

安全性と使用性から見た橋梁の耐風設計

京都大学大学院 学生員○三澤 彰 京都大学工学部 正 員 松本 勝
 京都大学工学部 正 員 白石成人 京都大学工学部 正 員 白土博通
 熊谷組 正 員 泉 千年 本州四国連絡橋公団 正 員 福井幸夫

1. まえがき 構造物の安全性と使用性を考えた場合、終局限界状態および使用限界状態の2つの限界状態が定義される。いずれも構造物の正常な機能に支障をきたすが、前者が破壊に対して最もクリティカルであるために、後者はどちらかといえば二次的な扱いを受けてきた。しかし、可撓性にとんだ長大橋梁や超高層ビルの出現により、構造物の振動が人間に与える精神的あるいは生理的な影響の評価が必要となる場合も生じる。そこで長大橋梁の振動実験例を通じて使用性評価法について考察を行った。また終局限界状態を対象とした現行の耐風設計法では破壊に対する安全性が定量的に明示されていない。そこで破壊確率という安全性の指標を用いて橋梁構造物の確率論的な耐風設計法について考察を試みた。

2. 振動実験例をもとにした使用性の評価 従来の研究は比較的短時間で、振動数は1Hz以上、振幅は1cm以下の橋梁を対象としたものが多い。¹⁾長大橋梁を対象とした場合、その固有振動数が1Hz以下、振幅もかなり大きくなることを考慮すれば、従来の研究の成果がそのまま適用できるかは疑問である。そこで本州四国連絡橋の尾道—今治ルートの伯方大島大橋(支間長560m)を起振機で振動させ、橋梁上の歩行時および静止時の振動感覚に対するアンケート調査(試験1a—1d)および鉛直振動発生装置(トラックを改造)による振動感覚のアンケート調査(試験2a—2c)を行った。試験1a—1dおよび試験2a—2cの振動数および振幅を表1に示す。(性別、年齢による人員の構成および回答項目は表2を参照)アンケートの集計結果例を表2に示す。

表1. 試験時の振動数および振幅

試験	実験モード	振動数(Hz)	振幅
1a	曲げ変位1次	0.186	4.4cm
1b	曲げ変位2次	0.323	31.8cm
1c	曲げ変位3次	0.703	7.5cm
1d	ねじれ変位1次	0.738	0.27

試験	振動数(Hz)	振幅(cm)
2a (1)	0.2	1
(2)	0.4	1
(3)	0.6	1
(4)	0.8	1
(5)	1.0	1
2b (1)	0.2	5
(2)	0.4	5
(3)	0.6	5
(4)	0.8	5
(5)	1.0	5
2c (1)	0.2	10
(2)	0.4	10
(3)	0.6	10
(4)	0.8	10
(5)	1.0	10
(6)	1.25	10

表2. アンケート集計結果例
静止したままの振動

年齢	5-15	16-25	26-35	36-50	51-64	小計	計
性別	男	女	男	女	男	女	
感じない	3	1	0	4	2	3	0
少し感じる	9	5	4	7	6	7	34
はっきり感じる	0	5	2	2	2	0	4
はっきり感じ気分が悪い	0	0	0	0	0	0	0
耐えられない	0	0	0	0	0	0	0
小計	12	11	6	10	11	10	49
計	23	16	21	20	20		100

集計結果をもとに解析を試みた。試験1で「歩行時と静止時のどちらの方がより感じるか」という問いに対して、女性は静止時に感じる人の方が幾分多い。男性の場合、「歩行時」と「静止時」を選んだ人数に顕著な差は見られなかった。また試験1および試験2において性別・年齢の違いが振動感覚に及ぼす影響は見られなかった。集計結果によれば試験2においては振動数が0.6Hz以上になると振幅によらずに回答の分布傾向が一致してくることから、今回のような低振動数・大振幅の振動に対して被験者は振幅よりも振動数に対して強く反応するものと思われる。しかし、試験1cよりも振動数の低い試験1bの方が気分が悪くなる人が

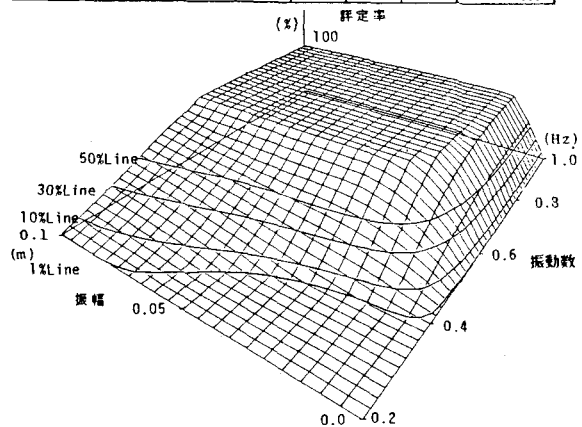


図1. 「はっきり感じる」に対する評定率

Akira MISAWA Masaru MATUMOTO Naruhito SHIRAIISHI Hiromichi SHIRATO Chitoshi IZUMI Yukio HUKUI

多いということから、振動感覚は振動数のみに強い依存性があるのではなく、視覚等に対する依存性も極めて大きいと思われる。また「酔いやすい」人は「気分が悪い」と回答する人が多く、「酔いにくい」人は「気分が悪い」と回答する人は少なかった。このことから「酔い」に対する心理的および先天的な影響が振動感覚に及ぼす影響は大きいと思われる。また、振動被曝時間の影響も大きいと思われる。試験2の「はっきり感じる」に対する評定率を3次元図形で表現したものが図1である。これにより「はっきり感じる」人の割合に対応した振動域が推定される。従来の研究によれば¹⁾ 振動感覚は $a \cdot \omega^m = \text{const.}$ の形で表せるが、図1から今回の試験では「はっきり感じる」は $m=6$ 程度になった。

3. 破壊確率を用いた橋梁構造物の耐風設計法

以前の研究²⁾³⁾において風による橋梁構造物の破壊確率の算定法を導いた。これをもとに破壊確率の算定を行った。

(算定方法は²⁾³⁾ 参照) 静的風荷重による発生応力度を求め手段として横荷重を受ける吊り構造のねじれ、及びずれを考慮した簡易的な応力解析法⁴⁾を用いることにより破壊確率の算定プログラムを作成した。破壊にいたる部材としてはスパン中央の上弦材を対象とした。

A橋(支間長1990m)、B橋(1100m、鉄道併用橋)、C橋(990m、併用橋)、D橋(940m、併用橋)、E橋(770m)について風による構造物の破壊確率の算定を行った。(いずれも吊橋である。) 風は垂水80m高度の16方位の観測データを用いた。⁵⁾ 風速の極値分布の推定には修正を加えた台風係数を用いた。一例として5橋の風向がSSEのときの破壊確率を順にあげれば $0.577E-4$ 、 $0.414E-10$ 、 $0.791E-9$ 、 $0.803E-8$ 、 $0.255E-2$ のようになる。

破壊確率を安全性の指標として用いた耐風設計法の流れを示したものが図2である。この方法は目標破壊確率を設定し、支間長や拘束条件から適当な断面や構造形式を選定することを目標としている。データの蓄積、構造物のシステムとしての

破壊に関する考察、破壊確率の基準値の設定などが望まれるが、橋梁構造物の安全性評価法に、確率論的手法を積極的に導入したものであり本来設計のあるべき姿を反映している面もあるものと思われる。

4. 結論 振動実験例を通じて低振動数・大振幅の振動に対して人間の振動感覚は、振動数に対する依存性がきわめて高いことがわかった。酔いに対する心理的・先天的な影響も大きい。視覚的な要素が与える影響もかなり大きいと思われる。さらに振動被曝時間の与える影響も大きく思われる。また風による橋梁の破壊確率を算定するプログラムを作成することにより、吊橋の破壊確率の算定が極めて容易になった。

さらに台風係数を修正すること

により5橋の破壊確率を算定した。また、破壊確率を安全性の指標とすることで確率論的手法の耐風設計法を得ることができた。破壊確率の基準値、および形式選定の問題から、今後データの蓄積が進められることが望まれる。

参考文献

- 1) 梶川康男 "道路橋の振動とその橋梁の使用性に与える影響に関する研究" 京都大学工学博士論文 昭和54年8月
- 2) M. MATSUMOTO and P. H. W. PRENNINGER "CONSIDERATION OF HIGHER VORTEX-EXCITED MODES IN RELIABILITY ANALYSES OF BRIDGE STRUCTURES" SEVENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIND ENGINEERING AACHEN, WEST GERMANY JULY 6-10. 1987 PREPRINTS VOLUME4 P171-180
- 3) 長田信 "風向別強風の生起確率特性に着目した橋梁構造物の安全性に関する研究" 京都大学修士論文 昭和62年2月
- 4) 小西一郎 "鋼橋設計編II" P1067-P1106
- 5) 本州四国連絡橋公団第一建設局、財団法人・日本気象協会関西支部 "垂水観測塔の風の20年集成" 昭和60年2月

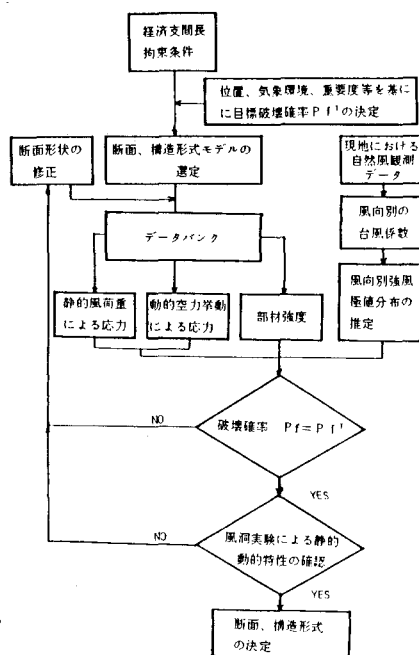


図2. 確率的手法を用いた耐風設計法