

鵜飼い大橋における現地風観測

木場 和義* 幽谷 栄二郎**

鵜飼い大橋は、岐阜市内の長良川を渡る鋼単径間斜張橋を有する橋梁である。この斜張橋は、傾斜した塔と1面吊のケーブル構造を有した特徴的な橋梁である。斜張橋は一般的に変形しやすい柔構造であり、本橋においても風による有害な振動の可能性に対して、風洞試験による対風挙動の確認と空力的な安定化対策の提案がなされている。一方、本橋の架設地点は近傍に急峻な山があり、現地の風には乱れ特性および傾斜角に特異な性質を有する可能性がある。そこで、風による振動現象に対する安全性の確認を目的として、現地で風観測を実施し耐風性の評価を行った。本文ではその概要を報告する。

キーワード：単径間斜張橋，現地風観測，傾斜角，乱れ特性

まえがき

鵜飼い大橋は、岐阜市内の金華山の北東、千鳥橋と長良橋の間で長良川を渡り、岐阜環状線の一部となる全長 **469m** の橋梁である。その左岸側に位置する、橋長 **154m** の中央1面吊り鋼単径間斜張橋を川田・駒井・新日鐵特定建設工事共同企業体で施工した。位置図を図-1に、完成予想図を図-2に、また構造一般図を図-3にそれぞれ示す。

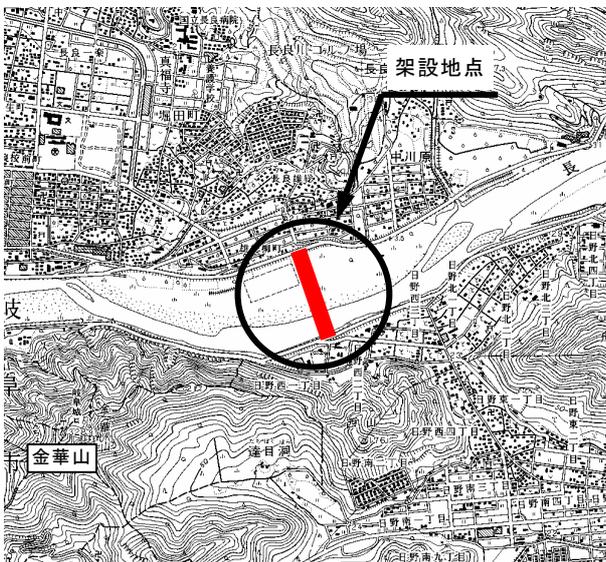


図-1 鵜飼い大橋の位置図

本橋は、周囲の景観および自然環境との調和を重視してデザインされ、断面中央部に大きな開口部を有するという形状的特徴の他に、たわみの固有振動数とねじれの固有振動数が近接した値（振動解析結果よりそれぞれ **0.957Hz**、**0.820Hz**）を示すという構造的特徴を有する。そのため、本橋では風による複雑な振動現象が発生する恐れがあると考えられ、設計段階で風洞試験による対風挙動の確認と安定化対策の提案がなされている¹⁾。

一方、本橋の架設地点には近傍に急峻な山があり、現地の風には乱れ特性および傾斜角に特異な性質を有している可能性がある（位置図参照）。特に傾斜角については、風洞試験で $\pm 5^\circ$ の範囲について安全性、使用性について検討がなされているが、傾斜角が大きい場合に応答振幅が大きくな



図-2 完成予想図

* 技術研究室係長 ** 技術研究室

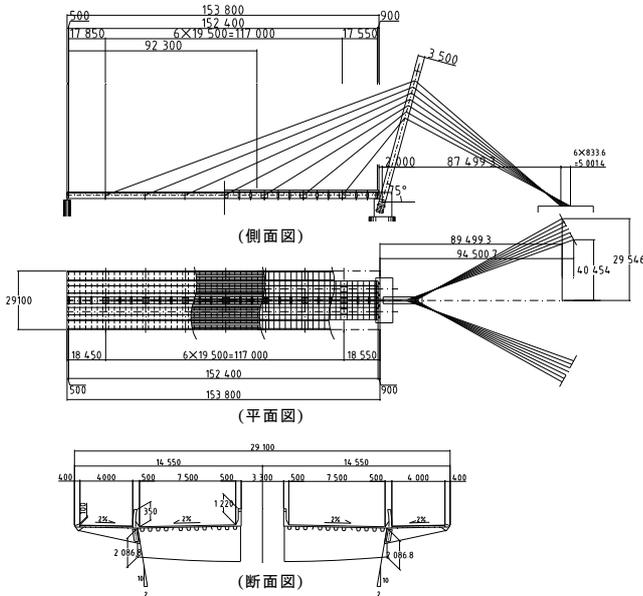


図-3 構造一般図

る傾向があり、現地で検討範囲以上の大きな傾斜角が生じる可能性について調査しておく必要があると考えられた。また、風洞試験では渦励振に着目して検討が行われているが、風の乱れが大きい場合には乱れに起因するガスト応答が問題になる可能性もある。

以上から、本橋の風による振動現象に対する安全性を確認することを目的として、風の傾斜角範囲および乱れ特性等の資料を得るために、架設地点での風観測が求められた。当社は、共同企業体の構成会社として、この観測業務を担当しほぼ1年間の観測を実施した。

本文では、この現地風観測について報告する。

1. 観測内容

観測は、2000年4月19日から2001年3月10日の、ほぼ1年間実施した。風速計には、風の乱れと傾斜角を精度良く観測する目的から、超音波風向風速計(写真-1)を使用した。風速計の位置は、桁位置で風を観測することと河川敷内の構造物の制限から、6P橋脚上から河川上に6m張り出した架



写真-1 超音波風向風速計

台に設置した。風速計本体、データ記録装置などの観測装置と、これらに電源を供給するハイブリッド発電システム(太陽電池+風力発電)も6P橋脚上に設置し、長くなる信号線や電源線の配線を省略した。風速計の位置を図-4に、設置状況を写真-2,3に示す。橋脚上の風観測では、特に橋軸方向の風の場合、橋脚や隣接工区の桁の影響を受けることになる。しかし、本橋の桁の挙動に対して影響が大きな橋軸直角方向の風については、周囲の影響は少ないと考えられた。

本観測では、毎正時前10分の定時観測と、30秒平均風速が5m/sを超えた場合に連続的に記録する強風時観測の2種類の観測を行った。使用した観測システムの概要を図-5に示す。このシステムは、構造物の振動や作用する風を対象とした動態観測を目的として開発したもので²⁾、携帯電話を利用して観測現場から遠く離れた監理場所で観測状況をモニターできるようになっている。

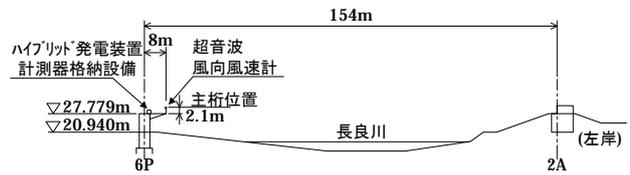


図-4 観測位置の概要



写真-2 観測機器設置状況(橋脚側面)

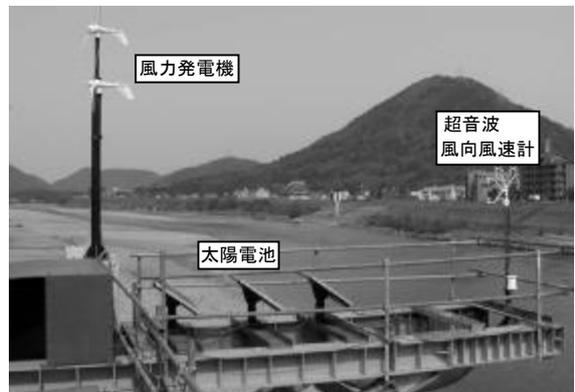


写真-3 観測機器設置状況(橋脚上)

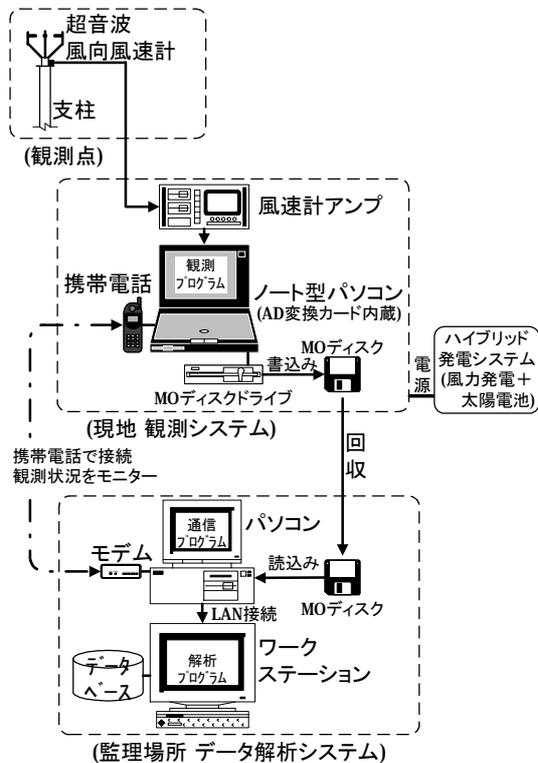


図-5 観測システムの概要

2. 観測結果

定時観測の結果から、10 分間平均の風速、風向、風の傾斜角について、発生頻度の分布特性を検討した。また、桁の風による挙動に対して影響の大きい、橋軸直角方向（東西方向）の風向の観測結果を分けて整理した。本観測期間中には、台風が接近することがなかったため、観測結果に強風の記録は少なかった。

(1) 風向と風速

図-6に、風向の発生頻度をウィンドローズで示す。東風の発生が卓越しているが、これは川上から橋軸にほぼ直角に作用する風に相当する。また、北東の風の発生頻度が落ち込んでいるが、隣接工区の桁の影響がある可能性がある。

図-7に、風速の発生頻度の分布を全風向と東風について示す。観測結果は、3m/s以下の風がほとんどであり、5m/sを超える風はほとんど観測されなかった。また、風向による風速分布の特徴も見られない。

図-8には、風向と風速の関係を示す。川に沿った風に相当する、東北東～南東の方角と、西南西～北西の風向で、風速が比較的高くなる傾向が見られる。

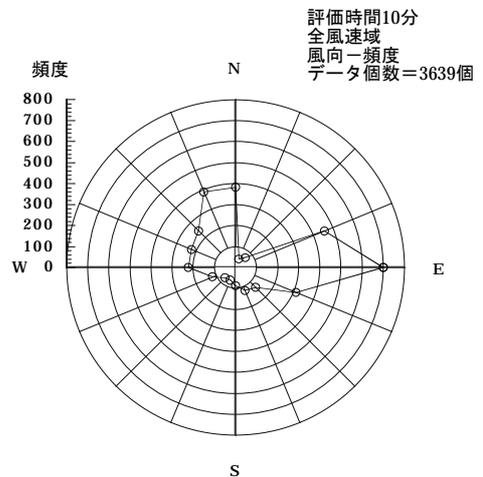
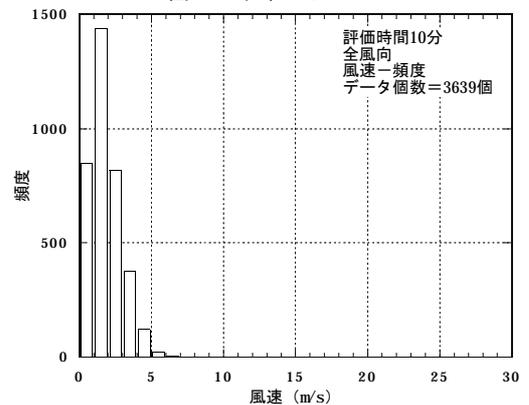
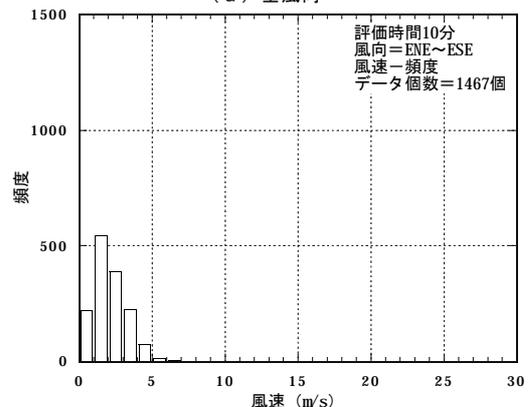


図-6 ウィンドローズ



(a) 全風向



(b) 東風 (ENE~ESE)

図-7 風速の発生頻度分布

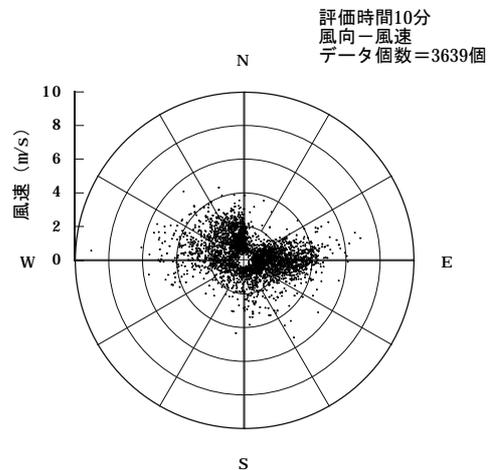


図-8 風向と風速の関係

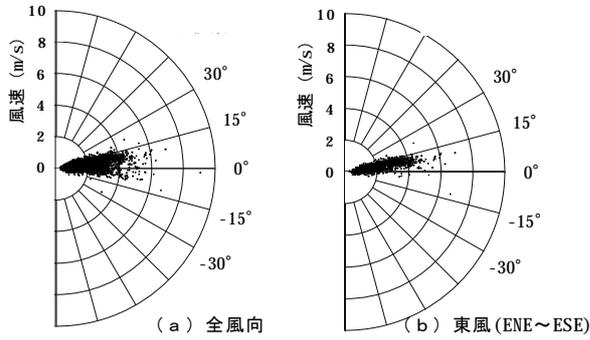


図-9 風向と風の傾斜角の関係

(2) 傾斜角と風速

図-9に、風の傾斜角と風速の関係を示す。全風向では傾斜角は、 $-10^{\circ} \sim +15^{\circ}$ の広い範囲に分布しており、風速7m/s程度までこの傾向は変わらない。東風の場合には、吹き上げとなる傾向が見られる。

3. 強風時の特性

強風時観測結果については、風による有害な振動が発生する可能性を中心に検討を行った。まず強風時の風の傾斜角特性については、風洞試験結果から風による振動発生時の振動発達時間を予測し、評価時間を1分間としてデータ整理を行った。風の特徴の指標となる、乱れ強さおよびガストファクターについては、従来の風特性評価と同様に評価時間を10分としている。

(1) 風の傾斜角

橋軸直角方向の風について、風速に対する風の傾斜角の分布状況を図-10に示す。低風速域では傾斜角は広範囲に分布するが、平均風速14m/s以上では+3度以内の範囲となる。また、金華山が風下に位置する場合には、風の傾斜角が正(吹き上げ)になる傾向が見られるが、橋軸直角方向の他の観測結果に比べて明確な特徴は見られない。評

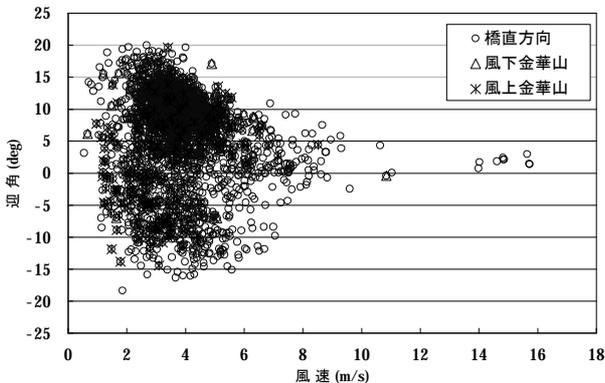


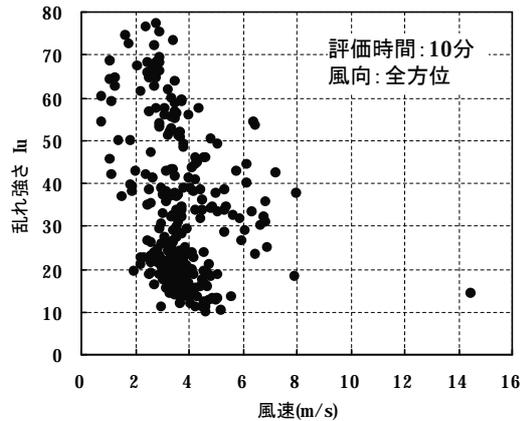
図-10 風速と風の傾斜角(迎角)の関係

価時間を短くすることで、渦励振の発生が予測される比較的高い風速域の風特性の評価を試みたが、十分な数のデータを得られたとは言い難い。しかし、現地の風の地形的な条件を含めた風の特徴に関する資料を得ることが出来たものとする。

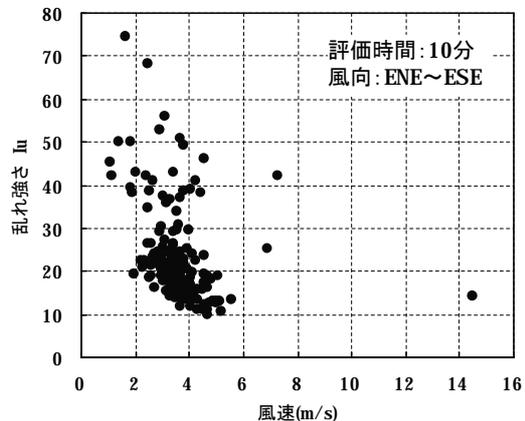
(2) 風の乱れ特性

図-11に、風の主流方向の乱れ強さ I_u と風速の関係を示す。図-12に風の鉛直方向の乱れ強さ I_w と風速の関係を示す。

I_u , I_w は、低風速域では、70%程度の値まで広範囲に分布するが、風速が高くなると共に小さくなる傾向が認められる。風向で比較すると、東風の場合は比較的小さい傾向があり、渦励振の発生が予想される15m/s以上付近では、 I_u は10%程度、 I_w は5%程度になるものと予測される。これは、耐風設計便覧で地形条件から推定される値($I_u=17%$)に比べると小さく、川筋に沿って到達することで乱れが小さくなっているものと考えられる。



(a) 全風向



(b) 東風(ENE~ESE)

図-11 風速と乱れ強さ(I_u)の関係

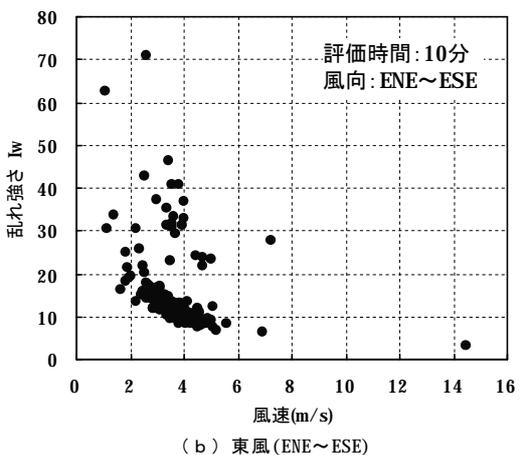
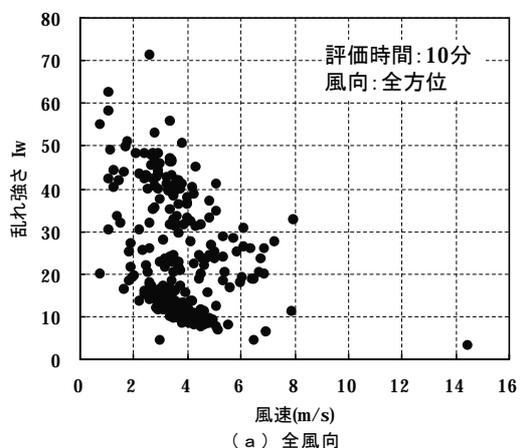


図-12 風速と乱れ強さ(Iw)の関係

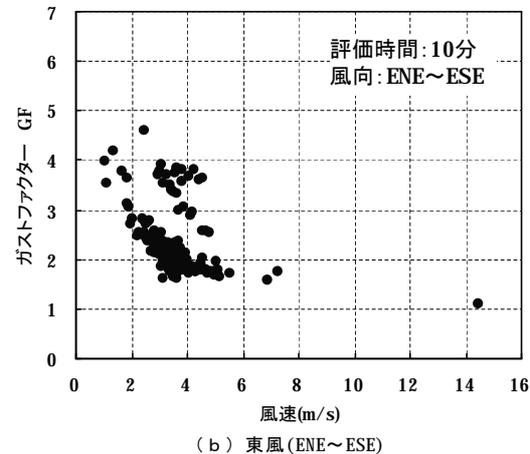
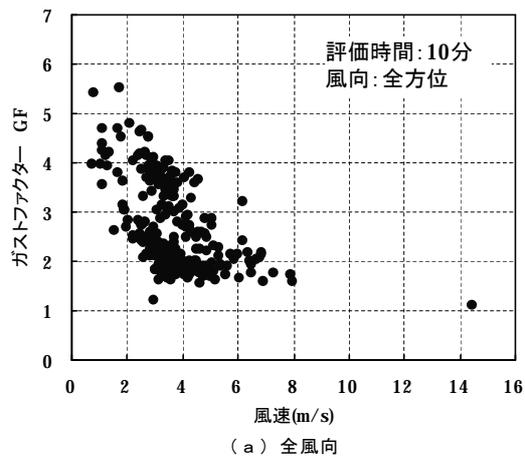


図-13 風速とガストファクター(GF)の関係

(3) ガストファクター

図-13に、ガストファクターGFと風速の関係を示す。ガストファクターは、最大風速と平均風速の比で表されるパラメータで、風に含まれる乱れ成分の大きさを示す。低風速域で大きな値を示しているが、これは平均風速に比べて風速の変動量が大きいことを示している。風速が大きくなると共に、GFは小さくなり、平均風速が10m/s以上ではGF=1.2~1.5程度になっている。風向による特徴は明確でないが、東風の場合には小さくなる傾向が見られる。

4. 耐風性の評価

鵜飼い大橋の風洞試験では、耐風対策のない基本断面の主桁を対象として、風による振動現象の特性を調査するとともに、振動による問題が予測された現象に対して耐風対策が提案されている。ここでは、本橋の主桁を基本断面とした場合を想定して、風洞試験結果と風観測結果および完成時の構造減衰の推定から本橋の耐風性を検討する。

(1) 風洞試験結果

表-1に示すように、風洞試験の結果では、耐風対策を実施しない基本断面においては、たわみ振動とねじれ振動の渦励振の発生が問題になると予測された。基本断面の場合の風による振動現象の特徴を以下に整理する。

- ・風の傾斜角(迎角)が+5°，-3°，-5° (+は吹上

表-1 風洞試験結果の概要(基本断面)

風洞条件	迎角 α	+5°	+3°	0°	-3°	-5°
構造減衰 δs		0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
問題となる振動現象	たわみ振動	渦励振	—	渦励振	渦励振	渦励振
	振幅 (mm)	172	—	21	96	48
	風速 (m/s)	25.3	—	9.0	20.8	22.7
	ねじれ振動	渦励振	—	—	渦励振	渦励振
許容振幅	振幅 (deg)	0.872	—	—	0.325	0.269
	風速 (m/s)	32.0	—	—	18.3	21.0
許容振幅	たわみ振動	42 (mm)				
	ねじれ振動	0.230 (deg)				

げ)の条件で、比較的大きなたわみ振動またはねじれ振動の渦励振が、風速18m/s以上の高風速域で発生する。

- ・迎角が0°の条件では、風速9m/sでたわみ振動が発生するが、振動振幅は許容値以内である。
- ・振動振幅の許容値は、使用性に対するものであり、構造の安全性および疲労性に対しては、予測された振動現象は問題ない。

(2) 実橋における条件の推定

風洞試験で予測された風による振動現象の発生条件に対して、実施した風観測結果と図-14に示した、既設の鋼斜張橋における構造減衰特性³⁾より、完成時の条件を推定する。

- ・橋桁に直角方向に作用する風が、発生頻度、風速ともに高くなる傾向があるが、評価時間を1分にした条件でも、平均風速が**15m/s**を越える頻度は小さい。
- ・風速**15m/s**以上の高風速域では、風の傾斜角の範囲は**±3°**以内になる。(図-10参照)
- ・風速**15m/s**付近では、流れ方向乱れ**Iu**は**10%**程度、鉛直方向乱れ**Iw**は**5%**程度になると推定され、風洞試験条件(**Iu=1%**以内)に比べると十分に大きな乱れがある。
- ・ケーブルにダンパーを設置した鋼斜張橋の構造減衰は、設置しない場合に比べて大きくなる傾向が見られる。**1**面吊構造である本橋の場合、たわみ振動に対しては $\delta = 0.04$ 以上の構造減衰が期待できる。

(3) 耐風性の評価

主桁形状に基本断面を採用した場合、本橋の風による振動現象の発生は次のように推定される。

- ・風速 **18m/s** 以上の高風速域で発現が予測された渦励振は、高風速が作用する確率が小さいこと

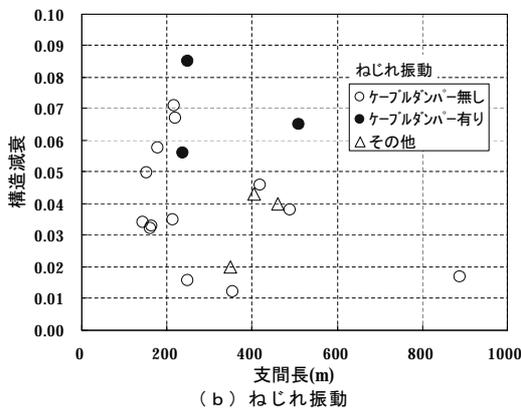
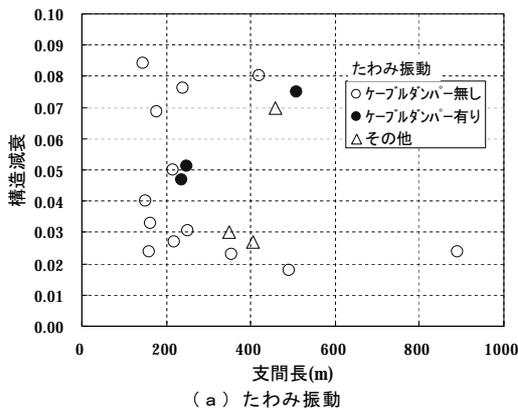


図-14 鋼斜張橋における構造減衰

と、高風速域では風の傾斜角が**±3°**の範囲を越えることはないと考えられることから、実橋で発現する可能性は非常に小さい。

- ・傾斜角**-3°** および**0°** の条件で渦励振が発現する風の条件に合った場合でも、実橋の構造減衰は $\delta = 0.04$ 以上と風洞試験条件($\delta = 0.02$)の倍と推定され、耐風設計便覧の予測式より振動振幅は風洞試験結果の半分程度と推定される。
- ・風洞試験で予測された振動現象は、使用性に対してのみ問題となることから、万一実橋で発現した場合でも構造的な損傷に至る可能性は小さい。従って、供用後必要な場合は耐風対策を追加設置することで対応可能である。

以上から、主桁形状を耐風対策のない基本断面とした場合でも、実橋の風環境および構造減衰の推定結果を考慮すれば、耐風性に問題はないと評価できる。

あとがき

鶺鴒い大橋で実施した、現地風観測および耐風性評価について報告した。観測期間の問題などから、強風に関するデータを十分に得られたとは言いが、地形的特性を考慮した風特性の評価と耐風性の評価ができたものとする。

最後に、本観測業務では、岐阜県岐阜土木事務所ならびに大日コンサルタント、川田・駒井・新日鐵JV現場事務所の方々のご指導・ご協力をいただきました。また、風観測の実施および分析・評価に際しては、立命館大学の小林紘士教授よりご指導をいただきました。ここに記して、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 柴田正晴・川田康裕・宮之上昭彦・小林紘士・後藤 隆：鶺鴒い大橋の動的耐風性に関する試験，土木学会第54回年次学術講演会講演概要集，I-B363，1999.9.
- 2) 細見雅生：風観測・データ処理システムの紹介，駒井技報，Vol.15，pp.83-85，1996.4.
- 3) 建設コンサルタント協会近畿支部，鋼・複合斜張橋研究委員会：鋼・複合斜張橋の合理化へ向けて，pp.96-101，2001.4.