

研究

壁高欄の間欠設置による耐風安定化検討(その2)

幽谷 栄二郎* 河村 進一**

橋梁の空力的制振対策として、種々のものが提案され実際に適用されてきた。これらの空力対策は、耐風対策としての役割にのみ使用され、構造部材としての役割を果たさないものがほとんどである。耐風設計の考え方が進んできている今日でもその状況はあまり変わっていない。従来から、橋梁の耐風安定性の検討において、高欄の形状が耐風特性に影響を及ぼすことが知られている。著者らはここに着目し、高欄を空力的制振対策として利用することが可能であれば、高欄の機能の他に耐風安定性の機能をあわせ持たせることができ、経済的な対策となり得ると考えた。ここでは、高欄を利用した耐風対策の一つとして、壁高欄を間欠設置する耐風対策の検討を行っている。前号にて、数値流体解析および三分力試験については報告している。本稿では、風洞試験結果について報告する。

キーワード：壁高欄の間欠設置，扁平箱桁断面，CFD，静的3分力測定，空力弾性応答

まえがき

橋梁の空力的制振対策として、種々のものが提案され実際に適用されてきた。これらの空力対策は、耐風対策としての役割にのみ使用され、構造部材としての役割を果たさないものがほとんどである。耐風設計の考え方が進んできている今日でもその状況はあまり変わっていない。従来から、橋梁の耐風安定性の検討において、高欄の形状が耐風特性に影響を及ぼすことが知られている。著者らはここに着目し、高欄を空力的制振対策として利用することが可能であれば、高欄の機能の他に耐風安定性の機能をあわせ持たせることができ、経済的な対策となり得ると考えた。ここでは、高欄を利用した耐風対策の一つとして、壁高欄を間欠設置する耐風対策の検討を行っている。橋桁の制振法の一つに、剥離点近傍にジェットを挿入して剥離流を制御しようとする研究がある⁵⁾。橋桁にジェットを噴出させるためには大掛かりな装置を設置することになり、現実的ではない。しかし、壁高欄を間欠設置すると、壁高欄を設置した部分では流れを妨げ、壁を欠いた部分では風が通り抜けるようになり、橋桁上にジェットを挿入するこ

とと同じような効果が生まれ、空力的に安定化すると考えられる。そこで本研究では、扁平箱桁断面を対象として、壁高欄を橋軸方向に間欠的に設置した場合の耐風性について、数値流体解析による流れ場のシミュレーションと風洞実験による三分力試験および空力弾性応答試験を実施し、その結果について検討を行った。前号¹⁾にて、数値流体解析および三分力試験については報告しているので、ここでは風洞試験結果について報告する。

1. 風洞試験概要

(1) 静的3分力試験

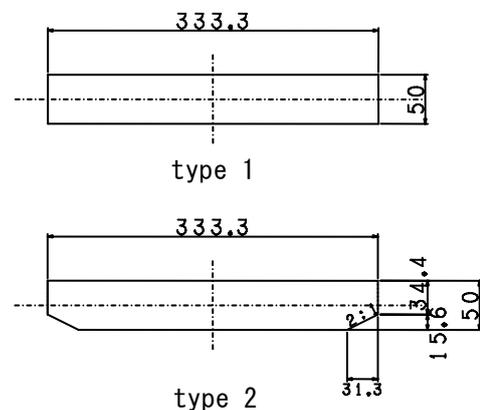


図-1 試験模型断面図

*技術研究室 **徳山工業高等専門学校 土木建築工学科 助教授

試験模型は、CFD 解析モデル（実橋想定値）の縮尺 1/48 に相当する断面、幅 333.3mm×高さ 50mm×長さ 1190mm のものを基本断面 type 1、断面下方隅角部を切り落とした type 2 を使用した。試験模型の断面図を図-1 に示す。高欄については、風下側にも設置して、試験を行っている。高欄の試験ケースを表-1 に示す。高欄配置については、千鳥配置と平行配置で試験を行っているが、試験結果にあまり差異がなかったため、千鳥配置について報告する。なお、風洞風速は、10m/s（レイノルズ数=3.3×10⁴）とし、迎角は-5°～+5°まで、1°刻みとしている。写真-1 に、模型設置状況を示す。

表-1 高欄試験ケース一覧

| | 高欄実橋寸法 (m) | | | 配置 |
|--------|------------|-----|-----|----|
| | 高さ | 長さ | 幅 | |
| case 1 | 高欄なし | | | |
| case 2 | 1.2 | 1.0 | 0.3 | 千鳥 |
| case 3 | | 6.5 | | 千鳥 |
| case 4 | | 全長 | | — |

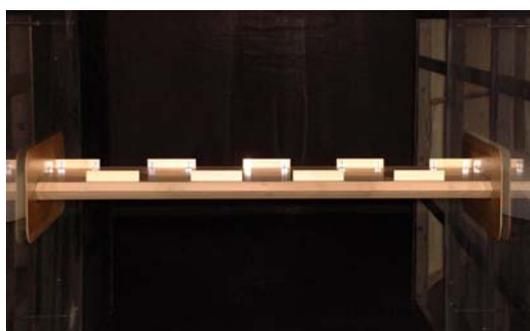


写真-1 模型設置状況
(type 2-case 3)

(2) 2自由度応答試験

試験模型は、静的3分力試験と同一のものを用い、2自由度でバネ支持している。試験は、一様流中で迎角 $\alpha = +3^\circ, 0^\circ, -3^\circ$ の条件で行っている。応答試験諸元を表-2 に示す。

表-2 応答試験諸元

| | 単位 | 縮尺比 | 実橋想定値 | 模型所要値 |
|--------|-----|------|-------|-------|
| 寸法 | m | 1/n | — | 1/48 |
| たわみ振動数 | Hz | S=12 | 0.165 | 1.980 |
| ねじれ振動数 | Hz | S=12 | 0.536 | 6.432 |
| 対数減衰率 | — | 1 | 0.02 | 0.02 |
| 風速 | m/s | S/n | — | 1/4 |

2. 風洞試験結果

(1) 静的3分力試験結果

測定結果は、3分力天秤で検出した力を無次元化し空気力係数で表している。各空気力係数（抗力係数： C_D 、揚力係数： C_L 、および空力モーメント係数： C_M ）の座標系は、図-2 に示すように風軸を基準としている。

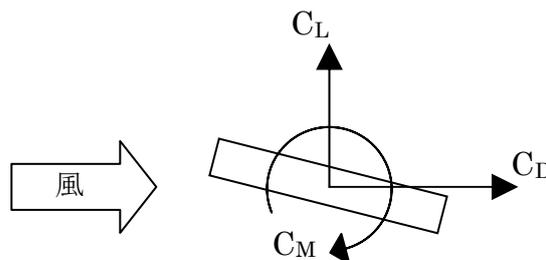


図-2 空気力係数の座標系

図-3 に空気力係数の測定結果を示す。今回試験を行った扁平断面の場合は、ねじれ振動が特に問題となるため、空力モーメント係数に着目して考察する。通常正勾配の場合には、動的空気安定性は安定な傾向を示し、反対に負勾配の場合には、不安定な傾向を示す。type 1-case 1 の場合には、迎角 0° 付近で安定となる傾向を示している。これに対して、type 1-case 3 では、 $0^\circ \sim +3^\circ$ 程度まで、安定になる範囲が広がっている。type 1-case 4 では迎角 2° 以上の範囲で安定になる傾向を示しているが、空気力係数自体も大きく、そのほかの範囲で負の勾配も急になっている。type 1-case 2 については、高欄を付けていない case 1 とほぼ同じ空気力係数になっており、高欄の効果はあまりない。type 1 の測定結果より、 $-5^\circ \sim +5^\circ$ の迎角の範囲で空力的に安定な傾向を示す断面はなく、空気力係数からは、壁高欄の間欠設置のみでは、空気安定性の改善は不可能と推測できる。そこで、type 2 の断面で試験を実施した。type 2-case 1 について着目すると、下面の剥離の抑制効果により、 $-5^\circ \sim +2^\circ$ の範囲で耐風性が改善出来ている。type 2-case 3 では、case 1 よりも正勾配が緩くなるが、正勾配の範囲が多少広がっている。type 2-case 4 では、さらに正勾配が緩くなるが、 $-5^\circ \sim +5^\circ$ の迎角の範囲で空力的に安定な傾向を示している。

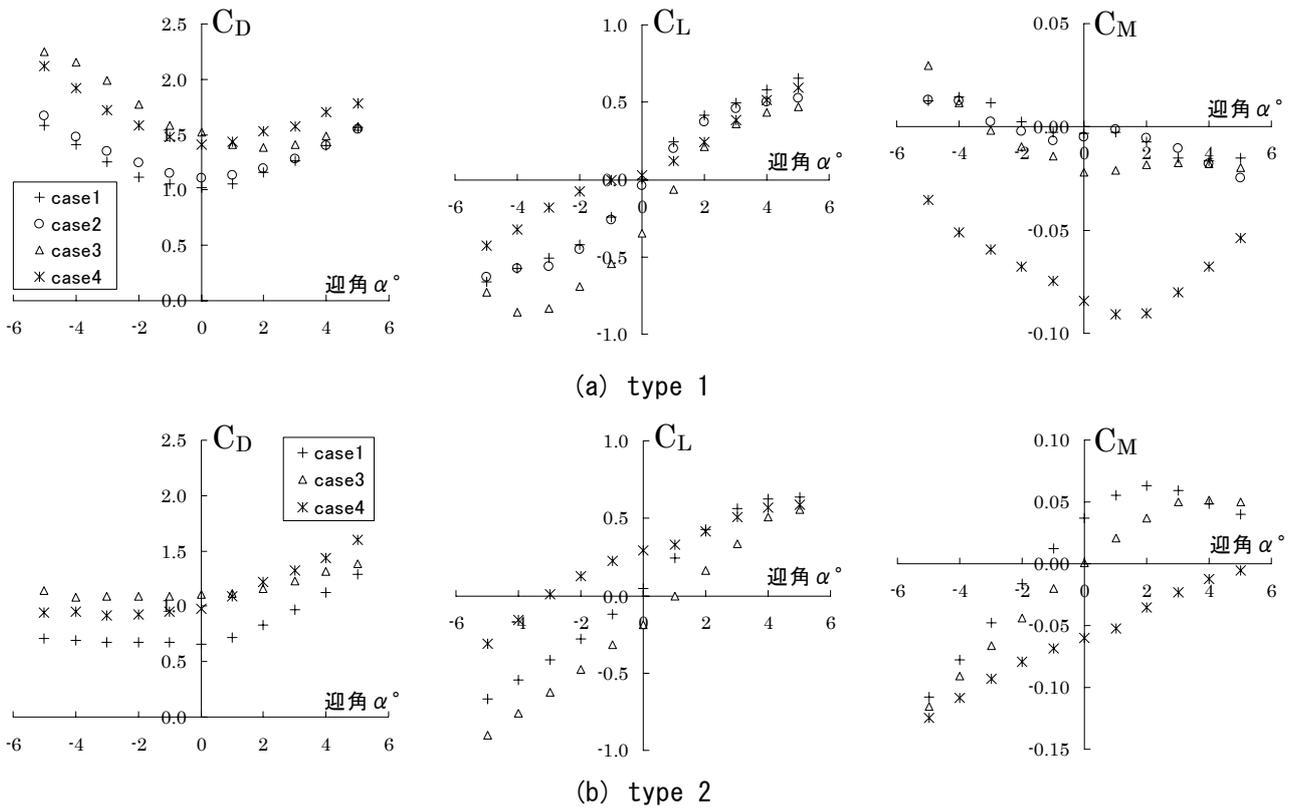


図-3 空気力係数と迎角の関係

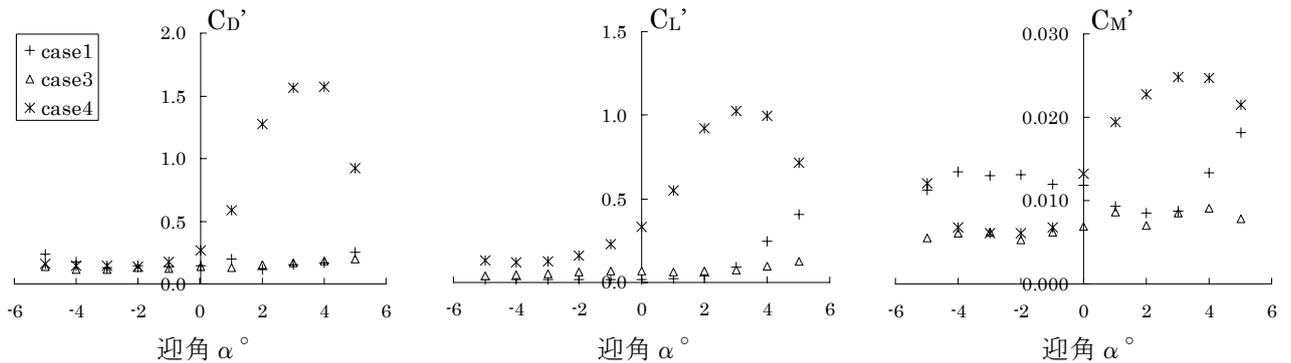


図-4 空気力係数の標準偏差と迎角の関係 (type2)

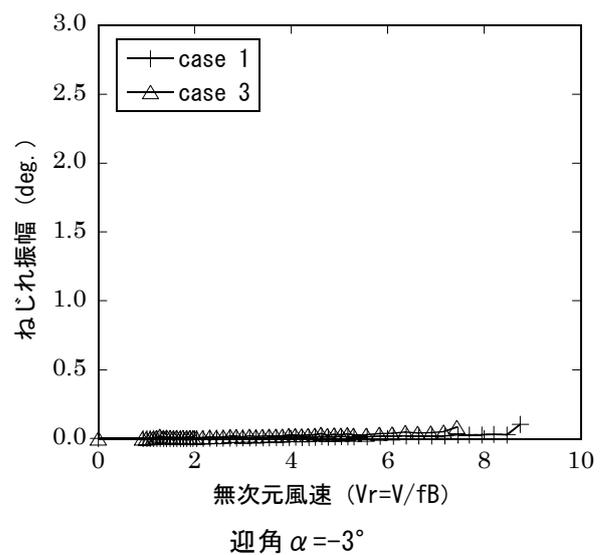
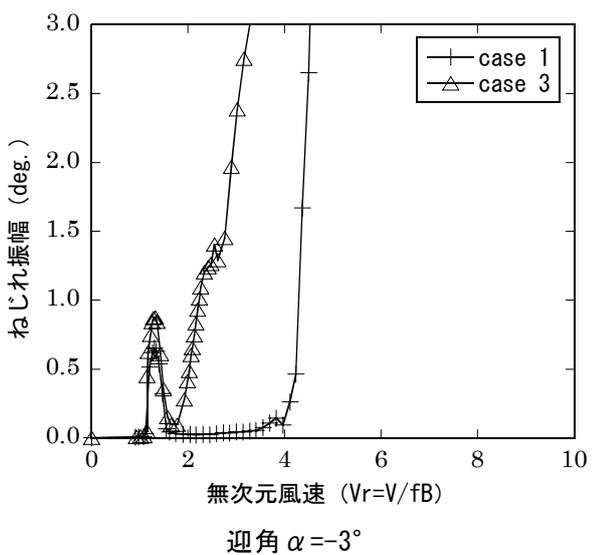
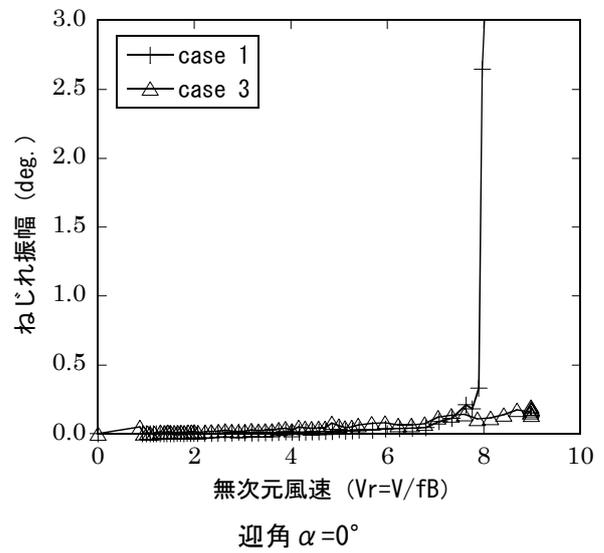
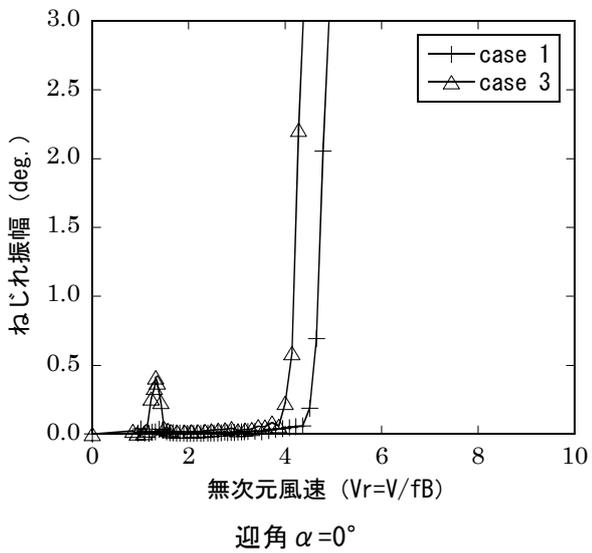
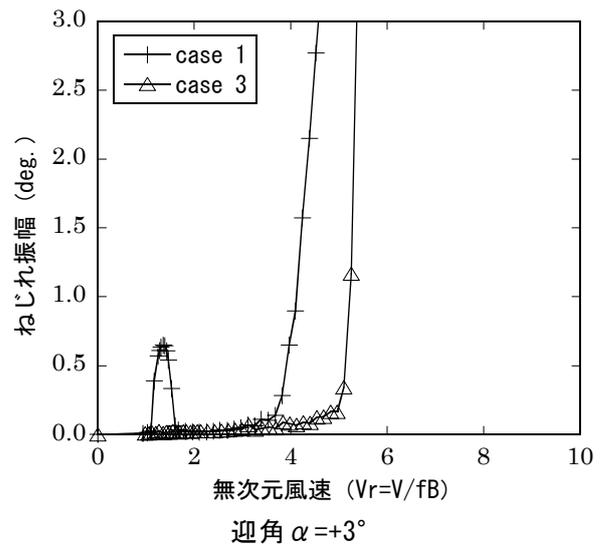
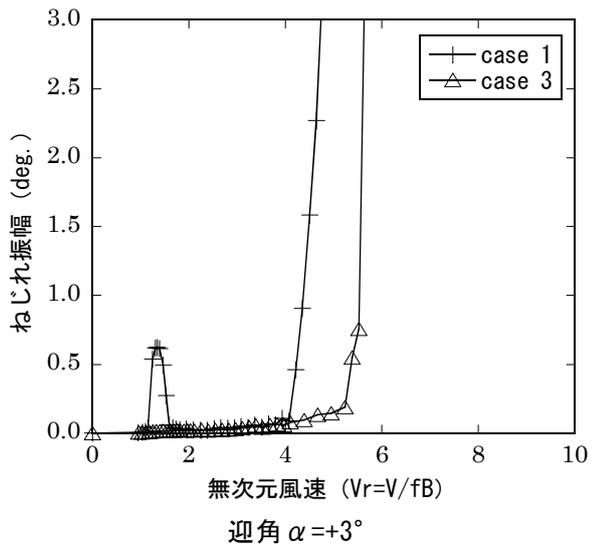
type 2 の case 1, case 3 および case 4 について、空気力係数の標準偏差（サンプリング間隔：20ms，サンプリング数：2048）と迎角の関係を図-4 に示す。標準偏差は、空気力の変動成分の平均実効値を表している。負の迎角では、断面下方隅角部を切り落とした効果により、すべてのケースで、標準偏差は小さな値になっている。正の迎角が大きい場合、case 1 では CL' 、 CM' とともに上面の剥離が大きくなるため標準偏差が大きくなっている。間欠的に高欄を設置した case 3 では、高欄の効果で全ての迎角において標準偏差は小さくなっており、このことから高欄の間欠設置は空気力の変動成分を小さくする効果があると考えている。図-3 (b) の空気力係数(空力モーメント)からは、case 4 が試験を行った全ての迎角で正にな

り、安定化傾向ということになる。しかし、標準偏差が正の迎角で、他のケースより大きくなる傾向になっており、空気力係数だけでは空力安定化の判断は出来ないと考えている。

(2) 応答試験結果

CFD および静的 3 分力の測定結果から、高欄幅 6.5m の間欠設置 case 3 が空力的に安定になることが予測された。ここでは、その case3 に着目して応答試験結果を示す。断面形状 type 1 および type 2 の高欄設置ケース case 1 と case 3 の応答試験結果を比較したものを図-5 に示す。応答試験結果は、有意なたわみ振動の発生はみられなかったため、ねじれ振動のみとしている。

長方形断面 type 1 については、迎角+3° では渦励振の発生は抑制されフラッター発振風速が高風



(a) type 1

(b) type 2

図-5 type2-case1,3 応答試験結果の比較

速側へ移行し、耐風安定性が改善されている。逆に、迎角 0° , -3° では渦励振振幅が増大し、フラッター発振風速が低風速側へ移行しており、耐風安定性が悪くなっている。長方形断面の下側隅角部を切り落とした type 2 では、空気力係数から推測した安定化傾向と同様に、全ての迎角で耐風安定性は改善されている。

次に静的 3 分力測定結果から、測定範囲内で安定化傾向を示した type 2-case 4 の応答試験結果を図-6 に示す。ねじれ振動については、迎角 $+3^\circ$ と -3° で、渦励振が発生しているが、フラッターの発生はみられない。たわみ振動について着目すると、迎角 $+3^\circ$ でギャロッピング（たわみの発散振動）が発生している。しかし、図-3 の静的 3 分力試験結果では、ギャロッピング発生の指標となる揚力勾配は、正勾配となっており、ギャロッピングの発生は予測できない。しかし、図-4 の迎角 $+3^\circ$ で空気力係数の標準偏差が大きくなっていることから、空気力の変動が大きくなり空力的に不安定になることが推測できた。すなわち、壁高欄により流れが大きく剥れ、橋面上での空気力の変動が大きくなり、ギャロッピングが発生したものと考えている。

以上の応答試験結果は、上述のギャロッピングの発生以外については、静的 3 分力測定結果の傾向とよく対応している。

3. まとめ

前号 1) に引き続き、高欄を利用した耐風安定化対策の検討として、壁高欄の間欠設置による対策について報告した。

CFD と風洞試験結果から高欄の間欠設置することによる効果をまとめると、下記ようになる。

- ・ 数値シミュレーションの結果から、幅 6.5m の壁の間欠設置した case 3 では、3 次元的な渦の形成がみられた。
- ・ 長方形断面 type 1 では、断面上面側での流れの剥離が小さい側に間欠高欄が設置されることになる迎角 $\alpha = 0^\circ$, -3° では、耐風性が不安定になる。逆に、断面上面側での流れの剥離が大きい側に設置されることになる迎角 $+3^\circ$ では、耐風安定性が改善されることがわかった。

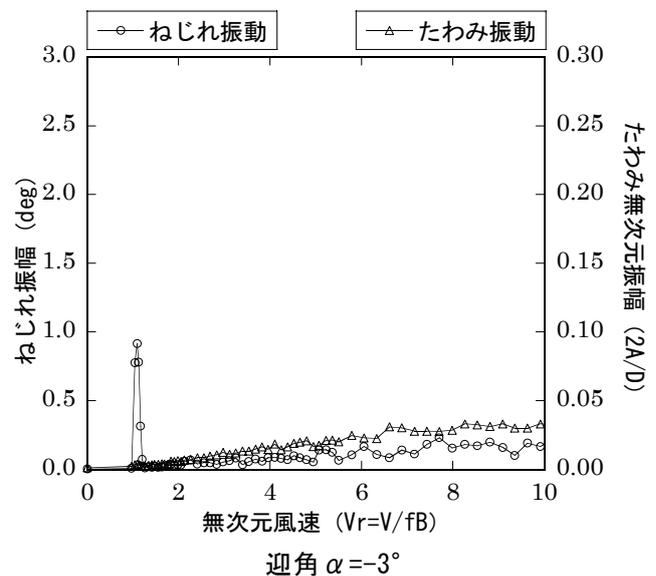
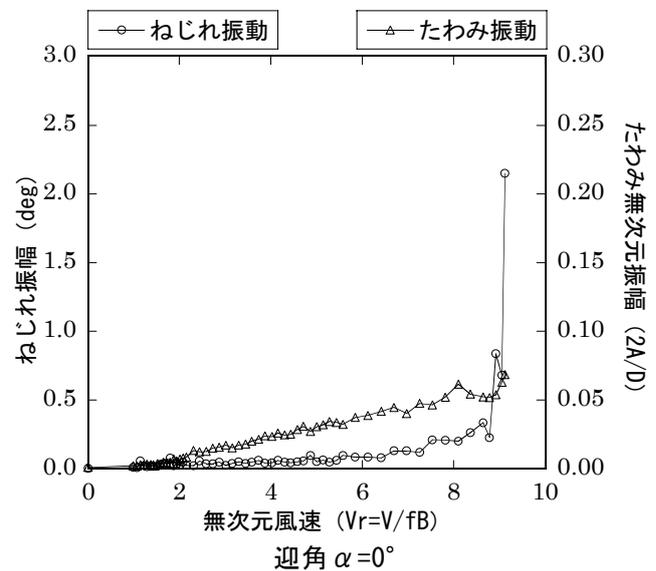
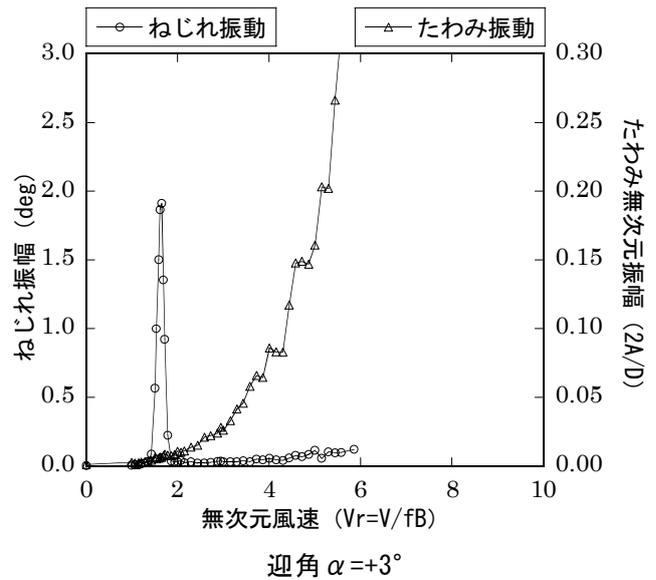


図-6 type 2-case 4 応答試験結果

- ・ 長方形断面の下側隅角部を切り落とした type2 では、断面下面の流れの剥離が抑制され耐風安定性が改善される。それに加えて間欠高欄の設置により、さらに耐風安定性が改善されている。

あとがき

高欄を間欠設置することで、空力安定性を改善できることがわかった。しかし、高欄の間欠設置のみでは、空力的な不安定現象を完全に抑制するには、至っていない。

今後は、橋梁の部材の一つである高欄の形状を工夫して耐風安定化の役割を持たせる検討を行いたいと考えている。

参考文献

- 1) 幽谷栄二郎・河村進一：壁高欄の間欠設置による耐風安定化検討，駒井技報，Vol.23，pp.1-4，2004.3.
- 2) 幽谷栄二郎・河村進一・細見雅生：橋梁の耐風安定性に対する高欄の影響について，本州・北海道架橋論文集，pp.31-38，2004.6.
- 3) 河村進一・黒川岳司・大元智裕・新谷友紀乃：橋軸方向に変化する剥離流の三次元性に関する数値シミュレーション，日本風工学会誌，第 95 号，pp.123-124，2003.4.
- 4) 河村進一・幽谷栄二郎・井上奈津美・柳芙美子：壁高欄の間欠設置による橋桁の耐風性，第 56 回土木学会中国支部研究発表会発表概要集，pp.49-50，2004.6.
- 5) 岡南博夫・橋口賢治・矢野伸男：Jet による空力安定化効果に関する基礎的研究，第 11 回風工学シンポジウム論文集，pp.79-84，1990.12.