

JAXA 6.5m×5.5m 低速風洞における 境界層制御機能付き地面板の整備

飯島 秀俊, 日高 亜希子 (JAXA), 真城 仁 (ISE)
村山 光宏, 伊藤 健 (JAXA)

The development of ground plane with a boundary-layer control device for ground simulation
in JAXA 6.5m×5.5m Low-Speed Wind Tunnel

Hidetoshi IJIMA, Akiko HIDAKA (JAXA), Jin MASHIRO (ISE),
Mitsuhiro MURAYAMA, Takeshi ITO (JAXA)

概要

JAXA 6.5m×5.5m 低速風洞において、境界層制御機能付き地面板を導入した。地面板の概要として、地面板の構成、主な機能を紹介する。また、境界層制御装置（吹出し機能）の効果を含めた地面板上の境界層厚さ計測や、ONERA-M5 模型を用いた縦3分力計測を実施したので、その結果について報告する。

1. はじめに

航空機宇宙機の開発において、離着陸形態での空力特性を把握することは重要である。基本的には、地面付近では地面の効果により $CL\alpha$ が増大し抵抗が減少し、また通常尾翼配置の機体では主翼吹き降ろしが減少し、頭下げのピッチングモーメント変化を生じる^[1]。また、地面上の境界層が薄くなるため、境界層が機体（主に脚）へ及ぼす影響が小さい。これらの現象を風洞試験で再現するために、①スティング支持で用いられる地面自体が動くムービングベルト機能付き地面板、②ストラット支持（下方支持）で用いられる境界層制御（Boundary Layer Control, BLC）を有する地面板が一般的に用いられている。

JAXA 6.5m×5.5m 低速風洞（以下、LWT1）では、現在ストラットカートでの下方支持の使用頻度が高い、大型模型の支持はスティング支持では困難である等の理由から、ストラットカートに対して、地面板を導入することとした。境界層制御（BLC）については、模型上流の小さなスリットから空気を地面板の接線方向へ吹き出し、模型中心付近で

境界層排除厚さをゼロに近づけることが可能となる。

本稿では、地面板の概要として構成、機能について説明する。また、地面板上にピトーレークを設置し、境界層制御装置の効果を含めた境界層厚さ計測を行い、評価する。さらに、ONERA-M5 模型を用いて、地面板と模型の距離を変化させて、縦3分力計測を行い、地面効果を評価する。

2. 地面板概要

2.1 地面板の構成

図1に地面板全体図を示す。地面板の構成としては、前縁部、フラップ部、BLC部を含む地面板本体と、地面板本体を支え、かつ上下移動が可能な上下機構部から構成される。地面板の大きさは、CFDによっても検討され、全長6932mm、幅5460mm、厚さ160mmとなった。このうち、前縁の全長は824mm、幅は5460mm、フラップの全長は627mm、幅は5100mmである。

2.2 主な機能

2.2.1 地面板本体

地面板本体には、上下流の2か所に模型を支える支持棒分の穴が空いており、模型下部を2本のストラットで支持する形態に適用可能である。また、プリセットにより $\pm 20^\circ$ の横滑り角の試験にも対応している。なお、地面板上下の空気の移動が無いように地面板本体と支持棒の隙間は、アルミ板、スポンジなどで完全にふさいでいる。地面板本体の中心よりやや後方部に、開閉式のハッチが設けられており、地面板の下から上部へのアクセスが可能である。前縁部は、境界層の剥離を防ぐため楕円形状とした。また、前縁上下に圧力孔を設け、上下の静圧の差を計測できるようにした。その差がゼロとなる（気流の傾きがゼロとなる）ようにフラップの傾きを変化させた。フラップは $\pm 12^\circ$ の範囲で変更可能である。BLC部については、模型上流に設置された地面板内部の圧力チャンバーから小さなスリットを通じて、空気を地面板の接線方向へ吹き出すことで、模型中心付近で境界層排除厚さをゼロにすることができる。地面板内部の圧力チャンバーの圧力は最大 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 、スリット幅は 1mm 以下で調整が可能である。さらに、気流方向に吹き出し位置の変更ができる。BLC圧力は、地面板下流のフラップ両端の隙間から圧力配管が地面板本体の中を通過して、地面板上流のBLC部の圧力チャンバーへ供給される。

2.2.2 上下機構部

4本の上下機構は、地面板本体を支え、上部は地面板本体、下部はストラットカートにボルトで固定される。上下移動は4本の電動アクチュエータにより可能となり、そのストロークは 570mm である。また、ストラット自体の上下位置を変更することで、模型と地面板の相対位置をさらに変化させることができる。

3. 地面板性能確認試験

3.1 境界層厚さ計測試験

楕形ピトーレークを用い、境界層厚さを計測した。流れ方向については $x/L=0.30, 0.39, 0.45$

(L : 地面板全長 6932mm)、スパン方向については、 $y/w=-0.45, -0.18, 0, 0.18, 0.45$ (w : 地面板横幅 5460mm) の位置で計測した。BLC吹き出し位置については $x/L = 0.14$ で固定とした。境界層厚さの計測位置、BLC吹き出し位置について図2に示す。BLC圧力 P_v は、動圧 q で無次元化した。風速は $20, 30, 40, 50 [\text{m}/\text{sec.}]$ において実施した。境界層厚さ計測試験の様子を図3に示す。

図4にスパン方向中心 ($y/w=0$) の気流方向における位置を変えた時の速度分布（境界層プロファイル）について風速 $30\text{m}/\text{s}$ と $50\text{m}/\text{s}$ の結果を示す。BLC無しの場合、これらの速度域では99%境界層厚さは $40\text{mm} \sim 50\text{mm}$ 程度であった。風速 $30\text{m}/\text{s}$ では、ピトーレークでの計測位置がBLC吹き出し口から遠ざかるにつれて吹き出された空気が地面板の表面に沿って流れない傾向を示した。地面板表面付近に対し流量を与えるには、できる限り境界層を排除したい位置（通常は模型中心）に近い位置で空気を吹き出した方がよい。

図5は気流方向の位置を固定し ($x/L = 0.39$)、スパン方向の位置を変えた時の速度分布（境界層プロファイル）を風速 $30\text{m}/\text{s}$ と $50\text{m}/\text{s}$ について示す。左右の位置に比べ、中央の位置での吹き出しが強い。スパン方向の吹き出しの一様性を改善するには、BLC内部構造の改造も含め検討が必要である。

風速が $20, 30, 40, 50 [\text{m}/\text{sec.}]$ の時、 x/L の位置で境界層排除厚さ δ^* がゼロとなるようなBLC圧力（最適BLC圧力）を算出した（図6左図）。図6右図で風速と最適BLC圧力で整理した。2つの図のエラーバーはそれぞれ δ^* 、 P_v/q のスパン方向のばらつきを示している。風速が大きいほど δ^* が小さく、 δ^* をゼロにするためのBLC圧力は小さくなる（図6左図）。また、BLC圧力が小さいほどスパン方向のばらつきは小さくなるため、風速が大きいほど、スパン方向の P_v/q ばらつきが小さくなる（図

6 右図)。

図 7 では、気流方向のピトーレークの位置を変えて、最適 BLC 吹き出し圧力を比較した。全体的に、BLC 吹き出し口からピトーレークの位置が近い方が、スパン方向のばらつきが小さい傾向を示した。

3.2 地面効果確認試験

模型は、LWT1 の経年変化の確認などで使用されている ONERA-M5 標準模型を用いた。表 1 に模型と地面板との距離を示す。天秤を下げることで模型と地面板の距離をさらに小さくした。地面板上面から天秤中心までの距離 $H[\text{mm}]$ を、スパン長 $b[\text{mm}]$ で無次元化した。BLC 吹き出しは実施しなかった。模型と地面板の距離を変化させた時の模型縦 3 分力を計測し、地面効果について評価した。試験時の様子を図 8 に示す。

揚力に対する地面効果の一例 (50m/s) を図 9 に示す。模型が地面に近いほど、 $CL\alpha$ は増加し、一般的な地面効果の傾向と一致した。また DATCOM の推算値^[2]に対しても概ね一致した。

ピッチングモーメントに対する地面効果の一例 (50m/s) を図 10 に示す。模型が地面に近いほど、 C_m は減少し、一般的な地面効果の傾向と一致した。

抵抗係数については、地面板がある場合は、無い場合と比べ誘導抵抗が減少する傾向を示し、一般的な地面効果の傾向と一致した。しかし、抵抗係数については、模型が地面に近くなるほど、地面板と模型によるストラット支持棒への干渉量が大きくなるため、定量的に評価できていない可能性もある。

4. まとめ

JAXA 6.5m×5.5m 低速風洞に境界層制御機能付き地面板を整備した。地面板単体での境界層吹き出し効果も含め、境界層特性を把握することができた。また、境界層排除厚さ δ^* がゼロとなる最適 BLC 圧力を算出し、風速で整理した。ONERA 標準模型

を用いた地面効果確認試験により、縦 3 分力に対する地面効果は一般的な傾向と一致した。

今後の課題としては、地面板と模型によるストラット支持棒への干渉の補正手法を確立することや、地面板のスパン方向の BLC 吹き出し圧力を均一化することが挙げられる。

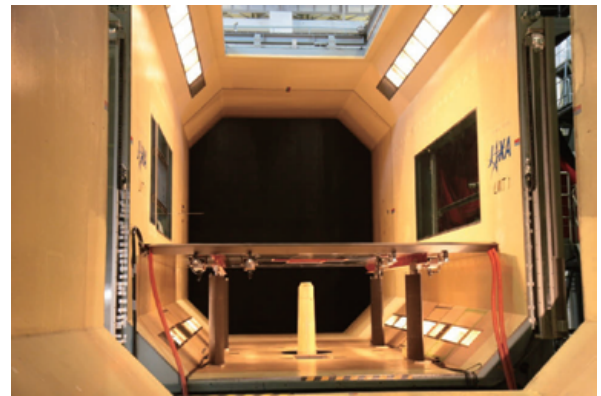
JAXA 低速風洞セクションの皆様には、地面板の搬入、撤去等を含む、風洞試験実施の際に多大なご協力をいただいた。関係各位に、深甚なる感謝の意を表する。

参考文献

- [1] 第 3 版航空宇宙学会便覧, 航空宇宙学会編, p359
- [2] USAF Stability and Control DATCOM, Sec. 4, 7 (1975)



前方視



後方視

図1 地面板全体図

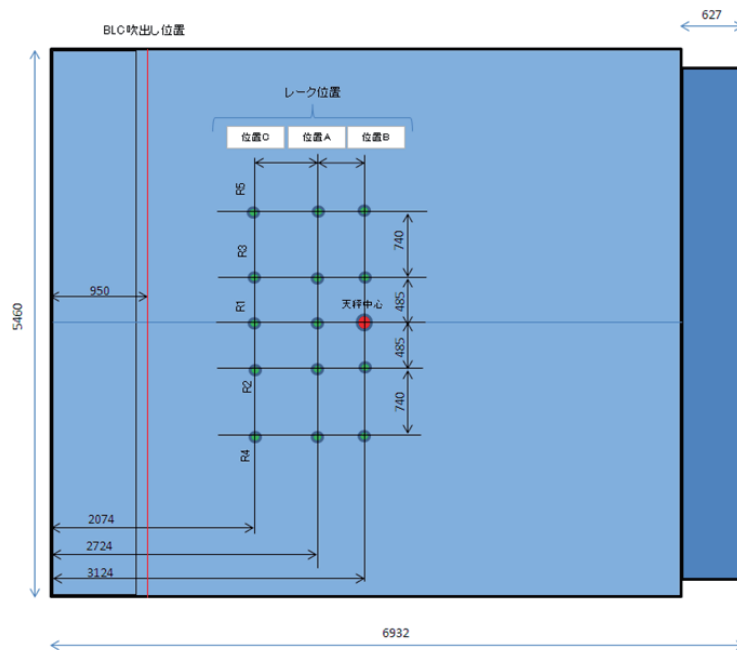
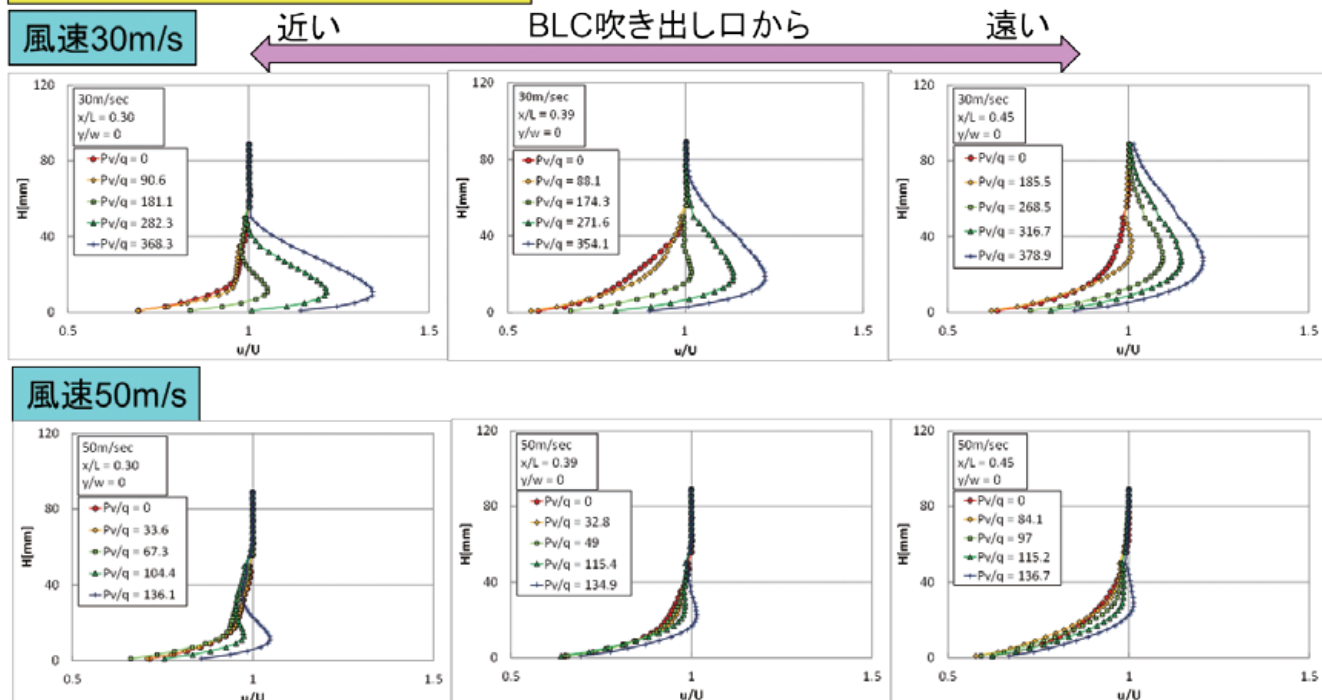


図2 境界層厚さの計測位置、BLC 吹き出し位置

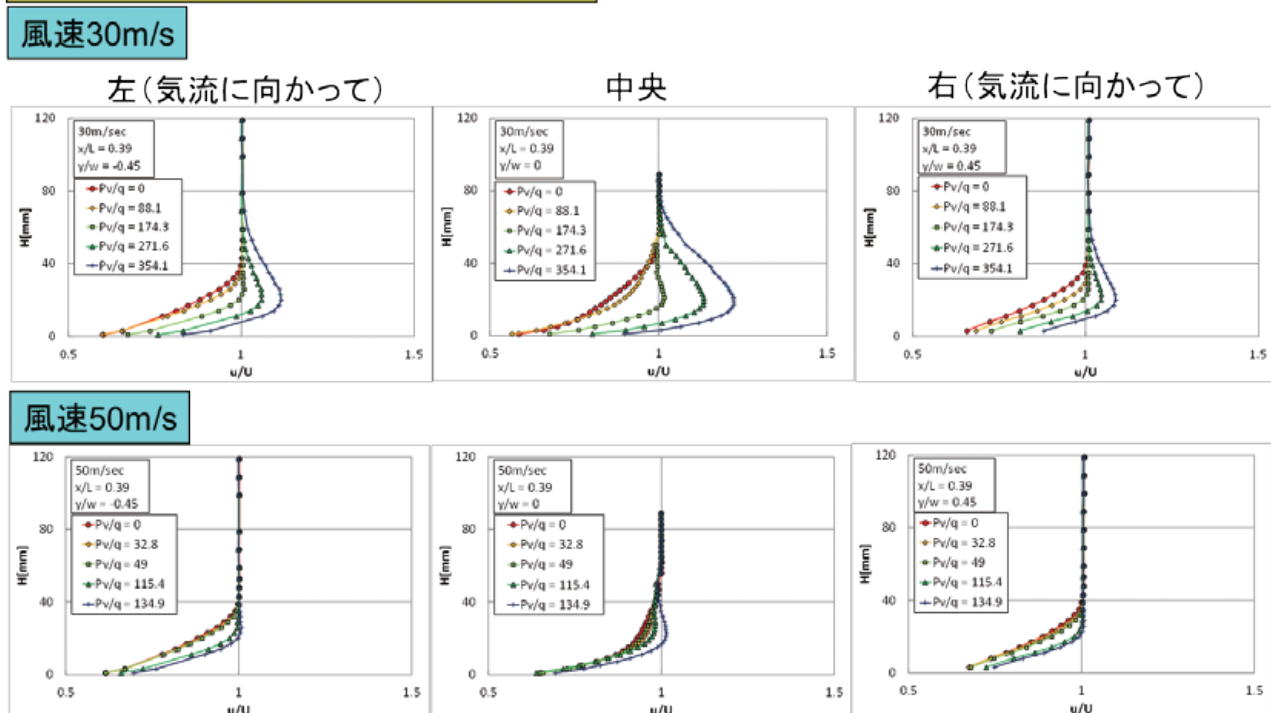


図3 境界層厚さ計測試験時の様子

気流方向の速度分布 ($y/w = 0$)

図4 気流方向の速度分布 ($y/w = 0$)

スパン方向の速度分布 ($x/L = 0.39$)

図5 スパン方向の速度分布 ($x/L = 0.39$)

境界層排除厚さがゼロとなるBLC吹き出し圧力(最適BLC圧力)の算出 ($x/L = 0.39$)

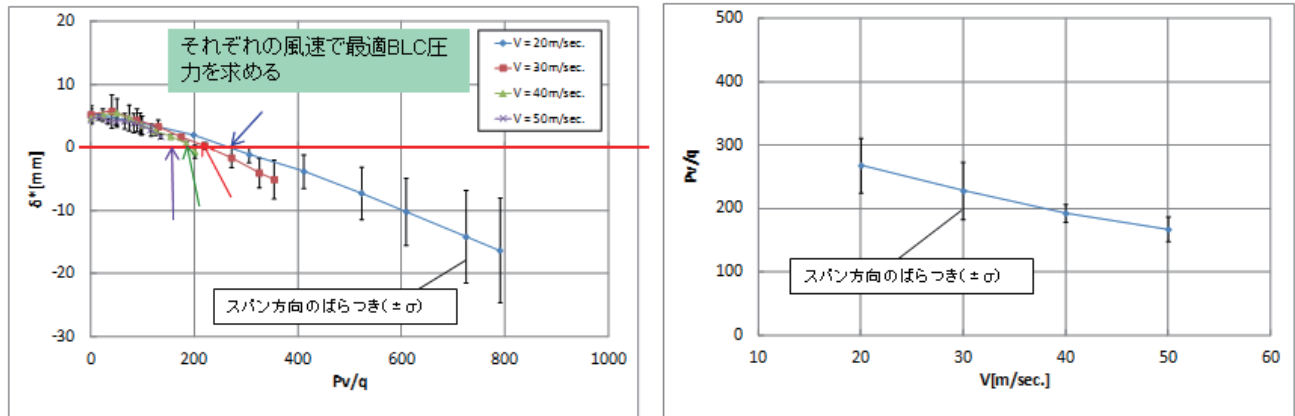


図6 境界層排除厚さ δ^* がゼロとなる最適 BLC 圧力 ($x/L = 0.39$)

気流方向の最適BLC吹き出し圧力

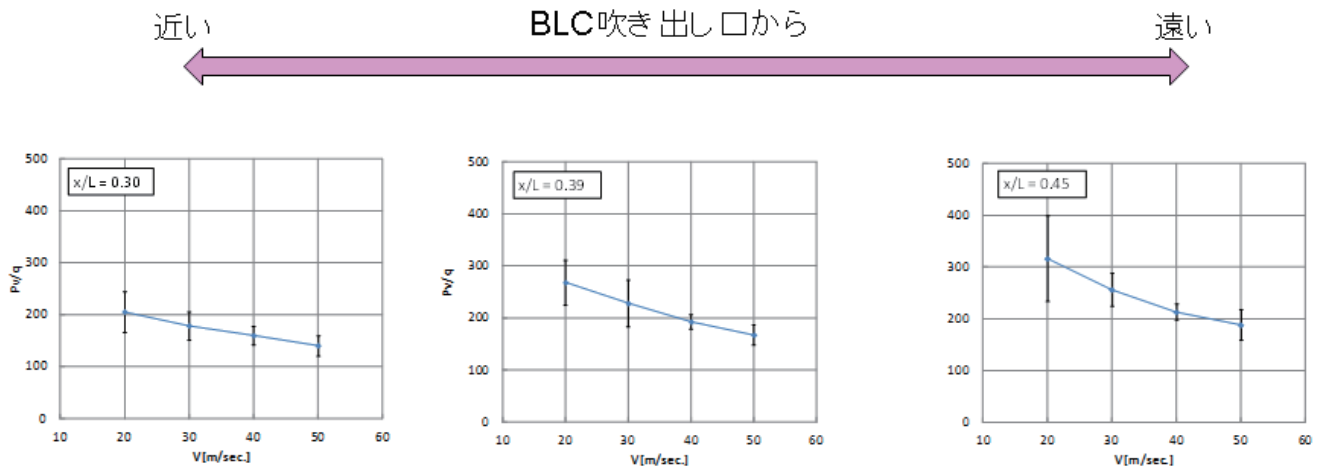


図7 気流方向の位置を変えた時の最適 BLC 吹き出し圧力

表1

H/b	H[mm]	天秤下げ量
0.06	150	650
0.14	352	650
0.35	858	0
0.40	970	0



図 8 地面効果確認試験時の様子

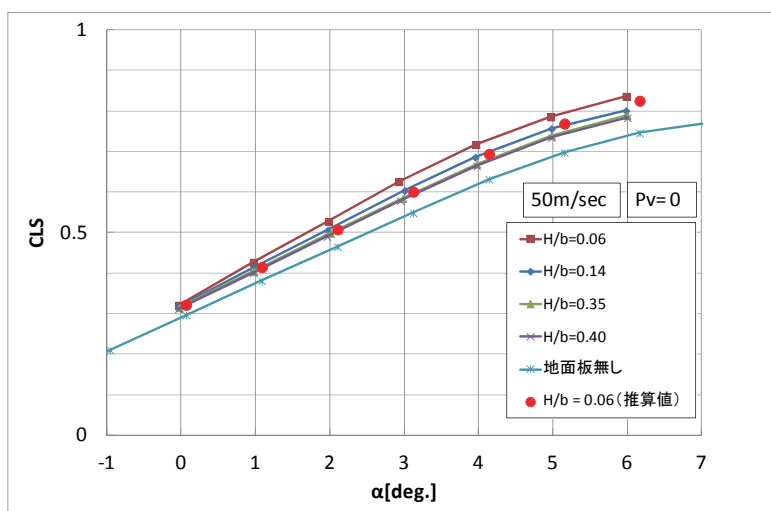


図 9 揚力に対する地面効果(50m/s)

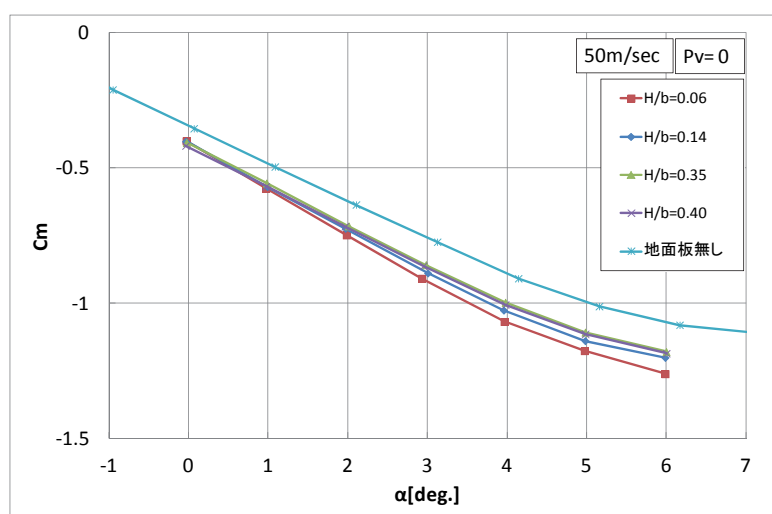


図 10 ピッチングモーメントに対する地面効果(50m/s)