

薄い2次元突起のある平板境界層の音に対する受容性

福西 祐* 小林 陵二* 小濱 泰昭**

W. S. サリック*** H. L. リード***

Receptivity of Flat-Plate Boundary Layer with Two-Dimensional Roughness Element to Sound

Yu FUKUNISHI, Ryoji KOBAYASHI and Yasuaki KOHAMA
Tohoku University

William S. SARIC and Helen L. REED
Arizona State University

ABSTRACT

The receptivity of a flat-plate boundary layer to freestream sound when one or two roughness elements are attached to the surface is investigated by both wind tunnel experiments and numerical simulations. It is shown that the amplitude of the T-S waves which develop downstream can be controlled by changing the distance between the two-dimensional elements. When single roughness element is on the surface of the flat-plate, the results of the numerical simulation show that the amplitude of the generated T-S wave is a function of the roughness width. It is shown that this effect can be explained as an interaction between the waves generated at the upstream edge of the element and the waves generated at the downstream edge.

Key Words: receptivity, roughness elements, T-S waves, wave interaction

1. 緒 言

平板上に薄い2次元の突起を置くことにより、外乱としての音が効果的に境界層中の速度変動として取り込まれることが知られている^{1), 2), 3)}。取り込まれた速度変動は層流境界層の乱流遷移に強く関わる Tollmien-Schlichting 波 (以下 T-S 波) の周波数やその強さを支配するため、外乱の取り込み易さ、すなわち受容性についての知識を増やすことで、やがては境界層の遷移過程そのものを制御する道が開けることが期待されている。

この研究においては厚さがわずかに 100 μm の 2次元突起を1つないしは2つ平板上に設け、それが受容性にどのよ

うな影響を及ぼすかという点に注目した風洞実験および数値計算を行った。

2. 実験装置

風洞実験には東北大学流体科学研究所の低乱風洞が用いられた。図1にその測定部の概略を示す。

風洞の一樣流は 18 m/s とし、この条件下で主流中の 1 Hz 以上の周波数の乱れ成分は一樣流速の 0.02% 以下である。実験対象となる境界層が発達する平板は風洞中央部に置かれ、圧力勾配が生じないよう迎え角が注意深く調整されている。前縁は長短軸比が 36:1 の楕円をもとに受容性を低くするべく平板接合部の圧力が滑らかに変化するように修正した形状のものを使用している。

音は測定部上流の整流部のさらに上流に置かれたスピーカにより発生する。測定部付近では平板に垂直な波面を持

* 東北大学工学部

** 東北大学流体科学研究所

*** アリゾナ州立大学

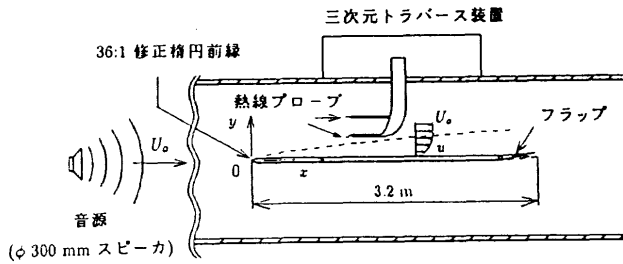


図1 実験装置概略

つ平面波となっていることが確認されている。スピーカより発生させる音の周波数は、自然に成長するT-S波の周波数に相当する135.5 Hz、音圧レベルは90 dBとした。この音圧レベルは一様流速の0.009%の速度変動に相当する。

2次元突起の材料となったセロハン粘着テープは厚さ50 μm 、幅12 mmのもので、2枚重ねて平板表面に貼り付けることで高さ100 μm の2次元突起としている。2次元突起の置かれた位置は、発生した速度変動が成長するように、中立安定曲線の第1分枝とスピーカの音の周波数135.5 Hzとの交点の位置を選んである。テープの位置での境界層厚さは2.9 mm、排除厚さは1.0 mmであった。

3. 数値シミュレーションの方法

数値シミュレーションとしては食い違い格子をもちいたMAC法により、2次元非圧縮Navier-Stokes方程式を解いた。流れのパラメタは風洞実験と一致するように選ばれた。主流方向(ξ)には等間隔に300点、壁面に垂直な方向(η)には不等間隔に100点の格子点が採られた。非線形項には3次の風上差分を用いている。

図2にテープ近傍の格子点の様子を示す。計算領域の内、下流端の20%の格子点に関しては、波の反射を防ぐために人工粘性を導入したバッファ領域とし、速度変動を減衰させている。バッファ領域を除く計算領域中に中立安定曲線の不安定領域全体が含まれており、 η 方向には下流端での境界層厚さの約5倍の距離まで計算領域となっている。

音の効果は平板表面での速度の境界条件として時間的に周期的に変動する左右方向の速度を与えることで模擬している。

4. 結 果

4.1 2個の2次元突起による音の受容性(風洞実験)

図3、図4は風洞実験の結果である。2次元突起を2つ配置し、受容され成長した速度変動を下流で捉えたものを速度変動の実行値の η 方向分布の形で示したのが図3である。図3にはT-S波に特徴的な2山の分布が見られるが、その変動の強さが突起間の距離により異なる点が注目される。

図4は突起間の距離と速度変動振幅の最大値の関係を示

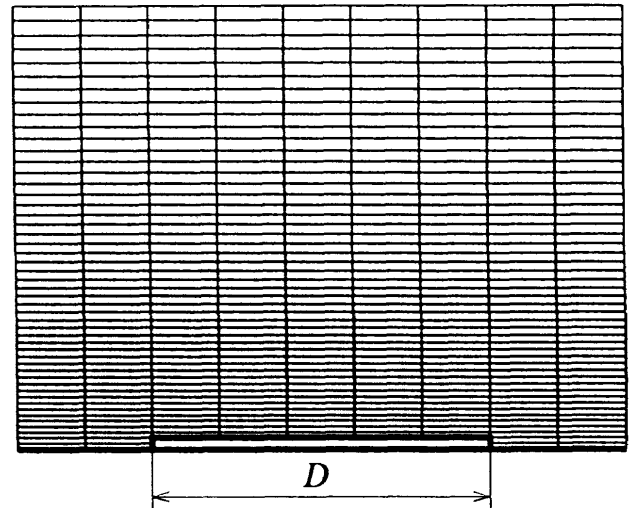


図2 2次元突起近傍の計算格子

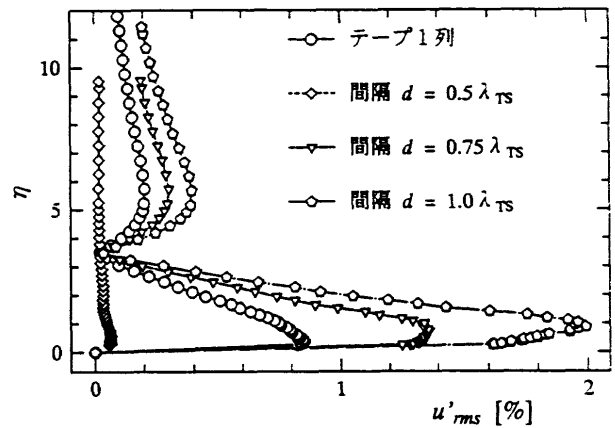


図3 2列の突起間の間隔 d を変えたときの速度振幅の η 方向分布く実験
($U_\infty = 18.0 \text{ m/s}$, $x = 1.35 \text{ m}$)

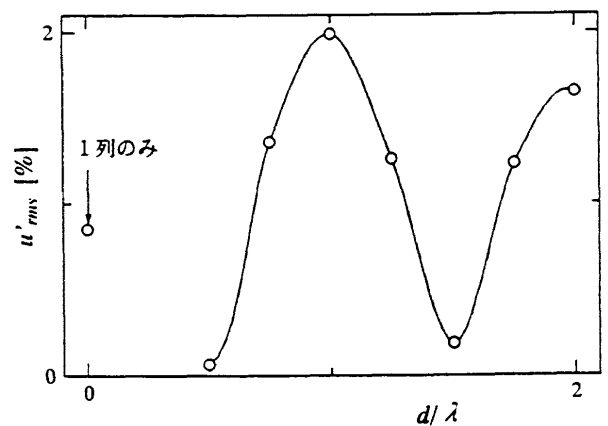


図4 2列の突起間の間隔 d を変えたときの速度振幅最大値の変化く実験
($U_\infty = 18.0 \text{ m/s}$, $x = 1.35 \text{ m}$)

すグラフである。変動の強さは突起間の距離に応じて周期的に変換ることがわかる。

4.2 2個の2次元突起による音の受容性(数値計算)

図5および図6はそれぞれ図3、図4に対応する数値シ

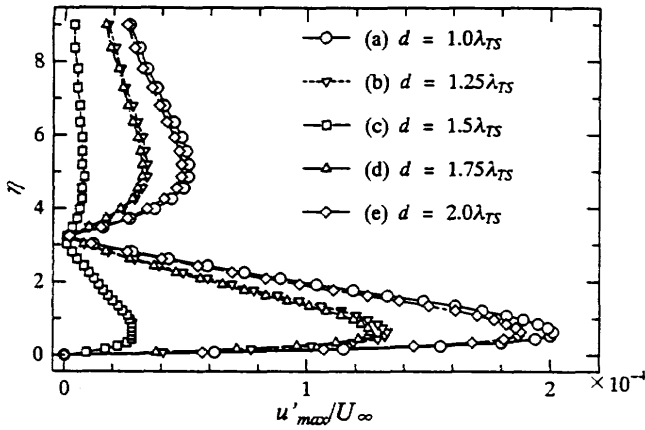


図5 2列の突起間隔 d を変えたときの速度振幅の η 方向分布 (数値計算)

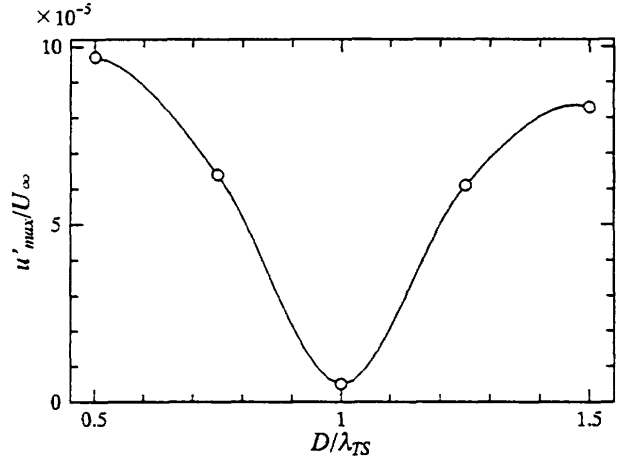


図7 突起の幅を変化させたときの T-S 波の最大振幅の変化

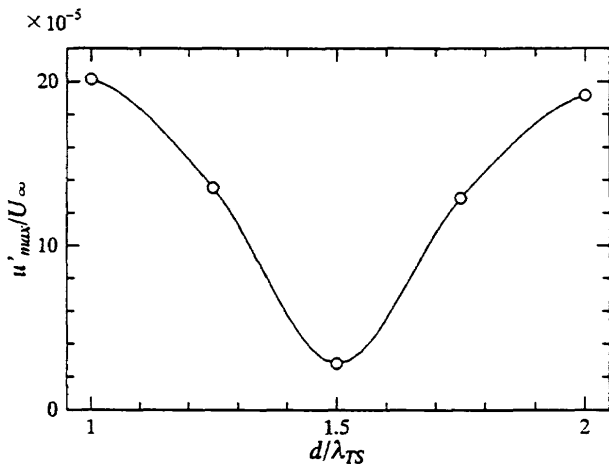
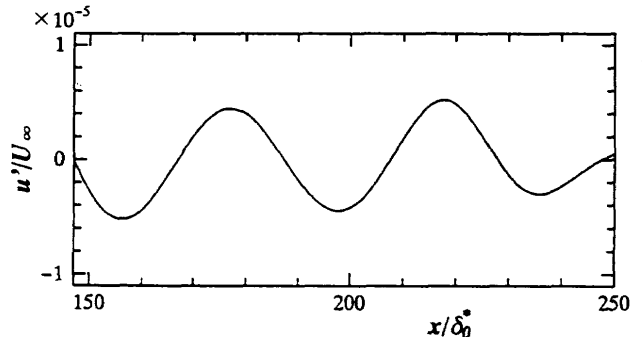
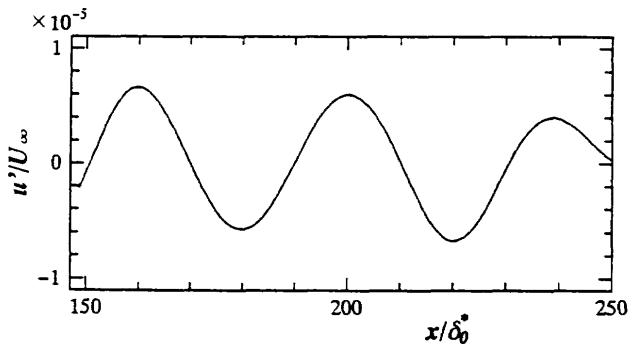


図6 2列の突起間隔 d を変えたときの速度振幅最大値の変化 (数値計算)



(A) Forward facing step



(B) Backward facing step

図8 前向き段差, 後ろ向き段差における速度変動の空間分布の比較 (数値計算)

ミュレーションの結果である。ただし、測定位置は風洞実験に較べ上流の位置で速度変動の絶対値は小さい。

いずれの図に関しても風洞実験の結果と数値シミュレーションの結果にはよい傾向の一致が見られる。

これらの結果は上流側の突起より発生する速度変動と下流側の突起より発生する速度変動との波の重ね合わせとして説明される。すなわち、突起間の距離が T-S 波の波長の整数倍の時は波の位相が一致して 2 つの波は互いに強め合い、それ以外の場合には位相差による波の打ち消し合いがおこるものと解釈できる。

4.3 2次元突起が1個の場合の突起幅の影響 (数値計算)

次に、数値シミュレーションにより、突起が1個しか無い場合のその突起の幅による受容性の強弱について調べた。図7にその結果を示す。図7の横軸は突起の上流側の端から下流側の端までの距離、すなわち突起の幅である。突起の存在により作られる速度変動の強さは突起の幅が T-S 波の波長の整数倍の時に極小値をとっている。

この原因を明らかにするために小さな前向き段差および後ろ向き段差により受容される速度変動について調べてみた。

2次元突起は上流側の前向き段差と下流側の後ろ向き段差の組み合わせとみなすことができる。図8(a)は前向き段差により受容された速度波形、図8(b)は同じ位相における後ろ向き段差により受容された速度波形である。両者は位相が180度ずれていることがわかる。この結果より、突起の幅に依存して受容される速度変動が強くなったり弱くなったりする現象は上流側の端において発生する波と下流側の端から生じる180度位相のすぐれた波の重ね合わせが生じるためであると説明することができた。

5. 結 言

以上の結果をまとめると以下ようになる。

平板上に2つの2次元突起があると、双方から受容された速度変動の波の重ね合わせが起き、突起間の間隔を変えることにより受容性の強さを制御できる。

1つの2次元突起しかない場合においても、その突起の幅により受容性の強さは変えられる。その原因は突起の上流側の角と下流側の角とで位相の180度ずれた速度変動が受容されるためである。この場合にも波の重ね合わせが起こり、その結果として受容性の強さが変化する。

参 考 文 献

- 1) Goldstein, M.E. and Hultgren, L.S.: *Ann. Rev. Fluid Mech.*, **21**, 137-166 (1989).
- 2) Wlezien, R.W., Parekh, D.E. and Island, T.C.: *Appl. Mech. Rev.*, **43**, 167-174 (1990).
- 3) Saric, W.S., Hoos, J.A., Radeztsky, R.H. and Kohama, Y.: *ASMEFED*, **114**, 17-22 (1991).