

I-317

風向別強風の生起確率特性を考慮した橋梁構造物の安全性評価について

京都大学工学部 学生員○築山有二
京都大学工学部 正 員 白石成人

京都大学工学部 正 員 松本 勝
京都大学工学部 正 員 白土博通
運輸省 正 員 長田 信

1. まえがき

橋梁構造物の耐風設計における不確定要因（例えば、橋梁架設地点の自然風の特長、構造物断面の空気力係数、振動特性など）はさまざまであり、それらの不確定要因は、確率統計的性格を有するものと考えられるが、一般的にこれらの要因の正確な確率分布を知ることは難しい。このため、現在、我が国で用いられている「道路橋示方書」および「本州四国連絡橋耐風設計基準」は許容応力度設計法に基づき、これらの要因の持つばらつきを、補正係数、割増係数の導入により評価している。しかし、この設計法では、構造物の持つ安全性を定量的に表わすことはできず、安全性の評価はある基準を満足するかどうかにより決定論的に Yes, No の判断が行なわれている。さらに、このため、構造物相互の安全性についても対応がとれない状況にある。本研究では、橋梁構造物の静的風荷重および発散型フラッタに対する安全性を定量的に評価するために、まず架設地点の自然風の諸特性、とりわけ風向別の強風の極値風速分布を明らかにし、さらにそれを用いて、強風による橋梁構造物の破壊確率を算定することを試みた。その例として、現在計画中の長大吊橋トラス桁案をとりあげ、その強風に対する安全性について検討した。

2. 強風による破壊確率の算定

静的風荷重および発散型フラッタによる橋梁構造物の破壊確率の算定方法について、その概略手順を図1に示す。

(1) 風向、風速、傾斜角の結合確率密度関数の推定

自然風の橋梁架設地点における短期間の観測記録から、Gomes と Vickery の方法、台風係数の導入および風向生起頻度、傾斜角の分布の仮定により、長期間の再現期間に対応する風向、風速、傾斜角の結合確率密度分布を推定する。ここで、台風係数とは、我が国のように強風のほとんどが非定常性の強い台風によってもたらされる地域においては通常の風速母集団確率分布より推定する Gomes と Vickery の方法に何らかの補正が必要であるため、本研究で導入したものである。その値は、観測された3時間毎の風速最大値をベースとして求められる風向別年最大風速に極値Ⅰ型分布を用いて推定した風速再現期待値を、Gomes と Vickery の方法を用いて推定した風速再現期待値で除したものである。

(2) 実橋の空力挙動特性の予測

自然風の観測データおよび設計案から推定される特性（固有振動数、構造減衰）を参考として風洞実験を行ない、設計案の基本的な空力特性（空気力係数、迎角とフラッタ発現風

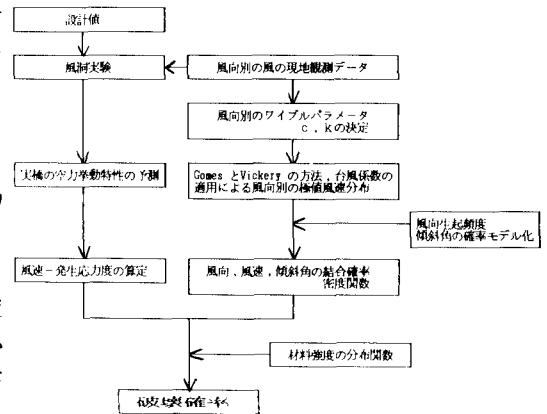


図1 破壊確率の算定手順のフローチャート

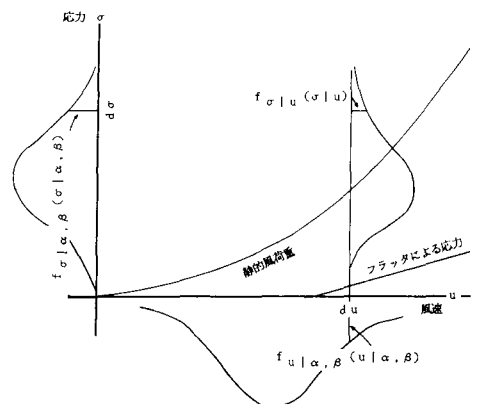


図2 破壊確率算定の概略図

速との関係、各迎角ごとの風速-応答振幅曲線）を得る。この結果と自然風下での類似形式の橋梁の挙動を参考にして、実橋の空力応答特性の予測を行なう。

(3) 風速-発生応力度の算定

(2)で得られた風の作用に伴う静的あるいは動的な構造物の変形に対応する極限応力を算定し、風速とこれに起因する応力度との関係を明らかにする。この際、抗力係数、空気密度の変動を考慮する必要がある。

(4) 破壊確率の算定

(1)~(3)より、迎角 α および風向 β の条件付確率密度関数 $f_{\sigma|\alpha,\beta}$ として応力関数が定義される。

$$f_{\sigma|\alpha,\beta}(\sigma|\alpha,\beta) d\sigma = d\sigma \int f_{\sigma|u}(\sigma|u) f_{u|\alpha,\beta}(u|\alpha,\beta) du$$

ただし $f_{u|\alpha,\beta}$: 風速の条件付確率密度関数

$f_{\sigma|u}$: 応力への変換の際のばらつきを示す条件付確率密度関数

さらに材料強度の分布関数 $F_{\sigma R}(\sigma)$ を用いることにより、破壊確率 P_f は次式で求められる。

$$P_f = \int \beta \int \alpha P_{f|\alpha,\beta} f_{\alpha|\beta}(\alpha|\beta) f_{\beta}(\beta) d\alpha d\beta$$

$$\text{ただし } P_{f|\alpha,\beta} = \int f_{\sigma|\alpha,\beta}(\sigma|\alpha,\beta) F_{\sigma R}(\sigma) d\sigma$$

なお、図2に、破壊確率を計算するための概略図を示す。

3. 破壊確率を用いた安全性の評価

一例として、表1に示すような現在計画中の長大吊橋トラス桁案の破壊確率を算定した。使用したデータは・垂水観測塔における20年間の風の観測データ・文献(2)に示されている迎角-フラッタ発散図、風速-応答振幅図、風速-発生応力度図、風速-余裕ねじれ角図である。計算結果を表2、表3に示す。

その結果、フラッタの風速に対する発散形状や構造物の構造減衰を変化させて破壊確率を算定したがその変動が小さかったこと、また文献(2)のデータより構造物はフラッタ発生前にすでに静的な限界に達していると考えられることなどから、この構造物の強風による破壊確率はほとんど静的風荷重効果によるものと思われる。また、風による破壊確率のみを考えた場合、破壊確率は、スパン中央点に比べ、スパン1/4点のほうが大きいことから、スパン1/4点の部材に留意する必要があると考えられる。

4. 結論および今後の課題

本研究では、橋梁架設地点の短期間の自然風観測記録から台風の影響を加味した風向別の風速の極値分布を推定する方法と、それを用いて、橋梁構造物に対する風の静的、動的効果を同時に考えた破壊確率の算定方法について検討し、その一例として、現在計画中の長大吊橋トラス桁案の破壊確率を算定した。今後、さらに、強風の極値分布の精度よい推定、迎角分布、材料強度の分布、および得られた値の評価方法について検討が望まれる。

(参考文献)

- (1) L.Gomes and B.J.Vickery "On The Prediction of Extreme Wind Speeds from The Parent Distribution" Journal of Industrial Aerodynamics,2(1977),pp21-38
- (2) 土木学会 本州四国連絡橋耐風研究小委員会作業班 "本州四国連絡橋の耐風に関する調査研究報告書、耐風設計基準見直しのための作業班検討報告" 昭和61年3月

中央支間長 (m)	2000
主橋幅 (m)	35.5
桁高 (m)	14.0

表2 GOMESとVICKERYの方法による
風速再現期待値および台風係数
(垂水観測塔 高度80m)

風 向	風速再現期待値 (m/s)		台風係数	
	20年	100年	20年	100年
SE	25.47	29.38	1.01	1.07
SSE	35.28	40.70	1.01	1.07
NW	18.20	19.79	1.12	1.17
NNW	17.84	19.46	1.08	1.13

表3 破壊確率の計算結果
(現在計画中の長大吊橋トラス桁)

【条件】		【結果】	
対象部材	上弦材	U.C.Ratio	$\nu = 6.75$ (回/年)
対象位置	スパン中央点		
迎角分布	正規分布 [0, 1]		
風速の再現期間	100年		

風向	モード (m/s)	破壊確率		
		0.15 [deg/(m/s)]	0.25 [deg/(m/s)]	0.35 [deg/(m/s)]
SE	25.2	0.2805 E-05	0.2805 E-05	0.2805 E-05
SSE	35.0	0.1822 E-03	0.1822 E-03	0.1822 E-03
NW	18.9	0.1891 E-09	0.1891 E-09	0.1891 E-09
NNW	18.8	0.7119 E-10	0.7119 E-10	0.7119 E-10
合 計		0.1851 E-03	0.1851 E-03	0.1851 E-03

構造減衰 $\delta = 0.006$ と変化した場合 (スパン中央点)				
風向	モード (m/s)	0.15 [deg/(m/s)]	0.25 [deg/(m/s)]	0.35 [deg/(m/s)]
SE	25.2	0.3073 E-05	0.3133 E-05	0.3194 E-05
SSE	35.0	0.1917 E-03	0.1951 E-03	0.1986 E-03
NW	18.9	0.1956 E-09	0.1972 E-09	0.1989 E-09
NNW	18.8	0.7355 E-10	0.7414 E-10	0.7475 E-10
合 計		0.1948 E-03	0.1982 E-03	0.2018 E-03

スパン1/4点の場合 (構造減衰 $\delta = 0.01$)				
風向	モード (m/s)	0.15 [deg/(m/s)]	0.25 [deg/(m/s)]	0.35 [deg/(m/s)]
SE	25.2	0.4754 E-05	0.4754 E-05	0.4754 E-05
SSE	35.0	0.2352 E-03	0.2352 E-03	0.2353 E-03
NW	18.9	0.5171 E-09	0.5171 E-09	0.5171 E-09
NNW	18.8	0.1964 E-09	0.1964 E-09	0.1964 E-09
合 計		0.2400 E-03	0.2400 E-03	0.2400 E-03