

3. 橋梁付属物の耐風設計事例収集

3. 1 目的

本部会1期目の活動では、主に橋梁本体の制振対策の整理に取り組み、一定の成果を得た。

一方、付属物の損傷事例の中にも風が主因であるものが少なからず含まれている。しかし、その発生メカニズムの解明は個別に行われていることが多く、情報の蓄積や設計へのフィードバックは系統的に処理されていないようである。

また、各種基準類で付属物に関する規定があっても、設定の背景は十分に理解されておらず、設計プロセスに耐風性が考慮されているのかどうかは明確でない。

さらに最近では、背が高く張出しの大きな遮音壁のように風の影響が未解明のものも見られるようになってきている。

そこで2期目の今回は付属物に着目し、耐風設計の現状把握と今後の合理化の一助となる資料の提供をねらいとして下記の作業を行うこととした。

- 1) 風による被害事例の抽出
- 2) 設計事例の収集
- 3) 設計基準類の収集・整理

なお、ここで対象とする付属物には、車両防護柵・高欄、ポール（標識柱、照明柱など）、標識板、検査路、遮音壁、遮風壁などのほか空力添架物（フェアリング、フラップなど）も加えた。

3. 2 橋梁付属物の耐風設計に関する基準類の整理

付属物に関する設計基準は各機関により整備されているが、その設計フローにおいて耐風性が考慮されているか否かは必ずしも明確にされていない。また耐風性が考慮されている場合でも、その設定方法（風荷重算出根拠）には各基準により差異があるように見受けられる。

このため、各機関における付属物の設計基準を調査し、風に関する設計荷重の規定の有無を明らかにし、規定がある場合はその算定方法および根拠を明らかにすることは、より合理的な付属物の設計を行う上での一助となると考えられる。

そこで本章では、各機関の付属物設計基準に記載されている風に関わる設計荷重について調査し、その結果を付属物ごとに一覧表にまとめることとした。今回調査した付属物は次の5項目である。

- 1) 標識柱
- 2) 照明柱
- 3) 遮音壁
- 4) 防護柵・高欄
- 5) 検査路

また調査した機関は、

国土交通省、日本道路協会、日本道路公団、本州四国連絡橋公団、首都高速道路公団、阪神高速道路公団、名古屋高速道路公社、福岡北九州道路公社および各地方整備局である。

各機関の設計基準および標準図を参照し、「設計荷重」および「設計荷重算出根拠」を中心にまとめた。このうち、「設計荷重算出根拠」の欄には設計基準風速や抗力係数等の値も明記したが、こうした因子の比較を各基準間で行い、その差異と理由を明らかにすることで、より詳細な分析が可能となるが、機関によっては根拠が明確でない、あるいは基準の有無が不明な場合が多かったため、今回は一覧表の整備に留めた。

本章の構成は、付属物の耐風設計基準を各機関ごとにまとめた一覧表（表 3.2.1 「橋梁付属物の耐風設計基準一覧表」）を始めに示し、付属物ごとの詳細を以降の表 3.2.2(a)～(e)にまとめた。なお、一覧表の中で「なし」とあるのは関係機関へのヒヤリングの結果、設計荷重として風荷重を見込んでいないことが確認されたことを示している。一方「不明」はヒヤリング等の調査を行ったが、風荷重の考慮の有無が判明しなかったことを表している。

表-3.2.1 橋梁付属物の耐風設計基準一覧

	標識	照明	遮音壁	防護柵・高欄	検査路	その他 (点検補修用作業車, 配管等)
国土交通省	なし	なし	なし	鋼道路橋付属物の設計 ガイドライン (案)	鋼道路橋付属物の設計 ガイドライン (案)	
東北地整	土木工事標準設計図 (道路標識編)	道路照明施設設置基 準・同解説	設計施工マニュアル (橋梁編)	設計施工マニュアル (橋梁編)	道路橋設計計画資料	
近畿地整	道路標識設置基準・同解説	設計便覧 (案) 第4編 電気通信編	設計便覧 (案) 第3編 道路編	防護柵設置基準・同解説 車輛用防護柵標準仕様 同解説	設計便覧 (案) 第3編道路編	
中国地整	土木工事設計マニュアル 道路標識設置基準・同解説	道路照明施設設置基 準・同解説	土木工事設計要領 第Ⅲ編 道路編	土木工事設計マニュアル 防護柵設置要綱	土木工事設計マニュアル 防護柵設置要綱	
九州地整	土木工事設計要領 第Ⅲ編 道路編	土木工事設計要領 第Ⅲ編 道路編	土木工事設計要領 第Ⅲ編 道路編	土木工事設計要領 第Ⅲ部道路編 防護柵設置基準・同解説	土木工事設計要領 第Ⅲ編 道路編	
北陸地整	設計要領 (道路編) 道路標識設置基準・同解説	不明	設計要領 (道路編)	設計要領 (道路編) 防護柵設置要領	不明	
中部地整	道路設計要領 (建設編)	不明	不明	不明	不明	

表-3.2.1 橋梁付属物の耐風設計基準類一覧（続き）

	標識	照明	遮音壁	防護柵・高欄	検査路	その他 (点検補修用作業車,配管等)
日本道路協会	道路標識設置基準・同解説	道路照明施設設置基準・同解説	不明	防護柵設置要綱の設置基準・同解説	不明	
日本道路公団	なし	設計要領第二集	設計要領第五集	設計要領第二集	設計要領第二集	
本州四国連絡橋公団	なし	なし	なし	なし	下路管理路の設計マニュアル(案)	点検補修用作業車構造基準(案)
首都高速道路公団	標識柱設計基準	電気設備機器標準設計集	防護壁設計要領(案)	防護施設設置要綱高欄設置要領(案)	鋼構造物設計基準	
阪神高速道路公団	設計基準第4部 (付属構造編)	設計基準 第5部 (施設設計基準編)	設計基準 第4部 (付属構造編)	なし	設計基準第4部 (付属構造編)	
名古屋高速道路公社	標識構造物設計基準	なし	鋼構造物設計基準 IV付属構造編	鋼構造物設計基準 IV付属構造編	構造物設計基準 IV付属構造編	
福岡北九州道路公社	設計基準第3部 構造物設計基準 (付属構造物)	設計基準第1部 計画基準	設計基準第3部 構造物設計基準 (付属構造物)	設計基準第1部 計画基準	設計基準第3部 構造物設計基準 (付属構造物)	

表-3.2.2 橋梁付属物の耐風設計基準

(a) 道路標識柱

		国土交通省	東北地整	近畿地整	中国地整	九州地整	北陸地整	中部地整
設計基準	基準名称	なし	土木工事標準設計図(道路標識編)	道路標識設置基準・同解説	土木工事設計マニユアル 道路標識設置基準・同解説	土木工事設計要領 第三編 道路編 道路標識設置基準・同解説	設計要領(道路編) 道路標識設置基準・同解説	道路設計要領(建設編)
	制定年月日		不明	昭和62年 1月	平成6年 3月 昭和62年 1月	平成11年 4月 昭和62年 1月	平成3年 昭和62年 1月	平成12年 4月
	設計条件		不明	$P_0=1/16V^2C_D$	$P_0=1/16V^2C_D$	$P_0=1/16V^2C_D$	$P_0=1/16V^2C_D$	$P_0=1/16V^2C_D$
	設計荷重		不明	$P_0=1/16V^2C_D$	$P_0=1/16V^2C_D$	$P_0=1/16V^2C_D$	$P_0=1/16V^2C_D$	$P_0=1/16V^2C_D$
	設計荷重算出根拠			V: 路側式、腹柱式 40 m/s 片持式、門型式、歩道橋添加式 50 m/s C _D : 0.7(支柱) 1.2(標示板)				
	荷重組合せ							
	許容応力度の割増等 たわみの照査							
標準図	標準図名称		土木工事標準設計図 (道路標識編)	土木工事標準設計図集 (近畿地建)				
	制定年月日		不明	平成元年 4月				
備考				付録に計算例あり				

P: 橋軸方向単位長さあたりの風荷重 P₀: 単位面積あたりの風荷重 A: 有効鉛直投影面積 C_D: 抗力係数 G: ガスト応答係数 V: 設計基準風速 ρ: 空気密度 L: はり長さ

表中「なし」は関係機関へのヒヤリングの結果、設計荷重として風荷重を見込んでいないことが確認されたことを示している。「不明」はヒヤリング等の調査を行ったが、風荷重の考慮の有無が判明しなかったことを表している。

表-3.2.2 橋梁付属物の耐風設計基準
(a) 道路標識柱(続き)

		日本道路協会	日本道路公団	本州四国連絡橋公団	首都高速道路公団	阪神高速道路公団	名古屋高速道路公社	福岡北九州道路公社	
設計基準	基準名称	道路標識設置基準・同解説	なし	なし	標識柱設計基準	設計基準 第4部 (付属構造編)	標識構造物設計基準	設計基準第1部計画基準 設計基準第3部 構造物設計基準(付属構造編)	
	制定年月日	昭和62年1月			平成8年2月	平成元年12月	平成7年4月	平成9年10月	
	設計条件	設計荷重	$P_0 = 1/16 \cdot V^2 C_D$			$P_0 = 1/2 \cdot \rho V^2 C_D G \alpha$	$P_0 = 1/16 \cdot V^2 C_D$	$P = P_0 A$ (直風) $P = 1/2 \cdot P_0 A$ (斜風) $P_0 = 1/16 \cdot V^2 C_D$	$P = P_0 A$ (直風) $P = 1/2 \cdot P_0 A$ (斜風) $P_0 = 1/16 \cdot V^2 C_D$
		設計荷重算出根拠	V: 路側式、腹柱式 40 m/s 片持式、門型式、歩道橋 添加式 50 m/s C _D : 0.7(支柱) 1.2(標示板)			$\rho = 0.125(\text{kgf} \cdot \text{s}^2 / \text{m}^4)$ V = 40 m/s C _D = 1.6 G = 1.9 α : 設置場所補正係数 高架湾岸部 1.0 高架市街部 1.0 土工湾岸部 1.0 土工市街部 0.8	V: 高速道路 55 m/s(道路情報板) 50 m/s(上記以外) 一般道路 40 m/s(単柱式) 50 m/s(固定式) C _D : 1.6(板: 2m ² 以上) 1.2(板: 2m ² 以下) 0.7(鋼管: 単材)等	V: 高速道路 55 m/s(道路情報板) 50 m/s(上記以外) 一般道路 40 m/s(路肩式) 50 m/s(片持門型式) C _D : 1.6(板) 1.6(はり) 0.7~1.6(支柱)	V: 55 m/s(通常時) 30 m/s(横断幕懸架時) 50 m/s(F型柱) C _D : 1.6(板: 2m ² 以上) 1.2(板: 2m ² 以下、横断幕、予備標識) 0.7(鋼管) 1.3(トラス 風方向) 1.6(トラス風直方向) 2.8(立体トラス)
	荷重組合せ	死荷重+活荷重			①死荷重+風荷重 ②風荷重のみ		死荷重+風荷重	死荷重+風荷重	
	許容応力度の割増等	1.50			① 1.25 ② 1.20		高速道路 1.25 一般道路 1.50	1.25	
	たわみの照査				$\delta_2 \leq L/300$ かつ $\min\{(\delta_1 + \delta_2), (\delta_2 + \delta_3)\} \leq 10\text{cm}$ δ_1, δ_3 : 柱のたわみ量 δ_2 : 横はりのたわみ量		$\delta \leq L/250$	$\delta \leq L/250$	
標準図	標準図名称				標識柱標準図集		標準等付属施設標準図集	道路標識構造物	
	制定年月日				平成8年2月		平成7年4月	平成10年1月	
備考		付録に設計計算例有り							

P: 橋軸方向単位長さあたりの風荷重 P₀: 単位面積あたりの風荷重 A: 有効鉛直投影面積 C_D: 抗力係数 G: ガスト応答係数 V: 設計基準風速 ρ: 空気密度 L: はり長さ

表中「なし」は関係機関へのヒヤリングの結果、設計荷重として風荷重を見込んでいないことが確認されたことを示している。「不明」はヒヤリング等の調査を行ったが、風荷重の考慮の有無が判明しなかったことを表している。

表-3.2.2 橋梁付属物の耐風設計基準

(b) 照明柱

		国土交通省	東北地整	近畿地整	中国地整	九州地整	北陸地整	
設計基準	基準名称	なし	道路照明施設設置基準・同解説	設計便覧 第4編 電気通信編	道路照明施設設置基準・同解説	土木工事設計要領 第三編 道路編 道路照明施設設置基準・同解説	不明	
	制定年月日		昭和56年4月	不明	平成6年3月 昭和56年4月	平成11年4月 昭和56年4月		
	設計条件	設計荷重			不明			
		設計荷重算出根拠		1)ポールの設計 ポ-は最大瞬間風速 60m/s に耐えるものとし、設計条件及び強度計算はJIL1001(照明用テ-ポ-ポ-鋼製)によるものとする。 地震力による水平荷重は一般に風圧荷重に比して強度計算すればほぼ問題はない。 なお、ポ-断面形状が円形でなく多角形の場合の風力係数は 1.0~1.3 とするのが望ましい。 2)基礎の設計 各種ポ-の基礎には、地震や風等の外力により圧縮力、引抜き力、水平力、曲げモーメントが単独あるいは同時に作用する。ポ-の基礎の設計においてその対象とされる外力は風荷重である。基礎設計に用いる設計力としては、自重と風荷重を考慮するものとし風荷重は短期として取り扱う。		1)ポールの設計 ポ-は最大瞬間風速 60m/s に耐えるものとし、設計条件及び強度計算はJIL1001(照明用テ-ポ-ポ-鋼製)によるものとする。 地震力による水平荷重は一般に風圧荷重に比して強度計算すればほぼ問題はない。 なお、ポ-断面形状が円形でなく多角形の場合の風力係数は 1.0~1.3 とするのが望ましい。 2)基礎の設計 各種ポ-の基礎には、地震や風等の外力により圧縮力、引抜き力、水平力、曲げモーメントが単独あるいは同時に作用する。ポ-の基礎の設計においてその対象とされる外力は風荷重である。基礎設計に用いる設計力としては、自重と風荷重を考慮するものとし風荷重は短期として取り扱う。	1)ポールの設計 ポ-は最大瞬間風速 60m/s に耐えるものとし、設計条件及び強度計算はJIL1001(照明用テ-ポ-ポ-鋼製)によるものとする。 地震力による水平荷重は一般に風圧荷重に比して強度計算すればほぼ問題はない。 なお、ポ-断面形状が円形でなく多角形の場合の風力係数は 1.0~1.3 とするのが望ましい。 2)基礎の設計 各種ポ-の基礎には、地震や風等の外力により圧縮力、引抜き力、水平力、曲げモーメントが単独あるいは同時に作用する。ポ-の基礎の設計においてその対象とされる外力は風荷重である。基礎設計に用いる設計力としては、自重と風荷重を考慮するものとし風荷重は短期として取り扱う。	
		荷重組合せ						
		許容応力度の割増等						
たわみの照査								
標準図	標準図名称		なし		なし			
	制定年月日							
備考						設計条件については、1)道路照明施設設置基準・同解説より抜粋		

P : 橋軸方向単位長さあたりの風荷重 P₀ : 単位面積あたりの風荷重 A : 有効鉛直投影面積 C_D : 抗力係数 G : ガスト応答係数 V : 設計基準風速 ρ : 空気密度 L : はり長さ

表中「なし」は関係機関へのヒヤリングの結果、設計荷重として風荷重を見込んでいないことが確認されたことを示している。「不明」はヒヤリング等の調査を行ったが、風荷重の考慮の有無が判明しなかったことを表している。

表-3.2.2 橋梁付属物の耐風設計基準

(b) 照明柱(続き)

		日本道路協会	日本道路公団	本州四国連絡橋公団	首都高速道路公団	阪神高速道路公団	名古屋高速道路公社	福岡北九州道路公社	
設計基準	基準名称	道路照明施設設置基準・同解説	設計要領第Ⅱ集	なし	電気設備機器標準設計集	設置基準 第5部 (施設設計基準編)	なし	設計基準 第1部 計画基準	
	制定年月日	昭和56年4月			昭和63年	平成2年12月		平成9年10月	
	設計条件	設計荷重				なし	V=60m/sに耐え得る よう設計・取付		$P=1/16 \cdot V^2 \cdot C_D$
		設計荷重算出根拠	1)ポールの設計 ポールは最大瞬間風速60m/sに耐えるものとし、設計条件及び強度計算はJIL1001(照明用ポール(鋼製))によるものとする。地震力による水平荷重は一般に風圧荷重に比して強度計算すればほぼ問題はない。 なお、ポール断面形状が円形でなく多角形の場合の風力係数は1.0~1.3とするのが望ましい。 2)基礎の設計 各種ポールの基礎には、地震や風等の外力により圧縮力、引抜き力、水平力、曲げモーメントが単独あるいは同時に作用する。ポールの基礎の設計においてその対象とされる外力は風荷重である。基礎設計に用いる設計力としては、自重と風荷重を考慮するものとし風荷重は短期として取り扱う。						V=60m/s C _D =0.7(鋼管)
		荷重組合せ							
		許容応力度の割増等							
	たわみの照査								
標準図	標準図名称					なし	なし	なし	
	制定年月日								
備考								「風による振動を極力少なくすること」という条文あり。	

P: 橋軸方向単位長さあたりの風荷重 P₀: 単位面積あたりの風荷重 A: 有効鉛直投影面積 C_D: 抗力係数 G: ガスト応答係数 V: 設計基準風速 ρ: 空気密度 L: はり長さ

表中「なし」は関係機関へのヒヤリングの結果、設計荷重として風荷重を見込んでいないことが確認されたことを示している。「不明」はヒヤリング等の調査を行ったが、風荷重の考慮の有無が判明しなかったことを表している。

表-3.2.2 橋梁付属物の耐風設計基準

(c) 遮音壁

		国土交通省	東北地整	近畿地整	中国地整	九州地整	北陸地整	
設計基準	基準名称	なし	設計施工マニュアル (橋梁編)	設計便覧(案) 第3編道路編 (近畿地方建設局)	土木工事設計マニュアル 防護柵設置要綱	土木工事設計要領 第三編 道路編	設計要領(道路編)	
	制定年月日		平成5年11月	平成12年4月	平成6年3月 昭和61年7月	平成11年4月	平成3年	
	設計条件	設計荷重		なし	P_0 (kgf/m ²) = $1/2 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_D$ 高架橋梁部 2.0kN/m ² (橋梁本体の設計に対しては3.0kN/m ²) 土工部 1.5kN/m ²	P_0 (kgf/m ²) = $1/2 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_D$ 高架橋梁部 200kgf/m ² (橋梁本体の設計に対しては300kgf/m ²) 土工部 150kgf/m ²	なし	P_0 (kgf/m ²) = $1/2 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_D$ 橋梁部 200kgf/m ² 土工部 150kgf/m ²
		設計荷重算出根拠			$\rho = 0.125\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ V = 45m/S C _D : (建築基準法 第87条より) 高架橋梁部 1.6 土工部 1.2	$\rho = 0.125\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ V = 45m/S C _D : (建築基準法 第87条より) 高架橋梁部 1.6 土工部 1.2		$\rho = 0.125\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ V = 45m/S C _D : 高架橋梁部 1.5 土工部 1.2
	荷重組合せ			死荷重+風荷重	死荷重+風荷重		死荷重+風荷重	
	許容応力度の割増等 たわみの照査			なし	1.50	1.50	なし	
標準図	標準図名称			近畿地方建設局土木工事 標準設計図集				
	制定年月日							
備考					耐用年数20年、非超過確率0.6として、基本風速37.2m/sを採用し、水平長補正係数に1.2をとって37.2×1.2=45m/sを設計の基本風速とした。			

P: 橋軸方向単位長さあたりの風荷重 P₀: 単位面積あたりの風荷重 A: 有効鉛直投影面積 C_D: 抗力係数 G: ガスト応答係数 V: 設計基準風速 ρ: 空気密度 L: はり長さ

表中「なし」は関係機関へのヒヤリングの結果、設計荷重として風荷重を見込んでいないことが確認されたことを示している。「不明」はヒヤリング等の調査を行ったが、風荷重の考慮の有無が判明しなかったことを表している。

表-3.2.2 橋梁付属物の耐風設計基準
(c) 遮音壁 (続き)

		日本道路協会	日本道路公団	本州四国連絡橋公団	首都高速道路公団	阪神高速道路公団	名古屋高速道路公社	福岡北九州道路公社	
設計基準	基準名称	不明	設計要領第5集 12-3	なし	防護壁設計要領(案)	設計基準 第4部 (付属構造編)	鋼構造物設計基準 IV付属構造編	設計基準第3部 構造物設計基準 (付 属構造編)	
	制定年月日	不明	昭和63年4月		平成9年8月	平成元年12月	平成7年10月	平成9年10月	
	設計条件	設計荷重	不明	P_0 (kgf/m ²) = $1/2 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_D$		P_0 (kgf/m ²) = $1/2 \cdot \rho \cdot V_0^2 \cdot C_D \cdot G$	P (kgf/m ²) = $1/2 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_D$ 高架橋梁部 250kgf/m ² 土工部 120kgf/m ²	P (kgf/m ²) = 300kgf/m ²	P (kgf/m ²) = $1/2 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_D$
		設計荷重算出根拠	不明	$\rho = 0.125$ (kgf·s ² /m ⁴) V = 45 m/s C _D = 1.6 (橋梁部) 1.2 (土工部)		$\rho = 0.125$ kgf·s ² /m ⁴ 設計風速 $V_0 = V \cdot (Z/Z_0)^A$ V: 強風時 40m/s 常時 18m/s 高さ補正 $(Z/Z_0)^A$ Z=高度(m) 市街化部 (粗度区分IV) :(30/30) ^{0.28} =1 (高度30mまで) :(Z/30) ^{0.28} (高度30~700m) 湾岸部 (粗度区分II) :(10/10) ^{0.16} =1 (高度10mまで) :(Z/10) ^{0.16} (高度10~600m) 湾岸部 (粗度区分III) :(15/15) ^{0.22} =1 (高度15mまで) :(Z/15) ^{0.22} (高度15~700m) C _D : 一般形状遮音壁 1.6 先端がR形状の遮音壁 1.3 ※対応係数: G=1.9 (道路標示方書)	V: 高架橋梁部 50m/s 土工部 40m/s C _D : 高架橋梁部 1.6 土工部 1.2		$\rho = 0.125$ kgf·s ² /m ⁴ V = 55m/s C _D = 1.6
		荷重組合せ	不明	死荷重+風荷重		① 死荷重+風荷重 (常時) ② 風荷重 (強風時) のみ ③ 死荷重+風荷重 (強風時) +衝突荷重	風荷重		なし
	許容応力度の割増等	不明	1.5		①1.00 ②1.20 ③1.50	1.2		なし	
	たわみの照査	不明	なし		なし	なし		なし	
標準図	標準図名称	不明	遮音壁標準設計図集		遮音壁標準設計図集 (参考図)	付属構造物標準図集	防音壁標準図集	遮音壁標準図集	
	制定年月日	不明			平成7年7月	平成2年5月		最新版不明	
備考					高欄天端から2m以上は別途検討		防音壁設置要領にて本体に対する規定あり。		

P: 橋軸方向単位長さあたりの風荷重 P₀: 単位面積あたりの風荷重 A: 有効鉛直投影面積 C_D: 抗力係数 G: ガスト応答係数 V: 設計基準風速 ρ: 空気密度 L: はり長さ

表中「なし」は関係機関へのヒヤリングの結果、設計荷重として風荷重を見込んでいないことが確認されたことを示している。「不明」はヒヤリング等の調査を行ったが、風荷重の考慮の有無が判明しなかったことを表している。

表-3.2.2 橋梁付属物の耐風設計基準

(d) 防護柵・高欄

		国土交通省	東北地整	近畿地整	中国地整	九州地整	北陸地整	
設計基準	基準名称	鋼道路橋付属物の設計ガイドライン (案)	設計施工マニュアル (橋梁編)	防護柵設置基準・同解説 車用防護柵標準仕様 同解説	土木工事設計マニュアル 防護柵設置要領 防護柵設置要領・資料集	土木工事設計要領 第Ⅲ部道路編 防護柵の設置基準・同解説	設計要領 (道路編) 防護柵設置要領 防護柵設置要領・資料集	
	制定年月日	平成 10 年 8 月	平成 5 年 11 月	平成 10 年 11 月 平成 11 年 3 月	平成 6 年 3 月 昭和 61 年 7 月	平成 11 年 4 月 平成 10 年 11 月	平成 3 年 平成 10 年 11 月	
	設計条件	設計荷重	なし	なし	なし	なし	1) 風荷重	なし
		設計荷重算出根拠					1) 風荷重 設計荷重: 3.0 kN/m^2 充実率 α : 実構造面積 / フェンス面積 設計風荷重: $3.0 \times \alpha \text{ kN/m}^2$	
		荷重組合せ						
		許容応力度の割増等 たわみの照査						
標準図	標準図名称	鋼道路橋付属物の設計ガイドライン (案)						
	制定年月日	平成 10 年 8 月						
備考		設計計算例付き				防護柵は、材料規格表に適合する二次製品で設置することを標準とする。		

P: 橋軸方向単位長さあたりの風荷重 P₀: 単位面積あたりの風荷重 A: 有効鉛直投影面積 C_D: 抗力係数 G: ガスト応答係数 V: 設計基準風速 ρ: 空気密度 L: はり長さ

表中「なし」は関係機関へのヒヤリングの結果、設計荷重として風荷重を見込んでいないことが確認されたことを示している。「不明」はヒヤリング等の調査を行ったが、風荷重の考慮の有無が判明しなかったことを表している。

表-3.2.2 橋梁付属物の耐風設計基準
(d) 防護柵・高欄 (続き)

		日本道路協会	日本道路公団	本州四国連絡橋公団	首都高速道路公団	阪神高速道路公団	名古屋高速道路公社	福岡北九州道路公社	
設計基準	基準名称	防護柵の設置基準・同解説	設計要領第Ⅱ集	なし	防護施設設置要領 高欄設置要領(案)	なし	鋼構造物設計基準 IV付属物設計編	設計基準第1部 計画基準	
	制定年月日	平成10年11月			平成2年5月		平成7年10月	平成9年10月	
	設計条件	設計荷重	なし	道示Ⅱに従う		不明		300kg/cm ²	規定なし
		設計荷重算出根拠							
		荷重組合せ						衝突+W	
		許容応力度の割増等 たわみの照査							
標準図	標準図名称					付属物図標準図集	鋼構造物標準図集		
	制定年月日					平成2年5月	平成10年1月		
備考		付録に設計計算例あり							

P: 橋軸方向単位長さあたりの風荷重 P₀: 単位面積あたりの風荷重 A: 有効鉛直投影面積 C_D: 抗力係数 G: ガスト応答係数 V: 設計基準風速 ρ: 空気密度 L: はり長さ
表中「なし」は関係機関へのヒヤリングの結果、設計荷重として風荷重を見込んでいないことが確認されたことを示している。「不明」はヒヤリング等の調査を行ったが、風荷重の考慮の有無が判明しなかったことを表している。

表-3.2.2 橋梁付属物の耐風設計基準
(e) 検査路

		日本道路協会	日本道路公団	本州四国連絡橋公団	首都高速道路公団	阪神高速道路公団	名古屋高速道路公社	福岡北九州道路公社	
設計基準	基準名称	不明	設計要領第二集	下路管理路の設計マニュアル(案)	鋼構造物設計基準	設計基準 第4部 (付属構造編)	鋼構造物設計基準IV 付属構造編	設計基準第3部 構造物設計基準(付 属構造編)	
	制定年月日			昭和53年9月	平成4年4月	平成元年12月	平成7年10月	平成9年10月	
	設計条件	設計荷重		なし	活荷重:300kg/m (衝撃は考慮しない) 管理路高欄頂部水平 力:70kg/m	なし	なし	150kg/m ² 活荷重無載 荷時 75kg/m ² 活荷重載荷時	なし
		設計荷重算出根拠							
		荷重組合せ			死荷重+活荷重				
		許容応力度の割増 等			1.25「建造物設計標準 (鋼鉄道橋)16」			本体構造物と同じ	
		たわみの照査			支持間隔の1/500				
標準図	標準図名称					付属構造物標準図集		3.付属物標準図集	
	制定年月日					平成2年5月		平成10年1月	
備考						構造詳細は付属構造物 標準図集	受け梁に吸音板を取り 付けた場合のみ風荷重 を考慮する。		

P: 橋軸方向単位長さあたりの風荷重 P₀: 単位面積あたりの風荷重 A: 有効鉛直投影面積 C_D: 抗力係数 G: ガスト応答係数 V: 設計基準風速 ρ: 空気密度 L: はり長さ

表中「なし」は関係機関へのヒヤリングの結果、設計荷重として風荷重を見込んでいないことが確認されたことを示している。「不明」はヒヤリング等の調査を行ったが、風荷重の考慮の有無が判明しなかったことを表している。

表-3.2.2 橋梁付属物の耐風設計基準
(e) 検査路(続き)

		国土交通省	東北地整	近畿地整	中国地整	九州地整	
設計基準	基準名称	鋼道路橋付属物の設計 ガイドライン(案)	道路橋設計計画資料	設計便覧(案) 第3編道路編	土木工事設計マニュアル 防護柵設置要綱	土木工事設計要領 第Ⅲ編道路編	
	制定年月日	平成10年8月	平成5年11月	平成12年4月	平成6年3月 昭和61年7月	平成11年4月	
	設計条件	設計荷重	なし	なし	なし	なし	・検査路:活荷重 ・手摺:水平力、鉛直力
		設計荷重算出根拠					・検査路 検査路に作用させる設計活荷重は、1m当り(幅=0.5m)1人(75kg)を考慮し、1.6kN/m ² とする。但し、群衆荷重については考慮しないものとする。 ・手摺 手摺上端に作用させる設計荷重は、「防護柵設置要綱」を準用し、下記とする。 水平力……0.4kN/m 鉛直力……0.6kN/m
		荷重組合せ					
		許容応力度の割増等					
		たわみの照査					
標準図	標準図名称	(鋼道路橋付属物の設計ガイドライン(案))	道路橋設計計画資料	設計便覧(案)			
	制定年月日	(平成10年8月)	平成5年11月	平成12年4月			
備考			設計計算例付				

P:橋軸方向単位長さあたりの風荷重 P₀:単位面積あたりの風荷重 A:有効鉛直投影面積 C_D:抗力係数 G:ガスト応答係数 V:設計基準風速 ρ:空気密度 L:はり長さ
表中「なし」は関係機関へのヒヤリングの結果、設計荷重として風荷重を見込んでいないことが確認されたことを示している。「不明」はヒヤリング等の調査を行ったが、風荷重の考慮の有無が判明しなかったことを表している。

3. 3 橋梁付属物の被害事例および耐風設計事例

耐風制振設計を行う上で参考となる資料を提供することを目的として、風が主因で橋梁付属物に有害な影響を与えた事例や、設計事例を収集した。

事例は各社の「技報」や各機関が発刊した「工事誌」、「橋梁と基礎」および論文によった。また、収集資料に含まれる計算書についてはその内容の一部を抜粋したものである。

なお、ここでは橋梁付属物の耐風対策についてできるだけ多くの事例を掲載することに努めたが、被害事例等は公開されている資料に限られているため、制振対策を含む研究成果報告として公表されたものから内容を転載した。

収集した資料は、風による振動等の被害が報告されているものを「被害事例」に、特に風を考慮した設計がなされているものを「設計事例」に、特定の橋梁によらない研究報告や参考資料等を「その他」に分類した。これらを橋梁付属物の形式、特徴等で整理し「橋梁付属物の耐風対策設計事例総括表」に示した。

なお、事例番号を付与したものは抄録を作成したものである。

また、橋梁付属物にかかわらず広く耐風設計に関する文献の一覧として「橋梁と基礎リスト」および「技報リスト」を付属資料として示す。

3. 3 橋梁付属物の被害事例および耐風設計事例

耐風制振設計を行う上で参考となる資料を提供することを目的として、風が主因で橋梁付属物に有害な影響を与えた事例や、設計事例を収集した。

事例は各社の「技報」や各機関が発刊した「工事誌」，「橋梁と基礎」および論文によった。また、収集資料に含まれる計算書についてはその内容の一部を抜粋したものである。

なお、ここでは橋梁付属物の耐風対策についてできるだけ多くの事例を掲載することに努めたが、被害事例等は公開されている資料に限られているため、制振対策を含む研究成果報告として公表されたものから内容を転載した。

収集した資料は、風による振動等の被害が報告されているものを「被害事例」に、特に風を考慮した設計がなされているものを「設計事例」に、特定の橋梁によらない研究報告や参考資料等を「その他」に分類した。これらを橋梁付属物の形式、特徴等で整理し「橋梁付属物の耐風対策設計事例総括表」に示した。

なお、事例番号を付与したものは抄録を作成したものである。

また、橋梁付属物にかかわらず広く耐風設計に関する文献の一覧として「橋梁と基礎リスト」および「技報リスト」を付属資料として示す。

橋梁付属物の耐風設計事例総括表

1) 被害事例

事 例						
形 式	振動現象	特 徴	制 振 対 策	橋 名	文 献	事例番号
高欄	渦励振	通信ケーブル用架設桁高欄の柱と手摺りとの溶接部に疲労クラック発生	柱部にストレークを施し、励振力を減じる（風洞試験実施）	大鳴門橋	大鳴門橋工事誌	
高欄	渦励振	電力ケーブル用架設桁高欄の柱と手摺りとの溶接部に疲労クラック発生	上中下の手摺り間を補助部材で結び、剛性を増す（風洞試験実施）	大鳴門橋	大鳴門橋工事誌	
高欄	騒音	フラットバー型高欄から笛吹音が発生	フラットバー端部に円形パイプを設置（風洞試験実施）		土木学会第51回年次学術講演会 1996.9	
高欄	騒音振動	取付部に疲労クラック発生 振動する手すりは風上側のみで上下方向に中央部がもっとも振動する。	ボトムレール（角パイプ）の設置向きを横長から縦長に変更すると固有振動数が増加し、ストローハル数の減少	加古川大堰 管理橋		8
照明柱	渦励振	実機計測の結果部材疲労と灯器の耐久性に著しい影響があることが判明	チェーンダンパー、整流板	大鳴門橋	大鳴門橋照明柱の耐風検討 本四公団技報 No.36 1985.12	11
照明柱	交通振動	交通振動により頻繁にランプ切れが発生	TMD+オイルダンパー	大師橋	橋梁に取り付けられる道路照明柱の制振対策 橋梁と基礎 2000.12	
標識柱		基部の溶接部の疲労損傷			鋼橋の疲労（道路橋会）	
標識柱		Y型テーパポールのY分岐の付け根溶接部の疲労による割れ。	T型（固定型）に取り替えまたはリブによる補強		阪神高速道路における土木構造物補修事例集	
標識柱		L型標識柱の自動車荷重、風荷重の繰返しによる疲労のため倒壊。	F型柱に取り替え、メッキによる防錆処理		阪神高速道路における土木構造物補修事例集	
標識板吊金具		風速30m/s以上になるとテーパピンが切断してピン構造となるように設計されていたが、風荷重の繰返しによってボルトが摩耗。	ステンレス割ピンに取り替え		阪神高速道路における土木構造物補修事例集	

橋梁付属物の耐風設計事例総括表

1) 被害事例

事 例						
形 式	振動現象	特 徴	制 振 対 策	橋 名	文 献	事例 番号
避雷針		主塔上の避雷針が取り付け後まもなく振動を生じ、根元で疲労破壊を生じた	避雷針に螺旋状加工（巻き付け）		匿名	
検査車レール	風琴振動	パイプトラスで検査車レールを構成していたが、溶接部に疲労破壊を生じた			匿名	
検査車レール		風洞実験模型と実橋とで検査車レールの配置を変更し、耐風安定性が低下			匿名	

橋梁付属物の耐風設計事例総括表

2) 設計事例

事 例						
形 式	振動現象	特 徴	制 振 対 策	橋 名	文 献	事例番号
高欄	渦励振	風速15(m/sec)にて渦励振が発生	高欄上部に10°、1mの抑流板を設置	末広大橋	我国最長の斜張橋「末広大橋」	
壁高欄		(風荷重に関するもの)		BY521 BY522	壁高欄の設計計算書	
遮音壁			遮音壁付き吸音装置の設計荷重を求めるため、風洞実験を実施	(匿名)		
遮風壁		(風荷重に関するもの)	充実率67%、高さ2mの遮風壁	番の州高架橋 (上り線)	「瀬戸中央自動車道における横風対策について」(第20回日本道路会議論文集)	
遮風壁		可動構造	可動構造	セバーン橋 (英国)		1
遮風壁				クイーンエリザベスⅡ世橋 (英国)		2
遮風壁				大鳴門橋		3
遮風壁				大毛島BS (Aルート)		4
遮風壁 防護柵		高さ3m 設計風速50(m/sec) 空気密度0.12 抗力係数 2.2	遮風壁を可動構造とし暴風時(風速50m/s以上)には回転して風を逃がす構造とした	来島第一大橋		5
防護柵		防護柵天端の笠木の共振風速が24.3m/s	(笠木間を補助部材で結び)発散振動対策を施す	明石海峡大橋	明石海峡大橋 設計計算書	6

橋梁付属物の耐風設計事例総括表

2) 設計事例

事 例						
形 式	振動現象	特 徴	制 振 対 策	橋 名	文 献	事例番号
防護柵		高さ1.28m	防護柵の笠木を30度傾けて設置 「防護柵設置要領」による	東京湾横断道路	東京湾横断道路 設計計算書	7
高欄	騒音 振動	取付部に疲労クラック発生 振動する手すりは風上側のみで上下方向 に中央部がもっとも振動する。	ボトムレール（角パイプ）の設置向きを 横長から縦長に変更すると固有振動数が 増加し、ストローハル数の減少	加古川大堰 管理橋		8
照明柱		設計風速：V=60m/sec 速度圧：q=V ² /16=225Kg/m ² 風力係数：C=0.7（丸ポール、灯具）	応力の算定は風圧力による単純曲げのみ とする。風圧力が最大となる投影面積で 照査。照明用ポール強度計算基準 （JIL1003）	（匿名）	構造計算書	
照明柱		風荷重（設計風速60m/sec）を考慮	照明用ポール強度計算基準（JIL1003） 建築基準法施工令第87条	（匿名）	構造計算書	
照明柱	渦励振	横浜ベイブリッジの耐風対策	減衰装置（複数鋼球式制振装置）を付加 （JIL1003に従う） 「防護柵設置要領」	横浜ベイブリッジ	橋梁と基礎 1989. 8 照明柱耐風設計手法、川鉄技報 1990	9
照明柱	渦励振	設計最大風速 90.9m/s	チェーンダンパー	長崎県女神大橋	長崎県女神大橋建設事務所 照明柱設計計算書	10
照明柱	渦励振	八角柱の抗力係数を1.4、礎着ボルト ねじの有効断面積に対する疲労限を2.5～ 5.0Kg/mm ²	チェーンダンパー、整流板	大鳴門橋	大鳴門橋照明柱の耐風設計 本四公団技報 No.36 1985.12	11
支柱		設計風速：V=60m/sec 速度圧：q=V ² /16=225Kg/m ² 風力係数： C=1.2（板），0.7（丸パイプ）	ITVカメラ設置に伴う添架される鋼製 ブラケットの設計計算書	（日本道路公団）	設計計算書	12

橋梁付属物の耐風設計事例総括表

2) 設計事例

事例						
形式	振動現象	特徴	制振対策	橋名	文献	事例番号
標識柱		門型ラーメン (支間: 12.552m, 柱高: 7.073m)	変位法を用いた平面構造解析により面内・面外の門型フレームモデル。継手部とたわみ (許容たわみL/300) の照査	首都高・横羽線 浅田ランプ	首都高・横羽線 設計計算書	13
標識柱		固定荷重と風荷重 (設計風速53.2m/sec) 考慮柱高6.6m 標識板3m×1.2, 3m×0.6m 設計風速53.2(m/sec) 抗力係数 支柱0.7 標識板1.2	許容応力度および許容応力度の割増	来島第3大橋	来島第3大橋 設計計算書	14
標識柱		固定荷重と風荷重 (設計風速 路側式・ 複柱式: 40m/sec、片持ち式・門型式・歩 道橋添架式: 50m/sec) を考慮	照明用ポール強度計算基準 (JIL1003) による	設計計算例	道路標識設置基準・同解説 P225 道路協会 1989.1	
標識柱		柱高10.1m 設計風速60(m/sec) 速度圧225 (kg/m ²) 抗力係数 0.7		—	設計計算書	
足場工		風荷重強度は「足場工事実務マニュアル」により規定			足場工・防護工の構造基準 (橋建)	
外面作業車				明石海峡大橋	明石海峡大橋設計計算書	
外面作業車 および軌条		設計風速 作業時: 10m/s、突風時: 16m/s、暴風時: 橋体予測最大値で照査	許容応力度割増し、 土木構造物設計・製作指針案による	来島第3大橋	設計計算書	15
給水管路		設計風速 53.2(m/sec) (通常時 20(m/sec) 設定寿命回数 N=100万回)	伸縮継手 風速53.2(m/sec)の変位に対応 耐用年数 100万回に設定20(m/sec)	来島第3大橋	設計計算書	
遊歩道		遊歩道を添加した場合の橋梁全体の耐風 安定性	2次元剛体模型実験からストリップ理論 により検討	横浜ベイブリッジ	横浜ベイブリッジ工事誌	
フェアリング		設計風速74m/secで照査 抗力係数: 1.5	鶴見航路橋耐風設計基準 (案) による	鶴見つばさ橋	鶴見つばさ橋 設計計算書	16

橋梁付属物の耐風設計事例総括表

3) その他

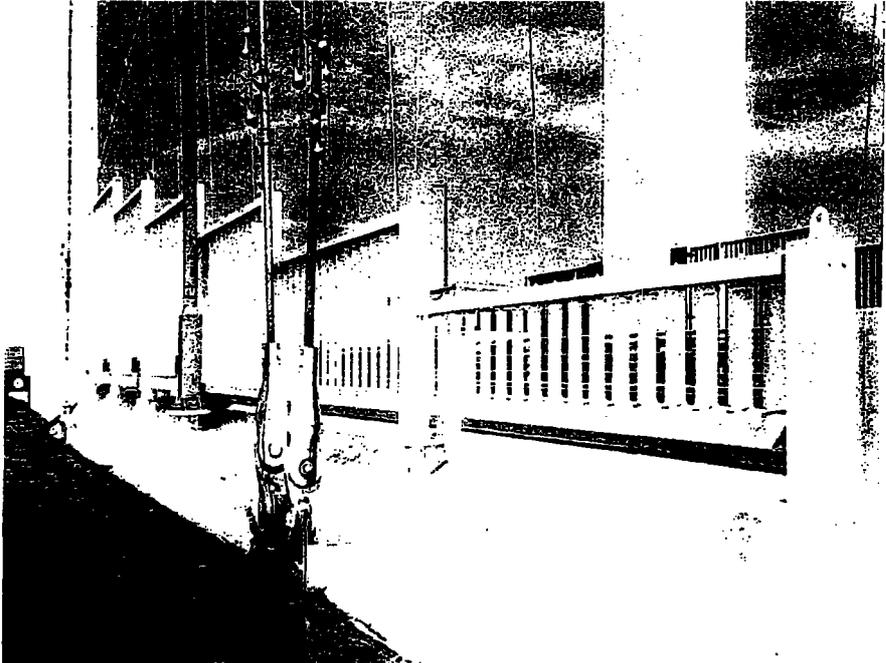
事 例						
形 式	振動現象	特 徴	制 振 対 策	橋 名	文 献	事例番号
照明柱	渦励振	照明柱耐風制振の研究・開発	鋼球式制振装置		耐風照明柱の開発 川鉄技報 1988.4	17
照明柱	渦励振	照明柱耐風制振の研究・開発	鋼球式制振装置	横浜ベイブリッジ	照明柱耐風設計手法 川鉄技報 1990	17
照明柱	渦励振	照明柱用「円板鋼球型」制振装置の開発	「円板鋼球型」制振装置	関西新空港 連絡橋模型	構造工学論文集 1993.3, vol 39A, P723~731	
照明柱 標識柱		照明柱、標識柱基部の疲労。 応力測定を実施		名古屋高速2号線東 新町入口付近	土木学会年講 1991, vol 46-1, P412~413	
照明柱	渦励振	明石海峡大橋照明柱の耐風性検討	チェーンダンパー	明石海峡大橋	土木学会年講 1997 vol 52-1B P192~193	18
高欄	騒音	平板を多数並列に並べた構造において風により発生する騒音に対し風洞実験。発振源、共鳴機構について			風による平板列からの騒音発生に関する実験的研究 土木学会年次講演会 1993-9	
高欄	騒音	騒音の発生原因について検証	バラスターの翼端部を流線形状にする バラスターを不等間隔にする		高欄部騒音防止の対策検討 (財)漁港漁村建設技術研究所	19
高欄	騒音	手すり子の固有振動数、手すり子を共振させる風速の算出式			標準的な高欄の振動数、風速推定 (概算)	20
高欄	騒音	高欄の音鳴りについてまとめた一覧表			高欄の音鳴りについて	21
手すり	騒音	縦格子の断面形状、ピッチ、取付部緩衝材、風向角等の影響を風洞実験により検証	断面形状を変えても大差なく、固有振動数を上げるか見付け幅を大きくする		建物手すりによる風騒音の実験的検討 日本建築学会大会学術講演概要集1984-10	22
高欄	騒音	平板列で構成される高欄に生じる空力騒音の発生メカニズムを風洞実験によって検討。			平板列で構成される高欄に生じる空力音に関する実験的研究, 日本風工学会誌, No. 55, pp. 111-112, 1993.	23

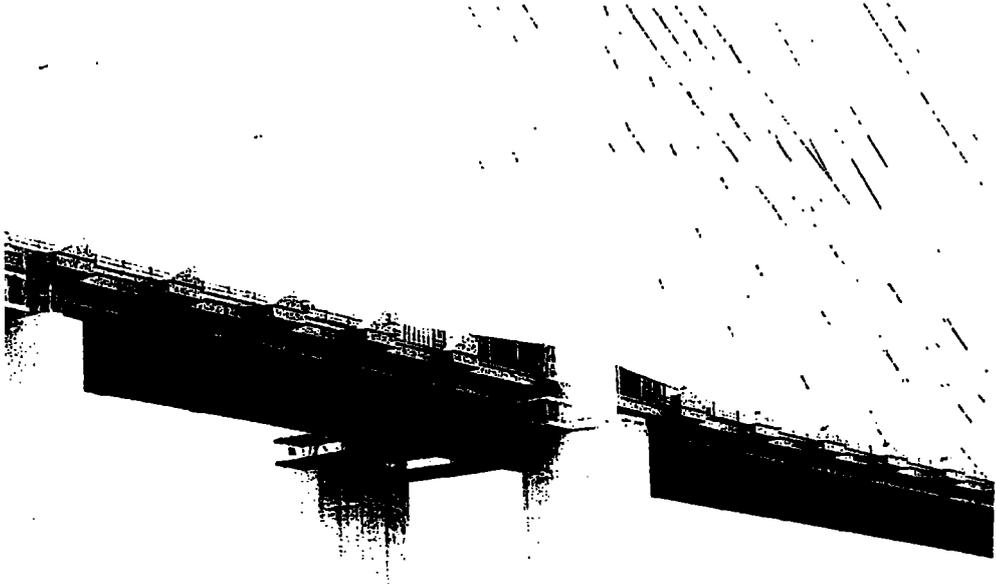
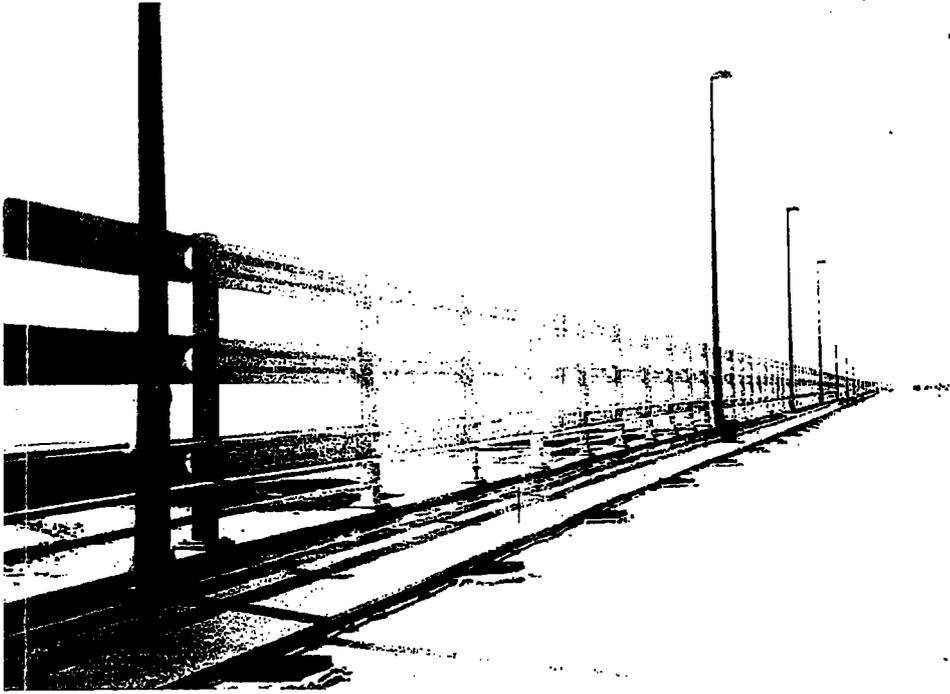
3) その他

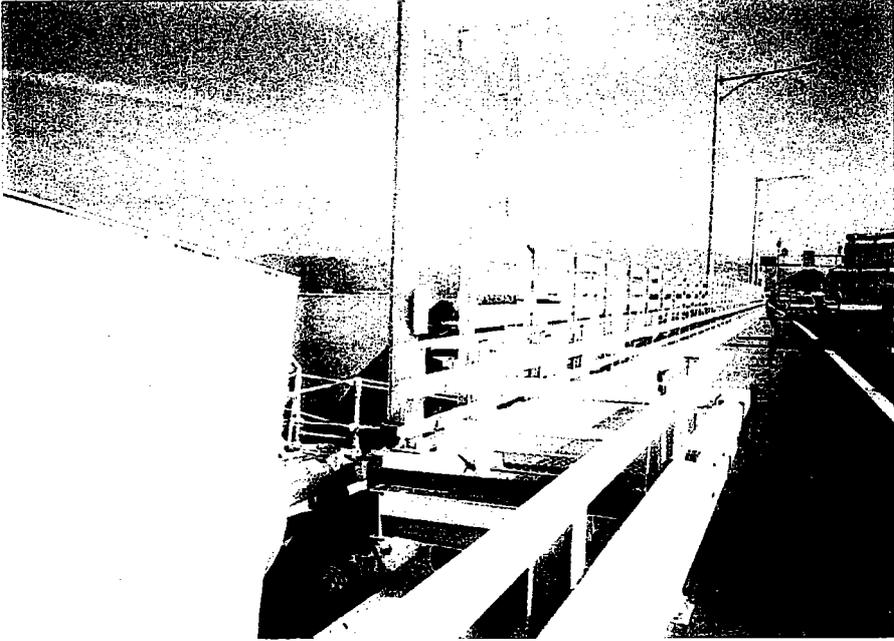
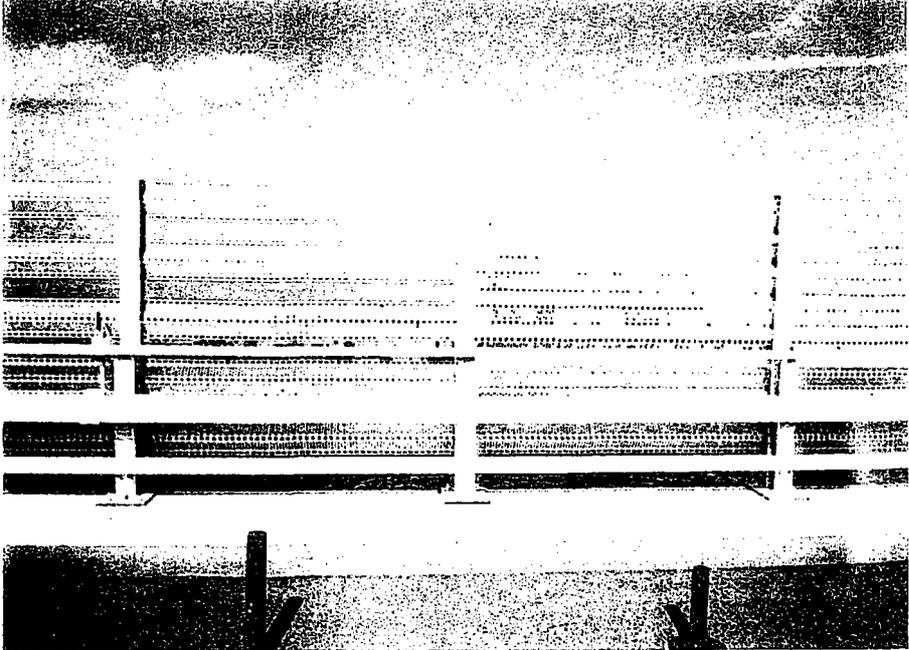
事 例						
形 式	振動現象	特 徴	制 振 対 策	橋 名	文 献	事例 番号
防音壁		風荷重の低減	風荷重の低減を考慮した防音壁の風洞模型実験による検討、部材形状、間隔		風の影響を考慮した防音壁の基礎的研究 土木学会論文集1996.1 No.530/IV-30	
防音壁		風荷重の低減	風荷重の低減を考慮した防音壁の実車走行による検討		風の影響を考慮した防音壁の実車走行試験 木学会論文集1997.4, No.562/IV-35	
遮風壁	渦励振	逆台形箱桁バネ支持模型を用いたフェンスの防風効果の検証			橋梁上の減風効果および耐風安定性に与える防風フェンスの影響の検討 土木学会年次講演会1998-10	
高欄	渦励振	高覧形状による車両走行に対する風速の低減と耐風安定性の検証	高覧形状		橋梁における強風対策に関する研究 土木学会年次講演会1997-9	
高欄 (橋梁全体)	渦励振	箱桁橋梁断面の乱流中における渦励振に及ぼす高欄効果	模型風洞試験		日本風工学会誌 1989, No.41	
高欄 (橋梁全体)		橋梁上の積雪の発達過程に関する野外模型試験 積雪寒冷地での橋梁の耐風設計に関して		白鳥大橋 野外1/2模型	寒地技術シンポジウム 1987, vol 1987	
防風フェンス (橋梁全体)	渦励振 フラッター	橋梁上の減風効果および耐風安定性に与える防風フェンスの影響の検討	模型風洞試験		土木学会年講 1998, vol 53-1B, P70~71	
遮音壁 (橋梁全体)	桁風荷重他	遮音壁を有する橋梁の耐風調査共同研究報告書	模型風洞試験		土木研究所共同研究報告書 1991, No.53	
遮音壁 (橋梁全体)	風荷重	遮音壁等を有する橋梁の耐風性に関する一考察	模型風洞試験	碓氷橋	土木学会年講 1991, vol 46-1, P550~551	

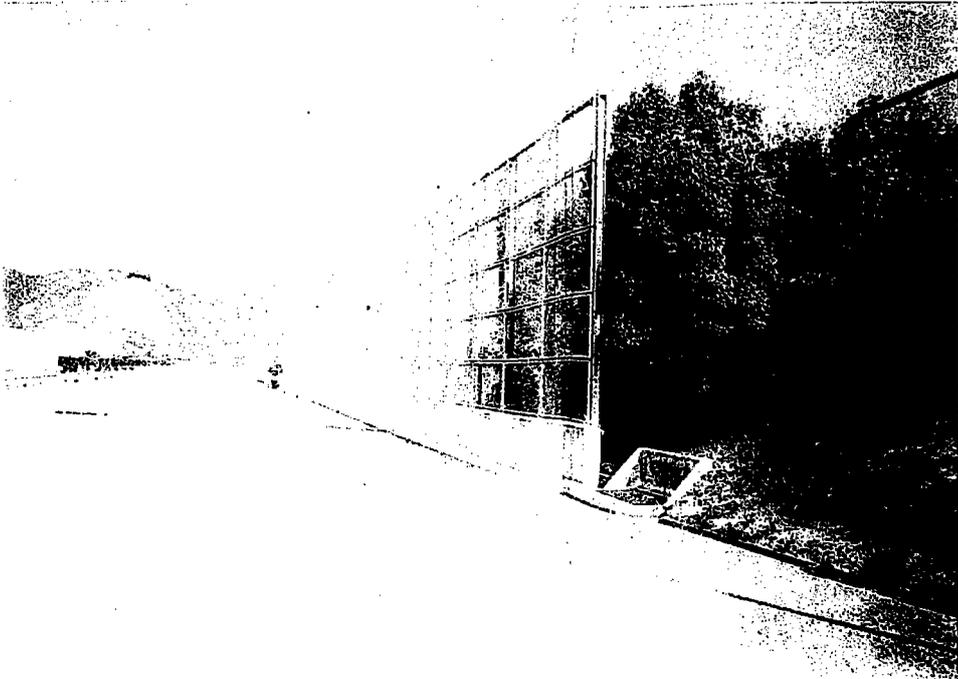
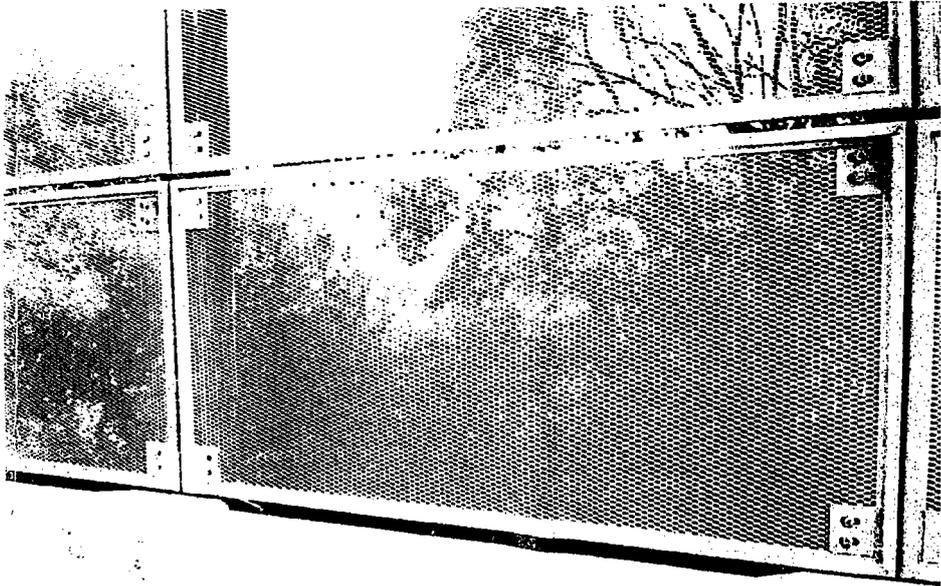
3) その他

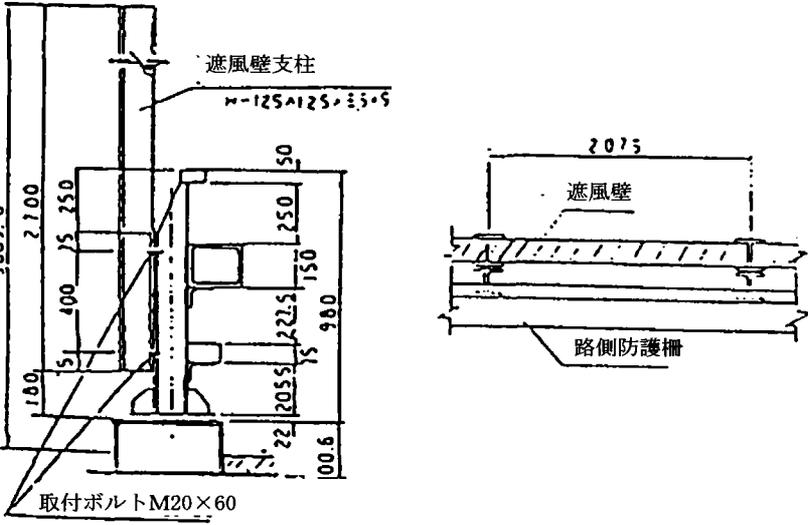
事 例						
形 式	振動現象	特 徴	制 振 対 策	橋 名	文 献	事例 番号
防音壁		設計計算例 高さ4.26m, 風荷重300Kgf/m ² (設計風速 56m/sec)			鋼橋防音工の設計施工の手引き 鉄道総研	
防音壁		列車走行風圧 防音工支柱疲労試験	疲労模型試験		土木学会年講 1991, vol 46-1, P414~415	
角柱	渦励振 フラッター	長方形角柱に作用する空気力に関する研 究			一様流中にある角柱前縁フラップ の振動による非定常流体力 構造 工学論文集 1993-3, vol. 39A	
角柱	渦励振 フラッター	長方形角柱に作用する空気力に関する研 究			前縁フラップの振動に伴う角柱ま わりの流れと表面圧力の変化につ いて 風工学シンポジウム 1998	
足場工 防護工					足場工・防護工の構造基準 橋建 1996.12	

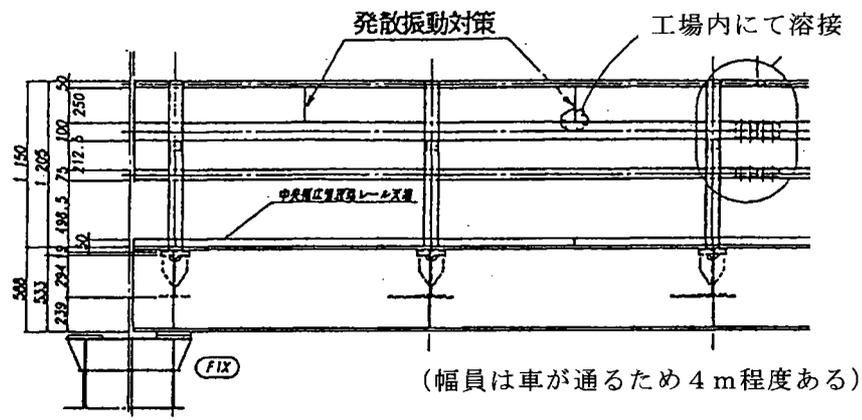
対象構造物	遮風壁	設置橋梁	セバーン橋 (英国)
<p>形状</p>	 <p>写真-1 セバーン橋 (英国)</p>  <p>写真-2 可動部</p>		
<p>制振対策</p>	<p>可動構造としている</p>		
<p>参考文献</p>			

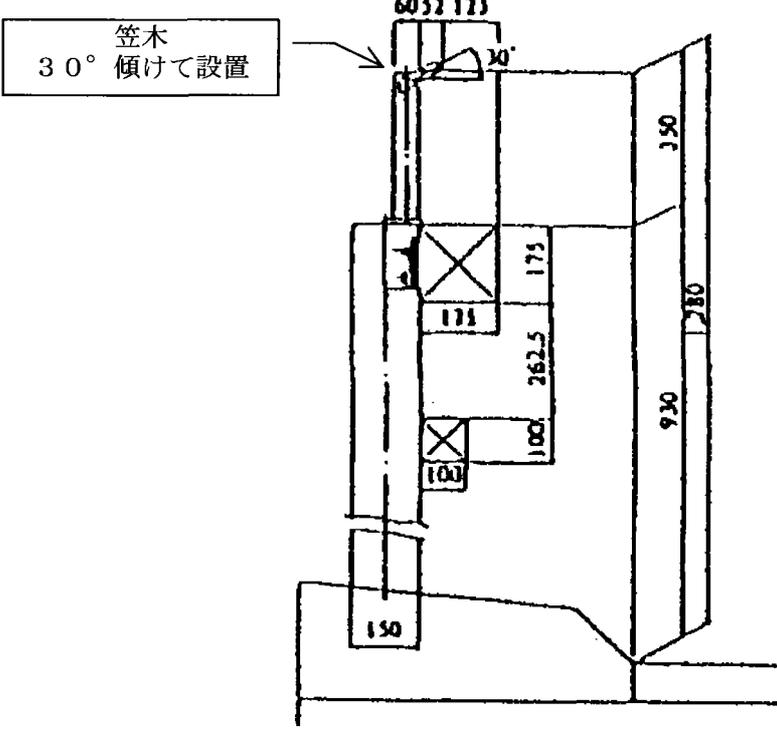
対象構造物	遮風壁	設置橋梁	クイーンエリザベス二世橋 (英国)
<p>形状</p>	 <p>写真-1 クイーンエリザベス二世橋</p>  <p>写真-2 遮風壁形状</p>		
<p>制振対策</p>			
<p>参考文献</p>			

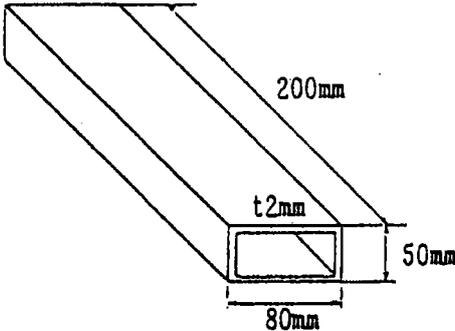
対象構造物	遮風壁	設置橋梁	大鳴門橋
<p>形状</p>	 <p>写真-1 大鳴門橋</p>  <p>写真-2 遮風壁形状</p>		
<p>制振対策</p>			
<p>参考文献</p>			

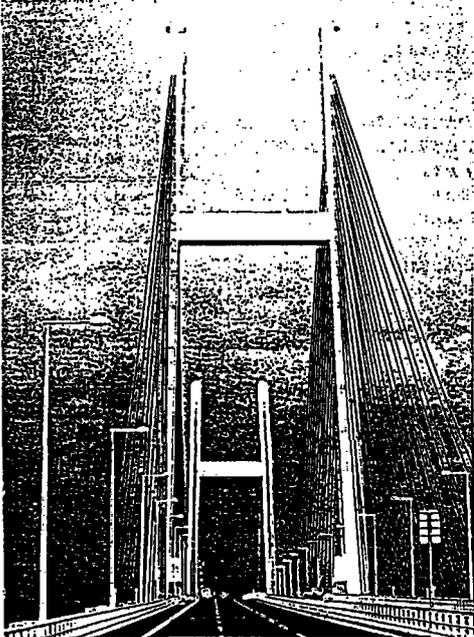
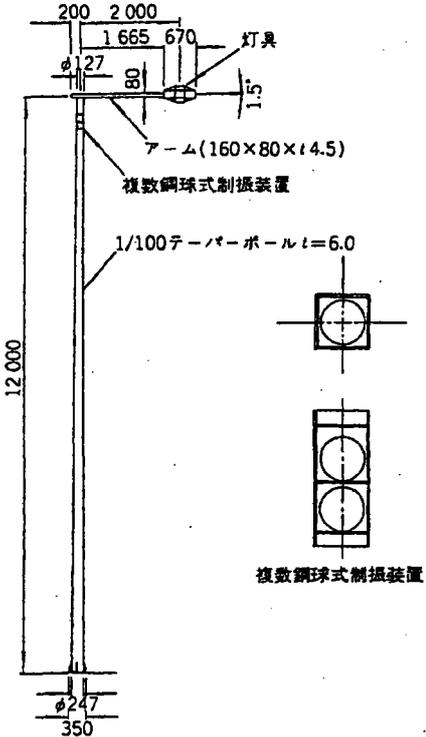
対象構造物	遮風壁	設置橋梁	大毛島BS : Aルート
<p>形状</p>	 <p>写真-1 大毛島BS : Aルート</p>  <p>写真-2 遮風壁形状</p>		
<p>制振対策</p>			
<p>参考文献</p>			

対象構造物	遮風壁	設置橋梁	来島第一大橋
設置地点	—		
形状	 <p style="text-align: center;">図-1 遮風壁形状</p>		
設計条件	<p>1. 設計条件</p> <p>①遮風壁の設計風速 支柱, 柵 耐風設計基準 遮風壁支柱の照査は, 風速50m/s以上の場合は遮風壁自体が可動もしくは一部破損機能を持たすことから遮風板の設計風速50m/sで 照査。</p> <p>②遮風壁充実率 70%</p> <p>③路側防護柵支柱間隔… (明石海峡大橋) 最大間隔 L=2.075m 標準間隔 L=1.775m</p> <p>2. 設計風荷重</p> $P_d = 1/2 \cdot \rho \cdot V_d^2 \cdot C_d \cdot A_n$ <p>ρ : 空気密度 0.12 C_d : 抗力係数 2.2 (平板) A_n : 投影面積 2.075 × 70% (遮風壁充実率) 防護柵支柱間を梁として計算。</p> $P_d = 1/2 \times 0.12 \times 50^2 \times 2.2 \times 2.075 \times 0.70 = 479 \text{ kg/m}$ <p>3. 許容応力</p> <p>①許容応力度の割増 D+Wの場合 1.20</p> <p>②許容応力度</p> <ul style="list-style-type: none"> ・許容曲げ応力度 <p>支柱 : (防護柵支柱, 遮風壁支柱) M=1.25 × 1.25 × 6.5 × 9 ボルト : (防護柵支柱取付ボルト) M22 (遮風壁支柱取付ボルト) M20 $\delta = 1.400 \times 1.2 = 1.680 \text{ kg/cm}^2$</p>		
振動現象			
制振対策	<ul style="list-style-type: none"> ・許容応力度の割増 ・遮風壁を可動構造とし暴風時 (風速 50m/s以上) には回転して風を逃す構造とした 		
参考文献	防護柵支柱に遮風壁を設置した場合の概略計算 (来島第1大橋)		

対象構造物	防護柵	設置橋梁	明石海峡大橋																																			
設置地点	—																																					
形状	 <p style="text-align: center;">(幅員は車が通るため4m程度ある)</p> <p style="text-align: center;">図-1 照明柱の寸法・形状</p>																																					
設計条件	<p>共振風速： $V_a = f/d/S$ (m/sec) f : 固有振動数 (sec⁻¹), d : 管径 (m), S : ストローハル数 円=0.200 角形=0.125</p> <p>固有振動数： $f = \frac{\pi}{2l^2} \cdot \frac{EI}{m}$ l : 部材長(m) ただし単純梁換算, EI : 部材の曲げ剛性(Kgf・m²), m : 部材の長さ当たり質量(w/g)</p> <table border="1" data-bbox="493 1238 1309 1625"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">防護柵 (機架)</th> </tr> <tr> <th>□50 x 50 x 2.3</th> <th>□100 x 100 x 3.2</th> <th>□75 x 75 x 2.3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>部材長 l (m)</td> <td>1.600</td> <td>1.600</td> <td>1.600</td> </tr> <tr> <td>断面二次モーメント I (m⁴)</td> <td>15.9</td> <td>187</td> <td>57.1</td> </tr> <tr> <td>単位長さ当り重量 w (kg/m)</td> <td>3.34</td> <td>9.52</td> <td>5.14</td> </tr> <tr> <td>固有振動数 f (sec⁻¹)</td> <td>60.7</td> <td>201.1</td> <td>92.8</td> </tr> <tr> <td>径 d (m)</td> <td>0.050</td> <td>0.100</td> <td>0.075</td> </tr> <tr> <td>ストローハル数 S</td> <td>0.125</td> <td>0.125</td> <td>0.125</td> </tr> <tr> <td>共振風速 V_a (m/sec)</td> <td>24.3</td> <td>160.9</td> <td>55.7</td> </tr> </tbody> </table> <p>注 1) 部材長 l は端支間として標準支間の80%とする。 2) 部材の弾性係数は全て $E = 2.1 \times 10^4$ kg/cm² とする。</p>				防護柵 (機架)			□50 x 50 x 2.3	□100 x 100 x 3.2	□75 x 75 x 2.3	部材長 l (m)	1.600	1.600	1.600	断面二次モーメント I (m ⁴)	15.9	187	57.1	単位長さ当り重量 w (kg/m)	3.34	9.52	5.14	固有振動数 f (sec ⁻¹)	60.7	201.1	92.8	径 d (m)	0.050	0.100	0.075	ストローハル数 S	0.125	0.125	0.125	共振風速 V_a (m/sec)	24.3	160.9	55.7
	防護柵 (機架)																																					
	□50 x 50 x 2.3	□100 x 100 x 3.2	□75 x 75 x 2.3																																			
部材長 l (m)	1.600	1.600	1.600																																			
断面二次モーメント I (m ⁴)	15.9	187	57.1																																			
単位長さ当り重量 w (kg/m)	3.34	9.52	5.14																																			
固有振動数 f (sec ⁻¹)	60.7	201.1	92.8																																			
径 d (m)	0.050	0.100	0.075																																			
ストローハル数 S	0.125	0.125	0.125																																			
共振風速 V_a (m/sec)	24.3	160.9	55.7																																			
振動現象	防護柵天端の笠木が共振風速24.3m/secにおいて発散振動を発生することが予想された。																																					
制振対策	天端の横梁(笠木)に対策施す。 天端横梁と主要横梁とをプレートで結び、天端横梁の支間を1/2とする。 対策後の共振風速は $V_a = 24.3 / (1/2)^2 = 97.2$ m/sec																																					
参考文献	明石海峡大橋設計計算書																																					

対象構造物	防護柵	設置橋梁	東京湾横断道路
設置地点	A0~A1~P13		
形状	 <p style="text-align: center;">図-1 沖合部高柵形状</p>		
設計条件	「防護柵設置要領」による 高さ = 1.28m		
振動現象			
制振対策	笠木を30°傾けて設置		
参考文献	設計計算書		

対象構造物	高覧 (手すり)	設置橋梁	加吉川大堰管理橋
現象	渦励振による疲労き裂		
形状	  <p>写真-1 手すり設置状況</p> <p>図-1 手すり形状</p>		
振動現象	<p>強風時に振動し、手すり両端の取付部にクラックが生じた。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・振動する手すりは下流側(風上側)のみである。 ・振動する方向は上下方向である。 ・手すりの中央部が一番良く触れる。 ・手すりに線を巻くと振動しなくなる。 <p>両端単純支持とした時の固有振動推定値は、41.2Hz。 カルマン渦による振動と仮定した場合、ストローハル数を0.2と置くと次式から共振風速は10.3m/sとなり、実風速の感覚と大体一致した。</p> $U_{cr} = \frac{fD}{S_t} = \frac{41.2 \times 0.05}{0.2} = 10.3 \text{ m/s}$ <p>U_{cr}: 発現風速(m/s), f: 固有振動数(Hz), D: 総高さ(m), S_t: ストローハル数</p>		
制振対策	<p>ボトムレールの設置向きを横長から縦長に変更。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・上下方向の固有振動数は、現状48Hz(実測値)から74Hz(実測値)に増加。 ・矩形のストローハル数を利用して共振風速を再計算すると(横形: $St=0.265$、縦形: $St=0.160$) $\text{現状(横形)} : U_{cr} = \frac{fD}{S_t} = \frac{48.0 \times 0.05}{0.265} = 9.1 \text{ m/s}$ $\text{改良(縦形)} : U_{cr} = \frac{fD}{S_t} = \frac{77.0 \times 0.08}{0.160} = 38.5 \text{ m/s} \Leftarrow \text{OK}$ <p>☆固有振動数が増加し、ストローハル数が減少したことにより、危険風速は大幅増加。その後、振動は発生していない。</p>		
参考文献	<p>「橋梁付属物の風による被害事例」(株)神戸製鋼所機械研究所 振動音響研究室 岡田徹 1999.10</p>		

対象構造物	照明柱	設置橋梁	横浜ベイブリッジ
設置地点	海上部 (路面高 約TP70m)		
形状	 <p>写真-1 Light poles on Yokohama Bay Bridge.</p>  <p>図-2 照明柱の寸法・形状</p>		
設計	<p>設計示方書：照明用ポール強度計算基準(日本照明器具工業会) 設計風速：60m/sの風速に対して十分な強度を有するように静的設計を実施 特別な配慮： ・照明機能との関係，デザインへの対応，橋梁上の照明柱架台に作用する外力の低減、およびカルマン渦励振時の振動振幅の最小化等を総合的に考慮し，円形小径断面ならびに短いアームを採用。 ・カルマン渦励振による振動振幅をさらに低減させるため，鋼球を用いた制振装置を照明柱内部に装着。 ・照明注の固有解析の結果得られた面内外1~3次の振動モードを考慮して，制振装置の取付高きは11.4mとした。 ・鋼球の個数は2個とし，応答解析の結果得られた各モードの振動振幅より遊間を決定。 ・実大照明柱による振動実験，模型照明柱による風洞実験の結果，鋼球を用いた制振装置により良好な制振効果が得られることを確認。さらに制振装置の効果を高めるために，アーム先端と灯具取付部の強化およびランプと灯具本体の取付強化を実施。</p>		
振動現象	<p>渦励振の発生が予想された。 渦励振は比較的低風速時に低次の振動モードで発生するが，照明柱は構造がシンプルのため海上部での乱れの少ない強風により高次の振動モードでの発生も予想される。 高次の振動モードでは灯具や照明柱部材に損傷を与える可能性がある。</p>		

制振装置は図-2に示すように角形の容器に層状の制振室を設け、各制振室内に水平方向自由に動く鋼球が封入された構造である。照明柱の振動に鋼球が同期し、制振装置内部壁に衝突することにより振動を低減させることを可能としている。容器内面には衝突音を低減させるための防音処理が施されている。

また、ランプの灯具への取付け強化と、灯具のアーム先端への取付け強化も合わせて行っている。

振動解析により制振装置を設計し、振動実験および風洞実験を通してその効果を確認している。

振動実験は実物大(12m)により固有振動数の確認と制振効果の確認をおこなった。面内外1~3次の振動モードに対し、ポール頂部で44%~91%の良好な制振効果が確認された。

風洞実験では高さ8mの模型照明柱を用い、面外振動(風向きは面内方向)の観測を行った。風洞風速1~25m/sに対して1~3次の渦励振が観測され、各モードとも良好な制振効果が確認された。

制振対策

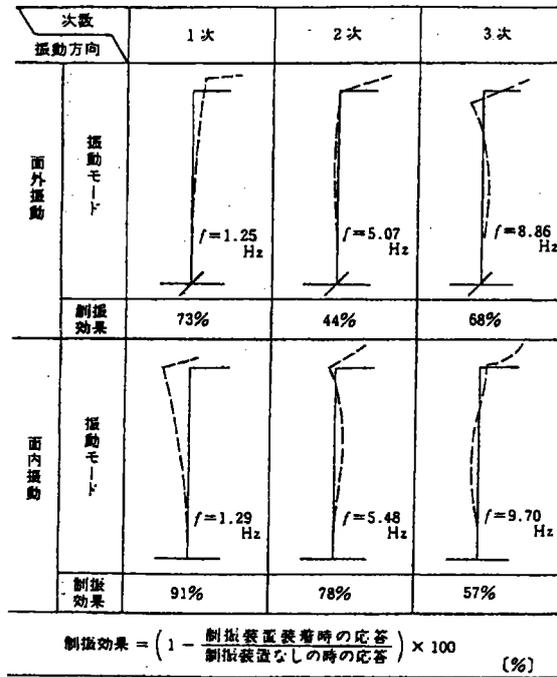


図-3 振動実験結果

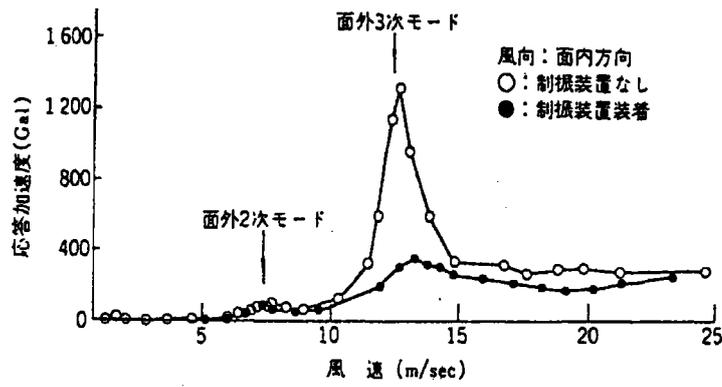
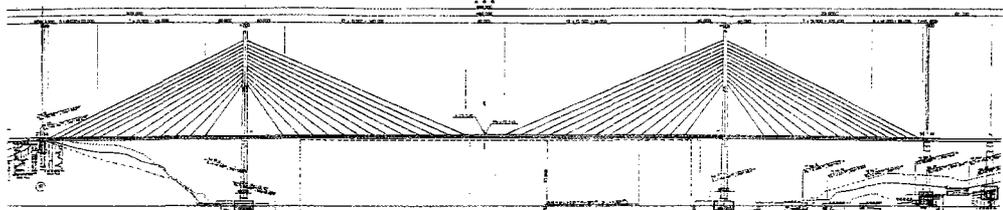
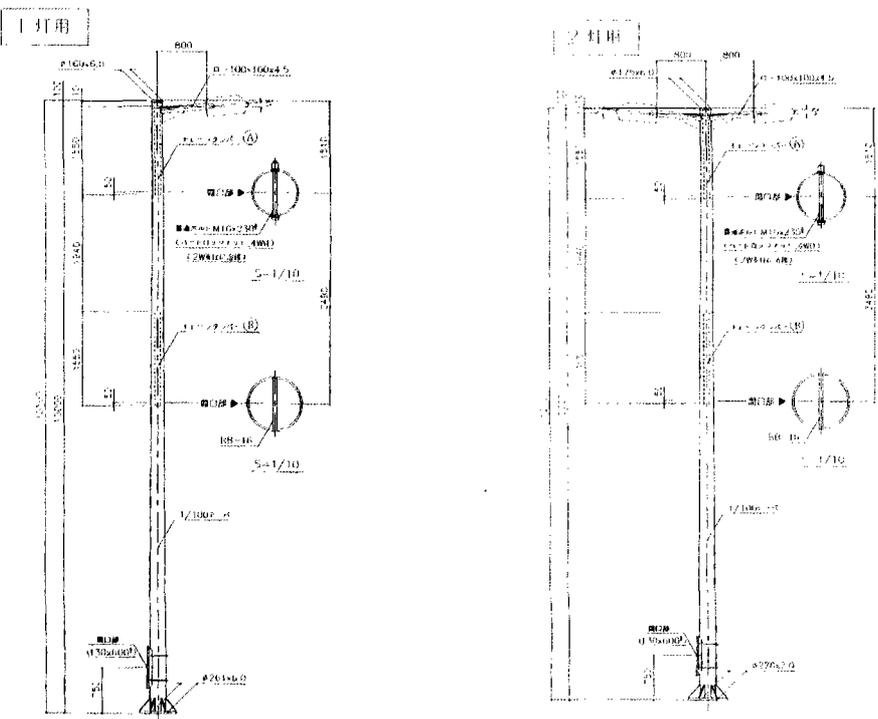
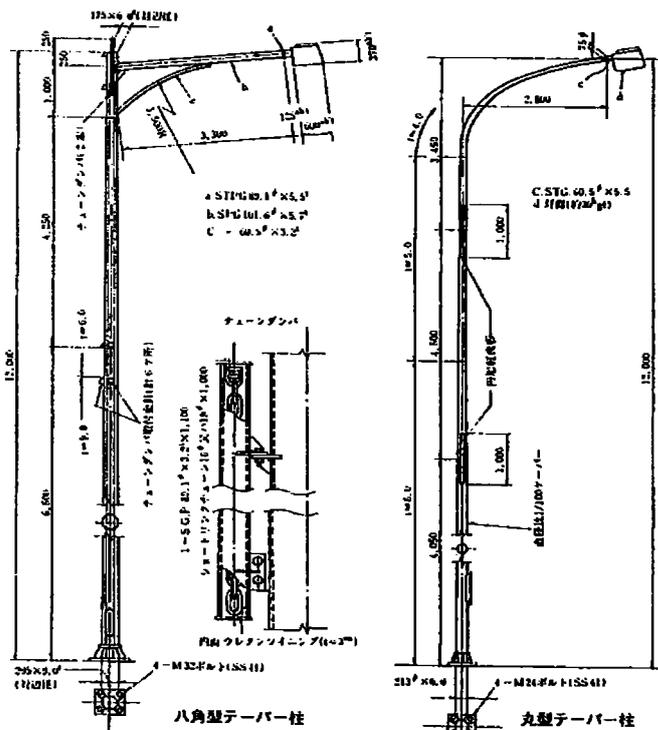


図-4 ポール先端の風速-加速度関係

参考文献

城, 烏野, 永津, 金子, 植木, 高橋, 「照明柱の耐風設計手法」川崎製鉄技報別刷 1990 Vol. 22No. 1
 和田, 東田, 恵谷, 高野, 「横浜ベイブリッジの耐風対策」橋梁と基礎1989. 8
 横浜ベイブリッジ(工事誌)

対象構造物	照明柱	設置橋梁	女神大橋
設置地点	・海上部 路面高 TP 65m		
形状	 <p style="text-align: center;">図-1 橋梁全景</p>  <p style="text-align: center;">図-2 照明柱の寸法・形状</p>		
設計条件	設計示方書：日本照明器具工業会「J I L 1 0 0 3」 材質：SS400 許容応力度：（一般部材） $\sigma = 2400 \text{ Kg/cm}^2$ ，（アンカーボルト） $\sigma = 1800 \text{ Kg/cm}^2$ 最大風速：90.9 m/s 速度圧： $q = V^2/16 = 516 \text{ Kg/m}^2$ 風力係数： $c = 0.7$ （ポール）， $c = 0.7$ （丸アーム）， $c = 1.3$ （角アーム）， $c = 1.2$ （灯具） 受風面積：灯具 $A = 0.25 \text{ m}^2$ （仮定） 柱取付物 考慮せず（仮定）		
振動現象	渦励振の発生が予想された。		
制振対策	制振装置は図-2に示すようにチェーンダンパーを2基封入した構造である。		
参考文献	女神大橋設計計算書		

対象構造物	照明柱	設置橋梁	大鳴門橋
現象	渦励振		
試験体形状	 <p style="text-align: center;">図-1 照明柱の形状</p>		
内容	<p>概要：試験柱は八角型テーパ柱で、強風時に激しい振動が度々目撃されたので実機計測と風洞試験を実施した。検討の結果、部材の疲労と灯器の耐久性が著しい低下に問題が有ることが判明。制振対策として開発したチェーンダンパおよび整流板での効果を実機試験で確認。</p> <p>(1) 設計基準について 柱の設計は「日本照明器具工業会規格・照明用テーパポール（鋼製）J1L1001-1966 改正」によるが、設計風速は地域の特殊性を考慮して別途与えた。また、当基準にない八角柱の風力係数や碇着ボルトネジ部有効断面積に対する疲労限(σ_r)は、各々1.4, 2.5~5.0kgf/mm²とした。 設計風速 (VD) : 静的設計用VDは鳴門海峡の基本風速を重要度、耐用年数を考慮して逓減し、以下、本四耐風設計基準 (1976) により次式で与えた。 $VD = 53.4 \times v_1 \geq 60 \text{m/sec} \dots \textcircled{1}$ ここでv_1は高度に応じた補正係数である。</p> <p>(2) 実機計測結果 計測は柱に加速度計、動歪計をセットし、すぐそばに風向風速計を置き同時記録。発振時の風と応答値を整理したものを表-1に示す。振動中の風向、風速の変動は概ね$\pm 10^\circ$, $\pm 0.4 \text{m/sec}$内である。振動の継続時間は10~数10秒で強弱を繰り返すが、中でもCase. 1は定常状態が非常に長いものであった。振動はその方向が風向と略直交しており、ストローハル数の点からカルマン渦励振によるものと思われる。共振時の主要部への影響は表-1のとおりで3次モードが有害である。</p>		

内容

(3) 振動対策

① 疲労対策のため原案に対し灯器取付部の補強、格点部補強及び溶接の見直しを行った。なお碇着ボルトは変動張力の管理を目的として4tf/本のプレストレスを導入した。

② 灯器：細部を補強

③ チェーンダンパ：チェーン重量は合13.4kgfで照明用柱全体870kgfの1.5%に相当。

チェーンダンパ音軽減対策として外挿管内壁に3mm厚のポリウレタンライニングを施す(-24dBの効果)

(4) 実装試験

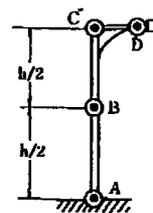
チェーンダンパの実装試験、加振方法は引綱法による自由振動と頂部にセットした起振器による強制振動との2方法によった。試験データの一部を図-2に示す。チェーンダンパの効きは試験範囲内ではチェーン重量と振巾が支配的と見られる。

(5) 丸型テーパ柱の振動対策 (大鳴門橋を除く区間)

一連の試験により開発した整流板を採用、図-3に風洞試験結果を示す。また、溶接部や碇着部を補強し疲労対策とした。

表-1 大鳴門橋上実測データ (8角柱主要例)

Case	1	3	5	7	8		
計測日 (5月)	3日夜	8日A.M.	9日P.M.	14日	14日		
風向	NNW-NW	NNW	SE	NW	W		
共振時風速(m/sec)	12.7	1.7	5.2	11.7	12.9		
振動方向	面外	面外	面外	面外	面内		
卓越振動数(Hz)	9.76	1.6	3.87	9.82	11.6		
ストローハル数 ¹⁾	0.17	0.20	0.16	0.18	0.20		
最大応答値	加速度 (gal)	B点	3,856	8	69	1,443	2,603
		C点	4,629	32	174	1,867	1,580
		D点	(断線)	39	271	212	1,589
	C点片板巾 (mm)	12.4	3.2	2.9	4.9	3.0	
	A点モーメント (tf·m) ²⁾	3.1	0.08	0.14	1.2	1.2	
角型灯器中心 ³⁾ の加速度(G)	1.7-2.9	0.05	0.25	0.3-0.5	2.5-3.6		
振動継続時間(sec)	408	-	300	139	249		
当日の観測時間(hr)	15.5	-	7.5	7.5	7.5		



- 注：1) B点の対辺距離 (d=0.22m) を用いた見掛値
- 2) 最大変位から求めた計算値 (灯器中心の変位)
- 3) (実測値) × (実測点の変位) / (計算点の変位) として求めた値を示す。
※は灯器部を3次元F.E.M. 他を付組としたモデル
※※は灯器部を3次元に分割した骨組モデルによる値(灯器重量は約30kgfでアーム部剛性の影響が大きい。)

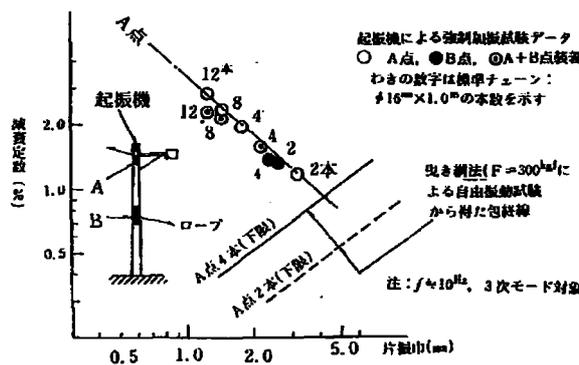


図-2 加振機による振動実験結果

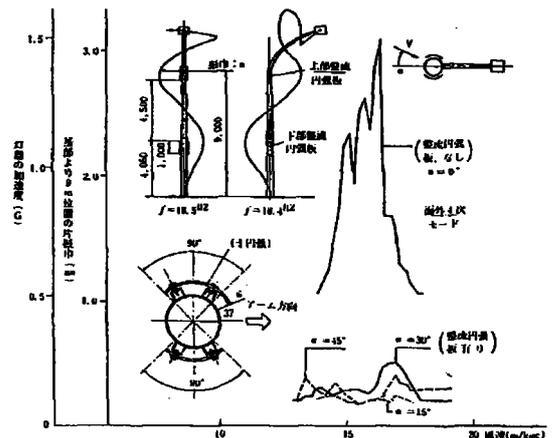
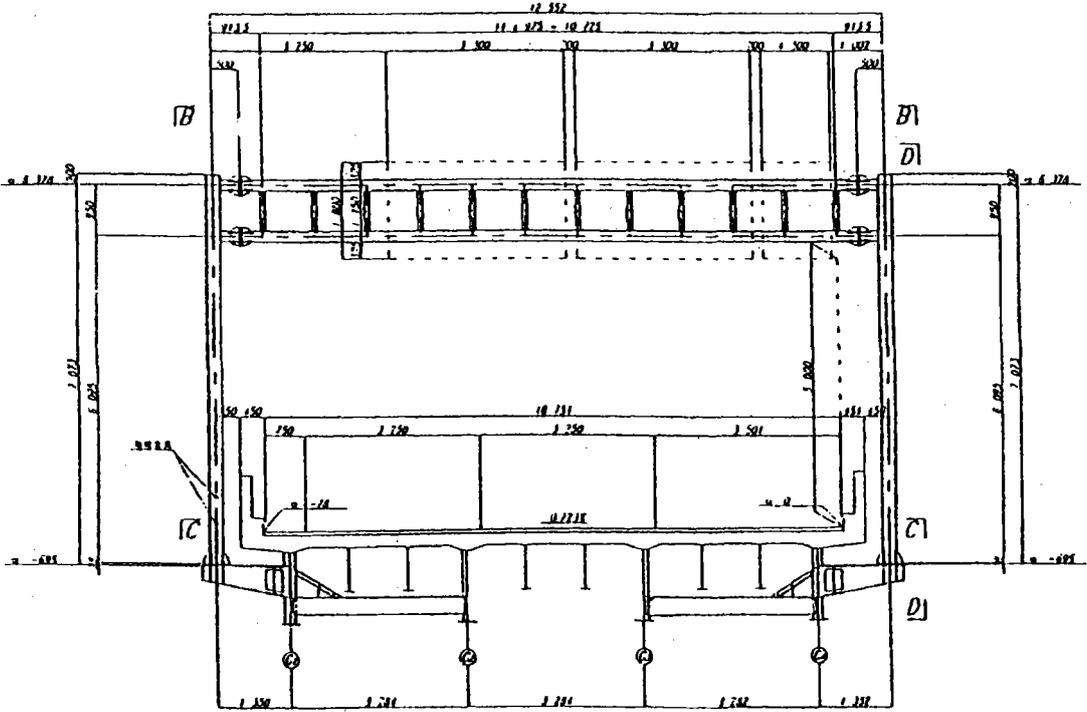
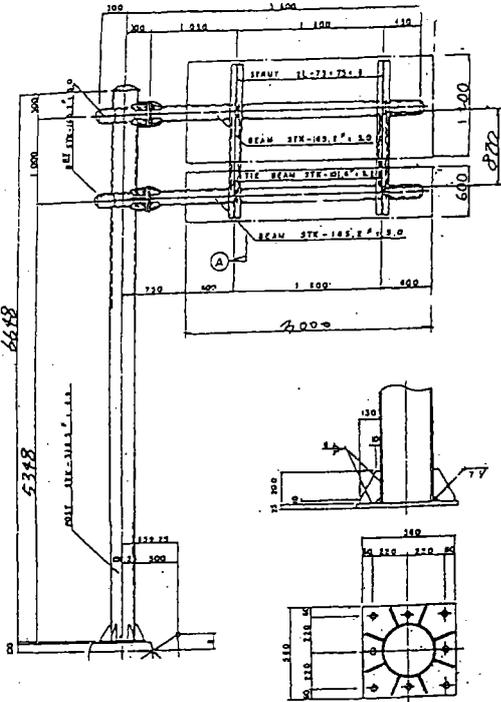


図-3 風洞試験結果

山田, 秋元, 「大鳴門橋照明柱の耐風検討」本四公団技報 No.36, 1985. 12

参考文献

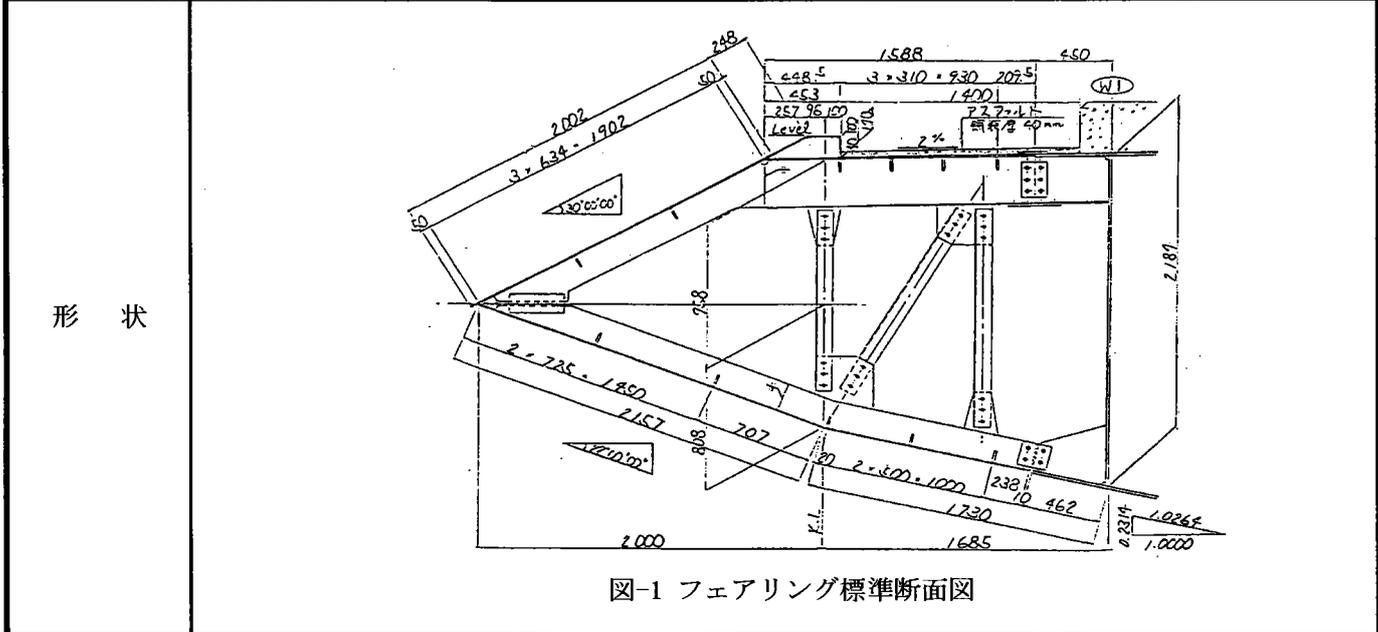
対象構造物	標識柱 (門型)	設置橋梁	浅田ランプ
設置地点	—		
形状	 <p style="text-align: center;">図-1 標識柱の寸法・形状</p>		
設計条件	<p>設計示方書： 首都高速道路公団 「標識柱設計要領 (案)」 H9.8, 「鋼構造物設計基準」 H4.4, 日本道路協会 「道路橋示方書・同解説」 H8.12</p> <p>風荷重： 受風面に直角な直風圧力と斜風圧力について検討 直風時=180 Kgf/m², 斜風時=90 Kgf/m² (直風時の1/2)</p> <p>荷重の組み合わせ及び割増係数： 死荷重 α=1.00, 死荷重+風荷重=1.25</p>		
振動現象	耐風安定性の照査		
制振対策	許容応力度および許容応力度の割増		
参考文献	設計計算書 (首都高速道路公団)		

対象構造物	標識柱	設置橋梁	来島第3大橋
設置地点	—		
形状	 <p style="text-align: center;">図-1 標識柱の寸法・形状</p>		
設計条件	<p>設計示方書：日本道路協会「道路標識設置基準・同解説」, 「道路橋示方書・同解説」 材質：SS41 許容応力度：1600 Kg/cm² 設計風速：53.2 m/s 抗力係数：c=0.7 (支柱), c=1.2 (標識板) その他：固定荷重と風荷重を考慮, 許容応力度の割増し： 標識柱 = 1.50, 補剛桁 (架台・鋼床版) = 1.25</p>		
振動現象	渦励振の発生が予想された		
制振対策	許容応力度および許容応力度の割増		
参考文献	来島第3大橋設計計算書		

対象構造物	外面作業車・走行軌条	設置橋梁	来島第3大橋
設置地点	—		
形状	<p>図-1 桁外面作業車の構造一般図</p> <p>図-2 風荷重の作用</p> <p>図-3 走行軌条の純ねじり</p>		
設計条件	<p>設計示方書：本州四国連絡橋公団「調査等共通仕様書」H5.7, 「土木工事共通仕様書」H3.5, 機械設備工事共通仕様書(案)H5.11, 「電気通信施設等共通仕様書」s60.4, 「点検補修用作業車構造基準(案)」H6.3, 日本工業規格JIS, 移動安全足場の風荷重はクレーン構造規格による</p> <p>設計風速：作業時$V=10\text{m/s}$, 暴風時$V=53.2\text{m/s}$ 風荷重：$W=1/2 \times \rho \times V^2 \times \mu^2 \times C \times A$ ρ：空気密度$=0.12\text{Kgf} \cdot \text{S}^2/\text{m}^4$ μ^2：風の乱れによる係数(橋軸方向$=1.3$, 橋軸直角方向$=2.0$) C：抗力係数(作業車本体橋軸方向$=1.6$, 橋軸直角方向$=1.2$) 割増係数：死荷重+乗員以外の積載荷重+風荷重(暴風時)$=1.25$</p>		
振動現象	耐風安定性の照査		
制振対策	<p>許容応力度および許容応力度の割増 暴風時の対策： ・移動安全足場は反力を走行軌条に作用させないように養生する。 ・桁外面作業車は移動安全足場とともに走行軌条に堅固に固定させ、軌条の純ねじりは考慮しない。</p>		
参考文献	設計計算書(来島第3大橋)		

対象構造物	フェアリング	設置橋梁	鶴見つばさ橋
-------	--------	------	--------

設置地点	—		
------	---	--	--



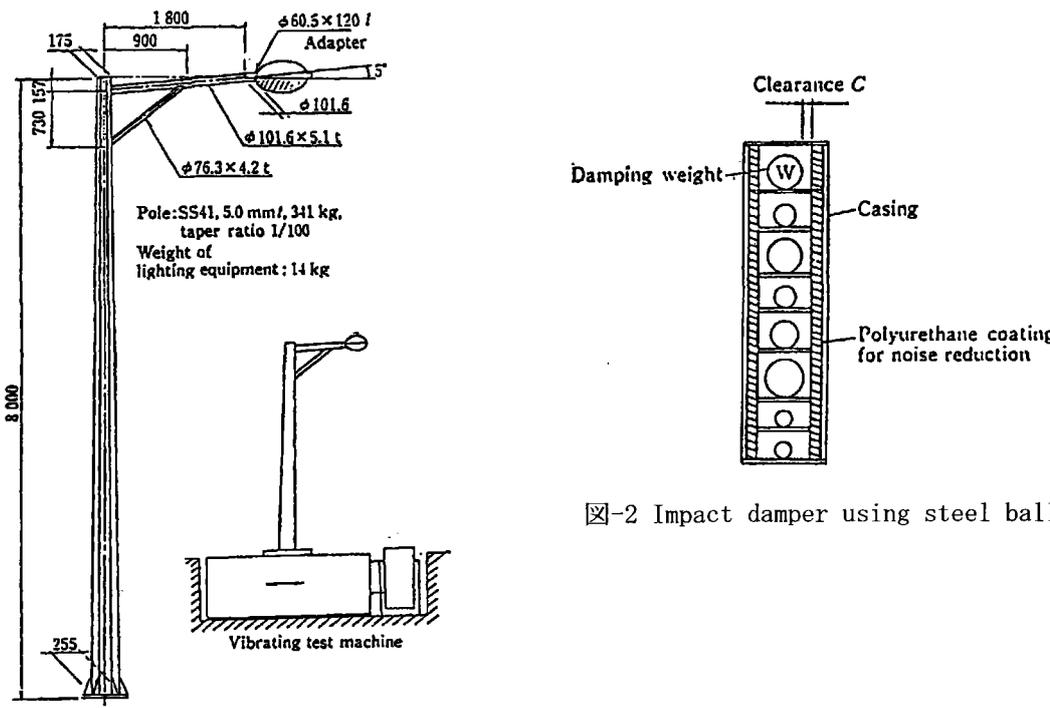
設計示方書：「鶴見航路橋耐風設計基準（案）」，「道路橋示方書共通編 2.1.11」
 風荷重：
 a. 設計風速： $V_D = v_1 \cdot v_2 \cdot V_{10}$
 v_1 ：高度による補正係数， v_2 ：水平長による補正係数， V_{10} ：基本風速
 耐風設計基準（案）によれば、主桁について $v_1 = 1.23$ ， $v_2 = 1.17$ ， $V_{10} = 43$ m/secとなっている。ここでは、局部的な応力に着目するため、 v_2 については 1.40（道示，共通編 2.1.11）を用いるものとする。
 $V_{10} = 1.23 \times 1.40 \times 43$ m/sec = 74 m/sec
 b. 設計風速
 $P_b = 1/2 \times \rho \times V^2 \times v_4 \times C_D \times A$
 ここに、 ρ ：空気密度 (=0.12Kgf·S²/m⁴)， v_4 ：荷重補正係数 (=1.3)，
 C_D ：抗力係数，A：投影面積
 抗力係数 C_D は簡易的に耐風設計基準（案）の表-3を用いて $C_D = 1.5$ とする。

表-3 付 表

断面形状	抗力係数	断面形状	抗力係数
風向 → ○ 円形断面	1.2	風向 → □ 矩形 (()は $r > d/12$ のとき)	1.5(1.1)
→ I 平板またはそれに近い形状	2.2	→ □ 正方形 (")	2.1(1.5)
→ — " —	1.8	→ □ 0.7 長方形	2.7
→ ◇ 正方形 (対角線方向)	1.5	→ □ 0.5 1 (()は $r > d/29$ のとき)	23(2.1)

振動現象	耐風安定性の照査
------	----------

参考文献	設計計算書（鶴見航路橋）
------	--------------

対象構造物	照明柱	設置橋梁	—
概要	<p>鋼球式衝撃減衰器を用いた照明柱の耐風制振設計手法に関する研究開発： (1) 風によって引き起こされる照明柱の渦励振振動の低減方法について、鋼球式衝撃減衰器の概要ならびに制振効果を振動実験、風洞実験での諸資料をもとに解析。 (2) 照明柱の断面形状、断面寸法について風洞実験から得た知見でもって設計。 (3) 鋼球式衝撃減衰器の制振効果に大きく影響を及ぼす鋼球の同期現象を減衰器の模型での振動実験から、各パラメータ間の相関を解明した。</p>		
試験体形状	 <p>図-1 Highway lighting pole with octagonal cross section and outline of vibration test machine.</p> <p>図-2 Impact damper using steel balls.</p>		
研究内容	<p>(1) 照明柱の基本振動特性、鋼球式衝撃減衰器の基本特性ならびに制振効果を振動実験、風洞実験での諸資料をもとに解析。</p> <p>①基本特性 低次振動対策の場合には比較的大きな制振子と遊間等を選定する必要があり、また高次対策の場合には比較的小寸法の制振子(この場合、制振子の個数は多くなる)と遊間等を選定するなどの十分なる配慮が肝要となる。 ・実物大の八角形断面照明柱の風洞試験により、照明柱が受ける強制振動外力を左右する空気揚力係数CLは大略0.3程度であり、既往研究における円形断面のそれとほぼ同程度の大きさであった。</p> <p>②制振効果： ・面外1次振動(共振振動数2.9Hz)に関しては振動台による基礎実験および実大風洞試験ともに減衰器を設置しない場合に比し90%程度振動振幅を減衰。 ・面外2次振動70~80%程度の低減となる。(図-3参照)</p>		

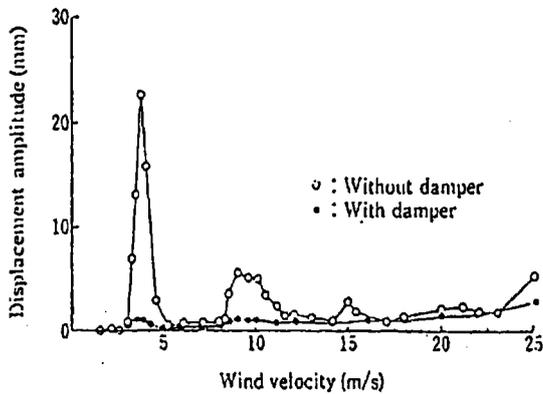


図-3 Effect of wind velocity on the displacement amplitude of the top of the pole.

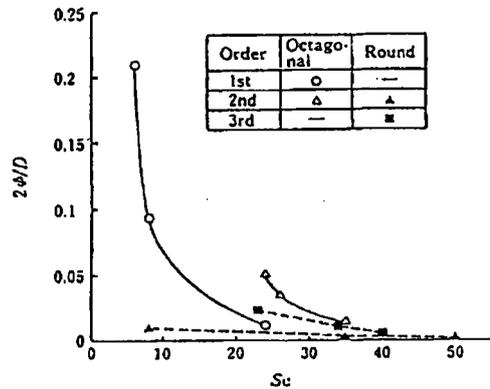


図-4 Relation between Scruton number Sc and nondimensionalized double displacement amplitude $2\Phi/D$

研究内容

(2) 照明柱の断面形状、断面寸法による影響

図-4に示すように、同じスクルーション数の場合、八角柱の方が円形柱より大きい渦励振が発生する。照明柱を耐風的にデザインする場合、以下の点に配慮することが望ましい。

- ① 支柱部をできる限り円形断面にすること
- ② 支柱部の断面寸法を、設計対象最大風速の静荷重換算外力に耐えうる範囲で小さくすること

(3) 振動実験から解明した鋼球の同期現象各パラメータ間の相関

- ① 制振装置が有効に作用するための必要条件である同期運動は、制振装置取付位置の変位に対する遊間の比が約2以下の時に無条件に見られるが、加速度が大きくなるにつれて、2以上でも同期連動する傾向がある。
- ② 同期運動するために必要な遊間の大きさは、制振装置取付位置の変位ならびに加速度より式(1)または(2)により求められる。

$$\left. \begin{aligned} C/\Phi &= 0.0038\Phi + 1.7 \quad (100 \leq \Phi \leq 700) \\ C/\Phi &= 4.4 \quad (\Phi > 700) \end{aligned} \right\} \dots \dots (1)$$

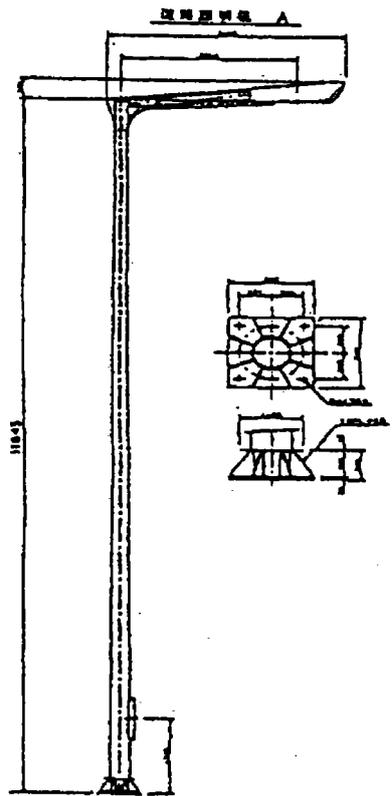
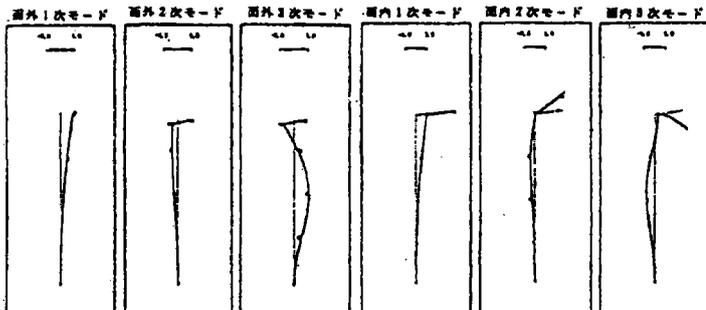
C: 遊間(m), Φ : 入力振動数

$$\left. \begin{aligned} C/\Phi &= 0.0030\Phi + 1.7 \quad (100 \leq \Phi \leq 800) \\ C/\Phi &= 4.1 \quad (\Phi > 800) \end{aligned} \right\} \dots \dots (2)$$

C: 遊間(m), Φ : 入力速度

- ③ 最適遊間は、照明柱の各次数の制振装置取付位置の変位、加速度に対する限界の遊間値のうち最小のものを求めることにより得られる。
- ④ 照明柱と制振装置との一体解析により、制振装置の効果を解析的に求めることができる。
- ⑤ 制振装置の遊間が大きいほど衝撃力は大きいですが、逆に小さいほど早く制振装置として機能し始める。
- ⑥ 鋼球重量が大きいほど制振効果は大きいですが、通常は2～4個の鋼球で十分な制振効果が得られる。
- ⑦ 反発係数が大きいほど制振効果は大きいですが、制振装置内部に防音用の樹脂を塗布し反発係数が減少しても十分な制振効果がある。

参考文献 1) 城, 金子, 永津, 高橋, 木村, 「耐風照明柱の開発」川崎製鉄技報 20(1988) 4. 308-314
 2) 城, 烏野, 永津, 金子, 植木, 高橋, 「照明柱の耐風設計手法」川崎製鉄技報別刷 1990 Vol. 22No. 1

対象構造物	照明柱	設置橋梁	明石海峡大橋
概要	<p>丸ポールの採用ならびに従来の灯具にくらべて形状が特異であること、過去の事例から有風時の有害な振動が予測されたため耐風性の照査を必要としたため風洞実験を主体に検証を行った。</p> <p>①照明柱の耐風応答特性を調査 ②制振対策となる制振装置（チェーンダンパー）の設計データを取得 ③空力制振対策で有効である円弧デフレクターの制振効果</p>		
形状	 <p>図-1 試験体形状</p>		
内容	<p>風洞実験の結果、本照明柱の応答偏角特性は、面外3次が$\beta=5^\circ$と180°，面外2次は$\beta=0^\circ$で渦励振最大振幅となる。また、高風時には1次卓越の服即振動が発生，その振幅は乱流中で約2倍に増加。</p>  <p>図-2 模型の各振動モード</p>		

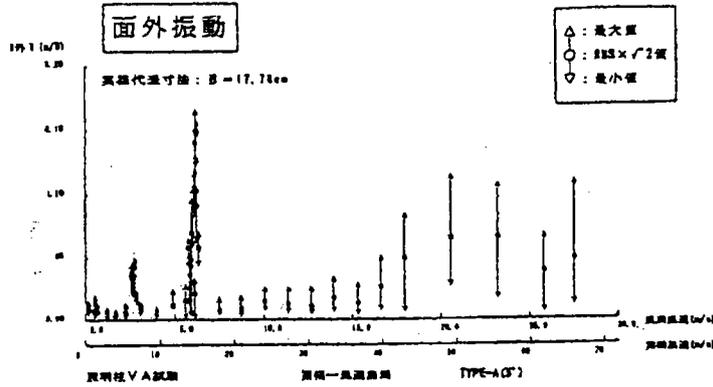


図-3 風速一振幅の関係 ($\beta=5^\circ$)

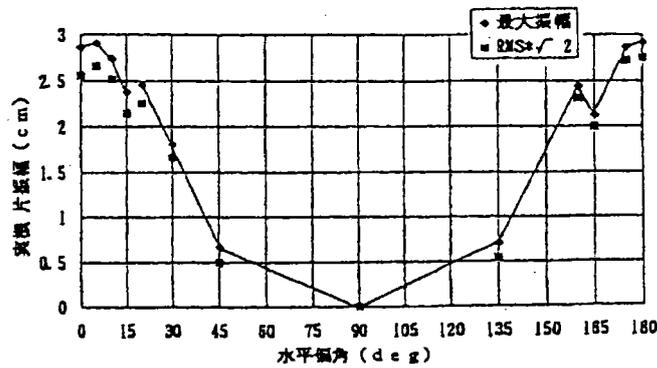


図-4 水平偏角と渦励最大振幅の関係

内容

制振対策：

①チェーンダンパー

制振対象である面外3次の $\beta=5^\circ$ と 180° ，面外2次の $\beta=0^\circ$ における構造減衰率と応力振幅の関係を調査した結果，本実機照明柱に設置される制振装置（チェーンダンパー）による減衰の付加が面外3次で対数減衰率が $\delta=0.04$ 以上，面外2次で対数減衰率が $\delta=0.006$ 以上であれば灯具位置の加速度は1G以下になることが判明した。

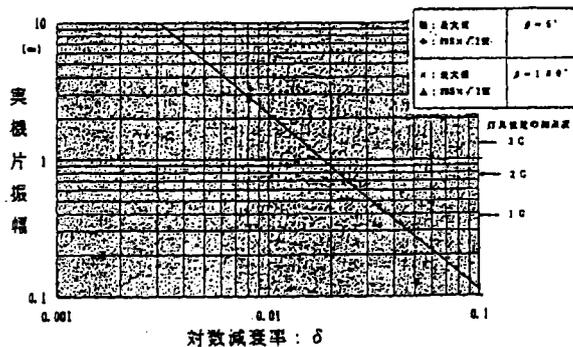


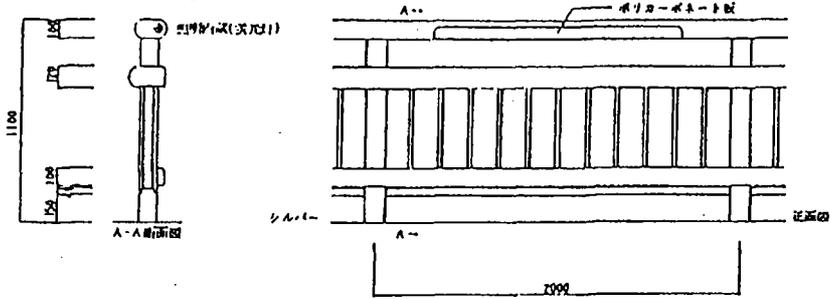
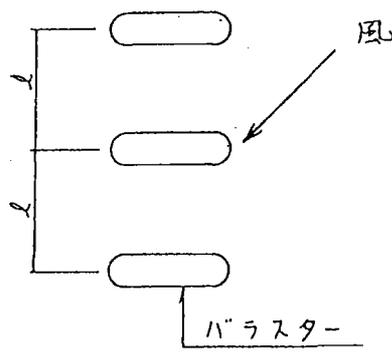
図-5 応答最大振幅と付加減衰率の関係<面外3次モード>

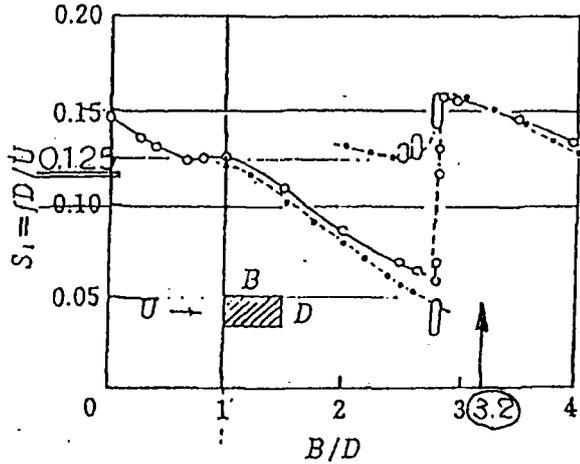
②円弧デフレクター

空力対策の円弧デフレクターを設置した場合，面外方向の渦励振振幅の低減が確認されており，制振装置との併用も可能と考えられる。

参考文献

斉藤，岩屋，帆足，「明石海峡大橋照明柱の耐風性検討」土木学会大52回年次学術講演会 平成9年9月

対象構造物	高欄	設置橋梁	—
現象	騒音		
形状	 <p style="text-align: center;">図-1 景観検討により決定した高欄形状</p>  <p style="text-align: center;">図-2 騒音対策のためのバラスター形状</p>		
設計条件	<p>高欄のさんが縦型であると、強風により騒音が発生した事例がある。これは、橋の両側に設置されている高欄とこれに斜め方向より吹く風とによって生みだされる純空力的な現象に起因するものと考えられる。</p>		
振動現象	カルマン渦による騒音		
制振対策	バラスター形状を流線型にすることによりカルマン渦の発生を防止		
参考文献	「高欄部騒音防止の対策検討」 (財) 漁港漁村建設技術研究所		

対象構造物	高欄		—
現象	騒音		
	<p>(1) 手摺子の固有振動数 両端支持とする。固有振動数；fは</p> $f = \frac{(\Pi)^2}{2\Pi l^2} \sqrt{\frac{EIG}{\rho A}}$ $f = \frac{(2\Pi)^2}{2\Pi l^2} \sqrt{\frac{EIG}{\rho A}}$ <p>ρ；アルミ密度=0.0027k9/cm³ G；重力加速度=980cm/s² E；ヤング率=7×10⁵kg/cm² I；断面二次モーメント=0.55cm⁴ A；断面積=1.8cm² l；手摺子長=85cm ()内は2次モード</p> <p>(2) 手摺子を共振せしめる風速 手摺子を共振せしめる風速；Uは、 B/D=3の時、ストロハル数St=0.15、(図-1参照) St=f・D/Uより</p> $U = \frac{fD}{St} = \frac{60.6 \times 1.4}{0.15} = 5.7m/s$ <p>D；手摺子の幅 1.4cm B；手摺子の厚さ 4.5cm</p> 		
参考文献	「標準的な高欄の振動数、風速推定(概算)」		

対象構造物	高欄		—
-------	----	--	---

現象	騒音
----	----

高欄の音鳴りについて

1. 音を発生するのは縦格子で、表-1 に示すように2種類に分類できる。
 (1) 縦格子の振動による音鳴り
 (2) 風切り音による音鳴り

表-1 高欄の音鳴り

イメージ	原因	特徴	対策	特記
	<ul style="list-style-type: none"> ・カルマン渦による共振 ・縦格子が振動して音を発生する。 〔一次振動、まれに二次振動〕 	<ul style="list-style-type: none"> ・振動数は経験上 $f = \frac{(\pi)^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{EIG}{\rho A}}$ (L: 両端単純支持) ・音の振動数は低い。 100~200 Hz 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 縦格子を短くする 2. 縦格子を横装でつなく 3. 縦格子の剛性を強くする 	<p>*: f: 固有数 (Hz) E: ヤング率 $7 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ I: 断面二次モーメント G: 剛性係数 $980 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ ρ: 密度 0.0027 kg/cm^3 A: 断面積 L: 縦格子長</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ・詳細は不明 ・縦格子のエッジで発生した渦が次の縦格子で発生する渦と干渉を起こし、音を発生する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・風向、風速が限定される。 ・音の振動数が高い。 約 800~1200 Hz 	<ol style="list-style-type: none"> 1. エッジを丸くする (3R以上) 	

2. 発生する地域的な特徴

- (1) 海上に架けられた橋の高欄
- (2) 大きな川の河口に架けられた橋の高欄
- (3) 高い場所(高欄は少ない)
- (4) 風下の高欄は発生しない

参考文献	「高欄の耳鳴りについて」
------	--------------

対象構造物	手すり		—
-------	-----	--	---

現象	騒音
----	----

内容	<p>手すりに発生する風騒音が、風の強さ，風向き，手すり子の断面形状や構造によってどのように変化するかを風洞実験によって検討。</p> <p>測定原理及び装置 風が手すり子を通り抜ける際に発生する騒音の発生原因は次の2つが考えられる。</p> <p>(1) 風が手すり子を通り抜ける際に発生する渦の相互干渉によって生じる風切音 (2) 手すり子の共振による振動音。</p> <p>本実験ではこの2つを区別するために発生音の周波数分析と同時に手すり子の振動測定を行った。</p> <p>試験風速は4～2m/sまで2m/sピッチで変化させた。</p> <p>試験体に垂直に当たる場合を風向角$\alpha = 0^\circ$としてNo.1では$\alpha = 0^\circ \sim 180^\circ$，No.2～4では$\alpha = 0^\circ \sim 50^\circ$について測定。</p> <p>手すり子の長さ1/2と1/4点にひずみゲージを設置。</p>
	<p>図-1 試験体形状</p>
	<p>実験結果：</p> <p>a. 断面形状による差は比較的少ない。</p> <p>b. 手すり子のピッチが狭いほど音圧が高い。(図-2)</p> <p>Hubertの通過圧力差と発生音パワースペクトルとの関係(式-1, 2)から表す。</p> $Lw_1 = 10 \log \xi^3 \cdots (1)$ $\xi = \frac{\Delta P}{0.5 \rho U^2} \cdots (2)$ <p>Lw_1: 圧力差に関する音響パワー (db), ρ: 空気密度 (kg/m^3), U: 平均風速 (m/s) ξ: 基準化圧力差率, ΔP: 手すり子通過圧力差 (N/m^2)</p>

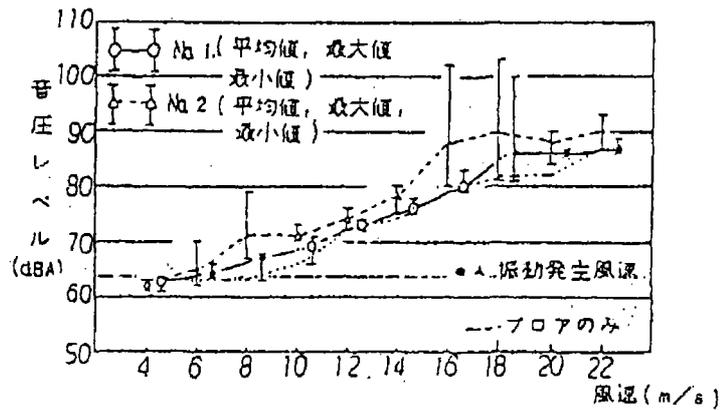


図-2 手すり子ピッチによる騒音レベルの比較

- c. 手すり子と横棧との取付部に緩衝材を挟み込むことで音圧レベルが若干低減される。
- d. 最も顕著な発音が認められた風速18m/s時において、風が試験体に垂直に近づくほど高周波域における音圧レベルが高くなる。(図-3)

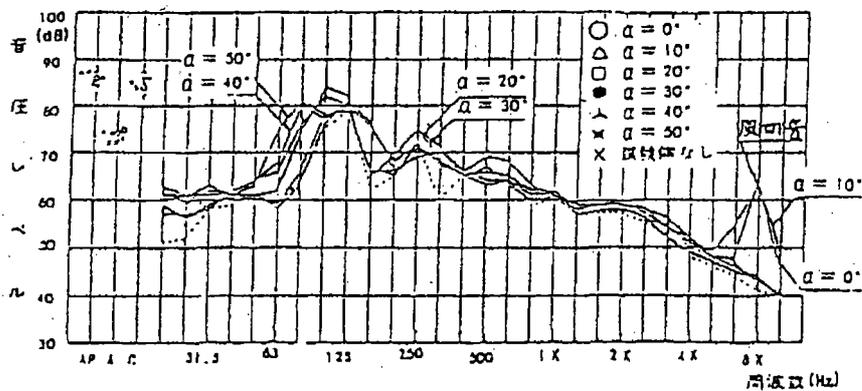


図-3 発生音の周波数分析結果例
(試験体No.3 $\alpha=0^\circ \sim 50^\circ$ 風速12m/s)

- e. 高周波域において振動を伴わない風切音が確認されたが音圧レベルは大きくない。

対策:

手すり子の振動と同時に風騒音が発生する。手すり子の固有振動数(n)と共振風速(U_c)との関係を(式-3)に示している。

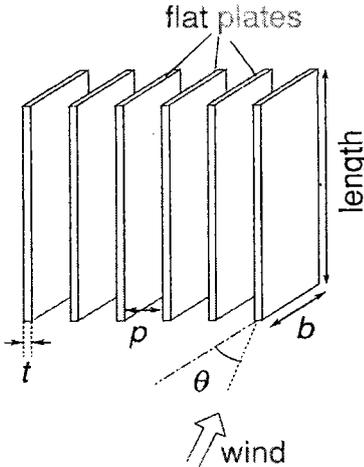
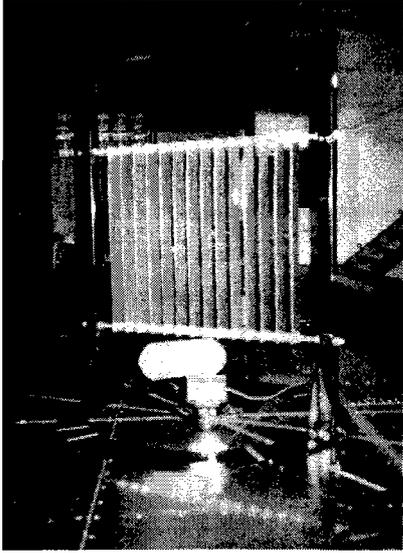
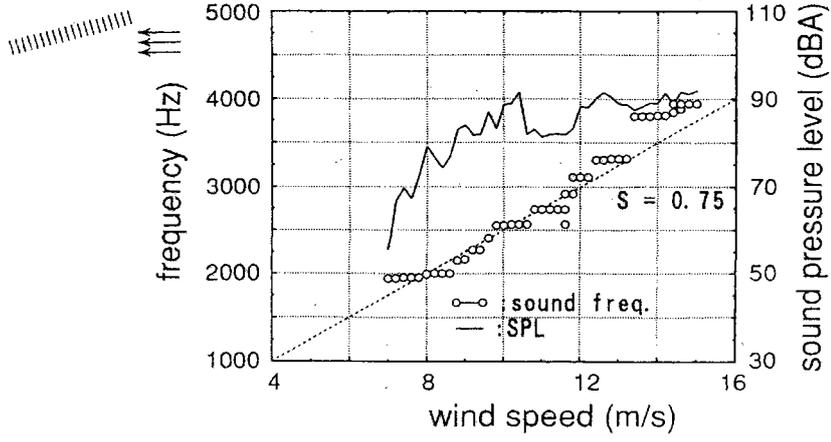
$$U_c = \frac{nd}{S} \dots (3)$$

S: ストローハル数, n: 固有振動数, d: 手すり子の見付け幅

よって、手すり子の固有振動数を高めるか手すり子の見付け幅を変えて発現風速を上げる。

参考文献

十倉、和木、西村：日本建築学会大会学術講演（関東）s59.10
建物手すりによる風振動の実験的検討

対象構造物	高欄	設置橋梁	—
現象	騒音		
試験体形状	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  <p> t : thickness b : width p : spacing interval θ : horizontal angle of wind attack </p> </div> <div style="width: 45%; text-align: right;">  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>図-1 模型形状</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>図-2 平板列模型</p> </div> </div>		
内容	<p>平板列で構成される高欄に生じる空力騒音の発生メカニズムを風洞実験によって検討。平板の厚さt、幅b、間隔p、風向θをパラメータとした。</p> <p>発生した騒音は、「キーン」という純音性の不快な音で、平板の振動を伴わない、空力的な騒音と考えられた。空力騒音の測定例を図-3に示す。発生音の周波数は風速の増加に伴って階段状に増加した。平板の厚さtを代表長とすると、周波数fは、風速Uに対して、$f = S \times U / t$というおおまかな関係があり、Sは多くの場合約0.75、少数のケースで1.5という値をとった。また、図-4に示すように、平板の幅/間隔比 (b/p) が大きいほど、音が発生する風向θが大きくなった。</p> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  </div> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">図-3 空力騒音の測定例 ($t=3\text{mm}$, $b=70\text{mm}$, $p=30\text{mm}$, $\theta=75^\circ$)</p>		

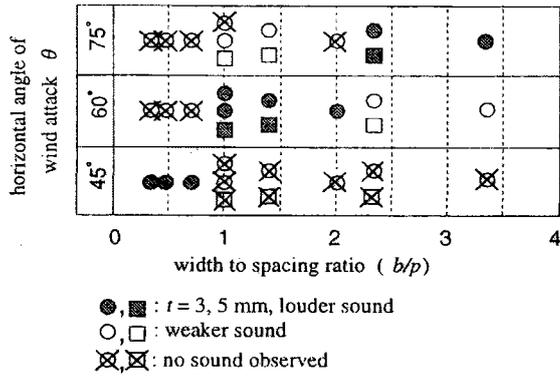


図-4 b/pと空力音の発生する風向との関係

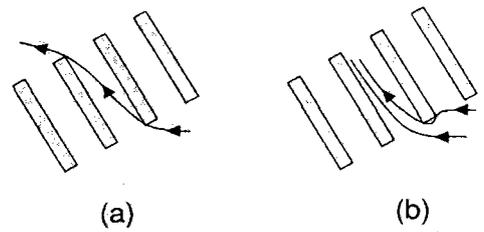


図-5 可能性のある流れパターン

内容

音の発振源となる流れパターンとして、既往の研究では図-5(a)が考察されている例がある。しかし可視化を行った写真(図-6)をみると、風上側の流上側端部の角から剥離した流れは、風下側の平板に沿って平行に流れている。またこの流れパターンは、b/pが大きいほど音が発生する風向 θ が大きくなる図-4の結果とも整合しない。そこで、図-5(b)の流れパターン(平板の上流側端部を回りこむ流れが上流側端部の2つの角と干渉することによって大きな圧力変動が生じる)が、音の発振源であると推察された。これは、可視化の結果、音が発生する風向 θ の傾向、平板の厚さが渦発生周波数に関する代表長となっていること、と整合する。

発生音の周波数が階段状に変化するのには、何らかの共鳴機構が存在するためと考えられた。平板列の平板間に形成される気柱モードに関しては既往の研究があり、それに基づいて気柱モードの固有周波数を計算したところ、図-7に示すように、実験結果と計算値はほぼ整合した。さらに、模型中央高さ位置に平板長さを2等分する仕切り板を設置した場合の、発生音の周波数の特性も、既往の研究に基づく計算値によって説明されるものであった。こうしたことから、平板間に形成される気柱モードによって圧力変動が増幅され、気柱モードの固有周波数をもつ大きな空力騒音が発生しているものと考えられた。

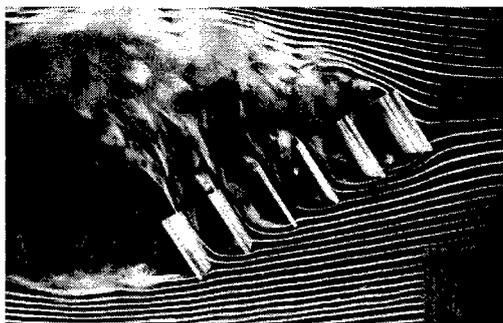


図-6 平板列まわりの流れの可視化

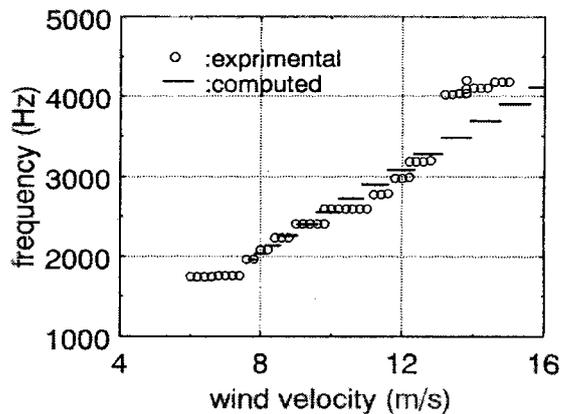


図-7 発生音の周波数実測値と気柱モードの固有周波数の計算値の比較

参考文献

- 1) 比江島, 嶋田, 木村, 藤野, 野村: 平板列で構成される高欄に生じる空力音に関する実験的研究, 日本風工学会誌, No. 55, pp. 111-112, 1993.
- 2) Kimura, Hiejima & Fujino: An experimental study on aerodynamic noise from handrails of flat plate cascades, Proc. 9th Int. Conf. on Wind Eng., Vol. 5, pp. 49-56, 1995.

・橋梁と基礎リスト (ここでは1968年から2001年までの橋梁と基礎に掲載された文献の中で風荷重や風による振動に関するものを取り上げた。)

付属物に関するもの ※1	年	号	ページ※2	論文名	著者名	備考
	1967	1		創刊号		創刊号
	1967	12	欠			
	1968	4	31	新十三大橋の工事⑥=設計施工上の問題と各種の調査実験=(下)	近藤 和夫, 井上 洋里, 加藤 隆夫, 佐々木 茂範	模型実験。水平荷重をピアノ線を与える
	1968	8	10	鋼管を用いた橋梁部材の風による振動とその対策①	田辺 末信, 塩井 幸武, 松井 友二, 白木 万博	鋼管取り付け部の補強とワイヤー巻き付け
	1968	9	18	鋼管を用いた橋梁部材の風による振動とその対策②	田辺 末信, 塩井 幸武, 松井 友二, 白木 万博	
	1968	10	32	斜張橋	田村 周平	
	1968	10	36	吊橋	伊藤 学	
	1968	11	35	鋼管を用いた橋梁部材の風による振動とその対策③(完)	田辺 末信, 塩井 幸武, 松井 友二, 坂田 弘	模型風洞実験
	1968	12	欠			
	1969	1	5	海峡連絡橋の建設技術	池田 肇, 伊藤 学, 大久保 忠良, 乙藤 憲一, 相良 正次, 田島 二郎, 吉田 巖, 多田 安夫	
	1969	7	15	欧米の長大橋工事(5)	池田 哲夫	
	1969	7	36	ボスボラス海峡に計画されている6車線吊橋の設計		
	1969	8	31	吊床版橋	国広 哲男, 吉田 正吾, 野尻 陽一	
	1970	9	23	トラス橋の格点構造に関する一考察	土井 佑介	アーチ部材パイプに砂を入れて共振風速を上げる
	1970	12	7	浦戸大橋の計画と設計	小畑 英次, 御小紫 光春, 石丸 征男	アクリル樹脂模型実験
	1970	12	14	本四架橋調査の一環としての上吉野川橋	荒川 正一	
	1970	12	26	豊里大橋(斜張橋)の設計と架設	近藤 和夫, 井上 洋里, 佐伯 章美, 松川 昭夫	
	1971	1	6	荒川大橋(斜張橋)の設計施工	岡田 哲夫, 矢作 枢, 大野 惣平	
●	1971	9	1	風による橋梁部材の振動	成田 信之	ランガー橋吊材
	1971	10	欠			
	1972	10		海峡連絡橋特集		
	1972	10	30	海峡連絡橋と風	大久保 忠良	
	1972	11	1	鋼道路橋施工便覧【解説】	池田 甫	
	1973	10	21	架橋位置の自然条件の概要—潮流, 波浪, 風, 霧, その他—	小松 育成	
	1973	10		本州四国連絡橋特集		
	1973	10		耐風	榎波 義幸	耐風実験期模型橋
	1974	11	40	だれがタコマを墜したか(10)	川田 忠樹	
	1977	3	1	長スパンの斜張橋	Prof. Dr.-ing. Fritz Leonhardt Stuttgart, Germany	
	1977	4	9	高架橋の耐風設計	近藤 明雅, 内田 茂男, 齊藤 昭三, 菊池 洋一	
	1977	6	42	欧州橋梁技術調査団報告(その4)橋梁編—第1報—	山本 崇史, 北川 信	
	1978	1	13	平戸大橋補剛桁の架設工法	木下 博, 高山 弘美, 中野 雄太, 山本 正雄, 丹治 康行	
	1978	4	21	大和川橋梁(長大斜張橋)の構造について	笹戸 松二, 江見 晋, 石崎 浩	
	1978	5	41	永歳橋上部工の架設	関野 昌丈, 来島 武, 小方 武雄, 平山 徹	
	1978	8	15	米国における斜張橋設計法の現状	Chris S. C. Yiu, Man-Chung Tang	
	1978	11	8	川崎橋の設計と施工	加藤 隆夫, 黒山 泰弘, 日種 俊哉, 寺西 功, 松村 博	
	1978	11	47	落橋とその原因—風による事故について—	栗野 純孝	
	1979	5	20	六甲大橋(トラス型式斜張橋)の現地振動実験	小松 定夫, 岡田 重富, 川谷 充郎	
	1979	9	23	世界の海峡連絡橋の計画	橋梁と基礎海外文献研究グループ	
	1979	12	33	新日之影橋(仮称)の計画と下部工の設計, 施工	加来 勝司, 藤本 担	
	1980	3	23	安治川橋梁(斜張橋)の構造	竹元 千多留, 田井戸 米好, 江見 晋	
	1980	3		安治川橋梁(斜張橋)の構造	竹元 千多留, 田井戸 米好, 江見 晋	

※1 ◎ 付属物に関するもので事例集に転載したもの。 ● 付属物に関するもの。 △ 内容の一部に付属物が含まれるもの。
 ※2 「欠」は未調査

	1981	1	4	南港歩行者専用道橋（3径間連続斜張橋）の設計	渡辺 義方, 木本 栄一, 日種 俊哉, 南條 正洋, 石田 貢
	1981	1	37	2径間非連続斜張橋の構造特性と実橋試験 —合掌大橋（旧名：新滝橋）—	倉島 収, 石井 和夫, 松橋 省, 前田 研一
	1981	1		南港歩行者専用道橋（3径間連続斜張橋）の設計	渡辺 義方, 木本 栄一, 田種 俊哉, 南條 正洋, 石田 貢
	1981	3	27	樺石島・岩黒島道路鉄道併用斜張橋の設計（3）	成井 信, 松下 貞義, 山根 哲雄, 八田 政仁
	1982	1	30	ポルトピア大橋の設計上の諸問題（下） —検討事項と試験・計測—	土井 佑介, 前田 佳男, 水上 義彦, 竹村 勝之
	1982	2	23	Parana川に架かるZarate-Brazo Largo 斜張橋の模型実験	F. Leonhardt, W. Zellner, R. Saul 訳）成井 信, 上坂 康雄
	1982	3	45	橋梁振動に関する訪中団報告（下）	日本橋梁振動技術交流団
	1982	4	39	P C斜張橋の紹介（下）	小川 英信, 成井 信, 岡野 哲
	1982	9	33	海外橋梁技術調査団報告—第1報— （Humber橋, Severn橋, Little Belt橋ほか）	欧州橋梁技術調査団
	1982	10	43	海外橋梁技術調査団報告—第2報— （Brotonne橋, St. Nazaire橋, Knie橋ほか）	欧州橋梁技術調査団
	1982	11	10	橋桁のフラッターと風の乱れ	宮田 利雄, 山田 均
	1983	11	11	門崎高架橋の設計・製作	宮下 力, 是角 行雄, 大橋 治一, 宇野 裕恵, 藤本 勝武
	1983	12		名港西大橋（上部工）の設計	加藤 信夫, 飯岡 豊, 川人 達男
	1984	2		門崎高架橋の耐風安定性	宮下 力, 藤沢 信光, 大橋 治一, 宇野 裕恵
	1984	7		Tjorn新橋の耐風検討	E. Koger 訳者 前田 研一, 米田 鼎弘
	1984	8	75	耐風設計	古屋 信明, 金崎 智樹
	1984	8		本州四国連絡橋特集	
	1984	10		淀川橋梁（斜張橋）の計画と設計	牧野 文雄
	1984	11		高梨大橋の設計と施工	中武 郁夫, 竹中 裕文, 栗本 信造, 二宮 隆史, 岸田 博夫
	1986	8		【特集 橋梁付属物】	
●	1986	8	109	海外の橋梁付属物 耐風制振装置(TMD方式)	平島 寛
◎	1986	8	118	大鳴門橋の橋梁点検補修作業車	成田 秀志, 古賀 昇
●	1986	8	123	ダンパー	矢作 枢
	1989	4		風に	山田 均
	1989	8		【特集 風と橋】	
	1989	8	3	これからの耐風設計への夢	成田 信之
	1989	8	4	耐風設計にまつわる風の話	小松 定夫
	1989	8	6	超大型風洞	吉田 巖
	1989	8	9	風との戦い	川田 忠樹
	1989	8	13	地震からみた風	伯野 元彦
	1989	8	15	基礎からみた風	五十嵐 功
	1989	8	17	疲労からみた風	三木 千壽
	1989	8	20	建築からみた風	河井 宏允
	1989	8	23	風からみた風	白石 成人
	1989	8	26	海外の橋の耐風設計	伊藤 学
	1989	8	30	耐風設計の方向	宮田 利雄
	1989	8	43	横浜ベイブリッジの耐風対策	和田 克哉, 恵谷 舜吾, 東田 弘寛, 高野 晴夫
	1989	8	57	長大橋梁に対する耐風設計の変遷	岡内 功
	1989	8	67	道路橋耐風設計便覧の背景と概要	横山 巧一, 佐藤 弘史
●	1989	8	75	斜張橋ケーブルの風による振動と対策	横山 巧一, 日下部 毅明
	1989	8	85	橋桁の渦励振とその制振	藤澤 伸光, 園部 好洋
	1989	8	94	耐風工学における数値風洞についての現況と展望	岡島 厚
	1989	8	112	耐風設計の豆知識	久保 喜延

※1 ◎: 付属物に関するもので事例集に転載したもの。 ●: 付属物に関するもの。 △: 内容の一部に付属物が含まれるもの。
※2 「欠」は未調査

	1991	5		東神戸大橋の耐風設計	松本 勝, 小川 一志, 北沢 正彦, 斎藤 通, 石崎 浩, 下土居 秀樹	
	1991	6		大型風洞施設による全橋模型試験の概要	保田 雅彦, 勝地 弘, 鈴木 周一, 金崎 智樹	
	1992	2		横浜ベイブリッジの振動試験	和田 克哉, 小山 次郎, 高野 春夫, 津村 直宜, 林 寛之	
	1992	4		幸魂橋の施工と制振対策	河田 寛行, 武井 光明, 飯名 勇, 宮本 義雄, 山本 暢明, 安藤 修	
	1992	4		天保山大橋のケーブル振動とその対策	宮坂 佳洋, 南荘 淳, 南条 正洋, 加道 博章, 石飛 太郎	
	1992	4		講座：耐風工学アプローチ① 耐風工学をはじめよう！	山田 均	
	1992	5	9	梅沢橋（仮称）の計画・設計	田代 研一, 紅林 章央, 小林 洋二	TMD
	1992	5		斜張橋の曲げおよびねじれ1次固有周期の簡易算定式	長井 正嗣, 川畑 治	
	1992	5	41	講座：耐風工学アプローチ② 風によりどのようなことが起きるのでしょうか？	山田 均	
	1992	6	43	講座：耐風工学アプローチ③ 風による現象はどのように説明できますか	山田 均	
	1992	7		講座：耐風工学アプローチ④ 耐風設計への一歩	山田 均	
	1992	8		架設時における斜張橋の耐風性	北沢 正彦, 金沢 英貞, 齊藤 通, 酒井 洋典	
	1992	8		架設時における吊橋の耐風性	山崎 和夫, 佐藤 栄作, 富永 博夫, 並川 賢治	
	1992	9		講座：耐風工学アプローチ⑤ 悩み多き耐風工学	山田 均	
	1992	10		さぬき府中湖橋の設計と架設	明石 行雄, 小島 治雄, 井出 俊也, 森 滝義, 酒井 洋典, 磯江 暁	
	1992	10		講座：耐風工学アプローチ⑥ 風洞実験の前に	山田 均	
	1992	11		講座：耐風工学アプローチ⑦ 等価質量とは何でしょう	山田 均	
	1992	12		合成補剛桁を有する超長大吊橋の提案	中村 俊一, 森園 康之, 長井 正嗣, 藤野 陽三	
	1992	12		講座：耐風工学アプローチ⑧ 風洞実験をお始めになりますか？	山田 均	
	1993	1		講座：耐風工学アプローチ⑨ 風洞実験結果を見慣れない方へ	山田 均	
	1993	1		天保山大橋の振動実験	江原 武, 森 喜仁, 植田 利夫, 南条 正洋	
	1993	2		講座：耐風工学アプローチ⑩最終回 うまくいっているような気はしています	山田 均	
	1993	2		東神戸大橋主塔および鋼製ラーメン橋脚の振動実験	北沢 正彦, 正田 正一, 坂井 藤一, 高枝 新伍, 玉木 利裕, 恒川 晶宏	
	1993	6	33	南田原1号線（PC斜張橋）の設計（下）	大塚 久哲, 小野 義春, 碓 公男, 若狭 忠雄	
	1993	8	49	吊橋の補剛トラス—明石海峡大橋における補剛トラスと補剛箱桁—	吉田 吉孝	
	1993	8	157	フォース橋とケベック橋	田中 宏	
△	1993	9	31	表面粗度を持つケーブルの空力特性に関する実験的研究	宮田 利雄, 北條 哲男, 山田 均	
	1993	10	9	名港中央大橋の風荷重	初山 好幸, 富田 昇, 鈴木 祐二	
	1993	11	19	レインボーブリッジ上部工の設計・施工（上）	和泉 公比古, 小田桐 直幸, 吉嶋 征三, 荻原 充信	
	1993	12	17	レインボーブリッジ上部工の設計・施工（中）	和泉 公比古, 小田桐 直幸, 吉嶋 征三, 荻原 充信, 川田 成信	
	1993	12		生口橋実橋振動実験	藤原 亨, 玉越 隆史, 植田 利夫, 南条 正洋, 小林 義和	
	1994	1	7	木津川新橋（バランスドアーチ橋）の設計と施工（上）	藤澤 政夫, 横田 哲也, 丸山 忠明, 中池 映司	
	1994	1	29	レインボーブリッジ上部工の設計・施工（下）	和泉 公比古, 小田桐 直幸, 吉嶋 征三, 荻原 充信	
	1994	4	7	和歌山マリーナシティ連絡橋・サンブリッジの設計と施工	宮脇 聖, 松本 憲治, 友永 則雄	
	1994	7	2	小田原港橋の施工	小野寺 勇, 松井 保幸, 相葉 和俊, 春日 昭夫, 木水 隆夫	ケーブルダンパー
	1994	7		新浜寺大橋実橋振動実験	堀松 正芳, 小松 郁夫, 杉本 正信, 西 星 匡博	
	1994	9	39	高架橋梁における付属物の取付け継手部の研究—ボルトの弛み特性と長孔—	藤谷 就, 井岡 孝司, 梶原 一夫, 菅原 一昌	
	1994	11	9	中島大橋（仮称）の耐風安定性に関する調査	亀井 正博, 小林 義和, 川上 睦二, 細見 雅生	
	1994	11	29	台北MRTの吊り屋根「ドラゴンポート」の構造と施工	藤田 進, 伊奈 義直, 山王 博之	大型ダンパー
	1994	11		中島大橋（仮称）の耐風安定性に関する調査	亀井 正博, 川上 睦二, 小林 義和, 細見 雅生	
	1994	12	19	有明西運河橋の設計・施工	和泉 公比古, 富永 博夫, 吉嶋 征三, 荻原 充信	

※1 ◎:付属物に関するもので事例業に転載したもの。●:付属物に関するもの。△:内容の一部に付属物が含まれるもの。
※2 「欠」は未調査

	1995	2	暴風時質量付加型超長大吊橋	川田 忠樹, 野村 國勝, 中崎 俊三, 江崎 正浩	
	1995	5	白鳥大橋主塔の設計・施行	小長井 宣生, 西本 聡, 東 康宏, 深谷 茂広	
	1995	6	27	抗力が小さく空力的に安定な斜張橋ケーブルの開発	北条 哲男, 宮田 利雄, 山崎 伸介, 山田 均
	1995	6	白鳥大橋主塔の架設時制振対策	小長井 宣生, 西本 聡	
	1995	11	7	伊唐大橋の上部工施工	折田 秀三, 藤岡 秀信, 福田 博文, 上迫田 和人, 前田 勉, 佐野 忍
	1995	11	7	伊唐大橋の上部工施工	折田 秀三, 藤岡 秀信, 福田 博文, 上迫田 和人, 前田 勉, 佐野 忍
	1996	5	23	白鳥大橋補剛桁の設計・製作	西本 聡, 前川 勉, 山地 健次, 東 泰宏
	1996	6	12	大島大橋の計画と設計	久松 昭人, 有吉 正敏, 神田 秀光, 辻 治生
	1996	7	20	中国における長大吊橋	劉 健新
	1996	10	2	サンマリンプリッジの設計と施工	宮野 修, 夏目 良平, 山下 幹夫, 竹房 秀一, 横田 務, 鴻見 浩明
	1996	10	23	耐風性を考慮した高橋脚高架橋の足場設計・施工方法	松本 勝, 長井 正, 森山 陽一, 鈴木 正直
	1997	6	2	児捨川ガス管橋の設計と施工	吉野 進, 谷川 健二, 中村 光良, 横手 武聡
◎	1997	6	13	来島大橋キャットウォークの設計・施工	平野 信一, 北条 哲男, 籠 興一郎, 杉本 雅一, 薄井 稔弘, 山下 保
	1997	6	37	有明西運河橋の耐風安定性に関する検討	山崎 和夫, 葛西 俊二, 半野 久光
	1997	11	21	鶴見つばさ橋の振動特性	大塚 昭夫, 高野 晴夫, 山口 宏樹, 小笠原 政文, 下里 哲弘
	1997	12	9	東京湾アクアラインの橋梁上部工の設計施工	石黒 重雄, 佐藤 純
	1998	2	15	夢洲～舞洲連絡橋（仮称）の計画と設計（上）	丸山 忠明, 岸本 俊雄, 川村 幸男, 田中 洋, 津田 智康, 安田 義則
	1998	6	11	牛深ハイヤ大橋の設計と施工	大倉 理稔, 岡部 憲明, 坂本 敏彦, 土谷 重勝
	1999	3	2	あゆみ橋の設計と施工	清水 政和, 阿部 登, 竹内 禮禮, 近藤 真一, 奥村 一彦
◎	2000	12		橋梁に取り付けられる道路照明柱の制振対策	別井 仁, 飯嶋 俊比古, 神山 浄

※1 ◎:付属物に関するもので事例集に転載したもの。●:付属物に関するもの。△:内容の一部に付属物が含まれるもの。
※2 「欠」は未調査

・技報リスト

《1/2》

NO.	論文名	工事名または橋梁名	客先名	発行元	年月
1	信喜橋の振動特性	信喜橋	島根県 邑智村	三井造船	1980.10
2	尾の崎大橋（トラスド・ランガー橋）の設計と施工	尾の崎大橋	関西電力	三井造船	1982.01
3	橋梁の耐風設計に関する基礎的研究	-----	-	三井造船	1982.10
4	偏平多室箱断面を有する斜張橋－安治川橋梁の設計－	安治川橋梁 （天保山橋梁）	阪神公団	三井造船	1985.10
5	太径ケーブルを有する斜張橋－淀川橋梁（仮称）の設計－	淀川橋梁	大阪府 道路公社	三井造船	1986.10
6	長大吊橋偏平断面補剛桁の耐風安定性に関する実験的研究	-----	-	三井造船	1988.10
7	名港西大橋（Ⅱ期線）塔の設計と施工	名港西大橋（Ⅱ期線）	道路公団	三井造船	1997.02
8	1本柱独立塔を有する斜張橋の塔制振対策－幸魂橋（上り線）	幸魂橋（上り線）	関東地建	三井造船 鉄構工事	1990.08
9	2径間連続一面ケーブル斜張橋の架設－幸魂橋（上り線）	幸魂橋（上り線）	関東地建	三井造船 鉄構工事	1991.08
10	一本独立塔を有する斜張橋の設計－府中湖橋	府中湖橋	道路公団	三井造船 鉄構工事	1991.08
11	名港西大橋の耐風性検討と屋間計測結果を用いた架設精度管理の試行	名港西大橋		川重	1998.12
12	S字型曲線斜張橋の空気力学的特性と防振対策に関する研究－風洞実験による検討と設計への適用	-----		川重	1986.08
13	箱桁断面を有する鋼構造物の耐風防振法の開発	-----		川重	1986.12
14	我国最長の斜張橋「末広大橋」	末広大橋		川重	1976.08
15	因島大橋工事報告（その1）	因島大橋		日立造船	S60.12
16	因島大橋工事報告（その2）	因島大橋		日立造船	S61.06
17	南備讃瀬戸大橋補剛桁の設計と製作	南備讃瀬戸大橋		日立造船	H01.06
18	菅原城北大橋（斜張橋）の設計と製作	菅原城北大橋		日立造船	H01.12
19	批花大橋（モノケーブル自碇式吊橋）の製作・架設	批花大橋		日立造船	H03.05
20	ラマ九世橋（一面ケーブル斜張橋）の設計・製作・架設	ラマ九世橋		日立造船	H03.05
21	生口橋（複合斜張橋）の設計・製作	生口橋		日立造船	H03.05
22	鶴見つばさ橋の設計・製作・架設	鶴見つばさ橋		日立造船	H08.04
23	新尾道大橋の設計と施工	新尾道大橋		日立造船	H12.01
24	舞鶴クレインブリッジの設計・製作・架設	舞鶴クレインブリッジ		日立造船	H12.01
25	安芸灘大橋（吊橋）の設計と施工	安芸灘大橋		日立造船	H12.01
26	釜の淵緑地人道橋風洞試験	釜の淵緑地人道橋		サクラダ	1983.10
27	釜の淵緑地人道橋工事報告	釜の淵緑地人道橋		サクラダ	1983.10
28	KE21工区・S字形曲線斜張橋工事報告	かつしかハーブ橋		サクラダ	1990.04
29	上若生子橋工事報告	上若生子橋		川田	1987.10
30	合掌大橋（旧名：新滝橋）工事報告	合掌大橋		川田	1981.01
31	マガビット吊橋工事報告	マガビット吊橋		川田	1981.01
32	合掌大橋載加試験報告	合掌大橋		川田	1981.01
33	因島大橋補剛桁工事報告	因島大橋		川田	1985.01

・技報リスト

《2/2》

NO.	論文名	工事名または橋梁名	客先名	発行社名	年月
34	南備讃瀬戸大橋補剛桁の設計・製作・施工	南備讃瀬戸大橋		川田	1989.01
35	幸魂橋（斜張橋部下り線側）工事報告	幸魂橋		川田	1991.01
36	平成大橋の設計・施工	平成大橋		川田	1992.01
37	常吉連絡橋（仮称）の部分模型風洞試験	常吉連絡橋		川田	1996.01
38	明石海峡大橋補剛桁の設計・製作・架設	明石海峡大橋		川田	1998.01
39	多々羅大橋上部の設計・製作・架設	多々羅大橋		川田	1999
40	もみじ谷大吊橋の構造特性および架設	もみじ谷大吊橋		川田	2000
41	照明柱耐風設計手法	-----		川鉄	1990
42	耐風照明柱の開発	-----		川鉄	1988.04
43	明石海峡大橋補剛桁の設計・製作・架設	明石海峡大橋	本四公団	トピー	1997
44	名港中央大橋の設計・製作・架設	名港中央大橋	道路公団	トピー	1997
45	鶴見つばさ橋の施工	鶴見つばさ橋		トピー	1995
46	鋼管トラス橋の風洞実験	-----		日本鋼管	1972
47	末広大橋の設計と施行	末広大橋		日本鋼管	1976
48	長大斜張橋の研究	-----		日本鋼管	1976
49	長大吊橋架設時のレーザー応用計測装置の開発	-----		日本鋼管	1981
50	橋梁の架設時耐風制振法	-----		日本鋼管	1985
51	ガス管橋の耐風設計法	-----		日本鋼管	1986
52	横浜ベイブリッジの振動実験	横浜ベイブリッジ		日本鋼管	1992
53	橋梁の耐風設計に関する最近の技術開発	-----		日本鋼管	1992
54	白鳥大橋主塔の施工	白鳥大橋		日本鋼管	1993
55	明石海峡大橋主塔の耐風設計	明石海峡大橋		日本鋼管	1994
56	橋梁用アクティブ制振装置	-----		日本鋼管	1994
57	奥多摩大橋の制振対策	奥多摩大橋		日本鋼管	1995
58	鶴見つばさ橋完成系振動実験	鶴見つばさ橋		日本鋼管	1997
59	名港東大橋の設計・製作	名港東大橋		日本橋梁	1996
60	因島大橋補剛桁架設工事報告	因島大橋		東京鐵骨橋梁	S58.07
61	耐風索を有する小規模吊橋の設計	-----		東京鐵骨橋梁	S59.08
62	S字型曲線斜張橋工事報告（設計編）	かつしかハーブ橋		東京鐵骨橋梁	S60.7
63	万代橋架設工事報告	万代橋		東京鐵骨橋梁	H4.01
64	東神戸大橋の架設工事報告	東神戸大橋		東京鐵骨橋梁	H5.04
65	大鳴門橋照明柱の耐風検討	大鳴門橋		本州四国連絡橋公団	No.36 85.12