

JAERI-M

85-183

多目的高温ガス実験炉の炉心シール
性能データ

1985年11月

鈴木 邦彦・文沢 元雄・村上 知行
元木 保男・平野 光将・荒井 長利
宮本 喜晟・三木 俊也*

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1985

編集兼発行	日本原子力研究所
印刷	日立高速印刷株式会社

多目的高温ガス実験炉の炉心シール性能データ

日本原子力研究所動力炉開発・安全性研究管理部
鈴木 邦彦・文沢 元雄・村上 知行・元木 保男
平野 光将・荒井 長利・宮本 喜晟・三木 俊也*

(1985年10月17日受理)

多目的高温ガス実験炉では炉心をバイパスする冷却材の漏れ流れを防止するため黒鉛ブロック間にシール要素を設置した。このシール部における流動特性を評価するため、空気による流動試験を実施した。本報はその結果と、実験炉の炉内流動解析に使用するシール性能データとについて述べたものである。結果は以下の通りである。

- (1) 固定反射体間および高温プレナムブロック間シール部を構成する基本ユニットの実寸モデルを用いた試験によって、シール部の隙間、段差をパラメータに、差圧と漏れ流量の関係を明らかにした。
- (2) 基本ユニットを組合わせて実機と同じ構成のシール構造（ブロック3体及び4体の集合部分）を用いた試験によって、差圧と漏れ流れとの関係を明らかにした。また、基本ユニット試験の結果に基づき、漏れ流量を推定できることを示した。
- (3) 上記の結果に基づき、炉内流動解析に使用するシール性能データを定めた。

* 富士電機株式会社

Experimental Study of Seal Performance
in the Core of the Experimental VHTR

Kunihiko SUZUKI, Motoh FUMIZAWA, Tomoyuki MURAKAMI,
Yasuo MOTOKI, Mitsumasa HIRANO, Taketoshi ARAI,
Yoshiaki MIYAMOTO and Toshiya MIKI*
Department of Power Reactor Projects, JAERI

(Received October 17, 1985)

The report presents the results of a series of air flow tests simulating the seal structure between permanent side reflectors and hot plenum blocks of Multi-purpose Very High Temperature Gas Cooled Reactor (the Experimental VHTR) based on the second stage of detailed design, and also discusses the seal performances to be used for the flow analysis in the Experimental VHTR core.

The results are as follows:

- (1) The flow test, using the unit model which represents the element of actual seal structure of permanent reflectors and hot plenum blocks respectively, gave a clear correlation between leak flow rate and pressure difference as the parameters of gap width and differential level of seal structure.
- (2) The flow test, using the assembled model which represents the parts of actual seal structure of permanent reflectors and hot plenum blocks, gave a clear correlation between leak flow rate and pressure difference. The leak flow measured in the assembled model agreed well with the calculated one using the seal performance data obtained with the unit model test. The results shows that leak flow rate through the seal structure can be calculated using the seal performance data of the unit model.
- (3) The seal performance data for the analysis of flow distribution in the reactor core are evaluated based on the flow test results of unit model.

* Fuji Electric Co., Ltd.

Keywords: VHTR, Core, Seal Performance, Flow Analysis,
Coolant, Detailed Design,
Block, Leak, Helium, Air Flow Test.

目 次

1. はじめに	1
2. 実験炉のシール部構造と漏れ流れ解析	5
2.1 シール部構造	5
2.2 漏れ流れ解析	8
3. 試験計画	13
3.1 試験部構造	13
3.2 試験条件	15
4. 試験装置	17
4.1 基本ユニット試験	17
4.2 部分組合わせ試験	33
5. 試験結果	45
5.1 基本ユニット試験	45
5.2 部分組合わせ試験	91
6. 検 討	107
6.1 基本ユニット試験	107
6.2 部分組合わせ試験	112
7. 結 論	115
謝 辞	116
参考文献	116
付録1 固定反射体間部分組合わせ試験解析データ補足	117
付録2 炉内流量配分解析のためのシール性能データの設定	125

Contents

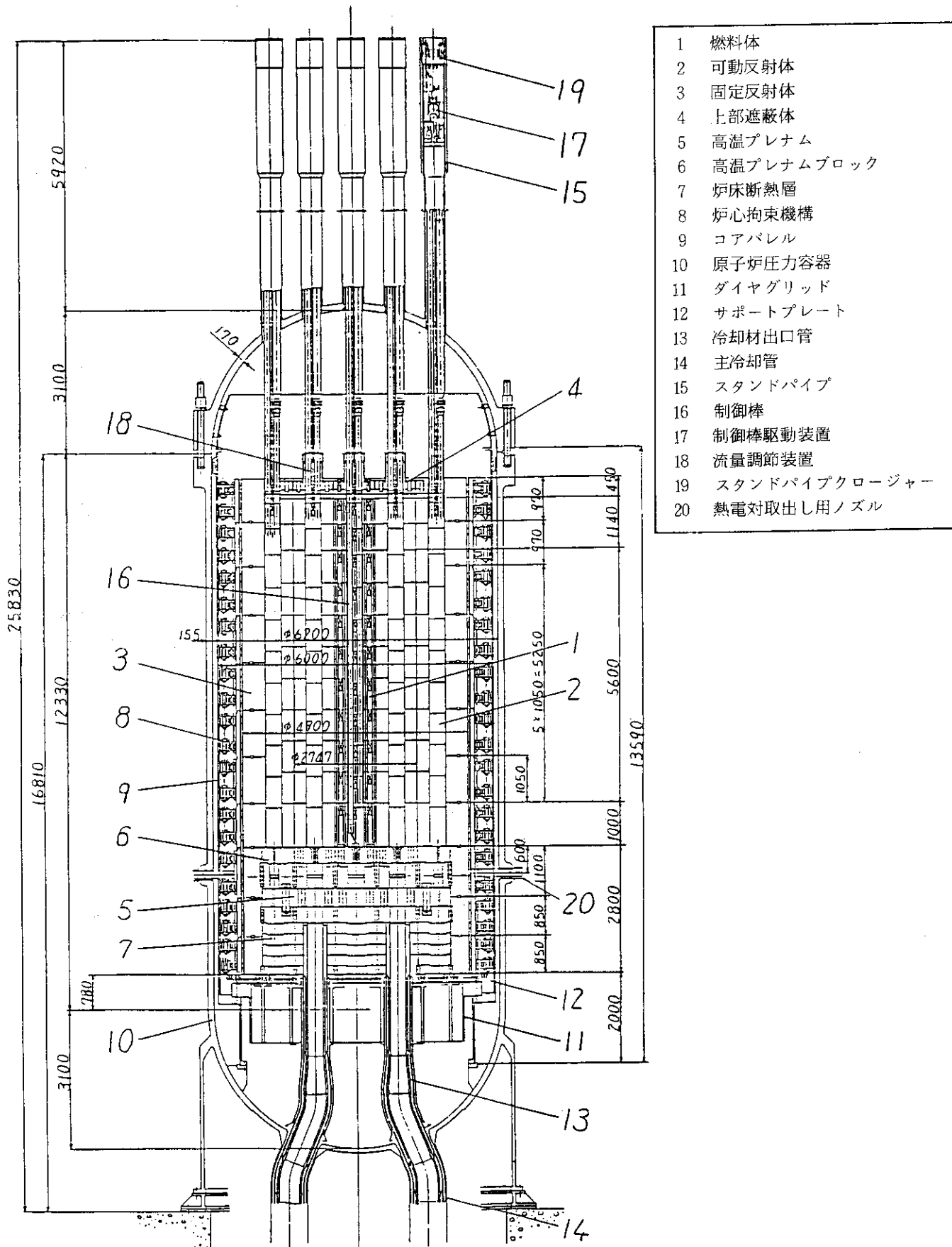
1. Introduction	1
2. Seal structure and flow analysis in the experimental VHTR core	5
2.1 Seal structure	5
2.2 Analysis of coolant flow distribution	8
3. Test plan of seal performance	13
3.1 Test section	13
3.2 Test condition	15
4. Experimental apparatus	17
4.1 Test of unit seal model	17
4.2 Test of assembled seal model	33
5. Results	45
5.1 Test of unit seal model	45
5.2 Test of assembled seal model	91
6. Discussions	107
6.1 Test of unit seal model	107
6.2 Test of assembled seal model	112
7. Conclusions	115
Acknowledgement	116
References	116
Appendix-1 Supplementary data for the analysis of assembled seal model test between permanent reflectors	117
Appendix-2 Evaluation of seal performance data for the analysis of core flow distribution	125

1. は じ め に

本報告書は、昭和59年3月に終了した多目的高温ガス実験炉（以下、実験炉と呼ぶ）の詳細設計(Ⅱ)⁽¹⁾で実施した炉心シール性能データの取得に関して、その流動試験の内容及び結果と、実験炉の炉内流動解析に使用するシール性能データの検討結果について述べる。

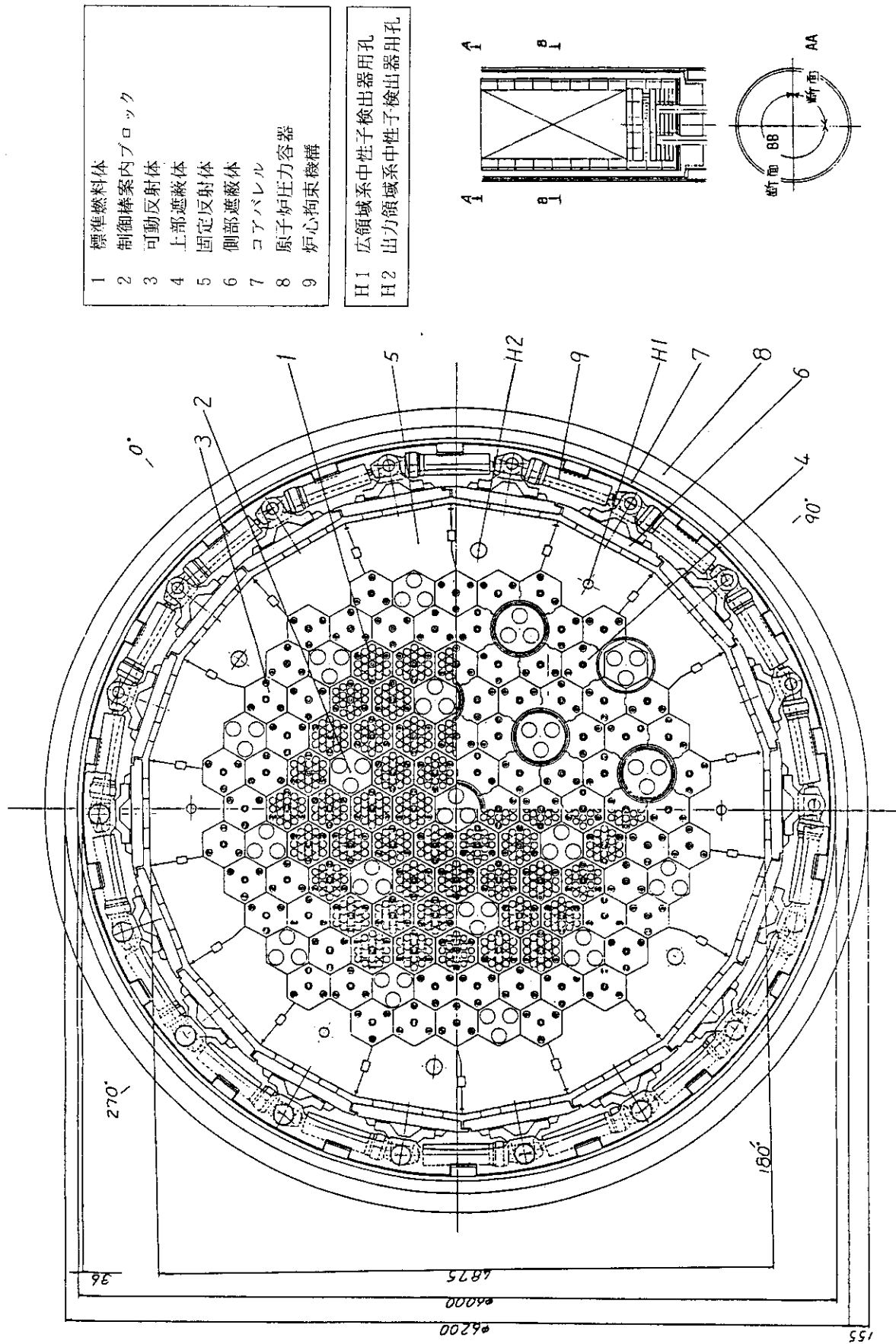
実験炉はFig. 1. 1, Fig. 1. 2の縦および横断面に示す様に炉心が黒鉛ブロックの積み重ね構造であるので、原子炉压力容器内の冷却材は複雑な流れを示す。压力容器内の冷却材流れとしては、Fig. 1. 3に示すように、計画された冷却材流路を通り燃料棒の熱除去を行う主流のほか、ブロック水平面間のすき間を通るクロス流れ、カラム間ギャップ流れ、および炉心をバイパスして周囲から直接高温プレナムへ流入する流れが考えられる。これらの漏れ流れは炉心全体の流動分布、さらには炉心の除熱性能に大きな影響を与える。⁽²⁾特に燃料体の黒鉛ブロック水平面間ギャップを通して冷却材が燃料チャンネルから流出、または流入する、いわゆるクロス流れや炉心をバイパスして固定反射体の内側や高温プレナムへ直接流入する漏れ流れは、主流の有効流量（原子炉を流れる全冷却材のうち、燃料棒を直接冷却する冷却材の流量）を減少させ、燃料温度の上昇を招く。

炉心部の有効冷却材流流を確保するためには、炉心側部の固定反射体間及び炉心下部の高温プレナムブロック間の冷却材漏れ流れを低減することが極めて重要である。これらの大型黒鉛構造物は原子炉の運転期間中に交換されることのない固定構造物であるので、シール要素の設置などの漏れ流れ防止構造とすることができ。従って、固定反射体間及び高温プレナムブロック間の冷却材漏れ流れの特性を明らかにして、実験炉における漏れ流れ防止に有効な構造を設計してゆく必要がある。これまでの炉内流量配分解析では、簡単なシール性能試験の結果に基づいて安全側に解析データを設定しているが、詳細な検討のために、より系統だったシール性能データの取得が強く望まれていた。このため、詳細設計(Ⅱ)と平行し、約1年かけ、設計で得られた構造と同じシール構造を製作し、空気中における流動試験を行った。本試験の結果は詳細設計(Ⅱ)炉心の固定反射体部及び高温プレナムブロック部のシール構造設計に有効に反映され、また、炉内流動解析のためのシール性能データとして用いられている。



- 1 燃料体
- 2 可動反射体
- 3 固定反射体
- 4 上部遮蔽体
- 5 高温プレナム
- 6 高温プレナムブロック
- 7 炉床断熱層
- 8 炉心拘束機構
- 9 コアパレル
- 10 原子炉圧力容器
- 11 ダイヤグリッド
- 12 サポートプレート
- 13 冷却材出口管
- 14 主冷却管
- 15 スタンドパイプ
- 16 制御棒
- 17 制御棒駆動装置
- 18 流量調節装置
- 19 スタンドパイプクローザー
- 20 熱電対取出し用ノズル

Fig. 1.1 原子炉縦断面図



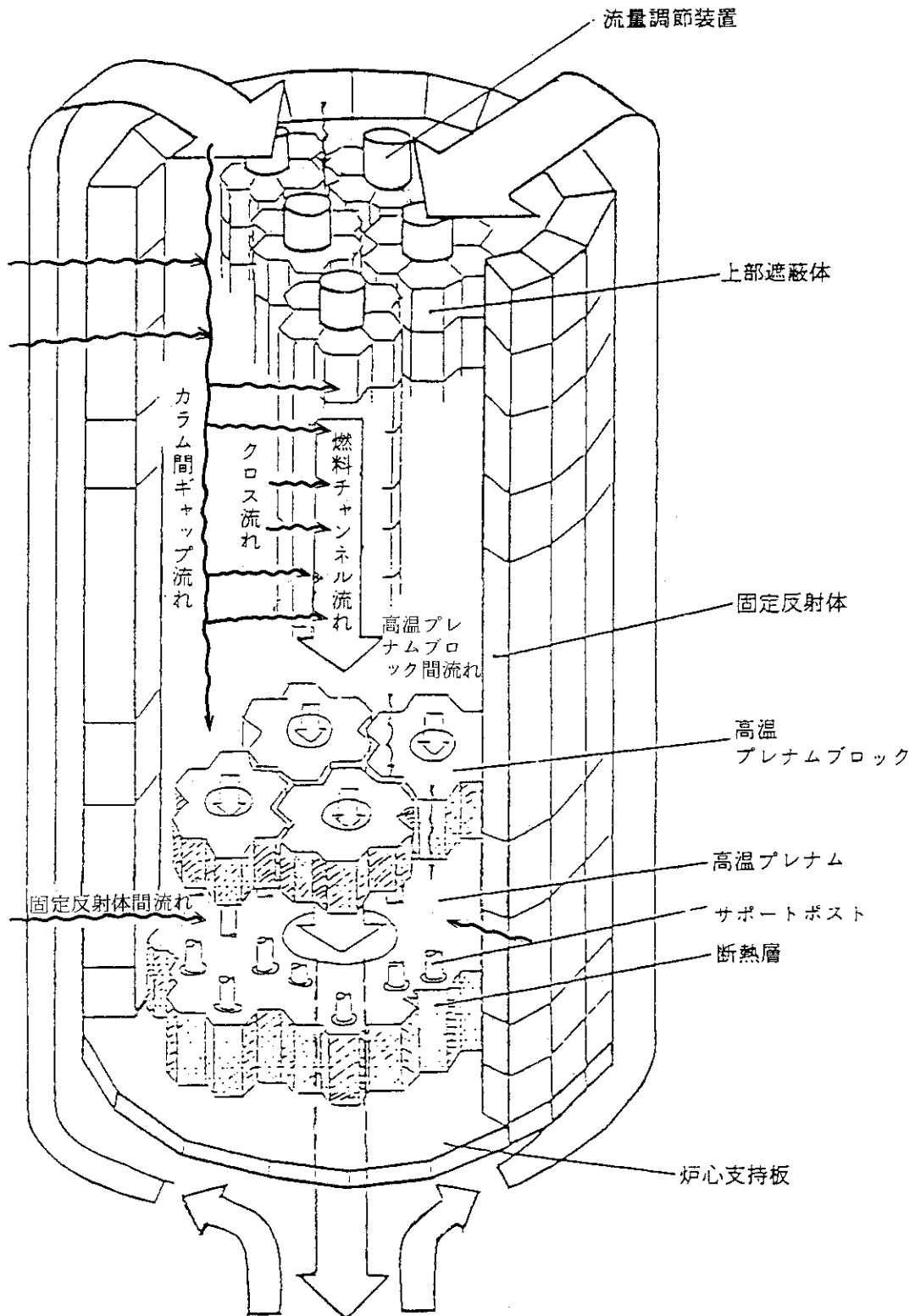


Fig. 1.3 炉容器内冷却材流れ概念図

2. 実験炉のシール部構造と漏れ流れ解析

本章では、炉心シール性能データ取得試験計画を作成する際に前提とした実験炉の詳細設計(Ⅱ)におけるシール部構造と漏れ流れ解析について述べる。

2.1 シール部構造

(1) 固定反射体部シール構造

固定反射体部について、詳細設計(Ⅱ)以前の設計からの改良点は次の通りである。

(a) 面間シール有効巾の増加

従来は、固定反射体内外温度差によってシール面間のギャップが増大するのを防ぐため、面間シール部有効巾は固定反射体外周から200 mmにとどめ、それより内側については逃げ加工（ギャップとして1 mm）を施していた。従って、この逃げ加工を施した部分はシールに寄与していなかった。また炉心構造試験体の試験⁽³⁾からも高温プレナム内リークに悪影響を与える事が指摘された。

そのため、この部分をFig. 2. 1. 1の様に熱膨張差を見込んだテーパ加工とし、シール効果を期待出来る構造とした。

この構造改良によって、面間シール抵抗はこの接触面有効巾増加に比例して増す事が期待される。

(b) シール要素の多重化

従来は、固定反射体間のシール要素として、シール性能の高い金属シール要素を、反射体の外周の低温部に一層のみ設けていた。

これは、金属シール要素が、シール部差圧によってギャップ開口部に押しつけられ、それによってはじめてシール性能が得られるという考えに基づいたものであった。

しかし、富士電機^(株)にて行ったシール要素抵抗測定試験の結果⁽⁴⁾から、次の見通しが得られた。

- ① シール要素抵抗のシール部差圧依存性は小さい。
- ② 漏れ流路の途中にキーを挿入する事によって、金属シール要素よりやや低い程度のシール抵抗が得られ⁽⁵⁾その抵抗値のキーとキーみぞのクリアランス依存性は小さい。また、このキーシール要素抵抗のシール部差圧依存性も小さい。

従って、本検討においては、従来から設置されていた反射体間キーをシール要素として扱い、このシール効果を見込むとともに、反射体内側の高温部にも黒鉛製のキー型シール要素を設置し、シールの多重化、及びシール性能の向上を図った。具体的にはFig. 2. 1. 2に示す通りである。

これによって三つの同程度の抵抗を持ったシール要素が直列に設置されることになり、シール抵抗はおおよそ3倍になる事が見込める。

(2) 高温プレナムブロック部シール構造

高温プレナムブロック部については、従来一段の星形ブロックであったものを、六角ブロック2段、即ち、シール用高温プレナムブロックとキー結合用プレナムブロックとに2段分割する事によって、シール構造の改良を図った。

具体的には Fig. 2. 1. 2 に示す通りである。

従来、六角ブロック採用の難点とされていた下部可動反射体が2領域間にまたがることについては、Fig. 2. 1. 2 に示す様に上段プレナムブロックの上面を燃料領域に添った形状に逃げを加工する事によって解決した。

この構造によるシール構造の改良点は、次の通りである。

(a) シール長の減少

六角形状を採用する事によって、12%シール長さが減少した。

(b) シール要素の多重化

高温プレナムブロックを2段分割にし、上段にシール機能のみを持たせる事によって、高温プレナムブロック側面に、3段のシール要素設置を可能とした。

これによって、シール要素抵抗はおよそ3倍となる事が見込まれる。

(c) シール性能の安定化

2段分割した高温プレナムブロックの下段をキー結合用ブロックとし、上段のシール用プレナムブロックのブロック間ギャップを均等化する事が出来る。また、キーとキー溝のクリアランスを小さくする事によって、シール要素設置部に大きな食い違い段差が発生する事を防ぐことが出来る。

これによって、シール用プレナムブロック側面に設置したシール要素の設置状態が安定し、シール抵抗の極端な片寄りを防止できる。

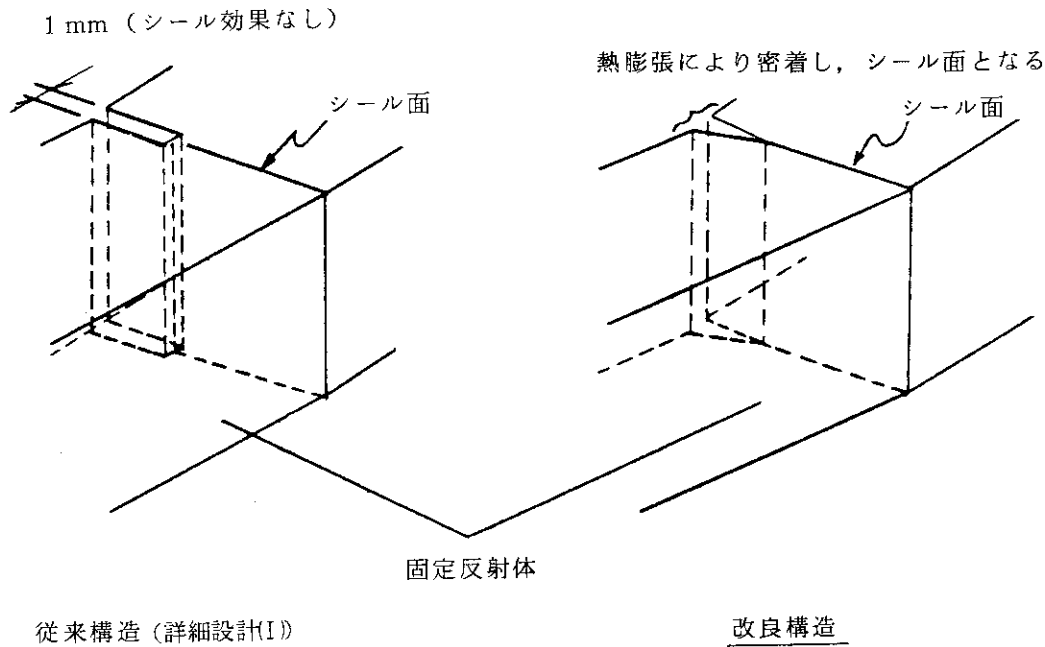
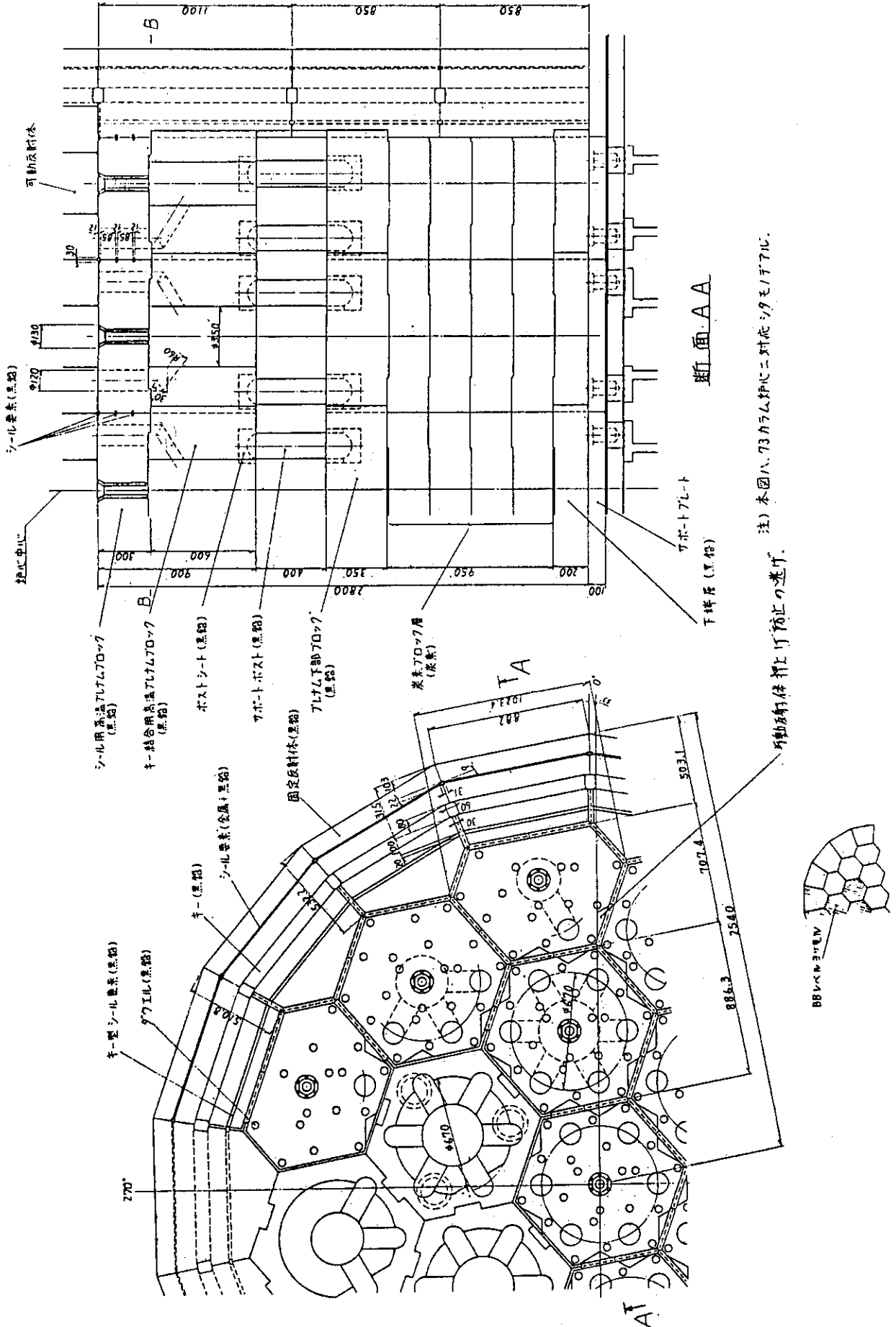


Fig. 2. 1. 1 固定反射体面間シールの改良方法



注) 本図は、73カラム炉心にニ対症シテモテアル。

Fig. 2.1.2 シール構造及び炉床部構造図

2.2 漏れ流れ解析

本章では、高温プレナムブロック間、及び固定反射体間の漏れ流れの解析について述べる。これらの漏れ流れは、以下に示す様な流路モデルを設けて評価している。

- ① ブロック面間ギャップの流路
- ② シール要素（キーを含む）部の漏れ流れ流路
- ③ シール要素（キーを含む）間の継目にバイパスする流路

これらの流路の組合わせ（ネットワーク）を、固定反射体部、および高温プレナムブロック部についてそれぞれ Fig. 2.2.1, 及び Fig. 2.2.2 図に示す。①のブロック面間の流路データについては、ブロックの製作公差、熱変形量等によって生じる流路を Fig. 2.2.3 に示すような等価的な平行平板流路に見たてた等価ギャップを算出することにより設定する。②のシール要素の流路データは、まず、炉内構造物の寸法変化や製作公差によって生じるシール設置面の段差を推定し、その段差における流路抵抗係数を実験により設定する。また、③のシール要素接続部の流路データは、シール要素、あるいはキーの据付上必要なクリアランスにより決まる。

これらの流路データのうち、特にシール要素の流路抵抗データは理論的に予測する事が難しく、炉心の流量配分や、炉心有効流量を精度良く評価するための主要パラメータの一つである。以下に実験炉設計におけるシール要素性能評価の考え方を簡単に述べる。

(1) シール要素部等価ギャップモデル

シール要素部等価ギャップモデルは、実験炉のシステム総合設計及び詳細設計(I)で用いられた方法で概要は以下のとおりである。

実験炉におけるシール要素部差圧を推定し、それと等価な試験差圧における流量を試験結果から求め、平行平板層流理論式により等価ギャップを設定する。実機差圧と試験差圧を結びつける関係としては、Re数を一致させることを条件としている。この様な方法では実験炉差圧を精度良く見積ることが重要となる。

(2) シール性能表示式

シール要素部の差圧と流量の関係は一般的には(1)に述べた粘性流だけで表示することはできず、⁽⁴⁾シール要素接触面は形状による損失の効果が大きいことが予測される。そこで、流路抵抗を形状による損失効果で表わしたシール要素部の流路抵抗係数 K/A^2 で表示する⁽⁵⁾

まず、試験差圧 (ΔP_m) と試験流量 (G_m) の関係を以下に示すようなべき乗の形で整理する。

$$G_m = \eta \Delta P_m^\epsilon \quad (1)$$

次に圧力損失の式（運動方程式）

$$\Delta P_m = \frac{G_m^2}{2g\gamma_m} \cdot \left(\frac{K}{A^2} \right) \quad (2)$$

γ_m ; 試験流体の比重量

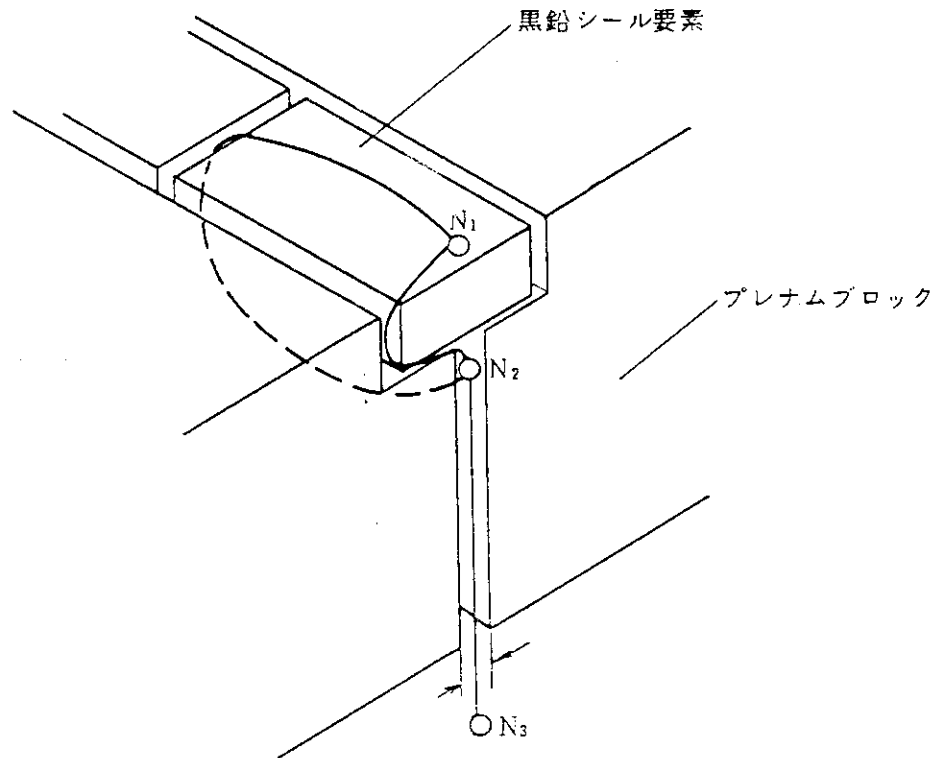
より以下の式を得る。

$$\left(\frac{K}{A^2} \right) = \frac{2g}{\gamma_m \eta^2} \cdot \Delta P_m^{1-2\epsilon} \quad (3)$$

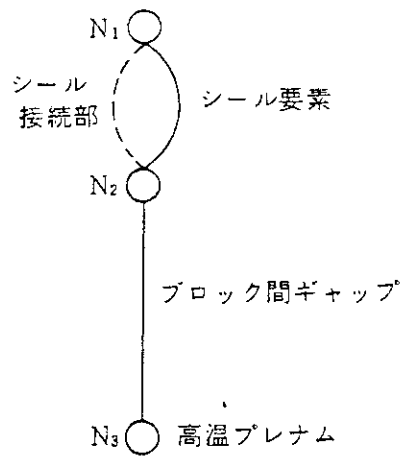
ここで、重要なのは、シール要素の流路抵抗が差圧にのみ依存することは、シール要素接触面の形状損失効果が、シール要素面に実際に加わる圧力にのみ依存することを意味する。従って、(3)式の ΔP_m は $\Delta P_m = \Delta P_p$ となる。ここで ΔP_p は実験炉における差圧である。以上よりシール要素表示式は以下の様に表示される。

$$(K/A^2) = \frac{2g}{\gamma_m \eta^2} \cdot \Delta P_p^{1-2\zeta} \quad (4)$$

ここで η 、 ζ は実験により求まる定数で、シール要素の種類、シール要素設置面の段差により異なる。(4)式の ΔP_p は実験炉におけるシール部差圧で、実験炉の流量配分解析では、この ΔP_p は反復計算の1回前の差圧で評価する方法をとっている。この方法は詳細設計(Ⅲ)に用いられている。

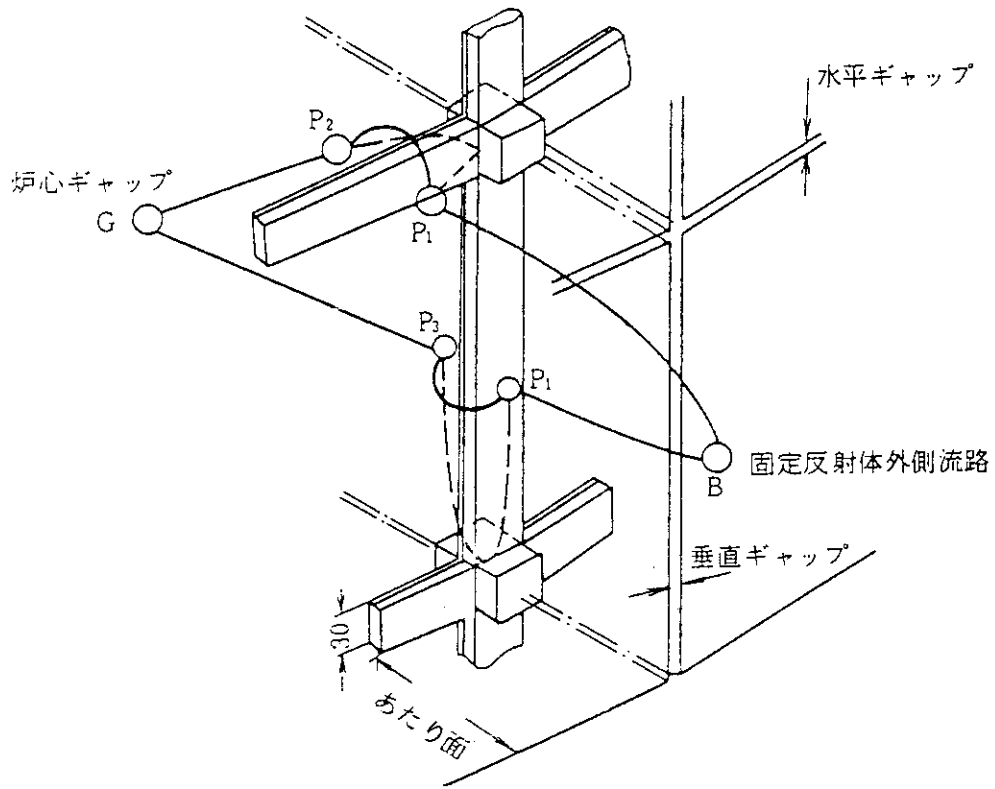


(a) プレナムブロックシール部構造と漏れ流路

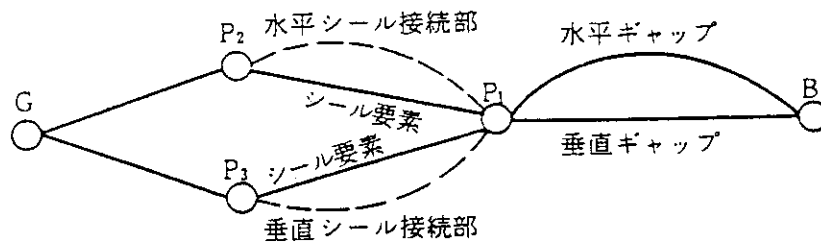


(b) 解析モデル

Fig. 2.2.1 プレナムブロックシール部構造と漏れ流れ解析モデル



(a) 固定反射体シール部構造と流れ流路



(b) 解析モデル

Fig. 2.2.2 固定反射体シール部構造と流れ流路の解析モデル

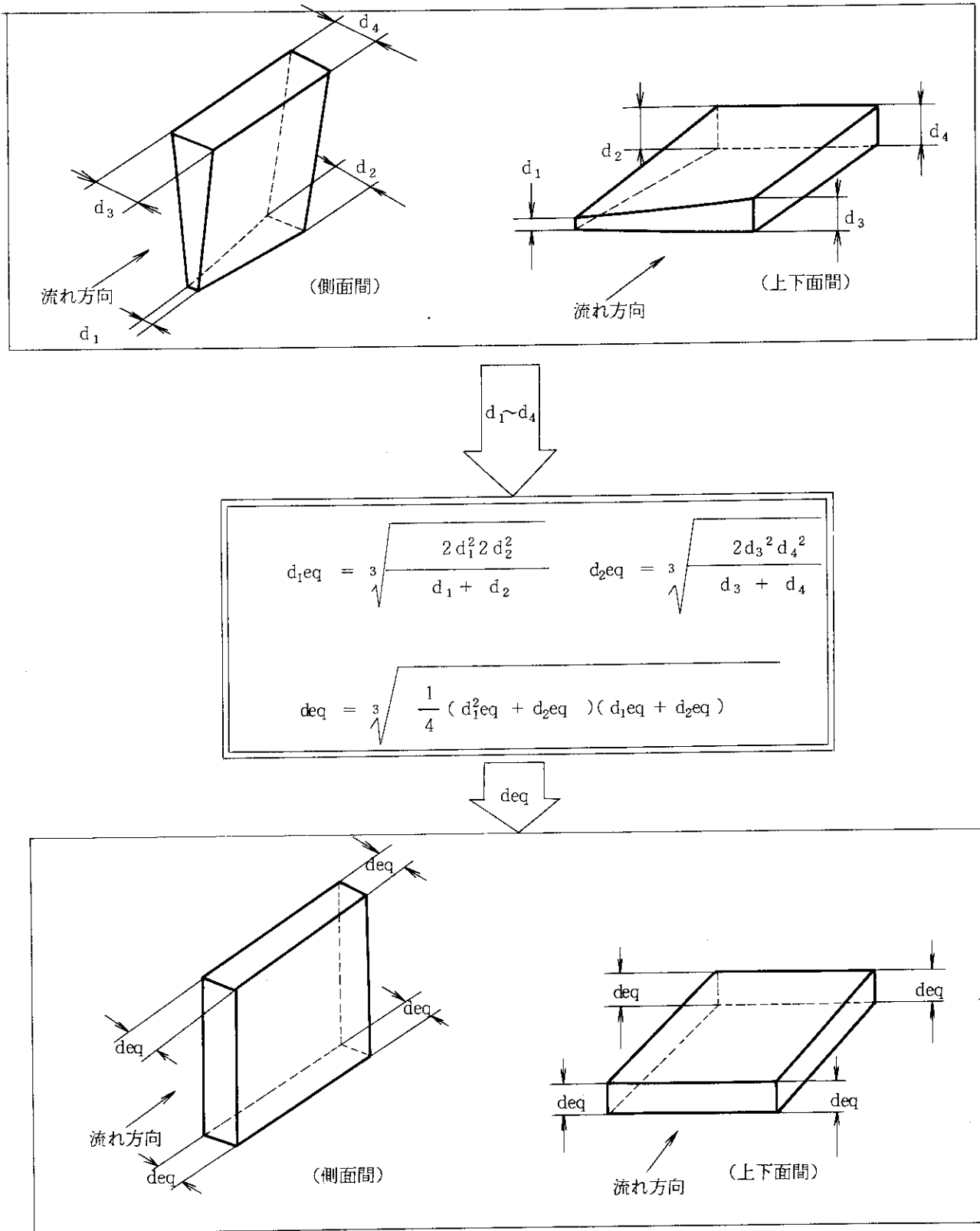


Fig. 2. 2. 3 等価ギャップ (deq) 算出法

3. 試 験 計 画

3.1 試験部構造

本試験は炉心シール部構造のうち、詳細設計(Ⅱ)で採用する予定の固定反射体部及び高温プレナムブロック部のシール部構造と、その結果得られるシール性能を明らかにし、炉内流動解析の精度を上げることである。そこで、本試験を次の基本ユニット試験と部分組合わせ試験に分けて実施する。

- (1) 基本ユニット試験は、ブロック面間シール性能及びシール要素性能について、実機設計のためのデータを得るものとして、実機において予想されるギャップ、段差、差圧を試験パラメータにして行った。この場合の試験体寸法形状は、実機における高温プレナムブロック、固定反射体の任意（ブロック合わせ面）の代表長を取り出したものである。
- (2) 部分組合わせ試験は、基本ユニット試験結果から、シール性に優れたシール要素及びキー寸法、設置構造を選定し、その組合わせ効果を実寸、実際構造により実証することを目的として行った。この場合の試験体寸法形状は、実機における高温プレナムブロックの組合わせ部分（ブロック3体の集合部分）及び固定反射体の組合わせ部分（ブロック4体の集合部分）を取り出したものである。

固定反射体は、炉心支持板の熱膨張に伴って周方向に拡がらないように、炉心拘束バンドで締めつけられており互いに密着している。しかし、固定反射体の製作公差や内外の熱膨張差によって、ブロック間に不規則な空間が生じる。実験炉の炉内流動解析では、この空間を流れる冷却材の流動抵抗を、基本的な流路の合成抵抗として評価している。その妥当性を検証するために、模擬ブロックによる接触面の流動抵抗試験を行う。また、固定反射体は、位置決め及び構造維持のためキー構造となっており、これまでの試験結果によると流動抵抗として積極的に期待できることがわかっている。このため本来のキーの他に、炉心内側で比較的高温となる位置に、シールを目的とするキータイプの黒鉛シール要素の設置を検討するため、この性能試験を行う。また、キーよりも炉心外側で比較的低温の位置には、差圧による圧着の効果が期待される金属シール要素（インコロイ）の設置を検討するため、この試験を行う。

高温プレナムブロック部は、約1000℃の高温であるので黒鉛シール要素が設置される。2.1節に示すように高温プレナムブロックの機能を分担したことにより、上部ブロックに黒鉛シール要素を3段設置することが検討されているので、この試験を行う。また、Fig. 3.1.1に示すように、黒鉛シール要素を高温プレナムブロックの1辺の長さ程度の一体物にして切れ目を少なくする場合と、ブロックへの密着性を期待して2分割した場合とについてシール性能を比較検討する。

実験炉の固定反射体及び高温プレナムブロックの黒鉛銘柄は、米国のPGX黒鉛を想定しているが、本試験では、①粒径、②密度、③外観がPGXと似ていて、かつ、試験体ブロック（70×250×500mm）が切り出せるものとして日本カーボン製のEG-NPL黒鉛を使用す

る。なお、粒径、密度についてPGX黒鉛と比較すると下表のとおりである。

項目 \ 銘柄	PGX	EG-NPL
粒径 (mm)	max 0.76	max 0.8
密度 (g/cm ³)	1.76	1.58

実験炉のキー及び黒鉛シール要素としては強度上優れているIG-11黒鉛が選定されており、本試験でもIG-11黒鉛を用いた。金属シール要素としては、試験結果に及ぼす影響がないので、インコロイの代わりにステンレスを使用する。

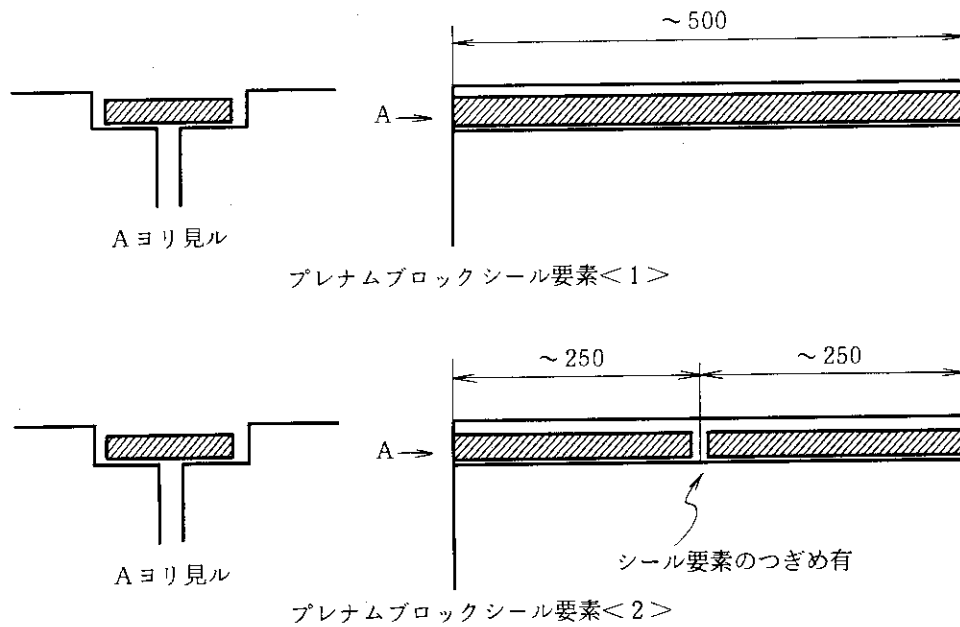


Fig. 3. 1. 1 高温プレナムブロックシール要素

3.2 試験条件

試験は、種々の試験が容易に行える常温、大気圧の空気を用いて行う。また、シール部の差圧は、実験炉で想定される差圧をカバーする範囲として、 $0.01 \sim 0.2 \text{ kg/cm}^2$ とする。

シール部ギャップ量、シール要素設置部段差及びシール部差圧をパラメータとする。パラメータ設定の基本的な考え方は、次の通りである。

(1) シール部ギャップ量

(i) ブロック面間シール性能試験

ブロック間ギャップとしては、プレナムブロック間に見込まれる平均約 2 mm のギャップが最大であると考えられるので、実験では最大 2.5 mm とする。

(ii) シール要素性能試験

シール要素性能のみを分離して測定するため、従来の試験結果から、シール要素の抵抗に対しブロック面間の抵抗が無視できるギャップ量として一律に 2 mm とする。

(2) シール要素設置部段差

実験炉で想定される、平行及びくい違い段差の 2 種類の段差とする。それぞれの概念図を Fig. 3.2.1 に示す。段差の範囲は、高温プレナムブロック部、固定反射体部に生ずると考えられる範囲をカバーするものとし、次の通りとする。

(i) 高温プレナムブロック

平行段差 ; 最大 4 mm

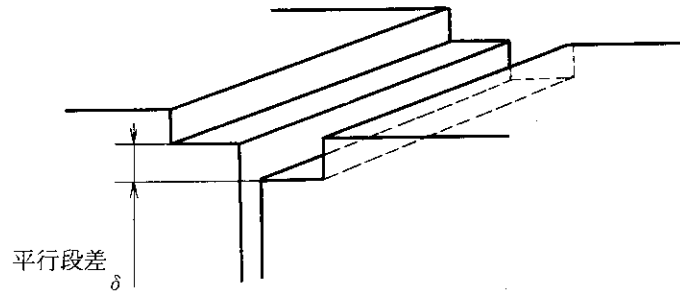
くい違い段差 ; 最大 $\pm 2 \text{ mm} / 500 \text{ mm}$

(ii) 固定反射体部

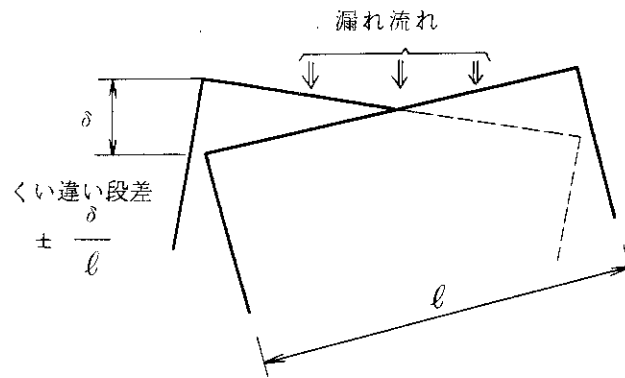
平行段差 ; 最大 2 mm

(iii) くい違い段差 ; 最大 $\pm 1 \text{ mm} / 500 \text{ mm}$

(a) 平行段差のみの状態



(b) くい違い段差のみの状態



(c) 平行段差およびくい違い段差が組合わさった状態

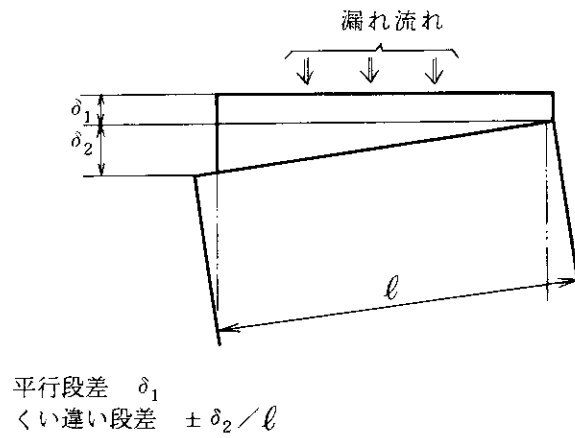


Fig. 3. 2. 1 シール要素設置部段差

4. 試験装置

4.1 基本ユニット試験

(1) 試験装置の概要

基本ユニット試験装置は、Fig. 4.1.1のフローシートに示すように、試験体部、層流流量計エレメント、接続配管架台、ブロウ及び制御表示装置により構成される。

試験体部は、Fig. 4.1.2の基本ユニット試験装置全体図に示すように、架台、試験体固定台及び移動台、試験体側部押上ピン、試験体下部引張ピン、共用ブロック(1)、(2)、アダプタブロック(1)~(3)、マイクロジャッキ、ダイヤルゲージ等により構成される。

(2) 試験体

試験体は、プレナムブロック間シール試験体、固定反射体縦置及び横置シール試験体、ブロック面間試験体の3種類である。

プレナムブロック間シール試験体は、Fig. 4.1.3に示すように、アダプタブロック<1>、プレナムブロックシール要素<1>、<2>により構成される。

固定反射体間縦置及び横置シール試験体は、Fig. 4.1.4に示すように、アダプタブロック<2>、固定反射体黒鉛シール要素<1>、<2>、キー、固定反射体金属シール要素により、構成される。

ブロック面間流動抵抗の特性を調べるブロック面間試験は、アダプタブロック<1>及び<2>と同じ大きさであるが、キー溝やシール要素設置溝のないアダプタブロック<3>を用いて行う。

(3) 試験方法

基本ユニット試験はブロウを作動させ試験対象とするシール部を吸引し、約 0.2 kg/cm^2 までの差圧を種々かえることにより、差圧とシール部流量を測定して行う。

i) 試験手順の概要

試験手順は次の通りである。

- ① 試験装置に試験体を組み込む。
- ② 試験回路を組む。
- ③ 計測器電源を投入する。
- ④ 試験体を初期状態にセットする。初期状態とは、ブロック面間シール性能測定試験ではアダプタブロック<3>の面間ギャップが 0 mm である状態（段差も 0 mm ）をいう。また、シール要素性能試験ではアダプタブロック<1>、<2>の面間ギャップ 2 mm 、シール要素設置部段差 0 mm である状態（横ズレも 0 mm ）をいう。
- ⑤ バックグラウンドを測定する。測定は、試験対象となるシール部入口をシールパテで塞いで行う。
- ⑥ ダイヤルゲージをセットする。

⑦ シール抵抗を測定する。

試験体部差圧はマンメータの指示値を見ながら、接続配管架台の流調弁及び層流流量計ユニットの流調弁を操作し、設定する。

設定差圧、約 0.01, 0.03, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2 kg^2/cm^2 である。

また差圧を設定した後、Table 4.1.1 に示す諸量を測定し記録する。測定は、差圧設定後、差圧、流量が安定して、定常状態になっている事を確認した後に行う。

ii) 試験体部の外観

試験体部の外観を Photo 4.1.1 ~ Photo 4.1.13 に示す。

iii) 試験体部のシール用パテ

シール用パテは次の通りである。

品 名：不乾性シーリングパテ

型 番：ネオシール B-70-3

メーカ：日本化成工業(株)

iv) 段差及びギャップの設定方法

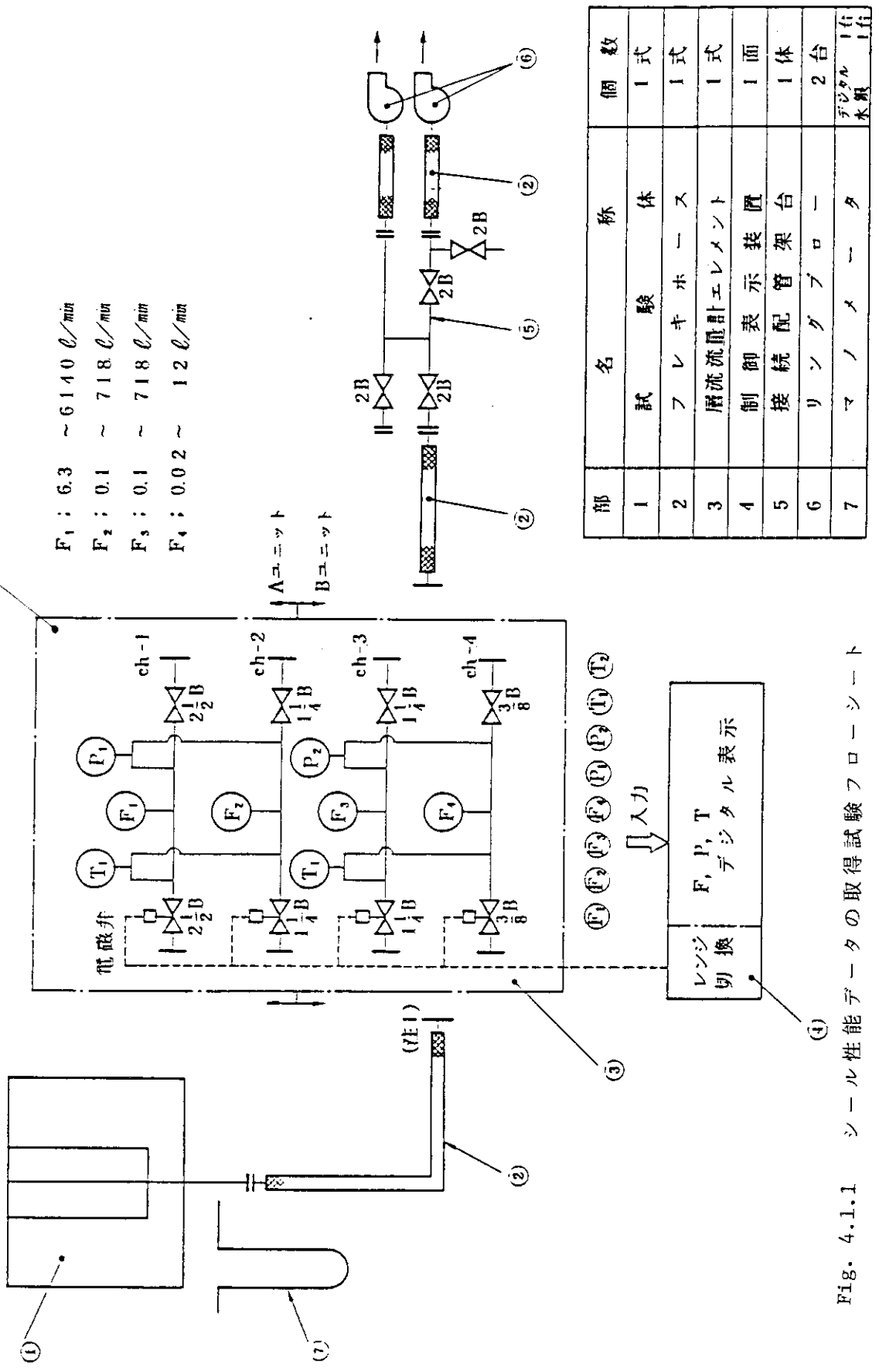
段差及びギャップの設定方法を Fig. 4.1.5, Fig. 4.1.6 に示す。

Table 4.1.1 基本ユニット試験測定量一覧

No	項目	点数	単位	測定器
1	試験体部差圧	1	mmH ₂ O	デジタルマノメータ
2	シール部 洩れ流量	1	Nℓ/sec	層流流量計及び制御 表示装置
3	流体温度	1	°C	測温抵抗体 + コンバータ
4	流体圧力	1	mmHg	絶対圧計
5	ブロック間 ギャップ	4	mm	ダイヤルゲージ
6	シール要素 設置部段差	2	mm	"

③ 接続は流量レンジによって変わる。

- F₁ : 6.3 ~ 6140 l/min
- F₂ : 0.1 ~ 718 l/min
- F₃ : 0.1 ~ 718 l/min
- F₄ : 0.02 ~ 12 l/min



部	名称	個数
1	試験体	1式
2	フレキホース	1式
3	層流流量計エレメント	1式
4	制御表示装置	1面
5	接続配管架台	1体
6	リングプロセッサ	2台
7	マノメータ	デジタル 1台 水銀 1台

Fig. 4.1.1 シール性能データの取得試験フローシート

部番	名 称
1	架台
2	試験体固定台
3	試験体移動台
4	試験体側部押エピン
5	試験体下部引張ピン
6	共用ブロック(1)
7	共用ブロック(2)
8	アダプタブロック〈1〉～〈3〉
9	マイクロジャッキ
10	ダイヤルゲージ

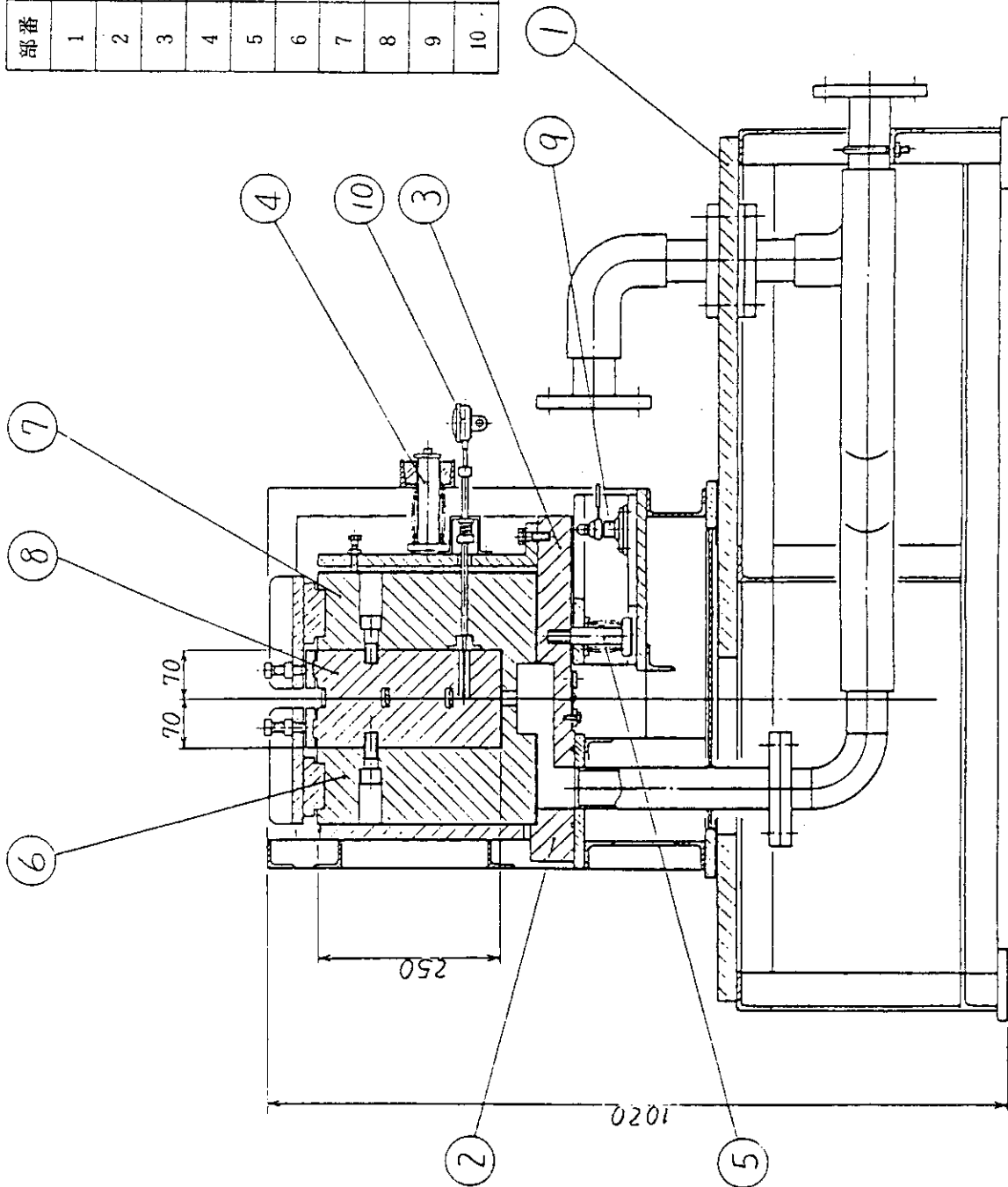


Fig. 4.1.1.2 ショール性能データの取得試験装置

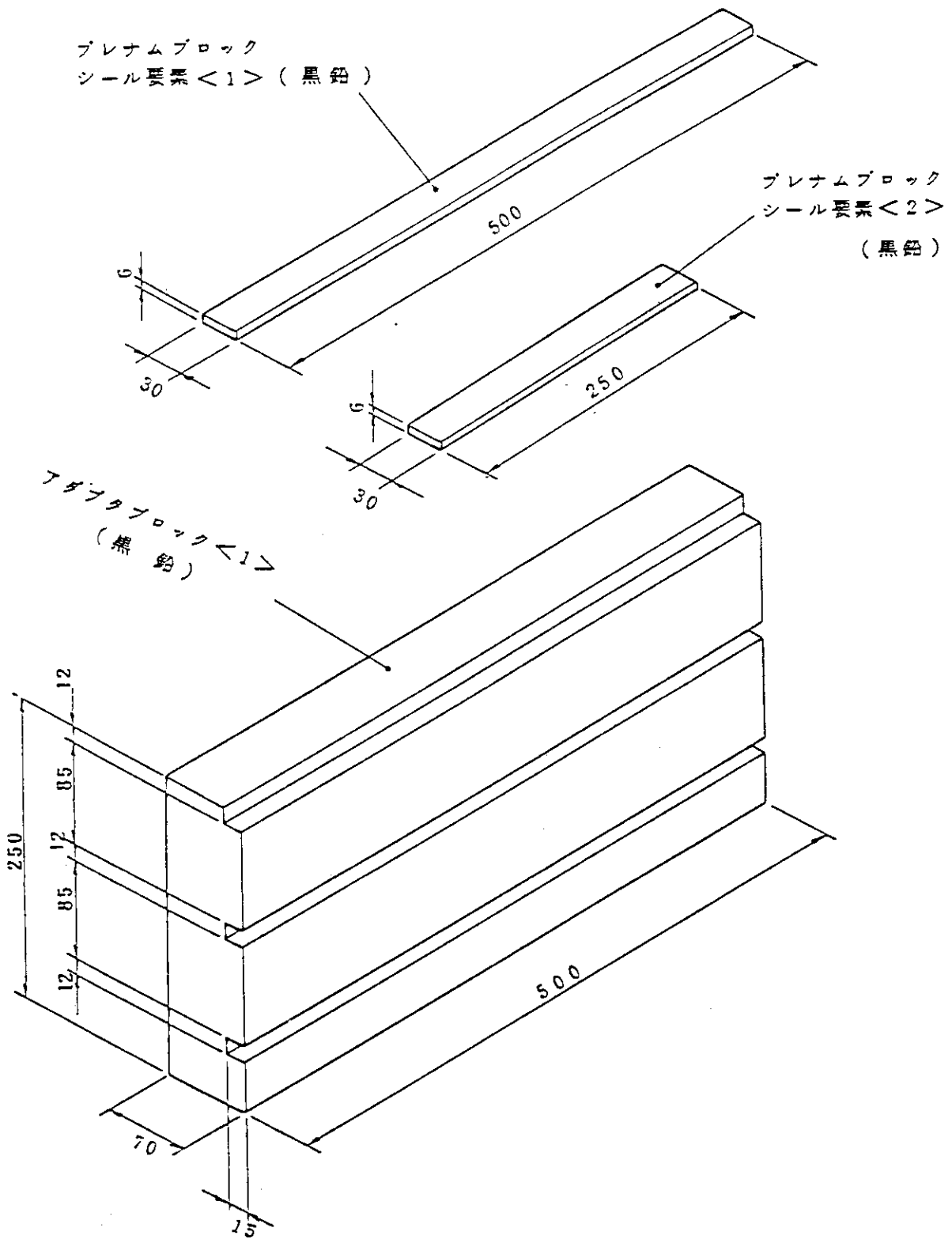


Fig. 4.1.3 高温プレナムブロック間シール試験体 (基本ユニット試験)

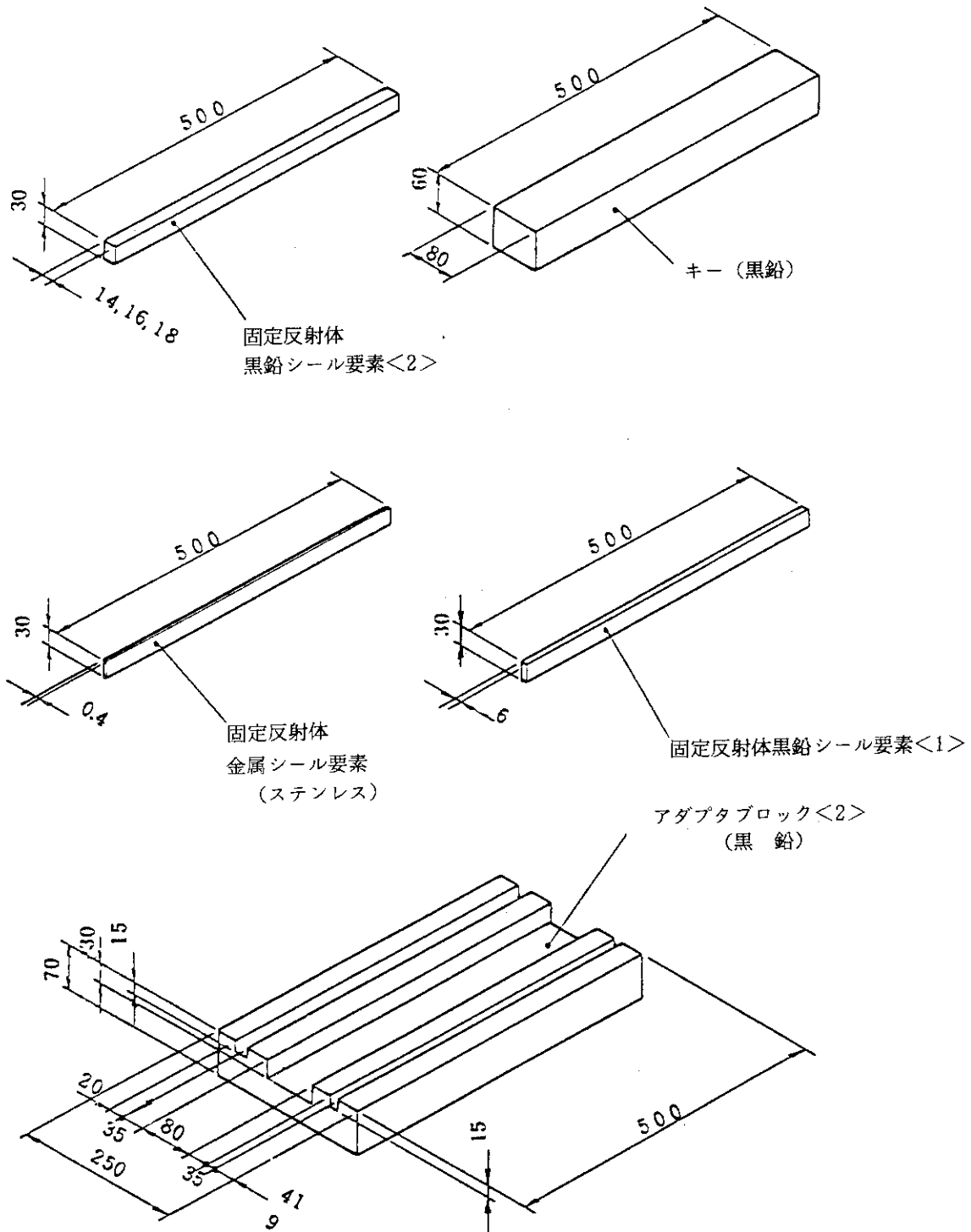
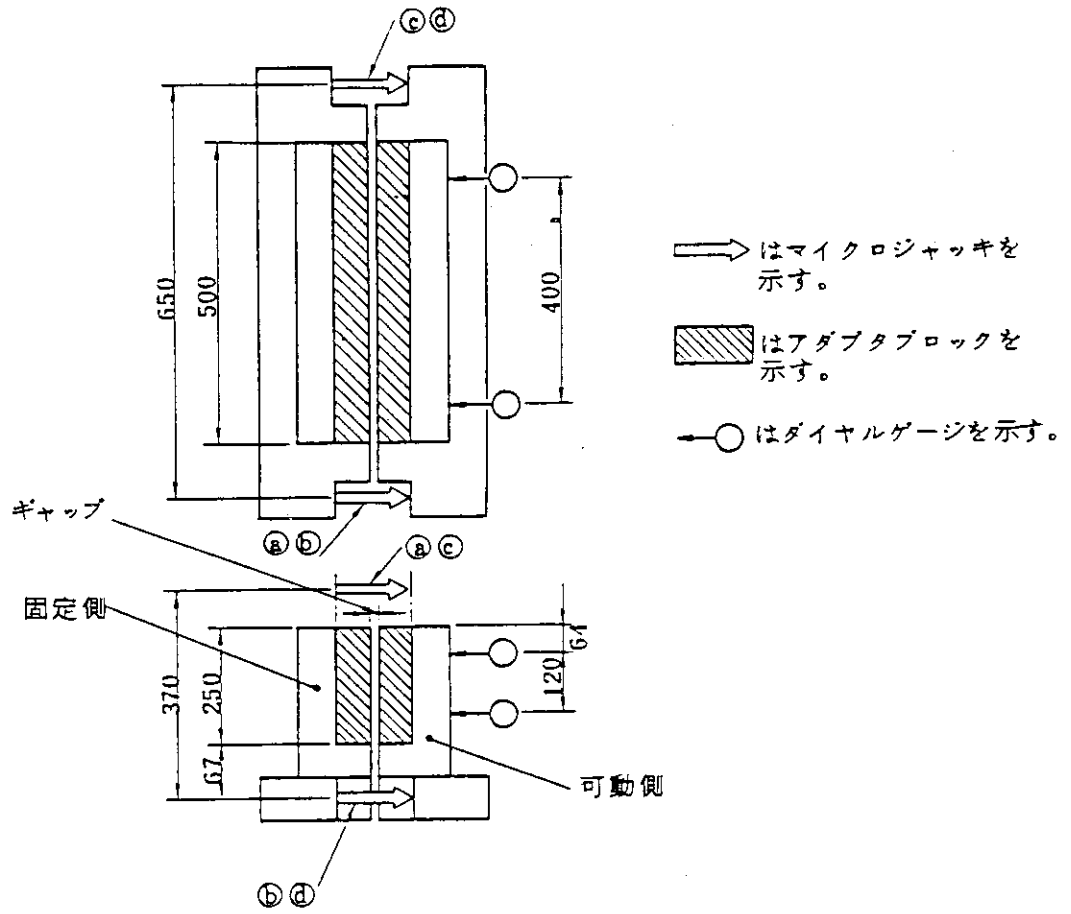


Fig. 4.1.4 固定反射体間シール試験体 (基本ユニット試験)

ギャップの設定方法



平行段差の設定方法

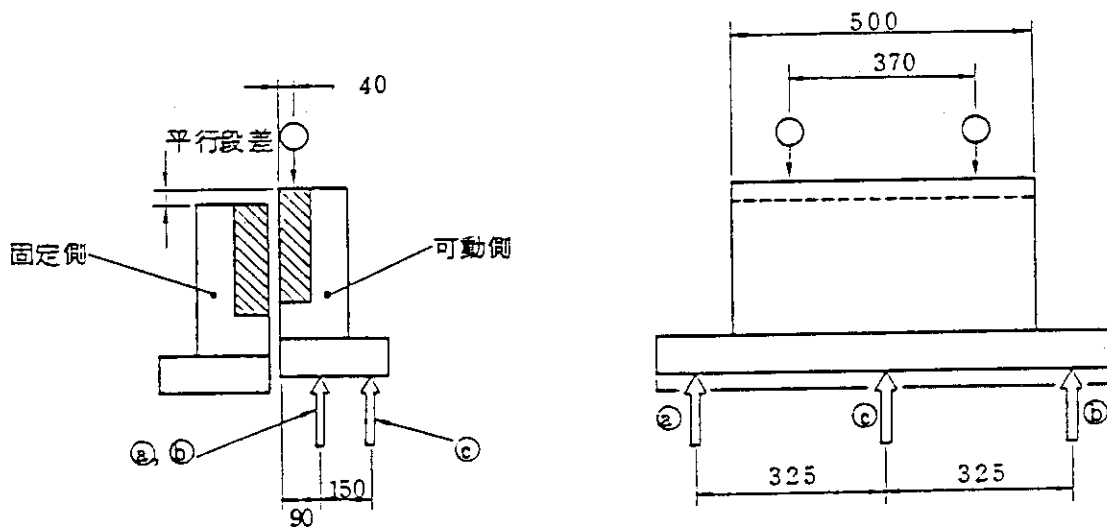
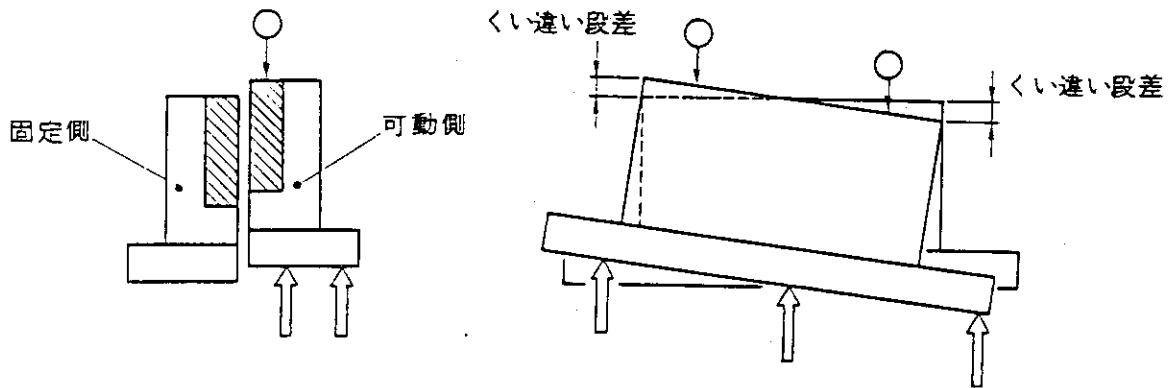


Fig. 4.1.5 ギャップ及び平行段差の設定方法

くい違い段差の設定方法



くい違い段差+平行段差の設定方法

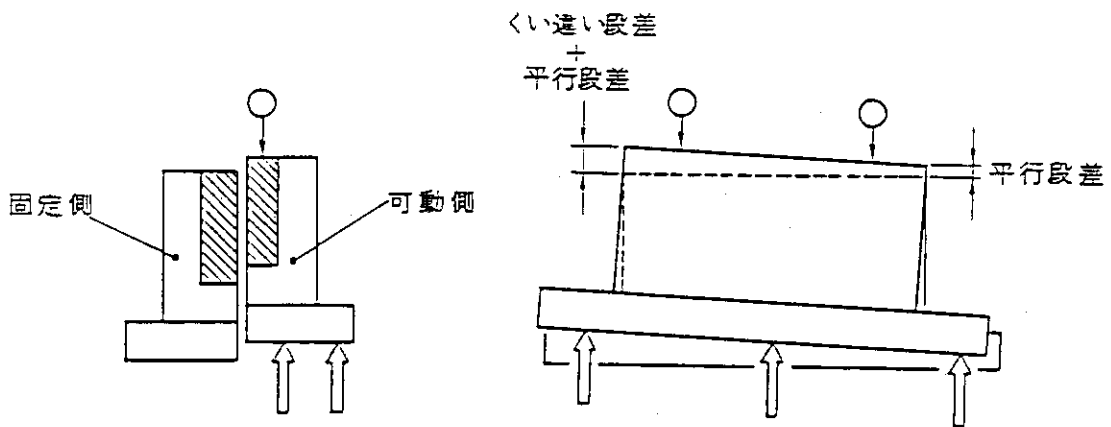


Fig. 4.1.6 くい違い段差及びくい違い段差+平行段差の設定方法

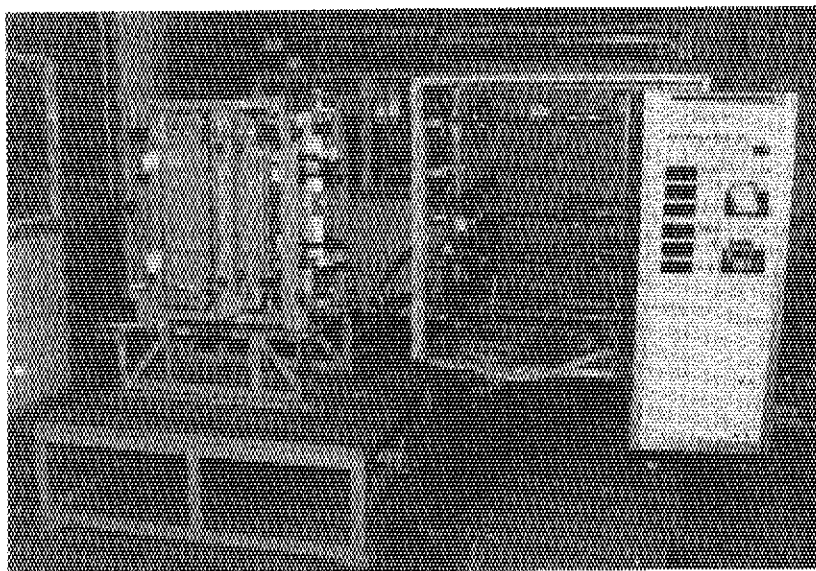


Photo 4.1.1 試験装置外観
(固定反射体縦置シール要素ユニット
(層流流量計エレメント, 制御表示装置)

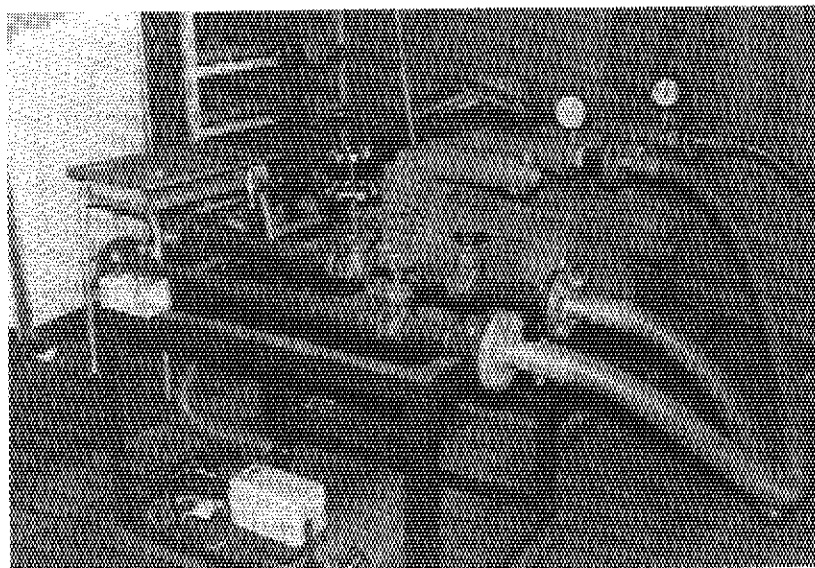


Photo 4.1.2 試験装置外観
(ブロワ, 接続配管架台)

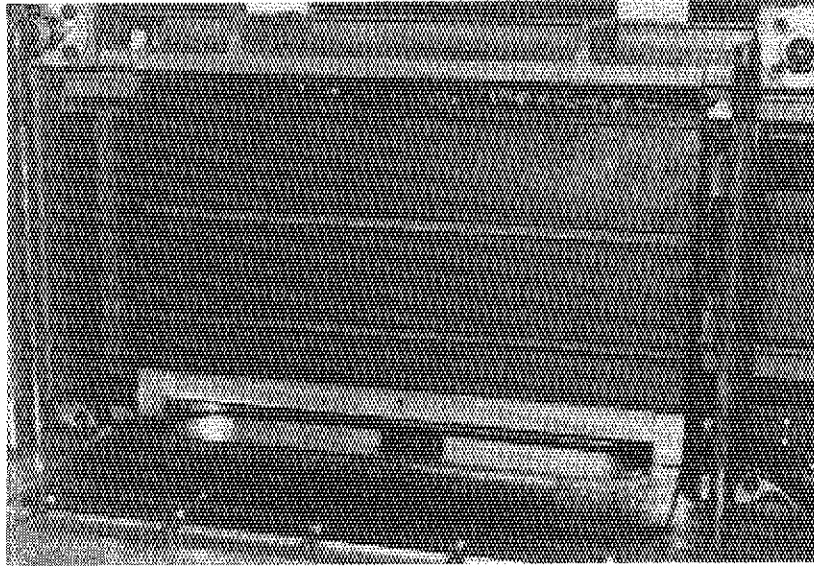


Photo 4.1.3 アダプタブロック<1>外観
(プレナムブロック間シール要素ユニット)

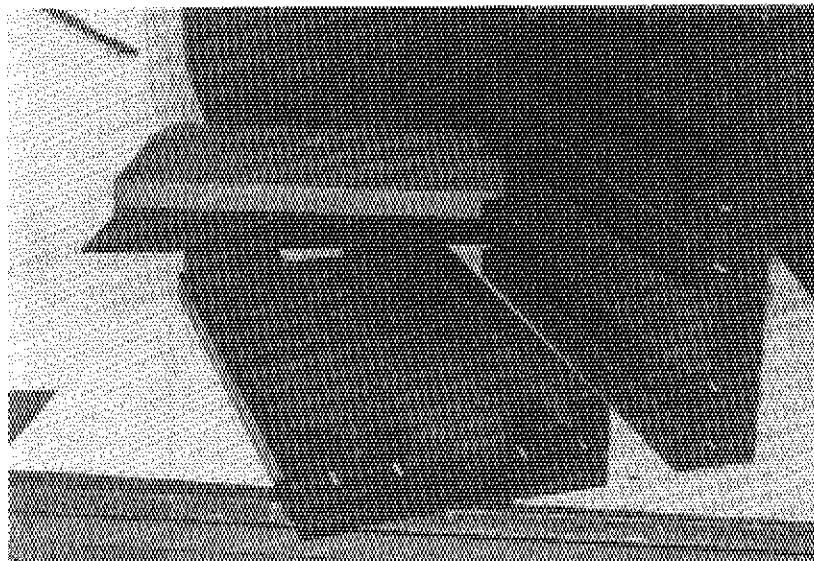


Photo 4.1.4 アダプタブロック<2>外観
(固定反射体シール要素ユニット)

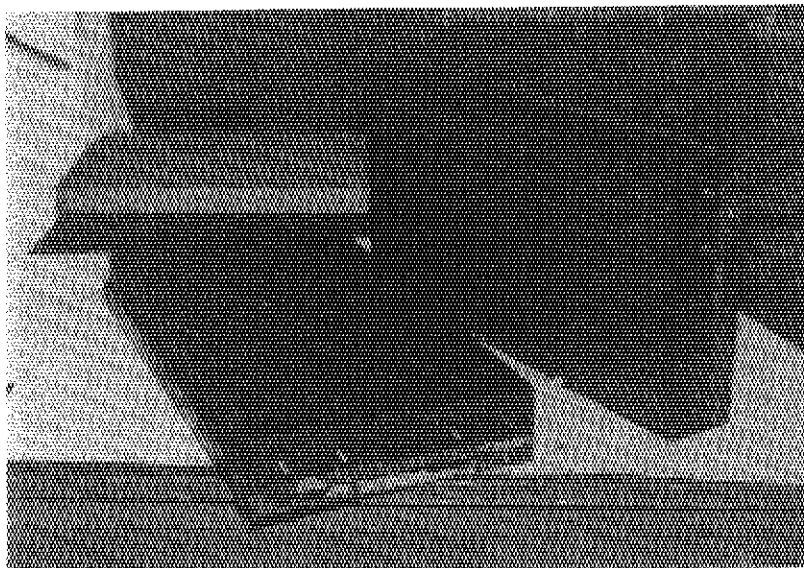


Photo 4.1.5 アダプタブロック<3>外観
(ブロック面間ユニット)

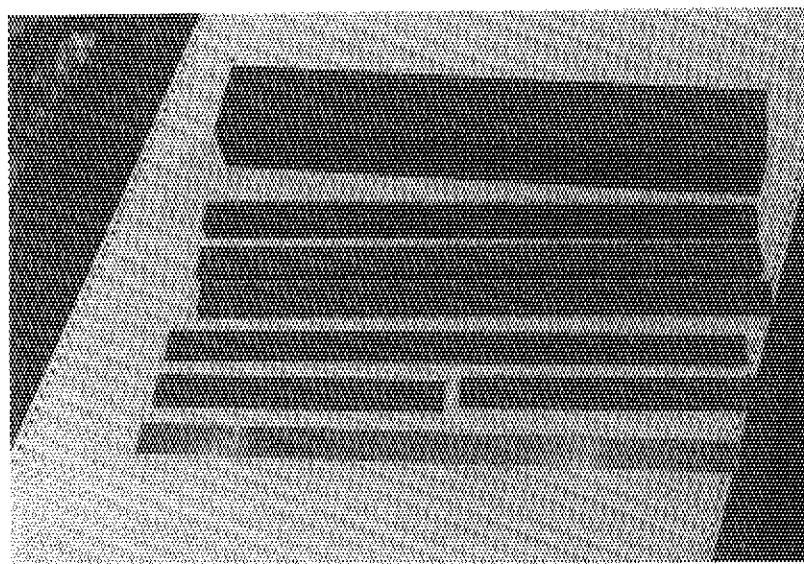


Photo 4.1.6 キー, 黒鉛シール要素, 金属シール要素

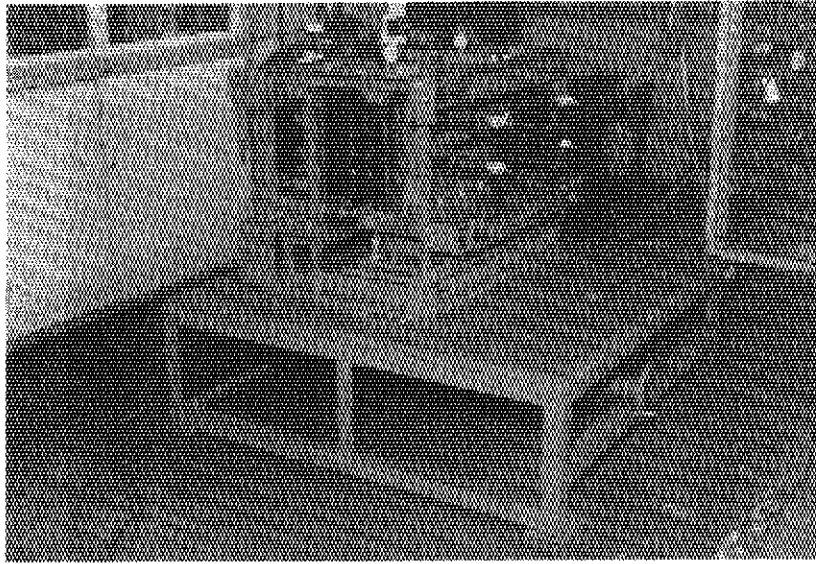


Photo 4.1.7 プレナムブロック間シール要素ユニット外観

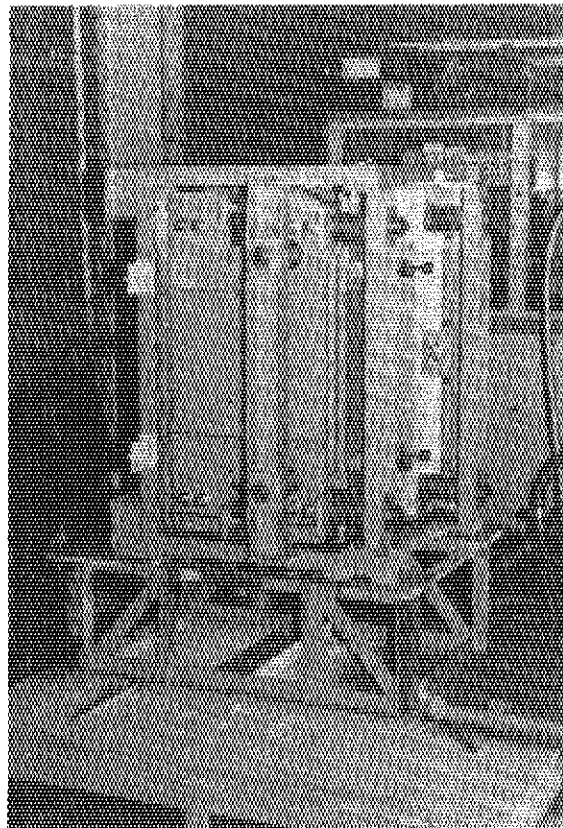


Photo 4.1.8. 固定反射体縦置シール要素ユニット外観

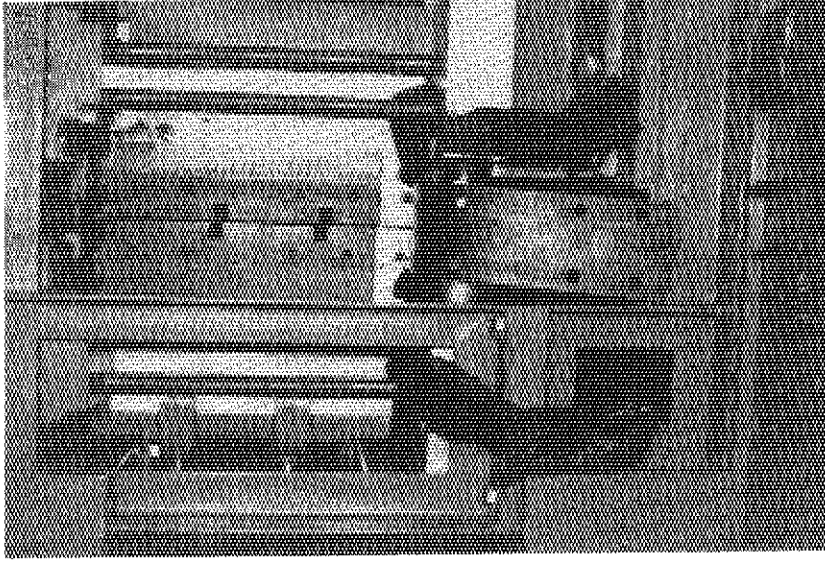


Photo 4.1.10 プレナムブロック間シール要素ユニット外観(側面)
(プレナムブロックシール要素<2>上段のみ)

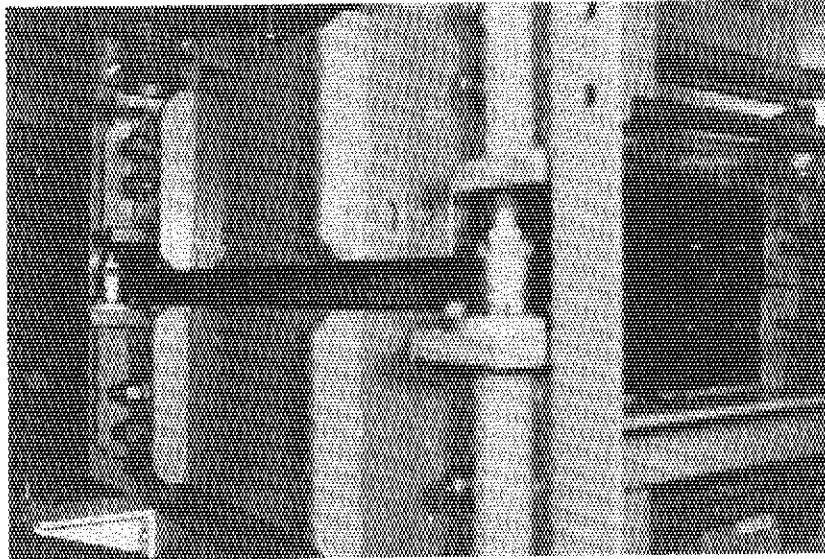


Photo 4.1.9 プレナムブロック間シール要素ユニット外観
(プレナムブロックシール要素<2>上段のみ)

シール用パテ

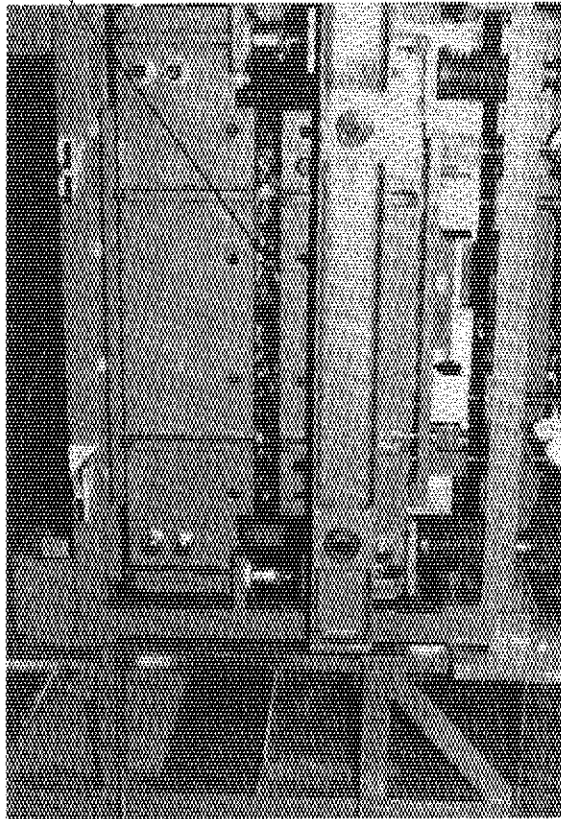


Photo 4.1.11 固定反射体縦置シール要素ユニットシール用パテ設置状況
(バックグラウンド流量測定試験)

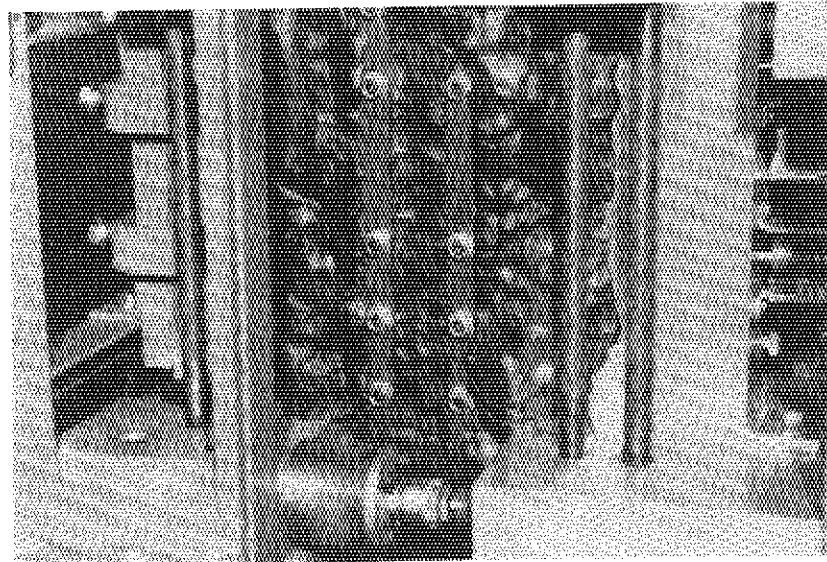


Photo 4.1.12 固定反射体縦置シール要素ユニットシール用
パテ設置状況
(シール要素性能試験及びバックグラウンド流量
測定試験)

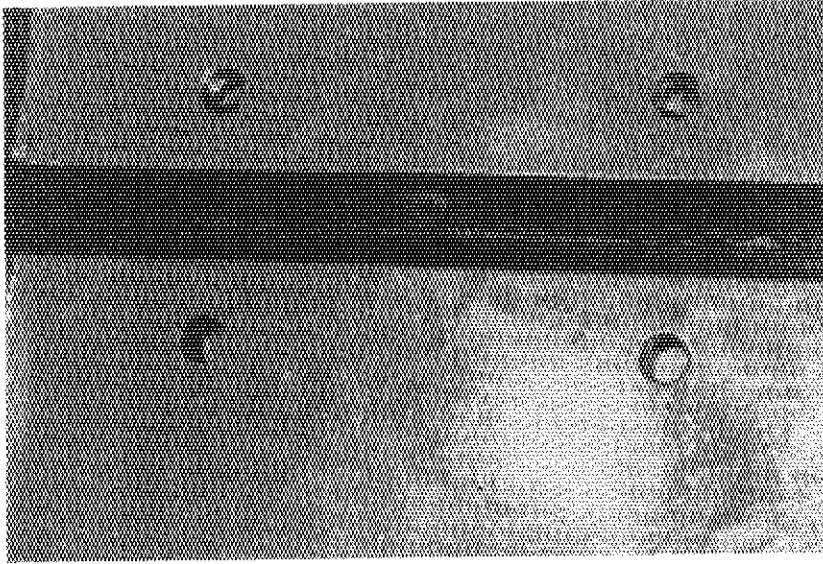


Photo 4.1.13 固定反射体縦置シール要素ユニットシール用
パテ設置状況
(シール要素性能試験)

4.2 部分組合わせ試験

(1) 試験装置の概要

部分組合わせ試験装置は、Fig. 4.1.1のフローシートに示すように、試験体部、層流流量計ユニット、接続配管架台、ブロウ及び制御表示装置により構成される。

試験体部は、共用架台、配管、フレキシブルホース、支持棒、試験ユニット等により構成される。

(2) 試験体

試験体は、高温プレナムブロック間部分組合わせ試験体及び固定反射体間部分組合わせ試験体の2種類である。

高温プレナムブロック間部分組合わせ試験体は、Fig. 4.2.1に示すように、模擬高温プレナムブロック、高温プレナム部シール要素により構成される。

固定反射体間部分組合わせ試験体は、Fig. 4.2.2に示すように、模擬固定反射体ブロック、固定反射体黒鉛シール要素〔1〕、〔2〕、キー、固定反射体金属シール要素、シール要素支え〔1〕、〔2〕により構成される。

(3) 試験方法

部分組合わせ試験は、ブロウを作動させて、試験対象とするシール部を吸引し、約 0.2 kg/cm^2 までの差圧を種々かえることにより、差圧とシール部流量を測定して行う。

i) 試験手順の概要

試験手順は次の通りである。

- ① 試験装置に試験体を組み込む。組み込み時、段差及びギャップ用シムを同時にセットする。
- ② シール部以外の漏れ防止面には、シールテープまたはシール用パテにより、漏れ防止処理を十分に行う。
- ③ 試験回路を組む。
- ④ 計測器電源を投入する。
- ⑤ バックグラウンドを測定する。測定は、試験対象となるシール部入口を、シール用パテで塞いで行う。
- ⑥ シール抵抗を測定する。

試験体部差圧はマンメータの指示値を見ながら、接続配管架台の流調弁及び層流流量計ユニットの流調弁を操作し設定する。

設定差圧は約 0.01 , 0.03 , 0.05 , 0.1 , 0.15 , 0.2 kg/cm^2 である。

また差圧を設定した後、Table 4.1.1に示す諸量を測定し記録する。測定は、差圧設定後、差圧、流量が安定して、定常状態になっていることを確認した後に行う。

ii) 試験体部の外観

試験体部の外観をPhoto 4.2.1～Photo 4.2.12に示す。

iii) 試験体部のシール用パテ

シール用パテは次の通りである。

品 名：不乾性シーリングパテ

型 番：ネオシールB-70-3

メーカ：日本化成工業㈱

IV) 段差及びギャップの設定方法

段差及びギャップの設定方法を Fig. 4.2.3, Fig. 4.2.4 に示す。

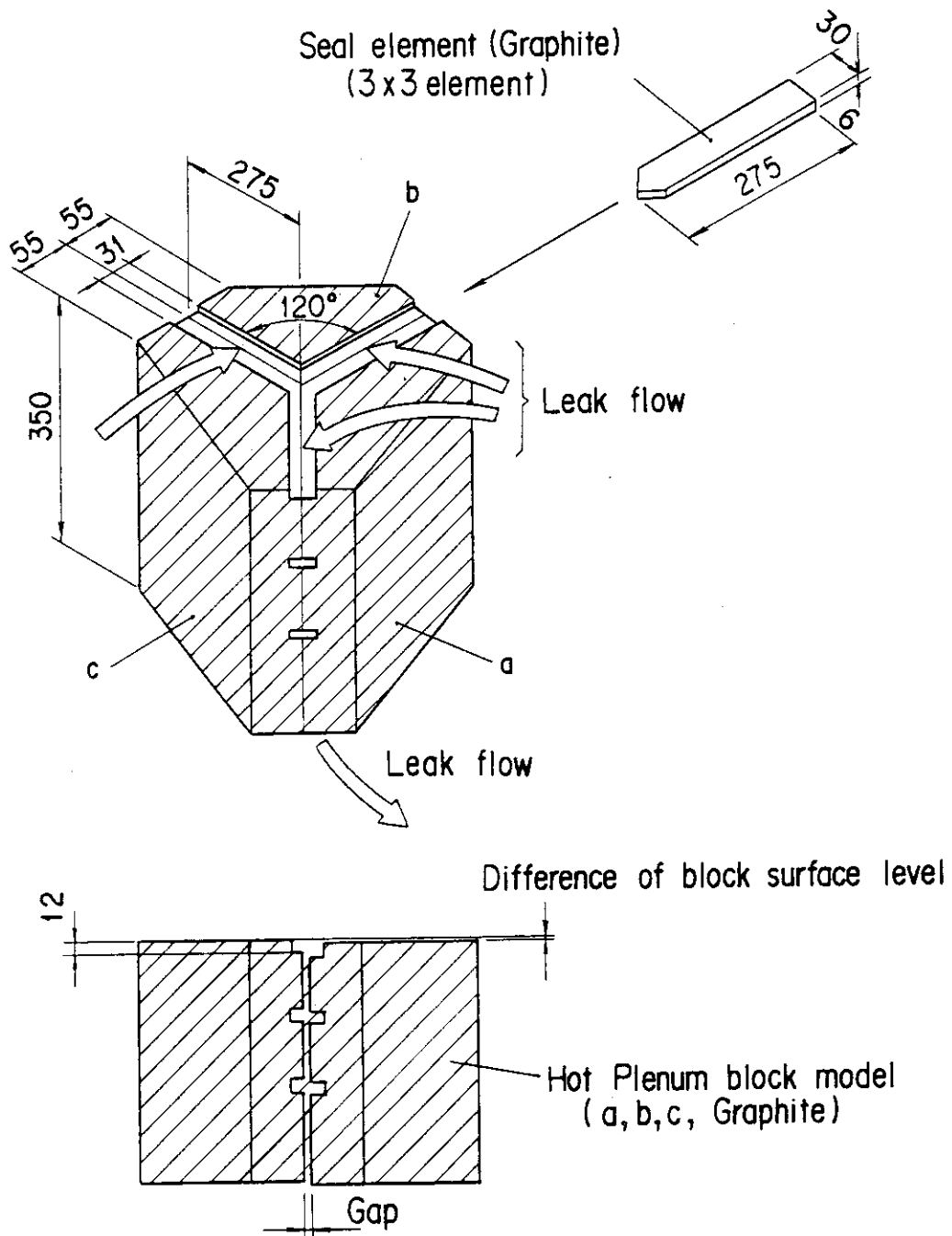


Fig. 4.2.1 Partial model for seal performance test between hot plenum blocks (unit:mm)

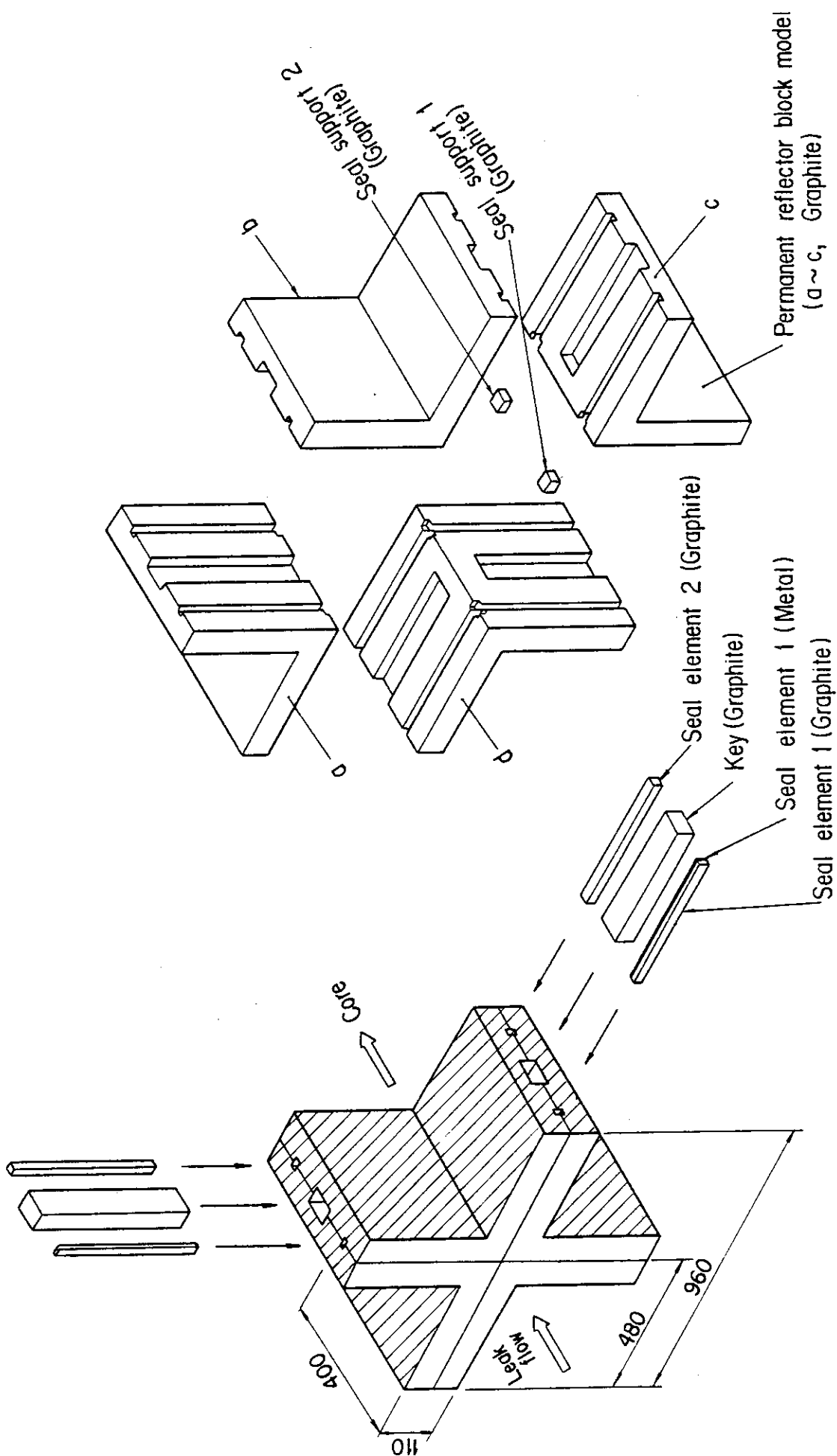


Fig. 4.2.2 Partial model for seal performance test between permanent reflectors (unit:mm)

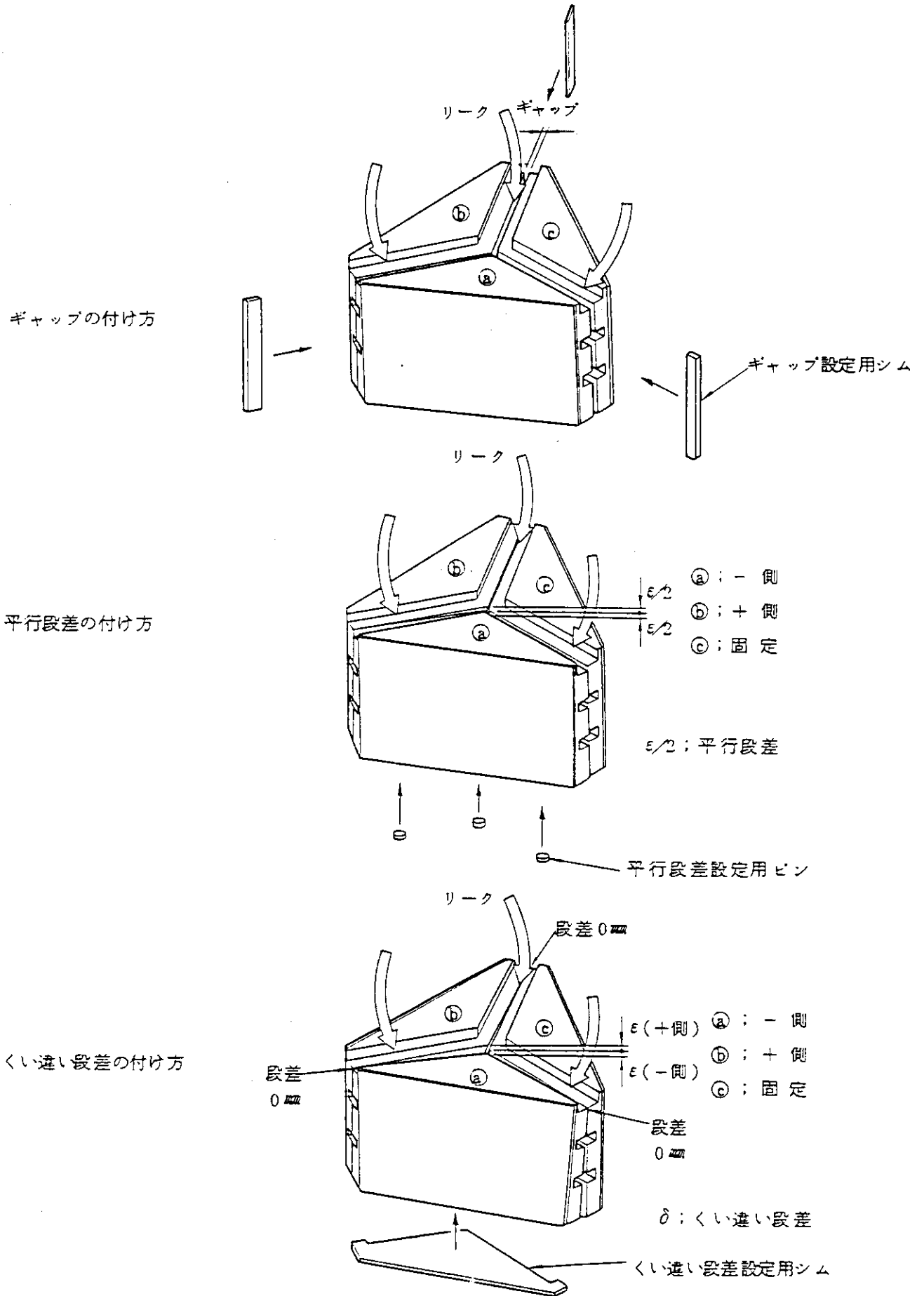


Fig. 4.2.3 高温プレナムブロック間部分組合わせ試験のギャップ，段差の設定方法

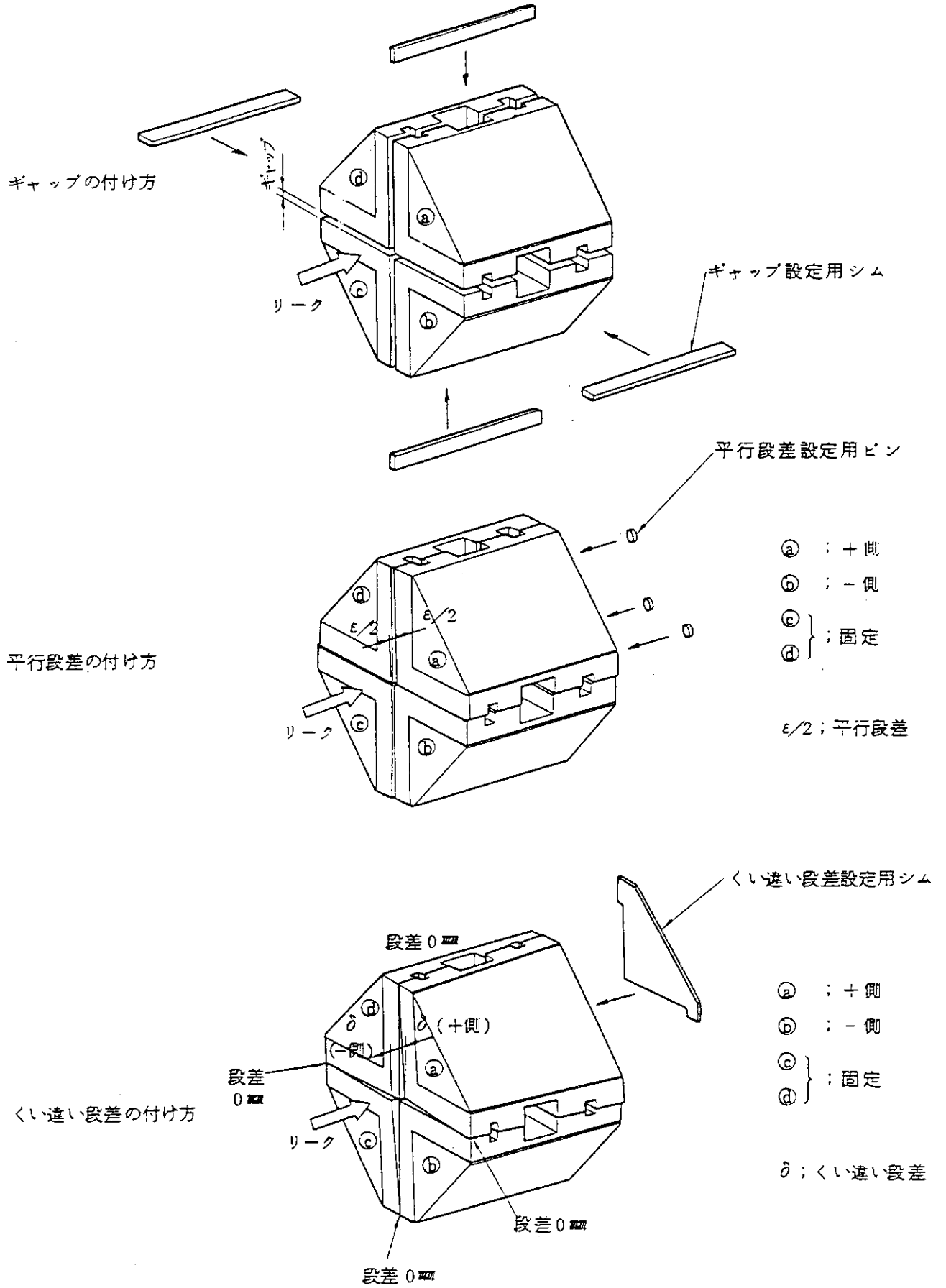


Fig. 4.2.4 固定反射体間部分組合わせ試験のギャップ，段差の設定方法

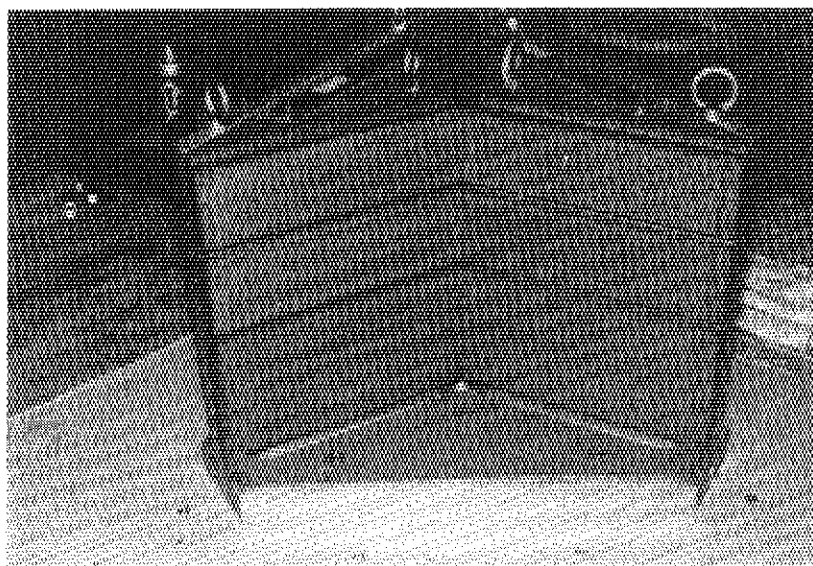


Photo 4.2.1 高温プレナムブロック外観

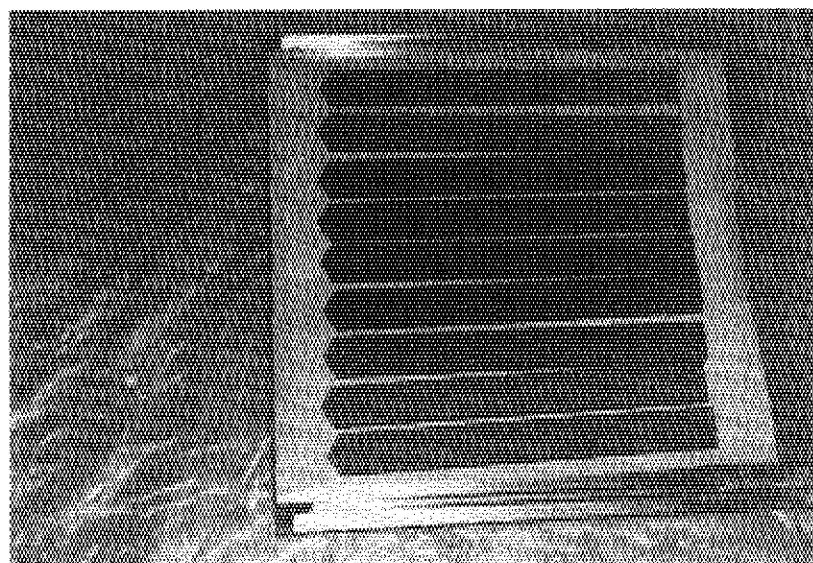


Photo 4.2.2 黒鉛シール要素

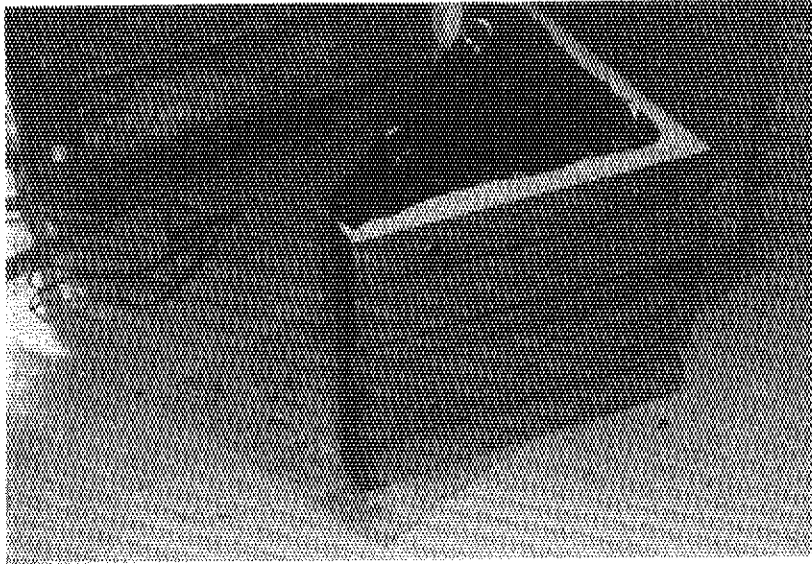


Photo 4.2.3 固定反射体ブロック外観

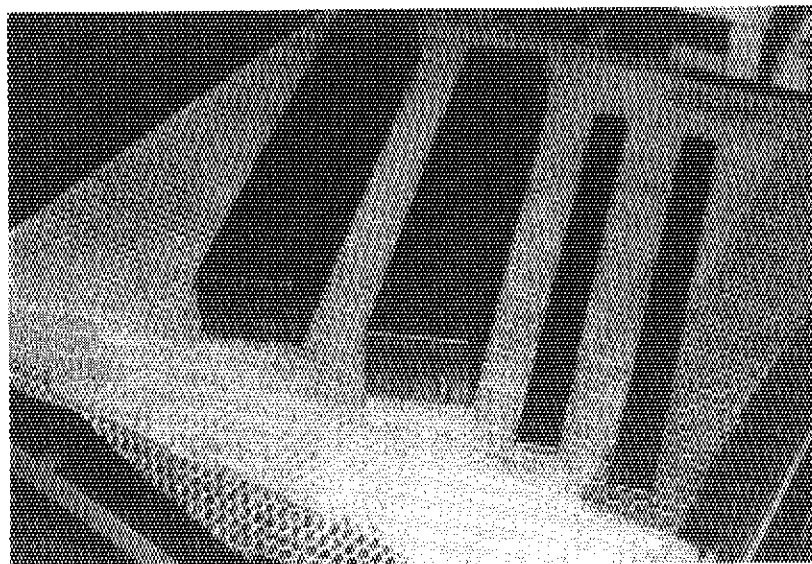


Photo 4.2.4 キー，黒鉛シール要素，金属シール要素

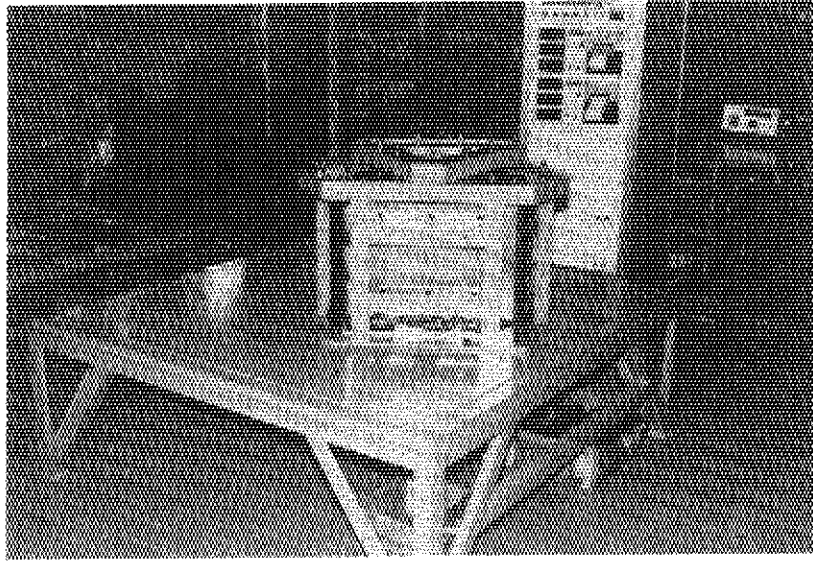


Photo 4. 2. 5 高温プレナムブロック間試験ユニット外観

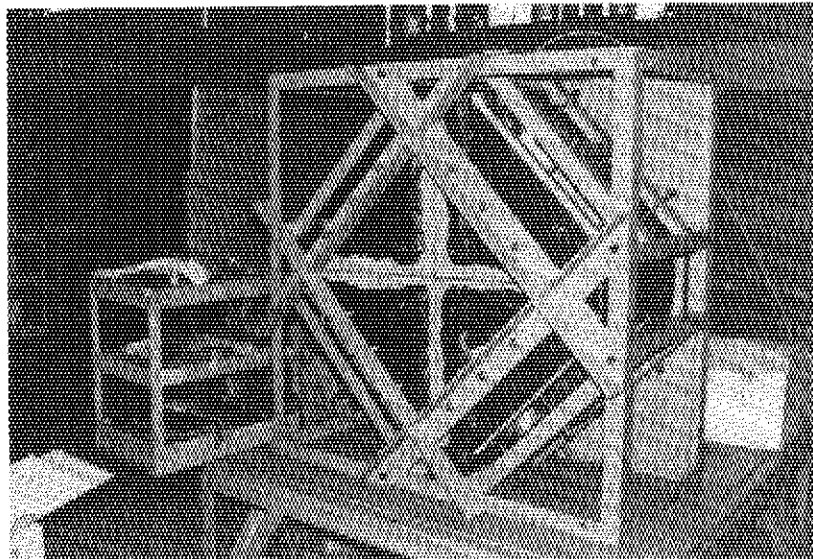


Photo 4. 2. 6 固定反射体間試験ユニット外観

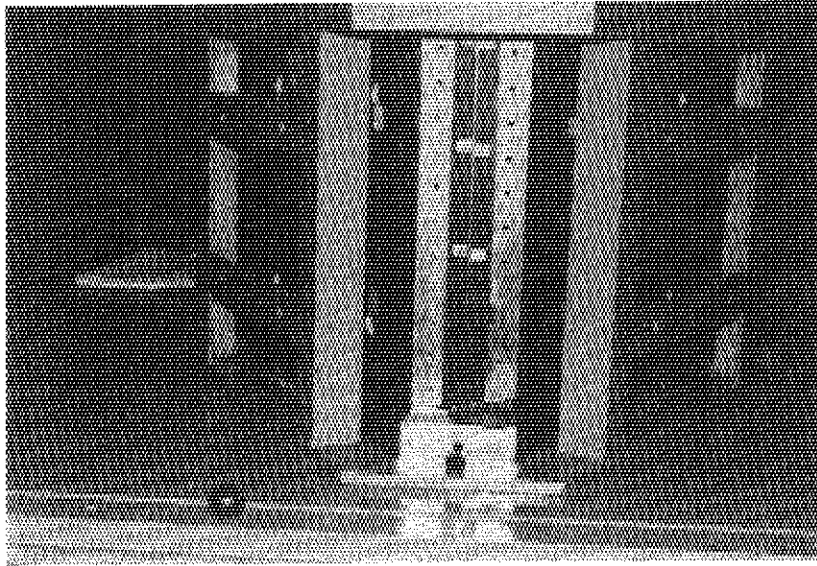


Photo 4.2.7 高温プレナムブロック間部分組合わせ試験ユニット外観

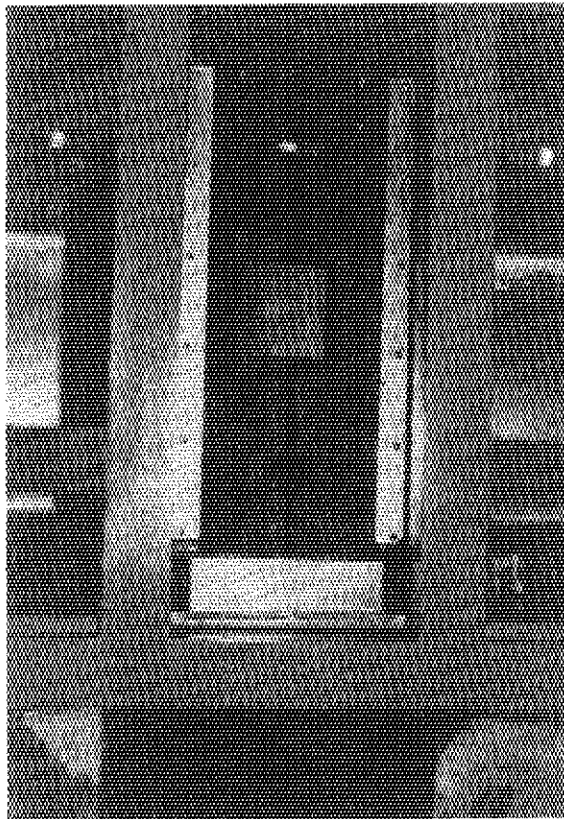


Photo 4.2.8 固定反射体間部分組合わせ試験ユニット外観

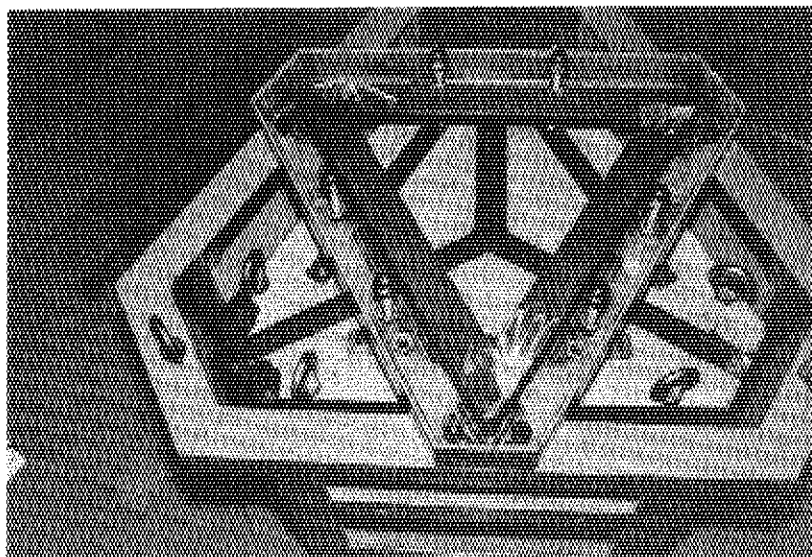


Photo 4.2.9 高温プレナムブロック間試験ユニット外観
(シール用パテ及びテープ設置状況)

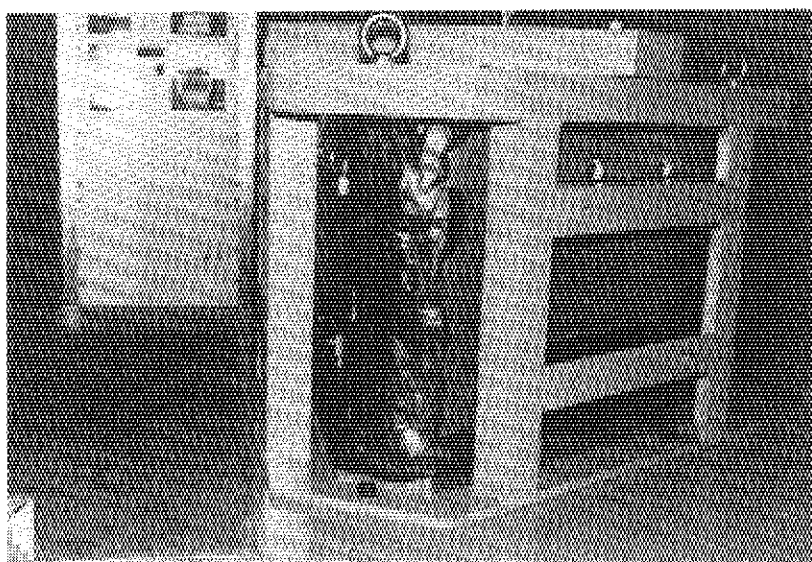


Photo 4.2.10 高温プレナムブロック間試験ユニット外観
(シール用パテ設置状況)

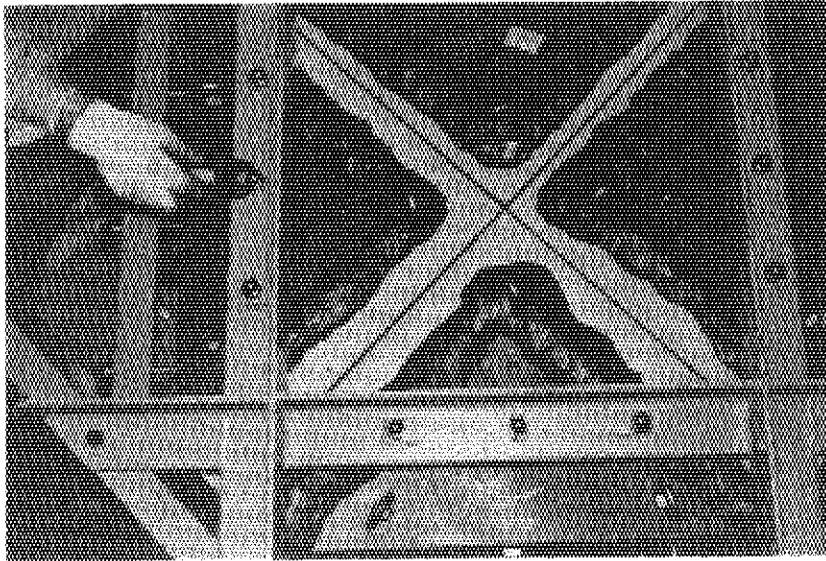


Photo 4. 2. 11 固定反射体間試験ユニット外観
(シール用パテ設置状況)

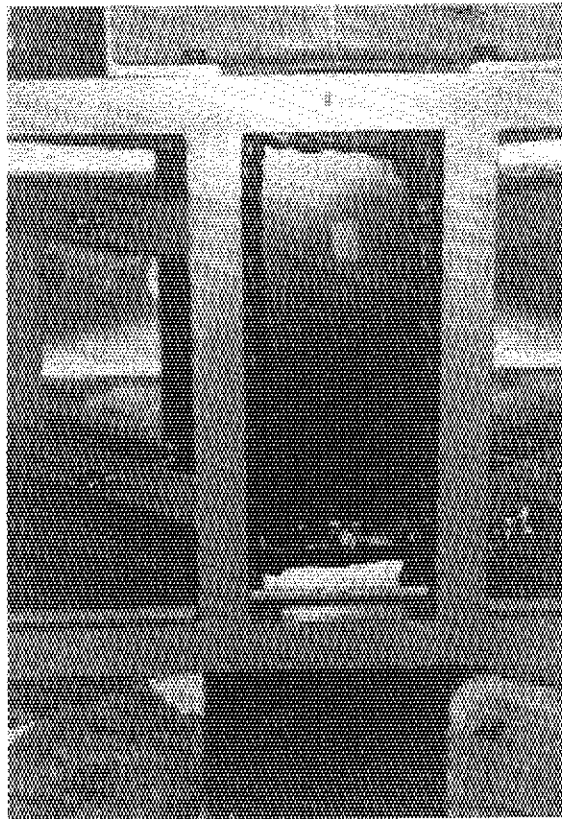


Photo 4. 2. 12 固定反射体間試験ユニット外観
(シール用パテ設置状況)

5. 試験結果

基本ユニット試験，及び部分組合わせ試験の結果を以下に示す。

5.1 基本ユニット試験結果

(1) プレナムブロック間シール要素試験結果

高温プレナムブロック間に設置する種々のシール要素における差圧と流量の関係を Fig. 5.1.1 ~ Fig. 5.1.12 に，シール部段差と流路抵抗係数 K/A^2 の関係を Fig. 5.1.13 ~ Fig. 5.1.17 に示す。これらの試験結果の内訳を Table 5.1.1 にまとめて示す。

(2) 固定反射体シール要素試験結果

i) 縦置シール要素試験結果

縦置キーは，キーとキー溝とのクリアランスが比較的小さなタイトキー構造をとる。

縦置シール要素間のそれぞれの組合わせにおける差圧と流量の関係を Fig. 5.1.18 ~ Fig. 5.1.21 に，シール部段差と流路抵抗係数 K/A^2 の関係を Fig. 5.1.22 ~ Fig. 5.1.25 に示す。

ii) 横置シール要素試験結果

タイトキー構造における横置シール要素間のそれぞれの組合わせにおける差圧と流量の関係を Fig. 5.1.26 ~ Fig. 5.2.29 に，シール部段差と流路抵抗係数 K/A^2 の関係を Fig. 5.1.30 ~ Fig. 5.1.33 に示す。

以上の試験結果の内訳を Table 5.1.2 に示す。

次に，キーとキー溝とのクリアランスが比較的大きなルーズキー構造における試験結果を以下に示す。

キーのみの差圧と流量の関係を Fig. 5.1.34 に，キーに黒鉛及び金属シール要素を重ね合わせた場合での差圧と流量の関係を Fig. 5.1.35 に示す。

(3) ブロック面間試験結果

ブロック面間のシール性能を，Fig. 5.1.36 に示す様な平行ギャップ形状（面間ギャップが流れ方向に線形変化する形状），及び横くさび形ギャップ形状（面間ギャップが流れ方向に対して垂直方向に線形変化する形状）について，それぞれ Fig. 5.1.37, 5.1.38, 5.1.39 に示す。

(4) バックグラウンド流量

高温プレナムブロック間シール試験，固定反射体縦置きシール試験，固定反射体横置きシール試験，及び，ブロック面間シール試験のバックグラウンド流量測定結果を，それぞれ，Fig. 5.1.40 ~ Fig. 5.1.43 に示す。

Table 5.1.1 基本ユニット試験結果内訳
(高温プレナムブロック間)

Fig. No.	内 容	シールの種類及び設置状態
Fig. 5.1.1	差圧 - 流量の関係	[黒鉛シール要素<1>(500mm)上段]
2	"	[" <1>(")中段]
3	"	[" <1>(")下段]
4	"	[" <2>(250mm×2)上段]
5	"	[" <2>(")中段]
6	"	[" <2>(")下段]
7	"	[" <1>(500mm)上,中,下段]
8	"	[" <2>(250mm×2) " , くい違い段差のみ 平行段差のみ]
9	"	[" <2>(") " , 平行段差0mm]
10	"	[" <2>(") " , " 1mm]
11	"	[" <2>(") " , " 2mm]
12	"	[" <2>(") " , " 4mm]
Fig.5.1.13	段差-K/A ² の関係	[黒鉛シール要素<1>(500mm)]
14		[" <2>(250mm×2)]
15		[" <1>(500mm)上,中,下段]
16		[" <2>(250mm×2) " , 平行段差のみ くい違い段差のみ]
17		[" <2>(") " , 平行段差, くい違 い段差を組合わせ た状態]

備考<1>は一体物のシール要素を示し、<2>は2つ割りシール要素を示す。

Table 5.1.2 基本ユニット試験結果内訳

(固定反射体間タイトキー)

(1) 縦置の場合

Fig. No.	内 容	シールの種類及び設置状態
Fig. 5.1.18	差圧 - 流量の関係	[黒鉛シール要素 (6 t) + 金属シール要素 (0.4 t)]
19	"	[キーのみ]
20	"	[黒鉛シール要素 (6 t) + 金属シール要素 (0.4 t) + キー] + 黒鉛シール要素 (18 t)]
21	"	[黒鉛シール要素 (6 t) + 金属シール要素 (0.4 t) + キー]
Fig. 5.1.22	段差 - K/A^2 の関係	[黒鉛シール要素 (6 t) + 金属シール要素 (0.4 t)]
23	"	[キーのみ]
24	"	[黒鉛シール要素 (6 t) + 金属シール要素 (0.4 t) + キー] + 黒鉛シール要素 (18 t)]
25	"	[黒鉛シール要素 (6 t) + 金属シール要素 (0.4 t) + キー]

(2) 横置の場合

Fig. No.	内 容	シールの種類及び設置状態
Fig. 5.1.26	差圧 - 流量の関係	[黒鉛シール要素 (6 t) + 金属シール要素 (0.4 t)]
27	"	[キーのみ]
28	"	[黒鉛シール要素 (6 t) + 金属シール要素 (0.4 t) + キー] + 黒鉛シール要素 (18 t)]
29	"	[黒鉛シール要素 (6 t) + 金属シール要素 (0.4 t) + キー]
5.1.30	段差 - K/A^2 の関係	[黒鉛シール要素 (6 t) + 金属シール要素 (0.4 t)]
31	"	[キーのみ]
32	"	[黒鉛シール要素 (6 t) + 金属シール要素 (0.4 t) + キー] + 黒鉛シール要素 (18 t)]
33	"	[黒鉛シール要素 (6 t) + 金属シール要素 (0.4 t) + キー]

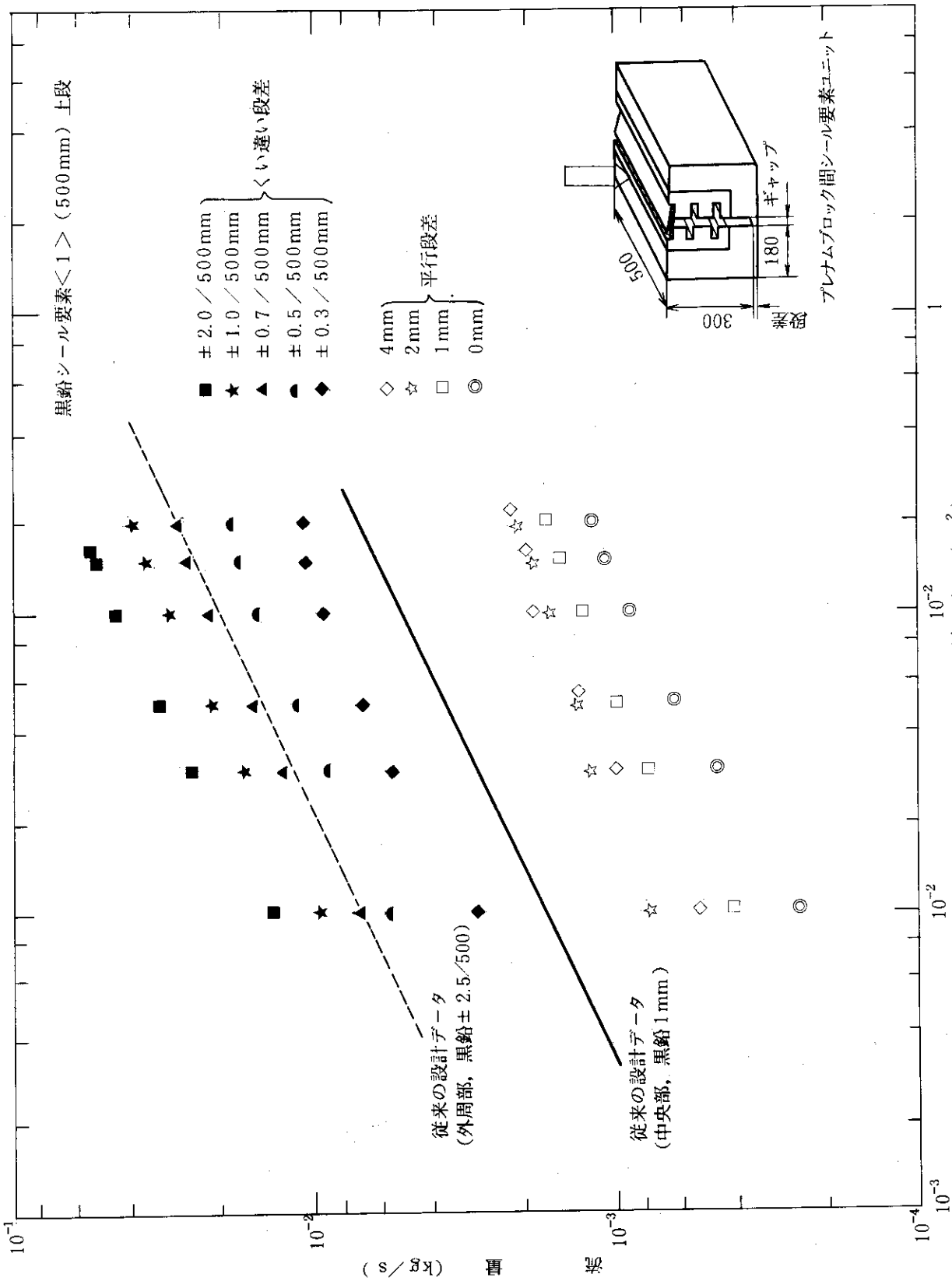


Fig. 5. 1. 1 差圧と流量の関係 (黒鉛シール要素 <math>\lt; 1 \gt; (500 \text{ mm}) 上段)

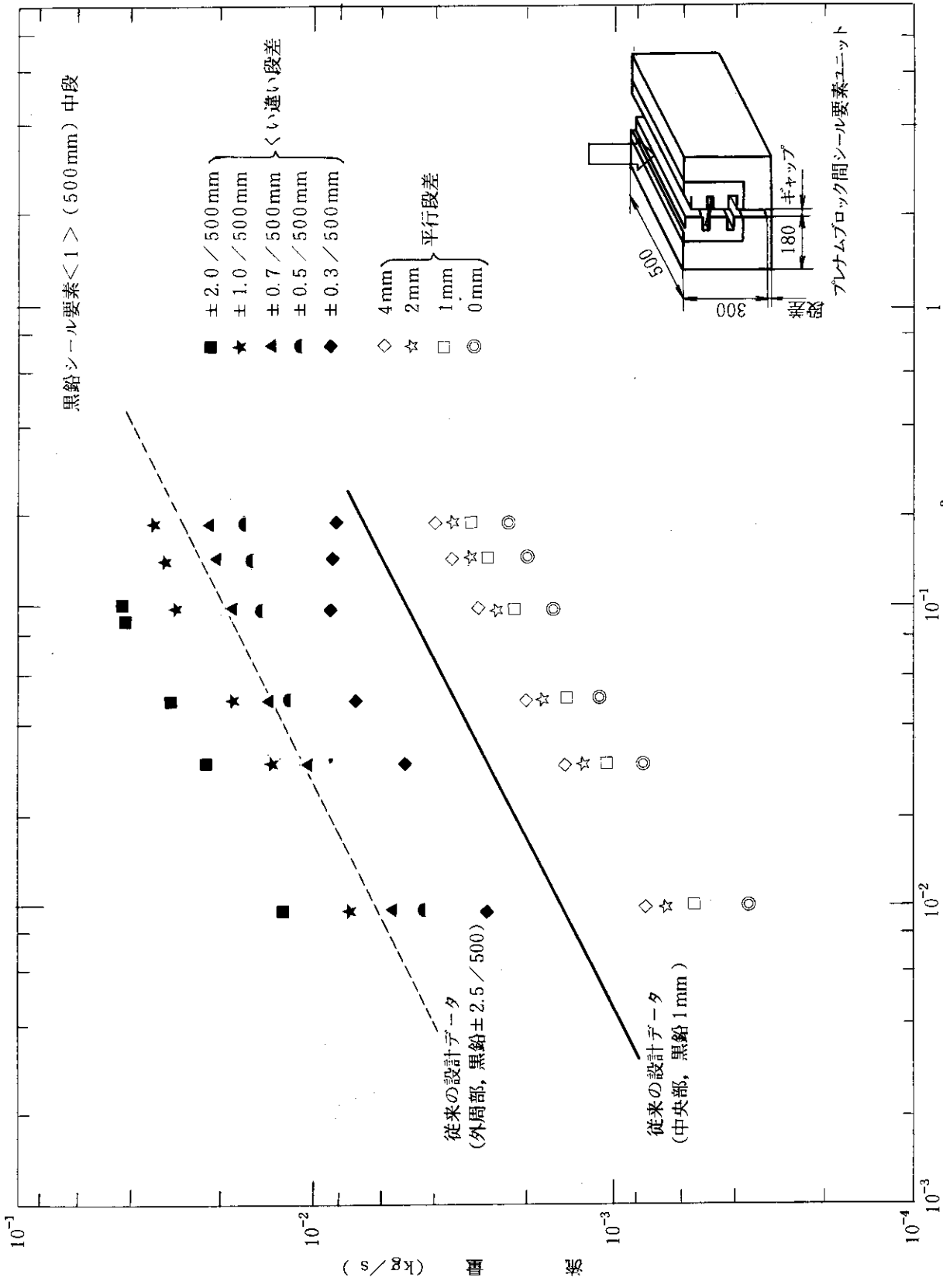


Fig. 5.1.2 差圧と流量の関係 (黒鉛シールド要素<1>(500mm)中段)

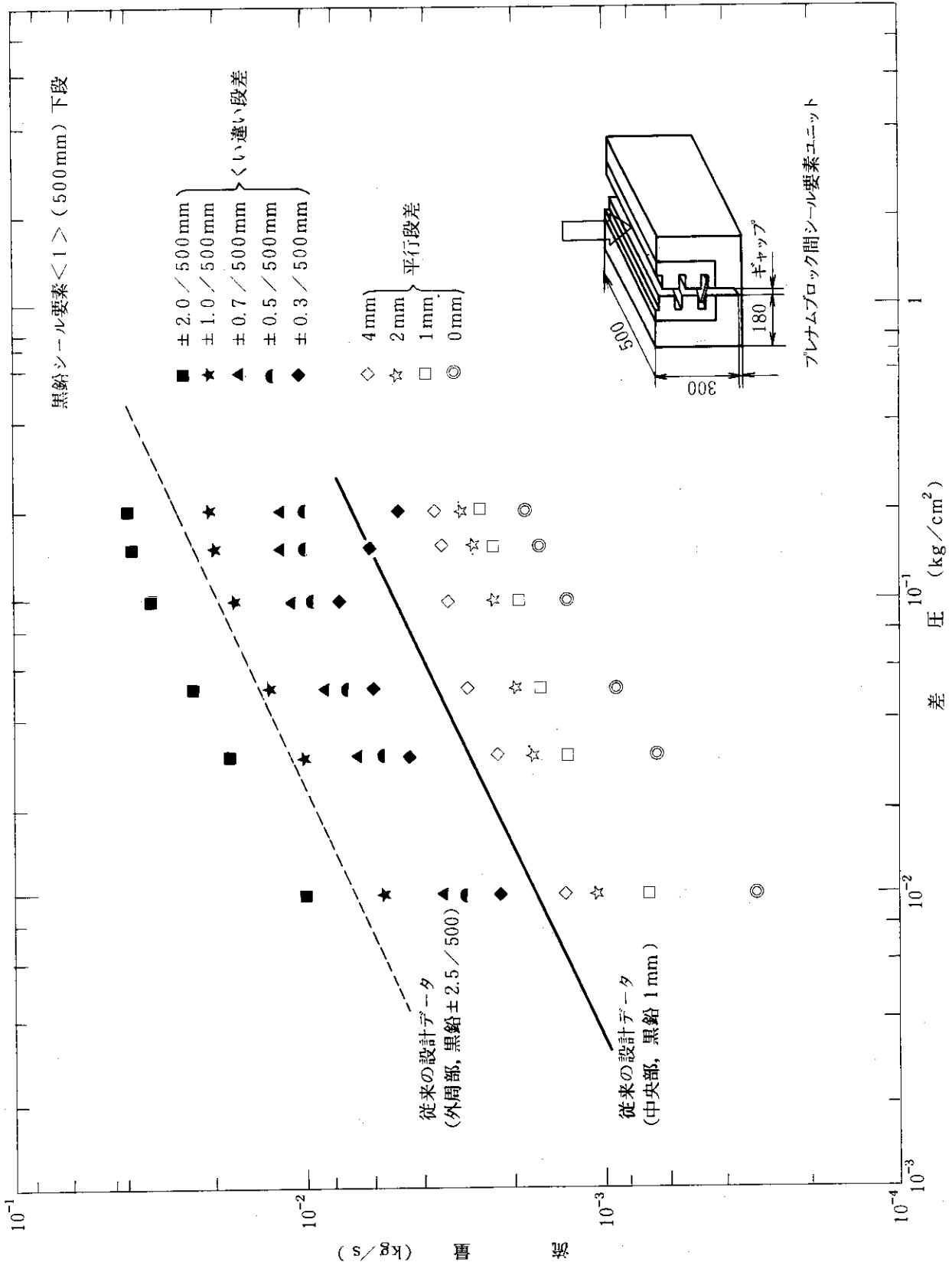


Fig. 5.1.3 差圧と流量の関係(黒鉛シール要素<1>(500mm) 下段)

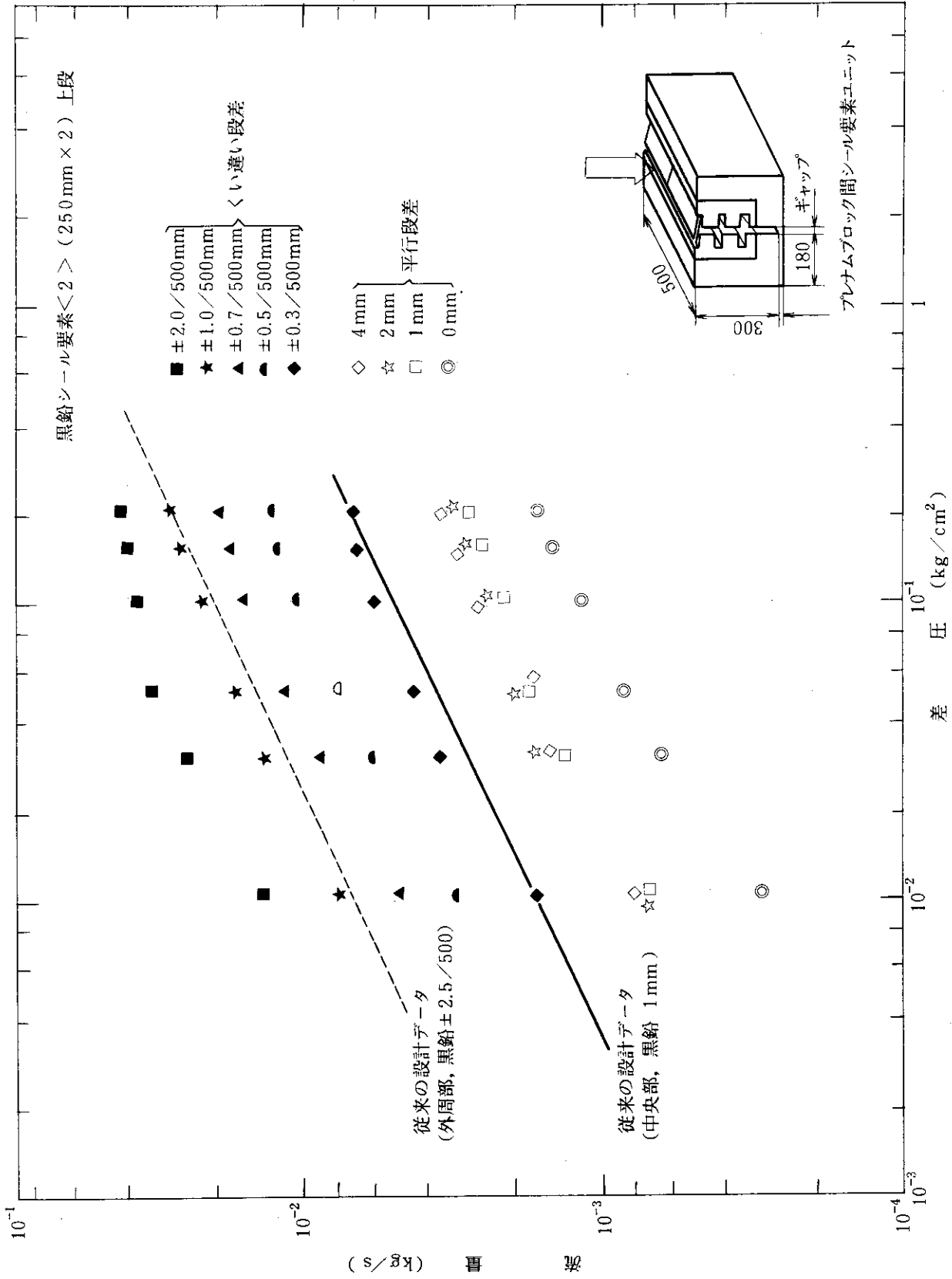


Fig. 5. 1. 4 差圧と流量の関係 (黒鉛シール要素<2> (250 mm × 2) 上段)

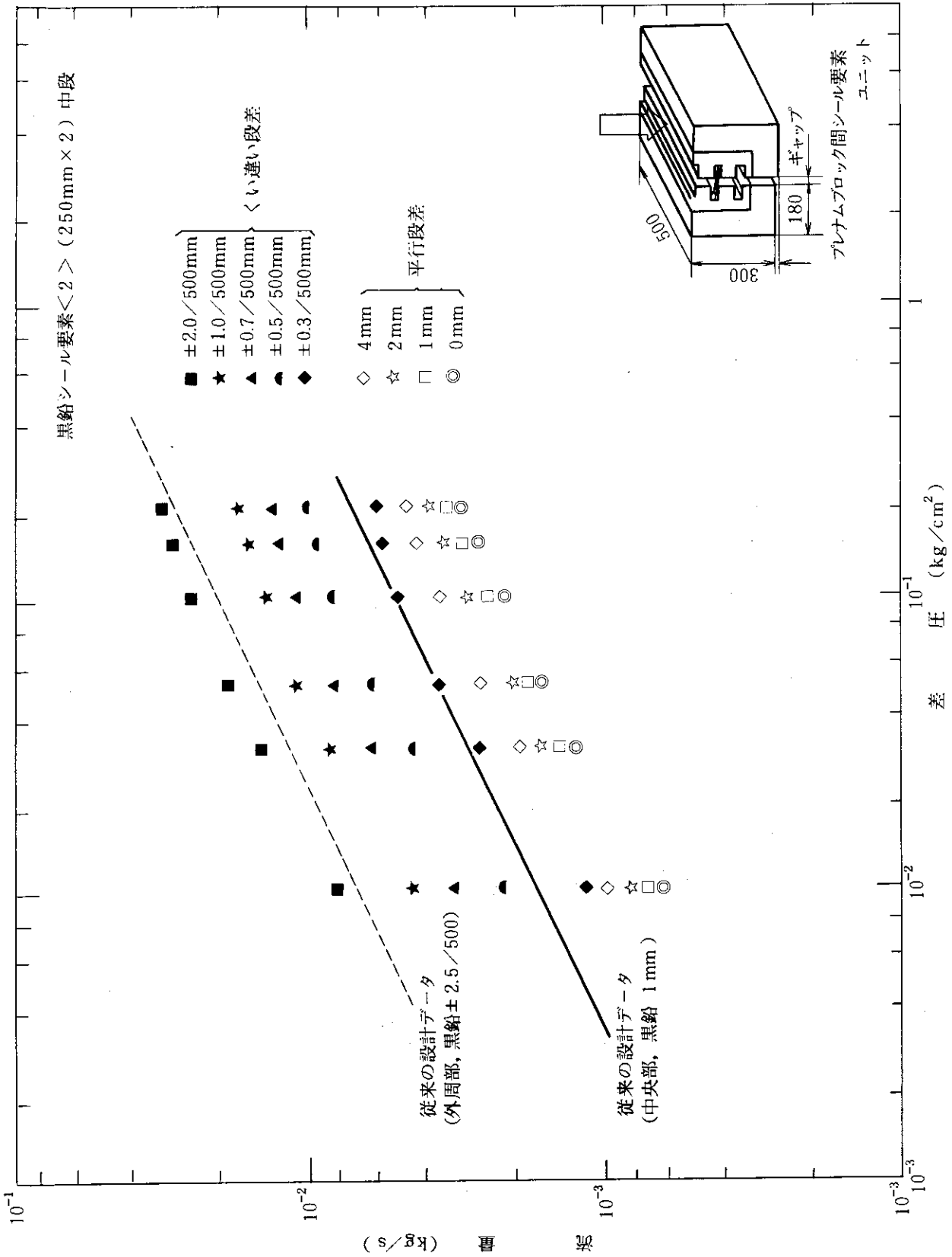


Fig. 5.1.5 差圧と流量の関係 (黒鉛シール要素<2> (250mm × 2) 中段)

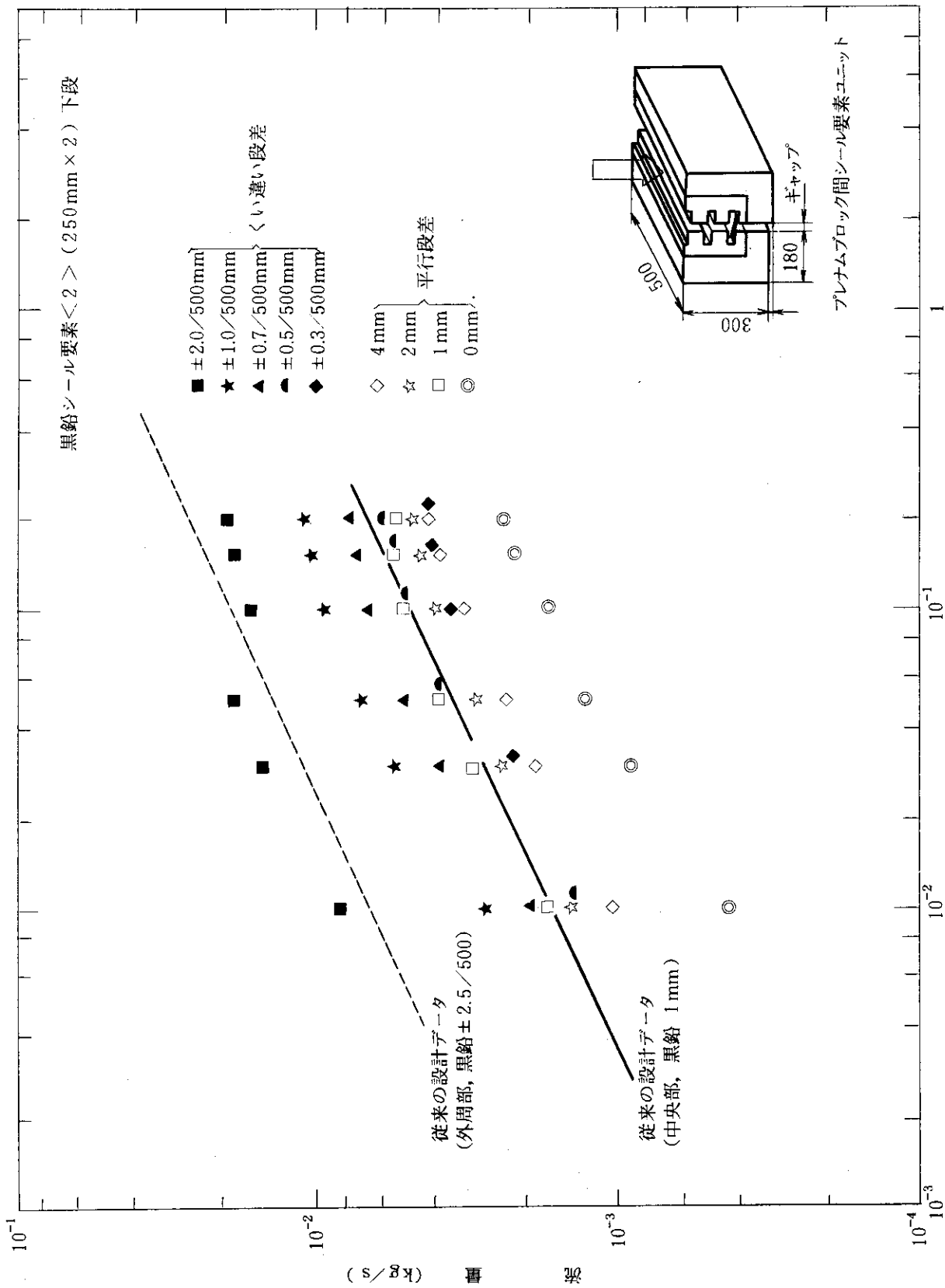


Fig. 5. 1. 6 差圧と流量の関係 (黒鉛シール要素<2> (250mm × 2) 下段)

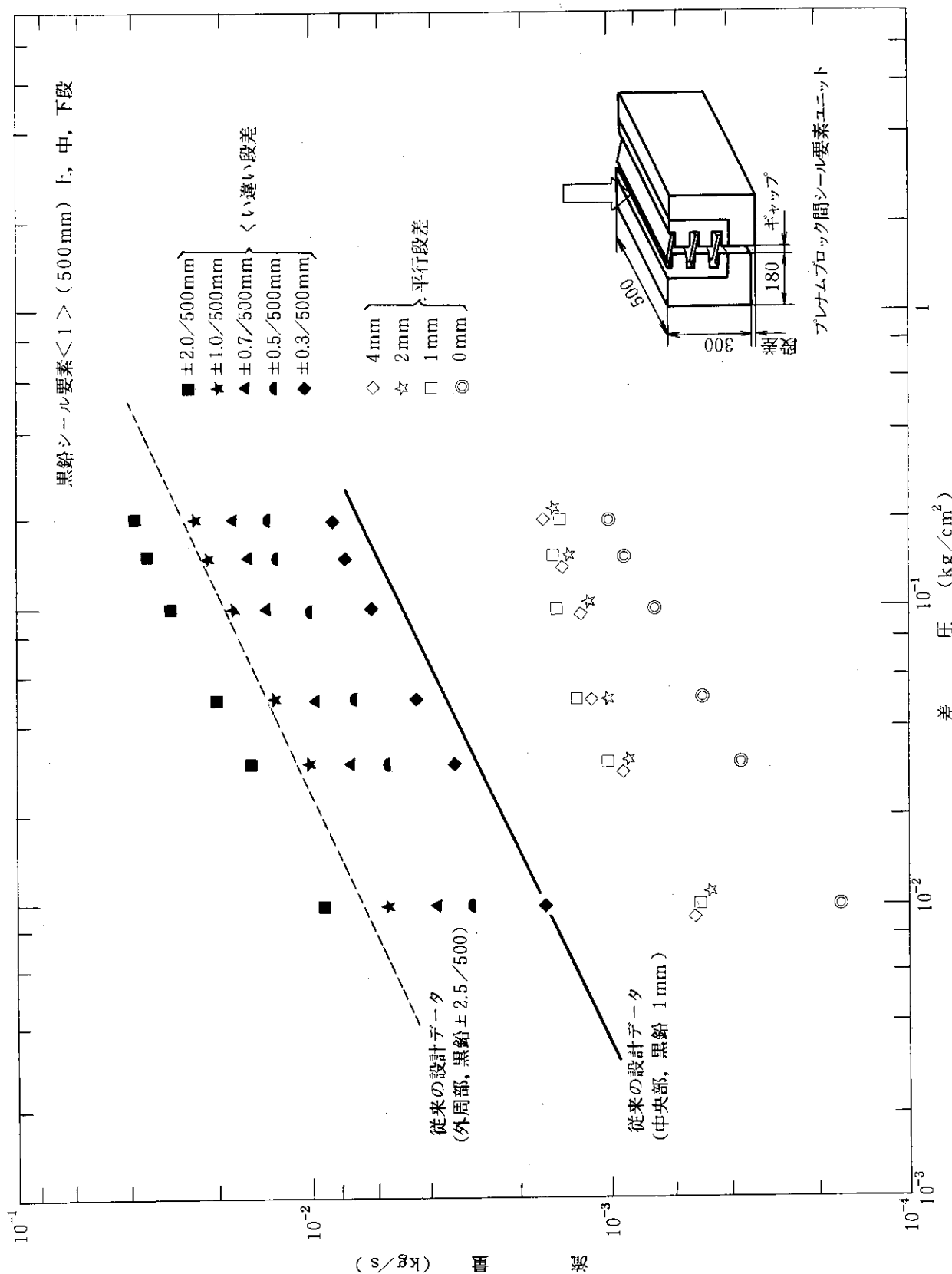


Fig. 5.1.7 差圧と流量の関係 (黒鉛シール要素 < 1 > (500mm) 上, 中, 下段)

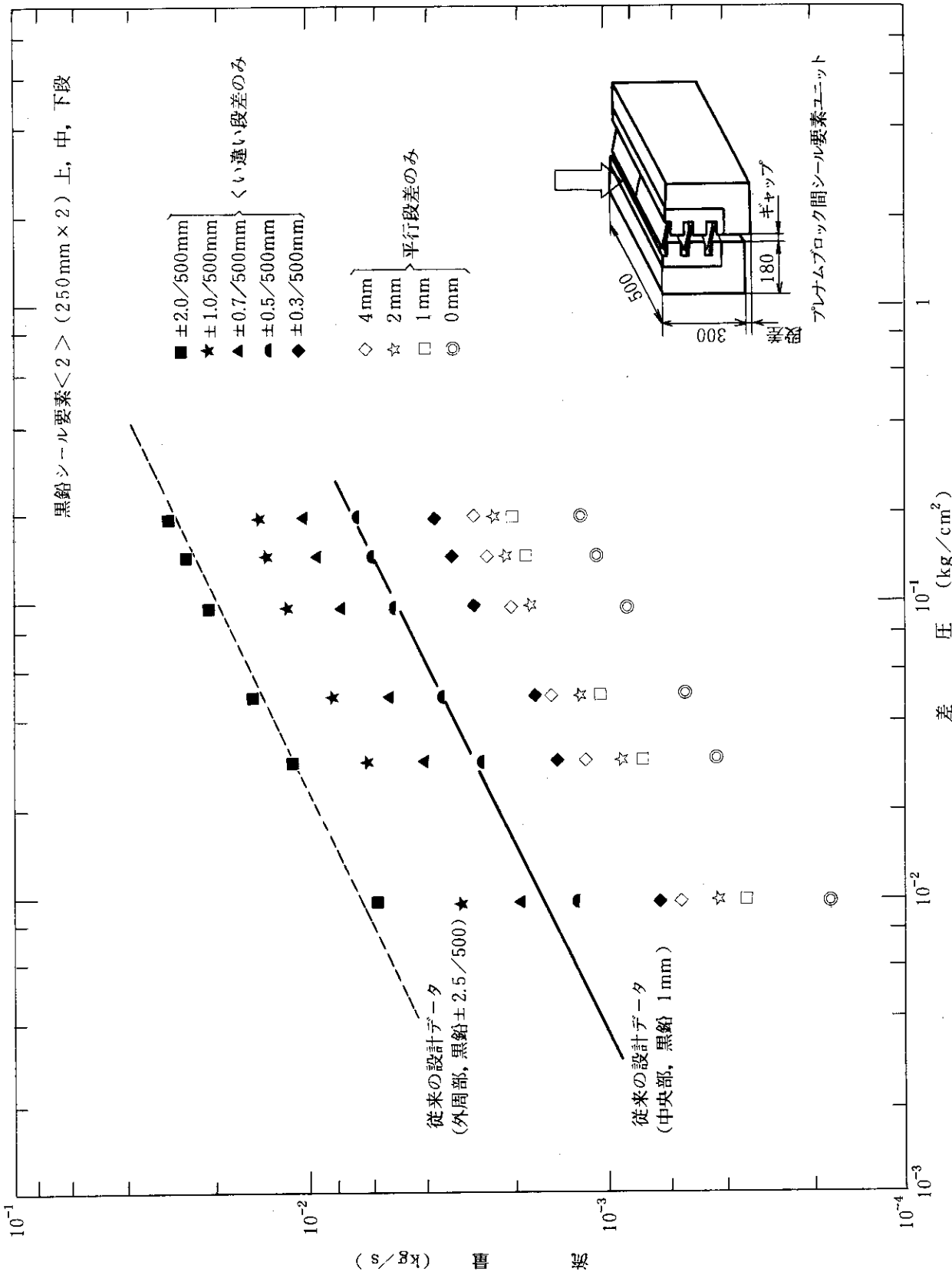


Fig. 5.1.8 差圧と流量の関係 (黒鉛シール要素 < 2 > (250 mm × 2) 上, 中, 下段)

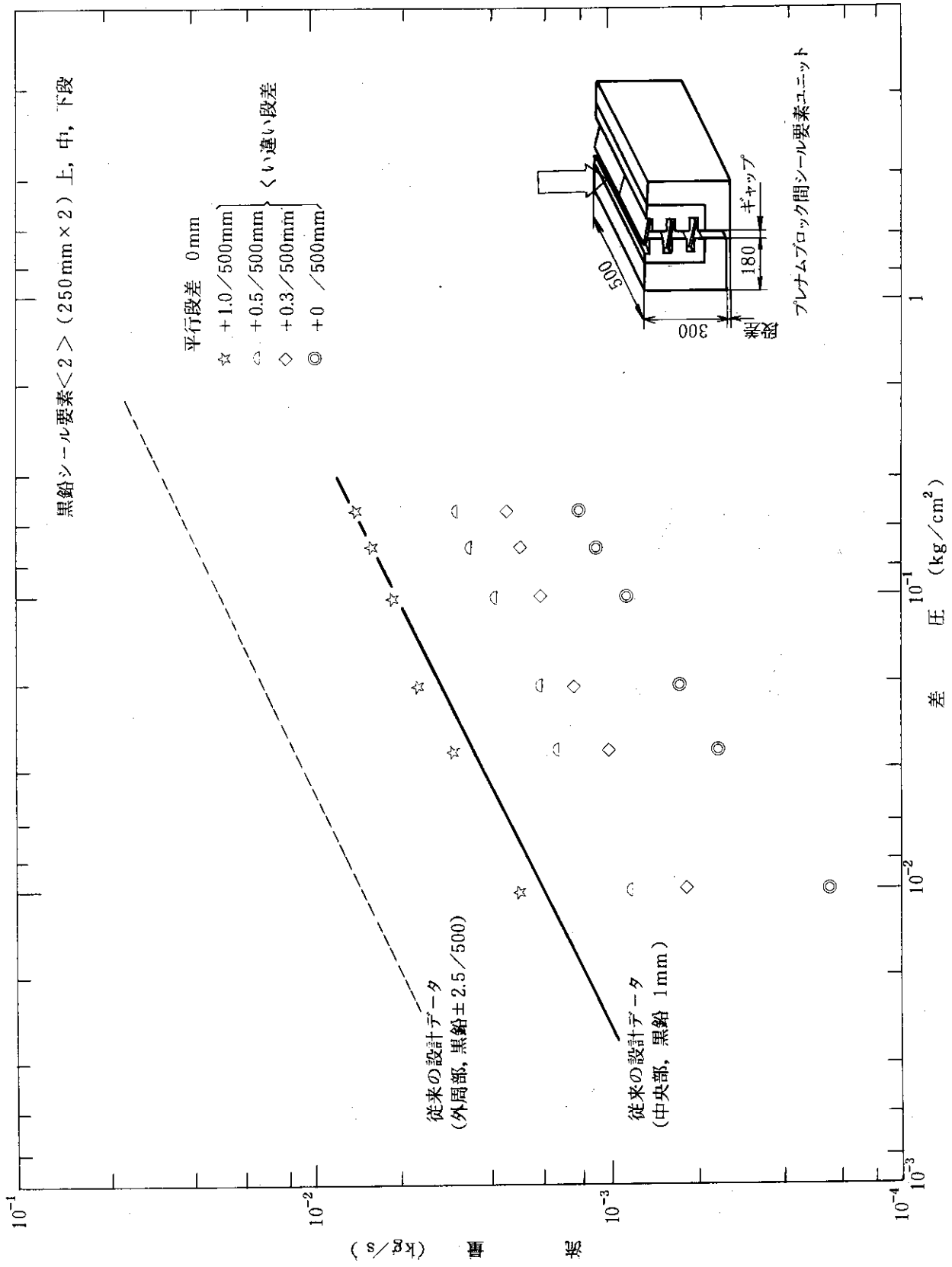


Fig. 5.1.9 差圧と流量の関係 (黒鉛シール要素<2> (250 mm × 2) 上, 中, 下段)

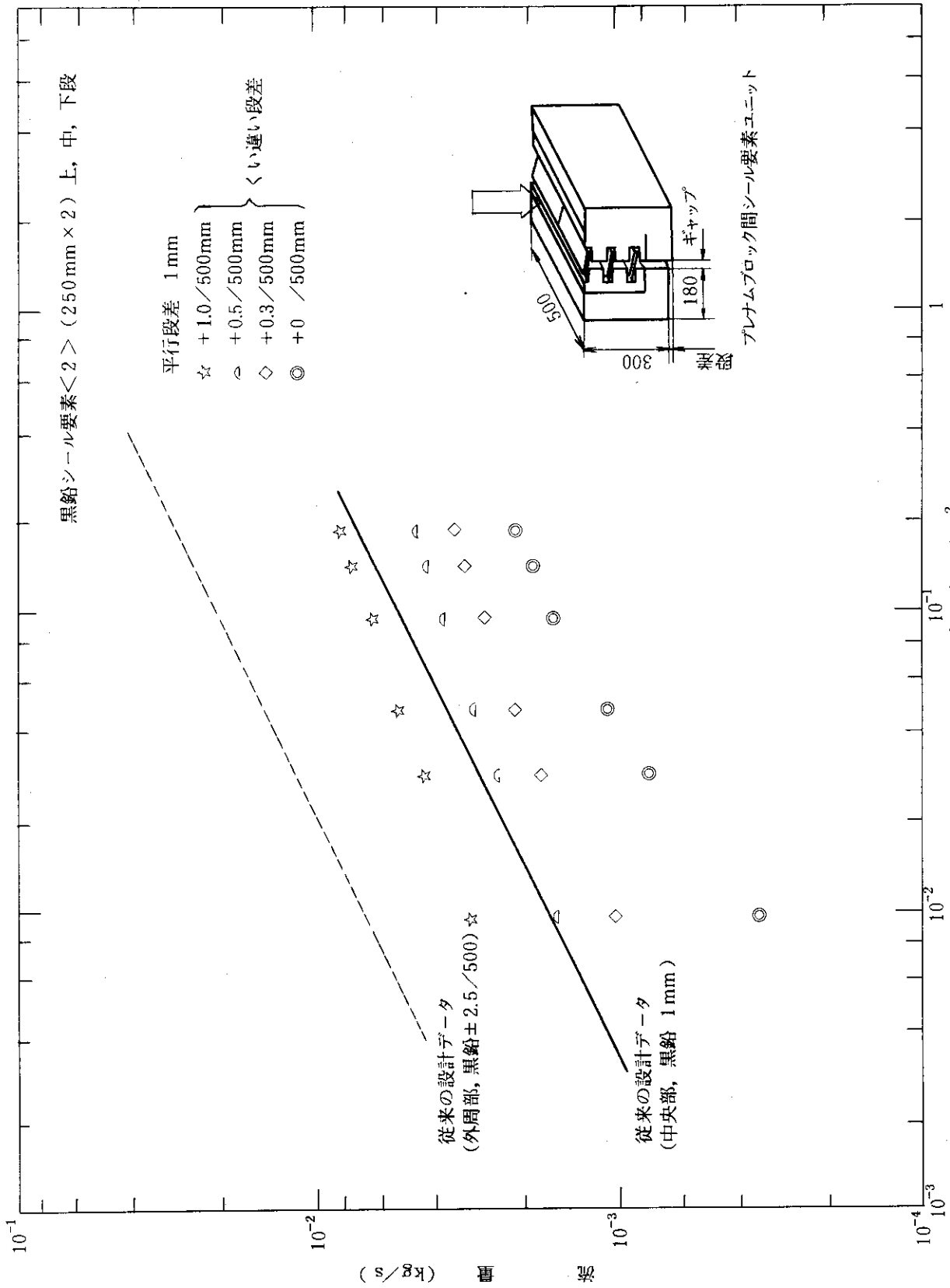


Fig. 5. 1.10 差圧と流量の関係 (黒鉛シール要素 $\lt; 2 \gt; (250\text{mm} \times 2)>$ 上, 中, 下段)

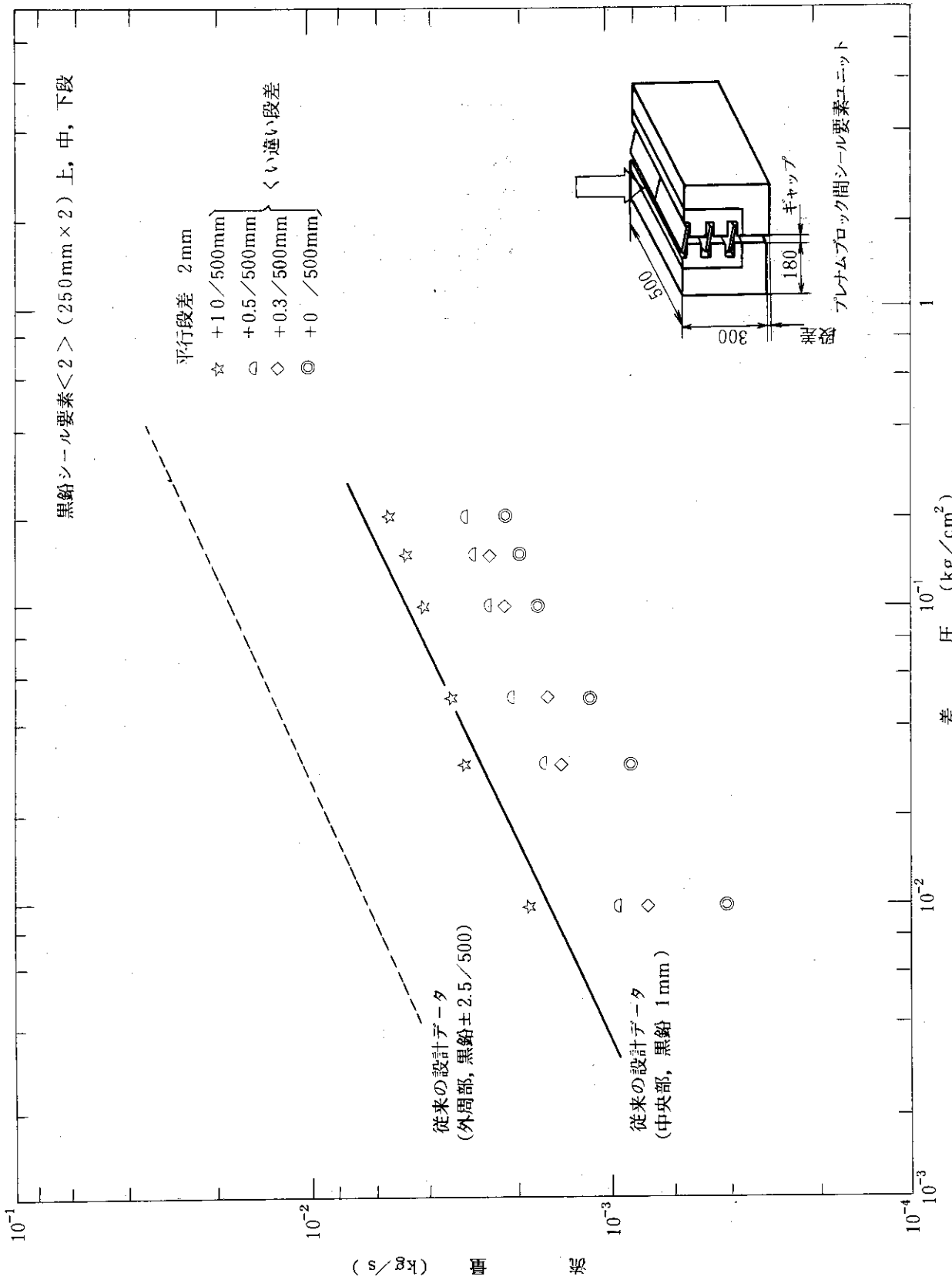


Fig. 5. 1.11 差圧と流量の関係 (黒鉛シール要素<2>(250×mm)上, 中, 下段)

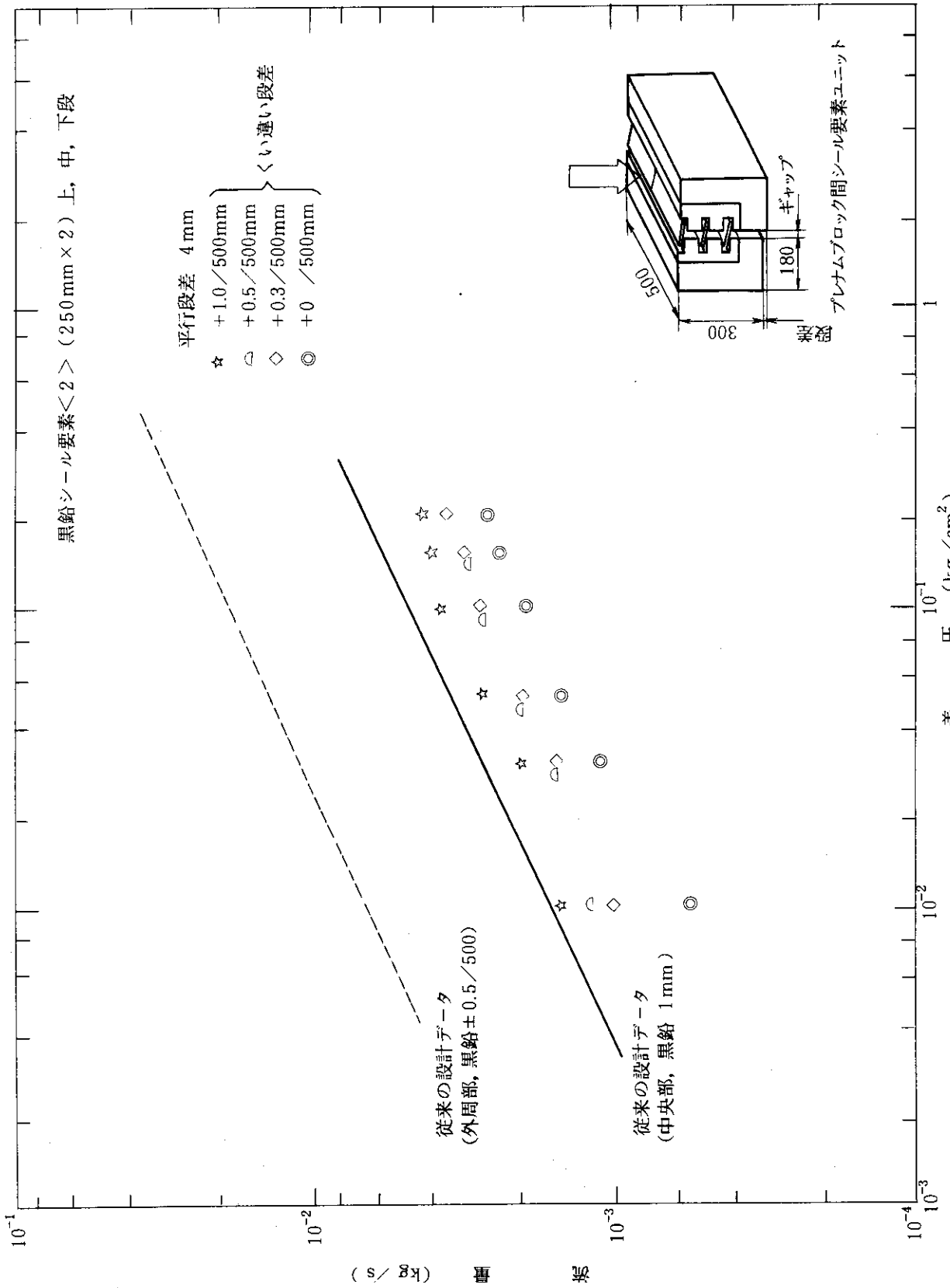


Fig. 5. 1.12 差圧と流量の関係 (黒鉛シール要素<2> (250 mm × 2) 上, 中, 下段)

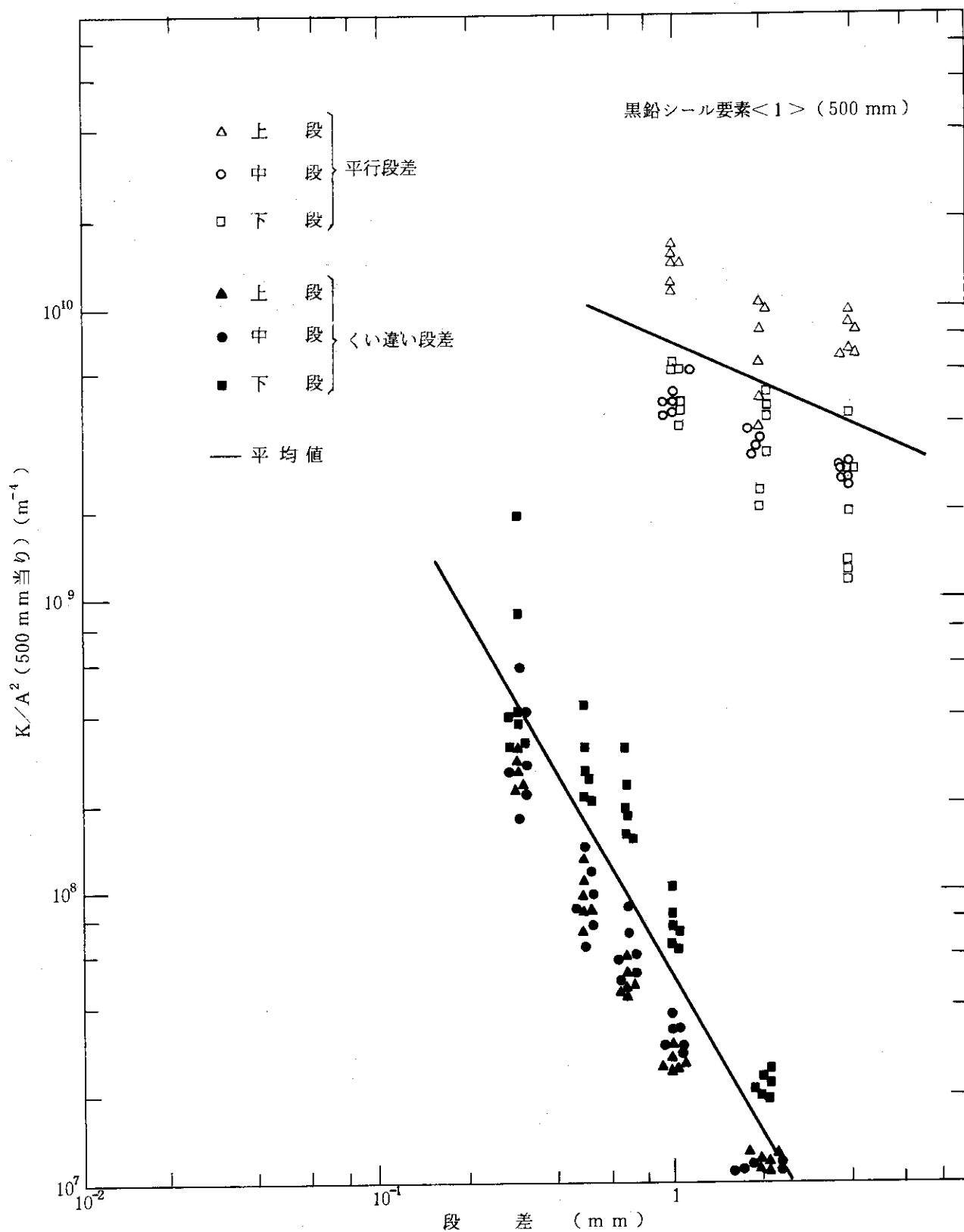


Fig. 5. 1.13 段差と K/A^2 の関係 (黒鉛シール要素<1> (500 mm))

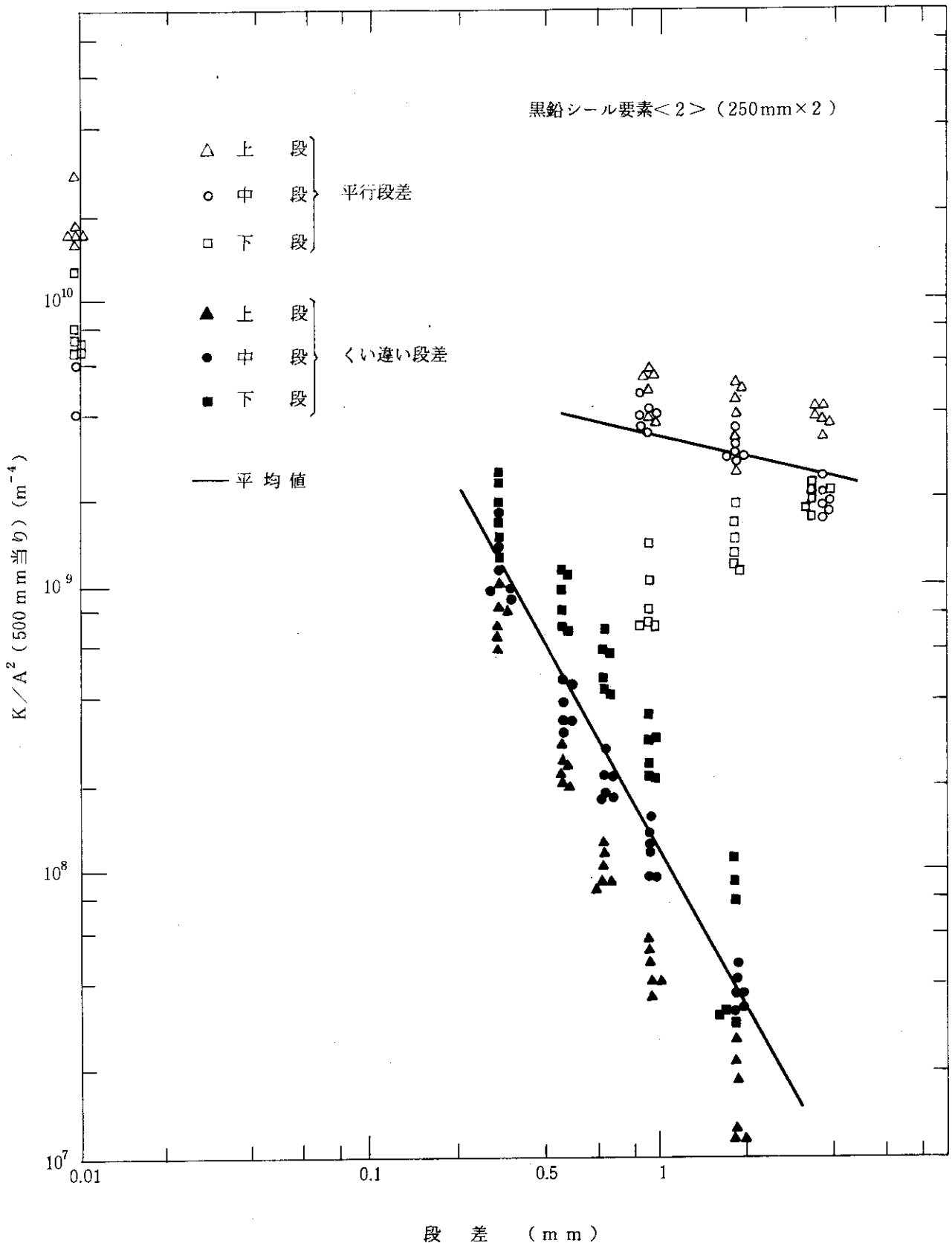


Fig. 5. 1.14 段差と K/A^2 の関係 (黒鉛シール要素<2> (250 mm x 2))

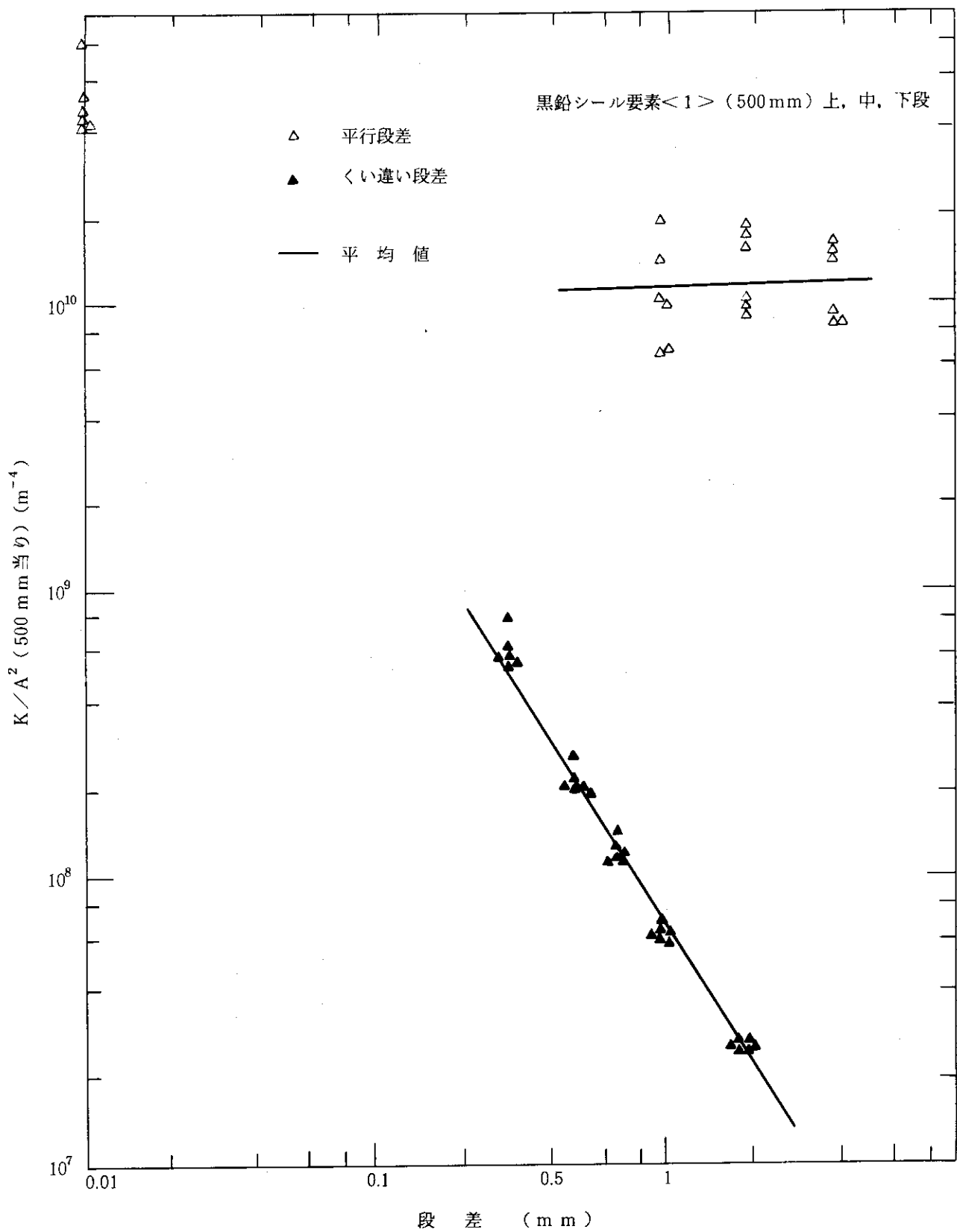


Fig. 5. 1.15 段差と K/A^2 の関係 (黒鉛シール要素<1> (500 mm) 上, 中, 下段)

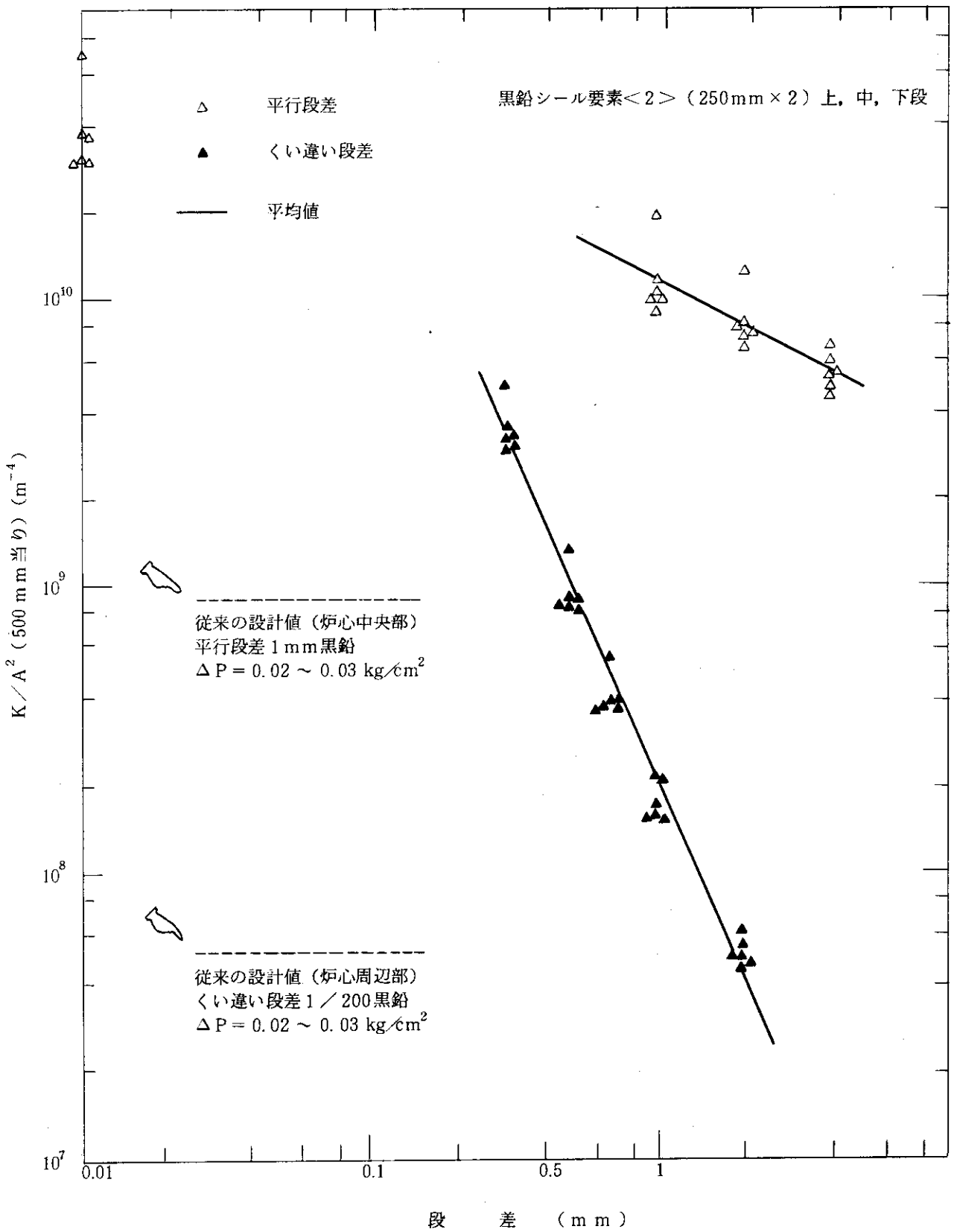


Fig. 5. 1.16 段差と K/A^2 の関係 (黒鉛シール要素<2> (250 mm × 2) 上, 中, 下段)

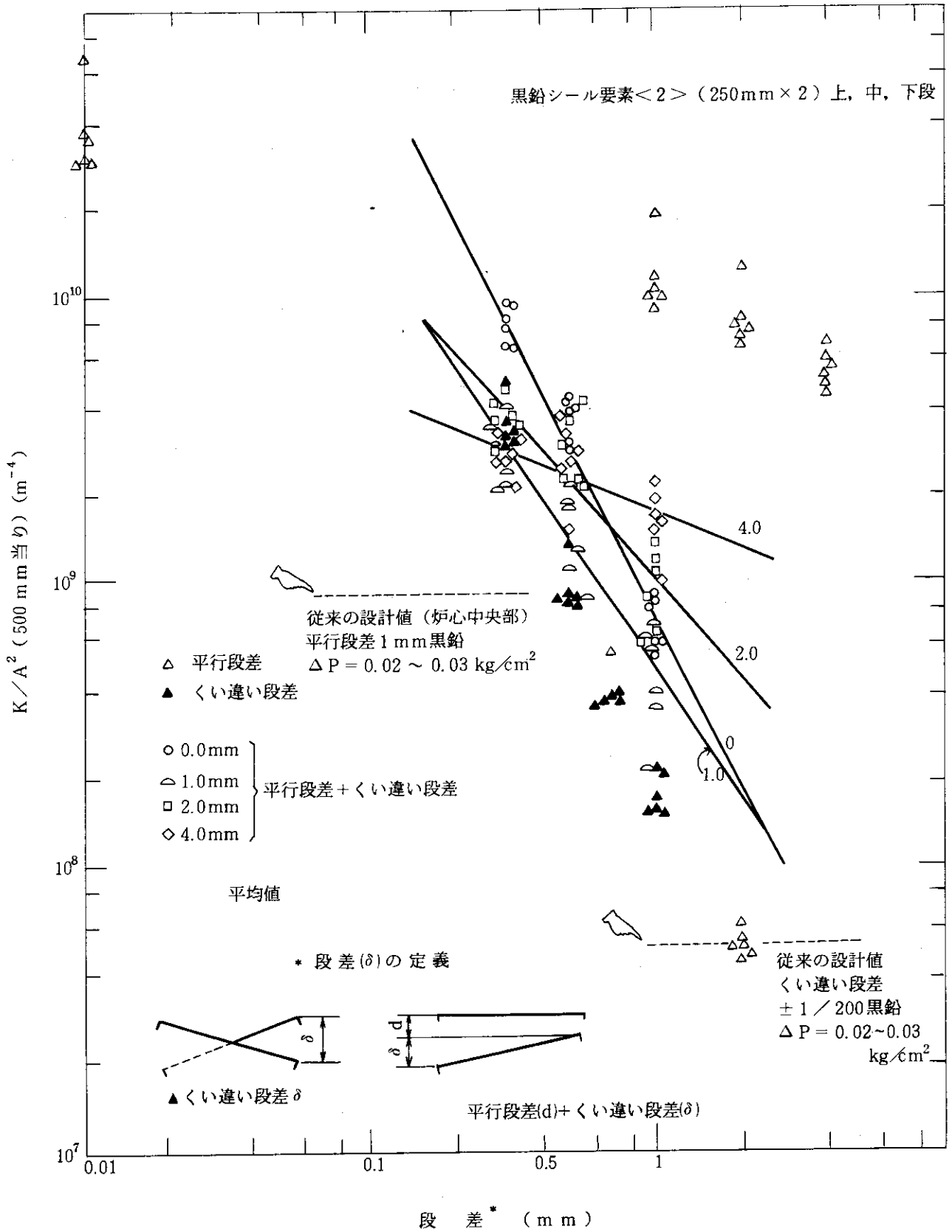


Fig. 5. 1.17 段差と K/A^2 の関係<2> (黒鉛シール要素<2> (250 mm × 2) 上, 中, 下段)

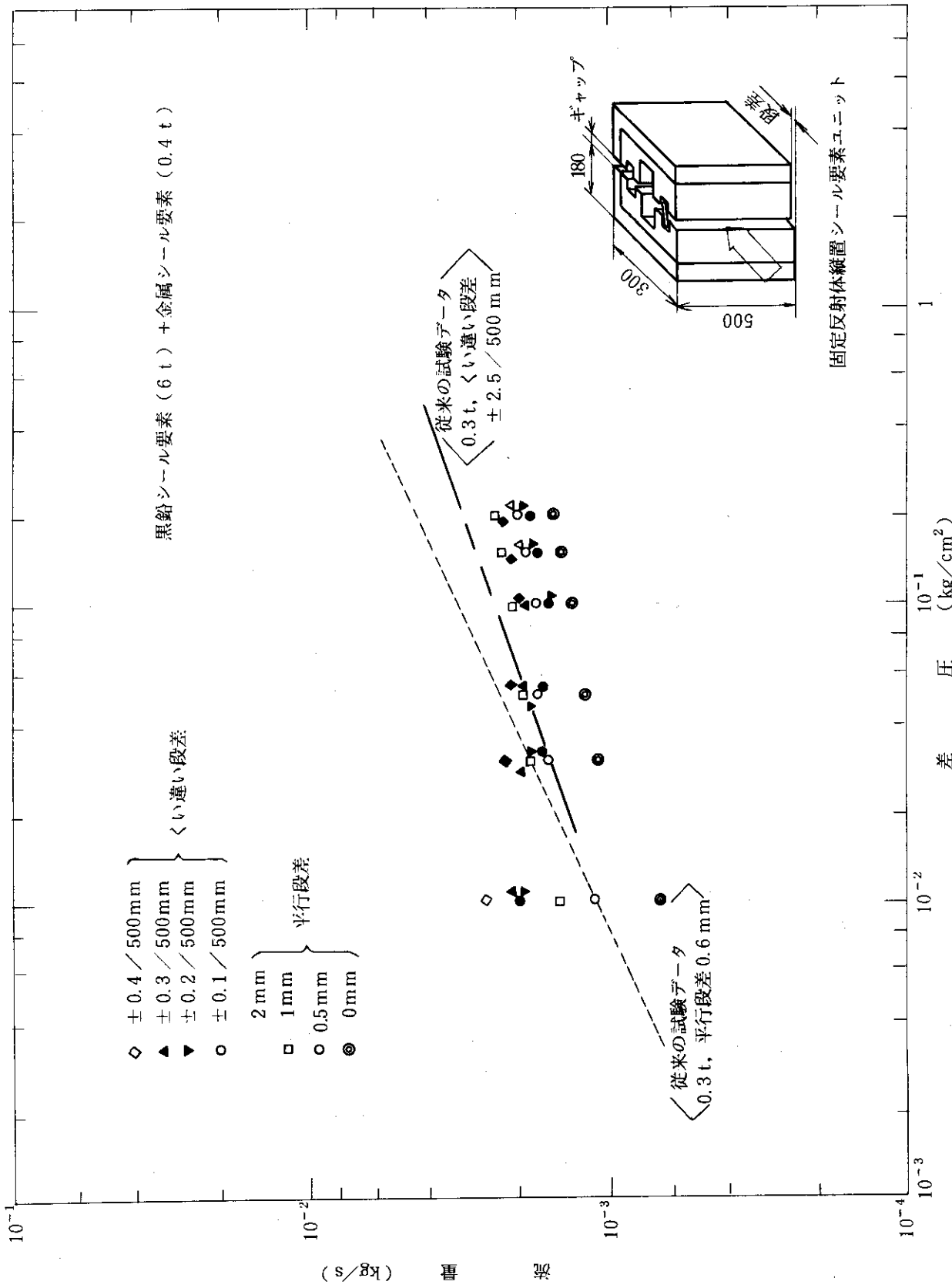


Fig. 5. 1.18 段差とK/A²の関係 (黒鉛シール要素 (6 t) + 金属シール要素 (0.4 t))

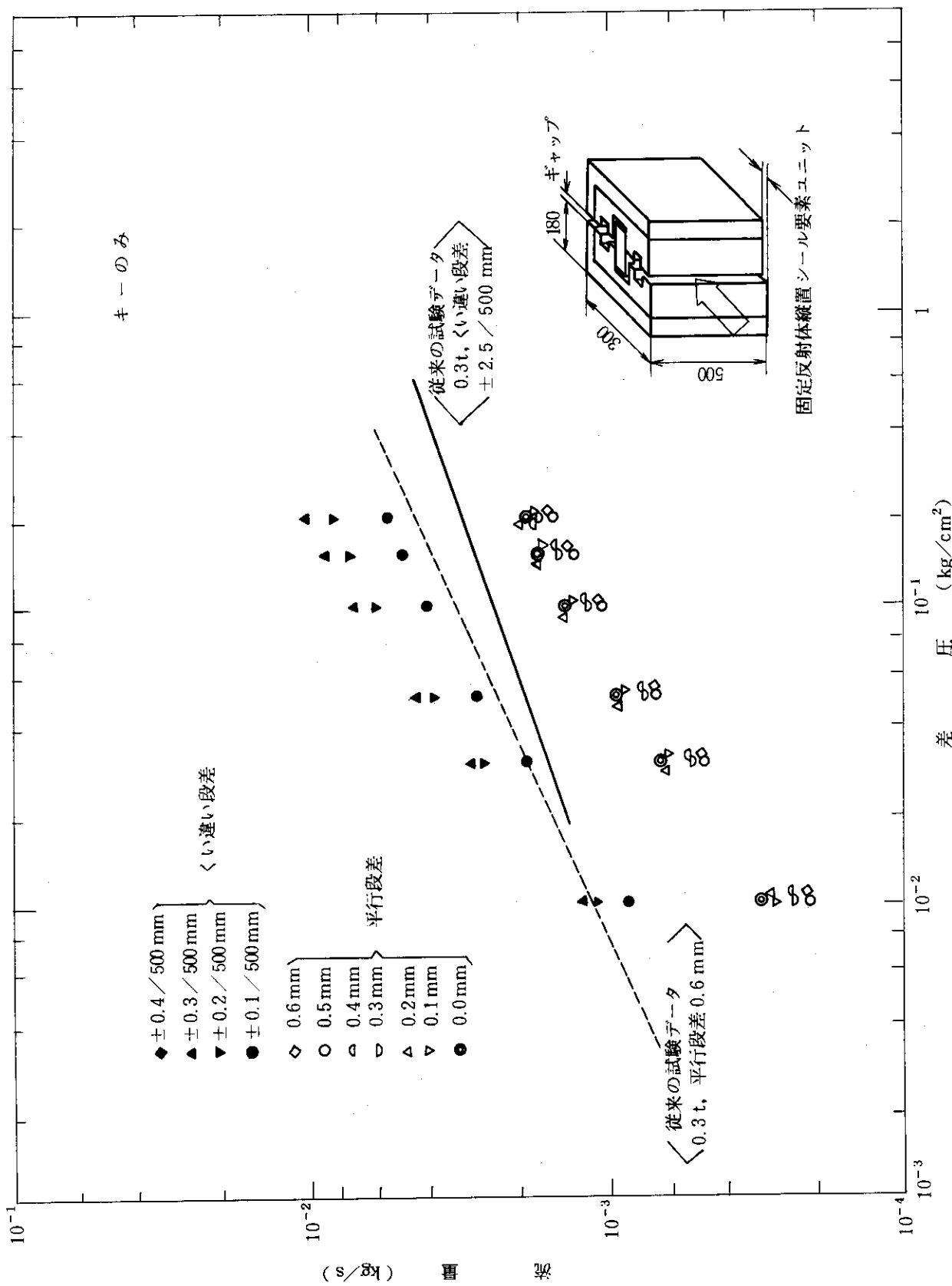


Fig. 5. 1.19 段差とK/A²の関係 (キーのみ)

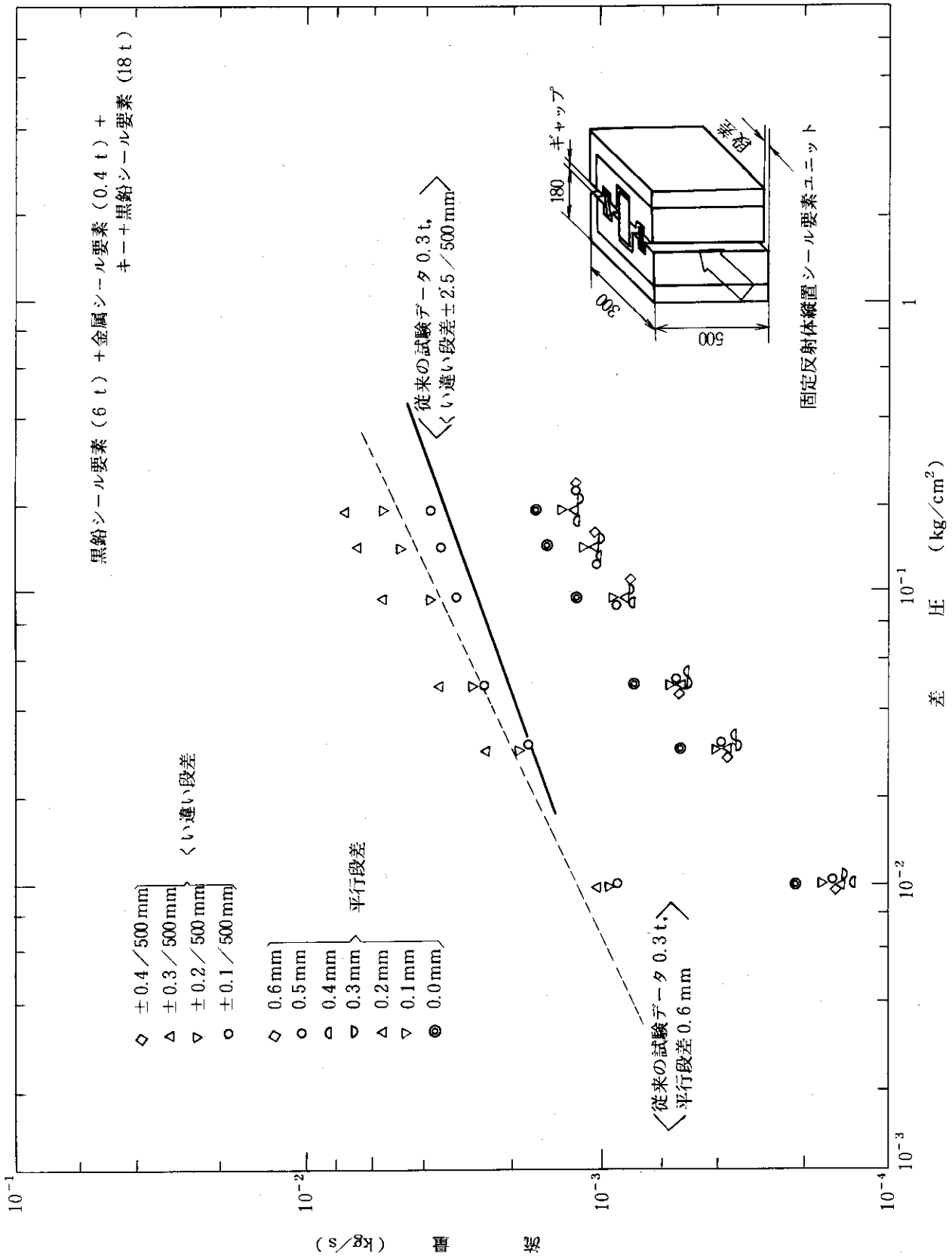


Fig. 5. 1.20 段差と K/A^2 の関係 (黒鉛シールド要素 (6 t) + 金属シールド要素 (0.4 t) + キー + 黒鉛シールド要素 (18 t))

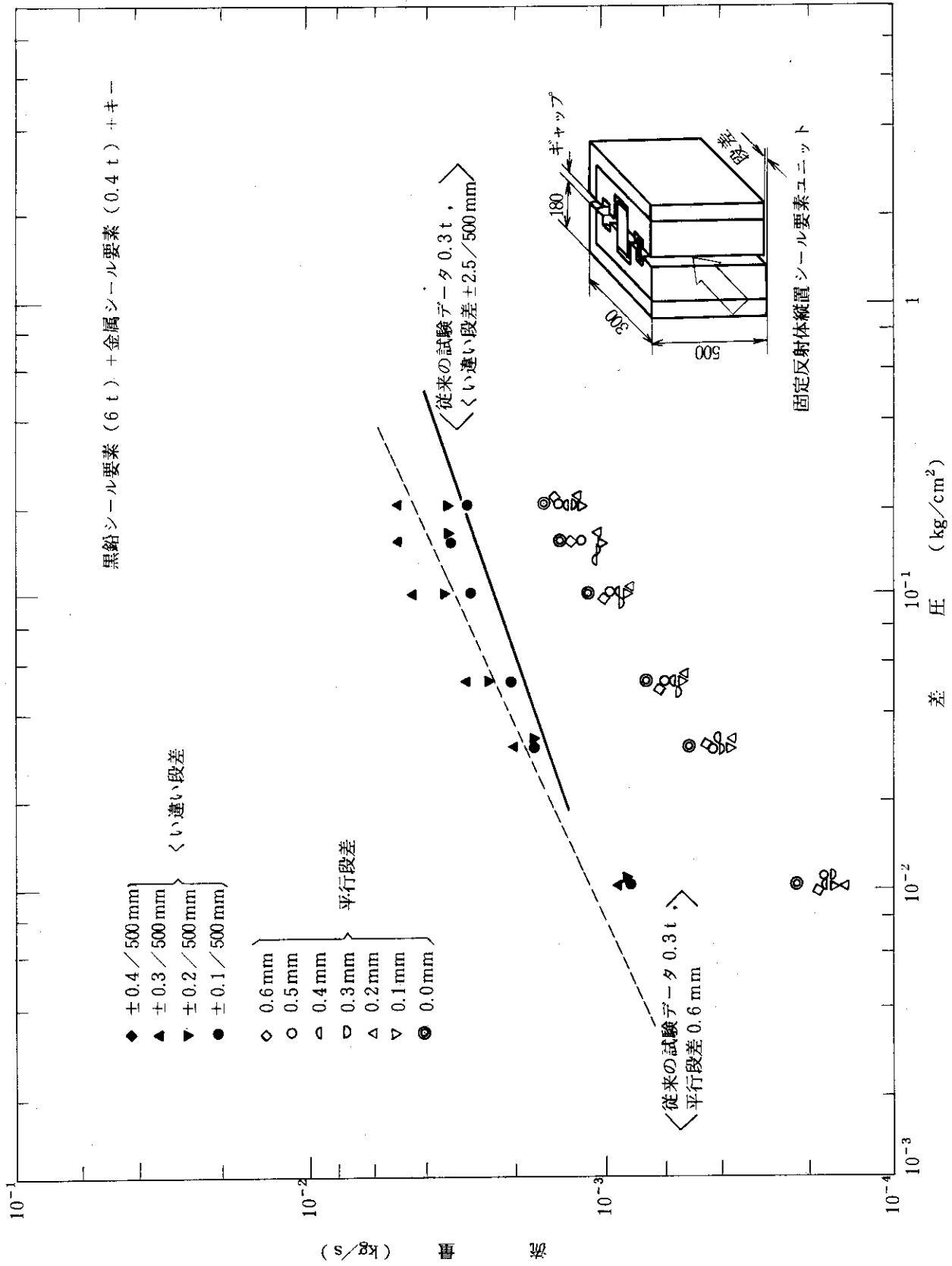


Fig. 5. 1.21 段差と K/A^2 の関係 (黒鉛シール要素 (6 t) + 金属シール要素 (0.4 t) + キー)

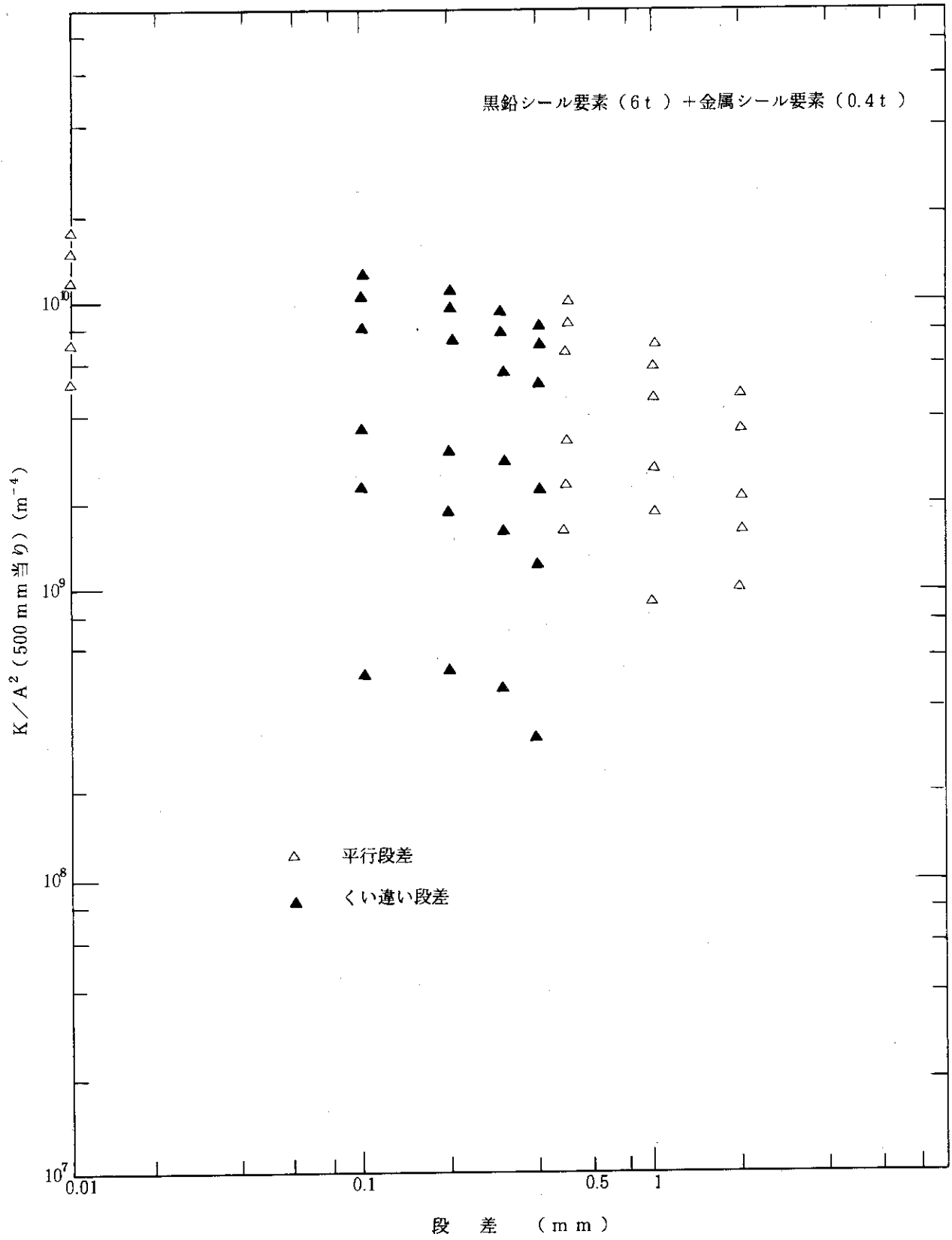


Fig. 5. 1.22 段差とK/A²の関係 (黒鉛シール要素 (6t) + 金属シール要素 (0.4t))

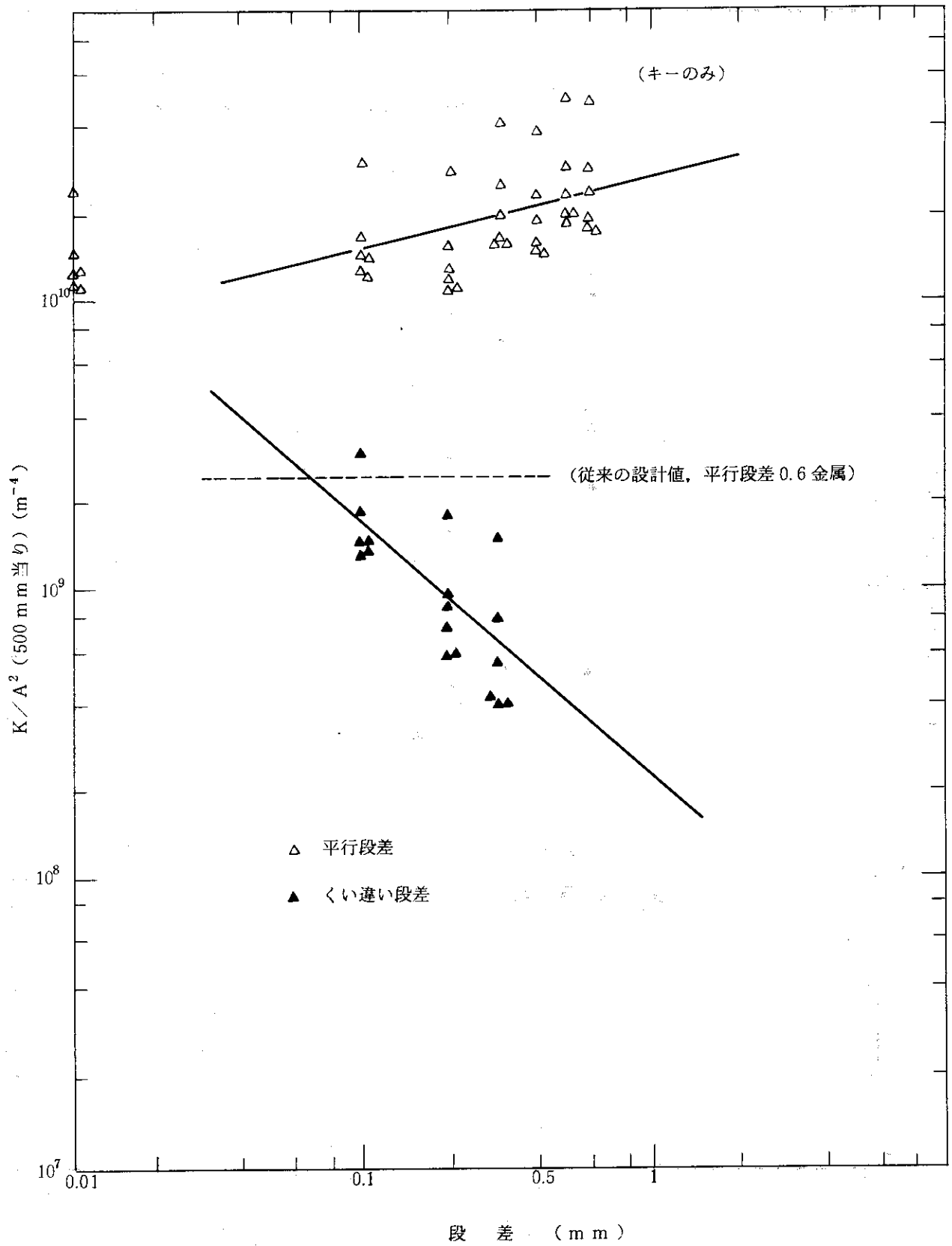


Fig. 5. 1.23 段差と K/A^2 の関係 (キーのみ)

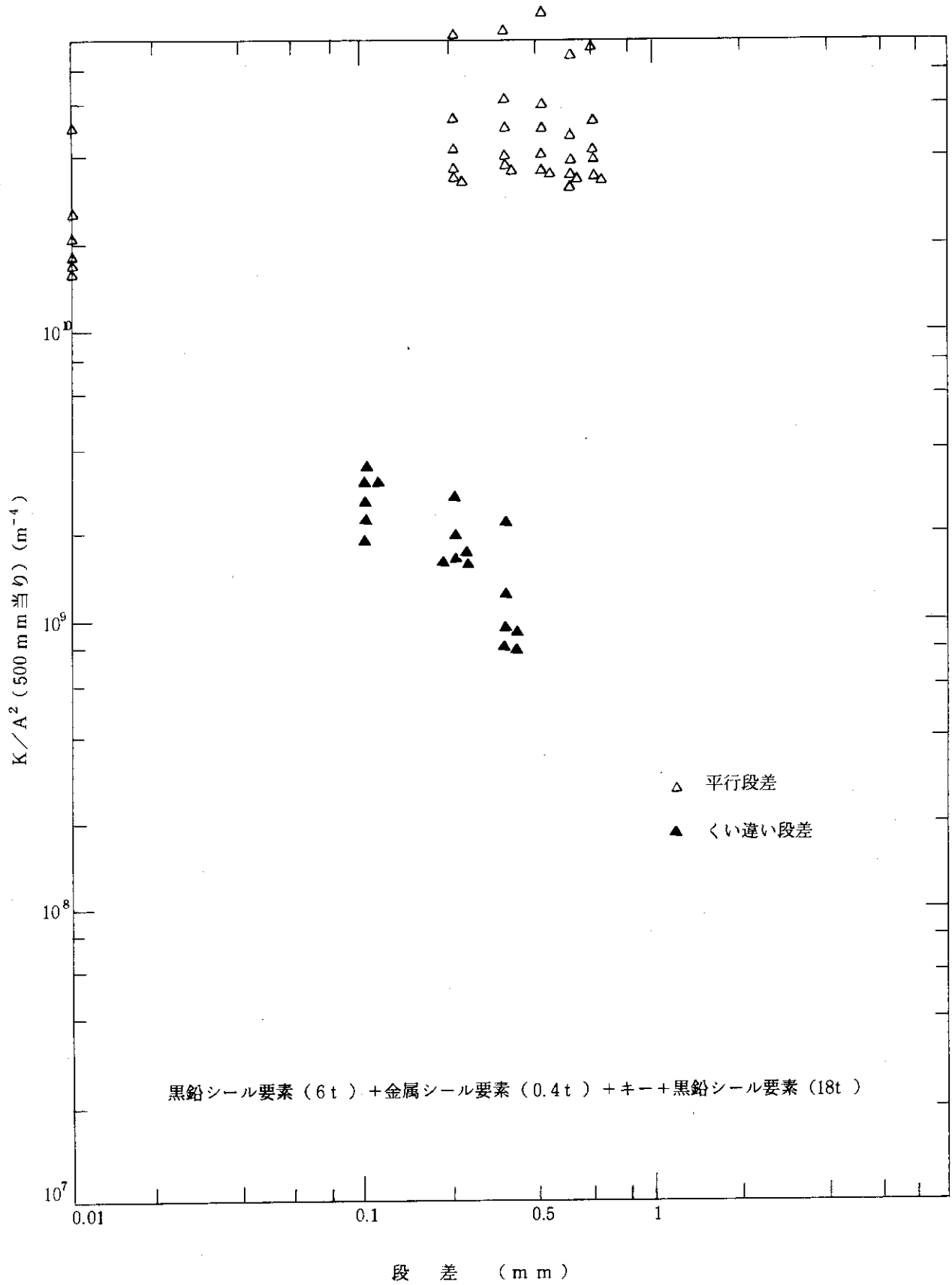


Fig. 5. 1.24 段差と K/A^2 の関係 (黒鉛シール要素 (6 t) + 金属シール要素 (0.4 t) + キー + 黒鉛シール要素 (18t))

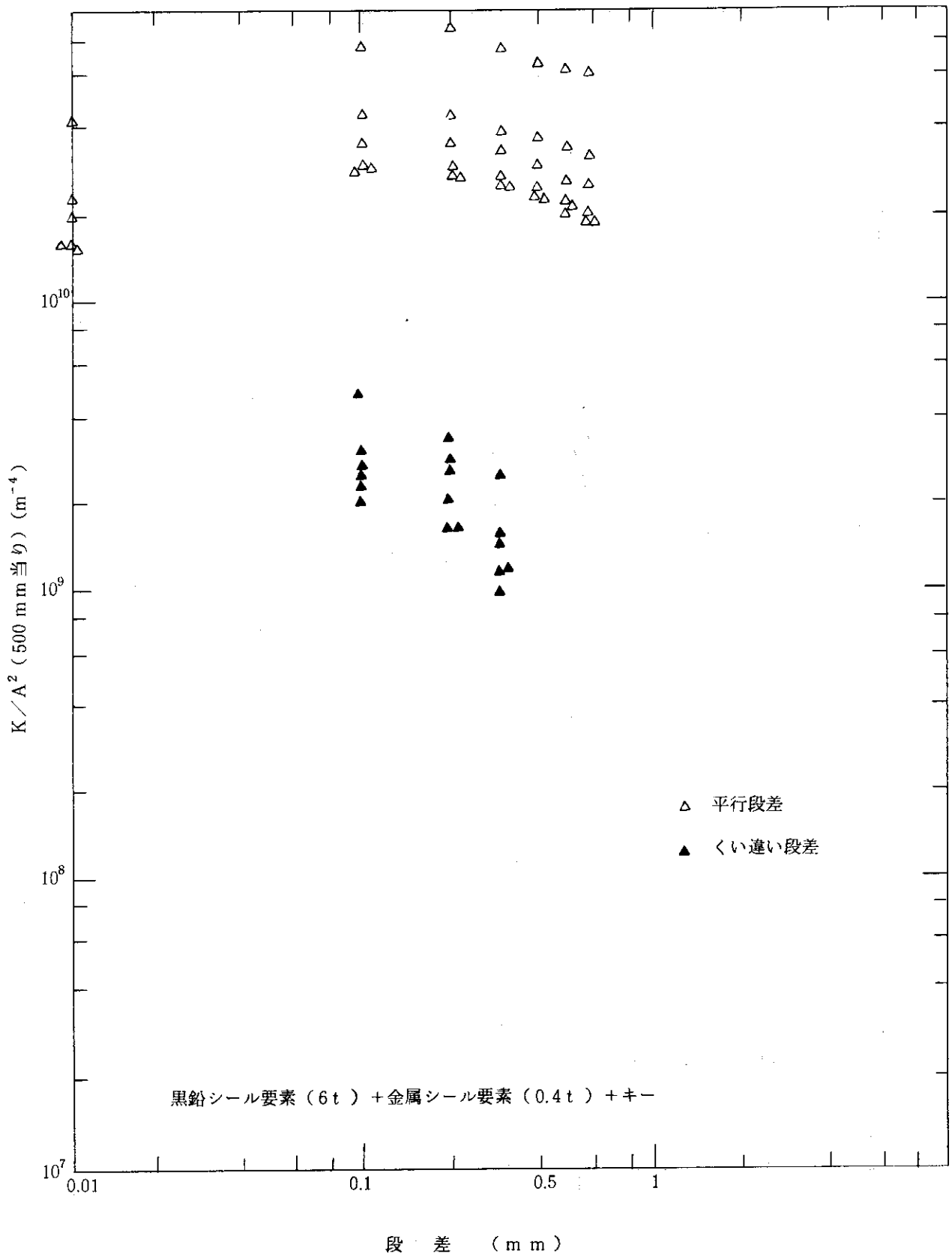


Fig. 5. 1.25 段差と K/A^2 の関係 (黒鉛シール要素 (6 t) + 金属シール要素 (0.4 t) + キー)

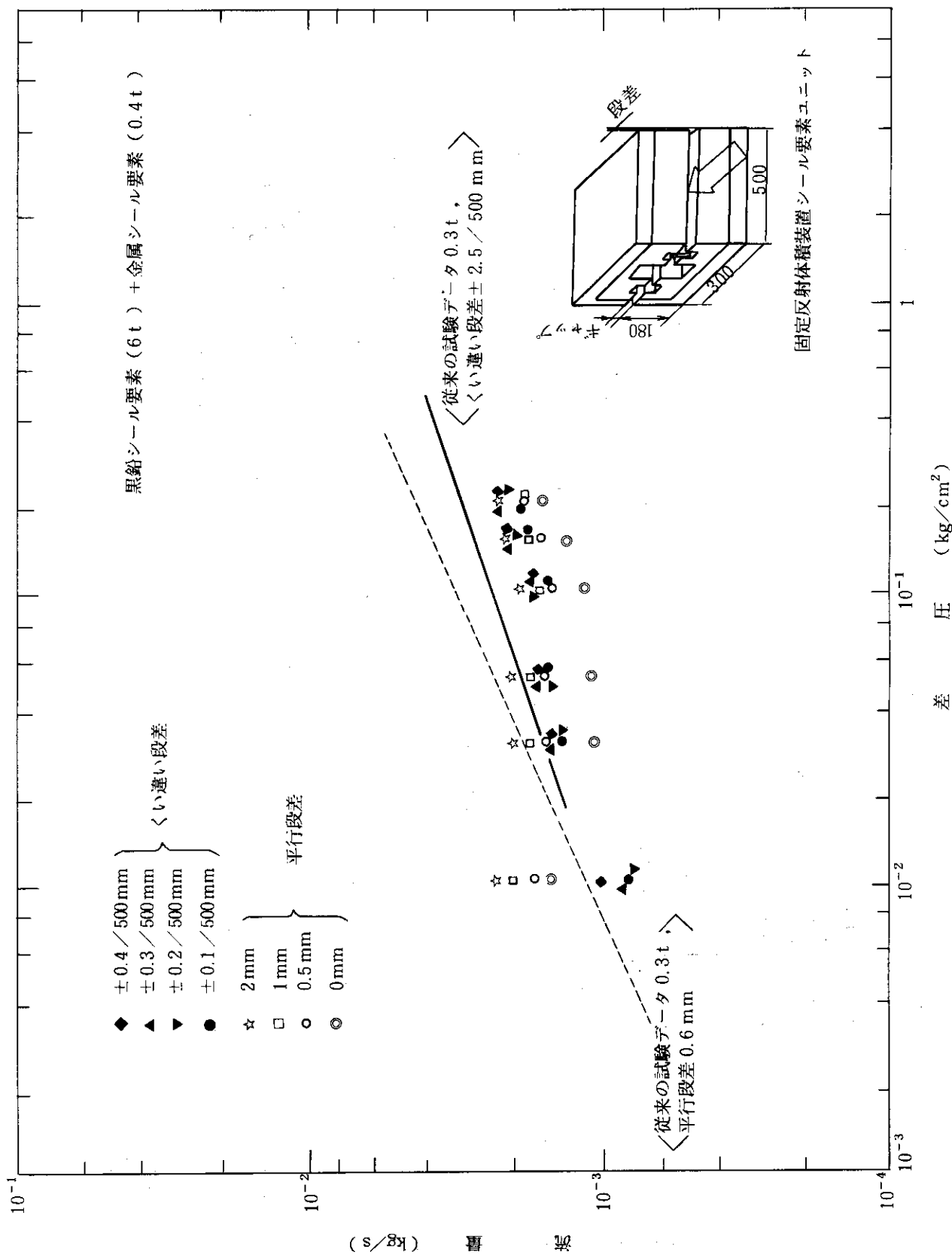


Fig. 5. 1.26 段差とK/A²の関係 (黒鉛シール要素 (6 t) + 金属シール要素 (0.4 t))

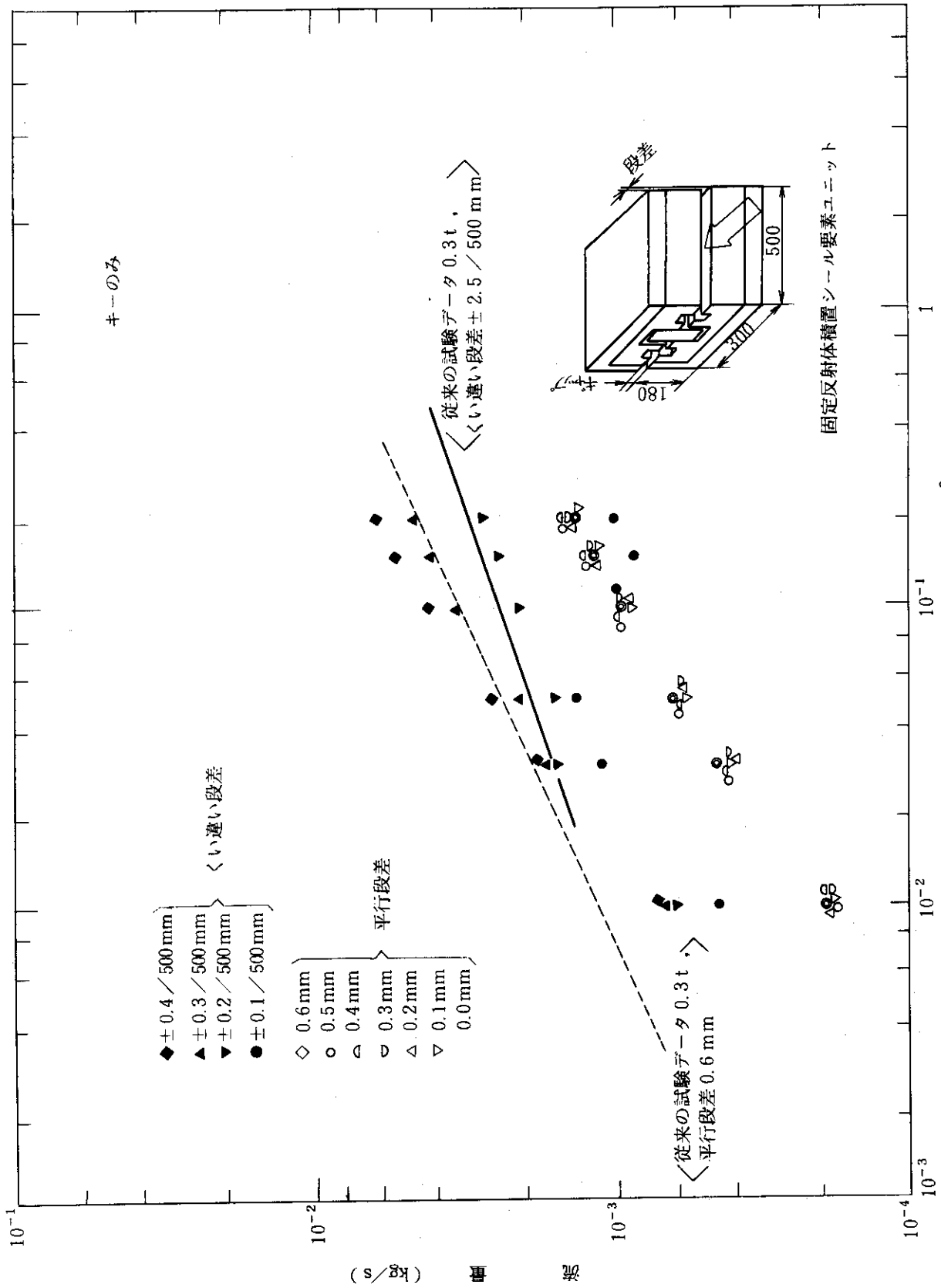


Fig. 5. 1.27 段差とK/A²の関係 (キーのみ)

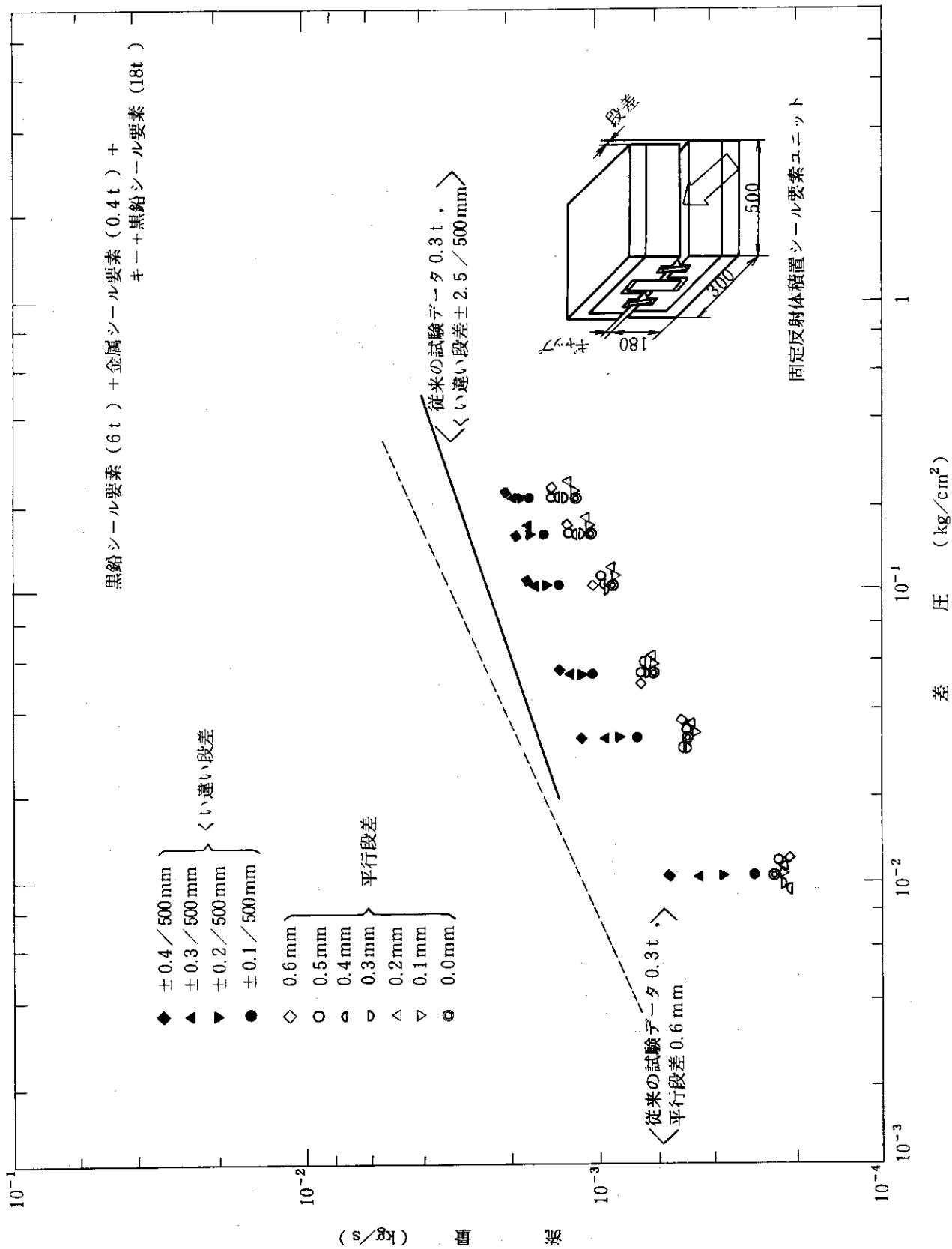


Fig. 5. 1. 28 段差とK/A²の関係 (黒鉛シール要素 (6 t) + 金属シール要素 (0.4 t) + キー + 黒鉛シール要素 (18 t))

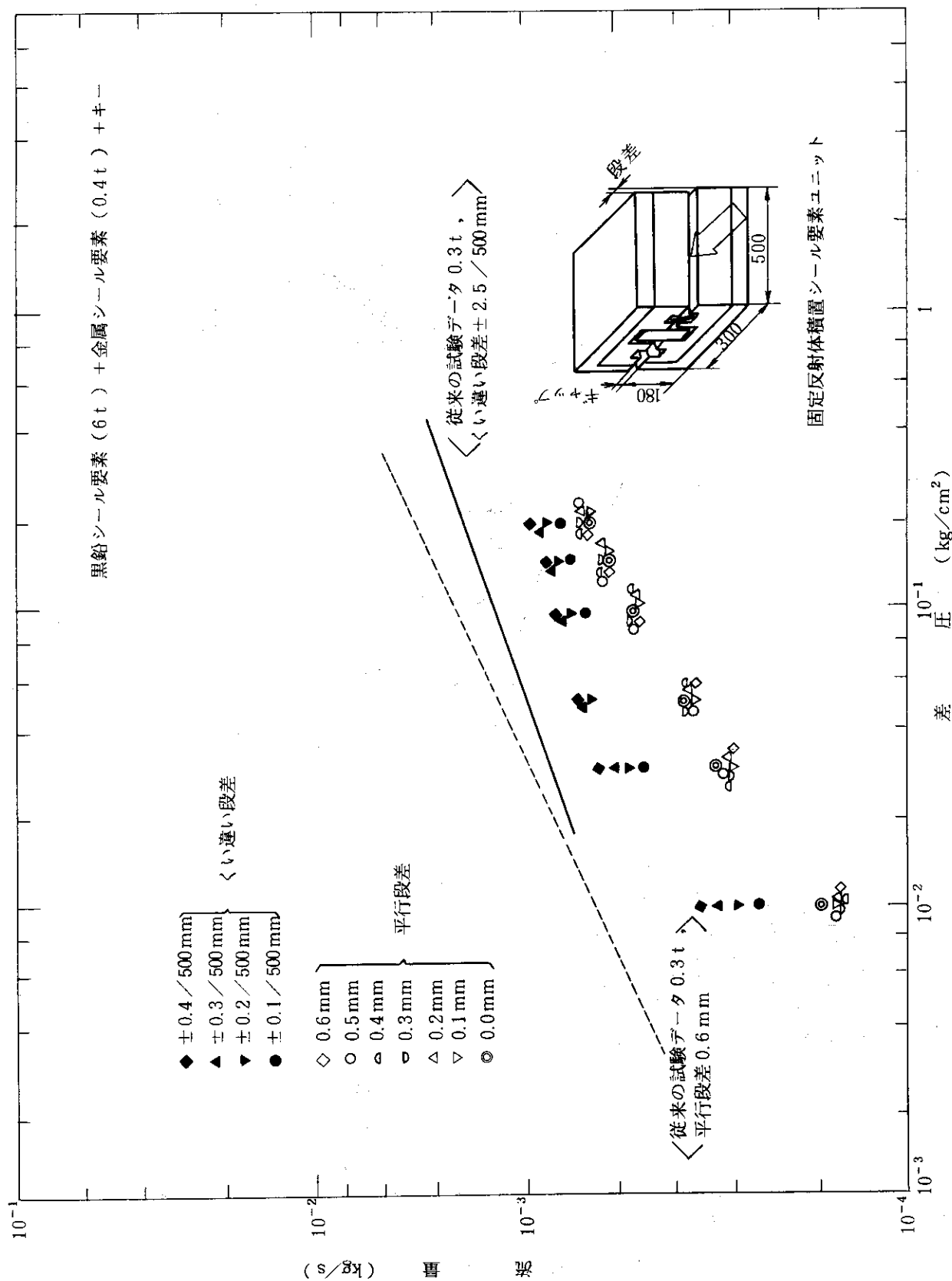


Fig. 5. 1.29 段差と K/A^2 の関係 (黒鉛シール要素 (6 t) + 金属シール要素 (0.4 t) + キー)

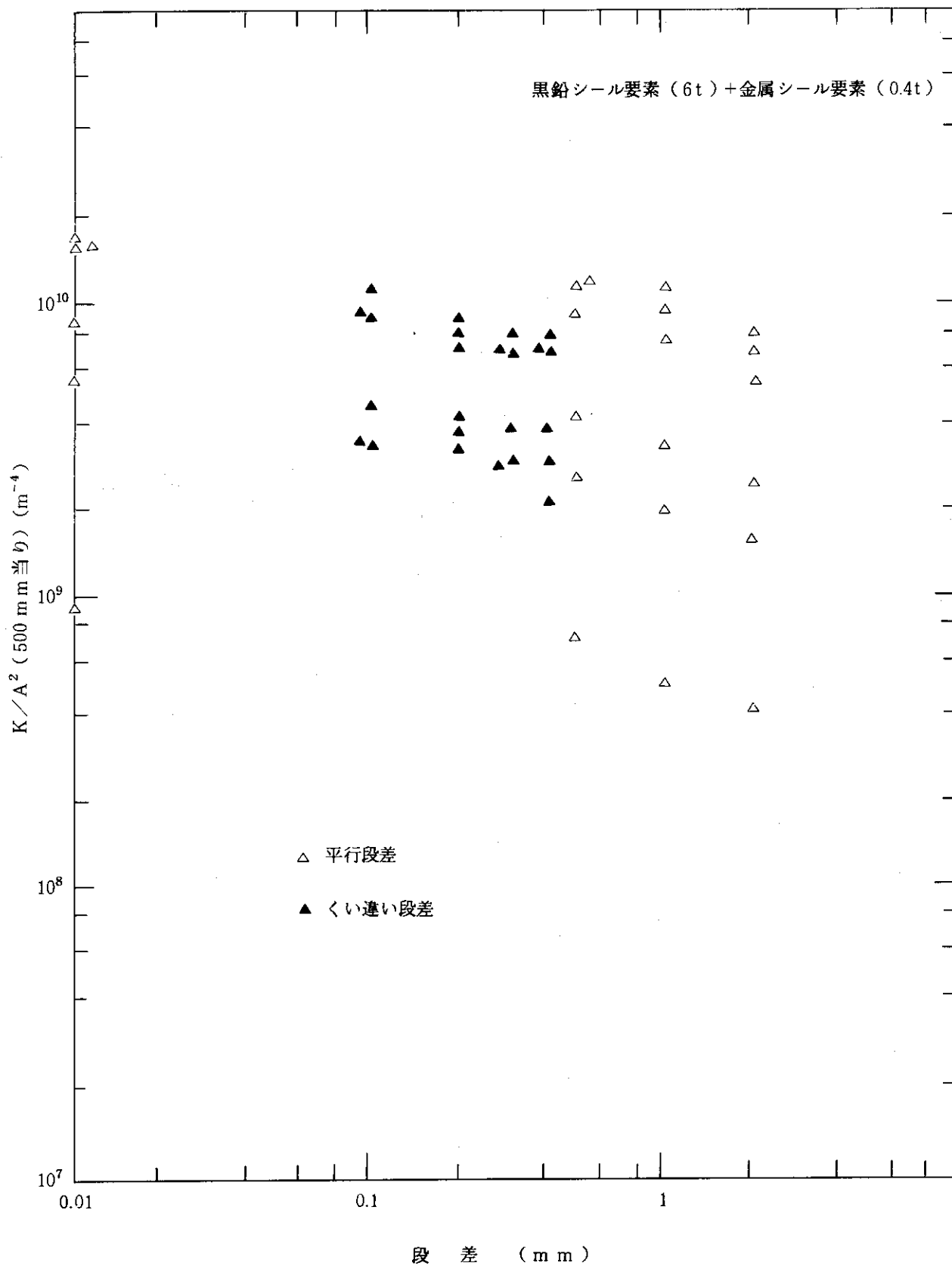


Fig. 5. 1.30 段差と K/A^2 の関係 (黒鉛シール要素 (6 t) + 金属シール要素 (0.4 t))

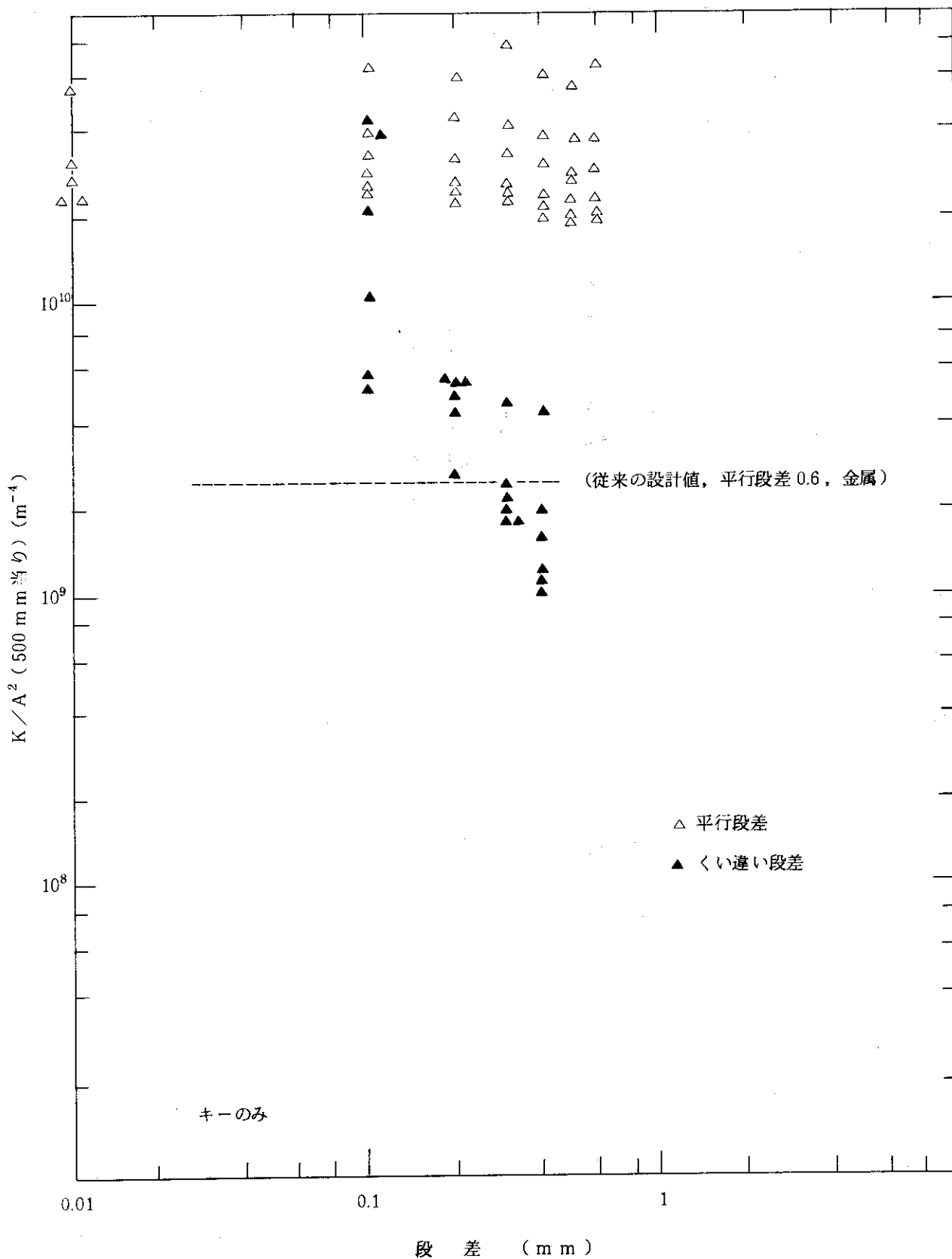


Fig.5.1.31 段差と K/A^2 の関係 (キーのみ)

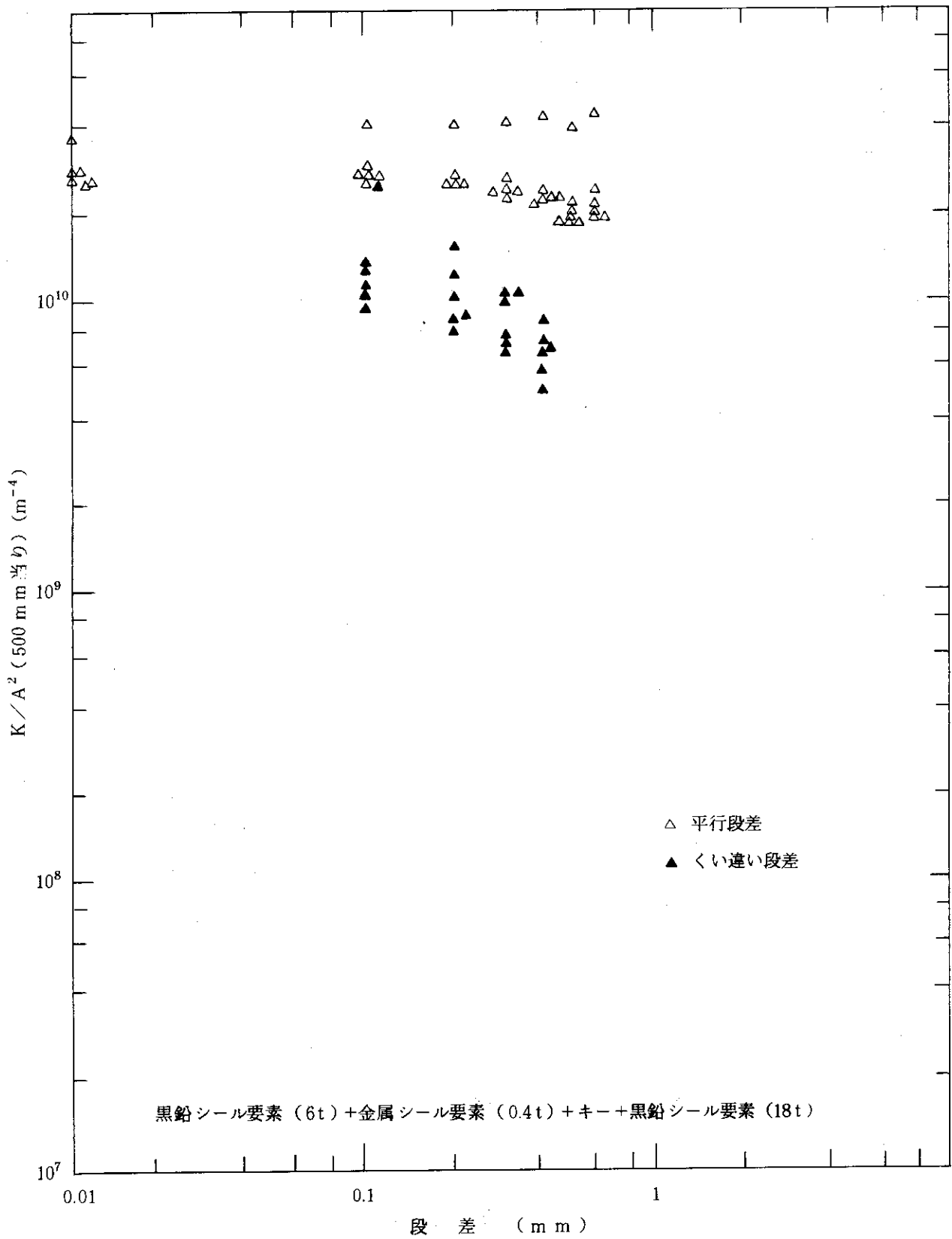


Fig. 5. 1.32 段差と K/A^2 の関係 (黒鉛シール要素 (6 t) + 金属シール要素 (0.4 t) + キー + 黒鉛シール要素 (18t))

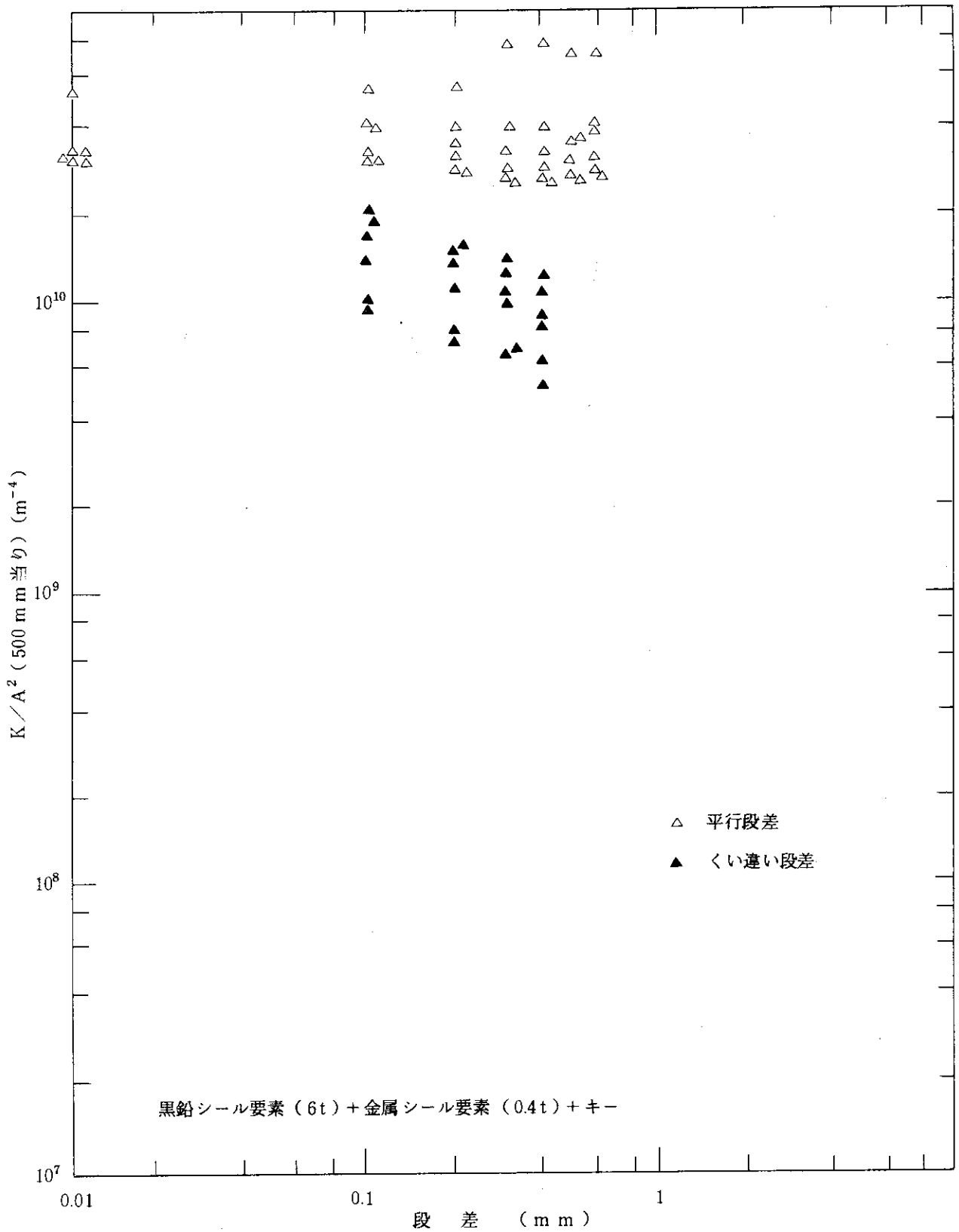


Fig. 5. 1.33 段差と K/A^2 の関係 (黒鉛シール要素 (6 t) + 金属シール要素 (0.4 t) + キー)

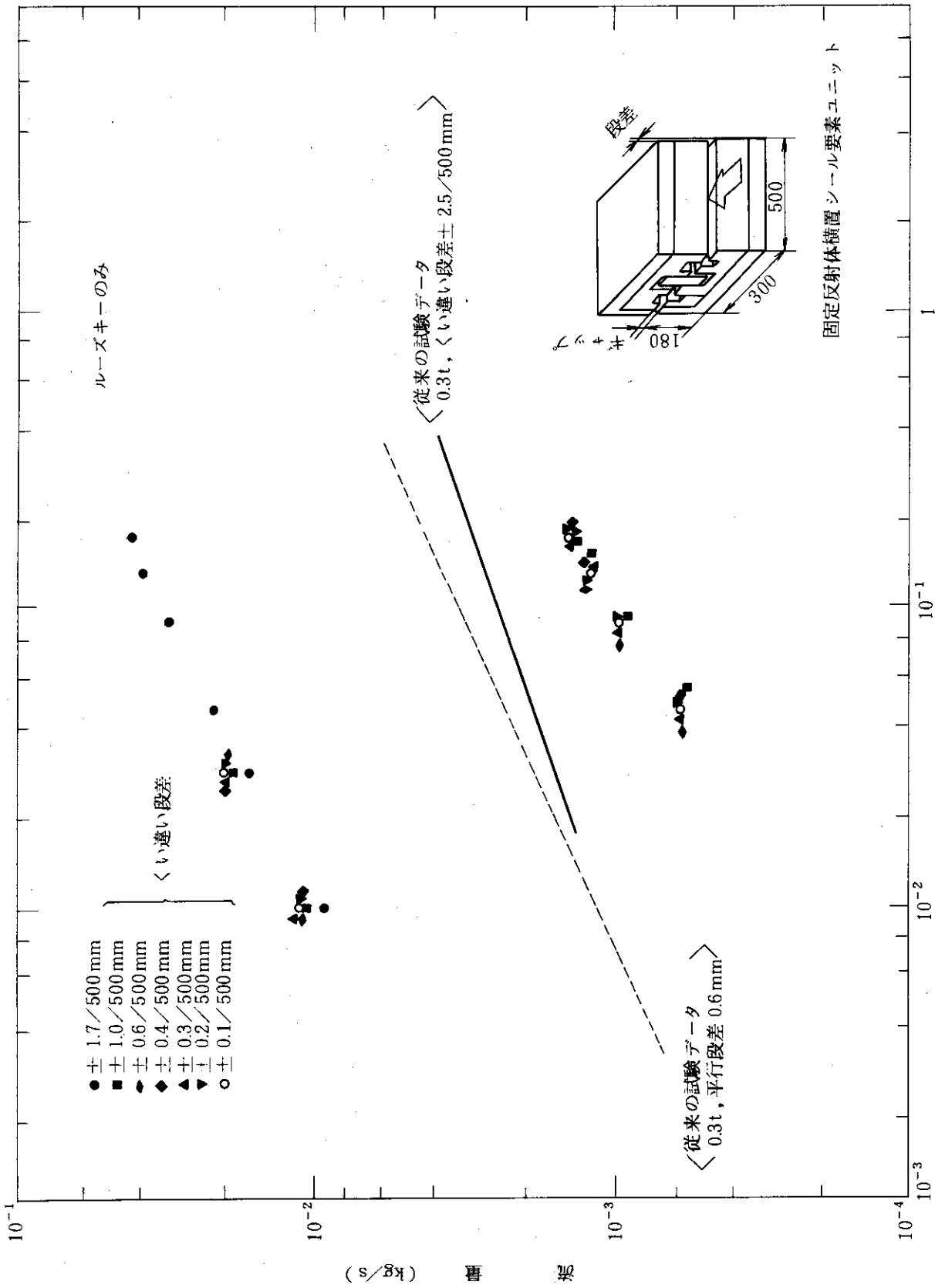


Fig. 5.1.34 段差と K/A^2 の関係 (ルーズキーのみ)

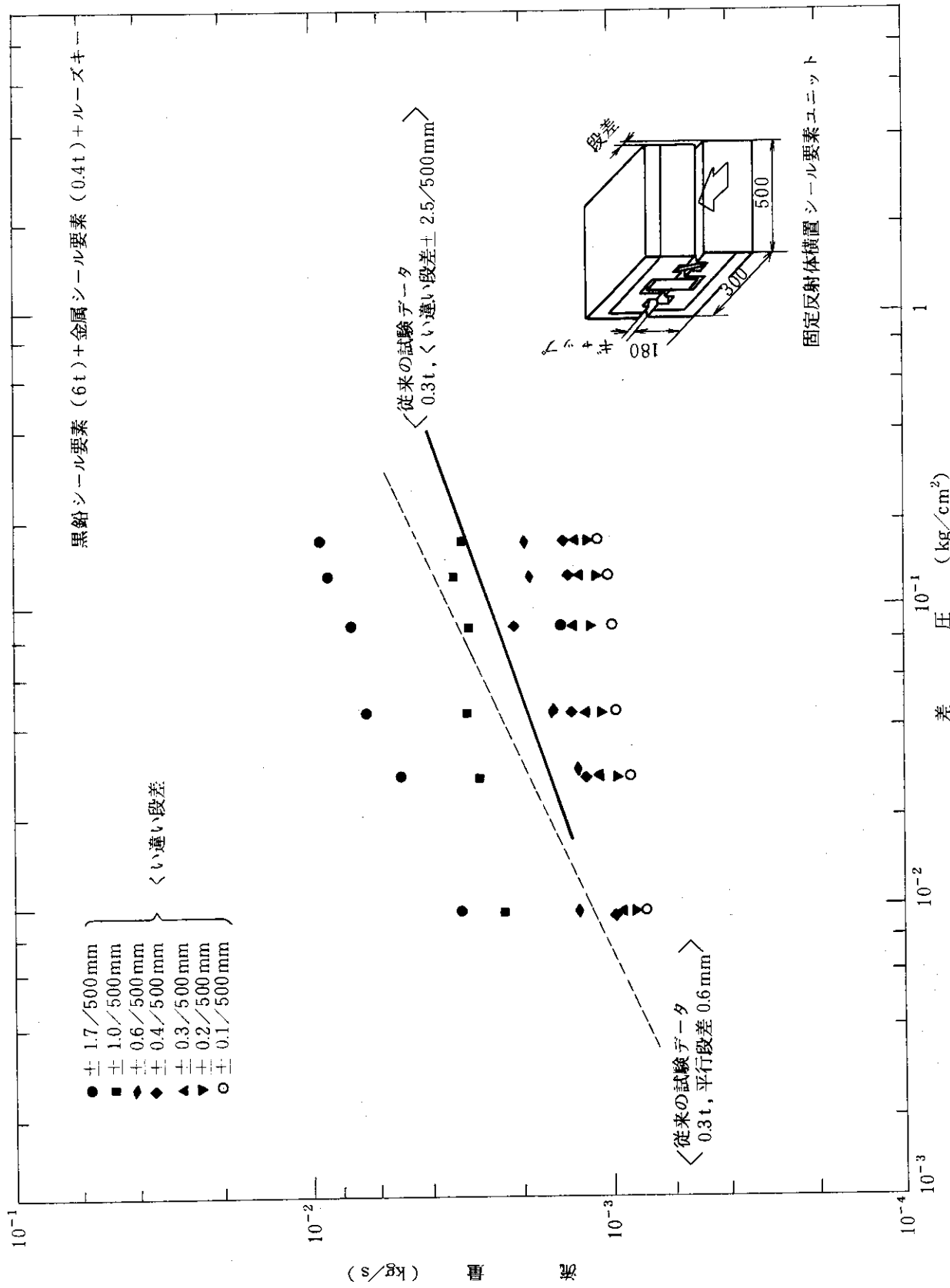


Fig. 5. 1.35 段差と K/A^2 の関係 (黒鉛シール要素 (6t) + 金属シール要素 (0.4t) + ルーズキー)

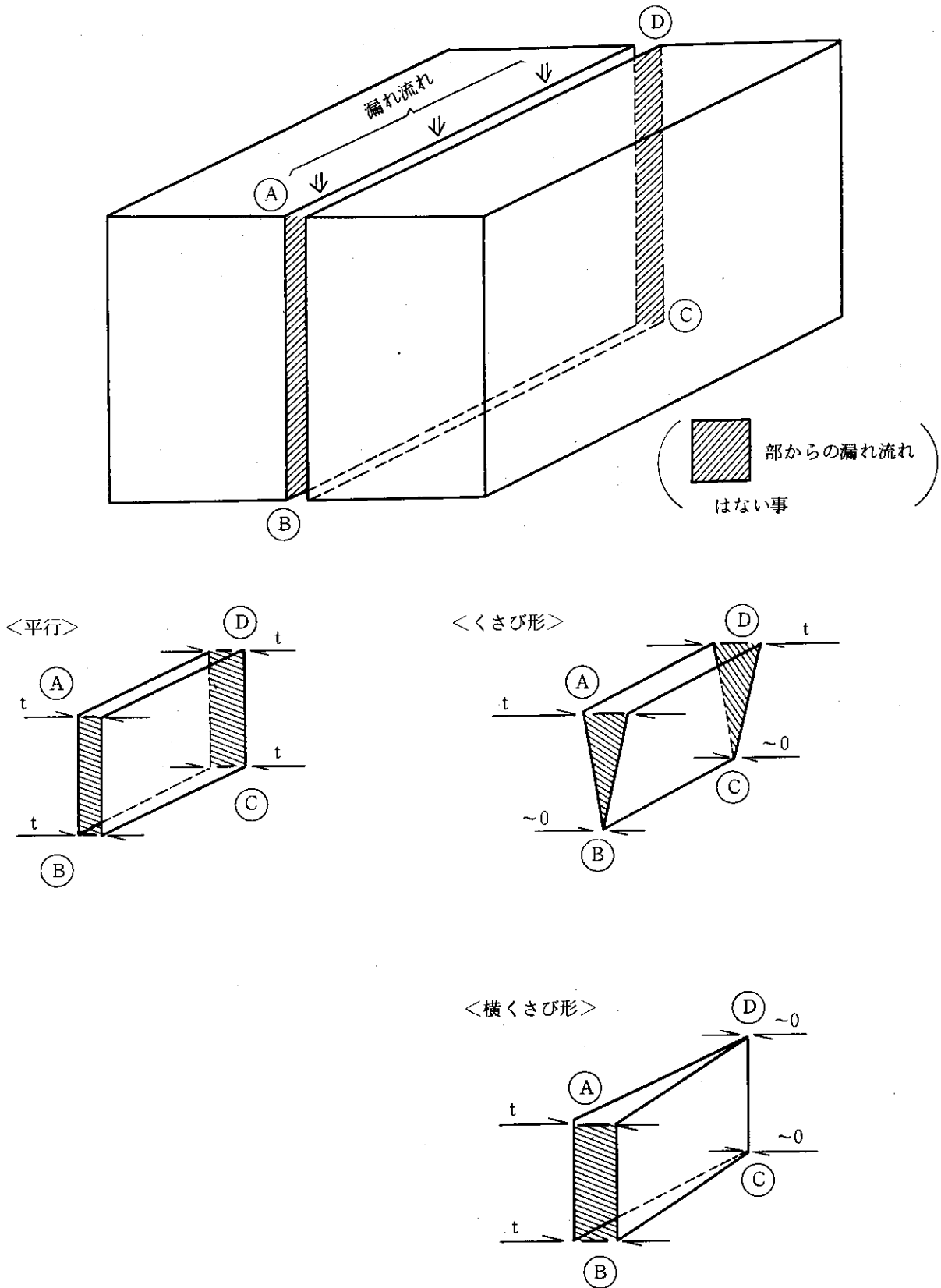


Fig. 5. 1.36 シール部ギャップ形状

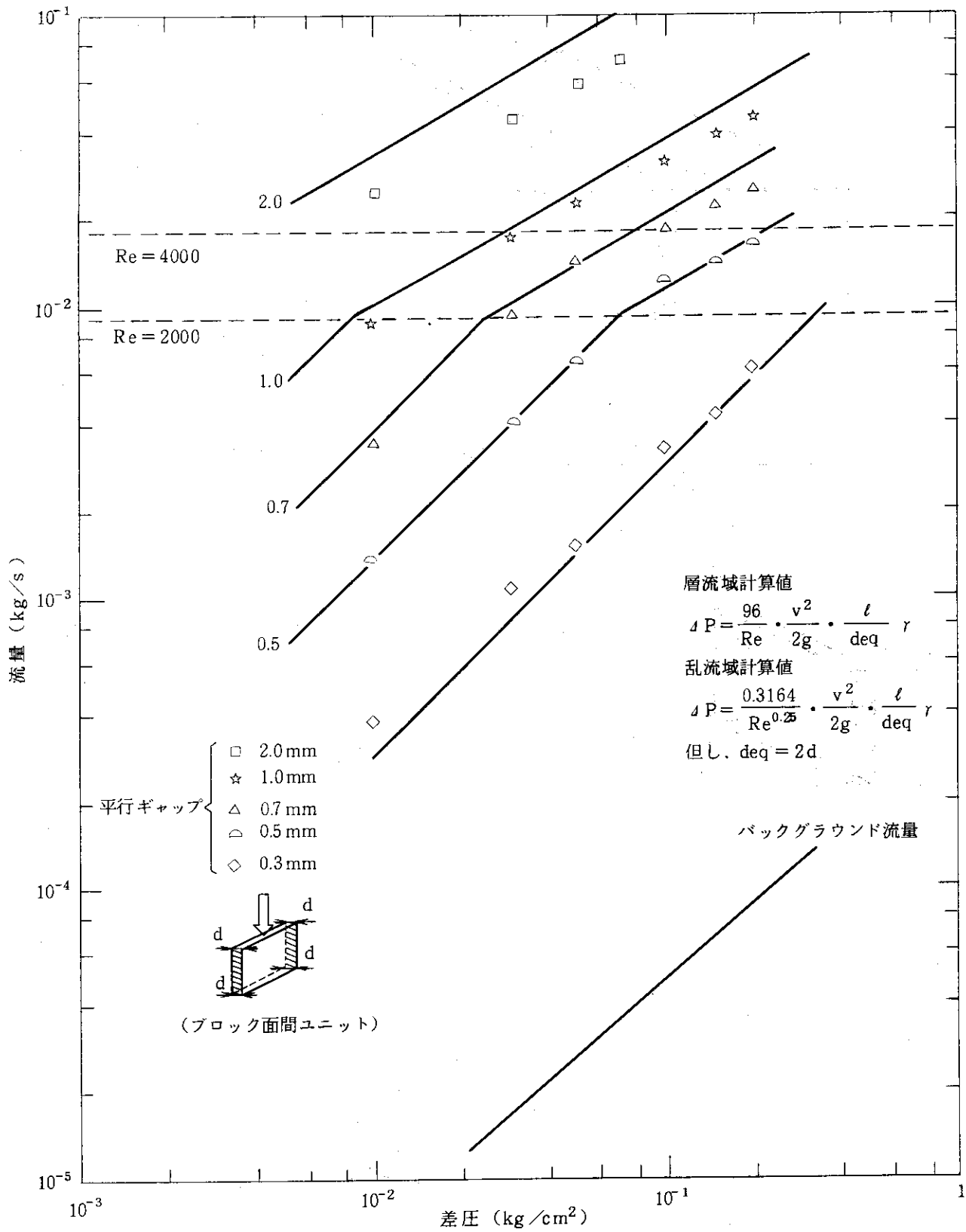


Fig. 5. 1.37 差圧と流量の関係 (平行ギャップ形状)

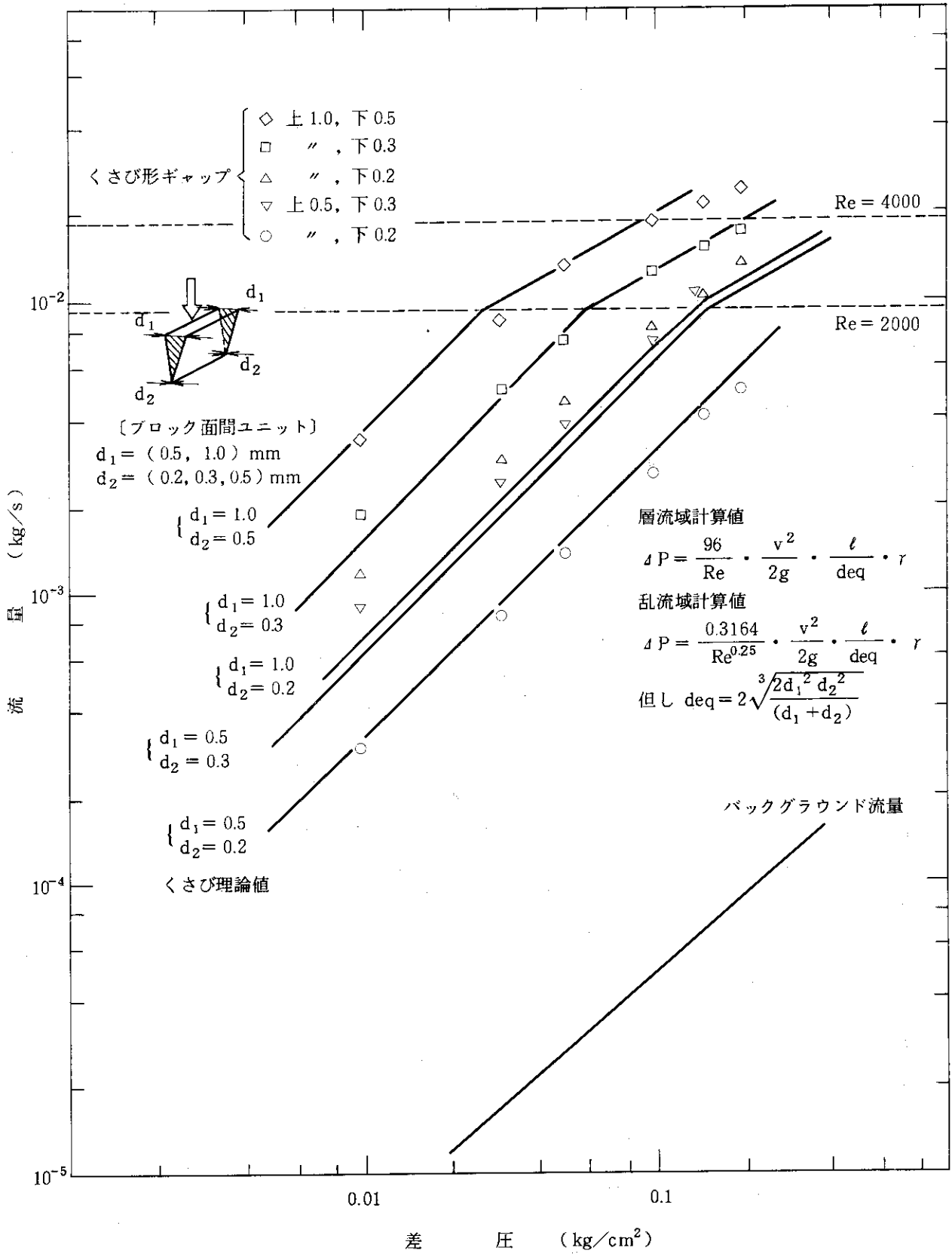


Fig. 5. 1.38 差圧と流量の関係 (くさび形ギャップ形状)

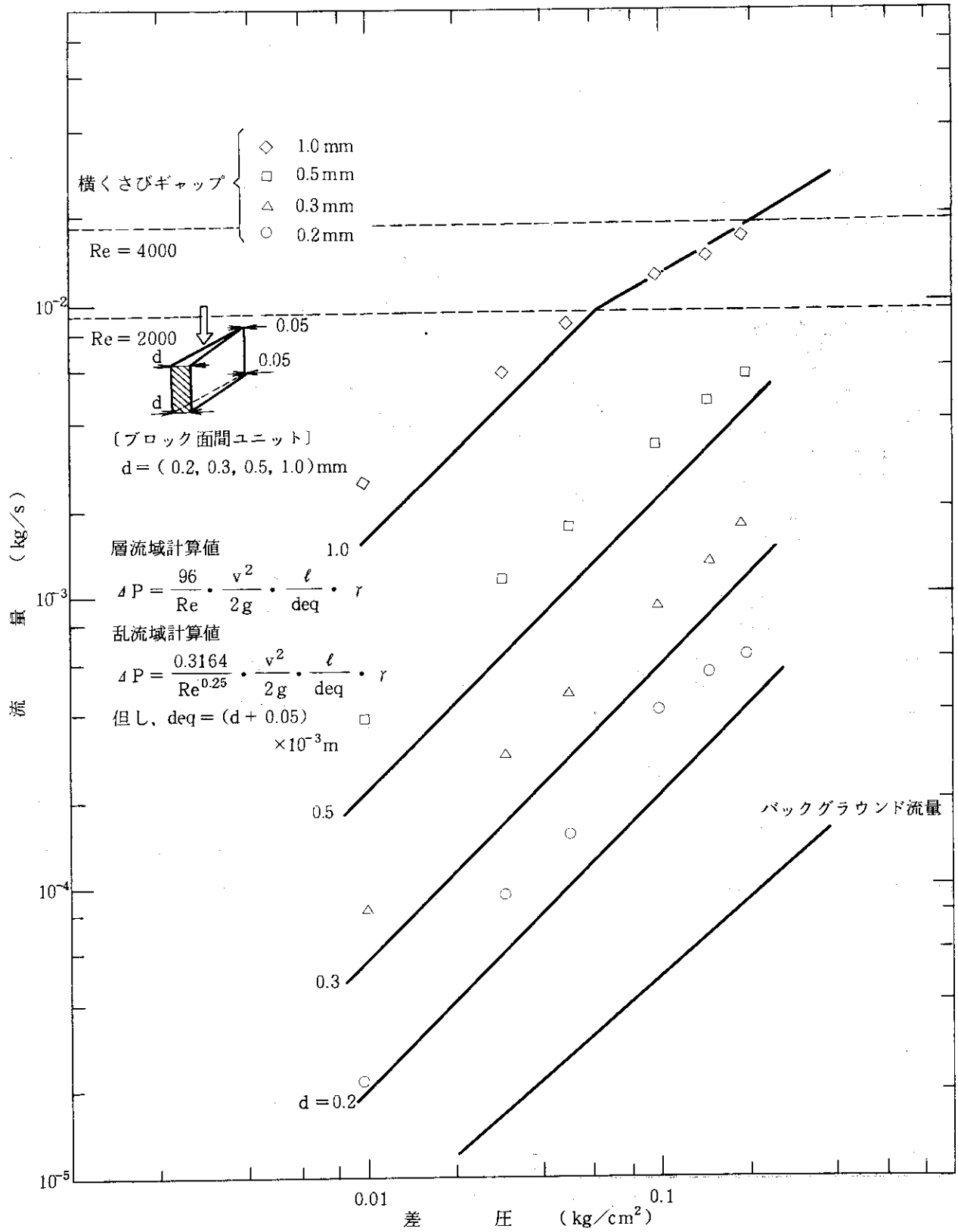


Fig. 5. 1.39 差圧と流量の関係 (横くさびギャップ形状)

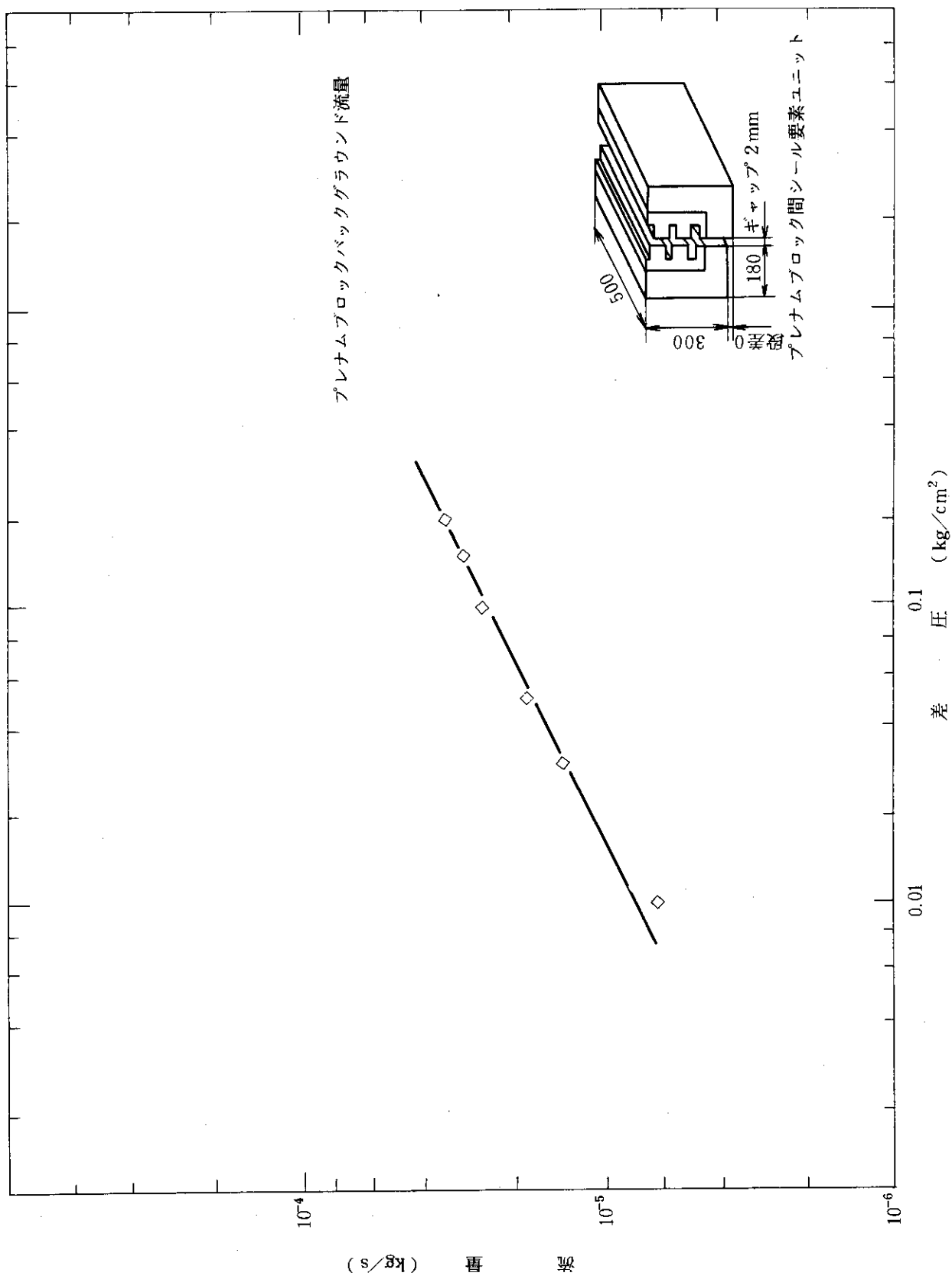


Fig. 5.1.40 差圧と流量の関係 (プレナムプロック間バックグラウンド流量)

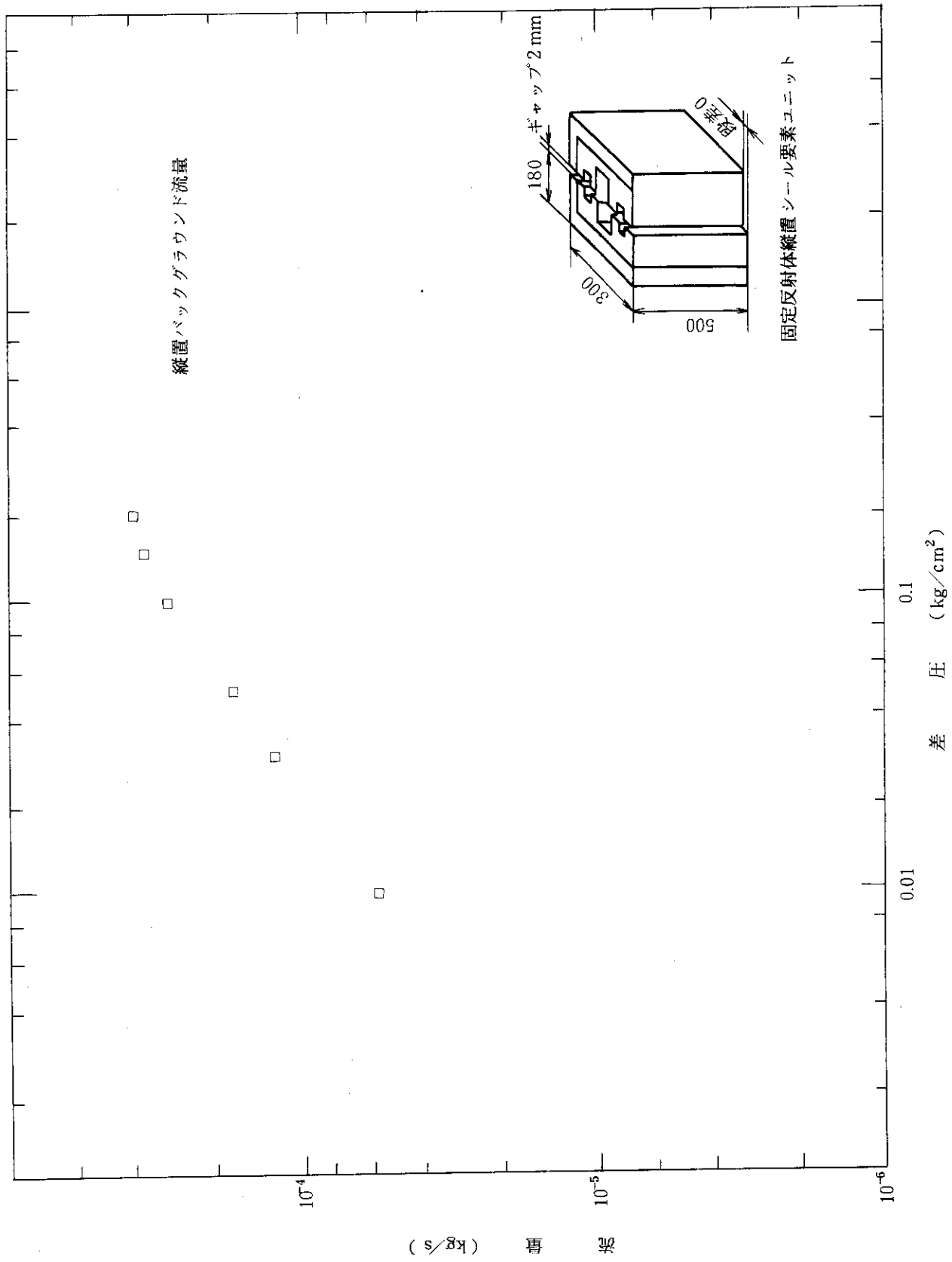


Fig. 5.1.41 差圧と流量の関係 (固定反射体縦置バックグラウンド流量)

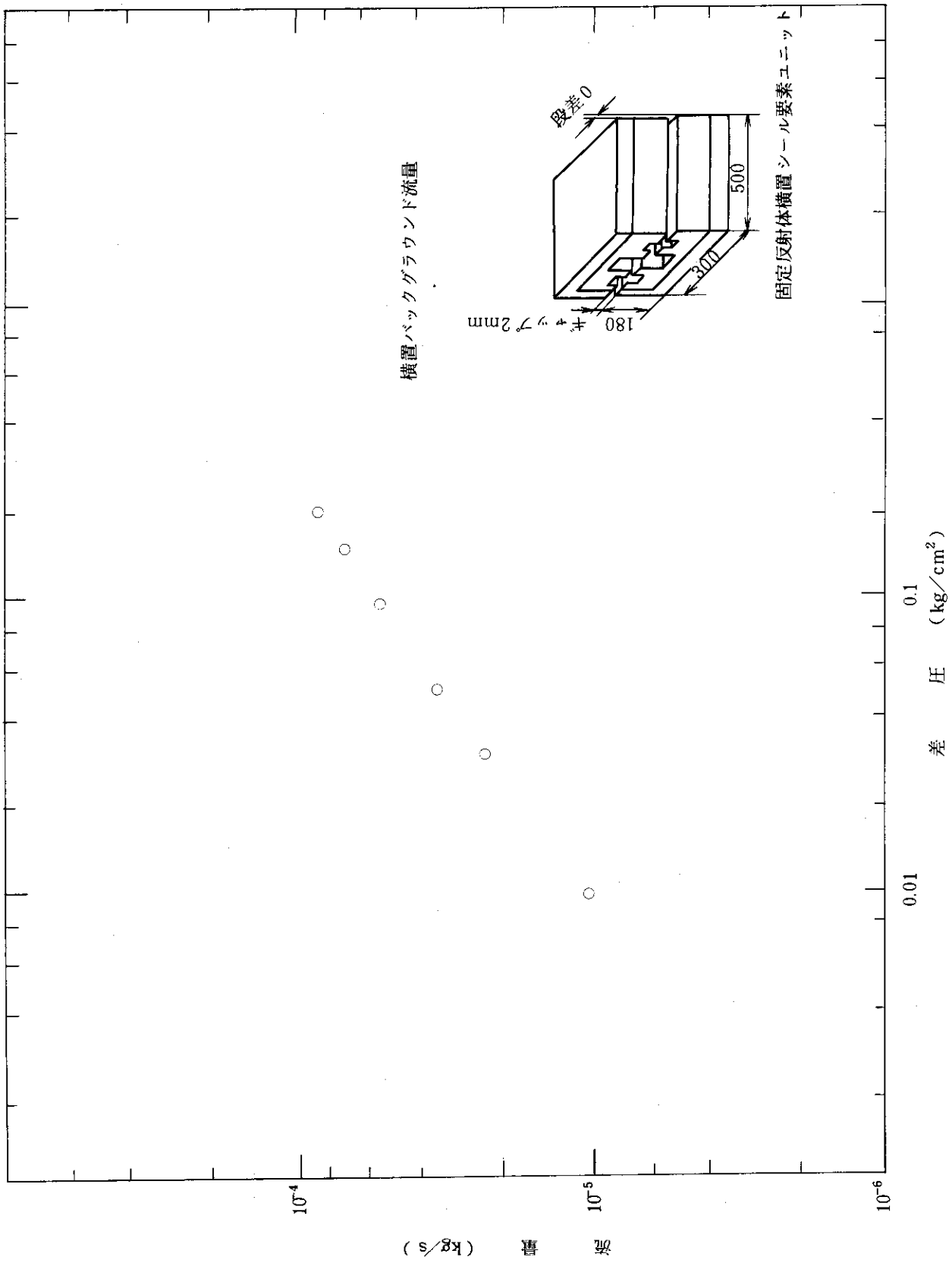


Fig. 5.1.42 差圧と流量の関係 (固定反射体横置バックグラウンド流量)

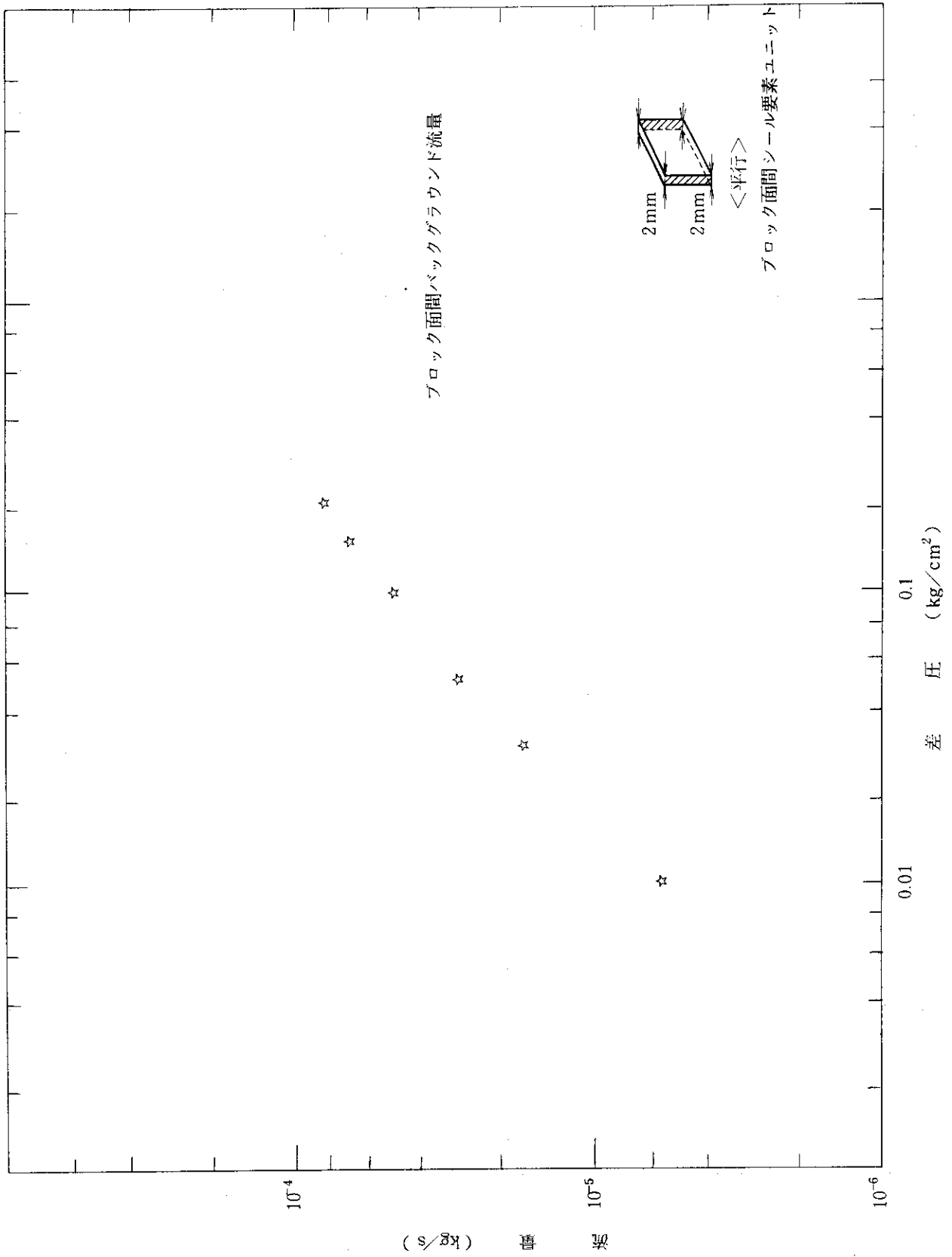


Fig. 5.1.43 差圧と流量の関係 (固定反射体ブロック面間バックグラウンド流量)

5.2 部分組合わせ試験結果

(1) 高温プレナムブロック間部分組合わせ試験結果

高温プレナムブロック部シール部差圧と流量の関係を Fig. 5.2.1 ~ Fig. 5.2.8 に示す。図上の白ぬき点は測定値を示し、実線は、基本ユニット試験結果を基にギャップ及び段差の測定結果（図中に示してある）から推定した結果を示す（推定法については6章を参照されたい）。

Table 5.2.1 に試験結果の内訳を示す。

(2) 固定反射体間部分組合わせ試験

固定反射体間シール部差圧と流量の関係を Fig. 5.2.9 ~ Fig. 5.2.15 に示す。図上の白ぬき点は測定値を示し、実線は、基本ユニット試験結果と、ギャップ及び段差の測定結果（図中に示してある）から推定した結果を示す。推定法は6章を参照されたい。

Table 5.2.1 に試験結果の内訳を示す。

Table 5.2.1 部分組合わせ試験結果内訳

(1) 高温プレナムブロック間部分組合わせ試験

Fig. No.	内 容	目 標 段 差
Fig. 5.2.1	差圧-流量の関係	(平行段差 3.5 mm + くい違い段差 ± 1.0 mm)
2	"	(" 3.5 mm + " ± 0.1 mm)
3	"	(" 3.5 mm + " ± 0.5 mm)
4	"	(" 1.7 mm + " ± 1.0 mm)
5	"	(" 0 mm + " 0 mm)
6	"	(" 3.5 mm + " 0 mm)
7	"	(" 4.0 mm + " 0 mm)
8	"	(" 0 mm + " ± 1.0 mm)

(2) 固定反射体間部分組合わせ試験

Fig. No.	内 容	目 標 ギ ャ ッ プ 及 び 段 差
Fig. 5.2.9	差圧-流量の関係	(ギャップ 0 mm + 平行段差 0 mm + くい違い段差 0 mm)
10	"	(" 0.4 mm + 0 mm + " 0 mm)
11	"	(" 0.6 mm + 0 mm + " 0 mm)
12	"	(" 2.0 mm + 0 mm + " 0 mm)
13	"	(" 0.4 mm + 0.4 mm + " 0 mm)
14	"	(" 0.4 mm + 0 mm + " 0.4 mm)
15	"	(" 0.2 mm + 0 mm + " 0.2 mm)

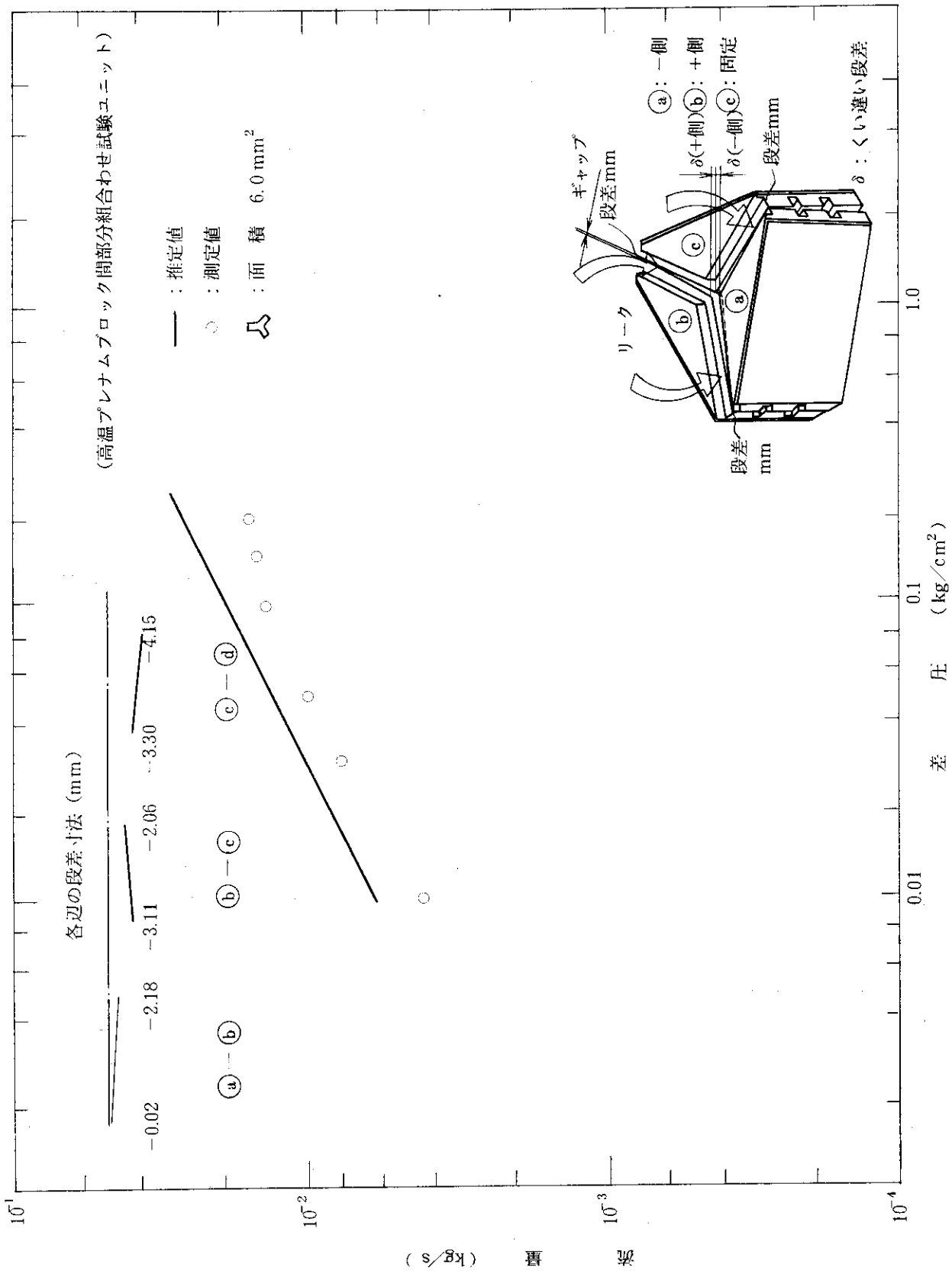


Fig. 5.2.1 差圧と流量の関係 (No. 1) (高温アレナムブロック間部分組合せ試験ユニット)

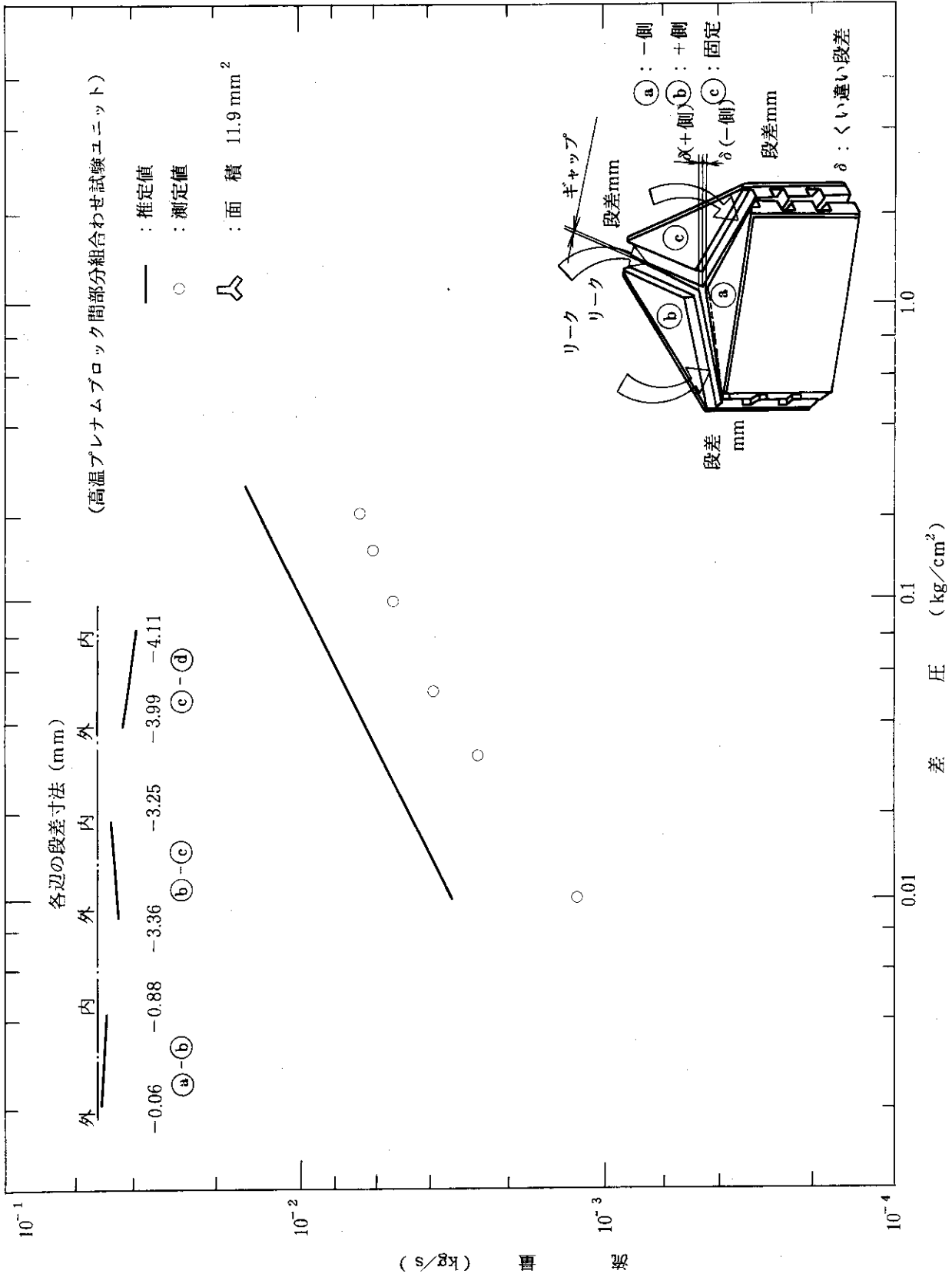


Fig. 5.2.2 差圧と流量の関係 (No.2) (高温アレナムブロック間部分組合わせ試験ユニット)

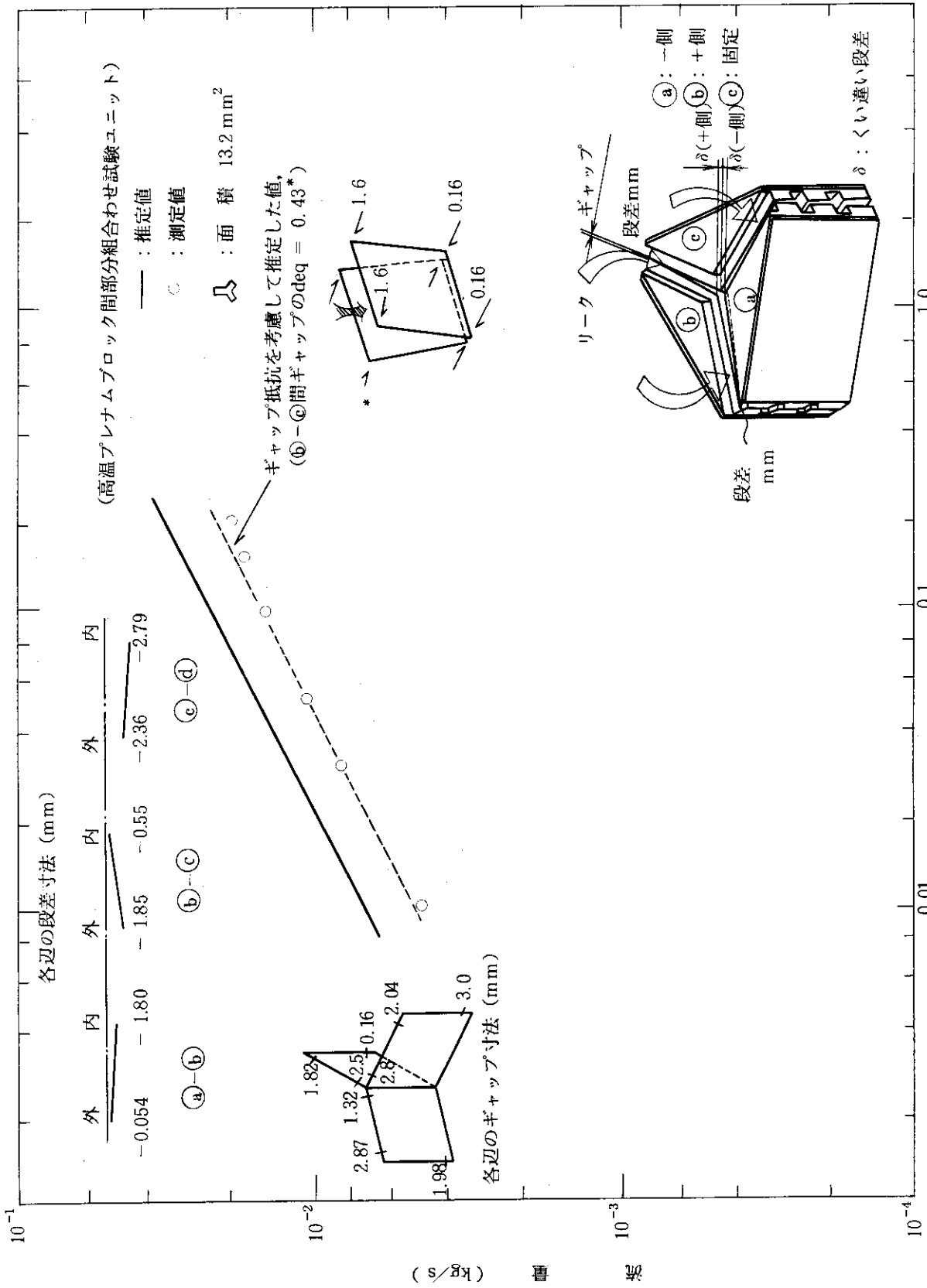


Fig. 5.2.4 差圧と流量の関係 (No.4) (高温プラチナムブロック間部分組合わせ試験ユニット)

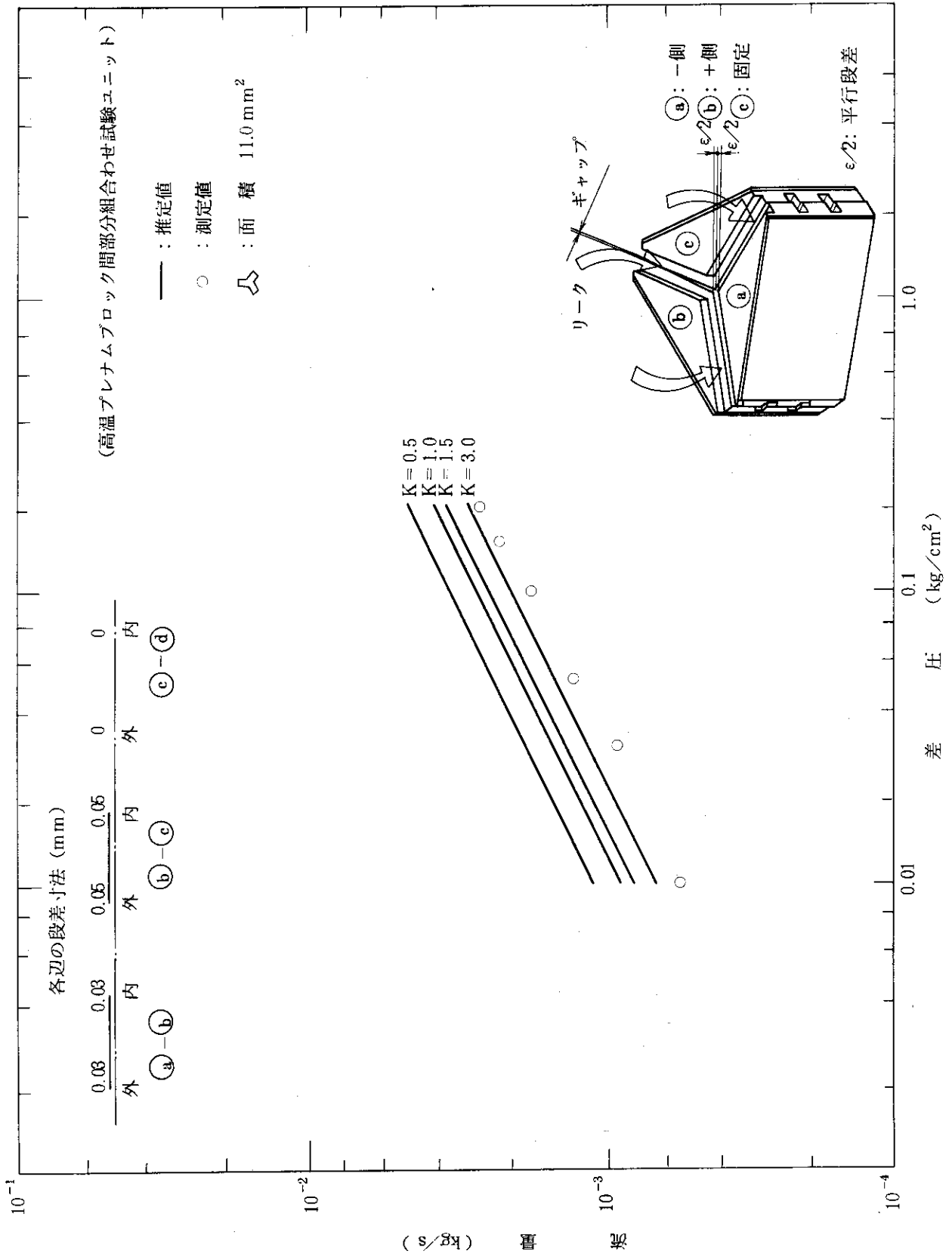


Fig. 5.2.5 差圧と流量の関係 (No.5) (高温アレナムブロック間部分組合せ試験ユニット)

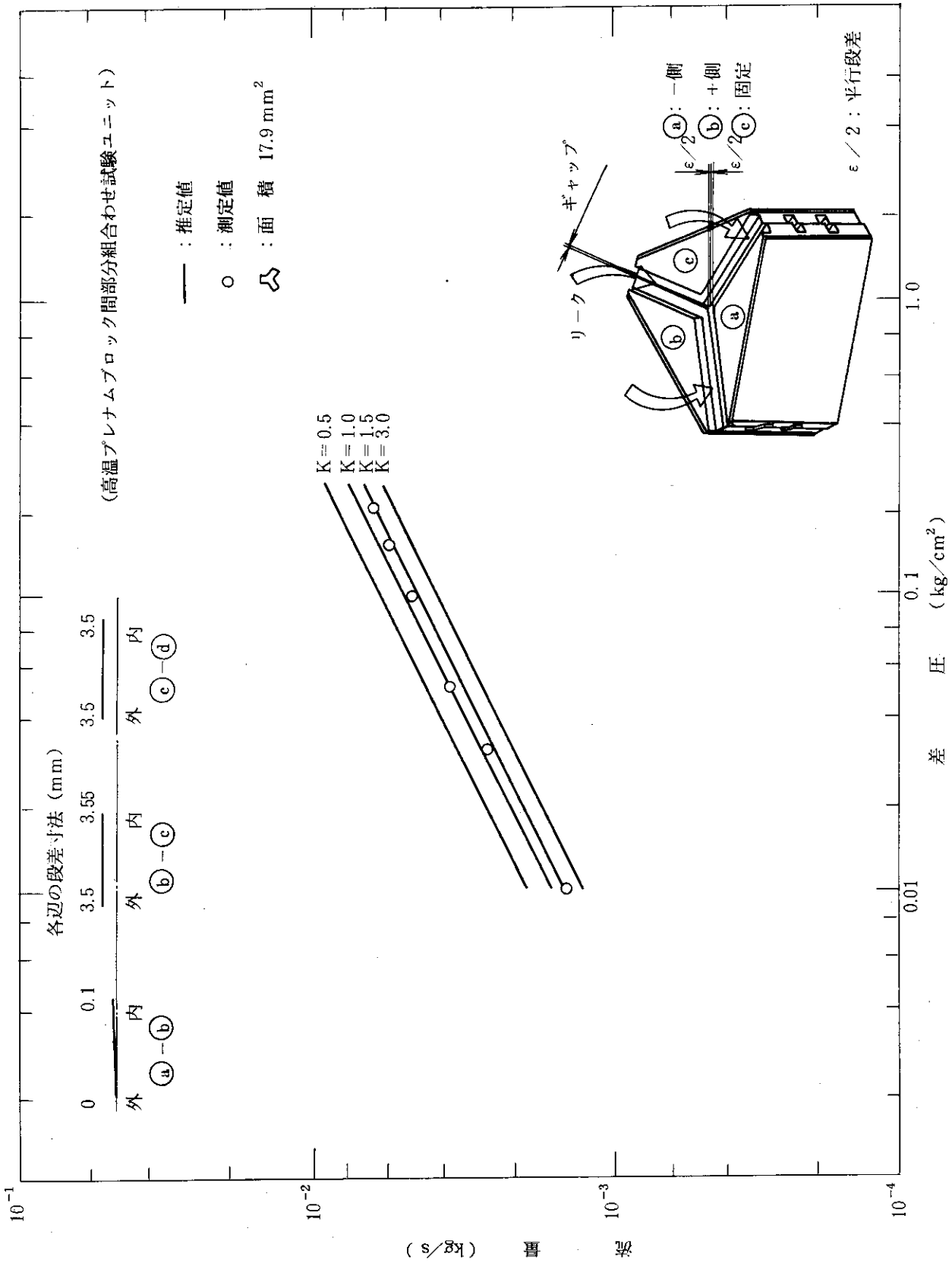


Fig. 5.2.6 差圧と流量の関係 (No.6) (高温プラチナムブロック間部分組合わせ試験ユニット)

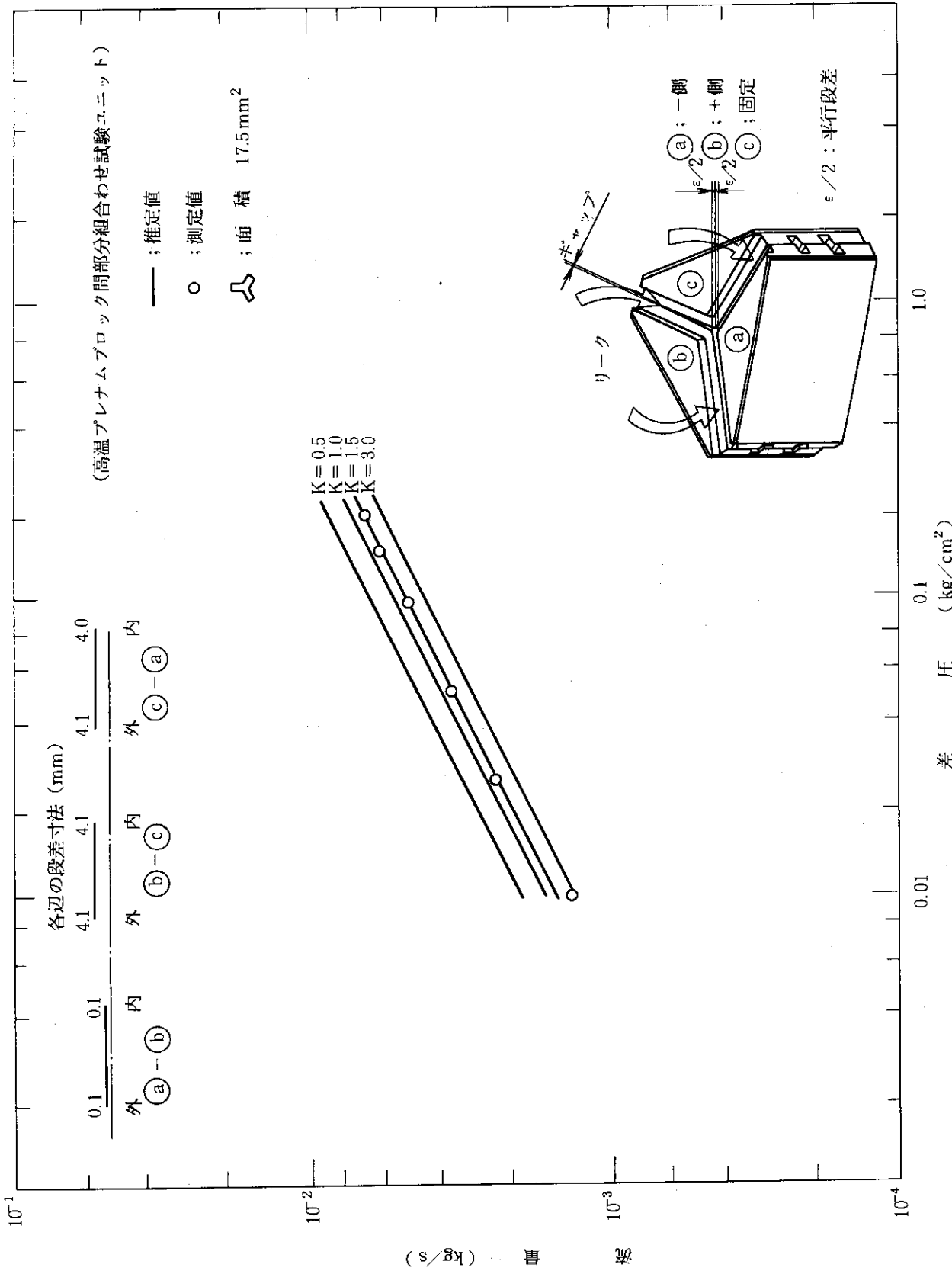


Fig. 5.2.7 差圧と流量の関係 (No.7) (高温プレナムブロック間部分組合わせ試験ユニット)

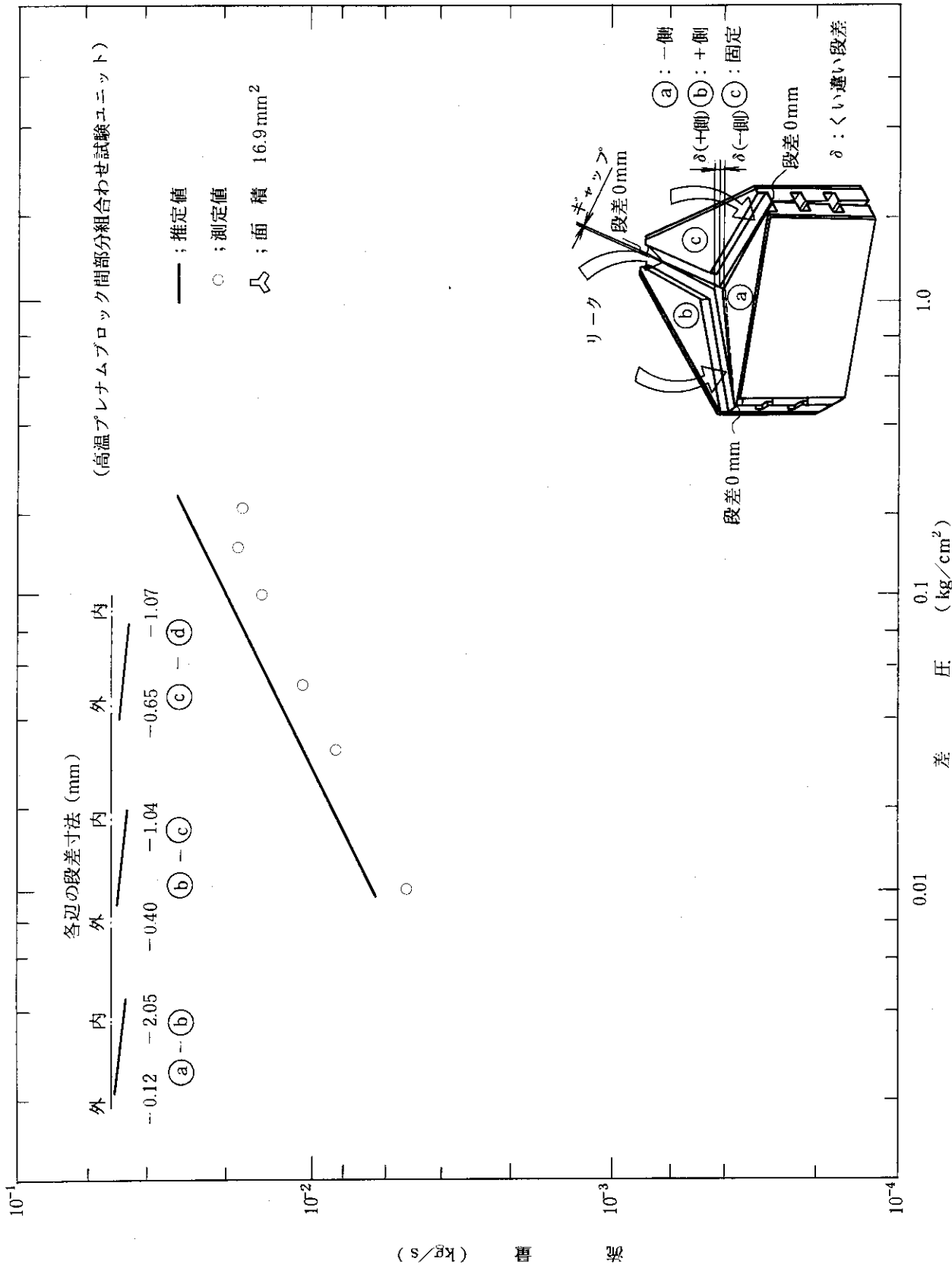


Fig. 5.2.8 差圧と流量の関係 (No.8) (高温プレナムブロック間部分組合せ試験ユニット)

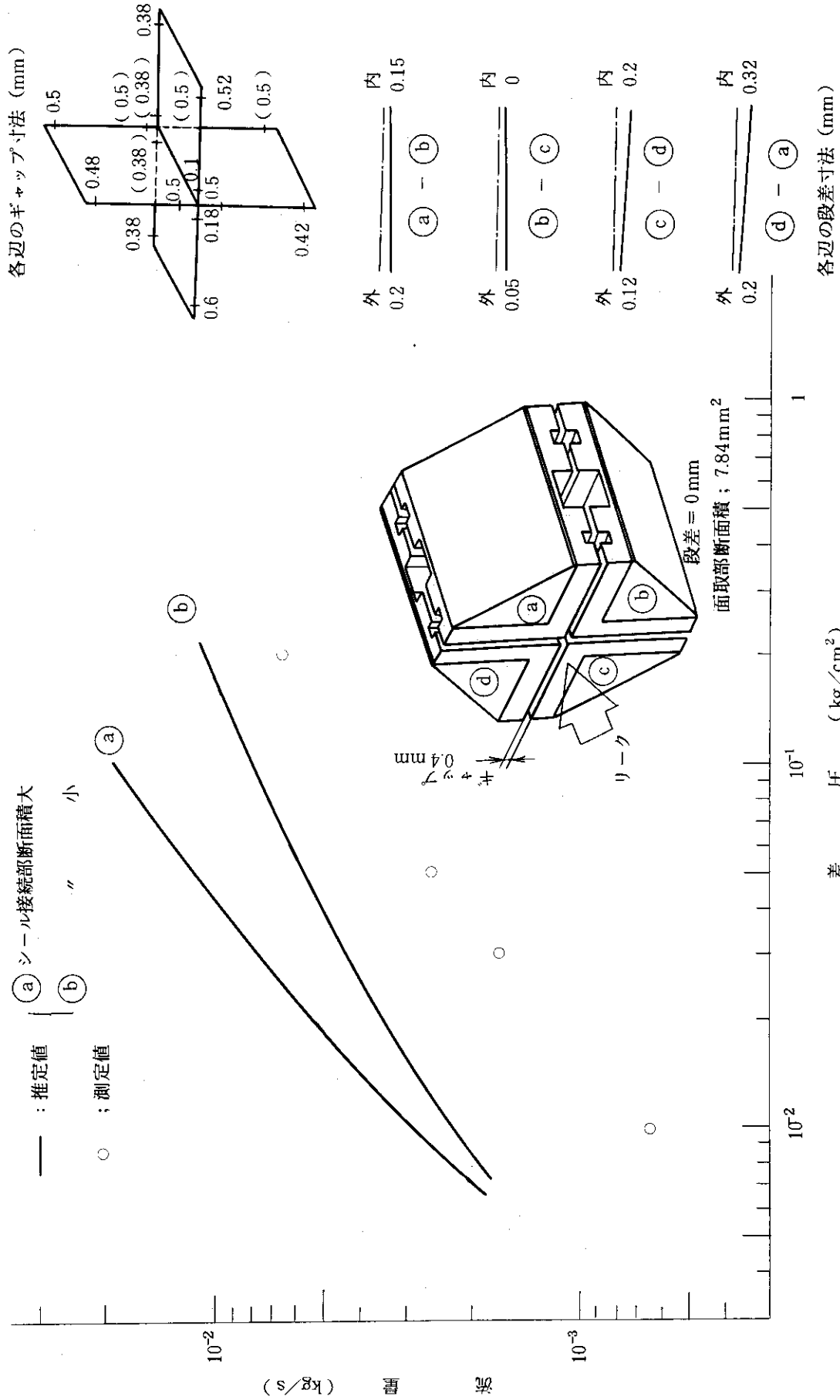


Fig. 5.2.10 差圧と流量の関係No.2 (固定反射体間部分組合せ試験)

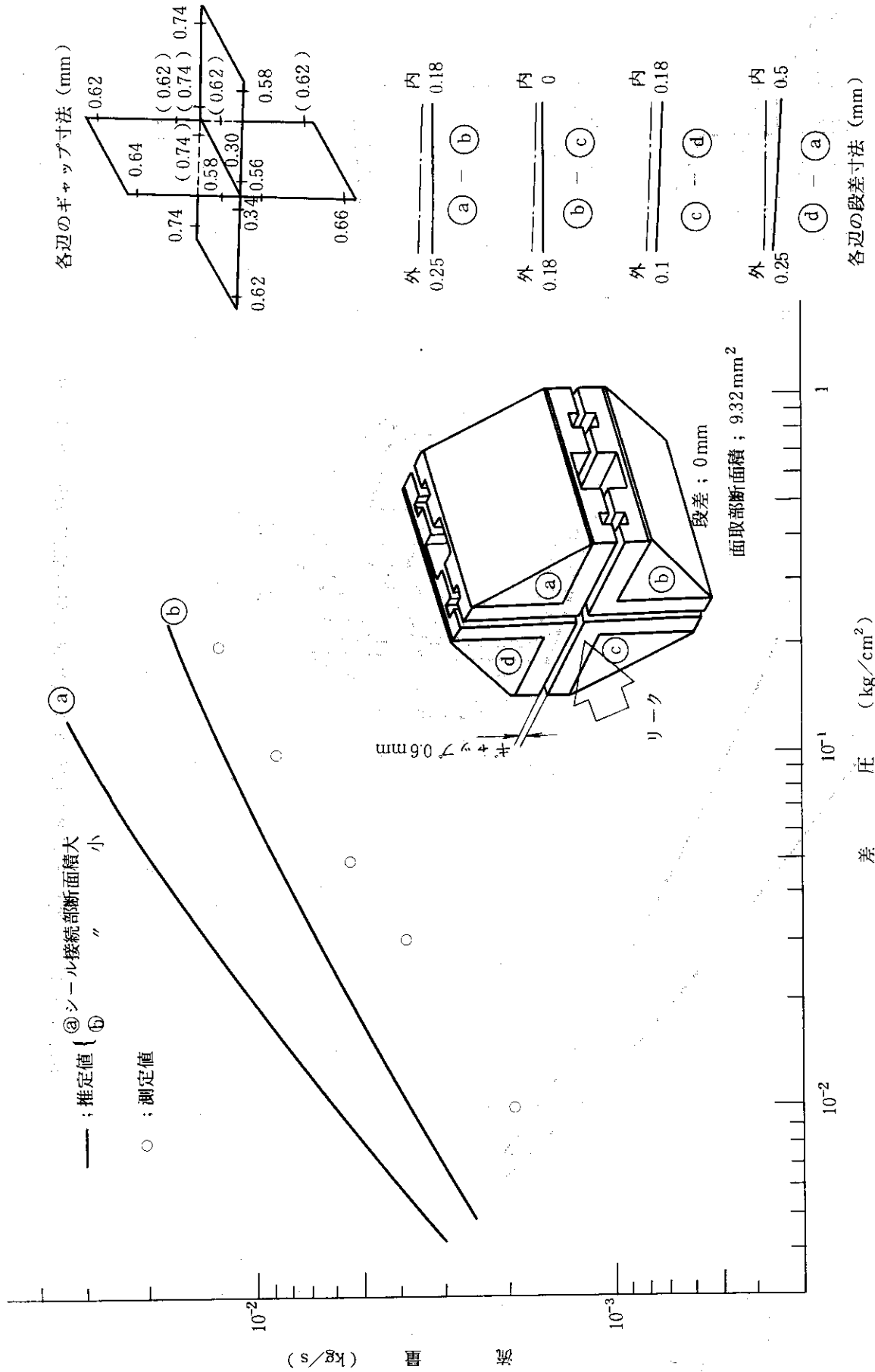


Fig. 5.2.11 差圧と流量の関係No.3 (固定反射体部分組合せ試験)

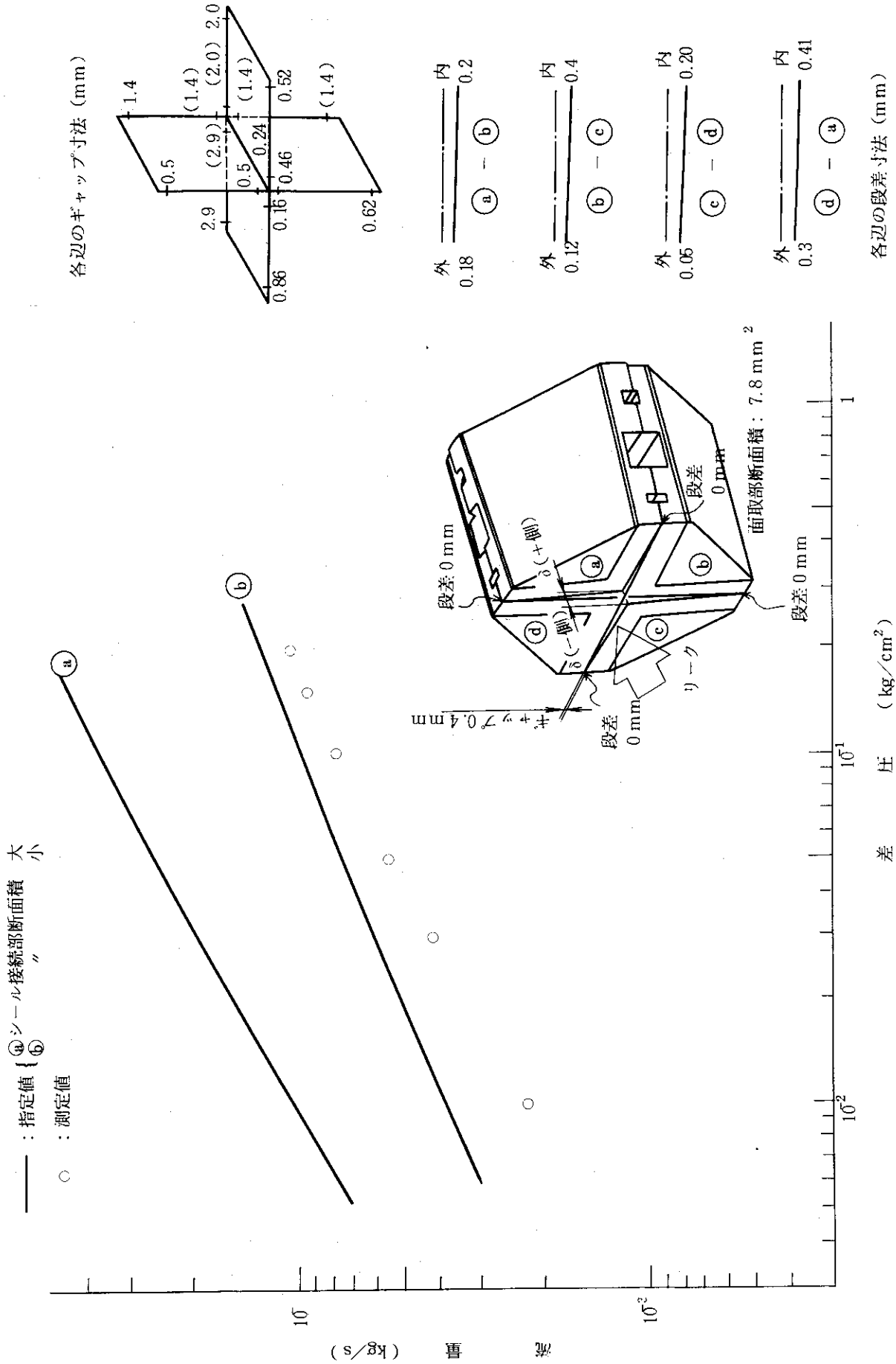


Fig. 5.2.13 差圧と流量の関係No.5 (固定反射体間部分組合せ試験)

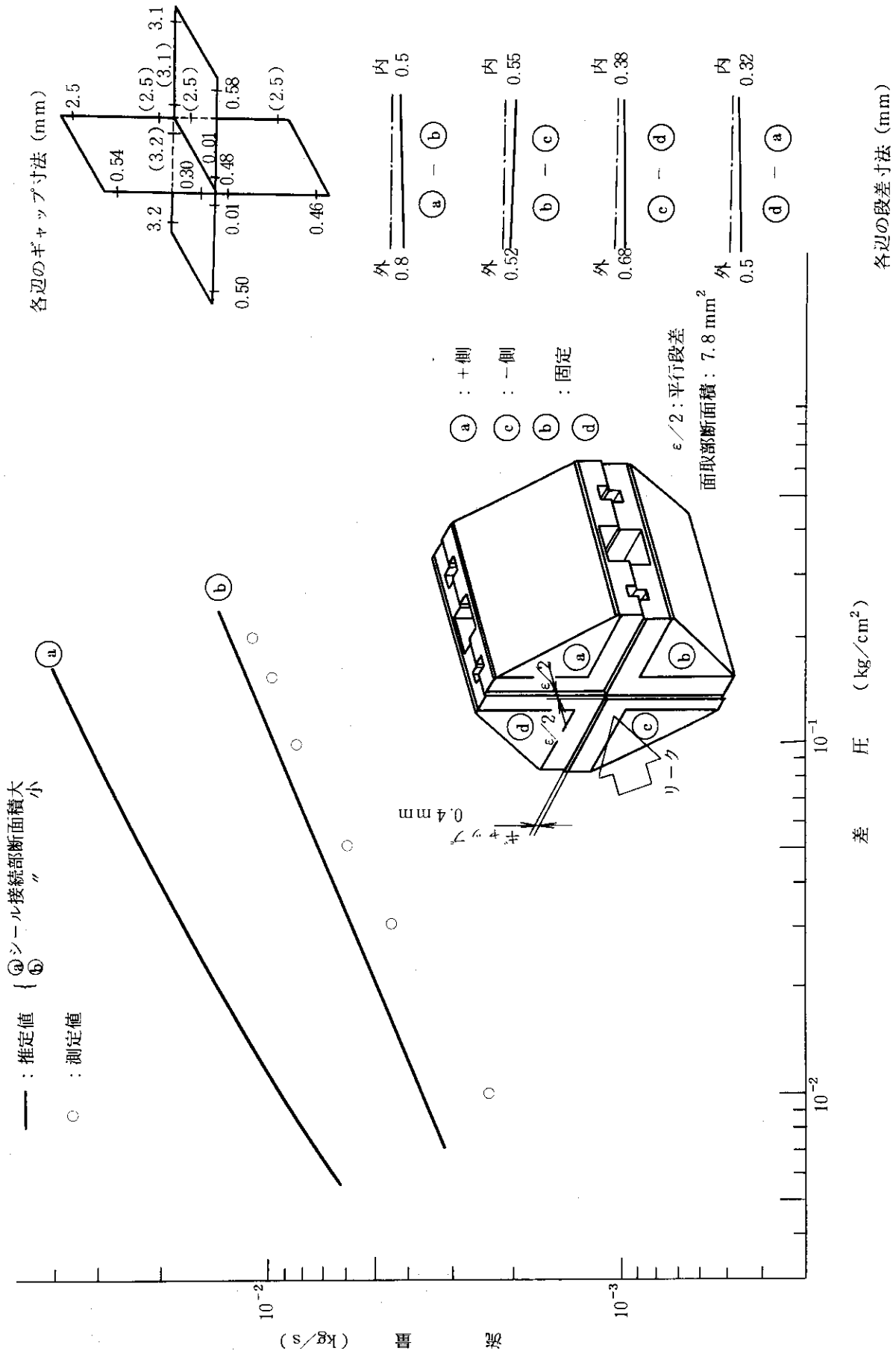


Fig. 5.2.14 差圧と流量の関係No.6 (固定反射体間部分組合せ試験)

6. 検 討

基本ユニット試験，及び部分組合わせ試験結果から各シール要素の特性を検討した結果を以下に示す。

6.1 基本ユニット試験

基本ユニット試験より得られた各シール特性について検討した結果を以下に示す。

6.1.1 プレナムブロック間シール要素

(1) 差圧 (ΔP) と重量流量 (G) の関係

$\Delta P - G$ の関係は，Fig. 5.1.1 ~ Fig. 5.1.12 に示されている。

この結果から，次の事がわかる。

- ① ΔP が増加すると G は増加し，それらの関係は，両対数グラフ上でほぼ直線関係にあり，傾きはおおよそ $1/2$ である。
- ② 食い違い段差をつけた場合は，平行段差をつけた場合に比べ， G は増加しており，同じ差圧の場合漏れ流れは約 5 ~ 10 程度増加する。
- ③ G は，平行段差にあまり影響されないが，食い違い段差には大きく影響され段差量の増加によって G も大きく増加する。

この①~③に示された性質から，プレナムブロック用シール要素の特性として，以下に示す様な推定が可能である。

- ① $\Delta P \propto G^2$ であることから，シール要素の抵抗として形状損失が支配的であると推定できる。
- ② 平行段差状態では，シール要素とブロックは常に線接触しているので，段差によるシール性能への影響が小さい。
- ③ くい違い段差状態では，シール要素とブロックとのすき間は，三角形状である。従って，開口面積は段差に比例するので，段差によるシール性能への影響が大きい。

(2) 流路抵抗係数 K/A^2

K/A^2 とレイノルズ (Re) 数，及び K/A^2 と段差との関係について述べる。

1) K/A^2 - 段差の関係

シール要素の抵抗は Re と強い相関を持たない。このため，シール要素部の形状（主として段差）が定まればシール性能が決定される。以下に，平行段差状態及びくい違い段差，及び両者が組合わさった状態でのシール要素の特性を評価する。

まず平行段差状態の場合，段差が増加すれば K/A^2 は低下するが，その度合は小さい。これは，シール要素とブロックが線接触しており，流動抵抗に対し支配的となる開口部面積が変化しない事を示すものと考えられる。（例として，Fig. 5.1.13 参照）

一方、食い違い段差状態の場合、 K/A^2 は段差に強く依存している。全ての場合、 K/A^2 は段差の -2 乗に比例している。

この理由は、食い違い段差の開口部は三角形状をしており、開口部面積 A は食い違い段差量 δ ($\pm \frac{\delta}{500}$ と表示する時の δ)に比例するので、 K/A^2 は δ^2 に反比例する事になる。

(例としてFig. 5.1.13 参照)

平行段差と食い違い段差とが組合わされた状態の場合は、以下の通りである。

2つ割りシール要素(3)で述べるように、一体物よりもシール性能が高い)を3段設置した場合の K/A^2 値は、Fig. 5.1.7に示すように、平行段差が大きくなるに従って、段差 $-K/A^2$ の勾配がなだらかになり、平行段差状態の特性に近づく。

(3) 各シール要素の性能について

Fig. 5.1.15, 16に示す様に食い違い段差状態では、2つ割りシール要素を3段設置した場合が、最も性能が高い。この理由は以下の通りである。

① K/A^2 値がシール部差圧にほとんど依存しないため、流動抵抗の重ね合わせが期待できる。

② 2つ割りシール要素の場合、一体物のシール要素に比べてブロックへの密着性が良いので、くい違い段差に対してシール性能が良い。しかし、3段シールの場合、 K/A^2 値は単純に1段の場合の3倍にならず、約2倍程度にとどまる。(例として、Fig. 5.1.23, 25を参照)

したがって、3段シールとする事によって大巾なシール性能の向上を見込む事は出来ないが、以下の理由から、実験炉では、2つ割り3段シール構造を採用することとした。⁽¹⁾

① 3段設置する事によりシール要素の冗長性が増す。

② 各段のシール性能がばらついていても、3段設置する事により安定したシール性能が期待できる。

③ 2つ割りとする事によって、くい違い段差が生じた場合でもシール抵抗の低下が小さい。

6.1.2 固定反射体間シール要素 (タイトキー構造)

固定反射体間については、縦置、横置きとの二つの状態がある。シール部流動抵抗の絶対値及びその特性は、両者ともほぼ同様であるのでまとめて検討する。

検討結果はプレナムブロック間シール要素の場合と同様、 K/A^2 -段差(δ)の関係で整理した。以下、主なシール要素について述べる。

(1) 差圧(ΔP)と重量流量(G)の関係

$\Delta P-G$ の関係は、Fig. 5.1.18 ~ Fig. 5.1.21 及び Fig. 5.1.26 ~ Fig. 5.1.29 に示される。

1) 金属シール要素

金属シール要素は他のシール要素と比べ、差圧 ΔP 、及び段差 δ が、流量 G に及ぼす影響が小さいという特徴を有する。これは、差圧が増加するのに伴ない、差圧によるシール要素の圧着効果が作用するため流動抵抗 K/A^2 が増加することによる。

また、Fig. 5.1.18に示すように、低差圧域(0.01 kg/cm^2 程度)では流量は段差の影響を受けやすいが、高差圧域(0.1 kg/cm^2 程度)では段差依存性が小さい。これは、金属シ

ール要素は段差に対してなじみが良いことを示す。以上より、金属シール要素は大きな差圧がかかった場合や比較的大きな段差がついた場合に有効に働くといえる。

ii) キー（タイトキー構造）

キーは高温プレナムブロック間シール要素と同じく、 G は ΔP のべき乗に比例している。しかし、その指数は縦置きキー、横置きキーともに約 $\frac{1}{2}$ であり、形状損失に強く依存するものと考えられる。シール部段差に対する流量の特性は高温プレナムブロック間シール要素における特性と同じである。

iii) 各シール要素の重ね合わせ

キーと（黒鉛＋金属）シール要素の結果と、キーと（黒鉛＋金属）シール要素及び黒鉛シール要素＜2＞を重ね合わせた結果から次の事がいえる。

① 黒鉛シール要素＜2＞の重ね合わせ効果はほとんどない。

（Fig. 5.1.19, Fig. 5.1.20 参照）

② キーの流動抵抗が支配的である。

（Fig. 5.1.19, Fig. 5.1.20 参照）

③ 金属シール要素の重ね合わせ効果は、金属シール要素が受けもつ差圧が大きい場合に有効である。しかし、受けもつ差圧が低下した場合は効果が小さい。

（Fig. 5.1.19, Fig. 5.1.21 参照）

(2) 流動抵抗係数 (K/A^2) と段差 (δ) の関係

K/A^2 と段差との関係は、Fig. 5.1.22～Fig. 5.1.25 及び Fig. 5.1.30～Fig. 5.1.33 に示されている。

キーにのみ着目すれば、平行段差に対しては(1)で述べた通り、段差による流量の変化が小さいため、 K/A^2 は段差によらずほぼ一定の値をとっている。次に、食い違い段差に対しては、段差が増加すれば、 K/A^2 は小さくなるものの、プレナムブロック間シール要素の様に大きくは低下しない。これは、キーとキー溝のすきま（Fig. 6.1.1の $\delta_1 + \delta_2$ ）は一定であるため、段差が増加してもシール部の実効的な開口面積がほぼ一定に保たれるためと考えられる。

6.1.3 固定反射体シール要素（ルーズキー構造）

固定反射体間横置きキーについては、キーと固定反射体との干渉を防止するため、キー溝とキーとのクリアランスに余裕をもたせたルーズキーを実験炉詳細設計（II）で採用することになった。このルーズキーは、実験データが少なく、特性を十分把握することは難かしいが、現在得られているデータ（Fig. 5.1.54, 55）から、概ね以下のことがわかる。

(1) ルーズキー

Fig. 5.1.54に示す様にくい違い段差が ± 1 mm以下の場合、差圧が $0.03 \sim 0.05$ kg/cm²の範囲で急激に流量が減少する。この原因は、明らかではないが、差圧によりキーが漏れ流路をふさぐ様に変位したものではないかと考えられる。

(2) 各シール要素の重ね合わせ

Fig. 5.1.54, 55に示す様に、シール要素との重ね合わせ効果は大きい。また、両対数グラフ上での、差圧－流量の傾きをみても、シール部流路抵抗の差圧依存性が大きいことがわかる。

これは、丁度、金属シール要素だけのシール性能と特性が類似していることから、3つのシールのうち特に金属シール要素の抵抗が相対的に大きいことが推定される。

6.1.4 面間シール抵抗

面間シールユニットで得られた結果が、Fig. 5.1.37 ~ Fig. 5.1.39 に示されている。

結果の図中に、平行平板の層流理論式及びブラジウスの式を用いて差圧-流量の関係を推定した直線が示されている。

これによれば、面間ギャップの抵抗は、ほぼ、理論式で表わされる。

6.1.5 バックグラウンド流量について

本試験においては、シール要素設置用ブロックに黒鉛を用いた。従って、黒鉛内を透過する流量が、バックグラウンドとして無視出来ない。そこで、試験体部には装置外面にパテをはりつける事によって、極力試験部以外の漏れ流量を減らした。

この様な処置をほどこした後、各ユニットについて、バックグラウンド流量を測定した。

測定結果は、Fig. 5.1.60 ~ Fig. 5.1.63 に示す通りであり、実際にシール要素等を設置した時の漏れ流量に対し、約2ケタ近く小さい。従って、取得されたシール性能データに対するバックグラウンド流量の影響は、無視出来る程小さいものであるといえる。

6.1.6 まとめ

以上の検討結果をまとめると次のようになる。

i) プレナムブロック間シール要素

① プレナムブロック間のシール要素（黒鉛）の流動抵抗は、くい違い段差による影響を受けやすいが、2つ割りシールを用いた場合、性能向上が期待できる。

② シール要素の重ね合わせ効果が大きい。

ii) 固定反射体間シール要素

① 金属シール要素は、高差圧がかかった場合や、比較的大きな段差がついた場合に有効に働く。

② タイトキー構造では金属シール要素との重ね合わせ効果は期待できないが、ルーズキー構造では期待できる。

iii) 固定反射体面間シール

面間シール性能は平行平板層流理論式による推定値と良い一致を示す。

iv) 以上の結果に基づき、詳(II) 炉内流量配分解析用データを設定した。詳細は付録1参照。

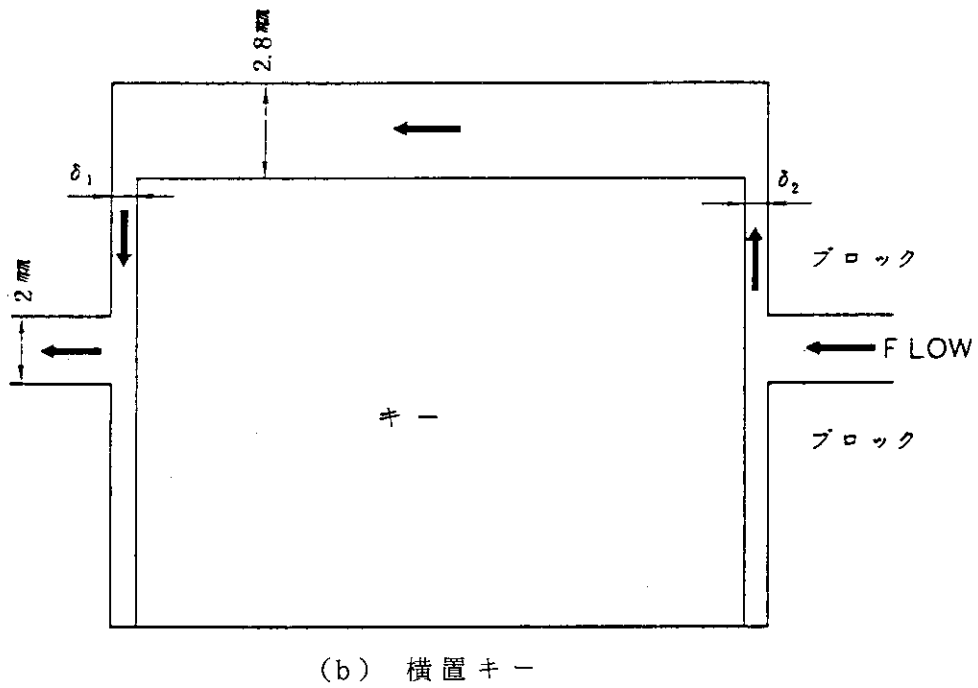
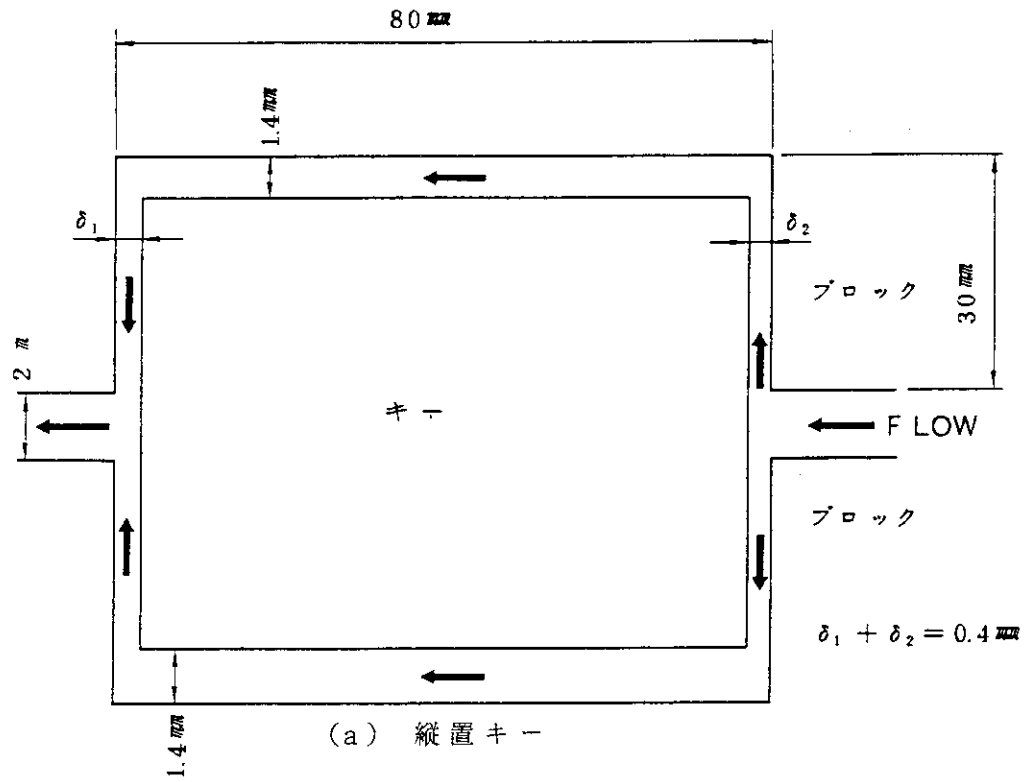


Fig. 6.1.1 キー及びキー溝との隙間

6.2 部分組合わせ試験

部分組合わせ試験の結果に対し、基本ユニット試験の結果より得られたデータを基にして漏れ流量の推定を行い、測定値との比較を行った。推定は部分組合わせ試験体の設置状態に関する情報、即ち、目標とした段差、ギャップ等ではなく、測定した段差、ギャップ等に基づき、基本ユニット試験結果のシール抵抗を用いて行った。

6.2.1 高温プレナムブロック間シール性能

高温プレナムブロック間シール性能の推定方法とその結果を以下に示す。

ⅰ) 推定方法

- ① 各シール要素の設置状態（平行段差量、くい違い段差量）を決定する。
- ② 各シール要素の抵抗係数 K/A^2 を基本ユニット試験結果から求め、試験体寸法での K/A^2 を決定する。
- ③ シール要素接続部の開口面積を算出し、 K/A^2 を決定する。
- ④ Fig. 6.2.1 に示す様な流路ネットワークを組み、漏れ流量を算出する。

ⅱ) 推定結果

推定値は、Fig. 5.2.1 ~ Fig. 5.2.8 の実線で示すように、概ね測定値を上まわっている。

推定値が測定値を上まわる原因としては、推定値は面間抵抗を無視して推定したが、例えば Fig. 5.2.4 に示す様に、ギャップが一部小さくなっており、その面間の流動抵抗が無視出来ない状態になっているためである。

そこで、大ギャップをあけて測定すると、Fig. 5.2.3 に示すように、その結果と推定値は良い一致を示す。

従って、高温プレナムブロック間シール性能については、基本ユニット試験の結果から、漏れ流量の推定ができる。

6.2.2 固定反射体間シール性能

固定反射体間シール性能の推定方法とその結果を以下に示す。

ⅰ) 推定方法

- ① 各面間隙間の測定値（または推定値）から、等価的に平行平板流路に換算したギャップ量（等価ギャップ d_{eq} ）を求める。等価ギャップの算出法は Fig. 2.2.3 に示した。
- ② 縦置キーの設置状態（くい違い段差量）を測定値から決定する。
- ③ 縦置キー（タイトキー）の抵抗係数 K/A^2 を、基本ユニット試験結果（Fig. 5.1.23）から求め、試験体寸法での K/A^2 を決定する。
- ④ 横置キー（ルーズキー）及び黒鉛、金属シール要素を重ね合わせた状態の抵抗係数を、基本ユニット試験結果（Fig. 5.1.35）と、第 2.2 節の(4)式から以下に示す表示式の形で設定する。

$$(K/A^2)_{500} = 9.750 \times 10^7 \times \Delta P_s^{0.725} \quad (6.2.1)$$

$$(K/A^2)_{500} = 2.23 \times 10^8 \times \Delta P_s^{0.51} \quad (6.2.2)$$

ここで ΔP_S はシール部（黒鉛シール+金属シール+キー）にかかる差圧〔 kg/m^2 〕， $(K/A^2)_{500}$ はシール片500 mm当りの流路抵抗係数〔 m^{-4} 〕である。尚，本式は，それぞれくい違い段差 ± 0.1 mm， ± 0.4 mmに相等するものである。

⑤ キーの接続部及び固定反射体面取り部の開口面積を製作寸法，ギャップ量から算出する。なお，キー接続部の開口面積は，以下の2ケースを仮定した。

① (キー幅) × (キー間のクリアランス)
(Fig. 5.2.9 ~ Fig. 5.2.15 のシール接続部大のケース)

② (ブロック面間隙間) × (キー間のクリアランス)
(Fig. 5.2.9 ~ Fig. 5.2.15 のシール接続部小のケース)

⑥ Fig. 6.2.2 に示す様な流路ネットワークを組み，漏れ流量を算出する。
漏れ流量算出用データを付録1に示す。

II) 推定結果

推定結果を，Fig. 5.2.9 ~ Fig. 5.2.15 に実線で示した。推定値は，測定値と同等，あるいは測定値を上回っているが，キー接続部の開口面積を上記 I) ⑤ ⑥ に示す様に小さ目に評価したケースでは，実測値との差は小さい。したがって，シール要素（キー）の接続部の開口面積としては I) ⑤ ⑥ に示す様なモデルで評価した方が，より測定値に近いシール性能を表わすことがわかる。

固定反射体シール性能は，面間ギャップ，シール部段差等を精度良く評価できれば基本ユニット試験の結果から推定することが可能であることを確認した。

なお，精度向上のためには，横置ルーズキー自身のデータをさらに得ること，及びキー継目間の流路モデルを実験により確認することが必要である。

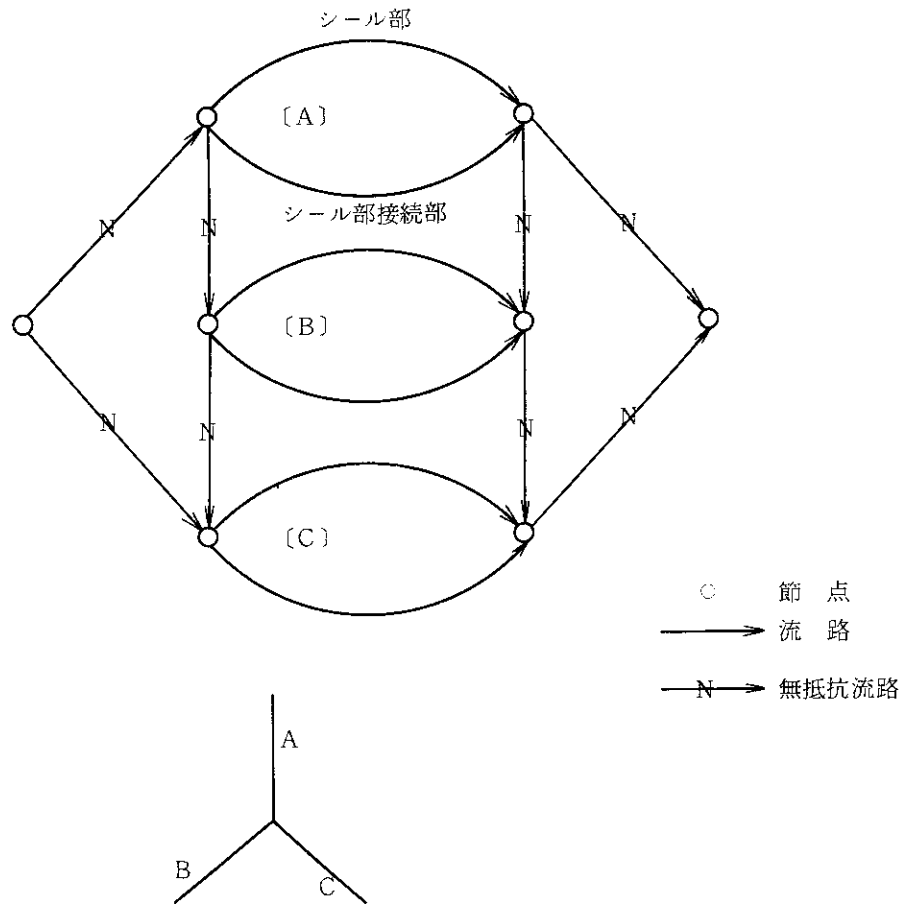


Fig. 6.2.1 高温プレナムブロック間部分組合わせ試験評価モデル

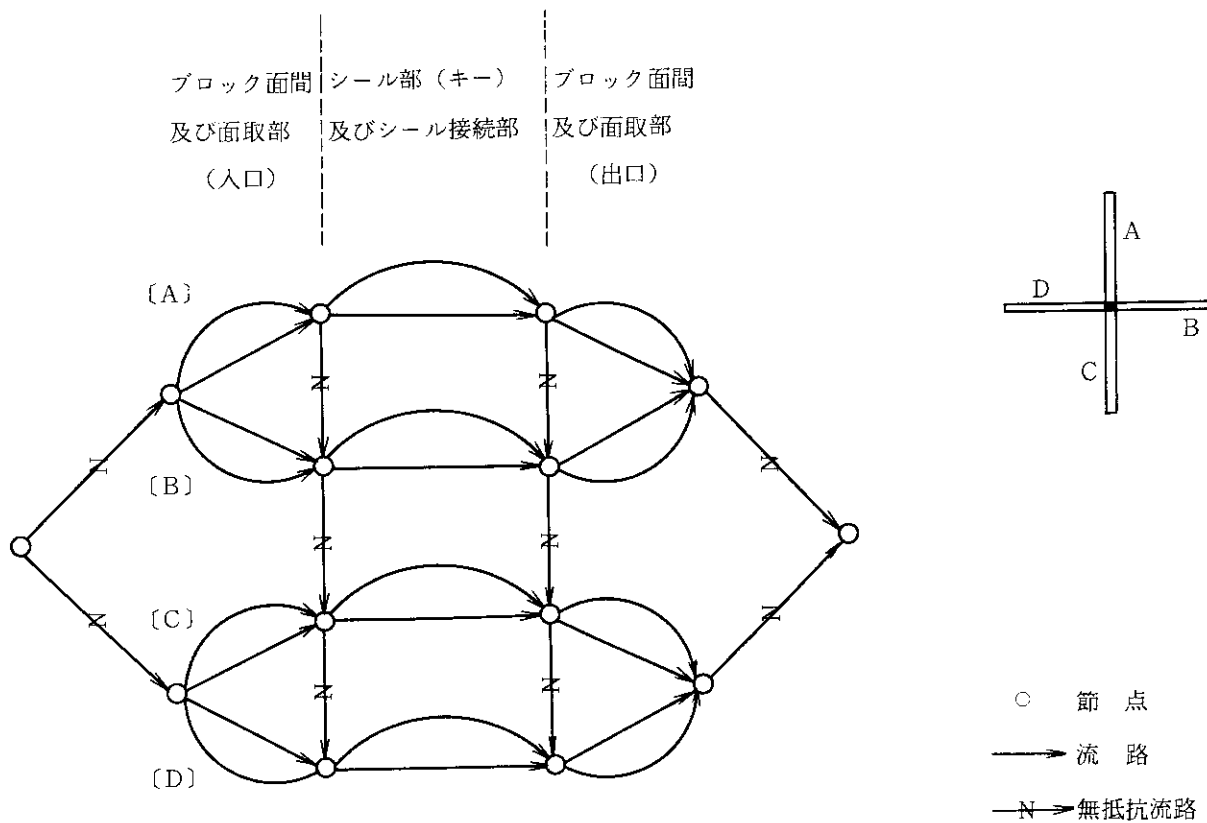


Fig. 6.2.2 固定反射体間部分組合わせ試験評価モデル

7. 結 論

本シール性能試験により次のことが明らかになった。

7.1 基本ユニット試験

(1) 実験炉で見込まれているシール抵抗（面間，シール要素の抵抗）を大気中で詳細に測定し，次の成果を得た。

- ① シール要素について，段差とシール部の流動抵抗係数 K/A^2 の関係を明らかにした。
 - ② 面間ギャップ形状とリーク量の関係を測定し，実験炉の設計で用いている等価ギャップ（ d_{eq} ）の算出方法が妥当である事を示した。
- (2) (1)の結果に基づき，詳細設計（Ⅱ）炉内流量配分解析データを設定した。

7.2 部分組合わせ試験

固定反射体間および高温プレナムブロック間について，実験炉構造の代表的な一部分を取り出し，その組立状態を模擬して漏れ流量を測定した。さらに，詳細設計（Ⅱ）炉内流量配分解析におけるデータ設定と同一の考え方に基づき，部分組合わせ試験で見込まれる流量を基本ユニット試験の結果を用いて推定し，測定値との比較を行い，次の結果を得た。

- (1) 高温プレナムブロック間については，基本ユニット試験結果から精度よく推定できる。
- (2) 固定反射体間については，推定値は，測定値より大きめである。
- (3) (1)，(2)より，詳細設計（Ⅱ）で設定した流量配分解析データは妥当であり，また，安全側である。

なお，本シール性能試験により，空気中でのシール性能データについてかなりのデータが蓄積され，また，部分モデル試験によりその有効性も確認された。しかしながら，今回行った実験は大気中試験なので，レイノルズ数への依存性について論ずるには限界がある。従って，本試験の結果を有効に使用し，かつ，実験炉適用上の妥当性を確実なものとするために実験炉での段差，ギャップ量の評価を精度良く行うとともに，今回の試験結果のうち代表的なケースについて，実験炉雰囲気中での抵抗を測定し，レイノルズ数依存性について検討する必要がある。

また，ルーズキーの場合の流動抵抗係数については，金属シール要素の流動抵抗が相対的に大きくなることが示されたが，測定データが少なく特性を充分把握することができなかった。今後，更にデータを取得し，炉内流量配分解析で使用するルーズキーの場合の流動抵抗係数の改善を図る必要がある。

謝 辞

本シール性能試験は、詳細設計（Ⅱ）の契約の中で富士電機㈱の協力を得て実施したものである。試験に協力された井出朗氏をはじめとする関係者の方々に感謝致します。

また、本試験を御指導戴いた青地哲男前動力炉開発・安全性研究管理部部長（現理事；東海研究所長）、原昌雄現部長及び安野武彦次長に感謝致します。

参 考 文 献

- (1) 多目的高温ガス実験炉設計室：“多目的高温ガス実験炉設備設計の概要——詳細設計（Ⅱ）に基づく——”，JAERI-M 84-210（1984）
- (2) 鈴木邦彦，他：“多目的高温ガス炉における炉内流動特性解析”，FAPIG No.102, P7（1982）
- (3) 菊地賢司，他：“多目的高温ガス実験炉の炉床部黒鉛ブロック間に生じるすき間と流れに関する試験”，日本原子力学会誌，Vol. 26, No.11（1984）
- (4) 井出 朗，他：“多目的高温ガス炉および関連技術の研究開発”，FAPIG No.99, P79（1981）
- (5) 文沢元雄，他：“多目的高温ガス実験炉炉内シール性能の解析検討——1段及び多段シール要素の効果——”，JAERI-M 83-078（1983）

謝 辞

本シール性能試験は、詳細設計（Ⅱ）の契約の中で富士電機㈱の協力を得て実施したものである。試験に協力された井出朗氏をはじめとする関係者の方々に感謝致します。

また、本試験を御指導戴いた青地哲男前動力炉開発・安全性研究管理部部長（現理事；東海研究所長）、原昌雄現部長及び安野武彦次長に感謝致します。

参 考 文 献

- (1) 多目的高温ガス実験炉設計室：“多目的高温ガス実験炉設備設計の概要——詳細設計（Ⅱ）に基づく——”，JAERI-M 84-210（1984）
- (2) 鈴木邦彦，他：“多目的高温ガス炉における炉内流動特性解析”，FAPIG No.102, P7（1982）
- (3) 菊地賢司，他：“多目的高温ガス実験炉の炉床部黒鉛ブロック間に生じるすき間と流れに関する試験”，日本原子力学会誌，Vol. 26, No.11（1984）
- (4) 井出 朗，他：“多目的高温ガス炉および関連技術の研究開発”，FAPIG No.99, P79（1981）
- (5) 文沢元雄，他：“多目的高温ガス実験炉炉内シール性能の解析検討——1段及び多段シール要素の効果——”，JAERI-M 83-078（1983）

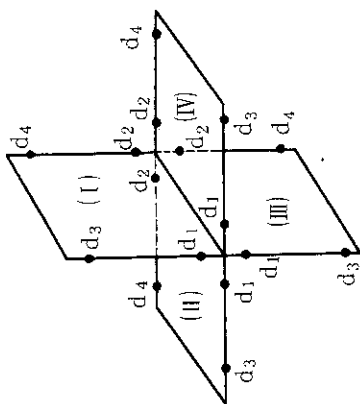
付録1 固定反射体間部分組合わせ試験解析データ補足

Table A.1.1 ~ Table A.1.7 に固定反射体部分組合わせ試験解析データを補足したものを示す。これらのデータは、本文第6.2節に示す固定反射体間部分組合わせ試験結果の検討に使用された。

Table A.1.1 部分組合わせ試験測定データ (ギャップ 0 mm, 段差 0 mm) No. 1

A. 面間ギャップ測定値と等価ギャップ (deq) (mm)

位置	(I)	(II)	(III)	(IV)
α_1	0.01	0.01	0.22	0.01
α_2	0.46	0.48	0.46	0.04
α_3	0.24	0.01	0.03	0.01
α_4	0.46	0.48	0.46	0.04
α_{eq}	0.22	0.05	0.22	0.02



B. キー段差測定値と流路抵抗係数 (K/A^2)

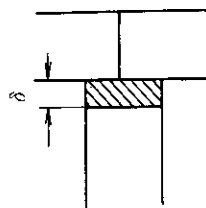
キータイプ	縦置タイプ		横置ルーズ	
	(I)	(III)	(II)	(IV)
平行段差 (mm)	0.05	0.00	0.03	0.05
くい違い段差 (mm)	0.07	0.04	0.05	0.00
K/A^2 (m^{-4})	2.3×10^9	3.7×10^9	$9.75 \times 10^7 \times \Delta P_s^{0.73}$	

C. 面取部断面積 (A_m)



$A_m = 5.12 \text{ mm}^2$

D. キー間クリアランス (δ)

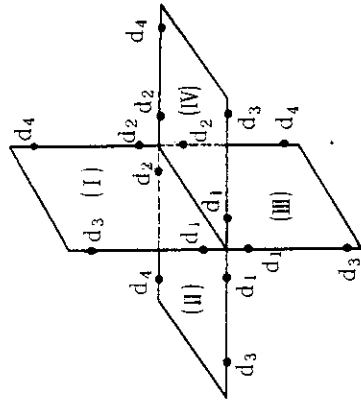


$\delta = 0.8 \text{ mm}$

Table A.1.2 部分組合わせ試験測定データ (ギャップ 0.4 mm, 段差 0 mm) No. 2

A. 面間ギャップ測定値と等価ギャップ (deq) (mm)

位置	I	II	III	IV
d ₁	0.50	0.60	0.42	0.10
d ₂	0.50	0.38	0.50	0.38
d ₃	0.48	0.18	0.50	0.52
d ₄	0.50	0.38	0.50	0.38
deq	0.49	0.38	0.48	0.33



B. キー段差測定値と流路抵抗係数 (K/A²)

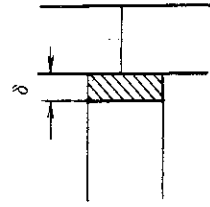
キータイプ	縦置タイト		横置ルーズ	
	(I)	(III)	(II)	(IV)
平行段差 (mm)	0.20	0.00	0.12	0.15
くい違い (mm)	0.12	0.05	0.08	0.05
K/A ² (m ⁻⁴)	1.4 × 10 ⁹	3.1 × 10 ⁹	9.75 × 10 ⁷ × ΔP _S ^{0.73}	

C. 面取部断面積 (A_m)



$$A_m = 7.84 \text{ mm}^2$$

D. キー間クリアランス (δ)

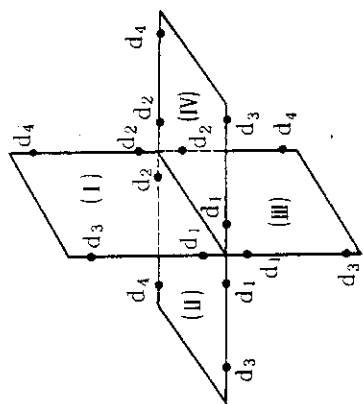


$$\delta = 1.0 \text{ mm}$$

Table A.1.3 部分組合わせ試験測定データ (ギャップ 0.6 mm, 段差 0 mm) No. 3

A. 面間ギャップ測定値と等価ギャップ (deq) (mm)

位置	(I)	(II)	(III)	(IV)
d ₁	0.58	0.62	0.66	0.30
d ₂	0.62	0.74	0.62	0.74
d ₃	0.64	0.34	0.56	0.58
d ₄	0.62	0.74	0.62	0.74
deq	0.61	0.59	0.61	0.56



B. キー段差測定値と流路抵抗係数 (K/A²)

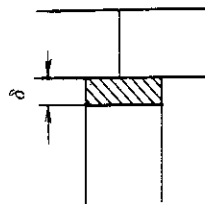
キータイプ	縦置タイト		横置ルーズ	
	(I)	(III)	(II)	(IV)
平行段差 (mm)	0.25	0.00	0.10	0.18
くい違い (mm)	0.25	0.18	0.08	0.07
K/A ² (m ⁻⁴)	7.6 × 10 ⁸	1.0 × 10 ⁹	9.75 × 10 ⁷ × ΔP _s ^{0.73}	

C. 面取部断面積 (A_m)



$A_m = 9.32 \text{ mm}^2$

D. キー間クリアランス (δ)

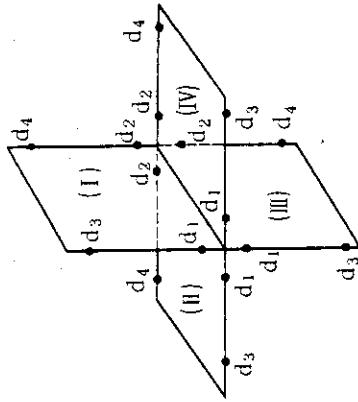


$\delta = 1.1 \text{ mm}$

Table A.1.4 部分組合わせ試験測定データ (ギャップ 2 mm, 段差 0 mm) No. 4

A. 面間ギャップ測定値と等価ギャップ (deg) (mm)

位置	(I)	(II)	(III)	(IV)
d ₁	1.9	2.2	2.1	1.7
d ₂	2.0	2.0	2.0	2.0
d ₃	2.2	1.7	2.1	2.2
d ₄	2.0	2.0	2.0	2.0
deq	2.0	2.0	2.1	2.0



B. キー段差測定値と流路抵抗係数 (K/A²)

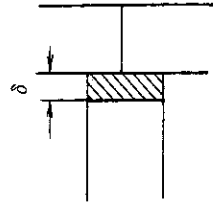
キータイプ	縦置タイツ		横置ルーズ	
	(I)	(III)	(II)	(IV)
位置				
平行段差 (mm)	0.01	0.05	0.00	0.01
くい違い (mm)	0.00	0.95	0.05	0.10
K/A ² (m ⁻⁴)	1.5 × 10 ¹⁰	1.8 × 10 ⁹	9.75 × 10 ⁷	Δ P _S ^{0.73}

C. 面取部断面積 (A_m)



$A_m = 21.9 \text{ mm}^2$

D. キー間クリアランス (δ)

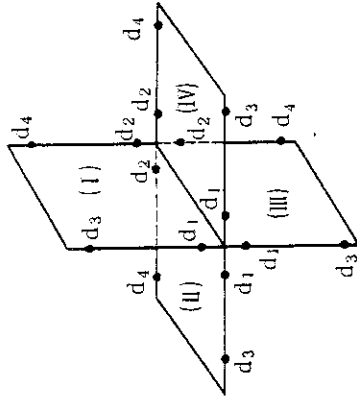


$\delta = 1.8 \text{ mm}$

Table A.1.5 部分組合わせ試験測定データ (ギャップ 0.4 mm, 段差 0.4 mm) No. 5

A. 面間ギャップ測定値と等価ギャップ (deg) (mm)

位置	(I)	(II)	(III)	(IV)
d ₁	0.5	0.16	0.46	0.24
d ₂	1.4	2.9	1.4	2.0
d ₃	0.5	0.86	0.62	0.52
d ₄	1.4	2.9	1.4	2.0
deq	0.80	1.1	0.84	0.78



B. キー段差測定値と流路抵抗係数 (K/A²)

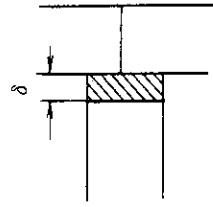
キータイプ	縦置タイト		横置ルーズ	
	(I)	(III)	(II)	(IV)
平行段差 (mm)	0.30	0.12	0.05	0.2
くい違い (mm)	0.11	0.28	0.15	0.02
K/A ² (m ⁻⁴)	1.5 × 10 ⁹	7.0 × 10 ⁸	2.23 × 10 ⁸	ΔP _S ^{0.51}

C. 面取部断面積 (A_m)



$A_m = 7.84 \text{ mm}^2$

D. キー開クリアランス (δ)

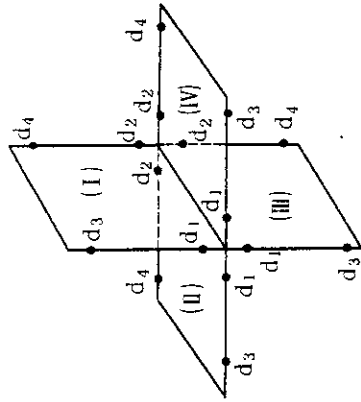


$\delta = 1.0 \text{ mm}$

Table A.1.6 部分組合わせ試験測定データ (ギャップ 0.4 mm, 段差 0.5 mm) No. 6

A. 面間ギャップ測定値と等価ギャップ (deg) (mm)

位置	(I)	(II)	(III)	(IV)
d ₁	0.30	0.01	0.48	0.01
d ₂	2.5	3.2	2.5	3.1
d ₃	0.54	0.50	0.46	0.58
d ₄	2.5	3.2	2.5	3.1
deq	0.91	0.72	0.98	0.78



B. キー段差測定値と流路抵抗係数 (K/A²)

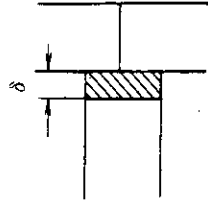
キータイプ	縦置タイト		横置ルーズ	
	(I)	(III)	(II)	(IV)
平行段差 (mm)	0.32	0.52	0.38	0.50
くい違い (mm)	0.18	0.03	0.30	0.30
K/A ² (m ⁻⁴)	1.0 × 10 ⁹	4.7 × 10 ⁹	2.23 × 10 ⁸	× ΔP _S ^{0.51}

C. 面取部断面積 (A_m)



A_m = 7.8 mm²

D. キー間クリアランス (δ)

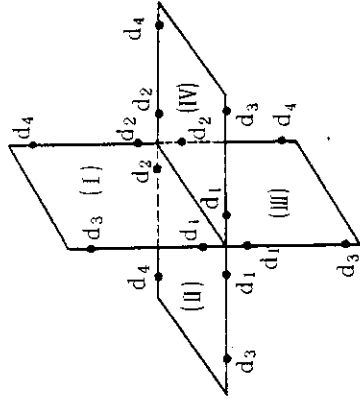


δ = 1.0 mm

Table A.1.7 部分組合わせ試験測定データ (ギャップ 0.2 mm, くいちがい段差 0.2 mm) No. 7

A. 面間ギャップ測定値と等価ギャップ (deg) (mm)

位置	(I)	(II)	(III)	(IV)
d ₁	0.44	0.09	0.50	0.01
d ₂	0.78	0.64	0.78	0.50
d ₃	0.44	0.28	0.50	0.30
d ₄	0.78	0.64	0.78	0.50
deg	0.58	0.32	0.62	0.30



B. キー段差測定値と流路抵抗係数 (K/A²)

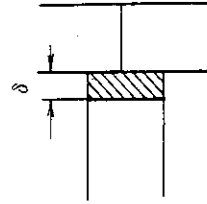
キータイプ	縦置タイト		横置ルーズ	
	(I)	(III)	(II)	(IV)
平行段差 (mm)	0.21	0.20	0.1	0.12
くいちがい段差 (mm)	0.04	0.04	0.1	0
K/A ² (m ⁻⁴)	3.7 × 10 ⁹	3.7 × 10 ⁹	9.75 × 10 ⁷	ΔP _S ^{0.725}

C. 面取部断面積 (A_m)



$A_m = 6.44 \text{ mm}^2$

D. キー間クリアランス (δ)



$\delta = 1.0 \text{ mm}$

付録2 炉内流量配分解析のためのシール性能データの設定

詳細設計(Ⅱ)で高温プレナムブロック間及び固定反射体間に設置されたシール要素について、本報告書で述べた基本ユニット試験の結果を基にして詳細設計(Ⅱ)の炉内流量配分解析用シール性能データを定めた。なお、ブロック面間の流動抵抗は、7章の結論で述べたように、流れとともに流路形状が変化する場合の合成抵抗として計算できることが示されている。

(1) 高温プレナムブロック間シール要素の流動抵抗

基本ユニット試験による高温プレナムブロック間の段差とシール要素の流動抵抗 K/A^2 との関係を Fig.A.2.1 に示す。シール要素はくい違い段差に対してシール性能がさほど劣化しない2つ割りの黒鉛板である。実験炉の場合に想定される最大の段差の状態は、以下のとおりである。

平行段差	約 3.5 mm
くい違い段差	約 1.5 mm

平行段差とくい違い段差が同時に発生する場合、Fig.A.2.1によれば、平行段差が1 mmのとき流動抵抗が最も小さい(悪くなる)。そこで、設計用データは平行段差1 mm、くい違い段差1.5 mmの場合の流動抵抗 $K/A^2 = 2.7 \times 10^8 \text{ m}^{-4}$ (シール部長さ500 mmあたり)に実験誤差20%を見込んで $2.2 \times 10^8 \text{ m}^{-4}$ とする。

(2) 固定反射体間シール要素の流動抵抗

基本ユニット試験によれば、キータイプの黒鉛シール要素<2>は、横置、縦置いずれの場合にも重ね合わせの効果がほとんど無いので、詳細設計(Ⅱ)では設置していない。また、金属シール要素は以下の理由から、設計評価のための解析データとしては考慮せず、バックアップとして設置している。

- i) キーと金属シール要素との重ね合わせによる流動抵抗の増加は、あまり大きくない。
- ii) 金属シール要素は受け持つ差圧が大きい場合には効果を示すが、差圧が小さい場合には十分な抵抗を示さない。

以上より、固定反射体間シール要素によるシール性能としては、キーによる流動抵抗のみを考慮する。

i) 縦置きキーの場合

縦置きキー部の想定される最大のくい違い段差は、500 mmあたり約0.4 mmである。基本ユニット試験によるキー部の段差(平行及びくい違い段差)と流動抵抗 K/A^2 との関係を Fig.A.2.2 に示す。同図より、縦置きキーの流動抵抗 K/A^2 は $5 \times 10^8 \text{ m}^{-4}$ (シール部長さ500 mmあたり)とする。

ii) 横置きキーの場合

横置きキーは、組立て上、縦置きキーに比べてルーズキー(クリアランス片側1.5 mm)

とせざるを得ない。このため、流動抵抗としては安全側に、Fig. A.2.3の斜線部の摩擦抵抗のみを考える。これは等価ギャップ0.4 mm，有効流路長さ80 mmの平行平板間流路の層流域での流動抵抗 $K/A^2 = 5 \sim 6 \times 10^8 \text{ m}^{-4}$ に相当する。

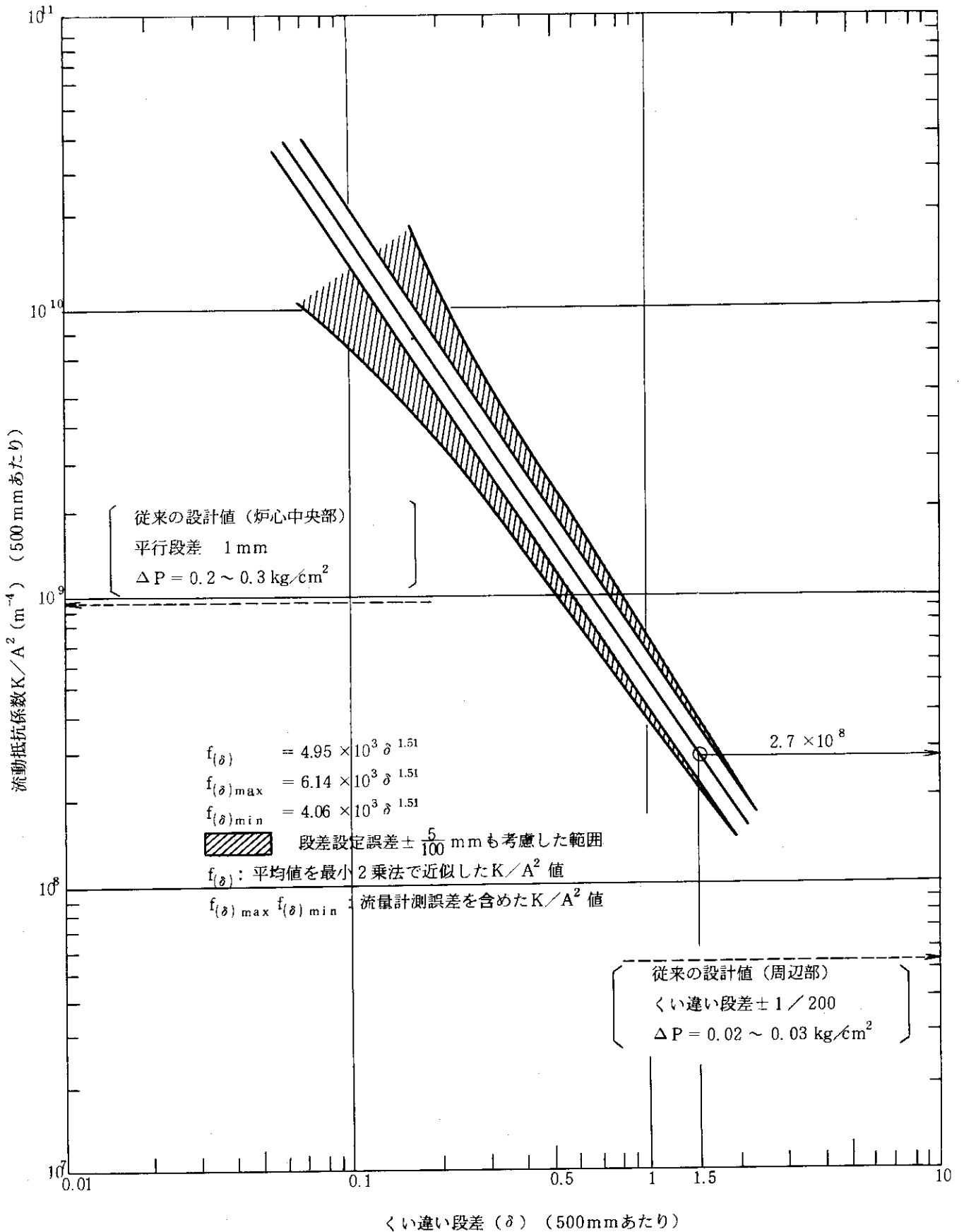


Fig.A 2.1 高温プレナムブロック 2つ割り黒鉛シール要素 3段の流動抵抗係数に対するブロック面関くい違い段差の影響 (平行段差 = 1 mm)

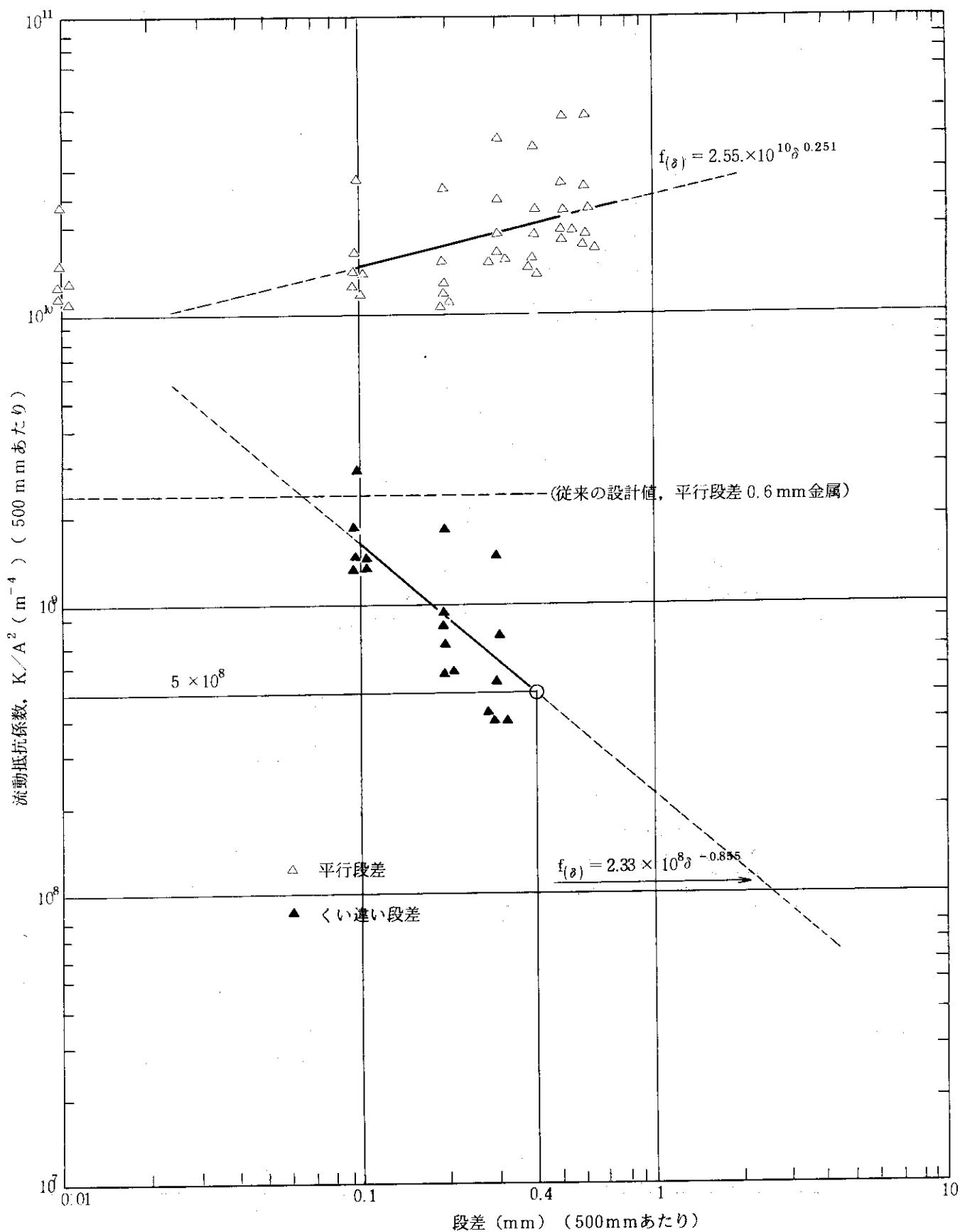


Fig.A 2.2 固定反射体間縦置きキーの流動抵抗に対するブロック面間段差の影響

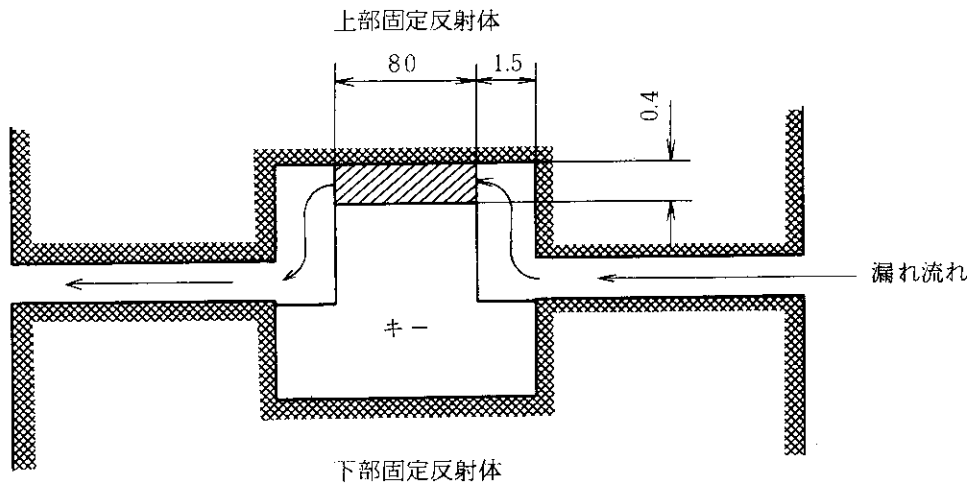


Fig. A 2.3 ルーズキーの場合のキーとキー溝間クリアランス及び漏れ流れの流路（等価ギャップ 0.4mm, 有効流路長 80 mm の平行平板間流路）