九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

平板上に置かれた有限長角柱周辺流れの可視化実験

岡島, 厚
九州大学応用力学研究所 : 助教授

杉谷, 賢一郎
九州大学応用力学研究所 : 文部技官

https://doi.org/10.15017/4743579

出版情報：應用力學研究所所報. 46, pp.167-175, 1977-09. 九州大学応用力学研究所
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

寄　書

平板上に置かれた有限長角柱周辺流れの可視化実験

岡島　厚*　杉谷賢一郎**

1. まえがき

主流に平行な平板上に垂直に置かれた有限長角柱周辺の流れは典型的な三次元流れであり，このような流れは極めて複雑な様相を呈す．本研究は種々な流れの可視化法を用いて，有限長角柱周辺流れの全体的な様相を把握しようとするもので，特に角柱の高さの周辺流れに及ぼす影響を調べた．なお，本実験のレイノルズ数は低く10^2程度で，流れは層流の範囲に限られる．

2. 実験装置と実験方法

水槽（幅0.4 m，深さ0.4 m，長さ 6 m）中を自走式台車に設置された模型を曳航して，模型角柱周辺の流れを観察した．模型角柱は黄銅製で，その断面形状は正方形であり，高さを7種類変えた．角柱の幅（W），奥行（D），高さ（H）の寸法を表1に示す．模型角柱を設置した平板は幅 35 cm，長さ 120 cm，厚さ 0.4 cm のアクリル樹脂製である．図1に模型角柱及び平板の取り付け状態の概略を示す．可視化の方法としては，従来よく用いられているアルミ粉末法，電解沈澱法，電解腐触法，水素気泡法を用いた．模型の曳航速度は全て0.6 cm/sであり，その時の模型角柱の幅（W）に関するレイノルズ数は $Re(=UW/\nu$：ν は水の動粘性係数$)=96$ である．

表1　模型角柱寸法

アスペクト比 (H/W)	0.3	0.5	1	2	3	5	10
$W=D$ (cm)	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
H (cm)	0.48	0.8	1.6	3.2	4.8	8.0	16.0

3. 実験結果

3.1. アルミ粉末法による観察

アルミ粉末法によって角柱周辺の流れを調べる．平板上にある角柱周辺流れの実験に先立ち，平板の効果を明らかにするために平板のない場合の角柱周辺流れを調べた．この場合は，平板がある場合の角柱の2倍の高さの角柱を一様流中に置いた．写真1にはその時の角柱周辺流れの様相を平板のある場合

* 九州大学助教授，応用力学研究所
** 九州大学応用力学研究所文部技官

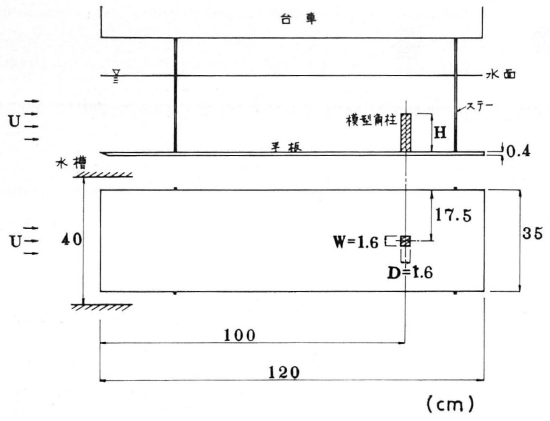

図1　模型角柱及び平板の取り付け状態の概略

（写真2）と比較して示す．写真1の平板がない場合，流れは上下ほとんど対称であり，写真2との比較の対象は写真1の上半分のみである．角柱前方の流れは角柱の端部を除いて角柱に直角に当っており，後流には一対の大きな渦が生じている．それに対し，角柱に当る流れが平板によって速度勾配を有する場合には，写真1とは全く相違した流れとなる．すなわち，角柱上層部で角柱に当った流れは，平板との粘性摩擦によってエネルギーの消耗したより速度の遅い下層部の流れにまわり込む下降流が生じる．角柱の後流も複雑な流れとなる．

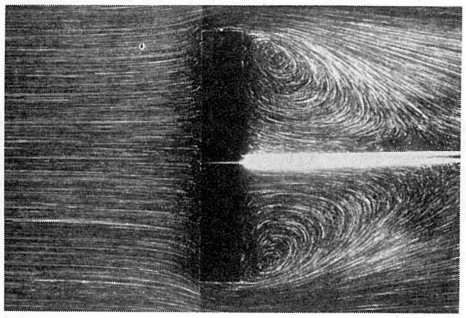

写真1　角柱周辺流れ（平板無し），アルミ粉末法

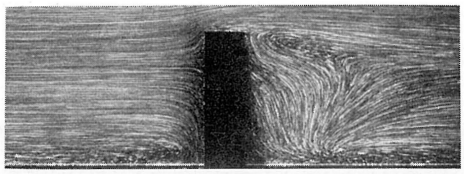

写真2　角柱周辺流れ（平板有り），アルミ粉末法

（写真 1，2 において，流れの方向は左から右である．以下の写真も全て同様である．）

ここで，平板上にある高さが異なる角柱周辺の流れを調べるに際し，平板上の境界層の状態を知る必要があり，そのため水素気泡法によって平板上の速度分布を求めた．写真3には水素気泡による流れの一例を示す．平板の表面近傍では流速は極めて小さく，水素気泡の浮力の影響が無視できない．写真から求めた平板上の境界層の速度分布を層流境界層の理論値と比較して図2に示す．図にみるように，本実験における速度分布は平板の極く近傍を除いて層流境界層の理論値と比較的よく合っている．境界層厚さ δ は文献 1）より

$$\delta = 5.3(\nu x/U)^{1/2}$$

となり，本実験の場合（$x = 100$ cm，$U = 0.6$ cm/s，$\nu = 0.01$ cm²/s）は $\delta = 6.8$ cm である．

このような境界層流中に置かれた角柱周辺流れにつき，角柱のアスペクト比を $H/W = 0.3 \sim 10$ の範囲で変え，角柱側面から，角柱の中心軸を通り流れに平行な面内の流れのパターンを観察した結果を以

下示す．まず，写真4に示す $H/W=0.5$ では，角柱を越える流れの角柱上端での剝離は明確でないが，角柱の後ばかりでなく前にも定常的な渦が見られる．$H/W=2$（写真5）では，角柱前方の流れは角柱上層部のよどみ点から分岐し，強い下降流を生じる．角柱を越える流れは角柱上端で剝離し，角柱背面の流れは後方から吹き上げて逆流を生じている．$H/W=5$（写真6）では前方の流れは下降流を生じ，角柱を越える流れは上端で剝離する．背面では角柱直下から吹き上げ，上部に独立した渦ができて流れは複雑である．

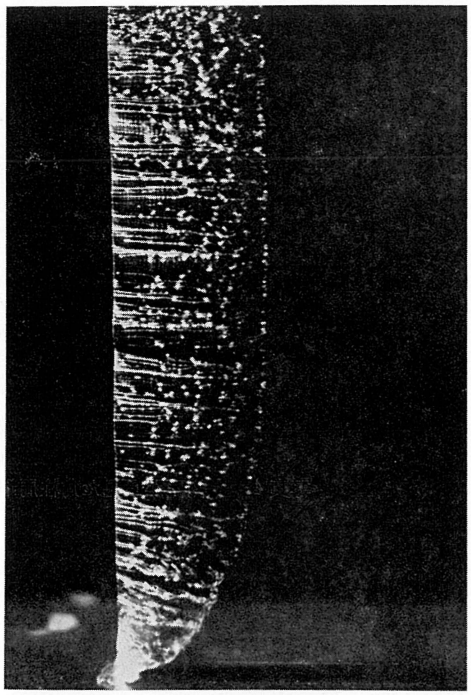

写真3　平板上の速度分布，水素気泡法，$U=0.6$ cm/s

このような側面から観察した流れのパターンから，角柱前面のよどみ点の位置の角柱のアスペクト比 H/W に対する変化を図3に示す．図より，角柱高さに対するよどみ点の位置 h/H は H/W が大きくなると共に下がるが，特に，$H/W=3\sim5$ で急激に下がっている．図には本実験における境界層厚さ $\delta/W=4.25$ も矢印で示したが，この場合の境界層厚さ付近で h/H が急減することから，h/H の急激な変化は H/W ばかりでなく境界層厚さの影響も大きいと推定される．

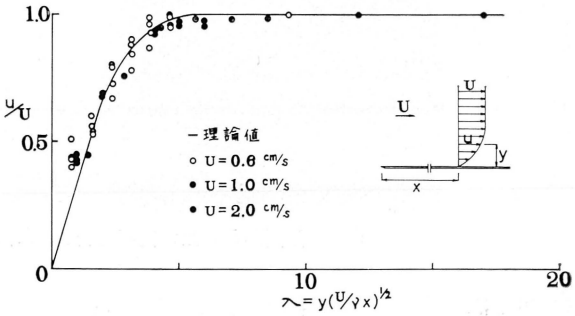

図2　平板上の速度分布

次に，同様な流れを角柱の上方から観察する．写真7，8は $H/W=1$ の場合で，それぞれ平板から $0.3H$，$0.7H$ の位置における流れのパターンである．流れはいづれの高さにおいても，ほぼ上下対称で定常的であり，典型的な二次流れの様相を呈している．

3.2.　電解沈澱法による観察

角柱周辺流れを立体的に把握するために，電解沈澱法を用いて観察した．写真9にはその一例（$H/W=3$）を示す．写真において，角柱の前方，平板から1，3，5，7 cm の各高さに張ったハンダ線から電解によって生じた白色の色素が流れ出し，平板にほぼ平行な面状で角柱に達している．そして，角柱近傍で前方の流れに下降流が生じていることが明確である．この流れを角柱の斜め上方から撮影した

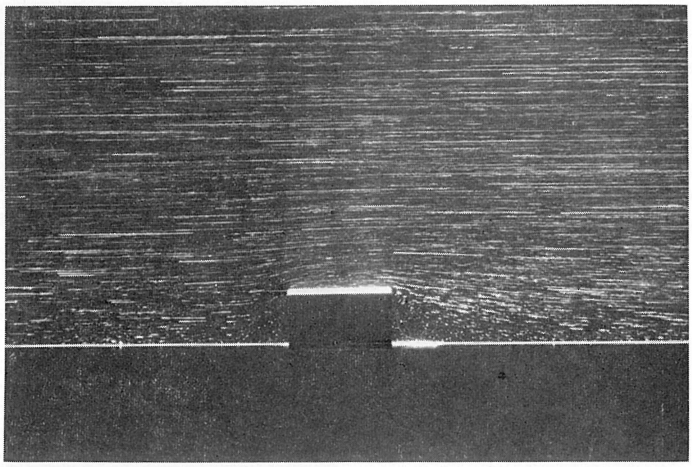

写真 4　側面から見た角柱周辺流れ，$H/W=0.5$，アルミ粉末法

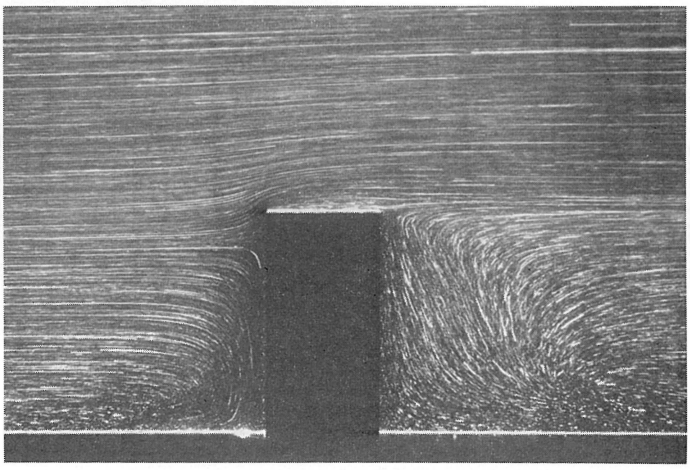

写真 5　側面から見た角柱周辺流れ，$H/W=2$，アルミ粉末法

写真 10 では，平板に近い色素面が角柱まわりでスリバチ状を呈して見える．これは前方からの流れが下降しながら角柱側面を曲面状にまわり込み，後方で吹き上げていることを示している．

3.3. 電解腐触法による観察

平板の極く近傍の流れを電解腐触法で調べた．電解腐触法は陽極とした金属（この場合はハンダメッキした平板）表面の電解によって，その表面流線を可視化する方法である．写真 11 にはその一例（$H/W=3$）を示すが，平板上の角柱周辺の表面流線から，平板近傍の角柱周囲には典型的な二次流れが生じていることがわかる．この二次流れは角柱が低い場合（$H/W=0.3$〜1）は，はっきり現われないが，角柱が高くなるにつれて明確，かつ大きくなる．写真から，角柱上層部から角柱壁面に沿って下降した流れは平板まで達すると逆流するが，角柱から離れるに従い主流によって押し返されている．この二次

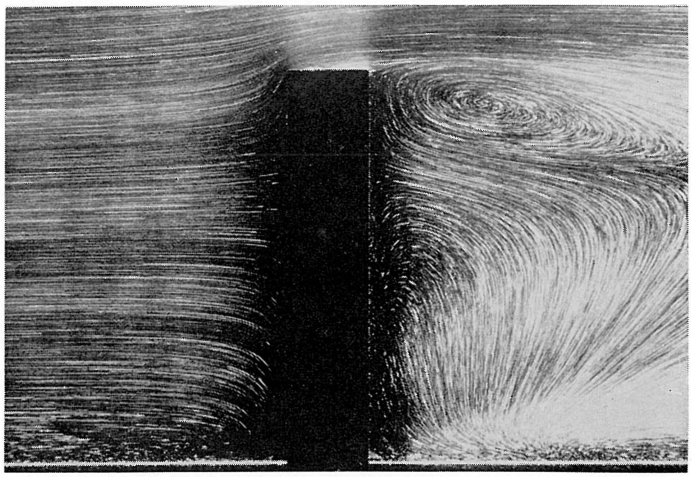

写真6　側面から見た角柱周辺流れ，$H/W=5$，アルミ粉末法

流れの及ぶ限界をここでは限界流線と呼ぶことにする．限界流線の大きさをさらに明確に調べるために，角柱前方からハンダの電解によって生じた白色の色素を平板に沿って流した．その結果の一例（$H/W=2$）を写真12に示す．図4には，このような写真から求めた限界流線の大きさと角柱のアスペクト比 H/W との関係を示す．図から限界流線の大きさは $H/W=3$ までは急激に大きくなるが，それ以上ではほとんど変わらない．図中，境界層厚さ $\delta/W=4.25$ の値も表示したが，この値は限界流線の大きさがほぼ一定となる $H/W\fallingdotseq 4$ に大体一致し，この場合にも境界層厚さとの関連性が考えられる．

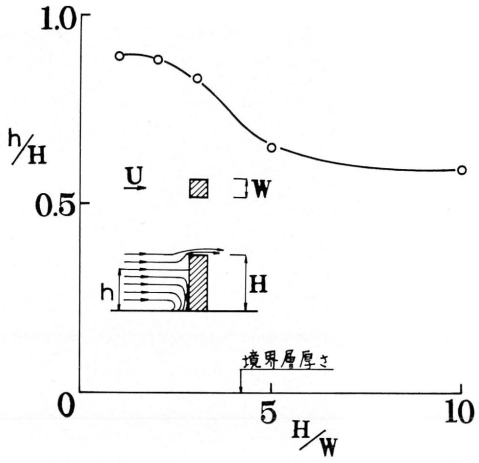

図3　よどみ点の位置とアスペクト比の関係

4. むすび

平板上に置かれた有限長角柱周辺の流れの様相をアルミ粉末法，電解沈澱法，電解腐触法，水素気泡法などの各種可視化法を用いて調べた．その結果，複雑な二次流れを伴う角柱周辺の三次元流れを可視化観察し，角柱のアスペクト比（H/W）の流れに及ぼす影響の大きいことなどがわかった．

最後に本研究中，多大の御援助，御助言を頂いた中村教授を始め流体工学部門の諸氏に感謝致します．なお，本研究は，近年“ビル風現象”として重要視されている高層建築物周辺気流に関する研究[2)~4)]の最も基礎的な資料を得るために行なわれたものである．

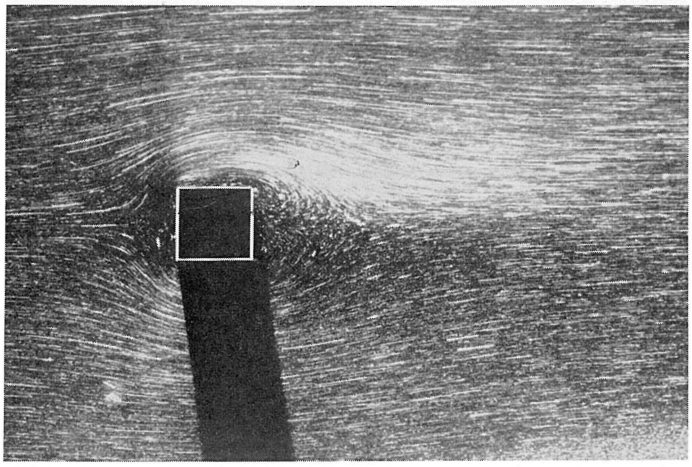

写真 7　上方から見た角柱周辺流れ，$H/W=1$ $(0.3H)$，アルミ粉末法

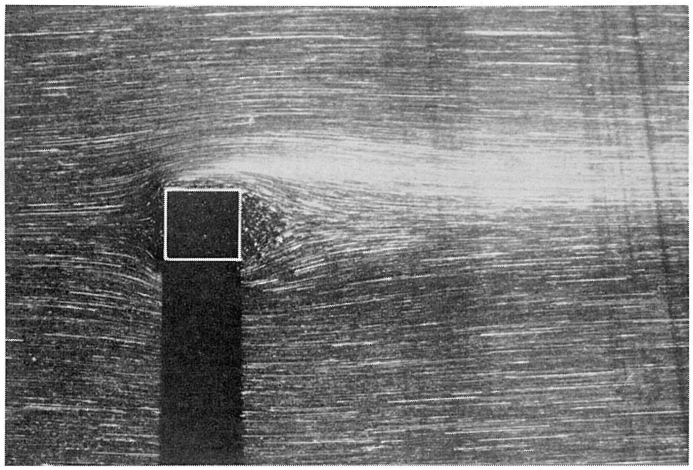

写真 8　上方から見た角柱周辺流れ，$H/W=1$ $(0.7H)$，アルミ粉末法

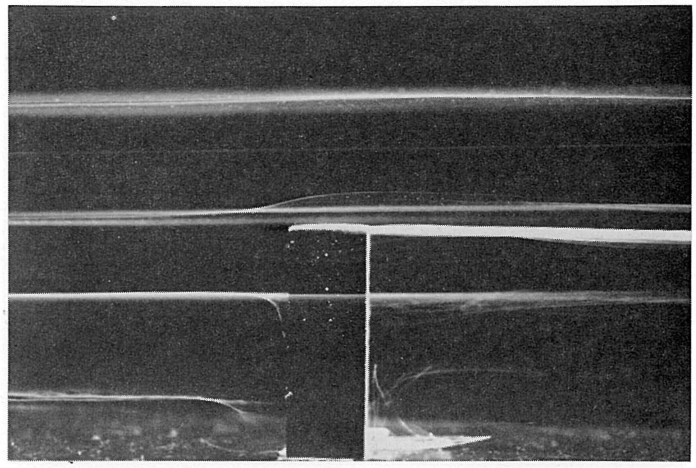

写真 9　角柱周辺流れ，$H/W=3$，電解沈澱法

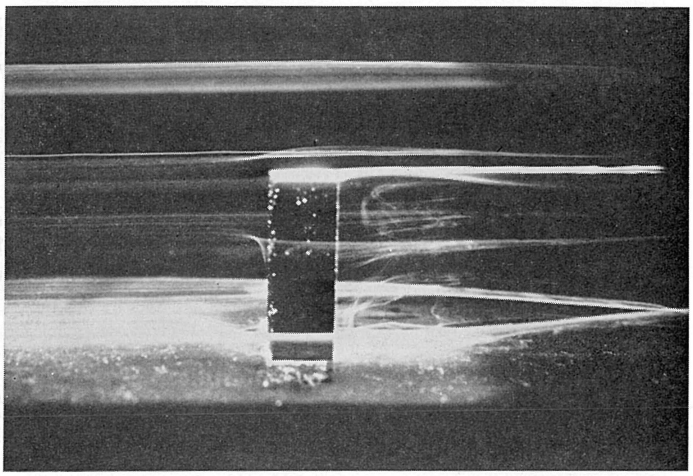

写真 10　角柱周辺流れ，$H/W=3$，電解沈澱法

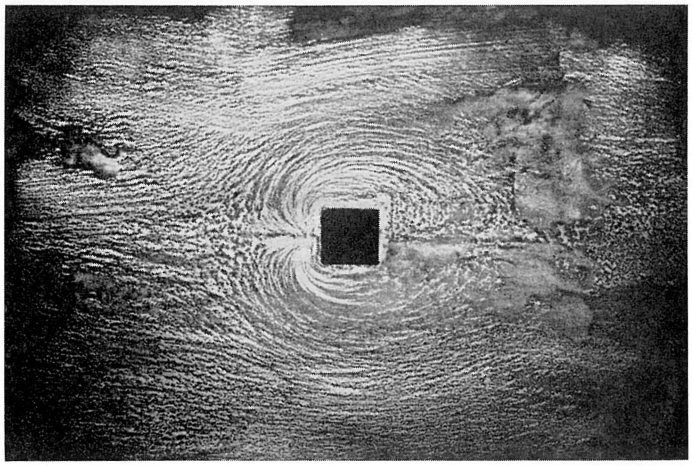

写真 11　　平板近傍の流れ，$H/W=3$，電解腐触法

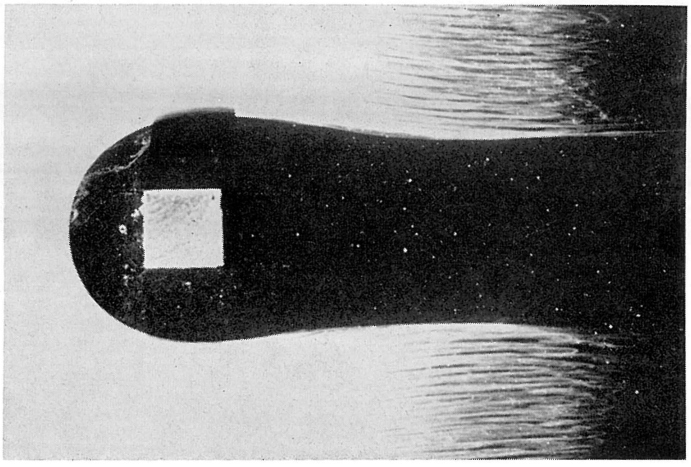

写真 12　　限界流線，$H/W=2$

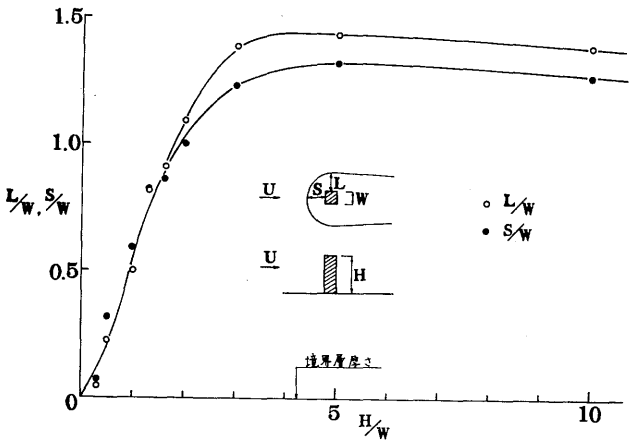

図4　　限界流線の大きさとアスペクト比の関係

参 考 文 献

1)　谷一郎，流れ学，第3版，岩波書店.
2)　亀井勇，ビル風—動向・分析・対策，建築技術，No. 281，昭和50年1月，203-225.
3)　相馬清二，霞ケ関超高層ビル周辺の風の特性，構造物の耐風性に関する第1回シンポジウム論文集，1970，49-55.
4)　亀井勇，丸田栄蔵，高層建築物周辺に生ずる強風領域の実験的研究，日本建築学会論文報告集第232号，昭和50年6月，101-107.