

平成 22 年 3 月 20 日現在

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2007 年度 ～ 2009 年度  
 課題番号：19360204  
 研究課題名（和文）構造物の強風災害低減のためのパッシブ剥離制御手法の構築に関する研究  
 研究課題名（英文）Separation control as passive method to mitigate the disaster of structure due to strong wind  
 研究代表者  
 久保 喜延（KUBO YOSHINOBU）  
 九州工業大学 工学研究院 教授  
 研究者番号：70093961

研究成果の概要（和文）：社会インフラとしての橋梁等の構造物は、耐用年数が長いため、耐久性に富んだ構造物とするには、フェアリング等の耐風安定化部材を使用せず、耐久性の高い構造物とすることが必要である。橋梁断面に発生する風による振動は、流れの剥離によって生じる。剥離を剥離で制御する方法が、剥離干渉法という研究代表者が開発した方法である。これを用いれば、耐風性の良好な橋梁断面を開発できるという成果を得た。

研究成果の概要（英文）：The bridge as one of social infrastructure is used for long time. In order to make the bridge with durability, it is necessary to make the bridge without using additional members such as fairing so on as the stabilizing members under wind effect. The vibration induced by wind is generated by the separation at the windward point of the bridge. The method to control the separation by the separation is the Separation Interference Method which is developed by the supervisor of the present research. It was concluded that Separation Interference Method enabled to make the bridge girder with good performance to the wind effect.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2008 年度	10,700,000	3,210,000	13,910,000
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	14,900,000	4,470,000	19,370,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：(1)構造断面 (2)剥離現象 (3)パッシブ制御 (4)空力弾性振動 (5)長大橋

## 1. 研究開始当初の背景

(1)地球温暖化の影響ではないかと考えられた竜巻等の強風現象による被害が頻発した。  
 (2)構造物の強風被害を減少させるための対策の必要性がさらに高まってきた。

## 2. 研究の目的

(1)社会インフラに対する強風被害の減少策として耐久性を考慮したものを開発する。  
 (2)強風による構造物の対風挙動の推定法の確立をする。

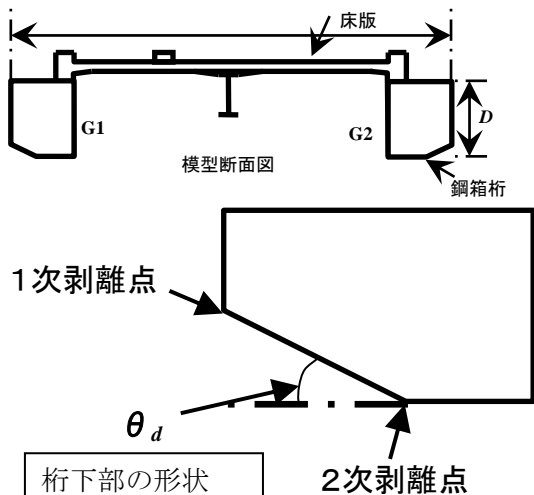
### 3. 研究の方法

(1) これまでに研究代表者が開発を進めてきた剥離干渉法が長大橋梁用の橋桁断面開発に貢献できるかを検討する。手法としては、種々の風洞実験法による詳細な検討を行う。  
 (2) 耐震設計では、時刻歴応答による設計手法が確立されているが、耐風設計では、世界的にも時刻歴応答に関する知見が得られていない。風洞実験データを元にした時刻歴応答解析法を開発するにあたり、解析モデルの構築を行い、実験データとの比較により、解析モデルの精度の検証を行う。

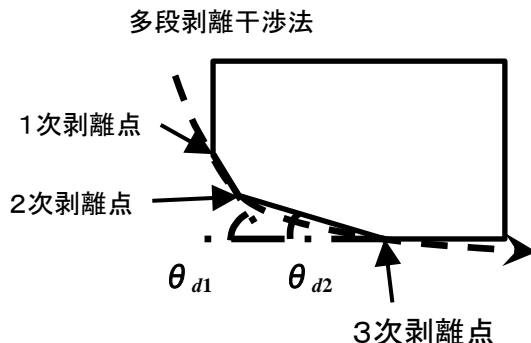
### 4. 研究成果

#### (1) 斜張橋用桁断面の開発

剥離干渉法を適用して斜張橋用2主鋼箱桁の耐風性能を向上させることができた。その形状は下図に示すものである。



この鋼主桁部に剥離干渉法を適用して桁下部の傾斜角 $\theta$ を変化させることで、良好な耐風性能を有する桁を開発することができた。特に、さらに耐風性能を向上させる方法として下図のように着目している部分に多段の剥離干渉法を適用することを考えた。

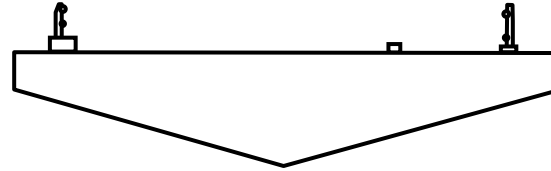


その結果桁断面形状を余り変えることなく、耐風性能を向上させることができることが

わかった。この成果は、千葉県銚子市の銚子大橋に応用された。

#### (2) 五角形断面桁の開発

これからの日本では、島嶼間の交通を支えるための橋梁が必要になる。その場合、2車線程度の狭幅員の桁をもつ吊橋が必要となる。



1000m程度の径間を有する吊橋の場合は、6車線で径間長1991mの明石海峡大橋規模を考えると、2車線の吊橋の場合、径間長が3900m規模の橋梁に匹敵することになる。このような規模の橋梁に対する可能性について議論をされたことはない。そこで、経済性と耐風性を兼ね備えた橋桁として、五角形断面桁の耐風性について検討を行った。

五角形断面桁とは、下図に示すようなもので、対風対策に用いられるフェアリングを用いず、剥離干渉法と底面傾斜角を検討することで、狭幅員桁の耐風性を確保したものである。

特に底面傾斜角が $12^\circ$ 以下のとき、揚力係数は負で抗力係数が1.0程度となり、 $14^\circ$ 以上のとき揚力係数は正で抗力係数が1.4程度になることが分かった。粒子画像流速計測法

(PIV)による流れの可視化を行った結果、底面傾斜角が $12^\circ$ 以下の場合は、後流側底面で流れが底面に沿って流れるのに対して、 $14^\circ$ 以上の場合は、底面頂点から流れが剥がれていることが分かった。風洞でのパネ吊実験の結果、底面傾斜角が $12^\circ$ の場合は、高風速でフラッターを発生することはなく、底面傾斜角 $12^\circ$ の桁断面は、吊橋用狭幅員桁として維持管理性と耐風性、経済性を兼ね備えたものとなることが確認された。

#### (3) 時系列応答解析法の開発

地震による構造物の振動が、地震による強制振動であるため、構造物の耐震性能の検討である耐震設計に時刻歴応答解析が用いられるようになってかなりの歴史を持っている。しかしながら、耐風設計の分野では、構造物が風で振動した場合、空気力が振動の発生によって新たな空気力を作り出すという構造物の変位と空気力との間にフィードバック回路があるため、空気力の定式化が行えないために、時刻歴応答の解析モデルを作ることができなかった。研究代表者は、特許出願している手法(過渡振幅法と名づけた)を用いることで、時刻歴応答による風による振動の応答を解析的に推定できることを確認した。この方法は、世界的にも初めての方法

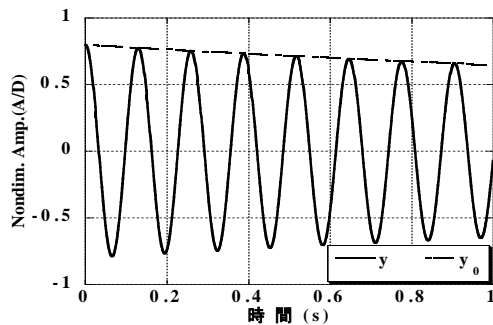
であり、種々の風による構造物の応答推定に  
 応用されるようになって考えられる。

具体的な方法は、以下のとおりである。

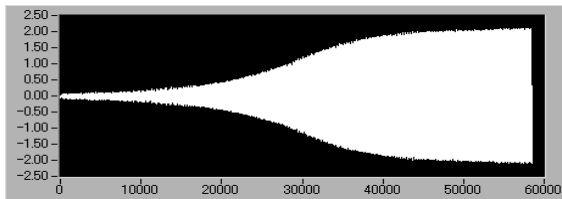
測定された非定常空気力を導入できるよ  
 うに捉えられるようにすることが鍵となる。

空力弾性振動が、正弦波的な振動で減衰し  
 たり発散したりするものであると仮定する  
 と、そのときの正弦波振動の振幅は以下  
 のように考えることができる。正弦波減衰  
 変位振動が次式で表されるとして、橋梁  
 の対風応答を検討する場合構造減衰係数  
 $h$ が  $h < 0.01$  程度であることを考  
 慮すれば、時々刻々の振動振幅に対応  
 する正弦波振幅がその時刻における変  
 位と変位速度のそれぞれの自乗和の平方  
 根で表現できることになる。(これを過  
 渡振幅法と名づけた)

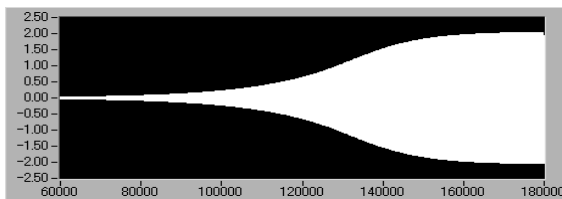
下図は、減衰振動中の振動波形である実  
 線から過渡振幅法によって計算した振  
 動中の各時刻における代表振幅を破線  
 で示したものである。



過渡応答時の振動振幅と代表振幅



(a) 測定時の時刻歴

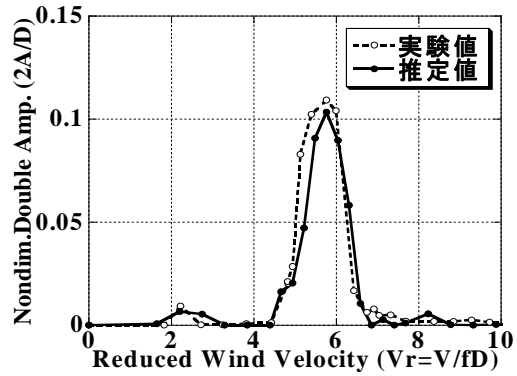


(b) 推定法による時刻歴

応答時刻歴波形の比較

ニューマークの $\beta$ 法で、空力弾性振動方  
 程式を過渡振幅法で追跡した時系列波  
 形と実験から得た時刻歴応答とを比較  
 したものが、左下の図である。

また、風洞実験での応答振幅について  
 全ての風速ごとの実験結果と推定結果  
 を比較したものが、右図である。



空力弾性振動応答の比較

これらによれば、両者はほぼ完全に一  
 致しており、過渡振幅法を用いれば、  
 空力弾性振動の時刻歴解析が可能とな  
 ることを裏付けている。なお、この手  
 法については、特願 2008-283798  
 「時刻歴応答シミュレーション方法、  
 そのプログラム及び装置」として特許  
 申請を行っている。

#### (4) 剥離干渉法によるトラックの抗力低減法

地球温暖化の原因とされている二酸化  
 炭素を削減することは焦眉の課題であ  
 る。貨物輸送の大半を担っているトラ  
 ック輸送に用いられているトラックの  
 燃費を向上すれば、二酸化炭素の削減  
 に貢献できるであろうと考えられる。  
 そこで、その1つの策として考えられ  
 るのがトラックの抗力を低減すること  
 である。

橋梁桁断面の開発の過程でたどり着いた  
 剥離干渉法をトラックの抗力低減法に  
 どのように応用できるかを検討した。

その結果、従来のトラックの形状に対  
 して最も効率的な場合で、抗力係数に  
 して約 40% 低減できる場合が存在す  
 ることを突き止めた。これについても  
 特願 2007-336162 「車両用の抗力  
 低減装置およびこれを備えるトラック」  
 として特許申請を行っている。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研  
 究者には下線)

[雑誌論文] (計 11 件)

①野田辰徳、久保喜延、木村吉郎、加藤九州男、中井りえ、剥離干渉法によるトラックの抗力低減法に関する研究、査読有、日本風工学会論文集、Vol. 123、2010、(掲載決定)。

②土居竜二、久保喜延、木村吉郎、加藤九州男、両端に水平プレートを有する扁平矩形断面柱の空力弾性振動抑制効果に関する研究、

査読有、日本風工学会論文集、Vol.123、2010、(掲載決定)。

③野田辰徳、久保喜延、木村吉郎、加藤九州男、大窪一正、吉田健太、五角形断面桁の静的空力特性に与える底面傾斜角の影響に関する研究、査読有、土木学会論文集 A、Vol.65、No.3、2009、pp.797-807.

④Yoshinobu Kubo, Kichiro Kimura, Tatsunori Noda, Kusuo Kato, Maintenance perspective on aerodynamics for a long span bridges, 査読有, Proceedings of the 4th International Conference on Advances in wind and Structures, 2008, pp.1072-1078.  
⑤Tatsunori Noda, Yoshinobu Kubo, Kichiro Kimura, Kusuo Kato, Improvement of aerodynamic instability of two steel box girders for a cable-stayed bridge by multiple separation interference method, 査読有, Proceedings of the 4th International Conference on Advances in wind and Structures, 2008, pp.1097-1106.

⑥Y. Kubo, K. Hayashida, T. Noda, K. Kimura, Mechanism on Reduction of Aerodynamic Forces and Suppression of Aerodynamic Response of a Square Prism due to Separation Interference Method, 査読有, Proceedings of Sixth International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics & Applications, 2008. pp. 553-556.

⑦T. Noda, Y. Kubo, K. Yoshida, K. Kimura, K. Kato, The Passive Control of Separation for Aerodynamic Stability of The Girder of Long Span Bridges, 査読有, Proceedings of Sixth International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics & Applications, 2008, pp. 123-126.

⑧R. Doi, Y. Kubo, K. Kimura, K. Kato, Suppression of Aeroelastic Vibration of

Shallow Rectangular Prism due to Its Horizontal Plates on Both Ends, 査読有, Proceedings of Sixth International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics & Applications, pp. 80-83.

⑨土居竜二、久保喜延、木村吉郎、加藤九州男、両端に水平プレートを有する扁平矩形断面柱の空力弾性振動抑制効果に関する研究、査読有、第20回風工学シンポジウム論文集、2008、pp.307-312.

⑩野田辰徳、久保喜延、木村吉郎、加藤九州男、斜張橋用2主鋼箱桁の床版位置が耐風性能に及ぼす影響、査読有、構造工学論文集、Vol.53A、2007、pp.642-649.

⑪ T. Noda, Y. Kubo, K. Kimura, K. Kato, Influence of Cavity under Deck on Aerodynamic Instability of Steel Two-Box Girder for Cable-Stayed Bridge, 査読有 Proceedings of 12<sup>th</sup> International Conference on Wind Engineering, 2007, pp. 871-878.

[学会発表] (計11件)

①川東龍則、久保喜延、木村吉郎、加藤九州男、郭威見、橋梁の空力弾性応答推定のための非定常空気力測定法に関する研究、土木学会第64回年次学術講演会、I-513、2009、9月、福岡。

②芝尾尚晃、久保喜延、木村吉郎、加藤九州男、部分模型実験による連続桁橋の対風応答推定法に関する研究、土木学会第64回年次学術講演会、I-514、2009、9月、福岡。

③久保喜延、芝尾尚晃、木村吉郎、加藤九州男、空力弾性振動の時刻歴応答シミュレーション法に関する研究、土木学会第64回年次学術講演会、I-515、2009、9月、福岡。

④野田辰徳、久保喜延、木村吉郎、加藤九州男、大窪一正、五角形断面桁の対風特性に与える底面傾斜角の影響に関する研究、土木学会第63回年次学術講演会、I-262、2008、9月、仙台。

⑤小野元嗣、久保喜延、木村吉郎、加藤九州男、境界層自己制御による正方形角柱の耐風制振に関する研究、土木学会第63回年次学術講演会、I-263、2008、9月、仙台。

⑥川東龍則、久保喜延、木村吉郎、加藤九州男、非定常空気力測定法と測定結果の検証に関する研究、土木学会第63回年次学術講演会、I-264、2008、9月、仙台。

⑦野田辰徳、久保喜延、木村吉郎、加藤九州男、吉田健太、五角形断面桁の形状パラメーターが与える空力特性に関する研究、土木学会第 62 回年次学術講演会、I-160、2007、9 月、広島。

⑧金聖求、久保喜延、木村吉郎、加藤九州男、矩形柱の境界層自己制御による耐風制振法、土木学会第 62 回年次学術講演会、I-180、2007、9 月、広島。

⑨永田琢哉、久保喜延、木村吉郎、加藤九州男、山内一朗、連続桁橋の対風応答推定法に関する研究、土木学会第 62 回年次学術講演会、I-188、2007、9 月、広島。

⑩川東龍則、久保喜延、木村吉郎、加藤九州男、郭 威見、慣性力消去型非定常空気力測定法による応答推定に関する研究、土木学会第 62 回年次学術講演会、I-189、2007、9 月、広島。

⑪土居竜二、久保喜延、木村吉郎、加藤九州男、野田辰徳、扁平矩形断面柱の空力弾性振動における水平プレートの制振効果に関する研究、土木学会第 62 回年次学術講演会、I-190、2007、9 月、広島。

〔産業財産権〕

○出願状況（計 2 件）

①

名称：車両用の抗力低減装置およびこれを備えるトラック

発明者：久保喜延

権利者：国立大学法人九州工業大学

種類：特許権

番号：特願 2007-336162

出願年月日：2007 年 12 月 27 日

国内外の別：国内

②

名称：時刻歴応答シミュレーション方法、そのプログラム及び装置

発明者：久保喜延

権利者：国立大学法人九州工業大学

種類：特許権

番号：特願 2008-283798

出願年月日：2008 年 11 月 5 日

国内外の別：国内

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

久保 喜延 (KUBO YOSHINOBU)

九州工業大学大学院工学研究院・教授

研究者番号：70093961

### (2) 研究分担者

木村 吉郎 (KIMURA KICHIROU)

九州工業大学大学院工学研究院・准教授

研究者番号：50242003

加藤 九州男 (KATOU KUSUO)

九州工業大学大学院工学研究院・助教

研究者番号：60039138