

No. 2

NAL 突風風洞におけるストラット支持の場合の支持干渉について

藤枝郭俊、岩崎昭人、藤田敏美(航空宇宙技術研究所)

On the Evaluation of the Tare and Interference for Strut Mounting in NAL Gust Wind Tunnel

Hirotoshi Fujieda, Akihito IWASAKI, Toshimi FUJITA (NAL)

概 要

航技研突風風洞での風洞試験において、模型をストラットにより支持した場合の支持干渉について、これまでに実施された幾つかの天秤による力測定結果とストラット(前方主支柱、後方副支柱)による支持の場合の後流測定例を基にその特徴を検討した。ここでは、主に2本支持の場合における支持干渉の縦3分力(揚力、抗力及び縦揺れモーメント)への影響の主要因と干渉量の特徴について述べる。

1. はじめに

風洞試験では模型を支持することが必要である。航技研突風風洞¹⁾では模型支持法として、ストラット支持(天秤は外挿天秤使用)を良く用いる。この方法では模型支持のための支柱(ストラット)、または支柱の風防などの存在がその測定値に影響を与え(支持干渉)、測定値の精度やデータの信頼性を低下させる大きな要因となっている。そこで、風洞試験では、この支持干渉による測定値への影響を定量的に評価し、正しい測定値を得るかが重要である。支持干渉量を求めるには、ストラット支持の場合一般的に良く行われているのは、3つの支持方法(図2上参照)による試験を行い、その結果を基に求めることが多い。しかし、この方法は模型支持金具を模型の上下に設ける必要があること、試験の模型形態にも制限ができること、試験の実施に手間がかかることなどの問題がある。それ故、特に支持干渉試験を実施せずに支柱干渉量を推定することが出来れば、試験効率やデータの精度、信頼性向上にとっても望ましいことである。

この報告では、先ず支持干渉量を正確に把握するため、航技研突風風洞におけるストラット支持の場合の支持干渉について、主にストラット2本の場合の縦3分力への影響の主な要因と干渉量の特徴について述べる。

2. 力測定試験

2.1 試験方法

これまでに突風風洞で支持干渉試験が実施され、かつ本報告で検討した4つの試験模型^{2)~5)}の形状と寸法を図1に示す。模型はピラミッド型天秤上に支柱2本(2本支持:前方に主支柱、後方に副支柱)、又は3本(3本支持:前方に主支柱2本、後方に副支柱)により設置する。そして、2本支持、3本支持の場合とも、模型を正吊り、逆吊り及び逆吊りでダミー支柱を設けたときの3つの方法で支持し、それぞれ天秤による力測定を行う。その模型支持の状況を図2、図9に示す。2本支持、3本支持の場合とも、主支柱、副支柱及びそれらの風防は、同一形状(図2参照)のものである。本報告で検討した結果は、試験風速(V)は各模型とも $V = 40 \text{ m/s}$ 、模型迎角(α)の範囲は約 $-10^\circ \leq \alpha \leq 10^\circ$ である。

2.2 支持干渉の評価方法

模型をストラットで支持するときの支持干渉にはストラットが風洞気流に曝されないようするために設けられる風防やその風防からはみ出ているストラットの一部(以下、金具部分と呼ぶ)等の存在により、風洞気流が変化し模型に影響を与える成分がある。また、直接気流に曝される金具部分に作用

する力は風洞天秤の計測値に加わるため補正する必要がある。この金具部分に作用する成分は模型がある場合と無い場合とでは異なる。この金具部分の一様流中で模型が無い状態(風防あり)で計測された値を一般に支柱テアと呼び、支柱が決まれば一定値である。しかし、この値は模型が存在し、模型迎角が変わることにより金具周りの気流が変化し、その値も変わる。この一定値からの変化分は支持干渉という。

これらのテア成分や干渉成分を補正する方法として、一般的に行われている下記の方法を用いた。即ち、測定された各空力係数ごとに、下式によりテア成分と支持干渉成分を補正した。

$$D = (A + B) - C \quad (1)$$

但し、

D: 補正済値(テアと支持干渉成分を除いた値)

A: 正吊りの場合の測定結果

B: 逆吊りの場合の測定結果

C: 逆吊りでダミー支柱ありの場合の測定結果

Cの場合、ダミー側の金具部分は模型側に固定されており(図2上参照)、上下両方の金具部分に作用する力が天秤で測定されるようになっている。

また、各支持方法におけるテアと支持干渉成分の和を、それぞれ以下の式により求めた。

$$\text{正吊りの場合の補正量} = A - D \quad (2)$$

$$\text{逆吊りの場合の補正量} = B - D \quad (3)$$

$$\text{逆吊り+ダミーの場合の補正量} = C - D \quad (4)$$

以下、補正済値とは上記(1)式により測定値からテア成分と支持干渉成分を削除した値を指す。また上記(2)、(3)及び(4)式により求めた値(測定値から補正済値を差し引いた値)、即ちテア成分と支持干渉成分の和を補正量と呼称、表記し、更にこの値からテア成分を削除した値を本来の意味での支持干渉値として、“干渉量”と呼称又は表記する。

2.3 力測定結果

模型を正吊り、逆吊り及び逆吊りでダミー支柱ありの場合(以下、逆吊り+ダミーと呼ぶ)の力測定結果及び補正済値を図3に示す。即ち、図3-a, b, c, dは模型4形態各々の α に対する縦三分力(揚力

C_L 、抗力 C_D 、縦揺れモーメント C_m)の変化を示したものである。揚力 C_L 、抗力 C_D 、縦揺れモーメント C_m 値の正負については、正吊り、逆吊りとも模型に対し同じ方向に作用する方向とした、即ち正吊りの場合の力の方向に準じて(図2)定めた。支持干渉量の評価は、この結果を基に行ったものである。

(1)支持干渉: C_L

図4に、正吊り、逆吊り及び逆吊り+ダミーの場合の補正量 C_L を(本試験で使用するストラット支持では揚力のテア成分はなく、補正量=干渉量となる)、補正済値 C_L に対して示した。図中には各模型ごとに天秤測定精度(天秤誤差と記す)を表示した。補正量 $C_L > 0$ となる、あるいは補正量 $C_L < 0$ となる場合を $C_L - \alpha$ 特性曲線上で考えると次のようになる。補正量 $C_L > 0$ となるのは、測定値 C_L が補正済値 C_L より大きい場合で、補正量 $C_L < 0$ となるのはその逆の場合である。2本支持(ALFLEX16%模型、宇宙往還機模型)の場合、補正量 C_L は全般的に負の値を示している。このことは各支持方法による測定値 $C_L - \alpha$ 特性曲線が補正済値による $C_L - \alpha$ 特性曲線より全体的に下方($C_L < 0$ 方向)にシフトしていることを示す。また、正吊りの場合の補正量は測定値に対し、天秤精度程度である。3本支持(対応風試模型、双胴型飛行艇模型)の場合、双胴型飛行艇の逆吊りの場合を除き、補正量 $C_L > 0$ 、その変化の傾向も両者は比較的一致している。補正量は2本支持に比較して大きい、特に双胴型飛行艇模型は補正量が非常に大きい値を示した。

(2)支持干渉: C_D

各支持方法において測定された C_D と C_L の関係を図5に示す。2本支持、3本支持の場合とも全般的に変化の傾向は一致している。 $C_L = 0$ でほぼ C_D 最小値を示すとともに、この点を境に正吊りと逆吊りの場合で同じ C_L 値に対する C_D 値の大小関係が逆になる。即ち、補正量 C_D の大きさが逆となることを示している。 $C_L < 0$ では正吊りの場合が大きく、 $C_L > 0$ では逆吊りの場合が大きくなる。

2.2で述べたように、支持干渉には模型により金具部分に作用する成分と風防により生じる成分

がある。本試験結果からは金具抵抗分とそれ以外の干渉抵抗分を分離できないが、突風風洞では模型を取り付けない状態で金具部分のみに作用する力(抵抗と縦揺れモーメント、即ちテア成分)を、風洞動圧と迎角 α の関数として推算する式が得られている⁶⁾。そこで、抵抗の補正量(テア成分含む)を、前記推算式により求めたテア抵抗分と補正量からテア抵抗成分を除いた値、即ち本来の意味での干渉抵抗成分(以下”干渉抵抗”と称す)に分割し、評価してみることにした(図6-a, b)。図6上は各模型の各支持方法に於けるそれぞれの干渉抵抗とテア抵抗成分を迎角 α に対して表したもので、同図下は各成分の模型抵抗(補正済値)に占める割合を表したものである。突風風洞のストラット支持の場合、ストラットが気流に曝される部分(主支柱、副支柱とも)は α の変化に拘わらず同じになる機構となっているので、テア抵抗成分は一定値としている。

正吊りと逆吊りの場合の干渉抵抗は、2本支持では、バラツキもあるが平均的には α にほぼ比例し、減少、あるいは増加している。特に3本支持ではその傾向が明確に表れている。この干渉抵抗は、2本支持の場合、テア抵抗の1/3以下であるが、3本支持の場合はテア抵抗と同程度から2倍前後と大きな値となる。また、模型抵抗に占めるテア抵抗と干渉抵抗の割合は、2本支持ではテア抵抗の割合が非常に大きく、干渉抵抗の割合は10%以下である。3本支持の場合は、テア抵抗、干渉抵抗とも大きく、最小抵抗付近では模型の全抵抗と同じか、それ以上となっている。

次に、干渉抵抗を模型全体の C_L に対して表示した(図7)。図7から干渉抵抗と C_L の関係は α と同様の傾向を示す。これらの関係から、干渉抵抗は、天秤に対し上から下に向かって作用する力(揚力)が大きい場合程大きくなっていることがわかる。即ち、模型周りの流れで考えれば、模型迎角 α をとり C_L が発生するとき、ストラットと風防のある側の流れが速く、圧力が低くなる時ほど大きくなると言える。

(3)支持干渉 C_m

縦揺れモーメント C_m は C_L 、 C_D と異なり、模型全体の圧力中心の移動に敏感なので、模型形態やモーメント基準点により大きく異なる。各模型とも、モーメント基準点は主翼MAC(平均空力翼弦位置)にとっているが、各模型形態の相違、即ちボディフラップや尾翼などの有無によって、 α の変化に対する C_m 値の変化量、その勾配($\delta C_m / \delta \alpha$)は大きく異なる。そのことは図3の各模型の $C_m - \alpha$ 特性に表れている。この結果を基に得られた干渉量 C_m を α に対して表したのが図8である。

3本支持の双胴型飛行艇を除いて、干渉量 $C_m > 0$ である。このことを図3の $C_m - \alpha$ 特性で考えると、各支持法での測定値 $C_m - \alpha$ 曲線が補正済値 $C_m - \alpha$ 曲線より、上方($C_m > 0$ 側)、即ち頭上げ側にシフトしていることを意味している。これは支持干渉(双胴型飛行艇を除き)により空力作用点がモーメント基準点より前方に移動しているとみることができる。2本支持のALFLEX16%模型の場合、干渉量 C_m は小さく、また各支持法や α に対する変化も他の模型に比べて小さい。これはモーメント基準点が空力中心付近にあり、かつ支持方法による模型圧力分布の変化もその付近で変化するためと推定される。全体的な模型形状がほぼ似ている2本支持の宇宙往還機は、 α に対する干渉量 C_m 値の変化は平均的にはほぼ一定であるが、増減の変動幅がやや大きく、支持法による干渉量 C_m 値の差がALFLEX16%模型より大きい。3本支持の場合の双胴型飛行艇は形態が特殊なせい、他の模型の特性とは大きく異なっている。

3. 流れ場測定

3.1 試験方法

今回の流れ場測定で用いた模型は、ALFLEX 16%模型である。試験風速30 m/s、測定位置及び測定範囲を図9に示す。測定間隔は上下、左右(翼幅方向)とも、250mmである。測定には5孔ピトー管を用い、これを3次元トラバース装置により、測定範囲内を移動させた。5孔ピトー管の圧力センサーには電子式走査多点圧力(ESP)センサーを採用した。但し、測定トラバース装置の機構、試験日

程などの制約から、広い範囲(図9に示す)を測定したのは主に模型後流であり、模型前方、他は測定可能な箇所を適宜実施した。また、測定した模型迎角は正吊り、逆吊り、逆吊り+ダミー支柱及び支柱のみ(風防含む)の場合の $\alpha = 0^\circ$ を主に行った。他の迎角の場合については測定範囲が十分でないことや、測定に誤りなどがあつたため今回の報告では、正吊りと逆吊りの $\alpha = -4^\circ$ の場合を検討に加えた。

3.2 流れ場測定結果

(1)模型前方の流れ

模型前方での流れの状況を示す一例として、図10に支柱のみ(ストラットと風防)の場合と模型逆吊りと逆吊り+ダミー支柱の場合の気流の上向き角(θ)、動圧(Pd)及び静圧(Ps)を示す。支柱のみの場合、支柱付近での流れの向きは全体的に上向きで、流れの速度は支柱の無い側(天井側)で早く(動圧が大きく)、静圧も低くなっており、気流に吹き上げの生じていることがわかる。ただし、模型全体に対する気流の上向き角の値は、今回の結果は測定範囲が充分でないため正確な値は得られていない。

模型逆吊りの場合と逆吊り+ダミー支柱の比較では、ダミー支柱を付けることによってダミー支柱を付けた天井側での流れの上向き角が、ダミー支柱を付けない場合より小さくなり、流れの速度も遅く(動圧低い)、静圧が高くなっている。この結果から見ると、ダミー支柱を付けることにより風洞内の流れが一樣流に近い方向に修正されるようである。

(2)模型後方の流れ

図11に、支柱のみの場合、正吊り($\alpha = 0^\circ$)及び逆吊り($\alpha = 0^\circ$)の場合の模型前方と後方との静圧測定例を、図12に模型後方での総圧損失分布例を示す。模型前方と後方の静圧の差を比較してみると(図11)、支柱のみの場合、支柱のある側で静圧差が大きい。また模型を取り付けた正吊りと逆吊りの場合の比較($\alpha = 0^\circ$ 、 $C_L < 0$)では、模型の伴流内に入る高さ位置では測定値が大きく変化しているが、支柱後方での静圧差を見ると正吊りの方が大きい。この要因は、 $C_L < 0$ のため正

吊りでは模型下側(支柱のある側)で流れが速くなり、逆吊りでは模型上方側(支柱の無い側)で流れが速くなっていることによるものと考えられる。

また、後流測定値を基に得た翼幅方向の総圧損失分布を図12に示す。縦軸は翼断面揚力係数と同じ方法により係数化した値である。支柱の中心で総圧損失のピークがあり、その付近で総圧損失を生じていることがわかる。模型を取り付けた場合は、支柱中心(模型中心に一致)と両翼端付近で総圧損失のピークが見られ、中心付近のピーク値は正吊りの場合の方が大きいことを示している。

3.3 力測定と流れ場測定による抵抗の比較

流れ場の測定値を基に全翼幅方向の総圧損失を推算し、抵抗係数に変換した値と、力測定による抵抗測定結果と比較してみた(表1参照)。

テア抵抗を除いた抵抗値の比較では、力測定値より後流測定値の方が約0.012程大きい値を示している。しかし、全体的な傾向としては力測定と流れ場測定の結果は比較的良く一致している。流れ場測定の結果が大きくなる要因としては、模型から風防に作用する干渉量の増大が考えられる。即ち、風防に作用する力は風洞天秤では測定されないが、後流測定値には含まれる。故に後流測定値から求めた抵抗値には、模型から風防に作用する干渉量の増減も含まれる。即ち、模型を付けたことにより模型から風防に作用する干渉により、風防抵抗が模型の無い場合より増大するためと考える。風防の風洞内に占める断面積は模型と比較してもかなり大きいので、この風防への干渉抵抗増大分が、力測定と流れ場測定の差となっているのではと考えている。これは今後の検討課題である。

4. 支持干渉の生じる原因について

力測定と流れ場測定との比較検討から、支持干渉の生じる主な原因について考察してみる。

1)揚力 C_L に関する支持干渉について

各模型支持方法、主に正吊り、逆吊りの場合における $C_L - \alpha$ 特性(図3)を詳細に見ると、3本支持の対応風試模型の場合を除き、逆吊りの場合の

曲線は正吊りの場合に比較し、全体的に α の正方向にずれた曲線となっている。この傾向は干渉量 C_L 特性(図4)からもわかる。この傾向を模型支柱前方の流れの測定結果と併せて考えると、風防を含む支柱の存在により気流迎角が上向きに偏向されるために正吊りでは気流迎角を増加($\alpha > 0$)させる側に作用し、逆吊りでは反対に作用するためと理解することが出来る。そこで、試みに正吊りと逆吊りの場合の気流迎角の差($\Delta \alpha$)を両者の干渉量の差(ΔC_L : 正吊り-逆吊り)から推算してみる。 $C_L - \alpha$ 特性から揚力傾斜の逆数($d\alpha/dC_L$)を求め、これに干渉量の差(ΔC_L)を乗ずれば、気流迎角の差($\Delta \alpha$)の概算値が得られる。この方法によれば、ALFLEX16%模型 $\Delta \alpha \cong 0.24^\circ$ (干渉量の差 $\Delta C_L \cong 0.01$)、宇宙往環機模型 $\Delta \alpha \cong 0.25^\circ$ ($\Delta C_L \cong 0.01$)、対応風試模型 $\Delta \alpha \cong 0.15^\circ$ ($-\Delta C_L \cong 0.013$)、双胴型飛行艇模型 $\Delta \alpha \cong 1.04^\circ$ ($\Delta C_L \cong 0.0983$)となる。

ALFLEX16%模型の場合に関しては、文献7による数値計算結果でも模型支柱により気流に吹き上げが生じ、 $C_L - \alpha$ 特性も流れ場測定の傾向と一致することが示されている。逆吊り+ダミー支柱の場合、流れ場測定の結果では上向き角がやや少なくなる方向に修正された。このことのみから考えると、逆吊り+ダミー支柱の場合の $C_L - \alpha$ 曲線は、正吊りと逆吊りの場合の間に位置する筈であるが、力測定結果では必ずしも一致していない。これについてはいまのところ不明である。しかし、気流迎角の変化も小さく、天秤による力測定を行う支持干渉試験での模型設定迎角の精度、特に動圧設定などを含め今後の検討課題である。

2) C_D に関する支持干渉について

テア抵抗を除いた干渉抵抗は、正吊りと逆吊りの場合は C_L にほぼ比例し増減し、逆吊り+ダミー支柱の場合の干渉抵抗は、その和に近い値となる。この干渉抵抗の増減特性は、干渉量 C_L の増減による誘導抵抗の増減特性とは一致せず、かつ干渉抵抗値は C_L の増減による誘導抵抗の増大分より1桁オーダーが大きい。この干渉抵抗の要因は、流れ場測定結果に見られる様に、支柱の存在により

模型後方の伴流内での静圧が低くなり、模型前方と後方とに圧力差が生じ、抵抗増大が生じる(水平浮力に相当する抵抗と同様)ものと流速が増大し金具抵抗が増大するものが考えられる。また、正吊りと逆吊りのいずれの場合も C_L がある値を越えると干渉抵抗 C_D が負 $C_D < 0$ なる傾向が見られる。このときの模型迎角と干渉抵抗の増減関係から以下のことが推察される。模型に揚力 C_L が生じるとき、循環により模型表面の流れの速さが模型の上下面で差ができる。支持干渉特性の結果は、支柱の有る側の流れが早くなる場合に干渉抵抗が増大し、遅くなる場合に干渉抵抗が減少している。即ち、干渉抵抗は常に増加するものではないことが示唆される。

3) C_m に関する支持干渉について

C_m は、力の大きさのみでなく、力の作用点とモーメント基準点により大きく異なる。故に支持干渉により模型のどの部分の圧力中心の移動したのかにより大きく影響されるので、模型形態の相違によって、支持干渉量は大きく異なると予想される。

5. あとがき

力測定による4形態の支持干渉試験と流れ場測定例から、縦3分力(C_L 、 C_D 及び C_m)に関する模型支持法による支持干渉の特徴、支持干渉量とその要因の概要について述べた。

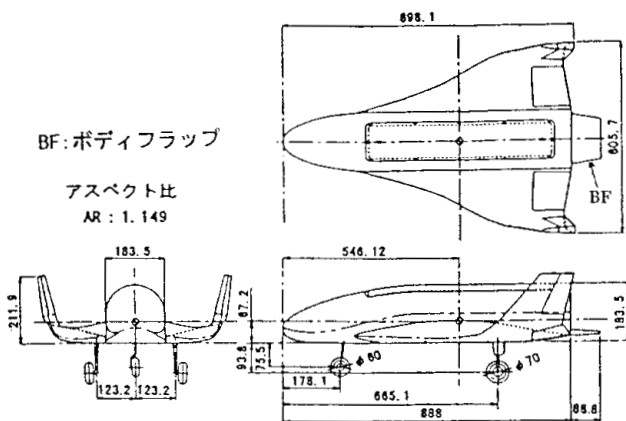
特に数値計算では評価できない干渉抵抗について、支持方法による干渉抵抗の特徴とその要因がかなり明らかになった。また、支持金具のテア抵抗分を修正することにより、かなり測定値を改善されることが分かった。特に、2本支持の場合、テア抵抗以外の干渉抵抗についても推定評価することが可能なことが分かった。

今後は、3本支持の場合を含め、抵抗、揚力などの支持干渉量が推算できるよう、飛行試験データや他の試験結果との比較検討とともに、数値計算分野の人々との連携を深めつつ、力測定や流れ場測定試験の実施、検討を行って行くつもりである。

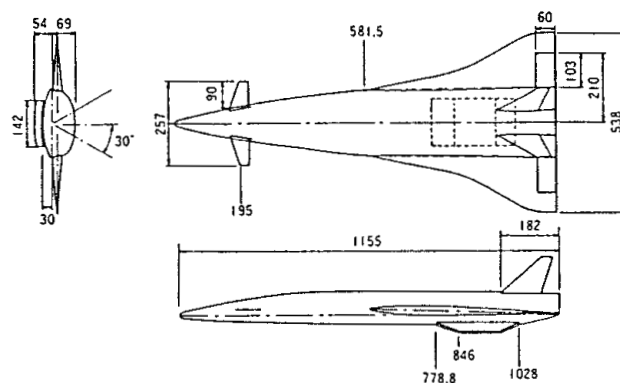
参考文献

- 1) 広末、北村他：航空宇宙技術研究所突風風洞の計画と整備試験、航空宇宙技術研究所報告、NAL TR-335, 1973
- 2) 藤枝、藤田、岩崎他：NAL 突風風洞に於ける曲がりステイングによる高迎角風洞試験、航空宇宙技術研究所特別資料、NAL SP-38, PP.79-86, 1998
- 3) Y.Miyamoto : Wind Tunnel Studies of SSTO Vehicle at Low Speed, NAL Research Progress 1993, pp.18-19, 1993
- 4) 広末健一他、7風洞による対応風洞試験結果、航空宇宙技術研究所資料、NAL TM-520, 1983
- 5) ト部耕治他：双胴型飛行艇の空力特性、第55回風洞研究会議資料、1995.11
- 6) 藤田敏美他：突風風洞データ処理装置(データ収集部)の改修－計測システムのオンライン化－、航空宇宙技術研究所資料、NAL TM-611,1989
- 7) 重見仁：航技研突風風洞の壁干渉・支持干渉のパネル法による推定、第36回飛行機シンポジウム講演集、pp.113-116, 1998

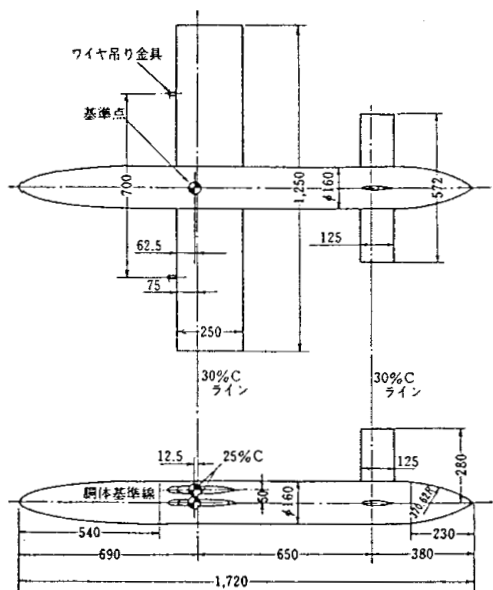
模型名称	主翼形状	主翼諸元			模型支持	模型試験形態
		翼面積 m^2	翼幅 m	主翼MAC m		
ALFLEX16%模型	ダブルデルタ	0.24182	0.5272	0.50464	2本支持	脚, BF無
宇宙往還機模型	NACA0005	0.1706	0.5380	0.31710	2本支持	全機
対応風試模型	NACA0012	0.3125	1.2500	0.2500	3本支持	中翼全機
双胴型飛行艇模型	NACA63 ₂ -415	0.1973	1.2970	0.1553	3本支持	尾無し



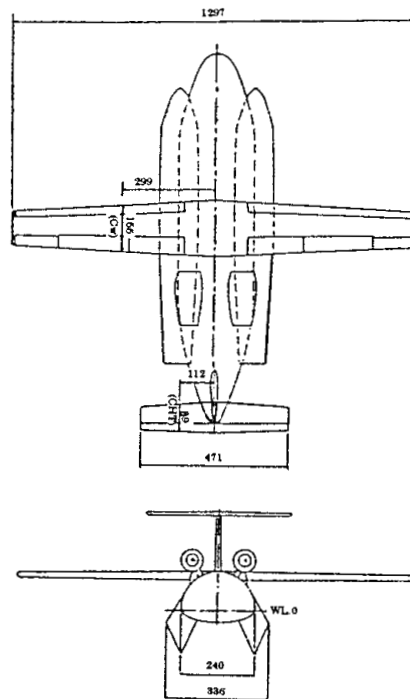
ALFLEX16%模型



宇宙往還機模型

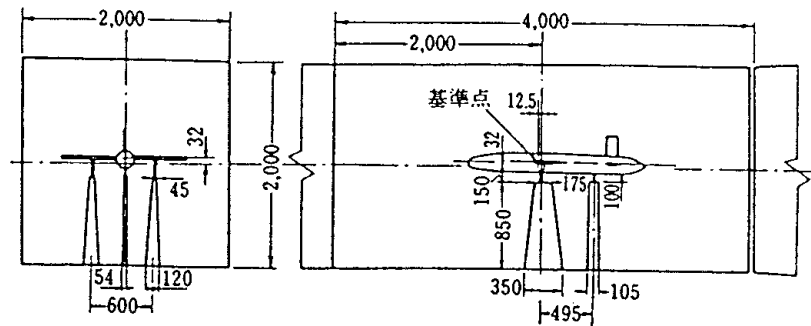
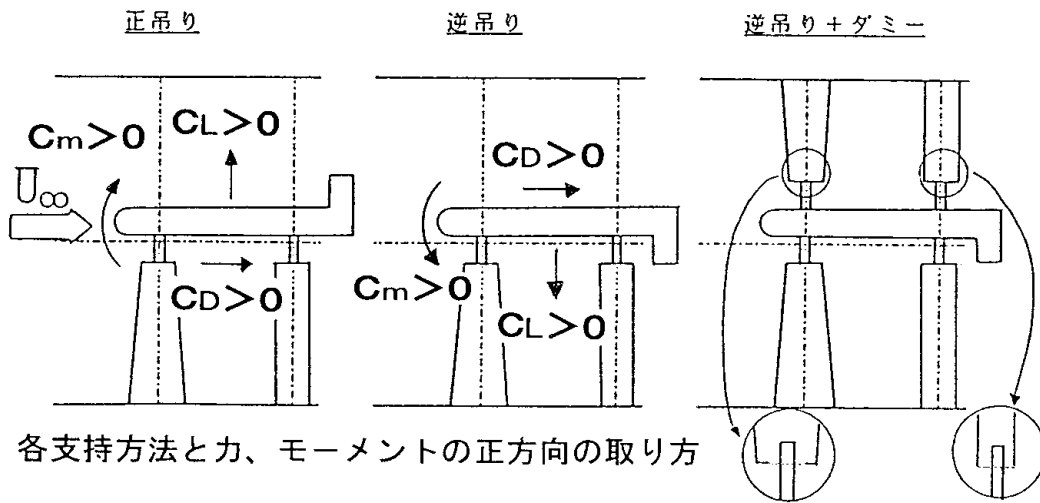


対応風試模型

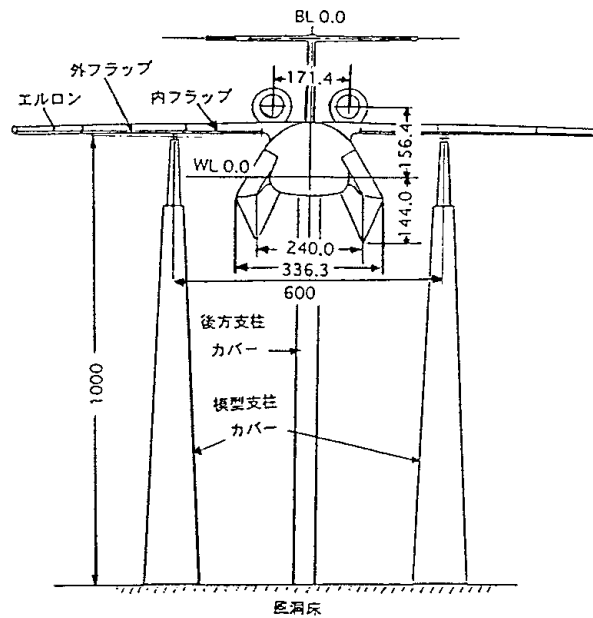


双胴型飛行艇模型

図1 支持干渉試験実施模型の形状、寸法
(天秤による風洞試験)



対応風試模型の場合



双胴型飛行艇模型の場合

図2 模型支持方法の概要

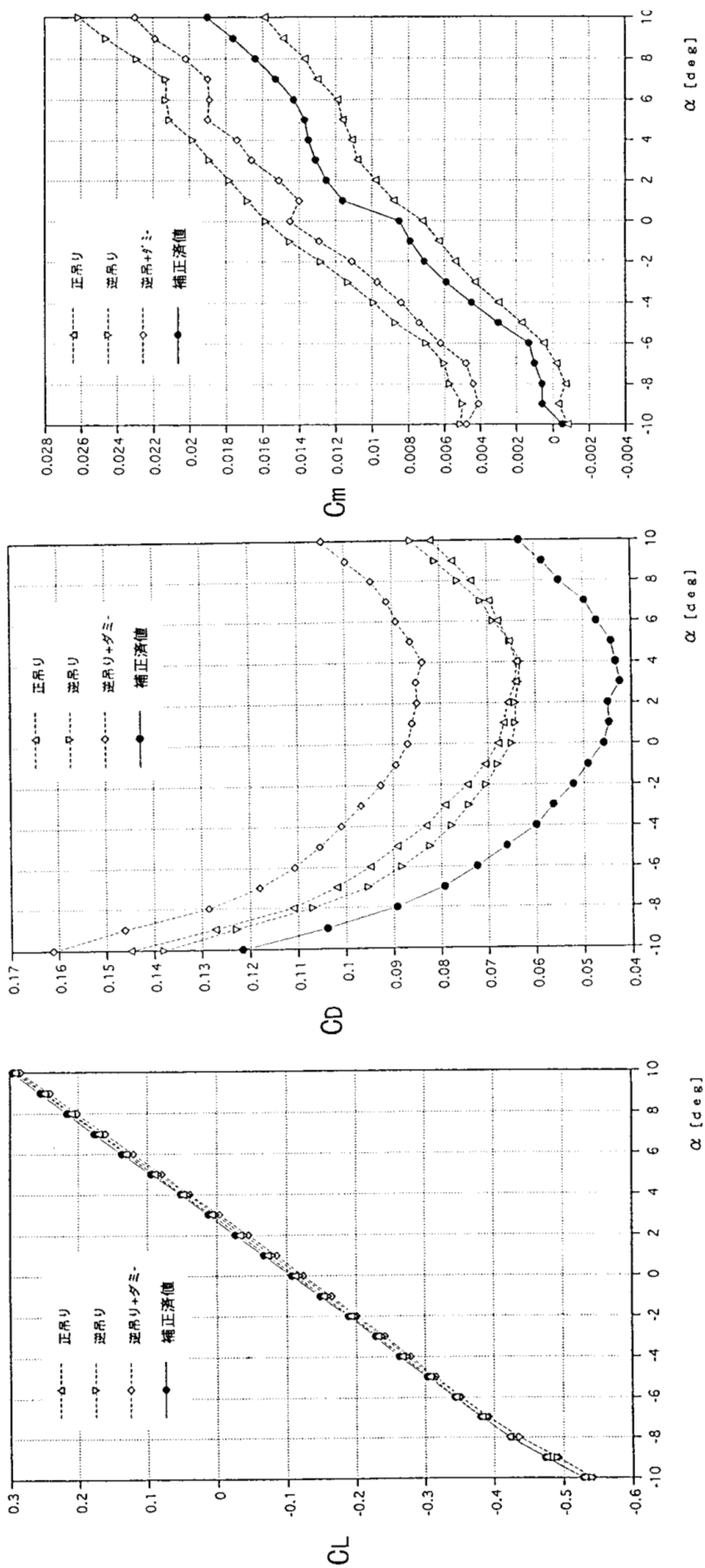


図3-a 力測定による縦三分力特性 (ALFLEx)

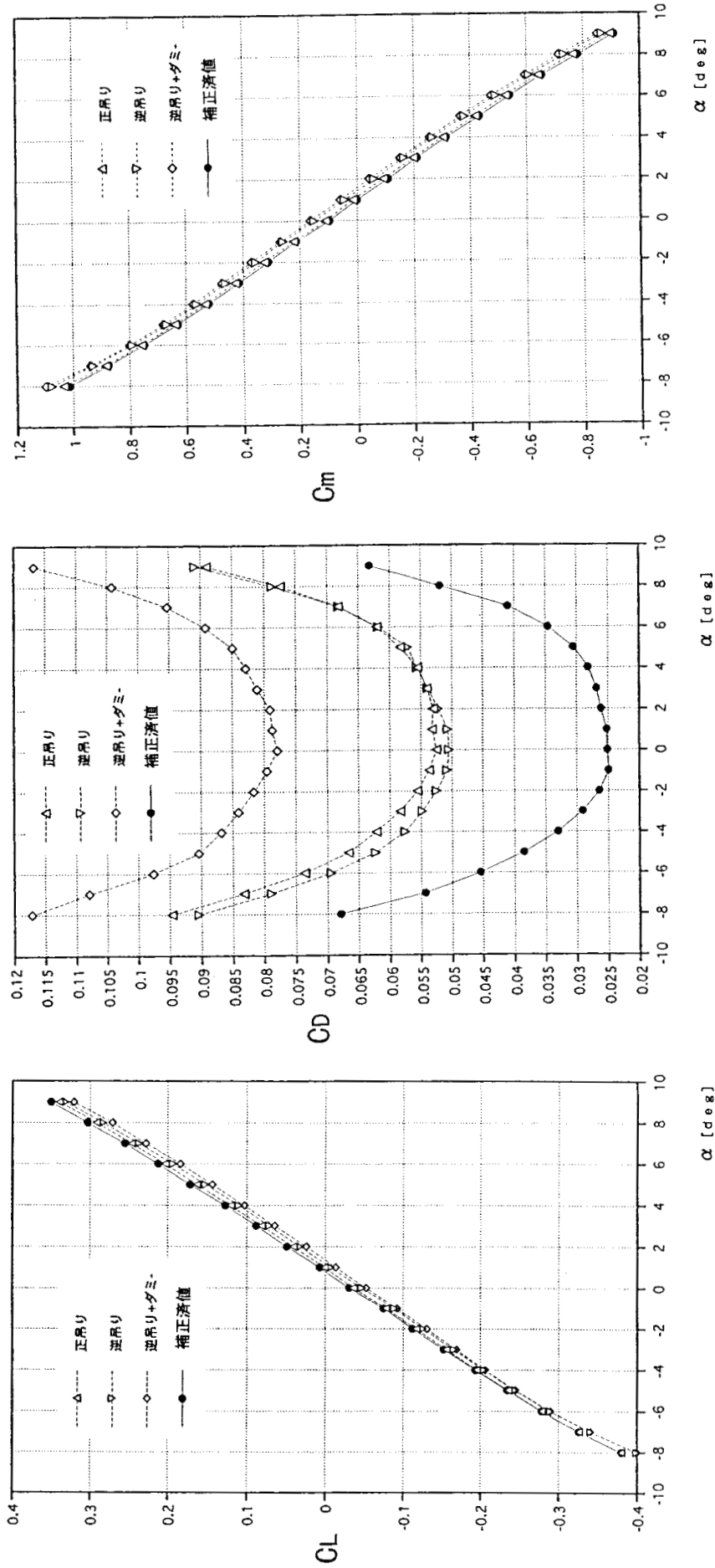


図3-1-b 力測定による縦3分力特性 (宇宙往還機)

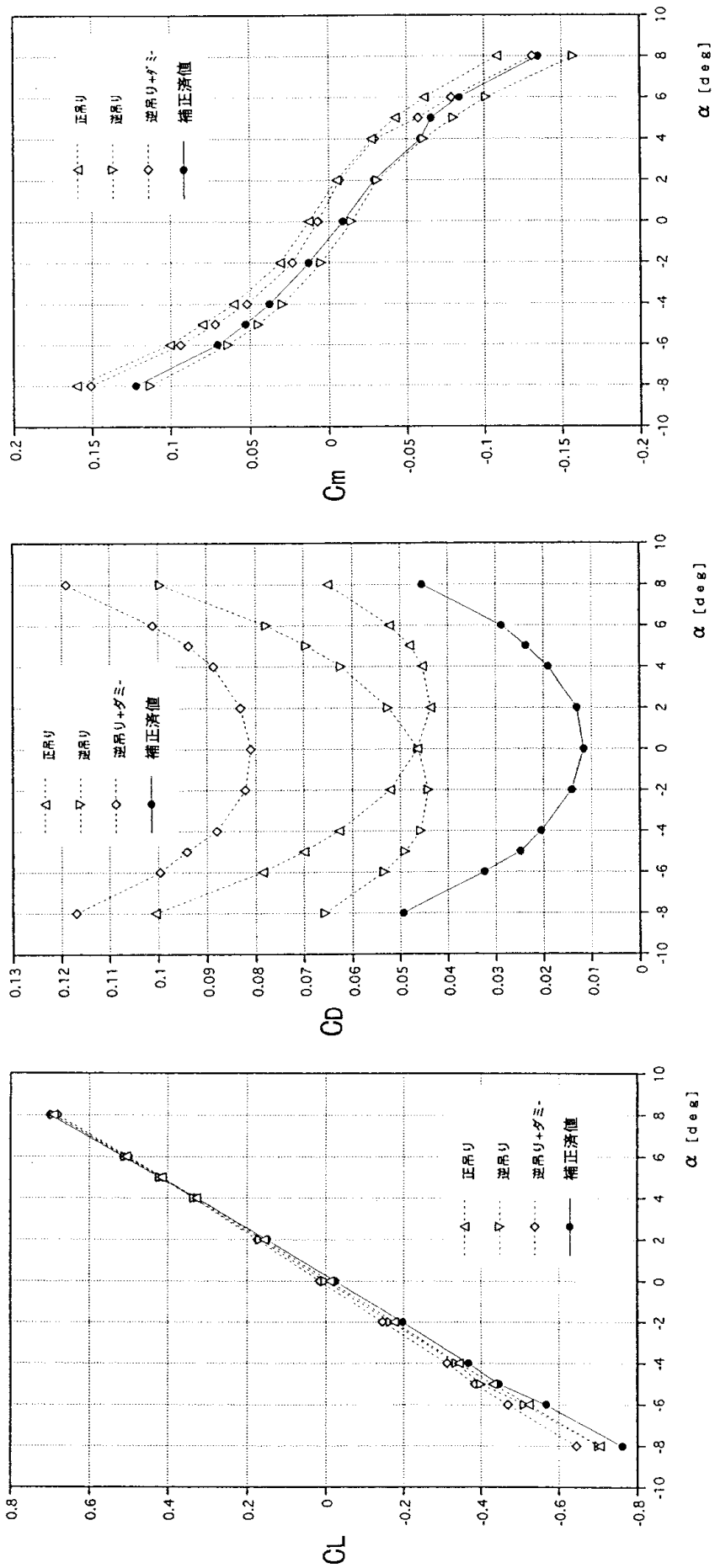


図3-3 c 力測定による縦三分力特性 (対応風試)

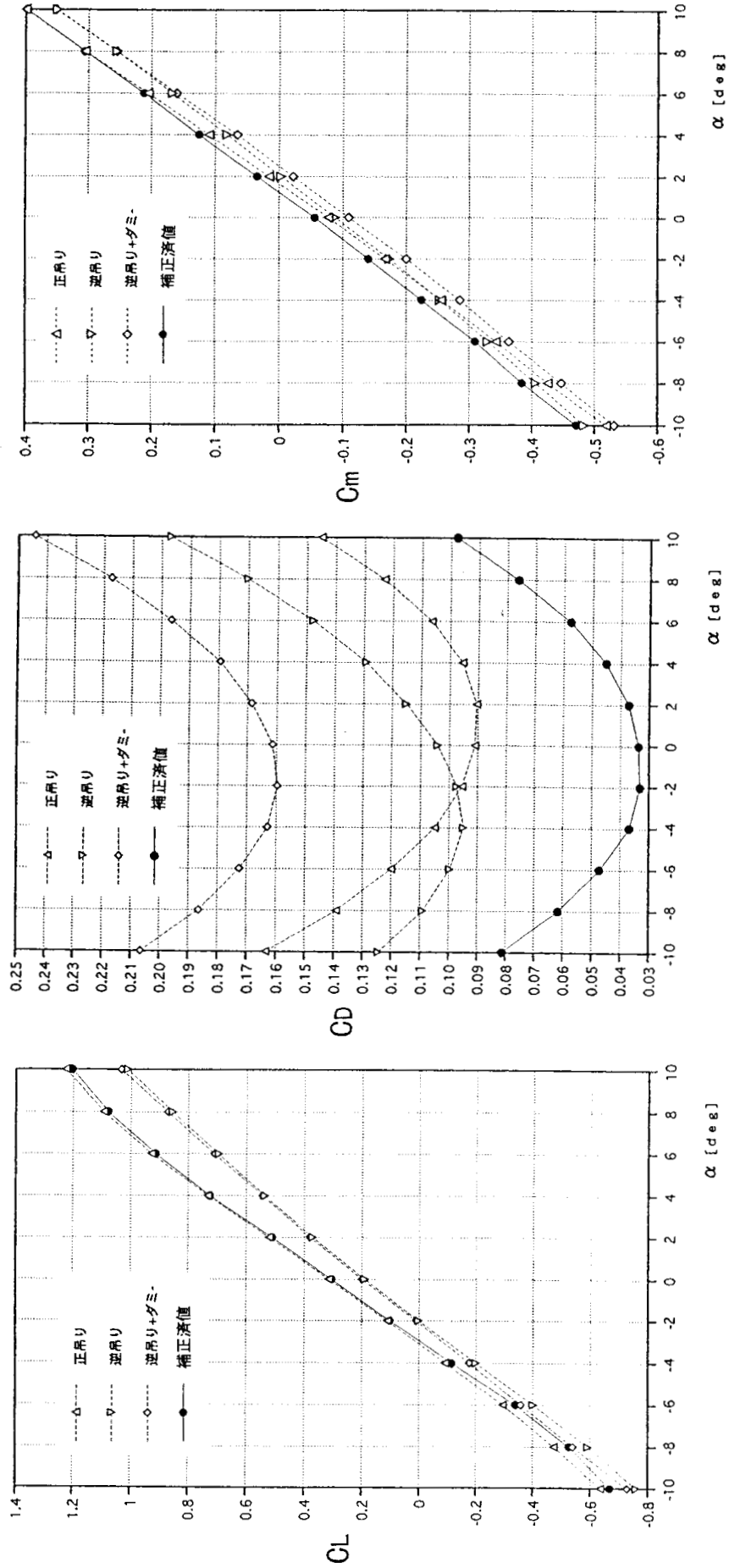


図3-d 力測定による縦3分力特性 (飛行艇)

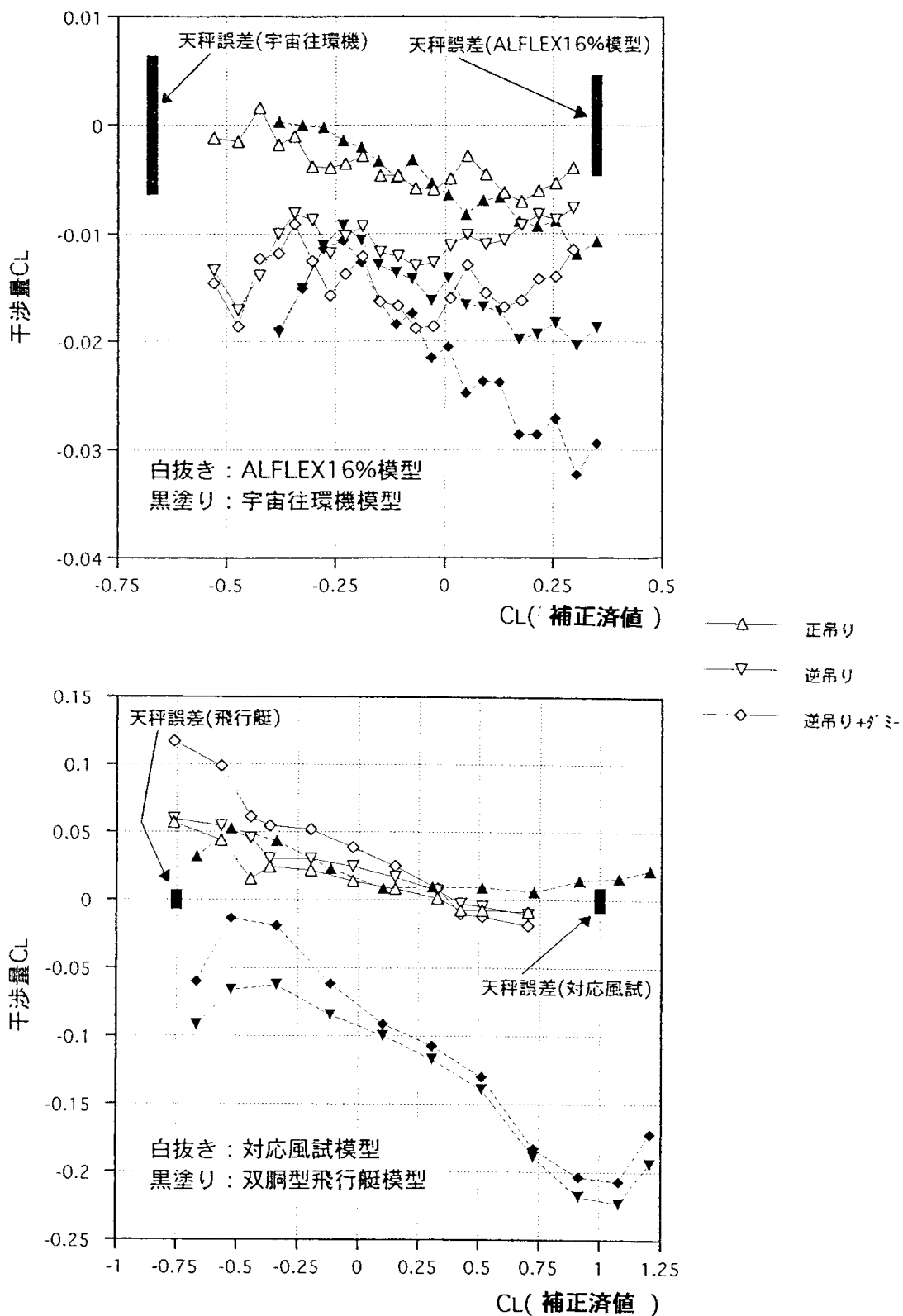


図4 CLに関する干渉量

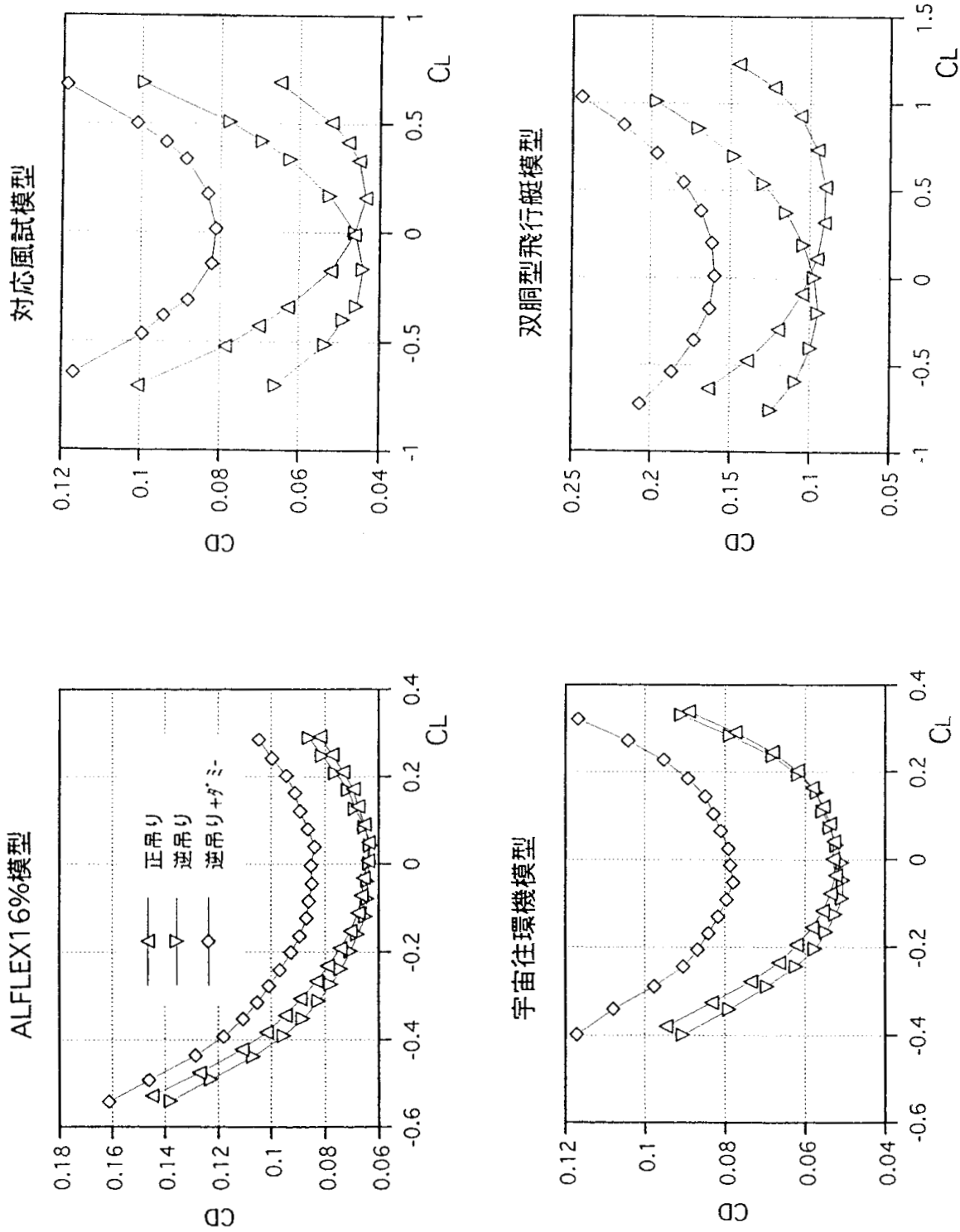


図5 支持方法によるCL-CD特性の比較

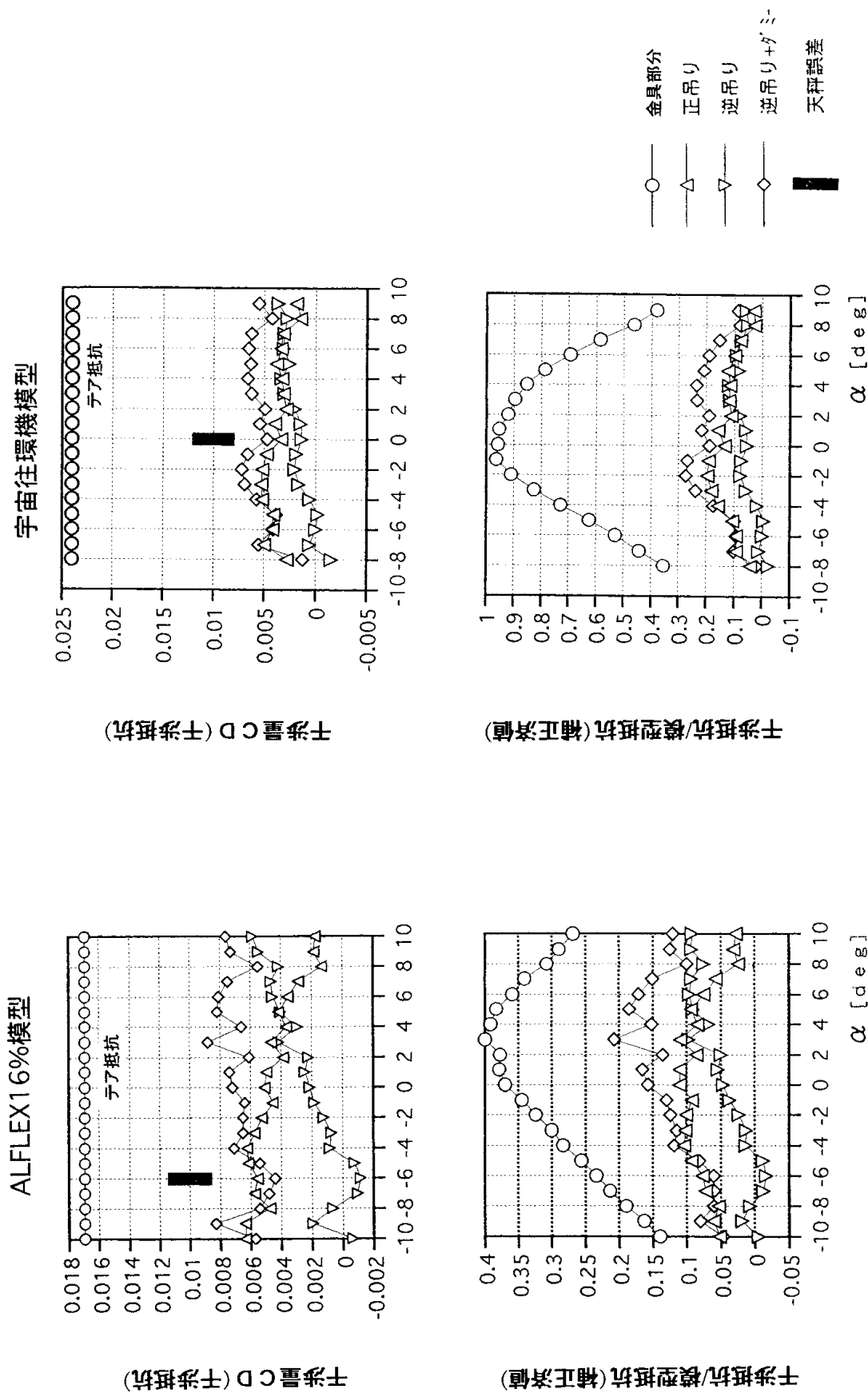


図6-a CDに関する干渉量について

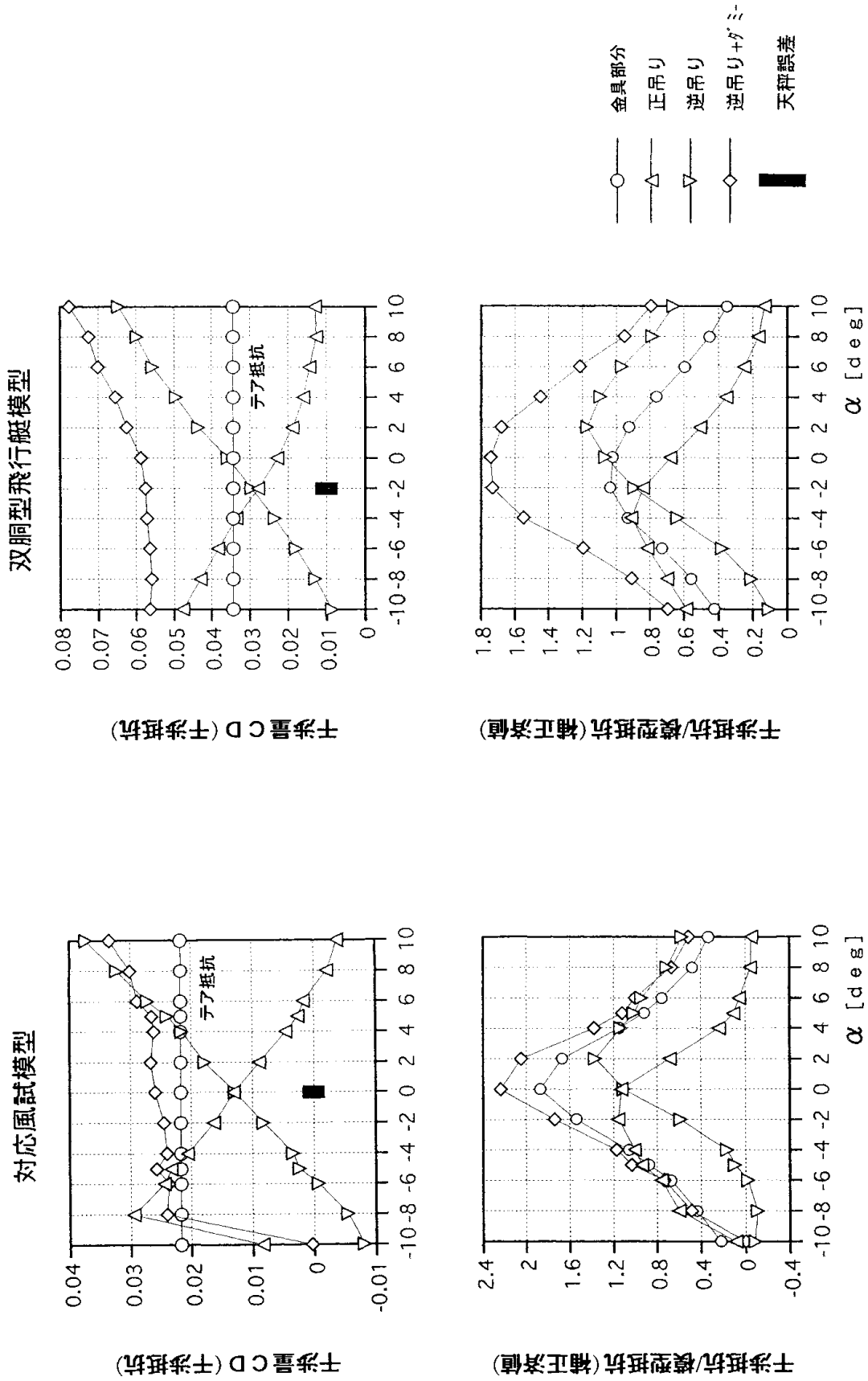


図6-b CDに関する干渉量について

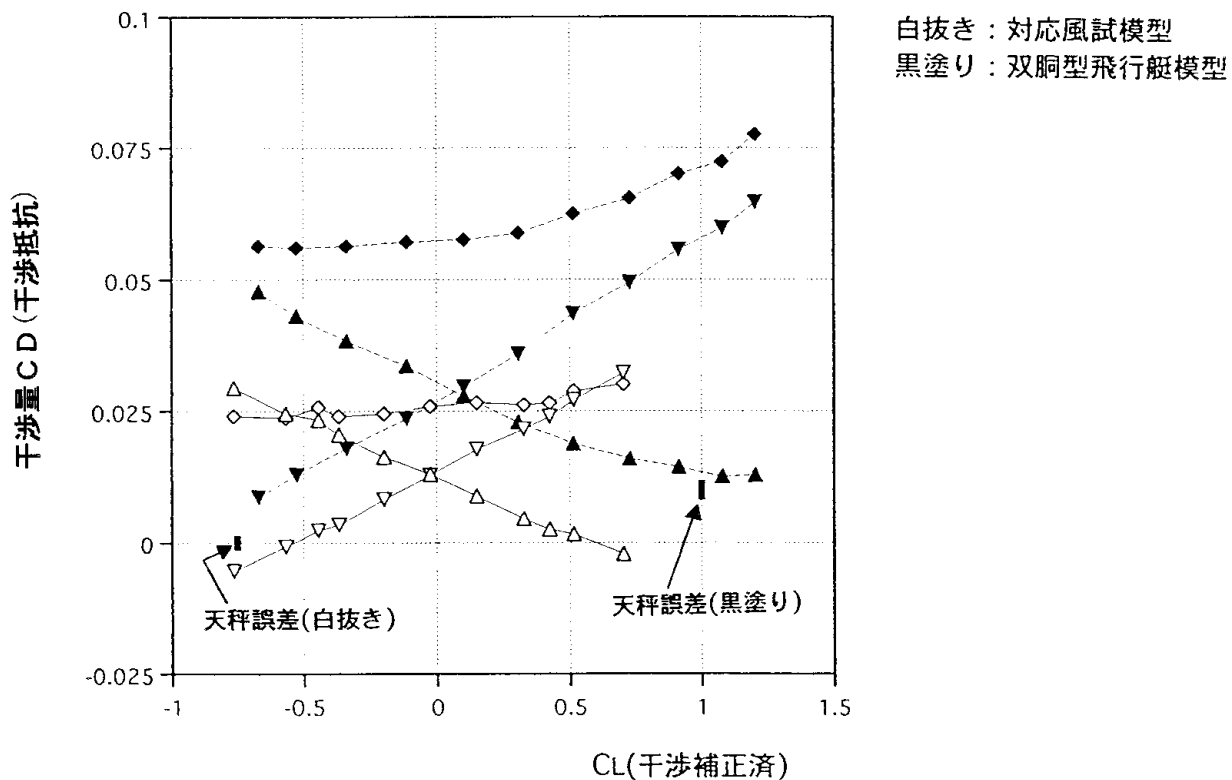
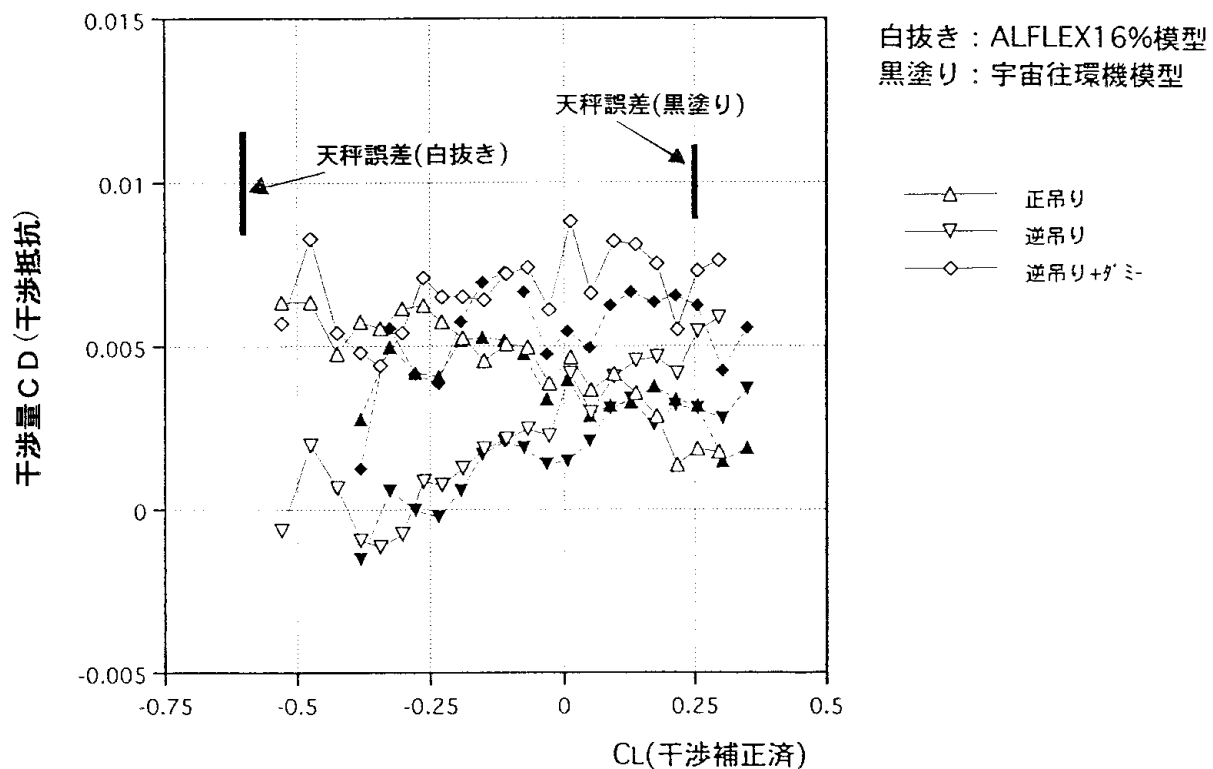


図7 干渉量CD-CL特性

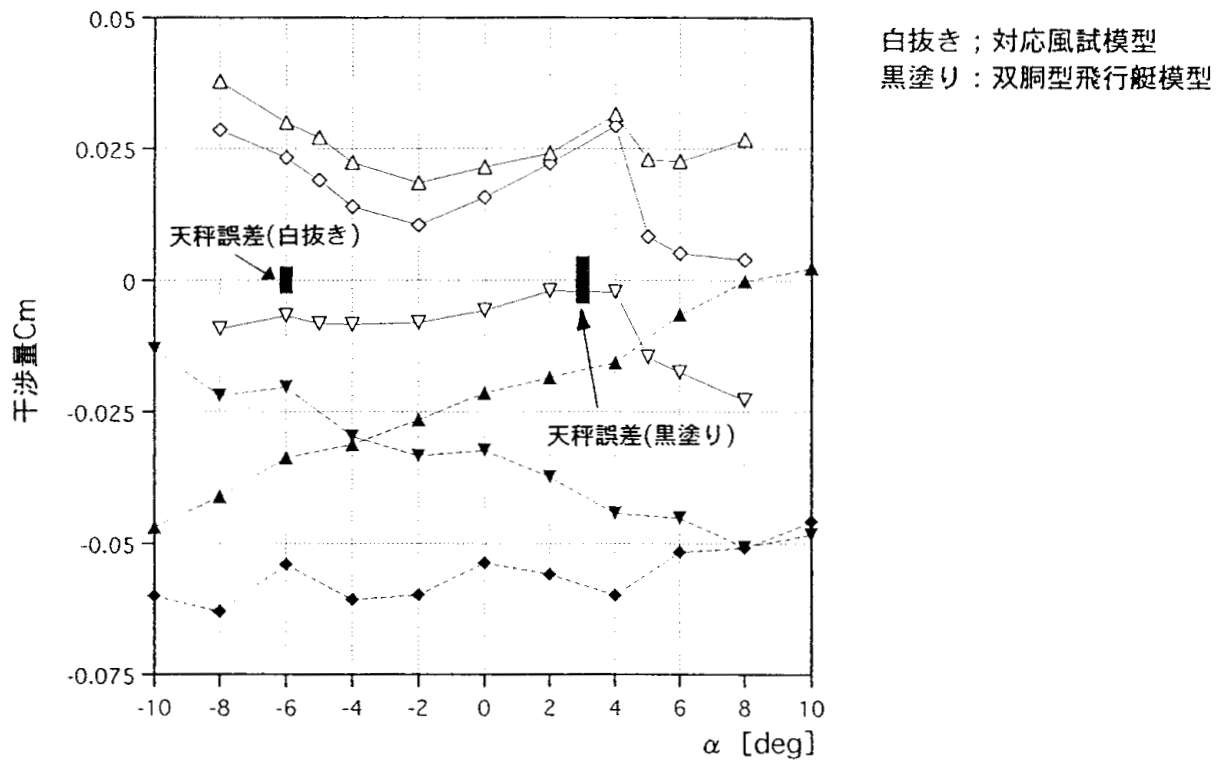
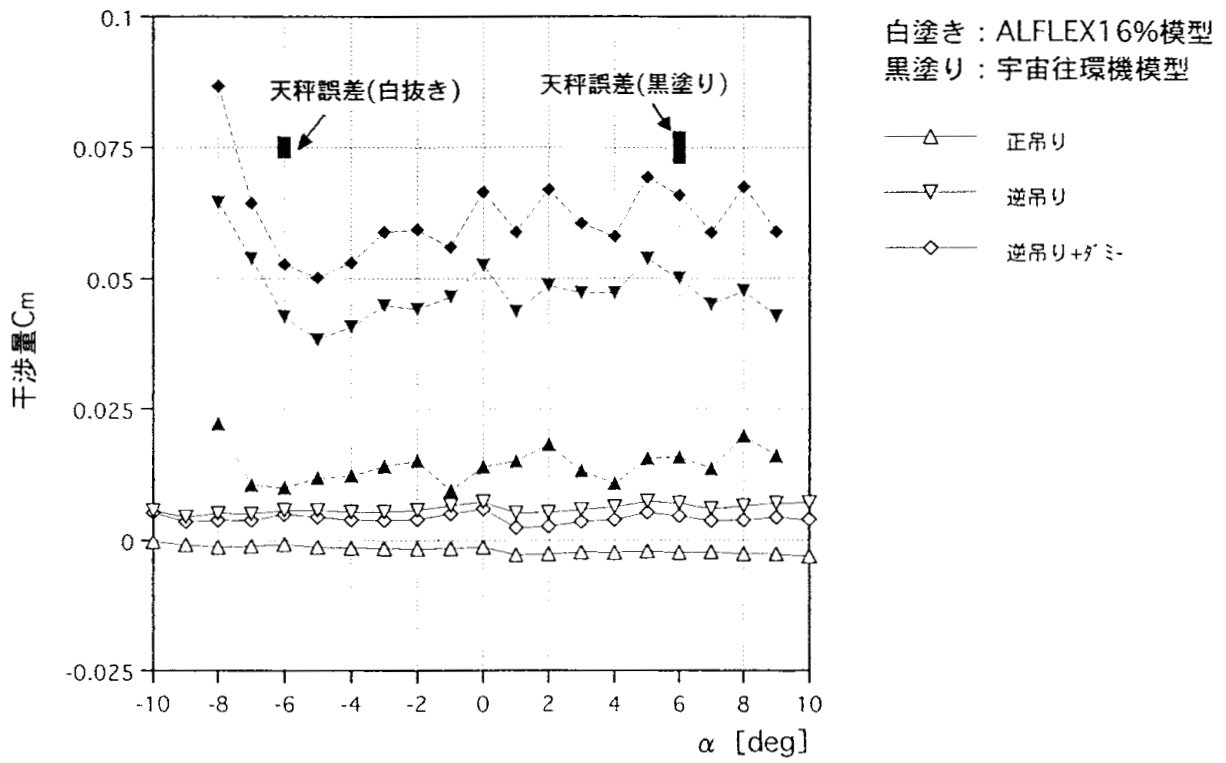


図8 Cmに関する干渉量

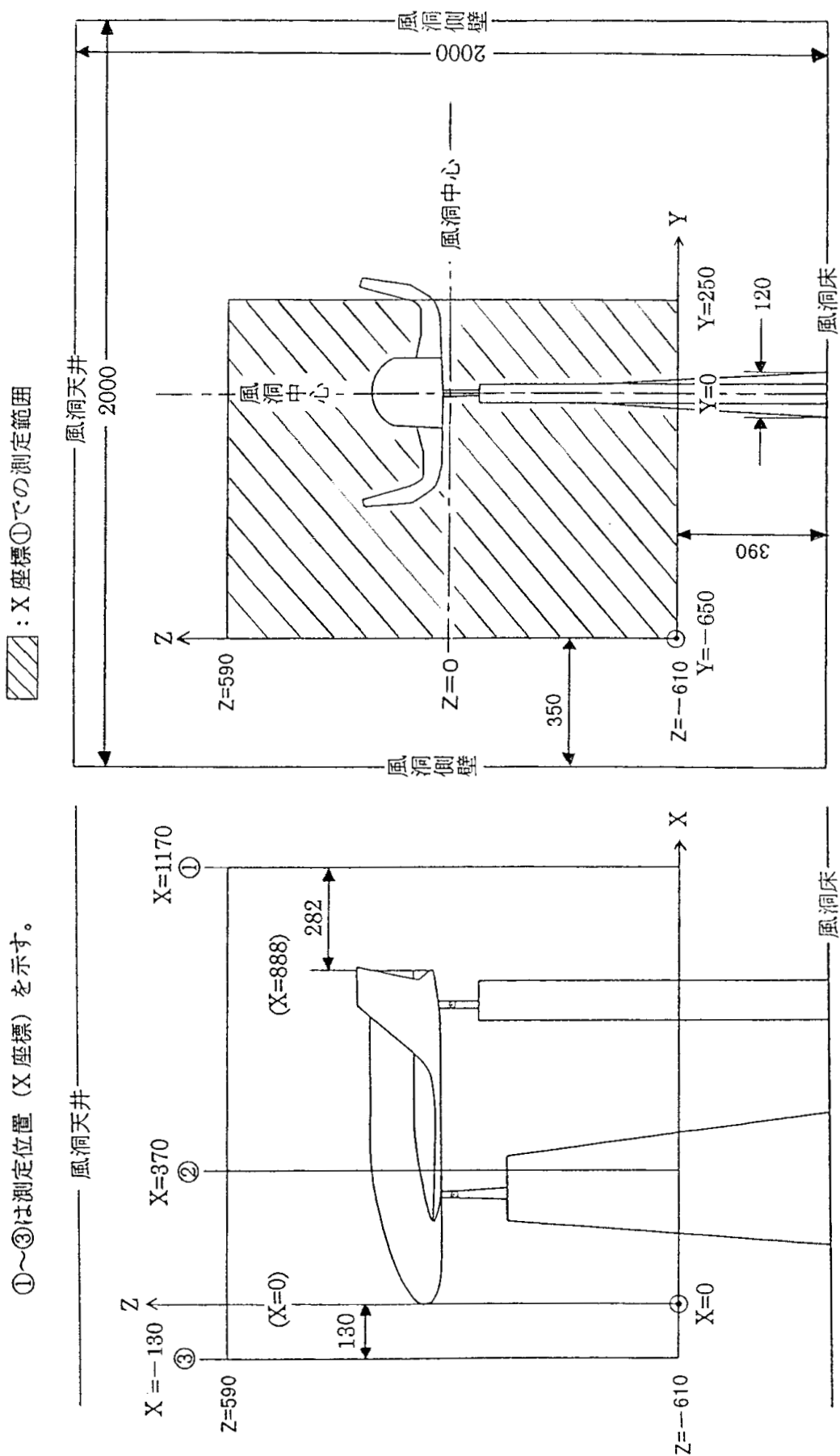


図9 流れ場測定位置と範囲

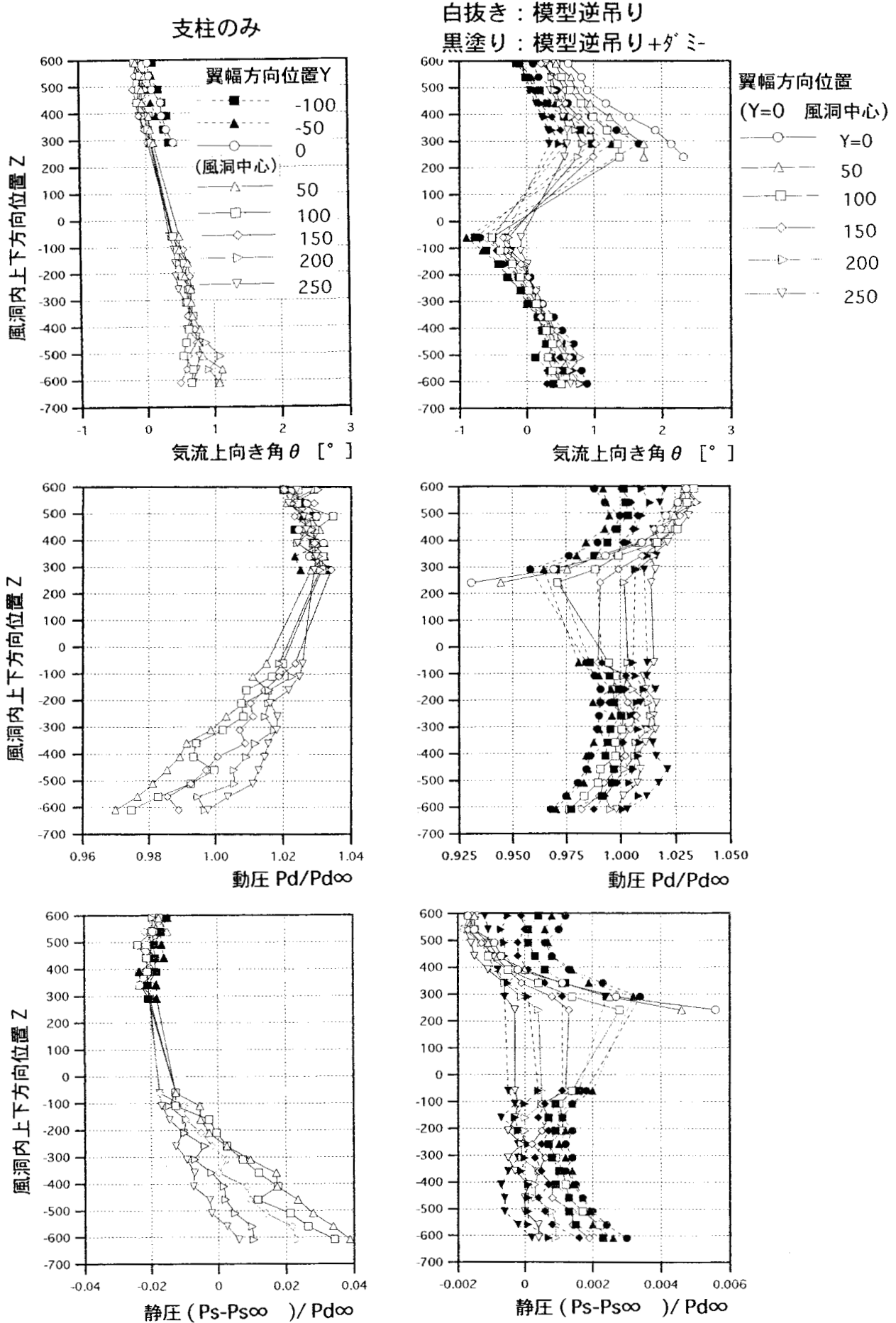


図10 模型前方での流れの測定例 (ALFLEX16%模型)

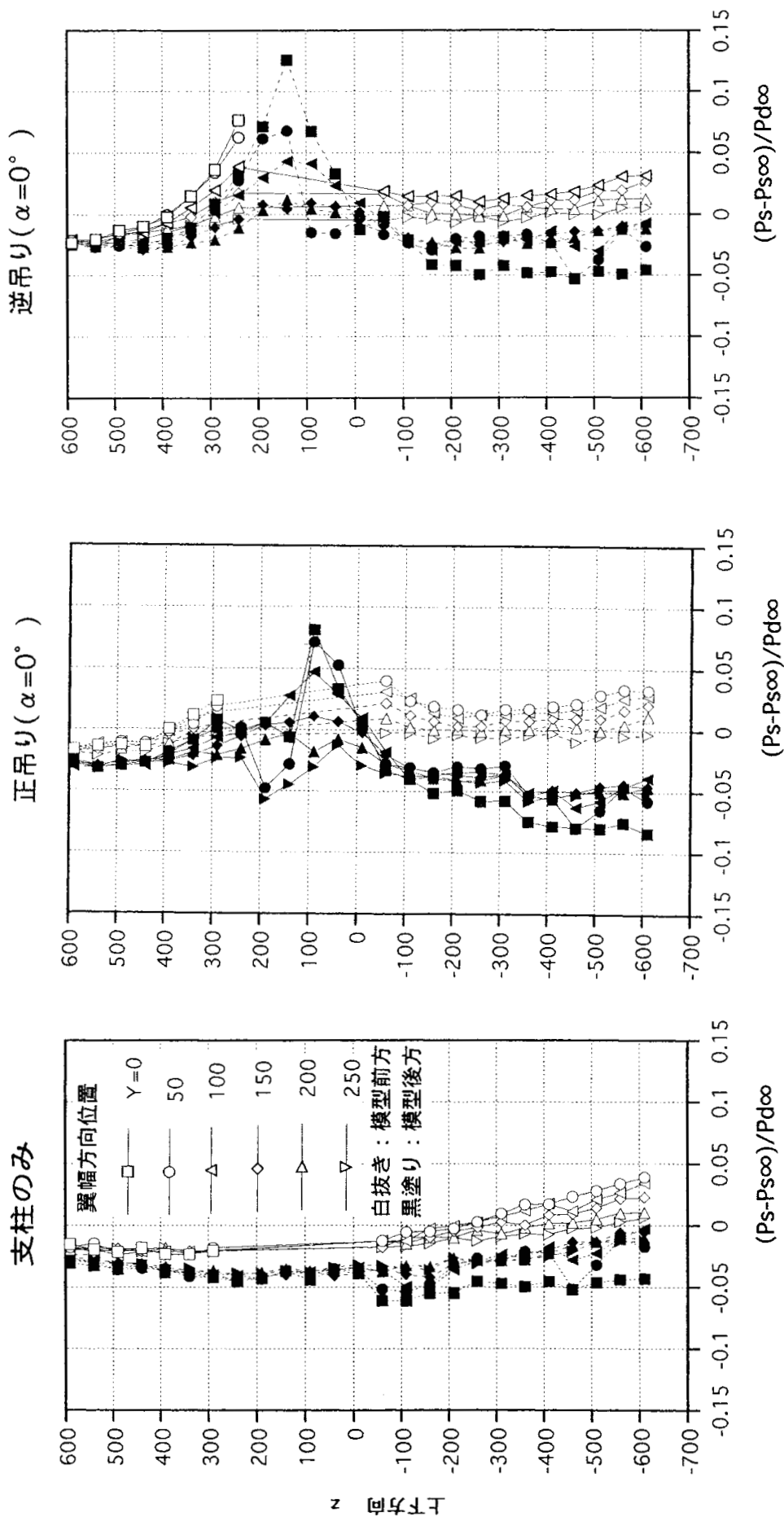
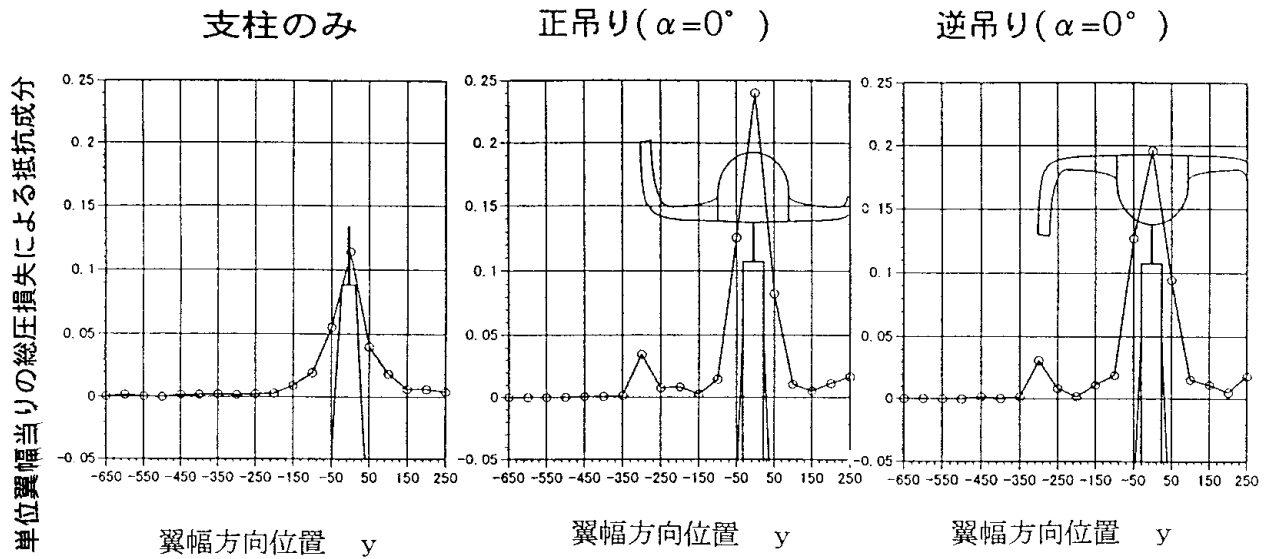


図11 模型前方と後方での静圧の比較例 (ALFLEX16%模型)



注：縦軸の数値は総圧損失分を断面揚力係数と同じ方法で係数化した値を示す。

図12 後流測定による総圧損失分布

表1 力測定結果と後流測定による抵抗の比較

試験形態	抵抗係数Cd		備考
	力測定	後流測定	
支柱のみの場合		0.06195 * 3	* 3: 風防+金具抵抗
金具抵抗	0.01695 * 4		* 4 既存の計算式 (文献6)による方法
模型正吊りの場合 ($\alpha=0^\circ$)	(0.0678) * 1 0.05085	(0.12440) * 2 0.06245	
模型逆吊りの場合 ($\alpha=0^\circ$)	(0.0649) * 1 0.04795	(0.11984) * 2 0.05789	
模型正吊りの場合 ($\alpha=-4^\circ$)	(0.0831) * 1 0.06615	(0.14051) * 2 0.07856	
模型逆吊りの場合 ($\alpha=-4^\circ$)	(0.0777) * 1 0.06075	(0.13491) * 2 0.07296	

注1 天秤による力測定値(*1:()内の値)には金具抵抗が含まれているので、既存の計算式により求めた値(上表金具抵抗)を除いた値を示す。

注2 後流測定値の値(*2:()内の値)は、風防と金具の抵抗分を含むので後流測定値から支柱のみの場合の後流測定値(*3)の値を除いた値を示す。