

鉄道の沿線で吹く強風の観測に適した場所を見つける



荒木 啓司

Keiji Araki

防災技術研究部
気象防災研究室
主任研究員(上級)

はじめに

強風の中を走行する列車の安全を確保するために、鉄道の沿線には強風を監視するための風速計が取り付けられ(図1)、この風速計で観測された風速があらかじめ定められたしきい値を

超過すると、列車の運転をいったん停止する、あるいは走行速度を制限するといった運転規制が行われています。この風速計は、橋りょうや盛土、駅舎などさまざまな鉄道の構造物に近接して取り付けられることが多いのですが、風が

図1 強風監視のための風速計



風速計



図2 構造物模型を用いた風洞実験の様子（複線橋りょう）

吹いてくる向き（風向）と風速計，構造物との位置関係によっては，構造物の影響を受けて過剰に大きな，もしくは過剰に小さな風速が観測されてしまうことがあります¹⁾。過剰に大きな，または小さな風速を運転規制の判断に用いると，走行中の列車の安全性や運行の定時性が損なわれるおそれが生じてしまいます。強風時に適切に運転規制を行い，列車の安全性や定時性を確保するためには，可能な限り鉄道の構造物の影響を受けない箇所に風速計を取り付けることが望ましいです。

ここでは，代表的な鉄道の構造物である橋りょうを対象として，風速計が取り付けられることの多い位置での風速の強弱を評価した結果と，この結果に基づいて風速計の取り付けを推奨する位置を紹介します。

鉄道の構造物の周りの風の様子を調べる

風速計を取り付けることが望ましいとされる，「可能な限り鉄道の構造物の影響を受けない箇所」とは具体的にどこでしょう。風速計が近接する鉄道の構造物は橋りょうや盛土，駅舎などさまざまな大きさ，形状をしたものがあり，それぞれの構造物の周囲に複雑な風の流れが形成されますので，簡単に「ここです」と言うことは難しそうです。そこで，「可能な限り鉄道の構造物の影響を受けない箇所」をみつけるために，まずは鉄道の構造物の周りで風がどのように吹き，風の強弱がどのように生じているのかを調べることにしました。

構造物周りの風の流れを調べる方法には，①実際の構造物の周りに多くの風速計を設置して

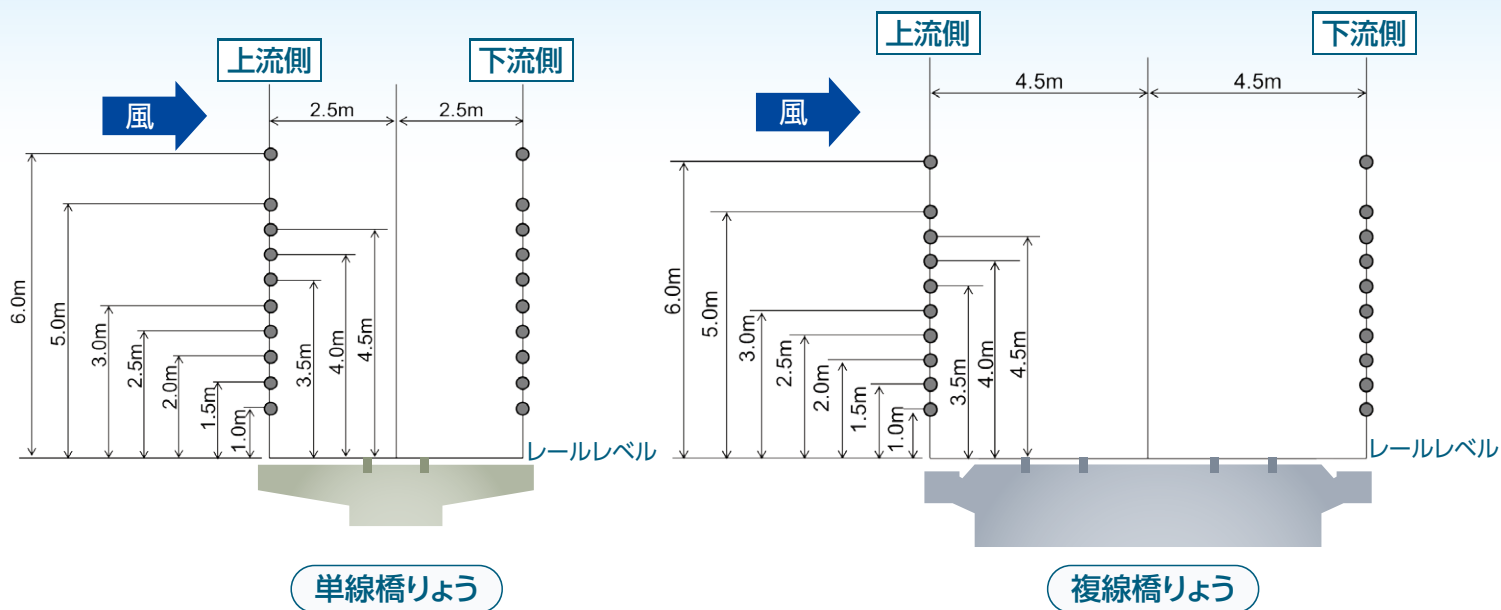


図3 構造物周りの風速測定点

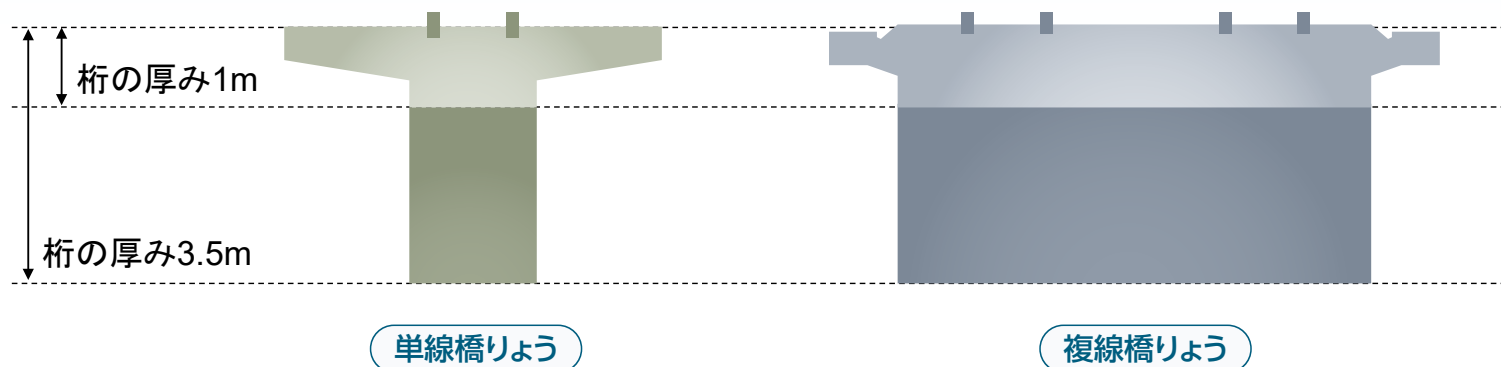


図4 構造物模型の桁の厚みの設定

直接的に風を観測する現地風観測，②風洞[®]内に構造物の縮尺模型を設置してその周りの風速を測定する風洞実験，③コンピューター内に構造物の形状を再現してその周りの風の流れを解析的に解く数値流体解析，の3種類が代表的なものとしてあげられます。以下では，②風洞実験による構造物周りの風速測定について述べます。

風洞実験の概要

代表的な鉄道の構造物である橋りょう（単線、複線）を対象に，これらの縮尺模型を製作して風洞内に配置（図2）して風を吹かせ，それぞれの構造物の周りで実際に風速計が設置されるこ

との多い箇所を測定点に設定して（図3）風速を測定しました。また，橋りょうの桁の厚みは1mと3.5mの2種類を設定しました（図4）。さらに，風洞内のターンテーブル[®]上に橋りょう模型を設置し，ターンテーブルを回転させることで橋りょう模型に対する風向を変えた場合の風速も測定しました。

ここで，今回の風速測定で工夫した点を紹介します。一般的に，風洞内を吹走して構造物模型に当たる風は，扇風機が作り出した風と根本的に同じものです。皆様も扇風機の風を浴びたことがあると思いますが，この風は乱れ[®]の少

ラフネス
ブロック

スパイア

バリア

バリア、スパイア
およびラフネスブ
ロックの組み合わ
せと配置によって、
乱れを発生させて
自然風の性質に近
づけます。

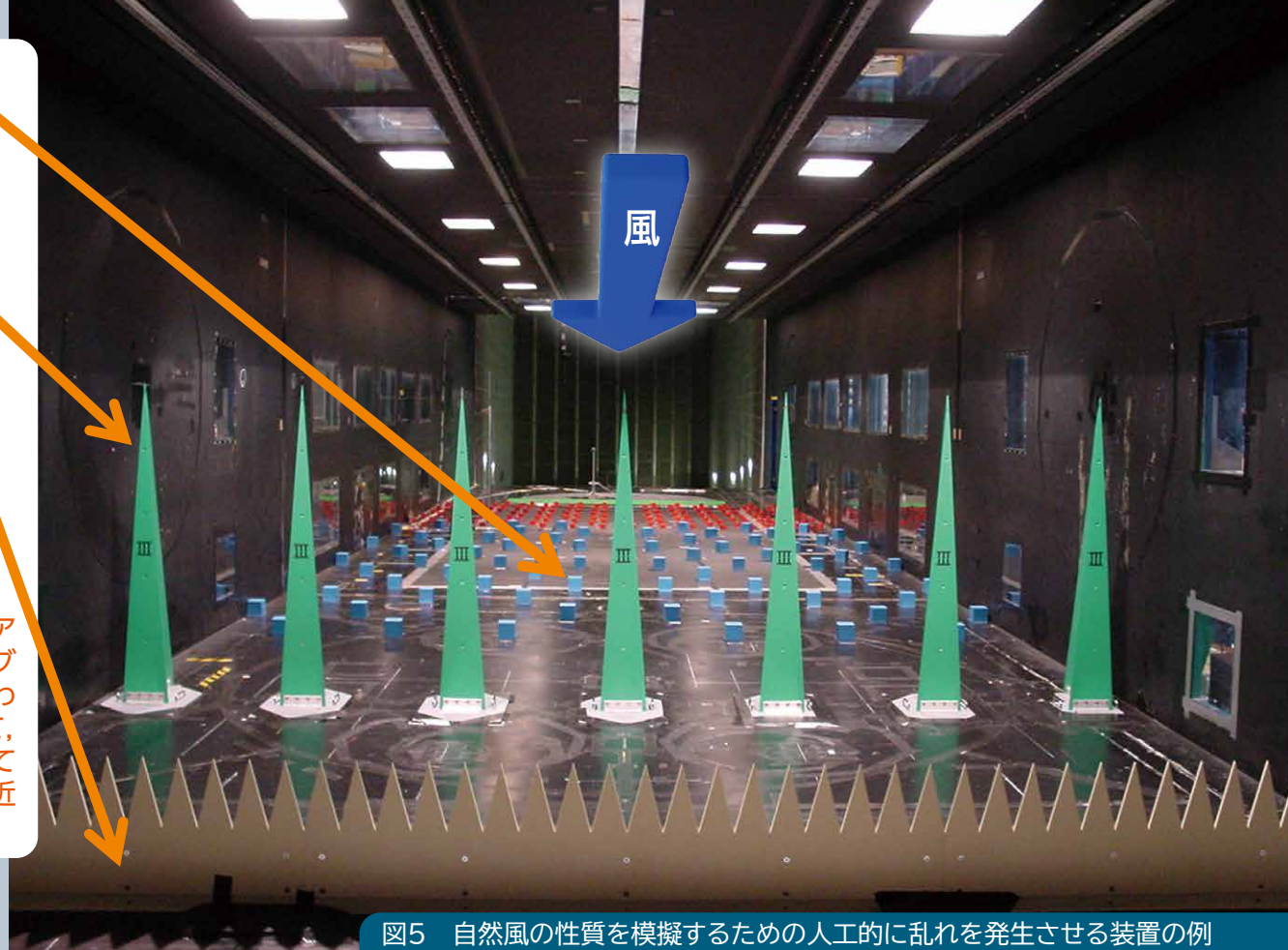


図5 自然風の性質を模擬するための人工的に乱れを発生させる装置の例

ないスムーズな流れです。しかしながら、屋外で私たちが感じる風、すなわち風速計が観測する風（自然風とよびます）は時々刻々とその強さを変え時に穏やかに時に強く吹いてくる、乱れをもった流れです。また、地面からの高さに応じて風の強さが異なり、地面に近いほど風が弱くなります。このような自然風の特徴を生み

風洞

静止している空気中を運動する物体を静止させ、物体が運動するかわりに空気を流すことで現象を再現する、または鉄道の構造物のように静止している物体に風が作用するような状況を再現する実験装置。

ターンテーブル

風洞の床面に組み込まれた回転可能な台座。構造物模型などの供試体を設置したターンテーブルを回転させることで、供試体に作用する風向を変更できます。

乱れ（乱れの強さ）

風速の時間的な変動の大きさを表す指標で、ある一定の評価時間における風速の標準偏差を時間平均風速で除したもの。

出す要因の一つは、私たちの生活圏にある家屋やビルなどの建造物です。田園地域など建造物が疎な地域では、地面に近い高さでも比較的風が強い一方で乱れの度合いは弱く、逆に高層ビルなどが林立する都市圏では地面に近い高さで風が弱い一方で乱れの度合いが強いことが知られています²⁾。今回の風速測定では、強風が頻繁に吹く鉄道沿線の例として田園地域を想定し、人工的に乱れを発生させる装置（図5）を構造物模型の上流側に設置することで、風洞内を吹走し構造物模型に当たる風が田園地域で吹く自然風の特徴を模擬できるようにしました。

風洞実験による構造物周りの風速測定結果³⁾

風速測定の結果の一例を図6に示します。この図では、複線橋りょう模型の線路方向と並行な角度を0度として、90度（構造物模型の真横から風が当たる角度）と67.5度、45度および22.5度の4つの風向での風速測定結果を示しています。また、風洞実験では測定時間内の平均

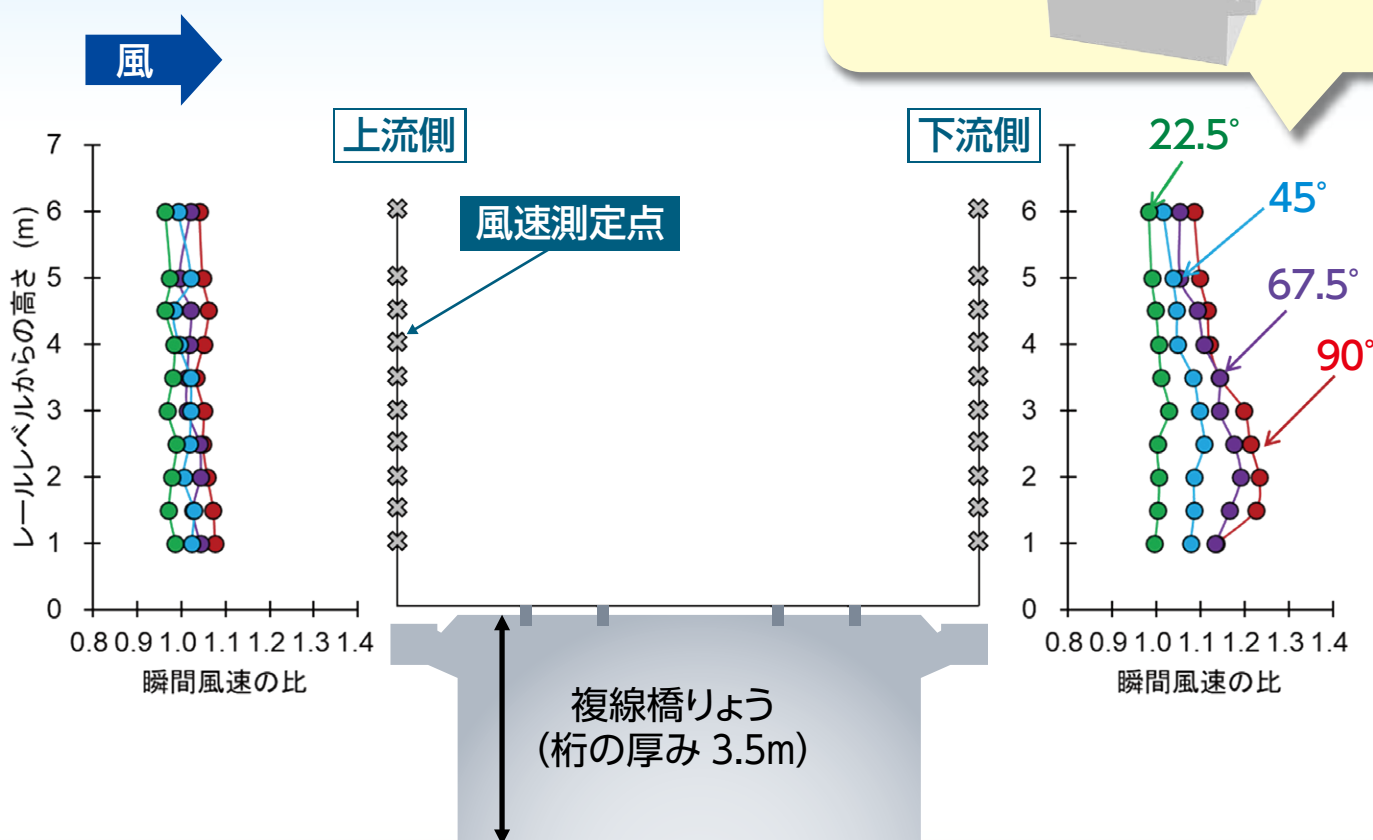
風速と乱れのデータが取得できますので、これら2つの測定値から強風時の運転規制に用いられる瞬間風速に変換しています。さらに、ターンテーブル上に複線橋りょう模型を設置する前に各測定点であらかじめ測定しておいた風速との比をとることで、構造物模型の存在が風の強弱に及ぼす影響の大小を示しています。すなわち、比が1であれば構造物模型の影響はないことになります。この図より、風向が90度に近づくほど、複線橋りょうの上流側よりも下流側で、また風速測定点の位置が低いほど、構造物の影響を受けて瞬間風速の比が1よりも大きくなる、すなわち風が強くなる傾向があることがわかりました。例えば、風向が90度の場合、複線橋りょうに対して上流側に風速計が位置する場合にはその高さによらず風速の比は1.04～1.06と10%未満の増速に留まる一方で、複線橋りょうに対して下流側に風速計が位置する

場合にはレールレベルから3.0mまでの高さ(桁の厚みとほぼ同じ高さ)で1.20以上と20%以上増速する結果となりました。なお、単線橋りょうの場合でも、構造物が盛土上の風速に及ぼす影響は今回お示しした複線橋りょうのものと同様の傾向を示すことを確認しています。

風速計の取り付けを推奨する箇所

風洞実験で得た橋りょう周りの風速の測定結果を用いて、可能な限り鉄道の構造物の影響を受けない風速計の取り付けを推奨する箇所を整理しました(図7)。単線、複線のいずれの橋りょうでも、風速計の取り付けを予定している場所で強風が頻繁に吹く風向を事前に把握できてい

図6 風洞試験による構造物周りの風速測定結果 (複線橋りょう、桁の厚み3.5mの例)



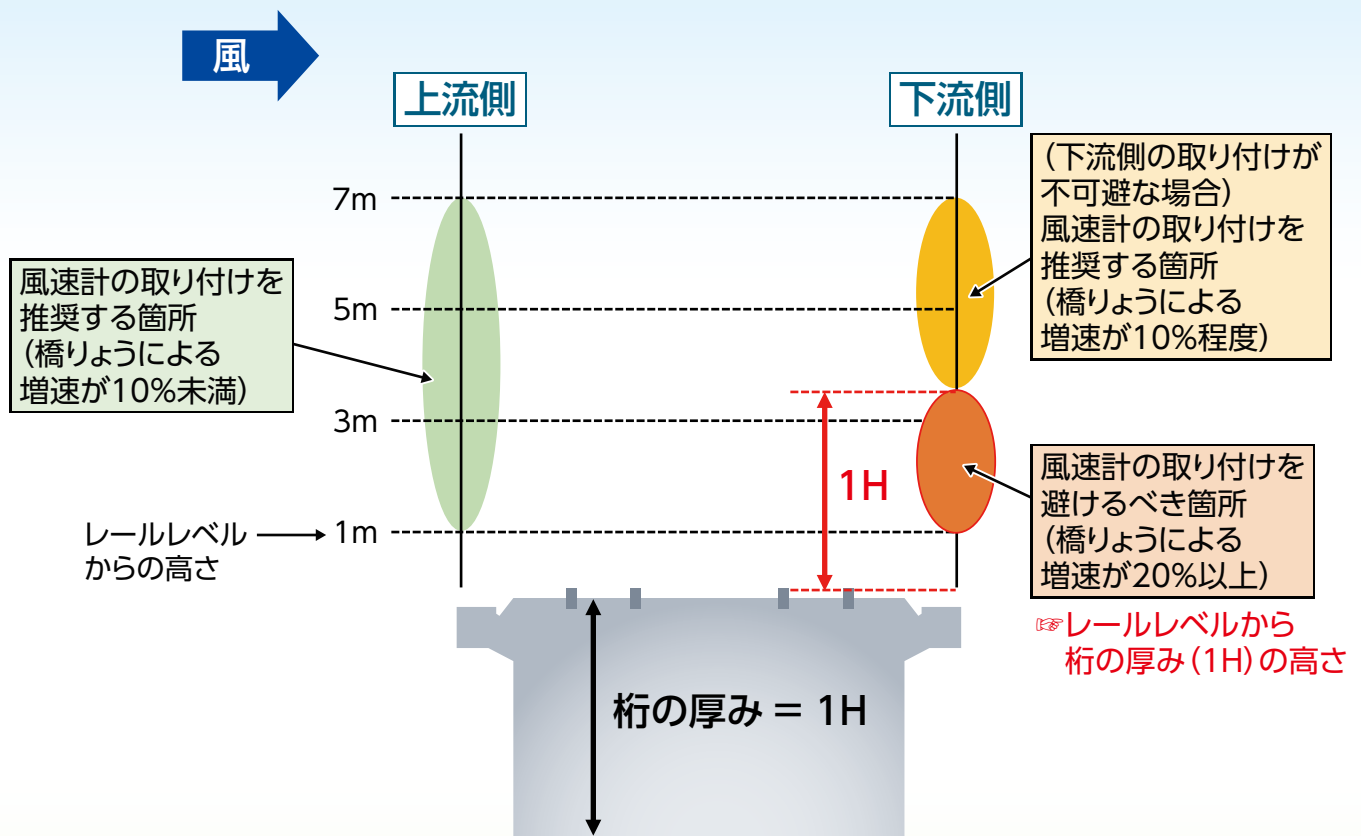


図7 風速計の取り付けを推奨する箇所(複線橋りょう)

る場合には、橋りょうに対して上流側(風上側)に風速計を取り付けることを推奨します。これは、橋りょうの下流側に比較して上流側の方が風向や風速計の高さによって観測される風速値が橋りょうの影響を受ける程度が小さいことが風洞試験からわかったことに基づきます。一方で、強い風が頻繁に吹く風向が事前に把握できない、もしくは季節によって橋りょうの左右の両方から強い風が吹くといった場合には、橋りょうの左右のどちらが上流側(風上側)に相当するか判断に困ります。その際は、橋りょうの左右のいずれの場合でも桁の厚みを1Hとして、レールレベルから1H以上の高さに風速計を取り付けることを推奨します。これは、とくに橋りょうの下流側でレールレベルからの高さが低い位置であるほど、観測される風速値が構造物の影響を強く受けることが風洞試験からわかったことに基づきます。

おわりに

強風時の運転規制の判断に用いる風速を適切に観測するために風速計の取り付けを推奨する位置を橋りょうを例に紹介しました。

今回紹介した橋りょうのほかにも、風速計が近接して取り付けられる構造物は多くあります。今後は数値流体解析など風洞実験以外の方法も活用しながら、さまざまな鉄道の構造物周りの風速の評価を進め、風速計の取り付けを推奨する位置に関する知見を蓄積していく予定です。

RRR

文献

- 1) 今井俊昭, 藤井俊茂, 種本勝二, 島村泰介, 松田洋一: 風速分布の局所性に関する観測事例, 鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, pp.639-642, 1998
- 2) 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説(2015), 2015
- 3) 荒木啓司, 今井俊昭, 種本勝二, 鈴木実: 構造物周りの風速計位置が観測値に及ぼす影響の評価, 鉄道総研報告, Vol.25, No.7, pp.43-48, 2011