

I-423 境界層乱流中の1/350縮尺吊橋全橋模型風洞実験 —その1 実験の方法と相似度—

NKK 正会員 武田 勝昭
同 上 正会員 加藤 真志

1. まえがき 橋梁の風洞実験は、従来より主として一様流中で行われてきたが、最近では自然風の乱流特性を相似させることを目的とした乱流中の実験も併せ行われることが多くなっている。この際、乱流に関する相似パラメータのうち、平均風速の鉛直分布や乱れ強度は相似されるケースが多いものの、乱れスケールについてはこれを合わせることが極めて難しく、やむを得ず無視して実験が行われているのが現状である。本研究ではこのような点に注目し、比較的大きな乱れスケールを生成可能な境界層風洞において、極力小さく模型化した全橋模型風洞実験を行うことによって、乱れスケールをも相似された実験が可能であると考え、その実証実験を行った。

2. 全橋模型風洞実験の方法と相似度

- (1) 想定実橋 全長1500mクラスの3径間吊橋を想定し、試設計を行って、実橋諸元を求めた。
- (2) 実験のレイアウト NKK境界層風洞内にスパイアと床面粗度を用いて境界層乱流を生成し、その乱流中に全橋模型を設置して実験を行った。（図1、写真1参照） 模型の縮尺率は、乱れスケールに関する相似性が確保されるよう、1/350とした。このような縮尺率とした場合、模型製作の精度が最大の問題となる。以下に、その結果について述べる。
- (3) 1/350縮尺全橋模型の設計と相似度 全橋模型の設計においては、通常合わせる必要があるとされているパラメータに加えて、死荷重によるケーブル張力を相似させるため、フルード数の相似も図っている。このとき、風速倍率が18.7と一意的に定まり、実験風速がかなり低くなる。従って、

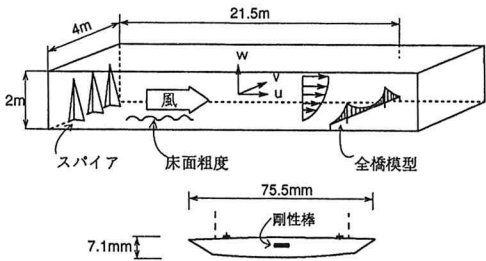


図1 実験のレイアウトと補剛桁断面図

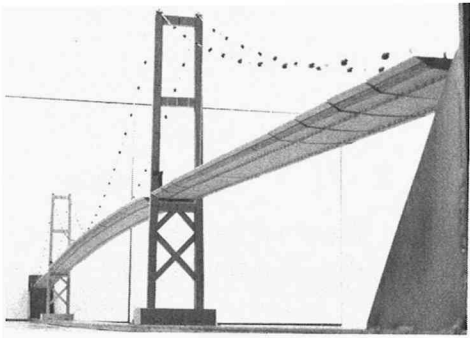


写真1 1/350縮尺吊橋全橋模型

表1 主要諸元の模型所要値と実測値

		単位	模型所要値	模型実測値
主寸法	中央径間長	cm	205.7	205.7
	サグ長		20.3	20.3
	側径間長		94.3	94.3
補剛桁	桁幅	mm	75.5	75.5
	桁高		7.1	7.1
	重量	gf/cm	1.07	1.08
	極慣性モーメント	gf・cm ² /cm	4.07	3.40
ケー	外径	mm	(1.3)	0.8
	重量	gf/cm	0.22	0.22
ブル	伸び剛性	kgf/cable	65.9	55.3
	抗力	gf/m	0.61	0.61
主塔	塔高	cm	37.5	37.5
	一般化重量	gf	20.7	26.3

表2 主な振動諸元の模型所要値と実測値

		単位	模型所要値	模型実測値
振動数	鉛直曲げ1次	Hz	2.02	2.20
	ねじれ1次		8.51	9.33
	横曲げ1次		1.44	1.49
	塔面外1次		16.9	19.6
	対数減衰率			
一般化重量	鉛直曲げ1次	gf	195.0	204.8
	ねじれ1次		652.7	498.8
	横曲げ1次		130.3	130.3
	塔面外1次		20.7	26.3
	重量			

低風速における風速設定精度が充分であることが必要であり、このことを確認したうえで実験を行った。

模型は、補剛桁部（図1）、主塔部とも剛性棒（リン青銅製）に外形材を取り付ける構造とした。また、タワーリンク、エンドリンクは、リン青銅製の板バネで構成し、固有値解析により、その最適な板厚を定めた。表1に、主要諸元の模型所要値と実測値を示す。これより、寸法的には0.1mmの精度が確保されている。この値は、実橋では35mmに相当するので、高欄部などの微細な構造まで相似させることは難しいとしても、ほぼ、幾何学的相似は達成されていると考えられる。重量関係の諸元も軽量のアルミ材等の使用により、満足できる値となっている。ケーブルについては、（レイノルズ数の違いを考慮に入れて）抗力が相似されるような外径を持ち、かつ、伸び剛性が合うような線材を試作（ポリフッ化ビニリデン線）して実験に供した。表2には、主な振動諸元の模型所要値と実測値を示す。この表より、振動数、対数減衰率、振動モードを考慮に入れた一般化重量とも相似条件がほぼ満足されていることが分かる。但し、ねじれ振動の減衰はもう少し小さい値とする必要があり、今後の課題と考えている。

（4）境界層乱流の特性と相似度 表3に、境界層乱流の実測値を、現地風の推定値とともに示す。この表より、平均風速の鉛直分布（べき指数）や乱れ強度のみならず、乱れスケール、変動風速のスペクトル（図2-1, 2-2）も良く相似されていることが分かる。

3. 対風応答の例 図3には、対風応答の例として、補剛桁のねじれ方向応答図を示す。この図からも、自然風下の橋梁が一様流中の風洞実験結果とは相当に異なった挙動を示すことが容易に想像され、乱流特性相似の重要性が再確認される。なお、図中のガスト応答については、より詳細な検討を行っているが、これについては紙面の都合上、別報に譲る。

4. 結論 境界層乱流中で、細心の注意を払って設計された大縮尺全橋模型を用いて風洞実験を行うことにより、乱れスケールや変動風速のスペクトルをも相似させた実験が可能である。

参考文献 A. G. Davenport, "A Study of Wind Action on a Suspension Bridge during Erection and Completion", BLWT, The Univ. of Western Ontario, 1969.

表3 境界層乱流の相似度

	現地風 推定値	境界層乱流 実測値
べき指数 ($1/n$)	8~9	7~9
乱れ強度		
主流方向 (I_u)	0.08	0.08 ~ 0.09
鉛直方向 (I_w)	0.04	0.04
乱れスケール (L_u)	1000~ 500m	2500~ 300m相当
スペクトル	図2-1, 2-2	

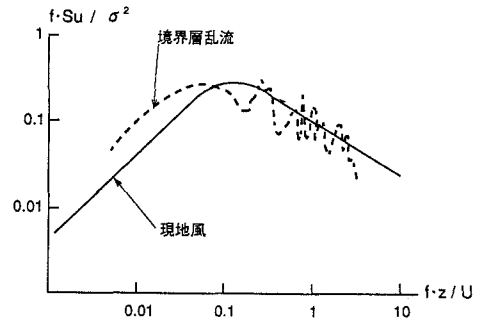


図2-1 主流方向変動風速のパワースペクトル

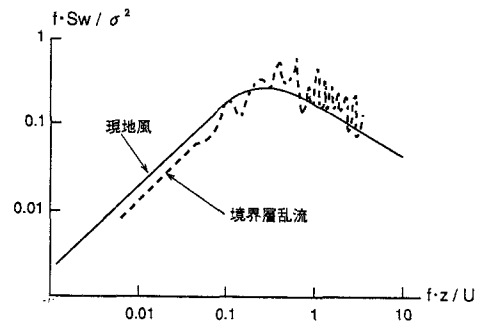


図2-2 鉛直方向変動風速のパワースペクトル

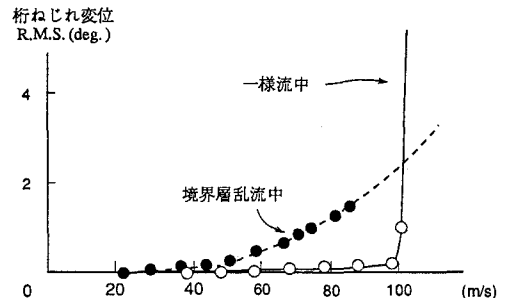


図3 桁のねじれ方向応答図