

暴風雨時に壁面に衝突する雨について

石崎 潑雄・光田 寧・佐野 雄二

RAINFALL ON THE WALL OF THE BUILDING IN THE STORM

By *Hatsuo ISHIZAKI, Yasushi MITSUTA and Yuji SANO*

Synopsis

Rainfall on the wall of the building in the storm is studied. Rain water on the wall is forced into the inside room by wind pressure and causes disaster. Observation on the real building wall was made for about one year. The results show that the ratio of rainfall on the wall to the horizontal rainfall increases with wind velocity component normal to the wall. The proportional constant is nearly equal to the converse of the mean fall velocity of rain droplets.

1. 序 論

暴風雨時に建築物の壁面に衝突する雨は壁面や窓面を流れさらに風圧によって室内に侵入し、大きな被害をもたらすことがある。このことは最近しだいに増加してきた超高層ビル等を設計する際に大きな問題となりつつある。しかし、それにもかかわらずこの暴風雨時に壁面に衝突する雨の量がどの程度のものであるかについては、まだ実測によって調べられた例がない。

空中を落下する雨滴は水平方向には風によって流されるであろうことは容易に想像されることであり、山岳地帯における降雨の特性に関する研究に関連してこのことを間接に確かめるような結果が得られている¹⁾²⁾。また風の変動に対する雨滴の追従性についても推察がなされていて³⁾、雨滴は平均的には風に流されつつ落下すると考えることを支持している。一方、空中に浮遊する小水滴が風の中に置かれた障害物に衝突する割合については、飛行機等の着氷に関連して Langmuir によって研究された例がある⁴⁾。これは雲粒のような小さい水滴の細い棒に衝突する場合を調べたものであるが、空気よりもずっと密度の大きな水滴が障害物の前面で空気の流線どおりには曲がらず、慣性のために直進に近い進み方をして障害物に衝突するという機構は、この問題のように大きな雨滴が大きな建物に衝突する場合にも同じであると考えてよい。ただ衝突率は全く分っていない。

これらの問題を実際に暴風雨が期待される潮岬において実物の建物の壁面を利用して調べようとしたのがこの研究の目的である。

2. 観測方法およびその結果

観測は和歌山県西牟婁郡串本町潮岬にある京都大学防災研究所付属潮岬風力実験所の研究室の壁面を用いて行った。この壁面は巾約 7 m、高さ約 4 m であり、これに一辺 40 cm の正方形の受水栓を地上約 3 m の所にはりつけて壁面に当る雨量を受け、水平面量は建物からほぼ 6 m 離れた位置にある風よけつきの雨量計（直径 20 cm）で受けて、これら 2 種の雨量を比較的精度が高くしかも隔測のできる触針型雨量計（測機舎製）によって電気信号に変え、これを打点式記録計上に同時記録するという方法で観測を行った（Photo. 1 参照）。

はじめ壁面にとりつけた受水栓は南側壁面の西側にあったが、観測の終り頃には 2, 3 回その位置を変更して東面あるいは北面においても測定を行ってみた。



Photo. 1 The test building.

観測を行ったのは1968年9月から1969年10月までのほぼ1ケ年間で、この間風が強くしかも激しい雨が降っている時を選んで観測を行ったが、この間2つの台風による暴風雨を含めて合計15の観測結果を得ることができた。それらの記録から毎6分間（この時間間隔は記録装置の特性によって決定されたものである）

Table 1 The observed values

Run No.	Date	Start time	Sampling duration (hour)	Wind direction	Wind speed (m/sec)	Mean rainfall intensity (horizontal) (mm/hour)	Standard deviation of rainfall intensity (mm/6 min)
1	1968 9/26	07 : 00	6.0	E S E	5.2	7.1	0.2
2	1968 9/27	15 : 30	2.0	E	4.3	14.5	1.2
3	1968 12/ 5	08 : 41	2.0	S	6.9	15.9	1.1
4	1969 6/ 3	09 : 36	4.8	S E	4.1	11.4	0.9
5	1969 6/25	10 : 53	2.1	S S E	5.0	9.5	0.7
6	1969 6/25	13 : 17	2.0	S S W	9.6	3.0	0.1
7	1969 7/ 4	05 : 05	3.3	S	4.8	5.4	0.9
8	1969 7/ 4	15 : 21	0.6	S	4.5	13.5	0.7
9	1969 8/ 4	11 : 30	8.0	S E	9.1	3.0	0.6
10	1969 8/ 4	19 : 30	2.5	W S W	6.2	8.5	0.8
11	1969 8/18	10 : 36	1.1	E N E	6.2	17.8	1.5
12	1969 8/22	21 : 31	1.5	S	10.2	17.3	2.2
13	1969 8/23	00 : 13	2.1	W S	18.6	19.2	1.6
14	1969 10/ 1	01 : 33	3.0	N E	7.7	6.3	0.5
15	1969 10/ 1	05 : 51	1.7	N E	6.7	10.4	0.7

* Averaging time being 6.0 minutes.

の（水平面）雨量と壁面雨量を読み取り、同時に参考資料として同じ建物の屋上にある測風塔上の風向、風速（地上高度 10 m）を同時時間間隔で記録して読み取った。

観測によって得られた総ての結果をまとめたものが、Table 1 である。観測時間は、ほぼ同じような条件の続く限り観測を継続しているので、必ずしも一致していない。水平面および壁面雨量は観測時間の平均値が示しており、両者の標準偏差は 6 分間平均雨量の時間変動に対するものであり、壁面雨量と水平面雨量の比は全観測時間の平均値で示してある。また風速と水平面雨量との相関係数も同様に同時 6 分間測定値から計算したものである。

3. 考 察

壁面に当る雨の量は降雨強度と雨滴が風速によって流される角度に関係することが当然考えられるから、全観測のうちで南面で観測を行い風向が壁面にほぼ直角となる場合（SSE, S, SSW）について 6 分間隔壁面雨量（ R_w ）と水平面雨量（ R_h ）との比（ r ）と風速との関係を図示したものが Fig. 1 である。この図の縦軸は雨量比で、横軸は風速である。この際、採用した記録は水平面雨量が 6 分間 0.5 mm 以上のものに限った。

図からみると風の強いところで少し例外的な値を示す点があるが、全体としては雨量比は風速に比例して増大するものとみても良さそうである。なおこの強風時の例外は風速 20 m/sec 以上の場合に生じており、水平面雨量を測定するための雨量計の捕捉率の低下によるものではないかと思われる。

一方、自由大気中を落下する雨滴が水平方向には風によって流されると考えると雨滴の落下角 α は次のような関係で示される。すなわち、

$$\tan \alpha = \frac{U}{W}$$

ここで U は風速、 W は雨滴の落下速度を示している。そして鉛直面を横切る flux は水平面降雨強度（ R_h ）

and the related quantities.

Mean rainfall intensity on the wall (mm/hour)	Standard deviation of rainfall intensity on the wall (mm/6 min)	Ratio of rainfall intensity on the wall to the horizontal one	Correlation coefficient of wind speed and rainfall*	Position	Note
3.1	0.2	0.44	-0.149	South wall	
5.3	0.8	0.36	-0.231	South wall	
9.9	1.1	0.61	-0.038	South wall	
3.8	0.3	0.33	-0.173	South wall	
4.7	0.3	0.50	-0.624	South wall	
3.1	0.1	1.05	-0.214	South wall	
4.5	0.9	0.84	0.429	South wall	
8.2	0.3	0.61	-0.218	South wall	
3.8	0.7	1.27	0.513	South wall	Typhoon 6907
2.6	0.3	0.31	-0.014	South wall	Typhoon 6907
14.1	0.3	0.79	-0.002	East wall	
20.0	2.6	1.15	-0.329	South wall	Typhoon 6909
43.5	2.5	2.26	-0.248	South wall	Typhoon 6909
6.5	0.7	1.03	-0.029	North wall	
0.9	1.0	0.89	-0.312	North wall	

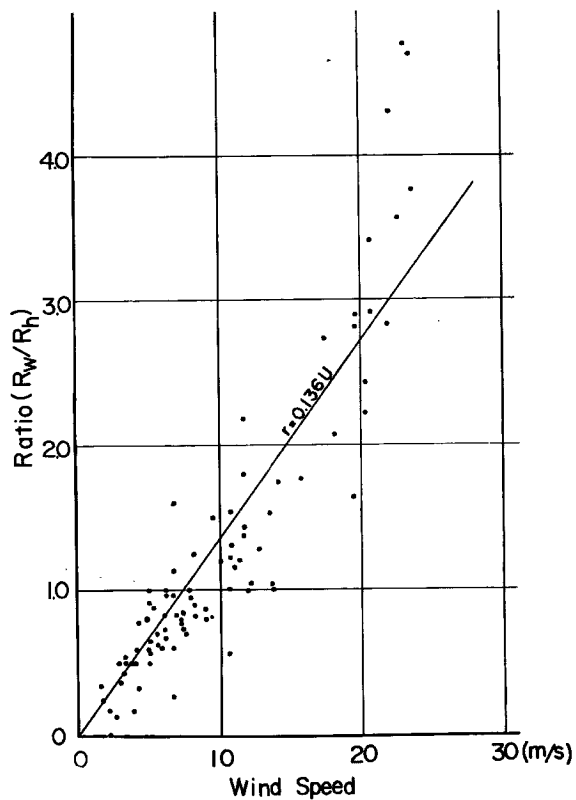


Fig. 1 Dependence of the ratio of rainfall on the wall to the one on the horizontal ground on wind speed.

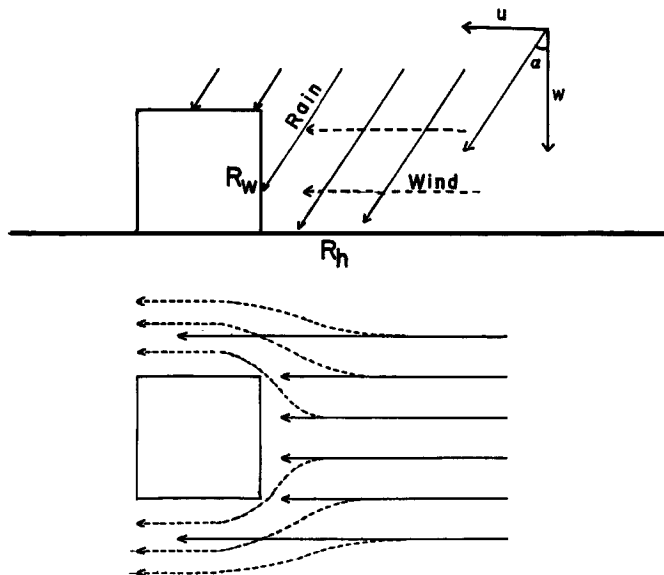


Fig. 2 Illustration of stream line of water droplets.

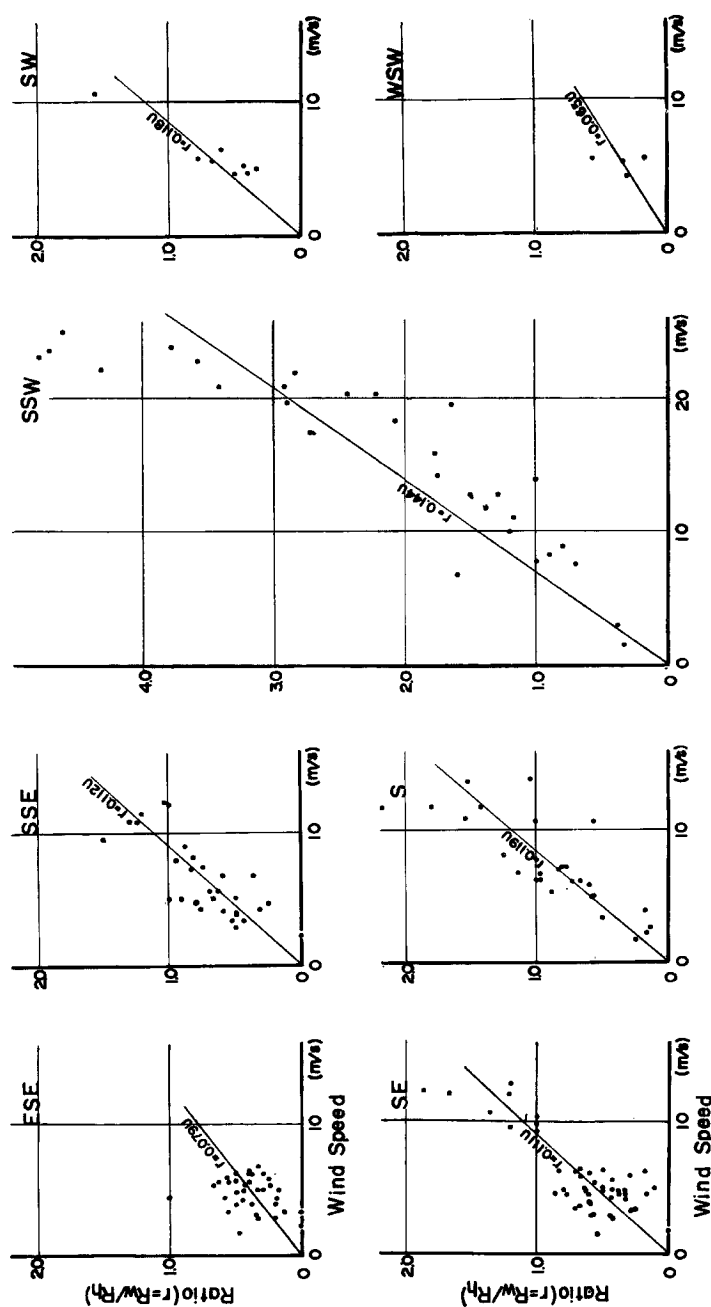


Fig. 3 The relation between the ratio of rainfalls and the wind speed for various wind directions.

と $\tan \alpha$ の積で示される。したがって風の中に壁面がある時その壁面の雨の捕捉率を E とすると、壁面に当る雨の強度 R_w は次のようになる (Fig. 2 参照)。

$$R_w = E \cdot R_h \cdot \frac{U}{W}$$

したがって

$$\frac{R_w}{R_h} = \frac{E}{W} \cdot U = K \cdot U$$

となり、この関係は実測から得られた比例関係と一致する。

ところでこの比例係数 (K) であるが、Fig. 1 に示した観測結果から最小2乗法によって求めたものは $1/7.4 \text{ (m}^{-1}\text{sec)}$ となる。すなわち

$$K = \frac{E}{W} = \frac{1}{7.4}$$

となる。ここで観測した場合は雨の強い場合であり、日本における対流性の雲から降る強い降雨の平均の雨滴の直径は 2 mm ぐらいであることが知られており、その大きさの雨滴の落下速度はほぼ 6 m/sec であるから E はこの場合1に近い値であることが考えられる。このことは図 (Fig. 2) に示すとおり建物の近くにおいて雨滴はその大きな慣性のために風の流線と同じ流れ方はせず直進して壁面に衝突してしまうものと考えられることを示している。

南側の壁面に斜めに風が当たる場合の壁面雨量と水平面雨量との比と風速との関係を示したのが Fig. 3 である。これらの分類に用いた風向は総て先きに述べたように各々の場合の6分間の平均風向によっている。また用いた記録も6分間の水平面雨量が 0.5 mm 以上のものに限っている。Fig. 3 の7個の図はいずれも縦軸が雨量比で、横軸は風速である。

各々の風向についてこの比は風速に比例する傾向を示しているが、その比例係数は風向によって異っている。その比例係数と風向との関係を示したものが Fig. 4 であり、この図には各々の風向に対応した比例係数を線分として示してある。

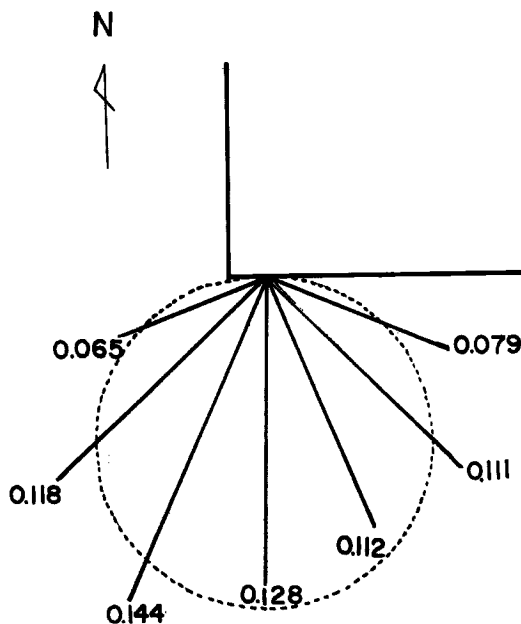


Fig. 4 The proportional constants as the function of wind direction.

もし雨滴が壁面に衝突する際、風向方向に直進してくるものとすればこの係数は壁面の法線と風向とのなす角の余弦に比例するはずであり、Fig. 3 の各方位別線分の先端は円周上に並ぶはずである。結果はほぼ予想したとおりになっているが、詳しく見れば西側で少し大きくなっている。これは雨滴の衝突の効率に方向性があるということで、壁面の受水樹が壁の西側にあるがそれが風上側となった時に衝突効率が大きくなることになる。この位置と風向による衝突効率の違いについては詳しく調べてみる必要がある。

概括的には壁面に衝突する雨の量と風速の壁面直角方向成分の積に比例し、比例係数はほぼ雨滴の落下速度の逆数と考えてもよさそうである。しかしさらに詳しくみれば壁面内でも位置と風向による差があるものとみられることは上に述べたとおりである。これらの結果は受水樹を南面につけた場合について得られたものであるが、東あるいは北面に受水樹を取り付けた場合にもほぼ同一様で関係が得られる。

また、実際にこの関係を応用し一般の建物の壁面に衝突する雨の量を推定するに当っては水平面雨量と風速との推定が必要となる。特に、激しい雨と強い風が同時に発生する可能性があるかどうかという点にも問題がある。今回の観測結果から風速と雨量との相関係数を計算した結果は Table 1 に示されているが、この表に示された範囲においては相関係数は負の場合がかなり多い。しかし正の大きな値を示すこともあるので、大勢としてははっきりした相関は見出し得ない。一方、日本の大部分の場所では台風によって暴風雨が生じるが、非常に発達した台風の最強風域は最も雨の激しい部分と一致するという結果³⁾⁵⁾も得られているから、強い風と激しい雨が同時に生じ得るものと考えるべきであろう。今日までに日本で観測された10分間平均雨量の最大値は 56 mm であるが、このような雨が平均風速 30 m/sec の強風時に降つたとすれば風向に直角な壁面に当る雨量は

$$\frac{56 \times \frac{1}{7.4} \times 30 \text{ mm}}{10 \text{ min}}$$

すなわち約 23 l/m²/min となる。これは現在カーテンウォールの設計の基準として用いられている値よりかなり大きい。

4. 結 語

暴風雨時に建築物の壁面に衝突する雨について、実際の建物を用いて観測を行った。暴風雨時には非常に強い風と激しい雨が同時に起る可能性があり、それ故壁面に衝突する雨の問題は防災上非常に重要である。壁面に衝突する雨の量は風速の壁面法線方向成分と水平面に降る雨の量の積に比例し、比例係数はほぼ雨滴の落下速度の逆数に等しくなることが観測の結果明かになった。

おわりに、この観測を行うに当つて協力を頂いた潮岬風力実験所尾崎春秀、河内伸治の両氏に感謝する。

参 考 文 献

- 1) 武田京一・坂上 務・元田雄四郎：山岳降水量の研究について、九州大学農学部気象学教室研究報告、第4号、昭35、pp. 126~137.
- 2) 正務 章：風の吹きさらす山頂付近の斜面における気象学的雨量と水文学的雨量の比較研究、気象庁研究時報、第14巻、昭35、pp. 681~690.
- 3) 光田 寧：暴風時における雨滴あるいは水滴の破壊作用について、京都大学防災研究所年報、第10号A、1967、pp. 377~383.
- 4) Langmuir, I.: The Production of Rain by a "Chain" Reaction in Cumulus Clouds at Temperatures above Freezing, Journ. Meteorol., 5, 1948, pp. 175~192.
- 5) Gentry, R.C.: A Study of Hurricane Rainbands, N.H.R.P. Report, No. 69, 1964.