

建物密度の永年変化を考慮した年最大風速の均質化

田村 幸雄*

Correction of annual maximum wind speeds considering the change of ground roughness

Yukio TAMURA

The annual maximum wind speeds in Japan have been decreased since 1960. The author supposes this is because of the yearly increase of the ground roughness. To demonstrate and certify this hypothesis the building density around the meteorological stations are investigated, and the close correlation between the yearly variations both of wind speeds and the building densities is evidently shown. The annual maximum wind speeds are corrected taking into account the change of the ground roughness, and the value for any return period are discussed. The yearly change of the ground roughness is realized as one of the major factors for correcting the wind speeds in Japan.

1. 序

日本における年最大風速値は1960年以降明らかに逡減している¹⁾。この風速逡減について「大型台風の来襲頻度が減ったため」という説明がなされていたが^{1,2,3)}、この解釈には疑問点が多い。その理由は、年平均風速値や日最大風速値にも同様の逡減傾向が見られ⁴⁾、単純に台風のみによる原因を求めることができないからである。筆者はこの風速逡減の主たる原因は地表面粗度の増加であると考えている⁴⁾。ところで、年平均風速や日最大風速をも含む長周期の気象変動がその原因ではないかという疑問にはこれを積極的に否定する材料はない。長周期の気象変動が存在すると考える方が自然である。しかしこの長周期の気象変動

が地表付近で観測された風速値にどの程度の変化をもたらしているのかは明らかでない。工学的な目的で観測値を利用する場合、何らかの方法でこれを均質化する必要がある、上記のような傾向を持つ資料はその原因が明確でなければこの均質化が行えない。例えばその原因が長周期の気象変動であれば最近の観測値は高めに補正する必要があるとの考え方も成り立つだろうし¹⁾、地表面粗度の増加が原因であるならば、むしろ古い観測値を低めに補正して用いる必要があるとの考え方が成り立つであろう。年最大風速の全国平均値は最近の20年間に約2/3程度に逡減しており、両者の補正の仕方が逆であることの影響するところは極めて大である。

本研究は、建物の密集度の永年変化を調べ、これが1960年以降極めて急激に増大していることと、この変化と風速の逡減とに密接な相関がある

* 建築学科助教授
昭和60年9月21日受理

ことを示し、これらの状況証拠によって風速遞減の原因が主として地表面粗度の増加にあるとの仮説を主張するとともに、これを前提として風速値の均質化と再現期間値の試算を行なったものである。

2. 風速値の永年変化

まず最初に、近年の風速値の年変化の様子の一例を示す。Fig. 1 は年最大風速の各年度毎の全国平均値を示したものである⁴⁾。これを見ると分かるように、1960年付近まではほぼ一定値の周りをばらついていたものが、1960年付近から急激に遞減している。1960年以前の23~24 m/sのプロットは大型台風の来襲によるもので何年か置きにやって来る大型台風が年最大風速値のばらつきを大きくしている。これに較べて、1960年以降は減少傾向を直線で回帰した場合のその周りでの

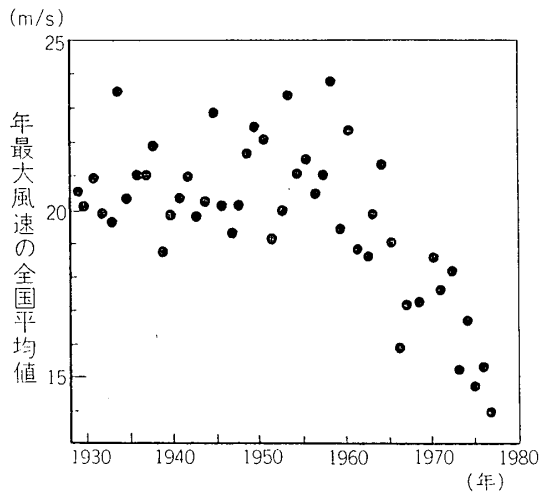


Fig. 1 年最大風速の全国平均値の永年変化⁴⁾

ばらつきは小さく、大型台風の来襲が減ったことと対応している。つまり、大型台風の来襲は1960年以前でも数年に1度の特異なものであり、所謂Trendを支配するようなものではなく単にばらつきを大きくするようなものであったと判断される。なお、年最大風速の資料は文献(6)によっており、1/7のべき指数を用いて地上10mの値に換算している。以下の日最大風速の年平均値およ

び年平均風速においても同様に換算している。

Fig. 2 は日最大風速の年平均値の年変化の例であるが⁴⁾、この日最大風速においても年最大風速

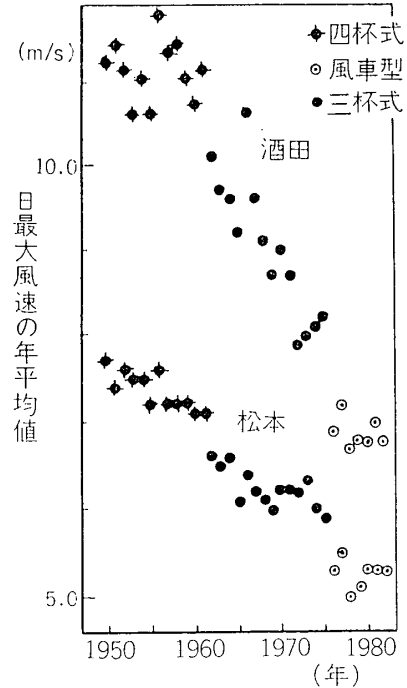


Fig. 2 日最大風速の年平均値の例⁴⁾

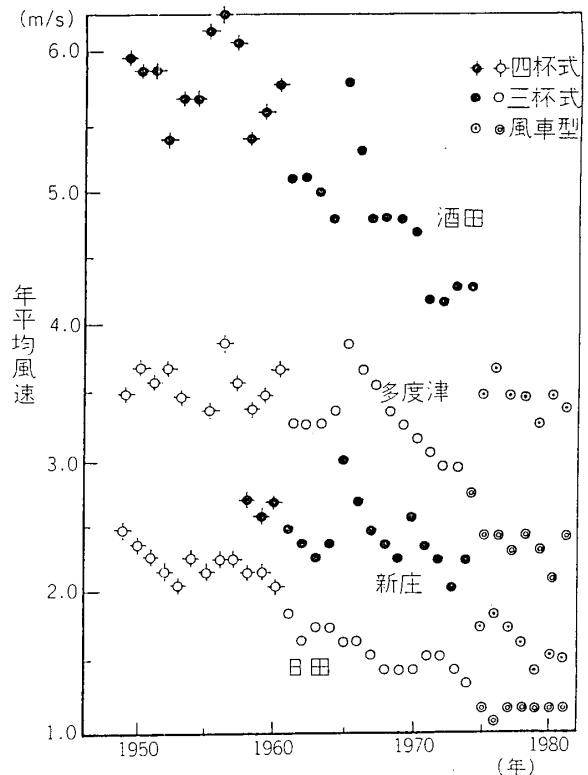


Fig. 3 年平均風速の永年変化の例⁴⁾

と同じく 1960 年付近からの逡減傾向が見られ、これと同様のことが文献 1) でも指摘されている。Fig. 3 は年平均風速の年変化の例であるが⁴⁾、これも同様に 1960 年付近からの逡減傾向が見られる。Fig. 2, Fig. 3 については、比較的低風速のたも測器変更の影響が 1961 年および 1975 年のところに見られるが、その影響を差し引いて考えても上記のことは明らかである。文献 5) 等で行われている様に年々の強風日数も 1960 年以降減少しており、1960 年以降の風速逡減は風の成因に係わらず生じているものと考えられる。

3. 建物密度の永年変化

全国の気象官署設置地点における年毎の地表面粗度の直接的な資料は現実にはない。ここでは、固定資産税の記録から、課税対象建物の総延床面積と当該地域面積を行政区画別に調べた。調査は全国 163 か所の気象官署設置地点を統括する地方行政庁に依頼したもので、131 か所の気象官署周辺の資料が得られた。この内、市単位(郡、支庁内の町、村を含む)のものが 92 地点(以下、「広域」と呼ぶ)、町単位のもの(以下、「狭域」と呼ぶ)が 39 地点であった。調査は 1980 年から 5 年毎に過去へ遡り、長いものでは 1930 年までの資料を得た。ここで得られた資料は課税対象建物のみであるので官公庁建物等の非課税分の補正が必要であり、文献 7) の資料に基づいて補正係数 1.12 を算出し、これに乗じて建物の総延床面積を割り増した。また、建物の総体積を算出する為に必要な平均階高 h (m) は、文献 8) の資料を参考に $h=3.5$ m とした。

建物密度 r は、文献 9) に倣って (1) 式で定義した。

$$r = a \cdot h / (10 A) \quad (1)$$

ただし、 a : 気象官署周辺の建物総延床面積 (km^2)、 A : 当該地域面積 (km^2) である。

ところで、平均階高、非課税分の補正とも厳密には各地点・各年度毎の値を用いるべきであるが、現時点でこれらを知ることが極めて難しいこ

と、多少の差があっても本研究の主旨が歪められることはないであろうとの判断から、上記の値を一律に用いた。

建物密度を考える場合の適正な地域面積について若干の注意が必要となる。広域の場合は、数十ないし数百 km^2 の地域面積を持ち、算出される建物密度はかなり小さくなり、気象官署周辺の局地的な建物密度を評価するには適切でない。ただし、その地方の建物密度の年変化の傾向や、度合いを推定するひとつの目安にはなるものと思われる。狭域の場合は、当該地域を円に置き換えたときの半径が、1980 年の風速計の設置高さの 100 倍を超えるものが 4 地点あるが、平均で約 40 倍である。なお、地域面積は町村の合併等で、ある程度の年変化があるが、これがあまりに急激であるものは除外した。

つぎに、資料の得られた期間について述べる。一般に固定資産税等の資料は町単位のものから徐々に大きい単位での集計がなされ、統計値として算出された数値以外の原資料は普通 5 年程度の保存期間しかないようである。20 年以上の期間に亘って資料の得られた地点は、広域の 92 地点のうち 62 地点、狭域では 39 地点のうち 16 地点であった。

以上の方法で算出した建物密度の狭域の例を、Fig. 4 (a) (b) に示した⁴⁾。戦前の一時期に若干の増加が見られ、戦時中から戦後にかけてほぼ一定で、1960 年付近から急激に増加する。調査した全ての地点において、これらと同様の傾向であった。

建物密度の年変化を端的に表わす為に、1980 年の建物密度に対する各年度の建物密度の比をとって、これを建物密度比 r^* とする。この建物密度比の狭域についての全国平均値 (39 地点) を Fig. 5 に示した⁴⁾。これによれば、1960 年以前と比較して、1980 年までの 20 年間に建物密度はほぼ 5 倍程度に増加していることが分かる。広域の資料についても建物密度比を算出すると、Fig. 5 とほぼ同様の傾向になるが、増加はやや緩やかで、ほぼ

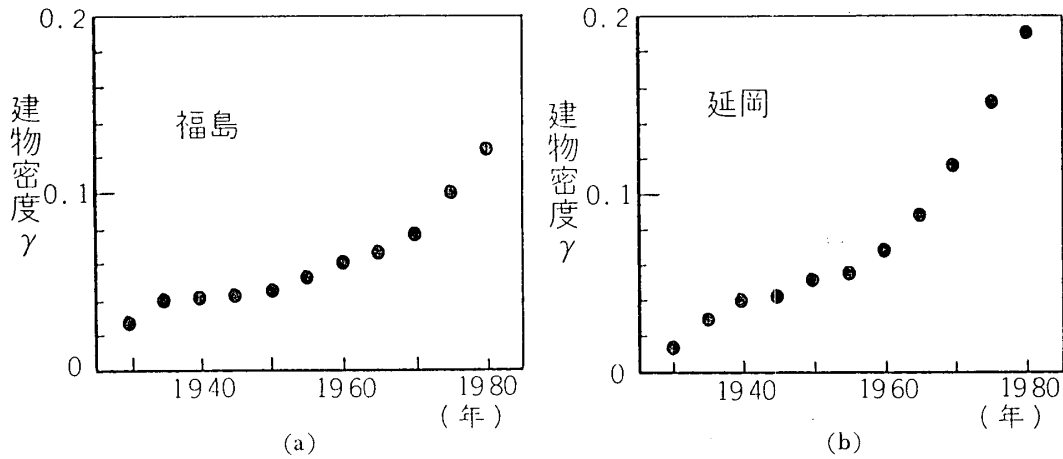


Fig. 4 建物密度の永年変化の例

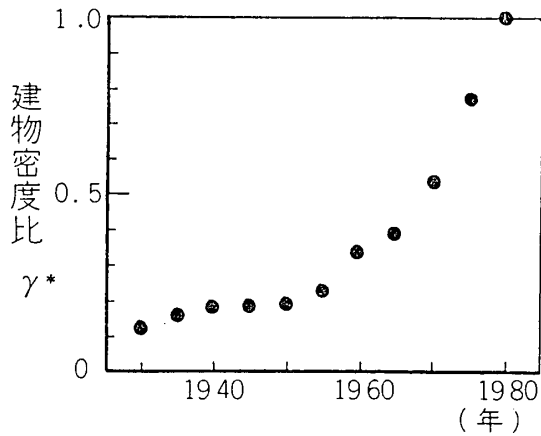


Fig. 5 建物密度比の全国平均値⁴⁾

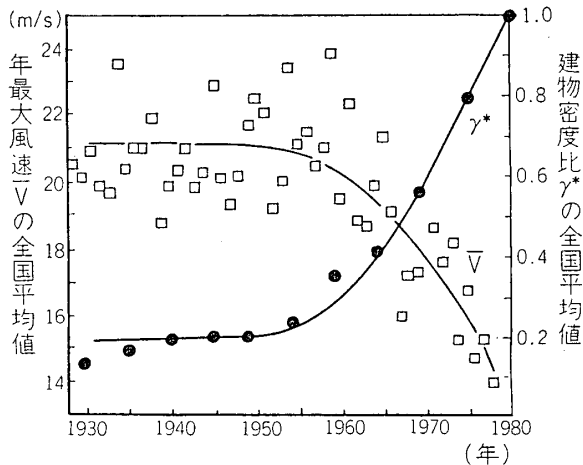


Fig. 6 年最大風速は建物密度比の全国平均値の永年変化⁴⁾

一定値となる 1960 年以前の値は 0.3 程度の様である。

4. 風速の通減と建物密度の増加の関係

Fig. 1 と Fig. 5 を重ねて図にしたものが Fig. 6 である⁴⁾. これを見ると年最大風速の年変化と建物密度の間には密接な相関があることが分かる. 両者の関係は物理的にも納得できるものであり, 定性的には次の様に説明できる. 建物密度の増加は地表面粗度の増加を意味し, 地表面粗度が増加すればべき指数・境界層高さともに大きくなり, 境界層内での風速値は小さくなる. 建物密度が 3~5 倍にも変化していることを考えると, この程度の風速低下があってもおかしくないと思われる⁴⁾. 日最大風速や年平均風速の通減傾向もこれによって説明できる.

5. 年最大風速値の均質化

年最大風速値を地上 10 m の均質化風速値に補正する方法は, 文献 5), 10) に詳しい. 従来から行なわれてきたのは文献 10) による方法であり, 気象官署の移転等を伴う風速計設置位置の変更がそれほど大きくない場合について, 主として行なわれる補正は 1939 年以前の 20 分間平均風速は, 原則として 1.10 を乗じて 10 分間平均風速に換算することと, べき指数 1/7 を用いて地上 10 m の風速値に換算することである.

ところで, 前述の地表面粗度の年変化の影響は事実上何も考慮されていない. 風速計の設置高さ

は、平均的に 15 m 前後であり、べき指数 1/7 で補正した場合の差は 5% 程度である。これに対して、後述の (2)(3) 式を用いて考えた場合、粗度密度 $\beta=0.022$ (べき指数 1/7 に相当する) が 3 倍になると地上 10 m での風速値は約 2/3 に低下し、前述の建物密度の増加の程度を考えると、この程度のオーダーの補正となることが考えられ、従来の補正に較べてその影響は極めて大きく重要性が高い。

地表面粗度の影響を見積るには、地表面粗度を取り扱いやすい形で定量化することと、それに応じた風速の鉛直方向分布を知る必要がある。例えばべき指数 α と境界層高さ Z_g が分かればよい。これに関する研究は、風洞にブロックを規則的に並べて行なった文献 9) 11) 等があるが、実際の市街地等の状況とはかなり異なっており、これをそのまま適用できるかどうかはまだ問題がある。また、日本の様に地形変化や粗度変化の大きい所でこの様な単純化したモデルが使えるものかどうかにもかなり問題があると思われる。ここでは、試算的にこれらの単純化したモデルを用いて風速値の均質化を行ない、それに基づいて再現期間値の算定を行なった。

文献 9) では、粗度密度 β を (1) 式で定義しており、分子は均一なラフネスブロックの総体積である。べき指数 α および境界層高さ Z_g は下式で表わされるとしている。

$$\alpha = 0.682 \sqrt{(2\beta - \beta^2)} \quad (2)$$

$$Z_g = 1470 \beta^{0.35} \exp(-\beta^{1/3}) \quad (3)$$

これらの式を用いてべき指数分布に従った観測値の補正を行ない、1/7 のべき指数を持つ標準的な地表面状態での地上 10 m の風速値に換算する。

Fig. 7 は、建物密度 r をそのまま粗度密度 β と考えて補正を行なったものの一例である。この例の場合は補正された風速値が 1960 年以降増加の傾向を見せる。この原因は、次の様に推察される。地表面の粗度の要因は建物密度だけではなく、樹木や地形の凹凸等も考えられる。極端な場合、建物が何もなくても地表面粗度は 0 ではな

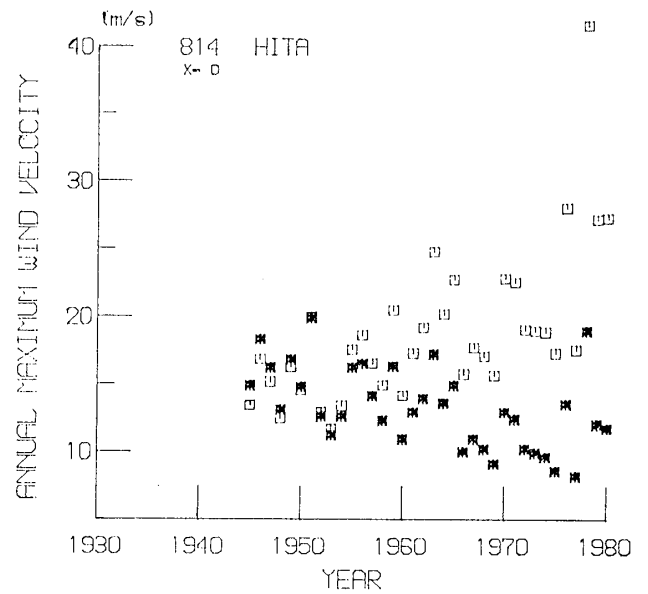


Fig. 7 補正された年最大風速の例
〔□ 本方法 (付加密度ゼロ), ■ 従来の値〕

く、森林地帯・田園地帯・海岸地帯等に応じてプロファイルが形成される。そこで、建物以外の粗度要因の密度 X (以下、付加密度と呼ぶ) をどの様に見積るかが重要な問題となるが、これは極めて難しい。ここでは単純に、次の 2 つの仮定をして付加密度 X を推定した。つまり、① 年最大風速の逓減傾向は、地表面粗度の増加のみが原因であり、地表面粗度が一定であれば本来 Trend はない。② 付加密度 X は年変化が無視でき、(2)(3) 式を用いる場合の粗度密度 β は、 X を定数として $\beta=r+X$ で表わされる。

まず最初に、年最大風速の全国平均値 (1945 年以降の観測値が全て揃っている III 地点) について試算してみる。Fig. 5 の建物密度比の全国平均値 (狭域) の年変化の図から、年々の建物密度の全国平均値を次式で近似する。つまり、1980 年の建物密度を r_{80} 、 Y を西暦年として

$$r = r_{80} \exp\{-0.07(1980 - Y)^{0.9}\}, \quad 1950 \leq Y \leq 1980 \quad (4)$$

$$r = 0.22 r_{80}, \quad Y < 1950 \quad (5)$$

である。ただし、広域については若干その増加の程度が緩やかであることからもう少し緩やかな近似式 (1950 年以前の値が 1980 年の 0.3 倍程度)

が適切かも知れない。1980年の建物密度の平均値としては狭域39地点の中でも風速計高さの100倍を超えない半径を持つ35地点の1980年の建物密度 r の平均値 $r_{80}=0.064$ （(2)式より、べき指数にして1/4.2に相当）を用いる。付加密度 X は、

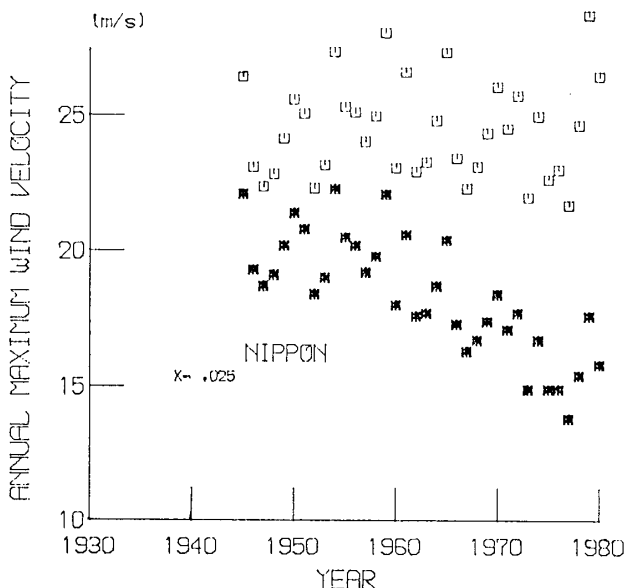
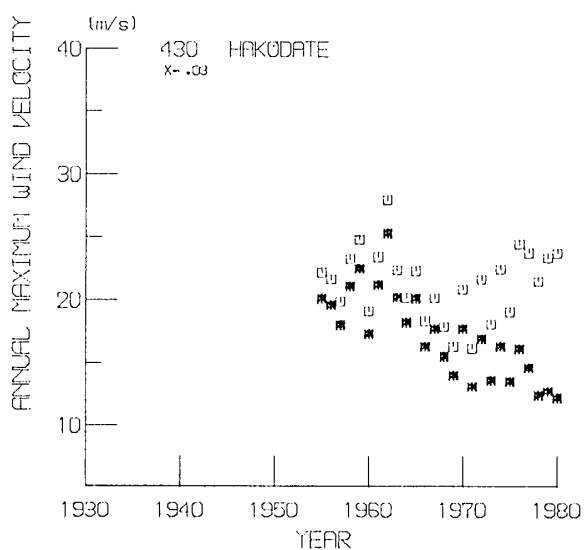


Fig. 8 補正された年最大風速の全国平均値 [□ 本方法, ■ 従来の値]

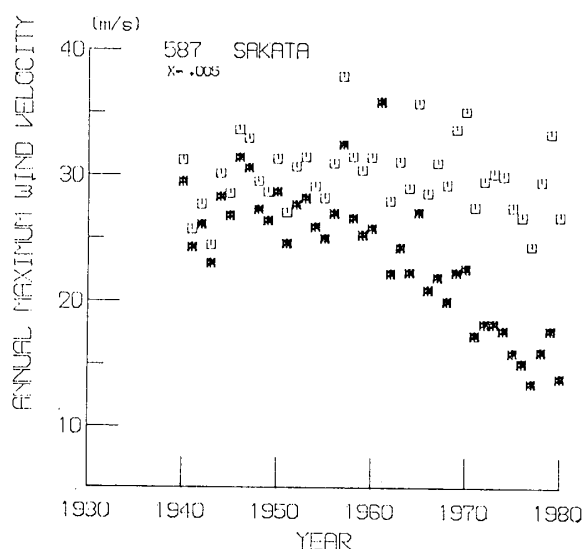
0.005ピッチで種々 X の値を変えて標準状態の風速に換算した場合に、その年変化を直線で回帰させたときの傾きが最もフラットになるときの値と

して推定する（仮定①）。結果は Fig. 8 であり、この場合の全粗度密度は、1950年以前がべき指数1/5.3に相当し、1980年が1/3.6に相当する。推定された付加密度 $X=0.025$ はべき指数がほぼ1/7に相当する。従って、建物が全然無いと仮定した場合の粗度状態が通常言われる田園地帯の状態に近いという結果となり、一応妥当な値の様に見える。ただし、もし建物密度の年変化を(4)(5)式より緩やかなものと仮定すれば、付加密度はより小さな値となる。

次に、狭域の中で20年以上の長期にわたって年最大風速値も建物密度もともに知られている12地点（室蘭、函館、新庄、若松、酒田、福島、松本、名古屋、上野、勝浦、日田、多度津）について補正した一例を Fig. 9 (a)(b) に示す。この場合はそれぞれの地点において建物密度の年変化が分かっているので、これをそのまま用いている。(a)は函館の場合で、付加密度は $X=0.03$ となった。(b)は酒田の場合で付加密度は $X=0.005$ となった。函館の場合の付加密度が大きいが、この他に0.025よりも大きな付加密度となった地点は新庄、松本、上野、日田の4地点であり、これらは全て盆地内の地点である。従って、地形の影響であると推定される。松本、日田の場



(a)



(b)

Fig. 9 補正された年最大風速値の例 [□ 本方法, ■ 従来の値]

合は0.2近い付加密度となるため、補正された風速値が従来の値(1/7のべき指数で補正したもの)の倍以上となりやや非現実的な数値となった。この理由としては、(2)(3)式の妥当性や付加密度の考え方等にもまだまだ問題があるのだと思われるが、大きな理由は盆地の様に周辺が平坦でない所にこの様な単純な境界層のモデルを適用することに無理があるのだと判断される。地域面積が風速計高さの100倍近い半径となる地点(室蘭、若松、多度津、名古屋)の内、名古屋を除いた3地点では建物密度が小さいため補正した風速は従来の値よりも小さくなり、かつ付加密度も小さくなる傾向が見られた。逆に地域面積の狭い福島(半径が風速計高さの8倍)では付加密度がかなり大きくなった。たまたま気象官署のごく近傍のみ建物密度が大きい場合にはこの様なことが起こり得る。以上の5地点を除く7地点では地域面積は風速計高さの20~50倍であった。この様に狭域の建物密度の得られている地点においても地域面積が微妙に影響する。ちなみに、Fig. 8, Fig. 9の補正では、風速値が過去のものも従来の値よりも増加しているが、これは粗度密度が1/7よりも大きい為である。設計風速に直す場合は現在(1980年)の粗度密度で換算するので大雑把には1980年の従来の値付近まで全体がシフトして、実質的には過去の風速値を低めに補正することになる。

6. 再現期間値の試算

年最大風速を3つの極値分布の何れかに当てはめる場合、年々の風速値は独立でなければならない。従来は前述の様なTrendが有るままこれを行なって来た。ここでは、前節で述べた方法によって補正した風速値(Trendは除去されている)に基づき、Gumbelの積率法により再現期間値を算出した。その一例をFig. 10, Fig. 11(a)(b)に示した。Fig. 10はFig. 8の全国平均値に対する結果であり、(b)(c)はそれぞれ酒田、名古屋の結果である。この場合、補正した風速値の順位は従来のものと大きく変わり、Gumbel分布への適

合性も変化する。Fig. 11(a)の酒田の場合は適合性がかなり良くなった例であり、Fig. 11(b)の名古屋の場合は左程でもなかった例である。Gumbel分布への適合性を文献1)の無次元誤差で検定したところ、多少でも良くなったのが上記12地点の内8地点であり、悪くなったのは室蘭、松本、上野、日田の4地点であった。室蘭は地域面積が広すぎると思われる地点であり、松本、上野、日田の3地点は何れも盆地内にあり付加密度が大きく出た地点である。勿論、Gumbel分布への適合性の良否で判断することには異論があると思われるが、総体的に見てこの様な補正を行うとGumbel分布への適合性が良くなることは興味深い。なお、従来の補正は、実質的には高さ補正のみであり、本方法は1/7のべき指数を持つ仮想的な地表面粗度状態への地表面粗度の補正を含むものである。従って、得られる再現期間値の値そのものを直接比較することには意味がない点に注意が必要である。比較する場合は、本方法による再現期間値を、考える時点での地表面粗度での

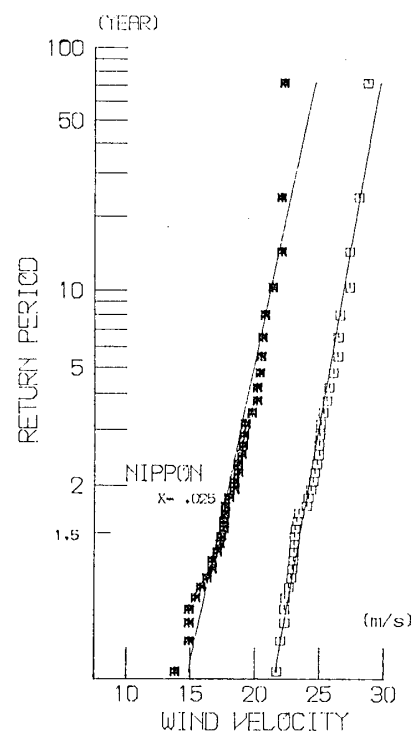


Fig. 10 年最大風速の全国平均値の再現期間値
[□ 本方法, ■ 従来] の値]

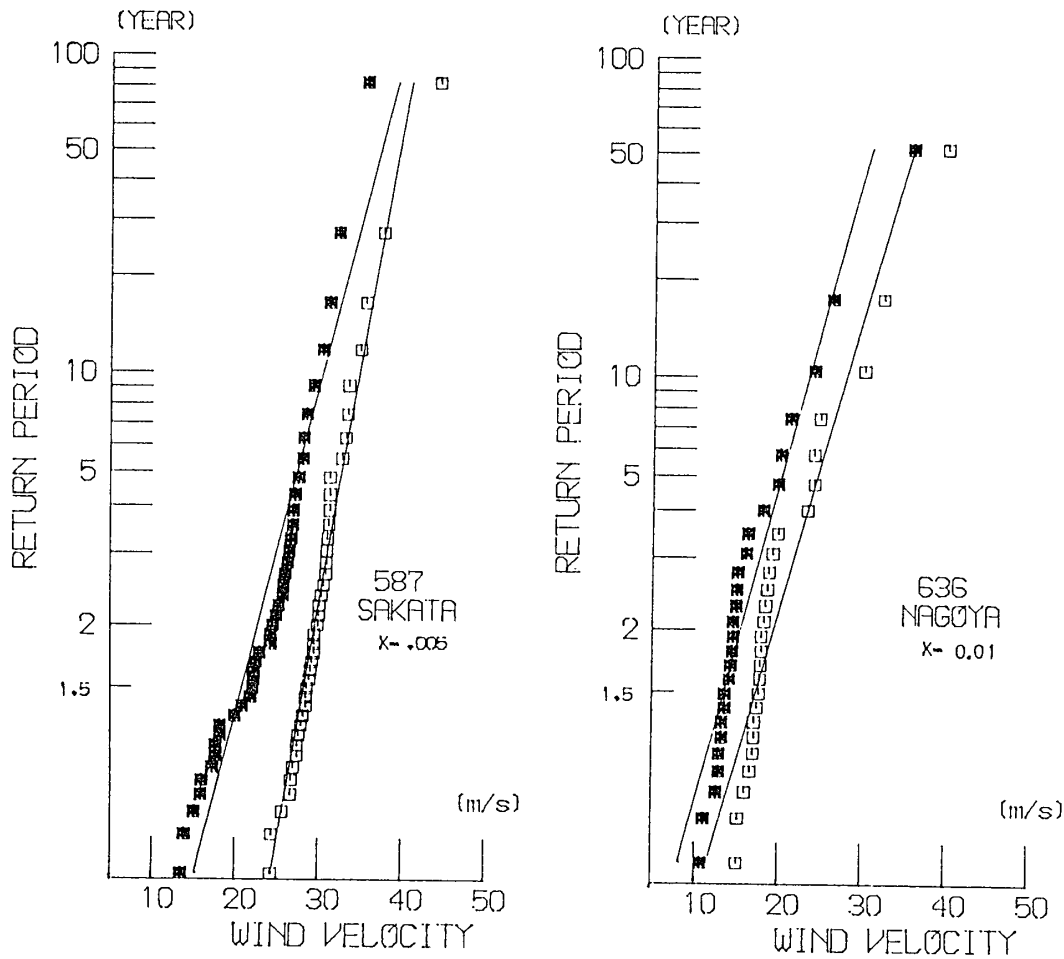


Fig. 11 年最大風速の再現期間値の例 [□ 本方法, ■ 従来の値]

風速値に再補正した値と比較しなければならない。

以上の外、得られている風速値および建物密度の年数が 20 年未満のものを含むと狭域の資料は 39 地点について存在する。そこで、これらの資料を有効に使って検討例を増すことおよび全国の気象官署にも現実に適用できる方法を模索する為に、(4) 式が全ての地点で近似的に成り立つと仮定して各地点の 1980 年の建物密度に基づいた補正を行なった。その結果、25 地点で Gumbel 分布への適合性が良くなり、14 地点が悪くなった。しかし、付加密度が大きくなり過ぎるもの等があり、(4)(5) 式を個々の地点に適用するにはやや無理が有る様である。

7. まとめ

以上、地表面粗度と観測される風速値の関係および地表面粗度の年変化を考慮した風速値の均質化について検討した。検討例が、種々の制約から限られていることや、解決すべき難しい問題が山積されている為、早急な結論は避けたいが、地表面粗度の年変化の影響がかなり大きいものであるということは言うて良いと思われる。また、従来議論されて来ている年最大風速の極値分布への適合性の問題も、風速値の均質化の適否に左右される筈であり、改めて考え直す必要が有るのではないかと考える。

地表面粗度の年変化のもっとも的確で現実的な把握の仕方、現実の市街地に対応する風速鉛直分

布の研究等が今後の課題であろう。

謝 辞

本研究に用いた資料の収集にあたり、快くご協力を頂きました自治省、各都道府県庁、市役所、町役場ならびに東京消防庁、各市消防所の皆様方に厚く感謝の意を表します。また、本研究の遂行にあたりご協力をいただきました、早稲田大学・松井源吾教授、佐藤工業技術研究所・須田健一博士、竹中工務店・檜村俊也氏、鹿島建設・門馬隆弘氏に御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 藤野, 伊藤, 酒井, 土木学会論文集, 第 305 号, 1981.
- 2) 倉嶋, 気象研究時報, 27 卷, 1975.
- 3) 饒村, 気象研究時報, 33 卷, 1981.
- 4) 田村, 須田, 松井, 日本風工学会誌, 第 16 号, 1983.
- 5) 花房, 日本風工学会誌, 第 20 号, 1984.
- 6) 中原, 建築研究資料, No.16, 1981, および気象月報, 気象年報.
- 7) 自治省, 大都市比較調査, 1975.
- 8) 建築設計資料集成, 丸善, 1972.
- 9) 亀井, 丸田, 第 4 回構造物の耐風性シンポジウム論文集, 1976.
- 10) 斎藤, 壇上, 災害科学研究会, 1962.
- 11) Counihan, Atmospheric Environment, Vol.5, 1971.