

徳島大学工学部 正員 長尾 文明

徳島大学工学部 正員 宇都宮英彦

1. まえがき 構造物の耐風設計を行なう場合構造物建設地点の風の特性を把握することは非常に重要であり、従来より現地観測、縮尺地形模型実験並びに気象官署等における定時風観測データを用いた解析等によって検討されている。また、構造物の耐風安定性に及ぼす気流特性の影響についても風洞実験等によって研究が進められてきている。本研究は、このような従来の研究成果を利用し、構造物建設点周辺の局所的な小地形が構造物に及ぼす耐風工学的な影響の評価方法について簡単に考察を加えるものである。

2. 小地形の耐風工学的影響の推定法 小地形の構造物に及ぼす耐風工学的な影響は、小地形の気流特性に及ぼす影響の推定と構造物の各気流中における耐風性の推定と2段階の推定によって可能となる。

まず、構造物の耐風安定性は、静的な問題と、動的な問題が考えられ、特に、長大橋梁では、静的な耐風安定性が確保された断面形状の動的な耐風安定性が重要であり風洞実験によって耐風安定性の検討と、耐風安定化対策が試行錯誤的に考案されている。各振動現象に及ぼす気流の影響を3段階評価(○:影響度大、△:影響があると考えられるが明確な評価が確立していない、-:ほとんど影響が無視できる。)したものを表1に示す。例えば、渦励振現象では、平均風速、及び、風向の影響が大きい。また、渦励振は、乱れの影響を大きく受けること(特殊な断面形状(例えば、扁平六角形断面等)を除いて、乱れの強さの増加に伴って振動振幅が減少し、非常に乱れた乱流中においては、渦励振は生じない。)が知られているが、乱れのスケールの及ぼす効果については、依然議論の余地があると考えられ△印を付与している。

次に、構造物周辺地形がこれらの気流特性に及ぼす影響について簡単に示したものが図1である。この図は、2次元丘、谷、切通し、及び、半島状地形を単純化した地形模型を用いた風洞実験結果<sup>1), 2)</sup>から得られた風速と乱れの強さの大まかな特性を簡単に示したものであり、各地形特性の任意点に及ぼす影響は地形特性によってその影響が複雑に変化しており、ここでは省略している。なお、図中には、風向特性を示していないが、小地形周辺部においては、接近流と異なった方向に気流がひずむこと(例えば、谷・切通しの流入・流出部、尾根の背後等)も多々あり、注意が必要となる。

なお、構造物に作用する風は、建設地点周辺の小地形のみならず、かなり広領域の地形特性(メソスケール)の影響も無視できず、この点も同時に検討する必要がある。

3. 因島大橋主塔の渦励振発現可能性 ケーススタディーとして、風洞実験並びに現地観測結果の揃っている因島大橋主塔の渦励振に及ぼす周辺小地形の影響を検討した結果を示す。

まず、因島大橋周辺の地形図を図2に示す。ここでは、上

表1 気流特性の動的不安定現象に及ぼす影響

|      | 振動現象                                 | 振動現象に及ぼす気流特性の影響度 |    |       |         |      |
|------|--------------------------------------|------------------|----|-------|---------|------|
|      |                                      | 風速               | 風向 | 乱れの強度 | 乱れのスケール | 空間相関 |
| 橋桁   | バフエッティング                             | ○                | ○  | -     | ○       | △    |
|      | 渦励振                                  | ○                | ○  | -     | ○       | △    |
|      | ギャロッピング                              | ○                | ○  | -     | ○       | △    |
| 塔    | バフエッティング                             | ○                | ○  | ○     | -       | △    |
|      | 渦励振                                  | ○                | ○  | ○     | -       | △    |
|      | ギャロッピング                              | ○                | ○  | ○     | -       | △    |
| ケーブル | 渦励振                                  | ○                | ○  | -     | -       | ○    |
|      | ギャロッピング                              | ○                | ○  | -     | -       | ○    |
|      | rain vibration <sup>*)</sup> (1)~(3) | ○                | ○  | -     | -       | ○    |
| 橋脚   | バフエッティング                             | ○                | ○  | -     | -       | ○    |
|      | 渦励振                                  | ○                | ○  | -     | -       | ○    |
|      | ギャロッピング                              | ○                | ○  | -     | -       | ○    |

ここに、○:各振動現象に及ぼす影響が大きいと考えられる。  
△:影響があると考えられるが明確な評価が確立していない。  
-:ほとんど影響が無視できる。

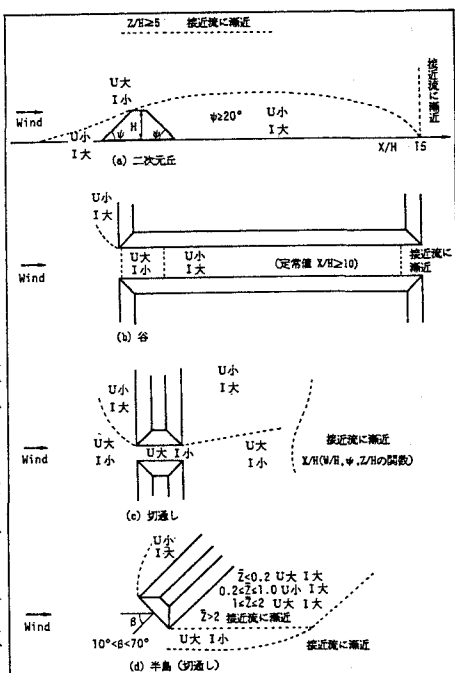


図1 小地形の風況特性に及ぼす影響の概要

空風の風向として、橋軸直交方向 (B, E)、橋軸直交方向から±20度偏った方向（渦励振が発生する限界の方向 A, C, D, F）、さらに、気流の地形による湾曲も考慮して橋軸直交方向から±40度偏った方向（' 付き記号）、したがって、片側5風向、各主塔それぞれ合計10風向を対象として、周辺地形の気流特性に及ぼす影響を検討することとし、図2中に、上空風の作用線を併せて示した。因島大橋の周辺地形の特性として、周辺部の高い山によって形成される切通し状地形の尾根筋と橋梁軸がほぼ一致していることと橋梁近傍の上・下流側に極めて高い山が存在していないことが挙げられる。したがって、主塔が山の後流域になる風向が少なく、橋軸直交方向から偏った気流が上空に作用しても、橋梁の左右に存在する尾根によって、橋軸直交方向に気流は収束し、渦励振の発生し易い状況が生じている（気流の増速、乱れの強さの低下、スケールの増加及び鉛直方向の風速差の減少）と考えられる。

以上の考察結果を簡単にまとめると、表2のようになる。ここには、周辺地形の各主塔部に作用する気流に及ぼす影響及び、その気流特性から総合的に判断した主塔の渦励振発現可能性を、上空風の風向毎に示したものである。なお、周辺地形の風況特性に及ぼす影響は、主として、極めて単純化した地形（台形断面の単一地形）のデータから推定したものであり、複雑な地形の風況特性を精度よく推定するために、基礎データの充実が望まれる。

また、渦励振発現可能性は、渦励振の生じる付近の風速が作用している状況において、各気流特性から総合的に判断しているが、風洞実験並びに現地振動観測結果等を参照し、①風向、②風速と乱れの強さ、③風速の鉛直分布、④空間相関の順に影響度が大きいと考えている。

表から明らかなように、特に、北寄りの風向においては因島側の主塔の渦励振発現可能性が高くなっており、観測結果<sup>3)</sup>と良い対応が示されている。

4. あとがき  
吊橋主塔の渦励振を対象として構造物に及ぼす小地形の耐風工学的影響について検討を加えてきたが、任意の構造物に対しても、対象構造物と作用する気流特性の対応関係を把握し、気流特性に及ぼす周辺地形の影響を吟味することによって、小地形の構造物に及ぼす耐風工学的影響の評価が可能であると考えられる。更に、今後、小地形の風況特性に及ぼす影響を、定量的に評価する必要がある。

最後に、本研究を行なうに当たって、御指導・御助言を頂いた京都大学白石成人教授並びに松本勝助教授に記して謝意を表す。

#### <参考文献>

- 1) Utsunomiya, H., Nagao, F., Hiraoka, T.: Effects of Topographic Factors on Local Wind Properties, Natural Disaster Science, Vol. 9, No. 2, 1987.
- 2) 長尾文明: 京都大学学位論文, 1989.
- 3) 本州四国連絡橋小委員会: 昭和55年度本州四国連絡橋の耐風に関する調査研究報告書, 土木学会, 1982.

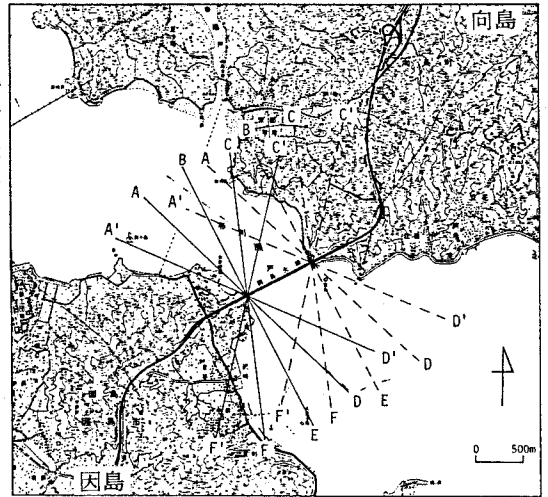


図2 因島大橋周辺地形

表2 上空風向別周辺小地形の気流特性並びに主塔の渦励振に及ぼす影響

| 風向    | 影響度の大きい主たる地形特性及び風況の概略                          | 各気流特性に及ぼす影響度 |         |        |      | 渦励振に及ぼす影響度 |
|-------|------------------------------------------------|--------------|---------|--------|------|------------|
|       |                                                | 風速           | 風向乱れの強さ | 空間鉛直分布 | 空間相関 |            |
| 因島側主塔 | A' 上流側の半島状地形を迂回し、海峡部に流入                        | ○            | ○       | ○      | △    | △          |
|       | A 上流側の半島状地形を迂回し、海峡部に流入                         | ○            | ○       | ○      | ○    | ○          |
|       | B 海峡と平行（陸地地形なし）                                | ○            | ○       | ○      | ○    | ○          |
|       | C' 向島及び因島北部の山（上流側）の影響により橋軸直交方向に気流が作用する。因島の山の後流 | △            | ○       | △      | △    | △          |
|       | D' 因島西部に沿って気流が流入                               | ○            | ○       | ○      | ○    | △          |
|       | E 因島西部に沿って気流が流入                                | ○            | ○       | ○      | ○    | ○          |
|       | F' 因島南部の山 (H=200m, L=2.8km) の後流                | △            | ○       | △      | △    | △          |
| 因島側主塔 | D 因島南部の山 (H=170m, L=2km) の後流                   | △            | ○       | △      | △    | △          |
|       | E' 上述の山及び近傍の山 (H=90m, L=30km) の後流              | X            | X       | X      | X    | X          |
|       | A' 向島西部に沿って気流が流入                               | ○            | ○       | ○      | ○    | △          |
|       | A 向島西部に沿って気流が流入                                | △            | ○       | ○      | ○    | ○          |
|       | B 山 (H=90m, L=1km) の後流                         | △            | ○       | △      | △    | △          |
|       | C' 山 (H=90m, L=1km) の後流                        | △            | ○       | △      | △    | △          |
|       | D' 近傍の山 (H=90m, L=600m) の後流                    | X            | △       | X      | X    | X          |
| 因島側主塔 | D 向島南部の山により橋軸直交方向へ流入                           | ○            | ○       | ○      | ○    | △          |
|       | E 向島南部の山により橋軸直交方向へ流入                           | ○            | ○       | ○      | ○    | ○          |
|       | F 陸地地形なし                                       | ○            | ○       | ○      | ○    | ○          |
|       | D' 因島南部の山 (H=400m, L=5km) の後流                  | △            | ○       | △      | △    | △          |
|       | E' 因島の山 (H=150m, L=2km) の後流                    | △            | ○       | △      | △    | △          |

ここに、各気流特性に及ぼす影響度の欄における記号の意味は、以下のようである。

- : 渦励振振動を助長するような影響を受けると考えられる。
- X: 渦励振振動が抑制されるような影響を受けると考えられる。
- △: 気流特性に及ぼす影響がほとんど無い、或は、影響因子が多く明確な影響度が定まらない。

また、渦励振に及ぼす影響度の欄における記号の意味は、渦励振領域の風速の風が各風向から作用した時の渦励振の発現可能性を示したものである。

- : 渦励振振動の発現可能性が極めて高いと考えられる。
- △: ○より渦励振振動の発生率は、低いものの振動する可能性が示されている。
- △: ほとんど振動は生じないと考えられるが、稀に振動が生じる可能性もあると考えられる。
- X: 渦励振振動の発現可能性が極めて低いと考えられる。