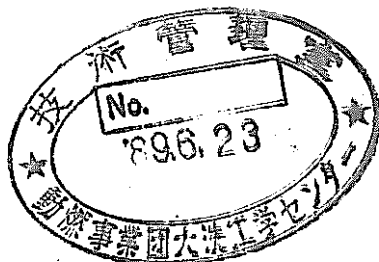


「常陽」高性能炉心の流量調節機構のキャビテーション試験



1988年12月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
T	J9214 88-007
<p>この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です</p> <p>動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室</p>	

三菱原子力工業株式会社

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

1988年12月

「常陽」高性能炉心の流量調節機構のキャビテーション試験

工藤文夫*

佐藤保廣*

久我正二*

大木義久*

要 旨

「常陽」高性能炉心の成立性の検討の一環として、連結管およびエントランスノズルのオリフィス孔による流量調節機構の流動特性を把握するとともにキャビテーション発生の有無について観察を行った。

キャビテーションの発生は、永久構造物となる連結管において重要である。

従って、主に連結管オリフィス孔からのキャビテーション（付着形）の有無に着目して観察を行なった。付着形キャビテーションの発生は、第5列炉心領域において認められた。このキャビテーションに対する抑制対策としてエントランスノズル2段目のオリフィス孔を大きくしたエントランスノズルについて試験を行なった。その結果、連結管からのキャビテーションの発生は観察されなくなった。これから、設計上最も厳しい第5列炉心領域の連結管のキャビテーション対策の見通しを得ることができた。

本報告書は、三菱原子力工業株式会社が動力炉・核燃料事業団との契約により実施した試験の成果である。

事業団担当部課室：実験炉部技術課（田代正夫）

＊）三菱原子力工業株式会社

December 1988

Cavitation Tests on Flow Control Devices
for
JOYO Advanced Core

Fumio Kudough*

Yasuhiro Sato*

Shoji Kuga *

Yosihisa Ohki*

Pressure drop characteristics and possible cavitation occurrence have been investigated on the Joyo receptacles and nosepieces as part of the Joyo Advanced Core Study. The occurrence of cavitation is of particular important on the part of non-replaceable components. Thus, visual observation was made with particular emphasis on cavitation on the receptacle side.

Fixed-type of cavitation has been observed on the receptacle wall of Zone-5. In order to suppress this type of cavitation, flow testing has been made using a nosepiece with a large orifice diameter on the second stage. For this case, no cavitation has been observed on the receptacle wall, thereby demonstrating one possible cure for cavitation on the Zone-5 receptacle.

Work performed by Mitsubishi Atomic Power Industries, Inc. under contract with Power and Nuclear Fuel Development Corporation.

PNC Liason : Reactor Technology Section (Masao Tashiro)

*) Mitsubishi Atomic Power Industries, Inc.

目 次

	頁
1. まえがき	1
2. 試験装置	2
2.1 装置概要	2
2.2 供試体	3
3. 試験内容	7
3.1 概 要	7
3.2 試験方法	8
3.3 データ整理	20
4. 試験結果	21
4.1 流動特性試験	21
4.2 キャビテーション可視化試験	43
5. NETWORK による計算	73
5.1 常陽のネットワーク	73
5.2 常陽ネットワークのモデル化	74
5.3 入力データ作成	75
5.4 総合流動試験の解析	77
5.5 オリフィス孔のパラメータサーベイ	78
6. 考 察	103
7. ま と め	105
8. 謝 辞	106
付 録	107

表 リ ス ト

	頁
表3.1 単段オリフィス特性試験条件	13
表3.2 多段オリフィス特性試験条件	14
表3.3 ブラインドオリフィス特性試験条件	15
表3.4 定格流動特性試験流量条件 (第0, 1列)	16
表3.5 定格流動特性試験流量条件 (第3列)	17
表3.6 定格流動特性試験流量条件 (第5列)	18
表4.1 単段オリフィス試験実施条件	24
表4.2 多段オリフィス試験実施条件	24
表4.3 ブラインドオリフィス試験実施条件	24
表4.4 内部オリフィス試験実施条件	25
表4.5 総合流動特性試験実施条件	26
表4.6 第0, 1列キャビテーション発生状況	46
表4.7 第3列キャビテーション発生状況	47
表4.8 第5列キャビテーション発生状況	48
表5.1 オリフィスの圧力損失係数	80
表5.2 CCU, CCD, CCE の値 (第0, 1, 2, 5列)	81
表5.3 CCU, CCD, CCE の値 (第3列)	82
表5.4 CCU, CCD, CCE の値 (第4列)	83
表5.5 第5列サーベイ結果	84
表5.6 第5列解析結果 (100%流量)	85
表5.7 第5列解析結果 (60%流量)	86
表5.8 第5列改良型解析結果(100%流量)	87
表5.9 第5列改良型(6.1mm) 解析結果(100%流量)	88
表5.10 第5列改良型(7.0mm) 解析結果(100%流量)	89

図 リ ス ト

	頁
図2.1 試験装置系統図	4
図2.2 連結管供試体	5
図2.3 エントランスノズル供試体	6
図3.1 圧力測定位置	19
図4.1 単段オリフィス特性試験 (条件1)	27
図4.2 単段オリフィス特性試験 (条件2)	28
図4.3 単段オリフィス特性試験 (条件3)	29
図4.4 単段オリフィス特性試験 (条件1)	30
図4.5 単段オリフィス特性試験 (条件2)	31
図4.6 単段オリフィス特性試験 (条件3)	32
図4.7 多段オリフィス特性試験 (条件1)	33
図4.8 多段オリフィス特性試験 (条件2)	34
図4.9 ブラインドオリフィス特性試験 (条件1)	35
図4.10 ブラインドオリフィス特性試験 (条件2)	36
図4.11 内部オリフィス特性試験 (第5列)	37
図4.12 総合流動特性試験 (第0, 1列)	38
図4.13 総合流動特性試験 (第2列)	39
図4.14 総合流動特性試験 (第3列)	40
図4.15 総合流動特性試験 (第4列)	41
図4.16 総合流動特性試験 (第5列)	42
図4.17 キャビテーション初生特性試験キャビテーションの形態 (その1)	49
図4.18 キャビテーション初生特性試験キャビテーションの形態 (その2)	50
図4.19 エントランスノズル内流速とキャビテーション係数の関係 (第0, 1列)	51
図4.20 キャビテーション初生特性試験キャビテーションの形態 (その3)	52
図4.21 キャビテーション初生特性試験キャビテーションの形態 (その4)	53
図4.22 エントランスノズル内流速とキャビテーション係数の関係 (第3列)	54

	頁
図4.23 キャビテーション初生特性試験キャビテーションの形態 (その5) ……	55
図4.24 キャビテーション初生特性試験キャビテーションの形態 (その6) ……	56
図4.25 エントランスノズル内流速とキャビテーション係数の関係 (第5列) ……………	57
図4.26 水温とキャビテーション係数の関係 ……………	58
図4.27 流動パラメータ効果試験 (水温40℃) ……………	59
図4.28 流動パラメータ効果試験 (水温56℃) ……………	60
図4.29 流動パラメータ効果試験キャビテーションの形態 (その1) ……………	61
図4.30 流動パラメータ効果試験キャビテーションの形態 (その2) ……………	62
図4.31 流動パラメータ効果試験キャビテーションの形態 (その3) ……………	63
図4.32 流動パラメータ効果試験キャビテーションの形態 (その4) ……………	64
図4.33 定格流動特性試験 (第0, 1列) ……………	65
図4.34 定格流動特性試験 (第3列) ……………	66
図4.35 定格流動特性試験 (第5列) ……………	67
図4.36 定格流動特性試験キャビテーションの形態 (その1) ……………	68
図4.37 定格流動特性試験キャビテーションの形態 (その2) ……………	69
図4.38 定格流動特性試験キャビテーションの形態 (その3) ……………	70
図4.39 定格流動特性試験 (第5列, エントランスノズルC) ……………	71
図4.40 定格流動特性試験キャビテーションの形態 (第5列, エントランスノズルC) ……………	72
図5.1 もんじゅのネットワーク (例) ……………	90
図5.2 常陽ネットワーク (第2領域) ……………	91
図5.3 モデルの考え方 ……………	92
図5.4 NETWORK 解析モデル ……………	94
図5.5 オリフィスの圧力損失係数 ……………	99
図5.6 多段オリフィス試験の解析 ……………	100
図5.7 ブラインドオリフィス試験の解析 ……………	101

1. まえがき

高速実験炉「常陽」においては、炉心高性能化の一環として、中性子束を、MK-II炉心の約1.5倍にまで高める検討が行われている。中性子束を高めることは、熱出力を増加することになる。それに伴い、炉心燃料の必要冷却材の流量も増え、流量調節部にキャビテーションが生じる恐れが考えられる。

「常陽」の炉心燃料等の炉心構成要素への冷却材流量は、炉心構成要素下部にあるエントランスノズルに設けたオリフィス及び、永久構造物である炉心支持構造物として設置された連結管に設けたオリフィスとにより流量が調節される様になっている。

炉心高性能化に伴う各炉心構成要素への流量配分は、交換可能である炉心構成要素側のオリフィスすなわちエントランスノズル側オリフィスの変更で行う必要がある。ところが、流量増加に伴ない、交換不可能な連結管側オリフィスにキャビテーションが発生し、高性能炉心の成立性を検討する上で問題となる可能性のあることが指摘された。

以上の観点から、本試験は、キャビテーション初生条件の把握及びキャビテーションが流動特性に及ぼす影響を把握することを目的に流量調節機構部の流動試験を行うものである。

試験データについては、動燃事業団所有コードである「NETWORK」コードによる解析結果と比較する。しかしながら、「NETWORK」コードは、高速増殖原型炉「もんじゅ」の流量調節機構部の流量分布評価用コードとして開発されたものであり、「常陽」に直接使用することはできない。従って、試験項目として、「NETWORK」を適用する上での基礎データ、たとえば、オリフィスを単段とした場合、2段にした場合等のデータを取得する実験を実施する。

「NETWORK」コードによる解析は、この基礎データとの比較及び、常陽流量調節機構体系における比較を行う。ただし、先に述べた通り、直接常陽体系に適用することはできないので、解析は適用方法を吟味しつつ実施する。

最後に、「常陽」高性能炉心の流量調節機構用オリフィス孔のサーベイを試みる。

2. 試験装置

2.1 装置概要

水流動試験は、水キャビテーション試験装置を使用して実施する。本試験装置は、キャビテーションの発生状況を把握することを目的としたループであるため、水温調節、背圧調節が可能となっている。試験装置の系統図を図2.1 に示す。

装置の構成は、供試体を組み込むための試験体、直流可変速ポンプ、循環水貯蔵と系統加圧のためのヘッドタンク、水温調節のための加熱器、系統機器の操作及び各種検出器の値を表示するための操作盤等から構成されている。

試験時に収録するデータは、試験容器内高圧ジャケット、水温、主循環流量、供試体各部の圧力及び差圧である。測定したデータは、フロッピーディスクに収録する。データ整理等の処理は、パソコンにより行う。

2.2 供試体

試験に使用する連結管及びエントランスノズル供試体は、常陽の実寸大モデルとした。供試体は、キャビテーション発生状況を目視するため、アクリル樹脂製の可視化モデルである。「常陽」の流量領域第0.1列に対応する連結管供試体を図2.2に示す。またエントランスノズル供試体を図2.3に示す。エントランスノズル供試体は、A、B、C供試体からなり、B供試体が常陽MK-II炉心用エントランスノズルと同一形状のものである。A供試体は、B供試体と6段目の穴径が異なるものであり、C供試体は、B供試体と2段目の穴径が異なるものである。

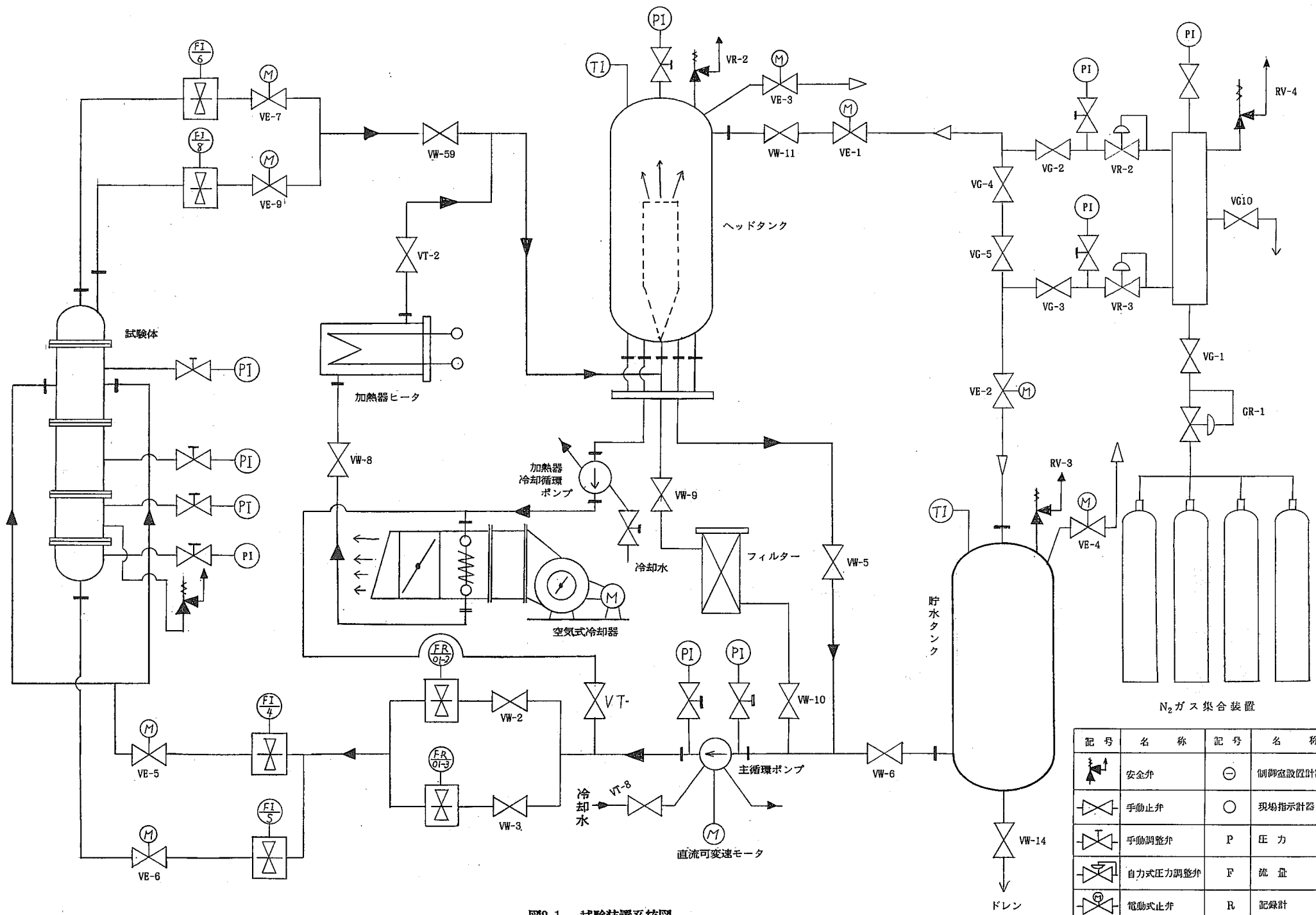
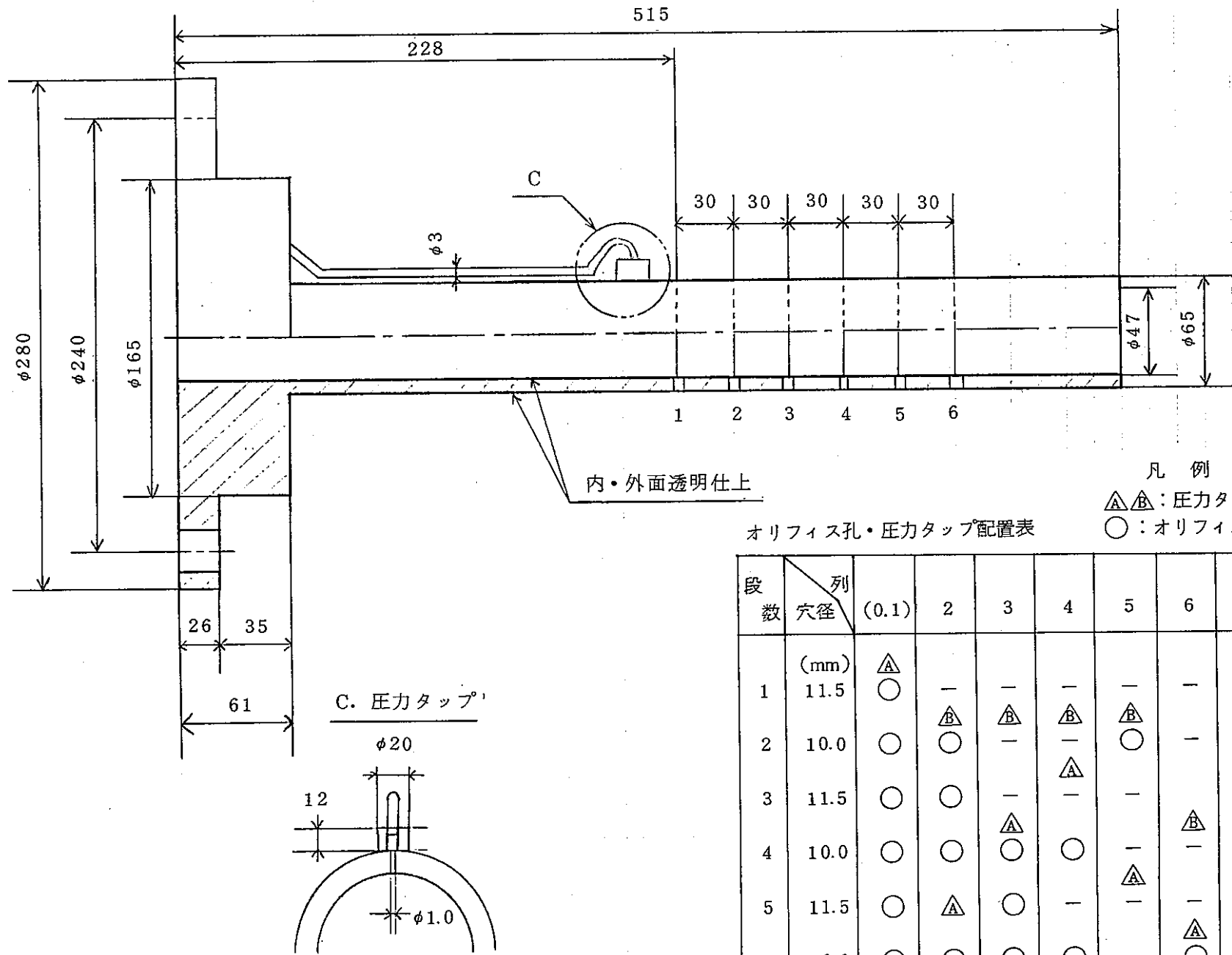


図2.1 試験装置系統図

記号	名称	記号	名称
	安全弁	⊖	制御室設置計器
	手動止弁	○	現場指示計器
	手動調整弁	P	圧力
	自力式圧力調整弁	F	流量
	電動式止弁	R	記録計
T	温度	I	指示計



凡例
 \triangle \triangle : 圧力タップ
 \circ : オリフィス孔

オリフィス孔・圧力タップ配置表

段数	列 孔径 (mm)	列					
		(0.1)	2	3	4	5	6
1	11.5	\triangle \circ	-	-	-	-	-
2	10.0	\circ	\triangle \circ	\triangle -	\triangle -	\triangle \circ	-
3	11.5	\circ	\circ	- \triangle	-	-	\triangle
4	10.0	\circ	\circ	\circ	\circ	- \triangle	-
5	11.5	\circ	\triangle	\circ	-	- \triangle	-
6	10.0	\circ	\circ	\circ	\circ	-	\triangle \circ

図2.2 連結管供試体

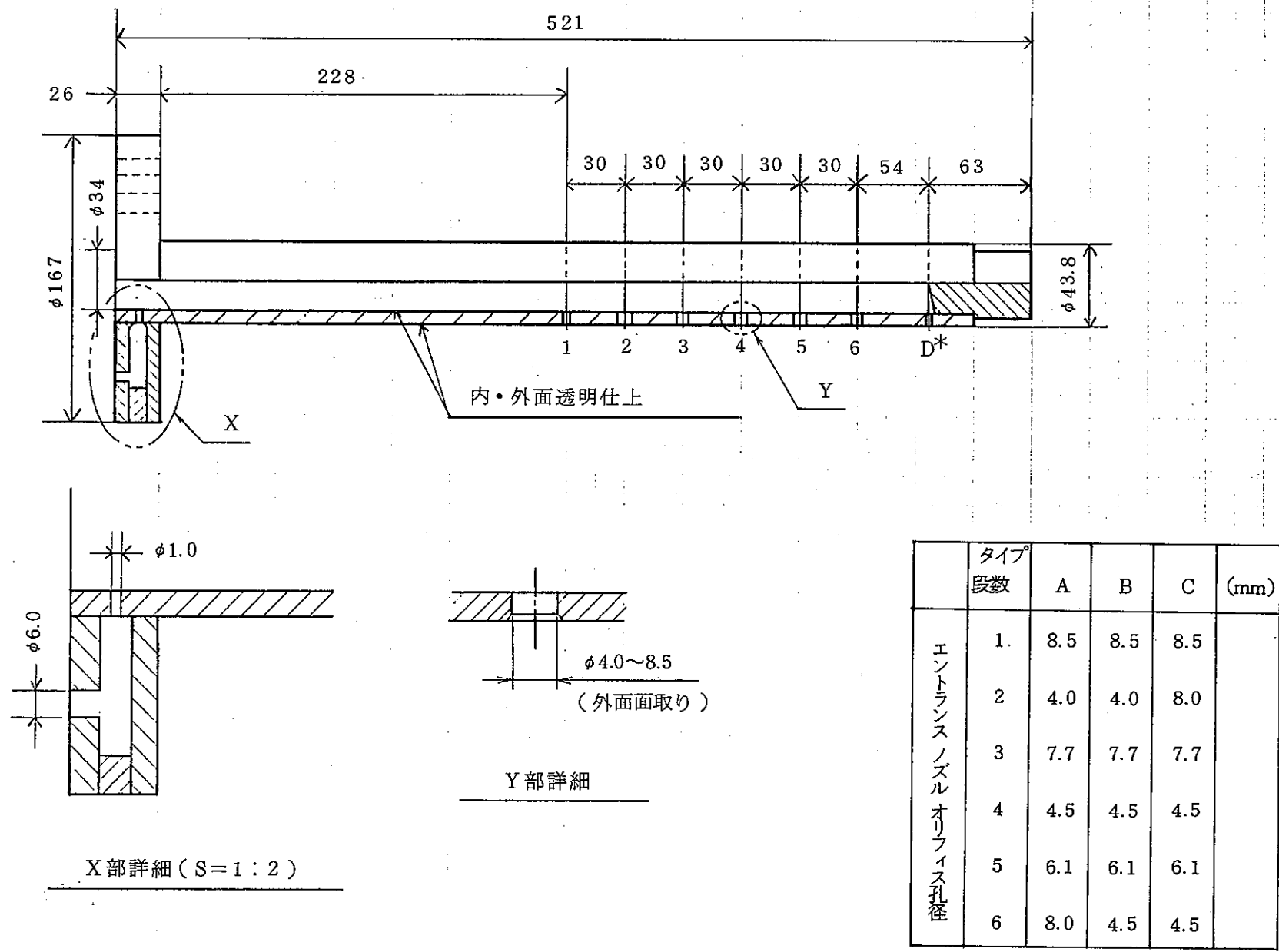


図2.3 エントランスノズル供試体

※Dはドルン孔(各5φ2ヶ)

3. 試験内容

3.1 概要

試験は、大別して「流動特性試験」と「キャビテーション可視化試験」からなる。「流動特性試験」は、NETWORKコードによる解析に必要な入力データ及び実験検証データを取得するための試験である。試験は次の項目よりなる。

- 1) 単段オリフィス特性試験
- 2) 多段オリフィス特性試験
- 3) ブラインド・オリフィス特性試験
- 4) 内部オリフィス特性試験
- 5) 総合流動特性試験

キャビテーション可視化試験は、キャビテーション初生条件の把握、キャビテーション状況の観察を目的としたものであり、次の試験より構成される。

- 1) キャビテーション初生特性試験
- 2) 流動パラメータ効果試験
- 3) 定格流動特性試験

3.2 試験方法

3.2.1 流動特性試験

(1) 単段オリフィス特性試験

(a) 概要

連結管とエントランスノズルの同一レベルにあるオリフィス1段のみを開口した条件で、オリフィス径をパラメータとした試験を行い、圧力損失係数を求める。

(b) 試験条件

- イ) 使用流体 : 純水
- ロ) 流体温度 : 常温
- ハ) 流量範囲 : 試験装置上, 可能な範囲

(c) 試験時測定項目

- イ) 流量
- ロ) 流体温度
- ハ) 図3.1 に示す圧力

(d) 試験ケース

表3.1 に示す連結管とエントランスノズルのオリフィス径の組み合わせ3ケースについて試験を行う。

(2) 多段オリフィス特性試験

(a) 概要

連結管とエントランスノズルの隣接したオリフィス2段を開口した条件で、オリフィス径をパラメータとした試験を行い、圧力損失係数を求める。

(b) 試験条件

- イ) 使用流体 : 純水
- ロ) 流体温度 : 常温
- ハ) 流量範囲 : 試験装置上, 可能な範囲

(c) 試験時測定項目

3.2.1 (1)(c)項と同一とする。

(d) 試験ケース

表3.2 に示す連結管とエントランスノズルのオリフィス径の組み合わせ2ケースについて試験を行う。

(3) ブラインドオリフィス特性試験

(a) 概要

オープンオリフィスとブラインドオリフィスを組み合わせた試験を行い、圧力損失係数を求める。

(b) 試験条件

イ) 使用流体 : 純水

ロ) 流体温度 : 常温

ハ) 流量範囲 : 試験装置上, 可能な範囲

(c) 試験時測定項目

3.2.1 (1)(c)項と同一とする。

(d) 試験ケース

表3.3 に示すオープンオリフィスとブラインドオリフィスの組み合わせ2ケースについて、試験を行う。

(4) 内部オリフィス特性試験

(a) 概要

エントランスノズル出口に、内部オリフィスを設置した条件で試験を行い、内部オリフィスの流動特性（圧力損失特性）に及ぼす影響を調べる。

(b) 試験条件

イ) 使用流体 : 純水

ロ) 流体温度 : 常温

ハ) 流量範囲 : 定格流量* の10%~120%

(* : 定格流量 MK-II 炉心の 1.2 倍)

ニ) 流量領域 : 第5列

ホ) エントランスノズル供試体 : B

(c) 試験時測定項目

3.2.1 (1)(c)項と同一とする。

(d) 試験ケース

内部オリフィスは、エントランスノズル内面積の60%に相当するオリフィス板の1種類とする。

(5) 総合流動特性試験

(a) 概要

NETWORKコードによる予測精度を確認するため、各流量領域における圧力損失係数を求める。

(b) 試験条件

イ) 使用流体 : 純水

ロ) 流体温度 : 常温

ハ) 流量範囲 : 定格流量* の10%~120%

(* MK-II炉心の1.2倍)

ニ) 流量範囲 : 第0・1列, 第2列, 第3列, 第4列, 第5列

ホ) エントランスノズル供試体 : B

(c) 試験時測定項目

3.2.1 (1)(c)項と同一とする。

(d) 試験ケース

流量領域第0・1列, 第2列, 第3列, 第4列, 第5列の5ケースとする。

3.2.2 キャビテーション可視化試験

(1) キャビテーション初生特性試験

(a) 概要

ヘッドタンクガス圧を変更することにより、エントランスノズル内静圧を制御し、キャビテーションの発生状況の変化を観察する。

(b) 試験条件

- イ) 使用流体 : 純水
- ロ) 流体温度 : 常温
- ハ) 流量範囲 : 定格流量* の10%~120%
(* MK-II炉心の1.2倍)
- ニ) 流量領域 : 第0・1列, 第3列, 第5列
- ホ) エントランスノズル供試体 : B

(c) 試験時測定項目

3.2.1 (1)(c)項と同一とする。

(d) 試験ケース

流量領域第0・1列, 第3列, 第5列の3ケースとする。

(2) 流動パラメータ効果試験

(a) 概要

流体温度とエントランスノズル内静圧をパラメータとして、キャビテーションの発生状況を調べる。

(b) 試験条件

- イ) 使用流体 : 純水
- ロ) 流体温度 : 35°C, 50°C
- ハ) 流量範囲 : 定格流量* の10%~120%
(* MK-II炉心の1.2倍)
- ニ) 流量領域 : 第5列
- ホ) エントランスノズル供試体 : B

(c) 試験時測定項目

3.2.1 (1)(c)項と同一とする。

(d) 試験ケース

流体温度35℃と50℃の2ケースとする。

(3) 定格流動特性試験

(a) 概要

高性能炉心におけるキャビテーション係数を模擬するため、流体温度及びエントランスノズル内静圧を制御し、キャビテーションの発生状況を観察する。又、同時に圧力損失係数を求める。

(b) 試験条件

イ) 使用流体 : 純水

ロ) 流体温度 : 30℃

ハ) 流量範囲 : 定格流量* の10%~120%

(* MK-II炉心の1.2倍)

ニ) 流量領域 : 第0・1列, 第3列, 第5列

ホ) エントランスノズル供試体 : B, C

(c) 試験時測定項目

3.2.1 (1)(c)項と同一とする。

(d) 試験ケース

エントランスノズル供試体Bと流量領域第0・1列, 第3列, 第5列の組み合わせ3ケース, 及びエントランスノズル供試体Cと流量領域第5列の組み合わせ1ケース合計4ケースとする。各流量領域の流量-静圧測定目標値を表3.4 ~表3.6 に示す。

表 3.1 単段オリフィス特性試験条件

条件 1				
段数	連結管 0.1 列	オリフィス径 (mm)	E/N A 開孔位置	オリフィス径 (mm)
1	△ ○	11.5	○	8.5
2	⊗	-	⊗	-
3	⊗	-	⊗	-
4	⊗	-	⊗	-
5	⊗	-	⊗	-
6	⊗	-	⊗	-

条件 2				
段数	連結管 4 列	オリフィス径 (mm)	E/N C 開孔位置	オリフィス径 (mm)
1	○	-	⊗	-
2	△ ○	-	⊗	-
3	△ ○	-	⊗	-
4	○	-	⊗	-
5	○	11.5	○	6.1
6	⊗	-	⊗	-

条件 3				
段数	連結管 5 列	オリフィス径 (mm)	E/N A 開孔位置	オリフィス径 (mm)
1	○	-	⊗	-
2	△ ○	10.0	○	4.0
3	○	-	⊗	-
4	○ △	-	⊗	-
5	○	-	⊗	-
6	○	-	⊗	-

○ 開孔オリフィス

○ オリフィスなし

⊗ 閉塞オリフィス

⊘ E/N: エントランスノズル

△ 圧カタップ A

△ 圧カタップ B

表 3.2 多段オリフィス特性試験条件

条 件 1					条 件 2				
段数	連結管 0.1 列	オリフィス径 (mm)	E/N A 開孔位置	オリフィス径 (mm)	段数	連結管 4 列	オリフィス径 (mm)	E/N C 開孔位置	オリフィス径 (mm)
1	○	11.5	○	8.5	1	○	—	⊗	—
2	○	10.0	○	4.0	2	○	—	⊗	—
3	⊗	—	⊗	—	3	○	—	⊗	—
4	⊗	—	⊗	—	4	○	—	⊗	—
5	⊗	—	⊗	—	5	○	11.5	○	6.1
6	⊗	—	⊗	—	6	○	10.0	○	4.5

○ 開孔オリフィス ○ オリフィスなし ⊗ 閉塞オリフィス

註 E/N: エントランスノズル

表 3.3 ブラインドオリフィス特性試験条件

条 件 1					条 件 2				
段数	連結管 6 列	オリフィス径 (mm)	E/N A 開孔位置	オリフィス径 (mm)	段数	連結管 6 列	オリフィス径 (mm)	E/N A 開孔位置	オリフィス径 (mm)
1	○	-	⊗	-	1	○	-	⊗	-
2	○	-	⊗	-	2	○	-	⊗	-
3	○	-	⊗	-	3	○	-	⊗	-
4	○	-	⊗	-	4	○	-	⊗	-
5	○	-	○	6.1	5	○	-	○	6.1
6	○	10.0	⊗	-	6	○	10.0	○	8.0

○ 開孔オリフィス ○ オリフィスなし ⊗ 閉塞オリフィス

(注) E/N: エントランスノズル

表3.4 定格流動特性試験流量条件 (第0, 1列)

実機条件：炉心0、1列 (定格流量11.4kg/sec、Na温度370℃)

流量 (kg/sec)	割合 (%)	炉内流速 (m/sec)	Re数	圧損係数	圧力損失 (Pa)	炉内静圧 (Pa)	圧力係数
13.68	120	17.46	1.71E+06	1.139	1.50E+05	5.45E+05	4.13
11.40	100	14.55	1.42E+06	1.147	1.05E+05	4.39E+05	4.78
9.12	80	11.64	1.14E+06	1.158	6.77E+04	3.47E+05	5.90
6.84	60	8.73	8.54E+05	1.171	3.85E+04	2.70E+05	8.15
4.56	40	5.82	5.69E+05	1.191	1.74E+04	2.10E+05	14.25
2.28	20	2.91	2.85E+05	1.225	4.48E+03	1.69E+05	45.75
	割合 (%)	炉内流速 (m/sec)	Re数	圧損係数	圧力損失 (Pa)		
	120	9.03	6.44E+04	14.913	5.25E+05		
	100	7.53	5.37E+04	15.486	3.78E+05		
	80	6.02	4.30E+04	16.217	2.54E+05		
	60	4.52	3.22E+04	17.211	1.51E+05		
	40	3.01	2.15E+04	18.715	7.32E+04		
	20	1.51	1.07E+04	21.598	2.11E+04		

実験条件：炉心0、1列 (水温30℃)

流量 (l/min)	割合 (%)	炉内流速 (m/sec)	Re数	圧損係数	圧力損失 (Pa)	炉内静圧 (Pa)	圧力係数
950.88	120	17.46	7.35E+05	1.179	1.79E+05	6.28E+05	4.11
911.26	115	16.73	7.05E+05	1.181	1.64E+05	5.97E+05	4.26
871.64	110	16.00	6.74E+05	1.183	1.51E+05	5.67E+05	4.41
832.02	105	15.27	6.43E+05	1.185	1.38E+05	5.36E+05	4.58
792.40	100	14.55	6.13E+05	1.187	1.25E+05	5.05E+05	4.76
752.78	95	13.82	5.82E+05	1.190	1.13E+05	4.79E+05	5.00
713.16	90	13.09	5.51E+05	1.193	1.02E+05	4.53E+05	5.26
673.54	85	12.36	5.21E+05	1.195	9.10E+04	4.26E+05	5.55
633.92	80	11.64	4.90E+05	1.198	8.08E+04	4.00E+05	5.87
594.30	75	10.91	4.60E+05	1.202	7.12E+04	3.78E+05	6.30
554.68	70	10.18	4.29E+05	1.205	6.22E+04	3.56E+05	6.81
515.06	65	9.45	3.98E+05	1.209	5.38E+04	3.34E+05	7.40
475.44	60	8.73	3.68E+05	1.213	4.60E+04	3.11E+05	8.10
435.82	55	8.00	3.37E+05	1.217	3.88E+04	2.94E+05	9.10
396.20	50	7.27	3.06E+05	1.222	3.22E+04	2.77E+05	10.36
356.58	45	6.55	2.76E+05	1.227	2.62E+04	2.60E+05	11.98
316.96	40	5.82	2.45E+05	1.233	2.08E+04	2.42E+05	14.13
277.34	35	5.09	2.14E+05	1.240	1.60E+04	2.31E+05	17.54
237.72	30	4.36	1.84E+05	1.247	1.18E+04	2.19E+05	22.63
198.10	25	3.64	1.53E+05	1.257	8.27E+03	2.07E+05	30.78
158.48	20	2.91	1.23E+05	1.268	5.34E+03	1.95E+05	45.29
118.86	15	2.18	9.19E+04	1.283	3.04E+03		
79.24	10	1.45	6.13E+04	1.305	1.37E+03		
39.62	5	0.73	3.06E+04	1.342	3.53E+02		

表3.5 定格流動特性試験流量条件 (第3列)

実機条件：炉心3列（定格流量9.5kg/sec、Na 温度370℃）

流量 (kg/sec)	割合 (%)	炉内流速 (m/sec)	Re数	圧損係数	圧力損失 (Pa)	炉内静圧 (Pa)	キャビテーション 係数
11.40	120	14.55	1.42E+06	3.113	2.84E+05	4.39E+05	4.78
9.50	100	12.12	1.19E+06	3.126	1.98E+05	3.61E+05	5.66
7.60	80	9.70	9.49E+05	3.143	1.28E+05	2.94E+05	7.19
5.70	60	7.27	7.11E+05	3.164	7.22E+04	2.38E+05	10.33
3.80	40	4.85	4.74E+05	3.195	3.24E+04	1.94E+05	18.95
1.90	20	2.42	2.37E+05	3.248	8.24E+03	1.65E+05	64.00
割合 (%)	炉内流速 (m/sec)	Re数	圧損係数	圧力損失 (Pa)			
120	7.53	5.37E+04	15.486	3.78E+05			
100	6.27	4.47E+04	16.081	2.73E+05			
80	5.02	3.58E+04	16.840	1.83E+05			
60	3.76	2.68E+04	17.872	1.09E+05			
40	2.51	1.79E+04	19.434	5.28E+04			
20	1.25	8.95E+03	22.428	1.52E+04			

実験条件：炉心3列（水温30℃）

流量 (l/min)	割合 (%)	炉内流速 (m/sec)	Re数	圧損係数	圧力損失 (Pa)	炉内静圧 (Pa)	キャビテーション 係数
792.40	120	14.55	6.13E+05	3.176	3.34E+05	5.06E+05	4.76
759.38	115	13.94	5.87E+05	3.179	3.08E+05	4.83E+05	4.95
726.37	110	13.33	5.62E+05	3.182	2.82E+05	4.61E+05	5.16
693.35	105	12.73	5.36E+05	3.186	2.57E+05	4.39E+05	5.39
660.33	100	12.12	5.11E+05	3.189	2.33E+05	4.16E+05	5.63
627.32	95	11.52	4.85E+05	3.193	2.11E+05	3.97E+05	5.95
594.30	90	10.91	4.60E+05	3.197	1.89E+05	3.78E+05	6.30
561.28	85	10.30	4.34E+05	3.202	1.69E+05	3.58E+05	6.70
528.27	80	9.70	4.09E+05	3.206	1.50E+05	3.39E+05	7.15
495.25	75	9.09	3.83E+05	3.211	1.32E+05	3.23E+05	7.74
462.23	70	8.49	3.57E+05	3.216	1.15E+05	3.07E+05	8.44
429.22	65	7.88	3.32E+05	3.222	9.96E+04	2.91E+05	9.26
396.20	60	7.27	3.06E+05	3.228	8.50E+04	2.74E+05	10.26
363.18	55	6.67	2.81E+05	3.235	7.16E+04	2.62E+05	11.64
330.17	50	6.06	2.55E+05	3.242	5.93E+04	2.49E+05	13.40
297.15	45	5.45	2.30E+05	3.250	4.81E+04	2.37E+05	15.69
264.13	40	4.85	2.04E+05	3.259	3.81E+04	2.24E+05	18.78
231.12	35	4.24	1.79E+05	3.270	2.93E+04	2.15E+05	23.57
198.10	30	3.64	1.53E+05	3.282	2.16E+04	2.07E+05	30.77
165.08	25	3.03	1.28E+05	3.296	1.51E+04	1.98E+05	42.42
132.07	20	2.42	1.02E+05	3.313	9.69E+03	1.90E+05	63.33
99.05	15	1.82	7.66E+04	3.336	5.49E+03		
66.03	10	1.21	5.11E+04	3.368	2.46E+03		
33.02	5	0.61	2.55E+04	3.424	6.26E+02		

*差圧計レンジオーバーにより記録なし

表3.6 定格流動特性試験流量条件 (第5列)

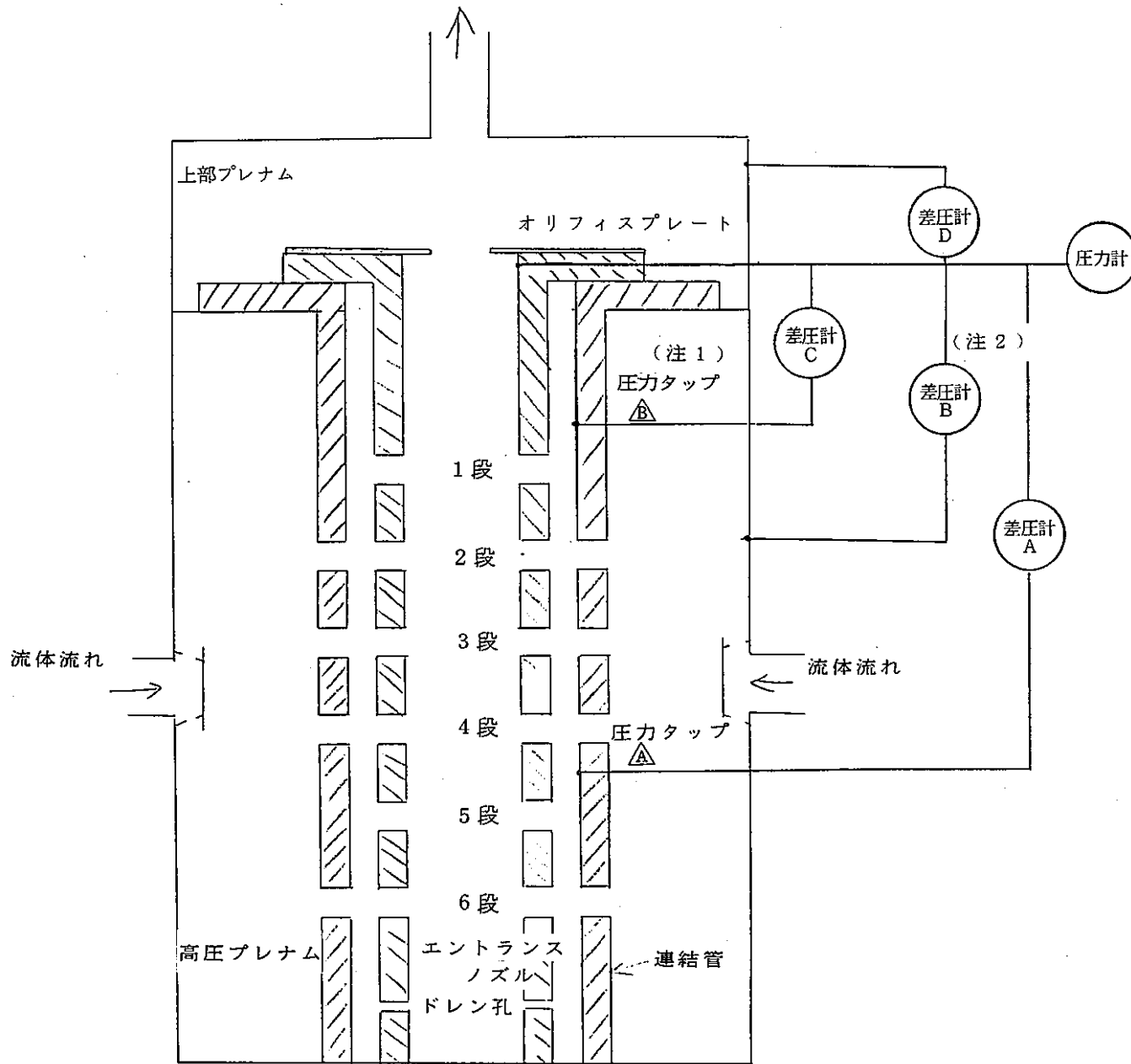
実機条件：炉心5列（定格流量7.6kg/sec、Na 温度370℃）

流量 (kg/sec)	割合 (%)	ノズル内流速 (m/sec)	Re数	圧損係数	圧力損失 (Pa)	ノズル内静圧 (Pa)	キビテーション 係数
9.12	120	11.64	1.14E+06	6.424	3.75E+05	3.47E+05	5.90
7.60	100	9.70	9.49E+05	6.463	2.62E+05	2.94E+05	7.19
6.08	80	7.76	7.59E+05	6.511	1.69E+05	2.48E+05	9.48
4.56	60	5.82	5.69E+05	6.573	9.60E+04	2.10E+05	14.25
3.04	40	3.88	3.79E+05	6.662	4.33E+04	1.81E+05	27.49
1.52	20	1.94	1.90E+05	6.818	1.11E+04	1.60E+05	97.47
割合 (%)	ノズル内流速 (m/sec)	Re数	圧損係数	圧力損失 (Pa)			
120	6.02	4.30E+04	16.217	2.54E+05			
100	5.02	3.58E+04	16.840	1.83E+05			
80	4.01	2.86E+04	17.635	1.23E+05			
60	3.01	2.15E+04	18.715	7.32E+04			
40	2.01	1.43E+04	20.352	3.54E+04			
20	1.00	7.16E+03	23.487	1.02E+04			

実験条件：炉心5列（水温30℃）

流量 (l/min)	割合 (%)	ノズル内流速 (m/sec)	Re数	圧損係数	圧力損失 (Pa)	ノズル内静圧 (Pa)	キビテーション 係数
633.92	120	11.64	4.90E+05	6.606	4.45E+05	4.00E+05	5.87
607.51	115	11.15	4.70E+05	6.615	4.10E+05	3.85E+05	6.14
581.09	110	10.67	4.49E+05	6.625	3.75E+05	3.69E+05	6.45
554.68	105	10.18	4.29E+05	6.635	3.42E+05	3.54E+05	6.78
528.27	100	9.70	4.09E+05	6.646	3.11E+05	3.39E+05	7.15
501.85	95	9.21	3.88E+05	6.657	2.81E+05	3.26E+05	7.61
475.44	90	8.73	3.68E+05	6.669	2.53E+05	3.13E+05	8.13
449.03	85	8.24	3.47E+05	6.682	2.26E+05	2.99E+05	8.73
422.61	80	7.76	3.27E+05	6.696	2.01E+05	2.86E+05	9.41
396.20	75	7.27	3.06E+05	6.710	1.77E+05	2.75E+05	10.29
369.79	70	6.79	2.86E+05	6.725	1.54E+05	2.64E+05	11.34
343.37	65	6.30	2.66E+05	6.742	1.33E+05	2.53E+05	12.60
316.96	60	5.82	2.45E+05	6.760	1.14E+05	2.42E+05	14.13
290.55	55	5.33	2.25E+05	6.779	9.60E+04	2.34E+05	16.21
264.13	50	4.85	2.04E+05	6.801	7.96E+04	2.25E+05	18.89
237.72	45	4.36	1.84E+05	6.825	6.47E+04	2.17E+05	22.42
211.31	40	3.88	1.63E+05	6.852	5.13E+04	2.08E+05	27.23
184.89	35	3.39	1.43E+05	6.882	3.95E+04	2.02E+05	34.55
158.48	30	2.91	1.23E+05	6.917	2.91E+04	1.96E+05	45.63
132.07	25	2.42	1.02E+05	6.959	2.04E+04	1.91E+05	63.71
105.65	20	1.94	8.17E+04	7.011	1.31E+04	1.85E+05	96.43
79.24	15	1.45	6.13E+04	7.079	7.46E+03		
52.83	10	0.97	4.09E+04	7.175	3.36E+03		
26.41	5	0.48	2.04E+04	7.342	8.59E+02		

* エントランスノズルBとの組合せでは差圧計レンジオーバー、よって記録なし。
 エントランスノズルCとの組合せは、データ取得した。



(注1) 0.1列の場合は△位置にタップがあり△タップのみである。この場合、差圧計Aと読み変える。

(注2) 全圧損と称する圧力損失は、本差圧計の測定値に、測定点の動圧補正を行った圧力差として定義する。

図3.1 圧力測定位置の一例 (第2列で示す)

3.3 データ整理

(1) 圧力損失係数

計測されたデータ（差圧）より、圧力損失係数をR e数の関数として以下のように算出する。

$$\Delta P = \zeta \cdot \frac{\gamma}{2} v^2$$

$$\zeta = \frac{\Delta P}{\frac{\gamma}{2} v^2}$$

$$R e = \frac{D e v}{\nu}$$

ΔP : 差 圧
 ζ : 圧力損失係数
 γ : 比重量
 v : 流 速
 ν : 動粘性係数
 $D e$: 代表長さ

流速（R e数）をパラメータとして圧力損失係数 ζ を算出し、最小二乗法により、以下の形に整理する。

$$\zeta = a \cdot R e^b \quad a, b : \text{定 数}$$

このとき、単段オリフィス試験については、NETWORKの入力データとするため、圧力損失係数はオリフィスで定義されたR e数で整理する。その他の試験では、圧力損失係数はエントランスノズル定義のR e数で整理する。

尚、データの計測に際しては、1秒間のインターバルで90回のデータを取り、その平均値を計測値とする。

(2) キャビテーション係数

キャビテーションに関しては、観察によりキャビテーション初生を確認し、キャビテーション係数を以下の式より算出する。

$$\sigma = \frac{P - P V}{\frac{\rho}{2} v^2}$$

σ : キャビテーション係数
 ρ : 流体比重量 (kg/m³)
 v : 流 速 (m/s)
 P : 静 圧 Pa
 $P V$: 蒸気圧 Pa

σ の算出に当り、静圧（P）はノズル内静圧、流速（v）はノズル内流速を用いるものとする。

4. 試験結果

4.1 流動特性試験

(1) 単段オリフィス特性試験

単段オリフィス特性試験における試験実施条件を、表4.1に示す。条件1～条件3における圧力損失係数をRe数との関係で示した結果を図4.1～図4.6に示す。図4.1～図4.3は、各オリフィス口径で定義したRe数で整理したもの、図4.4～図4.6は、エントランスノズル内径で定義したRe数で整理したものである。

Re数と圧力損失係数の相関関係式はそれぞれ次の通りである。

$$\text{(条件1)} \quad \zeta = 1.064 \operatorname{Re}_{\text{OR}}^{-0.0169}$$

$$\zeta = 7.404 \operatorname{Re}_{\text{EN}}^{-0.0147}$$

$$\text{(条件2)} \quad \zeta = 1.341 \operatorname{Re}_{\text{OR}}^{-0.0259}$$

$$\zeta = 36.45 \operatorname{Re}_{\text{EN}}^{-0.0259}$$

$$\text{(条件3)} \quad \zeta = 1.442 \operatorname{Re}_{\text{OR}}^{-0.0148}$$

$$\zeta = 188.6 \operatorname{Re}_{\text{EN}}^{-0.0148}$$

ここでReの添字ORはオリフィス径定義のRe数であり、添字ENは、エントランスノズル内径定義のRe数である。

(2) 多段オリフィス特性試験

多段オリフィス特性試験における試験の実施条件を表4.2に示す。条件1及び条件2における圧力損失係数をRe数との関係で示した結果を図4.7～図4.8に示す。同図におけるRe数は、エントランスノズル内径で定義したものである。圧力損失係数とRe数の相関関係式はそれぞれ次の通りである。

$$\text{条件1} \quad \zeta = 6.508 \operatorname{Re}^{-0.0241}$$

$$\text{条件2} \quad \zeta = 16.22 \operatorname{Re}^{-0.0249}$$

(3) ブラインドオリフィス特性試験

ブラインドオリフィス特性試験における試験の実施条件を表4.3 に示す。条件1及び条件2における圧力損失係数をRe数との関係で示した結果を図4.9～図4.10に示す。圧力損失係数とRe数の相関関係式は、それぞれ次の通りである。Re数はエントランスノズル内径定義である。

$$\text{条件1} \quad \zeta = 183.6 \text{ Re}^{-0.0815}$$

$$\text{条件2} \quad \zeta = 4.290 \text{ Re}^{0.0730}$$

(4) 内部オリフィス特性試験

内部オリフィス特性試験の実施条件を表4.4 に示す。

圧力損失係数をRe数との関係で示した結果を図4.11に示す。圧力損失係数とRe数の相関関係式は次の通りである。

$$\zeta = 13.80 \text{ Re}^{-0.0473}$$

なお、内部オリフィスのない場合の結果は、後述する総合流動特性試験第5列の結果より

$$\zeta = 13.26 \text{ Re}^{-0.0441}$$

であり、内部オリフィスを設置しても圧力損失特性は大きく変化しないことが分る。

内部オリフィスは、圧力損失特性を変化させることなく、エントランスノズル内静圧を上昇させる部品であり、頭初の目的は達成されていることが本試験により確認された。

(5) 総合流動特性試験

総合流動特性試験における試験実施条件を表4.5 に示す。

圧力損失係数をRe数との関係で示した結果を図4.12～図4.16に示す。圧力損失係数とRe数との相関関係式を各領域ごとに示すと次の通りとなる。

領域	第0・1列	$\zeta = 1.813 \text{ Re}^{-0.0444}$	*注)
	第2列	$\zeta = 2.683 \text{ Re}^{-0.0333}$	
	第3列	$\zeta = 5.268 \text{ Re}^{-0.0400}$	
	第4列	$\zeta = 6.149 \text{ Re}^{-0.0318}$	
	第5列	$\zeta = 13.26 \text{ Re}^{-0.0441}$	

なお、図4.12～図4.16においては、差圧計A及びBの結果もプロットしてある。しかしながら、差圧計A、Bのデータは、エントランスノズル連結管すきま部の流速に

よる動圧補正が不可能なため、その値を持ってその間の圧力損失係数を見ることはできない。

* 注) 総合流動特性試験の結果は、 $\zeta = 1.813 \text{ Re}^{-0.0444}$ であるが、定格流動特性試験の結果は $\zeta = 2.042 \text{ Re}^{-0.04832}$ であり約10%の違いが生じている。他のデータ（キャビテーション試験等）との比較から、第0，1列の圧力損失係数は、 $\zeta = 2.042 \text{ Re}^{-0.04832}$ が正しいと考えられる。。

表4.1 単段オリフィス特性試験実施条件

試験ケース 項目	条件 1	条件 2	条件 3
流量範囲 (ℓ/min)	390~35	200~15	103~10
ガス圧 (kg/cm ²)	1.9~3.7	3.1~3.5	3.2~3.3
流体温度 (℃)	25	25	25

表4.2 多段オリフィス特性試験実施条件

試験ケース 項目	条件 1	条件 2
流量範囲 (ℓ/min)	460~40	326~16
ガス圧 (kg/cm ²)	3.1~3.2	3.2~3.3
流体温度 (℃)	25	25

表4.3 ブラインドオリフィス特性試験実施条件

試験ケース 項目	条件 1	条件 2
流量範囲 (ℓ/min)	126~13	305~15
ガス圧 (kg/cm ²)	3.1~3.2	3.1~3.2
流体温度 (℃)	23	20

表4.4 内部オリフィス特性試験実施条件

流量範囲 (ℓ/min)	528~55
ガス圧 (kg/cm ²)	4.0~4.2
流体温度 (℃)	37

表4.5 総合流動特性試験実施条件

項目		流量領域				
		第0, 1列	第2列	第3列	第4列	第5列
実機条件	定格流量 (kg/sec)	11.4	10.7	9.5	8.8	7.6
	Na温度 (°C)	370	370	370	370	370
	キャビテーション係数	4.78	5.06	5.66	6.12	7.19
試験条件	100%流量* (ℓ/min)	792.4	743.7	660.3	611.7	528.3
	試験流量範囲(ℓ/min)	950~65	900~65	760~55	680~55	528~50
	ガス圧 (kg/cm ²)	4.1~4.2	3.9~4.0	4.0~4.1	4.2	3.1~3.2
	流体温度 (°C)	37	35	36	37	25

* : エントランスノズル内流速が実機流速と同じになる流量を100%とした。

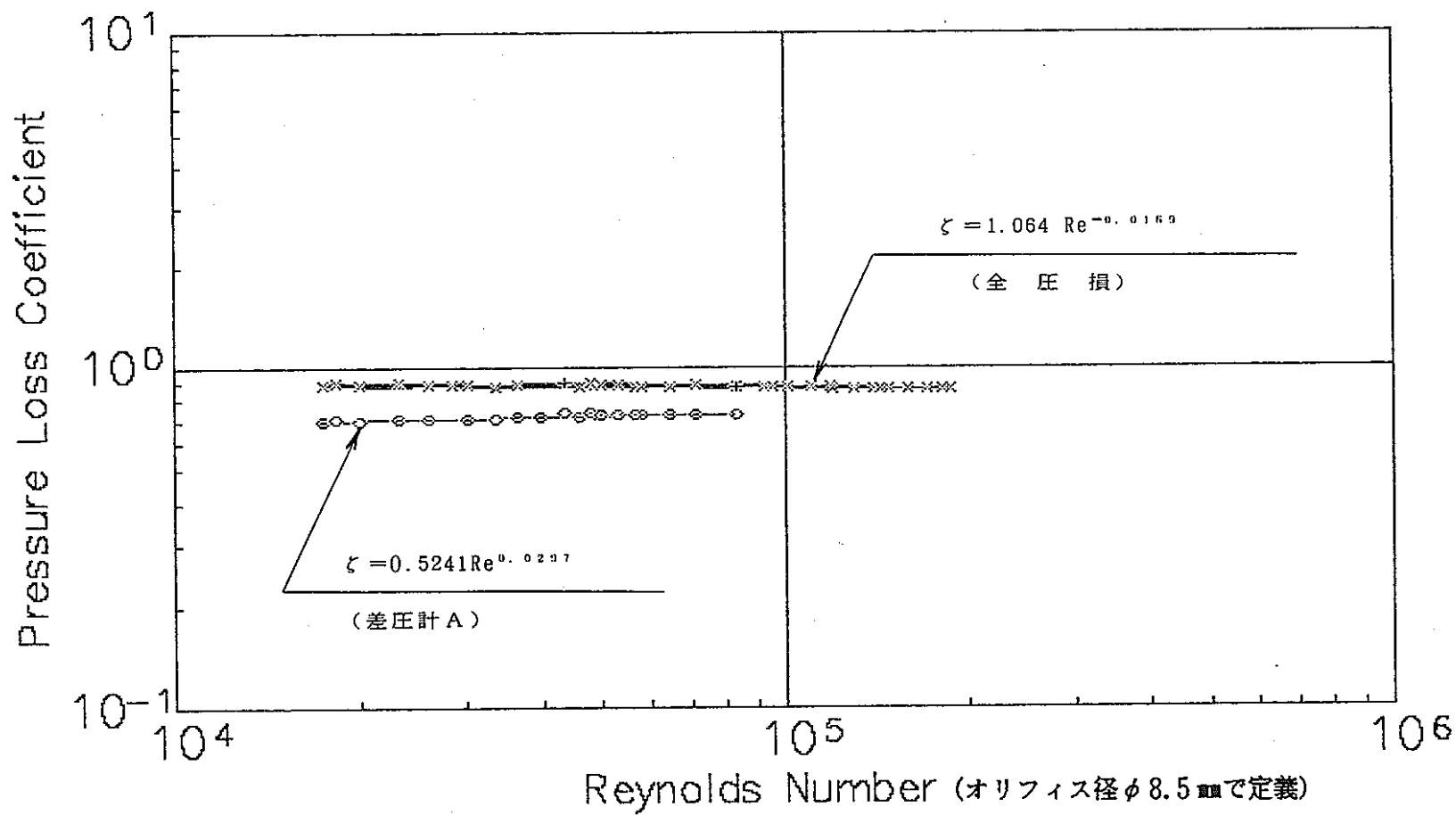


図4.1 単段オリフィス特性試験 (条件1)

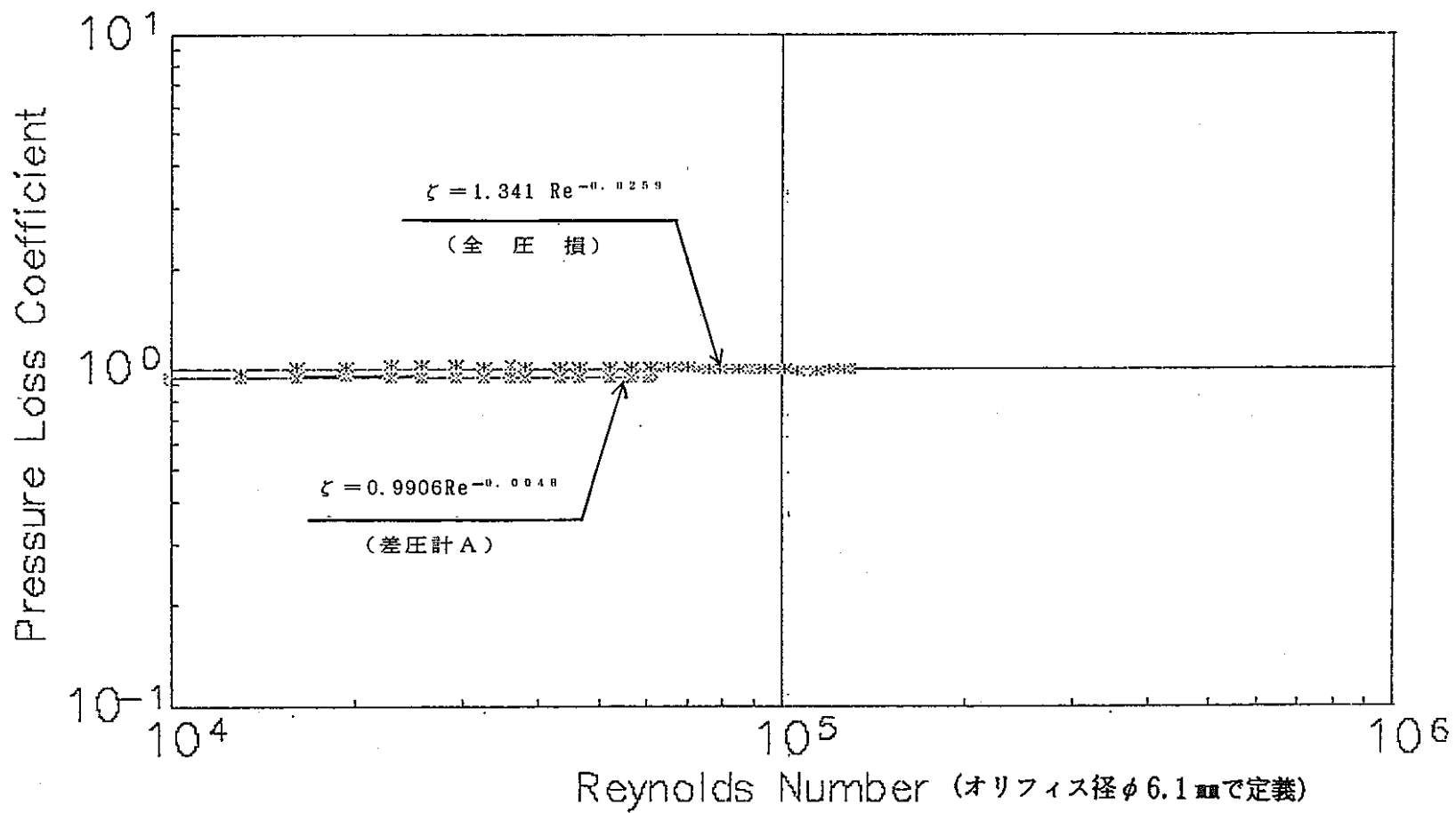


図4.2 単段オリフィス特性試験 (条件2)

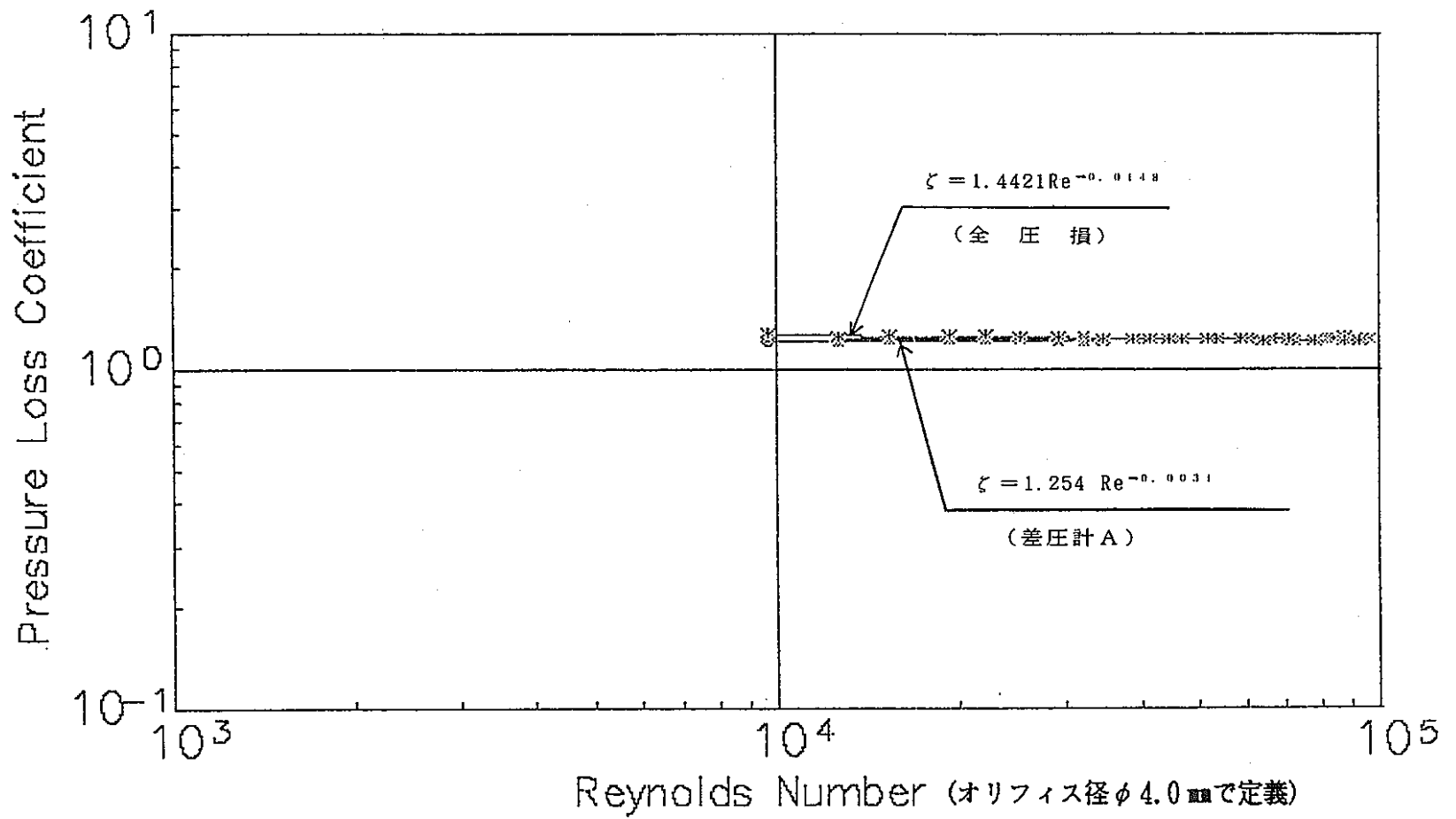


図4.3 単段オリフィス特性試験 (条件3)

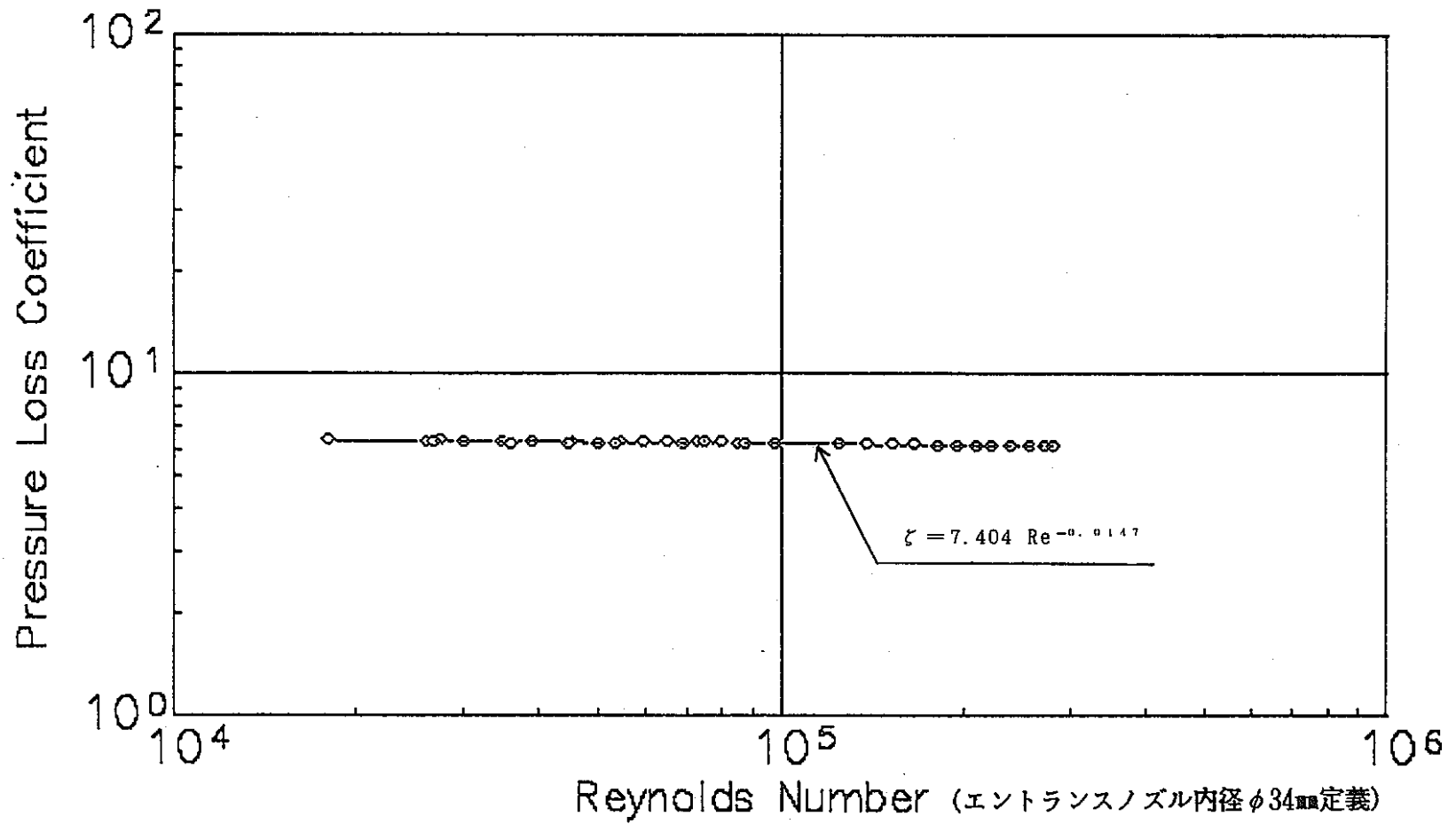


図4.4 単段オリフィス特性試験 (条件1)

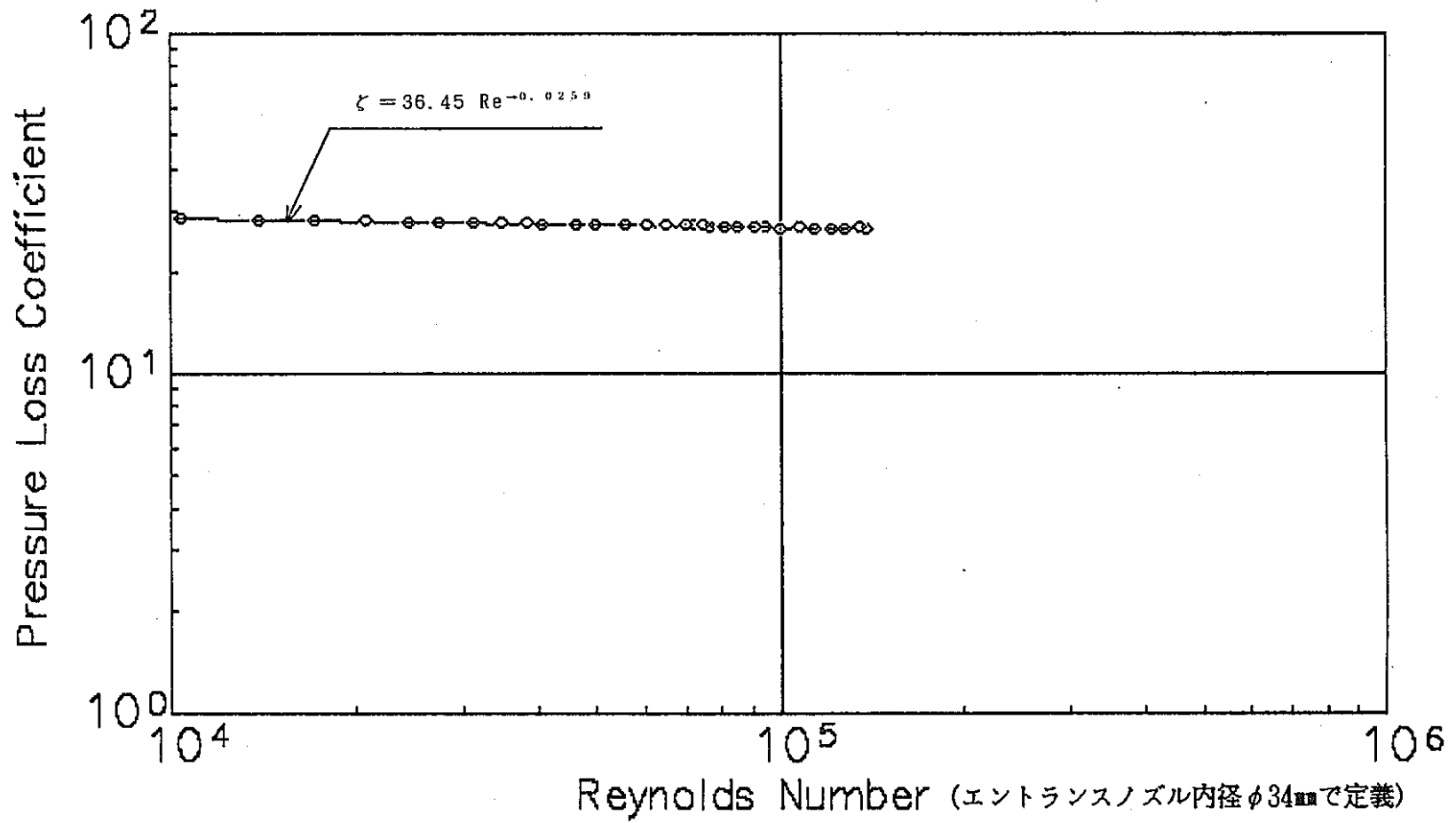


図4.5 単段オリフィス特性試験 (条件2)

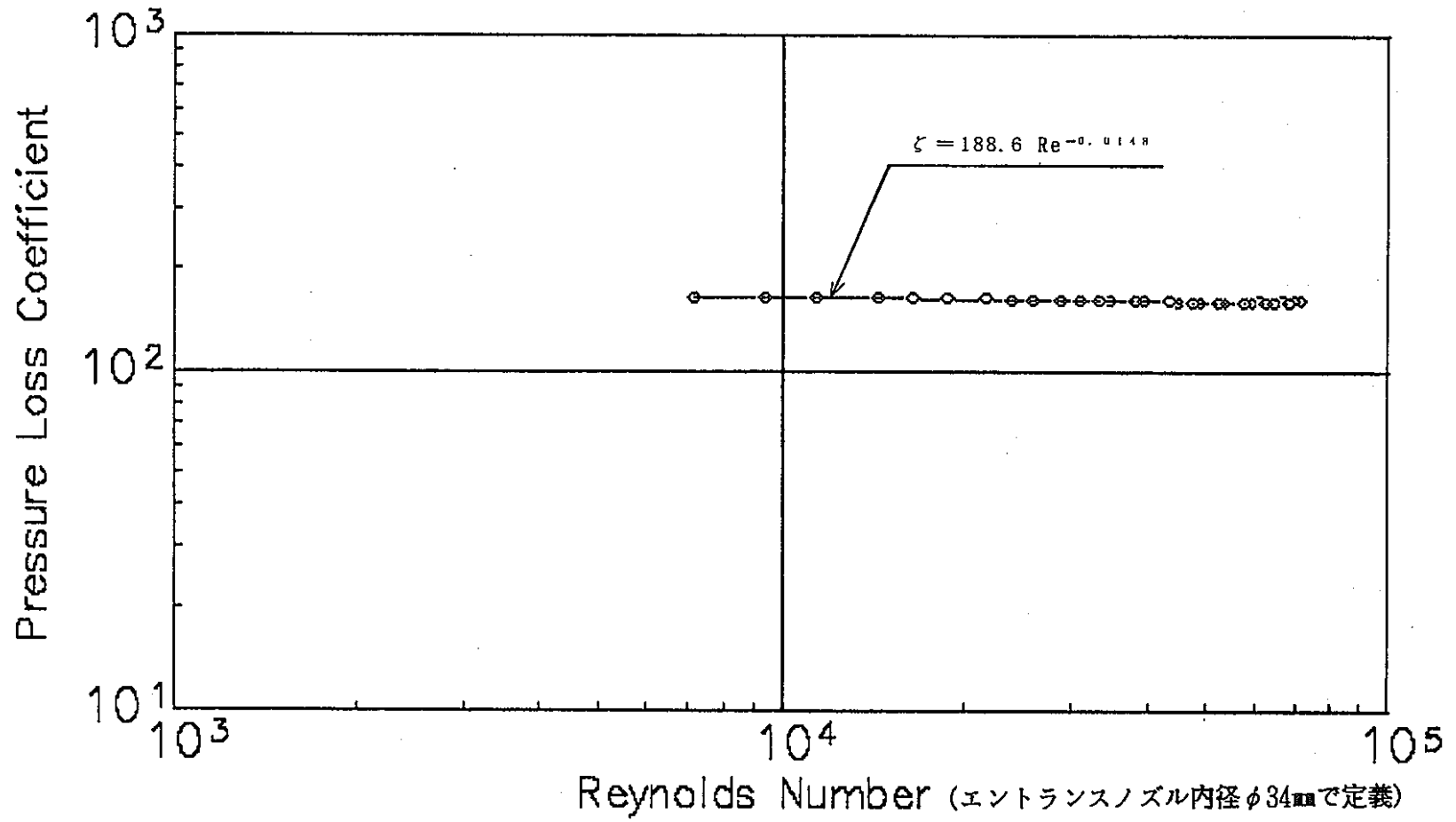


図4.6 単段オリフィス特性試験 (条件3)

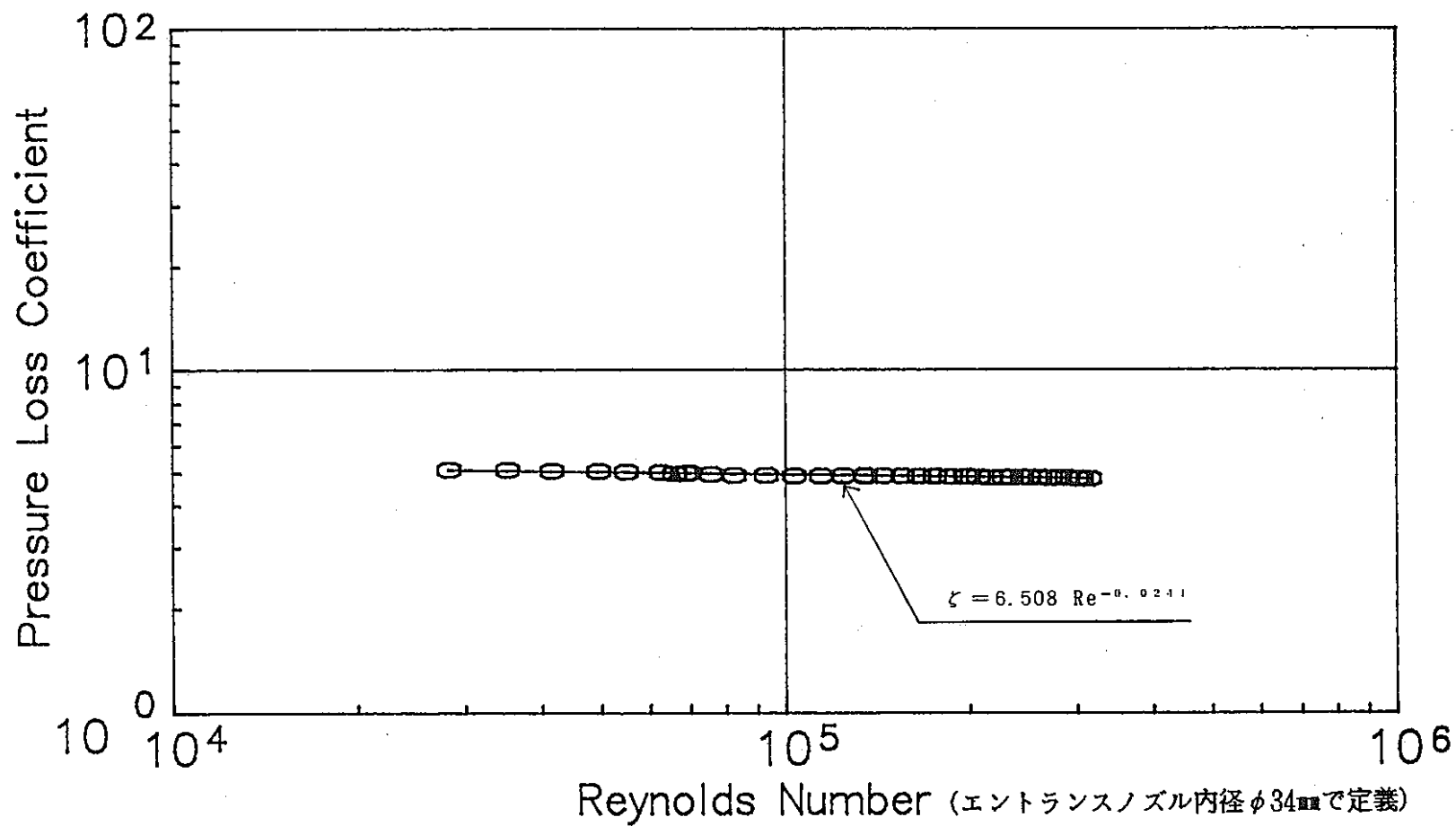


図4.7 多段オリフィス特性試験 (条件1)

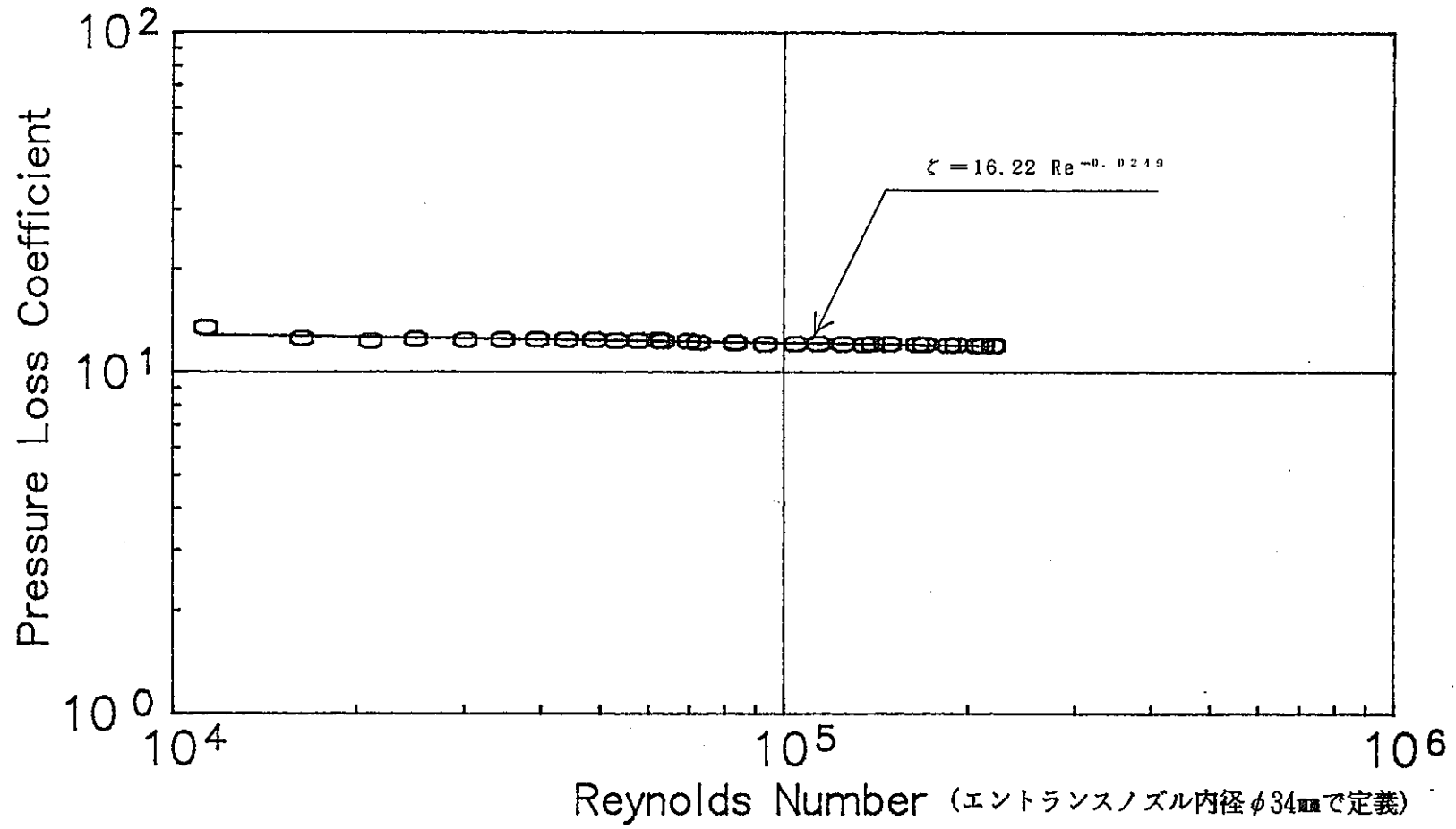


図4.8 多段オリフィス特性試験 (条件2)

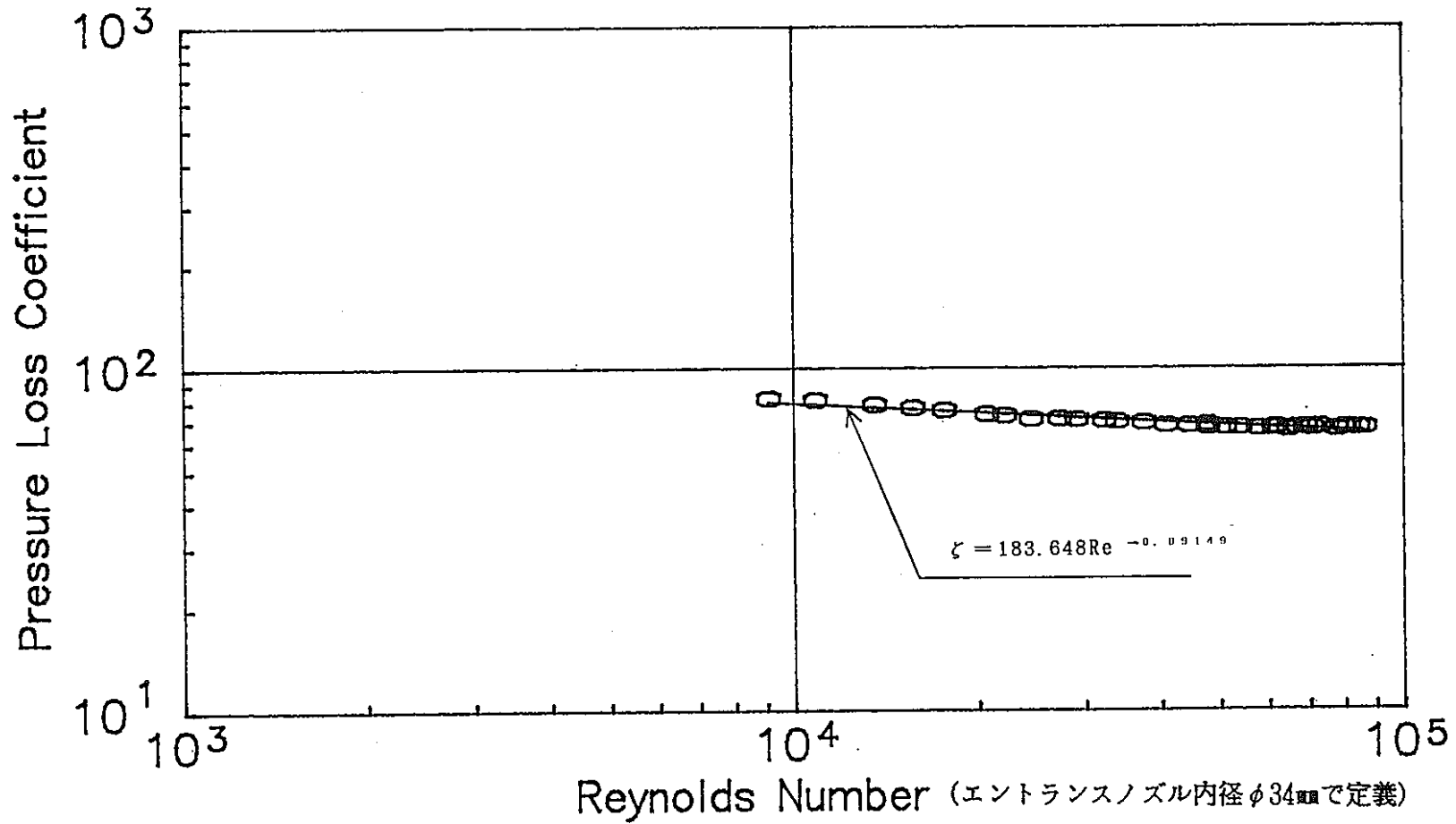


図4.9 ブラインドオリフィス特性試験 (条件1)

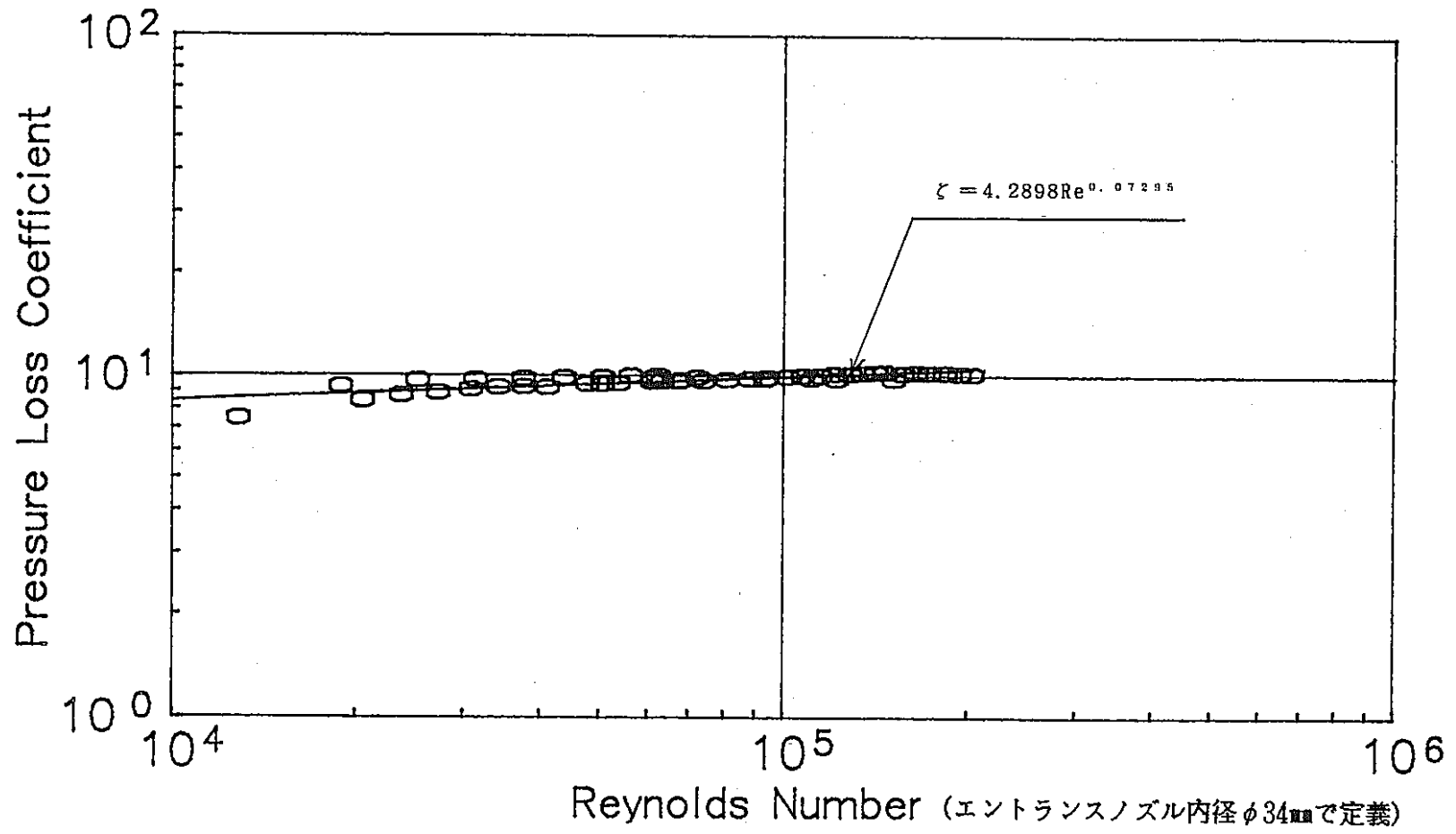


図4.10 ブラインドオリフィス特性試験 (条件2)

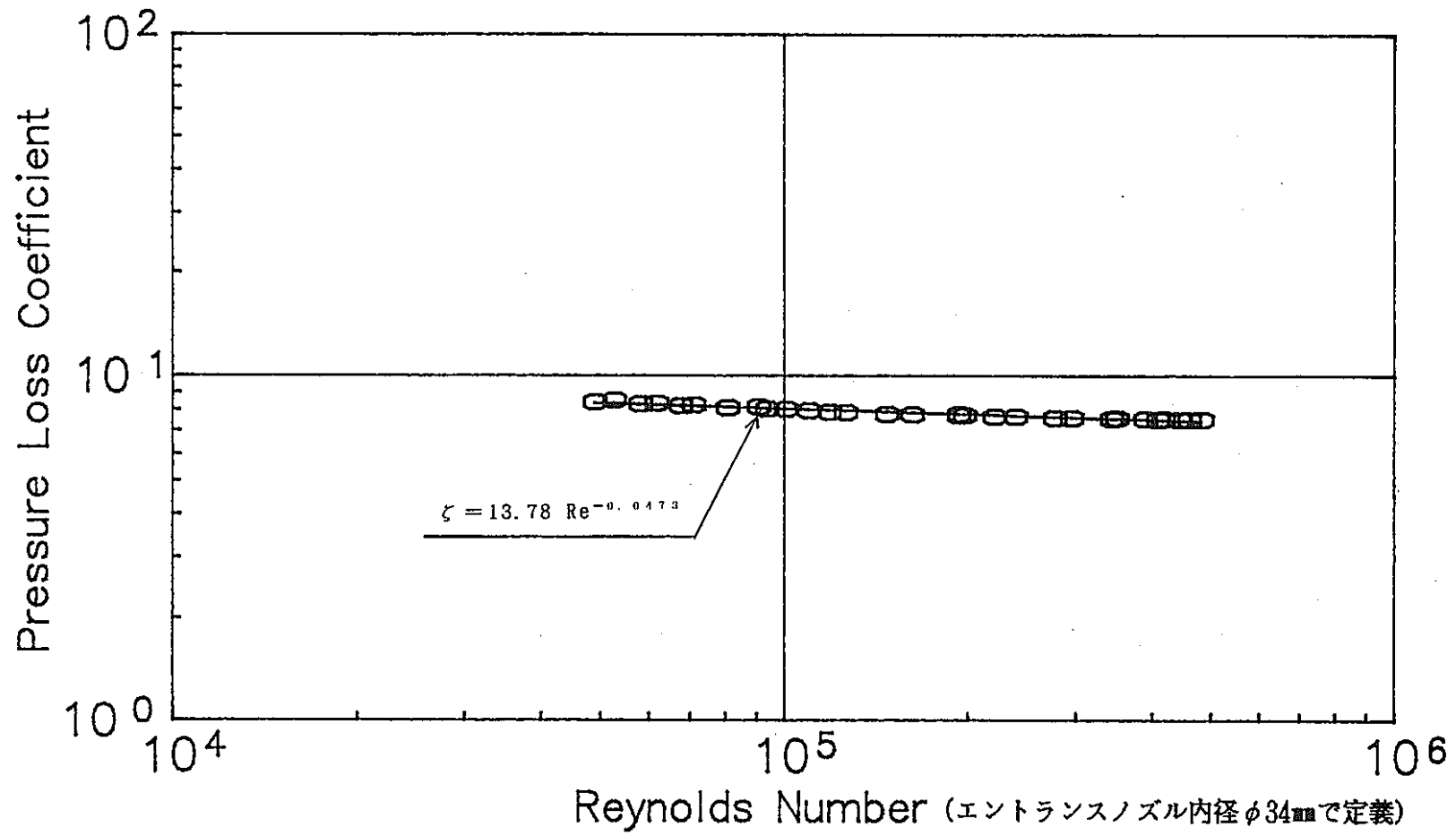


図4.11 内部オリフィス特性試験 (第5列)

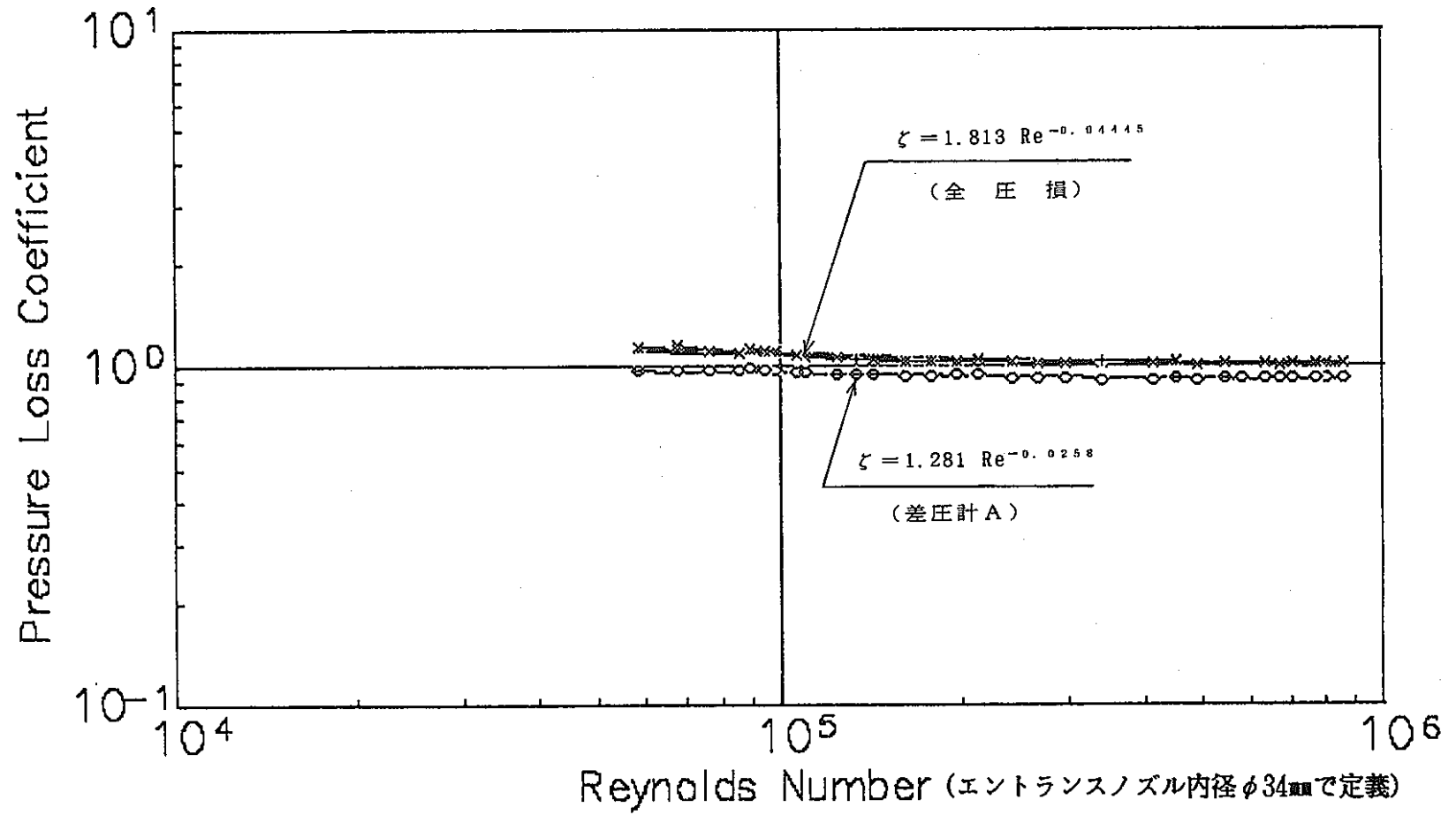


図4.12 総合流動特性試験 (第0, 1列)

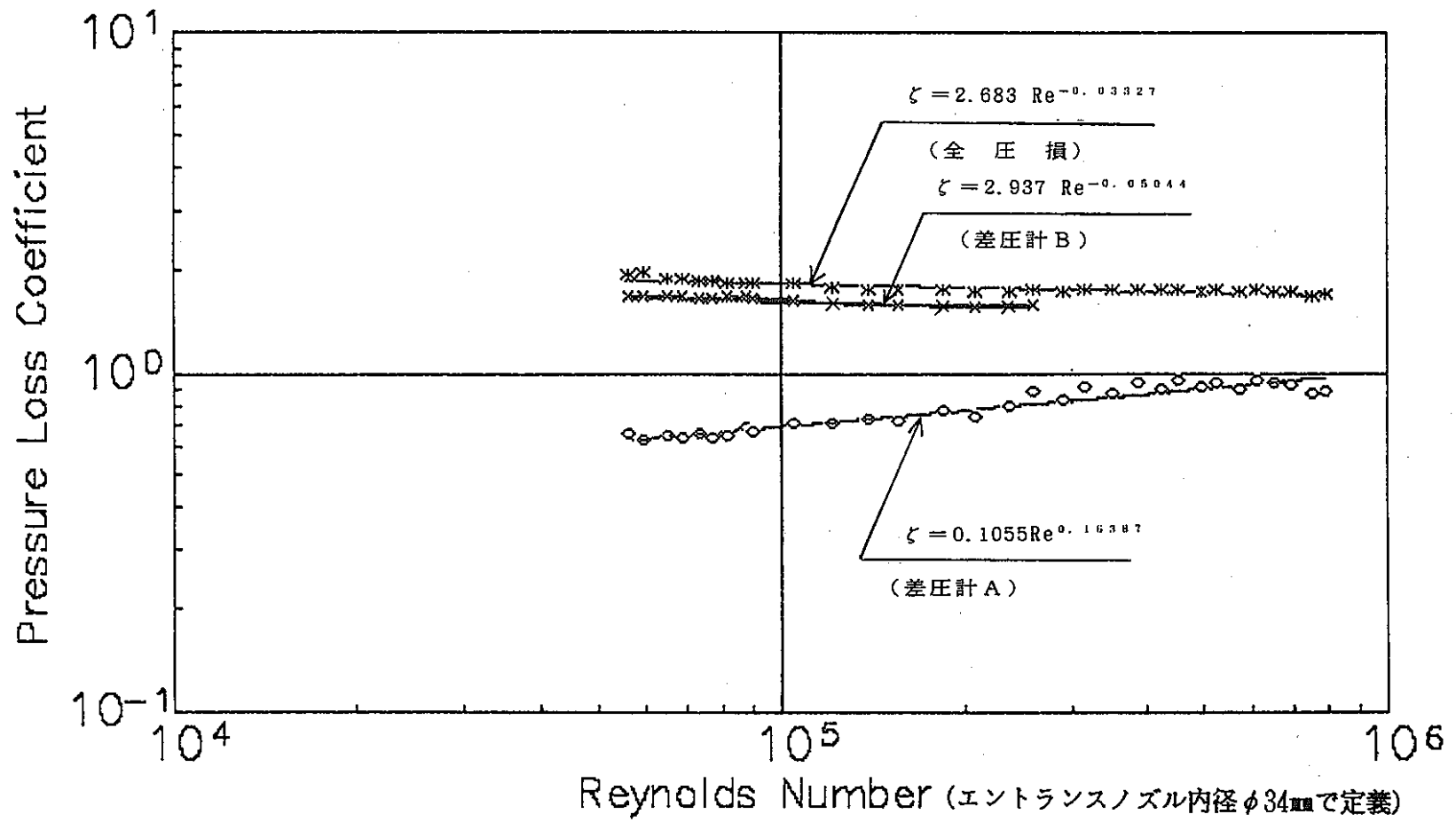


図4.13 総合流動特性試験 (第2列)

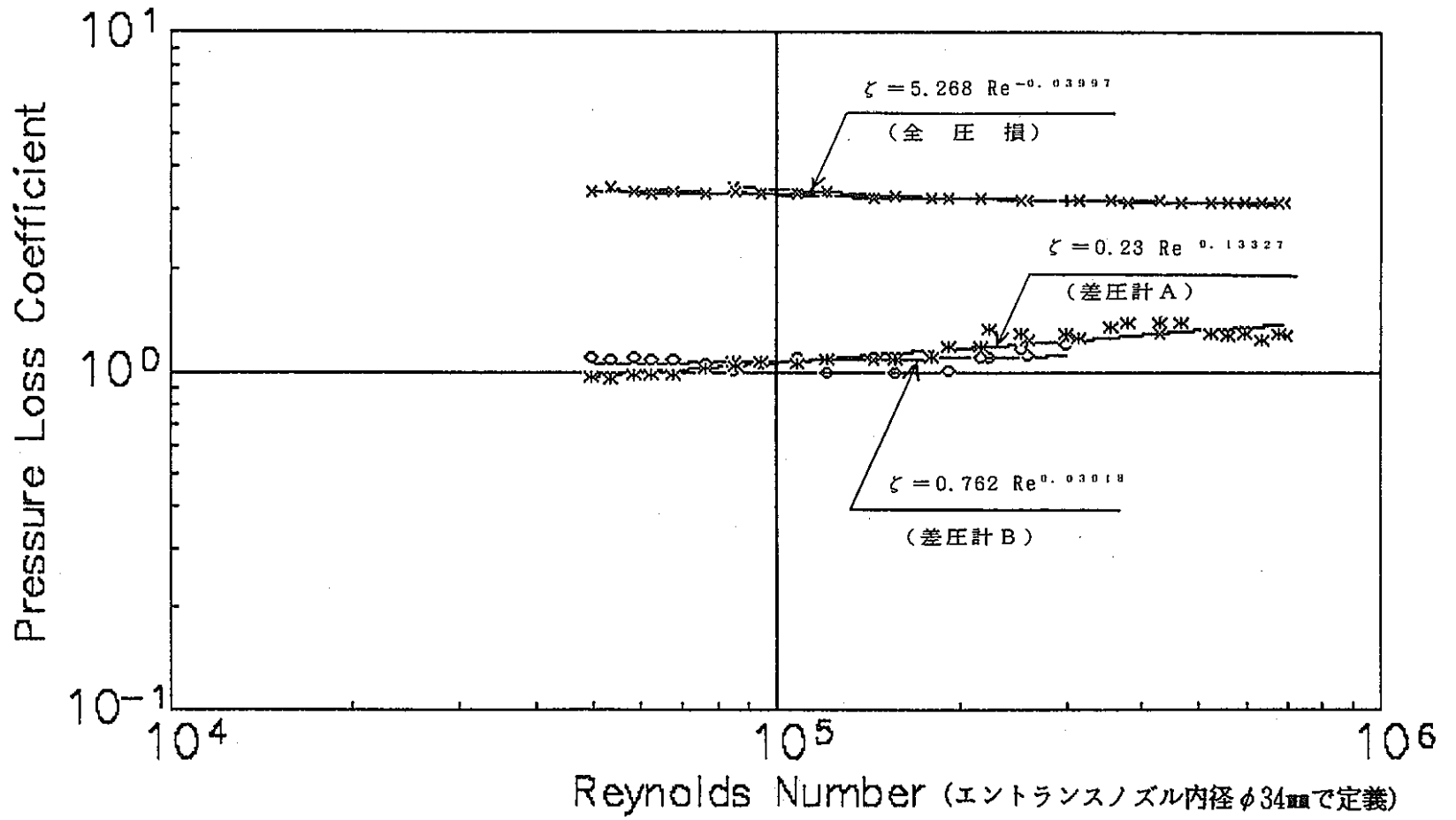


図4.14 総合流動特性試験 (第3列)

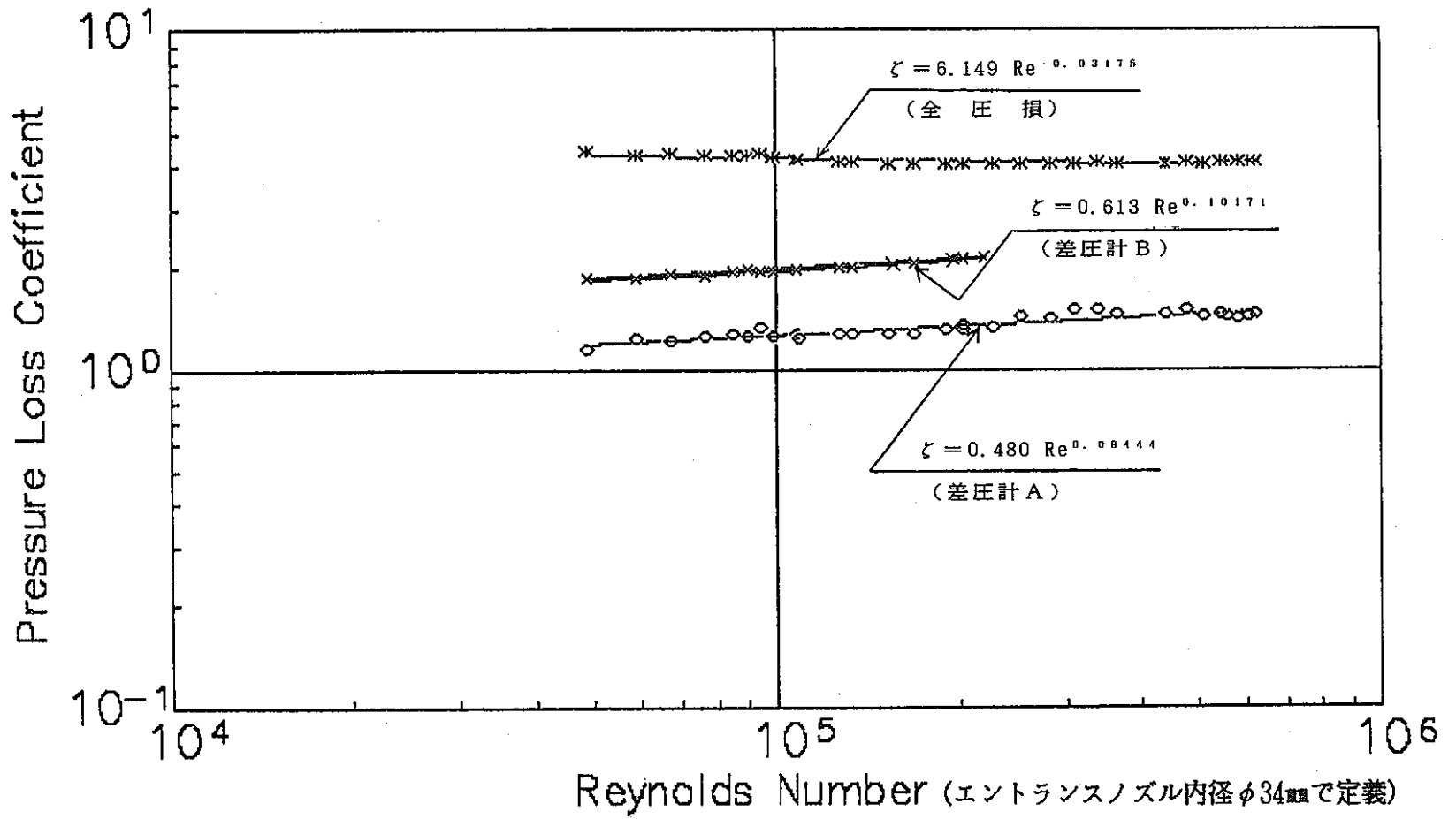


図4.15 総合流動特性試験 (第4列)

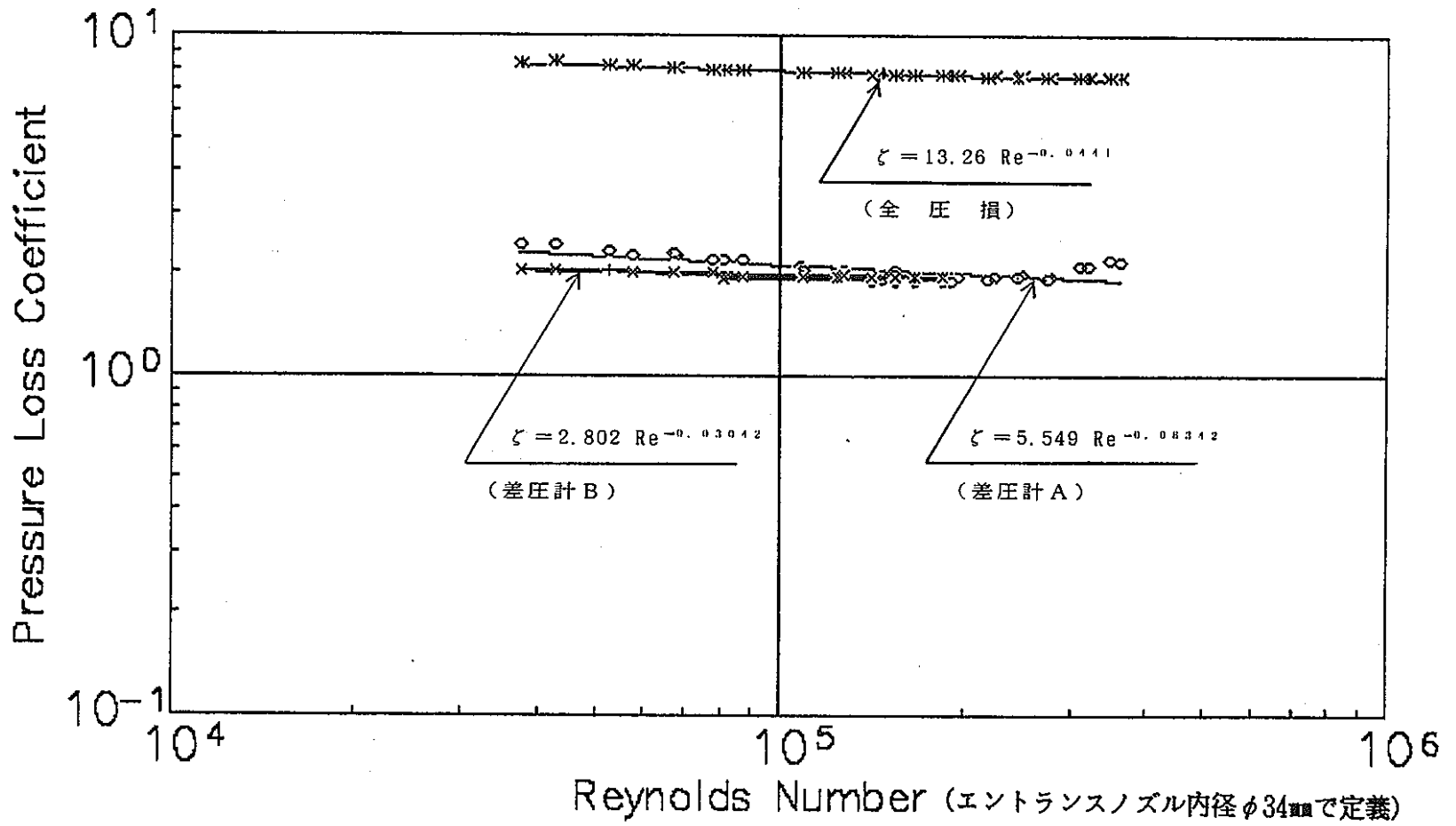


図4.16 総合流動特性試験 (第5列)

4.2 キャビテーション可視化試験

(1) キャビテーション初生特性試験

(a) 第0, 1列

第0, 1列では, エントランスノズル第1段(最上段)オリフィスのみでキャビテーションが発生した。キャビテーションは連結管とエントランスノズルの間で発生し, エントランスノズル上縁を通過してエントランスノズル内面を上昇した。

キャビテーション発生状況を図4.17及び図4.18に示す。又, キャビテーション係数について整理した結果を図4.19に, 流量とキャビテーション発生状況の関係を表4.6に示す。

(b) 第3列

第3列でのキャビテーション発生状況は, 流量の増加に伴い以下のように変化した。

(i) ドレン孔初生

(ii) 第1段オリフィス初生, ドレン孔間欠

(iii) 第1段オリフィス間欠, ドレン孔間欠

(iv) 第1段オリフィス連続, 第5段オリフィス初生, ドレン孔間欠

(v) 第1段オリフィス発達, 第4, 5段オリフィス間欠, 第6段オリフィス初生
ドレン間欠

第1段目オリフィスのキャビテーションが連続となった状況では, キャビテーション発生先端は, 連結間とエントランスノズル間の間隙であった。

キャビテーション発生状況を図4.20及び図4.21に示す。

キャビテーション係数について整理した結果を図4.22に示す。又, 流量とキャビテーション発生状況の関係を表4.7に示す。

(c) 第5列

第5列のキャビテーション発生状況は流量の増加に伴い以下のように変化した。

(i) 第1段オリフィス初生, ドレン孔初生

(ii) 第1段オリフィス間欠, ドレン孔間欠

(iii) 第1段オリフィス連続, ドレン孔連続

連結管オリフィス内面下側で初生

(iv) 第1段オリフィス発達, 第6段オリフィス間欠, ドレン孔連続

連結管オリフィス内面下側で連続

(v) 第1段オリフィス発達, 第5段オリフィス間欠, 第2, 6段オリフィス連続, ドレン孔連続, 連結管オリフィス内面下側で発達, 上側初生

キャビテーション発生状況を図4.23及び図4.24に示す。

キャビテーション係数について整理した結果を図4.25に示す。流量とキャビテーション発生状況の関係を表4.8に示す。

(d) キャビテーション係数

キャビテーション係数について整理した結果(図4.19, 図4.22, 図4.25), 初生係数は多少のばらつきはあるが, 各列ともほぼ一定値となった。

(2) 流動パラメータ効果試験

温度をパラメータとして, キャビテーション初生係数をプロットした結果を図4.26に示す。

キャビテーション初生係数は, 一定値になる筈であるが高温では約15%程度のばらつきが生じた。

これに対し, 低温では, ほぼ一定値となった。

図4.27, 図4.28に示す水温40°C及び56°C時の圧力損失特性及び, 図4.16の総合流動特性試験(水温27°C)の圧力損失特性は一致し, 圧力損失係数に対する水温の有意な依存性は見られなかった。

尚, キャビテーション発生状況を図4.29, 図4.30(水温40°C)及び図4.31, 図4.32(水温56°C)に示す。

(3) 定格流動特性試験

定格流動特性試験結果を図4.33, 図4.34, 図4.35に示す。この試験は, 実機のキャビテーション係数に関する流動条件を模擬したものである。

測定した流量範囲内では, キャビテーションが発生している流量領域においても圧力損失係数の上昇は見られなかった。これは, キャビテーションにより有効流路面積が減少する, いわゆるスーパーキャビテーションには到っていないためと考えられる。

キャビテーションの発生状況は, キャビテーション可視化試験と同様であった。流量領域第0, 1列, 第3列, 第5列の定格流量時におけるキャビテーション発生状況を図4.36から図4.38に示す。

キャビテーションで特に注目すべき点は, 永久構造物である連結管の壁面近傍で発

生するキャビテーションであるが、第5列では85%以上の高流量域で激しいキャビテーションの発生が見られた。このときのキャビテーションの発生状況は概略以下のようであった。

連結管オリフィスの上・下方向にオリフィス径の約 $\frac{1}{2}$ の範囲で気泡が連結管内壁に付着。さらに下方向には、糸状に見える気泡が、エントランスノズルの5段目のオリフィスにまで達し、エントランスノズル3段目のオリフィスからは、糸状の気泡がエントランスノズル内に吸い込まれていく様子が見られた。

この状況は、定格流量(528.3ℓ/min)の110%以上では変わらなかった。

100%流量では、糸状気泡の到達範囲は、エントランスノズルオリフィスの4段目まで、80%では3段目まで、75%では観察できなかった。

連結管でのキャビテーション発生が無くなるのは、65%流量であった。

又、エントランスノズルのオリフィスにおける初生は、エントランスノズル第1段で60%流量であった。

流量領域第5列の定格流動試験についてはエントランスノズル供試体Cを用いての試験も実施した。試験結果を図4.39に、定格流量におけるキャビテーション発生状況を図4.40に示す。

本試験は、連結管オリフィス部におけるキャビテーションを抑制するため、連結管オリフィスに相対するエントランスノズルオリフィス径を ϕ 4.0mmから ϕ 8.0mmにしたエントランスノズル供試体Cを用いて試験したものである。この試験により、連結管オリフィス部でのキャビテーションは、定格流量(528.3ℓ/min)の120%でも発生しないことが確認できた。しかし、圧力損失係数は、約 $\frac{1}{2}$ となるため、エントランスノズルに内部オリフィス等を設置して流動抵抗を確保する必要がある。

表4.6 第0・1列キャビテーション発生状況

単位 (ℓ/min)

エントランスノズル内 圧力 状 況	$3.2 \times 10^5 \text{Pa}$	$3.6 \times 10^5 \text{Pa}$	$4.1 \times 10^5 \text{Pa}$	$4.5 \times 10^5 \text{Pa}$
初 生 域 流 量	* 1 5 2 0	* 1 5 3 0	* 1 5 5 0	* 1 5 7 0
間 欠 域 流 量	6 0 0	6 0 0	6 2 0	6 2 0
連 続 域 流 量	6 3 0	6 3 0	6 6 0	6 8 0
発 達 域 流 量	* 2,3 6 8 0	* 2 6 8 0	* 2 7 1 0	* 2,3 7 4 0

- * 1 : 最上段エントランスノズルオリフィス孔でキャビテーション初生
- * 2 : エントランスノズル最上段オリフィスの上側線からはげしく発生し、エン
トランスノズル内を上昇
- * 3 : キャビテーション発生状況を図4.17及び図4.18に示す。

注：エントランスノズル内圧力： 絶対圧

表4.7 第3列キャビテーション発生状況

単位 (ℓ/min)

状況 \ エントランスノズル内 圧力	$3.0 \times 10^5 \text{Pa}$	$3.5 \times 10^5 \text{Pa}$	$3.9 \times 10^5 \text{Pa}$	$4.3 \times 10^5 \text{Pa}$
初 生 域 流 量	* 1 430	* 1 460	* 1 485	* 1 505
間 欠 域 流 量	470	500	530	550
連 続 域 流 量	540	560	490	600
発 達 域 流 量	* 2,4 630	* 2 660	* 3 660	* 3,4 660

- * 1 : 最上段エントランスノズルオリフィス孔でキャビテーション初生
 - * 2 : エントランスノズル4.6段目オリフィス孔でキャビテーション間欠発生
エントランスノズル5段目オリフィス孔でキャビテーション連続発生
エントランスノズル最上段オリフィス孔でキャビテーション発達
 - * 3 : エントランスノズル4.5段目オリフィス孔でキャビテーション間欠発生
エントランスノズル最上段オリフィス孔でキャビテーション発達
 - * 4 : キャビテーション発生状況を図4.20及び図4.21に示す。
- ◎ 上記観察中、全領域でドレン孔ではキャビテーション発生

注：エントランスノズル内圧力： 絶対圧

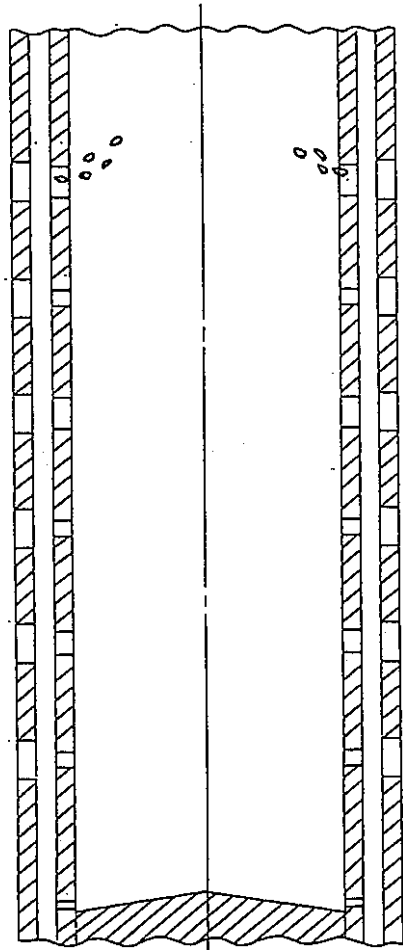
表4.8 第5列キャビテーション発生状況

単位 (ℓ/min)

エントランスノズル内 状況	2.5 × 10 ⁵ Pa	2.9 × 10 ⁵ Pa	3.3 × 10 ⁵ Pa	3.6 × 10 ⁵ Pa
初生域流量	* 1 315	* 1 340	* 1 355	* 1 370
間欠域流量	* 2 340	* 2 360	* 2 380	* 2 395
連続域流量			* 3 420	* 3 440
発達域流量	* 4,5 420	* 4 430	* 4 470	* 4,5 490

- * 1 : 最上段エントランスノズルオリフィス孔でキャビテーション初生
- * 2 : 最上段エントランスノズルオリフィス孔でキャビテーション間欠発生
ドレン孔では連続的に発生
- * 3 : 連結管側オリフィス孔よりキャビテーション初生
- * 4 : 連結管側オリフィス孔の下線から連結管-エントランスノズル間下向きに
キャビテーション連続発生
- * 5 : キャビテーション発生状況を図4.23及び図4.24に示す。

注：エントランスノズル内圧力： 絶対圧



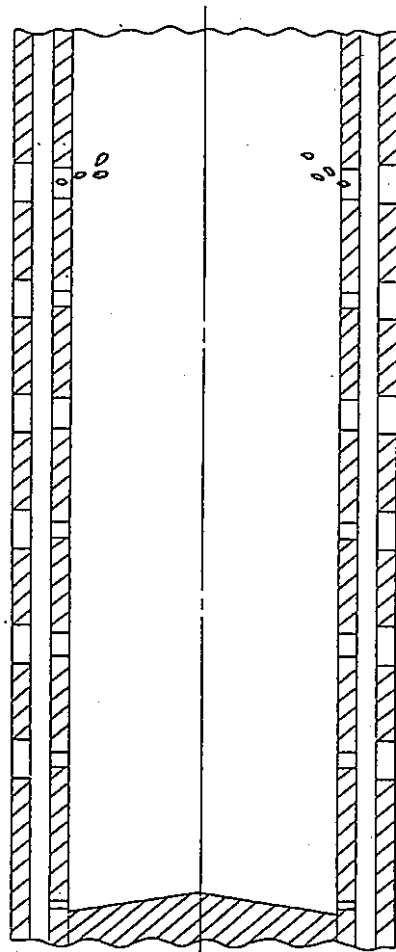
試験条件	
流量領域	第0, 1列
流体温度	36℃
エントランスノズル内圧力	$3.2 \times 10^5 \text{ Pa}$
流量	680 ℓ/min
エントランスノズル供試体形状	B

キャビテーション発生状況

1段目のエントランスノズルオリフィス部の上縁より気泡が発生している。

他のオリフィス箇所については、発生が認められない。

図4.17 キャビテーション初生特性試験キャビテーションの形態 (その1)



試 験 条 件	
流 量 領 域	第0, 1列
流 体 温 度	36℃
エントランスノズル 内圧力	$4.5 \times 10^5 \text{ Pa}$
流 量	740 ℓ/min
エントランスノズル 供 試 体 形 状	B

キャビテーション発生状況

1段目のエントランスノズルオリフィス部の上縁より気泡が発生している。

他のオリフィス箇所については、発生が認められない。

図4.18 キャビテーション初生特性試験キャビテーションの形態 (その2)

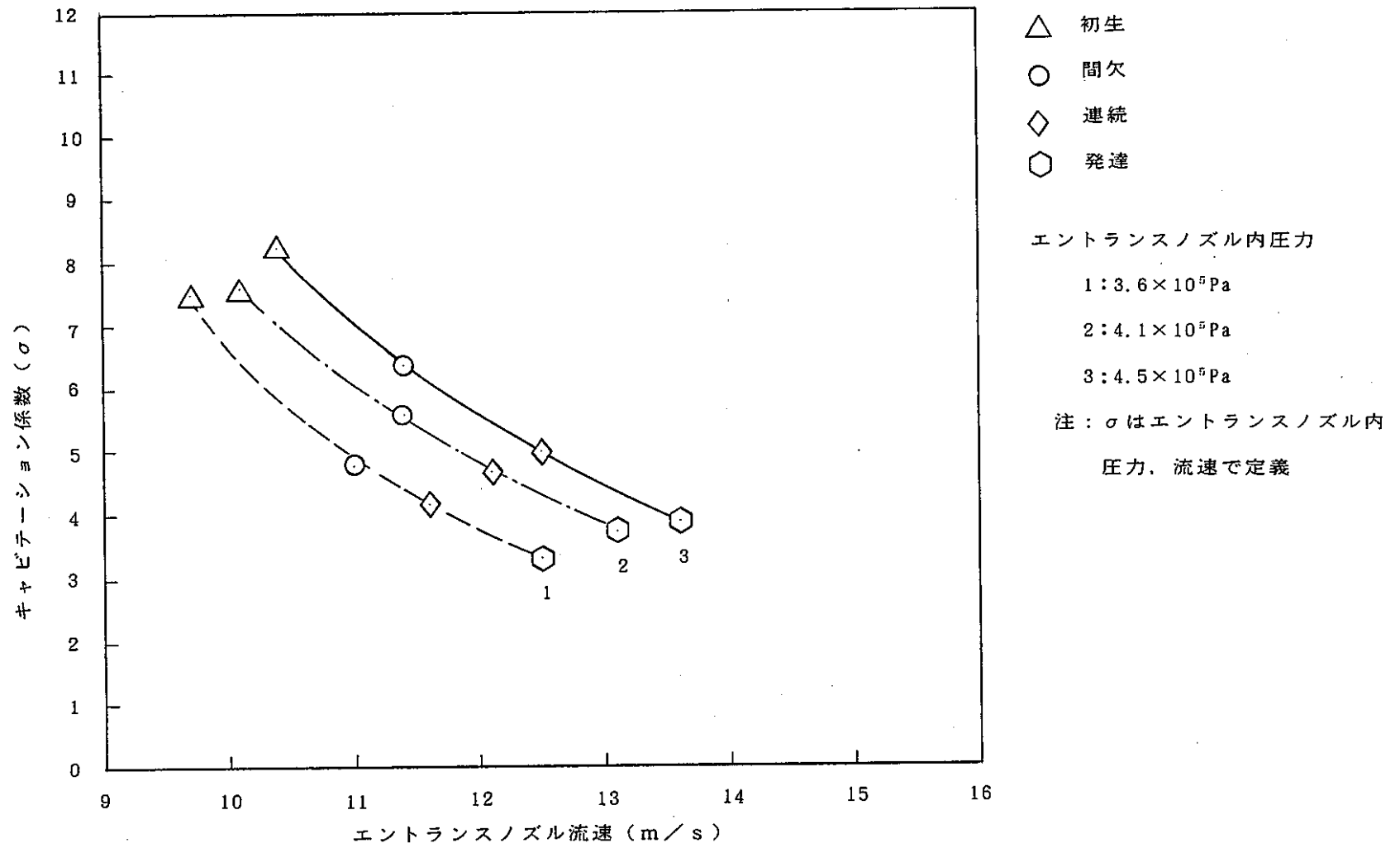
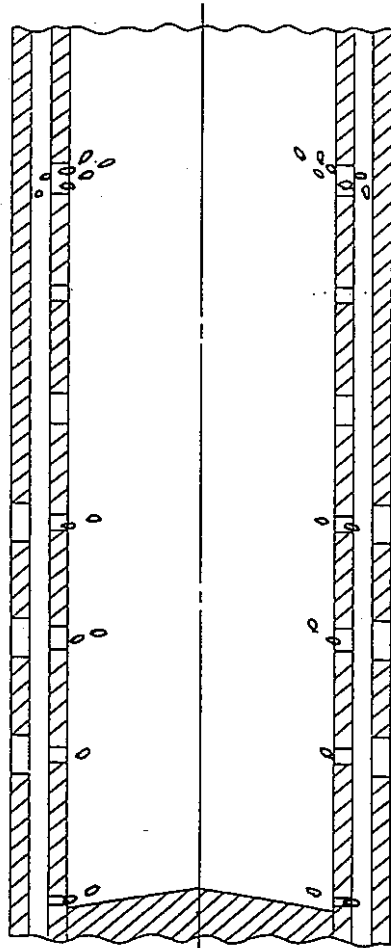


図4.19 エントランスノズル内流速とキャビテーション係数の関係 (第0, 1列)

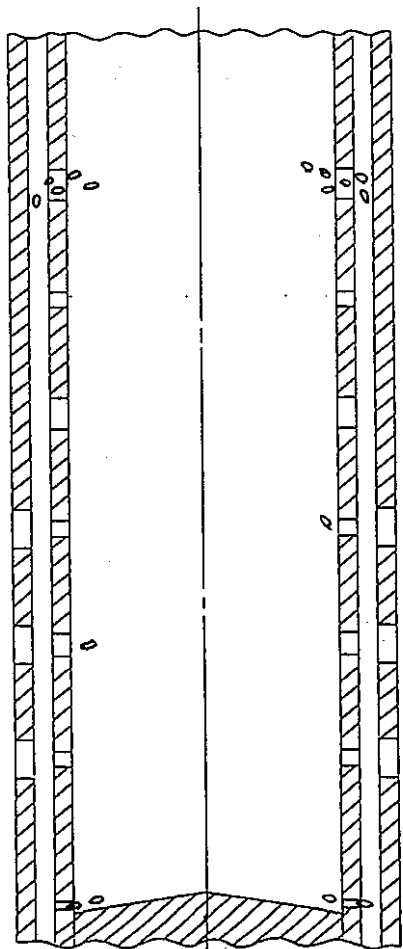


試 験 条 件	
流 量 領 域	第 3 列
流 体 温 度	3 6 °C
エントランスノズル 内圧力	$3.0 \times 10^5 \text{ Pa}$
流 量	6 6 0 ℓ / min
エントランスノズル 供 試 体 形 状	B

キャビテーション発生状況

1 段目について大きな気泡が連結管との間隙部にて発生しエントランスノズル内に上昇する。
 又、4 段目、5 段目は断続的 6 段目は間欠的に気泡が発生している。

図4.20 キャビテーション初生特性試験キャビテーションの形態 (その3)



試 験 条 件	
流 量 領 域	第3列
流 体 温 度	36℃
エントランスノズル 内圧力	$4.3 \times 10^5 \text{ Pa}$
流 量	660 ℓ/min
エントランスノズル 供 試 体 形 状	B

キャビテーション発生状況

1段目について気泡が連結管との間隙部にて発生しエントランスノズル内にて上昇する。

又、4段目、5段目はキャビテーションの初生が認められる。

図4.21 キャビテーション初生特性試験キャビテーションの形態 (その4)

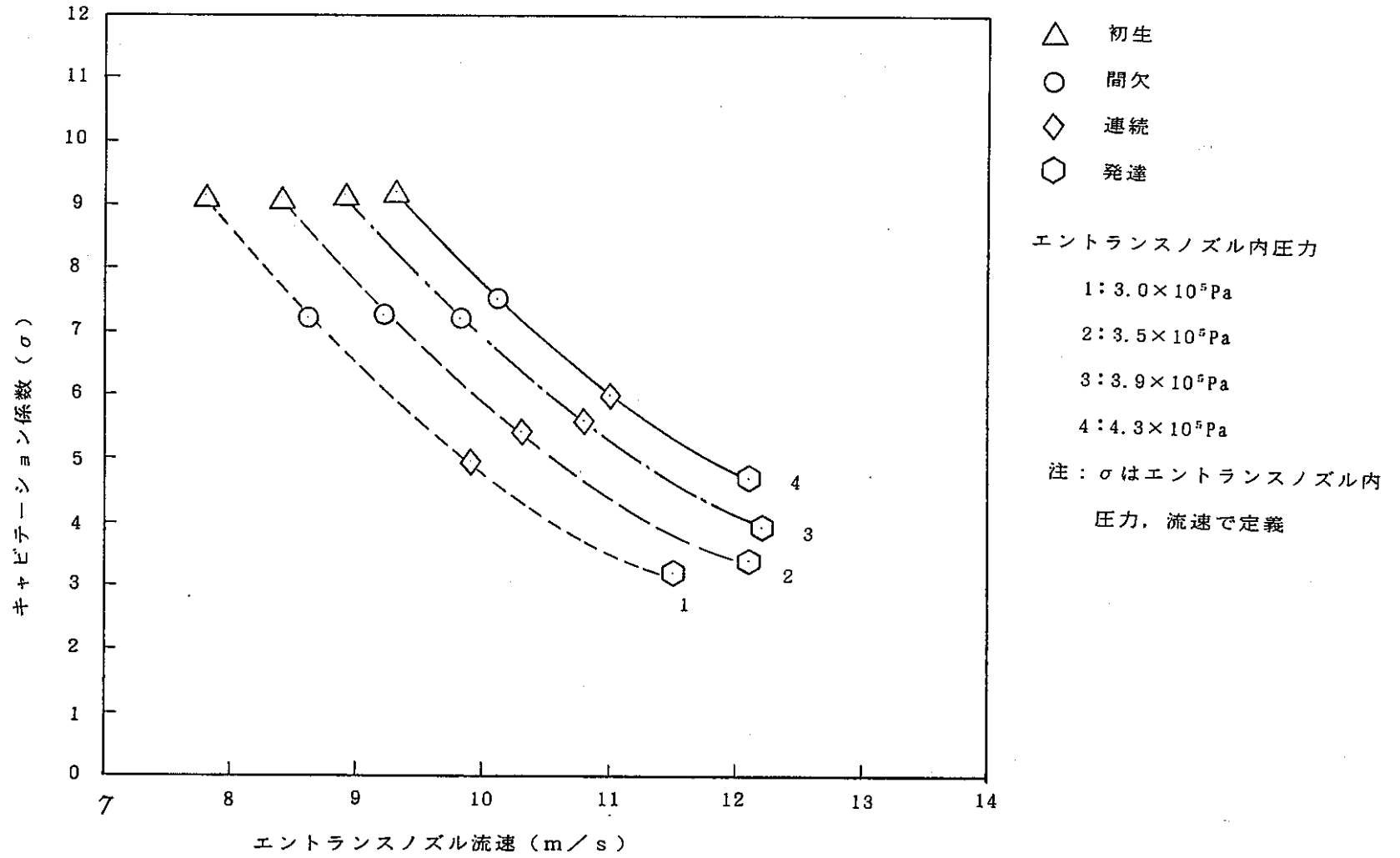
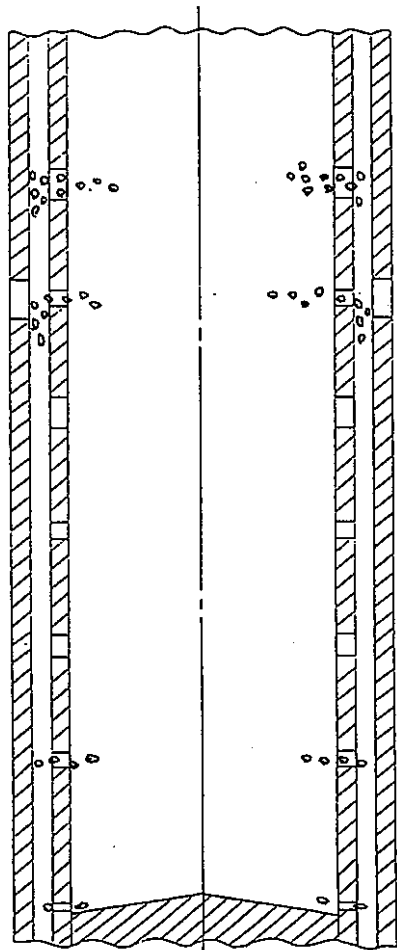


図4.22 エントランスノズル内流速とキャビテーション係数の関係 (第3列)

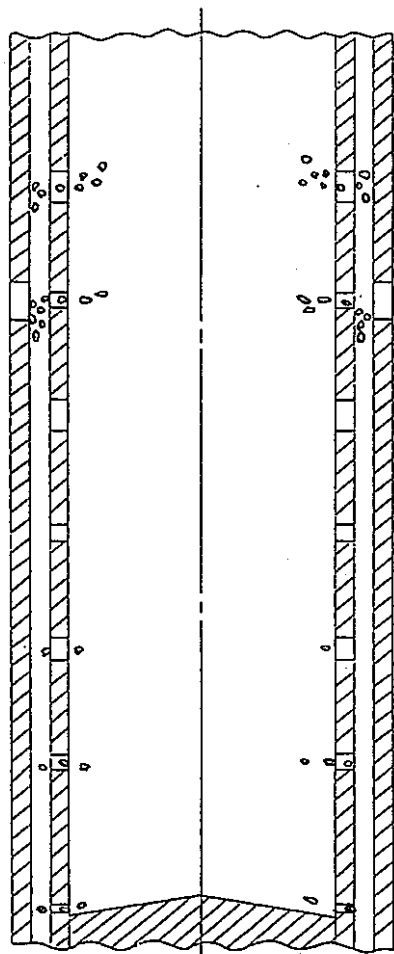


試 験 条 件	
流 量 領 域	第5列
流 体 温 度	27℃
エントランスノズル 内圧力	$2.5 \times 10^5 \text{ Pa}$
流 量	420 ℓ/min
エントランスノズル 供試体形状	B

キャビテーション発生状況

1段については大きな気泡が連結管との間隙部にて発生し、2段目は細かい気泡が連続的に発生している。
又、6段目は連続的に小さな気泡が発生している。

図4.23 キャビテーション初生特性試験キャビテーションの形態 (その5)



試 験 条 件	
流 量 領 域	第5列
流 体 温 度	27℃
エントランスノズル 内圧力	$3.6 \times 10^5 \text{ Pa}$
流 量	490 ℓ/min
エントランスノズル 供 試 体 形 状	B

キャビテーション発生状況

1段については大きな気泡が連続管との間隙部にて発生し、2段目は細かい気泡が連続的に発生している。

又、5段目は間欠的に6段目は連続的に小さな気泡が発生している。

図4.24 キャビテーション初生特性試験キャビテーションの形態 (その6)

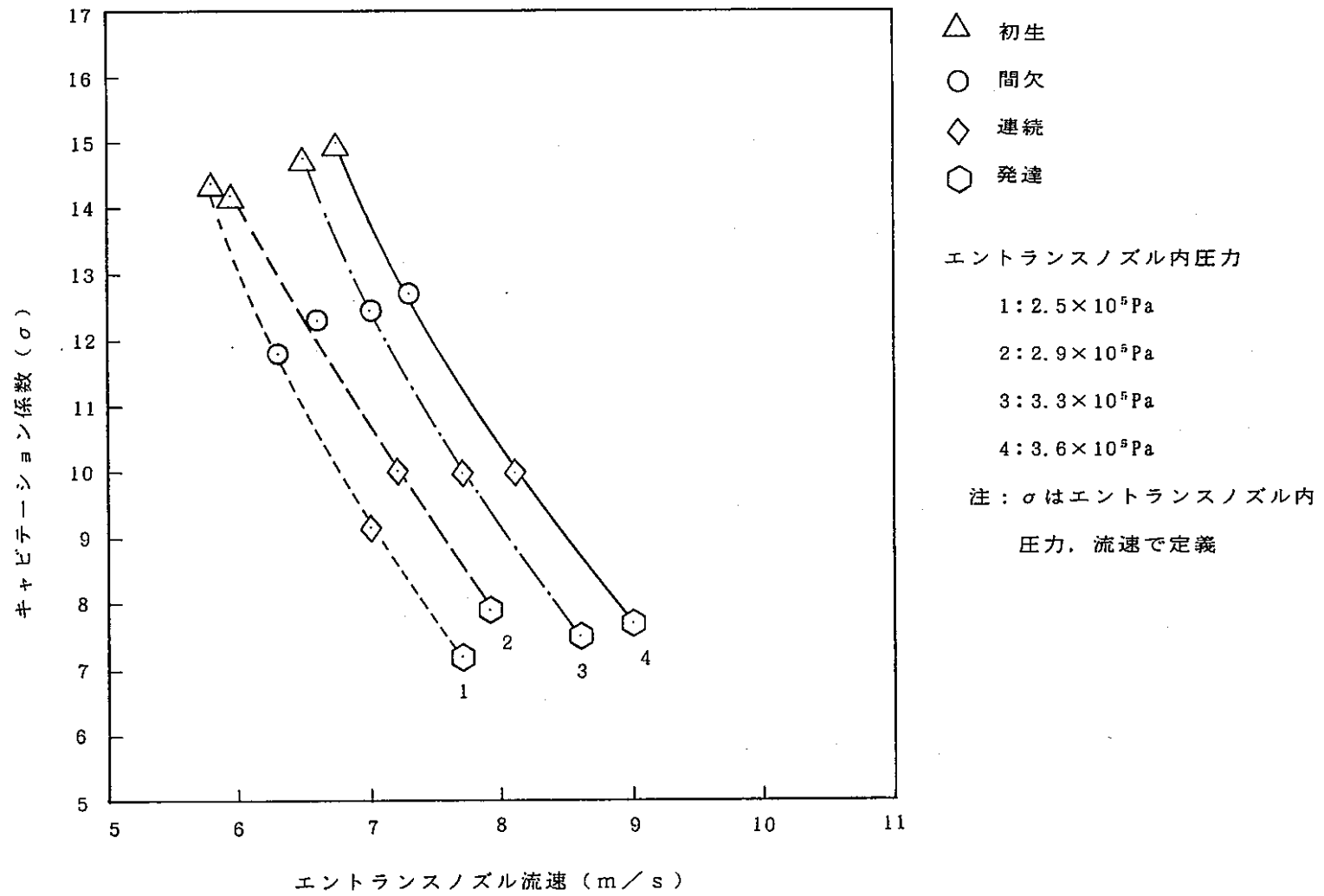


図4.25 エントランスノズル内流速とキャビテーション係数の関係 (第5列)

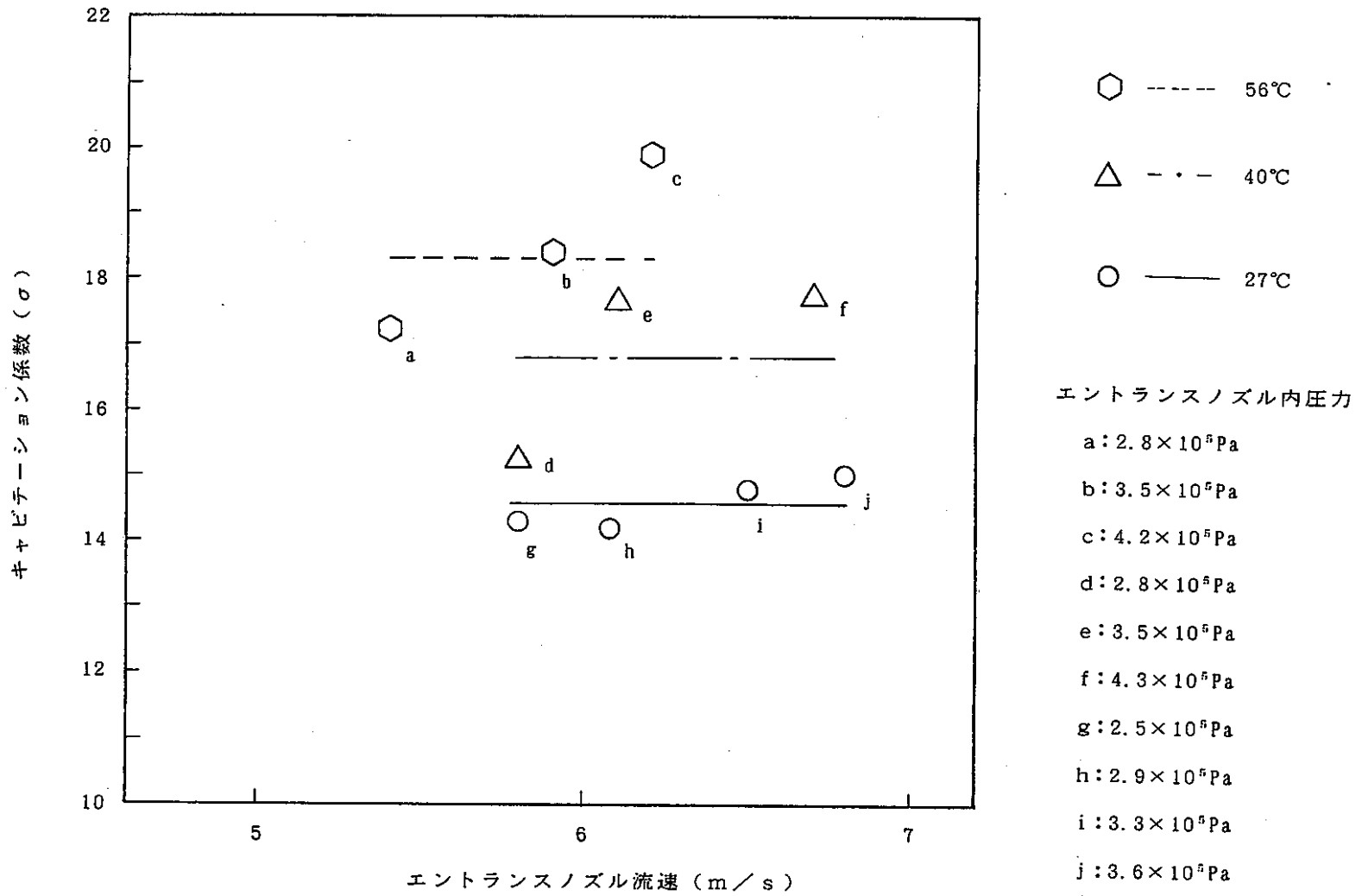


図4.26 水温とキャビテーション係数の関係

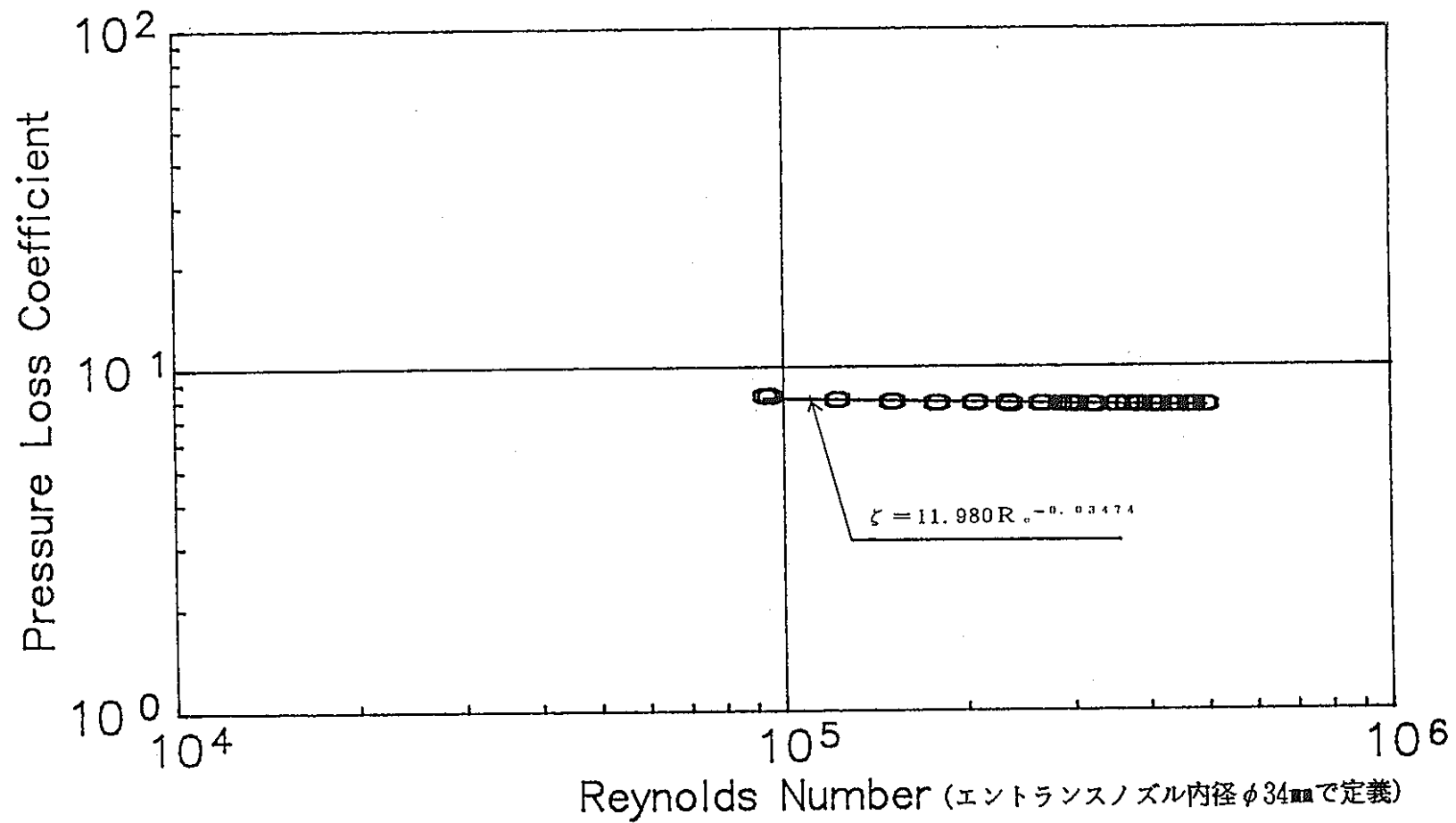


図4.27 流動パラメータ効果試験 (水温40℃)

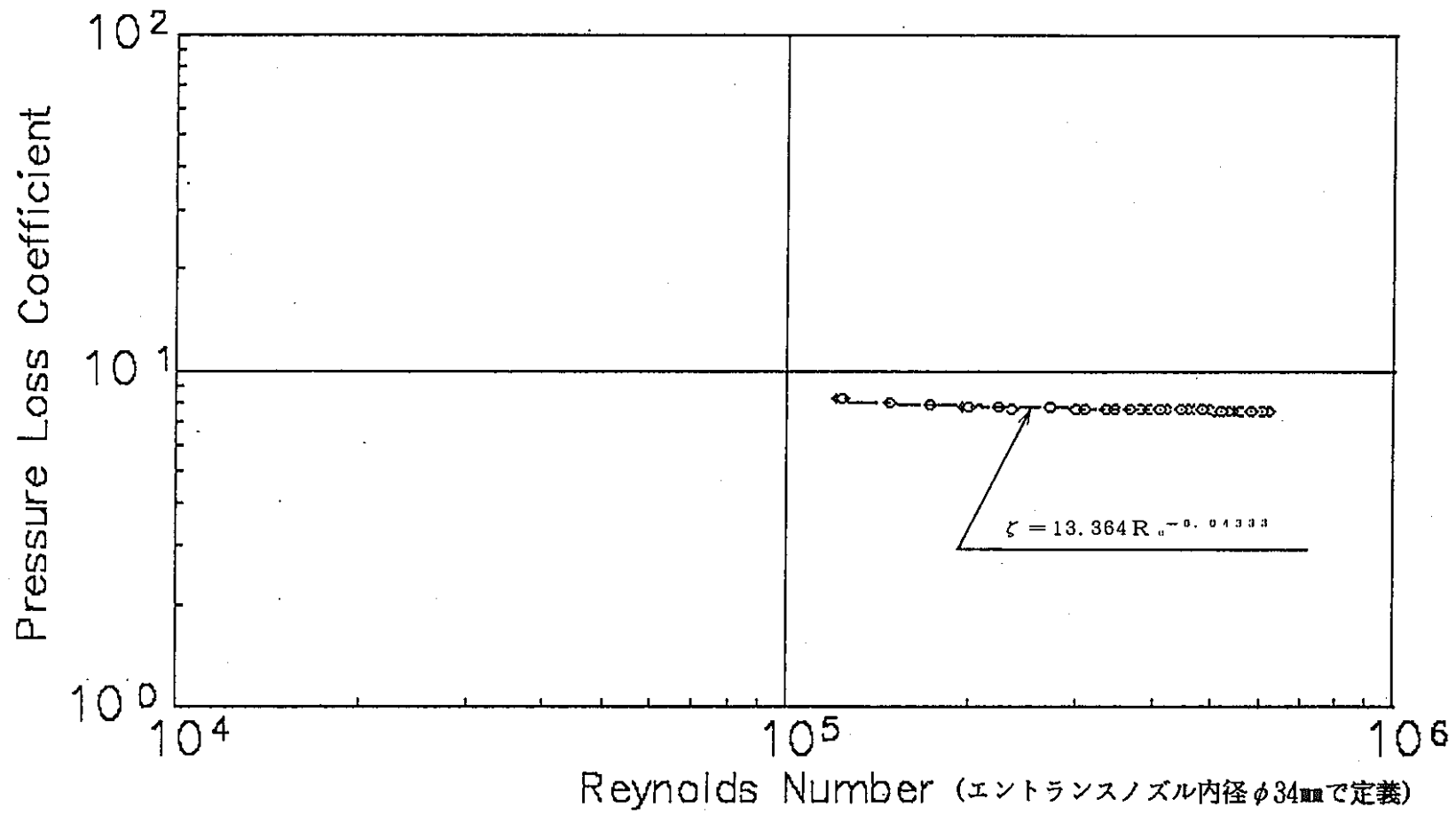
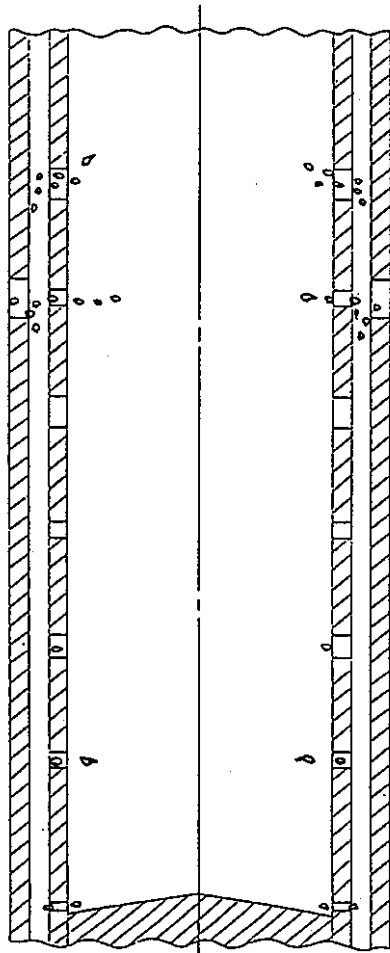


図4.28 流動パラメータ効果試験 (水温56℃)



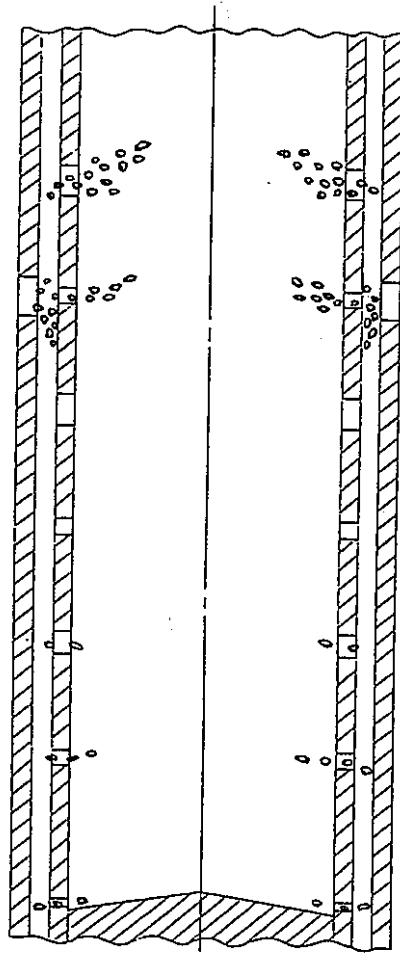
試 験 条 件	
流 量 領 域	第5列
流 体 温 度	40℃
イントランスノズル 内圧力	$4 \times 10^5 \text{ Pa}$
流 量	490 ℓ/min
イントランスノズル 供 試 体 形 状	B

キャビテーション発生状況

1段については大きな気泡が連結管との間隙部にて発生し、2段目は細かい気泡が連続的に発生している。

又、5段目は間欠的に6段目は連続的に小さな気泡が発生している。

図4.29 流動パラメータ効果試験キャビテーションの形態(その1)

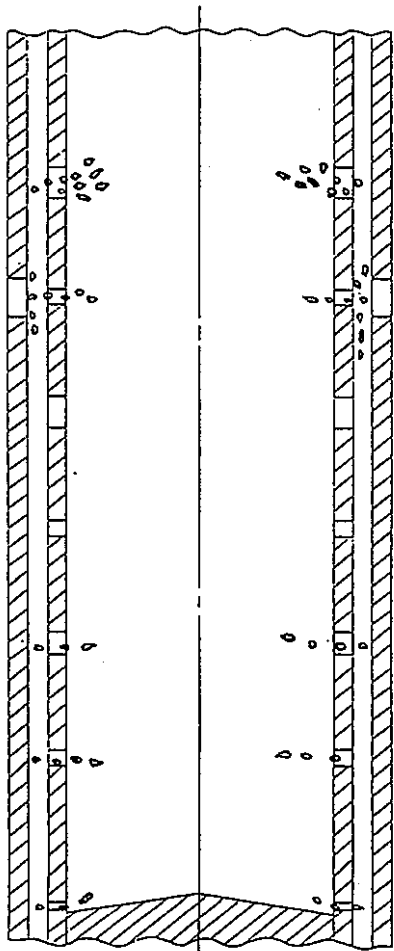


試 験 条 件	
流 量 領 域	第5列
流 体 温 度	40℃
エントランスノズル 内圧力	$2.5 \times 10^5 \text{ Pa}$
流 量	490 ℓ/min
エントランスノズル 供 試 体 形 状	B

キャビテーション発生状況

2段については大きな気泡が連結管との間隙部にて発生（2段目は特に下縁部で高密度）しエントランスノズル内にて霧状に上昇する。又、5段、6段部は小さな気泡が連続的に発生している。

図4.30 流動パラメータ効果試験キャビテーションの形態（その2）



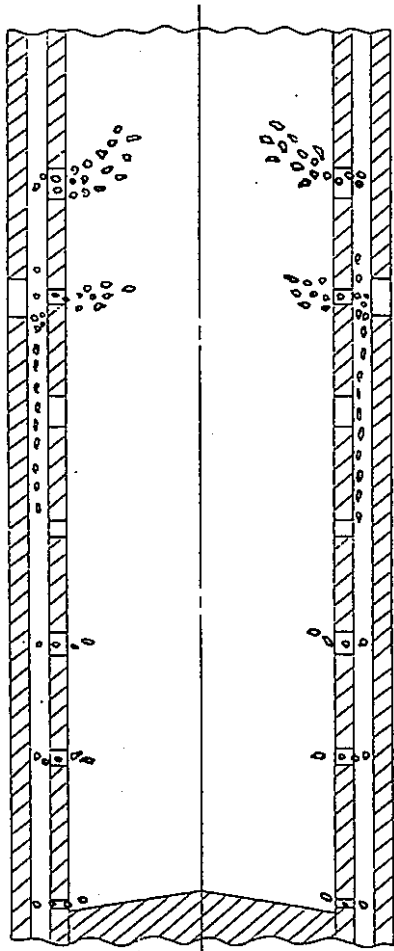
試 験 条 件	
流 量 領 域	第5列
流 体 温 度	56℃
エントランスノズル 内圧力	$4.0 \times 10^5 \text{ Pa}$
流 量	490 ℓ/min
エントランスノズル 供試体形状	B

キャビテーション発生状況

2段については大きな気泡が連結管との間隙部にて発生しエントランスノズル内を霧状に上昇する。

又、連結管オリフィスで発生した気泡がエントランスノズル3段まで断続的に細霧状になって下降している。

図4.31 流動パラメータ効果試験キャビテーションの形態 (その3)



試 験 条 件	
流 量 領 域	第5列
流 体 温 度	56℃
エントランスノズル 内圧力	$2.6 \times 10^5 \text{ Pa}$
流 量	470 ℓ/min
エントランスノズル 供 試 体 形 状	B

キャビテーション発生状況

2段については大きな気泡が連結管との間隙部にて発生しエントランスノズル内を霧状に上昇する。
 ・又、連結管オリフィスで発生した気泡がエントランスノズル4段まで細霧状になって下降している。

図4.32 流動パラメータ効果試験キャビテーションの形態 (その4)

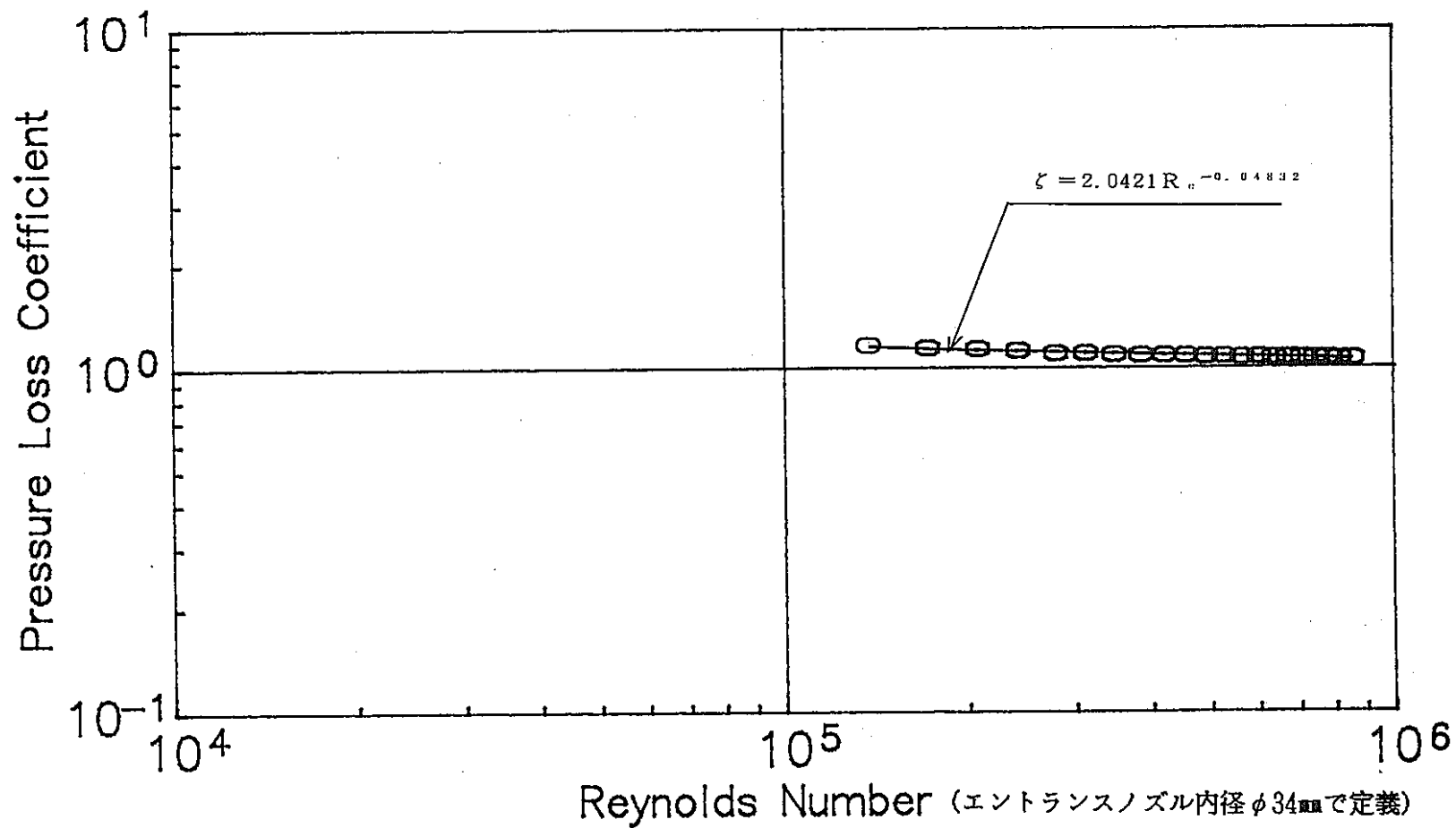


図4.33 定格流動特性試験 (第0, 1列)

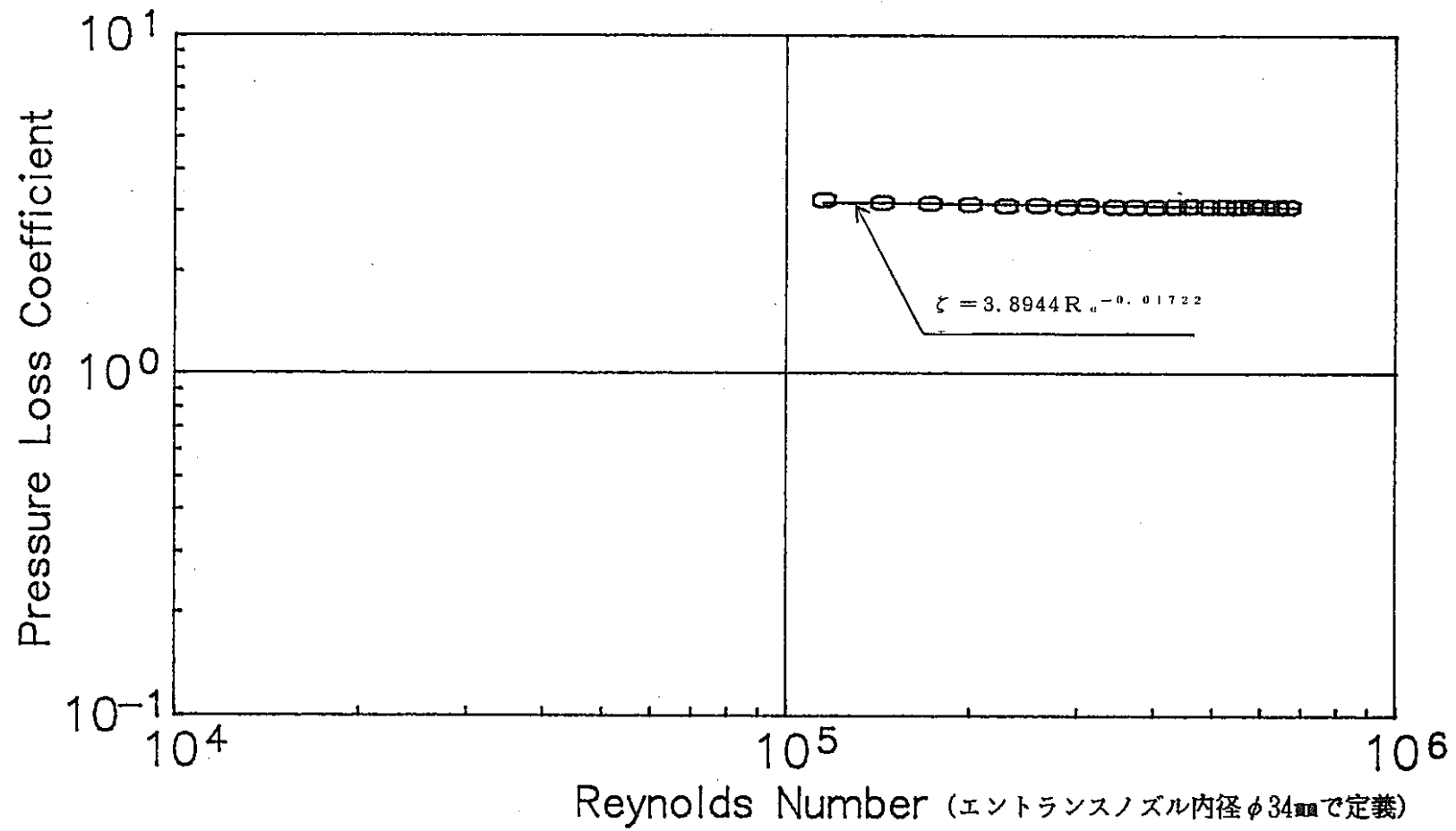


図4.34 定格流動特性試験 (第3列)

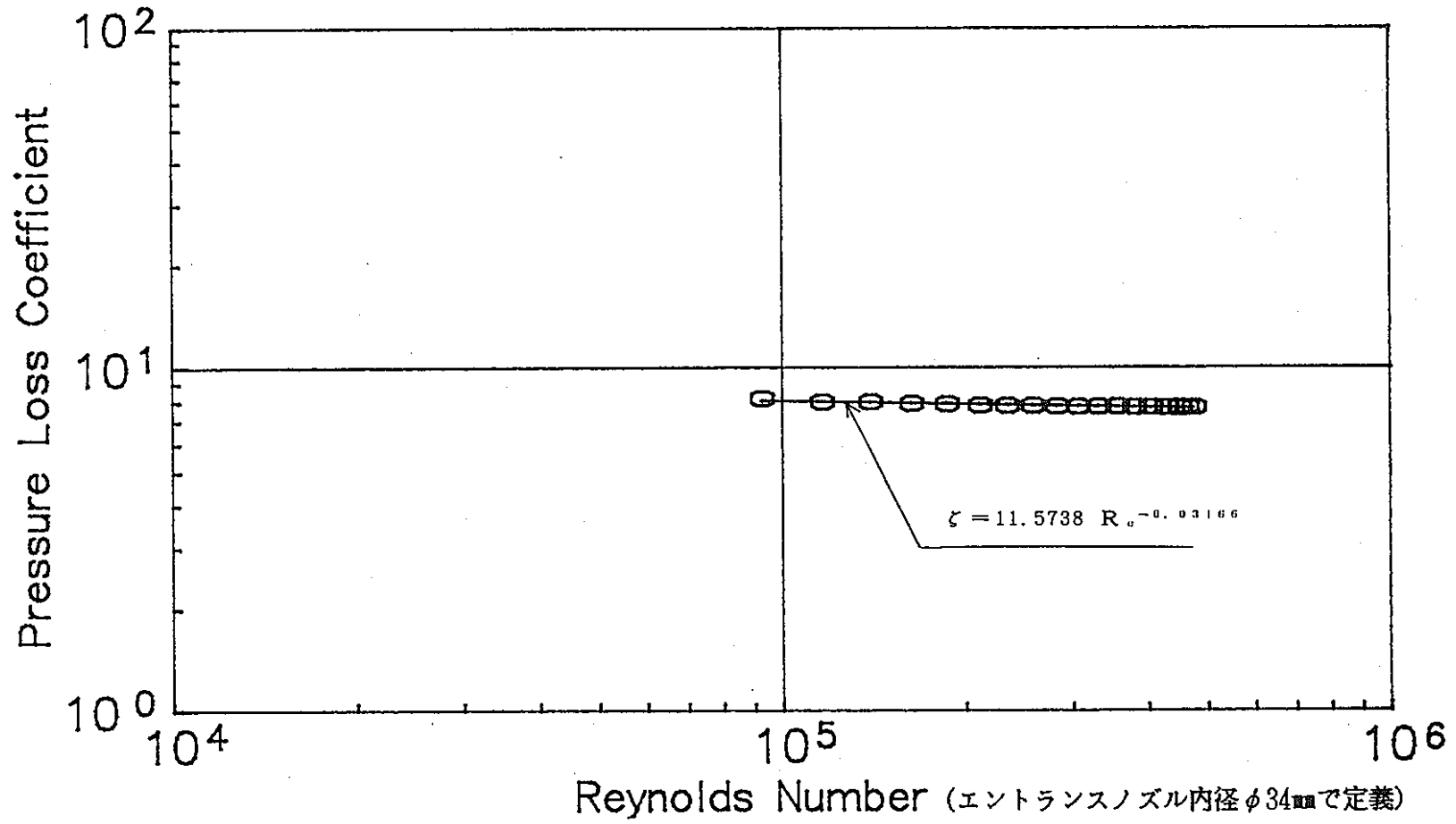
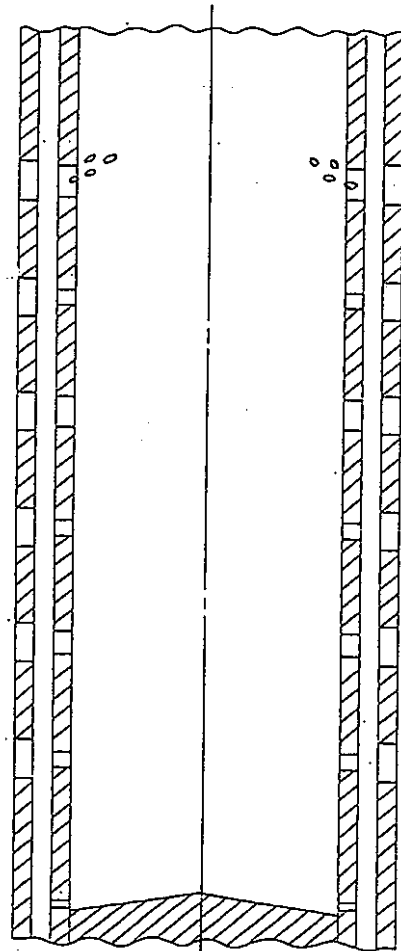


図4.35 定格流動特性試験 (第5列)



試 験 条 件	
流 量 領 域	第1列
流 体 温 度	30℃
エントランスノズル 内圧力	$4.0 \times 10^5 \text{ Pa}^*$
流 量	793 ℓ/min
エントランスノズル 供 試 体 形 状	B

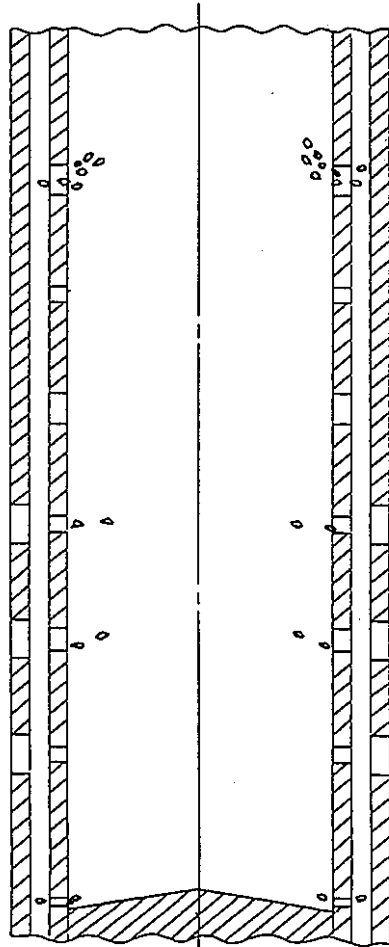
キャビテーション発生状況

1段目のエントランスノズルオリフィス部の上縁より気泡が発生している。

他のオリフィス箇所については、発生が認められない。

* 注：計測器レンジオーバーのため、上部プレナム圧力計（ブルドン管）から算出

図4.36 定格流動特性試験キャビテーションの形態（その1）



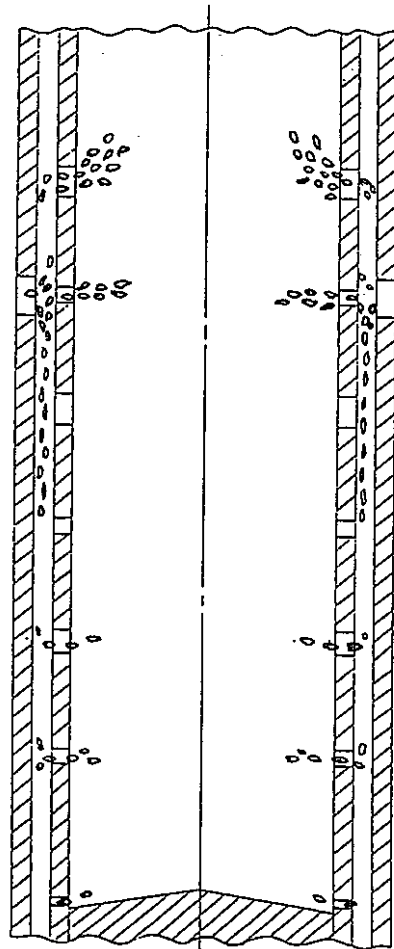
試 験 条 件	
流 量 領 域	第3列
流 体 温 度	30℃
エントランスノズル 内圧力	$3.3 \times 10^5 \text{ Pa}$
流 量	660 ℓ/min
エントランスノズル 供試体形状	B

キャビテーション発生状況

1 段目について大きな気泡が連結管との間隙部にて発生しエントランスノズル内を上昇する。

又、4 段目、5 段目については間欠的に小さな気泡が発生している。

図4.37 定格流動特性試験キャビテーションの形態 (その2)



試 験 条 件	
流 量 領 域	第5列
流 体 温 度	30℃
エントランスノズル 内圧力	$2.8 \times 10^5 \text{ Pa}$
流 量	528 ℓ/min
エントランスノズル 供試体形状	B

キャビテーション発生状況

2段については大きな気泡が連結管との間隙部にて発生しエントランスノズル内を霧状になって上昇する。

又、連結管オリフィスで発生した気泡がエントランスノズル4段まで細霧状になって下降している。

図4.38 定格流動特性試験キャビテーションの形態 (その3)

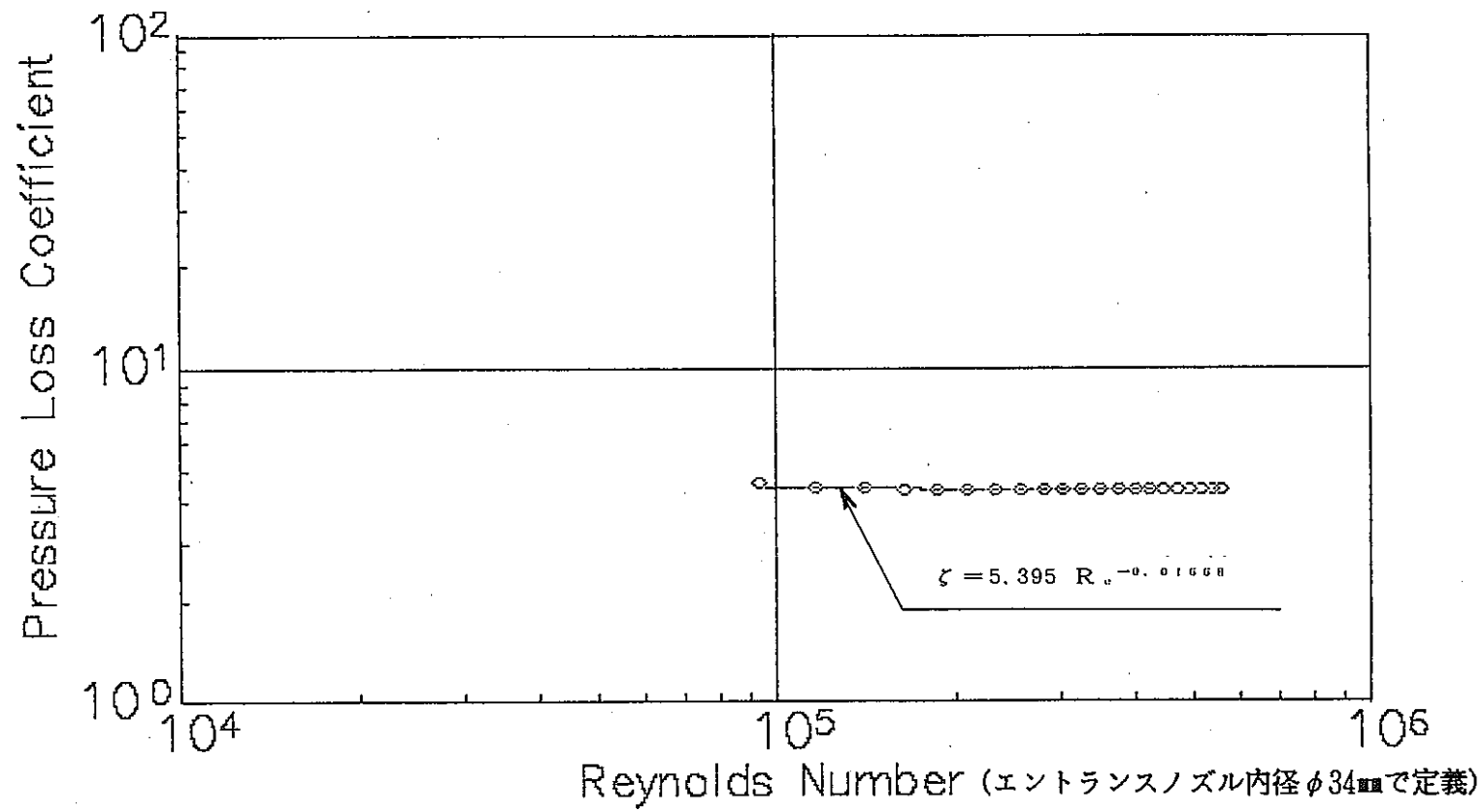
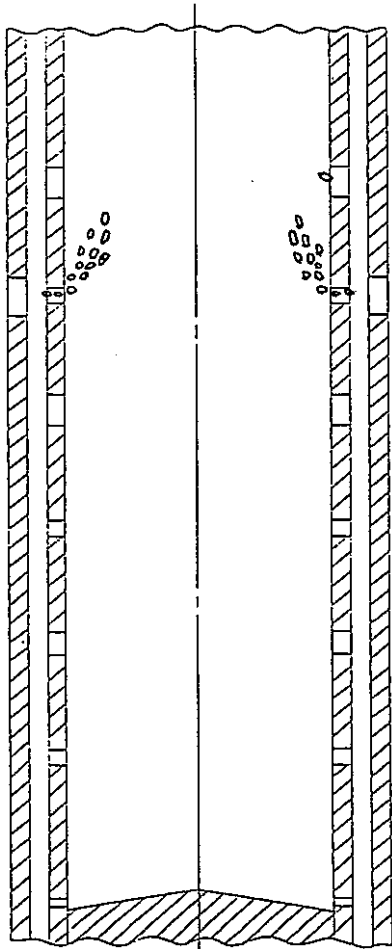


図4.39 定格流動特性試験 (第5列, エントランスノズルC)



試 験 条 件	
流 量 領 域	第5列
流 体 温 度	30℃
エントランスノズル 内圧力	$3.0 \times 10^5 \text{ Pa}$
流 量	528 ℓ/min
エントランスノズル 供試体形状	C

キャビテーション発生状況

2段目について大きな気泡がエントランスノズルオリフィス部で発生し、エントランスノズル内を上昇している。
又、1段目はキャビテーションの初生が認められる。
他のオリフィス箇所については、発生が認められない。

図4.40 定格流動特性試験キャビテーションの形態（第5列エントランスノズルC）

5. NETWORKによる計算

今回の試験で得られたデータをインプットデータとしてNETWORKコードによる解析を行なう。

5.1 常陽の“ネットワーク”

もんじゆの連結管はスリット構造のため、スリット部分では実質的な圧力損失は生じない。そのため、もんじゆの“ネットワーク”は、図 5.1に示すような形となり、高圧プレナムとノズル間には、エントランスノズルのオリフィスが 1段あるだけである。

一方、常陽のネットワークでは、連結管にもオリフィスが存在し、連結管とエントランスノズル間ギャップ流れが存在する。

常陽のネットワークの 1 例として第 2 領域のネットワークを図 5.2に示す。

図 5.2において、a, b の流量配分を計算する場合、NETWORKでは、F 点の圧力が既知でなければならないが、F 点の圧力は c, d の流量が決まらなければ定まらない。さらに d の流量は、E, F 点の圧力が決まらなければ定まらない。このため、常陽のネットワークを解くためには、もんじゆのネットワークに合わせ、常陽のネットワークに対して適切なモデル化を行なう必要がある。

5.2 常陽向ネットワークのモデル化

常陽ネットワークを解くため、以下の考え方に従ってモデル化する。

(1) オープンオリフィス

連結管とエントランスノズルのギャップは 1.5mm と小さい上、連結管、エントランスノズルそれぞれのオリフィスは同心となっている。したがって、便宜的に 2 段のオリフィスを 1 段にまとめる。

(2) ブラインドオリフィス

第 2, 第 4 領域のブラインドオリフィスに対するモデル化は、連結管オリフィスから隙間部へ流入する際の流入損失係数の調整により行なう。具体的には、ブラインドオリフィスの圧力損失係数に流入損失係数を加えるものとする。圧力損失係数は、実験データと解析結果を比較して決める。

(3) 上・下ブラインドオリフィス

上, 下部ブラインドオリフィスに対しては、隙間部への流入損失係数で調整する。

(NETWORKコードのインプットCCU, CCD) 以上のモデル化の考え方を図 5.3に示す。

又、上記の考え方に基づき、流量領域 0～5 を図 5.4のようにモデル化する。

5.3 入力データの作成

NETWORKコードに必要なデータは、オリフィス毎の圧力損失係数である。NETWORKコードは、“もんじゅ”用のコードであり、常陽に適用するに当たっては、前項で述べたようなモデル化が必要である。そこで、オープンオリフィスに対して前項のようにモデル化をした場合に、実験で求めたオリフィスの圧力損失係数がそのまま使用できるか否かを確認した。

(1) 単段オリフィス特性試験の解析

単段オリフィス特性試験は、エントランスノズルオリフィス径が、4.0 mm, 6.1 mm, 8.5 mmの場合について行なわれている。ここでは、これら3ケースについて、実験と同条件でNETWORKコードで計算し、実験結果と計算結果が一致する事を確認した。

(2) オリフィス圧力損失係数の評価式

オリフィスの圧力損失係数は、4 mm, 6.1 mm, 8.5 mmの3ケースについて測定されている。そこで、これら3ケースのデータから圧力損失係数の評価式を作る。評価式を作る場合、連結管オリフィスとエントランスノズルオリフィスの相関(付録1)に着目するか、又は、もんじゅで行なったようにエントランスノズル断面積とオリフィス断面積について整理する方法が考えられる。この内、連結管オリフィスとエントランスノズルの相関を考える場合、ブラインドオリフィスについては、連結管オリフィスとの相関関係が定義できない。したがって、オリフィスの圧力損失係数の評価式は、オリフィス面積とエントランスノズル断面積の比の関数として表わす。図5.5に圧力損失係数を示す。Re数の範囲は、3ケースに共通の範囲とした。圧力損失係数のRe数依存性は、それ程大きくなく、中心値から±数%に収まる。そこでオリフィスの圧力損失係数の評価式は3ケースの中心値を2次式で近似し、以下ようになる。

$$\zeta = 1.4591 - 3.097 \left[\frac{A_1}{A_0} \right] + 4.2067 \left[\frac{A_0}{A_1} \right]^2$$

A_0 : エントランスノズル孔全面積

A_1 : エントランスノズル断面積

尚、Re数の依存性については、現状のNETWORKコードがRe数依存性を考慮していないため、前記の2次式を用いる。Re依存性については付録2に記す。

(3) 多段オリフィス特性試験の解析

常陽ネットワークのモデル化の妥当性確認の一環として多段オリフィス特性試験の解析を行なった。多段オリフィス特性試験は、オープンオリフィスが2段の試験であ

り、実際の構造における合流損失の取扱いの妥当性確認に寄与するものと考えられる。

解析ケースは、図 5.6 の 2 ケースである。図に示すように条件 1 では、約 -6%、条件 2 では約 0.5% の誤差を生じている。両者の比較より、エントランスノズル径の比が大きくなると誤差が大きくなるのは、エントランスノズルの流速に差が生ずる結果、すき間部に静圧差が生じ、すき間部に多少流れが生ずるためと推定される。

(4) ブラインドオリフィス特性試験の解析

図 5.7 の 2 ケースについて試験が行なわれており、実験と解析の比較により、常陽のネットワークモデルに対する隙間部への流入損失係数が決定できると考えられる。

○ 条件 1

図 5.7 (1) に示すように、隙間部に対する流入損失係数 (CCU) を、1.0 とした場合計算値は、実験値と良く一致した。

○ 条件 2

図 5.7 (2) に示すように、条件 2 の場合には、CCU では、圧力損失係数を調整しきれなかった。

仮に全流量がオープンオリフィスのみに流れるとして圧力損失を計算した結果と実験値を比較してみると、実験値の方が大きい。

即ち、実験で測定された流量よりも多い流量が流れている必要がある事になる。可能性としては、ブラインドオリフィスからの逆流が考えられるが、実験データからは逆流は否定される。したがって他の要因という事になるが、得られたデータからは原因を特定するに到らなかった。

5.4 総合流動試験の解析

単段オリフィス特性試験に基づいて決定したオリフィスの圧力損失係数（表5.1）を用いて総合流動試験の解析を行なう。解析の目的は、NETWORKを常陽に適用する場合のモデル化に伴う係数を決定する事である。

NETWORKを常陽に適用する際に、利用可能な係数は、以下の3つである。

CCU 上部すきま部流入損失係数

CCD 下部すきま部流入損失係数

CCE オリフィス孔圧力損失係数の感度係数

この内CCBについては、極力1.0とする。

上記係数に関するサーベイの結果、第0, 1列, 第2列, 第5列, 第5列改良型については、表5.2のように係数を決定した。第3, 4列については、上記係数による補正では、解が得られなかった。これは、計算過程ですき間部に逆流が生ずるためである。そこで、流量調節機構全体の圧力損失に着目するという観点に立ったモデルに変更した。

第3列のモデルと、係数は表5.3に又第4列のモデルと係数は表5.4に示す。

以上のように、NETWORKを常陽に適用する場合のモデル化方法、及び補正係数を流量領域毎に決定した。

5.5 オリフィス孔のパラメータサーベイ

前項で、NETWORKを常陽に適用する場合のモデル及び補正係数を決定した。そこでキャビテーション発生の中で最も注目される第5列について、NETWORKを用いてオリフィス孔径とキャビテーションの関係についてサーベイ計算を行なった。

第5列については、現構造及びエントランスノズルオリフィス孔径を8mmとした改良型のモデルについてCCU, CCDが求まっているので、CCU, CCDを以下のように内挿できると仮定した。

$$\begin{aligned} \text{CCU} &= 1.4\phi - 5.2 && \text{但し } \phi : \text{連結管オリフィス孔径} \\ \text{CCD} &= 4.7\phi - 17.6 && 4 \leq \phi \leq 8 \end{aligned}$$

実験によると、エントランスノズルオリフィス孔径が4mmの現構造では連結管側にキャビテーションが発生しているのに対し、エントランスノズルオリフィス孔径を8mmとした改良型ではキャビテーションは発生していない。但し、この場合は、現構造の約1/2の圧力損失係数しか得られていないため、必要な流量配分は達成できない。そこで、エントランスノズルオリフィス径が4～8mmの範囲で、キャビテーションが発生せず且つ必要な圧力損失係数が得られるオリフィス径を見出すためのサーベイを行なった。計算したオリフィス径は、7mm及び6.1mmである。結果を表5.5に示す。表中のケース2, オリフィス孔径が6.1mmの場合、圧力損失係数CDは、実験で求めた圧力損失係数CD（実験値）に近い。次にキャビテーションに着目する。キャビテーションは、現構造の場合100%流量時には、連結管側で発生しているが、60%流量時には発生していない事が実験の観察より確認されている。他方、改良型の場合には100%流量時にも連結管側ではキャビテーションは発生していない。

実験と同条件でのNETWORKによる解析結果（表5.6～5.10）と実験の観察の比較より、連結管とエントランスノズルの隙間部でのキャビテーション初生係数が4.4の場合（60%流量）にはキャビテーションは発生していない。したがって、解析結果からキャビテーション発生の有無の判定値として4.4を取ると、オリフィス孔径6.1mmのケースでは、同位置のキャビテーション初生係数は4.8であり、キャビテーションは発生しないと考えられる。

オリフィス孔径7mmの場合には、NETWORKの解析結果よりキャビテーションは発生

しないと考えられるが、必要な圧力損失は得られない。

表 5.1 オリフィスの圧力損失係数

オリフィス径 (mm)	圧力損失係数
4.0	1.231
4.5	1.180
5.0 *	1.333
6.1	1.018
7.7	0.904
8.5	0.889

* ドレン孔 5mm径の孔2ヶ

表5.2 CCU, CCD, CCE の値 (第0, 1, 2, 5列)

列	CCU	CCD	CCE	ε _ラ (%)	Re	ζ _b *	備 考
0, 1	0.25	1.0	1.0	-0.36	8.5×10^5		
	0.25	1.0	1.0	-6.2	1.09×10^5		
2	2.0	1.0	1.0	-2.7	1.04×10^5	10	ブラインドオリフィスに流入する際CCU, CCD に相当する効果があるとみなす。
	2.0	1.0	1.0	1.7	7.8×10^5	10	
5	0.4	1.2	1.0	-1.5	1.9×10^5		
	0.4	1.2	1.0	3.9	3.7×10^5		
5改	6.0	20	1.0	0.67	2.2×10^5		
	6.0	20	1.0	1.3	6.0×10^5		

* 注

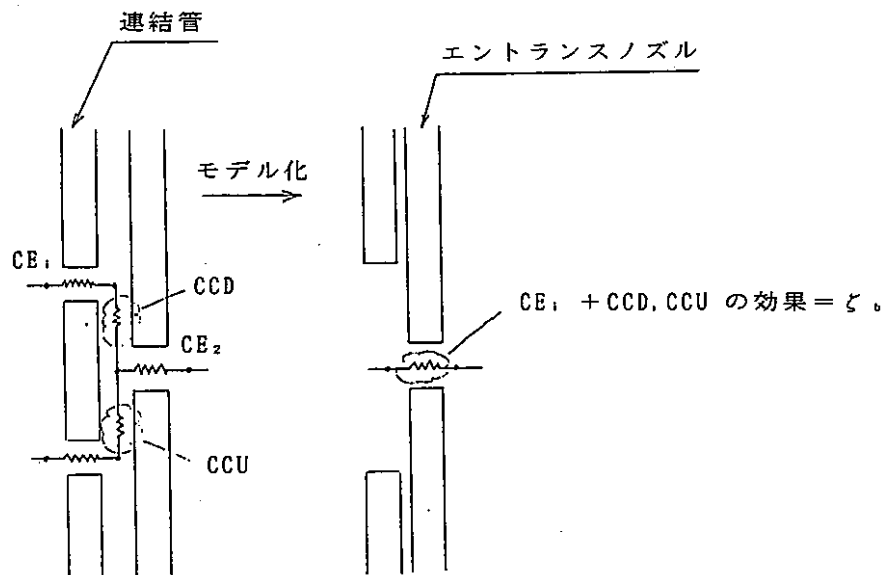


表5.3 CCU, CCD, CCE の値 (第3列)

列	CCU	CCD	CCE	エラー(%)	Re	備 考
3	1.0	0.5	1.0	-0.3	1.06×10^5	モデルは下図に示す。
	1.0	0.5	1.0	2.0	5.3×10^5	

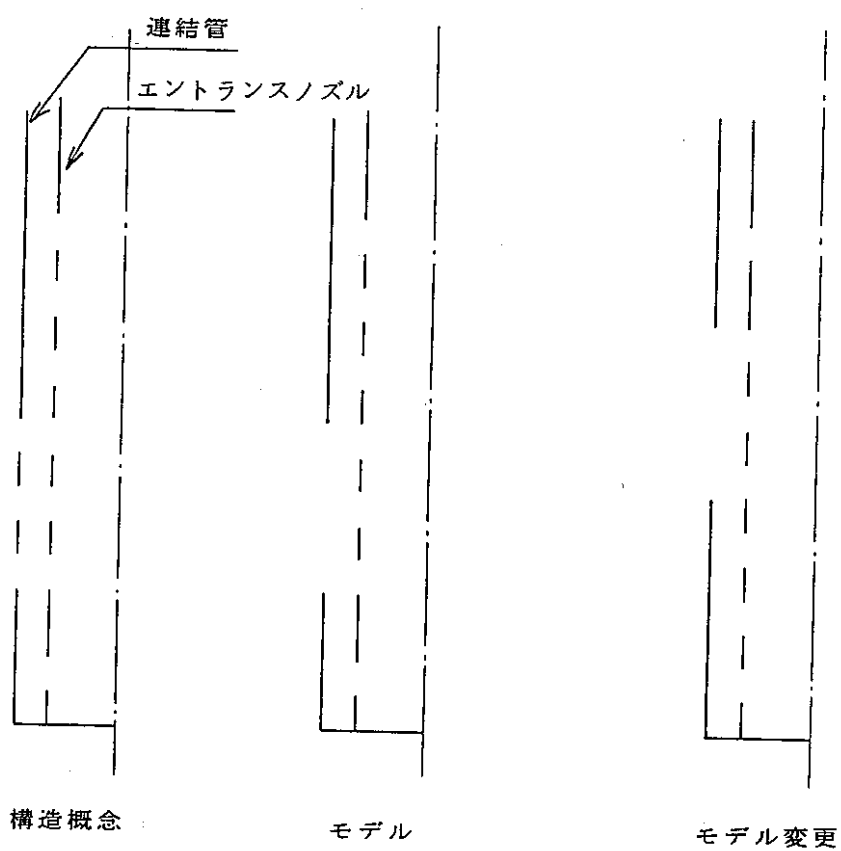


表5.4 CCU, CCD, CCE の値 (第4列)

列	CCU	CCD	CCE	エラー(%)	Re	備考
4	1.0	0.7	1.4	-0.86	1.07×10^5	モデルは下図に示す。
	1.0	0.7	1.4	-0.46	6.0×10^5	

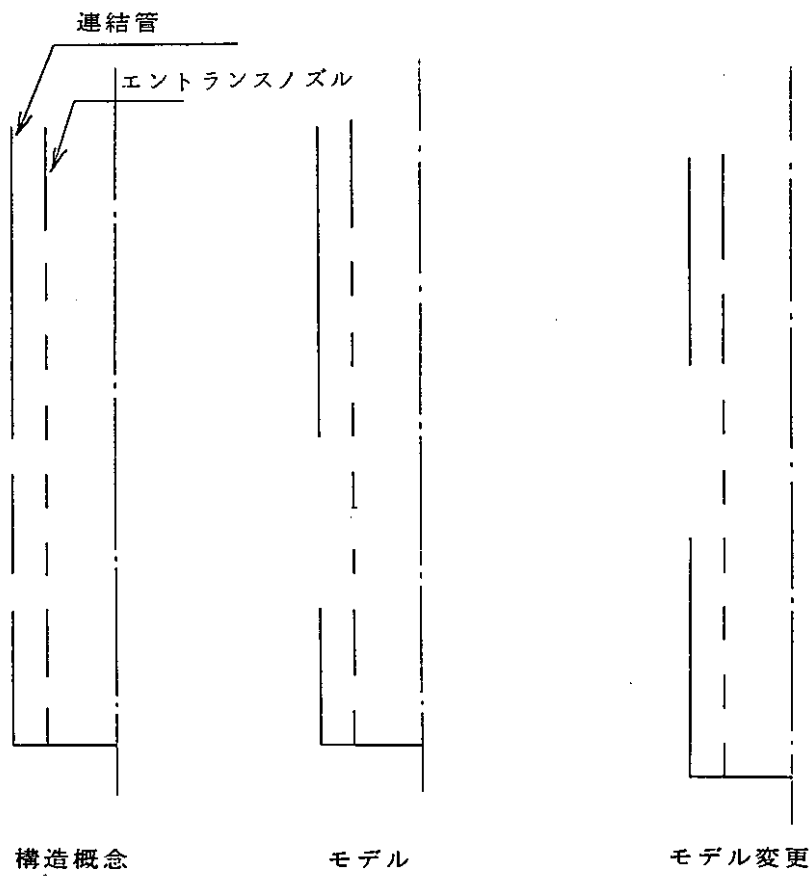


表5.5 第 5 列サーベイ結果

ケース	ホリス径 (mm)	CCU	CCD	$\zeta_{off.}$	CD (計算値)	CD (実験値)	備考
1	4.0	0.4	1.2	1.231	7.42	7.54	実験データの解析
2	6.1	3.34	11.1	1.018	7.8		ITERATION OVER
3	7.0	4.6	15.3	0.944	6.02		“
4	8.0	6.0	20.0	0.90	4.4		実験データの解析

表5.6 第5列解析結果 (100%流量)

***** FUEL ASSEMBLY INLET NOZZLE CALCULATION (CONDITION = GOOD, ITR = 6) *****

JOYO MK-III TEST RUN ZONE 5

DI (M)= 3.4000E-02, AI (M**2)= 9.0792E-04, IR1= 2, IR2= 2, CCL (M)= 1.5000E-03, ACL (-)= 2.1441E-04
 CD (-)= 7.316, SIGMA (-)= 7.670, AB (-)= 1.000, AE (-)= 0.0000E+00, AM (-)= 0.2500
 PSH(KG/M2)= 7.2030E+04, PDO(KG/M2)= 3.4710E+04, DPSD(MKH)= 3.7290E+04, DPSDD(MKH)= 3.2806E+04, CDEXC(-)= 7.415
 G (KG/SEC)= 8.500, RE (-)= 3.5946E+05, ROU = 101.6, VISC(M2/S)= 8.8851E-07, PV (MKH)= 317.9
 CCD (-)= 1.200, CCU (-)= 0.4000, CDT (-)= 7.540 (ERROR = -1.7 %)

I	DO(I)	UO(I)	EO(I)	PO(I)	U(I)	E(I)	P(I)	UCL(I)	ECL(I)	PCL(I)	QRAT(I)
1	8.5000E-03	11.90	3.6615E+04	2.9425E+04	9.394	3.9194E+04	3.4710E+04	18.89	6.1138E+04	4.3008E+04	0.4749
2	4.0000E-03	22.36	4.0754E+04	1.5347E+04	4.933	4.1583E+04	4.0346E+04	0.0000E+00	7.2030E+04	7.2030E+04	0.3764
3	7.7000E-03	2.944	4.1773E+04	4.1333E+04	3.076	4.2132E+04	4.1651E+04	13.02	5.0791E+04	4.2171E+04	0.2945
4	4.5000E-03	4.522	4.2127E+04	4.1087E+04	2.170	4.2322E+04	4.2082E+04	9.189	4.7643E+04	4.3353E+04	0.2190
5	6.1000E-03	4.372	4.2331E+04	4.1360E+04	1.695	4.2412E+04	4.2266E+04	7.176	4.5937E+04	4.3320E+04	0.4982
6	4.5000E-03	5.695	4.2510E+04	4.0862E+04	0.8505	4.2523E+04	4.2486E+04	3.601	4.5114E+04	4.4455E+04	0.7038
7	5.0000E-03	5.824	4.2605E+04	4.0881E+04	0.2519	4.2605E+04	4.2602E+04	1.067	4.4961E+04	4.4903E+04	1.000

I	AO(I)	AR(I)	EB(I)	PB(I)	CDM(I)	CDB(I)	SIGP(I)	SIGPO(I)	SIGGL(I)	CE(I)	REQ(I)
1	3.4047E-04	0.3750	4.3008E+04	3.5817E+04	0.5224	-0.5750	4.783	* 4.048	* 2.355	0.8890	1.1380E+05
2	7.5398E-05	8.3045E-02	7.2030E+04	4.6623E+04	0.4141	-0.6705	1.575	* 0.5915	0.0000E+00	1.231	1.0067E+05
3	2.7940E-04	0.3077	4.2171E+04	4.1731E+04	0.3240	-0.7471	93.87	93.15	* 4.855	0.9040	2.5510E+04
4	9.5426E-05	0.1051	4.3353E+04	4.2314E+04	0.2409	-0.8152	40.20	39.24	10.03	1.180	2.2902E+04
5	1.7535E-04	0.1931	4.3320E+04	4.2349E+04	0.5480	-0.5518	43.20	* 42.26	16.43	1.018	3.0013E+04
6	9.5426E-05	0.1051	4.4455E+04	4.2807E+04	0.7742	-0.3379	25.58	* 24.60	66.97	1.180	2.8844E+04
7	3.9270E-05	4.3253E-02	4.4903E+04	4.3179E+04	1.100	-1.1921E-07	24.53	* 23.53	771.0	1.333	3.2776E+04

注: SIGP(I) エントランスノズルキャビテーション係数
 : SIGPO(I) オリフィスキャビテーション係数
 : SIGPL(I) 隙間部キャビテーション係数

* キャビ

表5.7 第5列解析結果 (60%流量)

***** FUEL ASSEMBLY INLET NOZZLE CALCULATION (CONDITION = GOOD, ITR = 6) *****

JOYO MK-III TEST RUN ZONE 5

DI (M)= 3.4000E-02, AI (M**2)= 9.0792E-04, IR1= 2, IR2= 2, CCL (M)= 1.5000E-03, ACL (-)= 2.1441E-04
 CD (-)= 7.489, SIGMA (-)= 16.09, AB (-)= 1.000, AE (-)= 0.0000E+00, AM (-)= 0.2500
 PSH(KG/M2)= 4.0030E+04, PDO(KG/M2)= 2.6297E+04, DPSD(MKH)= 1.3703E+04, DPSDD(MKH)= 1.2089E+04, CDEXC(-)= 7.597
 G (KG/SEC)= 5.100, RE (-)= 2.1568E+05, ROU = 101.6, VISC(M2/S)= 8.8851E-07, PV (MKH)= 317.9
 CCD (-)= 1.200, CCU (-)= 0.4000, CDT (-)= 7.720 (ERROR = -1.6 %)

I	DO(I)	UO(I)	EO(I)	PO(I)	U(I)	E(I)	P(I)	UCL(I)	ECL(I)	PCL(I)	GRAT(I)
1	8.5000E-03	7.165	2.6986E+04	2.4377E+04	5.636	2.7911E+04	2.6297E+04	11.38	3.5882E+04	2.9305E+04	0.4767
2	4.0000E-03	13.58	2.8500E+04	1.9134E+04	2.949	2.8794E+04	2.8352E+04	0.0000E+00	4.0030E+04	4.0030E+04	0.3823
3	7.7000E-03	1.800	2.8888E+04	2.8724E+04	1.822	2.9013E+04	2.8844E+04	7.715	3.2062E+04	2.9037E+04	0.3041
4	4.5000E-03	2.699	2.9035E+04	2.8664E+04	1.268	2.9101E+04	2.9019E+04	5.369	3.0936E+04	2.9471E+04	0.2237
5	6.1000E-03	2.549	2.9125E+04	2.8795E+04	0.9842	2.9152E+04	2.9103E+04	4.168	3.0343E+04	2.9461E+04	0.5002
6	4.5000E-03	3.295	2.9205E+04	2.8653E+04	0.4919	2.9209E+04	2.9197E+04	2.083	3.0077E+04	2.9856E+04	0.7041
7	5.0000E-03	3.365	2.9273E+04	2.8697E+04	0.1456	2.9273E+04	2.9271E+04	0.6164	3.0059E+04	3.0040E+04	1.000

I	AO(I)	AR(I)	EB(I)	PB(I)	CDM(I)	CDB(I)	SIGP(I)	SIGPD(I)	SIGGL(I)	CE(I)	REO(I)
1	3.4047E-04	0.3750	2.9305E+04	2.6696E+04	0.5244	-0.5732	9.959 *	9.223	4.407	0.8890	6.8544E+04
2	7.5398E-05	8.3045E-02	4.0030E+04	3.0664E+04	0.4205	-0.6650	2.993	2.009	0.0000E+00	1.231	6.1120E+04
3	2.7940E-04	0.3077	2.9037E+04	2.8873E+04	0.3345	-0.7382	173.2	172.5	9.496	0.9040	1.5602E+04
4	9.5426E-05	0.1051	2.9471E+04	2.9101E+04	0.2461	-0.8110	77.53	76.57	19.90	1.180	1.3670E+04
5	1.7535E-04	0.1931	2.9461E+04	2.9131E+04	0.5502	-0.5498	87.18	86.25	33.02	1.018	1.7500E+04
6	9.5426E-05	0.1051	2.9856E+04	2.9304E+04	0.7745	-0.3376	52.34	51.35	134.0	1.180	1.6690E+04
7	3.9270E-05	4.3253E-02	3.0040E+04	2.9464E+04	1.100	-1.1921E-07	50.31	49.31	1540.	1.333	1.8938E+04

* 初生

他, キャビなし

表5.8 第5列改良型解析結果 (100%流量)

***** FUEL ASSEMBLY INLET NOZZLE CALCULATION (CONDITION = GOOD, ITR = 6) *****

JOYD MK-III TEST RUN ZONE 5C-8.0

DI (M)= 3.4000E-02, AI (M**2)= 9.0792E-04, IR1= 2, IR2= 2, CCL (M)= 1.5000E-03, ACL (-)= 2.1441E-04
 CD (-)= 4.294, SIGMA (-)= 5.786, AB (-)= 1.000, AE (-)= 0.0000E+00, AM (-)= 0.2500
 PSH(KG/M2)= 5.0030E+04, PDO(KG/M2)= 2.6260E+04, DPSD(MKH)= 2.3740E+04, DPSDD(MKH)= 1.9256E+04, CDEXC(-)= 4.393
 G (KG/SEC)= 8.500, RE (-)= 3.5946E+05, ROU = 101.6, VISC(M2/S)= 8.8851E-07, PV (MKH)= 317.9
 CCD (-)= 20.00, CCU (-)= 6.000, CDT (-)= 4.340 (ERROR = 1.2 %)

I	DO(I)	UO(I)	EO(I)	PO(I)	U(I)	E(I)	P(I)	UCL(I)	ECL(I)	PCL(I)	QRAT(I)
1	8.5000E-03	4.860	2.6990E+04	2.5790E+04	9.394	3.0744E+04	2.6260E+04	7.718	3.1085E+04	2.8058E+04	0.1940
2	8.0000E-03	20.20	3.1378E+04	1.0653E+04	7.571	3.1768E+04	2.8856E+04	0.0000E+00	5.0030E+04	5.0030E+04	0.8861
3	7.7000E-03	0.8948	3.4610E+04	3.4570E+04	0.8625	3.4638E+04	3.4600E+04	3.652	3.5325E+04	3.4647E+04	0.3193
4	4.5000E-03	1.293	3.4667E+04	3.4582E+04	0.5871	3.4681E+04	3.4664E+04	2.486	3.5082E+04	3.4768E+04	0.2315
5	6.1000E-03	1.177	3.4710E+04	3.4640E+04	0.4512	3.4716E+04	3.4706E+04	1.911	3.4968E+04	3.4782E+04	0.5038
6	4.5000E-03	1.502	3.4751E+04	3.4636E+04	0.2239	3.4752E+04	3.4749E+04	0.9481	3.4932E+04	3.4886E+04	0.7051
7	5.0000E-03	1.527	3.4808E+04	3.4689E+04	6.6033E-02	3.4808E+04	3.4807E+04	0.2796	3.4969E+04	3.4965E+04	1.000

I	AO(I)	AR(I)	EB(I)	PB(I)	CDM(I)	CDB(I)	SIGP(I)	SIGPO(I)	SIGGL(I)	CE(I)	REQ(I)
1	3.4047E-04	0.3750	2.8058E+04	2.6857E+04	0.2134	-0.8372	21.61 *	21.22	9.164	0.8890	4.6498E+04
2	3.0159E-04	0.3322	5.0030E+04	2.9305E+04	0.9747	-0.1341	1.377 *	0.4987	0.0000E+00	0.9000	1.8184E+05
3	2.7940E-04	0.3077	3.4647E+04	3.4607E+04	0.3512	-0.7242	842.6	841.9	50.65	0.9040	7754.
4	9.5426E-05	0.1051	3.4768E+04	3.4683E+04	0.2546	-0.8041	404.3	403.4	109.7	1.180	6548.
5	1.7535E-04	0.1931	3.4782E+04	3.4712E+04	0.5541	-0.5462	488.6	487.6	185.8	1.018	8080.
6	9.5426E-05	0.1051	3.4886E+04	3.4772E+04	0.7756	-0.3365	300.3	299.3	756.8	1.180	7607.
7	3.9270E-05	4.3253E-02	3.4965E+04	3.4847E+04	1.100	0.0000E+00	291.2	290.2	8721.	1.333	8591.

* キヤビ

表5.9 第5列改良型 (6.1mm) 解析結果 (100%流量)

***** FULL ASSEMBLY INLET NOZZLE CALCULATION (CONDITION - BAD, ITR - 101) *****

JOYO MK-III TEST RUN ZONE 5C-6.1

DI (M)= 3.4000E-02, AI (M**2)= 9.0792E-04, IR1= 2, IR2= 2, CCL (M)= 1.5000E-03, ACL (-)= 2.1441E-04
 CD (-)= 7.669, SIGMA (-)= 7.317, AB (-)= 1.000, AE (-)= 0.0000E+00, AM (-)= 0.2500
 PSH(KG/M2)= 7.2030E+04, PDO(KG/M2)= 3.3129E+04, DPSD(MKH)= 3.8871E+04, DPSDD(MKH)= 3.4387E+04, CDEXC(-)= 7.767
 G (KG/SEC)= 8.500, RE (-)= 3.5946E+05, ROU = 101.6, VISC(M2/S)= 8.8851E-07, PV (MKH)= 317.9
 CCD (-)= 11.10, CCU (-)= 3.340, CDT (-)= 7.540 (ERROR = 3.0 %)

I	DO(I)	UD(I)	EO(I)	PO(I)	U(I)	E(I)	P(I)	UCL(I)	ECL(I)	PCL(I)	QRAT(I)
1	8.5000E-03	7.736	3.4322E+04	3.1281E+04	9.394	3.7613E+04	3.3129E+04	12.28	4.4692E+04	3.7025E+04	0.3088
2	6.1000E-03	25.42	3.8593E+04	5747.	6.493	3.9194E+04	3.7052E+04	0.0000E+00	7.2030E+04	7.2030E+04	0.7562
3	7.7000E-03	1.578	4.0914E+04	4.0788E+04	1.583	4.1008E+04	4.0881E+04	6.702	4.3311E+04	4.1029E+04	0.3068
4	4.5000E-03	2.350	4.1033E+04	4.0752E+04	1.097	4.1082E+04	4.1021E+04	4.646	4.2461E+04	4.1364E+04	0.2251
5	6.1000E-03	2.204	4.1108E+04	4.0861E+04	0.8502	4.1128E+04	4.1091E+04	3.600	4.2018E+04	4.1359E+04	0.5008
6	4.5000E-03	2.843	4.1175E+04	4.0765E+04	0.4244	4.1179E+04	4.1169E+04	1.797	4.1824E+04	4.1660E+04	0.7042
7	5.0000E-03	2.903	4.1240E+04	4.0811E+04	0.1256	4.1240E+04	4.1239E+04	0.5317	4.1825E+04	4.1810E+04	1.000

I	AO(I)	AR(I)	EB(I)	PB(I)	CDM(I)	CDB(I)	SIGP(I)	SIGPO(I)	SIGGL(I)	CE(I)	REO(I)
1	3.4047E-04	0.3750	3.7025E+04	3.3984E+04	0.3397	-0.7339	10.79	10.18	4.788	0.8890	7.4003E+04
2	1.7535E-04	0.1931	7.2030E+04	3.9184E+04	0.8319	-0.2806	1.118	0.1653	0.0000E+00	1.018	1.7455E+05
3	2.7940E-04	0.3077	4.1029E+04	4.0902E+04	0.3375	-0.7357	320.6	319.9	17.84	0.9040	1.3674E+04
4	9.5426E-05	0.1051	4.1364E+04	4.1083E+04	0.2476	-0.8098	145.1	144.1	37.43	1.180	1.1901E+04
5	1.7535E-04	0.1931	4.1359E+04	4.1112E+04	0.5509	-0.5492	165.1	164.2	62.32	1.018	1.5134E+04
6	9.5426E-05	0.1051	4.1660E+04	4.1249E+04	0.7746	-0.3375	99.44	98.45	251.9	1.180	1.4401E+04
7	3.9270E-05	4.3253E-02	4.1810E+04	4.1382E+04	1.100	-1.1921E-07	95.56	94.56	2889.	1.333	1.6336E+04

表5.10 第5列改良型 (7 圖) 解析結果 (100%流量)

***** FUEL ASSEMBLY INLET NOZZLE CALCULATION (CONDITION = BAD, ITR = 101) *****

JOYO MK-III TEST RUN ZONE 5C-7.0

DI (M)= 3.4000E-02, AI (M**2)= 9.0792E-04, IR1= 2, IR2= 2, CCL (M)= 1.5000E-03, ACL (-)= 2.1441E-04
 CD (-)= 5.919, SIGMA (-)= 9.066, AB (-)= 1.000, AE (-)= 0.0000E+00, AM (-)= 0.2500
 PSH(KG/M2)= 7.2030E+04, PDD(KG/M2)= 4.0971E+04, DPSD(MKH)= 3.1029E+04, DPSDD(MKH)= 2.6544E+04, CDEXC(-)= 6.018
 G (KG/SEC)= 8.500, RE (-)= 3.5948E+05, ROU = 101.6, VISC(M2/S)= 8.8851E-07, PV (MKH)= 317.9
 CCD (-)= 15.30, CCU (-)= 4.600, CDT (-)= 7.540 (ERROR = -20. %)

I	DO(I)	UO(I)	EO(I)	PO(I)	U(I)	E(I)	P(I)	UCL(I)	ECL(I)	PCL(I)	QRAT(I)
1	8.5000E-03	6.161	4.1908E+04	3.9979E+04	9.394	4.5456E+04	4.0971E+04	9.783	4.8486E+04	4.3622E+04	0.2459
2	7.0000E-03	23.19	4.6234E+04	1.8907E+04	7.084	4.6732E+04	4.4182E+04	0.0000E+00	7.2030E+04	7.2030E+04	0.8326
3	7.7000E-03	1.205	4.9046E+04	4.8972E+04	1.186	4.9098E+04	4.9027E+04	5.022	5.0394E+04	4.9113E+04	0.3126
4	4.5000E-03	1.769	4.9126E+04	4.8967E+04	0.8152	4.9153E+04	4.9120E+04	3.452	4.9919E+04	4.9314E+04	0.2280
5	6.1000E-03	1.636	4.9181E+04	4.9045E+04	0.6293	4.9192E+04	4.9172E+04	2.665	4.9681E+04	4.9320E+04	0.5021
6	4.5000E-03	2.100	4.9232E+04	4.9008E+04	0.3134	4.9233E+04	4.9228E+04	1.327	4.9586E+04	4.9496E+04	0.7043
7	5.0000E-03	2.142	4.9291E+04	4.9058E+04	9.2651E-02	4.9291E+04	4.9291E+04	0.3923	4.9610E+04	4.9602E+04	1.000

I	AO(I)	AR(I)	EB(I)	PB(I)	CDM(I)	CDB(I)	SIGP(I)	SIGPO(I)	SIGGL(I)	CE(I)	REQ(I)
1	3.4047E-04	0.3750	4.3622E+04	4.1693E+04	0.2705	-0.7911	21.08	20.56	8.904	0.8890	5.8941E+04
2	2.3091E-04	0.2543	7.2030E+04	4.4703E+04	0.9158	-0.1953	1.605	0.6803	0.0000E+00	0.9440	1.8270E+05
3	2.7940E-04	0.3077	4.9113E+04	4.9039E+04	0.3438	-0.7304	660.7	660.0	38.08	0.9040	1.0439E+04
4	9.5426E-05	0.1051	4.9314E+04	4.9155E+04	0.2508	-0.8072	307.0	306.1	80.91	1.180	8958.
5	1.7535E-04	0.1931	4.9320E+04	4.9184E+04	0.5523	-0.5479	359.2	358.2	135.8	1.018	1.1233E+04
6	9.5426E-05	0.1051	4.9496E+04	4.9272E+04	0.7748	-0.3373	218.3	217.3	549.7	1.180	1.0636E+04
7	3.9270E-05	4.3253E-02	4.9602E+04	4.9369E+04	1.100	-1.1921E-07	210.0	209.0	6301.	1.333	1.2054E+04

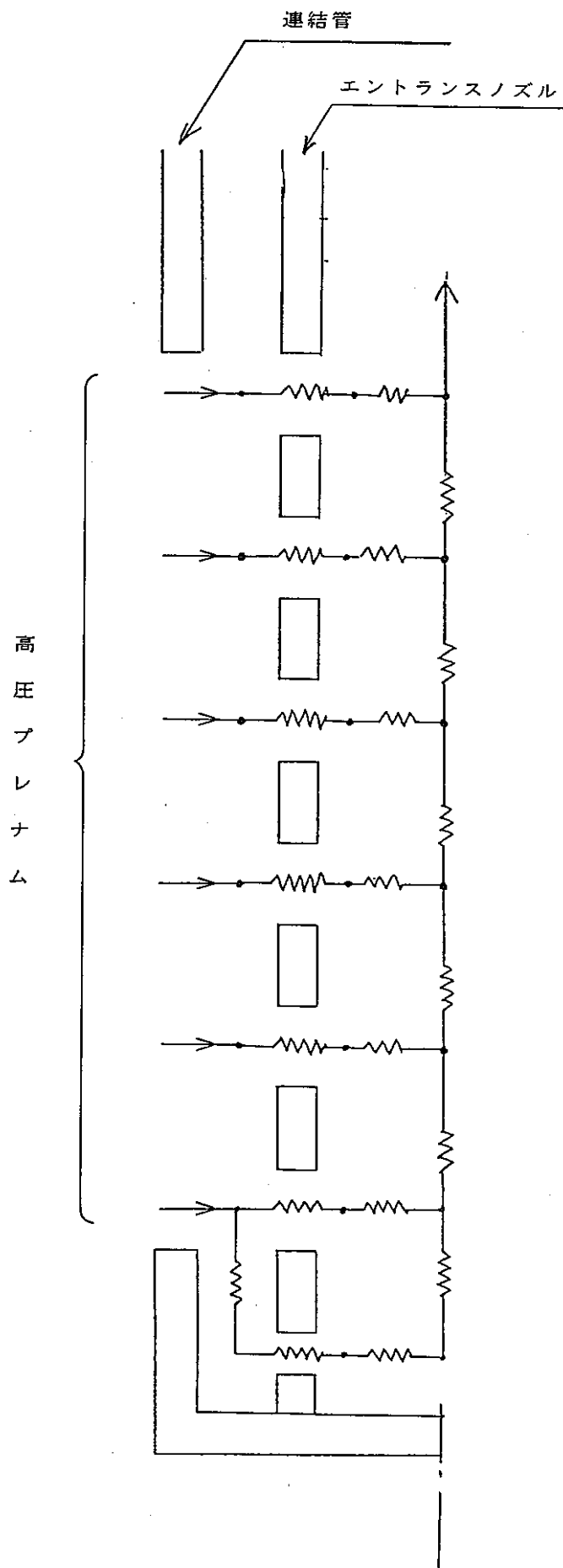


図5.1 もんじゆのネットワーク (例)

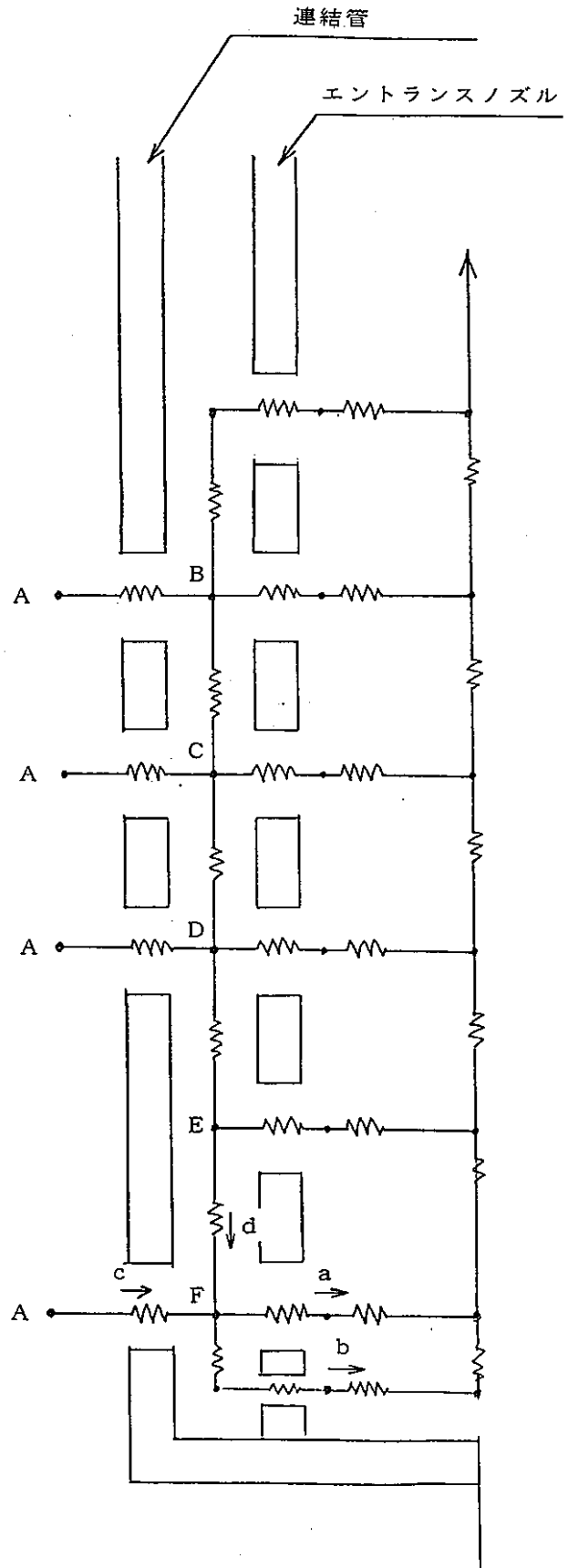
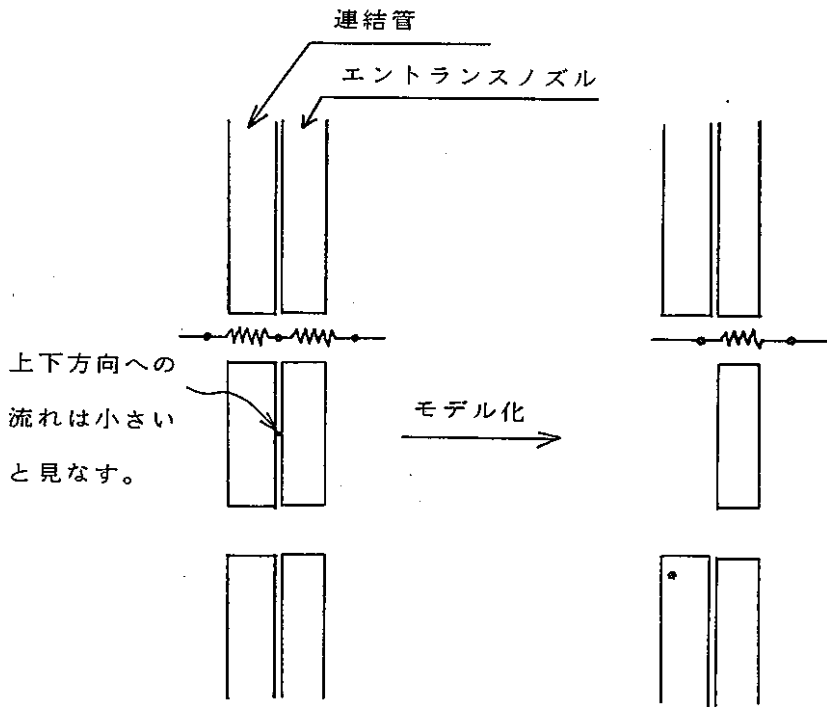
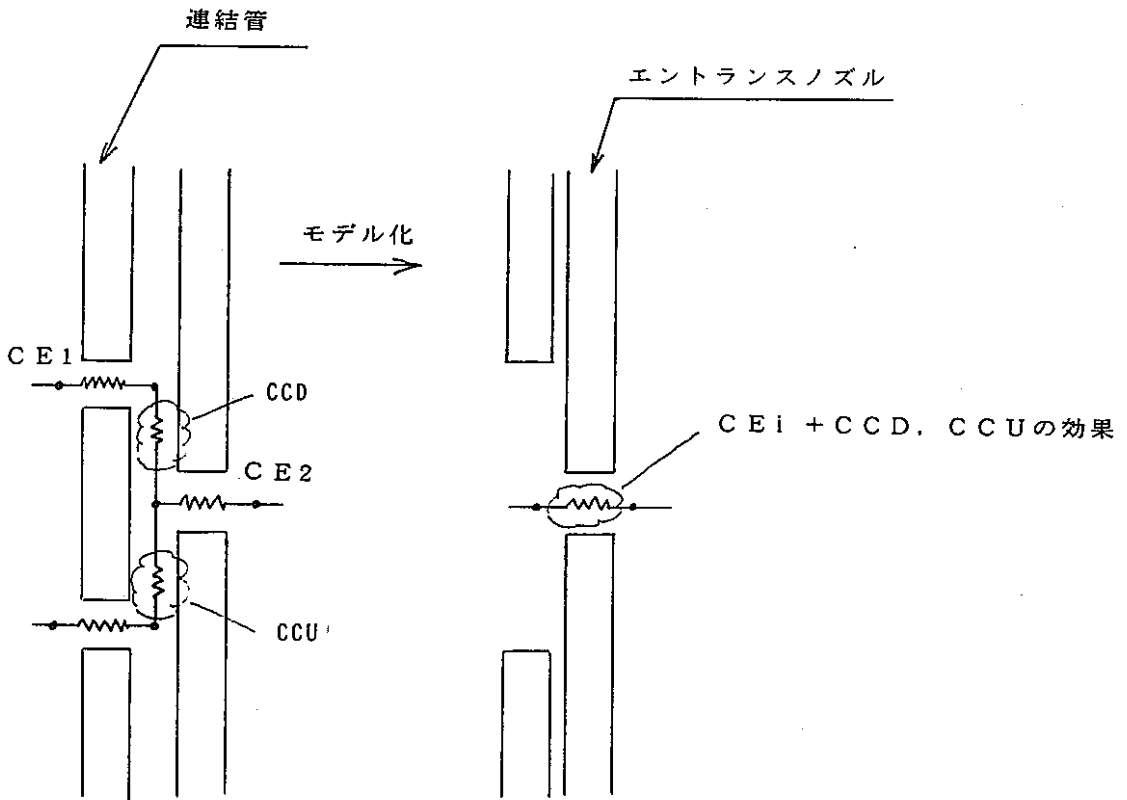


図5.2 常陽ネットワーク (第2領域)

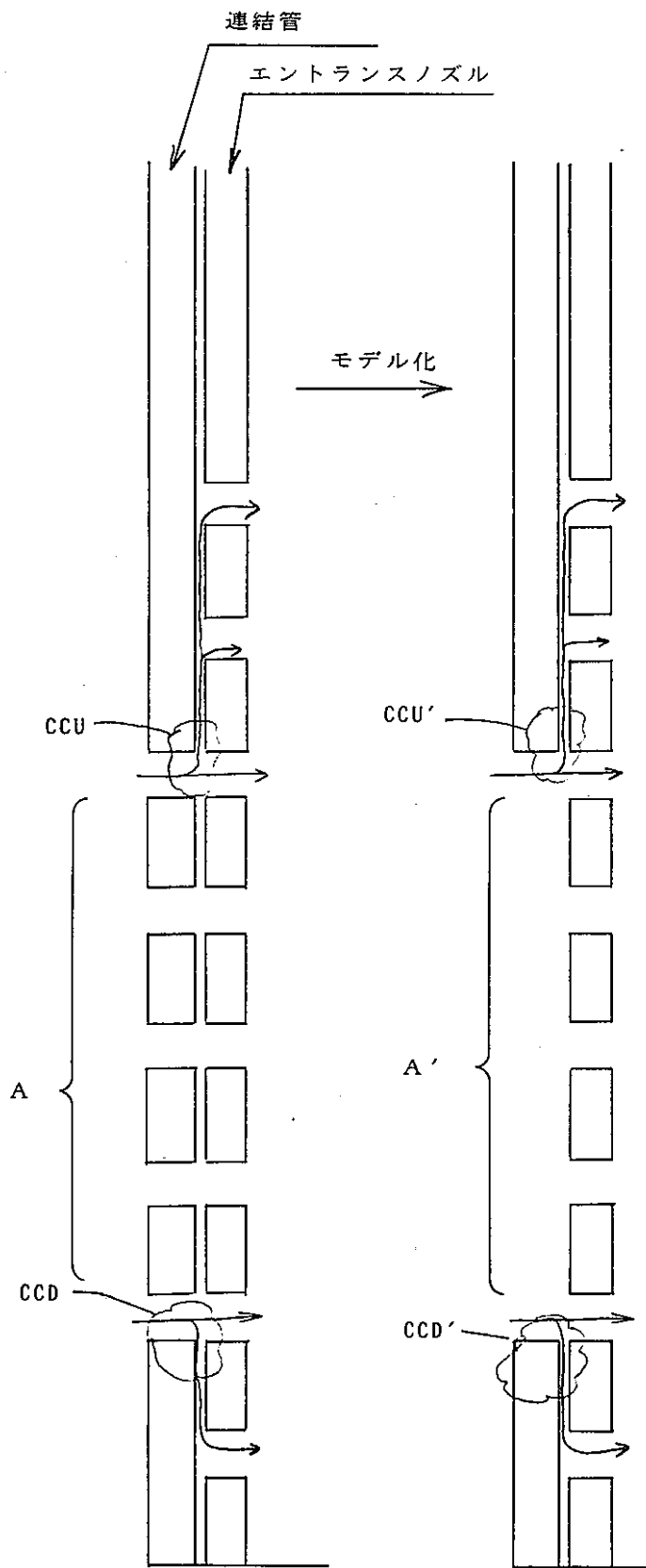


(1) 連結管・エントランスノズルオリフィスのモデル化



(2) ブラインドオリフィスのモデル化

図5.3 (1) モデル化の考え方



注：A, A' の違いの効果も含めて
 CCU → CCU'
 CCD → CCD'
 で補正する。

(3) 上・下ブラインドオリフィスのモデル化

図5.3 (2) モデル化の考え方

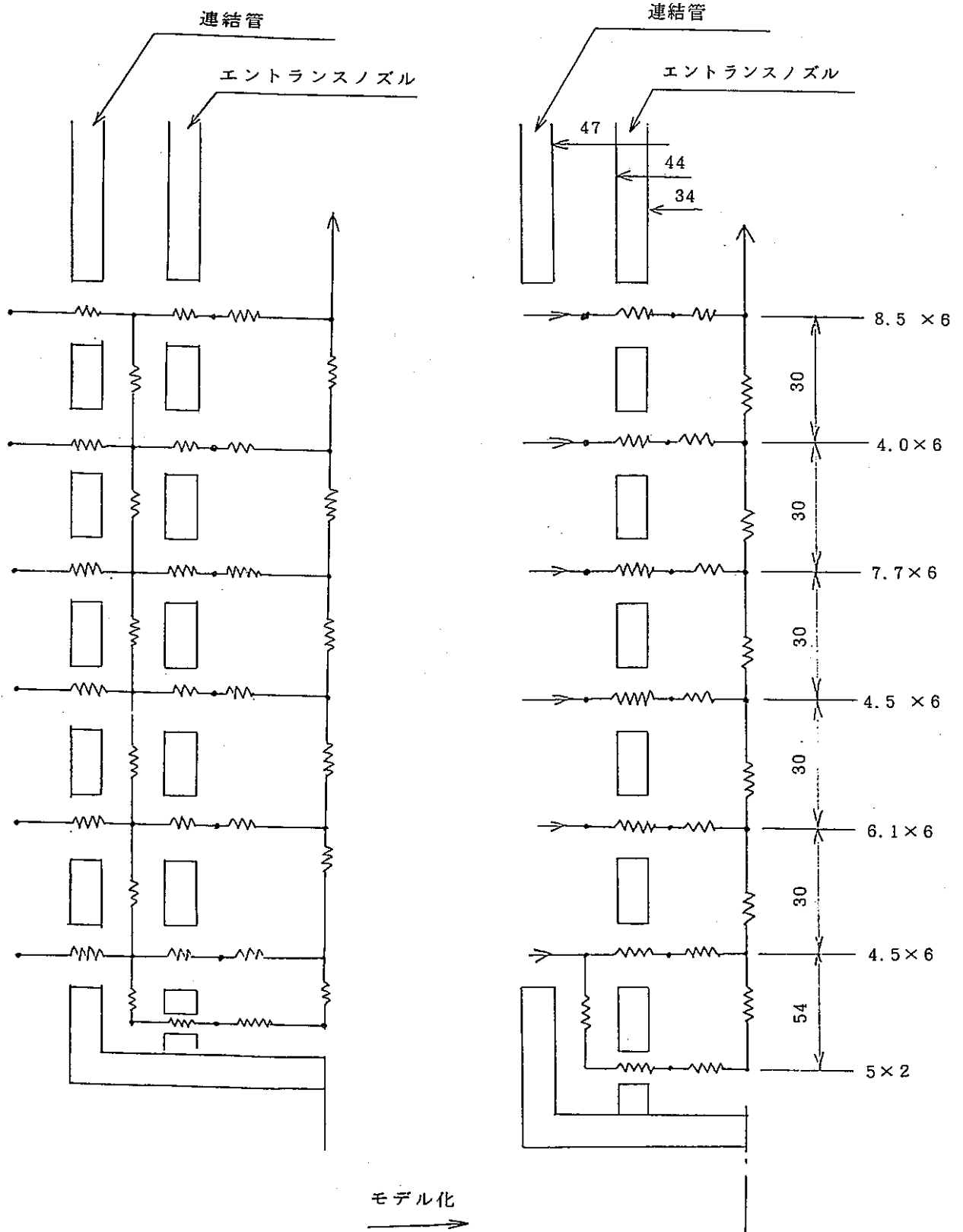


図5.4 (1) NETWORK解析モデル (第0, 1列)

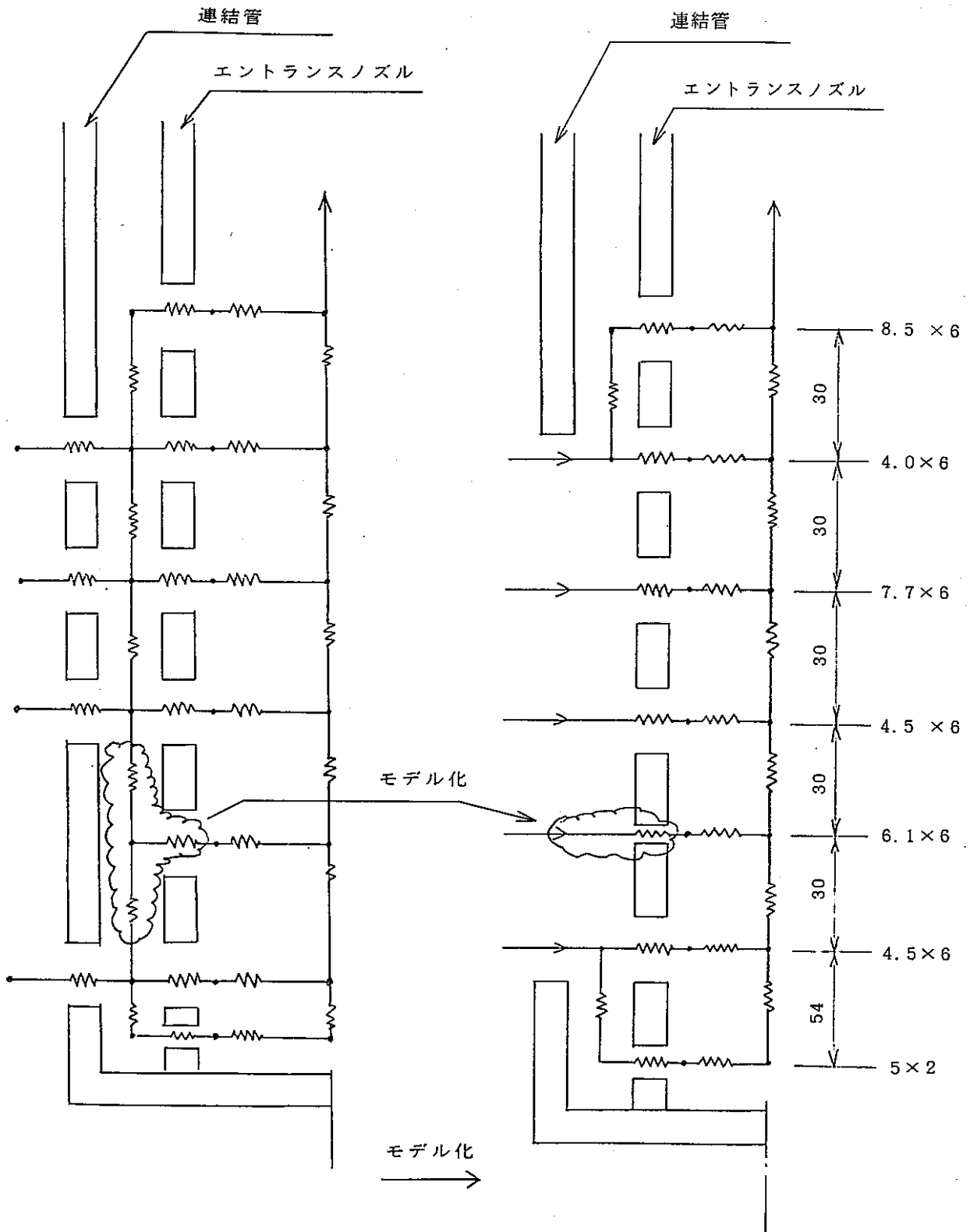


図5.4 (2) NETWORK解析モデル (第2列)

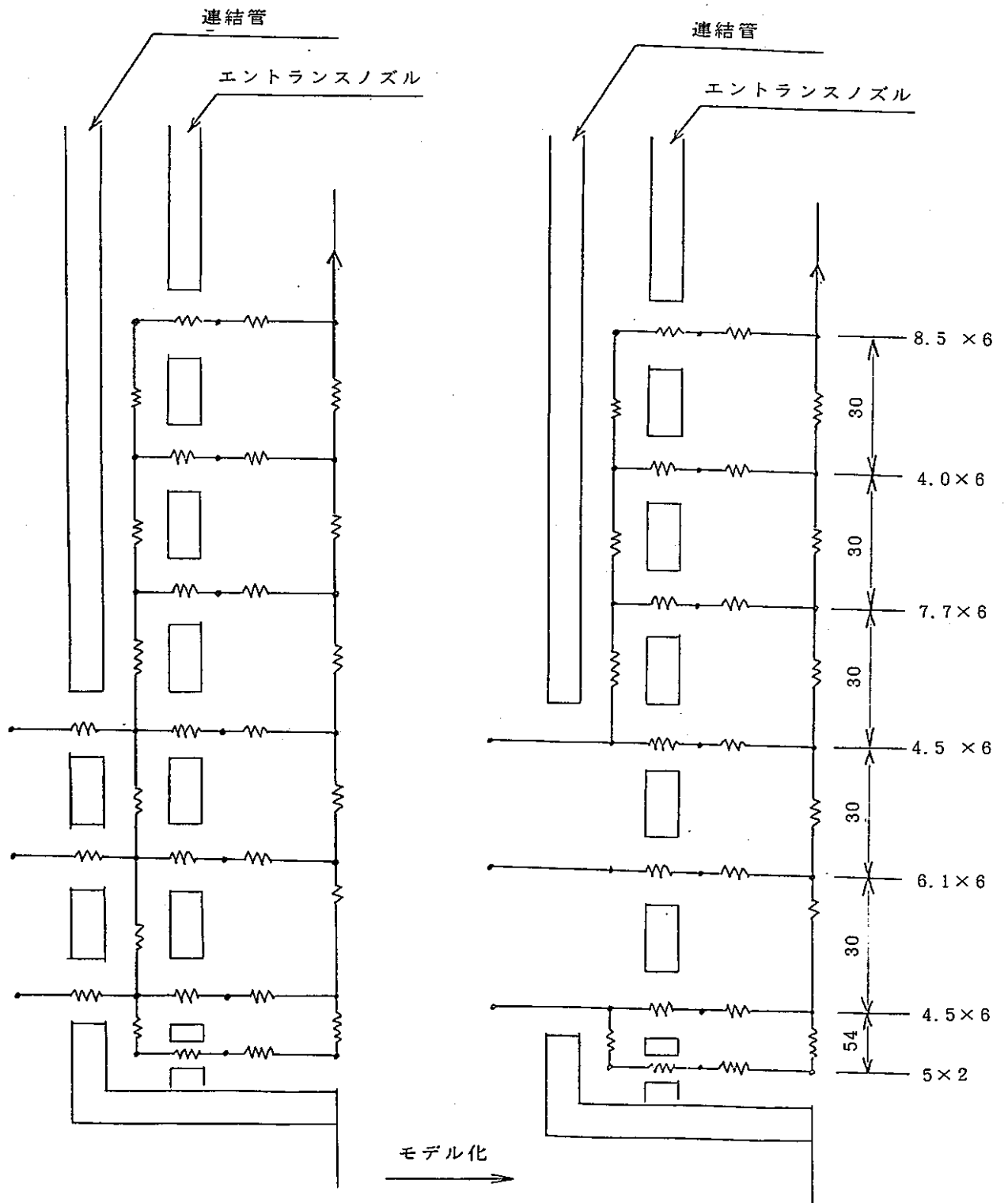


図5.4 (3) NETWORK解析モデル (第3列)

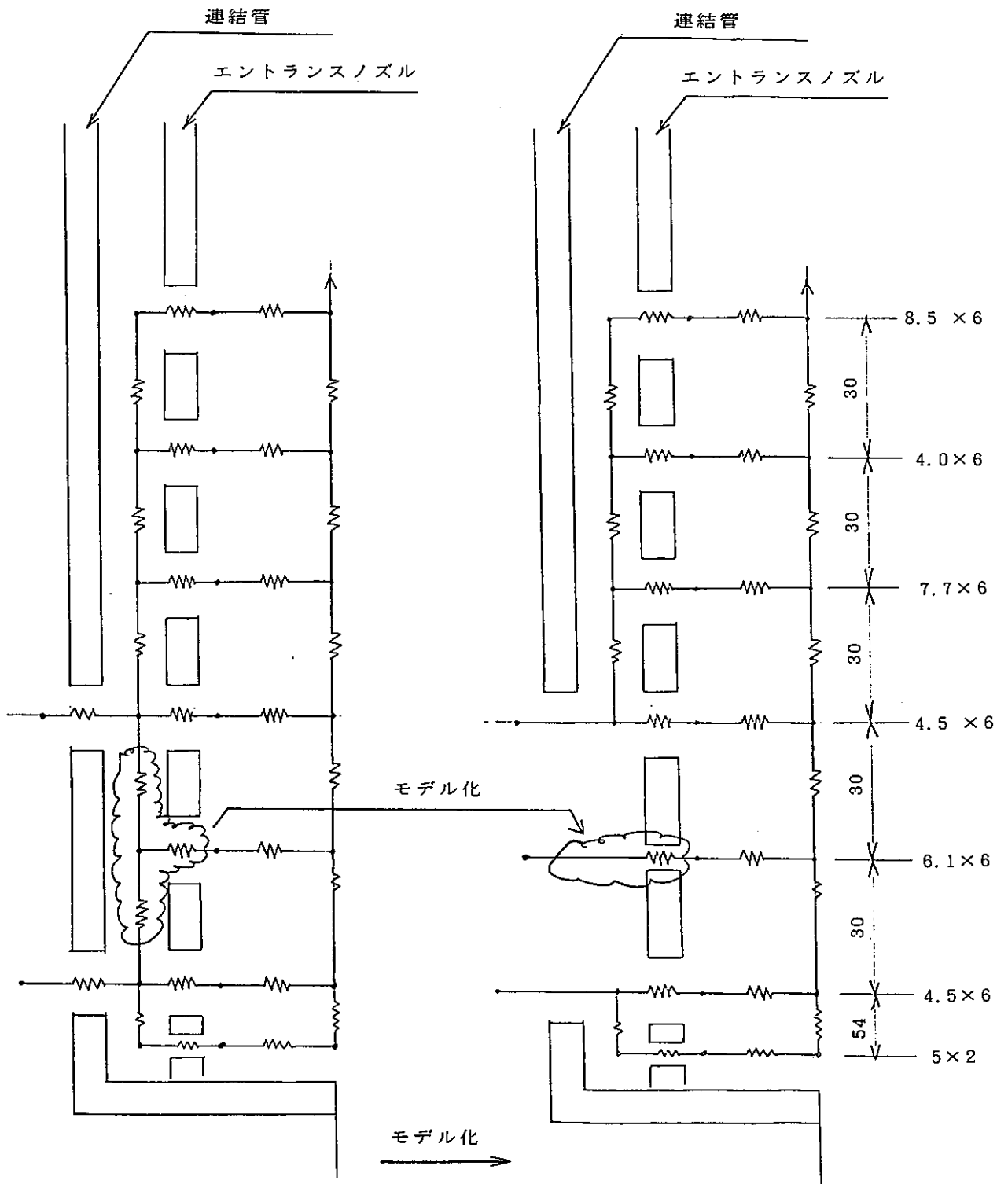


図5.4 (4) NETWORK解析モデル (第4列)

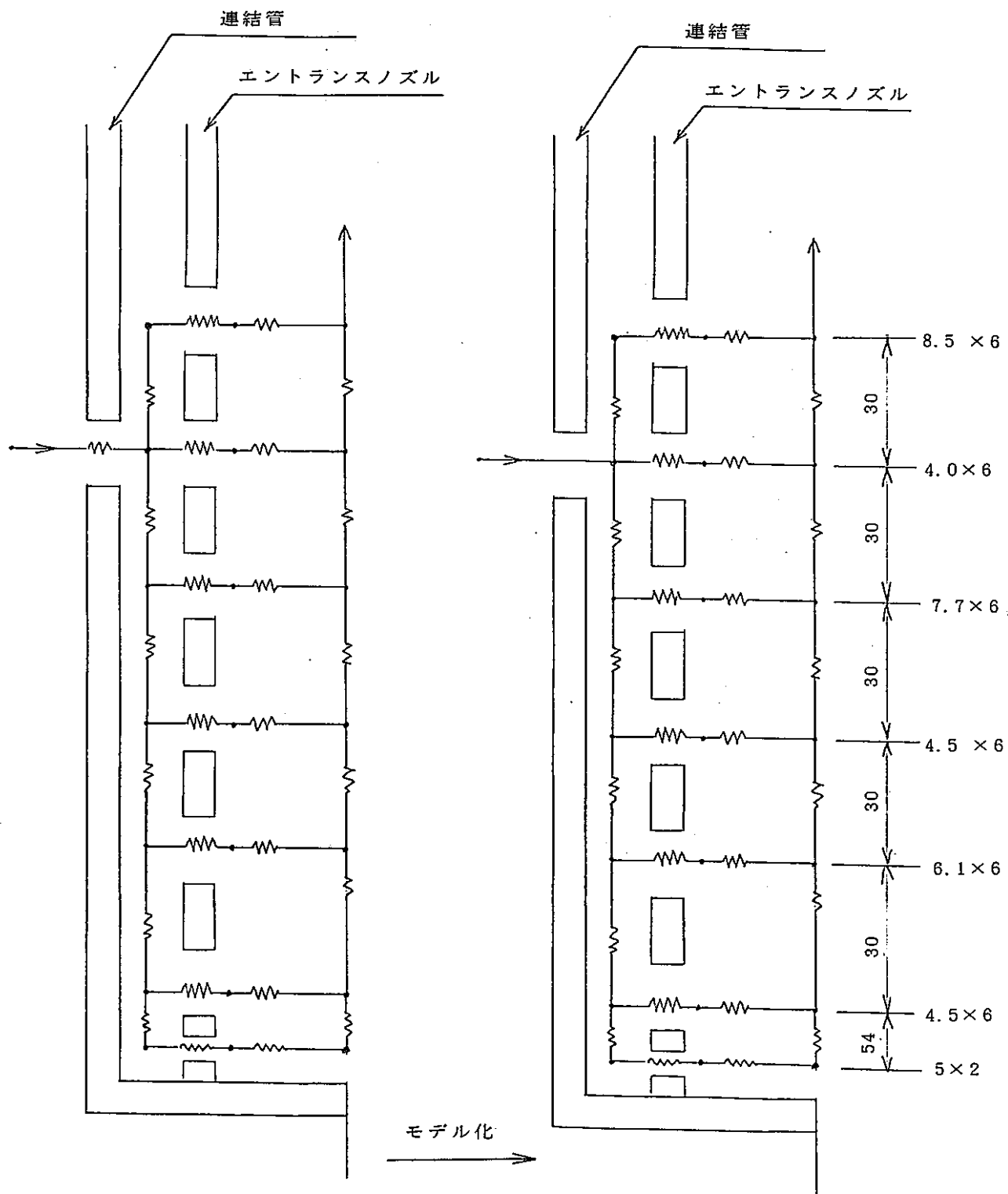


図5.4 (5) NETWORK解析モデル (第5列)

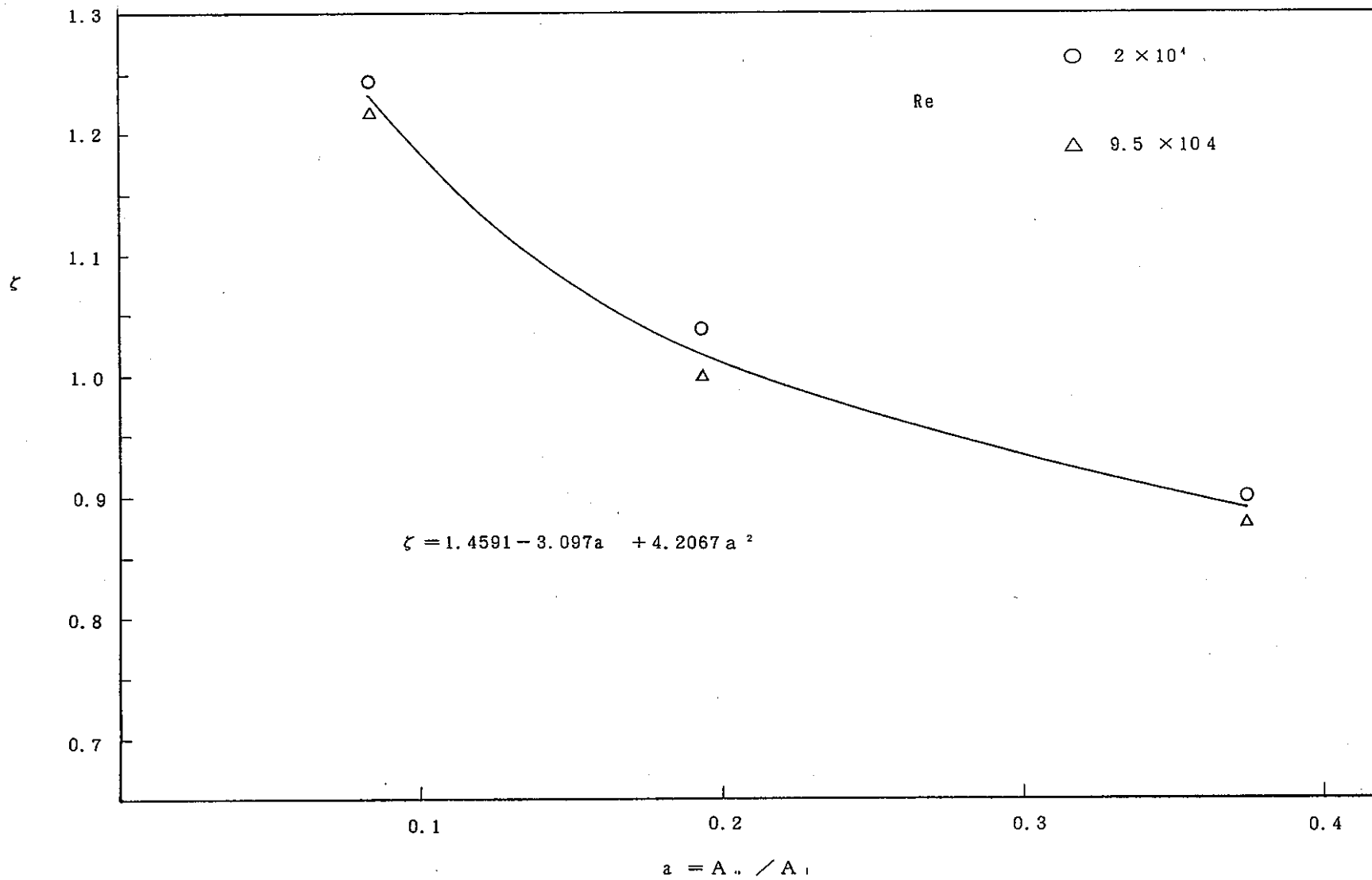


図5.5 オリフィスの圧力損失係数

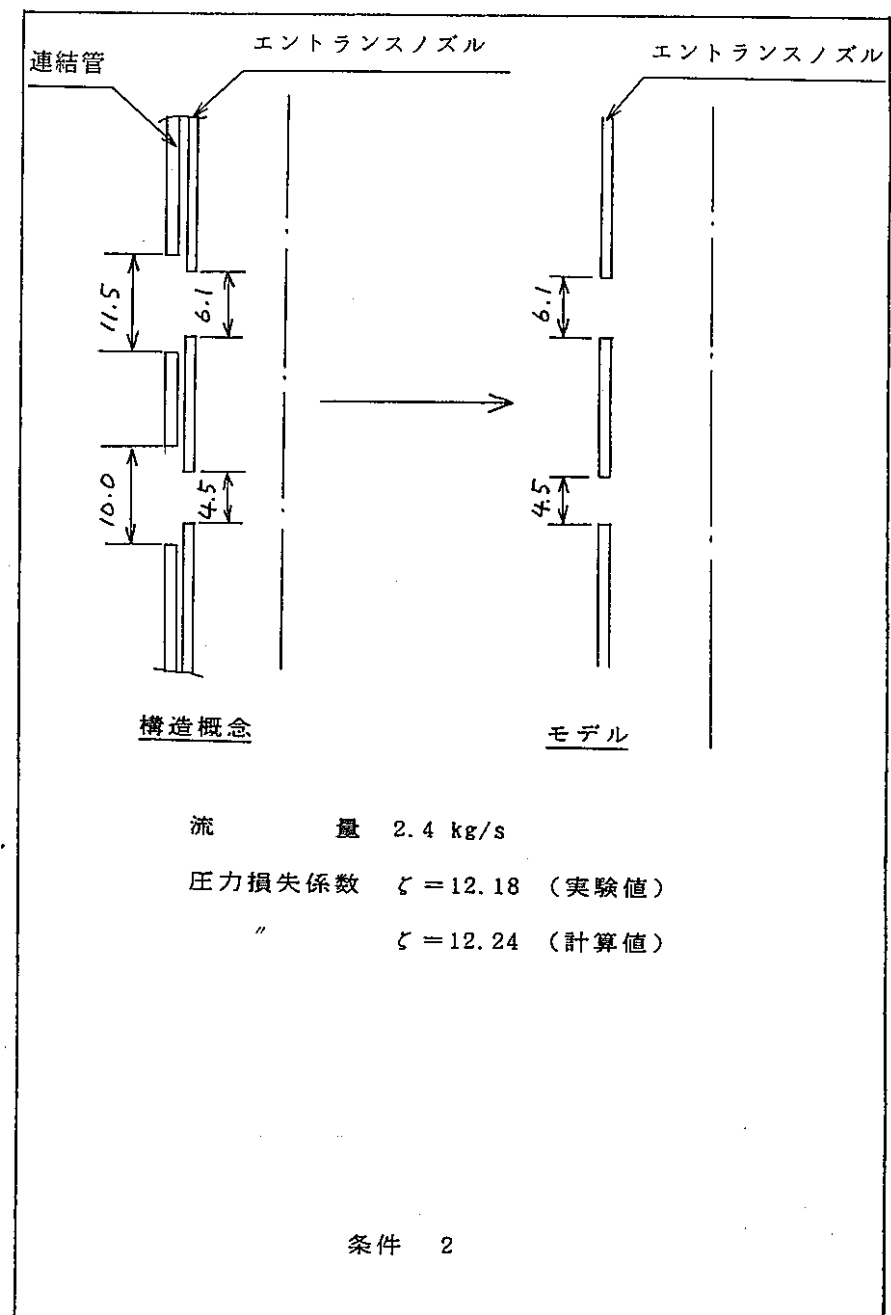
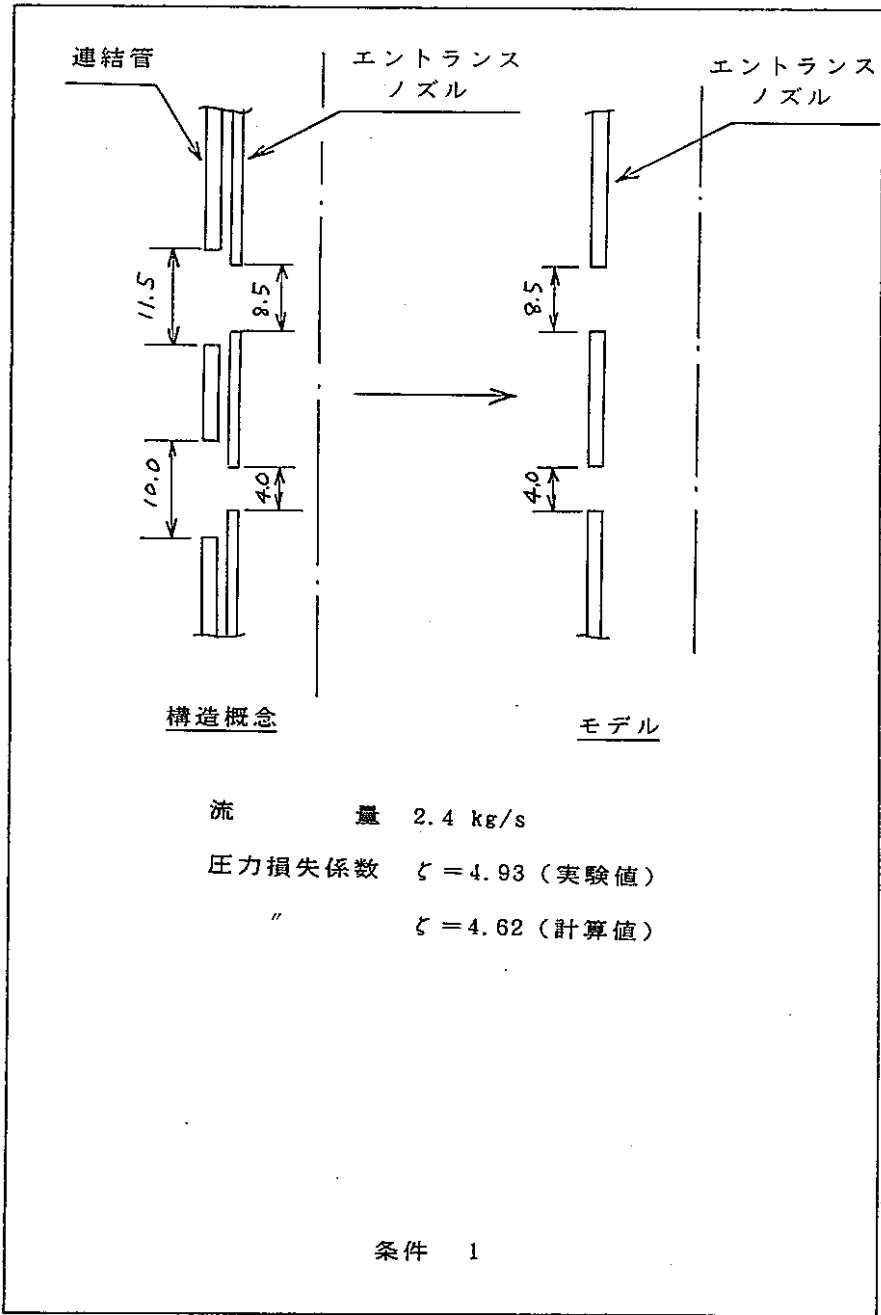


図5.6 多段オリフィス試験の解析

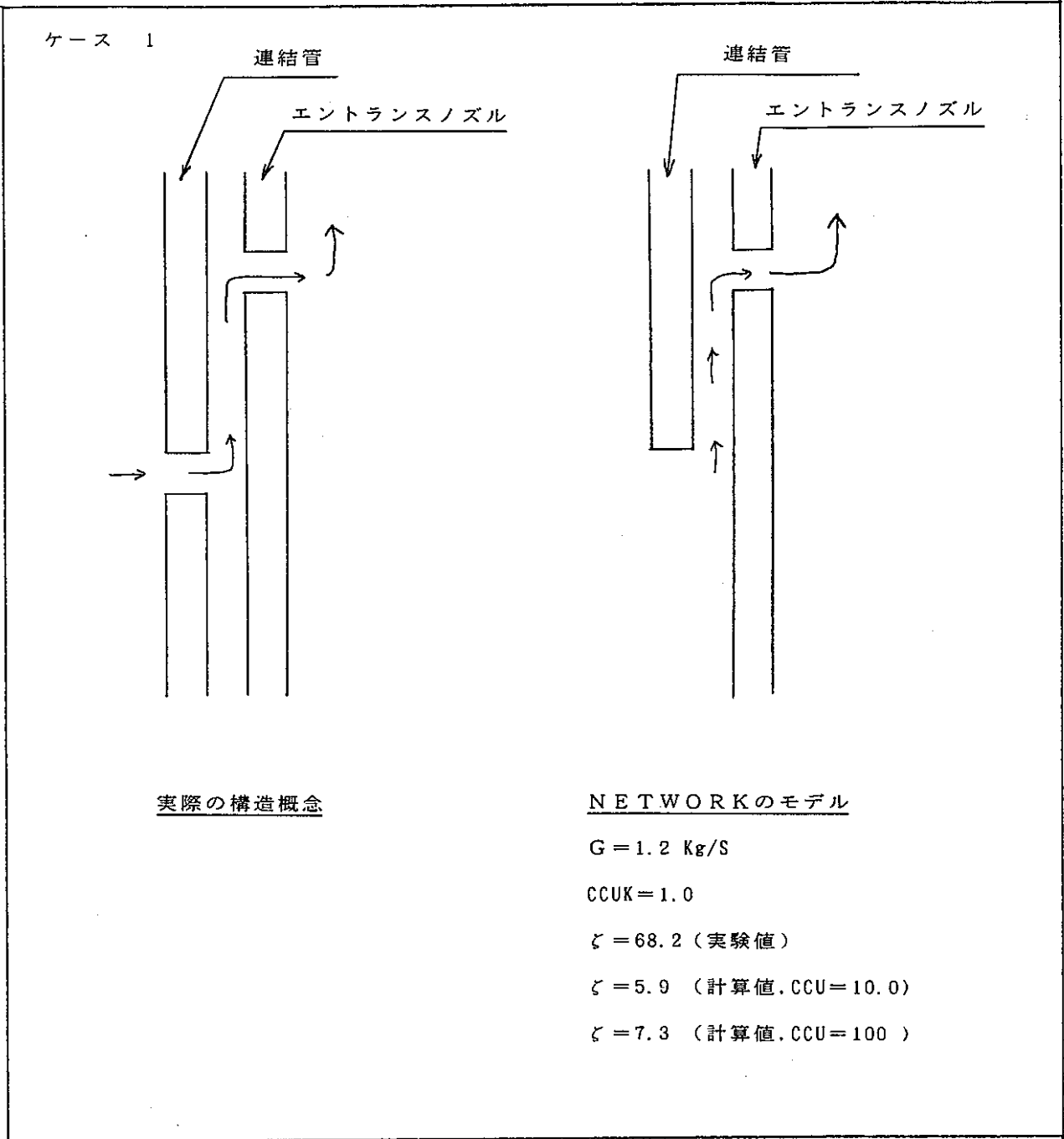
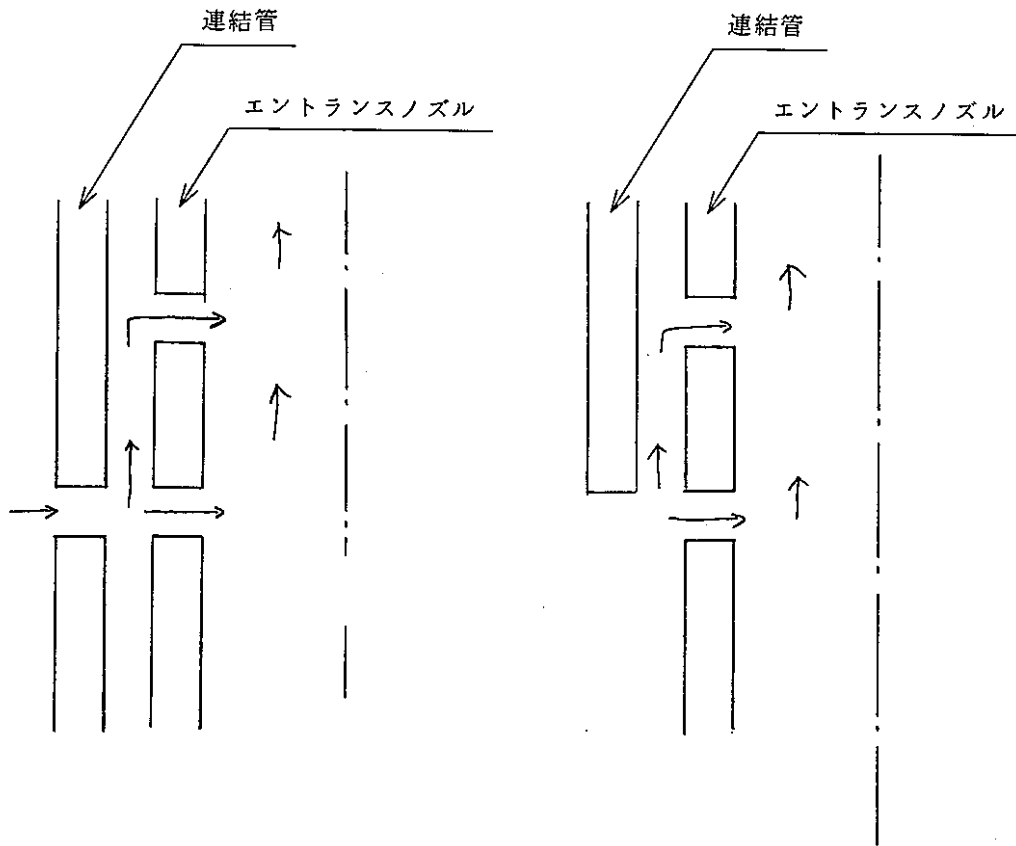


図5.7 (1) ブラインドオリフィス試験の解析 (条件1)

ケース 2



実際の構造概念

NETWORKのモデル

$G = 2.4 \text{ Kg/S}$

$\zeta = 9.88$ (実験値)

$\zeta = 5.9$ (計算値, CCU=10.0)

$\zeta = 7.3$ (計算値, CCU=100)

図5.7 (2) ブラインドオリフィス試験の解析 (条件2)

6: 考 察

(1) 内部オリフィスの効果

キャビテーションの抑制に寄与する要因の1つであるエントランスノズル内静圧を高める手段の1つとして、エントランスノズル内にオリフィスを設置した場合に、流量調節機構の特性に影響するか否かについて調べるため、第5列を対象として試験を行なった。第5列に関する試験結果は、図4.11の内部オリフィス特性試験、図4.16の総合流動特性試験、図4.35の定格流動特性試験の3つがあり、これら3つの圧力損失係数は殆んど一致する。

即ち、エントランスノズル内に新たにオリフィスを設けても、流量調節機構の特性に影響しない事が明らかとなった。

(2) キャビテーション抑制対策

キャビテーション可視化試験、定格流動特性試験等の観察において、高流量域では、キャビテーションの発生が認められた。キャビテーションの程度は、列により異なるが、第5列を除いて、永久構造物である連結管で発生するキャビテーションは見られなかった。したがって、交換可能なエントランスノズルでのキャビテーション発生を容認するという前提に立てば、キャビテーション抑止対策は、第5列の連結管オリフィス近傍で発生するキャビテーションに対するものとなる。

キャビテーション抑止対策として、キャビテーション発生位置の圧力を高くする事が考えられるが、R/V内圧力を高くするのは、非現実的である。局部的に圧力を高めるため、エントランスノズルにオリフィスを設置する試験も実施したが、キャビテーション発生位置が連結管とエントランスノズル間ギャップでもあり、内部オリフィスでは、このキャビテーションを消滅させる程の効果は得られなかった。次に考えられる事は、エントランスノズル外径を小さくして、連結管とエントランスノズル間のギャップを大きくし、この部分の流速を下げる事である。しかし、この案は、エントランスノズルの強度に関係するため、エントランスノズル肉厚を極端に薄くする事はできず限界がある。

したがって、第5列の連結管で発生するキャビテーションを抑えるためには、より効果的な対策を考える必要がある。

第5列の連結管でのキャビテーション発生の原因は、連結管オリフィスに相對しているエントランスノズルのオリフィスと、連結管-エントランスノズル間ギャップへ

の流量配分が、ギャップに多いため、ギャップ流速が大きくなるためである。したがって、ギャップへの流量配分が少なくなるように、連結管オリフィスに相対するエントランスノズルオリフィス径を大きくする事が考えられる。この対策案の効果を確認するために、エントランスノズルオリフィス径を4.0 mmから8.0 mmに大きくしたエントランスノズルについて試験を行なった。試験の条件は、定格流動特性試験（第5列）と同じである。

キャビテーションの状況は、120%流量時でも連結管でのキャビテーションの発生は見られず、エントランスノズルオリフィス径を大きくする対策は、キャビテーション抑止に大きな効果がある事が明らかとなった。但し、図4.39に示すように圧力損失係数は、必要な値の約 $\frac{1}{2}$ となり、このままでは炉心流配は成立しない。

これに対する対策としては、以下の2点が考えられる。

- (a) エントランスノズルオリフィス径を大きくし、キャビテーション発生を抑える。
エントランスノズルオリフィス径を大きくした事による圧力損失係数の低下分は、内部オリフィスを設けて補償する。
- (b) エントランスノズルオリフィス径の最適値組合わせを再検討する。（2段目のオリフィス径を大きくする分だけ他を小さくする）

7. まとめ

本試験により「常陽」流量調節機構のキャビテーション特性に関し、次の結果が得られた。

- 1) 高性能炉心流量条件におけるキャビテーション初生条件が把握できた。
- 2) 高性能炉心流量条件に対する流量調節機構部の圧力損失特性が把握できた。
- 3) キャビテーションによる圧力損失特性の急激な変化はキャビテーションにより有効流路面積が減少する、いわゆるスーパーキャビテーション状態には到っていないため、今回の試験範囲において特に観察されなかった。
- 4) 「NETWORK」コードについては、「常陽」へ適用する場合「もんじゅ」と「常陽」の流量調節機構の構造に相異があるため、モデル化が必要である。本試験ではそのモデル化方法の検討を行い、常陽体系での試算を実施した。計算過程において連続管とエントランスノズルすき間部に逆流が生ずるため収束解が得られない場合がある。これについては、今後モデル化又はコードの改良を検討する必要がある。

8. 謝 辞

本試験を実施するに当り、動力炉・核燃料開発事業団、大洗工学センター実験炉部技術課田代正夫氏及び高速増殖炉工学室佐藤和二郎副主研には終始有益な助言をいただいた。

ここに深く感謝いたします。

付録1： 連結管オリフィスとエントランスノズルオリフィスの相関で整理したオリフィス圧力損失係数

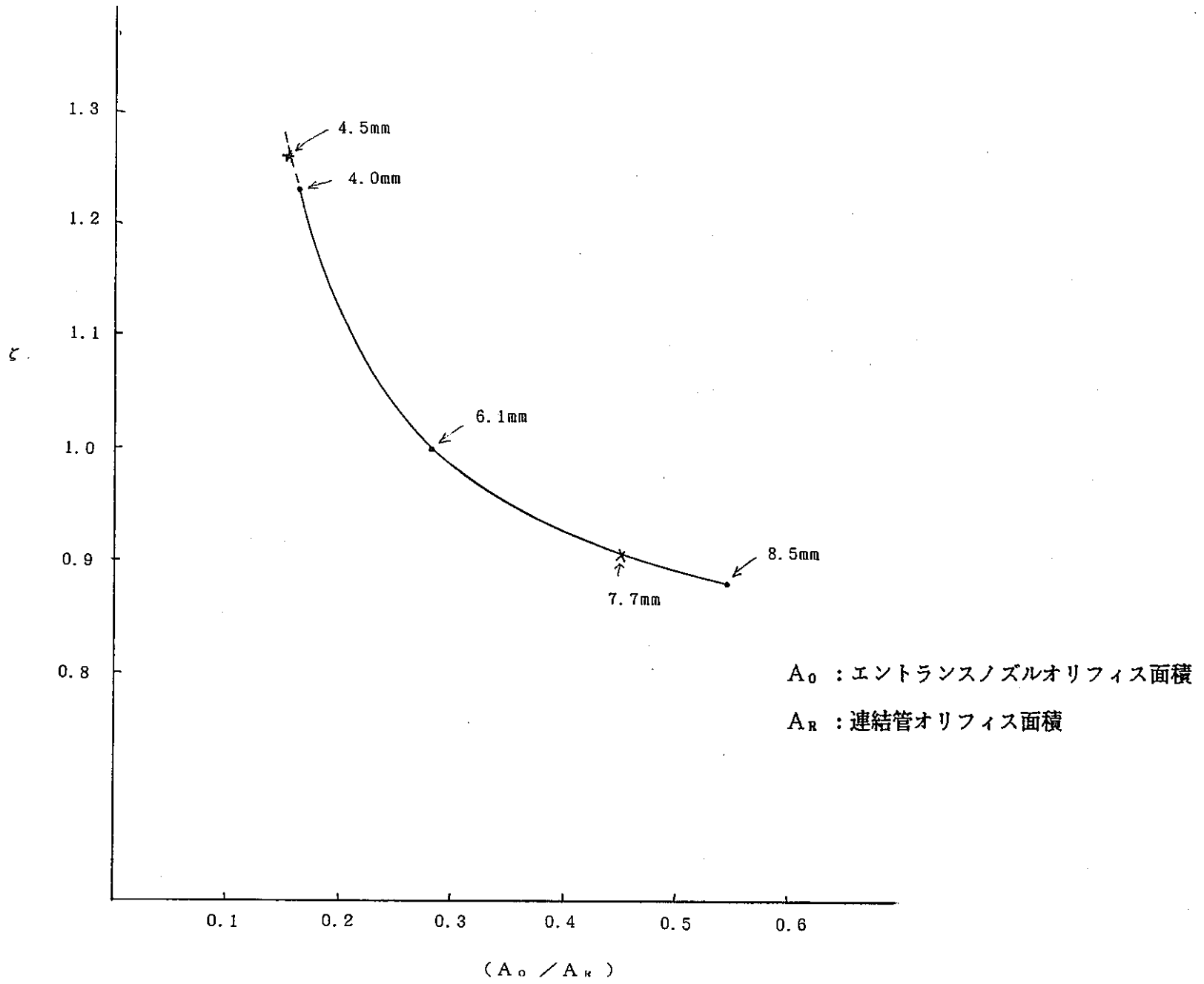
付図-1に連結管オリフィスとエントランスノズルオリフィスの面積比で整理したオリフィスの圧力損失係数を示す。

この図より、7.7 mmのオリフィス径の ζ を求めると、約9.07であり、エントランスノズル断面積との相関から求めた値9.04とほぼ等しい。

4.5 mmオリフィスの場合は、連結管オリフィス径との組合せの関係で、実験範囲からの外挿となり、4 mmオリフィスよりも大きな圧力損失係数となる。実験データでは、4 mm \rightarrow 6.1 mm \rightarrow 8.5 mmの順に ζ は小さくなっており、この傾向とは逆となる。これは、実験で確認する必要がある。

ブラインドオリフィスの場合、即ち、連結管オリフィス面積 (A_R) が0の場合には、付図-1上では3つの実験データのみからでは定義できない。

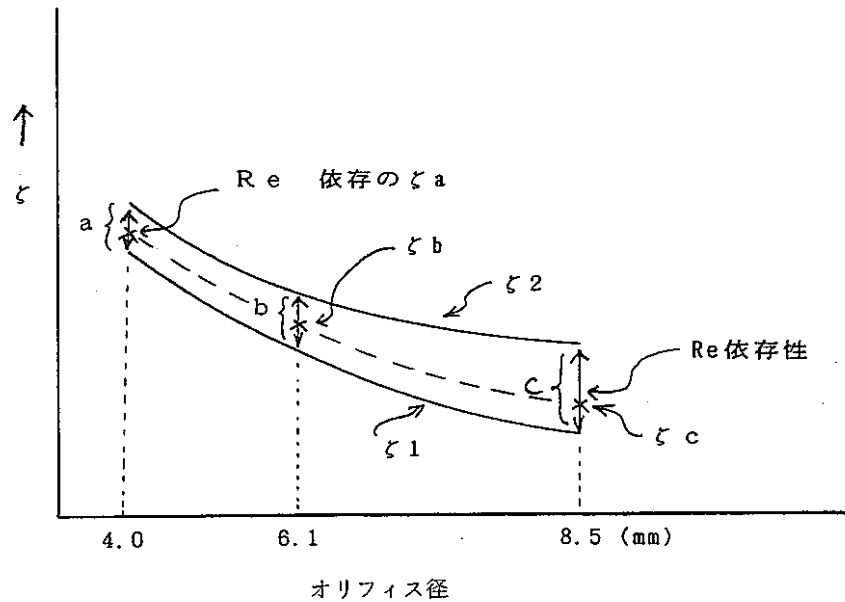
したがって、得られた実験データから、連結管オリフィスとの相関に着目した評価式を作るのは困難である。



付図-1 連結管オリフィスとエントランスノズルオリフィスの面積比で整理したと

付録 2 : オリフィス圧力損失係数の Re 数依存評価式

3 ケース (4 mm, 6.1 mm, 8.5 mm) のデータを, オリフィス全面積とエントランスノズル断面積の比との関係で整理すると 2 次式で表わされる。下図参照



a, b, c の間隔は等しくないので, ζ_1 を平行移動しても ζ_2 にはならない。したがって, ζ_1, ζ_2 間を単純に線形補間するのは適切ではない。そこで, 繁雑になるが, 3 ケのオリフィス毎の Re 数に対応した ζ を求め, この値を 2 次式で近似し, 実験データのないオリフィス径の ζ を内挿する。

ζ を以下の 2 次式で表わす。

$$\zeta = c + b \left(\frac{A_0}{A_1} \right) + a \left(\frac{A_0}{A_1} \right)^2$$

A_1 : エントランスノズル孔全面積

A_0 : エントランスノズル断面積

$$a = 31.138 \zeta_a - 49.957 \zeta_b + 18.820 \zeta_c$$

$$b = -17.682 \zeta_a + 22.874 \zeta_b - 5.194 \zeta_c$$

$$c = 2.253 \zeta_a - 1.555 \zeta_b + 0.302 \zeta_c$$

$$\zeta_a = 1.442 \text{ Re}^{-0.0148} \quad (4 \text{ mm 径オリフィス定義の Re 数})$$

$$\zeta_b = 1.341 \text{ Re}^{-0.0259} \quad (6.1 \text{ mm 径オリフィス定義の Re 数})$$

$$\zeta_c = 1.064 \text{ Re}^{-0.0169} \quad (8.5 \text{ mm 径オリフィス定義の Re 数})$$