

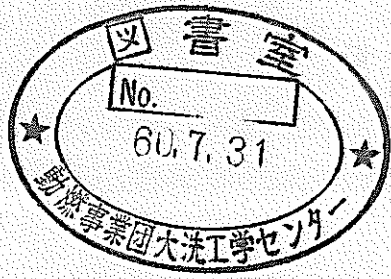
区分変更	
種類	二
決議年月日	平成13年7月31日

「もんじゅ」炉容器総合水流動試験(第2報)

—1/2縮尺モデル炉心構成要素の単体圧力損失特性—

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
	N 945 85-07
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	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

1985年6月



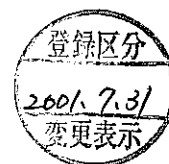
動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)



社 内 一 般
PNC T N945 85-07
1985年6月

「もんじゅ」炉容器総合水流動試験(第2報)

— $\frac{1}{2}$ 縮尺モデル炉心構成要素の単体圧力損失特性 —

村 上 隆 典* 古 川 鉄 利*
佐 藤 和 二 郎*

要 旨

高速原型炉「もんじゅ」の炉内流量配分試験を実施するために、水を作動流体とする $\frac{1}{2}$ 縮尺の原子炉容器モデルが製作された。本試験はこの炉内流量配分に関する総合試験の予備実験として、モデル内に装荷される炉心構成要素（炉心集合体、制御棒、など）の単体流動特性の測定および計測用集合体内タービン流量計の校正試験を実施したものである。

流動特性は各流量領域の供試体につき3体ずつ測定し、圧力損失係数、 ζ 、とレイノズル数、 Re 、とを関連付ける実験式を求めた。また、校正結果はタービン流量計の出力パルス・カウント数と流量との関係を示す校正式にまとめた。

ここで得られた $\frac{1}{2}$ モデルに関する基礎データは、今後の炉内流量配分試験の実験および解析に不可欠なもので、それらを通して実機の炉心熱流体力設計に反映される。

* 大洗工学センター、安全工学部、高速増殖炉工学室



OFFICE USE ONLY
PNC/N945 85-07
JUN. 1985

Hydraulic Test of the Integral Reactor-Flow Model for Monju (II)

- Pressure Loss Characteristics of Core Elements in the 1/2-Scale Reactor Model -

T. Murakami*, T. Kogawa* and
K. Satoh*

Abstract

The 1/2-scale model of the LMFBR Monju reactor was constructed to study core flow distribution using water as a working fluid. This paper presents the preliminary test results for core elements (core subassemblies, control rods, etc.) in the model concerning with hydraulic characteristics. Calibrations of the instrumental turbine flow-meters in the subassemblies have been also performed in the test.

Hydraulic characteristics of three core elements in the each flowrate zone were measured and then experimental equations of flow resistance coefficients, ζ , were obtained as a function of Reynolds Number, Re . Also, correlations between the pulse count number and the flowrate were obtained in the calibration tests.

The above basic data about the 1/2-scale reactor model are essential for both the experiment and the analysis of the follow-on core flow distribution test. The results will be reflected on the core thermo-hydraulic design of Monju through the follow-on test.

* FBR Reactor Engineering Section, Safety Engineering Division, O-arai Engineering Center, PNC.

目 次

1. ま え が き	1
2. 試 験 装 置	2
2.1 試験ループ	2
2.2 試験容器	2
2.3 供 試 体	2
3. 試 験 方 法	6
3.1 測 定 方 法	6
3.2 計測・処理方法	7
4. 試 験 結 果	9
4.1 実験式の定義	9
4.2 炉心集合体	9
4.3 ブランケット集合体および制御棒	11
4.4 その他の炉心構成要素	11
5. ま と め	13
謝 辞	14
参 考 文 献	15

List of Tables

Table 4-1	Hydraulic Dimension of the Each Core Element	16
Table 4-2	Experimental Equations of the Inner-Core Subassemblies	17
Table 4-3	Experimental Equations of the Outer-Core Subassemblies	20
Table 4-4	Experimental Equations of the Core Subassemblies (Average)...	22
Table 4-5	Experimental Equations of the Blanket Subassemblies	23
Table 4-6	Experimental Equations of the Control Rods	24
Table 4-7	Experimental Equations of the Blanket Subassemblies and the Control Rods (Average)	25
Table 4-8	Experimental Equations of the Other Core Elements	26
Table 4-9	Experimental Equations of the Other Core Elements(Average) ..	27

List of Figures

Fig. 2-1	Schematic of the Water Test Loop	28
Fig. 2-2	Overview of the Test Section	29
Fig. 3-1	1/2 Scale Water Test Model of Monju Reactor	30
Fig. 3-2	Arrangement of Connecting Tubes in the Reactor Model	31
Fig. 3-3	Core Subassemblies	33
Fig. 3-4(a)	Blanket Subassemblies	35
Fig. 3-4(b)	Connecting Tube and Flow Control Orifice	37
Fig. 3-5	Control Rods	39
Fig. 3-6	Connecting Tube and Flow Control Orifice in the Neutron Shield Zone	41
Fig. 3-7	Flow Control Device	42
Fig. 3-8	Decompression Device	43
Fig. 3-9	Installment of the Core Subassembly	44
Fig. 3-10	Installment of the Blanket Subassembly and the Control Rod ..	45
Fig. 3-11	Installment of the Connecting Tube	46
Fig. 3-12	Installment of the Flow Control Device	47
Fig. 3-13	Installment of the Decompression Device	48
Fig. 3-14	Composition of Data Record System	49
Fig. 4-1	Pressure Loss Characteristics of the Inner-Core Subassemblies	50
Fig. 4-2	Pressure Loss Characteristics of the Inner-Core Instrumental Subassemblies with the Turbine Flow-Meters	51
Fig. 4-3	Calibration of the Turbine Flow-Meters in the Inner-Core Subassemblies	52
Fig. 4-4	Pressure Loss Characteristic of the Inner-Core Instrumental Subassemblies with the Pressure Taps	53
Fig. 4-5	Pressure Difference Characteristics between the Pressure Taps on the Inner-Core Subassemblies	54
Fig. 4-6	Average Pressure Loss Characteristics of the Inner-Core Subassemblies	55
Fig. 4-7	Pressure Loss Characteristics of the Outer-Core Subassemblies	56

Fig. 4-8	Pressure Loss Characteristics of the Outer-Core Instrumental Subassemblies with the Turbine Flow-Meters	57
Fig. 4-9	Calibration of the Turbine Flow-Meters in the Outer-Core Subassemblies	58
Fig. 4-10	Pressure Loss Characteristics of the Outer-Core Instrumental Subassemblies with the Pressure Taps	59
Fig. 4-11	Pressure Difference Characteristics between the Pressure Tapson the Outer-Core Subassemblies	60
Fig. 4-12	Average Pressure Loss Characteristics of the Outer-Core Subassemblies	61
Fig. 4-13	Average Pressure Loss Characteristics of the Inner-Core Zoon Subassemblies	62
Fig. 4-14	Average Pressure Loss Characteristics of the Outer-Core Zoon Subassemblies	63
Fig. 4-15	Pressure Loss Characteristics of the Blanket Subassemblies ..	64
Fig. 4-16	Pressure Loss Characteristics of the Blanket Instrumental Subassemblies with the Turbine Flow-Meters	65
Fig. 4-17	Calibration of the Turbine Flow-Meters in the Blanket Subassemblies	66
Fig. 4-18	Pressure Loss Characteristics of the Blanket Instrumental Subassemblies with the Pressure Taps	67
Fig. 4-19	Pressure Difference Characteristics between the Pressure Taps on the Blanket Subassemblies	68
Fig. 4-20	Average Pressure Loss Characteristics of the Blanket Subassemblies	69
Fig. 4-21	Pressure Loss Characteristics of the Control Rods	70
Fig. 4-22	Pressure Loss Characteristics of the Control Rod with the Turbine Flow-Meters	71
Fig. 4-23	Calibration of the Turbine Flow-Meters in the Control Rods	72
Fig. 4-24	Pressure Loss Characteristics of the Control Rods with the Pressure Taps	73
Fig. 4-25	Pressure Difference Characteristics between the Pressure Taps on the Control Rods	74
Fig. 4-26	Average Pressure Loss Characteristics of the Control Rods	75

Fig. 4-27	Average Pressure Loss Characteristics of the Blanket Zoon Subassemblies and the Control Rods	76
Fig. 4-28	Pressure Loss Characteristics of the Flow Control Orifices in the Neutron Shield Zone - Type H, I	77
Fig. 4-29	Pressure Loss Characteristics of the Flow Control Devices in the Neutron Shield Zone - Type J, K	78
Fig. 4-30	Pressure Loss Characteristics of the Decompression Devices	79
Fig. 4-31	Average Pressure Loss Characteristics of the Flow Control Orifices in the Neutron Shield Zone - Type H, I	80
Fig. 4-32	Average Pressure Loss Characteristics of the Flow Control Devices in the Neutron Shield Zone - Type J, K and Decompression Devices	81

1. ま え が き

高速原型炉「もんじゅ」（以下、実機という）の炉内流量配分は、炉内構造物や各炉心構成要素の流動特性を入力データとして、MARINE (Multi-Analysis of Parallel and Series Flow Network in a Reactor) コードにより解析・評価される¹⁾。よって、計算コードはあらかじめ実験的に検証され、炉心熱流力設計に必要な精度を有することが確認されている必要がある。このため、上記MARINEコードの検証を目的として、実機の $\frac{1}{2}$ スケールの炉容器モデルによる総合水流動試験を実施している²⁾。

本試験は上記の総合水流動試験をバックアップする基礎データを得ることを目的として、 $\frac{1}{2}$ 炉容器モデルの炉内構造物減圧機構（流量可変機構，減圧素子）や各炉心構成要素（燃料集合体，制御棒，しゃへい体）の流動特性の測定，および計測用集合体内タービン流量計の実流校正を実施したものである。ここで得られた試験データは、MARINEコードによる実験解析用入力データとして用いられ、総合水流動試験結果の評価に反映される。

2. 試験装置

2.1 試験ループ

Fig. 2-1 に水流動試験ループのフローシートを示す。ループは実線で示す高流量ライン（容量 10～120 m³/h）および破線で示す低流量ライン（容量 0.1～10 m³/h）の 2 系統を有している。各ラインはポンプ、電磁流量計、流量調節弁、流量計校正用計量器などで構成されている。ラインの選択はバルブやポンプの切換えにより行うが、同時並列運転することも可能である。貯水槽は共用しており、これには 20 kw のヒータが 5 本設置されている。作動流体（水）の冷却にはクーリングタワーを使用する。これらのヒータおよび冷却系により、ループは常温から 90℃ の温度範囲で運転可能なようになっている。

2.2 試験容器

試験容器は Fig. 2-2 に示すごとく炉容器の各プレナムを模擬したフランジ付円筒形状のものである。その内部には供試体を据付けるための上部および下部アダプタ、並びにプレナム間漏洩流のシール機能を有する集合体の浮き上がり防止機構が組み込まれている。また試験容器には、圧力タップや供試体の計測リード線取り出し部等が設けられている。高圧および低圧プレナムにはバッフル円筒および多孔板がそれぞれ設置されており、プレナム内流れを整流している。各プレナムおよび上・下部支持板には、図中の A 部詳細に示すようなエア抜き孔があり、これによりプレナム内に滞留する空気を追い出している。

2.3 供試体

実機の 1/2 スケール炉容器モデルおよびモデル内の連結管配置図を、それぞれ Fig. 3-1 および 3-2 に示す。炉心中心の制御棒位置を 0 列とすると、連結管は 15 列まであり、炉心構成要素の流量領域と列数との関係は以下のようにになっている。

1～2 列：炉心第 1 領域	}	内側炉心ゾーン
3 列：炉心第 2 領域		
4 列：炉心第 3 領域		
5 列：炉心第 4 領域		
6 列：炉心第 5 領域		
7 列：炉心第 6 領域	}	外側炉心ゾーン
8 列：炉心第 7, 8 領域		
9 列：ブランケット第 1 領域		

- 10 列：ブランケット第2領域 } ブランケットゾーン
 11 列：ブランケット第3領域 }
 12～15列：中性子しゃへい体ゾーン

炉容器モデルには炉心集合体198体、ブランケット集合体174体および制御棒19体が装荷されている。この他には連結管部のみを模擬した中性子しゃへい体238体、流量可変機構78体、減圧素子36体等がある。流量可変機構は高圧-低圧プレナム間の流量配分を調節するもので、これにはaタイプとbタイプの2種類がある。aタイプは高圧-低圧プレナム間に流路を形成し、高圧プレナムから低圧プレナムに冷却材を供給する構造になっている。その流路を閉塞するものをbタイプというが詳細は後述する。図の配置は実機の初期炉心を想定したもので、これにはaおよびbタイプ型のものがそれぞれ52体および26体装荷されている。

以下にここで試験した供試体の寸法および構造を示す。

(1) 炉心集合体

Fig. 3-3に炉心集合体供試体を示す。集合体は本体部外径53mm、エントランス・ノズル部外径36mmの円筒形状をしており、その全長が2,235mmと2,200mmのものがある。全長が短い集合体はFig. 3-2のB（支持柱）およびC（減圧素子）部に装荷される。

冷却材はエントランス・ノズルのオリフィス孔より流入し、上部のハンドリング・ヘッド部から流出する。オリフィス孔の配置は炉心各流量領域によりその段数を変えて（Fig. 3-3 左下表参照）、高圧プレナム内流況を模擬するようにしてある。集合体流量は内部に銅製の細管（内径2mm）を束ねた圧損素子を組み込み、細管の閉塞数を変えることにより調節する。また、エントランス・ノズルの上端部および下端部にはオーリングが取り付けられており、プレナム間の漏洩流がないようにしている。

計測用集合体には、タービン流量計を内蔵したものと、圧力タップを集合体の上下2箇所に設置したものがある。タービン流量計の計測リード線はハンドリング・ヘッド部から集合体外へ取り出している。圧力タップは測定精度上タップ間圧力差を大きく取る必要があるので、圧損素子をはさむ上下2箇所に設置している。このタップ間圧力差と集合体内通過流量との関係をあらかじめ測定して置けば、炉容器装荷時の流量はタップ間圧力差から算出することができる。タービン流量計付集合体は炉心1～8領域に各3体ずつの計24体、圧力タップ付集合体は各2体ずつの計16体ある。

(2) ブランケット集合体

Fig. 3-4(a)にブランケット集合体を示す。集合体は外径53mmの円筒形状のもので、その下端部には連結管に差し込まれるノズルが設けられている。領域番号22の集合体は炉心マトリクスの変更により、3領域の集合体を改造して2領域としたもので、特に機能上の相違はない。集合体の流動抵抗は内部に設置された流量調節オリフィスにより行う。集合体

の下端ノズル部が差し込まれる連結管をFig. 3-4(b)に示す。

ブランケット集合体にも、前述の炉心集合体と同様な2種類の計測用集合体がある。ただし、圧力タップについては下部側にはスペースの関係上設置できなかったため、圧力タップは1箇所のみ設けてある。このため流量は低圧プレナム圧力との圧力差により算出することになる。

計測用集合体の数は、タービン流量計付が領域1～3に各3ずつの計9体、圧力タップ付が各2体ずつの計6体である。

(3) 制御棒

Fig. 3-5に制御棒を示す。制御棒は前述のブランケット集合体と流量調節オリフィス径が異なるのみで、他の寸法および構造は全て同じになっている。計測用制御棒としては、タービン流量計付が3体、圧力タップ付が2本ある。

(4) 中性子しゃへい体領域連結管

炉容器モデルでは中性子しゃへい体領域流量が非常に小さいことから、高圧プレナム内の連結管部のみを模擬している。Fig. 3-6に連結管とその下端に取り付けられて流量調節を行うオリフィス・スリーブを示す。連結管には上下支持板との組み立て方式の違いにより、引張型(H)と圧縮型(I)とがある。

(5) 流量可変機構

Fig. 3-7に流量可変機構を示す。前述したように、これは中性子しゃへい体領域に設置され、aタイプとbタイプの2種類のものがある。これらはしゃへい体ノズルaまたはbのどちらかを使用することにより、タイプを変更することができる。aと組み合わせた連結管はタイプJ、bとではKと呼ぶが、これらは同じ構造のものである。連結管は低圧プレナム内にある支持柱と接続しており、支持柱には周方向6箇所に冷却材が流出または流入するフローホールが設けてある。しゃへい体ノズルaを連結管の上部に取り付けた場合は、連結管のフローホールから流入した冷却材が内部で上方と下方とに分岐され、一方はしゃへい体ノズルのオリフィス孔を通過して上部プレナムへ流出し、もう一方は連結管内を下降して支持柱のフローホールを通り、低圧プレナムへ流出するという流路が形成される。細長い円管の先端部にオーリングとオリフィスが取り付けられているしゃへい体ノズルbを取り付けた場合は、オーリングにより高圧プレナムから低圧プレナムへの流れが止められ、低圧プレナムからオリフィスを通り上部プレナムへ流出するという冷却材流路のみが形成される。流量可変機構は78本設置されており、上記したような流路パスをしゃへい体ノズルaまたはbによって形成することにより、高圧-低圧プレナム間の流量配分調節を行う。実機でも多少の構造上の相違はある³⁾が、同様な方法により流量配分を調節している。なお、実機の初期炉心ではaタイプが52本、bタイプが26本と計画されている。

(6) 減圧素子

実機では減圧素子は炉内構造支持構造物の底板部に取付けられる。その底板の下部には受皿が据付られているので、減圧素子は受皿から低圧プレナムへの流路を形成するものである。その内部には十分な減圧効果を得るために多段オリフィスが設けられている。Fig. 3-8にこれを模擬した $\frac{1}{2}$ モデルの減圧素子を示す。

3. 試験方法

3.1 測定方法

炉心集合体、ブランケット集合体、制御棒、中性子しゃへい体オリフィス、流量可変機構および減圧素子の各試験体は、上・下部アダプタを用いて試験容器内に据付られる。各試験体の据付状況および試験流量範囲を以下に示す。なお、本試験の作動流体温度は炉容器総合水流動試験と同じ 30℃一定とした。

(1) 炉心集合体

炉心集合体のエントランス・ノズル部の据付状況を Fig. 3-9 に示す。図に示すように、炉心集合体はエントランス・ノズルが、炉容器の上・下部支持板を模擬した上・下アダプタを貫通するようにして据付けられる。各支持板とエントランス・ノズルとの嵌合部の漏洩流は、エントランス・ノズル上・下のオーリングによりシールされる。高圧プレナムの入口配管から流入した流れは、バッフル円筒で整流され、ノズルのオリフィス孔から集合体内に入り、上部プレナムへ流出する。本試験は炉心集合体の流量領域により多少変わるが、約 2～20 m³/h の流量範囲で実施した。流量ラインの切換えは 10 m³/h で行い、それ以上の流量の時は Fig. 2-1 の高流量ラインを、以下の時は同図の低流量ラインを使用した。集合体の圧力損失は、高圧プレナム (PH) および上部プレナム (PU2) に設けた圧力タップにより測定した。

(2) ブランケット集合体および制御棒

ブランケット集合体および制御棒の圧力損失特性は、それらが 1/2 炉容器に据付けられた状態と同じにして測定する必要がある。このため Fig. 3-10 に示すごとく、高圧プレナムに連結管を取付け、それに各供試体を差し込んで、低圧-上部プレナム間圧力損失を測定するという方法で実施した。作動流体は低圧プレナムの入口配管より流入し、多孔板により整流されて連結管内へ入り、供試体を通過して、上部プレナムへ流入する。試験流量範囲は炉心集合体と同様に流量領域により変わるが、ブランケット集合体および制御棒でそれぞれ約 0.1～5 m³/h および約 0.8～8 m³/h である。圧力タップは図中の (PL) - 低圧プレナム, (PU2) - 上部プレナムを使用した。

(3) 中性子しゃへい体オリフィス

中性子しゃへい体オリフィスは Fig. 3-11 に示すように、連結管の下端部に設置される。この時の作動流体の流れ方向および使用圧力タップは、前述のブランケット集合体と同じである。試験流量範囲は約 0.05～0.2 m³/h とした。流量の下限值はループの測定限界により制限されるため、ここでは他の測定に較べて流量範囲が狭くなっている。

(4) 流量可変機構

流量可変機構の据付状況を Fig. 3-12 に示す。図はしゃへい体ノズル a を取付けたタイプ a のものを示している。前述したように、この時は連結管フローホールから流入した流れが連結管内で上下に分岐し、2つの流路パスが形成される。このため、高圧プレナムから低圧プレナムへ抜ける流路に関する試験時は、低圧プレナムの入口配管と上部プレナムの出口配管とを連結する配管を継いで測定した。連結管を上昇してしゃへい体ノズル a を通過し、上部プレナムへ流出する流路に関する測定流量範囲は約 $0.05 \sim 0.2 \text{ m}^3/\text{h}$ で、もう一方の下降して連結柱のフローホールから低圧プレナムへ流出する流路のそれは約 $0.7 \sim 10 \text{ m}^3/\text{h}$ である。使用圧力タップは前者が (PH) - (PU1)、後者が (PH) - (PL) となる。

しゃへい体ノズル b のときは、高圧プレナムから流入する流れが、ノズル b 先端部のオーリングにより止められるので、低圧プレナムから上部プレナムへ抜ける前述のしゃへい体オリフィスと同じ流路が形成される。この時の測定流量範囲および使用圧力タップはノズル a の上昇流側と同じになる。

(5) 減圧素子

減圧素子は本試験では Fig. 3-13 に示すごとく、上部アダプタにより試験容器に据付けられる。よって、この時は高圧プレナムが受皿を、上部プレナムが低圧プレナムを模擬することになる。よって、流路パスおよび使用圧力タップは、炉心集合体と同じになる。測定流量範囲は約 $1 \sim 4 \text{ m}^3/\text{h}$ とした。

上記は各供試体の圧力損失特性の測定に関するものであるが、本試験ではそれらに加えて計測用集合体のタービン流量計の校正や集合体圧力タップ間圧力差測定も行った。これらは計測用集合体の圧力損失特性を測定する際にまとめて実施するようにし、できるだけ供試体の据付・解体作業を減らすことを心掛けた。タービン流量計の校正では、流量計の単位時間当りの発信パルス数と流量との関係、圧力タップ付集合体ではタップ間圧力差と流量との関係を関係付ける測定データを得た。

3.2 計測・処理方法

Fig. 3-14 にデータ処理の流れ図を示す。圧力、流量、温度等の物理量は、差圧伝送器、電磁流量計、タービン流量計、抵抗温度計等の計測器で測定され、アンプを介して、A/D変換器やパルス・カウンタにより FACOM U-1500 ミニコンピュータをベースとしたデータ処理システムに収録される。収録されたデータは計算センタに転送され、物理量の算出、実験式の作成、図形処理等の必要な処理がなされ、NLP その他の装置に出力される。

圧力は各圧力タップから導圧管（ナイロン・チューブ）によりバルブ・スタンドへ導かれ、

これを中継して差圧伝送器に接続される。バルブ・スタンドは測定圧力ラインの切換えや、使用する差圧伝送器の選択に用いる。差圧伝送器は測定精度を維持するために、レンジの異なる4台が並列に接続してある。流量の測定においても精度を維持するために、4台の電磁流量計適宜選択して使用した。これらの差圧伝送器、電磁流量計、抵抗温度計等の計測器は、試験前に校正し、所定の精度範囲内にあることを確認している。

4. 試験結果

4.1 実験式の定義

試験データの整理に用いた圧力損失係数 $[\zeta]$, レイノズル数 $[R_e]$, 実験式および実験式の標準誤差の定義式を以下に示す。

圧力損失係数 $[\zeta]$

$$\zeta = \frac{\Delta P}{\frac{\rho V^2}{2}} \quad (1)$$

レイノズル数 $[R_e]$

$$R_e = \frac{V \cdot D_e}{\nu} \quad (2)$$

実験式

$$\zeta = A \cdot R_e^B \quad (3)$$

標準誤差

$$S_E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (v_i/M_i)^2}{N-2}} \quad (4)$$

ここに, A, B : 実験定数

D_e : 代表水力直径 (Table 4-1 参照)

M_i : 最 確 値

N : データ数

ΔP : 圧力損失

V : 代表流速

v_i : 残 差

ν : 動粘性係数

ρ : 密 度

添字 i : データ番号

4.2 炉心集合体

Fig. 4-1 ~ 4-5 に炉心 1 ~ 5 領域 (内側炉心) の集合体に関する実験結果を示す。Fig.

4-1は、無作為に抽出した炉心各領域3体ずつの一般集合体の圧力損失特性を示すものである。図の横軸は前述(2)式のレイノルズ数、縦軸は(1)式の圧力損失係数である。実験式はこれらの圧力損失特性を精度良く表わせるように、 $Re \approx 9.5 \times 10^4$ 以下を低レイノルズ数域、それ以上を高レイノルズ数域として、2つの領域に分けて求めている。図中の実線、破線および一点鎖線がそれらの実験式であるが、各実験式の実験定数については、Table 4-2にまとめて示してある。炉心4および5領域の特性は各集合体ではほぼ同じであるが、その他の領域では多少特性の相違が見られる。集合体は無作為抽出して選択しているため、これは集合体間の個体差による相違である。

Fig. 4-2はタービン流量計内蔵の計測用集合体の圧力損失特性に関する実験結果を示している。これについても各流量領域に3体ずつの集合体がある。Fig. 4-3はタービン流量計の校正結果である。横軸はパルス・カウント数、縦軸は流量を表わしている。領域により多少特性が異なるのは、パルス・カウントの分周比を調整しているためである。低流量域になるとカウント数と流量が比例しなくなるものもあり、これから流量計の測定可能範囲を知ることができた。この校正結果については炉心各領域に対して1体ずつの結果を示しているが、これは試験前の作動チェックや絶縁抵抗の検査および校正結果から、他の2体ずつについては流量計として使用できないことが明らかとなったためである。作動不良の流量計は調査の結果、老朽化のため修理不可能と判断されたので、その代替として後述する圧力タップ付集合体を使用することとした。

Fig. 4-4に圧力タップ付計測用集合体の圧力損失特性測定結果を示す。この集合体は一般集合体に圧力タップを取付けたもので、各流量領域に2体ずつある。Fig. 4-5はその圧力タップ間圧力差の特性を示したものである。図の横軸のレイノルズ数は(2)式で定義し、縦軸は(1)式の圧力損失 ΔP を圧力差に置き換えて定義した圧力差の係数である。圧力タップ間圧力差から流量を算出するには、(1)、(2)および(3)式を用いて、流速 V を求めるように式を変形すればよい。 V が求めれば流量 Q は $V \cdot A$ (A :流路面積)により得ることができる。

$$Q = V \cdot A = \left\{ \frac{2 \cdot \Delta P}{\rho \cdot A} \cdot \left(\frac{\nu}{D_e} \right)^B \right\}^{\frac{1}{2+B}} \cdot A \quad (5)$$

以上の一般および計測用集合体の平均圧力損失特性を求めた結果をFig. 4-6に示す。炉心1領域のタービン流量計付集合体の圧力損失特性が、同じ領域の他の集合体より小さい傾向がある。これは内部構造の違いによるものと考えられる。他の炉心2~5領域では、圧損素子の流動抵抗が大きくなるので、集合体の種別による差は小さい。

Fig. 4-7~4-12に外側炉心集合体(炉心6~8領域)に関する同様な試験結果を示す。図の内容および順番は前述の内側炉心領域と同じである。各実験式の実験定数はTable 4-3に示した。

また、Fig. 4-13および4-14には各種集合体数の重みを考慮して平均した、内側および外側炉心集合体の圧力損失特性を示す。ここに示した特性は、炉内流量配分解析コードMARINEの実験解析用データとして用いられ、コードの検証に利用される。炉心1～8領域の実験式の各定数はTable 4-4に示している。

4.3 ブランケット集合体および制御棒

ブランケット集合体に関する試験結果をFig. 4-15～4-20およびTable 4-5に示す。データの整理方法および図の並びは、前述の炉心集合体と同じである。ブランケット集合体の圧力損失特性はレイノルズ数にはほとんど依存しない。よって、ここでは炉心集合体のように、実験式を2つのレイノルズ数領域に分けて表示することはしていない。

制御棒に関する試験結果をFig. 4-21～4-26およびTable 4-6に示す。制御棒は前述のブランケット集合体と内部構造は同じものである。しかし、流量調節オリフィスの流動抵抗が小さいため、流動特性はレイノルズ数に依存する特性を示している。特に、タービン流量計付制御棒の低レイノルズ数領域の特性は、他と大きく異なっている。

これらの集合体および制御棒は、Fig. 3-9に示したように、連結管にノズルが差し込まれる構造で据付けられる。嵌合部には0.1mmのすきまがあるが、上記の実験データはこのすきま部からの漏洩流がないようにして測定している。炉容器モデルに集合体を据付ける際には、漏洩流を止める構造とすることはできない。よって、実際の据付状態を模擬した測定も実施し、漏洩流の影響を調べた。これによれば、漏洩流の影響は十分小さく、無視できることが確認された。

前述の炉心集合体と同様に、各種集合体数の重みを考慮して求めた、ブランケット集合体および制御棒の平均圧力損失特性をFig. 4-27およびTable 4-7に示す。制御棒は全て同じ仕様のもので圧力損失特性上分ける必要はないが、ここではMARINEの入力形式に合わせて、微・粗調整棒と後備炉停止棒の領域とに装荷するものに対して、それらの領域毎に特性を算出している。

4.4 その他の炉心構成要素

中性子しゃへい体オリフィス（連結管タイプHおよびIに装着）、流量可変機構（連結管タイプKおよびJに装着）および減圧素子の各炉心構成要素の流動特性測定結果をそれぞれFig. 4-28～4-30およびTable 4-8に示す。ここで、図中のJ1はJタイプの下降流側およびJ2は上昇流側の特性をそれぞれ示している。中性子しゃへい体オリフィスおよび流量可変機構の圧力損失特性は、実際の炉容器モデルへの据付状況と同じにすることを考慮して、それらが装着される連結管と組み合わせて測定している。これらの炉心構成要素の通過流量は非常に

小さいので、流量調節可能範囲の制限から広いレイノルズ数範囲にわたる測定はできなかった。しかし、実験解析に必要な測定データとしては、ほぼ満足できるものが得られたと考えられる。

また、Fig. 4-31, 4-32 および Table 4-9 には上記の測定から得られた平均圧力損失特性を示す。これらは MARINE コードの入力データとして用いられる。

5. ま と め

実機の炉内流量配分に関する総合水流動試験に先立ち、 $\frac{1}{2}$ 縮尺炉容器モデル内に装荷される種々の炉心構成要素の単体圧力損失特性を測定した。測定結果は圧力損失係数とレイノルズ数との関係を良く表わせる実験式にまとめた。さらに、各流量領域の平均圧力損失特性を各種集合体の数の重みを考慮して算出し、MARINEコードの入力データとして用いられるように表示した。

また、タービン流量計や圧力タップを有する計測用集合体については、圧力損失特性測定と併に、それらの計測器の校正試験を実施し、校正式を提示した。

本報により総合水流動試験に必要とされる各炉心構成要素の単体圧力損失特性が得られた。ここで得られた成果は、総合水流動試験結果の評価および実機の炉内流量配分評価に用いるMARINEコードの検証等を通じて、実機の炉心熱流力設計に反映される。

謝 辞

本試験の実施にあたり、計画と実施面で御協力いただいた動力炉開発推進調整部、安全研究グループ 服部直三主任研究員、動力炉建設運転本部、機械課 仲村喬副主任研究員、三菱原子力工業㈱ 碓本岩男、淡路照章、三菱重工業㈱ 松尾剛男、羽根辰男の諸氏に謝意を表わす。また、実験およびデータ整理に従事された、水流動試験室の実験班員の方々に謝意を表わす。

参 考 文 献

- (1) 田中，碓本，小澤，他1名，“炉内流量配分計算コード（MARINE）の説明”，技術資料 733022-R-1（MAPI）。
- (2) 佐藤，古川，林，他3名，“「もんじゅ」炉容器総合水流动試験（第3報）- $\frac{1}{2}$ モデルの炉内流量配分”，原稿執筆中。
- (3) 林，松本，佐藤，他1名，“「もんじゅ」炉容器総合水流动試験（第1報）-減圧機構の単体流动特性-”：PNC SN941 84-162（1984）。

Table 4-1 Hydraulic Dimension of the Each Core Element

Symbol of Connecting Tube *1	Element	Defined Position	Hydraulic Dia. (m)	Flow Area (m ²)	Number of Element
-	Core Subassembly	Nosepiece I.D.	3.6×10^{-2}	1.018×10^{-3}	198
A	Control Rod	Connecting Tube I.D.	2.0×10^{-2}	3.142×10^{-4}	19
C	Decompression Device	Connecting Rod I.D.	2.0×10^{-2}	3.142×10^{-4}	36
D	Blanket Subassembly (1)	Connecting Tube I.D.	3.0×10^{-2}	7.069×10^{-4}	54
E	Blanket Subassembly (2)	Connecting Tube I.D.	2.0×10^{-2}	3.142×10^{-4}	54
F	Blanket Subassembly (22)	Connecting Tube I.D.	2.0×10^{-2}	3.142×10^{-4}	6
G	Blanket Subassembly (3)	Connecting Tube I.D.	3.0×10^{-2}	7.069×10^{-4}	60
H	Connecting Tube [H]	Connecting Tube I.D.	2.0×10^{-2}	3.142×10^{-4}	78
I	Connecting Tube [I]	Connecting Tube I.D.	3.0×10^{-2}	7.069×10^{-4}	160
J	Flow Control Device [Type J]	Connecting Tube I.D.	2.0×10^{-2}	3.142×10^{-4}	52
		Connecting Rod I.D.	2.8×10^{-2}	6.158×10^{-4}	
K	Flow Control Device [Type K]	Connecting Rod I.D.	2.8×10^{-2}	6.158×10^{-4}	26

*1 Refer to Fig. 3-1

Table 4-2 Experimental Equations of the Inner-Core Subassemblies

Core Zone No.	Experimental Equation	Re No. Range	Standard Error (%)
C1	$\zeta = 158.2 \text{ Re}^{-0.1627}$	$37000 \leq \text{Re} \leq 98000$	0.3
	$\zeta = 113.5 \text{ Re}^{-0.1340}$	$98000 \leq \text{Re} \leq 270000$	0.4
C1	$\zeta = 143.4 \text{ Re}^{-0.1570}$	$38000 \leq \text{Re} \leq 96000$	0.3
	$\zeta = 103.9 \text{ Re}^{-0.1290}$	$96000 \leq \text{Re} \leq 270000$	0.3
C1	$\zeta = 100.1 \text{ Re}^{-0.1243}$	$21000 \leq \text{Re} \leq 95000$	0.8
	$\zeta = 103.7 \text{ Re}^{-0.1284}$	$95000 \leq \text{Re} \leq 270000$	0.3
C1	$\zeta = 171.4 \text{ Re}^{-0.1789}$	$18000 \leq \text{Re} \leq 71000$	0.7
	$\zeta = 85.58 \text{ Re}^{-0.1168}$	$71000 \leq \text{Re} \leq 270000$	0.5
C1	$\zeta = 109.5 \text{ Re}^{-0.1422}$	$19000 \leq \text{Re} \leq 71000$	0.8
	$\zeta = 72.05 \text{ Re}^{-0.1037}$	$71000 \leq \text{Re} \leq 270000$	0.6
C1	$\zeta = 102.0 \text{ Re}^{-0.1375}$	$20000 \leq \text{Re} \leq 72000$	0.6
	$\zeta = 67.33 \text{ Re}^{-0.09981}$	$72000 \leq \text{Re} \leq 270000$	0.8
C1	$\zeta = 139.8 \text{ Re}^{-0.1504}$	$21000 \leq \text{Re} \leq 94000$	0.7
	$\zeta = 116.9 \text{ Re}^{-0.1355}$	$94000 \leq \text{Re} \leq 270000$	0.3
C1	$\zeta = 165.2 \text{ Re}^{-0.1682}$	$39000 \leq \text{Re} \leq 100000$	0.3
	$\zeta = 109.8 \text{ Re}^{-0.1327}$	$100000 \leq \text{Re} \leq 270000$	0.4
C2	$\zeta = 172.7 \text{ Re}^{-0.1623}$	$33000 \leq \text{Re} \leq 98000$	0.2
	$\zeta = 123.9 \text{ Re}^{-0.1334}$	$98000 \leq \text{Re} \leq 250000$	0.1
C2	$\zeta = 173.4 \text{ Re}^{-0.1678}$	$31000 \leq \text{Re} \leq 96000$	0.5
	$\zeta = 122.9 \text{ Re}^{-0.1376}$	$96000 \leq \text{Re} \leq 260000$	0.2
C2	$\zeta = 137.4 \text{ Re}^{-0.1427}$	$27000 \leq \text{Re} \leq 96000$	0.8
	$\zeta = 128.4 \text{ Re}^{-0.1375}$	$96000 \leq \text{Re} \leq 250000$	0.3
C2	$\zeta = 181.3 \text{ Re}^{-0.1695}$	$14000 \leq \text{Re} \leq 73000$	0.6
	$\zeta = 103.7 \text{ Re}^{-0.1197}$	$73000 \leq \text{Re} \leq 260000$	0.7
C2	$\zeta = 150.0 \text{ Re}^{-0.1516}$	$20000 \leq \text{Re} \leq 73000$	0.5
	$\zeta = 123.1 \text{ Re}^{-0.1344}$	$73000 \leq \text{Re} \leq 250000$	0.3
C2	$\zeta = 174.0 \text{ Re}^{-0.1620}$	$19000 \leq \text{Re} \leq 71000$	0.5
	$\zeta = 145.6 \text{ Re}^{-0.1466}$	$71000 \leq \text{Re} \leq 240000$	0.1
C2	$\zeta = 166.2 \text{ Re}^{-0.1578}$	$31000 \leq \text{Re} \leq 95000$	0.2
	$\zeta = 115.4 \text{ Re}^{-0.1262}$	$95000 \leq \text{Re} \leq 250000$	0.2
C2	$\zeta = 166.1 \text{ Re}^{-0.1590}$	$41000 \leq \text{Re} \leq 99000$	0.2
	$\zeta = 130.0 \text{ Re}^{-0.1378}$	$99000 \leq \text{Re} \leq 260000$	0.3
C3	$\zeta = 158.2 \text{ Re}^{-0.1462}$	$21000 \leq \text{Re} \leq 95000$	0.7
	$\zeta = 152.2 \text{ Re}^{-0.1436}$	$95000 \leq \text{Re} \leq 240000$	0.1

Table 4-2 Continued

Core Zone No.	Experimental Equation	Re No. Range	Standard Error (%)
C3	$\zeta = 131.3 \text{ Re}^{-0.1311}$	$24000 \leq \text{Re} \leq 94000$	0.9
	$\zeta = 129.0 \text{ Re}^{-0.1305}$	$94000 \leq \text{Re} \leq 240000$	0.3
C3	$\zeta = 176.8 \text{ Re}^{-0.1550}$	$21000 \leq \text{Re} \leq 95000$	0.5
	$\zeta = 141.6 \text{ Re}^{-0.1360}$	$95000 \leq \text{Re} \leq 240000$	0.2
C3	$\zeta = 179.7 \text{ Re}^{-0.1600}$	$20000 \leq \text{Re} \leq 71000$	0.6
	$\zeta = 136.9 \text{ Re}^{-0.1355}$	$71000 \leq \text{Re} \leq 230000$	0.4
C3	$\zeta = 178.1 \text{ Re}^{-0.1558}$	$20000 \leq \text{Re} \leq 72000$	0.7
	$\zeta = 129.4 \text{ Re}^{-0.1274}$	$72000 \leq \text{Re} \leq 230000$	0.5
C3	$\zeta = 215.2 \text{ Re}^{-0.1756}$	$20000 \leq \text{Re} \leq 72000$	0.5
	$\zeta = 123.1 \text{ Re}^{-0.1258}$	$72000 \leq \text{Re} \leq 240000$	0.3
C3	$\zeta = 198.7 \text{ Re}^{-0.1645}$	$27000 \leq \text{Re} \leq 96000$	0.6
	$\zeta = 140.8 \text{ Re}^{-0.1345}$	$96000 \leq \text{Re} \leq 240000$	0.2
C3	$\zeta = 167.5 \text{ Re}^{-0.1532}$	$25000 \leq \text{Re} \leq 94000$	0.4
	$\zeta = 124.6 \text{ Re}^{-0.1275}$	$94000 \leq \text{Re} \leq 240000$	0.3
C4	$\zeta = 237.0 \text{ Re}^{-0.1671}$	$27000 \leq \text{Re} \leq 93000$	0.5
	$\zeta = 191.6 \text{ Re}^{-0.1489}$	$93000 \leq \text{Re} \leq 210000$	0.1
C4	$\zeta = 252.6 \text{ Re}^{-0.1728}$	$21000 \leq \text{Re} \leq 93000$	0.6
	$\zeta = 185.4 \text{ Re}^{-0.1460}$	$93000 \leq \text{Re} \leq 210000$	0.3
C4	$\zeta = 247.4 \text{ Re}^{-0.1718}$	$23000 \leq \text{Re} \leq 92000$	0.3
	$\zeta = 178.4 \text{ Re}^{-0.1434}$	$92000 \leq \text{Re} \leq 210000$	0.2
C4	$\zeta = 290.9 \text{ Re}^{-0.1879}$	$20000 \leq \text{Re} \leq 71000$	0.5
	$\zeta = 174.6 \text{ Re}^{-0.1418}$	$71000 \leq \text{Re} \leq 220000$	0.5
C4	$\zeta = 257.0 \text{ Re}^{-0.1740}$	$18000 \leq \text{Re} \leq 71000$	0.5
	$\zeta = 185.4 \text{ Re}^{-0.1451}$	$71000 \leq \text{Re} \leq 220000$	0.2
C4	$\zeta = 279.9 \text{ Re}^{-0.1803}$	$20000 \leq \text{Re} \leq 74000$	0.2
	$\zeta = 268.0 \text{ Re}^{-0.1760}$	$74000 \leq \text{Re} \leq 230000$	1.1
C4	$\zeta = 280.8 \text{ Re}^{-0.1816}$	$39000 \leq \text{Re} \leq 100000$	0.3
	$\zeta = 162.6 \text{ Re}^{-0.1340}$	$100000 \leq \text{Re} \leq 230000$	0.3
C4	$\zeta = 265.9 \text{ Re}^{-0.1765}$	$31000 \leq \text{Re} \leq 100000$	0.3
	$\zeta = 174.0 \text{ Re}^{-0.1393}$	$100000 \leq \text{Re} \leq 230000$	0.3
C5	$\zeta = 337.1 \text{ Re}^{-0.1852}$	$25000 \leq \text{Re} \leq 96000$	0.4
	$\zeta = 291.6 \text{ Re}^{-0.1731}$	$96000 \leq \text{Re} \leq 210000$	0.3
C5	$\zeta = 377.4 \text{ Re}^{-0.1946}$	$24000 \leq \text{Re} \leq 93000$	0.5
	$\zeta = 313.9 \text{ Re}^{-0.1789}$	$93000 \leq \text{Re} \leq 210000$	0.3

Table 4-2 Continued

Core Zone No.	Experimental Equation	Re No. Range	Standard Error (%)
C5	$\zeta = 380.7 \text{ Re}^{-0.1957}$	$26000 \leq \text{Re} \leq 94000$	0.5
	$\zeta = 278.4 \text{ Re}^{-0.1689}$	$94000 \leq \text{Re} \leq 210000$	0.2
C5	$\zeta = 421.6 \text{ Re}^{-0.2083}$	$18000 \leq \text{Re} \leq 72000$	0.5
	$\zeta = 297.6 \text{ Re}^{-0.1773}$	$72000 \leq \text{Re} \leq 220000$	0.3
C5	$\zeta = 361.4 \text{ Re}^{-0.1959}$	$19000 \leq \text{Re} \leq 73000$	0.3
	$\zeta = 212.4 \text{ Re}^{-0.1485}$	$73000 \leq \text{Re} \leq 210000$	0.2
C5	$\zeta = 380.1 \text{ Re}^{-0.1960}$	$19000 \leq \text{Re} \leq 72000$	0.4
	$\zeta = 313.6 \text{ Re}^{-0.1783}$	$72000 \leq \text{Re} \leq 200000$	1.0
C5	$\zeta = 461.0 \text{ Re}^{-0.2127}$	$41000 \leq \text{Re} \leq 99000$	0.3
	$\zeta = 304.6 \text{ Re}^{-0.1764}$	$99000 \leq \text{Re} \leq 210000$	0.2
C5	$\zeta = 400.4 \text{ Re}^{-0.1992}$	$29000 \leq \text{Re} \leq 95000$	0.3
	$\zeta = 284.5 \text{ Re}^{-0.1695}$	$95000 \leq \text{Re} \leq 200000$	0.2

Table 4-3 Experimental Equations of the Outer-Core Subassemblies

Core Zone No.	Experimental Equation	Re No. Range	Standard Error (%)
C6	$\zeta = 158.0 \text{ Re}^{-0.1613}$	$29000 \leq \text{Re} \leq 94000$	0.4
	$\zeta = 122.5 \text{ Re}^{-0.1394}$	$94000 \leq \text{Re} \leq 250000$	0.3
C6	$\zeta = 140.9 \text{ Re}^{-0.1482}$	$24000 \leq \text{Re} \leq 95000$	0.5
	$\zeta = 106.6 \text{ Re}^{-0.1241}$	$95000 \leq \text{Re} \leq 260000$	0.4
C6	$\zeta = 134.7 \text{ Re}^{-0.1416}$	$29000 \leq \text{Re} \leq 94000$	0.5
	$\zeta = 106.2 \text{ Re}^{-0.1210}$	$94000 \leq \text{Re} \leq 250000$	0.3
C6	$\zeta = 179.5 \text{ Re}^{-0.1700}$	$19000 \leq \text{Re} \leq 76000$	0.3
	$\zeta = 122.2 \text{ Re}^{-0.1360}$	$76000 \leq \text{Re} \leq 280000$	0.3
C6	$\zeta = 132.9 \text{ Re}^{-0.1438}$	$19000 \leq \text{Re} \leq 72000$	0.8
	$\zeta = 127.6 \text{ Re}^{-0.1403}$	$72000 \leq \text{Re} \leq 250000$	0.8
C6	$\zeta = 155.8 \text{ Re}^{-0.1559}$	$19000 \leq \text{Re} \leq 69000$	0.5
	$\zeta = 132.3 \text{ Re}^{-0.1416}$	$69000 \leq \text{Re} \leq 230000$	0.2
C6	$\zeta = 144.5 \text{ Re}^{-0.1532}$	$27000 \leq \text{Re} \leq 81000$	0.3
	$\zeta = 122.1 \text{ Re}^{-0.1386}$	$81000 \leq \text{Re} \leq 250000$	0.3
C6	$\zeta = 159.1 \text{ Re}^{-0.1588}$	$33000 \leq \text{Re} \leq 92000$	0.2
	$\zeta = 128.7 \text{ Re}^{-0.1404}$	$92000 \leq \text{Re} \leq 250000$	0.3
C7	$\zeta = 324.8 \text{ Re}^{-0.1889}$	$26000 \leq \text{Re} \leq 99000$	0.6
	$\zeta = 275.3 \text{ Re}^{-0.1749}$	$99000 \leq \text{Re} \leq 210000$	0.2
C7	$\zeta = 328.7 \text{ Re}^{-0.1908}$	$28000 \leq \text{Re} \leq 95000$	0.6
	$\zeta = 280.4 \text{ Re}^{-0.1772}$	$95000 \leq \text{Re} \leq 220000$	0.1
C7	$\zeta = 331.5 \text{ Re}^{-0.1939}$	$24000 \leq \text{Re} \leq 94000$	0.5
	$\zeta = 269.0 \text{ Re}^{-0.1761}$	$94000 \leq \text{Re} \leq 220000$	0.3
C7	$\zeta = 284.9 \text{ Re}^{-0.1828}$	$20000 \leq \text{Re} \leq 72000$	0.3
	$\zeta = 190.5 \text{ Re}^{-0.1473}$	$72000 \leq \text{Re} \leq 220000$	0.4
C7	$\zeta = 298.8 \text{ Re}^{-0.1805}$	$25000 \leq \text{Re} \leq 73000$	0.5
	$\zeta = 231.0 \text{ Re}^{-0.1577}$	$73000 \leq \text{Re} \leq 210000$	0.3
C7	$\zeta = 216.1 \text{ Re}^{-0.1557}$	$20000 \leq \text{Re} \leq 76000$	0.6
	$\zeta = 223.5 \text{ Re}^{-0.1592}$	$76000 \leq \text{Re} \leq 210000$	0.4
C7	$\zeta = 360.6 \text{ Re}^{-0.2014}$	$30000 \leq \text{Re} \leq 94000$	0.4
	$\zeta = 276.2 \text{ Re}^{-0.1786}$	$94000 \leq \text{Re} \leq 210000$	0.3
C7	$\zeta = 409.7 \text{ Re}^{-0.2135}$	$39000 \leq \text{Re} \leq 100000$	0.4
	$\zeta = 264.7 \text{ Re}^{-0.1752}$	$100000 \leq \text{Re} \leq 230000$	0.1
C8	$\zeta = 419.2 \text{ Re}^{-0.1956}$	$25000 \leq \text{Re} \leq 95000$	0.5
	$\zeta = 286.9 \text{ Re}^{-0.1630}$	$95000 \leq \text{Re} \leq 200000$	0.2

Table 4-3 Continued

Core Zone No.	Experimental Equation	Re No. Range	Standard Error (%)
C8	$\zeta = 457.0 \text{ Re}^{-0.2036}$	$27000 \leq \text{Re} \leq 93000$	0.3
	$\zeta = 333.9 \text{ Re}^{-0.1763}$	$93000 \leq \text{Re} \leq 190000$	0.3
C8	$\zeta = 436.3 \text{ Re}^{-0.1976}$	$26000 \leq \text{Re} \leq 110000$	0.5
	$\zeta = 277.7 \text{ Re}^{-0.1587}$	$110000 \leq \text{Re} \leq 190000$	0.2
C8	$\zeta = 492.6 \text{ Re}^{-0.2119}$	$20000 \leq \text{Re} \leq 72000$	0.3
	$\zeta = 336.7 \text{ Re}^{-0.1776}$	$72000 \leq \text{Re} \leq 190000$	0.2
C8	$\zeta = 520.6 \text{ Re}^{-0.2165}$	$19000 \leq \text{Re} \leq 70000$	0.3
	$\zeta = 333.6 \text{ Re}^{-0.1763}$	$70000 \leq \text{Re} \leq 190000$	0.3
C8	$\zeta = 474.4 \text{ Re}^{-0.2090}$	$19000 \leq \text{Re} \leq 71000$	0.3
	$\zeta = 332.4 \text{ Re}^{-0.1771}$	$71000 \leq \text{Re} \leq 200000$	0.2
C8	$\zeta = 461.6 \text{ Re}^{-0.2050}$	$26000 \leq \text{Re} \leq 97000$	0.4
	$\zeta = 345.7 \text{ Re}^{-0.1802}$	$97000 \leq \text{Re} \leq 200000$	0.3
C8	$\zeta = 463.9 \text{ Re}^{-0.2093}$	$29000 \leq \text{Re} \leq 98000$	0.3
	$\zeta = 323.3 \text{ Re}^{-0.1778}$	$98000 \leq \text{Re} \leq 200000$	0.2

Table 4-4 Experimental Equation of the Core Subassemblies (Average)

Core Zone No.	Experimental Equation	Re No. Range	Standard Error (%)
C1	$\zeta = 130.46 \text{ Re}^{-0.14889}$	Re < 95000	0.78
	$\zeta = 101.03 \text{ Re}^{-0.12669}$	Re > 95000	0.50
C2	$\zeta = 161.41 \text{ Re}^{-0.15735}$	Re < 95000	0.43
	$\zeta = 124.17 \text{ Re}^{-0.13456}$	Re > 95000	0.36
C3	$\zeta = 161.79 \text{ Re}^{-0.14846}$	Re < 95000	0.29
	$\zeta = 138.74 \text{ Re}^{-0.13548}$	Re > 95000	0.29
C4	$\zeta = 252.59 \text{ Re}^{-0.17295}$	Re < 95000	0.17
	$\zeta = 186.19 \text{ Re}^{-0.14638}$	Re > 95000	0.13
C5	$\zeta = 370.45 \text{ Re}^{-0.19358}$	Re < 95000	0.19
	$\zeta = 291.46 \text{ Re}^{-0.17294}$	Re > 95000	0.13
C6	$\zeta = 145.47 \text{ Re}^{-0.15132}$	Re < 95000	0.74
	$\zeta = 113.36 \text{ Re}^{-0.12965}$	Re > 95000	0.86
C7	$\zeta = 321.26 \text{ Re}^{-0.18978}$	Re < 95000	0.42
	$\zeta = 261.37 \text{ Re}^{-0.17203}$	Re > 95000	0.40
C8	$\zeta = 444.72 \text{ Re}^{-0.20097}$	Re < 95000	0.32
	$\zeta = 304.63 \text{ Re}^{-0.16815}$	Re > 95000	0.30

Table 4-5 Experimental Equations of the Blanket Subassemblies

Blanket Zone No.	Experimental Equation	Re No. Range	Standard Error (%)
B1	$\zeta = 48.32 \text{ Re}^{-0.03321}$	$31000 \leq \text{Re} \leq 74000$	1.0
B1	$\zeta = 48.30 \text{ Re}^{-0.03358}$	$30000 \leq \text{Re} \leq 71000$	1.0
B1	$\zeta = 34.19$	$31000 \leq \text{Re} \leq 72000$	1.6
B1	$\zeta = 55.34 \text{ Re}^{-0.04933}$	$30000 \leq \text{Re} \leq 71000$	1.2
B1	$\zeta = 61.39 \text{ Re}^{-0.05858}$	$28000 \leq \text{Re} \leq 69000$	1.0
B1	$\zeta = 90.51 \text{ Re}^{-0.07492}$	$30000 \leq \text{Re} \leq 72000$	0.9
B1	$\zeta = 52.93 \text{ Re}^{-0.04396}$	$23000 \leq \text{Re} \leq 72000$	0.8
B1	$\zeta = 56.00 \text{ Re}^{-0.04962}$	$23000 \leq \text{Re} \leq 71000$	1.0
B2	$\zeta = 42.68 \text{ Re}^{-0.02921}$	$20000 \leq \text{Re} \leq 51000$	1.3
B2	$\zeta = 55.65 \text{ Re}^{-0.05519}$	$18000 \leq \text{Re} \leq 50000$	0.8
B2	$\zeta = 48.38 \text{ Re}^{-0.04167}$	$20000 \leq \text{Re} \leq 53000$	0.7
B2	$\zeta = 38.76 \text{ Re}^{-0.02768}$	$13000 \leq \text{Re} \leq 50000$	3.7
B2	$\zeta = 54.05 \text{ Re}^{-0.05019}$	$13000 \leq \text{Re} \leq 50000$	0.9
B2	$\zeta = 49.50 \text{ Re}^{-0.03683}$	$13000 \leq \text{Re} \leq 51000$	0.9
B2	$\zeta = 112.7 \text{ Re}^{-0.1161}$	$9000 \leq \text{Re} \leq 52000$	2.1
B2	$\zeta = 69.76 \text{ Re}^{-0.07287}$	$8900 \leq \text{Re} \leq 52000$	0.8
B22	$\zeta = 38.18 \text{ Re}^{-0.01479}$	$15000 \leq \text{Re} \leq 50000$	1.4
B22	$\zeta = 32.44$	$15000 \leq \text{Re} \leq 51000$	1.5
B22	$\zeta = 34.58$	$14000 \leq \text{Re} \leq 51000$	2.7
B3	$\zeta = 624.1 \text{ Re}^{0.01292}$	$3000 \leq \text{Re} \leq 14000$	0.9
B3	$\zeta = 578.8 \text{ Re}^{0.02047}$	$4500 \leq \text{Re} \leq 15000$	0.5
B3	$\zeta = 570.0 \text{ Re}^{0.02270}$	$3200 \leq \text{Re} \leq 14000$	0.5
B3	$\zeta = 618.6 \text{ Re}^{0.01013}$	$1700 \leq \text{Re} \leq 15000$	0.9
B3	$\zeta = 712.2 \text{ Re}^{-0.007070}$	$4600 \leq \text{Re} \leq 14000$	0.6
B3	$\zeta = 591.2 \text{ Re}^{0.02134}$	$1900 \leq \text{Re} \leq 14000$	3.3
B3	$\zeta = 563.9 \text{ Re}^{0.01977}$	$4500 \leq \text{Re} \leq 15000$	1.7
B3	$\zeta = 493.1 \text{ Re}^{0.02701}$	$4500 \leq \text{Re} \leq 14000$	1.2

Table 4-6 Experimental Equations of the Control Rods

Control Rod No.	Experimental Equation	Re No. Range	Standard Error (%)
CR1	$\zeta = 9.441 \text{ Re}^{-0.1011}$	$17000 \leq \text{Re} \leq 65000$	1.2
	$\zeta = 5.033 \text{ Re}^{-0.04410}$	$65000 \leq \text{Re} \leq 170000$	0.3
CR1	$\zeta = 9.956 \text{ Re}^{-0.1080}$	$18000 \leq \text{Re} \leq 62000$	1.2
	$\zeta = 5.787 \text{ Re}^{-0.05867}$	$62000 \leq \text{Re} \leq 170000$	0.3
CR1	$\zeta = 8.311 \text{ Re}^{-0.09204}$	$19000 \leq \text{Re} \leq 63000$	1.0
	$\zeta = 5.782 \text{ Re}^{-0.05866}$	$63000 \leq \text{Re} \leq 170000$	0.3
CR2	$\zeta = 8.185 \text{ Re}^{-0.09192}$	$21000 \leq \text{Re} \leq 68000$	0.6
	$\zeta = 6.340 \text{ Re}^{-0.06891}$	$68000 \leq \text{Re} \leq 180000$	0.2
CR2	$\zeta = 7.102 \text{ Re}^{-0.07910}$	$18000 \leq \text{Re} \leq 65000$	0.9
	$\zeta = 6.040 \text{ Re}^{-0.06457}$	$65000 \leq \text{Re} \leq 170000$	0.1
CR2	$\zeta = 6.719 \text{ Re}^{-0.07318}$	$19000 \leq \text{Re} \leq 66000$	1.5
	$\zeta = 5.962 \text{ Re}^{-0.06250}$	$66000 \leq \text{Re} \leq 170000$	0.2
CR	$\zeta = 16.11 \text{ Re}^{-0.1521}$	$19000 \leq \text{Re} \leq 88000$	1.1
	$\zeta = 6.710 \text{ Re}^{-0.07452}$	$88000 \leq \text{Re} \leq 180000$	0.3
CR	$\zeta = 19.84 \text{ Re}^{-0.1713}$	$21000 \leq \text{Re} \leq 65000$	0.6
	$\zeta = 7.338 \text{ Re}^{-0.08197}$	$90000 \leq \text{Re} \leq 180000$	0.2
CR	$\zeta = 19.88 \text{ Re}^{-0.1698}$	$20000 \leq \text{Re} \leq 85000$	1.1
	$\zeta = 6.645 \text{ Re}^{-0.07248}$	$85000 \leq \text{Re} \leq 180000$	0.4
CR	$\zeta = 9.991 \text{ Re}^{-0.1044}$	$18000 \leq \text{Re} \leq 64000$	1.4
	$\zeta = 7.044 \text{ Re}^{-0.07247}$	$64000 \leq \text{Re} \leq 180000$	0.3
CR	$\zeta = 7.988 \text{ Re}^{-0.08672}$	$18000 \leq \text{Re} \leq 66000$	0.6
	$\zeta = 7.212 \text{ Re}^{-0.07760}$	$66000 \leq \text{Re} \leq 180000$	0.2

Table 4-7 Experimental Equation of the Blanket Subassemblies and the Control Rods (Average)

Zone No.	Experimental Equation	Re No. Range	Standard Error (%)
B1	$\zeta = 44.689 \text{ Re}^{-0.025690}$	-	0.36
B2	$\zeta = 48.005 \text{ Re}^{-0.040081}$	-	0.33
B3	$\zeta = 592.52 \text{ Re}^{-0.016629}$	-	0.82
*1 CR	$\zeta = 9.5097 \text{ Re}^{-0.10413}$	Re < 70000	0.77
	$\zeta = 6.1043 \text{ Re}^{-0.064161}$	Re > 70000	0.43
*2 CR	$\zeta = 9.5581 \text{ Re}^{-0.10398}$	Re < 70000	1.09
	$\zeta = 6.1909 \text{ Re}^{-0.064909}$	Re > 70000	0.50

*1: Coarse and Fine Control Rods

*2: Backup Control Rods

Table 4-8 Experimental Equations of the Other Core Elements

Element No.	Experimental Equation	Re No. Range	Standard Error (%)
GC-1	$\zeta = 62.75 \text{ Re}^{-0.01669}$	$23000 \leq \text{Re} \leq 74000$	3.8
GC-2	$\zeta = 29.19 \text{ Re}^{0.05321}$	$23000 \leq \text{Re} \leq 77000$	0.6
GC-3	$\zeta = 85.39 \text{ Re}^{-0.04416}$	$20000 \leq \text{Re} \leq 73000$	2.6
GC-4	$\zeta = 52.37$	$22000 \leq \text{Re} \leq 76000$	3.3
NH-1	$\zeta = 5038 \text{ Re}^{-0.04440}$	$1400 \leq \text{Re} \leq 4400$	0.4
NH-2	$\zeta = 3584 \text{ Re}^{0.009614}$	$1300 \leq \text{Re} \leq 4600$	0.7
NH-3	$\zeta = 4610 \text{ Re}^{-0.03242}$	$1600 \leq \text{Re} \leq 4900$	1.4
NI-1	$\zeta = 22082 \text{ Re}^{-0.02989}$	$940 \leq \text{Re} \leq 2700$	1.3
NI-2	$\zeta = 19463$	$960 \leq \text{Re} \leq 2900$	1.5
NI-3	$\zeta = 20539$	$1400 \leq \text{Re} \leq 2800$	1.2
N1-1	$\zeta = 20.91 \text{ Re}^{0.004234}$	$12000 \leq \text{Re} \leq 150000$	0.7
N1-2	$\zeta = 24.12 \text{ Re}^{-0.005175}$	$31000 \leq \text{Re} \leq 150000$	0.4
N1-3	$\zeta = 21.53$	$45000 \leq \text{Re} \leq 150000$	0.4
N2-1	$\zeta = 24237 \text{ Re}^{-0.03465}$	$3700 \leq \text{Re} \leq 5000$	0.0
N2-3	$\zeta = 30353 \text{ Re}^{-0.05597}$	$1600 \leq \text{Re} \leq 4000$	0.2
N2-4	$\zeta = 18807$	$2300 \leq \text{Re} \leq 4700$	6.3
NK-1	$\zeta = 49002 \text{ Re}^{-0.06606}$	$1300 \leq \text{Re} \leq 3300$	0.4
NK-2	$\zeta = 77580 \text{ Re}^{-0.1116}$	$1200 \leq \text{Re} \leq 3500$	1.4
NK-3	$\zeta = 63041 \text{ Re}^{-0.09147}$	$2800 \leq \text{Re} \leq 3500$	0.0

Table 4-9 Experimental Equations of the Other Core Elements (Average)

Element No.	Experimental Equation	Re No. Range	Standard Error (%)
GC	$\zeta = 52.70$	$20000 \leq Re \leq 77000$	3.5
NH	$\zeta = 4391 Re^{-0.02342}$	$1300 \leq Re \leq 4900$	4.3
NI	$\zeta = 18832$	$940 \leq Re \leq 2900$	7.2
N1	$\zeta = 21.98$	$12000 \leq Re \leq 150000$	2.4
N2	$\zeta = 18826$	$1600 \leq Re \leq 5000$	4.3
NK	$\zeta = 80484 Re^{-0.1239}$	$1200 \leq Re \leq 3500$	5.8

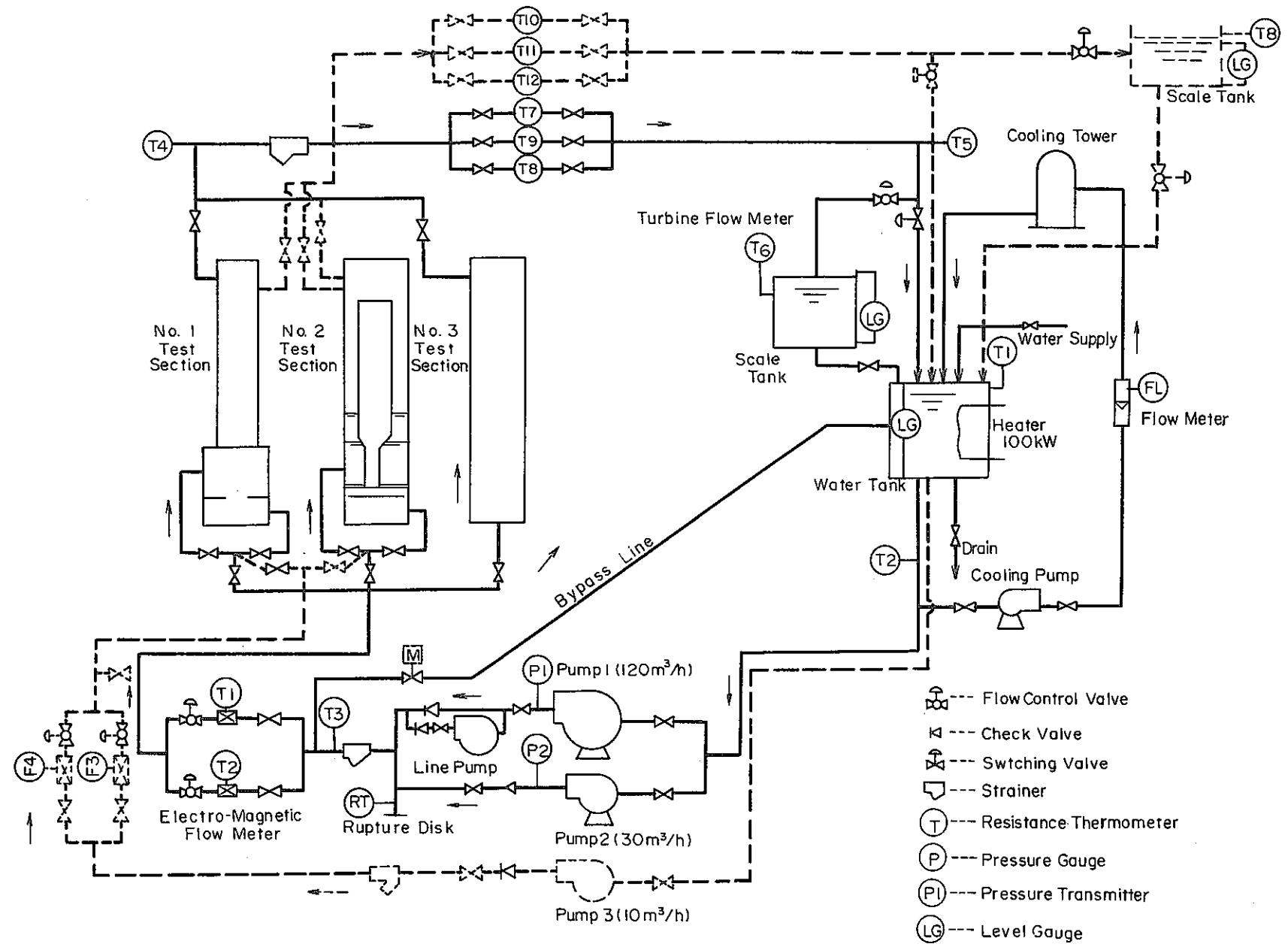
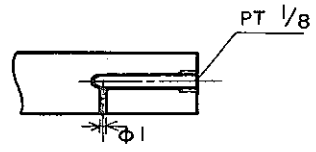
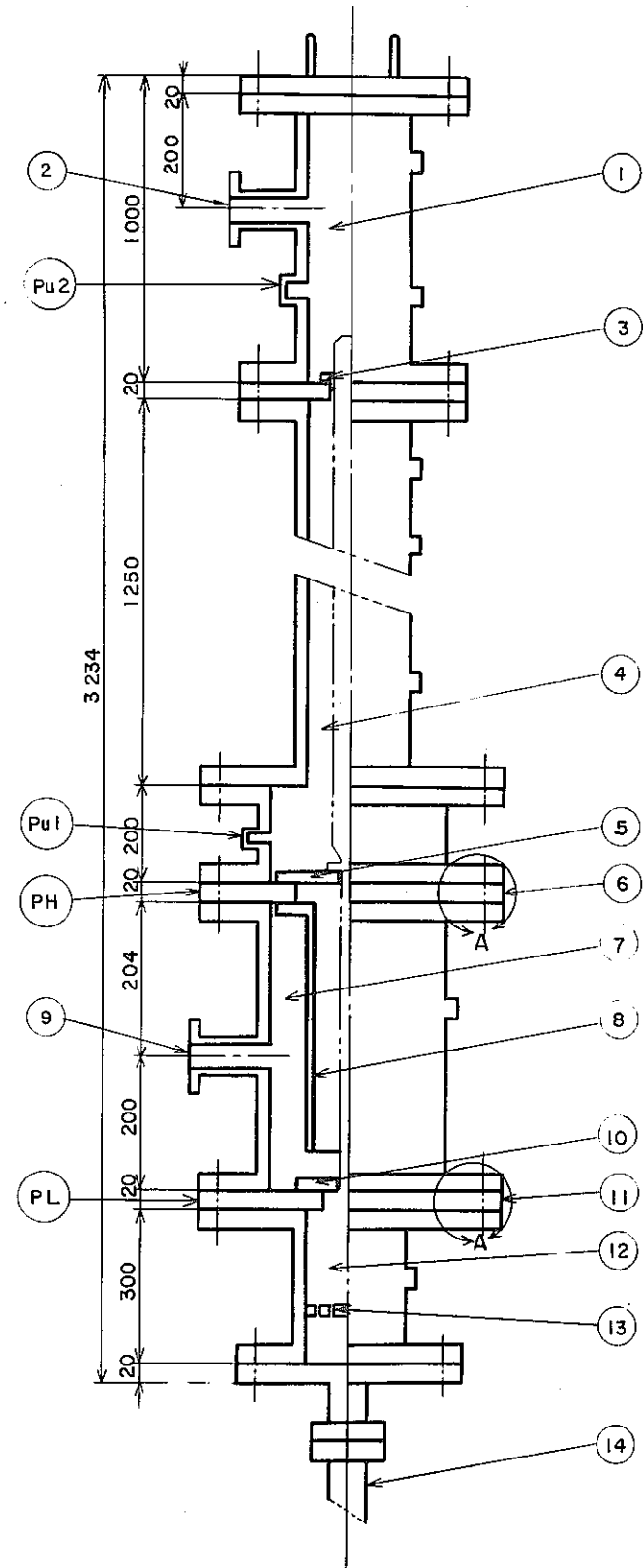


Fig. 2-1 Schematic of the Water Test Loop



No.	Item
1	Upper Plenum
2	Outlet Nozzle
3	Fuel Subassembly Holder
4	Middle Plenum
5	Upper Adapter
6	Upper Support Plate
7	High Pressure Plenum
8	Baffle Cylinder
9	Inlet Nozzle
10	Lower Adapter
11	Lower Support Plate
12	Low Pressure Plenum
13	Perforated Plate
14	Lower Inlet Nozzle

PH, PL, Pu1, Pu2 : Pressure Tap

(unit : mm)

Fig. 2-2 Overview of the Test Section

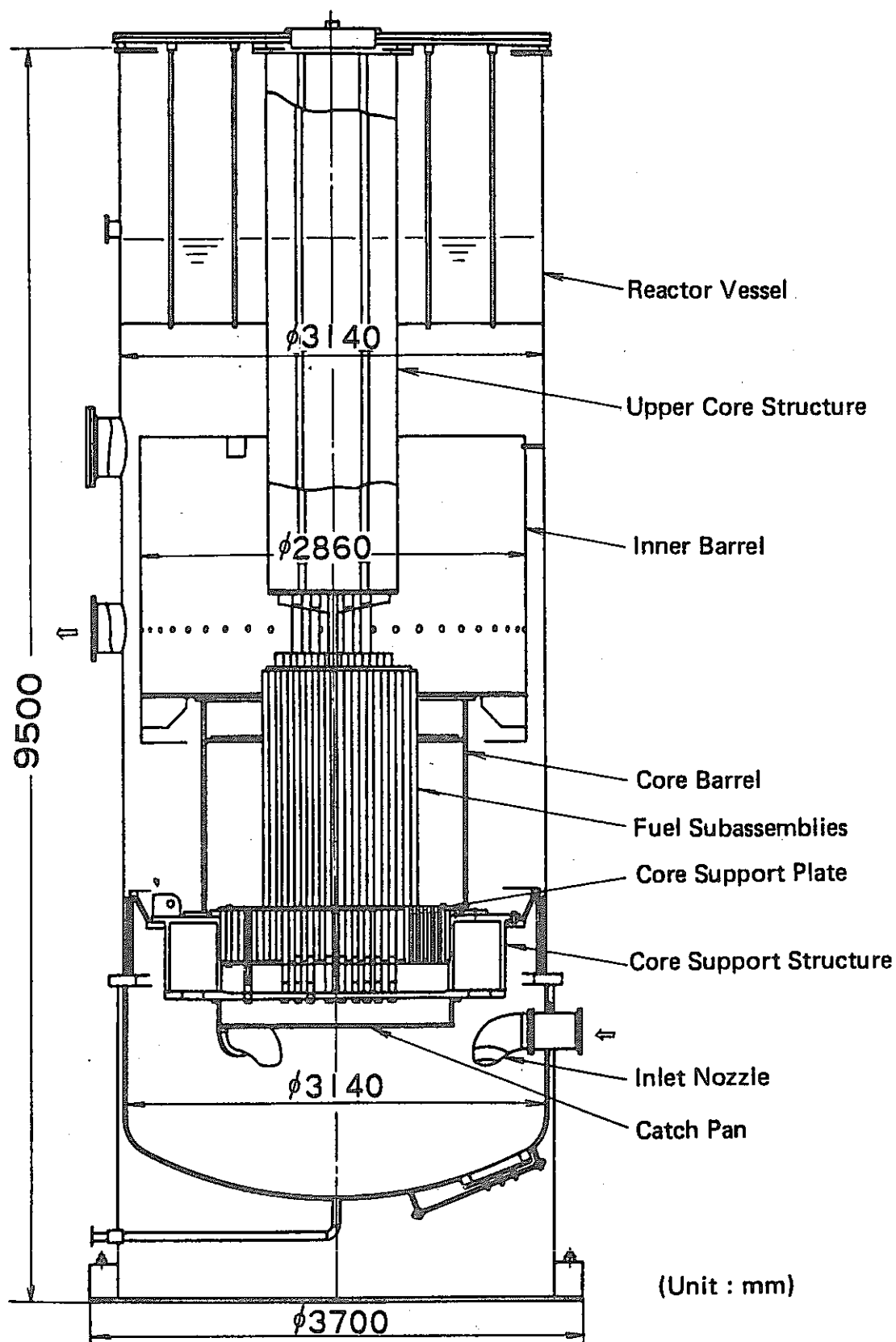
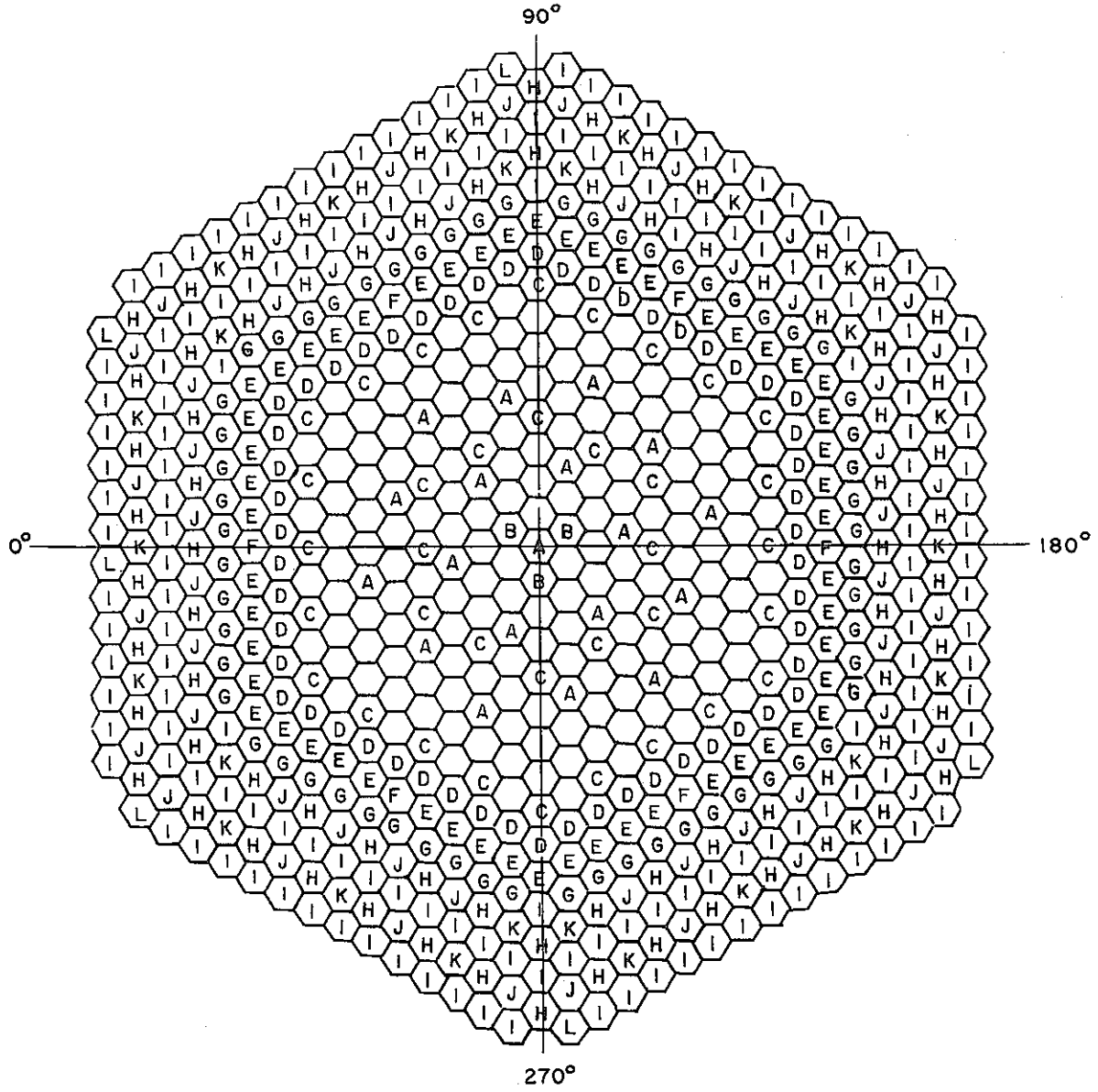
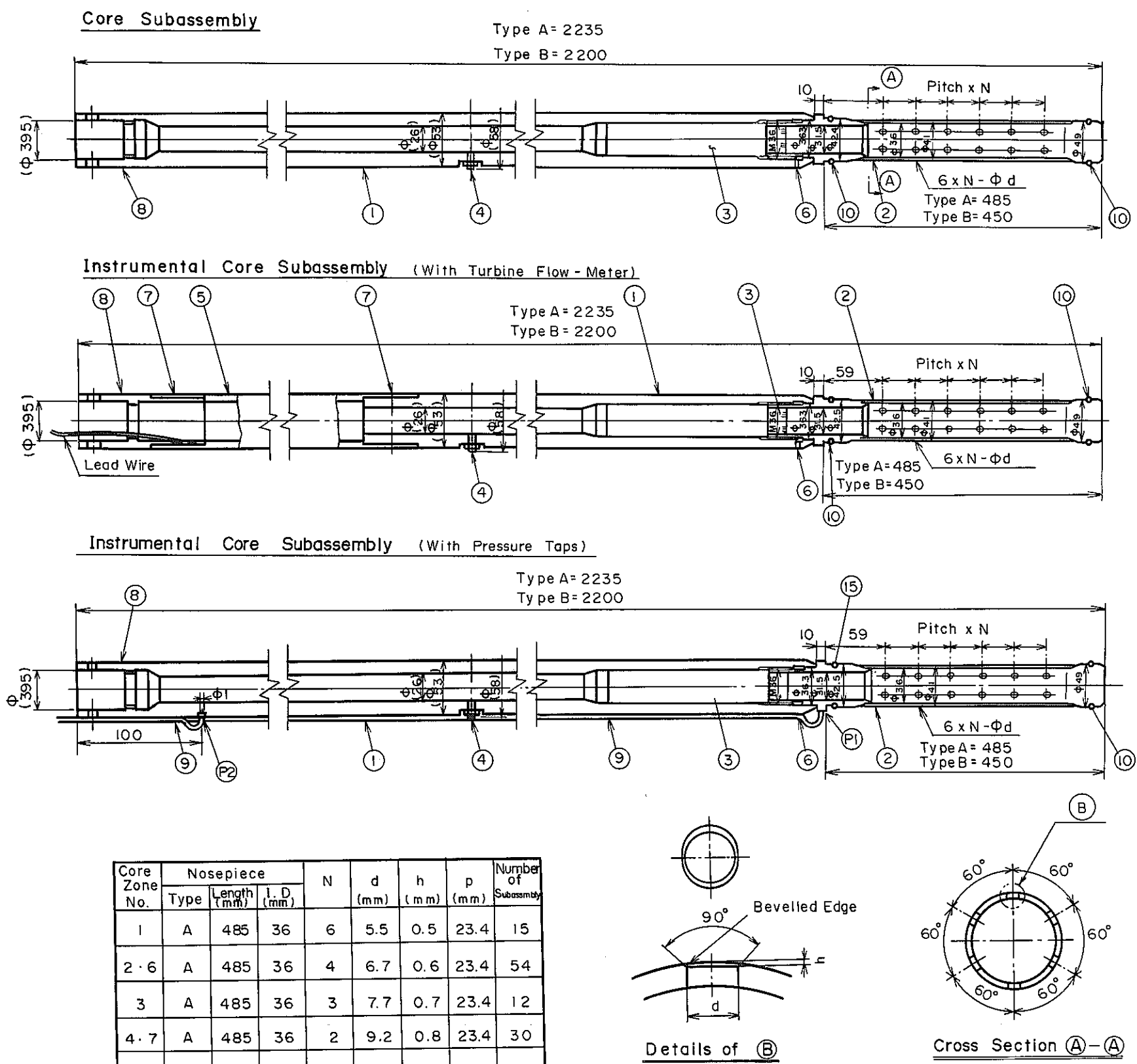


Fig. 3-1 1/2 Scale Water Test Model of Monju Reactor



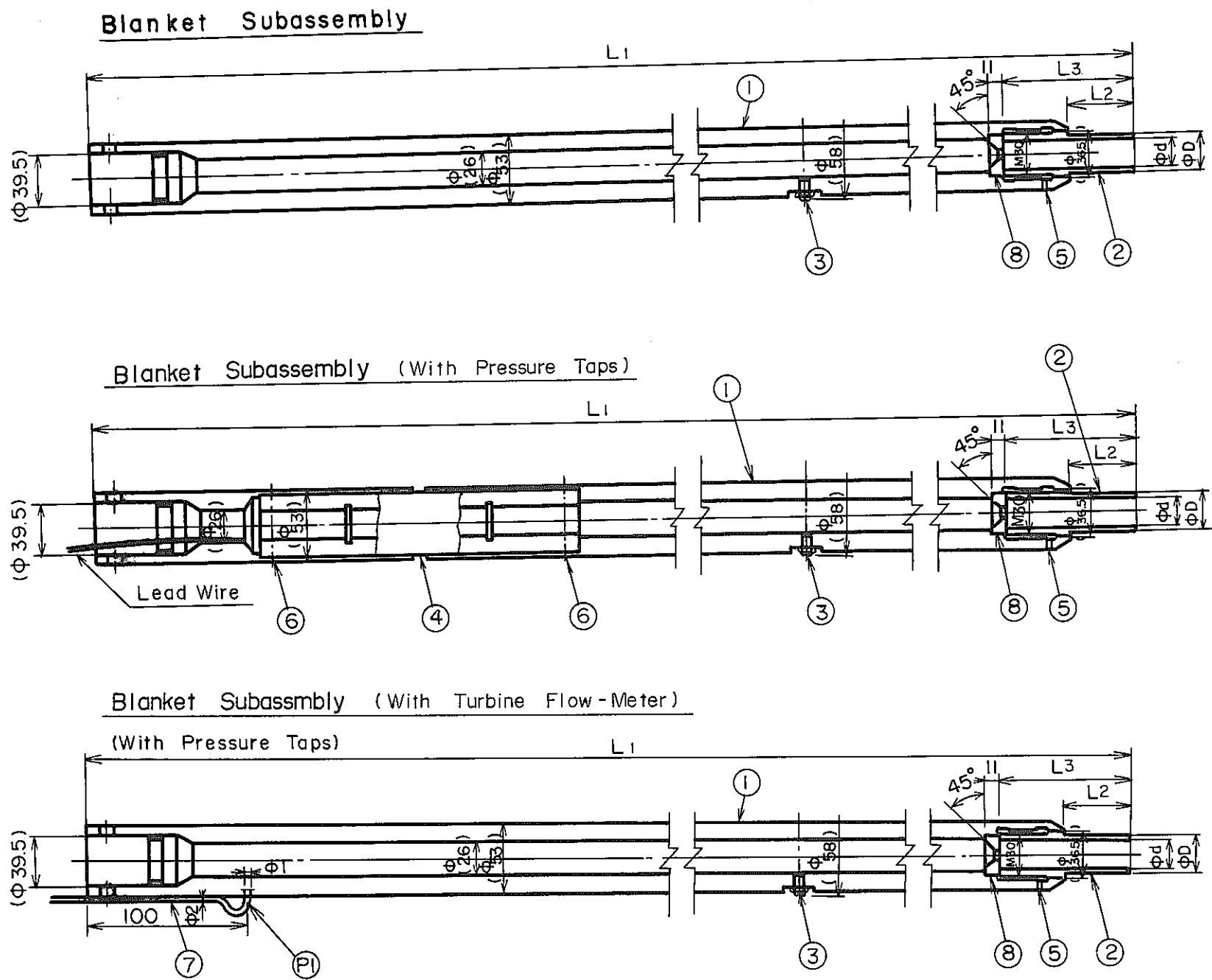
Symbol	Zone	Number of Connecting Tube
A	Control Rod	19
B	Support Rod	3
C	Decompression Device	36
D	Blanket (I)	54
E	Blanket (II)	54
F		6
G	Blanket (III)	60
H	Neutron Shield	78
I		160
J	Flow Control Device (a)	52
K	Flow Control Device (b)	26
L	Instrumental Tube	8

Fig. 3-2 Arrangement of Connecting Tubes in the Reactor Model.



No.	Name
1	Core Subassembly
2	Nosepiece
3	Pressure Loss Element
4	Spacer Rod
5	Turbine Flow - Meter
6	Rock Nut
7	Dished Screw
8	Handling Head
9	Pressure Tube
10	O - Ring

Fig. 3-3 Core Subassemblies



Zone No.	Nosepiece		L1	L2	L3	Number of S/A
	d	D				
1	22	30.4	1794	44	92	54
3	16	21.9	1800	50	98	60
2						54
22						6

No.	Name
1	Blanket Subassembly
2	Nosepiece
3	Spacer Rod
4	Turbine Flow-Meter
5	Rock Nut
6	Dished Screw
7	Pressure Tube
8	Flow Control Orifice

Fig. 3-4(a) Blanket Subassemblies

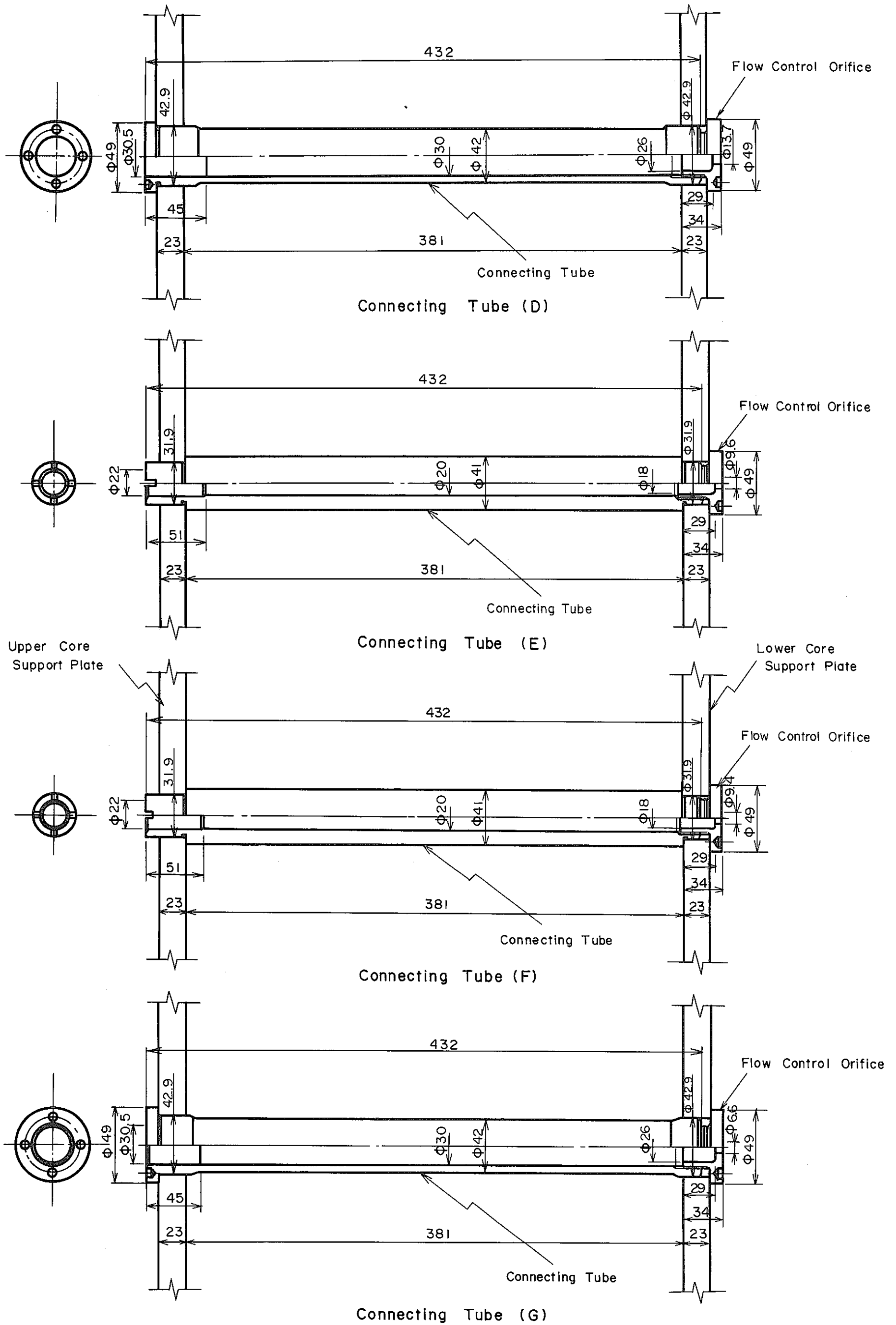
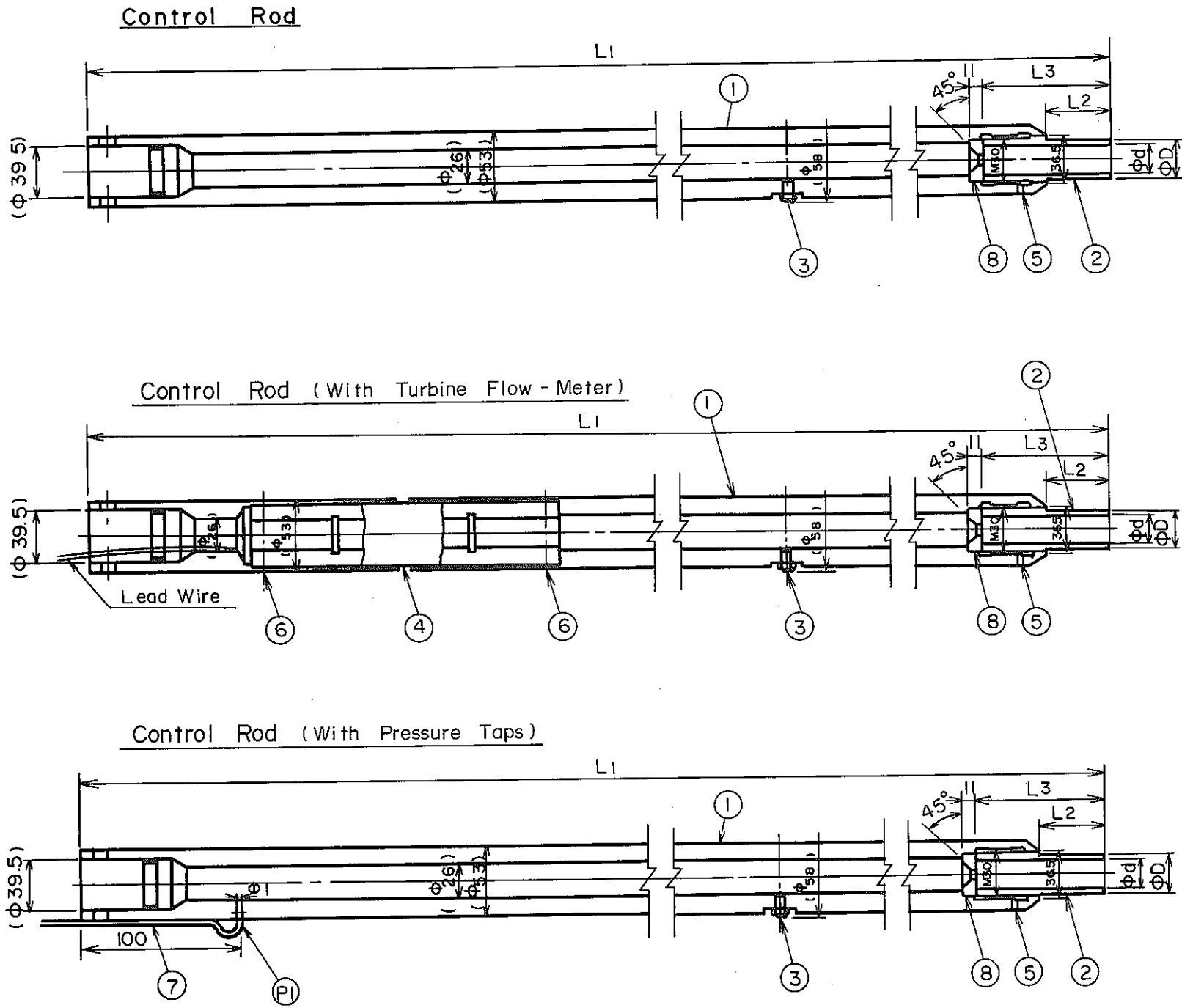


Fig. 3-4(b) Connecting Tube and Flow Control Orifice



Zone	Nosepiece		L1	L2	L3	Number of Subassembly
	d	D				
C R	16.5	21.9	1800	50	98	19

No.	Name
1	Control Rod
2	Nosepiece
3	Spacer Rod
4	Turbine Flow-Meter
5	Rock Nut
6	Dished Screw
7	Pressure Tube
8	Flow Control Orifice

Fig. 3-5 Control Rods

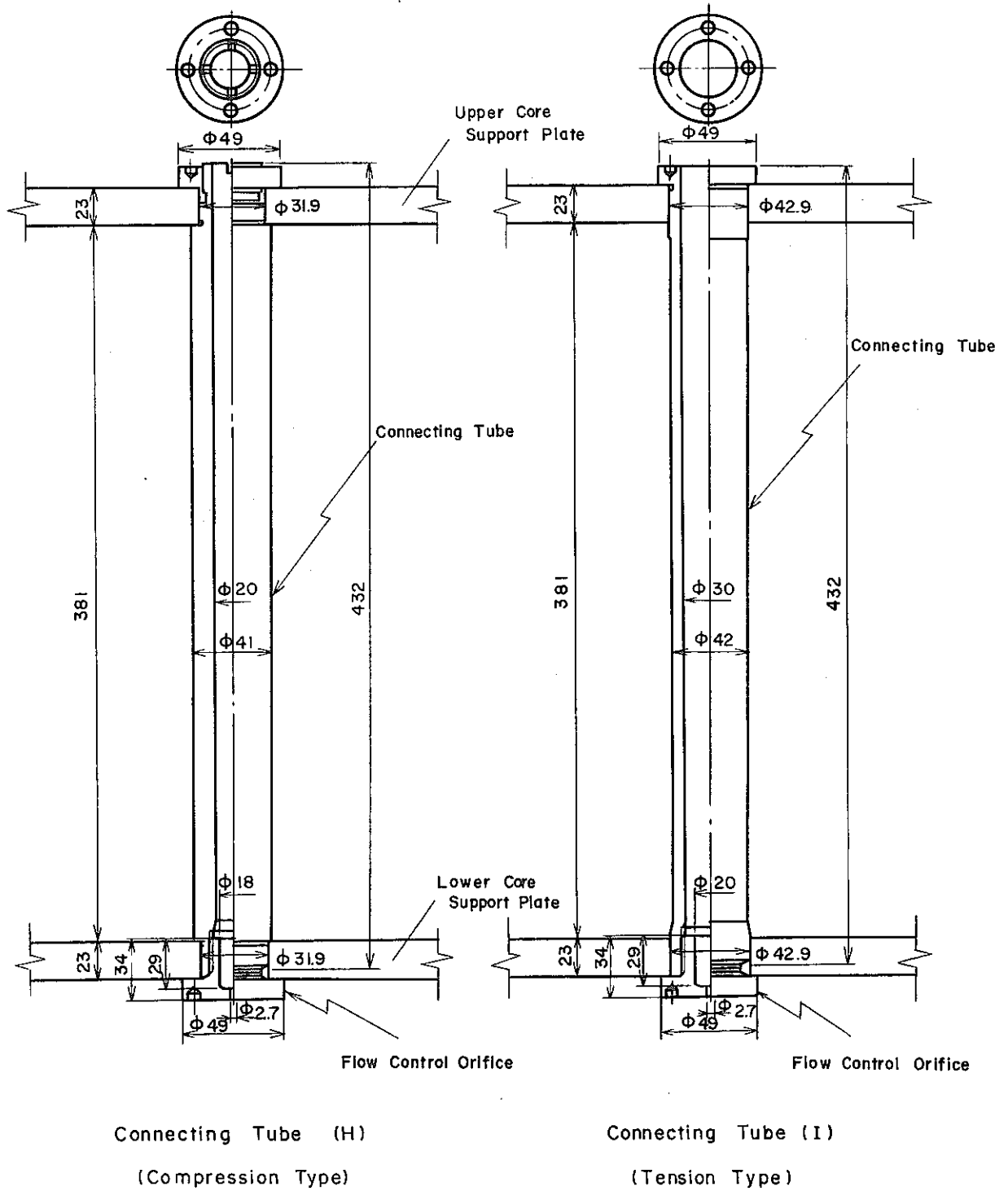


Fig. 3-6 Connecting Tube and Flow Control Orifice in the Neutron Shield Zone

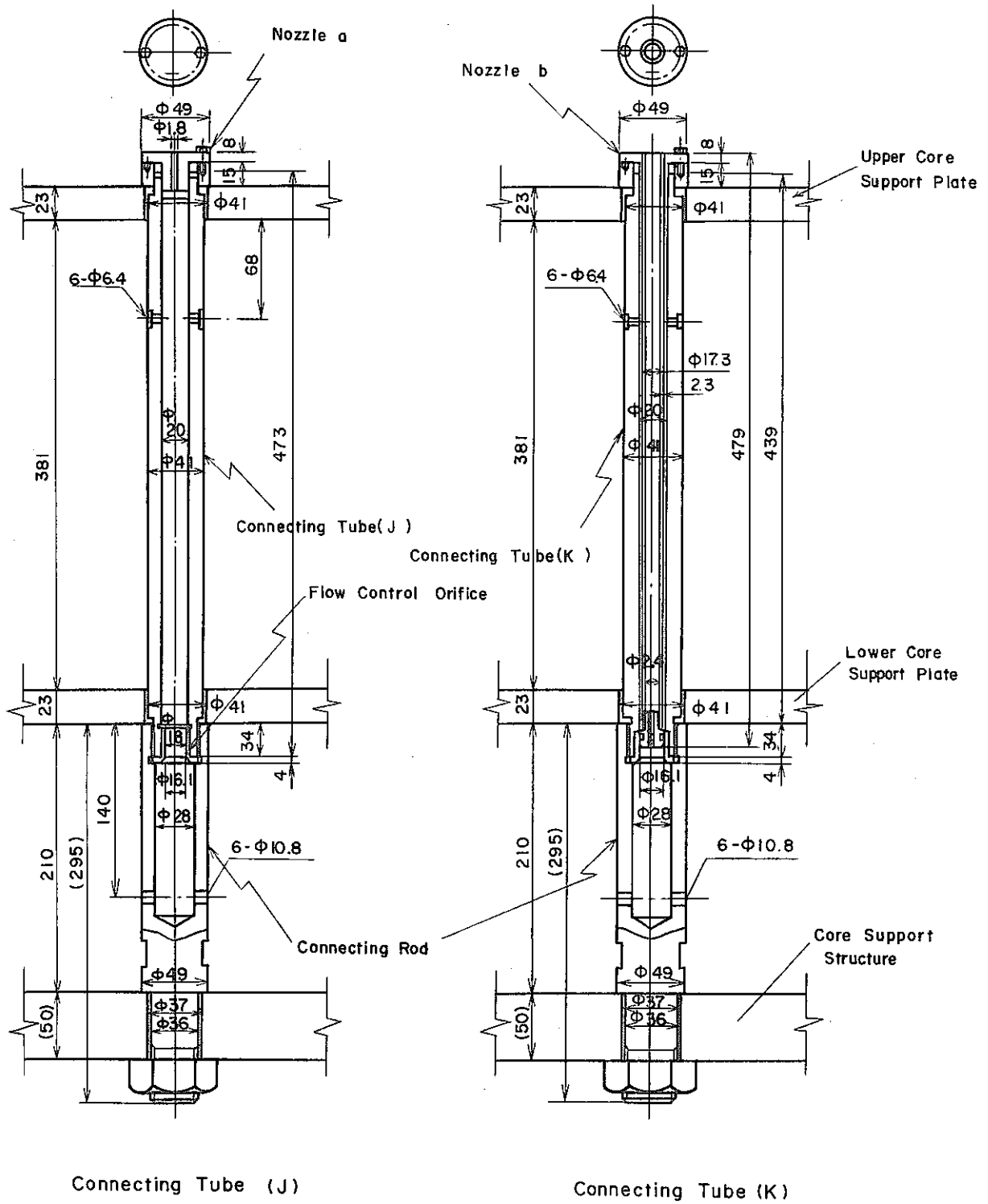


Fig. 3-7 Flow Control Device

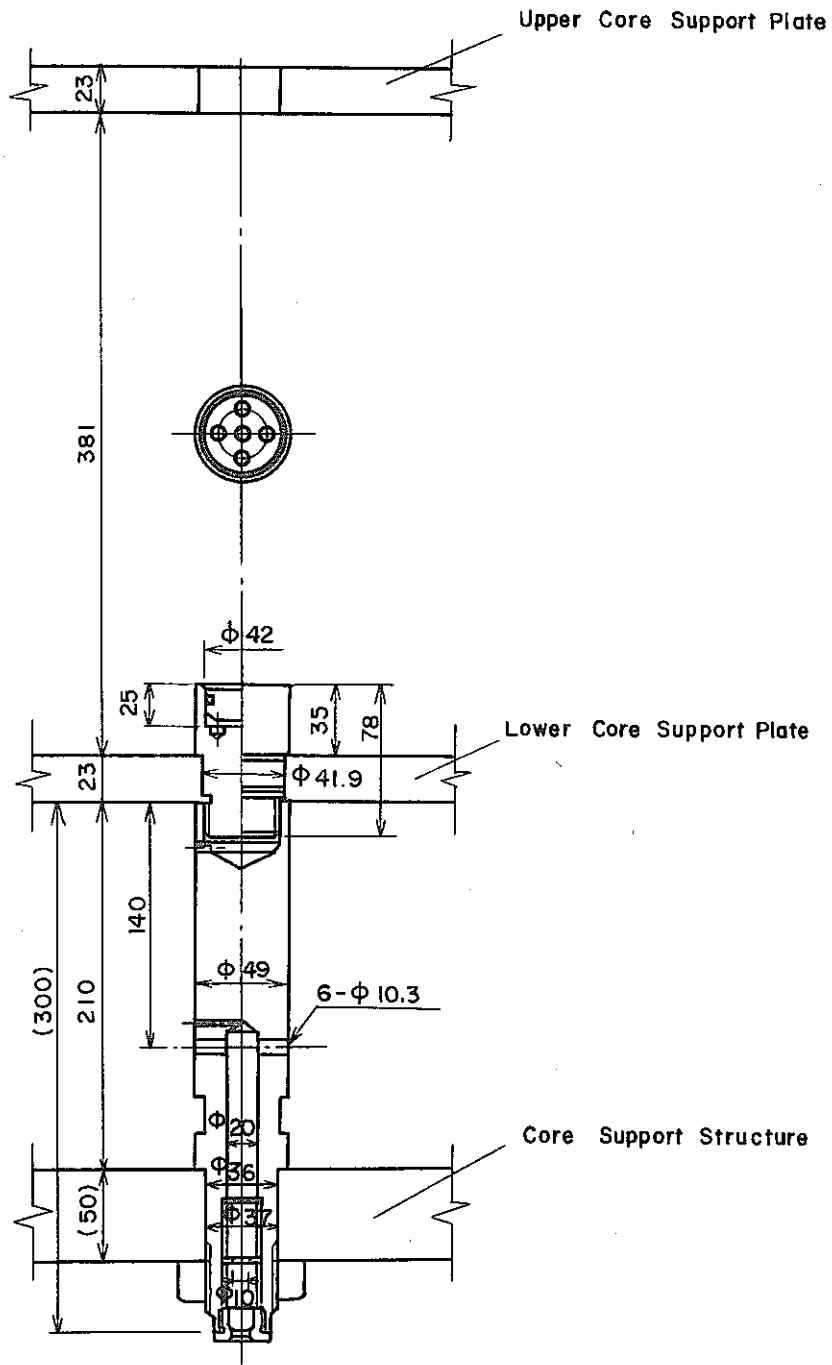


Fig. 3-8 Decompression Device

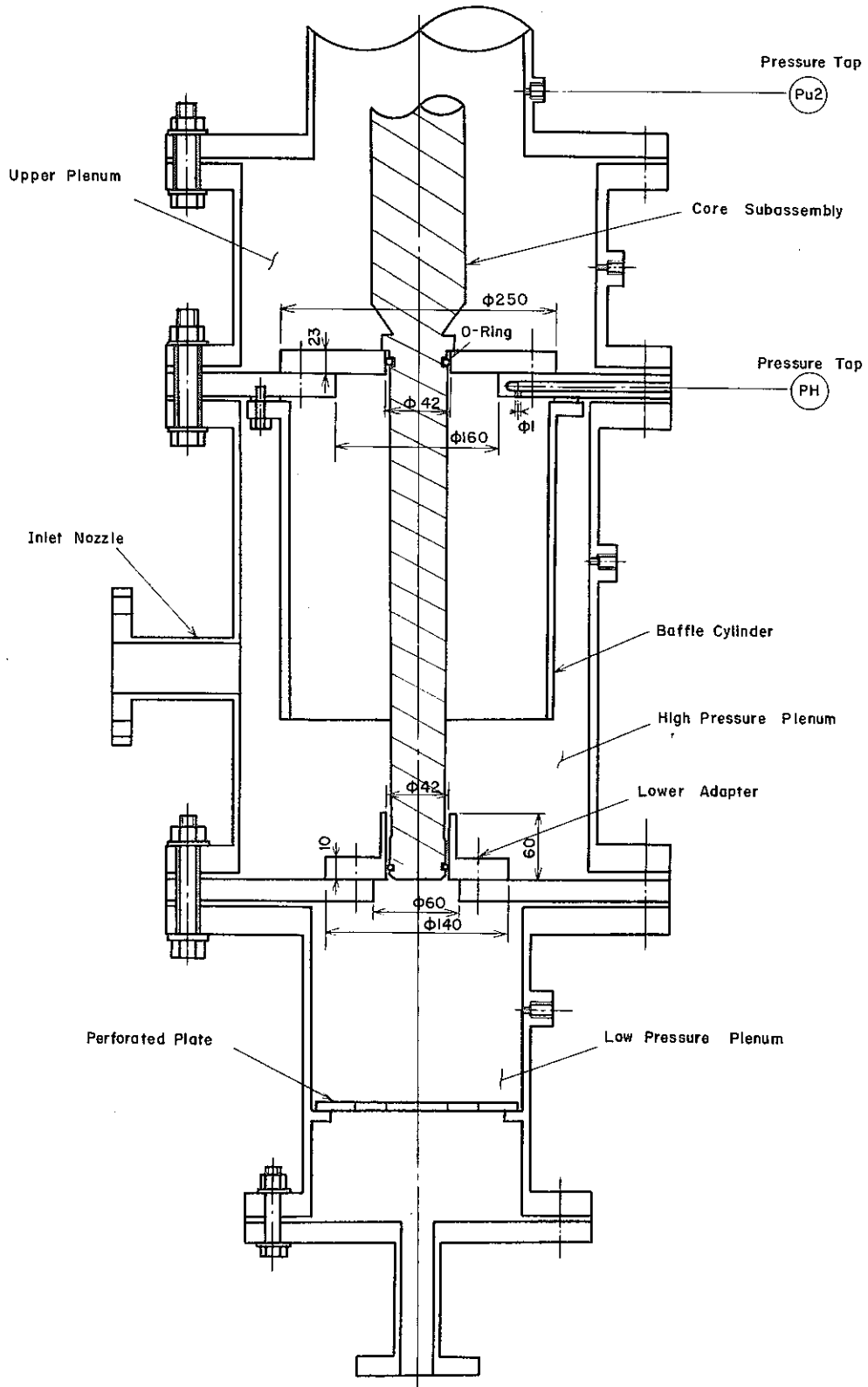


Fig. 3-9 Installment of the Core Subassembly

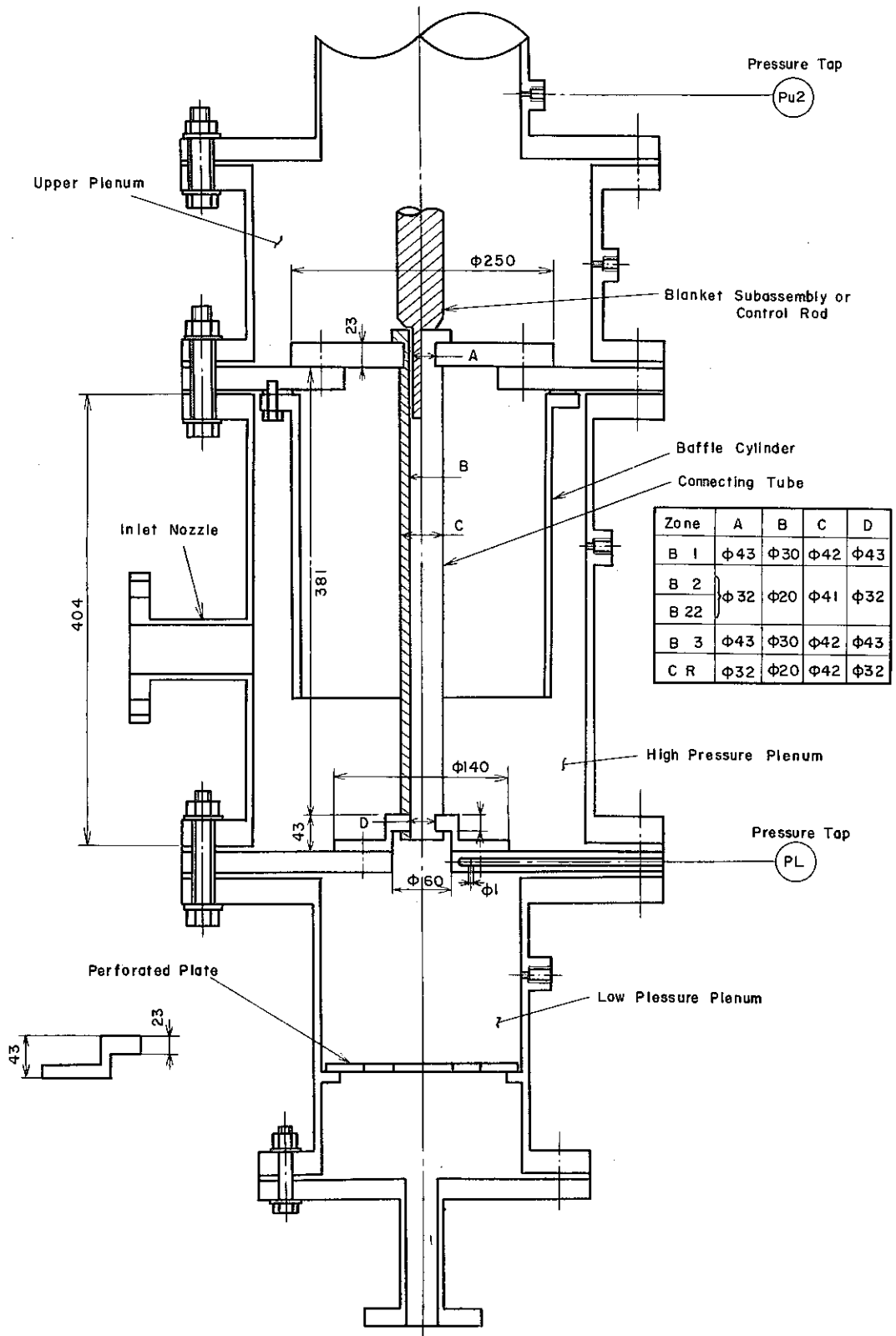


Fig. 3-10 Installment of the Blanket Subassembly and the Control Rod

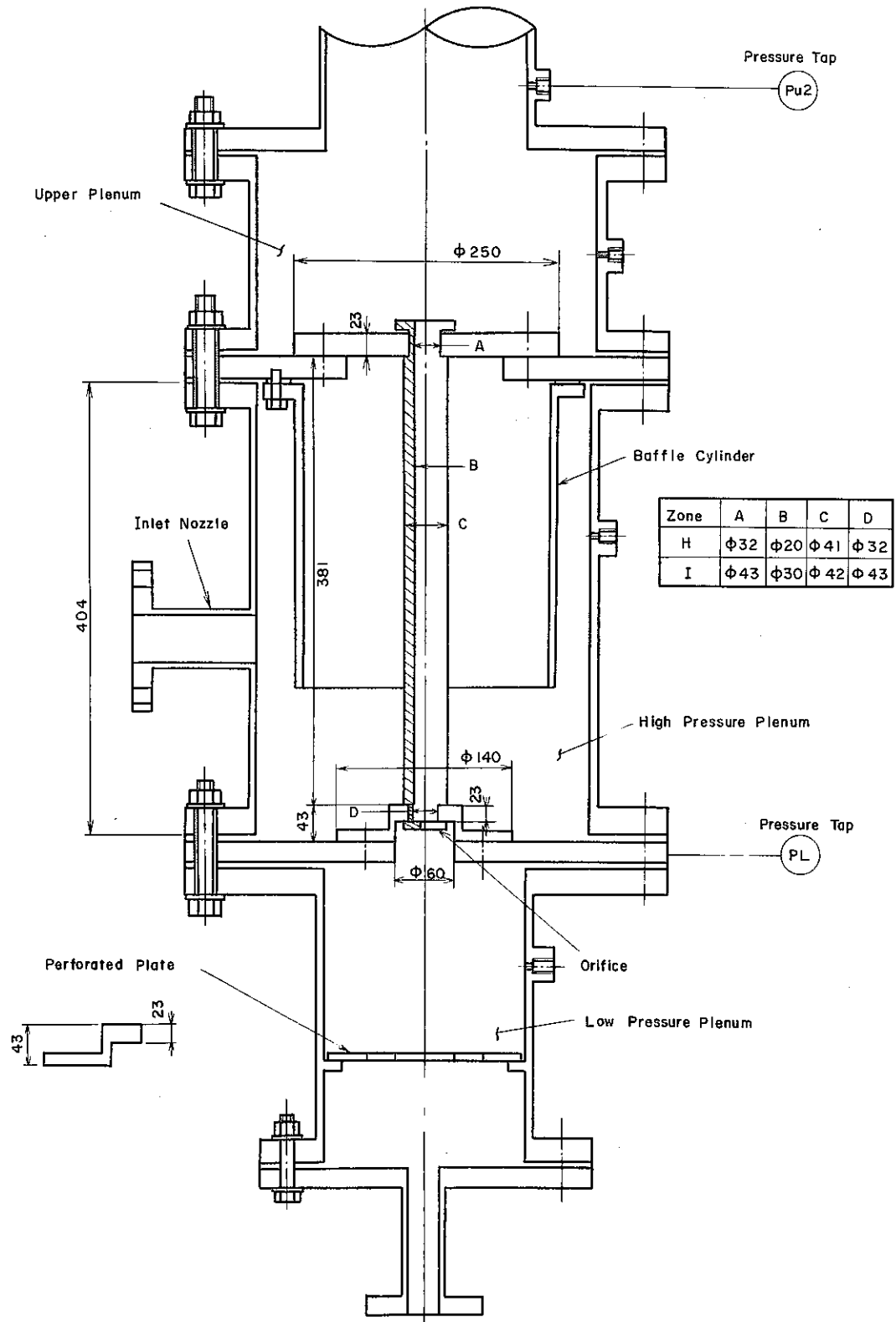


Fig. 3-11 Installment of the Connecting Tube

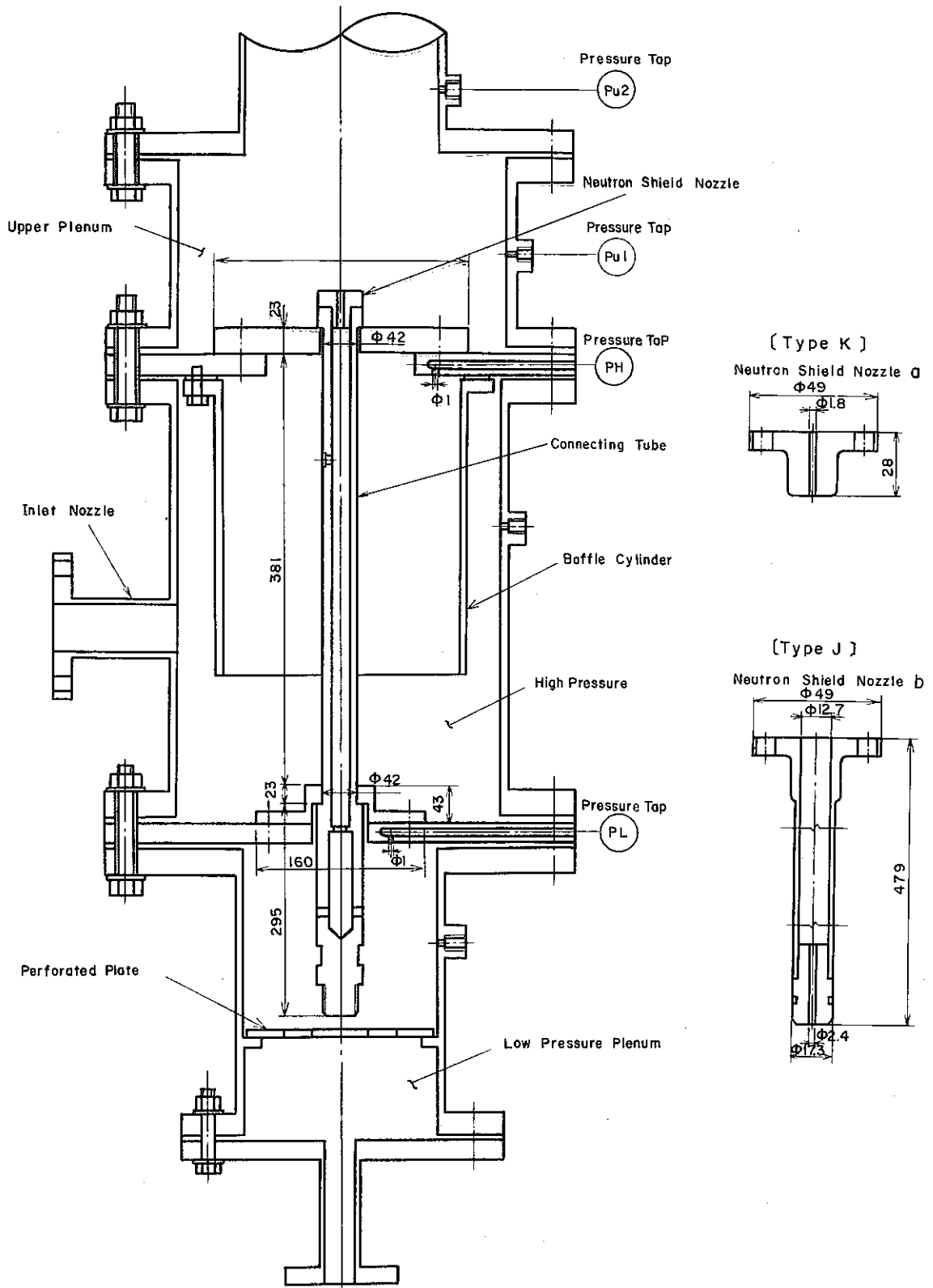


Fig. 3-12 Installment of the Flow Control Device

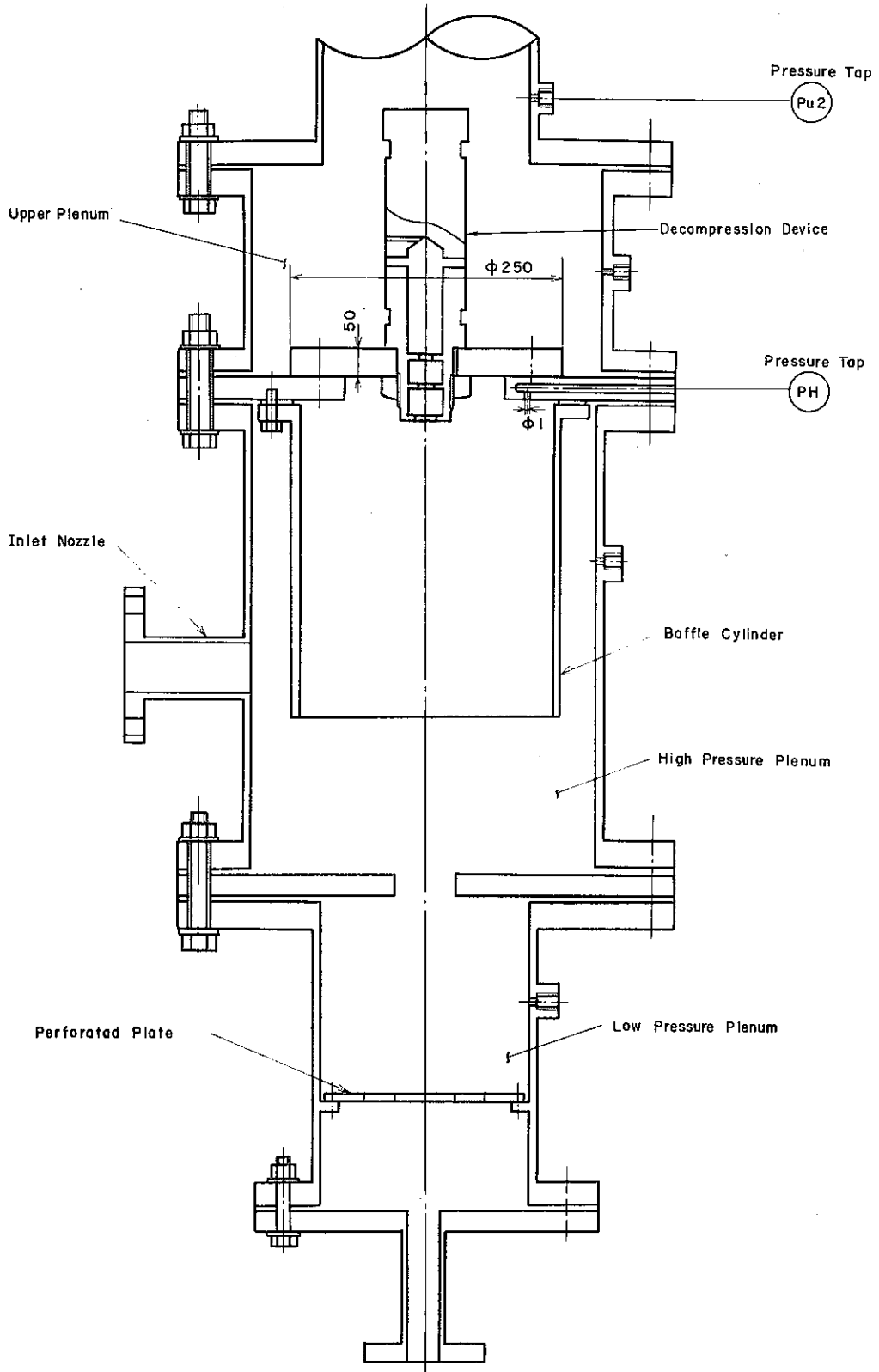


Fig. 3-13 Installment of the Decompression Device

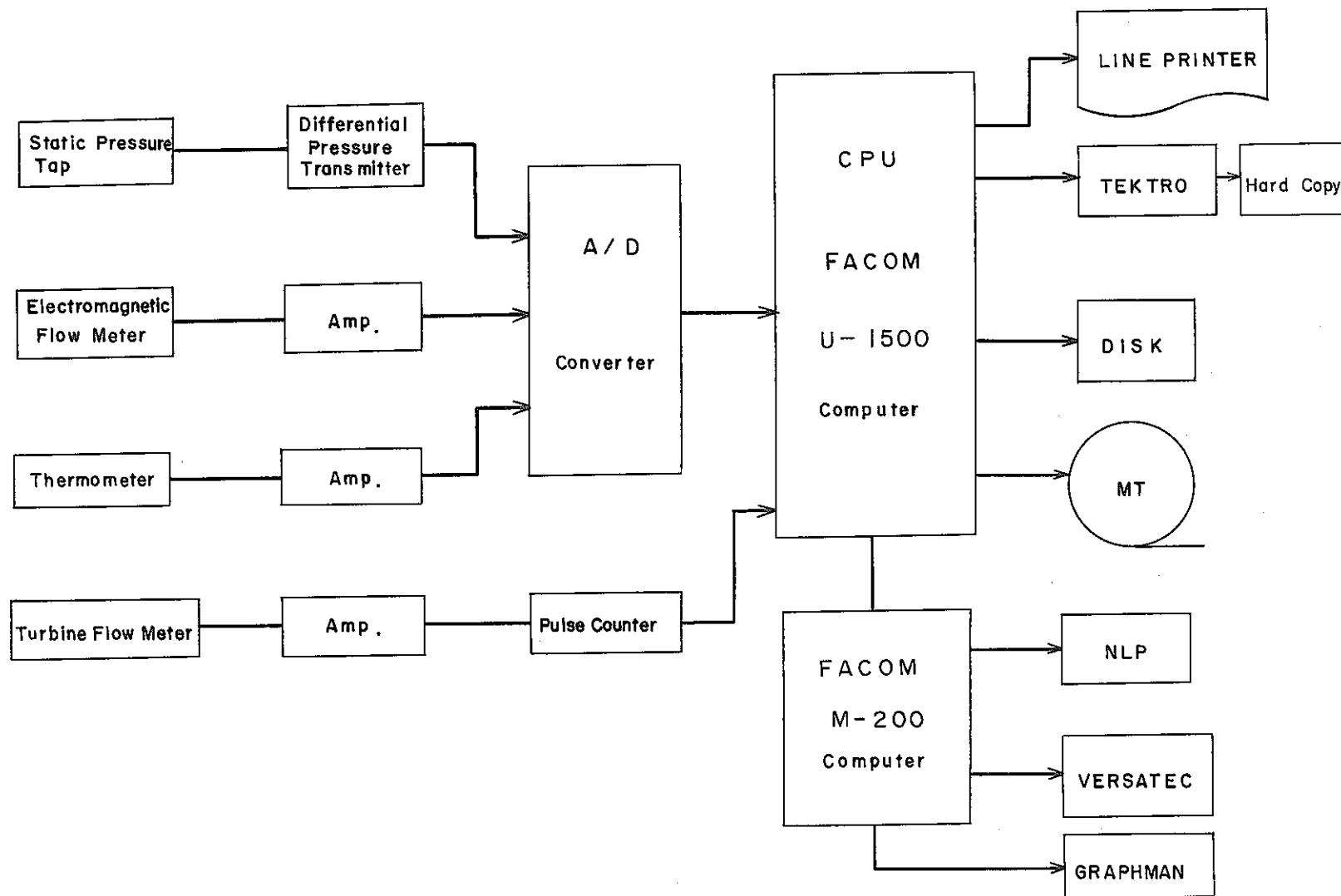


Fig. 3-14 Composition of Data Record System

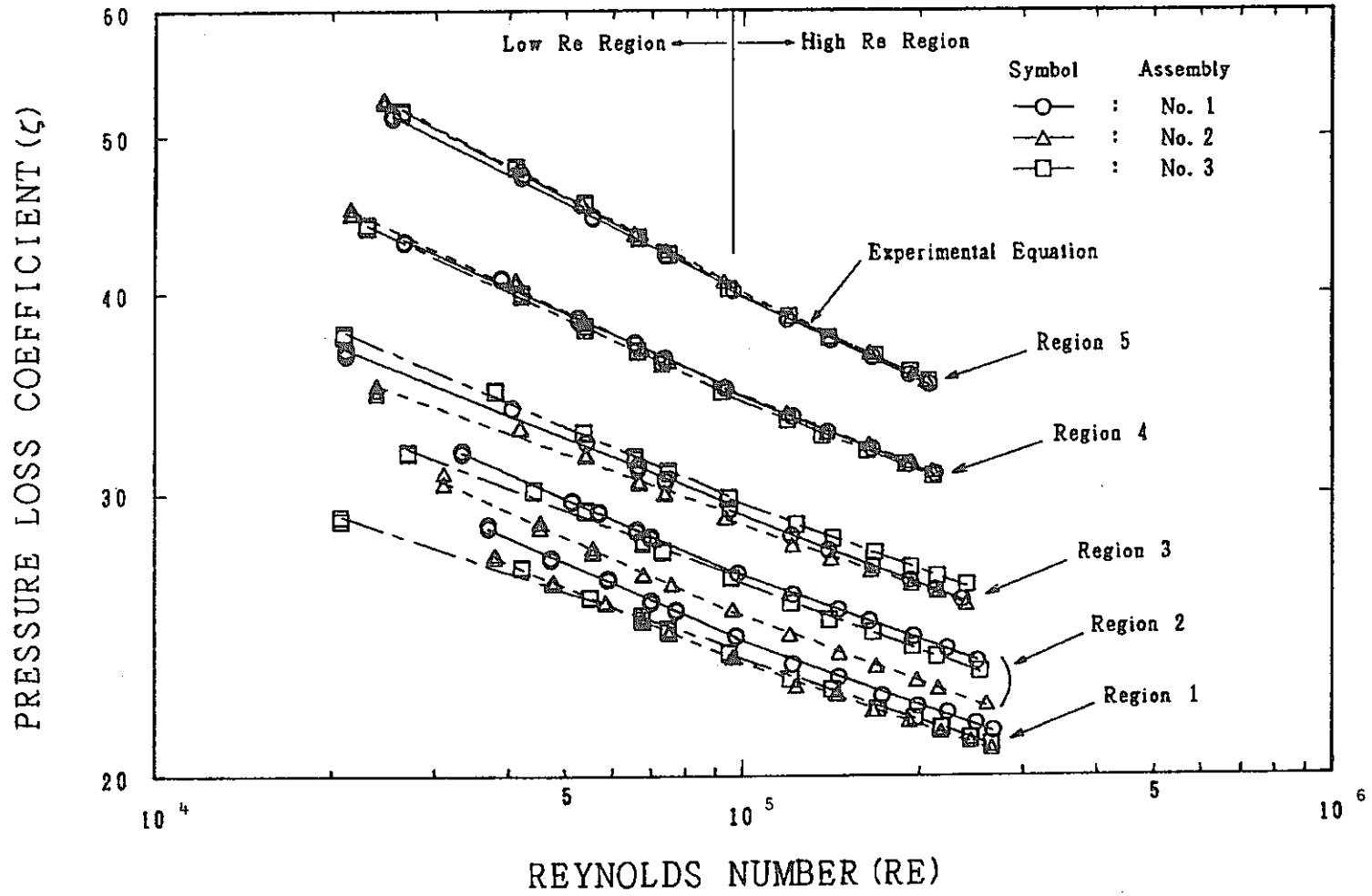


Fig. 4-1 Pressure Loss Characteristics of the Inner-Core Subassemblies

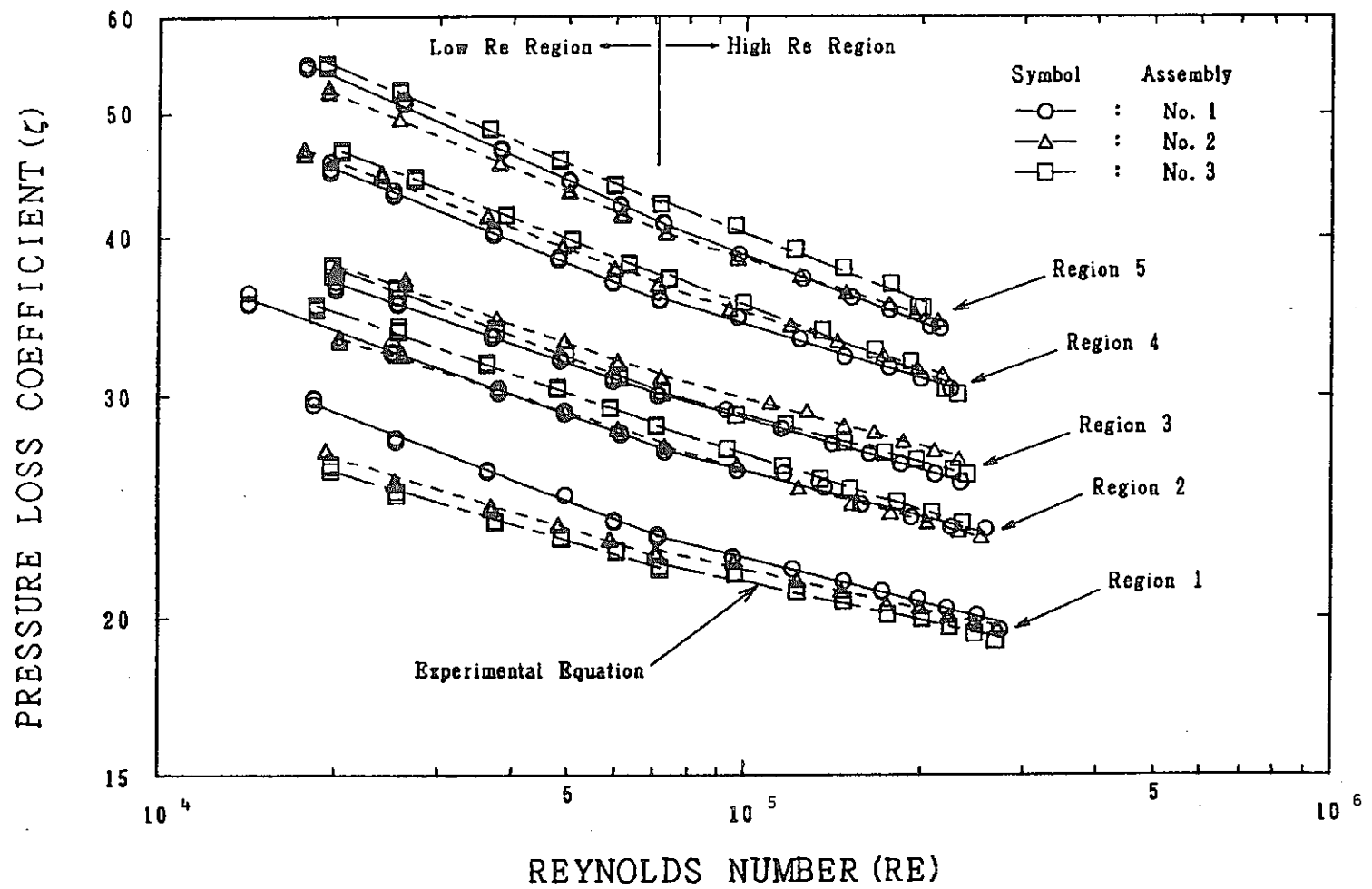


Fig. 4-2 Pressure Loss Characteristics of the Inner-Core Instrumental Subassemblies with the Turbine Flow-Meters

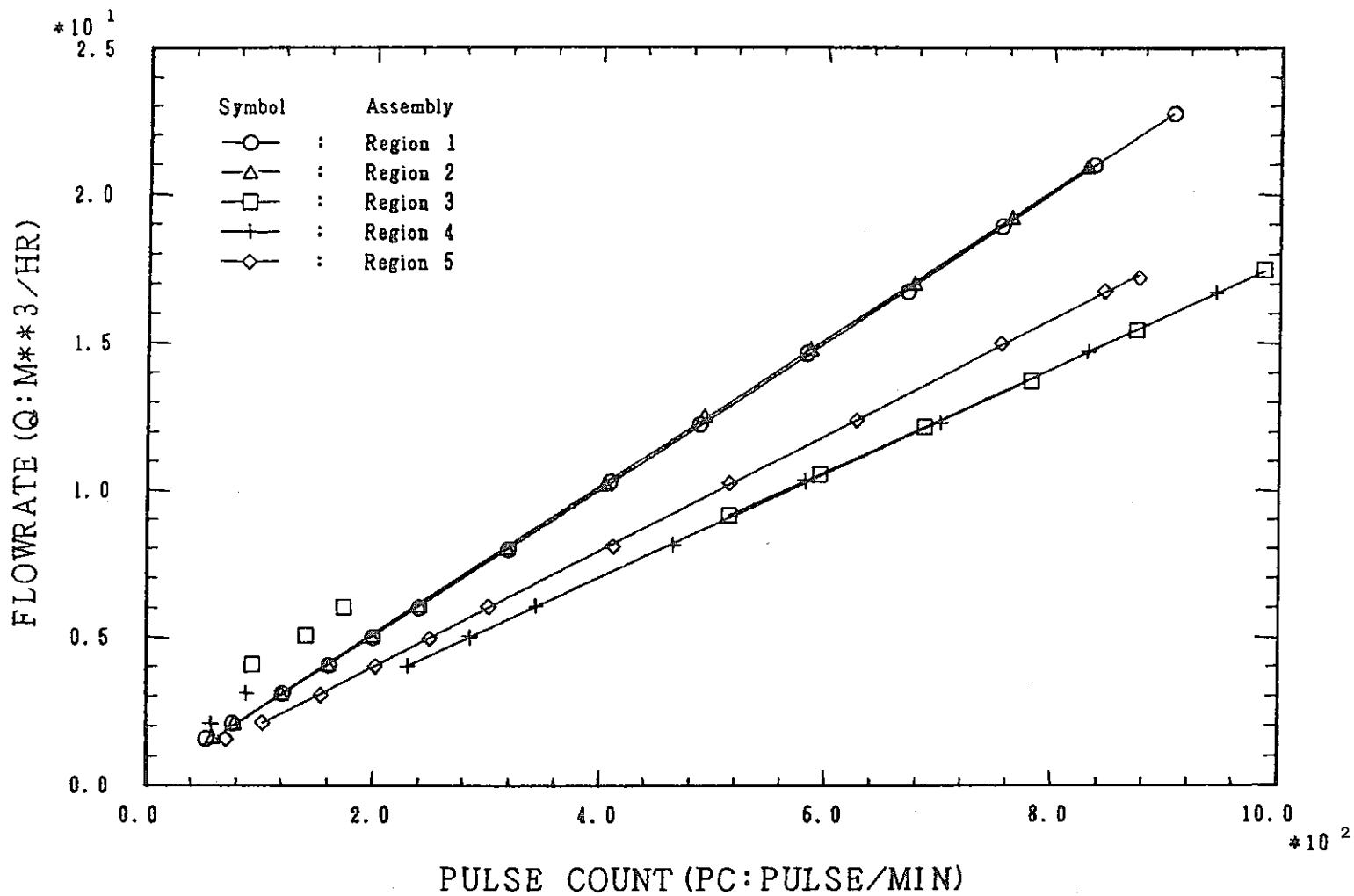


Fig. 4-3 Calibration of the Turbine Flow-Meters in the Inner-Core Subassemblies

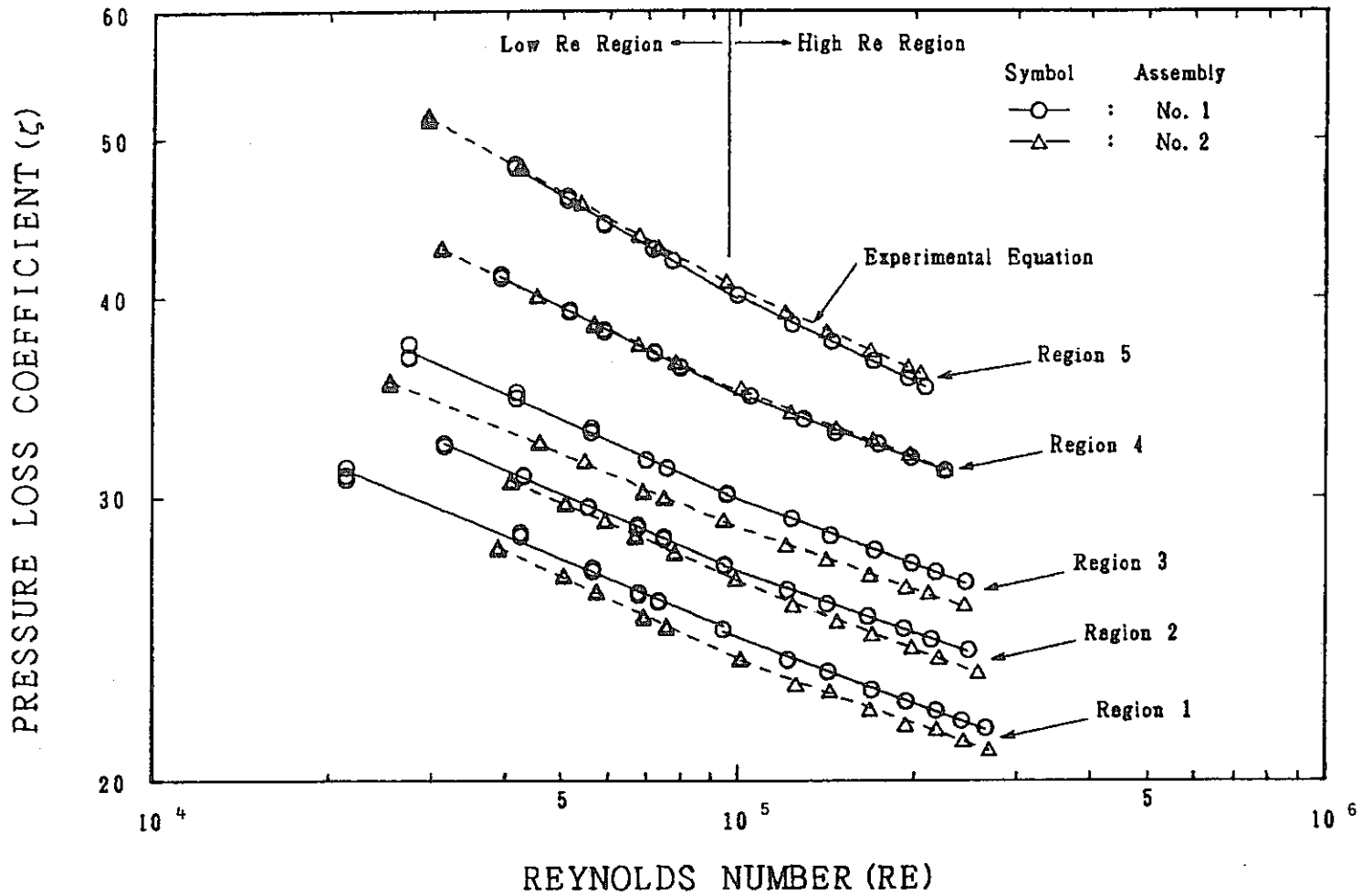


Fig. 4-4 Pressure Loss Characteristic of the Inner-Core Instrumental Subassemblies with the Pressure Taps

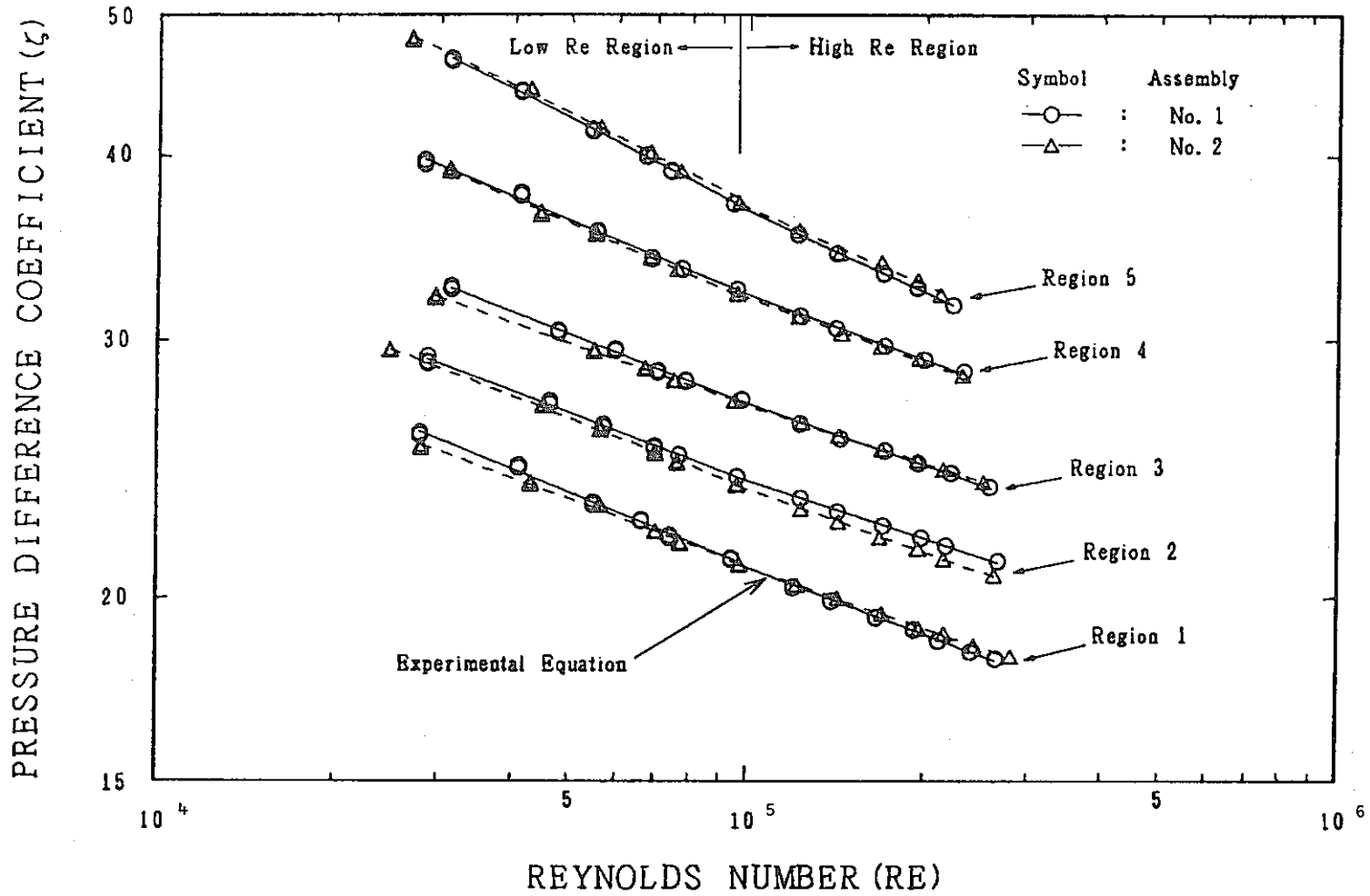


Fig. 4-5 Pressure Difference Characteristics between the Pressure Taps on the Inner-Core Subassemblies

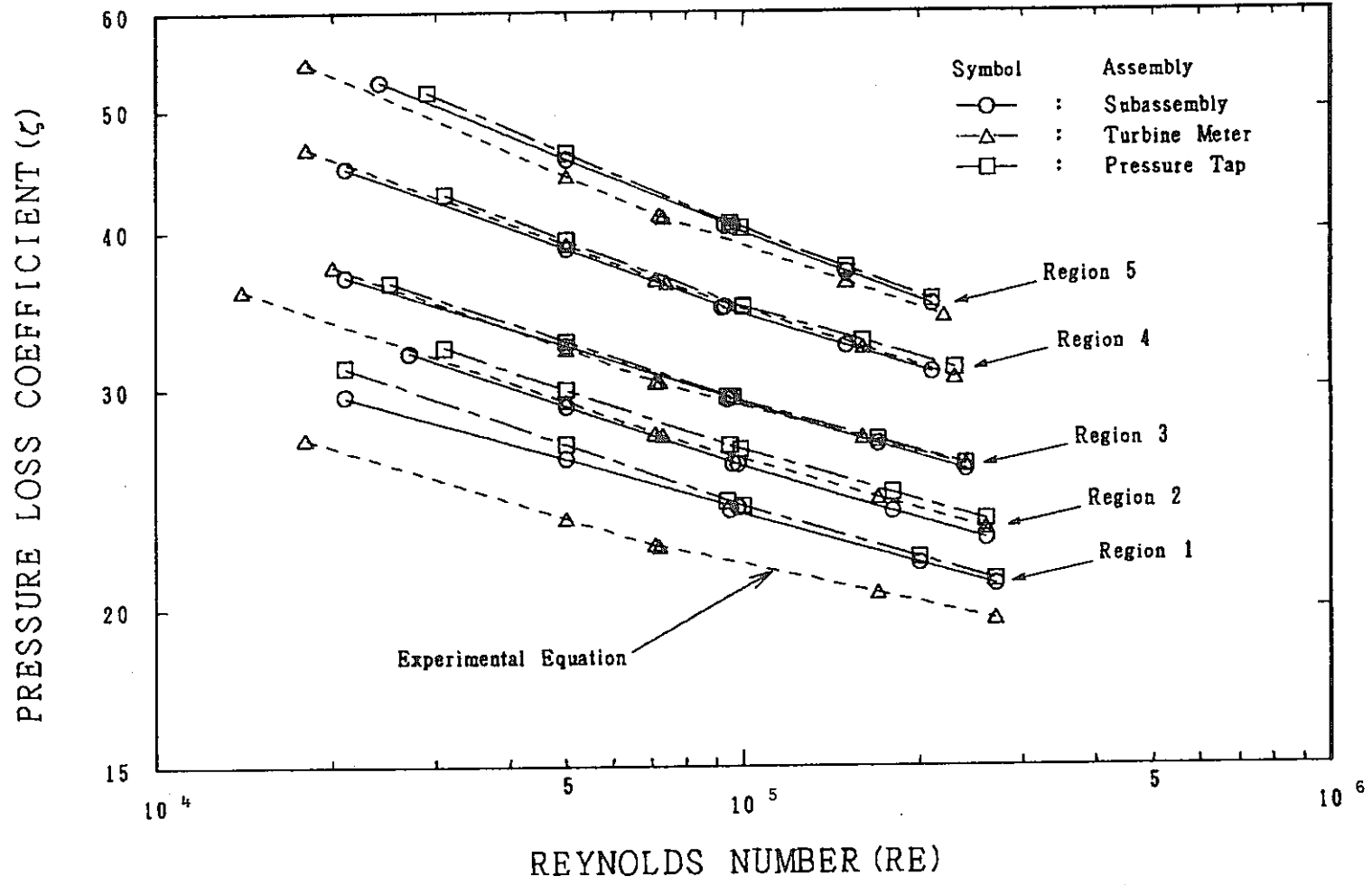


Fig. 4-6 Average Pressure Loss Characteristics of the Inner-Core Subassemblies

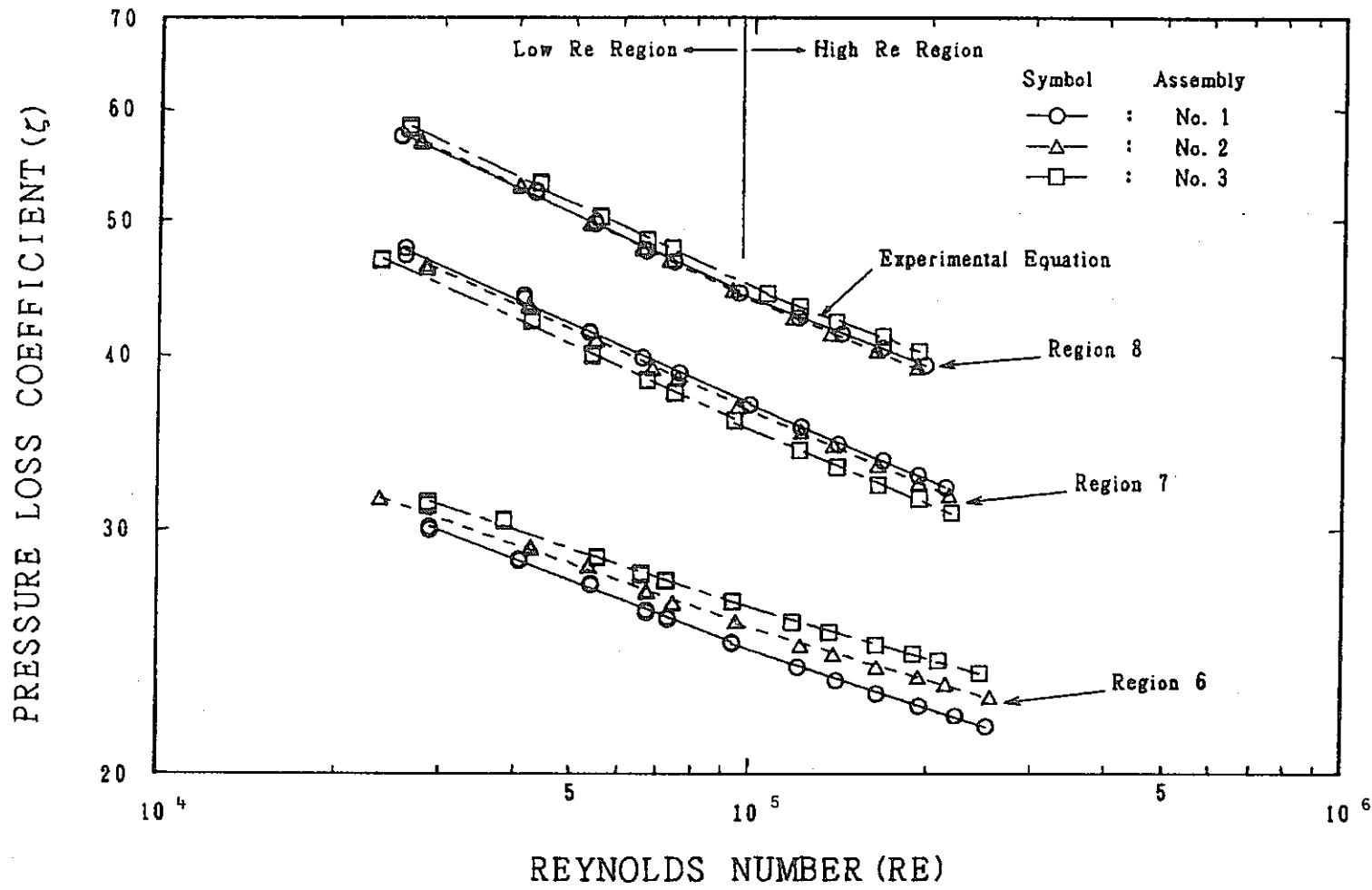


Fig. 4-7 Pressure Loss Characteristics of the Outer-Core Subassemblies

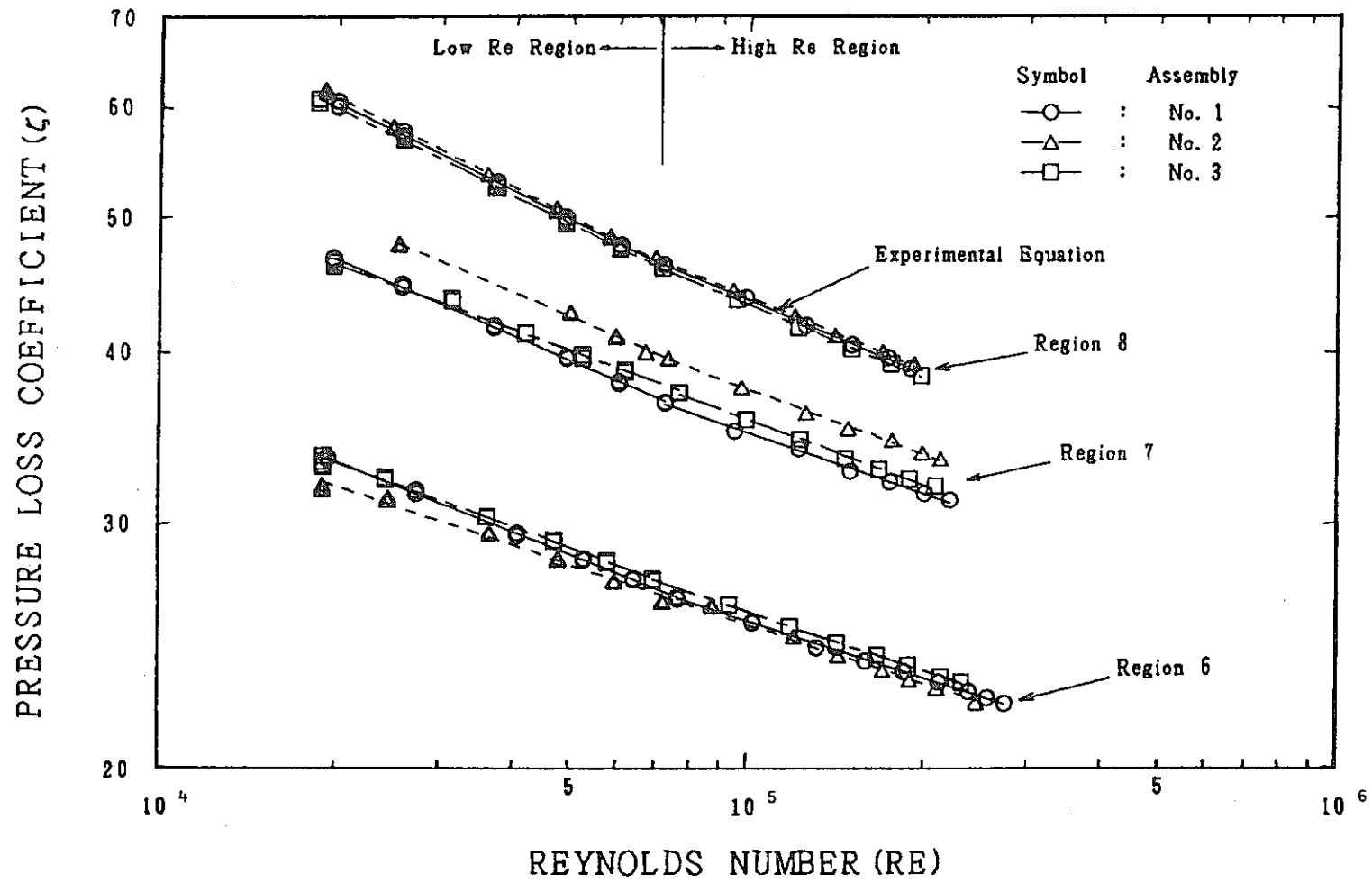


Fig. 4-8 Pressure Loss Characteristics of the Outer-Core Instrumental Subassemblies with the Turbine Flow-Meters

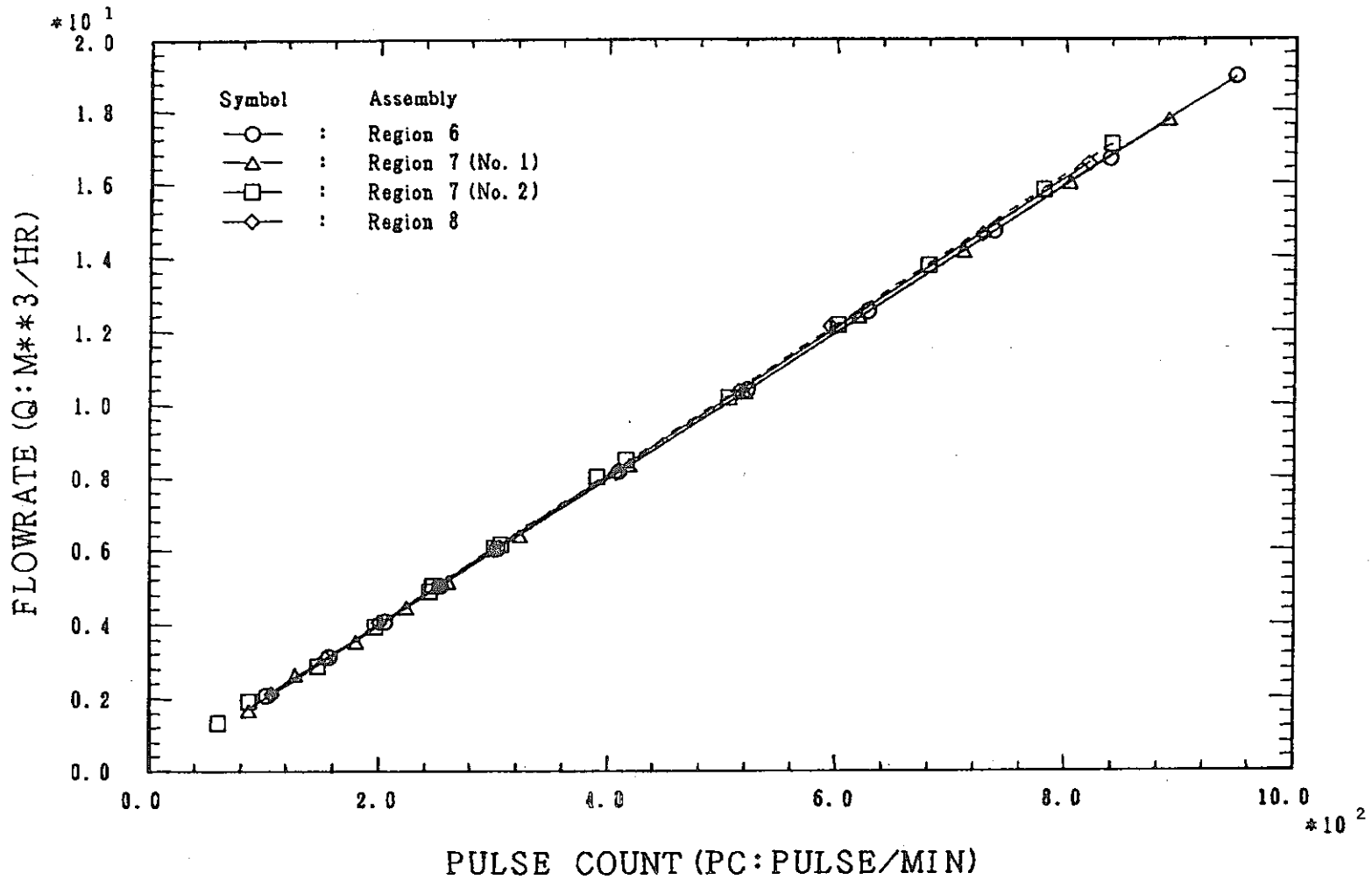


Fig. 4-9 Calibration of the Turbine Flow-Meters in the Outer-Core Subassemblies

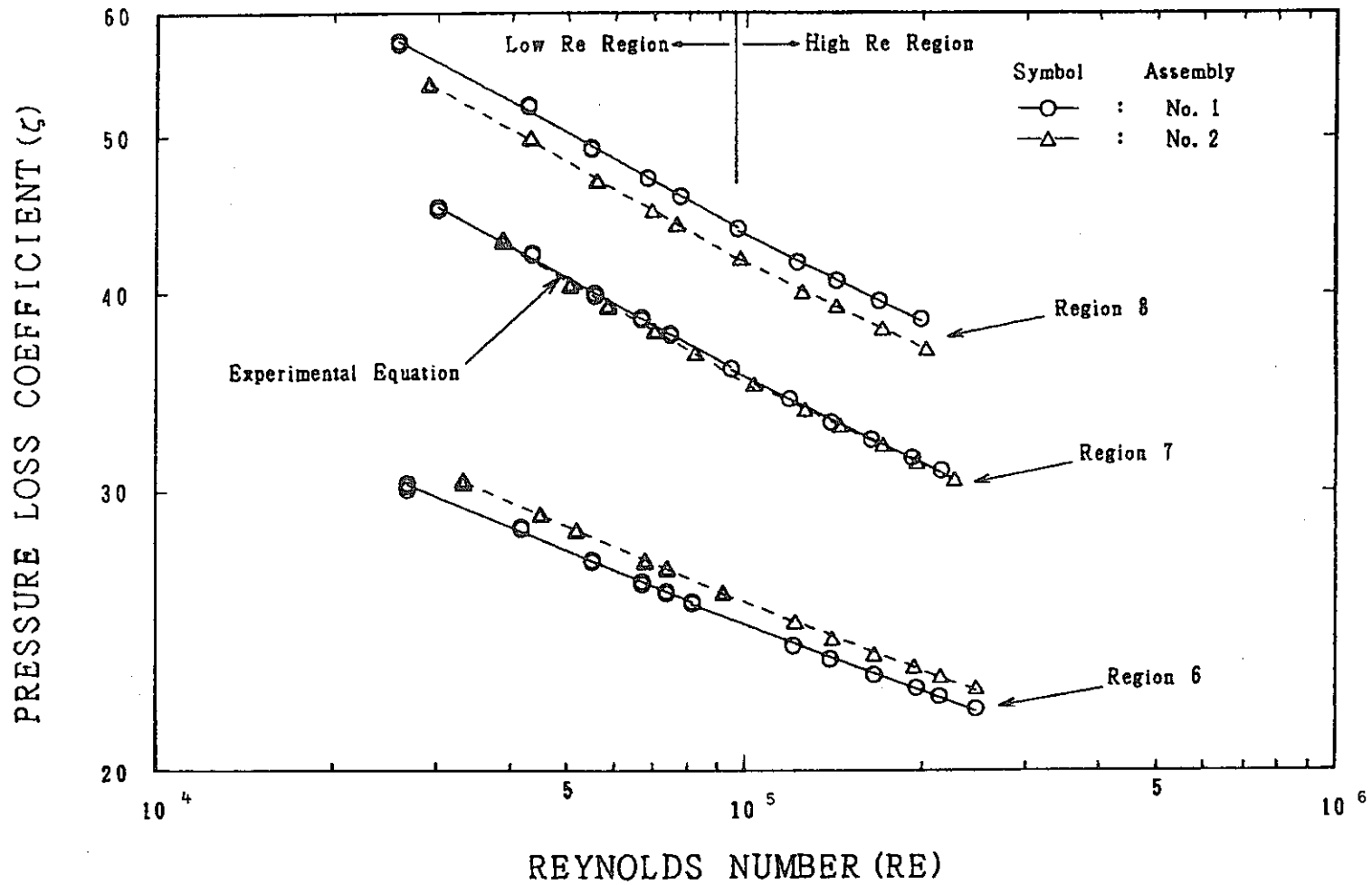


Fig. 4-10 Pressure Loss Characteristics of the Outer-Core Instrumental Subassemblies with the Pressure Taps

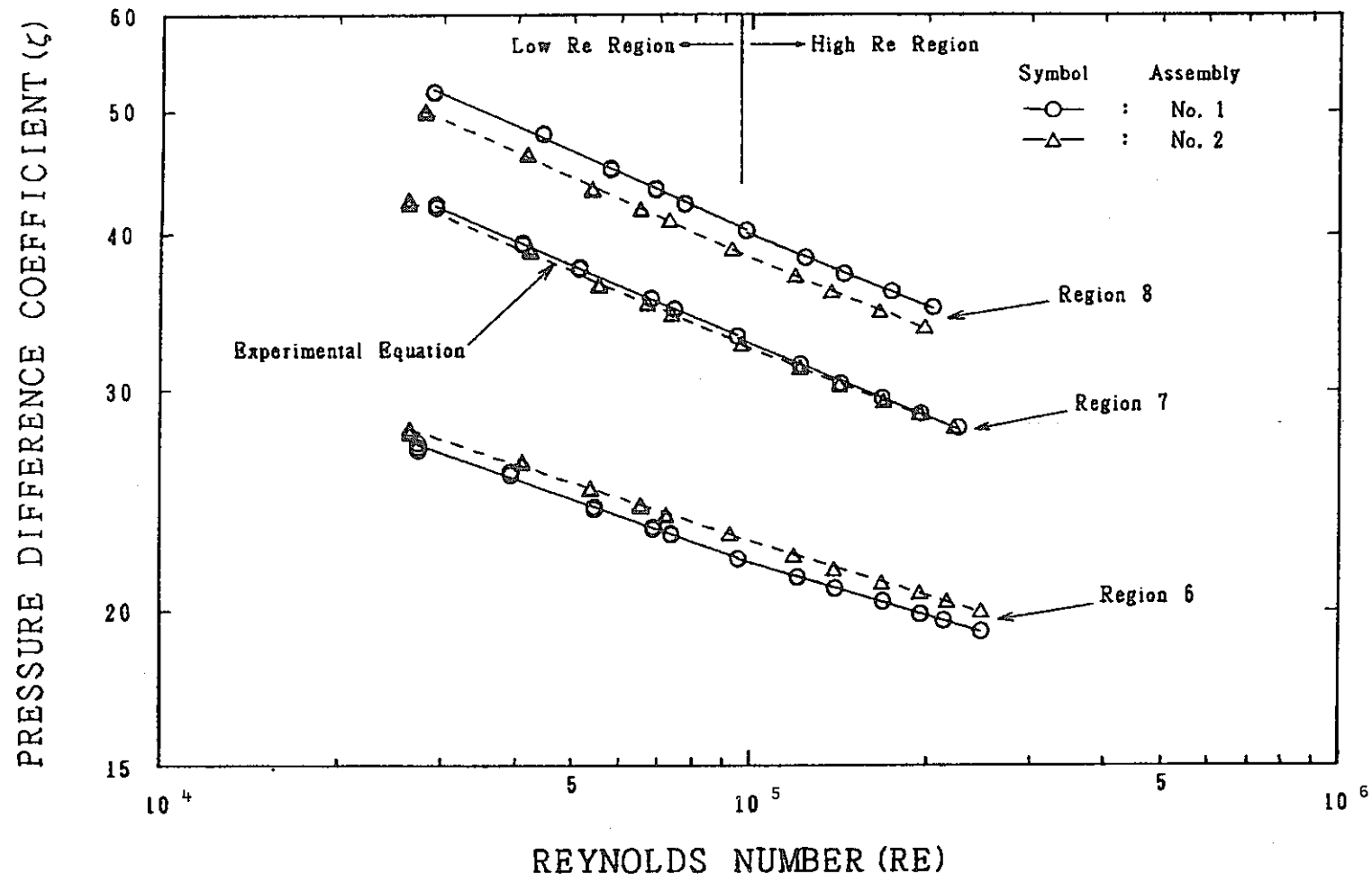


Fig. 4-11 Pressure Difference Characteristics between the Pressure Taps on the Outer-Core Subassemblies

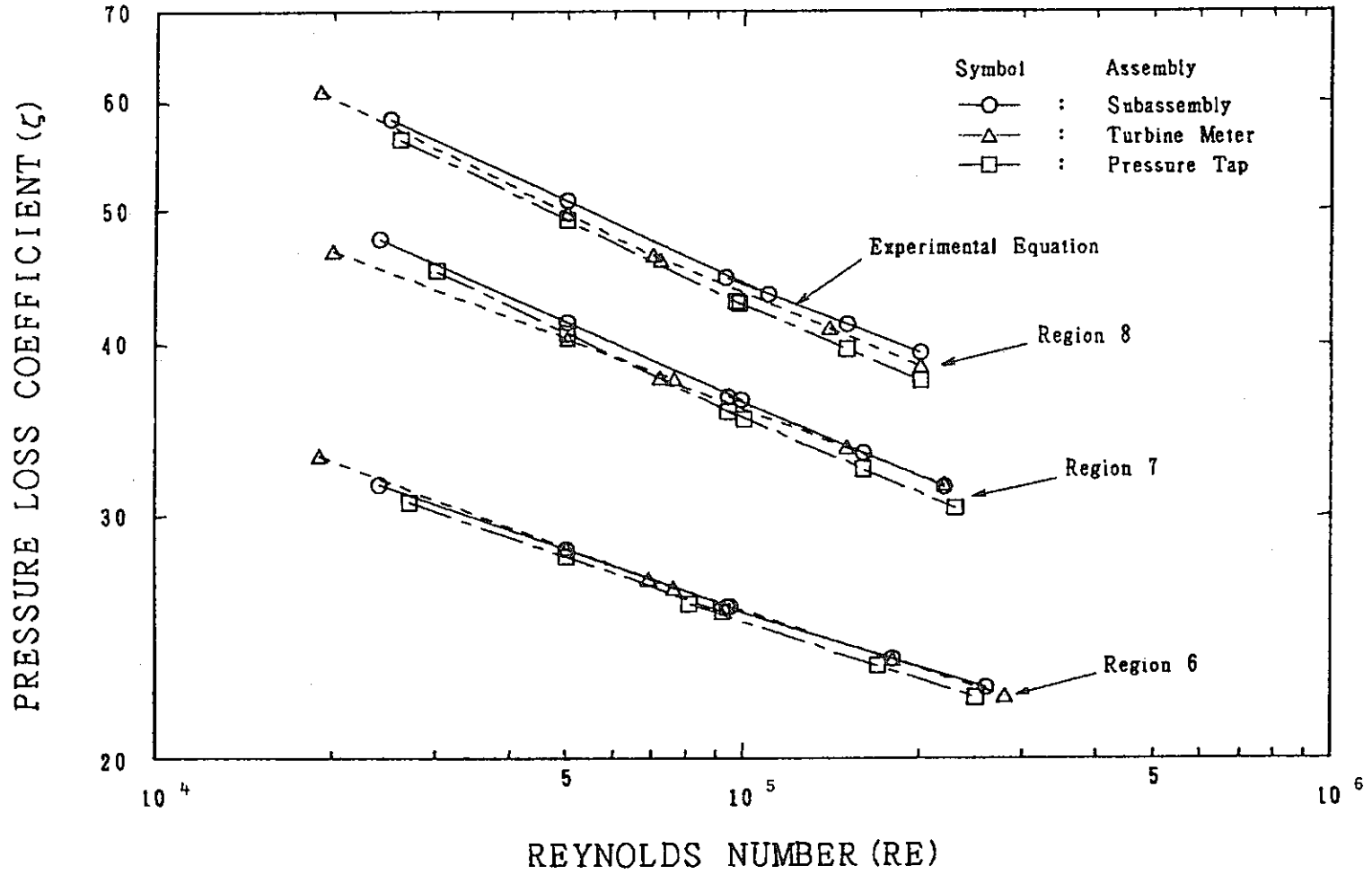


Fig. 4-12 Average Pressure Loss Characteristics of the Outer-Core Subassemblies

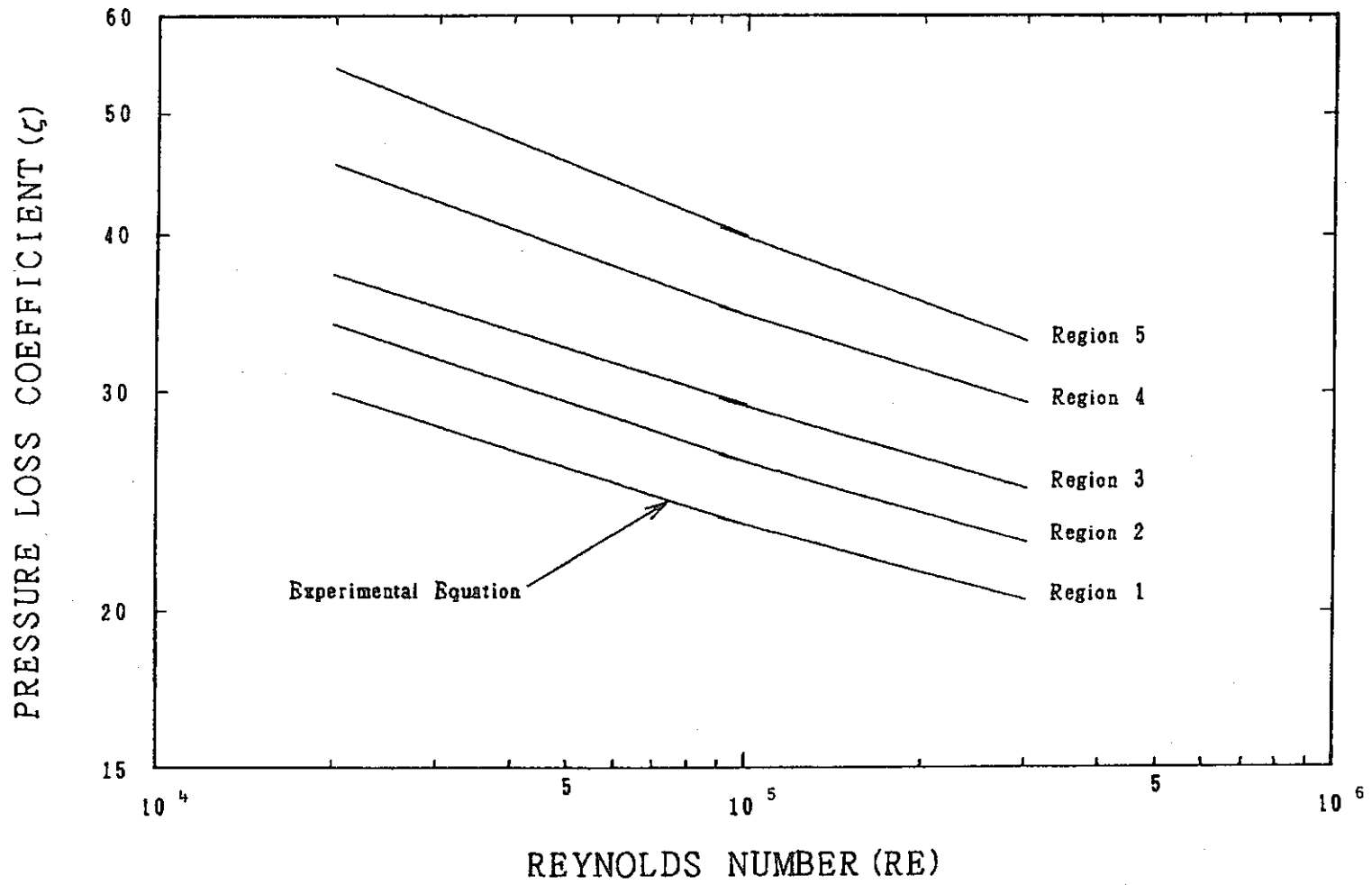


Fig. 4-13 Average Pressure Loss Characteristics of the Inner-Core Zoon Subassemblies

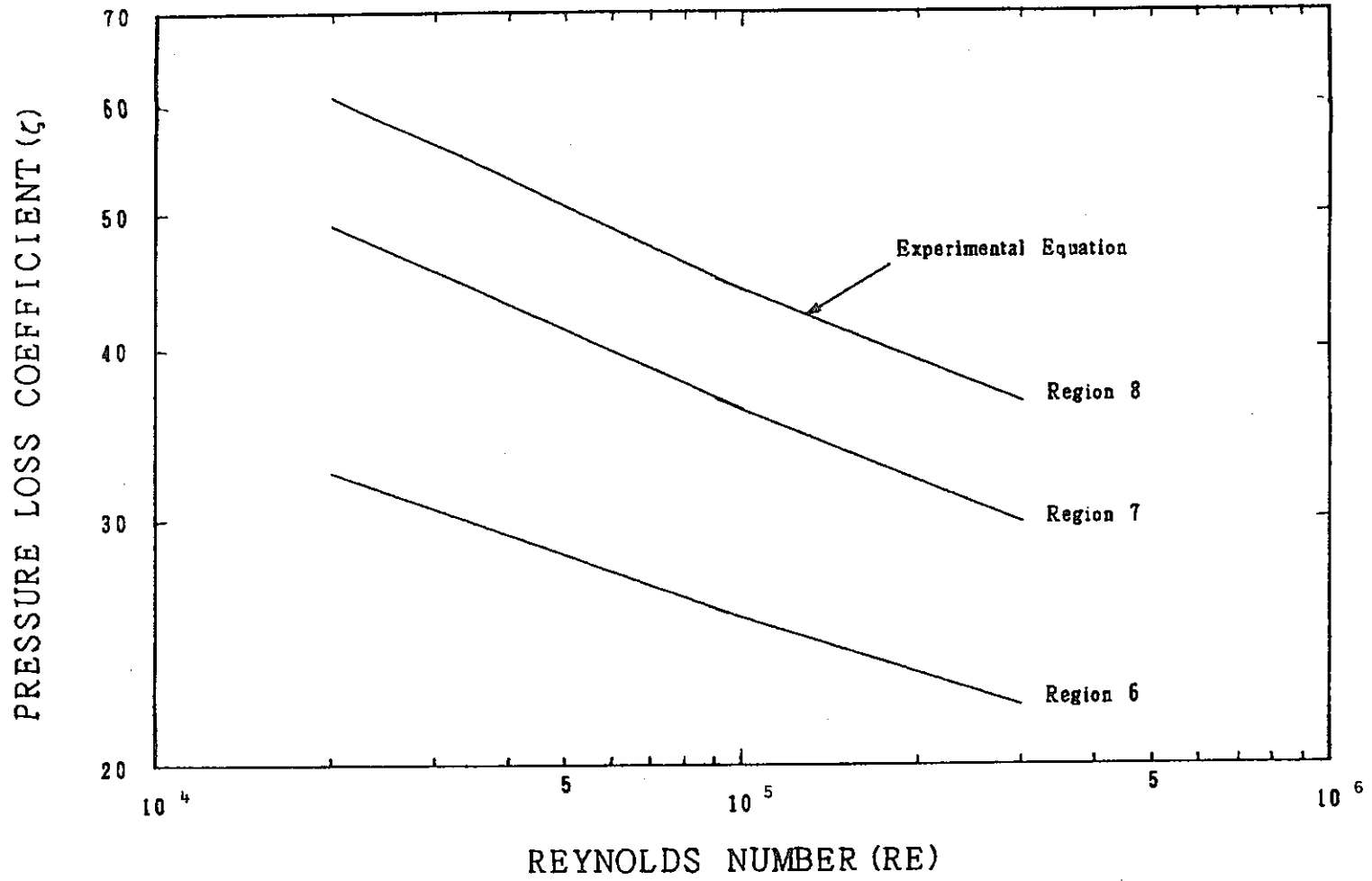


Fig. 4-14 Average Pressure Loss Characteristics of the Outer-Core Zoon Subassemblies

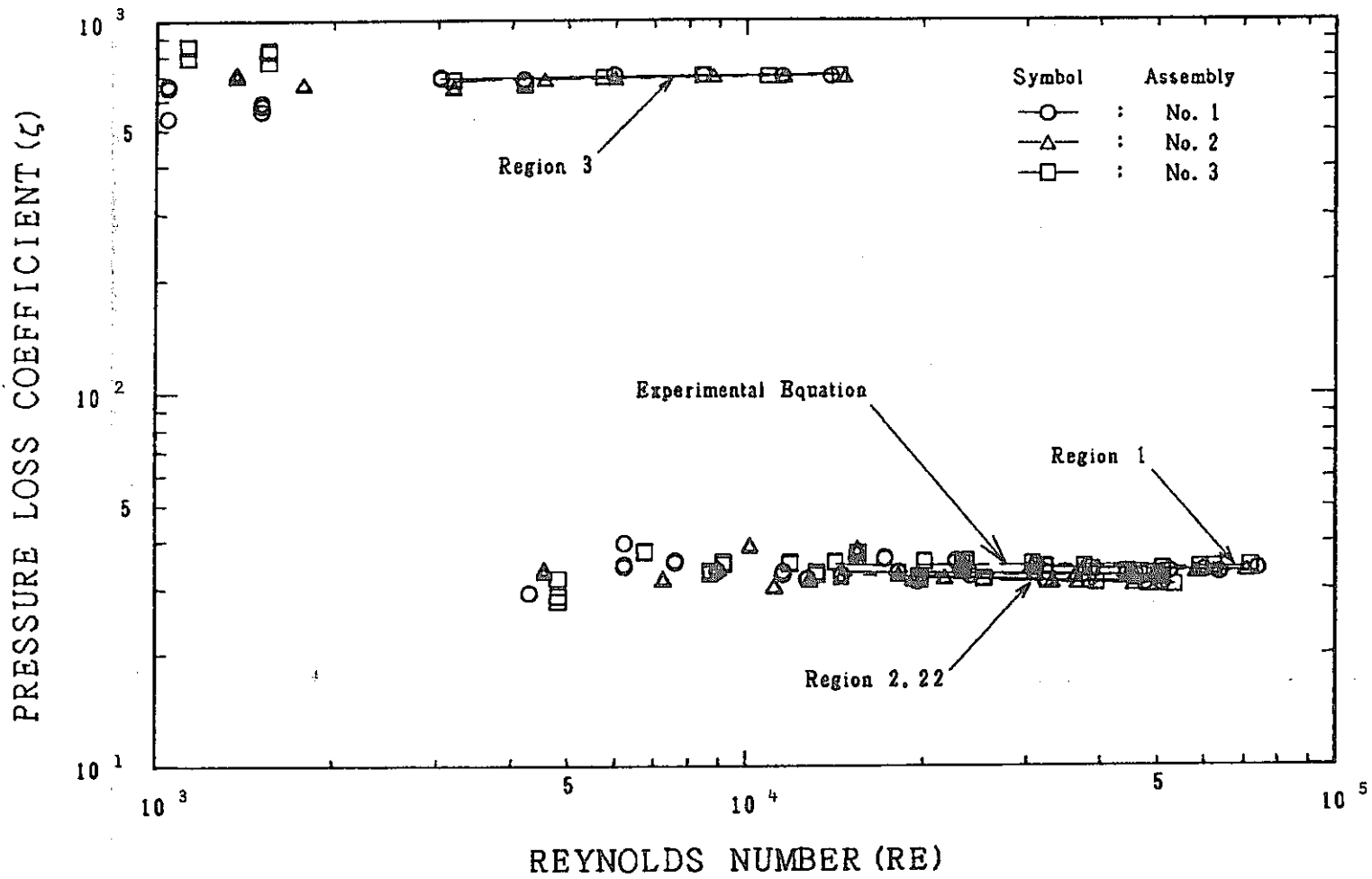


Fig. 4-15 Pressure Loss Characteristics of the Blanket Subassemblies

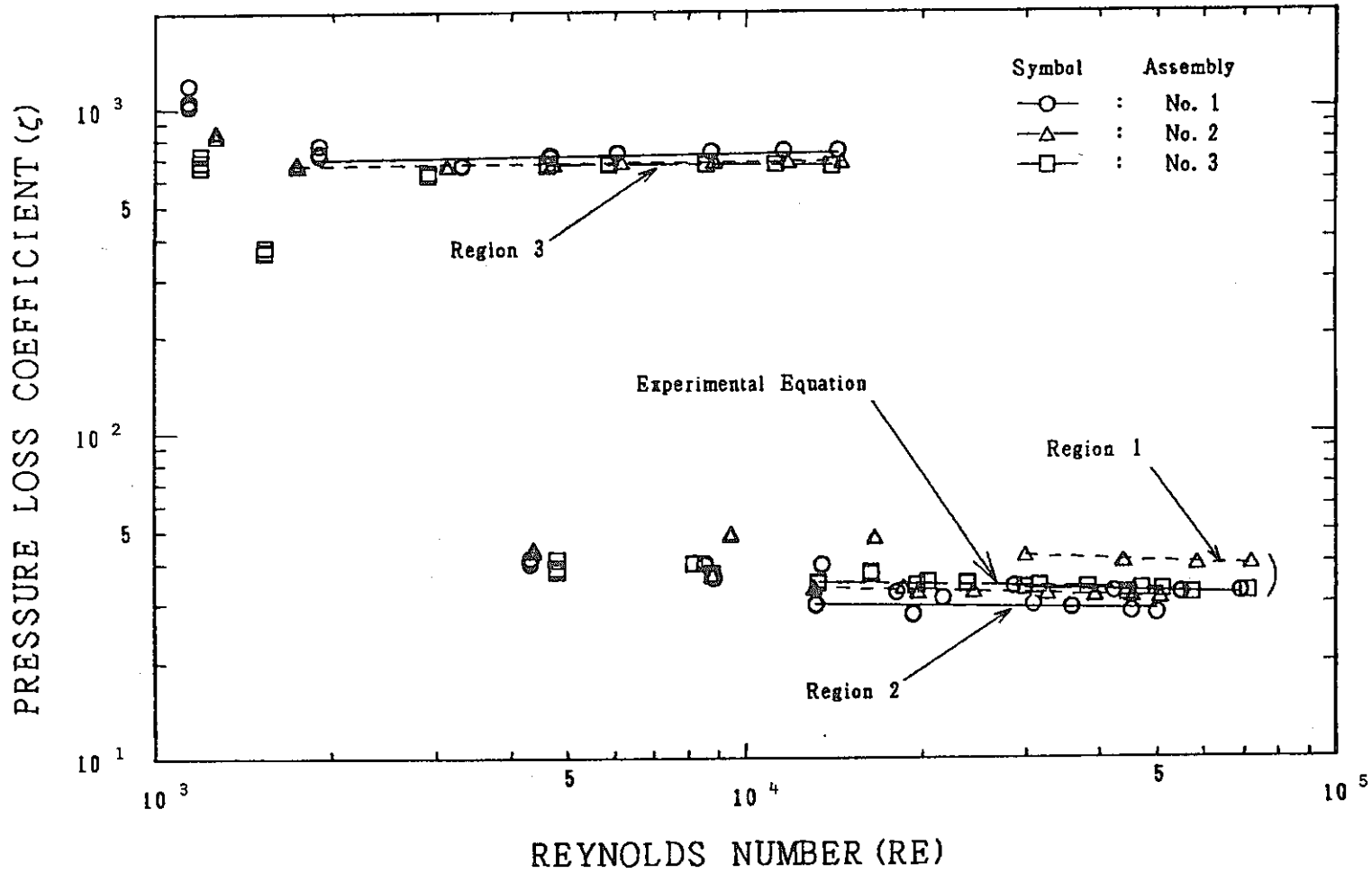


Fig. 4-16 Pressure Loss Characteristics of the Blanket Instrumental Subassemblies with the Turbine Flow-Meters

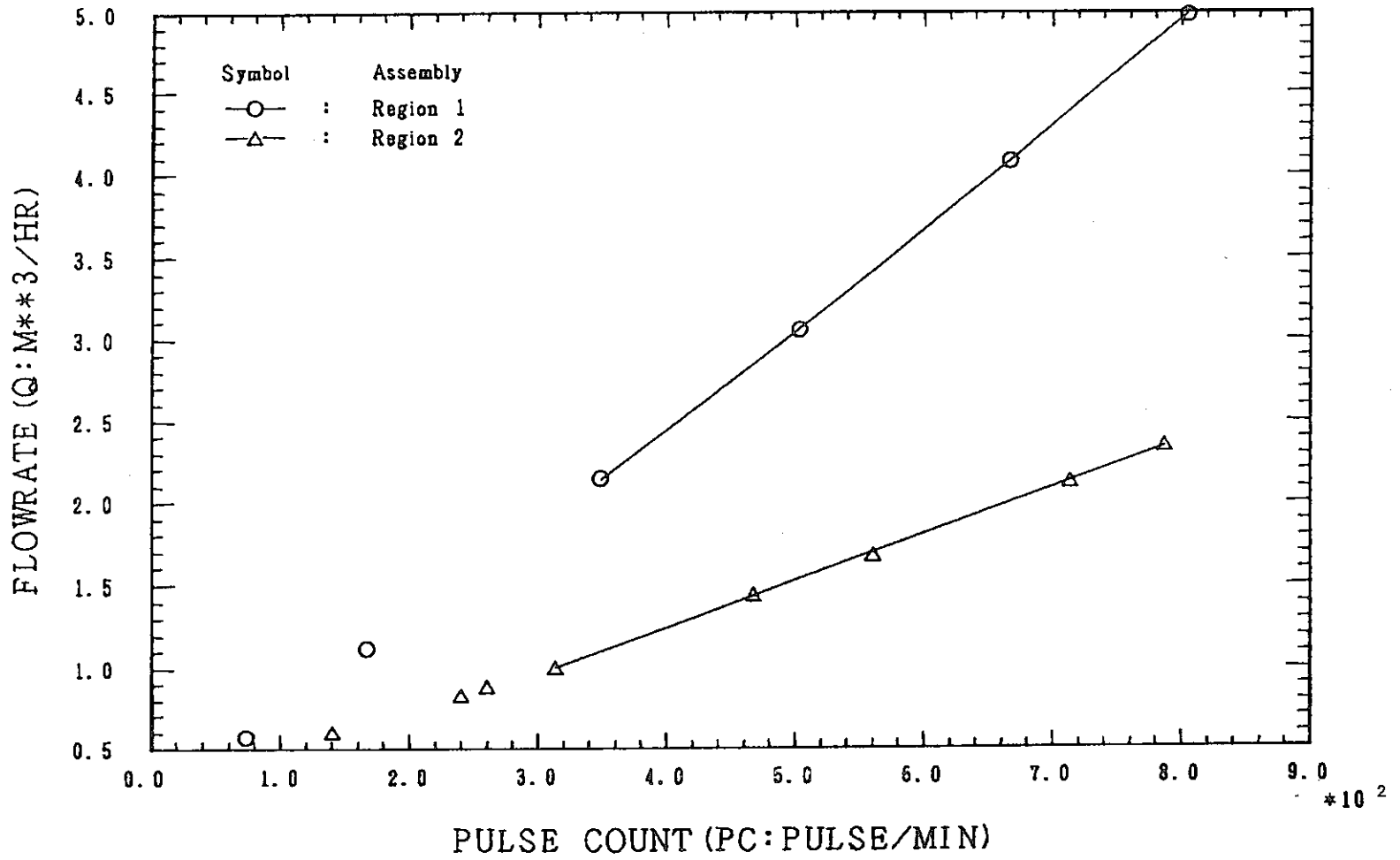


Fig. 4-17 Calibration of the Turbine Flow-Meters in the Blanket Subassemblies

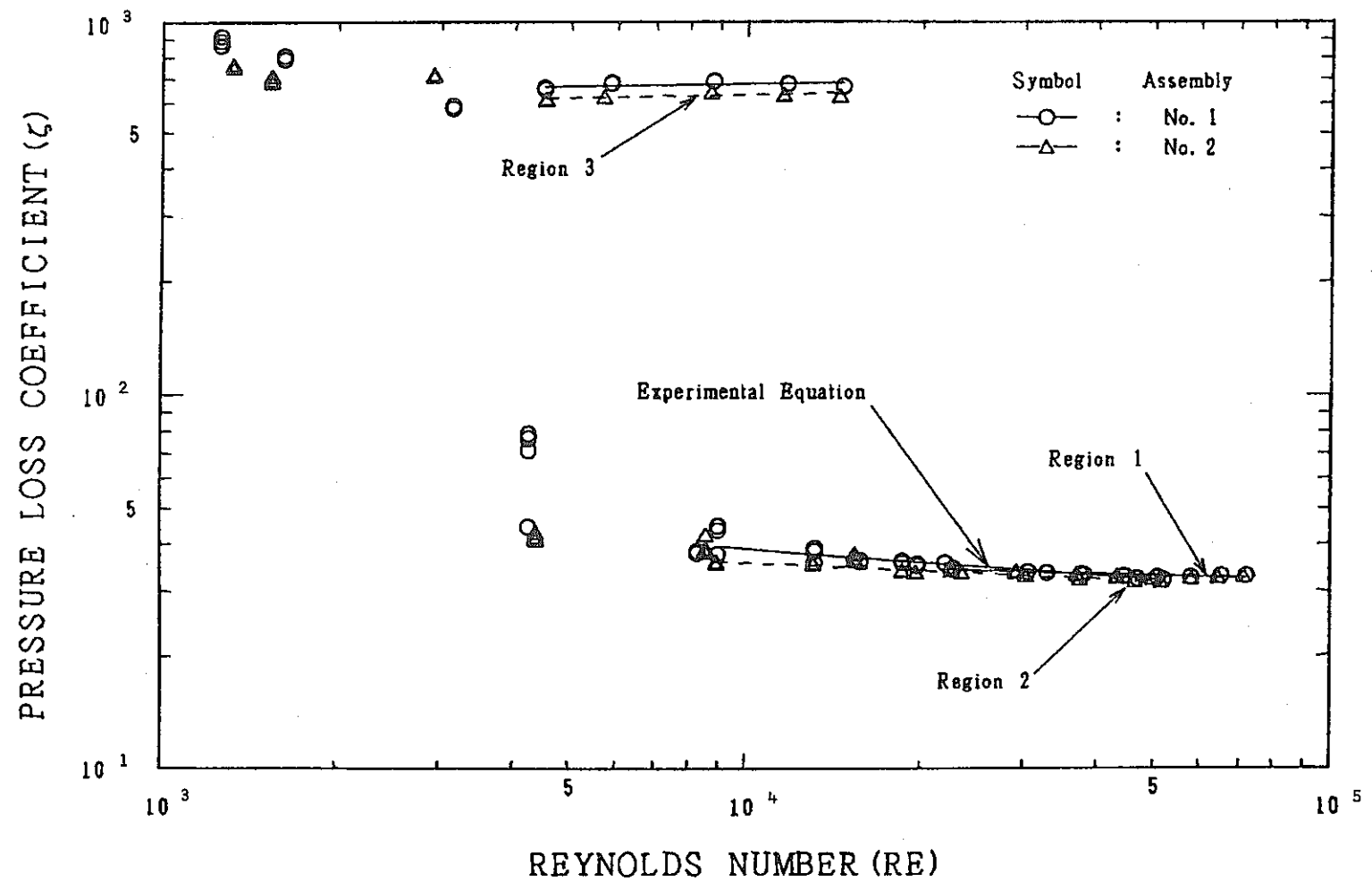


Fig. 4-18 Pressure Loss Characteristics of the Blanket Instrumental Subassemblies with the Pressure Taps

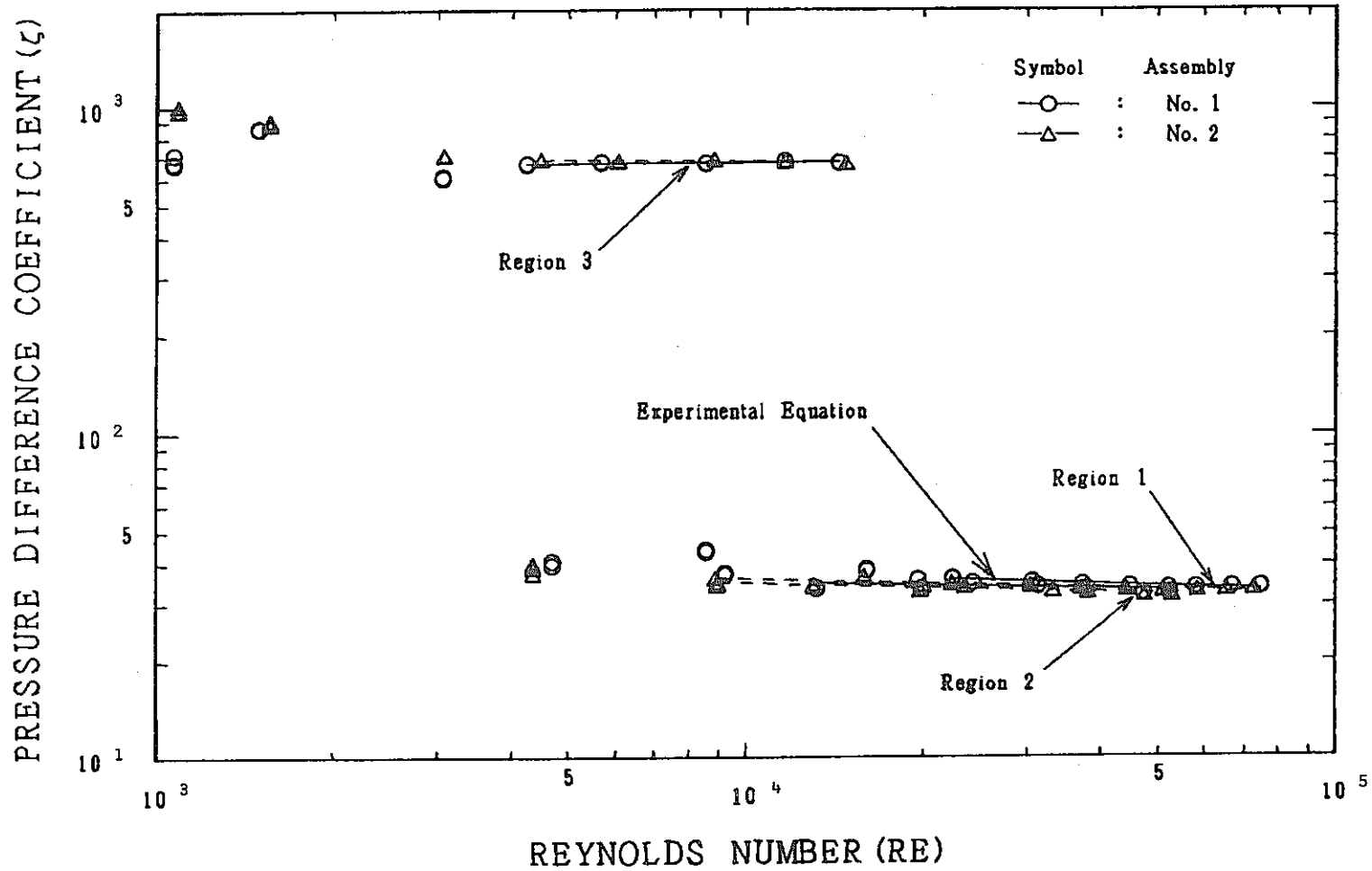


Fig. 4-19 Pressure Difference Characteristics between the Pressure Taps on the Blanket Subassemblies

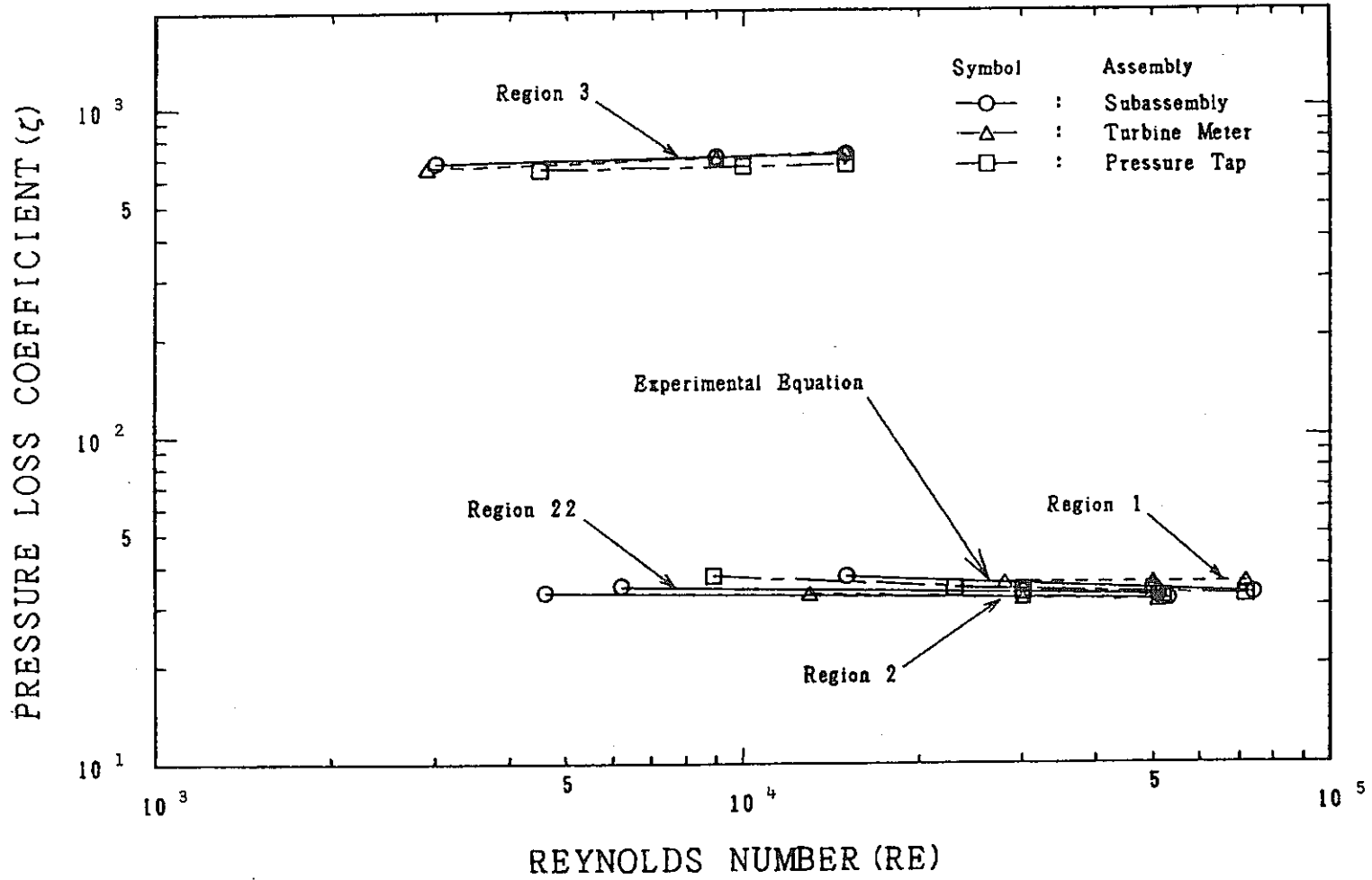


Fig. 4-20 Average Pressure Loss Characteristics of the Blanket Subassemblies

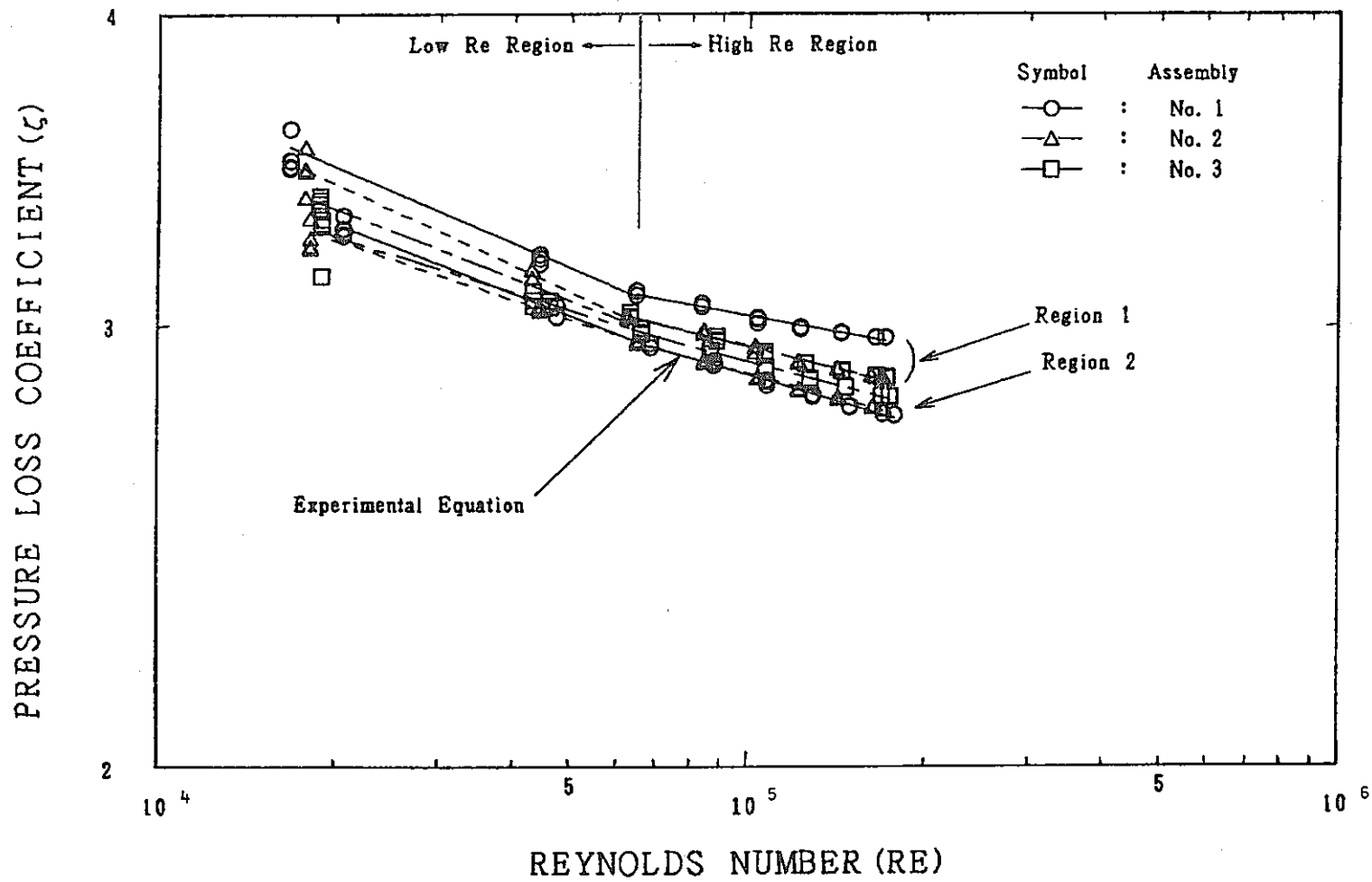


Fig. 4-21 Pressure Loss Characteristics of the Control Rods

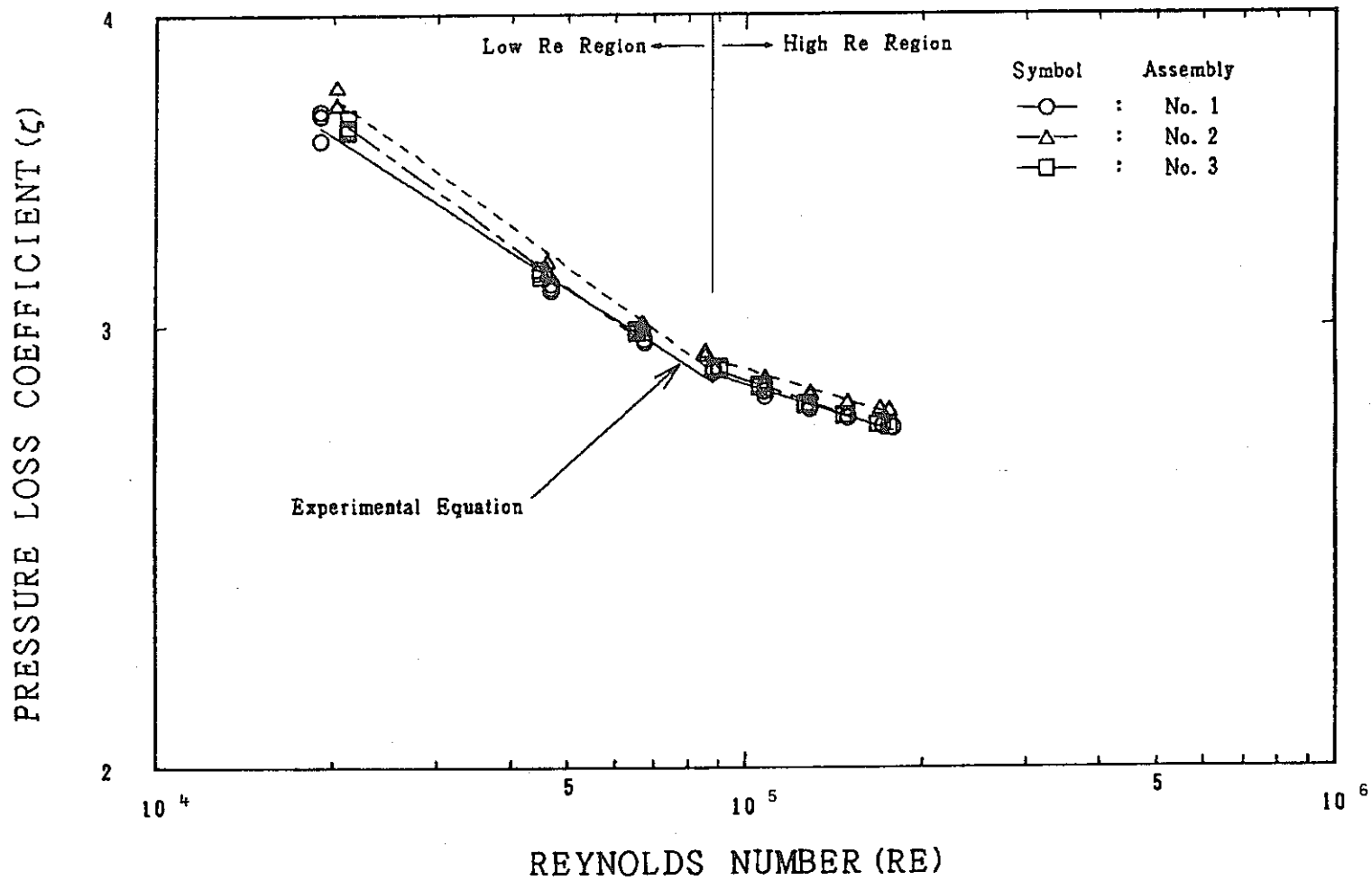


Fig. 4-22 Pressure Loss Characteristics of the Control Rod with the Turbine Flow-Meters

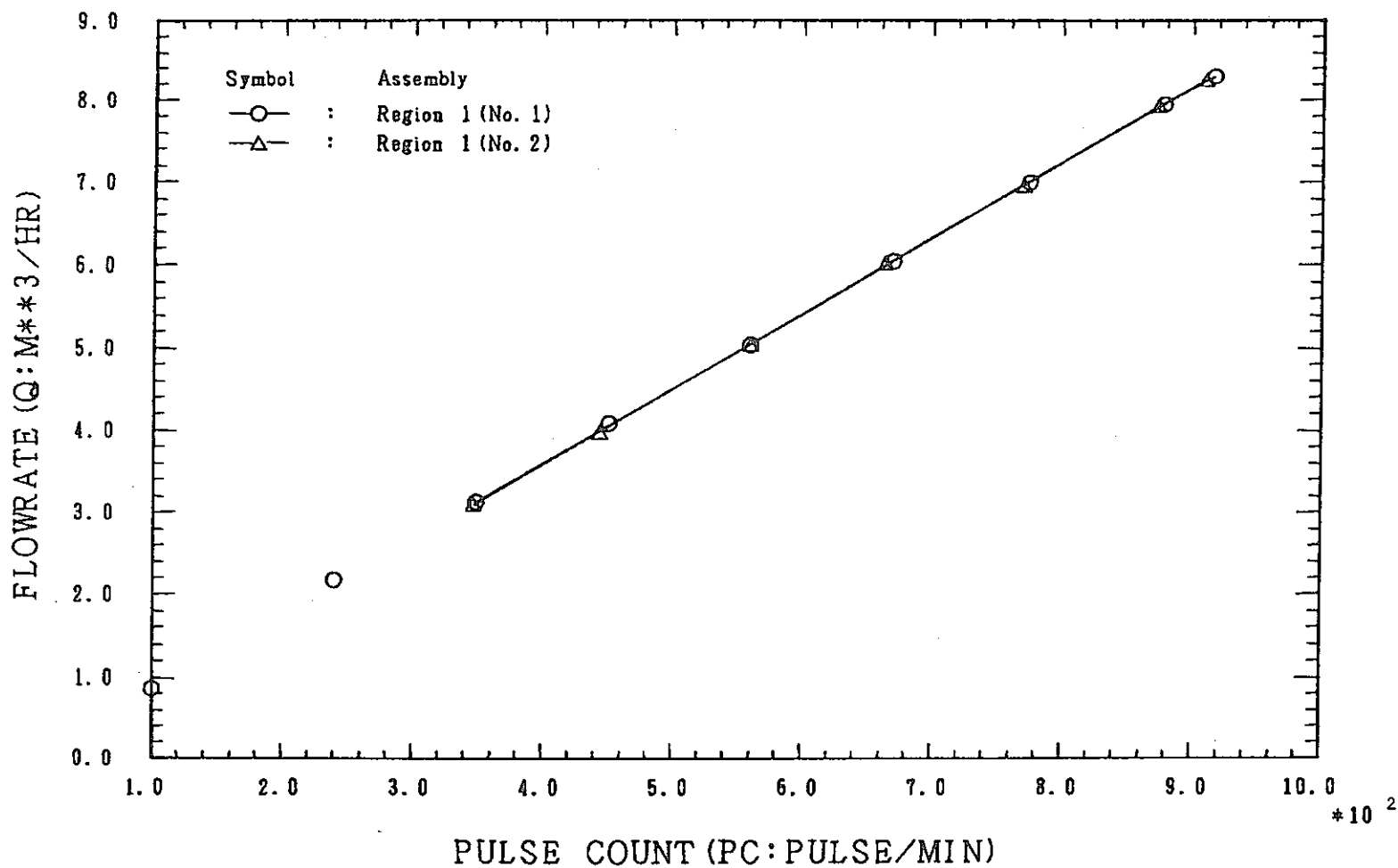


Fig. 4-23 Calibration of the Turbine Flow-Meters in the Control Rods

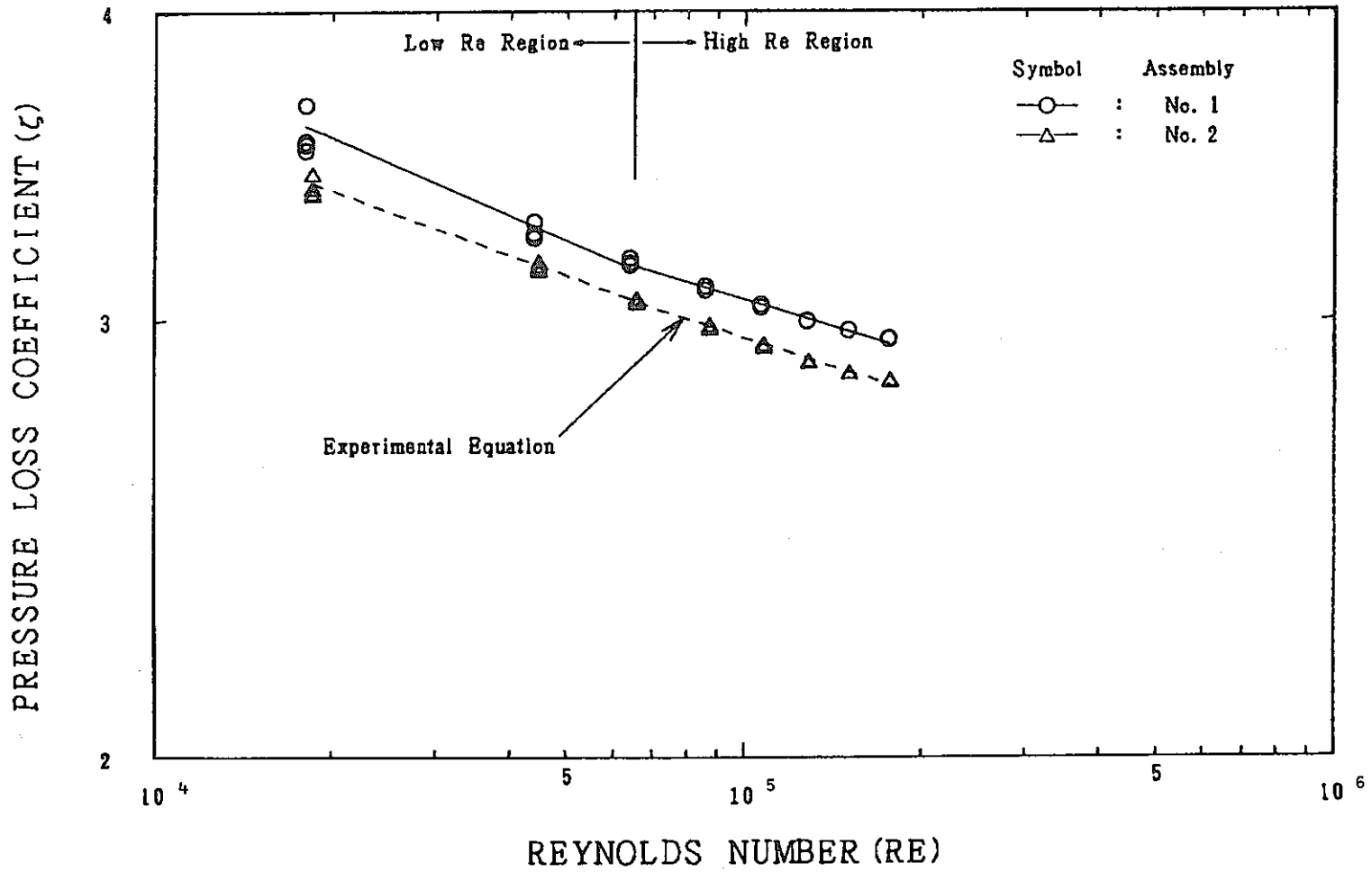


Fig. 4-24 Pressure Loss Characteristics of the Control Rods with the Pressure Taps

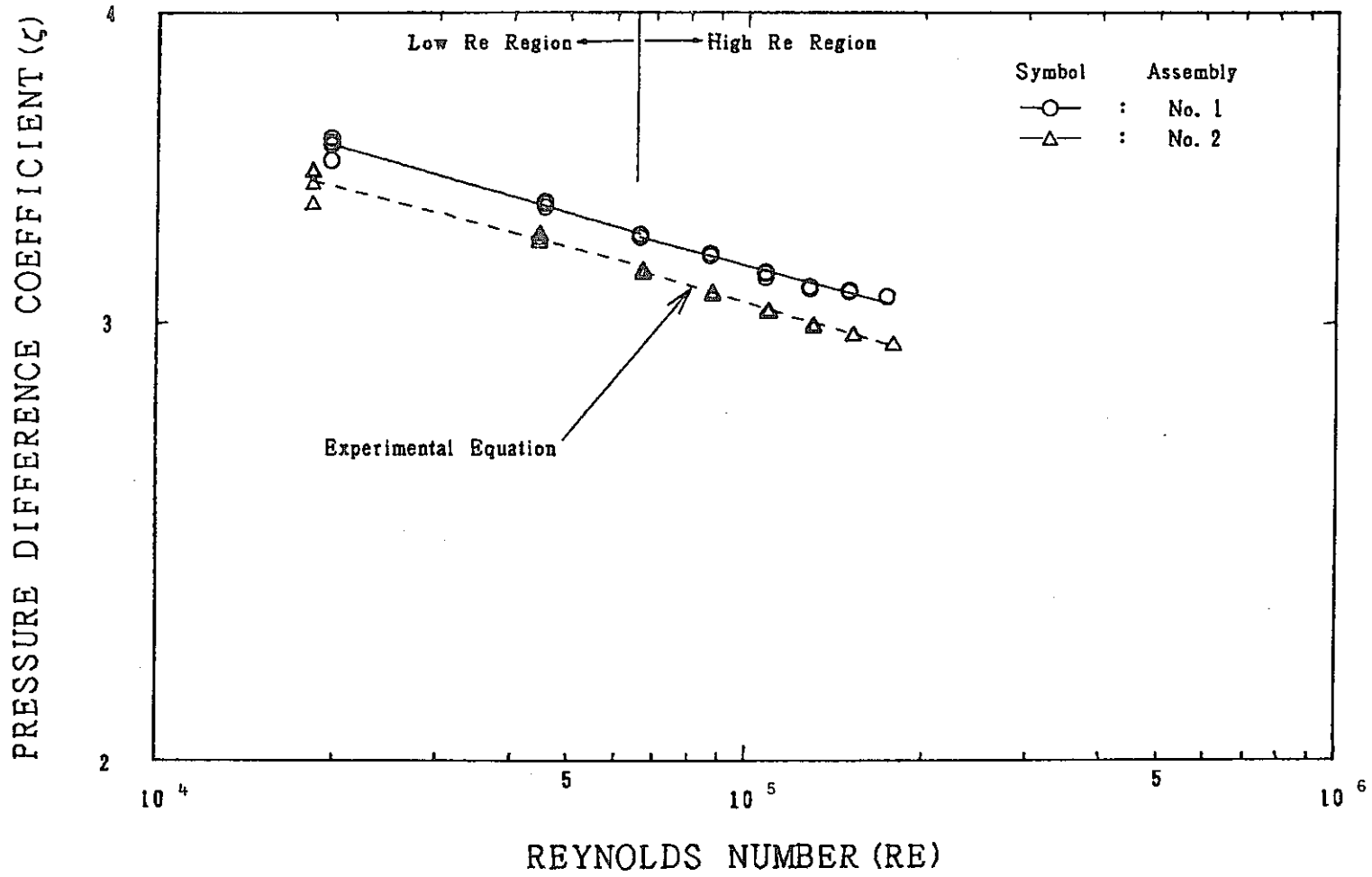


Fig. 4-25 Pressure Difference Characteristics between the Pressure Taps on the Control Rods

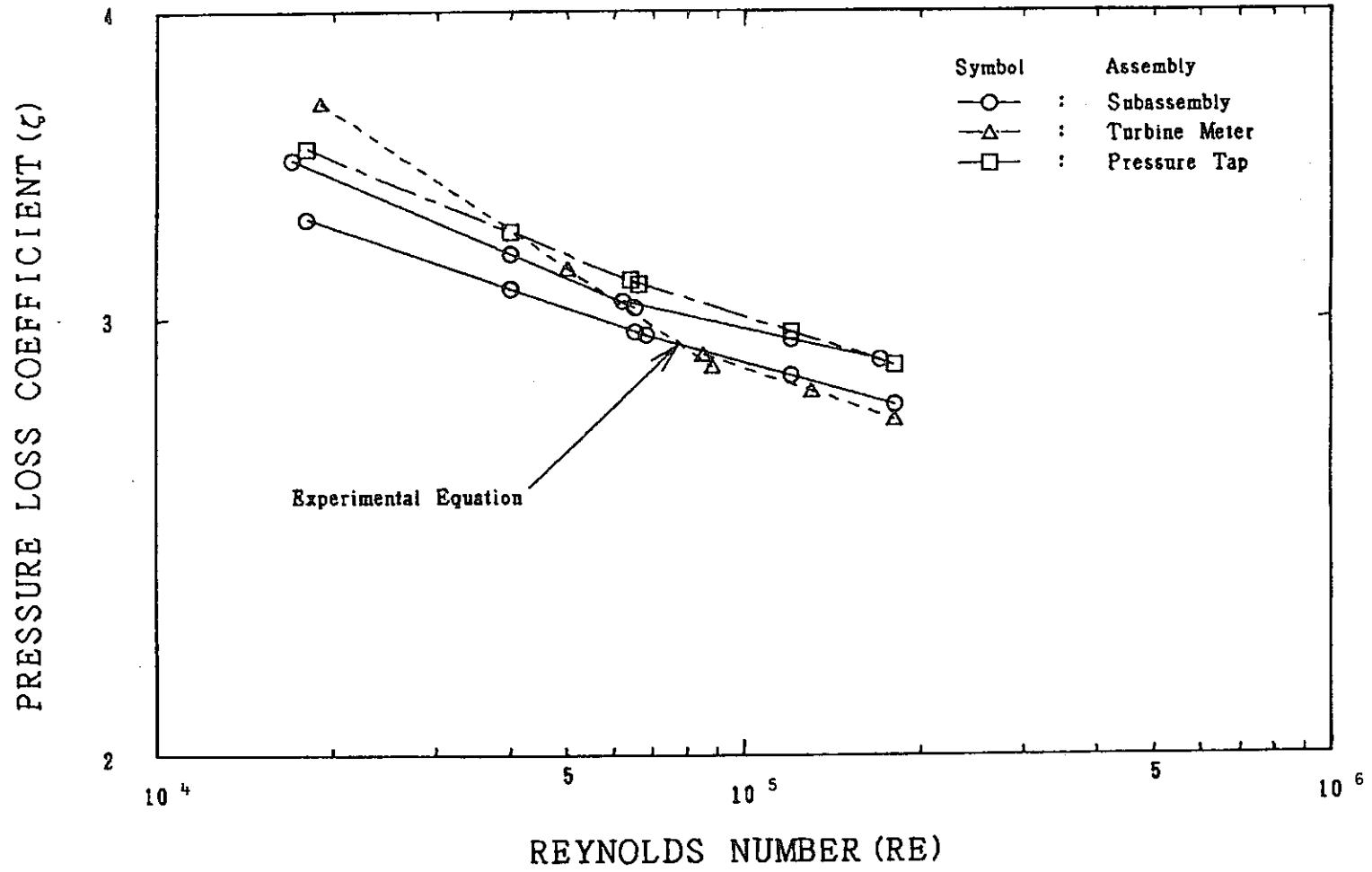


Fig. 4-26 Average Pressure Loss Characteristics of the Control Rods

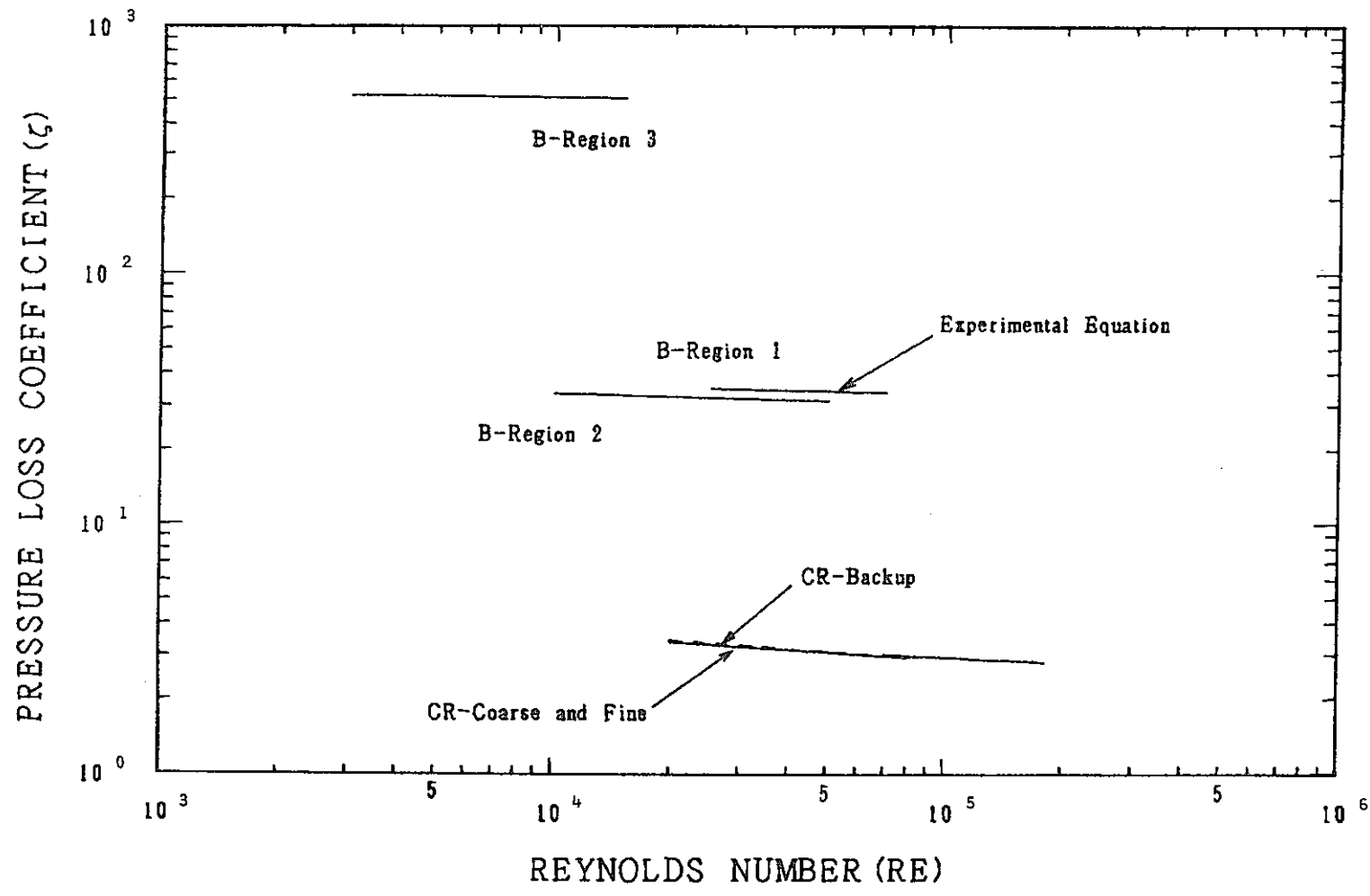


Fig. 4-27 Average Pressure Loss Characteristics of the Blanket Zoon Subassemblies and the Control Rods

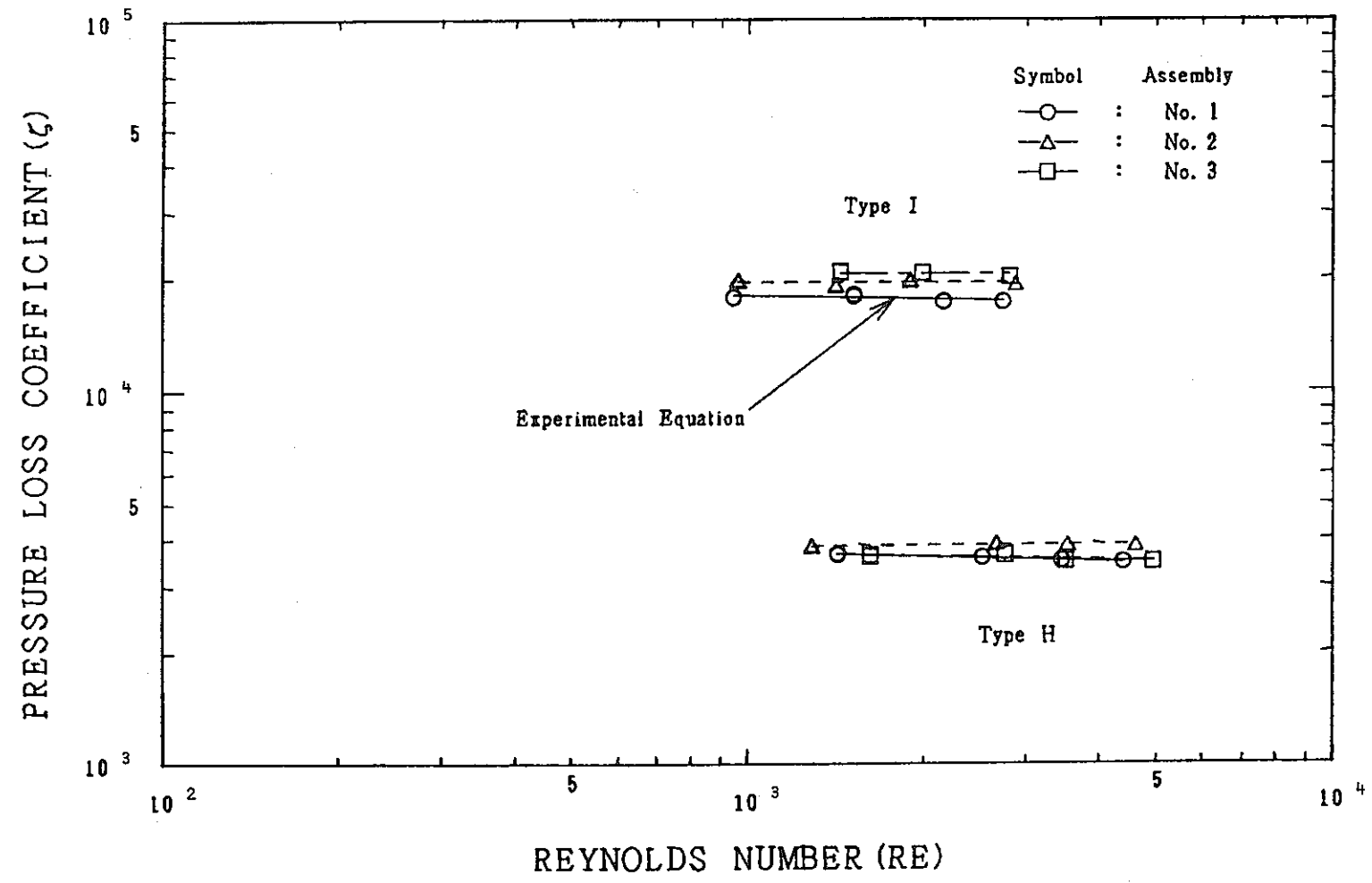


Fig. 4-28 Pressure Loss Characteristics of the Flow Control Orifices in the Neutron Shield Zone - Type H, I

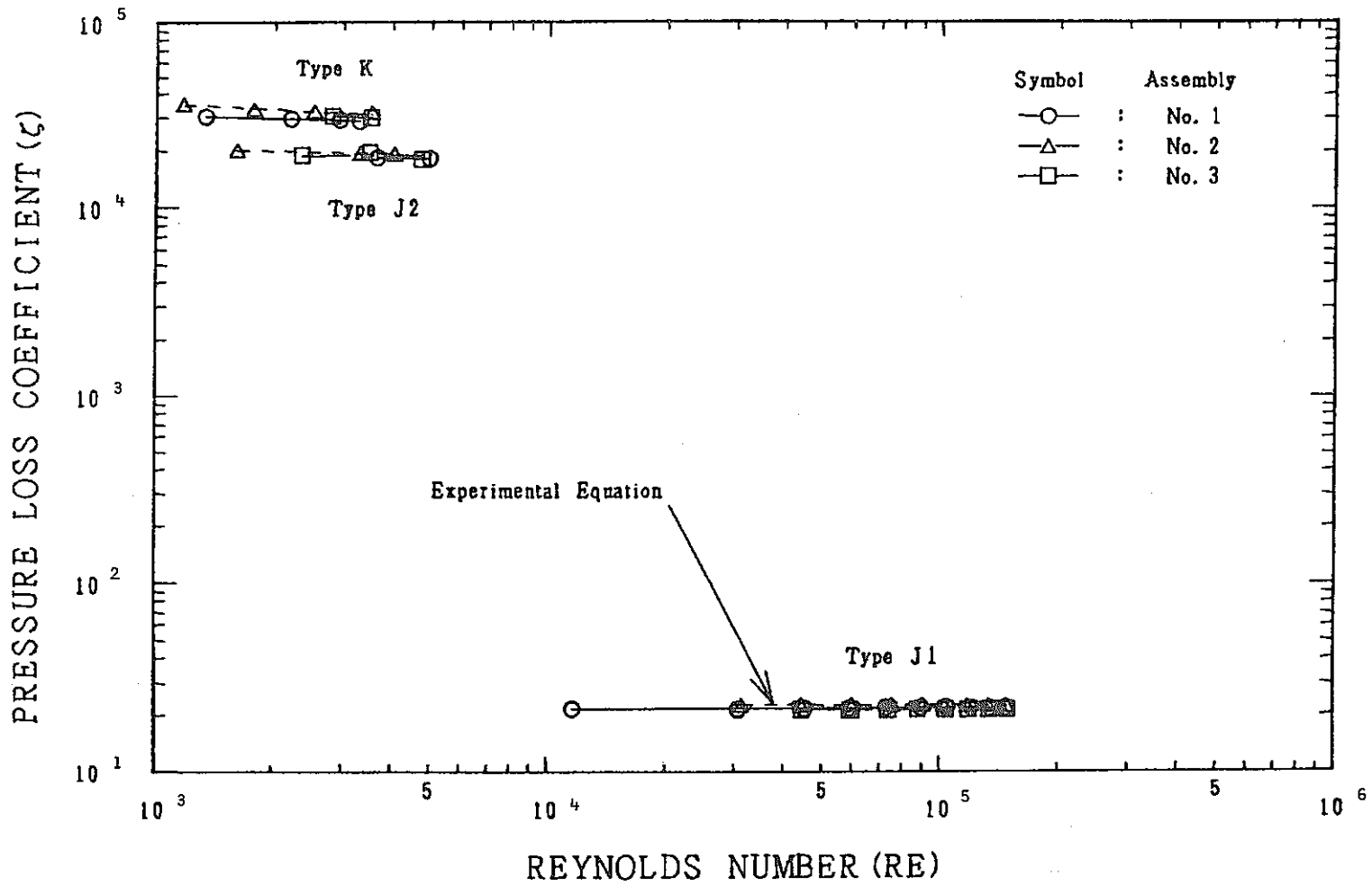


Fig. 4-29 Pressure Loss Characteristics of the Flow Control Devices in the Neutron Shield Zone - Type J, K

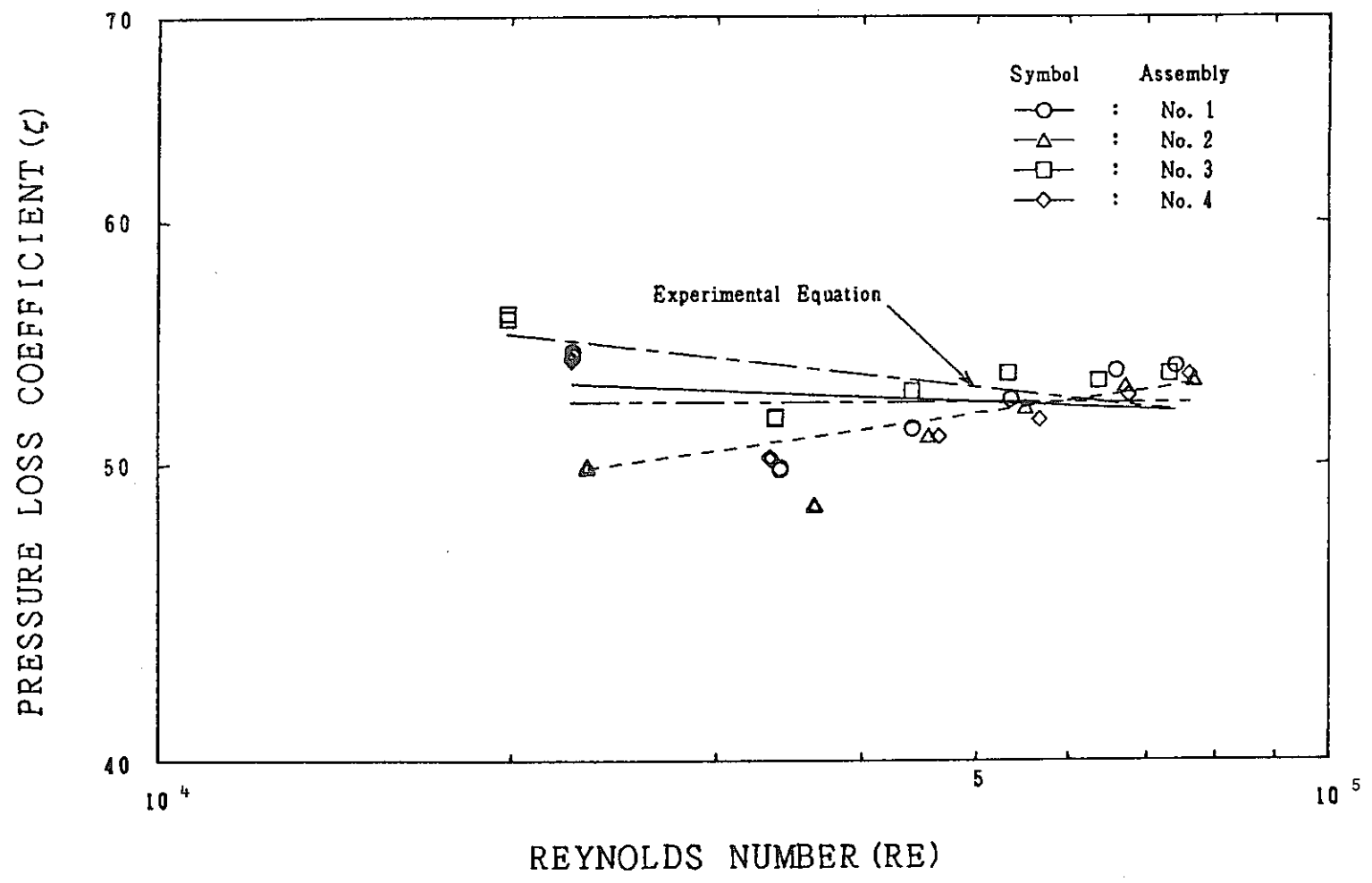


Fig. 4-30 Pressure Loss Characteristics of the Decompression Devices

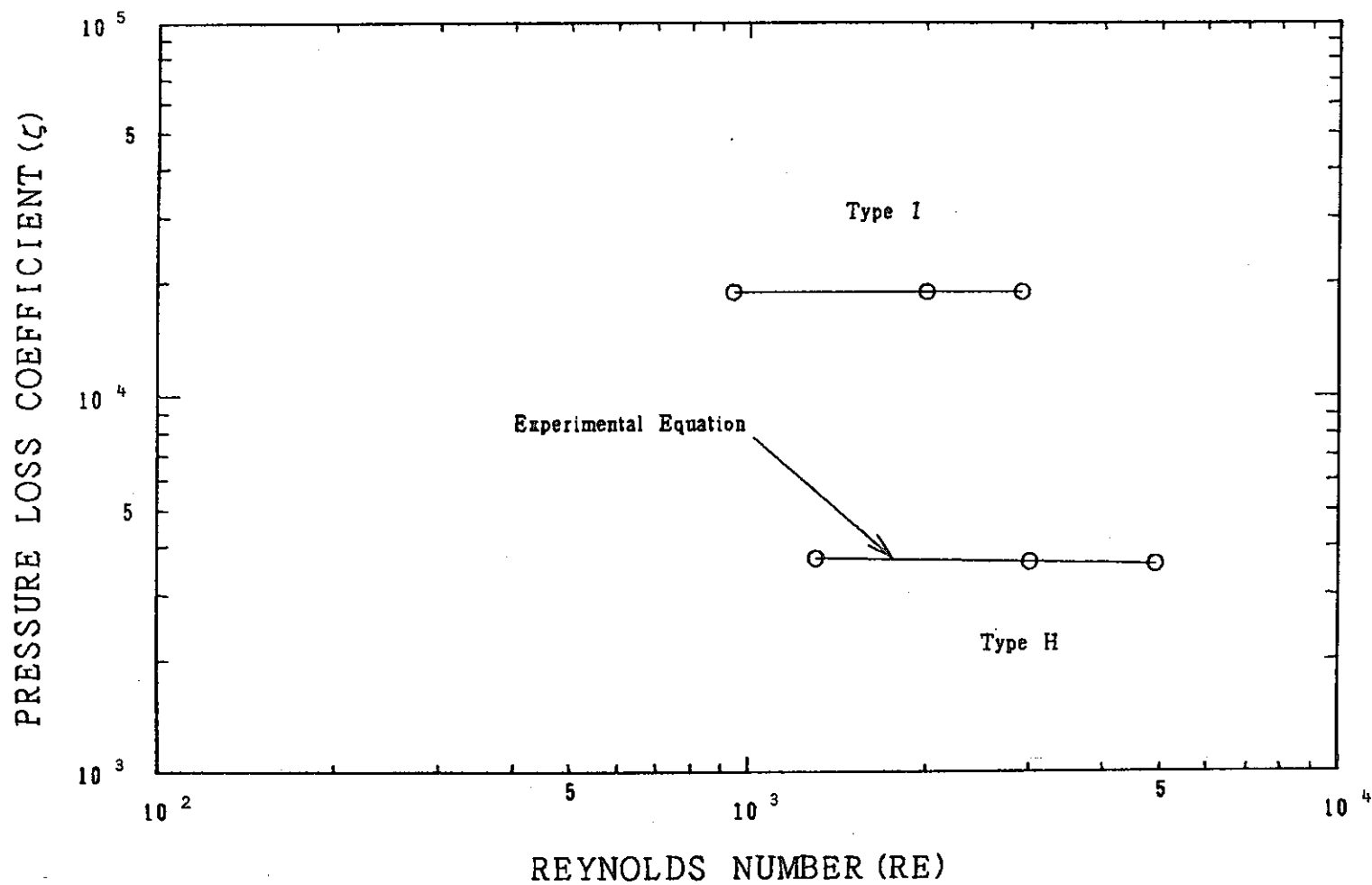


Fig. 4-31 Average Pressure Loss Characteristics of the Flow Control Orifices in the Neutron Shield Zone - Type H, I

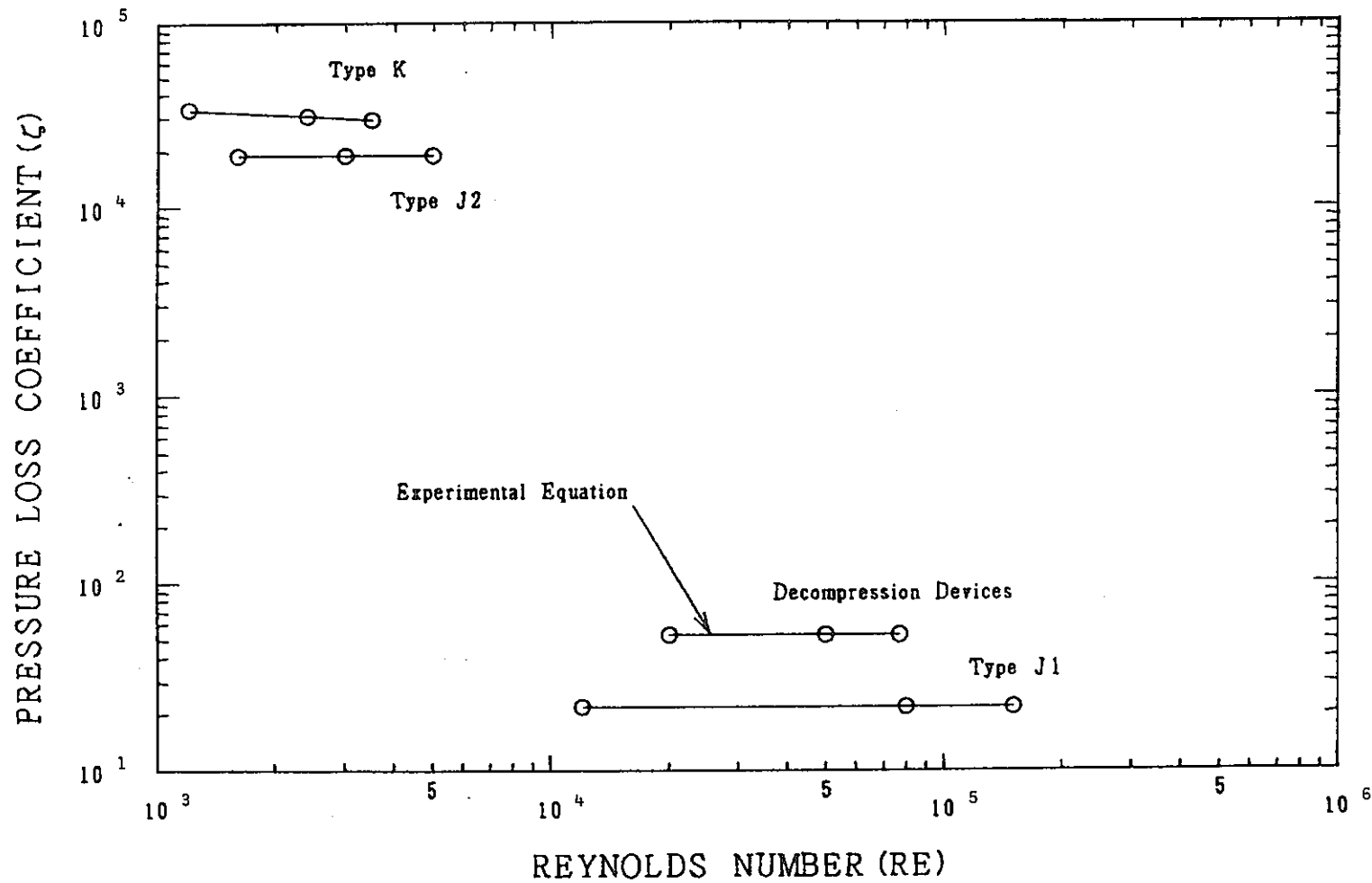


Fig. 4-32 Average Pressure Loss Characteristics of the Flow Control Devices in the Neutron Shield Zone - Type J, K and Decompression Devices