研究報告

強風時における地表面近くの空気密度に関する統計調査

Statistical investigation on the air density near ground in severe storms

西村 宏昭*¹ 浅見 豊 *² 村上 剛士*³

Hiroaki NISHIMURA, Yutaka ASAMI, Takeshi MURAKAMI

SUMMARY

In Japan, strong winds generally appear when an atmospheric depression was caused by Typhoon or extratropical storm. In this paper the air density is shown as a function of the atmospheric pressure and temperature. The air density distributions near ground in severe storms have been clarified using meteorological data during recent ten years which have been observed by the Japan Meteorological Agency. The recommendation of the air density for the structural design on buildings and structures is obtained as $\rho_0 = 1.18(\text{kg/m}^3)$; $V_{10} \geq 25\text{m/s}$, $\rho_0 = 1.45 - 0.008V_{10}(\text{kg/m}^3)$; $10 \leq V_{10} < 25\text{m/s}$, where ρ_0 means the air density at sea level and V_{10} means the wind velocity at 10m high above the ground. It has also been clarified the air density does not almost change by humidity or some rain drops.

1. はじめに

建築物荷重指針・同解説¹⁾(以下、荷重指針と呼ぶ)をはじめ世界の多くの構造物設計基準における耐風設計では、風荷重は設計用速度圧に比例するものとしている。速度圧は風速の自乗と空気密度に比例し、空気密度は気温、気圧および高さの関数で表わされる。構造物の耐風設計に用いられる空気密度は、高度による変化を考慮せず、 $\rho = 1.225\text{kg/m}^3 (= 0.125\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4)$ の値を採用することが多いが、これは標準大気(15℃, 1013hPa)での値である。我が国では、強風は主として台風や季節風などの低気圧によってもたらされるので、強風時の空気密度はこれより小さいと考えられる。高橋浩一郎博士²⁾は、「暴風時は暖候時であり、気圧も

低いので、空気密度は減少し、8%ぐらい小さくなる」と述べている。しかし、実際の空気密度観測値の統計量は十分に明らかなではない。

本研究では、全国気象官署における地上気象観測データの分析により、実際の強風時の空気密度の分布を求め、これに基づく設計用空気密度の提案を行なう。

2. 気象観測値に基づく空気密度の推定方法

全国各地の気象官署で得られた地上気象観測原簿³⁾から3時間毎(1989年4月~1990年)または毎時(1991年~1998年)のそれぞれ10分間の平均風速 $V(\text{m/s})$, 平均気温 $t(^{\circ}\text{C})$ および平均気圧 $P(\text{hPa})$ の各データを抽出し、強風時における空気密度に注目して、それら相

*1 財団法人日本建築総合試験所・主任研究員

Senior researcher, General Building Research Corporation.

*2 大成建設株式会社技術研究所・主任研究員

Chief Research Engineer, Technical Research Institute, Taisei Corporation.

*3 財団法人日本建築総合試験所・研究員

Researcher, General Building Research Corporation.

(原稿受理:平成12年3月23日)

互の関係を調べた。調査した気象官署の気圧計海面上の粗度区分¹⁾および得られた強風の標本数を Table 1 に示す。

Table 1 気象官署と強風の標本数
Observation sites and sample numbers of strong winds.

No.	Site	Hb(m)	δ	zn	10SV ₁₀	20SV ₁₀	30SV ₁₀	40SV ₁₀	No.	Site	Hb(m)	δ	zn	10SV ₁₀	20SV ₁₀	30SV ₁₀	40SV ₁₀	
1	樺内	11.0	23.4	II	A	1,188	5	0	0	53 経井沢	100.4	15.1	III	C	0	0	0	
2	北見枝幸	8.0	10.4	II	A	149	0	0	0	54 前橋	113.1	17.3	III	C	244	0	0	
3	阿寒	12.5	13.5	III	A	2,598	0	0	0	55 南樺	30.7	16.8	III	C	286	0	0	
4	雄武	15.4	11.3	III	A	2,270	14	0	0	56 水戸	30.7	14.0	III	C	166	2	0	
5	留萌	27.8	16.1	II	A	2,659	1	0	0	57 敷島	11.8	27.6	III	B	2,190	3	0	
6	旭川	115.9	14.6	III	A	6	0	0	0	58 岐山	18.7	22.8	III	C	157	2	0	
7	網走	42.8	15.6	III	A	1,504	0	0	0	59 名古	55.7	17.9	III	C	530	3	0	
8	小樽	26.1	12.3	III	A	430	0	0	0	60 飯田	48.4	12.6	III	C	39	0	0	
9	札幌	25.7	31.3	IV	A	478	0	0	0	61 甲府	280.9	26.9	III	C	823	0	0	
10	岩見沢	50.9	21.9	III	A	761	0	0	0	62 河口湖	860.5	12.8	III	C	65	1	0	
11	網走	43.2	11.0	IV	A	2,221	3	0	0	63 秩父	219.4	12.5	III	C	1	0	0	
12	網走	36.7	22.1	III	A	1,121	0	0	0	64 磐城	30.5	20.4	III	C	23	0	0	
13	稚内	38.5	29.0	III	A	5,662	15	0	0	65 上野	27.8	28.2	III	C	3,255	19	0	
14	稚内	37.8	13.4	III	A	1,205	8	0	0	66 上野	165.0	21.9	III	C	159	1	0	
15	留萌	49.2	18.2	III	A	5,099	18	0	0	67 伊良湖	17.8	39.6	III	C	2,464	32	2	
16	留萌	10.9	15.9	II	A	180	0	0	0	68 伊良湖	7.5	13.1	III	C	1,493	1	0	
17	留萌	36.5	14.5	II	A	3,570	56	0	0	69 伊良湖	33.1	13.7	III	C	1,056	0	0	
18	江津	11.6	18.4	II	A	4,854	1	0	0	70 伊良湖	46.5	16.3	III	C	8,499	17	0	
19	留萌	43.4	25.6	III	A	912	0	0	0	71 磐城	15.3	18.3	IV	C	409	0	0	
20	留萌	187.6	30.3	III	A	559	0	0	0	72 三島	21.7	12.7	III	C	123	0	0	
21	留萌	16.4	18.1	III	A	1,214	0	0	0	73 東沢	35.8	74.5	V	C	1,144	1	0	
22	留萌	33.3	12.9	III	A	704	1	0	0	74 東沢	26.9	28.4	III	C	186	2	0	
23	大沼	41.3	22.0	IV	B	1,179	8	0	0	75 石炭	55.8	12.4	III	C	2,273	3	0	
24	新庄	113.0	30.8	II	B	43	0	0	0	76 横濱	67.9	12.5	IV	C	1,772	3	0	
25	若松	21.8	13.3	III	B	68	0	0	0	77 横濱	41.8	19.5	IV	C	4,134	16	0	
26	深川	67.2	13.4	III	B	619	1	0	0	78 勝浦	6.7	14.7	III	C	1,126	6	0	
27	青森	34	30.4	III	B	988	3	0	0	79 勝浦	13.0	12.3	III	C	1,226	6	0	
28	二戸	45	14.9	III	B	913	0	0	0	80 八宅島	79.3	27.1	III	C	4,538	11	0	
29	八戸	27.9	18.0	III	B	2,923	5	0	0	81 三宅島	37.1	12.9	III	C	4,780	53	5	
30	秋田	21.1	35.9	III	B	1,831	3	0	0	82 八宅島	80.3	13.6	III	C	4,710	14	0	
31	盛岡	153.4	15.6	III	B	436	0	0	0	83 千島	19.2	47.9	III	C	862	0	0	
32	宮古	46.4	20.1	III	B	107	0	0	0	84 四日市	51.7	12.2	III	C	665	6	0	
33	宮古	38	27.5	III	B	2,602	1	0	0	85 日光	129.7	17.2	III	C	1,318	1	0	
34	山形	153.2	13.8	B	5	0	0	0	0	86 西郷	31.4	17.5	III	B	1,880	1	0	
35	山形	43.3	52.0	III	C	480	1	0	0	87 松江	21.7	26.7	III	B	1,403	1	0	
36	石巻	50.0	28.5	III	C	2,190	2	0	0	88 横濱	2.9	11.9	III	B	207	1	0	
37	石巻	46.4	20.1	III	C	107	0	0	0	89 横濱	15.2	33.0	III	B	386	0	0	
38	仙台	37.1	45.4	III	C	912	2	0	0	90 横濱	4.2	12.9	III	B	12	0	0	
39	小名浜	4.8	14.9	II	C	76	0	0	0	91 横濱	22.0	41.3	III	B	47	0	0	
40	福島	13.9	28.3	III	B	896	5	0	0	92 伊吹山	137.6	15.5	III	C	25,177	1624	78	
41	相川	16.7	33.6	III	B	4,352	3	0	0	93 伊吹山	7.0	18.1	III	C	288	1	0	
42	新潟	6.4	16.5	III	B	1,894	5	0	0	94 秋田	20.1	15.2	III	C	1,072	2	0	
43	秋田	33.0	48.4	III	B	1,362	3	0	0	95 茨城	147.1	11.8	III	C	71	0	0	
44	秋田	12.6	15.1	III	B	231	1	0	0	96 茨城	45.9	16.2	III	C	14	0	0	
45	富山	16.8	20.0	III	B	761	3	0	0	97 茨城	88.5	17.5	III	C	703	0	0	
46	長野	419.3	19.0	III	C	192	0	0	0	98 茨城	19.0	14.5	III	C	355	1	0	
47	新潟	18.2	16.6	III	C	263	2	0	0	99 下関	53.4	95.5	IV	C	369	4	1	
48	新潟	139.9	48.2	IV	C	834	2	0	0	100 広島	12.0	17.5	III	C	34	0	0	
49	秋田	16.8	28.1	III	B	281	1	0	0	101 廣	2.8	13.8	III	C	25	0	0	
50	高山	561.4	15.1	III	C	13	0	0	0	102 横井	18.0	70.9	III	C	85	0	0	
51	松本	61.1	16.1	III	C	130	0	0	0	103 鹿野	39.7	28.1	IV	C	1,216	20	0	
52	松本	761.8	12.5	II	C	311	0	0	0	104 鹿野	39.7	28.1	IV	C	1,216	20	0	
										合計								

Hb: 気圧計海面の高さ(m), ha: 風向風速計地上の高さ(m), V₁₀: 地上10m高さでの風速(m/s), δ: 粗度区分, zn: 1998年12月31日現在

ある地点の空気密度 ρ は(1)式で表わされる。

$$\rho = 1.293 \frac{P}{1013} \times \frac{273}{273+t} \quad (\text{kg/m}^3) \quad \text{----- (1)}$$

空気密度は気圧と温度の関数で与えられるが、各気象官署はそれぞれ標高が異なり、そのままでは相互の比較に混乱をきたすので、海面高さでの値に補正する。海面高さでの気温 $T_0(\text{K})$ 、気圧 $P_0(\text{hPa})$ および空気密度 $\rho_0(\text{kg/m}^3)$ とし、標高 $z(\text{m})$ において気温 $T(\text{K})$ 、気圧 $P(\text{hPa})$ および空気密度 $\rho(\text{kg/m}^3)$ と表わす。ここでは議論の簡単のために大気の中立状態を仮定すると、高さによる温度変化が(2)式で、静力学の基本式が(3)式で、また気体の状態方程式が(4)式でそれぞれ表わされる。

$$T = T_0 - \Gamma z \quad \text{----- (2)}$$

$$dP = \rho g \cdot dz \quad \text{----- (3)}$$

$$P = \rho RT \quad \text{----- (4)}$$

ここで、 Γ は気温減率で $\Gamma = 6.5^\circ\text{C}/\text{km}$ 、 g は重力の加速度で高さによる変化 (1000m の高さ毎に 0.3cm/s^2 小さくなる) を無視して $g=9.8\text{m/s}^2$ 、 R は空気の気体定数で $R=0.287\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$ とできる。

(2)~(4)式より、(5),(6)式が導かれる。

$$\frac{P}{P_0} = \left(1 - \frac{\Gamma z}{T_0}\right)^n, n = \frac{g}{\Gamma R} \approx 5.26 \quad \text{----- (5)}$$

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \left(1 - \frac{\Gamma z}{T_0}\right)^{n-1} \quad \text{----- (6)}$$

一般に、強風は台風や季節風などの低気圧時に発生するので、空気密度は気圧だけを考慮すると標準状態での値より小さくなる。気圧と気温は(2)~(4)式に示すように標高によって変化し、高さが増すほど共に減少する。標準大気^(注)を仮定すると、 z の変化による空気密度 ρ と海面高さにおける空気密度 ρ_0 の比率は Table 2 に示すように、 z が 100m 上昇すると、気圧は約 12hPa、気温は 0.65°C 減少し、その結果空気密度は約 1%減少する。平地における構造物の設計に使われる空気密度を対象にした場合、構造物の高さを 200m とすると、高さ方向の空気密度の変化率はせいぜい 2% 程度であり、構造物の高さの範囲内では一定であることができよう。なお、台風や季節風における大気の状態は、厳密には標準大気を仮定することができないが、上下に大気の混合の激しい台風の中心付近を除いて、(2)~(4)式の仮定は妥当であると思われる。

また、観測地点ごとに風速の測定高さ $h_a(\text{m})$ が異なるので、荷重指針の方法(7)式によって、観測された風

Table 2 空気密度の高さによる変化
Variation of the air density with height.

$z(\text{m})$	$P(\text{hPa})$	$t(^{\circ}\text{C})$	ρ (kg/m^3)	ρ / ρ_0
0	1013	15.00	1.226	1.000
100	1001	14.35	1.214	0.990
200	989	13.70	1.202	0.981
300	978	13.05	1.191	0.972
400	966	12.40	1.179	0.962
500	954	11.75	1.168	0.953
600	943	11.10	1.157	0.944
700	932	10.45	1.145	0.935
800	921	9.80	1.134	0.925
900	910	9.15	1.123	0.916
1000	899	8.50	1.112	0.908

速 $V(\text{m/s})$ を地上 10m 高さの風速 $V_{10}(\text{m/s})$ に換算した。

$$V_{10} = V \left(\frac{z_g}{h_a} \right)^{\alpha} \left(\frac{10}{z_{gII}} \right)^{\alpha_{II}} \quad \text{----- (7)}$$

ここで、 $z_g(\text{m})$ はその地点での粗度区分に示される境界層高さ、 α はべき指数である。(7)式は各観測地点での V をその地点での粗度区分のべき指数 α を用いて境界層外の風速を求め、さらに粗度区分 II のべき指数 $\alpha_{II} = 0.15$ で地上 10m 高さの風速 V_{10} に換算したもので、 z_{gII} は粗度区分 II における境界層高さ 350m である。したがって以下の議論では、 V_{10} は地表面粗度区分 II に換算した各地点の標高から 10m 高さでの風速であり、空気密度 ρ_0 は海面高さの気圧であることに注意しなければならない。

3. 空気密度の解析結果

解析には、気象庁地上気象観測 155 地点のうち標高が 1000m 以下の地点における観測データを用いた。標高が 1000m 以下の地点に限ったのは、高所での観測値は地形の影響を強く受けていると考えられるためである。なお、標高を 100m 以下の地点での観測データを対象にした場合でも解析結果に大きな差異は見られなかった。

風速 $V_{10} \geq 20\text{m/s}$ の範囲における気圧 P_0 と空気密度 ρ_0 の関係を求め、Fig. 1 に示す。強風の発生を二つの季節で分け、5 月~10 月に発生する強風の観測値を○印で Fig. 1(a)に、また 11 月~4 月に発生する強風の観測値を×印で Fig. 1(b)に示す。なお同図では、 5°C ピッチの気温の変化における空気密度の変化を直線で示した。気圧と空気密度の関係は二分した季節で異なる傾向を示す。5 月~10 月の観測値は比較的高い温度帯に分布するので、空気密度は小さいのに対し、11 月~4 月の観測値は比較的低い温度帯に分布し、空気密度

Fig. 1 空気密度と気圧の関係
Relationship between the air density and atmospheric pressure.

は大きいことがわかる。また気圧が低いほど空気密度は小さく、暖候時においてその傾向は顕著で、これらは主に台風時に観測されている。各気圧における空気密度の下限値は最高気温時の値であるから自ずと限界があり、気温が概ね 30°C のときにある。空気密度の上限値は、海面気圧 $P_0 \geq 960 \text{ hPa}$ のとき概ね $t = -5^\circ \text{C}$ の線に沿って分布し、空気密度は $\rho_0 = 1.24 \sim 1.29 \text{ kg/m}^3$ の範囲にあり、季節風によってこれらの値が決定されている。一方、 $P_0 < 960 \text{ hPa}$ では暖候時の観測値は $t = 25^\circ \text{C} \sim 28^\circ \text{C}$ の温度帯にあって、空気密度は $\rho_0 = 1.08 \sim 1.12 \text{ kg/m}^3$ の範囲にある。

V_{10} と ρ_0 の関係を、観測地点を都道府県別に 4 つのゾーンに分けて、Fig. 2 に示す。各ゾーンは、Fig. 3 に示すように、A；北海道、B；主に日本海に面し季節風の影響を強く受ける地域、C；主に太平洋に面し台風の影響を強く受ける地域、D；南西諸島とした。気象官署のゾーン分けは Table 1 中に示した。ゾーン A では季節風の影響が強く、 ρ_0 は全般的に大きい、ゾーン B、C、D となるにつれて台風の影響が強くなり、 ρ_0 は小さくなる。またゾーン A では、季節によって ρ_0 の占める領域が大きく二分されているがその境界は明瞭でないのに対し、ゾーン B、C、D となるにつれて、両者の境界が明確になってくる。これらの傾向には主に気温が影響すると考えられる。

また、高橋²⁾は台風時における地上風の可能最大風速を(8)式で与えている。

$$V = \beta \sqrt{1015 - P} \quad (8)$$

ここに β は比例定数でおよそ 6 としている。(8)式から最大風速が生じるときの気圧 P を逆算し、(1)式により空気密度を求め、図中に曲線で示した。このとき、強風を台風によるものと考え、各ゾーンで空気温度を A； $t = 10^\circ \text{C}$ 、B； 20°C 、C； 20°C 、D； 25°C と仮定すると、5 月～10 月間の空気密度の上限は(8)式の曲線と $V_{10} \geq 20 \text{ m/s}$ の強風域で比較的良好の一致を示すことがわかる。

観測された全ての V_{10} と ρ_0 の関係を Fig. 4 に示し、 ρ_0 の上限値を(9)式で提案する。提案式は $V_{10} = 25 \text{ m/s}$ を境に二つの式で表わした。 $V_{10} \geq 25 \text{ m/s}$ の範囲は構造物の耐風設計に、 $10 \leq V_{10} < 25 \text{ m/s}$ の範囲は風揺れに対する居住性の検討⁵⁾等に用いられる風速と位置付けることができよう。

$$\rho_0 = 1.45 - 0.008 V_{10} \quad ; 10 \leq V_{10} < 25 \quad (9a)$$

$$\rho_0 = 1.18 \quad ; 25 \leq V_{10} \quad (9b)$$

空気密度の観測値の分布は全風速域にわたって(9a)式がほぼ上限値を示しているが、35 m/s 以上の強風時のデータは少なく、強風域にまでこの式を適用するには不安がある。上記提案式では、風速 25 m/s で不連続になるが、多くの構造物の耐風設計では設計風速は 30 m/s 以上であるので、一律に $\rho_0 = 1.18 \text{ kg/m}^3$ とすることで煩雑さを避けることができる。また、一年再現風速を用いて行なう風揺れに対する居住性の評価⁴⁾では、(9a)式で提案したように、従来の空気密度の設定値より大きくせざるを得ない。

なお、この提案値は海面高さにおける値であるので、実際の耐風設計に際しては、計画地の標高における値

(a) ゾーンA

(b) ゾーンB

(c) ゾーンC

(d) ゾーンD

Fig. 2 空気密度と風速の関係

Relationship between the air density and wind velocity at several zones.

Fig. 3 空気密度におけるゾーン分け
Zone division for air density.

Fig. 4 空気密度と風速 (全国)

Relationship between the air density and wind velocity in all Japan.

に換算する必要がある。建物が高い場合には、建物の頂部と基部において空気密度が異なることも考えられるが、安全をみて、地盤高さでの値に換算すれば良いと思われる。

4. 空気密度に対する湿度と雨滴の影響

空気密度に対する湿度の影響は、一般に小さく無視されることが多い。湿り空気の気圧を P とすると、湿り空気の密度は、気体の状態方程式より(10)式で表わされる。

$$\rho = \frac{P_w}{R_w T} + \frac{P_a}{R_a T} \quad \text{----- (10)}$$

ここで、

P_w : 水蒸気分圧

P_a : 乾燥空気分圧

R_w : 水蒸気の気体定数 (0.462kJ/kg K)

R_a : 乾燥空気の気体定数 (0.287kJ/kg K)

T : 絶対温度

式(10)を飽和水蒸気圧 P_s と相対湿度 ϕ を用いて表わすと(11)式になる。

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{\phi P_s}{R_w T} + \frac{P - \phi P_s}{R_a T} \\ &= \frac{P}{R_a T} \left\{ 1 - \phi \frac{P_s}{P} \left(1 - \frac{R_a}{R_w} \right) \right\} \quad \text{----- (11)} \end{aligned}$$

比較的高温 (30℃) での飽和空気と乾燥空気の密度の比を求める。大気圧が 1013hPa とすると、湿り空気線図⁵⁾から、気温が 30℃のときの飽和水蒸気圧は約 43hPa である。式(11)により、飽和空気の密度 ρ_w と乾燥空気の密度 ρ_d の比を計算すると、

$$\frac{\rho_w}{\rho_d} = \frac{1 - \frac{43}{1013} \left(1 - \frac{0.287}{0.462} \right)}{1} = 0.984 = \frac{1}{1.016}$$

となる。したがって常温では、水蒸気の含有によって空気密度は最大で 1.6%程度減少するといえる。台風時には降雨を伴うことが多く、空気は飽和状態に近いと考えられるが、そのことによって空気密度は若干小さな値になる。しかし、耐風設計の観点から、ここではその変化は無視できる程度であると考えられる。

一方、降雨時には空気中にある雨滴によって空気密度が増加することが考えられる。空気中に含まれる雨滴の粒径分布は(12)式で表される⁶⁾。

$$N_D = N_0 \exp(-\Lambda D) \quad \text{----- (12)}$$

ここで、

N_D : 直径 $D \sim D+dD$ の単位体積中に含まれる
単位粒径当たりの雨滴の個数
(個/ m^3/mm)

N_0 : 定数(=8000) ($m^3 mm^{-1}$)

Λ : $4.1R^{-0.21}$ (mm^{-1})

D : 雨滴の直径 (mm)

R : 降水強度(mm/h)

雨滴を球形としてその体積を考慮すると、単位体積に含まれる雨滴の体積 $V_w(mm^3)$ は(13)式で表される。

$$V_w = \int N_D \cdot (4/3) \pi (D/2)^3 dD \quad \text{----- (13)}$$

雨滴の粒径 0~10mm の範囲で(13)式を積分して雨滴の体積を計算し、水の密度を 1000kg/ m^3 として、単位体積の空気中に含まれる水分(液体)の質量すなわち空気に含まれる水分の密度を求め、降雨量との関係として Fig. 5 に示す。

日本の気象官署における 1 時間ならびに 10 分間降水量の最大記録⁷⁾はいずれも清水(足摺, 高知県)におけるもので次の通りで、降雨強度にして 300mm/h 以内である。

1 時間降水量: 150mm (降雨強度: 150mm/h)

10 分間降水量: 49mm (降雨強度: 294mm/h)

降雨強度が 300mm/h の時に空気中に含まれる水分(液体)の質量は Fig. 5 より 0.0108kg/ m^3 であるから、降雨時の雨滴の空気密度に対する寄与は高々+1%程度で小さく、降雨時の湿度が約 100%であることを考えれば前出の水蒸気の空気密度に対する影響にキャンセルされるので無視できる。

なお、Fig. 6 に示す単位体積に含まれる雨滴の粒径別の体積は(12)式より得られる下式によった。

$$m_D = N_D \cdot (4/3) \pi (D/2)^3$$

ここに、 m_D は直径 $D \sim D+dD$ の単位体積中の空気中含

Fig. 5 降雨量と空気中に含まれる水分の関係
Relationship between rainfall and humidity.

Fig. 6 雨滴の粒径と体積
Volume and diameter of raindrops.

まれる単位粒径当たりの雨粒の体積を表す。図より直径 10mm 以上の雨滴はほとんどないので空気中の水分を求める際の積分の上限を 10mm とした。

5. まとめ

気象庁の地上気象観測データを元に強風時の空気密度の分布を明らかにした。構造物の耐風設計に当たっては、従来、空気密度は一律に $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$ とされてきたが、我が国における強風が主に低気圧によってもたらされることから、風速に応じて空気密度の変化を設定することは可能であると思われる。約 10 年間の全国における気象観測データから空気密度の上限値に注目して、設計用空気密度を提案した。提案値は地上 10m 高さでの風速 $V_{10} \geq 25 \text{ m/s}$ の範囲では海面高さでの空気密度 $\rho_0 = 1.18 \text{ kg/m}^3$ とし、 $10 \leq V_{10} < 25 \text{ m/s}$ の範囲では $\rho_0 = 1.45 - 0.008V_{10}$ とした。

なお、空気中に含まれる水蒸気量あるいは雨滴の量による空気密度の変化は小さく、耐風設計上無視し得る程度である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、大阪市立大学谷池義人教授に貴重なご意見を賜った。感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説，1993.
- 2) 高橋浩一郎：災害に関するオペレーションズリサーチ (II) - とくに日本の風害に関連して -，気象庁研究時報，vol.13, No.7, 1961.
- 3) 気象庁地上気象観測原簿 CD，1989. 4～1998.
- 4) 日本建築学会：建築物の振動に関する居住性能評価指針・同解説，1991.
- 5) 日本建築学会：建築設計資料集成 2，1960.
- 6) 前野，福田：降雪現象と積雪現象(基礎雪氷学講座)，古今書院，1995. 11
- 7) 東京天文台編：理科年表平成 10 年，丸善，1997.11

注) 標準大気は気温の高さ分布を実際の大気の平均状態に近いものを仮定したひとつの大気モデルで、日本標準大気は次のように決められている。

地上気圧	1013hPa
地上気温	15℃
対流圏の気温減率	$0.65^\circ\text{C}(100\text{m})^{-1}$
圏界面の高さ	11,000m
圏界面および成層圏の温度	-56.5℃
重力加速度	980cm/s^2