

熱 伝 達 率 の 研 究 (第2報)

小林 定 教・宮 野 秋 彦

建 築 学 教 室

(1973年 9 月12日受理)

Study of the Heat Transfer Coefficient (Part II)

Sadanori KOBAYASHI and Akihiko MIYANO

Department of Architecture

(Received September, 1973)

We have made experimental studies continuing our basic experimental studies which we published in the first report. and this time we have made experiments by use of the models.

We have attached one or two fences to the model wall in order to vary the profiles of the velocity of the wind near the surface of the wall and studied on the characteristics of the wind and the heat transfer coefficient.

We have been able to learn several knowledges concerning the phenomena of character of the wind velocity and heat transfer coefficient from the results of the experiment.

As the results, we have found the fact that the turbulence intensity of the wind near the surface of the building wall produces powerful effects on the characteristics of the heat transfer coefficient.

1. 緒 言

多くの場合建築学的熱伝達率は自然条件下の種々の要因の影響を受けている。

そのため、熱伝達率は刻々変化し、時間的にみても複雑な周期を持った値を示す。

最近の建物の高層化、過密化に伴い、建物周囲の風の状態はいろいろな方面で重要な意味を持つようになって来ている。一般に、建物は夫々異なった形、大きさを持っているように夫々の建物自体、特有な近傍風を持っている。

この研究は建物の熱的特性の観点より壁面近傍風特性と熱伝達特性との関係を解明し、環境設計に必要な基礎資料を得んとするものである。

本報では、前報に続き壁面近傍の気流特性、温度特性と熱伝達特性の関係をj知るため、平滑試料面とその表面に板状突起物を設けた場合の試料面近傍の気流、温度性状と熱伝達率の関係について実験検討したところを報告する。

2. 実験方法並びに実験装置

本報では次の平滑試料板近傍風を変化させた場合と平滑板上に板上突起物を有した時についてその表面熱伝達率と気流特性及び温度特性について実験を行った。

実験は表-1 の如き場合について行った。

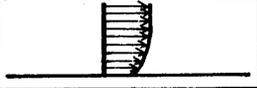
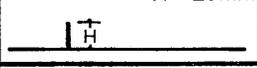
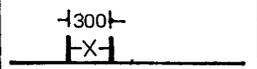
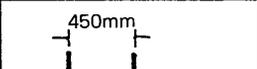
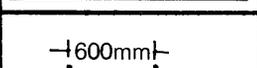
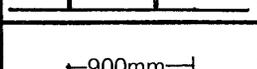
OF-A は平滑面の実験で本報では基準風速分布である。OF-B, C は平滑試料板風上側先端 95cm の位置に整流子板を設け試料板近傍の風速プロフィールを3種類に変化させた場合の熱伝達特性について実験を行った。

1F, 2F は平滑試料板に板状突起物を1ヶ所または2ヶ所設置し、また、その間隔を種々変化せしめた場合の熱伝達特性について測定を行った。

実験装置の主要部は図-1 の様に閉鎖型回流式風洞(測定部風洞断面積 $70 \times 70 \text{cm}^2$)と試料板(高さ $50 \times$ 長さ 180cm^2)を貼り付けた恒温水槽よりなり恒温実験室内に設置した。

風洞内気温および実験室内気温は図-2 の如き装置で同一気温に保持した。

Table 1. Model walls and profiles of the velocity

Notation	Number of fences and profile of the velocity	X_1/H	Wind velocity V_∞ (m/sec)	
OF-A		0	3.2 7.3	4.5 8.8
OF-B		0	4.4 8.4	6.3 8.8
OF-C		0	4.8 9.0	6.5 8.8
1F25-0	 H = 25mm	1	2.8 6.9	5.3 8.6
2F25-12	 300mm 12	2	2.8 7.0	5.4 8.8
2F25-18	 450mm 18	2	2.8 7.2	5.5 9.1
2F25-24	 600mm 24	2	2.8 7.1	5.4 8.9
2F25-36	 900mm 36	2	2.8 7.1	5.5 9.1

風洞内表面および試料板表面は輻射の影響を少なくするため Al 箔 (厚さ 0.2mm) を貼付した。

風速並びに温度分布は、定常後、熱線風速計 (KANOMAX, IAM-60/28-1111, FLA-60/28-7110) および CC 熱電対 (0.3mm ϕ) を用い、反照型検流計 (電流感度 1×10^{-10} A/mm) で読み取った。図-3

試料板表面温度分布は上下中央位置49点、また気温分布、風速分布は試料板上下中央位置法線方向に試料板近傍を密に採り 500mm までの範囲を合計約 850 点移動測定した。

本報では夫々の実験 Case において風速の主流速を約 2, 4, 6, 8 m/sec の 4 段階に分けて実験を行った。

OF-B, C においては、風速分布を変化せしめるために整流子板として、格子並びに金網を用いた。また Case 1F, 2F の板状突起板としては熱伝導率 λ の小さいスタイロフォーム ($\lambda=0.032$ kcal/m \cdot h \cdot deg, 厚さ 5mm, 高さ 25mm) を用いた。

3. 実験結果とその検討

図-4. 5. 6 に OF-A, B, C の平滑面法線方向の

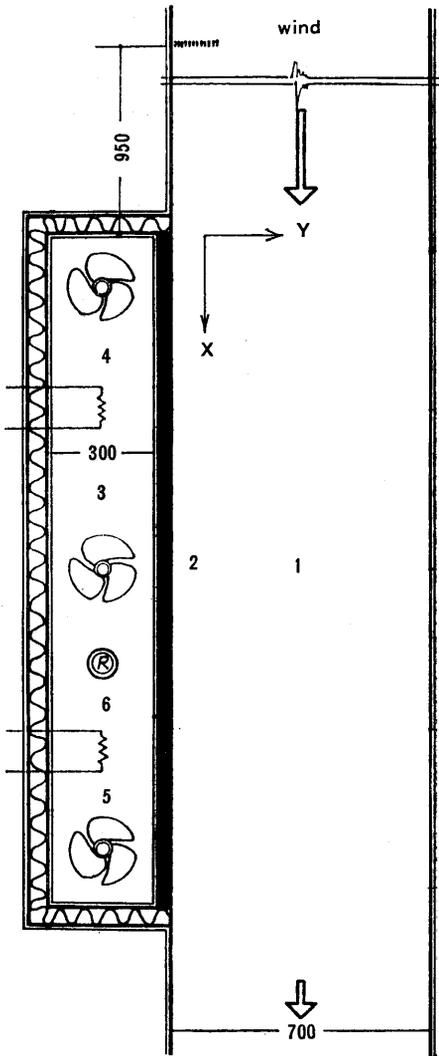
風速分布を三種類に変化させた時の風速比 (\bar{V}_x/V_∞), 乱れ強さ ($\sqrt{\bar{v}_x^2}/V_\infty$) 分布を示す。

ここで風速比 $=\bar{V}_x/V_\infty$ は各測点の平均風速値 \bar{V}_x を風洞測定部同上側先端の自由風速 V_∞ で割って無次元化したものである。また、乱れ強さ $=\sqrt{\bar{v}_x^2}/V_\infty$ は各測点の x 軸方向の変動風速の標準偏差 $\sqrt{\bar{v}_x^2}$ を I 型プローブを用い測定し、その値を風速比同様 V_∞ で割って無次元化したものである。

図 7(a)~8(c) は板状突起物を 1ヶ所及び 2ヶ所設置したときの風速 8.6, 8.9m/sec の場合に関するそれぞれの実験結果の一例である。

図-7(a), 8(a) は温度比 $\theta_R = (\theta_{xy} - \theta_{amin}) / (\theta_{smax} - \theta_{amin})$ より等温度比分布曲線を描いたものである。但し、 θ_{xy} : 試料板面法線方向 y の点の気温 ($^{\circ}$ C), θ_{amin} : 気温の最低値 ($^{\circ}$ C), θ_{smax} : 試料板表面温度最大値 ($^{\circ}$ C)。

図-7(b), 8(b) は等風速比分布曲線、図-7(c), 8(c) はこれに基づいて求めた風速比分布曲線である。なお同図に乱れ強さの水平分布曲線を併記した。



1. Wind tunnel
2. Model wall
3. Water tank of constant temperature
4. Electric heater
5. Stirrer
6. Thermoregulator

Fig. 1. Experimental apparatus

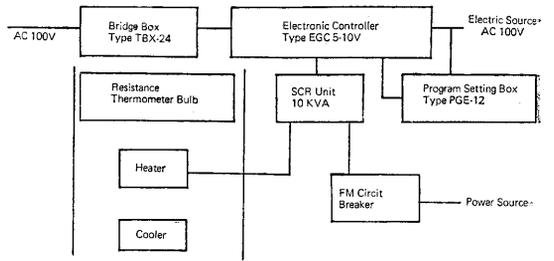


Fig. 2. Diagram of controlling apparatus of atmospheric temperature

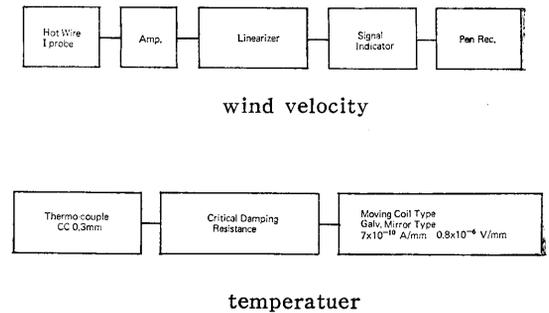


Fig. 3. Diagram of measuring apparatus of temperature and wind velocity

OF-A, B, C を比較すると壁面近傍の風速分布は各測点で $\bar{V}_A > \bar{V}_B > \bar{V}_C$ となっている。

乱れ強さは下流に行くに従って $A < B < C$ の傾向が強い。OF-A の乱れ強さは特に小さく、壁面極く近傍で約 0.07 でそれ以上離れると急激に小さくなる。OF-B, C は整流板の影響のため壁面近傍では OF-A とそれ程差が生じないが $Y/H=1$ 以上では $\sqrt{v_x^2}/V_\infty=0.1$ 以上となる。

1F の場合、突起物による風下側影響域は $X/H=0 \sim 12$, $Y/H=1$ の範囲でいわゆる逆流域が発生しており、風速比で -0.2 にも達する。更に、 $X/H=13$ 以上では壁面近傍風の方向は主流と同方向となり、風速分布状態

は漸次突起物の影響を脱する。

また、突起物風下側 $Y/H=2 \sim 5$ の範囲では $\bar{V}_x/V_\infty > 1$ の部分が出現している。

2F の場合、風速特性は突起物の間隔等によって異なるが 1F とほぼ同様の傾向を示し、第 1 の突起物による Reattach Point も略 $X/H=13$ 附近にみられる。

しかし、2 番目の突起物による Reattachment Point は不明確で 1 番目のものより X/H は小さく、壁面近傍の風速分布は突起物が近いわりに大きい値を示している。そのため $\bar{V}_x/V_\infty > 1$ の範囲がはっきりとは現れない。

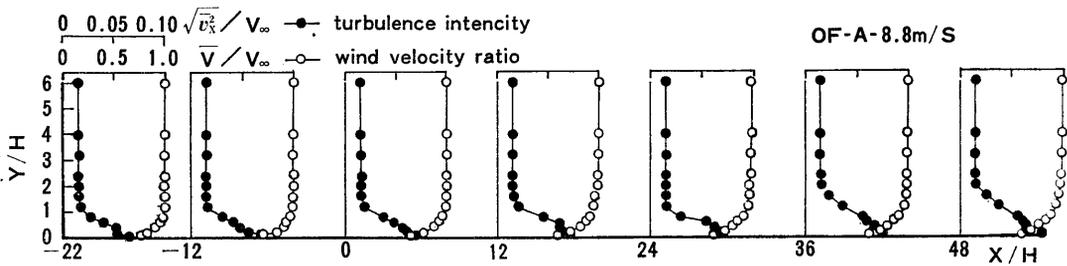


Fig. 4

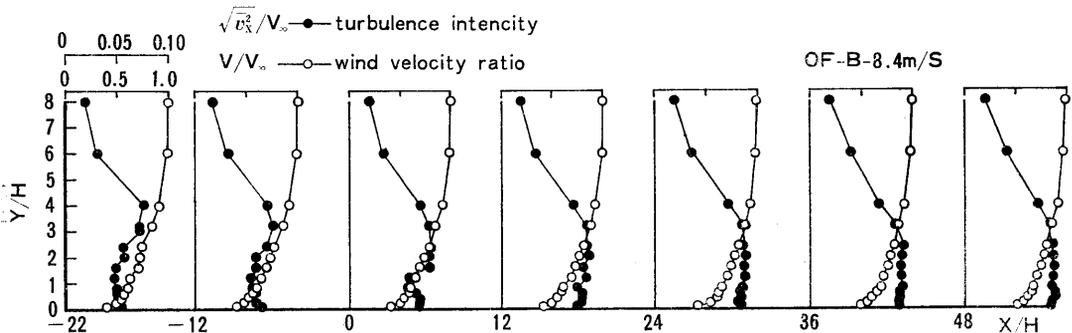


Fig. 5

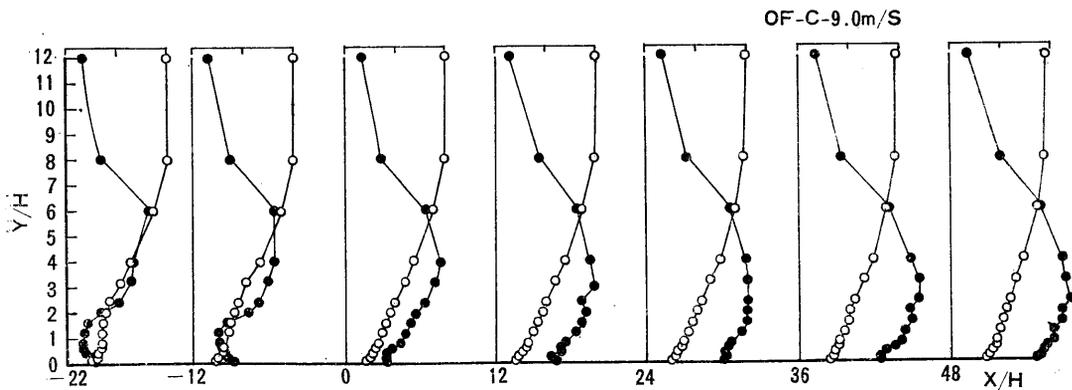


Fig. 6

Fig. 4.5.6 Distribution of the wind velocity ratio and turbulence intensity

乱れ強さは 1F, 2F 共, 突起物風上側では小さく風下側では急激に大きくなり最大値約 0.2 にも達する。しかし Reattachment Point をすぎると次第に小さくなる。

2F の場合の 2 番目の突起物の後流の乱れ強さは, 2F の場合の 1 番目, および突起物が 1ヶ所の場合に比べて広範囲に亘り大きい値を示している。

図-9~11, 12, 13 (a)~(d) は OF-A, B, C, 1F, 2F の局所熱伝達率 α_{xov} (kcal/m² h deg) 特性を示す。

本報で基準熱伝達率とする OF-A の α_{xov} は風速の如何にかかわらず, 試料板風上側先端で最大値をとり, 先端より 200mm までの範囲で急激に減少するが, それ以

上では減少の傾向が緩慢となる。

OF-B, C の場合の α_{xov} は試料板先端附近では OF-A と同様の傾向を辿るが, 先端から約 30~40mm のところに最小値が出現し, それより風下側では増加の傾向を示す。1F, 2F の突起板がある場合でも突起物風上側では OF-A と略同様の傾向を示す。しかし, 突起物後方では急激に α_{xov} は増大するがその α_{xov} 特性は突起物の数, 寸法, 間隔などによってかなり変化する。

突起物 1ヶ所の場合には最大局所熱伝達率 α_{xovmax} はいわゆる Reattachment Point に相当する $X/H = 12 \sim 14$ のところに出現する。

更に, 2ヶ所設置した場合は, 最初の突起物の影響に

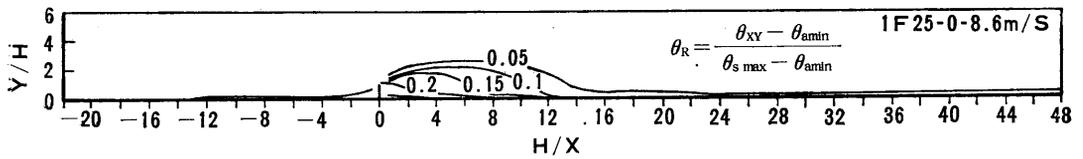


Fig. 7 (a) Isoleth of the temperature ratio

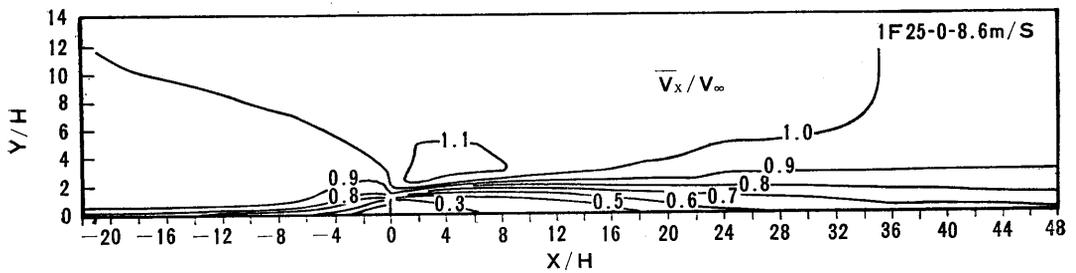


Fig. 7 (b) Isoleth of the wind velocity ratio

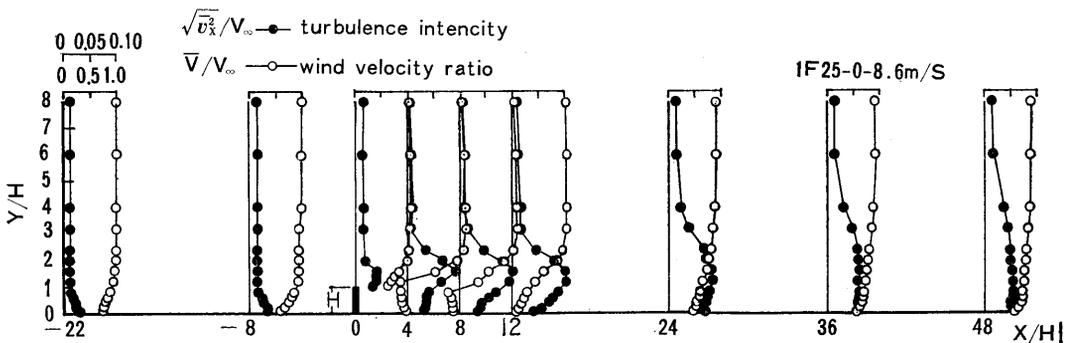


Fig. 7. (c) Distribution of the wind velocity ratio and turbulence intensity

よって出現する $\alpha_{xev\ max}$ は突起物 1ヶ所の場合と略同様であるが 2番目の突起物の影響によって生ずると考えられる $\alpha_{xev\ max}$ 値は夫々の突起物の間隔によって異なるが、その出現位置は概ね 2番目の突起物より $X/H=0\sim 12$ の範囲であると考えられる。

今回の実験範囲では 2番目の突起物より概ね $X/H=6$ の位置に $\alpha_{xev\ max}$ が出現している。

以上 2つの $\alpha_{xev\ max}$ 値を比較すると突起物風下側に

出現する最大値より 2番目の突起物の後方に出現するそれの方が一般に大となる。その $\alpha_{xev\ max}$ 値は突起物を 1ヶ所だけ設置した場合に比べて一般に大となる。

また、二つの突起物間隔が大となるにつれてわずかであるが $\alpha_{xev\ max}$ は大きくなる傾向がみられる。

風速と $\alpha_{xev\ max}$ についてみると、わずかであるが風速が小さくなるに従って $\alpha_{xev\ max}$ 出現位置が突起物位置に接近する傾向がうかがわれる。

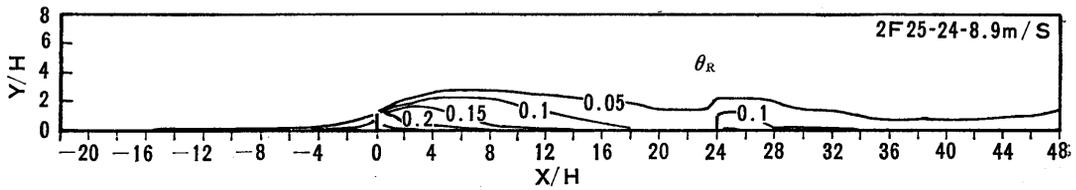


Fig. 8 (a) Isoleth of the temperature ratio

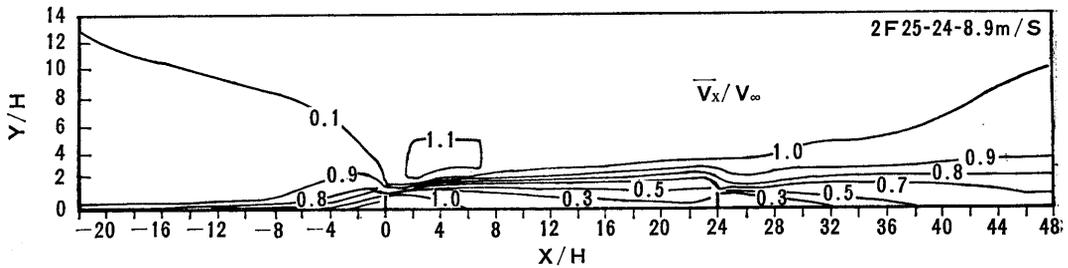


Fig. 8 (b) Isoleth of the wind velocity ratio

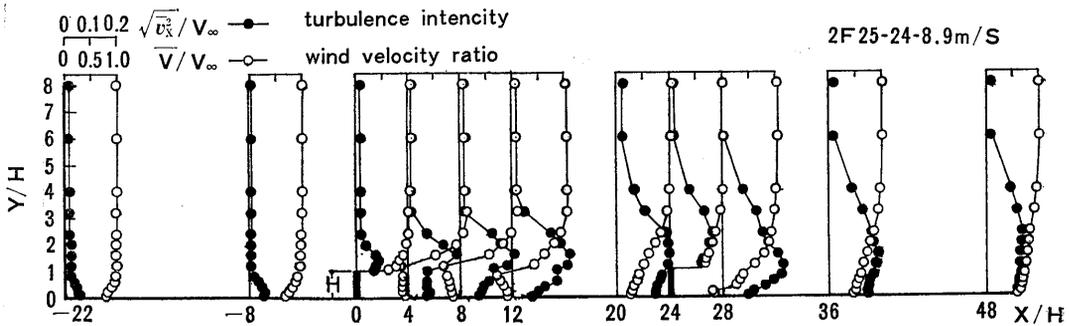


Fig. 8. (c) Distribution of the wind velocity ratio and turbulence intensity

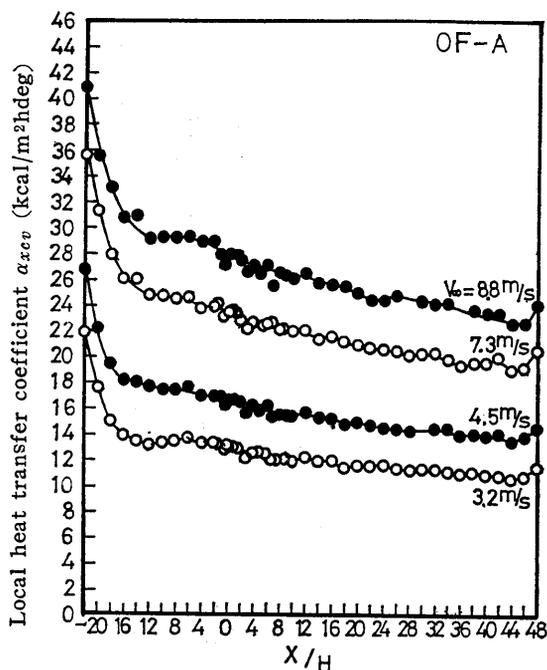


Fig. 9. Relationship between profile of the velocity and local heat transfer coefficient

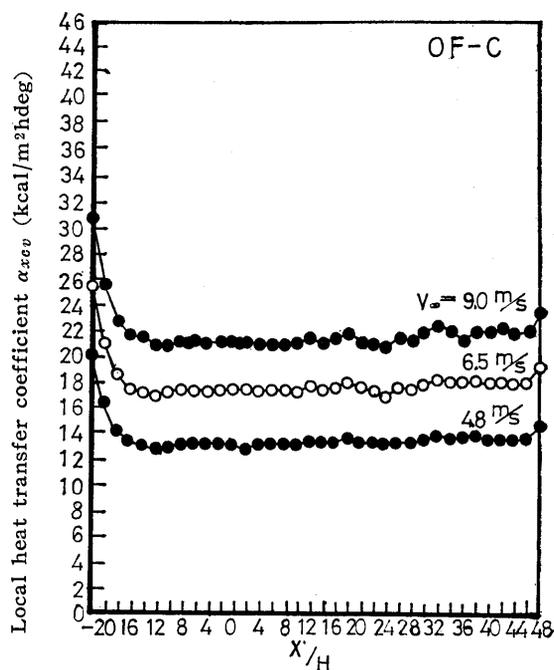


Fig. 11 Relationship between profile of the velocity and local heat transfer coefficient

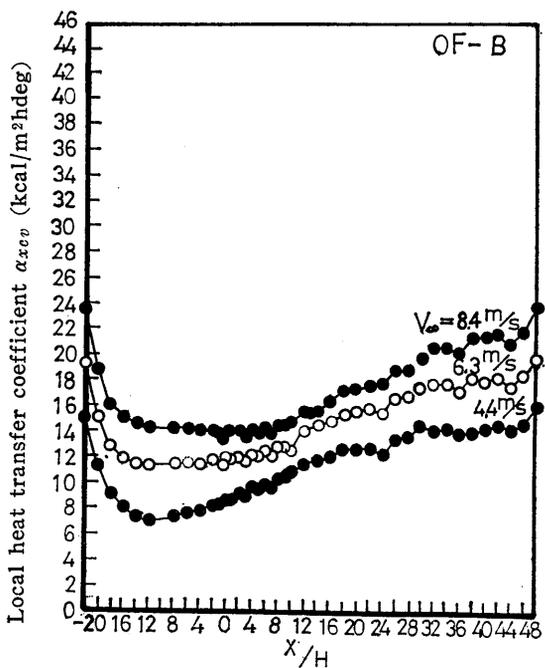


Fig. 10 Relationship between profile of the velocity and local heat transfer coefficient

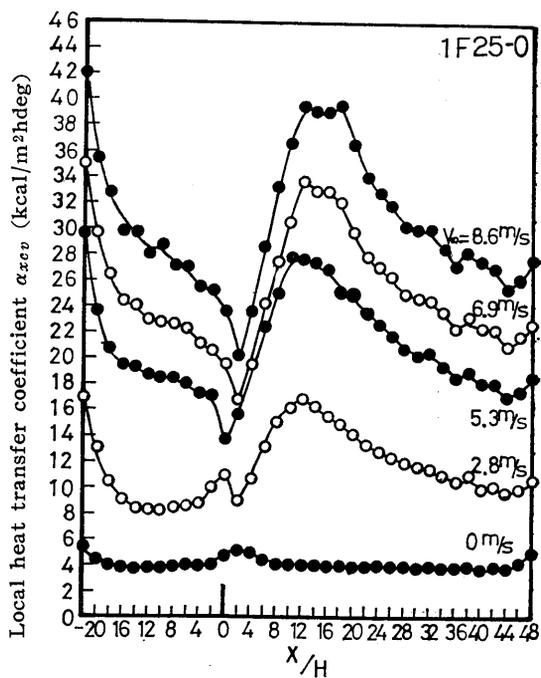


Fig. 12 Relationship between profile of the velocity and local heat transfer coefficient

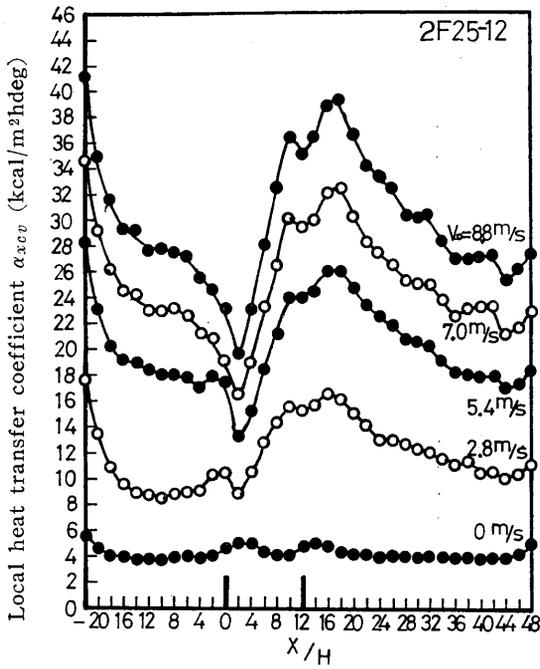


Fig. 13 (a) Relationship between profile of the velocity and local heat transfer coefficient

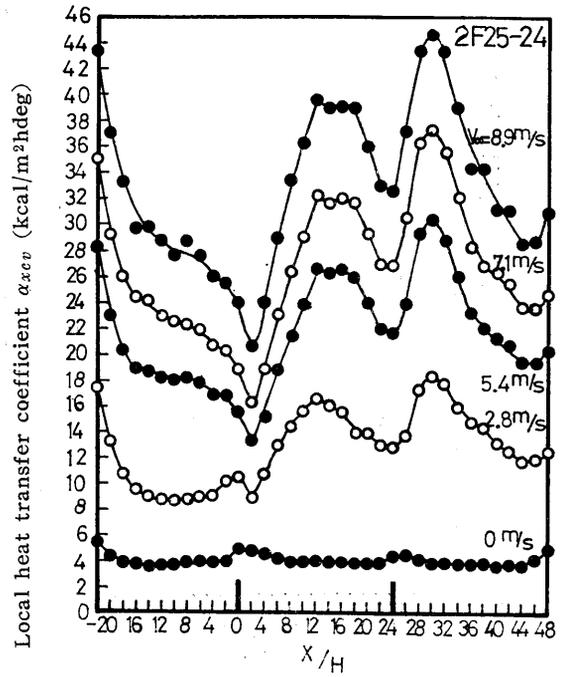


Fig. 13 (c) Relationship between profile of the velocity and local heat transfer coefficient

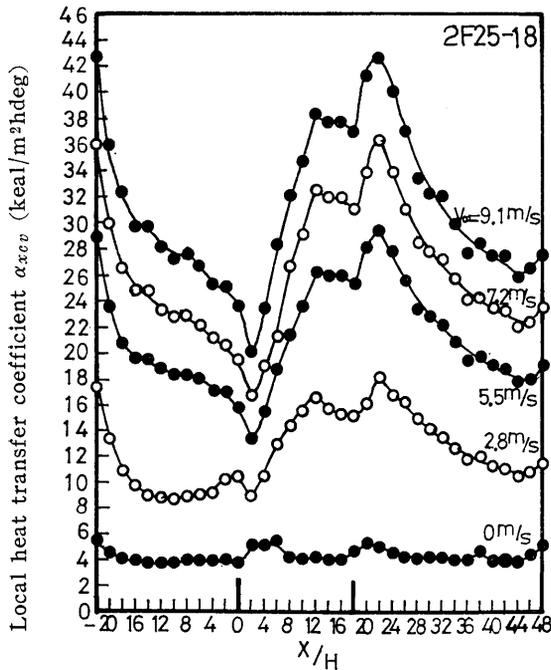


Fig. 13 (b) Relationship between profile of the velocity and local heat transfer coefficient

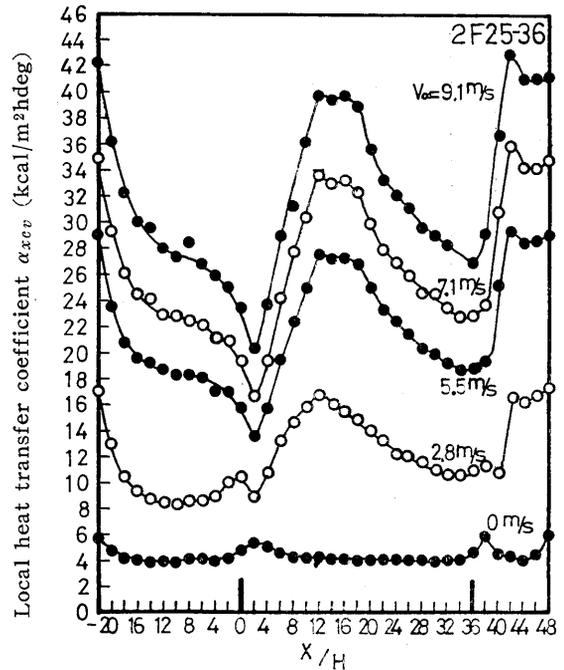


Fig. 13 (d) Relationship between profile of the velocity and local heat transfer coefficient

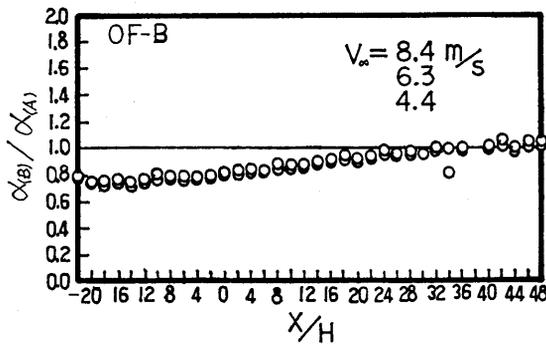


Fig. 14 Ratio of α_{xcv} (OF-A) to α_{xcv} (OF-B)

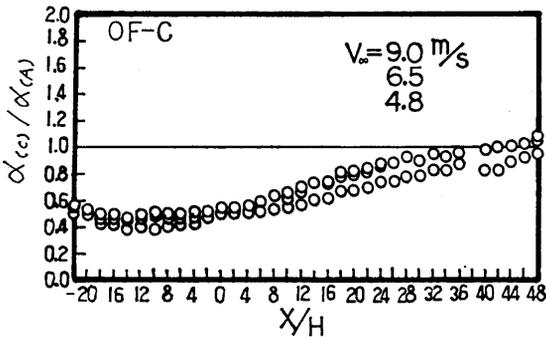


Fig. 15 Ratio of α_{xcv} (OF-A) to α_{xcv} (OF-C)

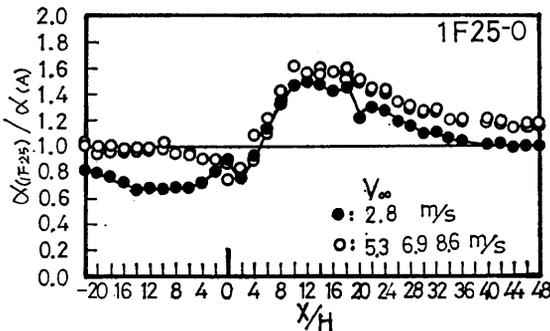


Fig. 16 Ratio of α_{xcv} (OF-A) to α_{xcv} (1F25-0)

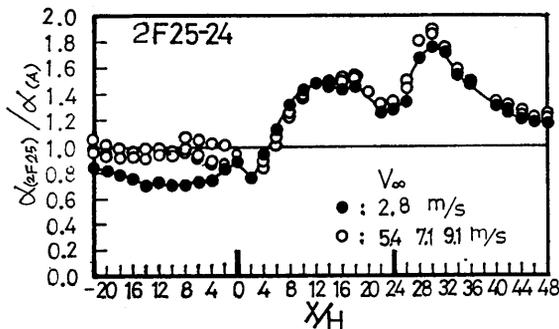


Fig. 17 Ratio of α_{xcv} (OF-A) to α_{xcv} (2F25-24)

OF-B, C, 1F 25-0, 2F 25-24 の局所熱伝達率特性を OF-A の平滑面の α 値 [α_{xcv} (OF-A)] を基準にとって比で表わすと図-14~17の如くなる。

図-18(a)~(c)は OF-A, B, C の試料先端より α_{xcv} 値が安定する $X/H=12$ と下流の $X/H=42$ の風速比 \bar{V}/V_∞ , 乱れ強さ $\sqrt{\bar{v}^2_x}/V_\infty$, 気温分布比 $\theta_R = \frac{\theta_{ax} - \theta_{amin}}{\theta_s - \theta_{amin}}$ を示したものである。図-18(d), (e)は 1F, 2F-25-24 の最大局所熱伝達率が出現する位置での風速比, 乱れ強さ, 気温分布である。

OF-A, B, C を比較すると壁面近傍の風速分布は各測点で $V_A > V_B > V_C$ で, 乱れ強さは下流に行くに従って $A < B < C$ の傾向が強くなる。

α_{xcv} は測点 $H/X = -22 \sim 22$ の範囲では $\alpha_A > \alpha_B > \alpha_C$ となる。一方測点 $X/H = 42$ 附近では $\alpha_A = \alpha_B = \alpha_C$ となっている。前者は壁面近傍風速, 後者は乱れ強さが熱伝達率を増大させる要因と考えられる。

一方, 1F, 2F の α 値が最大となる位置での風速比, 乱れ強さを OF-A のそれと比較すると風速比では OF-A $>$ 1F, 2F となる。また, その最大値は OF-A の場合に比べて約 1.5 倍となる。

なお, 前述した如く, 突起物と Reattachment Point 間では風速比が -0.2 程度の逆流域を生じており, 突起物の直後では α/α_A 値は 1 より小となるが Reattachment Point 寄りでは α/α_A 値はかなり 1 より大となる。

これは, この部分に生じていると考えられる渦流によるものとも想像されるが, 図の如く, この位置における乱れ強さが, かなり大きくなっている。これから考えても乱れの影響も十分予想される。

図-19に試料面各測点における乱れ強さの最大値と α 値の関係を示す。図より明らかな如く, 1F, 並びに 2F については $\sqrt{\bar{v}^2_x}/V_\infty$ と α の間にかかなりの相関がみられ, 特に最大 α 値の発生位置以降でこの傾向が顕著である。

また $\sqrt{\bar{v}^2_x}/V_\infty - \alpha$ 特性は同一の乱れ強さでも, 主流風速によって異なり, 風速が大となるに従って上方に平行移動している。

また, OF-C にもわずかながらその傾向が覗われるが, OF-A, B にはその傾向はみられない。

今回の実験結果より, 乱れ強さが α 値に影響を及ぼすことが明らかとなったので, 今後は風速分布及び乱れ強さ分布並びに位置についての詳細な検討を行う予定である。

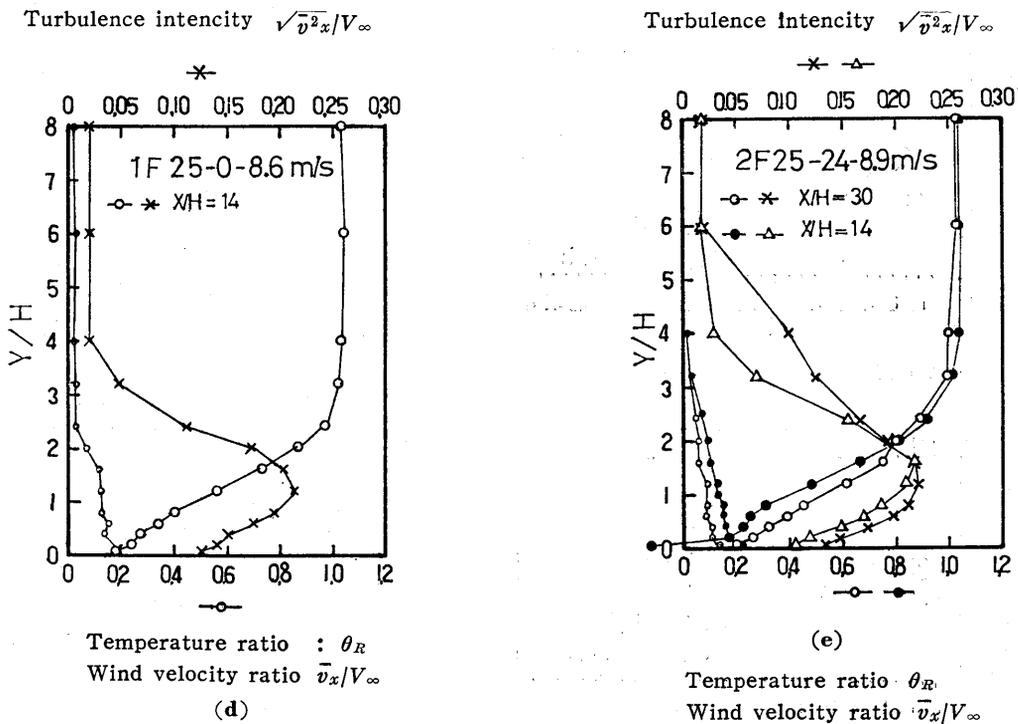
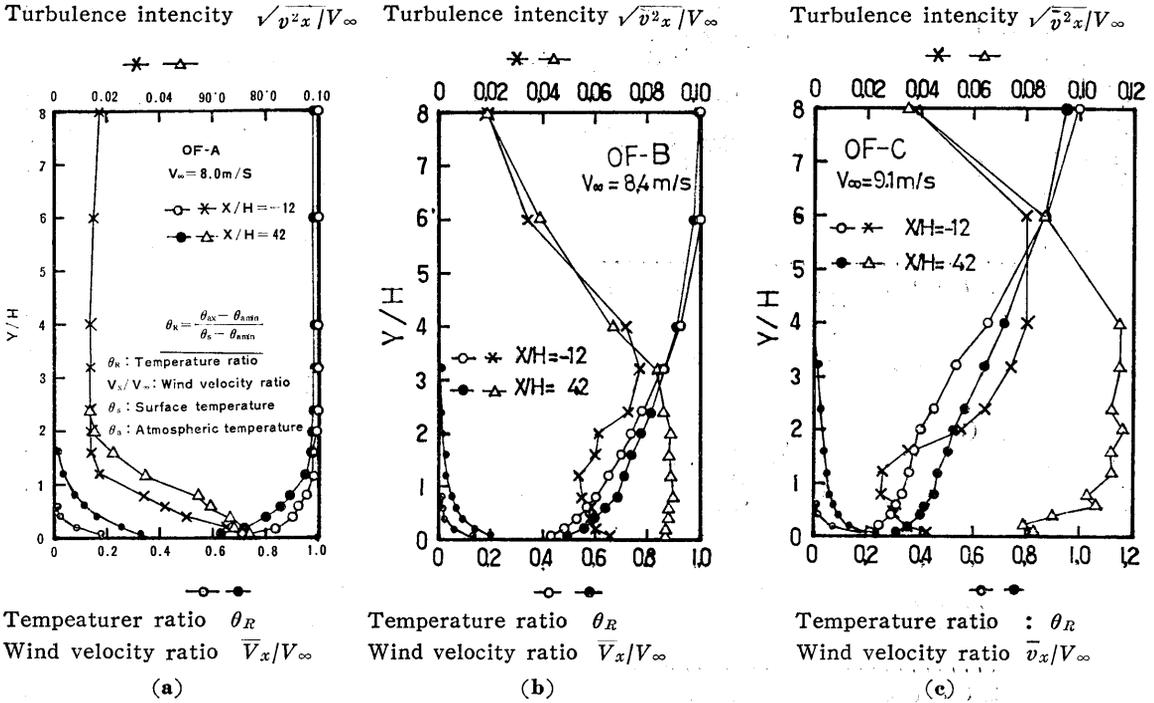


Fig.18 Profile of the temperature ratio, wind velocity ratio and turbulence intensity.

参 考 文 献

宮野秋彦・小林定教 熱伝達率の研究 (第8報)
 (風速分布の影響について)
 日本建築学会東海支部研究報告集,
 第11号, 昭和48年4月

勝田高司・村上周三・正田良次

建物周囲気流に関する実験的研究
 (IV)
 日本建築学会論文報告集第180号
 昭和46年2月

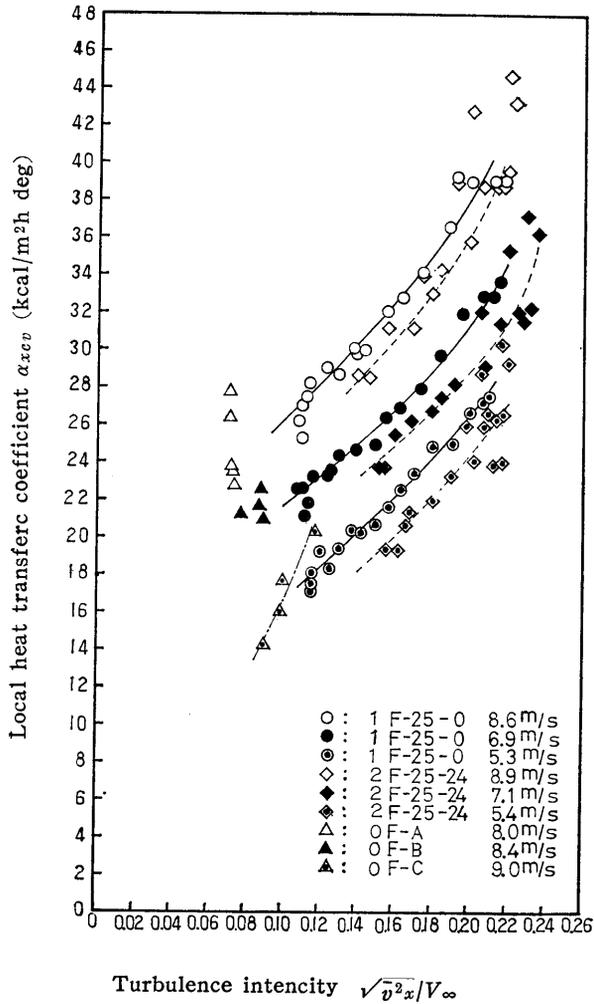


Fig. 19 Relationship between turbulence intensity and local heat transfer coefficient