

新型転換炉「ふげん」発電所高圧タービン出口配管
エロージョン発生部(γプラグ)における流動挙動の解析的検討

1993年1月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

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

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

新型転換炉「ふげん」発電所 高圧タービン出口配管
エロージョン発生部 (γ プラグ) における流動状況の解析的検討

村松 寿晴*、菅原 悟*

要 旨

新型転換炉「ふげん」発電所において、平成4年10月18日、タービン建屋1階高圧タービン前部軸受台付近からの蒸気微小漏洩が発見された。この原因は、比較的湿り度の高い蒸気流の一部が γ プラグ部に流入する環境下において、 γ プラグ材料が適切でなかったために生じたエロージョンによるものであると結論づけられた。

本報では、汎用多次元コードAQUAを用いた多次元流動解析により、当該部位での流動状況を解析的に検討すると共に、改良型 γ プラグ(形状および材質)が設置された条件での解析により、エロージョン発生防止に関する効果を明かにした。

得られた結果は、次の通りである。

- (1) 既設 γ プラグ条件において、高圧タービン出口配管内蒸気平均流速を41.3 m/s (100%) から31.3 m/s (75.8%) に低下させた場合には、 γ プラグ内流速成分最大値の低下は約84%となる。
- (2) 改良型 γ プラグ条件における γ プラグ内流速成分最大値は、既設 γ プラグ条件での値の約0.44%となり、エロージョン発生を効果的に防止できると考えられる。

本作業は、本社動力炉開発推進本部ふげん計画管理課からの依頼に基づいて行ったものである。

*: 大洗工学センター安全工学部原子炉工学室

Analytical Investigation of Multi-Dimensional Hydraulic Characteristics at γ Plug Region of Higher-Pressure Turbine Outlet Piping for ATR FUGEN

Toshiharu Muramatsu* and Satoru Sugawara*

Abstract

A small steam leakage was discovered at a γ plug region of the higher-pressure turbine outlet piping of the FUGEN reactor on October 18, 1992. It was concluded that the cause of the leakage is due to the erosion process by wetted steam flows from the higher-pressure turbine outlet piping.

In this study, multi-dimensional hydraulic characteristics at the γ plug region have been investigated using a multi-purpose thermohydraulics analysis code AQUA. From the analysis, the following results have been obtained:

- (1) Decreasing of maximum velocity components in the γ plug was 84 % in the case that a mean steam velocity in the higher-pressure turbine outlet piping decreases to 31.3 m/s (75.8 %) from 41.3 m/s.
- (2) Maximum velocity components in an improved γ plug was reduced to 0.44 % compared with the original γ plug condition. It was concluded that the improved γ plug can be prevent effectively the growth of the erosion process.

新型転換炉「ふげん」発電所 高圧タービン出口配管
エロージョン発生部 (γ プラグ) における流動状況の解析的検討

目 次

第1章	緒 言	1
第2章	γ プラグの構造	2
第3章	多次元流動解析	3
3.1	解析コードの概要	3
3.2	解析条件	3
3.3	数値解析条件	3
3.4	解析結果	4
第4章	検 討	6
4.1	γ プラグ部流動状況の蒸気平均流速依存性	6
4.2	改良型 γ プラグによるエロージョン防止効果	7
第5章	結 言	8
	参考文献	9

図表リスト

図 2. 1	新型転換炉「ふげん」発電所 主蒸気系 概要図	10
図 2. 2	新型転換炉「ふげん」発電所 主要建屋平面図(タービン建屋)	11
図 2. 3	蒸気漏洩箇所 概略図	12
図 2. 4	蒸気漏洩箇所 見取図	13
図 3. 1	メッシュ分割図 (Case-1, Case-2)	14
図 3. 2	メッシュ分割図 (Case-3)	15
図 3. 3	γ プラグ中央垂直断面 (I=28) での流速・乱流運動エネルギー分布 (Case-1)	17
図 3. 4	γ プラグ上端面 (J=6) での流速・乱流運動エネルギー分布 (Case-1)	19
図 3. 5	γ プラグ中央面 (J=11) での流速・乱流運動エネルギー分布 (Case-1)	21
図 3. 6	γ プラグ下端面 (J=16) での流速・乱流運動エネルギー分布 (Case-1)	23
図 3. 7	γ プラグ中央垂直断面 (I=28) での流速・乱流運動エネルギー分布 (Case-2)	25
図 3. 8	γ プラグ上端面 (J=6) での流速・乱流運動エネルギー分布 (Case-2)	27
図 3. 9	γ プラグ中央面 (J=11) での流速・乱流運動エネルギー分布 (Case-2)	29
図 3. 10	γ プラグ下端面 (J=16) での流速・乱流運動エネルギー分布 (Case-2)	31
図 3. 11	γ プラグ中央垂直断面 (I=28) での流速・乱流運動エネルギー分布 (Case-3)	33
図 3. 12	γ プラグ上端面 (J=6) での流速・乱流運動エネルギー分布 (Case-3)	35
図 3. 13	γ プラグ中央面 (J=11) での流速・乱流運動エネルギー分布 (Case-3)	37
図 3. 14	γ プラグ下端面 (J=16) での流速・乱流運動エネルギー分布 (Case-3)	39
図 4. 1	γ プラグ中央下端面(I=28, J=15) における J 方向流速成分 V の 軸方向分布の比較(Case-1 Vs. Case-2)	41
図 4. 2	γ プラグ中央下端面(I=28, J=15) における乱流運動エネルギー k の 軸方向分布の比較(Case-1 Vs. Case-2)	42
図 4. 3	γ プラグ中央下端面(I=28, J=15) における J 方向流速成分 V の 軸方向分布の比較(Case-1 Vs. Case-3)	43

第1章 緒言

新型転換炉「ふげん」発電所において、平成4年10月18日、タービン建屋1階 高圧タービン前部軸受台付近からの蒸気微小漏洩が発見された。この後に行われた漏洩箇所特定調査等の結果、以下の点が明らかになった。

1. 漏洩箇所は、高圧タービン出口配管(呼び径30B)の非破壊検査用 γ 線源挿入貫通孔(以下、 γ ホール)の閉止栓(以下、 γ プラグ)部である。
2. 漏洩が確認された γ プラグと同一使用条件下にある7個の γ プラグに対する内面減肉調査の結果、4個の γ プラグについて減肉が確認された。
3. 減肉部表面に、流体の流れに沿って発生するエロージョン・コロージョン特有の明瞭な波状模様が確認された。

以上の調査結果より、 γ プラグが減肉して貫通に至った原因は、比較的湿り度の高い蒸気流の一部が γ プラグ部に流入する環境下において、 γ プラグ材料が適切でなかったために生じたエロージョン・コロージョンによるものであると結論づけられた。

本報では、これまでに数多くの検証実績を持つ汎用多次元コードAQUAを用いて γ プラグ部の多次元流動解析を行い、当該部位での流動状況を解析的に検討する。更に、改良型 γ プラグ(形状および材質)が設置された条件での解析を行い、エロージョン・コロージョン発生防止に関する効果を明かにする。

なお、本作業は、本社動力炉開発推進本部ふげん計画管理課からの依頼に基づいて行ったものである。

第2章 γ プラグの構造

図 2.1 - 図 2.3 に、主蒸気系系統概要図、タービン建屋機器配置図および蒸気漏洩箇所概要図をそれぞれ示す。また、蒸気漏洩箇所見取図を、図 2.4 に示す。蒸気漏洩箇所は、2本ある高圧タービン出口配管 (A系およびB系) の内、A系圧力検出用配管の上流側 155 mm に位置する γ プラグ部である。当該部位は、図 2.4 に見られる様に、高圧タービン出口配管に設けられた直径 22 mm、深さ (肉厚) 16 mm の γ ホールに、直径 21.3 mm (γ プラグ脚部)、高さ 5 mm (γ プラグ脚部) の γ プラグが挿入され、結果として深さ 11 mm の凹形状構造を有する。したがって、 γ プラグ部凹形状内での流動状況は、高圧タービン出口配管内の蒸気流とは異なる流れ場が生じていることが容易に想像される。

第3章 多次元流動解析

3.1 解析コードの概要

ここで使用した解析コードは、任意原子炉機器内の单相多次元熱流動挙動を評価するために、大洗工学センター 安全工学部 原子炉工学室で開発されたものである。以下に、解析コードの概要を列記する。

コード名称	AQUA (Advanced simulation using Quadratic Upstream Algorithm)
適用範囲	任意空間内 非圧縮性粘性流体解析
数値計算法	有限差分法 (FDM)
時間積分法	半陰解法 (修正ICE 法)
空間差分法	対流項: QUICK / FRAM 法 (2次精度) 拡散項: 2次中心差分法 (2次精度)
圧力方程式解法	前処理付共役勾配法 (ICCG)
座標系	直交 / 円筒 (x-y-z / r-θ-z)
乱流モデル	k-ε 2方程式 / 代数応力モデル (ASM)

3.2 解析条件

γプラグ部を対象とした AQUA ードによる多次元解析は、以下に示した合計3ケースを対象に実施した。

		γプラグ部条件	
		既設構造	改良構造
高圧タービン 出口配管内 蒸気平均流速	41.3 m/s	Case - 1	Case - 3
	31.3 m/s	Case - 2	————

Case-1 は、蒸気漏洩が発生した γプラグ部 (既設構造) での流動条件 (高圧タービン出口配管内蒸気平均流速: 41.3 m/s) を用い、当該箇所における基本的流動状況を検討するためのものである。Case-2 は、Case-1 と同様な γプラグ部構造 (既設構造) を持つものの、γプラグ脚部表面での減肉が認められなかった箇所での条件 (高圧タービン出口配管内蒸気平均流速: 31.3 m/s) を用いたものである。以上2ケースの多次元流動解析結果の比較より、γプラグ脚部表面での減肉挙動と多次元流動状況との定性的関係が明かとなる。一方、Case-3 は、減肉対策が施された改良型 γプラグ (脚部高さを 5 mm より 16 mm とし、脚部表面を高圧タービン出口配管内壁面と同一レベルとして凹形状による段差を無くしたもの) に対するものである。ここでの結果は、Case-1 での結果と比較することにより、改良型 γプラグの減肉挙動に対する防止効果が明かとなる。

3.3 数値解析条件

座標系	x-y-z 直交 3次元体系
メッシュ分割	44 ⁱ x 16 ^j x 56 ^k (図 3.1 参照: Case - 1 & 2) 44 ⁱ x 16 ^j x 56 ^k (図 3.2 参照: Case - 3)
メッシュ分割幅	0.5 mm ⁱ x 1.0 mm ^j x 0.5 mm ^k (γプラグ部)

主流入口条件	対数則分布
流体密度	6.843 kg/m ³
流体粘性係数	1.515 x 10 ⁻⁵ kg s/m ²

3.4 解析結果

[Case - 1]

図 3.3 左側に示した γ プラグ中央垂直断面 (I=28) での流速分布より分かる通り、高圧タービン配管内を流れる蒸気流の一部が γ プラグ部に流入するため、同プラグ部内は左回りの一巡渦が発生する。すなわち、 γ プラグ上端面 (J=6) では蒸気流 (主流) と同方向の流れとなり、 γ プラグ下端面 (J=16) では主流と逆方向の流れとなる。したがって、 γ プラグ底面下側の領域は、高圧タービン配管内からの高速蒸気流の一部が衝突する場にさらされることとなる。この様子は、同図右側に示した乱流運動エネルギー分布からも推察できる。すなわち、高圧タービン配管近傍領域から γ プラグ底面下側領域にかけては、 γ プラグ部内で比較的大きな乱流運動エネルギー値 (赤色, 橙色, 黄色) を示す。なお、乱流運動エネルギー値 (m²/s²) と着色との関係は、次の通りである。

赤色	: 100.0 < k
橙色	: 10.0 < k < 100.0
黄色	: 1.0 < k < 10.0
緑色	: 0.1 < k < 1.0
青色	: 0.01 < k < 0.1
白色	: k < 0.01

図 3.4 に示した γ プラグ上端面位置 (J=6) での流速場は、高圧タービン配管内を流れる蒸気流の一部が γ プラグ部に流入する面に位置するため、主流と同方向のベクトル (上から下) を持つ流れ場となる。この面での比較的大きな乱流運動エネルギー領域は、主流が衝突する γ プラグ下側領域に発生する。図 3.5 に示した γ プラグ中央位置 (J=11) は、同プラグ内に発生している主循環渦の概ね中心断面に位置することから、同位置ではこれによる 2 次的循環渦 (γ プラグが円筒形状であることから生じる 2 次モーメントに起因し、主循環渦と直交方向) が発生している。これに伴い、乱流運動エネルギーの分布は、2 次渦主流以外の箇所では低下する傾向を示している。 γ プラグ下端面位置に相当する断面 (J=16, 図 3.6) では、同プラグ内に発生している主循環渦の影響により、高圧タービン配管内流れとは逆の流れ方向を示している。ここで興味深い点は、同プラグ中央位置 (J=11) 断面で生じた 2 次的循環渦の影響によって、流れ場が左右対称でなくなっていることである。すなわち、2 次的循環渦の中心が存在しない同図右側領域での流速値が、左側領域でのそれに比べて大きなものとなっている。このため、乱流運動エネルギーの分布についても、流速値の大きな右側領域で高乱流運動エネルギー領域の占める範囲が広がっている。

[Case - 2]

図 3.7 に γ プラグ中央垂直断面 (I=28) での流速分布および乱流運動エネルギー分布を、図 3.8 - 図 3.10 に γ プラグ水平断面 (J=6, 11 および 16) での流速分布および乱流運動エネルギー分布を示す。本ケースにおける各断面での流速場は、 γ プラグ中央位置 (J=11, 図 3.9) での結果を除き、Case - 1 でのものと概ね相似である。なお、 γ プラグ中央位置での結

果は、高圧タービン配管内の蒸気平均流速が 31.3 m/s と Case - 1 でのもの (41.3 m/s) よりも小さいことから、同プラグ内に生じる 2 次的循環渦が相対的に顕著となって現れている。なお、乱流運動エネルギーの空間分布に関しては、高圧タービン配管内の蒸気平均流速を低下させたことに起因して、Case - 1 での結果に比べ全体的に低いものとなっている。

[Case - 3]

図 3. 11 に γ プラグ中央垂直断面 ($I=28$) での流速分布および乱流運動エネルギー分布を、図 3. 12 - 図 3. 14 に γ プラグ水平断面 ($J=6, 11$ および 16) での流速分布および乱流運動エネルギー分布を示す。図 3. 11 左側に示した γ プラグ中央垂直断面 ($I=28$) での流速分布より分かる通り、高圧タービン配管内を流れる蒸気流は、同配管壁と γ プラグ壁とにより形成されるギャップ内に顕著には流れ込まない。ただし、図 3. 12 左側に示した γ プラグ上端面位置 ($J=6$) での流速分布から分かる通り、高圧タービン配管内を流れる蒸気流は同ギャップ両側近傍の空間に影響を及ぼすため、結果的に同ギャップ上部から下部に向う流れが生じる。この流れは、図 3. 14 左側に示した γ プラグ下端面位置 ($J=16$) にまで到達するものの、その絶対値は極めて小さなものとなっている。一方、乱流運動エネルギーの絶対値に関しては、同ギャップ内への蒸気流の侵入が極めて低く押えられているため、 γ プラグ下端面位置 ($J=16$) での値も小さなものとなっている。

第4章 検討

4.1 γ プラグ部流動状況の蒸気平均流速依存性

図4.1に、 γ プラグ中央下端面 ($I=28, J=15$) におけるJ方向流速成分Vの軸方向分布についてCase-1とCase-2を比較する。結果より分かる通り、両ケース共に、J方向流速成分Vの軸方向分布の特徴は、 γ プラグ下端位置近傍で最大値をとる点にある。これは、図3.3および図3.7に示した γ プラグ中央垂直面 ($I=28$) での流速ベクトル図より分かる様に、高圧タービン出口配管内を流れる蒸気流の一部が γ プラグ内に流入し、 γ プラグ下端面に向って蒸気が流れることに起因する。なお、両ケースについての高圧タービン出口配管内蒸気平均流速 U_{mean} と γ プラグ内J方向流速成分最大値 V_{max1}, V_{max2} との関係は、以下の様になる。

	Case-1	Case-2
U_{mean} (m/s)	41.3 (U_{mean1})	31.3 (U_{mean2})
U_{mean2}/U_{mean1}	0.7579	
V_{max} (m/s)	3.40 (V_{max1})	2.86 (V_{max2})
V_{max2}/V_{max1}	0.8412	

上記結果より分かる通り、 γ プラグ内J方向流速成分最大値の両ケース間での比率 V_{max2}/V_{max1} (0.8412) は、高圧タービン出口配管内蒸気平均流速の両ケース間での比率 U_{mean2}/U_{mean1} (0.7597) に比べて大きい。すなわち、Case-2における高圧タービン出口配管内蒸気平均流速がCase-1での値の約76%に減少しているのに対し、 γ プラグ内J方向流速成分最大値の減少割合は約84%と高い値に留まっていることを示している。

図4.2に、 γ プラグ中央下端面 ($I=28, J=16$) における乱流運動エネルギー k の軸方向分布についてCase-1とCase-2を比較する。また、以下に、高圧タービン出口配管内蒸気平均流速 U_{mean} と γ プラグ内J方向乱流運動エネルギー最大値 k_{max1}, k_{max2} との関係を示す。

	Case-1	Case-2
U_{mean} (m/s)	41.3 (U_{mean1})	31.3 (U_{mean2})
U_{mean2}/U_{mean1}	0.7579	
k_{max} (m^2/s^2)	7.67 (k_{max1})	5.28 (k_{max2})
k_{max2}/k_{max1}	0.6884	

結果より分かる通り、両ケース共に乱流運動エネルギー k の最大値は γ プラグ下端位置近傍に現れ、両ケース間でのその比率は約0.69である。この値は、高圧タービン出口配管内蒸気平均流速の両ケース間での比率 U_{mean2}/U_{mean1} (0.7597) に比べて小さい。この傾

向は、 γ プラグ内J方向流速成分最大値と高圧タービン出口配管内蒸気平均流速との関係とは逆である。すなわち、 γ プラグ内での流動特性は、当該プラグ内での乱流運動エネルギー値よりも、 γ プラグ内での流速絶対値に支配されていることを示唆している。この事実は、一般的にエロージョン発生的主要因素として挙げられている衝撃的圧力(機械的作用)による材料への干渉作用と、機構論的に見て一致する。

4.2 改良型 γ プラグによるエロージョン防止効果

図4.3に、 γ プラグ中央下端面(I=28, J=15)におけるJ方向流速成分Vの軸方向分布についてCase-1とCase-3を比較する。また、以下に、両ケースについての高圧タービン出口配管内蒸気平均流速 U_{mean} と γ プラグ内J方向流速成分最大値 V_{max1} , V_{max3} とを比較する。

	Case-1	Case-3
U_{mean} (m/s)	41.3 (U_{mean1})	41.3 (U_{mean3})
U_{mean3}/U_{mean1}	1.0	
V_{max} (m/s)	3.40 (V_{max1})	0.015 (V_{max3})
V_{max3}/V_{max1}	0.0044	

結果より分かる通り、高圧タービン出口配管内蒸気平均流速が41.3 m/sの場合、改良型 γ プラグを採用した条件(Case-3)では、当該プラグ底部における最大流速は約1.5 cm/s程度となり、この値は既設 γ プラグ条件(Case-1)での値の約0.44%に相当する。以上より、改良型 γ プラグを非破壊検査用 γ 線源挿入貫通孔の閉止栓として採用することにより、 γ プラグ近傍におけるエロージョン作用に起因した減肉挙動を効果的に防止することができるかと結論づけられる。

第5章 結 言

単相多次元熱流動解析コード AQUA を用いて、新型転換炉「ふげん」の非破壊検査用 γ 線源挿入貫通孔の閉止栓 (γ プラグ) 部近傍を対象とした流動解析を実施した。さらに、得られた結果に基づき、当該部位における流動特性を検討した。得られた結果は、次の通りである。

- (1) 既設 γ プラグ条件において、高圧タービン出口配管内蒸気平均流速を 41.3 m/s (100 %) から 31.3 m/s (75.8 %) に低下させた場合には、 γ プラグ内流速成分最大値の低下は約 84 % となる。
- (2) 改良型 γ プラグ条件における γ プラグ内流速成分最大値は、既設 γ プラグ条件での値の約 0.44 % となる。

参考文献

- 1) 村松 他、单相多次元熱流動解析コード AQUA 利用手引書、PNC ZN9460 91-006

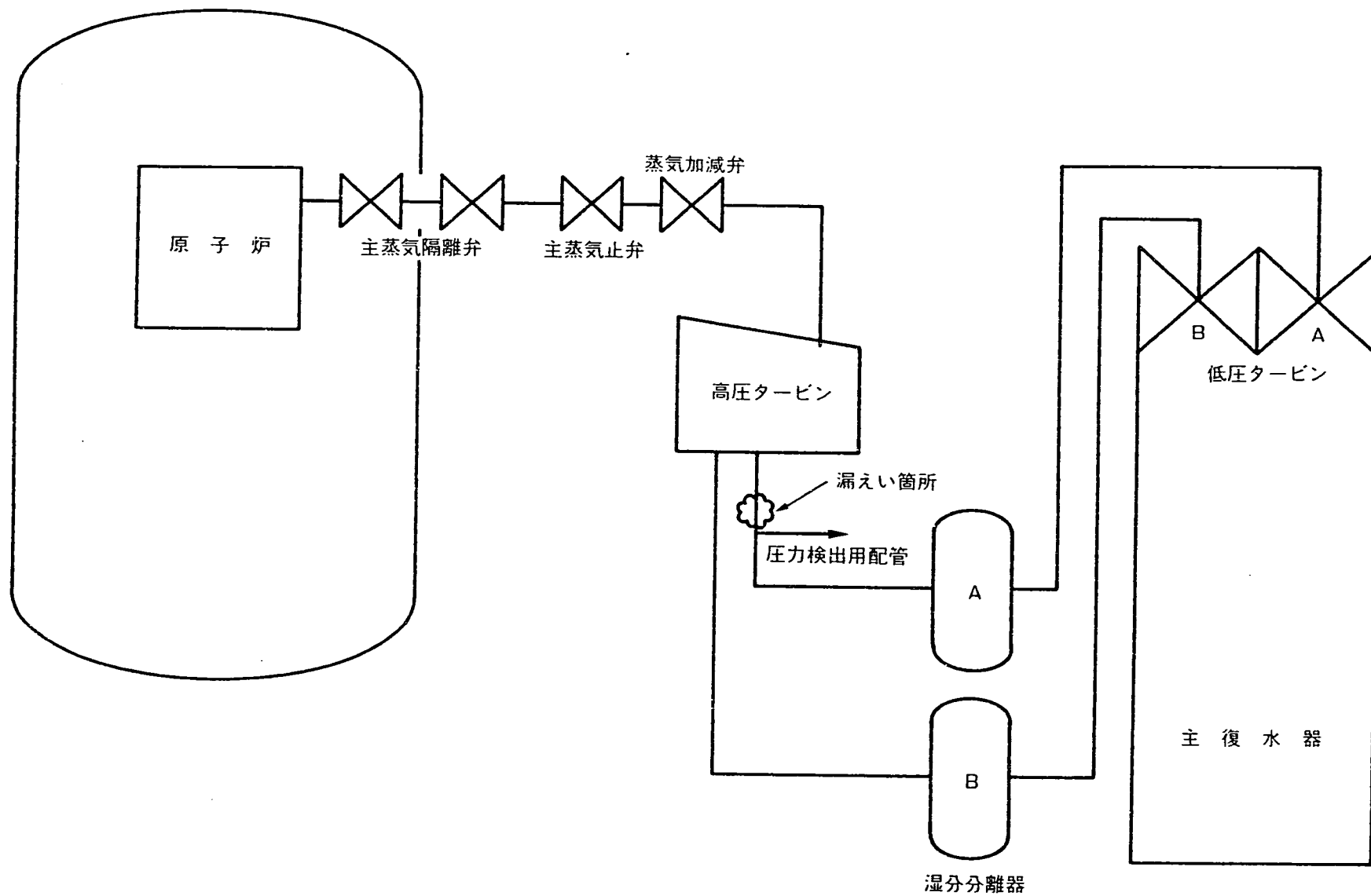


図 2.1 新型転換炉「ふげん」発電所主蒸気系概要図

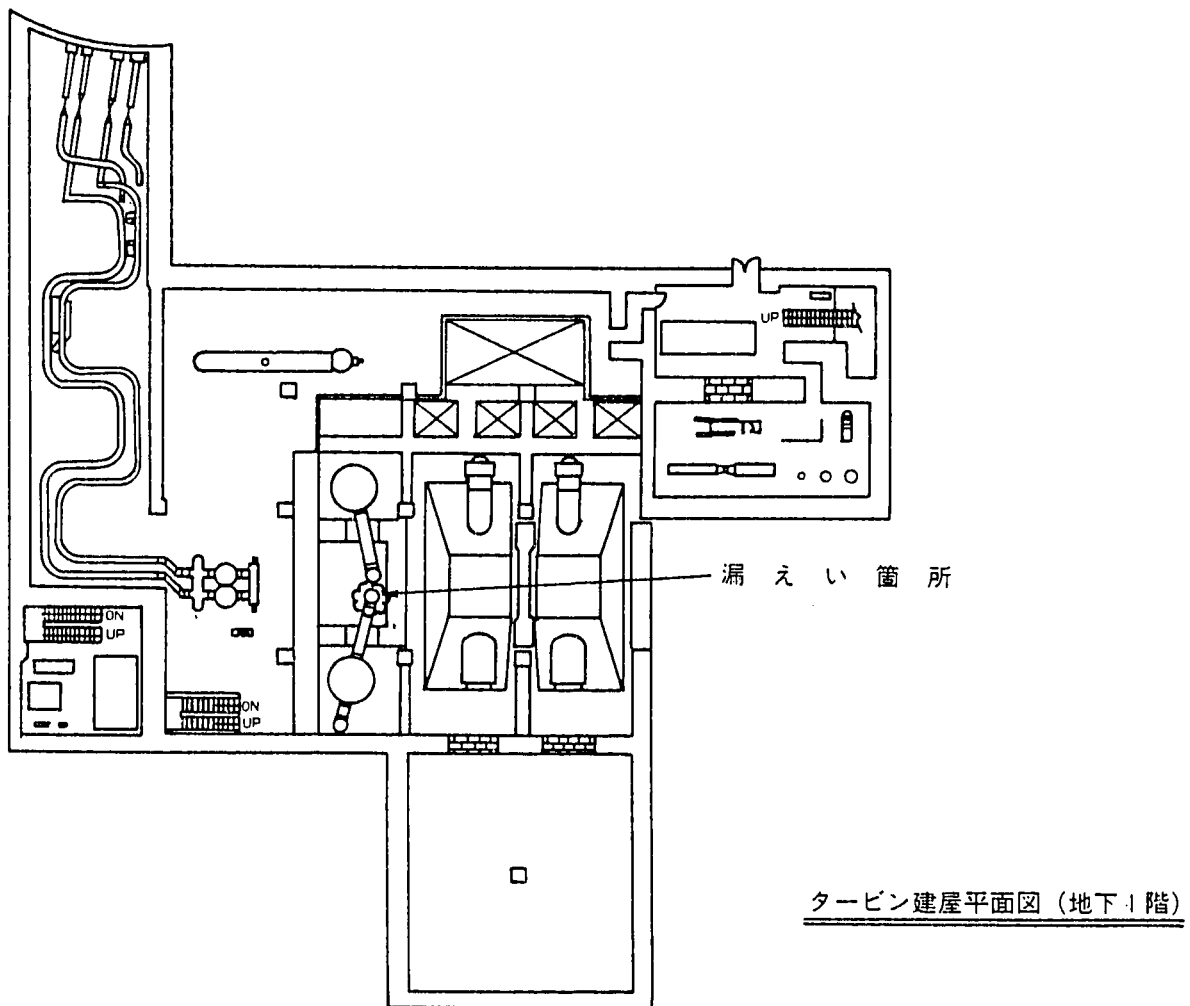
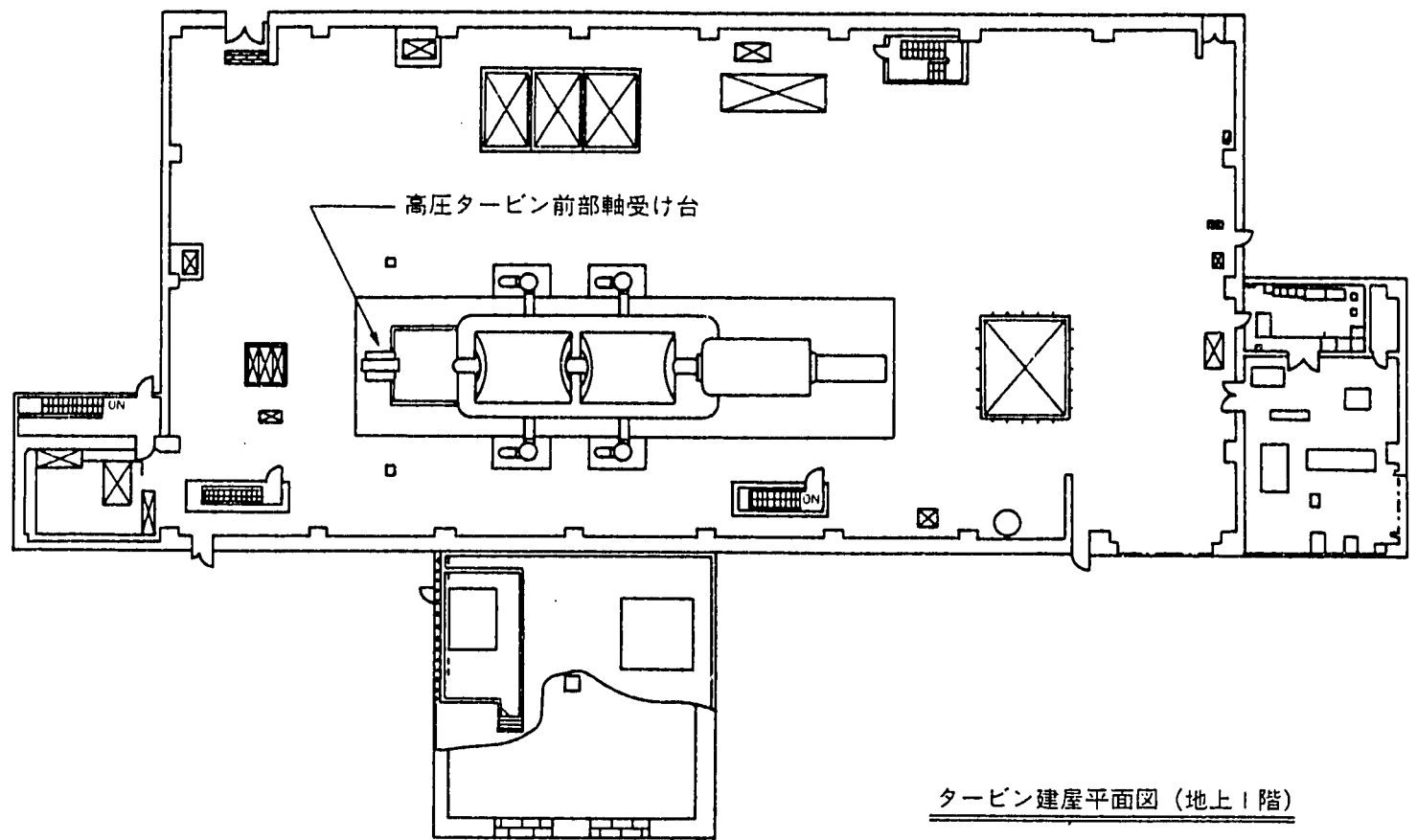
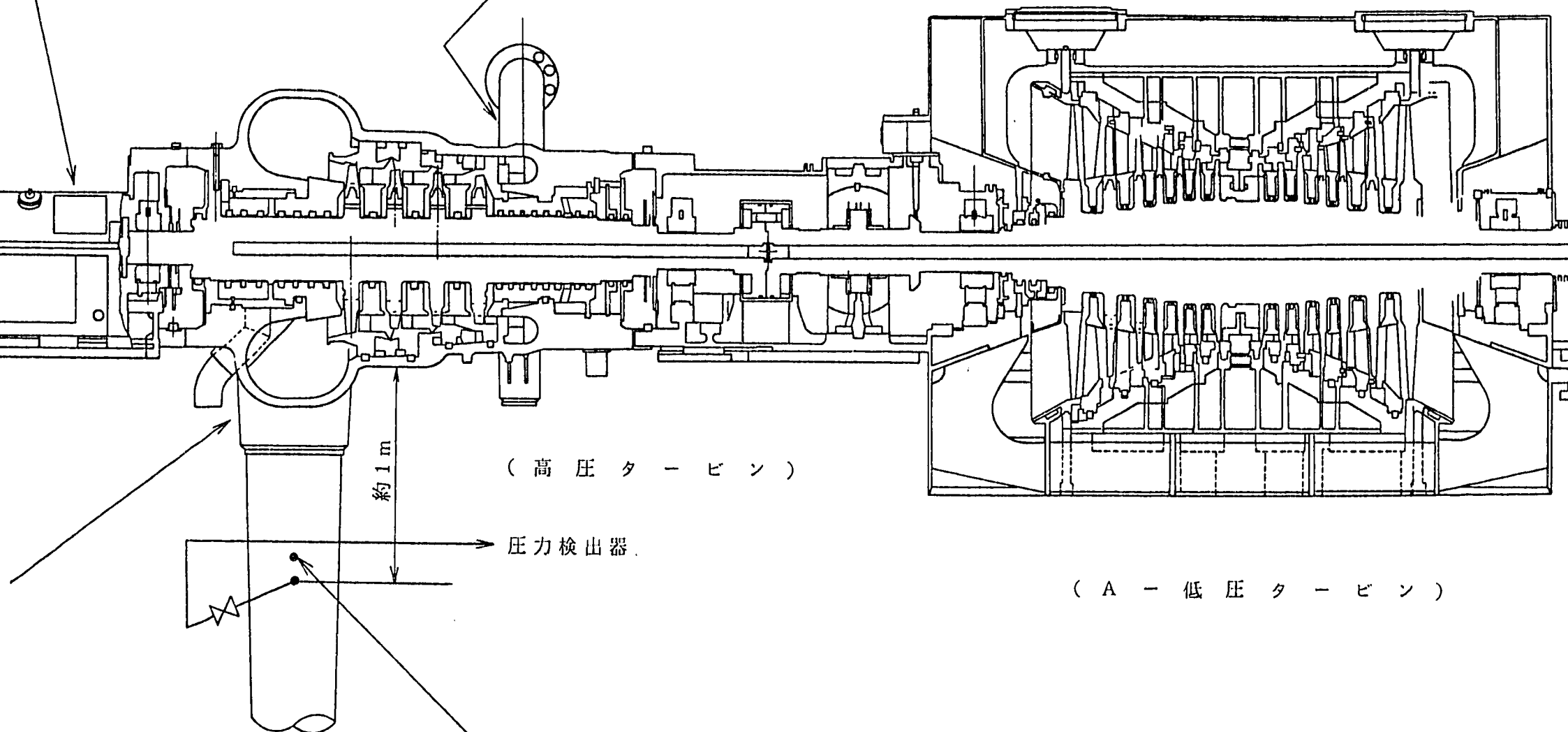


図 2.2 新型転換炉「ふげん」発電所 主要建屋平面図 (タービン建屋)

軸受台

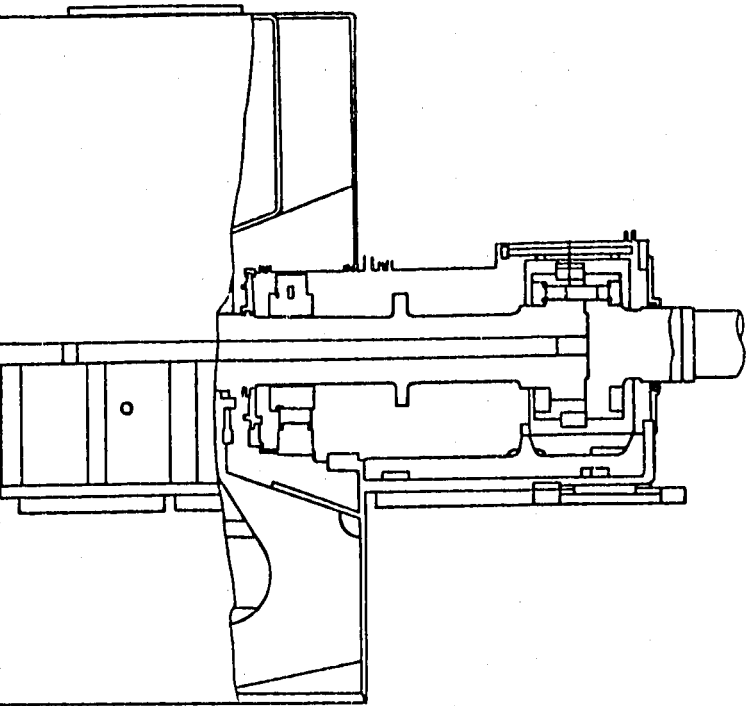
主蒸気入口



(高圧タービン)

(A - 低圧タービン)

漏えい箇所 (検出配管管台より約1.5cm上にあるプラグ部)



- ピン)

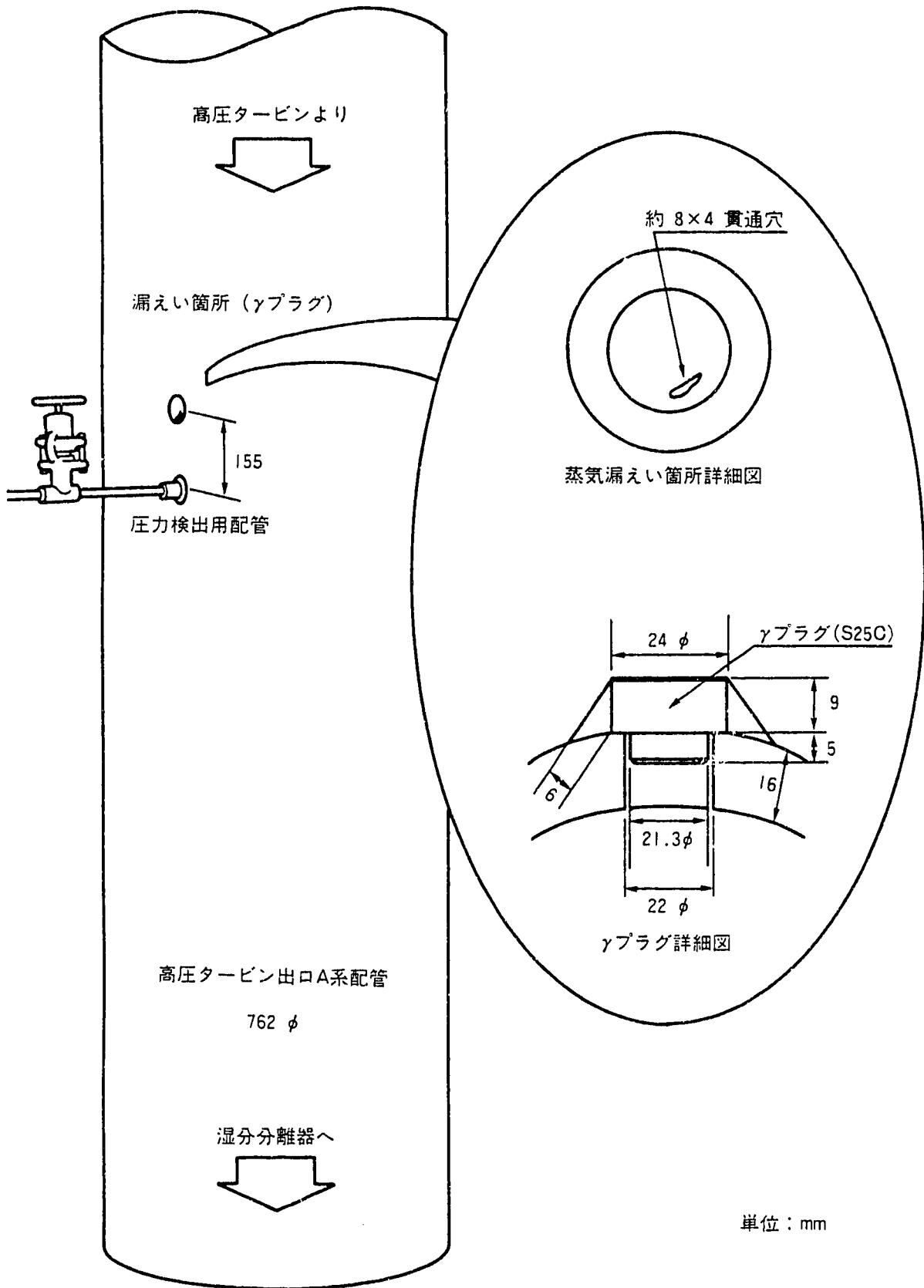


図 2.4 蒸気漏洩箇所見取図

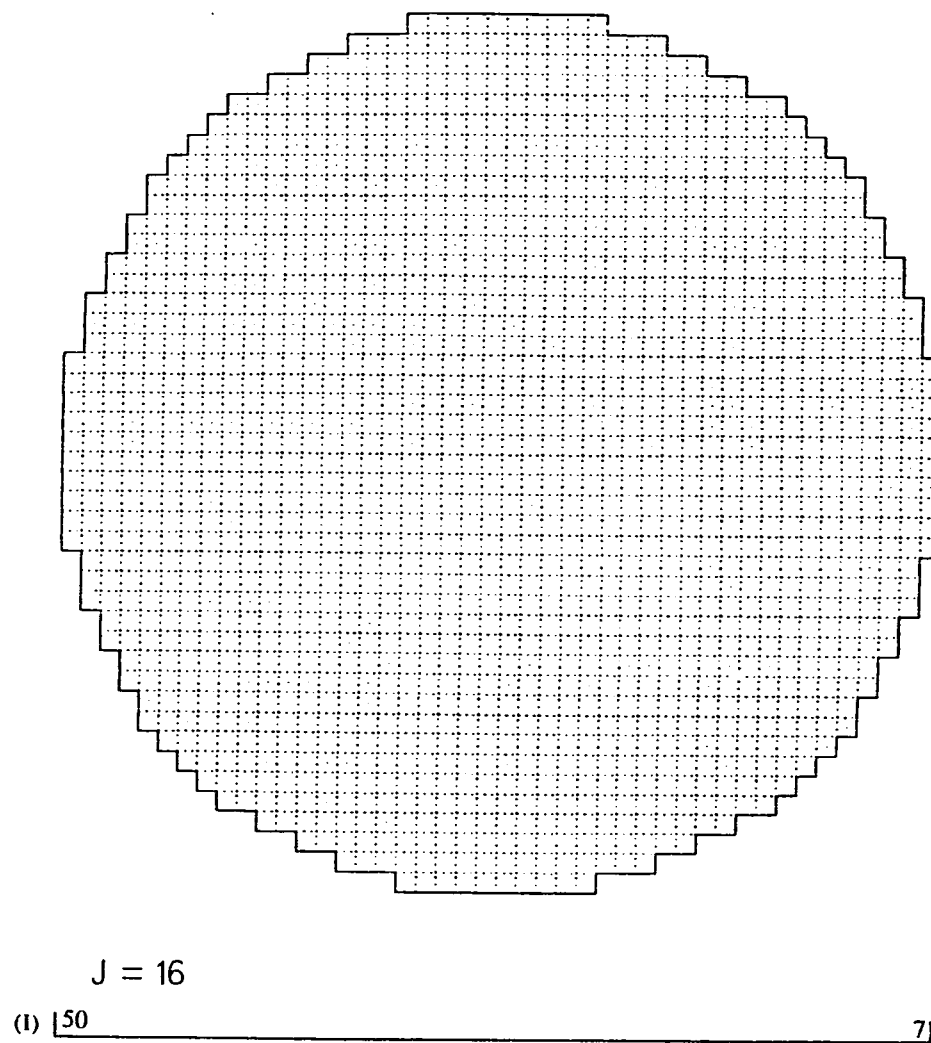
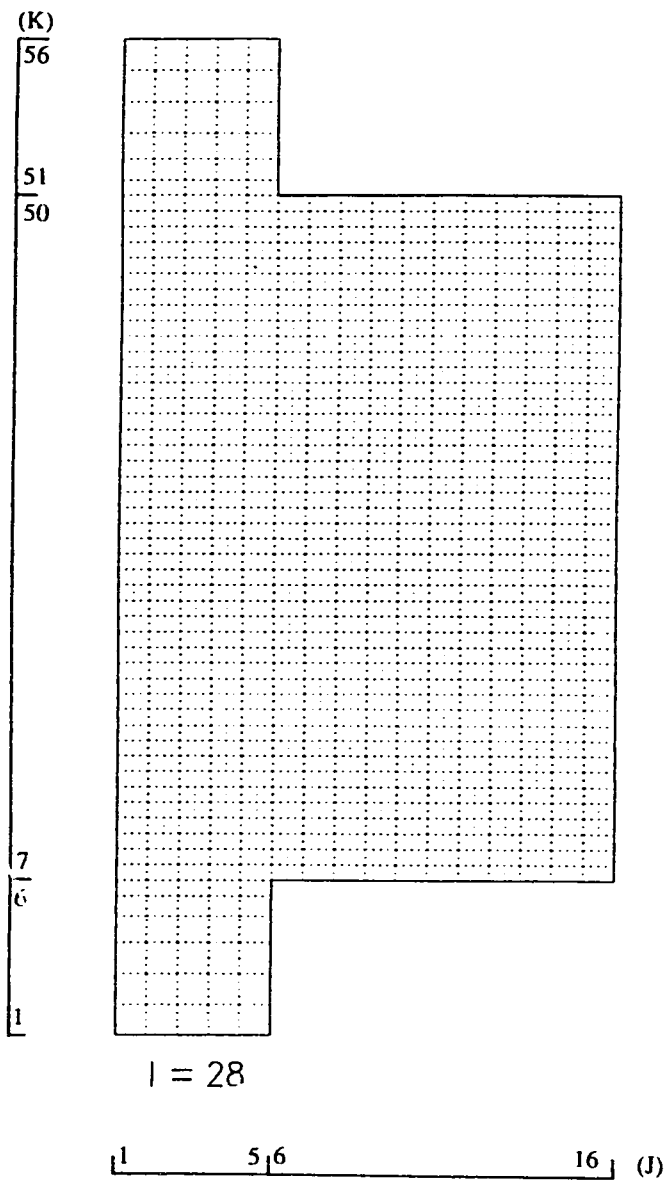


図 3.1 メッシュ分割図 (Case-1, Case-2)

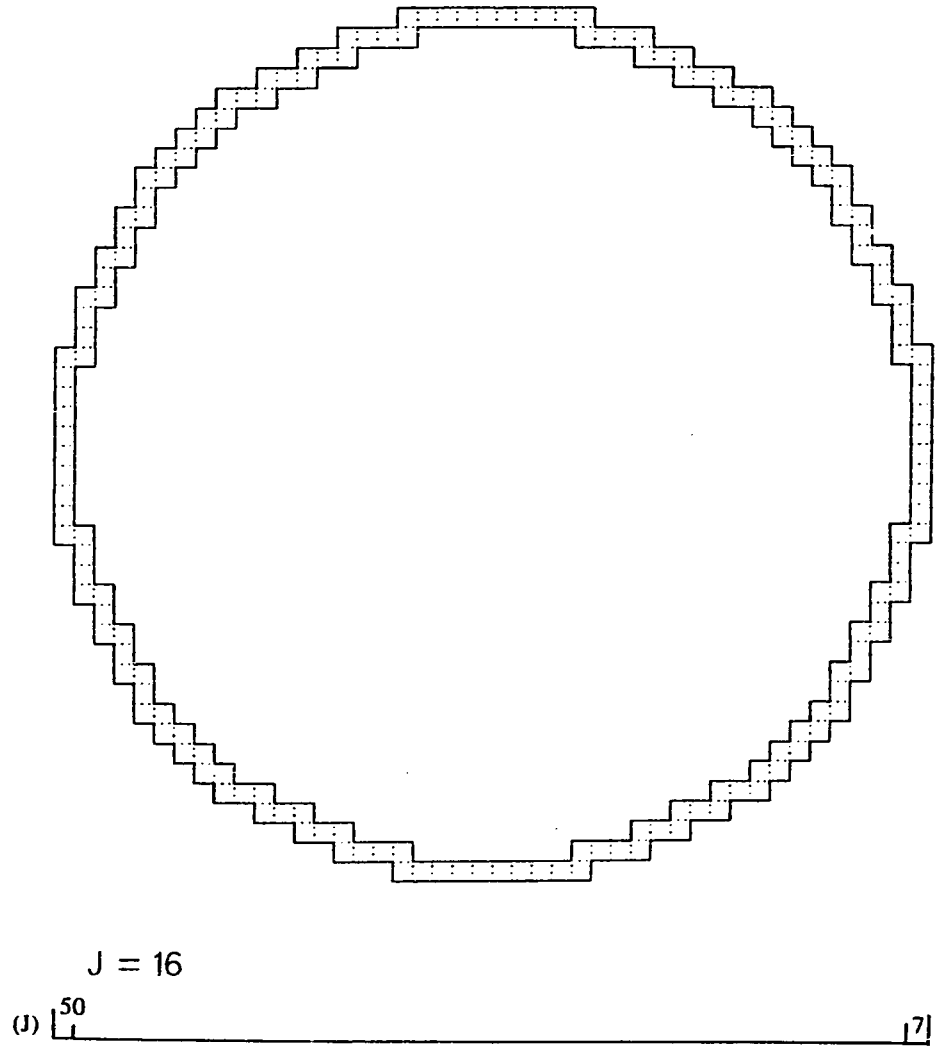
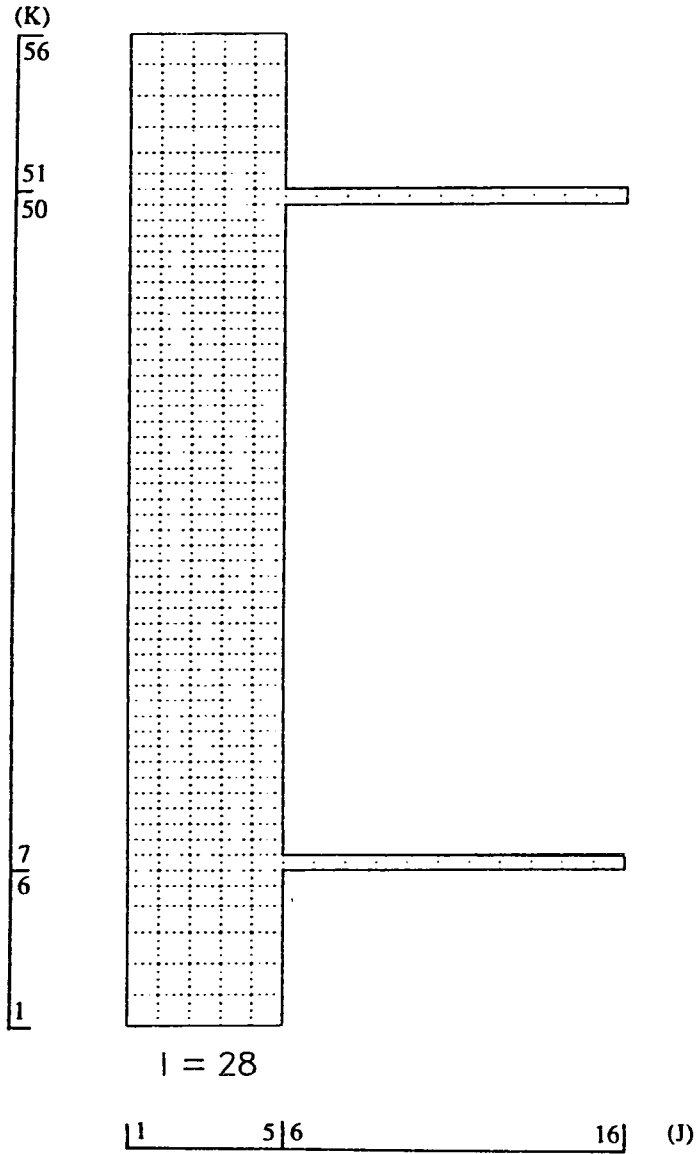


図 3.2 メッシュ分割図 (Case-3)

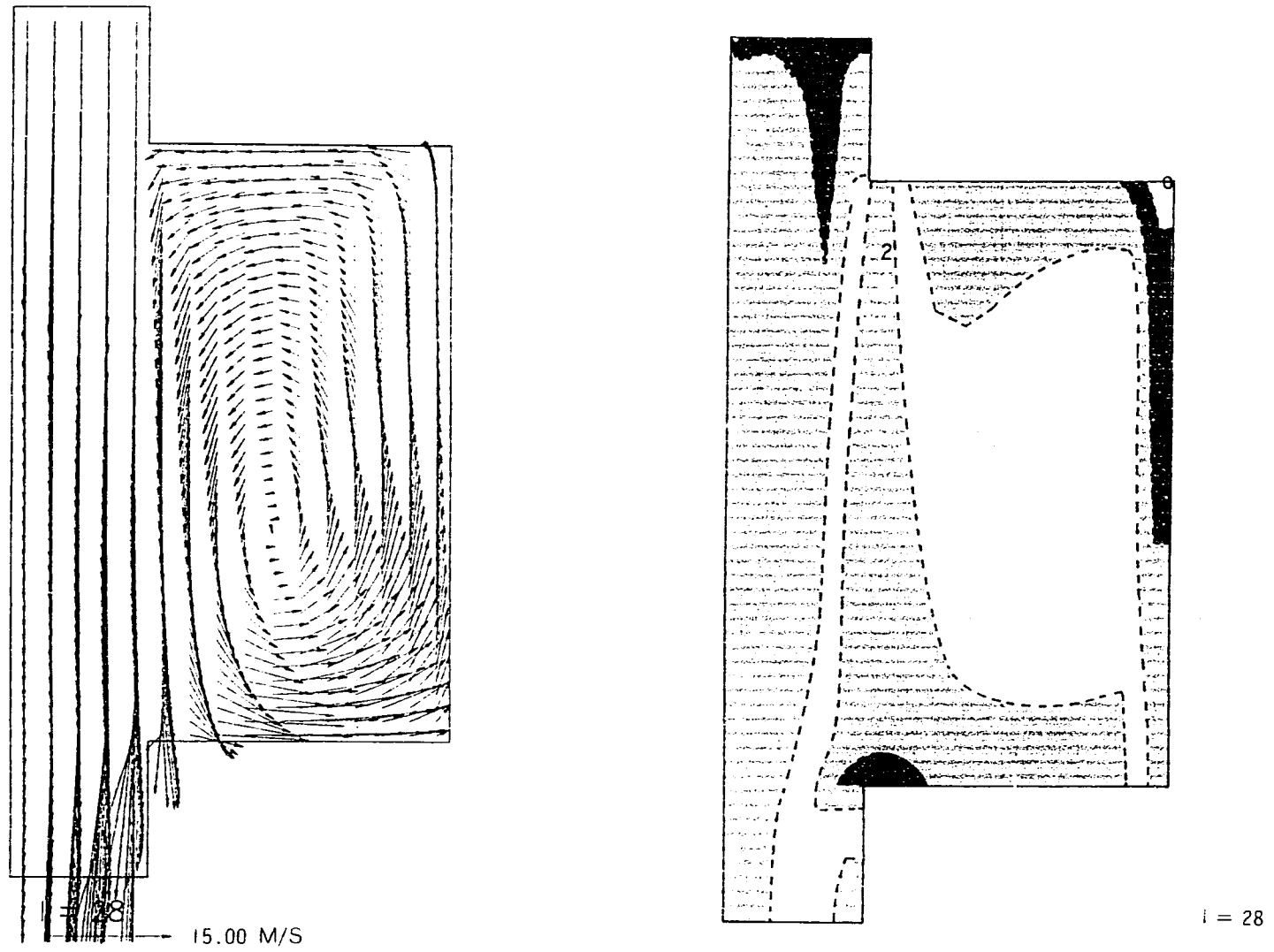


図 3.3 γ プラグ中央垂直断面 ($I=28$) での流速・乱流運動エネルギー分布 (Case-1)

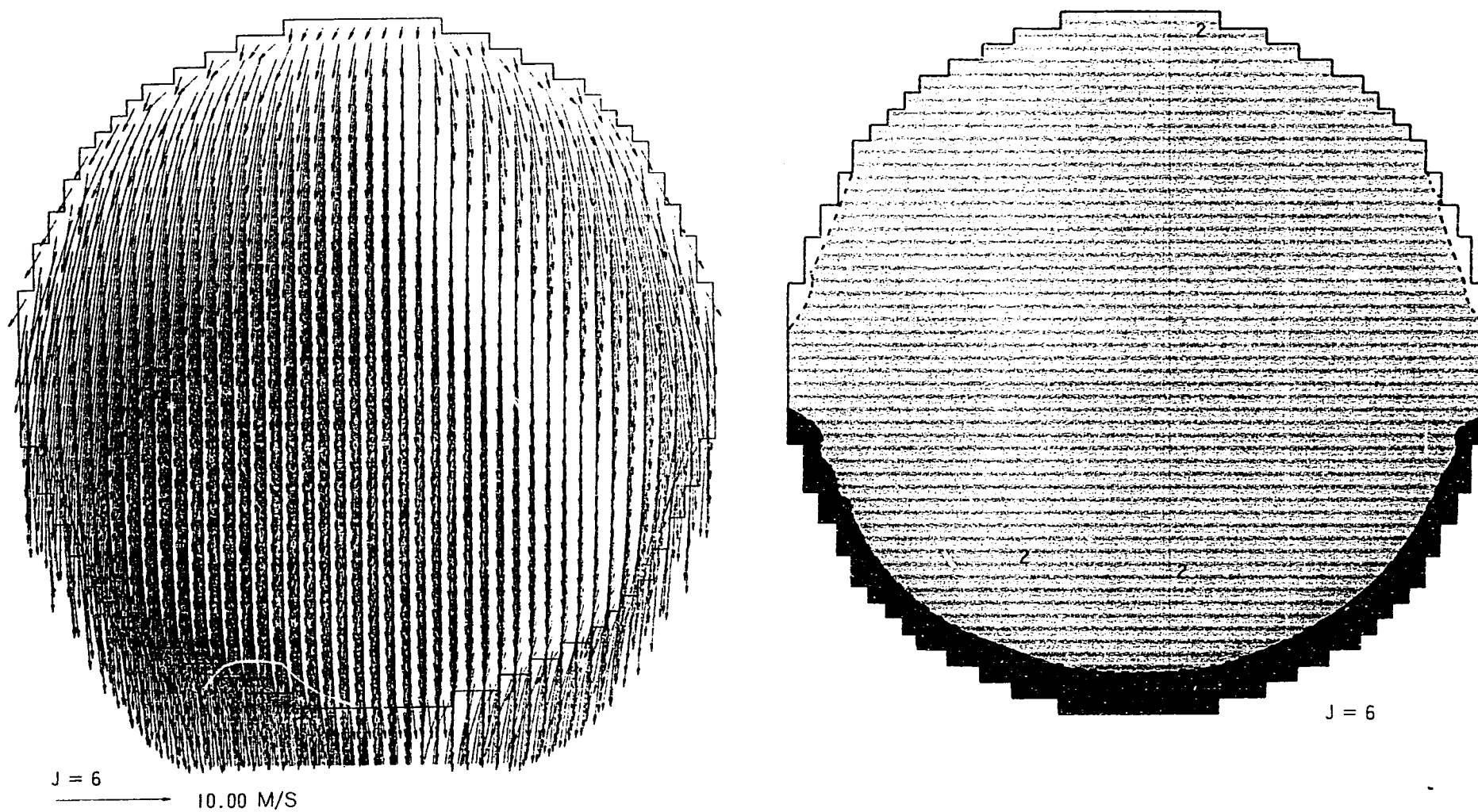


図 3.4 γ プラグ上端面 (J=6) での流速・乱流運動エネルギー分布 (Case-1)

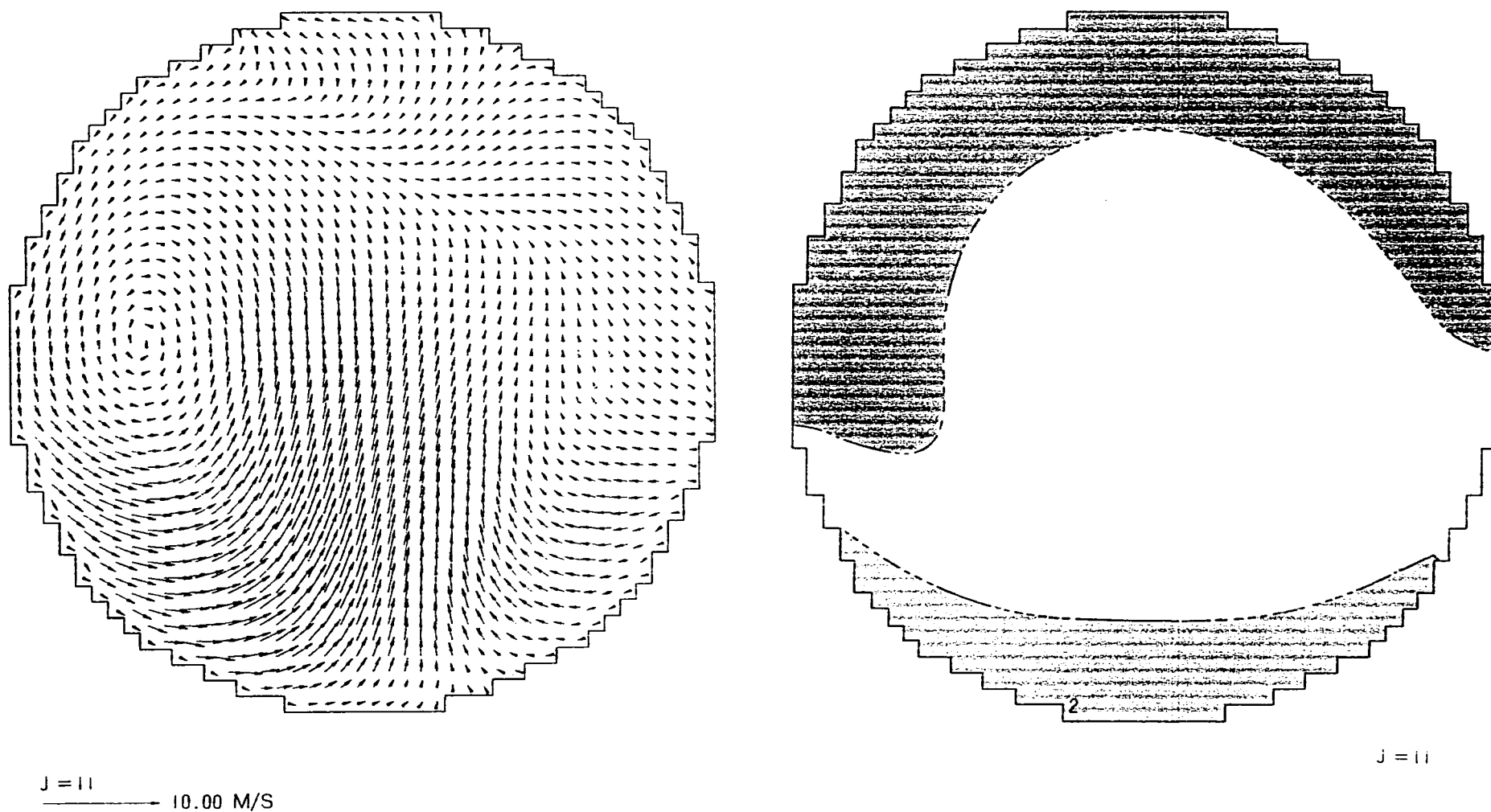


図 3.5 γ プラグ中央面 (J=11) での流速・乱流運動エネルギー分布 (Case-1)

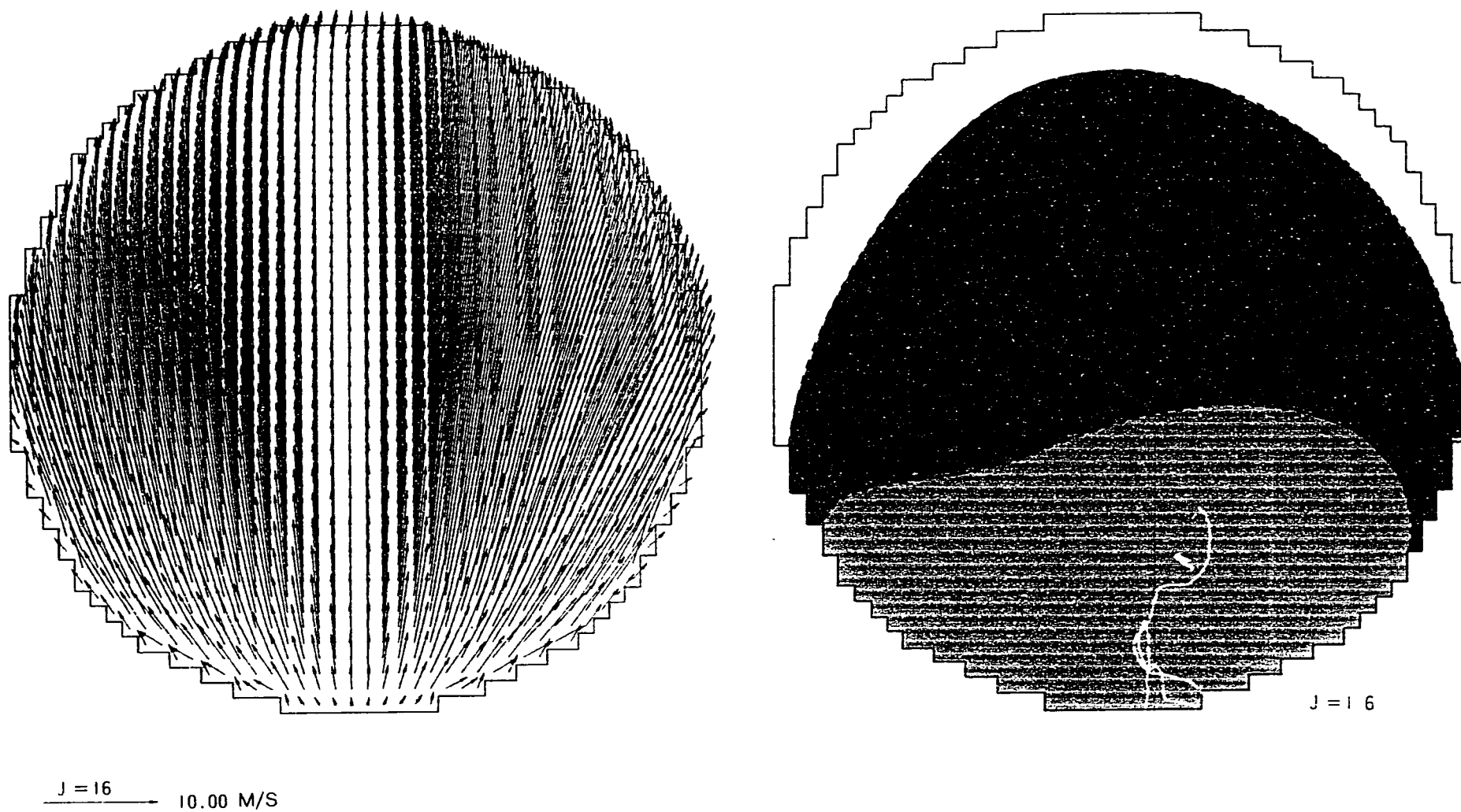
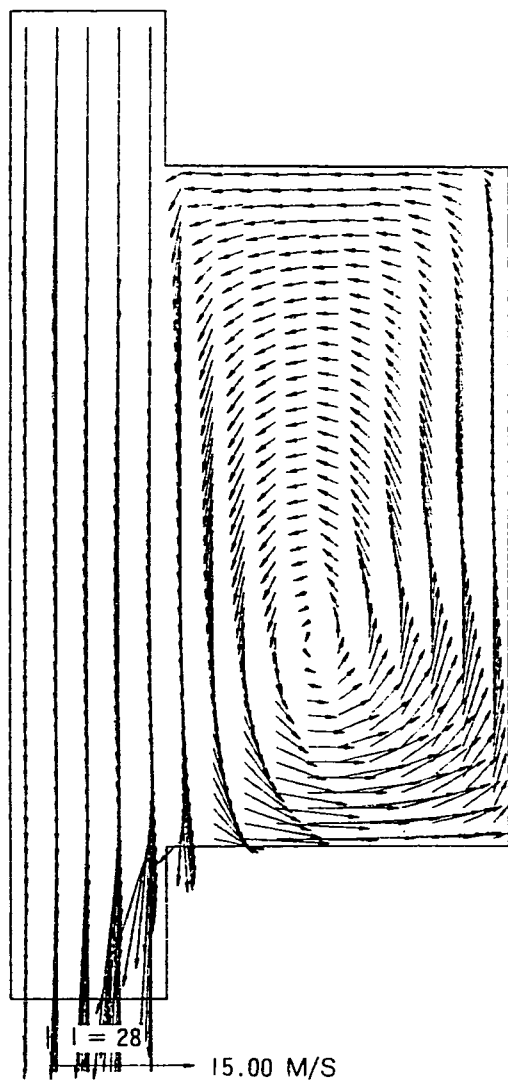
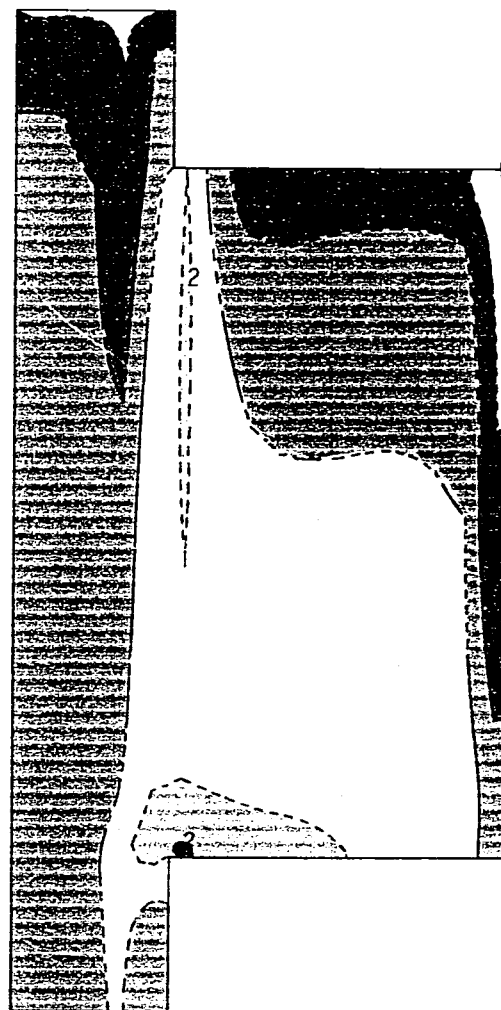


図 3.6 γ プラグ下端面 (J=16) での流速・乱流運動エネルギー分布 (Case-1)



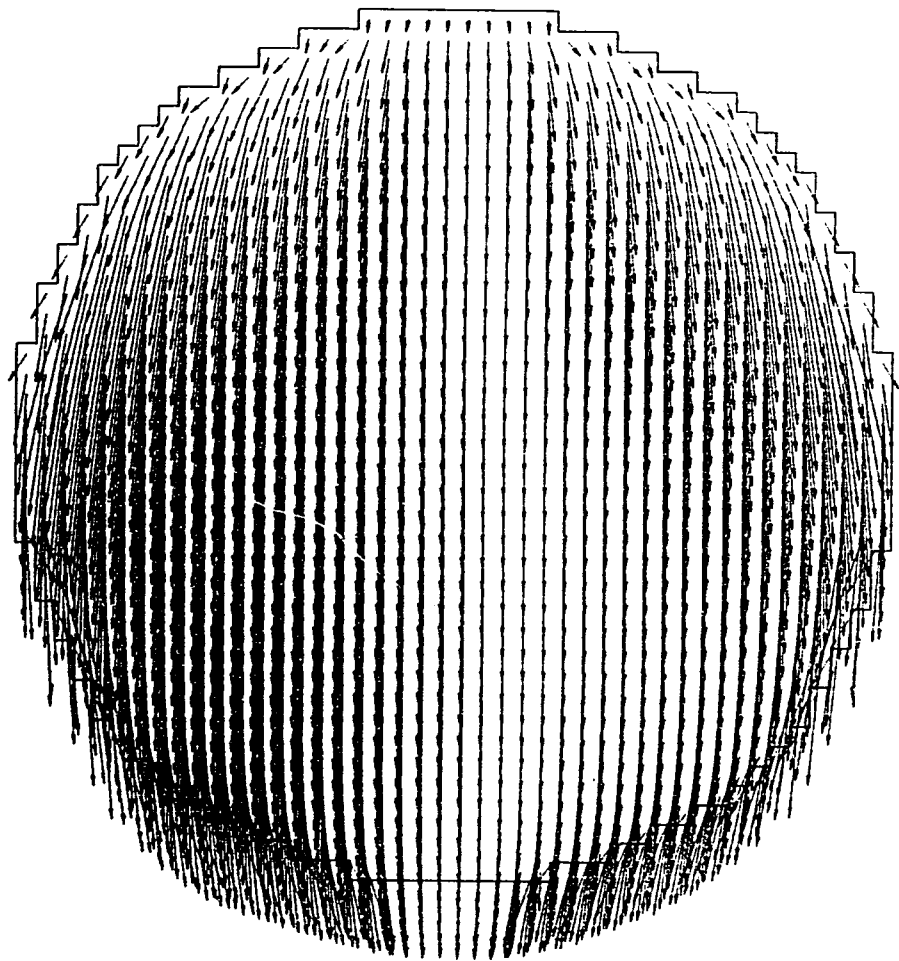
流速ベクトル (ケース 2)



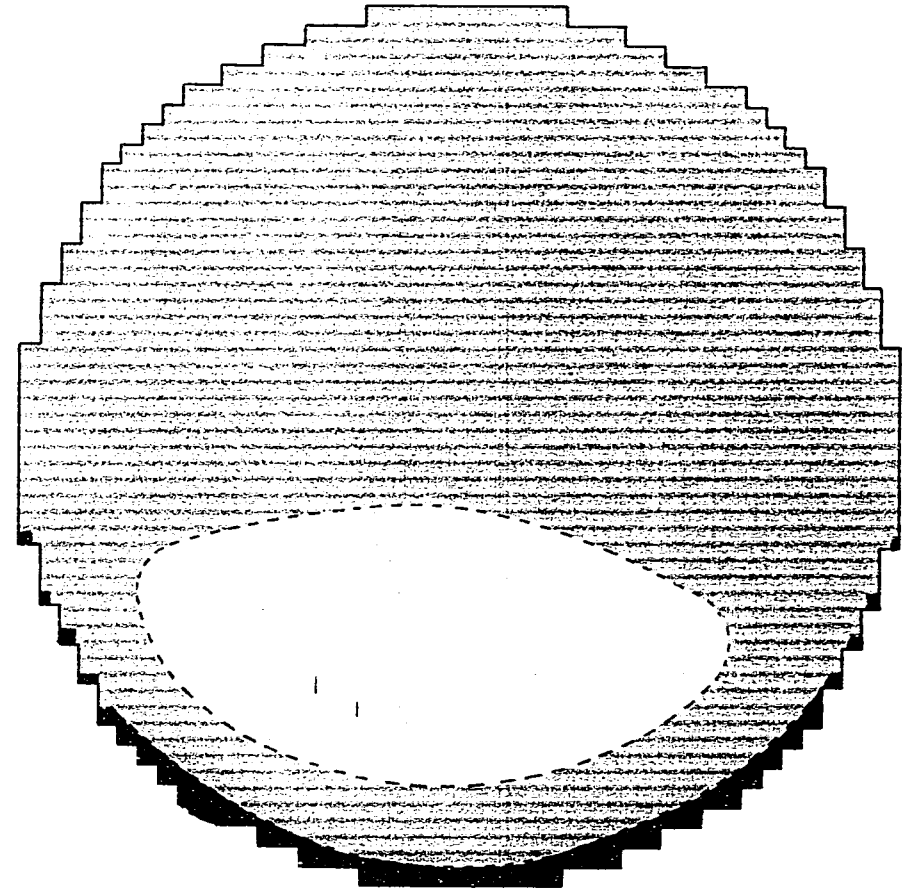
乱流エネルギー分布 (ケース 2)

I = 28

図 3.7 γ プラグ中央垂直断面 (I=28) での流速・乱流運動エネルギー分布 (Case-2)

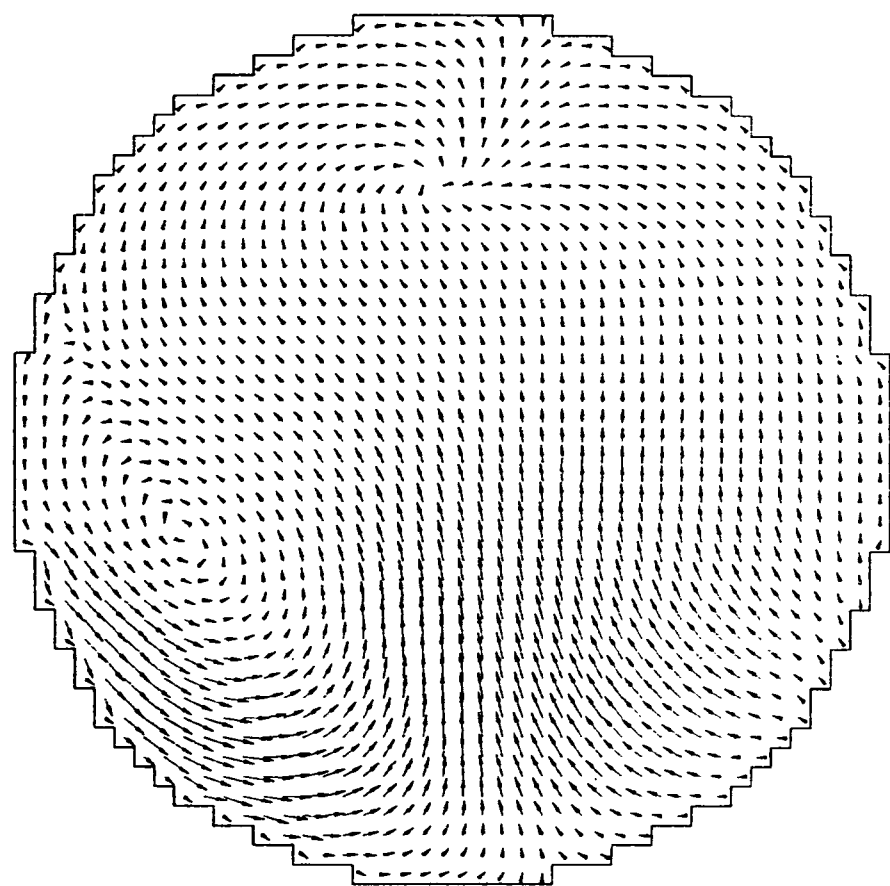


流速ベクトル図 (ケース2)



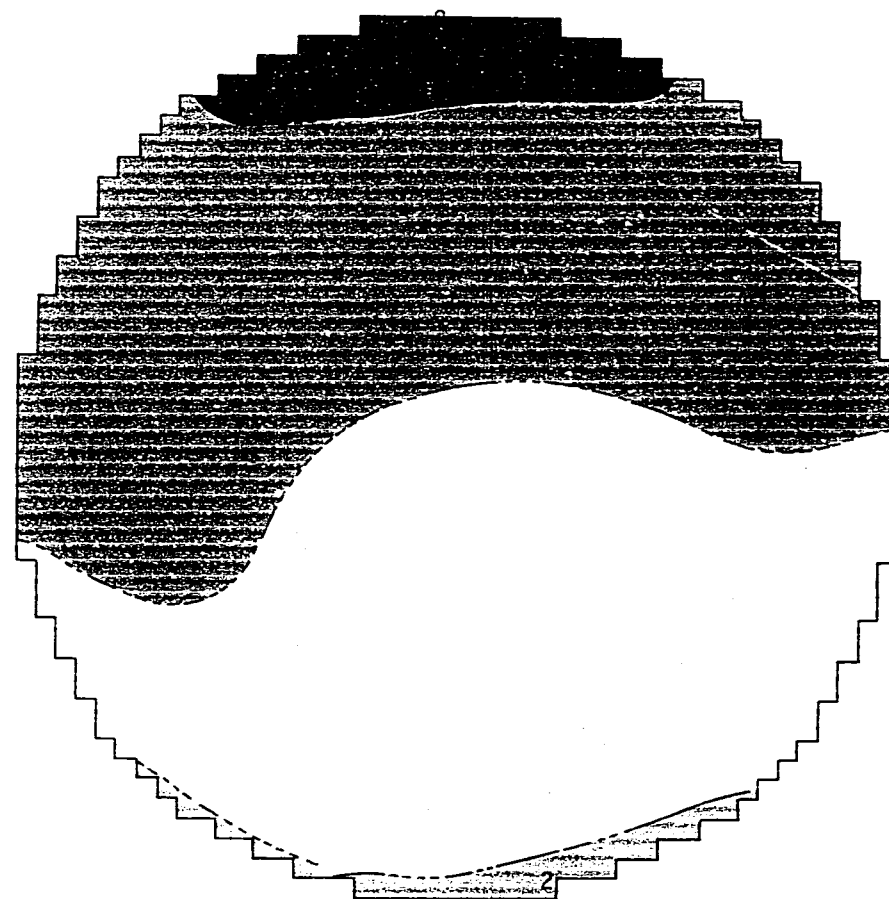
乱流エネルギー分布 (ケース2)

図 3.8 γ プラグ上端面 (J=6) での流速・乱流運動エネルギー分布 (Case-2)



J = 11
10.00 M/S

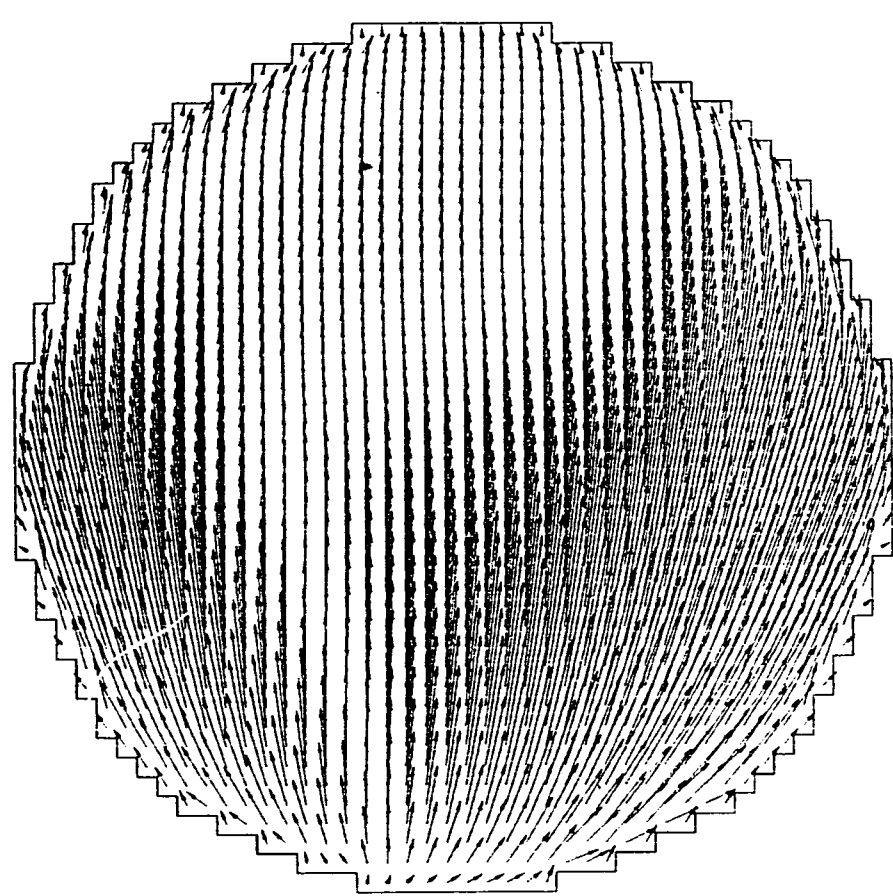
流速ベクトル図 (ケース 2)



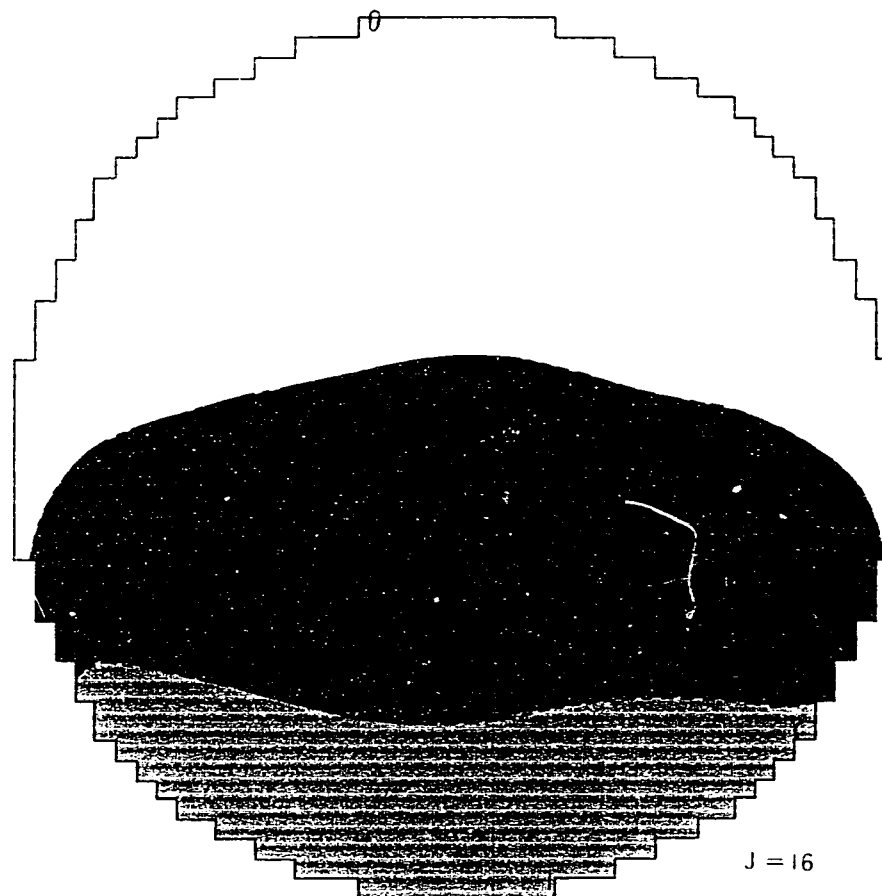
J = 11

乱流エネルギー分布 (ケース 2)

図 3.9 γ プラグ中央面 (J=11) での流速・乱流運動エネルギー分布 (Case-2)

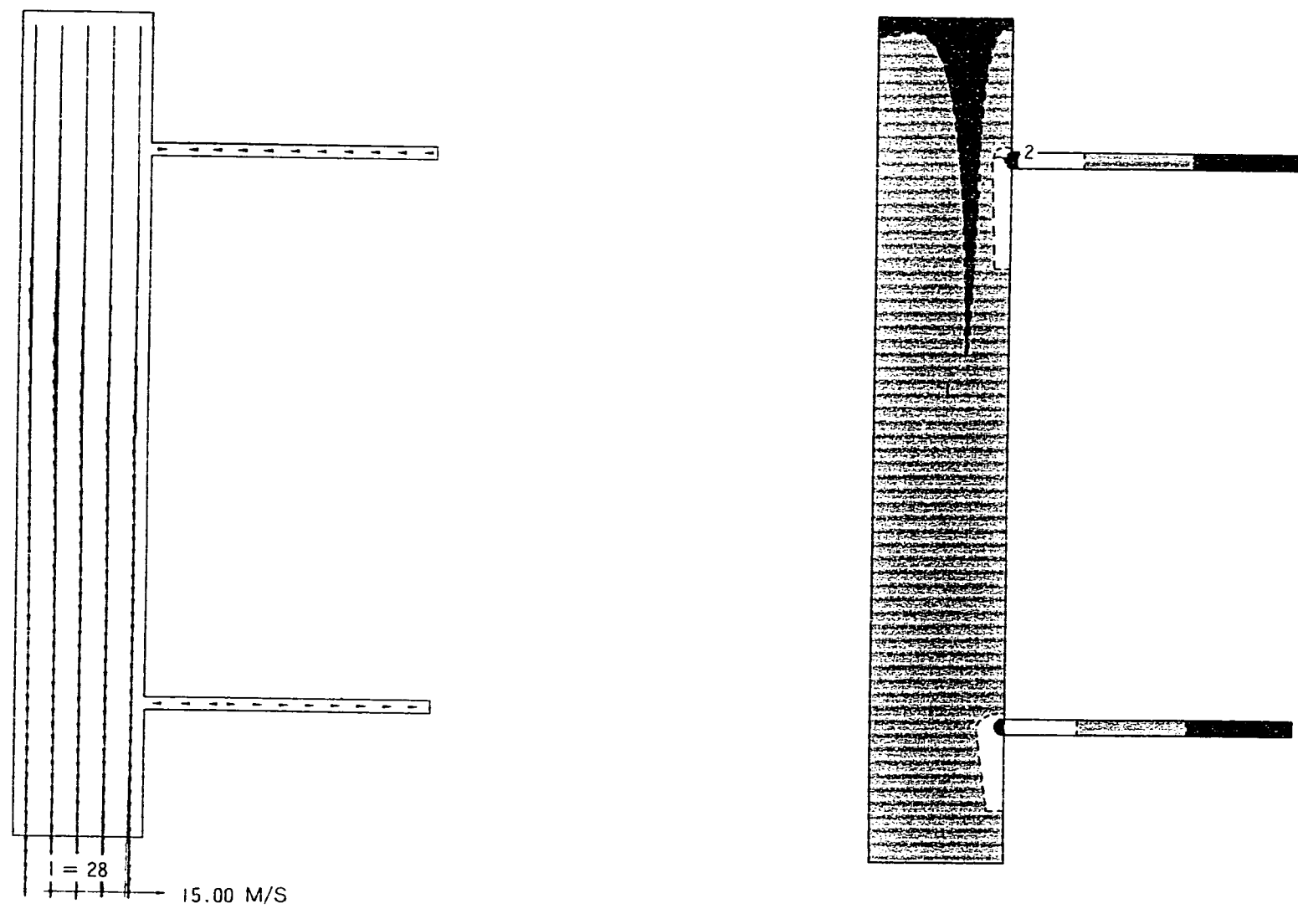


流速ベクトル図 (ケース 2)



乱流エネルギー分布 (ケース 2)

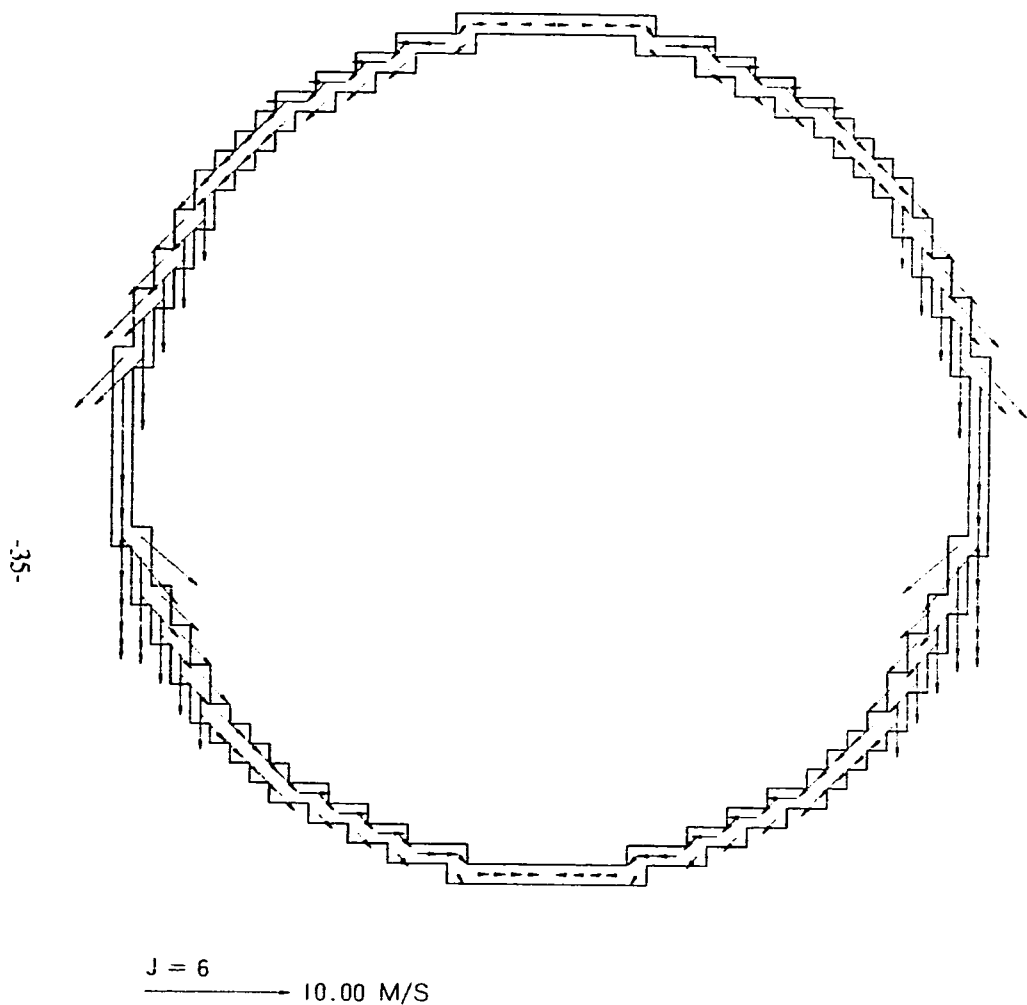
図 3. 10 γ プラグ下端面 (J=16) での流速・乱流運動エネルギー分布 (Case-2)



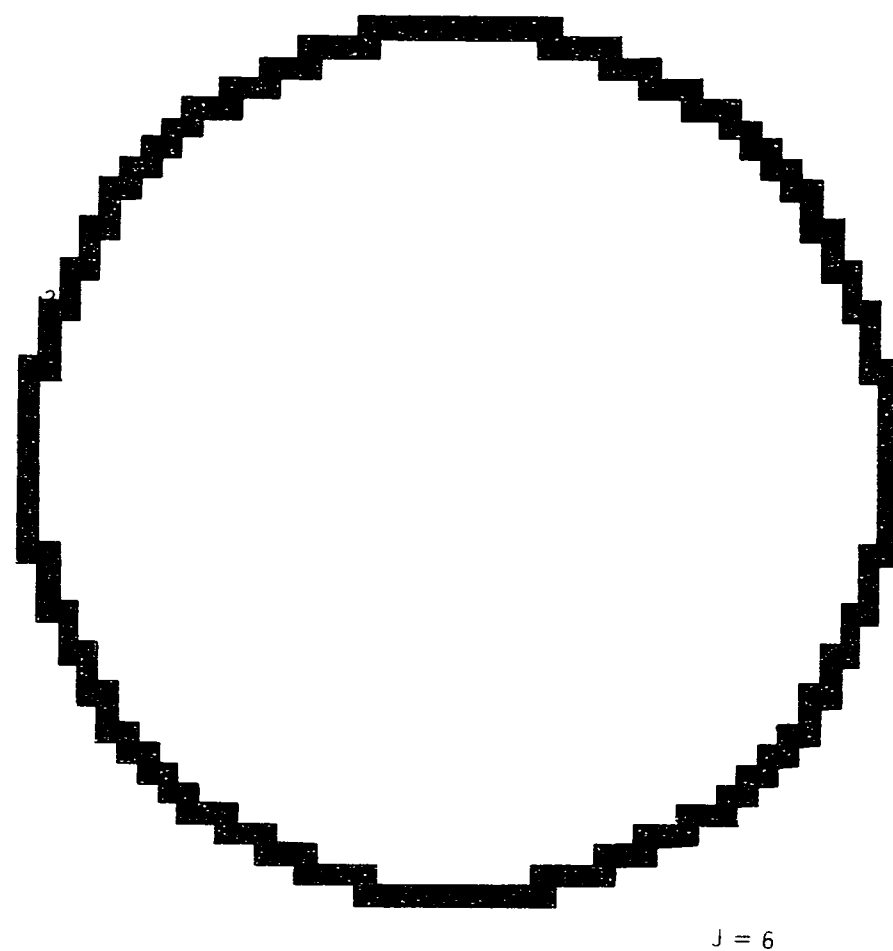
流速ベクトル図 (ケース3)

乱流エネルギー分布 (ケース3)

図 3.11 γ プラグ中央垂直断面 ($l=28$) での流速・乱流運動エネルギー分布 (Case-3)

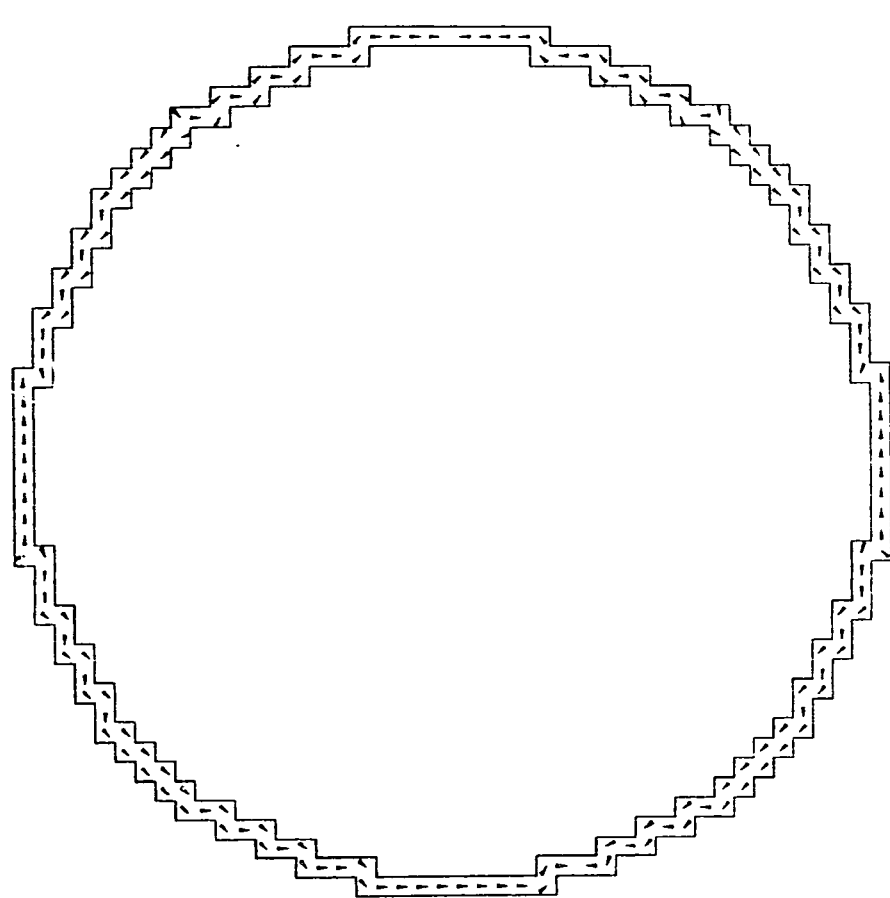


流速ベクトル図 (ケース 3)

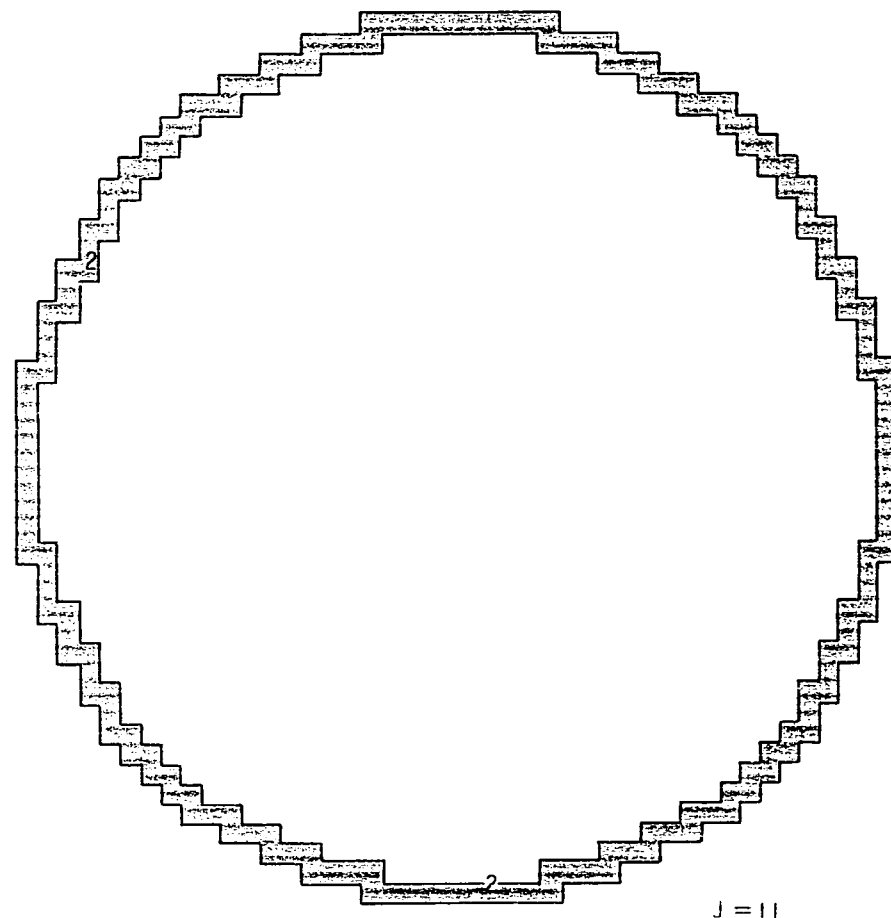


乱流エネルギー分布 (ケース 3)

図 3. 12 γ プラグ上端面 (J=6) での流速・乱流運動エネルギー分布 (Case-3)

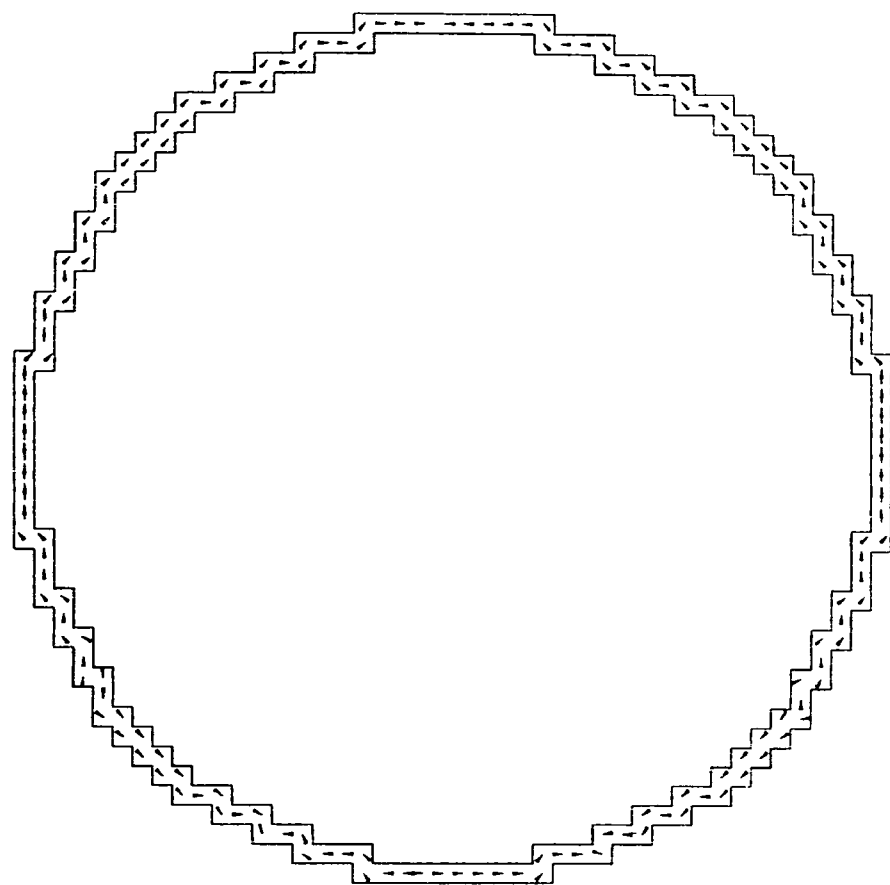


流速ベクトル図 (ケース 3)



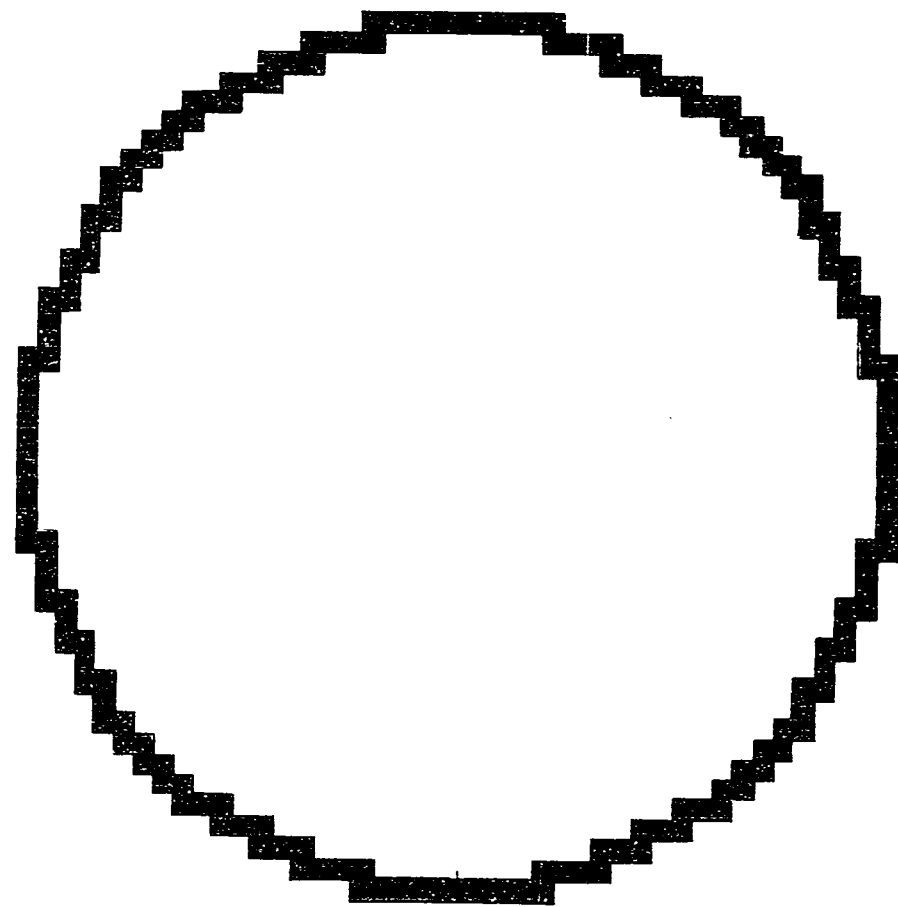
乱流エネルギー分布 (ケース 3)

図 3.13 γ プラグ中央面 (J=11) での流速・乱流運動エネルギー分布 (Case-3)



J = 16
 → 10.00 M/S

流速ベクトル図 (ケース 3)



J = 16

乱流エネルギー分布 (ケース 3)

図 3. 14 γ プラグ下端面 (J=16) での流速・乱流運動エネルギー分布 (Case-3)

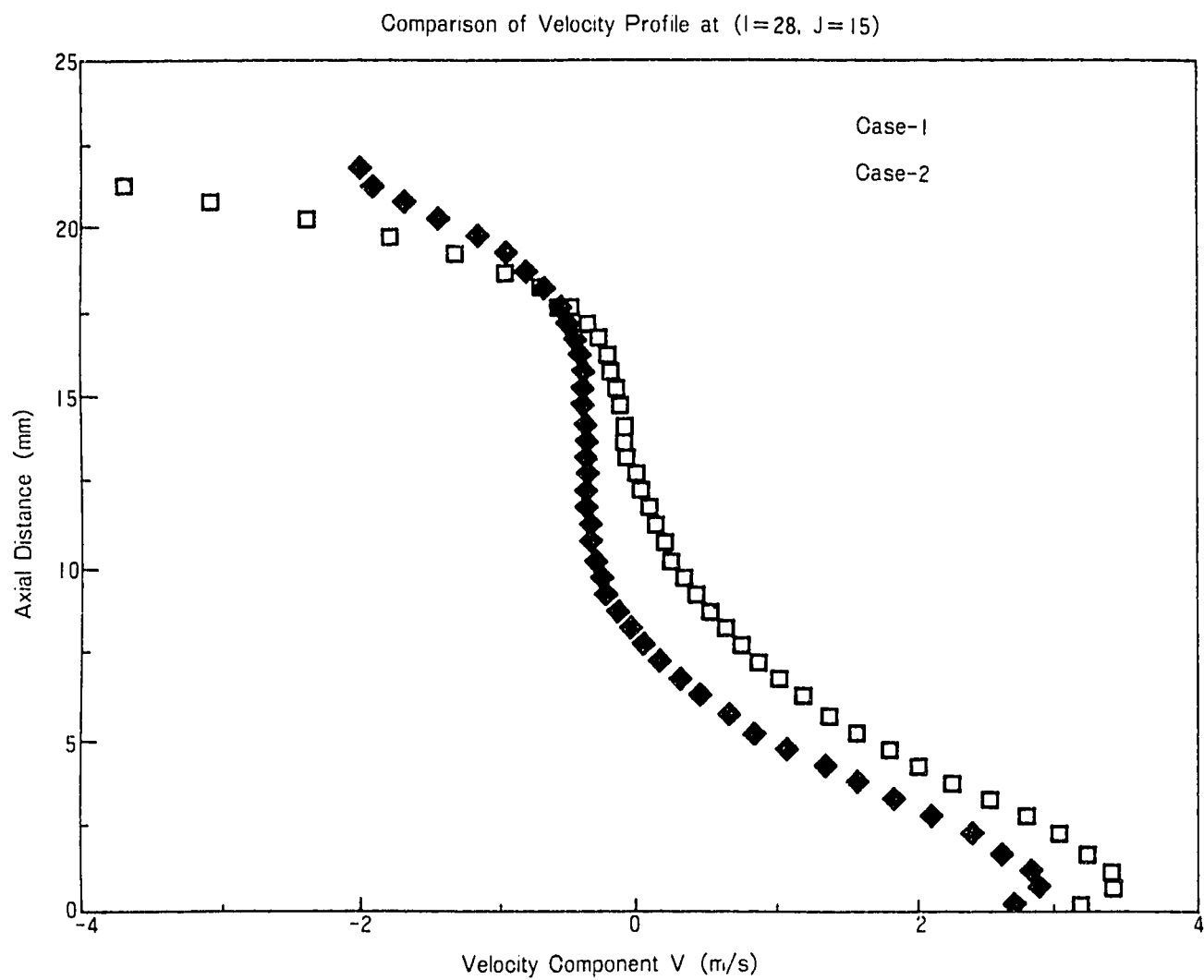


図 4.1 γ プラグ中央下端面(I=28, J=15) における J 方向流速成分 V の軸方向分布の比較(Case-1 Vs. Case-2)

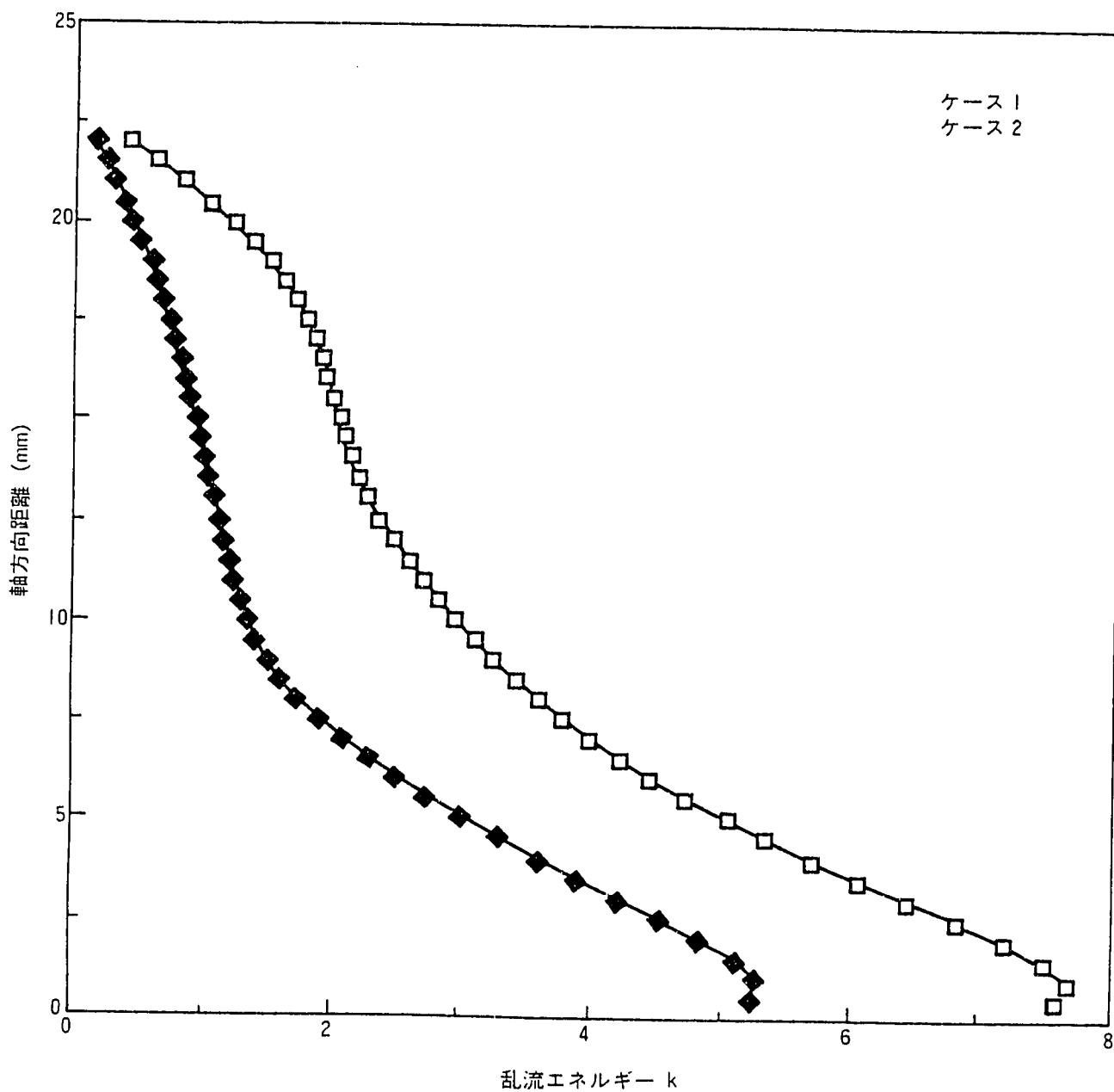


図 4.2 γ プラグ中央下端面($I=28, J=15$)における乱流運動エネルギー k の軸方向分布の比較(Case-1 Vs. Case-2)

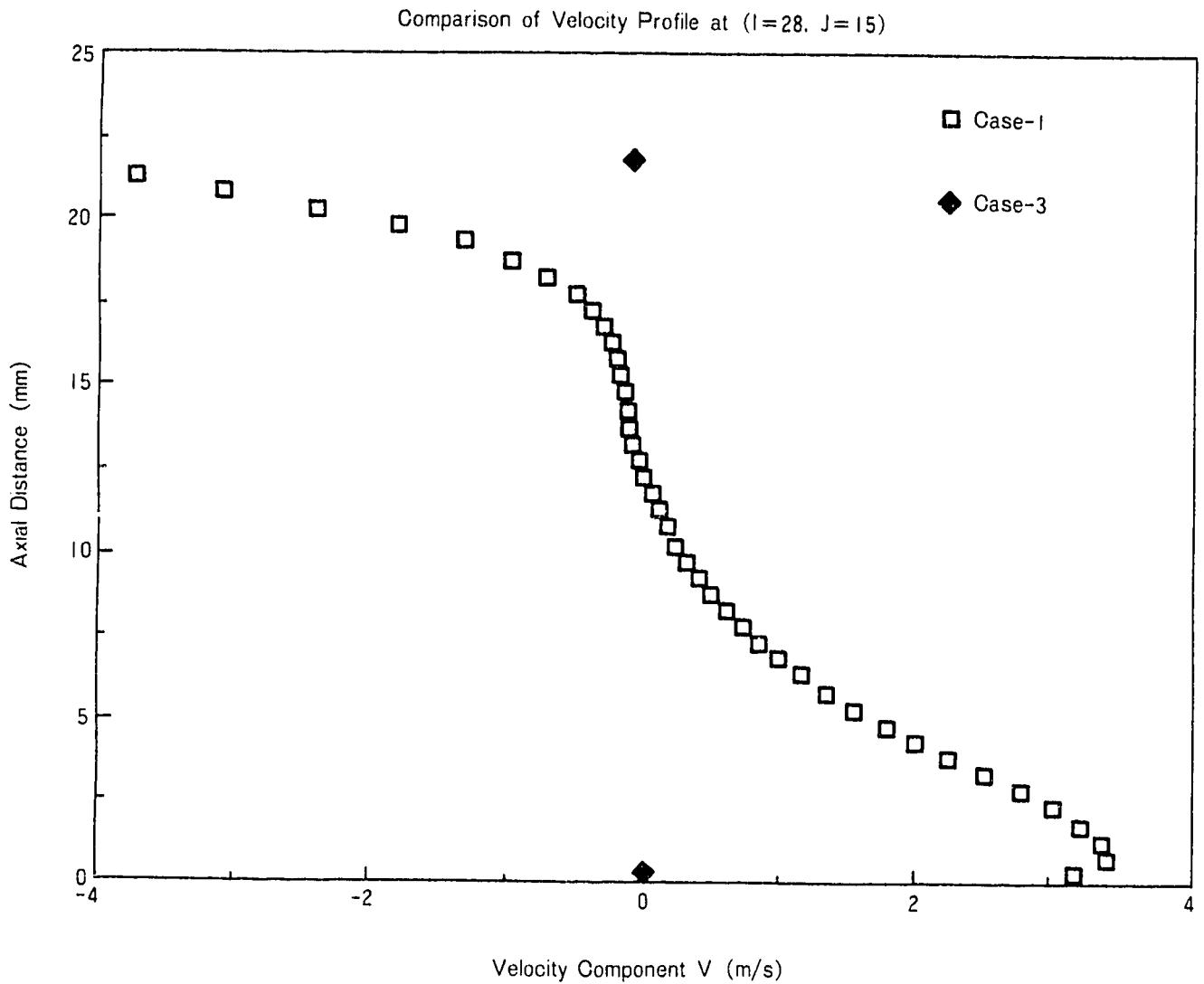


図 4.3 γ プラグ中央下端面(I=28, J=15)における J 方向流速成分 V の軸方向分布の比較(Case-1 Vs. Case-3)