

SWAT- 3 蒸発器内部構造物の解体検査報告書
(Run-4試験)

—大リーク・ナトリウム—水反応試験(第16報)—

1979年9月

動力炉・核燃料開発事業団

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター

システム開発推進部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor
and Nuclear Fuel Development Corporation 4002, Narita O-arai-machi Higashi-
Ibaraki-gun, Ibaraki, 311-14, Japan

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

SWAT-3 蒸発器内部構造物の解体検査報告書(Run-4試験)

— 大リーク・ナトリウム— 水反応試験(第16報) —

高橋憲二郎^{*}，山田 敏雄^{*}，大高 仁護^{*}
佐々木和一^{*}，井上 設生^{*}，佐藤 稔^{*}

要 旨

期間 1977年6月3日～1979年11月30日

蒸気発生器安全性総合試験装置(SWAT-3)を用いて、高速原型炉「もんじゅ」蒸気発生器の大リーク・ナトリウム-水反応事故時の隣接伝熱管二次破損の有無の確認試験が行なわれている。

本報告書は、Run-4試験における蒸発器(反応容器)伝熱管群構造物の試験後解体検査の結果をとりまとめたものである。

Run-4試験においてはヘリカルコイル上部(液面下640mm)において、注水率9.0(1sec後)～7.2(9sec後)kg/sで9.4秒間(注水弁開時間)の注水が行なわれ、総注水量83kgの試験規模であったが、隣接伝熱管の二次破断、機械力による変形、内圧と高温化に起因するプリスタなどは観察されなかった。ただシュラウドに若干の変形が認められた。

なお、本試験で用いた伝熱管群構造物(内部構造物)は、東芝/IHIにて設計・製作されたものである。

* 大洗工学センター蒸気発生器開発部蒸気発生器安全性試験室

本注水試験の計画作成および実施に下記の者が参加した。

広井 博^{*} 田辺 裕美^{*} 錦見 正和^{*}
吉岡 直樹^{**} 堀 雅夫^{***}

* 大洗工学センター蒸気発生器開発部蒸気発生器安全性試験室

** 現在 MAPI

*** 蒸気発生器開発部

Sep., 1979

POST-TEST INSPECTION OF REACTION VESSEL INTERNAL

(Run-4 Test of SWAT-3 Facility)

— REPORT No. 16; LARGE LEAK SODIUM WATER REACTION TEST —

Kenjiro TAKAHASHI*, Toshio YAMADA*,
Jingo OHTAKA*, Kazuichi SASAKI*,
Setsunari INOUE*, Minoru SATO*

Abstract

The series of the scoping test which ascertains whether the secondary failure of the adjacent heat transfer tube occurs or not due to large leak sodium water reaction in steam generator of LMFBR is being performed using SWAT-3 test facility. This paper describes the post-test inspection result of the reaction vessel internal with helically coiled heat transfer tube bundles which was used in run-4 sodium-water reaction test. The internal was manufactured by TOSHIBA/IHI company based on their design of the MONJU's SG.

Run-4 test was executed with the water injection point of the upper part of the tube bundle, and water injection rate and duration of 9.0 (initial) to 7.2 kg/sec (afterward) and 9.4 seconds. Total weight of injected water was 83.0 kg. No secondary tube failure and blister due to high internal pressure and wall softening caused by high temperature generated by sodium water reaction was observed. A little deformation was observed on the shroud.

* Steam Generator Safety Section, Steam Generator Division
O-arai Engineering Center, PNC.

目 次

1. まえがき	1
2. 試験の概要	2
2.1 試験装置	2
2.2 試験条件	2
3. 検査内容	5
3.1 検査項目	5
3.2 検査要領	6
4. 検査結果	7
4.1 外観検査	7
4.2 伝熱管外径	7
4.3 コイル真直度	8
4.4 コイルピッチ	9
4.5 シュラウド真直度・内径	9
4.6 センタパイプ真直度・外径	9
5. まとめ	10
6. 謝 辞	11
7. 参考文献	11

図 表 リ ス ト

Fig. 2. 1. 1	立体配置図	12
Fig. 2. 1. 2	蒸発器全体組立図.....	13
Fig. 2. 2. 1	pressure Transient of Pressurized Tubes	15
Fig. 2. 2. 2	蒸発器の運転履歴の概要	16
Fig. 3. 2. 1	コイル測定要領	17
Fig. 3. 2. 2	シュラウド測定要領	18
Fig. 3. 2. 3	センタパイプ測定要領	18
Fig. 4. 1. 1	蒸発器内から取出された内部構造物（写真）.....	19
Fig. 4. 1. 2	蒸発器の内部（写真）	19
Fig. 4. 1. 3	伝熱管コイル（9層目）全体（写真）	20
Fig. 4. 1. 4	伝熱管コイル（9層目）注水点付近（写真）	20
Fig. 4. 1. 5	伝熱管コイル（7層目）全体（写真）	21
Fig. 4. 1. 6	伝熱管コイル（7層目）注水点付近（写真）	21
Fig. 4. 1. 7	伝熱管コイル（6層目）注水点付近（写真）	22
Fig. 4. 1. 8	伝熱管コイル（5層目）注水点付近（写真）	22
Fig. 4. 1. 9	シュラウド外観（写真）.....	23
Fig. 4. 1. 10	センタパイプ（写真）.....	24
Fig. 4. 2. 1 (a)~(i)	伝熱管外径	25
Fig. 4. 3. 1 (a)~(h)	コイル真直度	34
Fig. 4. 4. 1 (a)~(i)	コイルピッチ	42
Fig. 4. 5. 1	シュラウド真直度	51
Fig. 4. 6. 1	センタパイプ真直度	52
Table. 2. 1. 1	内部構造物仕様（Run-4）.....	2
Table. 2. 2. 1	試験条件のまとめ（Run-4）.....	14
Table. 2. 2. 2	実験計測のまとめ（Run-4）.....	3
Table. 4. 5. 1	シュラウド内径測定結果（Run-4）.....	53
Table. 4. 6. 1	センタパイプ外径測定結果（Run-4）.....	53

1. ま え が き

高速増殖原型炉(「もんじゅ」)蒸気発生器の大リーク・ナトリウム-水反応に対する安全設計法確立のため、動燃大洗工学センターにおいて蒸気発生器安全性総合試験装置(SWAT-3)を用いて、一連の注水試験が実施されている。

SWAT-3 試験装置で実験的に確かめるべき項目の一つに、「伝熱管一本破断までの大リーク事故により引き起こされる隣接伝熱管二次破損の規模の確認」がある。このため、SWAT-3 装置による大リーク試験では、注水される蒸発器容器内に、実寸規模の伝熱管群構造物(内部構造物)を挿入し、伝熱管一本破断と同じ注水率により注水試験を行い、隣接伝熱管破損の有無を確認することにした。

この報告書はSWAT-3 装置による一連の注水試験のうち第4回大リーク・ナトリウム-水反応試験(Run-4 試験)で使用した蒸発器内部構造物について注水試験後解体検査を行ない、隣接伝熱管を含む伝熱管群全体にわたって破損、変形状況を調査した結果をとりまとめたものである。

今回の試験の主目的は、これまで実施された3回の試験(Run-1~Run-3)の注水位置が伝熱管コイル下部であったのに対して、伝熱管コイル上部におけるNa-水反応現象の解明にある。

(注水位置はナトリウム液面下640mm)従って、注水位置以外の試験条件はほぼRun-3と同様である。

使用された蒸発器内部構造物は東芝/IHIによって設計・製作されたものであり、構造・寸法は同メーカーの「もんじゅ」設計に基づくものである。

Run-4 用内部構造物は1976年3月末から製作が開始され、製作完了とともに同年12月SWAT-3 装置蒸発器内へ組込みが行なわれた。

その後、動燃事業団による準備作業を経た後、1977年3月18日注水試験が実施された。

注水試験後反応生成物の水蒸気洗浄を行った後、1977年5月末蒸発器内から取り出し、以後本書で述べる解体検査を行った。

一般に隣接伝熱管の破損現象は大リーク時の爆発的流動現象にともなう破損ということで現象が複雑で未知の支配因子が多く、一回の試験のみから全体的な結論を導き出すことは困難である。

したがって、多数回の試験により総合的に判断すべきであると考えられる。それで本報告書は、とりあえずRun-4 試験について、内部構造物の変形検査の結果をそのまま整理、記述することを目的としてとりまとめたものである。

2. 試験の概要

2.1 試験装置

試験装置はこれまでとほぼ同一である。Fig. 2.1.1 に装置全体の立体図を示した。個々の機器、装置全体の仕様については別報報告書⁽¹⁾を参照されたい。

蒸発器の全体組立図を Fig. 2.1.2 に示す。試験では蒸発器に注水されるが、蒸発器の容器は従来と同じであり、伝熱管束（内部構造物）のみ Run-4 用に新規に製作された。設計・製作は Run-1~Run-3 と同じく東芝/石川島播磨(株)によりなされ、その構造は同社の「もんじゅ」設計に基づくものである。内部構造物の仕様は Run-3 と同一であり、注水位置だけが異なる。（Run-3 製作前に同社の伝熱管配列の変更があったので、Run-1 と Run-2 は同一構造、Run-3 と Run-4 が同一構造になっている。）伝熱管材、管径、配列、管支持構造は同社の「もんじゅ」設計と同一である。

主な内部構造物仕様を Table 2.1.1 に示した。

Table 2.1.1 内部構造物仕様 (Run-4)

設計・製作メーカー	東芝/IHI
伝熱管型式	ヘリカルコイル型
伝熱管材質	STBA24 (ASME SA387 GrD)
伝熱管径	25.4φ × 3.2t
伝熱管配列	40 × 45 (軸方向 × 径方向)
伝熱管層数	9層
加圧伝熱管	1 ~ 5層
注水位置	5層目, FL. 5460
伝熱管支持構造	各層ごとが支持架構に固定
内筒径	355.6φ × 11.1t
シュラウド径	1,190φ × 9t

2.2 試験条件

Run-4 試験の試験条件を Table. 2.2.1 に示す。注水点はダウンコマ上部（液面下 640 mm の位置であった）であり、注水率は伝熱管 1 本破断時の値に計画された。

注水結果は、注水率 9.0 kg/sec (1 sec 後) ~ 7.2 kg/sec (9 sec 後) で 9.4 秒間（注水弁開時間）の注水が行なわれ総注水量 83 kg であった。

注水試験においては、Table. 2.2.2 に示すように、蒸発器 (EV)、過熱器 (SH)等の各機器および配管系に各種の測定器が設置され、圧力、歪、温度、液面、ボイド、配管支点反力、加速度、変位、流量、ラブチャ板破裂時期等が測定された。

Table. 2.2.2 実験計測のまとめ (Run-4)

計測場所 計測項目	EV	SH	IHX	RT	二次系 配管	放出系 配管	WH	水 系 配 管	そ の 他	合 計	
圧 力	15+1 ¹⁾	2+1 ¹⁾	2	1+1 ¹⁾	11	6	1 ¹⁾	3+4 ⁷⁾	加圧伝熱管	5	53
歪	14	0	0	0	0	2	0	0	フランジギャップ	4	20
温 度	59	1	1	13	14	9	1	1	逆止弁	2	101
液 面	3	1	0	0	0	2 ²⁾	1	0			7
ボ イ ド	17	0	0	0	0	1 ⁵⁾ +12 ⁴⁾	0	0			30
反 力	0	0	0	0	0	15	0	0			15
加速度・変位	2	0	0	0	12	9	0	0			23
流 量	0	0	0	0	1	2 ³⁾	0	1 ⁶⁾ +1 ³⁾			5
ラブチャ破裂	1	1	1	0	0	0	0	0			3
全計測数										257	

註 1) 運転制御用計器 2) 接触式液面検知器 3) ドラッグ式流量計 4) 抵抗式ナトリウムボイド計
5) γ線ボイド率計 6) タービン流量計 7) 伝熱管部

特に、蒸発器内には、多数の熱電対、圧力計が挿入され、注水試験時の温度、圧力挙動に関する詳細なデータが得られた。また、液面計やボイド計のデータから蒸発器内の流動が考察され、さらに、内部構造物に取付けられた加速度計データも得られた。それによれば、蒸発器 (EV) 内に発生した初期スパイク圧力のピーク値は注水点近傍で 14.7 kg/cm²a (PK1103) であり、この圧力が EV 内の最大値であった。EV 内温度は注水点の上方 (FL 6900) にて最高 1175 °C (T1144) の値が検出された。また注水点上部でのナトリウム液面上昇速度は 5 ~ 15 m/sec と推定された。これらの詳細については参考文献(2)を参照されたい。

この他、注水試験では伝熱管の内圧を実機運転条件に合わせるために 9 層の伝熱管のコイルのうち内側 5 層を N₂ ガスで加圧・封入し、注水期間中その圧力を監視した。モニタされた封入ガス圧を Fig. 2.2.1 に示す。同図から明らかなようにいずれの伝熱管圧力にも破断を意味する減圧がない。図中でガス圧の上昇はナトリウム-水反応による温度上昇によるものである。蒸発器は以上の注水試験の他に、その前後で各種の運転を経ている。注水試験前には装置の健全性を確認するための調整試運転が実施されている。

また注水試験後のナトリウムドレンにおいては前回試験でドレンラインの閉塞を経験してい

ることから、反応生成物を一旦EV 下部鏡板あるいは出口側の配管部分に沈澱させてから、上澄みのナトリウムのみバイパスドレンライン (Run-4 で新設したもの) からドレンする方法がとられた。

これに引続き実施された蒸発器の水蒸気洗浄では一旦洗浄完了と判断して内部構造物を取り出そうとしたところ、多量(推定で120ℓ)の反応生成物が蒸発器内壁とシュラウドの間の狭いすきまに残留していることが判り再度洗浄を余儀なくされた。

これら一連の蒸発器の運転履歴の概要を内部雰囲気およびその温度を中心にまとめたものを Fig. 2.2.2 に示す。

3. 検査内容

3.1 検査項目

解体検査で調査すべき事項は、これまでの検査（Run-1～Run-3試験）と同様であり、次の通りである。

- (1) 隣接伝熱管の二次破断の有無の確認。
- (2) 隣接伝熱管の機械力による変形の有無。
- (3) 伝熱管の内圧ラプチャまたは局所的なふくらみ。
- (4) ウエステージ損傷の有無。
- (5) その他の構造物の破損・変形。

このうち、(1)項の隣接伝熱管の二次破断については、2.2項で述べたように注水試験前の伝熱管の封入ガス圧データから、二次破断がないことがすでに確認されている。よって、ここでは、(2)～(5)項に関する調査が中心となる。

(2)項の隣接伝熱管の機械力による変形については、コイルの軸方向(上下方向)および半径方向(水平方向)への変形に注目して、前者に対してはコイルピッチを、また後者に対してはコイル真直度をそれぞれ測定した。

(3)項の伝熱管の内圧ラプチャまたは局所的なふくらみ(プリスタ)および(4)項のウエステージ損傷については、これらがいずれも伝熱管の断面に関する損傷であることから、伝熱管外径を測定することにした。

(5)項のその他の構造物についてはシュラウドとセンタパイプを対象としたが、その他外観上特に変形の認められるものについてその変形量を測定することにした。

シュラウドについては薄肉円筒であるというところから断面変形と全体的な曲がり注目して、内径と真直度を測定した。

センタパイプについては構造上大きな変形が生じることはまず考えられないが、外径と真直度を測定することにした。

いずれも注水試験前後で同じ要領で測定し、両者を比較することによりこれらの変形や損傷を調査することにした。

ただし試験前の検査は内部構造物の製作工程中に実施されたものであり、試験後の検査との間に工場組立、輸送、現地据付、試験後解体などの作業が入ることになり、場合によってはこれらの作業中の変形が考えられるが、ここではある程度はやむを得ないものとして無視して取扱うこととした。

3.2 検査要領

(1) 外観

注水試験による変形、損傷の有無を目視にて確認するとともに写真撮影などを行なった。

(2) 伝熱管外径

Fig. 3.2.1に示すように、伝熱管外径(同図寸法d)をコイル周方向8ヶ所、コイル下端より25の伝熱管についてノギス(最小目盛0.05)にて測定した。

(3) コイル真直度

Fig. 3.2.1に示すように、コイルをたてた状態で固定しコイルに沿ってさげふりをおろし、これからコイル外径までの垂直高さ(同図寸法 h)をコイル周方向8ヶ所、全コイルについて直尺(最小目盛0.5)にて測定した。

(4) コイルピッチ

Fig. 3.2.1に示すように、垂直方向のコイルピッチ(同図寸法P)を周方向8方向、全コイルについて測定した。

(5) シュウラウド真直度・内径

Fig. 3.2.2に示すように、シュウラウドをたて置きにした状態で固定しシュウラウドの軸に平行に糸を張りこれからシュウラウド外面までの垂直高さを上下方向13点について直尺(最小目盛0.5)で測定することにより真直度を求めた。

また、内径を同じく上下方向13点についてインサイドマイクロメータ(最小目盛0.01)を用いて測定した。

(6) センタパイプ真直度・外径

Fig. 3.2.3に示すように、センタパイプを横置きにした状態で固定しセンタパイプの軸に平行に糸を張り、これからセンタパイプ外面までの垂直高さを測定することにより真直度を求めた。

また、外径をアウトサイドマイクロメータ(最小目盛0.01)を用いて測定した。

4. 検査結果

4.1 外観検査

- (1) 蒸発器（反応容器）内から取り出した直後の内部構造物を Fig. 4.1.1 に示す。見えているのはシュウラドで外観上は大きな変形は認められない。詳細には後述するシュウラドの寸法測定結果を参照のこと。伝熱管コイルはシュウラドの中に入っているためこの状態では見えないが、シュウラドの上部に設けられた穴からわずかにその一部が見える。シュウラドは SUS304 製であるので本来銀白色であったものが注水試験およびその後の水蒸気洗浄により、写真のように表面が黒褐色に変色したものである。

下部の比較的銀白色に輝いて見える部分は注水試験後反応生成物が残留、固着していたところである。

- (2) 上記の内部構造物を上側から見たものを Fig. 4.1.2 に示す。この状態では内部構造物の上部が観察できるが変形や損傷は見られない。また、写真中に針金状のものが多数見えるが、これは実験計測用の各種センサのリード線である。これらのセンサ類についても外観上は破断・破損は認められない。

- (3) 注水試験後の伝熱管コイルの外観を Fig. 4.1.3 ~ 4.1.8 に示す。Fig. 4.1.3, 4.1.4 および Fig. 4.1.5, 4.1.6 は伝熱管層数全 9 層のうち 9 層目（最外層）と 7 層目を代表例にとって、伝熱管コイル全体の外観と注水点付近の状況をそれぞれ示したものである。Fig. 4.1.6 にはその内側に注水孔がわずかに見えている。これらの写真からも明らかなように全体的な伝熱管コイルの変形や損傷は全く認められない。

さらに局所的に見て、注水点付近の伝熱管コイルおよび注水孔に隣接する伝熱管についても全く同様であり、特に他の部分と相違するような特徴的な変形や損傷は見られない。

(Fig. 4.1.7, 4.1.8 参照) 以上は、9 層目と 7 層目を例にとって示したがその他の層についても同様である。

- (4) Fig. 4.1.7, Fig. 4.1.8 は、注水孔およびこれに外接する伝熱管コイル（5 層目および 6 層目）の状況を示したものである。

隣接伝熱管に局所的なふくらみブリスタやウエステージ損傷は見られない。

- (5) シュウラドの外観を Fig. 4.1.9 にまたセンタパイプを Fig. 4.1.10 に示す。これらについても変形は認められない。

4.2 伝熱管外径

注水試験前後の伝熱管外径測定値を比較したものを Fig. 4.2.1.(a)~(i) に示す。ただ、注水点近傍については事前のデータが得られていないのでここでは伝熱管群下部について測定したも

のを示した。

両者を比較すると試験前 25.20 mm ϕ に対し、注水後は 25.20 ~ 25.30 mm ϕ であり全体的に測定値は良く一致している。ただ、0.05 ~ 0.1 mm 程度の僅差がみられるがこれについてはデータの精度が問題となる。

伝熱管は、STBA-24鋼管(JIS G 3462-1972)をコイルに成形加工したものであり、素材の状態では 25.4 \pm 0.15 mm の許容差があり、さらに成形加工時に断面変形^{*}が生じる。伝熱管そのものの製作精度がこのような場合は、測定位置のわずかなずれ等によって上述程度の測定値の差異は容易に生じ得る。実際、試験後の測定では測定者をかえて各々 2 回ずつ測定しているが、0.05 mm 程度の差異は容易に生じることが分かっている。場合によっては 0.1 mm 程度、また、大きい場合は 0.15 mm 程度の差が生ずることもある。

よって表記程度の測定値の差異は測定誤差の範囲内といえる。

4.3 コイル真直度

コイル真直度の測定結果を注水試験前後で比較したものを Fig. 4.3.1(a)~(h)に示す。これらの図は、丁度、伝熱管コイルを横から眺めたときの各伝熱管コイルの水平方向の不揃い(デコボコ)の状態を表わしている。従って、注水試験により伝熱管コイルに水平方向の変形が生ずれば、この真直度にくるいが生ずることになる。

全体的に試験前後で測定値は良く一致している。ただ、一部に若干の差異が認められるがこれについてはデータの精度が問題になるのでこれについて述べる。

伝熱管コイルは 45°, 135°, 225° および 315° の周方向 4 点で支持されているので、この方向については真直度のくるいは生じ得ない等である。しかしながら Fig. 4.3.1(b), (d), (f) および (h) によると、この方向でも若干の測定の差が認められる。これは、測定時の糸の張り方のわずかなずれ等による測定誤差によるものと思われる。特に、例えば 45° 方向 Fig. 4.3.1(b) の 9 層目伝熱管コイルに見られるように、デコボコの状態そのものは試験前後で相違ないものの全体的に少しずつずれているようなものは明らかに測定時の糸の張り方のずれと判断できる。

今回コイルの変形が目されるのは、むしろ上述の支持部ではなく、支持スパンの中央、すなわち 0°, 90°, 180° および 270° の 4 方向である。この方向の真直度はデータそのもののバラツキは大きい試験前後の測定値の差異は前述支持部と同程度である。データのバラツキが大きいのはコイル成形加工時の巻きむら^{*}等が組立時、この方向で吸収されるためと思われる。いずれにしても、表記程度の測定値の差異は容易に生じ得るものと思われ測定誤差の範囲内と

* 過去に Run-2 試験で実測した経験では、6 層目伝熱管コイルで上下方向の伝熱管外径の平均が 25.3 mm であるのに対し、水平方向では 24.9 mm であった。すなわち水平方向に 0.4 mm 程度余分につぶれが生じている。

いえる。

4.4 コイルピッチ

垂直方向のコイルピッチの測定結果を注水試験前後で比較したものを Fig. 4.4.1(a)~(i) に示す。ただ、注水点近傍についてはデータが得られてないので、ここでは、コイル下部について測定されたものを示した。得られたデータの範囲内ではピッチの乱れは認められない。注水点近傍については 4.1.(3)項で述べたようにピッチの乱れは生じていない。

4.5 シュラウド真直度・内径

シュラウドの真直度を注水試験前後で比較したものを Fig. 4.5.1 に示す。図はシュラウドを横から視めたときの外面のうねりの状態を表わしている。90°-270° 方向では注水試験前後で変形はないが 0°, 180° 方向では、5~7 mm 程度内側につぶれが生じている。シュラウド内径の測定結果を Table 4.5.1 に示すが同表でも上記の変形は明らかである。

シュラウドは、外径 1190 mm, 肉厚 9 mm の薄肉円筒構造であるので、注水試験以外の、例えば次のような原因でも、容易に変形が生ずることが考えられる。

- i) 工場製作時にシュラウドと伝熱管部を組み立てる際、各部の製作誤差がシュラウドの変形として吸収された。
 - ii) 輸送中の変形
 - iii) 内部構造物を蒸発器内へ組み込む際蒸発器内壁のガイドレールとシュラウド外壁に設けられたガイドキーが互にかみ合う構造なのでこの部分に製作誤差があり無理な力が加わった。
 - iv) 注水試験後蒸発器内から取り出す際同様に無理な力が加わり変形した。
 - v) シュラウドを伝熱管部から引き外すとき無理な力が加わり変形した。
- ただ、いずれの原因で生じたかは検査の範囲内では明らかでない。

4.6 センタパイプ真直度・外径

真直度を Fig. 4.6.1, 外径を Table 4.6.1 に示す。

試験前後で良く一致しており変形は認められない。

5. ま と め

SWAT-3 装置，第4回大リーク・ナトリウム-水反応試験で使用した蒸発器内部構造物について，注水試験後，解体検査を行った結果を要約すると次のとおりである。

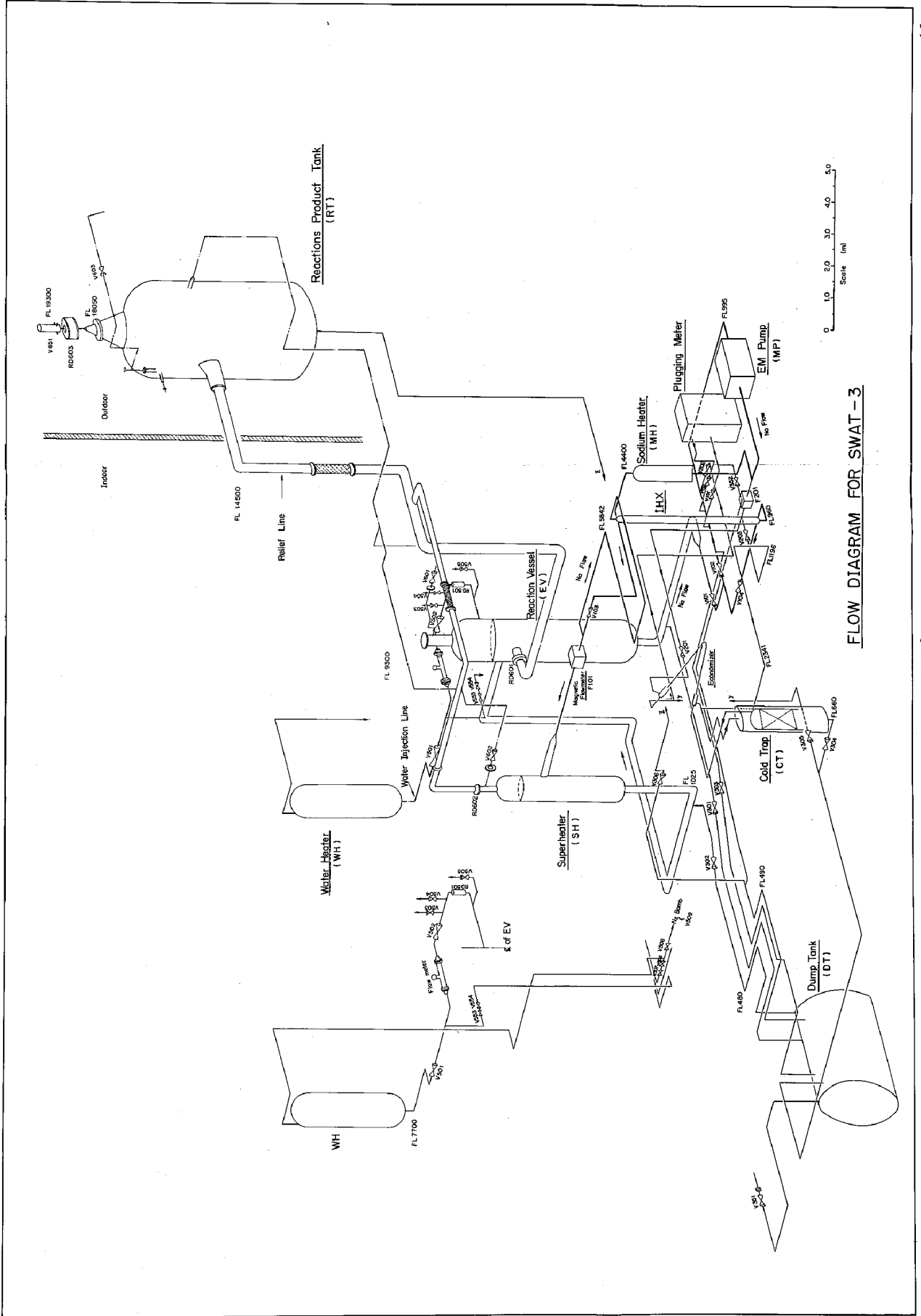
- (1) 隣接伝熱管の二次破断はなかった。
- (2) 隣接伝熱管を含むすべての伝熱管部に，機械力による変形は，測定精度の範囲内では観察されなかった。
- (3) 加圧伝熱管を含むすべての伝熱管の断面変形または局所的なふくらみ（ブリスト）などは認められなかった。
- (4) 隣接伝熱管にウエステージ損傷は見られなかった。すなわち，隣接伝熱管を含む注水点付近の伝熱管に，特に他の部分と相違するような特徴は観察されなかった。
- (5) シュラウドの外径が 0° - 180° 方向に $5\sim 7\text{ mm}$ 程度つぶれている。但し注水試験により生じたものか否かは明確ではなかった。
- (6) センタパイプおよびその他の部分に変形は認められなかった。

6. 謝 辞

検査作業を進めるに当り、実際の解体検査作業は東興機械工業(株)派遣作業員の手で行なわれた。末筆ながら感謝の意を表します。

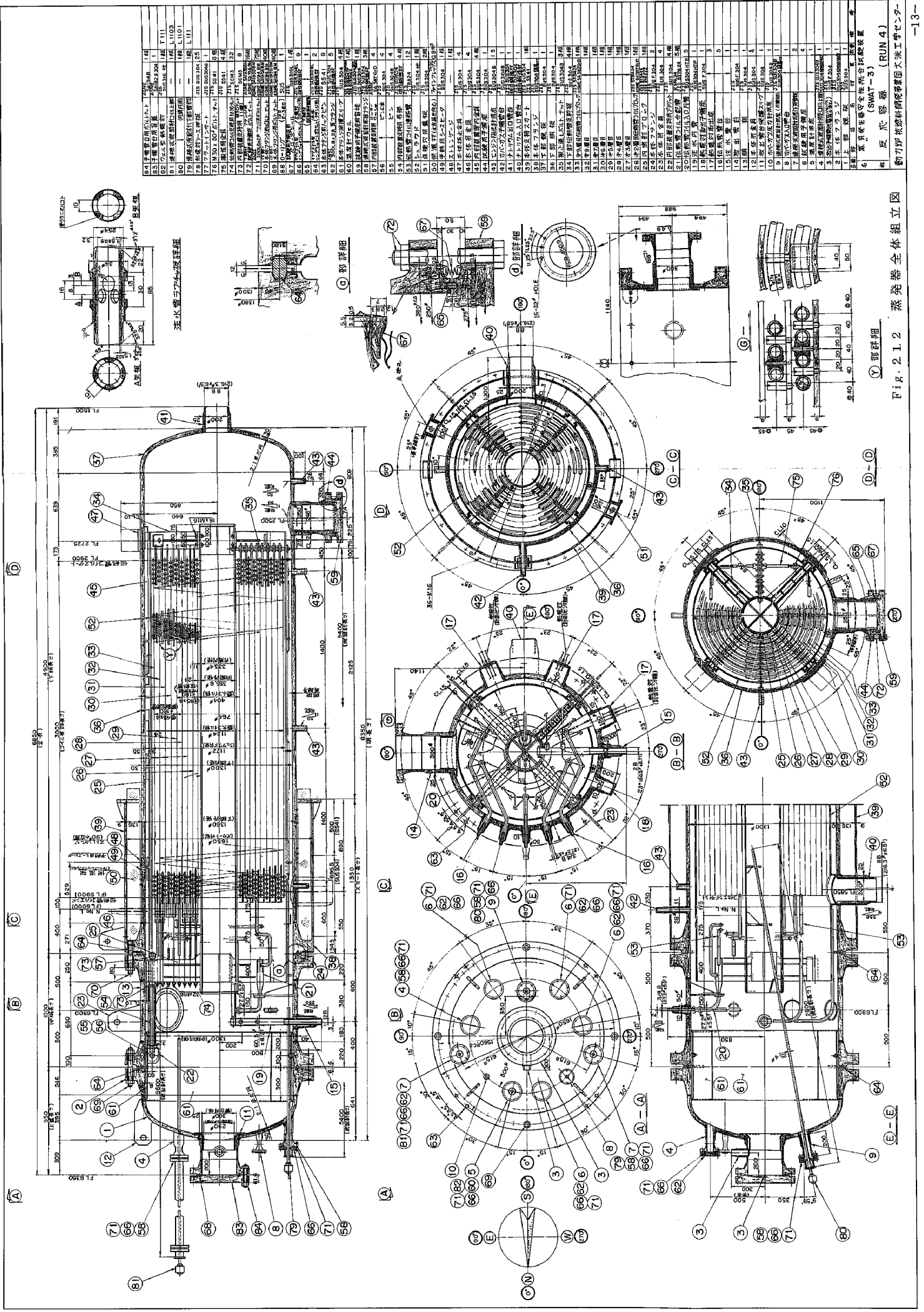
7. 参 考 文 献

- (1) 佐藤稔, SWATグループ, 「SWAT-3試験装置による大リーク・ナトリウム-水反応試験の概要」, 動力炉技報No. 25 (1978・2)
- (2) 広井博, 佐藤稔, 田辺裕美, 錦見正和, 吉岡直樹, 堀雅夫, 「蒸気発生器安全性総合試験装置 (SWAT-3) Run-4 試験結果 大リーク・ナトリウム-水反応試験 (第9報)」
PNC SN941 79-118 (1979.6)



FLOW DIAGRAM FOR SWAT-3

Fig. 2.1.1 FLOW DIAGRAM FOR SWAT-3



84	蒸気発生器用ボルト	78	蒸気発生器用ボルト	17	
82	27.1mm径ボルト	76	蒸気発生器用ボルト	16	7.111
81	蒸気発生器用ボルト	75	蒸気発生器用ボルト	15	L1103
80	蒸気発生器用ボルト	74	蒸気発生器用ボルト	14	L111
79	蒸気発生器用ボルト	73	蒸気発生器用ボルト	13	
78	蒸気発生器用ボルト	72	蒸気発生器用ボルト	12	
77	蒸気発生器用ボルト	71	蒸気発生器用ボルト	11	
76	蒸気発生器用ボルト	70	蒸気発生器用ボルト	10	
75	蒸気発生器用ボルト	69	蒸気発生器用ボルト	9	
74	蒸気発生器用ボルト	68	蒸気発生器用ボルト	8	
73	蒸気発生器用ボルト	67	蒸気発生器用ボルト	7	
72	蒸気発生器用ボルト	66	蒸気発生器用ボルト	6	
71	蒸気発生器用ボルト	65	蒸気発生器用ボルト	5	
70	蒸気発生器用ボルト	64	蒸気発生器用ボルト	4	
69	蒸気発生器用ボルト	63	蒸気発生器用ボルト	3	
68	蒸気発生器用ボルト	62	蒸気発生器用ボルト	2	
67	蒸気発生器用ボルト	61	蒸気発生器用ボルト	1	
66	蒸気発生器用ボルト	60	蒸気発生器用ボルト		
65	蒸気発生器用ボルト	59	蒸気発生器用ボルト		
64	蒸気発生器用ボルト	58	蒸気発生器用ボルト		
63	蒸気発生器用ボルト	57	蒸気発生器用ボルト		
62	蒸気発生器用ボルト	56	蒸気発生器用ボルト		
61	蒸気発生器用ボルト	55	蒸気発生器用ボルト		
60	蒸気発生器用ボルト	54	蒸気発生器用ボルト		
59	蒸気発生器用ボルト	53	蒸気発生器用ボルト		
58	蒸気発生器用ボルト	52	蒸気発生器用ボルト		
57	蒸気発生器用ボルト	51	蒸気発生器用ボルト		
56	蒸気発生器用ボルト	50	蒸気発生器用ボルト		
55	蒸気発生器用ボルト	49	蒸気発生器用ボルト		
54	蒸気発生器用ボルト	48	蒸気発生器用ボルト		
53	蒸気発生器用ボルト	47	蒸気発生器用ボルト		
52	蒸気発生器用ボルト	46	蒸気発生器用ボルト		
51	蒸気発生器用ボルト	45	蒸気発生器用ボルト		
50	蒸気発生器用ボルト	44	蒸気発生器用ボルト		
49	蒸気発生器用ボルト	43	蒸気発生器用ボルト		
48	蒸気発生器用ボルト	42	蒸気発生器用ボルト		
47	蒸気発生器用ボルト	41	蒸気発生器用ボルト		
46	蒸気発生器用ボルト	40	蒸気発生器用ボルト		
45	蒸気発生器用ボルト	39	蒸気発生器用ボルト		
44	蒸気発生器用ボルト	38	蒸気発生器用ボルト		
43	蒸気発生器用ボルト	37	蒸気発生器用ボルト		
42	蒸気発生器用ボルト	36	蒸気発生器用ボルト		
41	蒸気発生器用ボルト	35	蒸気発生器用ボルト		
40	蒸気発生器用ボルト	34	蒸気発生器用ボルト		
39	蒸気発生器用ボルト	33	蒸気発生器用ボルト		
38	蒸気発生器用ボルト	32	蒸気発生器用ボルト		
37	蒸気発生器用ボルト	31	蒸気発生器用ボルト		
36	蒸気発生器用ボルト	30	蒸気発生器用ボルト		
35	蒸気発生器用ボルト	29	蒸気発生器用ボルト		
34	蒸気発生器用ボルト	28	蒸気発生器用ボルト		
33	蒸気発生器用ボルト	27	蒸気発生器用ボルト		
32	蒸気発生器用ボルト	26	蒸気発生器用ボルト		
31	蒸気発生器用ボルト	25	蒸気発生器用ボルト		
30	蒸気発生器用ボルト	24	蒸気発生器用ボルト		
29	蒸気発生器用ボルト	23	蒸気発生器用ボルト		
28	蒸気発生器用ボルト	22	蒸気発生器用ボルト		
27	蒸気発生器用ボルト	21	蒸気発生器用ボルト		
26	蒸気発生器用ボルト	20	蒸気発生器用ボルト		
25	蒸気発生器用ボルト	19	蒸気発生器用ボルト		
24	蒸気発生器用ボルト	18	蒸気発生器用ボルト		
23	蒸気発生器用ボルト	17	蒸気発生器用ボルト		
22	蒸気発生器用ボルト	16	蒸気発生器用ボルト		
21	蒸気発生器用ボルト	15	蒸気発生器用ボルト		
20	蒸気発生器用ボルト	14	蒸気発生器用ボルト		
19	蒸気発生器用ボルト	13	蒸気発生器用ボルト		
18	蒸気発生器用ボルト	12	蒸気発生器用ボルト		
17	蒸気発生器用ボルト	11	蒸気発生器用ボルト		
16	蒸気発生器用ボルト	10	蒸気発生器用ボルト		
15	蒸気発生器用ボルト	9	蒸気発生器用ボルト		
14	蒸気発生器用ボルト	8	蒸気発生器用ボルト		
13	蒸気発生器用ボルト	7	蒸気発生器用ボルト		
12	蒸気発生器用ボルト	6	蒸気発生器用ボルト		
11	蒸気発生器用ボルト	5	蒸気発生器用ボルト		
10	蒸気発生器用ボルト	4	蒸気発生器用ボルト		
9	蒸気発生器用ボルト	3	蒸気発生器用ボルト		
8	蒸気発生器用ボルト	2	蒸気発生器用ボルト		
7	蒸気発生器用ボルト	1	蒸気発生器用ボルト		
6	蒸気発生器用ボルト				

Fig. 2.1.2 蒸気発生器全体組立図

Table 2.2.1 試験条件のまとめ (Run-4)

項	目	単 位	Run4
試験年月日			1977. 3. 18
反応容器 内部構造物 型式	反 応 容 器		蒸 発 器
	内 部 構 造 物 型 式		ヘリカル・東芝/IHI
	反 応 点 位 置		ヘリカル上部 5層目
			FL.5460 (Na液面下 640mm)
注 水 条 件	注水孔・ラプチャ板形式		円筒型・19φ×2以上
	ラプチャ板設定圧		
	RD 501	kg/cm ²	100 ⁺⁰ ₋₁₀ (350℃)
	RD 502	kg/cm ²	100 ⁺⁰ ₋₅₀ (500℃)
	準 定 常 注 水 率	kg/sec	9.0(初期)~7.2(後期)
	全 注 水 量	kg	83
	注 水 配 管 温 度	℃	254~386
	水 加 熱 器 温 度	℃	306
	" 圧 力	kg/cm ² a	155
	" 初 期 給 水 量	kg	390
	注水弁 (V 502) 弁開時間	sec	9.4
ナトリウム系条件	ナ ト リ ウ ム 温 度	℃	380
	ナ ト リ ウ ム 流 量	ℓ/sec	静 止
	カ バ ー ガ ス 圧		
	蒸 発 器	kg/cm ² G	0.5
	過 熱 器	kg/cm ² G	0.5
	カ バ ー ガ ス 使 用 ガ ス		アルゴン
放 出 系 条 件	ラプチャ板設定圧		
	RD 601	kg/cm ²	3 (485℃)
	RD 602	kg/cm ²	3 (515℃)
	RD 603	kg/cm ²	1.5 (150℃)
	放出系配管取出し位置		側 部
	運 転 温 度		
	放 出 系 配 管	℃	267~298
	収 納 容 器	℃	358
	カ バ ー ガ ス 圧 (収納容器)	kg/cm ² G	0.5
	カ バ ー ガ ス 使 用 ガ ス		アルゴン

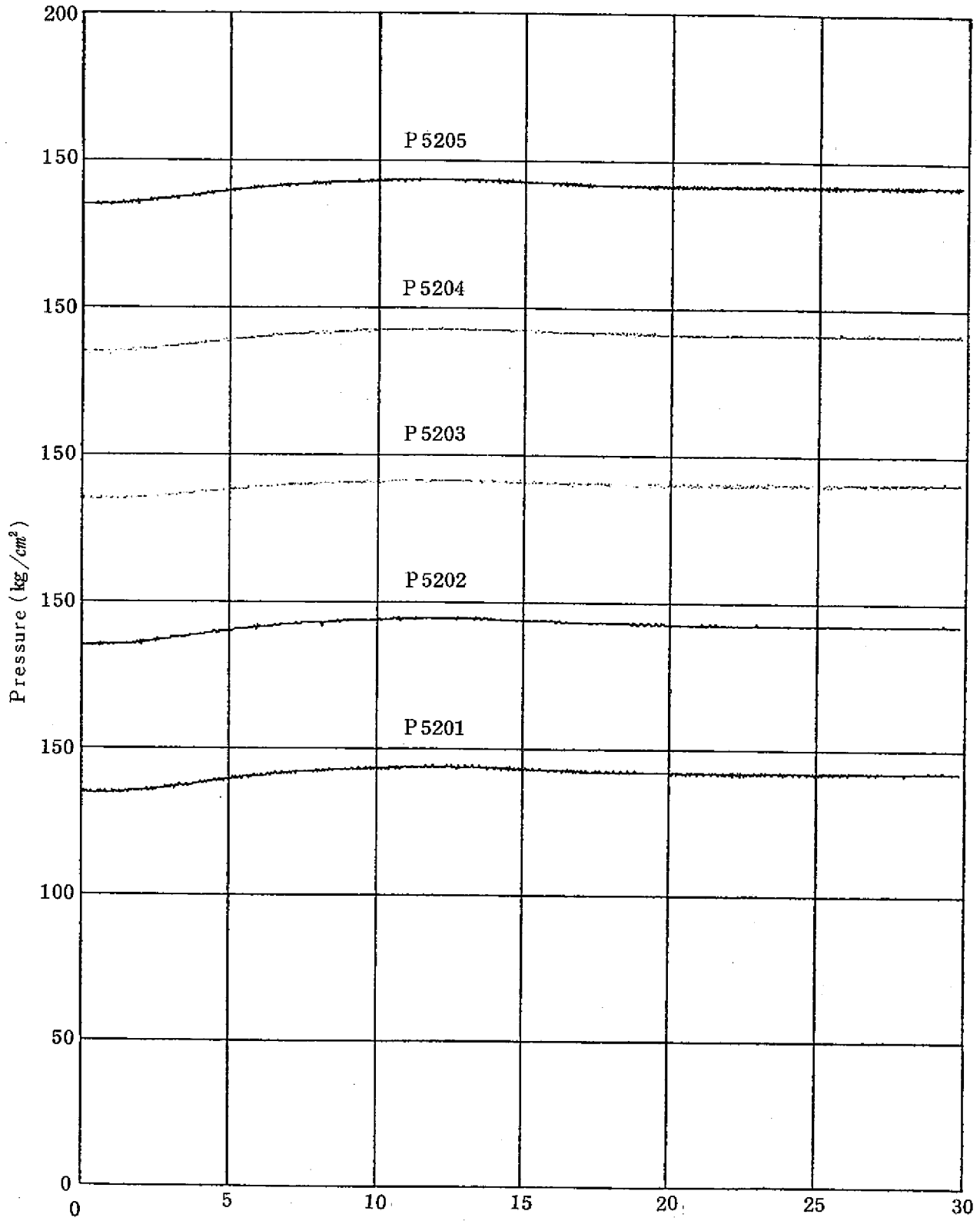


Fig. 2.2.1 Pressure Transient of Pressurized Tubes

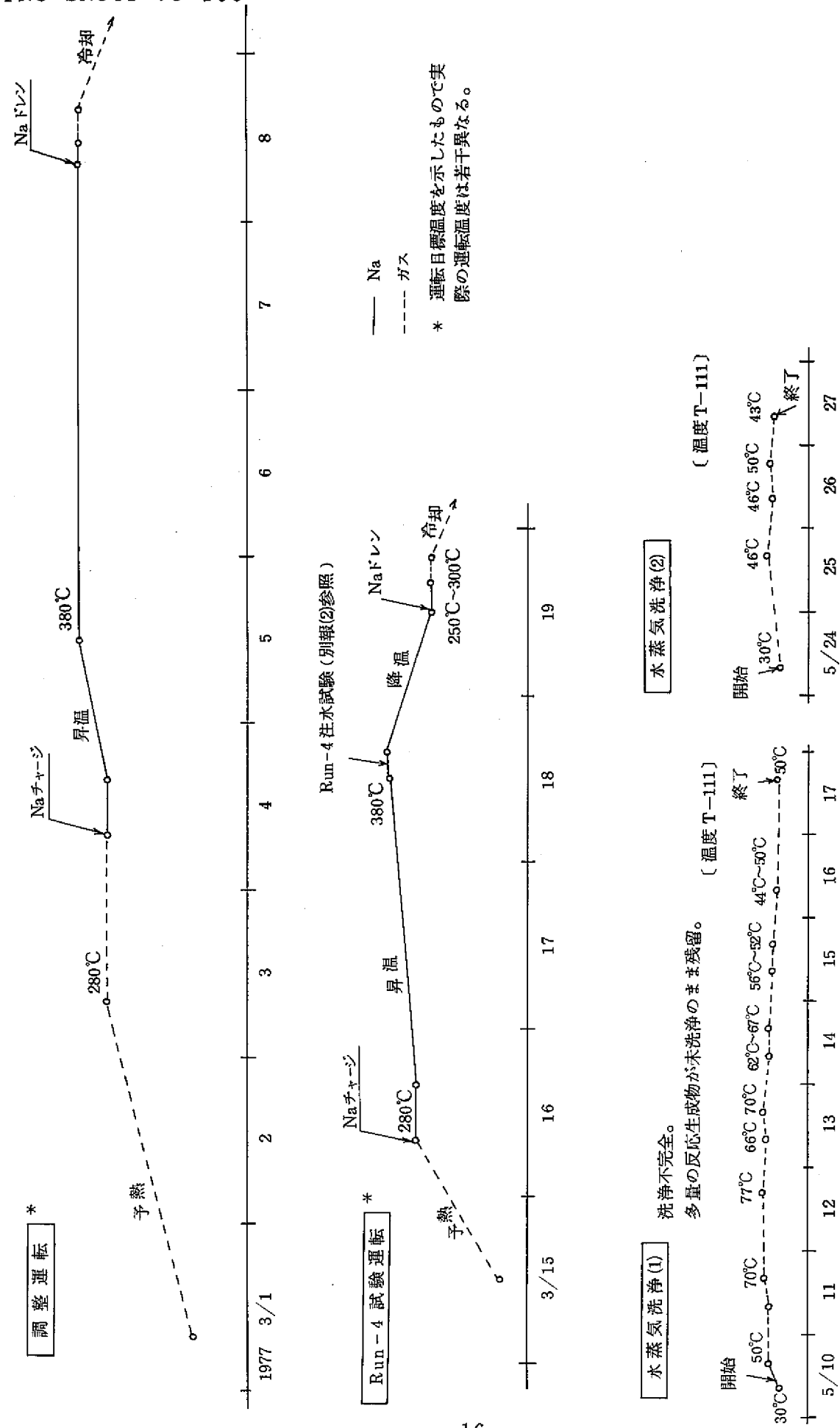


Fig. 2.2.2 蒸発器の運転履歴の概要

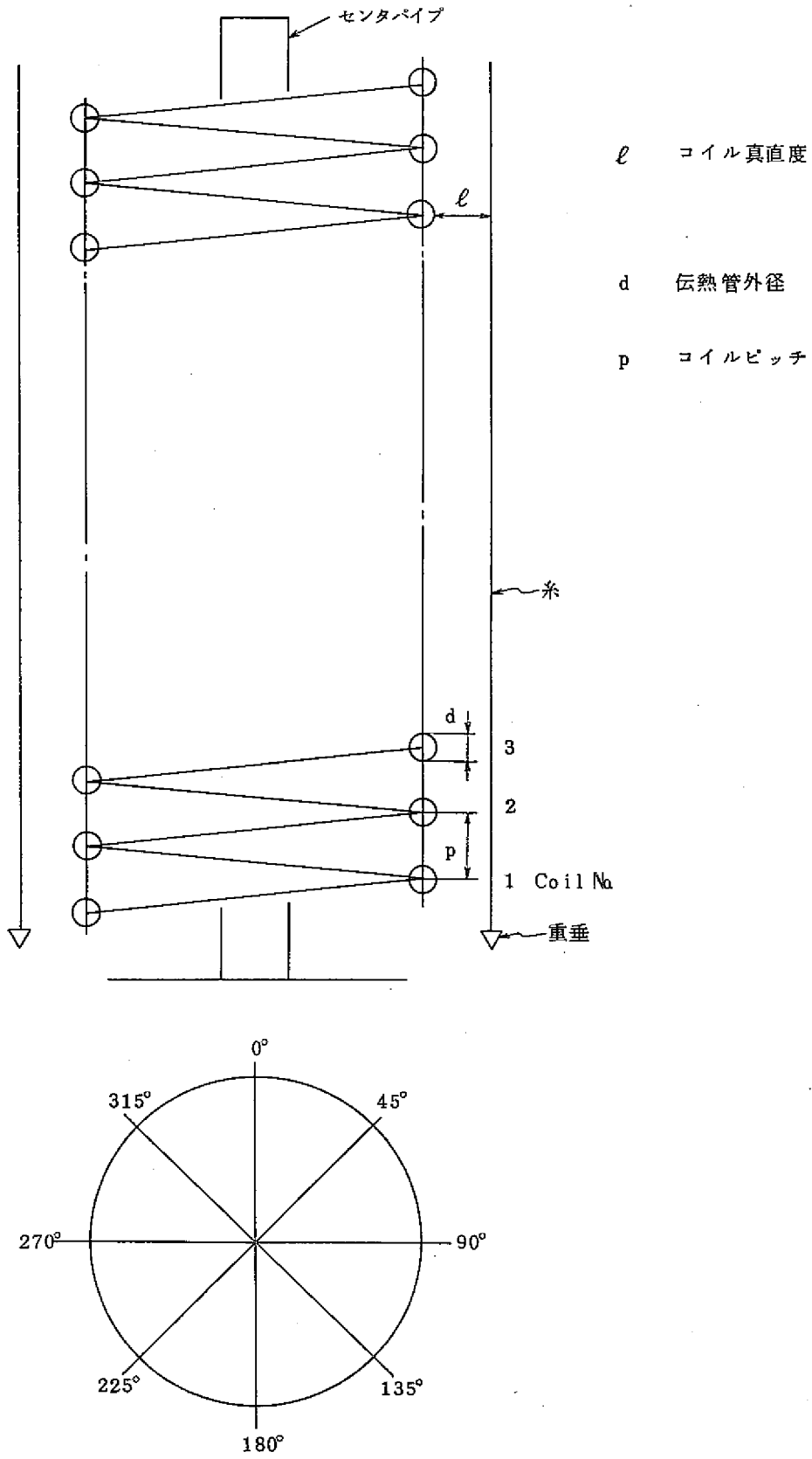
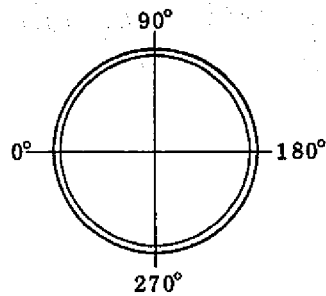
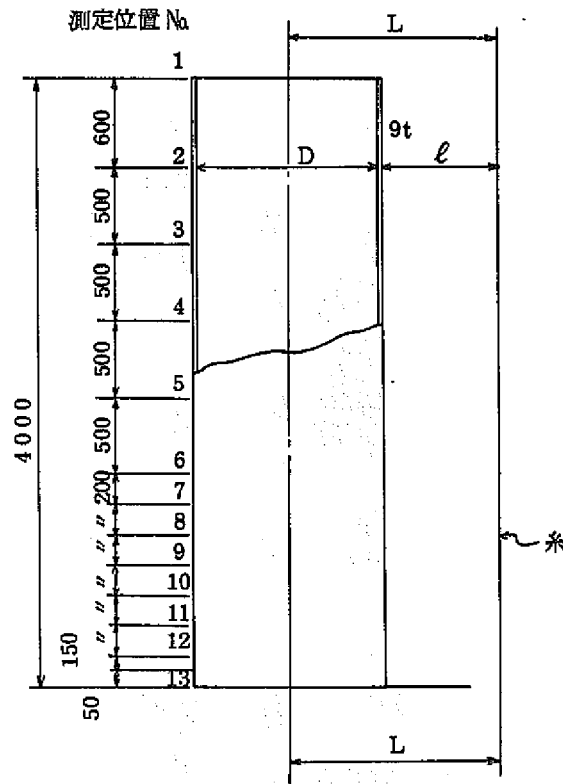


Fig. 3.2.1 コイル測定要領



設計寸法 $D = 1172\phi$
 L寸法設定値
 試験前 650 mm
 試験後 750 mm

Fig. 3.2.2 シュラウド測定要領

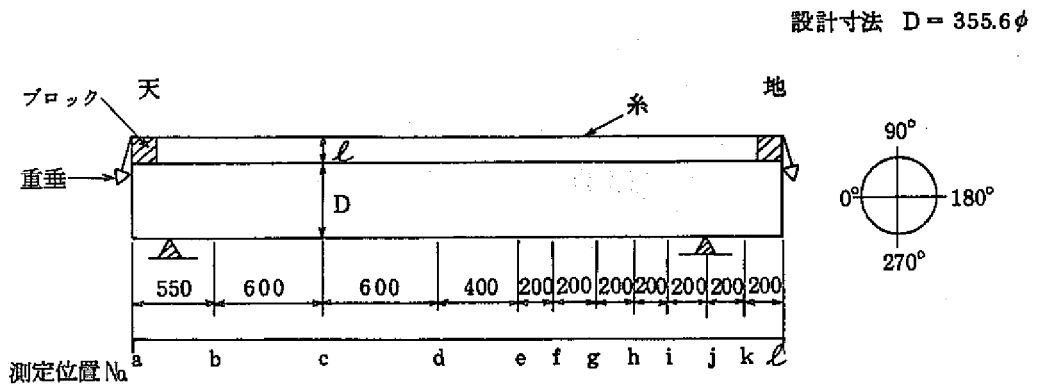


Fig. 3.2.3 センタパイプ測定要領



Fig. 4.1.1 蒸発器内から取り出された内部構造物

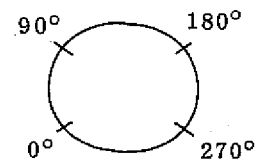
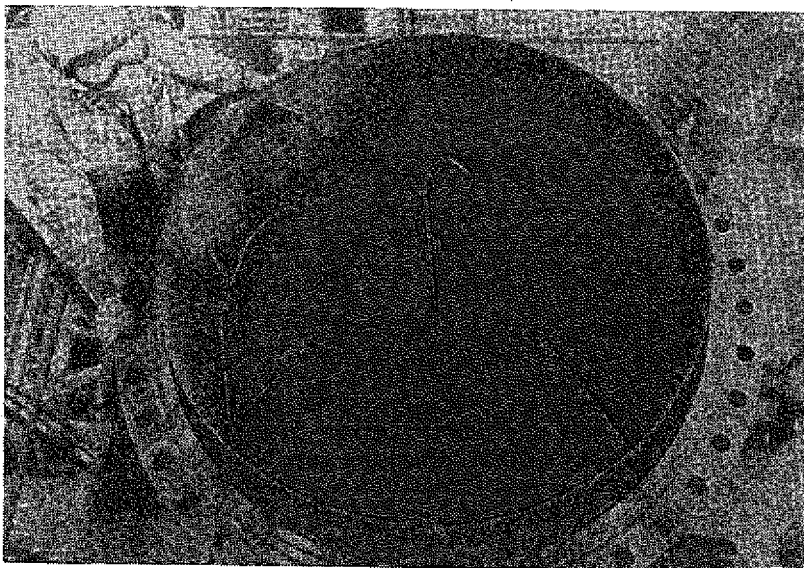


Fig. 4.1.2 蒸発器の内部

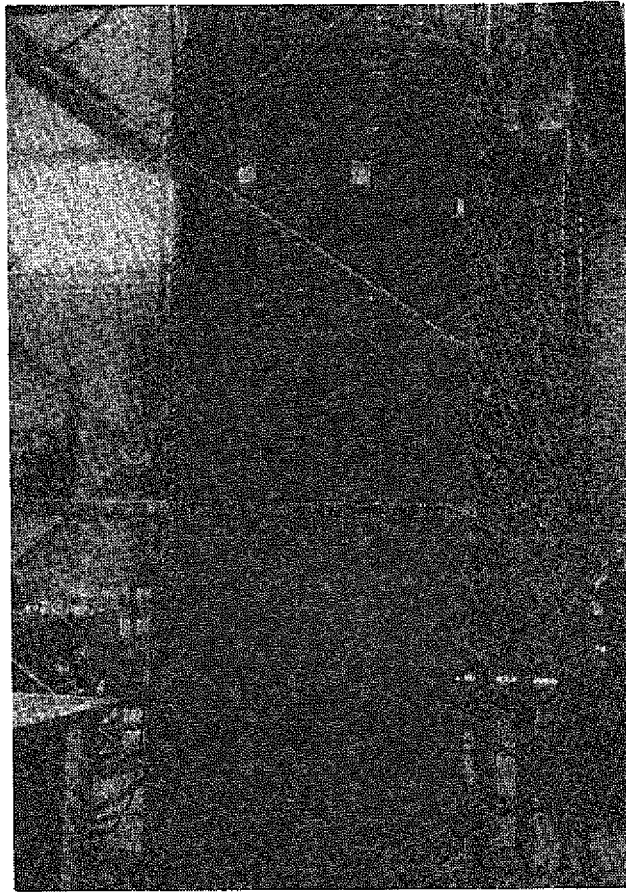


Fig. 4.1.3 伝熱管コイル(9層目)全体

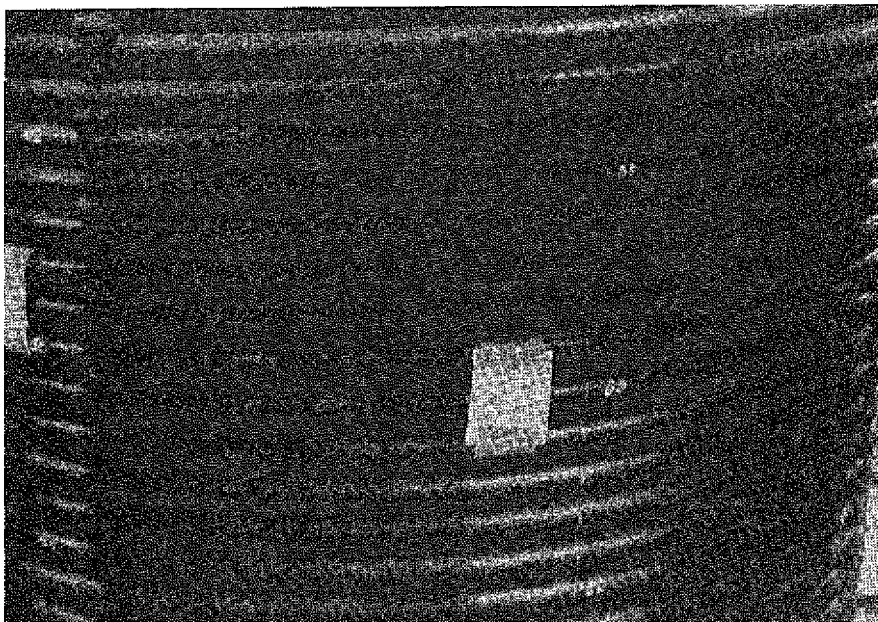


Fig. 4.1.4 伝熱管コイル(9層目)注水点付近

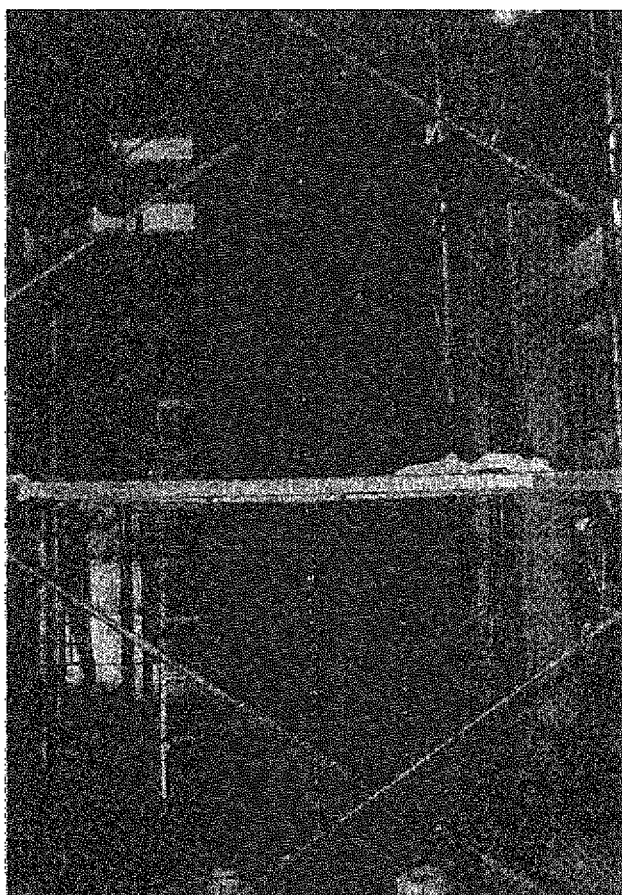


Fig. 4.1.5 伝熱管コイル(7層目)全体

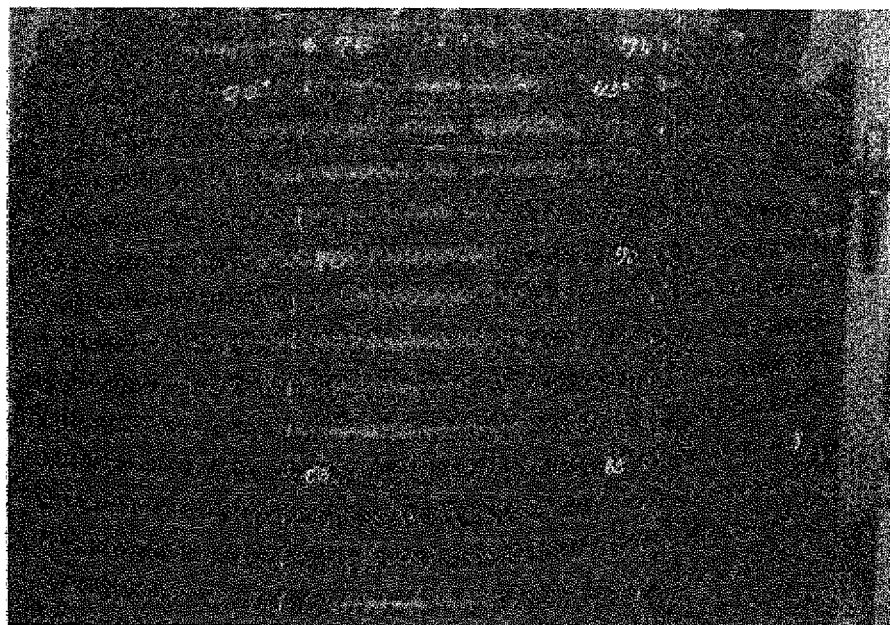


Fig. 4.1.6 伝熱管コイル(7層目)注水点付近

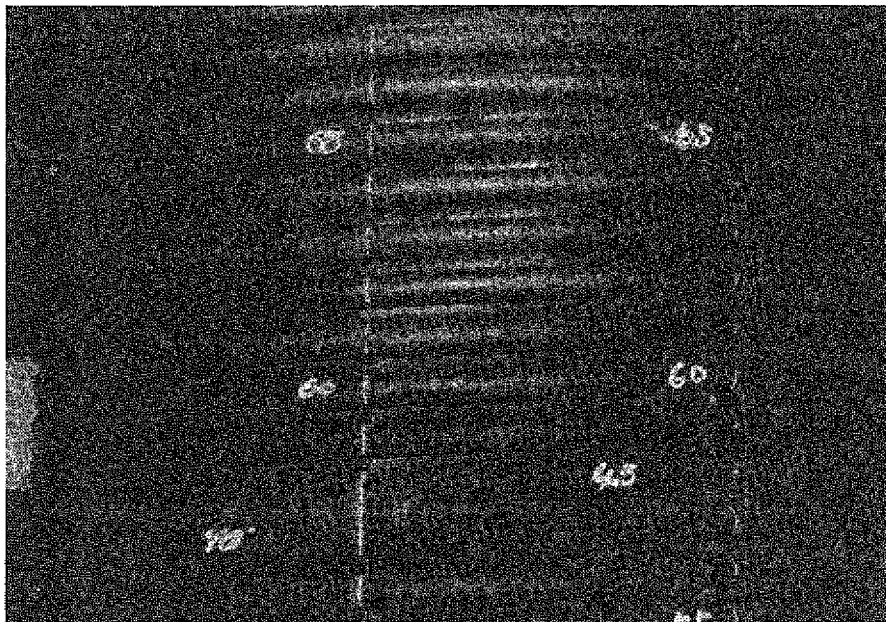


Fig. 4.1.7 伝熱管コイル（6層目）注水点付近

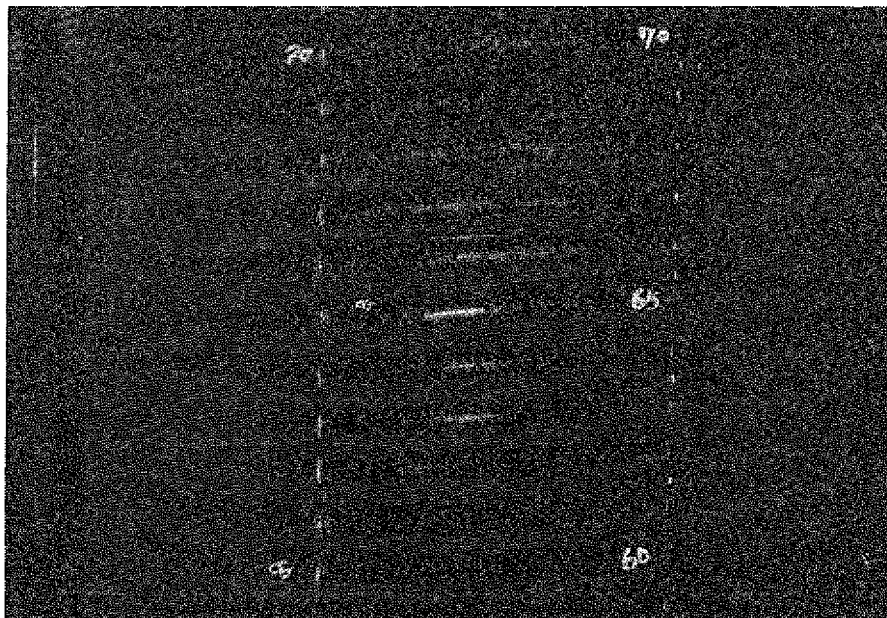


Fig. 4.1.8 伝熱管コイル（5層目）注水点付近

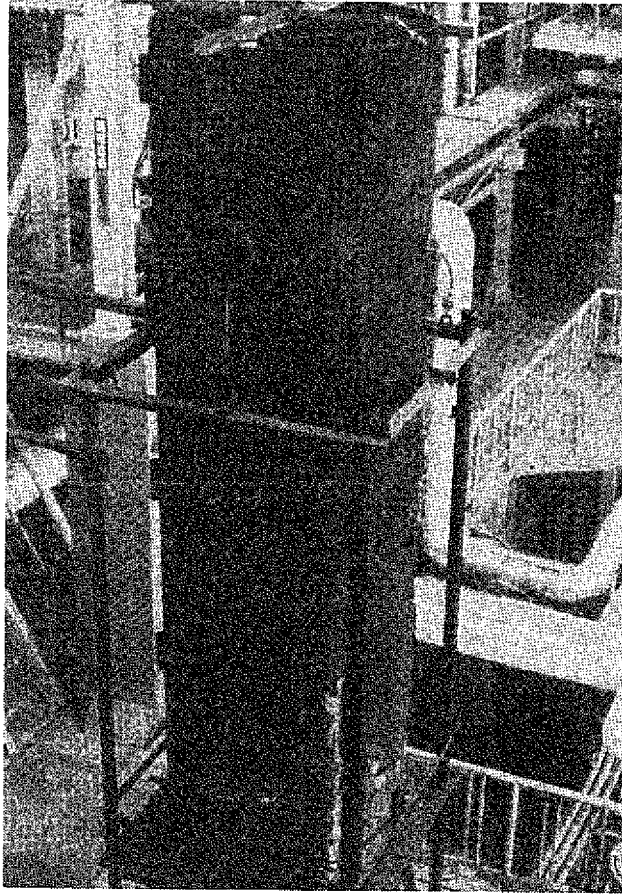


Fig. 4.1.9 シュラウド外観

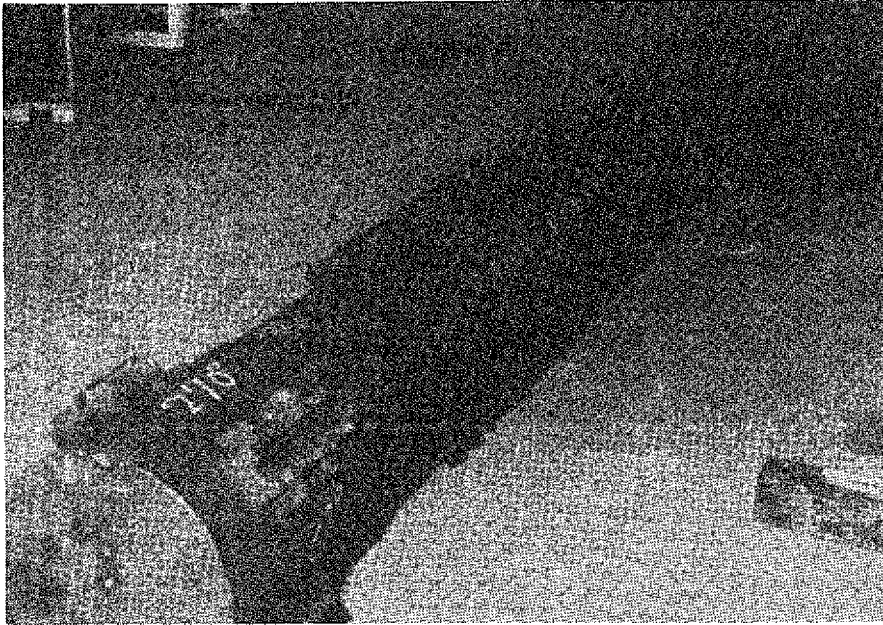


Fig. 4.1.10 センタパイプ

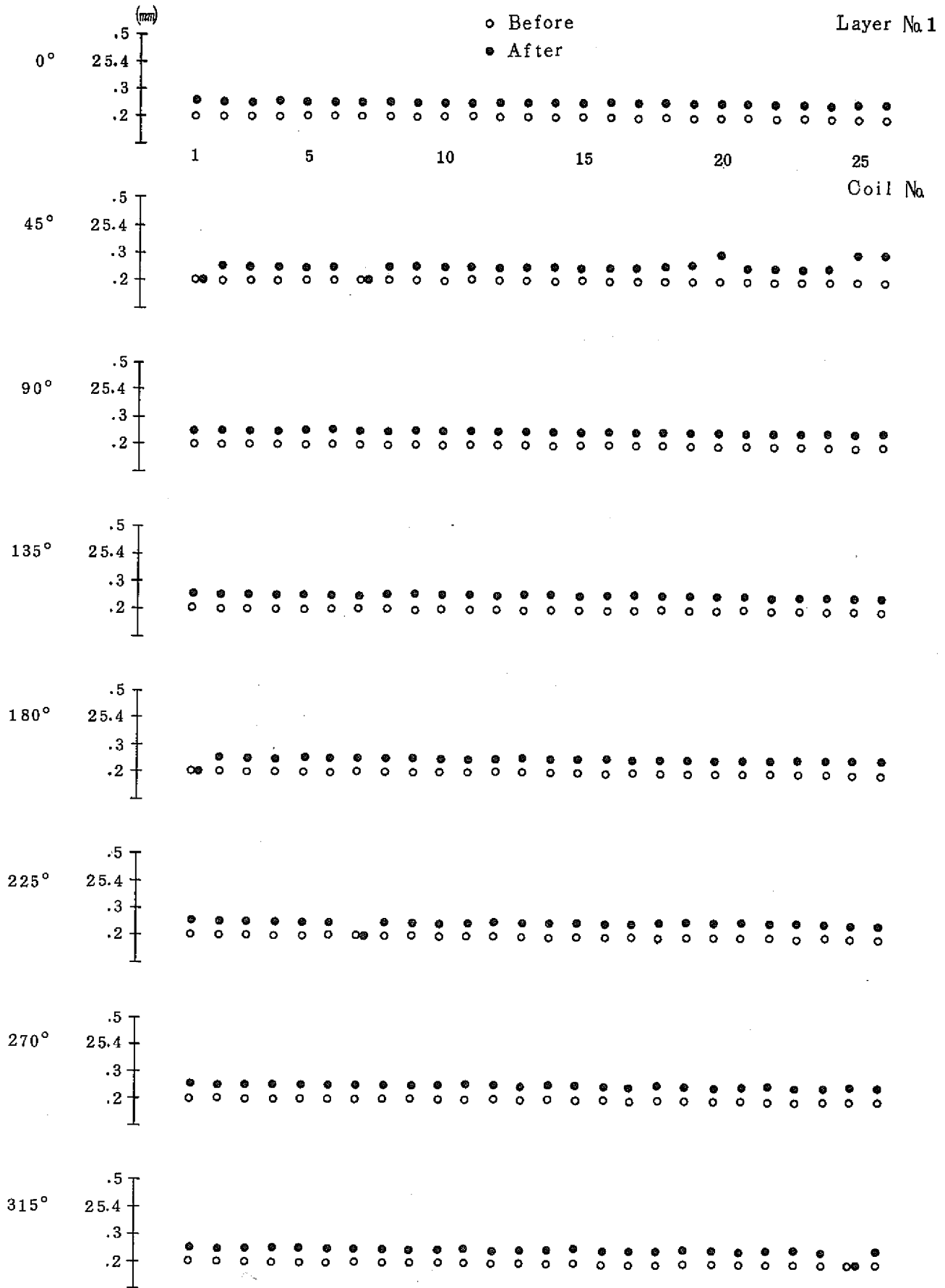


Fig. 4.2.1 (a) 伝熱管外径(1)

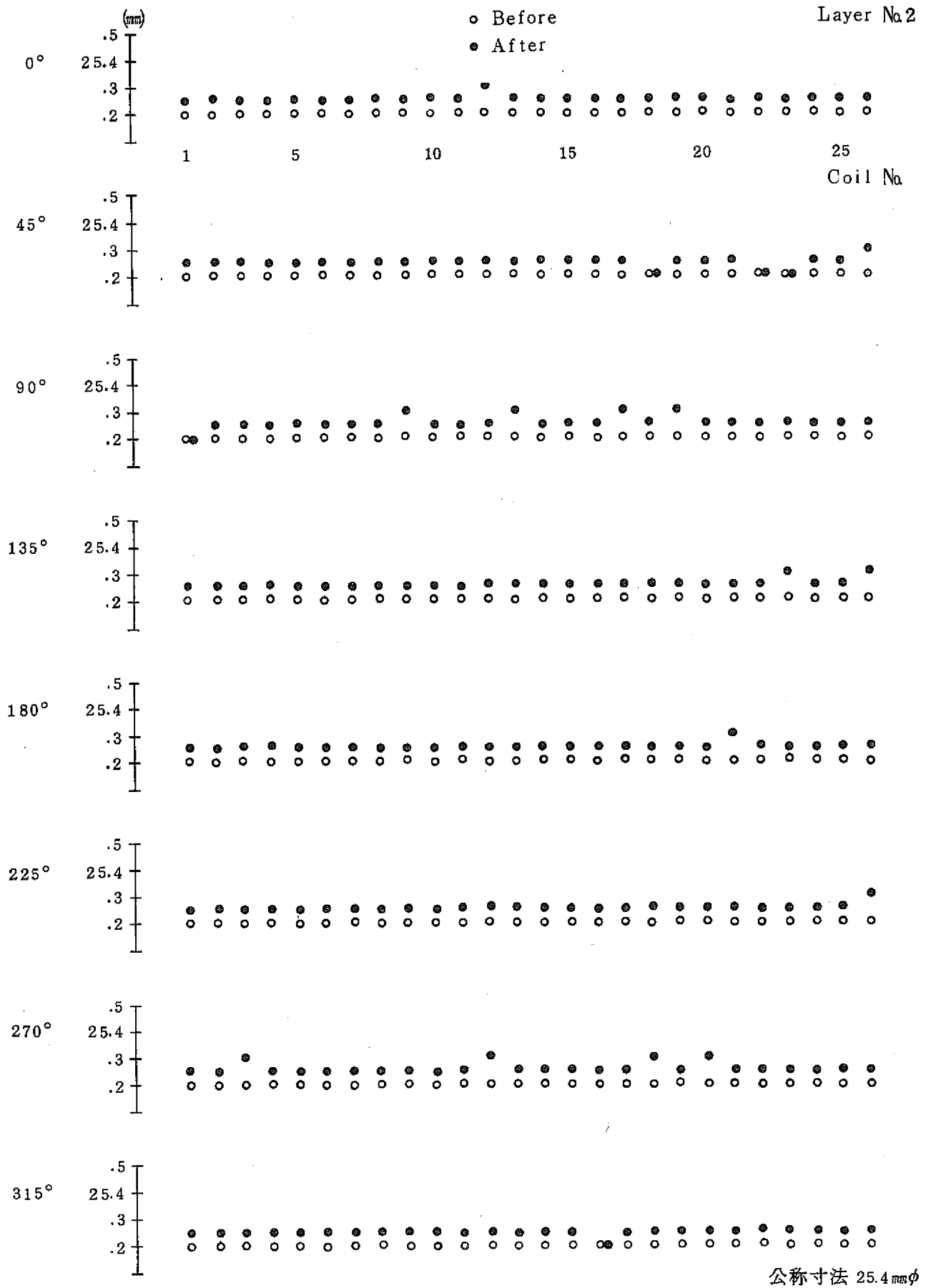


Fig. 4.2.1 (b) 伝熱管外径(2)

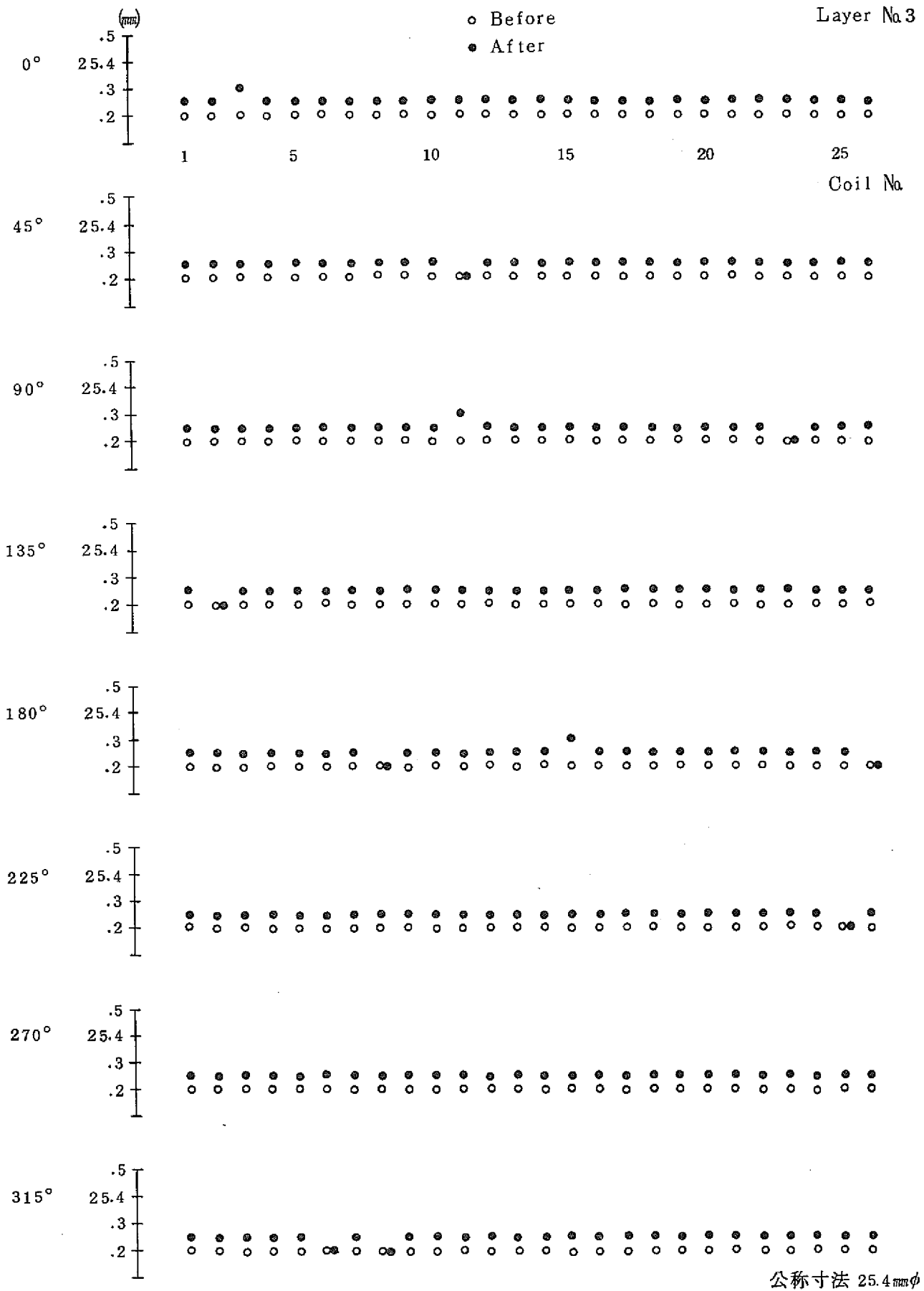


Fig. 4.2.1(c) 伝熱管外径(3)

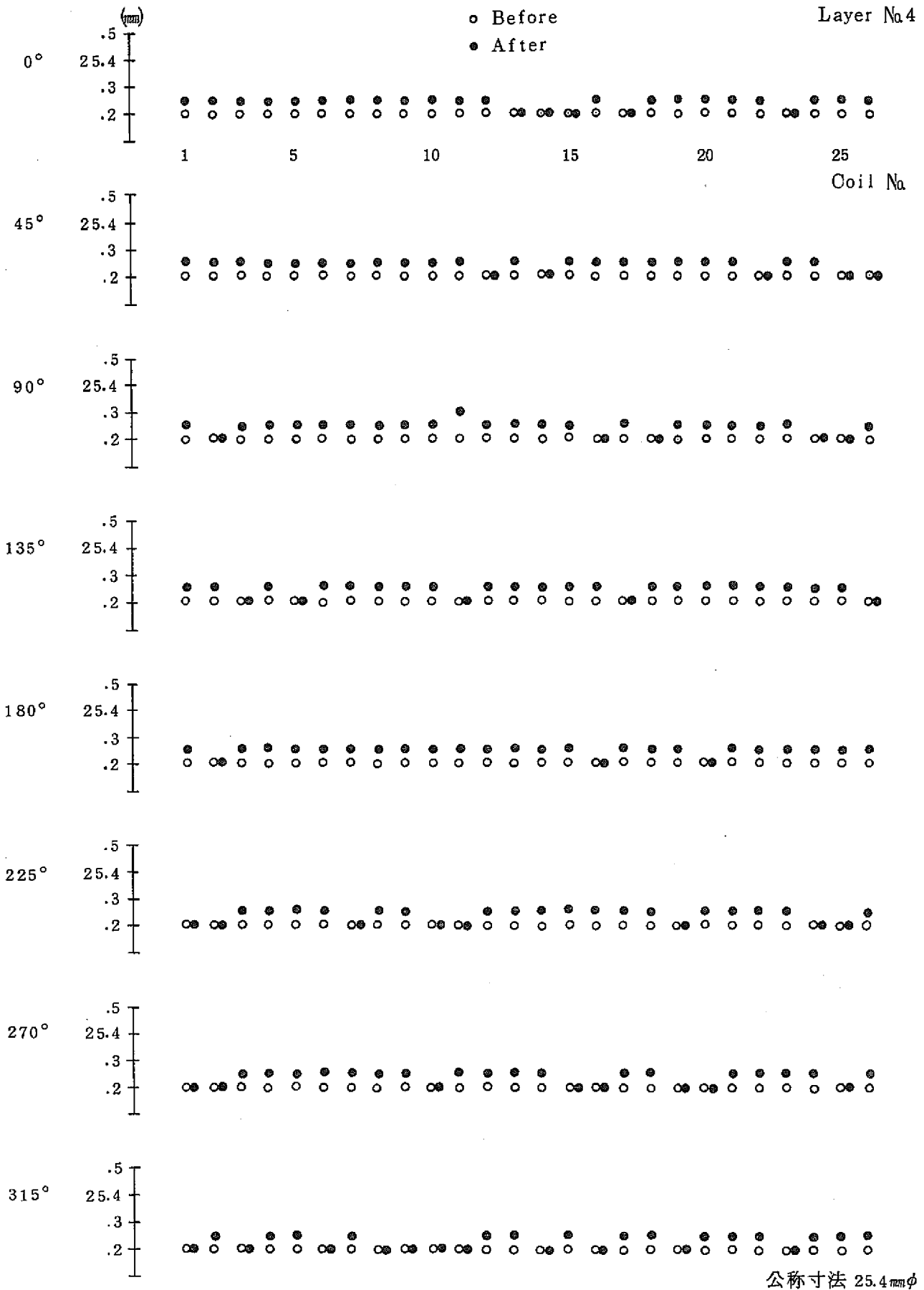


Fig. 4.2.1 (d) 伝熱管外径(4)

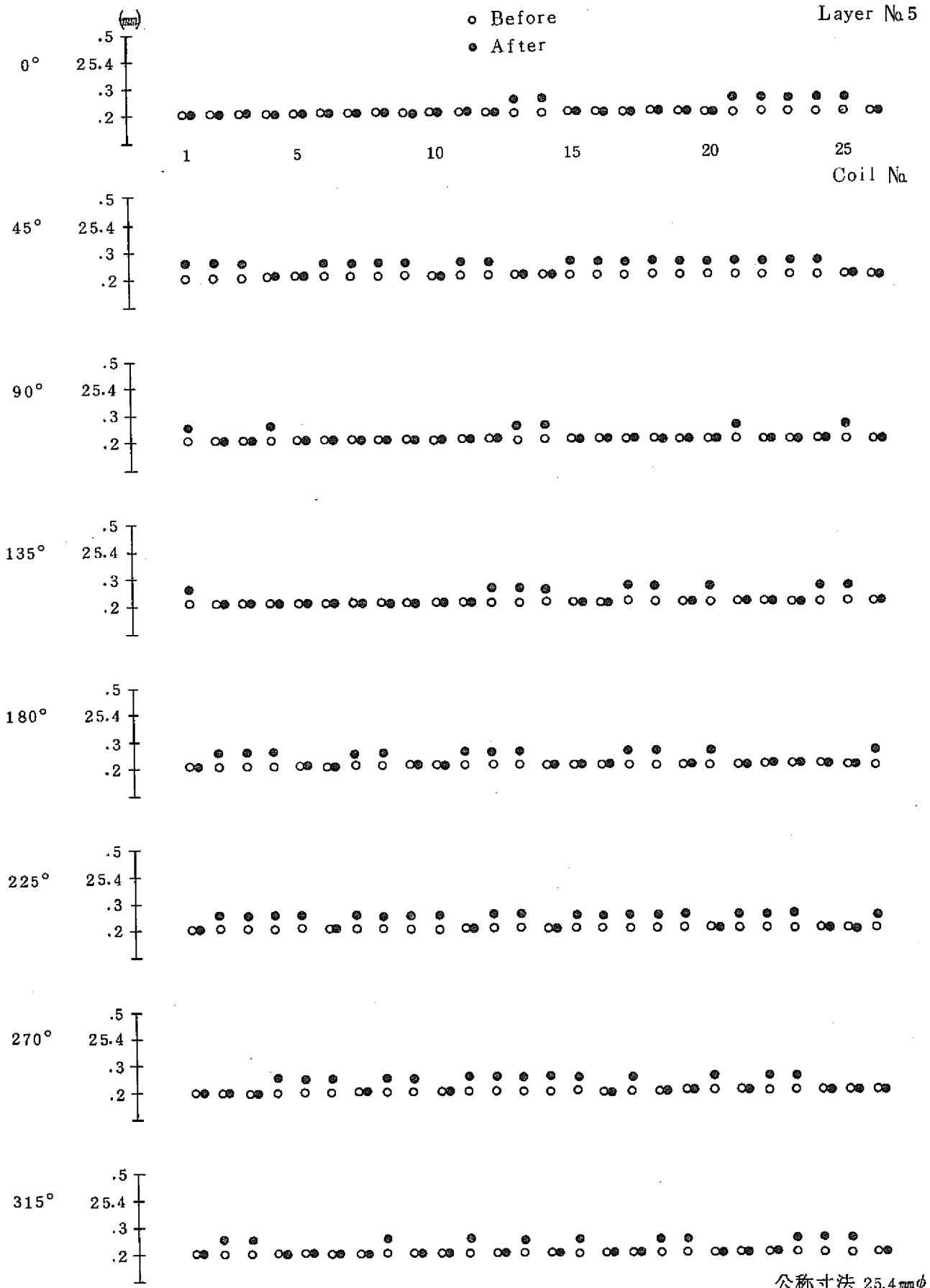


Fig. 4.2.1(e) 伝熱管外径(5)

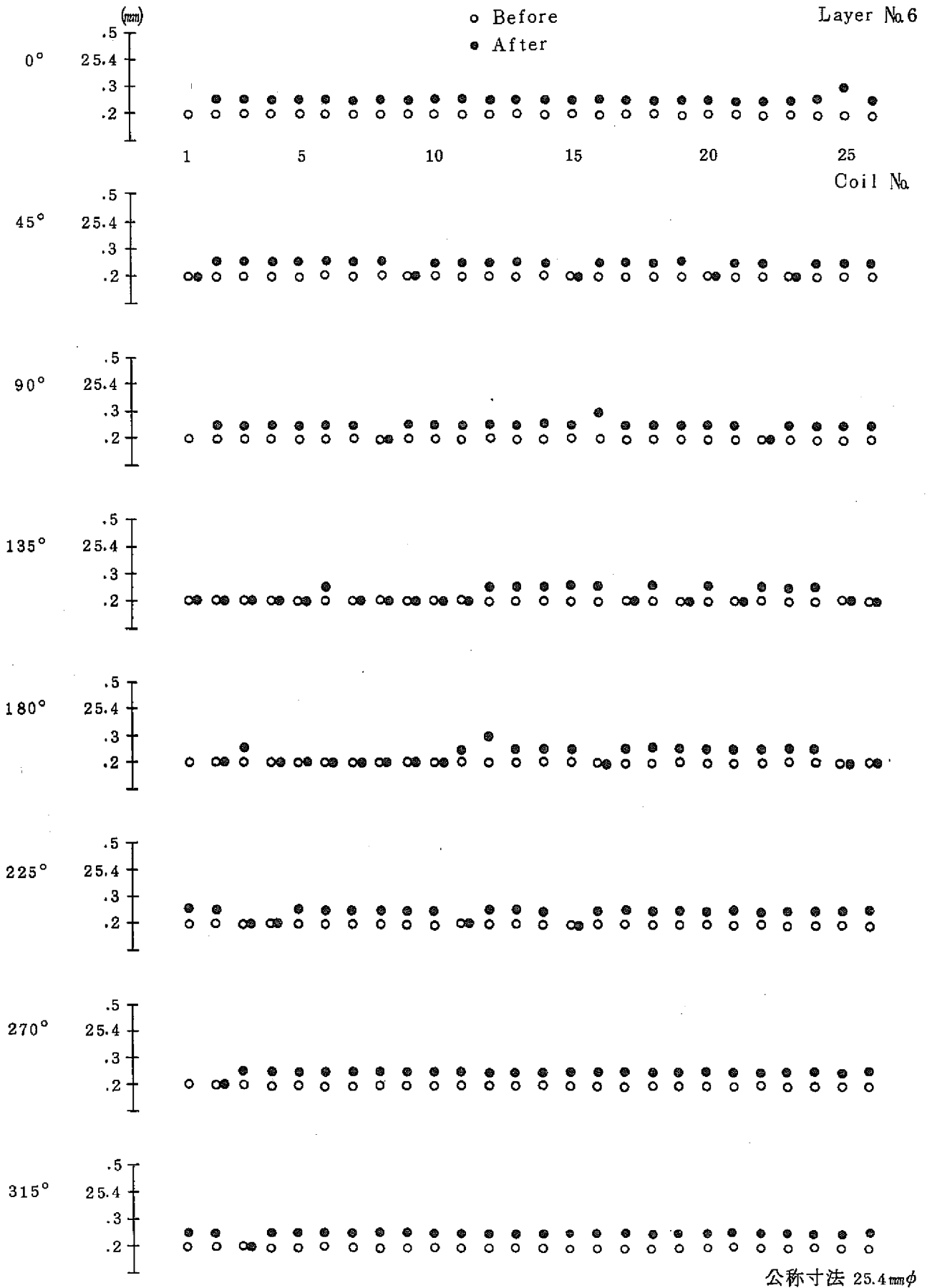


Fig. 4.2.1 (f) 伝熱管外径(6)

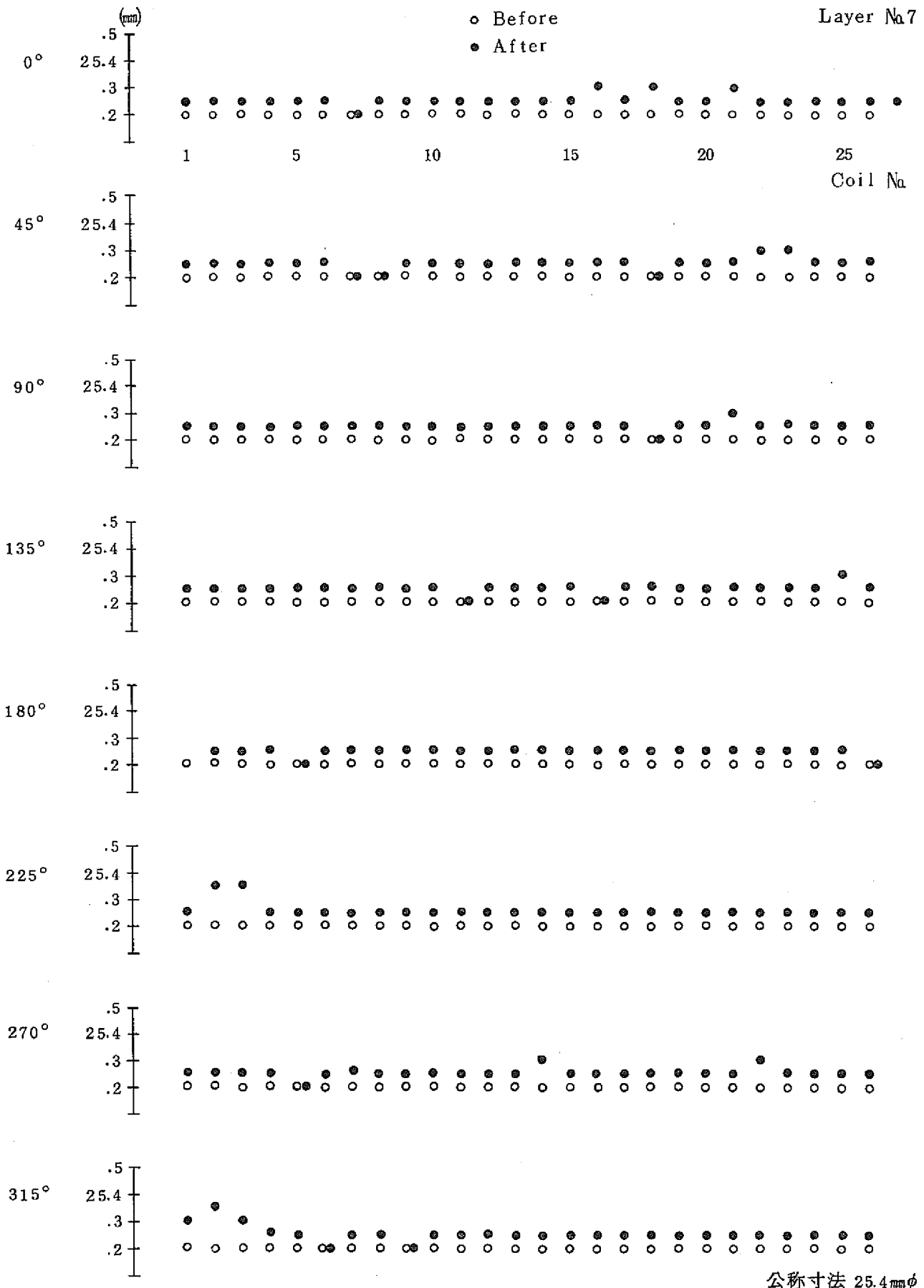


Fig. 4.2.1 (g) 伝熱管外径(7)

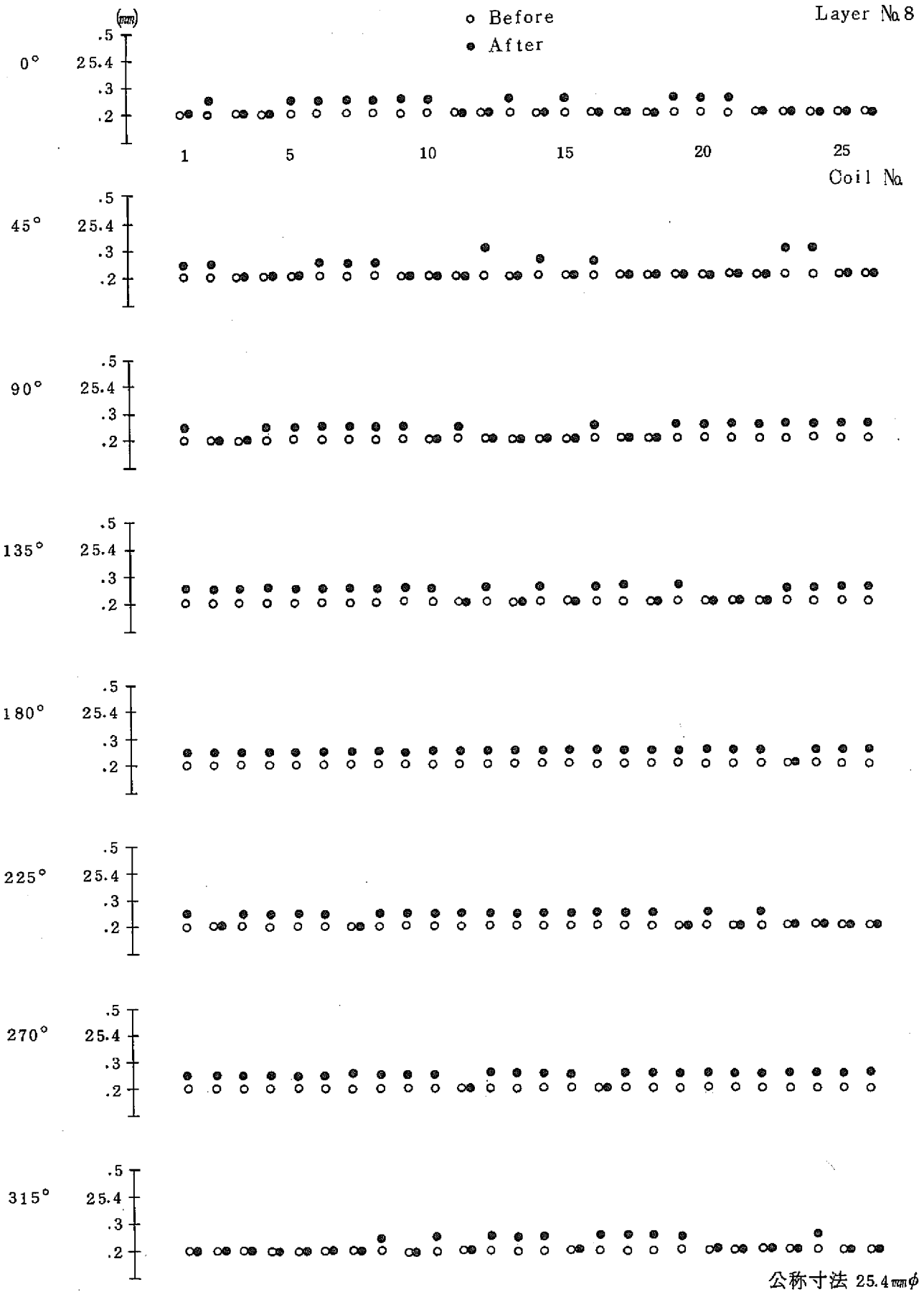


Fig. 4.2.1(h) 伝熱管外径(8)

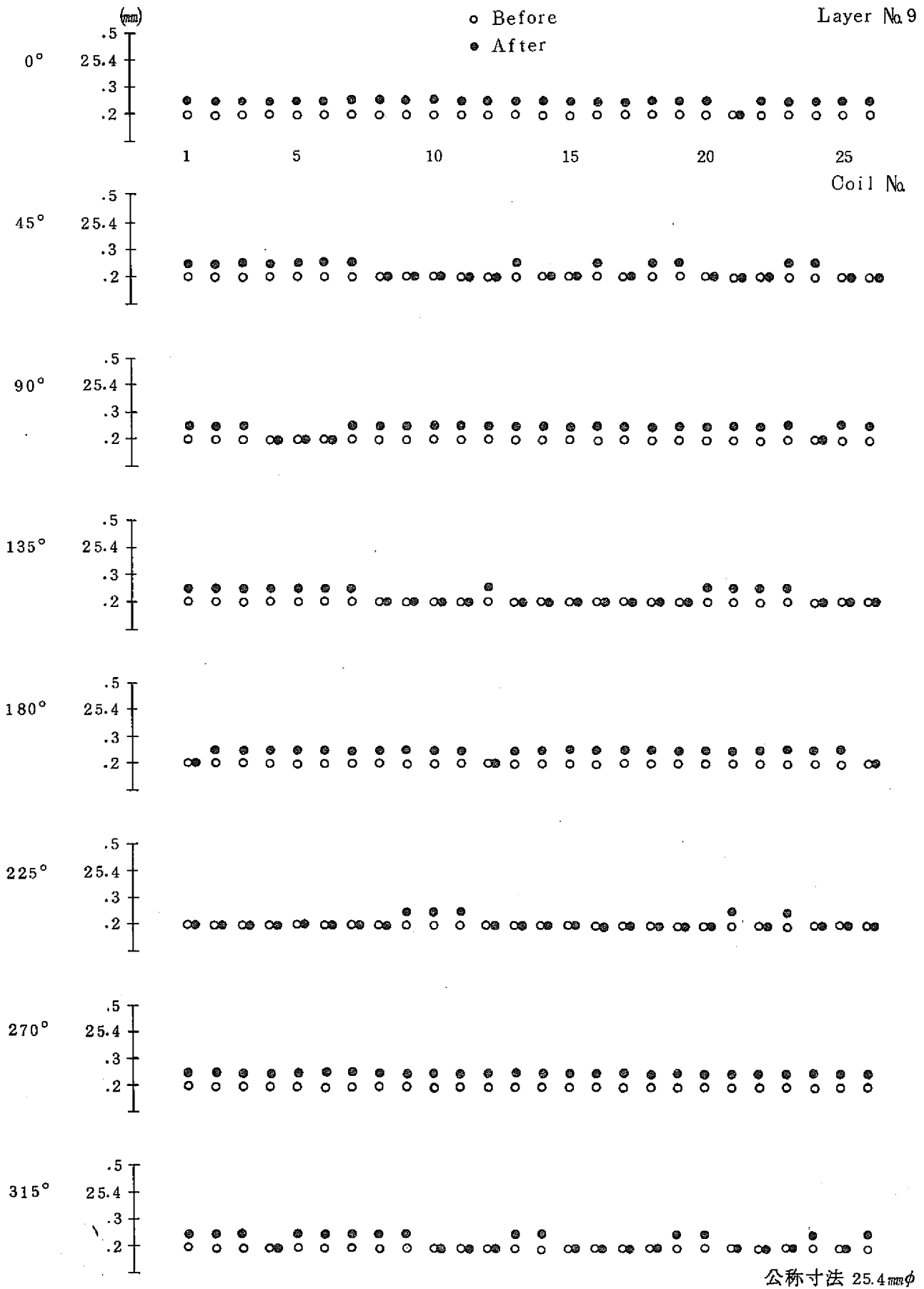


Fig. 4.2.1 (i) 伝熱管外径(9)

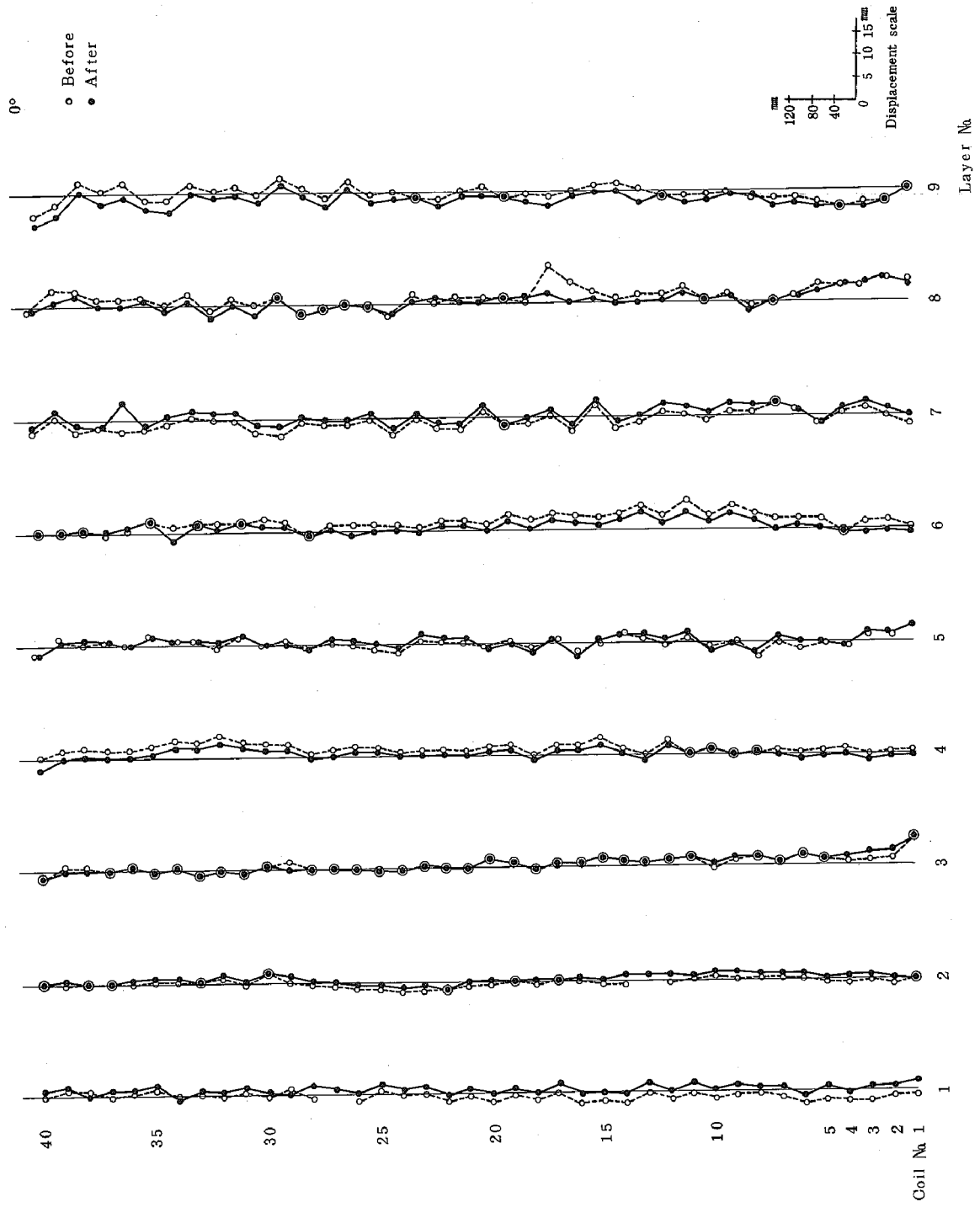


Fig. 4.3.1(a) コイル真直度 (I)

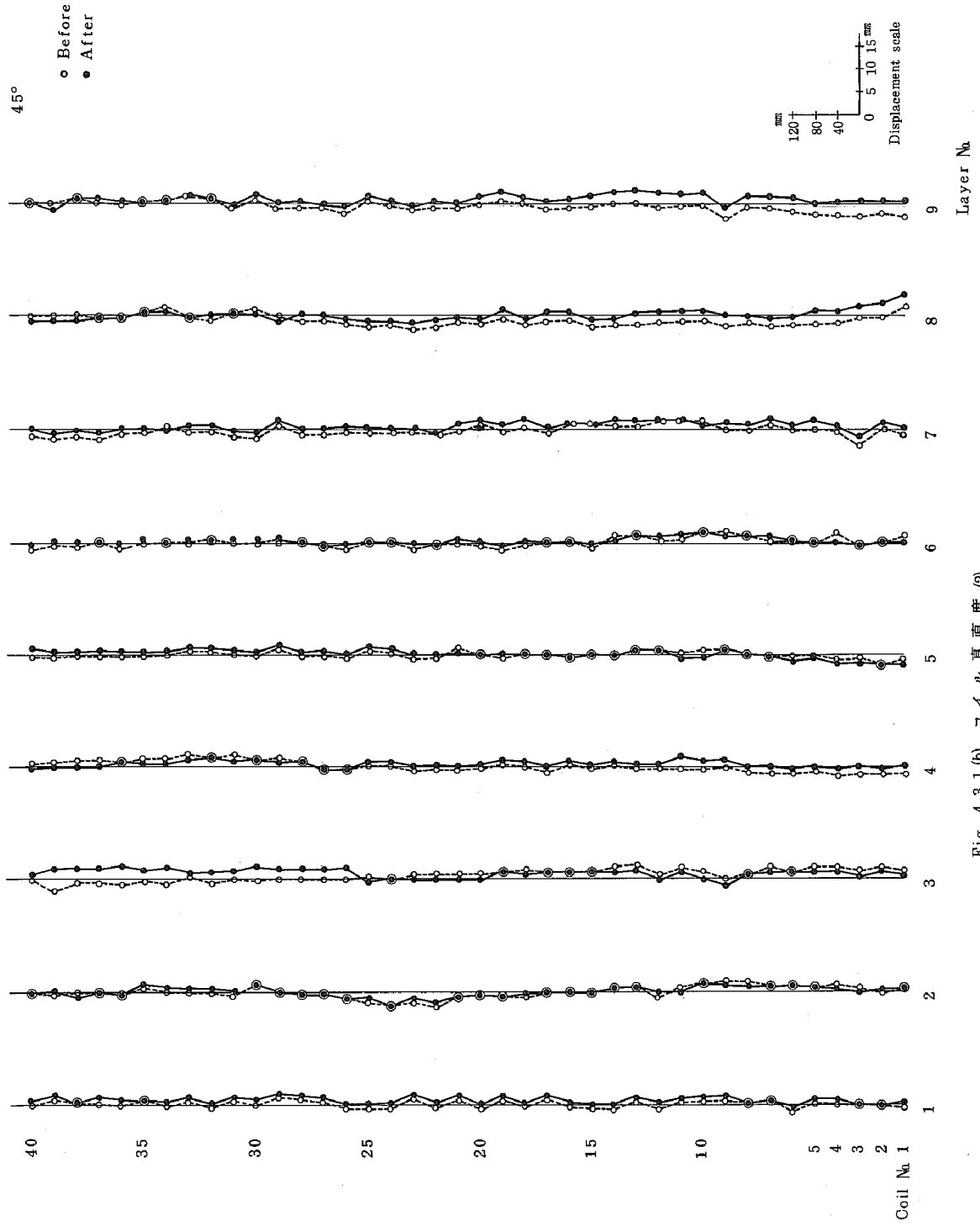


Fig. 4.3.1(b) コイル真直度(2)

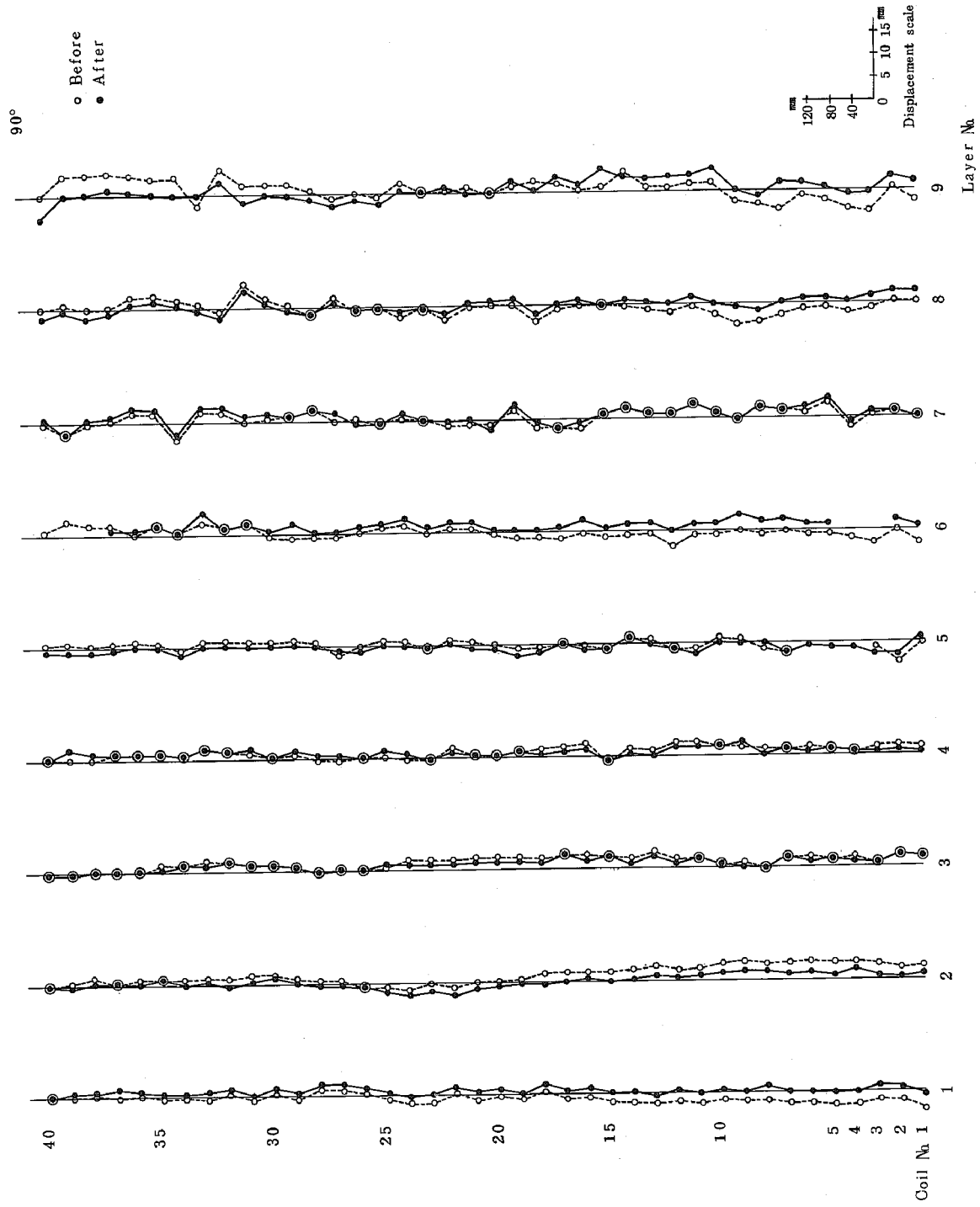


Fig. 4.3.1(c) コイル真直度(8)

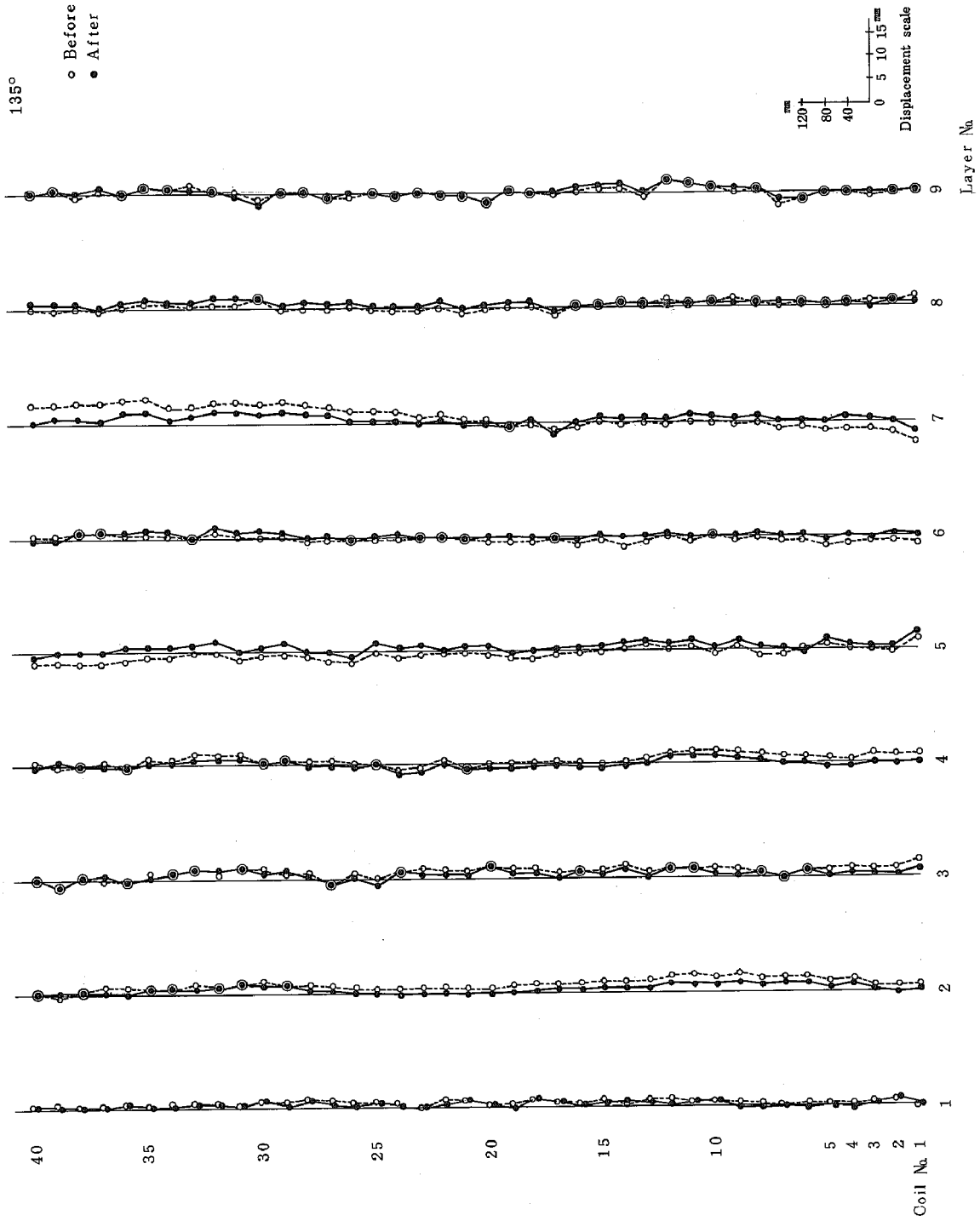


Fig. 4.3.1(d) コイル真直度(4)

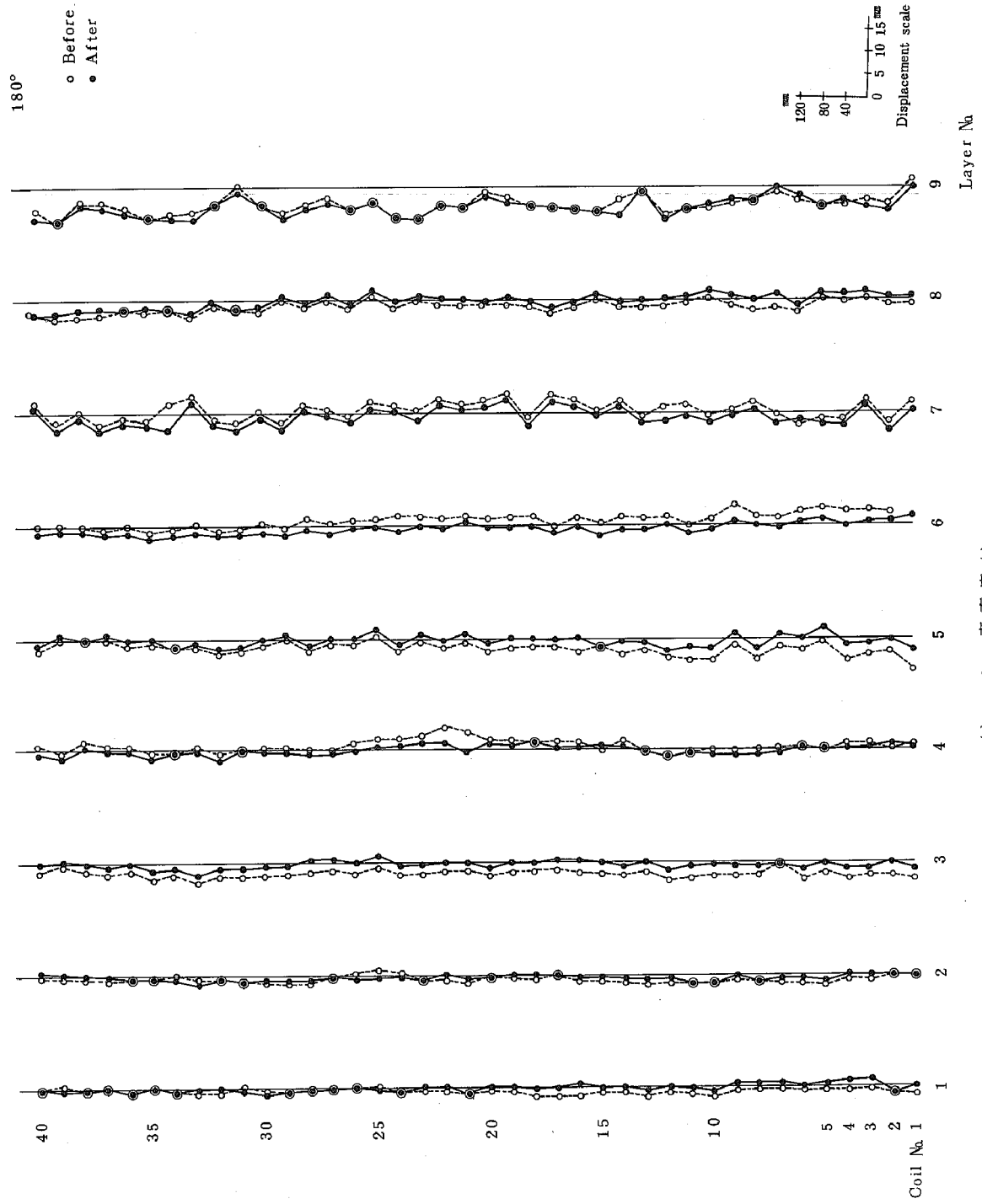


Fig. 4.3.1(e) コイル真直度 (5)

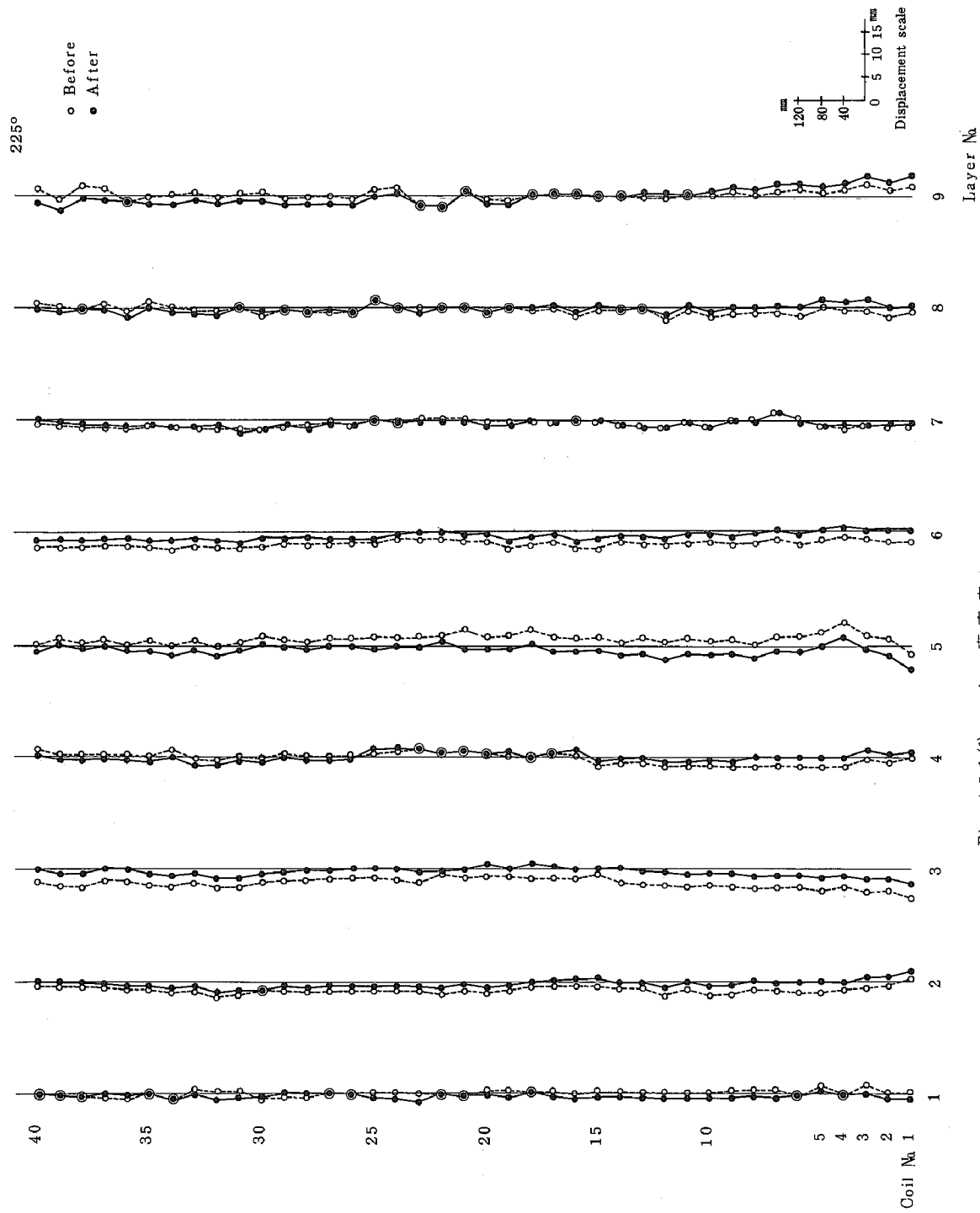


Fig. 4.3.1(f) コイル真直径 (6)

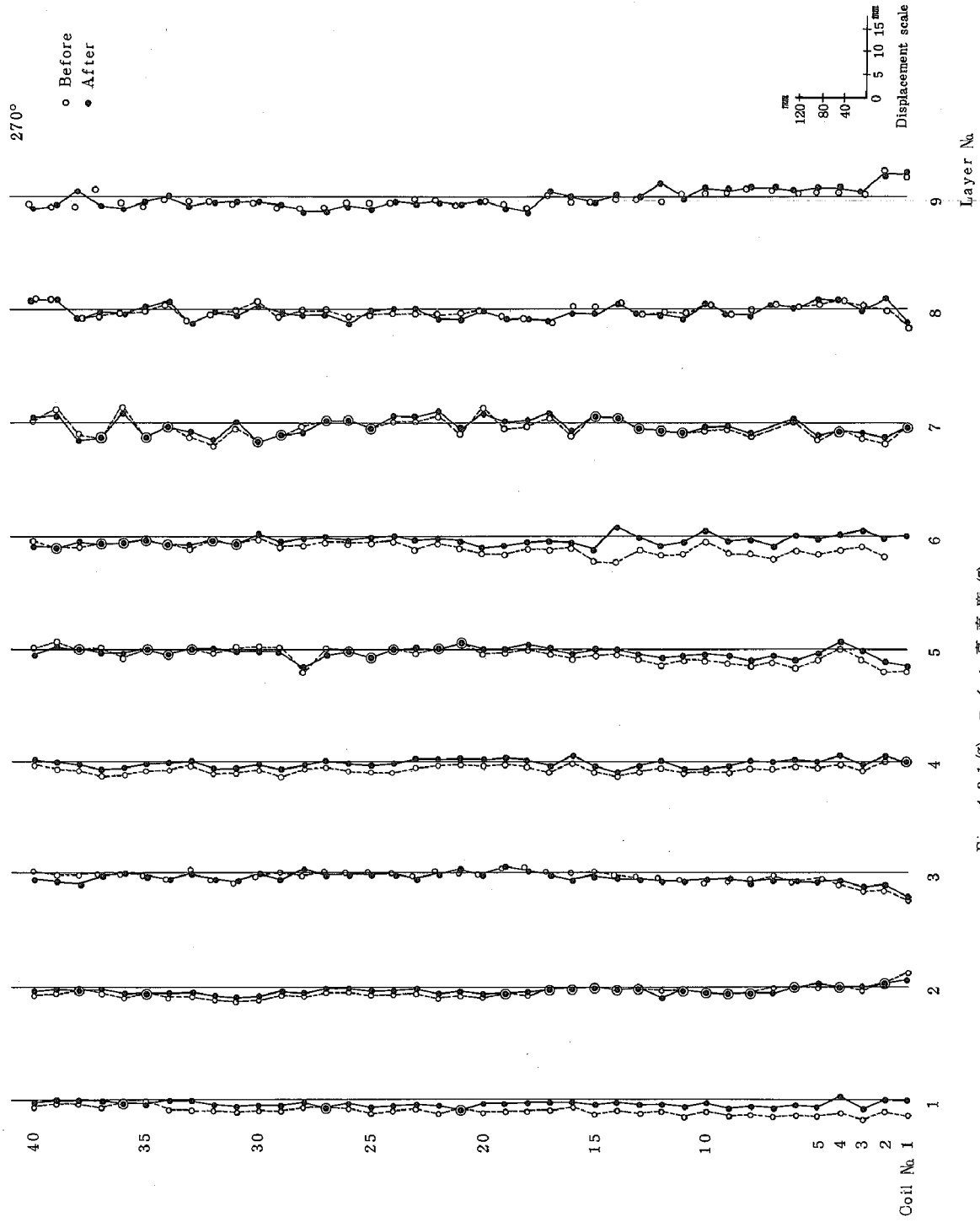
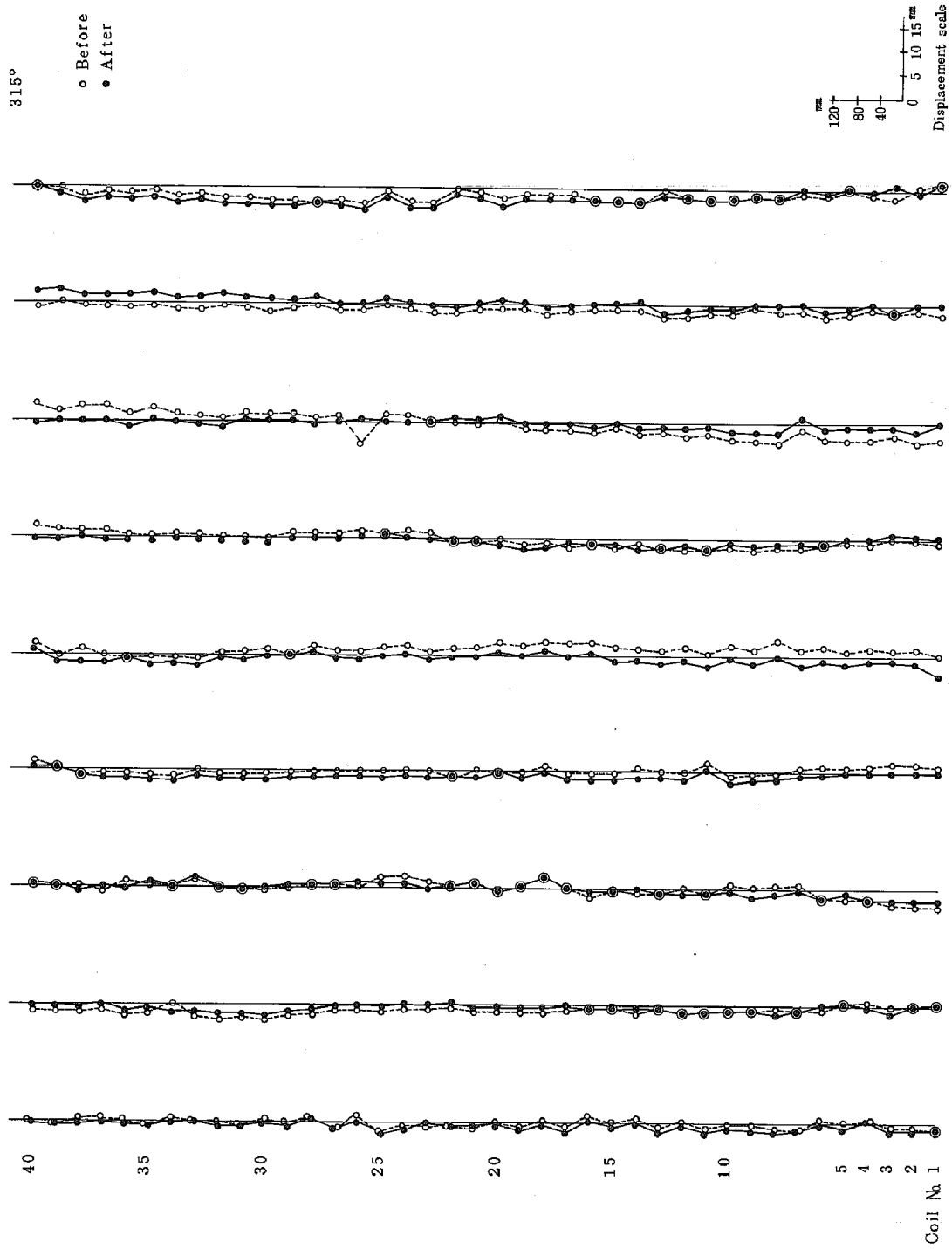


Fig. 4.3.1 (g) コイル真直度 (7)



Layer No

Fig. 4.3.1(h) コイル真直度(8)

(1層目伝熱管)

○ 試験後の計測値
● 試験前の計測値

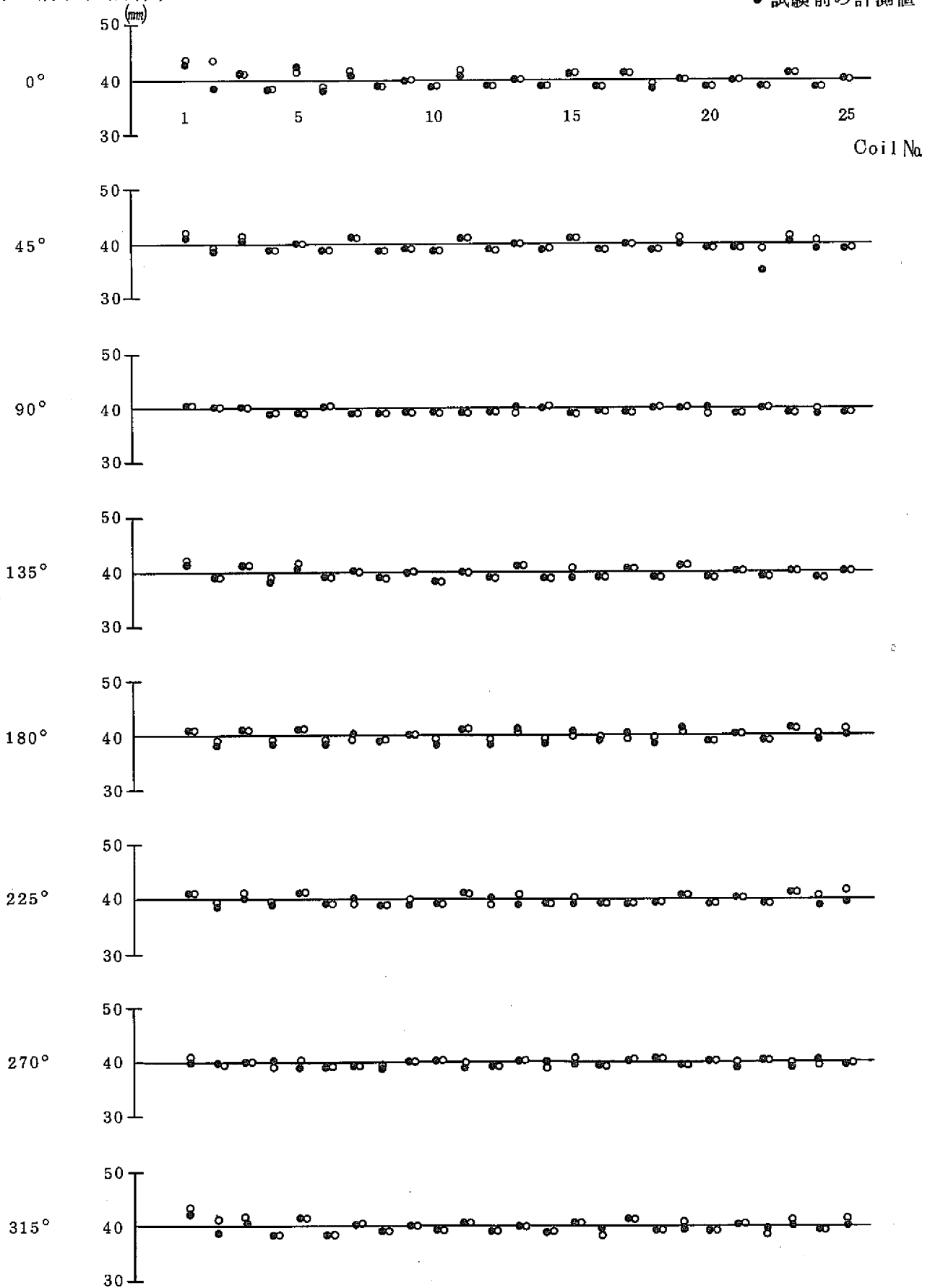


Fig. 4.4.1(a) コイルピッチ (1)

(2層目伝熱管)

○ 試験後の計測値
● 試験前の計測値

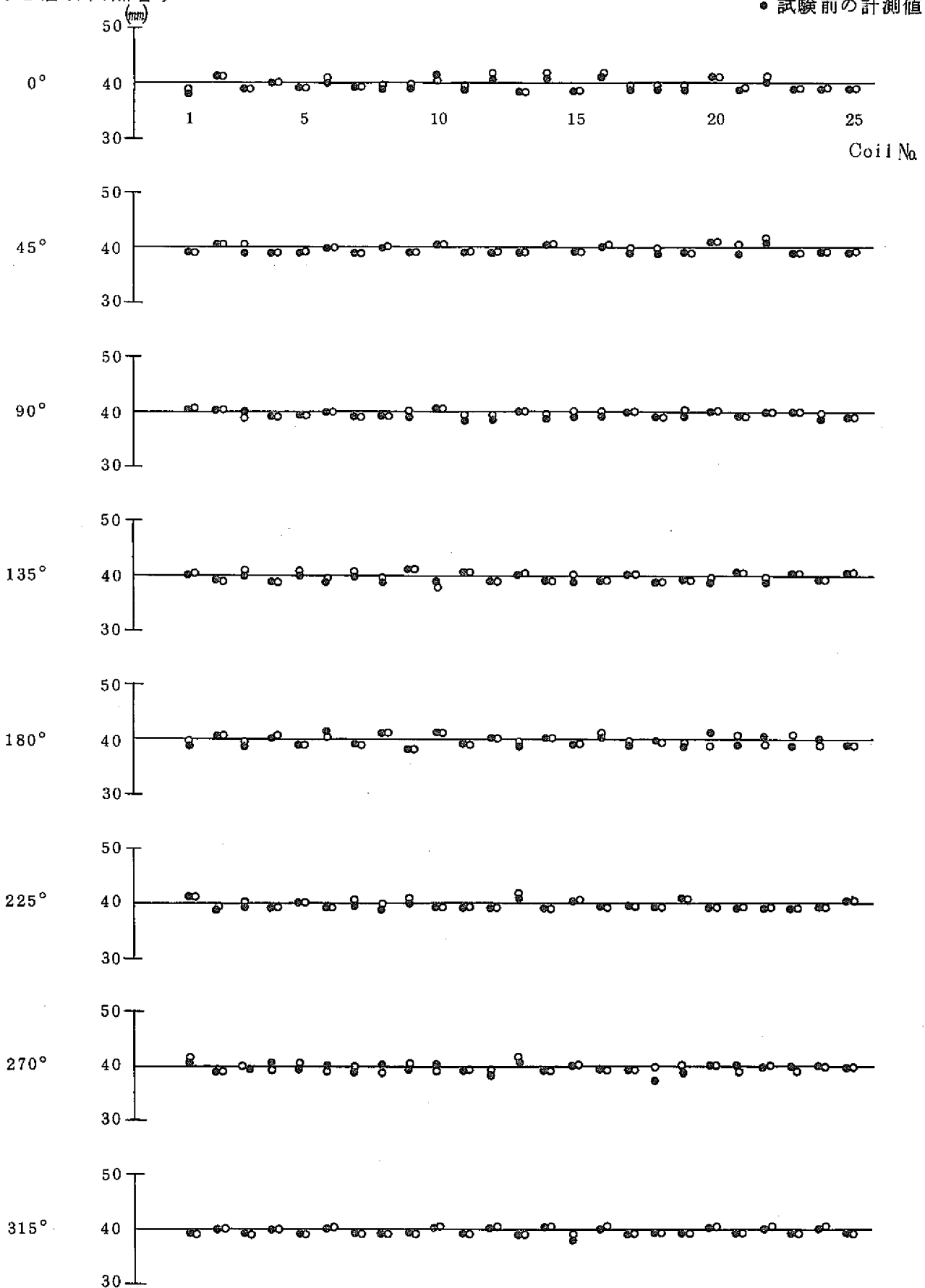


Fig. 4.4.1(b) コイルピッチ (2)

(3層目伝熱管)

○ 試験後の計測値
● 試験前の計測値

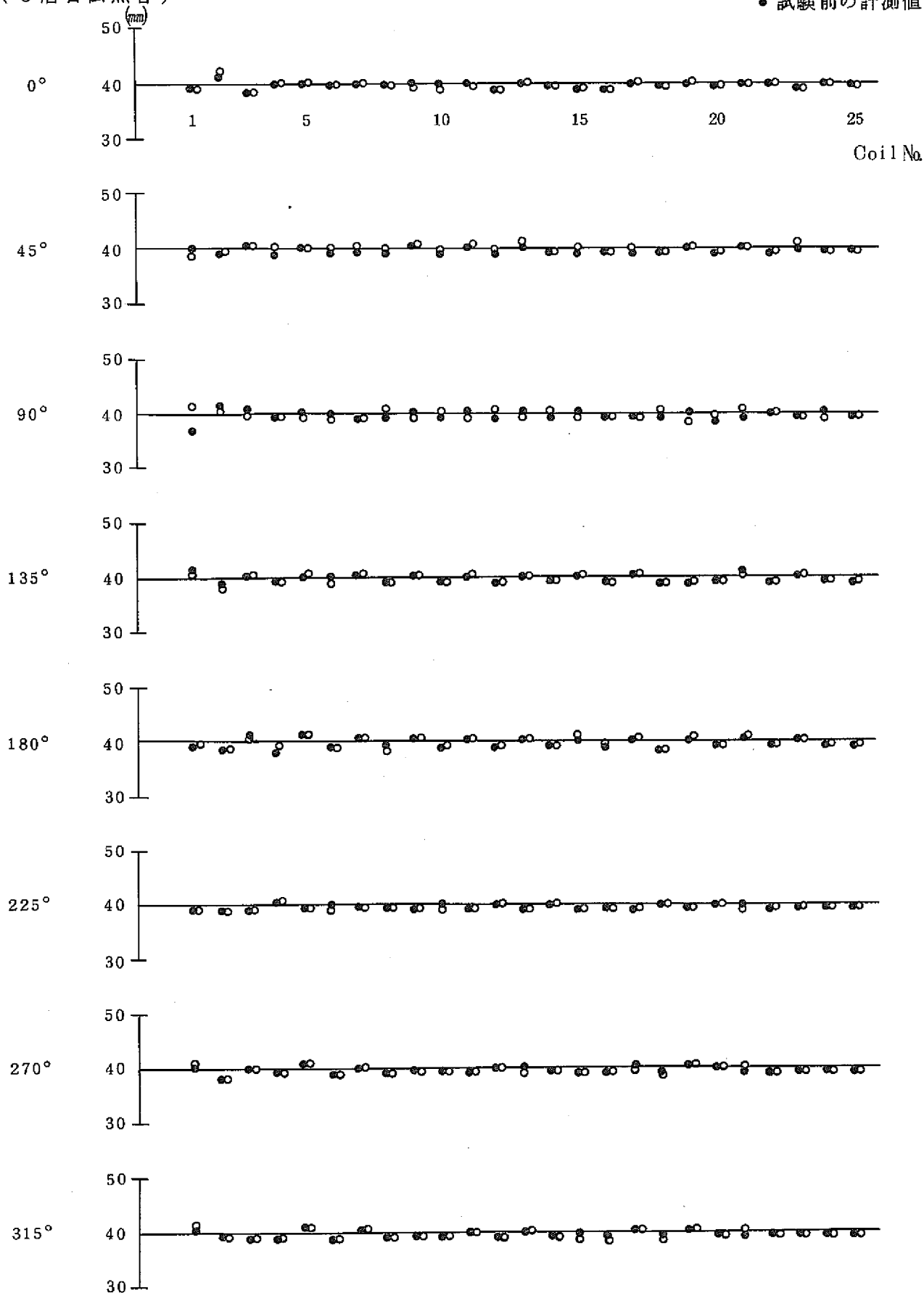


Fig. 4.4.1(c) コイルピッチ (3)

(4層目伝熱管)

○ 試験後の計測値
● 試験前の計測値

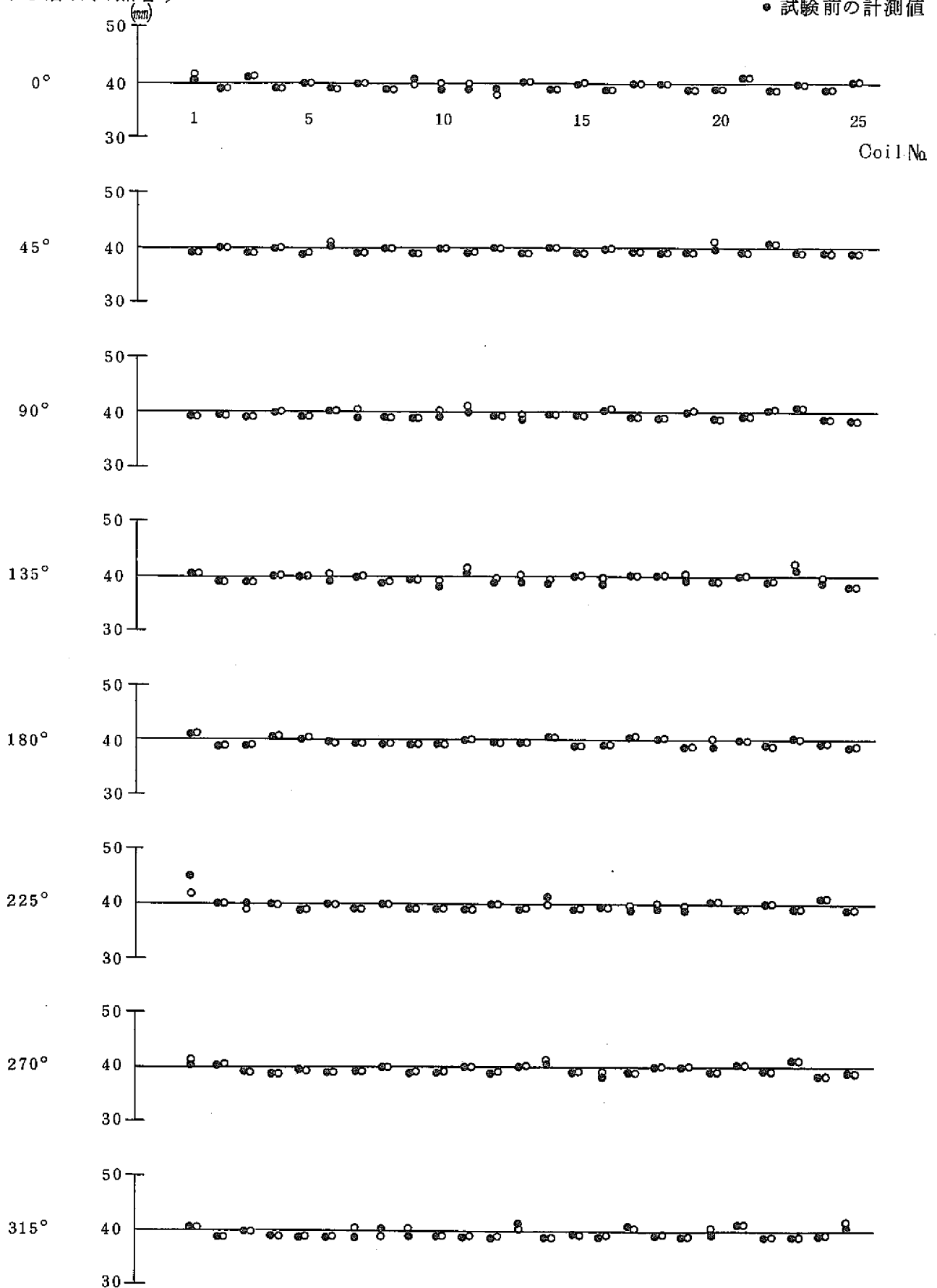


Fig. 4. 4. 1 (d) コイルピッチ (4)

(5層目伝熱管)

○ 試験後の計測値
● 試験前の計測値

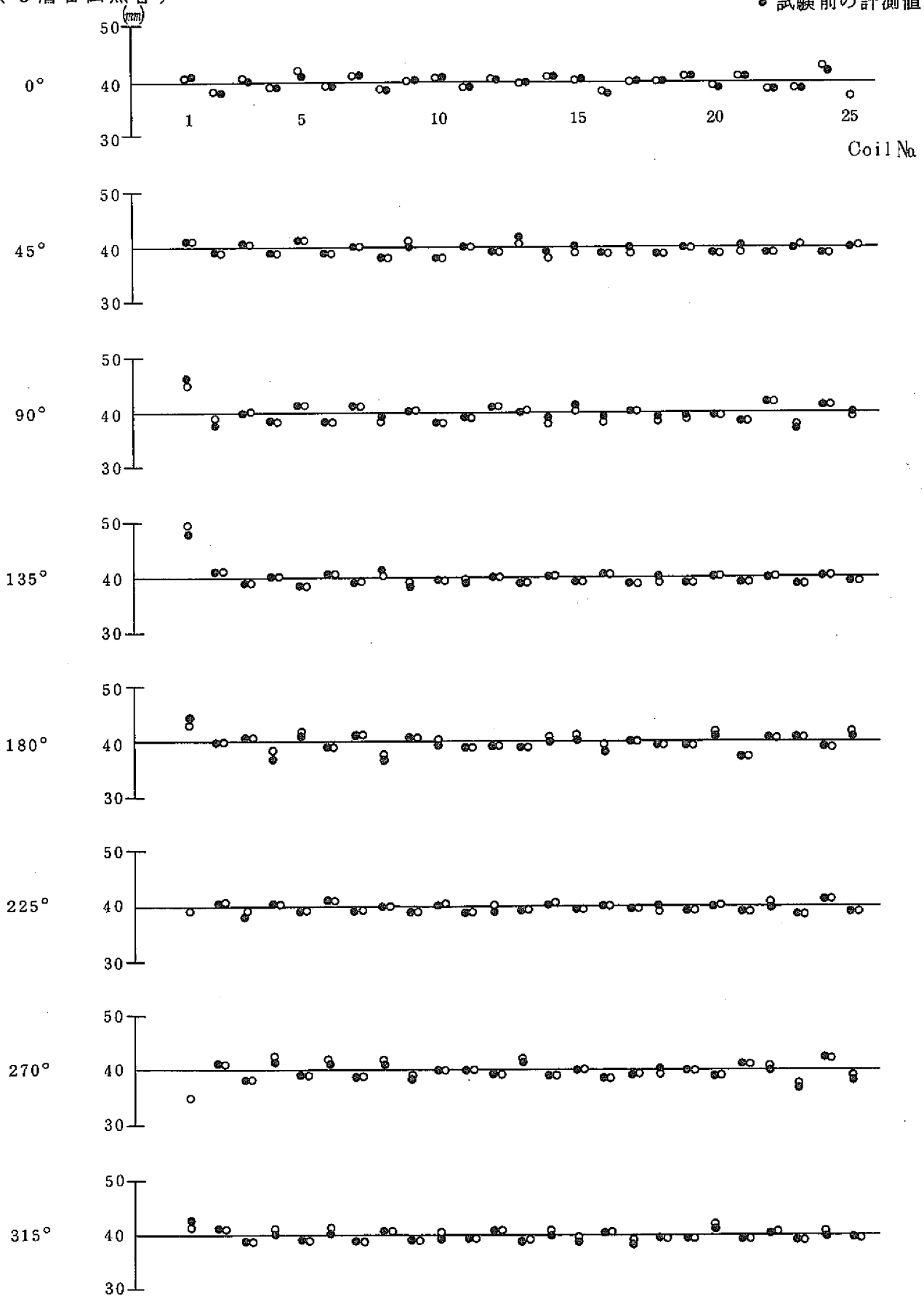


Fig. 4.4.1 (e) コイルピッチ (5)

(6層目伝熱管)

○ 試験後の計測値
● 試験前の計測値

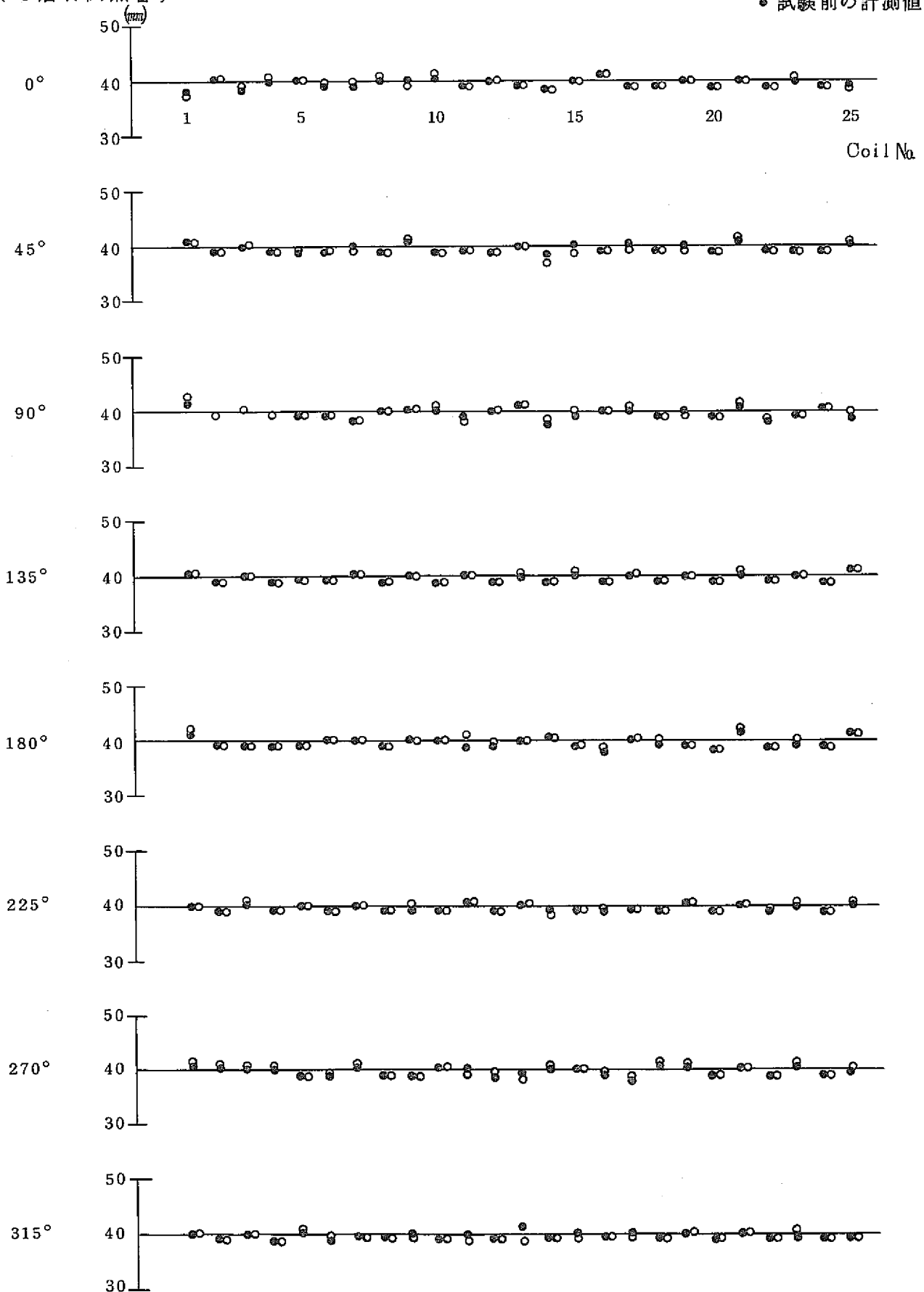


Fig. 4.4.1(f) コイルピッチ (6)

(7層目伝熱管)

○ 試験後の計測値
● 試験前の計測値

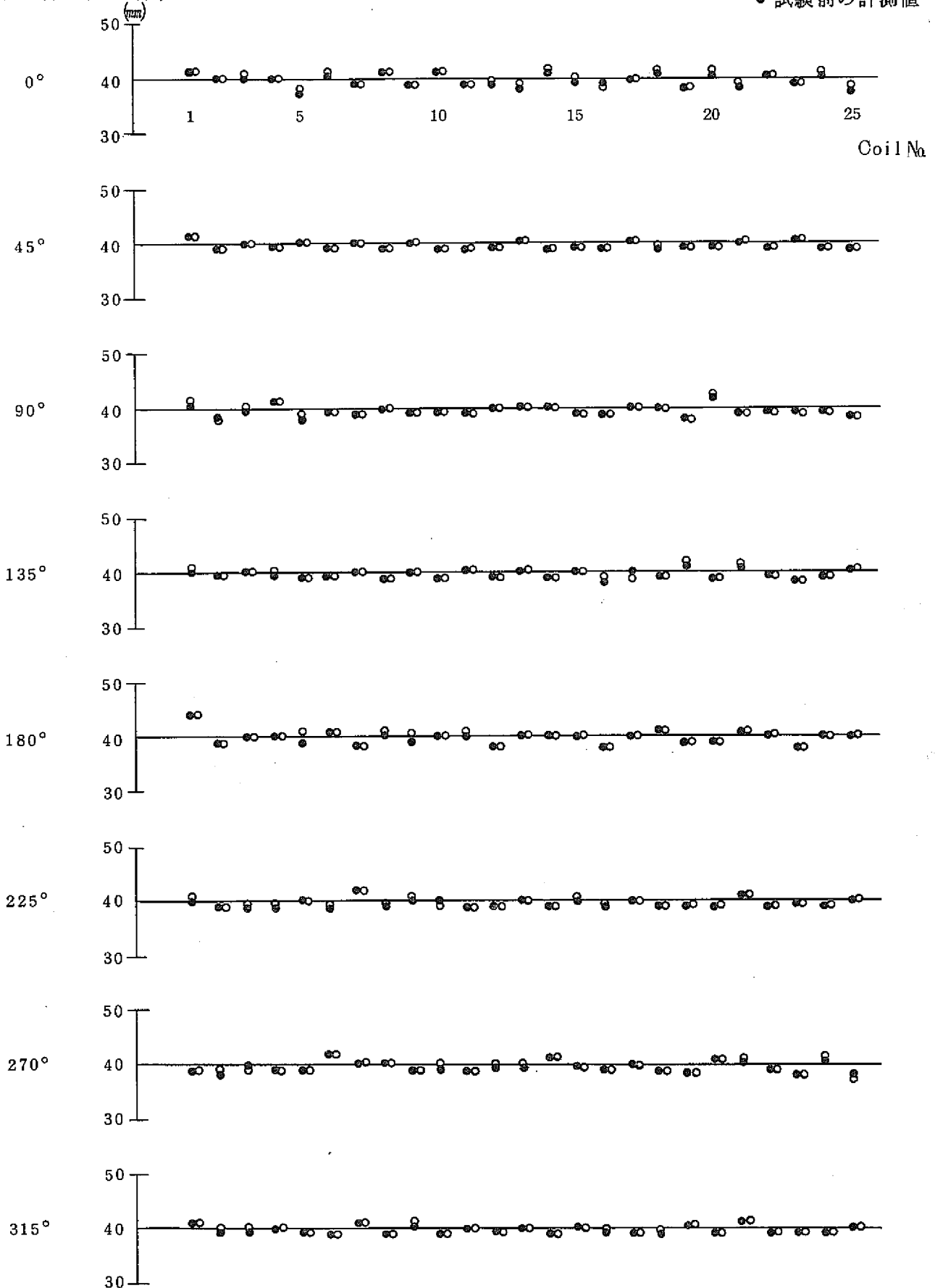


Fig. 4.4.1 (g) コイルピッチ (7) 11

(8層目伝熱管)

○ 試験後の計測値
● 試験前の計測値

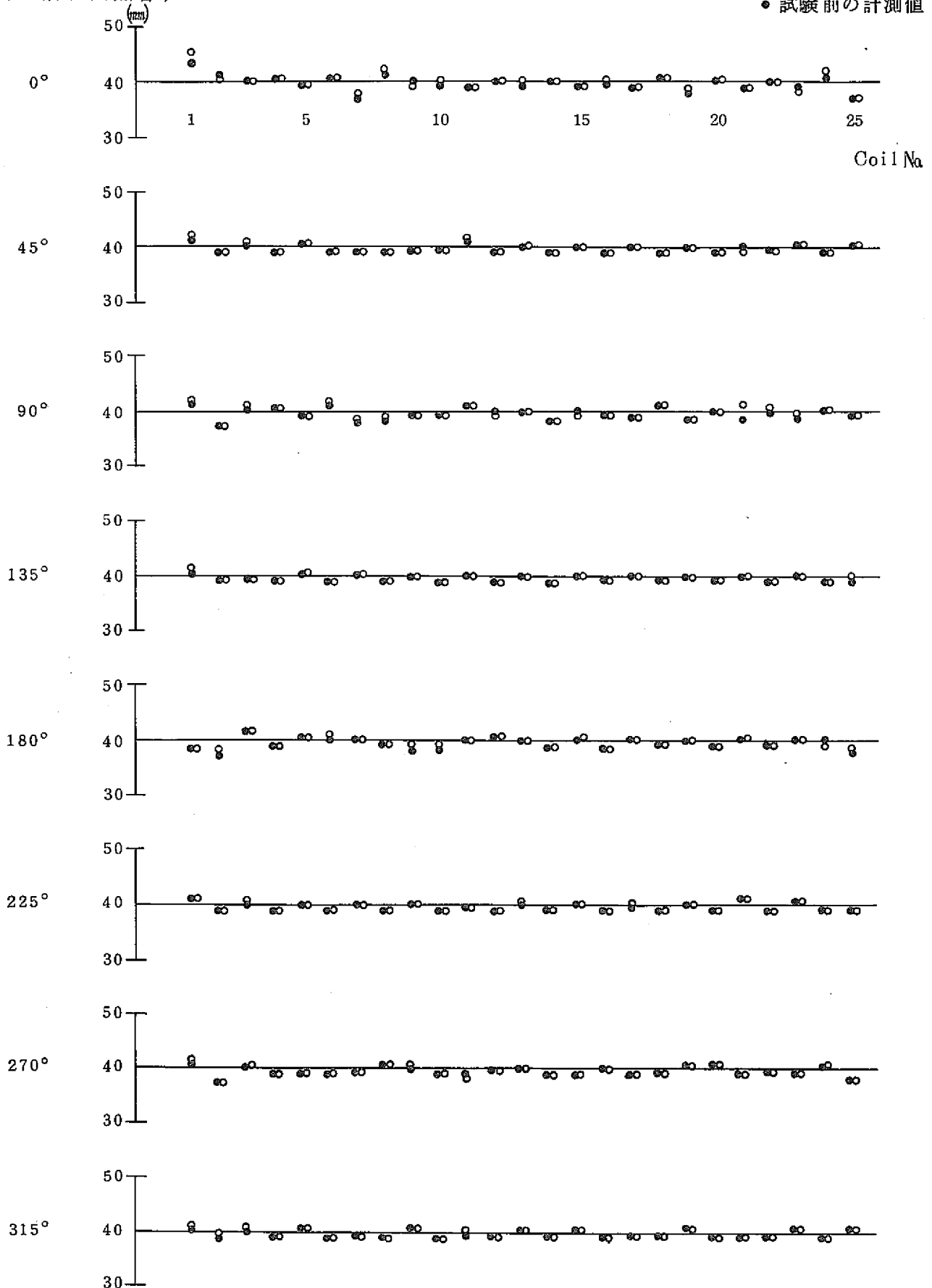


Fig. 4.4.1 (h) コイルピッチ (8)

(9層目伝熱管)

○ 試験後の計測値
● 試験前の計測値

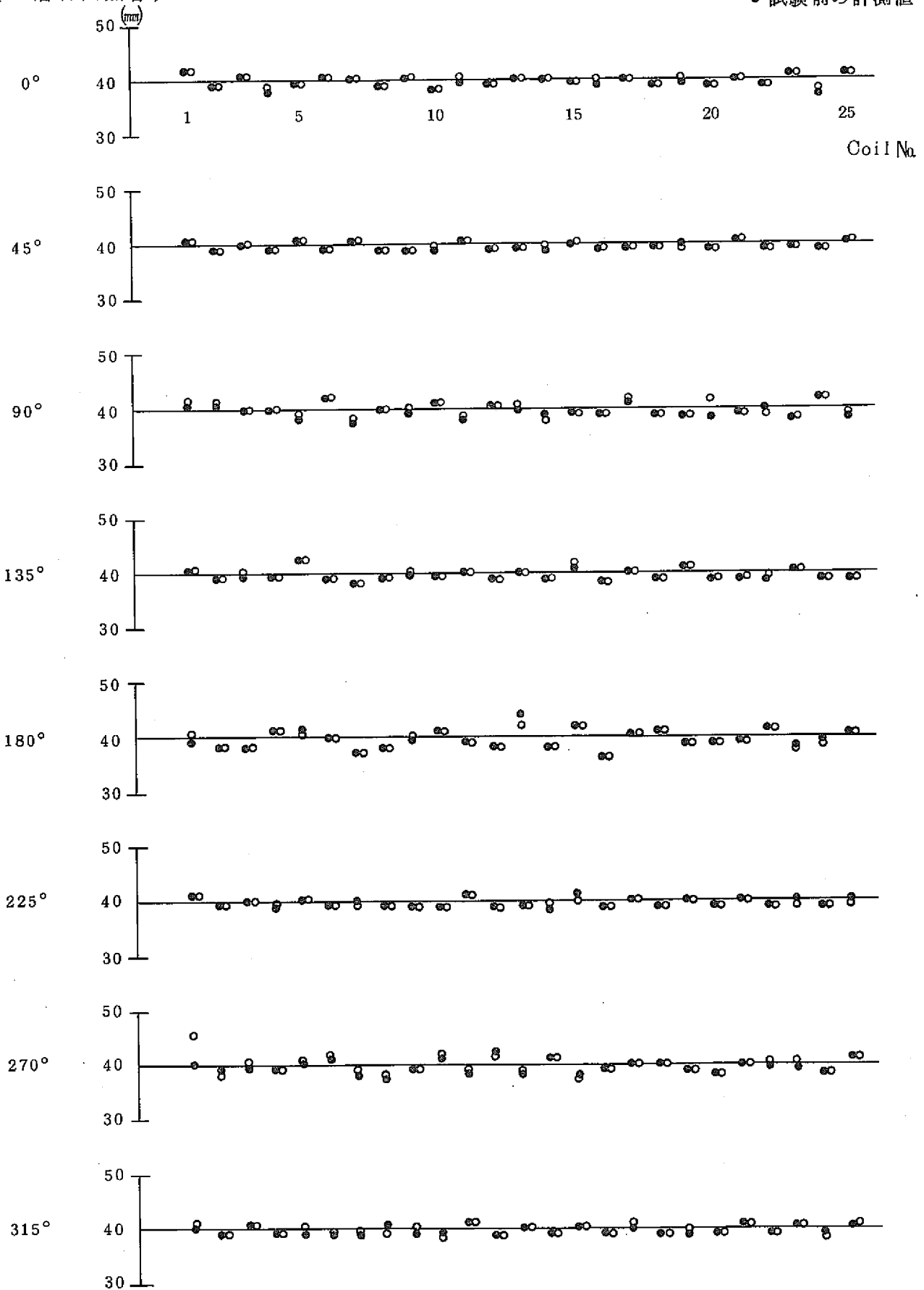


Fig. 4.4.1(i) コイルピッチ(9)

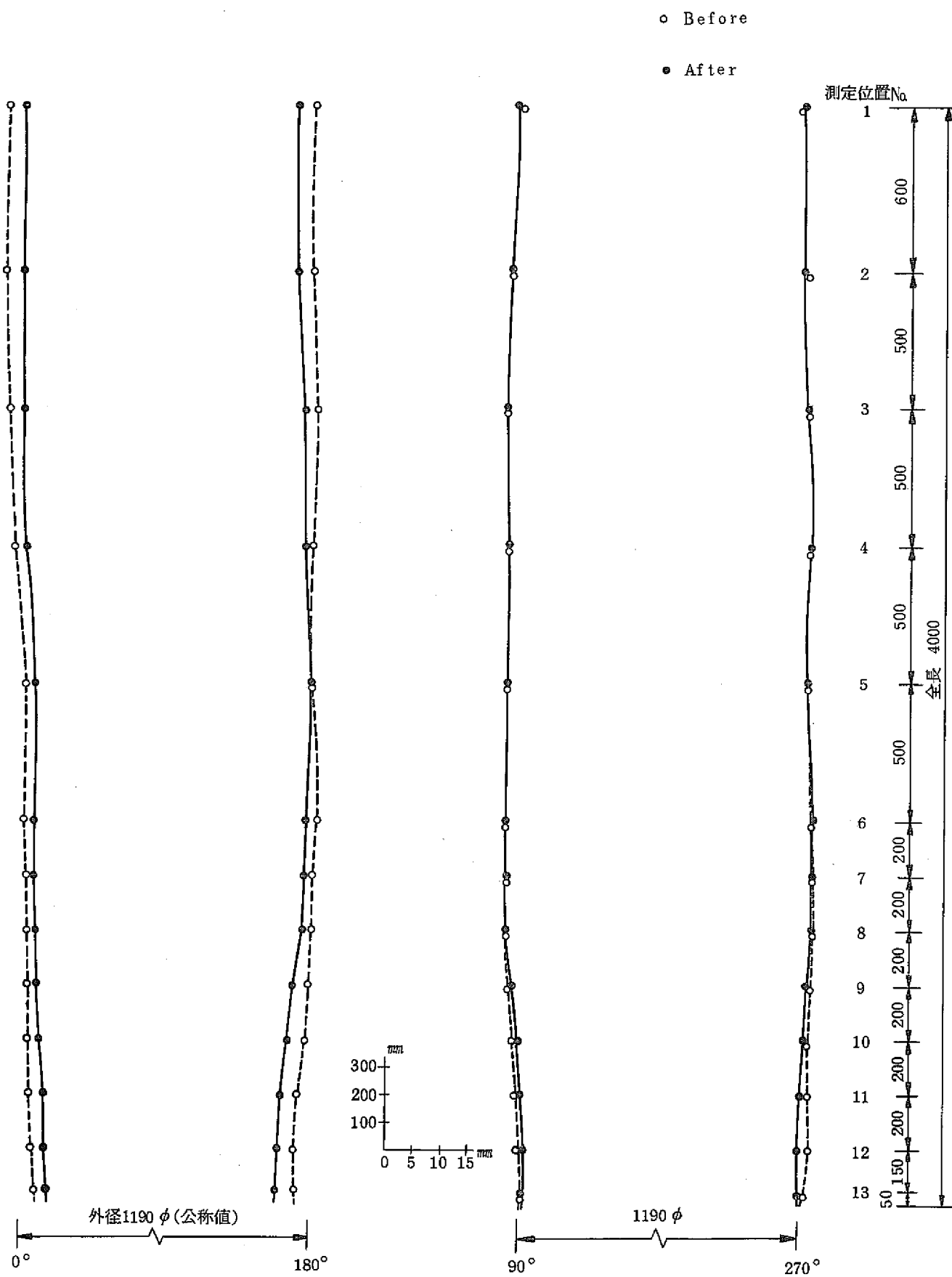


Fig. 4.5.1 シュラウド真直度

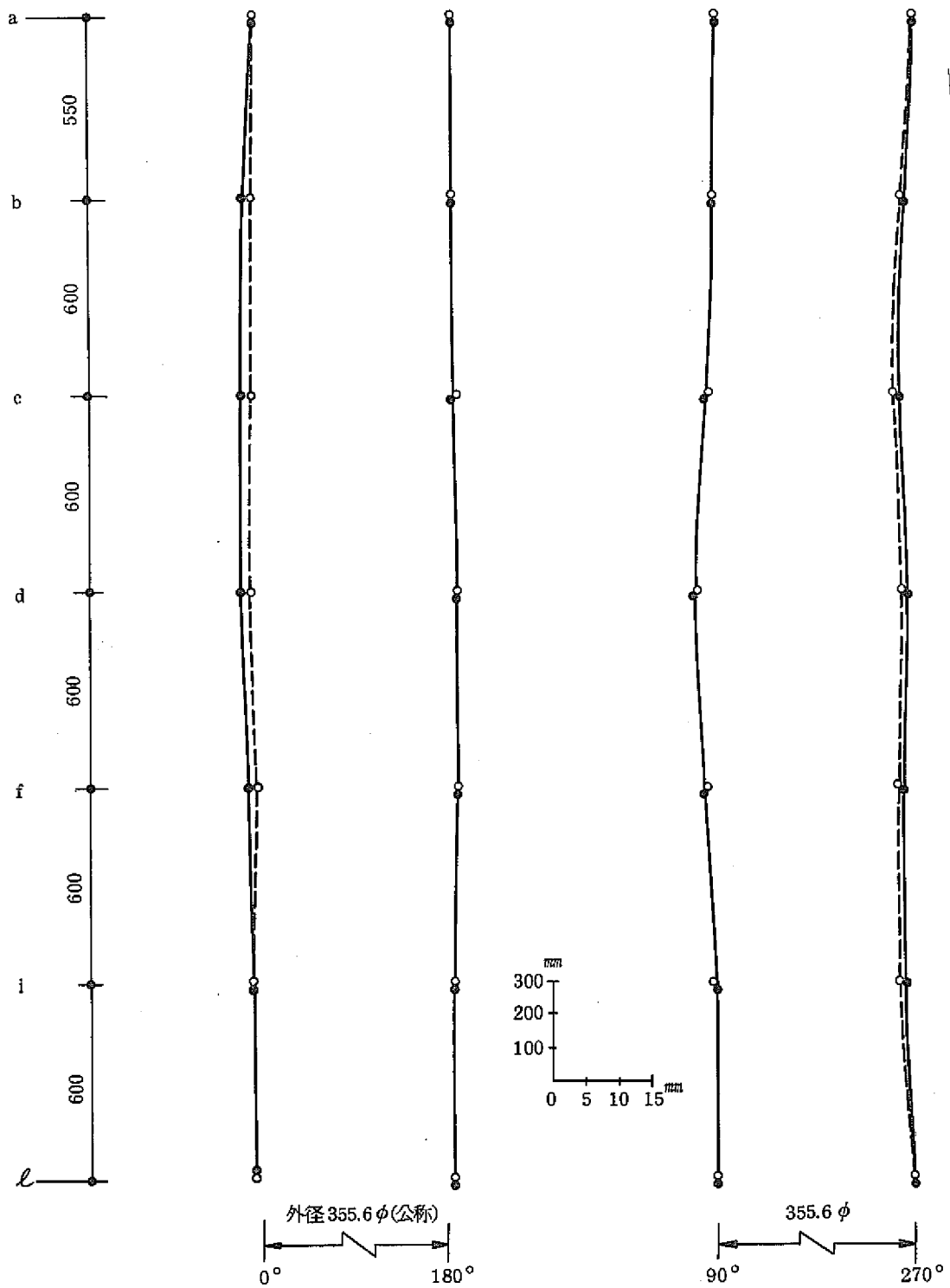


Fig. 4.6.1 センタパイプ真直度

Table 4.5.1 シュラウド内径測定結果 (Run-4)

(単位: mm)

測定時期	測定位置 N_b 方向	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		試験前	0°-180°	1174.9	-	-	-	-	1172.6	1172.0	1171.8	1171.5	1170.9	1170.4
試験後	90°-270°	1170.6	-	-	-	-	1173.1	1173.2	1173.4	1172.6	1171.7	1171.6	1171.3	1171.0
	0°-180°	1170.89	1170.64	1171.18	1171.13	1170.57	1170.19	1169.16	1168.33	1167.07	1165.29	1163.59	1162.60	-
	90°-270°	1171.91	1172.83	1174.44	1174.85	1175.35	1175.37	1175.33	1175.09	1173.66	1171.99	1170.95	1170.20	-

Table 4.6.1 センタパイプ外径測定結果 (Run-4)

(単位: mm)

測定時期	測定位置 N_b 方向	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
		試験前	0°-180°	357.68	357.13	356.75	357.05	357.23	356.18	356.23	356.91	357.72	357.24
試験後	90°-270°	354.37	355.90	356.63	357.48	356.77	357.19	357.04	356.81	356.73	356.66	356.26	355.97
	0°-180°	356.12	357.34	356.98	357.09	357.22	356.14	356.08	356.84	356.78	357.31	357.15	357.56
	90°-270°	354.05	355.32	356.26	357.53	356.69	357.20	357.01	356.85	356.71	356.53	356.17	356.30