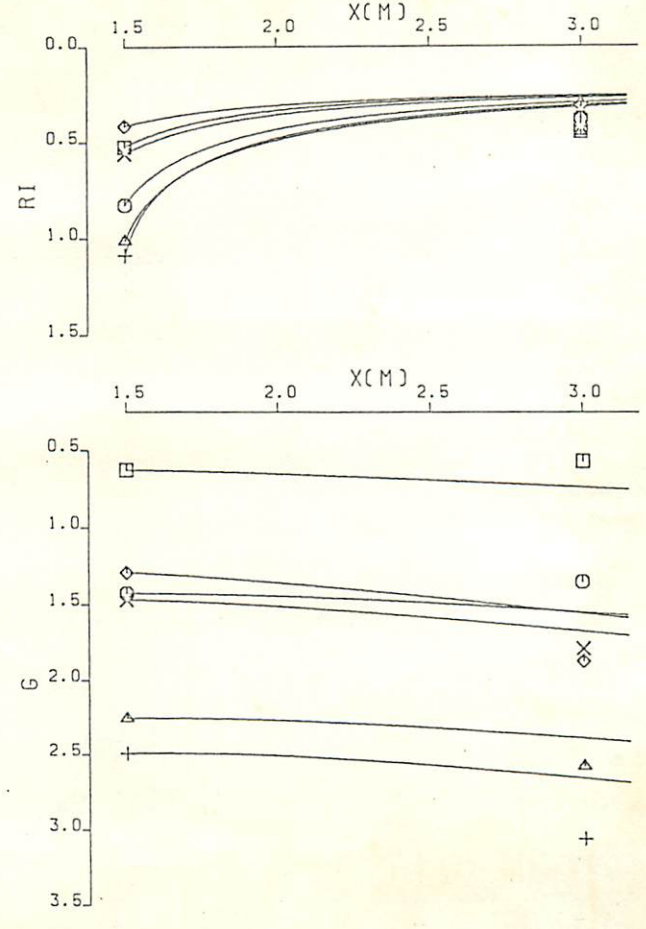
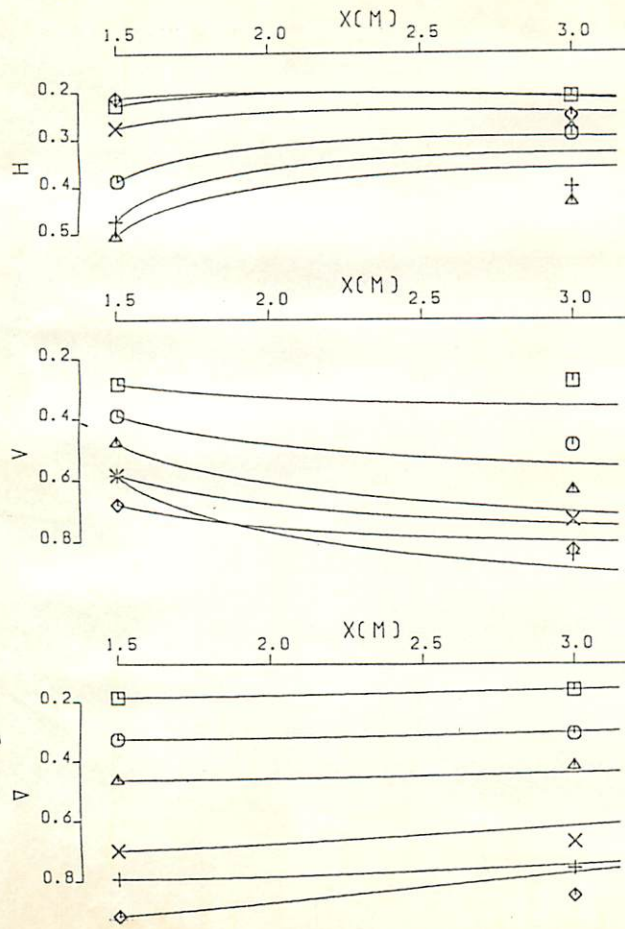
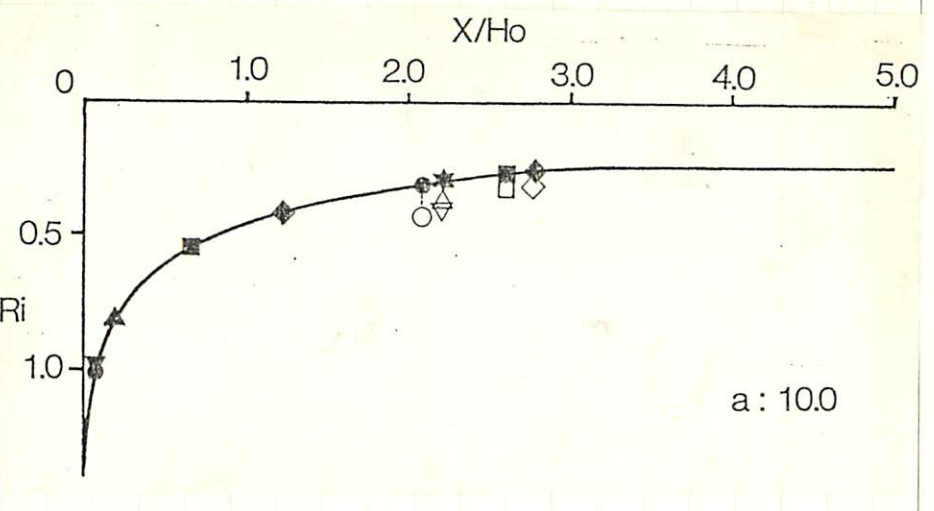
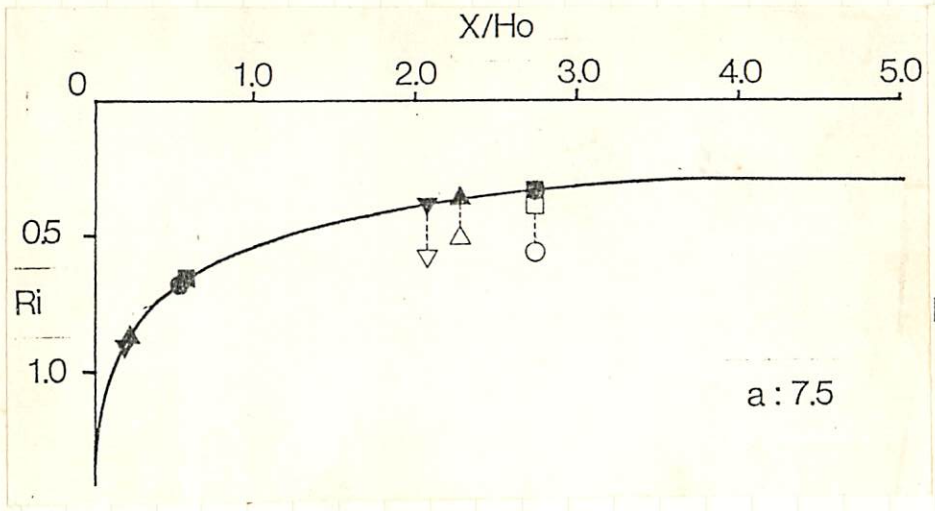
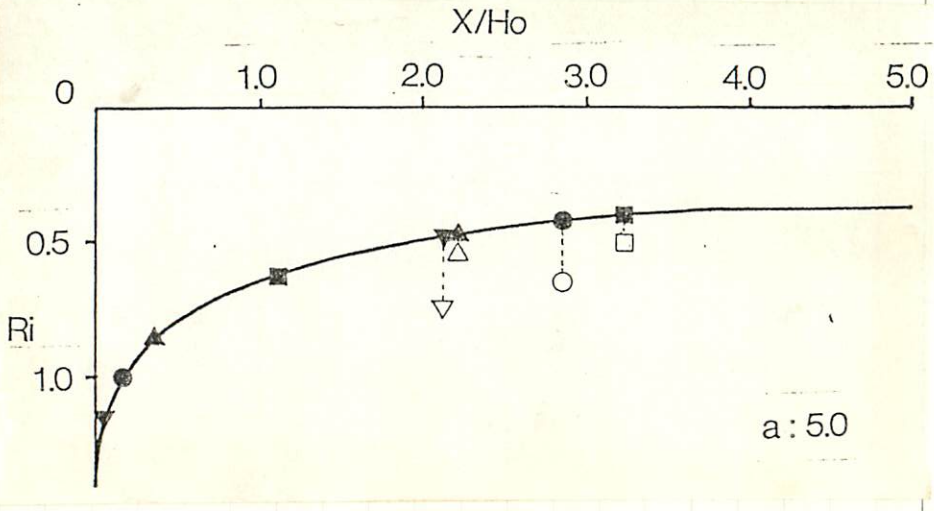
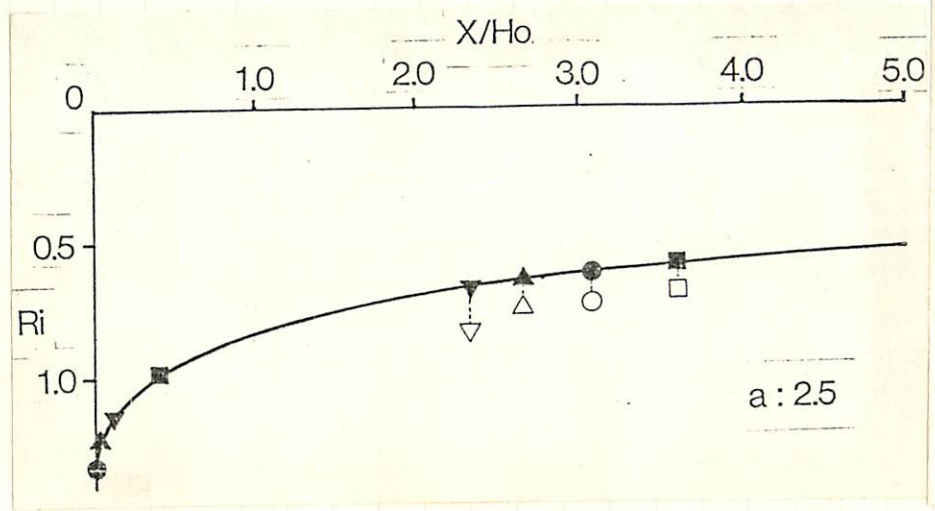


図 5-2 理論値と実測値と比較 3a1

図5-3 理論値と実測値の比較 2a2



実験値は、傾斜面の角度大、流量小、温度差大の条件ほど理論値に近い値を示す。しかしながら常流から射流への遷移点 ($Ri=1.388$) が傾斜面と水平面の接点にあるとすれば、 $X=1.5m$ の実験値に対応する X/H_0 の値は $X=3.0m$ の理論値に対応する X/H_0 の $1/2$ にならなければならぬが、いずれの実験においてもかなり小さい値を示す。これは実験結果でも述べたが、傾斜面の起流付近における流線が吹出し口の慣性力の影響を受けているためと考えられる。

また、 $X=3.0m$ における理論値、実験値はともにいずれの実験においてもそれぞれの角度における Ri よりも大きい値を示し、この点において等流条件が成り立ち、この点においてこのことがわかる。

V-3 結び

今回行った一連の実験により、その実験値と理論値の比較などから、ある程度煙と密度流として扱う手法が妥当であることが確認された。しかしながらその正当性を立証するにはまだ不十分な点が多く、今後多くの課題を残すこととなった。

まず理論的解析においては前述のように遷行の評価に関して再検討が必要であろうし、また実際の建物において今回のように熱損失を無視することは適当ではなない。この点については見なおしが必要となろう。さらに流れ方向に保存されるプロファイルについて今回は $\alpha=25^\circ \sim 10.0^\circ$ の角度について一応検討したが、 $\alpha=10.0^\circ$ よりも大きい場合には保存されるプロファイルが

一定であるか否かは不明であり、係数 α のプロファイルが α の角
度について一定となるか、 α の角について成立するかを検討す
ることも今後の重要な課題である。

また、実験については今回よりさらに傾斜角大、流量小、温度
差大の条件について行うこと。吐出し口での慣性力の影響が無視で
ない測定点において等流条件が成立するような突入ステールの移動距
離を大きくした実験装置を用いて熱損失を考慮に入れた実験
を行うことが必要である。さらに今回の実験においては模型ダウ
トの下部を大気に開放したが、これは実際の階段室などは異なって
運行される周囲空気が制限されるなどの問題点があり、今後
下部を閉鎖した影響についての実験を行うなど実際の建物に
より近い条件で研究を進めてゆきたい。

最後に本実験研究を行うにあたりご指導を賜わりました
上本誠先生ならびに名古屋大学工学部建築学科第6講座の各位
また、実験およびデータの整理にご協力いただいた愛知工業大
学 平野茂君に心から感謝の意を表し結びとします。

参考文献

- (II-1) 浜田稔他；建築学大系 21 建築防火論，朝倉書店，1973
- (II-2) 前田，寺井，新田；煙と空気の二層流境界面での混合について，日本建築学会大会学術講演梗概集，1970
- (II-3) 細隆他；喫大廊下における火災気流の熱流動性状 (I), (II), 日本火災学会論文集 Vol. 26 No. 2, 1976, Vol. 28 No. 2, 1978
- (II-4) 立本誠；火災時の建物内煙流動に関する研究，1981
- (II-5) 若松孝旺，田中啓義；建築物の火煙制御設計 (1) ~ (7)
- (III-1) 浅沼強編；流の可視化ハンドブック，朝倉書店
- (IV-1) J. E. Simpson ; A comparison between laboratory and atmospheric density currents, Quart. J.R. Met. Soc. Vol. 95, 1969
- (IV-2) 日野幹雄；流体力学，朝倉書店，1981
- (IV-3) (II-3) に同じ

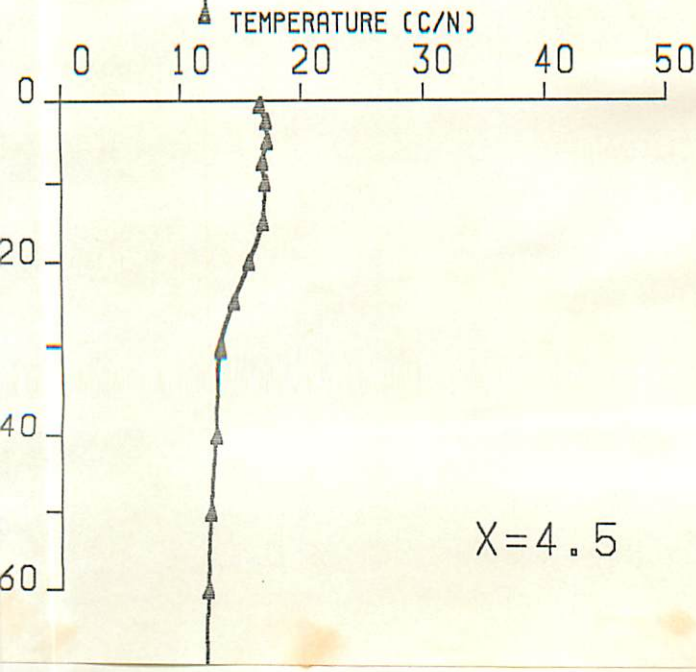
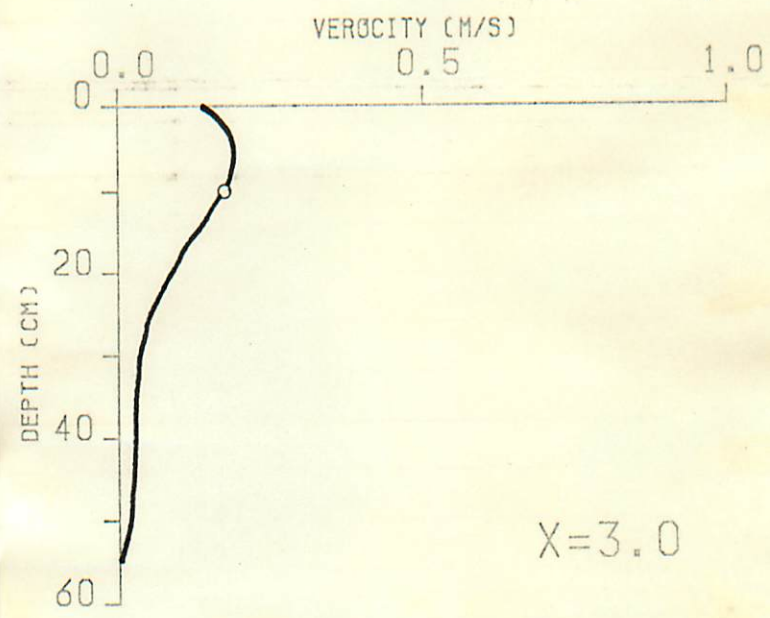
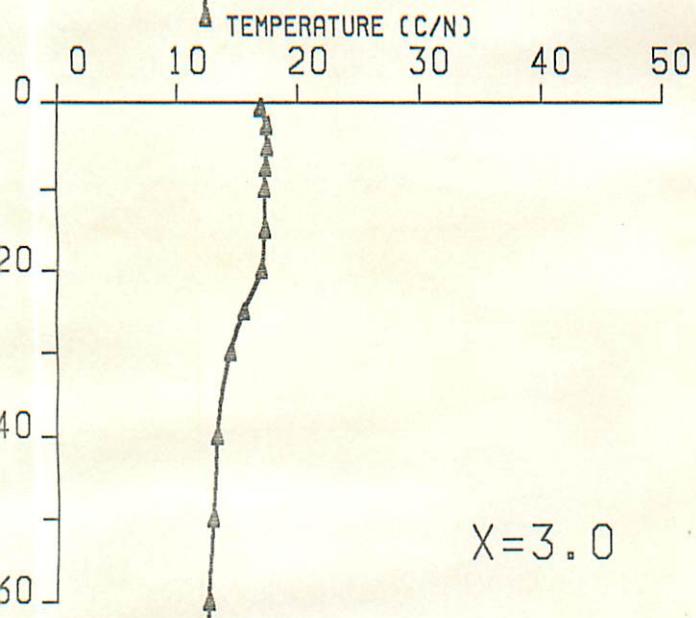
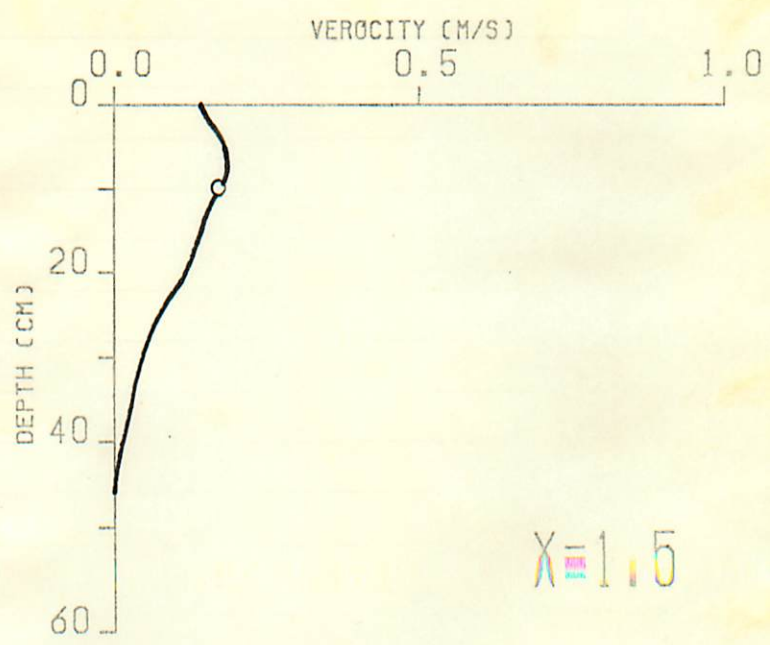
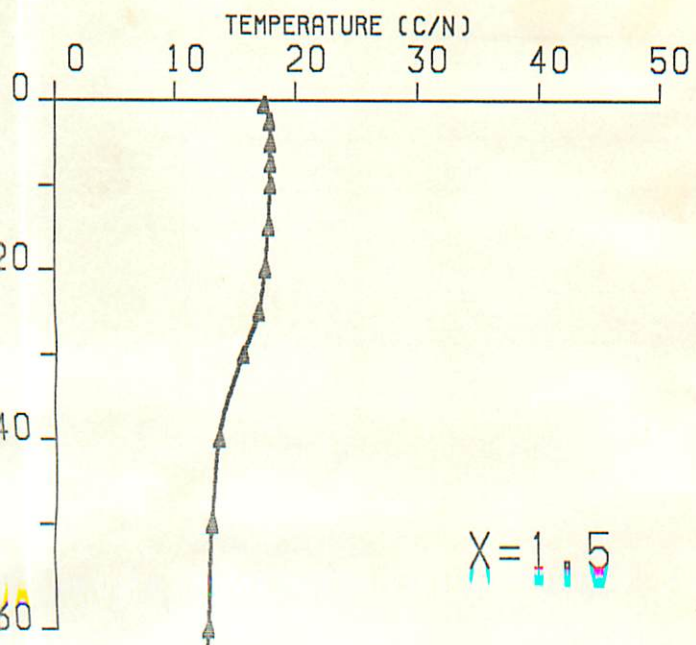
付録

以下に、各実験における熱線風速計の値のリストと、第Ⅱ章に示した以外の実験における温度および湿度のプロファイルを付録として示す。

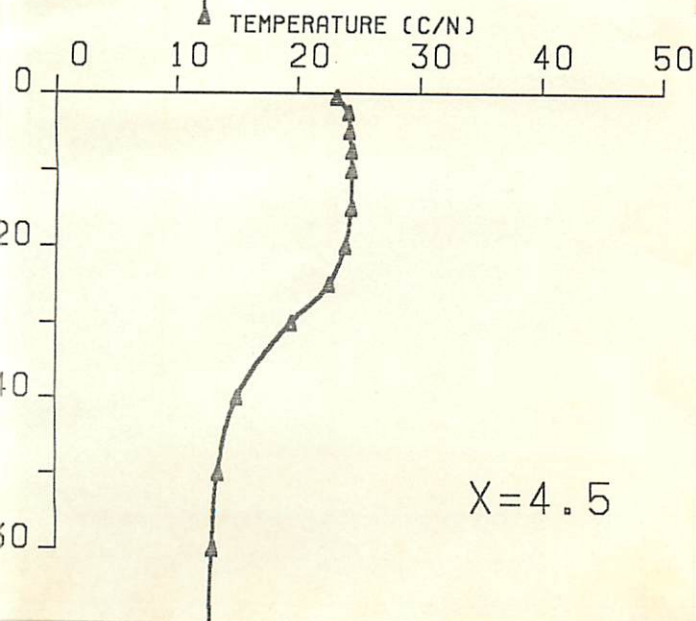
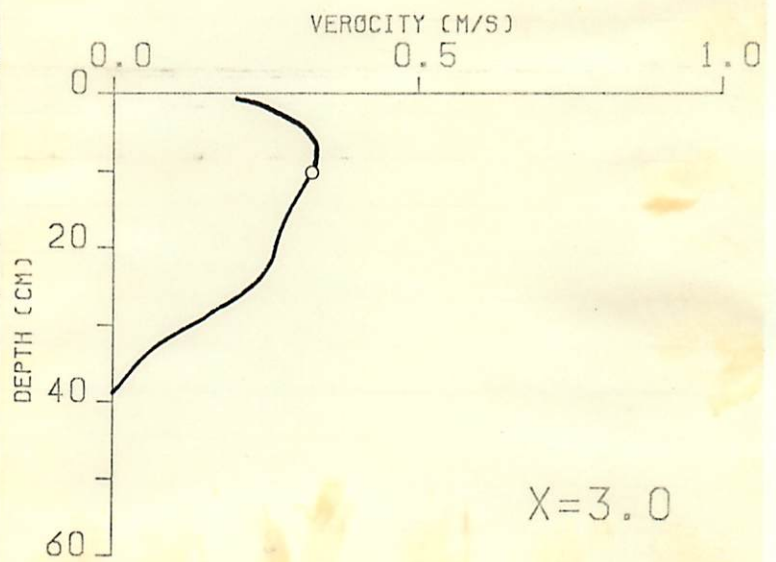
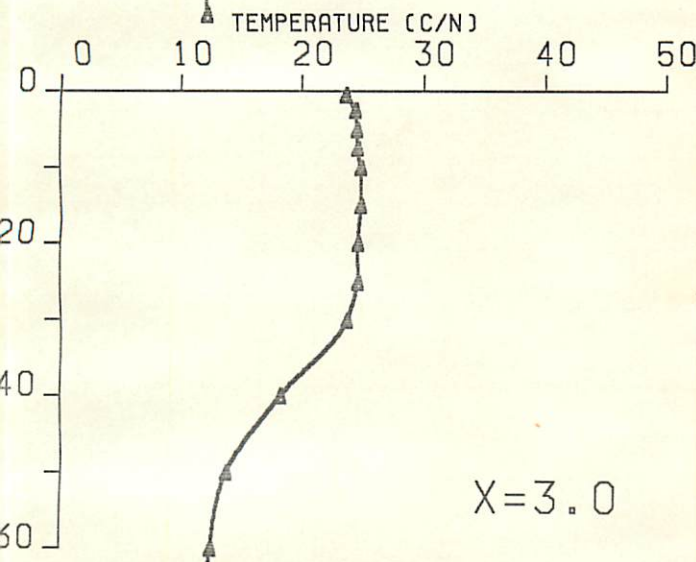
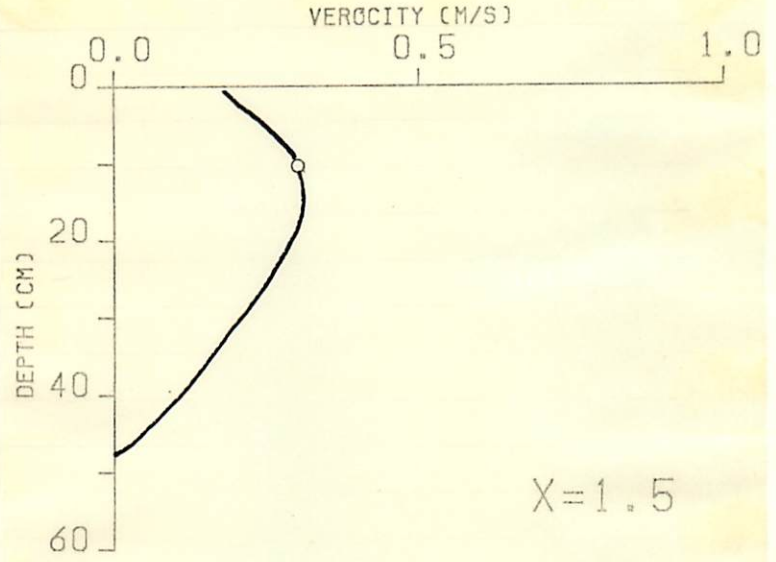
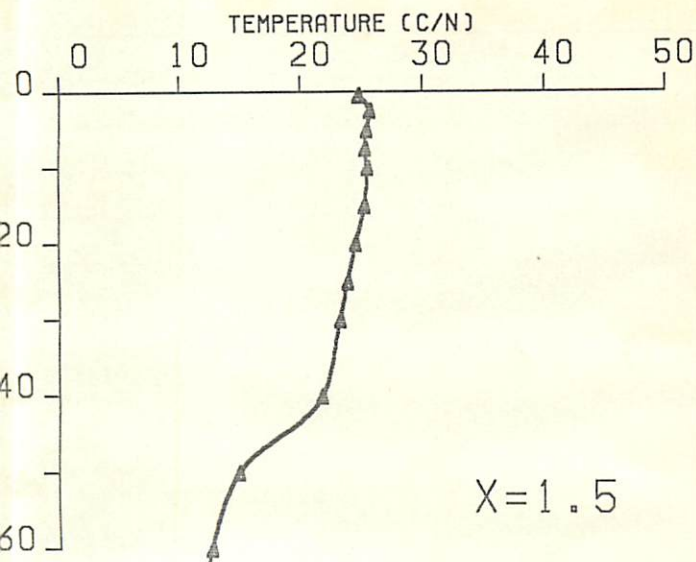
VELOCITY (m/s)

| | X=1.5 m | X=3.0 m | |
|--------------|---------|---------|----------------|
| 12/29 a=0° | | | |
| A-1 | 0.54 | 0.52 | |
| A-2 | 0.62 | 0.69 | |
| B-0 | 0.15 | 0.12 | |
| B-1 | 0.30 | 0.32 | |
| B-2 | 0.44 | 0.48 | |
| C-1 | 0.17 | 0.17 | |
| 1/4 a=2.5° | | | |
| A-1 | 0.58 | 0.64 | |
| A-2 | 0.68 | 0.86 | |
| B-1 | 0.37 | 0.44 | |
| B-2 | 0.57 | 0.66 | |
| C-1 | 0.25 | 0.26 | |
| 12/27 a=5.0° | | | |
| A-1 | 0.57 | 0.70 | |
| A-2 | 0.72 | 0.94 | |
| B-1 | 0.38 | 0.49 | |
| B-2 | 0.63 | 0.76 | |
| C-1 | 0.27 | 0.31 | |
| 12/28 a=7.5° | | | |
| A-1 | 0.63 | 0.73 | |
| A-2 | 0.78 | 1.01 | |
| B-1 | 0.47 | 0.56 | |
| B-2 | 0.69 | 0.82 | |
| C-1 | 0.31 | 0.33 | |
| 1/5 a=10.0° | | | |
| A-1 | 0.59 | 0.76 | |
| A-2 | 0.71 | 1.03 | |
| B-1 | 0.45 | 0.58 | |
| B-2 | 0.71 | 0.86 | |
| B-3 | 0.82 | 0.94 | [A=600r.p.m] |
| C-1 | 0.32 | 0.33 | [B=300r.p.m] |
| | | | [C=150r.p.m] |

各実験における熱線風速計の値

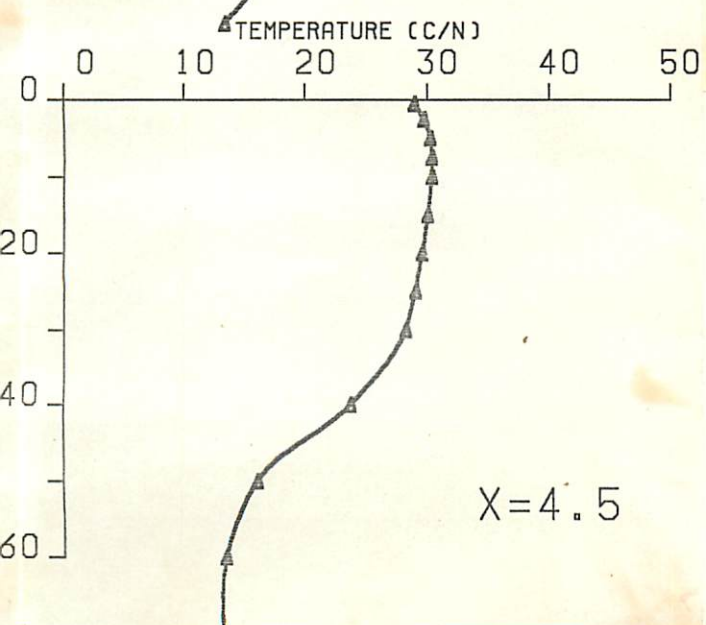
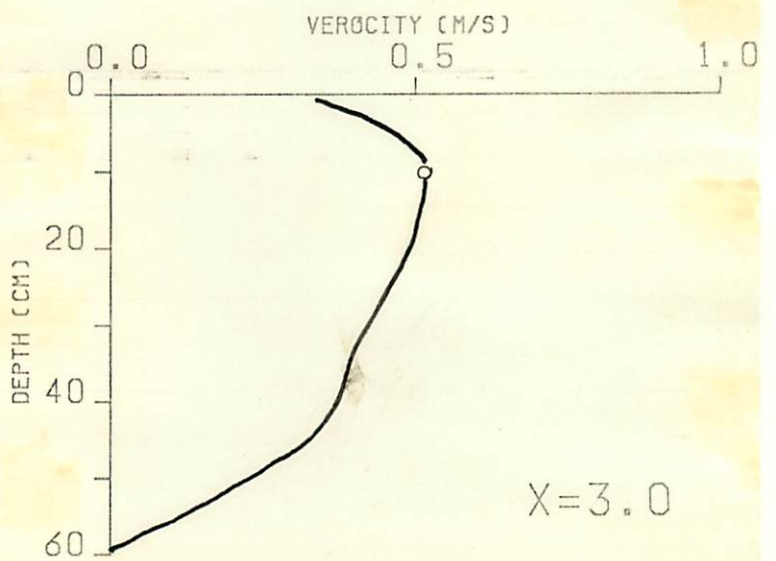
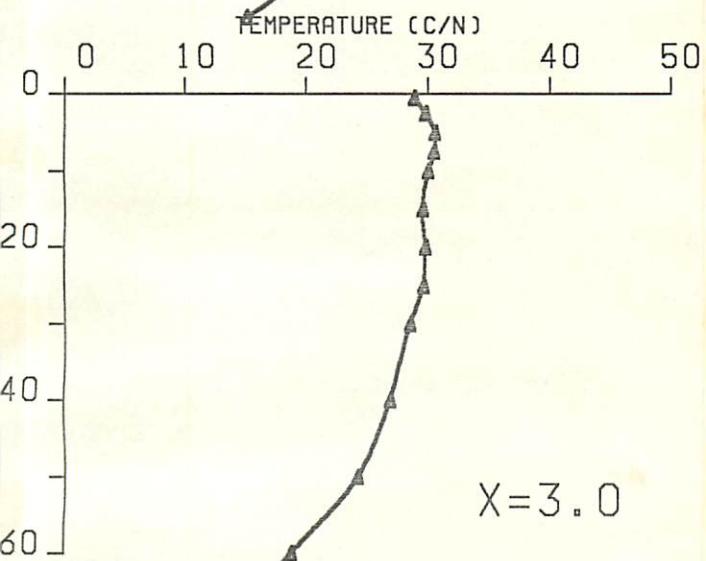
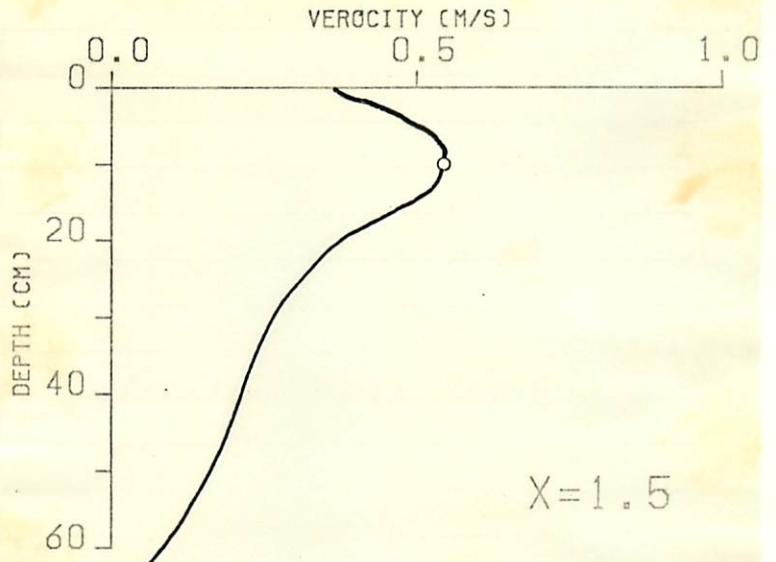
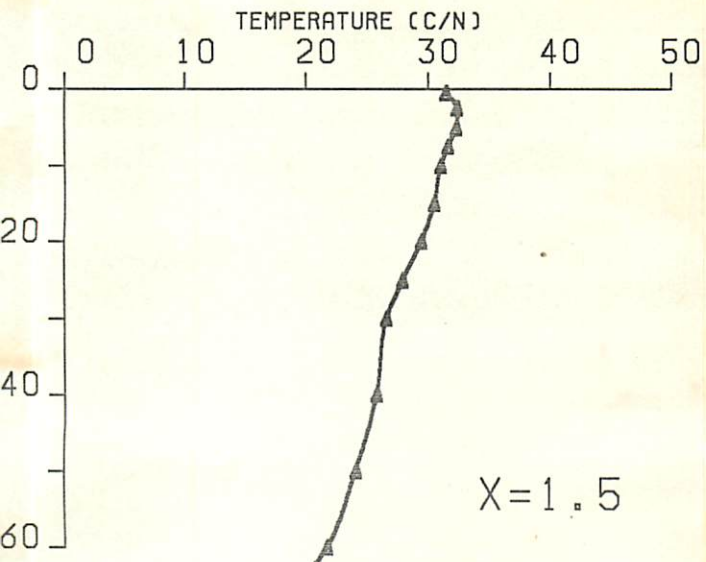


Exp. 0-C-1

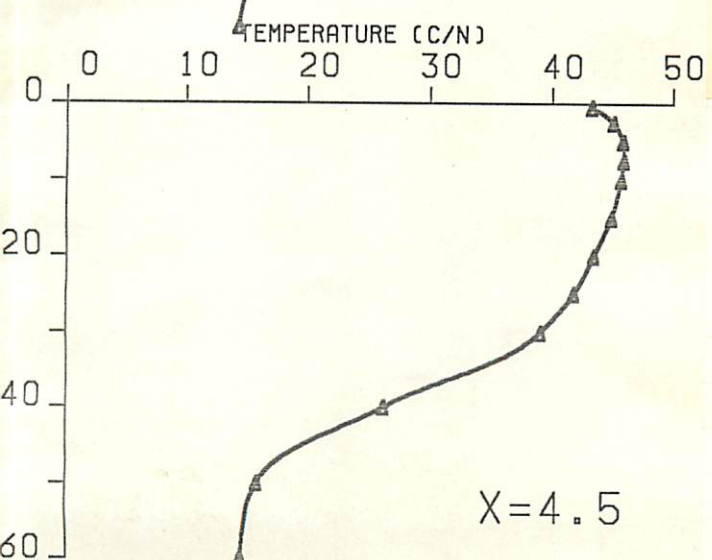
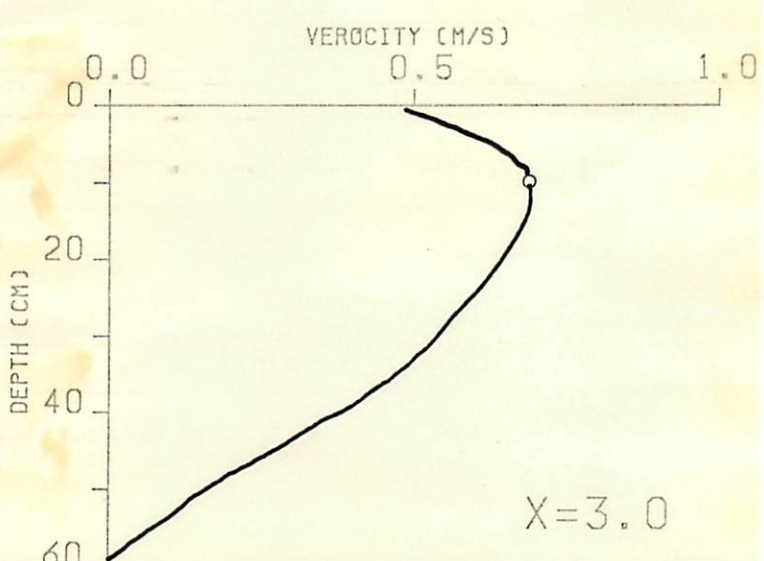
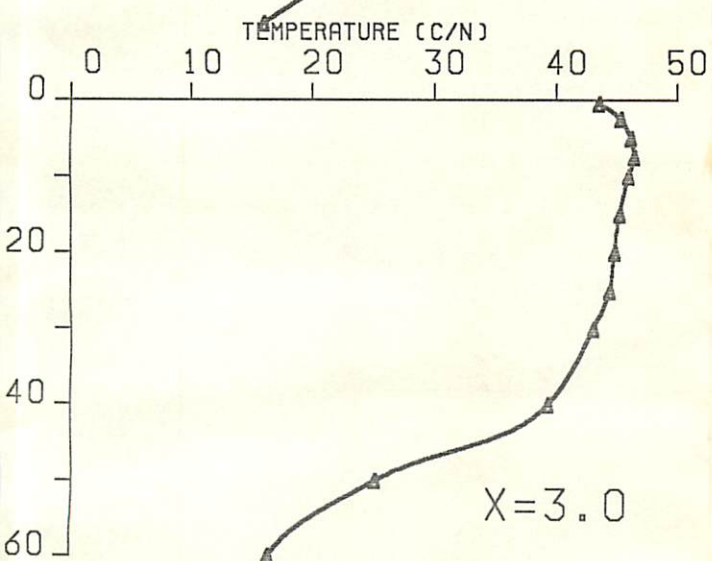
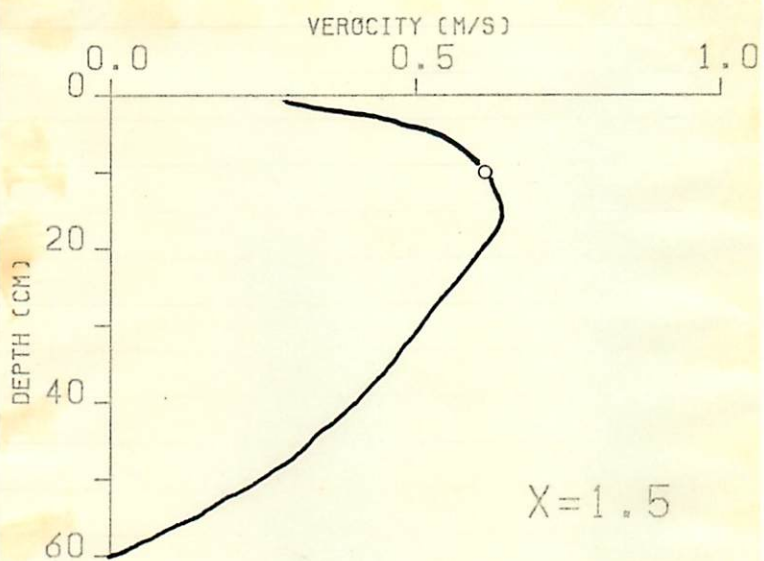
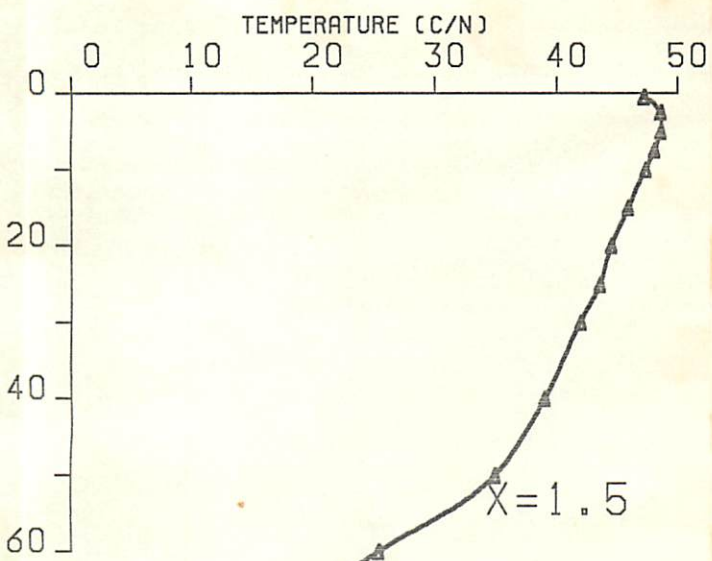


EXP. 0-B-1

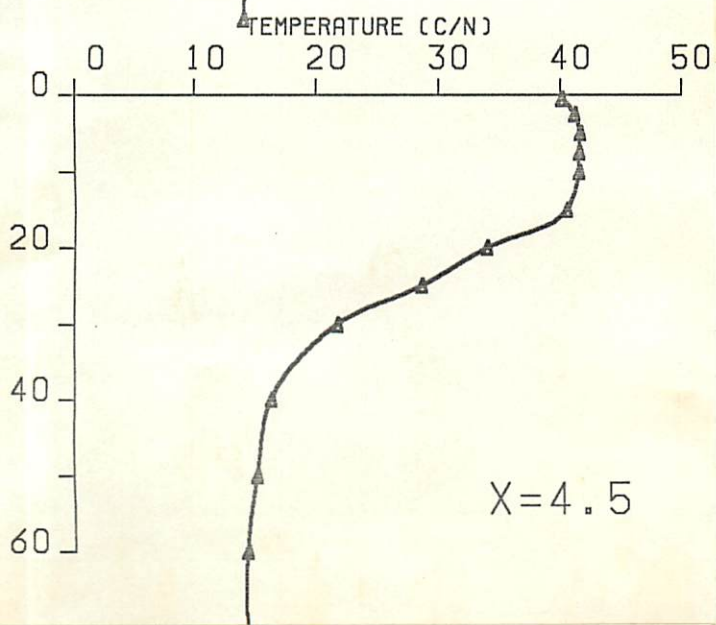
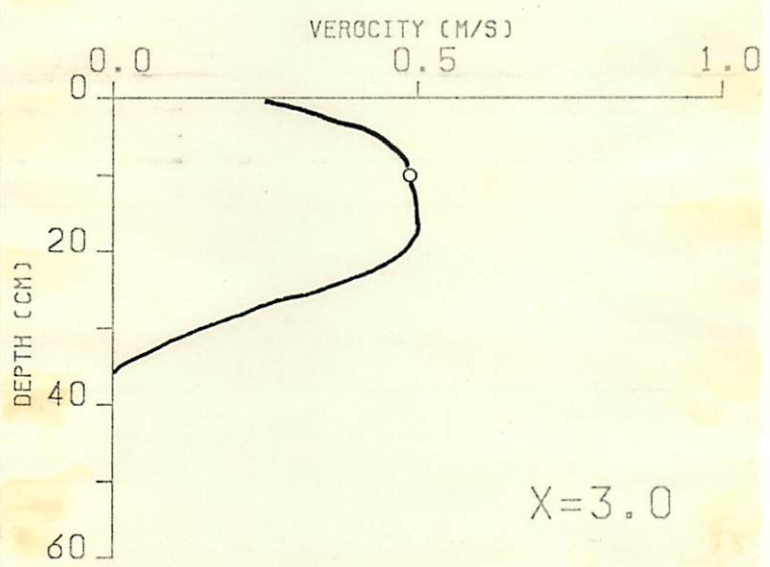
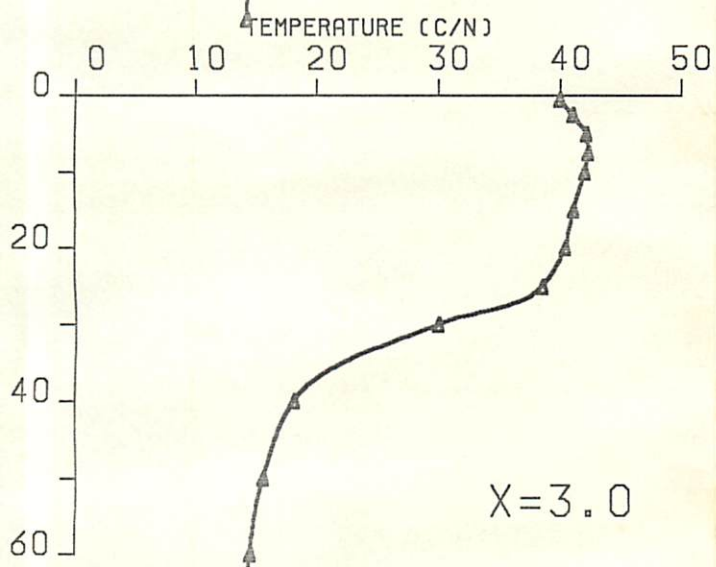
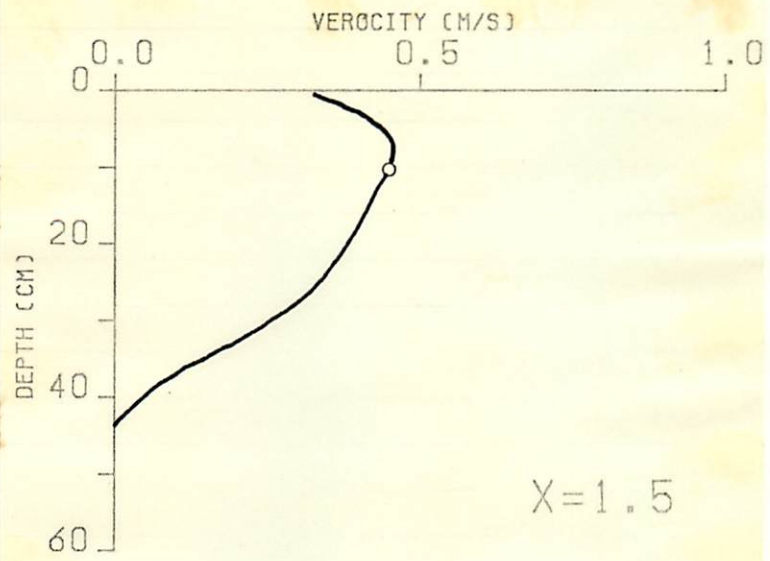
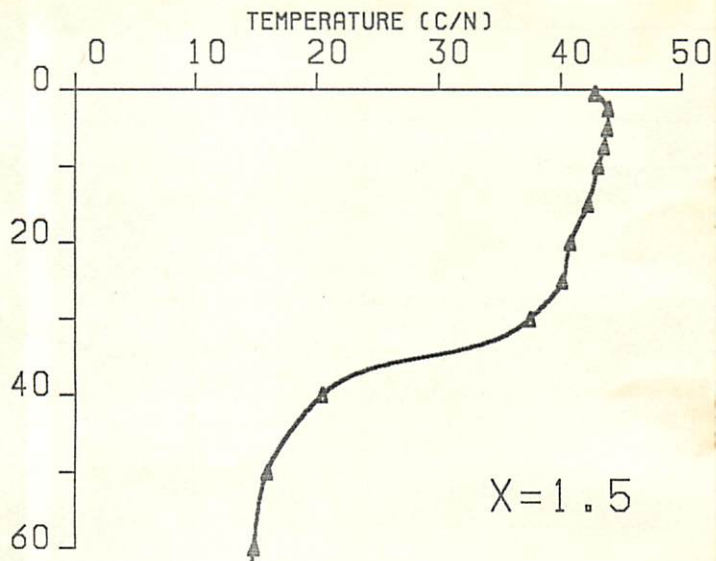
131 2 9 (10)



Exp. 0-A-1

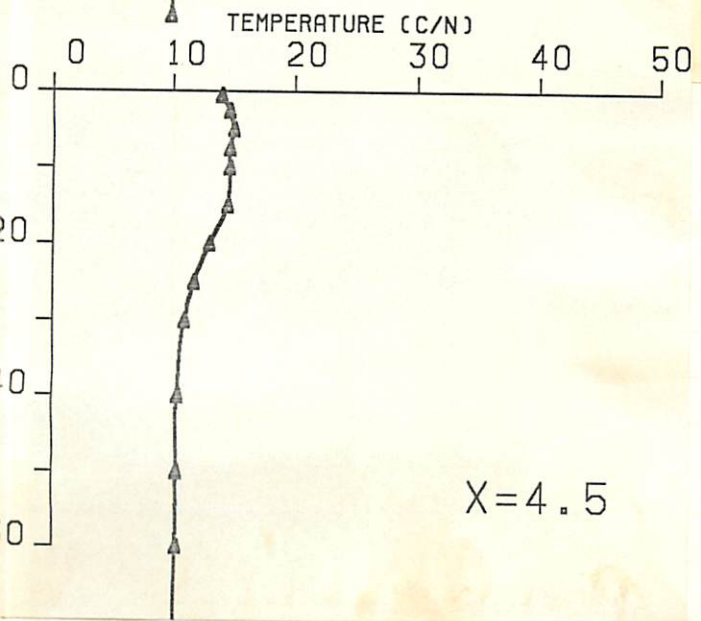
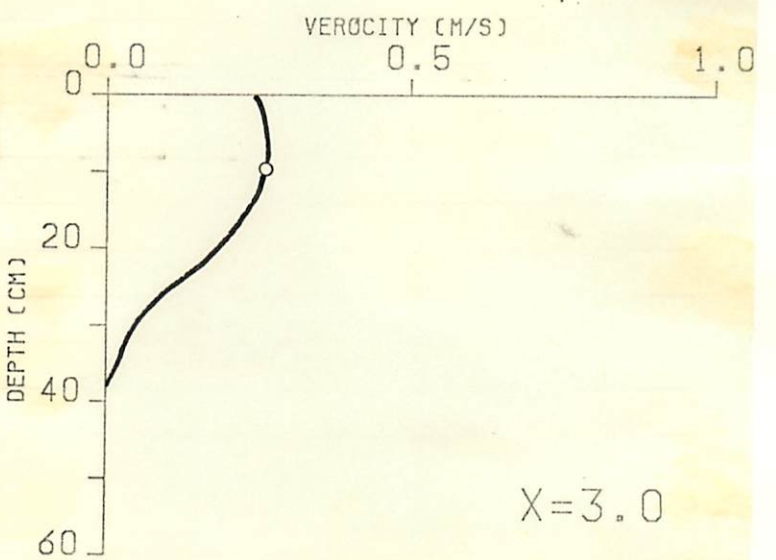
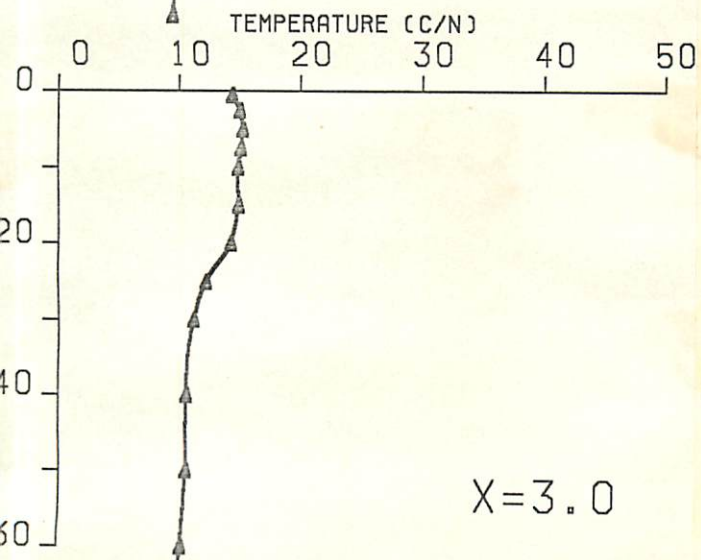
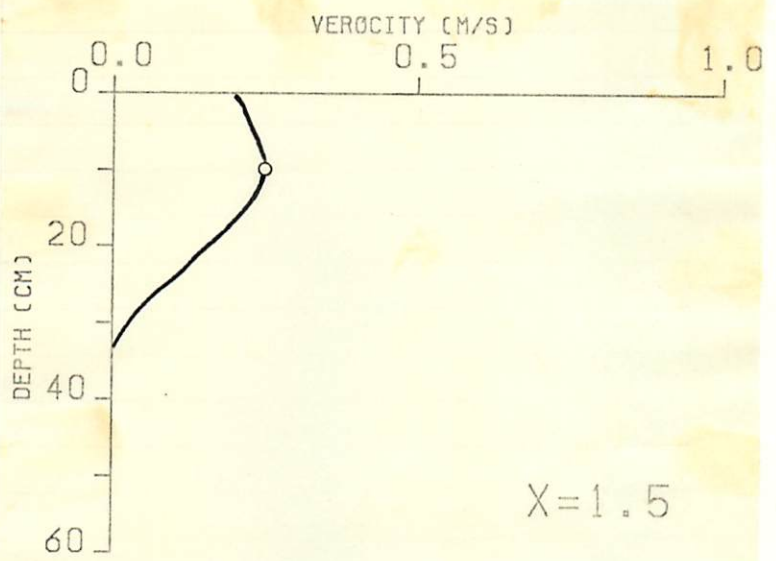
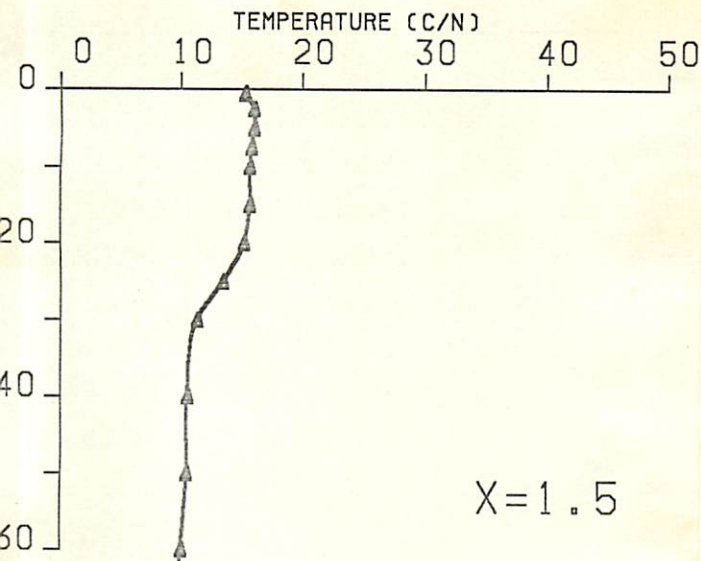


EXP. 0-A-2

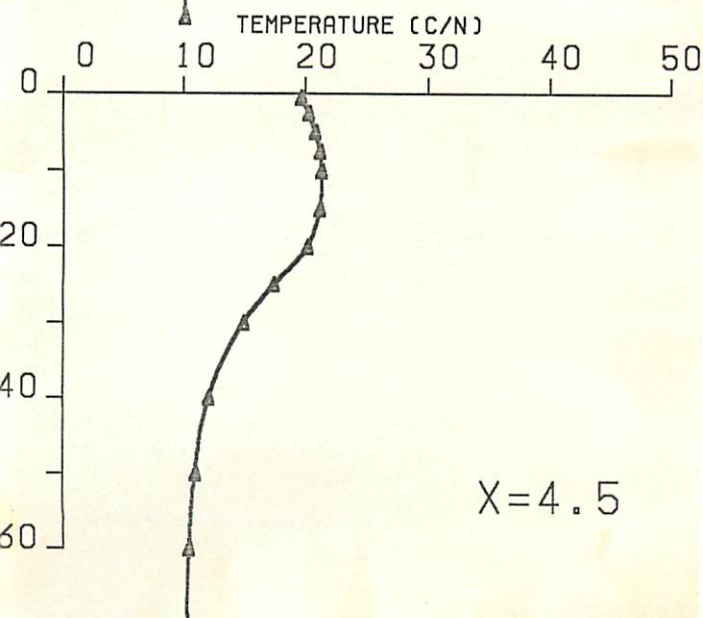
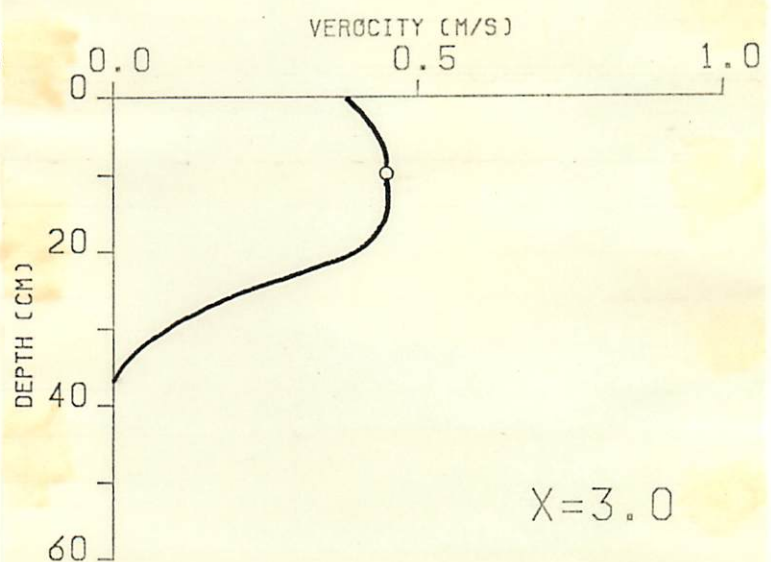
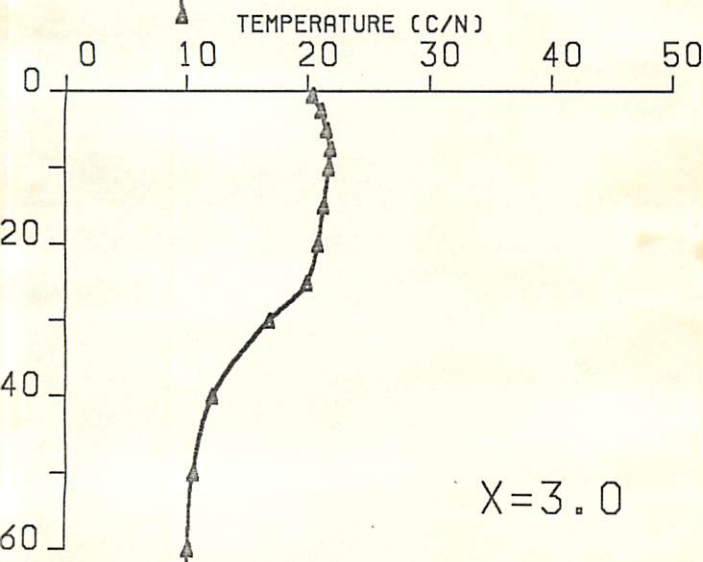
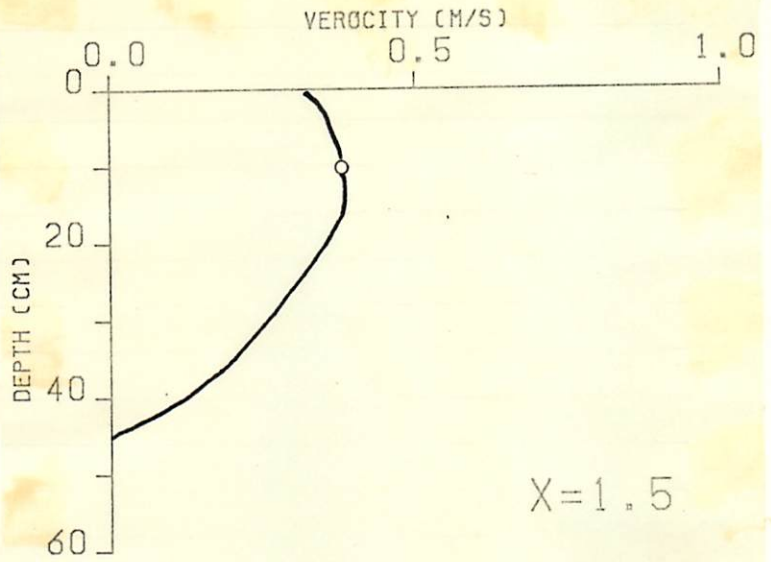
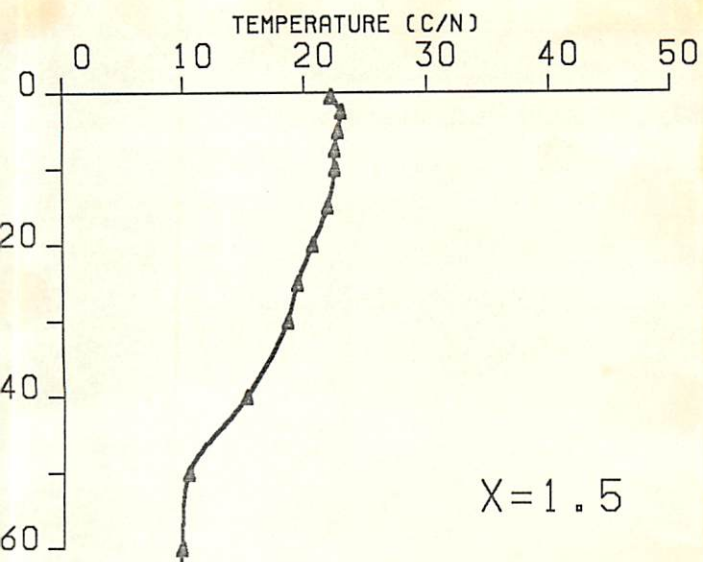


EXP. 0-B-21

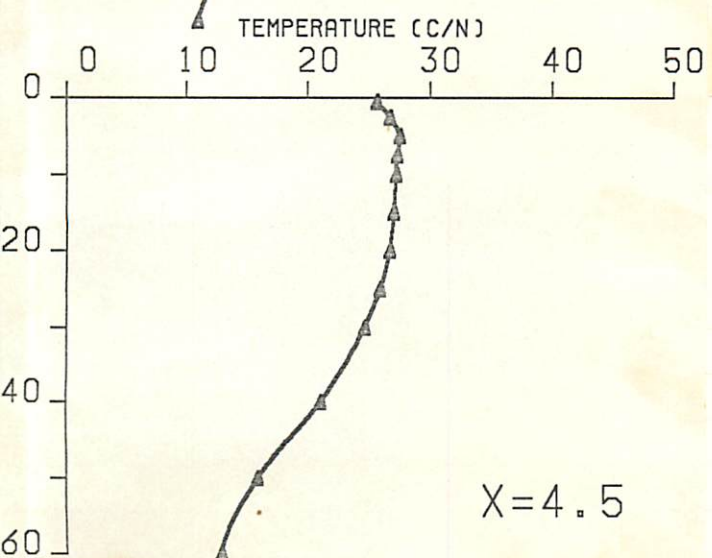
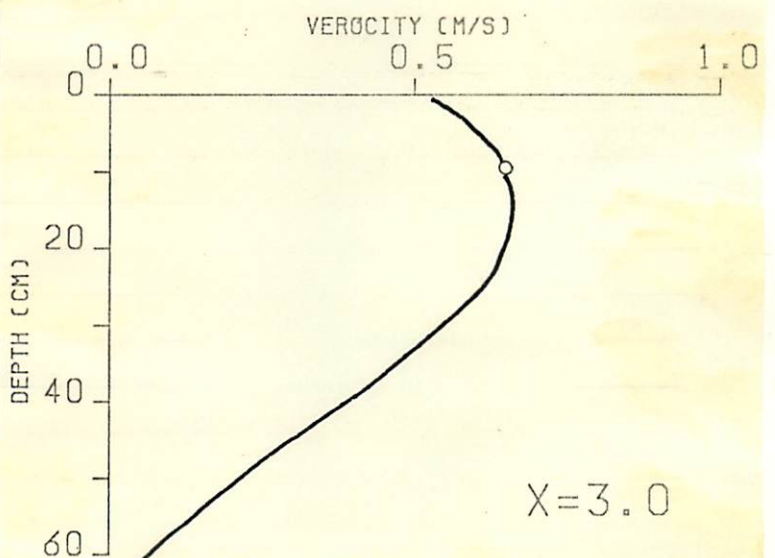
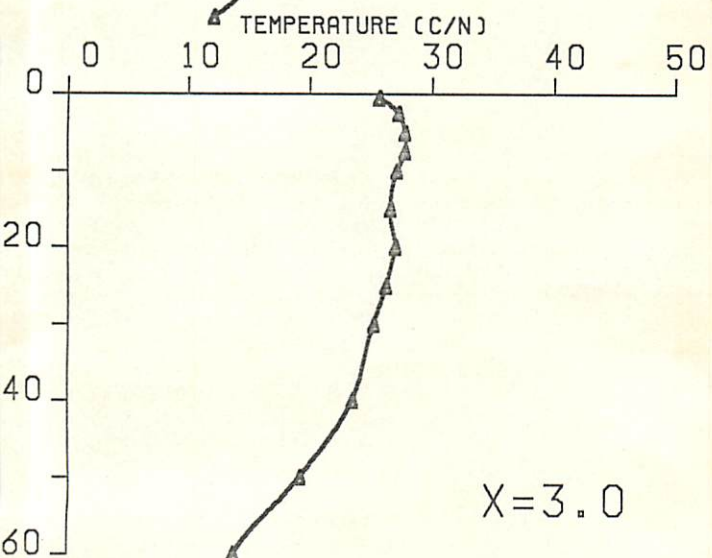
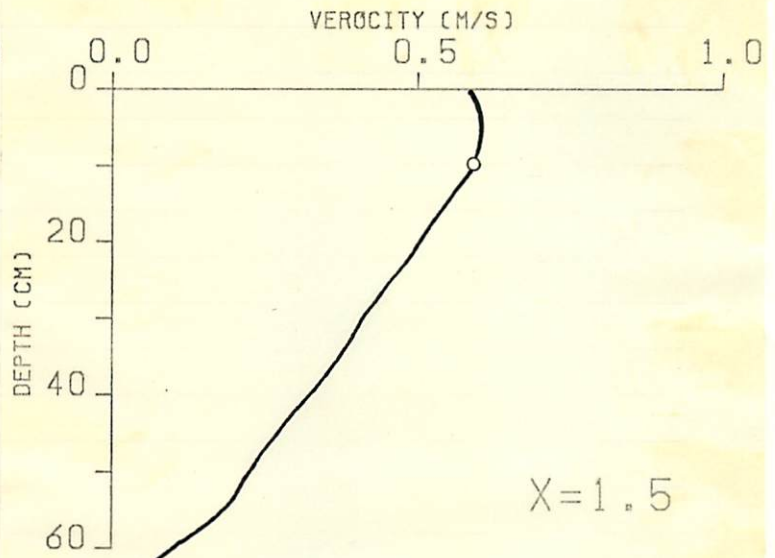
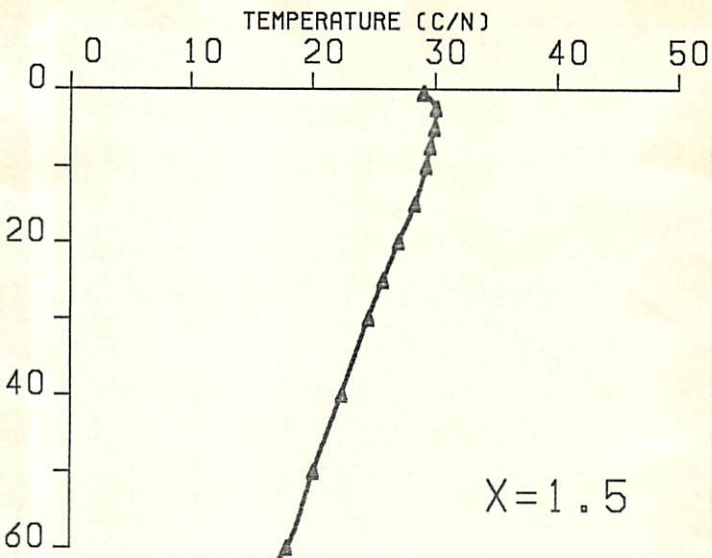
cb1



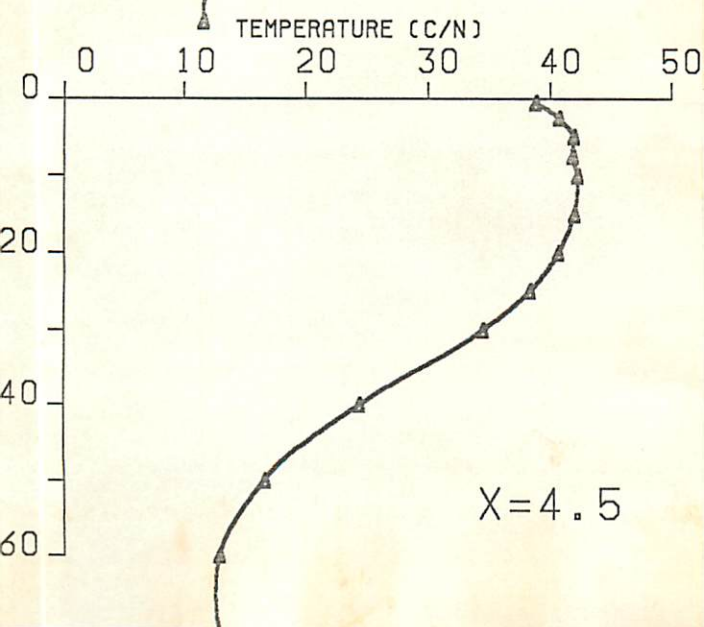
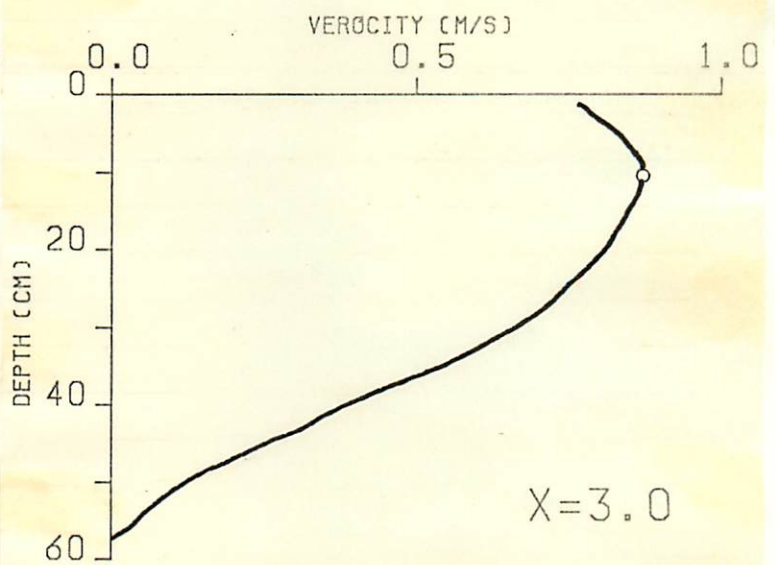
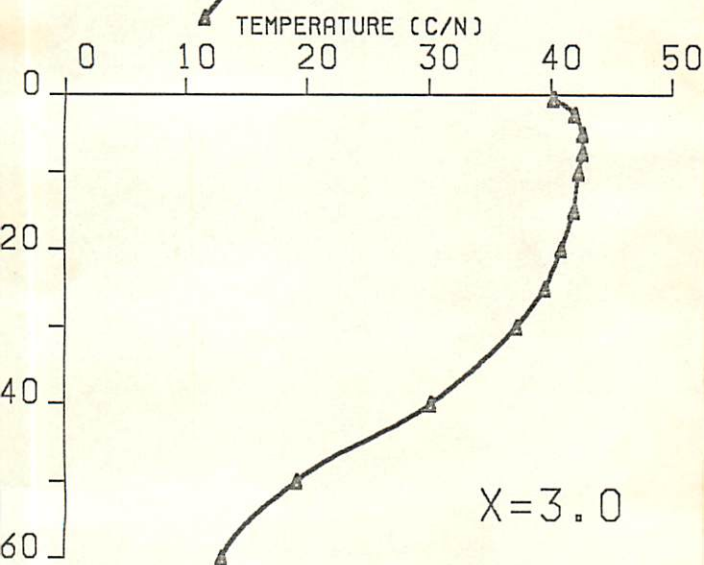
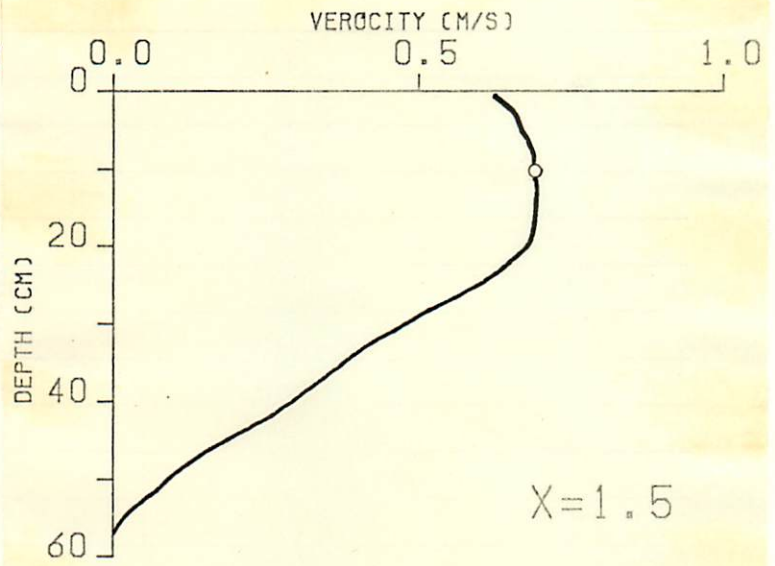
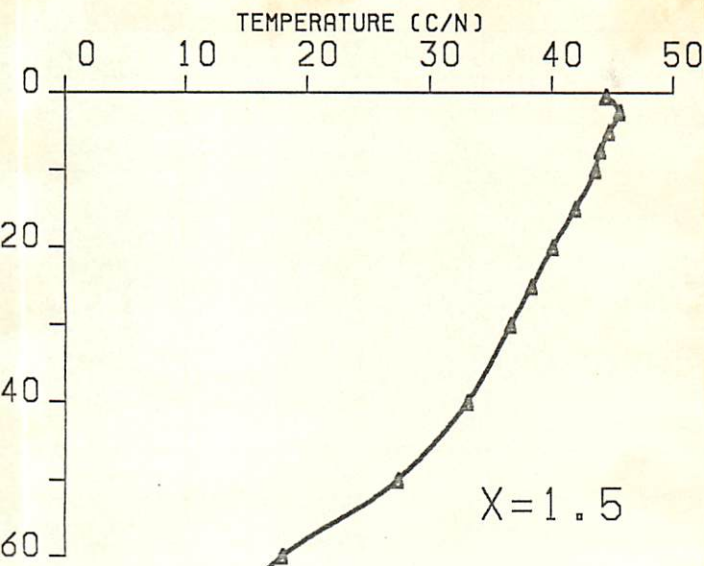
EXP. 2.5-C-1



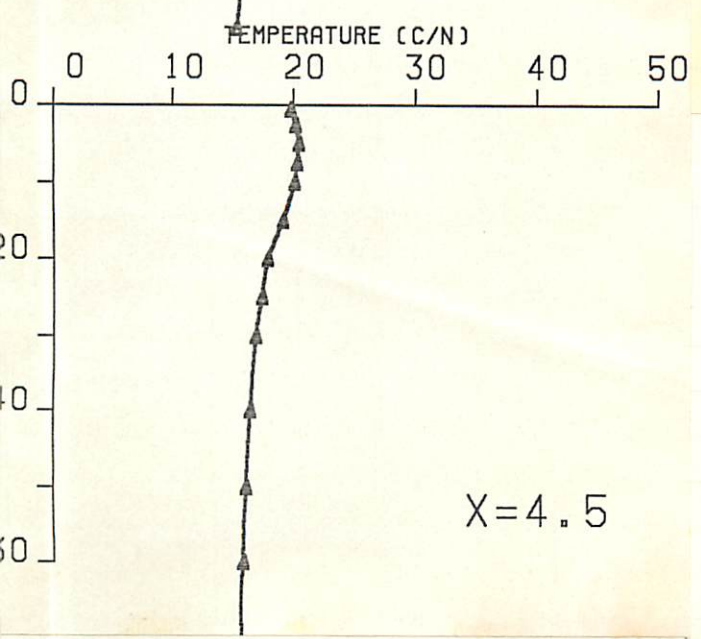
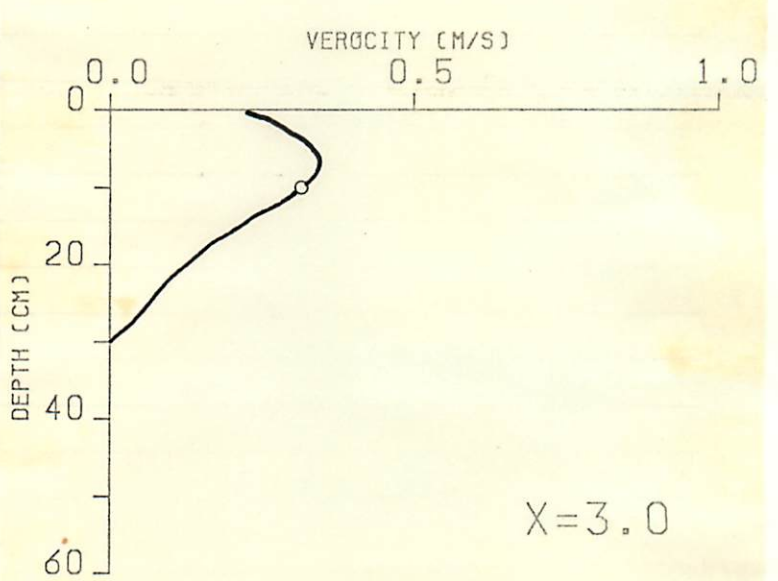
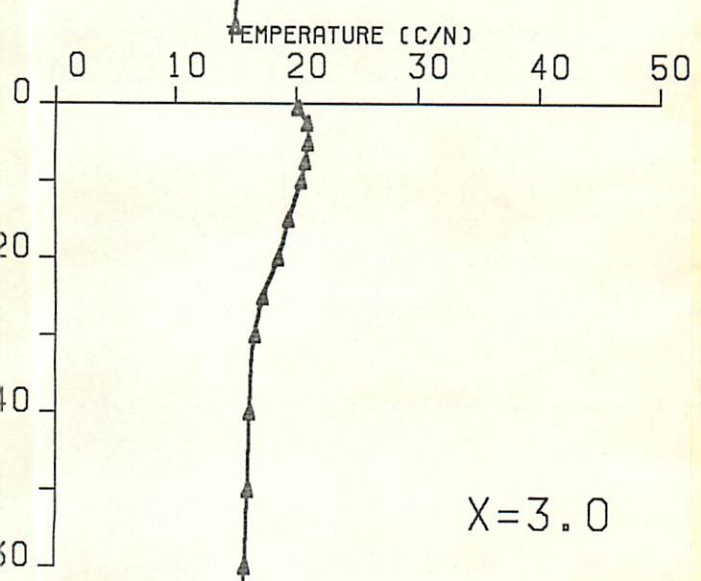
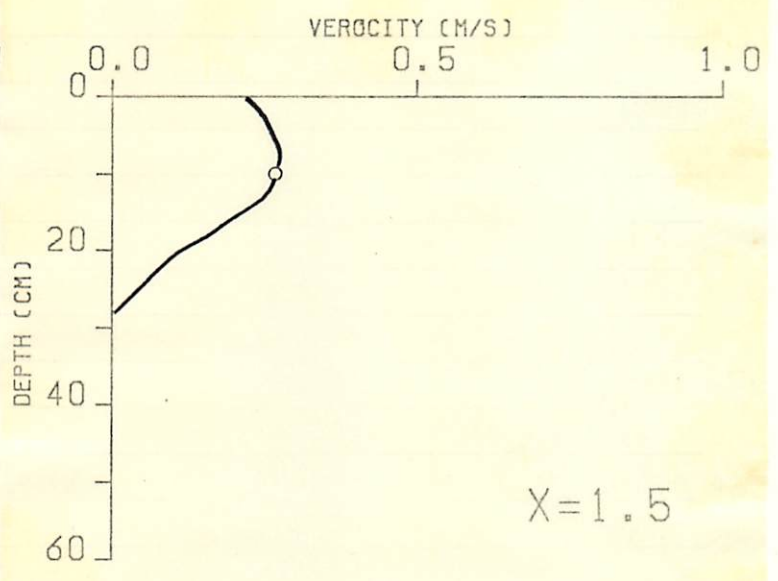
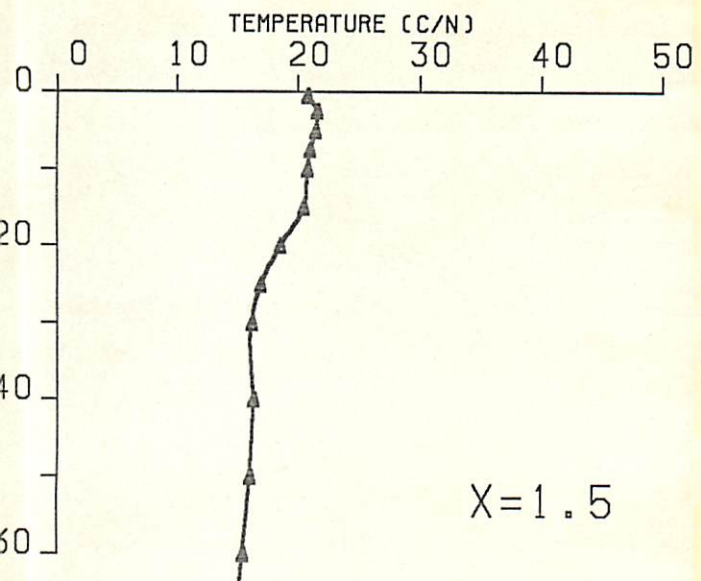
EXP. 2.5-B-1



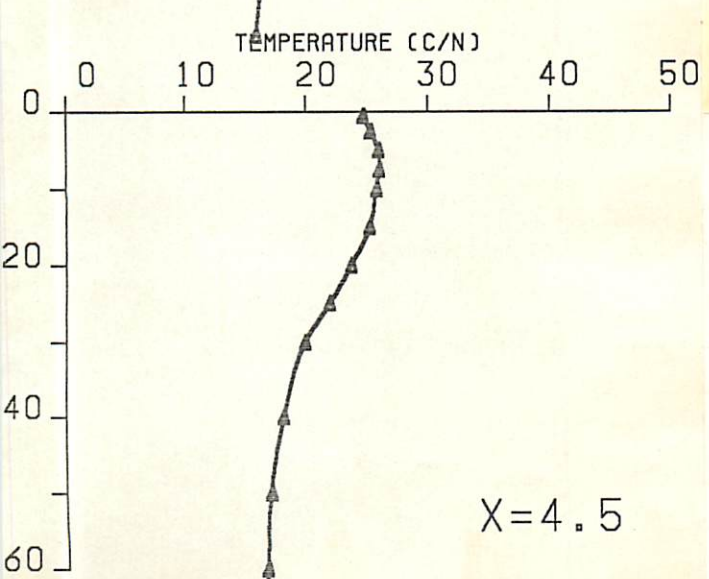
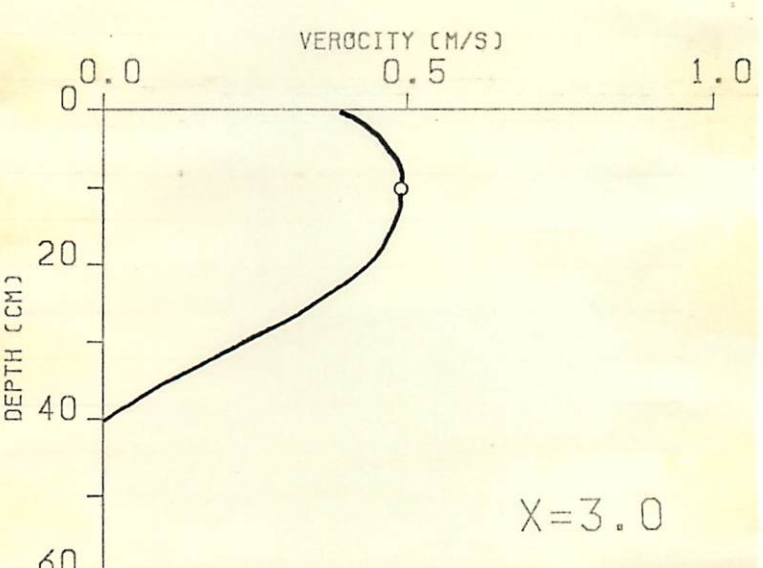
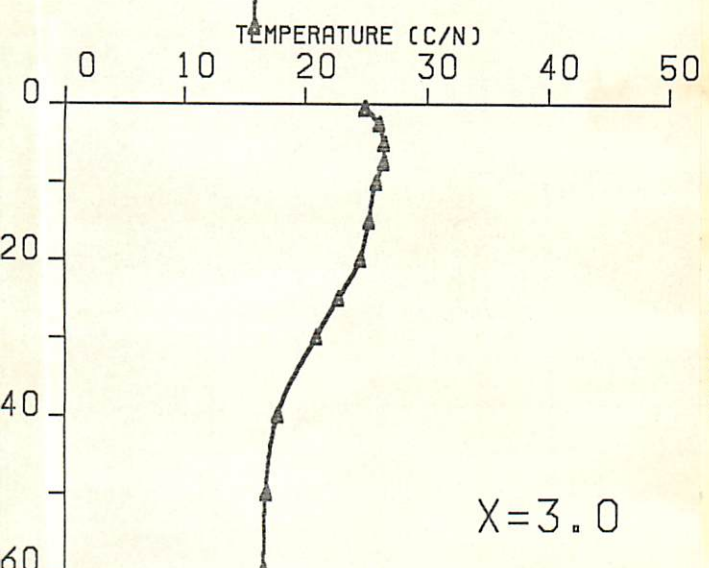
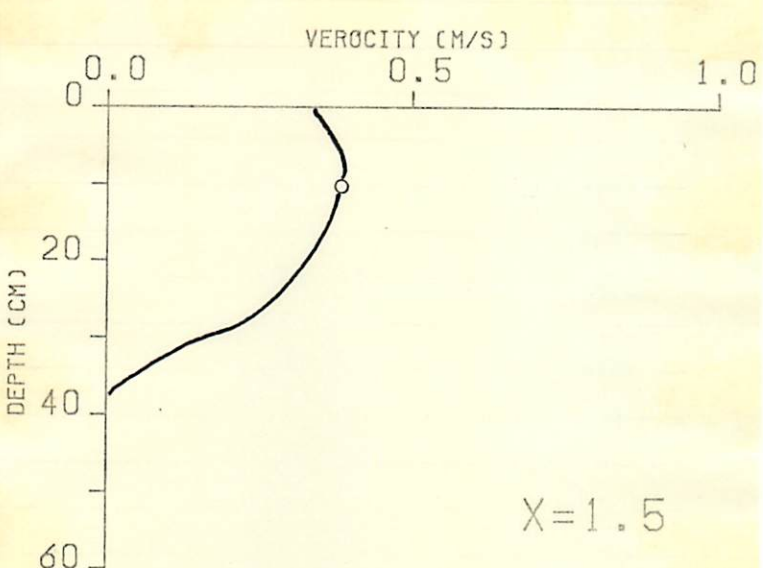
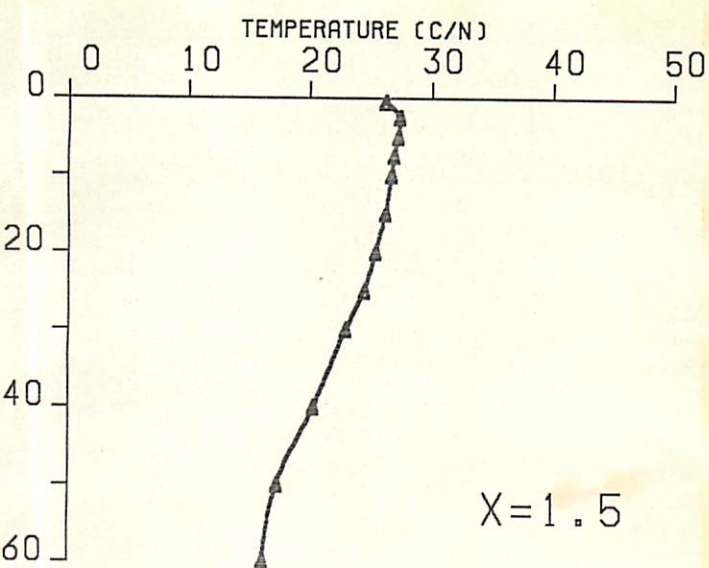
EXP. 2.5-A-1



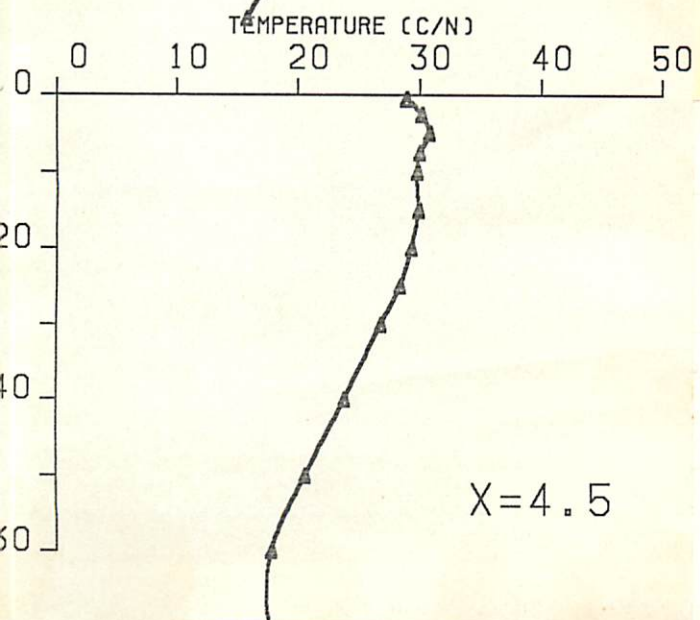
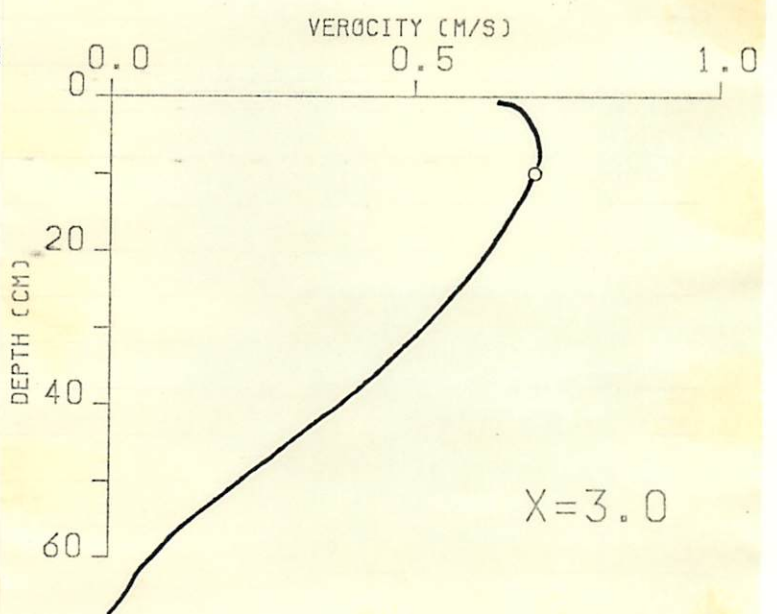
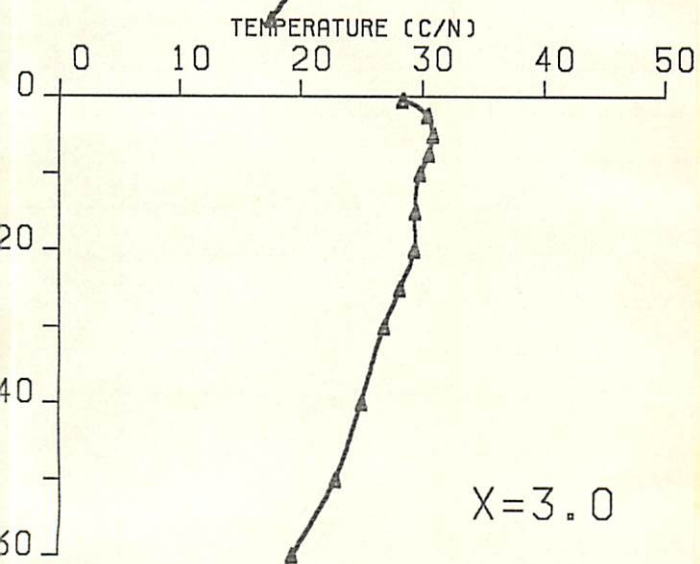
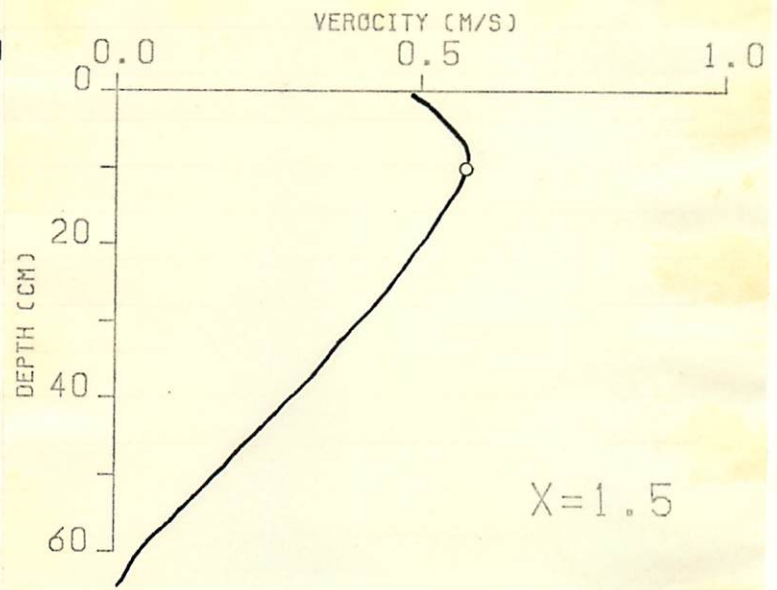
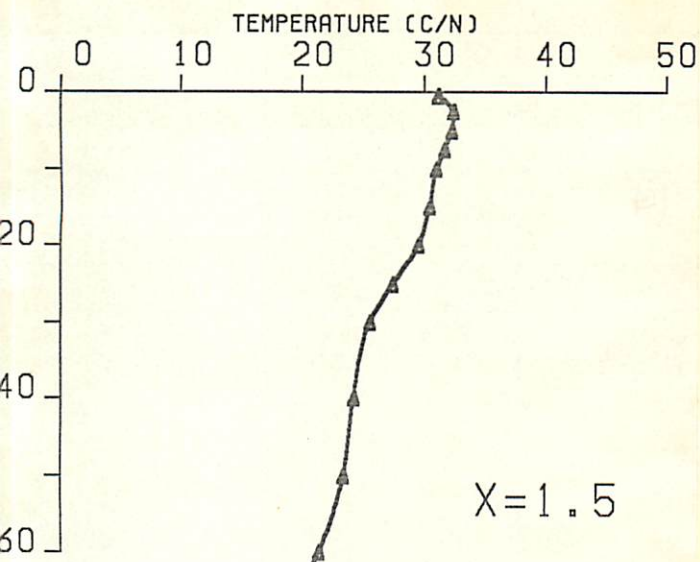
EXP. 2.5 - A - 2



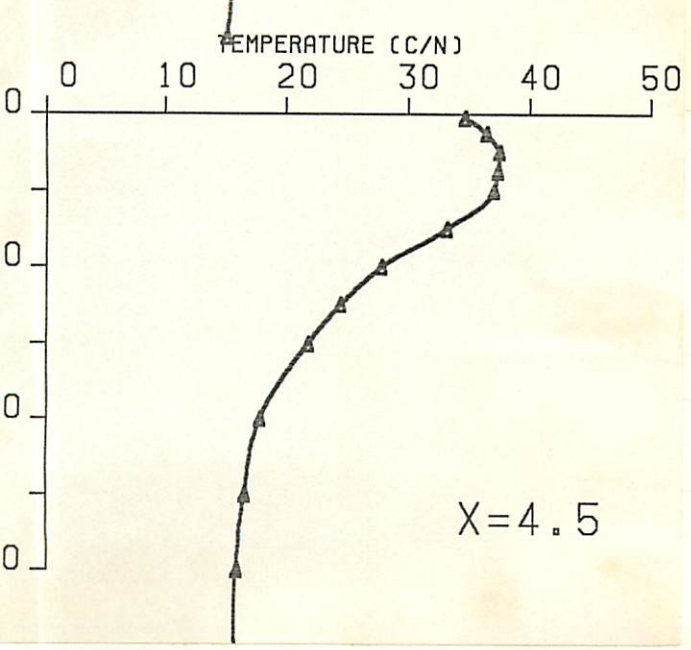
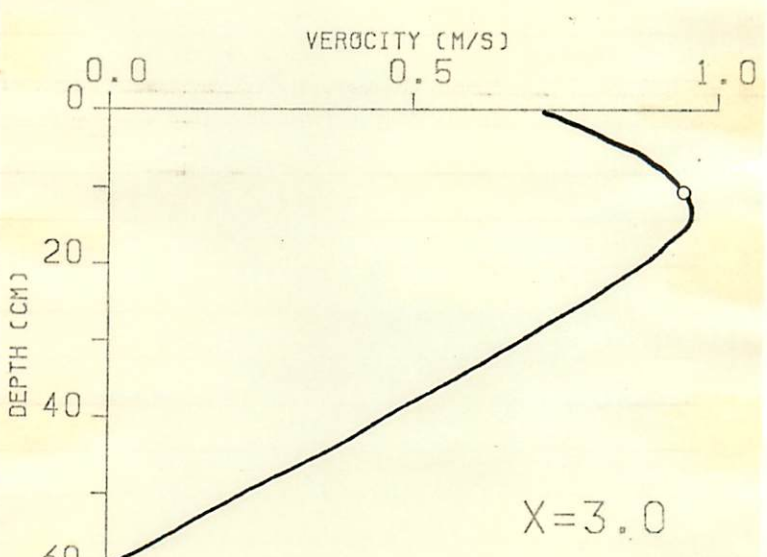
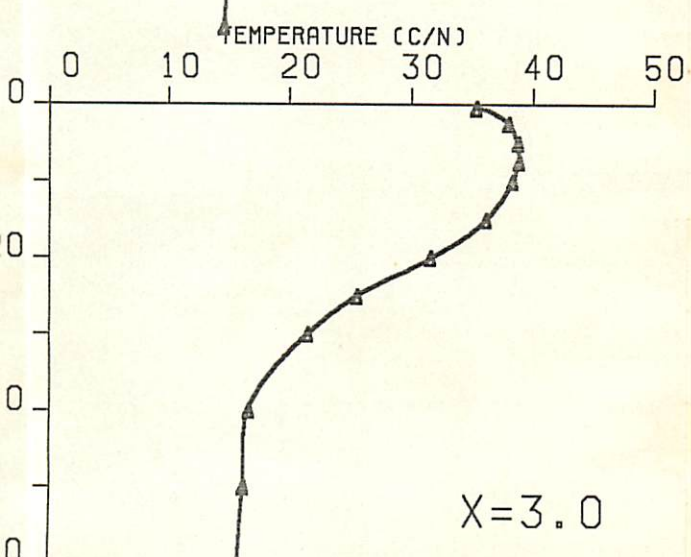
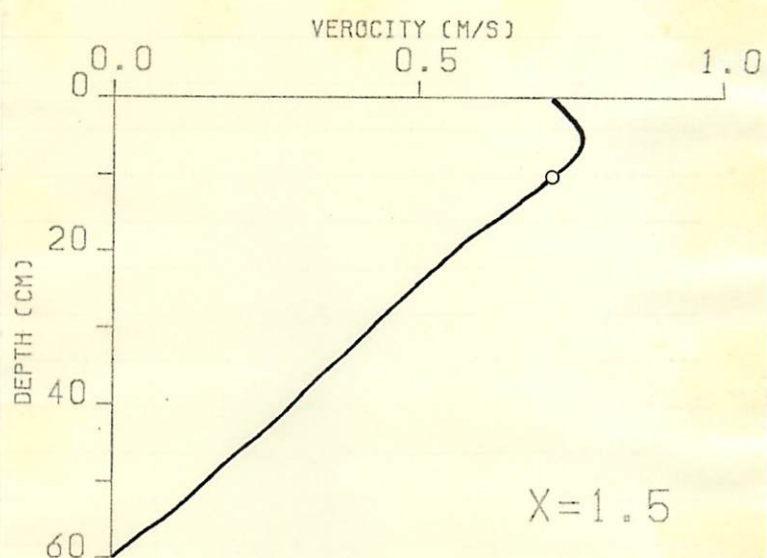
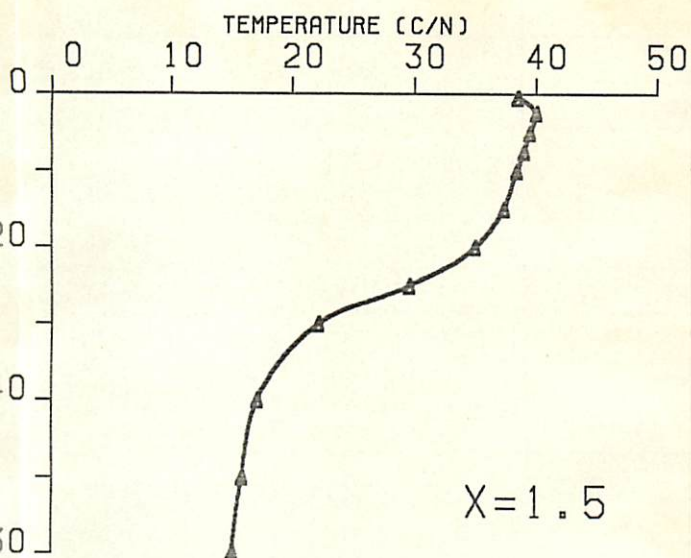
EXP. 5.0 - C - 1



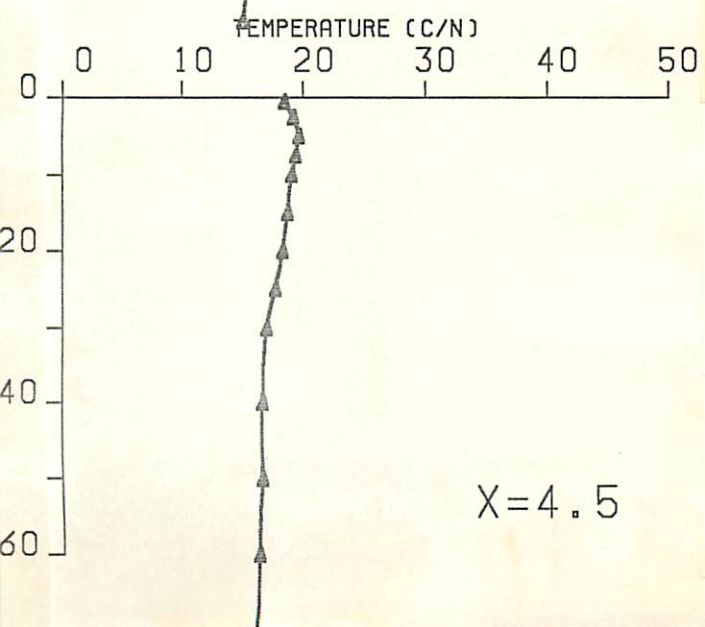
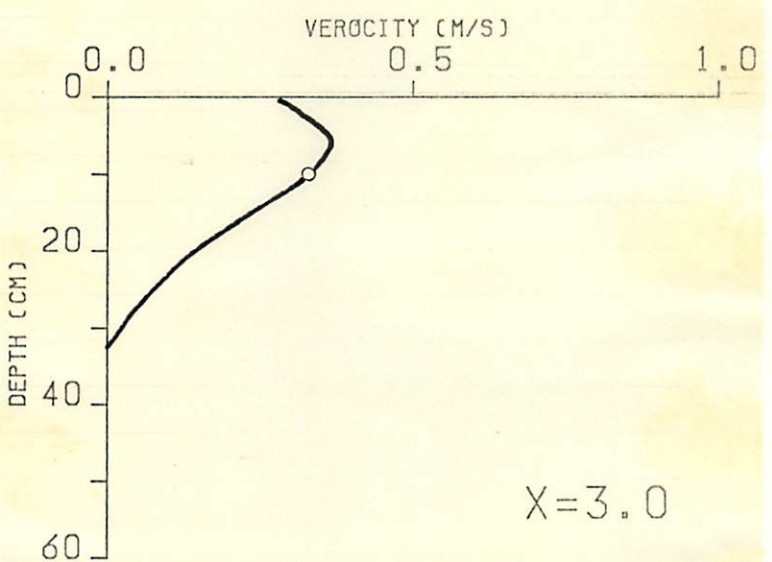
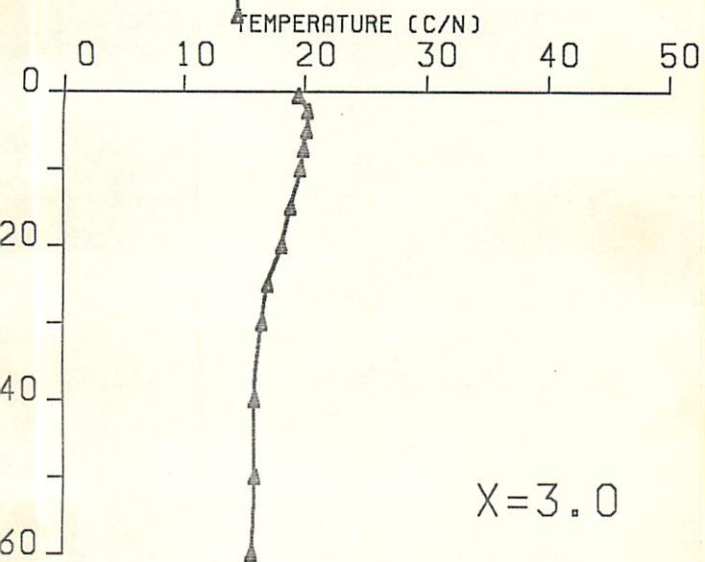
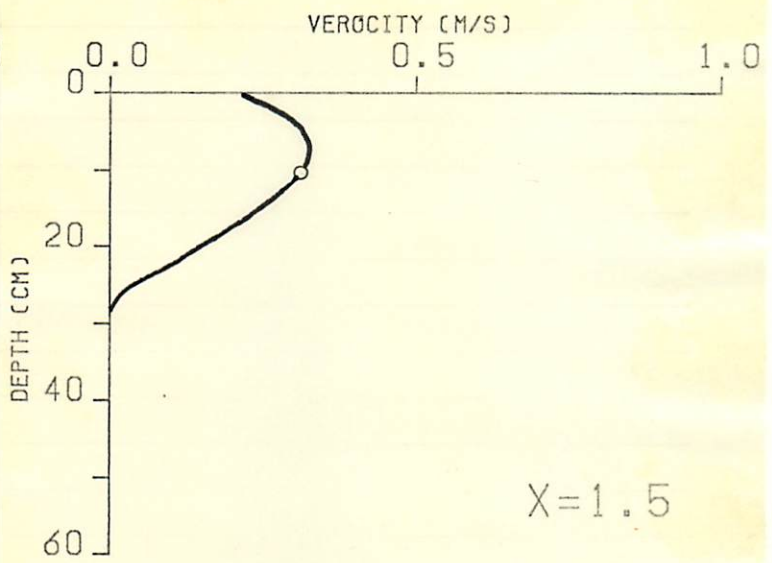
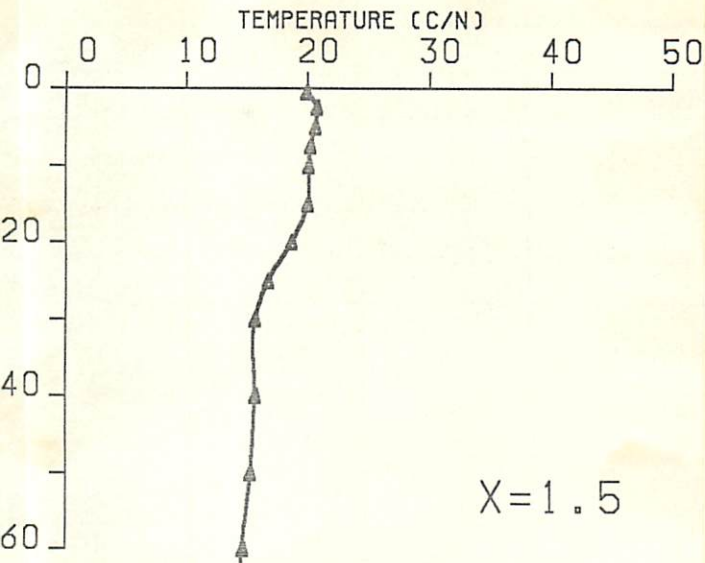
EXP. 5.0-B-1



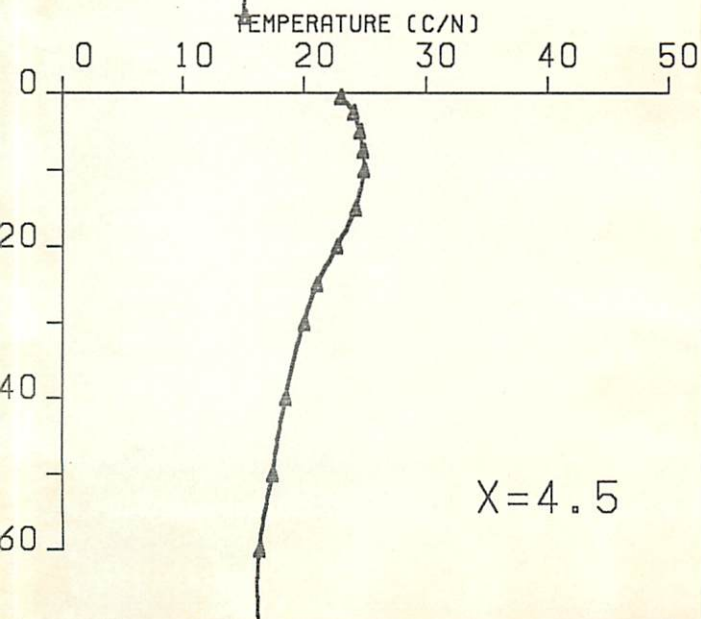
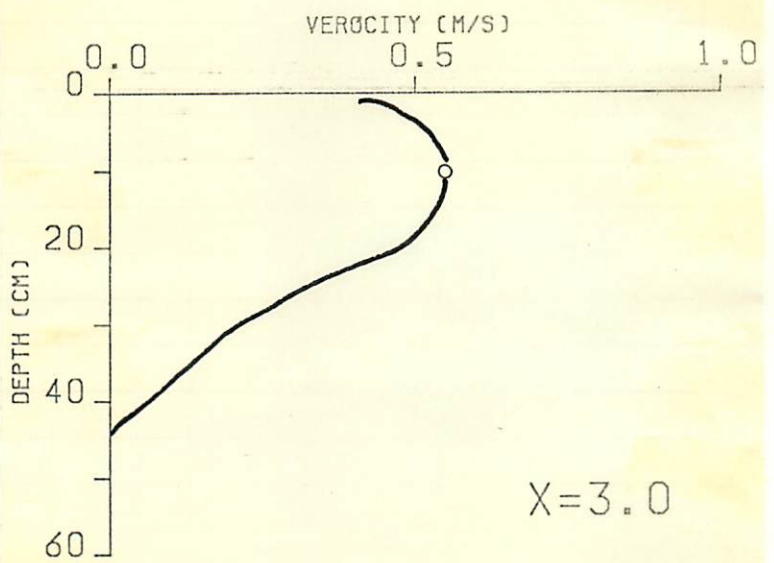
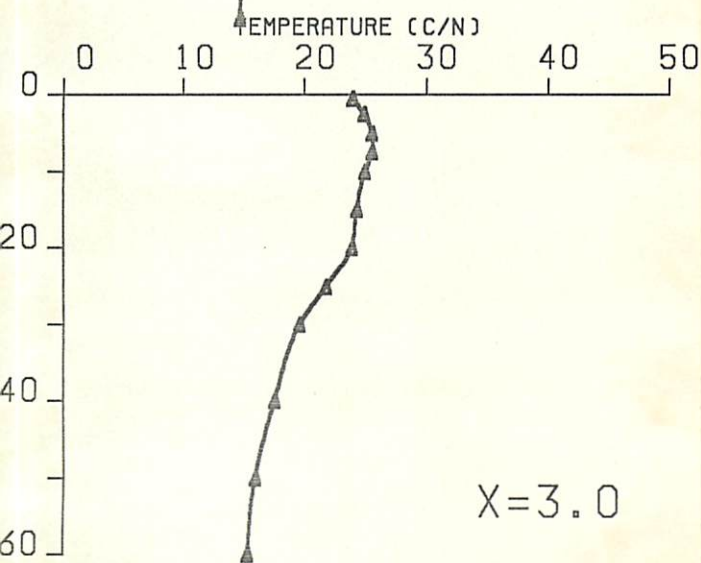
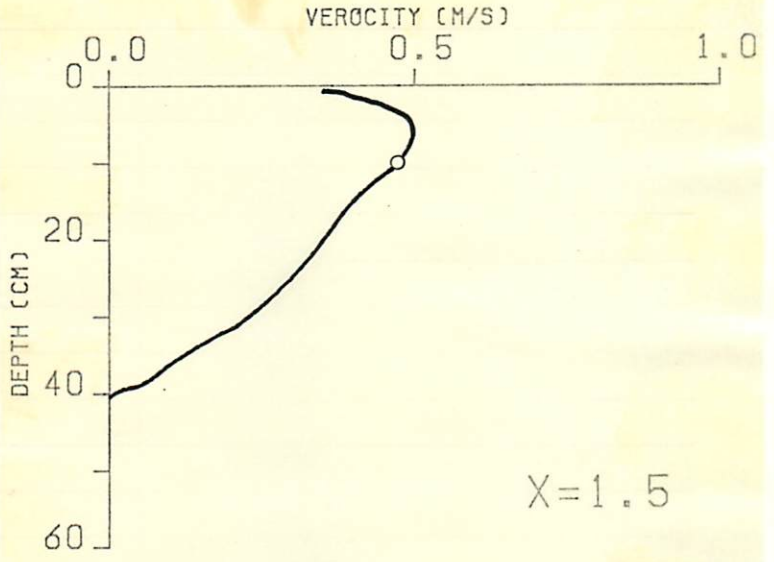
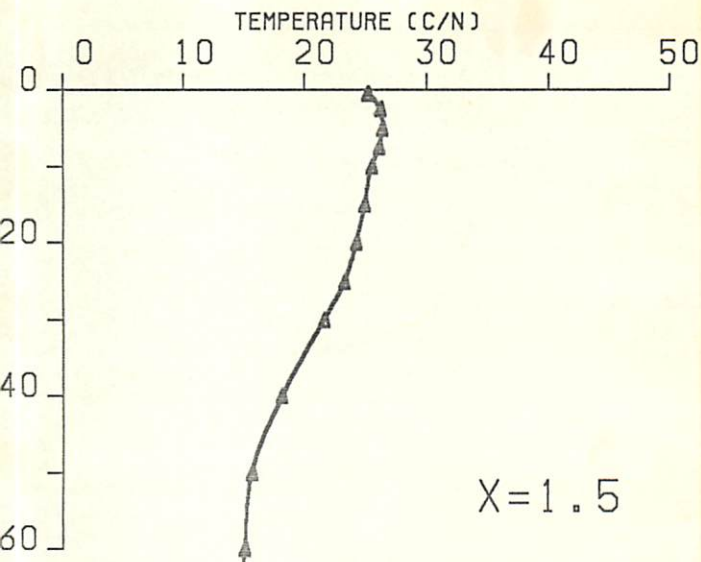
EXP. 5.0-A-1



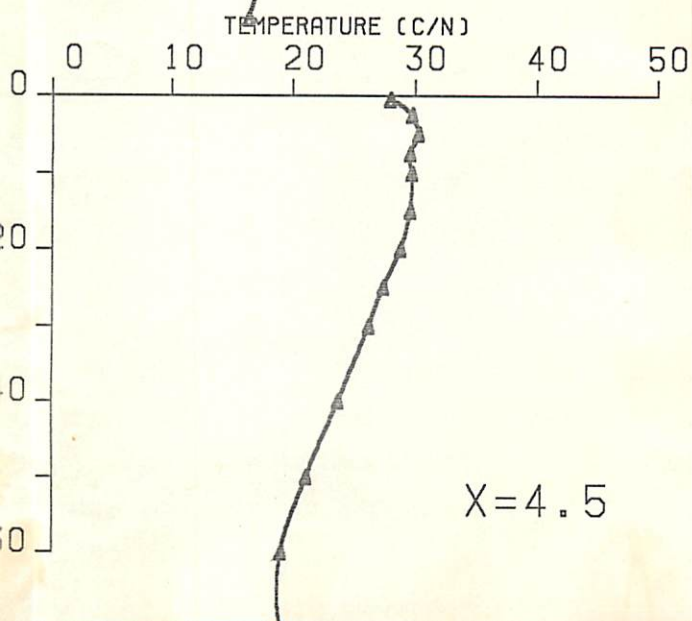
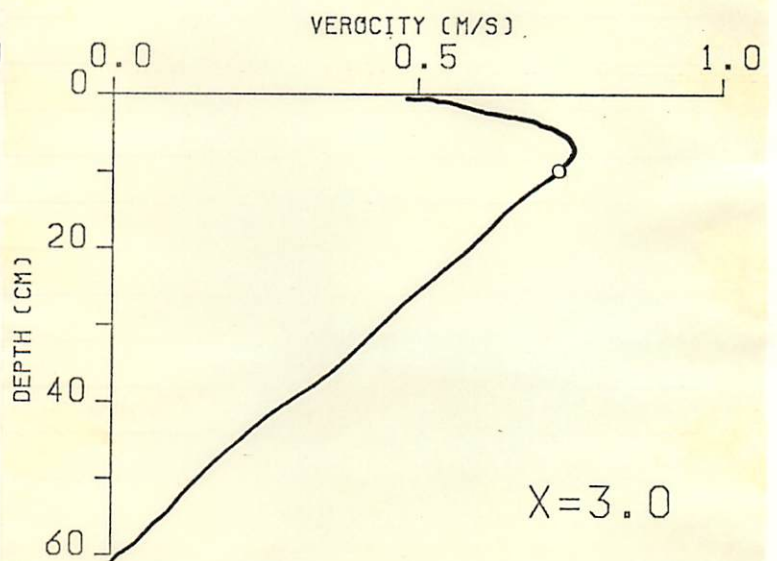
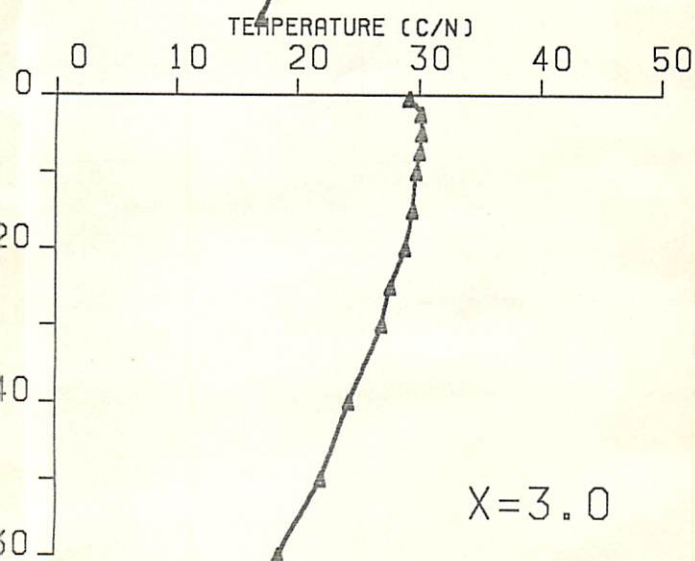
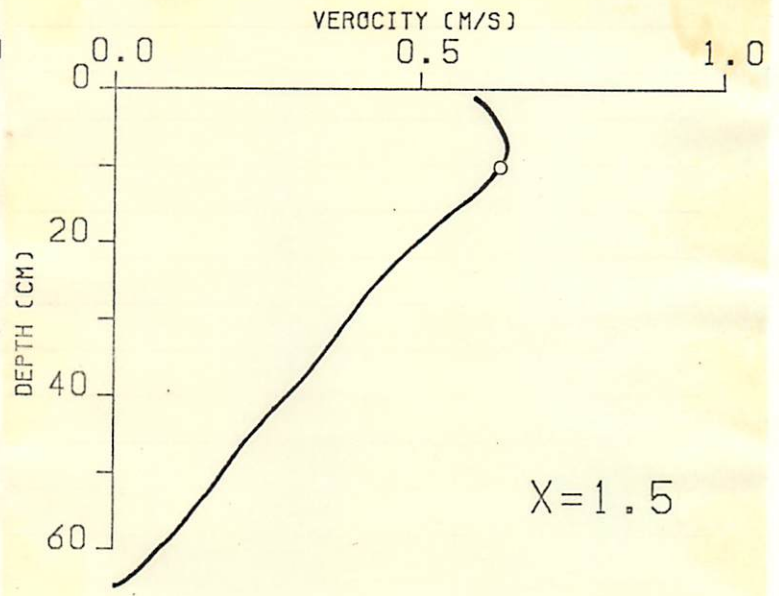
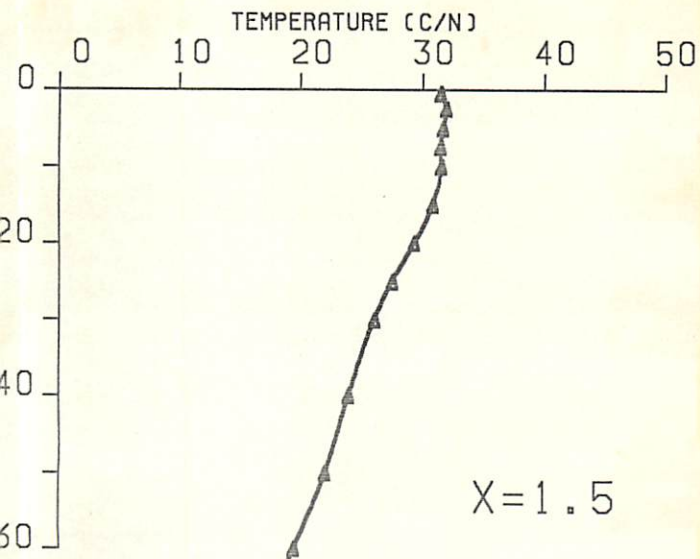
EXP. 5.0-A-2



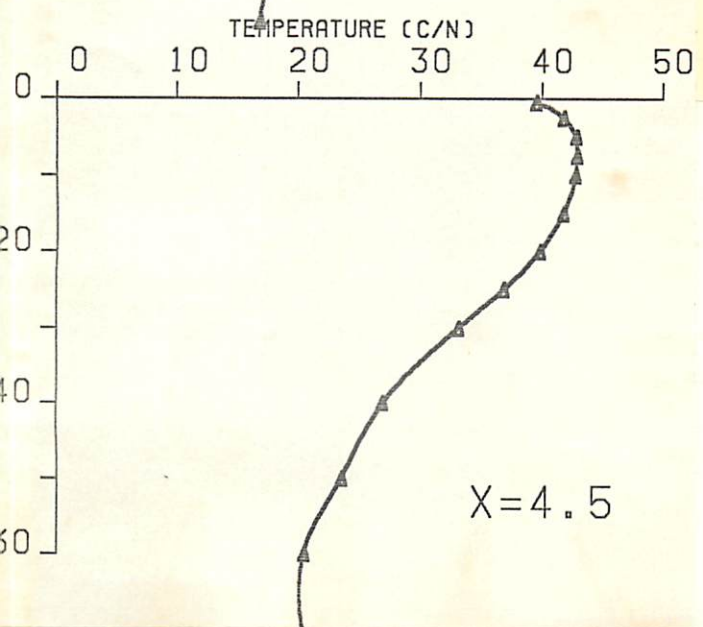
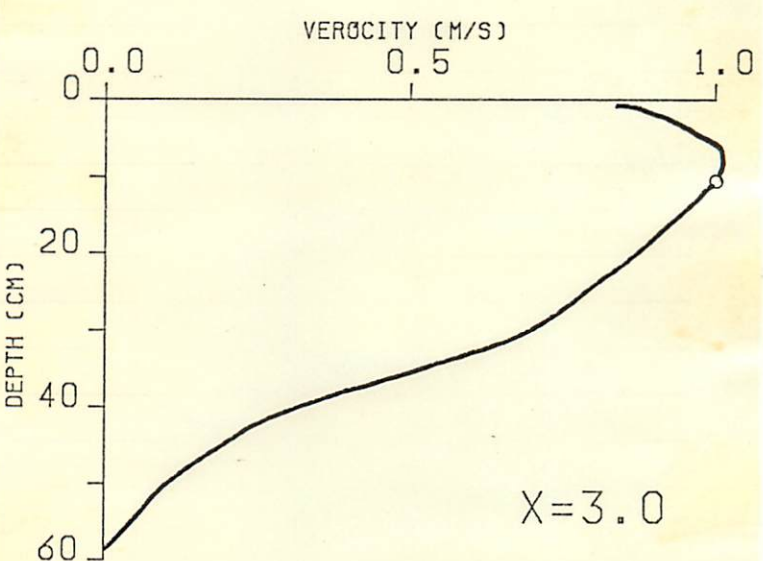
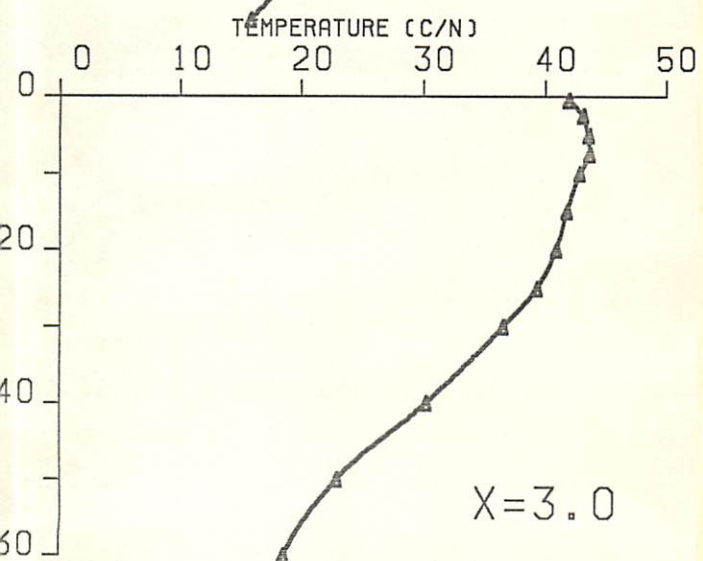
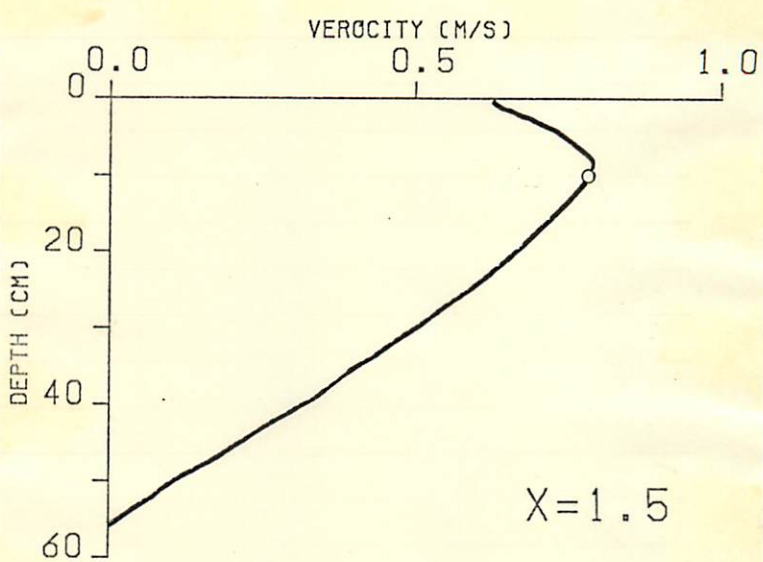
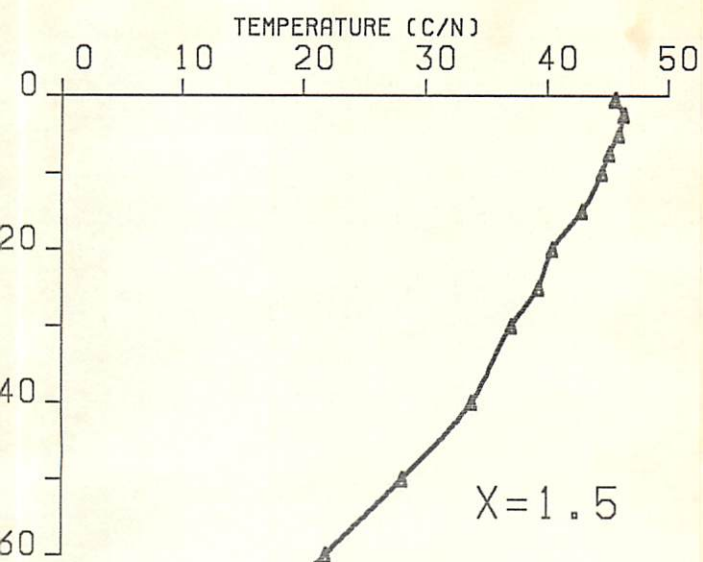
EXP. 7.5-C-1



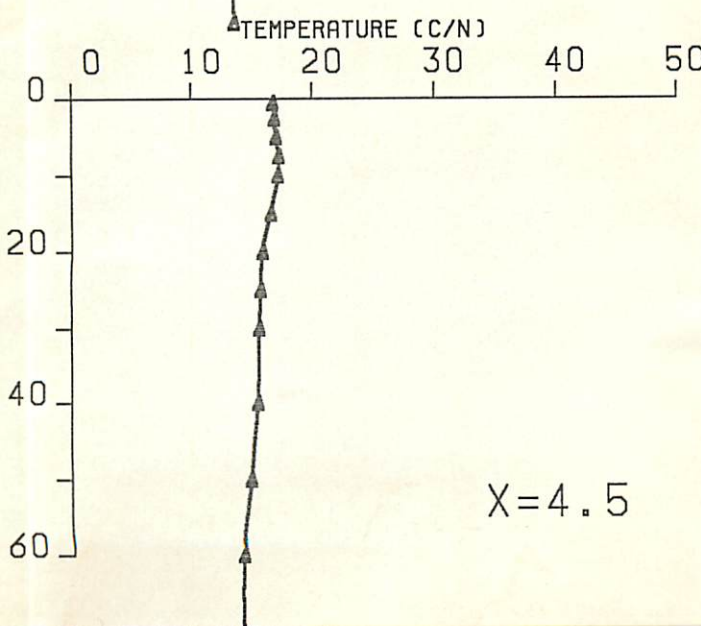
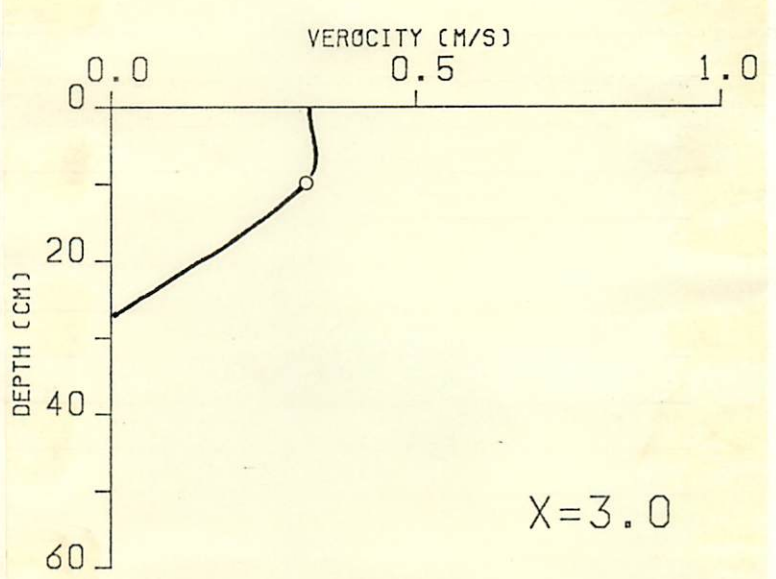
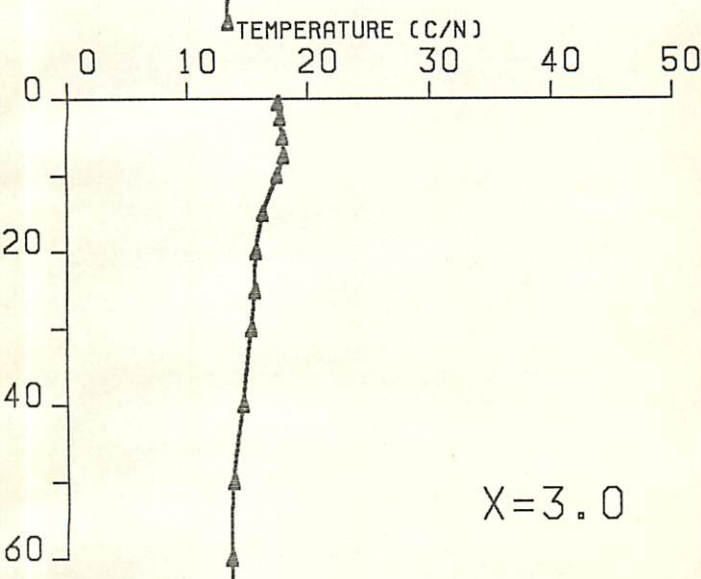
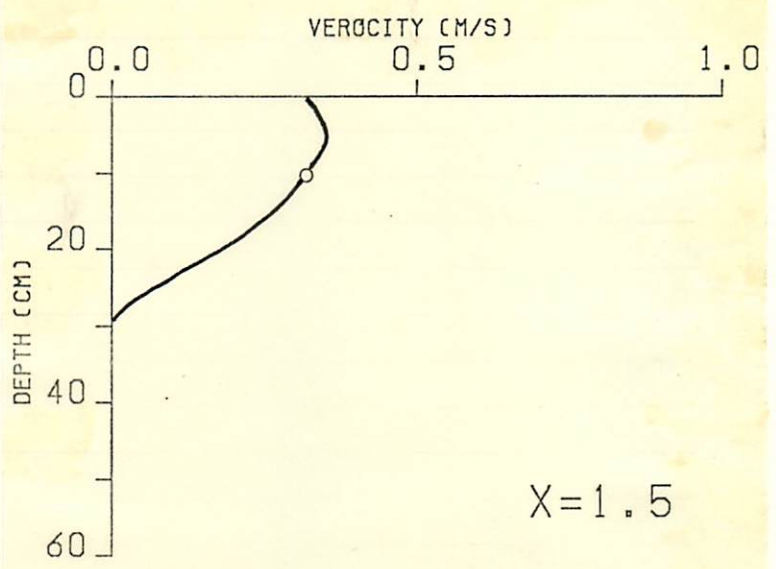
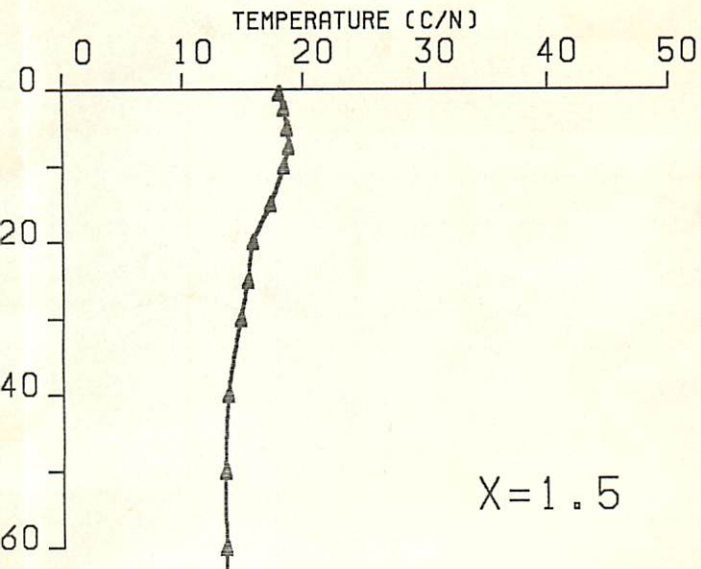
Exp. 7.5-B-1



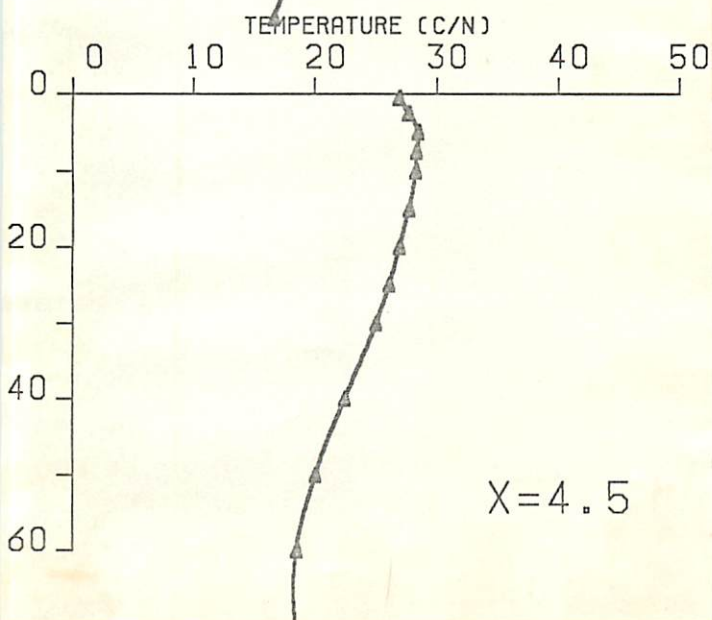
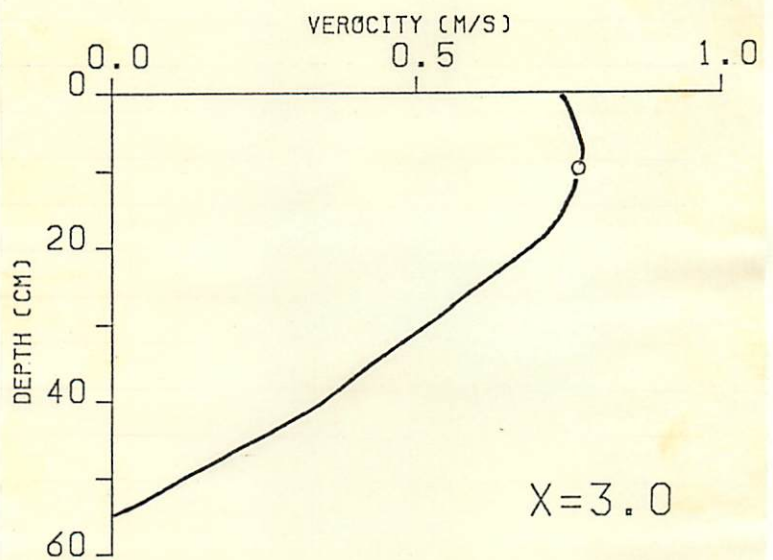
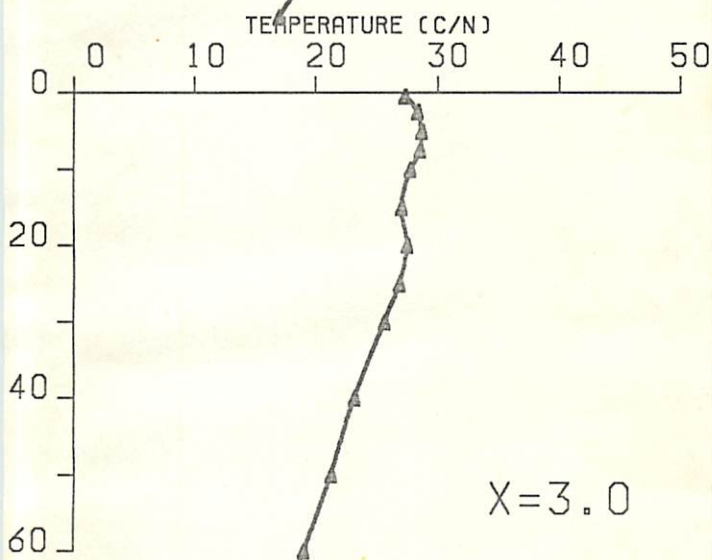
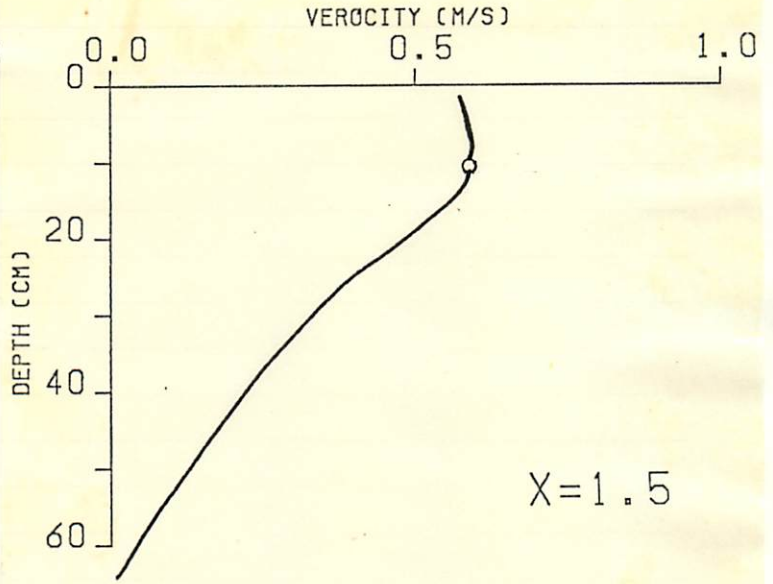
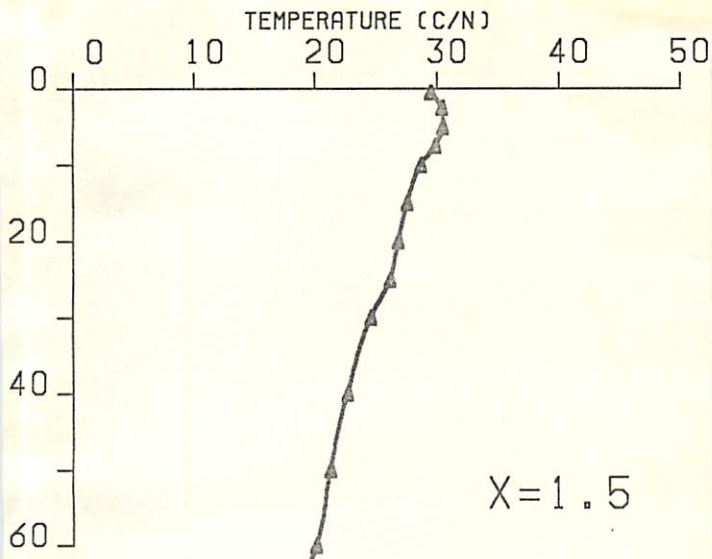
EXP. 7.5 - A - 1



EXP. 7.5-A-2



EXP. 10.0 - C - 1



EXP. 10.0 - A - 1