

I-311

渦励振に対する構造物の安全性評価に関する一考察

本四公団 正員 大橋 治一

川崎重工業 正員 ○下土居秀樹

川崎重工業 正員 酒井 洋典

1. まえがき

近年、橋梁の長大化が進みその可撓性はさらに増す傾向にある。一方で、景觀面への配慮からは、より多様な構造形態や形状が模索されているが、このような構造・景觀デザインと耐風性の両立が求められるなかで、しばしば渦励振の発生が問題となっている。この渦励振に対しては、断面形状の改善や減衰装置の設置による減衰の付加により制振を図ることが基本となるが、その対策が設計を左右する場合も多い。一方、この渦励振と呼ばれる現象は、発生風速域および応答振幅が限定的な振動であり、しかも現地の風の特長や構造物の減衰特性にも敏感な現象である。このため、発生が予想される応答が小さく、現地の風環境より発生の可能性も小さいと判断される場合には、当面の措置としてその影響を考慮した断面設計を行い、完成後において動態観測により現実の挙動を把握したうえでその対策について再検討を行うことも一つの現実的な対応であると考えられる。ここでは、支間長 1000m級の吊橋主塔における渦励振を対象として、これに対する設計手法についての考察を行った。

2. 検討手法

本検討においては、渦励振による概念的な破壊確率が現行の設計基準により風荷重に対して設計された構造物のもつ破壊確率と同等となるよう、その発生風速域に応じた許容応力度の割増係数の設定を行うことにより、渦励振に対する均質な安全性の確保を図ることとした。その手法は以下のである。

- ①作用応力度が鋼材の降伏点を超過することをもって破壊と定義する。構造物の耐力(R)の分布は鋼材の降伏点強度の分布のみにより決定されるものとし、その分布としては、文献1)に示されるデータを参考に、SM50YA材(現行:SM490YA)を対象として平均値 $\mu_{\sigma_v}=42.2\text{kg/mm}^2$ 、標準偏差 $\sigma_v=2.9\text{kg/mm}^2$ の対数正規分布を仮定した。
- ②設計風荷重に対する設計における荷重状態は死荷重(D)+風荷重(W(V_D))とし、風荷重の分布は風速の生起確率のみにより決定されるものとした。すなわち、ある風速における風荷重は確定量として与えられ、破壊確率は次式により評価されるものとした。

$$Pf = \int_0^{\infty} F_R(\sigma_v) \cdot f_v(V) \cdot dV \quad \begin{array}{l} F_R(\sigma_v) : \text{降伏点強度の確率分布関数} \\ f_v(V) : \text{風速の生起確率密度関数} \end{array}$$

なお、風速の生起確率としては、広島における年最大風速データより得られる極値Ⅰ型分布を用いた。

$$F_v(V) = \exp \{-\exp \{-a \cdot (V - u)\}\} \quad \begin{array}{l} a = 0.233, u = 17.27 \\ F_v(V) : \text{風速の生起確率分布関数} \end{array}$$

- ③渦励振に対する設計における荷重状態は D+(活荷重(L/2))+W(V_{cr})+振動(A)とし、渦励振の発生風速域を設計共振風速 V_{cr}~V_{cr}+ΔV の範囲で与えるものとした。また、振幅は風速によらず一定と仮定し、破壊確率は次式により評価されるものとした。

$$Pf = \frac{1}{\Delta V} \int_{V_{cr}}^{V_{cr}+\Delta V} F_R(\sigma_v) \cdot \{1 - F_v(V)\} \cdot dV$$

- ④以上の検討においては、各荷重をいずれも確定量として取り扱ったが、各荷重の変動による破壊確率への影響については、表1に示すような荷重の分布を仮定し別途検討を行った。なお、そこでは各荷重による応力比について概略設計データをもとに図3に示すようなモデル化を行った。

3. 検討結果

- ①設計風荷重に対しては応力照査式 $D + W \leq 1.5 \cdot \sigma_a$ (σ_a : 許容応力度)により設計が行われるものとし、3種類の応力比に対して破壊確率の算定を行った結果を表2に示す。
- ②上記の結果より、渦励振を考慮する場合の目標破壊確率として $Pf=1.0 \times 10^{-4}$ と想定し、 $D + (L/2) + W + A \leq \alpha \cdot \sigma_a$ (α : 許容応力度の割増係数)として設計される構造物の破壊確率がこれを満足するよう割増係数 α の算定を行った。なお、そこでは渦励振の発生風速範囲として $\Delta V = 5\text{m/s}$ と仮定した。その算定結果については図3に示すようであり、渦励振に対する設計における許容応力度の割増係数と

して $\alpha = 1.5 \sim 1.7$ という値が得られた。

③ 上述のようにして得られた許容応力度の割増係数を用いて設計された構造物に対し、その破壊確率に対する各荷重の変動の影響について検討を行った結果、表3に示すように活荷重を除く各荷重に関しては、その変動による破壊確率への影響は比較的小さいことが確認された。また、活荷重載荷時に対する許容応力度の割増係数については、その変動による影響を考慮し、多少安全側に設定するのが適当と判断された。

4. あとがき

渦励振に対する設計に関して、現行の各設計基準においては必ずしも明確な規定がなされていないが、これに対する合理的な設計法について考えていくうえでは、本検討において示したように破壊確率の概念を用いて振動の発生風速域に応じた許容応力度の割増係数の設定を行うこともその一つの有効な方法となり得るものと考えられる。なお、本検討においては、あくまで渦励振による初通過破壊のみを対象としたが、今後は疲労や振動限度等の問題も含めたより合理的な設計手法についての検討が必要と考えられる。

表1 想定した各荷重の分布

	分布形状	変動係数	設計荷重
死荷重	正規分布	5 %	μ
活荷重		15 %	$\mu + 1.65\varepsilon$
風荷重		15 %	μ
渦励振		20 %	$\mu + 2\varepsilon$ or $\mu + \varepsilon$

1) μ : 平均値, ε : 標準偏差
2) 活荷重の分布は、文献2)に示されるデータを参考に設定した。

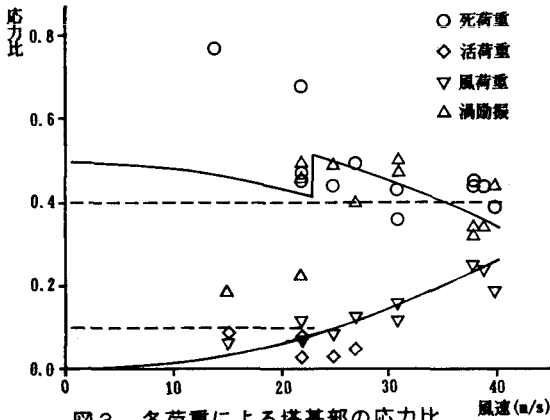


図3 各荷重による塔基部の応力比

表3 荷重の変動による破壊確率への影響

渦励振発生風速	許容応力度割増係数	荷重変動考慮せず	風荷重のみ変動考慮	各荷重の荷重変動考慮	
				$\mu_A + 2\varepsilon_A$	$\mu_A + \varepsilon_A$
10m/s	1.35	9.55×10^{-9}	9.57×10^{-9}	1.03×10^{-6}	2.13×10^{-5}
20m/s	1.35	3.94×10^{-9}	5.02×10^{-9}	3.97×10^{-7}	8.81×10^{-6}
23m/s	1.55	3.15×10^{-5}	3.86×10^{-5}	1.02×10^{-5}	1.35×10^{-4}
29m/s	1.60	4.55×10^{-5}	6.82×10^{-5}	1.19×10^{-5}	1.18×10^{-4}
35m/s	1.65	4.82×10^{-5}	8.73×10^{-5}	1.20×10^{-5}	8.53×10^{-5}
40m/s	1.70	5.12×10^{-5}	9.98×10^{-5}	1.29×10^{-5}	6.91×10^{-5}

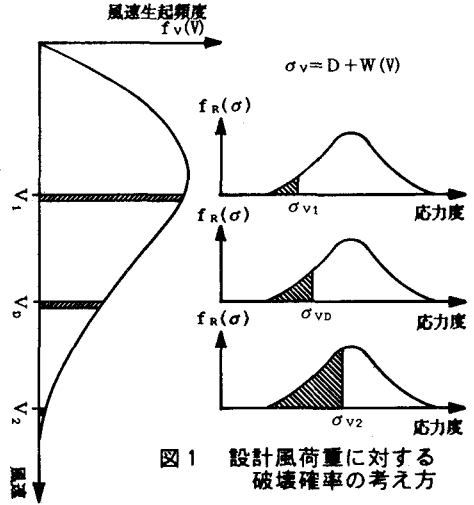


図1 設計風荷重に対する破壊確率の考え方

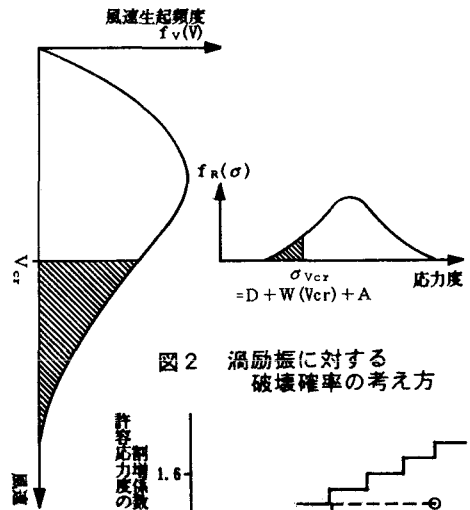
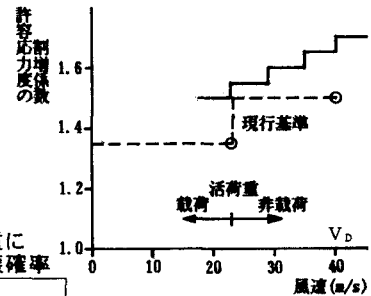


図2 渦励振に対する破壊確率の考え方

表2 設計風荷重に対する破壊確率

応力比 D : W	破壊確率
2 : 1	1.63×10^{-4}
1 : 1	4.00×10^{-4}
1 : 2	6.44×10^{-4}

図4 渦励振発生風速と許容応力度の割増係数



参考文献 1) 西村：鋼材の機械的性質のばらつきについて；JSSC, VOL. 5, NO. 48 1969, 2) 阪神高速道路公団・設計荷重委員会：阪神高速道路の設計荷重体系に関する調査研究；昭和61年12月