

都市域における風特性マップの作成法

PRODUCTION METHOD OF WIND MAPS FOR URBAN AREA

田中 洋¹⁾横田哲也²⁾畑中章秀³⁾Hiroshi TANAKA¹⁾ Tetsuya YOKOTA²⁾ and Akihide HATANAKA³⁾

ABSTRACT

Wind conditions are very important for the design of structures. Conventionally engineers obey wind codes. However these ones don't always give us the details of wind data. Then herein a simple and practical method to obtain the data of wind characteristics (i.e., wind speed and intensity of turbulence) has been developed. This method applies the terrain roughness intensity (γ) to estimate roughness parameters (i.e., power law exponent(α); surface friction drag coefficient(K) etc.) using the empirical formula obtained by Kamei & Maruta.

The terrain roughness intensity (γ) is derived by the volume rates of the structures in the referred areas. An application of this method was done to Osaka City to make wind (characteristics) map utilizing the mesh-data of these rates. The results of the method were compared with the data of the wind observations and confirmed to be reasonable.

Key Words : Intensity of turbulence, Roughness intensity, Wind map, Wind speed

1. はじめに

橋梁等の公共の構造物に対する経済設計が一段と要請されている今日、合理的な風荷重の算定に関する研究が更に必要になってきた。そのためには構造物に作用する風荷重の気流性状を明らかにする必要がある。ところが、橋梁を例にとれば、大プロジェクトを除けば、橋梁の設計が行われる以前に架橋予定地点において、地表付近の詳しい乱れ構造を明らかにするような観測が行われることは稀である。その代替として、①地形模型を用いた風洞試験¹⁾、②コンピュータによる数値シミュレーションなどがあるが、前者は最も実用的であり信頼度も高いとされるが、大型風洞を必要とし一般的とは言い難い。後者は工学的に実用的と云われるLES (Large Eddy Simulation)²⁾などにより研究されているが、解析領域、メッシュ分割や境界条件の設定などにより解析が左右されるため、実用化には解決を要する事項が多い³⁾。

さて、耐風設計の対象となる構造物の高さは、接地層と呼ぶ地表面の影響が支配的な層内にあると考えて

1) 日立造船(株) 橋梁設計部 (〒592-0034 大阪市住之江区南港北1-7-89)

2) 大阪市 建設局 街路部 (〒530-0001 大阪市北区梅田1-2-2 大阪駅前第二ビル5F)

3) (株)ニチゾウテック 技術本部 (〒551-0023 大阪市大正区鶴町2-15-26)

(風速が低く), 逆に, 淀川流域や海岸部の粗度の小さな領域では, 乱れが小さく(風速が高く)なるという従来から知られた知見を定量的に再確認することができた。

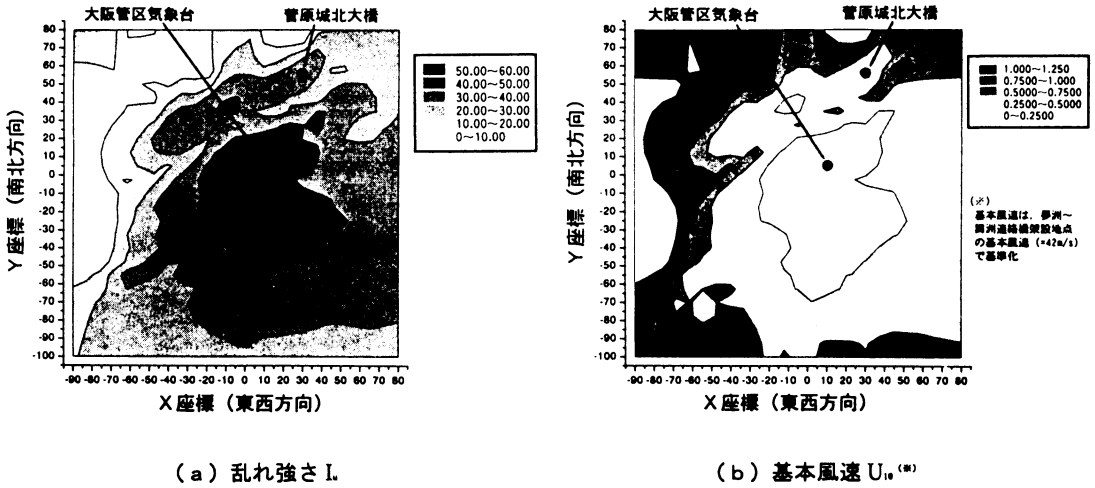


図5 大阪市域における風特性のコンター図
(大阪市域の卓越風向のみを考慮)

4. 2 風荷重の算定に用いる地域区分の提案

風荷重の設計値の算定に应用する場合, 工学的に判断して安全側に決定する必要がある. 本手法が多くの仮定の上に成り立っていることや検証が更に必要なことを考慮して, 3段階での基本風速および乱れ強さの提案とした(図6). 安全側の観点から, 乱れ強さは低めに基本風速は高めに設定した。

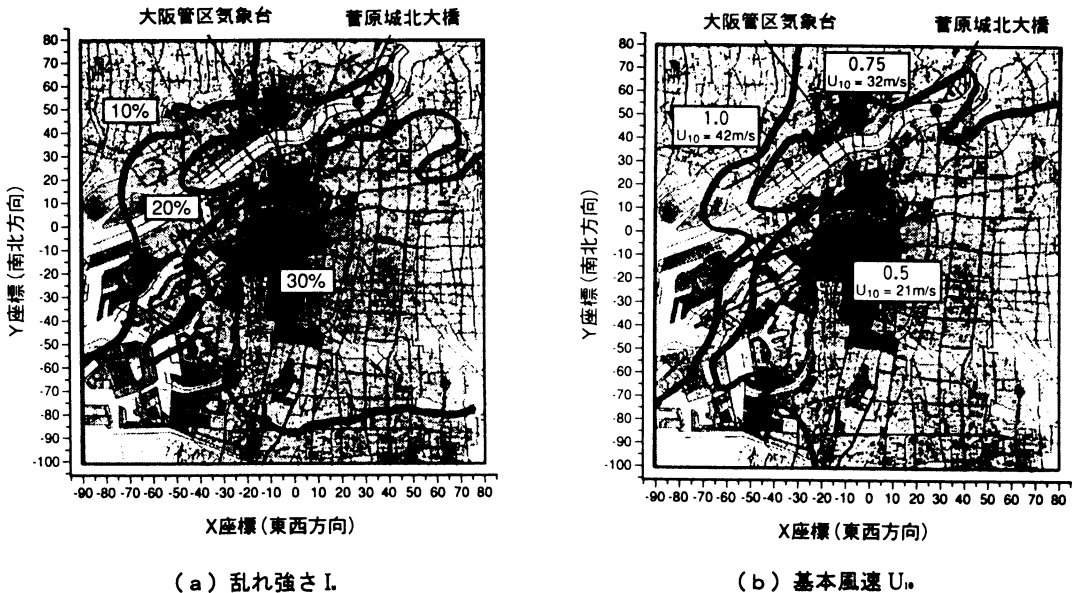


図6 大阪市域における風特性マップ(案)

そこで, 風特性マップを作成する上において考慮した事項を以下に示す。

以上より、得られた γ を用いて、 α と K は次式で得られる。

$$\alpha = 0.682\sqrt{2\gamma - \gamma^2} \quad (\text{べき指数}\alpha\text{と}\gamma\text{との関係式}) \quad (3)$$

$$K = 0.212\gamma^{1.097} \quad (\text{地表面摩擦抵抗係数}K\text{と}\gamma\text{との関係式}) \quad (4)$$

この K から乱れ強さ I_z ($I_{z,10} = \sqrt{6.0K}$)を算定することができ、 $(Z/10)^{-\alpha}$ を乗ずることにより任意高度 Z での乱れ強さも算定することができる。

また、同様に得られた α を用いて、対象地点での基本風速 U_{10} を算定することができる。すなわち、基準点(本論文では、夢洲～舞洲連絡橋の建設に当たり大阪市が基本風速の設定を観測記録を用いて厳密に行った同橋の架設地点とした⁷⁾)での基本風速 U_{10} を与えて、その地点での傾度高さ Z_0 とべき指数 α (Z_0 と α は道路橋耐風設計便覧を参照⁸⁾)から $U_z = U_{10} \cdot (Z_0/10)^{\alpha}$ の関係式を用いて、傾度高さでの風速(上空での風速) U_0 を求める。次に、上空での風速は大阪市域で一定とし、各対象地点の地表面粗度に応じた α の同定値を用いて、各対象地点での基本風速を同じく高度補正により算定する。

3. 解析および同定結果

菅原城北大橋周辺のメッシュデータを用いて、菅原城北大橋架設地点における乱れ強さを同定した。菅原城北大橋では、橋梁の架設に伴い現地風観測が実施されており⁹⁾、同定値と現地計測値との対比をおこなうことができる。また、乱れ特性の同定に際して、考慮するメッシュデータの範囲(以下、粗度評価区域と称す)が同定結果に及ぼす影響についても検討した。

図1には菅原城北大橋架設地点を対象とした16風向別の粗度評価区域の1例を併記している。この図で示される粗度評価区域は、架設地点の風上側距離2125m、風下側距離375mおよび幅方向375mの長方形で囲まれる範囲である。ここでは、①粗度評価区域の風向方向の距離を一定とし幅を変化させた場合、ならびに、②幅を一定とし風向方向の距離を変化させた場合について検討した。

図2と図3に同定結果を示す。図中の○印は現地観測値を示したものである。図2は幅(風向直角)を変化させた場合の同定結果を、図3は評価する風上側および風下側距離を変化させた場合の同定結果をそれぞれ示している。

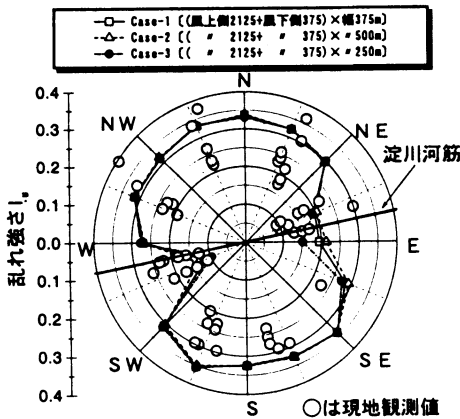


図2 乱れ強さの風観測値と同定値の比較(その1)

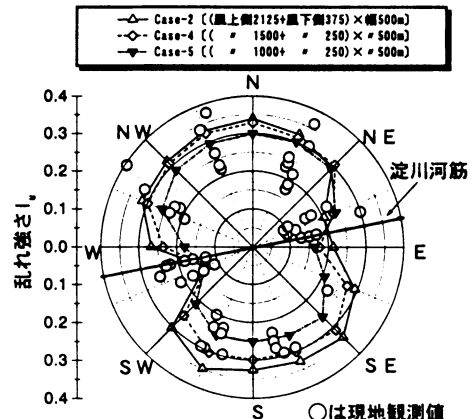


図3 乱れ強さの風観測値と同定値の比較(その2)

これより、幅方向に対する同定値の変化は顕著ではなく、風向方向の距離の影響については、距離が短くなるにつれて、全般的に同定値が小さくなる傾向にある。粗度評価区域の中に占める粗度要素を調べると、比較的粗度の小さい河川敷からやや粗度の大きい住宅地が混在しており、風向方向の距離を長くすると、粗度評価区域内に占める住宅地の割合が多くなり、結果的に乱れ強さが大きくなったものと考えられる。しか

し、風上方向の距離を 2125m にした場合と 1500m にした場合とでは、ほぼ同程度の値に収束しており、方位別の強度変化もよく近似している。そこで、以下の解析では、現地観測値に対して上限値を与えている $(2125+375) \times 375\text{m}^2$ (Case-1) の粗度評価区域を用いることとした。

なお、紙面の都合上、割愛するが、菅原城北大橋に加えて中島大橋架設地点の風観測結果⁹⁾に対しても、妥当であることを検証しており、観測結果と本手法による解析結果が良好に対応することを確認している。

4. 風特性マップに基づく地域区分(案)

上述のメッシュデータを用いた風特性の解析手法を大阪市全域に適用し、各メッシュを中心とした 16 方位の風特性を算定した。この各メッシュごとの風特性値をもとに大阪市全域にわたる風特性のコンター図(以下では、風特性マップと称す)を作成し、耐風設計に反映させることを念頭に置いて風特性(基本風速の低減率と乱れ強さ)の地域区分を提案する。風特性マップの作成手順は、図 4 のとおりである。以下、解析結果および考察を述べる。

4.1 解析結果および考察

風特性の推定にあたり考慮した粗度評価区域は、上述の通り、風上方向: 2125m × 風下方向: 375m × 幅 375m の長方形の範囲である。また、容積率から roughness 密度を算定する際の 1 階あたりの建物高さは、用途地域による変化を無視し、 $2.55\text{m}^{10)}$ (一律)とした。

図 5 は主流方向成分乱れ強さ $I_{u,20}$ (高度 20m の換算値で、菅原城北大橋の風速計高さ 21m にほぼ対応させている)ならびに基本風速 U_{10} のコンター図を示したものである。本手法では 16 方位別のコンター図を作成することができるが、方向によってはデータの少ないこともあり、大阪市域の卓越風向である NNE, NE, ENE, W, WSW の風向⁹⁾に対する平均値を示している。

以下では、本解析で得られた結果について考察する。

- 1) 乱れ強さのコンター図をみると、都市の中央部付近は乱れが非常に大きく 50%を超える値となっているが、海岸部に近い位置では 20%以下の値になっている。また、ENE ならびに WSW は淀川とほぼ平行となる風向であるが、川筋に沿った地域では他の地域よりも乱れが小さく、観測結果と一致している。
- 2) 基本風速のコンター図をみると、中央部付近は風速が低くなり、海岸部に近い位置では風速が高くなる傾向が認められ、さらに、淀川に沿った風向では、他の地域と比べて風速が高くなる様子が認められる。また、乱れ強さと基本風速のコンター図との対応をみると、乱れが大きくなる領域では風速が低くなり、逆に、乱れ強さが小さくなる領域では風速が高くなる傾向にあり、妥当な結果が得られた。

これより、上述の同定結果は、高層建物が林立する粗度の大きい大阪市中央部では、乱れ強さが大きく

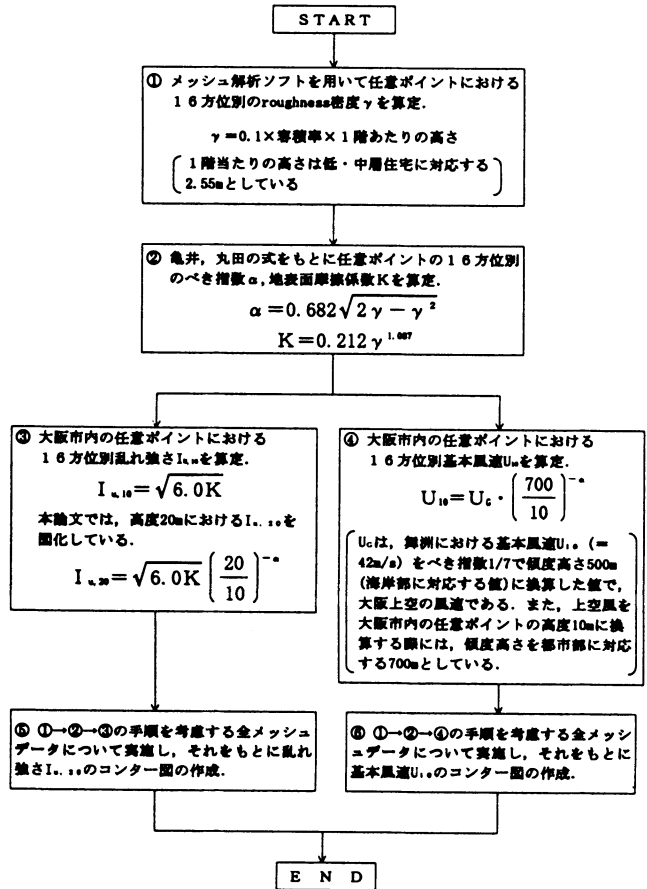


図 4 風特性マップの作成手順

- 1) 海岸線から約 5km 内部の陸地では、風速において 25 % の低減、乱れ強さでは 10 % の増加を考える。
- 2) 北区から西区を中心とする都市中央では基本風速を半分に低減でき、乱れ強さは 30 % と高くなる。
- 3) 淀川川筋の評価は、都市中心部のコンターの上部が川筋とほぼ平行とすることにより考慮している。

一方、道路橋耐風設計便覧⁹⁾に準拠することによっても、大阪市域の基本風速や乱れ強さを決定することができる。しかし、道路橋耐風設計便覧では、基本風速が大阪市域では一律の値しか与えられておらず、また、都市域やその周辺地域の細かな粗度区分が与えられていないこともあり、推定される乱れ強さも実際の地表面粗度を十分反映したものとは言い難い。そこで、提案した風特性マップを設計に導入すれば、都市域での風特性に応じた合理的な風荷重を用いた構造設計が可能となると考えられる。

5. まとめ

本論文では、大阪市のメッシュデータを用いた風特性の解析手法を提案し、それをもとに大阪市全域の風特性マップ図を作成した。さらに、風荷重の算定に用いる地域区分を提案した。大阪市のように市内がほぼ平野と見なせ、特に大きな起伏がないような地域においては、建物密度すなわち roughness 密度が主要な粗度要素となるため、本解析手法により基本風速および乱れ強さで代表される風特性マップが得られる。大阪に類似した地域への本解析手法の適用は、GIS (地理情報システム) 等のデータを用いれば可能であり、設計初期段階での風特性評価に有用と考えられる。

なお、本研究は大阪市のメッシュデータのように他の目的 (都市計画、課税など) で都市が所有するデータベースを利用して風特性マップの作成を試みた。このため、厳密さは多少犠牲としているが、マクロな観点からは実用性が確保できたと考えている。都市内の風特性が粗度形状、吹送距離、風速等によって変化するという最新の研究成果を如何にして取り入れるかについては今後の研究課題としたい。

謝辞 本研究を遂行するにあたり、白石成人京都大学名誉教授にご指導を賜りました。ここに記して、深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 例えば、平井滋登、大橋治一、楠原栄樹、本田明弘：多島海における風の特性について－来島海峡に関する実験的研究－，第 12 回風工学シンポジウム論文集，pp.25-30，1992. 12
- 2) 村上周三，持田 灯，日比一喜：Large Eddy Simulation による街区周辺の流れ場の解析，生産研究，Vol.40, No.1, pp.3-8, 1988. 1
- 3) 丸山 敬：流入境界面における乱流統計量の違いが LES による乱流境界層の計算に及ぼす影響について，日本風工学会誌，第 74 号，pp.35-45，1998.1
- 4) 田村幸雄，須田健一，松井源吾：建物密度の永年変化を考慮した年最大風速の均質化，第 8 回風工学シンポジウム論文集，pp.47-54，1984. 12
- 5) 亀井 勇，丸田栄蔵：風速の垂直分布における粗度パラメータに対する 3 次元的粗度密度の適応について，構造物の耐風性に関する第 4 回シンポジウム，pp.53-59，1971. 12
- 6) 田中 洋，横田哲也，畑中章秀：大阪市域の風特性マップ，土木学会第 52 回年次学術講演会，I -B84，pp.168-169，1997. 9
- 7) 丸山忠明，川村幸男，津田智康，岸本俊雄，田中 洋，安田義則：夢洲～舞洲連絡橋 (仮称) の計画と設計 (上)－旋回式浮体橋－，橋梁と基礎，Vol.32, No.2, pp.15～24，1998. 2
- 8) 日本道路協会：道路橋耐風設計便覧，1992. 7
- 9) 横田哲也，田中 洋，本田明弘，細見雅生：大阪の地形と風特性について，土木学会第 52 回年次学術講演会，I -B85，pp.170-171，1997. 9
- 10) 建築構造設計シリーズ 2 低層・中層建築，丸善，1973. 8